บทที่ 6

สรุปและเสนอแนะ

6.1 แบบจำลองชลศาสตร์

วิธีการศึกษาหลักของการศึกษาครั้งนี้คือ การใช้แบบจำลองชลศาสตร์ เพื่อศึกษาพฤติกรรมชลศาสตร์ของคลองที่เชื่อมต่อทะเล และพฤติกรรมชลศาสตร์การชะล้างโดยน้ำขึ้นน้ำลง ได้สร้างแบบจำลองชลศาสตร์ ณ ห้องปฏิบัติการแบบจำลองชลศาสตร์และชายฝั่งทะเล ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย โดยแบบจำลองที่สร้างขึ้นนั้นประกอบด้วย แบบจำลองทางน้ำ มีความยาวรวม 22 เมตร กว้าง 15 เซนติเมตร สูง 20 เซนติเมตร มีปลายทางน้ำทั้ง 2 ด้าน เชื่อมต่อกับแอ่งคลื่น มีความลาดชันท้องน้ำเท่ากับศูนย์ หรือระดับราบ พร้อมติดตั้งประตูระบายน้ำบริเวณปลายคลองทั้ง 2 ด้าน และแบบจำลองทะเลประกอบด้วย แอ่งคลื่น และเครื่องกำเนิดน้ำขึ้นน้ำลง โดยแบบจำลองแอ่งคลื่นสร้างด้วยคอนกรีตรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า กว้าง 2.40 เมตร ยาว 6 เมตร สูง 1.20 เมตร มีผนังด้านหนึ่งเชื่อมต่อกับแบบจำลองทางน้ำ ส่วนเครื่องกำเนิดคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ใช้หลักการแทนที่น้ำ ที่สร้างคลื่นที่มีรูปแบบฮาร์โมนิก สำหรับการทดลองนี้ที่ใช้ความสูงคลื่นน้ำขึ้นน้ำลง ในช่วง 0.3 - 1.2 ซม. และคาบเวลาน้ำขึ้นน้ำลงในช่วง 160 – 500 วินาที

เครื่องมือวัดที่ใช้ในการทดลองนี้ประกอบด้วย เครื่องวัดความสูงคลื่น ซึ่งใช้วัดระดับน้ำเทียบกับระดับอ้างอิง ณ ตำแหน่งวัดบนแบบจำลองทางน้ำ เครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำ ซึ่งใช้วัดความเร็วกระแสน้ำบริเวณปากคลอง โดยลักษณะข้อมูลที่จัดเก็บจากเครื่องมือวัดทั้ง 2 ข้างต้น อยู่ในรูปข้อมูลแบบอนาล็อก ซึ่งต้องแปลงข้อมูลให้อยู่ในรูปข้อมูลดิจิตอล โดยใช้แผงวงจรแปลงสัญญาณ A/D DAQ รุ่น 6024E ของบริษัท National Instrument เพื่อให้นำข้อมูลไปวิเคราะห์และประมวลผลในคอมพิวเตอร์ พร้อมโปรแกรม Lab View ซึ่งเป็นโปรแกรมบนระบบปฏิบัติการ Window ในการบันทึกข้อมูลในคอมพิวเตอร์

สำหรับในการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำได้ใช้ทุ่นลอย ขนาด 1ซม.x1ซม. ยาว 3 ซม. ด้านปลายถ่วงด้วยลูกเหล็กเพื่อให้ทุ่นอยู่ในแนวดิ่งตั้งฉากกับทางน้ำ โดยข้อมูลทุ่นที่ได้จะเป็นข้อมูลระยะการเคลื่อนที่ตามจังหวะของน้ำขึ้นน้ำลง

6.2 การทดลองในแบบจำลองชลศาสตร์

การศึกษาครั้งนี้ผันแปรความสูงคลื่น และคาบเวลาน้ำขึ้นน้ำลง ทั้งหมด 24 ชุดการทดลอง โดยในแต่ละชุดการทดลอง แบ่งการศึกษาได้เป็น 3 กรณี คือ กรณีปากคลอง 1 ด้าน เชื่อมต่อทะเล (คลองปลายตัน) กรณีปลายคลอง 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล และกรณีเปิด-ปิดประตูระบายน้ำตามจังหวะน้ำขึ้นน้ำลง (ทิศทางการไหลแบบทิศทางเดียว) ในการทดลองแต่ละชุดการทดลองนั้นจะใช้เวลาประมาณ 60 –300 นาที ขึ้นอยู่กับชุดการทดลอง

