บทที่ 6
บทสรุปและข้อเสนอแนะ

การศึกษานี้มีเป้าหมายในการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สำหรับการระบายน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองระหว่างฤดูแล้ง ซึ่งมีการทดสอบแบบจำลองและตัวอย่างการประยุกต์ใช้กับคลองผดุงกรุงเกษม จากการศึกษาครั้งนี้พอสรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะได้ดังต่อไปนี้

6.1 บทสรุป

6.1.1 แบบจำลองที่พัฒนาขึ้น

1) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้นสามารถจำลองสภาพ (simulation) การระบายน้ำและไล่น้ำเสียได้ แบบจำลองนี้เขียนเป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่เขียนด้วยภาษา FORTRAN 77 โดยแบ่งออกเป็นสองส่วน คือ ส่วนจำลองเชิงปริมาณ (Quantity Sub Model) และส่วนจำลองเชิงคุณภาพ (Quality Sub Model)
2) ส่วนจำลองเชิงปริมาณ เป็นการคำนวณระดับน้ำ อัตราไหล และความเร็วของกระแสน้ำที่ตำแหน่งและเวลาใด ๆ โดยอาศัยสมการโมเมนตัม (Momentum Equation) และสมการต่อเนื่อง (Continuity Equation) สามารถคำนวณการไหลของน้ำในคลองแบบไม่คงที่เปลี่ยนแปลงน้อยสภาวะใต้วิกฤต (Gradually varied unsteady free surface flow in the subcritical range) และใช้สมการของ Manning สำหรับคำนวณค่าความลาดเอียงของแรงเสียดทาน (friction slope)
3) ส่วนจำลองเชิงคุณภาพ คำนวณโดยนำผลลัพธ์จากแบบจำลองเชิงปริมาณมาคำนวณคุณภาพน้ำ (BOD และ DO) โดยอาศัยสมการการเคลื่อนย้ายมวล (Mass Transport Equation) ได้ผลลัพธ์เป็นคุณภาพน้ำที่ตำแหน่งและเวลาใด ๆ
4) แบบจำลองสามารถศึกษาการระบายน้ำและไล่น้ำเสีย ในลำน้ำที่เป็นโครงข่าย (network) สามารถติดตั้งสถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำ ตลอดจนการควบคุมการสูบน้ำและเปิดปิดประตูระบายน้ำได้

5) ข้อจำกัดสำหรับแบบจำลอง ที่พัฒนาขึ้นอาจเปลี่ยนแปลงได้ตามขนาดของหน่วยความจำของคอมพิวเตอร์ที่ใช้ สำหรับการศึกษาครั้งนี้ กำหนดให้แบบจำลองมีข้อจำกัด ดังนี้

	จำนวนสูงสุดที่สามารถใช้งานได้
node	41
branch	40
ประตูระบายน้ำ	10
สถานีสูบน้ำ	10
อัตราไหลที่ boundary	10
ระดับน้ำที่ boundary	10
จำนวนจุดเชื่อมทางน้ำ	41
จำนวน branch ที่จุดเชื่อมทางน้ำ	4
จำนวน step การคำนวณ	200

6.1.2 <u>การทดสอบแบบจำลอง</u>

1) ผลการทดสอบค่า weighting coefficient ใน time scheme, θ พบว่าถ้าค่า θ เท่ากับ 0.55 จะให้เสถียรภาพในการคำนวณของแบบจำลองดีที่สุด
2) จากการทดสอบแบบจำลองพบว่า ค่าคำนวณกับค่าวิเคราะห์ใกล้เคียงกัน ช่วงเวลาที่ใช้ในการคำนวณ, Δt มีผลต่อค่าผิดพลาดในเชิงปริมาณมากกว่าช่วงการแบ่งลำน้ำ, Δx ดังรูป 4-7 และรูป 4-8 และค่าผิดพลาดเชิงปริมาณขึ้นอยู่กับความเร็วคลื่น, Δt, Δx และคาบของคลื่น แสดงดังรูป 4-9
3) ค่าผิดพลาดในเชิงการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำ แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ คือ กรณีการพาเป็นหลัก และกรณีการแพร่เป็นหลัก โดยแนวแบ่งระหว่างการพาเป็นหลักกับการแพร่เป็นหลักตรวจสอบจากค่า Pelect number ถ้าค่า Pelect number อยู่เหนือเส้นประในรูป 4-11 จะมีลักษณะการพาเป็นหลัก
4) กรณีการพาเป็นหลัก ค่าผิดพลาดในการคำนวณจะมีความสัมพันธ์กับค่า Courant number ดังรูป 4-12 ส่วนกรณีการแพร่เป็นหลักค่าผิดพลาดในการคำนวณจะมีความสัมพันธ์กับค่า Diffusion number ดังรูป 4-13

5) การทดสอบแบบจำลอง ทำให้ทราบลักษณะของค่าผิดพลาดที่เกิดขึ้น และความสัมพันธ์ของค่าผิดพลาดกับค่าตัวแปรต่าง ๆ ซึ่งช่วยให้การเลือกแบ่งช่วงลำน้ำเป็นส่วน ๆ และช่วงเวลาที่ใช้คำนวณ (timestep) ได้อย่างเหมาะสม โดยกรณีการพาเป็นหลักจะต้องเลือกค่า Δx และ Δt ให้มีค่า Courant number ไม่เกิน 1 ส่วนกรณีการแพร่เป็นหลัก จะต้องเลือกค่า Δx และ Δt ให้ค่า Diffusion number ไม่เกิน 10 ทั้งนี้ค่าผิดพลาดจะเกิดขึ้นน้อยกว่า 10 เปอร์เซนต์

6.1.3 สรุปการปรับค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ กับข้อมูลวัดจริงในสนาม

การนำแบบจำลองไปใช้งานจำเป็นต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์นี้จะขึ้นอยู่กับลักษณะทางกายภาพต่าง ๆ ของพื้นที่ การกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ให้ถูกต้อง จะต้องทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ จนกว่าผลลัพธ์จากการคำนวณโดยแบบจำลองจะใกล้เคียงกับค่าวัดจริงในสนามมากที่สุด

จากการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการปรับค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ แล้วนำผลการคำนวณเปรียบเทียบกับค่าในสนามจนผลการคำนวณสอดคล้องกับค่าวัดจริงในสนาม ได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ	ค่าจากการปรับ
Manning Roughness Coefficiient (n)	0.035
สัมประสิทธิ์การแพร่ของ BOD (D_{xB})	5 ตารางเมตร/วินาที
สัมประสิทธิ์การแพร่ของ DO (D_{xD})	40 ตารางเมตร/วินาที
สัมประสิทธิ์การลดลงของค่า BOD (K_d)	0.3 ต่อวัน base e ที่ $30^{\circ}C$
สัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (K_a)	0.472 ต่อวัน base e ที่ $30^{\circ}C$
ค่าคงที่สำหรับสถานีสูบน้ำ (PA)	5.4 ลูกบาศก์เมตร/วินาที
ค่าคงที่สำหรับสถานีสูบน้ำ (PB)	-0.60 ตารางเมตร/วินาที
ค่าสัมประสิทธิ์ของการระบายของประตูระบายน้ำเทเวศร์ (C_d)	0.60
ค่าความเร็วเฉลี่ย : ความเร็วที่ผิวน้ำโดยลอยทุ่น	0.77

6.1.4 สรุปผลการประยุกต์ใช้

1) จากการศึกษาสภาพน้ำขึ้นน้ำลง ซึ่งเป็นเงื่อนไขที่สำคัญในการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียพบว่า มีลักษณะคล้ายกันทั้งชนิดและขนาดของการเกิดน้ำขึ้นน้ำลง ในเดือนพฤษภาคม ธันวาคม และมกราคม มีลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงชนิดเดี่ยว (diurnal tide) ส่วนเดือนกุมภาพันธ์ถึงเดือนเมษายน มีลักษณะน้ำขึ้นน้ำลงชนิดผสม (mixed tide)

2) การศึกษาการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียในคลองผดุงกรุงเกษม ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนพฤษภาคมมีความแตกต่างกันไม่มากนัก สามารถวิเคราะห์รวมกันได้ โดยใช้น้ำขึ้นน้ำลงช่วงที่มีการขึ้นลงมากที่สุดของเดือนกุมภาพันธ์ เป็นตัวแทน

3) ในการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสีย พบว่าตำแหน่งที่อยู่ใกล้ประตูระบายน้ำเทเวศร์ใช้เวลาในการลดความสกปรกจนถึงจุดต่ำสุด น้อยที่สุด และค่าความสกปรกน้อยที่สุด ที่ตำแหน่งที่ห่างจากประตูระบายน้ำเทเวศร์มากขึ้นจะใช้เวลาในการลดลงถึงจุดต่ำสุดมากขึ้น และค่าความสกปรกก็มากขึ้นตามระยะทาง

4) ผลการเปรียบเทียบระหว่างทางเลือกต่าง ๆ พบว่าการเปิดปิดประตูและการเดินเครื่องสูบน้ำ (operation) ของกรณีทางเลือกที่ 2 ให้ผลการไล่น้ำเสียที่ดีกว่า และเมื่อเพิ่มการขุดลอกคลอง (ทางเลือกที่ 3) จะช่วยให้ผลการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียดีขึ้น โดยให้ค่า BOD ลดลง (ที่ ปตร. เทเวศร์ ลดจาก 15 เหลือ 5.1 มก./ล. ที่สี่แยกคลองมหานาคลดลงจาก 50 เหลือ 6.8 มก./ล. และที่สถานีสูบน้ำกรุงเกษมลดจาก 50 เหลือ 10.3 มก./ล.) สำหรับค่า DO เพิ่มขึ้น (ที่ ปตร.เทเวศร์ เพิ่มขึ้นจาก 0.1 เป็น 1.0 มก./ล. ที่สี่แยกคลองมหานาคเพิ่มขึ้นจาก 0.0 เป็น 1.0 มก./ล. และที่สถานีสูบน้ำกรุงเกษมเพิ่มขึ้นจาก 0.0 เป็น 0.4 มก./ล.

5) การระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียในคลอง กระทำได้เมื่อคุณภาพน้ำที่นำมาไล่ต้องดีกว่าคุณภาพน้ำในคลอง และเมื่อทำการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียมากครั้งขึ้น น้ำในคลองจะมีคุณภาพใกล้เคียงกับคุณภาพน้ำที่นำมาไล่

6) แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนาขึ้น สามารถประยุกต์ใช้ทดลองหาแนวทางที่ดีที่สุดในการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียในคลองได้โดยสะดวก

6.2 ข้อเสนอแนะ

จากการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อระบายและไล่น้ำเสียในคลอง พร้อมทั้งการประยุกต์ใช้แบบจำลองกับพื้นที่จริง ทำให้ทราบว่าแบบจำลองดังกล่าวสามารถนำไปเป็นเครื่องมือในการศึกษาและวางแผนการจัดการน้ำระหว่างฤดูแล้งได้เป็นอย่างดี เนื่องจากระยะเวลาและงบประมาณในการศึกษาค่อนข้างจำกัดเนื่องจากเป็นการศึกษาวิทยานิพนธ์ สำหรับผู้ที่สนใจในการนำแบบจำลองดังกล่าว หรือแบบจำลองอื่นมาศึกษาปัญหานี้ ควรได้ทำการศึกษาและพัฒนาต่อไปดังได้เสนอ ดังต่อไปนี้

6.2.1 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์

1) แบบจำลองที่จัดสร้างขึ้นนี้สามารถติดตั้งอาคารบังคับน้ำได้ 2 ชนิด คือ สถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำ แบบเปิดตามความกว้าง ควรได้รับการปรับปรุงเพิ่มเติมให้แบบจำลองสามารถติดตั้งอาคารบังคับน้ำได้ทุกชนิด เช่นประตูระบายน้ำแบบต่าง ๆ ฝาย ท่อลอด เป็นต้น

2) ผลลัพธ์จากแบบจำลองเป็นผลลัพธ์ในรูปตัวเลข เมื่อต้องการแสดงผลลัพธ์เป็นรูปภาพ (graphic) จะต้องใช้โปรแกรมวาดภาพทั่ว ๆ ไป ควรได้รับการพัฒนาโปรแกรมเฉพาะ สำหรับนำผลลัพธ์จากการจำลองสภาพ ทั้งในเชิงปริมาณและคุณภาพ แสดงเป็นรูปภาพพร้อมกันทั้งโครงข่าย การแสดงผลลัพธ์ดังนี้จะช่วยให้เข้าใจผลการจำลองสภาพได้อย่างรวดเร็ว

