



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

ปริญญา

วิศวกรรมไฟฟ้า

วิศวกรรมไฟฟ้า

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของโครงการโรงไฟฟ้ากังหันน้ำ
ขนาดเล็ก

Feasibility Study on Technical and Financial Aspects of Small Hydro Power Project

นามผู้วิจัย นายบุญทวี สีสมพร

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(อาจารย์ยวินัย พฤษะวัน, Dr.Eng.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์วิชัย สุระพัฒน์, วศ.ม.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วัน เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของโครงการ
โรงไฟฟ้ากังหันน้ำขนาดเล็ก

Feasibility Study on Technical and Financial Aspects of Small Hydro Power Project

โดย

นายบุญทวี สีสมพร

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)

พ.ศ. 2555

ลิขสิทธิ์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บุญทวี สีสมพร 2555: การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของโครงการ
โรงไฟฟ้ากังหันน้ำขนาดเล็ก ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมไฟฟ้า)
สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก:
อาจารย์วินัย พงศ์ชะวัน, Dr.Eng. 129 หน้า

วิทยานิพนธ์นี้เป็นการนำเสนอการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของ
โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กโครงการนี้ถูกยกขึ้นมาศึกษา เนื่องจากมีแนวโน้มความต้องการใช้
พลังงานไฟฟ้าภายในประเทศ (ส.ป.ป. ลาว) สูงขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของประชากรและ
ความเจริญเติบโตทางด้านเศรษฐกิจแต่ทรัพยากรที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้ามีจำกัดหรือหมดไปเรื่อยๆ
การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังน้ำเป็นวิธีการที่ดีและมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยยราคาถูก
ทั้งเป็นทรัพยากรหมุนเวียนด้วย สำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดกลางและขนาดใหญ่
บางโครงการอาจจะประสบกับปัญหาต่างๆ มากมาย ดังนั้นโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก
จึงนับเป็นทางเลือกหนึ่งที่สามารถป้องกันปัญหาขาดแคลนพลังงานไฟฟ้าได้

การศึกษาโครงการโดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์เป็นการคำนวณหากำลังและพลังงาน
ไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี ส่วนทางด้านการเงิน (Financial) ก็ใช้วิธีเดียวกันเพื่อคำนวณหาความคุ้มค่า
ของโครงการได้แก่มูลค่าปัจจุบันสุทธิ อัตราผลตอบแทนและอัตราผลประโยชน์ต่อต้นทุน ข้อมูล
ที่นำมาศึกษาในโครงการนี้ได้มาจากการสำรวจของบริษัท VASE CO.LTD ซึ่งเป็นข้อมูลทาง
อุทกวิทยา

ผลการศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าขนาดเล็กห้วยกะเพออำเภอเล่างามจังหวัดสกละวัน
ผลที่ได้รับคือกำลังผลิตติดตั้ง 5 MW ใช้กังหันน้ำแบบแกนนอน (Pelton) จำนวน 2 เครื่องความสูง
ของน้ำออกแบบ 258.92 m อัตราการไหลออกแบบ $2.24 \text{ m}^3/\text{s}$ พลังงานผลิตได้ 21.325 GWh/year
และผลการวิเคราะห์ความเหมาะสมแสดงว่าอัตราผลตอบแทนสุทธิเท่ากับ 2,924,057 \$US
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่ายเท่ากับ 1.26 อัตราผลตอบแทนโครงการเท่ากับ 9.73%

Bounthavy Sysomphone 2012: Feasibility Study on Technical and Financial Aspects of Small Hydro Power Project. Master of Engineering (Electrical Engineering),
Major Field: Electrical Engineering, Department of Electrical Engineering.
Thesis Advisor: Mr. Winai Plueksawan, Dr.Eng. 129 pages.

This thesis presents a study of the technical and Financial feasibility of small hydro power project is being held up study. Since the potential demand for electric power in the country (Laos PDR) increased due to the increase of population and economic growth, but the resources used to generate electricity is limited. The production of hydroelectric power is a great way and have an impact on the environment less, low cost and it is also renewable resources. For the medium and large hydropower projects may be faced with many problems. Therefore, small hydro projects has become an alternative to the electrical energy shortage.

The study of this project using the mathematical tools to calculate power and energy production per year. The Financial evaluation is used the same method to calculate the cost of the project, including net present value, Rate of return and benefit-cost ratio. The data used in the study comes from a survey of VASECO.LTD, a hydrological data.

Huaykapor, Laongam district, Saravan province, Lao PDR is selected for studying. The result shown that installed capacity of 5MW, the turbine type is horizontal axis (Pelton) with 2 units design head 258.92 m design discharge at 2.24 m³/s, could produce average annual energy of 21.325 GWh/year. The economic evaluation found that NPV of 2,924,057 \$US, B/C of 1.26 and IRR of 9.73%.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ อ.ดร.วินัย พุกกะวัน ประธานกรรมการที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก ที่ให้คำปรึกษาในการเรียนการค้นคว้าวิจัย ตลอดจนการตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จอย่างสมบูรณ์

ขอขอบพระคุณคณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้าคณะวิศวกรรมศาสตร์ทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ให้ความช่วยเหลืองานวิจัยและให้คำปรึกษาอย่างดี และขอขอบคุณกลุ่มนักศึกษาปริญญาโท รวมทั้งนักศึกษาปริญญาตรีที่เรียนด้วยกันในภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์เจ้าหน้าที่ธุรการภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า สำนักงานความร่วมมือเพื่อการพัฒนา ระหว่างประเทศ Thailand International Development Cooperation Agency (TICA) ผู้ให้ทุนการศึกษา บริษัท VASE CO.LTD ผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล ธุรการต้นสังกัดที่สนับสนุนช่วยเหลือและคอยให้กำลังใจมาตลอด

สุดท้ายขอกราบขอบพระคุณ คุณพ่อ สุณี สีสมพร คุณแม่ ผ่อง สีสมพร ครอบครัว พี่ๆ น้องๆ สีสมพร และอีกหลายคน นิสิตลาวที่ให้ความช่วยเหลือให้กำลังใจ ให้คำแนะนำและสนับสนุนข้าพเจ้าเสมอมา จนทำให้โครงการวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จ ขอขอบคุณครับ

บุญทวี สีสมพร

ตุลาคม 2555

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ	(6)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์ของการศึกษา	4
การตรวจเอกสาร	5
อุปกรณ์และวิธีการ	67
อุปกรณ์	67
วิธีการ	67
ผลการศึกษาและการวิจารณ์	81
ผลการศึกษา	81
การวิจารณ์	91
สรุปและข้อเสนอแนะ	92
สรุป	92
ข้อเสนอแนะ	93
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	95
ภาคผนวก	98
ภาคผนวก ก ข้อมูลโครงการเขื่อนห้วยกะเพา	99
ภาคผนวก ข แผนภาพประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ	119
ภาคผนวก ค การคำนวณหาความเร็วจำเพาะ (Specific Speed)	125
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	129

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	การจำแนกโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก	20
2	การเปรียบเทียบลักษณะแกนของเครื่องกังหันน้ำแบบ Francis	23
3	การเปรียบเทียบเครื่องกังหันน้ำแบบ Pit, Bulb แกนนอน และ Kaplan แกนตั้ง	30
4	ชนิดกังหันน้ำและช่วงความสูงหัวน้ำของกังหันน้ำชนิดต่างๆ ในประเทศญี่ปุ่น	33
5	ข้อมูลพื้นฐานเครื่องกังหันน้ำ	42
6	ชนิดของการไหลในท่อ	45
7	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-Williams	47
8	รายละเอียดสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา	74
9	ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ทางเลือกต่างๆ	81
10	กำลังผลิตติดตั้งที่เหมาะสมของโครงการเขื่อนห้วยกะเพอ	82
11	ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ลำห้วยกะเพอในขอบเขตโครงการ ร้อยละ 80% ของน้ำท่าที่ไหล	84
12	ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Energy) ที่ได้จากการคำนวณ	85
13	ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 1 กำลังการผลิต 5 MW	86
14	ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 2 กำลังการผลิต 7 MW	87
15	ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 3 กำลังการผลิต 9 MW	89
ตารางผนวกที่		
ก1	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอบาเจียง จังหวัดจันทบุรี	100
ก2	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอกงเขวียน จังหวัดสระแก้ว	101
ก3	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอเล่างาม จังหวัดสระแก้ว	102
ก4	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอปากช่อง จังหวัดจันทบุรี	103

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก5	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอชะนะสมบุญจังหวัดจันทบุรี	104
ก6	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอท่าเตยจังหวัดชบอง	105
ก7	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยปราชีว	109
ก8	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยจะราง	110
ก9	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยกะเพอ	111
ก10	อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนห้วยกะเพอห้วยปราชีวและห้วยจะราง	112
ค1	สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วจำเพาะของเครื่องกังหันน้ำแบบต่างๆ	126
ค2	ความสัมพันธ์ของจำนวน Pole กับความเร็วของการหมุน	127

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	การเลือกที่ตั้งเขื่อนที่เหมาะสม	19
2	กังหันน้ำแบบ Pelton Type	22
3	เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis	24
4	เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan	25
5	เครื่องกังหันน้ำแบบ Deriaz	25
6	เครื่องกังหันน้ำแบบ Bulb Turbine	26
7	เครื่องกังหันน้ำ Pit แบบ Bulb	27
8	การเลือกชนิดของเครื่องกังหันน้ำ	31
9	องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก	33
10	ค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ	40
11	ความสูงของน้ำระยะต่างๆ ที่มีผลต่อเครื่องกังหันน้ำ	41
12	ชลศาสตร์การไหลในท่อ	44
13	แผนภาพของ Moody	46
14	การจัดซื้อไปนทางบวกของหม้อแปลงไฟฟ้า	52
15	การหาซื้อของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้าสลับ	53
17	วงจรต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้า	57
18	การตรวจสอบลำดับขั้วเพื่อการขนาน	59
19	แสดงขั้นตอนการศึกษา	68
20	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝน ของสถานีวัดน้ำท่าที่คัดเลือก	75
21	อัตราการใช้รายเดือนเฉลี่ยที่หัวงานและอัตราการใช้รายเดือนแบบทั้ง 3 กรณี	76
22	แปลนและรูปตัดตามยาวของแนวท่อส่งน้ำซึ่งแสดงตำแหน่ง Intake และโรงไฟฟ้าของทางเลือกต่างๆ	78
23	เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของ Installed capacity ต่างๆ	83

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่		หน้า
ก1	กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอบาเจียง จังหวัดจำปาสัก	106
ก2	กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอคงเซโคน จังหวัดสาละวัน	106
ก3	กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอเลางาม จังหวัดสาละวัน	107
ก4	กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอปากช่อง จังหวัดจำปาสัก	107
ก5	กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอชนะสมบุญ จังหวัดจำปาสัก	108
ก6	กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอท่าแดง จังหวัดเขกอง	108
ก7	กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยปราชีว	113
ก8	กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยจะราง	113
ก9	กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยกะเพอ	114
ก10	กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยกะเพอห้วยปราชีวและจะราง	114
ก11	แผนที่แห่งสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (ส.ป.ป.ลาว)	115
ก12	แสดงแผนที่ขอบเขตพื้นที่ของโครงการ	116
ก13	แสดงลักษณะภูมิที่ตั้งเขื่อน	117
ก14	แสดงภาพถ่ายลำน้ำบริเวณที่ตั้งโครงการ	118
ข1	ประสิทธิภาพเครื่องกั้นน้ำแบบ Bulb	120
ข2	ประสิทธิภาพเครื่องกั้นน้ำแบบ Francis ที่ ns เท่ากับ 48 ถึง 75	121
ข3	ประสิทธิภาพเครื่องกั้นน้ำแบบ Francis ที่ ns เท่ากับ 40 ถึง 48	122
ข4	ประสิทธิภาพเครื่องกั้นน้ำแบบ Francis ที่ ns เท่ากับ 25 ถึง 40	123
ข5	ประสิทธิภาพเครื่องกั้นน้ำแบบ Kaplan	124

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

A	=	พื้นที่
Alt.	=	ทางเลือก
Avg	=	ค่าเฉลี่ย
B/C	=	อัตราส่วนผลกำไรต่อค่าใช้จ่าย
C	=	ค่าใช้จ่าย
D	=	เส้นผ่านศูนย์กลาง
E	=	พลังงานไฟฟ้า
f	=	สัมประสิทธิ์การสูญเสียเนื่องจากแรงเสียดทาน
g	=	ความเร่งจากแรงโน้มถ่วง
GWh	=	กิกะวัตต์ชั่วโมง (พันล้านวัตต์ชั่วโมง)
H	=	ระดับความสูงของน้ำ
h_L	=	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล
H_d	=	ความสูงน้ำออกแบบ
H_L	=	ความสูงน้ำรวม
H_{max}	=	ความสูงน้ำสูงสุดที่เดินเครื่องกังหันน้ำ
H_{min}	=	ความสูงน้ำต่ำสุดที่เดินเครื่องกังหันน้ำ
h_m	=	ระดับความสูงของช่องทางน้ำ
h_e	=	การสูญเสียพลังงานที่ทางเข้า
h_0	=	การสูญเสียพลังงานที่ทางออก
h_{exp}	=	การสูญเสียพลังงานเนื่องจากข้อขยาย
NH	=	จำนวนชั่วโมงเดินเครื่องกังหันน้ำ
K	=	สัมประสิทธิ์การไหลเมื่อมีสิ่งกีดขวาง
K_{cont}	=	สัมประสิทธิ์เนื่องจากข้อลด
K_{ent}	=	สัมประสิทธิ์ที่ทางเข้า
K_{exit}	=	สัมประสิทธิ์ที่ทางออก
K_{exp}	=	สัมประสิทธิ์เนื่องจากข้อขยาย

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

kW	=	กิโลวัตต์
kWh	=	กิโลวัตต์ชั่วโมง
IDC	=	Interest During Construction
IRR	=	อัตราผลตอบแทนของโครงการ
L	=	ความยาวของทางน้ำ
Max	=	ค่ามากที่สุด
Min	=	ค่าน้อยที่สุด
M	=	เมตร
m/s	=	เมตรต่อวินาที
m ³ /s	=	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
m. MSL.	=	เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง
MB	=	ล้านบาท
MCM	=	ล้านลูกบาศก์เมตร
MW	=	เมกะวัตต์ (ล้านวัตต์)
NHWL, HWL	=	ระดับเก็บกักปกติ
NPV	=	มูลค่าปัจจุบันสุทธิ
No, no	=	จำนวน
Ns	=	ความเร็วจำเพาะ
O&M	=	การดำเนินงานและการบำรุงรักษา
P	=	กำลังไฟฟ้า, กระแสไฟฟ้า
PV	=	มูลค่าปัจจุบัน
Q	=	อัตราการไหล, อัตราการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ
Q _d	=	อัตราการไหลออกแบบ
Q _{max}	=	อัตราการไหลสูงสุดที่เดินเครื่องกังหันน้ำ
Q _{min}	=	อัตราการไหลต่ำสุดที่เดินเครื่องกังหันน้ำ
RID	=	กรมชลประทาน
rpm	=	รอบต่อนาที

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ (ต่อ)

TWL	=	ระดับน้ำด้านท้ายอ่างเก็บน้ำ
U/S	=	ระดับน้ำด้านเหนือ
V	=	ความเร็วของกระแส
w	=	ความสูงของช่องทางน้ำ
WL	=	ระดับน้ำ
Yr	=	ปี
H	=	ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ
กฟผ.	=	การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย
ตร. กม.	=	ตารางกิโลเมตร
บ	=	บาท
ม	=	หน่วยวัดความยาวเป็นเมตร
ม. รทก.	=	เมตรจากระดับน้ำทะเลปานกลาง
ลบ. ม	=	ลูกบาศก์เมตร

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงิน ของโครงการโรงไฟฟ้ากังหันน้ำขนาดเล็ก

Feasibility Study on Technical and Financial Aspects of Small Hydro Power Project

คำนำ

พลังงานไฟฟ้าเป็นปัจจัยสำคัญต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ในปัจจุบันอย่างมาก รวมถึงการประกอบธุรกิจทั้งด้านอุตสาหกรรม การเกษตร การสื่อสาร และการท่องเที่ยว ดังนั้นการผลิตกระแสไฟฟ้าให้พอเพียงกับความต้องการใช้ไฟฟ้าจึงเป็นสิ่งจำเป็นอย่างมาก ซึ่งพลังงานไฟฟ้าที่จะได้มาย่อมมีหลายวิธีด้วยกัน เช่น การผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังน้ำ น้ำมัน แสงอาทิตย์ ลม พลังงานความร้อนใต้พิภพ เป็นต้น ประเทศทั้งหลายในทั่วโลก รวมทั้งประเทศที่พัฒนาแล้ว และประเทศที่กำลังพัฒนาต่างเห็นถึงความจำเป็นที่จะจัดการแหล่งพลังงานเหล่านี้ โดยเฉพาะแหล่งพลังงานหมุนเวียนเพื่อใช้ในการพัฒนาประเทศ และให้สอดคล้องกับความต้องการใช้ไฟฟ้าที่เพิ่มขึ้นในอนาคต

พลังงานที่ใช้ในปัจจุบันแบ่งออกเป็นสองประเภท คือ พลังงานสิ้นเปลืองและพลังงานทดแทน พลังงานสิ้นเปลืองเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป อย่างเช่น ถ่านหิน น้ำมันดีเซล ก๊าซธรรมชาติ ประเทศลาวนำเข้าน้ำมันจากต่างประเทศ 100% เพื่อใช้ในระบบการขนส่งและเครื่องจักรผลิตไฟฟ้าจำนวนหนึ่งที่อยู่ห่างไกลซึ่งสายส่งไปไม่ถึง จากวิกฤติการณ์ด้านน้ำมัน ทำให้ราคาน้ำมันดิบในตลาดโลก แปรปรวน และราคาน้ำมันปรับตัวสูงขึ้น บ่อน้ำมันของนานาประเทศทั่วโลกก็ค่อยๆ หมดไปเรื่อยๆ ถ้าใช้พลังงานเชื้อเพลิงจากฟอสซิล (Fossil) ที่มีอยู่อย่างมากมายในปัจจุบัน จะเป็นสาเหตุให้เกิดภาวะโลกร้อน ส่วนพลังงานนิวเคลียร์ก็ยังไม่ได้รับรอง ดังนั้นหลายประเทศทั่วโลกจึงให้ความสนใจและหันมาใช้พลังงานทดแทนให้มากขึ้นเพื่อหลีกเลี่ยงการใช้พลังงานสิ้นเปลือง และยังเป็นการอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมด้วย

สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (ส.ป.ป.ลาว) มีพื้นที่ทั้งหมด 236,800 ตารางกิโลเมตร พื้นที่ส่วนใหญ่ปกคลุมไปด้วยป่าไม้และภูเขา มีลุ่มน้ำทั้งหมด 64 ลุ่มน้ำ โดยมี 53 ลุ่มน้ำไหลลงสู่ลุ่มน้ำโขง และ 11 ลุ่มน้ำไหลลงสู่ประเทศเวียดนาม มีทรัพยากรน้ำหน้าดินเฉลี่ย 272 ตารางกิโลเมตรต่อปี ซึ่งเท่ากับ 55,000 ม³ต่อคนต่อปี (กรมทรัพยากรน้ำ, 2008) การพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมของประเทศอาศัยทรัพยากรธรรมชาติเป็นหลัก โดยเฉพาะคือทรัพยากรน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีความสำคัญต่อการพัฒนาทางเศรษฐกิจของประเทศที่เอื้ออำนวยต่อการดำรงชีวิตของประชาชนเช่นการผลิตพลังงานไฟฟ้า เกษตรกรรม การท่องเที่ยวและอุตสาหกรรม เป็นต้น

ด้วยเหตุที่ประเทศลาวมีแหล่งน้ำภายในประเทศ 35% ของน้ำโขงและประชากรส่วนใหญ่ของประเทศประกอบอาชีพเกษตรกรรมทำให้มีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำโดยการสร้างเขื่อนเพื่อกักเก็บน้ำให้มีเพียงพอสำหรับการทำการเกษตร นอกจากนี้เขื่อนยังก่อให้เกิดประโยชน์ด้านการอุปโภคบริโภค การประมง การคมนาคมทางน้ำ รักษาสภาพแวดล้อมบรรเทาอุทกภัย ผลิตกระแสไฟฟ้าและประโยชน์อื่นๆ อีกมากมายการผลิตกระแสไฟฟ้าจากพลังน้ำเป็นการนำเอาทรัพยากรธรรมชาติมาใช้ประโยชน์อย่างคุ้มค่าประหยัดเงินตราที่นำไปซื้อเชื้อเพลิงจากต่างประเทศและมีมลพิษจากขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้าน้อยเหมาะสำหรับช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง

จากเงื่อนไขข้างต้น รัฐบาลจึงนับเป็นปัญหาสำคัญคือให้มีการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากน้ำตกโดยคำนึงถึงคุณค่าในการลงทุน เพราะน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติประเภทหมุนเวียน ซึ่งเป็นพลังงานที่สะอาด ถ้าสามารถอนุรักษ์สิ่งแวดล้อมได้ จะถือได้ว่าเป็นการพัฒนาแบบยั่งยืน เนื่องจากเงื่อนไขทางธรรมชาติมีความอุดมสมบูรณ์และมีศักยภาพทางเศรษฐกิจ ทำให้นักลงทุนทั้งภายในและต่างประเทศมีความสนใจอย่างกว้างขวางต่อการลงทุนด้านไฟฟ้าพลังน้ำ แต่ส่วนมากจะเป็นโครงการขนาดใหญ่ซึ่งได้จากแหล่งน้ำขนาดใหญ่ ส่วนแหล่งน้ำขนาดเล็กยังไม่ได้รับความสนใจจากนักลงทุนเท่าที่ควร

การคัดเลือกโครงการที่เหมาะสมและคุ้มค่าที่จะดำเนินโครงการนั้นเป็นขั้นตอนที่ยุ้งยากเสียเวลา เพราะต้องทำการตั้งสมมุติฐานหลายๆ แนวทาง ทั้งเรื่องตำแหน่ง ขนาดติดตั้ง จำนวนและชนิดของกังหันน้ำ เพื่อหาแนวทางใดที่ทำให้โครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุนมากที่สุด ด้วยเหตุนี้จึงจำเป็นที่จะต้องใช้เครื่องมือทางการเงินเข้ามาช่วยในการคัดเลือกโครงการที่เหมาะสมที่สุดสำหรับโรงไฟฟ้าพลังซึ่งจะช่วยหาความเหมาะสมในการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ทั้งขนาด ชนิด

จำนวน กำลังการผลิต ที่มีความเหมาะสมที่สุดสำหรับโครงการนั้นๆ โดยผลจากการศึกษาจะแสดงออกมาในรูปของพลังงานไฟฟ้าที่ต้องการและความคุ้มค่าของโครงการ

เนื่องจากการผลิตกระแสไฟฟ้าของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กถึงขนาดกลาง มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อย และเหมาะสมกับพื้นที่แถบชนบทบางพื้นที่ซึ่งเป็นพื้นที่สายส่งไฟฟ้าเข้าไปไม่ถึง อีกทั้งประเทศไทยยังมีศักยภาพพลังน้ำที่สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมาย ดังนั้น การศึกษาแนวทางในการพัฒนาตลอดจนผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคม เนื่องจากการก่อสร้างโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กถึงขนาดกลางอย่างจริงจัง เพื่อนำไปสู่การพัฒนาในการจัดทำโครงการผลิตกระแสไฟฟ้าแทนพลังงานอื่นๆ ที่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและสังคมน้อย จึงเป็นแนวทางที่น่าสนใจ

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1. ศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 10 MW
2. เพื่อเป็นต้นแบบสำหรับผู้พัฒนาโครงการเอกชนรายอื่นๆ ที่จะทำการผลิตไฟฟ้าโดยใช้พลังงานน้ำและก่อสร้างโรงไฟฟ้ากังหันน้ำขนาดเล็กในอนาคต

ขอบเขตของงานวิจัย

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิคและการเงินของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่มีขนาดไม่เกิน 10 MW เพื่อให้ตรงตามวัตถุประสงค์จึงได้ทำการวางขอบเขตของการศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำดังนี้

1. ศึกษารวบรวมข้อมูลด้านอุตุ-อุทกวิทยา ที่ตั้งของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กและประเมินพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีของโครงการ
2. ศึกษารูปแบบหลักการทำงานของเครื่องกังหันน้ำและชนิดของอุปกรณ์กำเนิดกระแสไฟฟ้าที่ใช้ติดตั้ง
3. ประเมินผลทางการเงินโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กโดยพิจารณาอัตราภาษีซึ่งจะได้รับการยกเว้นภavnานำเข้าอุปกรณ์บางอย่างในช่วงก่อสร้างโครงการ โดยคิดระยะเวลาในการสำประทานโครงการ 30 ปี และไม่ได้พิจารณาปัจจัยอื่นที่ทำให้การตัดสินใจในเรื่องการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กหวั่นไหวเปลี่ยนแปลงไป

การตรวจเอกสาร

การศึกษาที่ผ่านมา

ที่ผ่านมาการศึกษาความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังน้ำโดยใช้โปรแกรมคอมพิวเตอร์ เข้าช่วยในการศึกษาซึ่งมีทั้งแบบพัฒนาโปรแกรมขึ้นมาเองหรือใช้โปรแกรมสำเร็จรูปที่รวบรวมมาได้เช่น

Howard *et al.* (1987) ทำการศึกษาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่ British Columbia ประเทศ Canada เพื่อทำการวิเคราะห์หาขนาดกำลังผลิตติดตั้งของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก โดยใช้ IMP ซึ่งเป็นโปรแกรมที่มีส่วนประกอบ 5 ส่วนซึ่งได้แก่ภาคส่วนเก็บกักข้อมูลน้ำฝน การสังเคราะห์ Daily Flow ส่วนการสังเคราะห์คลื่นน้ำท่วมการเลือกชนิดของเครื่องกังหันน้ำ และการแสดงผลเป็นแผนภาพ

Marry and Weiss beck (1980) ได้ทำการศึกษาความเหมาะสมของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ โดยใช้ Dynamic Programming เพื่อสร้างโปรแกรมคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากข้อมูลความสูงน้ำในอ่างเก็บน้ำ อัตราการปล่อยน้ำ รวมทั้งวิเคราะห์อัตราผลตอบแทนโครงการ

Keats and Cross (1987) ได้พัฒนาการศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำโดยใช้ Spreadsheet ข้อมูลด้านเข้าที่ต้องการใส่ในโปรแกรมคืออัตราการไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำ ความสูงของน้ำเหนือโขดต่างๆ ทางด้านเศรษฐศาสตร์ข้อมูลด้านออกได้แก่พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ข้อมูลทางด้านเทคนิควิศวกรรมและผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

Anderson and Egge (1987) ใช้ DURAPLOT หาขนาดโรงไฟฟ้าที่เหมาะสมทั้งกำลังผลิตติดตั้ง ชนิดของเครื่องกังหันน้ำที่จะใช้ติดตั้งและพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ ใช้กรณีศึกษาที่ Richford Dam ข้อมูลด้านเข้าที่ใส่เข้าไปใน DURAPLOT คือ ระดับน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันน้ำ ระดับน้ำด้านท้ายเขื่อน และค่าการสูญเสียการไหลผลการคำนวณจะได้พลังงานไฟฟ้าและผลตอบแทนของโครงการ

Hughes and Rangesan (1987) ใช้ Non-Linear Programming สร้างเครื่องมือช่วยศึกษาความเหมาะสมของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่ Logan River รัฐ Utah วิเคราะห์ขนาดท่อส่งน้ำชนิด/จำนวนของเครื่องกังหันน้ำและกำลังผลิตติดตั้งที่เหมาะสม

Steeves et al. (1987) ใช้ Small Hydro Analysis and Reporting Program (SHARP) ซึ่งเขียนขึ้นจาก Turbo Pascal เป็นเครื่องมือช่วยศึกษาความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังน้ำเพื่อหาความเหมาะสมของที่ตั้งโครงการวิเคราะห์ผลทางอุทกวิทยาวิเคราะห์ผลทางชลศาสตร์ชนิดและขนาดของเครื่องกังหันน้ำการประเมินผลทางเศรษฐศาสตร์ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปได้ว่า SHARP เป็นเครื่องมือที่เหมาะสมทั้ง Small Hydropower, Mini Hydropower

Anagnostopoulos and Papantonis (2007) ได้กล่าวว่า ขนาดของเขื่อนแบบน้ำไหลขนาดเล็กเป็นปัญหาที่ยังยอมรับไม่ได้ไม่คุ้มค่าต่อการลงทุน แต่ในปัจจุบันได้มีการปรับปรุงเขื่อนเหล่านั้นให้มีประสิทธิภาพเพิ่มขึ้นด้วยการเพิ่มกังหัน (turbine) เป็นสองตัวขนานกัน การศึกษาและวิเคราะห์การทำงานของเขื่อนได้ใช้การจำลองการทำงานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ ซึ่งสามารถจำลองรายละเอียดในการเดินเครื่องในรอบปีรวมทั้งพลังงานที่ผลิตได้และในแง่ของเศรษฐกิจ การศึกษาขั้นต้นจะศึกษาเกี่ยวกับผลกระทบของโครงสร้างและปัจจัยในการเดินเครื่อง จากนั้นหากระบวนการหรือทางเลือกที่เหมาะสมที่สุด จากการศึกษาพบว่า การใช้กังหันสองตัวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านกำลังการผลิตและด้านเศรษฐกิจอีกด้วย

นระ (2546) กล่าวว่าในประเทศกำลังพัฒนาหลายประเทศแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่มีมากที่สุด คือ ไฟฟ้าพลังน้ำ ไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กสามารถพัฒนาให้เป็นพลังงานทดแทนการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำมันดีเซลได้เป็นอย่างดี โดยเฉพาะสำหรับโครงการพัฒนาชนบทซึ่งมีความสำคัญในการพัฒนาสังคมและเศรษฐกิจชนบทให้เจริญเติบโต ทั้งในด้านคุณภาพชีวิตและการสร้างงานที่สำคัญคือ ไฟฟ้าพลังน้ำเป็นแหล่งพลังงานหมุนเวียนที่สะอาดเชื่อถือได้และเป็นอิสระจากสถานะเงินเฟ้อ

ชัยยุทธ (2552) ได้กล่าวว่าไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กนับเป็นพลังงานทางเลือกชนิดหนึ่งในการบรรเทาปัญหาวิกฤติพลังงานที่กำลังเผชิญอยู่ เนื่องจากไฟฟ้าพลังน้ำสามารถพัฒนาและดำเนินการได้ง่ายสามารถผลิตได้ในระดับท้องถิ่นที่มีความต้องการไฟฟ้าโดยตรงอีกทั้งยังเป็นแหล่งพลังงานเพิ่มเติมให้กับระบบไฟฟ้าหลักของประเทศปัจจุบันประเทศลาว มีการใช้ศักยภาพของ

ไฟฟ้าพลังน้ำเพียงประมาณร้อยละ 25 เท่านั้น โดยส่วนมากจะใช้ในโครงการขนาดใหญ่และขนาดกลางซึ่งมีข้อเสียคือ ต้องใช้เงินลงทุนจำนวนมาก อีกทั้งยังส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมอย่างมาก สำหรับโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กนั้นยังไม่ค่อยเป็นที่แพร่หลาย ดังนั้น จึงควรมีการศึกษาเกี่ยวกับไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่มีมูลค่าการก่อสร้างที่เหมาะสมกับสภาพการณ์ในปัจจุบัน

วราร (2546) ได้กล่าวว่าเขื่อนเป็นโครงสร้างขนาดใหญ่ และต้องใช้วัสดุธรรมชาติที่มีอยู่ในบริเวณพื้นที่ใกล้เคียง เช่น ดินและหิน มาใช้เป็นวัสดุก่อสร้างเป็นส่วนใหญ่ตลอดจนการวางตำแหน่งที่ตั้งเขื่อน การเลือกชนิดและหน้าตัดเขื่อนให้เหมาะสมกับลักษณะภูมิประเทศ ลักษณะธรณีวิทยาและสอดคล้องกับอาคารประกอบอาคารประกอบเขื่อน จึงอาจกล่าวได้ว่าไม่มีเขื่อนใดที่เหมือนกันเลย แต่ละเขื่อนจะมีเอกลักษณ์เฉพาะ ซึ่งมีอิทธิพลจากปัจจัยดังกล่าว และถือได้ว่าเป็นสิ่งที่ท้าทายสำหรับวิศวกรผู้ออกแบบและควบคุมงาน ซึ่งจะต้องมีศิลปะในการปรับเปลี่ยนความรู้ทางด้านเทคนิคให้เหมาะสมกับสภาพจริงได้อย่างเหมาะสมประหยัดและปลอดภัย

ประสิทธิ์ และปรัชญ์ (2553) กล่าวว่า การพัฒนาไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมักจะอาศัยแหล่งน้ำจากลำธารหรือลำห้วยเล็กๆ ที่มีปริมาณการไหลไม่มาก กล่าวคือ ประมาณ 1-10 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ดังนั้น เพื่อที่จะให้ได้พลังงานไฟฟ้ามากพอเพียงกับความคุ้มค่าในการลงทุน อย่างเช่น การเลือกสถานที่ตั้งโครงการจึงต้องมองหาดำเนินที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังน้ำสำหรับผลิตกระแสไฟฟ้าที่ตั้งระดับต่ำจากแหล่งน้ำลงไปมากๆ ถึงแม้ว่าโรงไฟฟ้าจะต้องอยู่ไกลออกไปก็ตาม ทั้งนี้ เพื่อที่จะให้ได้ศักยภาพสูงพอชดเชยกับปริมาณการไหลของน้ำที่มีอยู่น้อย

นระ (2546) กล่าวว่า การเลือกสถานที่ที่เหมาะสมสำหรับตั้งโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ต้องพิจารณาหลายแง่ หลายมุม บางแง่ก็ชัดเจน เช่น พื้นที่โครงการต้องมีทางเข้าถึงได้ เพื่อเอื้ออำนวยความสะดวกในการก่อสร้าง การปฏิบัติงานและการบำรุงรักษางานทั้งหมด ขณะเดียวกันโรงไฟฟ้าก็ต้องตั้งอยู่ในระยะที่ไม่ห่างไกลจากชุมชนมากเกินไป มิฉะนั้นระบบสายส่งจะมีราคาแพงมาก

นระ (2546) กล่าวว่า เครื่องกังหันน้ำเป็นเครื่องจักรที่แปลงพลังงานศักย์น้ำ (พลังงานศักย์และพลังงานจลน์) ของน้ำมาเป็นพลังงานกล เพื่อปั่นเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งแปลงพลังงานกลให้เป็นพลังงานไฟฟ้าในที่สุด ระบบเครื่องกังหันน้ำสำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าประกอบด้วย อาคารรับน้ำ

ท่อส่งน้ำแรงดันสูง ท่อนำน้ำเข้าเครื่องกังหัน ใบพัดบังคับทิศทางน้ำ เครื่องกังหันน้ำและท่อปล่อยน้ำออก

Pejovic *et al.* (2007) กล่าวว่า การออกแบบโครงสร้างและการดำเนินงานต่างๆ ไม่ว่าจะเป็น เชื้อขนาดเล็กหรือเชื้อขนาดใหญ่มันก็ล้วนแต่เป็นงานที่ซ้ำซ้อน รายละเอียดแต่ละอย่างต้องผ่านการค้นคิดถกเถียง มีการทำงานร่วมกันอย่างระมัดระวัง เพื่อให้มีความปลอดภัยและประหยัด มีความถูกต้องทางเทคนิค การบริหารบุคลากรและด้านสิ่งแวดล้อม การติดตั้งบรรดาอุปกรณ์ไฟฟ้าพลังน้ำ ถูกออกแบบมาให้มีหลายๆ ช่วงในแต่ละช่วงเอกสารทั้งหมดของโครงการควรได้รับการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติม โดยผู้ตรวจสอบอิสระซึ่งถูกเลือกมาและติดตามจากผู้บริหารระดับสูง การลดจำนวนการวิเคราะห์โดยไม่มีการคัดแปลงและการข้ามขั้นตอนใดขั้นตอนหนึ่งจะทำให้โครงการก่อสร้างมีความเสี่ยง การทำงานร่วมกันเพื่อพยายามลดความเสี่ยงดังกล่าวจึงทำให้โครงการได้รับการสนับสนุน

สรวิชัย (2547) ได้ศึกษาชนิดของเครื่องกังหันน้ำที่เหมาะสมในขั้นแรกสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของความสูงของน้ำและกำลังผลิตของกังหันแบบต่างๆ ซึ่งประสิทธิภาพของกังหันน้ำ จะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลของน้ำและความสูงของน้ำ แต่ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ด้วยทั่วไปแล้วนิยมใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis เพราะก่อสร้างได้ง่ายความเชื่อถือสูงในกรณีที่ความสูงของน้ำ (Head) สูงมากหรือจะใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Pelton ถ้าความสูงของน้ำมาก ถ้า (Head) ต่ำก็จะใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan การศึกษาความเหมาะสมของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กทางด้านการผลิตและเศรษฐศาสตร์เพื่อให้คุ้มค่าต่อการลงทุนเบื้องต้น

Anagnostopoulos and Papantonis (2007) ได้กล่าวว่า จากการศึกษาการใช้กังหันน้ำสองตัวสามารถเพิ่มประสิทธิภาพทางด้านกำลังการผลิตและด้านเศรษฐกิจ สูดท้ายพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เกี่ยวข้องสามารถศึกษาได้อย่างง่ายดายและยังสามารถนำไปใช้กับเขื่อนแบบอื่นๆ ที่มีเงื่อนไขด้านการเงินและแหล่งน้ำที่แตกต่างกัน

ณัฐพล (2555) ได้กล่าวว่า ระบบการผลิตและการส่งจ่ายกำลังไฟฟ้าในหลายๆ ประเทศ ได้เข้าสู่อุปกรณ์เปลี่ยนแปลงรูปแบบจากการดำเนินการภายใต้การควบคุมของรัฐมาเป็นการดำเนินการที่มีการแข่งขันมากขึ้นเพื่อให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดต่อระบบไฟฟ้าเช่นการเปิดเสรีของระบบ

สายส่ง เพื่อให้ผู้ประกอบการเอกชนสามารถผลิตไฟฟ้าขายให้กับระบบได้ การซื้อขายไฟฟ้าผ่านตลาดกลางซื้อขายไฟฟ้า การซื้อขายไฟฟ้าโดยตรงระหว่างผู้ผลิตกับผู้ซื้อในระบบไฟฟ้าเดียวกันหรือการซื้อขายไฟฟ้าระหว่างระบบไฟฟ้าสองระบบ โดยมีการส่งไฟฟ้าผ่านระบบคนกลาง เป็นต้น

ปริญญ์ (2553) ได้กล่าวว่าพลังน้ำเป็นพลังงานสะอาด ไม่ก่อมลภาวะ และไม่ส่งผลกระทบต่อสภาวะโลกร้อน จึงการสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่ใช้น้ำจากลำน้ำ ซึ่งมีน้ำไหลผ่านตลอดปี (run-of-river hydropower plant) ก็เป็นแนวทางหนึ่งในการพัฒนาพลังงานน้ำโดยไม่ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านสังคม และไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

ประเภทต่างๆ ของโรงไฟฟ้า

ลักษณะการทำงานของโรงไฟฟ้าแต่ละประเภทซึ่งการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทยได้จัดเป็น 5 ประเภท คือ

1. โรงไฟฟ้าพลังความร้อน

ลักษณะการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมเป็นการนำเอาเทคโนโลยีของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ และโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำมาใช้งานเป็นระบบร่วมกัน โดยการนำไอเสียจากโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ ซึ่งมีความร้อนสูง (ประมาณ 500 องศาเซลเซียส) ไปผ่านหม้อน้ำ (Heat Recovery Steam Generator) และถ่ายเทความร้อนให้กับน้ำ ทำให้น้ำเดือดกลายเป็นไอ เพื่อขับกังหันไอน้ำ สำหรับผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อไป โดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมจะประกอบด้วยเครื่องกังหันก๊าซ 1 – 4 เครื่อง ร่วมกับกังหันไอน้ำ 1 เครื่อง โดยมีประสิทธิภาพรวม 40-45% มีอายุการใช้งานประมาณ 20 ปี และใช้เป็นโรงไฟฟ้าผลิตพลังงานปานกลางถึงระดับฐาน (Medium to Base Load Plant) ส่วนประกอบที่สำคัญโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมประกอบด้วย ส่วนสำคัญ 3 ส่วน คือ เครื่องกังหันก๊าซ หม้อน้ำ (Waste Heat Boiler) และเครื่องกังหันไอน้ำ โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมสามารถแยกประเภทตามลักษณะของหม้อน้ำ ได้เป็นแบบ Unfired Type และ Fired Type ซึ่งยังแบ่งออกเป็น Supplementary Fired และ Exhaust Fired