นอกจากนี้ ในขั้นตอนการทดลองและการจัดเก็บข้อมูล ทุ่นจำเป็นต้องใช้คนอ่านค่าระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นที่วางตลอดทางน้ำ ซึ่งในการทดลองจะต้องใช้คนอ่านประมาณ 2 – 3 คน เพื่อที่จะสามารถอ่านระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นได้ในเวลาเดียวกัน สำหรับการทดลองในครั้งนี้ได้รับความช่วยเหลือจากนิสิตปริญญาโท และเจ้าหน้าที่ปฏิบัติการภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ซึ่งต้องขอขอบคุณไว้ ณ ที่นี้

สำหรับระยะเวลาในการดำเนินงานจัดสร้างแบบจำลอง และทำการทดลองใช้เวลาทั้งสิ้น 8 เดือน ซึ่งในการศึกษาโดยใช้แบบจำลองชลศาสตร์ เป็นวิธีการที่ต้องใช้เงินลงทุนสูงมาก เนื่องจากต้องใช้สร้างและปรับปรุงแบบจำลอง รวมทั้งอุปกรณ์วัด และบันทึกข้อมูลที่ราคาสูงมาก ซึ่งค่าใช่จ่ายในส่วนนี้ได้รับการสนับสนุนจากภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ และการอุดหนุนจากบัณฑิตวิทยาลัย เป็นเงิน 10,400 บาท ส่วนที่เหลือผู้ศึกษาเป็นผู้ออกค่าใช้จ่ายเอง โดยประมาณค่าใช้จ่ายในการศึกษาครั้งนี้ประมาณ 160,000 บาท ดังมีรายการแสดงในตาราง 6-1

6.3 คลองปลายตัน

สภาพธรรมชาติของคลองที่มีการเชื่อมต่อทะเล การไหลของน้ำในคลองจะขึ้นอยู่กับอัตราการไหลและระยะของน้ำขึ้นน้ำลง ในบางกรณีมีอัตราการไหลน้อย เช่นในฤดูแล้งหรือไม่มีเลย (มีการปิดกั้นคลอง) การถ่ายเทของน้ำในคลองจะเกิดได้บ้างบริเวณปากคลองด้านที่มีการเชื่อมต่อกับทะเล ส่วนต้นคลองหรือตำแหน่งด้านที่มีการปิดกั้นคลองจะมีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำน้อย มักเป็นสาเหตุทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย เนื่องจากไม่มีการถ่ายเทและน้ำนิ่ง

สำหรับการศึกษาในแบบจำลองชลศาสตร์ของคลองปลายตัน ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในแบบจำลองโดยสภาพการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในแบบจำลองจะมีทิศทางการไหลกลับไปกลับมาตามจังหวะของน้ำขึ้นน้ำลง การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำ

จะมีมากบริเวณปากคลอง และลดน้อยลงตามระยะทางจากปากคลองเข้าไปจนเกือบไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำเลยบริเวณปลายด้านปิด

นอกจากนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ความเร็วทุ่นกับตำแหน่งทุ่นหรือระยะจากปากคลองและขนาดความชันคลื่นดังสมการ 4-5 และ 4-7 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำในแบบจำลองได้ การเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำในแบบจำลองพบว่าการปิดกั้นปลายคลองทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น เป็นผลให้ระดับน้ำในคลองสูงหรือต่ำกว่าปกติ (ซึ่งมีความสอดคล้องกับการศึกษาของ ชัชชัย, 2545) และระยะถ่ายเทสูงสุดที่เกิดขึ้นในแบบจำลองซึ่งเป็นตำแหน่งที่น้ำในคลองสามารถถ่ายเทออกจากคลองสู่ทะเลได้ภายใน 1 ช่วงน้ำขึ้นน้ำลง พบว่าระยะถ่ายเทสูงสุดมีความสัมพันธ์กับความชันคลื่นในรูปสมการ 4-15

6.4 คลองปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล

ปกติคลองในธรรมชาติคลองที่มีปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อทะเลในธรรมชาติ จริงๆ แล้วจะไม่มีคลองลักษณะนี้ ส่วนมากจะเป็นคลองปลายตันที่ถูกดัดแปลงโดยขุดปากคลองขึ้น เพื่อเพิ่มอัตราการระบายน้ำในช่วงน้ำหลากเท่านั้น แต่ในฤดูแล้งมีอัตราการไหลน้อยหรือเกือบไม่มีเลย สภาพการไหลของน้ำในคลองจะมีการถ่ายเทเฉพาะบริเวณปากคลองทั้ง 2 ด้านที่มีการเชื่อมต่อกับทะเล ส่วนบริเวณกลางคลองจะเกิดสภาพน้ำนิ่ง

สำหรับการศึกษาในแบบจำลองชลศาสตร์ของคลองปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อทะเล ได้ทำการศึกษาพฤติกรรมการเคลื่อนของอนุภาคน้ำในแบบจำลอง โดยการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำจะมีมากบริเวณปากคลองทั้ง 2 ด้าน และลดน้อยลงตามระยะทางจากปากคลองเข้าไป จนเกือบไม่มีการเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำเลยบริเวณกลางคลอง นอกจากนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ความเร็วทุ่นกับตำแหน่งทุ่นหรือระยะจากปากคลองและขนาดความชันคลื่นดังสมการ 4-12 และ4-14 โดยความสัมพันธ์ดังกล่าวสามารถอธิบายพฤติกรรมการเคลื่อนที่ ของอนุภาคน้ำในแบบจำลองคลองปลาย 2 ด้านเชื่อมต่อทะเลได้ การเปลี่ยนแปลงระดับน้ำในแบบจำลองพบว่ามีการเปลี่ยนแปลงระดับสูงขึ้นเพียงเล็กน้อยบริเวณกลางคลอง ไม่มีผลจากการสะท้อนกลับของคลื่น และระยะถ่ายเทสูงสุดที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง มีความสัมพันธ์กับขนาดความชันคลื่นในรูปสมการ 4-16

6.5 ระบบการชะล้างน้ำโดยน้ำขึ้นน้ำลง

การแก้ไขปัญหาน้ำเสียในคลองที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลงจะต้องทำให้น้ำในคลองมีการถ่ายเทหมุนเวียนน้ำทะเลเข้า-ออกจากคลอง ซึ่งวิธีการนี้จะต้องขุดคลองให้ปากคลองเชื่อมต่อกับทะเลทั้ง 2 ด้าน และสร้างประตูระบายน้ำบริเวณปากคลองทั้ง 2 ด้านโดยทำการเปิด-ปิดประตูสลับกันตามจังหวะของน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งวิธีการดังกล่าวจะทำให้การไหลของน้ำในคลองมีลักษณะการไหลแบบทิศทางเดียว (one way)

สำหรับการศึกษาในแบบจำลองระบบชะล้างน้ำได้สังเกตพฤติกรรมการเคลื่อนที่ของน้ำในรางน้ำ พบว่าสามารถบังคับให้เกิดการไหลทางเดียวของน้ำ โดยความแตกต่างของระดับน้ำที่ปากคลองที่เกิดจากการเปิดปิดประตูระบายน้ำที่สอดคล้องกับจังหวะน้ำขึ้นน้ำลง การเคลื่อนที่ของอนุภาคน้ำที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง มีการแกว่งตัวสูงบริเวณต้นคลอง และปลายคลองซึ่งขึ้นกับจังหวะการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำ นอกจากนี้ได้ศึกษาความสัมพันธ์ความเร็วทุ่นกับตำแหน่งทุ่นและขนาดความชันคลื่น ในรูปสมการ 5-5 และ 5-7 และความสัมพันธ์ของเวลาเดินทางจากต้นทางถึงปลายทาง มีความสัมพันธ์กับความชันคลื่นและความยาวคลอง อยู่ในรูปสมการ 5-11 นอกจากนี้พบว่า ความเร็วเฉลี่ยของทุ่นและการไหล มีความสัมพันธ์กับความชันคลื่นอย่างชัดเจน แต่ไม่มีความสัมพันธ์กับความยาวคลองดังแสดงในสมการ 5-14

