



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ

สาขา

ภาควิชา

เรื่อง การศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตก
การประปานครหลวง

The Study of Potential Improvement to Increase Water Capacity Conveyance of MWA
Western-Bank Raw Water Canal

นามผู้วิจัย นายภานุวัตร กลิ่นบุบผา

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(รองศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(อาจารย์ยรรณดี ไทยสยาม, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ณภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ _____ เดือน _____ พ.ศ. _____

สิงสิงห์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตก
การประปานครหลวง

The Study of Potential Improvement to Increase Water Capacity Conveyance
of MWA Western-Bank Raw Water Canal

โดย

นายภาณุวัตร กลิ่นบุบผา

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

พ.ศ. 2557

ภาณุวัตร กลิ่นบุบผา 2557: การศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของ
คลองประปาฝั่งตะวันตกการประปานครหลวง ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
(วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: รองศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.

133 หน้า

การศึกษาวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ
ของคลองประปาฝั่งตะวันตก การประปานครหลวง โดยใช้แบบจำลองสภาพการไหล MIKE 11
มาวิเคราะห์สภาพชลศาสตร์ของคลองประปาฝั่งตะวันตก เริ่มตั้งแต่อ่างเก็บน้ำแม่กลองถึงโรงสูบน้ำ
มหาสวัสดิ์ความยาวรวม 107 ก.ม. ทั้งนี้โดยใช้กรณีศึกษาด้วยสภาพปัจจุบันและในกรณีใน
อนาคตที่อัตราการลำเลียงน้ำจะเพิ่มขึ้น

ผลการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล MIKE 11 ในสภาพปัจจุบัน
ของคลองประปาได้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (Manning's Roughness Coefficient, n)
สำหรับคลองคอนกรีตอยู่ในช่วง 0.017 ถึง 0.018 และสำหรับคลองดินมีค่าเท่ากับ 0.026 สำหรับ
แนวทางในการเพิ่มศักยภาพการลำเลียงน้ำดิบของคลองฯ ได้ทำการทดสอบปริมาณการลำเลียงน้ำ
ในอนาคตที่อัตราการไหล 45, 60 และ 75 ลบ.ม./วินาที ตามลำดับ ด้วยเงื่อนไขประตูระบาย
น้ำของคลองลัดอ้อมสถานีสูบน้ำดิบบางเลนไม่มีการควบคุม ผลการศึกษาพบว่า การลำเลียงน้ำ
ด้วยอัตรา 45 ลบ.ม./วินาทีนั้น คลองประปา และอาคารชลศาสตร์มีศักยภาพสามารถรองรับการ
ลำเลียงน้ำได้ แต่เมื่อเพิ่มอัตราการลำเลียงน้ำเป็น 60 และ 75 ลบ.ม./วินาที พบว่าศักยภาพของ
คลองประปาไม่เพียงพอ เมื่อเพิ่มการลำเลียงน้ำเป็นอัตรา 60 ลบ.ม./วินาที จำเป็นต้องมีการ
ปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ทั้งหมด 5 แห่ง ส่วนการลำเลียงน้ำในอัตรา 75 ลบ.ม./วินาที จะต้องมีการ
ปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ทั้งหมด 20 แห่ง พร้อมทั้งเพิ่มคลองลัดอ้อมโรงสูบน้ำท่าจีนโดยใช้
ขนาดเท่าเดิมอีก 1 แห่ง จึงจะทำให้สามารถลำเลียงปริมาณน้ำดังกล่าวได้ โดยมีระดับน้ำไม่ผันตลง

ลายมือชื่อนิสิต

ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Panuwat Klinbubpha 2014: The Study of Potential Improvement to Increase Water Capacity Conveyance of MWA Western-Bank Raw Water Canal. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Associate Professor Suwatana Chittaladakorn, Ph.D. 133 pages

The objective of this study is to find the guide for enhancing conveyance capability of the western raw-water canal of the MWA. The MIKE 11 mathematical model was used for hydraulic simulation of the canal, starting from Mae-Klong dam to Mahasawat water treatment plant with the total canal length of 107 km. The simulations were tested by present and future possible conditions.

The results of calibration and validation of MIKE 11 flow simulation for the current condition showed that the values of Manning's roughness coefficient (n) of the concrete canal is in the range of 0.017 to 0.018, and of the earth canal is 0.026. As for future condition, the simulation was made for water conveyance at the rate of 45, 60, and 75 cu.m./sec, respectively, for the simulated condition that there is no gate control at the Banglen bypass channel. The simulation result for 45 cu.m./sec was found sufficient capability of the current canal condition. However, as for the 60 and 75 cu.m./sec, insufficient capabilities of the canal were found. The result showed that in order to convey the 60 cu.m./sec, it need to improve five (5) canal structures. While to convey 75 cu.m./sec, the total of twenty (20) canal structures along the channel need to be improved and also adding another Banglen bypass canal with the same original side, in order that the conveyed water in all cases will not over-flow the top bank of the canal.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ รศ.ดร. สุวัฒนา จิตตลดากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก อ.ดร.วรรณดี ไทยสยาม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม อ.ดร.สิดางค์ พิสัยหล้า ประธานกรรมการสอบ และรศ.ดร. สนิท วงษา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกที่กรุณาให้คำปรึกษา แนะนำ รวมทั้งเจ้าหน้าที่จากบัณฑิต วิทยาลัย ที่กรุณาตรวจทาน แก้ไขวิทยานิพนธ์ จนวิทยานิพนธ์เล่มนี้สำเร็จได้อย่างสมบูรณ์

ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณเจ้าหน้าที่ฝ่ายระบบส่งน้ำดิบ และฝ่ายทรัพยากรน้ำและ สิ่งแวดล้อม การประปานครหลวงที่เอื้อเฟื้อข้อมูลใช้ในการวิเคราะห์รวมถึงการให้คำแนะนำอัน เป็นประโยชน์ในการศึกษาครั้งนี้

คุณความดีอันเป็นประโยชน์ของวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบให้แก่คุณพ่อปิ่นชัย กลิ่นบุบผา และคุณแม่ชอุณา กลิ่นบุบผา ผู้ที่ให้กำเนิดและเลี้ยงดูจนเติบโต ให้สติปัญญาและ ความสามารถให้ความรักและความห่วงใย นางวิลาวัณย์ กลิ่นบุบผา ภรรยาที่ให้ความรักและ กำลังใจเสมอมา นายเจตน์ กลิ่นบุบผา น้องชายที่ให้กำลังใจและเป็นที่ปรึกษา ตลอดจนคณาจารย์ ทุกท่านที่ได้เมตตา อบรม ให้ความรู้จนถึงปัจจุบัน

ภานุวัตร กลิ่นบุบผา

กรกฎาคม 2557

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(4)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	48
อุปกรณ์	48
วิธีการ	48
ผลและวิจารณ์	58
สรุปและข้อเสนอแนะ	97
สรุป	97
ข้อเสนอแนะ	98
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	99
ภาคผนวก	101
ภาคผนวก ก	สถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553)
ภาคผนวก ข	ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา
ภาคผนวก ค	การสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ต่างๆ
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	133

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	แผนการใช้น้ำดิบของฝิ่งตะวันตกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน	6
2	ลักษณะอาคารชลศาสตร์ในคลองประปาฝิ่งตะวันตก	16
3	สรุปสถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีตรวจวัดอากาศ จ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐม	22
4	ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา	51
5	แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และการเชื่อมต่อลำน้ำของแบบจำลอง	53
6	แสดงอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ที่ใช้สอบเทียบ	59
7	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.20ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ	61
8	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.75ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ	61
9	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.95ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ	62
10	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 4.15ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ	62
11	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.25ม. x 3.25ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ	63
12	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ϕ 2.0ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ	63
13	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ϕ 2.6ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ	64
14	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ในแบบจำลอง	64
15	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องลำนน้ำ (Manning's n) ในระยะต่างๆ ของแบบจำลองสภาพการไหล	72
16	แสดงค่าความสัมพันธ์ทางสถิติในการสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหล	73

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่		หน้า
17	แสดงค่าความสัมพันธ์ทางสถิติในการตรวจสอบ ระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหล	77
18	แสดงการปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ที่ระยะทางต่างๆ ในกรณีลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที	83
19	แสดงการปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ที่ระยะทางต่างๆ ในกรณีลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที	88
ตารางผนวกที่		
ก1	สถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ณ สถานีตรวจอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี (พ.ศ. 2524-2553)	103
ก2	สถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ณ สถานีตรวจอากาศ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม (พ.ศ. 2524-2553)	106

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	แนวคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบนและตอนล่าง	5
2	รูปแบบรูปตัดคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนล่าง	8
3	รูปแบบรูปตัดคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบน	9
4	บริเวณท่อลอด (Syphon) ผ่านคลองธรรมชาติ	11
5	สะพานข้ามคลองประปา	13
6	พื้นที่ของโรงสูบน้ำดิบบางเลน	14
7	สภาพปัจจุบันของโรงสูบน้ำดิบบางเลน	15
8	แสดงแผนภูมิการอาคารชลศาสตร์ในคลองประปาฝั่งตะวันตก	18
9	แสดงการแปรเปลี่ยนสภาพภูมิอากาศ จ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐม	23
10	ทิศทางและช่วงเวลาการเกิดของลมมรสุมและพายุจรที่พัดเข้าสู่ประเทศไทย	26
11	แสดงปริมาณฝนเฉลี่ย จ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐม	27
12	แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา	31
13	แสดงระบบกลุ่มน้ำในพื้นที่ศึกษา	32
14	เส้นลาดพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด	33
15	ลักษณะการไหลผ่านท่อระบายน้ำ (Flow Through Culverts)	36
16	แสดง computational grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ	47
17	แสดงขั้นตอนและวิธีการศึกษา	49
18	แสดงโครงข่ายลำน้ำในแบบจำลอง MIKE11 HD	53
19	แสดงตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดลำน้ำจากการสำรวจ	54
20	แสดงตัวอย่างการใส่อาคารชลศาสตร์ในแบบจำลอง	55
21	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h / H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ขนาด 3.20ม. x 3.20ม	65
22	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h / H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ขนาด 3.20ม. x 3.75ม.	66
23	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h / H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ขนาด 3.20ม. x 3.95ม.	67

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
24	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ $\Delta h / H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ขนาด 3.20ม. x 4.15ม.	68
25	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ $\Delta h / H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ขนาด 3.25ม. x 3.25ม.	69
26	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ $\Delta h / r$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.0	70
27	กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Cd กับ $\Delta h / r$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.6	70
28	แสดงสถานีวัดน้ำทำที่สอบเทียบในแบบจำลอง MIKE11 HD	72
29	ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.33+978	73
30	ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.53+978	74
31	ผลสอบเทียบในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำก่อนลงท่อลอดแม่น้ำ ท่าจีน กม.70+900	74
32	ผลสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำ ด้านหน้าสถานีสูบน้ำดิบบางเลน กม.71+504	75
33	ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำด้านท้ายสถานี สูบน้ำบางเลน กม.71+636	75
34	ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.92+978	76
35	ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.106+178	76
36	ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.33+978	77
37	ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.53+978	78
38	ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำก่อนลงท่อ ลอดแม่น้ำท่าจีน กม.70+900	78
39	ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำด้านหน้า สถานีสูบน้ำดิบบางเลน กม.71+504	79

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
40	แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ สถานีวัดน้ำด้านท้ายสถานีสูบบางเลน กม.71+636	79
41	ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.92+978	80
42	ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.106+178	80
43	แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่มีการปรับปรุงอาคารท่อดูดแม่น้ำท่าจีน เพื่อเพิ่ม ศักยภาพการลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที ที่กม.70+900	84
44	รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในสภาพปัจจุบัน	85
45	รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตราการไหล 45 ลบ.ม./วินาที	86
46	แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่ปรับปรุงใหม่ เพื่อเพิ่มศักยภาพการลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ที่กม.3+500	90
47	แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่มีการเพิ่มจำนวนอาคารชลศาสตร์ใหม่ เพื่อเพิ่มศักยภาพ การลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ที่กม.70+900	91
48	แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่สร้างความสูงคันคลองเพิ่มใหม่ เพื่อเพิ่มศักยภาพการ ลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ในช่วงกม. 70+500 ถึงกม.70+900	92
49	รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตราการไหล 60 ลบ.ม./วินาที	93
50	รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตราการไหล 60 ลบ.ม./วินาที หลัง ปรับปรุงอาคารชลศาสตร์	94
51	รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตราการไหล 75 ลบ.ม./วินาที	95
52	รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตราการไหล 75 ลบ.ม./วินาที หลัง ปรับปรุงอาคารชลศาสตร์	96
ภาพผนวกที่		
ข1	แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าท่าม่วง	110
ข2	แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าท่อดูดแม่น้ำท่าจีน	110
ข3	แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าสถานีสูบบางเลนด้านเหนือ	111

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ข4 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าสถานีสูบบางเลนด้านท้ายน้ำ	111
ข5 แสดงข้อมูลอัตราการไหลของน้ำของสถานีวัดน้ำท่ามหาสวัสดิ์	112
ข6 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่ามหาสวัสดิ์	112
ข7 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีท่อลอดคลองแสงชูโต	113
ข8 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีท่อลอดคลอง2L	113
ข9 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีท่อลอดถนน กม. 18+709	114
ข10 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม.33+978	114
ข11 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีท่อลอดถนน กม. 38+03	115
ข12 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม. 53+978	115
ข13 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีท่อลอดทางหลวง 3296	116
ข14 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีท่อลอดคลองบางภาษี	116
ข15 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม.92+978	117
ข16 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม.106+178	117
ค1 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.20ม. ด้านเหนือ	119
ค2 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.20ม. ด้านท้ายน้ำ	120
ค3 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.75ม. ด้านเหนือ	121

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ค4 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.75ม. ด้านท้ายน้ำ	122
ค5 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.95ม. ด้านเหนือน้ำ	123
ค6 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่ม อาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.95ม. ด้านท้ายน้ำ	124
ค7 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่ม อาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 4.15ม. ด้านเหนือน้ำ	125
ค8 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 4.15ม. ด้านท้ายน้ำ	126
ค9 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.25ม. x 3.25ม. ด้านเหนือน้ำ	127
ค10 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.25ม. x 3.25ม. ด้านท้ายน้ำ	128
ค11 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.0 ม. ด้านเหนือน้ำ	129
ค12 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.0 ม. ด้านท้ายน้ำ	130
ค13 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่ กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.6 ม. ด้านเหนือน้ำ	131
ค14 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่ม อาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.6 ม. ด้านท้ายน้ำ	132

การศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตก การประปานครหลวง

The Study of Potential Improvement to Increase Water Capacity Conveyance of MWA Western-Bank Raw Water Canal

คำนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมาสภาพการขยายตัวของชุมชน รวมถึงการเติบโตของภาคอุตสาหกรรมในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑลเป็นไปในลักษณะก้าวกระโดด ทำให้ระบบสาธารณูปโภครวมถึงสิ่งต่างๆ ที่รองรับกับการเติบโตดังกล่าวต้องขยายตัวขึ้นตามไปด้วย รวมถึงน้ำประปาซึ่งถือเป็นความจำเป็นพื้นฐานที่สำคัญของทั้งภาคครัวเรือนและภาคอุตสาหกรรมก็ต้องการปรับตัวเพื่อรองรับกับการขยายตัวดังกล่าวด้วยเช่นกัน การประปานครหลวงได้มีการวางแผนเพื่อรองรับกับสถานการณ์ดังกล่าวโดยเริ่มจากการหาแนวทางในการเพิ่มปริมาณน้ำดิบเพื่อนำมาผลิตน้ำประปา โดยทางฝั่งตะวันออกซึ่งใช้น้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยานั้นมีข้อจำกัดด้านปริมาณน้ำและคุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้ง รวมถึงโรงงานผลิตน้ำทางฝั่งตะวันออกจะเต็มศักยภาพการผลิตในระยะเวลาอันใกล้ ซึ่งในอนาคตทางฝั่งตะวันตกจะเป็นทางออกของการขยายตัวในการผลิตน้ำ โดยมีความพร้อมและความเหมาะสมในทุกๆ ด้านไม่ว่าจะเป็นการเพิ่มกำลังการผลิตของโรงงานหรือแม้กระทั่งด้านปริมาณและคุณภาพของน้ำดิบที่อยู่ในเกณฑ์ที่ดี

ในปัจจุบันการประปานครหลวงนำน้ำจากเขื่อนแม่กลองผ่านคลองประปาฝั่งตะวันตกเพื่อมาผลิตน้ำประปาโดยเฉลี่ยในอัตรา 13-16 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที แต่ศักยภาพของคลองประปาฝั่งตะวันตกนั้นได้ถูกออกแบบให้มีความสามารถในการลำเลียงน้ำสูงสุดได้ด้วยอัตรา 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งปริมาณนี้สามารถรองรับกับการขยายตัวในอนาคตได้เพียงระดับหนึ่งเท่านั้น หากมีความต้องการใช้น้ำเพิ่มขึ้นมากกว่า 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ในด้านศักยภาพของกลุ่มน้ำแม่กลองนั้นมีความเป็นไปได้ โดยอ้างอิงจากรายงานการศึกษาศักยภาพและแนวทางการแก้ไขวิกฤติการณ์ด้านแหล่งน้ำดิบ โดยภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ซึ่งได้ทำการศึกษาสมมูลน้ำและศักยภาพของกลุ่มน้ำแม่กลอง ระบุว่ากลุ่มน้ำแม่กลองมีศักยภาพในการผันน้ำเพื่อมาผลิตน้ำประปาเพิ่มจากปริมาณสูงสุดของระบบลำเลียงน้ำ

ฝั่งตะวันตก ที่ได้ถูกออกแบบได้อีก 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที จะรวมเป็น 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที

แบบจำลอง MIKE 11 ได้รับพิจารณาใช้เพื่อศึกษาแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตก โดยแบบจำลอง MIKE11 เป็นแบบจำลองที่พัฒนาโดย Danish Hydraulic Institute ใช้ในการจำลองลักษณะการไหลของน้ำ การเคลื่อนที่ของตะกอน การศึกษาคุณภาพน้ำในแม่น้ำ และระบบชลประทาน เป็นต้น แบบจำลอง MIKE11 ได้รับการยอมรับเป็นอย่างมากทั้งในยุโรป อเมริกา และออสเตรเลีย

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาสภาพชลศาสตร์ของคลองประปาฝั่งตะวันตกในกรณีปัจจุบัน
2. เพื่อหาแนวทางเลือกในการปรับปรุงระบบเพื่อให้สามารถรองรับอัตราการลำเลียงใน
อนาคต
3. เพื่อศึกษาสภาพชลศาสตร์ของคลองประปาฝั่งตะวันตกในกรณีปรับปรุงระบบเพื่อให้
รองรับอัตราการลำเลียงในอนาคต

ขอบเขตการศึกษา

1. ศึกษาพฤติกรรมการไหลของน้ำของคลองประปาฝั่งตะวันตกในกรณีปัจจุบันจากจุด
รับน้ำท่าม่วง จังหวัดกาญจนบุรี ถึงโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์โดยใช้แบบจำลอง MIKE11 และใช้
ข้อมูลที่ได้จากการวัดภาคสนามในการสอบเทียบแบบจำลอง
2. วิเคราะห์ และหาแนวทางเลือกในการปรับปรุงระบบส่งน้ำเพื่อให้สามารถลำเลียงน้ำ
ได้ในอัตรา 45 60 และ 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พร้อมกับจำลองพฤติกรรมทางชลศาสตร์ของ
ระบบภายหลังการปรับปรุง
3. แนวทางการปรับปรุงหน้าตัดคลองประปาและอาคารชลศาสตร์ที่นำเสนอใน
การศึกษานี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขของแนวเขตคลองประปาเดิม

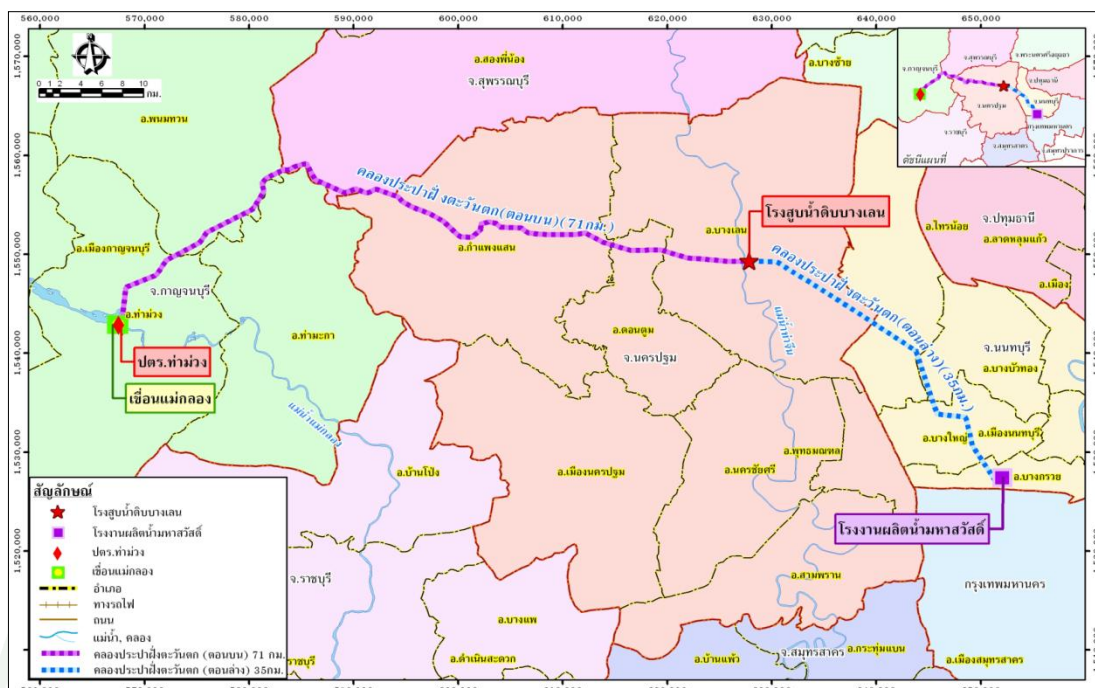
การตรวจเอกสาร

พื้นที่ศึกษา

1. ลักษณะทั่วไปของคลองประปาฝั่งตะวันตก

คลองประปาฝั่งตะวันตกรับน้ำดิบจากลุ่มน้ำแม่กลอง เพื่อส่งมายังโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ซึ่งสามารถไหลด้วยแรงโน้มถ่วงของโลกมายังโรงงานผลิตน้ำ แนวคลองประปาฝั่งตะวันตกผ่านพื้นที่ 3 จังหวัด คือ อำเภอดำรงวิทยะ จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอกำแพงแสน อำเภอดอนตูม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และอำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี โดยคลองได้ถูกออกแบบให้ลำเลียงน้ำได้ด้วยปริมาณสูงสุด 45 ลูกบาศก์เมตร/วินาที มีความยาวทั้งหมด 107 กิโลเมตร

ในอดีตการประปานครหลวงใช้น้ำดิบจากแม่น้ำท่าจีนเพื่อการผลิตน้ำที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ แต่เนื่องจากสภาพแหล่งน้ำดิบของแม่น้ำท่าจีน มีแนวโน้มว่าคุณภาพของน้ำจะเสื่อมลงเรื่อย ๆ อีกทั้งยังเป็นแม่น้ำที่กำเนิดมาจากลุ่มน้ำเดียวกันกับแม่น้ำเจ้าพระยา การประปานครหลวงจึงได้จัดหาแหล่งน้ำดิบแห่งใหม่ที่มีคุณภาพน้ำที่ดีกว่าและมีปริมาณน้ำมากกว่า เพื่อใช้ในการผลิตน้ำประปา คือ แม่น้ำแม่กลอง โดยมีจุดรับน้ำอยู่บริเวณเหนือเขื่อนแม่กลอง อำเภอดำรงวิทยะ จังหวัดกาญจนบุรี น้ำดิบจะถูกส่งผ่านคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบน (ระยะที่สอง) มีระยะทาง 71 กิโลเมตร มาบรรจบกับคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนล่าง (ระยะแรก) ที่อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม เข้าสู่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ รวมระยะทางประมาณ 107 กิโลเมตร



ภาพที่ 1 แนวคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบนและตอนล่าง

2. ระบบลำเลียงน้ำและอาคารชลศาสตร์ที่สำคัญ

คลองประปาฝั่งตะวันตก เป็นเส้นทางผันน้ำดิบด้านฝั่งตะวันตกของการประปานครหลวง โดยรับน้ำดิบจากเขื่อนแม่กลองมายังโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ได้ในอัตรา 45 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยคลองแบ่งออกเป็น 2 ตอน ได้แก่

ตอนล่าง เริ่มจากโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ อำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรี ถึงแม่น้ำท่าจีน อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม เริ่มใช้งานตั้งแต่ปี 2540

ตอนบน เริ่มจากแม่น้ำท่าจีน อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม ถึงจุดรับน้ำเขื่อนแม่กลอง อำเภotáมวัง จังหวัดกาญจนบุรี เริ่มใช้งานในปี 2545

2.1 แนวคลองประปาฝั่งตะวันตก

2.1.1 สภาพปัจจุบันของคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนล่าง (โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ถึงสถานีสูบน้ำดิบบางเลน)

คลองประปาฝั่งตะวันตกตอนล่าง มีลักษณะทั่วไปเป็นคลองดินหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูมีความกว้างของท้องคลองยาว 15.00 เมตร ลาดตลิ่งมีความชันระยะตั้งแต่ระยะราบเป็น 1 ต่อ 3 ความลึกคลอง 4.85 เมตร มีขนาดคันคลองยาว 5.00 เมตร มีถนนคันคลองผิวจราจร กว้าง 6.00 เมตร มีไหล่ทางกว้างข้างละ 1.00 เมตร พร้อมร่องระบายน้ำด้านข้างตลอดแนวทั้งสองฝั่งของคลองประปา ดังแสดงในภาพที่ 2

ตารางที่ 1 แผนการใช้น้ำดิบของฝั่งตะวันตกตั้งแต่อดีตจนถึงปัจจุบัน

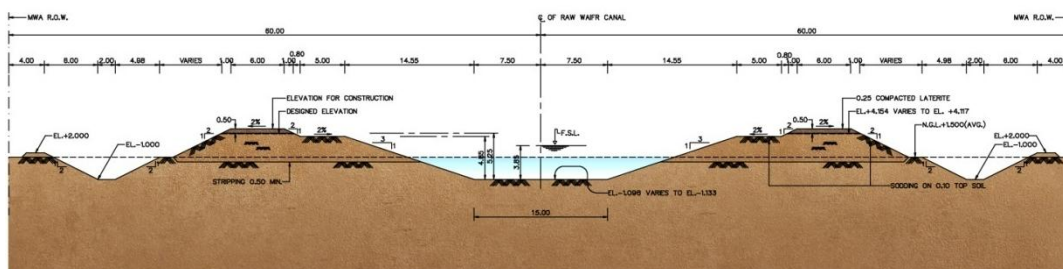
พ.ศ.	แหล่งน้ำดิบ	อัตราการส่งน้ำดิบ (ลบ.ม./วินาที)	กำลังการผลิตน้ำประปา (ลบ.ม./วัน)
2540-2542	แม่น้ำท่าจีน	5	400,000
2542-2545	แม่น้ำท่าจีน	10	800,000
2545-2549	แม่น้ำแม่กลอง	10	800,000
2549-2552	แม่น้ำแม่กลอง	15	1,200,000
2552-2558	แม่น้ำแม่กลอง	20	1,600,000
2558-2560	แม่น้ำแม่กลอง	25	2,000,000
2560-2564	แม่น้ำแม่กลอง	30	2,400,000
2564-2570	แม่น้ำแม่กลอง	35	2,800,000
ตั้งแต่ 2570 เป็นต้นไป	แม่น้ำแม่กลอง	40	3,200,000

2.1.2 สภาพปัจจุบันของคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบน (สถานีสูบน้ำดิบบางเลนถึงเขื่อนแม่กลอง อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี)

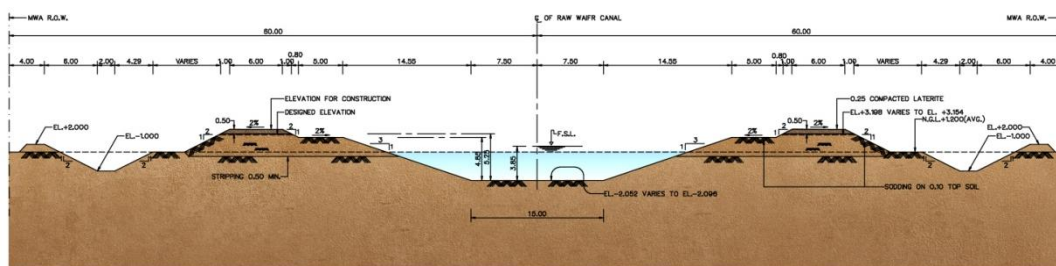
คลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบน จะมีลักษณะทั่วไปของคลองประปาเป็นคลองคาคอนกรีต มีทั้งหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูมีความกว้างของท้องคลองยาว 6.20 เมตร ลาดตลิ่งมี

ความชันระยะตั้งแต่ระยะราบเป็น 1 ต่อ 1.5 ความลึกคลอง 4.15 เมตร มีขนาดคันคลองยาว 6.00 เมตร และรูปหน้าตัดแบบ U-shape มีความกว้างของท้องคลองยาว 7.20 เมตร และมีความลึกคลอง 4.15 เมตร รวมถึงคลองดินหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมู ดังแสดงในภาพที่ 2 และภาพที่ 3

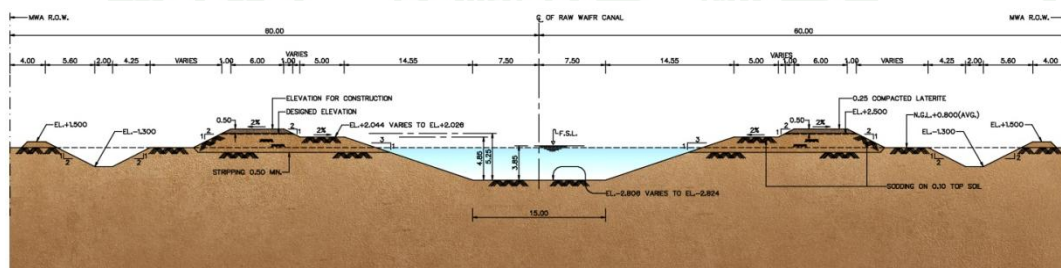




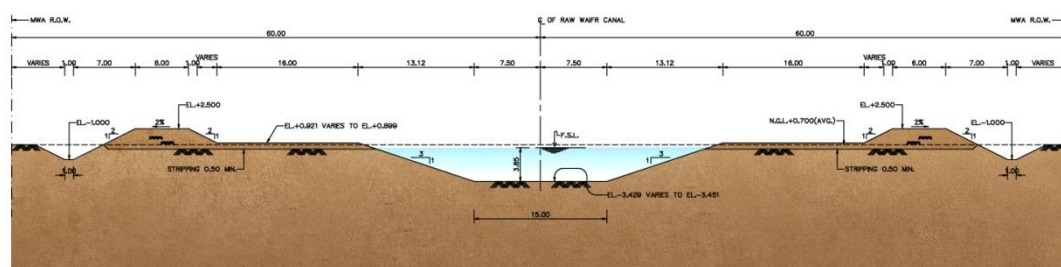
ก) แบบที่ 1 (ช่วงกม. 71+800 ถึงกม. 91+000)



ข) แบบที่ 2 (ช่วงกม. 91+000 ถึงกม. 95+000)

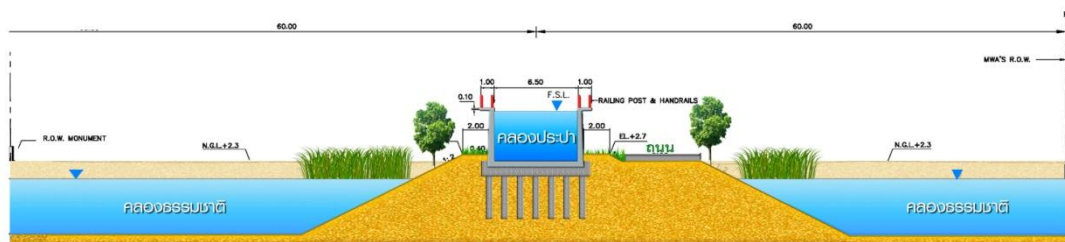


ค) แบบที่ 3 (ช่วงกม. 95+000 ถึงกม. 102+000)

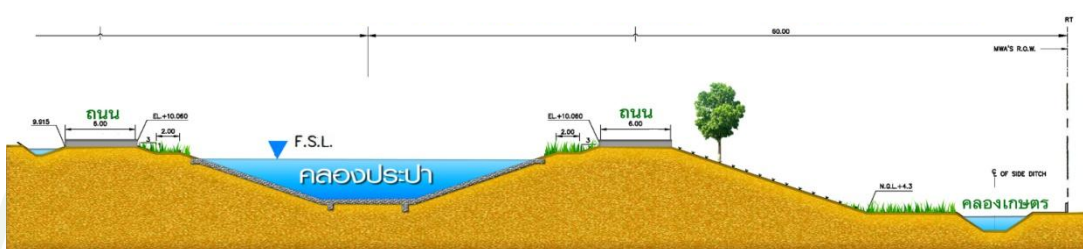


ง) แบบที่ 4 (ช่วงกม. 102+000 ถึงกม. 107+000)

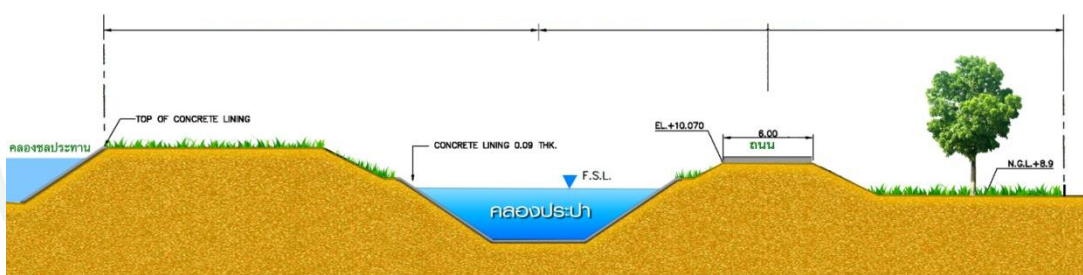
ภาพที่ 2 รูปแบบรูปตัดคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนล่าง



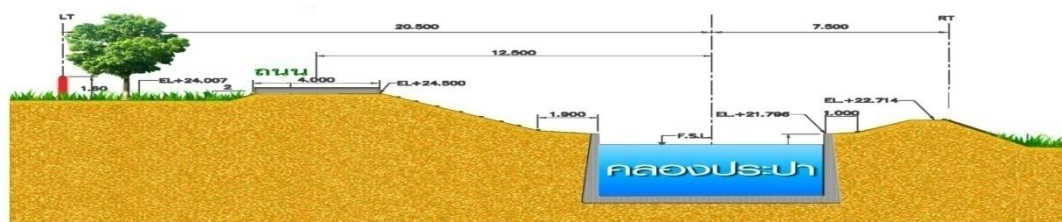
ก) แบบที่ 1 (ช่วงกม. 0+000 ถึงกม. 3+500)



ข) แบบที่ 2 (ช่วงกม. 3+500 ถึงกม. 29+000)



ค) แบบที่ 3 (ช่วงกม. 29+000 ถึงกม. 38+100)



ง) แบบที่ 4 (ช่วงกม. 38+100 ถึงกม. 70+900)

ภาพที่ 3 รูปแบบรูปตัดคลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบน

2.2 อาคารชลศาสตร์ในคลองประปาฝั่งตะวันตก

อาคารชลศาสตร์ในคลองประปาฝั่งตะวันตกเป็นโครงสร้างพิเศษนอกเหนือจากคลองประปา ซึ่งช่วยทำหน้าที่แตกต่างกันออกไป สามารถจำแนกตามประเภทได้ดังนี้

ท่ออุโมงค์ลอดแม่น้ำท่าจีน

เนื่องจากคลองส่งน้ำดิบช่วง แม่กลอง-ท่าจีน แนวคลองจำเป็นต้องตัดผ่านแม่น้ำท่าจีน เพื่อไปบรรจบกับคลองส่งน้ำดิบสายเดิมที่บริเวณหน้าสถานีสูบน้ำดิบบางเลนแต่เนื่องจากแม่น้ำท่าจีนมีความกว้าง และลึกมากรวมทั้งมีปริมาณน้ำที่มาก ดังนั้นในการออกแบบจึงพิจารณาออกแบบก่อสร้างในรูปแบบของอุโมงค์ส่งน้ำลอดแม่น้ำท่าจีน และไปบรรจบกับแนวคลองรับน้ำเดิม การก่อสร้างอุโมงค์ลอดแม่น้ำท่าจีนนี้มีความยาวของแนวอุโมงค์ประมาณ 204 เมตร มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 2,000 มม. จำนวน 5 แนว ด้วยกันก่อสร้างอยู่ที่ระดับความลึก -13.740 เมตร รทก. หรือมีความลึกต่ำจากพื้นดินเดิมประมาณ 18 เมตร การก่อสร้างอุโมงค์จะเป็นชนิด Steel Lining นั่นคือ ตัวอุโมงค์ชั้นนอกจะเป็น Concrete Segment นำมาต่อประกอปกันจากนั้นจะสอดท่อเหล็กเหนียวเข้าสู่ภายในอุโมงค์คอนกรีตและทำการ Grout คอนกรีตในช่องว่างระหว่าง Concrete Segment และท่อเหล็ก Steel Lining อีกครั้งหนึ่ง

อาคารคลองอ้อม (Bypass Canal)

ลักษณะอาคารเป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กรูปร่าง U-Shape ขนาดความกว้าง 7.20 เมตร สูง 4.00 เมตร ยาว 150 เมตร มีช่องระบายน้ำสำหรับไสบานประตูชนิดตรง (Sluice Gate) ขนาด 3.50 x 5.00 เมตร จำนวน 2 ช่อง ทำหน้าที่สำหรับส่งน้ำจากคลองตอนบนไปสู่ตอนล่าง โดยให้น้ำไหลตามแรงโน้มถ่วงของโลก (Gravity Flow) โดยไม่ต้องทำการสูบน้ำ (Pumping) ที่สถานีสูบน้ำดิบบางเลน

ท่อลอด (Syphon)

เป็นอาคารทางชลศาสตร์อีกชนิดหนึ่งที่ก่อสร้างขึ้น เพื่อใช้เป็นทางลำเลียงน้ำดิบในกรณีที่คลองส่งน้ำดิบตัดผ่านถนน หรือลำน้ำทางธรรมชาติที่ใช้เป็นเส้นทางคมนาคม การกำหนดขนาดของ Syphon จะต้องพิจารณาถึงค่าปริมาณอัตราการไหลของน้ำ และความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือ และท้ายน้ำของ Syphon เพื่อหาอัตราเร็วของน้ำที่ไหลผ่าน Syphon แล้วจึงจะสามารถกำหนดขนาด Syphon ได้



ก) ท่อลอดมะสง



ข) ท่อลอดบางใหญ่



ค) ท่อลอดคลองวาเดียว



ง) ท่อลอดคลองภาษี

ภาพที่ 4 บริเวณท่อลอด (Syphon) ผ่านคลองธรรมชาติ

ท่อลอด (Culvert)

ท่อลอดชนิดที่เป็น Culvert จะมีลักษณะเช่นเดียวกับ Syphon แต่จะมีข้อแตกต่างกันตรงที่การไหลของน้ำดิบจะเป็นการไหลชนิดการไหลในรางเปิด (Open Channel flow) การพิจารณาออกแบบจะใช้ก่อสร้างในบริเวณที่คลองส่งน้ำดิบตัดผ่านกับถนนแต่ในจุดบริเวณดังกล่าวไม่สามารถที่จะก่อสร้างสะพานได้ เนื่องจากจะก่อสร้างสะพานข้ามคลองส่งน้ำดิบระดับของสะพานที่ก่อสร้างใหม่จะมีระดับที่สูง ไม่สามารถที่จะทำจุดต่อเชื่อมกับถนนเดิมได้ หรือถ้าจะทำจุดต่อเชื่อม ทางลาดของถนนจะเกินเข้าไปในเขตพื้นที่ของเอกชนหรือที่ดินของเอกชนหรือที่ดินของประชาชนในบริเวณใกล้เคียง

ท่อลอดระบายน้ำ (Drain Culvert)

ท่อลอดระบายน้ำจะเป็นอาคารที่สร้างตัดผ่านตลอดคลองส่งน้ำดิบ เพื่อใช้เป็นทางระบายน้ำหรือเป็นจุดต่อเชื่อมลำน้ำธรรมชาติเดิมที่มีขนาดเล็ก และถูกแนวคลองส่งน้ำดิบตัดขาดออกเป็น 2 ส่วน การออกแบบท่อระบายน้ำชนิดที่ต้องตลอดคลองส่งน้ำดิบส่วนใหญ่แล้วจะพยายามบีบขนาดท่อให้เล็กเพื่อให้ความเร็วของน้ำที่ไหลผ่านมีความเร็วสูง แต่ไม่ควรเกิน 2.50 เมตร/วินาที เพื่อป้องกันมิให้ตะกอนในทางระบายน้ำหรือในลำน้ำธรรมชาติตกตะกอนทับถมภายในท่อลอด ซึ่งจะทำให้ท่อลอดอุดตันได้ง่าย

สะพาน (Highway / Roadway / Village / Walkway Bridge)

การก่อสร้างสะพานข้ามคลองส่งน้ำดิบในบริเวณที่คลองส่งน้ำดิบตัดผ่านถนน หรือทางเดินเท้าของประชาชนในพื้นที่ ทั้งนี้จะต้องพิจารณาจากระดับถนนเดิมนั้นจะต้องสูงกว่าระดับน้ำสูงสุดของคลองส่งน้ำดิบ ถ้าต่ำกว่าก็ต้องพิจารณาออกแบบเป็นท่อลอดแบบ Syphon ดังที่ได้กล่าวมาแล้ว สำหรับขนาดของสะพานที่จะก่อสร้างจะพิจารณาจากขนาดของถนนเดิมเป็นเกณฑ์ เช่น Village Bridge จะมีขนาดสะพานกว้าง 4 เมตร, Roadway Bridge จะมีขนาด 6-8 เมตร ส่วน Highway Bridge จะมีขนาดตั้งแต่ 10 เมตร ขึ้นไป เป็นต้น



ก) สะพานข้ามคลองเจริญสุข

ข) สะพานข้ามคลองบางคูรัด

ภาพที่ 5 สะพานข้ามคลองประปา

โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์

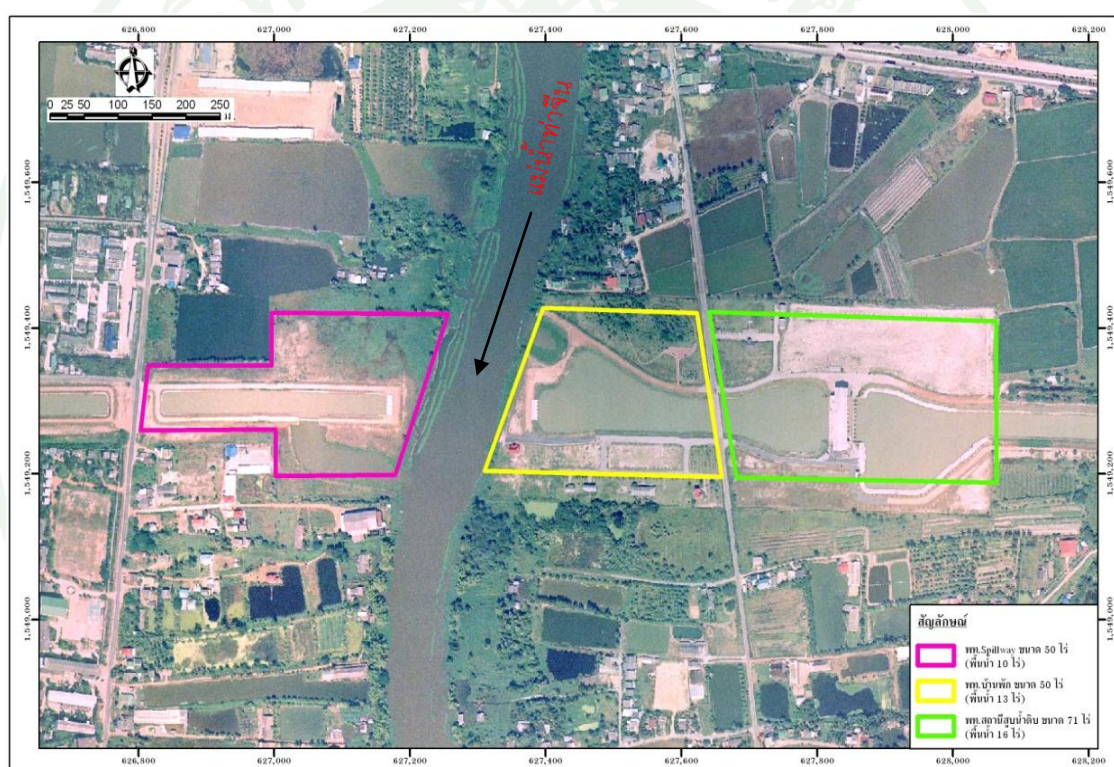
โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์เป็นโรงงานผลิตน้ำ แห่งที่ 4 ของการประปานครหลวง ตั้งอยู่ริมถนนวงแหวนรอบนอก ดัดคลองมหาสวัสดิ์ บริเวณ ต.ปลายบาง อ.บางกรวย จ.นนทบุรี โดยสมเด็จพระบรมโอรสาธิราชฯ สยามมกุฎราชกุมาร ได้เสด็จเป็นองค์ประธานประกอบพิธีวางศิลาฤกษ์ เมื่อวันที่ 26 มกราคม 2537 โดยปัจจุบันโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์สามารถผลิตน้ำได้วันละ 1,300,000 ลูกบาศก์เมตร มีการให้บริการในพื้นที่หลักทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา ได้แก่ ถนนกาญจนาภิเษก (วงแหวนรอบนอก) ตั้งแต่อำเภอบางบัวทอง ไทรน้อย บางใหญ่ บางกรวย นนทบุรี เขตคลองสาม อำเภอเมือง หนองแขม บางขุนเทียน ซึ่งเดิมประสบปัญหาขาดแคลนน้ำจะมีน้ำประปาใช้อย่างเพียงพอ

สถานีสูบน้ำดิบบางเลน

สถานีน้ำดิบบางเลน ตั้งอยู่ที่ อ.บางเลน จ.นครปฐม อยู่ห่างจากปากคลองรับน้ำแม่น้ำท่าจีนประมาณ 500 เมตร เป็นอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กขนาดกว้าง 25.50 เมตร ยาว 81 เมตร มีช่องระบายน้ำปิด-เปิด ด้วย Sluice Gate ขนาด 2.0 x 2.0 เมตร จำนวน 11 ช่อง ซึ่งออกแบบไว้สำหรับติดตั้งเครื่องสูบน้ำชนิด Vertical Shaft ขนาดสูบน้ำได้ไม่น้อยกว่า 5 ลบ.ม./วินาที จำนวน 11 เครื่อง เครื่องสูบน้ำจำนวน 3 เครื่อง ประกอบด้วย เครื่องสูบน้ำ ขนาด 5 ลบ.ม./วินาที Efficiency 88% ที่ head 4.70 เมตร จำนวน 2 เครื่อง และ Pump ขนาด 5 ลบ.ม./วินาที ที่ head 3 เมตร จำนวน

1 เครื่อง แต่ในปัจจุบันสถานีสูบน้ำดิบบางเลนได้ถูกยกเลิกการใช้งานไปเนื่องจากน้ำดิบจากเขื่อนแม่กลองสามารถลำเลียงผ่านคลองประปาฝั่งตะวันตกได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

โดยพื้นที่บริเวณสถานีสูบน้ำดิบบางเลนมีการแบ่งพื้นที่ออกได้เป็น 3 ส่วน คือ พื้นที่ด้านทิศตะวันตกของแม่น้ำท่าจีน มีพื้นที่ 50 ไร่ พื้นที่ด้านทิศตะวันออกของแม่น้ำท่าจีนมีพื้นที่ 50 ไร่ และพื้นที่ด้านทิศตะวันออกของถนนมีพื้นที่ 71 ไร่ โดยลักษณะพื้นที่และสภาพปัจจุบันของโรงสูบน้ำดิบบางเลน แสดงไว้ในภาพที่ 6 และภาพที่ 7



ภาพที่ 6 พื้นที่ของโรงสูบน้ำดิบบางเลน



ก) สถานีสูบน้ำ และคลอง bypass



ข) พื้นที่โดยรอบบริเวณทำอาคารท่อลอดแม่น้ำท่าจีน

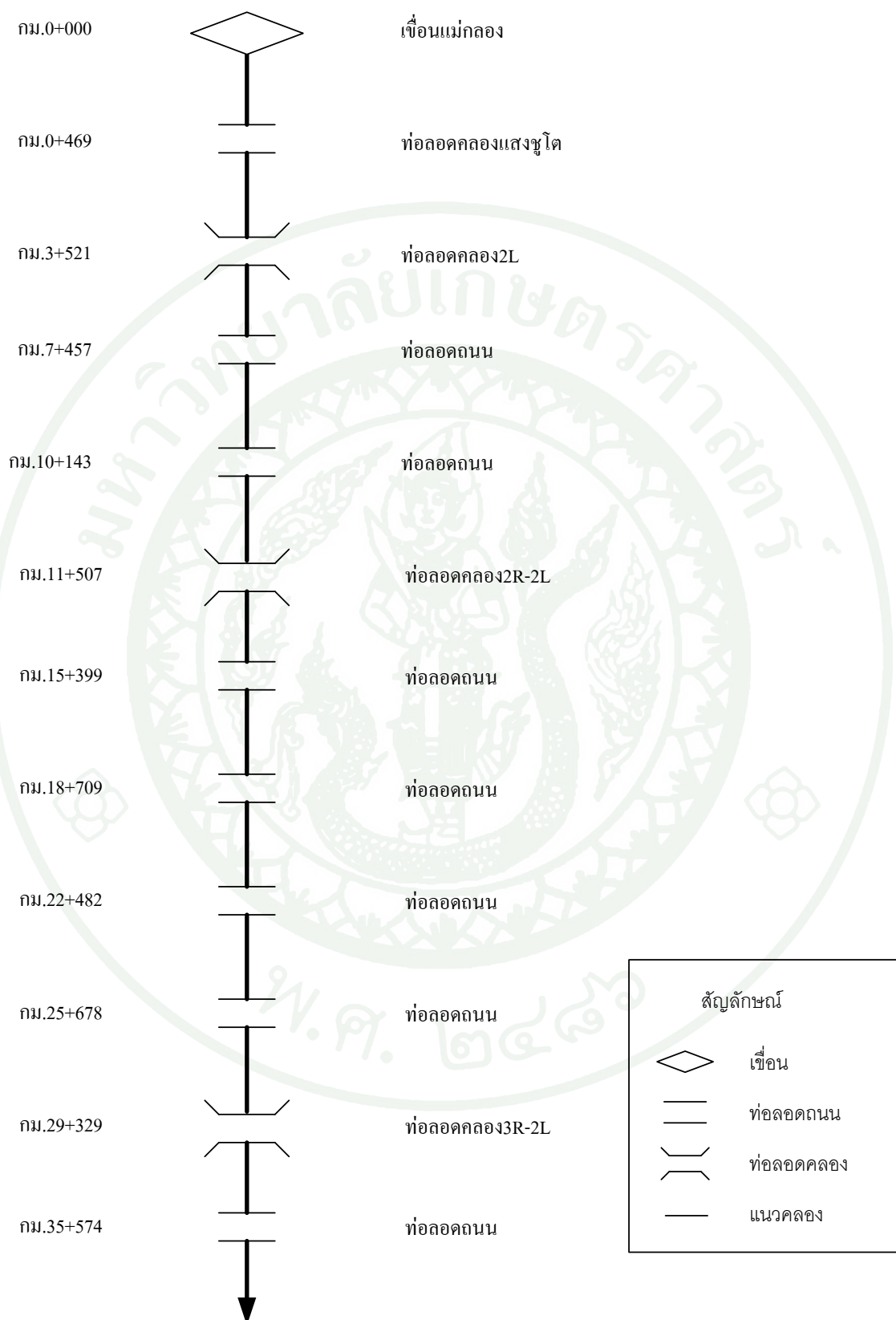
ภาพที่ 7 สภาพปัจจุบันของโรงสูบน้ำดิบบางเลน

ตารางที่ 2 ลักษณะอาคารชลศาสตร์ในคลองประปาฝั่งตะวันตก

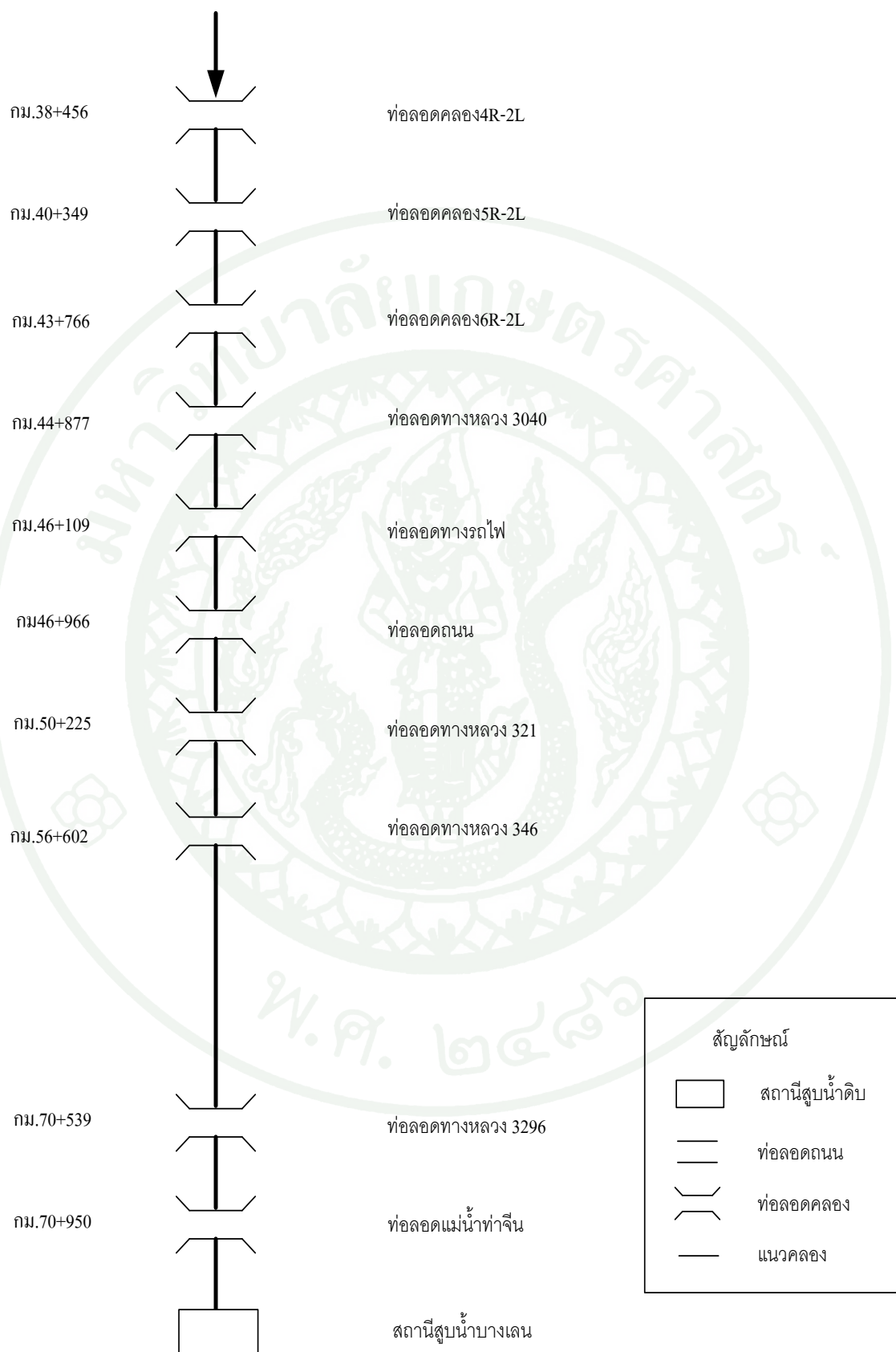
ลำดับ	อาคาร	กม.	ขนาดอาคาร	ระดับธรณีอาคาร (ม.รทก.)	
				เหนือหน้า	ท้ายหน้า
1	ท่อลอดคลองแสงชูโต	0+469	2-3.20 x 3.95 x 43.00	+17.592	+17.352
2	ท่อลอดถนนและทางรถไฟ	0+972	2-3.20 x 3.95 x 84.00	+17.297	+17.147
3	ท่อลอดคลอง 1L	1+128	2-3.20 x 3.20 x 59.00	+17.147	+16.797
4	ท่อลอดถนน	2+606	2-3.20 x 3.95 x 30.00	+16.229	+16.217
5	ท่อลอดคลองห้วยนาคราช	3+059	2-3.20 x 3.20 x 50.00	+16.049	+15.749
6	ท่อลอดคลอง 2L	3+521	3- ϕ 2.6 x 86.00	+15.584	+15.569
7	ท่อลอดถนน	4+632	3-3.20 x 3.75 x 65.00	+14.047	+14.011
8	ท่อลอดถนน	7+457	3-3.20 x 3.75 x 58.00	+13.666	+13.632
9	ท่อลอดถนน	10+143	3-3.20 x 3.75 x 52.00	+13.304	+13.272
10	ท่อลอดคลอง 2R-2L	11+507	2-3.20 x 3.20 x 72.00	+13.108	+12.708
11	ท่อลอดถนน	15+399	3-3.20 x 3.75 x 42.00	+12.231	+12.202
12	ท่อลอดถนน	18+709	2-3.20 x 4.15 x 43.00	+11.793	+11.661
13	ท่อลอดถนน	21+172	3-3.20 x 3.75 x 59.00	+11.225	+11.190
14	ท่อลอดถนน	21+936	3-3.20 x 3.75 x 38.00	+11.102	+11.075
15	ท่อลอดถนน	22+482	3-3.20 x 3.75 x 40.00	+11.012	+10.984
16	ท่อลอดถนน	25+678	3-3.20 x 3.75 x 55.00	+10.589	+10.556
17	ท่อลอดทางหลวง 3356	29+097	2-3.20 x 3.20 x 102.00	+10.136	+9.686
18	ท่อลอดคลอง 3R-2L	29+329	2-3.20 x 3.20 x 63.00	+9.670	+9.270
19	ท่อลอดถนน	29+913	2-3.20 x 3.20 x 38.00	+9.205	+9.178
20	ท่อลอดถนน	35+574	3-3.20 x 3.75 x 43.00	+8.474	+8.445
21	ท่อลอดถนน	36+695	3-3.20 x 3.75 x 43.00	+8.311	+8.282
22	ท่อลอดถนน	38+036	3-3.20 x 3.75 x 48.00	+8.120	+8.089
23	ท่อลอดคลอง 4R-2L	38+456	2-3.20 x 3.20 x 49.00	+8.043	+7.758
24	ท่อลอดถนน	38+912	2-3.20 x 4.15 x 36.00	+7.595	+7.576

ตารางที่ 2 (ต่อ)

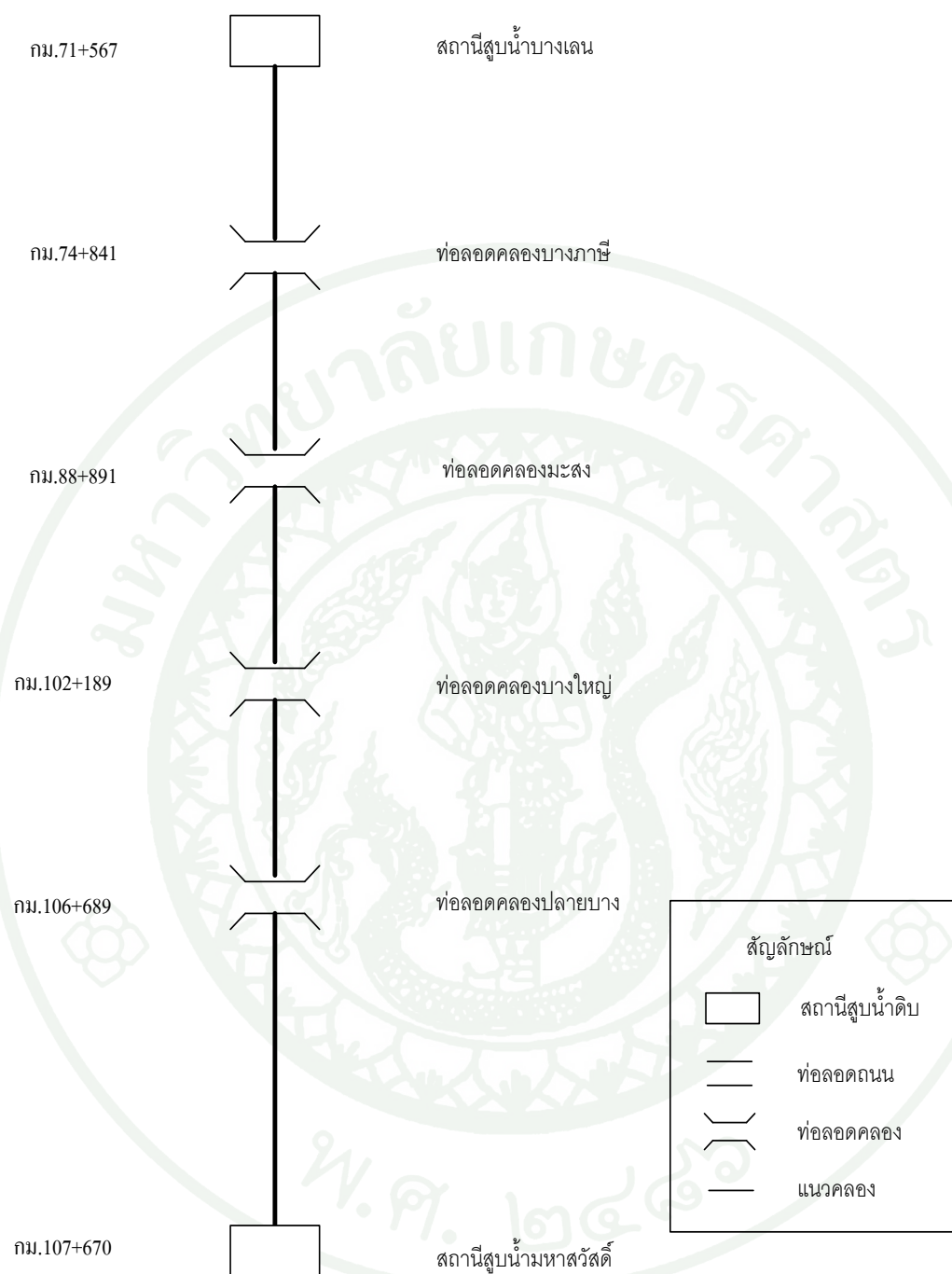
ลำดับ	อาคาร	กม.	ขนาดอาคาร	ระดับธรณีอาคาร (ม.รทก.)	
				เหนือหน้า	ท้ายหน้า
25	ท่อลอดคลอง5R-2L	40+349	2-3.20 x 3.20 x 63.00	+7.277	+6.877
26	ท่อลอดคลอง6R-2L	43+766	2-3.20 x 3.20 x 67.00	+6.457	+6.057
27	ท่อลอดทางหลวง 3040	44+877	2-3.20 x 3.20 x 138.60	+5.926	+5.387
28	ท่อลอดทางรถไฟ	46+109	2-3.20 x 3.20 x 137.80	+5.250	+4.601
29	ท่อลอดถนน	46+966	2-3.20 x 3.20 x 117.80	+4.511	+3.911
30	ท่อลอดทางหลวง 321	50+225	2-3.20 x 3.20 x 117.80	+3.519	+2.919
31	ท่อลอดทางหลวง 346	56+602	2-3.20 x 3.20 x 130.00	+1.888	+1.238
32	ท่อลอดทางหลวง 3296	70+539	2-3.20 x 3.20 x 75.00	-0.486	-1.036
33	ท่อลอดแม่น้ำท่าจีน	70+950	5- ϕ 2.0 x 204.00	-1.070	-3.150
34	สถานีสูบน้ำบางเลน	71+567		-0.700	-3.150
35	ท่อลอดคลองบางภาษี	74+841	5-3.25 x 3.25 x 124.40	-0.848	-0.928
36	ท่อลอดคลองสภาพพัฒนา	79+501	5-3.25 x 3.25 x 144.40	-1.155	-1.235
37	ท่อลอดคลองพระมอ	81+065	5-3.25 x 3.25 x 178.40	-1.309	-1.389
38	ท่อลอดคลองสว่างอารมณ์	83+626	5-3.25 x 3.25 x 163.40	-1.510	-1.590
39	ท่อลอดคลองทวีพัฒนา	85+201	5-3.25 x 3.25 x 163.40	-1.662	-1.742
40	ท่อลอดคลองมะสง	88+891	5-3.25 x 3.25 x 143.40	-1.921	-2.001
41	ท่อลอดคลองตาชม	90+887	5-3.25 x 3.25 x 161.40	-2.090	-2.176
42	ท่อลอดคลองสิบสอง	94+677	5-3.25 x 3.25 x 153.40	-2.360	-2.440
43	ท่อลอดคลองวาเคียว	96+282	5-3.25 x 3.25 x 128.40	-2.515	-2.595
44	ท่อลอดคลองบางคูตัด	98+573	5-3.25 x 3.25 x 106.00	-2.704	-2.784
45	ท่อลอดคลองเจริญสุข	99+484	5-3.25 x 3.25 x 103.40	-2.824	-2.904
46	ท่อลอดคลองบางใหญ่	102+189	5-3.25 x 3.25 x 168.40	-3.035	-3.115
47	ท่อลอดคลองโสน	104+011	5-3.25 x 3.25 x 136.40	-3.200	-3.280
48	ท่อลอดคลองบางนา	105+486	5-3.25 x 3.25 x 149.60	-3.349	-3.429
49	ท่อลอดคลองปลายบาง	106+689	5-3.25 x 3.25 x 146.93	-3.484	-3.564



ภาพที่ 8 แสดงแผนภูมิการอาคารชลศาสตร์ในคลองประปาฝั่งตะวันตก



ภาพที่ 8 (ต่อ)



ภาพที่ 8 (ต่อ)

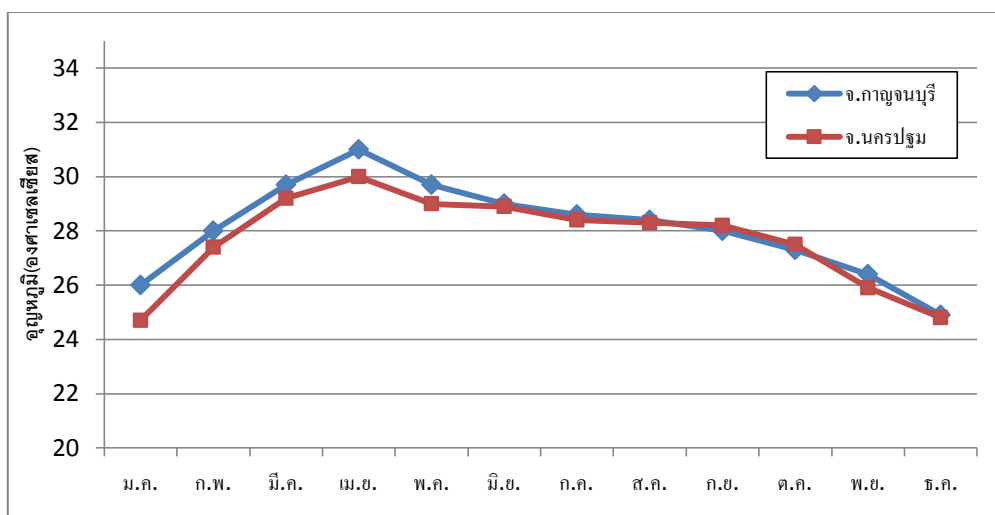
3. สภาพอุตุนิยมวิทยา

สภาพภูมิอากาศโดยทั่วไปของประเทศไทยอยู่ภายใต้อิทธิพลของลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ โดยลมมรสุมตะวันตกเฉียงใต้ จะพัดเอาไอน้ำจากอ่าวไทยและมหาสมุทรอินเดียไปตกเป็นฝนในบริเวณต่างๆ ของลุ่มน้ำ และลมมรสุมตะวันออกเฉียงเหนือ พัดพาเอาความหนาวเย็นและแห้งแล้งจากประเทศจีนเข้ามาในพื้นที่ประเทศไทย ด้วยอิทธิพลของลมมรสุม 2 ชนิดนี้จึงทำให้ประเทศไทยมี 3 ฤดูกาล คือ ฤดูฝนตั้งแต่กลางเดือนพฤษภาคมถึงกลางเดือนตุลาคม ฤดูหนาวตั้งแต่กลางเดือนตุลาคมถึงกลางเดือนกุมภาพันธ์และฤดูร้อนตั้งแต่กลางเดือนกุมภาพันธ์ถึงกลางเดือนพฤษภาคม นอกจากนี้ยังได้รับอิทธิพลจากลมพายุจร โดยเฉพาะพายุดีเปรสชันและพายุไต้ฝุ่นซึ่งพัดมาจากทิศตะวันออกเฉียงใต้ ทำให้มีฝนตกหนักในช่วงฤดูฝน ทิศทางและช่วงเวลาของการเกิดลมมรสุมและลมพายุจรที่พัดผ่านพื้นที่โครงการแสดงดัง ภาพที่ 10

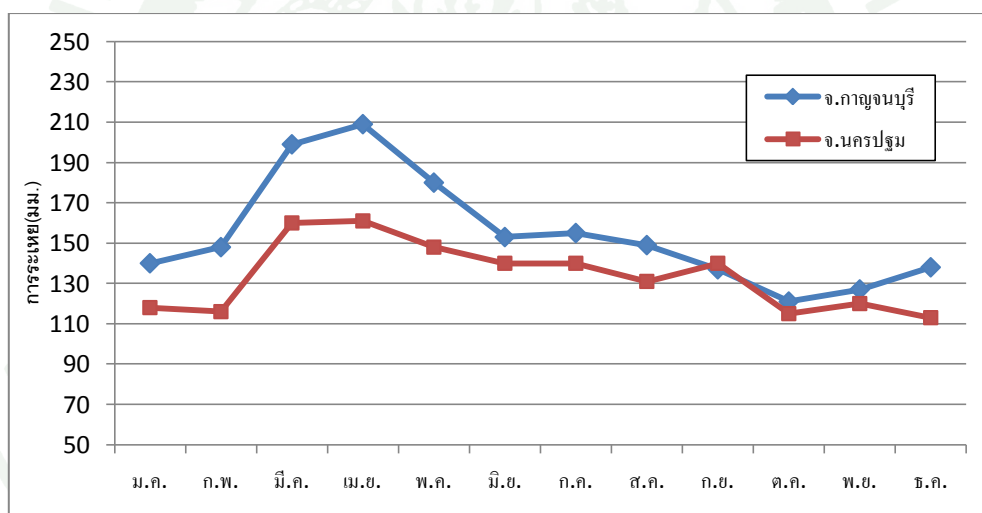
จากข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีตรวจวัดอากาศ จ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐมของกรมอุตุนิยมวิทยาในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) สามารถสรุปสถิติข้อมูลที่สำคัญได้ดังนี้ (ตารางที่ 3 ภาพที่ 9 และภาคผนวก ก)

ตารางที่ 3 สรุปสถิติข้อมูลภูมิอากาศที่สถานีตรวจวัดอากาศ จ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐม

ข้อมูล	กาญจนบุรี				นครปฐม			
	สูงสุด		ต่ำสุด		สูงสุด		ต่ำสุด	
	เดือน	ค่า	เดือน	ค่า	เดือน	ค่า	เดือน	ค่า
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)	เมษายน	31.0	มกราคม	26.0	เมษายน	36.1	ธันวาคม	30.5
การระเหย (มิลลิเมตร)	เมษายน	209.0	ตุลาคม	121.0	เมษายน	161.0	ธันวาคม	113.0
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)	ตุลาคม	90.0	มีนาคม	61.0	ตุลาคม	83.0	มีนาคม	73.0
ความเร็วลม (นอต)	สิงหาคม	1.8	ตุลาคม	1.0	พฤศจิกายน	2.3	กุมภาพันธ์	1.5
ความครึ้มเมฆ (0-10)	มิถุนายน	8.0	มกราคม	3.0	สิงหาคม	9.0	มกราคม	2.0
	กันยายน		กุมภาพันธ์ ธันวาคม				ถึงมีนาคม ธันวาคม	

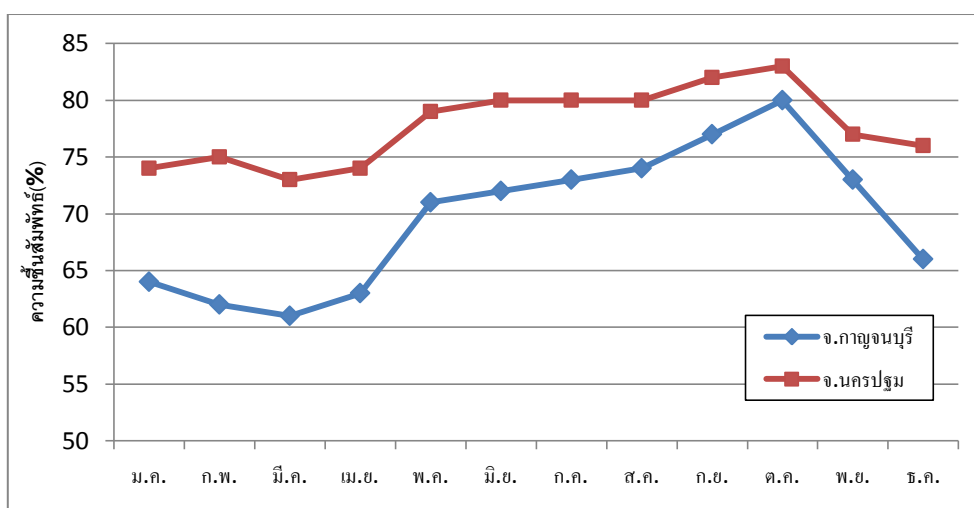


ก) อุณหภูมิ

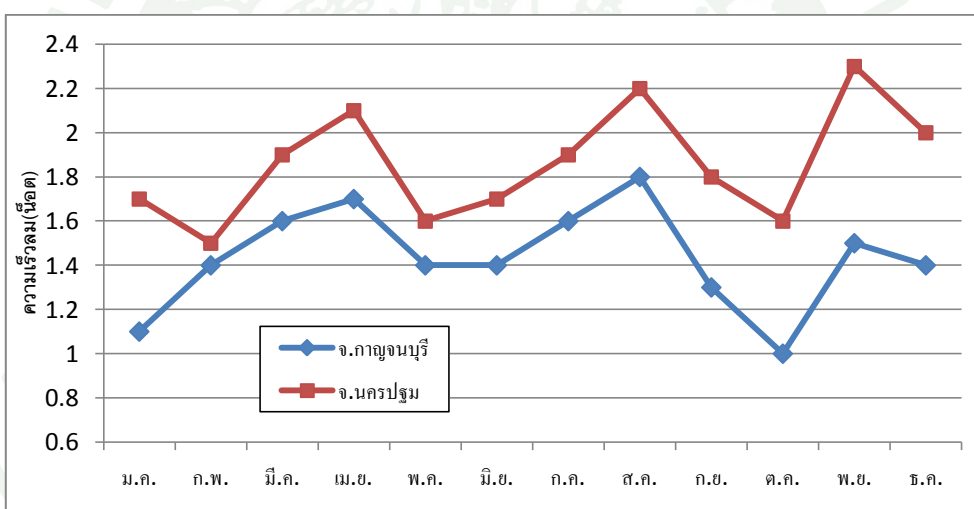


ข) การระเหย

ภาพที่ 9 แสดงการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศ จ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐม

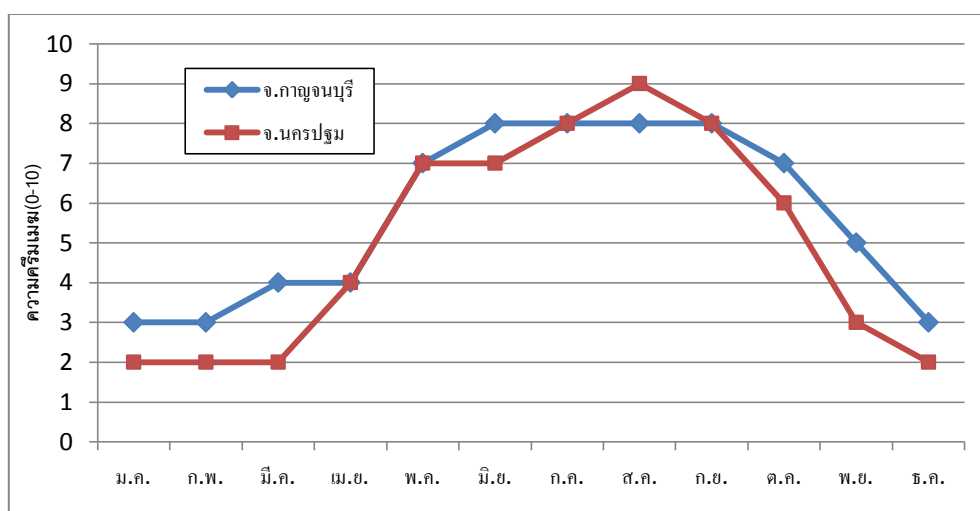


ค) ความชื้นสัมพัทธ์



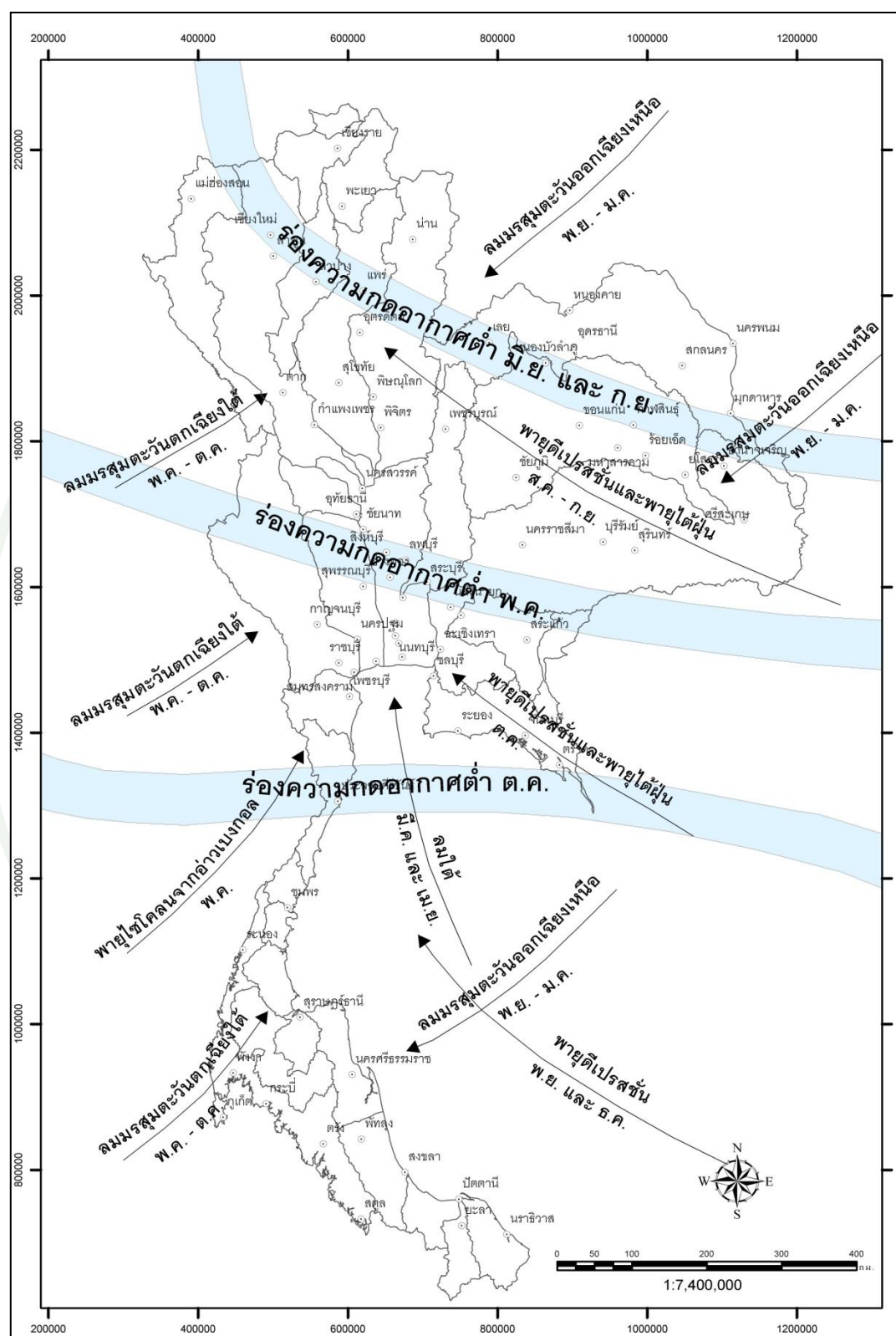
ง) ความเร็วลม

ภาพที่ 9 (ต่อ)



จ) ความผิด

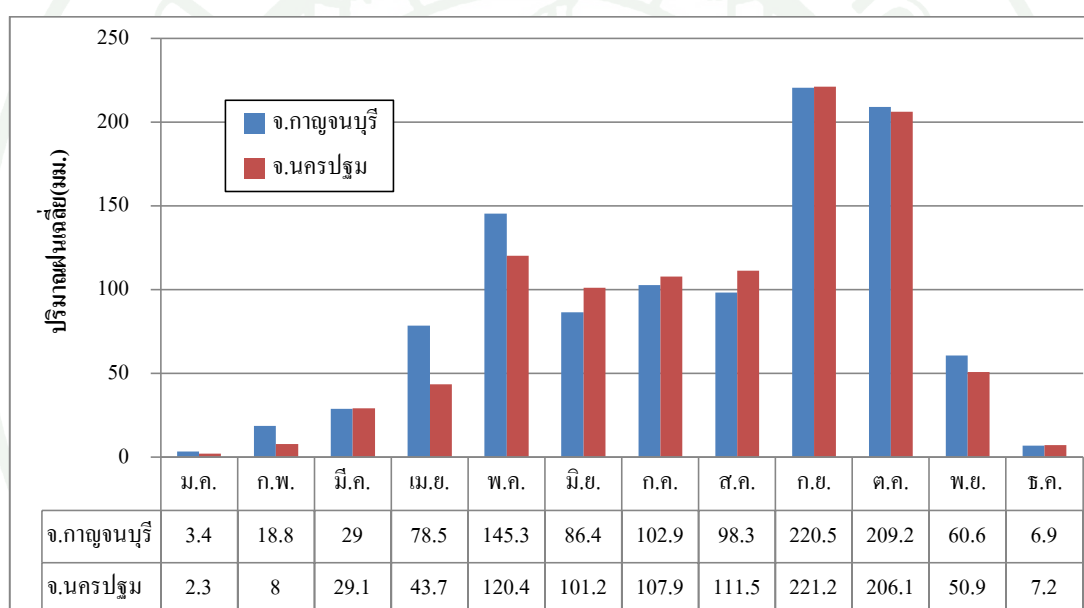
ภาพที่ 9 (ต่อ)



ภาพที่ 10 ทิศทางและช่วงเวลาการเกิดของลมมรสุมและพายุจรที่พัดเข้าสู่ประเทศไทย

ปริมาณฝน (มิลลิเมตร)

จากข้อมูลน้ำฝนของสถานีตรวจวัดอากาศในจังหวัดกาญจนบุรี และจังหวัดนครปฐมของกรมอุตุนิยมวิทยาในคาบ 30 ปี (พ.ศ. 2524-2553) ซึ่งเป็นปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในจ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐม โดยจ.กาญจนบุรี มีปริมาณฝนเฉลี่ย สูงสุดอยู่ในเดือนกันยายนวัดได้ 220.5 มิลลิเมตร และต่ำสุดเดือนมกราคม วัดได้ 3.4 มิลลิเมตร และจ.นครปฐม ปริมาณฝนเฉลี่ยสูงสุดอยู่ในเดือนกันยายนวัดได้ 221.2 มิลลิเมตร และต่ำสุดเดือนมกราคม วัดได้ 2.3 มิลลิเมตร ดังแสดงในภาพที่ 11



ภาพที่ 11 แสดงปริมาณฝนเฉลี่ย จ.กาญจนบุรี และจ.นครปฐม

4. อุทกวิทยาและระบบลุ่มน้ำ

การศึกษาแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ ของคลองประปาฝั่งตะวันตก ได้ทำการศึกษาภาพรวมปริมาณน้ำท่าในลุ่มน้ำต่างๆ ได้แก่ ลุ่มน้ำแม่กลอง ลุ่มน้ำท่าจีน และลุ่มน้ำเจ้าพระยา โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

- กลุ่มน้ำแม่กลอง

กลุ่มน้ำแม่กลองตั้งอยู่ทางทิศตะวันตกของประเทศไทย ทางฝั่งขวาของกลุ่มน้ำเจ้าพระยา ขอบเขตของกลุ่มน้ำเริ่มจากอำเภออุ้มผาง ซึ่งอยู่ทางตอนล่างของเขตจังหวัดตาก ลงมาทางทิศใต้ จนถึงเขตติดต่อระหว่างจังหวัดราชบุรีกับจังหวัดเพชรบุรี มีพื้นที่กลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 30,171.24 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 9 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดตาก อุทัยธานี กาญจนบุรี สุพรรณบุรี นครปฐม ราชบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร และจังหวัดเพชรบุรี ลักษณะของกลุ่มน้ำวางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้

ทิศเหนือติดกับกลุ่มน้ำสาละวิน

ทิศตะวันตกติดเทือกเขาตะนาวศรี

ทิศตะวันออกติดกับกลุ่มน้ำท่าจีนและกลุ่มน้ำสะแกกรัง

ทิศใต้ติดกับกลุ่มน้ำเพชรบุรีและอ่าวไทย

กลุ่มน้ำแม่กลองสามารถแบ่งตามสภาพภูมิประเทศได้เป็น 2 บริเวณ คือบริเวณกลุ่มน้ำแม่กลองตอนบนและตอนล่าง โดยเขตกลุ่มน้ำแม่กลองตอนบน เริ่มแต่เขตอำเภอเมืองกาญจนบุรีที่ลำน้ำแควใหญ่และแควน้อย ไหลมาบรรจบกัน ขึ้นไปยังที่สูงในเทือกเขาที่เป็นต้นน้ำ มีสภาพภูมิประเทศทางตอนบนของกลุ่มน้ำเป็นที่สูง และบริเวณที่เป็นกลุ่มน้ำแม่กลองตอนล่าง คือสองฝั่งแม่น้ำแม่กลองจาก เขตอำเภอเมืองกาญจนบุรีไปจนออกอ่าวไทย มีสภาพภูมิประเทศเป็นบริเวณที่ราบลุ่มกว้างขวาง โดยมีแม่น้ำสาขาที่สำคัญ 2 สาย คือ แม่น้ำแควใหญ่ และแม่น้ำแควน้อย ไหลมาบรรจบกันกลายเป็นแม่น้ำแม่กลอง มีทิศทางการไหลจากทิศเหนือลงมาทิศใต้ มีความยาวของแม่น้ำประมาณ 589 กิโลเมตร โดยเริ่มนับจากต้นน้ำของแม่น้ำแควใหญ่ สิ้นสุดที่ปากแม่น้ำแม่กลองที่จังหวัดสมุทรสงคราม

1. แม่น้ำแควใหญ่ มีความยาวลำน้ำประมาณ 449 กิโลเมตร มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาบริเวณตำบลโมโกร อำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก ไหลผ่านอำเภออุ้มผาง ลงสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ที่อำเภอศรีสวัสดิ์ มีความลาดชันลำน้ำเฉลี่ย 1:240 ทางด้านซ้ายของอ่างเก็บน้ำเขื่อนศรีนครินทร์ไหลผ่านตำบลท่ากระดาน อำเภอศรีสวัสดิ์ เข้าสู่ตำบลช่องสะเดา อำเภอเมืองกาญจนบุรี ผ่านเขื่อนท่าทุ่งนา พื้นที่เขตอำเภอเมืองกาญจนบุรี มาบรรจบแม่น้ำแควน้อยที่ตำบลปากแพรก มีความลาดชันลำน้ำเฉลี่ย 1 : 1,500

2. แม่น้ำแควน้อย มีความยาวลำน้ำประมาณ 379 กิโลเมตร มีต้นกำเนิดจากเทือกเขาบริเวณ ตำบลไล่โว่ อำเภอสังขละบุรี ไหลผ่านตำบลหนองลู ลงสู่อ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ มีความลาดชันลำน้ำเฉลี่ย 1 : 70 ทางด้านท้ายของอ่างเก็บน้ำเขื่อนวชิราลงกรณ ไหลผ่านอำเภอทองผาภูมิ อำเภอไทรโยค อำเภอด่านมะขามเตี้ย และอำเภอเมืองกาญจนบุรี โดยไหลมาบรรจบกับแม่น้ำแควใหญ่ที่ตำบลปากแพรก มีความลาดชันลำน้ำเฉลี่ย 1 : 3,800

3. แม่น้ำแม่กลอง มีความยาวลำน้ำประมาณ 140 กิโลเมตร จากจุดบรรจบแม่น้ำแควใหญ่ และแม่น้ำแควน้อย ไหลผ่านอำเภอด่านมะขามเตี้ย และอำเภอด่านช้าง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม และอำเภอเมืองราชบุรี จังหวัดราชบุรี อำเภอบางคนที อำเภออัมพวา และอำเภอเมืองสมุทรสงคราม จังหวัดสมุทรสงคราม ไหลลงสู่อ่าวไทย โดยมีความลาดชันลำน้ำเฉลี่ย 1 : 9,000

- กลุ่มน้ำท่าจีน

กลุ่มน้ำท่าจีน ตั้งอยู่ทางตอนกลางประเทศไทย และอยู่ทางฝั่งขวาของแม่น้ำเจ้าพระยา มีพื้นที่ลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 13,681 ตร.กม. พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขต 11 จังหวัด ได้แก่ อุทัยธานี ชัยนาท สุพรรณบุรี นครปฐม สมุทรสาคร กาญจนบุรี อ่างทอง อยุธยา ปทุมธานี นนทบุรี และ กรุงเทพมหานคร ลักษณะลุ่มน้ำวางตัวตามแนวทิศเหนือ-ใต้

ทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำสะแกกรัง

ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำแม่กลอง

ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำเจ้าพระยา

ทิศใต้ติดกับอ่าวไทย

สภาพทั่วไปของกลุ่มน้ำท่าจีน เป็นที่ราบลุ่มริมแม่น้ำซึ่งเป็นที่ราบเดียวกันกับที่ราบลุ่มน้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันตก ตอนบนของกลุ่มน้ำเป็นที่เชิงเขาแต่มีระดับสูงไม่มากนัก ส่วนตอนกลางและตอนล่างเป็นที่ราบลุ่มติดต่อกับที่ราบลุ่มของลุ่มน้ำแม่กลอง แม่น้ำท่าจีนแยกออกมาทางฝั่งขวาของแม่น้ำเจ้าพระยาที่ตำบลมะขามเตี้ย อำเภอวัดสิงห์ จังหวัดชัยนาท ไหลผ่านจังหวัดสุพรรณบุรี นครปฐม และออกสู่อ่าวไทย ที่จังหวัดสมุทรสาคร แม่น้ำท่าจีนมีชื่อเรียกต่างๆ กันตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำ คือ คลองมะขามเตี้ย แม่น้ำสุพรรณบุรี แม่น้ำนครชัยศรี และแม่น้ำท่าจีน

- กลุ่มน้ำเจ้าพระยา

กลุ่มน้ำเจ้าพระยาดังอยู่ทางตอนกลางของประเทศไทย มีพื้นที่กลุ่มน้ำรวมทั้งสิ้น 20,523.42 ตร.กม. (ไม่รวมลุ่มน้ำปิง วัง ยม น่าน สะแกกรัง ป่าสัก และท่าจีน) พื้นที่ส่วนใหญ่อยู่ในเขต 16 จังหวัด ได้แก่ นครสวรรค์ พิจิตร กำแพงเพชร อุทัยธานี ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี อ่างทอง สุพรรณบุรี นครปฐม นครนายก พระนครศรีอยุธยา สระบุรี ปทุมธานี นนทบุรี และสมุทรปราการ รวมถึงกรุงเทพมหานครด้วย ลักษณะลุ่มน้ำวางตัวตามแนวเหนือ-ใต้

ทิศเหนือติดกับลุ่มน้ำปิงและน่าน

ทิศตะวันตกติดกับลุ่มน้ำท่าจีนและสะแกกรัง

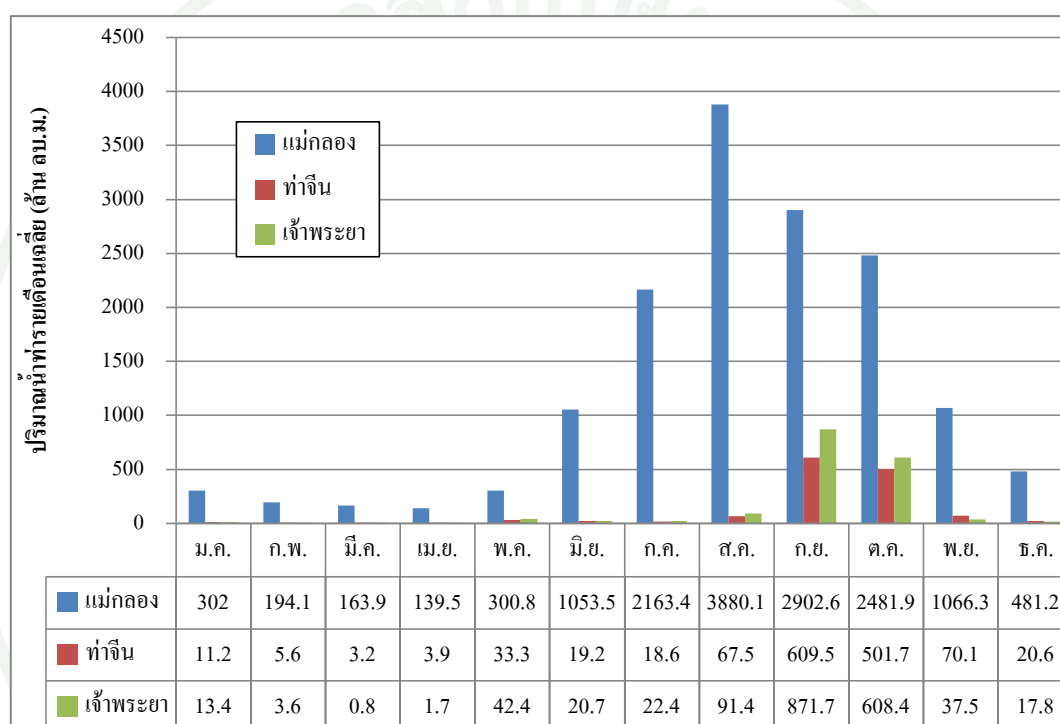
ทิศตะวันออกติดกับลุ่มน้ำป่าสักและบางปะกง

ทิศใต้ติดกับอ่าวไทย

แม่น้ำเจ้าพระยามีจุดกำเนิดอยู่ที่ตำบลปากน้ำโพ อำเภอเมือง จังหวัดนครสวรรค์ ไหลจากทิศเหนือลงสู่อ่าวไทย ผ่านที่ราบภาคกลาง สภาพลุ่มน้ำทางฝั่งตะวันออกในเขตจังหวัดนครสวรรค์ และลพบุรีเป็นที่ราบสูงมีเนินเขาเตี้ย ๆ เป็นสันปันน้ำกั้นระหว่างลุ่มน้ำเจ้าพระยาและลุ่มน้ำป่าสัก ส่วนทางตอนล่างลงมาซึ่งอยู่ในเขตจังหวัดสระบุรีและฉะเชิงเทราจะเป็นที่ราบลาดเขาลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา และเป็นที่ราบชายฝั่งทะเลในเขตจังหวัดสมุทรปราการ สภาพลุ่มน้ำทางฝั่งตะวันตกของลุ่มน้ำเจ้าพระยา ตอนบนเป็นที่ราบและตอนล่างเป็นที่ราบลุ่ม ซึ่งมีอาณาเขตติดต่อกับลุ่มน้ำท่าจีน ลาดลงไปจรดชายฝั่งทะเลด้านอ่าวไทย

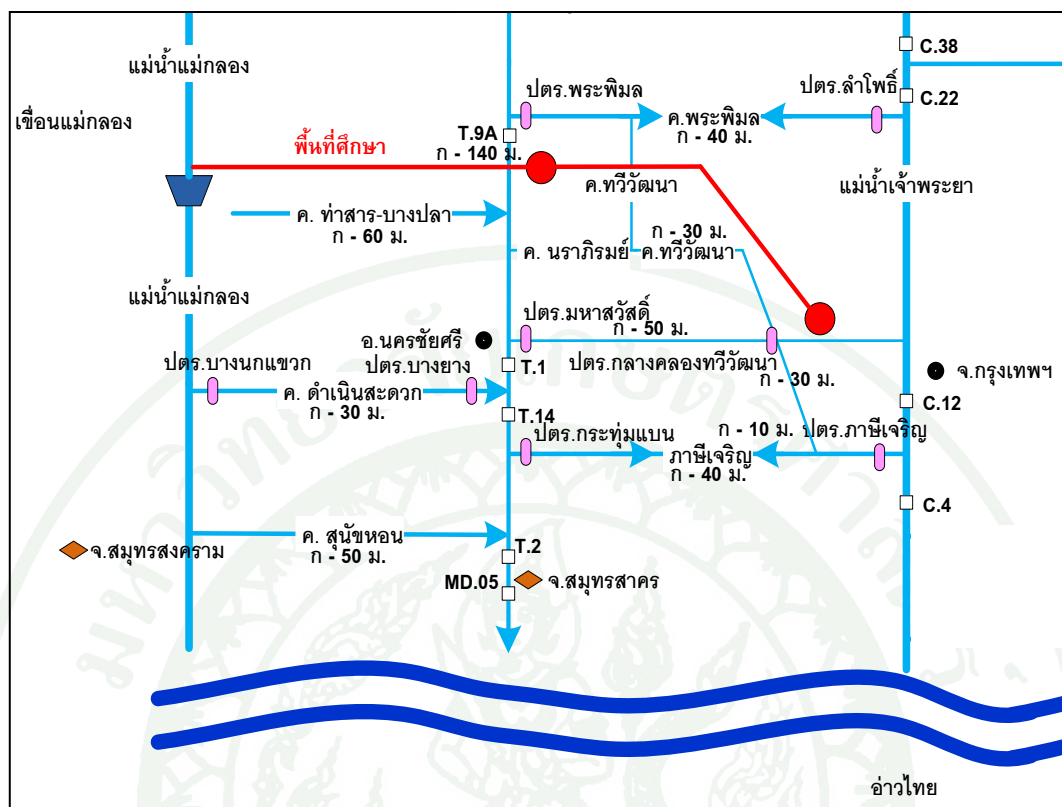
ลุ่มน้ำเจ้าพระยา มีแม่น้ำสะแกกรังไหลมาบรรจบเหนือเขื่อนเจ้าพระยา ลำน้ำสาขาที่สำคัญของแม่น้ำเจ้าพระยา ได้แก่ แม่น้ำน้อย แยกออกจากแม่น้ำเจ้าพระยาบริเวณจังหวัดชัยนาท แล้วไหลกลับเข้าแม่น้ำเจ้าพระยาอีกครั้งที่จังหวัดพระนครศรีอยุธยา แม่น้ำสุพรรณบุรี แยกออกจากแม่น้ำเจ้าพระยาและไหลขนานคู่กันไปจนออกสู่อ่าวไทย มีชื่อเรียกต่างๆ กันไป ตั้งแต่ต้นน้ำจนถึงปากแม่น้ำ คือ คลองมะขามเฒ่า แม่น้ำสุพรรณบุรี แม่น้ำนครชัยศรี และแม่น้ำท่าจีน คลองบางแก้ว เป็นคลองสายสั้นๆ แยกออกจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดอ่างทอง แล้วไหลไปบรรจบกับแม่น้ำลพบุรี ซึ่งแยกออกมาจากแม่น้ำเจ้าพระยาที่จังหวัดสิงห์บุรีเช่นกัน โดยจุดบรรจบอยู่ในเขตอำเภอมหาราช จังหวัดพระนครศรีอยุธยา

ปริมาณข้อมูลน้ำท่าของกลุ่มน้ำ ทั้ง 3 กลุ่มน้ำมีความเชื่อมโยงปริมาณน้ำท่าระหว่างกลุ่มน้ำ จากปริมาณน้ำท่าจากกลุ่มน้ำแม่กลอง สามารถผันน้ำเข้ากลุ่มน้ำท่าจินผ่านคลองท่าสาร-บางปลา และ คลองจรเข้สามพัน และกลุ่มน้ำท่าจินสามารถผันน้ำเข้ากลุ่มน้ำเจ้าพระยาผ่านคลองเจ้าเจ็ด คลอง พระยาบรรลือ และคลองพระพิมล ดังแสดงภาพที่ 12 ซึ่งมีปริมาณน้ำท่าเฉลี่ยรายเดือนในกลุ่มน้ำ ต่างๆ ดังแสดงในภาพที่ 13



ภาพที่ 12 แสดงปริมาณน้ำท่ารายเดือนเฉลี่ยของกลุ่มน้ำต่างๆ ในพื้นที่ศึกษา

ที่มา : โครงการศึกษาเพื่อทำแผนหลักรองรับการพัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทาน สำหรับแผนฯ, กรมชลประทาน (2546)



ภาพที่ 13 แสดงระบบกลุ่มน้ำในพื้นที่ศึกษา

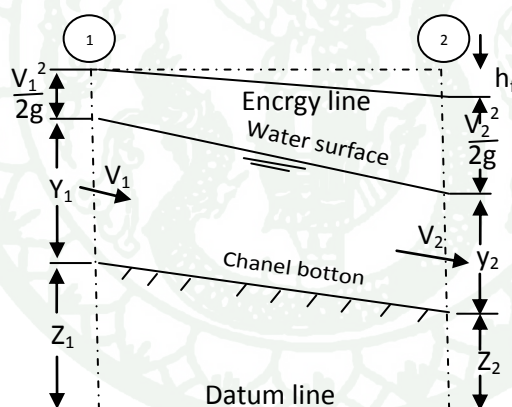
งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

1. ทฤษฎีของการไหลทางชลศาสตร์

1.1 ลักษณะการไหลในทางน้ำเปิด

สุวรรณ (2543) อธิบายการไหลในทางน้ำเปิด (Open channel) เกี่ยวกับความลาดเทของผิวน้ำคือ Hydraulic Grade Line (H.G.L.) มีความสูงของ Piezometric เป็นความสูงของผิวน้ำจะคล้ายคลึงกับการไหลในท่อที่มี Energy Grade Line (E.G.L.) ส่วนความสูง (Z) ของการไหลในทางน้ำเปิดจะวัดจากระดับอ้างอิงถึงกันตลอด ลักษณะการไหลในทางน้ำเปิดแสดงดังภาพต่อไปนี้



ภาพที่ 14 เส้นลาดพลังงานของการไหลในทางน้ำเปิด

ที่มา : สุวรรณ (2543)

การไหลในทางน้ำเปิดสามารถแบ่งได้ตามคุณสมบัติของการไหลดังนี้

- 1) การไหลแบบคงที่ (Steady flow) คือการไหลที่คุณสมบัติต่างๆ ไม่ว่าที่ตำแหน่งใดๆ ก็ตามไม่มีการเปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

$$(\partial V_x / \partial t) = 0, (\partial V_y / \partial t) = 0, (\partial V_z / \partial t) = 0$$

2) การไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady flow) คือการไหลที่คุณสมบัติการไหลที่ตำแหน่งใดๆ เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา

$$(\partial V_x / \partial t) \neq 0, (\partial V_y / \partial t) \neq 0, (\partial V_z / \partial t) \neq 0$$

3) การไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform flow) คือการไหลที่มีขนาดและทิศทางของความเร็วเท่ากันทุกๆ หน้าตัด ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตลอดทิศทางการไหล

$$(\partial V_x / \partial x) = 0, (\partial V_y / \partial y) = 0, (\partial V_z / \partial z) = 0$$

4) การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (Non-uniform flow) คือการไหลที่ตัวแปรการไหล เช่น ความเร็วการไหล ความลึกการไหล และหน้าตัดการไหลเปลี่ยนไปตามระยะทางในทางน้ำ

$$(\partial V_x / \partial x) \neq 0, (\partial V_y / \partial y) \neq 0, (\partial V_z / \partial z) \neq 0$$

พารามิเตอร์ไม่มีหน่วยที่แบ่งชนิดของการไหลที่เกิดขึ้นในลำน้ำคือค่า Froude number (Fr) มีรูปสมการดังนี้

$$Fr = \frac{V}{\sqrt{gy}}$$

เมื่อ	V	=	ความเร็วเฉลี่ยของการไหล (เมตร/วินาที)
	g	=	ความเร่งโน้มถ่วงของโลก (ตร.ม./วินาที)
	y	=	ความลึกชลศาสตร์ของลำน้ำ (เมตร)

ซึ่งค่า Froude number สามารถแบ่งการไหลออกเป็น 3 แบบ คือ

Fr < 1.00 เรียกการไหลนั้นว่าการไหลต่ำกว่าวิกฤต

$$\begin{aligned} Fr &= 1.00 && \text{เรียกการไหลนั้นว่าการไหลวิกฤต} \\ Fr &> 1.00 && \text{เรียกการไหลนั้นว่าการไหลสูงกว่าวิกฤต} \end{aligned}$$

สุวัฒนา (2543) กล่าวว่าจะต้องคำนวณอัตราความเร็วของน้ำในคลอง(V) ก่อน โดยนำอัตราความเร็วของน้ำคูณกับพื้นที่รูปตัดขวางของคลองที่น้ำไหลผ่าน(A) ซึ่งปริมาณน้ำที่ไหลในคลอง(Q) ดังแสดงในรูปของสมการ

$$Q = AV$$

สูตรที่ใช้ในการหาความเร็วของน้ำในคลองหรือรางเปิด (Open channel) คือสูตร Manning's Formula โดยคำนวณหาอัตราความเร็วของน้ำในคลองหรือรางเปิดที่เป็นการไหลแบบสม่ำเสมอ(Uniform Flow) โดยสูตรที่ใช้ในการคำนวณอยู่ในรูปของสมการ

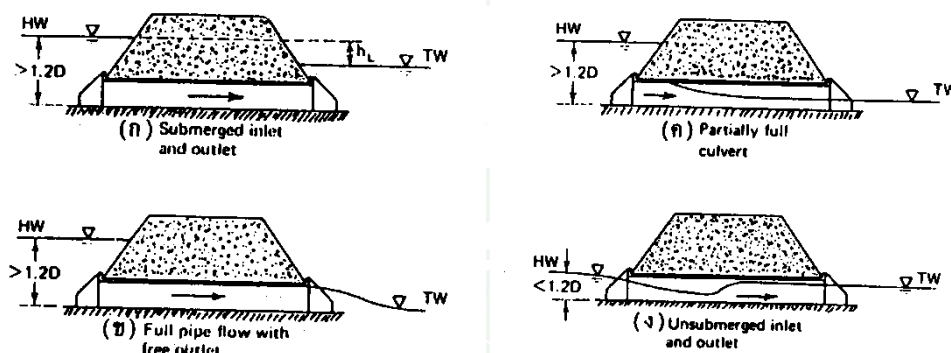
$$V = (1/n)(R)^{2/3}(S)^{1/2}$$

เมื่อ	V	=	อัตราความเร็วเฉลี่ยในคลอง (เมตร/วินาที)
	n	=	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ
	R	=	Hydraulic radius = A/P (เมตร)
	A	=	พื้นที่รูปตัดขวางของคลอง (ตร.ม.)
	P	=	เส้นขอบเปียกของคลอง (เมตร)
	S	=	ความลาดเทของเส้นพลังงาน

1.2 อาคารควบคุมและเปลี่ยนแปลงทางน้ำ

ท่อระบายน้ำ (Culverts) เพื่อระบายน้ำลอดทำนบ (Embankment) ซึ่งมีลักษณะเป็นทั้งสิ่งกั้นขวางทางน้ำ และปากทางเข้าท่อเสมือนหนึ่งอาคารบีบ (Contraction) การไหลในท่ออาจจะผสมกันระหว่างการไหลแบบท่อภายใต้ความดัน หรือการไหลแบบทางน้ำเปิด ขึ้นอยู่กับตัวแปรมากมาย เช่น ลักษณะปากทางเข้า (Entrance Geometry) ความลาดเอียง ขนาดท่อ ความขรุขระผิวท่อ ระดับน้ำปากทางเข้า (Head-Water) ระดับน้ำที่ท้ายน้ำ (Tail Water) และอื่น ๆ ซึ่งท่ออาจจะมีลักษณะเป็นสี่เหลี่ยมหรือท่อ

การวิเคราะห์การไหลผ่านท่อระบายน้ำอาจแบ่งได้ออกเป็น 4 ลักษณะดังแสดงในภาพที่ 15 โดยแบ่งจากระดับน้ำเหนือน้ำ (Headwater-HW) ขนาดความสูงภายในของท่อ D และระดับน้ำท้ายน้ำ (Tailwater-TW)



ภาพที่ 15 ลักษณะการไหลผ่านท่อระบายน้ำ (Flow Through Culverts)

ที่มา : ชัยพันธุ์ (2526)

- กรณีที่ 1 เป็นกรณีที่ความลึกของน้ำที่ปากท่อ $HW > 1.2 D$ และมีระดับน้ำท้ายน้ำสูงกว่าปากทางออก หรือปากทางออกจมน้ำดังแสดงในภาพที่ 15 (ก) การไหลของน้ำในท่อจะไหลภายใต้ความดัน (Flow Under Pressure) ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานที่ปากทางเข้า (Entrance Loss) h_e และการสูญเสียพลังงาน เนื่องจากความเสียดทานการไหล h_f ดังนั้นโดยสมการพลังงาน

$$h_L = HW - TW = H_e + H_f + \frac{V^2}{2g}$$

โดยสูตร Manning
$$h_f = \frac{n^2 V^2 L}{2.22R^{4/3}} = \frac{n^2 V^2 L}{R^{4/3}}$$

(R = รัศมีชลศาสตร์) (ระบบอังกฤษ) (ระบบเมตริก)

และ

$$h_e = K_e \left(\frac{V^2}{2g} \right)$$

$K_e \approx 0.5$ สำหรับทางเข้าที่เป็นเหลี่ยม (Squared – Edged Entrance)

$K_e \approx 0.10$ สำหรับทางเข้าที่โค้งมาก (Well – Rounded Entrance)

- กรณีที่ 2 เป็นกรณีที่ความลึกของน้ำด้านเหนือหน้า $HW > 1.2 D$ มีระดับท้ายน้ำต่ำกว่าปากทางออก (Free Outlet) ดังแสดงในภาพที่ 15 (ข) แต่มีความลึกปกติ (Normal Depth) ที่อัตราการไหล Q_d สูงกว่าขนาดท่อ ($y_n > D$) การไหลภายในท่อยังเป็นการไหลภายใต้ความดัน มีระดับน้ำเหนือหน้าและการสูญเสียพลังงานเป็นตัวควบคุมการไหล การวิเคราะห์ในกรณีเช่นนี้เหมือนกับกรณีที่ 1

- กรณีที่ 3 เป็นกรณีที่ความลึกด้านเหนือหน้า $HW > 1.2 D$ และมีปากทางออกอิสระ (Free Outlet) แต่มีความลึกปกติ $y_n > D$ การไหลภายในท่อจะเป็นแบบเต็มท่อบางส่วน (Partially Full Flow) ดังแสดงในภาพที่ 15 (ค) อัตราการไหลจะถูกควบคุมด้วยเงื่อนไขที่ปากทางเข้า (Entrance Control) และสูตรการคำนวณอัตราการไหล

$$Q_d = C_d A \sqrt{2gHW}$$

โดย C_d = สัมประสิทธิ์ของอัตราการไหล โดยทั่วไป ค่าประมาณของ $C_d \approx 0.62$ สำหรับปากทางเข้าเป็นมุมเหลี่ยม (Square-Edged) และ $C_d \approx 1.0$ สำหรับปากทางเข้าเป็นมุมโค้งมาก (Well-Rounded Entrance)

- กรณีที่ 4 เป็นกรณีที่ความสูงด้านเหนือหน้า $HW < 1.2 D$ ทำให้อากาศไหลเข้าท่อทางด้านเหนือหน้าได้ และการไหลในท่อเป็นลักษณะการไหลในทางน้ำเปิด อัตราการไหลผ่านท่อขึ้นอยู่กับความลาดของท่อ S_0 ถ้า $S_0 > S_c$ อัตราการไหลถูกกำหนดด้วยการไหลวิกฤตที่ปากทางเข้า การไหลในท่อจะเป็นการไหลเหนือสภาวะวิกฤต ทำให้เกิดน้ำกระโดดภายในท่อขึ้นอยู่กับระดับน้ำท้ายน้ำ TW ในกรณีที่ $S_0 < S_c$ การไหลในท่อเป็นการไหลสภาวะใต้วิกฤต

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สมชาติ (2534) ทำการหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งในคลองส่งน้ำคาคด้วยคอนกรีตของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครปฐม (โครงการเก่าที่ส่งน้ำมาแล้วมากกว่า 10 ปี) และโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาสองพี่น้อง (โครงการใหม่ที่เพิ่งเริ่มส่งน้ำ) ได้แบ่งปัจจัยการตรวจวัดออกเป็น 2 ปัจจัย คือ ขนาดคลองและอัตราการไหลของน้ำ โดยพิจารณาเลือกขนาดคลองที่แตกต่างกัน 3 ขนาด คือ เล็ก กลาง ใหญ่ และอัตราการไหลของน้ำแตกต่างกัน 3 ระดับคือ น้อย ปานกลาง และมาก ผลการคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งตามเงื่อนไขข้างต้นค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งเฉลี่ยของคลองขนาดเล็ก และขนาดกลาง-ใหญ่ ของโครงการนครปฐมเท่ากับ 0.019 และ 0.017 ตามลำดับ ส่วนโครงการสองพี่น้องเท่ากับ 0.018 และ 0.016 ตามลำดับ ส่วนค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งเฉลี่ยของทั้งสองโครงการ สำหรับคลองขนาดเล็ก (น้อยกว่า 5 ลบ.ม./วินาที) เท่ากับ 0.018 คลองขนาดกลาง-ใหญ่ (มากกว่าหรือเท่ากับ 5 ลบ.ม./วินาที) เท่ากับ 0.016 เมื่อวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าที่คำนวณได้กับค่าที่ใช้ในการออกแบบผลแสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งทั้งสองโครงการ มีค่าอยู่ในช่วงเกณฑ์การออกแบบในปัจจุบัน(0.016-0.018) และเสนอแนะว่าควรพิจารณากำหนดเกณฑ์ในการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งสำหรับการออกแบบเป็น 2 ค่าคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งสำหรับคลองขนาดเล็กที่มีอัตราการไหลน้อยกว่า 5 ลบ.ม./วินาทีเท่ากับ 0.018 และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งสำหรับคลองขนาดกลาง-ใหญ่ที่มีอัตราการไหลมากกว่าหรือเท่ากับ 5 ลบ.ม./วินาทีเท่ากับ 0.016

Suwatana (2001) ทำการศึกษาเพิ่มเติมทางด้านชลศาสตร์ถึงความเป็นไปได้ในการลำเลียงน้ำดิบผ่านคลองประปาแม่กลอง - มหาสวัสดิ์ผ่านคลองอ้อมสถานีสูบน้ำบางเลน (Bypass Canal) ด้วยการไหลแบบแรงโน้มถ่วง จากผลของการศึกษาวิเคราะห์การออกแบบ และการคำนวณรายละเอียดคลองทั้ง 2 ระยะ คือ คลองระยะที่ 1 จากแม่น้ำท่าจีนถึงสถานีสูบน้ำดิบมหาสวัสดิ์ และคลองระยะที่ 2 จากเขื่อนแม่กลองถึงสถานีสูบน้ำบางเลน พบว่าน้ำสามารถไหลผ่านคลองอ้อมสถานีสูบน้ำบางเลนด้วยแรงโน้มถ่วงจากคลองระยะที่ 2 ไปยังคลองระยะที่ 1 ตามรายละเอียดและเหตุผลดังนี้

1. คลองประปารับน้ำมาจากแม่น้ำแม่กลองสามารถทำให้ระดับน้ำสูงสุดหน้าสถานีสูบน้ำบางเลนเท่ากับ +2.01 ม.รทก. ซึ่งเป็นเงื่อนไขของการจัดการน้ำด้านเหนือน้ำของท่อลอดแม่ท่าจีน

เนื่องจากระดับน้ำที่ด้านเหนือน้ำของ Emergency Spillway ที่ปลายของท่อลอดแม่ท่าจีนเท่ากับ +2.34 ม.รทก. ทำให้ระดับน้ำมีความแตกต่างกับด้านท้ายน้ำเท่ากับ 0.38 เมตร ซึ่งน้ำสามารถไหลผ่านอุโมงค์ได้อย่างน้อย 25 ลบ.ม./วินาที

2. การพิจารณาการไหลในคลองระยะที่ 1 มีความเกี่ยวข้องกับความเร็วและความลึกด้านท้ายน้ำของการไหลผ่านคลองอ้อมสถานีสูบน้ำ ซึ่งความเร็วจะเกิดขึ้นในระดับคงที่ และมีความสัมพันธ์กับการไหลผ่านคลอง ด้วยอัตราการไหล 20 ลบ.ม./วินาที (1,728,000 ลบ.ม./วัน) ระดับน้ำจะเกิดขึ้นที่ระดับ +1.81 ม.รทก. มีความต่างของระดับน้ำประมาณ 0.20 เซนติเมตร จากการวิเคราะห์ค่าความขรุขระของคลองดิน $n = 0.030$ ขณะที่อัตราการไหล 23 ลบ.ม./วินาที ทำให้เกิดความแตกต่างของระดับน้ำด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำน้อยมาก ถ้ามีการบำรุงรักษาคลองที่ดีจะเกิดความลึกปกติที่ด้านท้ายน้ำต่ำกว่าระดับดังกล่าว

3. การออกแบบคลองอ้อมผ่านสถานีสูบน้ำดิบบางเลนใช้หลักการในออกแบบโครงสร้างสะพานน้ำ ซึ่งมีการสูญเสียพลังงานน้อยกว่า 0.20 เมตร โดยเพิ่มเติมอาคารบังคับน้ำที่มีประตูบานตรงขนาด 3.50x5.00 ม. จำนวน 2 ช่อง เพื่อป้องกันการไหลย้อนกลับเมื่อทำการสูบน้ำในอนาคต

วีระชาติ (2543) ทำการศึกษาวិธีควบคุมการใช้งานคลองประปาฝั่งตะวันตกระยะที่ 2 ของการประปานครหลวงให้มีประสิทธิภาพ ซึ่งการวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองโดยดำเนินการตามขั้นตอนดังนี้

1. ศึกษากระดับน้ำในคลองประปาที่อัตราการไหลต่าง ๆ โดยให้น้ำไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) ตามเกณฑ์กำหนดในการออกแบบคลองประปา
2. ศึกษาเกณฑ์กำหนดและข้อจำกัดในการออกแบบคลองประปา ซึ่งมีการตรวจสอบความเร็วของน้ำไม่ให้เร็วเกินไปจนเกิดการกัดเซาะ และต้องไม่ช้าไปจนเกิดการตกตะกอน
3. ศึกษาเกณฑ์กำหนดและข้อจำกัดของเครื่องสูบน้ำที่สถานีสูบน้ำดิบบางเลน
4. วิเคราะห์และสังเคราะห์ข้อจำกัดของการใช้งานคลองประปาและเครื่องสูบน้ำของสถานีสูบน้ำดิบบางเลน เพื่อคำนวณหาระดับน้ำสูงสุดในบ่อพักน้ำหน้าสถานีสูบน้ำดิบบางเลน เพื่อ

ประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำที่สถานีสูบน้ำบางเลน และความมั่นคงของคลองประปา

5. เมื่อกำหนดระดับน้ำสูงสุดในคลองประปาแล้ว ทำการตรวจสอบความเร็วของน้ำในคลอง หากพบว่าบริเวณใดน้ำไหลเร็วเกินไปจนจะเกิดการกัดเซาะคันคลอง แก้ไขโดยการเสริมบานกั้นน้ำ (Stop Log) ทำหน้าที่เป็นฝายกั้นระดับน้ำ เพื่อลดความเร็วของน้ำ

6. คำนวณปริมาณพลังงานไฟฟ้าที่ใช้ในการสูบน้ำที่สถานีสูบน้ำดิบบางเลน ทั้งกรณีที่ให้น้ำไหลแบบสม่ำเสมอ (Uniform Flow) และกรณีที่มีระบบควบคุมระดับน้ำที่อัตราการไหลต่าง ๆ ที่เหมาะสม และเปรียบเทียบค่าพลังงานไฟฟ้า

จากการศึกษาดังกล่าวสรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะดังนี้

1. เสนอแนะวิธีควบคุมระดับน้ำและควบคุมความเร็วน้ำในคลองประปา โดยกำหนดจุดติดตั้งบานกั้นน้ำ (Stop Log) ทำหน้าที่เป็นฝายกั้นระดับน้ำที่อัตราการไหลต่าง ๆ เพื่อรักษาระดับน้ำในคลองประปาให้มีความลึกของน้ำในคลองไม่น้อยกว่า 2 เมตร ตามข้อจำกัดของการออกแบบคลองประปาเพื่อรักษาเสถียรภาพทางด้านข้างของคันคลอง (Side Slope Stability)

2. เสนอแนะวิธีการควบคุมปล่อยน้ำจากเขื่อนฯ โดยการกำหนดยกบานประตูระบายน้ำอัตราการไหลต่าง ๆ เพื่อให้ไหลเข้าคลองประปาตามต้องการ

3. ทำการเปรียบเทียบการควบคุมระดับน้ำที่เหมาะสม ซึ่งสามารถช่วยประหยัดพลังงานไฟฟ้าในการสูบน้ำได้ในช่วง 15 ปี (พ.ศ.2546 ถึง พ.ศ.2560) ประมาณ 27 ล้านบาท

4. คลองประปาฝั่งตะวันตกตอนบนยาวประมาณ 71 กิโลเมตร ตารางที่ 4 แสดงเวลาที่น้ำไหลจากเขื่อนแม่กลองถึงสถานีสูบน้ำดิบบางเลนที่อัตราการไหลต่าง ๆ สรุปได้ว่าระยะเวลาในการเดินทางของน้ำใช้เวลาประมาณ 20 ถึง 27 ชั่วโมง ซึ่งจะเป็นข้อมูลในการจัดการส่งน้ำเพื่อใช้ควบคุมการเปิด-ปิดบานประตูระบายน้ำที่เขื่อนฯ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่เริ่มปล่อยน้ำเข้าคลองประปาและช่วงที่มีการเปลี่ยนแปลงอัตราการไหลของน้ำ เพื่อป้องกันมิให้ระดับน้ำสูงจนไหลล้นคันคลองทำให้เสียหาย หรือระดับต่ำเกินไปจนเกิดการพังทลายของคันคลอง

5. เมื่อสามารถควบคุมระดับน้ำในคลองประปาให้สูงต่ำได้ตามต้องการ และควรวางแผนการสูบน้ำที่สถานีสูบน้ำดิบบางเลน โดยเลือกใช้เครื่องสูบน้ำที่ใช้กำลังไฟฟ้าต่ำเพื่อประหยัดค่าความต้องการไฟฟ้า (Demand Charge) และประหยัดค่าพลังงานไฟฟ้าโดยเลือกสูบน้ำมากในช่วงอัตราค่าพลังงานไฟฟ้าต่ำ และปรับระยะเพื่อ (Free Board) ซึ่งจากเดิมกำหนดไว้ 70 ซม. เป็นประมาณ 50 – 70 ซม. หรือตามที่เห็นว่าเหมาะสมเมื่อสามารถควบคุมระดับน้ำให้สูงต่ำได้ตามต้องการ

ปียากรณ์ (2546) ได้ทำการศึกษาสภาพชลศาสตร์ของคลองประปาแม่กลอง-มหาสวัสดิ์ ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำดิบ เพื่อการผลิตน้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ฟังตะวันตกของกรุงเทพมหานคร การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสภาพทางชลศาสตร์ของคลองประปาแม่กลอง-มหาสวัสดิ์ ซึ่งเป็นคลองส่งน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ ฟังตะวันตกของกรุงเทพมหานคร เพื่อเป็นแนวทางในการดำเนินการ และบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสมตามศักยภาพของระบบส่งน้ำ ดำเนินการโดยรวบรวมข้อมูล และสอบเทียบอาคารจากสนาม จำลองระบบลงในแบบจำลองคณิตศาสตร์ CanalMan ทำการสอบเทียบแบบจำลองเพื่อเป็นตัวแทนของระบบ และทำการศึกษาด้วยกรณีศึกษา 2 กรณี กรณีที่ 1 ศึกษาพฤติกรรมการไหลแบบไม่คงที่เปรียบเทียบกับกรณีการไหลแบบคงที่ ณ อัตราการไหลต่าง ๆ กรณีที่ 2 ศึกษาสภาพชลศาสตร์เมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงโดยขึ้นอยู่กับอัตราการสูบน้ำดิบเพื่อการผลิตน้ำประปาที่โรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ รวมทั้งศึกษาผลกระทบที่อาจเกิดขึ้นได้เมื่อเกิดกรณีฉุกเฉินพร้อมทั้งเสนอแนะแนวทางแก้ไข

ผลการสอบเทียบอาคารแบ่งออกเป็น 2 อาคาร ดังนี้

1. อาคารประตูละบายน้ำบานโค้ง

อาคารรับน้ำที่เขื่อนแม่กลองเป็นประตูละบายน้ำบานโค้งอยู่ที่ตำแหน่ง กม.0+000 มีขนาด 2-3.00x6.00 เมตร ทำการสอบเทียบแบบท่วมท้าย

2. อาคารประตูละบายน้ำบานตรง

อาคารประตูละบายน้ำบานตรงบริเวณคลองอ้อมสถานีสูบน้ำบางเลนที่ กม. 71+889

ขนาด 2-3.50x6.00 เมตร ทำการสอบเทียบแบบท่วมท้าย

ผลการศึกษารณีที่ 1 พบว่าเมื่ออัตราการไหลเปลี่ยนแปลงเป็น 5 10 15 และ 20 ลบ.ม./วินาที น้ำเดินทางจากต้นคลองถึงปลายคลองใช้เวลาเฉลี่ย 3 วัน 6 ชั่วโมง และเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าระดับน้ำจากแบบจำลองของสภาวะการไหลแบบไม่คงที่ กับสภาวะการไหลแบบคงที่ที่อัตราการไหลต่าง ๆ พบว่ามีความคลาดเคลื่อนสัมบูรณ์เฉลี่ยเพียง 5.00 เปอร์เซ็นต์ ผลการศึกษารณีที่ 2 พบว่าในกรณีปกติขณะทำการสูบน้ำด้วยอัตรา 6.92 – 20.83 ลบ.ม./วินาที ระดับน้ำในบ่อพักน้ำที่หน้าสถานีสูบน้ำดิบมหาสวัสดิ์มีค่าอยู่ระหว่าง -0.305 ถึง +0.306 ม.รทก. และในกรณีฉุกเฉินเมื่อเครื่องสูบน้ำหยุดทำงานกระทันหันที่อัตราการสูบน้ำ 20.83 ลบ.ม./วินาที พบว่าทำให้ระดับน้ำในบ่อพักน้ำสูงขึ้นอย่างต่อเนื่องจนล้นคันคลองที่ระดับ +1.150 ม.รทก. ภายในเวลา 6 ชั่วโมง 30 นาที การแก้ไขเหตุการณ์ดังกล่าวเสนอแนะโดยให้ทำการปิดประตูระบายน้ำที่บางเลนทันที และให้น้ำระบายออกที่อาคารระบายน้ำฉุกเฉินที่กม. 70+611 ทั้งนี้เพื่อช่วยชลระดับน้ำที่เพิ่มขึ้นในคลองช่วงท้าย และเมื่ออัตราการไหลในคลองมากกว่า 20 ลบ.ม./วินาที ควรก่อสร้างอาคารระบายน้ำฉุกเฉินเพิ่มเติมอีกแห่งหนึ่งที่กม. 106+188 เพื่อป้องกันมิให้น้ำล้นคันคลองเมื่อเกิดกรณีฉุกเฉินขึ้น

นุชนาถ (2540) ศึกษาสภาวะน้ำท่วมของกลุ่มน้ำปึงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อเลียนแบบสภาวะการเกิดอุทกภัยของตัวเมืองเชียงใหม่และบริเวณใกล้เคียง โดยศึกษาสภาวะน้ำท่วมนี้ได้วิเคราะห์เหตุการณ์ที่เกิดขึ้นในระหว่างเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน พ.ศ. 2537 จำนวน 2 เหตุการณ์ ซึ่งประกอบไปด้วยกราฟน้ำหลากขนาดเล็กที่มีการไหลเฉพาะในแม่น้ำ และกราฟน้ำหลากขนาดใหญ่ที่มีการไหลล้นตลิ่งลงสู่ทุ่งน้ำท่วม จากการสอบเทียบแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า กราฟน้ำหลากที่ได้จากการบันทึกข้อมูลเข้าด้วยกันได้ดี และเป็นที่ยอมรับได้กับกราฟน้ำหลากที่ได้จากการวิเคราะห์โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ผลการสอบเทียบแบบจำลองจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน Manning's n ทั้งในแม่น้ำและทุ่งน้ำท่วม ซึ่งนำไปประยุกต์ใช้ในการศึกษาแนวทางป้องกันและแผนบรรเทาอุทกภัยที่เหมาะสมต่อการเกิดอุทกภัยในแต่ละรอบปีการเกิดต่างๆ สำหรับแนวทางป้องกันและแผนบรรเทาภัยนั้นก็มีหลายทางเลือก เช่น การปรับปรุงสภาพแม่น้ำให้ลึกหรือกว้างขึ้นเพื่อเพิ่มความจุของลำน้ำ การสร้างพนังกั้นน้ำเพื่อป้องกันการล้นตลิ่ง และการผันน้ำ

แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาสภาพการไหล และเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ ของคลองประปาฝั่งตะวันตกนั้น จำเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการจำลองสภาพธรรมชาติต่างๆ ที่เกิดขึ้นในพื้นที่ โดยในการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง MIKE11 เป็นแบบจำลองที่พัฒนาในปี พ.ศ. 2515 โดย Danish Hydraulic Institute ซึ่งการศึกษานี้จะใช้เพียงการจำลองลักษณะการไหลของน้ำ ในรูปแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic module)

1. แบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic module)

แบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic module) เป็นแบบจำลองประเภท implicit finite difference module ที่ใช้ในการวิเคราะห์ลักษณะการไหลแบบไม่คงที่ (unsteady flow) สามารถวิเคราะห์การไหลได้ทั้งแบบใต้วิกฤต (Subcritical flow) และแบบเหนือวิกฤต (Supercritical flow) นำมาใช้แก้ปัญหาการไหลข้ามอาคารทางชลศาสตร์ต่างๆ ตลอดจนโครงข่าย (looped network) และแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลาและสถานที่

1.1 ความต้านทานของท้องน้ำ (Bed resistance)

แบบจำลอง MIKE 11 จะทำการวิเคราะห์ความต้านทานของการไหลเนื่องจากความเสียดทานของท้องน้ำ (Bed resistance) ได้ 2 วิธี ดังนี้

1) วิธีของ Chezy

$$Q = AC \sqrt{RS}$$

โดยที่	Q	=	ปริมาณการไหล (ม ³ /วินาที)
	A	=	พื้นที่หน้าตัดการไหล (ม ²)
	R	=	รัศมีชลศาสตร์ (ม.)
	C	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy

2) วิธีการของ Manning

$$Q = \frac{1}{n} A R^{2/3} S^{1/2}$$

โดยที่ n = สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Manning

1.2 ลักษณะของการไหล (Flow Description)

1) Dynamic wave approach เป็นการใช้สมการโมเมนตัมแบบสมบูรณ์ (full momentum equation) ซึ่งประกอบด้วยแรงเนื่องจากความเร็ว (acceleration forces) ซึ่งสามารถใช้กับกรณีของการคำนวณของการเปลี่ยนแปลงอย่างรวดเร็ว (fast transients) การไหลของการขึ้นลงของน้ำทะเล (tidal flows) เป็นต้น ทั้งยังสามารถคำนวณหา Backwaters profiles ได้ด้วย

2) Diffusion wave approach เป็นแบบจำลองที่จำลองแบบเฉพาะของความสัมพันธ์ของท้องคลอง (bed friction) เทอมของแรงโน้มถ่วง (gravity force) และเทอมของการเปลี่ยนแปลงของความดันสถิตศาสตร์ของน้ำ (hydrostatic gradient) ในสมการโมเมนตัมเท่านั้น มีความเหมาะสมกับกรณีของการวิเคราะห์ backwater กรณีที่แรงของความต้านทานของท้องคลอง (bed resistance forces) มีค่ามาก และกรณีที่คลื่นน้ำท่วมของการเคลื่อนที่อย่างช้าๆ (slowly propagating flood waves) ซึ่งไม่เหมาะสมกับกรณีการไหลขึ้นลงของน้ำทะเล (tidal flows)

3) Kinematic wave approach เป็นแบบจำลองที่การไหลถูกคำนวณให้เป็นไปตามสมมติฐานของความสมดุลระหว่างแรงที่เกิดจากความเสียดทาน (friction force) กับแรงที่เกิดจากแรงโน้มถ่วง (gravity force) ซึ่งวิธีนี้เหมาะกับกรณีแม่น้ำที่มีความลาดชันมาก (relatively steep rivers) ที่ปราศจากผลที่เกิดจาก backwater effects

1.3 Saint Venant Equations

MIKE 11 HD ได้ถูกนำมาประยุกต์กับลักษณะของคลื่นแบบพลศาสตร์ (dynamic wave description) โดยการแก้สมการของการอินทิเกรชันในแนวดิ่ง (vertically integrated

equations) ของการทรงสมการความต่อเนื่อง (conservation of continuity) และสมการโมเมนตัม ซึ่งรวมเรียกว่า Saint Venant Equations โดยมีสมมุติฐานดังต่อไปนี้

- 1) น้ำมีลักษณะที่ไม่สามารถถูกกดอัดได้ (incompressible) และเป็นเนื้อเดียวกัน (homogeneous) ซึ่งหมายความว่าจะไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำ
- 2) ความลาดชันของท้องคลองมีค่าน้อยมาก (Mid slope) ดังนั้นค่า cosine ของมุมที่ทำกับแนวระดับ จึงมีค่าเข้าใกล้หนึ่ง
- 3) ความยาวของคลื่น (wave-lengths) มีค่ามากเมื่อเปรียบเทียบกับความลึกของน้ำ (water depth) สมมุติฐานในข้อนี้มีไว้เพื่อให้เกิดความแน่ใจได้ว่าทิศทางของการไหลในทุกๆ จุดจะมีทิศทางขนานกับท้องคลอง ซึ่งหมายความว่า ความเร่งในแนวดิ่ง (vertical accelerations) จะไม่ถูกนำมาพิจารณาและการเปลี่ยนแปลงความดันอันเนื่องมาจากแรงสถิตยศาสตร์ของน้ำ (hydrostatic pressure variation) ในแนวดิ่งจะถูกสมมติค่าขึ้นมาได้
- 4) สภาพการไหลเป็นแบบใต้วิกฤต (subcritical) ในขณะที่การไหลแบบเหนือวิกฤต (supercritical flow) ก็ถูกจำลองแบบลงใน MIKE 11 อย่างไรก็ตามการนำเอาไปใช้งานนั้น ก็ใช้เฉพาะในบางกรณีที่จะต้องมีการพิจารณาอย่างเข้มงวดเท่านั้น

สมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม ซึ่งใช้ในแบบจำลอง MIKE 11 ได้ดังสมการต่อไปนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} = 0$$

เมื่อรวมค่า ความต้านทานชลศาสตร์จากทฤษฎีของเชซี และการไหลเข้าด้านข้างเข้าไปในสมการและจะได้สมการพื้นฐานคือ

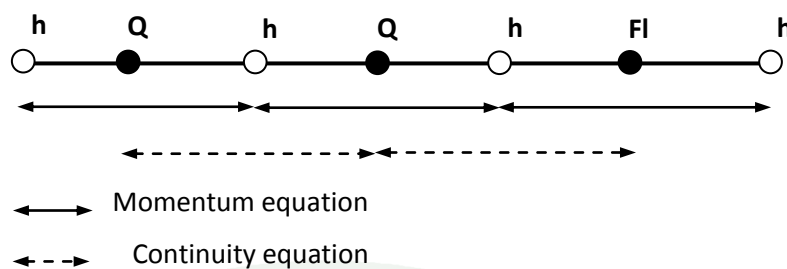
$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial \left(\frac{\alpha Q^2}{A} \right)}{\partial x} + gA \frac{\partial h}{\partial x} + g \frac{Q|Q|}{C^2 AR} = 0$$

โดยที่	Q	=	อัตราการไหล (ม ³ /วินาที)
	A	=	หน้าตัดขวางของการไหล (ม ²)
	q	=	ปริมาณการไหลเข้าด้านข้าง (lateral inflow) (ม ³ /วินาที)
	h	=	ระดับน้ำเหนือจุดอ้างอิง (ม.)
	C	=	สัมประสิทธิ์ความเสียดทานของ Chezy
	R	=	รัศมีชลศาสตร์ หรือรัศมีของความเสียดทาน (ม.)
		=	สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของโมเมนตัม (momentum distribution coefficient)

1.4 Implicit Finite Difference Equations

การแก้สมการต่อเนื่องและสมการโมเมนตัม จะใช้วิธีการที่เรียกว่า an implicit finite difference equations โดยกำหนดให้ computational grid ของ Q (อัตราการไหล) หรือ h (ระดับน้ำ) อันใดอันหนึ่ง สามารถนำมาแสดงในภาพที่ 16 โดยที่ computational grid จะถูกสร้างขึ้นมาจากอัตราโน้มนำตามความต้องการของผู้ใช้ จุดต่างๆ ของ Q (Q point) จะถูกกำหนดไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดของ h ที่อยู่ติดกัน และตำแหน่งที่มีอาคารชลศาสตร์ ในขณะที่จุดของ h นั้น จะกำหนดไว้ที่ภาพหน้าตัดขวาง หรือในระหว่างกึ่งกลางของระยะทางระหว่างหน้าตัดขวางใดๆ ที่มีระยะทางห่างมากกว่า dx-max โดยอัตราการไหลถูกกำหนดให้เป็นบวกในแนวแกน x ที่มีค่าเป็นบวกตามแนวระยะทางที่เพิ่มขึ้น (increasing chainage)



ภาพที่ 16 แสดง computational grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ

ที่มา : MIKE(1992)

1.5 ข้อมูลที่ต้องการในการใช้งานแบบจำลอง HD Module

- 1) อัตราการไหล และระดับน้ำ จากสถานีวัดน้ำต่างๆ
- 2) โครงข่ายลำน้ำ (River Network) จะประกอบด้วย เส้นแนวลำน้ำ (Branch and Node) อาคารชลศาสตร์ (Control Structure)
- 3) ภาพตัดลำน้ำ (Cross Section) เป็นข้อมูลหน้าตัดลำน้ำที่ตำแหน่งต่างๆของลำน้ำ
- 4) พารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ เป็นค่าพารามิเตอร์เพื่อใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง เช่น ค่าเริ่มต้นการไหล, ค่าสปส.แรงเสียดทาน เป็นต้น

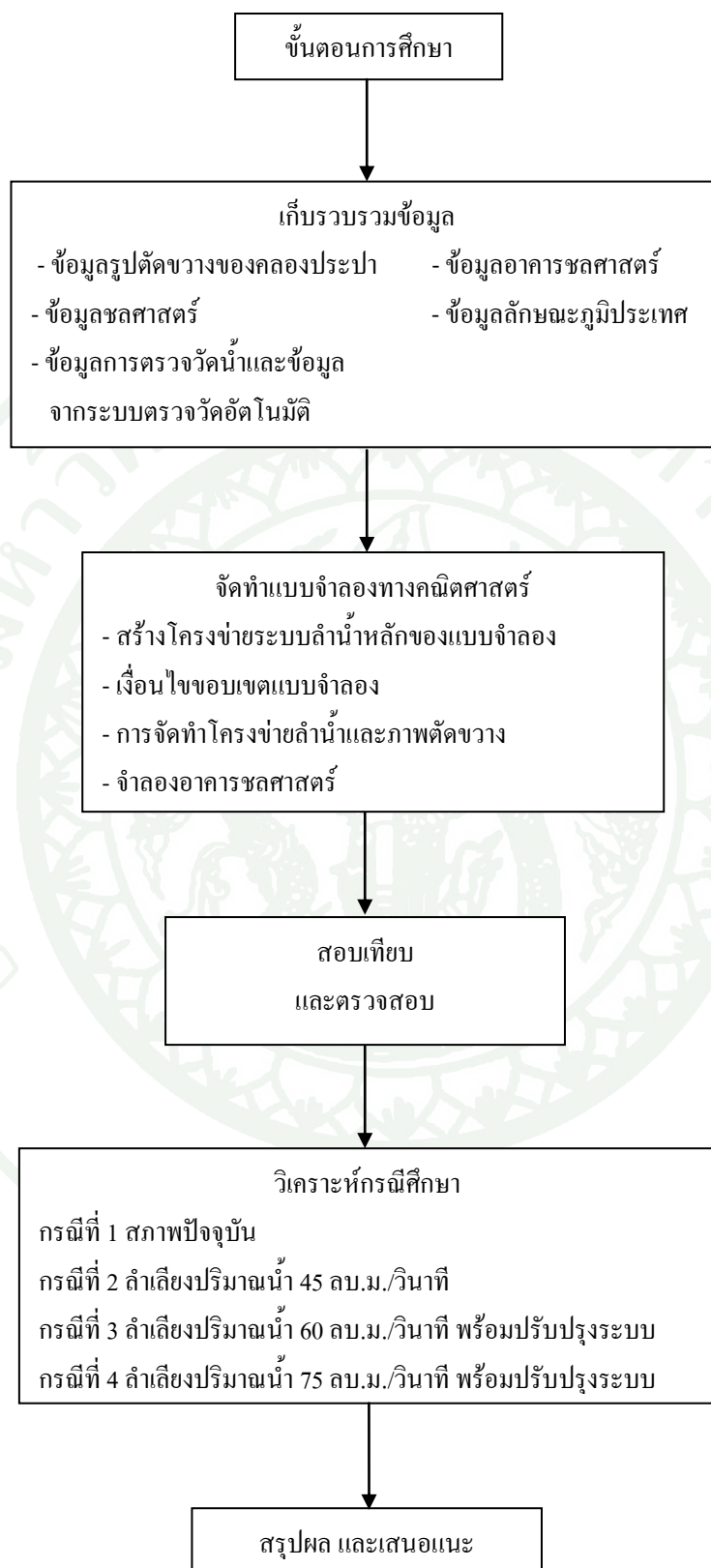
อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. ไมโครคอมพิวเตอร์ และเครื่องพิมพ์ 1 ชุด
2. Program Arc GIS 9.3
3. Program Computer MIKE11
4. แบบแสดงรายละเอียดรูปตัดขวาง รูปตัดตามยาว ของคลองประปาฝั่งตะวันตก
5. ข้อมูลแสดงรายละเอียดอาคารในระบบคลองประปา ข้อมูลสถานีสูบน้ำ และข้อมูลทางชลศาสตร์ของคลองประปาฝั่งตะวันตก
6. ข้อมูลการส่งน้ำของคลองประปาฝั่งตะวันตก
7. แผนที่มาตราส่วน 1: 50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

วิธีการ

การศึกษาแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ ของคลองประปาฝั่งตะวันตก ได้ทำการรวบรวมข้อมูลที่เกี่ยวข้องต่างๆ ได้แก่ ข้อมูลรูปตัดขวางของคลองประปา ข้อมูลอาคารชลศาสตร์ ข้อมูลชลศาสตร์ และข้อมูลลักษณะภูมิประเทศ เพื่อนำข้อมูลมาใส่ในแบบจำลองสภาพการไหล โดยได้กำหนดเงื่อนไขต่างๆ พร้อมทั้งใส่อาคารบังคับน้ำในคลอง เมื่อใส่ข้อมูลในแบบจำลองครบแล้วจึงทำการปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลอง เพื่อให้แบบจำลองที่ได้มีสภาพคล้ายคลึงกับสภาพความเป็นจริงมากที่สุด ด้วยการปรับค่าความขรุขระในลำน้ำ และสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองโดยพิจารณาความสอดคล้องกันของระดับน้ำคำนวณและระดับน้ำตรวจวัดด้วยค่า Correlation of Determination (r^2) และพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการคำนวณระดับน้ำด้วยค่า Root Mean Square Error (RMSE) จากนั้นจึงทำการประยุกต์ในกรณีต่างๆ พร้อมทั้งสรุปผลและเสนอแนะผลการศึกษาต่อไป แสดงขั้นตอนวิธีการศึกษาดังภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แสดงขั้นตอนและวิธีการศึกษา

1. เก็บรวบรวมข้อมูล

การศึกษาแนวทางแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ ของคลองประปาฝั่งตะวันตกนั้น ได้ทำการรวบรวมข้อมูลต่างๆ เพื่อใช้ในการศึกษา และทำแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งมีข้อมูลต่างๆ ประกอบไปด้วย ลักษณะทางกายภาพของคลองประปาฝั่งตะวันตก ข้อมูลอัตราการไหล ข้อมูลระดับน้ำ ข้อมูลภาพตัดตามขวาง ข้อมูลอาคารชลศาสตร์ต่างๆ โดยมีรายละเอียดต่างๆ ดังนี้

1.1 ข้อมูลรูปตัดขวางของคลองประปา

การศึกษาแนวทางแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ ของคลองประปาฝั่งตะวันตกนั้น ได้ทำการรวบรวมข้อมูลภาพตัดขวาง และภาพตัดลำนํ้าของคลองประปาในช่วงต่างๆ มีความยาวรวมทั้งหมด 106.839 กม. มีข้อมูลหน้าตัดลำนํ้าทั้งหมด 107 หน้าตัดและคลอง bypass ยาว 150 ม. มีข้อมูลหน้าตัดลำนํ้าทั้งหมด 2 หน้าตัด

1.2 ข้อมูลอัตราการไหล และระดับน้ำในคลองประปาฝั่งตะวันตก

ข้อมูลอัตราการไหลของน้ำและระดับน้ำในคลองประปาฝั่งตะวันตก ในการรวบรวมข้อมูลอัตราการไหลของน้ำรายวัน และระดับน้ำรายวันจากช่วงต่างๆ ในคลองประปาที่มีการตรวจวัด จำนวน 15 จุด รายละเอียดดังตารางที่ 4

1.3 ข้อมูลอาคารชลศาสตร์

คลองประปาฝั่งตะวันตก ประกอบด้วย อาคารบังคับน้ำหลายประเภทด้วยกัน ประตุน้ำบานตรง ฝ่ายทดน้ำ และท่อดูดที่ได้มาใส่ในแบบจำลอง เพื่อให้ได้สภาพการไหลในคลองได้ถูกต้อง ตามสภาพความเป็นจริงที่สุด โดยข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ ขนาดของบานระบาย, จำนวนบานระบาย, ขนาด จำนวนท่อดูด และระดับธรณี

ตารางที่ 4 ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา

ลำดับที่	สถานี	ช่วงข้อมูล		หน่วยงาน
		อัตราการไหล	ระดับน้ำ	
1	ท่าม่วง	1/1/2557-8/4/2557	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
2	ท่าลุดแม่น้ำท่าจีน	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
3	สถานีสูบน้ำบางเลนด้านเหนือ	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
4	สถานีสูบน้ำบางเลนด้านท้ายน้ำ	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
5	มหาสวัสดิ์	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
6	ท่าลุดคลองแสงชูโต	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
7	ท่าลุดคลอง 2L	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
8	ท่าลุดถนน กม.18+709	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
9	กม.33+978	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
10	ท่าลุดถนน กม.38+036	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
11	กม.53+978	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
12	ท่าลุดทางหลวง 3296	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
13	ท่าลุดคลองบางภาษี	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
14	กม.92+978	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.
15	กม.106+178	-	1/1/2557-8/4/2557	กปน.

2. การจัดทำแบบจำลองสภาพการไหล (Hydrodynamic module)

2.1 ขั้นตอนการจัดทำแบบจำลอง

แบบจำลองสภาพการไหลเป็นการจำลองโครงข่ายคลองประปาฝั่งตะวันตกในพื้นที่ศึกษาซึ่งแนวคลองประปาฝั่งตะวันตก ผ่านพื้นที่ 3 จังหวัด คือ อำเภوتاม่วง จังหวัดกาญจนบุรี อำเภอกำแพงแสน อำเภอดอนตูม อำเภอบางเลน จังหวัดนครปฐม และอำเภอบางกรวย จังหวัดนนทบุรีมีความยาวทั้งสิ้นประมาณ 107 กิโลเมตรอีกทั้งในพื้นที่ศึกษามีอาคารบังคับน้ำต่างๆ

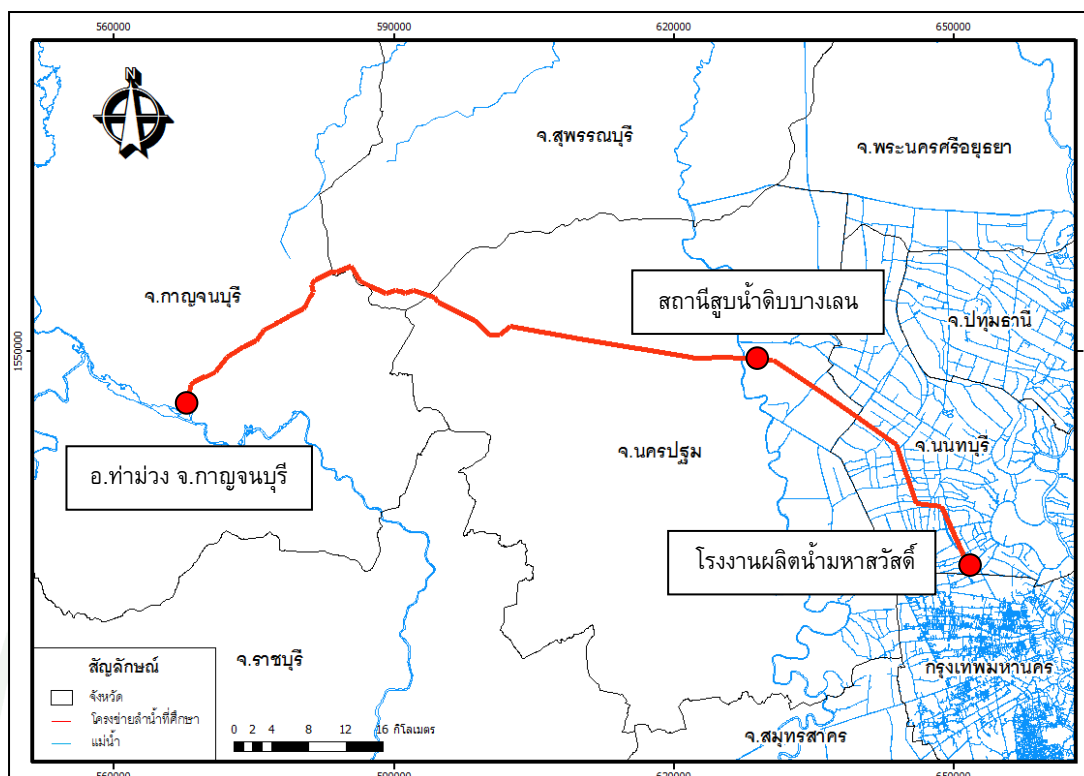
มากมาย ซึ่งหลังจากรวบรวมข้อมูลต่างๆ พร้อมแล้ว จึงทำการจำลองสภาพการไหล โดยจะมีขั้นตอนการจัดทำแบบจำลองดังนี้

1. จัดทำโครงข่ายระบบลำน้ำหลักของแบบจำลอง และคลองbypass แสดงในภาพที่ 16

2. เงื่อนไขขอบเขตแบบจำลองกำหนดให้เงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) สถานีวัดน้ำวัดอัตราการไหลใกล้กับจุดรับน้ำเขื่อนแม่กลอง อำเภอบางแพ จังหวัดกาญจนบุรีเป็นขอบเขตด้านเหนือน้ำของแบบจำลองและเงื่อนไขขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) กำหนดให้ระดับน้ำ กม. 106+178 รับน้ำเข้าของโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ อำเภอบางกรวยจังหวัดนนทบุรีโดยรายละเอียดของเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือและท้ายน้ำของแบบจำลองและตำแหน่งตั้งในพื้นที่ศึกษาดังภาพที่ 18 และตารางที่ 5

3. การจัดทำโครงข่ายลำน้ำและภาพตัดขวางของแบบจำลอง ในแบบจำลองได้มีข้อมูลภาพตัดขวาง และทำการเชื่อมต่อภาพตัดลำน้ำของคลองประปาในช่วงต่างๆ ในแบบจำลอง มีความยาวรวมทั้งหมด106.839 กม.มีข้อมูลหน้าตัดลำน้ำทั้งหมด107 หน้าตัดและคลอง bypass 150 ม. มีข้อมูลหน้าตัดลำน้ำทั้งหมด 2 หน้าตัด และการป้อนภาพตัดลำน้ำในแบบจำลองดังภาพที่ 19

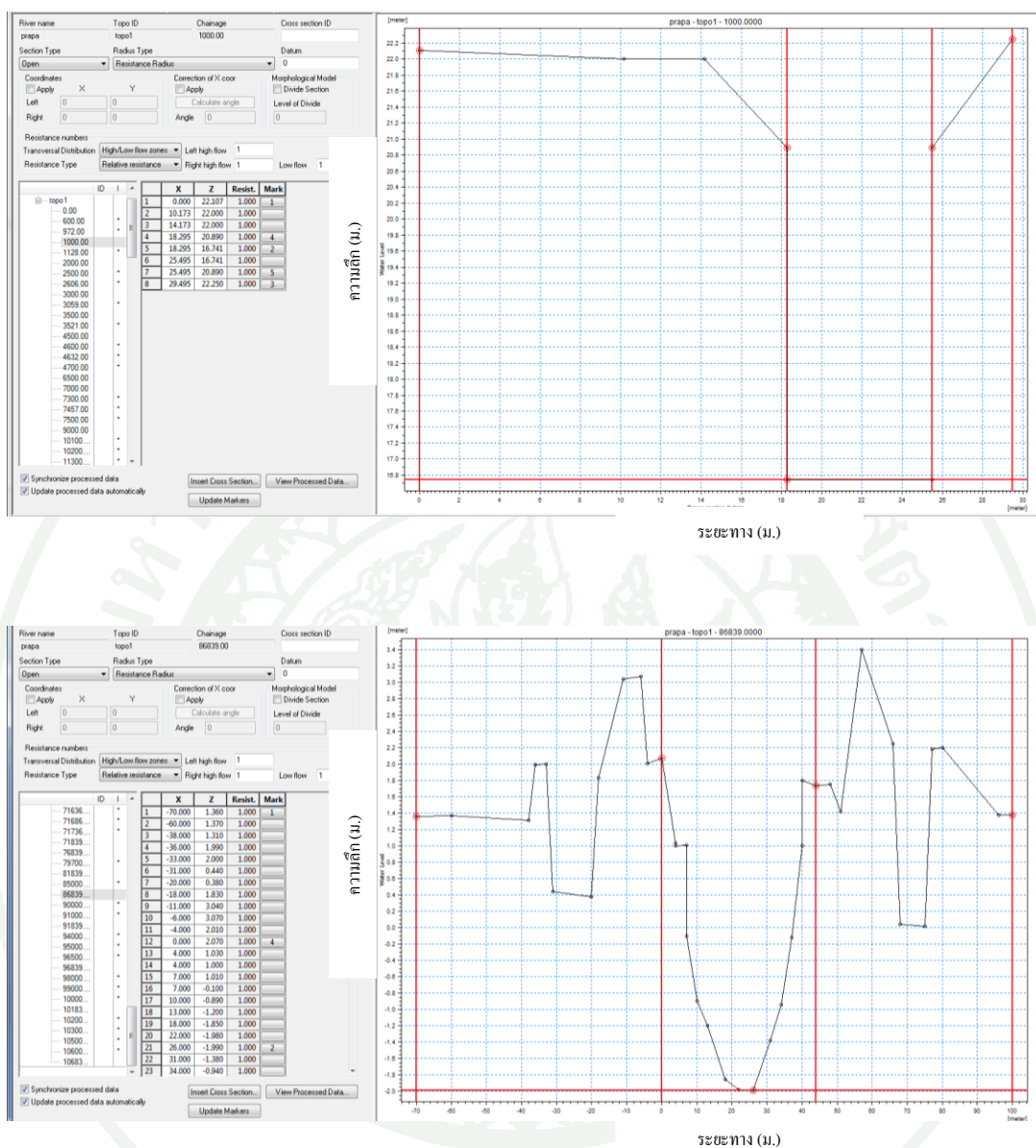
4. ใส่อาคารชลศาสตร์ต่างๆ ที่จำเป็น ได้แก่ ท่อลอดถนน ท่อลอดแม่น้ำ bypass และความสูงของบานกั้นน้ำ (Stoplog) ณ จุดต่างๆ ในแบบจำลองดังภาพที่ 20



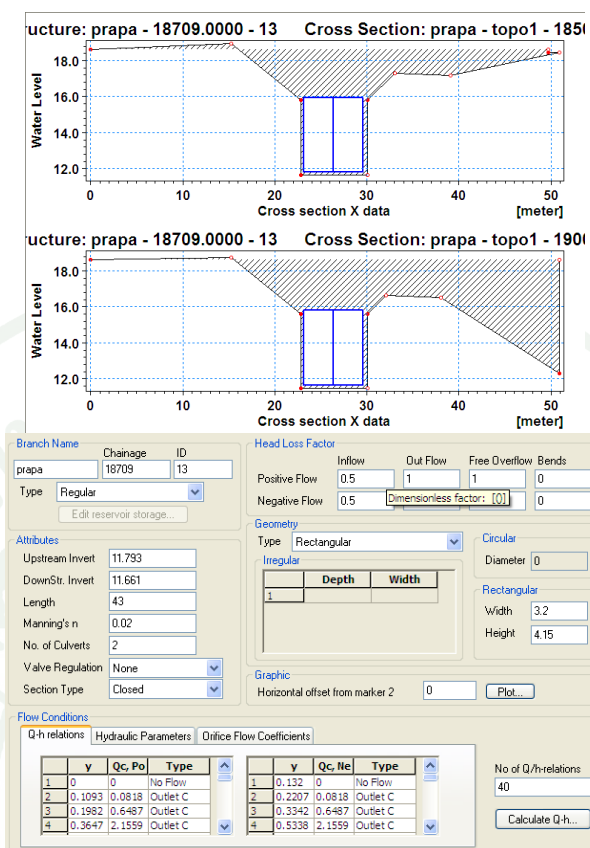
ภาพที่ 18 แสดงโครงข่ายลำน้ำในแบบจำลอง MIKE11 HD

ตารางที่ 5 แสดงการกำหนดเงื่อนไขขอบเขต และการเชื่อมต่อลำน้ำของแบบจำลอง

ลำดับ	ลำน้ำ	ด้านเหนือ		ด้านท้าย	
		ชื่อ	ระยะ	ชื่อ	ระยะ
1	Prapa	prapa	0	prapa	106178
2	Bypa	prapa	71497	prapa	71667



ภาพที่ 19 แสดงตัวอย่างข้อมูลหน้าตัดลำน้ำจากการสำรวจ



ภาพที่ 20 แสดงตัวอย่างการใส่อาคารชลศาสตร์ในแบบจำลอง

2.2 การสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล

ทำการประยุกต์และปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองสำหรับคลองประปาฝั่งตะวันตก ด้วยการเปรียบเทียบผลการคำนวณอัตราการไหลกับการตรวจวัดอัตราการไหลที่สถานีวัดน้ำในคลองประปาฝั่งตะวันตกให้สอดคล้องกันดี จากนั้นจึงทำการปรับค่าความขรุขระในลำน้ำด้วยค่า Manning's n ทั้งนี้ในการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล ได้พิจารณาความสอดคล้องกันของระดับน้ำคำนวณและระดับน้ำตรวจวัดด้วยค่า Correlation of Determination (r^2) และพิจารณาค่าคลาดเคลื่อนเฉลี่ยของการคำนวณระดับน้ำด้วยค่า Root Mean Square Error (RMSE)

2.3 ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ

การสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลอง HD จะต้องใช้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติเพื่อใช้ในการพิจารณาประสิทธิภาพของแบบจำลอง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ใช้ค่าความสัมพันธ์ทางสถิติ 3 ชนิด ได้แก่ Coefficient of Determination (r^2), Water Balance Error (WBL) และ Root Mean Square Error (RMSE) แสดงในสมการดังนี้

1) Coefficient of Determination (r^2)

$$r^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs, i} - Q_{obs})(Q_{sim, i} - Q_{sim})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (Q_{obs, i} - M_{obs}) \cdot \sum_{i=1}^N (Q_{sim, i} - M_{sim})}}$$

2) Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (Q_{obs, i} - Q_{sim, i})^2}{N}}$$

โดยที่

N	=	จำนวนข้อมูล
Q_{obs}	=	ปริมาณหรือระดับน้ำจากการตรวจวัด
Q_{sim}	=	ปริมาณหรือระดับน้ำจากการคำนวณ
M_{obs}	=	ปริมาณหรือระดับน้ำเฉลี่ยจากการตรวจวัด
M_{sim}	=	ปริมาณหรือระดับน้ำเฉลี่ยจากการคำนวณ

2.4 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง

ในอนาคตการใช้น้ำเขตเมืองและชุมชนของกรุงเทพ และปริมณฑลมีแนวโน้มการใช้น้ำที่สูงขึ้น และเป็นไปอย่างรวดเร็ว เนื่องจากการเพิ่มจำนวนประชากร และความต้องการใช้น้ำประปาที่เพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะพื้นที่กรุงเทพฯ และปริมณฑลทางฝั่งตะวันตกของแม่น้ำเจ้าพระยา อีกทั้งการรองรับน้ำดิบจากลุ่มน้ำแม่กลองมาเพิ่มเพื่อการแก้ไขปัญหาน้ำเค็มที่เกิดขึ้น จึงต้องหาแนวทางเพื่อป้องกันปัญหาการขาดแคลนน้ำที่คาดว่าจะเกิดในอนาคต

การศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองสภาพการไหลในคลองประปาฝั่งตะวันตก และหาแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ จากรายงานการศึกษาศักยภาพและแนวทางการแก้ไขวิกฤติการณ์ด้านแหล่งน้ำดิบ โดยภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ได้ทำการศึกษาสมมูลน้ำและศักยภาพของลุ่มน้ำแม่กลอง ระบุว่าลุ่มน้ำแม่กลองมีศักยภาพในการผันน้ำเพื่อมาผลิตน้ำประปาเพิ่มจากปริมาณสูงสุดของระบบลำเลียงน้ำฝั่งตะวันตก ที่ได้ถูกออกแบบได้อีก 30 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที โดยจะรวมเป็น 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ซึ่งแนวทางในการเพิ่มศักยภาพจากปริมาณสูงสุดนั้นแบ่งได้เป็น 2 ระยะ คือ ที่ 60 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที และที่ 75 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที พร้อมทั้งการปรับปรุงระบบเพื่อให้สามารถรองรับอัตราการลำเลียงในอนาคต

ผลและวิจารณ์

ผล

1. ผลการสอบเทียบอาคารชลศาสตร์

การศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองสภาพการไหลในคลองประปาฝั่งตะวันตก ได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) ที่มีผลต่อขนาดและรูปร่างของไฮโดรกราฟของระดับน้ำและอัตราการไหลในคลองประปา และค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) ของอาคารชลศาสตร์ที่มีผลต่อขนาดและรูปร่างของไฮโดรกราฟของระดับน้ำและอัตราการไหลบริเวณด้านเหนือน้ำ และด้านท้ายน้ำของอาคาร

การจำลองสภาพการไหลในส่วนของอาคารทดลองชนิดต่างๆ ในแบบจำลอง ซึ่งได้ทำการสอบเทียบโดยได้แยกขนาดของอาคารที่ใช้ในแบบจำลองตามขนาดของอาคารทั้งหมดได้เป็น 7 ขนาด ได้แก่ 3.20ม. x 3.20ม., 3.20ม. x 3.75ม., 3.20ม. x 3.95ม., 3.20ม. x 4.15ม., 3.25ม. x 3.25ม., ϕ 2 ม. และ ϕ 2.6 ม. โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 6

จากการสอบเทียบอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) ในแบบจำลอง โดยแยกกลุ่มตามขนาดของอาคาร ซึ่งได้ทำการเลือกตัวแทนของอาคารชลศาสตร์แต่ละกลุ่ม มีรายละเอียดต่างๆ ของแต่ละกลุ่มดังนี้

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.20ม. ได้ทำปรับค่าพารามิเตอร์จะสามารถสอบเทียบระดับน้ำด้านเหนือ-ท้ายน้ำของอาคารได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสอบเทียบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) เท่ากับ 0.51

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.75ม. ได้ทำปรับค่าพารามิเตอร์จะสามารถสอบเทียบระดับน้ำด้านเหนือ-ท้ายน้ำของอาคารได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสอบเทียบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) เท่ากับ 0.54

ตารางที่ 6 แสดงอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ที่ใช้สอบเทียบ

ลำดับ	อาคาร	กม.	ขนาดอาคาร
1	ท่อลอดคลองแสงชูโต	0+469	2-3.20 x 3.95 x 43.00
2	ท่อลอดถนนและทางรถไฟ	0+972	2-3.20 x 3.95 x 84.00
3	ท่อลอดคลอง1L	1+128	2-3.20 x 3.20 x 59.00
4	ท่อลอดถนน	2+606	2-3.20 x 3.95 x 30.00
5	ท่อลอดคลองห้วยนาคราช	3+059	2-3.20 x 3.20 x 50.00
6	ท่อลอดคลอง2L	3+521	3- ϕ 2.6 x 86.00
7	ท่อลอดถนน	4+632	3-3.20 x 3.75 x 65.00
8	ท่อลอดถนน	7+457	3-3.20 x 3.75 x 58.00
9	ท่อลอดถนน	10+143	3-3.20 x 3.75 x 52.00
10	ท่อลอดคลอง2R-2L	11+507	2-3.20 x 3.20 x 72.00
11	ท่อลอดถนน	15+399	3-3.20 x 3.75 x 42.00
12	ท่อลอดถนน	18+709	2-3.20 x 4.15 x 43.00
13	ท่อลอดถนน	21+172	3-3.20 x 3.75 x 59.00
14	ท่อลอดถนน	21+936	3-3.20 x 3.75 x 38.00
15	ท่อลอดถนน	22+482	3-3.20 x 3.75 x 40.00
16	ท่อลอดถนน	25+678	3-3.20 x 3.75 x 55.00
17	ท่อลอดทางหลวง 3356	29+097	2-3.20 x 3.20 x 102.00
18	ท่อลอดคลอง3R-2L	29+329	2-3.20 x 3.20 x 63.00
19	ท่อลอดถนน	29+913	2-3.20 x 3.20 x 38.00
20	ท่อลอดถนน	35+574	3-3.20 x 3.75 x 43.00
21	ท่อลอดถนน	36+695	3-3.20 x 3.75 x 43.00
22	ท่อลอดถนน	38+036	3-3.20 x 3.75 x 48.00
23	ท่อลอดคลอง4R-2L	38+456	2-3.20 x 3.20 x 49.00
24	ท่อลอดถนน	38+912	2-3.20 x 4.15 x 36.00
25	ท่อลอดคลอง5R-2L	40+349	2-3.20 x 3.20 x 63.00

ตารางที่ 6 (ต่อ)

ลำดับ	อาคาร	กม.	ขนาดอาคาร
26	ห้องอดคลอง6R-2L	43+766	2-3.20 x 3.20 x 63.00
27	ห้องอดทางหลวง 3040	44+877	2-3.20 x 3.20 x 67.00
28	ห้องอดทางรถไฟ	46+109	2-3.20 x 3.20 x 138.60
29	ห้องอดถนน	46+966	2-3.20 x 3.20 x 117.80
30	ห้องอดทางหลวง 321	50+225	2-3.20 x 3.20 x 117.80
31	ห้องอดทางหลวง 346	56+602	2-3.20 x 3.20 x 130.00
32	ห้องอดทางหลวง 3296	70+539	2-3.20 x 3.20 x 75.00
33	ห้องอดแม่น้ำท่าจีน	70+950	5- ϕ 2.0 x 204.00
34	ห้องอดคลองบางภาษี	74+841	5-3.25 x 3.25 x 124.40
35	ห้องอดคลองสภาพพัฒนา	79+501	5-3.25 x 3.25 x 144.40
36	ห้องอดคลองพระมอ	81+065	5-3.25 x 3.25 x 178.40
37	ห้องอดคลองสว่างอารมณ์	83+626	5-3.25 x 3.25 x 163.40
38	ห้องอดคลองทวีพัฒนา	85+201	5-3.25 x 3.25 x 163.40
39	ห้องอดคลองมะสัง	88+891	5-3.25 x 3.25 x 143.40
40	ห้องอดคลองตาชม	90+887	5-3.25 x 3.25 x 161.40
41	ห้องอดคลองสิบสอง	94+677	5-3.25 x 3.25 x 153.40
42	ห้องอดคลองวาเคียว	96+282	5-3.25 x 3.25 x 128.40
43	ห้องอดคลองบางคูวัด	98+573	5-3.25 x 3.25 x 106.00
44	ห้องอดคลองเจริญสุข	99+484	5-3.25 x 3.25 x 103.40
45	ห้องอดคลองบางใหญ่	102+189	5-3.25 x 3.25 x 168.40
46	ห้องอดคลองโสน	104+011	5-3.25 x 3.25 x 136.40
47	ห้องอดคลองบางนา	105+486	5-3.25 x 3.25 x 149.60
48	ห้องอดคลองปลายบาง	106+689	5-3.25 x 3.25 x 146.93

ตารางที่ 7 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.20ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ

อัตราการไหล	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
15	0.63	0.30	0.43
16	0.83	0.32	0.53
17	0.63	0.32	0.43
18	0.93	0.33	0.63
เฉลี่ยรวม			0.51

ตารางที่ 8 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.75ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ

อัตราการไหล	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
15	0.54	0.45	0.54
16	0.84	0.48	0.60
17	0.51	0.51	0.51
18	0.54	0.51	0.52
เฉลี่ยรวม			0.54

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.95ม. ได้ทำปรับค่าพารามิเตอร์จะสามารถสอบเทียบระดับน้ำด้านเหนือ-ท้ายน้ำของอาคารได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสอบเทียบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) เท่ากับ 0.53

ตารางที่ 9 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 3.95ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ

อัตราการไหล	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
15	0.47	0.36	0.45
16	0.85	0.38	0.55
17	0.89	0.29	0.54
18	0.92	0.42	0.60
เฉลี่ยรวม			0.53

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20ม. x 4.15ม. ได้ทำปรับค่าพารามิเตอร์จะสามารถสอบเทียบระดับน้ำด้านเหนือ-ท้ายน้ำของอาคารได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสอบเทียบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) เท่ากับ 0.54

ตารางที่ 10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.20 ม. x 4.15 ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ

อัตราการไหล	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
15	0.50	0.40	0.45
16	0.53	0.43	0.50
17	0.64	0.46	0.57
18	0.84	0.46	0.63
เฉลี่ยรวม			0.54

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.25ม. x 3.25ม. ได้ทำปรับค่าพารามิเตอร์จะสามารถสอบเทียบระดับน้ำด้านเหนือ-ท้ายน้ำของอาคารได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสอบเทียบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) เท่ากับ 0.58

ตารางที่ 11 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ 3.25 ม. X 3.25 ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ

อัตราการไหล	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
15	0.62	0.18	0.54
16	0.62	0.18	0.52
17	0.71	0.21	0.60
18	0.82	0.22	0.65
เฉลี่ยรวม			0.58

- ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ϕ 2.0ม. ได้ทำปรับค่าพารามิเตอร์จะสามารถสอบเทียบระดับน้ำด้านเหนือ-ท้ายน้ำของอาคารได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสอบเทียบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) เท่ากับ 0.58

ตารางที่ 12 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ϕ 2.0 ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ

อัตราการไหล	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
15	0.72	0.24	0.50
16	0.72	0.48	0.51
17	0.70	0.44	0.65
18	0.78	0.45	0.66
เฉลี่ยรวม			0.58

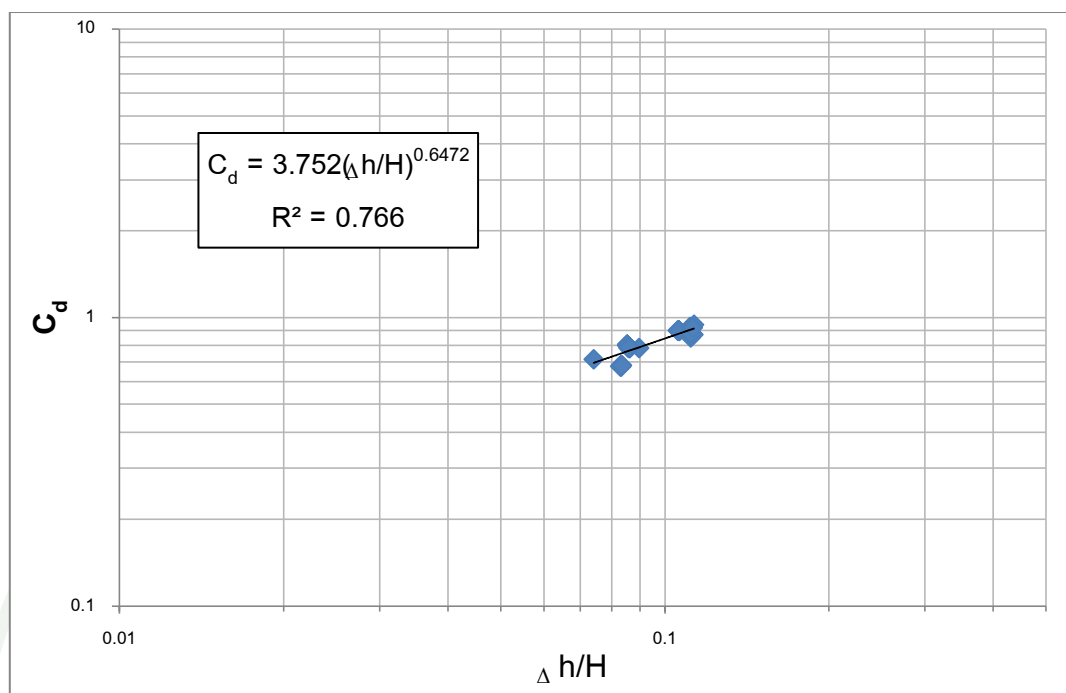
- ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ϕ 2.6ม. ได้ทำปรับค่าพารามิเตอร์จะสามารถสอบเทียบระดับน้ำด้านเหนือ-ท้ายน้ำของอาคารได้ถูกต้องเพิ่มขึ้น ซึ่งจากการสอบเทียบจะได้ค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) เท่ากับ 0.58

ตารางที่ 13 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหลของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ ϕ 2.6 ม. ในช่วงอัตราการไหลต่างๆ

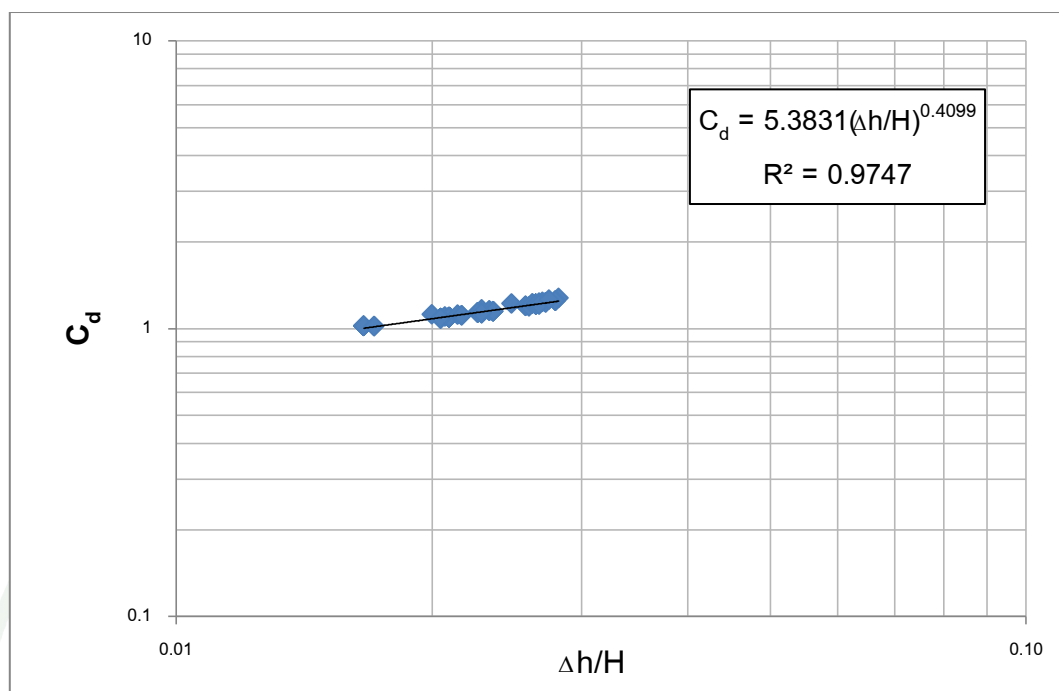
อัตราการไหล	สูงสุด	ต่ำสุด	เฉลี่ย
15	0.65	0.25	0.55
16	0.67	0.27	0.57
17	0.69	0.29	0.59
18	0.70	0.29	0.59
เฉลี่ยรวม			0.58

ตารางที่ 14 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ของการไหล (C_d) ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ในแบบจำลอง

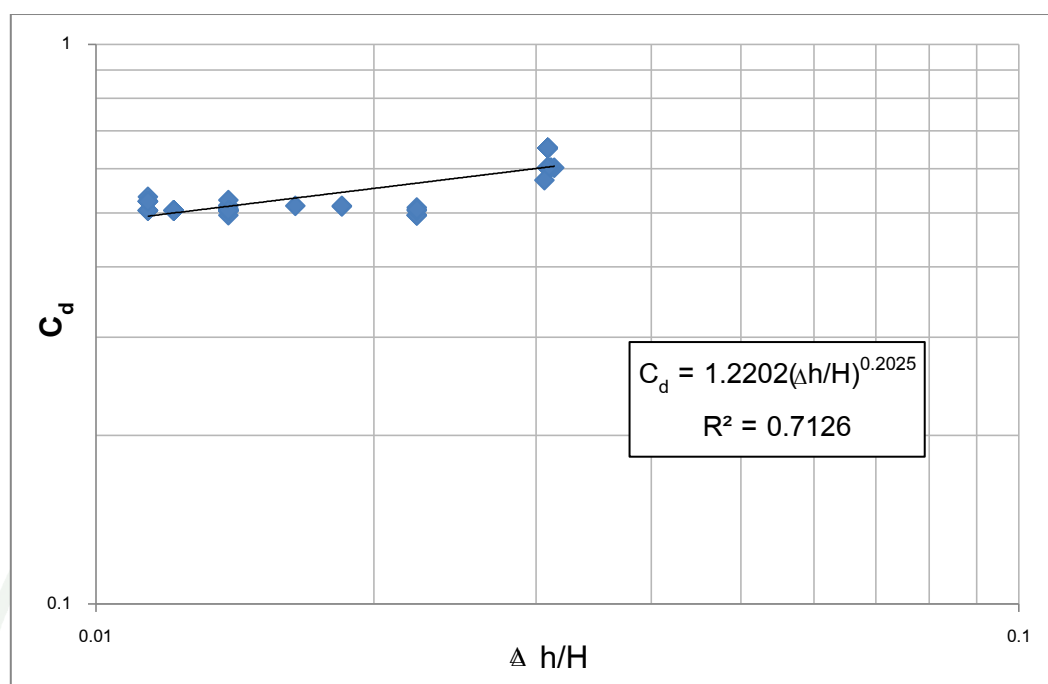
กลุ่มที่	กลุ่มอาคารชลศาสตร์	อาคารตัวแทน	กม.	C_d
1	3.20ม. x 3.20ม.	ท่อลอดทางหลวง 3296	70+539	0.51
2	3.20ม. x 3.75ม.	ท่อลอดถนน	38+036	0.54
3	3.20ม. x 3.95ม.	ท่อลอดคลองแสงชูโต	0+469	0.53
4	3.20ม. x 4.15ม.	ท่อลอดถนน	18+709	0.54
5	3.25ม. x 3.25ม.	ท่อลอดคลองบางภาษี	74+841	0.58
6	ϕ 2.0 ม.	ท่อลอดแม่น้ำท่าจีน	70+950	0.58
7	ϕ 2.6 ม.	ท่อลอดคลอง 2L	3+521	0.58



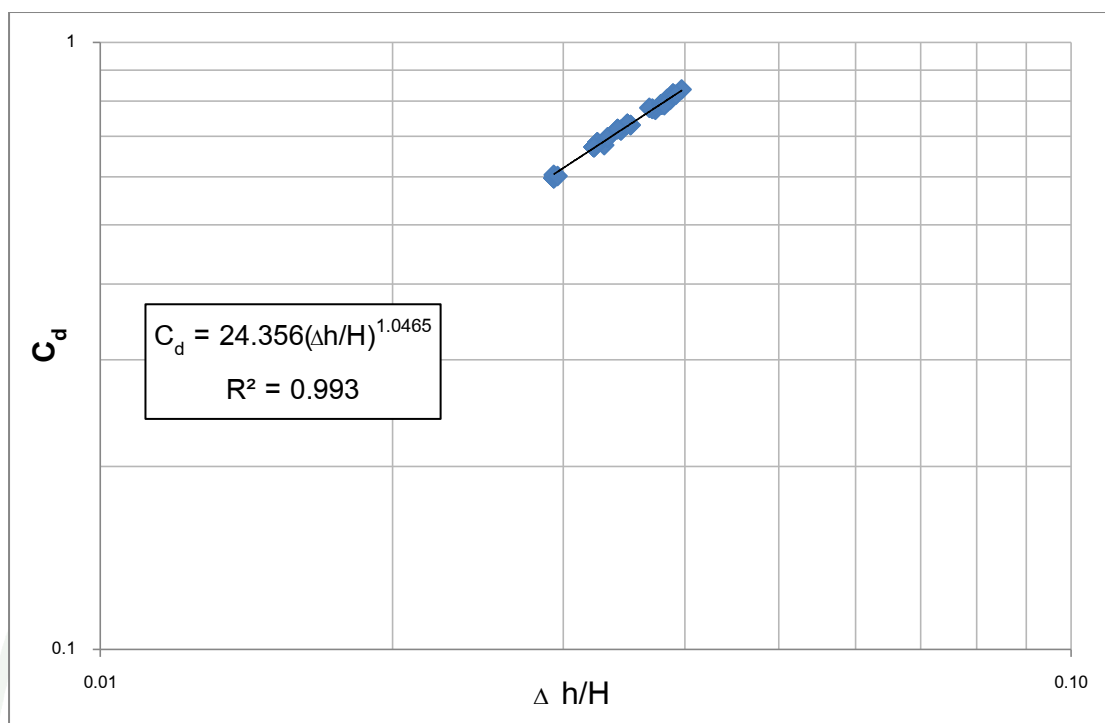
ภาพที่ 21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h/H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20 ม. x 3.20 ม.



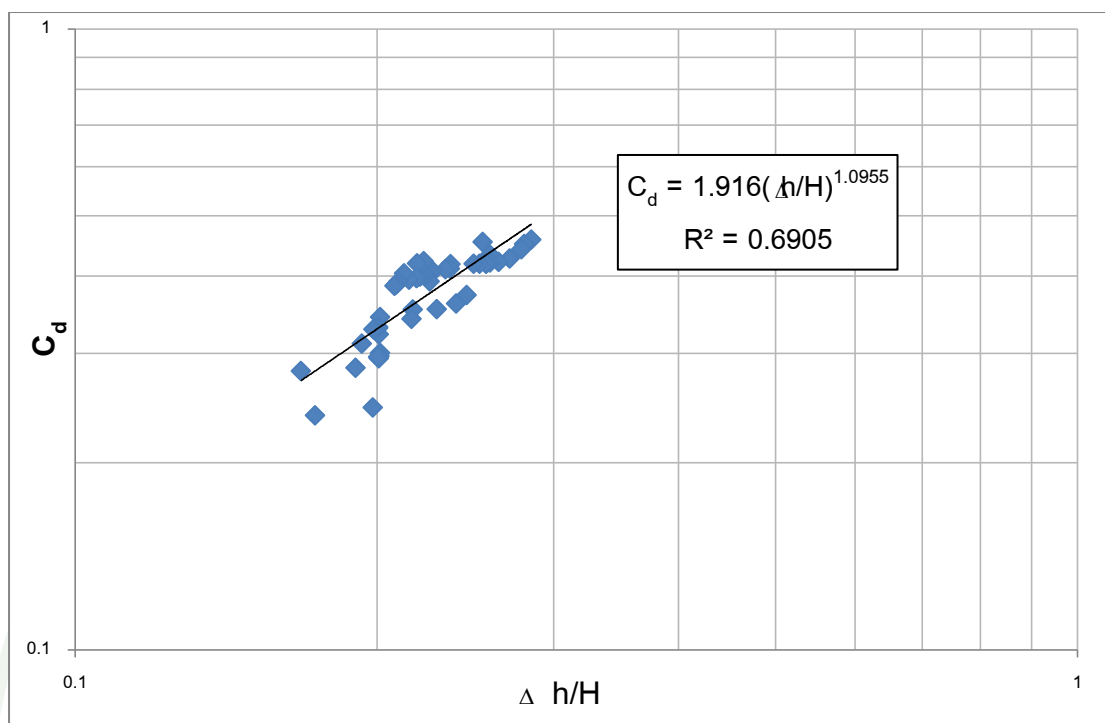
ภาพที่ 22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h/H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20 ม. x 3.75 ม.



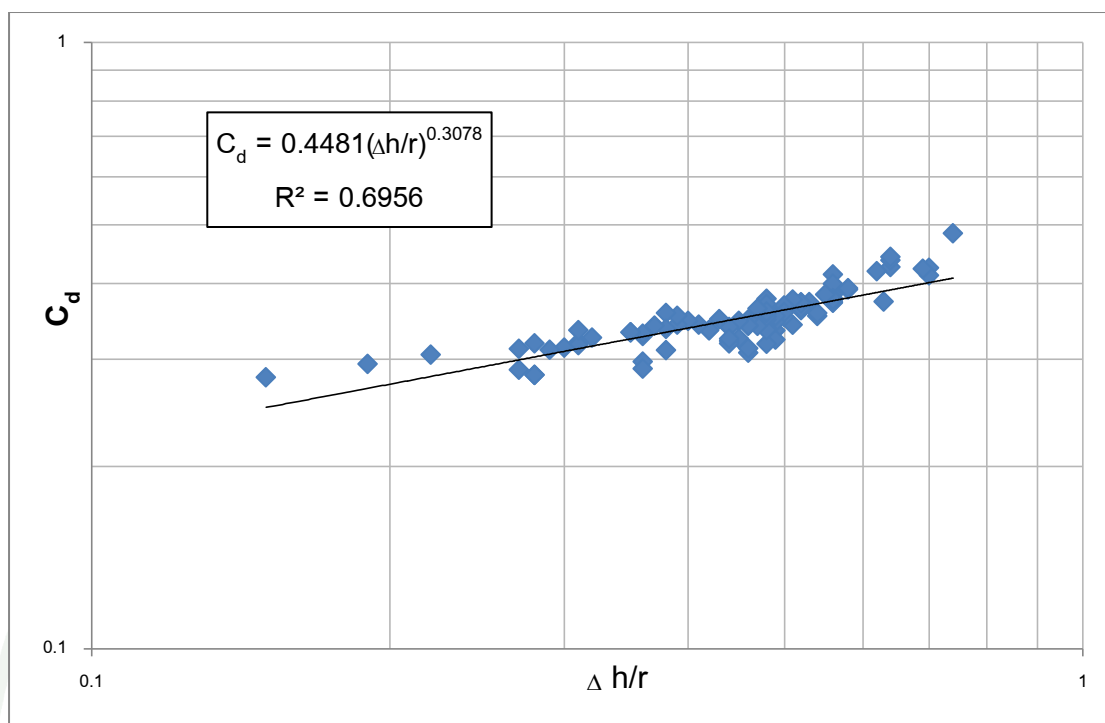
ภาพที่ 23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h/H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20 ม. x 3.95 ม.



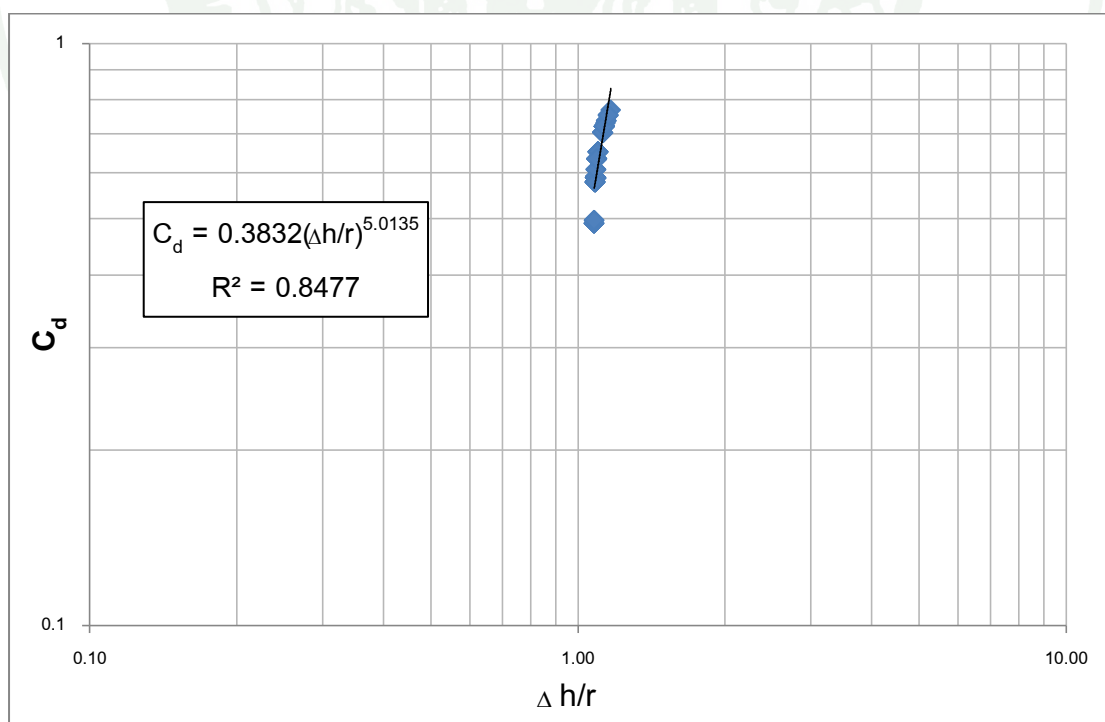
ภาพที่ 24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h/H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20 ม. x 4.15 ม.



ภาพที่ 25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h/H$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.25 ม. x 3.25 ม.



ภาพที่ 26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h/r$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด $\phi 2.0$

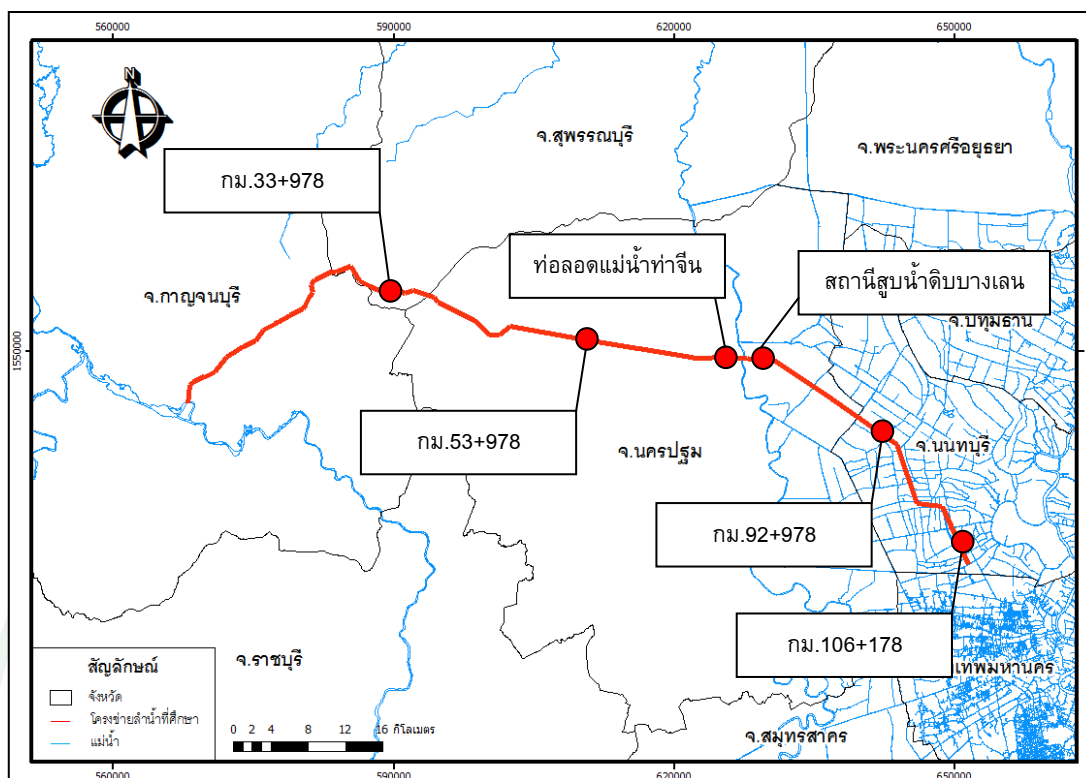


ภาพที่ 27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง C_d กับ $\Delta h/r$ ของกลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด $\phi 2.6$

2. ผลการสอบเทียบแบบจำลอง

การศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการจำลองสภาพการไหลในคลองประปาฝั่งตะวันตก ได้ทำการปรับค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) ที่มีผลต่อขนาดและรูปร่างของไฮโดรกราฟของระดับน้ำและอัตราการไหลในคลองประปา

หลังจากการประยุกต์ใช้แบบจำลองสภาพการไหลในส่วนหนึ่งของระดับน้ำ โดยได้ปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) นั้น โดยค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) ได้ทำการแบ่งช่วงตามจุดตรวจอัตราการไหลและระดับน้ำในคลองประปาฝั่งตะวันตก เพื่อให้การปรับค่าพารามิเตอร์สามารถทำให้การสอบเทียบมีความถูกต้องเพิ่มขึ้น ดังแสดงจุดตรวจวัดระดับน้ำที่นำมาใช้ในการสอบเทียบดังภาพที่ 28 และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลองที่ได้จากการสอบเทียบแบบจำลอง พบว่า ในคลองประปาฝั่งตะวันตกในระยะกม. 0+000 ถึงกม.70+950 ซึ่งเป็นคลองคอนกรีตจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) ในช่วง 0.017-0.018 และหลังจากระยะกม.70+950 ถึงด้านท้ายของแบบจำลอง จะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) เท่ากับ 0.026 และในคลอง bypass มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) เท่ากับ 0.017 แสดงดังตารางที่ 15 และผลการสอบเทียบแสดงดังตารางที่ 16 และภาพที่ 29 ถึงภาพที่ 35



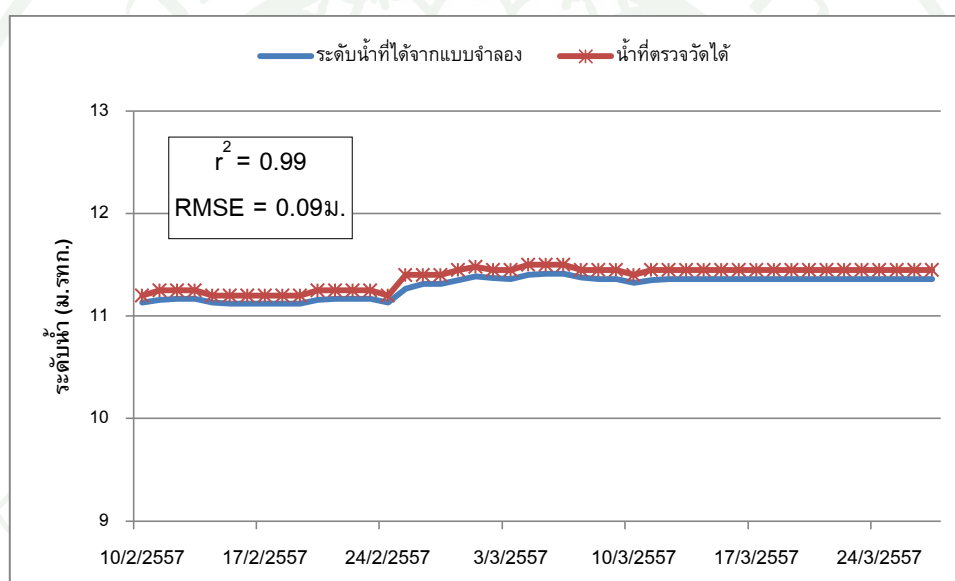
ภาพที่ 28 แสดงสถานีวัดน้ำท่าที่สอบเทียบในแบบจำลอง MIKE11 HD

ตารางที่ 15 แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องลำน้ำ (Manning's n) ในระยะต่างๆ ของแบบจำลองสภาพการไหล

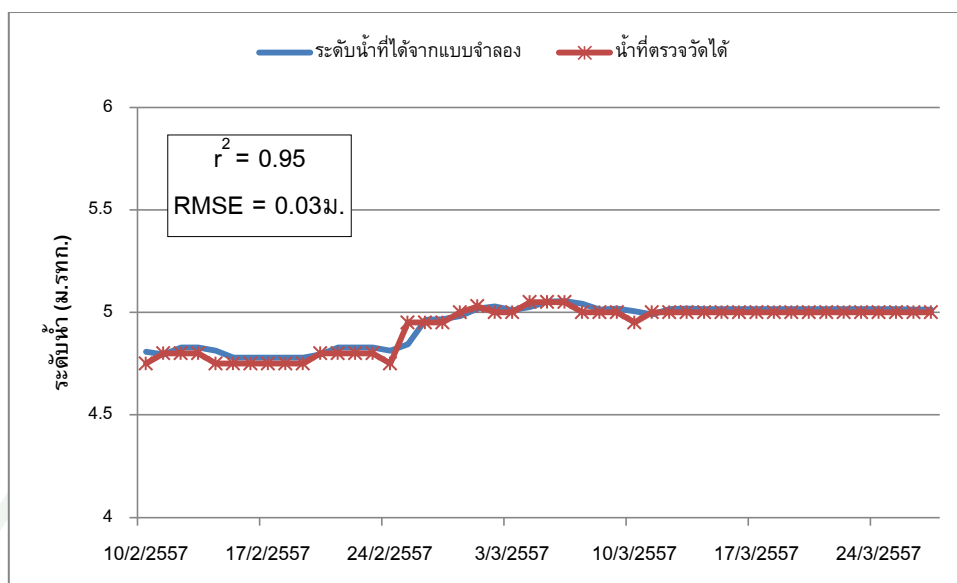
ลำดับ	ลำน้ำ	กม.	ชนิดคลอง	Manning's n
1	prapa	0+000	คลองคอนกรีต	0.018
2	prapa	70+950	คลองคอนกรีต	0.017
3	bypass	00+000	คลองคอนกรีต	0.017
4	prapa	71+567	คลองดิน	0.026
5	prapa	100+000	คลองดิน	0.026

ตารางที่ 16 แสดงค่าความสัมพันธ์ทางสถิติในการสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหล

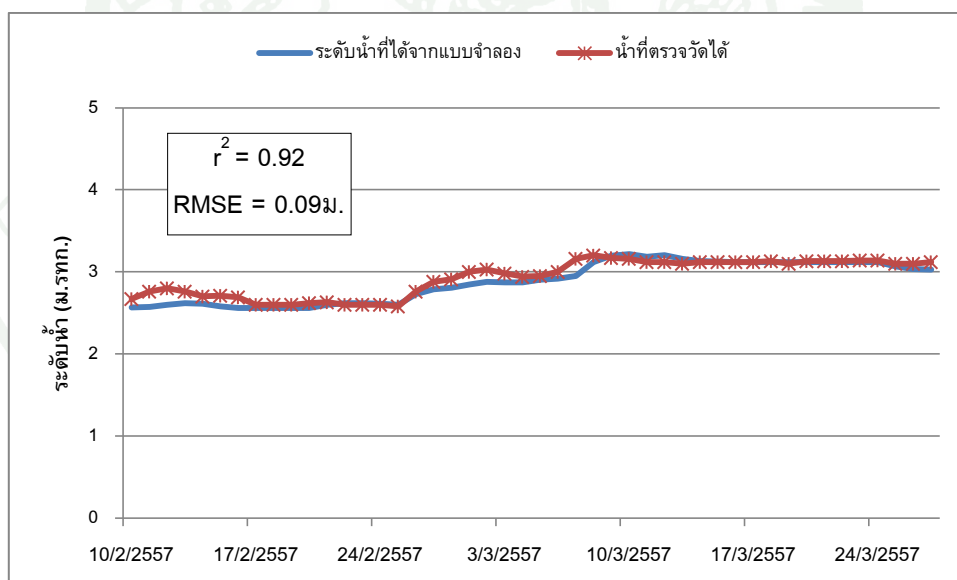
สถานี	กม. 33+978	กม. 53+978	ก่อนลง แม่น้ำท่าจีน	ด้านหน้า สถานีสูบบางเลน	ด้านท้าย สถานีสูบบางเลน	กม. 92+978	กม. 106+178
ช่วง	ก.พ.-มี.ค. 57						
r^2	0.99	0.95	0.92	0.95	0.75	0.99	0.99
RMSE(ม.)	0.09	0.03	0.09	0.23	0.05	0.07	0.01



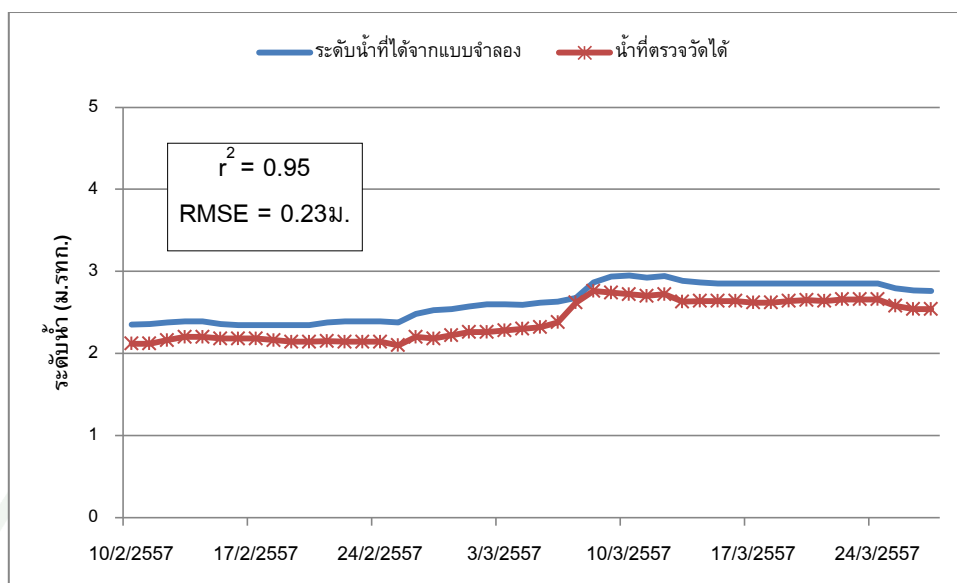
ภาพที่ 29 ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.33+978



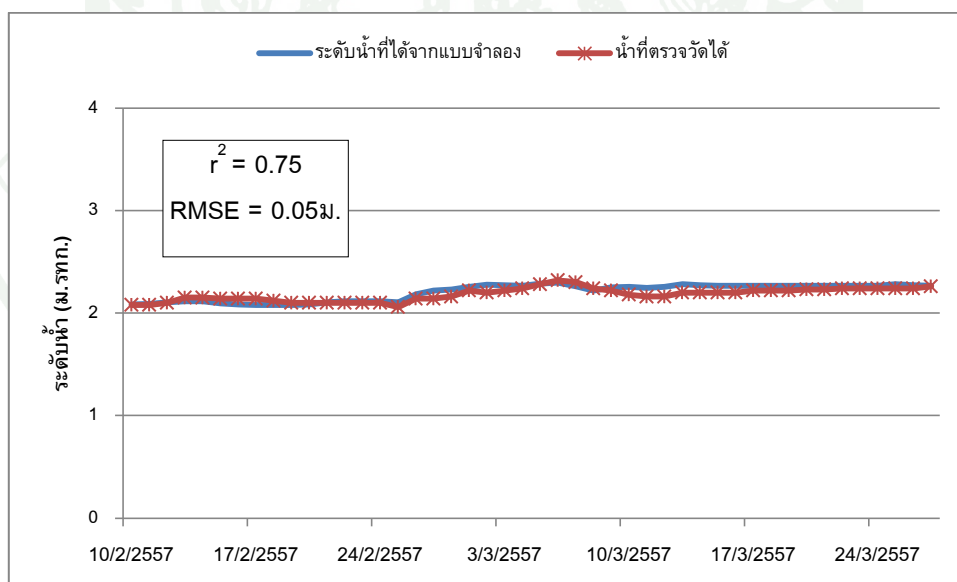
ภาพที่ 30 ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.53+978



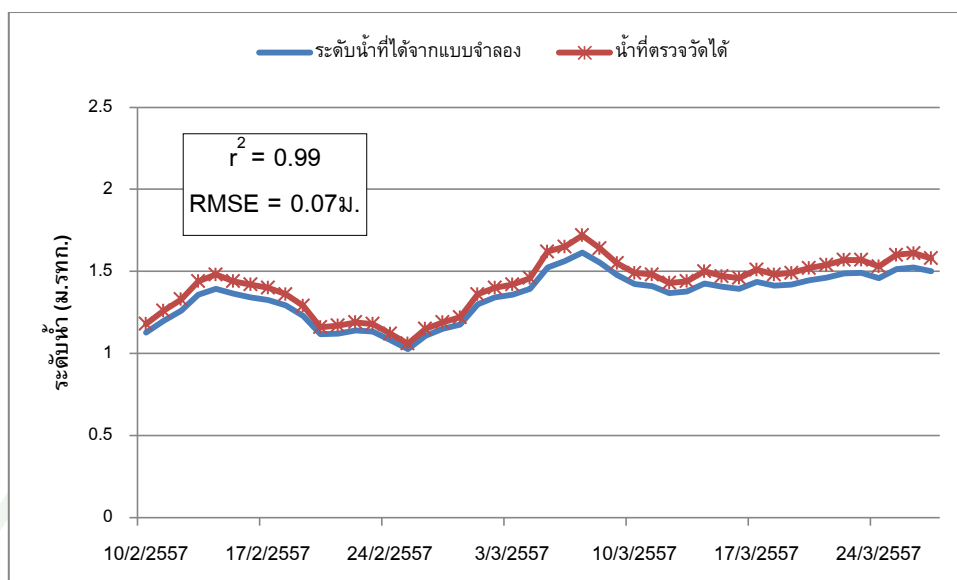
ภาพที่ 31 ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำก่อนลงท่อลอดแม่น้ำท่าจีน กม. 70+900



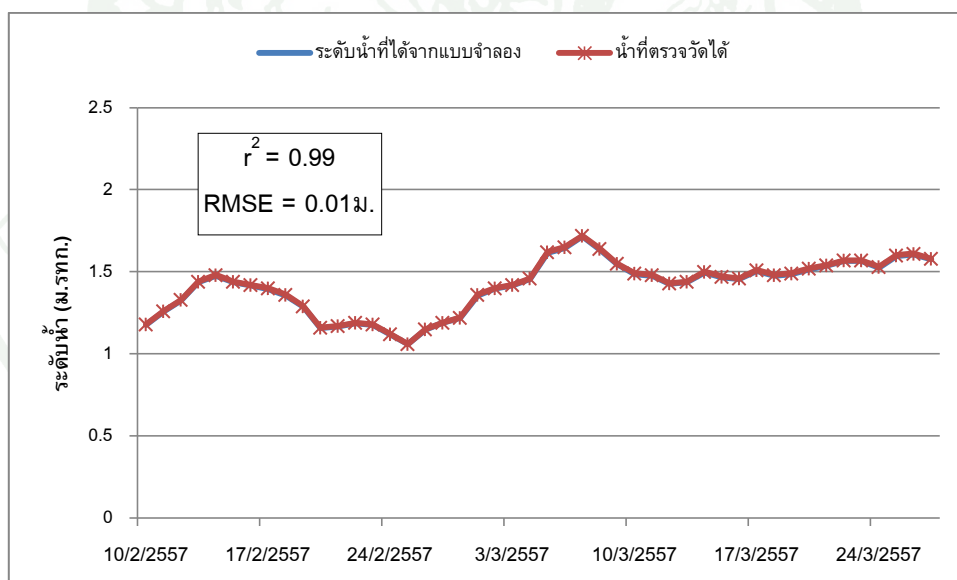
ภาพที่ 32 ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำด้านหน้าสถานีสูบน้ำ
ดิบบางเลน กม.71+504



ภาพที่ 33 ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำด้านท้ายสถานีสูบน้ำ
บางเลน กม.71+636



ภาพที่ 34 ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.92+978



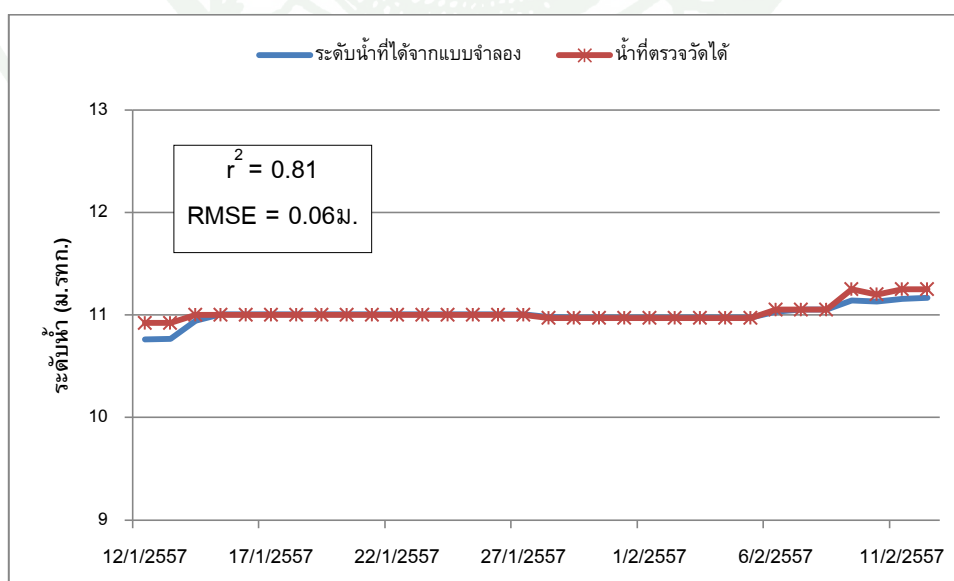
ภาพที่ 35 ผลสอบเทียบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.106+178

3. ผลการตรวจสอบแบบจำลอง

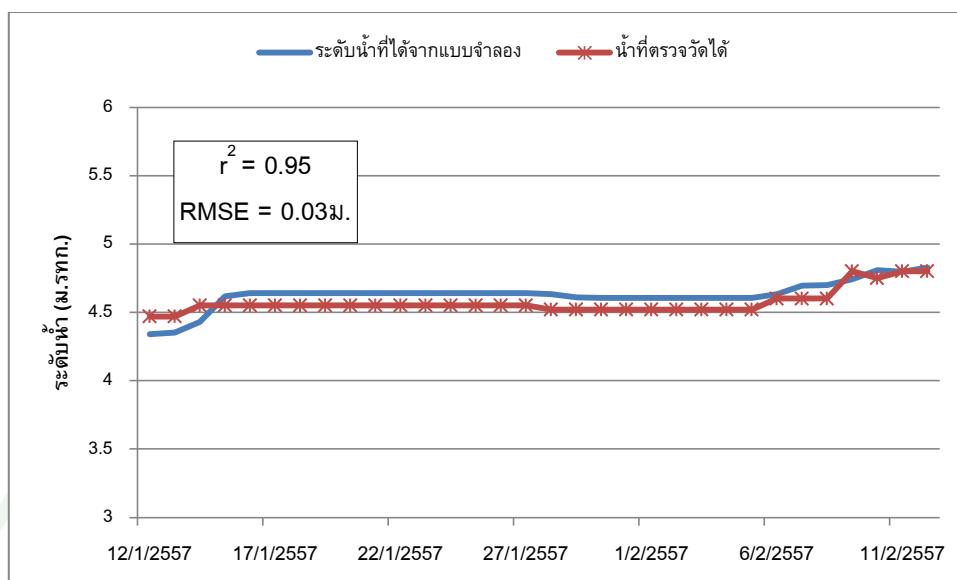
หลังจากการสอบเทียบแบบจำลองสภาพการไหล โดยได้ปรับค่าพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ซึ่งประกอบด้วย ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) ตามตารางที่ 15 แล้วนั้น จึงได้ทำการตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล เพื่อตรวจหาความสอดคล้อง และตรวจสอบว่าค่าพารามิเตอร์ที่ใช้มีความถูกต้องมากเพียงใด และแสดงค่าความสอดคล้องของแบบจำลองในรูปของค่าความสัมพันธ์ทางสถิติในการตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลดังตารางที่ 17 และภาพที่ 36 ถึงภาพที่ 42

ตารางที่ 17 แสดงค่าความสัมพันธ์ทางสถิติในการตรวจสอบ ระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหล

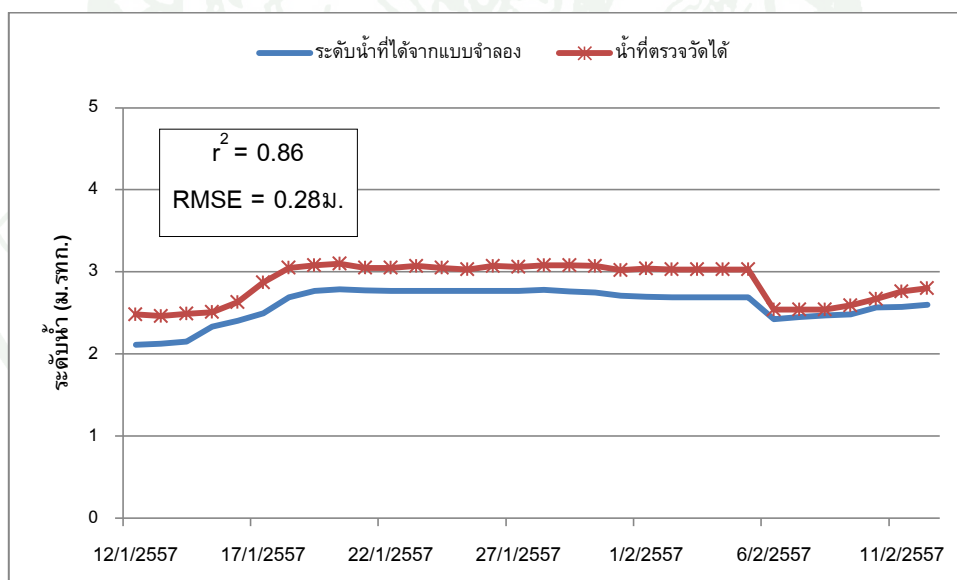
สถานี	กม. 33+978	กม. 53+978	ก่อนลง แม่น้ำท่าจีน	ด้านหน้า สถานีสูบบางเลน	ด้านท้าย สถานีสูบบางเลน	กม. 92+978	กม. 106+178
ช่วง	ม.ค.-ก.พ. 57						
r^2	0.81	0.73	0.86	0.87	0.72	0.99	0.99
RMSE(ม.)	0.06	0.08	0.28	0.16	0.04	0.06	0.01



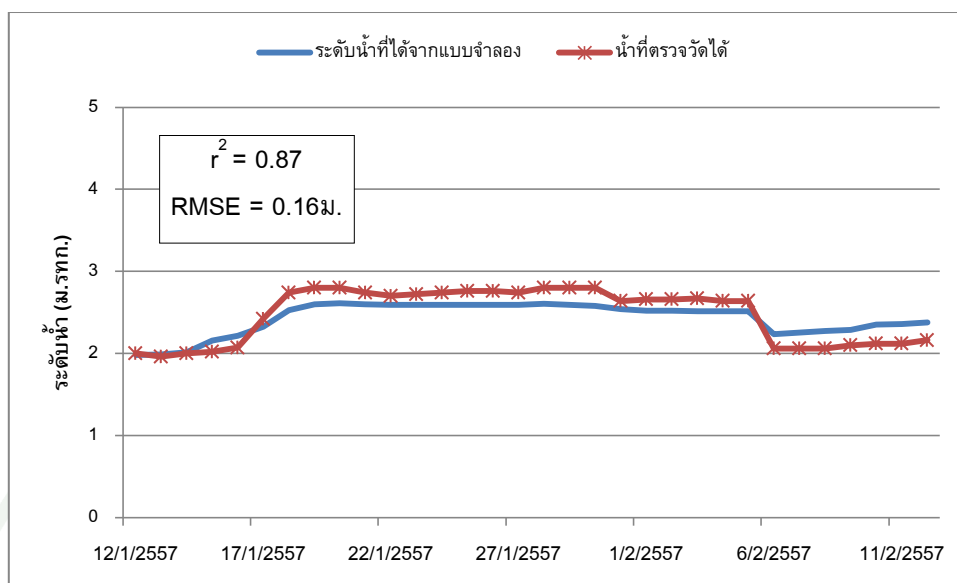
ภาพที่ 36 ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.33+978



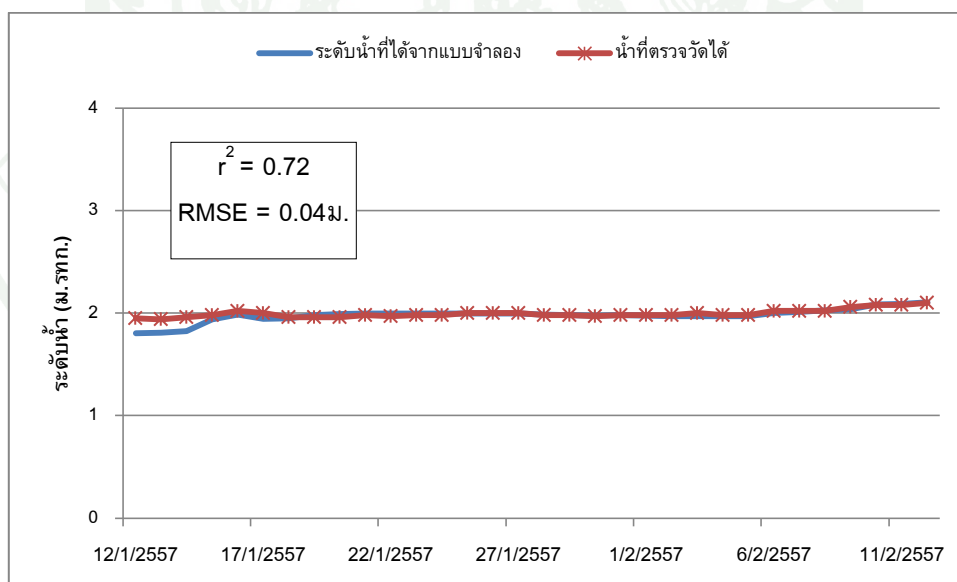
ภาพที่ 37 ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.53+978



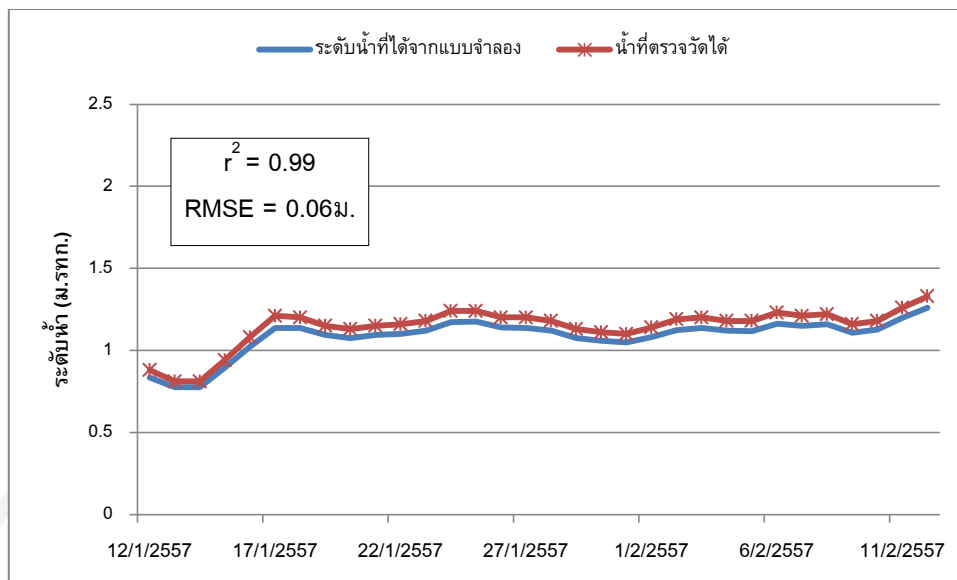
ภาพที่ 38 ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำก่อนลงท่อลอดแม่น้ำท่าจีน กม. 70+900



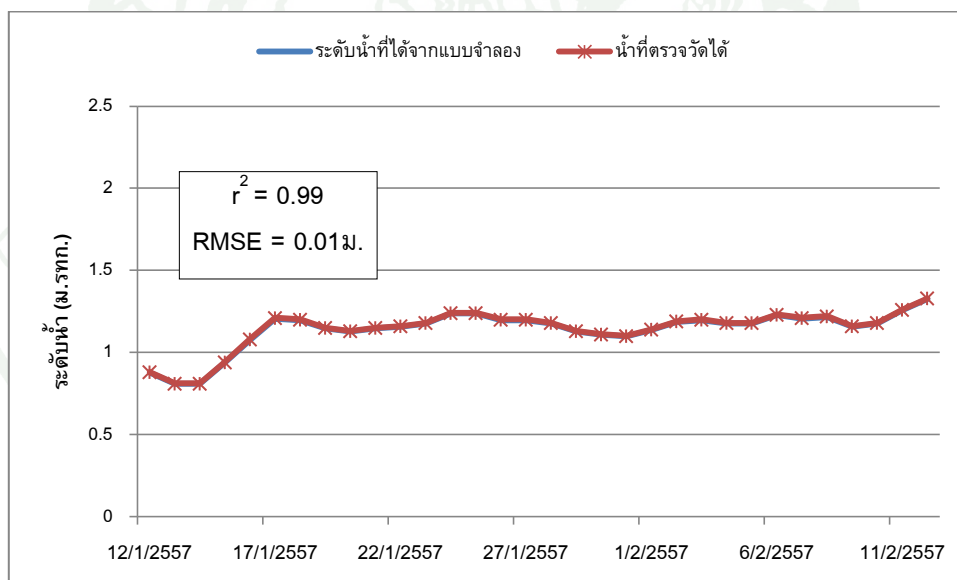
ภาพที่ 39 ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำด้านหน้าสถานีสูบน้ำ
ดิบบางเลน กม. 71+504



ภาพที่ 40 ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่สถานีวัดน้ำด้านท้ายสถานีสูบน้ำ
เลน กม. 71+636



ภาพที่ 41 ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.92+978



ภาพที่ 42 ผลตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กม.106+178

ผลการสอบเทียบ และตรวจสอบแบบจำลองสภาพการไหล สามารถสรุปได้ดังนี้

1. การปรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องลำน้ำ (Manning's n) พบว่า คลองคอนกรีตจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) ในช่วง 0.017-0.018 คลองดินจะมีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) เท่ากับ 0.026 และคลอง bypass มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) เท่ากับ 0.017 โดยระดับน้ำในคลองประปามีความแตกต่างกันสองช่วงใหญ่ เนื่องจากคลองประปาในช่วงตอนบนตั้งแต่จุดรับน้ำท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ไปจนถึงสถานีสูบน้ำบางเลนโดยส่วนใหญ่เป็นคลองแบบคอนกรีต ส่วนของคลองตอนล่าง ตั้งแต่สถานีสูบน้ำดิบบางเลน ถึงโรงงานสูบน้ำมหาสวัสดิ์เป็นคลองดิน โดยบริเวณสถานีสูบน้ำดิบบางเลน ในส่วนของคลอง bypass มีการควบคุมระดับน้ำโดยมีประตูระบายน้ำอยู่ด้านท้ายของคลอง bypass

2. การสอบเทียบ และการตรวจสอบระดับน้ำ ในแบบจำลองสภาพการไหลมีการนำข้อมูลเพื่อใช้ในการสอบเทียบและตรวจสอบแบบจำลองจากตรวจวัดอัตราการไหลและระดับน้ำอัตโนมัติจำนวน 15 จุด ได้แก่ สถานีที่ใช้ในการสอบเทียบกลุ่มอาคารชลศาสตร์จำนวน 7 จุด และสถานีที่ใช้ในการสอบเทียบสภาพการไหลในคลองประปาจำนวน 6 จุด

หลังจากการสอบเทียบแบบจำลองสภาพการไหลแล้วนั้น จะใช้แบบจำลองนี้เป็นตัวแทนสำหรับการศึกษาพฤติกรรมการไหลในกรณีต่างๆ ต่อไป

4. การศึกษาแนวทางการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตก

เมื่อทำการสอบเทียบแบบจำลองสภาพการไหลแล้ว จึงทำการศึกษา และวิเคราะห์สภาพการไหลในสภาพปัจจุบัน เพื่อทราบถึงสภาพการไหล และสภาพปัญหาของคลองประปาฝั่งตะวันตก และการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตก

4.1 กรณีที่ 1 การศึกษาสภาพการไหลในสภาพปัจจุบัน

การศึกษาสภาพคลองประปาด้วยแบบจำลอง พบว่า ในช่วงที่สอบเทียบนั้น คลองประปาได้ลำเลียงปริมาณน้ำ 14-18 ลบ.ม./วินาที สามารถลำเลียงน้ำได้ปกติไม่พบปัญหาเรื่องระดับ

น้ำล้นตลิ่งของคลองประปา เพียงแต่พบว่าระดับน้ำบริเวณอาคารท่อดอดแม่น้ำท่าจีน และคลอง bypass บริเวณสถานีสูบน้ำดิบบางเลน มีระดับน้ำสูงขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่ไหลผ่านช่วงสถานีสูบน้ำดิบบางเลน จะมีการควบคุมการระบายน้ำ และหน้าตัดการไหลที่แคบลงจากการที่เปลี่ยนการลำเลียงปริมาณน้ำผ่านคลองลัดอ้อม ซึ่งมีหน้าตัดที่แคบ เมื่อเทียบกับหน้าตัดคลองประปาที่ผ่านมา เป็นปัญหาเสมือนคอขวด และระดับน้ำสูงขึ้นในช่วงนั้น จึงทำให้ระดับน้ำในช่วงท่อดอดแม่น้ำท่าจีน และคลอง bypass บริเวณสถานีสูบน้ำดิบบางเลนยกตัวสูงขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 44

สำหรับกรณีที่ 2 ถึงกรณีที่ 4 เป็นการศึกษาแนวทางในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบ ของคลองประปาฝั่งตะวันตก เป็นการเพิ่มอัตราการไหลให้เกินศักยภาพที่คลองประปา และอาคารชลศาสตร์ต่างๆ จะลำเลียงได้ ซึ่งเป็นผลทำให้อัตราการไหลของคลองประปาที่บริเวณขอบเขตด้านท้ายน้ำของแบบจำลองมีอัตราการไหลแตกต่างจากสภาพปัจจุบัน จึงทำการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตด้านเหนือน้ำ และด้านท้ายน้ำในแบบจำลองใหม่ โดยขอบเขตด้านเหนือน้ำได้ใช้อัตราการไหลต่างๆ ตามกรณีศึกษา และขอบเขตด้านท้ายน้ำได้ใช้ระดับน้ำ ที่ได้มาจากผลการคำนวณของแบบจำลอง โดยการใส่อัตราการไหลต่างๆ ตามกรณีศึกษา เป็นขอบเขตด้านท้ายน้ำในจำลอง

4.2 กรณีที่ 2 การลำเลียงปริมาณน้ำ 45 ลบ.ม./วินาที

กรณีการลำเลียงน้ำผ่านคลองประปาด้วยปริมาณน้ำสูงสุดที่คลองประปาถูกออกแบบไว้ นั่นคือ 45 ลบ.ม./วินาที การลำเลียงน้ำโดยไม่มีการควบคุมประตุน้ำด้านท้ายของคลองลัดอ้อมสถานีสูบน้ำดิบบางเลน พบว่า คลองประปายังมีศักยภาพเพียงพอที่จะลำเลียงปริมาณน้ำ 45 ลบ.ม./วินาทีได้ ยกเว้นบริเวณคลองประปาที่ระยะ กม. 3+500 มีระดับน้ำล้นตลิ่งเล็กน้อย (+18.82 ม.รทก.) สูงกว่าระดับตลิ่ง (+18.30 ม.รทก.) อยู่ 0.52 เมตร แต่ไม่ท่วมคันกันคลองประปา เนื่องจากคันคลองประปาอยู่ที่ระดับ 20.99 ม.รทก. และระดับน้ำบริเวณด้านหน้าอาคารท่อดอดแม่น้ำท่าจีน อยู่ที่ระดับ +3.44 ม.รทก. สูงกว่าระดับตลิ่ง (+2.98 ม.รทก.) อยู่ 0.46 เมตร แต่ยังไม่ล้นท่วมคันคลอง (+3.58 ม.รทก.) ส่วนระดับน้ำในคลอง bypass บริเวณสถานีสูบน้ำดิบบางเลนจะสูงขึ้น แต่ยังไม่ล้นตลิ่งของคลองประปาในช่วงนั้น ดังแสดงในภาพที่ 45

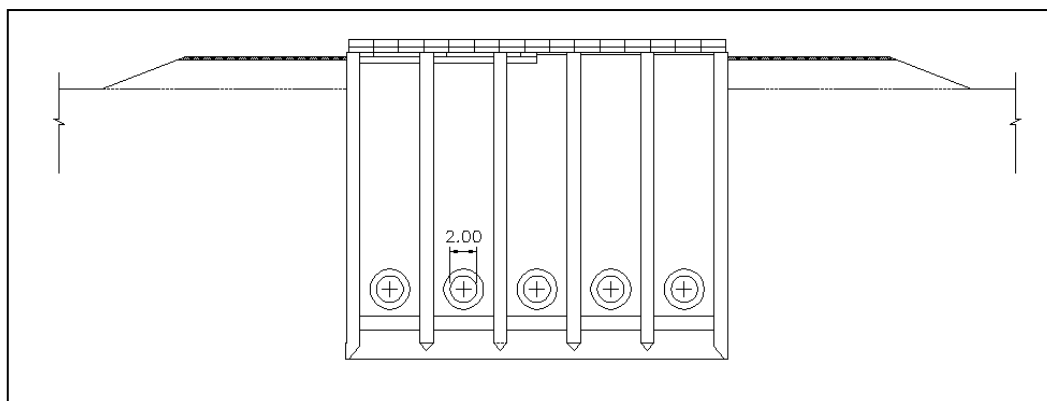
4.3 กรณีที่ 3 การลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที

กรณีเพิ่มการลำเลียงปริมาณน้ำจากปัจจุบัน ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่เกินจากที่ออกแบบไว้ คลองประปาจะสามารถลำเลียงน้ำได้ด้วยปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที ผ่านคลองประปาพร้อมทั้งไม่มีการควบคุมประตุน้ำด้านท้ายของคลองลัดอ้อมสถานีสูบน้ำดิบบางเลน พบว่า คลองประปาไม่สามารถจะลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที ได้ทั้งหมด โดยระดับน้ำล้นตลิ่งเป็นบางช่วง จากผลการศึกษาจะเห็นว่ามีความเสี่ยงน้ำล้นตลิ่งในช่วงต่างๆ ได้แก่ กม. 3+500 ระดับน้ำสูงสุด 19.93 ม.รทก. ด้านเหนือน้ำที่ตลอดคลอง 2L กม. 29+000 ระดับน้ำสูงสุด 13.89 ม.รทก. ด้านเหนือน้ำที่ตลอดทางหลวง 3356 กม. 70+500 ระดับน้ำสูงสุด 3.73 ม.รทก. ด้านเหนือน้ำที่ตลอดทางหลวง 3296 และ กม. 70+900 ระดับน้ำสูงสุด 3.26 ม.รทก. ด้านเหนือน้ำอาคารที่ตลอดแม่น้ำท่า พบว่า อาคารชลศาสตร์บางแห่งไม่มีศักยภาพเพียงพอที่จะลำเลียงน้ำปริมาณขนาดนี้ ทำให้ระดับน้ำด้านหน้าอาคารที่ตลอดยกตัวสูงขึ้นเป็นผลให้น้ำล้นตลิ่งบริเวณด้านหน้าอาคารแสดงดังภาพที่ 49

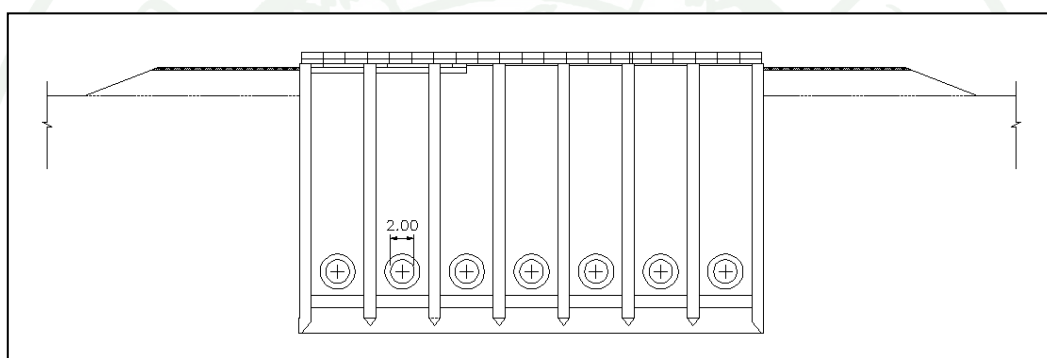
เมื่อทำการปรับปรุงอาคารที่ตลอดแม่น้ำท่าขึ้น เพื่อให้คลองประปาสามารถลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที แสดงดังภาพที่ 43 โดยไม่ทำให้ระดับน้ำไม่ล้นตลิ่ง จากผลศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มอาคารชลศาสตร์ในระยะต่างๆ ดังตารางที่ 18 เป็นผลทำให้สามารถทำให้ลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาทีได้ โดยไม่ทำให้ระดับน้ำล้นตลิ่ง แสดงดังภาพที่ 50

ตารางที่ 18 แสดงการปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ที่ระยะทางต่างๆ ในกรณีลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที

ลำดับ	อาคาร	กม.	ขนาดอาคาร	ระดับน้ำ	ระดับน้ำ	จำนวน (ต่อ)	
				ลำเลียง	ระดับน้ำ	หลัง	
				(60 ลบ.ม./วินาที)	ปรับปรุง	ปัจจุบัน	ปรับปรุง
				(ม.รทก)	(ม.รทก)		
1	ตลอดคลอง 2L	3+521	φ 2.6	19.93	18.20	3	7
2	ตลอดทางหลวง 3356	29+097	3.20 x 3.20	13.89	13.30	2	3
3	ตลอดทางรถไฟ	46+109	3.20 x 3.20	3.73	8.45	2	3
4	ตลอดทางหลวง 3296	70+539	3.20 x 3.20	3.26	3.01	2	3
5	ตลอดแม่น้ำท่าจีน	70+950	φ 2.0	3.26	3.01	5	7

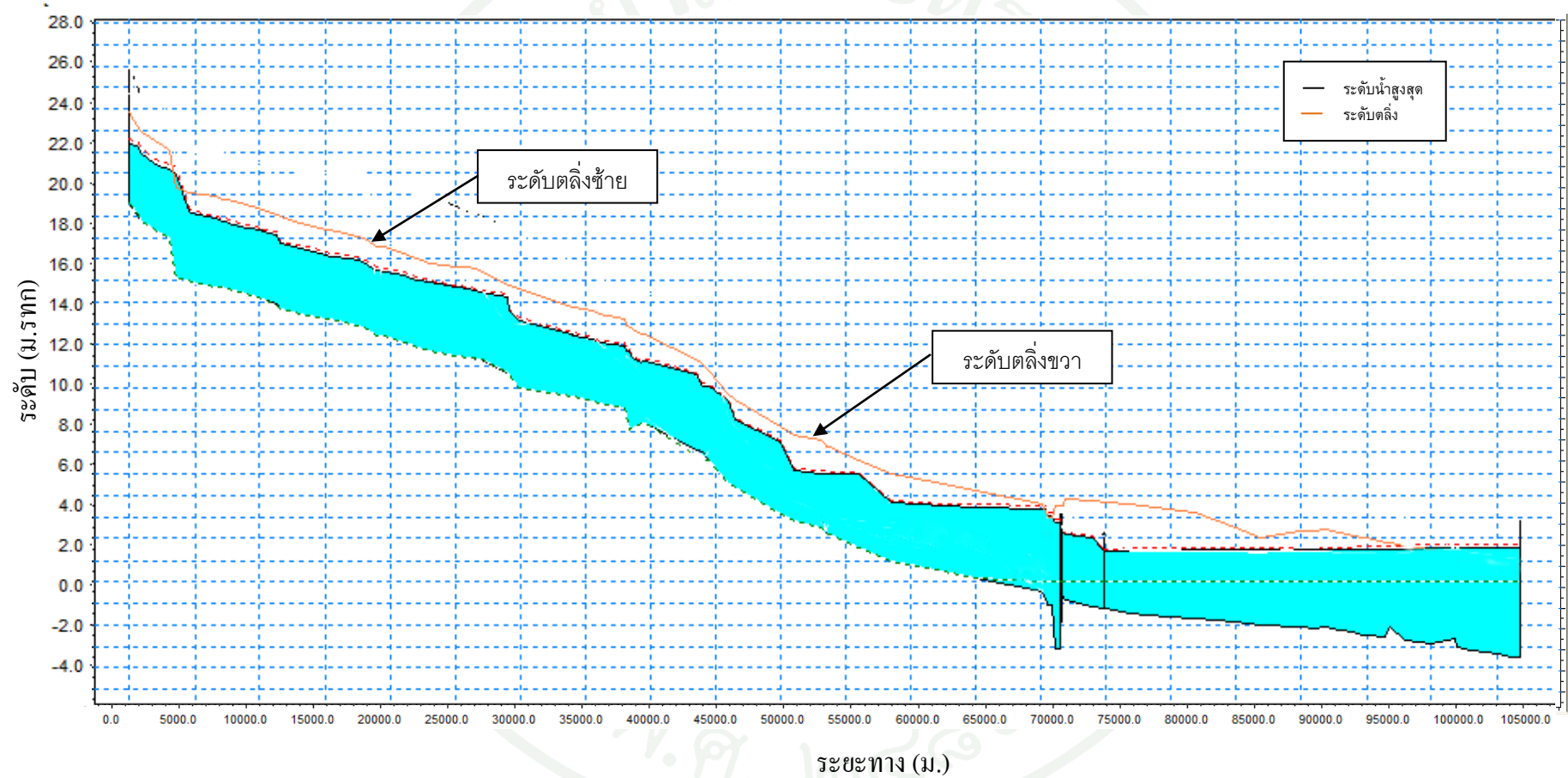


ก) จำนวนอาคารชลศาสตร์ปัจจุบัน

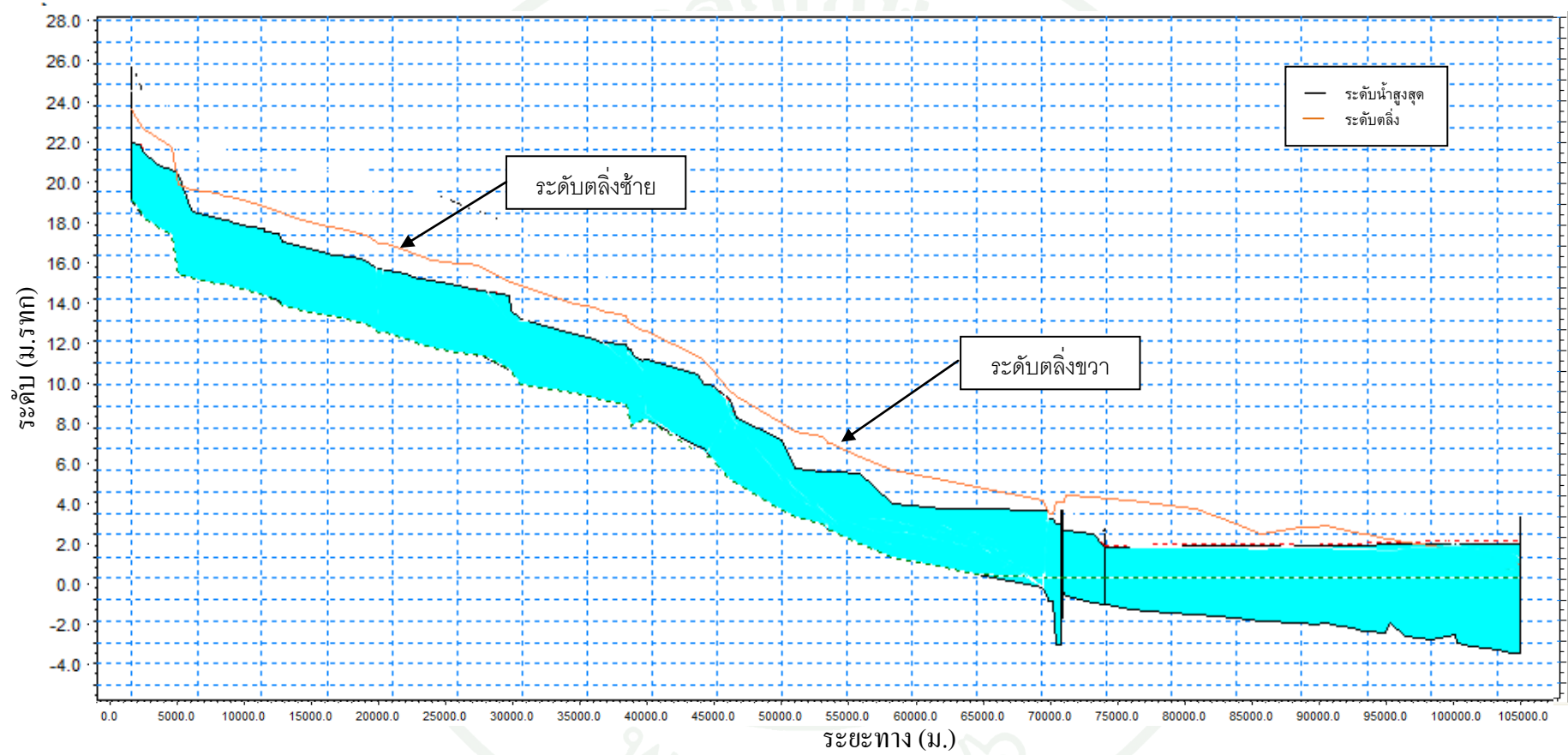


ข) หน้าตัดที่ปรับปรุงใหม่

ภาพที่ 43 แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่มีการปรับปรุงอาคารท่อดูดแม่น้ำท่าจีน เพื่อเพิ่มศักยภาพการ
ลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที ที่กม.70+900



ภาพที่ 44 รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในสภาพปัจจุบัน



ภาพที่ 45 รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตรากราฟ 45 ลบ.ม./วินาที

4.4 กรณีที่ 4 การลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที

กรณีเพิ่มการลำเลียงปริมาณน้ำจากปัจจุบัน ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่เกินจากที่ออกแบบ คลองประปาจะสามารถลำเลียงได้ไว้ด้วยปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ผ่านคลองประปาพร้อมทั้งไม่มีการควบคุมประตุน้ำด้านท้ายของคลองลัดอ้อมสถานีสูบน้ำดิบบางเลน พบว่า คลองประปาไม่สามารถจะลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ได้ทั้งหมด จะพบระดับน้ำล้นตลิ่งเป็นบางช่วง ซึ่งจากผลการศึกษาจะเห็นว่า มีระดับน้ำล้นตลิ่งที่เป็นด้านเหนือน้ำของอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ กม. 0+000 ถึงกม. 4+700 กม. 11+600 กม. 19+500 ถึงกม. 50+000 กม. 56+000 และกม. 70+539 ถึง กม. 70+900 ซึ่งอาคารชลศาสตร์บางแห่งไม่มีศักยภาพเพียงพอที่จะระบายปริมาณน้ำขนาดนี้ ทำให้ระดับน้ำด้านหน้าอาคารท่อดักยักตัวสูงขึ้นเป็นผลให้น้ำล้นตลิ่งบริเวณด้านหน้าอาคาร ดังภาพที่ 51

เมื่อทำการปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ในคลองประปา เพื่อให้คลองประปาสามารถลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที โดยไม่ให้ระดับน้ำไม่ล้นตลิ่ง จากผลศึกษา พบว่า เมื่อเพิ่มอาคารชลศาสตร์ในระยะต่างๆ ดังตารางที่ 19 และภาพที่ 47 ถึงภาพที่ 48 พร้อมทั้งเพิ่มความจุของคลอง โดยทำการปรับปรุงหน้าตัดคลองประปาในช่วงตั้งแต่ กม. 0+000 ถึงกม. 70+950 ที่มีรูปร่างหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูเปลี่ยนเป็นคลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าให้หมดดังแสดงในภาพที่ 46 เพื่อเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำเพิ่มขึ้นให้สูงที่สุดในพื้นที่จำกัดที่สุดดังแสดงภาพที่ 48 และเพิ่มคลอง bypass ขนาดเท่าเดิมอีก 1 เส้นเป็นผลทำให้สามารถทำให้ลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาทีได้ โดยไม่ให้ระดับน้ำล้นตลิ่ง โดยในช่วงกม. 70+500 ถึงกม. 70+900 มีระดับน้ำสูงสุดอยู่ที่ประมาณ +3.36 ม.รทก. ซึ่งสูงเกินกว่าระดับตลิ่งเฉลี่ย (+3.00 ม.รทก.) อยู่ 0.36 เมตร แต่ไม่ล้นท่วมคันคลองประปา (+3.60 ม.รทก.) โดยระดับน้ำต่ำกว่าคันคลองอยู่ 0.24 เมตร ดังภาพที่ 52 ถึงแม้จะไม่มีการล้นคันคลองประปา แต่เพื่อความปลอดภัย และระยะเผื่อล้นจึงควรเพิ่มความสูงของคันคลองประปาขึ้นไปอีกประมาณ 0.30 เมตร(+3.90 ม.รทก.) ในในช่วงกม. 70+500 ถึงกม. 70+900

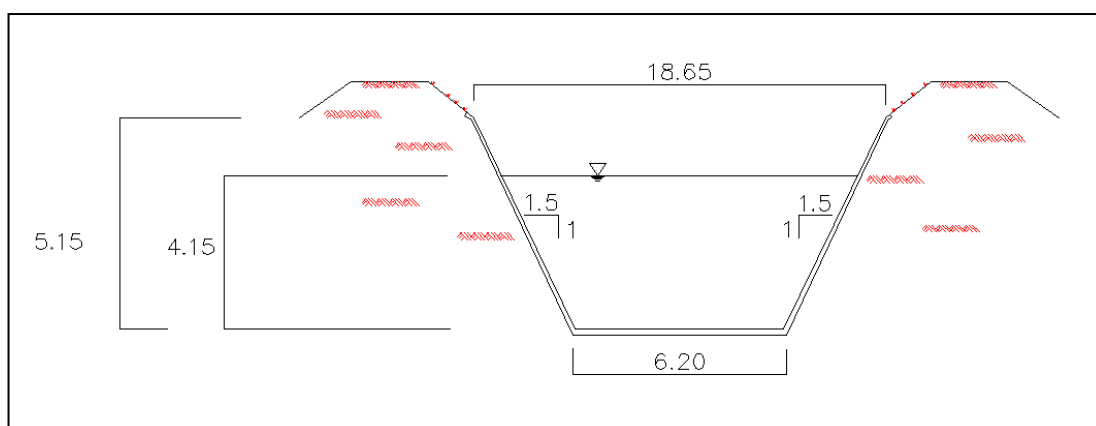
ตารางที่ 19 แสดงการปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ที่ระยะทางต่างๆ ในกรณีลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที

ลำดับ	อาคาร	กม.	ขนาดอาคาร	ระดับน้ำลำเลียง	ระดับน้ำหลังปรับปรุง	จำนวน (ท่อ)	
				(75 ลบ.ม./วินาที) (ม.รทก)		ปัจจุบัน	ปรับปรุง
1	ท่อลอดคลองแสงชูโต	0+469	3.20 x 3.95	25.8	20.40	2	3
2	ท่อลอดถนนและทางรถไฟ	0+972	2-3.20 x 3.95	25.3	20.10	2	3
3	ท่อลอดคลอง1L	1+128	3.20 x 3.20	24.4	19.7	2	3
4	ท่อลอดถนน	2+606	3.20 x 3.95	23	18.8	2	3
5	ท่อลอดคลองห้วยนาคราช	3+059	3.20 x 3.20	22.5	18.6	2	3
6	ท่อลอดคลอง2L	3+521	φ 2.6	21.2	18.2	3	7
7	ท่อลอดถนน	25+678	3.20 x 3.75	15.1	13.3	3	5
8	ท่อลอดทางหลวง 3356	29+097	3.20 x 3.20	14.9	12.8	2	5
9	ท่อลอดคลอง3R-2L	29+329	3.20 x 3.20	14.9	12.8	2	5
10	ท่อลอดถนน	29+913	3.20 x 3.20	13.8	12.5	2	5
11	ท่อลอดถนน	38+036	3.20 x 3.75	12.5	12	2	4
12	ท่อลอดคลอง5R-2L	40+349	3.20 x 3.20	11.6	10.3	2	3
13	ท่อลอดคลอง6R-2L	43+766	3.20 x 3.20	11	9.73	2	3
14	ท่อลอดทางหลวง 3040	44+877	3.20 x 3.20	10.5	9.26	2	3
15	ท่อลอดทางรถไฟ	46+109	3.20 x 3.20	9.61	8.5	2	3
16	ท่อลอดถนน	46+966	3.20 x 3.20	8.54	7.65	2	3

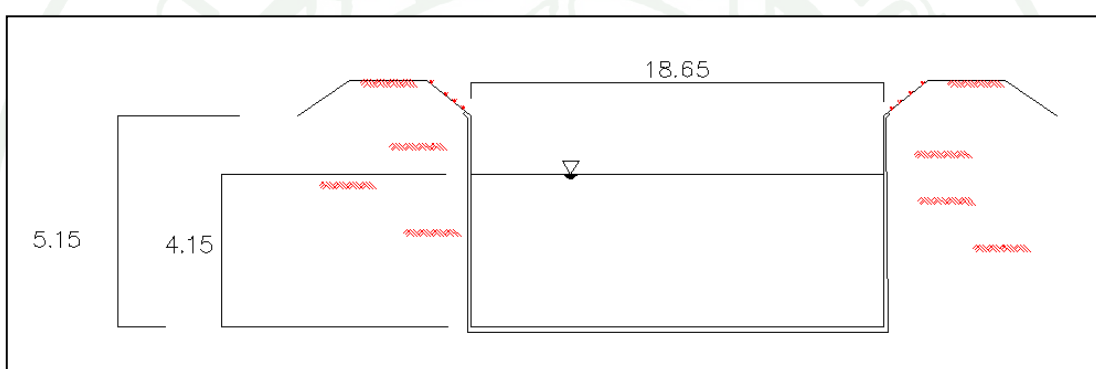
ตารางที่ 19 (ต่อ)

ลำดับ	อาคาร	กม.	ขนาดอาคาร	ระดับน้ำลำเลียง	ระดับน้ำหลังปรับปรุง	จำนวน (ท่อ)	
				(75 ลบ.ม./วินาที)		ปัจจุบัน	ปรับปรุง
				(ม.รทก)			
17	ท่อลอดทางหลวง 321	50+225	3.20 x 3.20	7.32	6.62	2	3
18	ท่อลอดทางหลวง 346	56+602	3.20 x 3.20	6.16	5.09	2	3
19	ท่อลอดทางหลวง 3296	70+539	3.20 x 3.20	4.76	3.49	2	5
20	ท่อลอดแม่น้ำท่าจีน	70+950	φ 2.0	4.2	3.36	5	10

หมายเหตุ : ท่อลอดแม่น้ำท่าจีน ระยะกม 70+950 ขนาดอาคาร φ 2.0 จำนวน 5 ท่อ เพิ่มเป็นขนาด
อาคาร φ 2.0 จำนวน 5 ท่อ และขนาดอาคาร φ 2.5 จำนวน 5 ท่อ

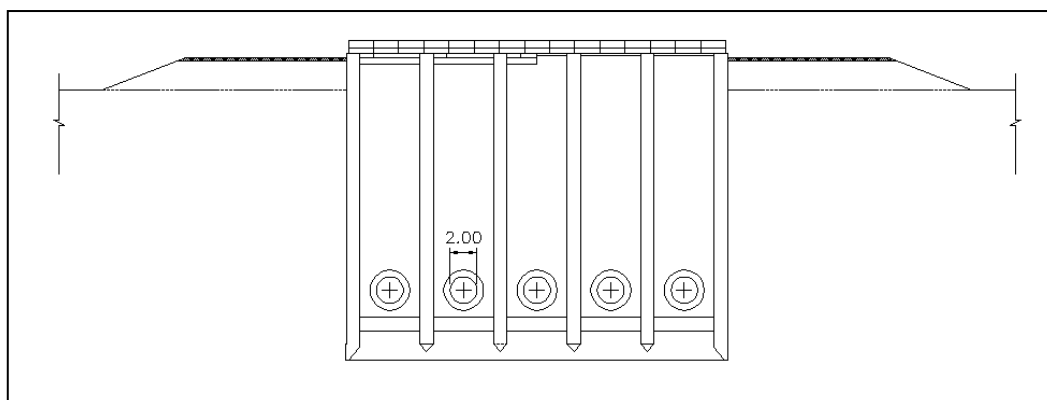


ก) หน้าตัดปัจจุบัน

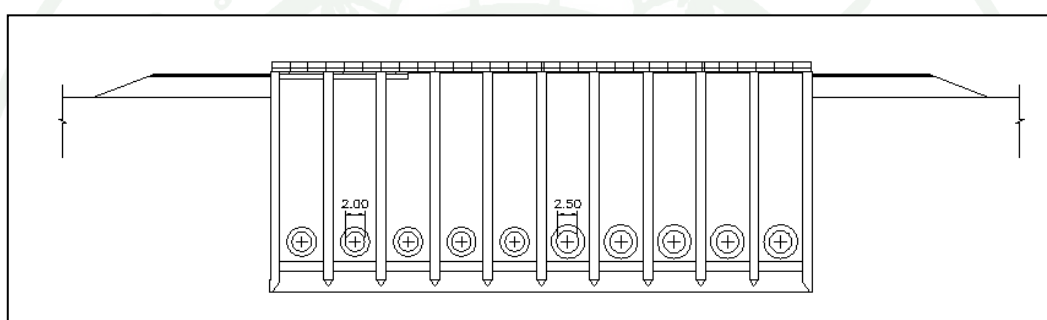


ข) หน้าตัดที่ปรับปรุงใหม่

ภาพที่ 46 แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่ปรับปรุงใหม่ เพื่อเพิ่มศักยภาพการลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ที่กม.3+500

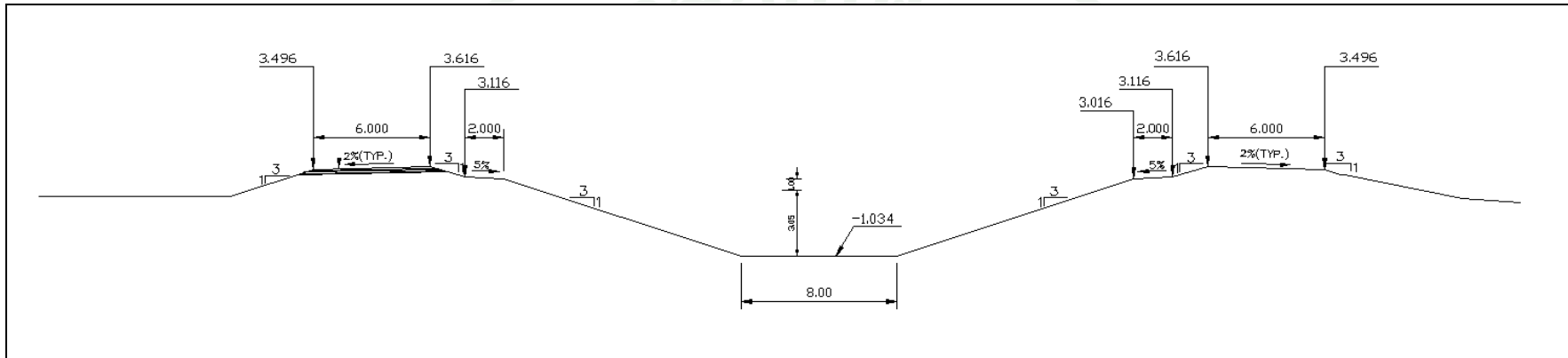


ก) จำนวนอาคารชลศาสตร์ปัจจุบัน

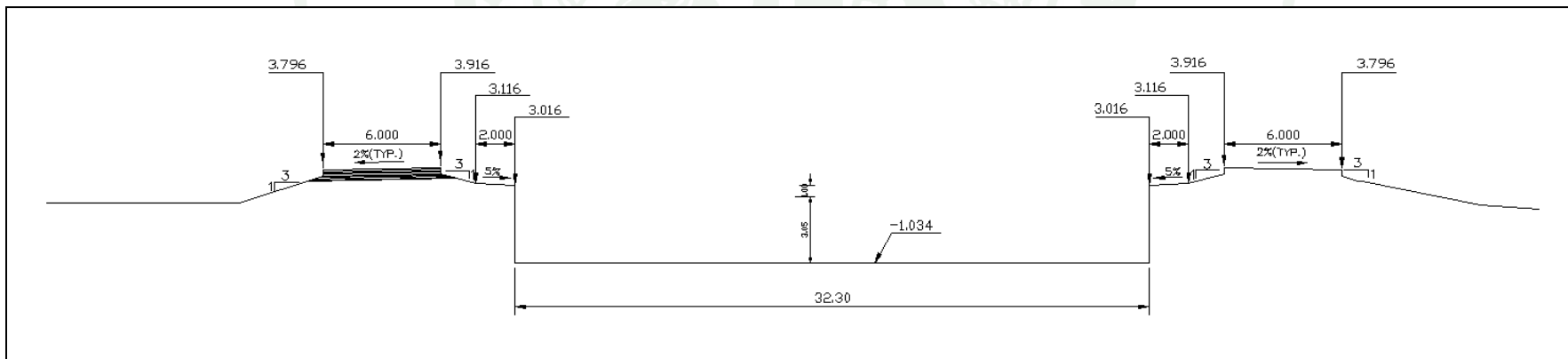


ข) จำนวนอาคารชลศาสตร์ที่ปรับปรุงใหม่

ภาพที่ 47 แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่มีการเพิ่มจำนวนอาคารชลศาสตร์ใหม่ เพื่อเพิ่มศักยภาพการ
ลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ที่กม.70+900

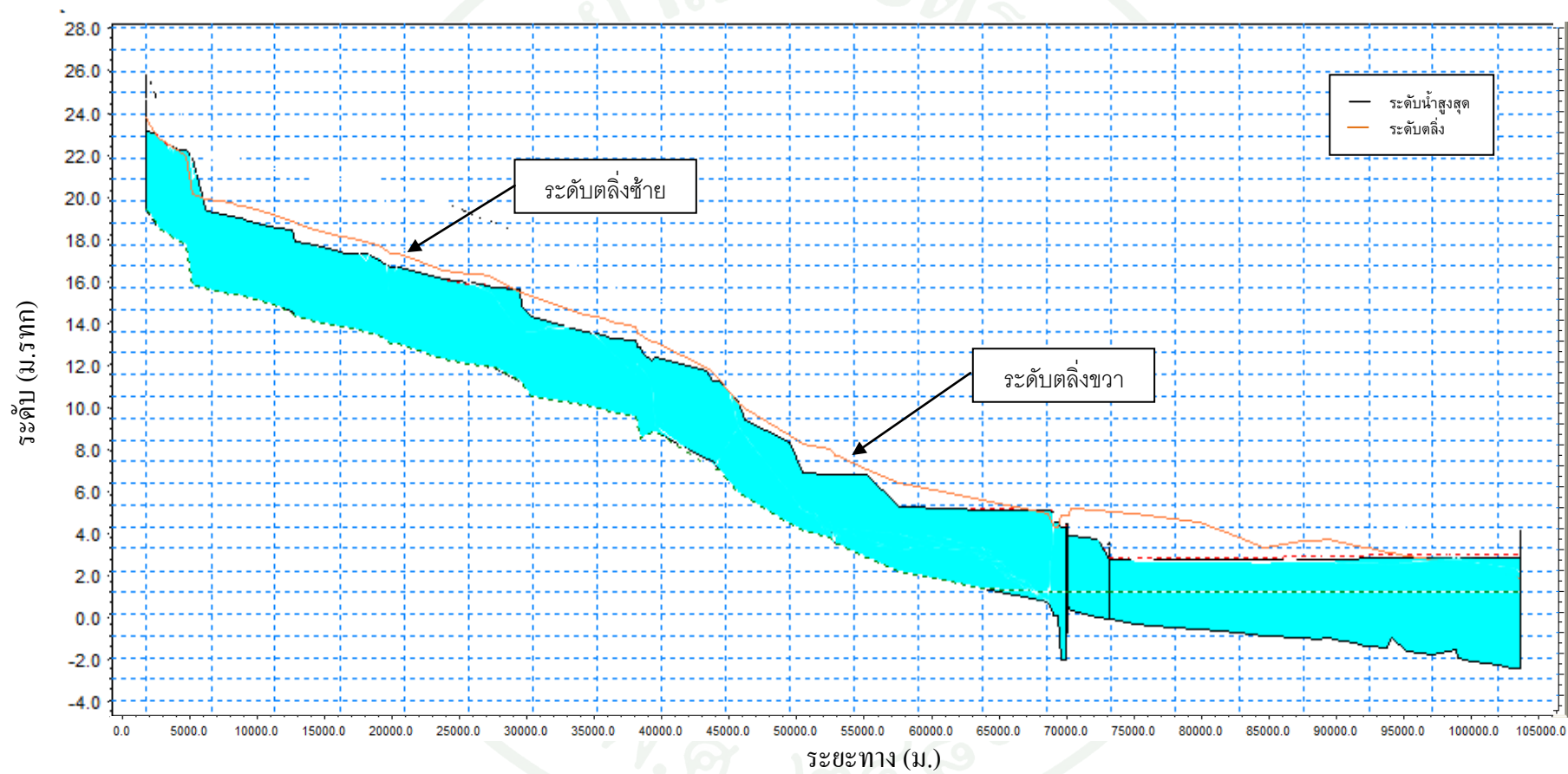


ก) หน้าตัดปัจจุบัน

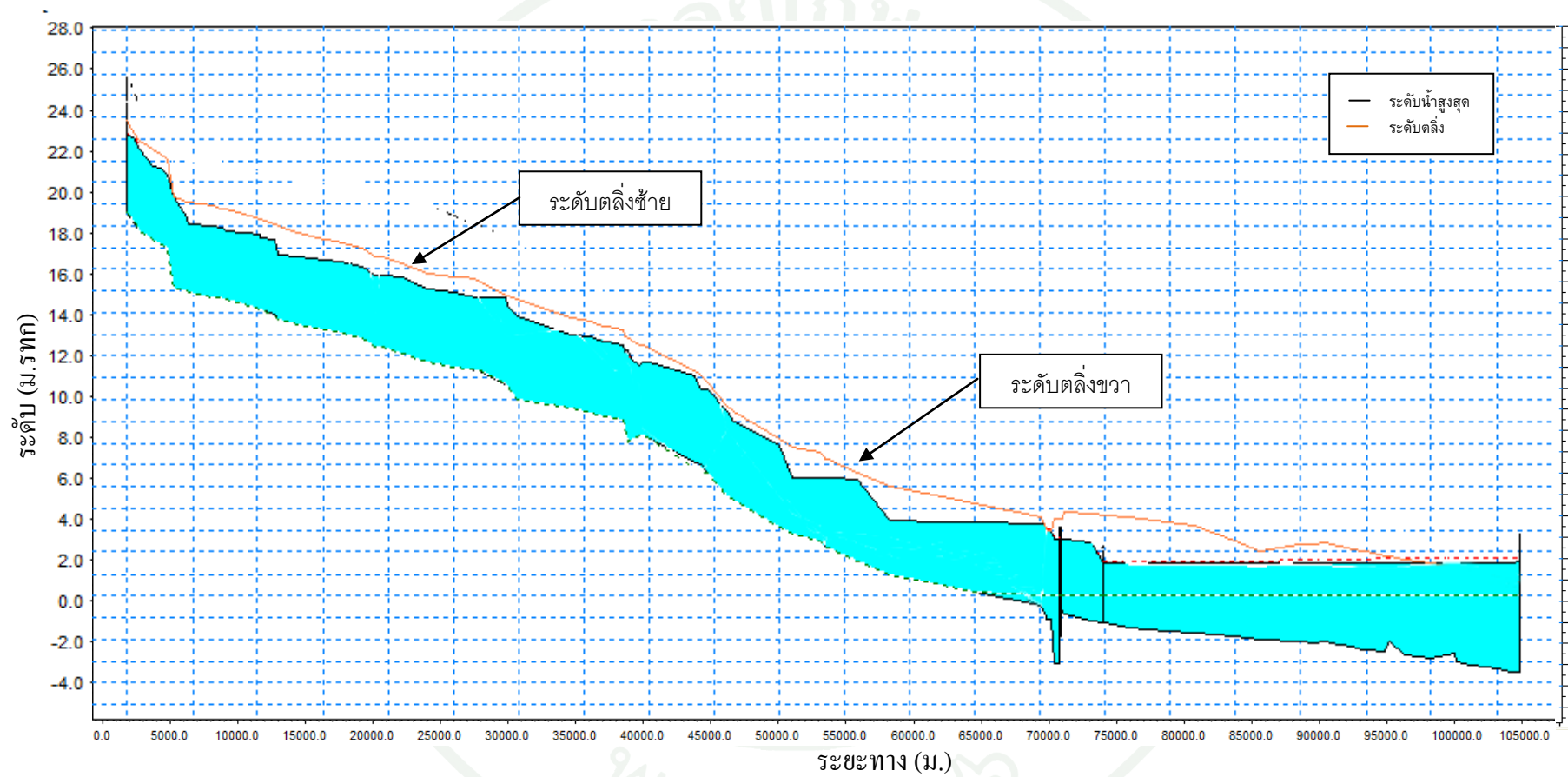


ข) หน้าตัดที่ปรับปรุงใหม่

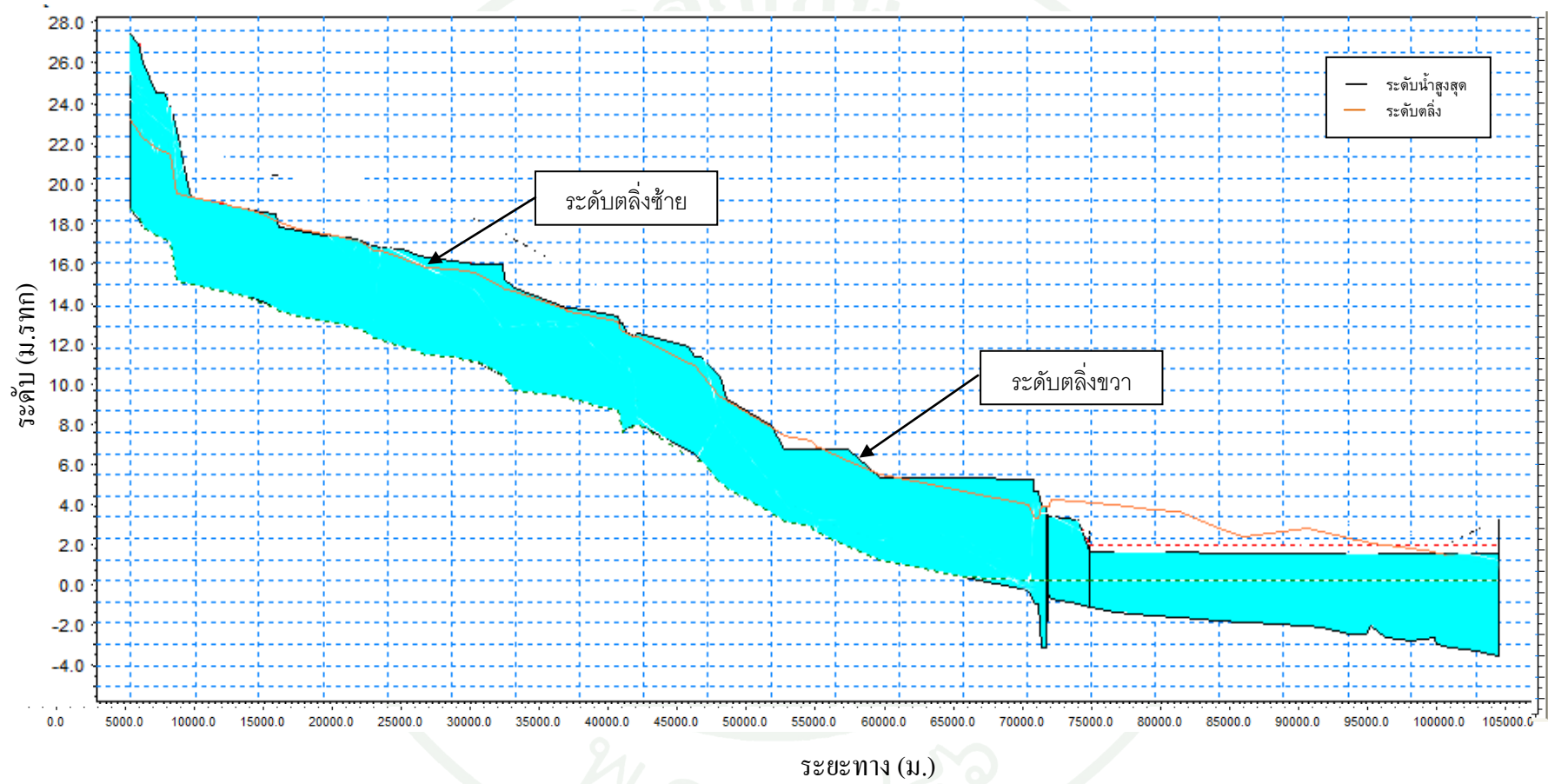
ภาพที่ 48 แสดงตัวอย่างหน้าตัดที่สร้างความสูงคันคลองเพิ่มใหม่ เพื่อเพิ่มศักยภาพการลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ในช่วงกม. 70+500 ถึงกม.70+900



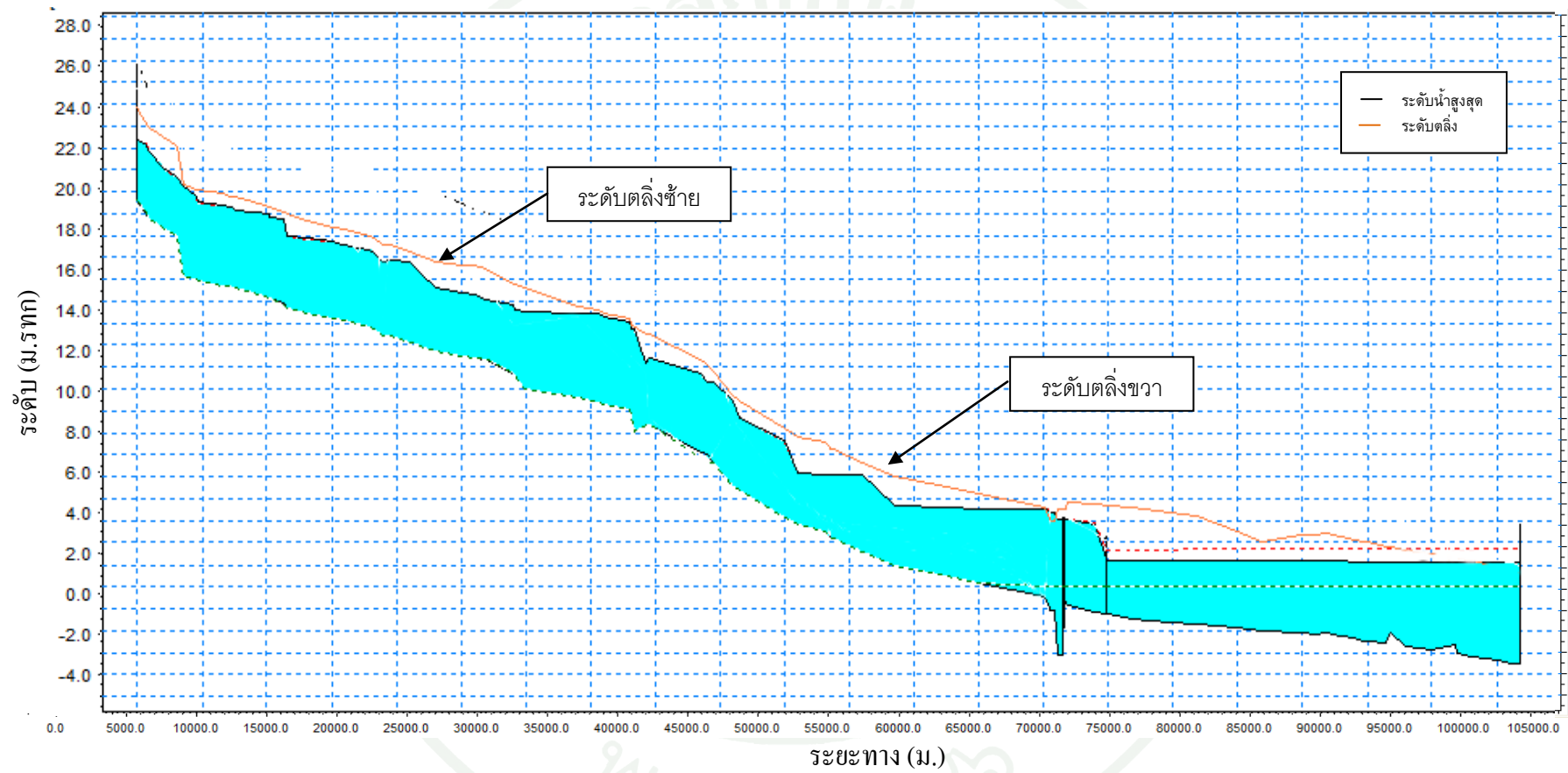
ภาพที่ 49 รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตรากราฟ 60 ลบ.ม./วินาที



ภาพที่ 50 รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตรการไหล 60 ลบ.ม./วินาที หลังปรับปรุงอาคารชลศาสตร์



ภาพที่ 51 รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตรการไหล 75 ลบ.ม./วินาที



ภาพที่ 52 รูปตัดตามยาวลำน้ำในคลองประปาในอัตรการไหล 75 ลบ.ม./วินาที หลังปรับปรุงอาคารชลศาสตร์

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

1. การจำลองสภาพการไหลด้วยแบบจำลองสภาพการไหลได้ทำการสอบเทียบ และตรวจสอบระดับน้ำที่จุดต่างๆ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของท้องคลอง (Manning's n) ได้ทำการแบ่งช่วงตามช่วงจุดตรวจอัตราการไหลและระดับน้ำในคลองประปาฝั่งตะวันตกอยู่ในช่วง 0.017 ถึง 0.026 ซึ่งทำให้ผลการคำนวณสอดคล้องกับผลการตรวจวัดระดับน้ำที่สถานีวัดน้ำดังกล่าว โดยมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Coefficient of Determination, r^2) อยู่ในช่วง 0.72 ถึง 0.99 และค่า Root Mean Square Error (RMSE) อยู่ในช่วง 0.01 ถึง 0.28 ม.

2. การศึกษาสภาพคลองประปาปัจจุบัน พบว่า คลองประปาได้ลำเลียงปริมาณน้ำ 14-18 ลบ.ม./วินาที สามารถลำเลียงน้ำได้ปกติไม่พบปัญหาเรื่องระดับน้ำล้นตลิ่งของคลองประปา เพียงแต่พบว่าระดับน้ำบริเวณอาคารท่อดูดแม่น้ำท่าจีน และคลอง bypass บริเวณสถานีสูบน้ำดิบบางเลน มีระดับยกตัวทำให้สามารถลำเลียงน้ำไปยังโรงงานผลิตน้ำมหาสวัสดิ์ได้ด้วยแรงโน้มถ่วงของโลก

3. จากการศึกษาเพื่อหาแนวทางเลือกในการปรับปรุงระบบเพื่อให้สามารถรองรับอัตราการลำเลียงในอนาคต ได้ทำการศึกษาแนวทางต่างๆ ดังนี้

1) การลำเลียงปริมาณน้ำ 45 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเป็นการผันน้ำผ่านคลองประปาด้วยปริมาณน้ำสูงสุดที่คลองประปาออกแบบไว้ นั่นคือ 45 ลบ.ม./วินาที การลำเลียงน้ำนั้นไม่มีการควบคุมประตูระบายน้ำด้านท้ายของคลองลัดอ้อมสถานีสูบน้ำดิบบางเลน พบว่า คลองประปายังมีศักยภาพเพียงพอที่จะลำเลียงปริมาณน้ำ 45 ลบ.ม./วินาทีได้

2) การลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่เกินจากที่ออกแบบ คลองประปาสามารถลำเลียงได้ด้วยปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที ผ่านคลองประปาพร้อมทั้งไม่มีการควบคุมประตูระบายน้ำด้านท้ายของคลองลัดอ้อมสถานีสูบน้ำดิบบางเลน พบว่า คลองประปาไม่สามารถจะลำเลียงปริมาณน้ำ 60 ลบ.ม./วินาที ได้ทั้งหมด

เมื่อทำการปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ในคลองประปา พบว่า เมื่อเพิ่มอาคารชลศาสตร์ต่างๆ ได้แก่ ท่อลอดคลอง 2L (กม.3+521) เพิ่มจาก 3 ท่อเป็น 7 ท่อ ท่อลอดทางหลวง 3356 (กม.29+097) เพิ่มจาก 2 ท่อเป็น 3 ท่อ ท่อลอดทางรถไฟ (กม.46+109) เพิ่มจาก 2 ท่อเป็น 3 ท่อ ท่อลอดทางหลวง 3296 (กม.70+539) เพิ่มจาก 2 ท่อเป็น 3 ท่อ และท่อลอดแม่น้ำท่าจีน (กม.70+950) เพิ่มจาก 5 ท่อเป็น 7 ท่อ เป็นผลทำให้สามารถลำเลียงน้ำปริมาณ 60 ลบ.ม./วินาทีได้ โดยระดับน้ำไม่ล้นตลิ่ง

3) การลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที ซึ่งเป็นปริมาณน้ำที่เกินจากที่ออกแบบคลองประปาลำเลียงน้ำผ่านคลองประปา โดยไม่มีการควบคุมประตุน้ำด้านท้ายของคลองลัดอ้อมสถานีสูบน้ำดิบบางเลน พบว่า คลองประปาไม่สามารถจะลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาทีได้ทั้งหมด จะพบระดับน้ำล้นตลิ่งเป็นบางช่วง รวมถึงอาคารท่อลอดในช่วงต่างๆ รวมทั้งอาคารท่อลอดแม่น้ำท่าจีนไม่มีศักยภาพเพียงพอที่จะลำเลียงปริมาณน้ำดังกล่าว ทำให้ระดับน้ำด้านหน้าอาคารท่อลอดยกตัวสูงขึ้นเป็นผลให้น้ำล้นตลิ่งบริเวณด้านหน้าอาคาร

เมื่อทำการปรับปรุงอาคารชลศาสตร์ในคลองประปา เพื่อให้คลองประปาสามารถลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาที โดยไม่ให้ระดับน้ำไม่ล้นตลิ่ง จะพบว่า เมื่อเพิ่มอาคารชลศาสตร์ในระยะต่างๆ พร้อมทั้งเพิ่มความจุของคลอง โดยทำการปรับปรุงหน้าตัดคลองประปาในช่วงตั้งแต่ กม. 0+000 ถึง กม. 70+950 ที่มีรูปร่างหน้าตัดสี่เหลี่ยมคางหมูเปลี่ยนเป็นคลองรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า เพื่อเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำเพิ่มขึ้นให้สูงที่สุดในพื้นที่จำกัด และเพิ่มคลอง bypass ขนาดเท่าเดิมอีก 1 เส้น ซึ่งทำให้สามารถทำให้ลำเลียงปริมาณน้ำ 75 ลบ.ม./วินาทีได้ โดยไม่ให้ระดับน้ำล้นตลิ่ง

ข้อเสนอแนะ

อย่างไรก็ตามในการศึกษาศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตก ควรจะต้องศึกษาถึงความคุ้มค่าในการลงทุนก่อสร้างเพิ่มเติมในกรณีต่างๆ เพื่อเกิดประโยชน์สูงสุดในการเพิ่มศักยภาพในการลำเลียงน้ำดิบของคลองประปาฝั่งตะวันตกต่อไป

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กฤษณ์ ศรีวรมาศ และกฤษชัย ศรีวรมาศ. 2548. การทดสอบความน่าเชื่อถือของแบบจำลองทาง
 ชลศาสตร์สำหรับการทำนายระดับน้ำและอัตราการไหล กรณีศึกษาลำน้ำมูลบริเวณ อำเภอ
 เมือง จังหวัดอุบลราชธานี. ใน วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10

กฤษฎา จันทรรคณา และสุวัฒนา จิตตลดากร. 2548. การตรวจสอบสภาพชลศาสตร์การไหลในลำน้ำ
 เสียวใหญ่โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11. ใน วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10

สมชาติ ชื่อวาจา. 2534. การหาสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่งในคลองส่งน้ำคาคด้วยคอนกรีต
 วิทยานิพนธ์ ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

วีรชาติ โอพารพิริยกุล. 2543. แนวความคิดในการกำหนดวิธีควบคุมการใช้งานคลองประปาฝั่ง
 ตะวันตกระยะที่ 2. เอกสารวิจัยส่วนบุคคลหลักสูตรวิทยาลัยการทัพอากาศ สถาบันวิชาการ
 ทหารอากาศชั้นสูง กองบัญชาการฝึกศึกษาทหารอากาศ กองทัพอากาศ, กรุงเทพฯ. 62 น.

สุวัฒนา จิตตลดากร. 2543. อาคารชลศาสตร์ เล่ม 1/2. ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ, คณะ
 วิศวกรรมศาสตร์, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ. 164น.

บริษัท ทีม คอนซัลติ้ง เอนจิเนียริ่ง แอนด์ แมเนจเม้นท์ จำกัด. 2545. คู่มือการปฏิบัติงาน
 (Operation Manual) ระบบคลองส่งน้ำ โครงการประปาฝั่งตะวันตกตอนบน (แม่กลอง -
 ท่าจีน) สัญญาจ้างเลขที่ CS-WR-C2, กรุงเทพฯ.

ปิยาภรณ์ พิมพ์เงิน. 2546. การศึกษาสภาพชลศาสตร์เพื่อการจัดการส่งน้ำของคลองประปา
 แม่กลอง-มหาสวัสดิ์. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กฤษฎา จันทรรคณา และสุวัฒนา จิตตลดากร. 2549. การตรวจสอบสภาพชลศาสตร์การไหลในลำน้ำ
 เสียวใหญ่โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11. ใน วิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 10

Danish Hydraulic Institute(DHI), “**MIKE 11 User Manual**”, 1992.

Danish Hydraulic Institute(DHI). “**MIKE 11 Reference Manual**”, 1992.





ภาคผนวก



ตารางผนวกที่ ก1 สถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ณ สถานีตรวจอากาศ อำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี (พ.ศ. 2524-2553)

ข้อมูล	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 (เฮกโตปาสกาล)													
เฉลี่ย	1,012.50	1,010.90	1,009.50	1,008.10	1,007.00	1,006.50	1,006.60	1,006.80	1,008.00	1,010.00	1,011.80	1,013.30	1,009.20
สูงสุด	1,024.40	1,022.10	1,025.80	1,018.10	1,013.20	1,012.40	1,012.60	1,013.00	1,015.60	1,018.50	1,021.20	1,024.00	1,025.80
ต่ำสุด	1,008.60	1,007.50	1,004.80	1,010.00	1,010.00	1,010.00	1,010.00	1,010.00	1,004.30	1,007.90	1,008.90	1,010.50	1,004.30
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	26	28	29.7	31	29.7	29	28.6	28.4	28	27.3	26.4	24.9	28.1
เฉลี่ยสูงสุด	33	35.6	37.3	38.2	35.9	34.5	33.9	33.6	33.6	32.2	31.6	31.3	34.2
เฉลี่ยต่ำสุด	19.9	22.1	24.2	25.9	25.8	25.5	24.9	24.9	24.6	23.9	22.2	19.6	23.6
สูงสุด	38.4	40.8	42.1	43.5	42.8	40.6	39.7	39.4	39.8	36	38	36.4	43.5
ต่ำสุด	18.9	22.1	22.8	25.4	25.8	25.2	24.7	24.6	24	23.5	23	20.5	18.9
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)													
เฉลี่ย	64	62	61	63	71	72	73	74	77	80	73	66	70
เฉลี่ยสูงสุด	84	83	81	80	86	86	86	87	90	92	88	85	86
เฉลี่ยต่ำสุด	41	37	37	40	51	54	55	56	58	62	53	44	49
ต่ำสุด	39	34	33	41	50	49	49	51	56	57	54	39	33

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ข้อมูล	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
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	18	19.2	20.5	22.2	23.3	23.1	22.8	22.9	23.2	23.2	20.6	17.6	21.4
การระเหย (มม.)													
เฉลี่ย-ภาค	140	148	199	209	180	153	155	149	137	121	127	138	155
ความชื้นสัมพัทธ์ (0-10)													
เฉลี่ย	3	3	4	4	7	8	8	8	8	7	5	3	6
ช่วงเวลาแสงแดด (ชม.)													
เฉลี่ย	ไม่มีการสำรวจ												
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 0700	6	6	6	8	10	10	10	10	10	8	7	7	8
ลม (น็อต)													
ความเร็วเฉลี่ย	1.1	1.4	1.6	1.7	1.4	1.4	1.6	1.8	1.3	1	1.5	1.4	1.4
ความเร็วสูงสุด	20	28	31	37	35	35	35	30	40	29	40	25	40
ปริมาณฝน (มม.)													
เฉลี่ย		3.4	18.8	29	78.5	145.3	86.4	102.9	98.3	220.5	209.2	60.6	6.9

ตารางผนวกที่ ก1 (ต่อ)

ข้อมูล	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
จำนวนวันที่ฝนตก	1	2	3	6	14	14	15	16	18	15	5	1	9
รายวันสูงสุด	14.2	124.7	85.3	89.8	96.9	69.3	70.6	108.7	123	132.4	99.5	41.8	132.4
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
หมอก	30	27	29	21	6	2	2	3	3	10	21	28	15
ลูกเห็บ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ฟ้าคะนอง	0	0	1	4	6	3	2	3	6	6	1	0	3
พายุฝน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

ตารางผนวกที่ ก2 สถิติภูมิอากาศในคาบ 30 ปี ณ สถานีตรวจอากาศ อำเภอกำแพงแสน จังหวัดนครปฐม (พ.ศ. 2524-2553)

ข้อมูล	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 (เฮกโตปาสกาล)													
เฉลี่ย	1,013.00	1,011.40	1,009.70	1,008.70	1,007.30	1,006.90	1,007.10	1,007.00	1,008.00	1,009.70	1,011.50	1,012.10	1,009.40
สูงสุด	1,023.80	1,021.40	1,019.90	1,015.10	1,013.10	1,011.60	1,013.70	1,013.30	1,014.00	1,017.10	1,019.60	1,019.90	1,023.80
ต่ำสุด	1,008.40	1,008.30	1,004.90	1,003.70	1,003.00	1,002.90	1,003.00	1,002.40	1,003.00	1,005.40	1,006.80	1,008.70	1,002.40
อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	24.7	27.4	29.2	30	29	28.9	28.4	28.3	28.2	27.5	25.9	24.8	27.7
เฉลี่ยสูงสุด	31	33.6	35.4	36.1	34.5	34.4	33.5	33.4	33.4	32.1	30.9	30.5	33.2
เฉลี่ยต่ำสุด	19.4	22.3	24	25	24.7	24.8	24.7	24.4	24.4	23.9	21.6	19.9	23.3
สูงสุด	35.4	37	39.1	39.3	40.2	37.5	36.5	37	36.7	35.2	35.9	35.2	40.2
ต่ำสุด	16.1	22	22.4	24.3	23.8	24.2	23.8	23.5	23.7	22.5	19.2	17.2	16.1
ความชื้นสัมพัทธ์ (%)													
เฉลี่ย	74	75	73	74	79	80	80	80	82	83	77	76	78
เฉลี่ยสูงสุด	94	95	94	93	93	94	93	93	95	96	93	94	94
เฉลี่ยต่ำสุด	49	50	48	50	59	59	61	61	62	65	54	51	56
ต่ำสุด	43	40	42	45	46	56	51	51	54	56	47	48	40

ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ข้อมูล	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
จุดน้ำค้าง (องศาเซลเซียส)													
เฉลี่ย	19.3	22.1	23.2	24.4	24.7	24.7	24.2	24.2	24.4	24.2	21.1	19.7	23
การระเหย (มม.)													
เฉลี่ย-ภาค	118	116	160	161	148	140	140	131	140	115	120	113	133
ความชื้นสัมพัทธ์ (0-10)													
เฉลี่ย	2	2	2	4	7	7	8	9	8	6	3	2	5
ช่วงเวลาแสงแดด (ชม.)													
เฉลี่ย	ไม่มีการสำรวจ												
ทัศนวิสัย (กม.)													
เวลา 0700	4	5	7	9	9	10	10	9	9	8	8	5	8
ลม (น็อต)													
ความเร็วเฉลี่ย	1.7	1.5	1.9	2.1	1.6	1.7	1.9	2.2	1.8	1.6	2.3	2	1.8
ความเร็วสูงสุด	24	15	39	24	35	30	44	31	32	18	26	22	44
ปริมาณฝน (มม.)													
เฉลี่ย		2.3	8	29.1	43.7	120.4	101.2	107.9	111.5	221.2	206.1	50.9	7.2

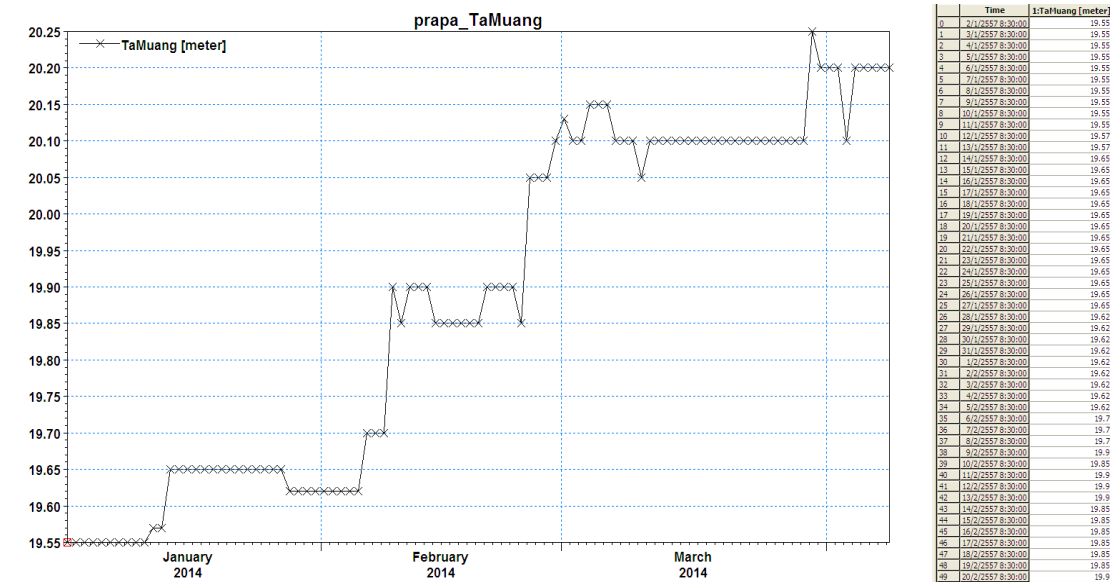
ตารางผนวกที่ ก2 (ต่อ)

ข้อมูล	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
จำนวนวันที่ฝนตก	1	1	2	4	13	13	14	16	18	15	5	1	9
รายวันสูงสุด	18.6	44.4	118.2	79	76.7	65.7	115.6	75.9	124.3	142.8	71.1	56.6	142.8
จำนวนวันที่เกิด													
เมฆหมอก	12	6	2	0	0	0	0	0	0	1	2	7	3
หมอก	23	18	16	4	1	0	0	0	0	3	12	19	8
ลูกเห็บ	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
ฟ้าคะนอง	0	0	2	4	9	9	4	6	9	8	1	0	4
พายุฝน	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

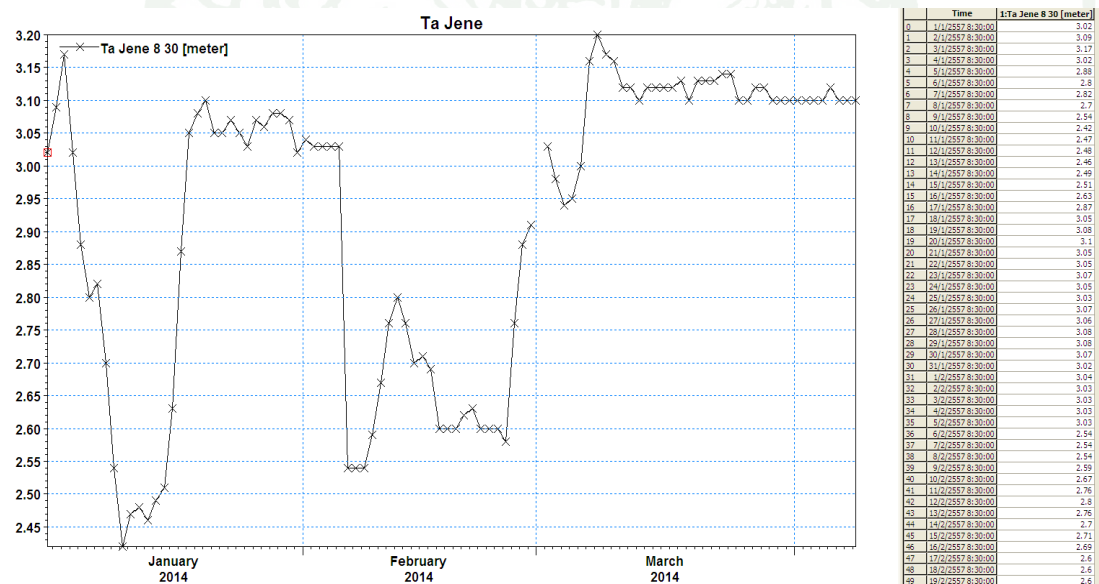


ภาคผนวก ข

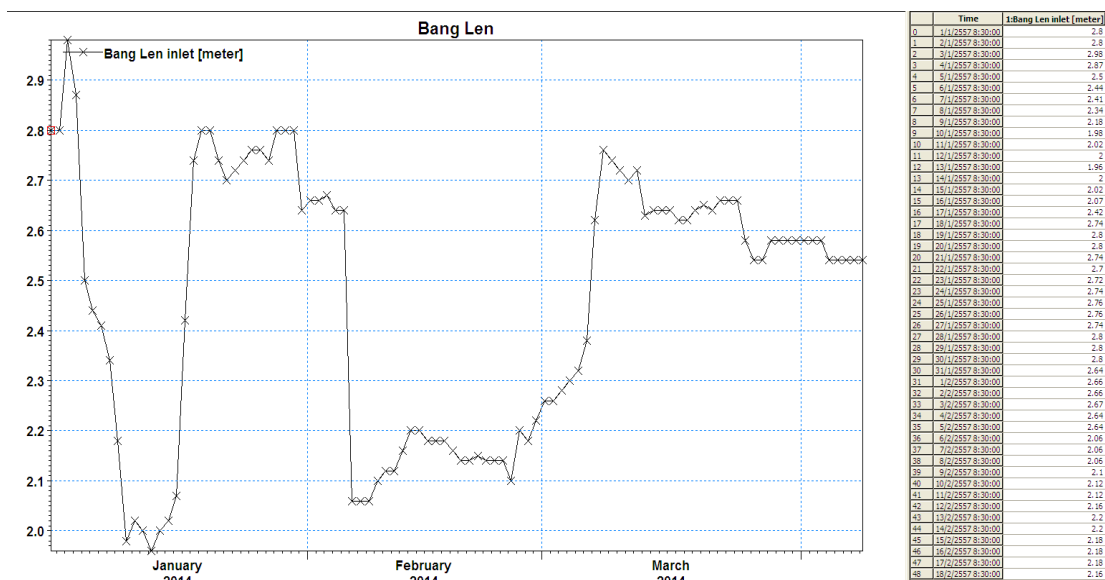
ข้อมูลอัตราการไหล และข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าที่ใช้ในการศึกษา



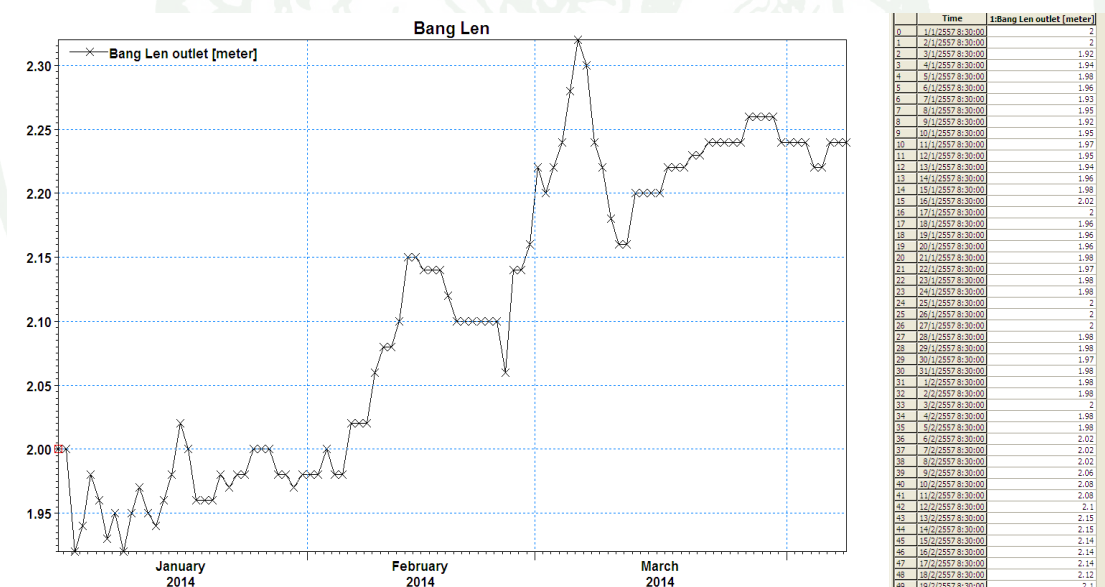
ภาพผนวกที่ ข1 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าท่าม่วง



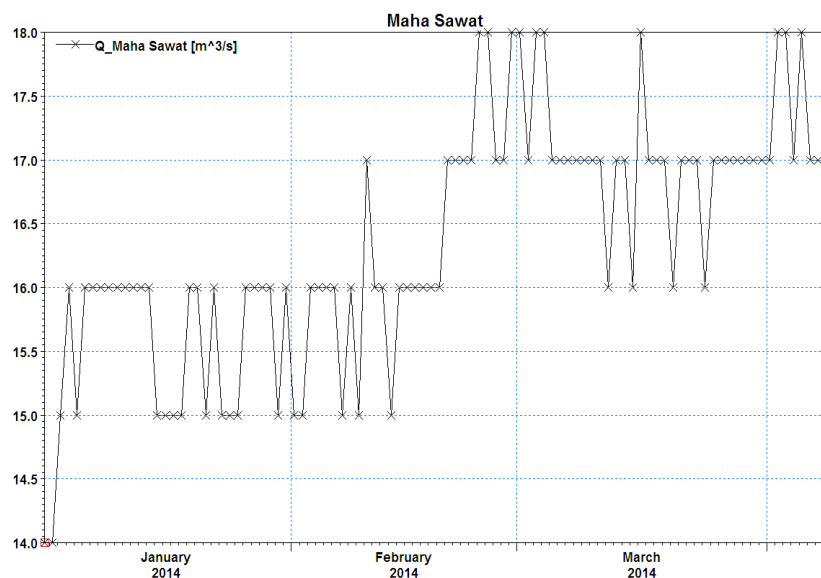
ภาพผนวกที่ ข2 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าท่าลวดแม่น้ำท่าจีน



ภาพผนวกที่ ข3 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าสถานีสูบบางเลนด้านเหนือ

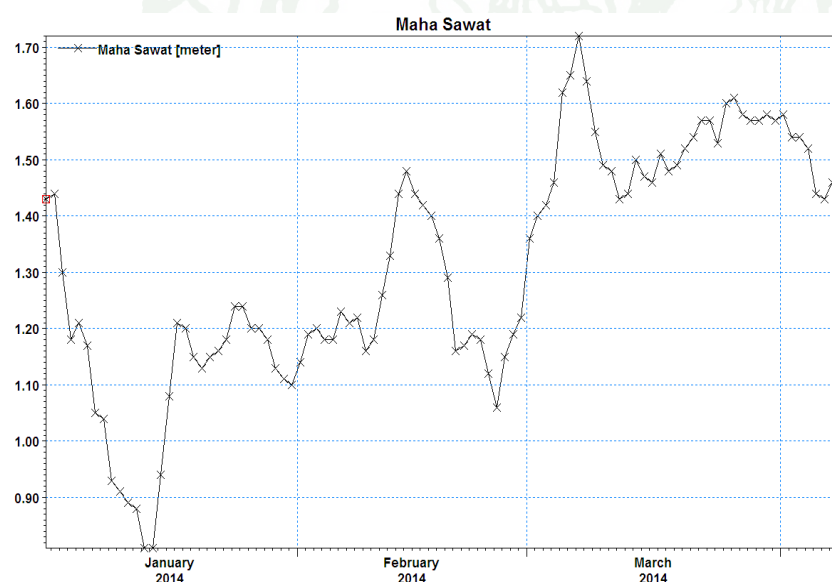


ภาพผนวกที่ ข4 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่าสถานีสูบบางเลนด้านท้ายน้ำ



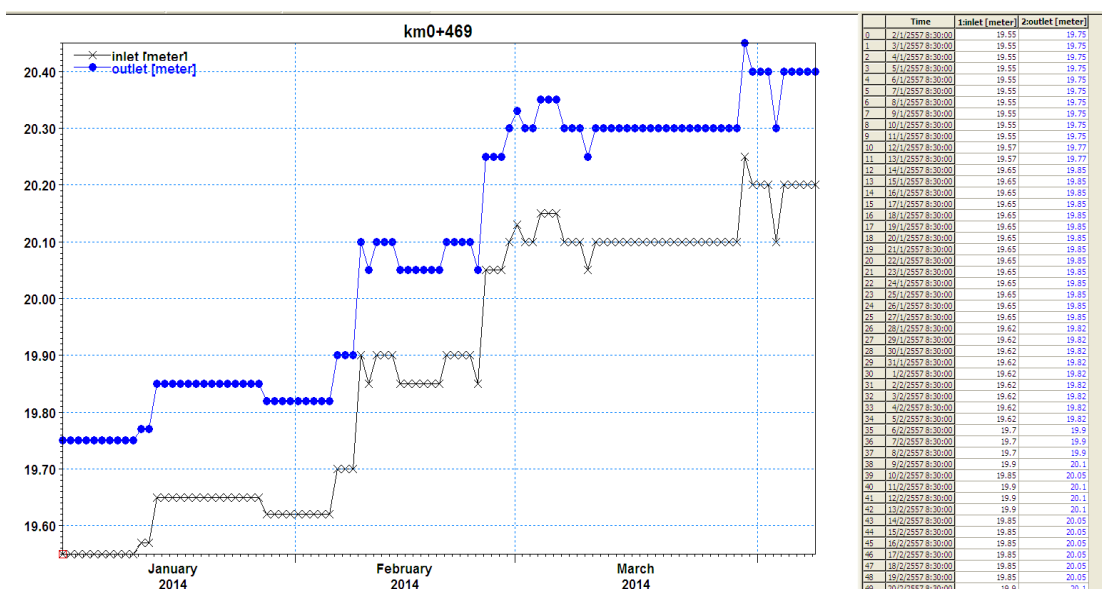
Time	1-Q_Maha Sawat [m ³ /s]
0 1/1/2557 8:30:00	14
1 2/1/2557 8:30:00	14
2 3/1/2557 8:30:00	15
3 4/1/2557 8:30:00	16
4 5/1/2557 8:30:00	15
5 6/1/2557 8:30:00	16
6 7/1/2557 8:30:00	16
7 8/1/2557 8:30:00	16
8 9/1/2557 8:30:00	16
9 10/1/2557 8:30:00	16
10 11/1/2557 8:30:00	16
11 12/1/2557 8:30:00	16
12 13/1/2557 8:30:00	16
13 14/1/2557 8:30:00	16
14 15/1/2557 8:30:00	15
15 16/1/2557 8:30:00	15
16 17/1/2557 8:30:00	15
17 18/1/2557 8:30:00	15
18 19/1/2557 8:30:00	16
19 20/1/2557 8:30:00	16
20 21/1/2557 8:30:00	15
21 22/1/2557 8:30:00	16
22 23/1/2557 8:30:00	15
23 24/1/2557 8:30:00	15
24 25/1/2557 8:30:00	16
25 26/1/2557 8:30:00	16
26 27/1/2557 8:30:00	16
27 28/1/2557 8:30:00	16
28 29/1/2557 8:30:00	16
29 30/1/2557 8:30:00	15
30 31/1/2557 8:30:00	16
31 1/2/2557 8:30:00	15
32 2/2/2557 8:30:00	15
33 3/2/2557 8:30:00	16
34 4/2/2557 8:30:00	16
35 5/2/2557 8:30:00	16
36 6/2/2557 8:30:00	16
37 7/2/2557 8:30:00	15
38 8/2/2557 8:30:00	16
39 9/2/2557 8:30:00	15
40 10/2/2557 8:30:00	17
41 11/2/2557 8:30:00	16
42 12/2/2557 8:30:00	16
43 13/2/2557 8:30:00	15
44 14/2/2557 8:30:00	16
45 15/2/2557 8:30:00	16
46 16/2/2557 8:30:00	16
47 17/2/2557 8:30:00	16
48 18/2/2557 8:30:00	16
49 19/2/2557 8:30:00	16

ภาพผนวกที่ ข5 แสดงข้อมูลอัตราการไหลของน้ำของสถานีวัดน้ำท่ามหาสวัสดิ์

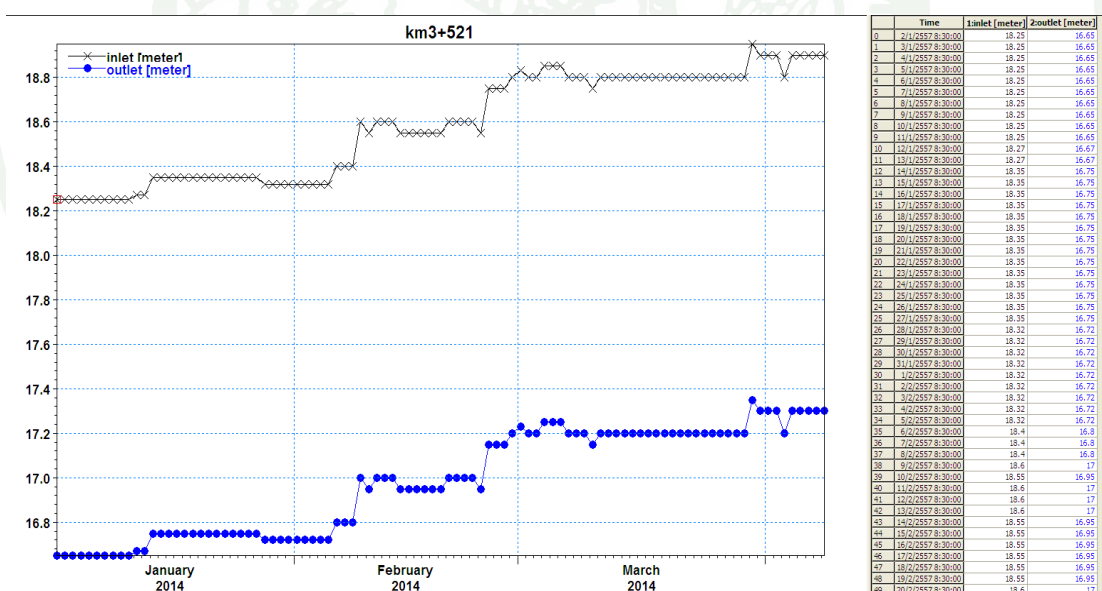


Time	2-Maha Sawat [meter]
0 1/1/2557 8:30:00	1.43
1 2/1/2557 8:30:00	1.44
2 3/1/2557 8:30:00	1.3
3 4/1/2557 8:30:00	1.18
4 5/1/2557 8:30:00	1.21
5 6/1/2557 8:30:00	1.17
6 7/1/2557 8:30:00	1.06
7 8/1/2557 8:30:00	1.04
8 9/1/2557 8:30:00	0.93
9 10/1/2557 8:30:00	0.91
10 11/1/2557 8:30:00	0.89
11 12/1/2557 8:30:00	0.88
12 13/1/2557 8:30:00	0.81
13 14/1/2557 8:30:00	0.81
14 15/1/2557 8:30:00	0.94
15 16/1/2557 8:30:00	1.08
16 17/1/2557 8:30:00	1.11
17 18/1/2557 8:30:00	1.2
18 19/1/2557 8:30:00	1.15
19 20/1/2557 8:30:00	1.13
20 21/1/2557 8:30:00	1.15
21 22/1/2557 8:30:00	1.16
22 23/1/2557 8:30:00	1.18
23 24/1/2557 8:30:00	1.24
24 25/1/2557 8:30:00	1.24
25 26/1/2557 8:30:00	1.2
26 27/1/2557 8:30:00	1.2
27 28/1/2557 8:30:00	1.18
28 29/1/2557 8:30:00	1.13
29 30/1/2557 8:30:00	1.11
30 31/1/2557 8:30:00	1.1
31 1/2/2557 8:30:00	1.14
32 2/2/2557 8:30:00	1.19
33 3/2/2557 8:30:00	1.2
34 4/2/2557 8:30:00	1.18
35 5/2/2557 8:30:00	1.18
36 6/2/2557 8:30:00	1.23
37 7/2/2557 8:30:00	1.21
38 8/2/2557 8:30:00	1.22
39 9/2/2557 8:30:00	1.16
40 10/2/2557 8:30:00	1.18
41 11/2/2557 8:30:00	1.26
42 12/2/2557 8:30:00	1.33
43 13/2/2557 8:30:00	1.44
44 14/2/2557 8:30:00	1.48
45 15/2/2557 8:30:00	1.44
46 16/2/2557 8:30:00	1.42
47 17/2/2557 8:30:00	1.4
48 18/2/2557 8:30:00	1.36
49 19/2/2557 8:30:00	1.29

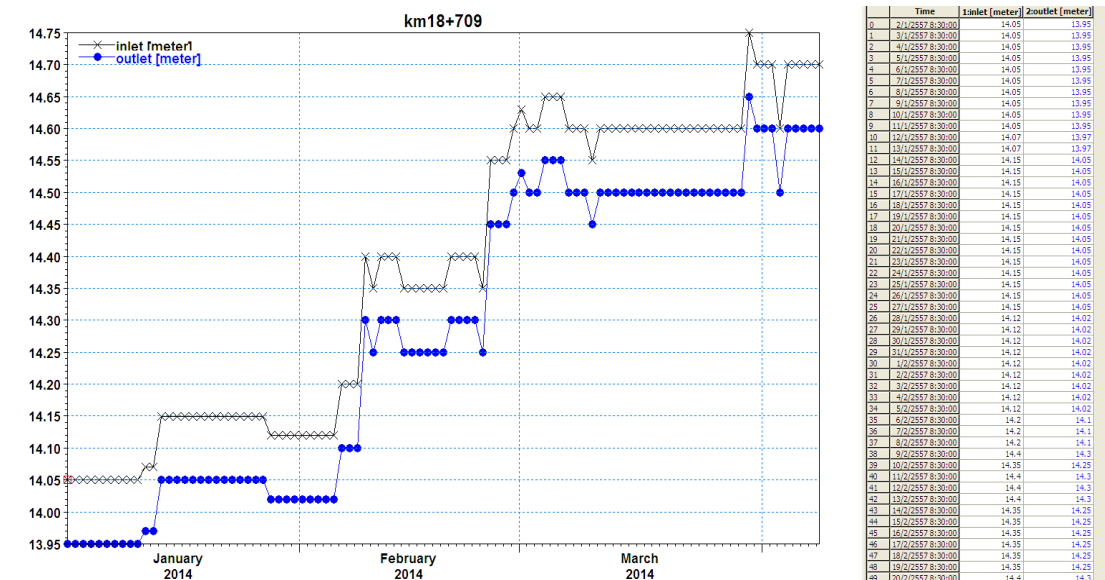
ภาพผนวกที่ ข6 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดน้ำท่ามหาสวัสดิ์



ภาพผนวกที่ ข7 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีที่ตลอดคลองแสงชูโต

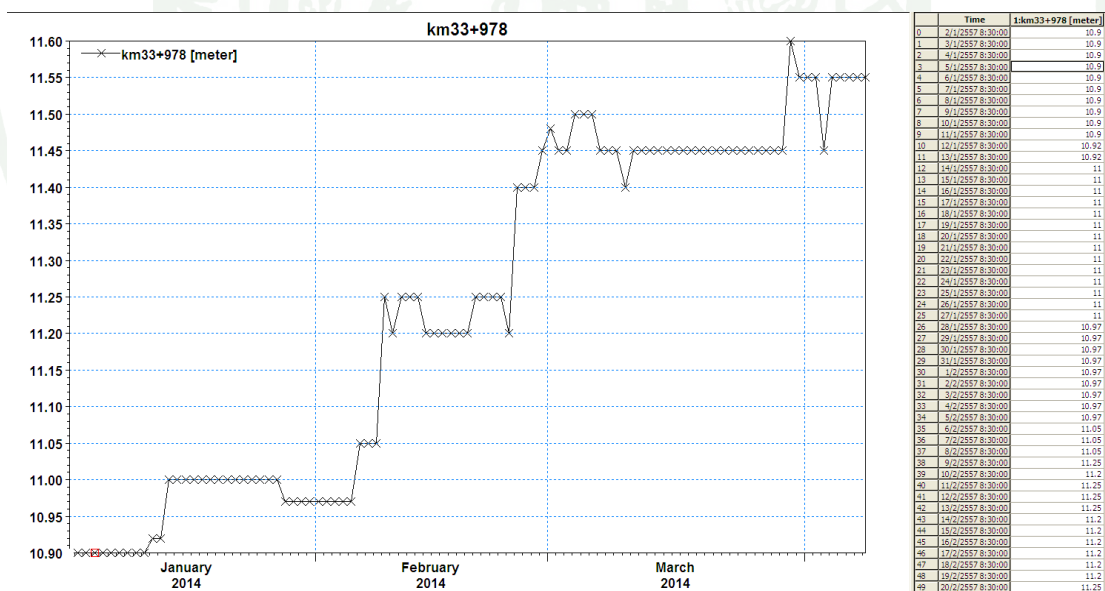


ภาพผนวกที่ ข8 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีที่ตลอดคลอง2L

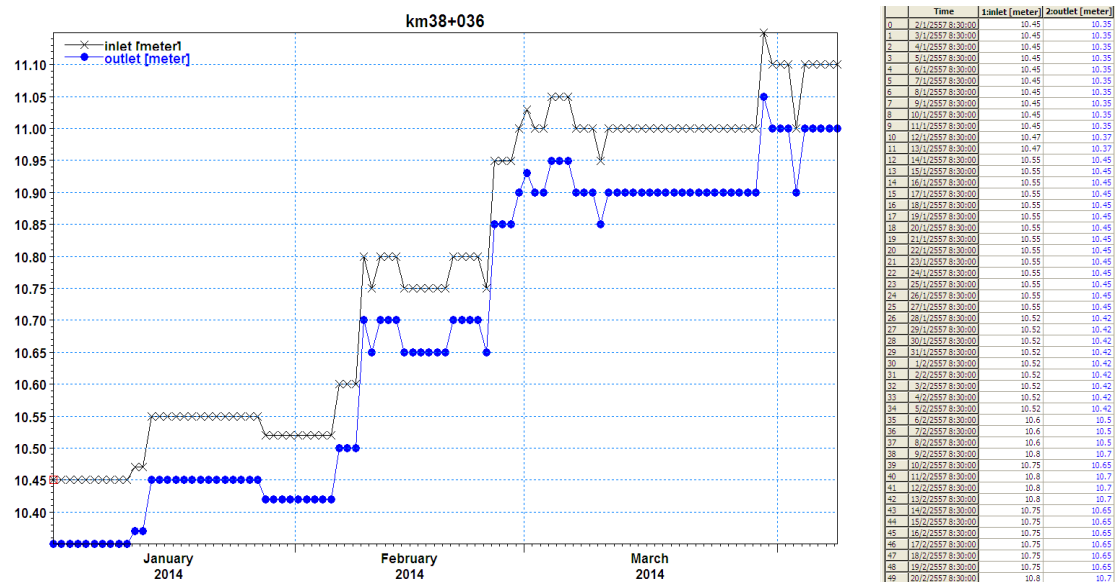


ภาพผนวกที่ ข9 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีที่ตลอดถนน กม.

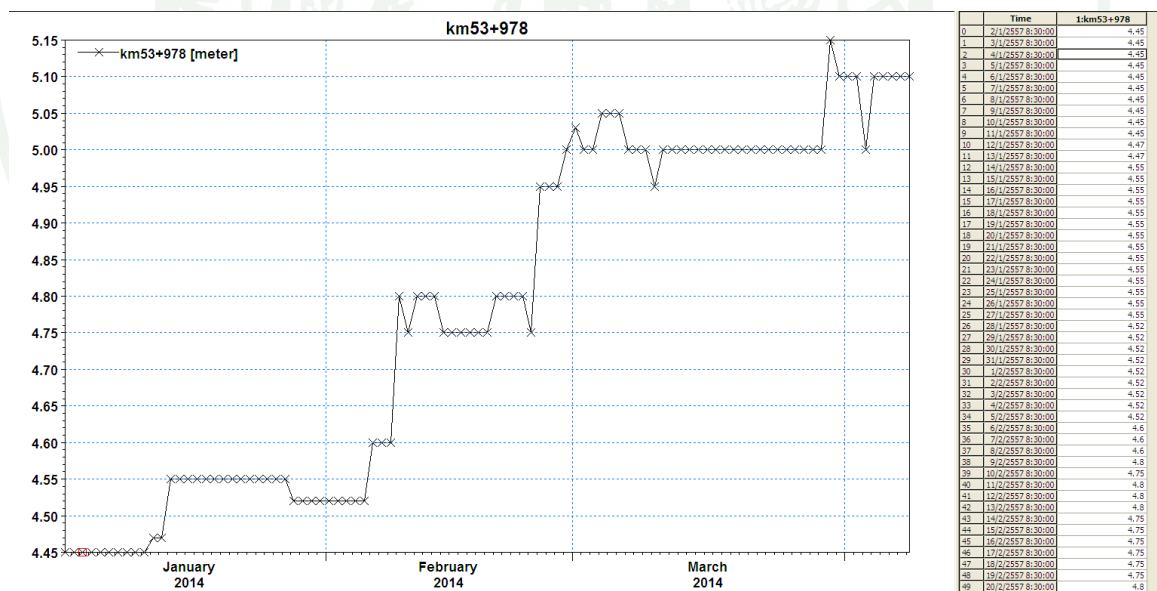
18+709



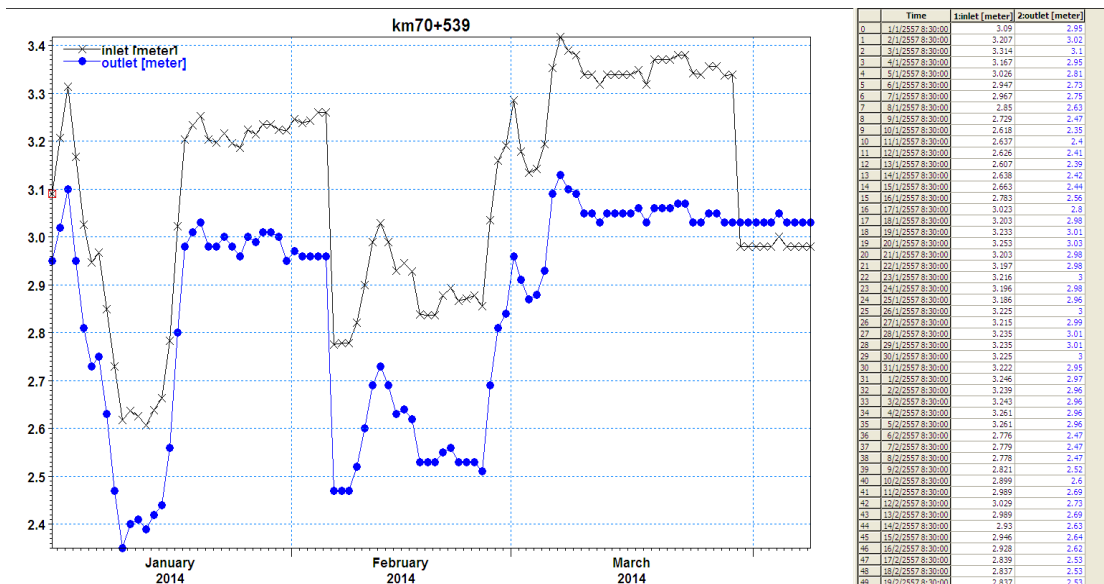
ภาพผนวกที่ ข10 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม.33+978



ภาพผนวกที่ ข11 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีที่ตลอดถนน กม.
38+036

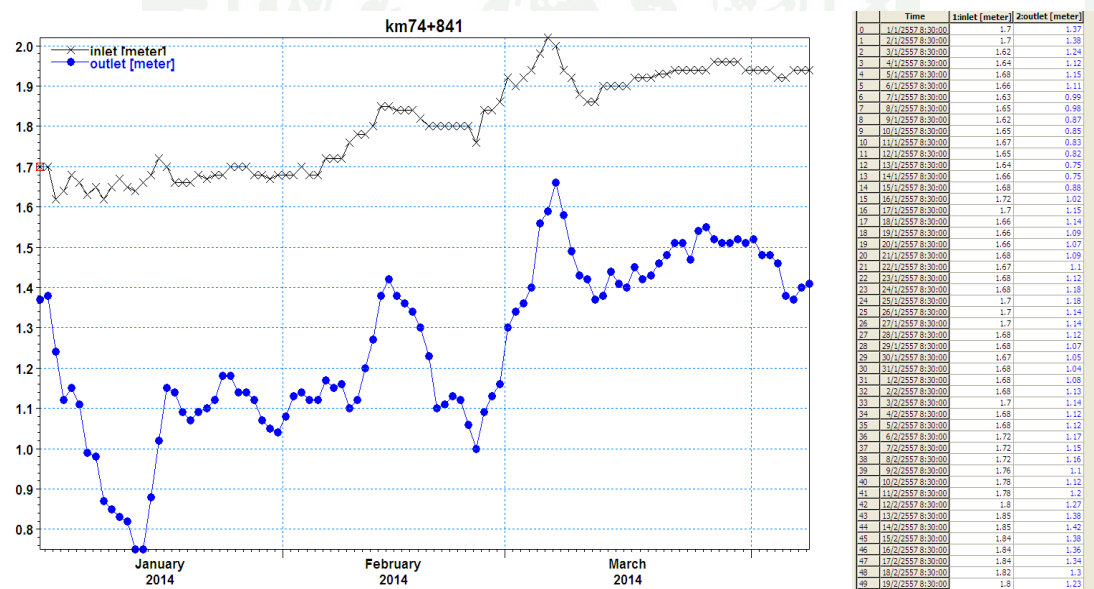


ภาพผนวกที่ ข12 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม. 53+978

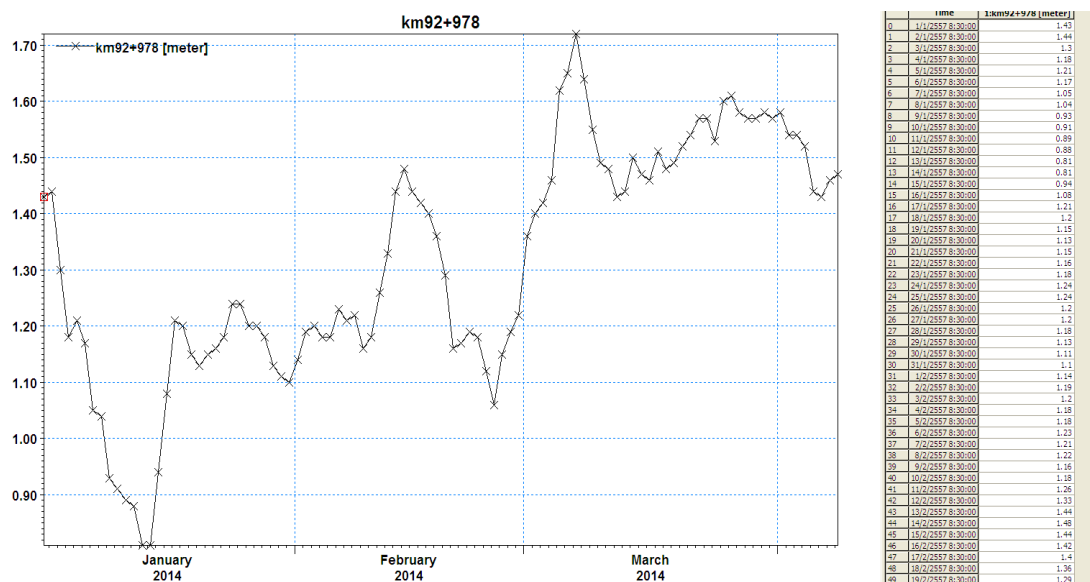


ภาพผนวกที่ ข13 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีที่ตลอดทางหลวง

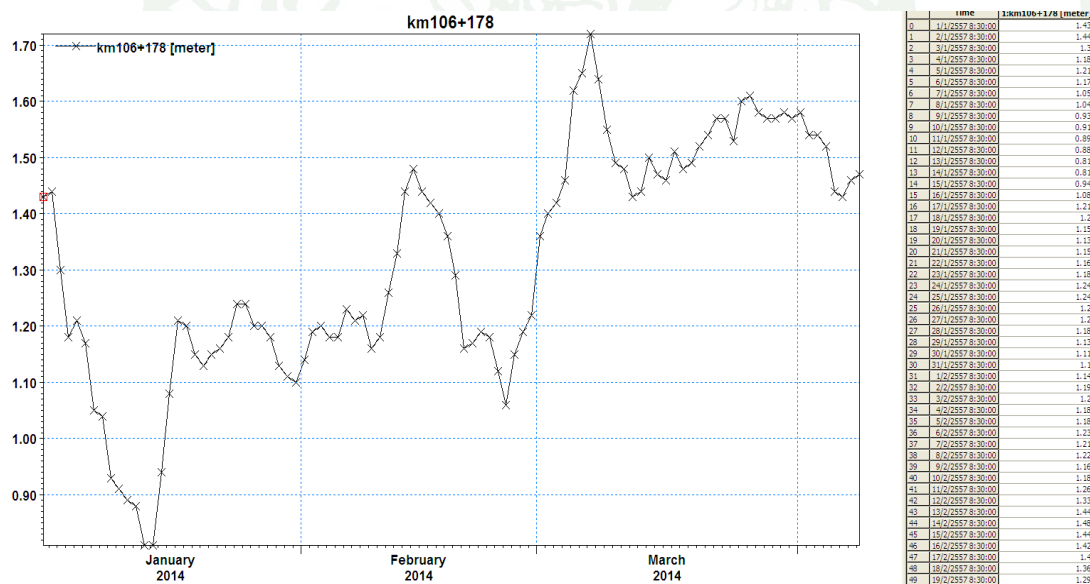
3296



ภาพผนวกที่ ข14 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีที่ตลอดคลองบางภาษี



ภาพผนวกที่ ข15 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม.92+978

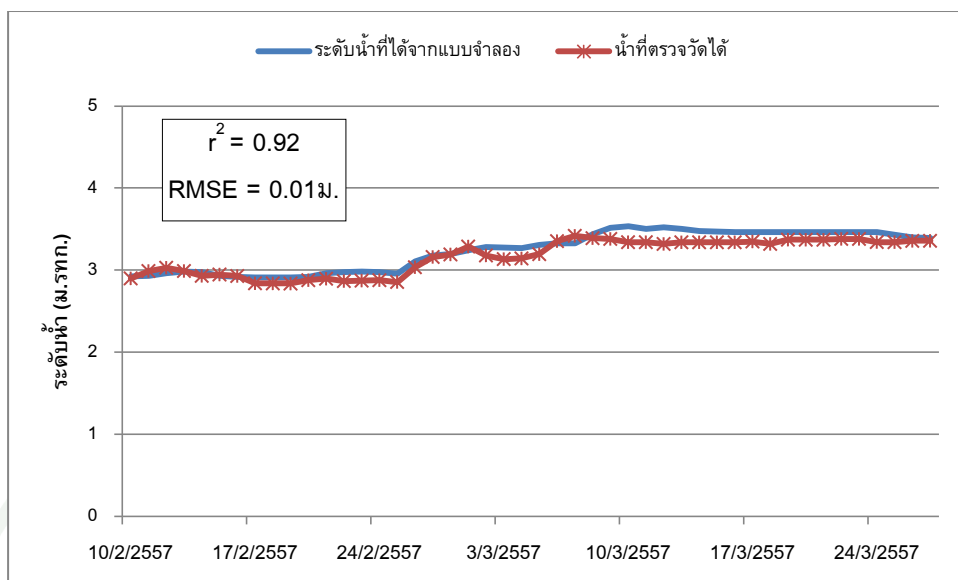


ภาพผนวกที่ ข16 แสดงข้อมูลระดับน้ำของสถานีวัดระดับน้ำอัตโนมัติ สถานีกม.106+178

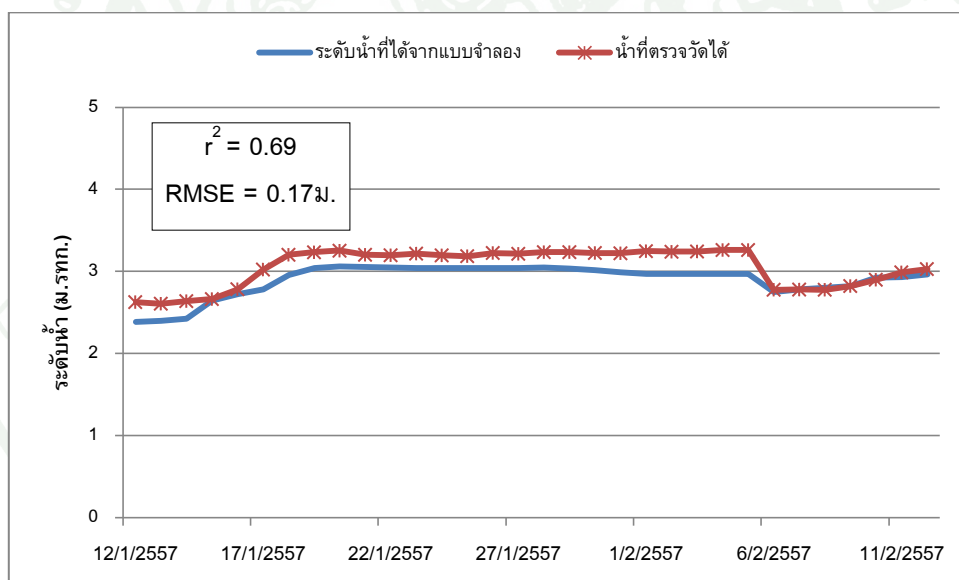


ภาคผนวก ค

การสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ต่างๆ

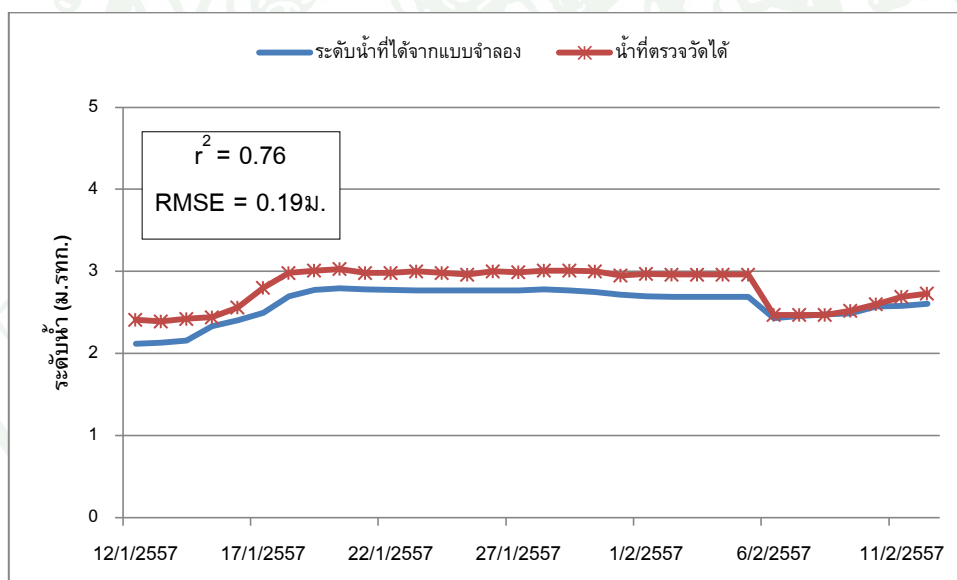
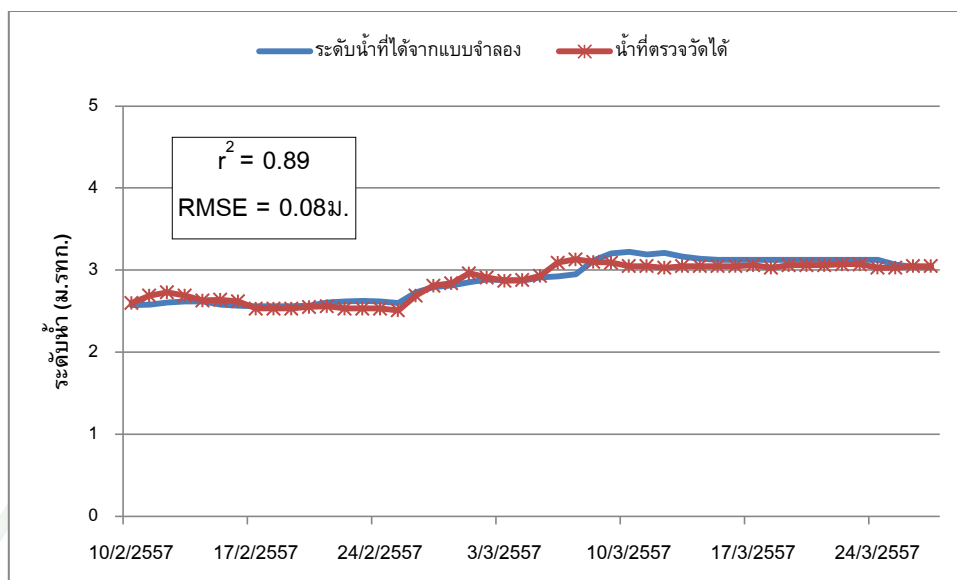


ก) ผลการสอบเทียบ

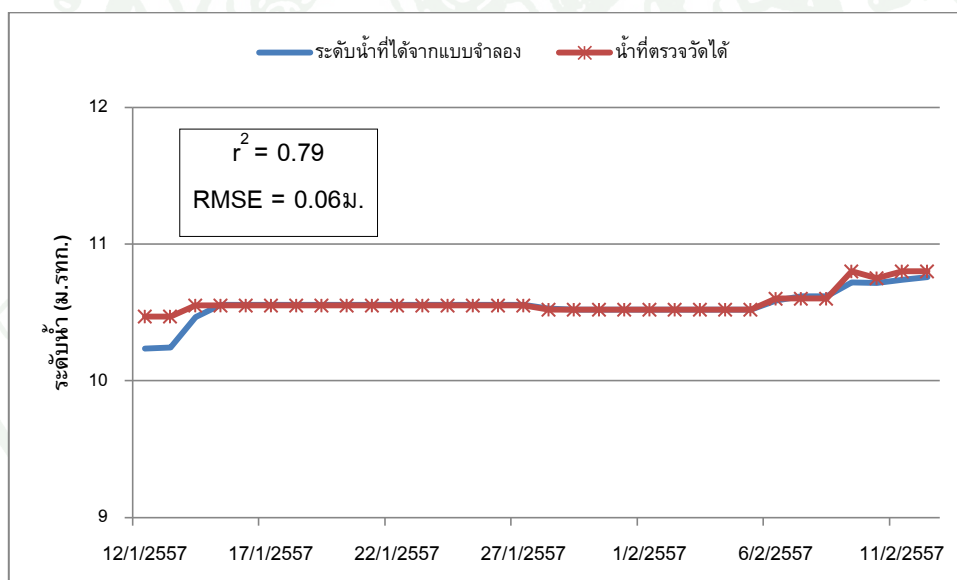
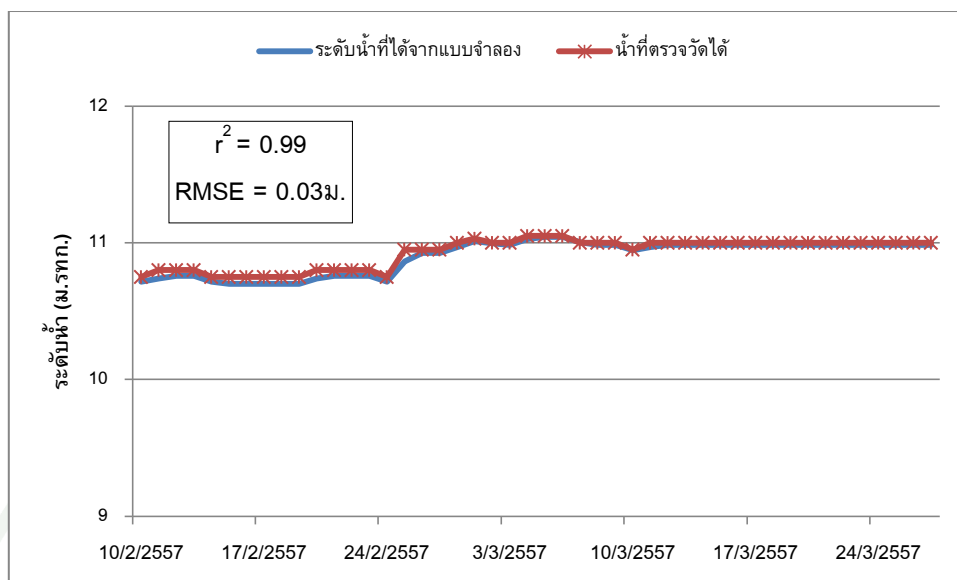


ข) ผลการตรวจสอบ

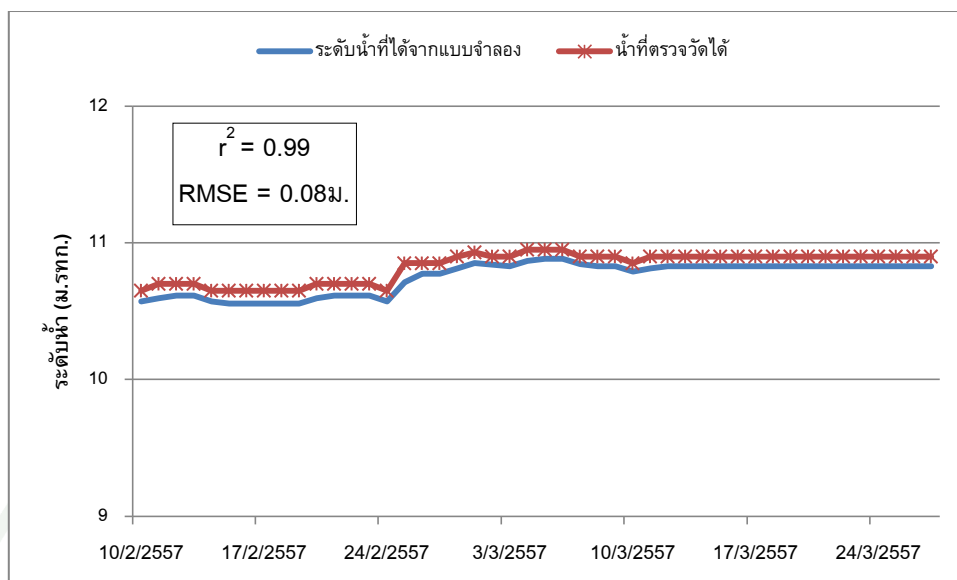
ภาพผนวกที่ ๑๑ แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.20ม. ด้านเหนือ



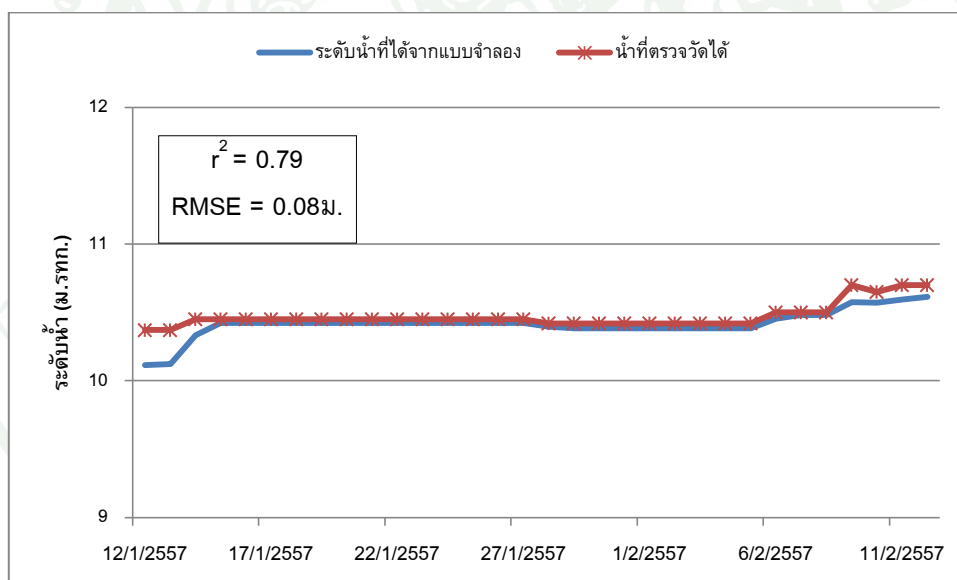
ภาพผนวกที่ ค2 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.20ม. ด้านท้ายน้ำ



ภาพผนวกที่ ค3 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.75ม. ด้านเหนือ

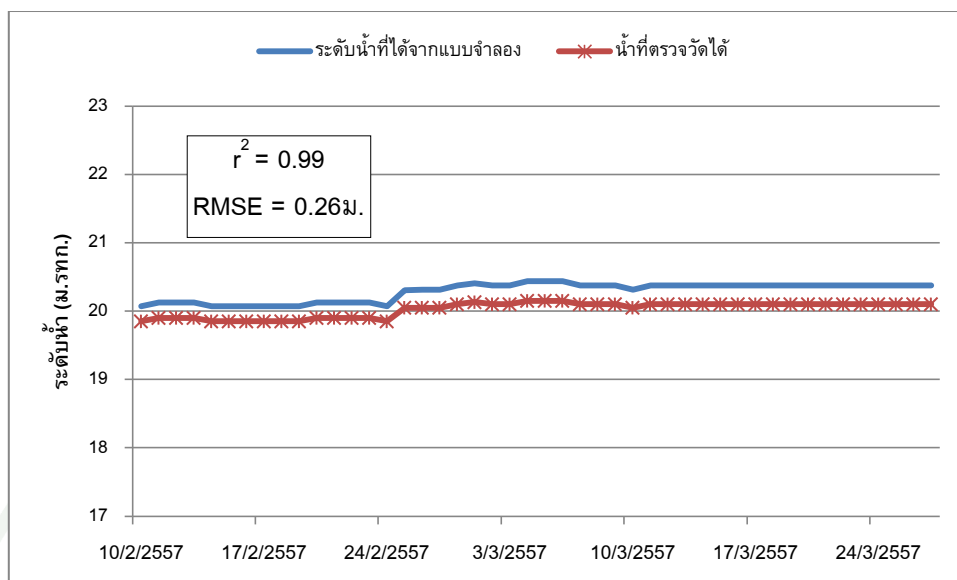


ก) ผลการสอบเทียบ

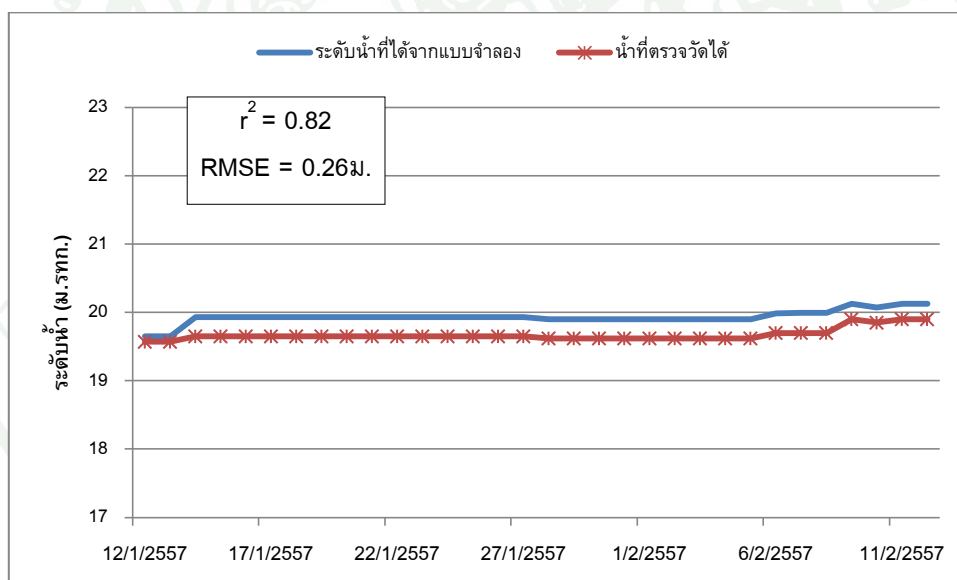


ข) ผลการตรวจสอบ

ภาพผนวกที่ ๓4 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่ม
อาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.75ม. ด้านท้ายน้ำ

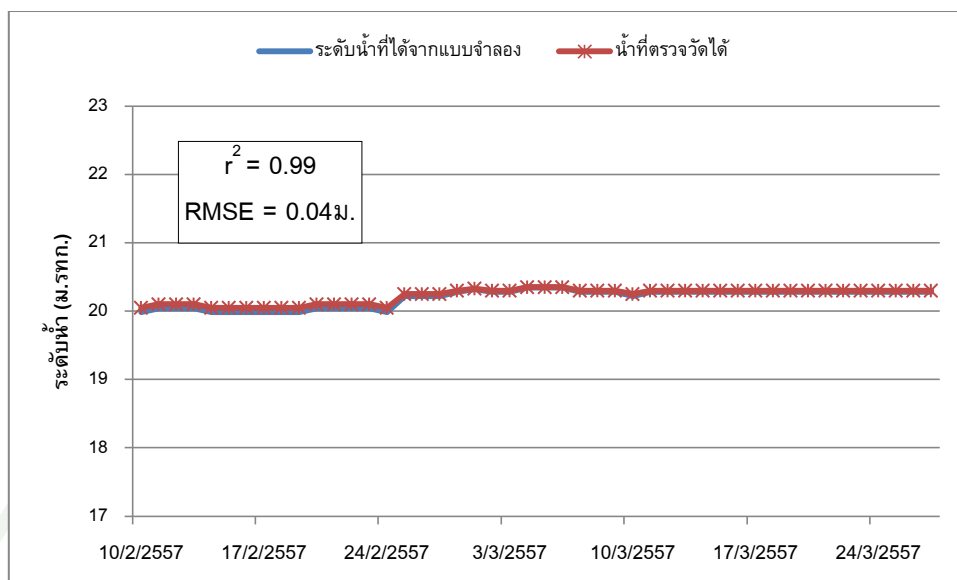


ก) ผลการสอบเทียบ

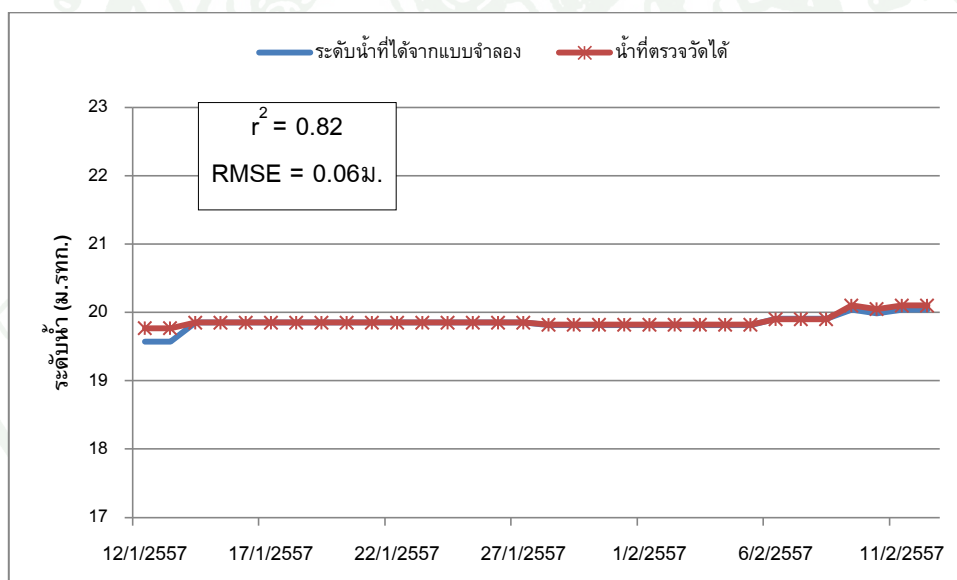


ข) ผลการตรวจสอบ

ภาพผนวกที่ ค5 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่ม
อาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม.x3.95ม. ด้านเหนือ

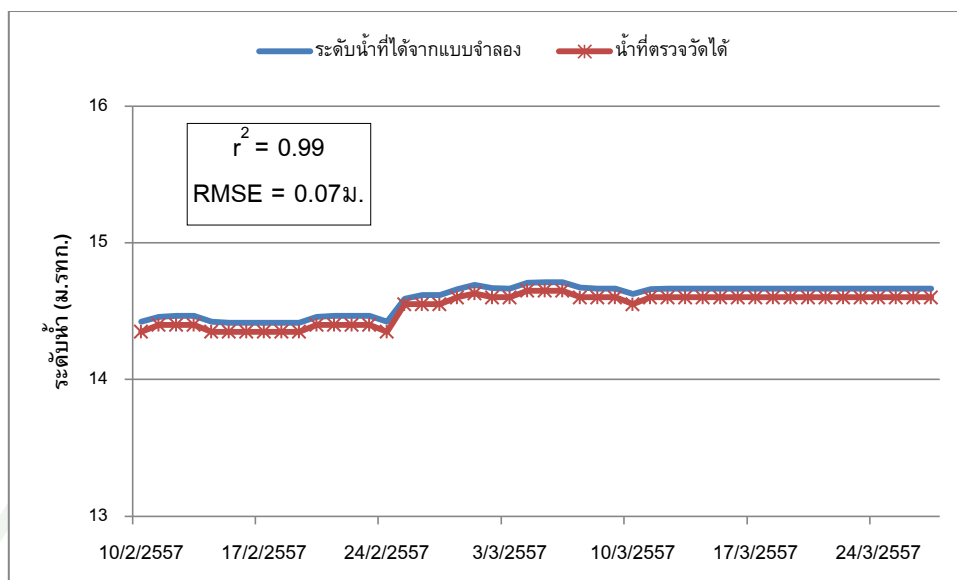


ก) ผลการสอบเทียบ

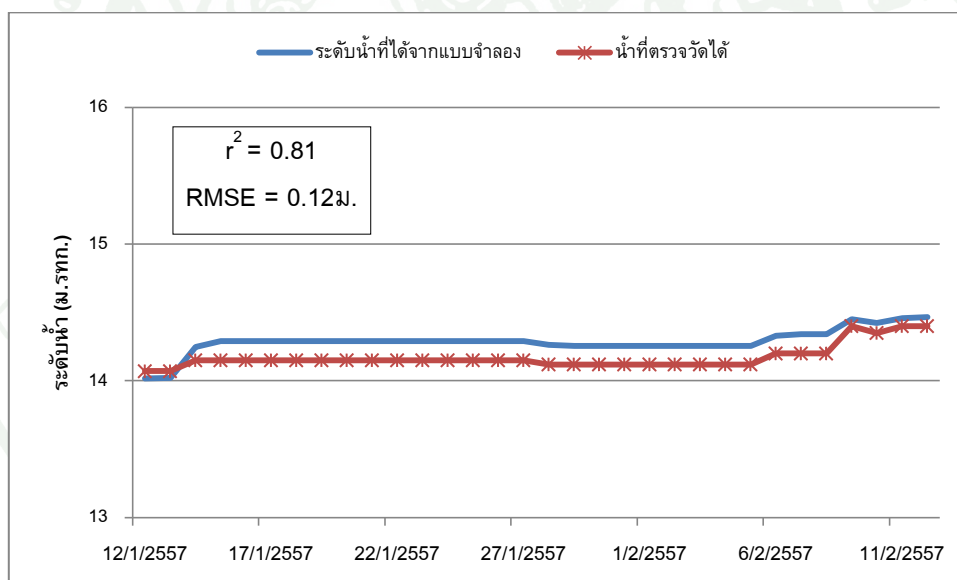


ข) ผลการตรวจสอบ

ภาพผนวกที่ ค6 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 3.95ม. ด้านท้ายน้ำ

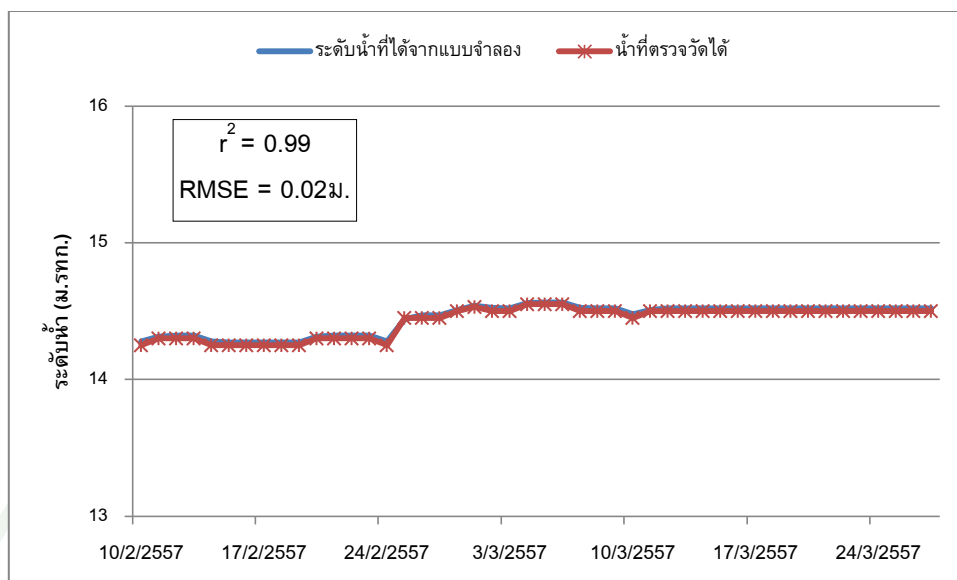


ก) ผลการสอบเทียบ

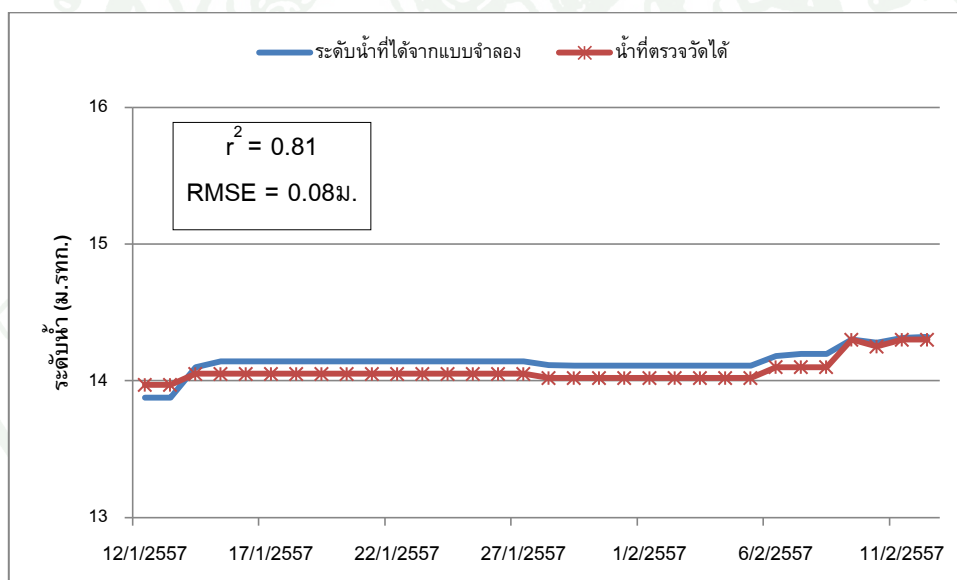


ข) ผลการตรวจสอบ

ภาพผนวกที่ ค7 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม.x4.15ม. ด้านเหนือ

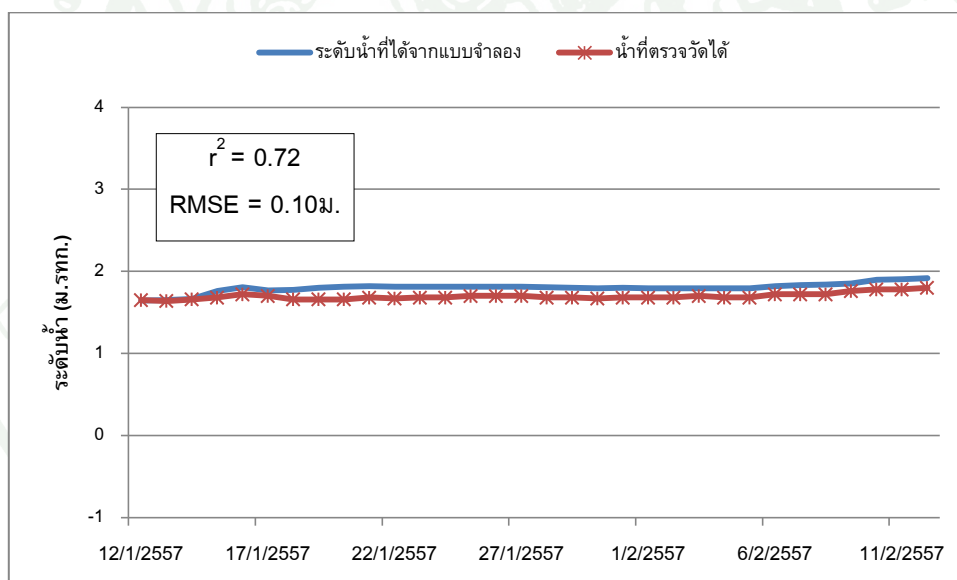
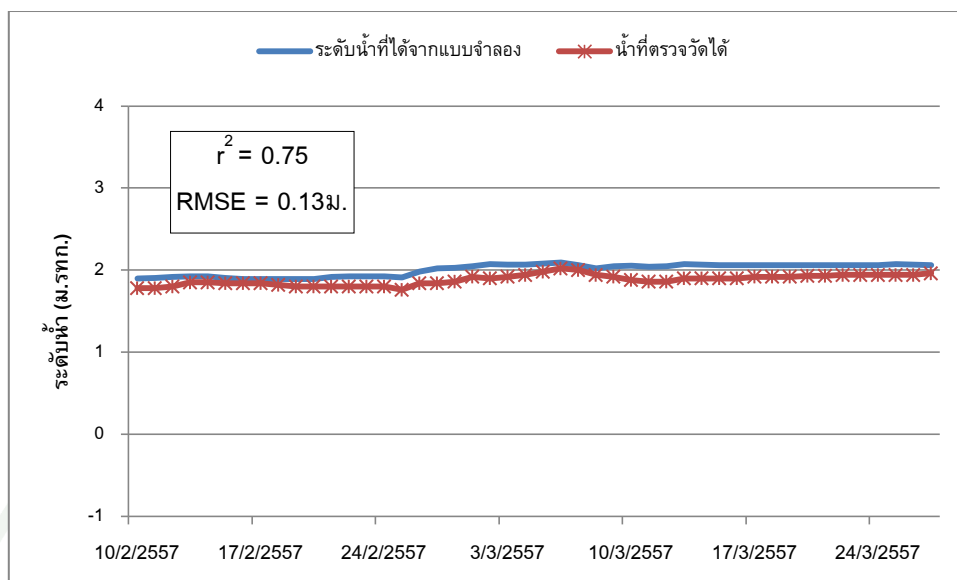


ก) ผลการสอบเทียบ

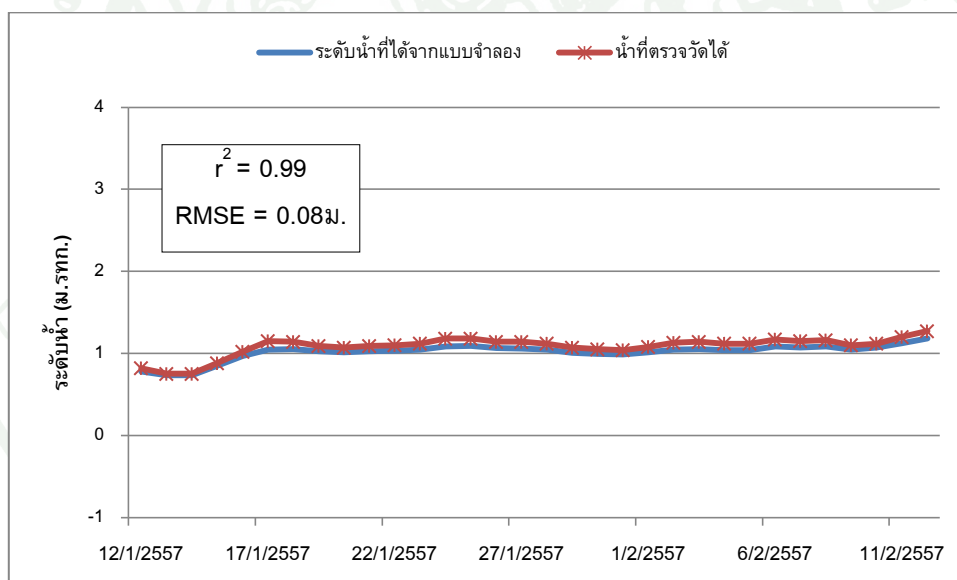
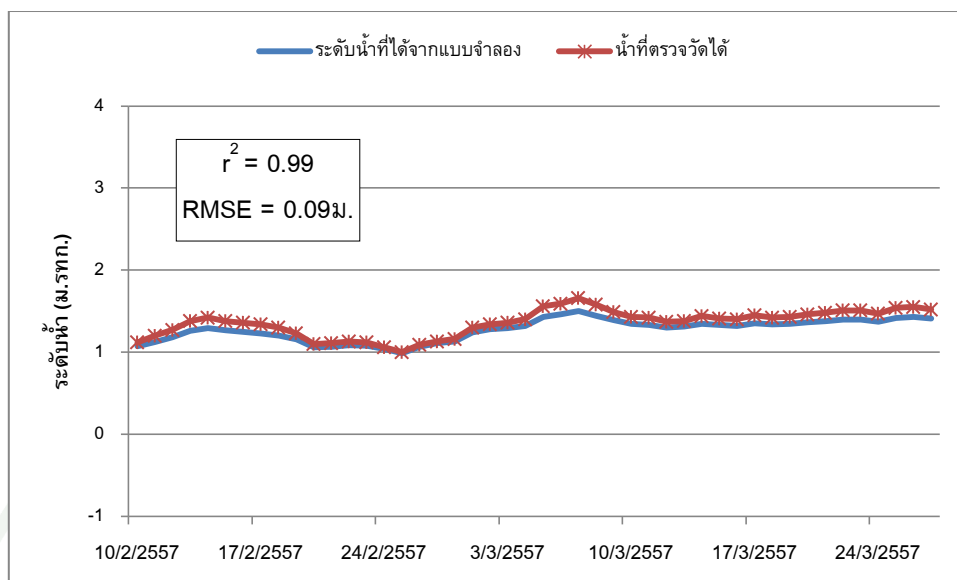


ข) ผลการตรวจสอบ

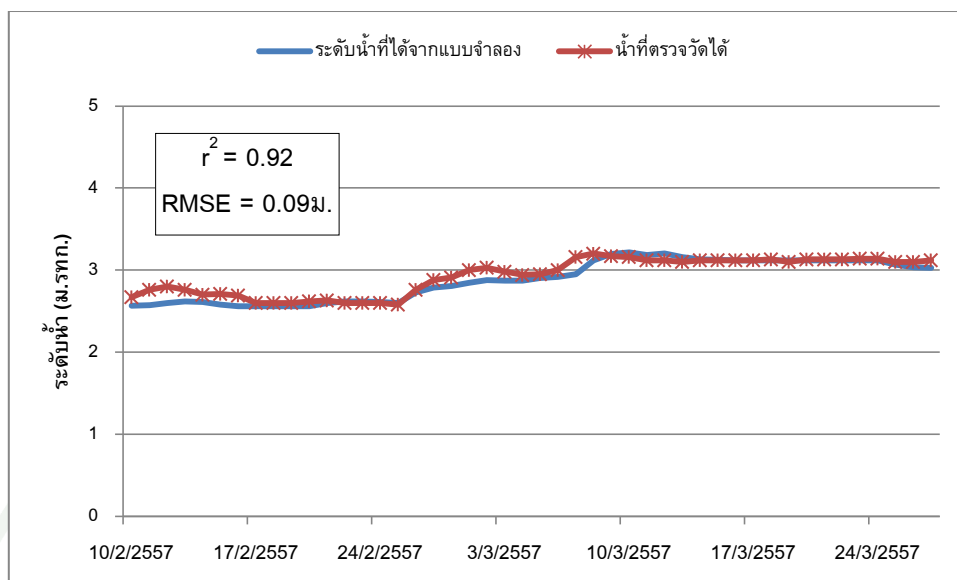
ภาพผนวกที่ ค8 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่ม
อาคารชลศาสตร์ขนาด 3.20ม. x 4.15ม. ด้านท้ายน้ำ



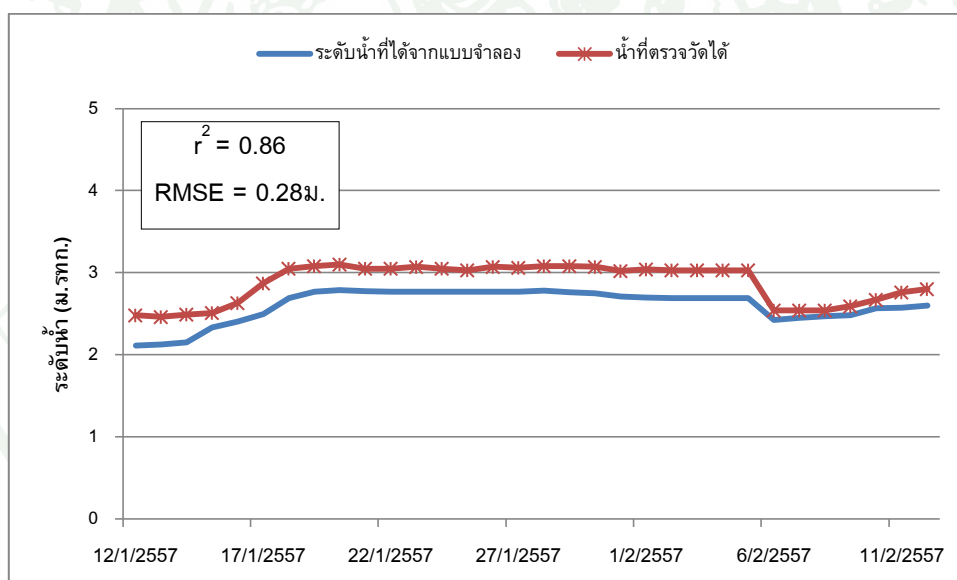
ภาพผนวกที่ ๙ แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.25ม. x 3.25ม. ด้านเหนือ



ภาพผนวกที่ ค10 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด 3.25ม. x 3.25ม. ด้านท้ายน้ำ

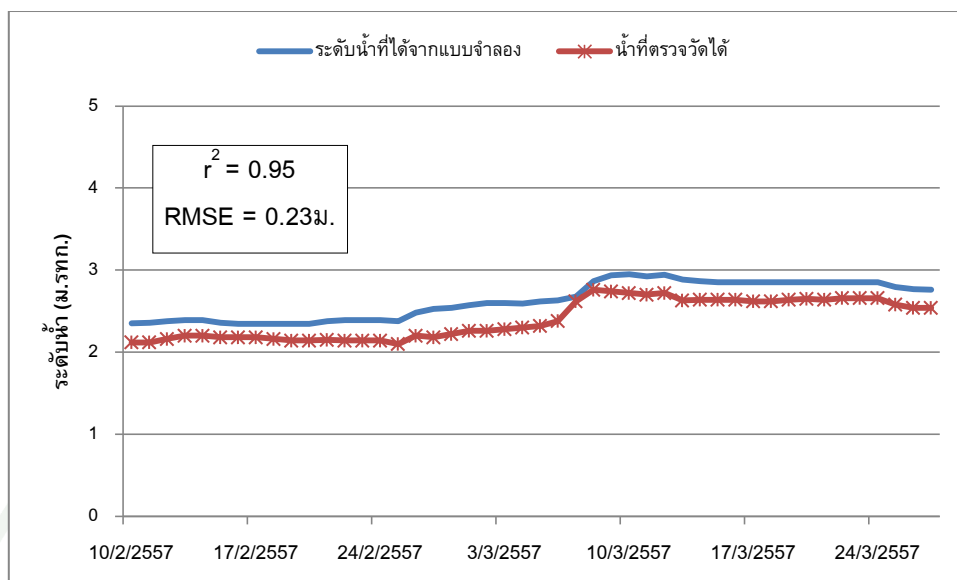


ก) ผลการสอบเทียบ

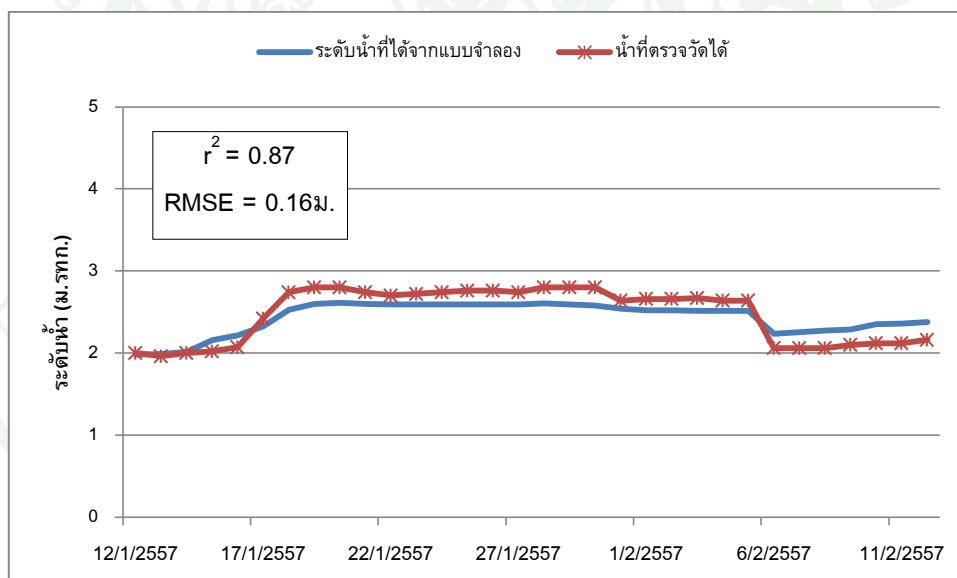


ข) ผลการตรวจสอบ

ภาพผนวกที่ ค11 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.0 ม. ด้านเหนือ

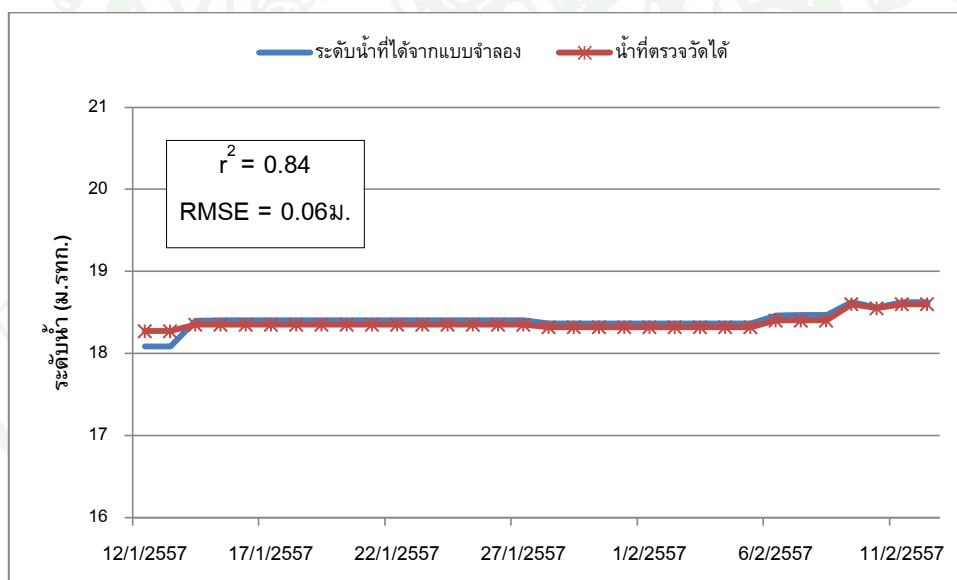
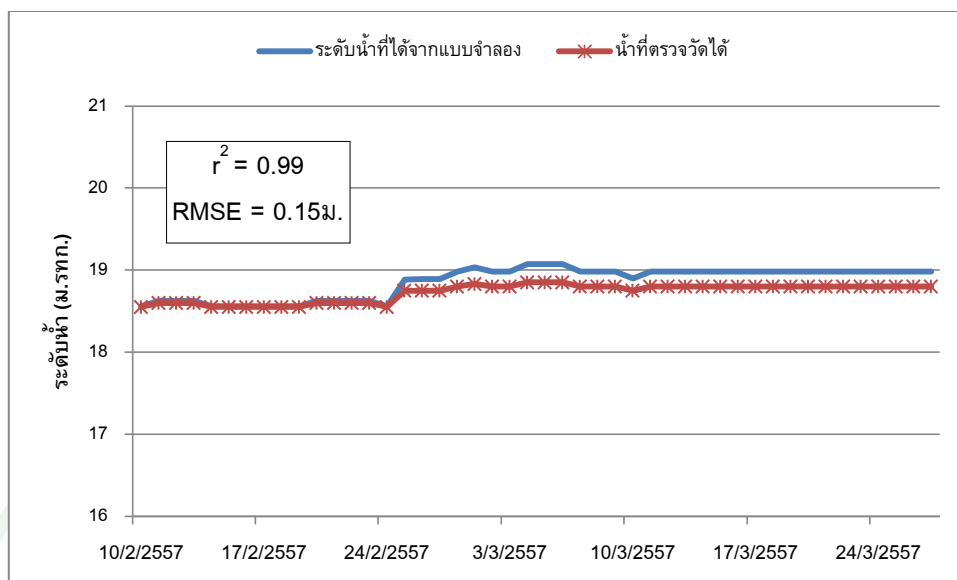


ก) ผลการสอบเทียบ

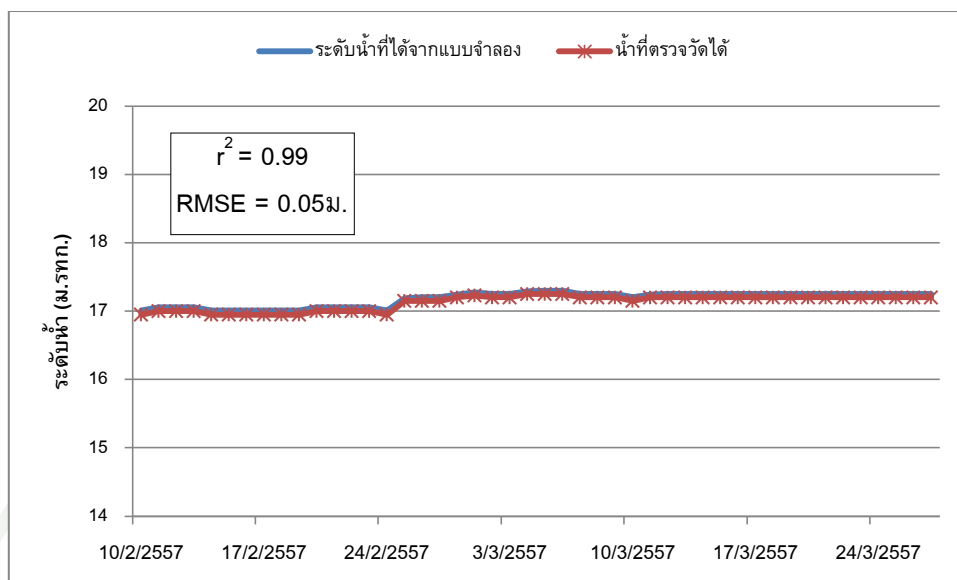


ข) ผลการตรวจสอบ

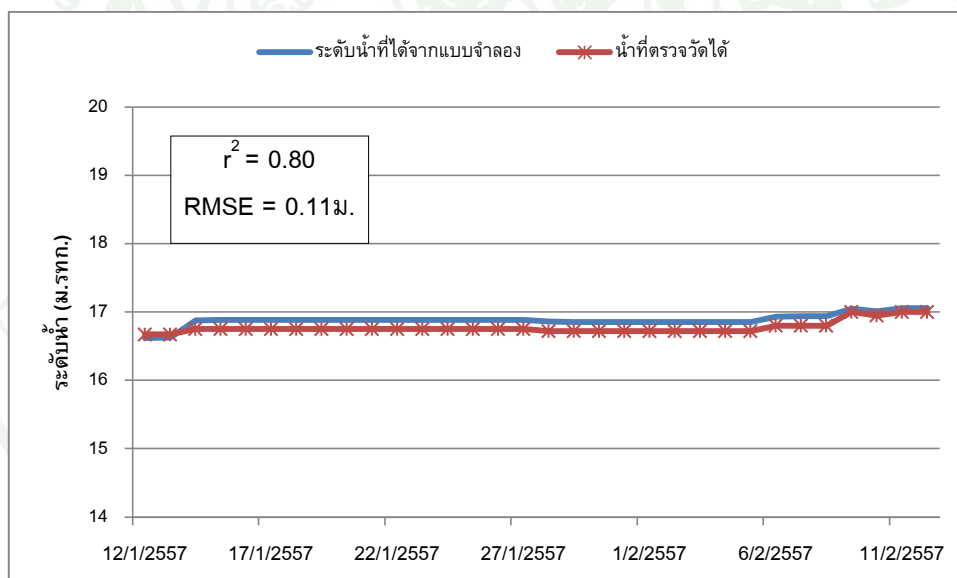
ภาพผนวกที่ ค12 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.0 ม. ด้านท้ายน้ำ



ภาพผนวกที่ ค13 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.6 ม. ด้านเหนือ



ก) ผลการสอบเทียบ



ข) ผลการตรวจสอบ

ภาพผนวกที่ ค14 แสดงการสอบเทียบและตรวจสอบระดับน้ำในแบบจำลองสภาพการไหลที่กลุ่มอาคารชลศาสตร์ขนาด ϕ 2.6 ม. ด้านท้ายน้ำ

ประวัติการศึกษาและการทำงาน

ชื่อ นายภาณุวัตร กลิ่นบุบผา
เกิดวันที่ 18 ธันวาคม 2522
สถานที่เกิด จังหวัดนครนายก
ประวัติการศึกษา วศ.บ.(วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ พ.ศ. 2548
ตำแหน่งปัจจุบัน วิศวกร ระดับ 4
สถานที่ทำงานปัจจุบัน ส่วนวางแผนและจัดการทรัพยากรน้ำ กองทรัพยากรน้ำ
 ฝ่ายทรัพยากรน้ำและสิ่งแวดล้อม การประปานครหลวง
ผลงานดีเด่นและ/หรือรางวัลทางวิชาการ -
ทุนการศึกษาที่ได้รับ -