ลักษณะการใช้เชื้อเพลิงของหม้อน้ำชนิดต่างๆ ของโรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วม

1) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมชนิดหม้อน้ำแบบ Unfired เป็นชนิดที่ไม่มีการใช้เชื้อเพลิงเพื่อการเผาไหม้ในหม้อน้ำแต่ใช้ไอเสียจากกังหันก๊าซเพียงอย่างเดียว โรงไฟฟ้าประเภทนี้กำลังผลิตประมาณ 70 % จะเป็นกำลังผลิตจากเครื่องกังหันก๊าซ และอีกประมาณ 30% จะเป็นกำลังผลิตจากเครื่องกังหันไอน้ำ

2) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมชนิดหม้อน้ำแบบ Supplementary Fired มีการใช้เชื้อเพลิงเผาไหม้ในหม้อน้ำเพิ่มกำลังผลิตของกังหันไอน้ำให้ประมาณ 50% ของกำลังผลิตทั้งหมด

3) โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมชนิดหม้อน้ำแบบ Exhaust Fired เพิ่มระบบเชื้อเพลิงและการเผาไหม้ให้มากขึ้น เพื่อใช้ประโยชน์จากการเผาไหม้ อ็อกซิเจนที่เหลืออยู่ในไอเสีย จากเครื่องกังหันก๊าซให้เต็มที่ ซึ่งจะเพิ่มกำลังผลิตจากกังหันไอน้ำให้สูงถึงประมาณ 80% ของกำลังผลิตทั้งหมด

2. โรงไฟฟ้าดีเซล

ลักษณะการทำงานโรงไฟฟ้าที่ใช้เครื่องยนต์ดีเซลเป็นต้นกำลังไปหมุนเพลาค้อเหวี่ยงเพื่อหมุนเพลาลูกเบี้ยวของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าโรงไฟฟ้าดีเซลเป็นโรงไฟฟ้าขนาดเล็กสามารถเดินเครื่องได้อย่างรวดเร็วเหมาะที่จะเป็นโรงไฟฟ้าสำรองสำหรับจ่ายพลังงานไฟฟ้าช่วงความต้องการพลังงานไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load Period) และในกรณีฉุกเฉินส่วนโรงไฟฟ้าดีเซลขนาดใหญ่ซึ่งจะมีกำลังผลิตเครื่องละประมาณ 25 เมกะวัตต์ ขับเคลื่อนด้วยเครื่องยนต์ดีเซลรอบช้าแบบ 2 จังหวะ สามารถใช้ผลิตพลังงานไฟฟ้าฐาน (Base Load) ได้ด้วยนอกจากนี้โรงไฟฟ้าดีเซลขนาดเล็กยังสามารถทำเป็นโรงไฟฟ้าสำเร็จรูปเคลื่อนย้ายไปติดตั้งยังสถานที่ใหม่ได้โดยไม่ยุ่งยากอีกด้วย โรงไฟฟ้าดีเซลมีประสิทธิภาพ 30 – 40 % และมีอายุการใช้งานโดยทั่วไปประมาณ 20 ปี

ส่วนประกอบที่สำคัญคือ เครื่องยนต์ดีเซลเป็นเครื่องยนต์สันดาปภายในได้พลังงานจากการเผาไหม้ของน้ำมันดีเซลภายในกระบอกสูบเพื่อดันให้ลูกสูบเคลื่อนที่ไปหมุนเพลาค้อเหวี่ยงเครื่องยนต์ดีเซล มีทั้ง 2 จังหวะ และ 4 จังหวะ เครื่องกำเนิดไฟฟ้านั้นมีตั้งแต่ขนาดเล็กกำลังผลิตไม่ถึง 1 เมกะวัตต์ จนถึงขนาดใหญ่มีกำลังผลิตหลายเมกะวัตต์

3. โรงไฟฟ้าพลังงานทดแทน

พลังงานทดแทน (Alternative Energy) ในที่นี้หมายถึง พลังงานใดๆ ที่จะสามารถนำมาใช้ประโยชน์ทดแทนแหล่งพลังงาน ซึ่งมีการสะสมตามธรรมชาติและใช้หมดไปพลังงานทดแทนภายในประเทศ ซึ่งมีความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ผลิตไฟฟ้า เช่น พลังงานจากแสงอาทิตย์ ลม ความร้อนใต้พิภพ น้ำ พืช วัสดุเหลือใช้จากการเกษตร ขยะ เนื่องจากพลังงานทดแทนดังกล่าว มีลักษณะกระจายอยู่ตามธรรมชาติและไม่มีความสม่ำเสมอการลงทุนเพื่อนำมาใช้ประโยชน์ผลิตไฟฟ้าจึงสูงกว่าการนำมาใช้ประโยชน์จากแหล่งประเภทน้ำมันถ่านหิน

อย่างไรก็ตาม เมื่อพลังงานจากแหล่งสะสมลดลงความเป็นไปได้ในการนำแหล่งพลังงานทดแทนอื่นมาใช้ประโยชน์เพื่อผลิตไฟฟ้าก็มีมากขึ้น ดังนั้น กฟผ. จึงได้ดำเนินการศึกษาคัดเลือกและทดลองด้านพลังงานทดแทน และเทคโนโลยีที่เกี่ยวข้องเป็นการเตรียมให้พร้อมไว้ เมื่อถึงสภาวะจำเป็นในอนาคตดังนี้

3.1 พลังงานจากแสงอาทิตย์ ประเทศลาวตั้งอยู่บริเวณใกล้เส้นศูนย์สูตรจึงได้รับพลังงานจากแสงอาทิตย์ในเกณฑ์สูง พลังงานโดยเฉลี่ยซึ่งรับได้ทั่วประเทศประมาณ 4 - 4.5 กิโลวัตต์ ชั่วโมงต่อตารางเมตรต่อวัน ประกอบด้วย พลังงานจากรังสีตรง (Direct Radiation) ประมาณร้อยละ ห้าสิบส่วน ที่เหลือเป็นพลังงานรังสีกระจาย (Diffused Radiation) ซึ่งเกิดจากละอองน้ำในบรรยากาศ (เมฆ) ซึ่งมีปริมาณสูงกว่าบริเวณที่ห่างจากเส้นศูนย์สูตรออกไปทั้งแนวเหนือและแนวใต้

3.2 พลังงานความร้อนใต้พิภพมีปรากฏการณ์ตามธรรมชาติในลักษณะน้ำพุร้อนมากกว่า 4 แห่ง ตามแนวภาคเหนือของประเทศลาวและเกิดแรงดันในลักษณะ (Back Arch) จัดอยู่ในแหล่งขนาดเล็กหาปานกลาง และคาดว่าจะสามารถให้พลังงานกับโรงไฟฟ้าขนาดเล็กไม่เกิน 25 เมกะวัตต์ การสำรวจภาคพื้นดิน (Reconnaissance Survey) ซึ่งเริ่มมาตั้งแต่ปี พ.ศ. 2533 สรุปได้ว่าจาก 4 แห่งแรก (อยู่ในเขตจังหวัดเชียงขวาง ภาคเหนือของลาว) คือ ที่บ้านน้ำร้อน บ้านซาง บ้านนาทอง อำเภอคำ และบ้านอัม อำเภอคูน ได้รับการสำรวจโดยละเอียดต่อไป และขณะนี้กำลังดำเนินการสำรวจธรณีฟิสิกส์ที่แหล่งทั้ง 4 ไปพร้อมๆ กัน คาดว่าจะเป็นแหล่งกักเก็บอุณหภูมิปานกลาง (80-200 องศาเซลเซียส) คล้ายคลึงกับแหล่งของประเทศจีนที่แคว้นยูนนาน ซึ่งได้ติดตั้งโรงไฟฟ้าขนาด 2 x 5 เมกะวัตต์แล้ว ประมาณการไว้ว่าจะสามารถสรุปผลการสำรวจได้ภายในปีพ.ศ. 2556 - 2558 (แผนของกรมไฟฟ้า)

3.3 พลังงานจากชีวมวลเหตุที่ประเทศลาวทำการเกษตรอย่างกว้างขวางวัสดุเหลือใช้จากการเกษตร เช่น แกลบ จี้เลื่อย ชานอ้อย กากมะพร้าว และแกนสาเลี เป็นต้น ซึ่งมีอยู่จำนวนมาก ก็ควรจะใช้เป็นเชื้อเพลิงผลิตไฟฟ้าในเชิงพาณิชย์ได้ ในกรณีของโรงเลื่อยโรงสีโรงน้ำตาล ขนาดใหญ่อาจจะยินยอมให้จ่ายพลังงานไฟฟ้าให้กับระบบไฟฟ้าของการไฟฟ้าต่างๆ ในประเทศ ในลักษณะของการผลิตร่วม ซึ่งมีใช้อยู่แล้วหลายแห่งในต่างประเทศ โดยวิธีดังกล่าวแล้ว จะช่วยให้สามารถใช้ประโยชน์จากแหล่งพลังงานในประเทศสำหรับส่วนรวมได้มากยิ่งขึ้น ทั้งนี้อาจรวมถึง การใช้ไม้พินจากโครงการปลูกไม้โตเร็วในพื้นที่นับล้านไร่ ในกรณีที่รัฐบาลจำเป็นต้องเพิ่มปริมาณ การปลูกมันสำปะหลังอ้อยเพื่อแก้ปัญหาระยะยาวทางด้านการตลาดของพืชทั้งสองชนิด อนึ่ง สำหรับผลิตผลจากชีวมวลในลักษณะอื่นที่ยังใช้เป็นเชื้อเพลิงได้ เช่น ก๊าซจากการหมัก เศษวัสดุที่เหลือใช้จากการเกษตร (Bio Gas) ขยะแอสลอสต์จากมันสำปะหลังก๊าซจากพิน (Gasifier) หากมีความคุ้มค่าในเชิงพาณิชย์ก็อาจนำมาเป็นเชื้อเพลิงสำหรับผลิตไฟฟ้าได้เช่นกัน

4. โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซ

ลักษณะการทำงานของโรงไฟฟ้ากังหันก๊าซเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้กังหันก๊าซเป็นเครื่องต้นกำลัง ซึ่งได้แก่ พลังงานจากการเผาไหม้ของส่วนผสมระหว่างก๊าซธรรมชาติ หรือน้ำมันดีเซลกับอากาศ ความดันสูง (Compressed Air) จากเครื่องอัดอากาศ (Air Compressor) ในห้องเผาไหม้เกิดเป็น ำไอร้อนที่ความดันและอุณหภูมิสูงไปขับเคลื่อนใบกังหันเพลาขับเคลื่อนไปขับเคลื่อนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเพื่อผลิต พลังงานไฟฟ้าเครื่องกังหันก๊าซแบ่งเป็น 2 แบบ คือ Open Type และ Closed Type แต่ที่ใช้กัน ส่วนใหญ่ในปัจจุบันเป็นแบบ Open Type ซึ่งสามารถแยกตามการออกแบบเป็น Jet Type และ Heavy Duty Type โดยที่ชนิด Jet Type จะได้รับการออกแบบให้มีขนาดเล็กน้ำหนักเบาและ มีความเร็วรอบสูงเหมาะสมที่จะใช้เป็นเครื่องต้นกำลังของเครื่องบินแต่สำหรับโรงไฟฟ้านั้น ส่วนใหญ่จะเป็นแบบ Heavy Duty Type โรงไฟฟ้ากังหันก๊าซมีประสิทธิภาพประมาณ 25% สามารถเดินเครื่องได้อย่างรวดเร็วเหมาะที่จะใช้เป็นโรงไฟฟ้าสำรองเพื่อผลิตพลังงานไฟฟ้าในช่วง ความต้องการไฟฟ้าสูงสุด (Peak Load Period) และกรณีฉุกเฉินมีอายุการใช้งานประมาณ 15 ปี

ส่วนประกอบที่สำคัญคือ ห้องอัดอากาศ (Air Compressor) ทำหน้าที่อัดอากาศจากภายนอก ให้มีความดันสูงขึ้นก่อนที่จะส่งไปยังห้องเผาไหม้โรงไฟฟ้าพลังความร้อนร่วมสามารถ แยกประเภทตามลักษณะของหม้อน้ำได้เป็นแบบ Unfired Type และ Fired Type ซึ่งยังแบ่งออกเป็น Supplementary Fired และ Exhaust Fired เครื่องกังหันก๊าซ (Gas Turbine) ำไอร้อนที่มีความเร็วสูง

จากห้องเผาไหม้จะมาขับเคลื่อนเครื่องกังหันก๊าซให้หมุน เพื่อที่จะไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องกำเนิดไฟฟ้ามีหลายขนาดตั้งแต่กำลังผลิต 1 เมกะวัตต์ ไปจนถึงขนาดใหญ่ที่สุดจะมีกำลังผลิตประมาณ 130 เมกะวัตต์

5. โรงไฟฟ้าพลังน้ำ

ลักษณะการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำเป็นแหล่งผลิตไฟฟ้าที่สำคัญอีกชนิดหนึ่งของประเทศไทย โรงไฟฟ้าชนิดนี้ใช้น้ำในลำน้ำธรรมชาติเป็นพลังงานในการเดินเครื่องโดยวิธีสร้างเขื่อนปิดกั้นแม่น้ำไว้เป็นอ่างเก็บน้ำให้มีระดับอยู่ในที่สูงจนมีปริมาณน้ำ และแรงดันเพียงพอที่จะนำมาหมุนเครื่องกังหันน้ำ และเครื่องกำเนิดไฟฟ้าซึ่งอยู่ในโรงไฟฟ้าทำให้น้ำที่มีระดับต่ำกว่าได้กำลังผลิตติดตั้ง และพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าชนิดนี้จะเพิ่มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับแรงดันและปริมาณน้ำที่ไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบ่งตามลักษณะการบังคับน้ำเพื่อผลิตไฟฟ้าได้ 4 แบบ คือ

1) โรงไฟฟ้าแบบมีน้ำไหลผ่านตลอดปี (Run of River Hydro Plant) โรงไฟฟ้าแบบนี้ไม่มีอ่างเก็บน้ำโรงไฟฟ้าจะผลิตไฟฟ้าโดยการใช้ น้ำที่ไหลตามธรรมชาติของลำน้ำ หากน้ำมีปริมาณมากเกินไปกว่าที่โรงไฟฟ้าจะรับไว้ได้ก็ต้องทิ้งไปหรือใช้เพียงบางส่วนในกรณีแรกปริมาณน้ำที่ไหลเข้าโครงการจะเปลี่ยนแปลงตามการไหลของแม่น้ำตลอดปี ซึ่งทำให้ปริมาณกระแสไฟฟ้าที่ผลิตได้ไม่แน่นอน แม้ว่าช่วงที่มีน้ำหลากจะสอดคล้องกับความต้องการสูงสุดแต่การขยายกำลังผลิตของโครงการจะไม่คุ้มค่ากับการลงทุน ดังนั้น โครงการแบบนี้ส่วนใหญ่จึงถูกออกแบบให้ผลิตกระแสไฟฟ้าด้วยกำลังผลิตเดียวกันตลอดปี โดยใช้การไหลของน้ำเพียงบางส่วนเท่านั้น ฝายน้ำล้นจะถูกสร้างกั้นลำน้ำเพื่อยกระดับความสูงหัวน้ำในระดับที่สูงพอให้น้ำไหลเข้าทางน้ำไปยังโรงไฟฟ้าก่อนปล่อยกับสู่ลำน้ำตามธรรมชาติ

2) โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บกักน้ำขนาดเล็ก (Regulating Pond Hydro Plant) เป็นโรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บกักน้ำไว้ด้วยการสร้างเขื่อนเพื่อการชลประทานให้มีน้ำใช้ตลอดทั้งปี น้ำที่ถูกเก็บกักไว้ยังสามารถบังคับการไหลของน้ำได้ในช่วงสั้นๆ เช่น ประจำวันหรือประจำสัปดาห์การผลิตไฟฟ้าจะสามารถควบคุมให้สอดคล้องกับความต้องการได้ดีกว่าโรงไฟฟ้าแบบ (Run of River) แต่อยู่ในช่วงเวลาที่จำกัดตามขนาดของอ่างเก็บกักน้ำ

3) โรงไฟฟ้าแบบมีอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ (Reservoir Hydro Plant) โรงไฟฟ้าแบบนี้มีเขื่อนกั้นน้ำขนาดใหญ่และสูงกั้นขวางลำน้ำไว้ทำให้เกิดเป็นทะเลสาบใหญ่ ซึ่งสามารถเก็บกักน้ำในฤดูฝนและนำไปใช้ในฤดูแล้งได้ โรงไฟฟ้าแบบนี้มีประโยชน์มากเพราะสามารถควบคุมการใช้น้ำในการผลิตกระแสไฟฟ้าเสริมในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ตลอดปี โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดใหญ่ส่วนมากในประเทศลาวจัดอยู่ในโรงไฟฟ้าประเภทนี้ ตัวอย่างโรงไฟฟ้าน้ำจิม 1 จังหวัดเวียงจันทน์

4) โรงไฟฟ้าแบบสูบน้ำกลับ (Pumped Storage Hydro Plant) โรงไฟฟ้าแบบนี้มีเครื่องสูบน้ำที่สามารถสูบน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำลงมาแล้วนำกลับขึ้นไปเก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำ เพื่อใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกประโยชน์ของโรงไฟฟ้าชนิดนี้เกิดจากการแปลงพลังงานที่เหลือใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าต่ำ เช่น เวลาเที่ยงคืนนำไปสะสมไว้ในรูปของการเก็บน้ำในอ่างน้ำเพื่อที่จะสามารถใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าได้อีกครั้งหนึ่งในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าสูงเช่นเวลาหัวค่ำ

6. โรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ

ลักษณะการทำงานเป็นโรงไฟฟ้าที่ใช้เครื่องกังหันไอน้ำเป็นเครื่องต้นกำลังหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้าไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูงนี้ได้ จากการเปลี่ยนสถานะของน้ำในหม้อน้ำ เมื่อได้รับพลังความร้อนจากการเผาไหม้ของเชื้อเพลิงในเตาเผาไอน้ำจะถูกส่งไปขับเคลื่อนกังหันไอน้ำ ซึ่งมีเพลาต่อกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหลังจากนั้นก็จะผ่านไปกลั่นตัวเป็นน้ำที่เครื่องควบแน่น (Condenser) และถูกส่งกลับมารับความร้อนใหม่ในหม้อน้ำ เนื่องจากไม่สามารถเปลี่ยนสถานะของน้ำให้เป็นไอน้ำได้อย่างรวดเร็ว เมื่อเริ่มเดินเครื่องแต่ละครั้งจนใช้งานได้จะใช้เวลาอย่างน้อยประมาณ 2 – 3 ชั่วโมง ดังนั้น จึงเหมาะที่จะใช้เป็นโรงไฟฟ้าฐาน (Base Load Plant) ซึ่งทำหน้าที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าตลอดเวลาเป็นระยะเวลานานก่อนการหยุดเครื่องแต่ละครั้งโดยทั่วไปโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำมีขนาดประมาณ 1 – 1,300 เมกะวัตต์ สามารถใช้เชื้อเพลิงได้หลายชนิดเช่นถ่านหินน้ำมันเตา ก๊าซธรรมชาติ ขยะ และอื่นๆ มีประสิทธิภาพประมาณ 30 – 35 % และมีอายุการใช้งานประมาณ 25 ปี

ส่วนประกอบที่สำคัญคือหม้อน้ำ (Boiler) เป็นอุปกรณ์ที่ทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจากเชื้อเพลิงชนิดต่างๆ ให้เป็นพลังงานความร้อนในรูปของไอน้ำที่มีความดัน และอุณหภูมิสูงหม้อน้ำมีลักษณะแตกต่างกันไปตามการใช้งาน เช่น Fire – Tube Boiler เป็นหม้อน้ำขนาดเล็กๆ ใช้ผลิต

ไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิไม่สูงมาก Water – Tube Boiler เป็นหม้อน้ำขนาดใหญ่ใช้ผลิตไอน้ำที่มีความดันและอุณหภูมิสูง โดยทั่วไปมีอยู่ 2 แบบ คือ แบบ DRUM ซึ่งสามารถผลิตไอน้ำได้ที่ความดันสูงถึง 177 ความดันบรรยากาศ (179 Bar) และแบบ Once - Through ซึ่งสามารถผลิตไอน้ำได้ ทั้งที่ความดันต่ำและสูงกว่าความดันวิกฤติของน้ำ (Critical Pressure) คือ 218 ความดันบรรยากาศ (220.5 Bar) หม้อน้ำมีระบบที่สำคัญคือระบบเชื้อเพลิงระบบการเผาไหม้ Evaporator Drum หรือ Separate Superheated, Economizer, Air Heater, Fan และอุปกรณ์ประกอบกังหันไอน้ำ (Steam Turbine) มีขนาดต่างๆ ตั้งแต่ขนาดเล็ก (เล็กกว่า 1 เมกะวัตต์) แบบ Single – Cylinder, Non –Reheat Type จนถึงขนาดใหญ่ (ใหญ่กว่า 1,000 เมกะวัตต์) แบบ Multi – Cylinder Reheat Type กังหันไอน้ำมีส่วนประกอบที่สำคัญคือ Control Valve, Stop Valve, Stator Blade, Rotor Blade, Casing and Rotor พร้อมอุปกรณ์ประกอบที่จำเป็นอื่นๆ เช่น Feed – Water Heating Plant, Pump และความควบแน่น (Condenser) เป็นต้น

เขื่อน

ในการสร้างเขื่อนแต่ละแห่งจะต้องลงทุนเป็นจำนวนมาก ดังนั้น เพื่อให้คุ้มค่าต่อการลงทุน จึงควรสร้างเป็นเขื่อนเอนกประสงค์ ซึ่งเป็นเขื่อนที่สร้างแล้วทำให้เกิดประโยชน์ตั้งแต่ 2 ประการขึ้นไป

คณะกรรมการเขื่อนใหญ่ของโลก (International Commission of Large Dam เรียกชื่อย่อว่า ICOLD) ได้แบ่งวัตถุประสงค์หลักของเขื่อนไว้ 6 ข้อ คือ

- 1) การชลประทาน (irrigation)
- 2) การผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ (Hydroelectric)
- 3) การบรรเทาอุทกภัย (flood control)
- 4) การสัญจรทางน้ำ (water supply)
- 5) การอุปโภคบริโภค (water supply)
- 6) การพักผ่อนหย่อนใจ (recreation)

การแบ่งชนิดของเขื่อน

1) เขื่อนกราวดี (gravity dam) คือ เขื่อนที่ออกแบบให้มีความมั่นคงแข็งแรง สร้างจากวัสดุแข็ง เช่น คอนกรีต หรือหินก่อ เป็นต้น โดยมีหลักการคือให้น้ำหนักของเขื่อนที่หนักมากต้านทานแรงต่างๆ ที่กระทำต่อเขื่อน ซึ่งควรจะทำก่อนสร้างบนฐานรากที่เป็นหินแข็ง เพื่อรับแรงจากเขื่อนได้ และในบางครั้งถ้ามีความจำเป็นต้องสร้างบนฐานรากที่เป็นดินอัดแน่นจะต้องมีกำแพงกันน้ำเชื่อมต่อไปทางด้านฐานหน้าเขื่อน เพื่อลดแรงดันน้ำใต้ดิน ถ้าเขื่อนกราวดีมีแนวเขื่อนตามแปลนเป็นเส้นโค้ง เรียกว่า เขื่อนกราวดีโค้ง (curved gravity dam) นอกจากนี้ยังสามารถแบ่งเขื่อนกราวดีได้เป็นเขื่อนกราวดีตัน (solid gravity dam) และเขื่อนกราวดีกลวง (bollow gravity dam) โดยที่เขื่อนกราวดีกลวงจะมีช่องว่างในตัวเขื่อนเพื่อลดวัสดุเพื่อก่อสร้างเขื่อน แต่ทั้งนี้ต้องตรวจสอบเสถียรภาพของเขื่อนทั้งทางด้านการลื่นไถล และการพลิกคว่ำให้ปลอดภัยด้วย เขื่อนกราวดีสามารถใช้เป็นฝายน้ำล้น (spillway) ได้ โดยบางครั้งจำใช้เป็นส่วนหนึ่งของเขื่อนดินหรือเขื่อนหินถมได้

2) เขื่อนโค้ง (arch dam) คือ เขื่อนที่สร้างด้วยคอนกรีต หรือหินก่อที่มีรูปแปลนโค้งคว่ำทางด้านเหนือน้ำ (convex upstream) เพื่อที่จะถ่ายแรงดันน้ำที่กระทำต่อเขื่อนไปสู่ไหล่เขื่อน (abutment) ที่เป็นหินแข็ง ปกติการที่จะสร้างเขื่อนดินให้มีลักษณะเป็นหุบเขาแคบ มีไหล่เขา และรากฐานเป็นหินแข็งแรง เช่น เขื่อนภูมิพล จังหวัดตาก ที่สร้างขวางกั้นแม่น้ำปิง เป็นต้น

3) เขื่อนค้ำยัน (buttress dam) คือ เขื่อนที่ประกอบด้วยเหล็กแผ่นคอนกรีต หรือเหล็ก หรือไม้วางเป็นมุมเอียงขวางทางน้ำ และมีค้ำยันหรือคาน (buttress) วางเป็นช่วงๆ เพื่อทำหน้าที่ถ่ายแรงจากแผ่นขวางทางน้ำต่อไปยังฐานราก

4) เขื่อนดินถม (earth fill dam) คือ เขื่อนที่สร้างจากวัสดุไม่ริจิด ใช้ดินเป็นวัสดุหลักก่อสร้างด้วยการบดอัดดินเป็นชั้นๆ เพื่อให้ได้ความหนาแน่น และความแข็งแรงตามที่ออกแบบ โดยจะต้องสามารถต้านทานแรงเฉือน (shear strength) และมีการไหลซึมได้น้อยมากตามชนิดดินที่ออกแบบไว้ ซึ่งจะใช้ดินในบริเวณอ่างเก็บน้ำเป็นหลัก และถ้าจำเป็นที่อาจจะต้องขนย้ายดินมากจากแหล่งใกล้เคียง โดยในเบื้องต้นจะต้องเก็บตัวอย่างดินมาทดสอบแบกประเภทดิน เพื่อกำหนดออกแบบ ในบางครั้งจำเป็นต้องขนดินเหนียวมาจากแหล่งอื่น มาสร้างแกนเขื่อน เพื่อให้น้ำซึมผ่านได้น้อยที่สุด หรืออาจจะใช้วัสดุป้องกันการลาดที่ผวน้ำเขื่อน เช่น ยางมะตอยหรือคอนกรีต

เป็นต้น โดยมากมักจะใช้หิน (dumped rock) วางเป็นแนวป้องกันด้านผิวหน้าเขื่อน เพื่อลดแรงกระแทกของคลื่นน้ำ และช่วยป้องกันการกัดเซาะดินทำเขื่อนได้ด้วย

การเลือกที่ตั้งอ่างเก็บน้ำ

การเลือกที่ตั้งอ่างเก็บน้ำเหมาะสมมีดังนี้

- 1) จะต้องมีการตั้งเขื่อนที่เหมาะสม ซึ่งราคาก่อสร้างเขื่อนมักจะขึ้นอยู่กับที่ตั้งของเขื่อนเป็นปัจจัยสำคัญ
- 2) ราคที่ดินของอ่างเก็บน้ำรวมถึงเส้นทางคมนาคม เช่น ถนน และ/หรือทาง รถไฟ และอาคารประกอบต่างๆ ต้องไม่แพงมากเพียงพอตามที่ออกแบบ
- 3) ที่ตั้งอ่างเก็บจะต้องมีความจุเก็บกักเพียงพอตามที่ออกแบบ
- 4) อ่างเก็บน้ำนั้นมีความลึกมากจะดีกว่าอ่างเก็บน้ำตื้น เพราะมีราคาที่ดินต่อหน่วยความจุน้อยกว่า มีการสูญเสียเนื่องจากการระเหยน้อย และสูญเสียปาน้อย
- 5) ควรหลีกเลี่ยงที่ตั้งอ่างเก็บน้ำที่มีพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นตะกอนดินมาก
- 6) คุณภาพของน้ำที่สะสมในอ่างเก็บน้ำจะต้องอยู่ในเกณฑ์ที่จะนำไปใช้ได้
- 7) ตลิ่งและหุบเขาของอ่างเก็บน้ำนั้นจะต้องมีเสถียรภาพ ถ้าเป็นตลิ่งที่ไม่มีเสถียรภาพ จะเกิดการลื่นไถลของมวลดินลงอ่างเก็บน้ำจำนวนมาก
- 8) ต้องมีการศึกษาผลกระทบสิ่งแวดล้อมของการสร้างอ่างเก็บน้ำ และโครงการสร้างอ่างเก็บน้ำจะต้องได้รับการยอมรับทางสังคมจากสาธารณชนโดยทั่วไป
- 9) ต้องคุ้มค่าต่อการลงทุน เพราะอ่างเก็บน้ำแต่ละแห่งจะต้องใช้งบประมาณเป็นจำนวนมากการออกแบบความจุของอ่างเก็บน้ำอย่างละเอียด

การออกแบบขนาดอ่างเก็บน้ำ

การออกแบบขนาดอ่างเก็บน้ำจะใช้ความรู้เกี่ยวกับการคำนวณสมดุลย์ของน้ำ (water balance) ที่เกิดขึ้นในอ่างเก็บน้ำ ซึ่งมีลำดับขั้นตอนการออกแบบอ่างเก็บน้ำ ดังต่อไปนี้

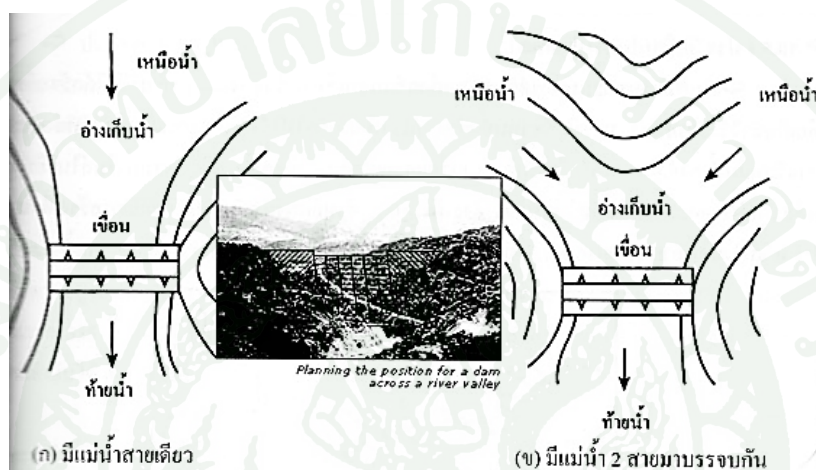
- 1) หาข้อมูลย้อนหลังของอัตราการไหลผ่านจุดที่จะสร้างอ่างเก็บน้ำ แล้ววิเคราะห์เลือกข้อมูลอัตราการไหลในแม่น้ำ ปีที่มีอัตราการไหลผ่านน้อยที่สุด จะได้ข้อมูลอัตราการไหลรายเดือน ซึ่งสามารถหาได้จากกรมชลประทาน หรือการไฟฟ้าฝ่ายผลิต เป็นต้น
- 2) หาข้อมูลการระเหยรายเดือนและปริมาณน้ำฝนรายเดือนจากกรมอุตุนิยมวิทยาในเดือนต่างๆ ในปีที่เลือกอัตราการไหลจากข้อ 1.
- 3) ประเมินความต้องการใช้น้ำรายเดือนในอนาคต ซึ่งอาจประกอบด้วยความต้องการใช้น้ำเพื่อการชลประทาน การผลิตการแสไฟฟ้าพลังน้ำ การประมง การสัญจรทางน้ำ และการควบคุมผลกดันน้ำเค็มหรือของเสียออกจากปากแม่น้ำ เป็นต้น ทั้งนี้ให้ดูที่วัตถุประสงค์ของการสร้างอ่างเก็บน้ำเป็นหลัก
- 4) ทำการคำนวณวิเคราะห์ออกแบบความจุของอ่างเก็บน้ำ จากสมการสมดุลย์ของน้ำ (water balance) ในแต่ละเดือน จะได้ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในแต่ละเดือน
- 5) รวมปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในแต่ละเดือน จะได้ปริมาณน้ำที่ขาดแคลนในแต่ละปี และจะได้ปริมาณน้ำในแต่ละปีที่แล้งที่สุด ก็คือปริมาตรความจุของอ่างเก็บน้ำที่ออกแบบนั่นเอง

การเลือกที่ตั้งของเขื่อน

การเลือกที่ตั้งเขื่อนที่เหมาะสมสำหรับการก่อสร้างเขื่อนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง ดังต่อไปนี้

- 1) ที่ตั้งเขื่อนควรมีฐานรากที่เหมาะสมกับลักษณะของเขื่อน

2) ในเชิงเศรษฐศาสตร์ เขื่อนควรมีความยาวน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ และสามารถเก็บกักน้ำได้มากที่สุด ในความสูงเขื่อนที่ออกแบบ นั่นคือที่ตั้งเขื่อนควรอยู่บริเวณหุบเขาที่แคบที่สุด และมีแหล่งเก็บกักน้ำด้านเหนือเขื่อนขนาดใหญ่ที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้ ดังภาพที่ 1 (ก) ส่วนในกรณีที่มีแม่น้ำ 2 สายมาบรรจบกัน ก็ควรที่จะเลือกที่ตั้งเขื่อนในแม่น้ำที่รวมแม่น้ำสาขามาแล้ว ดังภาพที่ 1 (ข)



ภาพที่ 1 การเลือกที่ตั้งเขื่อนที่เหมาะสม

ที่มา: กิริติ (2537)

3) ที่ตั้งเขื่อนควรอยู่ในที่สูงเมื่อเปรียบเทียบกับลุ่มแม่น้ำ ซึ่งจะช่วยลดค่าใช้จ่าย และระบบการระบายน้ำออกจากเขื่อนได้ดี

4) ในกรณีที่ฝายน้ำล้นได้รับการออกแบบให้แยกจากตัวเขื่อน ควรจะหาตำแหน่งฝายน้ำล้นที่เหมาะสมและอยู่ใกล้กับเขื่อน แต่ในกรณีที่ไม่มีตำแหน่งฝายน้ำล้นที่เหมาะสมก็สามารถออกแบบให้ฝายน้ำล้นเป็นส่วนหนึ่งของเขื่อนได้

5) ที่ตั้งเขื่อนควรมีแหล่งวัสดุสำหรับการก่อสร้างที่เหมาะสม และอยู่ใกล้ๆ กับเขื่อน จะช่วยให้ประหยัดค่าก่อสร้างทั้งในส่วน of วัสดุและการขนย้ายวัสดุได้

6) บริเวณอ่างเก็บน้ำเหนือเขื่อน ต้องมีสภาพทางธรณีฟิสิกส์ของชั้นดิน หรือชั้นหินที่ไม่ร่วน

7) การออกแบบก่อสร้างเขื่อน ต้องพยายามเลือกที่ตั้งเขื่อนที่มีพื้นที่อ่างเก็บน้ำ หรือพื้นที่ที่ถูกล้อมเป็นอ่างเก็บน้ำน้อยที่สุดเท่าที่จะเป็นไปได้

8) ลุ่มน้ำที่อยู่เหนือเขื่อน ควรจะเป็นลุ่มน้ำที่ไม่มีตะกอนมาก

9) ที่ตั้งเขื่อน ควรจะมีถนนหรือรางรถไฟเชื่อมถึง เพื่อความสะดวกในการขนส่งแรงงาน วัสดุ เครื่องจักรกล และสิ่งจำเป็นต่างๆ ในการก่อสร้างเขื่อน

10) บริเวณก่อสร้างเขื่อนจะต้องไม่มีผลกระทบ หรือก่อให้เกิดปัญหาสิ่งแวดล้อม หรือถ้าจะมีก็ต้องพยายามให้น้อยที่สุดเท่าที่จะทำได้

11) ค่าก่อสร้างเขื่อนและค่าบำรุงรักษาเขื่อนจะต้องน้อยที่สุด

การจำแนกโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กและอัตราการผลิตพลังงาน

การจำแนกโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก สามารถจำแนกตามขนาดของโครงการและอัตราการผลิตพลังงานได้ 3 แบบ คือ 1) โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก (Small Hydropower) อัตรากำลัง ผลิตพลังงาน 1 ถึง 50 เมกะวัตต์ (MW) 2)โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมาก (Mini Hydropower) อัตรากำลังผลิตพลังงาน 100 ถึง 1000 กิโลวัตต์ (kw) 3)โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กจิ๋ว (Micro Hydropower) อัตรากำลังผลิตงานน้อยกว่า 100 กิโลวัตต์ (kw)

ตารางที่ 1 การจำแนกโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

รายละเอียด	อัตรากำลังผลิต
1. โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก (Small Hydropower)	1 ถึง 50 เมกะวัตต์ (MW)
2. โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมาก (Mini Hydropower)	100 ถึง 1000กิโลวัตต์ (kw)
3. โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กจิ๋ว (Micro Hydropower)	น้อยกว่า 100 กิโลวัตต์ (kw)

ที่มา: ชัยยุทธ (2552)

ชนิดเครื่องกังหันน้ำ

เครื่องกังหันน้ำเป็นอุปกรณ์ที่ใช้เปลี่ยนพลังงานกลจากการไหลของน้ำผ่านเครื่องกังหันน้ำเข้าไปกระทบใบกังหันของเครื่องกังหันน้ำและมีการเปลี่ยนทิศทางการไหลทำให้เกิดแรงผลักดันกังหันน้ำให้หมุนเครื่องกังหันน้ำโดยทั่วไปจะแบ่งออกเป็น 2 ประเภทดังนี้

1. เครื่องกังหันน้ำแบบแรงกระแทก

กังหันแบบแรงกระแทกเป็นกังหันที่หมุนโดยอาศัยแรงจลน์ของน้ำจากท่อส่งน้ำที่รับจากที่สูง หรือหัวน้ำสูง ไหลลงมาตามท่อที่ลดขนาดลงมายังหัวฉีดกระแทกกังหันให้หมุน และต่อแกนกับเครื่องกำเนิดผลิตไฟฟ้าออกไป ประเภทของกังหันแบบแรงกระแทกมี 4 ประเภท ได้แก่

1.1 Cross Flow หรือ Banki Type เป็นเครื่องกังหันน้ำแบบแรงกระแทกที่ให้พลังงานไฟฟ้าต่ำคือไม่เกิน 0.1 เมกกะวัตต์ เหมาะสมกับความสูงของน้ำตั้งแต่ 5 – 100 เมตร

1.2 Turgo Type ให้กำลังผลิตไฟฟ้าและความสูงของน้ำปานกลาง

1.3 Pelton Type เป็นเครื่องกังหันน้ำแบบแรงกระแทกที่นิยมใช้กันมากในปัจจุบัน ให้กำลังผลิตขนาดเล็กจนถึงขนาดใหญ่และความสูงของน้ำตั้งแต่ 75 เมตรขึ้นไป

กังหันเพลตัน (Pelton Turbines) ใช้กันมากในกรณีที่หัวน้ำมีแรงดันสูง ด้วยเหตุนี้จึงใช้แกนนอน แต่ยังมีบางส่วนที่ใช้แกนตั้ง ที่ใบพัดจะมีถ้วย (Bucket) หลายๆ ใบติดอยู่กับตัวแกนแผ่นจาน (Disk) ถ้วยเหล่านี้จะรับน้ำจากหัวฉีด โดยแบ่งน้ำไปทางซ้ายและขวาด้วยสันแนวที่อยู่ตรงกลางของถ้วย ถ้วยที่ใช้กันอยู่ทั่วไปมี 2 แบบ แบบหนึ่งใช้ติดกับแผ่นจาน โดยการยึดไว้ด้วยสลักเกลียว อีกแบบหนึ่งใช้วิธีหล่อติดกับแผ่นจาน ที่ท่อส่งน้ำตรงหัวฉีดจะมีเข็ม (Needle) สำหรับปรับปริมาตรของน้ำให้มีความดันมากขึ้นหรือลดลง ทำให้สามารถปรับความเร็วการหมุนของกังหันได้