ในส่วนของแนวทางการประยุกต์ระบบการชะล้างโดยน้ำขึ้นน้ำลง ได้กำหนดตัวอย่างมาเพื่อหาเวลาที่ใช้ในการชะล้าง และอัตราการชะล้างน้ำในคลอง ปรากฏว่าคลองที่มีความยาว 40 กิโลเมตร นั้นจะใช้เวลาในการชะล้างทั้งหมดประมาณ 71 วัน และเวลาในการชะล้างจะลดลงหากมีการเพิ่มช่องทางเข้าออกทะเล (หรือคลองซอย) อย่างไรก็ตามการขุดคลองซอยนั้นจะทำให้ค่าลงทุนของโครงการเพิ่มขึ้นมาก ดังนั้นในการปฏิบัติงานจริงจำเป็นต้องมีการพิจารณาทั้งในด้านสิ่งแวดล้อมและเศรษฐศาสตร์ เพื่อให้ได้ระยะการขุดลอกเชื่อมต่อกับทะเลที่เหมาะสม สำหรับผลที่ได้จากการศึกษาครั้งนี้อยู่ภายใต้เงื่อนไขในแบบจำลองที่จำกัดในด้านเครื่องมือ ดังนั้นจึงนำมาใช้เป็นเพียงแนวทางในทางปฏิบัติเท่านั้น

6.6 ข้อเสนอแนะ

1) ขั้นตอนการทดลองในส่วนของการศึกษาอุปกรณ์ เครื่องมือ และโปรแกรมประมวลข้อมูล ที่ใช้ในการศึกษา เป็นขั้นตอนที่ใช้เวลานานพอสมควร เนื่องจากเครื่องมือที่ใช้เป็นเครื่องมือทางไฟฟ้า รวมทั้งโปรแกรมที่มีความซับซ้อน ดังนั้นควรเผื่อเวลาสำหรับการศึกษาอุปกรณ์และเครื่องมือที่ใช้ด้วย

2) การใช้แบบจำลองชลศาสตร์ในการศึกษานั้นมีค่าใช้จ่ายในการสร้างและปรับปรุงแบบจำลองค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงควรหาแหล่งเงินทุนให้เพียงพอ เพื่อลดข้อจำกัดในการศึกษาวิจัย

3) การสร้างแบบจำลองชลศาสตร์จำเป็นต้องใช้ความรู้ ความชำนาญจากผู้เชี่ยวชาญหลายๆ ด้านอาทิ ช่างกล ช่างไฟฟ้า ดังนั้นหากผู้วิจัยได้มีความรู้พื้นฐานเหล่านี้อยู่บ้างจะทำให้การวิจัยดำเนินไปอย่างรวดเร็ว อีกทั้งควรมีความพร้อมด้านแรงงาน กำลังคน ในการสร้างควรปรับปรุงแบบจำลองชลศาสตร์

4) การศึกษาครั้งนี้พิจารณาความเร็วที่ได้จากทุ่นเป็นหลัก ซึ่งเป็นเพียงความเร็วช่วงบนของหน้าตัดทางน้ำเท่านั้น ควรมีการศึกษาการกระจายความเร็วในหน้าตัดทางน้ำภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้หาค่าความเร็วเฉลี่ยหน้าตัดได้ถูกต้อง

5) การศึกษาครั้งนี้เป็นการศึกษาพฤติกรรมชลศาสตร์ของคลองที่อยู่ภายใต้อิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง มาประยุกต์ใช้กับการชะล้างน้ำ โดยการศึกษานั้นได้ศึกษาตัวแปรเพียง 2 ตัวแปร คือ ความชันคลื่น H/L และความยาวคลอง Lc/L โดยความยาวคลองที่ได้อยู่ในช่วงแคบๆ ทำให้ไม่สามารถหาความสัมพันธ์ที่ชัดเจนได้ จึงควรมีการเพิ่มช่วง Lc/L ให้ครอบคลุมมากกว่านี้ ในส่วนของความชันคลื่นที่ได้จากแบบจำลอง มีค่ามากกว่าความชันคลื่นในธรรมชาติอยู่มาก ในการศึกษาครั้งต่อไปควรเพิ่มคาบเวลาคลื่นน้ำขึ้นน้ำลงให้มากกว่านี้ เพื่อจะให้ค่าความชันคลื่นใกล้ธรรมชาติที่สุด ซึ่งต้องมีการปรับปรุงเครื่องสร้างคลื่นให้สามารถเดินได้ช้ากว่าที่ใช้ในการศึกษานี้

6) เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้ได้พิจารณาความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่างๆ กับตัวแปรความชันคลื่น H/L และความยาวคลอง Lc/L เท่านั้น ในการศึกษาครั้งต่อไปควรพิจารณาความสัมพันธ์ของตัวแปรเพิ่มเติม อาทิเช่น Reynolds number และ Froude number เป็นต้น

