ใบรับรองวิทยานิพนธ์

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)

ปริญญา

วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ	วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ
สาขา	**ภาควิชา**

เรื่อง การศึกษาตรวจสอบและแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองแสนแสบด้วยแบบจำลอง MIKE 11

The Study of Khlong Saen Saep Water Quality and Improvement Guideline with Use of MIKE 11 Model

นามผู้วิจัย นางสาวกิรณา สมสุข

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก .....

(อาจารย์สิตางศุ์ พิลัยหล้า, D.Eng.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม .....

(รองศาสตราจารย์สุวัฒนา จิตตลดากร, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา .....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์นภาพร เปี่ยมสง่า, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

.....

(รองศาสตราจารย์กัญจนา ธีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ ..... **เดือน** ..... **พ.ศ.** .....

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การศึกษาตรวจสอบและแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ ด้วยแบบจำลอง MIKE 11

The Study of Khlong Saen Saep Water Quality and Improvement Guideline with Use of MIKE 11 Model

โดย

นางสาวกิรณา สมสุข

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ)
พ.ศ. 2556

กิรณา สมสุข 2556: การศึกษาตรวจสอบและแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองแสนแสบด้วยแบบจำลอง MIKE 11 ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) สาขาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: อาจารย์สิตางศุ์ พิลัยหล้า, D.Eng. 104 หน้า

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ จึงได้ทำการประเมินปริมาณความสกปรกในรูป BOD เพื่อเป็นตัวแทนความสกปรกน้ำเสียชุมชนที่ระบายลงสู่คลอง และหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยพิจารณาทั้งจากเงื่อนไขปัจจุบันและผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า มีเป้าหมายให้น้ำในคลองมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้น จากที่จัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 5 ให้เป็นประเภทที่ 4 กล่าวคือ มีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัม/ลิตร และมีค่า BOD ไม่เกิน 4 มิลลิกรัม/ลิตร โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลอง MIKE 11 HD (Hydrodynamic Model) แบบจำลอง MIKE 11 AD (Advection-Dispersion Model) และแบบจำลอง MIKE 11 ECO Lab (Water Quality Model) พารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำที่ศึกษาคือ DO และ BOD โดยมีขอบเขตพื้นที่ศึกษาตั้งแต่ประตูระบายน้ำบางชัน ถึงประตูระบายน้ำคลองตัน ระยะทาง 14.5 กิโลเมตร และพิจารณาคลองเชื่อมต่อ 7 คลอง ใช้ข้อมูลตรวจวัดในปี พ.ศ. 2553 ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-พ.ย.) เนื่องจากในช่วงเวลาดังกล่าว กทม.มีการสูบน้ำออกจากคลองเพื่อเตรียมรองรับสภาวะน้ำนองและน้ำท่วม ทำให้น้ำในคลองมีระดับต่ำกว่าช่วงเวลาอื่น และส่งผลให้คุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำมีสภาพเสื่อมโทรมมาก

ผลการสอบเทียบพารามิเตอร์ของแต่ละแบบจำลองนับได้ว่ามีค่าทางสถิติอยู่ในเกณฑ์ดีเป็นที่ยอมรับได้ ดังนั้นจึงสามารถนำพารามิเตอร์ของแบบจำลองมาใช้ในศึกษาตรวจสอบและเสนอแนวทางการปรับปรุงด้านคุณภาพน้ำได้ ซึ่งผลการประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD มีค่าเท่ากับ 120 มิลลิกรัม/ลิตร ทั้งนี้ผลการประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-Purification) ของคลองแสนแสบ พบว่าในกรณีไม่มีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ชุมชนและคลองเชื่อมต่อ เมื่อมีการทิ้งของเสียครั้งเดียวและทิ้งต่อเนื่อง 10 วัน คลองแสนแสบจะใช้เวลาประมาณ 15 และ 27 วัน ตามลำดับ ส่วนกรณีเมื่อมีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ชุมชนและคลองเชื่อมต่อ สำหรับการทิ้งของเสียครั้งเดียวและทิ้งต่อเนื่อง 10 วัน ใช้ระยะเวลาประมาณ 16 และ 30 วัน ตามลำดับ สำหรับแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยการลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD นั้น ผลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองพบว่าในปี พ.ศ. 2556 และ พ.ศ. 2566 จะต้องลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ลงร้อยละ 60 และร้อยละ 70 ตามลำดับ ซึ่งมีค่าปริมาณความสกปรกในรูป BOD ที่ระบายลงสู่คลองเท่ากับ 48 และ 36 มิลลิกรัม/ลิตร ตามลำดับ อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้ไม่พิจารณาตะกอนท้องคลอง ซึ่งอาจมีผลกระทบต่อคุณภาพน้ำในคลอง และระยะเวลาในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ ดังนั้นควรมีการศึกษาเพิ่มเติมประเด็นดังกล่าวในอนาคต

_____ _____ ___ / ___ / ___

ลายมือชื่อนิสิต ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

Kirana Somsook 2013: The Study of Khlong Saen Saep Water Quality and Improvement Guideline with Use of MIKE 11 Model. Master of Engineering (Water Resources Engineering), Major Field: Water Resources Engineering, Department of Water Resources Engineering. Thesis Advisor: Mrs. Sitang Pilailar, D.Eng. 104 pages.

This study aims to evaluate factors that affect the water quality in Khong Saen Saep. The BOD parameter is specified as the representative of the water contamination and the dirtiness of the discharged wastewater from nearby communities, with consideration of current population number and the forecasted population of the next decade. Finally, in order to improve Khlong Saen Saep water quality to better category of surface water (DO > 2 mg/l and BOD < 4 mg/l), the practical guideline is suggested based on the simulation result from MIKE 11 mathematical model; MIKE 11 HD (Hydrodynamic Module), MIKE 11 AD (Advection-Dispersion Module) and MIKE 11 ECO Lab (Water Quality Module) modules. The DO and BOD parameters of the water along the study area, which is about 14.5 kilometers from Ban Chan Regulator to Khlong Tan Regulator, have been calculated with hydraulics and water quality input data, during May to November, 2010 from BMA.

Since the calibration and verification processes of all sub modules show good agreement with the observed data. Then, the BOD concentration of sewerage from communities along the canal has been evaluated and confirmed the value of 120 mg/l. This value has been applied in Khlong Saen Saep self-purification assessment in various case studies. It has been found that if there is any wastewater spill at the upstream of the canal once, with BOD concentration of 50 mg/l, the canal can naturally self-purify itself in 15 days and 27 days in the case that the spillage continues for 10 days at the upstream section. However, in the case of side flow and seven tributaries are concerned, the canal self-purification of the case 1 spillage and 10 days continual spillage are 16 days and 30 days, respectively. Furthermore, the water quality improvement guidelines have been suggested based on the simulation result. In order to keep BOD concentration of the canal to be less than 4 mg/l and DO greater than 2 mg/l, the BOD concentration of discharged wastewater should be reduce from 120 mg/l to be 48 mg/l (60% decrease) for current condition of population and reduce from 120 mg/l to be 36 mg/l (70% decrease) for the condition of next 10 year population increment. However, in this study, the riverbed sediment has not been concerned, although it would influent the water quality and self-purification period. Therefore, the sediment issue should be considered and involved for fulfillment of further research in the future.

_____ _____ ___ / ___ / ___

Student's signature Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอกราบขอบพระคุณ ดร.สิตางศุ์ พิลัยหล้า อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก สำหรับการช่วยเหลือให้คำปรึกษาแนะนำ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์จนกระทั่งเสร็จสมบูรณ์ ขอกราบขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุวัฒนา จิตตลดากร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ดร.จิระวัฒน์ กณะสุต ประธานการสอบ และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สนิท วงษา ผู้ทรงคุณวุฒิภายนอกสถาบัน ที่กรุณาให้ข้อเสนอแนะ และตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ให้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอกราบขอบพระคุณ คณาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำทุกท่าน ที่มอบวิชาความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ต่อไป ขอขอบคุณสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร และกรมควบคุมมลพิษ ที่ได้อนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ในการทำวิจัยครั้งนี้

งานวิจัยนี้จะไม่สามารถสำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี หากปราศจากการสนับสนุน และกำลังใจที่ได้จากครอบครัว เพื่อนๆ พี่ๆ น้องๆ ตลอดจนบุคคลใกล้ชิดที่ให้ความช่วยเหลือด้วยดีมาตลอด และขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมทรัพยากรน้ำทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือเป็นอย่างดี

ความสำเร็จและคุณประโยชน์จากวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ ขอมอบแด่ บิดา มารดา และญาติพี่น้อง ซึ่งช่วยส่งเสริมสนับสนุนด้านการศึกษา ทำให้ผู้วิจัยประสบผลสำเร็จในการศึกษาขั้นนี้ได้

กิรณา สมสุข

พฤษภาคม 2556

สารบัญ

หน้า

สารบัญตาราง

สารบัญภาพ

สารบัญภาพ (ต่อ)

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่ **หน้า**

ภาพผนวกที่

การศึกษาตรวจสอบและแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ ด้วยแบบจำลอง MIKE 11

The Study of Khlong Saen Saep Water Quality and Improvement Guideline with Use of MIKE 11 Model

คำนำ

ปัจจุบันคลองแสนแสบได้รับผลกระทบจากการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจ และการขยายตัวของเมืองกรุงเทพมหานคร ก่อให้เกิดความเสื่อมโทรมอย่างมาก ส่งผลกระทบต่อสุขภาพอนามัยของประชาชนริมคลองและระบบนิเวศริมคลอง จากผลการตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำพบว่าคลองแสนแสบที่ไหลผ่านชุมชนในเขตพื้นที่พาณิชยกรรมและอุตสาหกรรม มีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ต่ำ จัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 5 คือใช้ประโยชน์เพื่อคมนาคมเท่านั้น เนื่องจากคลองแสนแสบมีบทบาทเพื่อเป็นทางระบายน้ำออกจากพื้นที่ในการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วม รวมทั้งเป็นที่รองรับน้ำเสียจากชุมชน ทั้งนี้น้ำเสียส่วนใหญ่ที่ไหลลงคลองแสนแสบนั้นมาจากบ้านเรือนและร้านค้า คิดเป็นร้อยละ 87.5 อู่ซ่อมรถคิดเป็นร้อยละ 6 โรงงานอุตสาหกรรมคิดเป็นร้อยละ 3.8 และสถานีน้ำมันคิดเป็นร้อยละ 2.7 แม้ว่าที่ผ่านมาจะมีการศึกษาถึงคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบอย่างต่อเนื่องเพื่อหาแนวทางจัดการปัญหาคุณภาพน้ำในคลอง แต่ก็ยังไม่ประสบความสำเร็จอย่างเป็นรูปธรรม เนื่องจากชุมชนยังปล่อยของเสียและน้ำทิ้งลงสู่คลองแสนแสบอย่างต่อเนื่องโดยไม่ได้มาตรฐาน หรือไม่ได้บำบัด ส่งผลให้ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) สูง และปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) ต่ำ

ผู้วิจัยเล็งเห็นถึงปัญหาและความจำเป็นในการแก้ปัญหาด้านคุณภาพน้ำของคลองแสนแสบ จึงทำการศึกษาเพื่อหาแนวทางในการแก้ไขปัญหา โดยเน้นการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ ซึ่งการศึกษานี้ได้เลือกใช้แบบจำลอง MIKE 11 ที่ได้รับการยอมรับทั่วไปทั้งในและต่างประเทศในการจำลองเหตุการณ์และกรณีศึกษาต่างๆ เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบที่สอดคล้องกับแนวนโยบายของกรุงเทพมหานคร และสามารถนำไปปฏิบัติได้จริงต่อไป

วัตถุประสงค์

1. ศึกษาปัจจัยหลักที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ

2. เพื่อประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-Purification) ของคลองแสนแสบ โดยศึกษาทั้งในกรณีไม่มีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียชุมชนและคลองเชื่อมต่อ และกรณีมีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียชุมชนและคลองเชื่อมต่อที่ไหลลงสู่คลองแสนแสบ

3. เพื่อประเมินภาระน้ำเสียที่เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และผลกระทบต่อคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ

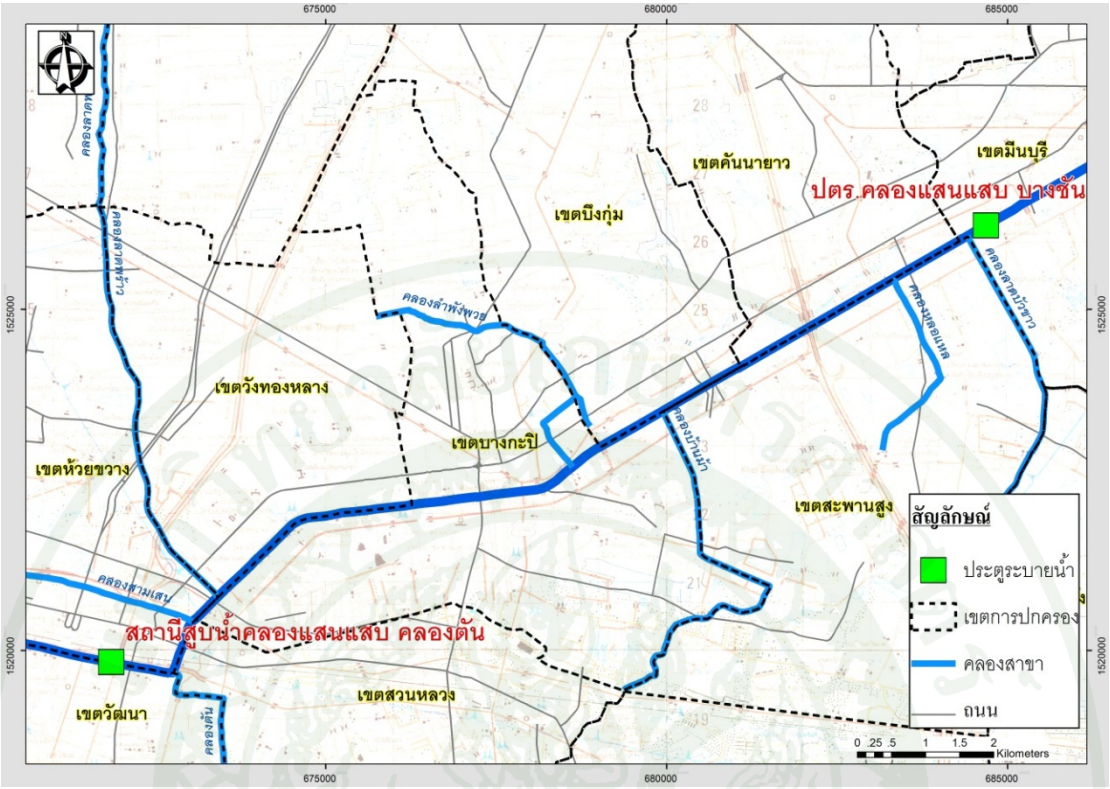
4. เพื่อศึกษาแนวทางปรับปรุงคุณภาพน้ำของคลองแสนแสบ จากที่จัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 5 ให้มีคุณภาพน้ำที่ดีขึ้นสามารถอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 4

ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบในเขตกรุงเทพมหานคร ตั้งแต่ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน (เขตคันนายาว) ถึงประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน (เขตวัฒนา) ระยะทางประมาณ 14.5 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 1

2. กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary Conditions) ของแบบจำลองคือ ขอบเขตด้านเหนือน้ำพิจารณาอัตราการไหลที่ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน (เขตคันนายาว) ส่วนขอบเขตด้านท้ายน้ำพิจารณาระดับน้ำที่ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน (เขตวัฒนา)

3. การศึกษานี้พิจารณาอิทธิพลปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียชุมชนในพื้นที่กรุงเทพมหานคร 9 เขต ได้แก่ เขตคันนายาว เขตมีนบุรี เขตสะพานสูง เขตบึงกุ่ม เขตบางกะปิ เขตวังทองหลาง เขตห้วยขวาง เขตสวนหลวง และเขตวัฒนา ดังแสดงในภาพที่ 1



ภาพที่ 1 แสดงขอบเขตพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบตั้งแต่ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน ถึงประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน (เส้นสีน้ำเงินแสดงขอบเขตคลองที่ศึกษา)

4. การศึกษานี้พิจารณาอัตราการไหลและปริมาณน้ำเสียจากคลองเชื่อมต่อที่ไหลลงสู่คลองแสนแสบทั้งสิ้น 7 คลอง ได้แก่ คลองลาดบัวขาว คลองหลอแหลฝั่งใต้ คลองบ้านม้า คลองลำพังพวย คลองลาดพร้าว คลองสามเสน และคลองตัน ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยเลือกศึกษาเฉพาะคลองเชื่อมต่อที่มีการตรวจวัดคุณภาพน้ำ และมีช่วงความกว้างคลองมากกว่า 10 เมตร

5. ระยะเวลาที่ศึกษาคุณภาพน้ำพิจารณาในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-พ.ย.) เนื่องจากเป็นช่วงที่มีแผนการควบคุมระดับน้ำ โดยการสูบน้ำออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นการรักษาระดับน้ำให้ต่ำ เพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วม ทำให้คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบมีสภาพค่อนข้างเสื่อมโทรม เนื่องจากมีระดับน้ำในคลองต่ำ ปริมาณน้ำน้อย และมีการระบายน้ำเสียชุมชนลงสู่คลอง

6. การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2553 ประกอบด้วย ข้อมูลรูปตัดขวางคลอง และข้อมูลระดับน้ำ ซึ่งได้รับจากกองระบบคลอง และกองอาคารบังคับน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

สำหรับข้อมูลด้านคุณภาพน้ำ ได้รับข้อมูลจากการเก็บตัวอย่างน้ำ และทำการวิเคราะห์โดยกลุ่มงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

7. การศึกษานี้ดำเนินการบนสมมติฐานของแบบจำลองคือ ไม่คำนึงถึงอิทธิพลจากปริมาณน้ำฝนที่เกิดขึ้นในพื้นที่ศึกษา

8. พารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำที่พิจารณาได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) และค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD)

9. ในการประเมินคุณภาพน้ำในคลองไม่พิจารณาผลกระทบจากตะกอนท้องคลอง

10. ข้อมูลจำนวนประชากรปัจจุบันใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2553 และข้อมูลจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี (ย้อนหลัง 15 ปี) เพื่อคาดการณ์จำนวนประชากรในอนาคต คือในปี พ.ศ. 2556 และในอีก 10 ข้างหน้า คือในปี พ.ศ. 2566 ซึ่งเป็นรายงานสถิติจำนวนประชากรที่เก็บข้อมูลโดยกรมการปกครอง กระทรวงมหาดไทย

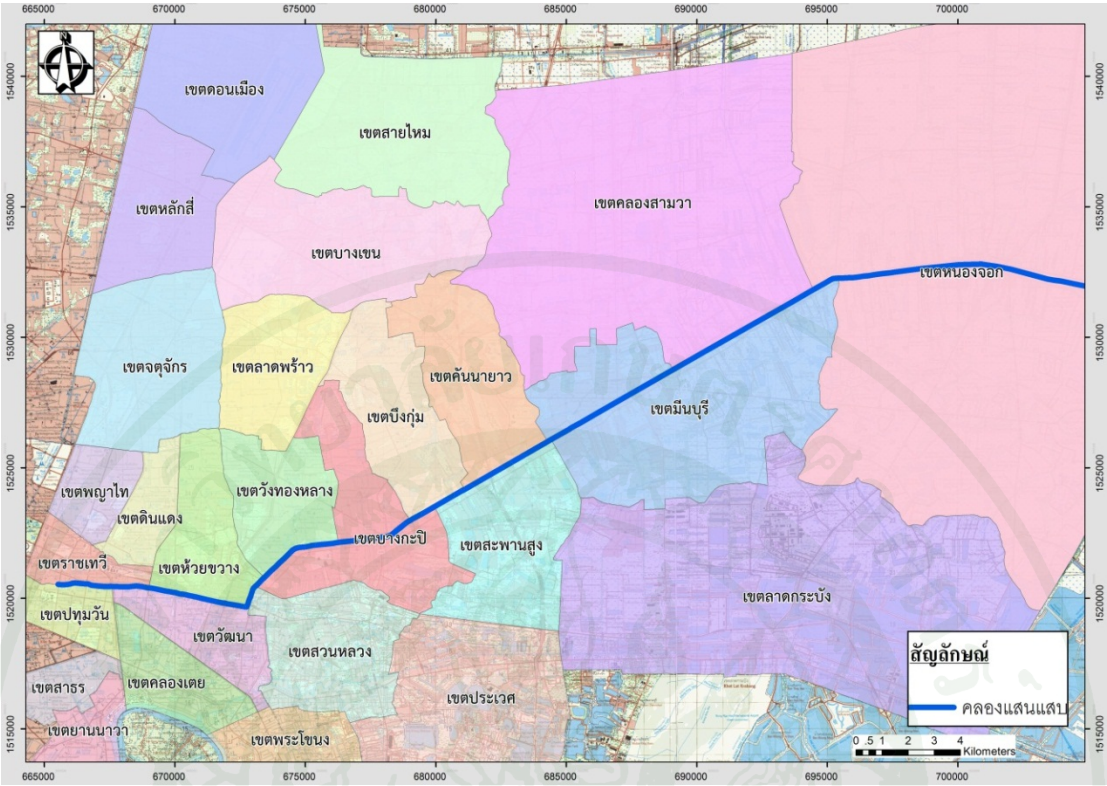
การตรวจเอกสาร

1. พื้นที่ศึกษา

1.1 ที่ตั้งและลักษณะทั่วไป

คลองแสนแสบเป็นคลองที่มีความสำคัญของประเทศที่ขุดขึ้นตามพระราชดำริของพระบาทสมเด็จพระนั่งเกล้าเจ้าอยู่หัว (รัชกาลที่ 3) เพื่อเชื่อมแม่น้ำเจ้าพระยากับแม่น้ำบางปะกงเข้าด้วยกัน เพื่อเป็นเส้นทางในการขนส่งเสบียงอาหารในการทำศึกสงครามกับญวน ซึ่งควบคุมดำเนินการขุดคลองโดยพระยาศรีพิพัฒนรัตนราชโกษาบดี (ดิศ บุนนาค) โดยใช้แรงงานชาวจีนในการขุด ซึ่งในช่วงรัชกาลที่ 3 นั้นมีการขุดคลองแสนแสบ มีความยาวประมาณ 53.52 กิโลเมตร แต่ต่อมาในช่วงรัชกาลที่ 4 ถึงรัชกาลที่ 5 มีการขุดคลองเพิ่มเติมถัดจากทุ่งหัวหมากเข้าเชื่อมต่อกับคลองมหานาค ด้วยเหตุนี้คลองแสนแสบจึงเริ่มต้นตั้งแต่คลองมหานาคตัดกับคลองผดุงเกษมจนถึงแม่น้ำบางปะกงที่ตำบลบางขนาก มีความยาวรวมทั้งหมด 72 กิโลเมตร (วิชัย และคณะ, 2542) แต่หากนับเฉพาะในกรุงเทพมหานคร มีความยาวประมาณ 45.5 กิโลเมตร เริ่มจากจุดบรรจบกับคลองผดุงกรุงเกษม (บริเวณตลาดโบ๊เบ๊) ไหลผ่านเขตปทุมวัน เขตราชเทวี เขตห้วยขวาง เขตวัฒนา เขตบางกะปิ เขตวังทองหลาง เขตบึงกุ่ม เขตคันนายาว เขตมีนบุรี เขตคลองสามวา และเขตหนองจอกของกรุงเทพมหานครไปออกที่แม่น้ำบางปะกงที่จังหวัดฉะเชิงเทรา ซึ่งขอบเขตคลองแสนแสบแสดงดังภาพที่ 2

สำหรับพื้นที่เขต และคลองเชื่อมต่อตลอดแนวคลองแสนแสบนั้นมีคลอง ลำราง และคูน้ำไหลมาเชื่อมต่อหลายสาย โดยในเขตกรุงเทพมหานครมีจำนวนรวม 100 สายแบ่งเป็น คลอง 65 คลอง ลำราง 32 ลำราง และคูน้ำ 3 คูน้ำ (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) ซึ่งปัจจุบันบทบาทของคลองแสนแสบเป็นคลองที่ใช้สำหรับการระบายน้ำในช่วงน้ำท่วม เป็นทางระบายน้ำเสียของชุมชน และเป็นเส้นทางการคมนาคมขนส่งทางเรือเริ่มตั้งแต่คลองมหานาคถึงหน้าวัดศรีบุญเรือง ซึ่งในอนาคตจะขยายต่อถึงเขตมีนบุรี เพื่อลดปัญหาการจราจรในกรุงเทพมหานคร (วิชัย และคณะ, 2542)



ภาพที่ 2 ขอบเขตคลองแสนแสบ

1.2 การระบายและการควบคุมน้ำในคลองแสนแสบและคลองเชื่อมต่อ

กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ตั้งอยู่ที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นที่เสี่ยงภัยน้ำท่วมโดยธรรมชาติ โดยได้ประสบปัญหาน้ำท่วมเป็นประจำ ดังนั้นในการระบายน้ำในคลองต่างๆ ของกรุงเทพมหานคร จึงมีวัตถุประสงค์หลักเพื่อป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วมในฤดูน้ำ สำหรับนอกฤดูน้ำนั้น การระบายน้ำจะมีวัตถุประสงค์เพื่อให้เกิดการหมุนเวียนของน้ำในระบบคลองต่างๆ โดยการควบคุมระดับน้ำผ่านอาคารบังคับน้ำและสถานีสูบต่างๆ ได้แก่ ประตูระบายน้ำ สถานีสูบน้ำ อุโมงค์ระบายน้ำ และอาคารรับน้ำ

กรุงเทพมหานครกำหนดแผนการควบคุมระดับน้ำแบ่งเป็น 2 แผนหลัก ได้แก่ แผนการควบคุมระดับน้ำในฤดูน้ำ (แผน ก.) ซึ่งใช้สำหรับสถานะอากาศที่ส่อว่าจะมีฝนตก และแผนการควบคุมระดับน้ำในฤดูแล้ง (แผน ข. และแผน ค.) จะใช้ในสถานะอากาศปกติและใช้เพื่อการถ่ายเทน้ำเสีย

1.2.1 ประตูระบายน้ำในคลองแสนแสบ

คลองแสนแสบในช่วงที่อยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร มีประตูระบายน้ำจำนวนทั้งสิ้น 4 ประตู ประกอบด้วย ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน (เขตสะพานสูง) ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนถนนประชาร่วมใจ (เขตมีนบุรี) และสถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำหนองจอก (เขตหนองจอก) แสดงดังภาพที่ 3 โดยแต่ละประตูมีสถานภาพการใช้งานในปัจจุบัน ดังนี้

1) ประตูระบายน้ำแสนแสบตอนคลองตัน ปัจจุบันเปิดประตูตลอดเวลาเนื่องจากมีเรือโดยสารสัญจร

2) ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน ใช้งานเป็นปกติ ควบคุมระดับน้ำที่ +0.4 ถึง +0.6 ม.รทก.

3) ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนมีนบุรี ใช้งานเป็นปกติ ควบคุมระดับน้ำที่ +0.5 ถึง +0.6 ม.รทก.

4) สถานีสูบน้ำประตูระบายน้ำหนองจอก เคยอยู่ในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน แต่ปัจจุบันได้ส่งมอบอยู่ในความรับผิดชอบของสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร โดยกำหนดให้เป็นจุดเฝ้าระวังเตือนภัยในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยาฝั่งตะวันออกตอนล่าง ซึ่งเดิมเป็นประตูระบายน้ำ ปัจจุบันได้ปรับปรุงเพิ่มประสิทธิภาพด้านการระบายน้ำ โดยติดตั้งเครื่องสูบน้ำ ประตูระบายน้ำ และเครื่องเก็บขยะอัตโนมัติ สามารถระบายน้ำออกจากคลองแสนแสบสู่ทะเลทางแม่น้ำบางปะกง และคลองพระองค์ไชยานุชิต ทำให้สามารถลดปริมาณน้ำท่วมในพื้นที่เขตคลองสามวา เขตหนองจอก และบางส่วนของพื้นที่เขตมีนบุรี

1.2.2 แผนการควบคุมระดับน้ำของกรุงเทพมหานคร

อาคารบังคับน้ำหลักตามคลองต่างๆ ที่ใช้ในการควบคุมระดับน้ำที่เกี่ยวข้องกับคลองแสนแสบมีจำนวนทั้งสิ้น 26 แห่ง ดังในภาพที่ 4 ซึ่งแสดงตำแหน่งที่ตั้งและทิศทางการถ่ายเทน้ำในคลองแสนแสบ และคลองเชื่อมต่อที่สำคัญ

สถานีสูบน้ำคลองแสนแสบ (ตอนคลองตัน) ปตร.บางชัน (ตอนคลองแสนแสบ)

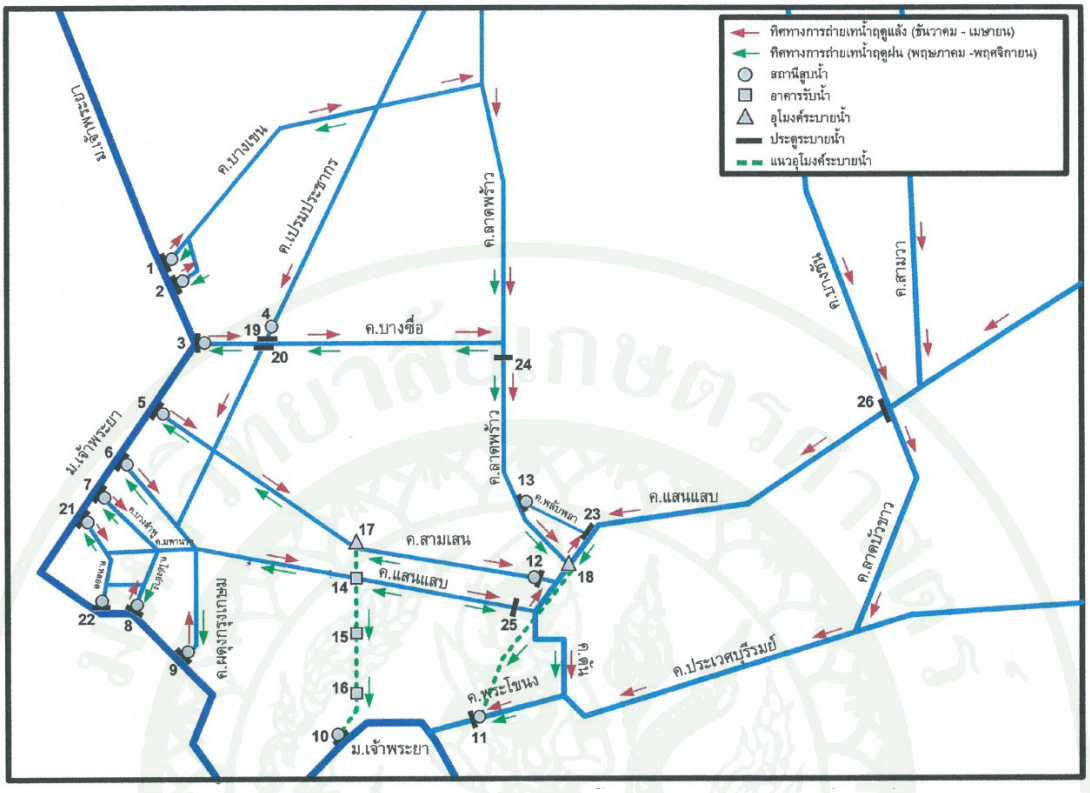
ปตร.คลองแสนแสบ (ตอนมีนบุรี) สถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำหนองจอก

ภาพที่ 3 ประตูระบายน้ำในคลองแสนแสบเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

1) แผนการควบคุมระดับน้ำในฤดูน้ำ (แผน ก. ช่วงเดือนพ.ค.-พ.ย.)

ในช่วงฤดูน้ำ ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงพฤศจิกายน วัตถุประสงค์หลักในการควบคุมระดับน้ำในช่วงฤดูนี้ก็เพื่อเป็นการป้องกันและแก้ไขปัญหาน้ำท่วม โดยสถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานครที่ตั้งอยู่บริเวณริมแม่น้ำเจ้าพระยาจะถูกปิด และกรุงเทพมหานครจะสูบน้ำในคลองต่างๆ ออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อพร่องน้ำในสภาพอากาศที่ส่อว่าจะมีฝน โดยจะรักษาระดับน้ำให้ต่ำตามที่กำหนดไว้ในแต่ละสถานี ดังนั้นคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบในช่วงฤดูน้ำ จะมีสภาพค่อนข้างเสื่อมโทรม เนื่องจากมีระดับในคลองต่ำ ปริมาณน้ำน้อย และมีการระบายน้ำเสียลงสู่คลอง



ภาพที่ 4 อาคารบังคับน้ำหลัก ทิศทางการถ่ายเทน้ำในคลองแสนแสบ และคลองเชื่อมต่อที่สำคัญ

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

ในการควบคุมระดับน้ำในช่วงฤดูน้ำนี้ กรุงเทพมหานครจะใช้คลองต่างๆ ที่เชื่อมกับแม่น้ำเจ้าพระยาซึ่งมีประตูน้ำและสถานีสูบ ควบคุมระบายน้ำออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาเป็นหลัก เช่น คลองบางเขน คลองบางซื่อ คลองสามเสน คลองผดุงกรุงเกษม คลองหลอด คลองบางลำพู และคลองโอ่งอ่าง สำหรับคลองแสนแสบช่วงตั้งแต่จุดเชื่อมคลองผดุงกรุงเกษมจนถึงช่วงประตูระบายน้ำแสนแสบตอนคลองตัน (ปัจจุบันเปิดตลอดเวลาเพื่อให้เรือโดยสารสัญจร) น้ำในคลองแสนแสบจะถูกระบายออกทางทิศตะวันตกด้านคลองผดุงกรุงเกษมเป็นหลัก ส่วนน้ำในคลองแสนแสบตั้งแต่บริเวณประตูระบายน้ำแสนแสบตอนคลองตันจนถึงบริเวณจุดเชื่อมคลองตัน จะระบายออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาผ่านคลองตันและคลองพระโขนงตามลำดับ ทิศทางการระบายน้ำในฤดูน้ำของกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในภาพที่ 4 ตามลูกศรสีเขียว

2) แผนการควบคุมระดับน้ำในฤดูแล้ง (แผน ข.และแผนค. ช่วงเดือนธ.ค.-เม.ย.)

