การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อระบายและไล่น้ำเสียในคลอง

นายพิชัย พิธานพิทยารัตน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พ.ศ. 2532

ISBN 974-576-041-2

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

15532

I17499835

Development of a Mathematical Model for Drainage and Flushing in a Canal

Mr. Pichai Pitanpittayarat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering

Department of Civil Engineering

Graduate School

Chulalongkorn University

1989

ISBN 974-576-041-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อระบายและไล่น้ำเสียในคลอง
โดย	นายพิชัย พิธานพิทยารัตน์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์
อาจารย์ที่ปรึกษาร่วม	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ ดร.ถาวร วัชราภัย)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ
(รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ)

..... กรรมการ
(ศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดิ์)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

..... กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษาร่วม
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี)

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิชัย พิธานพิทยารัตน์ : การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อระบายและไล่น้ำเสียในคลอง (DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR DRAINAGE AND FLUSHING IN A CANAL) อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ อ.ที่ปรึกษารวม : ผศ.ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 212 หน้า

ปัจจุบันเมืองใหญ่ต่าง ๆ ที่มีประชากรอาศัยอย่างหนาแน่น และระบายน้ำทิ้งจากอาคารบ้านเรือน ลงสู่ทางระบายน้ำ คลองและแม่น้ำ โดยไม่มีระบบบำบัดน้ำเสียรวมดังเช่น กรุงเทพมหานคร มักประสบปัญหาน้ำเน่าเสียตามคลองต่าง ๆ โดยเฉพาะอย่างยิ่งในฤดูแล้ง ก่อให้เกิดมลภาวะและส่งผลถึงสุขภาพอนามัยของประชาชนที่อาศัยใกล้เคียง ในการบรรเทาการเน่าเสียของน้ำคลองมีหลายวิธี แต่วิธีที่ใช้ทุกคลองปฏิบัติสำหรับกรุงเทพมหานครในปัจจุบัน คือ การจัดการนำน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งมีคุณภาพดีมาไล่น้ำเสียในคลอง

การศึกษานี้มุ่งในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับศึกษาการระบายน้ำและไล่น้ำเสียที่มีสภาพเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางและเวลา ในคลองที่มีลักษณะเป็นโครงข่าย พร้อมตรวจสอบความเที่ยงตรง (accuracy) ของแบบจำลอง จากนั้นได้เลือกบริเวณคลองผดุงกรุงเกษม เป็นตัวอย่างในการประยุกต์ ซึ่งจะมีการปรับเทียบแบบจำลอง (calibration) และหาทางเลือกที่เหมาะสมในการปรับปรุงระบบระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย โดยเน้นการศึกษาสภาพน้ำขึ้นน้ำลง และควบคุมการเปิดปิดประตูระบายน้ำ

ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่จัดสร้างขึ้น สามารถจำลองสภาพการไหลในกรณีต่าง ๆ ได้ดี โดยใช้ค่า weighting coefficient, θ เท่ากับ 0.55 จะให้ค่าคำนวณที่มีเสถียรภาพมากที่สุด ค่า Pelect number สามารถแบ่งพฤติกรรมการเคลื่อนย้ายมวลออกเป็นกรณีการพาเป็นหลักและกรณีการแพร่เป็นหลักได้ ในการเลือกค่าช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ, Δt และการแบ่งลำน้ำออกเป็นส่วน ๆ, Δx ควรควบคุมค่า Courant number ไม่ให้เกิน 1 และค่า Diffusion number ไม่เกิน 10 จะให้ค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้นอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ จากการนำแบบจำลองมาประยุกต์ใช้พบว่าสามารถจำลองสภาพการระบายน้ำและไล่น้ำเสีย ในคลองผดุงกรุงเกษมได้ดี โดยให้ผลการคำนวณใกล้เคียงกับค่าวัดจริงในสนาม แบบจำลองยังสามารถติดตั้งประตูระบายน้ำและสถานี สูบน้ำที่ตำแหน่งต่าง ๆ ภายในโครงข่ายคลองได้ ทำให้ง่ายต่อการนำแบบจำลองนี้ไปประยุกต์ใช้กับพื้นที่อื่น ๆ ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองสำหรับศึกษาแนวทางการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย ได้ทำการคำนวณเปรียบเทียบผลการดำเนินการเปิด-ปิดประตู และเครื่องสูบน้ำทั้งในกรณีที่ขุดลอกและไม่ขุดลอกคลอง ทำให้สามารถเลือกแนวทางการดำเนินการระบายน้ำ ที่ทำให้คุณภาพน้ำดีที่สุดได้

ภาควิชา วิศวกรรมโยธา ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ

ปีการศึกษา 2532 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

PICHAI PITANPITTAYARAT : DEVELOPMENT OF A MATHEMATICAL MODEL FOR DRAINAGE AND FLUSHING IN A CANAL. THESIS ADVISOR : ASSI. PROF. DR. SUCHARIT KOONTANAKULVONG, 212 PP.

At present, crowded cities like Bangkok are faced with the problem of water pollution because domestic waste water was discharging directly into canals and rivers without any wastewater treatment. The impact of this problem, especially in the dry season, caused the environmental pollution and also posed health hazard to the people who live within the vicinity. There are many means to solve this problem but one of the effective way which Bangkok adopt to improve water quality in canal and river is to draw water from Chao Phya River to dilute the waste water in canal.

The objective of this study is to develop the mathematical model for flushing and drainage waste water which the conditions change by distance and time in network canal. The accuracy of the model was testified by compared the computed results with the exact solution from direct integration. The model was applied to the actual environment and Padoong Krungkasem canal was selected for study area. The model was then, calibrated and utilized to determine the best alternative for drainage and flushing system improvement. The improvements emphasize on tidal flow condition and operation of gates, sluice and pumping station for the purpose of flushing improvement.

As the result of study, the mathematical model should settle the value of weighting coefficient, θ equal to 0.55 in order to calculate by the most stability. The Pelect number can seperate the action of mass transportation between convection dominated and diffusion dominated. If the value of time step, Δt and canal dividing into portion, Δx could control the value of Courant and Diffusion number not exceeding 1 and 10, respectively, the error of calculation could be accepted. The applied model used as an image of flusing and drainage in canal found that it was the perfect model to simulate the condition of flusing and drainage in Padoong Krungkasem canal and provided the result of computation in the vicinity of the real value. In addition, the gate or pumping can be installed in any position of the canal network system, therefore, the model will be applicable for other conditions and areas. Apart from this, the study of flushing and drainage pattern of applied model will provide the selection of the best method for water improvement by the comparision of operating gate, pumping station including dredging the canal.

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาควิชา Civil Engineering ลายมือชื่อนิสิต Pichai Pitanpittayarat

สาขาวิชา Water Resources Engineering.

ปีการศึกษา 1989 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา Sucharit Koontanakulvong

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ธำรง เปรมปรีดี รองศาสตราจารย์ เสถียร ชลาชีวะ รองศาสตราจารย์ ดร.สุรวุฒิ ประดิษฐานนท์ โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ และอาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและแนะนำข้อคิดเห็นต่าง ๆ อย่างใกล้ชิดขณะวิจัยด้วยดีมาตลอด นอกจากนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณบรรดาคณาจารย์ในสาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้ต่าง ๆ ทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจและตระหนักถึงความสำคัญของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ ในการนำมาพัฒนาและประยุกต์ใช้ให้เกิดประโยชน์ต่อสังคม และประเทศชาติ และเนื่องจากการวิจัยครั้งนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยของบัณฑิตวิทยาลัยบางส่วน ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณมา ณ ที่นี้ด้วย

อนึ่งข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย กรมอุทกศาสตร์ทหารเรือ สำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย รวมทั้งหน่วยงานต่าง ๆ ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เช่น ชมรมวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ และสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม ตลอดจนเจ้าหน้าที่จากหน่วยงานดังกล่าว และนิสิตทุก ๆ ท่าน ที่มีส่วนช่วยเหลือการวิจัยทั้งทางด้านข้อมูล และอุปกรณ์เครื่องมือต่างๆ นอกจากนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณ คุณอินจิรา นิยมธูร และคุณจิตรอมร อนุพันธนันท์ ที่มีส่วนช่วยเหลือและให้คำปรึกษาในด้านวิเคราะห์คุณภาพน้ำ และคุณวารุณี โพธิ์เรือง ที่ช่วยในการจัดพิมพ์วิทยานิพนธ์เล่มนี้จนเสร็จสมบูรณ์

ท้ายนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอกราบขอบพระคุณ บิดา มารดา และพี่ ๆ ของข้าพเจ้าทุกคน ซึ่งมีส่วนสนับสนุนในด้านการเงิน และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

พิชัย พิธานพิทยารัตน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ
กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ
สารบัญ ..... ช
สารบัญตาราง ..... ฎ
สารบัญรูป ..... ฎ
บทที่ 1 บทนำ
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา 1
1.2 วัตถุประสงค์การศึกษา 3
1.3 ขอบข่ายการศึกษา 3
1.4 การศึกษาที่ผ่านมา 5
1.5 การดำเนินการศึกษา 8
1.6 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ 9
บทที่ 2 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา
2.1 ทฤษฎีการไหล 10
2.1.1 การจำแนกการไหลในทางน้ำเปิด 10
2.1.1.1 ชนิดของการไหล 10
2.1.1.2 สภาวะของการไหล 12
2.1.2 สมการการไหลแบบไม่คงที่และสมมติฐาน 14
2.1.3 สมการต่อเนื่อง 14
2.1.4 สมการโมเมนตัม 17
2.2 การวิเคราะห์การเคลื่อนย้ายมวลสารในน้ำ 20
2.2.1 พฤติกรรมการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำ 20
2.2.2 พารามิเตอร์คุณภาพน้ำและองค์ประกอบเฉพาะ 22
2.2.3 สมการเคลื่อนย้ายมวลสำหรับออกซิเจนละลาย (DO) 26
2.2.4 สมการเคลื่อนย้ายมวลสำหรับ BOD 27
2.3 ทฤษฎีน้ำขึ้นน้ำลง 28
2.3.1 องค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง 28

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

2.3.2 ทฤษฎีการวิเคราะห์อาร์โมนิกน้ำขึ้นน้ำลง 29

2.3.3 ชนิดของน้ำขึ้นน้ำลง 33

บทที่ 3 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

3.1 หลักการและโครงสร้างทั่วไปของแบบจำลอง 35

3.2 การจำลองโดยวิธี finite-difference method (FDM) 36

3.2.1 การประมาณค่า derivative 36

3.2.2 การประมาณค่า derivative เมื่อมีตัวแปร 2 ตัว 37

3.3 เทคนิคการจำลองโดยวิธี node and branch 39

3.3.1 สมการ finite difference สำหรับสมการต่อเนื่อง 42

3.3.2 สมการ finite-difference สำหรับสมการโมเมนตัม 43

3.3.3 สมการ finite-difference คุณภาพน้ำ 46

3.3.3.1 สมการ BOD 46

3.3.3.2 สมการ DO 47

3.3.4 สมการ finite-difference สำหรับอาคารบังคับน้ำ 47

3.3.4.1 สมการสำหรับสถานีสูบน้ำ 48

3.3.4.2 สมการสำหรับประตูระบายน้ำ 50

3.4 การแก้สมการ finite-difference 50

3.4.1 การแก้สมการเชิงเส้นสำหรับสมการต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม 50

