



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ชลศาสตร์การไหล ในทางน้ำเปิดชั้นสูง

เสรี จันทรโยธา
ชัยพันธ์ รักวิชัย

042

๕๕

๕





ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดชั้นสูง

เสรี จันทโรยธา
ชัยพันธุ์ รักรวิชัย

| | |
|-----------------|--------------------------------|
| เลขทะเบียน | M 0140161 |
| วันลงทะเบียน | 27 ส.ก. 2557 |
| เลขเรียกหนังสือ | 629.042 ศ928ม 2756 02 |



สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2556

320.-



เลขที่ จันทน์โพชา

ชื่อกวีนิพนธ์ทางโหราศาสตร์ในทางน้ำปิตตขึ้นสูง / แห้ว จันทน์โพชา, ชัยวัฒน์ จันทวิชัย
1. รัชกาลที่ 2, ทางน้ำโหล, ๕ ชัยวัฒน์, จันทวิชัย

677.042

ISBN 978-974-03-5110-0

ตพจ. 1742



สงวนลิขสิทธิ์การ ผู้พิมพ์

www.ChulaPress.com

Knowledge to All

ลิขสิทธิ์สงวนสำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิมพ์ครั้งที่ 1 จำนวน 1,000 เล่ม พ.ศ. 255๖

การผลิตและการลอกเลียนหนังสือเล่มนี้ใน วัสดุแบบใดก็ตาม

ต้องได้รับอนุญาตเป็นลายลักษณ์อักษรจาก สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผู้จัดทำเนา ศูนย์หนังสือจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ถนนพญาไท เขตปทุมวัน กรุงเทพฯ 10330

สาขา

ศาลาหอนกัวย โทร. 0-2218-7000-3 โทรสาร 0-2255-4441

สยามสมเควร์ โทร. 0-2218-9881-2 โทรสาร 0-2254-9495

ม.นครสวรรค์ โทร. 0-5526-0162-4 โทรสาร 0-5526-0165

ม.เทคโนโลยีสุรนารี จ.นครราชสีมา โทร. 0-4421-6131-4 โทรสาร 0-4421-6135

ม.บูรพา จ.ชลบุรี โทร. 0-3839-4855-9 โทรสาร 0-3839-3239

โรงเรียนนายร้อย จปร. จ.นครนายก โทร. 0-3739-3028 โทรสาร 0-3739-3023

จัตุรัสจามจุรี (CHAMCHURI SQUARE) ชั้น 4 โทร. 0 2160 5301-2 โทรสาร 0-2160-5304

รัตนวิเทศ (แยกนครราชสีมา) โทร. 0 2950 5408 9 โทรสาร 0-2950-5405

Call Center (จัดส่งทั่วประเทศ) โทร. 0 2255 4433 <http://www.chulabook.com>

เครือข่าย

ศูนย์หนังสือ ม.แม่ฟ้าหลวง จ.เชียงราย โทร. 0-5391-7020-4 โทรสาร 0-5391-7025

ศูนย์หนังสือ มวลัยลักษณ์ จ.นครศรีธรรมราช โทร. 0-7567-3648-51 โทรสาร 0-7567-3652

ร้านหนังสือดินนาจเรศ (สิงห์ สิงหเสนี) งามดำเนิน 43/1 โทร. 0-2538-2393 โทรสาร 0-2539-7091

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่ โทร. 0-5377-6000

ศูนย์หนังสือ ม.อุบลราชธานี จ.อุบลราชธานี โทร. 0-4535-3140, 0-4528-8400-3 ต่อ 1803 โทรสาร 0-4535-3145

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏสุราษฎร์ธานี จ.สุราษฎร์ธานี โทร. 0-7735-5466, 0-7791-3333 โทรสาร 0-7735-5468

ศูนย์หนังสือเทคโนโลยีโออาร์พีซี จ.ระยอง โทร. 0-3889-9130-2 ต่อ 331 โทรสาร 0-3889-9130 ต่อ 301

ศูนย์หนังสือ ม.ราชภัฏเทพสตรี จ.ลพบุรี โทร. 0 3542 7485-93

ร้านค้า, พริ้งค์เล้าขึ้นเขียน ติดถนนนครราชสีมา (แยกนครราชสีมา) โทร. 0 2950 5408 9 โทรสาร 0 2950-5405

กองบรรณาธิการ : จุฬานาถ ตั้งจิตพิสัย

พิสูจน์อักษร : บุญฤดี บุญปิ่น

ออกแบบปก : ช่างหุ่นส่วนจำกัด ธนและท่า

ออกแบบรูปเล่ม : ชัยวัฒน์ ชานเสน

พิมพ์ที่ : โรงพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โทร. 0-2218-3563, 0-2218-3557 [5609-149]

คำนำ

วิชา **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิด** เป็นวิชาบังคับในหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และสถาบันการศึกษาอื่น ๆ และยังเป็นวิชาหลักในหลักสูตรปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมชลประทาน วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ในหลายสถาบันนิสิต/นักศึกษา ต้องเรียนในแต่ละปีการศึกษาจำนวนมาก หนังสือ/หนังสือ ที่ใช้ในการเรียนการสอนในวิชา **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิด** นั้นส่วนใหญ่ยังใช้สองต่างประเทศเป็นหลักมาตลอด จึงทำให้มีเนื้อหาที่ไม่สมบูรณ์ในด้านสภาพธรรมชาติ สภาพสังคมและสิ่งแวดล้อม และสภาพปัญหาด้านแหล่งน้ำ หนังสือภาษาไทยยังมีค่อนข้างจำกัด คณะผู้เขียนจึงสนใจที่จะจัดทำหนังสือ **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิด** ภาษาไทยที่สอดแทรกเนื้อหาเกี่ยวกับประเทศไทยในประเด็นดังกล่าว เพื่อเพิ่มความเข้าใจและประสบการณ์ด้านวิศวกรรมเกี่ยวข้องกับน้ำของประเทศไทยให้มากขึ้น

เนื่องจากเนื้อหาวิชาการมีมาก หนังสือ **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิด** ได้แบ่งออกเป็น 2 เล่ม คือ 1. **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดขั้นพื้นฐาน (Basic Hydraulics of Open Channel Flow)** และ 2. **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดขั้นสูง (Advance Hydraulics of Open Channel Flow)** โดยเล่มที่ 1 เน้นการให้ความรู้พื้นฐานของศาสตร์นี้ที่เหมาะกับการเรียน/ศึกษาของนิสิต/นักศึกษา ในระดับปริญญาตรี ในสาขาวิศวกรรมโยธา วิศวกรรมชลประทาน วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ และวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ตลอดจนผู้ที่สนใจศึกษาค้นคว้าหาความรู้เบื้องต้นของศาสตร์ทางด้านนี้ ส่วนเล่มที่ 2 เน้นการให้ความรู้ขั้นสูงและการประยุกต์ สำหรับผู้มีพื้นฐานของศาสตร์นี้มาก่อนแล้วพอสมควรจึงเหมาะกับการเรียน/ศึกษาของนิสิต/นักศึกษา ในระดับปริญญาโทและเอก ตลอดจนเป็นผู้มีอาชีพวิศวกรและปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับการไหลในทางน้ำเปิด

หนังสือ **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิด** นี้ได้ปรับปรุงจากต้นฉบับหนังสือ **ชลศาสตร์ทางน้ำเปิด** โดย รองศาสตราจารย์ ดร.ชัยพันธ์ รักวิจัย ที่ใช้เป็นหนังสือเรียนในวิชา **ชลศาสตร์ทางน้ำเปิด** ของหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่จัดพิมพ์ขึ้นครั้งแรกใน พ.ศ. 2526 และมีการปรับปรุงแก้ไข จนนำมาสู่การรวบรวมและเรียบเรียงเป็นหนังสือเล่มนี้ใหม่ เนื้อหาส่วนใหญ่ในหนังสือเล่มนี้ได้อ้างอิงจากหนังสือที่เกี่ยวข้องกับศาสตร์ด้านนี้ที่ผู้เขียนคิดว่าเป็นต้นแบบอย่างที่ดีมาก คือหนังสือ **Open Channel Hydraulics** โดย Professor Ven T. Chow (1959) หนังสือ **Open Channel Flow** โดย Professor F.M. Henderson (1966)

หนังสือ **ชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดขั้นสูง** เล่มนี้ คาดว่าจะเป็นประโยชน์ต่อการเรียนการสอนในหลักสูตรมหาบัณฑิตและดุษฎีบัณฑิตสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา แหล่งน้ำ ชลประทาน สิ่งแวดล้อม และสาขาใกล้เคียงอื่นๆ นอกจากนี้ทั้งศาสตร์หนังสือเล่มนี้จะสามารถใช้เป็นคู่มือปฏิบัติงานของวิศวกรและปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ เพื่อเพิ่มขีดความสามารถในการเรียนรู้และประโยชน์ต่อวงวิชาการ ในอันที่จะให้ความรู้ทางวิศวกรรมในการแก้ปัญหา "น้ำ" ของประเทศที่เป็นปัญหาใหญ่และปัญหาสำคัญ ไม่ว่าจะเป็นปัญหาของการบริหารจัดการภัยจากน้ำส่วนเกินหรืออุทกภัยที่เกิดขึ้น

แทบทุกปีในภาคต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง มหาอุทกภัยปี 2554 ที่ผ่านมา และภัยจากภาวะน้ำน้อยหรือภัยแล้งที่ประเทศไทยก็ประสบอยู่ทุกปีในทุกภาคของประเทศเช่นกัน

ทำทนี่ผู้เขียนขอขอบส่วนดีของหนังสือเล่มนี้ที่พิมพ์มีแค่ ครู-อาจารย์ ที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้แก่ผู้เขียนทุกท่าน และบิดา-มารดา ผู้ให้กำเนิด ตลอดจนวิศวกรและนักวิชาการด้านแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ยุทศตนต่อการดำเนินงานในการพัฒนาและจัดการแหล่งน้ำ อันเป็นภาระงานภาครัฐและภาคสังคม (public works) ด้วยกุศลจิตเป็นที่ตั้ง

“อึ้ง ผู้เขียนขอขอบคุณโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือ/คู่มือของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ที่ให้การสนับสนุน และหนังสือชลศาสตร์การไหลในทางน้ำเปิดชั้นสูงเล่มนี้เป็นหนังสือเล่มที่ (28) ในโครงการสนับสนุนการเขียนตำรา/หนังสือ/คู่มือของคณาจารย์และบุคลากรสายสนับสนุน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย”

เสรี จันทโรธยา

ชัยพันธุ์ วัชรชัย

มิถุนายน 2556

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------------|
| คำนำ | |
| บทที่ 1 ปัญหาพิเศษของการไหลผันแปรอย่างค่อยเป็นค่อยไป | 1 |
| 1.1 การไหลในทางน้ำที่มีรูปตัดการไหลผสม | 2 |
| 1.2 รูปตัดการไหลกับผลจากปรากฏการณ์เฉพาะที่ | 8 |
| 1.3 ผลของปรากฏการณ์น้ำสะดุด (choke) ต่อรูปตัดการไหล | 19 |
| 1.4 ปัญหาการไหลออกจากอ่างและระหว่างอ่าง | 26 |
| 1.5 การไหลเข้าและไหลออกด้านข้างของทางน้ำ | 36 |
| 1.6 การไหลแยกของทางน้ำแล้วกลับมาบรรจบกัน | 66 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 1 | 72 |
| บทที่ 2 การไหลผันแปรอย่างรวดเร็วผ่านอาคารควบคุม | 75 |
| 2.1 การไหลผันแปรอย่างรวดเร็ว (rapidly varied flow) | 76 |
| 2.2 การไหลเปลี่ยนแปลงผ่านความลึกวิกฤติ (transition through critical depth) | 76 |
| 2.3 การไหลผ่านบานระบายและประตูน้ำแบบไหลลอด (underflow gates) | 78 |
| 2.4 การไหลผ่านฝายสันคม (flow over sharp-crested weir) | 90 |
| 2.5 การไหลข้ามฝายสันกว้าง (flow over broad-crested weir) | 97 |
| 2.6 ทางระบายน้ำล้นหรือฝายน้ำล้นแบบไหลข้าม (overflow spillway) | 98 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 2 | 150 |
| บทที่ 3 การไหลผันแปรอย่างรวดเร็วผ่านทางน้ำเปลี่ยนแปลง | 157 |
| 3.1 การไหลตกอิสระ (free overfall) | 158 |
| 3.2 การไหลผ่านทางน้ำเปิดเปลี่ยนทิศทางโค้ง | 173 |
| 3.3 การไหลผ่านอาคารเปลี่ยนแปลง (flow through channel transition) | 181 |
| 3.4 การไหลผ่านท่อลอด (flow through culverts) | 187 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 3 | 190 |