แผนการควบคุมระดับน้ำในฤดูแล้ง ตั้งแต่เดือนธันวาคมถึงเดือนเมษายน มีวัตถุประสงค์เพื่อเป็นการถ่ายเทน้ำเสีย ด้วยการนำน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าระบบเพื่อไล่น้ำเสียและเจือจางน้ำเสียในคลองต่างๆ ซึ่งในการควบคุมระดับน้ำกรุงเทพมหานครจะคำนึงถึงผลกระทบของน้ำที่จะท่วมบ้านเรือนริมคลอง และการล้นเอ่อของคลอง โดยจะมีระดับน้ำที่ใช้ควบคุมตามสถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำต่างๆ ซึ่งวิธีการนำน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้ามาไล่น้ำเสียและเจือจางน้ำเสีย จะดำเนินการ 2 วิธี คือ การเปิดประตูรับน้ำช่วงเวลาแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับสูงขึ้น หรือกรณีระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับต่ำ จะใช้วิธีการสูบน้ำเข้าสู่คลอง ดังแสดงในภาพที่ 4 ตามลูกศรสีแดง รายละเอียดในแต่ละวิธีจะดำเนินการดังนี้

2.1) วิธีการเปิดประตูน้ำบริเวณคลองต่างๆ ริมแม่น้ำเจ้าพระยา

การเปิด – ปิดประตูระบายน้ำ จะดำเนินการให้สอดคล้องกับการขึ้นและลงของน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยา เมื่อน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาขึ้นจะเปิดประตูรับน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าระบบเพื่อไล่น้ำเสีย โดยจะควบคุมระดับน้ำให้เป็นไปตามค่าระดับที่กำหนดไว้ในแต่ละสถานี โดยจะไม่ให้เกินระดับน้ำเตือนภัย เพื่อป้องกันการล้นเอ่อและท่วมบ้านเรือนริมคลอง ยกตัวอย่าง เช่น สถานีสูบน้ำเทเวศร์จะเปิดประตูน้ำรับน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาในช่วงน้ำขึ้นเข้าสู่คลองผดุงกรุงเกษม ควบคุมระดับน้ำที่ตัวสถานีสูบน้ำเทเวศร์ไว้ที่ประมาณ +0.30 ม.รทก. (ระดับน้ำเตือนภัยสถานีสูบน้ำเทเวศร์เท่ากับ +0.90 ม.รทก.) และจะปิดประตูน้ำเมื่อน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาลดลงต่ำกว่าระดับน้ำในคลอง

2.2) วิธีการสูบน้ำเข้าในระบบคลอง

การสูบน้ำเข้าในระบบคลอง จะดำเนินการเมื่อมีความต้องการหมุนเวียนถ่ายเทน้ำในคลองช่วงที่ระดับน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยามีระดับต่ำกว่าน้ำในคลอง โดยกรุงเทพมหานครจะปิดประตูน้ำตามคลองต่างๆ ริมแม่น้ำเจ้าพระยา และจะสูบน้ำจากแม่น้ำเจ้าพระยาเข้าสู่คลอง โดยจะสูบเป็นระยะๆ เพื่อป้องกันการล้นเอ่อและท่วมบ้านเรือนริมคลอง ซึ่งจะควบคุมระดับน้ำแต่ละสถานีไม่ให้เกินระดับเตือนภัยของสถานีนั้นๆ

1.3 สถานีวัดระดับน้ำในคลองแสนแสบ

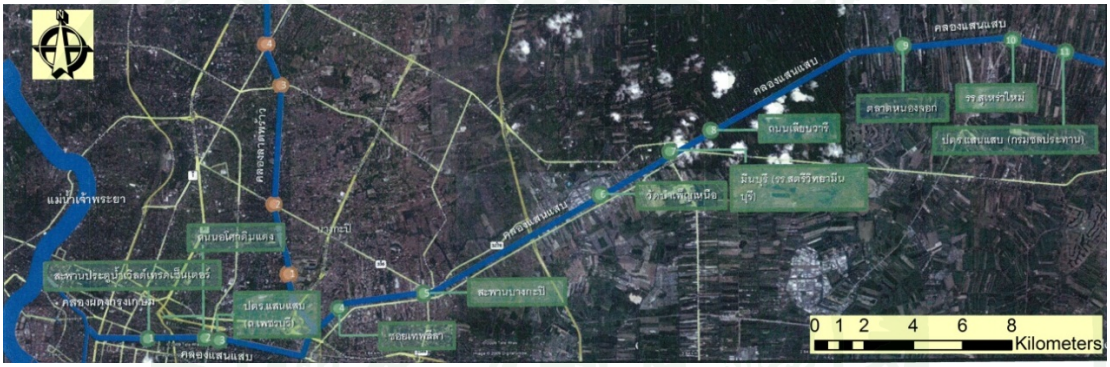
ในคลองแสนแสบ มีสถานีวัดระดับน้ำแบบเครือข่ายจำนวนทั้งสิ้น 11 สถานี เริ่มจากจุดเชื่อมคลองผดุงกรุงเกษม ถึงสถานีสูบน้ำหนองจอก ได้แก่ 1) สถานี SS01 ตั้งอยู่บริเวณคลองแสนแสบบรรจบกับคลองผดุงกรุงเกษม (โบ๊เบ๊) เขตป้อมปราบศัตรูพ่าย 2) สถานี SS03 ตั้งอยู่บริเวณถนนอโศกข้ามคลองแสนแสบ เขตวัฒนา 3) สถานี SS04 ตั้งอยู่บริเวณซอยสุขุมวิท 71 เขตวัฒนา 4) สถานี E19 ตั้งอยู่บริเวณสถานีสูบน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน เขตวัฒนา 5) สถานี SS05 ตั้งอยู่บริเวณช่วงสถานีสูบน้ำคลองเจ้าคุณสิงห์ เขตวังทองหลาง 6) สถานี E17 ตั้งอยู่บริเวณสำนักงานเขตบางกะปิ 7) สถานี SS06 ตั้งอยู่บริเวณซอยเสรีไทย 24 เขตบึงกุ่ม 8) สถานี E11 ตั้งอยู่บริเวณประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน เขตคันนายาว 9) สถานี E07 ตั้งอยู่บริเวณประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนมีนบุรี เขตมีนบุรี 10) สถานี E44 ตั้งอยู่บริเวณวัดทรัพย์สโมสรนิกรเกษม เขตมีนบุรี 11) สถานี E34 ตั้งอยู่บริเวณสถานีสูบน้ำหนองจอก เขตหนองจอก

สถานีวัดระดับน้ำแบบเครือข่ายมีความสามารถส่งข้อมูลต่างๆ ผ่านระบบเครือข่าย ได้แก่ ระดับน้ำในคลอง ปริมาณน้ำฝน อัตราการไหลของน้ำ สภาวะการทำงานของเครื่องสูบน้ำ และระดับการเปิด – ปิดของประตูระบายน้ำ

1.4 คุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ

คลองแสนแสบจัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 5 คือการใช้ประโยชน์เพื่อคมนาคมเท่านั้น (ประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8, 2537) ดังแสดงในตารางผนวกที่ 1 และ 2 เนื่องจากคลองแสนแสบเป็นคลองที่มีความยาวมาก เชื่อมต่อจากคลองมหานาคไปทางใต้ ผ่านคลองบางกะปิ คลองหัวหมาก และคลองบางขนาก ไหลไปออกทางแม่น้ำบางปะกงที่จังหวัดฉะเชิงเทรา โดยไหลผ่านทั้งเขตชุมชนหนาแน่น ชุมชนไม่หนาแน่น และเขตเกษตรกรรม จะเห็นว่าคุณภาพน้ำในเขตรอบนอก ตั้งแต่บริเวณถนนเลียบวารีและตลาดหนองจอกนั้น น้ำยังมีคุณภาพค่อนข้างดีกว่าบริเวณชั้นใน คือ ตั้งแต่ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบจนถึงแยกประตูน้ำคุณภาพน้ำค่อนข้างสกปรก เนื่องจากอยู่ในเขตชุมชน และไม่มีการ Flushing

กรุงเทพมหานครมีการติดตามตรวจสอบคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ โดยมีจุดเก็บตัวอย่างน้ำในคลองแสนแสบ เริ่มจากสะพานประตูน้ำ ถ.ราชปรารภ (เขตราชเทวี) จนถึงโรงเรียนสุเหร่าใหม่ ถ.สังฆสันติสุข (เขตหนองจอก) รวมทั้งสิ้นจำนวน 11 จุด ได้แก่ 1) สะพานประตูน้ำเวิลด์เทรดเซ็นเตอร์ 2) ถนนอโศกดินแดง 3) ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบ (ถ.เพชรบุรี ซ.ประสานมิตร) 4) ซอยเทพลีลา 5) สะพานบางกะปิ 6) วัดบำเพ็ญเหนือ 7) มีนบุรี (โรงเรียนสตรีวิทยามีนบุรี) 8) ถนนเลียบวารี 9) ตลาดหนองจอก 10) ถนนสังฆสันติสุข 11) ประตูระบายน้ำแสนแสบ (กรมชลประทาน) ปัจจุบันคือ สถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำหนองจอก ดังแสดงในภาพที่ 5



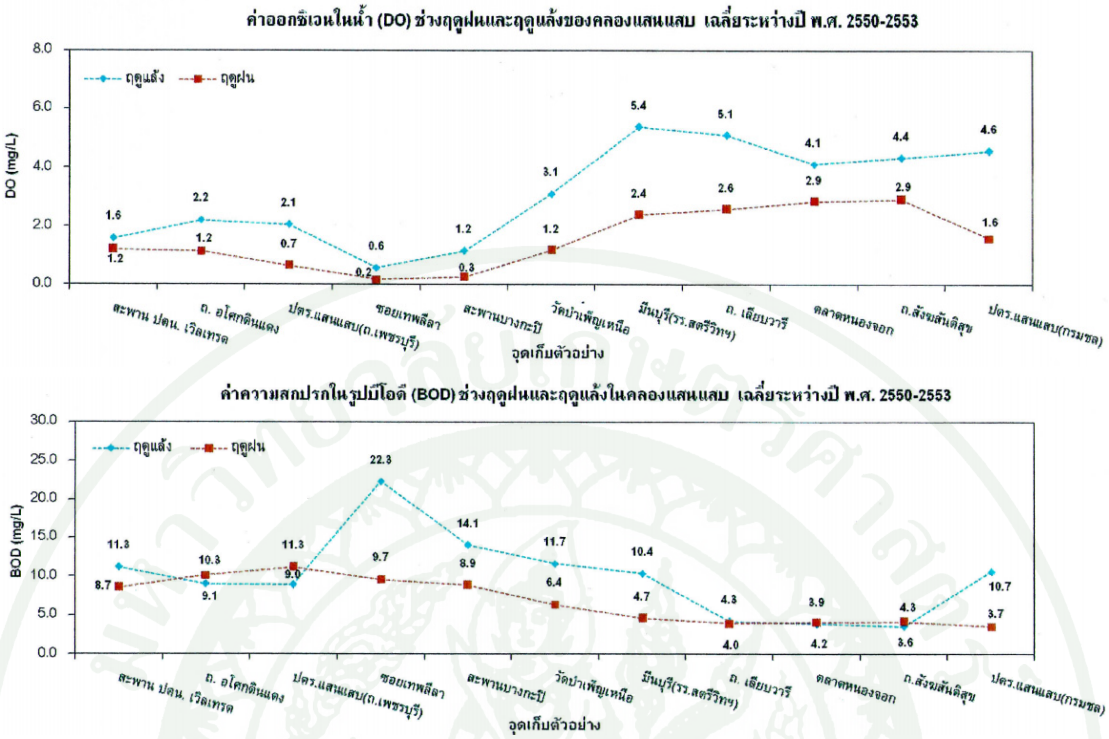
ภาพที่ 5 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในคลองแสนแสบเขตกรุงเทพมหานคร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

ซึ่งนำมาทำการวิเคราะห์คุณภาพน้ำทั้งสิ้น 13 พารามิเตอร์ ดังนี้ 1) Temp. (ºC) 2) pH 3) DO (mg/l) 4) H_2S (mg/l) 5) BOD (mg/l) 6) COD (mg/l) 7) SS (mg/l) 8) TKN (mg/l) 9) NH_3-N (mg/l) 10) NO_2-N (mg/l) 11) NO_3-N (mg/l) 12) T-P (mg/l) 13) T-Coliform (MPN/100ml)

โดยมีผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในช่วงปี พ.ศ. 2550 - 2552 และช่วงต้นปี พ.ศ. 2553 (ม.ค. - เม.ย.) ดังแสดงในภาพที่ 6 และภาพที่ 7 สรุปได้ดังนี้

ปี พ.ศ. 2550 DO มีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ระหว่าง 0.4-4.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.3-17.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในฤดูฝน (พ.ค.-ส.ค.) มีค่าเฉลี่ยของ DO และ BOD อยู่ระหว่าง 0.1-4.8 และ 4.0-13.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และฤดูแล้ง (ม.ค.-เม.ย.) มีค่าเฉลี่ยของ DO และ BOD อยู่ระหว่าง 1.1-7.3 และ 4.0-21.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

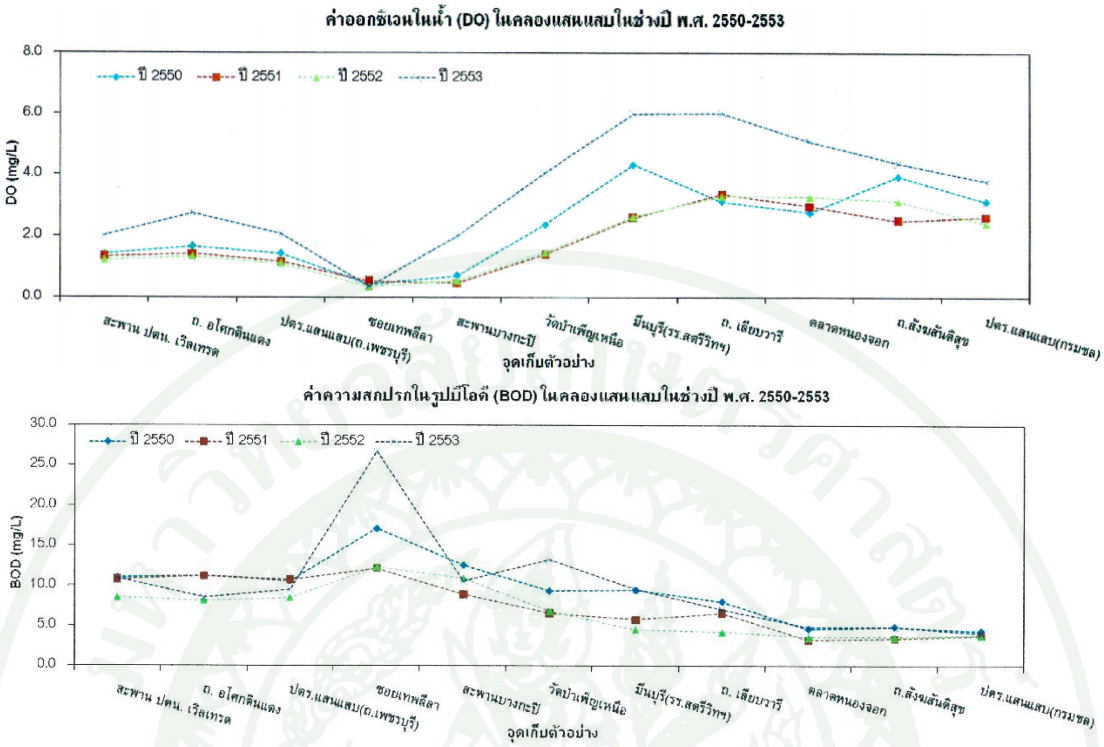


ภาพที่ 6 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยของคลองแสนแสบเปรียบเทียบช่วงฤดูแล้งและฤดูฝน ในปี พ.ศ. 2550 – 2553 (ช่วงฤดูฝน ไม่มีข้อมูลปี พ.ศ. 2553)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

ปี พ.ศ. 2551 DO มีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ระหว่าง 0.5-3.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.3-12.2 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในฤดูฝน (พ.ค.-ส.ค.) มีค่าเฉลี่ยของ DO และ BOD อยู่ระหว่าง 0.2-3.6 และ 2.8-10.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และฤดูแล้ง (ม.ค.-เม.ย.) มีค่าเฉลี่ยของ DO และ BOD อยู่ระหว่าง 0.5-4.6 และ 3.0-19.8 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ

ปี พ.ศ. 2552 DO มีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ระหว่าง 0.4-3.3 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 3.6-12.3 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในฤดูฝน (พ.ค.-ส.ค.) มีค่าเฉลี่ยของ DO และ BOD อยู่ระหว่าง 0.2-3.5 และ 3.3-10.5 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ และฤดูแล้ง (ม.ค.-เม.ย.) มีค่าเฉลี่ย DO และ BOD อยู่ระหว่าง 0.3-5.1 และ 3.0-21.3 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามลำดับ



ภาพที่ 7 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ยของคลองแสนแสบเปรียบเทียบในปี พ.ศ. 2550 – 2553 (ในปี พ.ศ. 2553 ใช้ข้อมูล ม.ค.-เม.ย.)

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

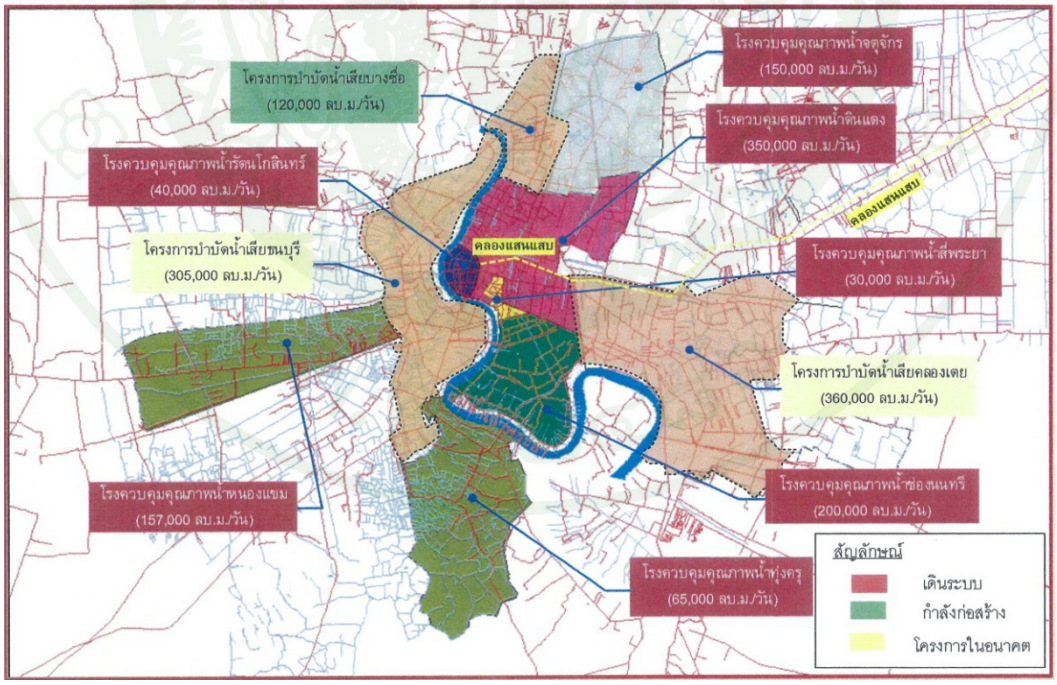
ปี พ.ศ. 2553 ในฤดูแล้ง (ม.ค.-เม.ย.) DO มีค่าเฉลี่ยทั้งปีอยู่ระหว่าง 0.4-6.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และ BOD มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 4.0 -26.8 มิลลิกรัมต่อลิตร

จากผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำของคลองแสนแสบทั้ง 11 สถานี ในปี พ.ศ. 2550 - 2553 พบว่าคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบมีความเสื่อมโทรมมากบริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำซอยเทพลีลา ถึงสะพานบางกะปิ โดยจากผลการตรวจวัดในปี พ.ศ. 2553 พบว่าบริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำซอยเทพลีลา มีค่า DO ต่ำสุด เท่ากับ 0.4 มิลลิกรัมต่อลิตร และคุณภาพน้ำจะดีขึ้นบริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำสะพานบางกะปิ สาเหตุที่คุณภาพน้ำในช่วงดังกล่าวมีคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมมากกว่าช่วงบริเวณอื่นเนื่องจากอยู่ในเขตชุมชนหนาแน่น และมีการระบายน้ำเสียจำนวนมากลงสู่คลองแสนแสบโดยตรง ประกอบกับช่วงหลังจากถนนอโศกดินแดง จะไม่มีท่อรวบรวมน้ำเสียเข้าสู่ระบบบำบัดน้ำเสียรวมของกรุงเทพมหานคร

ส่วนคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบตั้งแต่วัดบำเพ็ญเหนือเริ่มมีคุณภาพดีขึ้น เนื่องจากมีชุมชนเบาบาง การระบายน้ำเสียจึงมีปริมาณน้อย แต่จะมีปัญหาคุณภาพน้ำเป็นช่วงๆ คือในช่วงที่ผ่านชุมชนหนาแน่น เช่น บริเวณชุมชนมีนบุรี และชุมชนหนองจอก อีกทั้งในคลองแสนแสบมีเรือโดยสารสัญจรวิ่งตั้งแต่สะพานผ่านฟ้าคลองมหานาคถึงวัดศรีบุญเรือง ทำให้ตะกอนก้นคลองฟุ้งตลอดเวลาเป็นเหตุให้ค่าตะกอนแขวนลอยมีค่าสูง

1.5 การดำเนินการจัดการน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

กรุงเทพมหานครมีระบบบำบัดน้ำเสียที่ก่อสร้างแล้วเสร็จทั้งสิ้น 7 แห่ง กำลังก่อสร้าง 1 แห่ง และมีแผนจะก่อสร้างเพิ่มอีก 2 แห่งดังแสดงในภาพที่ 8 โดยพื้นที่คลองแสนแสบช่วงที่อยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร อยู่ในพื้นที่ให้บริการบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานครที่ก่อสร้างแล้วเสร็จ 1 แห่ง และอยู่ในพื้นที่ตามแผนที่จะก่อสร้าง 1 แห่ง คิดเป็นระยะทางประมาณ 9.15 กิโลเมตรได้แก่ โรงควบคุมคุณภาพน้ำดินแดง ซึ่งก่อสร้างแล้วเสร็จและเดินระบบแล้ว สามารถรับน้ำเสียได้ 350,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน



ภาพที่ 8 ระบบบำบัดน้ำเสียของกรุงเทพมหานคร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

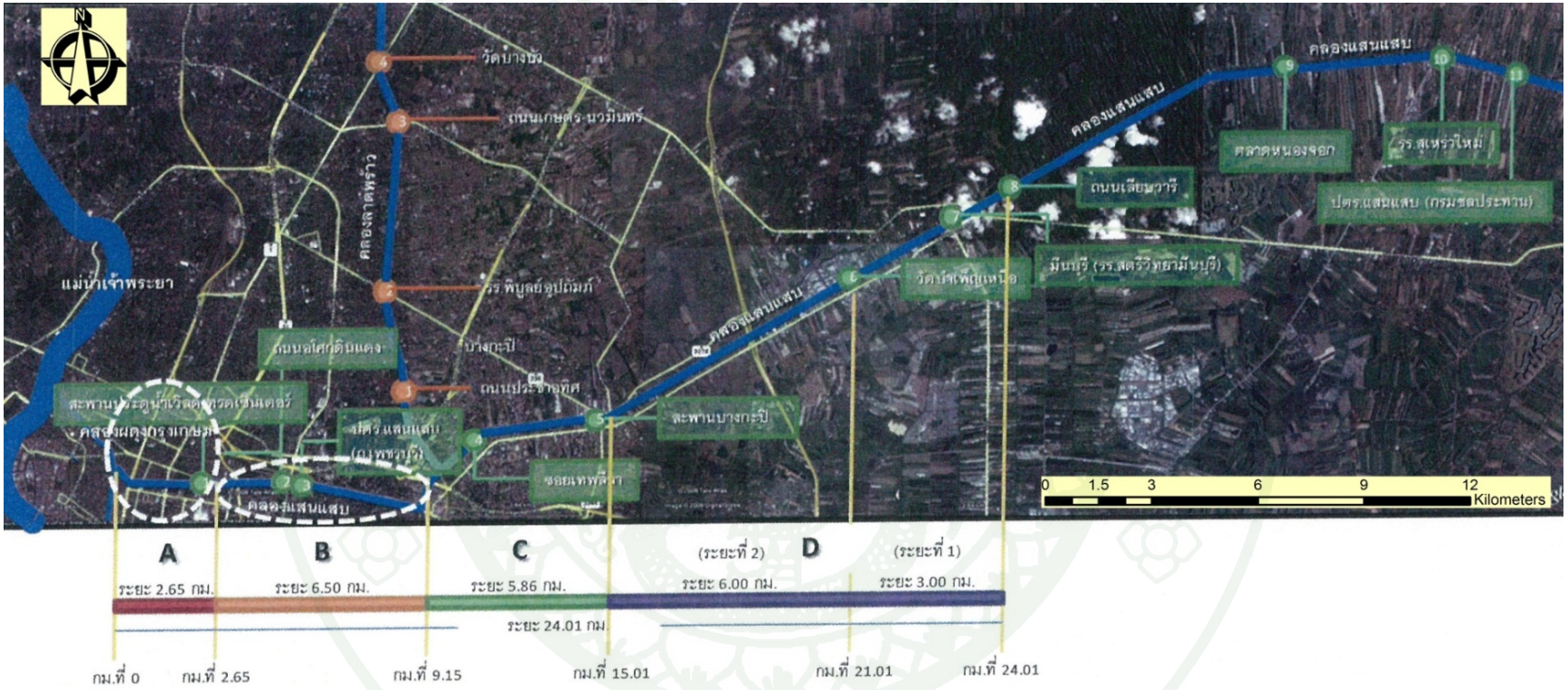
โดยกรุงเทพมหานครได้ก่อสร้างอุโมงค์รวบรวมน้ำเสีย (โครงการ A) ซึ่งอยู่ใต้คลองแสนแสบ ตั้งแต่จุดที่คลองแสนแสบบรรจบกับคลองผดุงกรุงเกษม (บริเวณตลาดโบ๊เบ๊ นับเป็นกิโลเมตรที่ 0.00) จนถึงบริเวณสะพานข้ามคลองถนนชิดลม (นับเป็นกิโลเมตรที่ 2.65) ซึ่งอุโมงค์ดังกล่าวนั้น จะทำหน้าที่รับน้ำเสียจากท่อระบายน้ำที่ระบายลงคลองแสนแสบ เพื่อรวบรวมไปบำบัดยังโรงปรับปรุงคุณภาพน้ำดินแดง ยกเว้นในบางพื้นที่ เช่น พื้นที่ของเอกชน และอาคารริมคลอง เป็นต้น ส่วนระบบบำบัดน้ำเสียที่มีแผนจะก่อสร้างคือ โครงการบำบัดน้ำเสียคลองเตย ซึ่งปัจจุบันอยู่ระหว่างการพิจารณารายละเอียดโครงการของสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ โดยโครงการบำบัดน้ำเสียคลองเตยสามารถรับน้ำเสียได้ 360,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

จากปัญหาน้ำเสียในคูคลองต่างๆ กรุงเทพมหานครจึงมีแนวทางการจัดการน้ำเสียในอนาคตดังนี้

1.5.1 วางท่อดักน้ำเสีย (Interceptor) ตามแนวคลอง เพื่อรวบรวมน้ำเสียส่งเข้าโรงควบคุมคุณภาพน้ำ รวมทั้งมีแผนการจัดการน้ำเสียริมคลองแสนแสบของกรุงเทพมหานคร ดังแสดงในภาพที่ 9

1.5.2 ก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียรวมขนาดใหญ่เพิ่มเติม ซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่รับน้ำแนวคลองแสนแสบด้วยได้แก่

1) โครงการบำบัดน้ำเสียคลองเตย (โครงการ B) ซึ่งจะมีท่อรวบรวมน้ำเสียครอบคลุมพื้นที่คลองแสนแสบ ตั้งแต่สะพานข้ามคลองถนนชิดลม (กิโลเมตรที่ 2.65) จนถึงบริเวณสะพานข้ามถนนเพชรบุรีตัดใหม่ (กิโลเมตรที่ 9.15) เป็นระยะทาง 6.50 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 9 ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ 56 ตารางกิโลเมตร รองรับน้ำเสียได้ 360,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน ซึ่งปัจจุบันกรุงเทพมหานครได้จัดซื้อที่ดินสำหรับก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัทไม้อัดไทยบริเวณถนนสรรพาวุธตัดกับถนนรถไฟสายเก่าไว้แล้ว และอยู่ระหว่างรอผลการพิจารณาจากสำนักงานคณะกรรมการพัฒนาการเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ให้ความเห็นเพื่อประกอบการพิจารณาของคณะรัฐมนตรี ซึ่งหากสร้างแล้วเสร็จจะมีแนวท่ออุโมค์รวบรวมน้ำเสียเพื่อส่งน้ำเสียไปบำบัดยังระบบบำบัดน้ำเสียคลองเตย



ภาพที่ 9 แผนการจัดการน้ำเสียริมคลองแสนแสบของกรุงเทพมหานคร

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2553)

2) โครงการบำบัดน้ำเสียวังทองหลาง (โครงการ C) ซึ่งจะรับน้ำเสียในช่วงต่อจากโครงการบำบัดน้ำเสียคลองเตย ตั้งแต่บริเวณสะพานข้ามถนนเพชรบุรีตัดใหม่จนถึงเขตบางกะปิ (บริเวณกิโลเมตรที่ 9.15 ถึงกิโลเมตรที่ 15.01) เป็นระยะทาง 5.86 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งปัจจุบันนี้อยู่ระหว่างขั้นตอนการพิจารณาของกรุงเทพมหานคร โดยที่ตั้งระบบบำบัดนั้นในเบื้องต้นคาดว่าจะขอใช้พื้นที่จากกรมธนารักษ์บริเวณข้างบึงพระรามเก้า (ฝั่งตรงข้ามคลีนิคศูนย์แพทย์พัฒนา ถนนพระราม 9) แต่ปัจจุบันยังไม่ได้เสนอโครงการเพื่อขอนุมัติงบประมาณ

3) โครงการบำบัดน้ำเสียมีนบุรี (โครงการ D) เป็นโครงการเพื่อป้องกันแก้ไขปัญหาน้ำเน่าเสียในคลองต่างๆ ในพื้นที่ฝั่งตะวันออกของกรุงเทพมหานคร เช่น คลองแสนแสบ คลองสามวา และคลองสองต้นนุ่น ในเขตมีนบุรี เขตคลองสามวา และเขตลาดกระบัง ตามลำดับ ซึ่งจะรับน้ำเสียบริเวณตลาดมีนบุรี (กิโลเมตร ที่ 24.01) จนถึงบริเวณเขตบางกะปิ (กิโลเมตรที่ 15.01) ครอบคลุมพื้นที่ให้บริการ 44 ตารางกิโลเมตร โดยจะแบ่งโครงการออกเป็น 2 ระยะ ระยะที่ 1 รวบรวมน้ำเสียจากตลาดมีนบุรีย้อนเข้ามาถึงบริเวณวัดบำเพ็ญเหนือ (กิโลเมตรที่ 21.01) ระยะทางตามแนวคลองประมาณ 3 กิโลเมตร (พื้นที่ให้บริการ 2.85 ตารางกิโลเมตร) ระยะที่ 2 จะก่อสร้างท่อรวบรวมน้ำเสียเพิ่มจาก วัดบำเพ็ญเหนือถึงเขตบางกะปิ ระยะทางตามแนวคลองประมาณ 6 กิโลเมตร ดังแสดงในภาพที่ 9 ซึ่งจะเชื่อมต่อกับโครงการบำบัดน้ำเสียวังทองหลาง รวมทั้ง 2 ระยะเป็นระยะทาง 9 กิโลเมตร ที่ตั้งโครงการแสดงดังภาพที่ 10

หลังจากขั้นตอนการเสนอโครงการศึกษาออกแบบโรงบำบัดน้ำเสียมีนบุรีต่อผู้ว่าราชการกรุงเทพมหานครเพื่อขออนุมัติงบประมาณปี พ.ศ. 2554 แล้ว ซึ่งปัจจุบันอยู่ระหว่างการศึกษาความเหมาะสม และออกแบบรายละเอียดของโครงการบำบัดน้ำเสียมีนบุรี สามารถสรุปได้ดังนี้

กรุงเทพมหานคร โดยสำนักการระบายน้ำได้เสนอให้มีการดำเนินการโครงการบำบัดน้ำเสียมีนบุรี เพื่อฟื้นฟูคุณภาพน้ำของคลองต่างๆในพื้นที่ให้ดีขึ้น ซึ่งโครงการนั้นมีสถานะความพร้อมของที่ดินก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียแล้ว บริเวณประตูระบายน้ำแสนแสบมีนบุรี มีเนื้อที่ก่อสร้าง 3 ไร่ 1 งาน 70 ตารางวา โดยระยะแรกจะดำเนินการบำบัดน้ำเสียในบริเวณชุมชนหนาแน่นเขตมีนบุรีก่อน เพื่อรวบรวมน้ำเสียในพื้นที่เขตมีนบุรี และปรับปรุงสภาพแวดล้อมของกรุงเทพมหานคร

ภาพที่ 10 ที่ตั้งโครงการบำบัดน้ำเสียมีนบุรี

ที่มา: สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร (2553)

โครงการศึกษาความเหมาะสม และออกแบบรายละเอียดระบบบำบัดน้ำเสียนี้ครอบคลุมพื้นที่แขวงมีนบุรีและแขวงแสนแสบ เขตมีนบุรี มีขนาดพื้นที่บริการประมาณ 2.85 ตารางกิโลเมตร ขนาดบำบัดปริมาณน้ำเสีย (Dry Weather Flow, DWF) ประมาณ 10,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยมีอายุโครงการเพื่อการออกแบบ (Project Design Life) กำหนดไว้ที่ 25 ปี อย่างไรก็ตาม ต้องออกแบบท่อรับน้ำเสียหลักให้สามารถรับปริมาณน้ำเสียเมื่อประเมินเบื้องต้น 40,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน โดยพิจารณาจากพื้นที่โครงการในอนาคต 23 ตารางกิโลเมตร ทั้งระบบท่อรวบรวมน้ำเสียและระบบบำบัดน้ำเสีย ต้องได้รับการศึกษาออกแบบให้มีความพร้อมที่จะขยายขีดความสามารถขึ้นประมาณอย่างน้อย 40,000 ลูกบาศก์เมตรต่อวัน เพื่อรับน้ำเสียจากพื้นที่บริการที่ขยายตัวได้ในอนาคต โดยมีระยะเวลาดำเนินการศึกษาตั้งแต่วันที่ 19 มีนาคม 2555 จนถึงวันที่ 15 กรกฎาคม 2555 มีระยะเวลาดำเนินการรวม 120 วัน ซึ่งขั้นตอนการก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสีย และระบบรวบรวมน้ำเสียระยะเวลาประมาณ 24 เดือน ใช้งบประมาณรวมทั้งสิ้น 474,300,000 บาท (สำนักจัดการคุณภาพน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร, 2555)

1.6 แผนการก่อสร้างโครงการบำบัดน้ำเสียเพิ่มเติมในอนาคต

จากรายงานแผนแม่บทการศึกษาเบื้องต้นเพื่อการก่อสร้างโครงการบำบัดน้ำเสียในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร (Preparatory Survey for Bangkok Wastewater Treatment Project in Thailand) โดยองค์การความร่วมมือระหว่างประเทศญี่ปุ่น (Japan International Cooperation Agency, JICA) ได้เสนอแผนก่อสร้างโครงการบำบัดน้ำเสียทั้งสิ้น 27 แห่ง (รวมระบบบำบัดน้ำเสียเดิมที่กรุงเทพมหานครมีอยู่ 7 แห่ง) ดังแสดงในตารางที่ 1 ซึ่งมีโครงการบำบัดน้ำเสียที่ครอบคลุมพื้นที่คลองแสนแสบคือ โครงการบำบัดน้ำเสียวังทองหลาง และโครงการบำบัดน้ำเสียมีนบุรี ซึ่งรายละเอียดแสดงในตารางที่ 2 และพื้นที่โครงการแสดงดังภาพที่ 11