3) การป้อนข้อมูลให้แบบจำลองนี้เป็นการป้อนข้อมูล เช่นเดียวกับการป้อนข้อมูลให้แบบจำลองทั่ว ๆ ไป โดยการจัดชุดข้อมูลตามลำดับการป้อนข้อมูล ซึ่งเป็นการป้อนข้อมูลที่ยังไม่สะดวกนักต้องใช้เวลาในการป้อนข้อมูลมาก ควรปรับปรุงในส่วนการป้อนข้อมูล โดยสร้าง menu สำหรับป้อนข้อมูลในลักษณะถามโต้ตอบกับคอมพิวเตอร์ (interactive) และถ้าให้สะดวกยิ่งขึ้นควรมีอุปกรณ์ digitizer ซึ่งสามารถอำนวยความสะดวกในการป้อนข้อมูล โดยเฉพาะอย่างยิ่งในการป้อนข้อมูลลักษณะกายภาพต่าง ๆ เช่น ลักษณะลำน้ำ ความยาวลำน้ำ รูปตัดขวางลำน้ำ และพื้นที่ต่าง ๆ ซึ่งสามารถกำหนดตำแหน่งและขนาดจากแผนที่ได้โดยตรงจากการกำหนด co-ordinate

4) การเก็บข้อมูลระดับน้ำและคุณภาพน้ำในคลองต่าง ๆ ของหน่วยงานของรัฐบาลควรทำการวัดอัตราไหลของน้ำที่ตำแหน่งนั้นด้วย เพื่อทราบทิศทางการไหลและการระบายน้ำของคลอง ซึ่งจะช่วยให้ข้อมูลสมบูรณ์สำหรับนำไปใช้ประโยชน์ในการศึกษาการระบายน้ำและการไล่น้ำเสียได้

6.2.2 การปรับปรุงคุณภาพน้ำ

1) ในการศึกษาเพื่อปรับปรุงการระบายน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำนั้น น้ำจืดจากแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นแหล่งน้ำที่สะอาดแหล่งหนึ่ง ในการปรับปรุงเจือจางน้ำในคลอง แต่อย่างไรก็ตามความสกปรกจากบ้านเรือน และคลองที่อยู่ใกล้เคียงก็มีส่วนเพิ่มความสกปรกหลังจากการระบายน้ำโดยการเปิดประตูน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยา สมควรจะพิจารณาระบบการปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลอง (Water Quality Improvement System) ที่ครอบคลุมเรื่องการบำบัดน้ำเสียในแหล่ง การฟอกน้ำด้วยอากาศ (Aeration) การปรับปรุงคุณภาพน้ำโดยการปลูกพืชบางอย่าง การบำบัดน้ำเสียส่วนกลาง และการระบายน้ำเพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำ (flushing) และกฎเกณฑ์การดำเนินการ ซึ่งในการศึกษาลักษณะนี้แบบจำลองที่พัฒนาขึ้นจะเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการโยง (integrate) องค์ประกอบต่าง ๆ เข้ามาเพื่อหาคำตอบที่ดีที่สุด

2) ในการระบายน้ำเพื่อไล่น้ำเสียในคลอง ควรเน้นการศึกษาในด้านการติดตั้งประตูระบายน้ำตามทางแยกต่าง ๆ พร้อมทั้งศึกษาการจัดการน้ำโดยการควบคุมการเปิดปิดประตูระบายน้ำให้น้ำสามารถไหลโดยแรงโน้มถ่วงโลก จะช่วยประหยัดพลังงานในการสูบน้ำได้อย่างมาก

3) คลองเมื่อใช้เป็นทางระบายน้ำเป็นระยะยาว มักประสบปัญหาการตื้นเขิน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง บริเวณใต้สะพานต่าง ๆ ควรได้รับการขุดลอกเป็นประจำ เพราะจะทำให้การระบายน้ำ และการไล่น้ำเสียดีขึ้น

4) วางมาตรการกวดขัน ให้ประชาชนงดทิ้งขยะและสิ่งปฏิกูลลงในทางระบายน้ำต่าง ๆ

5) ควรได้มีการศึกษาเกี่ยวกับปริมาณและคุณภาพน้ำที่ระบายลงคลอง เพื่อสามารถทำการจำลองสภาพได้ถูกต้องยิ่งขึ้น

6) คุณภาพน้ำมีการแปรสภาพได้ตลอดเวลาถึงแม้จะไม่มีการไหลเกิดขึ้น อัตราเร็วของปฏิกริยาดังกล่าวถูกกำหนดโดยสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ และค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ เหล่านี้จะขึ้นอยู่กับพื้นที่และลักษณะน้ำด้วย ดังนั้นในการจำลองสภาพจำเป็นต้องกำหนดค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ ให้ถูกต้อง การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์ต่าง ๆ เหล่านี้ยังมีการศึกษาน้อยมากในประเทศไทย ควรมีการศึกษาเพิ่มเติมต่อไป