3.4.2 การแก้สมการเชิงเส้นสำหรับสมการ BOD หรือ DOD 52

3.5 โครงสร้างและขั้นตอนในการคำนวณ 53

3.6 การป้อนข้อมูล 62

3.7 การแสดงผล 62

3.7.1 การแสดงผลข้อมูลที่ป้อนเข้าคอมพิวเตอร์ 62

3.7.2 การแสดงผลการคำนวณ 74

บทที่ 4 การทดสอบแบบจำลอง

4.1 การทดสอบแบบจำลองกับค่าวิเคราะห์จริง

4.1.1 การทดสอบแบบจำลองเชิงปริมาณ 77

4.1.1.1 การเลือกค่า weighting coefficient, θ ... 79

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.1.1.2 ผลของค่าความยาว branch และช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณต่อความเที่ยงตรง 84
4.1.2 การทดสอบการคำนวณการเคลื่อนย้ายของมวลสารในลำน้ำ 88
4.1.2.1 พฤติกรรมของค่าผิดพลาด 91
4.1.2.2 ผลของค่าความยาว branch และช่วงเวลาที่ใช้คำนวณต่อความเที่ยงตรงเชิงคุณภาพ 93
4.1.3 สรุปการทดสอบแบบจำลองกับค่าวิเคราะห์จริง 93
4.2 การทดสอบเปรียบเทียบกับข้อมูลภาคสนาม 98
4.2.1 ผลการสำรวจภาคสนาม 98
4.2.2 การตรวจสอบความสัมพันธ์ระหว่างความเร็วเฉลี่ยกับความเร็วที่ผิวหน้า (วัดโดยการปล่อยทุ่น) 98
4.3 สรุปผลการทดสอบแบบจำลอง 105
บทที่ 5 ตัวอย่างการประยุกต์ใช้
5.1 สภาพปัญหาของน้ำในคลองปัจจุบัน 112
5.2 สภาพกายภาพและการดำเนินการในปัจจุบัน 112
5.2.1 สภาพกายภาพ 112
5.2.2 สภาพการดำเนินการปัจจุบัน 113
5.3 สภาพน้ำขึ้นน้ำลงบริเวณปากคลอง 115
5.4 การประยุกต์แบบจำลองกับพื้นที่ศึกษา 117
5.4.1 การกำหนด node และ branch สำหรับพื้นที่ศึกษา 117
5.4.2 การประเมินปริมาณน้ำทิ้งชุมชน 117
5.4.2.1 ประชากรในพื้นที่ 117
5.4.2.2 การแบ่งพื้นที่ 126
5.4.3.2 การประเมินและผลการประเมิน 126
5.4.3 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นและเงื่อนไขที่ขอบเขต 126
5.4.3.1 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น 126
5.4.3.2 การกำหนดเงื่อนไขที่ขอบเขต 130
5.5 การเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเมื่อทำการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย 133

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

5.6 การศึกษาแนวทางปรับปรุงระบบระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย 134
5.6.1 ทางเลือกในการปรับปรุงระบบระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย 136
5.6.1.1 การดำเนินการสำหรับทางเลือกที่ 1 136
5.6.1.2 การดำเนินการสำหรับทางเลือกที่ 2 136
5.6.1.3 การดำเนินการสำหรับทางเลือกที่ 3 137
5.6.2 ผลการปรับปรุงระบบระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย 137
5.6.2.1 การดำเนินการสำหรับทางเลือกที่ 1 137
5.6.2.2 การดำเนินการสำหรับทางเลือกที่ 2 142
5.6.2.3 การดำเนินการสำหรับทางเลือกที่ 3 146
5.6.3 ผลการเปรียบเทียบทางเลือกในการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย ... 151
5.7 สรุปผลการประยุกต์ใช้ 152
บทที่ 6 บทสรุปและข้อเสนอแนะ
6.1 บทสรุป 156
6.1.1 สรุปแบบจำลองที่พัฒนาขึ้น 156
6.1.2 สรุปการทดสอบแบบจำลอง 157
6.1.3 สรุปการปรับค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ กับข้อมูลวัดจริงในสนาม 158
6.1.4 สรุปผลการประยุกต์ใช้ 159
6.2 ข้อเสนอแนะ 160
เอกสารอ้างอิง 162
ภาคผนวก ก ผลการสำรวจภาคสนาม 166
ภาคผนวก ข ผลการเปรียบเทียบระหว่างระดับน้ำวัดจริงของแม่น้ำเจ้าพระยา
กับระดับน้ำจากการคำนวณโดยวิธีฮาร์โมนิกน้ำขึ้นน้ำลง 200
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบแบบจำลอง 206
ประวัติผู้ศึกษา 212