ภาพที่ 2 กังหันน้ำแบบ Pelton Type

ที่มา: Tavitty (2009)

กังหันคลอสโฟลว์ (Cross Flow Turbines) เป็นกังหันแบบแรงกระแทกชนิดหนึ่งที่น้ำไหลผ่านด้านหนึ่งของ runner ไปออกอีกด้านหนึ่งของ runner โดยผ่านถ้วย (Bucket) ที่วางอยู่ 2 ที่บริเวณรอบนอกของกังหัน runner จะทำงานในอากาศด้วยการสูญเสียความสูงหัวน้ำจาก runner ถึงระดับของท้ายน้ำ (Tailrace) วิธีการควบคุมการไหลและความเร็วแบบง่าย ๆ เป็นวิธีเดียวกับกังหันเพลตัน แต่ความเร็วจำเพาะ (Specific speed) หรือ speed number สูงกว่าเนื่องจากปริมาตรการไหลมากกว่า กังหันแบบนี้ใช้กับกรณีที่มีหัวน้ำสูง

2. เครื่องกังหันน้ำแบบแรงสะท้อน

เครื่องกังหันน้ำแบบนี้จะมีลักษณะส่วนที่รับน้ำหมุนได้ เนื่องจากแรงดันน้ำจากความต่างระดับของน้ำด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำแบ่งออกเป็น 2 แบบด้วยกัน คือ

2.1 เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis เครื่องกังหันน้ำแบบนี้จะมีตัวกังหันน้ำที่ถูกสร้างให้น้ำไหลผ่านเข้ามาในรัศมี (Radial) และไหลออกขนานกับแกน ซึ่งทิศทางการไหลของน้ำจะเปลี่ยนไปเมื่อไหลผ่านใบพัดของเครื่องกังหันน้ำ เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis นี้ เหมาะกับความสูงของน้ำปานกลาง ซึ่งเรียกว่า Medium Head Turbine คือตั้งแต่ 15 – 450 เมตร เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis นี้ ยังสามารถแบ่งออกเป็น 2 แบบตามลักษณะเฉพาะคือ

2.1.1 ความเร็วรอบ (Specific Speed) ของเครื่องกังหันน้ำ

- 1) ความเร็วรอบต่ำซึ่งมีค่าความเร็วรอบระหว่าง 10 - 30 ฟุต
- 2) ความเร็วรอบปานกลางซึ่งมีค่าความเร็วรอบระหว่าง 30 - 82 ฟุต
- 3) ความเร็วรอบสูงซึ่งมีค่าความเร็วรอบระหว่าง 82 - 98 ฟุต

2.1.2 แกนของเครื่องกังหันน้ำเป็นส่วนที่ใช้ยึดจับถ้วย (Bucket) ที่จะเปลี่ยนพลังงานของน้ำ เนื่องจากความสูงของน้ำให้เครื่องกังหันน้ำหมุนแบ่งออกเป็น 2 แบบคือ

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบลักษณะแกนของเครื่องกังหันน้ำแบบ Francis

แบบแกนตั้ง	แบบแกนนอน
1. ต้องการพื้นที่น้อยกว่า การติดตั้งสามารถวางเครื่องกังหันน้ำให้อยู่ระดับต่ำเพื่อลดปัญหาการกัดกร่อนและ โพรงสุญญากาศที่เกิดกับใบพัดกังหัน	1. ขนาดเครื่องกังหันน้ำขนาดเล็กแต่ใช้กับความสูงน้ำออกแบบสูง การก่อสร้างโครงสร้างที่จะรองรับตัวเครื่องกังหันน้ำค่อนข้างยุ่งยาก
2. อุปกรณ์เครื่องกังหันน้ำอยู่ในฐานรากและโครงสร้างอาคารเป็นคอนกรีต	2. การซ่อมแซมและบำรุงรักษาทำได้ง่าย
3. เหมาะกับเครื่องกังหันน้ำขนาดใหญ่ ต้องการพื้นที่โรงไฟฟ้าไม่มากและมีประสิทธิภาพสูงกว่าแกนนอน	3. ประสิทธิภาพต่ำกว่าแกนตั้งเพียง 1-2 %

ที่มา: ชูลิต (2532)



ภาพที่ 3 เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis

ที่มา: Orenge International Company (2001)

2.2 เครื่องกังหันน้ำแบบ Propeller หรือ Kaplan Turbine เครื่องกังหันน้ำแบบนี้จะให้น้ำไหลผ่านเข้าขนานแนวรัศมีของเครื่องกังหันน้ำจากนั้นจะเปลี่ยนทิศทางการไหลให้เป็นในแนวแกนเหมาะสมสำหรับกรณีความสูงของน้ำต่ำที่เรียกว่า Low Head Turbine ซึ่งในปัจจุบันนี้ Kaplan Turbine ได้พัฒนาให้สามารถใช้ได้กับความสูงของน้ำ 45 – 60 เมตรเครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan นี้ยังแบ่งออกตามลักษณะของใบพัด (Blade) ได้อีก 2 ชนิด ดังนี้

2.2.1 ใบพัดปรับให้เป็นไปตามความต้องการไม่ได้

2.2.2 ใบพัดปรับให้อยู่ในตำแหน่งที่ให้ประสิทธิภาพสูงสุดได้ การปรับเปลี่ยนมุมพัดได้โดยอัตโนมัติหรือโดยใช้มือเพื่อให้เป็นไปตามช่องเปิดของช่องนำน้ำ



ภาพที่ 4 เครื่องกังหันน้ำแบบKaplan

ที่มา: Orengine International Company (2001)

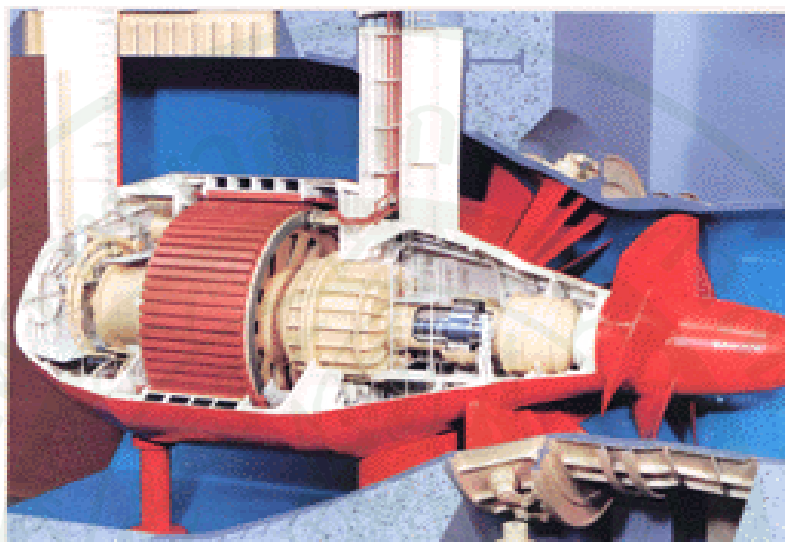
2.3 เครื่องกังหันน้ำแบบ Dariaz Turbine เป็นเครื่องกังหันน้ำแบบที่มีทิศทางการไหลของน้ำทแยงมุมกับแกนกังหันส่วนของใบพัดเครื่องกังหันน้ำจะเคลื่อนที่ได้เมื่อน้ำไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำแบบนี้สามารถใช้เป็นได้ทั้งเครื่องสูบน้ำและเครื่องกังหันน้ำเหมาะสมกับความสูงของน้ำ ทั้งต่ำและปานกลาง ส่วนประกอบซับซ้อนและมีข้อจำกัดที่ราคาสูงกว่า Francis และ Kaplan



ภาพที่ 5 เครื่องกังหันน้ำแบบDeriaz

ที่มา: Mitsubishi Heavy Industries (2000)

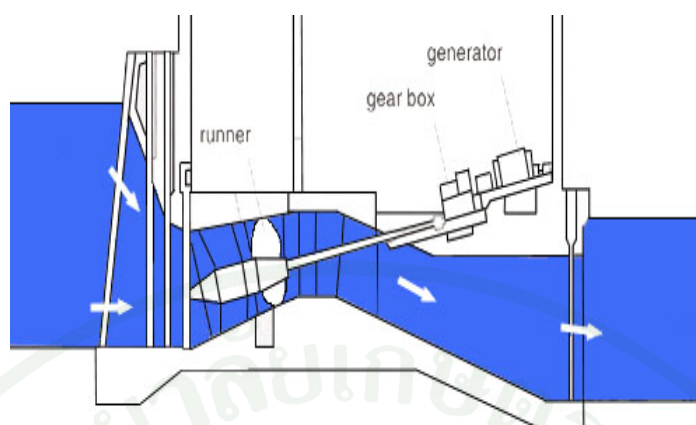
2.4 เครื่องกังหันน้ำแบบ Bulb Turbine พิจารณาแล้วก็คือ Horizontal Kaplan Turbine แต่ที่เรียกแตกต่างกันไปเพราะมี Turbine และ Generator อยู่ภายใน Casing เดียวกันซึ่งรูปร่างเป็น กระเปาะ (Bulb) จมอยู่ภายในน้ำ



ภาพที่ 6 เครื่องกังหันน้ำแบบ Bulb Turbine

ที่มา: Orenge International Company (2001)

2.5 เครื่องกังหันน้ำ Pit แบบ Bulb Turbine จะใช้กับความสูงของน้ำไม่เกิน 10 เมตร มีขนาดอัตราการไหลผ่านเครื่องกังหันน้ำมาก มีลักษณะพิเศษ คือ เครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะถูกติดตั้งอยู่ใน Pit เป็นแบบเปิดที่เป็นคอนกรีตหรือเหล็กจมอยู่ในน้ำกรณีที่ใช้ Pit เนื่องจากไม่มีปัญหาเรื่องความเร็วรอบต่ำและขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่ใหญ่ทำให้มีราคาถูกกว่า Bulb Turbine



ภาพที่ 7 เครื่องกังหันน้ำ Pit แบบ Bulb

ที่มา: Orengine International Company (2001)

การเลือกแบบเครื่องกังหันน้ำที่เหมาะสม

ชนิดของเครื่องกังหันน้ำที่เหมาะสมในขั้นแรกสามารถพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของความสูงของน้ำและกำลังผลิตของกังหันแบบต่างๆ ซึ่งประสิทธิภาพของกังหันน้ำจะมีความสัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณการไหลของน้ำและความสูงของน้ำ แต่ทั้งนี้ยังต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางเศรษฐศาสตร์ด้วย ทัวไปแล้วนิยมใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis เพราะก่อสร้างได้ง่ายความเชื่อถือสูงในกรณีที่มีความสูงของน้ำ (Head) สูงมากจะใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Pelton ถ้าความสูงของน้ำ (Head) ต่ำก็จะใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan

1. การพิจารณาเลือกแบบเครื่องกังหันน้ำ

ชูลิต (2532) ได้กล่าวว่าเมื่อความสูงของน้ำ (Head) เปลี่ยนแปลงบ่อยๆ ควรเลือกใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan ซึ่งเครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan นี้ความเร็วจำเพาะจะสูงทำให้ราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำ แต่ต้องลดระดับท่อปล่อยน้ำ (Draft Tube) ให้ต่ำทั้งนี้ท่อน้ำเข้าเครื่องกังหันน้ำจะต้องใหญ่ขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายด้านงานโยธาสูงขึ้นการบำรุงรักษาเครื่องกังหันน้ำแบบ Francis จะง่ายและสะดวกกว่าราคาก็ถูกกว่าแบบ Kaplan

ความสูงของน้ำมีผลต่อกำลังผลิตของเครื่องกังหันน้ำ ซึ่งความสูงของน้ำที่ใช้พิจารณาเลือกแบบเครื่องกังหันน้ำ คือ

1.1 เมื่อความสูงของน้ำ (Head) มีการเปลี่ยนแปลงบ่อยๆควรเลือกใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan

1.2 เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan ความเร็วจำเพาะจะสูงทำให้ราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำแต่ต้องลดระดับท่อปล่อยน้ำ (Draft Tube) ให้ต่ำ ทั้งนี้ท่อน้ำเข้ากังหันจะต้องใหญ่ขึ้นทำให้ค่าใช้จ่ายด้านงานโยธาสูงขึ้น

1.3 การบำรุงรักษาเครื่องกังหันน้ำแบบ Francis จะง่ายและสะดวกกว่าราคาที่ถูกกว่าแบบ Kaplan

ประสิทธิ์ (2553) การเลือกแบบกังหันในขั้นต้นพิจารณาได้จากความสัมพันธ์ของหัวน้ำและกำลังการผลิตของกังหันน้ำแบบต่างๆ แต่ต้องคำนึงถึงความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ด้วย โดยทั่วไปกังหันน้ำแบบฟรานซิสก่อสร้างได้ง่ายและมีความเชื่อถือได้สูง ดังนั้นเครื่องกังหันน้ำชนิดนี้จึงมีผู้นิยมใช้กันมาก ในกรณีที่หัวน้ำสูงมากปกติจะใช้แบบ Pelton wheel และกรณีหัวน้ำต่ำก็จะใช้เครื่องกังหันน้ำชนิดคาปแลน

ในการที่จะเลือกใช้แบบของเครื่องกังหันน้ำในเมื่ออาจใช้ประเภทใดประเภทหนึ่ง หรือ 2 ประเภท ก็ได้ นั้น ควรจะพิจารณาดังต่อไปนี้

คุณสมบัติกังหัน Pelton หรือ Francis ในกรณีที่มีหัวน้ำสูง

1) ในกรณีที่ระดับน้ำหลากทางท้ายน้ำสูง กังหัน Pelton ไม่สามารถใช้หัวน้ำ (Head) ได้ระดับของเครื่องกังหันให้เป็นประโยชน์ได้

2) กังหัน Francis มีความเร็วจำเพาะสูง (n_s) สามารถใช้ในกรณีที่ต้องการความเร็วรอบสูงได้ ทำให้ราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำลง

3) ในกรณีที่ต้องการเดินเครื่อง ที่มีภาระบางส่วน (Partial load) เป็นระยะเวลานาน กังหัน Pelton ซึ่งใช้หัวฉีดหลายอันจะให้ประสิทธิภาพสูง

4) เมื่อท่อส่งน้ำมีขนาดยาวและความชันต่ำ ควรใช้กังหัน Pelton เพราะค่าใช้จ่ายในการก่อสร้างท่อส่งน้ำ (Penstock) ต่ำ เนื่องจากความดันในขณะที่เปิดท่อส่งน้ำทันทีต่ำ (Sudden shut down)

5) กรณีที่คุณภาพของน้ำในแม่น้ำต่ำ มักจะนิยมใช้กังหัน Pelton เพราะสามารถตรวจสอบใบพัด (Runner) และบำรุงรักษาได้ง่าย

6) กังหัน Francis จะมีค่าก่อสร้างงานโยธาสูงกว่าเพราะโรงงานไฟฟ้าต้องเพิ่มงานขุดมากกว่าการใช้กังหัน Pelton แต่ราคาของกังหัน Francis จะถูกกว่ากังหัน Pelton

คุณสมบัติกังหัน Kaplan หรือ Francis ในกรณีหัวน้ำต่ำ

- 1) เมื่อหัวน้ำและความต้องการเปลี่ยนแปลงบ่อยๆ ควรเลือกกังหันแบบ Kaplan
- 2) ในกรณีที่เป็กังหันแบบ Kaplan ความเร็วจำเพาะ n_s สูงทำให้ราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำ แต่ต้องลดระดับท่อปล่อยน้ำออก (Draft tube) ให้ต่ำลงซึ่งทั้งนี้ท่อน้ำจะมีขนาดใหญ่ขึ้น ทำให้ค่าใช้จ่ายงานด้านโยธาสูงขึ้น
- 3) การบำรุงรักษากังหัน Francis ง่ายและสะดวก เพราะก่อสร้างแบบง่ายๆ ราคาของเครื่องถูกกว่ากังหัน Kaplan

ไพโรจน์ (2544) ได้กล่าวถึงกรณีที่ลักษณะโครงการมีความสูงของน้ำต่ำและอัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องกังหันน้ำมีปริมาณมาก ชนิดของเครื่องกังหันน้ำที่เหมาะสมมีอยู่ 3 ประเภท คือ

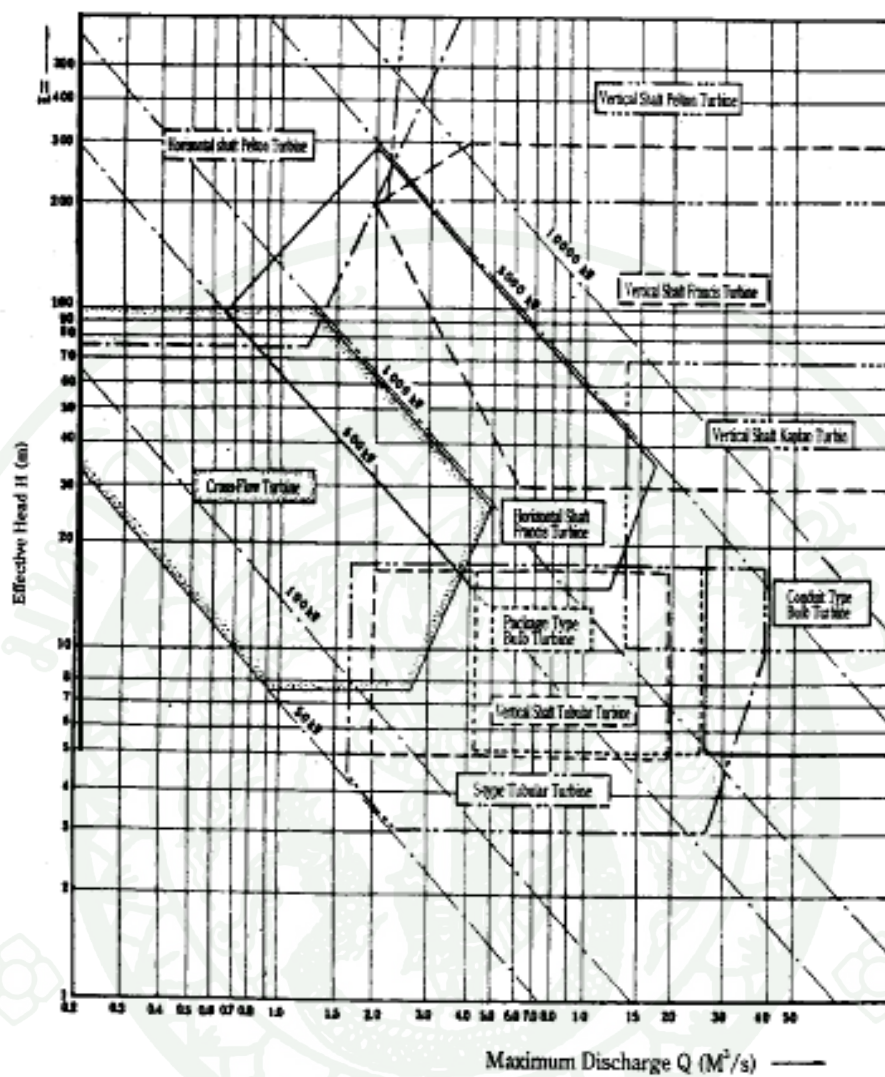
- 1) เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan
- 2) เครื่องกังหันน้ำแบบ Bulb
- 3) เครื่องกังหันน้ำแบบ Pit แบบ Bulb

ซึ่งมีแนวทางพิจารณาคัดเลือกเครื่องกังหันน้ำที่เหมาะสมดังนี้

ตารางที่ 3 การเปรียบเทียบเครื่องกังหันน้ำแบบ Pit, Bulb แกนนอนและ Kaplan แกนตั้ง

เครื่องกังหันน้ำแบบ Pit	เครื่องกังหันน้ำแบบ Bulb แกนนอน	เครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan แกนตั้ง
1. ขนาดของ Generator เล็กกว่าแบบ Bulb	1. เส้นผ่านศูนย์กลาง Runner ของ Bulb จะเล็กกว่าแบบ Kaplan	1. การดูแลและบำรุงรักษา ง่ายกว่าแบบ Bulb
2. ราคาเครื่องอุปกรณ์ ถูกกว่าแบบ Bulb ประมาณ 20 %	2. ราคาค่าก่อสร้างโยธาถูกกว่า แบบ Kaplan ประมาณ 20 %	2. ราคาของ Generator ถูกกว่าแบบ Bulb
3. การดูแลรักษาง่ายกว่า แบบ Bulb	เพราะขนาดโรงไฟฟ้าเล็กกว่า	3. ราคาอุปกรณ์ต่างๆถูกกว่าแบบ Kaplan ประมาณ 10 – 15 %
4. การติดตั้งใช้เวลาสั้น และง่ายกว่าแบบ Bulb	4. ประสิทธิภาพสูงกว่าแบบ Kaplan	5. การติดตั้งใช้เวลาสั้นและง่าย กว่าแบบ Kaplan
5. ประสิทธิภาพสูงกว่า Kaplan และราคา ใกล้เคียงแบบ Bulb		
6. ราคาค่าก่อสร้าง ใกล้เคียงกับแบบ Bulb		

ที่มา: ไพโรจน์ (2544)



ภาพที่ 8 การเลือกชนิดของเครื่องกังหันน้ำ

ที่มา: New Energy Foundation (1996)

2. ความสูงของน้ำ

ความสูงของน้ำที่มีอิทธิพลต่อกำลังผลิตไฟฟ้าของเครื่องกังหันน้ำ ได้แก่

2.1 ความสูงน้ำรวม (Gross Head) คือ ความสูงแตกต่างระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำด้านท้ายโรงไฟฟ้า

2.2 ความสูงน้ำสุทธิ (Net Head) คือ ความสูงของน้ำที่หักลบด้วยค่าความสูญเสียทางด้านชลศาสตร์

2.3 ความสูงน้ำออกแบบ (Design Head) คือ ความสูงน้ำสุทธิที่เครื่องกังหันน้ำเดินเครื่องด้วยประสิทธิภาพสูงสุดในความเร็วที่ออกแบบ

2.4 ความสูงน้ำควบคุม (Rated Head) คือ ความสูงน้ำที่กังหันน้ำเดินเครื่องให้กำลังไฟฟ้าเท่ากับที่ออกแบบในขณะที่บานประตูกังหันน้ำเปิดให้น้ำไหลผ่านเต็มที่

2.5 ความสูงน้ำสูงสุด (Maximum Head) คือ ความสูงแตกต่างของระดับน้ำสูงสุดในอ่างเก็บน้ำกับระดับน้ำด้านท้ายโรงไฟฟ้าเมื่อเครื่องกังหันน้ำเดินเครื่องต่ำสุด

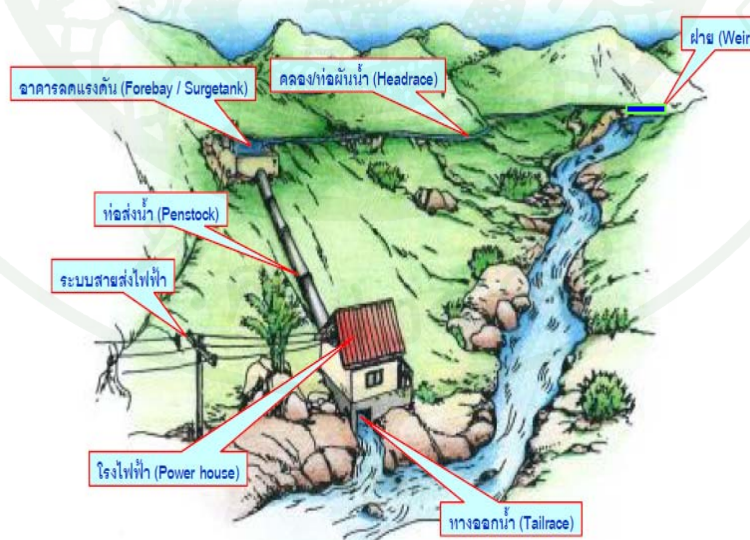
2.6 ความสูงน้ำต่ำสุด (Minimum Head) คือ ความสูงแตกต่างของระดับน้ำต่ำสุดในอ่างเก็บน้ำกับระดับน้ำด้านท้ายโรงไฟฟ้าเมื่อเดินเครื่องกังหันน้ำทุกเครื่องเต็มที่

ตารางที่ 4 ชนิดกังหันน้ำและช่วงความสูงหัวน้ำของกังหันน้ำชนิดต่างๆในประเทศญี่ปุ่น

ชนิดของกังหันน้ำ		ช่วงความสูงหัวน้ำ (ม.)
โดยแบ่งตามการเปลี่ยนแปลง พลังงาน	โดยแบ่งตามทิศทางการไหลของ กระแสน้ำ	
แบบแรงสะท้อน (Reaction)	Tubular Bulb	3 – 25
	คาปลาน (Propeller (Kaplan))	10 – 70
	ไดอะกอนอล (Diagonal)	n/a
	ฟรานซิส (Francis)	30 – 300
แบบแรงกระแทก (Impulse)	เพลตัน (Pelton)	> 75
	เทอร์โก (Turgo)	n/a
	คลอสโฟลว์ (Cross flow)	5 - 100

ที่มา: New Energy Foundation (1996)

องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก



ภาพที่ 9 องค์ประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

ที่มา: กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2548)

โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กนั้น ได้มีการก่อสร้างฝายทดน้ำหรือเขื่อนขนาดเล็กเพื่อกั้นลำน้ำและผันน้ำจากเขื่อนหรือฝายดังกล่าวด้วยระบบส่งน้ำไปยังโรงไฟฟ้า แรงน้ำซึ่งไหลตามท่อจะไปหมุนเครื่องกังหันน้ำ (Turbine) ซึ่งต่ออยู่กับเครื่องกำเนิดไฟฟ้าผลิตกระแสไฟฟ้า (Generator) แบบแยกจ่ายอิสระ หรือแบบขนานจ่ายเข้าสู่ระบบจำหน่ายของการไฟฟ้า ซึ่งมีขนาดกำลังการผลิตตั้งแต่ 200 - 6,000 กิโลวัตต์ ซึ่งจะมีแนวทางการพัฒนาและองค์ประกอบหลักของโครงการดังนี้

1. เลือกสถานที่ตั้งโครงการ

การเลือกสถานที่ตั้งโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กที่เหมาะสมนั้น จะต้องพิจารณาในหลายๆ ด้านประกอบกัน เช่น สภาพทางธรณีวิทยาเหมาะสมหรือไม่ ผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมมีมากน้อยเท่าใด โดยโรงไฟฟ้าจะต้องไม่อยู่ห่างไกลจากแหล่งที่จะใช้ไฟฟ้ามานัก ซึ่งขั้นตอนที่กล่าวมาข้างต้นจะอยู่ในขั้นตอนการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ

2. ศักยภาพของจุดที่ตั้งโครงการ

ศักยภาพกำลังการผลิตติดตั้ง ของบริเวณจุดที่ตั้งโครงการจะมีขนาดเท่าใด มีความเหมาะสมทางด้านเศรษฐศาสตร์ จะขึ้นอยู่กับความต่างของระดับหัวน้ำหรือความสูงหัวน้ำสุทธิ (Net Head, H) และอัตราการไหลของน้ำ (Flow Rate, Q)

หากสถานที่ที่เลือกพัฒนามีความสูงหัวน้ำสุทธิต่ำ จะต้องการอัตราการไหลของน้ำมาก ซึ่งส่งผลให้เครื่องกังหันน้ำมีขนาดใหญ่ ระบบส่งน้ำจะใหญ่ตามไปด้วย ค่าการก่อสร้างโครงการก็จะสูงขึ้น แต่ในทางตรงกันข้ามการหาสถานที่ที่เลือกพัฒนามีความสูงหัวน้ำมาก นั่นคือ ต้องการอัตราการไหลของน้ำน้อย ซึ่งส่งผลให้อาคารรับน้ำของระบบส่งน้ำและเครื่องกังหันน้ำมีขนาดเล็กตามไปด้วย

3. ตัวฝายทดน้ำหรือตัวเขื่อนขนาดเล็ก (Weir or Small Dam)

ตามที่ได้กล่าวมาข้างต้น กำลังการผลิตติดตั้งของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก จะขึ้นอยู่กับตัวแปรทางธรรมชาติ คือ ความสูงหัวน้ำ และอัตราการไหลของน้ำซึ่งจะเป็นคุณลักษณะเฉพาะของแต่ละสถานที่นั้นๆ ถ้าสถานที่ที่ถูกคัดเลือกเป็นลำน้ำใกล้ภูเขา ซึ่งท้องน้ำมีความลาดชันมาก

อัตราการไหลของน้ำในลำน้ำจะมีปริมาณน้อยแต่จะไหลตลอดทั้งปี แต่สามารถพัฒนาให้มีความสูงของหัวน้ำได้มากกว่า ดังนั้นฝายน้ำล้นสำหรับทดน้ำเข้าระบบส่งน้ำ เป็นทางเลือกที่ความเหมาะสมมากกว่า เพราะทำให้ราคาก่อสร้างถูกกว่า แต่ถ้าสถานที่ที่เลือกห่างจากภูเขา ซึ่งท้องน้ำมีความลาดชันน้อย ความสูงของหัวน้ำจึงน้อย และการไหลไม่ค่อยสม่ำเสมอตลอดทั้งปี ดังนั้นรูปแบบของเขื่อนที่มีอ่างเก็บน้ำขนาดเล็กจึงมีความเหมาะสม เพราะสามารถได้ความสูงของหัวน้ำเพิ่มขึ้น และสามารถใช้น้ำจากที่เก็บไว้ในอ่างเก็บน้ำมาผลิตพลังงานไฟฟ้าได้อย่างต่อเนื่อง

4. อาคารรับน้ำ (Power Intake)

อาคารรับน้ำ เป็นอาคาร โครงสร้างคอนกรีตสำหรับรับน้ำจากลำน้ำหน้าฝายทดน้ำ หรือหน้าเขื่อนเข้าสู่ระบบผันน้ำและระบบส่งน้ำ โดยปกติจะวางแนวอยู่ในทิศตั้งฉากกับทิศทางการไหลของลำน้ำ ซึ่งสามารถควบคุมปริมาณการไหลของน้ำที่จะใช้ประโยชน์ โดยการติดตั้งระบบเปิด-ปิดด้วยบานประตู ติดตั้งตะแกรงป้องกันเศษขยะที่ลอยมากับน้ำ และมีประตูระบายตะกอนทรายที่สามารถระบายตะกอนทรายซึ่งไหลมากับน้ำไม่ให้เข้าสู่ระบบผันน้ำได้ อาคารรับน้ำอาจก่อสร้างใกล้กับฝายทดน้ำหรือเขื่อนหรืออาจแยกจากกัน ขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศแต่ละแห่ง

5. ระบบผันน้ำ (Headrace)

ระบบผันน้ำอาจเป็นคลองส่งน้ำหรือท่อส่งน้ำแรงดันต่ำซึ่งมีความลาดชันต่ำ ความยาวของระบบผันน้ำขึ้นอยู่กับความต้องการของความสูงหัวน้ำ สำหรับใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้า ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพภูมิประเทศ ทั้งนี้การก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กชนิดที่มีฝายทดน้ำ มีความจำเป็นต้องมีระบบผันน้ำดังกล่าว นอกจากนี้ระบบผันน้ำ จะมีโครงสร้างบ่อดักตะกอน (Sand Trap) เพื่อป้องกันตะกอนทรายที่หลงเหลือไม่ให้เข้าสู่คลองส่งน้ำ หรือท่อส่งน้ำ โดยบ่อดักตะกอนจะถูกก่อสร้างในตำแหน่งระหว่างอาคารรับน้ำ และระบบผันน้ำตอนปลายของระบบผันน้ำ โดยมีระบบควบคุมระดับน้ำ เป็นบ่อพักน้ำ (Head Tank หรือ Fore Bay) ก่อนที่น้ำจะถูกส่งเข้าสู่ท่อส่งน้ำ บ่อพักน้ำถูกกำหนดให้เป็นที่ยกน้ำสำหรับการผลิตกระแสไฟฟ้า (Regulating Pond) หากระบบผันน้ำเป็นระบบปิด เช่น การก่อสร้างด้วยท่อที่สามารถรับแรงดันน้ำได้ ตอนปลายของระบบผันน้ำจะติดตั้งระบบสลายความดัน (Surge Tank) เพื่อป้องกันแรงดันกระแทกย้อนกลับ (Water Hammer) อันเนื่องมาจากการหยุดเดินเครื่องกังหันน้ำทันทีทันใด ระบบบ่อพักน้ำ (Head Tank หรือ Fore Bay) จะทำหน้าที่สลายแรงดันกระแทกย้อนกลับดังกล่าวด้วย

6. ระบบท่อส่งน้ำ (Penstock)

เป็นท่อเหล็กหรือท่อ PVC ชนิดรับแรงดัน ที่สามารถทนแรงดันขณะใช้งานได้ ท่อส่งน้ำจะทำหน้าที่รับน้ำจากระบบผันน้ำ ส่งเข้าสู่เครื่องกังหันน้ำในอาคารโรงไฟฟ้า ในการออกแบบมักจะออกแบบให้ท่อส่งน้ำสั้นที่สุดเท่าที่จะทำได้เพื่อลดการสูญเสีย (Loss) ในท่อ

7. โรงไฟฟ้า (Power House)

เป็นอาคารที่ติดตั้งเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า พร้อมอุปกรณ์ประกอบ อาคารโรงไฟฟ้าจะถูกกำหนดไว้ในระดับความสูงที่เหมาะสม เพื่อป้องกันอุทกภัยช่วงฤดูน้ำหลาก ปริมาณน้ำที่ผ่านเครื่องกังหันน้ำผลิตกระแสไฟฟ้า แล้วจะถูกปล่อยกลับลงสู่ลำน้ำเดิมทางระบายน้ำออก (Tailrace)

8. เครื่องกังหันน้ำ (Turbine)

น้ำที่ถูกเก็บกักไว้หน้าฝายหรือเขื่อน จะถูกสะสมพลังงานไว้ในรูปของพลังงานศักย์และเมื่อไหลไปตามระบบส่งน้ำไปยังโรงไฟฟ้าพลังงานศักย์จะเปลี่ยนไปเป็นพลังงานจลน์ เครื่องกังหันน้ำจะทำหน้าที่เปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานกล เพื่อไปหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า การเลือกชนิดของเครื่องกังหันน้ำจะขึ้นอยู่กับความสูงของหัวน้ำ โดยเครื่องกังหันน้ำชนิดเพลตัน (Pelton) จะเหมาะสมกับความสูงหัวน้ำมาก เครื่องกำเนิดชนิดฟรานซิส (Francis) จะเหมาะสมกับความสูงของหัวน้ำปานกลาง และเครื่องกังหันน้ำชนิดक्रอสโฟลว์ (Cross Flow) หรือแบบคาปแลน (Kaplan) จะเหมาะสมกับหัวน้ำต่ำ

8.1 เครื่องกังหันน้ำที่ใช้ในปัจจุบัน แบ่งออกเป็นประเภทใหญ่ๆ ได้ 2 ประเภท คือ

- แบบแรงกระทำ เครื่องกังหันน้ำแบบนี้มักใช้กับเขื่อนที่มีหัวน้ำสูงพลังงานศักย์ของน้ำจะถูกเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ทั้งหมด โดยผ่านหัวฉีดก่อนเข้าตัวกังหัน ขณะที่น้ำพุ่งกระทบตัวกังหันจะมีความดันคงที่เท่ากับความดันของบรรยากาศปกติ การเปลี่ยนแปลงความเร็วและทิศทางของน้ำหลังจากผ่านหัวฉีด จะเกิดมีแรงกระทำที่วงล้อของตัวกังหันทำให้เกิดงานขึ้น การควบคุมกำลังงานที่วงล้อสามารถทำได้โดยปิด-เปิด หัวฉีดที่มีอยู่ ซึ่งเป็นการปรับปริมาณน้ำให้มากขึ้นได้ตามที่ต้องการ

- แบบแรงโต้ (Reaction Turbine) เครื่องกังหันน้ำแบบนี้มักใช้กับเขื่อนที่มีหัวน้ำต่ำและปานกลาง โดยน้ำที่เข้าสู่ตัวกังหัน จะมีความดันสูงกว่าความดันของบรรยากาศปกติ พลังงานศักย์ของน้ำจะเปลี่ยนเป็นพลังงานจลน์ และพลังงานความดันระหว่างทางที่น้ำไหลผ่านใบพัด ความเร็วและความดันจะลดลงและถูกปล่อยออกมาในสภาวะความดันบรรยากาศปกติ และความเร็วที่ต่ำมาก

8.2 ตัวหมุน (Runner) เป็นส่วนที่หมุนของเครื่องกังหันน้ำ ประกอบด้วยชามอ่าง (สำหรับแบบแรงกระแทก) หรือใบพัด (สำหรับแบบแรงโต้) แกนของตัวหมุนนี้จะตั้งฉากกับแกนของโรเตอร์ของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตัวหมุนที่ใช้อยู่ในปัจจุบันมีแบบเพลตัน (Pelton) และ คาปแลน (Francis)

9. เครื่องกำเนิดไฟฟ้าและอุปกรณ์ประกอบ

เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำจะมีลักษณะเหมือนกับโรงไฟฟ้าชนิดอื่นๆ แต่อุปกรณ์ประกอบ เช่น อุปกรณ์ควบคุม จะมีความแตกต่างกัน กล่าวคือ จะควบคุมปริมาณน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าตามความต้องการการใช้กระแสไฟฟ้าอัตโนมัติ โดยผ่านอุปกรณ์เครื่องควบคุมที่เรียกว่า (Governor) อุปกรณ์ประกอบของเครื่องกำเนิดไฟฟ้ายังรวมไปถึงผู้ควบคุมหม้อแปลงไฟฟ้าและสถานีไฟฟ้าด้วย

10. หม้อแปลง (Transformer)

เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่แปลงแรงดันไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิด ให้เป็นแรงดันสูงส่งเข้าระบบส่งจ่ายไฟฟ้าเป็นระยะทางไกลไปให้กับศูนย์กลางผู้ใช้ไฟฟ้า

11. ทางน้ำล้น (Spillway)

คือ ทางระบายน้ำออกในอ่างเก็บน้ำในกรณีที่มีระดับน้ำสูงมาก เพื่อป้องกันไม่ให้น้ำท่วมล้นตัวเขื่อน

ข้อดีและข้อเสีย ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

1. ข้อดีของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีดังต่อไปนี้

1.1 ค่าใช้จ่ายในการดำเนินการต่ำ สามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ด้วยราคาถูก ค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซม บำรุงรักษาต่ำ

1.2 สามารถเดินเครื่องจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ทันทีใช้เวลาจ่ายไฟฟ้าเข้าระบบได้ภายในเวลา 4-5 นาที การเพิ่มหรือลดพลังงานทำให้รวดเร็ว สามารถจัดให้เข้ากับการเปลี่ยนแปลง โดยไม่เสียประสิทธิภาพ

1.3 เป็นโครงการเอนกประสงค์สามารถใช้ประโยชน์ได้มากมาย เช่น ผลิตพลังงานไฟฟ้า การชลประทาน การป้องกันน้ำท่วม การคมนาคมทางน้ำ การเลี้ยงสัตว์น้ำและสัตว์ป่า

1.4 ไม่สิ้นเปลืองเชื้อเพลิงไม่มีควันเสีย เขม่า หรือก๊าซพิษ ค่าเก็บรักษาเชื้อเพลิง ค่ากำจัดของเสียจึงไม่มี

1.5 ไม่มีพลังงานสูญเสียในการสำรองใช้งาน

1.6 มีความแน่นอนในการใช้งาน ประสิทธิภาพของโรงจักรไฟฟ้าไม่เปลี่ยนแปลงมากตามอายุการใช้งาน เพราะเครื่องกำเนิดไฟฟ้าหมุนด้วยความเร็วต่ำ อุณหภูมิใช้งานต่ำ การออกแบบอุปกรณ์ไฟฟ้าไม่ยุ่งยาก ข้อขัดข้องที่เกิดขึ้นน้อย ในแต่ละปีจะหยุดเครื่องเพื่อตรวจซ่อมบ่อยครั้ง จึงมีความแน่นอนในการใช้งาน

1.7 ใช้น้ำวนวนบุคลากรปฏิบัติการเกี่ยวกับการเดินเครื่องน้อย

1.8 ราคาที่ดินถูก เพราะตั้งอยู่ห่างไกลจากชุมชน

1.9 ไม่ต้องเสียเวลาในการอุ่นเครื่องก่อนที่จะจ่ายกำลังไฟฟ้าเหมือนโรงไฟฟ้าพลังไอน้ำ ซึ่งต้องการเวลาต้มน้ำให้ได้อุณหภูมิ และความดันตามกำหนด

