



รายงานสรุปผลการสัมมนา สรุปโครงการยื่นออกแบบรายละเอียด

งานจ้างสำรวจ ออกแบบ
โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด
(งานสำรวจ ออกแบบระบบส่งน้ำ)

ผู้รับผิดชอบดำเนินโครงการ

SP&D

Suparek Planning And Design Co.,Ltd.

บริษัท ศุภฤกษ์ แพลนนิ่ง แอนด์ ดีไซน์ จำกัด





รายงานสรุปผลการสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียด
งานจ้างสำรวจ ออกแบบ โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด
(งานออกแบบ ระบบส่งน้ำ)

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	I
สารบัญตาราง	II
สารบัญรูป	III
1. หลักการและเหตุผลการจัดประชุมสัมมนา	1
2. วัตถุประสงค์ของการจัดประชุม	1
3. สถานที่และกำหนดการประชุม	2
4. รูปแบบการสัมมนา	2
5. ข้อมูลที่นำเสนอ	2
6. กลุ่มเป้าหมายในการจัดประชุมสัมมนาโครงการ	2
7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	4
8. ผลการจัดประชุมสัมมนาโครงการ	4
8.1 การสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียด	4
9. สรุปผลการสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียด	7
ภาคผนวก	
ภาคผนวก ก สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุป	
ภาคผนวก ข สำเนาใบลงทะเบียน	



สารบัญตาราง

	หน้า	
ตารางที่ 8.1-1	จำนวนผู้เข้าร่วมการประชุมสัมมนาสรุปโครงการชั้นออกแบบรายละเอียด	5
ตารางที่ 9-1	ความพึงพอใจด้านวิทยากรต่อการประชุมสัมมนาสรุปโครงการ	7
ตารางที่ 9-2	คะแนนด้านเฉลี่ยความพึงพอใจด้านวิทยากรของโครงการ	7
ตารางที่ 9-3	ความพึงพอใจด้านสถานที่/ระยะเวลา/อาหาร ต่อการประชุมสัมมนาโครงการ	8
ตารางที่ 9-4	คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านสถานที่/ระยะเวลา/อาหาร ต่อการจัดประชุมสัมมนาโครงการ	8
ตารางที่ 9-5	ความพึงพอใจด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ ต่อการประชุมสัมมนาโครงการ	8
ตารางที่ 9-6	คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่	9
ตารางที่ 9-7	ความพึงพอใจด้านความเข้าใจ ต่อการประชุมสัมมนาโครงการ	9
ตารางที่ 9-8	คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านความเข้าใจ	9
ตารางที่ 9-9	ความพึงพอใจด้านการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์	10
ตารางที่ 9-10	คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านการนำความรู้ไปใช้	10



สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 5-1 ภาพตัวอย่างสื่อและเอกสารประกอบการสัมมนาสรุปฯ	3
รูปที่ 8.1-1 สัดส่วนผู้เข้าร่วมประชุมสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียด	5
รูปที่ 8.1-2 ภาพบรรยากาศการจัดสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียด	6



รายงานสรุปผลการสัมมนาสรุปโครงการขึ้นออกแบบรายละเอียด งานจ้างสำรวจ ออกแบบ โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด (งานออกแบบ ระบบส่งน้ำ)

1. หลักการและเหตุผลการจัดประชุมสัมมนา

จังหวัดตราดเป็นจังหวัดที่มีความสำคัญทางเศรษฐกิจของประเทศไทยจังหวัดหนึ่งในพื้นที่ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ เนื่องจากเป็นแหล่งปลูกไม้ผลส่งออกต่างประเทศ ทำรายได้เข้าประเทศจำนวนมาก แต่เนื่องจากปัญหาการบริหารจัดการน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำห้วยสะตอ ซึ่งมีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่ และขนาดกลางจำนวนมาก ไม่สามารถเก็บกักน้ำที่มีปริมาณมากในช่วงฤดูฝน เพื่อใช้ได้อย่างมีประสิทธิภาพได้ตลอดปี ปริมาณน้ำต้นทุนที่มีอยู่จึงไม่เพียงพอต่อความต้องการใช้น้ำเพื่อการเพาะปลูกในพื้นที่จังหวัดตราด นอกจากนี้ พื้นที่โครงการด้านท้ายน้ำของห้วยสะตอและแม่น้ำเขาสมิงในเขตอำเภอเมือง และเป็นพื้นที่ที่ประสบปัญหาอุทกภัยเป็นประจำทุกปีในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงเดือนกันยายน โดยจัดเป็นพื้นที่ที่มีระดับความซ้ำซากของการเกิดน้ำท่วมอยู่ในระดับสูง

ด้วยเหตุนี้ การจัดหาแหล่งน้ำเพื่อแก้ไขปัญหาการบริหารจัดการน้ำในช่วงฤดูแล้งที่ยังไม่เหมาะสม และการบรรเทาอุทกภัยด้านท้ายน้ำในฤดูฝน จึงมีความจำเป็นที่กรมชลประทานต้องดำเนินการ โดยกรมชลประทานได้วางกรอบในการพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลางในพื้นที่จังหวัดตราด จำนวน 20 โครงการ โดยโครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ เป็นหนึ่งในโครงการพัฒนาแหล่งน้ำดังกล่าว โดยโครงการได้ดำเนินการงานด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน โดยศึกษาวางแผนและดำเนินการประชาสัมพันธ์โครงการในเชิงรุก ควบคู่ไปกับการศึกษาและการดำเนินงานตามขั้นตอนต่างๆ ของโครงการตามความเหมาะสม และในช่วงเวลาที่เหมาะสม ซึ่งการพัฒนาโครงการอาจจะก่อให้เกิดผลกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติสิ่งแวดล้อม และสังคมที่อยู่ในพื้นที่โครงการและพื้นที่ใกล้เคียงมีผู้ได้รับผลกระทบและวิตกกังวลเกี่ยวกับการพัฒนาโครงการ โดยมีการจัดให้ทุกภาคส่วนได้เข้ามามีส่วนร่วมในการรับรู้ข้อมูลข่าวสารเกี่ยวกับการพัฒนาโครงการที่ถูกต้อง ทั้งในระดับจังหวัดและประชาชนกลุ่มต่างๆ รวมทั้งนักวิชาการ และผู้มีส่วนได้ส่วนเสีย เพื่อให้เข้าใจการดำเนินงานโครงการอย่างถูกต้องและต่อเนื่องตั้งแต่เริ่มงานไปจนถึงสิ้นสุดโครงการ

2. วัตถุประสงค์ของการจัดประชุม

- 1) เพื่อนำเสนอความก้าวหน้าการดำเนินงานของโครงการ
- 2) เพื่อนำเสนอสรุปผลการออกแบบรายละเอียดของโครงการ
- 3) เพื่อเป็นโอกาสที่ผู้เข้าร่วมการสัมมนาจะได้รับความรู้เกี่ยวกับการออกแบบของโครงการ
- 4) เพื่อรับฟังความคิดเห็นและข้อเสนอแนะที่มีต่อโครงการและนำมาพิจารณาปรับปรุงแนวทางการพัฒนาให้เกิดประโยชน์สูงสุด



3. สถานที่และกำหนดการประชุม

การจัดประชุมสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียดโครงการ ดำเนินการในวันอังคารที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2569 เวลา 08.30 - 12.00 น. ณ ห้องประชุมตงตาล ชั้น 4 อาคาร ม.ล.ชูชาติ กำภู กรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพมหานคร รายละเอียดดังนี้

08.30 - 09.00 น.	ลงทะเบียนรับเอกสาร
09.00 - 09.15 น.	พิธีเปิดการสัมมนา
09.15 - 09.45 น.	นำเสนอภาพรวมโครงการ
09.45 - 11.30 น.	การประยุกต์ใช้โปรแกรม EPANET ในการออกแบบและการวิเคราะห์การไหลของน้ำในระบบท่อส่งน้ำ โดย ผศ.ดร.ณัฐ มาแจ้ง (อาหารว่างระหว่างการสัมมนา)
11.30 - 12.00 น.	ถาม-ตอบ และแลกเปลี่ยนความคิดเห็น (ตอบแบบสอบถามส่ง)
12.00 น.	พิธีปิดการสัมมนา (รับประทานอาหารกลางวัน)

4. รูปแบบการสัมมนา

รูปแบบการจัดประชุมสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียดโครงการ เป็นการให้ข้อมูลข่าวสาร (Information Conference) การใช้สื่อประกอบการบรรยาย ได้แก่ เอกสารประกอบการสัมมนา และสื่อเพื่อการนำเสนอ (Power Point)

5. ข้อมูลที่นำเสนอ

การนำเสนอข้อมูลรายละเอียดได้นำไฟล์ดิจิทัลในการบรรยาย มาจัดทำเป็นเอกสารประกอบการสัมมนา ตัวอย่างสื่อประกอบการสัมมนาสรุปฯ ดังแสดงในรูปที่ 5-1 (ภาคผนวก ก สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ) รายละเอียดดังนี้

- 1) การออกแบบ ระบบท่อส่งน้ำ
- 2) ทฤษฎีและหลักการชลศาสตร์การไหลของน้ำ การสูญเสียพลังงานในการไหลของน้ำ รูปแบบการไหลในระบบท่อส่งน้ำ
- 3) การออกแบบขนาดเครื่องสูบน้ำ
- 4) การประยุกต์ใช้โปรแกรม EPANET ในการออกแบบระบบท่อส่งน้ำ

6. กลุ่มเป้าหมายในการจัดประชุมสัมมนาโครงการ

การจัดประชุมสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียดโครงการ มีเป้าหมายหลัก คือ นำเสนอความก้าวหน้า และสรุปผลการออกแบบรายละเอียดของโครงการ ให้กับกรมชลประทาน กรรมการและบริษัทฯ ได้รับความรู้ และเข้าใจที่ถูกต้องของโครงการ พร้อมทั้งสามารถนำข้อมูลไปใช้ในการพัฒนาโครงการอื่นๆ ได้อย่างเหมาะสม โดยคณะที่ปรึกษาได้วิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

- 1) ผู้บริหารและเจ้าหน้าที่กรมชลประทาน
- 2) คณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างออกแบบ และบริษัทฯ ของโครงการ



งานจ้างออกแบบ สำหรับงานจ้างสำรวจ ออกแบบ
โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ
จังหวัดตราด

เอกสารประกอบการสัมมนา
สรุปโครงการขึ้นออกแบบ
รายละเอียด

SP&D
บริษัท ศุภฤกษ์ แพลนนิ่ง แอนด์ ดีไซน์ จำกัด
เมษายน 2569

การกำหนดตำแหน่งการวางท่อส่งน้ำ

- รูปของระยะของสื่อของสัมมนาจังหวัดตราด
- ตำแหน่งของสายท่อส่งน้ำ
- ความยาวของสายท่อส่งน้ำ
- ความยาวของท่อส่งน้ำที่ติดตั้งในอุโมงค์
- ความยาวของท่อส่งน้ำที่ติดตั้งในอุโมงค์

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำที่ใช้ในการขับเคลื่อนน้ำจากแหล่งน้ำธรรมชาติไปยังพื้นที่เกษตรกรรมในพื้นที่ราบและพื้นที่ลาดชัน โดยเครื่องสูบน้ำที่ใช้กันมากที่สุดมี 2 ชนิด คือ เครื่องสูบน้ำชนิดใบพัด (Centrifugal) และ เครื่องสูบน้ำชนิดใบพัด (Propeller)

การเลือกชนิดของเครื่องสูบน้ำขึ้นอยู่กับความสูงของน้ำที่สูบ (Static Head) และ ความยาวของท่อส่งน้ำ (Friction Loss)

$$N_s = \frac{N \sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

N = ความเร็วรอบ
Q = ปริมาณของน้ำที่สูบ (ลบ.ม.ต./วินาที)
H = ความสูงหรือ Total Dynamic Head (TDH) ที่เครื่องสูบน้ำต้องทำงาน (เมตร)

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ	ความสูง
Centrifugal (Radial flow)	< 2,000
Mixed flow	2,000 - 5,000
Propeller (Axial flow)	5,000 - 10,000

การทดสอบท้ายบรรยาย

- ระดับน้ำไม่ต่ำกว่า +45 เมตร รทก.
- มีสูง
- ระดับน้ำ +65 เมตร รทก.
- ความสูงถึง 12 เมตร เส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 เมตร
- ขนาดท่อจากจุดสูบน้ำ ถึงสูง-จุดแยกท่อ ขนาด 0.60 ม.
- เครื่องสูบน้ำแรงดัน 38 เมตร

ขนาดท่อ	ระดับ ม. รทก.	การจ่ายน้ำ (ลิตร/วินาที)	ขนาดท่อ (เมตร)
จุดสูบน้ำที่ 1	+60	25,000	0.50
จุดสูบน้ำที่ 2	+55	18,000	0.45

• C = 120

ข้อจำกัดด้าน suction ของเครื่องสูบน้ำ (Suction lift limitations)

การไหลกลับของน้ำ (Cavitation) จะเกิดขึ้นเมื่อความดันที่หัวดูด (suction pressure) มีค่าต่ำกว่าความดันไอ (vapor pressure) ของของเหลวที่เครื่องสูบน้ำ ซึ่งเกิดขึ้นที่หัวดูดของเครื่องสูบน้ำ และทำให้เกิดเสียงดังและสั่นไหวของเครื่องสูบน้ำได้

$$NPSH = \left(\frac{P_s - P_v}{\rho g} \right) - \frac{P_s}{\rho g} - H_s - \frac{P_v}{\rho g}$$

NPSH = Net positive suction head (m)
P_s = ความดันที่หัวดูดของเครื่องสูบน้ำ (Pa)
P_v = ความดันไอของของเหลวที่สูบ (Pa)
H_s = maximum suction head H_s = h_s + $\frac{V_s^2}{2g}$
Cavitation number, σ = $\frac{NPSH}{H_s}$

ตัวอย่างเอกสารประกอบการสัมมนา



บอร์ดนิทรรศการ

งานจ้างสำรวจ ออกแบบ
โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด
(งานสำรวจ ออกแบบ ระบบส่งน้ำ)

โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ
ซึ่งถูกบรรจุอยู่ในแผนพัฒนาฯ ระยะยาว (พ.ศ. 2544-2547)