| | |
|--|------------|
| บทที่ 4 น้ำกระโดดและอาคารสลายพลังงาน | 193 |
| 4.1 น้ำกระโดดบนทางน้ำในแนวราบ | 194 |
| 4.2 น้ำกระโดดบนทางน้ำพื้นเอียง | 204 |
| 4.3 การพิจารณาหาตำแหน่งการเกิดน้ำกระโดดในทางน้ำเปิด | 207 |
| 4.4 แอ่งน้ำนิ่ง (stilling basin) | 214 |
| 4.5 การป้องกันกัดเซาะท้ายน้ำทางระบายน้ำสันแบบไหลข้าม | 223 |
| 4.6 อาคารสลายพลังงานแบบจวกักและแบบสกีน้ำกระโดด | 232 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 4 | 239 |
| บทที่ 5 การไหลไม่คงที่ | 241 |
| 5.1 การไหลไม่คงที่ (unsteady flow) | 242 |
| 5.2 สมการอธิบายการไหลไม่คงที่ | 242 |
| 5.3 วิธีการลักษณะภาพของการไหลสำหรับทางน้ำคงรูป (characteristic method) | 246 |
| 5.4 การเคลื่อนตัวของคลื่นในลำน้ำ กับการก่อดำของคลื่นกระแทก | 256 |
| 5.5 ปัญหาการทลายของเขื่อน (dam-break problem) | 263 |
| 5.6 การเปิด-ปิดประตูระบายน้ำแบบบานชักหรือเลื่อนตรงในแนวตั้ง | 275 |
| 5.7 วิธีผลต่างอันดับแบบชัดเจน (explicit finite-difference method) | 278 |
| 5.8 วิธีผลต่างอันดับแบบปริยาย (implicit finite-difference method) | 281 |
| 5.9 แบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำหลาก | 284 |
| 5.10 รูปแบบสมการโมเมนตัมในการไหลเฉพาะอื่นๆ | 288 |
| แบบฝึกหัดบทที่ 5 | 294 |
| บรรณานุกรม | 297 |
| ๗๒๑ | ๗๒๑ |
| ๗๒๑ | ๗๒๑ |
| ๗๒๑ | ๗๒๑ |
| ๗๒๑ | ๗๒๑ |
| ๗๒๑ | ๗๒๑ |
| ๗๒๑ | ๗๒๑ |
| ๗๒๑ | ๗๒๑ |

บทที่ 1

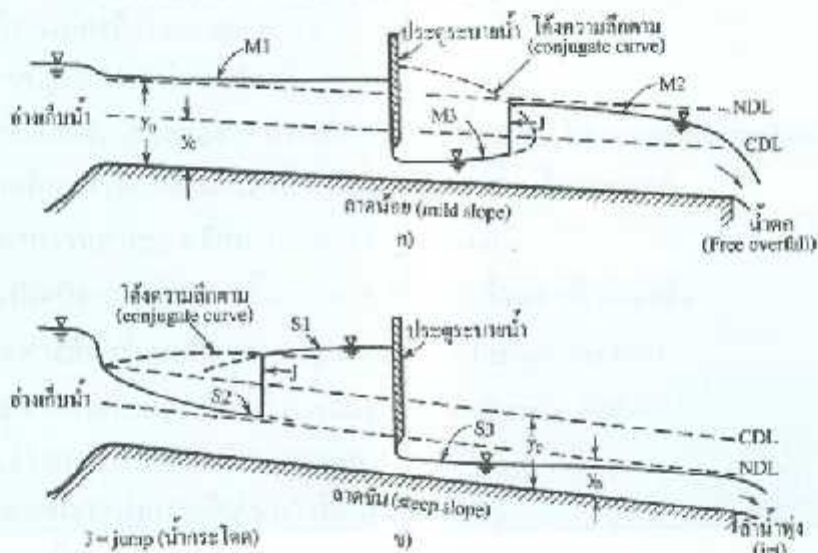
ปัญหาพิเศษของการไหลแปรผัน อย่างค่อยเป็นค่อยไป

เนื้อหาในบท

- 1.1 การไหลในทางน้ำที่มีรูปตัดการไหลผสม
- 1.2 รูปตัดการไหลกับผลจากปรากฏการณ์เฉพาะที่
- 1.3 ผลของปรากฏการณ์น้ำสะดุด (choke) ต่อรูปตัดการไหล
- 1.4 ปัญหาการไหลออกจากอ่างและระวางอ่าง
- 1.5 การไหลเข้าและไหลออกข้างข้างของทางน้ำ (lateral inflow and outflow)
- 1.6 การไหลแยกของทางน้ำแล้วกลับมาบรรจบกัน

1.1 การไหลในทางน้ำที่มีรูปตัดการไหลผสม

ในทางน้ำที่มีจุดควบคุมการไหล (controls) หลายแห่งจะทำให้เกิดรูปตัดการไหลหลายรูปแบบ และหลายชนิดในทางน้ำนั้น ความสามารถที่จะเขียนรูปตัดการไหลแบบผสมดังกล่าวขึ้นมาได้ โภครณีของการไหลต่าง ๆ มีความจำเป็นต่อการเรียนรู้และความเข้าใจถึงการไหลที่เกิดขึ้นจริงในทางน้ำ ซึ่งจริง ๆ แล้วก็คือการหนีไปสู่การหาอัตราการไหลในทางน้ำดังกล่าวนั่นเอง ในทุก ๆ กรณีของการพิจารณาการไหลจะต้องเริ่มต้นที่การบ่งชี้ถึงจุดควบคุมต่าง ๆ ในทางน้ำที่มีอยู่ และหลังจากนั้นก็เขียนเส้นรูปตัดการไหลจากตำแหน่งจุดควบคุม ตัวอย่างของรูปตัดการไหลผสมในทางน้ำดังแสดงในรูปที่ 1-1 ที่แสดงการไหลบนทางน้ำลาดน้อย (mild slope) และทางน้ำลาดชัน (steep slope)



รูปที่ 1-1 การไหลในทางน้ำที่มีรูปตัดการไหลผสม (composite flow profiles)

รูปที่ 1-1 ก) แสดงการไหลเกิดขึ้นบนทางน้ำเปิดที่มีความลาดท้องน้ำน้อย จะเกิดการไหลจากอ่างเก็บน้ำเข้าทางน้ำเปิด เป็นการไหลสมำเสมอมีความลึกปกติ (y_0) ถ้ามีประตูน้ำ และเปิดประตูน้อยกว่าความลึกวิกฤติ (y_c) จะทำให้เกิดน้ำเอ่อ (M1) ด้านเหนือน้ำ และน้ำพุ่งแรง (M3) ด้านท้ายน้ำ และต่อเนื่องด้วยน้ำกระโดด (J) เข้าสู่ความลึกปกติ (y_0) ถ้าปลายทางน้ำเปิดเป็นจุดหักทำให้เกิดน้ำตก (free overflow) ท้ายน้ำของโค้งน้ำลด (M2) ถ้าประตูน้ำอยู่ใกล้จุดเริ่มต้นทางน้ำเปิด โค้งน้ำเอ่อ (M1) ท่วมถึงทางเข้าจะทำให้อัตราการไหลออกจากอ่างเก็บน้ำเปิดลดลง อัตราการไหลจะขึ้นอยู่กับระยะเปิดของประตูน้ำโดยตรง