1.10 ประสิทธิภาพของโรงไฟฟ้าอยู่ในเกณฑ์ดี

2. ข้อเสีย ของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ มีดังต่อไปนี้

- 2.1 การลงทุนในระยะแรกตอนสร้างโรงไฟฟ้าและเขื่อนสูงมาก
- 2.2 ใช้เวลานานประมาณ 4-5 ปี ในการสำรวจหาบริเวณที่ตั้ง และระยะเวลาในการก่อสร้าง
- 2.3 การผลิตไฟฟ้าขึ้นอยู่กับสถานะของน้ำฝนที่จะตกลงสู่อ่างเก็บน้ำ ซึ่งไม่ค่อยแน่นอน ถ้าปีใดฝนน้อย อาจมีปัญหาในการผลิตไฟฟ้าได้
- 2.4 อาจกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เช่น ป่าไม้ ที่อยู่อาศัย ที่ทำกิน โบราณวัตถุ ฯลฯ
- 2.5 ส่วนมากโรงไฟฟ้าจะอยู่ห่างไกลจากชุมชนอยู่ห่างไกลจากศูนย์กลางการใช้ไฟฟ้า (Load Center) ทำให้ต้องเสียค่าใช้จ่ายสูงในเรื่องของสายส่งไฟฟ้า นอกจากนี้ยังมีพลังงานสูญเสียในสายส่งด้วย

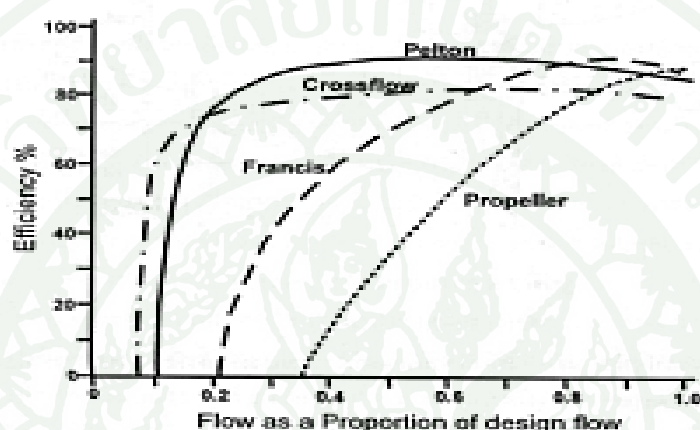
ทฤษฎีพลังงานไฟฟ้า

การวิเคราะห์ศักยภาพทางด้านไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก อันได้แก่ กำลังผลิตติดตั้งของเครื่องกังหันน้ำจะขึ้นอยู่กับค่าความสูงหัวน้ำและปริมาณน้ำทำออกแบบ ซึ่งเป็นค่าแสดงถึงกำลังผลิตที่คาดว่าจะได้รับการติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าใช้สมการในการคำนวณมีดังนี้

$$P_{(KW)} = 9.81 \times Q_d \times H_d \times N_g \times N_t \quad (1)$$

โดย	$P_{(KW)}$	=	กำลังผลิตติดตั้ง (kw)
	Q_d	=	ปริมาณน้ำออกแบบ (m^3/s)
	H_d	=	ความสูงหัวน้ำออกแบบ (m)
	N_g	=	ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ (%)
	N_t	=	ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (%)

สำหรับการศึกษานี้ได้กำหนดให้ค่า N_s คงที่เป็น 0.97 และ N_f ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำออกแบบ แสดงดังภาพที่ 10 ซึ่งพบว่ากังหันชนิด Pelton Crossflow และ Kaplan มีประสิทธิภาพสูง เมื่อมีการไหลผ่านน้อยกว่าอัตราไหลออกแบบ ในขณะที่กังหัน Francis จะประสิทธิภาพลดลงอย่างรวดเร็วเมื่อมีอัตราไหลน้อยกว่าครึ่งหนึ่งของอัตราการไหลออกแบบสำหรับการศึกษานี้กำหนดให้ค่า N_s คงที่เป็น 0.90



ภาพที่ 10 ค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ

ที่มา: ชัยยุทธ (2552)

พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตในแต่ละชั่วโมงคำนวณได้ดังนี้

$$E = P_{(KW)} \times NH \quad (2)$$

โดย E = พลังงานไฟฟ้ารายวันที่ผลิตได้ (KWh)
 $P_{(KW)}$ = กำลังผลิตติดตั้ง (KW)
 NH = จำนวนชั่วโมงเดินเครื่อง

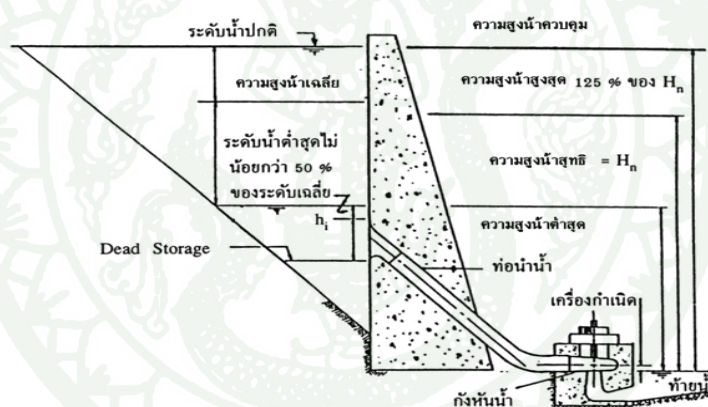
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้สามารถหาในรูปหน่วยของแรงม้าดังสมการต่อไปนี้

$$P_{(hp)} = 13.13 \times Q_d \times H_d \times N_g \times N_t \quad (3)$$

การหาความสูงหัวน้ำออกแบบสามารถคำนวณได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$H_d = \frac{2}{3}(NWL - LWL) + LWL - TWL - H_L \quad (4)$$

เมื่อ H_d = ความสูงหัวน้ำออกแบบ (m)
 NWL = ระดับน้ำเก็บปกติ (m.msl)
 LWL = ระดับน้ำเก็บต่ำสุด (m.msl)
 TWL = ระดับน้ำท้ายโรงไฟฟ้าที่ปริมาณน้ำปล่อยผ่านเครื่องผลิต
 กระแสไฟฟ้า (m.msl)
 H_L = ความสูญเสียหัวน้ำรวม (m)



ภาพที่ 11 ความสูงของน้ำระยะต่างๆที่มีผลต่อเครื่องกังหันน้ำ

ที่มา: ชูลิต (2532)

ข้อมูลเครื่องกังหันน้ำ

ข้อมูลเครื่องกังหันน้ำเป็นส่วนที่รวบรวมข้อมูลพื้นฐานที่ใช้คำนวณพลังงานไฟฟ้าและข้อมูลความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลของน้ำผ่านเครื่องกังหันน้ำต่ออัตราการไหลออกแบบและเปอร์เซ็นต์ของความสูงของน้ำต่อความสูงน้ำออกแบบกับประสิทธิภาพเครื่อง

กังหันน้ำนอกจากนี้ในข้อมูลพื้นฐานของเครื่องกังหันน้ำยังประกอบด้วยข้อมูลช่วงของความสูงน้ำและช่วงอัตราการไหลที่เครื่องกังหันน้ำสามารถเดินเครื่องกังหันน้ำได้อีกด้วย

1) ตารางเก็บข้อมูลพื้นฐานของเครื่องกังหันน้ำใช้เก็บข้อมูลช่วงอัตราการไหลช่วงความสูงของน้ำที่สามารถเดินเครื่องกังหันน้ำแต่ละชนิด

ตารางที่ 5 ข้อมูลพื้นฐานเครื่องกังหันน้ำ

หมายเลข เครื่อง กังหันน้ำ	ชนิดเครื่อง กังหันน้ำ	ตัวคูณประกอบ ความสูงน้ำ สูงสุด	ตัวคูณประกอบ ความสูงน้ำ ต่ำสุด	ตัวคูณประกอบ อัตราการไหล สูงสุด	ตัวคูณ ประกอบ อัตราการไหล ต่ำสุด
1	Francis(Ns25-40)	1.25	0.65	1.0	0.3
2	Francis(Ns40-48)	1.25	0.65	1.0	0.3
3	Francis(Ns48-75)	1.25	0.65	1.0	0.3
4	Kaplan	1.25	0.65	1.0	0.3
5	Bull	1.50	0.50	1.0	0.3
6	pellton	1.50	0.50	1.0	0.3

ที่มา: สรวิชัย (2547)

2) ตารางเก็บข้อมูลประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแต่ละชนิดกราฟประสิทธิภาพของเครื่องกังหันน้ำ (Hill Curve) มีความสัมพันธ์กับอัตราการไหลและความสูงของน้ำประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำที่เวลาหนึ่งๆ (Turbine Efficiency η) ขึ้นอยู่กับเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลที่เวลานั้น (Q_i) ต่ออัตราการไหลออกแบบ (Q_d) และเปอร์เซ็นต์ของความสูงของน้ำที่เวลานั้น (H_i) ต่อความสูงน้ำออกแบบ (H_d) สามารถเขียนแสดงความสัมพันธ์ได้ดังนี้

$$\eta_i = f\left(\% \frac{Q_i}{Q_d}, \% \frac{H_i}{H_d}\right) \quad (5)$$

สามารถดูกราฟประสิทธิภาพเครื่องกั้นน้ำแบบต่างๆได้ที่ภาคผนวก (ค)

ทฤษฎีคำนวณการสูญเสียพลังงาน

ความสูญเสียหัวน้ำรวมจะพิจารณาเฉพาะความสูญเสียหัวน้ำที่เกิดจากแรงเสียดทานและการเปลี่ยนแปลงขนาดในระบบท่อและอุปกรณ์ต่างๆ ได้แก่ ข้องอประจุน้ำเป็นหลัก ทั้งนี้ จะไม่พิจารณาการสูญเสียที่ผ่านเครื่องกั้นน้ำ ซึ่งการสูญเสียรวมทั้งหมดสามารถคำนวณได้ดังสมการต่อไปนี้

$$H_L = h_f + h_e + h_0 + h_m \quad (6)$$

$$\begin{aligned} H_L &= \text{ความสูญเสียหัวน้ำรวมทั้งหมด (m)} \\ h_f &= \text{ความสูญเสียรวมเนื่องจากแรงเสียดทานของท่อ (m)} \\ &= f \frac{LV^2}{2gD} \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} L &= \text{ความยาวเส้นท่อ (m)} \\ V &= \text{ความเร็วของน้ำไหลในท่อ (m}^3/\text{s)} \\ g &= \text{อัตราเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกเท่ากับ 9.81 (m/s}^2\text{)} \\ D &= \text{เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ (m)} \\ f &= \text{สัมประสิทธิ์ความเสียดทานการไหล} \\ &= 124.5 n^2 / D^{1/3} \end{aligned} \quad (8)$$

$$n = \text{สัมประสิทธิ์ของแมนนิ่งมีค่า 0.012 และ 0.013 สำหรับท่อเหล็ก และ ท่อคอนกรีตตามลำดับ}$$

$$\begin{aligned} h_e &= \text{ความสูญเสียย่อยของการส่งน้ำได้แก่ความสูญเสียหัวน้ำที่ทางเข้า (m)} \\ &= K_e \frac{V^2}{2g} K \end{aligned} \quad (9)$$

$$K_e = \text{สัมประสิทธิ์ความสูญเสียที่ปากทางเข้ามีค่า 1.0}$$

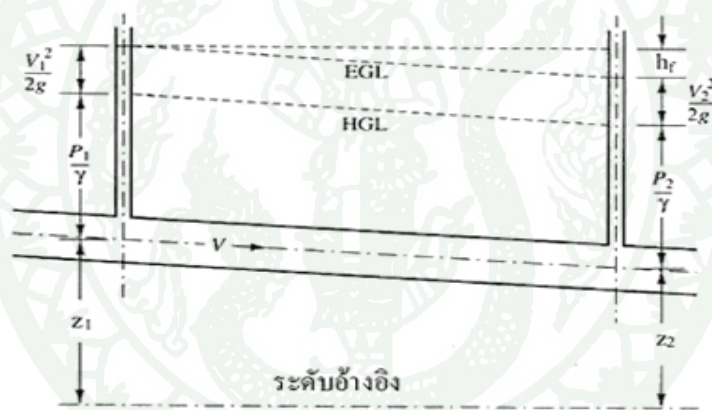
$$\begin{aligned} h_0 &= \text{ความสูญเสียปากทางออก (m)} \\ &= K_0 \frac{V^2}{2g} \end{aligned} \quad (10)$$

$$K_0 = \text{สัมประสิทธิ์ความเสียดทานที่ปากทางออกมีค่า 0.50}$$

$$\begin{aligned}
 h_m &= \text{ความสูญเสียรองเกิดจากการไหลเปลี่ยนทิศทางเมื่อไหลผ่านข้อต่อ ข้องอ} \\
 &\quad \text{ประตุน้ำ (m)} \\
 &= K \frac{V^2}{2g}
 \end{aligned} \tag{11}$$

การสูญเสียหลัก

(Major Losses) คือ การสูญเสียพลังงานจากการไหลของน้ำที่เกิดจากแรงเสียดทานเนื่องจากความหนืดของน้ำและแรงเสียดทานที่เกิดระหว่างของไหลกับท่อ ปัจจัยที่มีผลต่อการสูญเสียพลังงานขึ้นอยู่กับ เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ ความยาวท่อ ความขรุขระในท่อ และความเร็วของน้ำในท่อ



ภาพที่ 12 ชลศาสตร์การไหลในท่อ

ที่มา: กิริติ (2537)

อัตราการไหล

$$Q = A_1 V_1 = A_2 V_2 \tag{12}$$

จากภาพที่ 12 จะเกิดการสูญเสียพลังงานระหว่างหน้าตัดที่ 1 กับหน้าตัดที่ 2 ดังสมการต่อไปนี

$$\frac{P_1}{\gamma} + \frac{V_1^2}{2g} + Z_1 = \frac{P_2}{\gamma} + \frac{V_2^2}{2g} + Z_2 + h_f \quad (13)$$

การสูญเสียหลักถูกแบ่งออกเป็นช่วงการไหลแบบราบเรียบ (Laminar Flow) กับช่วงการไหลแบบปั่นป่วน (Turbulent Flow) ซึ่งมีค่าดังนี้

ตารางที่ 6 ชนิดของการไหลในท่อ

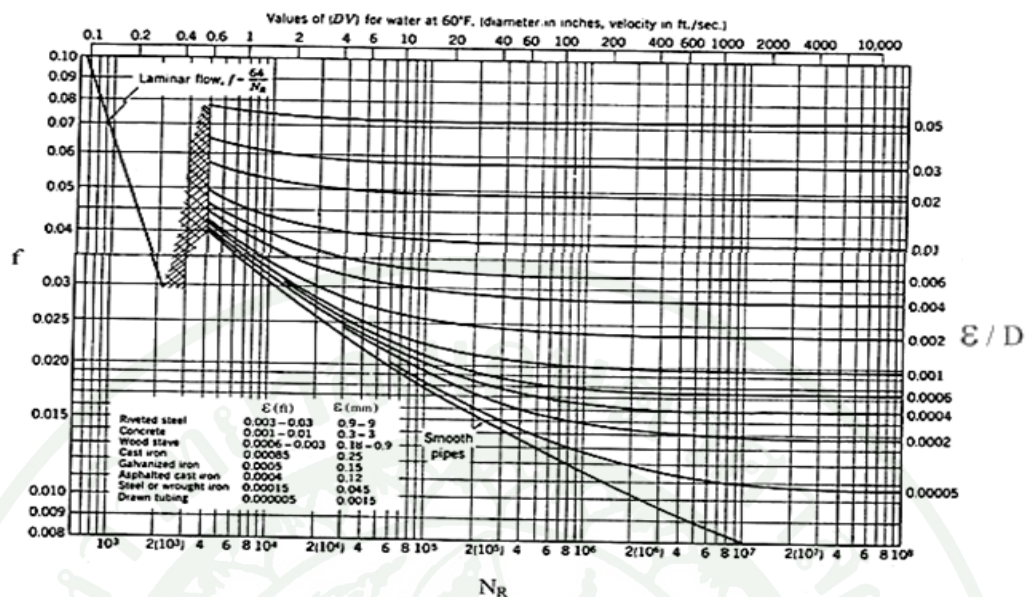
ชนิดของการไหลในท่อ	Reynolds number
การไหลแบบราบเรียบ(laminar flow)	$N_R \leq 2000$
การไหลเปลี่ยนแปลง(transitional flow)	$2000 < N_R < 4000$
การไหลแบบปั่นป่วน(turbulent flow)	$4000 \leq N_R$

ที่มา: กิริติ (2537)

$$f = \frac{64}{N_R} \quad (14)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 \log \left[\frac{\varepsilon}{D} + \frac{2.51}{N_R \sqrt{f}} \right] \quad (15)$$

เพื่อให้่ายในการคำนวณค่าการสูญเสียพลังงาน L.F. Moody จึงได้สร้างแผนภาพ Moody ขึ้น



ภาพที่ 13 แผนภาพของ Moody สำหรับประมาณค่าในท่อ

ที่มา: กิริติ (2537)

วิธีการใช้แผนภาพ Moody's Diagram มีขั้นตอนดังนี้

- 1) หาค่า ϵ/D ซึ่งค่า ϵ จากชนิดของวัสดุที่ใช้ทำท่อ
- 2) ใช้ค่า R และ ϵ/D ที่คำนวณได้หาค่า f จากแผนภาพ Moody
- 3) นำค่า f ไปแทนค่าในสมการที่ 7

การคำนวณหาการสูญเสียพลังงานในท่อยังสามารถหาได้จากสูตรของ Hazen-Williams คือ

$$V = 0.85 \times C_{HW} \times D^{0.63} \times S^{0.54} \quad (16)$$

โดย V = ความเร็วของการไหล (m/s)
 C_{HW} = ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-Williams
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ (m)
 S = ลาดเชิงชลศาสตร์

ตารางที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์ของ Hazen-Williams

สัมประสิทธิ์ของสูตร Hazen-Williams	C _{HW}
ท่อเหล็กยาวและเรียบมาก, ท่อซีเมนต์ใยหิน	140
ท่อเหล็กเรียบ, ท่อคอนกรีต, ท่อเหล็กหล่อใหม่	130
ท่อไม้คาค, ท่อเหล็กเชื่อมต่อกันใหม่	120
ท่อดินเผา, ท่อเหล็กหมุดยั่ว	110
ท่อเหล็กหล่อเก่า	100
ท่อเหล็กหมุดยั่วเก่า	95
ท่อเหล็กเก่าๆในสภาพค่อนข้างแย่มาก	60-80

ที่มา: สุรวุฒิ (2526)

การทำสมดุลของน้ำ

ซูลิต (2532) ได้อธิบายถึงการทำสมดุลของน้ำ (Water Balance) ว่าเป็นการหาปริมาณน้ำที่คงเหลืออยู่ในอ่างเก็บน้ำในช่วงเวลาหนึ่งๆสามารถอธิบายได้โดยสมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation)

$$S_t = S_{t-1} + I_t - O_t - E_t - L_t \quad (17)$$

โดย	S_t	คือปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในอ่างเก็บน้ำปลายช่วงเดือน t
	S_{t-1}	คือปริมาณน้ำที่เหลืออยู่ในอ่างเก็บน้ำปลายช่วงเดือน t-1
	I_t	คือปริมาณน้ำที่ไหลเข้าอ่างเก็บน้ำในช่วงเดือน t
	O_t	คือปริมาณน้ำที่ปล่อยออกจากอ่างเก็บน้ำในช่วงเดือน t
	E_t	คือปริมาณน้ำที่ระเหยไปในช่วงเดือน t
	L_t	คือระยะเวลาจาก i-1 ถึง i

ข้อกำหนดของการปล่อยน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำมีดังนี้

1) ข้อกำหนดด้านชลประทานการปล่อยน้ำในช่วงเดือนใดๆ ต้องปล่อยน้ำมากกว่าหรือเท่ากับความต้องการน้ำเพื่อการชลประทานถ้าปล่อยน้ำน้อยกว่านี้จะถือว่าขาดน้ำ

$$Q_{t+1} \geq \text{Irrigation Water Demand}$$

2) ข้อกำหนดปริมาณน้ำเก็บกักต่ำสุดอ่างเก็บน้ำหนึ่งๆ จะมีระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด ซึ่งจะคงไม่ให้ระดับน้ำต่ำกว่าระดับนี้ ถ้าอ่างเก็บน้ำนั้นติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจะคงเหลือน้ำเก็บกักไม่ต่ำกว่าปริมาณที่เครื่องกังหันน้ำสามารถเดินเครื่องได้

$$S_n \geq S_{\min}$$

3) ปริมาณน้ำเก็บกักสูงสุดอ่างเก็บน้ำหนึ่งๆ จะมีระดับน้ำเก็บกักสูงสุด ซึ่งจะไม่ให้ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำสูงกว่าระดับนี้ และจะต้องเผื่อไว้สำหรับกรณีรับน้ำหลากเพื่อบรรเทาปัญหาอุทกภัย

$$S_n \leq S_{\max}$$

4) ข้อกำหนดด้านพลังงานไฟฟ้าอ่างเก็บน้ำที่ติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า จะสามารถผลิตไฟฟ้าไม่มากกว่าความสามารถสูงสุดที่อธิบายได้โดยกำลังผลิตติดตั้งคูณด้วยตัวประกอบใดๆ

$$E_n \leq E_{\max}$$

ทฤษฎีทางไฟฟ้า

1. ระบบไฟฟ้ากำลัง (Electrical Power System)

ระบบไฟฟ้ากำลังหมายถึงระบบการผลิตไฟฟ้าการส่งกำลังไฟฟ้าและการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าการศึกษาในระบบไฟฟ้ากำลังรวมถึงการทำงานของระบบกำลังอุปกรณ์และการควบคุมระบบมีดังนี้

1.1 ระบบการผลิตไฟฟ้า

การผลิตไฟฟ้าเพื่อให้เพียงพอต่อการใช้ไฟฟ้าของประชาชนนั้น ได้อาศัยโรงไฟฟ้าที่เป็นส่วนสำคัญที่สุดในระบบไฟฟ้ากำลังโรงไฟฟ้าประกอบด้วย

- 1) ส่วนที่ผลิตกระแสไฟฟ้า
- 2) ส่วนลานไกไฟฟ้า
- 3) ส่วนป้องกันการเดินเครื่องและการควบคุมไฟฟ้า

1.2 ระบบการส่งกำลังไฟฟ้า

ทำหน้าที่ส่งพลังงานไฟฟ้าจากโรงไฟฟ้าไปยังสถานีย่อยประกอบมี 2 ระบบดังนี้

- 1) ระบบสายส่งเหนือศีรษะ (Overhead Line System)
- 2) ระบบสายส่งฝังใต้ดิน (Underground Cable System)

ระบบการส่งกำลังไฟฟ้ามีจุดมุ่งหมายหลักๆ ดังนี้

- 1) เพื่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตต่างไปยังผู้ใช้
- 2) เพื่อส่งผ่านพลังงานไฟฟ้าจากแหล่งผลิตต่างๆ ไปยังจุดศูนย์กลางการจ่ายโหลด
- 3) เพื่อเชื่อมโยงระบบไฟฟ้าจากระบบหนึ่งเข้ากับอีกระบบหนึ่ง (Tie Line)

กล่าวโดยสรุประบบส่งกำลังไฟฟ้าทำหน้าที่นำกำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จากแหล่งผลิตไฟฟ้าไปยังผู้ใช้ไฟฟ้าทุกแห่งที่มีอยู่ในเขตบริการของการไฟฟ้า ดังนั้น ในการศึกษาความเหมาะสมของโครงการโรงไฟฟ้าต่างๆ จึงต้องมีการพิจารณาความเหมาะสมของการก่อสร้าง หรือขยายระบบส่งกำลังไฟฟ้าที่จะต้องดำเนินการให้สอดคล้องกันด้วย

1.3 ระบบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้า

ระบบการจำหน่ายกำลังไฟฟ้าก็เป็นส่วนหนึ่งในระบบไฟฟ้ากำลัง ซึ่งระบบนี้จะมีการไฟฟ้าฝ่ายจำหน่ายทำหน้าที่จำหน่ายกำลังไฟฟ้าให้ผู้ใช้ไฟฟ้าโดยตรง

ระบบจำหน่ายกำลังไฟฟ้าจะขึ้นอยู่กับสถานะของระบบไฟฟ้าในช่วงระยะเวลาหนึ่ง ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลา ถึงแม้ระบบไฟฟ้าจะอยู่ในภาวะที่เรียกว่า Steady state แล้วก็ตาม ทั้งนี้เป็นไปตามสภาพของการผลิต และการจ่ายกำลังไฟฟ้าซึ่งเป็นไปตามความต้องการของผู้ใช้ไฟฟ้าในขณะนั้นๆ และขีดความสามารถในการใช้งานของสายจำหน่ายไฟฟ้าไม่ได้จำกัดเพียงเฉพาะการใช้งานในสถานะปกติเท่านั้น ยังต้องคำนึงถึงภาวะการใช้งานทั้งในขณะ และหลังจากเกิดข้อขัดข้องในส่วนต่างๆ ของระบบไฟฟ้าด้วย โดยเฉพาะในช่วงที่ระบบไฟฟ้ากำลังมีการปรับตัวเองทันทีเมื่อเกิดเหตุไม่ปกติ หรือเกิดข้อขัดข้อง หรือในระบบไฟฟ้า หรือการเปลี่ยนแปลงสถานะของระบบไฟฟ้าอย่างกะทันหัน เนื่องจากการตัดตอนวงจรไฟฟ้า ในภาวะทั้งขณะที่ระบบไฟฟ้ากำลังอยู่ในช่วงเวลาปรับตัวเอง หรือหลังจากช่วงเวลาดังกล่าวนี้แล้ว ขีดความสามารถของระบบไฟฟ้าจะต้องทำให้ระบบไฟฟ้าคงเสถียรภาพอยู่ต่อไป หรือไม่ทำให้เกิดเหตุการณ์ลุกลามจนเกิดไฟฟ้าดับไปทั้งระบบ

สมการที่เกี่ยวข้องกับการจำหน่ายกำลังไฟฟ้ามีดังนี้

1) การคำนวณกำลังไฟฟ้าใช้จริงของหม้อแปลงไฟฟ้าที่สามารถจ่ายโหลดได้

$$P = S \times \cos \phi \quad (18)$$

โดย	P	=	กำลังไฟฟ้าที่ใช้จริง (KW)
	S	=	กำลังไฟฟ้าปรากฏ (KVA)
	$\cos \phi$	=	มุมของหม้อแปลง 0.85

2) การคำนวณกำลังไฟฟ้าด้านกลับของหม้อแปลง

$$Q = S \times \sin \phi \quad (19)$$

เมื่อ $\sin \phi = \sin(\arccos 0.85)$

Q = กำลังไฟฟ้าด้านกลับ (KVar)

S = กำลังไฟฟ้าปรากฏ (KVA)

3) การคำนวณกำลังไฟฟ้าปรากฏและกระแสไฟฟ้าขาเข้าของหม้อแปลง

$$S = \sqrt{3} \times U \times I \times \cos \phi \quad (20)$$

$$I = \frac{S}{\sqrt{3} \times u \times \cos \phi} \quad (21)$$

โดย I = กระแสไฟฟ้า (A)

u = แรงดันไฟฟ้า (KV)

S = กำลังไฟฟ้าปรากฏ (KVA)

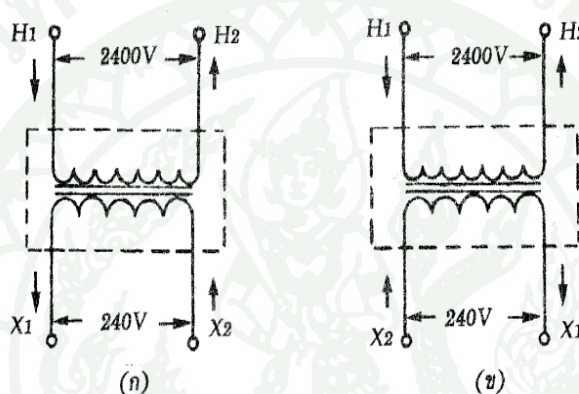
$\cos \phi$ = มุมของหม้อแปลง 0.85

2. การกำหนดขั้วและการต่อขานหม้อแปลงไฟฟ้า

2.1 การกำหนดขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า

ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้า หมายถึง จุดต่อหรือปลายของขดลวดที่นำออกมาจากตัวหม้อแปลงไฟฟ้า หลังจากพันเสร็จแล้วเพื่อจะนำไปใช้งานขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นสำคัญต่อการนำไปใช้งานเป็นอย่างมากโดยเฉพาะการนำไปใช้งานร่วมกันกับหม้อแปลงไฟฟ้าหลายๆ ตัวที่เรียกว่า การขนานหม้อแปลง ถ้าการกำหนดขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ถูกต้องแล้วเมื่อนำไปต่อใช้ร่วมงานกันก็จะทำให้เกิดความเสียหายกับตัวหม้อแปลงไฟฟ้านั้น ดังนั้น หลังจากที่พักหม้อแปลงไฟฟ้าเสร็จแล้วต้องกำหนดขั้วและการหาขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนที่จะนำไปใช้

การกำหนดขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าได้ถูกกำหนดโดยสมาคมผู้ผลิตสินค้าอุตสาหกรรมแห่งประเทศสหรัฐอเมริกา (U.S.A) โดยกำหนดขั้วด้านแรงต่ำและด้านแรงสูงเป็นรหัสกล่าวคือ ด้านแรงสูงจะกำหนดเป็น H และด้านแรงต่ำกำหนดขั้วเป็น X โดยกำหนดว่าเมื่อวางหม้อแปลงไฟฟ้าโดยหันแรงสูงออกจากตัวเราจะกำหนดด้านซ้ายมือเป็น H_1 และขวามือเป็น H_2 ส่วนแรงดันต่ำจะมีขั้วเป็นอย่างไรขึ้นอยู่กับวิธีการพันขดลวดว่าพันไปในทิศทางเดียวกันหรือพันไปในทิศทางตรงกันข้ามกับด้านแรงสูง ซึ่งเรียกว่า การจัดขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้านั้นเอง ซึ่งวิธีการหาของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยวิธีต่างๆ กัน



ภาพที่ 14 (ก) การจัดขั้วไปในทางบวกของหม้อแปลงไฟฟ้า
(ข) การจัดขั้วไปในทางลบของหม้อแปลงไฟฟ้า

ที่มา: วิทยาลัยแลมปี-เทค (ม.ป.ป.)

2.2 การหาขั้วหม้อแปลงไฟฟ้า

ในบางครั้งมีความจำเป็นจะต้องนำเอาหม้อแปลงหลายๆ ตัวมาต่อเข้าด้วยกัน เรียกว่า การต่อแบบขนานของหม้อแปลงไฟฟ้าเข้าด้วยกัน ซึ่งจะต้องมีวิธีการต่อที่ถูกต้องมิฉะนั้นอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่หม้อแปลงไฟฟ้าได้นั้น ก็จะต้องหาขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าก่อนว่าแต่ละตัวนั้นมีขั้วเหมือนหรือต่างกันอย่างไร ขั้วหม้อแปลงไฟฟ้ามีอยู่ 2 ชนิด คือ การจัดขั้วไปในทางบวก (Additive Polarity) หรือการจัดขั้วต่างกัน (Opposite Polarity) และการจัดขั้วไปในทางลบ (Subtractive Polarity) หรือการจัดขั้วเหมือนกัน (same Polarity) การจัดขั้วไปในทางบวก หมายถึง ขั้วทางด้านซ้ายมือของขดลวดด้านแรงต่ำจะเป็น X_2 และด้านขวามือจะเป็น X_1 การจัดขั้วไปในทางลบ

หมายถึงขั้วทางด้านซ้ายมือของขดลวดด้านแรงต่ำจะเป็นขั้ว X_1 และด้านขวามือจะเป็น X_2 ซึ่งจะมีวิธีการหาขั้วหม้อแปลงไฟฟ้าดังนี้

2.2.1 การใช้กระแสไฟฟ้าสลับตรวจสอบซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

1) วางหม้อแปลงไฟฟ้าโดยหันด้านแรงสูงออกจากตัวเราโดยกำหนดขั้วด้านซ้ายมือเป็น H_1 และขวามือเป็น H_2

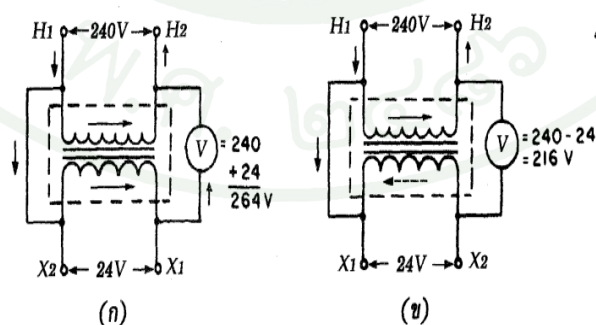
2) กำหนดขั้วด้านแรงต่ำเป็น X (ยังไม่กำหนดหมายเลข)

3) ต่อขั้ว H_1 เข้ากับขั้ว X ที่อยู่ตรงกันข้าม

4) ต่อโวลต์มิเตอร์คร่อมระหว่างขั้ว H_2 กับ X ที่อยู่ตรงกันข้าม

5) ป้อนแรงดันไฟฟ้าเข้าทางด้านแรงสูงตามพิกัด

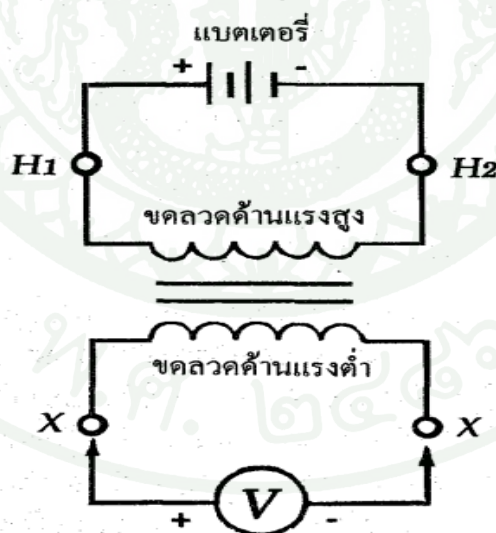
6) อ่านค่าแรงดันไฟฟ้าจากโวลต์มิเตอร์ถ้าค่าที่อ่านได้เท่ากับผลรวมของแรงดันไฟฟ้าทั้งสองด้านแสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีการจัดขั้วไปทางบวกถ้าค่าที่อ่านได้เท่ากับผลต่างของแรงดันไฟฟ้าทั้งสองด้านแสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีการจัดขั้วไปในทิศทางลบ



ภาพที่ 15 การหาขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้าสลับ

2.2.2 การใช้ไฟฟ้ากระแสตรงตรวจสอบซึ่งมีขั้นตอนดังนี้

- 1) การวางหม้อแปลงไฟฟ้าโดยหันด้านแรงดันสูงออกจากตัวเราโดยกำหนดขั้วด้านซ้ายมือเป็น H_1 และขวามือเป็น H_2
- 2) กำหนดขั้วด้านแรงต่ำเป็น X (ยังไม่กำหนดหมายเลข)
- 3) ต่อโวลต์มิเตอร์คร่อมระหว่าง X ทั้งสองด้านแรงต่ำ
- 4) ป้อนแรงดันไฟฟ้ากระแสตรงเข้าทางด้านแรงสูงเพียงเล็กน้อย
- 5) สังเกตการบ่ายเบนของเข็มมิเตอร์ถ้าเข็มบ่ายเบนไปทางขวามือหรือตามเข็มนาฬิกาแสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีการจัดขั้วไปในทางลบหรือจัดขั้วเหมือนกันถ้าเข็มบ่ายเบนไปทางซ้ายมือหรือทวนเข็มนาฬิกาแสดงว่าหม้อแปลงไฟฟ้ามีการจัดขั้วไปในทางบวกหรือจัดขั้วต่างกัน



ภาพที่ 16 การหาขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าโดยใช้ไฟฟ้าสลับ

2.3 การต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

ด้วยเหตุที่ความต้องการใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้ใช้ไฟฟ้าได้เพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วบ่อยครั้งที่ทำให้ขนาดของหม้อแปลงในระบบจำหน่ายพลังงานไฟฟ้าเล็กกว่าขนาดของโหลด ดังนั้น เพื่อให้การส่งจ่ายไฟฟ้าเป็นไปได้อย่างต่อเนื่องและมีประสิทธิภาพ นอกจากจะเปลี่ยนขนาดของหม้อแปลงตัวใหม่ในระบบให้มีขนาดใหญ่กว่าขนาดของโหลดแล้ววิธีแก้ปัญหาคือที่สุดทั้งประหยัดสะดวกและรวดเร็ว น่าจะเป็นการชดเชยกำลังส่วนที่เพิ่มขึ้นของโหลดด้วยการนำหม้อแปลง ตั้งแต่หนึ่งตัว 2 ตัว หรือหลายตัว มาต่อขนานเข้าด้วยกันกับหม้อแปลงตัวเดิมในระบบ

สถานะที่จำเป็นจะต้องมีการต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้า อาจจำแนกได้ ดังนี้

2.3.1 หยุดซ่อมแซมบำรุงรักษาหม้อแปลงไฟฟ้า

หม้อแปลงไฟฟ้าที่ถูกนำไปใช้ให้เกิดประโยชน์อย่างมีประสิทธิภาพนั้น ควรจะต้องให้มีช่วงเวลาการหยุดไม่มีการขัดข้องหยุดชะงักในขณะที่ส่งกำลังไฟฟ้าอันจะเป็นผลทำให้เกิดความเสียหายแก่หม้อแปลงไฟฟ้าเอง รวมถึงผลเสียหายที่จะเกิดขึ้นในด้านอื่น โดยเฉพาะในด้านเศรษฐกิจของผู้ใช้ไฟฟ้าที่มีความต้องการใช้ปริมาณกระแสเป็นจำนวนมาก ดังนั้น ก่อนที่จะนำหม้อแปลงไฟฟ้าที่ต่อขนานกันอยู่ออกมาซ่อมบำรุงรักษา จำเป็นจะต้องนำหม้อแปลงไฟฟ้าตัวอื่นที่ใช้งานได้มาต่อพ่วงหรือต่อขนานเข้าไปแทนเพื่อช่วยในการจ่ายกำลังได้ต่อไป

2.3.2 เพิ่มประสิทธิภาพในการทำงานของหม้อแปลงไฟฟ้า

ในกรณีที่ใช้พลังงานไฟฟ้าของผู้บริโภคมีการเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาการใช้พลังงาน อาจจะสูงบ้างต่ำบ้างจะขึ้นอยู่กับช่วงเวลา เช่น ในเวลาเช้าการใช้โหลดจะมีค่าต่ำและจะมีค่าสูงในตอนเย็นในการใช้หม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการจ่ายกำลังสูงแต่นำไปจ่ายโหลดที่มีค่าเพียงเล็กน้อยจะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้าต่ำ และยังให้สิ้นเปลืองพลังงานโดยสูญเปล่า แต่ถ้านำหม้อแปลงไฟฟ้าสองตัวที่มีพิกัดการจ่ายใกล้เคียงกันมาต่อขนานเข้าด้วยกัน เพื่อจ่ายโหลดที่มีพิกัดใกล้เคียงกับอัตราส่วนการจ่ายกำลังไฟฟ้าสูงของหม้อแปลงไฟฟ้า จะทำให้ประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้ามีค่าสูง นอกจากนี้ ยังสามารถลดค่าการบำรุงรักษาของหม้อแปลงไฟฟ้าเองด้วยเพราะถ้าเป็นขนาดเล็กสามารถประหยัดได้มากกว่าเครื่องที่มีขนาดใหญ่

2.3.3 ลดต้นทุนในการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าตัวใหม่ที่มีขนาดใหญ่กว่าเดิม

การขยายโรงจักรไฟฟ้า เมื่อความต้องการในการใช้กระแสไฟฟ้ามีปริมาณมากขึ้นกว่าเดิม จำเป็นจะต้องขยายกำลังการผลิตกระแสไฟฟ้าการติดตั้งหม้อแปลงไฟฟ้าตัวใหม่ที่มีพิกัดการจ่ายกำลังสูงขึ้นตามความต้องการจะทำให้สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายเป็นจำนวนมากกว่าการนำหม้อแปลงไฟฟ้าตัวใหม่ที่มีพิกัดเท่ากัน หรือใกล้เคียงกันมาต่อพ่วง หรือต่อขนานเข้าด้วยกัน เพราะราคาต้นทุนของหม้อแปลงไฟฟ้าที่พิกัดต่ำจะประหยัดได้มากกว่าหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีพิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าที่สูงมาก

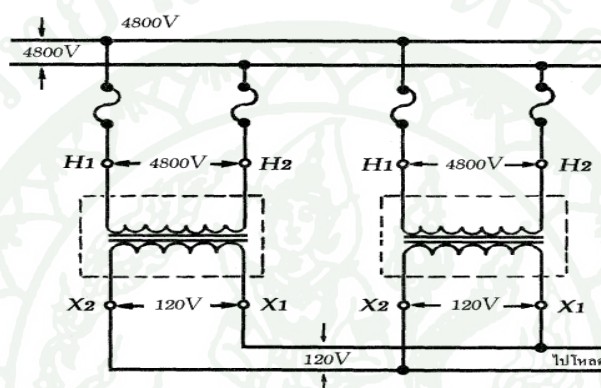
2.3.4 หลักการเบื้องต้นของการต่อขนาน

การต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้า คือ การนำหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีพิกัดการจ่ายกำลังไฟฟ้าใกล้เคียงหรือเท่ากันตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป มาต่อพ่วงหรือต่อขนานเข้าในวงจรไฟฟ้าเดียวกัน เพื่อช่วยในการจ่ายกำลังไฟฟ้าหรือกระแสไฟฟ้าให้กับ โหลด หรือเครื่องใช้ไฟฟ้าในภาวะที่หม้อแปลงไฟฟ้าตัวเดิมไม่สามารถจ่ายกำลังไฟฟ้าเพิ่มขึ้นได้อีกหรือในภาวะอื่นๆ ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว เนื่องจากหม้อแปลงไฟฟ้าได้กำเนิดแรงเคลื่อนไฟฟ้าออกมาเป็นรูปคลื่นไซน์ ดังนั้น ก่อนที่จะทำการต่อขนานหม้อแปลงเข้าด้วยกันจะต้องทำให้หม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองอยู่ในสภาพที่พร้อมสมบูรณ์ 3 ประการ ดังนี้

- 1) แรงเคลื่อนไฟฟ้าที่ขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองจะมีค่าเท่ากัน ถ้าไม่เท่ากันตัวที่มีค่าต่ำจะกลายเป็นโหลด
- 2) เพอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองจะเท่ากันถ้าไม่เท่ากันตัวที่มีค่าต่ำจะกลายเป็นโหลด
- 3) ลำดับขั้วของหม้อแปลงไฟฟ้าจะต้องเหมือนกันถ้าไม่เหมือนกันจะเกิดการลัดวงจร

ข้อควรจำ

หลักการปฏิบัติดังกล่าวจะต้องยึดอย่างเคร่งครัดจะขาดหลักอย่างใดอย่างหนึ่งไม่ได้ เช่น จากภาพที่ 17 จะเป็นการต่อขนานหม้อแปลงหนึ่งเฟสสองตัวเข้าด้วยกันขั้ว H_1 และ H_2 จะต่อเข้ากับสายไฟฟ้าแรงสูงส่วนขั้ว X_1 และ X_2 จะต่อเข้าด้วยกันแล้วต่อปลายออกจากจุดรวมของ X_1 และ X_2 ไปหาโหลดภายนอก



ภาพที่ 17 วงจรต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

2.4 วิธีการต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้า

การต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้าจะสามารถกระทำได้โดยนำหม้อแปลงไฟฟ้าเฟสเดียว 2 ตัว จะมีขั้วเหมือนกันหรือต่างกันได้ เช่น อาจจะเป็นหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการจัดขั้วไปในทางบวก หรือหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีการจัดขั้วไปในทางลบทั้งสองตัวอย่างละ 1 ตัวก็ได้แต่ต้องอยู่ในเงื่อนไขทั้ง 3 ข้อ แล้วนำมาต่อเข้าด้วยกันโดยต่อขั้วที่เหมือนกันเข้าด้วยกันเป็นต้น

ถ้าการต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้าไม่ถูกต้องหรือไม่เป็นไปตามกฎจะทำให้กระแสจำนวนมากไหลในวงจร ซึ่งอาจทำให้เกิดความเสียหายแก่หม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองได้ ถ้าไม่มีอุปกรณ์ป้องกันที่ดีพอประสิทธิภาพของเครื่องจักรไฟฟ้าต่างๆ หรืออุปกรณ์ไฟฟ้าหรือหม้อแปลงไฟฟ้าจะเท่ากับอัตราส่วนกำลังเอาต์พุตและกำลังอินพุตซึ่งกำลังนี้จะต้องเป็นกำลังไฟฟ้าจริงไม่ใช่กำลังไฟฟ้าปรากฏหรือกำลังไฟฟ้าต้านกลับ สมการที่ใช้ในการคำนวณหาประสิทธิภาพของหม้อแปลงไฟฟ้า หรือเครื่องจักรไฟฟ้าอื่นๆ จะเป็นดังนี้

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}} \times 100\% \quad (22)$$

ในการต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้า ถ้าไม่สามารถตรวจสอบหาข้อผิดพลาด หรือยังไม่ได้ตรวจสอบหาข้อผิดพลาดต่อขนานหม้อแปลงไฟฟ้าได้โดยมีขั้นตอน ดังต่อไปนี้

2.4.1 ต่อหม้อแปลงตัวหนึ่งให้อยู่ในลักษณะที่ใช้งานจริงๆ

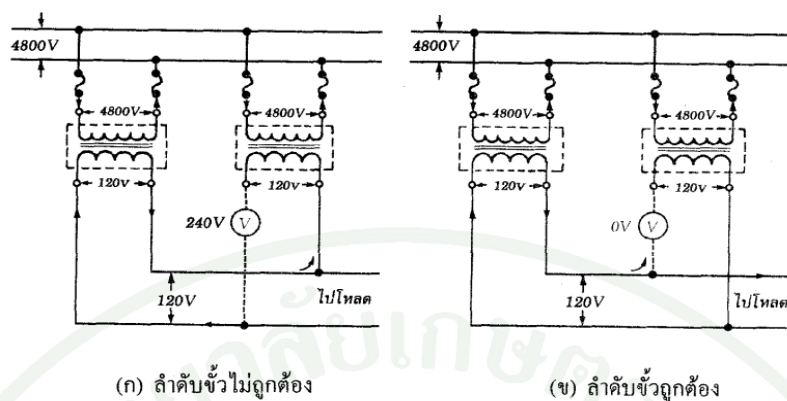
2.4.2 ต่อหม้อแปลงไฟฟ้าตัวที่สองให้อยู่ในลักษณะที่ใช้งานจริงๆ เช่นเดียวกันแต่แยกกัน

2.4.3 ต่อปลายเส้นหนึ่งของขดลวดทุติยภูมิตัวที่สองเข้ากับปลายเส้นหนึ่งของขดลวดทุติยภูมิตัวที่หนึ่ง

2.4.4 ต่อปลายเส้นอีกหนึ่งที่เหลือของขดลวดทุติยภูมิเข้าด้วยกันโดยผ่านโวลต์มิเตอร์

2.4.5 ถ้าโวลต์มิเตอร์ที่อ่านค่าได้มีค่าเป็นสองเท่าของขดลวดทุติยภูมิแสดงว่าลำดับของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองตัวไม่เหมือนกันจะต่อขนานกันไม่ได้

2.4.6 ถ้าโวลต์มิเตอร์ที่อ่านค่าได้มีค่าเป็นศูนย์แสดงว่าลำดับของหม้อแปลงไฟฟ้าทั้งสองตัวเหมือนกันจะต่อขนานกันได้



ภาพที่ 18 การตรวจสอบลำดับขั้วเพื่อการขนาน

2.5 หลักการขนานหม้อแปลง

หลักการการขนานหม้อแปลงประกอบด้วยหลักการดังต่อไปนี้

- 1) ค่าเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์ Maximum MVA base ควรจะเท่ากัน
- 2) ค่า Voltage ratio ของแต่ละ tap ควรจะเท่ากัน
- 3) จำนวน tap ต้องเท่ากัน
- 4) Polarity ต้องเหมือนกัน
- 5) Vector group ต้องเหมือนกัน

ตั้งข้อสมมุติฐาน

ตัวอย่าง 1 กรณีขนานหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์เท่ากันซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

- ให้หม้อแปลงตัวที่ 1 มีข้อกำหนดดังนี้

100 MVA 115/22 KV Dy1%imp=10% at 100 MVA base

- ให้หม้อแปลงตัวที่ 2 มีข้อกำหนดดังนี้

50 MVA 115/22 KV Dy1%imp=10% at 50 MVA base

หาค่า Impedance ของหม้อแปลงตัวที่1

$$imP_1 = \frac{KV^2}{MVA_{1base}} \times Pu_{imp.1} = \frac{22^2}{100} \times \frac{10}{100} = j0.484OHM$$

หาค่า Impedance ของหม้อแปลงตัวที่2

$$imP_2 = \frac{KV^2}{MVA_{2base}} \times Pu_{imp.2} = \frac{22^2}{50} \times \frac{10}{100} = j0.968OHM$$

เพราะฉะนั้นหม้อแปลงตัวที่1 จ่ายโหลดเท่ากับ

$$MVA_1 = \frac{0.968}{0.484 + 0.968} \times 150 = 100MVA$$

เพราะฉะนั้นหม้อแปลงตัวที่2 จ่ายโหลดเท่ากับ $MVA_2 = 150 MVA - 100 MVA = 50 MVA$ ซึ่งหม้อแปลงทั้งสองตัวจะจ่ายโหลดได้เต็มพิกัดพอดีและจ่ายโหลดรวมได้ 100 % เต็ม

ตัวอย่าง 2 กรณีขนานหม้อแปลงไฟฟ้าที่มีเปอร์เซ็นต์อิมพีแดนซ์เท่ากันซึ่งมีข้อกำหนดดังนี้

- ให้หม้อแปลงตัวที่1มีข้อกำหนดดังนี้

100 MVA 115/22 KV Dy1%imp=12% at 100 MVA base

- ให้หม้อแปลงตัวที่2มีข้อกำหนดดังนี้

50 MVA 115/22 KV Dy1%imp=10% at 50 MVA base

หาค่า Impedance ของหม้อแปลงตัวที่1

$$imP_1 = \frac{KV^2}{MVA_{1base}} \times Pu_{imp.1} = \frac{22^2}{100} \times \frac{12}{100} = j0.581OHM$$

หาค่า Impedance ของหม้อแปลงตัวที่ 2

$$imP_2 = \frac{KV^2}{MVA_{2base}} \times Pu_{imp.2} = \frac{22^2}{100} \times \frac{10}{100} = j0.968 OHM$$

เพราะฉะนั้นหม้อแปลงตัวที่ 1 จ่ายโหลดเท่ากับ

$$MVA_1 = \frac{0.968}{0.581 + 0.968} \times 150 = 93.74 MVA$$

เพราะฉะนั้นหม้อแปลงตัวที่ 2 จ่ายโหลดเท่ากับ $MVA_2 = 150 - 93.74 = 56.26 MVA$

จะเห็นได้ว่าหม้อแปลงตัวที่สอง จ่ายโหลดเกินพิกัด 50 MVA เพื่อที่จะไม่ให้หม้อแปลงตัวที่สองจ่ายโหลดเกิน

สมมติให้จ่ายโหลดเต็มพิกัดพอดี ดังนั้น หม้อแปลงตัวที่หนึ่งและตัวที่สองจะต้องจ่ายโหลดรวมกันได้น้อยกว่า 150 MVA โดยคิดได้ดังนี้จากหม้อแปลงตัวที่สอง

$$\frac{0.968}{0.581 + 0.968} \times MVA = 50 MVA$$

เพราะฉะนั้นหม้อแปลงทั้งสองตัวจ่ายโหลดรวมเท่ากับ 133.3 MVA

$$\text{ซึ่งหม้อแปลงตัวที่หนึ่งจะจ่ายโหลด } MVA_1 = \frac{0.968}{0.581 + 0.968} \times 133.3 = 83.3 MVA$$

เพราะฉะนั้นหม้อแปลงทั้งสองตัวจะจ่ายโหลดรวมกันลดลงซึ่งจะจ่ายได้เหลือเพียง

$$\frac{133.3}{150} \times 100 = 88.86$$

ทฤษฎีเศรษฐศาสตร์ที่ใช้วิเคราะห์ความคุ้มค่าโครงการ

อดุล (2538) ได้กล่าวถึงการวิเคราะห์ความคุ้มค่าโครงการว่า หลังทำการศึกษาความเป็นไปได้ของโครงการในด้านต่างๆ เรียบร้อยแล้ว ก่อนการตัดสินใจดำเนินโครงการใดๆ จำเป็นต้องมีการวิเคราะห์โครงการ เพื่อตรวจสอบว่าผลตอบแทนจากการลงทุนในโครงการนั้นมีความคุ้มค่าหรือไม่และมากน้อยเพียงใด

1. ค่าใช้จ่ายของโครงการ

ค่าใช้จ่ายของโครงการ หมายถึง ค่าใช้จ่ายทั้งหมดที่ใช้ในโครงการเพื่อให้ได้ผลผลิตหรือผลประโยชน์ตอบแทนตามวัตถุประสงค์ของโครงการ สามารถแบ่งออกเป็นประเภทต่างๆ ดังนี้

1.1 ค่าใช้จ่ายขั้นต้น (Primary Costs) หมายถึง มูลค่าการใช้ทรัพยากรหรือปัจจัยการผลิตเพื่อการลงทุน เพื่อดำเนินงานและบำรุงรักษาโครงการ ค่าใช้จ่ายประเภทนี้จัดเป็นค่าใช้จ่ายโดยตรงของโครงการบางครั้งจึงมีการเรียกค่าใช้จ่ายประเภทนี้ว่าค่าใช้จ่ายทางตรง (Direct costs) ค่าใช้จ่ายขั้นต้นประกอบด้วย

1.1.1 ค่าลงทุน หมายถึง มูลค่าของการใช้ทรัพยากรไปเพื่อสร้างสิ่งอำนวยความสะดวกหรือเป็นฐานการผลิต ค่าใช้จ่ายประเภทนี้ประกอบด้วย

- 1) ที่ดินและสิ่งก่อสร้าง ซึ่งรวมถึงค่าซื้อที่ดิน ค่าเช่าที่ดินค่าทำถนน
- 2) ค่าอาคารและงานโยธา เช่น ค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้าและอื่นๆ
- 3) ค่าอุปกรณ์เครื่องกลและไฟฟ้า
- 4) ค่าวิชาชีพวิศวกรและที่ปรึกษาทางด้านการบริหารและวางแผน

1.1.2 ค่าดำเนินงานและบำรุงรักษา เป็นค่าใช้จ่ายในการดำเนินงานและบำรุงรักษาเพื่อให้โครงการดำเนินงานไปได้ตามปกติ ค่าใช้จ่ายประเภทนี้ประกอบด้วย

- 1) ค่าใช้จ่ายในการดำเนินงาน เช่น ค่าไฟฟ้า น้ำประปา ค่าใช้จ่ายเบ็ดเตล็ด
- 2) ค่าใช้จ่ายในการบริหาร เช่น เงินเดือนเจ้าหน้าที่ปฏิบัติงาน

1.2 ค่าใช้จ่ายขั้นรอง (Secondary Costs) หมายถึง ค่าใช้จ่ายอื่นๆ ที่เกิดขึ้นจากการมีโครงการ ซึ่งบางครั้งเรียกว่าค่าใช้จ่ายทางอ้อม ค่าใช้จ่ายประเภทนี้ จึงอาจจะประกอบไปด้วยค่าจ่ายทั้งในส่วนที่เกี่ยวข้องกับการป้องกันและแก้ไขผลกระทบสิ่งแวดล้อม และค่าใช้จ่ายทางเศรษฐกิจที่ทำให้ทรัพยากรเกิดการสูญเสีย

1.3 ค่าใช้จ่ายที่ไม่มีตัวตน (Intangible Costs) หมายถึง ค่าใช้จ่ายที่ตีค่าได้ยาก หรือไม่อาจจะตีค่าออกมาเป็นตัวเงินได้ แต่ค่าใช้จ่ายประเภทนี้ก็เป็นค่าใช้จ่ายที่โครงการก่อให้เกิดขึ้นจริงดังนั้นทางออกที่ดีที่สุดคือ ควรมีการระบุว่าโครงการนั้นๆ จะก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายประเภทนี้ด้วยซึ่งอาจจะระบุเป็นปริมาณของผู้ที่ได้รับผลกระทบ โดยไม่ต้องมีการคำนวณออกมาเป็นมูลค่า

2. ค่าใช้จ่ายที่ไม่ถือว่าเป็นค่าใช้จ่ายในการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐศาสตร์

มูลค่าที่เป็นตัวเงินของค่าใช้จ่ายเป็นมูลค่าทางเศรษฐศาสตร์ จะไม่นำเอาค่าภานี้นำเข้าภานีอื่นๆ ค่าดอกเบี้ยเงินกู้และค่าเงินเฟ้อมาคิดรวมด้วย เพื่อให้สะท้อนถึงการใช้ทรัพยากรอย่างแท้จริง สามารถอธิบายได้ดังนี้

2.1 ค่าภานีนำเข้า (Tax) ค่าภานีที่โครงการจ่ายให้แก่รัฐบาลไม่ว่าจะเป็นในรูปภานีทางตรงหรือภานีอื่นใดก็ตาม แม้จะมีการจ่ายเป็นภานีไปจริงก็ตาม แต่สำหรับการวิเคราะห์โครงการถือเป็นเพียงรายจ่ายโอนจากผู้ที่เกี่ยวข้องกับโครงการไปสู่รัฐบาล มิได้มีส่วนต่อการใช้ทรัพยากรจริงๆ ของโครงการแต่ประการใด ดังนั้น กรณีที่ค่าภานีได้มีการรวมไว้ในค่าใช้จ่ายทางการเงินของโครงการแล้ว ก็ต้องมีการหักรายการภานีออก

2.2 ค่าชำระหนี้ (Debt Service) ค่าชำระหนี้เป็นรายการโอนประเภทหนึ่งของโครงการ โดยเมื่อโครงการได้รับเงินกู้มา จะเป็นผลให้โครงการมีทุนหมุนเวียนเพื่อใช้จ่ายในการลงทุนและเมื่อต้องมีการชำระหนี้คืนในรูปดอกเบี้ยและเงินต้น ก็จะทำให้เงินทุนหมุนเวียนของโครงการลดน้อยลงแต่ในการวิเคราะห์โครงการโดยส่วนรวมทางเศรษฐกิจแล้ว รายการเงินกู้และการชำระหนี้จะเป็นเพียงรายการโอนกันในรูปแบบกระแสการเงินหรือในทางบัญชีการเงินเท่านั้น

2.3 ค่าเสื่อมราคา (Depreciation) ในการวิเคราะห์โครงการทางเศรษฐกิจ จะไม่รวมค่าเสื่อมราคาไว้เป็นส่วนหนึ่งของค่าใช้จ่ายของโครงการ

2.4 เงินสำรองจ่าย (Contingencies) ในทางเศรษฐศาสตร์นั้นจะคิดเฉพาะเงินสำรองจ่ายที่กันไว้เฉพาะรายการ และราคาที่เราคาดว่าจะมีการเปลี่ยนแปลง ไม่รวมถึงเงินสำรองจ่ายสำหรับเงินเพื่อ เพราะเงินเพื่อเป็นการเพิ่มราคาให้กับสินค้าโดยทั่วไป โดยกระทบราคาที่ใช้คำนวณต้นทุนและผลประโยชน์ในอัตราเดียวกัน

3. เกณฑ์การตัดสินใจเพื่อการลงทุน

ข้อมูลต้นทุนและผลประโยชน์ที่นำมาคำนวณหาค่าตัวชี้วัดความคุ้มค่าของโครงการที่โครงการใดมีความเหมาะสมที่จะลงทุนหรือไม่ ประกอบด้วยวิธีการหาค่าเวลาที่มี 3 วิธี ดังนี้

3.1 มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value, NPV) เป็นการหาผลรวมของมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายและผลประโยชน์ตอบแทนในช่วงเวลาต่างๆ ตลอดอายุโครงการ ผลรวมที่หาออกมาได้จะชี้ให้เห็นว่าโครงการนั้นจะให้ผลตอบแทนคุ้มค่าหรือไม่ สูตรการคำนวณมีดังนี้

$$NPV = \frac{\sum_{t=1}^n (B_t - C_t)}{(1+r)^t} \quad (23)$$

โดย B_t คือผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ 1, 2, 3, ..., n

C_t คือค่าใช้จ่ายของโครงการเริ่มตั้งแต่ปีที่ 1, 2, 3, ..., n

r คืออัตราดอกเบี้ย

t คืออายุโครงการ

n คืออายุสิ้นสุดโครงการ

การตัดสินใจ

ถ้า $NPV > 0$ หมายถึง การลงทุนมีความคุ้มค่าเพราะผลประโยชน์ของโครงการมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่ายโครงการ โครงการนี้สมควรลงทุน

ถ้า $NPV = 0$ หมายถึง ผลประโยชน์และค่าใช้จ่ายของโครงการที่ปรับมูลค่าปัจจุบันมีค่าเท่ากัน ดังนั้นการที่จะตัดสินใจลงทุนหรือไม่ย่อมได้ผลเหมือนกัน

ถ้า $NPV < 0$ หมายถึง ค่าใช้จ่ายโครงการมากกว่าผลประโยชน์ของโครงการ ดังนั้นโครงการนี้ไม่ควรลงทุน

3.2 อัตราผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (Benefit Cost Ratio, B/C Ratio) แสดงถึงอัตราผลส่วนระหว่างมูลค่าปัจจุบันของผลประโยชน์กับมูลค่าปัจจุบันของค่าใช้จ่ายตลอดอายุโครงการเกณฑ์ที่ใช้ในการตัดสินใจก็คือเลือกโครงการที่มีค่า B/C มากกว่า 0 ซึ่งหมายความว่าผลประโยชน์ที่ได้จากโครงการจะมีค่ามากกว่าค่าใช้จ่าย สูตรที่ใช้ในการคำนวณ

$$B/C = \frac{\sum_{t=1}^n \frac{B_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=1}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}} \quad (24)$$

โดย B_t คือผลประโยชน์ของโครงการในปีที่ 1, 2, 3, ..., n

C_t คือค่าใช้จ่ายของโครงการเริ่มตั้งแต่ปีที่ 1, 2, 3, ..., n

r คืออัตราดอกเบี้ย

t คืออายุโครงการ

n คืออายุสิ้นสุดโครงการ

การตัดสินใจเลือกควรเลือกโครงการที่มีค่า B/C เกิน 0 ซึ่งก็หมายความว่าผลประโยชน์ตอบแทนที่ได้รับของโครงการมีมากกว่าค่าใช้จ่ายของโครงการที่ต้องเสียไปหรือโครงการมีความคุ้มค่าต่อการลงทุน

ค่า B/C นี้มีจุดมุ่งหมายเพียงว่าโครงการนั้นมีความคุ้มค่าหรือไม่ แต่ไม่ได้หมายความว่าโครงการที่ค่า B/C สูงจะมีความคุ้มค่าการลงทุนมากกว่าโครงการที่มีค่า B/C ที่ต่ำกว่า สมควรใช้การพิจารณาอย่างอื่นประกอบด้วยเช่น NPV หรือ IRR

3.3 อัตราผลตอบแทนของโครงการ (Internal Rate of Return, IRR) คือ อัตราที่จะทำให้ผลตอบแทนและต้นทุนที่ได้คิดลดเป็นค่าในปัจจุบันแล้วเท่ากัน อัตราที่กล่าวถึงจึงเป็นอัตราความสามารถของเงินลงทุนที่จะก่อให้เกิดรายได้คุ้มกับเงินลงทุน

วิธีการคำนวณหาค่า IRR นี้ จะคล้ายกับวิธีหามูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV) จะต่างกันที่จะต้องทำการทดลองหาค่าอัตราส่วนลด ที่ทำให้ NPV ของโครงการมีค่าเป็นศูนย์ (0) ในทางปฏิบัติเพื่อให้การคำนวณหาค่า IRR ได้เร็วขึ้น อาจใช้วิธีการเพิ่มหรือลดค่าอัตราส่วนลด ซึ่งวิธีการหาค่า IRR มี 2 วิธีดังนี้

3.3.1 วิธี Trail&Error

$$\text{IRR คือค่า } r \text{ (อัตราส่วนลด) ที่ทำให้ } \sum_{t=1}^n \frac{(B_t - C_t)}{(1+r)^t} = 0 \quad (25)$$

3.3.2 วิธี Interpolation

$$IRR = r_L + (r_U - r_L) \left[\frac{NPV_L}{NPV_L - NPV_U} \right] \quad (26)$$

โดย r_L คือ อัตราส่วนลดตัวต่ำ

r_U คือ อัตราส่วนลดตัวสูง

NPV_L คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ใช้อัตราส่วนลดตัวต่ำ

NPV_U คือ มูลค่าปัจจุบันสุทธิที่ใช้อัตราส่วนลดตัวสูง

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

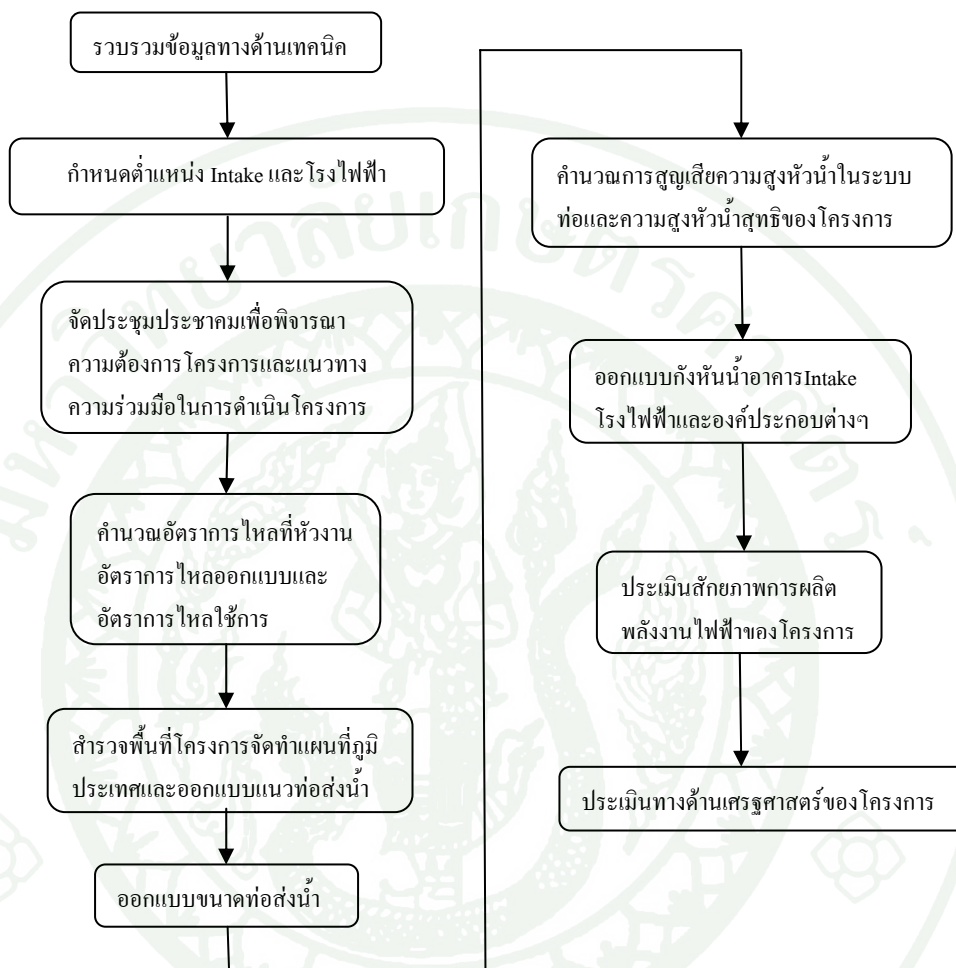
อุปกรณ์ที่นำมาใช้สำหรับเป็นเครื่องมือในการศึกษาความเป็นไปทางด้านเทคนิคและเศรษฐศาสตร์ของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมีดังนี้

1. เครื่องคอมพิวเตอร์
 - 1.1 ระบบปฏิบัติการ Microsoft Window XP
 - 1.2 หน่วยประมวลผลกลาง AMD
 - 1.3 หน่วยความจำ 4 GB
 - 1.4 ความจุของ Hard disk drive 460 GB
2. ข้อมูลอุทกวิทยา- อนุนิคมของโครงการที่ทำการศึกษา
3. ข้อมูลการปฏิบัติการของโครงการที่ทำการศึกษา
4. ข้อมูลค่าใช้จ่ายของโครงการและข้อกำหนดทางเศรษฐศาสตร์

วิธีการ

การศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ ของโครงการโรงไฟฟ้ากังหันน้ำขนาดเล็ก ห้วยกะเพอ มีขั้นตอนดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งประกอบด้วย การรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้อง กำหนดตำแหน่งของ Intake และโรงไฟฟ้า การคำนวณหาอัตราการไหลที่หัวงาน อัตราการไหลออกแบบ และอัตราการไหลใช้การ การสำรวจพื้นที่ ออกแบบแนวท่อและขนาดของท่อส่งน้ำ คำนวณการสูญเสียความสูงหัวน้ำ และหัวน้ำสุทธิของโครงการ คำนวณศักยภาพในการผลิตพลังงานไฟฟ้า แล้วประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์รวมทั้งจัดกองประชุมประชาคมในพื้นที่โครงการเพื่อเปิดโอกาสให้ประชาชน องค์กรบริหารส่วนท้องถิ่น และผู้ที่มีส่วนได้ส่วนเสีย ร่วมกันพิจารณาความเหมาะสมขององค์ประกอบโครงการ ซึ่งรายละเอียดกิจกรรมที่สำคัญมีดังนี้

แผนผังการดำเนินงาน



ภาพที่ 19 แสดงขั้นตอนการศึกษา

ที่ตั้งและความเป็นมาของโครงการ

1. ที่ตั้งของโครงการ

จากการศึกษาแผนที่มาตราส่วน 1:50,000 รหัสแผนที่ 6239 I และ V มาตราส่วน 1:100,000 และได้ลงสำรวจพื้นที่ จึงเห็นว่าจุดที่ตั้งโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กห้วยกะเเกตอนบนตั้งอยู่ระหว่างจุดสำรวจ 1,694,000 หา 1,699,000 เหนือ และ 623,000 หา 626,000 ตะวันตก ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของอำเภอเมืองเล่างาม ประมาณ 18 กิโลเมตร และตั้งอยู่ขอบเขตตำบลหนองจั่ว เหว้าหู้ สี่เชิงใหม่ และตำบลอื่นน้อย อำเภอเมืองเล่างาม จังหวัดสกลนคร ห่างจากจังหวัดสกลนครประมาณ 68 กิโลเมตร

2. ความเป็นมาของโครงการ

จังหวัดสกลนครเป็นจังหวัดหนึ่งที่นอนในภาคใต้ของ สปป.ลาว ซึ่งมีความอุดมสมบูรณ์ไปด้วยทรัพยากรธรรมชาติหลายชนิดด้วยกัน เป็นต้นจำพวกกลุ่มน้ำ มีปริมาณน้ำฝนมากมายโดยเฉพาะขอบเขตภูเพียงบริเวณและสายภูแดนแก้ว มีปริมาณน้ำฝน แต่ 2,000 หา 4,000 มิลลิเมตร ที่เหมาะแก่การสร้างโรงไฟฟ้าขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนไฟฟ้าเซต 1 เซต 2 เขื่อนห้วยเหาะ เขื่อนเซกะมาน และเขื่อนเซเปียน-เซินน้อย และโครงการอื่นๆ ที่กำลังทำการศึกษาอยู่ในปัจจุบัน นอกจากนี้ ก็มีโครงการไฟฟ้าขนาดเล็กห้วยกะเเก ซึ่งเป็นโครงการหนึ่งที่มีเงื่อนไขดีมากในการนำใช้น้ำจากธรรมชาติที่มีอยู่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด เพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าส่งมอบให้กับระบบตาข่ายของไฟฟ้าลาวให้มีประสิทธิภาพเพิ่มมากขึ้นรับประกันการใช้ไฟฟ้าในเขตตำบล อำเภอ และจังหวัด เพียงพอกับความต้องการ ด้วยความสำคัญและจำเป็นใช้พลังงานอำนาจการปกครองขึ้นตำบลไปถึงขึ้นอำเภอและจังหวัด จึงให้ความร่วมมือจากในการสำรวจออกแบบเพื่อพัฒนาโครงการไฟฟ้าขนาดเล็ก พร้อมทั้งทำการศึกษาผลกระทบด้านสิ่งแวดล้อมเบื้องต้น (IEE) ของโครงการโดยปฏิบัติตามระเบียบการกวดหมายต่างๆ และกฎหมายสากลที่เกี่ยวข้องปัจจุบันโครงการอยู่ระหว่างเสนอพัฒนาก่อสร้างภายในต้น (ปี พ.ศ.2555) และจะสำเร็จภายใน (ปี พ.ศ.2558)

ข้อมูลที่น่ามาเป็นกรณีในการศึกษา

1. เส้นทาง

ความยาว	11.4 Km
ความกว้าง	4.0 m
ปูด้วยหินแร่	

2. ก่อสร้างสายส่งไฟฟ้า

22KV15.6 Km Single circuit

3. อ่างเก็บน้ำห้วยกะเกอ (Reservoir)

พื้นที่รับน้ำฝนทั้งหมดเหนือที่ตั้งเขื่อน	24 Km ²
พื้นที่รับน้ำฝนรวมทั้งท้ายครองระบายน้ำโรงจัก	45 Km ²
ระดับน้ำเก็บกักปกติ	923.0 ม.รทก
ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด	914.0 ม.รทก
ความจุของเขื่อนที่ระดับเก็บกักปกติ	4.14x10 ⁶ m ³
ความจุของเขื่อนระดับต่ำสุด	1.07x10 ⁶ m ³
ปริมาตรน้ำมีประสิทธิผล	3.07x10 ⁶ m ³
ปริมาตรน้ำไหลเข้าอ่าง	1.57m ³ /s
ปริมาตรน้ำไหลเข้าอ่างต่อปี	49.51x10 ⁶ ลบ.ม
รวมน้ำในอ่างกับน้ำไหลเข้าต่อปี	52.58x10 ⁶ ลบ.ม
พื้นที่ผิวน้ำ	0.48 ตร.กม
ประปริมาณน้ำใช้ในปีประมาณ 70%	36.81x10 ⁶ ลบ.ม

4. เขื่อนปิดกั้นน้ำ (Saddle Dam)

ประเภท	เขื่อนดินถมมีแกนดินเหนียว
ระดับสันเขื่อน	928 ม.รทก
ระดับสันพังกั้นคั่น	929 ม.รทก
ความยาวสันเขื่อน	222.4 m
ความสูงสันเขื่อน	34 m
ความกว้าง	6 m

5. อาคารระบายน้ำ(Spillway)

ประเภทฝายสันมนไม่มีประตูควบคุม

ปริมาณน้ำระบายออกแบบ	222 m ³ /s
ความกว้างสันฝาย	22 เมตร
ระดับสันฝาย	923 ม.รทก
ระดับรางน้ำตก	882.09 ม.รทก
ความยาวรางน้ำตก	215 เมตร
ความลาดชัน	20 %

6. ตัวเขื่อน (Main Dam)

ระดับสันเขื่อน	928 ม.รทก
ความยาวสันเขื่อน	56.1 m
ความกว้างฐาน	26.41 m
ระดับฐานรับน้ำเข้าท่อความดัน	912 m
ขนาดประตูรับน้ำ	0.9x0.9 m
ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อความดัน	90 cm
ความยาวท่อแรงดัน	1798.24 m

7. โรงจักรไฟฟ้า

ข้อมูลนำมาคิดค่าพลังงานไฟฟ้า

ระดับน้ำเก็บกักปกติ	923.0 ม.รทก
ระดับน้ำเก็บกักต่ำสุด	914.0 ม.รทก
ระดับน้ำสูงสุดท้ายโรงจักร	638.72 ม.รทก
ระดับน้ำต่ำสุดท้ายโรงจักร	635.20 ม.รทก
ความจุของเขื่อนที่ระดับเก็บกักปกติ	4.14x10 ⁶ m ³
ความจุของเขื่อนต่ำสุด	1.07x10 ⁶ m ³
ปริมาณน้ำมีประสิทธิผล	3.07x10 ⁶ m ³
ปริมาณน้ำออกแบบ	2.24 m ³ /s
ความสูงน้ำตกสูงสุด	281.38 m
ความสูงน้ำตกต่ำสุด	251.38 m

ความสูงน้ำตกเฉลี่ย	266.38 m
ความสูงน้ำตกเอามาคิด	258.92 m
ชนิดกังหันแบบหัวสัดแกนนอน	(pellton turbine)
จำนวนเครื่องกังหัน	2 เครื่อง
กำลังติดตั้งเครื่องละ 2.5 MW	5 MW

8. ลักษณะทางอุทกวิทยา

พื้นที่รับน้ำฝนเหนือที่ตั้งเขื่อน	24 Km ²
ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ย	4,14x 10 ⁶ m ³ /s
ปริมาณน้ำนองสูงสุด	298 m ³ /s

9. ผลประโยชน์ที่จะได้จากโครงการ

9.1 เพื่อเป็นทางเลือกสำหรับผู้ผลิตไฟฟ้าเอกชนในการพิจารณาค่าก่อสร้างโรงไฟฟ้ากังหันน้ำขนาดเล็ก โดยคำนึงถึงกลไกการพัฒนาที่สะอาด (CDM)

9.2 รัฐบาลและองค์การบริหารมีรายได้จากภาษีสามารถนำไปพัฒนาท้องถิ่นได้

9.3 ทำให้มีการใช้ทรัพยากรน้ำเกิดประโยชน์สูงสุด

9.4 เพิ่มกำลังผลิตไฟฟ้าได้

9.5 ช่วยลดการลงทุนในการเสริมกำลังผลิตไฟฟ้าเพราะเป็นโครงการเงินลงทุนต่ำ

9.6 เป็นการผลิตพลังงานไฟฟ้าสะอาด

การดำเนินโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

1. การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของโครงการ

การกำหนดตำแหน่งที่ตั้งของ Intake และ โรงไฟฟ้าของโครงการมีขั้นตอนดังนี้

1) จัดหาข้อมูล จากแผนที่ มาตราส่วน 1:50,000 รหัสแผนที่ 6239 I และ V มาตราส่วน 1:100,000 ตั้งอยู่ระหว่างจุดลำพัด 1,694,000 หา 1,699,000 เหนือและ 623,000 หา 626,000 ตะวันออก ซึ่งอยู่ทางทิศใต้ของอำเภอเถาแกม จังหวัดสระบุรี ไปทางทิศใต้ ประมาณ 18 Km ของ กรมแผนที่แห่งชาติ

2) สร้างรูปตัดตามยาวของลำน้ำแล้วกำหนดตำแหน่งของ Intake และ โรงไฟฟ้าโดยเลือก ตำแหน่งของ Intake และ โรงไฟฟ้าที่มีระดับความสูงต่างกัน (ความสูงหัวน้ำ) ไม่น้อยกว่า 258.92 m ภายในช่วงของระยะความยาวท่อส่งน้ำทั้งหมด 1,798.24 m

3) การคัดเลือกโครงการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค เพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้า โดยพิจารณาความพร้อมทั้งทางด้านวิศวกรรม และด้านสังคมกล่าวคือ ประชาชนในพื้นที่โครงการ และองค์การปกครองส่วนท้องถิ่นต้องเห็นชอบและยินดีให้ความร่วมมือในการดำเนินงานโครงการ ดังนั้น เมื่อพิจารณาความพร้อมหลายๆ ด้านแล้ว จึงคัดเลือกโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ห้วยกะเพอ

2. การคำนวณอัตราการไหลจุดที่ตั้งของโครงการ

การคำนวณอัตราการไหลจุดที่ตั้งของโครงการซึ่งเป็นตำแหน่งของ Intake มีขั้นตอนดังนี้

1) รวบรวมข้อมูลปริมาณน้ำของสถานีวัดน้ำทำรายปี ที่เกี่ยวข้องกับพื้นที่โครงการ ซึ่งอยู่ในลุ่มน้ำห้วยกะเพอตอนบนมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 8