7) การศึกษาครั้งนี้ได้ศึกษาเพียงพฤติกรรมด้านชลศาสตร์การไหลเท่านั้น จึงควรมีการศึกษาตัวแปรด้านคุณภาพน้ำควบคู่ไปด้วย อาทิเช่น การหยอดน้ำสี หรือ สาร Sodium fluresein และ lunimsence ซึ่งเป็นสารเรืองแสง เพื่อศึกษาดูการเคลื่อนที่และการเจือจาง

8) สำหรับตัวอย่างการประยุกต์ค่าต่างๆ ที่ได้ อาจไม่สามารถนำมาพิจารณาปฏิบัติได้จริง แต่เป็นเพียงแนวทางปฏิบัติเท่านั้น ในส่วนของเวลาที่ใช้ในการชะล้าง หรืออัตราการชะล้างเฉลี่ย นั้น จะต้องมีการศึกษาจากปัจจัยอื่นๆ เพิ่มเติมประกอบด้วย อาทิเช่น ปัจจัยด้านคุณภาพน้ำ ลักษณะทางด้านกายภาพของคลอง เป็นต้น

6.7 ข้อจำกัดของการศึกษา

1) เนื่องจากในการศึกษาได้ใช้ทุ่นเป็นอุปกรณ์หลักในการศึกษาพฤติกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลอง การจัดเก็บข้อมูลทุ่นจึงทำได้เพียงวัดระยะการเคลื่อนที่ของทุ่นตามตำแหน่งที่วางไว้บนทางน้ำ ตามช่วงเวลาของน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้ความเร็วทุ่นที่ได้เป็นความเร็วทุ่นเฉลี่ยในช่วงเวลาของน้ำขึ้นน้ำลงเท่านั้น ซึ่งต่างกับสภาพธรรมชาติที่ความเร็วจะเปลี่ยนแปลงตามเวลา

2) จำนวนเครื่องมือที่ใช้ในการวัด โดยเฉพาะเครื่องวัดความเร็วกระแสน้ำขนาดเล็ก ในห้องปฏิบัติการของภาควิชามีจำนวนจำกัด และอุปกรณ์และเครื่องมือวัดส่วนใหญ่ที่มีอยู่ในปัจจุบัน ไม่สามารถนำมาใช้ในแบบจำลองซลศาสตร์ได้

3) เนื่องจากในการศึกษาครั้งนี้มีข้อจำกัด คือ ความยาวคลอง Lc/L อยู่ในช่วง 0.04-0.14 และความชันคลื่น H/L อยู่ในช่วง $7x10^{-6}$- $8x10^{-5}$ ดังนั้นการนำผลการศึกษาไปประยุกต์ใช้ควรพิจารณาถึงข้อจำกัดส่วนนี้ด้วย

4) เนื่องจากในการศึกษาครั้งพฤติกรรมการไหลมีลักษณะการไหลแบบราบเรียบ (laminar flow) ค่า Reynolds number ในการทดลองส่วนใหญ่อยู่ในช่วง 80-1500 ซึ่งมีผลต่อการไหลของแรงกระทำเนื่องจากความหนืด (viscous forces) สูงมากเมื่อเทียบกับแรงเนื่องจากความเฉื่อย ทำให้พฤติกรรมซลศาสตร์ที่เกิดขึ้นใบแบบจำลองนั้นได้รับอิทธิพลของความหนืดสูง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตาราง 6-1 การประเมินค่าใช้จ่ายที่ใช้ในการศึกษา

รายการ	เป็นเงิน (บาท)
1. ค่าหนังสือและสำเนาเอกสาร	5,000
2. ค่าใช้จ่ายในการสร้างและปรับปรุงแบบจำลอง	80,000
3. ค่าอุปกรณ์เครื่องเขียนและกระดาษ	5,000
4. ค่าใช้จ่ายในการเดินเครื่องแบบจำลอง*	40,000
5. ค่าเครื่องมือและอุปกรณ์เก็บข้อมูล*	15,000
6. ค่าจัดทำวิทยานิพนธ์	10,000
7. เบ็ดเตล็ด	5,000
รวมทั้งสิ้น	160,000

หมายเหตุ * สนับสนุนโดยงบประมาณดำเนินงานประจำปี ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และการสนับสนุนทางอ้อมในรูปของแรงงานและการดำเนินงานประจำทั่วไป

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย