

การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบน  
ด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์




นางสาวกนกทัศน์ ยลปราโมทย์

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต  
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม  
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
ปีการศึกษา 2549  
ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

EVALUATION OF POLLUTION LOAD CAPACITY OF UPPER MAEKLONG RIVER  
USING MATHEMATICAL MODEL

Miss Kanoktat Yolpramote



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements  
for the Degree of Master of Science Program in Environmental Science

(Inter-Disciplinary Program)

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 2006

Copyright of Chulalongkorn University

หัวข้อวิทยานิพนธ์

การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำ  
แม่กลองตอนบนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

โดย

นางสาวกนกทัศน์ ยลปราโมทย์


สาขาวิชา

สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม

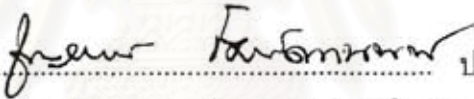
อาจารย์ที่ปรึกษา

อาจารย์ ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง

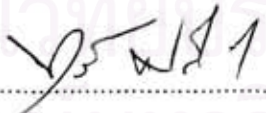
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้หัวข้อวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็น  
ส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทมหาบัณฑิต


  
..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ม.ร.ว.กัลยา ตั้งศุภภัทย์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

  
..... ประธานกรรมการ  
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาตวิทย์ โฆษิตานนท์)

  
..... อาจารย์ที่ปรึกษา  
(อาจารย์ ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง)

  
..... กรรมการ  
(รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีวงศ์ ศรีบุรี)

  
..... กรรมการ  
(ดร.ชรินทร์ ทองธรรมชาติ)

นางสาวกนกทัศน์ ยลปราโมทย์: การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของ  
แม่น้ำแม่กลองตอนบนด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์. (EVALUATION OF  
POLLUTION LOAD CAPACITY OF UPPER MAEKLONG RIVER USING  
MATHEMATICAL MODEL) อ.ที่ปรึกษา: อ.ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง, 119 หน้า.

การศึกษาครั้งนี้ได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ประกอบด้วยแบบจำลอง  
อุทกศาสตร์ RMA2 และแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เพื่อประเมินความสามารถในการรองรับ  
มลพิษสูงสุดต่อวันในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ของ  
แม่น้ำแม่กลองตอนบน ตั้งแต่ท้ายเขื่อนแม่กลองอำเภอกำแพง จังหวัดกาญจนบุรี จนถึงอำเภอบึง  
โพธาราม จังหวัดราชบุรี รวมระยะทางประมาณ 70 กิโลเมตร โดยแบ่งการประเมินความสามารถ  
ในการรองรับมลพิษออกเป็น 2 ช่วงฤดู คือ ช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม) และ  
ช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนเมษายน) ผลการเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลาย (DO)  
และปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (BOD) ด้วยข้อมูลคุณภาพน้ำ  
ในปี พ.ศ.2546 และข้อมูลจากการออกภาคสนามในปี พ.ศ. 2549 พบว่าข้อมูลที่ได้จาก  
แบบจำลองและข้อมูลที่ได้จากการวัดมีความสอดคล้องกัน และเมื่อใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำที่  
ปรับเทียบแล้วประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวันของแม่น้ำแม่กลองตอนบน  
โดยการแบ่งการประเมินออกเป็นออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 และช่วง  
กิโลเมตรที่ 17 ถึง 70 จากท้ายเขื่อนแม่กลอง พบว่า ในช่วงฤดูฝนแม่น้ำแม่กลองตอนบนมี  
ความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปของปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลาย  
อินทรีย์รวม เท่ากับ 109,341.52 กิโลกรัมต่อวัน โดยแบ่งเป็น ช่วงกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 เท่ากับ  
55,008.18 กิโลกรัมต่อวัน และช่วงกิโลเมตรที่ 17 ถึง 70 เท่ากับ 54,333.34 กิโลกรัมต่อวัน  
ส่วนในช่วงฤดูแล้งแม่น้ำแม่กลองตอนบนมีความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปของปริมาณ  
ความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายอินทรีย์รวม เท่ากับ 57,227.38 กิโลกรัมต่อวัน  
แบ่งเป็น ช่วงกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 เท่ากับ 30,060.40 กิโลกรัมต่อวัน และช่วงกิโลเมตรที่ 17 ถึง  
70 เท่ากับ 27,166.98 กิโลกรัมต่อวัน จากการศึกษา พบว่า หากมีการลดปริมาณการะมลพิษ  
บริเวณกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 จากท้ายเขื่อนแม่กลองในช่วงฤดูแล้งลงประมาณร้อยละ 35 จะทำให้  
แม่น้ำแม่กลองตอนบนมีคุณภาพน้ำเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ คือ เป็นแหล่งน้ำ  
ประเภทที่ 3 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

สาขาวิชา วิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม (สหสาขา) ลายมือชื่อนิสิต กนกทัศน์ ยลปราโมทย์  
ปีการศึกษา 2549 ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา อ.ศุภิชัย

## 4789051520: MAJOR ENVIRONMENTAL SCIENCE

KEYWORDS: TOTAL MAXIMUM DAILY LOAD; TMDL / WATER QUALITY MODEL / MAEKLONG RIVER

KANOKTAT YOLPRAMOTE: EVALUATION OF POLLUTION LOAD CAPACITY OF UPPER MAEKLONG RIVER USING MATHEMATICAL MODEL. THESIS ADVISER: SUPICHAJ TANGJAITRONG, Ph.D., 119 pp.

In this study, RMA2 and WASP were used to evaluate pollution load capacity in a term of Total Maximum Daily Load (TMDL) of Biochemical Oxygen Demand (BOD) of upper Maeklong River (70 kilometers from Maeklong Dam, Thamuang District, Kanchanaburi Province to Potharam District, Rajaburi Province). The TMDL evaluation of upper Maeklong River was separated into 2 periods i.e., wet period (May to October) and dry period (November to April). The calibration results of Dissolve Oxygen and BOD with water quality data in 2003 and field survey data in 2006 showed a good agreement between simulated values and measured values. In the study about the evaluation of BOD TMDL of upper Meaklong River, this river was divided into 2 reaches: km 1 – 16 and km 17 – 70 from Maeklong Dam. This study showed that BOD TMDL of upper Maeklong River are 109,341.52 kg/day in wet period (55,008.18 kg/day in km 1 – 16 and 54,333.34 kg/day in km 17 - 70) and 57,227.38 kg/day in dry period (30,060.40 kg/day in km 1 – 16 and 27,166.98 kg/day in km 17 - 70). It is found that in order to meet water quality standard class 3, the BOD load form point sources around km 1 – 16 from Maeklong Dam should be reduced by 35%.

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

Field of study..... Environmental Science..... Student's signature Kanoktat Yolpramote  
Academic year..... 2006..... Adviser's signature Supichai Tangjaitrong

## กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยคำแนะนำและกำลังใจจากหลายท่าน ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ อาจารย์ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์สำหรับความช่วยเหลือ ความเข้าใจ และคำแนะนำที่เป็นประโยชน์ยิ่งในการศึกษาครั้งนี้ และขอกราบขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ชาญวิทย์ โฆษิตานนท์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี และดร.ชนินทร์ ทองธรรมชาติ กรรมการสอบวิทยานิพนธ์ สำหรับคำแนะนำอันเป็นแนวทางที่ดีในการทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้

นอกจากนี้ ผู้เขียนขอขอบคุณทุกท่านที่ให้ความช่วยเหลือและเป็นกำลังใจให้ผู้เขียนทำวิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดี ได้แก่ คุณทัศนีย์ กระจีตองาน และคุณสุทิน ยลปราโมทย์ มารดาและบิดาของผู้เขียนที่สนับสนุนผู้เขียนมาตลอดทั้งการให้กำลังใจและทุนการศึกษา คุณฉวีวรรณ โพธิ์ดา ผู้มอบทุนการศึกษาในการทำวิทยานิพนธ์ให้กับผู้เขียน คุณภัทรวรรณ เลิศสุชาตวนิช เพื่อนผู้ให้กำลังใจผู้เขียนตลอดมา คุณเสาวนีย์ วิจิตรโกสุม พี่ที่ให้คำแนะนำที่เป็นประโยชน์แก่ผู้เขียนเสมอ และเพื่อนๆ ชาวสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อมทุกคน ที่ท้ายที่สุดนี้ผู้เขียนขอขอบคุณ คุณลานนา คัมมินส์ ที่เป็นกำลังใจให้ผู้เขียนเสมอมา



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญภาพ.....	ญ
สารบัญตาราง.....	ฎ
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ความสำคัญของปัญหา.....	1
1.2 วัตถุประสงค์.....	2
1.3 สมมติฐาน.....	2
1.4 ขอบเขตการศึกษา.....	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	3
บทที่ 2 เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	4
2.1 แนวคิดในการจัดการคุณภาพน้ำในอดีตและปัจจุบัน.....	4
2.1.1 แนวคิดในการจัดการคุณภาพน้ำภาพรวม.....	4
2.1.2 แนวคิดในการจัดการคุณภาพน้ำในประเทศ.....	5
2.2 ความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวัน.....	6
2.3 หลักการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ในการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวัน.....	7
2.4 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำ.....	8
2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา.....	10
2.5.1 แบบจำลองอุทกศาสตร์.....	10
2.5.2 แบบจำลองคุณภาพน้ำ.....	12
2.6 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	12
บทที่ 3 ลุ่มน้ำแม่กลอง.....	16
3.1 ลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำแม่กลอง.....	16
3.2 สภาพปริมาณน้ำท่า.....	17
3.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	17
3.4 ทรัพยากรแหล่งน้ำธรรมชาติ.....	18
3.4.1 แม่น้ำแควใหญ่.....	18
3.4.2 แม่น้ำแควน้อย.....	18
3.4.3 แม่น้ำแม่กลอง.....	19
3.5 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ.....	19

	หน้า
3.5.1 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน.....	19
3.5.2 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน.....	21
3.6 แหล่งกำเนิดมลพิษหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำ.....	22
3.6.1 ชุมชน.....	22
3.6.2 โรงงานอุตสาหกรรม.....	22
3.6.3 การเกษตรกรรม.....	23
3.7 สถานการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลอง.....	24
บทที่ 4 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	27
4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา.....	27
4.1.1 อุปกรณ์สำหรับการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษ.....	27
4.1.2 อุปกรณ์ออกภาคสนาม.....	27
4.1.3 อุปกรณ์สำหรับหาค่า BOD.....	27
4.2 วิธีการดำเนินการศึกษา.....	27
4.3 การประเมินภาระมลพิษ.....	41
4.3.1 แหล่งกำเนิดมลพิษจากชุมชน.....	41
4.3.2 แหล่งกำเนิดมลพิษปศุสัตว์.....	41
4.3.3 แหล่งกำเนิดมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม.....	42
4.3.4 แหล่งกำเนิดมลพิษจากพื้นที่นาข้าว พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม.....	43
บทที่ 5 ผลการศึกษาและอภิปรายผลการศึกษา.....	44
5.1 ภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลอง.....	44
5.1.1 แหล่งกำเนิดชุมชน.....	44
5.1.2 แหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม.....	45
5.1.3 แหล่งกำเนิดปศุสัตว์.....	45
5.1.4 แหล่งกำเนิดเกษตรกรรม.....	45
5.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2.....	46
5.2.1 อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบน.....	46
5.2.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2.....	47
5.3 การเลือกแบบจำลองคุณภาพน้ำที่ใช้ในการศึกษา.....	50
5.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP.....	51
5.4.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูฝน.....	52
5.4.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูแล้ง.....	53
5.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP.....	55

	หน้า
5.5.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากการออกภาคสนาม .....	56
5.5.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง .....	57
5.6 การประเมิน TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน .....	59
5.6.1 การกำหนดเงื่อนไขการจัดการเพื่อใช้ในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ .....	59
5.6.2 ผลการจำลองคุณภาพน้ำของแต่ละ scenario .....	61
5.6.3 การเลือก scenario เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการประเมิน TMDL .....	68
5.6.4 TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน และข้อเสนอแนะในการจัดการคุณภาพน้ำ .....	69
บทที่ 6 สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ .....	72
6.1 สรุปผลการศึกษา .....	72
6.1.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา .....	72
6.1.2 ค่าประมาณของ TMDL ในรูปของค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน .....	73
6.2 ข้อเสนอแนะ .....	73
รายการอ้างอิง .....	74
ภาคผนวก .....	77
ภาคผนวก ก .....	78
ภาคผนวก ข .....	82
ภาคผนวก ค .....	100
ภาคผนวก ง .....	111
ภาคผนวก จ .....	116
ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์ .....	119

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
3.1 ที่ตั้งลุ่มน้ำแม่กลอง.....	16
3.2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน.....	17
3.3 ปริมาณออกซิเจนละลาย และค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตามสถานีต่างๆ ในปี พ.ศ.2549.....	25
4.1 การนำเข้าข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ.....	28
4.2 ตัวอย่าง element ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน.....	29
4.3 ตัวอย่างการกำหนด boundary condition สำหรับแม่น้ำแม่กลองตอนบน.....	30
4.4 ขั้นตอนในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ.....	40
5.1 อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูฝน.....	46
5.2 อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูแล้ง.....	47
5.3 ความเร็วของกระแสในฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2.....	49
5.4 ความเร็วของกระแสในฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2.....	50
5.5 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำ ที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูฝน.....	53
5.6 การเปรียบเทียบค่า BOD ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำ ที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูฝน.....	53
5.7 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำ ที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูแล้ง.....	54
5.8 การเปรียบเทียบค่า BOD ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำ ที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูแล้ง.....	55
5.9 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม.....	57
5.10 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม.....	58
5.11 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม.....	58
5.12 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม.....	59
5.13 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario.....	61

ภาพที่	หน้า
5.14 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario .....	62
5.15 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 3 .....	63
5.16 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 3 .....	63
5.17 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 4 .....	64
5.18 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 4 .....	64
5.19 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario .....	65
5.20 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario .....	65
5.21 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 4 .....	66
5.22 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 4 .....	67
5.23 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 5 .....	67
5.24 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 5 .....	68
5.25 ค่า DO และค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 4 .....	68
5.26 ค่า DO และค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 5 .....	69

## สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า	
3.1	โครงการชลประทานขนาดเล็กในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง.....	21
3.2	สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง.....	21
3.3	จำนวนบ่อบาดาลที่ขุดเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง.....	22
3.4	ค่า BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานบางประเภท.....	23
3.5	รายละเอียดของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำแม่ น้ำแม่กลองของกรมควบคุมมลพิษ.....	26
4.1	ปริมาตรของแต่ละ segment.....	36
4.2	รายละเอียดการป้อนข้อมูลลงแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP.....	37
4.3	จุดเก็บตัวอย่างน้ำในการเก็บตัวอย่างน้ำภาคสนาม.....	37
4.4	วิธีวิเคราะห์และการเก็บรักษาตัวอย่าง.....	38
4.5	มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3.....	38
4.6	อัตราการเกิดน้ำเสีย และค่า BOD ของสุกร ไก่ และโค.....	42
4.7	ปริมาณการใช้น้ำของพืชในพื้นที่ลุ่มน้ำ.....	43
4.8	ค่า mean run off concentration (mg/l) ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน.....	43
5.1	จำนวนประชากรในเทศบาลที่อยู่ห่างจากแม่น้ำแม่กลองไม่เกิน 1 กิโลเมตร.....	44
5.2	พื้นที่และการใช้น้ำในการเกษตรกรรมในพื้นที่ศึกษา.....	45
5.3	ผลการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ในช่วงฤดูฝน.....	48
5.4	ผลการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจ ในช่วงฤดูแล้ง.....	49
5.5	การกำหนดค่า $k_d$ และค่า $k_a$ ในการเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูฝน.....	52
5.6	การกำหนดค่า $k_d$ และค่า $k_a$ ในการเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูแล้ง.....	54
5.7	จุดเก็บตัวอย่างน้ำในการเก็บตัวอย่างน้ำภาคสนาม.....	56
5.8	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากการออกภาคสนามวันที่ 19 สิงหาคม 2549.....	56
5.9	ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากการออกภาคสนามวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2550.....	57
5.10	scenario ในช่วงฤดูฝน.....	60
5.11	scenario ในช่วงฤดูแล้ง.....	60
5.12	ภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบนเมื่อคิดตาม scenario ที่ 4 ในช่วงฤดูฝน.....	70
5.13	ภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบนเมื่อคิดตาม scenario ที่ 5 ในช่วงฤดูแล้ง.....	70
6.1	ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP.....	71
6.2	ค่าประมาณของ TMDL ในรูปของค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน.....	72

# บทที่ 1

## บทนำ

### 1.1 ความสำคัญของปัญหา

ทรัพยากรน้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่สำคัญและมีคุณค่าต่อการใช้ประโยชน์ของมนุษย์เป็นอย่างยิ่ง นอกจากมนุษย์จะนำทรัพยากรน้ำมาใช้ในการอุปโภคและบริโภคในชีวิตประจำวันแล้ว ยังสามารถนำมาใช้ในการประกอบอาชีพและดำเนินกิจกรรมต่างๆ เช่น การเกษตรกรรม การปศุสัตว์ การเพาะเลี้ยง และการอุตสาหกรรม เป็นต้น ดังนั้นการนำทรัพยากรน้ำมาใช้ประโยชน์จึงจำเป็นต้องมีการวางแผนจัดการให้เหมาะสมตามหลักการพัฒนายั่งยืน (sustainable development) เพื่อไม่ก่อให้เกิดปัญหาทั้งในด้านการขาดแคลนน้ำ และปัญหาการเสื่อมโทรมของคุณภาพน้ำ

แม่น้ำแม่กลองเป็น 1 ใน 4 แม่น้ำสายหลักของประเทศซึ่งเกิดจากการรวมตัวกันของแม่น้ำแควใหญ่และแม่น้ำแควน้อย ซึ่งไหลมาบรรจบกันบริเวณบ้านปากแพรก อำเภอเมืองจังหวัดกาญจนบุรี และไหลผ่านจังหวัดราชบุรี ออกสู่อ่าวไทยบริเวณจังหวัดสมุทรสงคราม รวมความยาวทั้งสิ้นประมาณ 148 กิโลเมตร ในปัจจุบันมีการใช้ประโยชน์จากแม่น้ำแม่กลองหลายประเภท ทั้งเป็นแหล่งน้ำสำหรับอุปโภค บริโภค การเกษตร การปศุสัตว์ และการอุตสาหกรรม โดยจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองโดยกรมควบคุมมลพิษในปี พ.ศ.2549 พบว่าคุณภาพน้ำโดยรวมยังอยู่ในเกณฑ์ดี

จากประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินดีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 11 ตอนที่ 16 ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537 ได้กำหนดให้แม่น้ำแม่กลองทั้งสาย ตั้งแต่จุดบรรจบแม่น้ำที่บ้านปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี จนถึง ปากแม่น้ำที่ จ.สมุทรสงคราม มีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 เพื่อควบคุมคุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลองให้อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถใช้ประโยชน์ในการเกษตรกรรม และการอุปโภค บริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน จึงมีความจำเป็นในการวางแผนจัดการคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลอง เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพน้ำ โดยแนวทางหนึ่งในการวางแผนจัดการ คือ การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำในรูปแบบของการประเมินความสามารถสูงสุดในการรองรับมลพิษต่อวัน (Total Maximum Daily Load; TMDL) ซึ่งความสามารถสูงสุดในการรองรับมลพิษต่อวัน (TMDL) หมายถึง ปริมาณมลสารสูงสุดที่แหล่งน้ำสามารถรองรับได้ต่อวัน โดยไม่ทำให้คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวัน (kg/day) (USEPA, n.d.) โดย TMDL จะเป็นเกณฑ์ใน

การกำหนดว่า หากมีการทิ้งของเสียลงสู่แหล่งน้ำแล้ว ของเสียจะต้องมีปริมาณเท่าใดจึงจะไม่เกินความสามารถในการรองรับมลพิษ (pollution load capacity) ของแหล่งน้ำนั้น โดยเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ คือ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถจำลองปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นหากมีการกำหนดเงื่อนไขการจัดการการปล่อยมลพิษ (loading scenario) ในแบบต่างๆ เพื่อทดสอบว่าควรมีการปล่อยมลพิษเท่าใดคุณภาพน้ำจึงไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยที่ปริมาณมลพิษที่สามารถปล่อยได้โดยไม่ทำให้คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด ก็คือ ค่า TMDL ของแหล่งน้ำนั้นนั่นเอง

ปัจจุบันมีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อใช้ในการจัดการคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในประเทศสหรัฐอเมริกาโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency; USEPA) ได้มีการพัฒนาแบบจำลองเพื่อจัดการคุณภาพน้ำที่มีฟังก์ชันที่ง่ายต่อการใช้เพื่อประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ ซึ่งได้แก่แบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) โดยแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เป็นหนึ่งในแบบจำลองที่ USEPA แนะนำให้ใช้ในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ โดยเฉพาะอย่างยิ่งการประเมิน TMDL ของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เกี่ยวข้องกับการเกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) จากเหตุผลดังกล่าว ประกอบกับความสอดคล้องกับสภาพพื้นที่ศึกษา ในการศึกษานี้จึงเลือกแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เป็นเครื่องมือในการประเมิน TMDL ของแม่น้ำแม่กลอง

## 1.2 วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาคุณภาพน้ำในปัจจุบัน โดยการวิเคราะห์ค่าออกซิเจนละลาย (Dissolve Oxygen; DO) และปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

2. เพื่อประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษ (pollution load capacity) ในรูปของความสามารถสูงสุดในการรองรับมลพิษต่อวัน (Total Maximum Daily Load; TMDL) ของปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

## 1.3 สมมติฐาน

สามารถใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินความสามารถสูงสุดในการรองรับมลพิษต่อวันของแม่น้ำแม่กลองตอนบนได้

#### 1.4 ขอบเขตการศึกษา

1. พื้นที่ศึกษา คือ แม่น้ำแม่กลองตอนบนตั้งแต่ใต้เขื่อนแม่กลอง จนถึงอำเภอบ้านโป่ง และอำเภอโพธาราม จังหวัดราชบุรี ระยะทางประมาณ 70 กิโลเมตร
2. แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ คือ แบบจำลองอุทกศาสตร์ 2 มิติ RMA2 ซึ่งเป็นแบบจำลองย่อย (module) หนึ่งของโปรแกรม SMS (Surface Water Modeling System) เวอร์ชัน 8.1 ร่วมกับแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เวอร์ชัน 7.0
3. ข้อมูลที่ใช้ในแบบจำลอง คือ
  - ข้อมูลคุณภาพน้ำ (จากกรมควบคุมมลพิษ)
  - ข้อมูลลักษณะทางกายภาพของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่แม่น้ำแม่กลอง (ข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)
  - ข้อมูลทางอุทกวิทยา (ข้อมูลทุติยภูมิจากหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง)
  - ข้อมูลจากการออกภาคสนาม (ข้อมูลคุณภาพน้ำ เพื่อการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง)
  - ข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสีย

#### 1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. นำข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาใช้เป็นแนวทางในการวางแผนการพัฒนาพื้นที่ศึกษาให้เกิดความยั่งยืนได้
2. นำแบบจำลองที่ปรับเทียบแล้วมาใช้ในการประเมินผลกระทบของโครงการที่จะเกิดขึ้นบริเวณพื้นที่ศึกษา

## บทที่ 2

### เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 แนวคิดในการจัดการคุณภาพน้ำในอดีตและปัจจุบัน

##### 2.1.1 แนวคิดในการจัดการคุณภาพน้ำภาพรวม

มลพิษในแหล่งน้ำเป็นปัญหาสำคัญที่ส่งผลกระทบต่อ การดำเนินชีวิตของมนุษย์ เนื่องจากมนุษย์มีความจำเป็นต้องใช้น้ำในการอุปโภค บริโภค และการประกอบอาชีพ เช่น การเกษตรกรรม การปศุสัตว์ การเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และการอุตสาหกรรม ซึ่งกิจกรรมส่วนใหญ่ นั้นต้องการน้ำที่มีคุณภาพที่ดีในระดับหนึ่ง โดยเฉพาะอย่างยิ่งน้ำเพื่อการบริโภค และการเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ แต่จากการเร่งพัฒนาภาคอุตสาหกรรมโดยเฉพาะอย่างยิ่งหลังจากการปฏิวัติ อุตสาหกรรม ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของจำนวนประชากร และการทำเกษตรกรรมอย่างหนาแน่น ทำให้เกิดน้ำเสียปริมาณมาก โดยน้ำเสียเกือบทั้งหมดจะถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติ ทำให้ โลกต้องเผชิญกับปัญหามลพิษในแหล่งน้ำ

จากสาเหตุดังกล่าวทำให้ โลกเริ่มตระหนักถึงความสำคัญของปัญหามลพิษใน แหล่งน้ำ โดยโครงการสิ่งแวดล้อมแห่งสหประชาชาติ (United Nations Environment Programme; UNEP) ได้ทำการจัดตั้งระบบตรวจสอบสิ่งแวดล้อมโลก (Global Environment Monitoring System; GEMS) ขึ้นใน ปี ค.ศ.1978 เพื่อทำการตรวจติดตามสถานการณ์ สิ่งแวดล้อมของโลก และเสนอนโยบายในการแก้ไขปัญหาที่เกิดขึ้น โดยในปี ค.ศ.1988 GEMS ได้เสนอมาตรการในการควบคุมแหล่งปนเปื้อนทางน้ำ ไว้ดังนี้

- กำหนดข้อบังคับในการกำจัดน้ำเสีย
- จัดทำโครงการบำบัดน้ำเสียของเมือง
- สร้างโรงบำบัดน้ำเสีย
- บำบัดน้ำเสียที่ปล่อยจากโรงงานและนำกลับมาใช้ใหม่
- ใช้สารทดแทนสารที่เป็นอันตรายต่างๆ ที่มีในผลิตภัณฑ์
- ห้ามใช้สารปราบศัตรูพืชและสัตว์ที่เป็นอันตราย เช่น DDT และสารเคมีที่ใช้

ในอุตสาหกรรม เช่น PCB

โดยมาตรการเหล่านี้ถึงแม้จะไม่สามารถแก้ปัญหาได้ทั้งหมด แต่ก็ทำให้สาร มลพิษในประเทศอุตสาหกรรมในหลายประเทศลดลง ส่วนในประเทศกำลังพัฒนายังขาดกฎ ข้อบังคับและการควบคุม ทำให้ยังคงพบปัญหามลพิษในแหล่งน้ำอยู่ทั่วไป

นอกจากมาตรการในการควบคุมแหล่งปนเปื้อนทางน้ำแล้ว ในช่วงเวลา ใกล้เคียงกันยังมีการเสนอแนวคิดในเรื่อง “ผู้ใดก่อมลพิษผู้นั้นต้องชดใช้” (Polluter Pay Principal; PPP) อีกด้วย แต่ในความเป็นจริงแล้วแนวคิดนี้เป็นเพียงแนวคิดเชิงทฤษฎีเท่านั้น

ในทางปฏิบัติแล้วโรงงานต่างๆ ยอมที่จะเสียค่าปรับเป็นครั้งคราว ซึ่งคิดเป็นมูลค่าที่น้อยกว่า การติดตั้งอุปกรณ์ควบคุมหรือบำบัดน้ำเสีย ซึ่งต้องลงทุนสูงและใช้เวลานานในการคืนเงินลงทุน

จะเห็นได้ว่ามาตรการหรือแนวคิดต่างๆ ที่มีการเสนอกันในอดีต เป็นมาตรการที่เกิดขึ้นหลังจากที่แหล่งน้ำเกิดปัญหามลพิษแล้ว หรืออาจเรียกได้ว่าเป็นมาตรการในการฟื้นฟูแหล่งน้ำ แต่สิ่งที่สำคัญในการแก้ไขปัญหาหมลพิษในแหล่งน้ำ คือ การวางแนวทางในการป้องกันการเกิดปัญหามลพิษ

โดยเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการวางแผนจัดการคุณภาพน้ำ ได้แก่ แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (mathematical model) เนื่องจากเราสามารถใชแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือในการคาดการณ์คุณภาพน้ำในอนาคตเพื่อกำหนดแนวทางในการจัดการคุณภาพน้ำที่เหมาะสมต่อแหล่งน้ำนั้นๆ ได้ โดยงานวิจัยเกี่ยวกับการจัดการคุณภาพน้ำตั้งแต่ช่วงทศวรรษที่ 1980 เป็นต้นมา จะเป็นงานวิจัยที่เกี่ยวกับการประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อจัดการคุณภาพน้ำ โดยนอกจากจะใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำแล้ว ยังมีประเด็นที่มีความสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการวางแผนจัดการคุณภาพน้ำ ได้แก่ ความสามารถในการรองรับมลพิษ (pollution load capacity) ของแหล่งน้ำประเภทต่างๆ เนื่องจากความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำจะบอกถึงปริมาณภาระมลพิษ (load) ที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้โดยไม่ทำให้แหล่งน้ำนั้นๆ มีคุณภาพน้ำต่ำกว่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนด ดังนั้นในการวางแนวทางเพื่อการจัดการคุณภาพน้ำในปัจจุบันจึงควรทำการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำนั้นๆ ด้วย ดังเช่นในประเทศสหรัฐอเมริกา นำโดยองค์การพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐ (United State Environmental Protection Agency; USEPA) ได้มีการประกาศไว้ในกฎหมายว่า ทุกรัฐในประเทศสหรัฐอเมริกา จะต้องทำการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำที่ USEPA กำหนดไว้ และทำการตรวจติดตามคุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง

### 2.1.2 แนวคิดในการจัดการคุณภาพน้ำในประเทศ

แนวคิดในการจัดการคุณภาพน้ำในประเทศไทยในอดีตจะมีความคล้ายคลึงกันกับการจัดการคุณภาพน้ำทั่วโลก คือ เน้นในการวางแนวทางในการฟื้นฟูมากกว่าการวางแผนป้องกัน ดังจะเห็นได้จาก กรณีการสั่งปิดโรงงานหากพบว่าแหล่งน้ำบริเวณโรงงานเกิดการเน่าเสีย หรือการเร่งสร้างระบบบำบัดน้ำเสียชุมชนตามเมืองต่างๆ แต่หลังจากมีการออกประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ว่าด้วยเรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ทำให้กรมควบคุมมลพิษซึ่งเป็นหน่วยงานหลักในการจัดการด้านมลพิษทางสิ่งแวดล้อมของประเทศ จัดทำโครงการจัดการคุณภาพน้ำและจัดทำแผนปฏิบัติการในพื้นที่ลุ่มน้ำหลักของประเทศ โดยโครงการดังกล่าวใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการคาดการณ์คุณภาพน้ำเพื่อเสนอแผนปฏิบัติการที่เหมาะสมในแต่ละพื้นที่

นอกจากนี้ในประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ว่าด้วยเรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ยังได้มีการกำหนดคุณภาพของแม่น้ำสายหลักของประเทศ เพื่อให้แม่น้ำสายหลักมีคุณภาพน้ำที่ดีพอต่อการใช้ประโยชน์ด้านต่างๆ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีการวางแผนเพื่อควบคุมคุณภาพน้ำให้มีมาตรฐานตามต้องการ ทำให้หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการจัดการคุณภาพน้ำให้ความสนใจการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำมากขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในแม่น้ำสายหลักที่เป็นแหล่งน้ำดิบสำหรับการผลิตน้ำประปา จึงอาจกล่าวได้ว่า ในปัจจุบันการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำถือเป็นสิ่งสำคัญที่ต้องทำ หากต้องการวางแผนในการจัดการคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำใดก็ตาม

## 2.2 ความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวัน (Total Maximum Daily Load; TMDL)

รูปแบบหนึ่งของการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำ คือ การประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวัน หรือ Total Maximum Daily Load (TMDL) โดย TMDL หมายถึง ปริมาณมลสารสูงสุดที่แหล่งน้ำสามารถรองรับได้ต่อวัน โดยไม่ทำให้คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน มีหน่วยเป็น กิโลกรัมต่อวัน (kg/day) (USEPA, n.d.) การกำหนดให้มีการประเมิน TMDL เกิดขึ้นสืบเนื่องจากกฎหมาย Clean Water Act ของประเทศสหรัฐอเมริกาในปี ค.ศ.1972 โดยจุดมุ่งหมายของกฎหมายฉบับนี้ คือ

1) ควบคุมคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำธรรมชาติเพื่อให้สามารถเพาะเลี้ยงสัตว์น้ำ และเพื่อการพักผ่อนหย่อนใจให้ได้ภายใน เดือนกรกฎาคม ปี ค.ศ. 1983

2) กำจัดแหล่งปล่อยน้ำเสียลงให้ได้ภายในปี ค.ศ. 1985

3) กำจัดแหล่งปล่อยสารพิษที่มีค่าเกินมาตรฐาน

4) พัฒนาแผนการควบคุมมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอนและดำเนินการตามแผน

จากจุดมุ่งหมายของกฎหมายฉบับดังกล่าว ทำให้ USEPA เล็งเห็นความสำคัญของการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำ จึงเสนอให้มีการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำสำคัญๆ ในทุกรัฐ โดยให้ประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปแบบของความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวัน หรือ TMDL เพื่อให้ง่ายในการนำข้อมูลไปใช้ในการวางแผน เนื่องจาก TMDL จะเป็นค่าที่บอกถึงปริมาณมลพิษที่สามารถถ่ายทิ้งลงสู่แหล่งน้ำได้ต่อวัน ที่จะไม่ทำให้คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

โดยพารามิเตอร์ที่มักจะทำการประเมิน TMDL ได้แก่ ปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ (Biochemical Oxygen Demand; BOD) ปริมาณสารอาหารต่างๆ (nutrient) เช่น ไนเตรต ฟอสเฟต และปริมาณสารพิษ (toxic substance)

## 2.3 หลักการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวัน

หลักการของการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำ คือ การทดลองเพิ่มภาระมลพิษ (load) ลงสู่แหล่งน้ำ แล้วตรวจติดตาม (monitoring) คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำนั้นว่ามีค่าเท่ากับหรือเกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดหรือไม่ โดยปริมาณ load ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำแล้วทำให้น้ำในแหล่งน้ำนั้นๆ มีค่าเท่ากับเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด ถือได้ว่าเป็นความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำนั้นๆ

แต่ในความเป็นจริงแล้ว เราไม่สามารถทำการทดลองเช่นนั้นได้ กล่าวคือ เราไม่สามารถปล่อยน้ำเสียลงสู่แหล่งน้ำธรรมชาติที่ยังมีคุณภาพน้ำที่ดีอยู่เพื่อสังเกตว่าต้องปล่อยภาระมลพิษในปริมาณเท่าใดคุณภาพน้ำจะถึงเกณฑ์ที่กำหนด หรือในทางกลับกัน หากแหล่งน้ำที่ทำการศึกษาเป็นแหล่งน้ำที่มีค่าคุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดอยู่แล้ว แนวทางที่กล่าวไว้ข้างต้นย่อมทำไม่ได้

ดังนั้นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์จึงเป็นเครื่องมือที่สำคัญในการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำ เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ คือ สมการทางคณิตศาสตร์ที่มนุษย์ใช้เพื่อจำลองสภาพ (simulate) ของปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นไม่ว่าสิ่งนั้นจะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเป็นสิ่งที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องด้วย (ทวิวงศ์ ศรีบุรี, 2541) โดยเราสามารถใช้อย่างจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประมวลผลตามเงื่อนไขการจัดการ (scenario) ที่เรากำหนดได้ เช่น หากแหล่งน้ำที่เราทำการศึกษามีคุณภาพน้ำที่สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน เราก็สามารถกำหนด scenario ให้เป็นการเพิ่ม load จนกระทั่งคุณภาพน้ำเท่ากับเกณฑ์มาตรฐาน ในทางกลับกัน หากแหล่งน้ำที่เราทำการศึกษามีคุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ก็ควรกำหนด scenario ให้เป็นการลด load จนกระทั่งคุณภาพน้ำมีค่าเท่ากับเกณฑ์มาตรฐาน

โดยการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษสูงสุดต่อวัน มีหลักการดังนี้

- 1) ปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์
- 2) กำหนดค่าเป้าหมายคุณภาพน้ำของพารามิเตอร์ที่ต้องการประเมินค่า TMDL
- 3) กำหนดเงื่อนไขการจัดการ (scenario) เพื่อจำลองสภาพการปล่อยของเสีย โดยรวมกรณีวิกฤต (worse case) เอาไว้ด้วย เช่น กรณีที่แม่น้ำมีอัตราการไหลต่ำสุดในรอบปี หรือกรณีที่โรงบำบัดน้ำเสียปิดระบบ เป็นต้น
- 4) ป้อนข้อมูลที่จำเป็นเข้าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ปรับเทียบแล้วเพื่อประมวลผลตาม scenario ที่กำหนดไว้

5) นำค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละ scenario มาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 เพื่อพิจารณาว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองเกินเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่

6) เลือก scenario ที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองแล้วค่าคุณภาพน้ำไม่เกินค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 และใช้ scenario นั้นเป็นพื้นฐานในการคำนวณค่า TMDL โดยค่า TMDL ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

$$\text{TMDL} = \sum \text{WLA} + \sum \text{LA} + \text{MOS} \quad (2.1)$$

โดยที่

WLA = Waste Load Allocation for Point Sources Discharge

LA = Load Allocation for Non-point sources

MOS = Margin of Safety

## 2.4 การพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำ

เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือสำคัญในการวางแผนการจัดการคุณภาพน้ำ จึงมีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์สำหรับงานด้านคุณภาพน้ำกันอย่างต่อเนื่อง โดยการสร้างแบบจำลองคุณภาพน้ำเริ่มต้นในปี ค.ศ.1925 Streeter และ Phelps ได้สร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายโดยอาศัยหลักการสมดุลออกซิเจนในแม่น้ำโอไฮโอ (Ohio River) แบบจำลองนี้ถือเป็นแบบจำลองแรกที่เกิดขึ้น โดยเรียกว่าแบบจำลอง DOSAG ภายหลังจากที่แบบจำลอง DOSAG เกิดขึ้น ได้มีการพัฒนาแบบจำลองอื่นๆ ตามมา ทั้งที่พัฒนาต่อเนื่องจากแบบจำลอง DOSAG และที่คิดค้นขึ้นใหม่ (Thomann et al., 1987 อ้างถึงใน ทวีวงศ์ ศรีบุรี, 2541) โดยอธิบายได้พอสังเขปดังนี้