สารบัญตาราง

ตาราง		หน้า
2-1	ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำที่ความเข้มข้นของคลอไรด์ต่าง ๆ	23
2-2	องค์ประกอบหลักที่ทำให้เกิดน้ำขึ้นน้ำลง	31
3-1	การป้อนข้อมูลอธิบายรายละเอียดต่าง ๆ ในการศึกษา	63
3-2	การป้อนข้อมูลค่าคงที่ต่าง ๆ	63
3-3	การป้อนข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ของ node	64
3-4	การป้อนข้อมูลรายละเอียดต่าง ๆ ของ branch	65
3-5	การป้อนข้อมูลเงื่อนไขที่ขอบเขต	66
3-6	การป้อนข้อมูลการไหลด้านข้างลำน้ำ	67
3-7	ตัวอย่างข้อมูลที่ป้อนให้แบบจำลอง	68
3-8	ตัวอย่างการพิมพ์ผลการอ่านข้อมูล	71
3-9	ตัวอย่างการพิมพ์ผลอย่างละเอียด	75
3-10	ตัวอย่างการพิมพ์ผลเฉพาะตัวเลข	76
4-1	ช่วงค่าผิดพลาดจากการคำนวณกรณีการพาเป็นหลัก	96
4-2	ช่วงค่าผิดพลาดจากการคำนวณกรณีการแพร่เป็นหลัก	96
4-3	ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของแมนนิ่งจากการศึกษาที่ผ่านมา	101
4-4	ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่จากการศึกษาที่ผ่านมา	101
4-5	ค่าสัมประสิทธิ์การลดลงของ BOD จากการศึกษาที่ผ่านมา	102
4-6	ค่าสัมประสิทธิ์การเติมออกซิเจนจากการศึกษาที่ผ่านมา	102
5-1	ค่าระดับน้ำควบคุมของคลองผดุงกรุงเกษม	115
5-2	ผลวิเคราะห์ฮาร์โมนิกน้ำขึ้นน้ำลง	118
5-3	ชนิดของน้ำขึ้นน้ำลงตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคม	121
5-4	ตำแหน่งของ node ต่าง ๆ	123
5-5	ปริมาณน้ำทิ้งชุมชนที่ระบายลงคลองผดุงกรุงเกษม	128
5-6	เงื่อนไขเริ่มต้นสำหรับการประยุกต์ใช้กับคลองผดุงกรุงเกษม	129
5-7	ข้อมูลระดับน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงต่ำสุดและสูงสุดในแต่ละเดือน ..	131
5-8	เงื่อนไขที่ขอบเขตสำหรับการประยุกต์ใช้กับคลองผดุงกรุงเกษม	130
5-9	สรุปผลการเปรียบเทียบการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย ระหว่างทางเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่ 3	153

สารบัญรูป

รูป		หน้า
1-1	พื้นที่ศึกษา	4
2-1	การจำแนกชนิดการไหลในทางน้ำเปิด	11
2-2	ความสัมพันธ์ของความเร็วและความลึกกับการจำแนกสภาวะการไหล	15
2-3	รูปตัดขวางและรูปตัดตามยาวของลำน้ำ	16
2-4	แรงต่าง ๆ ที่กระทำต่อปริมาตรควบคุม	18
2-5	การเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำเนื่องจากการพาและการแพร่	21
2-6	ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำกลั่นที่ความดัน 760 มิลลิเมตร ปรอท	21
2-7	ความสามารถในการละลายของออกซิเจนในน้ำที่มีความเข้มข้นของคลอไรด์ต่าง ๆ	23
2-8	ปริมาณสารอินทรีย์ที่เหลืออยู่และปริมาณสารอินทรีย์ที่ถูกย่อยสลายเมื่อเวลาผ่านไป	25
2-9	ผลของค่า deoxygenation coefficient (K_d) ต่อการย่อยสลายสารอินทรีย์	25
2-10	การจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลาย	26
2-11	การจำลองการเปลี่ยนแปลงปริมาณ BOD	27
2-12	ความสัมพันธ์ระหว่างการหมุนของโลกรอบตัวเองและการหมุนของดวงจันทร์รอบโลก	30
2-13	การเกิดน้ำตาย (neap tide) และน้ำเกิด (spring tide)	30
2-14	ผังการคำนวณวิธีฮาร์โมนิกน้ำขึ้นน้ำลง	34
3-1	การประมาณค่า derivative แบบต่าง	38
3-2	การคำนวณค่า derivative เมื่อมีตัวแปร 2 ตัว	38
3-3	เทคนิคการจำลองวิธี node and branch	40
3-4	สมมติฐานในการแทนค่าระดับน้ำและอัตราไหล	41
3-5	ลักษณะของสถานีสูบน้ำ	49
3-6	ความสัมพันธ์ของอัตราการสูบน้ำกับ total head	49
3-7	ลักษณะของประตูระบายน้ำ	51
3-8	โครงสร้าง ข้อมูล และผลลัพธ์ของแบบจำลอง	54
3-9	ผังการทำงานของโปรแกรมหลัก	55

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
3-10	ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย INPUT	56
3-11	ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย XSECT	57
3-12	ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย QUAN	58
3-13	ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย BOD	59
3-14	ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย DO	60
3-15	ผังการทำงานของโปรแกรมย่อย PRINT	61
4-1	เงื่อนไขที่ใช้ในการทดสอบเชิงปริมาณ	80
4-2	ตัวอย่างผลเปรียบเทียบการคำนวณระดับน้ำโดยแบบจำลองเทียบกับค่าวิเคราะห์จริง	81
4-3	ตัวอย่างผลเปรียบเทียบการคำนวณอัตราไหลโดยแบบจำลองเทียบกับค่าวิเคราะห์จริง	82
4-4	ค่าผิดพลาดของระดับน้ำและอัตราไหลสำหรับค่า weighting coefficient ต่าง ๆ	83
4-5	ลักษณะของค่าผิดพลาดของการคำนวณระดับน้ำตามเวลา	85
4-6	ลักษณะของค่าผิดพลาด่ของการคำนวณอัตราไหลตามเวลา	86
4-7	ผลของค่าผิดพลาดจากการคำนวณเมื่อเปลี่ยนแปลงความยาว branch	87
4-8	ผลของค่าผิดพลาดจากการคำนวณเมื่อเปลี่ยนแปลงช่วงเวลาที่ใช้คำนวณ	87
4-9	ความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดกับค่า Courant number * $\Delta t/T$	89
4-10	ตัวอย่างผลเปรียบเทียบการคำนวณการเคลื่อนย้ายมวลเทียบกับค่าวิเคราะห์จริง	92
4-11	ความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดเชิงคุณภาพ กรณีการพาเป็นหลัก	94
4-12	ความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดเชิงคุณภาพ กรณีการแพร่เป็นหลัก	95
4-13	ค่า Pelect number ที่เป็นแนวแบ่งกรณีการพาเป็นหลัก และการแพร่เป็นหลัก	97
4-14	ผลเปรียบเทียบความเร็วเฉลี่ยในหน้าตัดคลองกับความเร็วผิวน้ำที่วัดโดยทุ่นไม้	100
4-15	ผลการประมาณค่า C_d	103
4-16	ผลการปรับค่าคงที่สำหรับสถานีสูบน้ำกรุงเกษม	104
4-17	ผลเปรียบเทียบการคำนวณระดับน้ำกับค่าวัดจริงในสนาม	106