ตัวอย่างสื่อวีดิทัศน์โครงการ

รูปที่ 5-1 ภาพตัวอย่างสื่อและเอกสารประกอบการสัมมนาสรุป



7. ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1) ผู้เข้าร่วมสัมมนาได้รับทราบข้อมูลรายละเอียดโครงการ และมีความเข้าใจที่ถูกต้อง เป็นไปในทิศทางเดียวกัน
- 2) ผู้เข้าร่วมสัมมนาได้รับความรู้ สามารถนำไปเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ในงานที่ปฏิบัติอยู่ในปัจจุบัน หรือนำไปพัฒนาในงานอื่นๆ ต่อไปได้
- 3) ผู้เข้าร่วมสัมมนาได้มีส่วนร่วมในการแสดงความคิดเห็น อันเป็นประโยชน์ต่อการปรับปรุง หรือพัฒนาโครงการต่อไปได้

8. ผลการจัดประชุมสัมมนาสรุปโครงการ

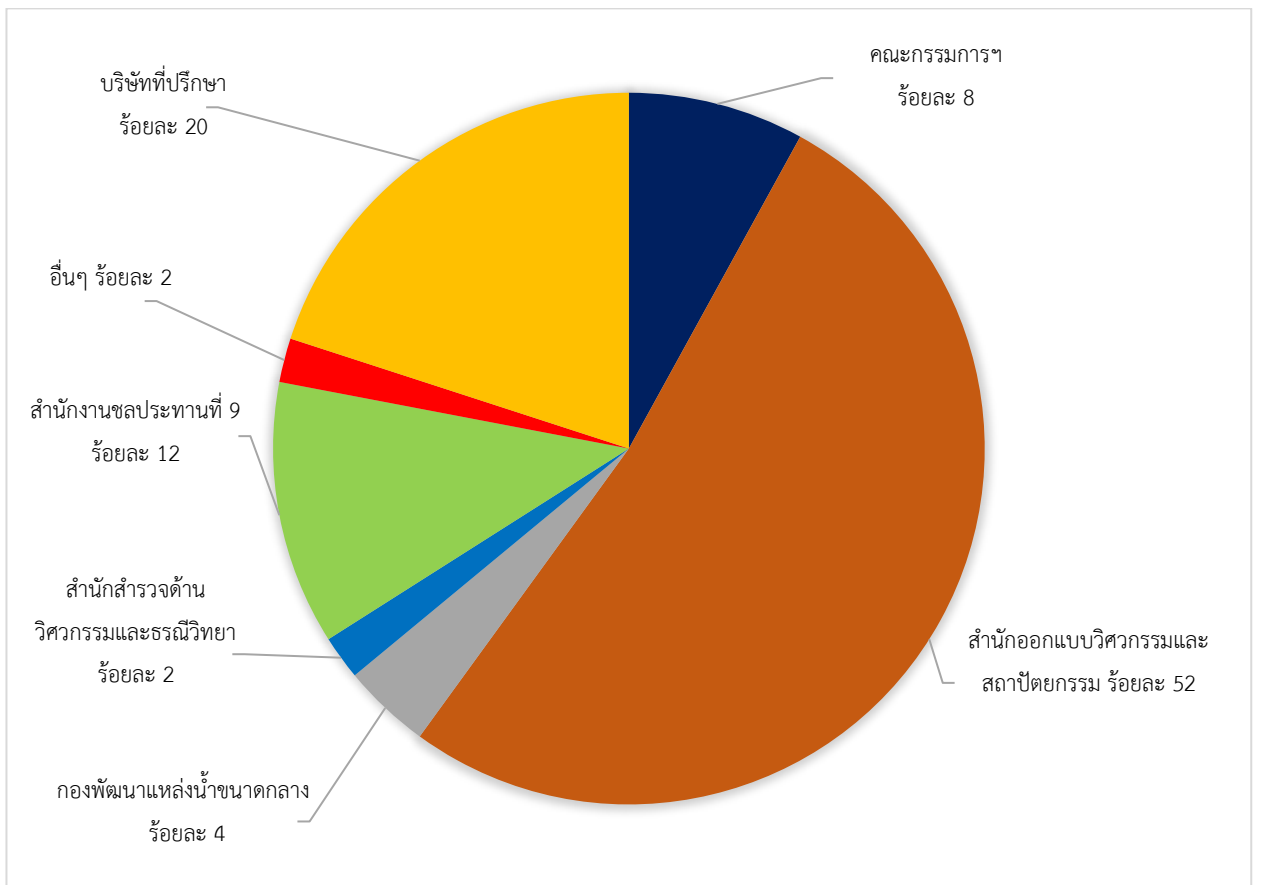
8.1 การสัมมนาสรุปโครงการชั้นออกแบบรายละเอียด

การจัดประชุมสัมมนาสรุปโครงการชั้นออกแบบรายละเอียด งานจ้างสำรวจ ออกแบบ โครงการ อ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด (งานออกแบบ ระบบส่งน้ำ) ดำเนินงานเมื่อวันที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2569 เวลา 08.30 น. – 12.00 น. ณ ห้องประชุมตงตาล ชั้น 4 อาคาร ม.ล. ชูชาติ กำภูกรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพมหานคร โดยใช้รูปแบบการสัมมนา เพื่อให้ข้อมูลข่าวสาร (Information Conference) ร่วมกับการใช้สื่อประกอบการบรรยาย เพื่อประชาสัมพันธ์ข้อมูลภาพรวม ของโครงการ และสรุปโครงการ ชั้นออกแบบรายละเอียด ให้ผู้มีส่วนเกี่ยวข้องได้รับทราบข้อมูลที่ถูกต้อง และเป็นไปในแนวทางเดียวกัน รวมถึงได้มีการเปิดโอกาสให้ผู้เข้าร่วมการสัมมนาได้ซักถาม ข้อสงสัย และให้ข้อเสนอแนะ เป็นระยะๆ ตลอดการบรรยายการสัมมนาในครั้งนี้ ได้รับเกียรติจาก นายพิเชษฐ รัตนปราสาทกุล ผู้อำนวยการสำนัก ออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม เป็นผู้กล่าวเปิดสัมมนาสรุปโครงการชั้นออกแบบรายละเอียด โดยมีนายศักดิ์ชาย เทพคำอ้าย ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม เป็นผู้กล่าวรายงาน และได้รับเกียรติจาก ผศ.ดร.ณัฐ มาแจ้ง อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัย เกษตรศาสตร์ เป็นวิทยากรบรรยาย การจัดประชุมสัมมนาในครั้งนี้มีผู้สนใจเข้าร่วมรับฟังการสัมมนา ประกอบด้วย คณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างออกแบบ สำนักออกแบบวิศวกรรมและ สถาปัตยกรรม, สำนักบริหารโครงการ, สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา, กองพัฒนาแหล่งน้ำ ขนาดกลาง, และบริษัทฯ จำนวนทั้งสิ้น 50 คน โดยมีรายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 8.1-1 และรูปที่ 8.1-1 สำเนาลายมือชื่อผู้เข้าร่วมการสัมมนาดังแสดงในภาคผนวก ข และภาพบรรยากาศการสัมมนา ดังแสดงในรูปที่ 8.1-2



ตารางที่ 8.1-1 จำนวนผู้เข้าร่วมการประชุมสัมมนาสรุปโครงการขั้นตอนออกแบบรายละเอียด

กลุ่มเป้าหมาย	จำนวนผู้เข้าร่วมประชุม (คน)	ร้อยละ (%)
1. คณะกรรมการฯ	4	8
2. หน่วยงานกรมชลประทาน		
- สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม	26	52
• ส่วนวิศวกรรม	4	(8)
• ส่วนออกแบบสถาปัตยกรรม	-	-
• ส่วนมาตรฐานการออกแบบ	2	(4)
• ส่วนออกแบบโครงสร้างพิเศษ	-	-
• ส่วนออกแบบระบบชลประทาน	11	(22)
• ส่วนออกแบบเขื่อน	9	(18)
- กองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง	2	4
- สำนักบริหารโครงการ	-	-
- สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา	1	2
- สำนักงานชลประทานที่ 9	6	12
- อื่นๆ	1	2
3. บริษัทที่ปรึกษา	10	20
รวม	50	100



รูปที่ 8.1-1 สัดส่วนผู้เข้าร่วมประชุมสัมมนาสรุปโครงการขั้นตอนออกแบบรายละเอียด



รูปที่ 8.1-2 ภาพบรรยากาศการจัดสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียด



9. สรุปผลการสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียด

การจัดประชุมสัมมนาสรุปโครงการขั้นออกแบบรายละเอียดของโครงการ ดำเนินการสรุปและประมวลผล ความคิดเห็นและข้อเสนอแนะของผู้เข้าร่วมสัมมนาผ่านแบบสอบถามภายหลังการจัดสัมมนา โดยได้รับแบบสอบถามกลับคืนมาจำนวน 24 ชุด คิดเป็นร้อยละ 48.0 ของผู้เข้าร่วมการสัมมนาทั้งหมด 50 คน รายละเอียดผลการวิเคราะห์แบบสอบถามสรุปได้ ดังนี้

- 1) ข้อมูลทั่วไปของผู้ตอบแบบสอบถาม ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ เป็นเพศชาย ร้อยละ 70.8 และเป็นเพศหญิง ร้อยละ 29.2 ผู้เข้าร่วมประชุม มีอายุเฉลี่ย 33 ปี
- 2) ความพึงพอใจด้านวิทยากรต่อการประชุมสัมมนาโครงการ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ มีความพึงพอใจต่อวิทยากรการสัมมนาอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 66.7 ถึง 70.8) รองลงมา อยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 25.0 ถึง 33.3) ดังแสดงในตารางที่ 9-1 โดยมีคะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านวิทยากรอยู่ในระดับมากที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 4.67) และตารางที่ 9-2

ตารางที่ 9-1 ความพึงพอใจด้านวิทยากรต่อการประชุมสัมมนาสรุปโครงการ

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1) การเตรียมตัวและความพร้อมของวิทยากร	70.8	29.2	-	-	-
2) การถ่ายทอดของวิทยากร	66.7	33.3	-	-	-
3) สามารถอธิบายเนื้อหาได้ชัดเจนและตรงประเด็น	70.8	29.2	-	-	-
4) ใช้ภาษาที่เหมาะสมและเข้าใจง่าย	70.8	25.0	4.2	-	-
5) การตอบคำถามของวิทยากร	66.7	33.3	-	-	-
6) เอกสารประกอบการบรรยายเหมาะสม	66.7	29.2	4.2	-	-

ตารางที่ 9-2 คะแนนด้านเฉลี่ยความพึงพอใจด้านวิทยากรของโครงการ

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม	
	คะแนนเฉลี่ย	การแปลความหมาย
1) การเตรียมตัวและความพร้อมของวิทยากร	4.71	มากที่สุด
2) การถ่ายทอดของวิทยากร	4.67	มากที่สุด
3) สามารถอธิบายเนื้อหาได้ชัดเจนและตรงประเด็น	4.71	มากที่สุด
4) ใช้ภาษาที่เหมาะสมและเข้าใจง่าย	4.67	มากที่สุด
5) การตอบคำถามของวิทยากร	4.67	มากที่สุด
6) เอกสารประกอบการบรรยายเหมาะสม	4.63	มาก
เฉลี่ย	4.67	มากที่สุด

หมายเหตุ: น้อยที่สุด = 1.00 - 1.54, น้อย = 1.55 - 2.54, ปานกลาง = 2.55 - 3.54, มาก = 3.55 - 4.54, มากที่สุด = 4.55 - 5.00



3) ความพึงพอใจด้านสถานที่/ระยะเวลา/อาหาร ต่อการประชุมสัมมนาโครงการ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อสถานที่ ระยะเวลา และอาหารของการประชุมสัมมนาโครงการ อยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 62.5 ถึง ร้อยละ 70.8) รองลงมา อยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 29.2 ถึง ร้อยละ 33.3) ดังแสดงในตารางที่ 9-3 โดยมีคะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านสถานที่/ระยะเวลา/อาหาร อยู่ในระดับมากที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 4.65) และตารางที่ 9-4

ตารางที่ 9-3 ความพึงพอใจด้านสถานที่/ระยะเวลา/อาหาร ต่อการประชุมสัมมนาโครงการ

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1) สถานที่สะอาดและมีความเหมาะสม	66.7	33.3	-	-	-
2) ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	62.5	33.3	4.2	-	-
3) ระยะเวลาในการอบรม / สัมมนามีความเหมาะสม	70.8	29.2	-	-	-
4) อาหารและอาหารว่าง มีความเหมาะสม	66.7	29.2	4.2	-	-

ตารางที่ 9-4 คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านสถานที่/ระยะเวลา/อาหาร ต่อการจัดประชุมสัมมนาโครงการ

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม	
	คะแนนเฉลี่ย	การแปลความหมาย
1) สถานที่สะอาดและมีความเหมาะสม	4.67	มากที่สุด
2) ความพร้อมของอุปกรณ์โสตทัศนูปกรณ์	4.58	มากที่สุด
3) ระยะเวลาในการอบรม / สัมมนามีความเหมาะสม	4.71	มากที่สุด
4) อาหารและอาหารว่าง มีความเหมาะสม	4.63	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.65	มากที่สุด

หมายเหตุ: น้อยที่สุด = 1.00 - 1.54, น้อย = 1.55 - 2.54, ปานกลาง = 2.55 - 3.54, มาก = 3.55 - 4.54, มากที่สุด = 4.55 - 5.00

4) ความพึงพอใจด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ ต่อการจัดประชุมสัมมนาโครงการ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการอำนวยความสะดวกของเจ้าหน้าที่อยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 75.0) รองลงมาการให้คำแนะนำหรือตอบข้อซักถามของเจ้าหน้าที่ (ร้อยละ 66.7) ดังแสดงในตารางที่ 9-5 โดยมีคะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านการอำนวยความสะดวกของเจ้าหน้าที่ อยู่ในระดับมากที่สุด (คะแนนเฉลี่ย 4.65) และตารางที่ 9-6

ตารางที่ 9-5 ความพึงพอใจด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่ ต่อการประชุมสัมมนาโครงการ

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1) การบริการ และการประสานงานของเจ้าหน้าที่	66.7	29.2	4.2	-	-
2) การอำนวยความสะดวกของเจ้าหน้าที่	75.0	25.0	-	-	-
3) การให้คำแนะนำหรือตอบข้อซักถามของเจ้าหน้าที่	62.5	33.3	4.2	-	-



ตารางที่ 9-6 คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านการให้บริการของเจ้าหน้าที่

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม	
	คะแนนเฉลี่ย	การแปลความหมาย
1) การบริการ และการประสานงานของเจ้าหน้าที่	4.63	มากที่สุด
2) การอำนวยความสะดวกของเจ้าหน้าที่	4.75	มากที่สุด
3) การให้คำแนะนำหรือตอบข้อซักถามของเจ้าหน้าที่	4.58	มากที่สุด
เฉลี่ย	4.65	มากที่สุด