ตารางที่ 8 รายละเอียดสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	ชื่อสถานีวัดน้ำ	พื้นที่รับน้ำ (Km ²)	น้ำท่ารายปีเฉลี่ย (ล้าน m ³)
1	ห้วยปราชิว	0.6	0.85
2	ห้วยจะลา	5.65	7.96
3	ห้วยกะเพอ	24	33.81
4	ทั้งสามสถานีรวมกัน	30.25	42.61

2) วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (Q_M ล้าน ลบ.ม.) และพื้นที่รับน้ำฝน (A , ตร.กม.) ของสถานีวัดน้ำท่าต่างๆ โดยวิธี Linear regression จะได้ความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q_M = 1.414A^{0.998}; R^2 = 1 \quad (27)$$

3) หาขนาดพื้นที่รับน้ำฝนของโครงการจากแผนที่ DEM โดยพิจารณาพื้นที่รับน้ำที่ตำแหน่งของ Intake

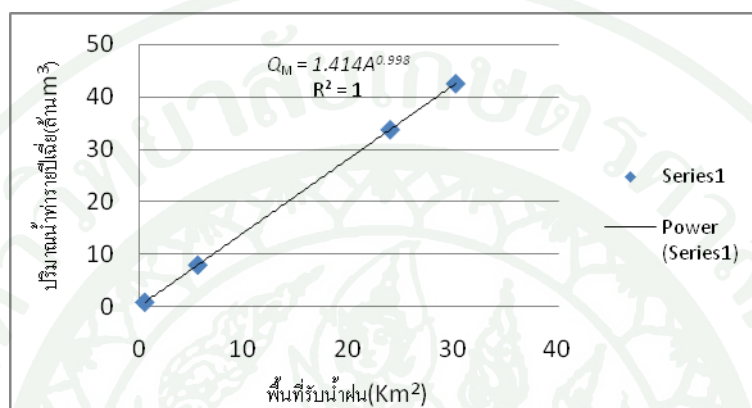
4) คำนวณหาปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของโครงการโดยแทนค่าพื้นที่รับน้ำฝนของโครงการในสมการที่ (27)

5) คัดเลือกสถานีวัดน้ำซึ่งเป็นสถานีวัดน้ำท่าที่อยู่ใกล้เคียงกับโครงการและมีสภาพภูมิประเทศคล้ายกับพื้นที่ของโครงการโดยคัดเลือกสถานีนั้นได้เลย

6) คำนวณหาอัตราการไหลรายเดือนอยู่จุดที่ตั้งโครงการ (ที่ห้วยงาน) โดยนำอัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ยของสถานีที่เลือกในข้อ (5) มาคูณด้วยค่าถ่วงน้ำหนักซึ่งเป็นสัดส่วนของปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของโครงการและปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานีที่เลือกมาได้ซึ่งมีความสัมพันธ์ดังนี้

$$Q = \frac{Q_M}{Q_{Mi}} Q_i \quad (28)$$

- โดย Q คือ อัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ยของโครงการ (m^3/s)
 Q_M คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของโครงการ (m^3/s)
 Q_{Mi} คือ ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยของสถานที่เลือกมา (m^3/s)
 Q_i คือ อัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ยของสถานที่เลือกมา (m^3/s)



ภาพที่ 20 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝน
ของสถานีวัดน้ำท่าที่คัดเลือก

3. การหาค่าอัตราการไหลใช้การรายเดือน

อัตราการไหลใช้การ (effective discharge) ในที่นี้หมายถึง อัตราการไหลที่จะป้อนเข้าสู่โรงไฟฟ้า ซึ่งโดยทั่วไป เมื่อสร้างฝายน้ำล้นปิดกั้นลำน้ำหรือสร้างอ่างพักน้ำอยู่ข้างลำน้ำ (head tank) ที่บริเวณ Intake ของโครงการจะไม่สามารถกักน้ำตามธรรมชาติไว้ได้ทั้งหมด คือต้องระบายปริมาณน้ำบางส่วนผ่านลงไปทางท้ายน้ำ กล่าวคือ ไม่สามารถจะส่งน้ำที่ไหลผ่านตำแหน่ง Intake เข้าสู่โรงไฟฟ้าได้ทั้งหมด ดังนั้น จึงจำเป็นต้องกำหนดค่าอัตราการไหลออกแบบ (design discharge) และอัตราการไหลใช้การของโครงการในการศึกษาได้กำหนดให้ค่าอัตราการไหลออกแบบที่มีทางเลือก 3 กรณี คือ

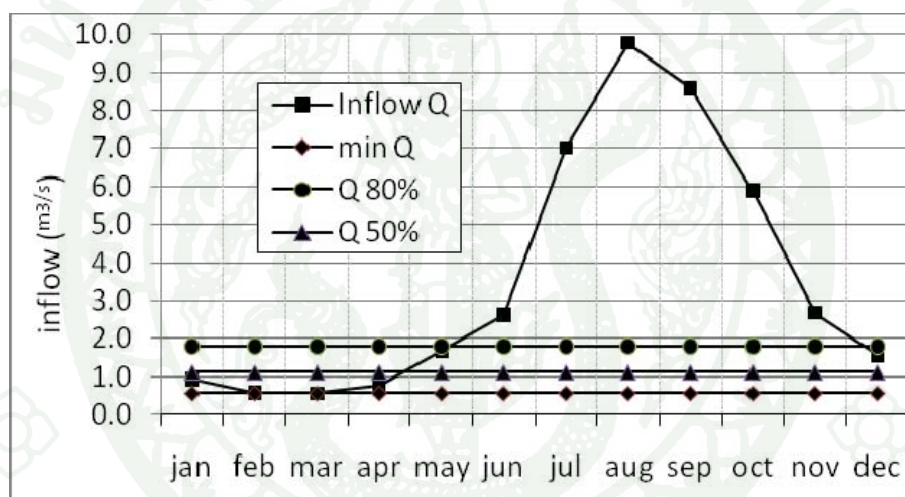
1. เท่ากับอัตราการไหลต่ำสุดในลำน้ำ
2. เท่ากับอัตราการไหลที่ร้อยละ 50 ของพื้นที่ได้โค้งชลภาพอัตราการไหลที่หัวงาน
3. เท่ากับอัตราการไหลที่ร้อยละ 80 ของพื้นที่ได้โค้งชลภาพอัตราการไหลที่หัวงาน

โดยมีแผนภูมิแสดงอัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ยที่หัวงาน (Q) และอัตราการไหลออกแบบ (Q_d) ดังแสดงในภาพที่ 21 และการหาค่าอัตราการไหลใช้งาน (Q_c) มีเกณฑ์ดังนี้

$$\text{ถ้า } Q < Q_d; \quad Q_c = Q \quad (29)$$

$$\text{ถ้า } Q > Q_d; \quad Q_c = Q_d$$

ทั้งนี้ หลังจากที่ได้ผลการวิเคราะห์ในเชิงเศรษฐศาสตร์แล้วจึงสามารถสรุปได้ว่ากรณีใดมีความเหมาะสมมากที่สุดแล้วเลือกใช้กรณีนั้น



ภาพที่ 21 อัตราการไหลรายเดือนเฉลี่ยที่หัวงานและอัตราการไหลออกแบบทั้ง 3 กรณี

4. การออกแบบขนาดของท่อส่งน้ำ

การออกแบบขนาดของท่อส่งน้ำสามารถทำได้โดยใช้สมการสภาพต่อเนื่อง (Continuity equation) ของการไหลในท่อ ดังนี้

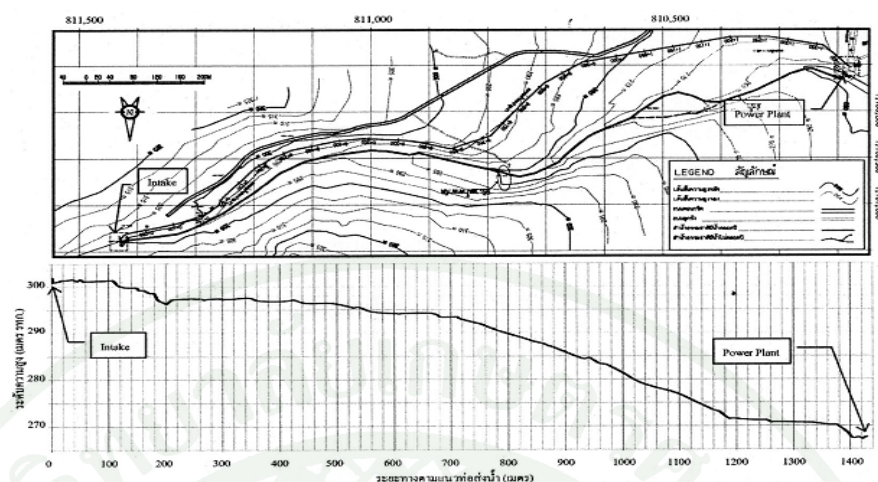
$$Q_p = A_p v = \left(\frac{\pi D^2}{4} \right) v \quad (30)$$

โดยที่ Q_p คือ อัตราการไหลในท่อ (m^3/s)
 A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของท่อ (m^2)
 v คือ ความเร็วของการไหล (m/s)
 D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

ทั้งนี้ อัตราการไหลในท่อ คือ อัตราการไหลใช้การรายเดือนเฉลี่ยและกำหนดว่าความเร็วของการไหลในท่อจะต้องไม่เกิน 3 m/s เพราะถ้ามีความเร็วมากจะทำให้เกิดการสูญเสียความสูงหัวน้ำมาก แต่ถ้ามีความเร็วต่ำเกินไป แสดงว่าท่อมีขนาดใหญ่เกินความจำเป็นจะทำให้ค่าก่อสร้างสูง ในการออกแบบขนาดของท่อจำเป็นต้องใช้การลองผิดลองถูก (trial and error) โดยการแทนค่าเส้นผ่านศูนย์กลางของท่อขนาดต่างๆ (ขนาดของท่อที่มีจำหน่ายในท้องตลาด) ลงในสมการจนกระทั่งได้ความเร็วอยู่ในเกณฑ์กำหนดก็แสดงว่าท่อขนาดนั้นๆมีความเหมาะสม

5. การออกแบบแนวท่อส่งน้ำ

ในการกำหนดที่ตั้งโรงไฟฟ้าของโครงการได้พิจารณาเพื่อเป็นทางเลือกไว้ 3 ตำแหน่งแล้วจึงสำรวจพื้นที่โครงการ เพื่อจัดทำแผนที่ภูมิประเทศขนาดมาตราส่วน 1:4,000 ซึ่งแสดงเส้นชั้นความสูง แล้วนำมาออกแบบแนวท่อส่งน้ำ พร้อมทั้งสร้างรูปตัดตามแนวยาวท่อจะได้แผนที่รูปแปลนและรูปตัดตามยาวของแนวท่อส่งน้ำ ซึ่งแสดงตำแหน่งของ Intake และโรงไฟฟ้าของทั้ง 3 ทางเลือก โดยมีตัวอย่างแปลนและรูปตัดตามยาวของแนวท่อส่งน้ำในกรณีของทางเลือกต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 22 ดังนี้



ภาพที่ 22 แผนที่และรูปตัดตามยาวของแนวท่อส่งน้ำ ซึ่งแสดงตำแหน่ง Intake และโรงไฟฟ้าของทางเลือกต่างๆ

ที่มา: วินัย (2555)

การออกแบบแนวท่อส่งน้ำจะเลือกแนวที่เป็นเส้นตรงที่สุด เพื่อประหยัดค่าก่อสร้างและให้มีความลาดเอียงสอดคล้องกับสภาพภูมิประเทศ เพื่อลดปัญหา air lock ในระบบท่อ อย่างไรก็ตาม เพื่อความปลอดภัยจึงออกแบบให้ติดตั้ง air release valve ในตำแหน่งที่เหมาะสม

6. การคำนวณความสูงหัวน้ำสุทธิของโครงการ

ความสูงหัวน้ำสุทธิ (net head) คือ ค่าความสูงหัวน้ำที่จะนำไปใช้คำนวณศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า ซึ่งสามารถหาได้จากการนำค่าความต่างระดับ (gross head) ของ Intake และโรงไฟฟ้ามาลบด้วยความสูญเสียความสูงหัวน้ำ เนื่องจากความเสียดทานของท่อ (friction loss) และการสูญเสียรอง (minor loss) ดังสมการที่ (4) โดยมีรายละเอียดการคำนวณการสูญเสียหัวน้ำ ดังนี้

1) การสูญเสียความสูงหัวน้ำ เนื่องจากความเสียดทานของท่อสามารถคำนวณได้โดยใช้สมการของ Hazen – Williams ที่ (16) ดังนี้

$$V = 0.85C_{HW}R_h^{0.63}S^{0.54}$$

โดย V คือ ความเร็วในท่อ (m/s)

C_{HW} คือ สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Hazen-Williams

R_h คือ รัศมีชลศาสตร์ (hydraulic radius; $R_h = D/4$) (m)

D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางของท่อ (m)

S คือ ความลาดชลศาสตร์ (hydraulic gradient; $S = h_L/L$) (m)

h_L คือ การสูญเสียความสูงหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทานของท่อ (m)

L คือ ความยาวของท่อ (m)

ทั้งนี้ท่อ PVC ท่อ HDPE และท่อเหล็กมีค่า C_{HW} เท่ากับ 140; 140 และ 110 ตามลำดับ และสามารถคำนวณค่าการสูญเสียความสูงหัวน้ำได้ โดยปรับรูปสมการอยู่ข้างบนใหม่จะได้ดังนี้

$$h_L = L \left\{ \frac{v}{0.85 C_{HW} (D/4)^{0.63}} \right\}^{1.85} \quad (31)$$

2) การสูญเสียรองเกิดขึ้นเนื่องจากการเปลี่ยนแปลงขนาดและทิศทางของความเร็วในท่อ และเนื่องจากอุปกรณ์ท่อที่ติดตั้งอยู่ในระบบโดยทั่วไป การคำนวณค่าการสูญเสียความสูงหัวน้ำรองจะต้องพิจารณาจุดที่เปลี่ยนแนวท่อทั้งในแนวราบและแนวดิ่งติดตั้งอุปกรณ์ท่อตลอดความยาวของเส้นท่อ อย่างไรก็ตามท่อที่ใช้ในการส่งน้ำเข้าสู่โรงไฟฟ้าเป็นท่อสั้นเดียว ซึ่งวางเป็นแนวค่อนข้างตรง และมีอุปกรณ์ท่อไม่มาก (แตกต่างจากระบบท่อส่งน้ำประปา) แต่เพื่อความปลอดภัยจึงกำหนดให้ การสูญเสียรองมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.5 ของการสูญเสียความสูงหัวน้ำเนื่องจากความเสียดทานของท่อ

7. การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้า

การศึกษาครั้งนี้ได้รวบรวมน้ำที่ใช้ผลิตกระแสไฟฟ้าบนจอยอยู่ในอ่างเก็บกักน้ำทั้งหมดรวมกับน้ำที่ไหลเข้าอ่างโดยเฉลี่ยทั้งปี จะได้ปริมาณ $52.58 \times 10^6 \text{ m}^3$ ถ้าคิดการใช้น้ำต่อปีร้อยละ 80% จะได้น้ำที่ใช้ในการผลิตกระแสไฟฟ้าต่อปีเท่า $42.064 \times 10^6 \text{ m}^3$ ในกรณีต้องการกำลังไฟฟ้า 5 MW จะปล่อยน้ำ $2.24 \text{ m}^3/\text{s}$ ไปผ่านเครื่องกังหันน้ำที่มีความสูง 258.92 เมตร ใช้เวลาในการเดินเครื่องโดยคิดเฉลี่ย 4,265 ชั่วโมงต่อปี ตามปริมาณน้ำที่มี ถ้าต้องการกำลังไฟฟ้า 7 MW จะปล่อยน้ำ $3.16 \text{ m}^3/\text{s}$ สามารถเดินเครื่องได้ 3,612 ชั่วโมงต่อปี และถ้าต้องการกำลังไฟฟ้า 9 MW จะปล่อยน้ำ $4.10 \text{ m}^3/\text{s}$ สามารถเดินเครื่องได้ 2,850 ชั่วโมงต่อปี เมื่อนำข้อมูลเหล่านี้ไปคำนวณในสมการที่ (1) จะได้ กำลังผลิตกระแสไฟฟ้า ดังนี้

$$P_{(KW)} = 9.81 \times Q_d \times H_d \times N_g \times N_t$$

ทั้งนี้ ประสิทธิภาพรวมของโรงไฟฟ้า ซึ่งได้จากผลของประสิทธิภาพต่างๆ ดังนี้

- 1) ประสิทธิภาพการป้อนน้ำเข้าสู่กังหันน้ำร้อยละ 80%
- 2) ประสิทธิภาพของกังหันน้ำร้อยละ 90%
- 3) ประสิทธิภาพของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าร้อยละ 97%

การประเมินศักยภาพการผลิตพลังงานไฟฟ้าต่อปี (potential energy generation) ของโครงการสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (2) ดังนี้

$$E = P_{(KW)} \times NH$$

ผลที่ได้รับจากการคำนวณหาค่าพลังผลิตไฟฟ้าหน่วยเป็น (MW) และพลังงานที่ผลิตได้ต่อปีหน่วยเป็น (GWh) ดังแสดงในตารางที่ (9)

ผลการศึกษาและการวิจารณ์

ผลการศึกษา

ผลจากการคำนวณเกี่ยวกับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กห้วยกะเพอ อำเภอเล่างาม จังหวัดสกลนคร (ส.ป.ป.ลาว) หลังจากได้รวบรวมข้อมูล และได้ศึกษาด้านอุทกวิทยาแล้ว ซึ่งประกอบด้วย ข้อมูลรายละเอียดเบื้องต้นโครงการ อัตราการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนระดับน้ำ ในเขื่อนการสูญเสียพลังงานจากการไหลการคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Annual Energy) ซึ่งโครงการโรงไฟฟ้าห้วยกะเพอนี้ ใช้ข้อมูลปริมาณน้ำในลำน้ำที่บันทึกไว้โดยสถานีวัดน้ำในพื้นที่ ลุ่มน้ำนั้นๆ มาเป็นตัวแทนน้ำที่ไหลเข้าเขื่อนห้วยกะเพอแปลงเป็นข้อมูลน้ำไหลระหว่าง ปี ค.ศ.1994-2012 และข้อมูลน้ำฝนระหว่างปี ค.ศ.1994-2012 ระดับน้ำด้านหน้าโรงไฟฟ้า (Upstream Water Level) จะคิดจากความสัมพันธ์ระดับความจุพื้นที่ผิวน้ำส่วนระดับน้ำด้านท้าย โรงไฟฟ้า (Downstream Water Level) จะคิดรวมกับการสูญเสียพลังงานจากการไหล (Head Losses) รวมเป็น 22.46 เมตร โดยใช้เครื่องกังหันน้ำแบบเพลตัน (pelton) จำนวน 2 เครื่อง ผลการศึกษาจากหลายๆค่ากำลังผลิตติดตั้ง (Installed Capacity) จากหลายๆ ทางเลือกโดยกำหนด การศึกษาที่กำลังผลิตติดตั้งระหว่าง 5, 7 และ 9 เมกะวัตต์ได้ผลการศึกษาดังนี้

ตารางที่ 9 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ทางเลือกต่างๆ

กำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์)	5	7	9
จำนวนกังหันน้ำ(เครื่อง)	2	2	2
ความสูงน้ำออแบบ (เมตร)	258.92	258.92	258.92
อัตราการไหลออแบบ (ลบ.ม.ต่อวินาที)	2.24	3.16	4.10
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี)	21.325	25.284	25.65

โดยทั่วไปการคาดคะเนมูลค่าการลงทุนของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดกลางและ ขนาดใหญ่ในสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (ส.ป.ป.ลาว) คือ 1 MW ก็ประมาณ 1,000,000 – 1,500,000 \$US สำหรับโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กมูลค่าโครงการก่อสร้าง อาจจะแพงกว่าโครงการขนาดกลาง และขนาดใหญ่ ในการศึกษาโครงการครั้งนี้ผู้วิจัยได้กำหนด มูลค่าโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก 1 MW ประมาณ 2,100,000 \$US เพื่อเป็นข้อมูลอ้างอิง

ในการศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเศรษฐศาสตร์ สำหรับโครงการศึกษานี้ได้สมมุติฐานขึ้นมาว่า ความต้องการกำลังการผลิตมี 5 MW 7 MW 9 MW และมีมูลค่าการลงทุนทั้งหมดมี 10,500,000 \$US 14,700,000 \$US 18,900,000 \$US สหรัฐ ตามลำดับ นำเอาข้อมูลนี้เพื่อไปศึกษาความเหมาะสม แต่ละทางเลือกให้เหมาะสมกับความต้องการ

การประเมินทางด้านเศรษฐศาสตร์

จากผลการคำนวณได้ในตารางที่ 9 สามารถนำไปวิเคราะห์ทางด้านเศรษฐศาสตร์ เพื่อคำนวณหา อัตราผลตอบแทนสุทธิ (NPV) อัตราผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C) และอัตราผลตอบแทน โครงการ (IRR) ดังสมการที่ (23) สมการที่ (24) และสมการที่ (25) ผลที่ได้รับแสดงในตารางที่ 10 ดังนี้

ตารางที่ 10 กำลังผลิตติดตั้งที่เหมาะสมของโครงการเขื่อนห้วยกะเพา

(หน่วย: ล้าน\$US)

กำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์)	5	7	9
กำลังผลิตติดตั้งต่อหน่วย (เมกะวัตต์)	5	7	9
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี)	21.325	25.284	25.65
พลังงานไฟฟ้าจ่ายให้สำนักงานโครงการ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี)	0.25	0.25	0.25
พลังงานไฟฟ้าที่ขายได้ (กิโลวัตต์ชั่วโมงต่อปี)	21.075	25.034	25.4
ผลกำไรของโครงการ	1.32	1.56	1.59
ค่าใช้จ่ายเตรียมการก่อสร้าง			
ปีที่1	1.516	2.12	2.73
ปีที่2	4.2	5.88	7.56
ปีที่3	4.79	6.71	8.63
รวมทั้งหมด	10.5	14.7	18.9
ค่าใช้จ่ายด้านงานโยธา	6.09	8.526	10.962
ค่าอุปกรณ์ไฟฟ้า	2.81	3.93	5.06
ค่าบริหารโครงการ	0.12	0.17	0.21
ค่าจ้างวิศวกรที่ปรึกษา	0.38	0.51	0.66

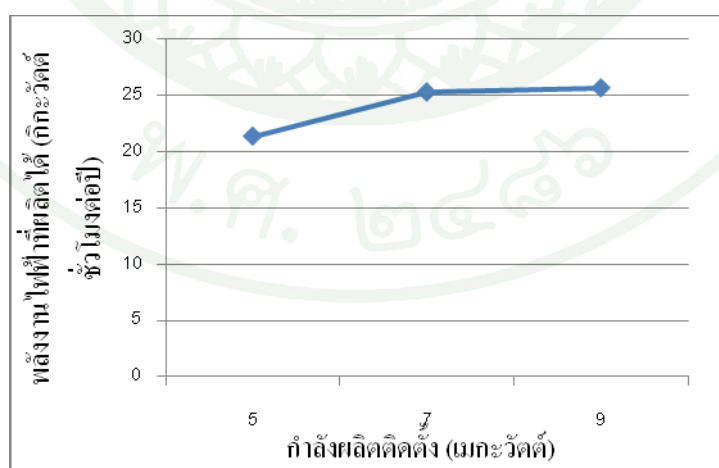
ตารางที่ 10 (ต่อ)

(หน่วย: ล้าน\$US)

กำลังผลิตติดตั้ง (เมกะวัตต์)	5	7	9
ค่าเวนคืนอื่นๆ	0.14	0.2	0.26
ค่าฉุกเฉิน	0.945	1.323	1.7
ค่าอื่นๆ	0.036	0.05	0.064
รวมค่าใช้จ่ายทั้งหมด	10.5	14.7	18.9
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)	2,924,057	1,071,530	-3,228,793
อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR%)	9.73	7.74	5.15
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C)	1.26	1.07	0.84

หมายเหตุ ตัวเลขจาก สปปลาว (2012)

เมื่อพิจารณาผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้าที่ได้รับและเปรียบเทียบความคุ้มค่าของโครงการแล้วที่ Installed capacity เท่ากับ 5 เมกะวัตต์ ให้ผลตอบแทนที่คุ้มค่าที่สุดส่วน 7 เมกะวัตต์ และ 9 เมกะวัตต์ จะได้ผลตอบแทนต่ำและไม่ควรลงทุน ผลการวิเคราะห์ ด้านการเงิน ดูได้ดังตารางที่ (13) (14) และ (15)



ภาพที่ 23 เปรียบเทียบพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ของ Installed capacity ต่างๆ

ตารางที่ 11 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ลำห้วยกะเพาในขอบเขตโครงการร้อยละ 80%
ของน้ำท่าที่ไหล

(หน่วย: ล้านลบ.ม)

ปี	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ค	ธ.ค	รวม
1994	0.616	0.384	0.336	0.52	1.856	3.464	4.528	6.296	7.04	3.464	1.336	0.864	30.704
1995	0.56	0.272	0.424	0.416	1.016	1.16	2.344	3.168	4.312	6.056	3.128	2.136	24.992
1996	0.592	0.328	0.376	0.472	0.816	1.2	5.496	7.64	6.368	5.208	1.832	1.096	31.424
1997	0.664	0.344	0.296	0.272	0.56	2.28	4.12	6.616	4.272	2.688	1.28	0.8	24.192
1998	0.488	0.32	0.32	0.328	0.816	0.704	2.152	4.192	4.76	2.072	1.016	0.624	17.792
1999	0.408	0.296	0.304	0.776	1.616	2.12	4.28	4.456	4.52	2.704	1.232	0.736	23.448
2000	0.552	0.376	0.344	0.344	0.848	0.768	1.76	3.04	3.36	2.392	1.264	0.744	15.792
2001	0.512	0.336	0.304	0.552	1.544	3.592	4.92	5.392	8.968	4.088	3.184	1.496	34.888
2002	0.896	0.576	0.52	0.616	1.2	1.32	3.848	8.544	3.832	3.36	1.52	0.856	27.088
2003	0.56	0.328	0.304	0.256	0.536	0.656	0.848	1.808	3.928	2.56	1.368	0.872	14.024
2004	0.504	0.312	0.296	0.52	1.4	2.304	7.952	10.056	5.112	3.344	1.84	1.248	34.888
2005	0.728	0.48	0.472	0.864	1.104	1.488	7.472	6.432	7.768	3.536	1.944	0.976	33.264
2006	0.624	0.36	0.408	0.376	0.88	1.552	4.952	5.304	5.504	3.504	1.656	0.928	26.048
2007	0.592	0.312	0.296	0.376	0.776	1.216	4.848	8.408	6.12	3.672	1.968	1.104	29.688
2008	0.696	0.472	0.448	0.592	1.432	2.352	3.904	6.08	7.768	3.16	1.408	0.816	29.128
2009	0.544	0.352	0.304	0.432	0.832	2.072	2.992	5.056	3.536	1.68	0.816	0.56	19.176
2010	0.384	0.24	0.264	0.376	0.648	0.616	4.456	11.408	7.928	3.216	1.672	0.936	32.144
2011	0.592	0.368	0.368	0.584	1.232	1.592	7.784	8.136	5.224	8.096	1.912	1.104	36.992
2012	0.672	0.408	0.432	0.48	1.144	5.864	00	00	00	00	00	00	9

ตารางที่ 12 ผลการวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้า (Energy) ที่ได้จากการคำนวณ

(หน่วย: กิกะวัตต์ชั่วโมง)

ปี	ม.ค	ก.พ	มี.ค	เม.ย	พ.ค	มิ.ย	ก.ค	ส.ค	ก.ย	ต.ค	พ.ค	ธ.ค	รวม
1994	0.382	0.238	0.208	0.322	1.151	2.148	2.808	3.904	4.365	2.148	0.828	0.536	19.038
1995	0.347	0.169	0.263	0.258	0.630	0.719	1.453	1.964	2.674	3.755	1.939	1.324	15.496
1996	0.367	0.203	0.233	0.293	0.506	0.744	3.408	4.737	3.948	3.229	1.136	0.680	19.484
1997	0.412	0.213	0.184	0.169	0.347	1.414	2.555	4.102	2.649	1.667	0.794	0.496	15.000
1998	0.303	0.198	0.198	0.203	0.506	0.437	1.334	2.599	2.951	1.285	0.630	0.387	11.032
1999	0.253	0.184	0.188	0.481	1.002	1.314	2.654	2.763	2.803	1.677	0.764	0.456	14.539
2000	0.342	0.233	0.213	0.213	0.526	0.476	1.091	1.885	2.083	1.483	0.784	0.461	9.792
2001	0.317	0.208	0.188	0.342	0.957	2.227	3.051	3.343	5.561	2.535	1.974	0.928	21.632
2002	0.556	0.357	0.322	0.382	0.744	0.818	2.386	5.298	2.376	2.083	0.942	0.531	16.796
2003	0.347	0.203	0.188	0.159	0.332	0.407	0.526	1.121	2.436	1.587	0.848	0.541	8.695
2004	0.313	0.193	0.184	0.322	0.868	1.429	4.931	6.235	3.170	2.073	1.141	0.774	21.632
2005	0.451	0.298	0.293	0.536	0.685	0.923	4.633	3.988	4.816	2.192	1.205	0.605	20.625
2006	0.387	0.223	0.253	0.233	0.546	0.962	3.070	3.289	3.413	2.173	1.027	0.575	16.151
2007	0.367	0.193	0.184	0.233	0.481	0.754	3.006	5.213	3.795	2.277	1.220	0.685	18.408
2008	0.432	0.293	0.278	0.367	0.888	1.458	2.421	3.770	4.816	1.959	0.873	0.506	18.061
2009	0.337	0.218	0.188	0.268	0.516	1.285	1.855	3.135	2.192	1.042	0.506	0.347	11.890
2010	0.238	0.149	0.164	0.233	0.402	0.382	2.763	7.073	4.916	1.994	1.037	0.580	19.931
2011	0.367	0.228	0.228	0.362	0.764	0.987	4.826	5.045	3.239	5.020	1.186	0.685	22.937
2012	0.417	0.253	0.268	0.298	0.709	3.636	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	5.580

การวิเคราะห์ผลตอบแทนโครงการของทางเลือกต่างๆ

ตารางที่ 13 ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 1 กำลังการผลิต 5 MW

(\$US)

ปีที่	รายรับรวม	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบัน	
			รายรับรวม	ต้นทุนรวม
0	-	1,516,000	-	1,516,000
1	-	4,200,000	-	3,925,234
2	1,317,188	4,796,000	-	4,189,012
3	1,330,359	157,680	1,075,217	128,714
4	1,343,663	157,680	1,014,925	120,293
5	1,357,100	157,680	958,013	112,424
6	1,370,671	157,680	904,293	105,069
7	1,384,377	157,680	853,585	98,195
8	1,398,221	157,680	805,720	91,771
9	1,412,203	157,680	760,540	85,767
10	1,426,325	157,680	717,893	80,157
11	1,440,589	157,680	677,637	74,913
12	1,454,994	157,680	639,639	70,012
13	1,469,544	157,680	603,771	65,432
14	1,091,685	157,680	569,915	61,151
15	1,102,602	157,680	395,677	57,150
16	1,113,628	157,680	373,489	53,412
17	1,124,764	157,680	352,546	49,917
18	1,136,012	157,680	332,777	46,652
19	1,147,372	157,680	314,117	43,600
20	-	157,680	296,503	40,748
21	1,158,846	157,680	279,876	38,082
22	1,170,434	157,680	264,182	35,590
23	1,182,138	157,680	249,368	33,262

ตารางที่ 13 (ต่อ)

(\$US)

ปีที่	รายรับรวม	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบัน	
			รายรับรวม	ต้นทุนรวม
24	1,193,960	157,680	235,385	31,086
25	1,205,899	157,680	222,186	29,052
26	1,217,958	157,680	209,727	27,152
27	1,230,138	157,680	197,967	25,376
28	1,242,439	157,680	186,866	23,715
29	1,254,864	157,680	176,387	22,164
30	1,267,412	157,680	166,496	20,714
31	1,280,087	157,680	157,160	19,359
32	1,292,887	157,680	148,347	18,092
33	1,305,816	157,680	140,029	16,909
รวม	39,424,176	15,400,080	14,280,232	11,356,175
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)			2,924,057	\$US
อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)			9.73%	
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C)			1.26	
ระยะเวลากืนทุน (PB)			23.78	ปี

ตารางที่ 14 ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 2 กำลังการผลิต 7 MW

(\$US)

ปีที่	รายรับรวม	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบัน	
			รายรับรวม	ต้นทุนรวม
0	2,120,000		-	2,120,000
1	5,880,000	-	-	5,495,327
2	6,710,000	-	-	5,860,774
3	220,650	1,564,625	1,277,200	180,116
4	220,650	1,580,271	1,205,581	168,333
5	220,650	1,596,074	1,137,979	157,320

ตารางที่ 14 (ต่อ)

(\$US)

ปีที่	รายรับรวม	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบัน	
			รายรับรวม	ต้นทุนรวม
6	220,650	1,612,035	1,074,167	147,028
7	220,650	1,628,155	1,013,933	137,410
8	220,650	1,644,437	957,077	128,420
9	220,650	1,660,881	903,409	120,019
10	220,650	1,677,490	852,751	112,167
11	220,650	1,694,265	804,933	104,829
12	220,650	1,711,207	759,797	97,971
13	220,650	1,728,319	717,191	91,562
14	220,650	1,745,603	676,975	85,572
15	220,650	1,296,761	470,006	79,974
16	220,650	1,309,729	443,650	74,742
17	220,650	1,322,826	418,773	69,852
18	220,650	1,336,054	395,290	65,282
19	220,650	1,349,415	373,124	61,012
20	220,650	1,362,909	352,202	57,020
21	220,650	1,376,538	332,452	53,290
22	220,650	1,390,304	313,810	49,804
23	220,650	1,404,207	296,213	46,545
24	220,650	1,418,249	279,603	43,500
25	220,650	1,432,431	263,924	40,655
26	220,650	1,446,755	249,125	37,995
27	220,650	1,461,223	235,155	35,509
28	220,650	1,475,835	221,969	33,186
29	220,650	1,490,594	209,522	31,015
30	220,650	1,505,499	197,773	28,986
31	220,650	1,520,554	186,683	27,090

ตารางที่ 14 (ต่อ)

(\$US)

ปีที่	รายรับรวม	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบัน	
			รายรับรวม	ต้นทุนรวม
32	220,650	1,535,760	176,215	25,318
33	220,650	1,551,118	166,334	23,661
รวม	21,550,150	46,830,123	16,962,815	15,891,286
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)			1,071,530	\$US
อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)			7.74%	
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C)			1.07	
ระยะเวลาคืนทุน (PB)			28.72	ปี

ตารางที่ 15 ผลการวิเคราะห์กรณีที่ 3 กำลังการผลิต 9 MW

(\$US)

ปีที่	รายรับรวม	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบัน	
			รายรับรวม	ต้นทุนรวม
0		2,730,000	-	2,730,000
1	-	7,560,000	-	7,065,421
2	-	8,630,000	-	7,537,776
3	1,587,500	283,800	1,295,873	231,665
4	1,603,375	283,800	1,223,207	216,510
5	1,619,409	283,800	1,154,616	202,345
6	1,635,603	283,800	1,089,871	189,108
7	1,651,959	283,800	1,028,757	176,736
8	1,668,478	283,800	971,070	165,174
9	1,685,163	283,800	916,617	154,368
10	1,702,015	283,800	865,218	144,270
11	1,719,035	283,800	816,701	134,831
12	1,736,225	283,800	770,905	126,011
13	1,753,588	283,800	727,677	117,767

ตารางที่ 15 (ต่อ)

(\$US)

ปีที่	รายรับรวม	ต้นทุนรวม	มูลค่าปัจจุบัน	
			รายรับรวม	ต้นทุนรวม
14	1,771,124	283,800	686,872	110,063
15	1,315,720	283,800	476,877	102,862
16	1,328,877	283,800	450,137	96,133
17	1,342,166	283,800	424,895	89,844
18	1,355,588	283,800	401,069	83,966
19	1,369,144	283,800	378,580	78,473
20	1,382,835	283,800	357,351	73,339
21	1,396,663	283,800	337,312	68,541
22	1,410,630	283,800	318,398	64,057
23	1,424,736	283,800	300,544	59,867
24	1,438,984	283,800	283,691	55,950
25	1,453,373	283,800	267,783	52,290
26	1,467,907	283,800	252,767	48,869
27	1,482,586	283,800	238,593	45,672
28	1,497,412	283,800	225,214	42,684
29	1,512,386	283,800	212,585	39,892
30	1,527,510	283,800	200,665	37,282
31	1,542,785	283,800	189,412	34,843
32	1,558,213	283,800	178,791	32,564
33	1,573,795	283,800	168,765	30,433
รวม	47,514,784	27,717,800	17,210,814	20,439,607
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV)			- 3,228,793	\$US
อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR)			5.15%	
อัตราส่วนผลตอบแทนต่อต้นทุน (B/C)			0.84	
ระยะเวลาคืนทุน (PB)			38.10	ปี

สรุปผลการศึกษาโครงการเขื่อนห้วยกะเพาโดยใช้แบบการคำนวณต่างๆ ได้ผลดังนี้

กำลังผลิตติดตั้ง (Installed Capacity)	5	เมกะวัตต์
ชนิดของเครื่องกังหันน้ำ	pelton	
จำนวนเครื่องกังหันน้ำ	2	เครื่อง
จำนวนชั่วโมงการเดินเครื่องกังหันน้ำต่อปี	4265	ชั่วโมง
อัตราการไหลออกแบบ (Design Discharge)	2.24	ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที
ความสูงน้ำออกแบบ (Design Head)	258.92	เมตร
พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ (Energy Production)	21.325	กิกะวัตต์ชั่วโมง
อายุโครงการ	30	ปี
ค่าไฟฟ้า	6.25	เซ็นต์ต่อกิโลวัตต์ชั่วโมง
อัตราผลตอบแทนสุทธิ (NPV)	2,924,057	\$US
อัตราผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C)	1.26	
อัตราผลตอบแทนโครงการ (IRR)	9.73	%
ระยะคืนทุนประมาณ	23.78	ปี

การวิจารณ์

การวิจารณ์ผลของการศึกษา โดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์ คำนวณกำลังผลิตติดตั้งด้วยความเหมาะสมของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กและสามารถวิเคราะห์หาพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีจากข้อมูลที่ได้รวบรวมมาข้างต้นนั้น เห็นว่าโครงการใดมีความคุ้มค่ามากกว่ากัน ในการคำนวณครั้งนี้ได้ยกขึ้นมาเป็นสามกรณีคือดังในตารางที่ 8

จะขอวิจารณ์พลังงานไฟฟ้า (energy) ที่คำนวณได้ทางคณิตศาสตร์ เมื่อพิจารณาตารางที่ 11 จะเห็นว่าในเดือนกรกฎาคมกับสิงหาคมพลังงาน (energy) ที่ได้จะแตกต่างกันเล็กน้อย เนื่องจากระยะมีปริมาณน้ำฝนมากค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ จากความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ของอัตราการไหลส่วนอัตราการไหลออกแบบกับเปอร์เซ็นต์ของความสูงน้ำ แต่ในการศึกษาจะใช้ค่าประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำเป็นค่าคงที่ประมาณ 0.94 ความแตกต่างจะเกิดขึ้น ในเดือนที่มีการปล่อยน้ำออกจากเขื่อนมากค่าเปอร์เซ็นต์อัตราการไหลก็จะมีค่ามาก ด้วยเหตุนี้ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำจึงมากขึ้นตามไปด้วย

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

ผลจากการวิจัยโดยใช้เครื่องมือทางคณิตศาสตร์เป็นการคำนวณหาค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานที่ผลิตได้ต่อปีรวมทั้งคำนวณทางด้านชลศาสตร์และเศรษฐศาสตร์ เพื่อเป็นการตัดสินใจในการลงทุนของโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ซึ่งมีผลสรุปดังนี้

1. ปัญหาและอุปสรรคของโครงการ พบว่าปัญหาในการผลิตกระแสไฟฟ้า คือการไม่สามารถควบคุมปริมาณน้ำที่ได้จากลำน้ำห้วยกะเพาได้แน่นอน ซึ่งปริมาณน้ำจะขึ้นอยู่กับความอุดมสมบูรณ์ทางธรรมชาติ แต่ละปีและที่สำคัญเนื่องจากไม่สามารถสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำขนาดใหญ่ไว้ใช้ในการผลิตทำให้เป้าหมายในการผลิต แต่ละปีอาจจะไม่เป็นไปตามเป้าหมายซึ่งก็มีผลประโยชน์ของโครงการลดลงด้วย

2. การศึกษาในครั้งนี้ปรากฏให้เห็นว่าโครงการนี้มีประสิทธิภาพคือสามารถบรรลุเป้าหมายต่างๆ ที่ตั้งไว้ได้ และสามารถตอบสนองความต้องการใช้ไฟฟ้าในพื้นที่ชนบทห่างไกลได้ โดยจะเห็นได้จากหน่วยผลิตกระแสไฟฟ้าที่ได้ในแต่ละปี และจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นต่อไป แต่สิ่งสำคัญที่สุดในการผลิต คือปริมาณน้ำในลำห้วยกะเพา ซึ่งถ้ามีน้ำมากก็จะผลิตได้มากขึ้นและในทางตรงกันข้ามถ้ามีน้ำน้อยก็จะผลิตได้น้อยเช่นกัน หรืออาจต้องหยุดการเดินเครื่องชั่วคราวได้ ซึ่งมันเป็นปัญหาหลักของโครงการและทางด้านระยะเวลาที่โครงการจะสามารถคืนทุนได้ภายในเวลาประมาณ 23.78 ปี

3. ในด้านต้นทุนและผลประโยชน์ที่ไม่สามารถวัดได้เป็นตัวเงิน ซึ่งโครงการนี้ไม่มีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและชาวบ้านบริเวณใกล้เคียงโครงการ ส่วนผลประโยชน์ที่เกิดขึ้นจากโครงการโดยเป็นผลพลอยได้คือ การทำให้มีทัศนียภาพที่สวยงามเหมาะสมจะเป็นแหล่งพักผ่อนใกล้บริเวณน้ำตกห้วยกะเพาอีกแห่งหนึ่งในอนาคต

4. จากการศึกษาในครั้งนี้สามารถสรุปได้ว่าโครงการที่เกี่ยวกับสาธารณูปโภคขั้นพื้นฐานที่สำคัญต่อประเทศ เช่น ไฟฟ้า ผู้ที่เหมาะสมที่จะลงทุนในโครงการเหล่านี้ควรจะได้รับ ความสนับสนุนจากรัฐบาลหรือให้รัฐมีส่วนร่วม เพื่อรักษาผลประโยชน์ต่อประชาชนมากที่สุด

5. จากการประเมินผลโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กห้วยกะเพอ อำเภอเล่างาม จังหวัดสกลนคร (ส.ป.ป ลาว) จะเห็นได้ว่าโครงการนี้มีประสิทธิภาพมากเพราะมีผลประโยชน์ที่คุ้มค่ากับต้นทุนที่ใช้ไป เนื่องจากปัจจัยที่สำคัญคือน้ำ ซึ่งได้จากธรรมชาติไม่เสียค่าใช้จ่าย ดังนั้นจะมีแต่ต้นทุนในการดำเนินงานเท่านั้น ซึ่งเมื่อเทียบกับการผลิตด้วยน้ำมันเชื้อเพลิงแล้วจะมีค่าใช้จ่ายต่ำกว่ามาก

ข้อเสนอแนะ

ผลจากการวิจัยที่ใช้สมการต่างๆ สำหรับเป็นเครื่องมือศึกษาความเป็นไปได้ทางด้านเทคนิค และเศรษฐศาสตร์ของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก พบว่าต้องได้ใช้เวลาพอสมควรในการคำนวณด้วยมือ อย่างไรก็ตามผู้วิจัยจะมีข้อเสนอแนะดังต่อไปนี้

1. การศึกษานี้ได้ใช้พื้นฐานการคำนวณทางด้านชลศาสตร์มากพอสมควร ดังนั้น ผู้ที่จะใช้การศึกษาแบบนี้ต่อไป จึงควรมีพื้นฐานความเข้าใจในทฤษฎีทางชลศาสตร์ รวมถึงควรมีพื้นฐานความรู้เรื่องการเลือกเครื่องกังหันน้ำอยู่ในระดับหนึ่ง จึงจะสามารถคำนวณได้ตรงกับวัตถุประสงค์ที่กำหนดไว้นั้น

2. การวิเคราะห์ผลทางเศรษฐศาสตร์โครงการในส่วนของราคางานโยธา (Civil Work) ผู้ศึกษาไม่ได้แบ่งแยกงานที่จะคำนวณหาราคางานก่อสร้างโยธา เช่น ราคาค่าดินราคาถมราคาฐานรากอาคารโรงไฟฟ้าค่าก่อสร้างอาคารโรงไฟฟ้า และอื่นๆ ต้องอาศัยผู้ใช้งานจริงนำเข้าข้อมูลใส่สมการที่เสนอมาแต่ต้นนั้น ว่าราคางานที่คิดออกมาแล้ว ซึ่งการศึกษาอาจจะใช้การคิดราคางานสำเร็จรูปควรจะพิจารณาให้มีการศึกษาต่อไป

3. เพื่อให้การวิเคราะห์พลังงานไฟฟ้ามีความถูกต้องควรจะมีการแก้ไขข้อมูลเครื่องกังหันน้ำอยู่เสมอ โดยเฉพาะข้อมูลประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำ ด้วยเหตุที่ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำจะสูงขึ้นเรื่อยๆ ตามวิทยาการการผลิต

4. ในความเป็นจริงแล้วมีข้อกำหนดด้านท้ายน้ำเป็นอีกปัจจัยที่มีอิทธิพลกับการผลิตกำลังไฟฟ้า ถ้าหากระดับน้ำลดต่ำกว่าระดับต่ำสุดที่จะเดินเครื่องกังหันน้ำได้จะหยุดการเดินเครื่องเพราะถ้าเดินเครื่องต่อไปจะเกิดปรากฏการณ์ Cavitations ซึ่งก่อให้เกิดความเสียหายแก่เครื่อง

กั้นน้ำได้แต่ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยไม่ได้คำนึงถึงปัจจัยนี้โดยทำเป็นข้อจำกัดว่าต้องสร้างอาคาร
ท่อน้ำที่ด้านท้ายน้ำให้มีระดับน้ำสูงกว่าระดับน้ำต่ำสุดที่เครื่องกั้นน้ำจะเดินเครื่องได้



เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมทรัพยากรน้ำ. 2008. เอกสารสภาพรวมทรัพยากรน้ำแห่งชาติ. องค์การทรัพยากรและ
สิ่งแวดล้อม สำนักนายกรัฐมนตรีนครหลวงเวียงจันทน์ ประเทศสาธารณรัฐประชาธิปไตย
ประชาชนลาว (ภาษาลาว).

กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงานกระทรวงพลังงาน. 2547ก. โครงการศึกษาจัดทำ
แผนหลักการพัฒนาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. เล่มที่2/3. ม.ป.ท.

_____. 2547ข. โครงการศึกษาจัดทำแผนหลักการพัฒนาโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. เล่มที่
3/3. ม.ป.ท.

กรมไฟฟ้า กระทรวงพลังงานและเหมืองแร่. 2009. การวางแผนโครงการไฟฟ้าขนาดเล็ก.
ส ป ลาว, ประเทศลาว.

การไฟฟ้าแห่งประเทศไทย. 2532. การศึกษาความเหมาะสม. ม.ป.ท.

กิริติ ลีวัจนกุล. 2537. วิศวกรรมชลศาสตร์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา วิทยาลัยวิศวกรรมศาสตร์,
มหาวิทยาลัยรังสิต, ปทุมธานี.

ชำนาญ ห่อเกียรติ. 2549. ความเชื่อถือได้และการบำรุงรักษาระบบจำหน่ายไฟฟ้า. ภาควิชา
วิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน.

ชิดชนก นุตาคม. 2541. การประเมินผลโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก กรณีศึกษาโรงไฟฟ้า
พลังน้ำขนาดเล็กแม่ยะ อำเภอจอมทอง จังหวัดเชียงใหม่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท,
มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ชูลิต วัชรสินธุ์. 2532. การศึกษาความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ. ม.ป.ท.

ณัฐพล อนันตศิริสมบัติ. 2554. การประเมินความสามารถในการส่งผ่านกำลังไฟฟ้าสูงสุดในระบบไฟฟ้ากำลังแบบไม่ถูกควบคุม. ม.ป.ท.

ทวีป ชัยสมภพ, ศุภชาติ จงไพบูลย์วัฒนะ และ จักรี คุปต์อัคริณญ์. 2546. การประเมินเทคโนโลยีของโครงการพัฒนาพลังงานขนาดเล็กในประเทศที่กำลังพัฒนาและในประเทศที่พัฒนาแล้ว. สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

นระ คมนามูล. 2546. การพัฒนาไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. กรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน. โครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. แหล่งที่มา: <http://www.dedp.go.th>, 22 เมษายน 2554.

บริษัท ปัญญาคอนซัลแตนท์. 2549. โครงการพลังน้ำขนาดเล็กคลองแอี จังหวัดสุราษฎร์ธานี. ม.ป.ท.

ประสิทธิ์ พรพิณเนส และ ปรังญ์ พูนจิตรผ่อง. 2553. พลังงานทดแทนด้วยโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน.

มหาวิทยาลัยขอนแก่น. 2551. ศึกษาศักยภาพและพัฒนาพลังงานน้ำเพื่อการผลิตกระแสไฟฟ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำชี. ม.ป.ท.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตกำแพงแสน และมหาวิทยาลัยราชภัฏกาญจนบุรี. 2552. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ การประเมินศักยภาพของการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ในลุ่มน้ำแควน้อยจังหวัดกาญจนบุรี. ม.ป.ท.

วินัย ศรีอำพร. 2555. ศึกษาความเหมาะสมเชิงวิศวกรรมโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กลำน้ำชีลอง, มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

สรวิชัย กุลศิลารัตน์. 2547. การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับเครื่องมือศึกษาความเหมาะสมเบื้องต้นโครงการไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, บางเขน.

สถาบันเทคโนโลยีนานาชาติสิรินธร มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. 2546. รายงานการวิจัยการประเมินเทคโนโลยีของโครงการพัฒนาพลังงานขนาดเล็ก ในประเทศที่กำลังพัฒนาและประเทศที่พัฒนาแล้ว. ม.ป.ท.

Anagnostopoulos, J. S. and D.E. Papantois. 2007. Optimal sizing of a run - of - river small hydropower plant. **.Energy Conversion and Management.** 48: 2663-2670.

Clive, B. 2002. **Energy: Management, Supply And Conservation.** Butterworth-Heinemann, n.p.

Krkoleva, A. 2005. Small Hydro Power Plant. **Balkan Power SummerSchool Presentation.** 2005, October 13.

Pejovic, S., B.W. Karney, Q. Zhang and G. Kumar. 2007. **Smaller Hydro, Higher Risk.** IEEE Electrical Power Conference, Canada.



ภาคผนวก



ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา

1. ข้อมูลปริมาณน้ำฝน

ตารางผนวกที่ ก1 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอบาเจียง จังหวัดจันทบุรี

(หน่วย: มิลลิเมตร)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2002	0	0	34.1	317.5	241.3	191.8	541.6	108.8	167.4	244.7	88.2	0	1935.4
2003	0	0	0	97.7	262.6	272.2	627.1	530.9	186	128.4	0	2.6	2107.5
2004	9.9	1.9	79.1	33.4	176.4	592.9	538.9	799.8	488.5	127.4	8.7	0	2856.9
2005	0	0	62.4	0	163.2	379.7	753	789	377.1	110.5	21.2	19.8	2675.9
2006	0	0	78.1	37.3	295	193.4	354.8	675.2	332	58.9	39	1.2	2064.9
2007	12.3	0	3.1	16.9	168.3	421.2	448.5	650.9	237.3	0	0	0	1958.5
2008	0	0	0	80	171.2	261.1	511.2	463.5	356	75.1	80.1	0	1998.2
2009	0	0	0	132.9	109.9	368.8	645	502	202.5	112.8	2.7	0	2076.6
2010	0	0	39.9	84.1	199	133.3	222.9	329.4	290.7	97.4	38	0	1434.7
2011	0	0	49.2	58.6	252.1	171.5	224.5	368.6	291.8	173.5	0	0	1589.8
Mean	2.22	0.19	34.59	85.84	203.9	298.59	486.75	521.81	292.93	112.87	27.79	2.36	2069.84
%	0.11	0.01	1.67	4.15	9.85	14.43	23.52	25.21	14.15	5.45	1.34	0.11	100.00

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ ก2 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอคลองเขื่อน จังหวัดสาละวัน

(หน่วย: มิลลิเมตร)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2002	0	0	74.7	181.1	396.9	281.1	336.6	208.2	242	106.5	47.1	1	1875.2
2003	0	25	7.9	164.6	443.2	289.7	485.7	396.5	291.4	157.2	1.2	0	2262.4
2004	0	11.7	109.4	16.8	194.3	371.6	410.4	647.4	308.8	154.2	2	2.5	2229.1
2005	0	0	37.9	23.4	148.6	346.8	607.2	265.9	354.6	77.9	9.8	39.1	1911.2
2006	0	11.6	68.5	91.5	317.7	179	164.6	405.1	643.9	39.2	0	0	1921.1
2007	6.2	69.6	39.6	99.2	282.1	362.2	536.4	380.6	241.4	0	0.3	0	2017.6
2008	0	0	10.4	100.7	172.7	184.4	326.3	434.8	318.9	106.8	23.6	1.2	1679.8
2009	0	0	58.4	78.1	327.6	191	620.1	506.4	221.2	147.5	35.8	0	2186.1
2010	0	0.4	48	149.6	290.6	321	248.8	404.7	227.6	253.5	16.3	0	1960.5
2011	0	0	31.3	62.3	281.6	195.7	277.9	378.6	497.6	85.8	47.2	5	1863
Mean	0.62	11.83	48.61	96.73	285.53	272.25	401.4	402.82	334.74	112.86	18.33	4.88	1990.6
%	0.03	0.59	2.44	4.86	14.34	13.68	20.16	20.24	16.82	5.67	0.92	0.25	100.00

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ ก3 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอเล่างาม จังหวัดสระบุรี

(หน่วย: มิลลิเมตร)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2002	0	0	70.1	205.5	338.8	169.5	524.5	419.8	170.6	222.2	58.3	0	2179.3
2003	42.5	9.5	24.5	142.5	283.7	198.4	545.2	671.1	218.9	232.9	4.6	3	2376.8
2004	2	11	138.4	63	205.8	211.9	229.1	733.1	324.9	197.9	11.5	4.5	2133.1
2005	0	0	24.5	194.5	195.4	262	577	488.9	332.5	151.5	6	22	2254.3
2006	0	44.6	80.6	73.8	268.5	136.5	226.8	401.7	446.5	138.8	0.9	0	1818.7
2007	0	46	31.1	83.9	212.2	277.1	355.2	320.2	208.7	10.5	2	0	1546.9
2008	0	0	9.5	153.7	208.4	154.8	528	530.5	416.4	43.2	39	0	2083.5
2009	0	6	30	160.3	142.9	173	850.5	508.5	341.9	254.7	1	5	2473.8
2010	0	3	38	89	350.5	130.7	239.8	317.3	207.2	537.5	30.5	0	1943.5
2011	0	0	72.2	82.7	150.4	148.5	127	339.4	425.1	122	126.9	5.8	1600
Mean	4.45	12.01	51.89	124.89	235.66	186.24	420.31	473.05	309.27	191.12	28.07	4.03	2040.99
%	0.22	0.59	2.54	6.12	11.55	9.12	20.59	23.18	15.15	9.36	1.38	0.20	100.00

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ ก4 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอปากช่อง จังหวัดจำปาสัก

(หน่วย: มิลลิเมตร)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2002	50.4	0.2	150	265.7	262.5	292.7	1,449.80	347.9	360.8	162.4	85.2	0	3427.6
2003	15.1	145.9	76.6	216.8	223.5	276.6	1,018.90	919.6	269.4	181.4	19.8	11.7	3375.3
2004	42.1	44.2	108.4	287.2	314.5	610.6	701.90	1,034.90	361.5	178.7	17.2	0.6	3701.8
2005	0.3	2	84.1	274.1	232.9	471.1	625.2	1,004.40	513.1	234.2	88.6	91.3	3621.3
2006	0	76.6	144.5	222.1	389.5	357.6	462.1	858.9	611.4	124.4	109.1	0	3356.2
2007	54.1	1	103.6	211.9	236.8	730.2	461.7	583.1	280.7	4.2	26.6	0	2693.9
2008	0	0	150.2	178.1	272.3	419.8	1,120.70	1,022.10	451.6	30.3	163.7	30.9	3839.7
2009	1.7	83.8	51.1	324.7	204.8	412.9	854	808.4	344.8	178.1	120.2	0	3384.5
2010	1.19	4.64	16.02	247.8	291.5	290.4	392.7	533.3	218.3	157.8	17	51.4	2222.05
2011	0	27.8	138.8	265.8	260.2	326.8	216.6	443.9	350.3	219.5	3.7	37.1	2290.5
Mean	16.5	38.61	102.3	249.42	268.85	418.87	730.36	755.65	376.19	147.1	65.11	22.3	3191.29
%	0.52	1.21	3.21	7.82	8.42	13.13	22.89	23.68	11.79	4.61	2.04	0.70	100.00

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ ก5 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอชะนะสมบุญจังหวัดจันทบุรี

(หน่วย: มิลลิเมตร)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2002	0	0	43.4	195.2	272.1	241.8	490	260	212.5	104.4	28.6	0	1848
2003	0	3.7	14.4	153.9	356.6	231	662.3	528.2	155.2	134.5	0	0	2239.8
2004	0	2.5	92.2	87.8	138.7	362.5	540.4	729.4	295.7	31.6	0	0	2280.8
2005	0	0	10.4	0	111.9	366.2	715.4	336.2	259.8	61.9	0	14.3	1876.1
2006	0	14.8	29.3	34.1	266.9	216.1	190.6	461.7	512.8	6.4	9.9	0	1742.6
2007	0	72.1	0	17.1	202.7	434.6	712.5	581.7	180	0	0	0	2200.7
2008	0	0	0	14.2	160.4	216.7	485	560.4	312.8	44.8	63.4	0	1857.7
2009	0	0	0	0	179.5	249.2	926.3	644.2	257	200.3	16.7	0	2473.2
2010	0	0	21.5	63.3	206.2	331.3	517.9	308.6	212.3	309.7	5.3	0	1976.1
2011	0	0	49.9	84.5	333.2	268.6	261.6	406.2	345.5	88.8	64	0	1902.3
Mean	0	9.31	26.11	65.01	222.82	291.8	550.2	481.66	274.36	98.24	18.79	1.43	2039.73
%	0.00	0.46	1.28	3.19	10.92	14.31	26.97	23.61	13.45	4.82	0.92	0.07	100.00

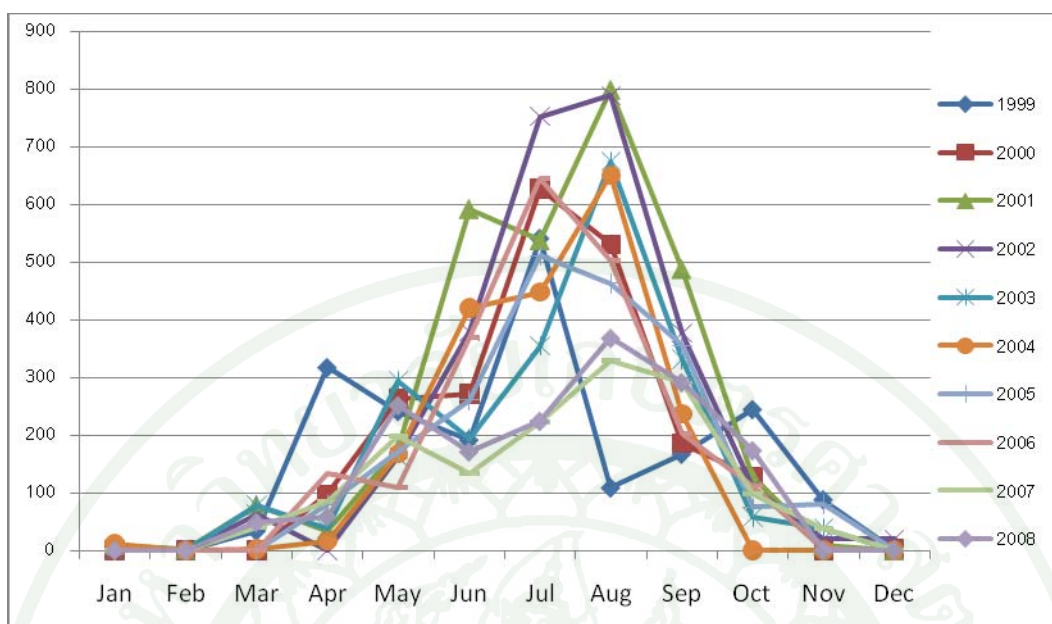
ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ 6 ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอท่าแตงจังหวัดเขกอง

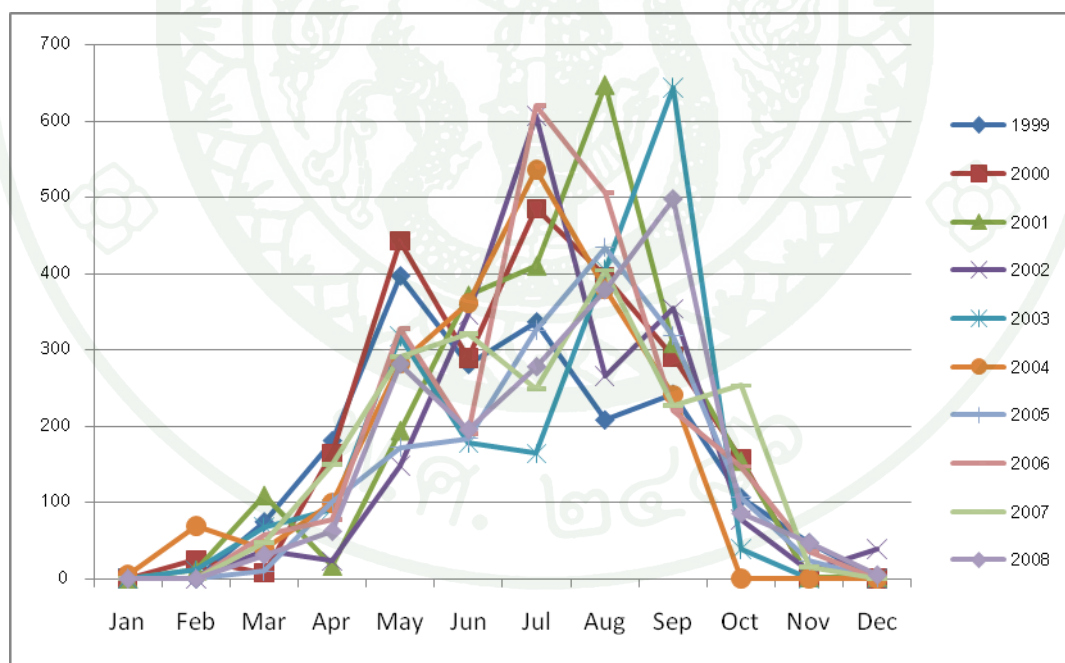
(หน่วย : มิลลิเมตร)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
2002	6	1.5	134.5	290.5	478.7	333.3	622.6	442.5	276.7	276.7	85	0	2948
2003	0	43	44.5	291	0	0	0	0	0	241.5	0	0	620
2004	10	19	73.5	62	306.1	173.3	186.8	388.7	0	174	62.9	19.9	1476.2
2005	0	0	32.3	149	419.8	299.3	653.5	571.4	317.2	282.4	146.4	54	2925.3
2006	0	0	32.5	149	419.8	290.5	441.3	490.4	553.3	47.5	12.4	61.8	2498.5
2007	3.5	15.6	52	61.1	214.5	241.6	483.2	694.1	157	26.8	6.5	0.2	1956.1
2008	0	0	31.1	248	282.9	145.5	460.7	448.9	287.9	19.6	31.1	16.7	1972.4
2009	0	37.6	67.7	179	331.4	304.4	425.7	380.6	391	231.1	7.4	0	2355.9
2010	1.24	0.82	6.03	8.32	252.06	272.6	322.8	174.3	141.6	328.5	14.4	0	1522.67
2011	0.9	0.2	39.3	237.8	299.9	38.7	48.3	253.5	322.6	78.7	7.3	0	1327.2
Mean	2.16	11.77	51.34	167.57	300.52	209.92	364.49	384.44	244.73	170.68	37.34	15.3	1960.23
%	0.11	0.60	2.62	8.55	15.33	10.71	18.59	19.61	12.48	8.71	1.90	0.78	100.00

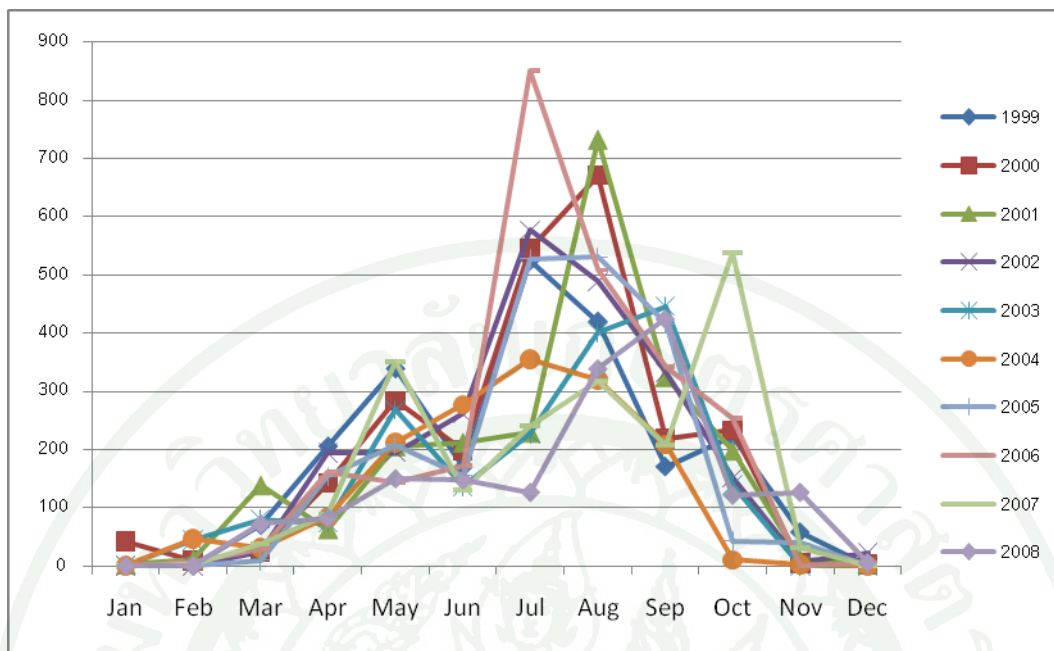
ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)



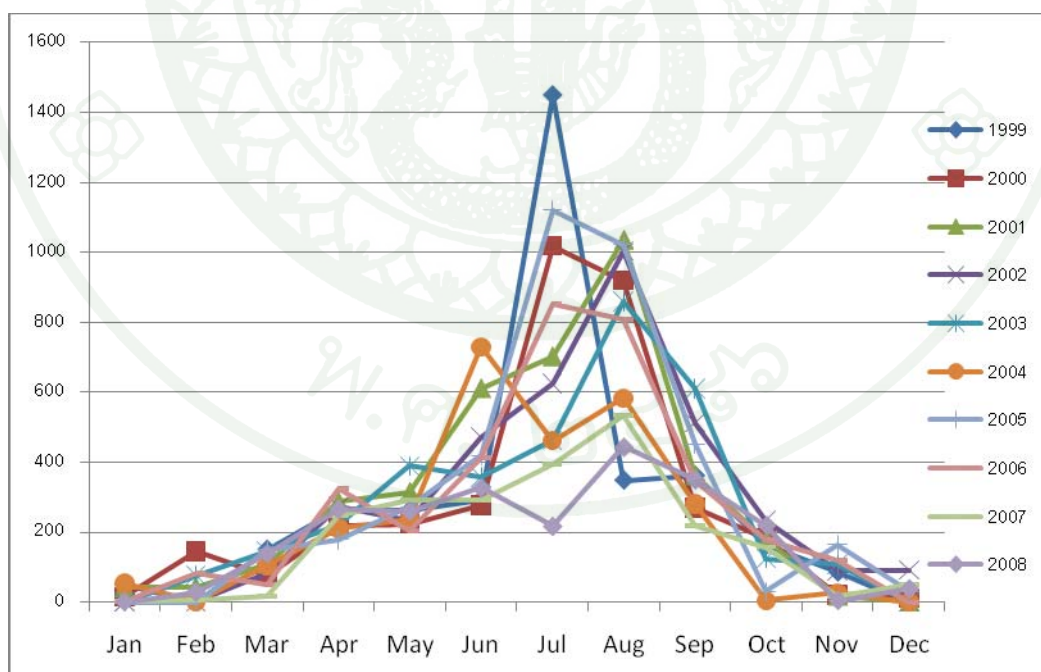
ภาพผนวกที่ ก1 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอบาเจียง จังหวัดจ่าปาสัก



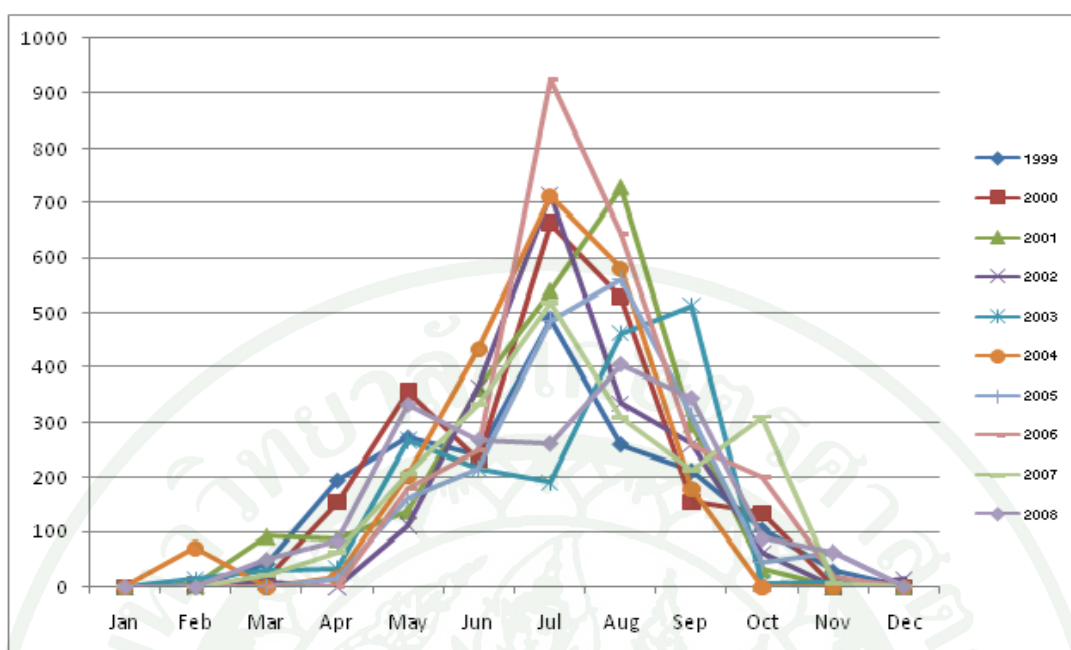
ภาพผนวกที่ ก2 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอกงเซโดน จังหวัดสาละวัน



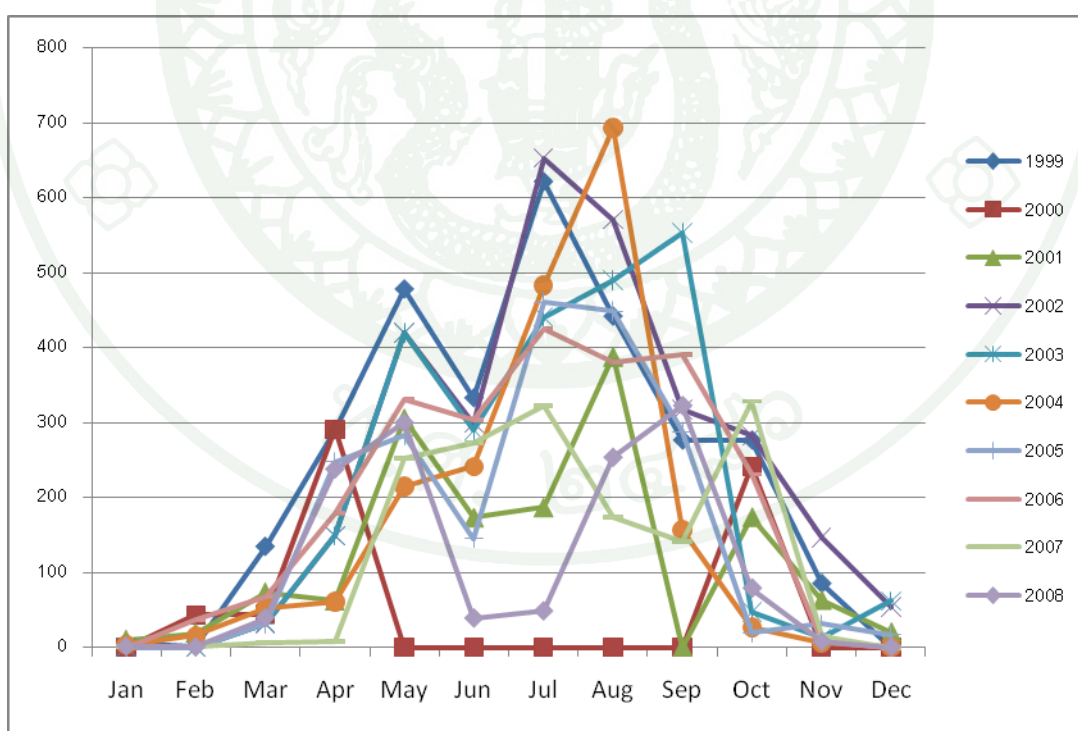
ภาพผนวกที่ ก3 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอเลาแกม จังหวัดสาละวัน



ภาพผนวกที่ ก4 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภopakช่อง จังหวัดอุบลราชธานี



ภาพผนวกที่ ก5 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอชนะสมบุญ จังหวัดจ่าปาสัก



ภาพผนวกที่ ก6 กราฟแสดงปริมาณน้ำฝนรายเดือนในพื้นที่อำเภอท่าแตง จังหวัดเชกอง

2. ข้อมูลปริมาณน้ำไหล

ตารางผนวกที่ ก7 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยปราจิณ

(หน่วย : ล้าน.ลบ.ม.)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1994	0.02	0.01	0.01	0.02	0.06	0.11	0.14	0.2	0.22	0.11	0.04	0.03	0.97
1995	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.07	0.1	0.13	0.19	0.1	0.07	0.78
1996	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.04	0.17	0.24	0.2	0.16	0.06	0.03	0.98
1997	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.07	0.13	0.21	0.13	0.08	0.04	0.03	0.76
1998	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.07	0.13	0.15	0.06	0.03	0.02	0.56
1999	0.01	0.01	0.01	0.02	0.05	0.07	0.13	0.14	0.14	0.08	0.04	0.02	0.72
2000	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.02	0.06	0.09	0.11	0.07	0.04	0.02	0.49
2001	0.02	0.01	0.01	0.02	0.05	0.11	0.15	0.17	0.28	0.13	0.1	0.05	1.1
2002	0.03	0.02	0.02	0.02	0.04	0.04	0.12	0.27	0.12	0.1	0.05	0.03	0.86
2003	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.03	0.06	0.12	0.08	0.04	0.03	0.45
2004	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.25	0.31	0.16	0.1	0.06	0.04	1.09
2005	0.02	0.01	0.01	0.03	0.03	0.05	0.23	0.2	0.24	0.11	0.06	0.03	1.02
2006	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.05	0.15	0.17	0.17	0.11	0.05	0.03	0.81
2007	0.02	0.01	0.01	0.01	0.02	0.04	0.15	0.26	0.19	0.11	0.06	0.03	0.91
2008	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.07	0.12	0.19	0.24	0.1	0.04	0.03	0.89
2009	0.02	0.01	0.01	0.01	0.03	0.06	0.09	0.16	0.11	0.05	0.03	0.02	0.6
2010	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.02	0.14	0.36	0.25	0.1	0.05	0.03	1.01
2011	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.05	0.24	0.25	0.16	0.25	0.06	0.03	1.14
2012	0.02	0.01	0.01	0.02	0.04	0.04	00	00	00	00	00	00	0.14
Mean	0.02	0.01	0.01	0.02	0.03	0.05	0.14	0.19	0.17	0.12	0.05	0.03	0.84
%	2.31	1.25	1.25	1.81	4.05	6.18	16.34	23.02	20.09	13.66	6.30	3.74	100.00

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ ๘ อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยจะราง

(หน่วย : ล้าน.ลบ.ม.)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1994	0.18	0.11	0.1	0.15	0.55	1.02	1.33	1.85	2.07	1.02	0.39	0.25	9.02
1995	0.16	0.08	0.12	0.12	0.3	0.34	0.69	0.93	1.27	1.78	0.92	0.63	7.34
1996	0.17	0.1	0.11	0.14	0.24	0.35	1.62	2.25	1.83	1.53	0.54	0.32	9.2
1997	0.2	0.1	0.09	0.08	0.17	0.67	1.21	1.95	1.26	0.79	0.38	0.24	7.14
1998	0.14	0.1	0.09	0.1	0.24	0.21	1.63	1.23	1.4	0.61	0.3	0.18	6.23
1999	0.12	0.09	0.09	0.23	0.48	0.62	1.26	1.31	1.33	0.79	0.36	0.22	6.9
2000	0.16	0.11	0.1	0.1	0.25	0.23	0.52	0.89	0.99	0.7	0.37	0.22	4.64
2001	0.15	0.1	0.09	0.16	0.46	1.06	1.45	1.59	2.64	1.2	0.94	0.44	10.28
2002	0.26	0.17	0.15	0.18	0.35	0.39	1.13	2.51	1.13	0.99	0.45	0.25	7.96
2003	0.17	0.1	0.09	0.07	0.16	0.19	0.25	0.53	1.15	0.75	0.4	0.26	4.12
2004	0.15	0.09	0.09	0.15	0.41	0.68	2.34	2.96	1.5	0.98	0.54	0.37	10.26
2005	0.21	0.14	0.14	0.26	0.33	0.44	2.2	1.89	2.29	1.04	0.57	0.29	9.8
2006	0.18	0.11	0.12	0.11	0.26	0.46	1.46	1.56	1.62	1.03	0.49	0.27	7.67
2007	0.17	0.09	0.09	0.11	0.23	0.36	1.43	2.48	1.8	1.08	0.58	0.33	8.75
2008	0.2	0.14	0.13	0.17	0.42	0.69	1.15	1.79	2.28	0.93	0.41	0.24	8.55
2009	0.16	0.1	0.09	0.13	0.25	0.61	0.88	1.49	1.04	0.5	0.24	0.16	5.65
2010	0.11	0.07	0.08	0.11	0.19	0.18	1.31	3.4	2.33	0.95	0.49	0.28	9.5
2011	0.17	0.11	0.11	0.17	0.36	0.48	2.29	2.39	1.54	2.38	0.56	0.32	10.88
2012	0.2	0.12	0.13	0.14	0.34	0.34	00	00	00	00	00	00	1.27
Mean	0.17	0.11	0.11	0.14	0.32	0.49	1.36	1.82	1.6	1.1	0.5	0.29	8.0084
%	2.14	1.33	1.32	1.76	3.94	6.13	17	22.8	20	13.7	6.23	3.66	100

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ ๙ อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยกะเพอ

(หน่วย : ล้าน.ลบ.ม.)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1994	0.77	0.48	0.42	0.65	2.32	4.33	5.66	7.87	8.8	4.33	1.67	1.08	38.38
1995	0.7	0.34	0.53	0.52	1.27	1.45	2.93	3.96	5.39	7.57	3.91	2.67	31.24
1996	0.74	0.41	0.47	0.59	1.02	1.5	6.87	9.55	7.96	6.51	2.29	1.37	39.28
1997	0.83	0.43	0.37	0.34	0.7	2.85	5.15	8.27	5.34	3.36	1.6	1	30.24
1998	0.61	0.4	0.4	0.41	1.02	0.88	2.69	5.24	5.95	2.59	1.27	0.78	22.24
1999	0.51	0.37	0.38	0.97	2.02	2.65	5.35	5.57	5.65	3.38	1.54	0.92	29.31
2000	0.69	0.47	0.43	0.43	1.06	0.96	2.2	3.8	4.2	2.99	1.58	0.93	19.74
2001	0.64	0.42	0.38	0.69	1.93	4.49	6.15	6.74	11.2	5.11	3.98	1.87	43.61
2002	1.12	0.72	0.65	0.77	1.5	1.65	4.81	10.7	4.79	4.2	1.9	1.07	33.86
2003	0.7	0.41	0.38	0.32	0.67	0.82	1.06	2.26	4.91	3.2	1.71	1.09	17.53
2004	0.63	0.39	0.37	0.65	1.75	2.88	9.94	12.6	6.39	4.18	2.3	1.56	43.61
2005	0.91	0.6	0.59	1.08	1.38	1.86	9.34	8.04	9.71	4.42	2.43	1.22	41.58
2006	0.78	0.45	0.51	0.47	1.1	1.94	6.19	6.63	6.88	4.38	2.07	1.16	32.56
2007	0.74	0.39	0.37	0.47	0.97	1.52	6.06	10.5	7.65	4.59	2.46	1.38	37.11
2008	0.87	0.59	0.56	0.74	1.79	2.94	4.88	7.6	9.71	3.95	1.76	1.02	36.41
2009	0.68	0.44	0.38	0.54	1.04	2.59	3.74	6.32	4.42	2.1	1.02	0.7	23.97
2010	0.48	0.3	0.33	0.47	0.81	0.77	5.57	14.3	9.91	4.02	2.09	1.17	40.18
2011	0.74	0.46	0.46	0.73	1.54	1.99	9.73	10.2	6.53	10.1	2.39	1.38	46.24
2012	0.84	0.51	0.54	0.6	1.43	1.43	00	00	00	00	00	00	5.35
Mean	0.74	0.45	0.45	0.6	1.33	2.08	5.56	7.74	6.81	4.68	2.12	1.25	33.802
%	2.18	1.34	1.33	1.78	3.94	6.15	16.5	22.9	20.1	13.8	6.27	3.68	100

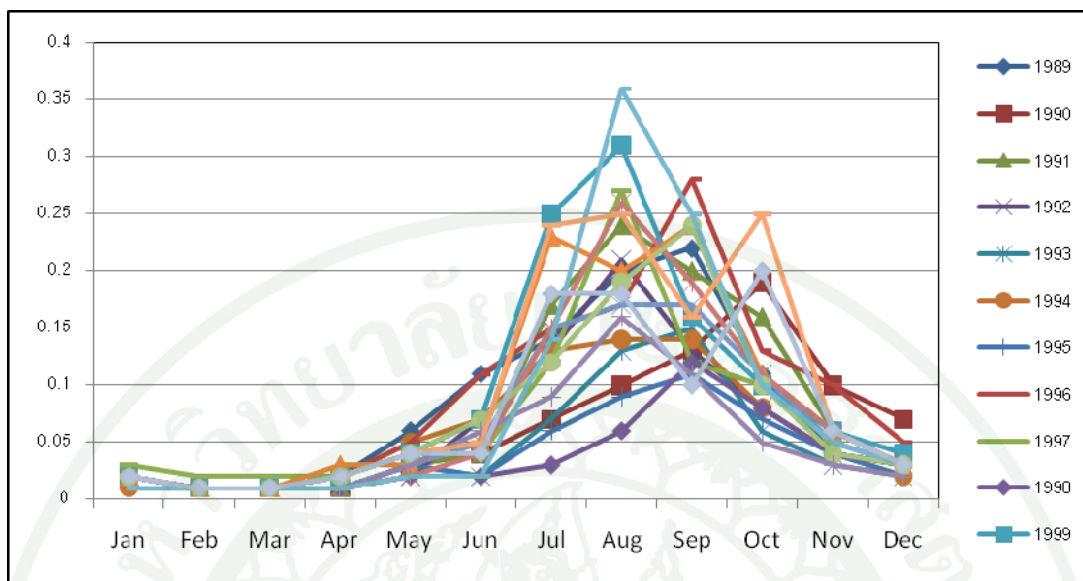
ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)

ตารางผนวกที่ ก10 อัตราการไหลเฉลี่ยรายเดือนห้วยกะเพอห้วยปราชิวและห้วยจะราง

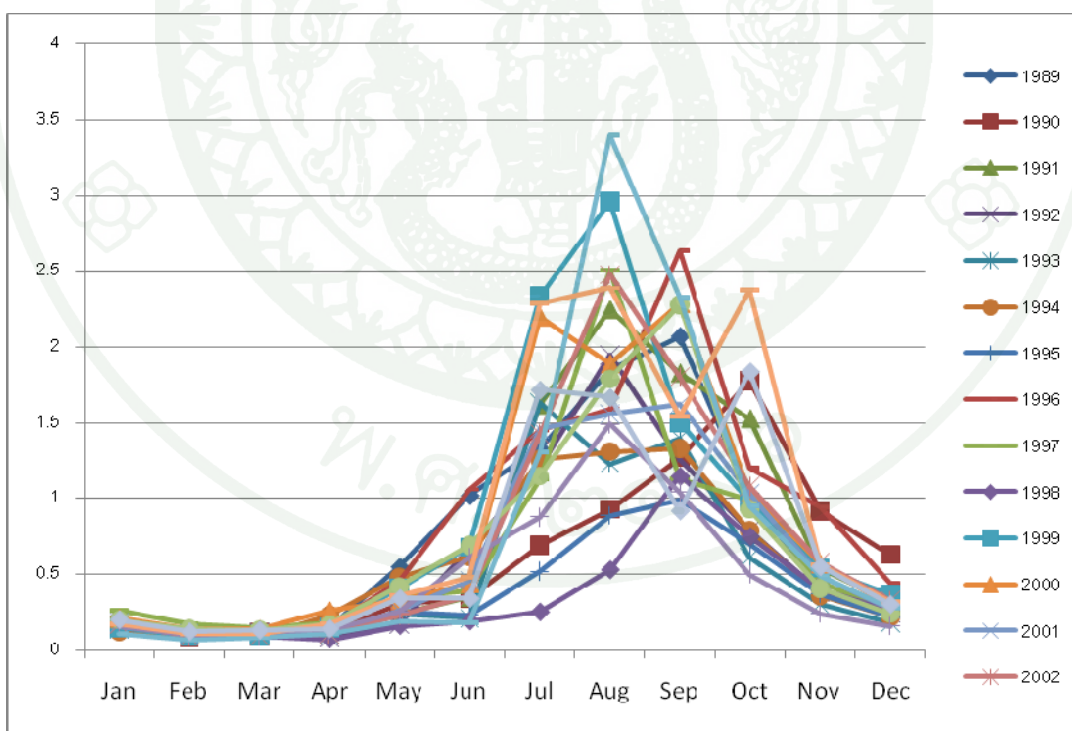
(หน่วย :ล้าน.ลบ.ม.)

year	Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dec	Annual
1994	0.97	0.61	0.52	0.82	2.92	5.46	7.13	9.92	11.1	5.45	2.1	1.36	48.36
1995	0.88	0.43	0.66	0.66	1.6	1.83	3.69	4.99	6.79	9.54	4.93	3.37	39.37
1996	0.93	0.52	0.59	0.74	1.29	1.89	8.66	12	9.9	8.21	2.89	1.73	49.38
1997	1.05	0.54	0.46	0.43	0.89	3.59	6.49	10.4	6.73	4.24	2.01	1.26	38.12
1998	0.76	0.51	0.51	0.52	1.29	1.11	3.39	6.6	7.5	3.26	1.6	0.98	28.03
1999	0.65	0.47	0.48	1.22	2.55	3.33	6.74	7.03	7.12	4.26	1.94	1.16	36.95
2000	0.87	0.59	0.54	0.54	1.33	1.22	2.78	4.79	5.3	3.77	1.99	1.17	24.89
2001	0.81	0.52	0.47	0.88	2.44	5.66	7.76	8.5	14.1	6.44	5.02	2.35	54.99
2002	1.42	0.91	0.83	0.97	1.89	2.08	6.07	13.5	6.03	5.29	2.4	1.35	42.7
2003	0.89	0.52	0.48	0.4	0.84	1.03	1.34	2.84	6.18	4.04	2.16	1.37	22.09
2004	0.8	0.49	0.46	0.82	2.2	3.63	12.5	15.9	8.05	5.27	2.9	1.96	54.95
2005	1.14	0.75	0.74	1.37	1.74	2.34	11.8	10.1	12.2	5.57	3.06	1.53	52.38
2006	0.98	0.57	0.64	0.59	1.39	2.44	7.8	8.36	8.68	5.52	2.62	1.47	41.06
2007	0.93	0.5	0.47	0.59	1.22	1.92	7.64	13.3	9.65	5.78	3.1	1.74	46.79
2008	1.09	0.75	0.71	0.93	2.26	3.7	6.15	9.58	12.2	4.98	2.22	1.28	45.88
2009	0.86	0.56	0.47	0.68	1.31	3.27	4.71	7.96	5.57	2.65	1.28	0.88	30.2
2010	0.6	0.37	0.41	0.59	1.02	0.97	7.02	18.2	12.5	5.06	2.63	1.48	50.88
2011	0.93	0.59	0.58	0.92	1.94	2.51	12.3	12.8	8.23	12.8	3.01	1.73	58.29
2012	1.06	0.65	0.68	0.76	1.8	1.8	00	00	00	00	00	00	4.95
Mean	0.93	0.57	0.56	0.76	1.68	2.62	7.01	9.77	8.57	5.89	2.67	1.57	42.61
%	2.18	1.34	1.32	1.78	3.94	6.15	16.45	22.94	20.12	13.83	6.27	3.68	100

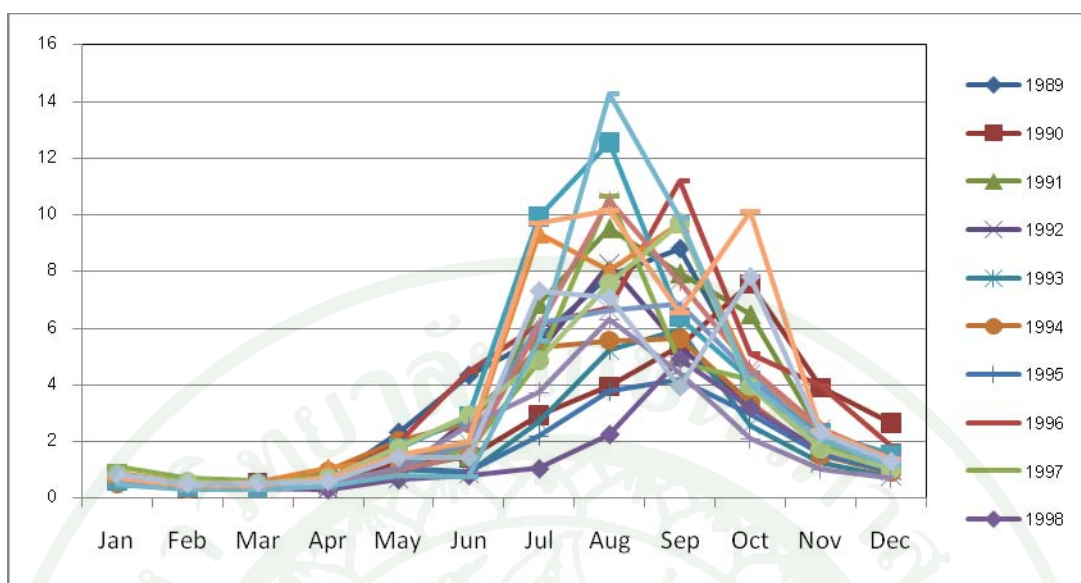
ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)



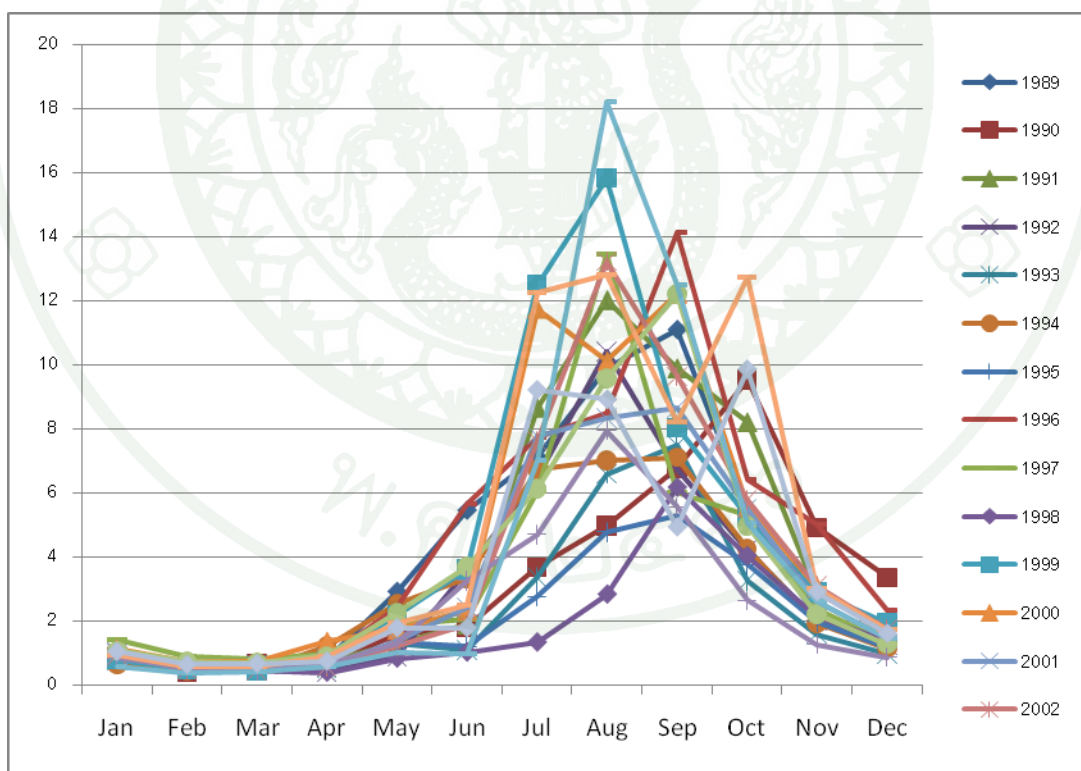
ภาพผนวกที่ ก7 กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยปราชิว



ภาพผนวกที่ ก8 กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยจะราง



ภาพผนวกที่ ก9 กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยกะเพอ



ภาพผนวกที่ ก10 กราฟการไหลเฉลี่ยรายเดือนที่น้ำห้วยกะเพอห้วยปราชิวและราง

แผนที่ประเทศลาว



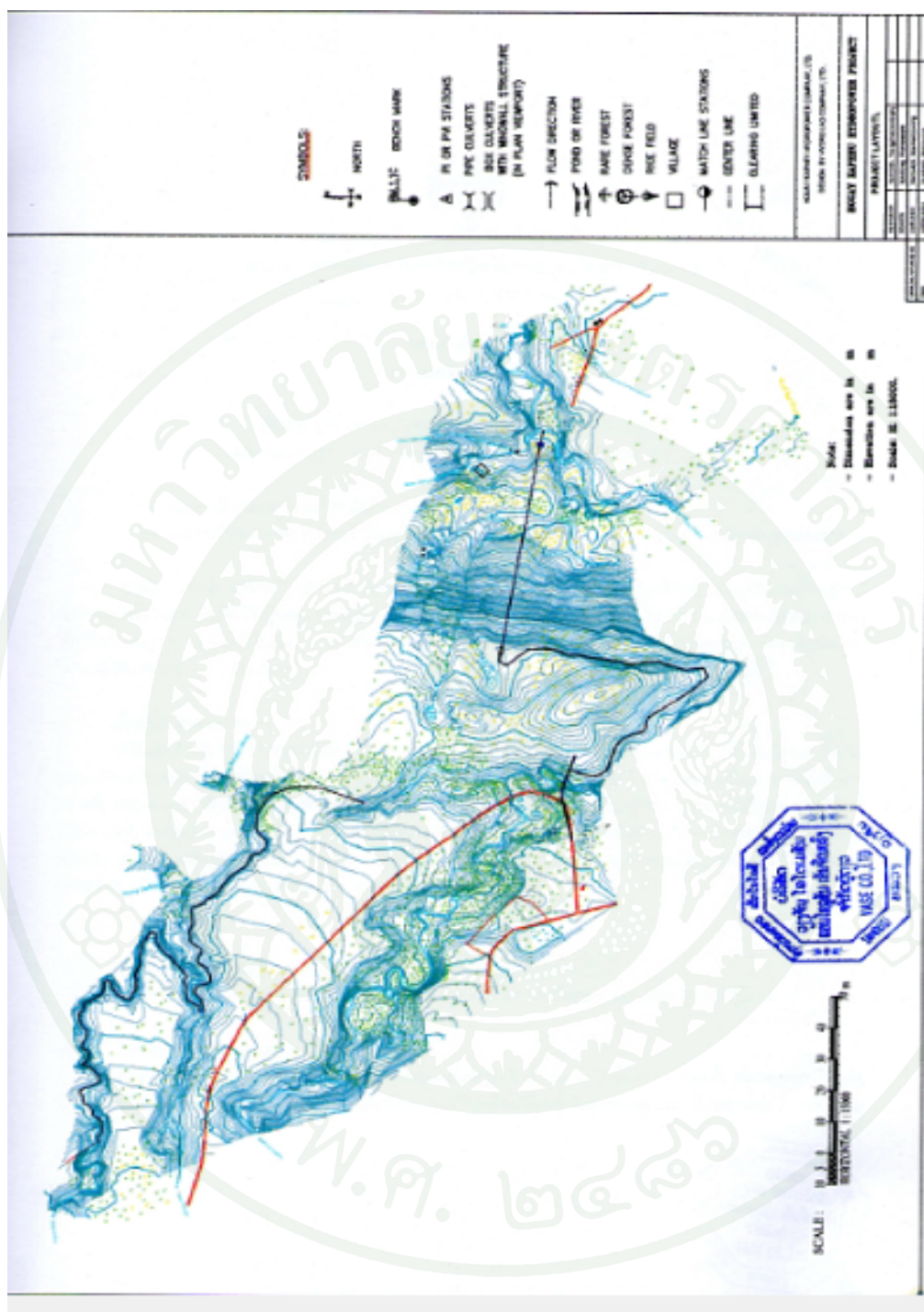
ภาพผนวกที่ ก11 แผนที่แห่งสาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (ส.ป.ป.ลาว)

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)



ภาพผนวกที่ ก12 แสดงแผนที่ขอบเขตพื้นที่ของโครงการ

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)



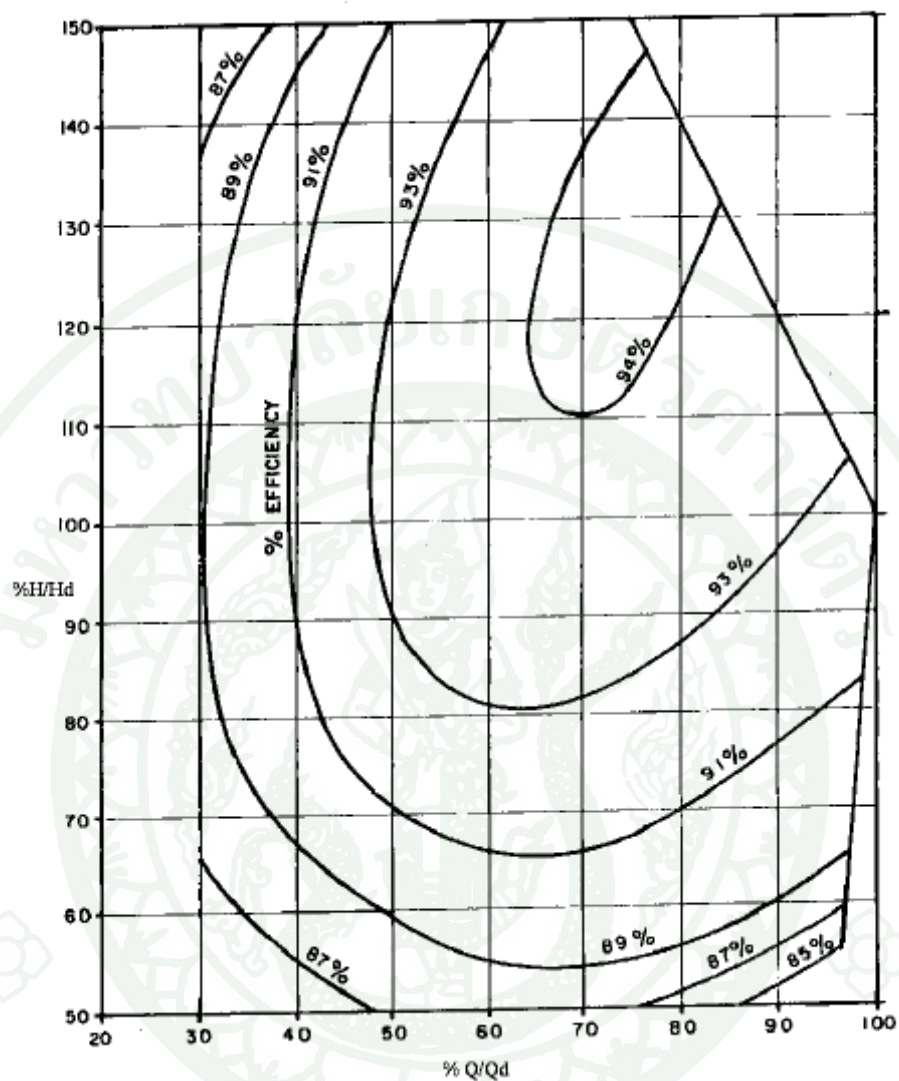
ภาพผนวกที่ ก13 แสดงลักษณะภูมิที่ตั้งเขื่อน

ที่มา: บริษัท VASE CO.LTD (2012)



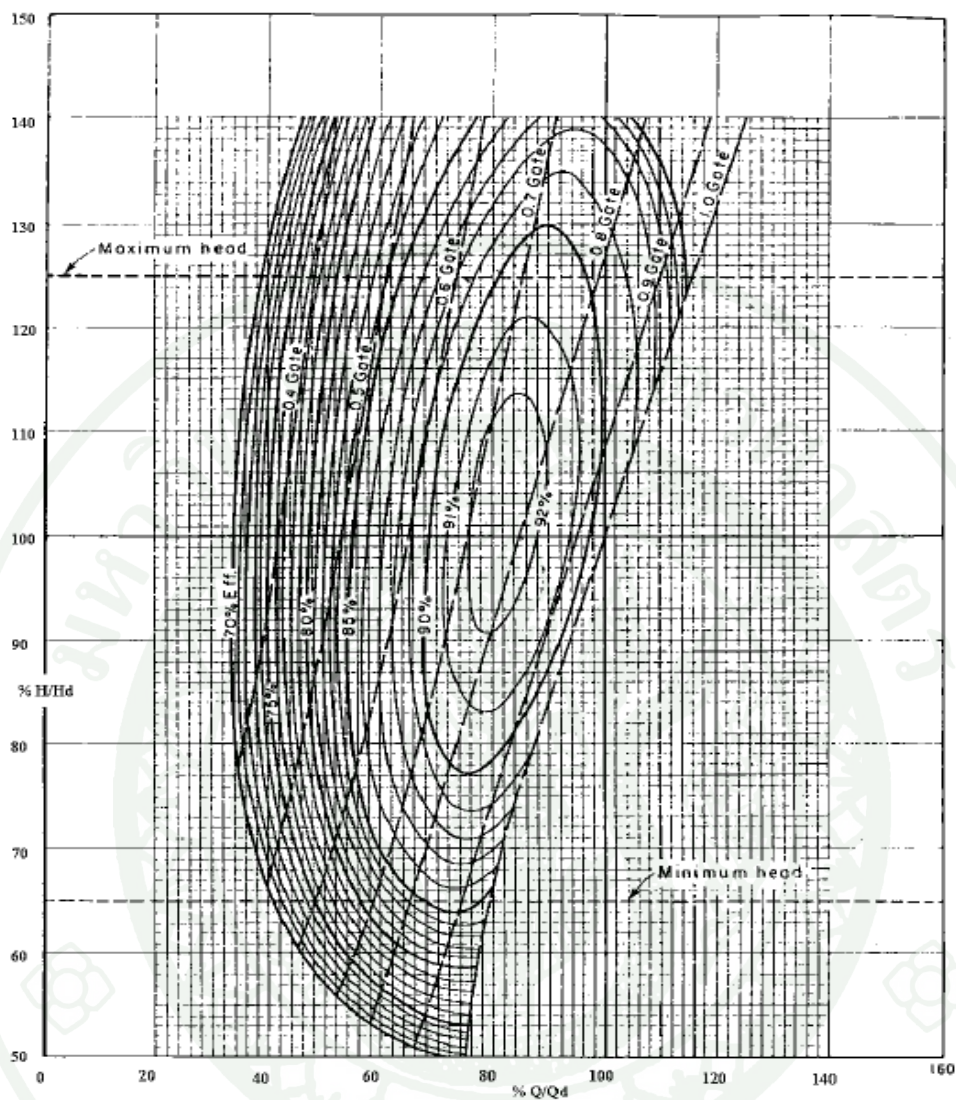
ภาพผนวกที่ ก14 แสดงภาพถ่ายลำน้ำบริเวณจุดที่ตั้งโครงการ





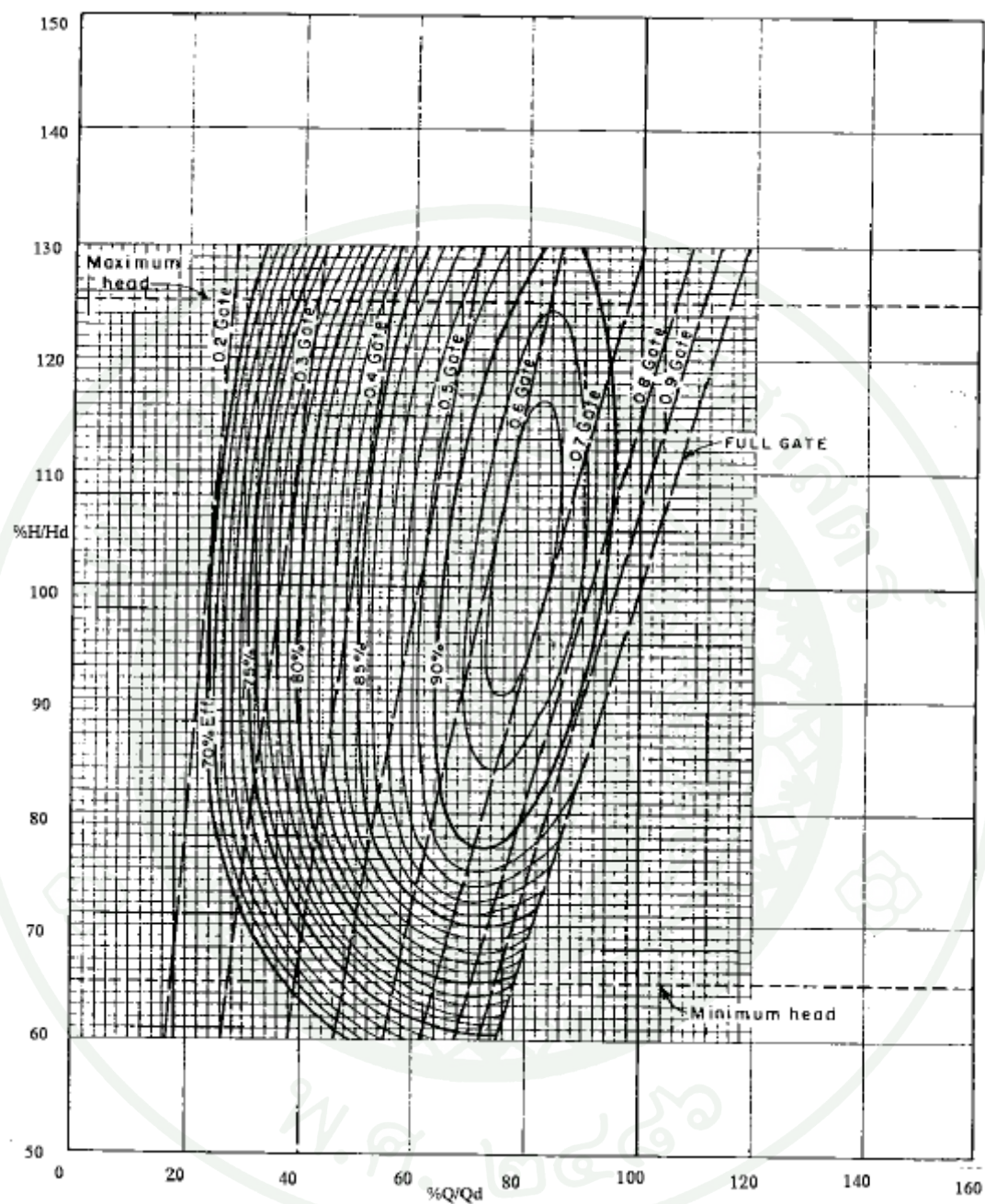
ภาพผนวกที่ ข1 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแบบ Bulb

ที่มา: New Energy Foundation (1996)



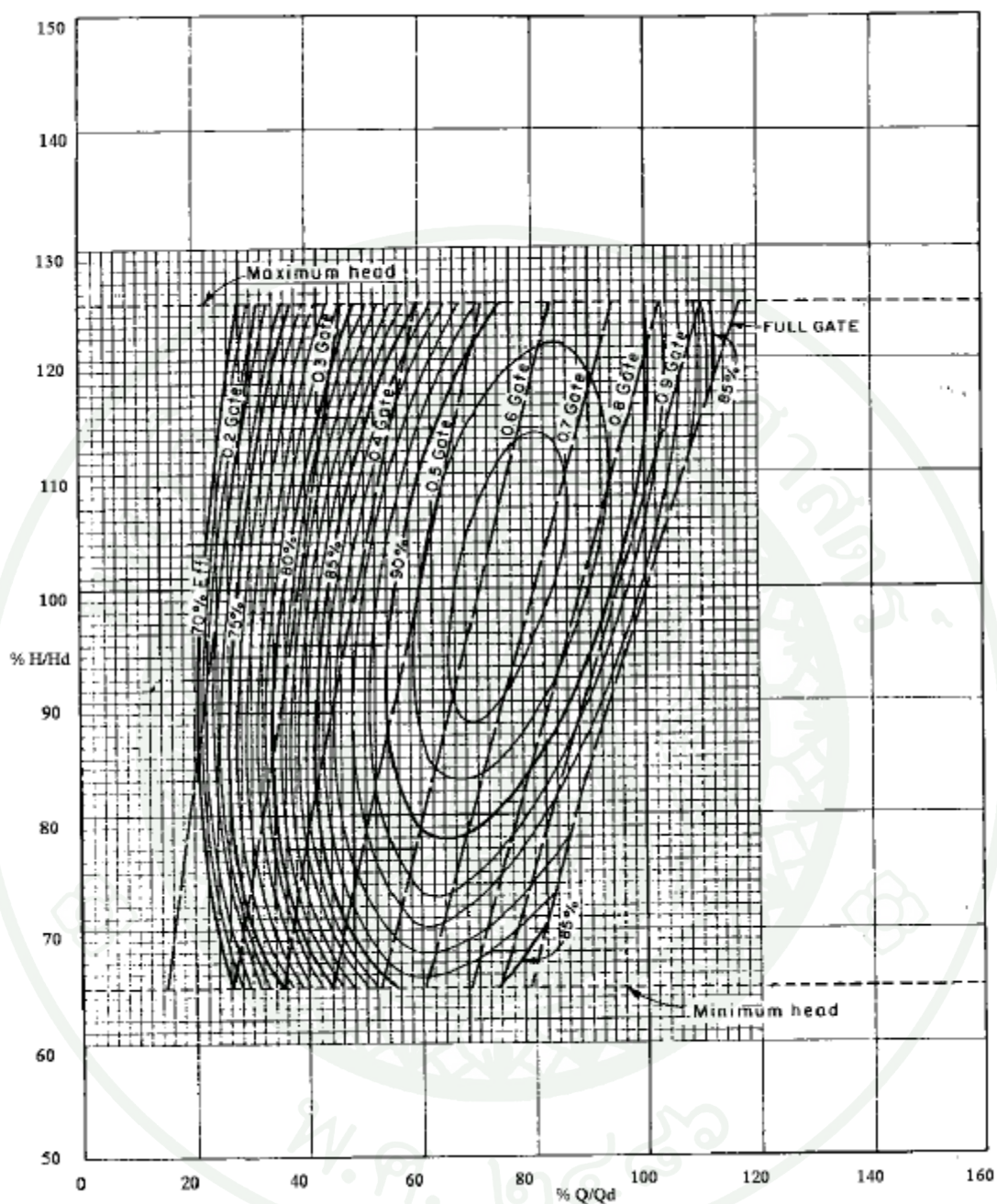
ภาพผนวกที่ ๒2 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแบบ Francis ที่ η_s เท่ากับ 48 ถึง 75

ที่มา: New Energy Foundation (1996)



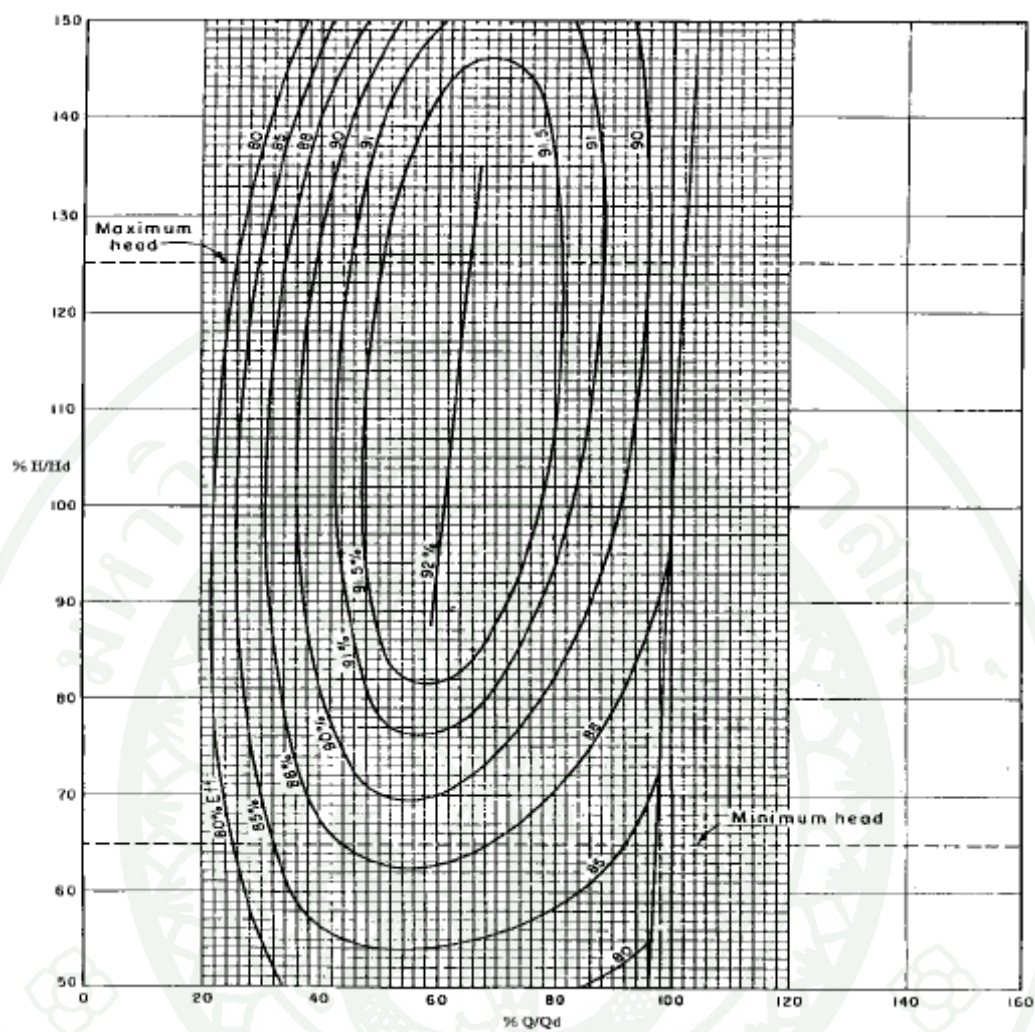
ภาพผนวกที่ ข3 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแบบ Francis ที่ η_u เท่ากับ 40 ถึง 48

ที่มา: New Energy Foundation (1996)



ภาพผนวกที่ ข4 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแบบ Francis ที่ n_s เท่ากับ 25 ถึง 40

ที่มา: New Energy Foundation (1996)



ภาพผนวกที่ ข5 ประสิทธิภาพเครื่องกังหันน้ำแบบ Kaplan

ที่มา: New Energy Foundation (1996)



ความเร็วจำเพาะ (Specific Seed)

คือ ความเร็วของการหมุนเครื่องกังหันน้ำโดยมีคุณสมบัติและลักษณะเดิมของเครื่องกังหันน้ำขนาดจริงและให้พลังงานไฟฟ้าออกมา 1 หน่วย จากความสูงของน้ำ 1 หน่วย ดังสมการนี้

$$n_s = \frac{nP^{\frac{1}{2}}}{D_d^{\frac{5}{4}}} \quad (32)$$

โดย n = ความเร็วของการหมุน (rpm)
 P = กำลังผลิต (KW)
 H_d = ความสูงน้ำออกแบบ (m)

แต่ในกรณีนี้จะคำนวณหาความเร็วจำเพาะของการหมุนเครื่องกังหันน้ำและจำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าได้ดังสมการ

ตารางผนวกที่ ๑ สูตรที่ใช้ในการคำนวณหาความเร็วจำเพาะของเครื่องกังหันน้ำแบบต่างๆ

เครื่องกังหันน้ำ	สูตรคำนวณความเร็วจำเพาะ n_s	สูตรคำนวณความเร็วของการหมุน n	สูตรคำนวณจำนวนขั้วของเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
Francis	$\frac{20000}{(H_d + 20) + 30}$	$\frac{n_s H^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{120 f}{n}$
Bulb	$\frac{16000}{(H_d + 7) + 23}$	$\frac{n_s H^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{120 f}{n}$
Kaplan	$\frac{20000}{(H_d + 20) + 50}$	$\frac{n_s H^{\frac{1}{2}}}{P^{\frac{1}{2}}}$	$\frac{120 f}{n}$

ที่มา: สรวิชน์ (2547)

ตารางผนวกที่ ค2 ความสัมพันธ์ของจำนวน Pole กับความเร็วของการหมุน

จำนวน Pole	ความเร็วของการหมุน (Revolving Speed)
2	3000
4	1500
6	1000
8	750
10	600
12	500
14	429
16	375
18	333
20	300
22	273
24	250
26	321
28	214
30	200
32	188
34	177
36	167
38	158
40	150
42	143
44	136
46	130
48	125
50	120

ที่มา: New Energy Foundation (1996)

ตัวอย่าง การคำนวณหาความเร็วจำเพาะ

สมมติว่าความสูงน้ำออกรูแบบ (125 เมตร) กำลังไฟฟ้าผลิตได้ 8500 กิโลวัตต์ เลือกใช้เครื่องกังหันน้ำแบบ Francis

สมการคำนวณหาความเร็วจำเพาะคือ

$$n_s = \frac{16000}{(H_d + 7) + 23}$$

แทนค่าความสูงน้ำออกรูแบบ(125เมตร)ในสมการข้างบนจะได้

$$n_s = 168n - Kw$$

คำนวณหาความเร็วของการหมุน

$$n = \frac{n_s H^{\frac{5}{4}}}{P^{\frac{1}{2}}} = \frac{168 \times 125^{\frac{5}{4}}}{8500^{\frac{1}{2}}} = 762 \text{ rpm}$$

$$\text{จำนวนขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้า} = \frac{120f}{n} = \frac{120 \times 50}{762} = 8 \text{ อัน}$$

เลือกใช้จำนวนขั้วเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเท่ากับ 12 อัน จะได้ค่าความเร็วของการหมุนเท่ากับ 500 rpm ดังตารางผนวกที่ ค2 คำนวณหาความเร็วจำเพาะ

$$n_s = \frac{n P^{\frac{1}{2}}}{H_d^{\frac{5}{4}}} = \frac{500 \times 8500^{\frac{1}{2}}}{125^{\frac{5}{4}}} = 110n - Kw$$

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ-นามสกุล	นายบุญทวี สีสมพร
วัน เดือน ปี เกิด	วันที่ 1 มกราคม 2514
สถานที่เกิด	จ.สาละวัน
ประวัติการศึกษา	ระดับปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง มหาวิทยาลัยแห่งชาติลาว
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	วิศวกรไฟฟ้า
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	แผนกพลังงานและเหมืองแร่ ถนนเลข 20 จังหวัดสาละวัน