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
4-18	ผลเปรียบเทียบการคำนวณความเร็วกับค่าวัดจริงในสนาม	107
4-19	ผลเปรียบเทียบการคำนวณ BOD กับค่าวัดจริงในสนาม	108
4-20	ผลเปรียบเทียบการคำนวณ DO กับค่าวัดจริงในสนาม	109
5-1	ระดับพื้นดินบริเวณพื้นที่ศึกษา	114
5-2	ผลการคำนวณระดับน้ำแต่ละองค์ประกอบและผลการคำนวณ ระดับน้ำทั้ง 4 องค์ประกอบ	116
5-3	ขนาดแอมปลิจูดน้ำขึ้นน้ำลงของแต่ละองค์ประกอบตั้งแต่ ปี พ.ศ. 2520 ถึง พ.ศ. 2528	120
5-4	ชนิดของน้ำขึ้นน้ำลง ของเดือนธันวาคมถึงเดือนกุมภาพันธ์	122
5-5	ชนิดของน้ำขึ้นน้ำลง ของเดือนมีนาคมถึงเดือนพฤษภาคม	122
5-6	การกำหนด node สำหรับพื้นที่ศึกษา	124
5-7	จำนวนประชากรในพื้นที่ศึกษา	125
5-8	การแบ่งพื้นที่ระบายน้ำทิ้งชุมชนสำหรับแต่ละ node	127
5-9	ระดับน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาที่มีพิสัยน้ำขึ้นน้ำลงต่ำสุดและสูงสุด จากเดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคม	132
5-10	ผลการเปรียบเทียบคุณภาพน้ำเมื่อทำการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย	135
5-11	ผลการคำนวณระดับน้ำที่ ปตร.เทเวศร์ และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 1)	138
5-12	ผลการคำนวณอัตราไหลเข้าและออกจากคลองผดุงกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 1)	139
5-13	ผลการคำนวณ BOD_5 ที่ ปตร.เทเวศร์ สี่แยกคลองมหานาค และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 1)	141
5-14	ผลการคำนวณ DO ที่ ปตร.เทเวศร์ สี่แยกคลองมหานาค และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 1)	141
5-15	ผลการคำนวณระดับน้ำที่ ปตร.เทเวศร์ และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 2)	143
5-16	ผลการคำนวณอัตราไหลเข้าและออกจากคลองผดุงกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 2)	144

สารบัญรูป (ต่อ)

รูป		หน้า
5-17	ผลการคำนวณ BOD_5 ที่ ปตร.เทเวศร์ สี่แยกคลองมหานาค และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 2)	145
5-18	ผลการคำนวณ DO ที่ ปตร.เทเวศร์ สี่แยกคลองมหานาค และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 2)	145
5-19	ผลการคำนวณระดับน้ำที่ ปตร.เทเวศร์ และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 3)	143
5-20	ผลการคำนวณอัตราไหลเข้าและออกจากคลองผดุงกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 3)	144
5-21	ผลการคำนวณ BOD_5 ที่ ปตร.เทเวศร์ สี่แยกคลองมหานาค และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 3)	145
5-22	ผลการคำนวณ DO ที่ ปตร.เทเวศร์ สี่แยกคลองมหานาค และสถานีสูบน้ำกรุงเกษม (ทางเลือกที่ 3)	145
5-23	สรุปผลการเปรียบเทียบการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียระหว่างทางเลือกที่ 1 ทางเลือกที่ 2 และทางเลือกที่ 3	155

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย