

การออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กท้ายเขื่อนลำตะคอง



โครงการนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ปีการศึกษา 2560

การออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กท้ายเขื่อนลำตะคอง

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี อนุมัติให้นับโครงงานฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษา
ตามหลักสูตรปริญญาโทบริหารบัณฑิต

คณะกรรมการสอบโครงงาน

(รศ. ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร)

ประธานกรรมการ

(ผศ. ดร.ปรีชาพร โกษา)

กรรมการ (อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน)

(ดร.อภิชาติ สุตดีพงษ์)

กรรมการ

(รศ. ร.อ. ดร.กนต์ธร ชำนิประศาสน์)

คณบดีสำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์

นพพร ภู่อแพร่ : การออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กท้ายเขื่อนลำตะคอง (DESIGN OF LAM TA KONG SMALL HYDRO POWER PLANT PROJECT) อาจารย์ที่ปรึกษา :
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา

การผลิตไฟฟ้าเพื่อใช้ในประเทศปัจจุบันใช้เชื้อเพลิงชนิดฟอสซิล เช่น น้ำมัน ก๊าซธรรมชาติ และถ่านหิน ในการผลิตไฟฟ้ามากกว่าร้อยละ 80 การวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาและออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง ซึ่งเป็นพลังงานหมุนเวียน ที่จะช่วยลดสัดส่วนการใช้พลังงานฟอสซิลเพื่อผลิตไฟฟ้าและรองรับวิกฤตพลังงานในอนาคต ในการศึกษาวิจัยนี้มี 3 หัวข้อที่นำมาวิเคราะห์ คือ (1) ศึกษาวิจัยข้อมูลเจาะสำรวจดินของ กฟผ. มาวิเคราะห์ว่าต้องปรับปรุงสภาพทางธรณีวิทยาหรือไม่ โดยจากการวิเคราะห์ ค่า SPT. ที่ความลึก 0-10 เมตร น้อยสุดเท่ากับ 12 ครั้งต่อฟุต ยังอยู่ในกลุ่มของชั้นดินแข็ง มีสภาพธรณีวิทยาที่ยอมรับได้ ส่วนความลึกตั้งแต่ 10-30 เมตรเป็นชั้นหิน มีค่าการซึมของน้ำในวัสดุเกินกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ในช่วงความลึก 9-21 เมตรต้องปรับปรุงสภาพธรณีโดยวิธีอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์ (2) เลือกขนาดของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าจากข้อมูลการระบายน้ำและข้อมูลระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำตะคอง กรมชลประทาน จากการวิจัยได้ 7 ทางเลือก และทางเลือกที่เหมาะสมคือ 2 เครื่อง $\times 0.80 = 1.60$ เมกกะวัตต์โดยนำมาเปรียบเทียบกับแนวทาง กฟผ. ที่ 1 เครื่อง 1.50 เมกกะวัตต์ ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าน้อยกว่า กฟผ. = 0.262 ล้านกิโลวัตต์ แต่ทางเลือกงานวิจัยนี้สามารถเดิน 1 เครื่องได้ในกรณีน้ำน้อย ซึ่งต่างจากของ กฟผ. ที่ต้องหยุดเดินเครื่อง (3) ศึกษาวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ โดยประมาณราคาใน 7 ทางเลือก วิเคราะห์หาค่า อัตราส่วน B/C Ratio ได้ค่าสูงสุดใน 7 ทางเลือกคือ $B/C=1.60$ ในทางเลือก $2 \times 0.80 = 1.60$ เมกกะวัตต์ ต่างจากของ กฟผ. คือ $B/C=1.17$ ในทางเลือก 1×1.50 เมกกะวัตต์ และวิเคราะห์ค่า IRR ของงานวิจัยได้ 5.09% ในทางเลือก $2 \times 0.80 = 1.60$ เมกกะวัตต์ ต่างจากของ กฟผ. คือ 8.37% ในทางเลือก 1×1.50 เมกกะวัตต์

NOPPORN POOPARE : DESIGN OF LAM TA KONG SMALL HYDRO
POWER PLANT PROJECT. ADVISOR : ASST. PROF. PREEYAPHORN
KOSA, Ph.D.

Currently, the use of fossil fuels such as oil, natural gas and coal for power generation is more than 80%. The purpose of this research is to study and design Lam Ta Kong Hydropower Plant that is a renewable energy. This will reduce the proportion of fossil energy used to generate electricity and support the future energy crisis. In this study, there are 3 parts to be analyzed: (1) Study on soil survey data of EGAT to analyze whether geological conditions need to be improved or not. The analysis of SPT at a depth of 0-10 meters, at least 12 times per foot, was also found in the clay layer. The geological conditions are acceptable. For a depth is 10-30 meters, water permeability in the material exceeds the criteria. In the depths of 9-21 meter, the geologic condition must be improved by injecting cement water. (2) Select the size of water turbine and generator. From the data of water drainage and water level in the reservoir of Lam Ta Kong dam, the research was divided into 7 choices and the appropriate choice was $2 \times 0.80 = 1.60$ MW that is less than 1.50 MW of electricity EGAT (0.262 million kilowatts). However, this research option can be operate a machine in the case of less water but the EGAT choice must be stop. (3) Economic analysis. The maximum B/C ratio in the case of $2 \times 0.80 = 1.60$ Mw is 1.60 and the IRR is 5.09% . On the other hand, for EGAT choice, the B / C is 1.17 and IRR is 8.37%.

School of Construction and Infrastructure Management Student's Signature _____
Academic Year 2017 Advisor's Signature _____

กิตติกรรมประกาศ

การจัดทำโครงงานนี้ สำเร็จได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ปรียาพร โกษา ผู้ให้แนวคิด ให้โอกาส ให้คำแนะนำ รวมทั้งช่วยแก้ปัญหา ตรวจทานเนื้อหาอย่างละเอียด รวดเร็วอันเป็นความกรุณาและคุณประโยชน์ต่อผู้จัดทำเป็นอย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบโครงงาน รองศาสตราจารย์ ดร.วชรภูมิ เบญจโอฬาร ประธานกรรมการ ดร.อภิชาติ สุนตติพงษ์ กรรมการ ที่กรุณาให้ข้อคิดเห็นและให้คำแนะนำ ทำให้โครงงานนี้ถูกต้อง ครบคลุมสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณคณะทำงานศึกษาความเหมาะสม โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย ที่เอื้อเฟื้อข้อมูล ขอขอบคุณ ผู้ประสานงาน คุณณฤต กลอยเทพ ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน ที่คอยช่วยเหลือ และท่านอื่นๆ ในฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน ที่มีส่วนร่วมแต่มิได้เอ่ยนามมา ณ ที่นี้ด้วย

ขอขอบคุณเพื่อนๆ พี่น้อง รุ่น 15 ที่ช่วยเหลือและร่วมฝ่าฟันมาจนถึงปลายทางด้วยกัน

และสุดท้ายขอกราบขอบพระคุณบิดา มารดา ผู้ให้กำเนิด ขอขอบคุณพี่น้องและครอบครัวที่ร่วมสนับสนุนและเป็นกำลังใจในการศึกษาเล่าเรียน จนทำให้โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงไปด้วยดี จึงใคร่ขอขอบพระคุณเป็นอย่างสูงมา ณ โอกาสนี้

นพพร ภูแพร

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	ข
กิตติกรรมประกาศ.....	ค
สารบัญ.....	ง
สารบัญตาราง.....	ช
สารบัญรูปภาพ.....	ซ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา.....	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	2
1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย.....	2
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ.....	2
2 ปรัชญาบรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	3
2.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	3
2.1.1 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	3
2.1.2 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	5
2.1.3 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	7
2.1.4 ประเภทของกังหันน้ำ.....	9
2.1.4.1 กังหันน้ำประเภทหัวฉีด.....	9
2.1.4.2 กังหันน้ำประเภทแรงปฏิกิริยา.....	11
2.2 พื้นที่การศึกษา.....	13
2.2.1 ลักษณะที่ตั้งของโครงการ.....	13
2.2.2 เชื้อเพลิงและอ่างเก็บน้ำ.....	15

2.2.3	ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา.....	18
2.2.3.1	สภาพภูมิอากาศ.....	18
2.2.3.2	อุณหภูมিবริเวณโครงการ.....	19
2.2.3.3	ความชื้นสัมพัทธ์.....	19
2.2.3.4	ปริมาณการระเหย.....	23
2.2.3.5	กระแสดม.....	23
2.2.3.6	ปริมาณฝน.....	23
2.2.3.7	อุทกวิทยา.....	25
2.2.4	ข้อมูลธรณีวิทยาและปฐพีกลศาสตร์.....	31
2.2.4.1	สภาพธรณีวิทยาทั่วไป.....	31
2.2.4.2	สภาพธรณีวิทยาบริเวณที่ตั้งโรงไฟฟ้า.....	34
2.2.5	การใช้ที่ดินและสิ่งแวดล้อม.....	45
2.2.5.1	การตรวจสอบข้อมูลที่ดินเพื่อก่อสร้าง.....	45
2.2.5.2	แนวทางการดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม.....	48
2.3	การประมาณราคาโครงการ.....	49
2.3.1	ทฤษฎีการประมาณราคา.....	49
2.3.2	หลักการนำมาใช้งาน.....	50
2.4	งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	52
3	วิธีดำเนินการวิจัย.....	56
3.1	สภาพธรณีวิทยาจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้า.....	58
3.2	เลือกขนาดกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	61
3.3	วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	65
3.3.1	การประมาณราคา.....	65
3.3.2	อัตราส่วนผลประโยชน์โครงการต่อต้นทุน.....	67
4	ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล.....	69
4.1	ผลการศึกษาสภาพธรณีวิทยาจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้า.....	69
4.1.1	วิเคราะห์ผลค่า SPT.....	69
4.1.2	วิเคราะห์ผลค่าการซึมของน้ำในชั้นดินและหิน.....	71
4.2	ผลการศึกษาการเลือกขนาดกังหันน้ำและขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	72
4.3	ผลการศึกษาการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	73

5	สรุปและข้อเสนอแนะ.....	78
5.1	สรุปผลการวิจัย.....	78
5.2	ข้อเสนอแนะ.....	80
	เอกสารอ้างอิง.....	81
	ภาคผนวก ก ASTM STANDARD.....	82
	ประวัติผู้เขียน.....	99



สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1 ประเภทของกังหันน้ำ พิจารณาตามความสูงหัวน้ำ (Head).....	13
2.2 ข้อมูลภูมิอากาศคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) สถานีจังหวัดนครราชสีมา.....	21
2.3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าเขื่อนลำตะคอง.....	26
2.4 ข้อมูลสถานีน้ำท่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากของโครงการ.....	28
2.5 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดรอบปีต่างๆ.....	29
2.6 ผลการคำนวณทางสถิติโดยวิธีกัมเบลหาค่าฝนสะสม 3 วันสูงสุดรอบปีเกิดซ้ำต่างๆ.....	29
2.7 ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีต่างๆ โดยวิธีการพหุหนึ่งหน่วยน้ำท่า.....	30
2.9 ปริมาณน้ำที่ระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้นที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ.....	30
2.9 ตำแหน่งพิกัดหลุมเจาะสำรวจ.....	36
2.10 ผลการตอกทดลองมาตรฐานในสนามและผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ.....	41
2.11 ผลการทดสอบการรั่วซึมน้ำของชั้นดินชั้นหิน.....	43
2.12 ผลการทดสอบ Uniaxial Compressive Strength.....	45
2.13 หัวข้องานที่ใช้สำหรับการประมาณราคาโรงไฟฟ้าพลังน้ำของ กฟผ.....	51
2.14 สรุปค่า NPV, B/C, IRR และ PB ในแต่ละทางเลือก.....	52
3.1 ระดับน้ำรายเดือนในอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำตะคอง ตั้งแต่ปี 2524-2558.....	62
3.2 ปริมาณน้ำรายเดือนที่ระบายท้ายเขื่อนลำตะคอง ตั้งแต่ปี 2524-2558.....	62
3.3 รายละเอียดจากบริษัทผู้ผลิต Turbine ที่คัดเลือกมาพิจารณา.....	63
3.4 สรุปค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปีที่คำนวณได้จากทางเลือก.....	65
3.5 ตารางประมาณราคาค่าใช้จ่ายก่อสร้างจากทางเลือกที่ใช้พิจารณา.....	66
4.1 ความแข็งของสภาพดินจําแนกตามค่า SPT.....	69
4.2 การวิเคราะห์สภาพดินตามค่า SPT ที่ทดสอบ.....	70
4.3 ตารางผลการวิเคราะห์อัตราส่วน Benefit / Cost.....	73
4.4 ผลการวิเคราะห์ค่า IRR.....	76
5.1 ตารางสรุปการวิเคราะห์สภาพธรณีวิทยาและแนะนำการปรับปรุงสภาพธรณีวิทยา.....	78
5.2 ตารางเปรียบเทียบระหว่างแนวทางของงานวิจัยกับแนวทางของ กฟผ.....	79
5.3 ตารางเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์.....	80

สารบัญรูปภาพ

รูปที่	หน้า
2.1 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ.....	3
2.2 ส่วนประกอบของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า.....	4
2.3 เขื่อนภูมิพลจังหวัดตาก.....	5
2.4 เขื่อนปากมูลจังหวัดอุบลราชธานี.....	6
2.5 โรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา.....	7
2.6 กังหันน้ำแบบเพลดัน.....	10
2.7 กังหันน้ำแบบเทอร์โก.....	10
2.8 กังหันน้ำแบบฟรานซิส.....	11
2.9 กังหันน้ำแบบเคปแลน.....	12
2.10 กังหันน้ำแบบเดริช.....	13
2.11 ที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง.....	14
2.12 ที่ตั้งโรงไฟฟ้าและบริเวณโดยรอบ.....	15
2.13 โคง่ความจุ และ โคง่พื้นที่ผิว ที่ระดับกักเก็บต่างๆ.....	18
2.14 ทิศทางลมมรสุม ของประเทศไทย.....	20
2.15 ข้อมูลภูมิอากาศ คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ของสถานีจังหวัดนครราชสีมา.....	22
2.16 แผนที่แสดงเส้นชั้นความสูงของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของกลุ่มน้ำมูล.....	24
2.17 แผนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝน.....	25
2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝน.....	28
2.19 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ณ จุดที่ตั้งเขื่อนลำตะคอง.....	29
2.20 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณที่ตั้งโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง จ.นครราชสีมา.....	33
2.21 ตำแหน่งหลุมเจาะภายในบริเวณพื้นที่โครงการ.....	34
2.22 ตำแหน่งหลุมเจาะและบริเวณพื้นที่โดยรอบ.....	35
2.23 รูปแสดงการเจาะสำรวจในหลุมเจาะ LTHP-3.....	35
2.24 แนวเขตป่าสงวนแห่งชาติ เขตปฏิรูปที่ดิน และพื้นที่ชั้น คุณภาพลุ่มน้ำ.....	47
2.25 แปลนโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ น้ำหินบุน.....	54
3.1 พื้นที่ด้านท้ายน้ำของเขื่อนลำตะคอง.....	56
3.2 ผังบริเวณพื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า.....	57

3.3	ผังบริเวณอาคารโรงไฟฟ้าและตำแหน่งหลุมเจาะ.....	57
3.4	แนวทางการวิจัยสภาพธรณีวิทยาจุดตั้งโรงไฟฟ้า.....	59
3.5	ผลทดสอบค่าความหนาแน่นของดินโดยวิธี SPT. Test.....	59
3.6	ผลการทดสอบ Permeability test ของชั้นดิน.....	60
3.7	ผลการทดสอบการรั่วซึมของชั้นหินโดยวิธี Lugeon Test.....	61
3.8	แนวทางการเลือกกักกั้นน้ำจากบริษัทผู้ผลิต.....	62
3.9	เปรียบเทียบทางเลือกกับอัตราการไหลของน้ำที่ระบายท้ายเขื่อนลำตะคอง.....	64
3.10	การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี.....	64
3.11	แนวทางการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์.....	65
4.1	ผังหลุมเจาะบริเวณอาคารโรงไฟฟ้าและอาคารระบายน้ำ กฟผ.....	70
4.2	ผลการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาโดยวิธี SPT TEST.....	70
4.3	การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำในดิน.....	72
4.4	การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ละทางเลือกการผลิต.....	72
4.5	เปรียบเทียบอัตราส่วน B/C ในแต่ละทางเลือก.....	74
4.6	การเปรียบเทียบมูลค่างานระหว่าง Benefit - Cost ของแต่ละทางเลือกการผลิต.....	75



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

สืบเนื่องจากมติคณะรัฐมนตรี เมื่อวันที่ 9 ธันวาคม 2546 เรื่อง“ยุทธศาสตร์ไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กทำัยเขื่อนของกรมชลประทาน” ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ถือเป็นหน่วยงานหนึ่งที่มีส่วนร่วม ในการพัฒนาโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำทำัยเขื่อนชลประทาน เป็นพลังงานหมุนเวียนที่เน้นเรื่องความมั่นคง และความพอเพียงของกำลังผลิตไฟฟ้า ควบคู่กับนโยบายของกระทรวงพลังงานในการดูแลรักษาสังแวดล้อม และเพิ่มประสิทธิภาพการใช้พลังงาน การส่งเสริมให้มีการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานหมุนเวียน ตามแผนพัฒนาพลังงานทดแทน10ปี ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

ปัจจุบันปัญหาเรื่องการใช้แหล่งพลังงานของประเทศ ที่มาจากแหล่งพลังงานเชื้อเพลิงประเภทฟอสซิล เช่น น้ำมัน ถ่านหิน ก๊าซธรรมชาติ ซึ่งจัดเป็นพลังงานที่ใช้แล้วหมดไป ไม่สามารถหามาทดแทนได้ ดังนั้นไม่ช้าก็เร็วแหล่งเชื้อเพลิงฟอสซิลเหล่านี้ก็จะต้องหมดไป ด้วยเหตุนี้หลายประเทศจึงเริ่มที่จะเปลี่ยนหันมาพึ่งพาพลังงานทางเลือก หรือพลังงานจากแหล่งทดแทนมากขึ้น เช่น พลังงานนิวเคลียร์ พลังงานน้ำจากเขื่อน พลังงานเชื้อเพลิงชีวมวล พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานได้พิภพ พลังงานลม หากเรานิ่งนอนใจ และไม่วางแผนรับมือปัญหานี้ก่อนที่เชื้อเพลิงฟอสซิลจะหมดไป ประเทศที่พึ่งพาการนำเข้าพลังงานอย่างประเทศไทย จะเป็นประเทศแรกๆที่เจอผลกระทบอย่างแน่นอน

โครงการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำทำัยเขื่อนชลประทาน ดำเนินการตามแผนยุทธศาสตร์พลังงาน ในการส่งเสริมให้มีการใช้พลังงานทดแทน เพื่อลดสัดส่วนการนำเข้าพลังงานจากต่างประเทศ และถือเป็นพลังงานสะอาดที่ไม่ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมด้วยเช่นกัน โครงการดังกล่าวมีการบูรณาการและบริหารจัดการน้ำให้เกิดประโยชน์สูงสุด โดยจะไม่ส่งผลกระทบต่อวัตถุประสงค์หลักเดิม ในการระบายน้ำทำัยเขื่อนของกรมชลประทาน ซึ่งจะมีผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยมาก มีอายุการใช้งานยาวนานที่สุดเมื่อเทียบกับแหล่งพลังงานทดแทนประเภทอื่นๆ โดยโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำทำัยเขื่อนลำตะคอง จะติดตั้งเครื่องกำเนิดกระแสไฟฟ้า ที่เขื่อนลำตะคอง อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา

1.2 วัตถุประสงค์

เพื่อศึกษาและออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำทำัยเขื่อนลำตะคอง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 วิเคราะห์สภาพธรณีวิทยาจุดก่อสร้างโรงไฟฟ้า โดยใช้ข้อมูลเจาะสำรวจชั้นดินของ กฟผ. มาวิเคราะห์สภาพธรณี เพื่อให้ทราบว่ามีความเหมาะสมที่จะก่อสร้างหรือไม่ (กฟผ. ทำเฉพาะเจาะสำรวจ แต่ไม่ได้นำข้อมูลมาวิเคราะห์)
- 1.3.2 ออกแบบชนิดและขนาดของโรงไฟฟ้า ให้เหมาะสมกับปริมาณน้ำที่ไหลผ่านที่บันทึกโดยกรมชลประทาน และนำมาเปรียบเทียบกับแนวทางเลือกที่ กฟผ. ทำไว้ 5 ทางเลือก
- 1.3.3 ประมาณราคาก่อสร้าง วิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ของโครงการ และนำมาเปรียบเทียบกับแนวทางเลือกที่ กฟผ. ทำไว้ 5 ทางเลือก

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 แนวทางเลือกของการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ประกอบการตัดสินใจหาทางเลือกที่เหมาะสม
- 1.4.2 เป็นแนวทางการออกแบบ สำหรับผู้สนใจในงานก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก

1.5 กรอบแนวคิดการวิจัย

- 1.5.1 ในการศึกษาได้ นำข้อมูลมาออกแบบเครื่องกังหันน้ำแบบน้ำไหลผ่าน เพื่อหาขนาดที่เหมาะสม, ราคาก่อสร้าง, การวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์การเงินเท่านั้น โดยไม่รวมถึงการออกแบบโครงสร้างอาคารเนื่องจากใช้แบบโครงสร้างอาคารตามที่ได้เคยก่อสร้างมาแล้วในโครงการอื่นๆ ของ กฟผ. มาประกอบในการออกแบบเท่านั้น
- 1.5.2 ในการวิจัยนี้ใช้แนวทางจาก การศึกษาความเหมาะสม โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา ของ กฟผ. เป็นแนวทางในการศึกษาวิจัย และเปรียบเทียบข้อมูล

1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ

โรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก (Small hydro power plant) หมายถึง โรงไฟฟ้าพลังน้ำที่มีขนาดกำลังผลิต (Rate Capacity) ตั้งแต่ 1 ถึง 10 เมกะวัตต์

บทที่ 2

ปรัทัศน์วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

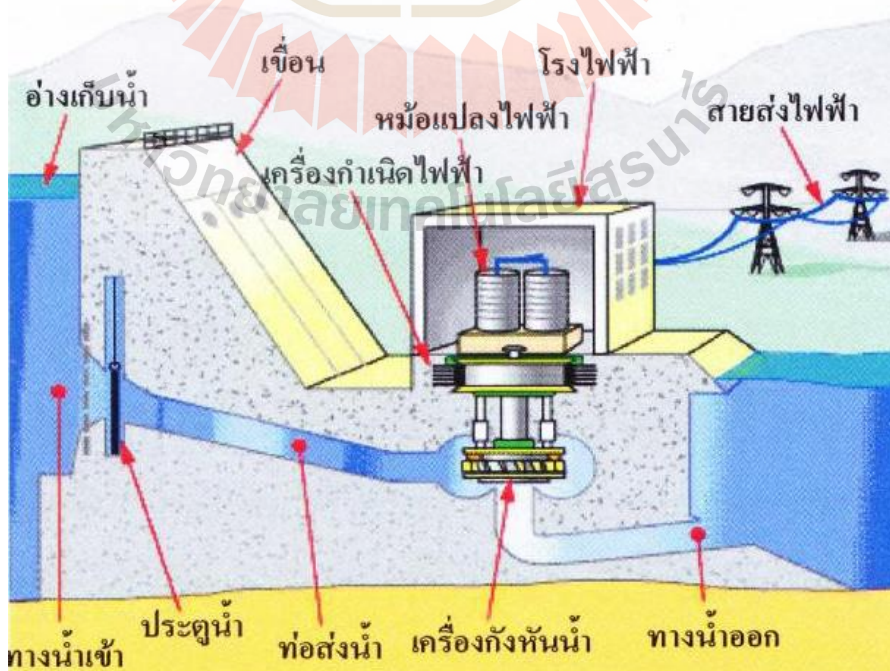
ในการศึกษาโรงไฟฟ้าพลังน้ำทำยเขื่อนล้าตะคองที่มีความเหมาะสมกับพื้นที่ ประกอบด้วย หลักการ และข้อมูลพื้นฐาน ดังหัวข้อต่อไปนี้

1. โรงไฟฟ้าพลังน้ำ
2. พื้นที่การศึกษา
3. การประมาณราคา
4. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 โรงไฟฟ้าพลังน้ำ

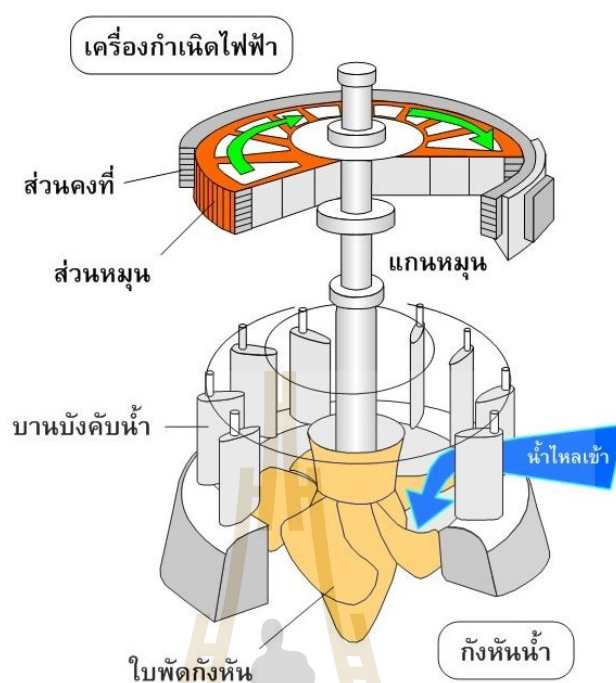
2.1.1 หลักการทำงานของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

คือ ใช้พลังงานจลน์ของน้ำที่ปล่อยจากต้นทางการไหลไปยังกังหันน้ำ (Turbine) และ เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) เปลี่ยนพลังงานจลน์เป็นพลังงานกลและพลังงานไฟฟ้า ส่งเข้าหม้อแปลงไฟฟ้าและจ่ายเข้าระบบสายส่งไฟฟ้าต่อไป โดยมีส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าและกังหันน้ำ ดังแสดงในรูปที่ 2.1 และ 2.2 ตามลำดับ



รูปที่ 2.1 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

ที่มา: Web powerplant2.wordpress.com



รูปที่ 2.2 ส่วนประกอบของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (ยิ่งปลิว สุกกิตติวงศ์, 2553)

ค่าพลังงานไฟฟ้าของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ จะขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำ ระดับความต่างของอ่างเก็บน้ำหรือลำน้ำ และประสิทธิภาพของกังหันน้ำกับเครื่องกำเนิดไฟฟ้า โดยค่ากำลังไฟฟ้าและพลังงานจากพลังน้ำ สามารถคำนวณได้จากสมการ ดังต่อไปนี้ (ยิ่งปลิว สุกกิตติวงศ์, 2553)

$$P = \frac{\gamma Q H \eta}{1000}$$

$$W = PT$$

เมื่อ	P	= กำลังไฟฟ้าศักยภาพ (กิโลวัตต์)
	W	= พลังงานไฟฟ้า (กิโลวัตต์-ชั่วโมง)
	γ	= Unit Gravity Force หรือ Specific Weight ของน้ำ (9,806 นิวตัน / ม. ³)
	Q	= อัตราไหลของน้ำ (ลบ.ม. / วินาที)
	H	= พลังงานศักย์สุทธิ (ม.)
	η	= ประสิทธิภาพรวมของกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า
	T	= ระยะเวลาในการผลิตไฟฟ้า (ชั่วโมง)

2.1.2 ประเภทของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

โดยทั่วไปการจำแนกประเภทของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ที่ใช้กันแพร่หลาย มี 3 ประเภท (ยังปลิว ศุภกิตติวงศ์, 2553) คือ

1. โรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ (Reservoir Type)

อ่างเก็บน้ำจะทำหน้าที่รวบรวมและเก็บกักน้ำ เมื่อปล่อยน้ำจากอ่างเก็บน้ำลงสู่ที่ต่ำโดยแรงดึงดูดของโลก พลังน้ำที่เกิดจากการไหลจะหมุนกังหันน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ในกรณีที่เป็อ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ จะทำให้สามารถบริหารจัดการน้ำได้สะดวก ดังนั้น ในเชิงเศรษฐศาสตร์หรือธุรกิจแล้ว โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ มักผลิตไฟฟ้าในช่วงที่มีความต้องการไฟฟ้าสูง ซึ่งเป็นช่วงที่ให้ค่าตอบแทนสูงปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำจะผันแปรตามปริมาณน้ำที่ปล่อยจากอ่างเก็บน้ำ และความแตกต่างระหว่างระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำและระดับน้ำที่ปล่อย (ด้านท้ายน้ำ) โดยทั่วไป โครงการไฟฟ้าพลังน้ำส่วนใหญ่จะเป็นในรูปแบบของไฟฟ้าพลังน้ำจากอ่างเก็บน้ำ ในประเทศไทยก็เช่นเดียวกัน เช่น โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนภูมิพล (แม่น้ำปิง จังหวัดตาก) ดังแสดงในรูปที่ 2.3 โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนสิริกิติ์ (แม่น้ำน่าน จังหวัดอุตรดิตถ์) และ โรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ (แม่น้ำแควใหญ่ จังหวัดกาญจนบุรี) เป็นต้น



รูปที่ 2.3 เขื่อนภูมิพลจังหวัดตาก
(ที่มา: www.egat.co.th กฟผ.,2561)

2. โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river

โรงไฟฟ้าพลังน้ำประเภทนี้ เป็นรูปแบบที่ไม่มีอ่างเก็บน้ำเป็นองค์ประกอบ จึงไม่มีการบริหารจัดการน้ำ ดังนั้น โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river จะทำงานตลอดเวลาตามปริมาณน้ำที่ไหลในแม่น้ำ เนื่องจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river มักสร้างอยู่ในบริเวณพื้นที่ค่อนข้างราบ และมีอาคารสำหรับทดน้ำให้สูงขึ้น ด้วยข้อจำกัดด้านภูมิประเทศ ทำให้ความแตกต่างระหว่างระดับน้ำที่ทดขึ้น กับระดับที่ปล่อยทางด้านท้ายน้ำมีความแตกต่างกันไม่มากนัก ดังนั้น ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จากโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river จึงผันแปรตามปริมาณน้ำเป็นสำคัญ โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-the-river มักก่อสร้างในบริเวณที่มีปริมาณน้ำค่อนข้างมาก และมีน้ำไหลตลอดปี แต่มีภูมิประเทศไม่เหมาะสมที่จะก่อสร้างอ่างเก็บน้ำ โรงไฟฟ้าประเภทนี้ในประเทศไทย ได้แก่ โรงไฟฟ้าเขื่อนปากมูล (แม่น้ำมูลจังหวัดอุบลราชธานี) ดังแสดงในรูปที่ 2.4



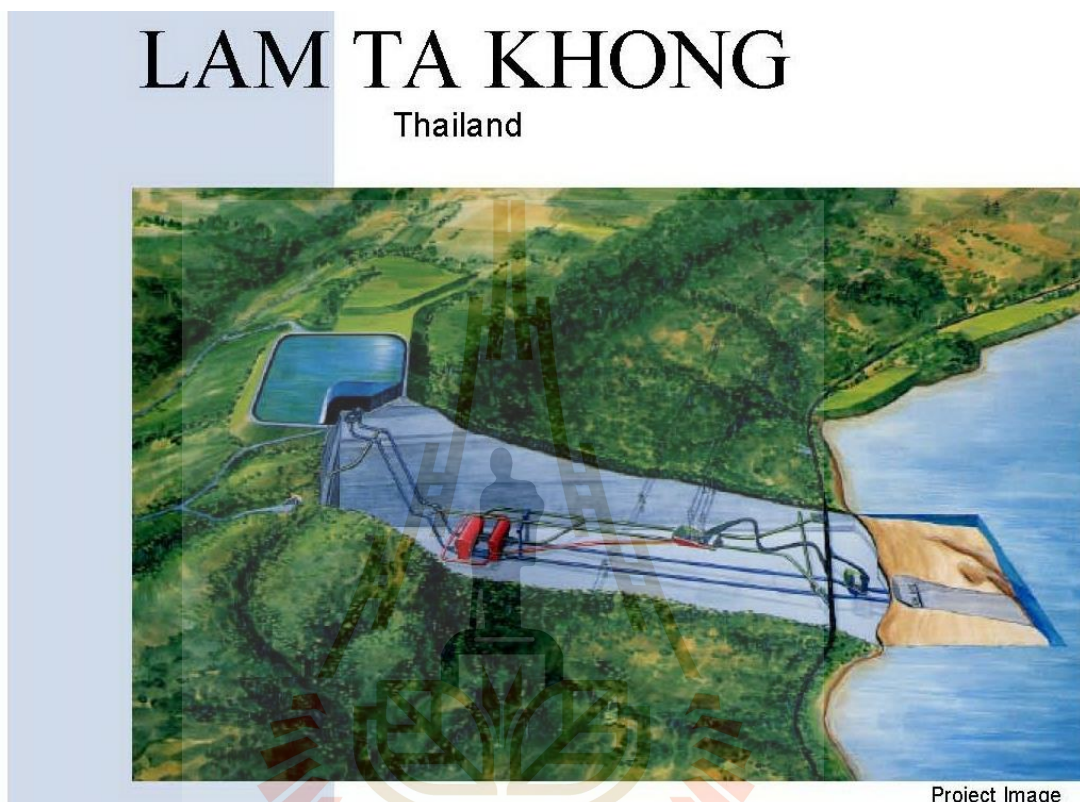
รูปที่ 2.4 เขื่อนปากมูลจังหวัดอุบลราชธานี

(ที่มา: www.egat.co.th กฟผ., 2561)

3. โรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ

เป็นรูปแบบการผลิตไฟฟ้าที่ตอบสนองช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าสูงสุด โดยการถ่ายเทน้ำระหว่างอ่างเก็บน้ำที่มีระดับแตกต่างกัน ในช่วงเวลาที่มีความต้องการไฟฟ้าน้อย ปริมาณไฟฟ้าส่วนเกินในระบบจะถูกนำมาใช้ในการสูบน้ำไปยังอ่างเก็บน้ำที่อยู่สูงกว่า เมื่อถึง

ช่วงเวลาที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้ามาก น้ำจะถูกปล่อยกลับลงมายังอ่างเก็บน้ำที่อยู่ต่ำกว่าและผลิตไฟฟ้า ปริมาณไฟฟ้าที่ผลิตได้จึงผันแปรตามปริมาณน้ำ และความแตกต่างของระดับน้ำของอ่างเก็บน้ำทั้งสอง ดังแสดงภาพตัดในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 โรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา จังหวัดนครราชสีมา
(ที่มา: EPDC. Consult, 2541)

2.1.3 ส่วนประกอบของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ

โรงไฟฟ้าพลังงานน้ำมีส่วนประกอบที่ควรรู้จัก (ฟิสิกส์ราชมงคล; พลังงานน้ำ, 2543)

1. อาคารรับน้ำ (power intake)

คืออาคารสำหรับรับน้ำที่ไหลจากอ่างลงสู่ท่อที่อยู่ภายในตัวอาคาร เพื่อนำพลังงานน้ำไปหมุนกังหันและหมุนเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ภายในตัวอาคารจะมีห้องควบคุมระบบการไหลของน้ำและระบบการผลิตไฟฟ้า อาคารรับน้ำโดยทั่วไปจะถูกสร้างไว้ใกล้ๆ ตัวเขื่อน

2. ตะแกรง (screen)

เป็นอุปกรณ์ที่ใช้ป้องกันเศษไม้ หรือวัตถุใดๆ ที่จะผ่านเข้าไปทำให้เกิดการอุดตันของท่อส่งน้ำ หรือสร้างความเสียหายให้กับกังหัน

3. อุโมงค์เหนือน้ำ (headrace)

เป็นช่องสำหรับให้น้ำไหลเข้ามายังท่อส่งน้ำอยู่ภายในตัวเขื่อน อุโมงค์นี้จะอยู่ในตัวอาคารรับน้ำมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปเกือกม้าหรือวงกลม ทำด้วยคอนกรีตเสริมเหล็ก

4. ท่อส่งน้ำ (penstock)

เป็นท่อสำหรับรับน้ำจากเหนือเขื่อนและส่งต่อไปยังอาคารรับน้ำ เพื่อหมุนกังหันและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

5. อาคารลดแรงดันน้ำ (surge tank)

เป็นอาคารที่สร้างขึ้นเพื่อควบคุมแรงดันของน้ำที่จะอัดใส่ภายในท่อส่งน้ำ ซึ่งอาจทำให้ท่อหรือหัวฉีดน้ำเสียหายได้ โดยทั่วไปจะสร้างอยู่ระหว่างตัวเขื่อนกับอาคารรับน้ำแต่โรงไฟฟ้าที่อยู่ใกล้กับตัวเขื่อนอยู่แล้ว ก็ไม่จำเป็นต้องมีอาคารลดแรงดันน้ำนี้

6. ประตูน้ำ (wicket gate or guide vane)

เป็นบานประตูที่ควบคุมการไหลของน้ำที่จะไหลเข้าไปหมุนใบพัดของกังหันควบคุมโดยการปิดหรือเปิดประตูน้ำนี้ให้น้ำไหลผ่านเข้าไปยังท่อส่งน้ำในอัตราที่เหมาะสม

7. กังหันน้ำ (water turbine)

เป็นตัวรับแรงดันของน้ำที่ไหลมาจากท่อส่งน้ำ โดยแรงดันนี้จะทำหน้าที่ฉีดหรือผลักดันให้กังหันหมุน ทำให้เครื่องกำเนิดไฟฟ้าสามารถผลิตไฟฟ้าออกมาได้ กังหันเป็นส่วนประกอบที่สำคัญของโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ซึ่งจะได้กล่าวถึงรายละเอียดในหัวข้อต่อไป

8. ท่อรับน้ำ (draft tube)

เป็นท่อรับน้ำหลังจากที่น้ำผ่านออกมาจากกังหัน เพื่อนำน้ำออกไปยังท้ายน้ำ ท่อรับน้ำนี้จะอยู่บริเวณส่วนหลังของกังหัน

9. ทางน้ำล้น (spill way)

คือทางระบายน้ำออกจากอ่างเก็บน้ำ ในกรณีที่น้ำในอ่างมีระดับสูงเกินไป ทางน้ำล้นจะต้องมีขนาดใหญ่พอที่จะให้ปริมาณน้ำสูงสุดที่ระบายออก สามารถระบายออกได้ทันเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดความเสียหายแก่เขื่อน

10. เครื่องกำเนิดไฟฟ้า (generator)

เป็นอุปกรณ์สำหรับเปลี่ยนพลังงานกลจากการหมุนของกังหันมาเป็นพลังงานไฟฟ้าโดยใช้หลักการของขดลวดตัดผ่านสนามแม่เหล็ก

11. หม้อแปลง (transformer)

เป็นอุปกรณ์ไฟฟ้าที่ใช้สำหรับแปลงแรงดัน ไฟฟ้าที่ผลิตได้จากเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ให้เป็นไฟฟ้าที่มีแรงดันสูงเพื่อส่งเข้าสู่ระบบสายส่งต่อไป

2.1.4 ประเภทของกังหันน้ำ (Turbine)

ประเภทของกังหันน้ำสำหรับโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำ จะเลือกการใช้งานตามความสูงของหัวน้ำ (Head) และอัตราการไหลของน้ำ (Q) โดยแบ่งออกเป็น 2 ประเภทหลักๆ (ฟิสิกส์ราชมงคล;พลังงานน้ำ, 2543) คือประเภทหัวฉีด (Impulse turbine) และ ประเภทแรงปฏิกิริยา (Reaction turbine)

2.1.4.1 กังหันน้ำประเภทหัวฉีด (Impulse turbine)

หรือกังหันน้ำแบบแรงกระแทกกังหันน้ำแบบนี้มักใช้กับเขื่อนหรืออ่างเก็บน้ำที่มีหัวน้ำสูง เพราะต้องอาศัยแรงฉีดหรือแรงกระแทกของน้ำที่ไหลมาจากท่อส่งน้ำที่รับน้ำมาจากเขื่อน น้ำที่ไหลลงมาตามท่อส่งน้ำจะถูกลดขนาดมายังหัวฉีดก่อนจะถูกฉีดเข้าไปที่ตัวของกังหันน้ำ ลำน้ำที่พุ่งผ่านหัวฉีดจะมีแรงและความเร็วสูง ดังนั้นเมื่อกระแทกเข้าไปพัดหรือวงล้อของกังหันน้ำจะทำให้กังหันน้ำเกิดการหมุนได้ การควบคุมการหมุนของกังหันน้ำสามารถทำได้โดยการปรับขนาดของหัวฉีด ซึ่งเสมือนเป็นการปรับปริมาณน้ำให้มากหรือน้อยได้ตามต้องการ กังหันน้ำประเภทนี้สามารถแบ่งออกเป็น 3 ชนิด ได้แก่

1. กังหันน้ำแบบกิ (banki turbine)

กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำ (low head) และต้องการกำลังการผลิตค่อนข้างน้อย ซึ่งปัจจุบันไม่ค่อยนิยมใช้แล้ว

2. กังหันน้ำเพลตัน (pelton turbine)

กังหันน้ำชนิดนี้ได้รับการพัฒนามาตั้งแต่ปี ค.ศ. 188 โดยเลสเตอร์ เพลตัน (Lester Pelton) รูปแบบของกังหันน้ำนี้ ถูกออกแบบโดยใช้ถ้วยรับน้ำซึ่งติดอยู่ในวงล้อภายในตัวกังหันเป็นแบบถ้วยคู่ ดังแสดงในรูปที่ 2.6 และสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดมากกว่า 1 ช่อง โดยอาจมีจำนวนถึง 4 ช่องก็ได้ ซึ่งจะทำให้ได้รับกำลังเพิ่มขึ้นในขณะที่ขนาดของกังหันน้ำเท่าเดิม โดยทั่วไปกังหันน้ำนี้เหมาะสำหรับการผลิตไฟฟ้าจากแหล่งน้ำที่มีระดับของหัวน้ำสูง (high head) ซึ่งสูงกว่า 250 เมตร หรืออาจน้อยกว่าก็ได้ในกรณีที่เป็นระบบเล็กการทำให้กังหันน้ำชนิดนี้หมุนอาจใช้ความเร็วของลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดที่ไม่ต้องมีความเร็วสูงนัก โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำชนิดนี้จะดีที่สุด เมื่อความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไป



รูปที่ 2.6 กังหันน้ำแบบเพลตัน
(ที่มา: mechanicalbooster.com)

3. กังหันน้ำเทอร์โก (turgo turbine)

เป็นกังหันน้ำที่ถูกพัฒนาขึ้นจากกังหันน้ำแบบเพลตัน เมื่อประมาณปี ค.ศ. 1920 โดยภายในตัวกังหันน้ำนี้จะใช้ถ้วยรับน้ำแบบเดี่ยวและค่อนข้างดี้นแทนถ้วยรับน้ำแบบคู่ ในกังหันน้ำแบบเพลตัน ดังแสดงในรูปที่ 2.7 กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำที่มีระดับความสูงปานกลาง (medium head) เพราะสามารถใช้กับลำน้ำที่ผ่านหัวฉีดซึ่งมีความเร็วไม่มากนัก และมีความสามารถในการรับปริมาณน้ำได้มากกว่ากังหันน้ำเพลตัน โดยประสิทธิภาพของกังหันน้ำจะดีที่สุดเมื่อความเร็วของการหมุนของวงล้อถ้วยเป็นครึ่งหนึ่งของความเร็วของลำน้ำที่ฉีดเข้าไปเหมือนกับกรณีของกังหันน้ำแบบเพลตัน



รูปที่ 2.7 กังหันน้ำแบบเทอร์โก
(ที่มา: www.smallhydroturbine.com)

2.1.4.2 กังหันน้ำประเภทแรงปฏิกิริยา (reaction turbine)

เป็นกังหันน้ำที่ต้องอาศัยแรงดันของน้ำ ซึ่งเกิดจากความแตกต่างของระดับน้ำที่อยู่ด้านหน้าและด้านหลังของกังหันน้ำมาทำให้ใบพัดของกังหันเกิดการหมุน น้ำที่เข้าไปในตัวกังหันจะแทรกเข้าไปในช่องระหว่างใบพัดเต็มทุกช่องพร้อมกันทำให้ตัวกังหันน้ำทั้งหมดจะจมอยู่ในน้ำ กังหันน้ำประเภทนี้เหมาะสำหรับการใช้กับแหล่งน้ำที่มีหัวน้ำต่ำถึงปานกลาง โดยทั่วไปที่นิยมใช้จะแบ่งออกเป็น 3 ชนิดได้แก่

1. กังหันน้ำฟรานซิส (francis turbine)

กังหันน้ำชนิดนี้เป็นกังหันน้ำที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายเพราะสามารถใช้กับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำตั้งแต่ 2 ถึงกว่า 300 เมตร (Boyle, 2004 : 164) หลักการทำงานของกังหันน้ำแบบฟรานซิสคือ น้ำที่ถูกส่งเข้ามาจากท่อส่งน้ำจะไหลเข้าสู่ท่อก้นหอยที่ประกอบอยู่รอบๆ ตัวกังหัน ท่อก้นหอยจะมีขนาดของพื้นที่หน้าตัดเล็กลงตามความยาวของท่อเพื่อต้องการให้น้ำมีแรงดันและความเร็วในการไหลมากขึ้น ภายในท่อก้นหอยจะมีน้ำเต็มอยู่ตลอดเวลา น้ำที่ไหลในท่อก้นหอยจะแทรกตัวผ่านลิ่มน้ำน้ำเข้า (guide vane) เพื่อเข้าสู่ตัวกังหันน้ำ ทำให้วังล้อของกังหันน้ำเกิดการหมุนได้ ลิ่มน้ำน้ำเข้าสามารถปรับแต่งมุมให้ปิดหรือเปิดได้มากน้อยตามความต้องการ ทำหน้าที่คล้ายหัวฉีดของกังหันน้ำแบบเพลตัน น้ำซึ่งถ่ายพลังงานจลน์ให้กับใบพัดกังหันน้ำแล้วจะไหลลงสู่ที่รับน้ำที่อยู่ด้านล่างต่อไป กังหันน้ำแบบ ฟรานซิสมีทั้งแบบแกนตั้งและแกนนอน ซึ่งการเลือกใช้จะขึ้นอยู่กับการออกแบบและขนาดของโรงไฟฟ้าแต่โดยทั่วไปจะนิยมใช้แบบแกนตั้งมากกว่า ลักษณะของกังหันน้ำฟรานซิสดังแสดงในรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 กังหันน้ำแบบฟรานซิส
(ที่มา: www.global-hydro.eu)

2. กังหันน้ำเคปแลน (kaplan turbine)

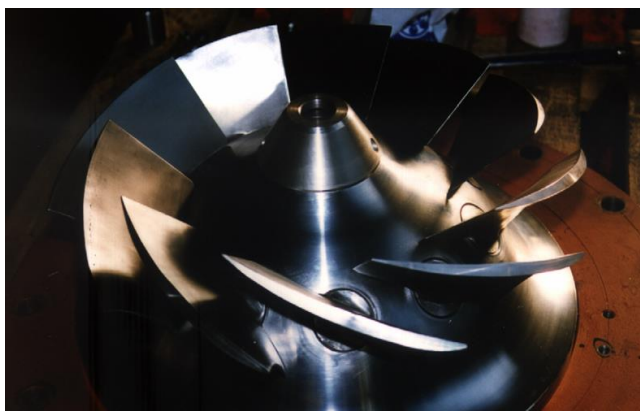
เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะเหมือนใบพัดดังแสดงในรูปที่ 2.9 เหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำต่ำตั้งแต่ 1 ถึง 70 เมตร และมีหลักการทำงานโดยให้น้ำไหลผ่านใบพัดในทิศทางขนานกับแกนของกังหันน้ำ โดยใบพัดของกังหันน้ำ เคปแลนสามารถปรับมุมเพื่อรับแรงอัดหรือแรงเฉือนของน้ำโดยอัตโนมัติซึ่งจะทำให้สามารถควบคุมความเร็วในการหมุนของกังหันน้ำได้



รูปที่ 2.9 กังหันน้ำแบบเคปแลน
(ที่มา: www.global-hydro.eu)

3. กังหันน้ำเดริซ (deriaz turbine)

เป็นกังหันน้ำที่มีลักษณะทั่วไปคล้ายกับกังหันน้ำ เคปแลนแต่ต่างกันในส่วน of รูปแบบของใบพัด ซึ่งคล้ายกับใบพัดของกังหันน้ำฟรานซิสกังหันน้ำชนิดนี้จะใช้แรงดันน้ำที่เกิดจากการไหลของน้ำในทิศทางทแยงมุมกับแกนของกังหันน้ำและการประยุกต์ใช้จะเหมาะกับแหล่งน้ำที่มีระดับความสูงของหัวน้ำสูงๆ เพราะต้องใช้แรงดันน้ำที่มีแรงดันสูง ลักษณะของกังหันน้ำแบบเดริซแสดงไว้ในรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 กังหันน้ำแบบเคเรียซ
(ที่มา: www.geppert.at)

การพิจารณาประเภทของกังหันน้ำ (Turbine) สามารถใช้ตารางที่ 2.1 พิจารณาได้ โดยใช้ข้อมูลระดับหัวน้ำ (Head) มาประกอบในการเลือกใช้งาน

ตารางที่ 2.1 ประเภทของกังหันน้ำ พิจารณาตามความสูงหัวน้ำ (Head)

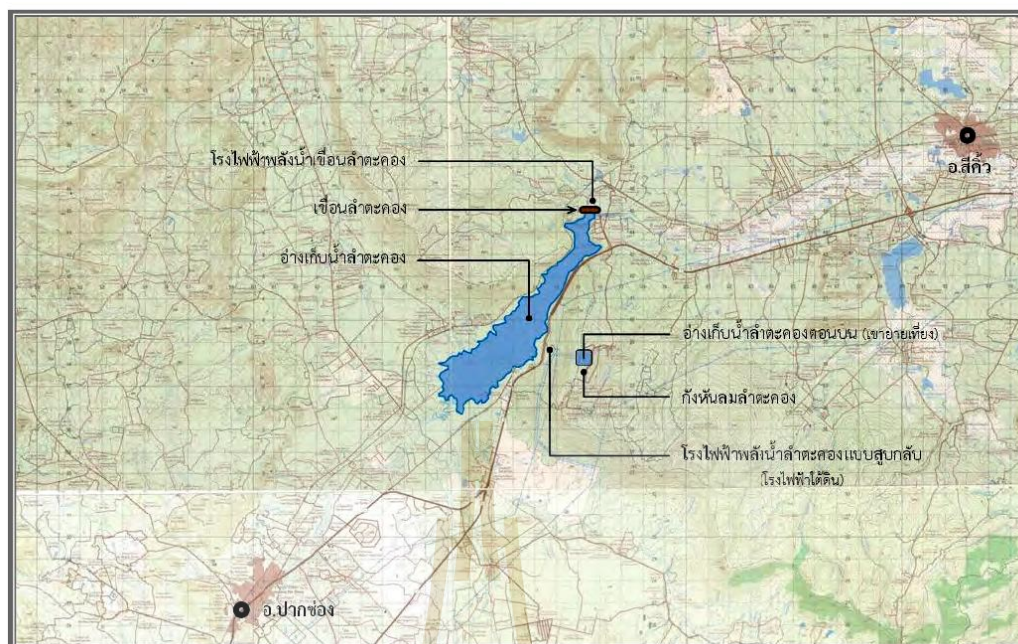
ประเภทของกังหันน้ำ	ระดับหัวน้ำ (เมตร)
กังหันวงล้อ	$0.2 < H < 4$
กังหันสกรูของอาร์คิมิดีส	$1 < H < 10$
กังหันเคปแลน	$2 < H < 40$
กังหันฟรานซิส	$10 < H < 350$
กังหันเพลตัน	$50 < H < 1300$
กังหันเทอร์โก	$50 < H < 2500$

ที่มา ; Wikipedia.org (วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี)

2.2 พื้นที่การศึกษา

2.2.1 ลักษณะที่ตั้งของโครงการ

พื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง เป็นโครงการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนของกรมชลประทาน ร่วมกับการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตั้งอยู่ท้ายเขื่อนลำตะคอง บนลำน้ำลำตะคอง ซึ่งเป็นลำน้ำสาขาของแม่น้ำมูล บริเวณบ้านคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา โดยมีพิกัดตำแหน่งเส้นรุ้งที่ $14^{\circ} 52' 00''$ เหนือ และ เส้นแวงที่ $103^{\circ} 33' 40''$ ตะวันออก ดังแสดงในรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 ที่ตั้งโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง
(ที่มา: ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ., 2559)

ลำตะคองเป็นลำน้ำสาขาที่สำคัญสายหนึ่งของแม่น้ำมูล มีต้นน้ำอยู่บริเวณเทือกเขา ดงพญาเย็น ตอนใกล้จะบรรจบกับเทือกเขาชันกำแพงในท้องที่อำเภอปากช่อง ลำน้ำในช่วงต้นน้ำ ไหลผ่านหุบเขา ชายเขาและพื้นที่ลาดชัน เมื่อลำน้ำไหลผ่านเขาเขื่อนล้นและเขาถ่านเสียด บริเวณ อำเภอสีคิ้ว ซึ่งเป็นที่ตั้งเขื่อนลำตะคอง จะเป็นที่ราบสองฝั่งลำน้ำต่อเนื่องกันตลอดไป ผ่านอำเภอ สูงเนิน อำเภอขามทะเลสอ อำเภอเมืองและอำเภอเฉลิมพระเกียรติ และไหลลงแม่น้ำมูลต่อไป ลำตะคองมีความยาวตลอดสายประมาณ 220 กิโลเมตร ในช่วงก่อนที่ลำตะคองจะไหลผ่านอำเภอ เมือง บริเวณบ้านโคงกระ จะมีลำบริบูรณ์แยกออกทางฝั่งซ้าย โดยไหลขนานไปกับลำตะคองผ่าน อำเภอเมือง แล้วไปบรรจบกับลำตะคองเดิมที่บ้านกันผม เขตอำเภอเฉลิมพระเกียรติ (ก่อนที่ ลำตะคองจะไหลลงแม่น้ำมูลเพียง 3 กิโลเมตร) ลำบริบูรณ์มีความยาวประมาณ 35 กิโลเมตร ที่ราบ สองฝั่งลำตะคองและลำบริบูรณ์ช่วงบริเวณอำเภอเมือง มีความกว้างประมาณ 5-8 กิโลเมตร ซึ่ง นับเป็นที่ราบที่กว้างใหญ่และสำคัญที่สุดในลุ่มน้ำนี้เขื่อนลำตะคอง อยู่ในความรับผิดชอบของ โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาลำตะคอง ของกรมชลประทาน ครอบคลุมพื้นที่ 183,316 ไร่ โดย จำนวนนี้ส่วนหนึ่งเป็นพื้นที่ส่งน้ำเพื่อการเกษตร 164,186 ไร่ครอบคลุม 5 อำเภอของจังหวัด นครราชสีมา ได้แก่ อำเภอสีคิ้ว สูงเนิน ขามทะเลสอ เฉลิมพระเกียรติ และอำเภอเมือง มีต้นน้ำอยู่ บริเวณเทือกเขาดงพญาเย็นและเทือกเขาชันกำแพงในบริเวณอำเภอปากช่อง โครงการฯมีหน้าที่ รับผิดชอบงานด้านการวางแผน ควบคุมดูแลและดำเนินการส่งน้ำและบำรุงรักษาในเขตพื้นที่

รับผิดชอบมีอาคารชลประทานขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็ก คลองส่งน้ำ คลองระบายน้ำ เพื่อควบคุมการจัดสรรน้ำและส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูกในเขตโครงการได้อย่างทั่วถึงและมีประสิทธิภาพ พื้นที่บริเวณยอดเขาขยายเทียงทางด้านทิศใต้ของเขื่อน เป็นที่ตั้งอ่างเก็บน้ำของโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำลำตะคองแบบสูบกลับ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ที่นำพลังงานไฟฟ้าเหลือใช้ในช่วงที่มีความต้องการใช้ไฟฟ้าน้อย สูบน้ำจากอ่างเก็บน้ำลำตะคองขึ้นไปเก็บยังอ่างเก็บน้ำบนเขาขยายเทียง และปล่อยน้ำกลับลงมา เพื่อทำการผลิตกระแสไฟฟ้าเข้าสู่ระบบ ในช่วงเวลาความต้องการใช้ไฟฟ้าสูง บริเวณดังกล่าวยังเป็นที่ตั้งของโครงการกักันลมผลิตไฟฟ้าลำตะคอง ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 ที่ตั้งโรงไฟฟ้าและบริเวณโดยรอบ
(ที่มา: ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ.,2559)

2.2.2 เขื่อนและอ่างเก็บน้ำ

1) เขื่อนและอาคารประกอบ

- ชนิด	เขื่อนดิน (Earth Zone Dam)	
- ระดับสันเขื่อน	+282.30	ม.รทก.
- เขื่อนสูง	40.30	เมตร
- เขื่อนยาว	251.00	เมตร

- ความกว้างสันเขื่อน 10.00 เมตร
 - ลาดเขื่อนด้านเหนือหน้า 1 : 3.5 , 1 : 2
 - ลาดเขื่อนด้านท้ายน้ำ 1 : 3.5 , 1 : 2
- 2) อ่างเก็บน้ำ
- ระดับเก็บกักสูงสุด +280.30 ม.รทก.
 - ระดับเก็บกักปกติ +277.00 ม.รทก.
 - ระดับเก็บกักต่ำสุด +261.00 ม.รทก.
 - ความจุอ่างฯ ที่ระดับเก็บกักสูงสุด 445.56 ล้าน ลบ.ม.
 - ความจุอ่างฯ ที่ระดับเก็บกักปกติ 314.49 ล้าน ลบ.ม.
 - ความจุอ่างฯ ที่ระดับเก็บกักต่ำสุด 22.72 ล้าน ลบ.ม.
 - ความจุอ่างฯ ใช้งาน 291.77 ล้าน ลบ.ม.
 - พื้นที่ผิวน้ำ ที่ระดับเก็บกักสูงสุด 44.70 ตร.กม.
 - พื้นที่ผิวน้ำ ที่ระดับเก็บกักปกติ 37.17 ตร.กม.
 - พื้นที่ผิวน้ำ ที่ระดับเก็บกักต่ำสุด 5.04 ตร.กม.
- 3) อาคารระบายน้ำล้น
- ชนิด Controlled Spillway ประเภท Radial Gates
 - ขนาดช่องระบายน้ำ กว้าง 6 เมตร , สูง 4.70 เมตร , จำนวน 7 ช่อง
 - ที่ตั้ง ทางฝั่งขวาของเขื่อน 20 เมตร
 - ระดับสันทางระบายน้ำ (ฝาย) +273.00 ม.รทก.
 - ระบายน้ำได้สูงสุด 1,530.00 ลบ.ม./วินาที
- 4) อาคารระบายน้ำฉุกเฉิน
- ชนิด ทางระบายน้ำเปิดไม่มีบาน
 - ขนาดทางระบายน้ำ กว้าง 40 เมตร , ยาว 800 เมตร
 - ที่ตั้ง ทางฝั่งขวาของเขื่อนติดกับอาคารระบายน้ำล้น
 - ระดับสันทางระบายน้ำ (ฝาย) +278.00 ม.รทก.
 - ระบายน้ำได้สูงสุด 600.00 ลบ.ม./วินาที
- 5) อาคารระบายน้ำใช้งาน (Outlet Works) ประกอบด้วยอาคาร 2 ชนิด คือ
- 5.1 อาคารรับน้ำ (Intake Tower)
- จำนวนบาน ด้านนอก 3 บาน , ด้านใน 1 บาน
 - ขนาด 1.75 x 1.75 เมตร

- ระดับธรณิแบน	บานที่ 1	+265.50	ม.รทก.
	บานที่ 2	+263.30	ม.รทก.
	บานที่ 3	+261.00	ม.รทก.
	บานใน	+261.00	ม.รทก.

5.2 ท่อระบายน้ำ

- ชนิด	ท่อ คสล. รูปเกือกม้า
- ที่ตั้ง	กม. 0+298 ของตัวเขื่อน
- ระดับธรณีปากทางน้ำเข้า	+261.00 ม.รทก.
- ขนาดภายในท่อทั้งด้านเหนือน้ำ และท้ายน้ำ	3.50 เมตร
- ความยาวท่อ	99.00 เมตร
- ระบายน้ำได้สูงสุด	20.00 ลบ.ม./วินาที

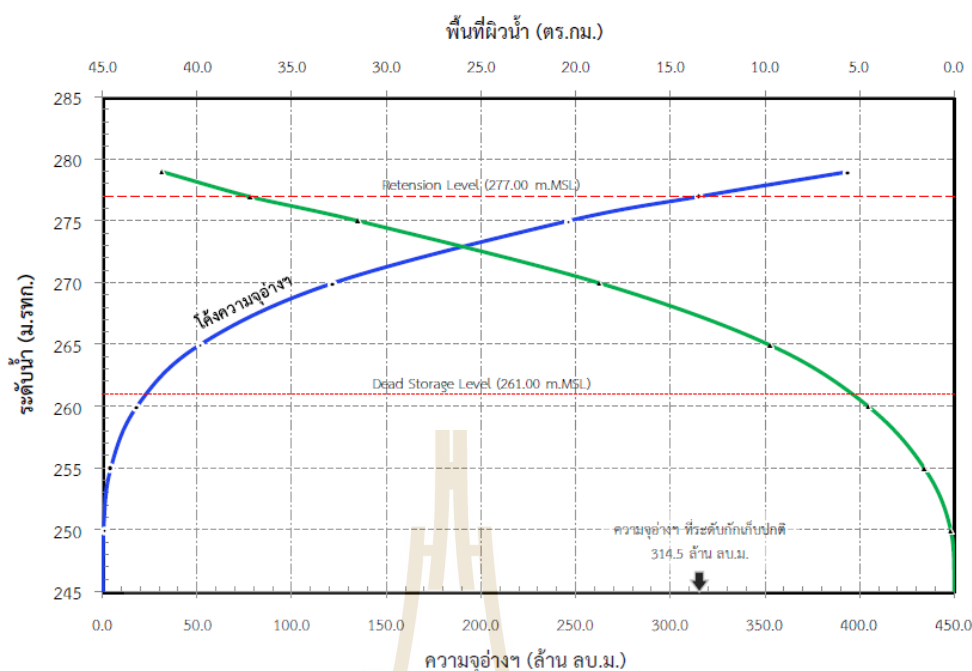
6) ระบบระบายน้ำ

- ความยาวคลองส่งน้ำสายใหญ่	
(คลองสายใหญ่ทั้งฝั่งซ้าย และฝั่งขวาของ 11 ขรณ.)	142.515 กิโลเมตร
(ตัวลำตะคอง)	120.000 กิโลเมตร
- ความยาวคลองซอยและคลองแยกซอย	61.277 กิโลเมตร

(7) ประโยชน์

- ส่งน้ำให้แก่พื้นที่เพาะปลูก	
ฤดูฝน (ในเขต)	131,600 ไร่
(นอกเขต)	57,840 ไร่
ฤดูแล้ง	50,000 ไร่
- อุปโภคบริโภค	การประปาเทศบาลเมืองนครราชสีมาและการประปาภูมิภาค
- บรรเทาอุทกภัย	สองฝั่งริมลำตะคองและบริเวณตัวจังหวัดนครราชสีมา

เส้นโค้งระดับน้ำ ความจุ และพื้นที่ผิวหน้า ของเขื่อนลำตะคอง (ดังรูปที่ 2.13)



รูปที่ 2.13 โคง้ความจุ และ โคง้พื้นที่ผิว ที่ระดับกักเก็บต่างๆ
(ที่มา;กรมชลประทาน)

2.2.3 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาและอุทกวิทยา

2.2.3.1 สภาพภูมิอากาศ

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปเป็นแบบร้อนชื้น การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศได้รับอิทธิพลจากลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นหลัก ทำให้เกิดฤดูกาลขึ้น 3 ฤดู คือ “ฤดูฝน” เริ่มในราวกลางเดือนพฤษภาคมไปจนถึงกลางเดือนตุลาคม ซึ่งเป็นช่วงของอิทธิพลลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ อันทำให้เกิดฝนตกโดยทั่วไป นอกจากอิทธิพลของลมมรสุมดังกล่าวแล้ว ยังมีพายุดีเปรสชันที่พัฒนามาจากทะเลจีนใต้ ทำให้เกิดฝนตกหนักถึงหนักมากเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งเป็นตัวการสำคัญที่ทำให้เกิดปัญหาน้ำท่วมฉับพลันในภูมิภาคนี้ โดยส่วนใหญ่จะเกิดในช่วงเดือนสิงหาคมถึงกันยายน “ฤดูหนาว” จะเริ่มในกลางเดือนตุลาคมถึงปลายเดือนกุมภาพันธ์ ซึ่งเป็นช่วงของอิทธิพลลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ ที่พัดพาเอาความแห้งแล้งจากประเทศจีนเข้ามา ทำให้อากาศมีความหนาวเย็นลง ส่วน “ฤดูร้อน” จะเริ่มในราวปลายเดือนกุมภาพันธ์และสิ้นสุดลงในราวกลางเดือนพฤษภาคม ซึ่งเป็นช่วงที่ลมมรสุมกำลังเปลี่ยนจาก ลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือเป็นลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ ส่งผลให้อากาศมีทั้งความร้อนและแห้งแล้ง ทำให้อากาศโดยทั่วไปร้อนอบอ้าวมากที่สุดในรอบปี รายละเอียดทิศทางของลมมรสุม พายุไต้ฝุ่น และตำแหน่งของร่องความกดอากาศได้แสดงไว้ในรูปที่ 2.14

ในการศึกษานี้ ตัวแปรสภาพภูมิอากาศใช้ข้อมูลจากสถานีตรวจอากาศของ กรมอุตุนิยมวิทยาจังหวัดนครราชสีมา ซึ่งเป็นสถานีที่อยู่ใกล้กับพื้นที่โครงการ ซึ่งจากสถิติข้อมูลตัวแปรภูมิอากาศเฉลี่ยในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ดังแสดงไว้ในตารางที่ 2.2 และรูปที่ 2.15 สามารถพิจารณาให้เห็นถึงการผันแปรของสภาพภูมิอากาศบริเวณพื้นที่โครงการได้ ดังนี้

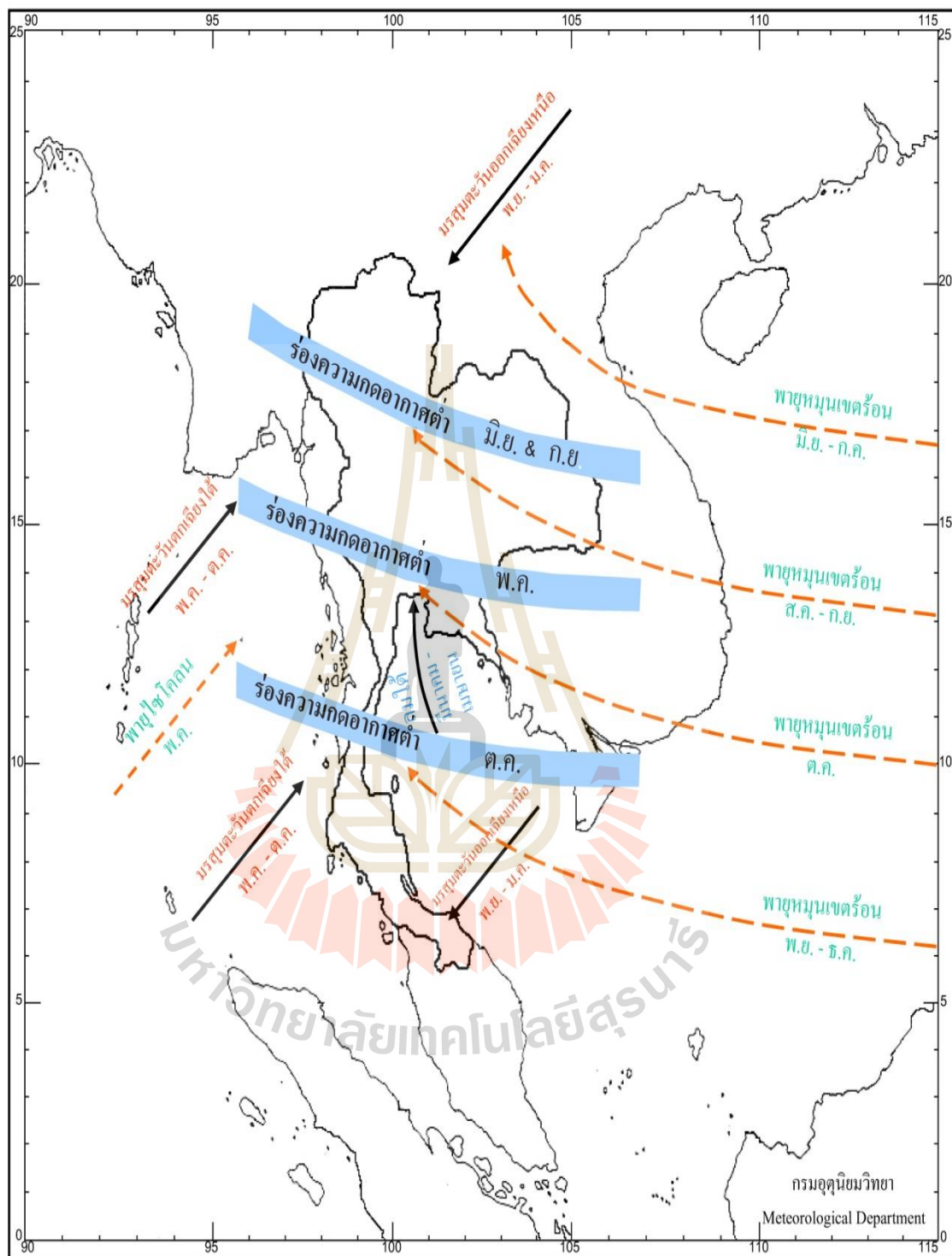
2.2.3.2 อุณหภูมิบริเวณโครงการ

อุณหภูมิรายเดือนเฉลี่ยบริเวณพื้นที่โครงการ มีค่าอยู่ระหว่าง 23.1 องศาเซลเซียส (ธันวาคม) ถึง 29.7 องศาเซลเซียส (เมษายน) ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิสูงสุดรายวันอยู่ในช่วง 29.1 ถึง 36.5 องศาเซลเซียส ค่าเฉลี่ยอุณหภูมิต่ำสุดรายวันอยู่ในช่วง 17.5 ถึง 24.7 องศาเซลเซียส และอุณหภูมิรายวันสูงสุดและต่ำสุดเท่าที่เคยบันทึกไว้มีค่า 42.7 และ 6.2 องศาเซลเซียส ตามลำดับ

2.2.3.3 ความชื้นสัมพัทธ์

ความชื้นสัมพัทธ์รายเดือนเฉลี่ยบริเวณพื้นที่โครงการ มีค่าอยู่ระหว่าง 60 ถึง 80 เปอร์เซ็นต์ โดยมีค่าความชื้นสัมพัทธ์สูงในช่วงเดือนกันยายน และค่าความชื้นสัมพัทธ์ต่ำในช่วงเดือนมีนาคม ความชื้นสัมพัทธ์เฉลี่ยรายปีมีค่าเท่ากับ 70 เปอร์เซ็นต์





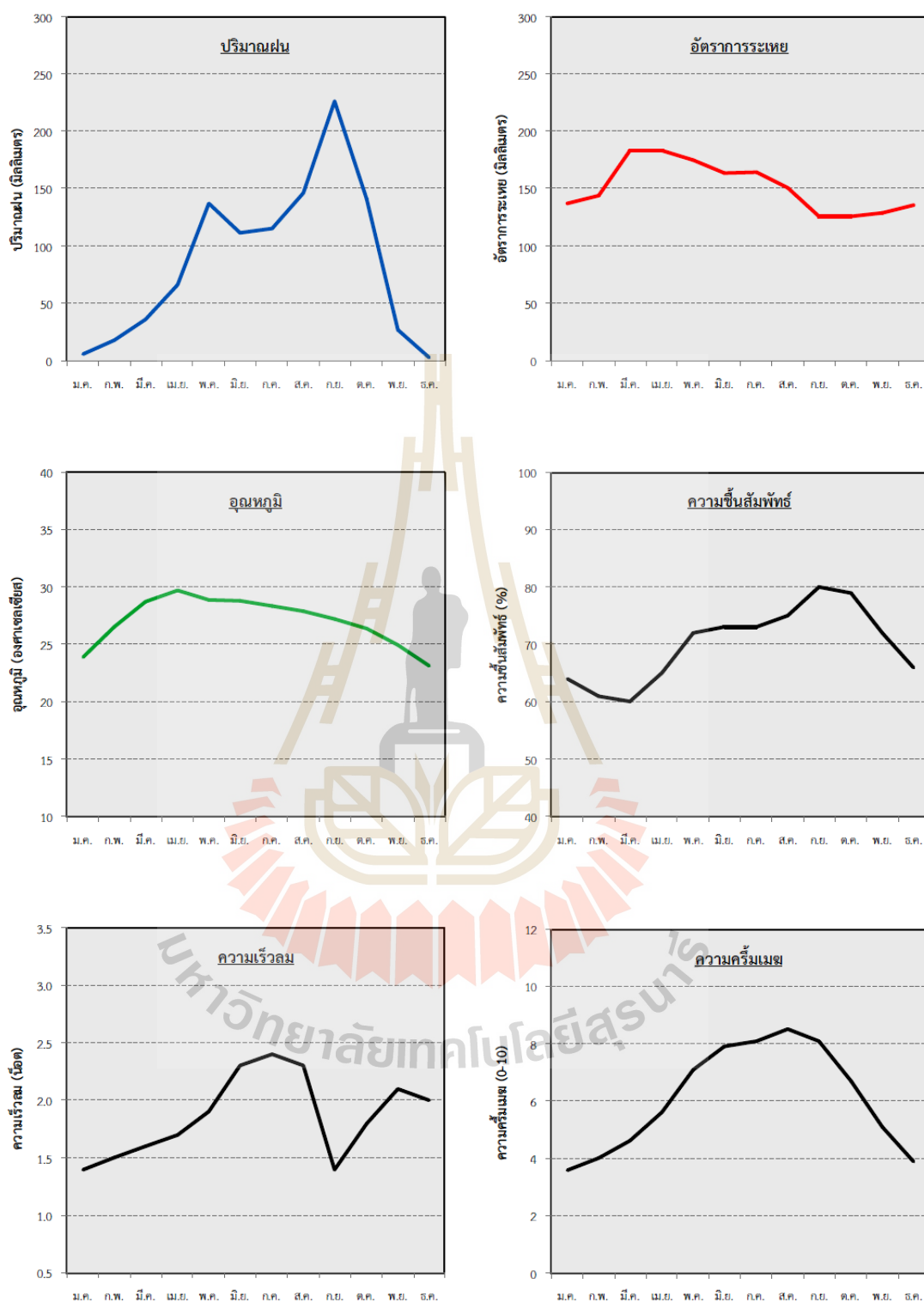
รูปที่ 2.14 ทิศทางลมมรสุม ของประเทศไทย
(ที่มา: กรมอุตุนิยมวิทยา)

ตารางที่ 2.2 ข้อมูลภูมิอากาศ คาบ 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) สถานีจังหวัดนครราชสีมา

สถานี นครราชสีมา	ระดับของสถานีเหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	187.00	เมตร
รหัสสถานี 48431	ความสูงของบาโรมิเตอร์เหนือระดับน้ำทะเลปานกลาง	188.00	เมตร
ละติจูด 14 58 N	ความสูงของเทอร์โมมิเตอร์เหนือพื้นดิน	1.25	เมตร
ลองจิจูด 102 05 E	ความสูงของเครื่องวัดลมเหนือพื้นดิน	12.00	เมตร
	ความสูงของที่วัดน้ำฝน	1.00	เมตร

ตัวแปรภูมิอากาศ	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	รายปี
ความกดอากาศ (+1000 หรือ 900 มิลลิบาร์)													
เฉลี่ย	1,013.5	1,011.5	1,009.7	1,008.1	1,007.0	1,005.9	1,006.0	1,006.1	1,008.0	1,010.5	1,012.9	1,014.7	1,009.5
สูงที่สุด	1,027.1	1,024.6	1,024.9	1,020.4	1,017.9	1,012.7	1,013.1	1,013.1	1,016.3	1,020.1	1,023.1	1,026.5	1,027.1
ต่ำที่สุด	1,003.0	1,000.7	999.5	998.1	999.2	997.8	997.7	998.3	998.8	1,000.1	1,003.5	1,003.6	997.7
พิสัยรายวันเฉลี่ย	5.89	6.17	6.00	5.47	4.75	4.27	4.17	4.38	4.71	4.80	4.98	5.50	5.09
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	23.9	26.5	28.7	29.7	28.9	28.8	28.3	27.9	27.2	26.4	24.9	23.1	27.0
เฉลี่ยสูงสุด	30.8	33.5	35.8	36.5	35.1	34.3	33.8	33.2	32.2	30.9	29.7	29.1	32.9
เฉลี่ยต่ำสุด	17.7	20.4	22.7	24.4	24.7	24.7	24.3	24.1	23.7	22.8	20.5	17.5	22.3
สูงที่สุด	37.1	40.1	42.3	42.7	41.3	39.7	40.0	38.1	38.0	35.2	36.1	36.0	42.7
ต่ำที่สุด	7.9	11.4	12.4	19.0	21.0	21.2	21.3	21.5	20.4	16.2	10.1	6.2	6.2
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	15.9	17.7	19.4	21.6	23.0	22.9	22.7	22.8	23.3	22.0	19.1	15.9	20.5
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)													
เฉลี่ย	64	61	60	65	72	73	73	75	80	79	72	66	70
เฉลี่ยสูงสุด	85	83	82	84	88	88	88	90	93	93	89	86	87
เฉลี่ยต่ำสุด	40	38	37	42	50	52	53	56	61	60	53	44	49
ต่ำที่สุด	21	15	12	19	23	23	32	35	34	31	27	20	12
ทัศนวิสัย (กิโลเมตร)													
เวลา 07:00 น.	3.4	3.4	4.0	5.2	7.4	8.9	8.9	8.8	7.5	6.2	5.4	4.4	6.1
เฉลี่ย	5.8	5.3	5.6	6.7	9.0	10.0	10.1	9.8	9.4	8.5	7.8	6.7	7.9
ความชื้นสัมพัทธ์ (0-10)													
เฉลี่ย	3.6	4.0	4.6	5.6	7.1	7.9	8.1	8.5	8.1	6.7	5.1	3.9	6.1
ชั่วโมงที่มีแสงแดด (0-10)													
เฉลี่ย	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
ความเร็วลม (มิลลิเมตร)													
ทิศทาง	NE	NE	S	S	S	SW	SW	SW	W	NE	NE	NE	-
ความเร็วลมเฉลี่ย	1.4	1.5	1.6	1.7	1.9	2.3	2.4	2.3	1.4	1.8	2.1	2.0	-
ความเร็วลมสูงสุด	22.0	50.0	42.0	49.0	50.0	58.0	41.0	32.0	33.0	29.0	28.0	28.0	58.0
น้ำฝน (มิลลิเมตร)													
เฉลี่ย-แดด	137.3	143.9	183.2	183.4	174.8	163.4	164.3	151.0	125.8	125.6	128.6	135.9	1,817.2
หิม (มิลลิเมตร)													
เฉลี่ย	5.9	18.1	36.1	66.3	137.2	111.8	115.3	146.2	226.6	141.2	27.0	3.0	1,034.7
จำนวนวันที่ฝนตก	0.9	2.3	4.9	7.8	13.8	13.4	13.7	16.5	18.2	12.1	3.8	0.8	108.2
ฝนที่ตกใน 24 ชั่วโมง	71.2	51.2	97.3	91.8	107.3	83.4	104.1	121.3	138.0	136.0	84.3	18.1	138.0
จำนวนวันที่เกิด													
แสงหมอก	28.8	27.7	29.2	24.0	7.7	2.4	1.1	1.0	1.8	9.7	16.4	25.9	175.7
หมอก	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.2	0.2	0.1	0.0	0.6
ลูกเห็บ	0.0	0.0	0.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.1
ฟ้าคะนอง	0.2	2.2	5.6	11.9	15.1	9.0	9.0	8.4	12.7	7.4	1.0	0.0	82.5
พายุฝน	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0

ที่มา : กรมอุตุนิยมวิทยา



รูปที่ 2.15 ข้อมูลภูมิอากาศ คาน 30 ปี (พ.ศ. 2514-2543) ของสถานีจังหวัดนครราชสีมา

2.2.3.4 ปริมาณการระเหย

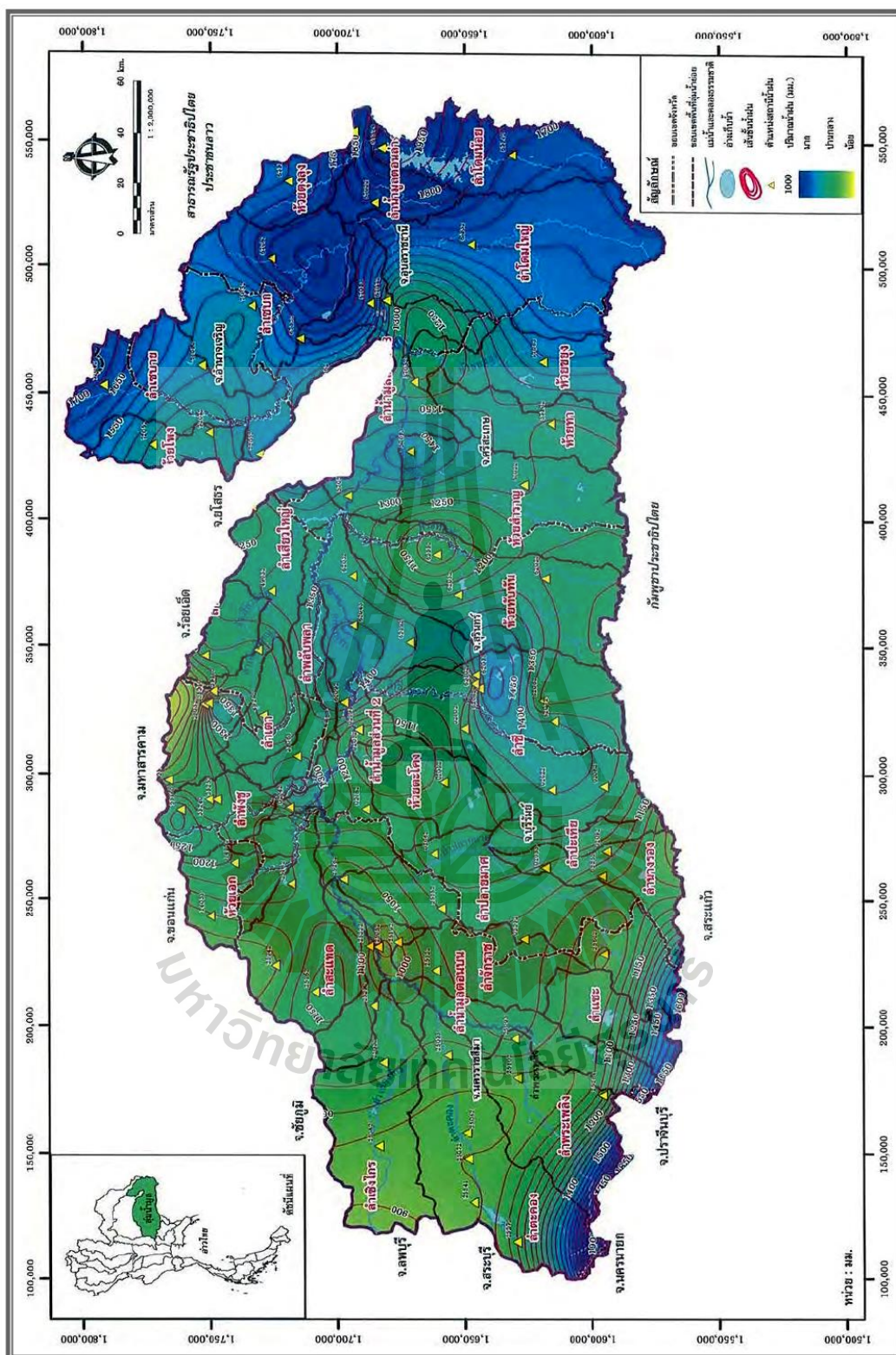
ข้อมูลปริมาณการระเหย ตรวจวัดโดยใช้เครื่องมือวัดการระเหยของน้ำแบบ ถาด (Class-A Pan) โดยบริเวณพื้นที่โครงการมีปริมาณการระเหยสะสมสูงสุดในเดือนเมษายน (ช่วงที่มีอุณหภูมิสูง) วัดได้ 183.4 มิลลิเมตร และมีปริมาณการระเหยต่ำสุดในเดือนตุลาคม (ช่วงที่มี อุณหภูมิต่ำ) วัดได้ 125.6 มิลลิเมตร ปริมาณการระเหยเฉลี่ยรายปีมีค่า 1,817.2 มิลลิเมตร

2.2.3.5 กระแสลม

การหมุนเวียนของกระแสลมบริเวณพื้นที่โครงการ จะเป็นผลจากอิทธิพล ของลมมรสุมเป็นหลักความเร็วลมเฉลี่ยที่ตรวจวัดได้มีค่าไม่สูงมากนัก และมีความผันแปรน้อยมาก โดยมีค่าอยู่ระหว่าง 1.4-2.4 น็อต ทิศทางของลมส่วนใหญ่เป็นลมที่พัดมาจากทางทิศใต้และทิศ ตะวันตกเฉียงใต้ ซึ่งเกิดขึ้นในช่วงเดือนมีนาคมถึงกันยายน ส่วนในช่วงเดือนตุลาคมถึงกุมภาพันธ์ ทิศทางของลมจะพัดมาจากทางทิศตะวันออกเฉียงเหนือ แม้ว่าความเร็วลมเฉลี่ยจะมีค่าไม่สูงมากนัก แต่ความเร็วลมสูงสุดที่เคยตรวจวัดได้มีค่าสูงถึง 58.0 น็อต

2.2.3.6 ปริมาณฝน

เนื่องจากบริเวณพื้นที่โครงการตั้งอยู่ในลุ่มน้ำมูล การวิเคราะห์ปริมาณฝน ใช้ข้อมูลปริมาณฝนจากสถานีตรวจวัดของทั้งกรมอุตุนิยมวิทยา กรมชลประทาน และหน่วยงานอื่น ซึ่งตั้งกระจายอยู่ตามจุดต่างๆครอบคลุมพื้นที่ในเขตลุ่มน้ำมูล จำนวนทั้งสิ้น 338 สถานี ข้อมูลฝนที่ รวบรวมได้เป็นสถิติข้อมูลในช่วงระหว่างปี พ.ศ. 2495-2546 จากข้อมูลปริมาณฝนที่รวบรวมได้ นำมาจัดทำเส้นชั้นความสูง (isohyets) ปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของลุ่มน้ำมูล ดังแสดงในรูปที่ 2.16 พบว่า ปริมาณฝนบริเวณตอนบนและตอนกลางของลุ่มน้ำ มีฝนตกอยู่ในเกณฑ์เฉลี่ย ส่วนตอนล่าง ของลุ่มน้ำ บริเวณจังหวัดอุบลราชธานีและจังหวัดอำนาจเจริญ รวมทั้งบริเวณตอนบนของลุ่มน้ำ บางส่วน ที่มีพื้นที่ติดกับจังหวัดนครนายกและจังหวัดปราจีนบุรี มีปริมาณฝนตกในเกณฑ์สูง ปริมาณฝนตกเฉลี่ยรายปีของทั้งลุ่มน้ำมีค่าโดยประมาณ 1,399 มิลลิเมตร ทั้งนี้เมื่อพิจารณาตามแผนที่ เส้นชั้นความสูงของปริมาณฝน บริเวณพื้นที่โครงการมีปริมาณฝนตกเฉลี่ยต่อปี ประมาณ 950- 1,000 มิลลิเมตร



รูปที่ 2.16 แผนที่ตั้งแสดงเส้นฐานสูงของปริมาณฝนรายปีเฉลี่ยของกรุงเทพมหานคร (กรมอุตุนิยมวิทยา)

2.2.3.7 อุตภวิทยา

1. ปริมาณน้ำท่า

จากผลการศึกษาโครงการศึกษาออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเขื่อนลำตะคอง ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547) ผลการวิเคราะห์ปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายปีแบบลุ่มน้ำรวม (Regional Analysis) สามารถสรุปความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับขนาดพื้นที่รับน้ำฝน โดยสมการถดถอย (Linear Regression) ได้ดังนี้

$$Q = 5.5708 A^{0.5413} \quad (R^2 = 0.8085)$$

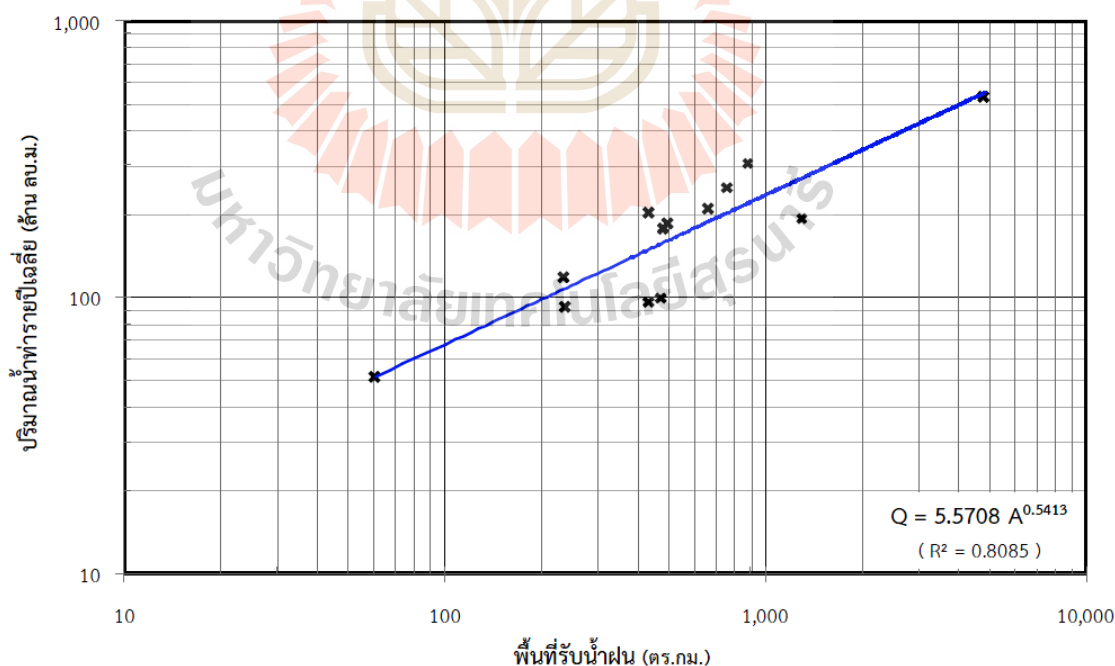
เมื่อ

Q = ปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ย (ล้านลูกบาศก์เมตร)

A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตารางกิโลเมตร)

R = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กราฟแสดงความสัมพันธ์ (Linear Regression) ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน แสดงดังรูปที่ 2.17 สถิติข้อมูลปริมาณน้ำไหลเข้าเขื่อนลำตะคองที่ตรวจวัดโดยกรมชลประทาน ตั้งแต่ปี 2512-2558 (47 ปี) มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.3 โดยเขื่อนลำตะคองมีปริมาณน้ำไหลเข้าอ่างเก็บน้ำสะสมเฉลี่ยปีละ 266.04 ล้าน ลบ.ม.



รูปที่ 2.17 แผนความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝน

ตารางที่ 2.3 ปริมาณน้ำท่ารายเดือนที่ไหลเข้าเขื่อนลำตะคอง

หน่วย : ล้าน ลบ.ม

ปี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2512	2.00	1.00	19.00	38.00	33.00	110.00	38.00	15.00	8.00	7.00	6.00	8.00	285.00
2513	8.00	7.00	14.00	22.00	17.00	36.00	40.00	9.00	9.00	5.00	5.00	4.00	176.00
2514	6.00	14.00	11.00	23.00	15.00	28.00	18.00	6.00	6.00	2.00	7.00	6.00	142.00
2515	5.00	0.00	6.00	17.00	24.00	192.00	168.00	33.00	15.00	13.00	13.00	9.00	495.00
2516	12.00	16.00	11.00	12.00	19.00	70.00	47.00	6.00	6.00	5.00	10.00	16.00	230.00
2517	15.00	18.00	18.00	19.00	22.00	32.00	75.00	46.00	13.00	11.00	10.00	11.00	290.00
2518	8.00	19.00	38.00	39.00	39.00	92.00	107.00	18.00	10.00	10.00	12.00	8.00	400.00
2519	13.00	20.00	24.00	30.00	59.00	82.00	99.00	43.00	15.00	6.00	6.00	10.00	407.00
2520	10.00	16.00	11.00	28.00	22.00	35.00	20.00	7.00	7.00	4.00	5.00	6.00	171.00
2521	14.00	10.00	19.00	35.00	36.00	39.00	57.00	8.00	4.00	5.00	3.00	2.00	232.00
2522	7.00	10.00	9.00	24.00	29.00	61.00	53.00	7.00	6.00	4.00	4.00	3.00	217.00
2523	5.90	5.50	24.80	19.60	18.10	41.90	84.80	17.40	5.70	4.40	3.80	2.00	233.90
2524	11.00	16.10	22.60	27.50	31.80	43.60	33.80	27.20	4.60	0.00	3.00	5.30	226.50
2525	4.40	6.40	8.80	21.70	28.70	70.20	38.90	11.40	4.80	4.20	2.30	0.60	202.40
2526	1.60	4.50	7.50	12.90	46.50	58.90	231.40	40.00	16.00	10.40	14.20	7.20	451.10
2527	11.70	8.20	8.40	24.50	32.10	41.50	83.60	15.80	7.50	8.50	4.20	1.50	247.50
2528	9.20	26.70	30.80	32.30	31.20	45.80	51.00	16.70	6.60	5.90	2.00	4.40	262.60
2529	11.10	24.30	10.20	15.00	14.60	29.90	77.90	11.00	5.60	1.80	3.70	1.80	206.90
2530	7.90	12.80	10.70	8.90	12.20	73.90	44.80	17.00	5.10	5.80	7.10	2.90	209.10
2531	5.50	22.60	16.60	14.30	29.70	87.40	105.80	15.60	9.70	7.50	4.90	7.40	327.00
2532	1.60	20.10	7.70	8.90	9.80	19.90	25.20	3.60	2.10	3.90	1.70	4.80	109.30
2533	3.00	11.10	9.30	10.50	12.00	18.20	167.50	27.70	8.10	5.90	6.20	4.00	283.50
2534	3.00	8.10	17.80	19.60	46.50	37.70	60.80	5.90	2.70	4.30	0.00	0.00	206.40
2535	0.00	0.00	0.50	3.90	16.80	8.00	27.30	5.70	0.90	0.20	0.00	2.70	66.00
2536	2.30	2.30	3.20	2.20	17.70	57.00	30.80	6.60	2.10	1.90	1.40	4.40	131.90
2537	3.10	13.60	38.20	42.70	46.10	36.90	28.00	3.20	1.90	2.80	1.50	4.60	222.60
2538	3.60	7.90	5.10	11.80	37.30	102.40	54.20	11.20	6.50	2.40	1.70	7.10	251.20
2539	8.30	40.90	25.80	17.30	26.40	117.80	139.50	62.10	9.50	9.30	4.70	9.20	470.80
2540	10.50	13.80	7.40	4.50	14.30	4.10	30.70	4.40	2.20	1.30	0.30	2.70	96.20
2541	5.80	11.90	4.40	9.90	13.40	39.30	43.10	8.30	4.10	2.50	0.10	1.00	143.80
2542	10.80	45.00	27.40	20.90	23.60	62.50	93.30	38.00	5.10	7.00	8.70	5.50	347.80
2543	21.10	36.10	25.90	30.50	60.70	88.33	122.20	17.20	7.10	7.80	2.40	11.20	430.53
2544	3.70	21.00	13.70	23.60	36.10	20.20	24.30	7.80	2.50	1.65	0.75	1.33	156.63
2545	2.89	18.42	9.66	1.18	18.53	103.09	56.76	12.32	5.02	7.15	2.21	6.60	243.83
2546	4.41	9.59	7.70	9.77	24.87	36.99	65.69	3.00	0.46	3.16	3.78	5.70	175.12
2547	5.16	16.14	37.78	15.23	28.16	45.85	21.87	12.56	6.56	10.26	14.38	3.99	217.94
2548	1.60	3.29	9.57	6.47	10.78	66.60	38.51	53.96	9.75	5.26	5.72	6.83	218.34
2549	16.40	22.51	24.48	51.00	25.70	54.70	95.30	18.60	15.53	18.08	16.40	17.68	376.38
2550	13.92	64.82	20.90	18.90	28.52	43.14	64.78	17.12	19.08	13.62	12.68	22.20	339.68
2551	15.86	34.73	26.00	20.59	25.82	124.81	68.13	41.46	13.13	14.44	17.80	18.87	421.64
2552	23.92	17.09	16.48	20.37	18.26	37.56	63.47	16.31	5.26	7.54	5.59	6.58	238.43
2553	11.34	6.40	5.87	13.22	33.97	64.80	271.47	31.15	22.49	11.63	12.53	13.96	498.83
2554	15.07	35.61	38.80	41.63	57.75	162.10	102.85	22.37	12.00	10.26	16.21	22.01	536.66
2555	8.33	11.44	8.83	18.53	15.21	60.04	35.62	5.95	7.87	4.95	2.28	3.95	183.00
2556	5.65	6.30	14.14	13.39	25.32	99.25	143.43	19.95	10.74	14.01	11.05	13.86	377.10
2557	10.89	9.49	9.55	19.54	24.72	27.87	48.07	16.19	5.53	5.47	12.72	11.02	201.07

ตารางที่ 2.3 (ต่อ)

หน่วย : ล้าน ลบ.ม

ปี	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	รายปี
2558	9.70	11.40	8.89	8.65	10.59	36.77	40.61	8.71	3.33	3.41	1.64	3.39	147.10
สูงสุด	23.92	64.82	38.80	51.00	60.70	192.00	271.47	62.10	22.49	18.08	17.80	22.20	536.66
เฉลี่ย	8.30	16.11	15.86	19.75	27.00	60.55	73.14	18.12	7.58	6.40	6.18	7.05	266.04
ต่ำสุด	0.00	0.00	0.50	1.18	9.80	4.10	18.00	3.00	0.46	0.00	0.00	0.00	66.00

(ที่มา;กรมชลประทาน)

2. ปริมาณน้ำหลาก

จากผลการศึกษาโครงการศึกษาออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเขื่อน ลำตะคอง ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีการเกิดต่างๆ ของเขื่อนลำตะคอง ได้มีการศึกษาเปรียบเทียบ 2 วิธี คือ การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากแบบลุ่มน้ำรวม และการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากด้วยวิธีการาฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า โดยมีรายละเอียดแต่ละวิธีดังนี้

(1) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากแบบลุ่มน้ำรวม (Regional Flood

Frequency Analysis) :

จากสถิติข้อมูลปริมาณน้ำหลากสูงสุดของสถานีน้ำท่าที่พิจารณาจำนวน 5 สถานี ข้อมูลดังแสดงในตารางที่ 2.4 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน โดยสมการถดถอย (Linear Regression) สามารถสรุปได้ดังนี้

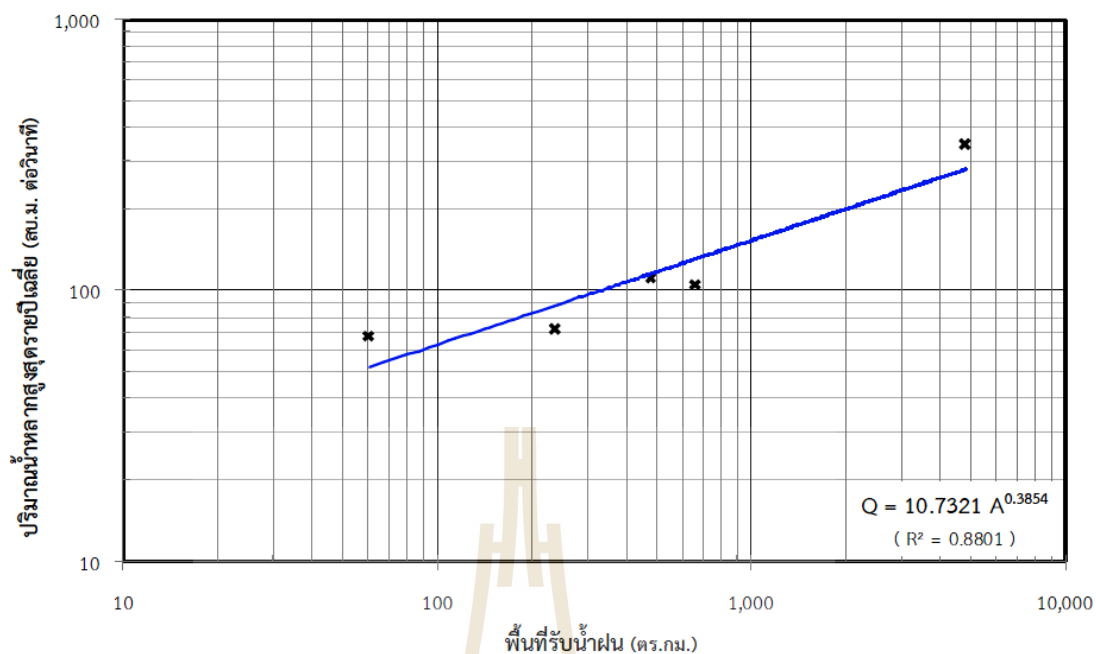
$$Q_f = 10.7321 A^{0.3854} \quad (R^2 = 0.8801)$$

เมื่อ Q_f = ปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่รับน้ำฝน (ตารางกิโลเมตร)

R = สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

กราฟแสดงความสัมพันธ์ (Linear Regression) ระหว่างปริมาณน้ำหลากสูงสุดรายปีเฉลี่ยกับพื้นที่รับน้ำฝน แสดงดังรูปที่ 2.18



รูปที่ 2.18 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำไหลสูงสุดรายปีเฉลี่ยและพื้นที่รับน้ำฝน

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลสถานีน้ำท่าที่ใช้ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำไหลของโครงการ(กรมชลประทาน)

ลำดับ	ชื่อสถานี	รหัส	หน่วยงาน	พื้นที่ลุ่มน้ำ (ตารางกิโลเมตร)	ปริมาณน้ำไหลสูงสุดรายปีเฉลี่ย (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)
1	บ้านหมูลี	M.43A	RID	237	71.57
2	สถานีเสวภา	M.89	RID	665	105.35
3	บ้านบึงเตย	MN.1	DWR	476	111.38
4	เขาใหญ่	MN.2	DWR	61	68.04
5	บ้านตะกวดขอนแก่น	M.2	RID	4,800	345.04

หมายเหตุ : RID - กรมชลประทาน

DWR - กรมทรัพยากรน้ำ

โครงการเขื่อนลำตะคองซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝน 1,430 ตร.กม. สามารถคำนวณหาปริมาณน้ำไหลสูงสุดรายปีเฉลี่ย จากสมการที่กล่าวไว้ข้างต้นได้เท่ากับ 176.50 ลบ.ม. ต่อวินาที สำหรับปริมาณน้ำไหลที่รอบปีต่างๆ ตามตารางที่ 2.5 วิเคราะห์ด้วยวิธีลุ่มน้ำรวมโดยโครงการเขื่อนลำตะคอง จากผลการศึกษาโครงการศึกษาออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเขื่อนลำตะคอง ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน(2547) มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.5 ค่าปริมาณน้ำหลากสูงสุดที่รอบปีต่างๆ

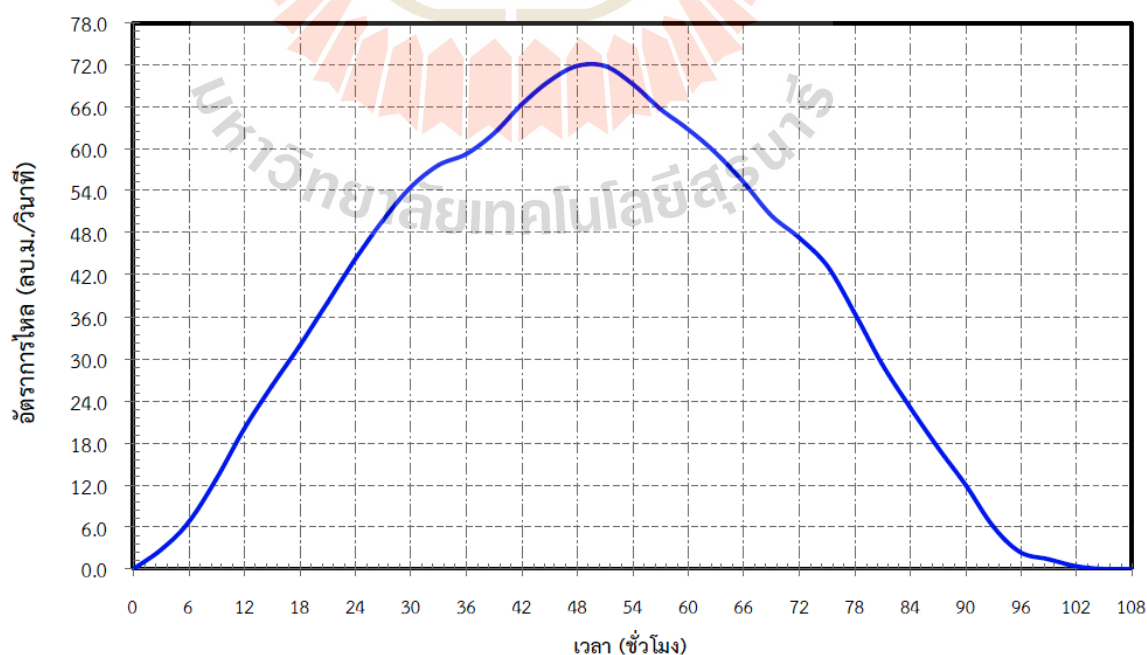
คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	2	5	10	25	50	100	500	1,000	10,000
ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	150.1	292.2	386.3	505.3	593.4	681.0	883.3	970.3	1,259.0

(2) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากด้วยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

จากผลวิเคราะห์ของโครงการออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเขื่อนลำตะคอง ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547) กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่าตัวแทนของพื้นที่โครงการ วิเคราะห์ได้จากข้อมูลปริมาณน้ำหลากของสถานี M.89 ตามหลักการของ Snyder ดังแสดงในรูปที่ 2.19 สำหรับการวิเคราะห์ปริมาณฝนออกแบบเนื่องจากระยะเวลาที่ฝนตกถึงเวลาการเกิดน้ำหลาก (Time to peak, t_p) ของพื้นที่โครงการมีค่าประมาณ 50 ชั่วโมง (2.08 วัน) ดังนั้น ฝนออกแบบจึงพิจารณาปริมาณฝนตกสะสมสูงสุด 3 วัน (สถานีลำตะคอง 25370) มาใช้ในการวิเคราะห์ ซึ่งจากผลการคำนวณทางสถิติโดยวิธีกัมเบล เพื่อหาปริมาณฝนสะสม 3 วันสูงสุดรอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ ตามตารางที่ 2.6 มีรายละเอียดดังนี้

ตารางที่ 2.6 ผลการคำนวณทางสถิติโดยวิธีกัมเบลหาค่าฝนสะสม 3 วันสูงสุดรอบปีเกิดซ้ำต่างๆ

คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	2	5	10	25	50	100	500	1,000	10,000
ปริมาณฝนสูงสุด (มม.)	124.60	165.38	192.37	225.48	251.79	276.90	334.95	359.90	442.75



รูปที่ 2.19 กราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า (Unit Hydrograph) ณ จุดที่ตั้งเขื่อนลำตะคอง

การประเมินปริมาณน้ำหลาก ณ จุดที่ตั้งเขื่อนทำได้โดย การประยุกต์ปริมาณฝนใช้การที่ทำการปรับลดด้วยแฟกเตอร์การสูญเสียปริมาณฝนและแฟกเตอร์ลดปริมาณฝนตามขนาดพื้นที่แล้ว ร่วมกับการแพร่กระจายของฝน และกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า รวมกับปริมาณการไหลพื้นฐาน (Base flow) ก็จะสามารถหาปริมาณน้ำหลากที่รอบการเกิดซ้ำต่างๆ ได้ ซึ่งจากผลวิเคราะห์ของโครงการศึกษาออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเขื่อนลำตะคอง ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547) ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีการเกิดซ้ำต่างๆ โดยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า ตามตารางที่ 2.7 สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 2.7 ปริมาณน้ำหลากที่รอบปีต่างๆ โดยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า

คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	2	5	10	25	50	100	500	1,000	10,000
ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	318.2	453.0	552.7	812.2	946.6	1,250.5	1,661.6	2,156.5	3,002.0
ปริมาตรน้ำหลาก (ลบ.ม.)	96.33	125.28	154.4	230.64	270.72	361.75	486.98	638.86	902.64

สำหรับการออกแบบโรงไฟฟ้าและอาคารประกอบต่างๆ จะพิจารณาปริมาณน้ำหลากที่วิเคราะห์โดยวิธีกราฟหนึ่งหน่วยน้ำท่า เป็นข้อมูลสำหรับการออกแบบ ต่อไป

3. การระบายน้ำหลากผ่านอาคารระบายน้ำล้น

จากผลการศึกษาโครงการศึกษาออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเขื่อน ลำตะคอง ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547) การวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากที่ระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้น ที่คาบการเกิดซ้ำ 50, 100, 500, 1,000 และ 10,000 ปี มีรายละเอียดแสดงดังตารางที่ 2.8

ตารางที่ 2.8 ปริมาณน้ำที่ระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้นที่คาบการเกิดซ้ำต่างๆ

คาบการเกิดซ้ำ (ปี)	ปริมาณน้ำหลากสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)	อัตราการระบายน้ำสูงสุด (ลบ.ม./วินาที)		ระบายน้ำรวม (ลบ.ม./วินาที)	ระดับท้ายน้ำ (ม.รทก.)
		อาคารระบายน้ำล้น	อาคารระบายน้ำฉุกเฉิน		
50	946.55	801.27	-	801.27	+251.60
100	1,250.53	996.53	2.66	999.19	+252.00
500	1,661.57	1,327.79	69.87	1,397.66	+252.40
1,000	2,156.49	1,759.46	192.19	1,954.65	+252.55
10,000	3,002.03	2,523.55	412.03	2,935.58	+252.70

2.2.4 ข้อมูลธรณีวิทยาและภูมิศาสตร์

2.2.4.1 สภาพธรณีวิทยาทั่วไป

จากแผนที่ธรณีวิทยา มาตราส่วน 1:250,000 ราว NE 47-16 จังหวัด เพชรบูรณ์ ของกรมทรัพยากรธรณี พบว่าบริเวณพื้นที่โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง ประกอบด้วยเนินเขาที่มีความสูงปานกลางของหินตะกอนในกลุ่มหินโคราช และที่ราบลุ่มระหว่าง หุบเขารองรับด้วยชั้นหินทรายแป้งและหินทราย ซึ่งจัดอยู่ในหมวดหิน โคราชกรวด ของกลุ่มหินโคราช บริเวณทิศตะวันตกและทิศใต้ของบริเวณพื้นที่โครงการ มีลักษณะเป็นเทือกเขาสูงชันของ หินปูน จากหนังสือธรณีวิทยาประเทศไทย ของกรมทรัพยากรธรณี(2542) กล่าวว่า กลุ่มหินโคราช เป็นชั้นหินสีแดงซึ่งสะสมตัวบนภาคพื้นทวีปเป็นส่วนใหญ่ ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินทราย หินโคลน และหินกรวดมน มีอายุตั้งแต่ ยุคครีเทเชียส-เทอร์เชียรี วางตัวทับอยู่บนพื้นผิวที่เกิดจากการผุกร่อนของหินมหายุคพาเลโอโซอิกตอนบน โดยที่ชั้นหินเอียงลาดเล็กน้อยสู่ใจกลางแอ่งโคราช และแอ่งสกลนคร บริเวณทิศใต้ของที่ราบสูงโคราช มีหินบะซอลต์ยุคควอเทอร์นารีไหลคลุมกลุ่ม หินโคราชเป็นหย่อมๆกลุ่มหินโคราชวางตัวแบบไม่ต่อเนื่องบนหินยุคที่แก่กว่า โดยที่ส่วนล่างสุด มักพบชั้นหินกรวดมนปัจจุบันกลุ่มหินโคราชแบ่งออกเป็น 9 หมวดหิน โดยมีลำดับหมวดหินจากล่างไปหาบนได้ ดังนี้

หมวดหินห้วยหินลาด : ประกอบด้วยหินกรวดมน ซึ่งมีกรวดของหินปูน มาก รวมทั้งกรวดของหินไรโอไลต์และหินอื่นด้วย หินทราย หินทรายแป้ง และหินดินดานสีเทา มีอายุอยู่ในช่วงปลายยุคไทรแอสซิกหมวดหินนี้วางตัวอยู่บนหินปูนยุคเพอร์เมียนแบบรอยชั้นสัมผัส ไม่ต่อเนื่อง

หมวดหินน้ำพอง : เป็นหมวดหินล่างสุดของกลุ่มหินโคราชที่เริ่มมีสีแดง โดยเฉพาะทางโคราชด้านตะวันตก ประกอบด้วยชั้นหินทรายแป้ง หินทราย และหินกรวดมน สลับกันเป็นชั้นหนา วางตัวต่อเนื่องจากหมวดหินห้วยหินลาด ในขณะที่บางบริเวณวางตัวอยู่บน หินปูนยุคเพอร์เมียนแบบรอยชั้นไม่ต่อเนื่อง หมวดหินนี้หนาประมาณ 1,465 เมตร

หมวดหินภูกระดึง : วางตัวอยู่บนหมวดหินน้ำพอง หรือบนหินยุคเพอร์เมียนในบริเวณที่ไม่มีหมวดหินน้ำพอง ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินทรายสีเทาอมเขียว หินโคลน และหินกรวดมนเนื้อปูนผสมความหนาของหมวดหินนี้ที่บริเวณภูกระดึงประมาณ 1,001 เมตร

หมวดหินพระวิหาร : ประกอบด้วยหินทรายเนื้อควอตซ์ สีขาว มักแสดง ลักษณะชั้นเฉียงระดับและมีชั้นบางๆ ของหินทรายแป้งสีเทาดำแทรก ความหนาของหมวดหินนี้ แตกต่างกันในแต่ละบริเวณ ตั้งแต่ 56-136 เมตร

หมวดหินเสาขัว : ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินโคลน และหินกรวดมนปนทราย มีชั้นหินค่อนข้างหนา ซึ่งความหนาของหินหมวดนี้บริเวณเสาขัวหนา 512 เมตร คาดว่าหินมีอายุครีเทเชียส ตอนต้น

หมวดหินภูพาน : มีลักษณะค่อนข้างเด่น โดยเฉพาะประกอบด้วยหินทรายนหินกรวดมนชั้นหนา ที่แสดงการวางระดับเนียง ความหนาของหมวดหินนี้ประมาณ 114 เมตร

หมวดหินโคกกรวด : ประกอบด้วยหินทรายแป้ง หินทราย และหินทรายแป้งปนปูน (caliche siltstone) หินกรวดมน หมวดหินนี้มีความหนาประมาณ 709 เมตร

หมวดหินมหาสารคาม : ประกอบด้วยหินทรายแป้ง และหินทราย มีชั้นโพแทช ยิปซัม และเกลือหิน หนาเฉลี่ย 200 เมตร หมวดหินนี้มีความหนาประมาณ 600 เมตร เกิดจากการสะสมตัวของแอ่งซึ่งอาจแยกกันเป็น 2 แอ่งคือ แอ่งสกลนคร และแอ่งโคราช อายุของหินมหาสารคามมีอายุประมาณยุค ครีเทเชียสตอนปลาย

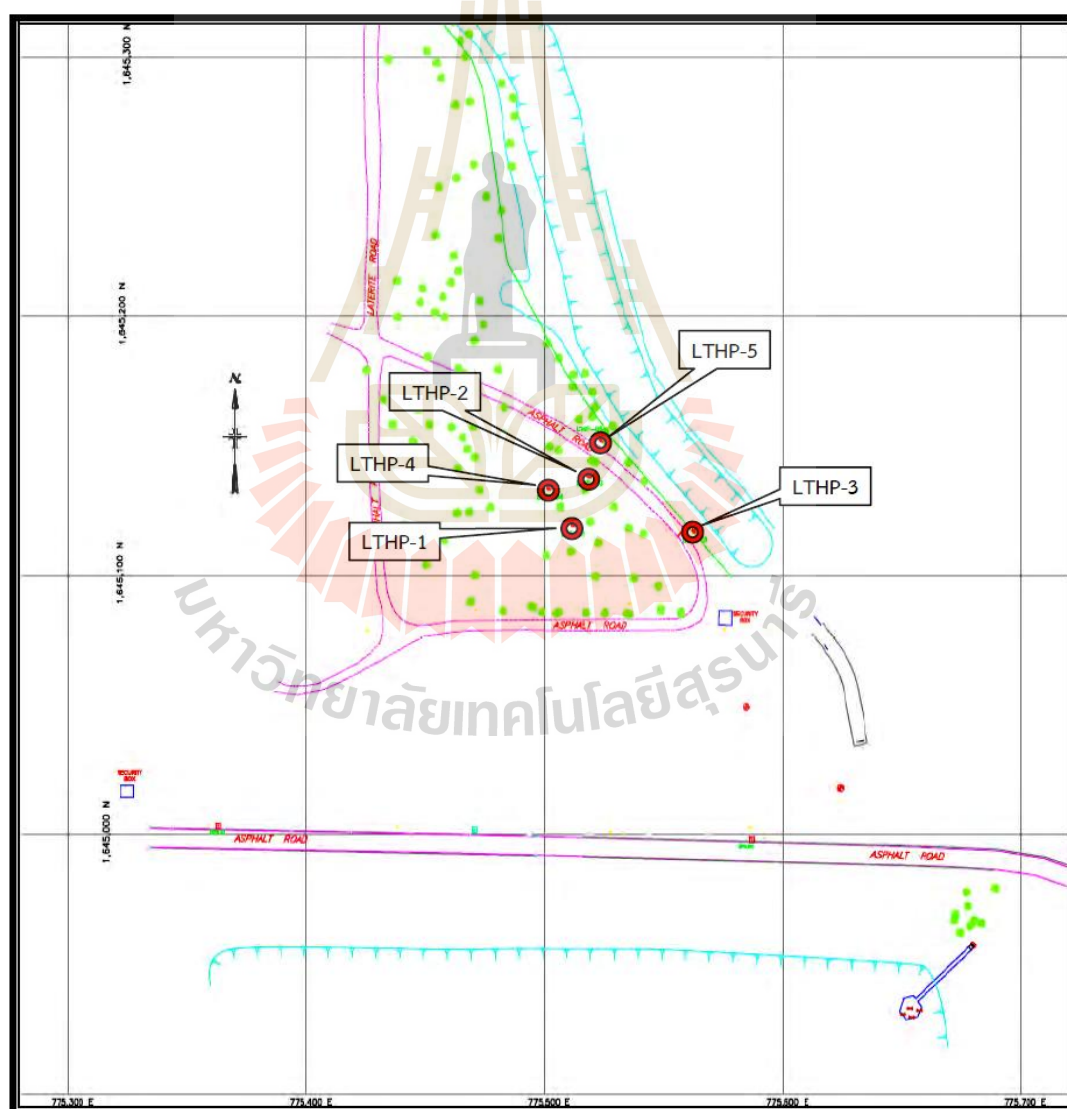
หมวดหินภูทอก : ประกอบด้วยหินทรายเนื้อละเอียดสีแดง มีชั้นเฉียงสลับขนาดใหญ่ และหินทรายสีแดง พบชั้นเฉียงสลับขนาดเล็ก ความหนาของหมวดหินนี้ไม่ต่ำกว่า 200 เมตร โดยที่บริเวณชั้นหินแบบฉบับที่เขากุทกน้อย อำเภอศรีวิไล จังหวัดหนองคาย มีความหนา 139 เมตร หมวดหินภูทอกแผ่กระจายตัวทั่วไปตามแอ่งที่ราบสูงโคราชในบริเวณที่ไม่มีดินปกคลุม หินทรายนี้เกิดจากการสะสมตัวในสภาพแวดล้อมแบบตะกอนพัดพาจากน้ำและลม ดังแสดงในรูปที่ 2.20



รูปที่ 2.20 แผนที่ธรณีวิทยาบริเวณที่ตั้งโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง จ.นครราชสีมา (ที่มา; กรมทรัพยากรธรณี)

2.2.4.2 สภาพธรณีวิทยาบริเวณที่ตั้งโรงไฟฟ้า

การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ได้ดำเนินการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณที่ตั้งโรงไฟฟ้า โดยมีตำแหน่งหลุมเจาะภายในบริเวณพื้นที่โครงการและบริเวณพื้นที่โดยรอบ ตามรูปที่ 2.21 และ 2.22 จำนวน 5 หลุม รายละเอียดความลึกหลุมรวม 150 เมตร เข้าดำเนินการเจาะสำรวจในระหว่างวันที่ 6 สิงหาคม 2555 ถึง วันที่ 20 กันยายน 2555 พบว่าโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง รองรับด้วยหินชั้น จำพวกหินโคลนแทรกสลับกับหินทราย และหินทรายแป้ง มีชั้นดินถมปิดทับอยู่ชั้นบนสุด รายละเอียดตำแหน่งพิกัดหลุมเจาะสำรวจและภาพแสดงการเจาะสำรวจ ดังแสดงในตารางที่ 2.9 และรูปที่ 2.23 ตามลำดับ



รูปที่ 2.21 ตำแหน่งหลุมเจาะภายในบริเวณพื้นที่โครงการ
(ที่มา: ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังน้ำ กฟผ., 2559)



รูปที่ 2.22 ตำแหน่งหลุมเจาะและบริเวณพื้นที่โดยรอบ
(ที่มา: ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ.,2559)



รูปที่ 2.23 รูปแสดงการเจาะสำรวจในหลุมเจาะ LTHP-3
(ที่มา: ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ.,2559)

ตารางที่ 2.9 ตำแหน่งพิกัดหลุมเจาะสำรวจ

หลุมเจาะ	พิกัดหลุมเจาะ		ระดับปากหลุม (ม.รทก.)	ความลึกหลุมเจาะ (เมตร)
	เหนือ (N)	ตะวันออก (E)		
LTHP-1	1,645,119.834	775,512.084	+252.124	30.00
LTHP-2	1,645,138.661	775,518.806	+251.424	30.00
LTHP-3	1,645,117.555	775,562.927	+249.673	30.00
LTHP-4	1,645,134.035	775,502.079	+252.260	30.00
LTHP-5	1,645,152.570	775,502.079	+251.079	30.00

ที่มา: ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ., 2559

ในชั้นดิน (Overburden) ได้ทำการตอกทดลองตามมาตรฐาน ASTM D1586-99 ดังแสดงในภาคผนวก-ก โดยเก็บตัวอย่างดินทุกระยะ 1 เมตร จำแนกประเภทของดินตามระบบ Unified Soil Classification (USBR Designation E-3 of ASTM D-2487) ดังแสดงในภาคผนวก-ก และทดสอบการรั่วซึม (Permeability test) ตามมาตรฐาน USBR Designation E-18 ทุกระยะ 1 เมตรจนถึงหน้าหินในชั้นหิน (Bedrock) ทำการเจาะโดยใช้เครื่องเจาะแบบหมุน (Rotary Drilling Machine) เก็บตัวอย่างโดยใช้หัวเจาะเพชร (Diamond bit) และกระบอกเก็บตัวอย่างชนิด NMLC Core Barrel ซึ่งมีเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอก 76 มิลลิเมตร พร้อมทั้งทดสอบอัตราการรั่วซึมของน้ำผ่านชั้นหิน โดยวิธี Lugeon Test ตามหลักการของ A.C. HOULSBY (1976) ทุกๆ ช่วงความลึก 3 เมตร จนถึงก้นหลุม กรณีที่ไม่สามารถทดสอบ Lugeon ได้ จะใช้วิธีการทดสอบแบบ Length Test ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์ของการรั่วซึมของน้ำสามารถนำไปเปรียบเทียบกับค่า Lugeon ได้ โดย 1 Lu มีค่าเท่ากับ 10-5 ซม./วินาที ในระหว่างการเจาะสำรวจลักษณะต่างๆ ของการเจาะและสภาพธรณีวิทยา จะถูกจดลงในบันทึกประจำวัน (Daily Drilling Report) สำหรับการวัดระดับน้ำใต้ดินจะบันทึกหลังจากสิ้นสุดการเจาะแล้วอย่างน้อย 24 ชั่วโมงผลการเจาะสำรวจ การทดสอบในสนาม และการทดสอบในห้องปฏิบัติการสรุปได้ว่า

หลุมเจาะ LTHP-1 (ความลึก 30.00 เมตร)

ชั้นดินถมหนา 10.00 เมตร ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวปนทราย มีเศษหินทรายและหินทรายแข็งปนในเนื้อดิน ทรายปนทรายแข็ง และดินเหนียวปนทรายแข็งปนทราย จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่ามีค่าความชื้น 9.51-18.77% มีค่า Specific gravity 2.72-2.77 สามารถจำแนกดินตามระบบ USCS จัดอยู่ในกลุ่ม CL, SM และ CL-ML มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ตั้งแต่ 0.00 ถึง 2.55×10^{-4} เซนติเมตรต่อวินาที จากระดับผิวดินถึงระดับความลึก 5.50 เมตร มีค่า SPT-N ระหว่าง 12 ถึง 22 ครั้งต่อฟุต และจากระดับความลึก 5.50 - 10.00 เมตร มีค่า SPT-N ตั้งแต่

42 ถึงมากกว่า 50 ครั้งต่อฟุตรองรับด้วยชั้นหินทราย สีเขียวปนเทา เนื้อละเอียด มีความผุพังเล็กน้อย มีความแข็งปานกลางจนถึงระดับ +239.424 ม.รทก. ที่ระดับ +241.674 ถึง +241.124 ม.รทก. มีค่า RQD 0% ที่ระดับ +241.124 ถึง +240.124 ม.รทก. มีค่า RQD 92.5% และที่ระดับ +240.124 ถึง +239.424 ม.รทก. มีค่า RQD 23.33% มีค่า Uniaxial compressive strength 32.409 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class D (Low strength) จากระดับ +239.424 ถึง +238.124 ม.รทก. ไม่สามารถเก็บตัวอย่างได้จากระดับ +238.124 ถึง +231.424 ม.รทก. เป็นชั้นหินโคลน สีน้ำตาลแดง และเทาแกมเขียว หินมีสภาพผุพังเล็กน้อยถึงปานกลาง หินมีสภาพอ่อน ที่ระดับ +235.124 ถึง +233.624 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) มีสภาพแตกหักมาก หินมีสภาพอ่อน มีค่า RQD อยู่ระหว่าง 0-24% ที่ระดับความลึก +240.124 ถึง +237.124 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 75.83 Lu ที่ระดับความลึก +237.124 ถึง +234.124 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 12.73 Lu จากระดับ +231.424 ถึง +230.124 ม.รทก. เป็นชั้นหินทรายแข็ง สีน้ำตาลแดง มีสภาพแตกหักมาก หินมีสภาพผุพังเล็กน้อย มีความแข็งปานกลาง มีค่า RQD 0% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 0.90 Lu จากระดับ +230.124 ถึง +226.124 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) มีสภาพแตกหักมาก หินมีสภาพอ่อน ที่ระดับ +230.124 ถึง +228.124 ม.รทก. มีค่า RQD อยู่ระหว่าง 0-17% ที่ระดับ +228.124 ถึง +226.124 ม.รทก. มีค่า RQD อยู่ระหว่าง 48-49% ที่ระดับ +230.124 ถึง +228.124 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำประมาณ 0.90 Lu ที่ระดับ +228.124 ถึง +226.124 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 10.06 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 4.731 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength) จากระดับ +226.124 ม.รทก. จนถึงก้นหลุมที่ระดับ +222.124 ม.รทก. เป็นชั้นหินโคลนสีน้ำตาลแดง และเทาแกมเขียว แทรกสลับด้วยชั้นหินทรายเนื้อละเอียด และหินทรายแข็ง หินมีสภาพสดถึงผุพังเล็กน้อย หินมีสภาพอ่อน ที่ระดับ +226.124 ถึง +225.124 ม.รทก. มีค่า RQD 0% ที่ระดับ +225.124 ถึง +222.124 ม.รทก. มีค่า RQD 48-62.5% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 3.89-10.06 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 7.376-9.554 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength)

หลุมเจาะ LTHP-2 (ความลึก 30.00 เมตร)

ชั้นดินถมหนา 11.00 เมตร ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวปนทราย มีเศษหิน ทรายและหินทรายแข็งปนในเนื้อดิน ทรายปนดินเหนียว และทรายปนทรายแข็งปนดินเหนียว จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่ามีค่าความชื้น 9.28-19.26% มีค่า Specific gravity 2.70 สามารถจำแนกดินตามระบบ USCS จัดอยู่ในกลุ่ม CL, SC และ SC-SM ที่ระดับ +251.424 ถึง

+248.424 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ตั้งแต่ 1.31×10^{-6} ถึง 3.42×10^{-6} เซนติเมตรต่อวินาที ที่ระดับ +245.424 ถึง +240.424 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ตั้งแต่ 1.34×10^{-4} ถึง 4.20×10^{-3} เซนติเมตรต่อวินาที มีค่า SPT-N ตั้งแต่ 24 ถึงมากกว่า 50 ครั้งต่อฟุต รองรับด้วยชั้นหินทราย สีเทาอ่อนถึงเทาปนเขียว มีความผุพังเล็กน้อย มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงระดับความลึก +238.424 ม.รทก. ที่ระดับ +240.424 ถึง +239.424 ม.รทก. มีค่า RQD 37% ที่ระดับ +239.424 ถึง +238.424 ม.รทก. มีค่า RQD 88% มีค่า Uniaxial compressive strength 48.936 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class D (Low strength) จากระดับความลึก +238.424 ถึง +231.424 ม.รทก. เป็นชั้นหินโคลน สีน้ำตาลแดง และเทาแกมเขียว แทรกสลับด้วยหินทรายแป้ง และหินทรายเนื้อละเอียด หินมีสภาพผุพังเล็กน้อยถึงปานกลาง หินมีสภาพอ่อน ที่ระดับ +234.124 ถึง +231.424 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) หินมีสภาพอ่อน ส่วนมากมีค่า RQD อยู่ระหว่าง 46.67-70% ยกเว้นที่ระดับ +235.424 ถึง +233.424 ม.รทก. มีค่า RQD 0% ที่ระดับ +239.424 ถึง +233.424 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 14.95-17.27 Lu ที่ระดับ +233.424 ถึง +231.424 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 0.62 Lu จากระดับ +231.424 ถึง +229.424 ม.รทก. เป็นชั้นหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง หินมีสภาพผุพังเล็กน้อย มีความแข็งแรงปานกลาง มีค่า RQD 26.67-64% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 0.62-1.87 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 19.188 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength) จากระดับ +229.424 ม.รทก. จนถึงก้นหลุมที่ระดับ +221.424 ม.รทก. เป็นชั้นหินโคลนสีน้ำตาลแดง และเทาแกมเขียว แทรกสลับด้วยชั้นหินทรายเนื้อละเอียด และหินทรายแป้ง หินมีสภาพสดถึงผุพังเล็กน้อย หินมีสภาพอ่อนถึงแข็งแรงปานกลาง มีค่า RQD 70.67-100% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 0.83-1.87 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 4.905-15.147 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength)

หลุมเจาะ LTHP-3 (ความลึก 30.00 เมตร)

ชั้นดินถมหนา 10.00 เมตร ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวปนทราย มีเศษหินทรายและหินทรายแป้งปนในเนื้อดิน และดินเหนียวปนทรายแป้งปนทราย จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่ามีค่าความชื้น 13.09-29.10% มีค่า Specific gravity 2.73-2.80 สามารถจำแนกดินตามระบบ USCS จัดอยู่ในกลุ่ม CL และ CL-ML มีค่าการรั่วซึมของน้ำตั้งแต่ 2.21×10^{-5} ถึง 2.21×10^{-3} เซนติเมตรต่อวินาที จากระดับผิวดินถึงระดับ +246.173 ม.รทก. มีค่า SPT-N ระหว่าง 20-38 ครั้งต่อฟุต จากระดับ +246.173 ถึง +243.173 ม.รทก. มีค่า SPT-N ระหว่าง 3-5 ครั้งต่อฟุต และจากระดับ +243.173 ถึง +239.673 ม.รทก. มีค่า SPT-N ระหว่าง 13-40 ครั้งต่อฟุต รองรับด้วยชั้นหินทราย สีเขียวปนเทา เนื้อละเอียด มีความผุพังเล็กน้อย มีความแข็งแรงปานกลางจนถึงระดับ

+236.073 ม.รทก. มีค่า RQD 42-78.5% มีค่า Uniaxial compressive strength 29.011-65.205 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class D-C (Low to medium strength) จากระดับ +233.673 ถึง +228.473 ม.รทก. เป็นชั้นหินโคลน สีน้ำตาลแดง และเทาแกมเขียวหินมีสภาพผุพังเล็กน้อยถึงปานกลาง หินมีสภาพอ่อน ที่ระดับ +233.673 ถึง +228.473 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) มีสภาพแตกหักมาก หินมีสภาพอ่อน มีค่า RQD อยู่ระหว่าง 63-86% ที่ระดับ +237.673 ถึง +231.673 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 5.52-12.04 Lu ที่ระดับ +231.673 ถึง +228.673 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 1.55 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 3.092-12.073 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength) จากระดับ +228.473 ถึง +227.073 ม.รทก. เป็นชั้นหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง หินมีสภาพผุพังเล็กน้อย มีความแข็งปานกลาง มีค่า RQD 83% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 1.11 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 14.197 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength) จากระดับ +227.073 ถึง +222.673 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) มีสภาพแตกหักมาก หินมีสภาพอ่อน มีค่า RQD อยู่ระหว่าง 70-88% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 1.11 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 3.038 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength) จากระดับ +222.673 ม.รทก. จนถึงก้นหลุมที่ระดับ +219.673 ม.รทก. เป็นชั้นหิน โคลนสีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยชั้นหินทรายเนื้อละเอียด และหินทรายแป้ง หินมีสภาพสดถึงผุพังเล็กน้อย มีความแข็งปานกลาง มีค่า RQD 85.5-98% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 1.38 Lu

หลุมเจาะ LTHP-4 (ความลึก 30.00 เมตร)

ชั้นดินถมหนา 10.20 เมตร ประกอบด้วยชั้นดินเหนียวปนทราย มีเศษหินทรายและหินทรายแป้งปนในเนื้อดิน ทรายแป้งปนทราย ทรายปนทรายแป้ง และทรายปนทรายแป้ง ปนดินเหนียว จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่ามีค่าความชื้น 8.04-24.64% มีค่า Specific gravity 2.75-2.78 สามารถจำแนกดินตามระบบ USCS จัดอยู่ในกลุ่ม CL, ML, SM และ SC-SM ส่วนมากมีค่าการรั่วซึมของน้ำตั้งแต่ 3.66×10^{-5} เซนติเมตรต่อวินาที จนถึงที่บ้น้ำ ยกเว้นที่ระดับ +246.260 ถึง +245.260 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 1.82×10^{-4} เซนติเมตรต่อวินาที จากระดับผิวดินถึงระดับ +245.760 ม.รทก. มีค่า SPT-N ระหว่าง 17 ถึง 31 ครั้งต่อฟุต จากระดับ +245.760 ถึง +242.060 ม.รทก. มีค่า SPT-N มากกว่า 50 ครั้งต่อฟุต รองรับด้วยชั้นหินทราย สีเขียวปนเทา เนื้อละเอียด มีความผุพังเล็กน้อย มีความแข็งปานกลางจนถึงระดับ +238.960 ม.รทก. มีค่า RQD 50-60.67% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 10.78-12.27 Lu จากระดับ +238.960 ถึง +235.260 ม.รทก. เป็นชั้น

หินโคลน สีน้ำตาลแดง และเทาแกมเขียวหินมีสภาพผุพังเล็กน้อยถึงปานกลาง หินมีสภาพอ่อน ที่ระดับ +235.260 ถึง +232.260 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) มีสภาพแตกหักมาก หินมีสภาพอ่อน มีค่า RQD อยู่ระหว่าง 60.33-63.67% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 10.78-13.18 Lu จากระดับ +235.260 ถึง +229.760 ม.รทก. เป็นชั้นหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยชั้นหินทรายเนื้อละเอียด และหินโคลน หินมีสภาพผุพังเล็กน้อย มีความแข็งปานกลาง มีค่า RQD 34.33-63.67% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ ประมาณ 13.18 Lu จากระดับ +229.760 ถึง +228.260 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) หินมีสภาพอ่อน มีค่า RQD 34.33% จากระดับ +228.260 ม.รทก. จนถึงก้นหลุมที่ระดับ +222.260 ม.รทก. เป็นชั้นหินโคลนสีน้ำตาลแดง และสีเขียวปนเทา หินมีสภาพผุพังเล็กน้อยถึงปานกลาง มีค่า RQD 60.67-82.67% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 1.10 Lu จากระดับ +226.460 ถึง +225.660 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหินโคลน (Mudstone braccia) หินมีสภาพอ่อนเนื่องจากตัวอย่างหินโคลนที่ได้จากหลุมเจาะไม่ได้ใช้พลาสติกห่อไว้เพื่อป้องกันไม่ให้ตัวอย่างสูญเสียความชื้น ทำให้ตัวอย่างแตกหักไม่สามารถนำมาทดสอบ Uniaxial compressive strength ได้ (หลุมเจาะ LTHP-4 เป็นหลุมที่เจาะหลุมแรก ส่วนหลุมอื่นๆ ใช้พลาสติกห่อไว้ทันทีหลังจากเก็บขึ้นมาจากหลุมเจาะ)

หลุมเจาะ LTHP-5 (ความลึก 30.00 เมตร)

ชั้นดินถมหนา 10.00 เมตร ประกอบด้วยชั้นทรายปนทรายแป้ง ทรายปนทรายแป้งปนดินเหนียวเศษหินทรายและหินทรายแป้ง จากผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการพบว่ามีความชื้น 12.40-24.72% มีค่า Specific gravity 2.69-2.70 สามารถจำแนกดินตามระบบ USCS จัดอยู่ในกลุ่ม SM, SC-SM และ GP ส่วนมากมีค่าการรั่วซึมของน้ำสูง ตั้งแต่ 1.20×10^{-2} ถึง 3.77×10^{-2} เซนติเมตรต่อวินาที ยกเว้นที่ระดับ +251.079 ถึง +250.079 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 1.89×10^{-5} เซนติเมตรต่อวินาที และที่ระดับ +242.079 ถึง +241.079 ม.รทก. มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 4.28×10^{-6} เซนติเมตรต่อวินาที มีค่า SPT-N ระหว่าง 12 ถึง 32 ครั้งต่อฟุต รองรับด้วยชั้นหินทราย สีเขียวปนเทา เนื้อละเอียด มีความผุพังเล็กน้อยถึงปานกลาง มีดินเหนียวแทรกอยู่ระหว่างรอยแตกของหิน มีความแข็งปานกลาง จนถึงระดับ +238.110 ม.รทก. ส่วนมากมีค่า RQD 69-84% ยกเว้นที่ระดับ +241.260 ถึง +240.260 ม.รทก. มีค่า RQD 0% มีค่า Uniaxial compressive strength 57.538-96.503 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class C (Medium strength) จากระดับ +236.379 ถึง +233.079 ม.รทก. เป็นชั้นหินโคลน สีน้ำตาลแดง หินมีสภาพผุพังเล็กน้อย หินมีสภาพอ่อน ที่ระดับ +233.079 ถึง +230.079 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบด

อัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหิน โคลน (Mudstone braccia) หินมีสภาพอ่อน ส่วนมากมีค่า RQD อยู่ระหว่าง 53-86% ยกเว้นที่ระดับ +232.260 ถึง +231.260 ม.รทก. มีค่า RQD 39% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 5.48-9.07 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 2.893 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength) จากระดับ +233.079 ถึง +227.779 ม.รทก. เป็นชั้นหินทรายแป้ง สีน้ำตาลแดง แทรกสลับด้วยชั้นหินทรายเนื้อละเอียดและหิน โคลน หินมีสภาพผุพังเล็กน้อย มีความแข็งปานกลาง มีค่า RQD 49% จากระดับ +227.779 ถึง +223.079 ม.รทก. ชั้นหินมีสภาพถูกบดอัด (Sheared zone) เนื้อหินมีลักษณะเป็นหินกรวดเหลี่ยมของหิน โคลน (Mudstone braccia) หินมีสภาพอ่อน ส่วนมากมีค่า RQD อยู่ระหว่าง 65-76.5% ยกเว้นที่ระดับ +229.260 ถึง +228.260 ม.รทก. มีค่า RQD 0% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 0.30 Lu มีค่า Uniaxial compressive strength 2.079-2.582 MPa สามารถจำแนกหินตามระบบการจำแนกหินของ Deere and Miller (1966) อยู่ใน class E (Very low strength) จากระดับ +223.079 ม.รทก. จนถึงก้นหลุมที่ระดับ +221.079 ม.รทก. เป็นชั้นหิน โคลนสีน้ำตาลแดง หินมีสภาพผุพังเล็กน้อย มีสภาพอ่อนถึงแข็งปานกลาง มีค่า RQD 76.5-100% มีค่าการรั่วซึมของน้ำ 2.68 Lu ระดับน้ำใต้ดินในหลุมเจาะ LTHP-1, LTHP-2, LTHP-3, LTHP-4 และ LTHP-5 อยู่ที่ระดับ +247.624, +247.424, +245.273, +245.860 และ +247.079 ม.รทก. ตามลำดับ ซึ่งระดับน้ำใต้ดินอาจมีการเปลี่ยนแปลงได้ตามฤดูกาลผลการดักทดลองมาตรฐานในสนาม ผลการทดสอบการรั่วซึมน้ำของชั้นดินชั้นหิน และผลการทดสอบ Uniaxial Compressive Strength แสดงดังตารางที่ 2.10, 2.11 และ 2.12 ตามลำดับ

ตารางที่ 2.10 ผลการดักทดลองมาตรฐานในสนามและผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

หลุมเจาะ	ความลึก (เมตร)	USCS	Wn (%)	Unit Weight (Ton/m ³)	Specific Gravity	Atterberg Limit (%)		SPT (blows/ft)
						LL	PI	
LTHP-1	1.00-1.45	CL	9.51		2.72	26.43	10.16	22
	2.00-2.45		Sample Loss					12
	3.00-3.45	CL	18.32		2.73	30.92	12.95	21
	4.00-4.45	CL						22
	5.00-5.45	CL	18.77	1.93	2.75	27.26	9.51	16
	6.00-6.45	CL		2.09				42
	7.00-7.25	SM	15.40			NP		50/4"
	8.00-8.18	CL-ML	12.13		2.77	21.03	4.09	50/2"
	9.00-9.10	CL-ML						50/4"

ตารางที่ 2.10 (ต่อ)

หลุมเจาะ	ความลึก (เมตร)	USCS	Wn (%)	Unit Weight (Ton/m ³)	Specific Gravity	Atterberg Limit (%)		SPT (blows/ft)	
						LL	PI		
LTHP-2	1.00-1.45	SC-SM	9.28		2.70	20.14	6.33	58	
	2.00-2.33	SC-SM						57/7"	
	6.00-6.45	CL	15.31			28.64	10.36	32	
	7.00-7.36	SC	19.26	2.16	2.70	27.40	10.70	56/8"	
	8.00-8.45	SC		2.23				35	
	9.00-9.45	SC						24	
	10.00-10.38	CL	13.02					68/9"	
LTHP-3	1.00-1.45	CL	13.09			30.05	11.00	20	
	2.00-2.45	CL	16.04	2.00	2.73	26.97	9.39	24	
	3.00-3.45	CL		2.01				38	
	4.00-4.45		Sample Loss						4
	5.00-5.45	CL	29.10		2.73	34.11	13.25	5	
	6.00-6.45	CL						3	
	7.00-7.45	CL-ML	22.86			22.25	6.10	20	
	8.00-8.45	CL	18.57	1.91	2.80	25.46	8.42	13	
	9.00-9.45	CL						40	
LTHP-4	1.00-1.45	SC-SM	8.04			19.59	5.61	21	
	2.00-2.45	SW	24.64			NP		31	
	3.00-3.45	CL	16.67	1.99	2.75	29.19	14.48	23	
	4.00-4.45	CL		2.08				15	
	5.00-5.45	ML	19.56	2.06	2.78	NP		13	
	6.00-6.45	ML						17	
	7.00-7.45	SM	22.64					53	
	9.00-9.45	CL	15.24		2.78	34.14	16.73	65	
	10.00-10.21	CL		1.97				50/1"	
LTHP-5	1.00-1.45	SM	12.40			NP		28	
	2.00-2.45		Sample Loss						24
	3.00-3.45	GP	16.07			NP		16	
	4.00-4.45	SC-SM	15.79			18.19	32	32	
	5.00-5.45	SM	21.64		2.69	NP		17	
	6.00-6.45	SM					16	16	
	7.00-7.45	SM					15	15	
	8.00-8.45	SC-SM	24.72		2.70	23.05	21	21	
	9.00-9.45	SC-SM					12	12	

ที่มา ; ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ.,2559

ตารางที่ 2.11 ผลการทดสอบการรั่วซึมน้ำของชั้นดินชั้นหิน

หลุมเจาะ	ความลึก (เมตร)	ชั้นดินชั้นหิน	วิธีการทดสอบ	Permeability (ซม./วินาที)	Lugeon	Pattern
LTHP-1	0.00-1.00		Falling Head Test	3.50×10^{-5}		
	1.00-2.00		Falling Head Test	2.70×10^{-6}		
	2.00-3.00		Falling Head Test	3.04×10^{-5}		
	3.00-4.00		Falling Head Test	0.00		
	4.00-5.00		Falling Head Test	0.00		
	5.00-6.00		Falling Head Test	0.00		
	6.00-7.00		Falling Head Test	3.46×10^{-6}		
	7.00-8.00		Constant Head Test	2.55×10^{-4}		
	8.00-9.00		Constant Head Test	2.53×10^{-4}		
	12.00-15.00	Sandstone	Lugeon Test		75.83	Turbulent Flow
	15.00-18.00	Mudstone	Lugeon Test		12.73	Turbulent Flow
	21.00-24.00	Mudstone	Lugeon Test		0.90	Dilation Flow
	24.00-27.00	Mudstone	Lugeon Test		10.06	Turbulent Flow
	27.00-30.00	Mudstone	Lugeon Test		3.89	Dilation Flow
LTHP-2	0.00-1.00		Falling Head Test	3.42×10^{-6}		
	1.00-2.00		Falling Head Test	2.39×10^{-6}		
	2.00-3.00		Falling Head Test	1.31×10^{-6}		
	6.00-7.00		Constant Head Test	4.20×10^{-3}		
	7.00-8.00		Constant Head Test	2.95×10^{-4}		
	8.00-9.00		Constant Head Test	1.34×10^{-4}		
	10.00-11.00		Constant Head Test	7.78×10^{-4}		
	12.00-15.00	Sandstone	Lugeon Test		14.95	Dilation Flow
	15.00-18.00	Sandstone	Lugeon Test		17.27	Turbulent Flow
	18.00-21.00	Sandstone	Lugeon Test		0.62	Void Filling
	21.00-24.00	Siltstone	Lugeon Test		1.87	Dilation Flow
	24.00-27.00	Sandstone	Lugeon Test		0.83	Dilation Flow
	27.00-30.00	Sandstone	Lugeon Test		1.29	Dilation Flow
LTHP-3	0.00-1.00		Falling Head Test	2.21×10^{-5}		
	1.00-2.00		Falling Head Test	1.15×10^{-4}		
	2.00-3.00		Falling Head Test	4.94×10^{-5}		
	3.00-4.00		Falling Head Test	3.73×10^{-5}		
	4.00-5.00		Constant Head Test	3.99×10^{-4}		
	5.00-6.00		Constant Head Test	2.05×10^{-4}		
	6.00-7.00		Constant Head Test	1.64×10^{-3}		
	7.00-8.00		Constant Head Test	1.83×10^{-3}		
	8.00-9.00		Constant Head Test	2.21×10^{-3}		

ตารางที่ 2.11 (ต่อ)

หลุมเจาะ	ความลึก (เมตร)	ชั้นดินชั้นหิน	วิธีการทดสอบ	Permeability (ชม./วินาที)	Lugeon	Pattern
	12.00-15.00	Sandstone	Lugeon Test		5.52	Turbulent Flow
	15.00-18.00	Mudstone	Lugeon Test		12.04	Turbulent Flow
	18.00-21.00	Mudstone	Lugeon Test		1.55	Dilation Flow
	21.00-24.00	Mudstone	Lugeon Test		1.11	Dilation Flow
	24.00-27.00	Mudstone	Lugeon Test		1.11	Dilation Flow
	27.00-30.00	Mudstone	Lugeon Test		1.38	Dilation Flow
LTHP-4	0.00-1.00		Falling Head Test	3.66×10^{-5}		
	1.00-2.00		Falling Head Test	1.78×10^{-5}		
	2.00-3.00		Falling Head Test	5.61×10^{-6}		
	3.00-4.00		Falling Head Test	0.00		
	4.00-5.00		Falling Head Test	0.00		
	5.00-6.00		Falling Head Test	0.00		
	6.00-7.00		Constant Head Test	1.82×10^{-4}		
	7.00-9.00		Falling Head Test	1.92×10^{-6}		
	9.00-10.00		Constant Head Test	3.26×10^{-5}		
	10.00-12.00	Sandstone	Lugeon Test		12.27	Wash Out
	12.00-15.00	Mudstone	Lugeon Test		10.78	Turbulent Flow
	15.00-18.00	Mudstone	Lugeon Test		11.77	Turbulent Flow
	18.00-21.00	Mudstone	Lugeon Test		13.18	Turbulent Flow
	27.00-30.00	Mudstone	Lugeon Test		1.10	Dilation Flow
LTHP-5	0.00-1.00		Falling Head Test	1.89×10^{-5}		
	1.00-2.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	2.00-3.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	3.00-4.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	4.00-5.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	5.00-6.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	6.00-7.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	7.00-8.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	8.00-9.00		Constant Head Test	$> 3.77 \times 10^{-2}$		
	9.00-10.00		Falling Head Test	4.28×10^{-6}		
	10.00-12.00		Lugeon Test		69.75	Dilation Flow
	15.00-18.00		Lugeon Test		9.07	Dilation Flow
	18.00-21.00		Lugeon Test		5.48	Dilation Flow
	24.00-27.00		Lugeon Test		0.30	Turbulent Flow
	27.00-30.00		Lugeon Test		2.68	Dilation Flow

ที่มา ; ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ.,2559

ตารางที่ 2.12 ผลการทดสอบ Uniaxial Compressive Strength

หลุมเจาะ	ความลึก (เมตร)	Rock Type	Water Content (%)	Unit Weight (Ton/m ³)	Uniaxial Compressive Strength (MPa.)
LTHP-1	11.15-11.45	Sandstone	0.76	2.409	32.409
	22.62-22.90	Mudstone	5.73	2.355	4.731
	27.75-28.00	Mudstone	3.70	2.412	7.376
	29.30-29.55	Mudstone	3.41	2.550	9.554
LTHP-2	11.55-11.90	Sandstone	0.95	2.367	48.936
	15.35-15.70	Mudstone	4.41	2.334	9.819
	20.30-20.65	Siltstone	2.10	2.501	19.188
	23.15-23.60	Mudstone	5.44	2.290	4.905
	26.00-26.50	Mudstone	5.54	2.291	5.844
	29.00-30.00	Mudstone	3.47	2.454	15.147
LTHP-3	10.10-10.25	Sandstone	1.34	2.400	29.011
	12.80-13.00	Sandstone	0.78	2.401	65.205
	16.50-16.70	Mudstone	5.92	1.534	3.092
	18.15-18.45	Mudstone	6.92	2.042	2.381
	20.20-20.70	Mudstone	2.80	2.421	12.073
	21.20-21.40	Siltstone	2.66	2.527	14.197
	25.60-26.00	Mudstone	5.84	2.243	3.038
LTHP-4	ไม่สามารถทดสอบตัวอย่างได้เนื่องจากตัวอย่างชำรุดแตก				
LTHP-5	10.00-10.40	Sandstone	0.78	2.418	96.503
	13.45-13.75	Sandstone	0.68	2.446	57.538
	16.20-16.65	Mudstone	4.70	2.386	2.893
	24.70-25.00	Mudstone	5.37	2.360	2.582
	27.70-28.00	Mudstone	4.99	2.386	2.079

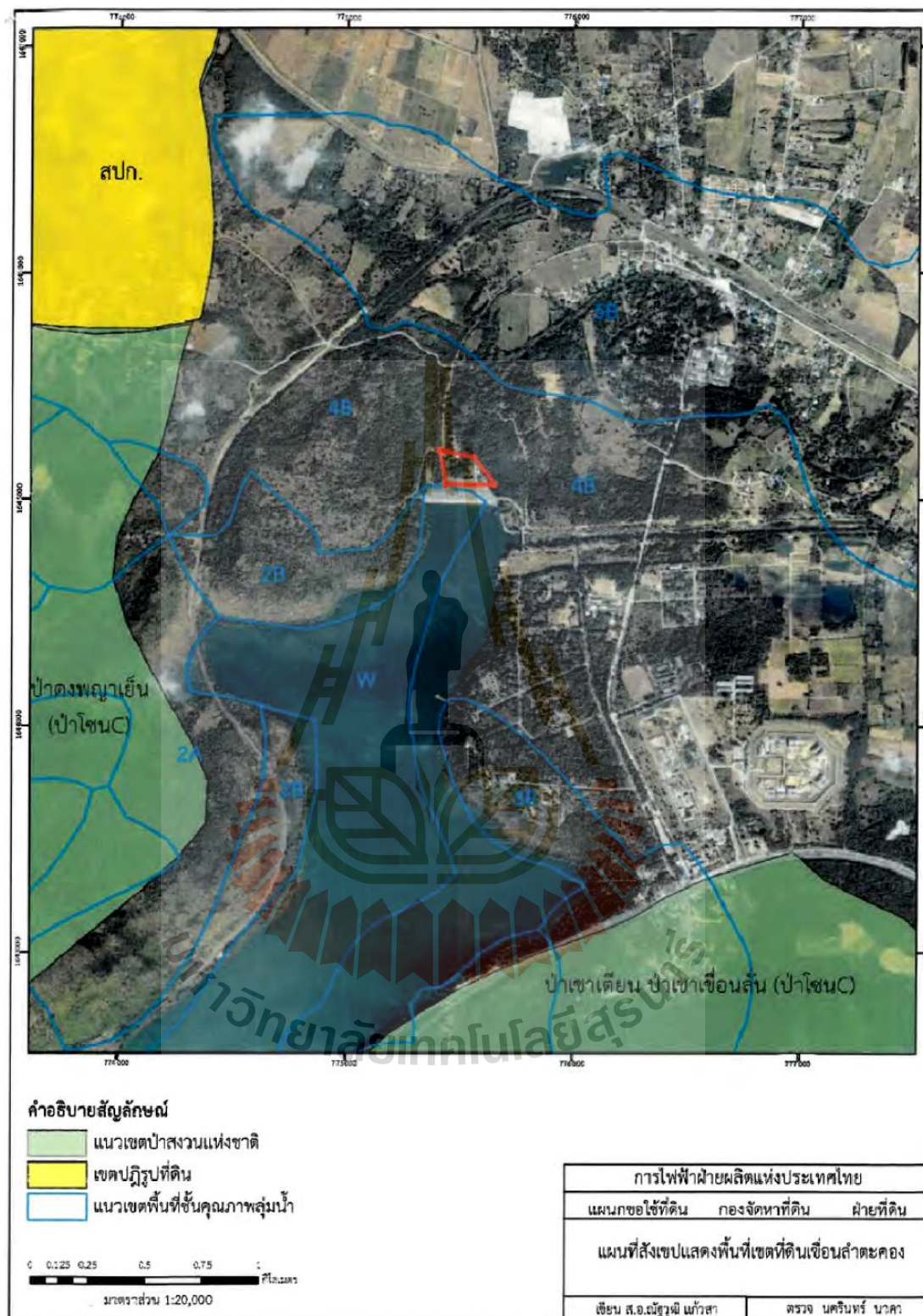
ที่มา ; ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ.,2559

2.2.5 การใช้ที่ดินและสิ่งแวดล้อม

2.2.5.1 การตรวจสอบข้อมูลที่ดินเพื่อก่อสร้าง

การดำเนินการขอใช้ที่ดินสำหรับโรงไฟฟ้าโครงการโรงไฟฟ้าพลังงานเขื่อนลำตะคอง ขนาดกำลังผลิต 1 x 1.50 เมกะวัตต์ ก่อสร้างบริเวณท้ายเขื่อนลำตะคอง ซึ่งสร้างกั้นลำน้ำลำตะคอง บริเวณบ้านคลองไผ่ อำเภอสีคิ้ว จังหวัดนครราชสีมา จากการตรวจสอบข้อมูลที่ดินของ

โครงการ พบว่า ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่ที่ราชพัสดุ โดยกรมชลประทานใช้ประโยชน์หนังสือสำคัญสำหรับที่ดินแปลงหมายเลขทะเบียนที่ ส.นม. 2806 (ข้อมูลจากกรมธนารักษ์นครราชสีมา แต่ไม่ปรากฏเอกสาร) มาตรการใช้ที่ดิน คือ ดำเนินการขอใช้ และเช่าที่ราชพัสดุ ตามกระทรวงการคลัง ว่าด้วยการจัดหาประโยชน์ เกี่ยวกับที่ราชพัสดุ พ.ศ. 2545 (ฉบับปรับปรุง) โดยจะต้องขอความยินยอมจากกรมชลประทาน และอนุญาตจากกรมธนารักษ์ ด้วยวิธีการเช่าที่ดิน รายละเอียดผลการตรวจสอบชั้นคุณภาพลุ่มน้ำและประเภทป่าในพื้นที่โครงการ พบว่า ตั้งอยู่ในเขตพื้นที่การจำแนกชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 4 B มาตรการใช้ที่ดิน คือ การใช้ที่ดินเพื่อกิจกรรมใดๆ ให้ถือปฏิบัติตามระเบียบของทางราชการ และพื้นที่โครงการไม่อยู่ในเขตพื้นที่ป่าไม้ รายละเอียดดังแสดงในรูปที่ 2.24 ผลการตรวจสอบแปลงที่ดินโดยสำนักงานโยธาธิการและผังเมืองจังหวัดนครราชสีมา พบว่า พื้นที่โครงการฯ อยู่ในเขตกฎกระทรวงให้ใช้บังคับ ผังเมืองรวม จังหวัดนครราชสีมา บริเวณหมายเลข 1.35 ที่ดินประเภทชุมชน (สีชมพู) ให้ใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อการอยู่อาศัย พาณิชยกรรม เกษตรกรรม สถาบันการศึกษา สถาบันศาสนา สถาบันราชการ การสาธารณูปโภคและสาธารณูปการ ที่ดินประเภทนี้ ห้ามใช้ประโยชน์ที่ดินเพื่อกิจการตามที่กำหนด เช่น โรงงานผลิตพลังงานไฟฟ้าแต่ได้รับการยกเว้นตามคำสั่งหัวหน้าคณะรักษาความสงบแห่งชาติ ที่ 4/2559 เมื่อวันที่ 20 มกราคม 2559 เรื่อง การยกเว้นการใช้บังคับกฎกระทรวงให้ใช้บังคับผังเมืองรวม สำหรับการประกอบกิจการบางประเภท โดยได้รับการยกเว้นสำหรับกฎกระทรวงฯ ที่มีผลใช้บังคับอยู่ในวันที่มีคำสั่งนี้ หรือที่จะมีผลใช้บังคับภายใน 1 ปี นับแต่วันที่ มีคำสั่งนี้ สำหรับการประกอบกิจการโรงงานลำดับที่ 88 ตามกฎกระทรวง (พ.ศ. 2535) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2535 ตามที่กำหนดไว้ในแผนพัฒนากำลังผลิตไฟฟ้าของประเทศไทย พ.ศ.2558 - 2579 ที่คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบเมื่อวันที่ 30 มิถุนายน 2558 และแผนพัฒนาพลังงานทดแทนและพลังงานทางเลือก พ.ศ. 2558 – 2579 แผนบริหารจัดการน้ำมันเชื้อเพลิง พ.ศ. 2558 – 2579 และแผนบริหารจัดการก๊าซธรรมชาติ พ.ศ. 2558 – 2579 ที่คณะรัฐมนตรีได้มีมติเห็นชอบเมื่อวันที่ 27 ตุลาคม 2558 และกิจการอื่นที่เป็นส่วนหนึ่งของการผลิต ขนส่ง และระบบจำหน่ายพลังงานตามแผนดังกล่าว ทั้งนี้ ให้รวมถึงกรณีที่มีการแก้ไขเพิ่มเติมหรือปรับปรุงแผนซึ่งได้รับความเห็นชอบจากคณะรัฐมนตรีในภายหลังด้วย



รูปที่ 2.24 แนวเขตป่าสงวนแห่งชาติ เขตปฏิรูปที่ดิน และพื้นที่ขึ้น คุณภาพลุ่มน้ำ

2.2.5.2 แนวทางดำเนินการด้านสิ่งแวดล้อม

โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง เป็นโครงการที่นำทรัพยากรน้ำมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด ไม่ก่อให้เกิดปัญหามลพิษต่อสิ่งแวดล้อม เป็นพลังงานหมุนเวียนที่สะอาด จากการตรวจสอบกฎหมายด้านสิ่งแวดล้อมที่เกี่ยวข้อง จากรายงานฉบับสุดท้าย การศึกษาความเหมาะสม โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังน้ำ กฟผ. สรุปผลดังนี้

1. การจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม (EHIA/EIA/IEE)

โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง ไม่ได้ตั้งอยู่ในพื้นที่ชั้นคุณภาพลุ่มน้ำชั้น 1 ไม่ได้ตั้งอยู่ในพื้นที่ป่าอนุรักษ์ และไม่ได้ตั้งอยู่ในพื้นที่ที่ประกาศเป็นเขตพื้นที่คุ้มครองสิ่งแวดล้อม ดังนั้น จึงไม่เข้าข่ายประเภทโครงการที่ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อม

2. การจัดทำรายงานเกี่ยวกับการศึกษาและมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย (ESA)

โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง ไม่เข้าข่ายเป็นโรงงานตามกฎหมายว่าด้วยโรงงาน พ.ศ. 2535 ประกาศในราชกิจจานุเบกษา เล่ม 132 ตอนที่ 20 ก ลงวันที่ 20 มีนาคม 2535 เนื่องจากการผลิตพลังงานไฟฟ้าจากพลังน้ำท้ายเขื่อน จึงได้รับการยกเว้นไม่จัดเป็นโรงงานในลำดับที่ 88 (3) ดังนั้น จึงไม่ต้องจัดทำรายงาน ESA เสนอต่อสำนักงานอุตสาหกรรมจังหวัดเพื่อขอรับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การทำรายงานเกี่ยวกับการศึกษาและมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย พ.ศ. 2552 และประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง การทำรายงานเกี่ยวกับการศึกษาและมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อคุณภาพสิ่งแวดล้อมและความปลอดภัย (ฉบับที่ 3) พ.ศ. 2559

3. การจัดทำรายงานประมวลหลักการปฏิบัติ (Code of Practice : CoP)

ตามระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานว่าด้วยมาตรการป้องกัน แก้ไข และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับผู้ได้รับการยกเว้นไม่ต้องจัดทำรายงานการวิเคราะห์ผลกระทบสิ่งแวดล้อมตามกฎหมายว่าด้วยการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม พ.ศ. 2555 เนื่องจากปัจจุบันคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงาน (กกพ.) ยังไม่ได้ออกประกาศ กกพ. เรื่อง มาตรการป้องกัน แก้ไข และติดตามตรวจสอบผลกระทบสิ่งแวดล้อม สำหรับผู้ประกอบกิจการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำ โดยได้ออกประกาศเฉพาะพลังงานแสงอาทิตย์จากเทคโนโลยีแผงโฟโตโวลเทอิก และเชื้อเพลิงชีวมวล (ประเภทเชื้อเพลิงแข็ง) ซึ่งในอนาคตหาก กกพ. ได้ออก

ประกาศสำหรับการผลิตไฟฟ้าพลังน้ำแล้ว โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนลำตะคองจะต้องจัดทำรายงาน CoP เพื่อใช้เป็นเอกสารประกอบการขอรับใบอนุญาตผลิตไฟฟ้าด้วย

ทั้งนี้ ควรจัดให้มีการรับฟังความเห็น ตามระเบียบคณะกรรมการกำกับกิจการพลังงานว่าด้วยการรับฟังความเห็นและทำความเข้าใจกับประชาชนและผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย ในการพิจารณาออกใบอนุญาตประกอบกิจการผลิตไฟฟ้า พ.ศ. 2559 โดยตามระเบียบดังกล่าว กำหนดให้โรงไฟฟ้าที่ไม่มีการเผาไหม้เชื้อเพลิงที่มีกำลังผลิตติดตั้งรวมต่ำกว่า 10 เมกะวัตต์ ดำเนินการจัดให้มีการรับฟังความเห็น โดยไม่ต้องจัดเวทีประชุมรับฟังความเห็นครอบคลุม กลุ่มเป้าหมายอย่างน้อยในพื้นที่รัศมี 1 กิโลเมตร จากขอบเขตพื้นที่สถานประกอบการ

2.3 การประมาณราคาโครงการ

2.3.1 ทฤษฎีการประมาณราคา

การประมาณราคา (เจตนรงค์ เชาว์ชูเดช, 2552) หมายถึง การคำนวณหาปริมาณวัสดุ ค่าแรงและค่าดำเนินการที่ราคาใกล้เคียงกับค่าใช้จ่ายจริงมากที่สุด ในการแยกรายการวัสดุ ค่าแรง ค่าใช้จ่ายเครื่องมือเครื่องจักร และค่าใช้จ่ายอื่นที่เกี่ยวข้องกับงาน โดยมีผลกับตัวแปรตามในด้านระยะเวลาของการทำงาน ดังนั้นการประมาณราคาจึงไม่ใช่ราคาที่แท้จริง แต่อาจใกล้เคียงกับราคาจริง ซึ่งไม่ควรจะผิดพลาดไปจากราคาที่แท้จริงเกินกว่า 10 %

ดังนั้นการประมาณการที่สมเหตุสมผลที่สุด ผู้ประมาณราคาจึงต้องมีระบบเก็บข้อมูลเกี่ยวกับการทำงานและราคาที่ทันสมัย และทราบถึงปัญหาและอุปสรรคที่อาจบังเกิดขึ้น เพื่อคิดเป็นค่าใช้จ่ายรวมอยู่ในงาน

จุดประสงค์ในการประมาณราคา

1. เพื่อทำงบประมาณก่อสร้างในขั้นต้น
2. เพื่อให้เจ้าของโครงการใช้เป็นราคากลาง
3. เพื่อให้ผู้รับเหมาเสนอประมูลราคา
4. เพื่อหาต้นทุนให้แก่ผู้รับเหมา
5. เพื่อแยกรายการ ราคาวัสดุในการซื้อสิ่งของในการก่อสร้างและค่าแรงงานก่อสร้าง

ประโยชน์ของการประมาณราคา

1. เพื่อถ่วงเงินค่าก่อสร้างของเจ้าของงานหรือผู้รับเหมา
2. เพื่อเสนอราคารับงานก่อสร้างจากผู้รับเหมา
3. เพื่อสั่งซื้อวัสดุและรู้ค่าแรงงานในการก่อสร้าง
4. เพื่อแบ่งงวดเงินค่าก่อสร้าง

5. เพื่อแก้ไขเพิ่มเติม เปลี่ยนแปลง ลดในงานก่อสร้าง
6. ช่วยตรวจสอบข้อผิดพลาดหรือ หลงลืมของสถาปนิก วิศวกร
7. ให้เป็นแนวการทำงานให้ผู้รับเหมา
8. ให้ราคาที่แน่นอนไม่เปิดโอกาสให้ผู้รับเหมาถือโอกาส
9. ลดปัญหาข้อขัดแย้งในกรณีข้อผิดพลาดที่มองไม่เห็น

ประเภทของการประมาณราคา แบ่งได้เป็น 2 ประเภทดังนี้

1. การประมาณราคาแบบสังเขป คิดเป็นหน่วยของงาน คือคิดเป็นตารางเมตร วิธีนี้เหมาะสำหรับงานที่ไม่ซับซ้อน ใช้สำหรับตั้งงบประมาณ โดยพิจารณาจากพื้นที่ใช้สอยแล้วเก็บเป็นสถิติ วิธีนี้อาจมีองค์ประกอบอื่นๆ ที่แตกต่างกันไปรวมอยู่ด้วยกัน เช่น ประเภทอาคาร จำนวนชั้น งานพิเศษ เช่น ลิฟต์ บันไดเลื่อน งานตกแต่ง ฯลฯ เหล่านี้เป็นค่าเฉลี่ยที่ทำให้ราคาต่อตารางเมตรไม่เท่ากัน ดังนั้นการนำค่าเฉลี่ยมาใช้ในการประมาณราคา ต้องเลือกใช้ค่าเฉลี่ยที่เป็นอาคารที่มีลักษณะใกล้เคียงกัน
2. การประมาณราคาแบบละเอียด ใช้ประมาณราคางานที่ก่อสร้างจริงโดยคำนวณปริมาณเนื้องานทั้งหมดของวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในแต่ละประเภทแล้วนำไปประมาณการหาค่าวัสดุค่าแรงงาน ตลอดจนค่าใช้จ่ายต่างๆ ที่เกี่ยวกับกิจการก่อสร้างรวมยอดเป็นค่าก่อสร้างอาคารและสิ่งปลูกสร้างทั้งหมด ผลที่ได้จากการประมาณราคาโดยละเอียดนี้จะ ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด

ประเภทและความละเอียดถูกต้องในการประมาณราคา

1. การประมาณราคาเพื่อการวางแผน (Estimates for Conceptual Planning)
2. การประมาณราคาเพื่อการศึกษาความเหมาะสมของโครงการ (Estimates for Feasibility)
3. การประมาณราคาระหว่างการออกแบบ (Estimates during Engineering and design)
4. การประมาณราคาเพื่อการก่อสร้าง (Estimates for Construction)
5. การประมาณราคาเพื่อการเปลี่ยนแปลงงาน (Estimates for Change Orders)

2.3.2 หลักการนำมาใช้งาน

จากทฤษฎีของการประมาณราคาก่อสร้างข้างต้น โครงการก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง ได้นำหลักเกณฑ์มาประยุกต์ โดยใช้หัวข้อของการประมาณราคาโครงการก่อสร้าง ตามที่ได้เคยดำเนินการก่อสร้างมาแล้วในโครงการต่างๆ ของ กฟผ. มาประกอบการประมาณราคา โดยมีงานในด้านต่างๆ ตามรายละเอียดในตารางที่ 2.13

ตารางที่ 2.13 หัวข้องานที่ใช้สำหรับการประมาณราคาโรงไฟฟ้าพลังน้ำของ กฟผ.

หัวข้องาน	รายละเอียดของงาน
1.งานเตรียมงานเบื้องต้น (Preliminary Work)	เช่น งานสำรวจพื้นที่เพื่อก่อสร้าง ,งานออกแบบเบื้องต้น ,งานจัดสรรงบประมาณ ,งานจ้างศึกษาความเหมาะสมของโครงการ เป็นต้น
2. งานบรรเทาผลกระทบสิ่งแวดล้อม (Environmental Impact Mitigation Plan)	เช่นงานประชาสัมพันธ์โครงการก่อสร้าง ,งานมวลชนสัมพันธ์ ,ชดเชยผลกระทบจากสิ่งแวดล้อมบริเวณพื้นที่ข้างเคียง เป็นต้น
3. งานโยธา (Civil Works)	เช่นงานขุดดินฐานราก ,งานเจาะสำรวจดิน ,งานอาคารโรงไฟฟ้า ,งานอาคารผันน้ำเข้าโรงไฟฟ้า ,งานวางท่อเหล็กส่งน้ำหุ้มคอนกรีต(Penstock) ,งานอัดฉีดน้ำปูนเสริมความแข็งแรงของชั้นหิน ,งานอาคารระบายน้ำท้ายโรงไฟฟ้า(Tailrace Channel) ,งานอาคารสลายพลังงาน (Stilling Basin) และงานโยธาอื่นๆ
4. อุปกรณ์เครื่องกลไฟฟ้า (Electro Mechanical Equipment)	เช่นงานเครื่องกังหันน้ำ(Turbine) ,งานเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) ,งานตู้อุปกรณ์ไฟฟ้าควบคุม(Control Room) ,งานเดินสายไฟฟ้าควบคุม(Control Cable) เป็นต้น
5. อุปกรณ์ไฮดรอลิก (Hydraulic Equipment)	เช่นงานวาล์วทางเข้ากังหันน้ำ(Inlet Valve) ,งานวาล์วอาคารควบคุม(Control House Valve) ,งานชุดควบคุมกังหันน้ำ(Governor) เป็นต้น
6. สายส่ง (Transmission Line)	เช่นงานสายไฟฟ้ากำลัง(Power Cable) ,งานหม้อแปลงไฟฟ้า(Main Transformer) ,งานอุปกรณ์ควบคุมการจ่ายไฟฟ้าแรงสูง(Switch Gear) ,งานสายไฟฟ้า 22 kV.(22 kV. Cable Line) ,งานเสาไฟฟ้า เป็นต้น
7. งานติดตั้งอุปกรณ์ (Installation)	งานติดตั้งอุปกรณ์ คิด 15% ของราคางานอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องกล
8. งานขนส่งอุปกรณ์ (Transportation)	งานขนส่งอุปกรณ์ถึงพื้นที่ก่อสร้างพร้อมจัดเก็บก่อนติดตั้ง คิด 7% ของราคางานอุปกรณ์ไฟฟ้าและเครื่องกล
9. งานทดสอบและตรวจรับอุปกรณ์ (Testing and Commissioning)	คิด 7 ล้านบาท โดยอ้างอิงข้อมูลในอดีตของงานก่อสร้างที่ดำเนินการมาแล้วของ กฟผ.
10. งานบริการวิศวกรรม (Engineering Service)	เช่นงานจ้างวิศวกรที่ปรึกษาโครงการฯ คิด 3% ของราคาโครงการฯ

ตารางที่ 2.13 (ต่อ)

หัวข้องาน	รายละเอียดของงาน
11. งานบริหารโครงการ (Project Administration)	เช่นงานควบคุมโครงการฯ ,งานติดตามความก้าวหน้า คิด 5% ของราคาโครงการฯ
12. ภาษีนำเข้าและภาษีทั่วไป (Import Duty & Taxes)	เช่นภาษีศุลกากรนำเข้าอุปกรณ์โรงไฟฟ้าและภาษีอื่นๆ เป็นต้น คิด 1% ของอุปกรณ์ที่ต้องนำเข้า งานอุปกรณ์ เครื่องกล,งานไฟฟ้าและงานสายส่งไฟฟ้า
13. ค่าเผื่อเหลือเผื่อขาด (Physical Contingency)	เช่นค่างานที่มีได้คาดหมายไว้ ค่างานโดยความบังเอิญหรือค่าใช้จ่ายฉุกเฉินอื่นที่อาจเกิดขึ้นในขณะก่อสร้าง คิด 10% ของราคาในข้อ 1-9

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ศรพงศ์ชัย วันนะสาด และ เกียรติยุทธ กวีญาณ (2557) ทำการศึกษาความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เพื่อการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก ที่สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว (ส.ป.ป.ลาว) โดยวิเคราะห์พลังน้ำ ในแต่ละเดือนจากสถานีวัดน้ำท่าที่ลำน้ำแสน อำเภอผาไซ จังหวัดเชียงขวาง สาธารณรัฐประชาธิปไตยประชาชนลาว เพื่อนำข้อมูลน้ำไปคำนวณหาพลังงานไฟฟ้าต่อปี และวิเคราะห์จุดคุ้มทุนในการก่อสร้างโครงการ

โดยการคำนวณอัตราการไหลของลำน้ำในจุดที่ตั้งโครงการ หาขนาดพื้นที่รับน้ำฝนของโครงการโดยพิจารณาพื้นที่รับน้ำที่ตำแหน่งของ Intake ศึกษาและรวบรวมข้อมูลน้ำฝนใน และนอกขอบเขตโครงการ ซึ่งมี 4 สถานีพร้อมทั้งเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ของข้อมูลน้ำฝนตั้งแต่ปีค.ศ. 2001-2010 สรุปได้กำลังผลิตติดตั้ง 3 ทางเลือกคือ 2MW, 3MW, 5MW และมีมูลค่าการลงทุน 4,400,000 \$US, 6,600,000 \$US และ 11,000,000\$US ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 2.14

ตารางที่ 2.14 สรุปค่า NPV, B/C, IRR และ PB ในแต่ละทางเลือก

ทางเลือกที่	1	2	3
กำลังผลิตติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (MW.)	2.0	3.0	5.0
อัตราผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C)	2.226	1.983	1.813
อัตราผลตอบแทนของโครงการ (IRR%)	11.738	11.12	11.07
มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (NPV;\$US.)	6,829,749	8,167,571	11,200,114
กำไร (\$US.)	2,100,726	1,795,300	1,522,434
ระยะเวลาคืนทุน (PB;Year)	19.33	24.24	29.46

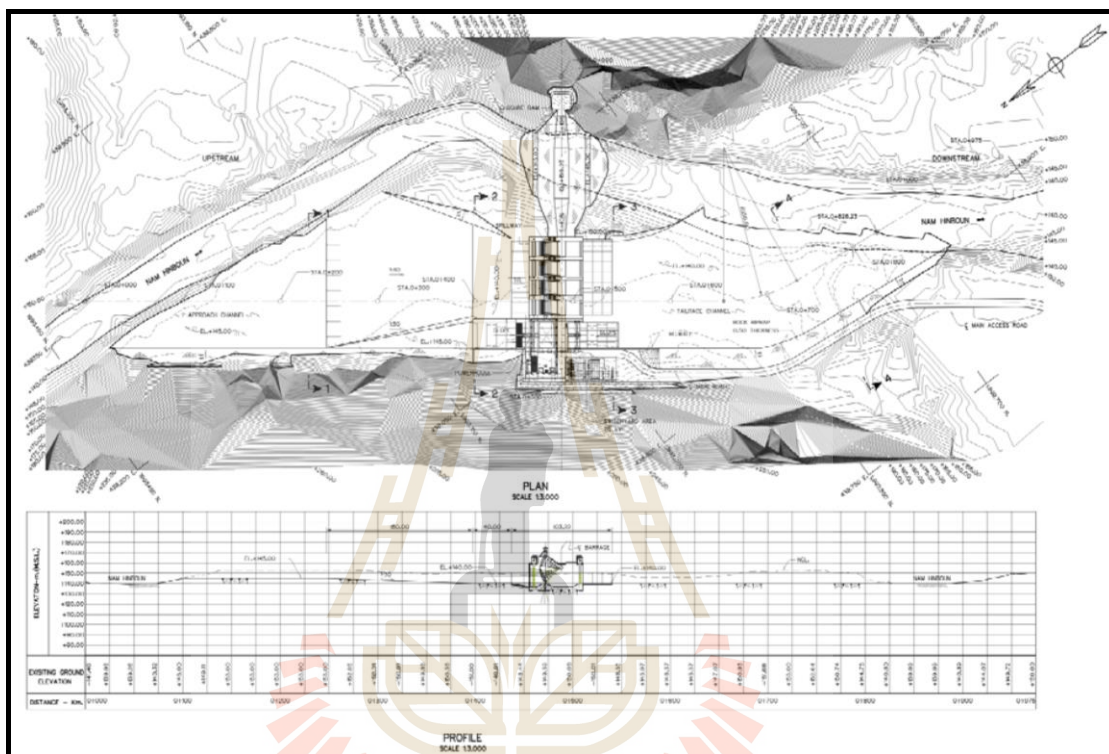
พิจารณาความเหมาะสมในการพัฒนาโครงการนี้ สามารถติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าแบบ Francis ขนาด 1.0 เมกะวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง เนื่องจากเครื่องกังหันแบบ Francis มีความเร็วจำเพาะรอบสูง และราคาของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าต่ำกว่าแบบ Pelton และแบบ Kaplan ส่วนการบำรุงรักษาก็ง่ายและสะดวกกว่า เพราะก่อสร้างง่ายและมีความเหมาะสม กับระดับน้ำออกแบบที่มีความสูงตั้งแต่ 30-600 เมตร ซึ่งสามารถผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 12.37 กิกะวัตต์ชั่วโมงต่อปี และใช้ทุนก่อสร้างประมาณ 4.4 ล้าน \$US ระยะเวลาก่อสร้าง 3 ปี และระยะคืนทุนประมาณ 19.33 ปี เมื่อเทียบกับอายุสิ้นสุดโครงการ 30 ปีแล้วแสดงให้เห็นว่า ทางเลือกที่ 1 ให้ผลประโยชน์คุ้มค่ากับต้นทุนที่ใช้จ่าย ซึ่งมีผลกำไรถึง 2,100,726 \$US ตลอดสิ้นสุดอายุโครงการ และมีความเหมาะสมมากกว่าที่จะติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าขนาด 3.0 เมกะวัตต์และ 5.0 เมกะวัตต์

คมนัน ชาติประชา (2552) ศึกษาความเหมาะสมโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบสูบกลับ อ่างเก็บน้ำเขื่อนปรางบุรี จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ โดยศึกษาความเหมาะสมของโครงการ และศึกษาในกรณีเป็นโครงการกลไกพัฒนาที่สะอาด โดยศึกษาด้านวิศวกรรม ด้านเศรษฐศาสตร์ และด้านสิ่งแวดล้อม รวมทั้งศึกษาความสามารถของโครงการฯ ในการลดปริมาณก๊าซเรือนกระจก รวมถึงโอกาสในการขายคาร์บอนเครดิต

การศึกษาคความเหมาะสมได้ เปรียบเทียบกำลังการผลิตจำนวน 3 ขนาด คือ ขนาด 230, 240 และ 250 เมกะวัตต์ ตามลำดับ ใช้กังหันน้ำชนิด Vertical Shaft Francis Turbine ;Type Reversible Pump Turbine ได้ทำการวิเคราะห์ความเหมาะสมแล้ว สรุปใช้ ขนาด 250 เมกะวัตต์ จำนวน 2 เครื่อง กำลังผลิตรวม 500 เมกะวัตต์ ความสูงหัวน้ำออกแบบ 287 เมตร อัตราการไหลออกแบบ 165 ลบ.ม.ต่อวินาที กำลังผลิต 394,507.40 กิโลวัตต์-ชั่วโมง พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีเท่ากับ 555.41 Gwh-Year ในกรณีผลิตไฟฟ้า และ ความสูงหัวน้ำ 217 เมตร อัตราการไหลออกแบบ 148.20 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ใช้พลังงาน Pump Mode เท่ากับ 349,091.34 กิโลวัตต์-ชั่วโมง ในกรณีพลังงานเหลือนำมาสูบกลับ (Pump Mode) และหากใช้โครงการนี้ผลิตกระแสไฟฟ้าจะสามารถลดการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ได้เท่ากับ 0.0902 Ton Co₂/MWh เมื่อเทียบกับการใช้เชื้อเพลิงฟอสซิลชนิดอื่นๆ ในการผลิตไฟฟ้า

ชูลิต วัชรสินธุ์,อนุสรณ์ ทองสร้อย (2557) ได้ทำการศึกษาแผนการระบายน้ำ โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ-น้ำหินบุน สปป.ลาว เพื่อผันน้ำจากน้ำเหิน มาผลิตพลังงานไฟฟ้า โรงไฟฟ้าพลังน้ำ-น้ำหินบุน ตั้งอยู่บนลำน้ำโฮ สาขาน้ำ หินบุน โครงการไฟฟ้าพลังน้ำเหิน-หินบุน ได้ก่อสร้างขยายโครงการ โดยการก่อสร้างเขื่อนเก็บกักน้ำบนน้ำวังสาขาน้ำเหิน เพื่อระบายน้ำฤดูแล้งมาผลิตไฟฟ้าเพิ่มขึ้นที่โรงไฟฟ้าพลังน้ำเหิน-หินบุน โดยเพิ่มกำลังผลิตติดตั้งจาก 220 เมกะวัตต์ เป็น 440 เมกะวัตต์ แล้วเสร็จในต้นปี พ.ศ. 2556 ปริมาณน้ำระบายจากโรงไฟฟ้าพลังน้ำเหิน-หินบุน เพิ่ม

ปริมาณน้ำในลำน้ำหินบุนเป็นปริมาณมากในแต่ละปีทำให้มีความเหมาะสมในการพัฒนา โครงการไฟฟ้าพลังน้ำ น้ำหินบุน เป็นโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำแบบ Run-of-river ปิดกั้นน้ำหินบุนเหนือบ้านช่องลม มีความยาวสันเขื่อนรวมโรงไฟฟ้า 1.8 กม. มีลักษณะผังบริเวณของโครงการตามแปลนโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ-น้ำหินบุน แสดงในรูปที่ 2.25



รูปที่ 2.25 แปลนโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ น้ำหินบุน

จากการศึกษาปริมาณน้ำหลาก และความสามารถของอาคารระบายน้ำล้นในการระบายน้ำหลากใน 3 กรณี โดยใช้ข้อมูลน้ำหลากในรอบ 1,000 ปีมาศึกษาความเหมาะสมโดยวิธี Unit hydrograph และใช้ Storm rainfall สรุปใช้ค่าระดับน้ำกักเก็บในการผลิตไฟฟ้าที่ +153.50 ม.รทก. เพื่อให้ประชาชนในพื้นที่สองฝั่งริมน้ำได้ทำการเพาะปลูกตามริมน้ำ และหากปริมาณน้ำหลากมากกว่า 800 ลบ.ม.ต่อวินาที ให้เปิดบานประตูระบายน้ำทั้งหมด เพื่อไม่ให้เกิดผลกระทบต่องระดับน้ำในพื้นที่ตอนบน นับว่าโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ น้ำหินบุน เป็นโครงการที่พัฒนาโดยคำนึงถึงผลประโยชน์และผลกระทบสำคัญ และมีมาตรการที่จะดำเนินการให้เกิดประโยชน์ร่วมกันทุกฝ่าย

อูสาห์ บุญบำรุง (2553) ได้ทำการศึกษาพัฒนากังหันน้ำศิริงด้วยลูกถ้วยชนิดเพลตัน ชุดกังหันน้ำศิริงพัฒนามาจากศักยภาพพลังน้ำ และปริมาณความต้องการไฟฟ้าของแต่ละพื้นที่หมู่บ้าน โดยความร่วมมือระหว่างมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี และกลุ่มกังหันน้ำศิริง

ว ซึ่งเป็นการต่อ ยอดคน วัตกรรม กังหันน้ำภูมิปัญญา ท้องถิ่นคีรีวง มีลักษณะเป็นกังหันน้ำเพลดันต่อ ร่วมกับมอเตอร์เหนียวนา เพื่อผลิตไฟฟ้าขนาด 1 kW ที่อัตราการไหล 10 ลิตรต่อวินาที ระยะเวลา 30 เมตร (สามารถนำไปใช้งานที่อัตรา การไหลต่ำกว่านี้ได้ แต่ต้องปรับเปลี่ยนขนาดหัวฉีด และ กำลังไฟฟ้าที่ผลิตได้จะลดลง) มีความเหมาะสมและ มั่นคงในการผลิตไฟฟ้าสำหรับหมู่บ้านใน ชนบท ใช้เทคโนโลยีการผลิตที่ไม่ซับซ้อน สามารถ ผลิตและซ่อมแซมได้เอง อาศัยเทคโนโลยีใน ชุมชน โดยศึกษา ร่วมกับกลุ่มกังหันน้ำคีรีวงและนักวิจัยจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ที่ทำการศึกษาและพัฒนาการ สร้างลูกถ้วยเพลดันให้เหมาะสมกับศักยภาพพลังน้ำในพื้นที่คีรี วง มีการศึกษาผลตอบแทนค่าใช้จ่ายลงทุน และวิเคราะห์ทางการเงิน พิจารณาอายุการใช้งาน ของระบบ 10 ปี ค่าบำรุงรักษารายปี 10,000 บาทต่อปี อัตราดอกเบี้ย 7 % อัตราเงินเฟ้อ 0.5 % พบว่า การพัฒนากังหันน้ำขึ้นมาใช้เอง โดยชุมชนมีความคุ้มค่าในการลงทุนมากที่สุดเนื่องจากต้นทุน ตลอดอายุการใช้งาน ต่ำที่สุดที่ 47,164 บาท ระยะเวลาคืนทุนสั้นที่สุดที่ 2 ปี และอัตราค่าไฟฟ้าที่ ผลิตได้จาก ระบบต่ำที่สุดที่ 0.68 บาท/หน่วย ซึ่งต่ำกว่าอัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาค ประมาณ 4 เท่า (ปัจจุบัน อัตราค่าไฟฟ้าของการไฟฟ้าส่วนภูมิภาคสำหรับการใช้ไฟฟ้าภายใน บ้านเรือนที่อยู่อาศัยเกิน 400 หน่วยขึ้นไป อยู่ที่อัตรา 2.9 บาท/หน่วย)

กนก กล่อมจิต,เกียรติยุทธ กวีญาณ (2554) ทำการศึกษาลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสม สำหรับประเทศไทยภายใต้วิกฤตการณ์โลกร้อน โดยในงานวิจัยทางเลือก ผู้จัดทำได้เลือกแหล่ง พลังงาน 5 แหล่งหลักที่หาได้โดยทั่วไปและเป็นไปได้ในการนำมาเป็นแหล่งพลังงานเพื่อก่อตั้ง โรงไฟฟ้า ได้แก่ พลังงานแสงอาทิตย์ พลังงานลม พลังงานน้ำขนาดเล็กพลังงานชีวมวล และ พลังงานก๊าซชีวภาพ (เน้นพลังงานขยะ) เนื่องจากพลังงานทั้ง 5 แหล่งดังกล่าวมีศักยภาพที่สูง สำหรับประเทศไทยและเป็นแหล่งพลังงานทางเลือกที่สามารถนำมาช่วยผลิตกระแสไฟฟ้าเพื่อใช้ ในการบริโภคภายในประเทศ ทำการศึกษาคำนวณหาระยะเวลาคืนทุน (Payback Period) และการ คำนวณอัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (Internal Rate of Return: IRR) ระยะเวลา 25 ปี จากผลการ วิเคราะห์ข้อมูลสามารถสรุปได้ว่า จะได้อัตราผลตอบแทนจากการลงทุน (IRR) ของโรงไฟฟ้า พลังงานลมเท่ากับ 2.94% โรงไฟฟ้าพลังงานแสงอาทิตย์เท่ากับ 0.87% โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล เท่ากับ 19.65% โรงไฟฟ้าพลังงานขยะเท่ากับ 7.64% และโรงไฟฟ้าพลังงานน้ำขนาดเล็กเท่ากับ 5.42% ตามลำดับ และมีต้นทุนในการผลิตไฟฟ้าจากพลังงานประเภทต่าง ๆ ด้วยราคาลงทุน (บาท ต่อ กิโลวัตต์) ของโรงไฟฟ้าพลังงานลม อยู่ที่ 50,000-92,000 บาทต่อกิโลวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังงาน แสงอาทิตย์อยู่ที่ 165,000-205,000 บาทต่อกิโลวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวลอยู่ที่ 45,000-65,000 บาทต่อกิโลวัตต์ โรงไฟฟ้าพลังงานขยะอยู่ที่ 1,800,000-2,500,000 บาทต่อกิโลวัตต์ และโรงไฟฟ้า พลังงานน้ำขนาดเล็กอยู่ที่ 50,000-90,000 บาทต่อกิโลวัตต์ ซึ่งต้นทุนของโรงไฟฟ้าพลังงานชีวมวล ในการก่อสร้างโรงไฟฟ้านั้นเมื่อเทียบเป็นบาท ต่อกิโลวัตต์แล้วจะมีค่าต่ำที่สุด

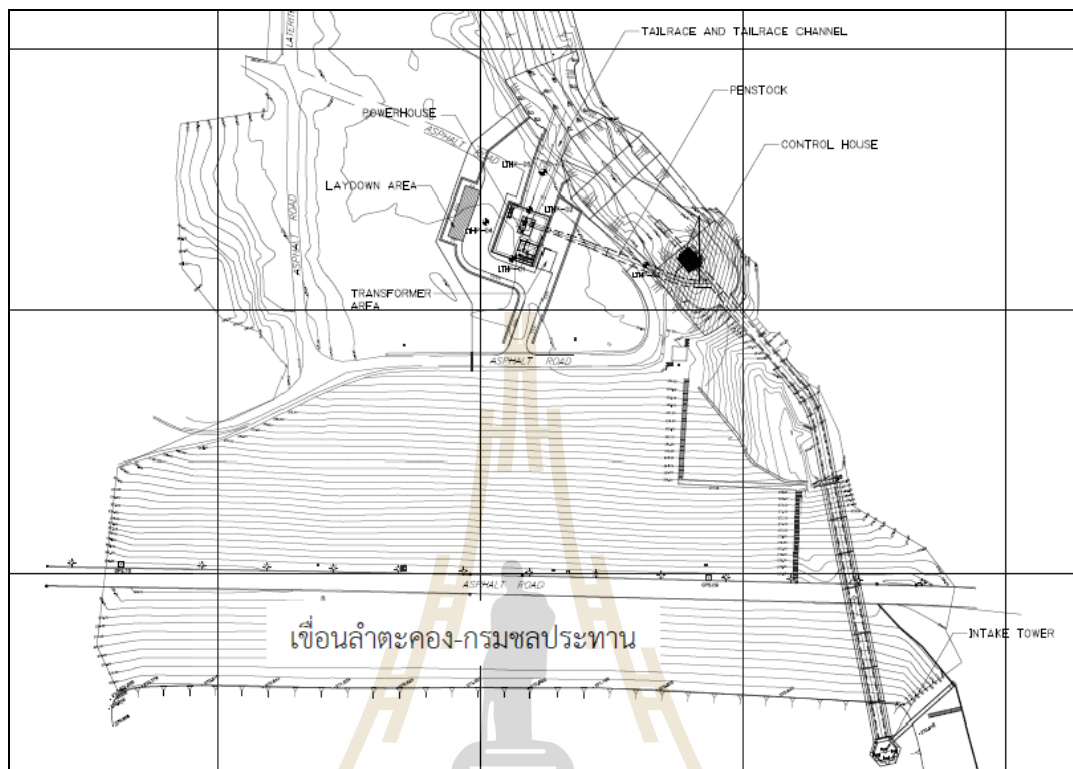
บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

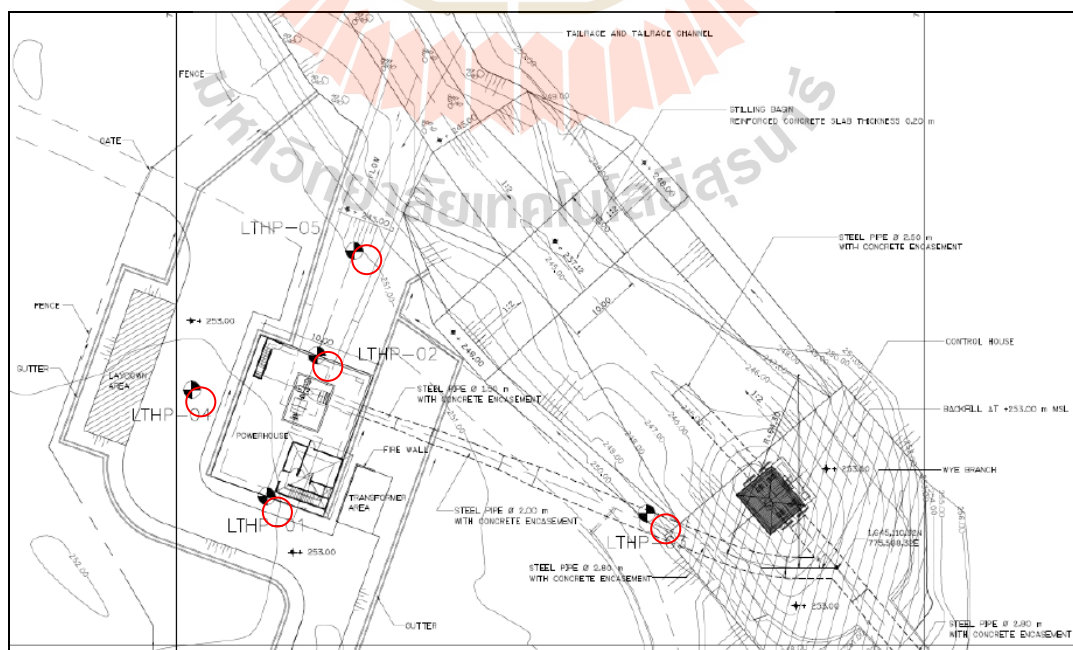
จากผลการศึกษาโครงการศึกษาออกแบบติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กเขื่อนลำตะคอง ของกรมพัฒนาพลังงานทดแทนและอนุรักษ์พลังงาน (2547) ในการวิเคราะห์ปริมาณน้ำหลากที่ระบายผ่านอาคารระบายน้ำล้น ที่คาบการเกิดซ้ำ 50, 100, 500, 1,000 และ 10,000 ปี นั้น กฟผ. ได้เลือกจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้าไว้ด้านซ้ายของช่องระบายน้ำท้ายเขื่อน ซึ่งเป็นพื้นที่ราบมีค่าระดับที่ +250.00 ถึง +251.00 ม.(รทก.) โดยใช้ค่าระดับท้ายน้ำที่คาบการเกิด 50 และ 100 ปี ตามตารางที่ 2.8 บวกด้วยระยะ Free Board 1.00 เมตร จะได้ระดับเท่ากับ +253.00 ม.(รทก.) ดังนั้น จึงกำหนดระดับพื้นอาคารโรงไฟฟ้าและบริเวณโดยรอบเท่ากับ +253.00 ม.(รทก.) โดยมีพื้นที่ด้านท้ายน้ำของเขื่อนลำตะคอง ผังบริเวณพื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้าและผังบริเวณอาคารโรงไฟฟ้าและตำแหน่งหลุมเจาะ ดังแสดงในรูปที่ 3.1 ,3.2 และ 3.3 ตามลำดับ



รูปที่ 3.1 พื้นที่ด้านท้ายน้ำของเขื่อนลำตะคอง



รูปที่ 3.2 ผังบริเวณพื้นที่ก่อสร้างโรงไฟฟ้า



รูปที่ 3.3 ผังบริเวณอาคารโรงไฟฟ้าและตำแหน่งหลุมเจาะ

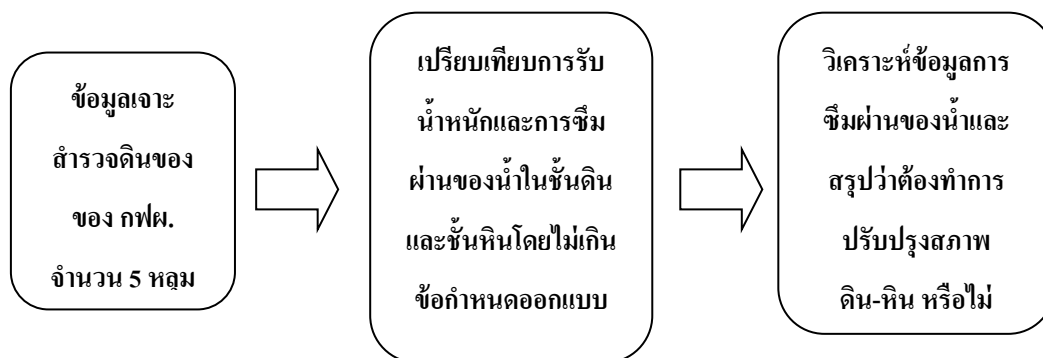
จากข้อมูลดังกล่าว จะนำมาทำการวิจัยต่อจากที่ กฟผ. ได้ดำเนินการไว้แล้ว โดยมีหัวข้องานวิจัยที่จะนำมาใช้พิจารณาดังต่อไปนี้

1. **สภาพธรณีวิทยาจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้า** โดยนำข้อมูลเจาะสำรวจดินของ กฟผ. มาวิเคราะห์เพื่อสรุปว่าต้องทำการปรับปรุงสภาพธรณีวิทยาก่อนดำเนินการก่อสร้างหรือไม่ (กฟผ. มีเพียงข้อมูลเจาะสำรวจดิน แต่ยังมีได้วิเคราะห์สภาพธรณีวิทยาว่ามีความเหมาะสมเพียงใด)
2. **เลือกขนาดกังหันน้ำและขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า** โดยศึกษาวิจัยทางเลือกเพิ่มเติมจากที่ กฟผ. หาแนวทางไว้แล้ว 5 ทางเลือกเพื่อเปรียบเทียบ
3. **วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์** โดยศึกษาวิจัยทางเลือกต่อจาก การเลือกขนาดกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า มาประมาณราคา,หาอัตราส่วน Benefit/Cost และ หาค่า IRR โดยนำมาเปรียบเทียบกับทางเลือกของ กฟผ.

3.1 สภาพธรณีวิทยาจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้า

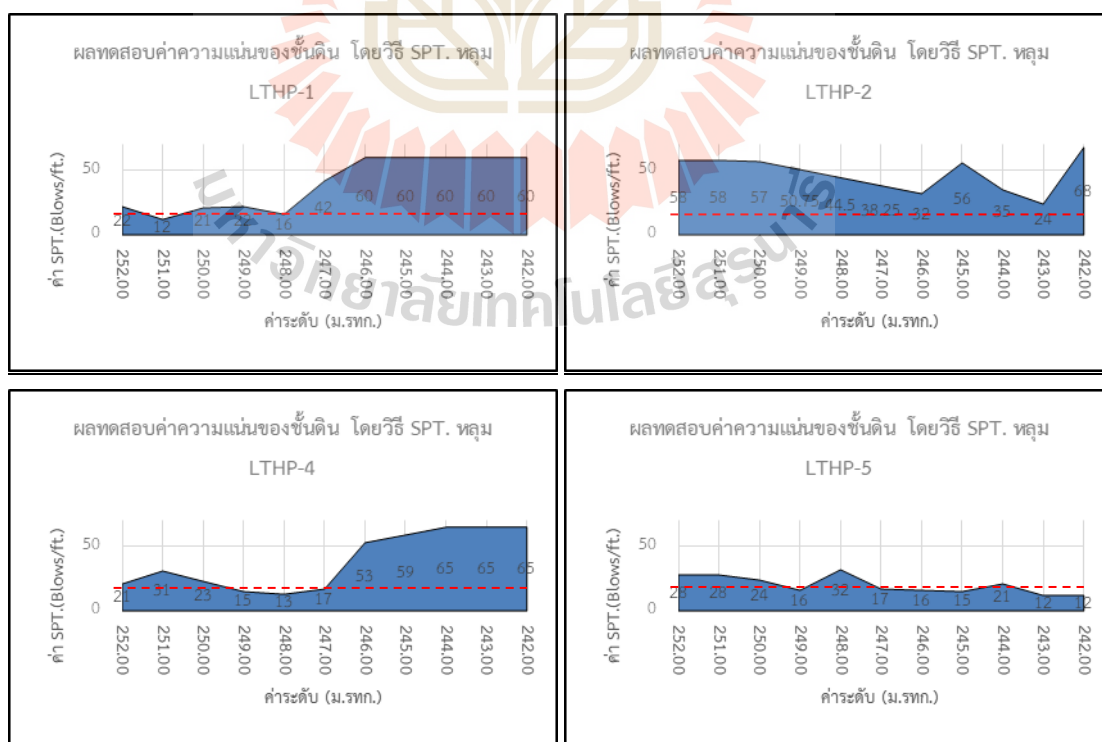
การพิจารณาสภาพทางธรณีวิทยาจุดที่จะทำการก่อสร้างโรงไฟฟ้า โดยทั่วไปจะต้องวิเคราะห์สภาพทางธรณีวิทยา ให้มีความมั่นใจต่อความมั่นคงแข็งแรงของตัวเขื่อนและโรงไฟฟ้า เพื่อป้องกันการวิบัติจากการพังทลายและการกัดเซาะของน้ำที่ซึมผ่านชั้นดินหรือชั้นหิน โดยในการวิจัยนี้จะนำข้อมูลเจาะสำรวจของ กฟผ. มาวิเคราะห์หว่ามีจุดใดที่จะต้องทำการปรับปรุงสภาพธรณีบ้าง เนื่องจาก กฟผ. มีเพียงข้อมูลเจาะสำรวจ แต่ยังมีได้ทำการวิเคราะห์สภาพทางธรณีวิทยา ซึ่งการวิเคราะห์จะมุ่งเน้นข้อมูลในส่วนความสามารถในการรับน้ำหนักของชั้นดินและการซึมผ่านของน้ำในเนื้อวัสดุดินและหิน ซึ่งเป็นสิ่งสำคัญอย่างยิ่งในงานก่อสร้างโรงไฟฟ้าและเขื่อน จะเป็นการป้องกันแรงดันน้ำจากโรงไฟฟ้าไปทำความเสียหายต่อสภาพตัวเขื่อน และเป็นการป้องกันแรงดันน้ำจากตัวเขื่อนซึมเข้ามาทำความเสียหายกับอาคารโรงไฟฟ้าและอุปกรณ์ โดยทั่วไปมีข้อกำหนดดังนี้

-ค่าความแน่นของชั้นดินหรือหินผุ (SPT.) $\geq$	16	ครั้ง/ฟุต (Very Stiff - Hard)
-ค่าการซึมผ่านของชั้นดิน $\leq$	1×10^{-3}	ซ.ม.ต่อวินาทีของวัสดุฐานราก (ฟองสวาท สุวคนธ์, 2552)
-ค่าการซึมผ่านของชั้นหิน $\leq$	5	LUGEON (วัฒนา คำคม;การปรับปรุงฐานรากเขื่อน, 2555)



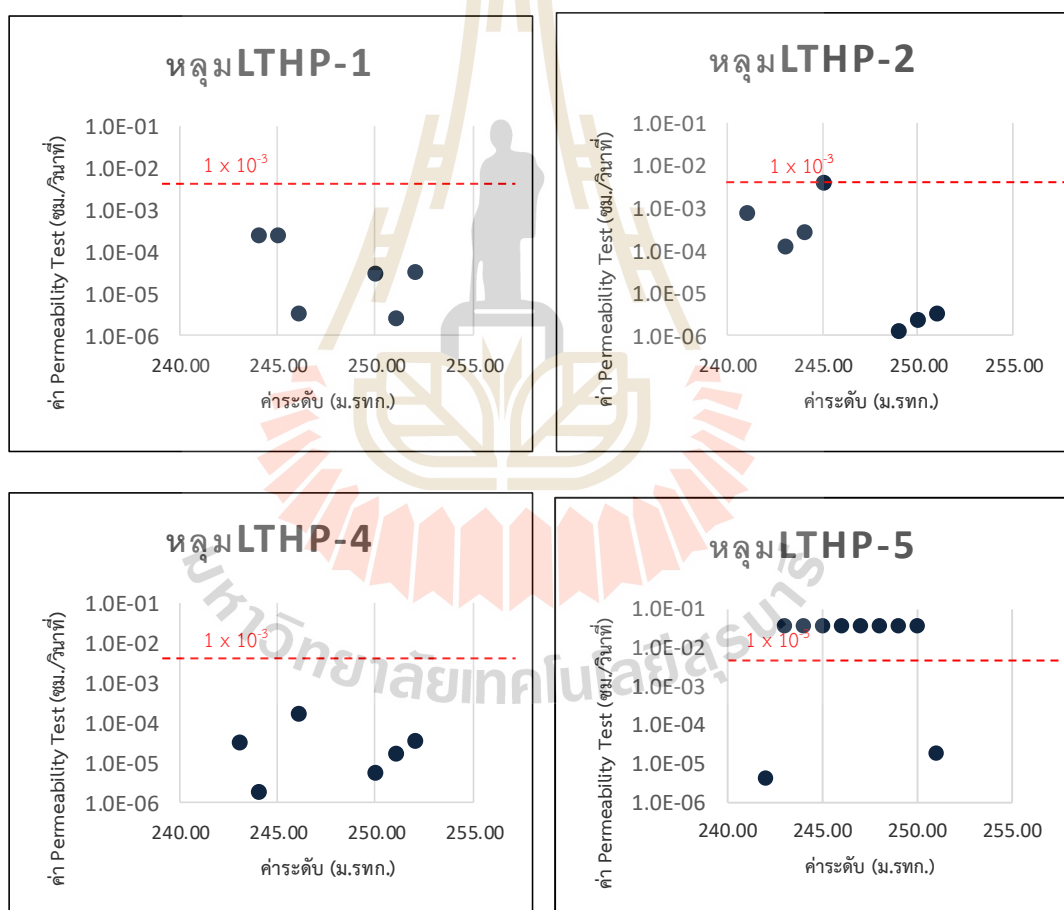
รูปที่ 3.4 แนวทางการวิจัยสภาพธรณีวิทยาจุดตั้งโรงไฟฟ้า

จากแนวทางการวิจัยในรูปที่ 3.4 ใช้ข้อมูลเจาะสำรวจของ ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ปี 2559 ชั้นดินจะมีค่าความลึกจากผิวดินลงไปประมาณ 10.00 เมตร หลังจากความลึก 10 เมตรไปแล้ว ส่วนมากจะเป็นชั้นหิน ในการวิจัยนี้ในช่วงความลึก 10 เมตรแรก จะนำข้อมูลมา Plot ค่า SPT. ของแต่ละหลุมด้วยวิธีการกราฟ โดยจะพิจารณาเฉพาะหลุมเจาะ LTHP-1 ,LTHP-2 ,LTHP-4 และ LTHP-5 จำนวน 4 หลุมเท่านั้น เนื่องจากหลุม LTHP-3 อยู่ นอกแนวพื้นที่อาคารโรงไฟฟ้า หลังจากได้ค่า SPT. ของแต่ละหลุม ตามรูปที่ 3.5 แล้ว จะนำข้อมูลที่ ได้มาวิเคราะห์ต่อไป

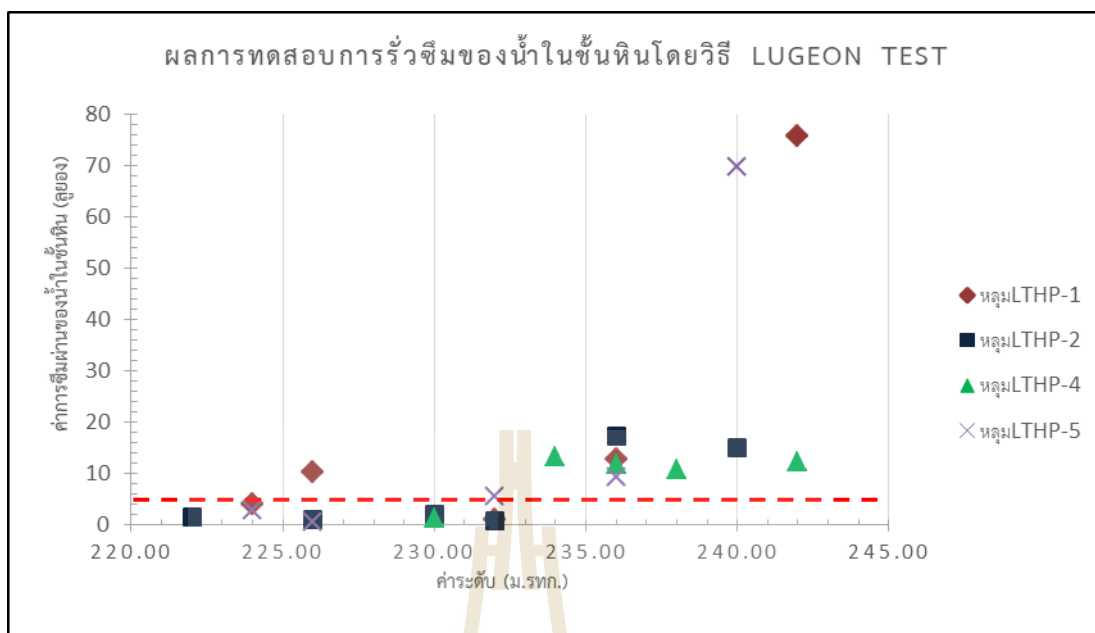


รูปที่ 3.5 ผลทดสอบค่าความหนาแน่นของดินโดยวิธี SPT. Test

หลังจากพิจารณาผลทดสอบ SPT. แล้ว จะนำข้อมูลอีกส่วนหนึ่ง มาพิจารณาคือค่าทดสอบการรั่วซึมของน้ำในชั้นดิน ที่ความลึก 0 – 10.00 เมตร โดยวิธี Permeability Test ค่าที่ผ่านเกณฑ์ต้องน้อยกว่า 1×10^{-3} ซม.ต่อวินาที และการทดสอบการซึมผ่านของน้ำในชั้นหิน ที่ระดับความลึก 10.00 – 30.00 เมตร โดยวิธี Lugeon Test ค่าที่ผ่านเกณฑ์ จะต้องมีย่านน้อยกว่า 5 Lugeon (ลูยอง) ซึ่งจากการเจาะสำรวจจะพบชั้นหิน พบว่า ระยะ 0 – 10.00 เมตร ส่วนมากเป็นวัสดุชนิดดินและหินผุ ส่วนจากระดับความลึกมากกว่า 10.00 เมตรลงไปเป็นวัสดุชั้นหินทราย Sandstone และ Mudstone การพิจารณาคือนำค่าผลการทดสอบของหลุมเจาะ LTHP-1 ,LTHP-2 ,LTHP-4 และ LTHP-5 มาแสดงโดยวิธีกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 3.6 และ 3.7 ตามลำดับ เพื่อนำไปวิเคราะห์และสรุปผลต่อไป



รูปที่ 3.6 ผลการทดสอบ Permeability test ของชั้นดิน



รูปที่ 3.7 ผลการทดสอบการรั่วซึมของชั้นหินโดยวิธี Lugeon Test

3.2 เลือกขนาดกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

การวิจัยนี้จะนำข้อมูลการระบายน้ำท้ายเขื่อนของกรมชลประทานมาเป็นข้อมูลในการออกแบบขนาดของเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเหมือนกับของ กฟผ. แต่จะเพิ่มทางเลือกในการพิจารณาขึ้นอีกให้แตกต่างกันออกไป โดยข้อมูลที่ใช้ต่างกันคือ ขนาดของเครื่องกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าของผู้ผลิตแต่ละราย ซึ่งจะทำให้ได้ค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปีแตกต่างกัน และนำทางเลือกที่ดีที่สุดมาใช้งาน การพิจารณาเปรียบเทียบความสูงหัวน้ำที่จะทำการออกแบบ โดยใช้ตารางที่ 2.1 มาเลือกประเภทของกังหันน้ำ จากระดับน้ำเฉลี่ยรายปีของปริมาณน้ำท่าที่ไหลเข้าเขื่อนลำตะคอง กรมชลประทาน มีค่าระดับน้ำรายเดือนในอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำตะคองเท่ากับ +271.10 ม.รทก. ดังแสดงในตารางที่ 3.1 และระดับของเครื่องกังหันน้ำที่สามารถวางได้ต่ำที่สุด อยู่ที่ค่าระดับ +248.40 ม.รทก. ซึ่งในการวิจัยนี้จะได้ค่าหัวน้ำสุทธิ (Head) อยู่ที่ 22.70 เมตร(วางกังหันน้ำแนวนอน) ซึ่งต่างจากของ กฟผ. ที่มีค่าหัวน้ำอยู่ที่ 22.63 และ 26.61 เมตร ที่ Head=100% และ 125% ตามลำดับ โดยข้อกำหนดของ กฟผ. มีรายละเอียดการออกแบบดังนี้

1. ความสูงหัวน้ำอยู่ระหว่าง 65% ถึง 125% ของความสูงหัวน้ำที่กำหนด
2. อัตราการไหลผ่านอยู่ระหว่าง 30% ถึง 100%
3. ประสิทธิภาพของกังหันน้ำอยู่ระหว่าง 84.84% ถึง 90.00%
4. ประสิทธิภาพเครื่องกำเนิดไฟฟ้าอยู่ที่ 94.00%

ซึ่งข้อกำหนดของงานวิจัยนี้ ผู้วิจัยใช้อัตราของค่าต่างๆที่ 100% ทั้งหมดซึ่งต่างจากค่าที่ กฟผ. นำมาใช้ โดยค่า Head ในงานวิจัยนี้จะอยู่ในกลุ่มของกังหันน้ำ ชนิดฟรานซิส (Francis

Turbine) และ ชนิดเคปแลน (Kaplan Turbine) แต่ส่วนมากการออกแบบโรงไฟฟ้าชนิด Reservoir Type มักนิยมใช้กังหันน้ำชนิด ฟรานซิส มากกว่า ชนิดเคปแลน ที่นิยมใช้กับโรงไฟฟ้าแบบ Run-of-the-river

ตารางที่ 3.1 ระดับน้ำรายเดือนในอ่างเก็บน้ำเขื่อนลำตะคอง ตั้งแต่ปี 2524-2558

ม.รทก.

	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ยทั้งปี
สูงสุด	275.70	274.90	274.60	275.70	274.80	274.40	273.70	273.70	276.80	277.00	277.00	275.60	274.90
เฉลี่ย	271.80	271.10	270.50	270.20	270.40	270.10	269.40	269.50	271.40	273.30	272.80	272.40	271.10
ต่ำสุด	262.30	261.40	261.00	261.00	261.00	261.00	261.00	261.00	261.30	264.80	263.80	263.10	264.40

ที่มา:เขื่อนลำตะคอง กรมชลประทาน

ก่อนที่จะทำการคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปี ต้องทราบถึงปริมาณการระบายน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง โดยค่าจากตารางที่ 3.2 เป็นข้อมูลการระบายน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง ของกรมชลประทาน ซึ่งเก็บข้อมูลไว้ตั้งแต่ปี 2524 จนถึงปี 2558 มีค่าเฉลี่ยอยู่ที่ 7.86 ลบ.ม.ต่อวินาที

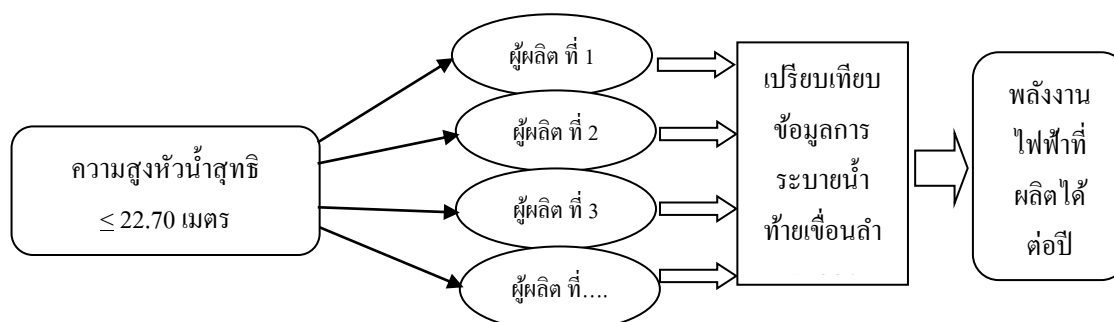
ตารางที่ 3.2 ปริมาณน้ำรายเดือนที่ระบายท้ายเขื่อนลำตะคอง ตั้งแต่ปี 2524-2558

ลบ.ม.ต่อวินาที

	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.	มิ.ย.	ก.ค.	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	เฉลี่ยทั้งปี
สูงสุด	15.57	20.00	19.93	20.00	15.66	14.04	20.00	20.00	20.00	67.80	22.50	20.00	18.15
เฉลี่ย	6.54	7.07	5.89	6.25	5.18	7.47	10.54	9.45	8.45	11.73	10.03	5.71	7.86
ต่ำสุด	0.56	1.76	1.55	0.66	0.70	0.86	0.73	1.95	1.16	0.94	2.82	0.37	2.65

ที่มา:เขื่อนลำตะคอง กรมชลประทาน

การคำนวณระยะเวลาการผลิตไฟฟ้าต่อปีมี 2 แนวทาง คือ (1) คิดค่าปริมาณน้ำรายเดือนที่ระบายท้ายเขื่อนลำตะคองเฉลี่ยทั้งปี ตามตารางที่ 3.2 และ (2) คือ หาปริมาณน้ำที่กังหันน้ำแต่ละชนิดมีความต้องการ โดยเลือกจากบริษัทผู้ผลิตกังหันน้ำแต่ละราย ต้องใช้ปริมาณน้ำในการผลิตไฟฟ้าเท่าไร จึงจะนำมาหารระยะเวลาที่ผลิตได้ต่อปี ในการศึกษานี้ได้เลือกจากวิธีที่ (2) คือ บริษัทผู้ผลิตกังหันน้ำ มาประกอบการพิจารณา เนื่องจากเป็นวิธีที่มีความละเอียดกว่าวิธีอื่น โดยมีแนวทางโดยสังเขป ดังแสดงในรูปที่ 3.8



รูปที่ 3.8 แนวทางการเลือกกังหันน้ำจากบริษัทผู้ผลิต

จากการสืบหาข้อมูลของกังหันน้ำ (Turbine) และเครื่องกำเนิดไฟฟ้า (Generator) นั้น ส่วนมากบริษัทผู้ผลิต มักไม่เปิดเผยข้อมูลของอุปกรณ์ในข้อมูลสาธารณะ โดยข้อมูลที่หาได้นี้มีเพียงผู้ผลิตรายเดียวคือ ยี่ห้อ Xin-Yi-Hydro ของประเทศจีน จึงทำการเลือกขนาดที่คาดว่า สามารถใช้งานได้ใกล้เคียงกับปริมาณน้ำที่ระบายท้ายเขื่อน ให้มากที่สุด เพื่อประกอบการพิจารณา

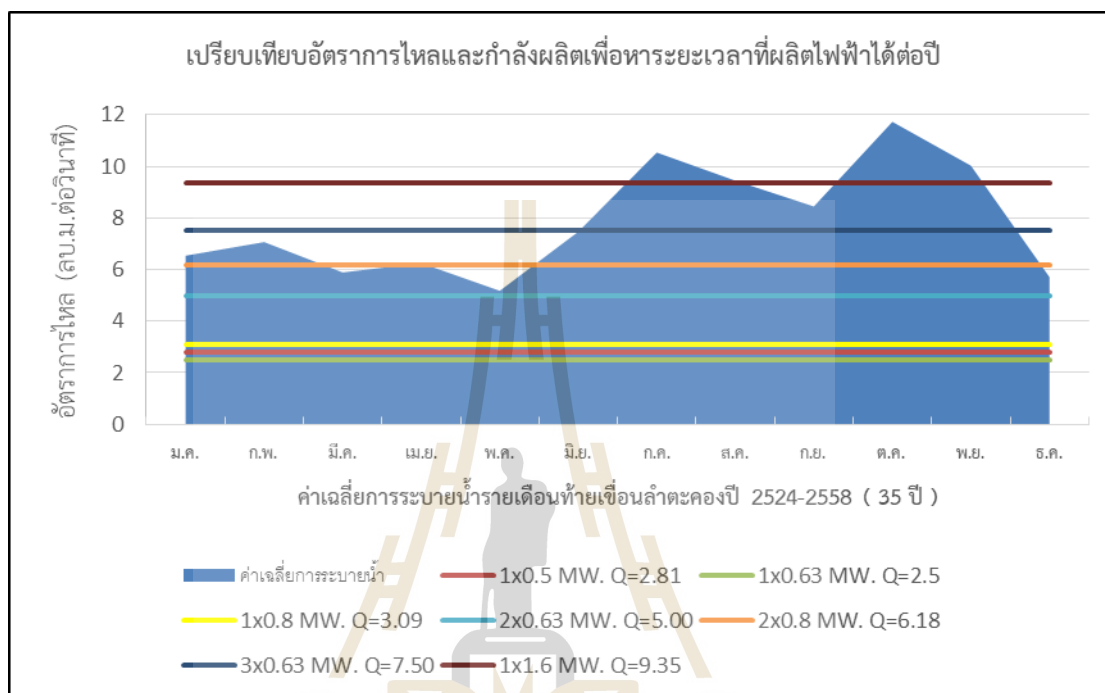
ตารางที่ 3.3 รายละเอียดจากบริษัทผู้ผลิต Turbine ที่คัดเลือกมาพิจารณา

Manufacturer	Turbine Model	Head (M.)	Flow (M ³ /Sec.)	Turbine Efficiency	Generator Model	Cost (Bath)	Reference
Xin-Yi-Hydro (China)	HL295-LJZ-66	21.70 (0.5MW.)	2.81/600 RPM.	99%	SFW-500-10/990 0.5 MW.	65,000,000	www.smallhydro turbine.com
Xin-Yi-Hydro (China)	HL295-LJZ-71	22.4 (0.63MW.)	2.50/600 RPM.	99%	SF630-10 0.63 MW.	68,000,000	www.smallhydro turbine.com
Xin-Yi-Hydro (China)	HLF13-WJ-84	22.30 (0.89MW.)	3.09/500 RPM.	90%	SFW800-12 0.8 MW.	70,000,000	www.smallhydro turbine.com
Xin-Yi-Hydro (China)	HL220-LJ-140	20.40 (1.6MW.)	9.35/250 RPM.	99%	SF1600-24/2600 1.6 MW.	75,000,000	www.smallhydro turbine.com

จากตารางที่ 3.3 พิจารณาข้อมูลจากผู้ผลิต ได้ขนาดกังหันน้ำและเครื่องกำเนิดไฟฟ้าที่คัดเลือกแล้วจำนวน 4 ขนาด โดยนำมาพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ยการระบายน้ำที่ระบายท้ายเขื่อนลำตะคอง ซึ่งเราจะต้องพิจารณาทางเลือกหลายๆ แบบ เพื่อให้ครอบคลุมการนำไปใช้งาน โดยในการศึกษานี้พิจารณาทางเลือกไว้ จำนวน 7 ทางเลือก คือ

- | | | | |
|------------------------------------|--------------|------|-----------|
| 1. ขนาด 1 เครื่อง x 0.50 เมกะวัตต์ | กำลังผลิตรวม | 0.50 | เมกะวัตต์ |
| 2. ขนาด 1 เครื่อง x 0.63 เมกะวัตต์ | กำลังผลิตรวม | 0.63 | เมกะวัตต์ |
| 3. ขนาด 1 เครื่อง x 0.80 เมกะวัตต์ | กำลังผลิตรวม | 0.80 | เมกะวัตต์ |
| 4. ขนาด 1 เครื่อง x 1.60 เมกะวัตต์ | กำลังผลิตรวม | 1.60 | เมกะวัตต์ |
| 5. ขนาด 2 เครื่อง x 0.63 เมกะวัตต์ | กำลังผลิตรวม | 1.26 | เมกะวัตต์ |
| 6. ขนาด 2 เครื่อง x 0.80 เมกะวัตต์ | กำลังผลิตรวม | 1.60 | เมกะวัตต์ |
| 7. ขนาด 3 เครื่อง x 0.63 เมกะวัตต์ | กำลังผลิตรวม | 1.89 | เมกะวัตต์ |

จากทางเลือกที่พิจารณาไว้ นำมาเปรียบเทียบในกราฟที่แสดงในรูปที่ 3.9 เพื่อหาระยะเวลาในการเดินเครื่องผลิตไฟฟ้าต่อปี เพื่อนำมาคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี ซึ่งจะนำค่าที่ได้ไปเปรียบเทียบกับราคาค่าก่อสร้าง เพื่อนำไปวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ต่อไป



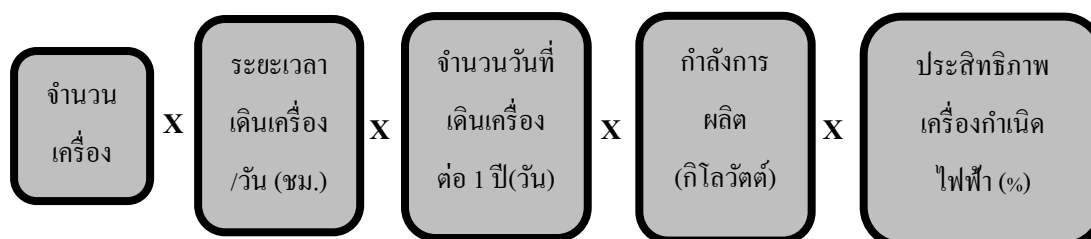
รูปที่ 3.9 เปรียบเทียบทางเลือกกับอัตราการไหลของน้ำที่ระบายท้ายเขื่อนลำตะคอง

ตัวอย่างการคำนวณพลังงานที่ผลิตได้ กรณี 1 x 0.5 เมกะวัตต์

$$= 1 \text{ เครื่อง} \times 24 \text{ ชั่วโมง} \times 365 \text{ วัน/ปี} \times 500 \text{ กิโลวัตต์} \times 0.99$$

$$= 4,336,200 \text{ kW-Hr/Year หรือ } 4.3362 \text{ GkW-Hr/Year}$$

จากรูปที่ 3.10 และตัวอย่างการคำนวณพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ สามารถสรุปค่าพลังงานที่ผลิตได้ต่อปี หน่วยเป็น ล้านกิโลวัตต์ต่อชั่วโมงต่อปี ตามตารางที่ 3.4 และจะนำข้อมูลนี้ไปศึกษาวิจัยทางด้านเศรษฐศาสตร์ในหัวข้อต่อไป



รูปที่ 3.10 การคำนวณค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี

ตารางที่ 3.4 สรุปค่าพลังงานไฟฟ้าต่อปีที่คำนวณได้จากทางเลือก

กำลังผลิต(เมกะวัตต์)	ปริมาณน้ำ (ลบ.ม./วินาที)	จำนวนวันที่ ผลิตได้/ปี	ประสิทธิภาพ Turbine + Gen.	พลังงานที่ผลิตได้ต่อปี (ล้านกิโลวัตต์/ชม.-ปี)
1 x 0.50 = 0.50 MW.	2.81	365	99%	4.3362
1 x 0.63 = 0.63 MW.	2.50	365	99%	5.4636
1 x 0.80 = 0.80 MW.	3.09	365	90%	6.3072
1 x 1.60 = 1.60 MW.	9.35	105	99%	3.9917
2 x 0.63 = 1.26 MW.	5.00	365	99%	9.9338
2 x 0.80 = 1.60 MW.	6.18	300	90%	10.3680
3 x 0.63 = 1.89 MW.	7.50	200	99%	8.9813
แนวทางของ กฟผ. ที่ใช้เปรียบเทียบ (ท่ามา;ฝ่ายวิศวกรรมและโยธาพลังงาน กฟผ.,2559)				
1 x 0.5 = 0.5 MW.	2.24	365	98.86	4.33
1 x 1.0 = 1.0 MW.	4.63	365	95.32	8.35
1 x 1.5 = 1.5 MW.	7.41	365	79.83	10.49
1 x 2.0 = 2.0 MW.	10.74	365	60.96	10.68
2 x 0.75 = 1.5 MW.	7.51	365	80.90	10.63

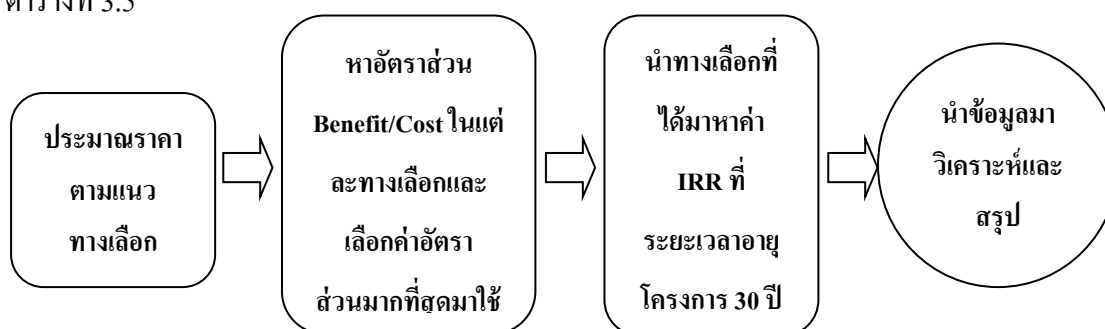
หมายเหตุ -เงื่อนไขการเดินเครื่องใช้ 24 ชม./วัน ในการคำนวณ

-ประสิทธิภาพ Turbine + Gen. ใช้ข้อมูลจากผู้ผลิต

3.3 วิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

3.3.1 การประมาณราคา

การประมาณราคาโครงการประกอบด้วย งานเตรียมการก่อสร้าง งานมวลขนสัมพันธ งานโยธา งานไฟฟ้าและเครื่องกล งานระบบส่งไฟฟ้า ค่าดำเนินการทางวิศวกรรม ค่าบริหารโครงการ และค่าเผื่อเหลือเผื่อขาด ไม่รวมภาษีนำเข้า ภาษีต่างๆ ดอกเบี้ยระหว่างการก่อสร้าง รายละเอียดราคาโครงการของกรมศึกษา กำลังผลิตตามทางเลือกทั้งหมด 7 ทางเลือกมาพิจารณาเพื่อเป็นข้อมูลในการวิจัย โดยจะนำค่าต่างๆที่ได้มาวิเคราะห์หาค่าอัตราส่วน ผลประโยชน์โครงการ (Benefit) ต่อ ค่าใช้จ่ายโครงการ (Cost) ตามแนวทางการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์ ดังแสดงในรูปที่ 3.11 โดยมีราคาค่าก่อสร้างของแต่ละทางเลือกตามตารางประมาณราคาค่าใช้จ่ายก่อสร้าง ในตารางที่ 3.5



รูปที่ 3.11 แนวทางการวิเคราะห์ทางเศรษฐศาสตร์

ตารางที่ 3.5 ตารางประมาณราคาค่าใช้จ่ายก่อสร้างจากทางเลือกที่ใช้พิจารณา

ที่	รายการ	ค่าใช้จ่ายก่อสร้าง (บาท)						
		1x0.5MW.	1x0.63MW.	1x0.8MW.	1x1.6MW.	2x0.63MW.	2x0.8MW.	3x0.63MW.
1	งานเตรียมงานเบื้องต้น,งานประชาสัมพันธ์	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000	1,500,000
2	งานบรรเทาผลกระทบสิ่งแวดล้อม	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000	300,000
3	งาน Civil Work (ท่อเหล็กส่งน้ำและอาคารต่างๆ)	97,700,000	100,000,000	102,000,000	106,000,000	111,800,000	111,800,000	120,000,000
4	งานอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องกล							
	4.1 อุปกรณ์งานเครื่องกล (Turbine และอุปกรณ์)	30,000,000	32,000,000	33,000,000	35,000,000	64,000,000	66,000,000	96,000,000
	4.2 อุปกรณ์งานไฟฟ้า (Generator และอุปกรณ์)	35,000,000	36,000,000	37,000,000	40,000,000	72,000,000	74,000,000	108,000,000
5	งาน อุปกรณ์ไฮดรอลิก (ควบคุมการผันน้ำ)	15,000,000	15,000,000	16,000,000	17,000,000	19,000,000	19,000,000	20,000,000
6	งาน สายส่ง 22kV(2.5km.)	8,100,000	8,100,000	8,100,000	8,100,000	8,100,000	8,100,000	8,100,000
7	งานติดตั้งอุปกรณ์ (15%ของอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องกล)	9,750,000	10,200,000	10,500,000	11,250,000	20,400,000	21,000,000	30,600,000
8	ค่าขนส่งอุปกรณ์ (7% ของอุปกรณ์ไฟฟ้าเครื่องกล)	4,550,000	4,760,000	4,900,000	5,250,000	9,520,000	9,800,000	14,280,000
9	ค่าทดสอบและตรวจรับอุปกรณ์	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000	5,000,000
	รวม	206,900,000	212,860,000	218,300,000	229,400,000	311,620,000	316,500,000	403,780,000
10	ค่าจ้างวิศวกรที่ปรึกษา (คิด 3% ของ 1-9)	6,207,000	6,385,800	6,549,000	6,882,000	9,348,600	9,495,000	12,113,400
11	งาน บริหารโครงการ (คิด 5% ของ 1-9)	10,345,000	10,643,000	10,915,000	11,470,000	15,581,000	15,825,000	20,189,000

ตารางที่ 3.5 (ต่อ)

ที่	รายการ	ค่าใช้จ่ายก่อสร้าง (บาท)						
		1x0.5MW.	1x0.63MW.	1x0.8MW.	1x1.6MW.	2x0.63MW.	2x0.8MW.	3x0.63MW.
12	ค่าภาษีนำเข้า (1%อุปกรณ)	650,000	680,000	700,000	750,000	1,360,000	1,400,000	2,040,000
13	ค่าเพื่อเหลือเพื่อขาด (คิด 10% ของ 1-9)	20,690,000	21,286,000	21,830,000	22,940,000	31,162,000	31,650,000	40,378,000
	รวม	244,792,000	251,854,800	258,294,000	271,442,000	369,071,600	374,870,000	478,500,400
แนวทางของ กฟผ. ที่ใช้เปรียบเทียบ (ที่มา:ฝ่ายวิศวกรรมและโยธาพลังงาน กฟผ.,2559)								
		ค่าใช้จ่ายก่อสร้าง (บาท)						
	แนวทางเลือก กฟผ. 5 ทางเลือก	1 x 0.5 MW.	1 x 1.0 MW.	1 x 1.5 MW.	1 x 2.0 MW.	2 x 0.75 MW.		
	รวม	260,120,615	275,252,474	286,434,517	328,423,158	408,612,391		

3.3.2 อัตราส่วนผลประโยชน์ของโครงการต่อต้นทุน (Benefit/Cost Ratio: B/C)

จากตารางประมาณราคาค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง จะนำราคาที่ได้ของแต่ละทางเลือกมาดำเนินการต่อ โดยนำมาเปรียบเทียบกับผลประโยชน์ของโครงการที่ได้รับ ซึ่งจะนำข้อมูลที่ได้มาเปรียบเทียบกับข้อมูลของ กฟผ. ด้วย โดยมีทั้งผลประโยชน์ทางตรงและทางอ้อม ในการวิจัยนี้ แสดงเฉพาะผลประโยชน์ทางตรง ที่ได้ประโยชน์จากการระบายน้ำท้ายเขื่อนเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้าใช้งานในประเทศ โดยค่าไฟฟ้าที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ขายส่งให้ กฟภ. และ กฟน. ขนาดแรงดัน 11 – 33 กิโลโวลต์ ดังนี้

- ช่วงเวลา Peak (9.00 -22.00 น.,จันทร์ - ศุกร์) = 4.2243 บาท/หน่วย
 - ช่วงเวลา Off-Peak (22.00 – 9.00 น.,จันทร์-ศุกร์ และ 00.00 – 24.00 น.,เสาร์-อาทิตย์และวันหยุด) = 2.3567 บาท/หน่วย
- ที่มา ;-กฟผ.(www.egat.co.th),2561 ราคา ณ วันที่ 9 กรกฎาคม 2561

โดยในการศึกษา จะนำค่าพลังงานไฟฟ้าต่อหน่วยเฉลี่ยระหว่าง Peak และ Off-Peak ที่ 3.29 บาท/หน่วย มาใช้ในการคำนวณค่าผลประโยชน์ที่ได้ต่อปี

โดยจากค่าต่างๆที่ได้ จะดำเนินการตามวิธีการวิจัย โดยหาอัตราสัดส่วนของผลประโยชน์ (Benefit) ต่อ ค่าใช้จ่าย (Cost) ซึ่งค่าอัตราส่วนที่ได้ จะเป็นตัวกำหนดแนวทางการเลือกก่อสร้าง ซึ่งหากมีค่าน้อยกว่า 1 ไม่ควรนำมาพิจารณา โดยการคำนวณมีรายละเอียดดังนี้

ผลประโยชน์ (Benefit) = ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปีของแต่ละทางเลือก (กิโลวัตต์/ชม.) x ราคาขายไฟฟ้าต่อ 1 หน่วยกิโลวัตต์/ชม. (บาท)

ค่าใช้จ่าย (Cost) = ค่าใช้จ่ายก่อสร้างของแต่ละทางเลือก (บาท) + ค่าบริหาร ,ค่าบำรุงรักษารายปี,ค่าธรรมเนียมต่างๆที่ระยะเวลาโครงการ 30 ปี (บาท)

ส่วนการวิเคราะห์ค่า IRR (Internal Rate of Return) จะวิเคราะห์จากทางเลือกที่ดีที่สุด ที่มีสัดส่วนของ Benefit / Cost สูงที่สุดมาพิจารณา โดยมีระยะเวลาของโครงการ 30 ปี เพื่อหาค่าอัตราผลตอบแทนภายใน IRR ในหัวข้อถัดไป โดยในงานวิจัยนี้จะไม่คิด อัตราส่วนลด (Discount Rate) และ มูลค่าปัจจุบันสุทธิ (Net Present Value; NPV.)



บทที่ 4

ผลการศึกษาและการวิเคราะห์ผล

4.1 ผลการศึกษาสภาพธรณีวิทยาจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้า

4.1.1 วิเคราะห์ผลค่า SPT.

จากข้อมูลเจาะสำรวจดินของ กฟผ. ที่นำมาวิจัย เพื่อตรวจสอบสภาพทางธรณีวิทยาจุดที่ตั้งโรงไฟฟ้าแล้วในงานเขื่อนและโรงไฟฟ้าพลังน้ำ ค่า SPT. ของชั้นดิน จะต้องมีสภาพดินอยู่ที่เกณฑ์ แข็งมาก ถึง แข็งที่สุด ซึ่งมีค่า SPT. (N-Valve) อยู่ที่ ≥ 16 ครั้ง/ฟุต (N/ft.) ตามข้อมูลในตารางที่ 4.1

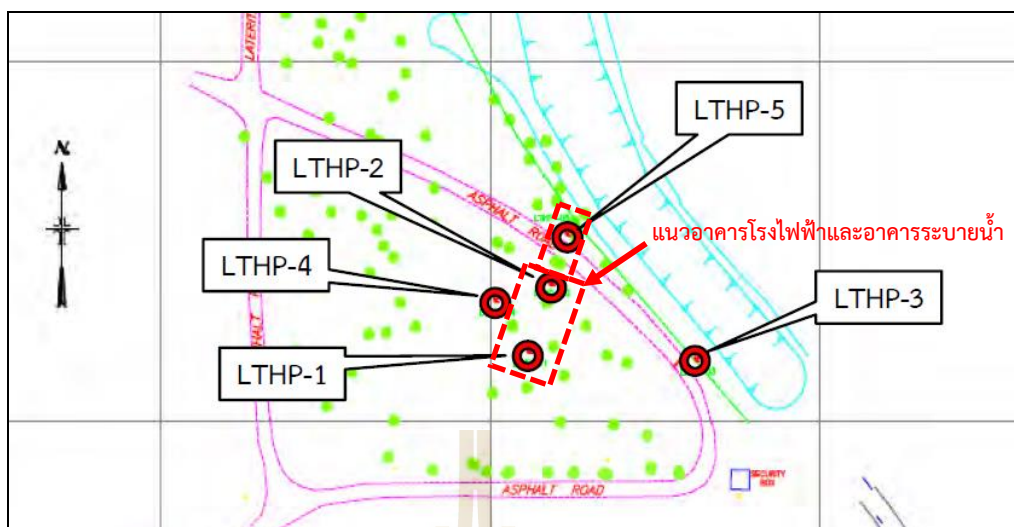
ตารางที่ 4.1 ความแข็งของสภาพดินจำแนกตามค่า SPT

สภาพดิน	SPT-N (ครั้ง/ฟุต)
อ่อนมาก	< 2
อ่อน	2-4
ปานกลาง	5-8
แข็ง	9-15
แข็งมาก	16-30
แข็งที่สุด	> 30

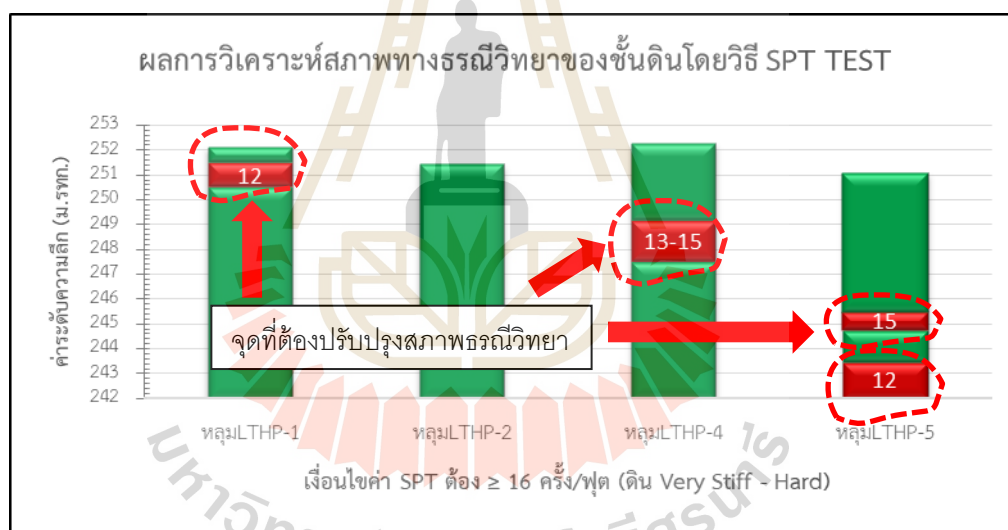
ที่มา ; วิศวกรรมธรณีเทคนิคเบื้องต้น อมร พิमानมาศ,ภาณุวัฒน์ จ้อยกลัด,ปรีดา ไชยมหาวัน

จากการวิเคราะห์ผลค่า SPT. โดยวิธี SPT. TEST ด้วยตุ้มตอกมาตรฐานนั้น จะเห็นว่า หลุม LTHP-1, LTHP-4 และ LTHP-5 มีค่า SPT. บางช่วงน้อยกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งต้องดำเนินการปรับปรุงให้ผ่านเกณฑ์ เพื่อให้การรับน้ำหนักของตัวอาคารไม่เกิดการยุบตัว ขณะที่โครงสร้างอาคารรับน้ำหนักสูงสุด โดยผังหลุมเจาะบริเวณอาคารโรงไฟฟ้าและอาคารระบายน้ำ แสดงในรูปที่

4.1



รูปที่ 4.1 ฟังหลุมเจาะบริเวณอาคารโรงไฟฟ้าและอาคารระบายน้ำ กฟผ.



รูปที่ 4.2 ผลการวิเคราะห์ทางธรณีวิทยาโดยวิธี SPT TEST

ตารางที่ 4.2 การวิเคราะห์สภาพดินตามค่า SPT ที่ทดสอบ (เฉพาะจุดที่ไม่ผ่านเกณฑ์)

หลุมเจาะ	รายละเอียดการวิเคราะห์ผลจุดไม่ผ่านเกณฑ์
หลุม LTHP-1	ที่ระดับ +251.50 ถึง +250.50 ม.รทก.
หลุม LTHP-2	-
หลุม LTHP-4	ที่ระดับ +249.20 ถึง +247.50 ม.รทก.
หลุม LTHP-5	ที่ระดับ +245.50 ถึง +244.80 ม.รทก. , ที่ระดับ +243.50 ถึง +242.00 ม.รทก.

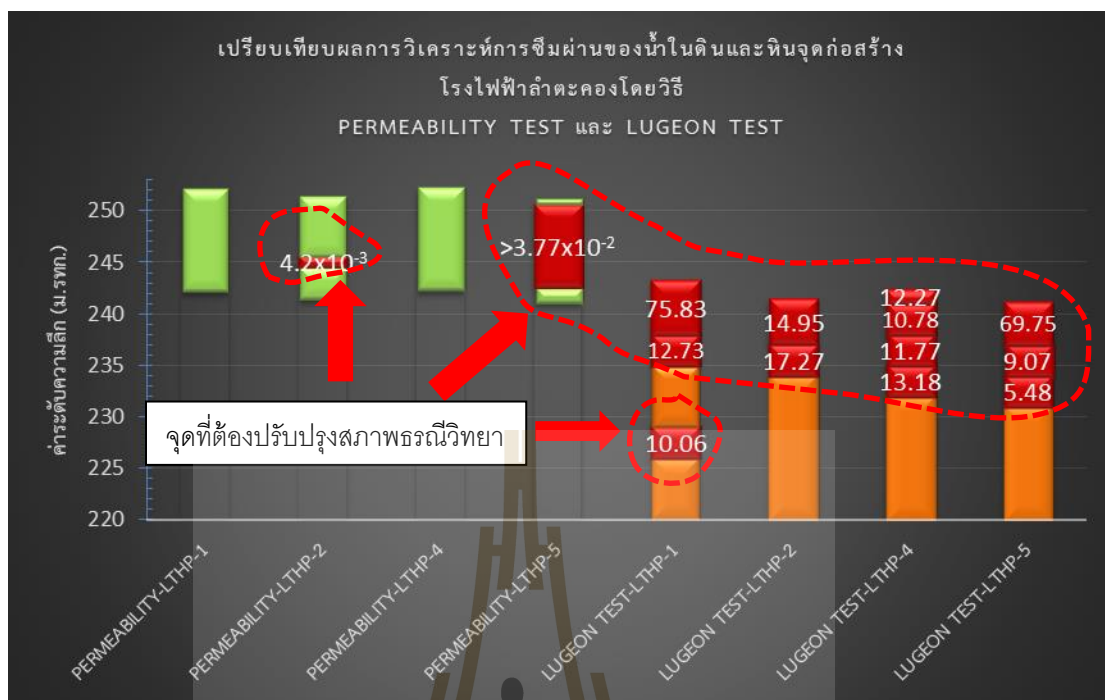
จากการวิเคราะห์ค่า SPT. ตามรูปที่ 4.2 และตารางที่ 4.2 หากตัวอาคารโรงไฟฟ้าที่จะทำการก่อสร้าง ต้องขุดเพื่อก่อสร้างถึงหรือเกินจากค่าระดับที่วิเคราะห์ไว้ ก็ไม่ต้องนำมาพิจารณา แต่หากตัวอาคารที่จะก่อสร้างลึกไม่ถึงค่าระดับที่วิเคราะห์ไว้ จะต้องทำการปรับปรุงสภาพดิน เพื่อแก้ปัญหาและลดการวิบัติของวัสดุฐานราก ทำให้การรับน้ำหนักบรรทุกของอาคารไม่เกิดการยุบตัวในอนาค

4.1.2 วิเคราะห์ผลค่าการซึมของน้ำในชั้นดินและหิน

การวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำในชั้นดินและหิน สำหรับงานเขื่อนและโรงไฟฟ้าพลังน้ำ นับว่ามีความสำคัญเป็นอย่างมาก โดยทั่วไปในมาตรฐานงานเขื่อนและโรงไฟฟ้า ค่าการซึมของน้ำที่เหมาะสมกับการก่อสร้างคือ

1. ค่าการซึมของชั้นดินต้อง $\leq 1 \times 10^{-3}$ ซม.ต่อวินาที
2. ค่าการซึมของชั้นหินต้อง ≤ 5 ลูกอง

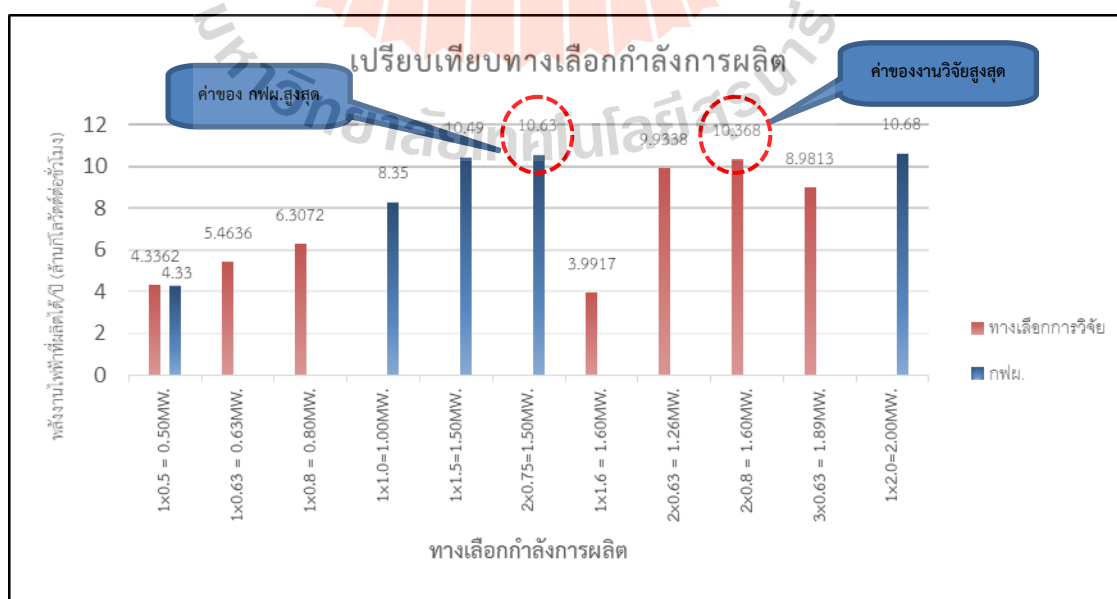
จากข้อมูลทำการวิเคราะห์ค่า ในบทที่ 3 ตามรูปที่ 3.5 , 3.6 และ 3.7 ได้ผลการศึกษาค่าการซึมของน้ำของชั้นดินและชั้นหิน ที่แตกต่างกันในแต่ละระดับความลึก ซึ่งสามารถสรุปได้ดังแสดงในกราฟที่เปรียบเทียบการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำในดินและหิน ดังรูปที่ 4.3 โดยวิธี Permeability Test ที่ระดับความลึกจากผิวดินถึงความลึกประมาณ 10.00 -11.00 เมตร และโดยวิธี Lugeon Test ที่ระดับความลึกตั้งแต่ 10.00 -11.00 เมตรลงไป ทั้งนี้ สามารถสังเกตได้ว่าทุกหลุมตั้งแต่ระดับ +242.00 ม.รทก. ลงไป จะต้องทำการปรับปรุงสภาพชั้นดินและหินให้มีความทึบน้ำตามเกณฑ์หรือน้อยกว่าค่าที่กำหนดไว้ การปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินจะมีหลายวิธี เช่น วิธี Soil Cement, วิธีอัดดินน้ำซีเมนต์ เป็นต้น ส่วนการปรับปรุงคุณภาพชั้นหิน ส่วนใหญ่จะใช้การปรับปรุงโดยวิธีอัดดินน้ำซีเมนต์ เป็นหลัก



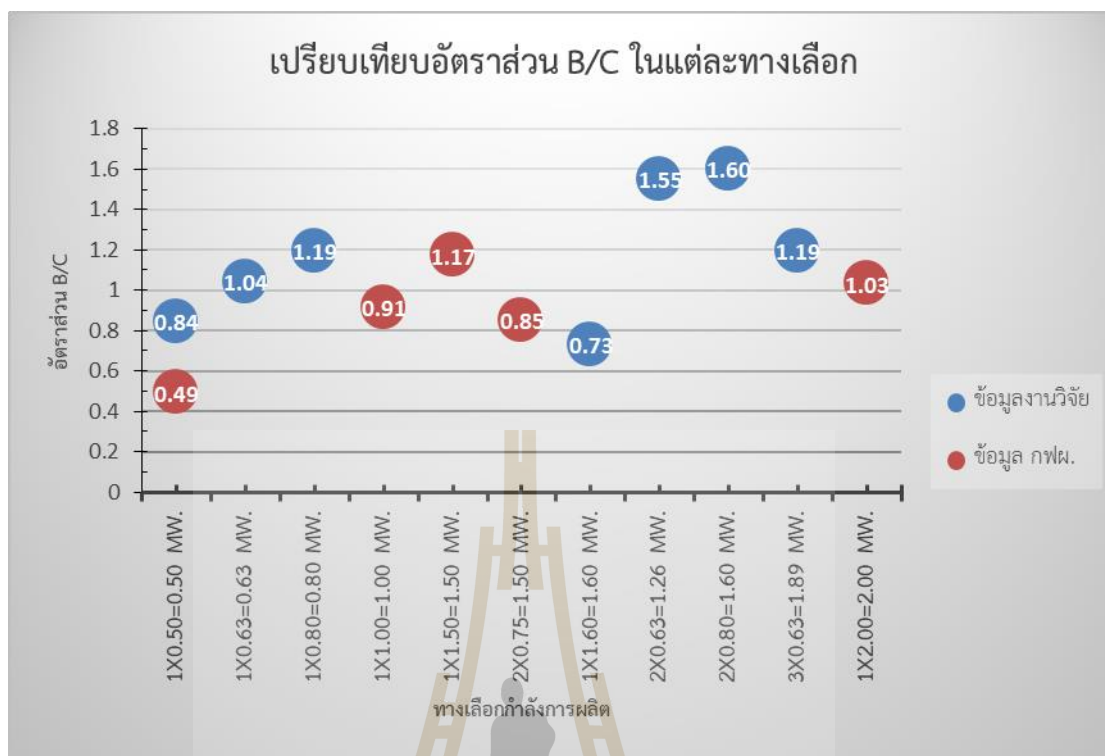
รูปที่ 4.3 การเปรียบเทียบผลการวิเคราะห์การซึมผ่านของน้ำในดิน

4.2 ผลการศึกษาการเลือกขนาดกังหันน้ำและขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า

จากข้อมูลน้ำการระบายท้ายเขื่อนลำตะคอง, ข้อมูลเขื่อน และการวางตำแหน่งที่ตั้งโรงไฟฟ้าลำตะคองของ กฟผ. นำมาวิเคราะห์หาขนาดกังหันน้ำและขนาดเครื่องกำเนิดไฟฟ้า ตามรูปที่ 3.9 และตารางที่ 3.4 วิเคราะห์ผลคือได้ทางเลือกขนาด 2×0.80 เมกะวัตต์ กำลังผลิตรวม 1.60 เมกะวัตต์ เนื่องจากสามารถผลิตไฟฟ้าต่อปีได้มากที่สุดที่ 10,368 ล้านกิโลวัตต์/ชม.ต่อปี ตามรูปที่ 4.4

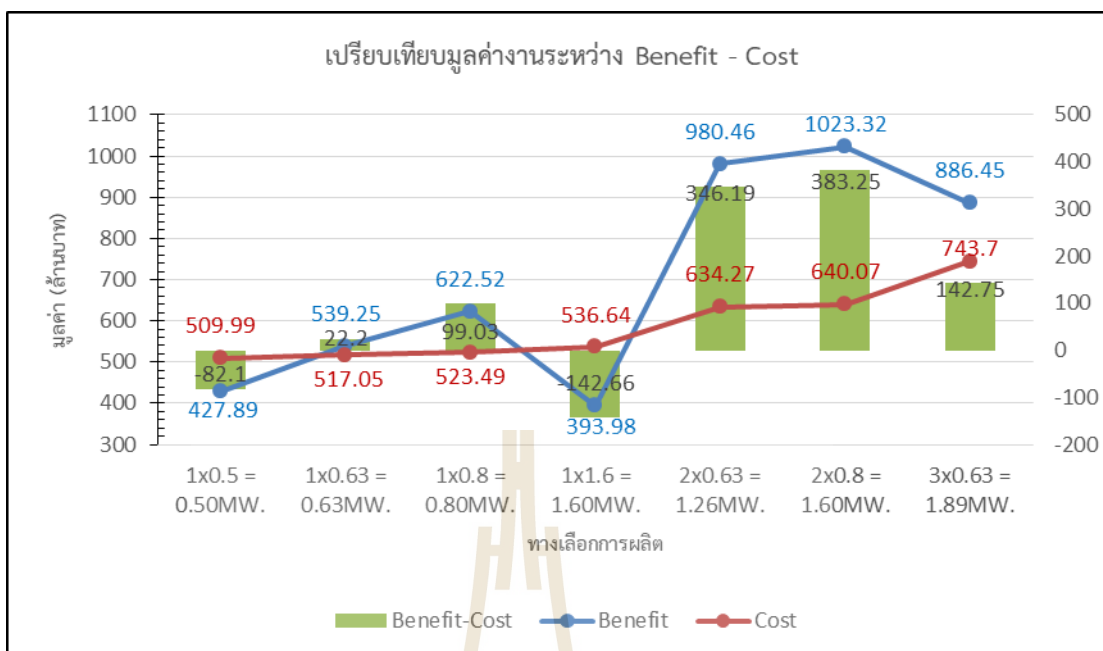


รูปที่ 4.4 การเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้าแต่ละทางเลือกการผลิต



รูปที่ 4.5 เปรียบเทียบอัตราส่วน B/C ในแต่ละทางเลือก

จากรูปที่ 4.6 แสดงให้เห็นถึงมูลค่าของโครงการที่แตกต่างกันระหว่างทางเลือกการผลิต โดยแสดงเฉพาะทางเลือกของงานวิจัยจำนวน 7 ทางเลือก ซึ่งในทางเลือกที่ 2 x 0.80 เมกะวัตต์เป็นทางเลือกที่ดีที่สุด โดยมีมูลค่าส่วนต่างของราคา Benefit - Cost สูงสุด คือ 383.25 ล้านบาท รองลงมาคือทางเลือก 2 x 0.63 เมกะวัตต์ ส่วนต่างราคาอยู่ที่ 346.19 ล้านบาท ส่วนทางเลือก 1 x 0.5 เมกะวัตต์ และ 1 x 1.6 เมกะวัตต์ ไม่นำมาพิจารณา เนื่องจากมูลค่าส่วนต่างโครงการเป็นลบ



รูปที่ 4.6 การเปรียบเทียบมูลค่างานระหว่าง Benefit - Cost ของแต่ละทางเลือกการผลิต

ส่วนการวิเคราะห์ค่า IRR (Internal Rate of Return) จะนำทางเลือก 2 x 0.80 เมกะวัตต์ ซึ่งมีสัดส่วน B/C มากที่สุดนำมาวิเคราะห์ต่อไป โดยมีระยะเวลาอายุของโครงการ 30 ปี มาคำนวณตามตารางที่ 4.4 ได้ค่าอัตราผลตอบแทนภายใน $IRR = 5.09\%$ ซึ่งจากการวิเคราะห์ สามารถคืนทุนโครงการได้ตั้งแต่ปีที่ 15 เป็นต้นไป ซึ่งในงานวิจัยนี้ จะไม่นำค่า NPV. และอัตราส่วนลด Discount Rate มาคำนวณ

ตารางที่ 4.4 ผลการวิเคราะห์ค่า IRR

รายละเอียดใช้คำนวณค่า IRR								
กำลังผลิต		2 x 0.80 = 1.60		เมกะวัตต์		ระยะเวลาก่อสร้าง		2 ปี
ราคาโครงการ		374.87		ล้านบาท		ระยะเวลายูโครงการ		30 ปี
ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง (บริหารและบำรุงรักษารายปี)				3.94 ล้านบาท/ปี		ราคาขายไฟฟ้า		3.29 บาท/หน่วย
ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง (ค่าธรรมเนียมและอื่นๆ)				4.90 ล้านบาท/ปี		ปีที่ลิตรราคา		2561
ปี ที่	ค่าใช้จ่าย (Cost)			ผลประโยชน์ (Benefit)			ผลประโยชน์ สุทธิ	ผลประโยชน์ สุทธิสะสม
	ค่าใช้จ่าย ก่อสร้าง	ค่าใช้จ่าย เดินเครื่อง	รวมค่าใช้จ่าย จ่ายต่อปี	พลังงานที่ ผลิตได้ (Kw/h)	ราคาขาย (บาท)	รวม ผลประโยชน์ ต่อปี		
-1	187.435	0	187.435	0	3.29	0	-187.435	-187.435
0	187.435	0	187.435	0	3.29	0	-187.435	-374.870
1	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-349.600
2	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-324.330
3	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-299.060
4	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-273.790
5	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-248.520
6	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-223.250
7	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-197.980
8	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-172.710
9	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-147.440
10	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-122.170
11	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-96.900
12	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-71.630
13	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-46.360
14	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	-21.090
15	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+4.180
16	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+29.450
17	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+54.720
18	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+79.990
19	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+105.260
20	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+130.530
21	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+155.800
22	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+181.070
23	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+206.340
24	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+231.610
25	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+256.880
26	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+282.150

ตารางที่ 4.4 (ต่อ)

รายละเอียดใช้คำนวณค่า IRR								
กำลังผลิต	2 x 0.80 = 1.60	เมกะวัตต์	ระยะเวลาก่อสร้าง	2	ปี			
ราคาโครงการ	374.87	ล้านบาท	ระยะเวลาอายุโครงการ	30	ปี			
ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง(บริหารและบำรุงรักษารายปี)	3.94	ล้านบาท/ปี	ราคาขายไฟฟ้า	3.29	บาท/หน่วย			
ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง(ค่าธรรมเนียมและอื่นๆ)	4.90	ล้านบาท/ปี	ปีที่คิดราคา	2561				
ปี ที่	ค่าใช้จ่าย (Cost)			ผลประโยชน์ (Benefit)			ผลประโยชน์ สุทธิ	ผลประโยชน์ สุทธิสะสม
	ค่าใช้จ่าย ก่อสร้าง	ค่าใช้จ่าย เดินเครื่อง	รวมค่าใช้จ่ายต่อปี	พลังงานที่ ผลิตได้ (Kw/h)	ราคาขาย (บาท)	รวม ผลประโยชน์ ต่อปี		
27	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+307.420
28	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+332.690
29	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+357.960
30	0	8.84	8.84	10.368	3.29	34.11072	25.270	+383.230
อัตราผลตอบแทนภายใน IRR = 5.09 %								
แนวทางเลือกที่ กฟผ. นำมาวิเคราะห์ ที่กำลังผลิต 1 x 1.5 เมกะวัตต์ (ที่มา:ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน กฟผ.,2559)								
รายละเอียดใช้คำนวณค่า IRR ของ กฟผ.								
กำลังผลิต	1 x 1.50 = 1.50	เมกะวัตต์	ระยะเวลาก่อสร้าง	3	ปี			
ราคาโครงการ	286.43	ล้านบาท	ระยะเวลาอายุโครงการ	30	ปี			
ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง(บริหารและบำรุงรักษารายปี)	3.94	ล้านบาท/ปี	ราคาขายไฟฟ้า	3.72	บาท/หน่วย			
ค่าใช้จ่ายเดินเครื่อง (ค่าธรรมเนียมและอื่นๆ)	4.90	ล้านบาท/ปี	ปีที่คิดราคา	2559				
ค่า IRR% = 8.37%		ต้นทุนการผลิต = 3.18 บาท/หน่วย		อัตราส่วน B/C = 1.17		อัตราส่วนลด = 6.43%		

บทที่ 5

สรุปและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

ในการศึกษาเพื่อออกแบบโรงไฟฟ้าพลังน้ำท้ายเขื่อนลำตะคอง สามารถสรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

1. จากการวิเคราะห์สภาพทางธรณีวิทยา จุดก่อสร้างโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็กท้ายเขื่อนลำตะคอง ควรปรับปรุงสภาพธรณีวิทยาให้ดีขึ้นจำนวน 4 หลุม สรุปดังนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางสรุปวิเคราะห์สภาพธรณีวิทยาและแนะนำการปรับปรุงสภาพธรณีวิทยา

หลุมเจาะ	สภาพธรณีวิทยาที่ต้องทำการปรับปรุง
หลุม LTHP-1	พิจารณาจากตำแหน่งหลุมเจาะอยู่ห่างแนวลำน้ำเดิมมาก จึงมีค่าการซึมผ่านของน้ำในชั้นหินและดินไม่สูงมากนัก แต่จากระดับความลึกที่ +242.00 ลงไปถึง +226.00 ม.รทก. ยังคงต้อง ปรับปรุงคุณภาพหินให้ตึบแน่นกว่าเดิมด้วยวิธีการอัดฉีดน้ำซีเมนต์เพื่อลดการซึมของน้ำในชั้นหิน ส่วนด้านบนที่ระดับ +251.50 ถึง +250.50 ม.รทก. อาจใช้เพียงการขุดลอกและบดอัดใหม่ก็เพียงพอ
หลุม LTHP-2	สภาพทางธรณีวิทยาค่อนข้างดีกว่าหลุมอื่นๆ มีเพียงด้านบนที่ระดับ +245.00 ถึง +244.00 ม.รทก. ที่ต้องปรับปรุงสภาพดินให้ดีขึ้นด้วยวิธี Soil Cement และปรับปรุงคุณภาพชั้นหินที่ระดับความลึก +241.00 ถึง +234.00 ม.รทก. ด้วยวิธีการอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์เพื่อลดการซึมของน้ำ
หลุม LTHP-4	สภาพทางธรณีวิทยาของชั้นดินที่ระดับ +249.20 ถึง +247.50 ม.รทก. มีความแน่นค่อนข้างน้อยควรปรับปรุงสภาพดินโดยวิธี Soil Cement และที่ระดับความลึก +242.00 ถึง +232.00 ควรปรับปรุงคุณภาพของชั้นหินโดยวิธีอัดฉีดน้ำปูนซีเมนต์เพื่อลดการซึมของน้ำ
หลุม LTHP-5	พิจารณาจากตำแหน่งหลุมเจาะสำรวจ เป็นแนวช่องทางน้ำไหล ชั้นหินอาจจะถูกน้ำเซาะและทำลาย จนเกิดช่องว่างมาก ซึ่งทำให้มีค่าการซึมผ่านของน้ำในชั้นดินและหินที่สูงกว่าทุกจุด จึงควรปรับปรุงสภาพธรณีวิทยาจากระดับความลึกที่ +245.50 ถึง +242.00 ม.รทก. ด้วยวิธี Soil Cement ส่วนจากระดับความลึกตั้งแต่ +242.00 ม.รทก. ลงไป ควรปรับปรุงคุณภาพหินให้ตึบแน่นกว่าเดิมด้วยวิธีการอัดฉีดน้ำซีเมนต์เพื่อลดการซึมของน้ำในชั้นหิน

โดยสรุปสภาพทางธรณีวิทยาของทุกหลุม ที่ระดับความลึกจากปากหลุมลงไปไม่เกิน 10 เมตร ค่า SPT น้อยที่สุดคือ 12 ครั้ง/ฟุต โดยยังถือว่าอยู่ในกลุ่มของชั้นดินแข็ง ซึ่งค่า SPT. ของชั้นดินแข็งจะอยู่ประมาณ 9-15 SPT-N (ครั้ง/ฟุต) สามารถยอมรับได้ ไม่ต้องทำการปรับปรุงสภาพทางธรณีวิทยา แต่จากความลึกของหลุมเจาะทุกหลุม ประมาณค่าระดับที่ +243.00 ถึงระดับประมาณ +231.00 ม.รทก. ควรปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินด้วยการอัดฉีดน้ำซีเมนต์ เพื่อลดการซึมผ่านของน้ำในชั้นดิน และลดความเสี่ยงจากการเกิดการวิบัติของวัสดุฐานราก ในบริเวณอาคารที่จะทำการก่อสร้างเนื่องมาจากสาเหตุการซึมผ่านของน้ำ

- กำลังผลิตติดตั้งที่เหมาะสมที่สุดสำหรับงานวิจัยนี้คือทางเลือก $2 \times 0.80 = 1.60$ เมกะวัตต์ มีค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้เฉลี่ย 10.368 ล้านหน่วยต่อปี ซึ่งต่างจากของ กฟผ. (กฟผ. ใช้ทางเลือก 1×1.5 เมกะวัตต์ ที่ผลิตพลังงานไฟฟ้าได้ 10.63 ล้านหน่วยต่อปี) โดยมีข้อแตกต่างคือจำนวนวันที่ผลิตได้ต่อปีของงานวิจัย 300 วัน ส่วนของ กฟผ. คิดที่ 365 วัน ซึ่งหากคิดจำนวนวันที่ 365 วันเหมือนแนวทางของ กฟผ. จะได้พลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ 13.876 ล้านหน่วยต่อปี ซึ่งมากกว่า กฟผ.

ตารางที่ 5.2 ตารางเปรียบเทียบระหว่างแนวทางของงานวิจัยกับแนวทางของ กฟผ.

รายละเอียด	แนวทางงานวิจัย	แนวทาง กฟผ.
กำลังผลิต	$2 \times 0.80 = 1.60$ MW.	$1 \times 1.50 = 1.50$ MW.
อัตราการใช้ (ลบ.ม./วินาที)	$2 \times 3.09 = 6.18$	7.41
ความสูงหัวน้ำ (เมตร)	22.30	24.40
แนวการวางกังหันน้ำ	แนวนอน	แนวตั้ง
เปอร์เซ็นต์การออกแบบความสูงหัวน้ำ	100%	100-125%
จำนวนวันที่ผลิตไฟฟ้าได้ต่อปี	300	365
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (ล้านกิโลวัตต์/ชั่วโมง)	10.368	10.63

- ราคาค่าก่อสร้างโครงการของงานวิจัยนี้เลือกขนาดกำลังผลิต $2 \times 0.80 = 1.60$ เมกะวัตต์เท่ากับ 374.87 ล้านบาท ต่างจากของ กฟผ. (ทางเลือก กฟผ. ใช้ขนาด 1×1.50 เมกะวัตต์ ราคาโครงการ 286.43 ล้านบาท) มีความแตกต่างด้านกำลังผลิต 0.1 เมกะวัตต์ และราคาต่างกัน 88.44 ล้านบาท สิ่งแรกที่วิเคราะห์ได้คือ ปี พ.ศ. ที่ประมาณราคาของ กฟผ. คือปี 2559 ส่วนของงานวิจัยนี้ คือปี 2561 ต่างกัน 2 ปี จึง

ทำให้ราคาวัสดุต่างกันและอีกปัจจัยที่ทำให้ราคาต่างกันคือ ในงานวิจัยใช้กังหันน้ำ 2 เครื่อง จึงต้องมีอุปกรณ์ควบคุมกังหันน้ำ 2 ชุด ซึ่งทำให้ราคาแตกต่างจาก กฟผ. โดยข้อดีของงานวิจัยนี้เลือกกังหันน้ำแบบ 2 เครื่อง คือหากน้ำที่ระบายท้ายเขื่อนมีการระบายน้อยลง ยังสามารถเลือกเดินเครื่องได้ 1 เครื่องในขณะที่แนวทางของ กฟผ. อาจเดินเครื่องไม่ได้เลย

4. ผลการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์ สรุปได้ดังนี้

ตารางที่ 5.3 ตารางเปรียบเทียบการวิเคราะห์ด้านเศรษฐศาสตร์

รายละเอียด	แนวทางงานวิจัย	แนวทาง กฟผ.
กำลังการผลิต (เมกกะวัตต์)	1.60 MW. (2x0.80)	1.50 MW. (1x1.50)
อัตราผลตอบแทนด้านเศรษฐศาสตร์ (%IRR)	5.09%	8.37%
อัตราส่วนผลประโยชน์ต่อค่าใช้จ่าย (B/C Ratio)	1.60	1.17
ราคาขายต่อหน่วย (บาท)	3.29	3.72
ราคาค่าก่อสร้าง (ล้านบาท)	374.87	286.43
ค่าพลังงานไฟฟ้าที่ผลิตได้ต่อปี (ล้านกิโลวัตต์/ชั่วโมง)	10.368	10.63
ปีที่ประมาณราคา (พ.ศ.)	2561	2559

5.2 ข้อเสนอแนะ

เพื่อให้ผลการศึกษาก่อให้เกิดประโยชน์สูงสุดในการนำผลการศึกษานี้ไปใช้งานในอนาคต และ/หรือในพื้นที่อื่นๆ จึงได้นำเสนอข้อเสนอแนะดังนี้

1. การศึกษาและวิจัยข้อมูลดิน ให้ผู้ที่นำไปใช้งานพิจารณาค่าระดับตัวอาคารโรงไฟฟ้า ซึ่งหากมีความลึกเกินกว่าค่าที่การศึกษานี้ได้กล่าวไว้ จะไม่สามารถนำไปใช้งานได้เนื่องจากบางโครงการฯ จะขุดลงไปถึงชั้นหินเพื่อทำการก่อสร้างอาคารขึ้นมา จึงควรใช้เพียงวิธี อดคิดน้ำปูน เพื่อลดการซึมของน้ำในชั้นหินเท่านั้น
2. ในการก่อสร้างควรเป็นสัญญาแบบจ้างเหมาเปิดเสร็จ ตั้งแต่ออกแบบจนถึงก่อสร้างแล้วเสร็จ พร้อมทดสอบระบบเพื่อส่งมอบงานในสัญญาเดียว เนื่องจากโรงไฟฟ้าที่ กฟผ. เคยดำเนินการก่อสร้างมาก่อนนี้ มักจะประสบปัญหา 1 โครงการฯ มีผู้รับจ้างหลายสัญญา และต้องบริหารจัดการให้ผู้รับจ้างแต่ละรายเข้าทำงานได้ ซึ่งมีความเสี่ยงและจะเกิดปัญหาความล่าช้าของงาน

เอกสารอ้างอิง

- กนก กล่อมจิต และเกียรติยุทธ กวีญาณ. (2554). **พลังงานหมุนเวียนที่เหมาะสมสำหรับประเทศไทยภายใต้วิกฤตการณ์โลกร้อน**. สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตบางเขน.
- คมนั ผาติประชา. (2552). **การศึกษาโครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำสูบกลับ อ่างเก็บน้ำเขื่อนปรางบุรี จ.ประจวบคีรีขันธ์**. วิทยานิพนธ์ มหาวิทยาลัยธุรกิจบัณฑิตย์.
- เจตณรงค์ เชาว์ชูเดช. (2552). **คู่มือการประมาณราคา** [Online]. แหล่งที่มา : [http:// sites.google.com /site/costengineering/site/](http://sites.google.com/site/costengineering/site/). [วันที่ 17/7/2561].
- ชูลิต วัชรสินธุ์ และยุพา ชิตทอง. (2552). **การกำหนดระดับน้ำควบคุม (Rule Curve) กรณีศึกษา อ่างเก็บน้ำโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ Nam Seuang . วารสารสมาคมนักอุทกวิทยาไทย. ปีที่ 1 ฉบับที่ 1-2552.**
- ฝ่ายวิศวกรรมโยธาและพลังงาน. (2559). **รายงานฉบับสุดท้าย การศึกษาความเหมาะสม โครงการโรงไฟฟ้าพลังน้ำเขื่อนลำตะคอง อ.สีคิ้ว จ.นครราชสีมา. การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.).**
- ฟองสวาท สุวคนธ์. (2552). **สภาพธรณีวิทยาของบริเวณสันเขื่อนและอ่างเก็บน้ำ**. [Online]. แหล่งที่มา <http://it.geol.science.cmu.ac.th/gs/courseware/205275/ Ch9DamReservoir.pdf>. [วันที่ 17/7/2561].
- ฟิสิกส์ราชมงคล บทที่ 7. (2543). **พลังงานน้ำ**. [Online]. แหล่งที่มา : [http://www.rmutphysics.com /charud/PDF-learning/5/energy/7.pdf](http://www.rmutphysics.com/charud/PDF-learning/5/energy/7.pdf) . [วันที่ 17/7/2561].
- ยิ่งปสิว ศุกกิตติวงศ์. (2553). **ไฟฟ้าพลังน้ำ**. [Online]. แหล่งที่มา : <http://www.yp.co.th>. [วันที่ 17/7/2561].
- วัฒนา คำคม. (2555). **การปรับปรุงฐานรากเขื่อน**. [Online]. แหล่งที่มา [http://kromchol.rid.go.th/ survey/geotech/products/foundation%20treatment.pdf](http://kromchol.rid.go.th/survey/geotech/products/foundation%20treatment.pdf). [วันที่ 17/7/2561].
- ศรวงศ์ชัย วันนะสดี และ เกียรติยุทธ กวีญาณ. (2557). **ศึกษาความเหมาะสมโครงการไฟฟ้าพลังน้ำ เพื่อการพัฒนาโรงไฟฟ้าพลังน้ำขนาดเล็ก. งานวิจัย ภาควิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ บางเขน.**
- อุสาห์ บุญบำรุง. (2553). **พลัง+งาน : ฉบับคิดเป็นทำเป็น พลังน้ำขนาดเล็ก. สถาบันพัฒนาและฝึกอบรมโรงงานต้นแบบมหาวิทยาลัยเทคโนโลยี พระจอมเกล้าธนบุรี.**





Designation: D 1586 – 99

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Test Method for Penetration Test and Split-Barrel Sampling of Soils¹

This standard is issued under the fixed designation D 1586; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reappraisal. A superscript epsilon (ε) indicates an editorial change since the last revision or reappraisal.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope *

1.1 This test method describes the procedure, generally known as the Standard Penetration Test (SPT), for driving a split-barrel sampler to obtain a representative soil sample and a measure of the resistance of the soil to penetration of the sampler.

1.2 *This standard does not purport to address all of the safety problems, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.* For a specific precautionary statement, see 5.4.1.

1.3 The values stated in inch-pound units are to be regarded as the standard.

NOTE 1—Practice D 6066 can be used when testing loose sands below the water table for liquefaction studies or when a higher level of care is required when drilling these soils. This practice provides information on drilling methods, equipment variables, energy corrections, and blow-count normalization.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- D 2487 Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)²
- D 2488 Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)²
- D 4220 Practices for Preserving and Transporting Soil Samples²
- D 4633 Test Method for Stress Wave Energy Measurement for Dynamic Penetrometer Testing Systems²
- D 6066 Practice for Determining the Normalized Penetration Resistance Testing of Sands for Evaluation of Liquefaction Potential³

3. Terminology

3.1 Definitions of Terms Specific to This Standard:

3.1.1 *anvil*—that portion of the drive-weight assembly

which the hammer strikes and through which the hammer energy passes into the drill rods.

3.1.2 *cathead*—the rotating drum or windlass in the rope-cathead lift system around which the operator wraps a rope to lift and drop the hammer by successively tightening and loosening the rope turns around the drum.

3.1.3 *drill rods*—rods used to transmit downward force and torque to the drill bit while drilling a borehole.

3.1.4 *drive-weight assembly*—a device consisting of the hammer, hammer fall guide, the anvil, and any hammer drop system.

3.1.5 *hammer*—that portion of the drive-weight assembly consisting of the 140 ± 2 lb (63.5 ± 1 kg) impact weight which is successively lifted and dropped to provide the energy that accomplishes the sampling and penetration.

3.1.6 *hammer drop system*—that portion of the drive-weight assembly by which the operator accomplishes the lifting and dropping of the hammer to produce the blow.

3.1.7 *hammer fall guide*—that part of the drive-weight assembly used to guide the fall of the hammer.

3.1.8 *N-value*—the blowcount representation of the penetration resistance of the soil. The *N*-value, reported in blows per foot, equals the sum of the number of blows required to drive the sampler over the depth interval of 6 to 18 in. (150 to 450 mm) (see 7.3).

3.1.9 ΔN —the number of blows obtained from each of the 6-in. (150-mm) intervals of sampler penetration (see 7.3).

3.1.10 *number of rope turns*—the total contact angle between the rope and the cathead at the beginning of the operator's rope slackening to drop the hammer, divided by 360° (see Fig. 1).

3.1.11 *sampling rods*—rods that connect the drive-weight assembly to the sampler. Drill rods are often used for this purpose.

3.1.12 *SPT*—abbreviation for standard penetration test, a term by which engineers commonly refer to this method.

4. Significance and Use

4.1 This test method provides a soil sample for identification purposes and for laboratory tests appropriate for soil obtained from a sampler that may produce large shear strain disturbance in the sample.

4.2 This test method is used extensively in a great variety of geotechnical exploration projects. Many local correlations and

¹ This method is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.02 on Sampling and Related Field Testing for Soil Investigations.

Current edition approved Jan. 10, 1999. Published March 1999. Originally published as D 1586 – 58 T. Last previous edition D 1586 – 98.

² Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.08.

³ Annual Book of ASTM Standards, Vol 04.09.

*A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

D 1586

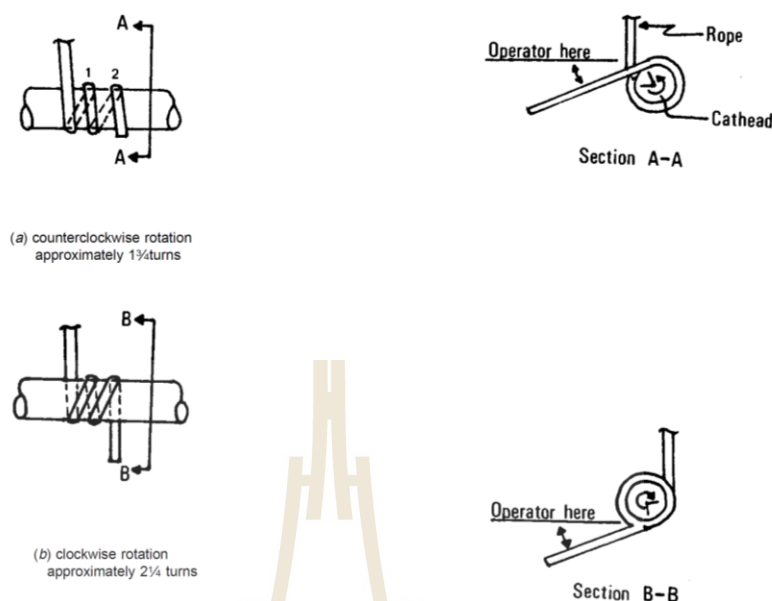


FIG. 1 Definitions of the Number of Rope Turns and the Angle for (a) Counterclockwise Rotation and (b) Clockwise Rotation of the Cathead

widely published correlations which relate SPT blowcount, or N -value, and the engineering behavior of earthworks and foundations are available.

5. Apparatus

5.1 *Drilling Equipment*—Any drilling equipment that provides at the time of sampling a suitably clean open hole before insertion of the sampler and ensures that the penetration test is performed on undisturbed soil shall be acceptable. The following pieces of equipment have proven to be suitable for advancing a borehole in some subsurface conditions.

5.1.1 *Drag, Chopping, and Fishtail Bits*, less than 6.5 in. (162 mm) and greater than 2.2 in. (56 mm) in diameter may be used in conjunction with open-hole rotary drilling or casing-advancement drilling methods. To avoid disturbance of the underlying soil, bottom discharge bits are not permitted; only side discharge bits are permitted.

5.1.2 *Roller-Cone Bits*, less than 6.5 in. (162 mm) and greater than 2.2 in. (56 mm) in diameter may be used in conjunction with open-hole rotary drilling or casing-advancement drilling methods if the drilling fluid discharge is deflected.

5.1.3 *Hollow-Stem Continuous Flight Augers*, with or without a center bit assembly, may be used to drill the boring. The inside diameter of the hollow-stem augers shall be less than 6.5 in. (162 mm) and greater than 2.2 in. (56 mm).

5.1.4 *Solid, Continuous Flight, Bucket and Hand Augers*, less than 6.5 in. (162 mm) and greater than 2.2 in. (56 mm) in

diameter may be used if the soil on the side of the boring does not cave onto the sampler or sampling rods during sampling.

5.2 *Sampling Rods*—Flush-joint steel drill rods shall be used to connect the split-barrel sampler to the drive-weight assembly. The sampling rod shall have a stiffness (moment of inertia) equal to or greater than that of parallel wall "A" rod (a steel rod which has an outside diameter of 1 5/8 in. (41.2 mm) and an inside diameter of 1 1/8 in. (28.5 mm)).

NOTE 2—Recent research and comparative testing indicates the type rod used, with stiffness ranging from "A" size rod to "N" size rod, will usually have a negligible effect on the N -values to depths of at least 100 ft (30 m).

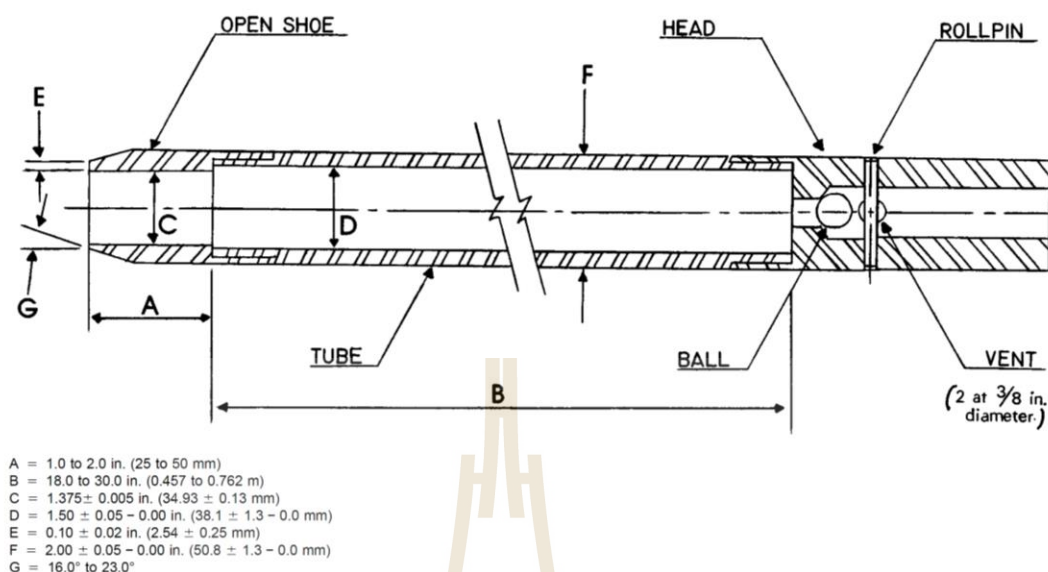
5.3 *Split-Barrel Sampler*—The sampler shall be constructed with the dimensions indicated in Fig. 2. The driving shoe shall be of hardened steel and shall be replaced or repaired when it becomes dented or distorted. The use of liners to produce a constant inside diameter of 1 3/8 in. (35 mm) is permitted, but shall be noted on the penetration record if used. The use of a sample retainer basket is permitted, and should also be noted on the penetration record if used.

NOTE 3—Both theory and available test data suggest that N -values may increase between 10 to 30 % when liners are used.

5.4 Drive-Weight Assembly:

5.4.1 *Hammer and Anvil*—The hammer shall weigh 140 ± 2 lb (63.5 ± 1 kg) and shall be a solid rigid metallic mass. The hammer shall strike the anvil and make steel on steel contact when it is dropped. A hammer fall guide permitting a free fall

D 1586



The 1½ in. (38 mm) inside diameter split barrel may be used with a 16-gage wall thickness split liner. The penetrating end of the drive shoe may be slightly rounded. Metal or plastic retainers may be used to retain soil samples.

FIG. 2 Split-Barrel Sampler

shall be used. Hammers used with the cathead and rope method shall have an unimpeded overlift capacity of at least 4 in. (100 mm). For safety reasons, the use of a hammer assembly with an internal anvil is encouraged.

NOTE 4—It is suggested that the hammer fall guide be permanently marked to enable the operator or inspector to judge the hammer drop height.

5.4.2 *Hammer Drop System*—Rope-cathead, trip, semi-automatic, or automatic hammer drop systems may be used, providing the lifting apparatus will not cause penetration of the sampler while re-engaging and lifting the hammer.

5.5 *Accessory Equipment*—Accessories such as labels, sample containers, data sheets, and groundwater level measuring devices shall be provided in accordance with the requirements of the project and other ASTM standards.

6. Drilling Procedure

6.1 The boring shall be advanced incrementally to permit intermittent or continuous sampling. Test intervals and locations are normally stipulated by the project engineer or geologist. Typically, the intervals selected are 5-ft (1.5 m) or less in homogeneous strata with test and sampling locations at every change of strata.

6.2 Any drilling procedure that provides a suitably clean and stable hole before insertion of the sampler and assures that the penetration test is performed on essentially undisturbed soil shall be acceptable. Each of the following procedures have proven to be acceptable for some subsurface conditions. The subsurface conditions anticipated should be considered when selecting the drilling method to be used.

6.2.1 Open-hole rotary drilling method.

6.2.2 Continuous flight hollow-stem auger method.

6.2.3 Wash boring method.

6.2.4 Continuous flight solid auger method.

6.3 Several drilling methods produce unacceptable borings.

The process of jetting through an open tube sampler and then sampling when the desired depth is reached shall not be permitted. The continuous flight solid auger method shall not be used for advancing the boring below a water table or below the upper confining bed of a confined non-cohesive stratum that is under artesian pressure. Casing may not be advanced below the sampling elevation prior to sampling. Advancing a boring with bottom discharge bits is not permissible. It is not permissible to advance the boring for subsequent insertion of the sampler solely by means of previous sampling with the SPT sampler.

6.4 The drilling fluid level within the boring or hollow-stem augers shall be maintained at or above the in situ groundwater level at all times during drilling, removal of drill rods, and sampling.

7. Sampling and Testing Procedure

7.1 After the boring has been advanced to the desired sampling elevation and excessive cuttings have been removed, prepare for the test with the following sequence of operations.

7.1.1 Attach the split-barrel sampler to the sampling rods and lower into the borehole. Do not allow the sampler to drop onto the soil to be sampled.

7.1.2 Position the hammer above and attach the anvil to the top of the sampling rods. This may be done before the sampling

D 1586

rods and sampler are lowered into the borehole.

7.1.3 Rest the dead weight of the sampler, rods, anvil, and drive weight on the bottom of the boring and apply a seating blow. If excessive cuttings are encountered at the bottom of the boring, remove the sampler and sampling rods from the boring and remove the cuttings.

7.1.4 Mark the drill rods in three successive 6-in. (0.15-m) increments so that the advance of the sampler under the impact of the hammer can be easily observed for each 6-in. (0.15-m) increment.

7.2 Drive the sampler with blows from the 140-lb (63.5-kg) hammer and count the number of blows applied in each 6-in. (0.15-m) increment until one of the following occurs:

7.2.1 A total of 50 blows have been applied during any one of the three 6-in. (0.15-m) increments described in 7.1.4.

7.2.2 A total of 100 blows have been applied.

7.2.3 There is no observed advance of the sampler during the application of 10 successive blows of the hammer.

7.2.4 The sampler is advanced the complete 18 in. (0.45 m) without the limiting blow counts occurring as described in 7.2.1, 7.2.2, or 7.2.3.

7.3 Record the number of blows required to effect each 6 in. (0.15 m) of penetration or fraction thereof. The first 6 in. is considered to be a seating drive. The sum of the number of blows required for the second and third 6 in. of penetration is termed the "standard penetration resistance," or the "*N*-value." If the sampler is driven less than 18 in. (0.45 m), as permitted in 7.2.1, 7.2.2, or 7.2.3, the number of blows per each complete 6-in. (0.15-m) increment and per each partial increment shall be recorded on the boring log. For partial increments, the depth of penetration shall be reported to the nearest 1 in. (25 mm), in addition to the number of blows. If the sampler advances below the bottom of the boring under the static weight of the drill rods or the weight of the drill rods plus the static weight of the hammer, this information should be noted on the boring log.

7.4 The raising and dropping of the 140-lb (63.5-kg) hammer shall be accomplished using either of the following two methods:

7.4.1 By using a trip, automatic, or semi-automatic hammer drop system which lifts the 140-lb (63.5-kg) hammer and allows it to drop 30 ± 1.0 in. ($0.76 \text{ m} \pm 25 \text{ mm}$) unimpeded.

7.4.2 By using a cathead to pull a rope attached to the hammer. When the cathead and rope method is used the system and operation shall conform to the following:

7.4.2.1 The cathead shall be essentially free of rust, oil, or grease and have a diameter in the range of 6 to 10 in. (150 to 250 mm).

7.4.2.2 The cathead should be operated at a minimum speed of rotation of 100 RPM, or the approximate speed of rotation shall be reported on the boring log.

7.4.2.3 No more than $2\frac{1}{4}$ rope turns on the cathead may be used during the performance of the penetration test, as shown in Fig. 1.

NOTE 5—The operator should generally use either $1\frac{3}{4}$ or $2\frac{1}{4}$ rope turns, depending upon whether or not the rope comes off the top ($1\frac{3}{4}$ turns) or the bottom ($2\frac{1}{4}$ turns) of the cathead. It is generally known and accepted that $2\frac{3}{4}$ or more rope turns considerably impedes the fall of the hammer and should not be used to perform the test. The cathead rope should be maintained in a relatively dry, clean, and unfrayed condition.

7.4.2.4 For each hammer blow, a 30-in. (0.76-m) lift and drop shall be employed by the operator. The operation of pulling and throwing the rope shall be performed rhythmically without holding the rope at the top of the stroke.

7.5 Bring the sampler to the surface and open. Record the percent recovery or the length of sample recovered. Describe the soil samples recovered as to composition, color, stratification, and condition, then place one or more representative portions of the sample into sealable moisture-proof containers (jars) without ramming or distorting any apparent stratification. Seal each container to prevent evaporation of soil moisture. Affix labels to the containers bearing job designation, boring number, sample depth, and the blow count per 6-in. (0.15-m) increment. Protect the samples against extreme temperature changes. If there is a soil change within the sampler, make a jar for each stratum and note its location in the sampler barrel.

8. Report

8.1 Drilling information shall be recorded in the field and shall include the following:

- 8.1.1 Name and location of job,
- 8.1.2 Names of crew,
- 8.1.3 Type and make of drilling machine,
- 8.1.4 Weather conditions,
- 8.1.5 Date and time of start and finish of boring,
- 8.1.6 Boring number and location (station and coordinates, if available and applicable),
- 8.1.7 Surface elevation, if available,
- 8.1.8 Method of advancing and cleaning the boring,
- 8.1.9 Method of keeping boring open,
- 8.1.10 Depth of water surface and drilling depth at the time of a noted loss of drilling fluid, and time and date when reading or notation was made,
- 8.1.11 Location of strata changes,
- 8.1.12 Size of casing, depth of cased portion of boring,
- 8.1.13 Equipment and method of driving sampler,
- 8.1.14 Type sampler and length and inside diameter of barrel (note use of liners),
- 8.1.15 Size, type, and section length of the sampling rods, and
- 8.1.16 Remarks.

8.2 Data obtained for each sample shall be recorded in the field and shall include the following:

- 8.2.1 Sample depth and, if utilized, the sample number,
- 8.2.2 Description of soil,
- 8.2.3 Strata changes within sample,
- 8.2.4 Sampler penetration and recovery lengths, and
- 8.2.5 Number of blows per 6-in. (0.15-m) or partial increment.

9. Precision and Bias

9.1 *Precision*—A valid estimate of test precision has not been determined because it is too costly to conduct the necessary inter-laboratory (field) tests. Subcommittee D18.02 welcomes proposals to allow development of a valid precision statement.

9.2 *Bias*—Because there is no reference material for this test method, there can be no bias statement.

9.3 Variations in *N*-values of 100 % or more have been

 D 1586

observed when using different standard penetration test apparatus and drillers for adjacent borings in the same soil formation. Current opinion, based on field experience, indicates that when using the same apparatus and driller, N -values in the same soil can be reproduced with a coefficient of variation of about 10 %.

9.4 The use of faulty equipment, such as an extremely massive or damaged anvil, a rusty cathead, a low speed cathead, an old, oily rope, or massive or poorly lubricated rope sheaves can significantly contribute to differences in N -values obtained between operator-drill rig systems.

9.5 The variability in N -values produced by different drill rigs and operators may be reduced by measuring that part of the hammer energy delivered into the drill rods from the sampler and adjusting N on the basis of comparative energies. A method for energy measurement and N -value adjustment is given in Test Method D 4633.

10. Keywords

10.1 blow count; in-situ test; penetration resistance; split-barrel sampling; standard penetration test

SUMMARY OF CHANGES

(1) Added note to Section 1, Scope. The note refers to a related standard, Practice D 6066.

(2) Added Practice D 6066 to Section 2 on Referenced Documents.

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.





Designation: D 2487 – 98

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS
100 Barr Harbor Dr., West Conshohocken, PA 19428
Reprinted from the Annual Book of ASTM Standards. Copyright ASTM

Standard Practice for Classification of Soils for Engineering Purposes (Unified Soil Classification System)¹

This standard is issued under the fixed designation D 2487; the number immediately following the designation indicates the year of original adoption or, in the case of revision, the year of last revision. A number in parentheses indicates the year of last reapproval. A superscript epsilon (ϵ) indicates an editorial change since the last revision or reapproval.

This standard has been approved for use by agencies of the Department of Defense.

1. Scope*

1.1 This practice describes a system for classifying mineral and organo-mineral soils for engineering purposes based on laboratory determination of particle-size characteristics, liquid limit, and plasticity index and shall be used when precise classification is required.

NOTE 1—Use of this standard will result in a single classification group symbol and group name except when a soil contains 5 to 12 % fines or when the plot of the liquid limit and plasticity index values falls into the crosshatched area of the plasticity chart. In these two cases, a dual symbol is used, for example, GP-GM, CL-ML. When the laboratory test results indicate that the soil is close to another soil classification group, the borderline condition can be indicated with two symbols separated by a slash. The first symbol should be the one based on this standard, for example, CL/CH, GM/SM, SC/CL. Borderline symbols are particularly useful when the liquid limit value of clayey soils is close to 50. These soils can have expansive characteristics and the use of a borderline symbol (CL/CH, CH/CL) will alert the user of the assigned classifications of expansive potential.

1.2 The group symbol portion of this system is based on laboratory tests performed on the portion of a soil sample passing the 3-in. (75-mm) sieve (see Specification E 11).

1.3 As a classification system, this standard is limited to naturally occurring soils.

NOTE 2—The group names and symbols used in this test method may be used as a descriptive system applied to such materials as shale, claystone, shells, crushed rock, etc. See Appendix X2.

1.4 This standard is for qualitative application only.

NOTE 3—When quantitative information is required for detailed designs of important structures, this test method must be supplemented by laboratory tests or other quantitative data to determine performance characteristics under expected field conditions.

1.5 This standard is the ASTM version of the Unified Soil Classification System. The basis for the classification scheme is the Airfield Classification System developed by A. Casagrande in the early 1940's.² It became known as the Unified

Soil Classification System when several U.S. Government Agencies adopted a modified version of the Airfield System in 1952.

1.6 This standard does not purport to address all of the safety concerns, if any, associated with its use. It is the responsibility of the user of this standard to establish appropriate safety and health practices and determine the applicability of regulatory limitations prior to use.

1.7 This practice offers a set of instructions for performing one or more specific operations. This document cannot replace education or experience and should not be used in conjunction with professional judgment. Not all aspects of this practice may be applicable in all circumstances. This ASTM standard is not intended to represent or replace the standard of care by which the adequacy of a given professional service must be judged, nor should this document be applied without consideration of a project's many unique aspects. The word "Standard" in the title of this document means only that the document has been approved through the ASTM consensus process.

2. Referenced Documents

2.1 ASTM Standards:

- C 117 Test Method for Materials Finer Than 75- μ m (No. 200) Sieve in Mineral Aggregates by Washing³
- C 136 Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates³
- C 702 Practice for Reducing Field Samples of Aggregate to Testing Size³
- D 420 Guide to Site Characterization for Engineering, Design and Construction Purposes
- D 421 Practice for Dry Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants⁴
- D 422 Test Method for Particle-Size Analysis of Soils⁴
- D 653 Terminology Relating to Soil, Rock, and Contained Fluids⁴
- D 1140 Test Method for Amount of Material in Soils Finer than the No. 200 (75- μ m) Sieve⁴

¹ This standard is under the jurisdiction of ASTM Committee D-18 on Soil and Rock and is the direct responsibility of Subcommittee D18.07 on Identification and Classification of Soils.

Current edition approved Aug. 10, 1998. Published January 1999. Originally published as D 2487 – 66 T. Last previous edition D 2487 – 93.

² Casagrande, A., "Classification and Identification of Soils," *Transactions*,

ASCE, 1948, p. 901.

³ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.02.

⁴ *Annual Book of ASTM Standards*, Vol 04.08.

* A Summary of Changes section appears at the end of this standard.

D 2487

- D 2216 Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock⁴
- D 2217 Practice for Wet Preparation of Soil Samples for Particle-Size Analysis and Determination of Soil Constants⁴
- D 2488 Practice for Description and Identification of Soils (Visual-Manual Procedure)⁴
- D 4083 Practice for Description of Frozen Soils (Visual-Manual Procedure)⁴
- D 4318 Test Method for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils⁴
- D 4427 Classification of Peat Samples by Laboratory Testing⁴
- E 11 Specification for Wire-Cloth Sieves for Testing Purposes⁵

3. Terminology

3.1 **Definitions**—Except as listed below, all definitions are in accordance with Terminology D 653.

NOTE 4—For particles retained on a 3-in. (75-mm) U.S. standard sieve, the following definitions are suggested:

Cobbles—particles of rock that will pass a 12-in. (300-mm) square opening and be retained on a 3-in. (75-mm) U.S. standard sieve, and

Boulders—particles of rock that will not pass a 12-in. (300-mm) square opening.

3.1.1 **gravel**—particles of rock that will pass a 3-in. (75-mm) sieve and be retained on a No. 4 (4.75-mm) U.S. standard sieve with the following subdivisions:

Coarse—passes 3-in. (75-mm) sieve and retained on ¾-in. (19-mm) sieve, and

Fine—passes ¾-in. (19-mm) sieve and retained on No. 4 (4.75-mm) sieve.

3.1.2 **sand**—particles of rock that will pass a No. 4 (4.75-mm) sieve and be retained on a No. 200 (75-μm) U.S. standard sieve with the following subdivisions:

Coarse—passes No. 4 (4.75-mm) sieve and retained on No. 10 (2.00-mm) sieve,

Medium—passes No. 10 (2.00-mm) sieve and retained on No. 40 (425-μm) sieve, and

Fine—passes No. 40 (425-μm) sieve and retained on No. 200 (75-μm) sieve.

3.1.3 **clay**—soil passing a No. 200 (75-μm) U.S. standard sieve that can be made to exhibit plasticity (putty-like properties) within a range of water contents and that exhibits considerable strength when air dry. For classification, a clay is a fine-grained soil, or the fine-grained portion of a soil, with a plasticity index equal to or greater than 4, and the plot of plasticity index versus liquid limit falls on or above the “A” line.

3.1.4 **silt**—soil passing a No. 200 (75-μm) U.S. standard sieve that is nonplastic or very slightly plastic and that exhibits little or no strength when air dry. For classification, a silt is a fine-grained soil, or the fine-grained portion of a soil, with a plasticity index less than 4 or if the plot of plasticity index versus liquid limit falls below the “A” line.

3.1.5 **organic clay**—a clay with sufficient organic content to influence the soil properties. For classification, an organic clay

is a soil that would be classified as a clay except that its liquid limit value after oven drying is less than 75 % of its liquid limit value before oven drying.

3.1.6 **organic silt**—a silt with sufficient organic content to influence the soil properties. For classification, an organic silt is a soil that would be classified as a silt except that its liquid limit value after oven drying is less than 75 % of its liquid limit value before oven drying.

3.1.7 **peat**—a soil composed of vegetable tissue in various stages of decomposition usually with an organic odor, a dark-brown to black color, a spongy consistency, and a texture ranging from fibrous to amorphous.

3.2 **Descriptions of Terms Specific to This Standard:**

3.2.1 **coefficient of curvature**, C_c —the ratio $(D_{30})^2 / (D_{10} \times D_{60})$, where D_{60} , D_{30} , and D_{10} are the particle sizes corresponding to 60, 30, and 10 % finer on the cumulative particle-size distribution curve, respectively.

3.2.2 **coefficient of uniformity**, C_u —the ratio D_{60}/D_{10} , where D_{60} and D_{10} are the particle diameters corresponding to 60 and 10 % finer on the cumulative particle-size distribution curve, respectively.

4. Summary

4.1 As illustrated in Table 1, this classification system identifies three major soil divisions: coarse-grained soils, fine-grained soils, and highly organic soils. These three divisions are further subdivided into a total of 15 basic soil groups.

4.2 Based on the results of visual observations and prescribed laboratory tests, a soil is catalogued according to the basic soil groups, assigned a group symbol(s) and name, and thereby classified. The flow charts, Fig. 1 for fine-grained soils, and Fig. 2 for coarse-grained soils, can be used to assign the appropriate group symbol(s) and name.

5. Significance and Use

5.1 This standard classifies soils from any geographic location into categories representing the results of prescribed laboratory tests to determine the particle-size characteristics, the liquid limit, and the plasticity index.

5.2 The assigning of a group name and symbol(s) along with the descriptive information required in Practice D 2488 can be used to describe a soil to aid in the evaluation of its significant properties for engineering use.

5.3 The various groupings of this classification system have been devised to correlate in a general way with the engineering behavior of soils. This standard provides a useful first step in any field or laboratory investigation for geotechnical engineering purposes.

5.4 This standard may also be used as an aid in training personnel in the use of Practice D 2488.

5.5 This standard may be used in combination with Practice D 4083 when working with frozen soils.

6. Apparatus

6.1 In addition to the apparatus that may be required for obtaining and preparing the samples and conducting the prescribed laboratory tests, a plasticity chart, similar to Fig. 3, and a cumulative particle-size distribution curve, similar to Fig. 4, are required.

⁵ Annual Book of ASTM Standards, Vol 14.02.

 D 2487

TABLE 1 Soil Classification Chart

Criteria for Assigning Group Symbols and Group Names Using Laboratory Tests ^A				Soil Classification			
				Group Symbol	Group Name ^B		
COARSE-GRAINED SOILS More than 50 % retained on No. 200 sieve	Gravels More than 50 % of coarse fraction retained on No. 4 sieve	Clean Gravels	$Cu \geq 4$ and $1 \leq Cc \leq 3^E$	GW	Well-graded gravel ^F		
		Less than 5 % fines ^C	$Cu < 4$ and/or $1 > Cc > 3^E$	GP	Poorly graded gravel ^F		
	Sands 50 % or more of coarse fraction passes No. 4 sieve	Gravels with Fines	Fines classify as ML or MH	GM	Silty gravel ^{F,G,H}		
		More than 12 % fines ^C	Fines classify as CL or CH	GC	Clayey gravel ^{F,G,H}		
		Clean Sands	$Cu \geq 6$ and $1 \leq Cc \leq 3^E$	SW	Well-graded sand ^I		
		Less than 5 % fines ^D	$Cu < 6$ and/or $1 > Cc > 3^E$	SP	Poorly graded sand ^I		
		Sands with Fines	Fines classify as ML or MH	SM	Silty sand ^{G,H,I}		
		More than 12 % fines ^D	Fines classify as CL or CH	SC	Clayey sand ^{G,H,I}		
		FINE-GRAINED SOILS 50 % or more passes the No. 200 sieve	Silt and Clays Liquid limit less than 50	inorganic	$PI > 7$ and plots on or above "A" line ^J	CL	Lean clay ^{K,L,M}
					$PI < 4$ or plots below "A" line ^J	ML	Silt ^{K,L,M}
organic	Liquid limit – oven dried			< 0.75	OL	Organic clay ^{K,L,M,N}	
	Liquid limit – not dried				OL	Organic silt ^{K,L,M,O}	
Silt and Clays Liquid limit 50 or more	inorganic		PI plots on or above "A" line	CH	Fat clay ^{K,L,M}		
			PI plots below "A" line	MH	Elastic silt ^{K,L,M}		
	organic		Liquid limit – oven dried	< 0.75	OH	Organic clay ^{K,L,M,P}	
			Liquid limit – not dried		Organic silt ^{K,L,M,O}		
HIGHLY ORGANIC SOILS			Primarily organic matter, dark in color, and organic odor		PT	Peat	

^A Based on the material passing the 3-in. (75-mm) sieve.

^B If field sample contained cobbles or boulders, or both, add "with cobbles or boulders, or both" to group name.

^C Gravels with 5 to 12 % fines require dual symbols:

GW-GM well-graded gravel with silt
GW-GC well-graded gravel with clay
GP-GM poorly graded gravel with silt
GP-GC poorly graded gravel with clay

^D Sands with 5 to 12 % fines require dual symbols:

SW-SM well-graded sand with silt
SW-SC well-graded sand with clay
SP-SM poorly graded sand with silt
SP-SC poorly graded sand with clay

$$E \quad Cu = D_{60}/D_{10} \quad Cc = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}}$$

^E If soil contains ≥ 15 % sand, add "with sand" to group name.

^F If fines classify as CL-ML, use dual symbol GC-GM, or SC-SM.

^G If fines are organic, add "with organic fines" to group name.

^H If soil contains ≥ 15 % gravel, add "with gravel" to group name.

^I If Atterberg limits plot in hatched area, soil is a CL-ML, silty clay.

^J If soil contains 15 to 29 % plus No. 200, add "with sand" or "with gravel," whichever is predominant.

^K If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly sand, add "sandy" to group name.

^M If soil contains ≥ 30 % plus No. 200, predominantly gravel, add "gravelly" to group name.

^N $PI \geq 4$ and plots on or above "A" line.

^O $PI < 4$ or plots below "A" line.

^P PI plots on or above "A" line.

^Q PI plots below "A" line.

Note 5—The "U" line shown on Fig. 3 has been empirically determined to be the approximate "upper limit" for natural soils. It is a good check against erroneous data, and any test results that plot above or to the left of it should be verified.

7. Sampling

7.1 Samples shall be obtained and identified in accordance with a method or methods, recommended in Recommended Guide D 420 or by other accepted procedures.

7.2 For accurate identification, the minimum amount of test sample required for this test method will depend on which of the laboratory tests need to be performed. Where only the particle-size analysis of the sample is required, specimens having the following minimum dry weights are required:

Maximum Particle Size, Sieve Opening	Minimum Specimen Size, Dry Weight
4.75 mm (No. 4)	100 g (0.25 lb)
9.5 mm (3/8 in.)	200 g (0.5 lb)
19.0 mm (3/4 in.)	1.0 kg (2.2 lb)
38.1 mm (1 1/2 in.)	8.0 kg (18 lb)
75.0 mm (3 in.)	60.0 kg (132 lb)

Whenever possible, the field samples should have weights two

to four times larger than shown.

7.3 When the liquid and plastic limit tests must also be performed, additional material will be required sufficient to provide 150 g to 200 g of soil finer than the No. 40 (425- μ m) sieve.

7.4 If the field sample or test specimen is smaller than the minimum recommended amount, the report shall include an appropriate remark.

8. Classification of Peat

8.1 A sample composed primarily of vegetable tissue in various stages of decomposition and has a fibrous to amorphous texture, a dark-brown to black color, and an organic odor should be designated as a highly organic soil and shall be classified as peat, PT, and not subjected to the classification procedures described hereafter.

8.2 If desired, classification of type of peat can be performed in accordance with Classification D 4427.

9. Preparation for Classification

9.1 Before a soil can be classified according to this standard, generally the particle-size distribution of the minus 3-in.

D 2487

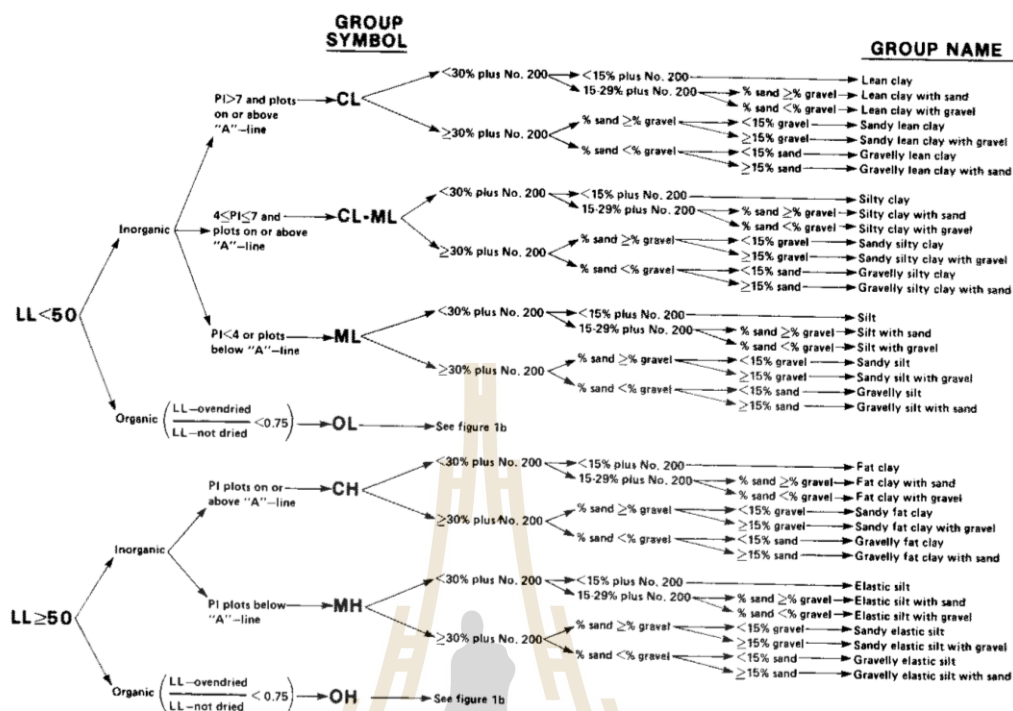


FIG. 1a Flow Chart for Classifying Fine-Grained Soil (50 % or More Passes No. 200 Sieve)

(75-mm) material and the plasticity characteristics of the minus No. 40 (425- μ m) sieve material must be determined. See 9.8 for the specific required tests.

9.2 The preparation of the soil specimen(s) and the testing for particle-size distribution and liquid limit and plasticity index shall be in accordance with accepted standard procedures. Two procedures for preparation of the soil specimens for testing for soil classification purposes are given in Appendixes X3 and X4. Appendix X3 describes the wet preparation method and is the preferred method for cohesive soils that have never dried out and for organic soils.

9.3 When reporting soil classifications determined by this standard, the preparation and test procedures used shall be reported or referenced.

9.4 Although the test procedure used in determining the particle-size distribution or other considerations may require a hydrometer analysis of the material, a hydrometer analysis is not necessary for soil classification.

9.5 The percentage (by dry weight) of any plus 3-in. (75-mm) material must be determined and reported as auxiliary information.

9.6 The maximum particle size shall be determined (measured or estimated) and reported as auxiliary information.

9.7 When the cumulative particle-size distribution is required, a set of sieves shall be used which include the following sizes (with the largest size commensurate with the

maximum particle size) with other sieve sizes as needed or required to define the particle-size distribution:

- 3-in. (75-mm)
- 3/4-in. (19.0-mm)
- No. 4 (4.75-mm)
- No. 10 (2.00-mm)
- No. 40 (425- μ m)
- No. 200 (75- μ m)

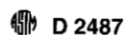
9.8 The tests required to be performed in preparation for classification are as follows:

9.8.1 For soils estimated to contain less than 5 % fines, a plot of the cumulative particle-size distribution curve of the fraction coarser than the No. 200 (75- μ m) sieve is required. A semi-log plot of percent passing versus particle-size or sieve size/sieve number is plotted as shown in Fig. 4.

9.8.2 For soils estimated to contain 5 to 15 % fines, a cumulative particle-size distribution curve, as described in 9.8.1, is required, and the liquid limit and plasticity index are required.

9.8.2.1 If sufficient material is not available to determine the liquid limit and plasticity index, the fines should be estimated to be either silty or clayey using the procedures described in Practice D 2488 and so noted in the report.

9.8.3 For soils estimated to contain 15 % or more fines, a determination of the percent fines, percent sand, and percent gravel is required, and the liquid limit and plasticity index are



D 2487

GROUP SYMBOL

GROUP NAME

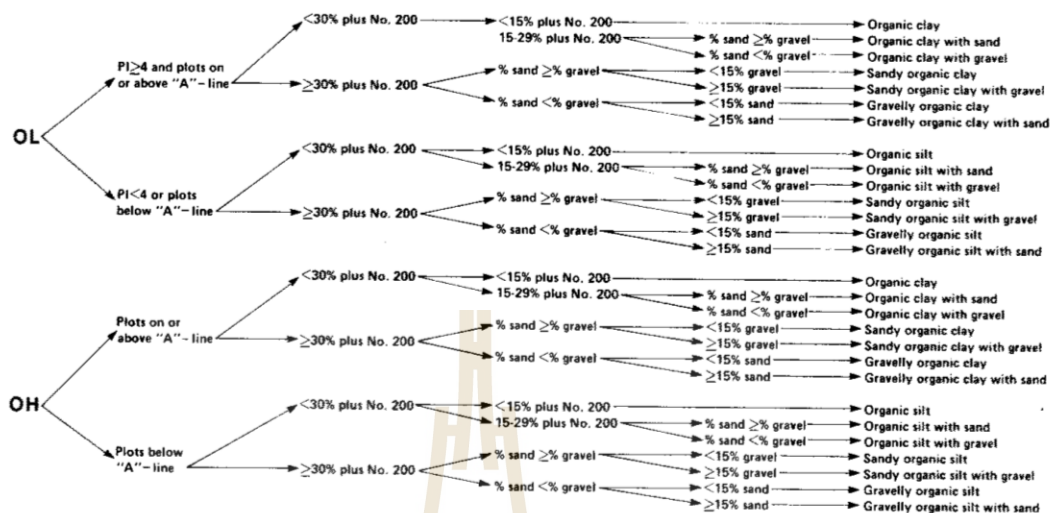


FIG. 1b Flow Chart for Classifying Organic Fine-Grained Soil (50 % or More Passes No. 200 Sieve)

required. For soils estimated to contain 90 % fines or more, the percent fines, percent sand, and percent gravel may be estimated using the procedures described in Practice D 2488 and so noted in the report.

10. Preliminary Classification Procedure

10.1 Class the soil as fine-grained if 50 % or more by dry weight of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve and follow Section 11.

10.2 Class the soil as coarse-grained if more than 50 % by dry weight of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve and follow Section 12.

11. Procedure for Classification of Fine-Grained Soils

(50 % or more by dry weight passing the No. 200 (75- μ m) sieve)

11.1 The soil is an inorganic clay if the position of the plasticity index versus liquid limit plot, Fig. 3, falls on or above the "A" line, the plasticity index is greater than 4, and the presence of organic matter does not influence the liquid limit as determined in 11.3.2.

NOTE 6—The plasticity index and liquid limit are determined on the minus No. 40 (425 μ m) sieve material.

11.1.1 Classify the soil as a *lean clay*, CL, if the liquid limit is less than 50. See area identified as CL on Fig. 3.

11.1.2 Classify the soil as a *fat clay*, CH, if the liquid limit is 50 or greater. See area identified as CH on Fig. 3.

NOTE 7—In cases where the liquid limit exceeds 110 or the plasticity index exceeds 60, the plasticity chart may be expanded by maintaining the same scale on both axes and extending the "A" line at the indicated slope.

11.1.3 Classify the soil as a *silty clay*, CL-ML, if the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls on

or above the "A" line and the plasticity index is in the range of 4 to 7. See area identified as CL-ML on Fig. 3.

11.2 The soil is an inorganic silt if the position of the plasticity index versus liquid limit plot, Fig. 3, falls below the "A" line or the plasticity index is less than 4, and presence of organic matter does not influence the liquid limit as determined in 11.3.2.

11.2.1 Classify the soil as a *silt*, ML, if the liquid limit is less than 50. See area identified as ML on Fig. 3.

11.2.2 Classify the soil as an *elastic silt*, MH, if the liquid limit is 50 or greater. See area identified as MH on Fig. 3.

11.3 The soil is an organic silt or clay if organic matter is present in sufficient amounts to influence the liquid limit as determined in 11.3.2.

11.3.1 If the soil has a dark color and an organic odor when moist and warm, a second liquid limit test shall be performed on a test specimen which has been oven dried at $110 \pm 5^\circ\text{C}$ to a constant weight, typically over night.

11.3.2 The soil is an organic silt or organic clay if the liquid limit after oven drying is less than 75 % of the liquid limit of the original specimen determined before oven drying (see Procedure B of Practice D 2217).

11.3.3 Classify the soil as an *organic silt* or *organic clay*, OL, if the liquid limit (not oven dried) is less than 50 %. Classify the soil as an *organic silt*, OL, if the plasticity index is less than 4, or the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls below the "A" line. Classify the soil as an *organic clay*, OL, if the plasticity index is 4 or greater and the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls on or above the "A" line. See area identified as OL (or CL-ML) on Fig. 3.

11.3.4 Classify the soil as an *organic clay* or *organic silt*,

D 2487

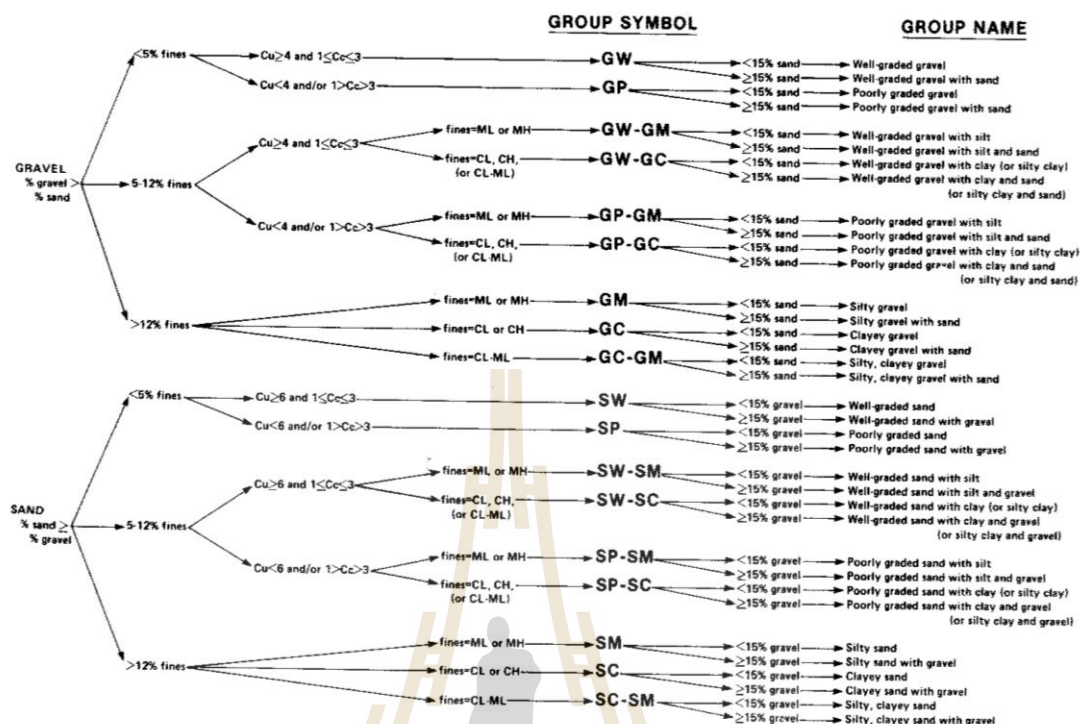


FIG. 2 Flow Chart for Classifying Coarse-Grained Soils (More Than 50 % Retained on No. 200 Sieve)

OH, if the liquid limit (not oven dried) is 50 or greater. Classify the soil as an *organic silt*, OH, if the position of the plasticity index versus liquid limit plot falls below the "A" line. Classify the soil as an *organic clay*, OH, if the position of the plasticity index versus liquid-limit plot falls on or above the "A" line. See area identified as OH on Fig. 3.

11.4 If less than 30 % but 15 % or more of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve, the words "with sand" or "with gravel" (whichever is predominant) shall be added to the group name. For example, lean clay with sand, CL; silt with gravel, ML. If the percent of sand is equal to the percent of gravel, use "with sand."

11.5 If 30 % or more of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve, the words "sandy" or "gravelly" shall be added to the group name. Add the word "sandy" if 30 % or more of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve and the coarse-grained portion is predominantly sand. Add the word "gravelly" if 30 % or more of the test specimen is retained on the No. 200 (75- μ m) sieve and the coarse-grained portion is predominantly gravel. For example, sandy lean clay, CL; gravelly fat clay, CH; sandy silt, ML. If the percent of sand is equal to the percent of gravel, use "sandy."

12. Procedure for Classification of Coarse-Grained Soils (more than 50 % retained on the No. 200 (75- μ m) sieve)

12.1 Class the soil as gravel if more than 50 % of the coarse

fraction [plus No. 200 (75- μ m) sieve] is retained on the No. 4 (4.75-mm) sieve.

12.2 Class the soil as sand if 50 % or more of the coarse fraction [plus No. 200 (75- μ m) sieve] passes the No. 4 (4.75-mm) sieve.

12.3 If 12 % or less of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve, plot the cumulative particle-size distribution, Fig. 4, and compute the coefficient of uniformity, C_u , and coefficient of curvature, C_c , as given in Eqs 1 and 2.

$$C_u = D_{60}/D_{10} \quad (1)$$

$$C_c = (D_{30})^2/(D_{10} \times D_{60}) \quad (2)$$

where:

D_{10} , D_{30} , and D_{60} = the particle-size diameters corresponding to 10, 30, and 60 %, respectively, passing on the cumulative particle-size distribution curve, Fig. 4.

Note 8—It may be necessary to extrapolate the curve to obtain the D_{10} diameter.

12.3.1 If less than 5 % of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve, classify the soil as a *well-graded gravel*, GW, or *well-graded sand*, SW, if C_u is greater than or equal to 4.0 for gravel or greater than 6.0 for sand, and C_c is at least 1.0 but not more than 3.0.

12.3.2 If less than 5 % of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve, classify the soil as *poorly graded gravel*,

D 2487

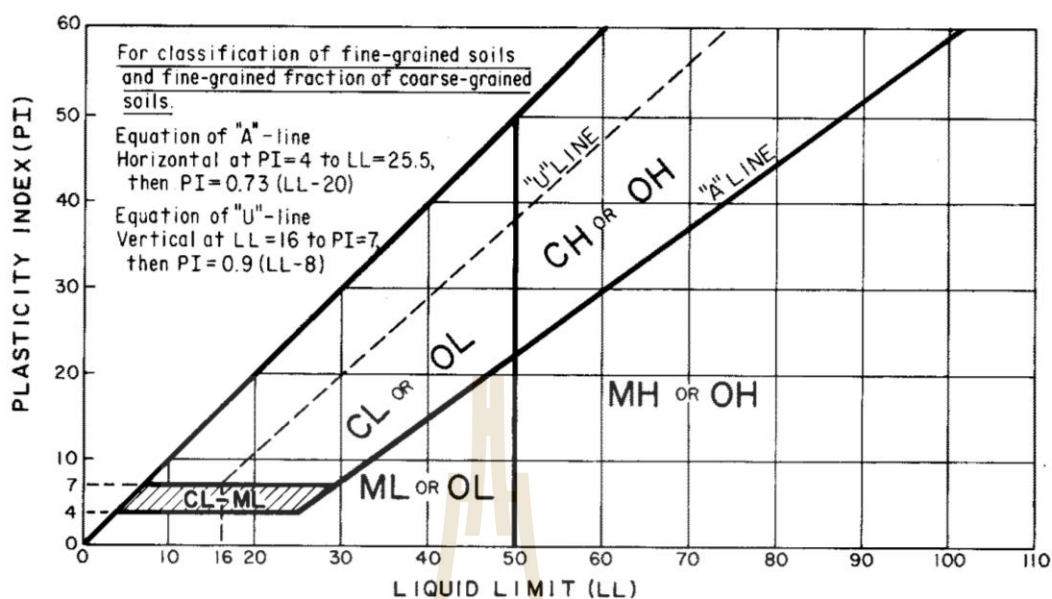


FIG. 3 Plasticity Chart

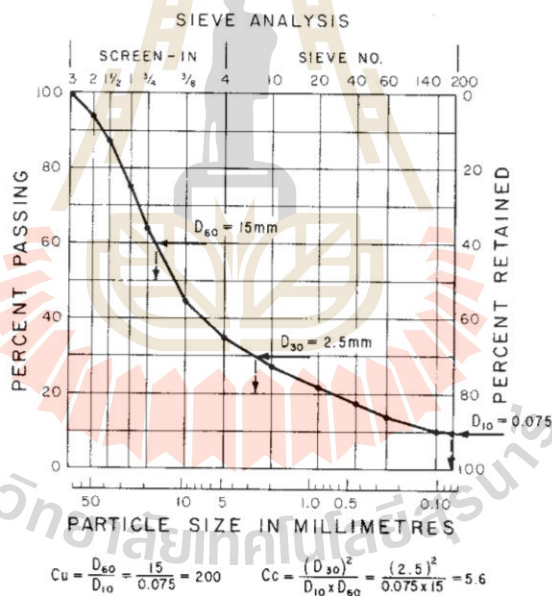


FIG. 4 Cumulative Particle-Size Plot

GP, or *poorly graded sand*, SP, if either the C_u or the C_c criteria for well-graded soils are not satisfied.

12.4 If more than 12 % of the test specimen passes the No. 200 (75- μm) sieve, the soil shall be considered a coarse-

graded soil with fines. The fines are determined to be either clayey or silty based on the plasticity index versus liquid limit plot on Fig. 3. (See 9.8.2.1 if insufficient material available for testing). (See Note 6)

D 2487

12.4.1 Classify the soil as a *clayey gravel*, GC, or *clayey sand*, SC, if the fines are clayey, that is, the position of the plasticity index versus liquid limit plot, Fig. 3, falls on or above the “A” line and the plasticity index is greater than 7.

12.4.2 Classify the soil as a *silty gravel*, GM, or *silty sand*, SM, if the fines are silty, that is, the position of the plasticity index versus liquid limit plot, Fig. 3, falls below the “A” line or the plasticity index is less than 4.

12.4.3 If the fines plot as a silty clay, CL-ML, classify the soil as a *silty, clayey gravel*, GC-GM, if it is a gravel or a *silty, clayey sand*, SC-SM, if it is a sand.

12.5 If 5 to 12 % of the test specimen passes the No. 200 (75- μ m) sieve, give the soil a dual classification using two group symbols.

12.5.1 The first group symbol shall correspond to that for a gravel or sand having less than 5 % fines (GW, GP, SW, SP), and the second symbol shall correspond to a gravel or sand having more than 12 % fines (GC, GM, SC, SM).

12.5.2 The group name shall correspond to the first group symbol plus “with clay” or “with silt” to indicate the plasticity characteristics of the fines. For example, well-graded gravel with clay, GW-GC; poorly graded sand with silt, SP-SM (See 9.8.2.1 if insufficient material available for testing).

NOTE 9—If the fines plot as a *silty clay*, CL-ML, the second group symbol should be either GC or SC. For example, a poorly graded sand with 10 % fines, a liquid limit of 20, and a plasticity index of 6 would be classified as a poorly graded sand with silty clay, SP-SC.

12.6 If the specimen is predominantly sand or gravel but contains 15 % or more of the other coarse-grained constituent, the words “with gravel” or “with sand” shall be added to the group name. For example, poorly graded gravel with sand, clayey sand with gravel.

12.7 If the field sample contained any cobbles or boulders or both, the words “with cobbles,” or “with cobbles and boulders” shall be added to the group name. For example, silty gravel with cobbles, GM.

13. Report

13.1 The report should include the group name, group symbol, and the results of the laboratory tests. The particle-size distribution shall be given in terms of percent of gravel, sand, and fines. The plot of the cumulative particle-size distribution curve shall be reported if used in classifying the soil. Report appropriate descriptive information according to the procedures in Practice D 2488. A local or commercial name or geologic interpretation for the material may be added at the end of the descriptive information if identified as such. The test procedures used shall be referenced.

NOTE 10—Example: *Clayey Gravel with Sand and Cobbles* (GC)—46 % fine to coarse, hard, subrounded gravel; 30 % fine to coarse, hard, subrounded sand; 24 % clayey fines, LL = 38, PI = 19; weak reaction with HCl; original field sample had 4 % hard, subrounded cobbles; maximum dimension 150 mm.

In-Place Conditions—firm, homogeneous, dry, brown,
Geologic Interpretation—alluvial fan.

NOTE 11—Other examples of soil descriptions are given in Appendix X1.

14. Precision and Bias

14.1 Criteria for acceptability depends on the precision and bias of Test Methods D 422, D 1140 and D 4318.

15. Keywords

15.1 Atterberg limits; classification; clay; gradation; gravel; laboratory classification; organic soils; sand; silt; soil classification; soil tests

SUMMARY OF CHANGES

- (1) Replacement of partial diameter by partial size.
- (2) Change in Section 9.8.1 to indicate type of plot.
- (3) Correction on Cu in 12.3.1 and 12.3.2 to be compatible with Table 1, Soil Classification Chart.

APPENDIXES

(Nonmandatory Information)

X1. EXAMPLES OF DESCRIPTIONS USING SOIL CLASSIFICATION

X1.1 The following examples show how the information required in 13.1 can be reported. The appropriate descriptive information from Practice D 2488 is included for illustrative purposes. The additional descriptive terms that would accompany the soil classification should be based on the intended use of the classification and the individual circumstances.

X1.1.1 *Well-Graded Gravel with Sand (GW)*—73 % fine to coarse, hard, subangular gravel; 23 % fine to coarse, hard, subangular sand; 4 % fines; Cc = 2.7, Cu = 12.4.

X1.1.2 *Silty Sand with Gravel (SM)*—61 % predominantly fine sand; 23 % silty fines, LL = 33, PI = 6; 16 % fine, hard,

subrounded gravel; no reaction with HCl; (field sample smaller than recommended). *In-Place Conditions*—Firm, stratified and contains lenses of silt 1 to 2 in. thick, moist, brown to gray; in-place density = 106 lb/ft³ and in-place moisture = 9 %.

X1.1.3 *Organic Clay (OL)*—100 % fines, LL (not dried) = 32, LL (oven dried) = 21, PI (not dried) = 10; wet, dark brown, organic odor, weak reaction with HCl.

X1.1.4 *Silty Sand with Organic Fines (SM)*—74 % fine to coarse, hard, subangular reddish sand; 26 % organic and silty dark-brown fines, LL (not dried) = 37, LL (oven dried) = 26, PI (not dried) = 6, wet, weak reaction with HCl.

 D 2487

X1.1.5 Poorly Graded Gravel with Silt, Sand, Cobbles and Boulders (GP-GM)—78 % fine to coarse, hard, subrounded to subangular gravel; 16 % fine to coarse, hard, subrounded to subangular sand; 6 % silty (estimated) fines; moist, brown; no

reaction with HCl; original field sample had 7 % hard, subrounded cobbles and 2 % hard, subrounded boulders with a maximum dimension of 18 in.

X2. USING SOIL CLASSIFICATION AS A DESCRIPTIVE SYSTEM FOR SHALE, CLAYSTONE, SHELLS, SLAG, CRUSHED ROCK, ETC.

X2.1 The group names and symbols used in this standard may be used as a descriptive system applied to materials that exist in situ as shale, claystone, sandstone, siltstone, mudstone, etc., but convert to soils after field or laboratory processing (crushing, slaking, etc.).

X2.2 Materials such as shells, crushed rock, slag, etc., should be identified as such. However, the procedures used in this standard for describing the particle size and plasticity characteristics may be used in the description of the material. If desired, a classification in accordance with this standard may be assigned to aid in describing the material.

X2.3 If a classification is used, the group symbol(s) and group names should be placed in quotation marks or noted with some type of distinguishing symbol. See examples.

X2.4 Examples of how soil classifications could be incorporated into a description system for materials that are not naturally occurring soils are as follows:

X2.4.1 Shale Chunks—Retrieved as 2 to 4-in. pieces of

shale from power auger hole, dry, brown, no reaction with HCl. After laboratory processing by slaking in water for 24 h, material classified as “Sandy Lean Clay (CL)”—61 % clayey fines, LL = 37, PI = 16; 33 % fine to medium sand; 6 % gravel-size pieces of shale.

X2.4.2 Crushed Sandstone—Product of commercial crushing operation; “Poorly Graded Sand with Silt (SP-SM)”—91 % fine to medium sand; 9 % silty (estimated) fines; dry, reddish-brown, strong reaction with HCl.

X2.4.3 Broken Shells—62 % gravel-size broken shells; 31 % sand and sand-size shell pieces; 7 % fines; would be classified as “Poorly Graded Gravel with Sand (GP)”.

X2.4.4 Crushed Rock—Processed gravel and cobbles from Pit No. 7; “Poorly Graded Gravel (GP)”—89 % fine, hard, angular gravel-size particles; 11 % coarse, hard, angular sand-size particles, dry, tan; no reaction with HCl; Cc = 2.4, Cu = 0.9.

X3. PREPARATION AND TESTING FOR CLASSIFICATION PURPOSES BY THE WET METHOD

X3.1 This appendix describes the steps in preparing a soil sample for testing for purposes of soil classification using a wet-preparation procedure.

X3.2 Samples prepared in accordance with this procedure should contain as much of their natural water content as possible and every effort should be made during obtaining, preparing, and transporting the samples to maintain the natural moisture.

X3.3 The procedures to be followed in this standard assume that the field sample contains fines, sand, gravel, and plus 3-in. (75-mm) particles and the cumulative particle-size distribution plus the liquid limit and plasticity index values are required (see 9.8). Some of the following steps may be omitted when they are not applicable to the soil being tested.

X3.4 If the soil contains plus No. 200 (75- μ m) particles that would degrade during dry sieving, use a test procedure for determining the particle-size characteristics that prevents this degradation.

X3.5 Since this classification system is limited to the portion of a sample passing the 3-in. (75-mm) sieve, the plus 3-in. (75-mm) material shall be removed prior to the determination of the particle-size characteristics and the liquid limit and plasticity index.

X3.6 The portion of the field sample finer than the 3-in. (75-mm) sieve shall be obtained as follows:

X3.6.1 Separate the field sample into two fractions on a

3-in. (75-mm) sieve, being careful to maintain the natural water content in the minus 3-in. (75-mm) fraction. Any particles adhering to the plus 3-in. (75-mm) particles shall be brushed or wiped off and placed in the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve.

X3.6.2 Determine the air-dry or oven-dry weight of the fraction retained on the 3-in. (75-mm) sieve. Determine the total (wet) weight of the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve.

X3.6.3 Thoroughly mix the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve. Determine the water content, in accordance with Test Method D 2216, of a representative specimen with a minimum dry weight as required in 7.2. Save the water-content specimen for determination of the particle-size analysis in accordance with X3.8.

X3.6.4 Compute the dry weight of the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve based on the water content and total (wet) weight. Compute the total dry weight of the sample and calculate the percentage of material retained on the 3-in. (75-mm) sieve.

X3.7 Determine the liquid limit and plasticity index as follows:

X3.7.1 If the soil disaggregates readily, mix on a clean, hard surface and select a representative sample by quartering in accordance with Practice C 702.

X3.7.1.1 If the soil contains coarse-grained particles coated with and bound together by tough clayey material, take

 D 2487

extreme care in obtaining a representative portion of the No. 40 (425- μ m) fraction. Typically, a larger portion than normal has to be selected, such as the minimum weights required in 7.2.

X3.7.1.2 To obtain a representative specimen of a basically cohesive soil, it may be advantageous to pass the soil through a 3/4-in. (19-mm) sieve or other convenient size so the material can be more easily mixed and then quartered or split to obtain the representative specimen.

X3.7.2 Process the representative specimen in accordance with Procedure B of Practice D 2217.

X3.7.3 Perform the liquid-limit test in accordance with Test Method D 4318, except the soil shall not be air dried prior to the test.

X3.7.4 Perform the plastic-limit test in accordance with Test Method D 4318, except the soil shall not be air dried prior to the test, and calculate the plasticity index.

X3.8 Determine the particle-size distribution as follows:

X3.8.1 If the water content of the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve was required (X3.6.3), use the water-content specimen for determining the particle-size distribution. Otherwise, select a representative specimen in accordance with Practice C 702 with a minimum dry weight as required in 7.2.

X3.8.2 If the cumulative particle-size distribution including a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Test Method D 422. See 9.7 for the set of required sieves.

X3.8.3 If the cumulative particle-size distribution without a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Method C 136. See 9.7 for the set of required sieves. The specimen should be soaked until all clayey aggregations have softened and then washed in accordance with Test Method C 117 prior to performing the particle-size distribution.

X3.8.4 If the cumulative particle-size distribution is not required, determine the percent fines, percent sand, and percent gravel in the specimen in accordance with Test Method C 117, being sure to soak the specimen long enough to soften all clayey aggregations, followed by Method C 136 using a nest of sieves which shall include a No. 4 (4.75-mm) sieve and a No. 200 (75- μ m) sieve.

X3.8.5 Calculate the percent fines, percent sand, and percent gravel in the minus 3-in. (75-mm) fraction for classification purposes.

X4. AIR-DRIED METHOD OF PREPARATION OF SOILS FOR TESTING FOR CLASSIFICATION PURPOSES

X4.1 This appendix describes the steps in preparing a soil sample for testing for purposes of soil classification when air-drying the soil before testing is specified or desired or when the natural moisture content is near that of an air-dried state.

X4.2 If the soil contains organic matter or mineral colloids that are irreversibly affected by air drying, the wet-preparation method as described in Appendix X3 should be used.

X4.3 Since this classification system is limited to the portion of a sample passing the 3-in. (75-mm) sieve, the plus 3-in. (75-mm) material shall be removed prior to the determination of the particle-size characteristics and the liquid limit and plasticity index.

X4.4 The portion of the field sample finer than the 3-in. (75-mm) sieve shall be obtained as follows:

X4.4.1 Air dry and weigh the field sample.

X4.4.2 Separate the field sample into two fractions on a 3-in. (75-mm) sieve.

X4.4.3 Weigh the two fractions and compute the percentage of the plus 3-in. (75-mm) material in the field sample.

X4.5 Determine the particle-size distribution and liquid

limit and plasticity index as follows (see 9.8 for when these tests are required):

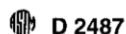
X4.5.1 Thoroughly mix the fraction passing the 3-in. (75-mm) sieve.

X4.5.2 If the cumulative particle-size distribution including a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Test Method D 422. See 9.7 for the set of sieves that is required.

X4.5.3 If the cumulative particle-size distribution without a hydrometer analysis is required, determine the particle-size distribution in accordance with Test Method D 1140 followed by Method C 136. See 9.7 for the set of sieves that is required.

X4.5.4 If the cumulative particle-size distribution is not required, determine the percent fines, percent sand, and percent gravel in the specimen in accordance with Test Method D 1140 followed by Method C 136 using a nest of sieves which shall include a No. 4 (4.75-mm) sieve and a No. 200 (75- μ m) sieve.

X4.5.5 If required, determine the liquid limit and the plasticity index of the test specimen in accordance with Test Method D 4318.



D 2487

X5. ABBREVIATED SOIL CLASSIFICATION SYMBOLS

X5.1 In some cases, because of lack of space, an abbreviated system may be useful to indicate the soil classification symbol and name. Examples of such cases would be graphical logs, databases, tables, etc.

X5.2 This abbreviated system is not a substitute for the full name and descriptive information but can be used in supplementary presentations when the complete description is referenced.

X5.3 The abbreviated system should consist of the soil classification symbol based on this standard with appropriate lower case letter prefixes and suffixes as:

Prefix	Suffix
s = sandy	s = with sand
g = gravelly	g = with gravel
	c = cobbles
	b = boulders

X5.4 The soil classification symbol is to be enclosed in parentheses. Some examples would be:

Group Symbol and Full Name	Abbreviated
CL, Sandy lean clay	s(CL)
SP-Sm, Poorly graded sand with silt and gravel	(SP-SM)g
GP, poorly graded gravel with sand, cobbles, and boulders	(GP)scb
ML, gravelly silt with sand and cobbles	g(ML)sc

The American Society for Testing and Materials takes no position respecting the validity of any patent rights asserted in connection with any item mentioned in this standard. Users of this standard are expressly advised that determination of the validity of any such patent rights, and the risk of infringement of such rights, are entirely their own responsibility.

This standard is subject to revision at any time by the responsible technical committee and must be reviewed every five years and if not revised, either reapproved or withdrawn. Your comments are invited either for revision of this standard or for additional standards and should be addressed to ASTM Headquarters. Your comments will receive careful consideration at a meeting of the responsible technical committee, which you may attend. If you feel that your comments have not received a fair hearing you should make your views known to the ASTM Committee on Standards, 100 Barr Harbor Drive, West Conshohocken, PA 19428.

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

ประวัติผู้เขียน

นายณพพร ภู่อเปร เกิดวันที่ 21 พฤศจิกายน 2516 ที่อยู่ปัจจุบัน 30 ม. 12 ต.โพธิ์สังข์ อ.คำย บางระจัน จ.สิงห์บุรี การศึกษา จบการศึกษาระดับ ปวช. จากวิทยาลัยเทคนิคสิงห์บุรี สาขาช่างก่อสร้าง จบการศึกษาระดับ ปวส. จากวิทยาลัยการอาชีพนครนายก สาขาวิชาช่างก่อสร้าง หลังจากนั้น ได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาตรี ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วศ.บ.) ในภาควิชาวิศวกรรมโยธา สาขาวิศวกรรมศาสตร์ และ ปัจจุบัน ศึกษาต่อในระดับปริญญาโท หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี ในสาขาวิชาการบริหารงานก่อสร้างและสาธารณูปโภค ถึงปัจจุบัน ด้านการทำงาน เข้าทำงานที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ตั้งแต่ 15 พฤศจิกายน พ.ศ. 2535 และได้รับการบรรจุเป็นพนักงานรัฐวิสาหกิจ เมื่อ 1 มีนาคม 2536 ปัจจุบัน (17 กรกฎาคม 2561) ดำรงตำแหน่งหัวหน้าหมวดโยธา (มยธ-ลช.) โครงการโรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนาเครื่องที่ 3-4 ปฏิบัติงานก่อสร้างและติดตั้งเครื่องกำเนิดไฟฟ้าเครื่องที่ 3 และ 4 โรงไฟฟ้าลำตะคองชลภาวัฒนา ซึ่งเป็นโรงไฟฟ้าระบบสูบกลับ ของการไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.)