หมายเหตุ: น้อยที่สุด = 1.00 - 1.54, น้อย = 1.55 - 2.54, ปานกลาง = 2.55 - 3.54, มาก = 3.55 - 4.54, มากที่สุด = 4.55 - 5.00

5) ความพึงพอใจด้านความเข้าใจ ต่อการจัดประชุมสัมมนาโครงการ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อความเข้าใจในเรื่องนี้ก่อนเข้าร่วมอบรมในระดับปานกลาง (ร้อยละ 29.2) และหลังเข้าร่วมการอบรมมีความเข้าใจอยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 50.0) ดังแสดงในตารางที่ 9-7 โดยมีคะแนนเฉลี่ยด้านประโยชน์ที่ได้รับหลังจบการสัมมนา อยู่ในระดับมาก (คะแนนเฉลี่ย 4.17) และตารางที่ 9-8

ตารางที่ 9-7 ความพึงพอใจด้านความเข้าใจ ต่อการประชุมสัมมนาโครงการ

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1. ความเข้าใจในเรื่องนี้ ก่อน การอบรม	29.2	25.0	29.2	8.3	8.3
2. ความเข้าใจในเรื่องนี้ หลัง การอบรม	50.0	41.7	4.2	4.2	-
3. ประโยชน์ที่ได้รับหลังจบการสัมมนา	62.5	29.2	8.3	-	-

ตารางที่ 9-8 คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านความเข้าใจ

ประเด็น	ผลความเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม	
	คะแนนเฉลี่ย	การแปลความหมาย
1. ความเข้าใจในเรื่องนี้ ก่อน การอบรม	3.58	มาก
2. ความเข้าใจในเรื่องนี้ หลัง การอบรม	4.38	มาก
3. ประโยชน์ที่ได้รับหลังจบการสัมมนา	4.54	มาก
เฉลี่ย	4.17	มาก

หมายเหตุ: น้อยที่สุด = 1.00 - 1.54, น้อย = 1.55 - 2.54, ปานกลาง = 2.55 - 3.54, มาก = 3.55 - 4.54, มากที่สุด = 4.55 - 5.00



6) ความพึงพอใจด้านการนำความรู้ไปใช้ ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่มีความพึงพอใจต่อการนำความรู้ที่ได้รับไปใช้ อยู่ในระดับมากที่สุด (ร้อยละ 21.4 ถึง ร้อยละ 62.5) รองลงมา อยู่ในระดับมาก (ร้อยละ 33.3 ถึง ร้อยละ 52.4) ดังแสดงในตารางที่ 9-9 โดยมีคะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านการนำความรู้ไปใช้อยู่ในระดับมาก (คะแนนเฉลี่ย 4.36) และตารางที่ 9-10

ตารางที่ 9-9 ความพึงพอใจด้านการนำความรู้ไปใช้ประโยชน์

ประเด็น	ผลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม				
	มากที่สุด	มาก	ปานกลาง	น้อย	น้อยที่สุด
1) สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานในปัจจุบันและอนาคตได้	62.5	33.3	4.2	-	-
2) สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่/ถ่ายทอดในโครงการอื่นได้	50.0	37.5	8.3	-	4.2
3) สามารถให้คำปรึกษาแก่เพื่อนร่วมงานได้	21.4	52.4	26.2	-	-

ตารางที่ 9-10 คะแนนเฉลี่ยด้านความพึงพอใจด้านการนำความรู้ไปใช้

ประเด็น	ผลความคิดเห็นของผู้ตอบแบบสอบถาม	
	คะแนนเฉลี่ย	การแปลความหมาย
1) สามารถนำความรู้ที่ได้รับไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงานในปัจจุบันและอนาคตได้	4.58	มากที่สุด
2) สามารถนำความรู้ไปเผยแพร่/ถ่ายทอดในโครงการอื่นได้	4.29	มาก
3) สามารถให้คำปรึกษาแก่เพื่อนร่วมงานได้	4.21	มาก
รวม	4.36	มาก

หมายเหตุ: น้อยที่สุด = 1.00 - 1.54, น้อย = 1.55 - 2.54, ปานกลาง = 2.55 - 3.54, มาก = 3.55 - 4.54, มากที่สุด = 4.55 - 5.00

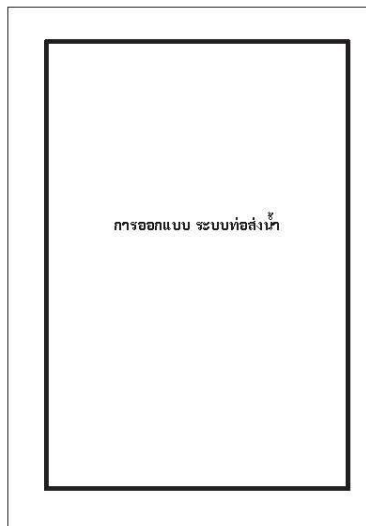
ภาคผนวก ก

สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบ
การประชุมสัมมนาสรุปฯ



ภาคผนวก ก

สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ



การออกแบบค่าขอสภาพหรือพิจารณาความถี่แตกต่างกัน ดังต่อไปนี้

- ▶ อัตราความเร็วของน้ำที่ไหลในท่ออยู่ระหว่าง 1.50 เมตรวินาที ถึง 3.00 เมตรวินาที → 2.00 เมตรวินาที
- ▶ แรงดันในท่อไม่เกินที่กำหนดไว้สำหรับแต่ละชนิด ขนาด และ ความหนาของท่อ
- ▶ เมื่อกำหนดขนาดท่อส่งน้ำและรูปแบบประกอบท่อส่งน้ำตลอด แนวท่อน้ำแล้ว ค่าสูญเสียหัวน้ำ (head loss) ในท่อจะคำนวณ ได้ดังต่อไปนี้ :-

$$h_f = \frac{10.702}{C^1.487} \frac{L Q^{1.487}}{D^{4.754}} \quad h_p = f \frac{L V^3}{2g D^5} \quad h_m = K \frac{V^2}{2g}$$

H = ความสูงน้ำ Head (โดยที่ ความสูงน้ำในท่อ (เมตร)
 Q = อัตราการไหลของน้ำในท่อ (ลบ.ม.วินาที)
 L = ความยาวท่อ (เมตร)
 D = เส้นผ่าศูนย์กลางท่อ (เมตร)
 f = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานในท่อ
 K = สัมประสิทธิ์การสูญเสียหัวน้ำ

วันที่	ชื่อ	ตำแหน่ง	ประเภท	ขนาด	ความยาว	ค่าสัมประสิทธิ์	ค่าสูญเสียหัวน้ำ
1	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
2	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
3	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
4	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
5	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
6	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
7	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
8	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
9	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01
10	ท่อส่งน้ำ	สถานีสูบน้ำ	เหล็ก	1000	100	0.01	0.01

- ▶ ค่า PE หรือ โมดูลัสของ PE ในอัตราแรงดึงของท่อของ HDPE ซึ่ง สัมพันธ์กับปริมาณของแรงดึงในกรณีที่มีอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลงและมีแรงดึงของท่อและแรงดึงของท่อในกรณีที่มีอุณหภูมิของน้ำที่เปลี่ยนแปลงและมีแรงดึงของท่อและแรงดึงของท่อ
- ▶ PE คือ ความแข็งแรงเชิงกลของท่อ (MGS) โดยมีการกำหนดค่าไว้ของ HDPE PE100 ซึ่งคือค่าความแข็งแรงเชิงกล 10 MPa และของ HDPE PE80 จะคือค่าความแข็งแรงเชิงกล 8 MPa

ชื่อ	ขนาด	ความยาว	ค่าสัมประสิทธิ์	ค่าสูญเสียหัวน้ำ
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01
ท่อส่งน้ำ	1000	100	0.01	0.01

การกำหนดตำแหน่งการวางท่อส่งน้ำ

- ▶ รูปแบบและรายละเอียดของสิ่งก่อสร้างที่วางท่อ
- ▶ ตำแหน่งของอาคารค้ำยัน
- ▶ ความปลอดภัยและความถี่ในการตรวจสอบ
- ▶ ความสะดวกในการก่อสร้างและรื้อถอนปัญหาการจราจรอื่นที่ติด
- ▶ ความสะดวกในการบำรุงรักษา

อุปกรณ์ประกอบท่อส่งน้ำ

โดยทั่วไปจะต้องใช้ อุปกรณ์ประกอบท่อส่งน้ำ โดยที่รายละเอียดสำหรับอุปกรณ์ที่จำเป็นมีดังนี้

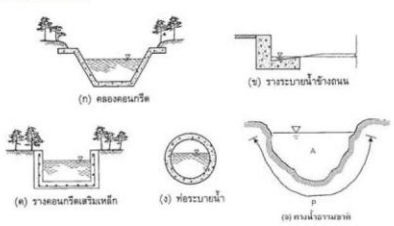
- ▶ Surge Anticipator Valve เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่เพื่อควบคุมความดันในท่อ ที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากเกิด Water Hammer ของท่อ ซึ่ง Sizing จากปริมาณน้ำ คือสิ่งที่ต้อง
- ▶ Combination Air and Vacuum Relief Valves เป็นอุปกรณ์ที่มีหน้าที่เพื่อรักษาความดันและป้องกันการเกิดสูญญากาศในขณะท่อ ซึ่งเป็นการช่วยให้มีความถี่และความถี่ที่มากกว่าปกติ จะติดตั้งในตำแหน่งที่ปีนสูงสุดของท่อส่ง หรือจุดที่มีการเปลี่ยนแปลงของทิศทางของท่อ จุดที่ท่อมีขนาดลดลงหรือมีทิศทางขวาง





สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ทางน้ำเปิด (Open Channels)

- ทางน้ำเปิด คือ การไหลของของไหลที่มีผิวสัมผัสกับอากาศ → ไหลโดยแรงโน้มถ่วง









ทางน้ำปิด (Closed Conduit)

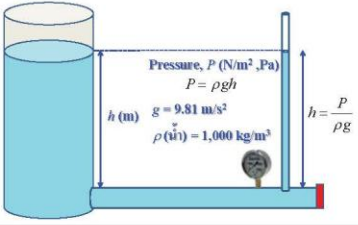
- ทางน้ำปิด คือ การไหลภายใต้ความดันที่สูงกว่าและต่ำกว่าบรรยากาศ





แรงดันน้ำสถิตย (หยุดนิ่ง)

- น้ำไม่เคลื่อนตัว

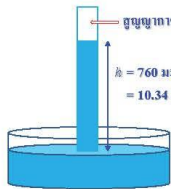


Pressure, P (N/m^2 , Pa)
 $P = \rho g h$
 h (m)
 $g = 9.81 \text{ m/s}^2$
 ρ (น้ำ) = $1,000 \text{ kg/m}^3$
 $h = \frac{P}{\rho g}$

สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ความดัน (Pressure)

- ความดันสัมบูรณ์ → เทียบกับสูญญากาศ
- ความดันเกจ → เทียบกับความดันบรรยากาศ ณ จุดที่วัด



ความดัน 1 บาร์ ??
1 bar = 100,000 Pa
ถ้ารับน้ำ

$$h = \frac{P}{\rho g} = \frac{100,000}{1,000 \times 9.81} = 10.194 \text{ m}$$

10

แรงเนื่องจากแรงดันน้ำ

พิจารณาที่บริเวณหน้า

- แรงเนื่องจากของไหล (N) = ความดัน (N/m²) × พื้นที่ (m²)

$$F (N) = P \left(\frac{N}{m^2} \right) \times A (m^2)$$

แรงดึงที่จุดต่อเชื่อมท่อ (T)

$$T = F = P \times A = P \times \left(\frac{\pi D^2}{4} \right)$$

D = เส้นผ่านศูนย์กลางท่อ, ม.



11

การไหลคงที่ (Steady Flow)

การไหลคงที่ → การไหลที่ไม่แปรตามเวลา → ไหลด้วยความเร็วคงที่

หลักการของการไหลแบบคงที่มี 2 หลัก

- หลักของความต่อเนื่อง
- หลักสมการพลังงาน



12

หลักของความต่อเนื่อง

ใช้สมการความต่อเนื่อง (Continuity Equation) ในการวิเคราะห์การไหล และสำหรับของไหลที่บีบตัวไม่ได้ (น้ำ)

$$Q = AV_1 = AV_2$$

$$V_2 = V_1 \frac{A_1}{A_2}$$

จากรูป

$$A_1 > A_2$$

จะได้

$$V_2 > V_1$$



13

สมการความต่อเนื่องสำหรับจุดต่อ

$$\sum Q = 0$$

$$Q_1 + Q_2 + Q_3 + \dots + Q_n = 0$$

หรือ

$$\sum Q_{in} = \sum Q_{out}$$



14

หลักสมการพลังงาน

ใช้สมการเบอร์นูลลี (The Bernoulli Equation) ในการวิเคราะห์

- พลังงานรวม = พลังงานศักย์ → ความสูงจากระดับอ้างอิง
- + พลังงานจากความดัน → ความดันในของไหล
- + พลังงานจลน์ → ความเร็วในตัวกลางไหล

พลังงานในแต่ละเทอมจะอยู่ในรูปของหัวน้ำ (Head) หน่วย เมตร



15

สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ใช้สมการเบอร์นูลี ในการวิเคราะห์การไหลระหว่างจุด 2 จุด

พลังงานรวมด้านบน = พลังงานรวมด้านล่าง

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z_2$$

รูปแบบการไหลของไหลในท่อ

- การไหลแบบอืด (laminar flow) คือ อนุภาคของไหลจะไหลเป็นทรงขนานกันและขนานกับท่อ

- การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) คือ อนุภาคของไหลจะไหลอย่างสับสน เช่นทิศทางในการเคลื่อนที่ของอนุภาคจะวิ่งวนไปต่างๆ

การสูญเสียพลังงาน

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + Z_2 + losses_{1,2}$$

การสูญเสียพลังงานการไหลเนื่องจากแรงเสียดทาน

จากสมการของ Darcy-Weisbach

$$h_f = f \frac{L V^2}{D 2g}$$

สามารถสรุปได้ว่า

- h_f แปรผันโดยตรงกับ ความยาวท่อ
- h_f แปรผันผกผันกับเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ
- h_f แปรผันผกผันกับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางท่อ
- h_f ขึ้นอยู่กับ ความขรุขระของผิวภายในท่อ
- h_f ขึ้นอยู่กับ ความหนืดและค่าความหนืดของของไหล
- h_f ไม่ขึ้นอยู่กับ ความดัน



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

การสูญเสียพลังงานการไหลเนื่องจากแรงเสียดทาน

ค่า Friction Factor, f จะแปรตามค่าต่าง ๆ ดังนี้

$$f = f(V, D, \rho, \mu, \epsilon, \epsilon', m)$$

เมื่อ V = ความเร็ว

D = เส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อ

ρ = ความหนาแน่นของของไหล

μ = ความหนืดพลศาสตร์

ϵ = ขนาดของความขรุขระที่มีหน่วยเป็นความยาว

= การเปลี่ยนแปลงของขนาดความขรุขระมีหน่วยเป็นความยาว

m = แฟกเตอร์รูปร่าง (form factor) ซึ่งขึ้นกับรูปร่างของแต่ละด้านเล็ก ๆ ของความขรุขระนั้น ๆ (ไม่มีหน่วย)

22

การสูญเสียพลังงานการไหลเนื่องจากแรงเสียดทาน

เนื่องจาก f เป็นแฟกเตอร์ที่ไม่มีหน่วย ถ้าข้อใดมีไว้เขียนค่า $\epsilon = \epsilon' = m = 0$ ดังนั้น f จะขึ้นกับ V, D, ρ, μ เท่านั้น

ถ้าจัดทอมค่าต่าง ๆ ในให้อยู่ในทอมที่ไม่มีหน่วย

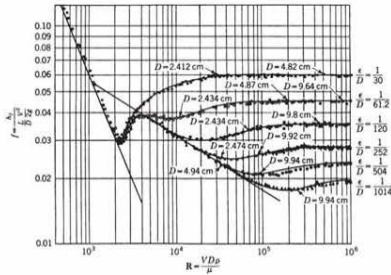
$$f = f\left(\frac{VD\rho}{\mu}, \frac{\epsilon}{D}, \frac{\epsilon'}{D}, m\right)$$

ถ้ารับทอมที่มีค่าความขรุขระตาม ϵ/D เรียกว่า ความขรุขระสัมพัทธ์ (Relative Roughness) และ Nikuradse ได้ทดลองกับท่อขรุขระที่ติดตั้ง ทราบได้มาในจำนวน 3 ขนาดล สรุปได้ดังนี้

$$f = f\left(\text{Re}, \frac{\epsilon}{D}\right)$$

23

การสูญเสียพลังงานการไหลเนื่องจากแรงเสียดทาน



24

การสูญเสียพลังงานการไหลเนื่องจากแรงเสียดทาน

และ Moody ได้ทำการทดลองหาความสัมพันธ์ได้สรุปได้ไป

ในรูปแบบจะใช้สำหรับการไหลแบบราบเรียบซึ่งพัฒนาโดย Hagen-Poiseuille โดยใช้สมการ (5.5.17) ดังนี้

$$V = \frac{\Delta p D^2}{32 \mu L} = \frac{\Delta p r^2}{8 \mu L}$$

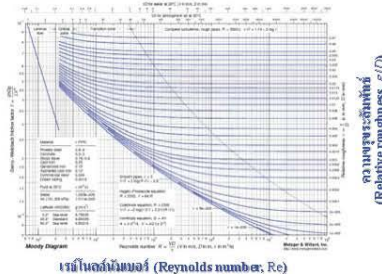
จึงสามารถเขียนรูปให้อยู่ในสมการของ Darcy-Weisbach

$(h_f = f \frac{L V^2}{D 2g})$ โดยใช้ค่า $\Delta p = \rho h_f g$ ดังนี้

$$\begin{aligned} h_f &= \frac{V^2 \mu L}{\gamma r_0^2} = \frac{64 \mu L V}{\rho D 2g} = \frac{64}{\rho D V} \frac{L V^2}{2g} \\ &= f \frac{L V^2}{D 2g} = \frac{64}{\text{Re}} \frac{L V^2}{2g} \Rightarrow f = \frac{64}{\text{Re}} \end{aligned}$$

25

การสูญเสียพลังงานการไหลเนื่องจากแรงเสียดทาน



ความขรุขระสัมพัทธ์ (Relative roughness, ϵ/D)

เรย์โนลด์ส (Reynolds number, Re)

26

การสูญเสียพลังงานการไหลเนื่องจากแรงเสียดทาน

สัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน f

$$f = f(V, D, \rho, \epsilon, \mu)$$

นอกจาก Moody Diagram แล้ว ยังสามารถหาได้จากสมการต่าง ๆ ดังนี้

Laminar flow:

$$f = \frac{64}{\text{Re}}$$

Turbulent flow:

Colebrook equation (1939):

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = 1.1364 - 2 \log \left(\frac{\epsilon}{D} + \frac{9.287}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -0.861 \ln \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{2.51}{\text{Re} \sqrt{f}} \right)$$

27



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

การดูขุยเสียดหลังการไหลที่จกจากแรงเสียดทาน

Swamee and Jain equation (within 1.0% of Colebrook eq. for 10^6

$< \epsilon/D < 10^{-3}$ and $5000 < Re < 10^8$) (1976)

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

Serghide's solution (within 0.0031% of Colebrook eq. for all

practical applications)

$$A = -2.1 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{12}{Re} \right) \quad C = -2.1 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51B}{Re} \right)$$

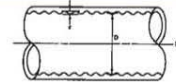
$$B = -2.1 \log \left(\frac{\epsilon/D}{3.7} + \frac{2.51A}{Re} \right) \quad f = \left(\frac{C - 2B + A}{AC - B^2} \right)^2$$

28

การดูขุยเสียดหลังการไหลที่จกจากแรงเสียดทาน

ความขรุขระ (ϵ) ของท่อชนิดต่างๆ

ชนิดของวัสดุ	ϵ (mm.)
Riveted steel	0.9-9
Concrete	0.3-3
Wood stave	0.18-0.9
Cast Iron	0.25
Galvanized Iron	0.15
Asphal cast iron	0.12
Commercial steel	0.045
Drawn tubing	0.0015



29

รูปแบบการวิเคราะห์ที่ปัญหาในระบบท่อ

1) ต้องการหา h_f รู้ค่า Q, L, D, ν, ϵ

• หา Reynold's $Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{QD}{Av} = \frac{4Q}{\pi D\nu}$

• หา f จาก Moody Diagram / Swamee and Jain equation

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2}$$

• หา h_f จาก $h_f = f \frac{LV^2}{D2g}$

30

รูปแบบการวิเคราะห์ที่ปัญหาในระบบท่อ

2) ต้องการหา Q รู้ค่า L, D, h_f, ν, ϵ

• สมมุติค่า f จากการใช้ ϵ/D (การใช้ Moody Diagram)

• หาความเร็วการไหลจากสูตร $h_f = f \frac{LV^2}{D2g}$

• หา Reynold's $Re = \frac{VD}{\nu}$

• จาก Moody Diagram / Swamee and Jain equation หา f เพื่อตรวจสอบว่า f ตรงกับที่สมมุติไว้หรือไม่ ถ้าต่าง f ไม่ตรงกัน \rightarrow สมมุติค่า f ใหม่จนได้ค่า f ที่ตรงกัน

• หาขนาดอัตราการไหล Q จาก $Q = AV$

31

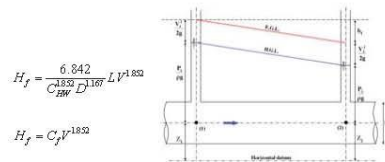
การดูขุยเสียดหลังจากการไหลแบบปั่นป่วน

ผลการรายงาน-วิลเลียมส์ (Hazen-Williams equation) ใช้ได้กับช่วงการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ (fully turbulent flow)

$$H_f = \frac{6.842}{C_{HW}^{1.852} D^{4.87}} LV^{1.852} \Rightarrow H_f = \frac{10.702}{C_{HW}^{4.87} D^{4.87}} LQ^{1.852} \Rightarrow H_f \propto \frac{1}{D^{4.87}}$$

ชนิดของท่อ	C_{HW}
เหล็กยาวและเรียบมาก ซิเมนต์ใยหิน	140
เหล็กเรียบ คอนกรีต เหล็กหล่อใหม่	130
ไม้อัด เหล็กเชื่อมต่อกันใหม่	120
ดินเผา เหล็กขนาดเก่า	110
เหล็กหล่อเก่า	100
เหล็กขนาดเก่า	95
เหล็กหล่อเก่าในสภาพค่อนข้างแย่มาก	60-80

32



33

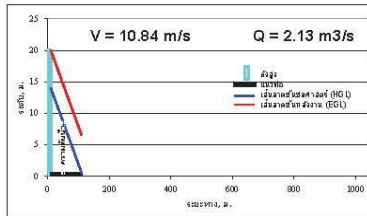
$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{R_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{R_2}{\rho g} + Z_2 + \text{losses}_{s_2}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{R_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{R_2}{\rho g} + Z_2 + C_f V^{1.852}$$

สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ท่อสั้น (ท่อจันทันเดิมเส้น $\phi = 0.50$ ม. ยาว 100 ม.)

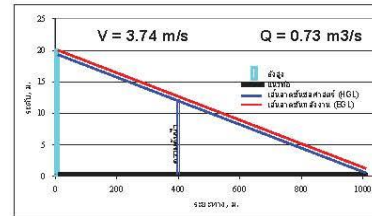
$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{E_s}{\rho g} + Z_2 + C_f V^{1.852} \quad C_f = \frac{6.842}{C^{1.852} D^{4.87}} L$$



34

ท่อยาว (ท่อจันทันเดิมเส้น $\phi = 0.50$ ม. ยาว 1,000 ม.)

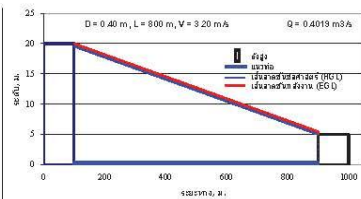
$$H = \frac{V^2}{2g} + \frac{E_s}{\rho g} + Z_2 + C_f V^{1.852} \quad C_f = \frac{6.842}{C^{1.852} D^{4.87}} L$$



35

ท่อยาว (ท่อจันทันเดิมเส้น $\phi = 0.40$ ม. ยาว 800 ม. [only friction loss])

$$H = C_f V^{1.852} + \frac{V^2}{2g} \quad C_f = \frac{6.842}{C^{1.852} D^{4.87}} L$$



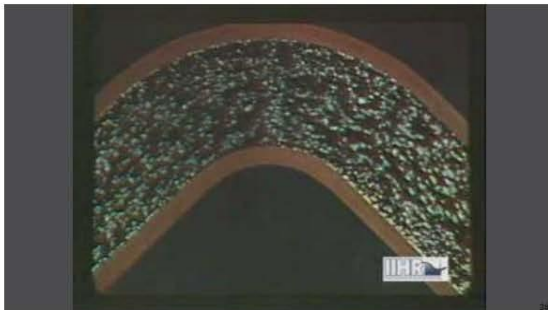
36

การสูญเสียพลังงานย่อย

Minor losses ใต้ที่ การสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหลผ่านจุดต่อเชื่อมและวาล์ว ต่าง ๆ ได้แก่ ข้อโค้ง ข้อต่อ วาล์ว เป็นต้น

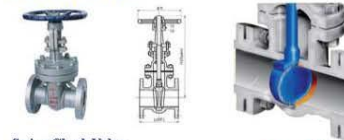


37

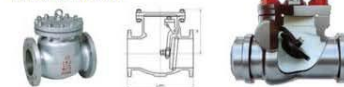


38

Cast Steel Gate Valve



Swing Check Valve

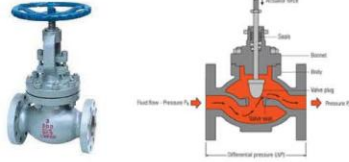


39



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

Cast Steel Globe Valve



Butterfly Valve



Ball Valve



40

41

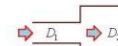
$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H_f + H_{minor} \Rightarrow H_{minor} = K \frac{V^2}{2g}$$

Fitting	K
Globe valve (fully open)	10.0
Angle valve (fully open)	5.0
Swing check valve (fully open)	2.5
Gate valve (fully open)	0.19
Spherical plug valve (fully open)	0.1
Close return bend	2.2
Standard tee	1.8
Standard elbow (90°)	0.9
Standard elbow (45°)	0.4
Medium sweep elbow	0.75
Long sweep elbow	0.60

ที่มา: Crane company

42

ท่อขยายตัวอย่างทันทีทันใด (Sudden expansion)



$$H_e = K \frac{V_1^2}{2g} \quad K = \left(1 - \left(\frac{D_1}{D_2}\right)^2\right)^2$$

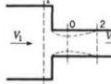
ในกรณีที่ต้องท่อเข้าอย่างทันทีทันใด $D_1/D_2 = 0$



$$H_e = \frac{V_1^2}{2g}$$

43

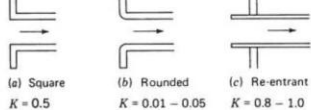
ท่อบีบตัวอย่างทันทีทันใด (Sudden contraction)



$$H_e = \left(\frac{1}{C_c} - 1\right)^2 \frac{V_2^2}{2g}$$

A_2/A_1	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8	0.9	1.0
C_c	0.624	0.632	0.643	0.659	0.681	0.712	0.755	0.813	0.892	1.000

ในกรณีที่ท่อต่อออกจากอ่างเก็บน้ำ

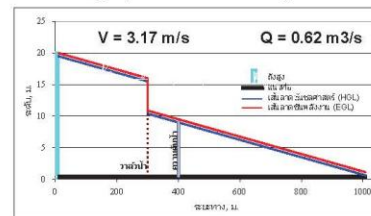


(a) Square $K = 0.5$ (b) Rounded $K = 0.01 - 0.05$ (c) Re-entrant $K = 0.8 - 1.0$

44

ท่อยาว (ท่อเขียนเส้นมีเส้น $\varnothing = 0.50$ ม. ยาว 1,000 ม.) + วาล์ว

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + C_f V^{1.852} + K_{valve} \frac{V^2}{2g}$$



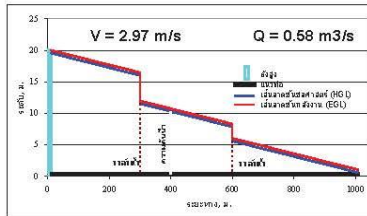
45



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

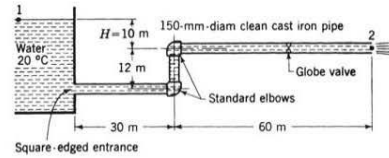
ท่อขาว (ท่อฉนวนเสถียร $\phi = 0.50$ ม. ยาว 1,000 ม.) + วาล์ว

$$H = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + C_f V^{1.852} + K_{v1} \frac{V_1^2}{2g} + K_{v2} \frac{V_2^2}{2g}$$



ตัวอย่าง การสูญเสียย่อย

ตัวอย่าง (1) จงหาอัตราการไหลผ่านท่อในรูปข้างต้น (2) ถ้าอัตราการไหลเท่ากับ 60 ลิตรวินาที พลังงานที่สูญเสียมีค่าเท่าไร (3) จงหาความยาวท่อที่นำไปใช้คือท่อประปาเหล็กเส้นขนาด 10 นิ้ว (1)



ตัวอย่าง การสูญเสียย่อย

วิธีทำ

1) หาอัตราการไหล

ใช้สมการพลังงานระหว่าง

จุด 1 กับ จุด 2

$$Z_1 + \frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + (K_{ent} + K_f + K_{elbow} + K_{valve}) \frac{V^2}{2g}$$

$$H_1 + 0 + 0 = \frac{V^2}{2g} + 0 + 0 + \left(0.5 + f \frac{102}{0.15} + 2(0.9) + 10 \right) \frac{V^2}{2g}$$

จัดใหม่จะได้

$$H_1 = \frac{V^2}{2g} (13.3 + 680f)$$

แทนค่าให้ $f = 0.022$

$$10 = \frac{V^2}{2g} (13.3 + 680 \times 0.022)$$

ตัวอย่าง การสูญเสียย่อย

แทนค่า Friction factor, f ใหม่ = 0.0230

$$10 = \frac{V^2}{2g} (13.3 + 680 \times 0.0230)$$

$$V_2 = 2.60 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(2.60 \text{ m/s})(0.15 \text{ m})}{(1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 386,139$$

คำนวณ Friction factor, f

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.25 \times 10^{-3}}{3.7 \times 0.150} + \frac{5.74}{386,139^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0230$$

f ที่ได้จากการคำนวณ = f จากตารางค่า \Rightarrow OK

ตัวอย่าง การสูญเสียย่อย

จะได้

$$V_2 = 2.63 \text{ m/s}$$

ถ้ารัศมีท่อขนาด 20 °C มีค่า $\nu = 1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ และสำหรับ Clean cast iron pipe ค่า $\epsilon = 0.25 \text{ mm}$.

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(2.63 \text{ m/s})(0.15 \text{ m})}{(1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 390,594$$

คำนวณ Friction factor, f

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.25 \times 10^{-3}}{3.7 \times 0.150} + \frac{5.74}{390,594^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0230$$

ตัวอย่าง การสูญเสียย่อย

หาอัตราการไหล

$$Q = A_2 V_2 = \frac{\pi D^2}{4} V_2 = \frac{\pi (0.15 \text{ m})^2}{4} (2.60 \text{ m/s}) = 0.0459 \text{ m}^3/\text{s} \quad \text{หรือ} \quad 45.9 \text{ ลิตร/วินาที}$$

2) ต้องการหาพลังงานที่สูญเสียเมื่อ $Q = 0.06 \text{ m}^3/\text{s}$

$$V_2 = \frac{Q}{A} = \frac{0.06 \text{ m}^3/\text{s}}{(\pi/4)(0.15 \text{ m})^2} = 3.40 \text{ m/s}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(3.40 \text{ m/s})(0.15 \text{ m})}{(1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 504,950$$

คำนวณ Friction factor, f

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.25 \times 10^{-3}}{3.7 \times 0.150} + \frac{5.74}{504,950^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0229$$



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ตัวอย่าง การสูญเสียย่อย

หลังเบี่ยงมุม

$$H_f = \frac{V^2}{2g} (13.3 + 680f)$$

$$H_f = \frac{(3.40 \text{ m/s})^2}{2(9.806 \text{ m/s}^2)} (13.3 + 680 \times 0.0229) = 17.02 \text{ m}$$

3) 70 equivalent length จาก minor losses

สมมติให้ $f = 0.023$ และจากข้อที่ 1) ค่า $K = 13.3$

แทนค่าลงในสมการ (5.11.4)

$$L_e = \frac{KD}{f} = \frac{(13.3)(0.15 \text{ m})}{0.023} = 86.7 \text{ m}$$

∴ ความยาวท่อรวม = 86.7 + 102.0 = 188.7 ม. นำไปแทนค่า

52

ตัวอย่าง การสูญเสียย่อย

$$h_f = f \frac{L + L_e}{D} \frac{V^2}{2g}$$

$$10 \text{ m} = (0.023) \left(\frac{188.7 \text{ m}}{0.15 \text{ m}} \right) \frac{(V_2 \text{ m/s})^2}{2(9.806 \text{ m/s}^2)}$$

$$V_2 = 2.60 \text{ m/s}$$

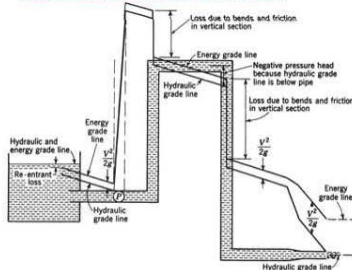
$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{(2.60 \text{ m/s})(0.15 \text{ m})}{(1.01 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s})} = 386,139$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{e}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.25 \times 10^{-3}}{3.7 \times 0.150} + \frac{5.74}{386,139^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0230$$

∴ ความยาวท่อรวม = 86.7 + 102.0 = 188.7 ม.

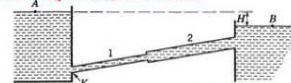
53

เส้นลาดชันของคาร์เตอร์และเส้นลาดชันพลังงาน



54

ระบบท่ออนุกรม (Pipes in Series)



$$V_1 A_1 = V_2 A_2 \quad \leftarrow \text{สมการความต่อเนื่อง}$$

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\rho g} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\rho g} + Z_2 + K_e \frac{V_1^2}{2g} + H_{f1} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} + H_{f2} + \frac{V_2^2}{2g}$$

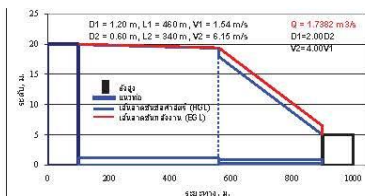
$$H = K_e \frac{V_1^2}{2g} + C_{f1} V_1^{1.852} + \frac{(V_1 - V_2)^2}{2g} + C_{f2} V_2^{1.852} + \frac{V_2^2}{2g} \quad \leftarrow \text{สมการพลังงาน}$$

$$H = C V^n \quad \Rightarrow \quad V = \left(\frac{H}{C} \right)^{1/n}$$

55

ท่อวาง (ท่อเชื่อมเสถียร) $D_1 = 1.20 \text{ m}$, $D_2 = 0.60 \text{ m}$. [only friction loss]

$$H = C_{f1} L_1 + C_{f2} L_2 + \frac{V^2}{2g} H_L = H_f + H_{minor} = C_{f1} D_1^{1.852} \frac{6.49 Q^2}{C_{HW}^2 D_1^5} L_1$$



56

ระบบท่อขนาน (Pipe in parallel)



การไหลจะไม่ออกเป็น 3 ทาง

แต่ละท่อจะมีแรงสูญเสียพลังงานเท่ากัน

$$H_{D1} = H_{D2} = H_{D3} = \frac{V_A^2}{2g} + \frac{P_A}{\rho g} + Z_A - \left(\frac{V_B^2}{2g} + \frac{P_B}{\rho g} + Z_B \right)$$

← สมการพลังงาน

$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 \quad \leftarrow \text{สมการความต่อเนื่อง}$$

57



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ระบบท่อขนาน (Pipe in parallel)

ตัวอย่าง ในรูป $L_1=900$ m, $D_1=300$ mm, $\epsilon_1=0.3$ mm,

$L_2=600$ m, $D_2=200$ mm, $\epsilon_2=0.03$ mm,

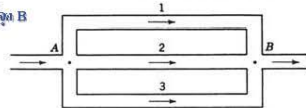
$L_3=1200$ m, $D_3=400$ mm, $\epsilon_3=0.24$ mm,

$\rho=1025$ kg/m³, $\nu=2.8 \times 10^{-6}$ m²/s,

$p_A=560$ kPa, $z_A=30$ m, $z_B=24$ m

ถ้าอัตราการไหลทั้งหมดเท่ากับ 340 L/s จงหาอัตราการไหลของแต่ละท่อ

และหาความดันที่จุด B



ระบบท่อขนาน (Pipe in parallel)

Trial #1	Pipe 1	Pipe 2	Pipe 3	
h_f , m	6.000	6.000	6.000	← สมมุติ
f	0.0200	0.0200	0.0200	← สมมุติ
V , m/s	1.400	1.400	1.400	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Re	150,000	100,000	200,000	← จาก $Re = VD\nu$
f	0.0216	0.0187	0.0194	← จาก Swamee and Jain eq.
V , m/s	1.348	1.448	1.422	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Q , m ³ /s	0.0953	0.0455	0.1787	← จาก $Q = VA$
ΣQ , m ³ /s	0.3195			← จาก $\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

ΣQ น้อยกว่า 0.34 m³/s ดังนั้นต้องสมมุติค่าการสูญเสียพลังงานมีค่าสูงขึ้น

58

59

ระบบท่อขนาน (Pipe in parallel)

Trial #2	Pipe 1	Pipe 2	Pipe 3	
h_f , m	6.550	6.550	6.550	← สมมุติ
f	0.0216	0.0187	0.0194	← ใช้ค่าจาก #1
V , m/s	1.408	1.513	1.486	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Re	150,857	108,071	212,286	← จาก $Re = VD\nu$
f	0.0216	0.0185	0.0193	← จาก Swamee and Jain eq.
V , m/s	1.408	1.521	1.490	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Q , m ³ /s	0.0995	0.0478	0.1872	← จาก $Q = VA$
ΣQ , m ³ /s	0.3345			← จาก $\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

ΣQ น้อยกว่า 0.34 m³/s ดังนั้นต้องสมมุติค่าการสูญเสียพลังงานมีค่าสูงขึ้น

ระบบท่อขนาน (Pipe in parallel)

Trial #3	Pipe 1	Pipe 2	Pipe 3	
h_f , m	6.850	6.850	6.850	← สมมุติ
f	0.0216	0.0185	0.0193	← ใช้ค่าจาก #2
V , m/s	1.440	1.556	1.523	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Re	154,286	111,143	217,571	← จาก $Re = VD\nu$
f	0.0216	0.0184	0.0193	← จาก Swamee and Jain eq.
V , m/s	1.440	1.560	1.523	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Q , m ³ /s	0.1018	0.0490	0.1914	← จาก $Q = VA$
ΣQ , m ³ /s	0.3422			← จาก $\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

ΣQ มากกว่า 0.34 m³/s ดังนั้นต้องสมมุติค่าการสูญเสียพลังงานมีค่าลดลง

60

61

ระบบท่อขนาน (Pipe in parallel)

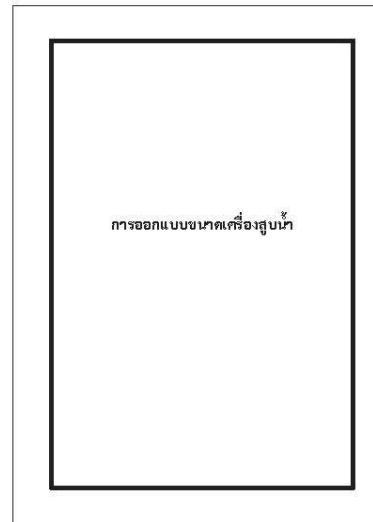
Trial #4	Pipe 1	Pipe 2	Pipe 3	
h_f , m	6.762	6.762	6.762	← สมมุติ
f	0.0216	0.0184	0.0193	← ใช้ค่าจาก #3
V , m/s	1.431	1.550	1.513	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Re	153,321	110,714	216,143	← จาก $Re = VD\nu$ $Q = VA$
f	0.0216	0.0184	0.0193	← จาก Swamee and Jain eq.
V , m/s	1.431	1.550	1.513	← จาก $h_f = f(L/D)(V^2/2g)$
Q , m ³ /s	0.1012	0.0487	0.1901	← จาก $Q = VA$
ΣQ , m ³ /s	0.3400			← จาก $\Sigma Q = Q_1 + Q_2 + Q_3$

ΣQ เท่ากับ 0.34 m³/s ดังนั้นการสูญเสียพลังงานมีค่า เท่ากับ 6.762 m.

ดังนั้น $Q_1 = 0.1012$ m³/s, $Q_2 = 0.0487$ m³/s, $Q_3 = 0.1901$ m³/s,

วิธีคิด่อนหน้า $Q_1 = 0.1013$ m³/s, $Q_2 = 0.0480$ m³/s, $Q_3 = 0.1904$ m³/s,

62





สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ

เครื่องสูบน้ำที่ผลิตได้คือเป็นเครื่องสูบน้ำที่มีขนาดและแบบมาตรฐานที่มีลักษณะอยู่ที่ใบพัดกลาง ซึ่งมีพารามิเตอร์ทางเทคนิคได้แก่ และนอกจากนี้งานเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งวางใช้ตามเข็มนาฬิกา หรือย้อนเข็มนาฬิกา เพื่อความสะดวกในการสร้างและในการวางแนวเดินเครื่องสูบน้ำ

การเลือกชนิดของเครื่องสูบน้ำจะพิจารณาได้จากความเร็วเฉพาะ N_s (Specific Speed) ซึ่งคำนวณได้จากสูตร

$$N_s = \frac{N\sqrt{Q}}{H^{3/4}}$$

N_s - ความเร็วเฉพาะ
 N - อัตราหมุนรอบในวินาที (รอบ/นาที)
 Q - อัตราของไหลที่ส่งออกมา (ลิตร/วินาที)
 H - หัวรวม หรือ Total Dynamic Head (TDH)
 หัวรวมหัวเครื่องสูบน้ำตาม (เมตร)

ชนิดเครื่องสูบน้ำ	N_s
Centrifugal (Radial flow)	< 2,600
Mixed flow	2,600 - 5,000
Propeller (Axial flow)	5,000 - 30,000

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ

ชนิดของเครื่องสูบน้ำ

เส้นลาดชันของท่อส่งน้ำ (HGL) ในระบบสูบน้ำ

$$H_p = Z_1 - Z_2 + H_{loss}$$

$$H_p = H_{SP} + H_{fs}$$

Typical performance curve

$$H_p = A Q^3 + B Q^2 + C$$

พลังงานที่ใช้ในการสูบน้ำ $P = \frac{\rho g Q H}{\eta}$

การคำนวณอัตราการไหลและแรงดันจากเครื่องสูบน้ำ

จากขนาดท่อราคาท่อจะระบุขนาดโดยให้ค่าคงที่และค่าแรงดัน 200 มม. ยาวรวม 2,000 ม. $\phi = 0.03$ มม. ค่าสูญเสียโดย $K = 6.2$ และระยะหัวรวม 10 เมตร

$$H_p = H_{SP} + H_{fs}$$

$Q = 25 \text{ l/s}$
 $h = 17.5 \text{ m}$
 $\eta = 71.5 \%$
 $P = 6,770.3 \text{ Watt}$
 6.77 KW
 $Q = 100.8 \text{ m}^3/\text{hr}$
 Power/Unit 0.067155 KW-hr/m³
 Rate 3.84m³/Unit
 Cost 0.201 Baht/m³

Q (l/s)	0	10	20	30	40	50
h (m)	25	22.2	20.8	19.5	18.4	17.3
Q (m ³ /hr)	0	36	72	108	144	180
V ₂ (m/s)	0	0.031	0.062	0.093	0.124	0.155
h _{fr} (m)	0	0.012	0.024	0.036	0.048	0.060
h _{fs} (m)	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
h _{total} (m)	25	22.2	20.8	19.5	18.4	17.3
Power (KW)	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005
Rate (m ³ /Unit)	0	36	72	108	144	180
Cost (Baht/m ³)	0	0.001	0.002	0.003	0.004	0.005



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

การคำนวณอัตราการไหลและแรงดันจากเครื่องสูบน้ำ

ค่าเก็บน้ำแห่งหนึ่งมีระดับที่ 200 ม.(รทก.) ส่วนน้ำในถังจ่ายน้ำระดับ 80 ม.(รทก.) ด้านท่อเหล็กดีวี่วรีบ (80-0.3 มม.) ขนาด 500 มม. ยาว 20 กม. มีการสูญเสีย K = 20 จำนวนตามหลักวิชาการโครงการไม่คิดเครื่องสูบน้ำ แต่คิดเครื่องสูบน้ำ

$$H_p = H_{st} + H_b$$

Q, l/s	0	100	200	300	400	500	600
h _s , m	0	19	14	47	39.4	38	8
h _f , m	0	0.3	0.5	0.7	0.9	1.4	2.8
V, m ³ /hr	0.000	0.309	1.019	1.518	2.077	2.546	3.056
V ₂₀ , m ³ /hr	0.000	0.019	0.064	0.110	0.157	0.204	0.250
h _e , m	0	225.651	406.504	676.064	902.800	1,116.701	1,311.113
f	0.0000	0.0187	0.0347	0.0514	0.0559	0.0327	0.0125
h _s , m	0.000	9.386	29.072	42.969	139.018	368.044	127.400
h _s , m	0.000	0.364	1.058	2.300	4.230	6.630	9.519
h _s , m	1.19,000	131.899	308.976	514.437	5.711	34.681	127.400

$Q = 465 \text{ l/s}$
 $H = 32 \text{ m}$
 $\eta = 58 \%$
 $P = 251,677.2 \text{ Watt}$
 251.68 KW
 $Q = 1674 \text{ m}^3/\text{hr}$
 $\text{Power/Vol} = 0.150345 \text{ KW-hr/m}^3$
 $\text{Rate} = 3 \text{ Baht/Unit}$
 $\text{Cost} = 0.451 \text{ Baht/m}^3$

การต่อเครื่องสูบน้ำแบบขนาน (Parallel operation)

การต่อเครื่องสูบน้ำแบบขนาน (Parallel operation)

เครื่องสูบน้ำสองเครื่องที่มีลักษณะเหมือนกัน สลักตั้งสูบน้ำเส้นผ่าศูนย์กลาง PVC (80-0.15 มม.) ขนาด 200 มม. ยาว 2.5 กม. ที่ระยะยกน้ำสูง 15 เมตร มีการสูญเสียที่หัวจ่ายคือ K = 10.0 - ค่าคิดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบขนาน

Q, l/s	0	10	20	30	40
h _s , m	30	27.5	25.5	17	7.5
h _f , m	0	44	38	30	18
V, m ³ /hr	0.0000	0.1183	0.4582	0.9689	1.4721
V ₂₀ , m ³ /hr	0.0000	0.0025	0.021	0.048	0.081
f	0	31.338	113.878	189.014	233.332
h _e , m	0.0000	0.0020	0.0123	0.0284	0.0200
h _s , m	0.0000	1.485	3.483	11.451	30.334
h _s , m	0.0000	0.052	0.207	0.463	0.833
h _s , m	13.0000	18.338	20.872	27.118	38.460
h _s , m	13.0000	18.0000	20.0000	25.0000	35.0000

$Q = 22.5$ 28.5 l/s
 $H = 32$ 28.5 m
 $\eta = 58$ 35.5 %
 $P = 8,372.3$ 15,887.3 Watt
 8.37 15.89 KW
 $Q = 81$ 302.8 m³/hr
 $\text{Power/Vol} = 0.30$ 0.15 KW-hr/m³
 $\text{Rate} = 3$ 3 Baht/Unit
 $\text{Cost} = 0.11$ 0.40 Baht/m³

การต่อเครื่องสูบน้ำแบบอนุกรม (Series operation)

การต่อเครื่องสูบน้ำแบบอนุกรม (Series operation)

เครื่องสูบน้ำสองเครื่องที่มีลักษณะเหมือนกัน สลักตั้งสูบน้ำเส้นผ่าศูนย์กลาง PVC (80-0.15 มม.) ขนาด 200 มม. ยาว 2.5 กม. ที่ระยะยกน้ำสูง 15 เมตร มีการสูญเสียที่หัวจ่ายคือ K = 10.0 - ค่าคิดตั้งเครื่องสูบน้ำแบบอนุกรม

Q, l/s	0	10	20	30	40
h _s , m	30	27.5	25.5	17	7.5
h _f , m	0	44	38	30	18
V, m ³ /hr	0.0000	0.1183	0.4582	0.9689	1.4721
V ₂₀ , m ³ /hr	0.0000	0.0025	0.021	0.048	0.081
f	0	31.338	113.878	189.014	233.332
h _e , m	0.0000	0.0020	0.0123	0.0284	0.0200
h _s , m	0.0000	1.485	3.483	11.451	30.334
h _s , m	0.0000	0.052	0.207	0.463	0.833
h _s , m	13.0000	18.338	20.872	27.118	38.460
h _s , m	13.0000	18.0000	20.0000	25.0000	35.0000

$Q = 22.5$ 28.5 l/s
 $H = 32$ 28.5 m
 $\eta = 58$ 35.5 %
 $P = 8,372.3$ 15,887.3 Watt
 8.37 15.89 KW
 $Q = 81$ 302.8 m³/hr
 $\text{Power/Vol} = 0.30$ 0.15 KW-hr/m³
 $\text{Rate} = 3$ 3 Baht/Unit
 $\text{Cost} = 0.11$ 0.40 Baht/m³

การตรวจสอบความเร็วเครื่องสูบน้ำ

$$Q_2 = Q_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)$$

$$H_2 = H_1 \left(\frac{N_2}{N_1} \right)^2$$

เมื่อตรวจสอบความเร็วเครื่องสูบน้ำ ค่าความดันจะลดลงอย่างรวดเร็วมื่อเทียบกับแรงดันที่ลดลงน้อยกว่า



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

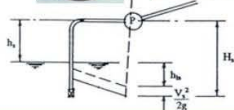
ข้อจำกัดด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ (Suction lift limitations)

การเกิดโพรงอากาศ (Cavitation) จะเกิดขึ้นเมื่อความดันสัมบูรณ์ (absolute pressure) มีค่าต่ำกว่าความดันไอ (vapor pressure) ของของเหลว ที่จุดนั้นๆ ที่เส้นเครื่องสูบน้ำ ซึ่งจะเกิดขึ้นที่หัวเข้าของเครื่องสูบน้ำ และบนใบพัดของเครื่องสูบน้ำ โดยเฉพาะเครื่องสูบน้ำที่ติดตั้งอยู่เหนือผิวน้ำของถังสูบน้ำ ซึ่ง Cavitation จะส่งผลต่ออายุ มีผลกระทบต่อประสิทธิภาพการกักเก็บ

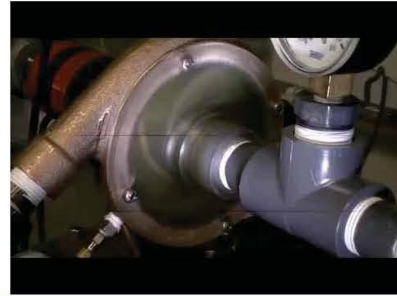


$$NPSH = \left(\frac{P_s - P_v}{\rho g} \right) = \frac{P_s}{\rho g} - H_s - \frac{P_v}{\rho g}$$

NPSH = Net positive suction head (m)
P_s = ความดันที่หัวเข้าเครื่องสูบน้ำ (Pa)
P_v = ความดันไอของของเหลว (Pa)
P_s = ความดันสัมบูรณ์ของบรรยากาศ ณ จุดที่ตั้งเครื่องสูบน้ำ (Pa)
H_s = manometric suction head H_s = h_s + h_f + $\frac{V^2}{2g}$
Cavitation number, σ = $\frac{NPSH}{H_p}$



14



15

ข้อจำกัดด้านดูดของเครื่องสูบน้ำ (Suction lift limitations)

เครื่องสูบน้ำมี cavitation number = 0.12 ที่จัดตั้งขึ้นที่ที่มีความดันบรรยากาศ 950 มิลลิบาร์ และค่าความดันไอที่เท่ากับ 0.2 เมตร โดยที่ของเหลวเป็น PVC (E=0.03 มม.) ขนาด 200 มม. ยาว 10 เมตร และมีข้อต่อ 90 องศา (K=1.0) รวมถึงติดตั้ง valve (Kv=4.5) และสูบน้ำที่อัตราการไหล 35 ลิตรต่อวินาที ที่แรงดันน้ำ 25 เมตร จงคำนวณหาแรงดันความสูงของเครื่องสูบน้ำเพื่อไม่ให้สูบน้ำเกิดโพรงอากาศ

$$\frac{P_s^2}{2g} = \frac{1.11^2}{2 \times 9.81} = 0.063 \text{ m.}$$

$$Re = \frac{VD}{\nu} = \frac{1.11 \times 0.2}{1.13 \times 10^{-4}} = 196,460$$

$$f = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{\epsilon}{3.7D} + \frac{5.74}{Re^{0.9}} \right) \right]^2} = \frac{0.25}{\left[\log \left(\frac{0.03 \times 10^{-3}}{3.7 \times 0.2} + \frac{5.74}{196,460^{0.9}} \right) \right]^2} = 0.0168$$

$$P_s = 950 \text{ mb} = 0.95 \times 101,998 = 9,688 \text{ m.}$$

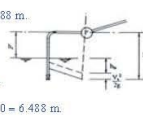
$$\frac{P_s - P_v}{\rho g} = \frac{9,688 - 0.2}{9.81} = 9,888 \text{ m.}$$

$$NPSH = \sigma H_p = 0.12 \times 25 = 3.0 \text{ m.}$$

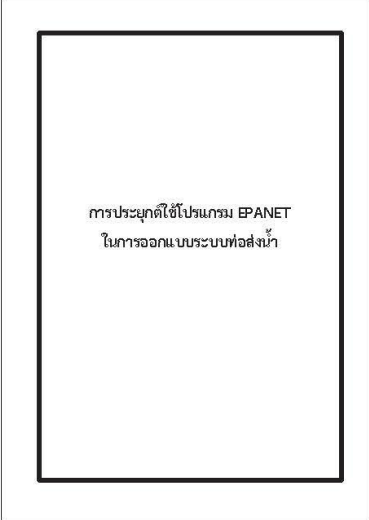
$$H_s = \frac{P_s - P_v}{\rho g} - NPSH = 9,888 - 3.0 = 6,488 \text{ m.}$$

$$V_s = \frac{Q}{A} = \frac{4Q}{\pi D^2} = \frac{4 \times 0.035}{\pi \times 0.2^2} = 1.11 \text{ m/s}$$

$$h_s = H_s - h_p - \frac{V_s^2}{2g} = 6,488 - 0.40 - 0.063 = 6,025 \text{ m.}$$



16



การประยุกต์ใช้โปรแกรม EPANET ในการออกแบบระบบท่อส่งน้ำ

EPANET คืออะไร

- โปรแกรมคอมพิวเตอร์ ซึ่งจำลอง (Simulation) พฤติกรรมทางด้านกลศาสตร์ (Hydraulic) และคุณภาพน้ำ (Water Quality) ในโครงข่ายระบบท่อภายใต้แรงดัน (Pressure)

<http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/epanet.html>



โครงข่ายระบบท่อ

- ท่อ (Pipe)
- จุด หรือจุดบรรจบของเส้นท่อ (Node or Junction)
- เครื่องสูบน้ำ (Pump)
- วาล์ว (Valve)
- ถังเก็บน้ำ (Tank) หรือ อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)

2

3

สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

EPANET ใช้สำหรับทำอะไร

- หาอัตราการไหลในแต่ละเส้นท่อ (flow of water in pipes)
- แรงดันในแต่ละจุดบรรจบของเส้นท่อ (pressure at node or Junctions)
- ความสูงของน้ำในถังเก็บน้ำ (height of water in tanks)
- ความเข้มข้นของสารเคมี (concentration of chemical)

4

ความสามารถของ EPANET

- ไม่มีข้อจำกัดด้านขนาดของโครงข่ายที่จะวิเคราะห์
- ค่าความ Friction headloss โดยใช้สมการ Hazen-Williams, Darcy-Weisbach หรือ Chezy-Manning
- รวม Minor headloss จากข้อต่อ, อุโมงค์, ข้อต่อ etc.
- ใช้กับเครื่องสูบน้ำที่มีความเร็วที่หรือปรับความเร็วได้
- ค่าความพลังงานของการสูบน้ำและต้นทุน
- ใช้กับวาล์วได้หลายชนิด รวมถึง Shutoff, check, pressure regulating และ flow control valves

5

ความสามารถของ EPANET

- ใช้ถังเก็บน้ำ (Tank) ได้หลายแบบ
- สามารถกำหนดรูปแบบความต้องการใช้น้ำในแต่ละ Node ได้ทั้งในกรณีเปลี่ยนแปลงตามเวลาและ/หรือ กำหนดเงื่อนไขในการควบคุมความต้องการใช้น้ำ

6

การประยุกต์ใช้ EPANET

- วางแผนและเพิ่มประสิทธิภาพทางเศรษฐศาสตร์ของระบบท่อ
- การวางท่อ เครื่องสูบน้ำ วาล์วควบคุมน้ำ และขนาดท่อ
- ออกแบบสำหรับการใช้พลังงานน้อยที่สุด
- ฝึกการควบคุมระบบท่อ
- อื่นๆ

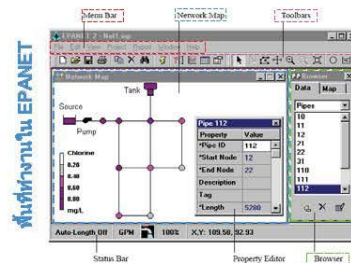
7

โครงข่ายระบบท่อ

- ข้อมูลด้านกายภาพ
 - จุด หรือ จุดบรรจบ (node or Junction)
 - อ่างเก็บน้ำ (Reservoir)
 - ถังเก็บน้ำ (Tank)
 - ท่อ (P)
 - เครื่องสูบน้ำ
 - วาล์ว
- ข้อมูลที่
 - Pump
 - Demand



8

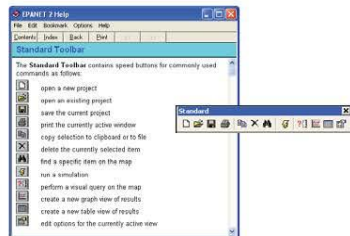


9



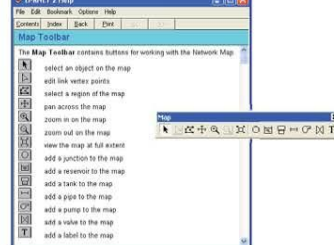
สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

แถบเครื่องมือมาตรฐาน (Standard Toolbar)



10

แถบเครื่องมือแผนที่ (MAP Toolbar)



11

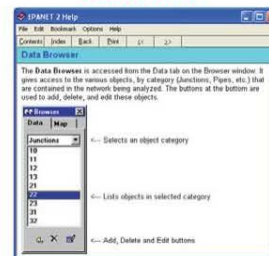
แถบสถานะ (Status Bar)

แถบสถานะปรากฏที่ด้านล่างซ้ายของ Work Space ของ EPANET ประกอบด้วย

Auto-Layout Off	GFM	100%
Auto-Layout	ตัวปรับตั้งการคำนวณความยาวท่อโดยอัตโนมัติ	
Flow Units	แสดงหน่วยการวัดของสิ่งซึ่งจะใช้ตามรูป	
Run Status	รูปที่แสดงสถานะการรันโปรแกรม	
Zoom Level	แสดงการขยายของสิ่งซึ่งดูในหน้าจอ	

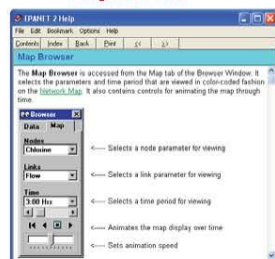
12

Data Browser



13

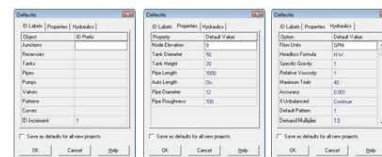
Map Browser



14

การเริ่มต้นใช้งานโปรแกรม EPANET

- หลังจากจบโปรแกรม EPANET ให้เรียกโปรแกรมขึ้นใช้งาน
- SET ค่า Defaults ของ Project ที่กำลังทำงาน โดยไปที่ Project > Defaults



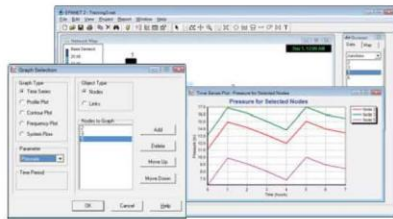
15



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

การแสดงผลการวิเคราะห์

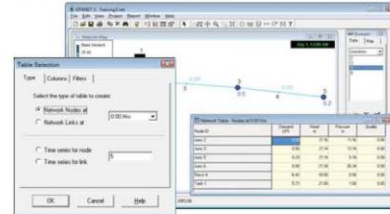
การสร้างกราฟ



22

การแสดงผลการวิเคราะห์

การแสดงผลตารางผลการวิเคราะห์



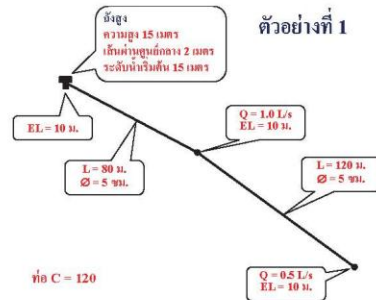
23

ตัวอย่างการวิเคราะห์

หน่วย / สูตรที่ใช้

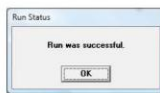


Property	Value
Flow Units	LPS
Headloss Formula	H/W
Specific Gravity	1
Relative Viscosity	1
Maximum Trials	40
Accuracy	0.001
If Unbalanced	Continue
Default Pattern	1
Demand Multiplier	1.0
Enthalpy Exponent	0.5
Status Report	No
CHECKFREQ	2
MAVCHECK	10
DAMPLIMIT	0



24

25



Node ID	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
June 2	0.50	24.57	14.57	0.00
June 3	0.25	24.45	14.45	0.00
Tank 1	-0.75	25.00	15.00	0.00

26

Demand Pattern



27



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

ช่วงเวลาในการวิเคราะห์

Time Series Options

Property	Hz:Min
Total Duration	5
Hydraulic Time Step	1:00
Quality Time Step	0:05
Pattern Time Step	1:00
Reporting Time Step	0:00
Report Start Time	0:00
Clock Start Time	12 am
Statistic	None

28

Table Selection

Select the type of table to create:

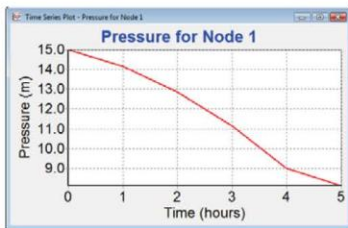
- Network Nodes at
- Network Link at
- Time series for node
- Time series for link

ผลวิเคราะห์ที่ถึงสูง

Time Hours	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
0:00	-0.75	25.00	15.00	0.00
1:00	-1.13	24.14	14.14	0.00
2:00	-1.50	22.85	12.85	0.00
3:00	-1.88	21.13	11.13	0.00
4:00	-0.75	18.98	8.98	0.00
5:00	-0.75	18.12	8.12	0.00

29

ผลวิเคราะห์ที่ถึงสูง



30

Table Selection

Select the type of table to create:

- Network Nodes at
- Network Link at
- Time series for node
- Time series for link

ผลวิเคราะห์ที่จุดใช้น้ำที่ 1

Time Hours	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
0:00	0.50	24.57	14.57	0.00
1:00	0.75	23.24	13.24	0.00
2:00	1.00	21.31	11.31	0.00
3:00	1.25	18.80	8.80	0.00
4:00	0.50	18.56	8.56	0.00
5:00	0.50	17.70	7.70	0.00

31

ผลวิเคราะห์ที่จุดใช้น้ำที่ 2

Table Selection

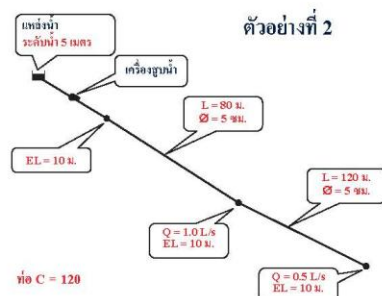
Select the type of table to create:

- Network Nodes at
- Network Link at
- Time series for node
- Time series for link

Time Series Table - Node 3

Time Hours	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
0:00	0.25	24.49	14.49	0.00
1:00	0.38	23.06	13.06	0.00
2:00	0.50	21.01	11.01	0.00
3:00	0.63	18.35	8.35	0.00
4:00	0.25	18.47	8.47	0.00
5:00	0.25	17.61	7.61	0.00

32

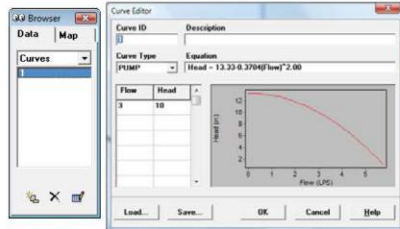


33



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

Pump Curve



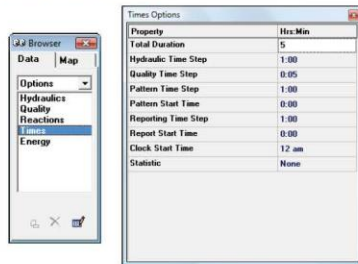
34

Demand Pattern



35

ช่วงเวลาในการวิเคราะห์



36

ผลวิเคราะห์ที่สถานีสูบน้ำ

Table Selection
Type: Columns | Filters
Select the type of table to create:
 Network Nodes at [0:00 Hrs]
 Network Links at [0:00 Hrs]
 Time series for node:
 Time series for link:
Time Series Table - Link 1

Time Hours	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/km	Friction Factor	Status
0:00	0.75	0.00	-13.13	0.000	Open
1:00	1.13	0.00	-12.86	0.000	Open
2:00	1.50	0.00	-12.50	0.000	Open
3:00	1.88	0.00	-12.03	0.000	Open
4:00	0.75	0.00	-13.13	0.000	Open
5:00	0.75	0.00	-13.13	0.000	Open

37

ผลวิเคราะห์ที่จุดส่งของสถานีสูบน้ำ

Table Selection
Type: Columns | Filters
Select the type of table to create:
 Network Nodes at [0:00 Hrs]
 Network Links at [0:00 Hrs]
 Time series for node:
 Time series for link:
Time Series Table - Node 2

Time Hours	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
0:00	0.00	18.13	8.13	0.00
1:00	0.00	17.86	7.86	0.00
2:00	0.00	17.50	7.50	0.00
3:00	0.00	17.03	7.03	0.00
4:00	0.00	18.13	8.13	0.00
5:00	0.00	18.13	8.13	0.00

38

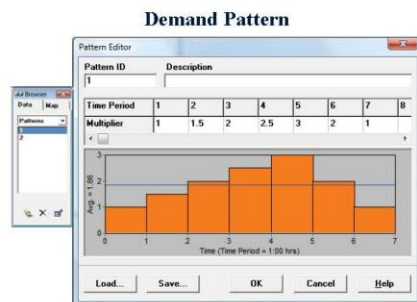
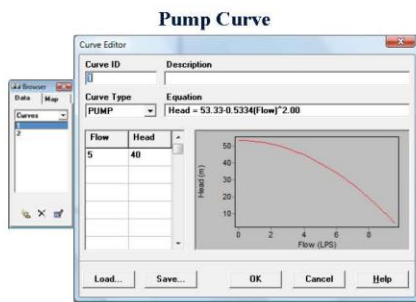
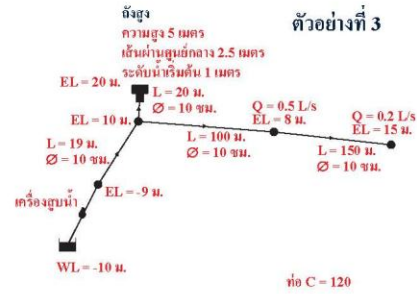
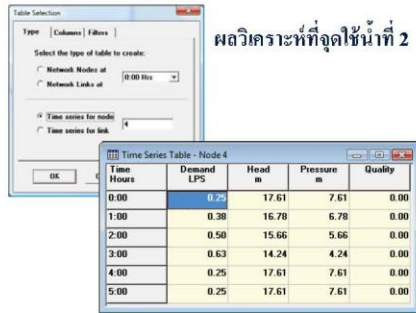
ผลวิเคราะห์ที่จุดใช้น้ำที่ 1

Table Selection
Type: Columns | Filters
Select the type of table to create:
 Network Nodes at [0:00 Hrs]
 Network Links at [0:00 Hrs]
 Time series for node:
 Time series for link:
Time Series Table - Node 3

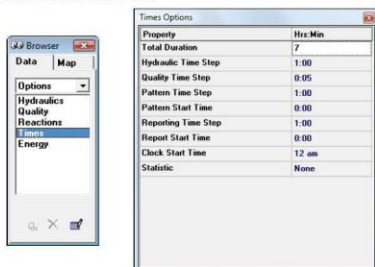
Time Hours	Demand LPS	Head m	Pressure m	Quality
0:00	0.50	17.70	7.70	0.00
1:00	0.75	16.96	6.96	0.00
2:00	1.00	15.96	5.96	0.00
3:00	1.25	14.70	4.70	0.00
4:00	0.50	17.70	7.70	0.00
5:00	0.50	17.70	7.70	0.00

39

สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

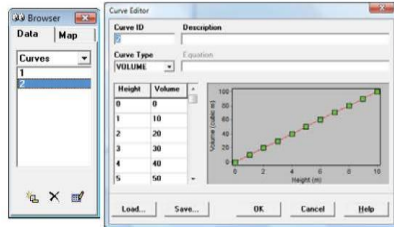


ช่วงเวลาในการวิเคราะห์



สำเนาเอกสารนำเสนอประกอบการประชุมสัมมนาสรุปฯ (ต่อ)

Volume Curve สำหรับ ท่ออ่างสูง



46

Rule – Based Controls

- หยุดสูบน้ำเมื่อระดับน้ำในถังพักสูงกว่า 5 เมตร
- และเริ่มทำการสูบน้ำเมื่อระดับน้ำในถังพักต่ำกว่า 2 เมตร



47

ผลวิเคราะห์ที่สถานีสูบน้ำ

Time Series Table - Link 1	Flow LPS	Velocity m/s	Unit Headloss m/Am	Friction Factor	Status
0:00	6.42	0.00	-31.34	0.000	Open
1:00	0.00	0.00	0.00	0.000	Closed
2:00	0.00	0.00	0.00	0.000	Closed
3:00	0.00	0.00	0.00	0.000	Closed
4:00	6.30	0.00	-32.16	0.000	Open
5:00	5.83	0.00	-35.23	0.000	Open
6:00	0.00	0.00	0.00	0.000	Closed
7:00	0.00	0.00	0.00	0.000	Closed

48

ผลวิเคราะห์ที่ถังสูง

- ```

RULE 1
IF TANK 1 LEVEL ABOVE 5.0
THEN PUMP 1 STATUS IS CLOSED
RULE 2
IF TANK 1 LEVEL BELOW 3.5
THEN PUMP 1 STATUS IS OPEN

```

| Time Series Table - Node 1 | Demand LPS | Head m | Pressure m | Quality |
|----------------------------|------------|--------|------------|---------|
| 0:00                       | 5.72       | 21.00  | 1.00       | 0.00    |
| 1:00                       | -1.05      | 24.98  | 4.98       | 0.00    |
| 2:00                       | -1.40      | 24.21  | 4.21       | 0.00    |
| 3:00                       | -1.75      | 23.18  | 3.18       | 0.00    |
| 4:00                       | 4.20       | 21.90  | 1.90       | 0.00    |
| 5:00                       | 4.43       | 24.98  | 4.98       | 0.00    |
| 6:00                       | -0.70      | 23.98  | 3.98       | 0.00    |
| 7:00                       | -0.70      | 23.47  | 3.47       | 0.00    |

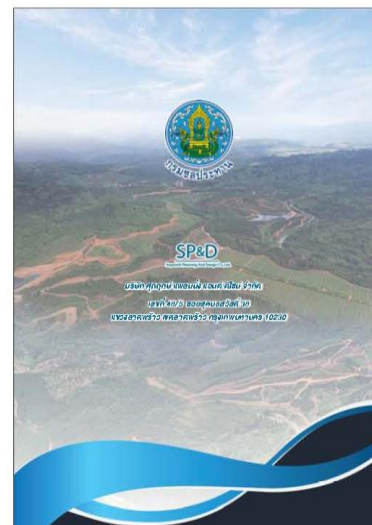
49

### การทดสอบท้ายบรรยาย

- ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำ +45 เมตร รทก.
- มีภูเขา
  - ระดับฐาน +65 เมตร รทก.
  - ระดับน้ำเดิมพื้น 10 เมตร
- ความสูงน้ำ 12 เมตร เส้นผ่าศูนย์กลาง 4.0 เมตร
- ขนาดท่อจากจุดสูบน้ำ ถึงจุด-จุดตกท่อ ขนาด 0.60 ม.
- เครื่องสูบน้ำขนาด 38 เมตร

| รายการ         | ระดับ ม. รทก. | การใช้น้ำ (ลิตร/นาที) | ขนาดท่อ (เมตร) | C = 120 |
|----------------|---------------|-----------------------|----------------|---------|
| จุดสูบน้ำที่ 1 | +60           | 25,000                | 0.50           |         |
| จุดสูบน้ำที่ 2 | +55           | 18,000                | 0.45           |         |

50



# ภาคผนวก ข

สำเนาใบลงทะเบียน

ภาคผนวก ข  
สำเนาใบลงทะเบียน

รายนามคณะกรรมการตรวจรับพัสดุในงานจ้างออกแบบ สัมมนาสรุปโครงการยื่นออกแบบรายละเอียด  
งานจ้างสำรวจ ออกแบบ โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด  
วันอังคารที่ ๗ เมษายน พ.ศ. ๒๕๖๔ เวลา ๐๘.๓๐ - ๑๒.๐๐ น.  
ณ ห้องประชุมตลิ่งชัน ๔ อาคาร ๔๕ ปี ม.ล.ชูชาติ กำภู กรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพมหานคร

| ลำดับ | ชื่อ - สกุล               | ตำแหน่ง                                                                                | ลายเซ็น             | หมายเหตุ |
|-------|---------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|----------|
| ๑     | นายพิเชษฐ รัตน์ปราสาทกุล  | ผู้อำนวยการสำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม<br>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม      | ประธานกรรมการ       |          |
| ๒     | นายรณฤกษ์ บุตตะจีน        | ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)<br>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ             |          |
| ๓     | นายธีระชัย เนียมหลวง      | ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)<br>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ             |          |
| ๔     | นายจักรพันธ์ ช้อยหิรัญ    | ผู้อำนวยการส่วนวางโครงการที่ ๓<br>สำนักบริหารโครงการ                                   | กรรมการ             |          |
| ๕     | นายธนภัทร อันตัมสุขุธร    | ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม<br>สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่                                  | กรรมการ             |          |
| ๖     | นายปรีชญา พงษ์สิงห์จันทร์ | ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมโยธา (ด้านออกแบบและคำนวณ)<br>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม | กรรมการ             |          |
| ๗     | นายภควิทย์ ลำจวน          | หัวหน้าฝ่ายวิศวกรรมที่ ๑<br>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม                          | กรรมการ             |          |
| ๘     | นายศักดิ์ชาย เทพคำอ้าย    | ผู้อำนวยการส่วนวิศวกรรม<br>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม                           | กรรมการและเลขานุการ |          |



## สำเนาใบลงทะเบียน (ต่อ)

รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนาสรุปโครงการขึ้นออกแบบรายละเอียด

โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด

ในวันอังคารที่ ๗ เมษายน ๒๕๖๙ เวลา ๐๘.๓๐ - ๑๒.๐๐ น.

ณ ห้องประชุมตงตาล ชั้น ๔ อาคาร ๙๙ ปี ม.ล.ชูชาติ กำภู กรมชลประทาน สามเสน

| ลำดับ                                    | ชื่อ - สกุล               | ตำแหน่ง               | ลายเซ็น | หมายเหตุ |
|------------------------------------------|---------------------------|-----------------------|---------|----------|
| <b>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม</b> |                           |                       |         |          |
| <b>ส่วนวิศวกรรม</b>                      |                           |                       |         |          |
| ๑                                        | นายธวัฒน์ สวมศิลป์พงษ์    | นายช่างโยธาปฏิบัติงาน |         |          |
| ๒                                        | นายฤทธิชัย มิตรน้อย       | นายช่างโยธา           |         |          |
| ๓                                        | นายณนชภัทร ยิ่งทรัพย์     | นายช่างโยธาปฏิบัติงาน |         |          |
| ๔                                        | นาง มหิษา มีนทร์ อรรถน.   | วศ. ๓ อ.ศ.            |         |          |
| <b>ส่วนออกแบบเขียน</b>                   |                           |                       |         |          |
| ๔                                        | นางสาวอัญญา เปานิล        | วิศวกรโยธาชำนาญการ    |         |          |
| ๕                                        | นางสาวอัทธยา รัตนปัญญา    | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ  |         |          |
| ๖                                        | นางสาวเรวดี สีดา          | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ  |         |          |
| ๗                                        | นายชานน โตโพธิ์ไทย        | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ  |         |          |
| ๘                                        | นายไตรรัตน์ ทองชุมพู่     | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ  |         |          |
| ๙                                        | นายศาสนะ เศษแสงสี         | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ  |         |          |
| ๑๐                                       | นางสาวจิราพร จันทะแสน     | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ  |         |          |
| ๑๑                                       | นางสาวชญาภา เลหาหะอุดมโชค | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ  |         |          |
| ๑๒                                       | นายธนา สิริโพธิ์โรจน์     | นายช่างโยธาปฏิบัติงาน |         |          |
| ๑๓                                       | นายณพพิชญ์ เทาศิริ        | วิศวกรโยธา            |         |          |
| <b>ส่วนมาตรฐานการออกแบบ</b>              |                           |                       |         |          |
|                                          | นาย วิบูลย์ นพรัตน์       | นายช่างโยธาปฏิบัติงาน |         |          |
|                                          | นาย อธิวัฒน์ รัชชานนท์    | วิศวกรโยธาชำนาญการ    |         |          |



## สำเนาใบลงทะเบียน (ต่อ)

รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนาสรุปโครงการขั้นตอนแบบรายละเอียด  
โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด

ในวันอังคารที่ ๗ เมษายน ๒๕๖๙ เวลา ๐๘.๓๐ - ๑๒.๐๐ น.

ณ ห้องประชุมตลิ่งชัน ๔ อาคาร ๙๙ ปี ม.ล.ชูชาติ กำภู กรมชลประทาน สามเสน

| ลำดับ                                    | ชื่อ - สกุล                   | ตำแหน่ง                 | ลายเซ็น | หมายเหตุ |
|------------------------------------------|-------------------------------|-------------------------|---------|----------|
| <b>สำนักออกแบบวิศวกรรมและสถาปัตยกรรม</b> |                               |                         |         |          |
|                                          | <b>ส่วนออกแบบระบบชลประทาน</b> |                         |         |          |
| ๑๔                                       | นายธีรภัทร ล้อมลาย            | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ    |         |          |
| ๑๕                                       | นายไกรนที รัตนธาดา            | นายช่างชลประทานอาวุโส   |         |          |
| ๑๖                                       | นายธนวรรณ สุธีรัตน์วัฒนา      | วิศวกรโยธา              |         |          |
| ๑๗                                       | นายอนุชา ธารานันท์            | วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ |         |          |
| ๑๘                                       | นายพลธร ดัฒนรังษี             | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ    |         |          |
| ๑๙                                       | นายภรณ์ยู ศรีมนตรี            | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ    |         |          |
| ๒๐                                       | นายธีรน้อย ขาวดี              | วิศวกรโยธาปฏิบัติการ    |         |          |
| ๒๑                                       | นายพรเทพ รุ่งแจ้ง             | นายช่างโยธาชำนาญงาน     |         |          |
| ๒๒                                       | นายสิทธิผล สุโพธิ์            | นายช่างโยธาปฏิบัติงาน   |         |          |
| ๒๓                                       | นางกัลยา กลิ่นเจริญ           | นายช่างโยธาปฏิบัติงาน   |         |          |
| ๒๔                                       | น.ส.ปณิตา ฝืดชืด              | ช่างป้อนระบบ            |         |          |
| ๒๕                                       | น.ส.พิศม ฝืดชืด               | วิศวกรโยธา              |         |          |
| <b>ส่วนออกแบบสถาปัตยกรรม</b>             |                               |                         |         |          |
| <b>ส่วนออกแบบโครงสร้างพิเศษ</b>          |                               |                         |         |          |
| <b>สำนักบริหารโครงการ</b>                |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |
|                                          |                               |                         |         |          |



## สำเนาใบลงทะเบียน (ต่อ)

รายชื่อผู้เข้าร่วมสัมมนาสรุปโครงการขึ้นออกแบบรายละเอียด  
โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด

ในวันอังคารที่ ๗ เมษายน ๒๕๖๙ เวลา ๐๘.๓๐ - ๑๒.๐๐ น.

ณ ห้องประชุมดงตาล ชั้น ๔ อาคาร ๙๙ ปี ม.ล.ชุกชาติ กำภู กรมชลประทาน สามเสน

| ลำดับ                                     | ชื่อ - สกุล                   | ตำแหน่ง                                                         | ลายเซ็น | หมายเหตุ |
|-------------------------------------------|-------------------------------|-----------------------------------------------------------------|---------|----------|
| <b>กองพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง</b>           |                               |                                                                 |         |          |
| ๒๔                                        | นายนิติพัฒน์ บุญช่วยเรืองชัย  | ผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมชลประทาน<br>(ด้านพัฒนาแหล่งน้ำขนาดกลาง) |         |          |
| ๒๕                                        | นายक्रमพันธ์ อุดมสินคำ        | วิศวกรชลประทานชำนาญการ                                          |         |          |
| ๒๖                                        | นางสาวศิริระญา อัครรัตน์พันธ์ | วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ                                        |         |          |
| ๒๗                                        | นายไกรภูมิ มิ่งแก้ว           | วิศวกรโยธาชำนาญการ                                              |         |          |
| ๒๘                                        | นายศุภณัฐ แก้วโย              | วิศวกรชลประทาน                                                  |         |          |
| <b>สำนักพัฒนาแหล่งน้ำขนาดใหญ่</b>         |                               |                                                                 |         |          |
| ๒๙                                        | นายรัชชานนท์ จิตรวิรัตน์      | วิศวกรโยธา                                                      |         |          |
| <b>สำนักสำรวจด้านวิศวกรรมและธรณีวิทยา</b> |                               |                                                                 |         |          |
| ๓๐                                        | นายประพัทธ์ ผ่องสวัสดิ์       | วิศวกรสำรวจชำนาญการ                                             |         |          |
| ๓๑                                        | นายสืบสาย ณ กลาง              | วิศวกรสำรวจชำนาญการ                                             |         |          |
| ๓๒                                        | นายศักดิ์สิน วงศ์สรรพสาคร     | วิศวกรสำรวจปฏิบัติการ                                           |         |          |
| ๓๓                                        | นายวงศธร เนตรทุกขณะ           | วิศวกรสำรวจปฏิบัติการ                                           |         |          |
| <b>สำนักงานชลประทานที่ ๙</b>              |                               |                                                                 |         |          |
| ๓๔                                        | นายประภาส เข็มรัตน์           | วิศวกรชลประทานชำนาญการพิเศษ                                     |         |          |
| ๓๕                                        | นายยิ่งคุณ มุฬลอัน            | วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ                                        |         |          |
| ๓๖                                        | นายปณ บรรรุชาติ               | วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ                                        |         |          |
| ๓๗                                        | นายจุฬพัฒน์ บุญสุยา           | วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ                                        |         |          |
| ๓๘                                        | นางสาวกาญจนา จันทร์อุ้น       | วิศวกรชลประทานปฏิบัติการ                                        |         |          |
| ๓๙                                        | นายกิตตินันท์ ขวัญใจ          | นายช่างชลประทาน                                                 |         |          |



## สำเนาใบลงทะเบียน (ต่อ)

กรมชลประทาน

### ใบลงทะเบียน

งานสัมมนาสรุปโครงการขึ้นออกแบบรายละเอียด  
งานจ้างสำรวจ ออกแบบ โครงการอ่างเก็บน้ำห้วยสะตอ จังหวัดตราด  
(งานสำรวจ ออกแบบระบบส่งน้ำ)

วันอังคารที่ 7 เมษายน พ.ศ. 2569 เวลา 08.30 - 12.00 น.

ณ ห้องประชุมตงตาล ชั้น 4 อาคาร ม.ล.ชูชาติ กำภู กรมชลประทาน สามเสน กรุงเทพมหานคร

| ลำดับ | ชื่อ-นามสกุล                | ตำแหน่ง                               | ลายเซ็น | หมายเหตุ |
|-------|-----------------------------|---------------------------------------|---------|----------|
| 1.    | ผศ.ดร.ณัฐ มาแจ้ง            | ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ            |         |          |
| 2.    | นายวิวรรณ เจริญสุขรุ่งเรือง | ผู้เชี่ยวชาญด้านสำรวจ                 |         |          |
| 3.    | นายธรรมสิงห์ มลธา           | วิศวกรแหล่งน้ำ                        |         |          |
| 4.    | นายอชิระ วังไธสง            | นักวิชาการด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน |         |          |
| 5.    | นายวรพัชร วิชัยสุชาติ       | นักวิชาการด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน |         |          |
| 6.    | นางสาววรรณวิมล ท่าพริก      | นักวิชาการด้านการมีส่วนร่วมของประชาชน |         |          |
| 7.    | นางสาวนริศรา มะหะหมัด       | นักศึกษาฝึกงาน                        |         |          |
| 8.    | นางสาวสิริวรรณ พรหมแก้ว     | นักศึกษาฝึกงาน                        |         |          |

9. นางสาวมนัสรัตน์ ปุณฺณเทโว

วิศวกรผู้ช่วย

10. นายจักร ศิริกุลนนท์

วิศวกรผู้ช่วย



กรมชลประทาน