ตารางที่ 1 รายละเอียดและพื้นที่ของโครงบำบัดน้ำเสียที่เสนอโดย JICA

ลำดับ	โครงการบำบัดน้ำเสีย	พื้นที่รับของเสีย (เฮคแตร์)
1	สี่พระยา	226
2	รัตนโกสินทร์	367
3	ดินแดง	5,931
4	ช่องนนทรี	2,872
5	หนองแขม	6,239
6	ทุ่งครุเหนือ	1,513
7	ทุ่งครุใต้	2,934
8	จตุจักร	3,645
9	คลองเตย	7,309
10	บางซื่อ	2,095
11	ธนบุรีเหนือ	2,922
12	ธนบุรีใต้	2,087
13	วังทองหลาง	3,547
14	บึงกุ่ม	5,639
15	ดอนเมือง	4,941
16	หนองบอน	6,385
17	มีนบุรี	4,165

ตารางที่ 1 (ต่อ)

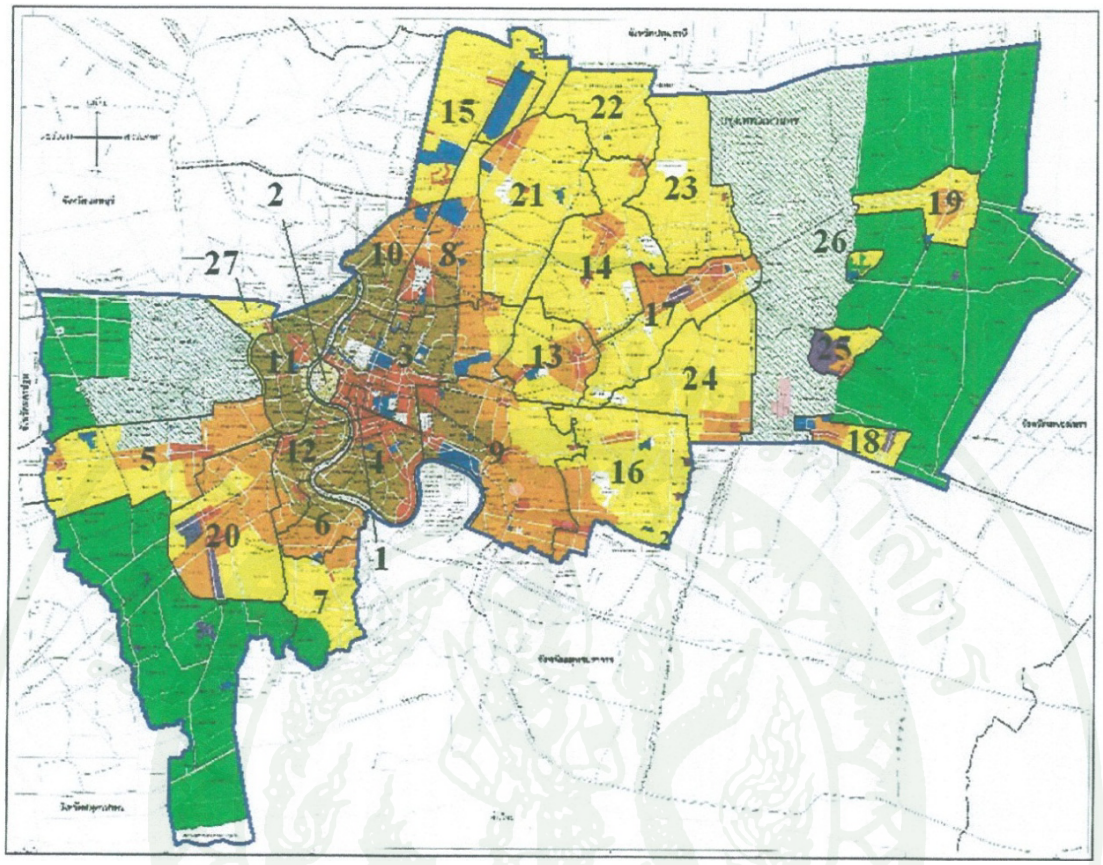
ลำดับ	โครงการบำบัดน้ำเสีย	พื้นที่รับของเสีย (เฮคแตร์)
18	ลาดกระบัง 1	1,258
19	หนองจอก 1	2,109
20	จอมทอง	5,816
21	ลาดพร้าว	6,206
22	สายไหม	2,958
23	คลองสามวา	5,015
24	ลาดกระบัง 2	4,959
25	ลาดกระบัง 3	988
26	หนองจอก 2	309
27	ตลิ่งชัน	759

ที่มา: JICA (2011)

ตารางที่ 2 ข้อมูลโครงการบำบัดน้ำเสียในพื้นที่คลองแสนแสบ

ลำดับ	พื้นที่โครงการบำบัดน้ำเสีย	พื้นที่ (เฮคแตร์)	แผนการใช้ที่ดิน	รับน้ำเสียจากคลอง
1	วังทองหลาง	3,547	บ้านเรือน	ด้านท้ายน้ำของคลองแสนแสบ
2	มีนบุรี	4,165	บ้านเรือน	ด้านต้นน้ำของคลองแสนแสบ

ที่มา: JICA (2011)



ภาพที่ 11 พื้นที่โครงการบำบัดน้ำเสีย (โดยหมายเลข 13 คือพื้นที่โครงการบำบัดน้ำเสียวังทองหลาง และหมายเลข 17 คือพื้นที่โครงการบำบัดน้ำเสียมีนบุรี)

ที่มา: JICA (2011)

2. การศึกษาในอดีตเกี่ยวกับคลองแสนแสบ

จันทนา (2543) ทำการศึกษาการรวมกลุ่มของประชาชนเพื่อการอนุรักษ์คลองแสนแสบในชุมชนกมาลุลอิสลาม รูปแบบของการรวมกลุ่มและผลของการรวมกลุ่ม พบว่าสาเหตุที่ทำให้ประชาชนเข้ามารวมกลุ่มกันเพื่ออนุรักษ์คลองแสนแสบนั้น เกิดจากความผูกพันธ์ที่มีมายาวนานของคนในชุมชนที่มีต่อคลองแสนแสบ ผู้นำชุมชนที่คอยกระตุ้นเตือนให้อนุรักษ์คลองแสนแสบ และที่สำคัญคือ ศาสนาอิสลามที่โดยพื้นฐานทางศาสนาแล้วเป็นศาสนาที่เน้นการรวมกลุ่มในรูปแบบกลุ่มไม่เป็นทางการ และผลของการรวมกลุ่มนั้น ทำให้คลองแสนแสบมีสภาพดีขึ้น

ปิยาลักษณ์ (2545) ทำการศึกษาผลกระทบของการเดินเรือในคลองที่มีต่อผู้ที่อาศัยอยู่ริมคลอง โดยศึกษาความคิดเห็น ทัศนคติของประชาชนที่มีต่อการเดินเรือ และต่อบทบาทคลองเพื่อนำไปสู่ข้อเสนอแนะในการบรรเทาผลกระทบของการเดินเรือ โดยเลือกศึกษาคลองแสนแสบในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งมีการเก็บข้อมูลจากกลุ่มตัวอย่างของผู้อาศัยอยู่ริมคลองแสนแสบจำนวน 230 ราย พบว่าผลกระทบที่เป็นปัญหามากที่สุดในความคิดเห็นของกลุ่มตัวอย่าง คือ เรื่องเสียงจากเรือ ควันดำ ความเร็วของเรือที่ทำให้เกิดคลื่นเซาะตลิ่งสิ่งปลูกสร้าง และความเร็วของการเดินเรือทำให้เกิดน้ำสาดกระเซ็น ซึ่งประชาชนที่อาศัยอยู่ริมคลองส่วนใหญ่ต้องการให้มีการเดินเรือในคลองต่อไป แต่ควรมีการปรับปรุงกิจการในเรื่องต่างๆ ด้วย เช่น ควรดูแลความสะอาด ความมั่นคงปลอดภัย ความสว่างของท่าเรือที่เปิดให้บริการ ควรดูแลในเรื่องควันดำที่เรือปล่อยออกมา ทั้งดูแลสภาพของเรือให้ดีก่อนนำมาให้บริการ และควรลดความเร็วของการเดินเรือลงอีกด้วย

ดำรงศักดิ์ (2549) ทำการศึกษาจากตัวอย่างน้ำเสียในคลองแสนแสบ เพื่อเติมน้ำสกัดชีวภาพที่ผลิตขึ้นเอง กับการเติมน้ำสกัดชีวภาพที่ซื้อมา (ผลิตขายในตลาด เพื่อการค้า) และการไม่เติมน้ำสกัดชีวภาพในการบำบัดน้ำเสียที่ระยะเวลาในการบำบัด 3 วัน 6 วัน และ 9 วัน เพื่อเปรียบเทียบคุณภาพน้ำที่ผ่านการบำบัด ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่า การใช้น้ำสกัดชีวภาพไม่สามารถบำบัดตัวอย่างน้ำเสียในคลองแสนแสบได้ ทั้งนี้เนื่องจากจุลินทรีย์ที่มีอยู่ในน้ำสกัดชีวภาพเป็นกลุ่มจุลินทรีย์แบบไม่ใช้ออกซิเจน ส่งผลให้ไม่สามารถเจริญเติบโตแข่งขันกับจุลินทรีย์ที่มีอยู่เดิมในน้ำตามสภาพธรรมชาติ ซึ่งเป็นจุลินทรีย์กลุ่มที่ต้องการออกซิเจนได้ เพราะสามารถปรับตัวต่อสภาพแวดล้อมต่างๆ ได้ดีกว่า ส่วนระยะเวลาการบำบัดที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการบำบัดตัวอย่างน้ำเสียในคลองแสนแสบให้ดีขึ้นได้ ยกเว้นค่าบีโอดีที่ระยะเวลา 6 วัน จะเพิ่มสูงขึ้นเนื่องจากการขาดแคลนอาหารทำให้เกิดการตายของจุลินทรีย์ อย่างไรก็ตามความสกปรกของตัวอย่างน้ำเสียในคลองแสนแสบยังอยู่ในภาวะที่สามารถฟอกตัวเองให้กลับคืนสภาพดังเดิมได้แต่ต้องใช้ระยะเวลาหนึ่ง

นที (2551) การศึกษาเส้นทางการเดินเรือในคลองแสนแสบที่น่าจะนำมาใช้เป็นประโยชน์ได้ จากการสำรวจและศึกษาข้อมูลคลองแสนแสบพบว่า มีลักษณะพาดผ่านกลางพื้นที่ไปสู่ด้านทิศตะวันออก โดยมีถนนคู่ขนานตลอดแนว และจากบริเวณประตูน้ำบางชันไปจนสุดเขตหนองจอก จึงได้เน้นศึกษาคลองแสนแสบในช่วงตั้งแต่ กิโลเมตรที่ 0 บริเวณตลาดโบ๊เบ๊ ถึงกิโลเมตรที่ 16 บริเวณท่าวัดศรีบุญเรือง ซึ่งมีการเดินเรือเพื่อการขนส่งผู้โดยสาร โดยพบว่ามีชุมชนริมคลองตั้งอยู่ในบริเวณดังกล่าวเป็นจำนวนถึง 15 ชุมชน และพบว่าเส้นทางเข้าสู่ในพื้นที่ชุมชนมีลักษณะเป็นซอย

แคบถึงร้อยละ 80 รถดับเพลิงเข้าในพื้นที่ทำได้ลำบาก ดังนั้นจึงมีความเป็นไปได้ในการนำเรือมาช่วยเพื่อการดับเพลิง

ชัยวิรัตน์ (2552) ได้ศึกษาประเมินมูลค่าและปัจจัยที่ส่งผลต่อความเต็มใจที่จะจ่ายเพื่อบำบัดน้ำเสียในคลองแสนแสบ พบว่าค่าเฉลี่ยของความเต็มใจที่จะจ่ายเท่ากับ 163.68 บาทต่อเดือนต่อครัวเรือน สำหรับปัจจัยที่มีผลต่อความเต็มใจที่จะจ่ายค่าธรรมเนียมคือ ความตระหนักรู้เกี่ยวกับคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ รายได้ต่อเดือนหลังหักภาษีสูงสุด ความรู้ความเข้าใจในการบำบัดน้ำเสีย ระดับการศึกษาสูงสุด และจำนวนเงินราคาเสนอเริ่มต้น ผลที่ได้จากการศึกษาสามารถนำไปใช้ประโยชน์ในการกำหนดวางแผนนโยบายการจัดเก็บค่าธรรมเนียม เพื่อปรับปรุงคุณภาพน้ำเสียในคลองแสนแสบ โดยกรุงเทพมหานครหรือหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการดูแลรักษาคลองแสนแสบควรที่จะส่งเสริมสื่อสารให้ความรู้ความเข้าใจให้ประชาชนมีความตระหนักเกี่ยวกับปัญหาน้ำเน่าเสียคลองแสนแสบมากขึ้นในปัจจุบัน

กษิดิศ (2553) ทำการศึกษาสาเหตุแหล่งที่มาของปัญหาน้ำเสียในคลองแสนแสบ และศึกษาอำนาจ หน้าที่ของหน่วยงานที่รับผิดชอบในการป้องกันควบคุมปัญหาน้ำเสีย รวมถึงประสิทธิภาพของกฎหมาย ซึ่งหน่วยงานที่รับผิดชอบได้นำมาใช้เพื่อการป้องกันควบคุมปัญหาน้ำเสียในคลองแสนแสบ โดยสามารถนำไปสู่แนวทางการปรับปรุงมาตรการทางกฎหมายที่ใช้ในการป้องกันควบคุมปัญหาน้ำเสีย และสภาพบังคับทางกฎมาย เพื่อความเหมาะสมกับการป้องกันและควบคุมมลพิษทางน้ำที่เกิดขึ้นกับคลองแสนแสบ เนื่องจากปัญหาที่สำคัญคือ การระบายน้ำเสียลงสู่คลองแสนแสบในปัจจุบันนี้ กล่าวคือ ปัญหาน้ำเสียจากการทิ้งขยะ การระบายน้ำที่ไม่ได้มาตรฐาน หรือไม่ได้บำบัดลงสู่ลำคลองจากประชาชนที่อยู่อาศัยริมคลอง ภัตตาคาร ร้านอาหาร สถานบริการต่างๆ และโรงงานอุตสาหกรรม ยิ่งไปกว่านั้น เมื่อกล่าวถึงเรือยนต์ที่ให้บริการในคลองแสนแสบจะพบว่าเรือดังกล่าวก็เป็นแหล่งก่อปัญหามลพิษหลายชนิด

3. แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11

แบบจำลอง MIKE 11 เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1972 โดย DHI Water and Environment (DHI, 2011) ประเทศเดนมาร์ก เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้จำลองสภาพการไหล การแพร่กระจายของมวลสาร การเคลื่อนที่และการทับถมของตะกอน

คุณภาพน้ำในแบบ 1 มิติ สำหรับในงานวิจัยนี้ได้นำแบบจำลองย่อย 3 แบบจำลองมาใช้ในการศึกษาสภาพคุณภาพน้ำของคลองแสนแสบ ซึ่งรายละเอียดของแต่ละแบบจำลองย่อยมีดังนี้

3.1 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model, HD Model)

แบบจำลองย่อย MIKE 11 HD (Hydrodynamic Model) ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมการเซนท์-วีแนนท์ (Saint-Venant) ซึ่งได้พัฒนาขึ้นในปี ค.ศ. 1871 โดย Barre de Saint Venant และสามารถวิเคราะห์การไหลในทางน้ำเปิดที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลาในแบบ 1 มิติ เช่น แม่น้ำ ทะเลสาบ เป็นต้น ซึ่งผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองประกอบด้วย ระดับน้ำ ปริมาณการไหล และความเร็วที่เปลี่ยนแปลงไปตามเวลา โดยจะนำไปใช้เป็นข้อมูลด้านเข้าสำหรับแบบจำลองย่อยการพาและแพร่กระจาย MIKE 11 AD (Advection-Dispersion Model) และแบบจำลองย่อยด้านคุณภาพน้ำ MIKE 11 ECO Lab (Water Quality Model)

3.2 แบบจำลองการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Model, AD Model)

แบบจำลองย่อย MIKE 11 AD เป็นแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์ลักษณะการเคลื่อนตัวของสารในลำน้ำแบบหนึ่งมิติ โดยอาศัยหลักการของกฎทรงมวล (Mass Balance) เพื่อใช้ในการอธิบายลักษณะการพาและแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ ทั้งนี้แบบจำลองนี้ จะถูกคำนวณควบคู่ไปกับแบบจำลอง MIKE 11 ECO Lab (Water Quality Model)

3.3 แบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model, ECO Lab Model)

แบบจำลองย่อย MIKE 11 ECO Lab เป็นแบบจำลองย่อยทางคุณภาพน้ำ ซึ่งโปรแกรมถูกพัฒนามาจาก MIKE 11 WQ (Water Quality Model) เป็นแบบจำลองย่อยที่ใช้คำนวณคุณภาพน้ำได้ดี สามารถพิจารณาตัวแปรด้านคุณภาพน้ำได้หลากหลายตัวแปร ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆของมนุษย์ เช่น การลดลงของปริมาณออกซิเจน กระบวนการพื้นฐานของออกซิเจนละลายน้ำ ระดับแอมโมเนีย ซึ่งเป็นผลมาจากปริมาณอินทรีย์ที่ถูกระบายลงสู่แม่น้ำ โดยใช้สมการที่สามารถอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในลำน้ำ

4. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

4.1 แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model, HD Model)

แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) เป็นการจำลองสภาพทางกายภาพของแหล่งน้ำ โดยนำข้อมูลต่างๆ เช่น รูปตัดขวางลำน้ำ ปริมาณน้ำ ระดับน้ำ เป็นต้น มาใช้คำนวณเพื่อจำลองลักษณะการไหลของลำน้ำ โดยใช้การแก้ปัญหาแบบ Implicit Finite Difference ในการคำนวณสภาพการไหลแบบไม่คงที่ (Unsteady Flow) ในลำน้ำและบริเวณปากแม่น้ำ ซึ่งแบบจำลองอุทกพลศาสตร์สามารถอธิบายสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบต่ำกว่าวิกฤต (Subcritical Flow) และการไหลแบบเหนือวิกฤต (Supercritical Flow) ตลอดจนสามารถคำนวณการไหลในระบบลำน้ำที่มีการไหลเข้าด้านข้าง (Lateral Side Flow) และแสดงผลการคำนวณเปลี่ยนแปลงตามเวลา (Time) และสถานที่ (Space)

4.1.1 สมการเซนท์-วีแนนท์ (Saint-Venant Equations)

MIKE 11 HD สามารถนำมาประยุกต์ใช้กับลักษณะของคลื่นแบบพลศาสตร์ (Dynamic Wave Description) โดยใช้การแก้สมการของการอินทิเกรชั่นในแนวดิ่ง (Vertically Integrated Equations) ของสมการต่อเนื่อง (Conservation of Continuity) และสมการโมเมนตัม ซึ่งรวมเรียกว่า Saint Venant Equations โดยมีสมมติฐานดังนี้

1) การไหลเป็นแบบหนึ่งมิติ (One-Dimensional Flow) โดยที่ความลึก และความเร็วในการไหลเปลี่ยนแปลงในทิศทางการไหลตามความยาวของลำน้ำ ซึ่งหมายความว่าความเร็วมีค่าคงที่ และผิวน้ำอยู่ในแนวระดับกับหน้าตัดใดๆ ที่ตั้งฉากกับแกนตามแนวความยาว

2) สมมติให้การไหลเป็นแบบค่อยๆ เปลี่ยนแปลง (Gradually Varied Flow) ตามแนวลำน้ำ ดังนั้นแรงดันของน้ำแบบสถิต (Hydrostatic Pressure) และความเร่งในแนวตั้ง (Vertical Accelerations) สามารถไม่นำมาพิจารณาได้

3) แกนตามแนวความยาวของลำน้ำเป็นเส้นตรงโดยประมาณ

4) ความลาดชันของท้องน้ำมีน้อย และท้องน้ำยมีลักษณะที่ไม่เปลี่ยนแปลง ซึ่งหมายความว่าผลของการกัดเซาะ (Scour) และการทับถม (Deposition) ของท้องน้ำไม่นำมาพิจารณาในสมการเซนท์-วีแนนท์ (Saint Venant)

5) ค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทาน (Resistance Coefficients) สำหรับการไหลแบบ Steady Uniform Turbulent Flow สามารถนำมาประยุกต์ใช้ได้ เช่น ความสัมพันธ์ของสมการแมนนิ่ง สามารถนำมาใช้เพื่ออธิบายผลที่เกิดจากความเสียดทานได้ เป็นต้น

6) น้ำมีลักษณะที่ไม่สามารถถูกกดอัดได้ (Incompressible) และเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งหมายความว่าจะไม่คำนึงถึงการเปลี่ยนแปลงความหนาแน่นของน้ำ โดยที่สมการเซนท์-วีแนนท์ (Saint Venant)

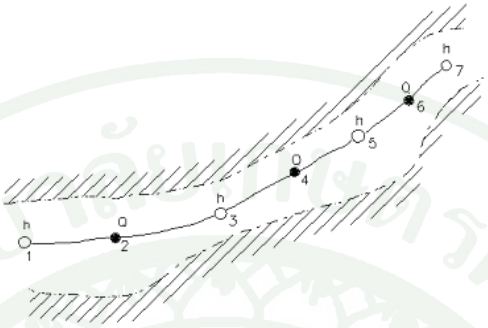
4.1.2 สมการอิมพลิชิทไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ (Implicit Finite Difference Equation)

วิธี Implicit Finite Difference Equations เป็นวิธีที่สามารถหาคำตอบของสมการการไหลไม่คงที่ (Unsteady Flow) โดยการแบ่งการคำนวณออกเป็นช่วงๆ แล้วเริ่มการคำนวณออกจากจุดเริ่มต้น (จุดที่ทราบค่า) และคำนวณค่าถัดไปเรื่อยๆ ทีละค่า ซึ่งการคำนวณวิธีนี้จะต้องทราบหรือต้องทำการสมมติเงื่อนไขสภาพเริ่มต้น (Initial Condition) และสภาพขอบเขต (Boundary Condition) ที่แน่นอน

การแก้สมการต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัม กระทำได้โดยใช้วิธี Implicit Finite Difference Equations แบบ 6 จุด ซึ่งการกำหนดกริดตามวิธีของ Implicit เป็นการกำหนดจุดระหว่างตำแหน่งที่ทราบค่า คือ สภาพขอบเขตบน (Upstream Boundary) และสภาพขอบเขตล่าง (Downstream Boundary) เพื่อคำนวณค่าระดับน้ำ หรือปริมาณน้ำของกริดที่ประมาณตำแหน่งขึ้นโดยกำหนดให้ Computational Grid ของ Q (อัตราการไหล) หรือ h (ระดับน้ำ) อันใดอันหนึ่งสามารถนำมาใช้ดังแสดงในภาพที่ 12

โดยที่ Computational Grid จะถูกสร้างขึ้นมาโดยอัตโนมัติตามความต้องการของผู้ใช้ ณ จุดต่างๆ ของ Q (Q point) จะถูกกำหนดไว้ที่จุดกึ่งกลางระหว่างจุดของ h ที่อยู่ติดกันและตำแหน่งที่มีอาคารชลศาสตร์ ในขณะที่จุดของ h นั้นจะกำหนดไว้ที่รูปหน้าตัดขวางใดๆ หรือ

ในระหว่างกึ่งกลางของระยะทางระหว่างหน้าตัดขวางใดๆ ที่มีระยะห่างมากกว่า dx-max โดยอัตราการไหลถูกกำหนดให้เป็นบวกในแนวแกน x ที่มีค่าเป็นบวกตามแนวระยะทางที่เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 12 Computation Grid ของแต่ละหน้าตัดของลำน้ำ

ที่มา: DHI (2011)

สำหรับหน้าตัดที่เป็นรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ซึ่งท้องน้ำเป็นแนวราบและความกว้างคงที่ กฎทรงมวลและโมเมนตัมสามารถใช้ได้ในกรณีนี้ ซึ่งต้องตัดค่าความเสียดทานและการไหลเข้าทางด้านข้าง (Lateral Inflow) ของลำน้ำออก โดยสมการทรงมวลและสมการโมเมนตัมสามารถเขียนได้ดังสมการที่ (1) และ (2) ดังนี้

หลักทรงมวล (Conservation of Mass)

$$B\frac{\partial h}{\partial t} + h\frac{\partial (AV)}{\partial x} = 0 \qquad (1)$$

หลักการทรงโมเมนตัม (Conservation of Momentum)

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho hBv) = \frac{\partial}{\partial x}(\alpha \rho hBv^2 + \frac{1}{2}\rho g h^2) \qquad (2)$$

เมื่อ ρ = ความหนาแน่นของน้ำ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

h = ความลึก (เมตร)

B = ความกว้าง (เมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (ตารางเมตร)

v = ค่าความเร็วเฉลี่ยที่ผ่านหน้าตัดลำน้ำ (เมตรต่อวินาที)

α = สัมประสิทธิ์การกระจายความเร็วในแนวดิ่ง (ตารางเมตรต่อวินาที)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที^{2})

เมื่อมีความลาดเอียงของท้องน้ำ (I_B) และความกว้างของลำน้ำมีการเปลี่ยนแปลง จึงมีการเพิ่มเทอมลงในสมการโมเมนตัม โดยเทอมดังกล่าวจะอธิบายถึงส่วนที่เพิ่มออกมาในทิศทางการไหลของท้องน้ำ และด้านข้างเป็นปฏิกิริยาบน Hydrostatic Pressure ดังนั้นสามารถเขียนสมการโมเมนตัมได้ดังสมการที่ (3) และ (4) ดังนี้

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho hBv) = \frac{-\partial}{\partial x}(\alpha\rho hBv + \frac{1}{2}\rho gB(h)^2) + \frac{\partial B}{\partial x}\frac{1}{2}\rho gh^2 - \partial ghBI_B \tag{3}$$

$$\frac{\partial}{\partial t}(\rho hBv) = \frac{-\partial}{\partial x}(\alpha\rho hBv^2) + b\frac{\partial}{\partial x}(\frac{1}{2}\rho gh^2) - \rho ghBI_B \tag{4}$$

เมื่อมีการนำค่าระดับน้ำ (h) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ที่ใช้แทนที่ความลึกของน้ำจะเป็นดังสมการที่ (5)

$$\frac{\partial h}{\partial x} = I_B + \frac{\partial h}{\partial x} \tag{5}$$

จากสมการที่ (1) และ (2) หากตัดค่า ρ ออกจะได้สมการทรงมวลแสดงดังสมการที่ (6) และ (7) และสมการทรงโมเมนตัมแสดงดังสมการที่ (8) และ (9) ดังนี้

สมการทรงมวล

$$\frac{\partial}{\partial x}(hB) = -\frac{\partial}{\partial x}(hBv) \tag{6}$$

หรือ

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = 0 \tag{7}$$

สมการทรงโมเมนตัม

$$\frac{\partial}{\partial x}(hBv) = -\frac{\partial}{\partial x}(\alpha hBv^2) - hBg\frac{\partial h}{\partial x} \tag{8}$$

หรือ

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\alpha \frac{Q^2}{A}) + gA\frac{\partial h}{\partial x} = 0 \tag{9}$$

เมื่อรวมค่าความต้านทานทางชลศาสตร์ (Hydraulic Resistance) และค่าการไหลเข้าด้านข้าง จากสมการที่ (8) และ (9) นั้น จะสามารถนำไปเป็นสมการพื้นฐานที่ใช้ใน MIKE 11 คือ สมการที่ (10) และ (11) ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + \frac{\partial A}{\partial t} = q \tag{10}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x}(\alpha \frac{Q^2}{A}) + gA\frac{\partial h}{\partial x} + \frac{gQ|Q|}{c^2 AR} = 0 \tag{11}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (ตารางเมตร)

c = สัมประสิทธิ์ความต้านทานของเชซี (Chezy Resistance Coefficient)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที^{2})

h = ระดับน้ำเหนือระดับอ้างอิง (เมตร)

Q = อัตราการไหล (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

R = รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius) (เมตร)

α = Momentum Distribution Coefficient

q = อัตราการไหลด้านข้างต่อหน่วยความยาวลำน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

t = เวลา (วินาที)

4.1.3 สัมประสิทธิ์ที่พิจารณาในแบบจำลองทางชลศาสตร์

1) ความเสียดทานท้องน้ำ (Bed Resistance) สำหรับ MIKE 11 มีสมการที่เกี่ยวข้องกับความเสียดทานท้องน้ำให้เลือก 2 สมการ คือ สมการที่ (12) และ (13) (DHI, 2011) ดังนี้

Chezy Description มีสมการ ดังนี้

$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{c^2 AR} \tag{12}$$

เมื่อ c = สัมประสิทธิ์เชซี (Chezy Coefficient)

Manning Description มีสมการ ดังนี้

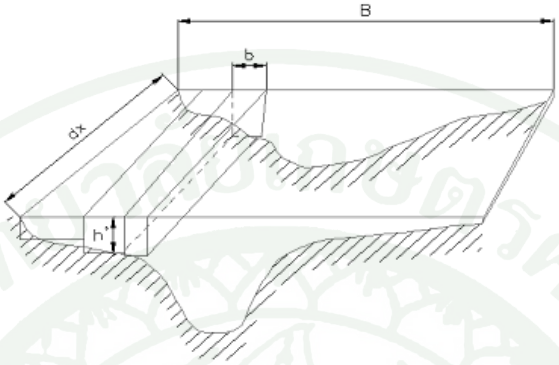
$$\tau_r = \frac{gQ|Q|}{M^2 AR} \tag{13}$$

เมื่อ M = เลขแมนนิ่ง (Manning Number)

ค่าเลขแมนนิ่งที่ใช้ใน MIKE 11 คือ 1/n ซึ่ง n คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) จะมีค่าอยู่ในช่วง 0.01 (ท้องน้ำราบเรียบ) – 0.10 (ท้องน้ำขรุขระมาก) ดังนั้นจะทำให้ทราบว่าเลขแมนนิ่ง (Manning Number) มีค่าอยู่ในช่วง 10 (ท้องน้ำขรุขระมาก) - 100 (ท้องน้ำราบเรียบ) ความสัมพันธ์ระหว่าง Chezy Coefficient กับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระเขียนดังสมการที่ (14)

$$C = \frac{R^{1/6}}{n} = MR^{1/6} \tag{14}$$

2) รัศมีความต้านทาน (Resistance Radius: R*) ใช้เพื่อช่วยในการคำนวณรัศมีชลศาสตร์ และพื้นที่ภาพตัดขวางดังแสดงในภาพที่ 13 ซึ่งสามารถคำนวณได้โดยสมการที่ (15)



ภาพที่ 13 หน้าตัดลำน้ำที่พิจารณาในการหารัศมีความต้านทาน

ที่มา: DHI (2011)

$$\sqrt{R^*} = \frac{1}{A}\int_0^B y^{3/2} db \tag{15}$$

เมื่อ B = ความกว้างของหน้าตัดลำน้ำ (เมตร)

b = ความกว้างผิวน้ำที่ระดับ y ที่พิจารณา (เมตร)

y = ความลึกในหน้าตัดย่อยที่พิจารณา (เมตร)

A = พื้นที่หน้าตัดย่อย (ตารางเมตร)

จากสมการที่ (16) จะเห็นว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) จะมีผลน้อยมากในหน้าตัดย่อยที่พิจารณา

$$A_C = \sum_{i=1}^{NS} \frac{A_i}{r_r} \tag{16}$$

เมื่อ A_C = พื้นที่หน้าตัดทั้งหมด (ตารางเมตร)

A_i = จำนวนหน้าตัดย่อยที่พิจารณามีค่าเท่ากับจำนวน Coordinate x-z ลบด้วย 1

r_r = Relative Resistance

ดังนั้นสมการที่ (15) เขียนใหม่ได้ดังสมการที่ (17)

$$\sqrt{R^*} = \frac{1}{A}\int_0^B \frac{y}{r_r}^{3/2} db \tag{17}$$

3) รัศมีชลศาสตร์ (Hydraulic Radius, R) ซึ่งจะพิจารณาหน้าตัดเป็นแนวขนานกันตามระดับความลึกของลำน้ำ โดยที่ค่าความจุหน้าตัด (Conveyance, K) มีค่าเท่ากับค่าความจุหน้าตัดย่อยรวมกัน ดังสมการที่ (18) และ (19)

$$K = \sum_{i=1}^{N} K_i \tag{18}$$

$$\frac{AR_h^{2/3}}{N} = \sum_{i=1}^{N} \frac{A_i R_{hi}^{2/3}}{r_r N} \tag{19}$$

เมื่อ N = จำนวนหน้าตัดลำน้ำย่อย

A = พื้นที่หน้าตัดการไหลทั้งหมด (Effective Flow Area) หรือ พื้นที่หน้าตัดไหลรวม (Total Flow Area) (ตารางเมตร)

ดังนั้น จากสมการที่ (15) สามารถเขียนได้ดังสมการที่ (20)

$$R_h = \left[\frac{\sum_{i=1}^{N} \frac{A_i^{5/3}}{r_r P_i^{2/3}}}{A} \right]^{3/2} \tag{20}$$

โดยที่

$$R_h = \frac{A_i}{P_i} \tag{21}$$

เมื่อ A_i = พื้นที่หน้าตัดย่อย

P_i = พื้นที่ขอบเปียกหน้าตัดย่อยไม่นับผิวสัมผัสระหว่างหน้าตัด

ดังนั้นสมการที่ (21) จะได้เป็นสมการที่ (22) คือ

$$R_h = \frac{A}{P} \tag{22}$$

การหาค่าสัมประสิทธิ์ของความต้านทานการไหล เนื่องจากความขรุขระของทางน้ำ ซึ่งหมายถึงค่า C, n หรือ M นั้นสามารถประเมินได้โดยการสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) โดยการเปรียบเทียบระหว่างลักษณะทางกายภาพที่ได้จากแบบจำลอง และลักษณะทางกายภาพของสภาพความเป็นจริงที่ได้จากการเก็บรวบรวมข้อมูลในสนาม

นอกจากนั้นสามารถประเมินค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) ได้จากการสอบเทียบแบบจำลองของระบบการทำงานอื่น ๆ ที่มีลักษณะทางกายภาพของภูมิประเทศที่คล้ายคลึงกัน สำหรับค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของลำน้ำ โดยประมาณของการไหลทางน้ำเปิดทั่วไปแสดงดังตารางที่ 3

4.1.4 วิธีการคำนวณผลลัพธ์

ในการคำนวณผลลัพธ์มีหลายวิธี แต่สำหรับการศึกษานี้ใช้วิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ (Finite Difference) แบบอิมพลิซิท (Implicit) มีรายละเอียดดังนี้

การคำนวณผลลัพธ์ทางชลศาสตร์เป็นการแก้สมการความต่อเนื่อง และสมการโมเมนตัมในเวลาเดียวกัน การหาคำตอบจึงไม่สามารถแก้สมการอนุพันธ์ย่อย (Partial Differential Equation) โดยตรงหรือโดยการวิเคราะห์ (Analytical Solution) ได้ จึงจำเป็นต้องอาศัยวิธีเชิงตัวเลข (Numerical Technique) ซึ่งเป็นการใช้เทคนิคและข้อกำหนดต่างๆ โดยวิธีการนี้มีหลายแบบ เช่น ไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ (Finite Difference) หรือ ไฟไนท์อิลิเมนท์ (Finite Element) เป็นต้น

วิธีไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ เป็นวิธีที่สามารถหาคำตอบของสมการสำหรับการไหลไม่คงที่ โดยการแบ่งการคำนวณออกเป็นช่วงๆ (Discrimination) แล้วเริ่มการคำนวณจาก

จุดเริ่มต้น (ทราบค่า) และคำนวณค่าถัดไปเรื่อยๆ ทีละน้อย โดยแบ่งออกเป็น 3 วิธี คือ วิธีคาร์แร็กเตอริลติก (Characteristic) วิธีเอ็กพลิซิท (Explicit) และวิธีอิมพลิซิท (Implicit) วิธีการเหล่านี้จะต้องทราบ หรือสมมติกำหนดเงื่อนไขสภาพเริ่มต้น (Initial Condition) และสภาพขอบเขต (Boundary Condition) ที่แน่นอนเสมอ

ตารางที่ 3 สัมประสิทธิ์ความขรุขระที่ท้องลำน้ำของทางน้ำเปิด

ชนิดทางน้ำเปิด	สัมประสิทธิ์ความขรุขระ Manning's n
คอนกรีต	0.012
คลองดาด	0.014
คลองดาดคอนกรีตแบบผิวเรียบ	0.020
คลองดาดคอนกรีตแบบธรรมดา	0.023
หินทิ้ง	0.033
ทางน้ำธรรมชาติ	
คลองสะอาด และเป็นคลองตรง	0.030
คลองสะอาด และเป็นคลองคดเคี้ยว	0.040
คลองคดเคี้ยวมีวัชพืช และหลุมบ่อ	0.050
พุ่มไม้หนาแน่น และมีเศษท่อนไม้	0.100

ที่มา: Chow (1959)

วิธีการแบบอิมพลิซิท (Implicit) เป็นการเปลี่ยนสมการพื้นฐานให้อยู่ในรูปไฟไนท์ดิฟเฟอร์เรนท์ (Finite Difference) โดยตรง แล้วทำการคำนวณไปตามระนาบระยะทาง (x) และเวลา (t) ที่แบ่งเป็นตารางสี่เหลี่ยม

โดยคำนวณคำตอบ (ความลึกและความเร็ว) ที่ทุกๆ จุด สำหรับเวลา t ใดๆ จากการแก้สมการพลังงาน และสมการโมเมนตัมพร้อมกัน $2n$ สมการ (เมื่อ n เป็นจำนวนจุดบนระยะทาง x) ของการแก้สมการรวมทั้งหมด เพราะค่าของตัวแปรในเวลาข้างหน้าเป็นสมการของตัวแปรที่ยังไม่ทราบค่าในเวลาปัจจุบัน โดยมีขั้นตอนดังนี้

1) การกำหนดกริด

การกำหนดกริดตามวิธีการอิมพลิชิท (Implicit) เป็นการกำหนดจุดระหว่างตำแหน่งที่ทราบค่าคือ สภาพขอบเขตบน (Upstream Boundary) สภาพขอบเขตล่าง (Downstream Boundary) เพื่อคำนวณค่าระดับน้ำ หรือปริมาณน้ำของกริดที่ประมาณตำแหน่งขึ้น ประกอบด้วยจุดปริมาณน้ำ (Q) และจุดระดับน้ำ (h) สลับกัน โดยคำนวณขึ้นตามเวลาที่กำหนด (Time Step, Δt) จะพบว่า จุด Q และ h อยู่ระหว่างกันหรือสลับกัน โดยระยะระหว่างจุด Q และ h จะแตกต่างกันไปตามข้อมูลที่กำหนดให้ ซึ่งเวลาที่กำหนดจะต้องใช้ค่าที่เหมาะสมเพื่อให้สมการเป็นแบบผันแปรเชิงเส้น (Linear Variation) โดยมีวิธีการประมาณค่าดังสมการที่ (23) และ (24) ดังนี้

Courant Criteria (C_n)

$$C_n = (v + \sqrt{gd})\frac{\Delta t}{\Delta x} \leq 10 - 15 \qquad (23)$$

เมื่อ v = ความเร็วเฉลี่ยของหน้าตัด (เมตรต่อวินาที)

d = ความลึกการไหลเฉลี่ย (เมตร)

t = เวลาที่กำหนด (วินาที)

x = ระยะกำหนด (Space Step)

g = แรงโน้มถ่วงของโลก (เมตรต่อวินาที^{2})

Velocity Criteria

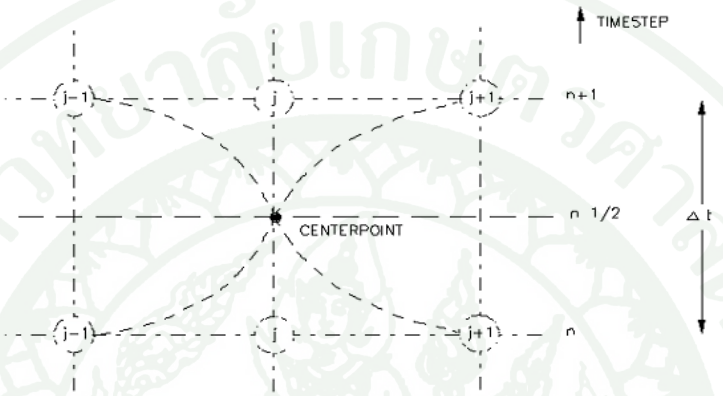
$$\frac{v\Delta t}{\Delta x} \leq 1 - 2 \qquad (24)$$

2) การคำนวณกริด (Grid Computation)

การคำนวณกริดสำหรับแบบจำลอง MIKE 11 จะใช้วิธีตาม Abbott และ Lonescu ซึ่งพัฒนาการคำนวณกริดที่แสดงด้วยภาพ Center 6 point Abbott ดังภาพที่ 12 สามารถเขียนสมการต่อเนื่องได้ดังสมการที่ (25)

$$\frac{\partial Q}{\partial x} + b\frac{\partial h}{\partial t} = q \tag{25}$$

จากสมการ ค่า Q มีความสัมพันธ์กับระยะทาง x เพื่อแก้สมการหาค่า h ที่จุดศูนย์กลางสามารถแสดงเป็นภาพได้ดังภาพที่ 14



ภาพที่ 14 Center 6 point Abbot Scheme

ที่มา: DHI (2011)

เมื่อพิจารณาอนุพันธ์ที่อยู่ในเวลา n + 1/2 ดังสมการที่ (26) และ (27) ดังนี้

$$\frac{\partial Q}{\partial x} \approx \frac{\frac{1}{2}(Q_{j+1}^{n+1} + Q_{j+1}^{n}) - \frac{1}{2}(Q_{j-1}^{n+1} + Q_{j-1}^{n})}{\Delta 2x_j} \tag{26}$$

$$\frac{\partial Q}{\partial h} \approx \frac{(h_j^{n+1} - h_j^{n})}{\Delta t} \tag{27}$$

เมื่อ b ในสมการที่ (25) สามารถประมาณได้จากสมการที่ (28)

$$b = \frac{A_{0,j} + A_{0,j+1}}{2\Delta x_j} \tag{28}$$

เมื่อ $A_{0,j}$ = พื้นที่ผิวระหว่างจุดกริด *j-1* กับ *j*

$A_{0,j+1}$ = พื้นที่ผิวระหว่างจุดกริด *j* กับ *j+1*

$2\Delta x_j$ = ระยะระหว่างจุดกริด *j-1* กับ *j+1*

สำหรับสมการที่ (27) ซึ่งอยู่ในรูป Quadratic Term มีสูตรคำนวณเพื่อให้สามารถแสดงทิศทางของ Q ได้อย่างถูกต้อง ระหว่างการเปลี่ยนระดับเวลาดังสมการที่ (29)-(31)

$$\frac{\partial h}{\partial x} \approx \frac{\frac{1}{2}(h_{j+1}^{n+1} + h_{j+1}^{n}) - \frac{1}{2}(h_{j-1}^{n+1} + h_{j-1}^{n})}{\Delta 2x_j} \tag{29}$$

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right) \approx \frac{\left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right)_{j+1}^{n+1/2} - \left(\alpha \frac{Q^2}{A}\right)_{j-1}^{n+1/2}}{\Delta 2xj} \tag{30}$$

$$Q^2 \approx fQ_j^{n+1} - (f-1)Q_j^n Q_j^n \tag{31}$$

เมื่อ f = Theta Coefficient

3) สภาพขอบเขตเงื่อนไข

สภาพขอบเขตเงื่อนไข (Boundary Conditions) โดยเงื่อนไขขอบเขตที่ต้องกำหนดในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ แบ่งออกเป็น 2 เงื่อนไขขอบเขตคือ

ขอบเขตด้านเหนือน้ำ (Upstream Boundary) สามารถกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลอัตราการไหลคงที่จากอ่างเก็บน้ำ และข้อมูลอัตราการไหลของกราฟน้ำท่าจากเหตุการณ์ต่างๆ

ขอบเขตด้านท้ายน้ำ (Downstream Boundary) จะกำหนดในแบบจำลองโดยอาศัยข้อมูลระดับน้ำคงที่ เช่น ระดับน้ำในอ่างเก็บน้ำขนาดใหญ่ ข้อมูลระดับน้ำที่เปลี่ยนแปลงไป

ตามเวลา ตัวอย่างเช่น ระดับน้ำขึ้นลงของน้ำทะเล และข้อมูลโค้งความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำกับอัตราการไหล (Rating Curve) เป็นต้น

4.2 แบบจำลองการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Model, AD Model)

แบบจำลองการพาและแพร่กระจายนั้น สามารถอธิบายถึงกลไกการเคลื่อนที่ของสารในลำน้ำโดยสามารถอธิบายได้ใน 2 ลักษณะ (Fischer *et al.,* 1979; Thomann and Mueller, 1987)

4.2.1 การพา (Advective or Convective Transport)

การพาเป็นกระบวนการเคลื่อนย้ายของสารจากที่หนึ่งไปยังอีกที่หนึ่ง โดยอิทธิพลการไหลของน้ำ ซึ่งทิศทางการเคลื่อนที่กับทิศทางการไหลในบริเวณปากแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลกระแสน้ำขึ้นน้ำลงจากทะเล จะมีทิศทางบวกเมื่อการไหลของน้ำไหลออกสู่ทะเล และจะมีทิศทางลบเมื่อไหลย้อนกลับไปในแม่น้ำ

4.2.2 การแพร่กระจาย (Dispersive Transport)

การแพร่ (Diffuse) เป็นการเคลื่อนที่ของสารในลักษณะฟุ้งกระจายทุกทิศทุกทาง เมื่อรวมกับการเคลื่อนที่ของทิศทางการไหลของน้ำ จะเกิดกระบวนการแพร่กระจาย (Dispersion) ในทิศทางการไหลของน้ำ การแพร่กระจายมวลสารสามารถแบ่งออกได้ 3 ลักษณะตามแนวการแพร่กระจาย คือ

1) การแพร่กระจายแนวดิ่ง (Vertical Dispersion)

2) การแพร่กระจายแนวขวาง (Horizontal or Lateral Dispersion)

3) การแพร่กระจายแนวยาว (Longitudinal Dispersion)

ในการแพร่กระจายทั้ง 3 ลักษณะ มีความสำคัญต่อการผสมผสานของมวลสารในแหล่งน้ำเป็นอย่างมาก ซึ่งมีความสำคัญมากกว่าการแพร่ในระดับโมเลกุล (Molecular Diffusion)

และการแพร่กระจายความร้อน (Thermal Diffusion) เนื่องจากแบบจำลอง MIKE 11 AD เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ จึงพิจารณาการแพร่กระจายสารในลักษณะแนวยาวตามลักษณะการไหลของลำน้ำจากการเคลื่อนย้ายสารใน 2 ลักษณะที่กล่าวมาตามวิธีการของ Taylor และ Holley (Fischer, 1967) แสดงความสัมพันธ์สารต่างๆ ที่อยู่ในลำน้ำ เช่น มลสาร จะมีของลักษณะการเคลื่อนที่ 2 ลักษณะ ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ดังสมการที่ (32)

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{v\partial c}{\partial x} + D_x \frac{\partial^2 c}{\partial x^2} \tag{32}$$

เมื่อ c = ความเข้มข้นของสาร (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

v = ความเร็วการไหลในลำน้ำ (เมตรต่อวินาที)

D_x = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Longitudinal Dispersion Coefficient) ในทิศทาง x (ตารางเมตรต่อวินาที)

t = เวลา (วินาที)

สมการที่ (32) สามารถอธิบายการเคลื่อนที่ของสารประเภทคงตัว (Conservative Substance) ได้ดี สำหรับมลสารประเภทไม่คงตัว (Non - Conservative Substance) จะเกิดปฏิกิริยาที่ส่งผลต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณสาร ซึ่ง (Fischer *et al*., 1979) ได้แสดงความสัมพันธ์ตามสมการที่ (33) ดังนี้

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -KC \tag{33}$$

เมื่อ K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสาร (Linear Decay Coefficient)

ดังนั้นสมการที่ใช้อธิบายการแพร่กระจายของสารในลำน้ำ (Fischer *et al*., 1979; DHI, 2011) แสดงดังสมการที่ (34)

$$\frac{\partial AC}{\partial t} + \frac{\partial QC}{\partial x} - \frac{\partial}{\partial x}\left(AD_x \frac{\partial C}{\partial x} \right) = -AKC + C_s q \tag{34}$$

เมื่อ A = พื้นที่หน้าตัดลำน้ำ (Cross Section Area) (ตารางเมตร)

C_s = ความเข้มข้นของสารที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำ (Source/Sink Concentration) (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

q = อัตราการไหลของน้ำทิ้งลงสู่ลำน้ำ (Lateral Discharge) (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

t = เวลา (Time Step) (วินาที)

x = ระยะระหว่างกริด (Space Sep)

4.2.3 สมมติฐานที่ใช้สำหรับสมการการเคลื่อนย้ายมวลสารในลำน้ำ

1) สารแขวนลอยในลำน้ำผสมกันอย่างสมบูรณ์ตลอด (Completely Mixed)

2) ความเข้มข้นที่ปล่อยลงสู่ลำน้ำจะผสมกันอย่างสมบูรณ์ทันทีที่หน้าตัดนั้น

3) การคำนวณการย่อยสลายในสมการลำดับหนึ่งเท่านั้น (First Order Decay)

4) ไม่มีการพิจารณาถึงปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างน้ำกับสารแขวนลอย

4.2.4 สัมประสิทธิ์ที่พิจารณาในแบบจำลองการแพร่กระจายมลสาร

คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient) การพิจารณาการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ จะพิจารณาตามความยาวของลำน้ำเป็นสำคัญ ซึ่งจะเกิดปฏิกิริยาร่วมระหว่างความเร็วการไหลแบบไม่คงที่ตามเวลา (Non-Uniform Velocity) และการแพร่กระจาย (Diffusion) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเป็นฟังก์ชั่นของความเร็วการไหลเฉลี่ย (Mean Flow Velocity) ซึ่งอาศัยหลักการแพร่กระจายของ Fick (Fick Diffusion Law) โดยค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการในรูปทั่วๆไป ดังสมการที่ (35) คือ

$$D = fv^{ex} \tag{35}$$

เมื่อ D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (ตารางเมตรต่อวินาที)

f = ปัจจัยการแพร่กระจาย (Dispersion Factor)

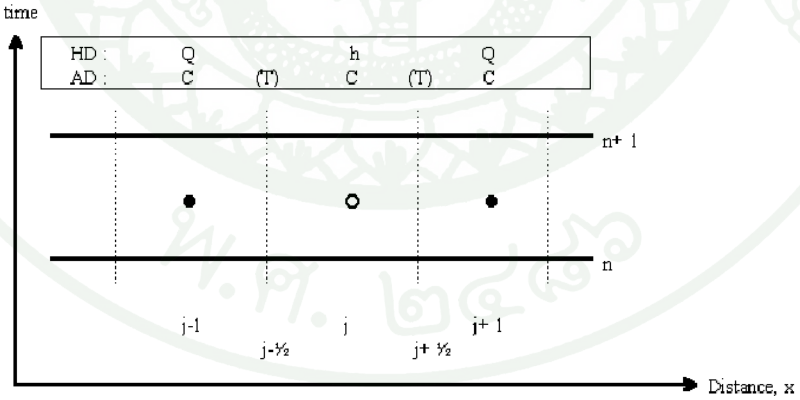
v = ความเร็วของการไหล (เมตรต่อวินาที)

ex = Dimensionless Exponent

ถ้า $ex = 0$ แล้วความเร็วของการไหลจะไม่มีอิทธิพลต่อความเร็วการแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นตารางเมตรต่อวินาที (m^2/s) ถ้า $ex = 1$ แล้วความเร็วของการไหลจะเป็นฟังก์ชั่นแบบเส้นตรงกับสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย และหน่วยของแฟคเตอร์การแพร่กระจาย (f) จะเป็นเมตร ซึ่งเมื่อเกิดอิทธิพลการไหลแบบ 2 มิติ การเกิดกระแสลมแรงหรือเกิดอิทธิพลจากระดับน้ำขึ้นลงบริเวณปากแม่น้ำ ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในแม่น้ำจะเพิ่มขึ้นมากกว่าในลำน้ำโดยทั่วไป (DHI, 2011)

4.2.5 วิธีการคำนวณผลลัพธ์

ในแบบจำลองการแพร่กระจายนี้ใช้สมการ Fully Time and Space Center Finite Difference Scheme เป็นตัวแก้สมการในการคำนวณ ขอบเขตของกรอบดังภาพที่ 15 แสดงถึงพื้นน้ำ ผิวน้ำ และหน้าตัดลำน้ำคือ j-1/2 และ j+1/2



ภาพที่ 15 ช่วงลำน้ำแสดงหน้าตัดที่กำหนดอัตราการไหลใน HD และ AD module

ที่มา: DHI (2011)

สมการที่เกี่ยวข้อง 2 สมการที่ใช้พิจารณาคือ สมการต่อเนื่องดังสมการที่ (36) และสมการการเคลื่อนที่ของการแพร่กระจายดังสมการที่ (37)

สมการต่อเนื่อง

$$\frac{V_j^{n+1}C_j^{n+1}}{\Delta t}-\frac{V_j^{n}C_j^{n}}{\Delta t}+T_{j+1/2}^{n+1/2}=q^{n+1/2}C_{source}^{n+1/2}-KC_j^{n+1/2} \tag{36}$$

เมื่อ C = ความเข้มข้นของสาร (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

V = ปริมาตรกักเก็บ (ลูกบาศก์เมตร)

T = การเคลื่อนที่ที่เวลา n+1/2 ผ่านผนังด้านซ้ายและขวา

q = การไหลเข้าด้านข้าง (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

C_{source} = ความเข้มข้นของสารที่ไหลเข้าด้านข้าง (กรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

t = เวลาที่ใช้ในการคำนวณ (วินาที)

K = สัมประสิทธิ์การย่อยสลายเชิงเส้น

j = จุดของกริด

n = เวลาทั้งหมด

สมการแพร่กระจาย

$$T_{j+1/2}^{n+1/2}=Q_{j+1/2}^{n+1/2}C_{j+1/2}-A_{j+1/2}^{n+1/2}D\frac{C_{j+1}^{n+1/2}-C_j^{n+1/2}}{\Delta x} \tag{37}$$

เมื่อ Q = อัตราการไหลของน้ำผ่านหน้าตัดที่ต้องการ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

A = พื้นที่ของหน้าตัดที่ต้องการ (ตารางเมตร)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficient)

$C_{j+1/2}$ = การประมาณค่าความเข้มข้นที่ต้นน้ำ

สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายจะแพร่กระจายในการไหล โดยเป็นไปตามกฎของ Fick's Diffusion Law ซึ่งแสดงในสมการของความเร็วเฉลี่ยในการไหล ดังสมการที่ (38)

$$D_j^{n+1} = a\left|\frac{Q^{n+1/2}}{A^{n+1/2}}\right|_j^b \tag{38}$$

เมื่อ a และ b = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่ได้เมื่อแทนค่า b เท่ากับ 0 ซึ่งเป็นค่าคงที่ที่ถูกกำหนดโดยผู้ใช้

1) การคำนวณกริด (Grid Computation)

การคำนวณกริดสามารถคำนวณได้ตามสมการที่ (39) และ (40) ดังนี้

Pelect Number

$$P_e = v\Delta x / D > 2 \tag{39}$$

เมื่อ v = ความเร็ว (เมตรต่อวินาที)

Δx = ระยะระหว่างจุดที่คำนวณ (เมตร)

D = สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (ตารางเมตรต่อวินาที)

Convective Courant Number

$$C_r = V\frac{\Delta t}{\Delta x} < 1 \tag{40}$$

เมื่อ Δt = Time Step (วินาที)

ในแบบจำลองการแพร่กระจายของมลสารนั้น การคำนวณจุดจะแทนค่าโดยจุด h และ จุด q จากการคำนวณโดยแบบจำลองชลศาสตร์ ดังนั้น Δx ในแบบจำลองการ

แพร่กระจายของมลลารจะเท่ากับครึ่งหนึ่งของ Δx ในแบบจำลองชลศาสตร์ ซึ่งค่า Time Step ในการคำนวณ โดยแบบจำลองการแพร่กระจายของมลสารก็จะลดหลั่นกันตามปัจจัยที่กล่าวมา

2) การกำหนดขอบเขต

ในแบบจำลองการแพร่กระจายของมลสารนี้ ข้อกำหนดขอบเขตที่ใช้จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดขอบเขตที่ใช้ในแบบจำลองชลศาสตร์ โดยในแบบจำลองการแพร่กระจายของมลสารจะใช้ข้อมูลสำหรับข้อกำหนดขอบเขตได้ 3 ประเภท คือ

2.1) อนุกรมเวลาของความเข้มข้นของสาร (Time Series of Concentration) โดยจะเป็นความเข้มข้นที่ขอบเขตนั้น ซึ่งแปรผันไปตามเวลา

2.2) สภาวะขอบเขตแบบเปิด (Open Boundary Condition) โดยมีลักษณะการไหลของน้ำไปยังพื้นที่รับน้ำขนาดใหญ่ เช่น อ่างเก็บน้ำ ทะเล เป็นต้น

2.3) สภาวะขอบเขตแบบปิด (Close Boundary Condition) โดยมีลักษณะเป็นตำแหน่งที่สารประกอบในน้ำ ไม่สามารถเคลื่อนย้ายเข้าหรือออกไปจากขอบเขตโครงข่ายลำน้ำ

4.3 แบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model, ECO Lab Model)

แบบจำลองย่อย MIKE 11 ECO Lab เป็นแบบจำลองที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำที่ได้รับผลกระทบจากกิจกรรมต่างๆ ของมนุษย์ เช่น การลดลงของปริมาณออกซิเจน ดังแสดงในกระบวนการพื้นฐานของออกซิเจนละลายน้ำดังภาพที่ 16 โดยใช้สมการที่สามารถอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในลำน้ำ ซึ่งพารามิเตอร์ทั้งหมดที่กำหนดไว้ในแบบจำลองคุณภาพน้ำ มีดังนี้

1) ความต้องการออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO)

2) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของสารอินทรีย์ที่ละลายน้ำ (Biochemical Oxygen Demand from Dissolved Organic Matter, BOD_d)

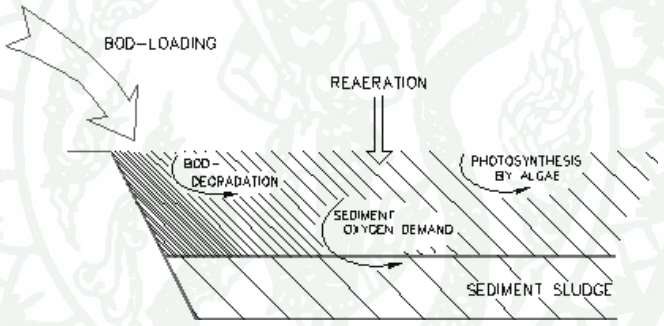
3) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของสารอินทรีย์ที่แขวนลอย (Biochemical Oxygen Demand from Suspended Organic Matter, BOD_s)

4) ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีของสารอินทรีย์ที่ตกตะกอน / การดูดซึม (Biochemical Oxygen Demand from Sedimented/Adsorbed Organic Matter, BOD_b)

5) แอมโมเนีย (Ammonia, NH_3)

6) ไนเตรท (Nitrate, NO_3)

7) อุณหภูมิ (Temperature, T)



ภาพที่ 16 กระบวนการพื้นฐานของออกซิเจนละลายน้ำ

ที่มา: DHI (2011)

แบบจำลองคุณภาพน้ำจะถูกคำนวณควบคู่ไปกับแบบจำลองการพาและแพร่กระจาย โดยแบบจำลองคุณภาพน้ำจะใช้อธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดในลำน้ำ ซึ่งใช้สมการที่สามารถอธิบายกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในลำน้ำ โดยแบ่งการจำลองคุณภาพน้ำตามตัวแปรทางคุณภาพน้ำ และกระบวนการเกิดปฏิกิริยาของตัวแปรต่างๆ เป็น 6 ระดับโดยเริ่มจากง่ายที่สุดจนซับซ้อนมากที่สุด ดังนี้

1) ระดับที่ 1 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยพิจารณาตัวแปร BOD ออกซิเจน และอุณหภูมิ ในกระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation)

สภาพปัญหา การลดลงของปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์ที่ย่อยสลายได้เป็นองค์ประกอบหลักลงสู่แม่น้ำ

2) ระดับที่ 2 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงการถ่ายเทสารอินทรีย์จากพื้นลำน้ำ ตัวแปรคือ BOD ออกซิเจน และอุณหภูมิ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) กระบวนการตกตะกอนและ Resuspension ของ BOD

สภาพปัญหา เช่นเดียวกับระดับที่ 1 แต่สามารถใช้วิเคราะห์ลำน้ำในบริเวณที่ปล่อยน้ำเสีย โดยรวมสภาพตะกอนและ Resuspension ของ BOD

3) ระดับที่ 3 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงกระบวนการไนตริฟิเคชั่น ซึ่งตัวแปรคือ BOD ออกซิเจน แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ ในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) และการย่อยสลายแอมโมเนีย (Nitrification)

สภาพปัญหา สามารถคำนวณการเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่เกิดจากการปล่อยน้ำเสียที่มีสารอินทรีย์และแอมโมเนียลงสู่แม่น้ำ รวมทั้งสามารถคำนวณปริมาณแอมโมเนียซึ่งมีผลต่อความเป็นกรด-ด่าง (pH) ของน้ำในแม่น้ำได้

4) ระดับที่ 4 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงการถ่ายเทของสารจากพื้นลำน้ำ กระบวนการไนตริฟิเคชั่น และดีไนตริฟิเคชั่น ซึ่งตัวแปรคือ BOD ออกซิเจน แอมโมเนีย ไนเตรท และอุณหภูมิ ทำการศึกษาในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) กระบวนการตกตะกอนและ Resuspension ของ BOD กระบวนการย่อยสลายของแอมโมเนีย (Nitrification) และกระบวนการลดปริมาณไนเตรท (Denifrication)

สภาพปัญหา เช่นเดียวกับระดับที่ 3 แต่สามารถใช้วิเคราะห์ลำน้ำบริเวณที่ปล่อยน้ำเสียโดยรวมสภาพการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD รวมทั้งวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทที่เกิดจากแอมโมเนีย และการลดของปริมาณไนเตรทในลำน้ำบริเวณที่ไม่มีออกซิเจน (Anaerobic Condition) ซึ่งปริมาณไนเตรทนี้จะมีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อยู่ในน้ำ การวิเคราะห์ในระดับนี้เหมาะสำหรับการวิเคราะห์ปัญหาคุณภาพน้ำที่มีผลมาจากน้ำเสียชุมชน โรงงาน และพื้นที่เกษตรกรรม

5) ระดับที่ 5 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงความต้องการออกซิเจนแบบทันที แบบช้าๆ และการถ่ายเทของสารอินทรีย์ของสารจากพื้นลำน้ำ โดยมีตัวแปรคือ Dissolved BOD, Suspended BOD, Sediment BOD, ออกซิเจน และอุณหภูมิ ซึ่งศึกษาในกระบวนการการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) ของ BOD โดยแยกคิดเป็น 3 ส่วน คือ BOD ส่วนที่ละลาย แขวนลอย และตกตะกอน โดยแต่ละส่วนจะยังสามารถเกิดขบวนการย่อยสลายได้ต่อไป ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนเป็น 2 ส่วน คือ Immediate และ Delayed Oxygen Demand รวมทั้งการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD

สภาพปัญหา เหมือนระดับที่ 2 แต่สามารถวิเคราะห์ผลของน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียและท่อระบายน้ำฝน (Storm Sewer) ที่มีผลต่อการลดลงของออกซิเจนได้ละเอียดถูกต้องมากขึ้น

6) ระดับที่ 6 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า BOD และ DO โดยรวมถึงกระบวนการทั้งหมดที่กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยมีตัวแปรคือ ตัวแปร Dissolved BOD, Suspended BOD, Sediment BOD, ออกซิเจน, แอมโมเนีย, ไนเตรท และอุณหภูมิ ศึกษาในกระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Degradation) ของ BOD โดยแยกคิดเป็น 3 ส่วน คือ BOD ส่วนที่ละลาย แขวนลอย และตกตะกอน โดยแต่ละส่วนจะยังสามารถเกิดขบวนการย่อยสลายได้ต่อไป ทำให้เกิดการใช้ออกซิเจนเป็น 2 ส่วน คือ Immediate และ Delayed Oxygen Demand รวมทั้งการตกตะกอน และ Resuspension ของ BOD กระบวนการย่อยสลายของแอมโมเนีย (Nitrification) และกระบวนการลดลงของปริมาณไนเตรท (Denitrification)

สภาพปัญหา เหมือนระดับที่ 4 แต่สามารถวิเคราะห์ผลของน้ำเสียจากท่อระบายน้ำเสียและท่อระบายน้ำฝน (Storm Sewer) ที่มีปริมาณแอมโมเนีย และไนเตรทรวมอยู่ด้วย ซึ่งมีผลต่อการลดลงของออกซิเจนในน้ำ รวมทั้งสามารถวิเคราะห์ปริมาณไนเตรทที่มีอยู่ในลำน้ำ ซึ่งมีผลต่อสิ่งมีชีวิตที่อาศัยอยู่ในน้ำได้

ตัวแปรและกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นในลำน้ำในแต่ละระดับของแบบจำลองคุณภาพน้ำนั้น แสดงได้ดังตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ

ตารางที่ 4 รายละเอียดของแบบจำลองคุณภาพน้ำระดับต่างๆ

ระดับแบบจำลอง	พารามิเตอร์ที่พิจารณา	ข้อจำกัดของแบบจำลอง
ระดับที่ 1	BOD, DO และ Temperature	เมื่อมีการคำนวณสมดุลของออกซิเจน (Oxygen balance) กระบวนการ Nitrification และSedimentation ก็ไม่รวมใน BOD balance ไม่ใช่เพียงแต่การใช้ออกซิเจนโดยตรงเท่านั้นที่จะนำมาคำนวณ
ระดับที่ 2	BOD, DO และ Temperature	การคำนวณคล้ายกับระดับที่ 1 ยกเว้นแต่มีการนำเอากระบวนการ Suspension และ Sedimentation มาคำนวณ BOD balance ด้วย
ระดับที่ 3	BOD, DO, Ammonia Nitrate และ Temperature	เมื่อคำนวณ BOD balance จะไม่นำกระบวนการ Suspension และ Sedimentation มาคำนวณด้วย แต่จะใช้เพียงค่า Immediate Oxygen Demand มาพิจารณา และเมื่อคำนวณ Nitrate balance กระบวนการ Denitrification ก็จะถูกคำนวณด้วย
ระดับที่ 4	BOD, DO, Ammonia Nitrate และ Temperature	ทุกกระบวนการที่เกี่ยวข้องกับตัวแปรทั้ง 5 ตัวนั้นจะถูกพิจารณาด้วย
ระดับที่ 5	Dissolve BOD, Suspended BOD, Sedimented BOD และ Oxygen	การคำนวณคล้ายกับแบบจำลองระดับที่ 2 ยกเว้นแต่จะมีการนำเอา Immediate และ Delayed Oxygen Demand มาพิจารณาด้วย
ระดับที่ 6	Dissolve BOD, Suspended BOD, Sedimented BOD, Oxygen Ammonia Nitrate และ Temperature	การคำนวณจะคล้ายกับแบบจำลองระดับที่ 4 ยกเว้นแต่จะมีการนำ Immediate และ Delayed Oxygen Demand มาพิจารณาด้วย

ที่มา: DHI (2011)

ตารางที่ 5 กระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในแบบจำลองคุณภาพน้ำในแต่ละระดับ

ระดับของแบบจำลอง	กระบวนการและปฏิกิริยาที่เกิดขึ้น
ระดับที่ 1	การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ การแผ่รังสี การเติมอากาศ การสังเคราะห์แสง การหายใจของพืชและสัตว์ และการย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ
ระดับที่ 2	การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ การแผ่รังสี การเติมอากาศ การสังเคราะห์แสง การหายใจของพืชและสัตว์ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ การแขวนลอย การตกตะกอน และ การหายใจของพืชน้ำ
ระดับที่ 3	การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ การแผ่รังสี การเติมอากาศ การสังเคราะห์แสง การหายใจของพืชและสัตว์ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ กระบวนการไนตริฟิเคชั่น ความต้องการออกซิเจนในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น การปล่อยแอมโมเนียในการย่อยสลายสารอินทรีย์ การใช้ไนโตรเจนของพืช และการใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย
ระดับที่ 4	การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ การแผ่รังสี การเติมอากาศ การสังเคราะห์แสง การหายใจของพืชและสัตว์ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ การแขวนลอย การตกตะกอน การหายใจของพืชน้ำ กระบวนการไนตริฟิเคชั่น ความต้องการออกซิเจนในกระบวนการไนตริฟิเคชั่น การปล่อยแอมโมเนียระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ การใช้ไนโตรเจนของพืช การใช้ออกซิเจนของแบคทีเรีย และกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น
ระดับที่ 5	การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ การแผ่รังสี การเติมอากาศ การสังเคราะห์แสง การหายใจของพืชและสัตว์ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ การแขวนลอย การตกตะกอน การหายใจของพืชน้ำ การย่อยสลายสารอินทรีย์ของพืชน้ำ และการดูดซับสารอินทรีย์
ระดับที่ 6	การดูดกลืนรังสีแสงอาทิตย์ การแผ่รังสี การเติมอากาศ การสังเคราะห์แสง การหายใจของพืชและสัตว์ การย่อยสลายของสารอินทรีย์ในน้ำ การแขวนลอย การตกตะกอน การหายใจของพืชน้ำ การย่อยสลายสารอินทรีย์ของพืชน้ำ การดูดกลืนสารอินทรีย์ที่พื้นน้ำ การดูดซับอินทรีย์ที่พื้นน้ำ กระบวนการไนตริฟิเคชั่น ความต้องการออกซิเจนระหว่างกระบวนการไนตริฟิเคชั่น การปล่อยแอมโมเนียระหว่างการย่อยสลายสารอินทรีย์ การใช้ไนโตรเจนของพืช การใช้ไนโตรเจนของแบคทีเรีย และกระบวนการดีไนตริฟิเคชั่น

ที่มา: DHI (2011)

4.3.1 พารามิเตอร์ที่ใช้ในแบบจำลองคุณภาพน้ำ ได้แก่

1) กระบวนการออกซิเจน (Oxygen Process)

การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ เกิดจากกระบวนการเพิ่มและลดออกซิเจน (Thomann and Mueller, 1987) ซึ่งในส่วนของการเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำเกิดจากการเติมอากาศ การสังเคราะห์แสงของสิ่งมีชีวิตในน้ำ และการเพิ่มจากออกซิเจนละลายในลำน้ำสาขาหรือการปล่อยน้ำทิ้ง ส่วนการลดปริมาณออกซิเจนในน้ำ เกิดจากการย่อยสลายสารอินทรีย์ในน้ำ และการหายใจของสิ่งมีชีวิตในน้ำ

1.1) กระบวนการเติมอากาศ (Reaeration) เป็นกระบวนการที่เพิ่มปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ โดยการดูดซับออกซิเจนจากอากาศลงสู่แหล่งน้ำ

กระบวนการเติมอากาศเป็นปัจจัยหนึ่งในการควบคุมความสามารถในการละลายของเสียของแม่น้ำ เนื่องจากการเติมอากาศและการสังเคราะห์แสงเป็นแหล่งที่ให้ออกซิเจนเพียง 2 แหล่ง ส่วนการสังเคราะห์แสงจะเกิดขึ้นเฉพาะช่วงเวลากลางวันเท่านั้น ดังนั้นกระบวนการเติมอากาศ จึงเป็นปัจจัยสำคัญที่สุดในการรักษาคุณภาพของแหล่งน้ำ โดยแสดงความสัมพันธ์ของอัตราการเติมอากาศ ดังสมการที่ (41)

$$\frac{dDO}{dt} = K_a(C_s - DO) \tag{41}$$

เมื่อ DO = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายน้ำ (มิลลิกรัมต่อลิตร)

C_s = ออกซิเจนละลายอิ่มตัว (มิลลิกรัมต่อลิตร)

14.652+T{-0.41022 + T(0.007991- 0.000077774T)}

K_a = ค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (Reaeration Constant or Coefficient) ที่ 20°C (ลิตรต่อวัน)

โดยค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์การเติมอากาศสามารถคำนวณได้จากสมการที่ (42) - (45) ดังนี้

สมการของ Thyssen ใช้สำหรับลำน้ำขนาดเล็ก

$$K_a = 27185\ V^{0.031} h^{-0.602} l \tag{42}$$

สมการของ O'Connor - Dubbins ใช้สำหรับลำน้ำทั่วไป

$$K_a = 3.9 V^{0.5} h^{-1.5} l \tag{43}$$

สมการของ Churchill ใช้สำหรับลำน้ำที่มีความเร็วการไหลสูง

$$K_a = 5.233\ Vh^{-1.67} \tag{44}$$

สมการของ Owen ใช้สำหรับลำน้ำที่มีความเร็วการไหลต่ำ

$$K_a = 6.92 V^{0.73} h^{-1.75} \tag{45}$$

เมื่อ K_a = ค่าคงที่สัมประสิทธิ์การเติมอากาศที่ 20°C (ลิตรต่อวัน)

V = ความเร็วการไหล (เมตรต่อวินาที)

h = ความลึกของน้ำ (เมตร)

l = ความชันของลำน้ำ (เมตรต่อเมตร)

1.2) การสังเคราะห์แสง (Photosynthesis) ของพืชและแพลงก์ตอนในน้ำ เป็นกระบวนการที่เกิดขึ้นอย่างต่อเนื่อง เพื่อเพิ่มปริมาณออกซิเจนในน้ำ โดยกระบวนการนี้จะเกิดเฉพาะเวลากลางวันหรือเวลาที่มีแสงเท่านั้น ด้วยเหตุนี้ระดับออกซิเจนจึงมีแนวโน้มสูงที่สุด ณ เวลาเที่ยงวันหรือช่วงที่มีความเข้มแสงสูงสุด และมีค่าที่ต่ำที่สุดในช่วงเที่ยงคืน (Whitehead and Lack, 1982)

การสังเคราะห์แสงเป็นการทำงานของพืชและแพลงก์ตอนในน้ำ ซึ่งต้องอาศัยปัจจัยในการทำงานต่างๆ โดยสรุปปัจจัยที่มีผลต่อการสังเคราะห์แสงได้ดังนี้

- ช่วงเวลาที่มีแสง เนื่องจากแสงเป็นแหล่งพลังงานที่พืชและแพลงก์ตอนใช้เป็นพลังงาน ถ้าระยะเวลาการให้แสงนาน พืชจะสามารถสังเคราะห์แสงได้นาน

- ความเข้มแสง เนื่องจากการสังเคราะห์แสงของพืชและแพลงก์ตอนจะใช้แสงที่มีความเข้มแสงเฉพาะเท่านั้น

- อุณหภูมิ เนื่องจากเป็นปัจจัยที่ควบคุมการดำรงชีวิตของสิ่งมีชีวิตทุกชนิด ถ้าอุณหภูมิสูงเกินไปพืชจะไม่สามารถอยู่ได้ และไม่สามารถสังเคราะห์แสงได้

- ปริมาณแพลงก์ตอนพืช

- ปริมาณสารอาหาร

- ความลึก เนื่องจากน้ำมีคุณสมบัติหนึ่งที่สำคัญคือ การส่องผ่าน เมื่อแสงตกกระทบบนผิวน้ำแล้ว สามารถส่องผ่านน้ำได้มากน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับปัจจัยต่างๆ เช่น ความขุ่นของน้ำ ดังนั้น คลอโรฟิลล์ เอ ของพืช และแพลงก์ตอนพืชจะสามารถสังเคราะห์แสงได้ที่ระดับความลึกหนึ่งเท่านั้น ซึ่งเรียกว่า ชั้นยูโฟติก (Euphotic Zone)

ดังนั้น กระบวนการสังเคราะห์แสงมีความสัมพันธ์กับช่วงเวลากลางวัน โดยแสดงดังสมการที่ (46)

$$P = \begin{cases} P_{\max} \cdot \cos 2\pi(\tau/\alpha)\theta^{(T-20)} if \tau \in (t_{up}, t_{down}) \\ 0 \cdot if \tau \notin (t_{up}, t_{down}) \end{cases} \quad (46)$$

เมื่อ P = ผลผลิตของออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (กรัมออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน)

P_{max} = ผลผลิตของออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (Maximum Oxygen Production by Photosythesis)

α = เวลากลางวันทั้งหมด

τ = เวลานับจากตอนเที่ยงวัน

t_{up}, t_{down} = เวลาที่พระอาทิตย์ขึ้นและตก

1.3) การหายใจ (Respiration) ของพืชและสัตว์เป็นกระบวนการตรงข้ามกับการสังเคราะห์แสงคือ เป็นการใช้ออกซิเจนในลำน้ำ โดยเกิดขึ้นตลอดเวลาทั้งในตอนกลางวันและตอนกลางคืน แสดงดังสมการที่ (47)

$$R = R_{20}\theta^{(T-20)} \tag{47}$$

เมื่อ R = อัตราการหายใจของพืช แบคทีเรีย และสัตว์ (กรัมออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน)

R_{20} = อัตราการหายใจที่ 20 องศาเซลเซียส

θ = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของอาเรเนียล (Arrhenius Temperature Coefficient)

1.4) การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (Consumption from Degradation of Dissolved Organic Matter) เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์โดยการออกซิไดซ์ ผลิตผลที่ได้นำไปในการสร้างเซลล์และการเจริญเติบโตต่อไปดังสมการที่ (48)

$$\frac{dBOD_d}{dt} = K_d BOD_d \theta^{(T-20)} \tag{48}$$

เมื่อ BOD_d = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำ (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)

K_d = ค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์การย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ละลายอยู่ในน้ำที่ 20°C (ต่อวัน)

θ = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของอาเรเนียล (Arrhenius Temperature Coefficient)

1.5) การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (Oxygen Consumption from Degradation of Suspended Organic Matter) เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ ดังสมการที่ (49)

$$\frac{dBOD_s}{dt} = K_s BOD_s \theta^{(T-20)} \tag{49}$$

เมื่อ BOD_s = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำ (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)

K_s = ค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์การย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่แขวนลอยอยู่ในน้ำที่ 20°C (ต่อวัน)

θ = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของอาเรเนียล (Arrhenius Temperature Coefficient)

1.6) การย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ในท้องน้ำ (Oxygen Consumption from Degradation of Sedimented Adsorbed Organic Matter) เป็นกระบวนการที่แบคทีเรียใช้ออกซิเจนเพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ท้องน้ำ ดังสมการที่ (50)

$$\frac{dBOD_b}{dt} = K_b BOD_b \theta^{(T-20)} \tag{50}$$

เมื่อ BOD_b = ความเข้มข้นของสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนอยู่ในท้องน้ำ (มิลลิกรัมออกซิเจนต่อลิตร)

K_b = ค่าคงที่หรือสัมประสิทธิ์การย่อยสลายของสารอินทรีย์ที่ตกตะกอนในท้องน้ำที่ 20°C (ต่อวัน)

θ = สัมประสิทธิ์อุณหภูมิของอาเรเนียล (Arrhenius Temperature Coefficient)

สมการแสดงสมดุลออกซิเจน (Oxygen Balance) ผลของกระบวนการเหล่านี้ โดยความเข้มข้นของออกซิเจนละลาย แสดงดังสมการที่ (51) ดังนี้

$$\frac{dDO}{dt} = +\left[K_a(C_s - DO)\right] - \left[R_{20}\theta^{(T-20)}\right] - \left[K_d BOD_d \theta^{(T-20)}\right] - \left[K_s BOD_s \theta^{(T-20)}\right] - \left[K_b BOD_b \theta^{(T-20)}\right] - Nitrification + Photosysthesis \tag{51}$$

การจะเลือกใช้สมการใดในการคำนวณขึ้นอยู่กับการเลือกระดับของแบบจำลองคุณภาพน้ำ กรณีที่ไม่นำข้อมูลบางตัวมาพิจารณา โดยทั่วไปจะให้ Time Series ของตัวแปรนั้นมีค่าเป็นศูนย์ในแบบจำลองคุณภาพน้ำ

2) กระบวนการย่อยสลายสารอินทรีย์โดยใช้ออกซิเจน (Biochemical Oxygen Demand Process) การย่อยสลายของส่วนต่างๆ ของสารอินทรีย์ จะถูกอธิบายในเฉพาะส่วนของสมดุลออกซิเจน ได้แก่

2.1) การดูดซับของสารอินทรีย์ (Dissolved Organic Matter) ซึ่งในการดูดซับของสารอินทรีย์ที่ละลายในท้องน้ำ ถูกอธิบายโดยปฏิกิริยาอันดับหนึ่ง First order process ดังสมการที่ (52)

$$\frac{dBOD_d}{dt} = K_a BOD_d \tag{52}$$

สมการที่อธิบายความเข้มข้นของ BOD_d ดังสมการที่ (53) - (54) ดังนี้

$$\frac{dBOD_d}{dt} = K_d BOD_d \theta^{(T-20)} \tag{53}$$

$$\frac{dBOD_d}{dt} = K_a BOD_d \tag{54}$$

2.2) สารอินทรีย์ที่แขวนลอย (Suspended Organic Matter) ในส่วนของการตกตะกอน BOD ถูกสมมติว่าถ้าความเร็วการไหลมีค่าต่ำกว่าวิกฤตจะถูกอธิบายด้วย First order process ในส่วนของ Resuspension (S_l) จะถูกสมมติว่าความเร็วการไหลเกินกว่าค่าวิกฤต และ Resuspension ถูกสมมติให้คงที่ต่อเวลาที่ความเร็วการไหลน้อยกว่าค่าวิฤกต โดยการตกตะกอนจะเกิดขึ้นตามข้างต้น

สมการที่อธิบายความเข้มข้นของ BOD_s ดังสมการที่ (55) - (57) ดังนี้

$$\frac{dBOD_s}{dt} = K_s BOD_s \theta^{(T-20)} \tag{55}$$

$$\frac{dBOD_s}{dt} = \frac{S_1}{H} \tag{56}$$

$$\frac{dBOD_s}{dt} = K_1 BOD_s \tag{57}$$

เมื่อ S_1 = อัตราการแขวนลอยของตะกอนในน้ำของ BOD_b

($S_1 = 0$ ถ้า BOD_b มีค่าต่ำกว่าค่าวิกฤต)

K_1 = อัตราการตกตะกอนของ BOD_s

H = ความลึกของน้ำ

2.3) สารอินทรีย์ที่ตกตะกอน (Sedimented Organic Matter) สามารถอธิบาย BOD_b ในส่วนของท้องน้ำ ดังสมการที่ (58) - (61) คือ

$$\frac{dBOD_b}{dt} = K_b BOD_b \theta^{(T-20)} \tag{58}$$

$$\frac{dBOD_b}{dt} = -\frac{S_1}{H} \tag{59}$$

$$\frac{dBOD_b}{dt} = K_1 BOD_s \tag{60}$$

$$\frac{dBOD_b}{dt} = K_a BOD_d \tag{61}$$

3) กระบวนการอุณหภูมิ (Temperature Process)

อุณหภูมิเป็นปัจจัยหนึ่งที่ควบคุมค่าของพารามิเตอร์อื่นๆ ในแหล่งน้ำ เช่น ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี การเจริญเติบโต การอยู่รอดของพืชและสัตว์น้ำ เป็นต้น เนื่องจากอิทธิพลอุณหภูมิที่มีต่อกลไกทางเคมี และทางชีวภาพของระบบนิเวศ โดยการผันแปรค่าอุณหภูมิทำให้เกิดผลกระทบต่อค่าความหนาแน่นของน้ำ ซึ่งยังส่งผลต่อกลไกการเคลื่อนที่ของน้ำ และการละลายของออกซิเจนในน้ำ การปล่อยความร้อนจากโรงงานอุตสาหกรรมหรือบ้านพักอาศัย ส่งผลทั้งในทางบวกและทางลบต่อระบบนิเวศแหล่งน้ำ เช่น ถ้า

แหล่งน้ำมีอุณหภูมิที่สูงเกินไป จะส่งผลต่อการลดลงของพืชและสัตว์น้ำ หรือเป็นการเปลี่ยนชนิดของสิ่งมีชีวิตในแหล่งน้ำ ได้แก่ กระบวนการที่เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ซึ่งเกิดจากกระบวนการเพิ่มและลดความร้อนในแหล่งน้ำ โดยการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ เกิดจากการแผ่รังสีคลื่นสั้นของดวงอาทิตย์ การแผ่รังสีคลื่นยาวจากบรรยากาศ การนำความร้อนจากบรรยากาศสู่แหล่งน้ำ ปริมาณความร้อนจากกิจกรรมของชุมชนและอุตสาหกรรม ส่วนการลดลงของอุณหภูมิ เกิดจากการแผ่รังสีคลื่นยาวจากการคายพลังงานของน้ำ การระเหย การนำความร้อนจากนี้สู่บรรยากาศ สมการที่เกี่ยวข้องกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ สามารถอธิบายดังสมการที่ (62) - (63)

$$\frac{dT}{dt} = Insolation - Radiation, If\tau \in (t_{up}, t_{down}) \tag{62}$$

$$\frac{dT}{dt} = Radiation \quad , If\tau \notin (t_{up}, t_{down}) \tag{63}$$

เมื่อ T = อุณหภูมิ (องศาเซลเซียส)

τ = เวลาปัจจุบัน

t_{up} , $t_{,down}$ = เวลาตั้งแต่พระอาทิตย์ขึ้นจนกระทั่งพระอาทิตย์ตก

3.1) สัมประสิทธิ์ที่พิจารณาในแบบจำลองคุณภาพน้ำ แบบจำลองระดับที่ 1

จากพารามิเตอร์ในแบบจำลองระดับที่ 1 คือ ออกซิเจนละลายน้ำ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี และอุณหภูมิ ดังนั้น สัมประสิทธิ์ที่พิจารณาในการปรับเทียบ คือ

- ออกซิเจนละลายน้ำ พิจารณาสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ อัตราการหายใจที่ 20 องศาเซลเซียล และผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง

- ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี พิจารณาสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ 20 องศาเซลเซียล

- อุณหภูมิ พิจารณาค่าการแผ่พลังงาน และการดูดซับพลังงานโดยกำหนดค่าละติจูดที่แม่น้ำตั้งอยู่

3.2) วิธีการคำนวณ

การคำนวณอาศัยหลักการเช่นเดียวกับแบบจำลองการแพร่กระจายของมลสาร เนื่องจากจะทำการคำนวณแบบจำลองพร้อมกัน (Two - Step Procedure) และต้องกำหนดเงื่อนไขขอบเขต ซึ่งการกำหนดขอบเขตในแบบจำลองคุณภาพน้ำแบ่งเป็น 2 แบบคือ Internal Boundary Condition ซึ่งจะใช้ ณ ตำแหน่งที่มีการปล่อยน้ำเสียลงลู่ลำน้ำ เช่น คูคลอง โรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น และ External Boundary Condition จะอยู่ที่ตำแหน่งปลายสุดของลำน้ำทุกด้าน โดยสามารถกำหนดสภาพแวดล้อมได้ 3 แบบ คือ

- Open Boundary Outflow เป็นการกำหนดเงื่อนไขเพื่อบอกว่าตำแหน่งนี้มีการถ่ายเทปริมาณของเสียเข้าและออกจากตำแหน่ง

- Open Boundary Inflow เป็นการกำหนดสภาพปกติในลำน้ำ โดยจะอยู่ในรูปของ Time Series ของข้อมูลคุณภาพน้ำทั้ง 3 พารามิเตอร์ที่ศึกษาต่อ 1 ตำแหน่งของขอบเขต

- Closed Boundary เป็นการกำหนดเงื่อนไขเพื่อแสดงว่าไม่มีการถ่ายเทปริมาณของเสียเข้าและออกที่ตำแหน่งนี้ อัตราการไหลเท่ากับศูนย์ และไม่ต้องใส่ข้อมูล

5. การศึกษาด้านคุณภาพน้ำในอดีตที่ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11

กฤษฎา (2538) ทำการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยา โดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ขอบเขตต้นน้ำอยู่บริเวณ อำเภอบางไทร จ.อยุธยา ขอบเขตท้ายน้ำอยู่บริเวณปากแม่น้ำ จ.สมุทรปราการ รวมระยะทาง 112 กิโลเมตร สำหรับการประเมินปริมาณความสกปรกที่ไหลลงสู่แม่น้ำเจ้าพระยา ซึ่งศึกษาในปี พ.ศ. 2540 2550 และ 2560 นั้น ได้คำนวณจากอัตราการเปลี่ยนแปลงของจำนวนประชากร อัตราการขยายตัวทางเศรษฐกิจ และอุตสาหกรรมในปีนั้นๆ ผลการคำนวณพบว่า แม่น้ำเจ้าพระยาในสภาพปัจจุบันมีคุณภาพต่ำกว่ามาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 4 โดยในปี พ.ศ. 2537 มีค่า BOD สูงสุด เท่ากับ 6.2 มิลลิกรัมต่อลิตร และผลจากการมีโครงการบำบัดน้ำเสียกรุงเทพมหานครระยะที่ 1 จะทำให้แม่น้ำเจ้าพระยาจะมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 4 จนถึงปี พ.ศ. 2540 เท่านั้น คือ มีค่า BOD สูงสุด เท่ากับ 4.5 มิลลิกรัมต่อลิตร หลังจากนั้น ค่า BOD จะเพิ่มสูงขึ้นอีก เว้นแต่ว่าจะมีการใช้มาตรการที่มีประสิทธิภาพเพื่อแก้ไขต่อไป

กรมควบคุมมลพิษ (2540) จัดทำแผนปฏิบัติการจัดการคุณภาพน้ำของพื้นที่ลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ พื้นที่ในการศึกษาครอบคลุมลุ่มน้ำโขง ลุ่มน้ำชี ลุ่มน้ำมูล และโครงข่ายสาขา รวมพื้นที่ลุ่มน้ำทั้งหมด 168,188 ตารางกิโลเมตร โดยทำการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 กับแม่น้ำสายหลัก ได้แก่ แม่น้ำพอง แม่น้ำชี แม่น้ำมูล ลำตะตอง และแม่น้ำสงคราม พารามิเตอร์ที่สำคัญที่ใช้ในแบบจำลอง ได้แก่ BOD DO อุณหภูมิ ไนโตรเจน และฟอสฟอรัส ผลการศึกษาจากแบบจำลองเพื่อประเมินสถานการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำสายหลักในปี พ.ศ. 2547 2552 และ 2562 ซึ่งใช้ผลจากการศึกษาจัดทำแผนปฏิบัติการฟื้นฟูคุณภาพน้ำ และยกระดับมาตรฐานของแหล่งน้ำให้ดีขึ้นในช่วงเวลา 20 ปีข้างหน้า

กรมควบคุมมลพิษ (2542) ศึกษาจัดทำแผนปฏิบัติการจัดการคุณภาพแหล่งน้ำในแม่น้ำสายหลักต่างๆ รวมทั้งแม่น้ำปิงโดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในการหาค่าพารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำสำหรับการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคต ซึ่งจากการศึกษาพบว่า คุณภาพน้ำในแม่น้ำปิงโดยทั่วไปอยู่ในระดับพอใช้ และมีการปรับปรุงคุณภาพน้ำให้อยู่ในเกณฑ์ดีตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำประเภทที่ 2 (เพื่อการอุปโภคบริโภค และการอนุรักษ์สัตว์น้ำ) และประเภทที่ 3 ได้ภายใน 10 ปีข้างหน้า ถ้ามีการจัดการของเสียจากแหล่งกำเนิดประเภทต่างๆได้ตามมาตรฐานควบคุมการระบายน้ำทิ้ง

อัคราวุฒิ (2544) ทำการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในการพยากรณ์สภาพน้ำท่วมเนื่องจากการสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำก่ำตอนบน ซึ่งมีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 707 ตารางกิโลเมตร ผลการปรับเทียบมาตรฐานแบบจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำท่วมพบว่า สภาพการไหลและระดับน้ำที่ได้จากการจำลองและที่เกิดขึ้นจริงในลำน้ำก่ำตอนบนมีความสอดคล้องมากที่สุด เมื่อใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (n) เท่ากับ 0.066 ผลการทำนายสภาพน้ำท่วมโดยพิจารณาจากระดับน้ำสูงสุดพบว่า สภาพระดับน้ำสูงสุดที่คาบอุบัติต่างๆ ก่อนและหลังการก่อสร้างอาคารบังคับบนลำน้ำก่ำตอนบนแตกต่างกันเพียงเล็กน้อย

ภูวดล (2544) ทำการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางประกง โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 กำหนดขอบเขตด้านเหนือน้ำที่จุดเริ่มต้นของแม่น้ำปราจีนบุรีและที่ประตูระบายน้ำบากเม่า ซึ่งตั้งอยู่บนแม่น้ำนครนายก สำหรับขอบเขตด้านท้ายน้ำกำหนดที่แม่น้ำบางประกง จากการปรับเทียบและตรวจพิสูจน์ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความเสียดทานในแบบจำลองอุทกพลศาสตร์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.020-0.035 ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของ

แบบจำลองย่อยการพาและแพร่กระจายมีค่าอยู่ระหว่าง 50-500 ตร.ม.ต่อวินาที และค่าสัมประสิทธิ์ของแบบจำลองคุณภาพน้ำซึ่งประกอบไปด้วย ผลผลิตออกซิเจนสูงสุดจากการสังเคราะห์แสงของพืชมีค่าเท่ากับ 3.5 กรัมออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน อัตราการหายใจของพืชและสัตว์น้ำมีค่าเท่ากับ 3.0 กรัมออกซิเจนต่อตารางเมตรต่อวัน ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศใช้สมการของ O'Connor & Dubbins และค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าอยู่ระหว่าง 0.05-0.3 ต่อวัน จากผลการศึกษาพบว่าแหล่งมลพิษที่ทำให้คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางประกงเสื่อมโทรมลงมากที่สุดมีดังนี้ แหล่งมลพิษเกษตรกรรม ชุมชน และอุตสาหกรรม ตามลำดับ

สุทธิดา (2546) ศึกษาคาดการณ์คุณภาพน้ำในคลองประวัติศาสตร์โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในคลองคูเมืองเดิม (คลองหลอด) คลองรอบกรุง (คลองบางลำภู - โอ่งอ่าง) และคลองผดุงกรุงเกษม โดยพิจารณาพารามิเตอร์คุณภาพน้ำคือ ออกซิเจนละลายน้ำ ความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ความเค็ม และอุณหภูมิ ในเดือนธันวาคม พ.ศ. 2544 และเดือนมกราคม พ.ศ. 2545 ผลการศึกษาคุณภาพน้ำ ทั้ง 3 คลอง พบว่ามีลักษณะการเปลี่ยนแปลงเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ออกซิเจนละลายน้ำ และความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี จะแปรผกผันกันไปตามระยะทางของคลอง โดยออกซิเจนละลายน้ำจะสูงในบริเวณใกล้ประตูระบายน้ำและลดลงเมื่อเข้าไปในคลอง ส่วนความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีจะต่ำในบริเวณใกล้ประตูระบายน้ำ และเพิ่มมากขึ้นเมื่อระยะทางเข้าไปในคลองมากขึ้น ส่วนปัจจัยที่มีอิทธิพลมากคือ การเปิด-ปิดประตูระบายน้ำ

มนูนาถ (2550) ทำการศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 และ WASP 7.2 เพื่อพยากรณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกง เริ่มจากต้นแม่น้ำปราจีนบุรีและแม่น้ำนครนายก จังหวัดปราจีนบุรี ถึงขอบเขตปลายน้ำที่อ่าวไทย จังหวัดฉะเชิงเทรา รวมระยะทาง 122 กิโลเมตร พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี แอมโมเนีย ไนเตรต และค่าความเค็ม สำหรับข้อมูลปริมาณความสกปรกที่ไหลลงสู่ลำน้ำบางปะกงในปี พ.ศ. 2554 และ 2564 คำนวณจากการคาดการณ์จำนวนประชากรในอนาคต และผลิตภัณฑ์มวลรวมในประเทศ (GDP) เพื่อประเมินปริมาณน้ำเสียจากชุมชน นาข้าว การเกษตรกรรม ฟาร์มสุกร ฟาร์มกุ้ง และสัตว์น้ำ ผลจากการศึกษาพบว่าคุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงปี พ.ศ. 2554 และ 2564 มีค่าต่ำกว่าปี พ.ศ. 2544 แต่ไม่ต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งผลการพยากรณ์คุณภาพน้ำที่ได้จาก MIKE 11 และ WASP 7.2 นั้นไม่แตกต่างกันมาก แต่ MIKE 11 ให้ผลลัพธ์ที่ละเอียดและไวต่อปริมาณความสกปรกไหลลงสู่ลำน้ำมากกว่า WASP 7.2

ยุวดี (2550) ศึกษาโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ร่วมกับระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์ (GIS) เพื่อพยากรณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง พื้นที่ศึกษาครอบคลุมบริเวณต้นน้ำอยู่บริเวณสะพานนนทบุรี จังหวัดนนทบุรี ขอบเขตปลายน้ำอยู่บริเวณสันดอนปากแม่น้ำเจ้าพระยา จังหวัดสมุทรปราการ รวมระยะทางประมาณ 83 กิโลเมตร พารามิเตอร์ทางคุณภาพน้ำที่ศึกษาคือ ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี ความเค็ม และอุณหภูมิ สำหรับข้อมูลปริมาณความสกปรกที่ไหลลงสู่ลำน้ำเจ้าพระยา ในส่วนของปริมาณน้ำเสียที่ไหลมาจากคลองคำนวณโดยการแบ่งพื้นที่รับน้ำของคลองรายตำบล แล้วจึงประเมินปริมาณน้ำเสียจากชุมชน ภาคอุตสาหกรรม และเกษตรกรรม ผลจากการศึกษาพบว่าปี พ.ศ. 2538 และ 2544 มีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ในมาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 และผลจากการมีโครงการบำบัดน้ำเสียตามแผนการจัดการน้ำเสียในบริเวณกรุงเทพและปริมณฑล ทำให้คุณภาพน้ำโดยเฉลี่ยอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 4 ถึงปี พ.ศ. 2550 เท่านั้น หลังจากปี พ.ศ. 2550 คุณภาพน้ำจะมีค่าต่ำกว่าค่าที่กำหนดไว้ เนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีแผนการจัดการลดมลพิษทางน้ำเพื่อคุณภาพน้ำที่ดียิ่งขึ้น

ยุวเรศ (2550) ทำการศึกษาวิเคราะห์คุณภาพน้ำของปริมาณ DO BOD และ SS ในแม่น้ำปิงตอนบนโดยการประยุกต์ใช้ 4 แบบจำลองย่อยของชุดแบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วย 1) แบบจำลอง NAM 2) แบบจำลอง MIKE 11 HD 3) แบบจำลอง MIKE 11 AD 4) แบบจำลอง MIKE 11 WQ ได้พิจารณาเลือกเหตุการณ์น้ำท่วมในปี พ.ศ. 2544 2546 และ 2548 มาใช้เพื่อประเมินพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแต่ละแบบจำลอง ซึ่งสภาพคุณภาพน้ำที่ตรวจวัดได้ในภาพรวมจัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภทที่ 2 และ 3 แล้วนำพารามิเตอร์ที่ควบคุมแต่ละแบบจำลองมาใช้เพื่อศึกษาการเปลี่ยนแปลงสภาพคุณภาพน้ำในอีก 20 ปีข้างหน้า ซึ่งผลจากการศึกษาพบว่า สภาพคุณภาพน้ำในแม่น้ำปิง บริเวณเทศบาลนครเชียงใหม่ฝั่งตะวันออกจะมีคุณภาพที่ต่ำลง โดยพบความวิกฤตของค่า BOD ซึ่งสูงกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องก่อสร้างระบบบำบัดน้ำเสียในบริเวณดังกล่าวก่อนจะเกิดภาวะวิกฤติ

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมเครื่องพิมพ์ 1 ชุด

2. แบบจำลอง MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วย แบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model, MIKE 11 HD) แบบจำลองการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Model, MIKE 11 AD) และแบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model, MIKE 11 ECO Lab)

3. โปรแกรมสารสนเทศภูมิศาสตร์ (GIS)

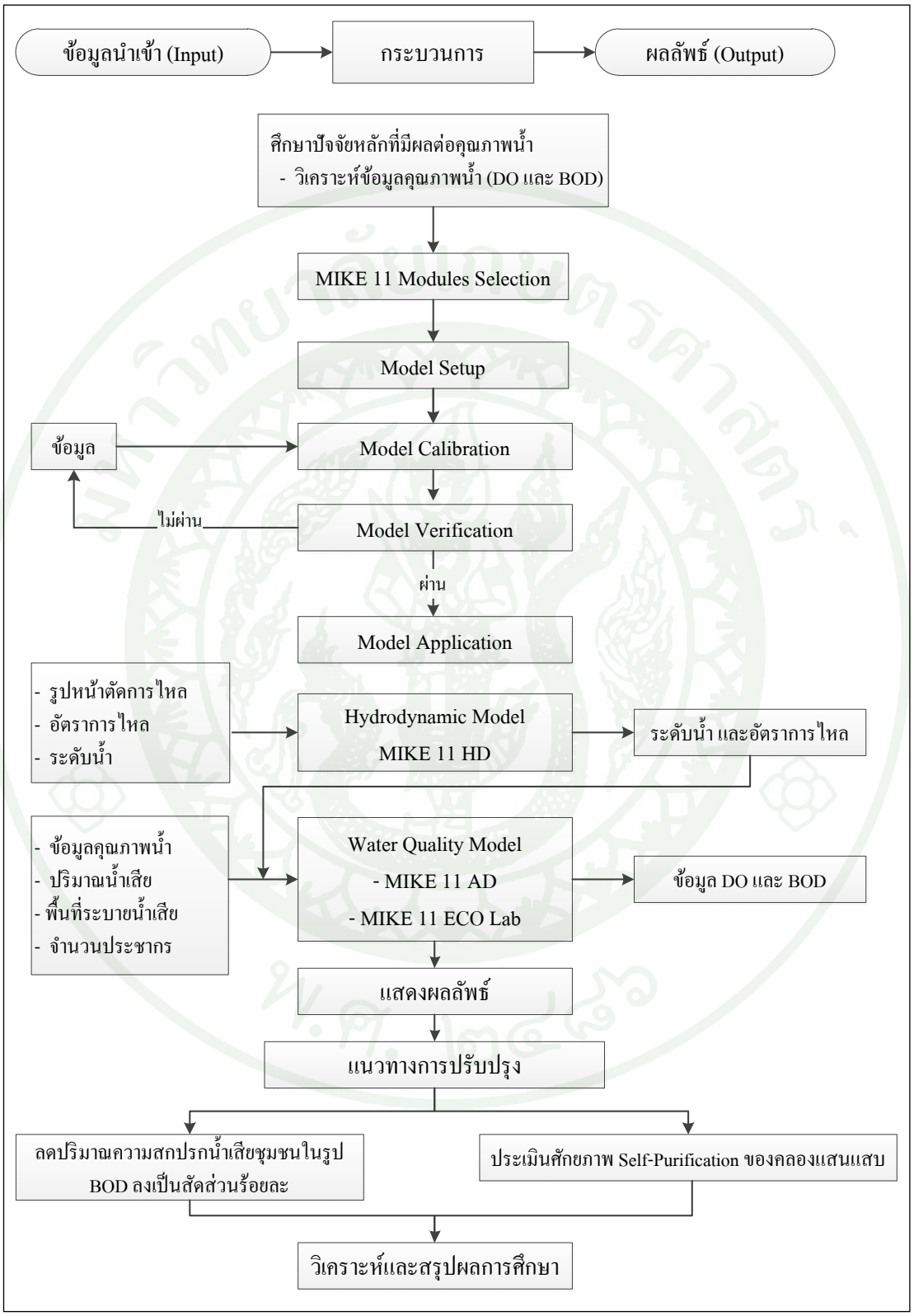
4. แผนที่ภูมิประเทศบริเวณคลองแสนแสบ มาตราส่วน 1:50,000

5. ข้อมูลด้านชลศาสตร์คือ รูปตัดขวางคลองแสนแสบ ข้อมูลอัตราการไหล ข้อมูลระดับน้ำ และข้อมูลคุณภาพน้ำในปี พ.ศ. 2553

6. ข้อมูลจำนวนประชากรของกรุงเทพมหานคร ในขอบเขตพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบในปี พ.ศ. 2553

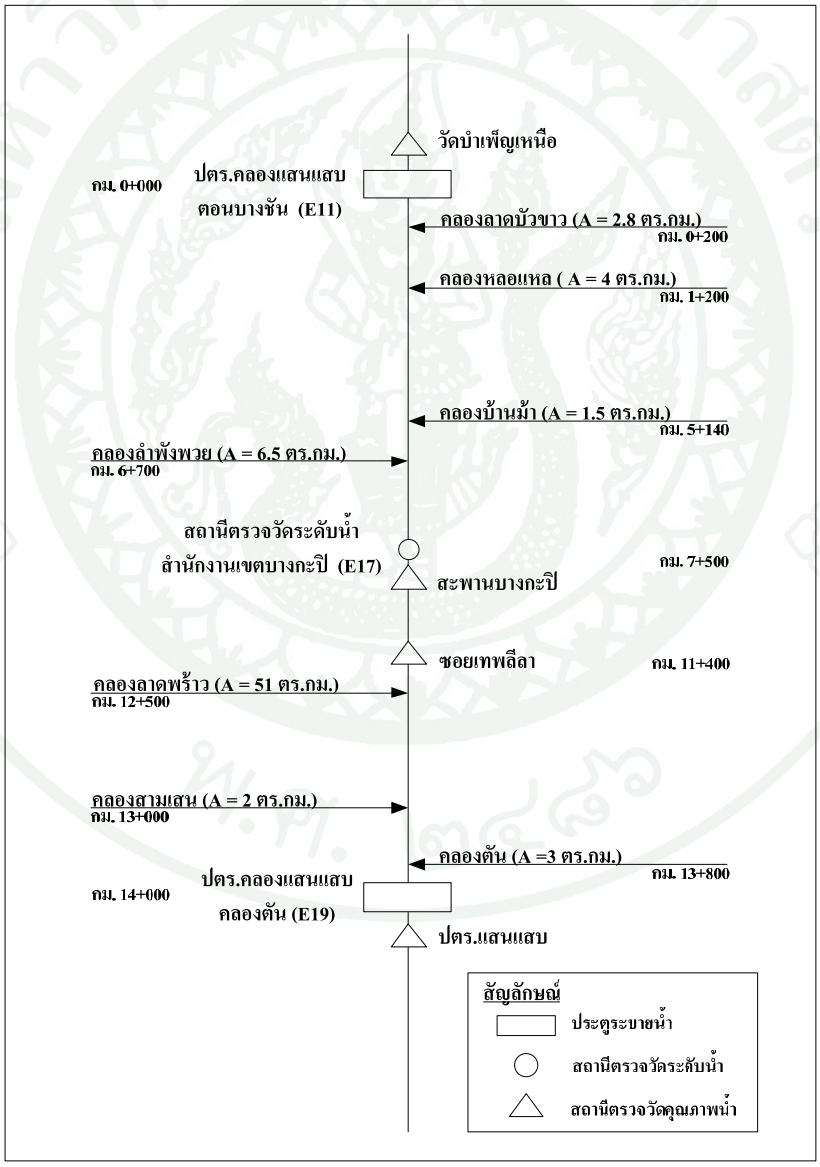
วิธีการ

การศึกษาตรวจสอบด้านคุณภาพน้ำ เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 มีขั้นตอนดำเนินการแสดงในภาพที่ 17 ดังต่อไปนี้



ภาพที่ 17 แผนผังขั้นตอนการศึกษา

1. ศึกษาสภาพคุณภาพน้ำคลองแสนแสบในปัจจุบัน จากข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้รับจากสำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร ซึ่งประกอบด้วย ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) และค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) ในพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบ ซึ่งเริ่มพิจารณาจากประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน (เขตคันนายาว) ถึงประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน (เขตวัฒนา) ระยะทาง 14.5 กิโลเมตร โดยใช้ข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้งสิ้น 4 จุด ได้แก่ วัดบำเพ็ญเหนือ สะพานบางกะปิ ซอยเทพลีลา และปตร.แสนแสบ ดังแสดงในภาพที่ 18



ภาพที่ 18 แผนผังระบบคลองพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบ

2. การศึกษาประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD เพื่อประเมินการเคลื่อนที่ของน้ำท่า โดยใช้ข้อมูลในปี พ.ศ. 2553 สอบเทียบพารามิเตอร์ที่เหมาะสมของแบบจำลอง และนำไปใช้สนับสนุนการดำเนินงานของแบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 ECO Lab อีกด้วย ซึ่งข้อมูลที่ใช้ประกอบด้วย ข้อมูลรูปตัดขวางคลอง อัตราการไหล และระดับน้ำ โดยมีรายละเอียดของข้อมูลในแต่ละส่วนดังต่อไปนี้

2.1 ข้อมูลรูปตัดขวางคลองแสนแสบ ตั้งแต่ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน (เขตคันนายาว) ถึงประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน (เขตวัฒนา) ระยะทางประมาณ 14.5 กิโลเมตร ประกอบด้วย รูปตัดขวางคลองใน 2 รูปแบบคือ ตั้งแต่ช่วงกิโลเมตรที่ 0 ถึงกิโลเมตรที่ 5 เป็นรูปตัดขวางคลองที่มีคันดินธรรมชาติทั้งสองด้าน และช่วงกิโลเมตรที่ 6 ถึงกิโลเมตรที่ 14.5 เป็นรูปตัดขวางคลองที่มีเขื่อนทั้งสองด้าน ดังแสดงในภาพผนวกที่ 1

2.2 ข้อมูลอัตราการไหล ขอบเขตด้านเหนือน้ำพิจารณาอัตราการไหลที่ประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน (เขตคันนายาว) โดยการคำนวณจากสมการที่ 64 ซึ่งใช้ข้อมูลระดับน้ำที่ทำการตรวจวัดโดยกองอาคารบังคับน้ำ สำนักการระบายน้ำ กรุงเทพมหานคร

$$Q = CLy_3\sqrt{2g\Delta y} \tag{64}$$

เมื่อ $Q =$ อัตราการไหลผ่านบานระบายน้ำ (ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที)

$h =$ ความสูงระดับบาน (เมตร)

$L =$ ความกว้างบานประตูระบายน้ำ (เมตร)

$y_1 =$ ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ (เมตร)

$y_3 =$ ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ (เมตร)

$\Delta y = y_1 - y_3 =$ ระดับน้ำด้านเหนือน้ำ – ระดับน้ำด้านท้ายน้ำ (เมตร)

$C =$ สัมประสิทธิ์การไหล โดยขึ้นอยู่กับความสัมพันธ์ระหว่าง $\frac{y_3}{h}$, y_3 เป็นค่าระดับน้ำท้ายน้ำ และ h เป็นระยะยกบาน

โดยที่ $C = 0.7192\left(\frac{y_3}{h}\right)^{-1.0782}$

2.3 ข้อมูลระดับน้ำ ใช้ข้อมูลที่ทำการตรวจวัดจากสถานีวัดระดับน้ำแบบเครือข่าย (Remote Terminal Unit) ของกรุงเทพมหานคร โดยขอบเขตด้านท้ายน้ำพิจารณาค่าระดับน้ำที่สถานี E19 (กิโลเมตรที่ 14.5) ตั้งอยู่บริเวณประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน (เขตวัฒนา) และพิจารณาค่าระดับน้ำที่สถานี E17 ตั้งอยู่บริเวณสำนักงานเขตบางกะปิ (กิโลเมตรที่ 7.5) ดังแสดงในภาพที่ 18 เพื่อใช้ในการสอบเทียบแบบจำลอง

2.4 การสอบเทียบแบบจำลอง (Calibration) ในการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 HD นั้นต้องทำการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) สำหรับการไหลในลำน้ำ โดยให้ค่าระดับน้ำที่คำนวณด้วยแบบจำลอง มีความสอดคล้องใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัดระดับน้ำที่สถานี E17 บริเวณสำนักงานเขตบางกะปิ

การประเมินค่าทางสถิติเพื่อใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง MIKE 11 HD ประกอบด้วยพารามิเตอร์ แสดงดังสมการที่ (65)-(66)

1) Correlation Coefficient (r)

$$r = \frac{\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{mi} - \overline{Q}_m\right)\times\left(Q_{ci} - \overline{Q}_c\right)}{\sqrt{\left[\sum_{i=1}^{N}\left(Q_{mi} - \overline{Q}_m\right)^2 \times \sum_{i=1}^{N}\left(Q_{ci} - \overline{Q}_c\right)^2\right]}} \tag{65}$$

2) Root Mean Square Error (RMSE)

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}\left(Q_{ci} - Q_{mi}\right)^2} \tag{66}$$

เมื่อ Q_i = พารามิเตอร์ที่เวลา i

$\overline{Q}$ = ค่าเฉลี่ยของพารามิเตอร์ (โดยที่ m และ c คือ ค่าที่ตรวจวัดได้ และค่าที่คำนวณจากแบบจำลอง)

N = จำนวนของข้อมูล

ซึ่งค่า Correlation Coefficient (r) จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1 ถึง 1 หากค่า r มีค่าเป็นบวกและเข้าใกล้ 1 นั้น แสดงว่าชุดข้อมูลทั้งสองมีความสัมพันธ์แบบปฏิภาคโดยตรงที่ดีมาก ส่วนค่า Root Mean Square Error (RMSE) นั้น หากมีค่าเท่ากับ 0 แสดงว่าข้อมูลจากการคำนวณด้วยแบบจำลองไม่มีค่าความผิดพลาด เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากการตรวจวัด

3. การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 ECO Lab เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำ สำหรับเหตุการณ์ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-พ.ย.) โดยข้อมูลพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำที่พิจารณาคือ DO และ BOD ซึ่งขอบเขตด้านเหนือน้ำใช้ข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณวัดบำเพ็ญเหนือ และขอบเขตด้านท้ายน้ำใช้ข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำปตร.แสนแสบ (ถ.เพชรบุรี)

โดยการสอบเทียบแบบจำลอง จะทำการเปรียบเทียบข้อมูลค่า DO และ BOD จากการคำนวณด้วยแบบจำลองกับข้อมูลค่า DO และ BOD ที่ได้จากการตรวจวัด จากจุดเก็บตัวอย่างน้ำสะพานบางกะปิ (กิโลเมตรที่ 7.5) ดังแสดงในภาพที่ 18 เพื่อให้ชุดข้อมูลทั้งสองมีความสอดคล้องใกล้เคียงกัน สามารถนำพารามิเตอร์ของแบบจำลองมาใช้เป็นตัวแทนสภาพจริงในลำน้ำได้ ซึ่งแบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 ECO Lab ต้องทำการสอบเทียบพารามิเตอร์ของแบบจำลองดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสสารในลำน้ำ (Dispersion coefficient, D_x)

2) อัตราการสลายตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (1st order decay rate at 20 ^{o}C)

3) ค่าการอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน (Half - saturation oxygen concentration)

4) ค่าการหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration of animals and plants)

5) ค่าสัมประสิทธิ์การหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration temperature coefficient)

4. การประเมินปริมาณน้ำเสีย และปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ในพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบและคลองเชื่อมต่อ มีแนวทางดำเนินการดังนี้

4.1 การหาพื้นที่ ที่มีการระบายน้ำเสียลงสู่คลองแสนแสบและคลองเชื่อมต่อ

โดยกำหนดพื้นที่ที่อยู่ริมคลองแสนแสบ และคลองเชื่อมต่อที่มีการระบายน้ำเสีย ซึ่งประกอบด้วย 9 เขตในกรุงเทพมหานคร จากนั้นคำนวณระยะห่างจากคลอง 500 เมตร ส่วนการแบ่งพื้นที่ระบายน้ำเสียของคลองเชื่อมต่อ จะพิจารณาจากทิศทางการไหล โดยพิจารณาให้น้ำเสียจากชุมชนที่มีแนวถนนจรดคลองไหลลงสู่คลองแสนแสบในช่วงพื้นที่นั้นๆ ซึ่งคิดเป็นพื้นที่ทั้งหมด 80 ตารางกิโลเมตร

4.2 การคำนวณปริมาณน้ำเสีย

ในการคำนวณจะพิจารณาค่าความหนาแน่นของประชากรต่อพื้นที่ (Population density) โดยใช้ข้อมูลจำนวนประชากรของกรุงเทพมหานครในแต่ละเขตพื้นที่ ทำการคำนวณร่วมกับขนาดพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียจากการคำนวณในข้อ 4.1 และคูณกับอัตราการเกิดน้ำเสียเท่ากับ 180 ลิตรต่อคนต่อวัน (กรมควบคุมมลพิษ, 2553) จะได้ปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่

4.3 การประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD

การประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11 ในการประเมินปริมาณความสกปรกในรูป BOD ของน้ำเสียชุมชน ซึ่งเป็นตัวแทนความสกปรกที่ถูกระบายลงสู่คลอง โดยอาศัยการนำเข้าข้อมูลปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่จากการคำนวณ และค่าปริมาณความสกปรกในรูป BOD น้ำเสียชุมชนจากการประเมิน ซึ่งในเบื้องต้นทำการประเมินค่าปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ตามค่าความสกปรกในรูป BOD ที่ระบายออกสู่พื้นที่ กรณีไม่ได้อยู่ในพื้นที่ให้บริการโครงการบำบัดน้ำเสีย (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

การตรวจสอบผลการประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD จากผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง หากพบว่าค่าปริมาณความสกปรกในรูป BOD ของคลองแสนแสบจากแบบจำลองเมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดแล้วมีค่าน้อยกว่าแสดงว่า การประเมินค่าความ

สกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD มีค่าน้อยกว่าความเป็นจริง ดังนั้นจึงต้องทำการประเมินซ้ำด้วยการกำหนดค่าปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เพิ่มมากขึ้น จนกว่าผลการคำนวณค่าปริมาณความสกปรกในรูป BOD ของคลองจากแบบจำลอง จะมีค่าใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด

5. แนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองแสนแสบแบ่งเป็น 2 แนวทางคือ

5.1 การประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-Purification) ของคลองแสนแสบ

โดยพิจารณาทั้งในกรณีไม่มีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียชุมชนและคลองเชื่อมต่อ และกรณีมีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียชุมชนและคลองเชื่อมต่อที่ไหลลงสู่คลอง ซึ่งศึกษาทั้งในรูปแบบที่ชุมชนมีการทิ้งของเสียครั้งเดียว และทิ้งของเสียต่อเนื่อง 10 วัน เพื่อศึกษาถึงระยะเวลาที่คลองแสนแสบสามารถทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติจนมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้นได้

5.2 แนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำที่เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในอนาคต และผลกระทบต่อคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ

5.2.1 การประเมินภาระน้ำเสียที่เป็นผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร โดยการคาดการณ์จำนวนประชากรในปี พ.ศ. 2556 และจำนวนประชากรในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้าคือปี พ.ศ. 2566 ซึ่งการคำนวณต้องอาศัยข้อมูลจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในแต่ละปี (ย้อนหลัง 15 ปี) มาทำการคำนวณดังสมการที่ 67

$$P_n = P_o(1+r)^n \tag{67}$$

เมื่อ P_n = จำนวนประชากรเมื่อปีที่ n ในอนาคตจากปัจจุบัน (คน)

P_o = จำนวนประชากรในปัจจุบันหรือปีที่เริ่มต้นคำนวณ (คน)

r = อัตราการเปลี่ยนแปลงเฉลี่ยของประชากร (คน/ปี)

n = ช่วงเวลาที่ต้องการคำนวณการเปลี่ยนแปลงนับจากปัจจุบันหรือปีที่เริ่มต้นการคำนวณ (ปี)

5.2.2 การคำนวณปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่ในอนาคต จากผลการคาดการณ์จำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้นในอนาคตด้วยการคำนวณในข้อ 5.1.1 เพื่อหาแนวทางลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ที่ระบายลงสู่คลองแสนแสบ เนื่องจากมีความเป็นไปได้มากกว่าการลดปริมาณน้ำเสียจากอัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน ซึ่งสามารถกำหนดมาตรการติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียที่สอดคล้องกับนโยบายของกรุงเทพมหานคร จากนั้นทำการลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ลงเป็นร้อยละต่างๆ เพื่อเป็นแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบให้ดีขึ้นมีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่า BOD ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสามารถจัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 4 ได้

6. จากการวิเคราะห์ตามแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ สามารถนำผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ DO และ BOD ด้วยแบบจำลองที่แสดงถึงการเปลี่ยนแปลงของคุณภาพน้ำในทางที่ดีขึ้น เพื่อเสนอแนะเป็นแนวทางในการจัดการแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำทั้งปัจจุบันและในอนาคตที่สามารถปฏิบัติได้จริงอย่างเป็นรูปธรรม เพื่อการนำไปปรับใช้อย่างยั่งยืนต่อไป

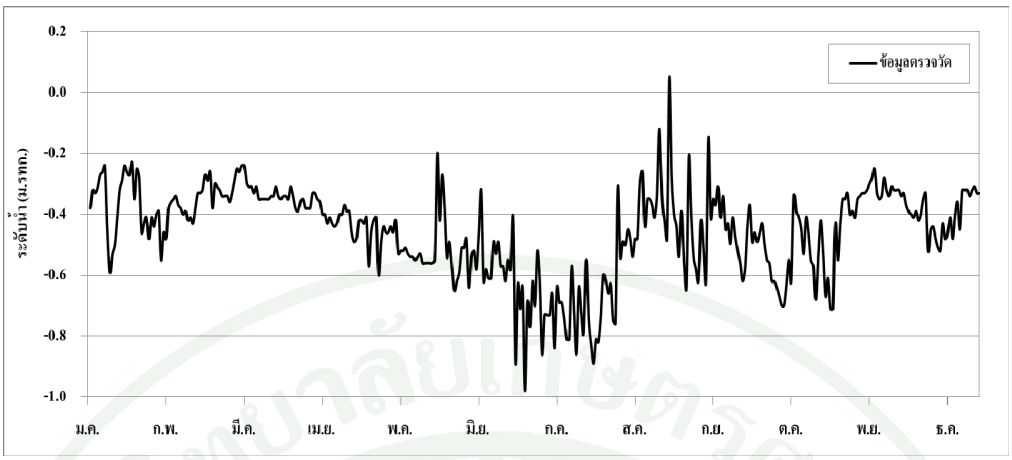
ผลและวิจารณ์

การศึกษา และตรวจสอบปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ เพื่อหาแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั้งในปัจจุบันและอนาคต ซึ่งทำการประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เพื่อเป็นตัวแทนน้ำเสียที่ระบายลงสู่คลอง โดยพิจารณาทั้งจากเงื่อนไขปัจจุบันและผลจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า อีกทั้งยังประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-Purification) ของคลอง ศึกษาทั้งในกรณีมีการรับน้ำเสียและกรณีไม่มีการรับน้ำเสียจากชุมชนและคลองเชื่อมต่อ โดยมีเป้าหมายให้น้ำในคลองมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้น จากที่จัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 5 ให้จัดอยู่ประเภทที่ 4 ได้ กล่าวคือ มีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่า BOD ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำที่ศึกษาคือ DO และ BOD

1. ศึกษาสภาพคุณภาพน้ำและปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ

ในช่วงฤดูฝน ตั้งแต่เดือนพฤษภาคมถึงพฤศจิกายน กรุงเทพมหานครโดยกองอาคารบังคับน้ำ จะควบคุมระดับน้ำในคลองแสนแสบให้อยู่ในระดับที่เตรียมรับมือกับสภาวะน้ำนองและน้ำท่วม โดยสถานีสูบน้ำและประตูระบายน้ำต่างๆ ในเขตกรุงเทพมหานครที่ตั้งอยู่บริเวณริมแม่น้ำเจ้าพระยา จะถูกปิด และกรุงเทพมหานครจะสูบน้ำในคลองต่างๆ ออกสู่แม่น้ำเจ้าพระยาเพื่อพร่องน้ำในสภาพอากาศที่ส่อว่าจะมีฝน โดยจะรักษาระดับน้ำให้ต่ำตามที่กำหนดไว้ในแต่ละสถานี (กรมควบคุมมลพิษ, 2553)

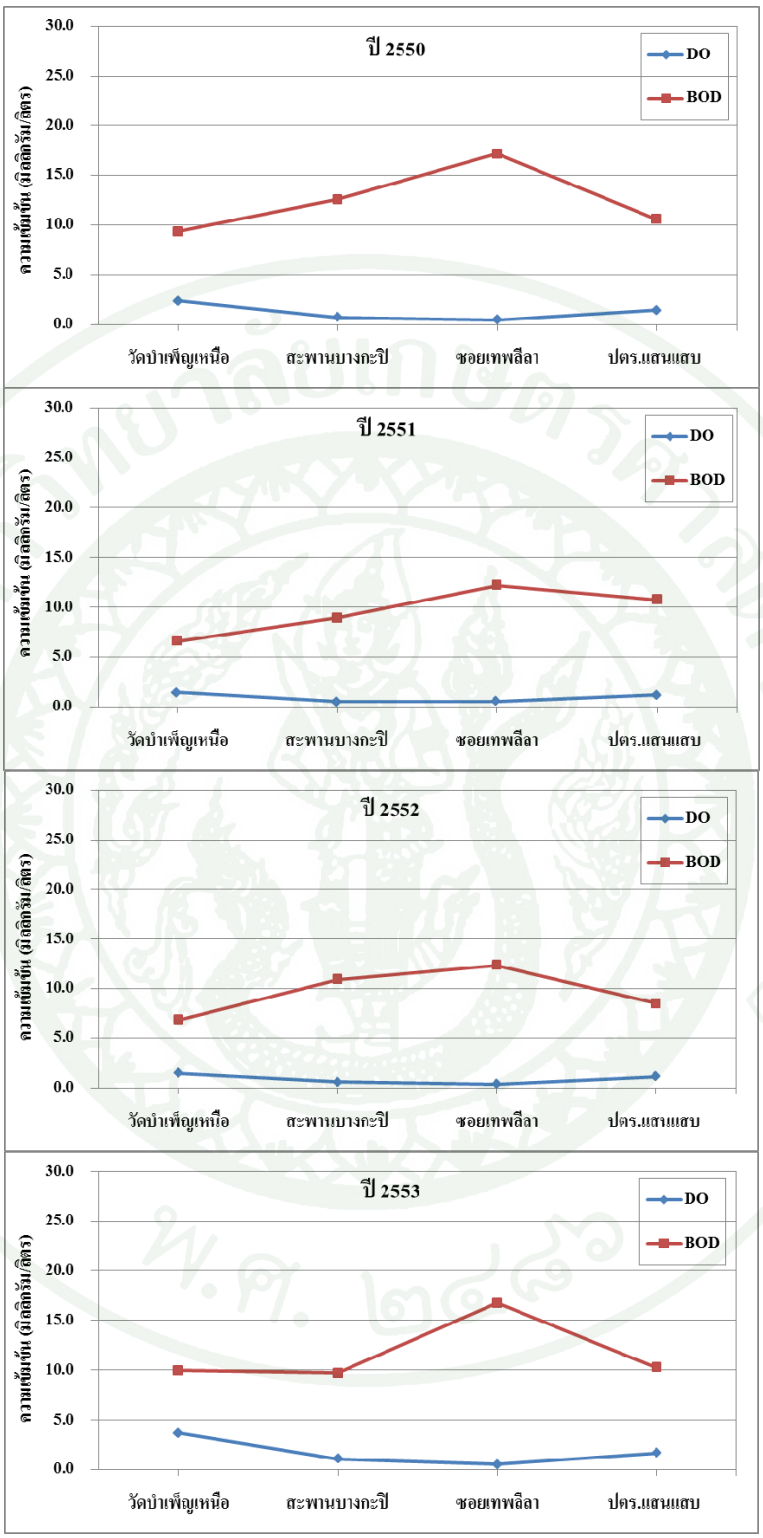
จากข้อมูลตรวจวัดระดับน้ำในคลองแสนแสบที่สถานี E17 (สำนักงานเขตบางกะปิ)ในปี พ.ศ. 2553 พบว่าในช่วงเดือนมิถุนายนถึงสิงหาคมมีค่าระดับน้ำอยู่ในช่วง -0.80 ม.รทก. โดยมีค่าระดับน้ำต่ำสุดที่ -0.98 ม.รทก. ดังแสดงในภาพที่ 19 ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝน (พ.ค.-พ.ย.) ดังนั้นคุณภาพน้ำคลองแสนแสบในช่วงฤดูนี้ จะมีสภาพเสื่อมโทรม เนื่องจากมีระดับในคลองต่ำ ปริมาณน้ำน้อยและมีการระบายน้ำเสียชุมชนลงสู่คลองอย่างต่อเนื่อง



ภาพที่ 19 ข้อมูลตรวจวัดระดับน้ำสถานี E17 (สำนักงานเขตบางกะปิ)ในปี พ.ศ. 2553

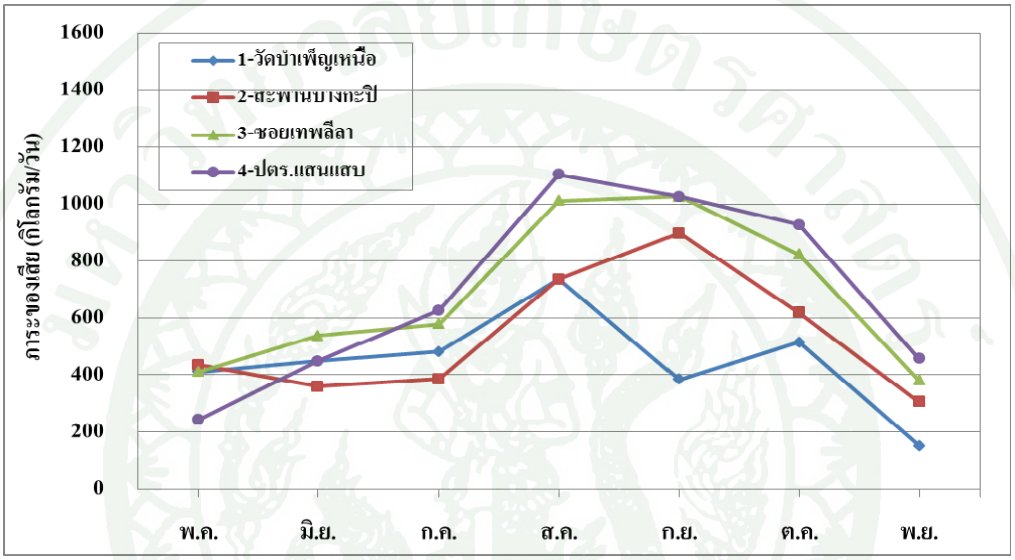
จากข้อมูลคุณภาพน้ำ ในพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบ ซึ่งได้รับจากสำนักการระบายน้ำกรุงเทพมหานคร พิจารณาจากประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนบางชัน (เขตคันนายาว) ถึงประตูระบายน้ำคลองแสนแสบตอนคลองตัน (เขตวัฒนา) ซึ่งใช้ข้อมูลจากจุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้งสิ้น 4 จุด ได้แก่ 1) วัดบำเพ็ญเหนือ 2) สะพานบางกะปิ 3) ซอยเทพลีลา 4) ปตร.แสนแสบ (ถ.เพชรบุรี) ประกอบด้วย ค่าปริมาณออกซิเจนละลายน้ำ (Dissolved Oxygen, DO) และค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (Biochemical Oxygen Demand, BOD) พบว่าในปี พ.ศ. 2550 – 2553 ของสถานีต่างๆ เป็นไปในทิศทางเดียวกัน กล่าวคือ ค่า DO มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 0.4-3.6 มิลลิกรัมต่อลิตร ส่วน BOD มีค่าเฉลี่ยระหว่าง 6.6-17.2 มิลลิกรัมต่อลิตร ดังแสดงในภาพที่ 20 จากข้อมูลคุณภาพน้ำของทั้ง 4 ปี แสดงว่าในบริเวณจุดเก็บตัวอย่างน้ำซอยเทพลีลา มีค่า DO ต่ำ และค่า BOD สูง เมื่อเปรียบเทียบกับจุดเก็บตัวอย่างน้ำอื่นทั้ง 3 จุด

ทั้งนี้เมื่อพิจารณาสถิติจำนวนประชากรของกรุงเทพมหานครใน 5 เขตพื้นที่ ได้แก่ เขตมีนบุรี เขตบางกะปิ เขตวังทองหลาง เขตห้วยขวาง และเขตวัฒนาเปรียบเทียบกัน พบว่าบริเวณซอยเทพลีลามีจำนวนประชากรหนาแน่นคือ 6,280 คนต่อตารางเมตร และอีก 3 จุดที่พิจารณาคือ บริเวณ ปตร.แสนแสบ สะพานบางกะปิ และวัดบำเพ็ญเหนือ มีความหนาแน่นประชากรเท่ากับ 5,331 5,045 และ 2,122 คนต่อตารางเมตร ตามลำดับ จึงเป็นที่สังเกตว่าพื้นที่ที่มีประชากรพักอาศัยหนาแน่น อาจมีการปล่อยน้ำเสียชุมชนลงสู่คลองในอัตราสูงสุด ทำให้ค่าความสกปรกในรูป BOD สูงกว่าในพื้นที่อื่นๆ ที่มีจำนวนประชากรต่อพื้นที่เบาบางกว่า



ภาพที่ 20 ผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำเฉลี่ย DO และ BOD ของคลองแสนแสบช่วงฤดูฝน (พ.ค-พ.ย.) ในปี พ.ศ. 2550-2553

จากผลการวิเคราะห์ภาระของเสีย (Loading rate) ที่จุดเก็บตัวอย่างน้ำทั้ง 4 จุด ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-พ.ย.) ของปี พ.ศ. 2553 ดังแสดงในภาพที่ 21 พบว่าทั้ง 4 จุดที่พิจารณานี้ ในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคมทุกสถานีมีค่าภาระของเสียสูง ซึ่งเป็นช่วงฤดูฝนแสดงถึงคุณภาพน้ำที่มีความเสื่อมโทรมมาก ดังนั้นในการศึกษานี้จึงเลือกช่วงเวลาดังกล่าว ในการวิเคราะห์เพื่อหาแนวทางปรับปรุงคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ

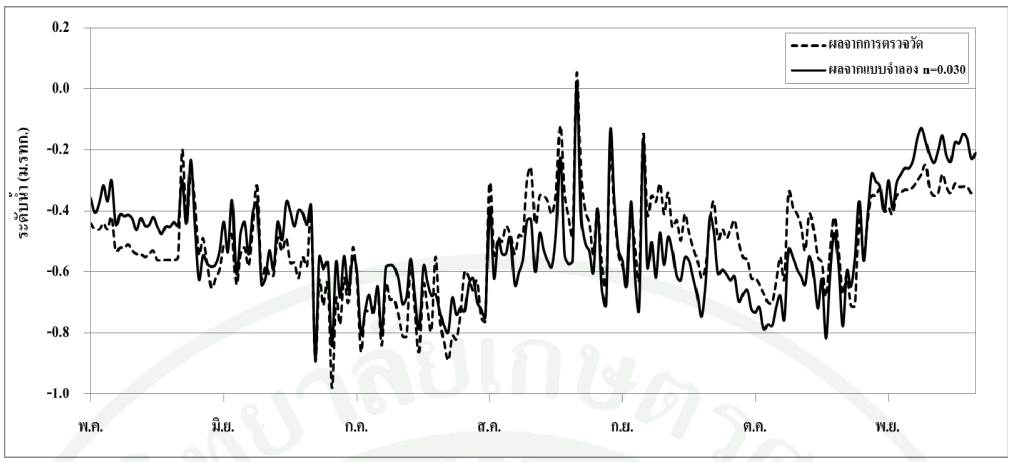


ภาพที่ 21 ผลการวิเคราะห์ภาระของเสียของคลองแสนแสบช่วงฤดูฝน (พ.ค.-พ.ย.) ในปี พ.ศ. 2553

2. การสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11

2.1 แบบจำลอง MIKE 11 HD

สำหรับแบบจำลอง MIKE 11 HD ซึ่งทำการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองคือ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) สำหรับการไหลในลำน้ำ ที่สถานี E17 (สำนักงานเขตบางกะปิ) มีค่าเท่ากับ 0.030 ซึ่งเมื่อประเมินค่าทางสถิติเพื่อใช้ในการตรวจสอบประสิทธิภาพของผลการคำนวณด้วยแบบจำลอง พบว่าได้ค่าทางสถิติที่อยู่ในเกณฑ์ดีเป็นที่ยอมรับได้ โดยมีค่า r เท่ากับ 0.793 และค่า RMSE เท่ากับ 0.097 เมตร ผลการสอบเทียบแสดงดังภาพที่ 22



ภาพที่ 22 ผลการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 HD

2.2 แบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE ECO Lab

การสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 ECO Lab เพื่อศึกษาพารามิเตอร์ควบคุมแบบจำลอง สำหรับเหตุการณ์ในช่วงฤดูฝน (พ.ค.-พ.ย.) โดยพิจารณาข้อมูลของพารามิเตอร์ด้านคุณภาพน้ำ คือ DO และ BOD ในพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบและคลองเชื่อมต่อ ซึ่งต้องทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ ดังนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสสารในลำน้ำ (Dispersion coefficient, D_x)

2) อัตราการสลายตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (1st order decay rate at 20 ^{o}C)

3) ค่าการอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน (Half - saturation oxygen concentration)

4) ค่าการหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration of animals and plants)

5) ค่าสัมประสิทธิ์การหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration temperature coefficient)

โดยได้แสดงผลการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์แบบจำลองในตารางที่ 6

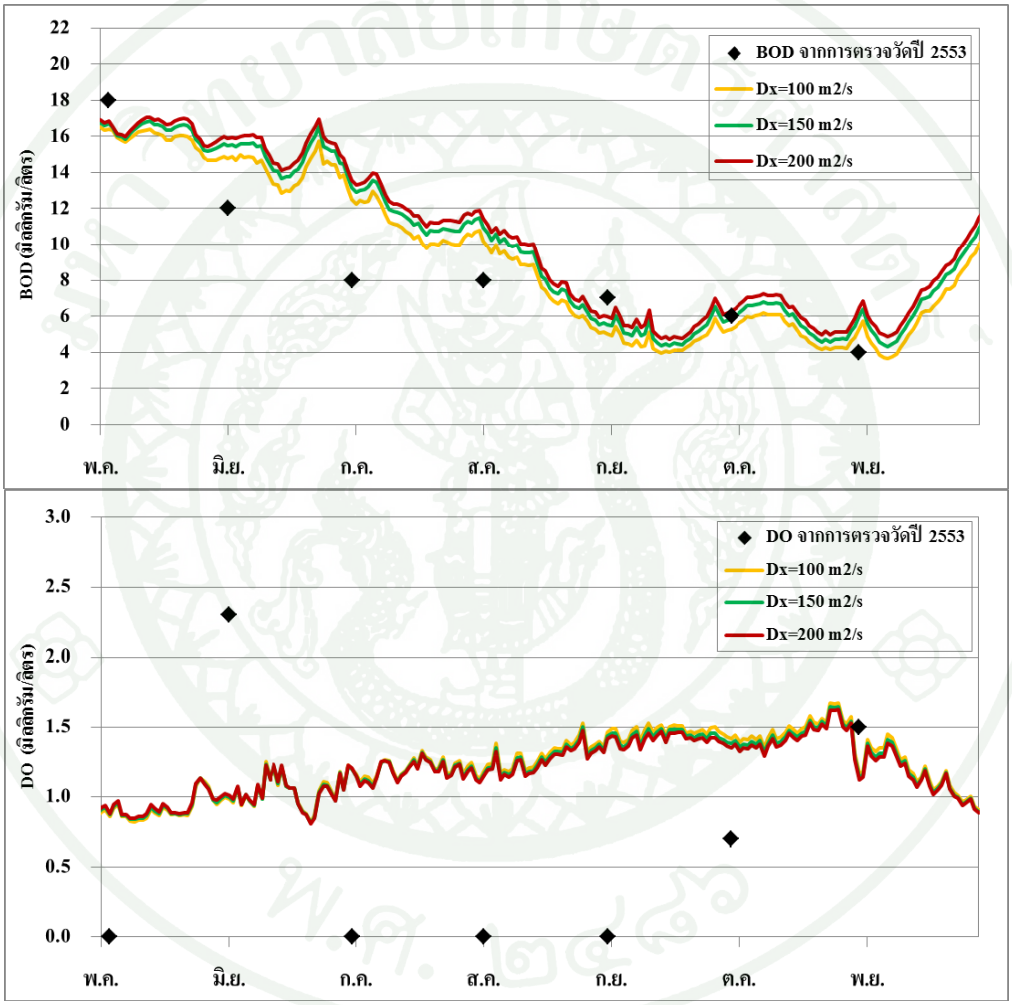
ตารางที่ 6 ผลการสอบเทียบค่าพารามิเตอร์แบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 ECO Lab

สัมประสิทธิ์	คำจำกัดความ	หน่วย	ช่วงการสอบเทียบ	ผลการสอบเทียบ
Dispersion coefficient (D_x)	การแพร่กระจายของสสารในลำน้ำ	ตารางเมตรต่อวินาที	5-300	150
1st order decay rate at 20 degree celsius	อัตราการสลายตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส	ต่อวัน	0.1-1.5	0.3
Half-saturation oxygen concentration	ค่าการอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน	มิลลิกรัมต่อลิตร	3-7	7
Respiration of animals and plants	การหายใจของพืชและสัตว์	ต่อวัน	4-7	5
Respiration temperature coefficient	สัมประสิทธิ์การหายใจของพืชและสัตว์	-	0.7-1.2	1.05

กระบวนการสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11 AD และ MIKE 11 ECO Lab ของพื้นที่ศึกษาคลองแสนแสบ เพื่อปรับค่าพารามิเตอร์ของแบบจำลองให้ผลของค่า DO และ BOD จากการคำนวณด้วยแบบจำลอง มีความสอดคล้องใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด ซึ่งมีขั้นตอนดำเนินการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์ ดังต่อไปนี้

1) ค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสสารในลำน้ำ (Dispersion coefficient, D_x)

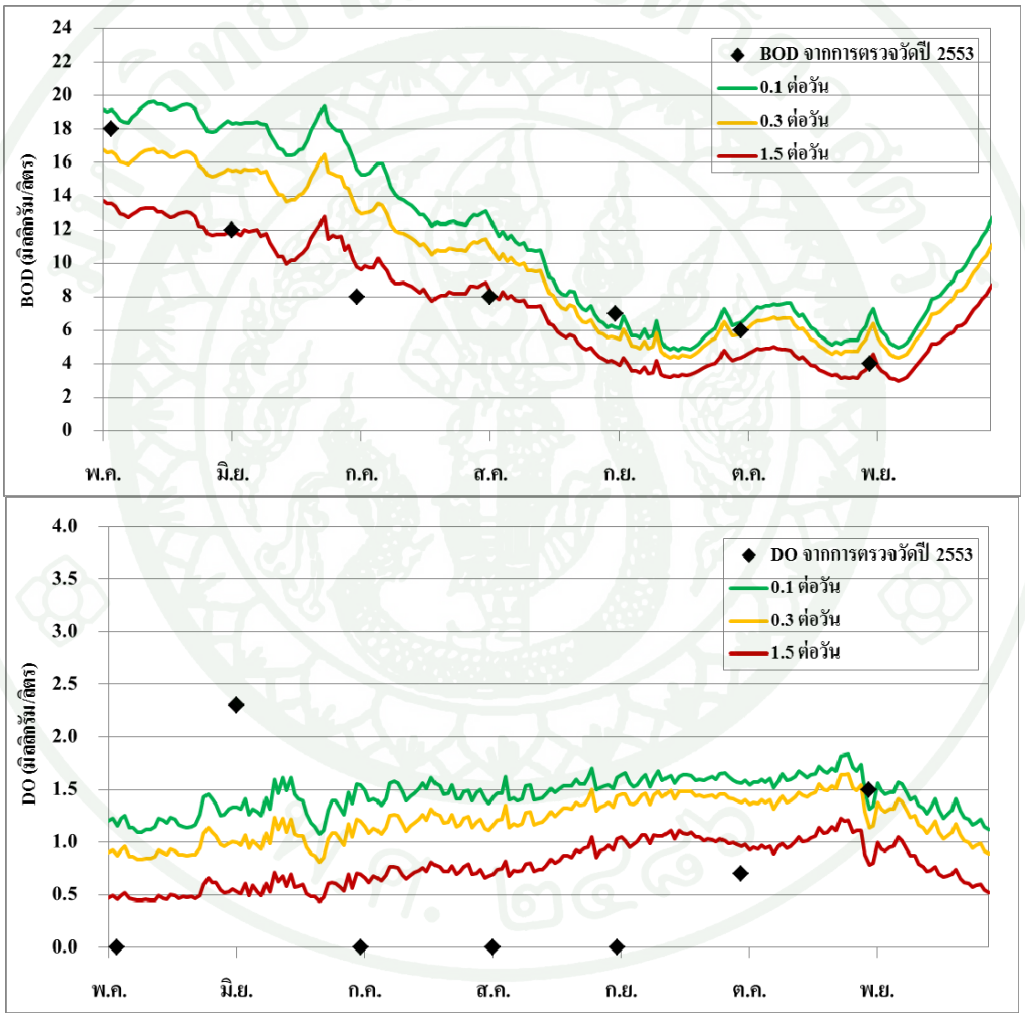
ทำการปรับเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสสารในลำน้ำ ในช่วง 5-300 ตารางเมตรต่อวินาที ซึ่งเมื่อแทนค่าเท่ากับ 100 150 และ 300 ตารางเมตรต่อวินาที ผลคำนวณด้วยแบบจำลองพบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมมีค่าเท่ากับ 150 ตารางเมตรต่อวินาทีแสดงดังภาพที่ 23



ภาพที่ 23 ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของสสารในลำน้ำ (Dispersion coefficient, D_x)

2) อัตราการสลายตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (1st order decay rate at 20 ^{o}C)

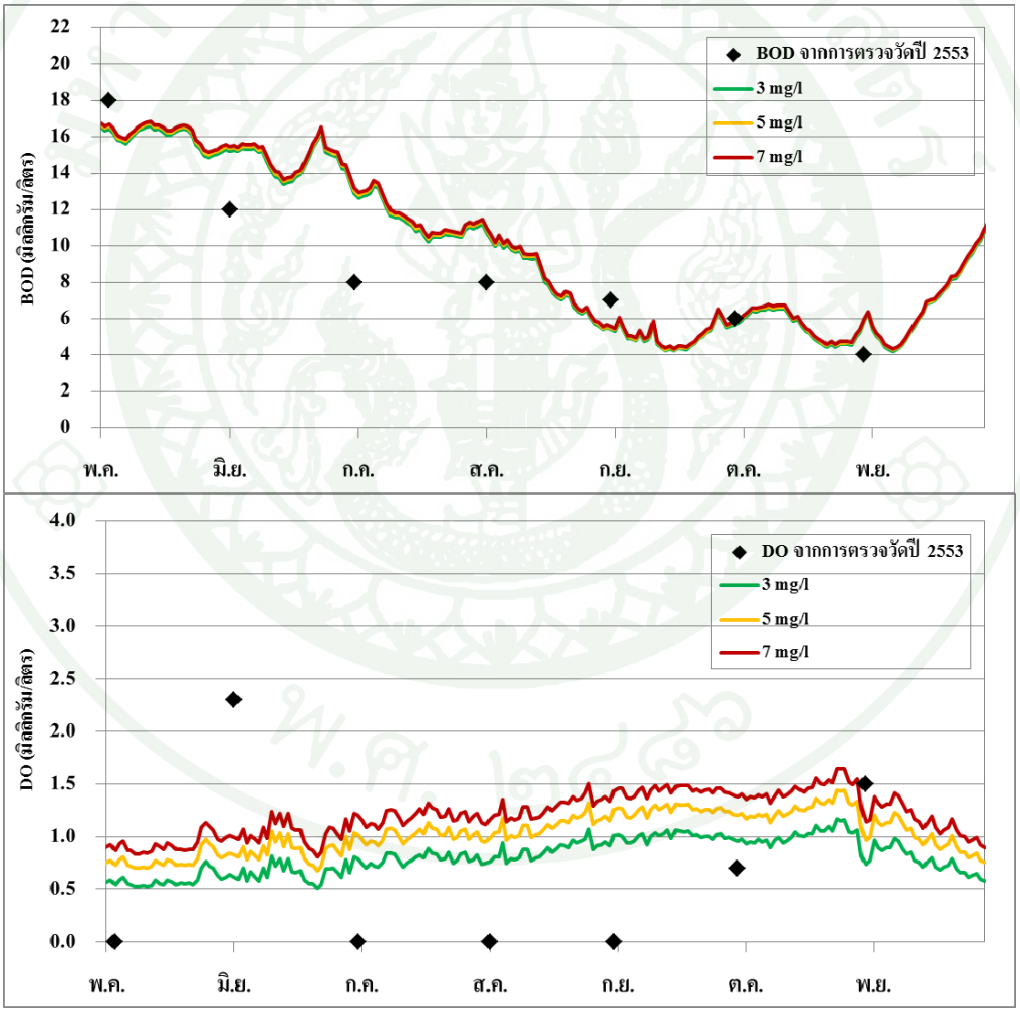
การสอบเทียบค่าอัตราการสลายตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส ทำการปรับค่าในช่วง 0.1-1.5 ต่อวัน ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองพบว่า เมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์นี้จะส่งผลให้ค่า BOD และ DO ลดลงโดยเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาต่างๆ โดยค่าสัมประสิทธิ์ที่เหมาะสมเท่ากับ 0.3 ต่อวัน แสดงดังภาพที่ 24 ซึ่งทำให้ผลจากแบบจำลองมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด



ภาพที่ 24 ผลการสอบเทียบอัตราการสลายตัวที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (1st order decay rate at 20 ºC)

3) ค่าการอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน (Half - saturation oxygen concentration)

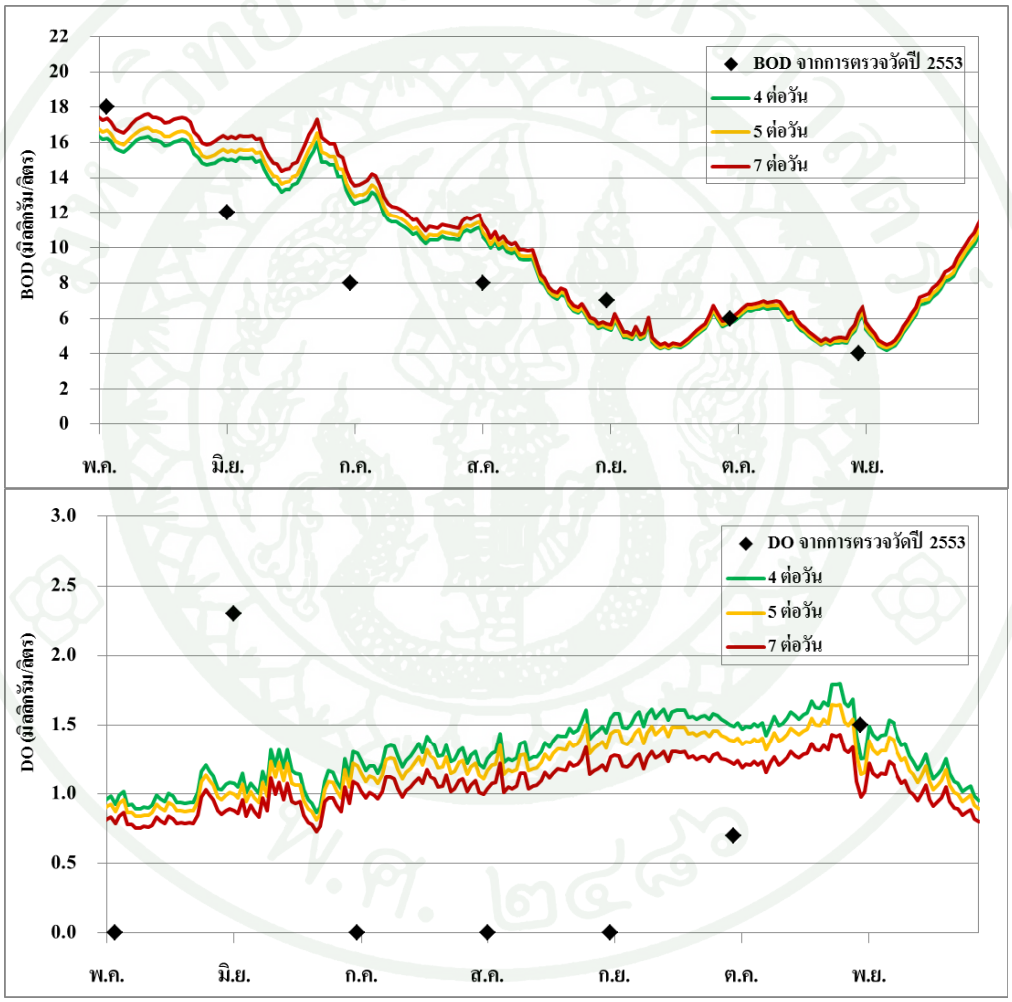
การสอบเทียบค่าการอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน โดยทำการปรับค่าในช่วง 3-7 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยแทนค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 3 5 และ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองพบว่า เมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์นี้จะส่งผลให้ค่า BOD และDO เพิ่มขึ้นโดยเฉลี่ยตลอดช่วงเวลาต่างๆ โดยค่าการอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนที่เหมาะสมเท่ากับ 7 มิลลิกรัมต่อลิตร แสดงดังภาพที่ 25



ภาพที่ 25 ผลการสอบเทียบค่าการอิ่มตัวของปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจน (Half - saturation oxygen concentration)

4) ค่าการหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration of animals and plants)

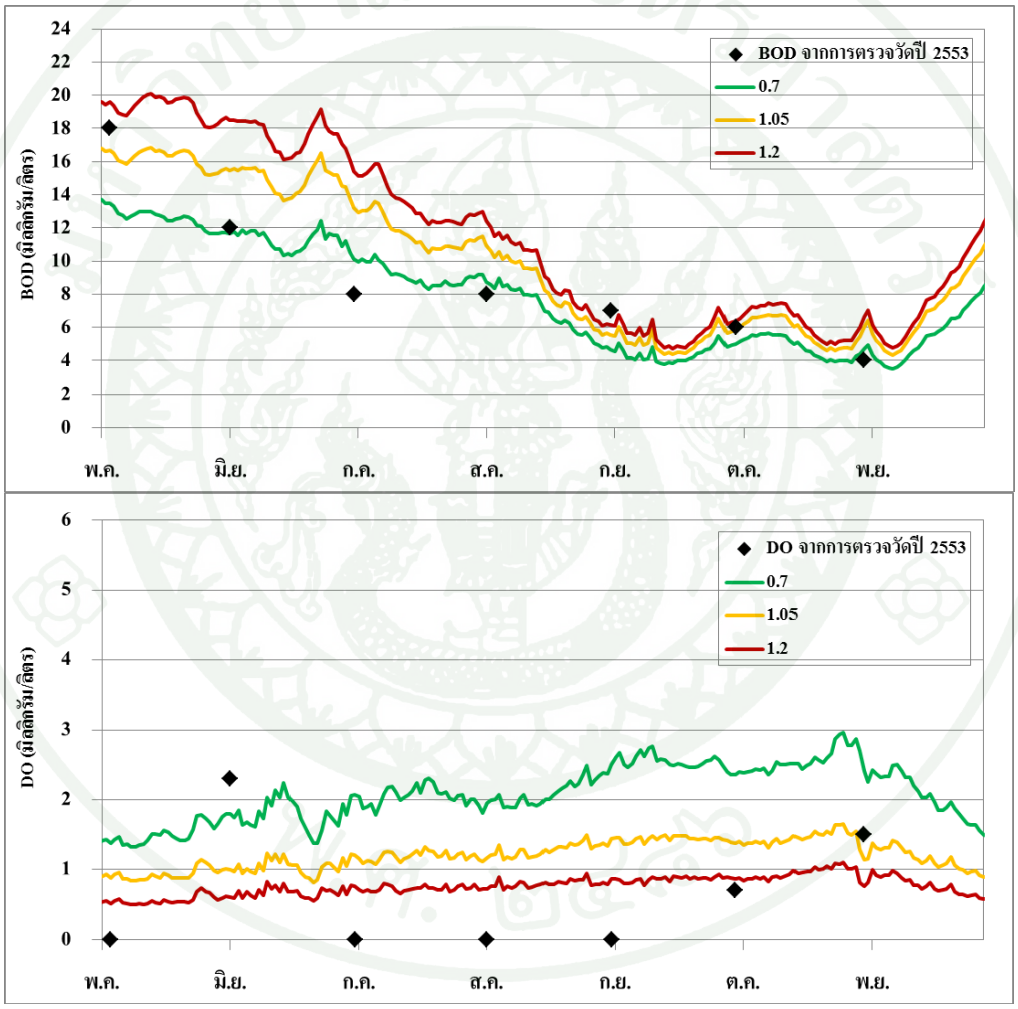
การสอบเทียบค่าการหายใจของพืชและสัตว์ ทำการปรับค่าในช่วง 4-7 ต่อวัน โดยแทนค่าสัมประสิทธิ์เท่ากับ 4 5 และ 7 ต่อวัน ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองพบว่า เมื่อเพิ่มค่านี้จะส่งผลให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น และค่า DO ลดลง อย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาต่างๆ โดยค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 5 ต่อวัน แสดงดังภาพที่ 26



ภาพที่ 26 ผลการสอบเทียบค่าการหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration of animals and plants)

5) ค่าสัมประสิทธิ์การหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration temperature coefficient)

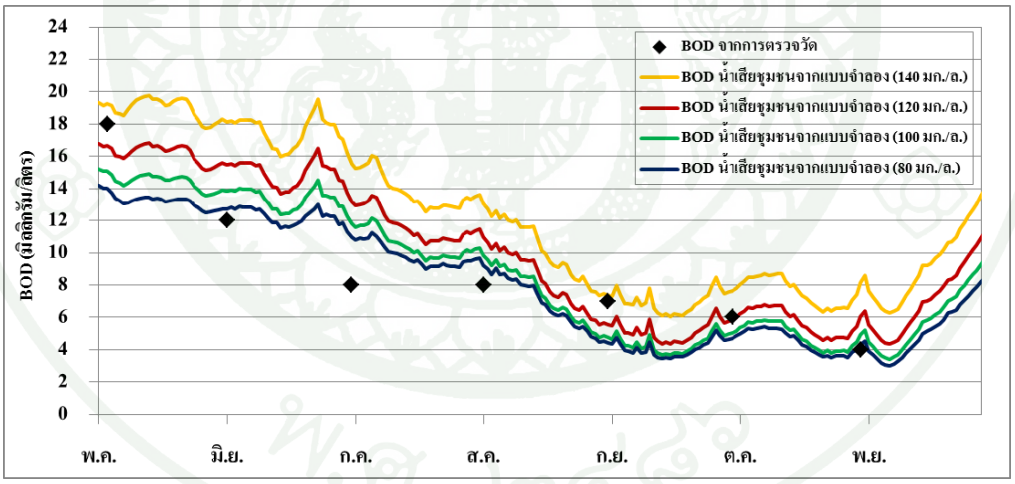
การสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การหายใจของพืชและสัตว์ ซึ่งทำการปรับค่าในช่วง 0.7-1.2 ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองพบว่า เมื่อเพิ่มค่าสัมประสิทธิ์นี้จะส่งผลให้ค่า BOD เพิ่มขึ้น และค่า DO ลดลง อย่างสม่ำเสมอตลอดช่วงเวลาต่างๆ โดยค่าที่เหมาะสมเท่ากับ 1.05 แสดงดังภาพที่ 27 ทำให้ผลจากแบบจำลองมีความสอดคล้องใกล้เคียงกับข้อมูลตรวจวัด



ภาพที่ 27 ผลการสอบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การหายใจของพืชและสัตว์ (Respiration temperature coefficient)

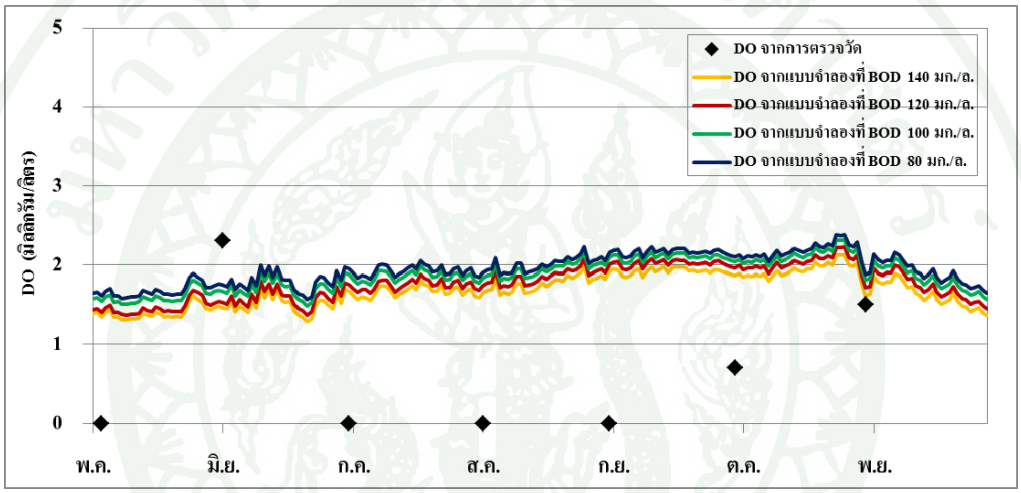
3. การประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD

การประเมินค่าปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เพื่อเป็นตัวแทนความสกปรกน้ำเสียที่ระบายลงสู่คลองแสนแสบ ซึ่งเริ่มประเมินจากค่าความสกปรกที่ระบายออกสู่พื้นที่กรณีไม่ได้อยู่ในพื้นที่ให้บริการโครงการบำบัดน้ำเสียตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้ เท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งผลการคำนวณด้วยแบบจำลองแสดงให้เห็นว่า ค่าความสกปรกในรูป BOD ของคลองเมื่อนำไปเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดแล้วมีค่าน้อยกว่าข้อมูลตรวจวัดอยู่มาก จึงทำการประเมินค่าปริมาณความสกปรก BOD น้ำเสียชุมชนเพิ่มมากขึ้นเท่ากับ 100 120 และ 140 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อประเมินความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ที่สอดคล้องใกล้เคียงกับค่าจริง ทั้งนี้พบว่า ค่าความสกปรก BOD น้ำเสียชุมชนเท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร เมื่อนำเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดแล้วค่ามีแนวโน้มใกล้เคียงกันแสดงดังภาพที่ 28 ดังนั้น จึงเลือกใช้ค่าปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร เพื่อเป็นตัวแทนความสกปรกของน้ำเสียที่ระบายลงสู่คลอง



ภาพที่ 28 ผลการประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดในปี พ.ศ. 2553

สำหรับผลจากการคำนวณโดยใช้แบบจำลองแสดงให้เห็นว่า DO มีค่าระหว่าง 0.8-2.5 มิลลิกรัมต่อลิตร โดยในบางช่วงอาจมีค่า DO ต่ำ แสดงดังภาพที่ 29 อย่างไรก็ตาม เมื่อเปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดแล้ว พบว่าค่าของข้อมูลตรวจวัดในคลองมีค่าต่ำกว่าผลที่ได้จากแบบจำลอง ซึ่งค่าตรวจวัด DO เท่ากับ 0 ซึ่งผู้วิจัยเห็นว่า อาจมีความคลาดเคลื่อนจากการเก็บตัวอย่าง หรือความถูกต้องแม่นยำของเครื่องมือ แม้ว่าค่า DO จากผลคำนวณด้วยแบบจำลองจะมีค่าสูงกว่าค่าจากการตรวจวัดอยู่เล็กน้อย แต่เมื่อพิจารณาผลของ BOD และ DO ก็พบว่ามีความสอดคล้องกัน แสดงว่าผลที่ได้จากการคำนวณด้วยแบบจำลองมีความน่าเชื่อถือ

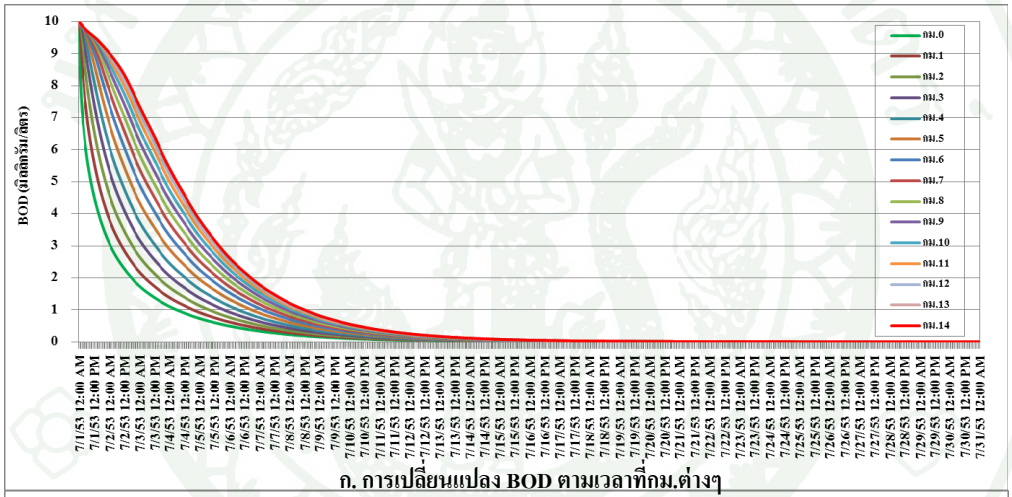


ภาพที่ 29 ปริมาณ DO จากการประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เปรียบเทียบกับข้อมูลตรวจวัดในปี พ.ศ. 2553

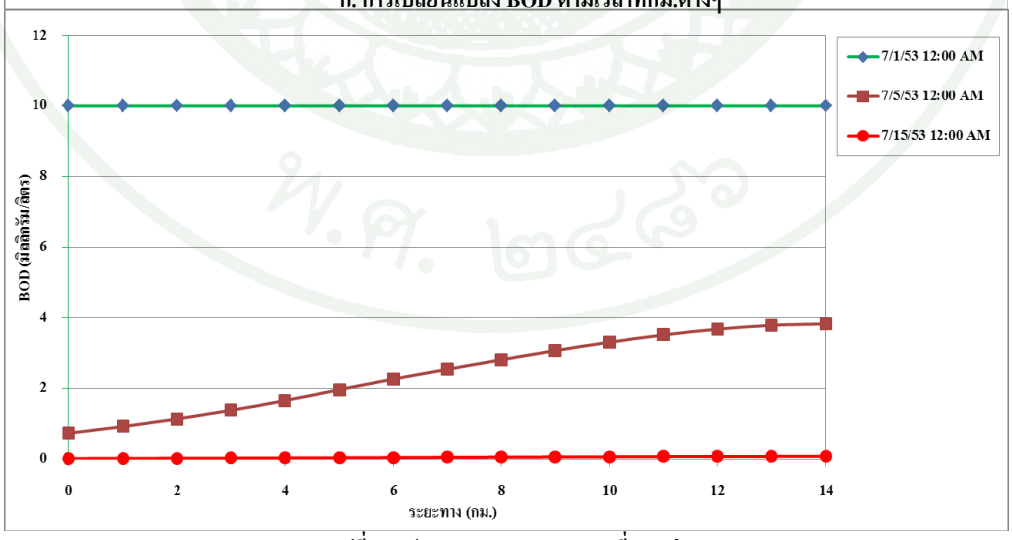
4. การประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-Purification)

4.1 กรณีไม่มีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียชุมชนและคลองเชื่อมต่อ

เมื่อกำหนดให้มีการทิ้งของเสียที่มีความสกปรกในรูป BOD เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่บริเวณด้านเหนือสุดของพื้นที่ศึกษาเพียงครั้งเดียวแล้วประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-Purification) ของคลองแสนแสบในเบื้องต้น ซึ่งมีเงื่อนไขว่าค่า BOD ของคลองลดลงใกล้เคียง 0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าคลองจะใช้เวลาในการทำความสะอาดตัวเองประมาณ 15 วัน ดังแสดงในภาพที่ 30



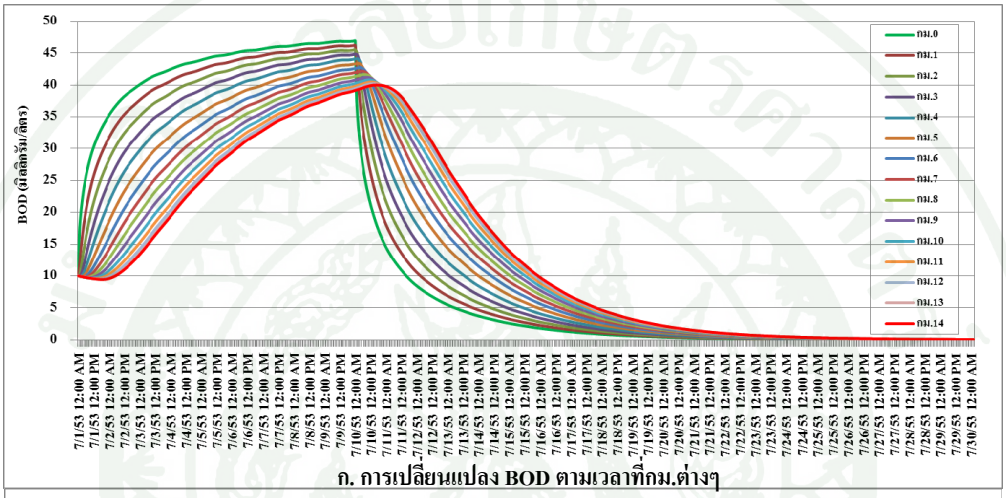
ก. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามเวลาที่กม.ต่างๆ



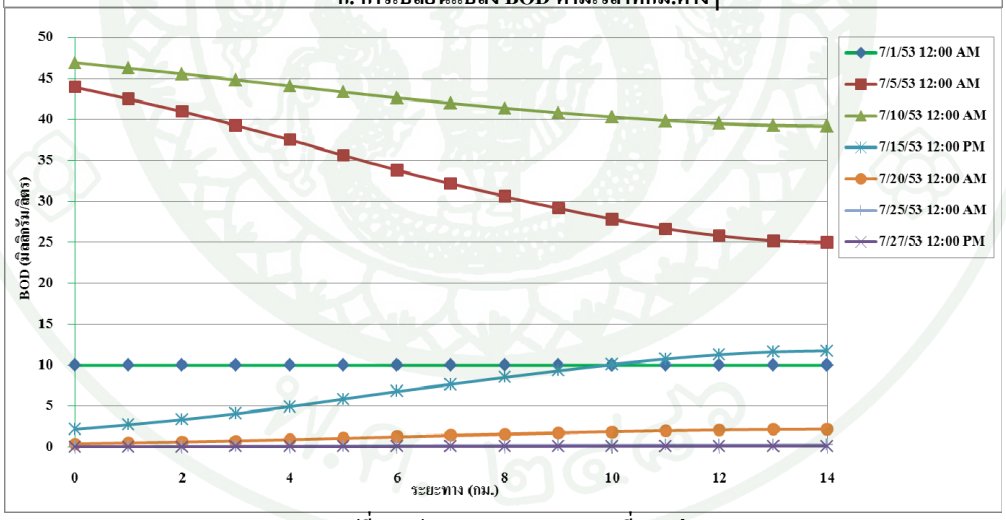
ข. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามระยะทางที่เวลาต่างๆ

ภาพที่ 30 ผลของศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติของคลองแสนแสบ กรณีไม่มีการรับน้ำเสียจากชุมชน และคลองเชื่อมต่อ (มีการทิ้งของเสียครั้งเดียว)

เมื่อได้เพิ่มการทิ้งปริมาณของเสียในรูป BOD เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่จุดเหนือน้ำจุดเดิมแบบต่อเนื่อง 10 วัน พบว่าการทิ้งของเสียต่อเนื่องทำให้มีปริมาณของเสียในรูป BOD สะสมในคลองมากขึ้นจนมีค่าประมาณ 45 มิลลิกรัมต่อลิตร จนเมื่อหยุดทิ้งของเสียค่า BOD ของน้ำในคลองจะเริ่มลดลง แสดงให้เห็นถึงการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ โดยพบว่าค่า BOD ลดลงจนมีค่าใกล้เคียง 0 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 27 วัน ดังแสดงในภาพที่ 31



ก. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามเวลาที่กม.ต่างๆ

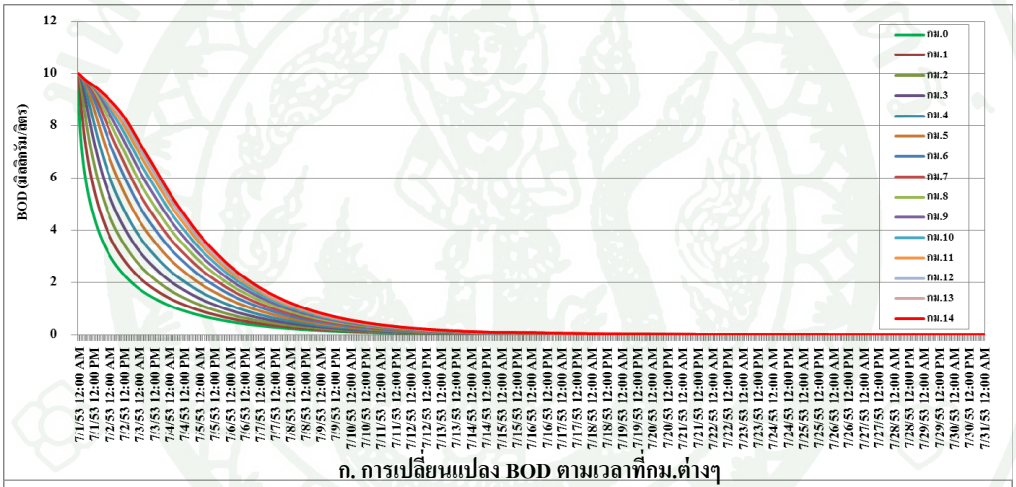


ข. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามระยะทางที่เวลาต่างๆ

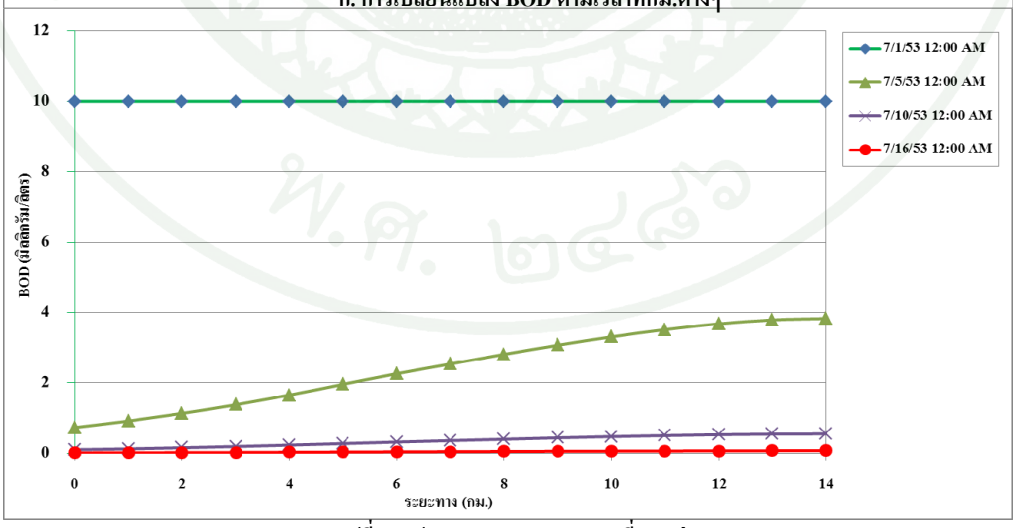
ภาพที่ 31 ผลของศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติของคลองแสนแสบ กรณีไม่มีการรับน้ำเสียจากชุมชน และคลองเชื่อมต่อ (มีการทิ้งของเสียต่อเนื่อง 10 วัน)

4.2 กรณีมีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียชุมชนและคลองเชื่อมต่อที่ไหลลงสู่คลอง

เมื่อกำหนดให้มีการทิ้งของเสียที่มีความสกปรกในรูป BOD เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตร ที่บริเวณด้านเหนือน้ำของพื้นที่ศึกษาเพียงครั้งเดียว โดยพิจารณาอิทธิพลของการระบายน้ำเสียชุมชนริมคลอง และคลองเชื่อมต่อทั้งสิ้น 7 คลองด้วย ซึ่งใช้ค่าปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร แล้วประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติของคลองแสนแสบ ซึ่งมีเงื่อนไขว่าค่า BOD ของคลองลดลงใกล้เคียง 0 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าคลองจะใช้เวลาในการทำความสะอาดตัวเองประมาณ 16 วัน ดังแสดงในภาพที่ 32



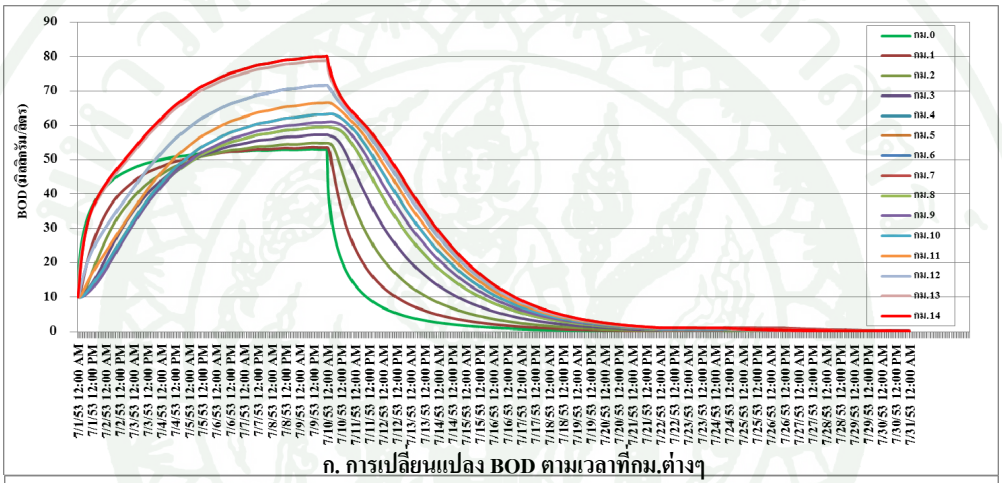
ก. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามเวลาที่กม.ต่างๆ



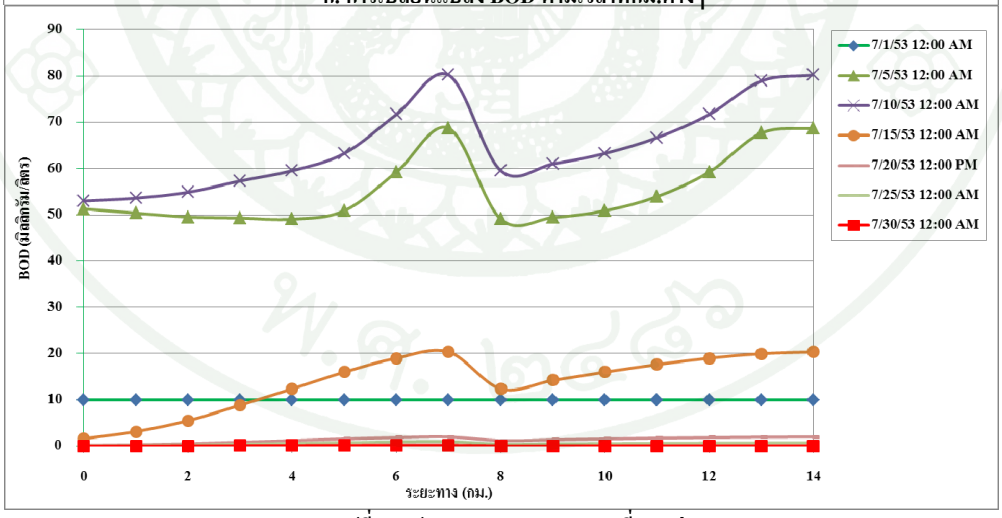
ข. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามระยะทางที่เวลาต่างๆ

ภาพที่ 32 ผลของศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติของคลองแสนแสบ กรณีมีการรับน้ำเสียจากชุมชน และคลองเชื่อมต่อ (มีการทิ้งของเสียครั้งเดียว)

เมื่อได้เพิ่มการทิ้งปริมาณของเสียในรูป BOD เท่ากับ 50 มิลลิกรัมต่อลิตรที่จุดเหนือน้ำจุดเดิมแบบต่อเนื่อง 10 วัน โดยพิจารณาอิทธิพลของการระบายน้ำเสียชุมชนริมคลอง และคลองเชื่อมต่อทั้งสิ้น 7 คลองด้วย ซึ่งใช้ค่าปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD เท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าการทิ้งของเสียต่อเนื่องทำให้มีปริมาณของเสียในรูป BOD สะสมในคลองมากขึ้นจนมีค่าประมาณ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร จนเมื่อหยุดทิ้งของเสียค่า BOD ของน้ำในคลองจะเริ่มลดลง แสดงให้เห็นถึงการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ โดยพบว่าค่า BOD ลดลงจนมีค่าใกล้เคียง 0 มิลลิกรัมต่อลิตรในเวลา 30 วัน ดังแสดงในภาพที่ 33



ก. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามเวลาที่กม.ต่างๆ



ข. การเปลี่ยนแปลง BOD ตามระยะทางที่เวลาต่างๆ

ภาพที่ 33 ผลของศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติของคลองแสนแสบ กรณีมีการรับน้ำเสียจากชุมชน และคลองเชื่อมต่อ (มีการทิ้งของเสียต่อเนื่อง 10 วัน)

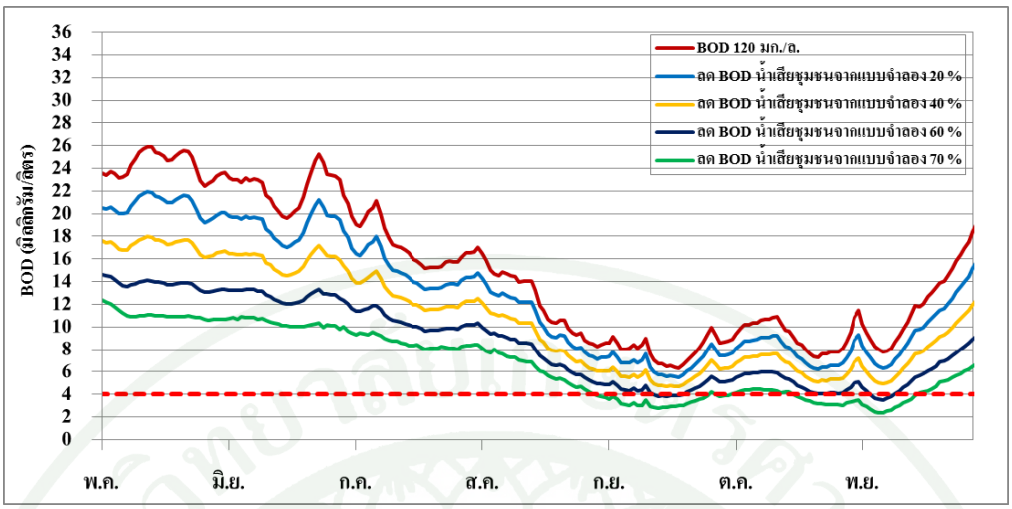
5. การปรับปรุงคุณภาพน้ำจากการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในอนาคตและผลกระทบต่อคุณภาพน้ำคลองแสนแสบ

เนื่องจากปัจจัยการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากรในอนาคต ส่งผลให้ปริมาณน้ำเสียชุมชนที่ระบายลงสู่คลองมากขึ้น ทำให้เกิดปัญหาคุณภาพน้ำเสื่อมโทรมอย่างมาก ดังนั้นแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำในอนาคตอีก 10 ปีข้างหน้า โดยเลือกแก้ไขการลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ที่ระบายลงสู่คลอง เนื่องจากมีความเป็นไปได้มากกว่าแนวทางการลดปริมาณน้ำเสียที่เกิดจากอัตราการเกิดน้ำเสียต่อคนต่อวัน ซึ่งมีเป้าหมายเพื่อให้คลองแสนแสบสามารถจัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 4 ได้ กล่าวคือมีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตรและค่า BOD ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร

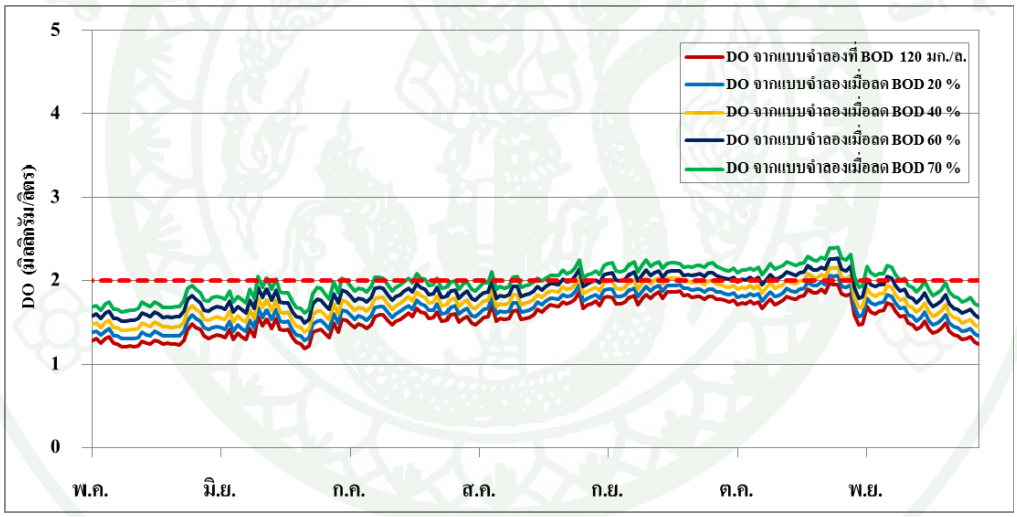
โดยในปี พ.ศ. 2553 พื้นที่ที่มีการระบายน้ำเสียมีจำนวนประชากร 423,618 คน มีปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในพื้นที่เท่ากับ 76,251 ลบ.ม.ต่อวัน

สำหรับผลการคาดการณ์พบว่าในปี พ.ศ. 2556 มีจำนวนประชากร 633,673 คน เกิดปริมาณน้ำเสียในพื้นที่เท่ากับ 114,061 ลบ.ม.ต่อวัน โดยเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 33 จากปีพ.ศ. 2553 ซึ่งผลจากแบบจำลองพบว่าในปี พ.ศ.2556 จะต้องลดปริมาณความสกปรกในรูป BOD จากการระบายน้ำเสียลงร้อยละ 60 ปริมาณความสกปรกในรูป BOD ที่ระบายลงสู่คลองเท่ากับ 48 แสดงดังภาพที่ 34 และภาพที่ 35

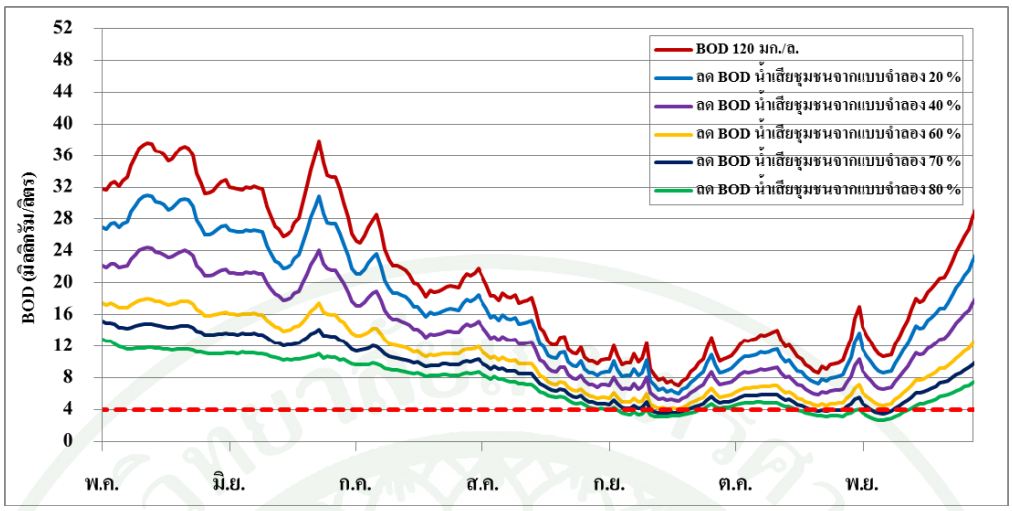
ในปี พ.ศ. 2566 จากการคาดการณ์จำนวนประชากรพบว่า มีจำนวนประชากรเพิ่มขึ้นเป็น 1,734,173 คน ทำให้เกิดปริมาณน้ำเสียเพิ่มขึ้นที่ในพื้นที่เท่ากับ 312,151 ลบ.ม.ต่อวัน ซึ่งเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 63 ผลจากการคำนวณโดยแบบจำลองแสดงให้เห็นว่าในปี พ.ศ. 2566 จะต้องลดปริมาณความสกปรกในรูป BOD จากการระบายน้ำเสียลงร้อยละ70 ซึ่งมีค่าปริมาณความสกปรกในรูป BOD ที่ระบายลงสู่คลองเท่ากับ 36 มิลลิกรัมต่อลิตรแสดงดังภาพที่ 36 และภาพที่ 37



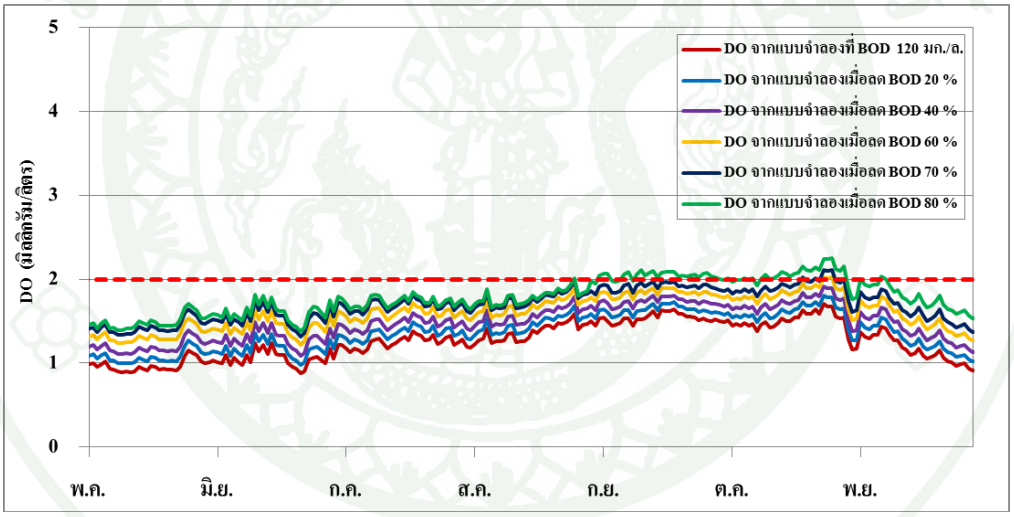
ภาพที่ 34 ปริมาณ BOD จากการลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ในปี พ.ศ. 2556



ภาพที่ 35 ปริมาณ DO จากการลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ในปี พ.ศ. 2556



ภาพที่ 36 ปริมาณ BOD จากการลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ในปี พ.ศ. 2566



ภาพที่ 37 ปริมาณ DO จากการลดปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD ในปี พ.ศ. 2566

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

การศึกษา ตรวจสอบคุณภาพน้ำในคลองแสนแสบ เพื่อเสนอแนะแนวทางการปรับปรุงคุณภาพน้ำ โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ซึ่งประกอบด้วยแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ (Hydrodynamic Model, MIKE 11 HD) แบบจำลองการพาและแพร่กระจาย (Advection-Dispersion Model, MIKE 11 AD) และแบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model, MIKE 11 ECO Lab) โดยมีเป้าหมายให้น้ำในคลองแสนแสบมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ที่ดีขึ้น จากที่จัดอยู่ในมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์ประเภทที่ 5 ให้เป็นประเภทที่ 4 ได้ กล่าวคือ มีค่า DO ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และมีค่า BOD ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร พบว่าคุณภาพน้ำในคลอง ในช่วงพื้นที่มีประชากรอาศัยหนาแน่นมีค่าความสกปรกหรือค่า BOD สูงกว่าพื้นที่มีประชากรอาศัยเบาบางกว่า ทั้งนี้พบว่าในช่วงพื้นที่ซอยเทพลีลามีค่า BOD สูงสุด และมีภาระของเสียสูงสุดในช่วงเดือนกรกฎาคมถึงตุลาคม

ผลการประเมินปริมาณความสกปรกน้ำเสียชุมชนในรูป BOD มีค่าเท่ากับ 120 มิลลิกรัมต่อลิตร ซึ่งสูงกว่าค่าความสกปรกน้ำเสียชุมชนที่ระบายออกสู่พื้นที่ กรณีไม่ได้อยู่ในพื้นที่ให้บริการโครงการบำบัดน้ำเสียตามที่กรมควบคุมมลพิษกำหนดไว้มีค่าเท่ากับ 80 มิลลิกรัมต่อลิตร

โดยในการศึกษานี้ได้ประเมินศักยภาพในการทำความสะอาดตัวเองตามธรรมชาติ (Self-Purification) ของคลองแสนแสบ โดยมีเงื่อนไขว่าค่า BOD ของน้ำในคลองลดลงจนมีค่าเท่ากับ 0 มิลลิกรัมต่อลิตรในกรณีต่างๆ สรุปได้ดังนี้

กรณีที่ 1 ไม่มีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ชุมชนและคลองเชื่อมต่อ เมื่อมีการทิ้งของเสียครั้งเดียวและทิ้งต่อเนื่อง 10 วัน คลองสามารถทำความสะอาดตัวเองโดยใช้เวลาประมาณ 15 และ 27 วัน ตามลำดับ

กรณีที่ 2 เมื่อมีการรับปริมาณน้ำเสียจากพื้นที่ชุมชนและคลองเชื่อมต่อ สำหรับการทิ้งของเสียครั้งเดียวและทิ้งต่อเนื่อง 10 วัน คลองสามารถทำความสะอาดตัวเองโดยใช้เวลาประมาณ 16 และ 30 วัน ตามลำดับ

เมื่อประเมินผลกระทบจากการเพิ่มจำนวนประชากรในอีก 10 ปีข้างหน้าคือ ปี พ.ศ. 2566 พบว่าประชากรเพิ่มขึ้นจาก 633,673 คนในปี พ.ศ. 2556 เป็น 1,734,173 คน ในปี พ.ศ. 2566 ส่งผลให้มีปริมาณน้ำเสียในพื้นที่มากขึ้นจาก 114,061 ลบ.ม.ต่อวัน ในปี พ.ศ. 2556 เป็น 312,151 ลบ.ม. ต่อวัน ในปี พ.ศ. 2566 ซึ่งในปี พ.ศ. 2556 มีการเพิ่มขึ้นเท่ากับร้อยละ 33 และในปี พ.ศ. 2566 เพิ่มมากขึ้นถึงร้อยละ 63 ดังนั้น แนวทางการแก้ไขปัญหาเพื่อรักษาค่าปริมาณ DO ไม่ต่ำกว่า 2 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า BOD ไม่เกิน 4 มิลลิกรัมต่อลิตร คือ

- ในปี พ.ศ. 2556 จะต้องลดปริมาณความสกปรกของน้ำเสียชุมชนในรูป BOD จากการระบายน้ำเสียลงร้อยละ 60 มีค่าปริมาณความสกปรกในรูป BOD ที่ระบายลงสู่คลองเท่ากับ 48 มิลลิกรัมต่อลิตร

- ในอีก 10 ปีข้างหน้า คือ ปี พ.ศ. 2566 จะต้องลดค่าปริมาณความสกปรกของน้ำเสียชุมชนในรูป BOD จากการระบายน้ำเสียลงถึงร้อยละ 70 ซึ่งจะทำให้ปริมาณความสกปรกในรูป BOD ที่ระบายลงสู่คลองต้องไม่เกิน 36 มิลลิกรัมต่อลิตร

การดำเนินการเพื่อลดค่าความสกปรกของน้ำเสียชุมชนก่อนปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ อาจทำได้ด้วยการให้ความรู้และการมีส่วนร่วมของประชาชนในพื้นที่ การจัดทำมาตรฐานข้อกำหนดการปล่อยน้ำทิ้งลงสู่คลองที่เคร่งครัด และที่สำคัญที่สุดควรมีระบบบำบัดน้ำเสียที่มีประสิทธิภาพสามารถลดความสกปรกของน้ำทิ้งชุมชนให้มีค่า BOD ไม่เกินค่าที่ประเมินได้ ทั้งนี้อาจมีการศึกษาในรายละเอียดเพื่อให้สอดคล้องกับแผนนโยบายของกรุงเทพมหานครต่อไป

ข้อเสนอแนะ

1. ศึกษาเพิ่มเติมในด้านผลกระทบจากตะกอนท้องคลองต่อคุณภาพน้ำในคลอง ซึ่งจะทำให้ผลการคำนวณด้วยแบบจำลองใกล้เคียงกับสภาพธรรมชาติยิ่งขึ้น

2. การบริหารจัดการด้านคุณภาพน้ำ มักมีอุปสรรคในเรื่องของข้อมูล ดังนั้นควรมีการพัฒนาเรื่องการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำให้ครบถ้วน และมีความถูกต้องแม่นยำยิ่งขึ้น

3. เสนอให้มีการทบทวนการศึกษา เพื่อกำหนดแนวทางดำเนินการจัดการน้ำเสียให้ครอบคลุมพื้นที่ โดยเฉพาะในเขตพื้นที่ชุมชนหนาแน่น และสามารถแก้ไขปัญหาคุณภาพน้ำได้อย่างมีประสิทธิภาพ

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

กรมการปกครอง. 2553. **รายงานสถิติจำนวนประชากร**. กระทรวงมหาดไทย.

กรมควบคุมมลพิษ. 2540. **รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางน้ำปี พ.ศ. 2539-2540**. โรงพิมพ์กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2542. **รายงานสถานการณ์และการจัดการปัญหามลพิษทางน้ำปี พ.ศ. 2541-2542**. โรงพิมพ์กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

กรมควบคุมมลพิษ. 2553. **การแก้ปัญหามลพิษคลองแสนแสบ**. ส่วนน้ำเสียชุมชน สำนักจัดการคุณภาพน้ำ, กรุงเทพฯ

กษิดิศ ลือชัย. 2553. **มาตรการทางกฎหมายในการป้องกันและควบคุมมลพิษทางน้ำในคลองแสนแสบในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

กฤษฎา มหาสันทนะ. 2538. **การทำนายคุณภาพน้ำแม่น้ำเจ้าพระยาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

จันทนา บุญสง่า. 2543. **การรวมกลุ่มของประชาชนเพื่อการอนุรักษ์คลองแสนแสบศึกษาเฉพาะกรณีชุมชนกมาลุลอิสลาม กรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยรามคำแหง.

ชัยวิรัตน์ มุ่งจันทร์. 2552. **การศึกษาปัจจัยที่กำหนดและขนาดของความเต็มใจที่จะจ่ายเพื่อบำบัดน้ำเสียในคลองแสนแสบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ.

ดำรงศักดิ์ พิริยะภัทรกิจ. 2549. **การบำบัดน้ำเสียด้วยสารสกัดชีวภาพ กรณีศึกษาตัวอย่างน้ำเสียในคลองแสนแสบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์.

นที รื่นวิชา. 2551. **การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เรือเพื่อการดับเพลิงในเส้นทางคลองแสนแสบ**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ปิยาลักษณ์ ปิยะโกศล. 2545. **การศึกษาผลกระทบของการเดินเรือในคลองต่อประชาชนที่อาศัยอยู่ริมคลอง กรณีศึกษาคลองแสนแสบ กรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง.

ภูวดล พรหมชา. 2544. **การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางประกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

มนูนาถ เฟื่องเพียร. 2550. **การศึกษาเปรียบเทียบคุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงพยากรณ์โดยแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 และ WASP 7.2**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ยุวดี วงศ์เบี้ยสัจจ์. 2550. **การผสมผสานระหว่างแบบจำลองคณิตศาสตร์และระบบสารสนเทศทางภูมิศาสตร์เพื่อการพยากรณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่าง**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยมหิดล.

ยุวเรศ เวชกามา. 2550. **การศึกษาด้านคุณภาพน้ำของแม่น้ำปิงตอนบน โดยการประยุกต์ใช้แบบจำลอง MIKE 11**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

วิชัย รูปขำดี และคณะ. 2542. **รายงานวิจัยคุณภาพชีวิตของประชาชนในชุมชนริมคลองแสนแสบกับการเปลี่ยนแปลงทางกายภาพของคลอง**. สถาบันบัณฑิตพัฒนบริหารศาสตร์, กรุงเทพฯ.

สุทธิดา โรหิตรัตนะ. 2546. **การคาดการณ์คุณภาพน้ำในคลองประวัติศาสตร์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

สำนักการระบายน้ำ. 2553. **ข้อมูลคุณภาพน้ำคลองในเขตกรุงเทพมหานคร**. กลุ่มงานวิเคราะห์คุณภาพน้ำ สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ, กรุงเทพฯ.

สำนักการระบายน้ำ. 2554. **ข้อมูลคลองในเขตกรุงเทพมหานคร**. กองระบบคลอง, กรุงเทพฯ.

สำนักการระบายน้ำ. 2555. **สรุปรายละเอียดโครงการบำบัดน้ำเสียมีนบุรี (ศึกษาความเหมาะสมและออกแบบรายละเอียด)**. สำนักงานจัดการคุณภาพน้ำ, กรุงเทพฯ.

อัคราวุฒิ อินทรพาณิชย์. 2544. **การพยากรณ์สภาพน้ำท่วมเนื่องจากเนื่องจากสร้างอาคารบังคับน้ำบนลำน้ำก่ำตอนบน จังหวัดนครพนม โดยใช้แบบจำลอง MIKE 11**. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

BMA and JICA. 2011, **Preparatory Survey for Bangkok Wastewater Treatment Project in Thailand**, Draft final Report (I) Conceptual Master Plan Vol.2 Main Report, Bangkok.

Chow, V.T. 1959. **Open Channal Hydraulic**. McGraw-Hill, NewYork.

Danish Hydraulic Institute (DHI). 2011. **MIKE 11 User Manual.**

Danish Hydraulic Institute (DHI). 2011. **MIKE 11 Reference Manual.**

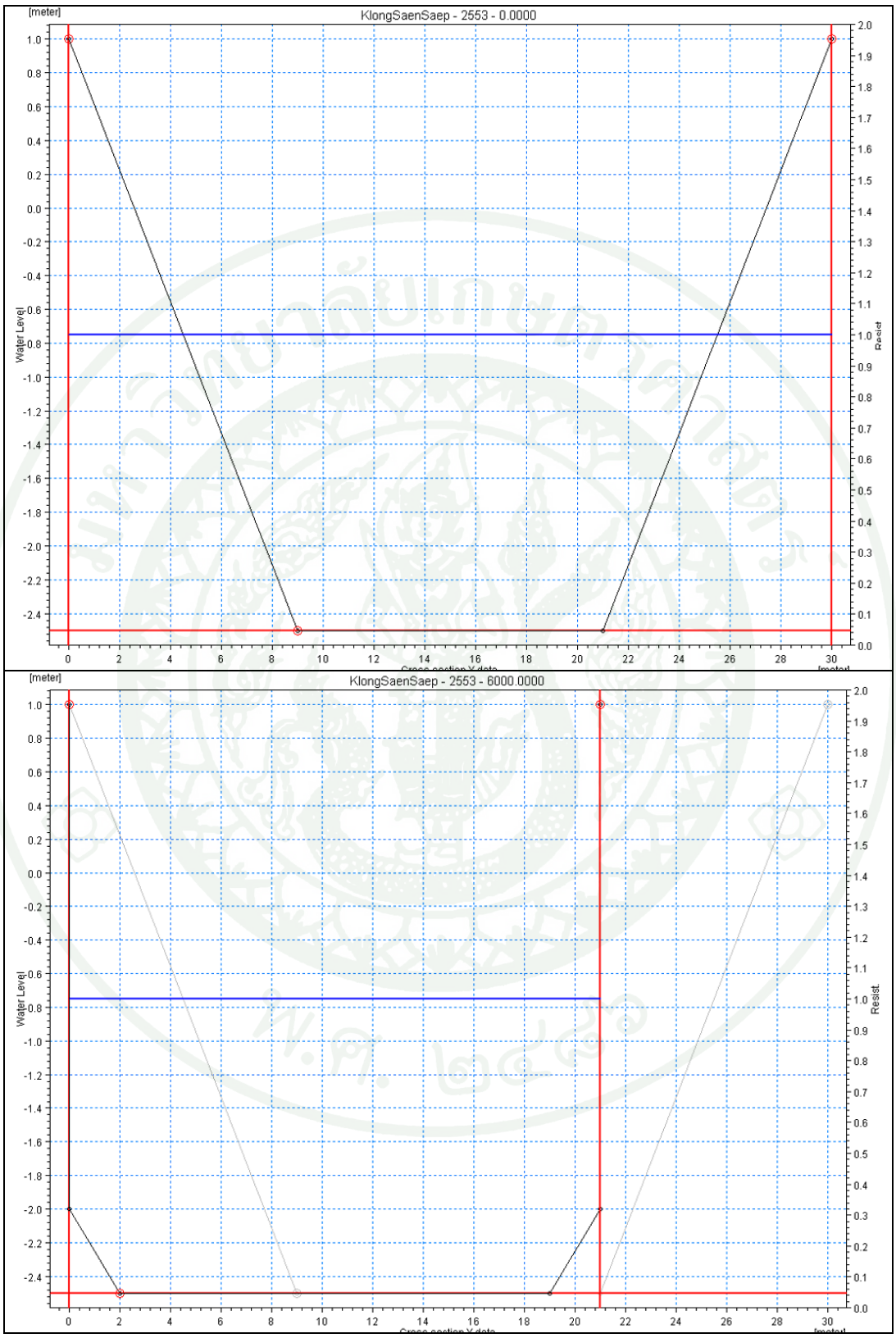
Fischer, H.B. 1967. The mechanics of dispersion in natural stream. **Journal of the Hydraulics Division**, Proceedings of the American Society of Civil Engineers. HY 6: 187-216.

Fischer, H.B., List, E.J., Koh, R.C.Y., Imberger, J. and Brooks, N.H. 1979. **Mixing in inland and coastal waters**. Academic Press. New York.

Thomann, R.V., and Mueller, J.A. 1987. **Principles of surface water quality modeling and control**. Harper Row. New York.

Whitehead, P.G. and Lake, T. 1982. **Dispersion and Self-purification of pollution in surface water system**. Imprimene J. Floch. Mayenne.

ภาคผนวก



ภาพผนวกที่ 1 รูปตัดขวางคลองแสนแสบ กม.0+000 และ กม. 6+000

ตารางผนวกที่ 1 การกำหนดประเภทแหล่งน้ำผิวดินตามการใช้ประโยชน์

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน (2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน (3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ (3) การประมง (4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ
ประเภทที่ 3	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน (2) การเกษตร
ประเภทที่ 4	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ (1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน (2) การอุตสาหกรรม
ประเภทที่ 5	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม

ที่มา: คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2537)

ตารางผนวกที่ 2 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ที่	คุณภาพน้ำ[1/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
1	สี กลิ่น และรส (Coloir Odour and Taste)		-	ธ	ธ [/]	ธ [/]	ธ [/]	-
2	อุณหภูมิ (Temperature)		^{o}ซ	ธ	ธ [/]	ธ [/]	ธ [/]	-
3	ความเป็นกรดและด่าง (pH)		-	ธ	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	5.0 - 9.0	-
4	ออกซิเจนละลาย (DO)[2/]	P20	มก./ล.(mg/l)	ธ	6.0	4.0	2.0	-
5	บีโอดี (BOD)	P80	มก./ล.(mg/l)	ธ	1.5	2.0	4.0	-
6	แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล. (MPN/100 ml)	ธ	5,000	20,000	-	-
7	แบคทีเรียกลุ่มฟิโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bacteria)	P80	เอ็ม.พี.เอ็น/100มล. (MPN/100 ml)	ธ	1,000	4,000	-	-
8	ไนเตรต (NO_3) ในหน่วยไนโตรเจน		มก./ล. (mg/l)	ธ	5.0	5.0	5.0	-
9	แอมโมเนีย (NH_3) ในหน่วยไนโตรเจน		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.5	0.5	0.5	-
10	ฟีนอล (Phenols)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005	0.005	0.005	-
11	ทองแดง (Cu)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.1	0.1	0.1	-
12	นิคเกิล (Ni)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.1	0.1	0.1	-
13	แมงกานีส (Mn)		มก./ล. (mg/l)	ธ	1.0	1.0	1.0	-

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ที่	คุณภาพน้ำ[1/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
14	สังกะสี (Zn)		มก./ล. (mg/l)	ธ	1.0	1.0	1.0	-
15	แคดเมียม (Cd)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	0.005* 0.05*	- -
16	โคเมียมชนิดเฮ็กซาวาเล้นท์ (Cr Hexavalent)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-
17	ตะกั่ว (Pb)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-
18	ปรอททั้งหมด (Total Hg)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.002	0.002	0.002	-
19	สารหนู (As)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.01	0.01	0.01	-
20	ไซยาไนด์ (Cyanide)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.005	0.005	0.005	-
21	กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) - ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) - ค่ารังสีเบตา (Beta)		เบเคอเรล/ล. เบเคอเรล/ล.	ธ ธ	0.1 1.0	0.1 1.0	0.1 1.0	- -
22	สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดมีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)		มก./ล. (mg/l)	ธ	0.05	0.05	0.05	-
23	ดีดีที (DDT)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	1.0	1.0	1.0	-
24	บีเอชซีแอลฟา (Alpha-BHC)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.02	0.02	0.02	-

ตารางผนวกที่ 2 (ต่อ)

ที่	คุณภาพน้ำ[1/]	ค่าทางสถิติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนดสูงสุด[2/] ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
				ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท 3	ประเภท 4	ประเภท 5
25	ดีลดริน (Dieldrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
26	อัลดริน (Aldrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.1	0.1	0.1	-
27	เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลอร์อิปอกไซด์ (Heptachlor & Heptachlor epoxide)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	0.2	0.2	0.2	-
28	เอนดริน (Endrin)		ไมโครกรัม/ล.	ธ	ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด			-

ที่มา: คณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ (2537)

หมายเหตุ: 1/ กำหนดค่ามาตรฐานเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

2/ ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด

ธ เป็นไปตามธรรมชาติ

ธ/ อุณหภูมิของน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอุณหภูมิตามธรรมชาติ เกิน 3 องศาเซลเซียส

* น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

** น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ $CaCO_3$ เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร

^{o}ซ องศาเซลเซียส

P20 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

P80 ค่าเปอร์เซ็นไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง

มก./ล. มิลลิกรัมต่อลิตร

มล. มิลลิลิตร

MPN เอ็ม.พี.เอ็น หรือ Most Probable Number

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ –นามสกุล	นางสาวกิรณา สมสุข
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 3 กันยายน 2529
สถานที่เกิด	ชัยนาท
ประวัติการศึกษา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมทรัพยากรน้ำ) มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ (พ.ศ. 2552)
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-