### 1) แบบจำลอง DOSAG หรือแบบจำลอง Streeter-Phelps

เป็นแบบจำลองแรกที่เกิดขึ้น โดยสามารถประยุกต์ใช้กับเครื่องคอมพิวเตอร์ อาศัยการคำนวณค่าตอบจากสมการของ Streeter-Phelps (DO sag equation) ซึ่งเป็นสมการคงที่แบบ 1 มิติที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างออกซิเจนละลายและค่า BOD มีข้อจำกัดคือ ไม่สามารถจำลองการแพร่กระจายมลสารในแนวยาว (longitudinal dispersion) ได้ ใช้จำลองพารามิเตอร์ 2 ตัว คือ ออกซิเจนละลายและค่า BOD

ในปี ค.ศ.1970 Texas Water Development Board ได้พัฒนาแบบจำลอง DOSAG I ขึ้นจากแบบจำลอง DOSAG ให้มีความสามารถสูงขึ้นโดยการปรับปรุงสมการของ Streeter-Phelps ทำให้สามารถคำนวณค่าออกซิเจนละลายและค่า BOD ได้ละเอียดมากขึ้น โดยการเพิ่มการเติมอากาศ การย่อยสลายสารอินทรีย์แบบคาร์บอนและไนโตรเจนได้

## 2) แบบจำลอง QUAL

แบบจำลอง QUAL I เป็นแบบจำลองที่พัฒนาจากแบบจำลอง DOSAG ในปี ค.ศ. 1970 โดย Texas Water Development Board ซึ่งแบบจำลอง QUAL I มีความสามารถสูงขึ้น คือ สามารถจำลองพารามิเตอร์คุณภาพน้ำได้เพิ่มขึ้น 2 ตัว คือ อุณหภูมิ และมลสารประเภทคงที่ตามเวลา (conservative substance) ใช้สมการคงที่ 1 มิติ แต่สามารถจำลองการนำเข้าข้อมูลปริมาณของเสียแบบพลวัตได้ (dynamic waste input) และสามารถจำลองการแพร่กระจายของสารได้ ซึ่งให้ผลการทำนายคุณภาพน้ำได้ถูกต้องมากกว่าแบบจำลอง DOSAG

ในปี ค.ศ.1972 Water Resource Engineer, Inc. (WRE) ภายใต้ข้อตกลงกับ USEPA ทำการปรับปรุงและพัฒนาแบบจำลอง QUAL I เป็นแบบจำลอง QUAL II (เวอร์ชัน 1.0) ต่อมาในปี ค.ศ.1976 โดยความร่วมมือระหว่าง WRE และ the Southeast Michigan Council of Government (SEMCOG) ได้พัฒนาต่อเป็นแบบจำลอง QUAL II (เวอร์ชัน SEMCOG) เป็นแบบจำลองที่มีประสิทธิภาพสูงขึ้น สามารถจำลองพารามิเตอร์ได้ถึง 12 ตัว ได้แก่ ออกซิเจนละลาย ค่า BOD คลอโรฟิลล์ เอ แอมโมเนีย ไนโตรเจน ไนเตรท ฟอสฟอรัส โคลิฟอร์ม สารกัมมันตรังสี อุณหภูมิ และสารประเภทคงที่ตามเวลา แบบจำลอง QUAL II ได้รับการรายงานถึงการใช้ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำ ซึ่งเป็นที่นิยมอย่างมากในยุโรปและสหรัฐอเมริกา

แบบจำลอง QUAL-2E เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาต่อเนื่องจากแบบจำลอง QUAL II โดย SEMCOG ในปี ค.ศ.1985 เป็นแบบจำลองที่ใช้จำลองกลไกการเคลื่อนที่และแพร่กระจายของสารในลักษณะทิศทางเดียว สามารถจำลองพารามิเตอร์คุณภาพน้ำได้สูงสุดถึง 15 ตัว และต่อมาได้มีการปรับปรุงแบบจำลองอย่างต่อเนื่อง ได้แก่แบบจำลองต่างๆ เช่น แบบจำลอง QUAL-2E/UNDES และแบบจำลอง QUAL-2K เป็นต้น

## 3) แบบจำลอง MIKE 11

Danish Hydraulic Institute (DHI) ประเทศเดนมาร์กได้พัฒนาโปรแกรม MIKE 11 (A Microcomputer Based Modeling System for River and Channels) ในปี ค.ศ.1972 เพื่อใช้ในการออกแบบจัดการลุ่มน้ำและระบบโครงข่ายของลำคลอง เป็นโปรแกรมคอมพิวเตอร์ที่มีระบบจำลองพื้นฐานสำหรับคลองและแม่น้ำ ใช้จำลองสภาพการไหล (hydrodynamic) การแพร่กระจายของสาร (Transport Dispersion) การเคลื่อนที่และการทับถมของตะกอน (sediment transport) และการจำลองคุณภาพน้ำ (water quality simulation) ในบริเวณปากแม่น้ำ แม่น้ำลำคลอง และระบบชลประทาน เป็นแบบจำลองแบบ 1 มิติ

## 4) แบบจำลอง WASP (Wool et al., 2005)

แบบจำลอง WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) เป็นแบบจำลองที่ได้รับการพัฒนาโดย USEPA ตั้งแต่ปี ค.ศ.1983 ในช่วงแรกแบบจำลอง WASP ถูกใช้เพื่อแก้ปัญหาการเกิดยูโทรฟิเคชันของแหล่งน้ำในประเทศอเมริกา แต่ในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแบบจำลอง WASP ให้สามารถจำลองพารามิเตอร์คุณภาพน้ำได้มากขึ้นโดยแบ่งเป็น 2 แบบจำลองย่อย คือ แบบจำลองย่อย EUTRO สำหรับจำลองพารามิเตอร์คุณภาพน้ำโดยทั่วไป

เช่น ค่าออกซิเจนละลาย ค่า BOD ไนเตรต ฟอสเฟต เป็นต้น และ แบบจำลองย่อย TOXI สำหรับจำลองพารามิเตอร์ประเภทสารพิษ เช่น โลหะหนัก สารกำจัดศัตรูพืช เป็นต้น นอกจากนี้แบบจำลอง WASP ยังสามารถเชื่อมต่อกับแบบจำลองอุทกศาสตร์ เพื่อนำเข้าข้อมูลเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำที่จำเป็นในการจำลองการเคลื่อนที่ของมลสารในน้ำ โดยสามารถเชื่อมต่อได้ทั้งแบบจำลองอุทกศาสตร์แบบ 1 มิติ 2 มิติ และ 3 มิติ ปัจจุบันแบบจำลองอุทกศาสตร์ที่นิยมใช้เชื่อมต่อกับแบบจำลอง WASP มากที่สุด คือ แบบจำลอง DYNHYD

แบบจำลอง WASP ถือเป็นแบบจำลองหนึ่งที่เหมาะสมในการใช้เป็นเครื่องมือสำหรับการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ออกแบบมาให้มีฟังก์ชันที่สะดวกในการเพิ่มหรือลด load ที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ ซึ่งขั้นตอนการปรับ load ถือเป็นขั้นตอนสำคัญในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ

## 2.5 แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา

### 2.5.1 แบบจำลองอุทกศาสตร์ (Hydrodynamics Model)

ในการศึกษาครั้งนี้ใช้แบบจำลอง RMA2 เวอร์ชัน 4.5 เป็นแบบจำลองอุทกศาสตร์ โดยแบบจำลอง RMA2 เป็นแบบจำลองย่อย (module) แบบจำลองหนึ่งในแบบจำลอง SMS8.1 (Surface Water Modeling System) ที่พัฒนาโดย USA ERDC (United State Army, Engineering Research and Development Center) ตั้งแต่ปี ค.ศ.1973 โดยในปัจจุบันได้พัฒนามาถึง เวอร์ชัน SMS9.2

แบบจำลอง RMA2 เป็นแบบจำลองอุทกศาสตร์ที่สามารถจำลองสภาพการไหลได้แบบ 2 มิติ โดยแบบจำลอง RMA2 จะสมมติให้แหล่งน้ำที่ทำการจำลองมีความลึกเท่ากันตลอด และทำการแก้สมการเพื่อหาค่าความเร็วของการไหลด้วยวิธี finite element ซึ่งแบบจำลอง RMA2 สามารถจำลองสภาพการไหลได้ทั้งการไหลแบบคงที่ (steady state) และการไหลแบบไม่คงที่ (dynamics state) (US Army, 2001)

โดยสมการที่ใช้ในแบบจำลอง RMA2 (governing equations) ได้แก่

$$h \frac{\partial u}{\partial t} + hu \frac{\partial u}{\partial x} + hv \frac{\partial u}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[ E_{xx} \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + E_{xy} \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} \right] + gh \left[ \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{g n^2}{(1.486h^{1/6})^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi - 2hv\omega \sin \Phi = 0$$

(2.2)

$$h \frac{\partial v}{\partial t} + hu \frac{\partial v}{\partial x} + hv \frac{\partial v}{\partial y} - \frac{h}{\rho} \left[ E_{yx} \frac{\partial^2 v}{\partial x^2} + E_{yy} \frac{\partial^2 v}{\partial y^2} \right] + gh \left[ \frac{\partial a}{\partial x} + \frac{\partial h}{\partial x} \right] + \frac{g v n^2}{\left( 1.486 h^{1/6} \right)^2} (u^2 + v^2)^{1/2} - \zeta V_a^2 \cos \psi + 2h v \omega \sin \Phi = 0 \quad (2.3)$$

$$\frac{\partial h}{\partial t} + h \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} \right) + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial v}{\partial y} = 0 \quad (2.4)$$

โดยที่ h = water depth

u, v = velocities in the Cartesian directions

x, y, t = Cartesian coordination and time

$\rho$  = density of fluid

E = eddy viscosity coefficient,

for xx = normal direction on x axis surface

for yy = normal direction on y axis surface

for yx and yx = shear direction on each surface

g = acceleration due to gravity

a = elevation of bottom

n = Manning's roughness

1.486 = conversion from SI (metric) to non-SI units

$\zeta$  = empirical wind shear coefficient

$V_a$  = wind speed

$\psi$  = wind direction

$\omega$  = rate of earth's angular rotation

$\Phi$  = local latitude

โดยในการปรับเทียบแบบจำลอง RMA2 จะทำการปรับเทียบค่า eddy viscosity และค่า Manning's roughness

## 2.5.2 แบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model)

แบบจำลองคุณภาพน้ำที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ได้แก่ แบบจำลอง WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) ที่พัฒนาโดย USEPA ตั้งแต่ปี ค.ศ.1983 (Wool et al., 2005) แบบจำลอง WASP เป็นแบบจำลองที่มีพื้นฐานมาจากสมการสมดุลมวลสาร ดังสมการที่ 2.4

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -\frac{\partial}{\partial x}(u_x c) - \frac{\partial}{\partial y}(u_y c) - \frac{\partial}{\partial z}(u_z c) + \frac{\partial}{\partial x}\left(E_x \frac{\partial c}{\partial x}\right) + \frac{\partial}{\partial y}\left(E_y \frac{\partial c}{\partial y}\right) + \frac{\partial}{\partial z}\left(E_z \frac{\partial c}{\partial z}\right) + S_L + S_B + S_K \quad (2.5)$$

โดยที่ C = concentration of the water quality constituent (mg/l)

t = time (days)

$U_x, U_y, U_z$  = longitudinal, lateral and vertical advective velocities (m/day)

$E_x, E_y, E_z$  = longitudinal, lateral and vertical diffusion coefficients ( $m^2$ /day)

$S_L$  = direct and diffuse loading rate ( $g/m^3$ -day)

$S_B$  = boundary loading rate (including upstream, downstream, benthic and atmospheric) ( $g/m^3$ -day)

$S_K$  = total kinetic transformation rate; positive is source, negative is sink ( $g/m^3$ -day)

## 2.6 ตัวอย่างงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ปัจจุบันงานวิจัยหลายงานได้ประยุกต์ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำประเภทต่างๆ จากผลการศึกษาพบว่าแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถคาดการณ์คุณภาพน้ำได้ค่อนข้างแม่นยำ และถือเป็นเครื่องมือหนึ่งที่ใช้ในการวางแผนในการจัดการด้านคุณภาพน้ำ ซึ่งในปัจจุบันนอกจากจะมีแบบจำลองทางคณิตศาสตร์อย่างง่ายที่มีพื้นฐานจากสมการคณิตศาสตร์ที่ไม่ซับซ้อนมากแล้ว ยังได้มีการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ให้อยู่ในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูป เพื่อให้การจำลองลักษณะการกระจายตัวของมลสารในน้ำใกล้เคียงกับธรรมชาติมากขึ้น โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในลักษณะของโปรแกรมสำเร็จรูปนั้นมีให้เลือกใช้หลายแบบด้วยกัน ซึ่งการจะเลือกใช้แบบใดขึ้นกับลักษณะทางกายภาพของแหล่งน้ำนั้น พารามิเตอร์ที่ต้องการวิเคราะห์ และข้อมูลเฉพาะต่างๆ ของแหล่งน้ำ โดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อทำนายคุณภาพน้ำในรูปของโปรแกรมคอมพิวเตอร์สำเร็จรูปที่ใช้กันแพร่หลายในปัจจุบัน ได้แก่ WASP, QUAL2K, MIKE11 และ

WQRRS เป็นต้น ซึ่งตัวอย่างงานวิจัยที่ใช้แบบจำลองเหล่านี้ ได้แก่ การศึกษาคุณภาพน้ำและการเกิดยูโทรฟิเคชัน (eutrophication) ในอ่าวแทมปา (Tampa bay) รัฐฟลอริดา ประเทศสหรัฐอเมริกา ด้วยแบบจำลอง WASP (Wang et al., 1999) การใช้แบบจำลอง MIKE11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลองตอนบนตั้งแต่จังหวัดกาญจนบุรี ถึงจังหวัดราชบุรี ประเทศไทย (นฤมล สังขประดิษฐ์, 2541) และ การใช้แบบจำลอง QUAL2E ในการวางแผนการจัดการคุณภาพน้ำในแม่น้ำของชุมชนเมืองมาดริด ประเทศสเปน (Cubilo et al., 1992) เป็นต้น

นอกจากการคาดการณ์คุณภาพน้ำแล้ว แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ยังเป็นเครื่องมือสำคัญที่ใช้ในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ เนื่องจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สามารถจำลองปริมาณมลพิษที่เกิดขึ้นหากมีการกำหนดเงื่อนไขการจัดการการปล่อยมลพิษ (loading scenario) ในแบบต่างๆ เพื่อดูว่าควรมีการปล่อยมลพิษเท่าใดคุณภาพน้ำจึงไม่ต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนด โดยที่ปริมาณมลพิษที่สามารถปล่อยได้โดยไม่ทำให้คุณภาพน้ำต่ำกว่าเกณฑ์ที่กำหนดก็คือ ค่า TMDL ของแหล่งน้ำนั้นนั่นเอง ซึ่งการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำเป็นแนวทางที่สำคัญแนวทางหนึ่งในการวางแผนจัดการคุณภาพน้ำและการพัฒนาพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยปัจจุบันหน่วยงานในประเทศไทยให้ความสนใจงานวิจัยด้านการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำมากขึ้น

โดยในปี พ.ศ.2545 กรมควบคุมมลพิษได้ทำการสำรวจความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำ เพื่อการจัดการมลพิษจากกิจกรรมขนาดเล็กในพื้นที่อนุรักษ์น้ำดิบเพื่อการประปาด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ QUAL2E โดยมีลุ่มน้ำท่าจีน และลุ่มน้ำแม่กลองเป็นพื้นที่ศึกษา และทำการประเมินความสามารถในการรองรับความสกปรกในรูปของค่า BOD เท่านั้น โดยในลุ่มน้ำท่าจีนจะทำการประเมินแม่น้ำท่าจีนทั้งสาย ส่วนลุ่มน้ำแม่กลองจะทำการประเมินเฉพาะแม่น้ำแควน้อยทั้งสาย แม่น้ำแควใหญ่ทั้งสาย และแม่น้ำแม่กลองตั้งแต่จุดบรรจบแม่น้ำแควน้อย-แควใหญ่จนถึงเขื่อนแม่กลอง จากการศึกษา พบว่า แม่น้ำท่าจีนมีปริมาณมลพิษที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเกินกว่าความสามารถในการรองรับมลพิษ โดยมีภาระมลพิษสูงถึง 40,578 กิโลกรัมต่อวัน ในขณะที่มีความสามารถในการรองรับมลพิษเพียง 6,271 กิโลกรัมต่อวัน ดังนั้นหากต้องการให้แม่น้ำท่าจีนมีคุณภาพตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (ค่า BOD ไม่มากกว่า 2.0 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า DO ไม่ต่ำกว่า 4.0 มิลลิกรัมต่อลิตร) จะต้องลดปริมาณมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (point source) ให้ได้ ร้อยละ 75 ของประสิทธิภาพการบำบัด และลดปริมาณมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอน (non point source) ให้ได้ร้อยละ 60 ของประสิทธิภาพการบำบัดควบคู่ไปกับการลดปริมาณน้ำเสียจากการเพาะเลี้ยงและปศุสัตว์ ในส่วนของแม่น้ำแม่กลองจากการทำนายคุณภาพน้ำด้วยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ พบว่า แม่น้ำแม่กลองมีความสามารถในการรองรับมลพิษสูงถึง 74,760.5 กิโลกรัมต่อวัน เมื่อกำหนดให้แม่น้ำแม่กลองมีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ตามประกาศของสำนักงานคณะกรรมการสิ่งแวดล้อม และเมื่อพิจารณาถึงภาระมลพิษใน

ปัจจุบัน พบว่า มีค่าเท่ากับ 60,808.15 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งทำให้แม่น้ำแม่กลองยังมีความสามารถในการรองรับมลพิษได้เพิ่มอีกประมาณ 13,952.35 กิโลกรัมต่อวัน

นอกจากนี้ยังมีตัวอย่างของการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษของแม่น้ำสายหลักในประเทศ เช่น การประเมิน TMDL ของค่า BOD ในแม่น้ำยม จังหวัดแพร่ (เวรียา มิตตา, 2547) โดยจากการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ซึ่งจากการศึกษาพบว่า TMDL ของค่า BOD ในแม่น้ำยม สำหรับการใช้ประโยชน์ในปี พ.ศ.2545 มีค่าเฉลี่ยอยู่ระหว่าง 159.41-5,482.41 กิโลกรัมต่อวัน โดย TMDL ของค่า BOD ขึ้นกับปริมาณมลสารที่ไหลลงสู่แม่น้ำ ทั้งมลสารที่มาจากแหล่งกำเนิดที่แน่นอน และแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอน รวมทั้งอัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำ ซึ่งแม่น้ำจะมีความสามารถในการรองรับของเสียได้มากบริเวณต้นน้ำและบริเวณท้ายน้ำ โดยปริมาณมลสารในรูปของสารอินทรีย์มีปริมาณมากที่สุดจากพื้นที่เกษตรกรรม และเมื่อกำหนดให้ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายเป็นไปตามมาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 พบว่า แม่น้ำยมมี TMDL ของ BOD เฉลี่ยอยู่ระหว่าง 422.74-15,685.52 กิโลกรัมต่อวัน

ในส่วนของแต่ละประเทศ เช่น ประเทศสหรัฐอเมริกา การประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำถือเป็นข้อบังคับที่ประกาศใน Clean Water Act (CWA) โดยทุกรัฐต้องทำการกำหนดแหล่งน้ำที่ต้องประเมิน TMDL และดำเนินการตรวจติดตาม (monitoring) คุณภาพน้ำอย่างต่อเนื่อง และทำการรายงานผลต่อองค์กรพิทักษ์สิ่งแวดล้อมของสหรัฐอเมริกา (United State Environmental Protection Agency; USEPA) โดยการกำหนด scenario สำหรับการประเมิน TMDL นั้น USEPA ได้แนะนำว่า ควรมีการกำหนด scenario เพื่อจำลองกรณีวิกฤตที่อาจเกิดขึ้นกับแหล่งน้ำที่ทำการศึกษาด้วย เช่น กรณีที่อัตราการไหลของน้ำต่ำที่สุดในรอบปี หรือกรณีที่ระบบบำบัดน้ำเสียขัดข้อง เพื่อให้แน่ใจว่าหากเกิดกรณีวิกฤตแล้ว คุณภาพน้ำในแหล่งน้ำที่ทำการศึกษายังไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ นอกจากนี้ USEPA ยังยอมรับ scenario ที่ให้ผลการจำลองค่าคุณภาพน้ำที่มีช่วง  $\pm 20\%$  confidence limit ไม่เกินเกณฑ์มาตรฐานอีกด้วย (DNREC, 1998)

อย่างไรก็ดี ในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำนั้น ควรทำการประเมิน TMDL ทั้งในฤดูน้ำหลาก และฤดูแล้ง เนื่องจากความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำจะมีค่าแตกต่างกันตามปริมาณน้ำ และอัตราการไหลของน้ำในแหล่งน้ำนั้นๆ ดังเช่น ในการประเมิน TMDL ของค่า BOD, TN และ TP ของแม่น้ำแนตติค็อก (Nanticoke River) ประเทศสหรัฐอเมริกา (Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control; DNREC, 1998) โดยในการประเมิน TMDL ครั้งนี้ได้ทำการจำลองสภาพการไหลของน้ำในแบบต่างๆ กัน เช่น อัตราการไหลปกติ อัตราการไหลต่ำสุดในรอบ 10 ปี อัตราการไหลในฤดูแล้ง และอัตราการไหลในฤดูน้ำหลาก ซึ่งจากผลการศึกษาสรุปได้ว่า อัตราการไหลของน้ำที่ต่างกันมีผลต่อความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำ

ตัวอย่างการประเมิน TMDL ในประเทศสหรัฐอเมริกา ได้แก่ การใช้แบบจำลอง WASP ประเมิน TMDL ของค่า BOD ในแม่น้ำโอเกีชี (Ogeechee river) รัฐจอร์เจีย (USEPA, 2000) โดยทำการประเมิน TMDL ของค่า BOD ที่อัตราการไหลต่ำสุด (critical flow) ซึ่ง TMDL ของค่า BOD ในแม่น้ำโอเกีชี ที่ประเมินได้มีค่าเท่ากับ 4,125.6 กิโลกรัมต่อวัน

นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยที่ศึกษาผลของการใช้ประโยชน์ที่ดินที่มีต่อ TMDL เช่น ในประเทศเกาหลีใต้ มีการใช้แบบจำลอง SWAT (Soil and Water Assessment Tool) เพื่อประเมิน TMDL ของลุ่มน้ำขนาดเล็กที่มีการปลูกข้าว (Kang et al., 2006) ในการศึกษาได้แบ่งพื้นที่ออกเป็น 23 ลุ่มน้ำย่อย และใช้แบบจำลอง SWAT วิเคราะห์ TMDL ของปริมาณตะกอนแขวนลอย (Suspension Solid; SS) ปริมาณไนโตรเจนรวม (Total Nitrogen; TN) และปริมาณฟอสฟอรัสรวม (Total Phosphorus; TP) ของแต่ละลุ่มน้ำย่อย และนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการเก็บตัวอย่างนำมาวิเคราะห์ ผลการศึกษาพบว่า พื้นที่ส่วนใหญ่ของลุ่มน้ำมีปริมาณตะกอนแขวนลอย ปริมาณไนโตรเจนรวม และปริมาณฟอสฟอรัสรวม สูงเกิน TMDL



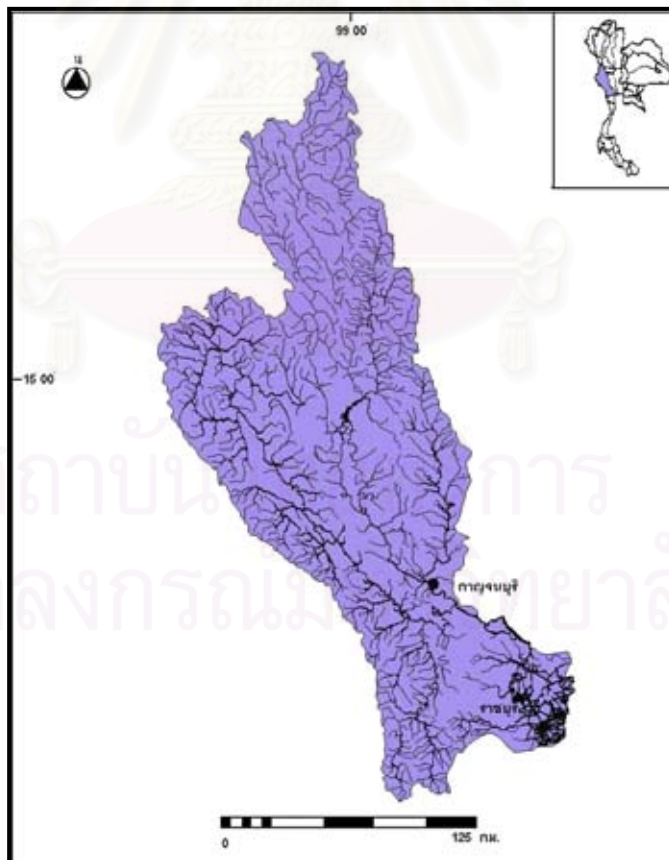
สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

### บทที่ 3

## ลุ่มน้ำแม่กลอง

### 3.1 ลักษณะทั่วไปของลุ่มน้ำแม่กลอง

ลุ่มน้ำแม่กลองเป็นลุ่มน้ำทางด้านตะวันตกของประเทศไทยมีพื้นที่ลุ่มน้ำประมาณ 30,117.2 ตารางกิโลเมตร ครอบคลุมพื้นที่ 8 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี จังหวัดตาก จังหวัดราชบุรี จังหวัดอุทัยธานี จังหวัดสุพรรณบุรี จังหวัดนครปฐม จังหวัดสมุทรสงคราม และ จังหวัดสมุทรสาคร ด้านทิศตะวันตกของลุ่มน้ำแม่กลองติดกับประเทศพม่า ทิศตะวันออกติดกับ ลุ่มน้ำท่าจีน ตอนล่างติดกับลุ่มน้ำเพชรบุรี ลักษณะพื้นที่ของลุ่มน้ำเป็นที่ราบผืนเดียวกับลุ่มน้ำ เจ้าพระยา มีแม่น้ำสายสำคัญ ได้แก่ แม่น้ำแควใหญ่ แม่น้ำแควน้อย และแม่น้ำแม่กลอง ลุ่มน้ำ แม่กลองมีสิ่งก่อสร้างทางชลศาสตร์ที่สำคัญ ได้แก่ เขื่อนศรีนครินทร์และเขื่อนท่าทุ่งนา ซึ่งกัน แม่น้ำแควใหญ่ เขื่อนวชิราลงกรณ์ ซึ่งกันแม่น้ำแควน้อย และเขื่อนแม่กลองเป็นเขื่อนทดน้ำ แม่น้ำแม่กลอง



ภาพที่ 3.1 ที่ตั้งลุ่มน้ำแม่กลอง

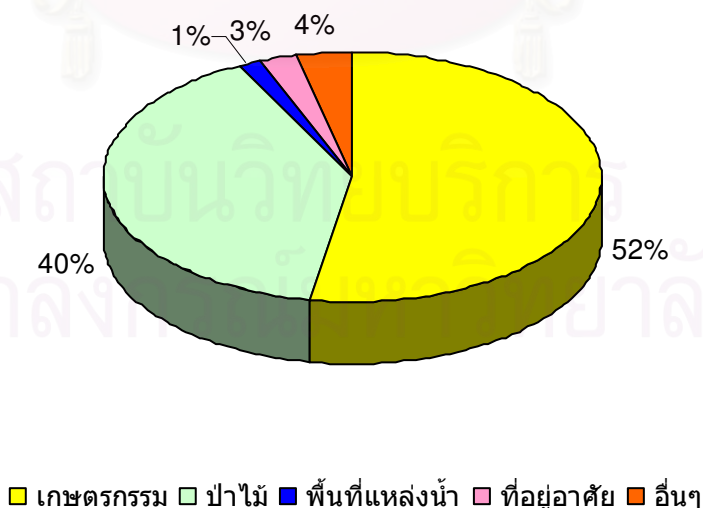
ที่มา: กรมส่งเสริมคุณภาพสิ่งแวดล้อม (2549)

### 3.2 สภาพปริมาณน้ำท่า

ปริมาณน้ำท่าในแต่ละลุ่มน้ำ ได้พิจารณาปริมาณน้ำท่าที่เกิดขึ้นในแม่น้ำและลำน้ำต่างๆ ในลักษณะธรรมชาติ (Natural Flows) กล่าวคือปริมาณน้ำท่าที่เกิดจากฝนโดยยังไม่ได้พิจารณาหักการใช้น้ำในกิจกรรมด้านต่างๆ ออกไป จากการทบทวนรายงานโครงการศึกษาเพื่อทำแผนหลักรองรับการพัฒนาแหล่งน้ำและปรับปรุงโครงการชลประทานสำหรับแผนฯ 9 (กรมชลประทาน, 2546) สรุปได้ว่าในกลุ่มลุ่มน้ำแม่กลองมีปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติทั้งสิ้น 15,129 ล้าน ลบ.ม./ปี ซึ่งเป็นปริมาณน้ำท่าในช่วงฤดูฝนถึง 12,782 ล้าน ลบ.ม. หรือคิดเป็นร้อยละ 85.75 ของปริมาณน้ำท่าทั้งปี และมีค่าปริมาณน้ำท่ารายปีเฉลี่ยต่อหน่วยพื้นที่เฉลี่ยทั้งประเทศเท่ากับ 13.60 ลิตร/วินาที/ตร.กม.

### 3.3 การใช้ประโยชน์ที่ดิน

จากการศึกษาข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินจากดาวเทียม LANDSAT ปี พ.ศ.2543 ได้จัดกลุ่มประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดินออกเป็น 5 ลักษณะ คือ พื้นที่เกษตรกรรม พื้นที่ป่าไม้ พื้นที่แหล่งน้ำ พื้นที่อยู่อาศัย และพื้นที่อื่นๆ สามารถสรุปได้ว่าการใช้ประโยชน์ที่ดินในกลุ่มลุ่มน้ำแม่กลองทั้งหมดมีการใช้ประโยชน์ที่ดินในด้านเกษตรกรรมมากที่สุดถึง 269,497 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 52.70) รองลงมาได้แก่พื้นที่ป่าไม้ 204,184 ตารางกิโลเมตร (ร้อยละ 39.93) ส่วนที่เหลือได้แก่พื้นที่แหล่งน้ำ ที่อยู่อาศัย และอื่นๆ ร้อยละ 1.17 2.50 และ 3.70 ตามลำดับ สัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดินแสดงดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แผนภูมิแสดงสัดส่วนการใช้ประโยชน์ที่ดิน

### 3.4 ทรัพยากรแหล่งน้ำธรรมชาติ

ลุ่มน้ำแม่กลองประกอบด้วยทรัพยากรแหล่งน้ำที่สำคัญ คือ แหล่งน้ำผิวดินและแหล่งน้ำใต้ดิน โดยแหล่งน้ำผิวดินจะเป็นแหล่งรองรับน้ำเสียจากกิจกรรมต่างๆ แหล่งน้ำผิวดินที่สำคัญคือ แม่น้ำแควใหญ่ แม่น้ำแควน้อย และแม่น้ำแม่กลอง นอกจากนี้ยังมีแม่น้ำสายรอง ได้แก่ ลำตะเพิน และลำภาชี

#### 3.4.1 แม่น้ำแควใหญ่

แม่น้ำแควใหญ่มีต้นกำเนิดมาจากเทือกเขาถนนธงชัยในเขตอำเภออุ้มผาง จังหวัดตาก ไหลเข้าอำเภอศรีสวัสดิ์ จังหวัดกาญจนบุรี แล้วไหลผ่านเทือกเขาสลักชั้นซ้อนเข้าสู่เขตอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี บรรจบกับแม่น้ำแควน้อยบริเวณหน้าเมืองรวมเป็นแม่น้ำแม่กลอง รวมความยาวลำน้ำประมาณ 380 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 14,800 ตารางกิโลเมตร

แม่น้ำสายย่อยและลำน้ำต่างๆ ที่ไหลลงสู่แม่น้ำแควใหญ่ ได้แก่ กลุ่มลำน้ำห้วยเขาใหญ่ กลุ่มลำน้ำห้วยขาเขียว ห้วยดู่แวง ห้วยไกรเกรียง ห้วยคลิตี้ ห้วยแม่ขมิ้น ห้วยแม่พลู ห้วยสลักพระ และลำตะเพิน โดยลำน้ำสาขาของลำตะเพิน คือ ห้วยพุ่มคำ ห้วยยวง และห้วยอิฐ

สภาพภูมิประเทศสองฝั่งแม่น้ำแควใหญ่เป็นเขาสูงและป่าทึบ จึงมีแหล่งที่สงวนไว้เป็นอุทยานแห่งชาติและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าหลายแห่ง เช่น เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าทุ่งใหญ่นเรศวร เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าห้วยขาแข้ง เขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าสลักพระอุทยานแห่งชาติศรีนครินทร์ และอุทยานแห่งชาติเอราวัณ เป็นต้น

#### 3.4.2 แม่น้ำแควน้อย

แม่น้ำแควน้อยมีต้นกำเนิดจากเทือกเขาตะนาวศรี ไหลผ่านมาทางทิศตะวันตกเฉียงใต้ในอำเภอสงขลาบุรี ผ่านอำเภอทองผาภูมิ อำเภอไทรโยค และอำเภอเมือง จังหวัดกาญจนบุรี บรรจบกับแม่น้ำแควใหญ่ที่บริเวณหน้าเมืองรวมเป็นแม่น้ำแม่กลอง รวมความยาวลำน้ำประมาณ 315 กิโลเมตร มีพื้นที่รับน้ำฝนประมาณ 10,640 ตารางกิโลเมตร

แม่น้ำแควน้อยตอนบน มีลำน้ำสาขาสำคัญ 3 สาย ไหลมารวมกันที่ “สามสบ” ตำบลหนองลู อำเภอสังขละบุรี คือ ลำน้ำบีคี่ใหญ่ ลำน้ำซองกาเลีย และลำน้ำรันตี ส่วนทางด้านท้ายน้ำมีลำน้ำสาขาที่สำคัญ คือ ห้วยแม่ขมิ้น ห้วยบ้องตี้ ห้วยแม่กระบาน และลำภาชี เป็นต้น

สภาพภูมิประเทศโดยทั่วไปในลุ่มน้ำแควน้อยเป็นภูเขาใหญ่ น้อยเรียงสลับซับซ้อนและสูงชัน บางแห่งเป็นหน้าผาสูง บางแห่งเป็นที่ราบ แม่น้ำแควน้อยไหลผ่านภูมิประเทศที่สวยงามมีน้ำตกและลำธารเล็กๆ ไหลลงแม่น้ำเกือบตลอดสาย สภาพป่าส่วนใหญ่เป็นป่าไม้เบญจพรรณ และป่าดงดิบ มีป่าไผ่แซมอยู่ทั่วไป เนื่องจากสภาพภูมิประเทศเป็นป่าเขาจึง

มีป่าสงวนและเขตรักษาพันธุ์สัตว์ป่าหลายแห่ง ได้แก่ ป่าสงวนแห่งชาติเขาช้างเผือก ป่าสงวนแห่งชาติห้วยเขย่ง ป่าสงวนแห่งชาติเขาพระฤๅษีและเขาบ่อแร่ และป่าสงวนแห่งชาติวังใหญ่ แม่น้ำน้อย เป็นต้น

### 3.4.3 แม่น้ำแม่กลอง

แม่น้ำแม่กลองเกิดจากแม่น้ำแควใหญ่และแม่น้ำแควน้อยไหลมาบรรจบกันที่ตำบลปากแพรก บริเวณหน้าเมืองกาญจนบุรี แม่น้ำแม่กลองไหลออกจากอำเภอเมืองไปยังอำเภอดำม่วง อำเภอดำมะคา จังหวัดกาญจนบุรี ไหลผ่านอำเภอบ้านโป่ง อำเภอโพธาราม อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี อำเภอบางคนที อำเภออัมพวา ไหลลงสู่อ่าวไทยที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงคราม รวมความยาวลำน้ำประมาณ 130 กิโลเมตร

## 3.5 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำ

### 3.5.1 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน

ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองมีโครงการพัฒนาแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งประกอบด้วยโครงการชลประทานขนาดใหญ่ ขนาดกลาง และขนาดเล็กในความรับผิดชอบของกรมชลประทาน โครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้าในความรับผิดชอบของกรมส่งเสริมและพัฒนาพลังงาน

โครงการชลประทานของกรมชลประทานเป็นส่วนหนึ่งของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่ ซึ่งโครงการนี้เป็นโครงการชลประทานแบบอบเนกประสงค์ ครอบคลุม 7 จังหวัด ได้แก่ จังหวัดกาญจนบุรี ราชบุรี สมุทรสงคราม สมุทรสาคร นครปฐม เพชรบุรี และสุพรรณบุรี โดยมีเขื่อนเก็บกักน้ำและผลิตกระแสไฟฟ้าของการไฟฟ้าฝ่ายผลิต 3 แห่ง ได้แก่ เขื่อนวชิราลงกรณ์ เขื่อนท่าทุ่งนา และเขื่อนศรีนครินทร์ เขื่อนทั้งสามนี้จะปล่อยน้ำมาหล่อเลี้ยงพื้นที่เกษตรกรรม โดยมีเขื่อนแม่กลองเป็นเขื่อนทดน้ำและเป็นหัวใจสำคัญของโครงการชลประทานแม่กลองใหญ่

เขื่อนแม่กลองเป็นเขื่อนทดน้ำกั้นแม่น้ำแม่กลองที่ตำบลดำม่วงชุม อำเภอดำม่วง จังหวัดกาญจนบุรี เพื่อทดน้ำให้มีระดับสูงพอที่จะส่งน้ำไปยังพื้นที่เกษตรกรรมในบริเวณลุ่มน้ำสาขาที่ราบแม่น้ำแม่กลอง โดยส่งผ่านโครงการชลประทานขนาดใหญ่และขนาดกลางรวม 9 โครงการ ได้แก่

1) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครปฐม เป็นโครงการชลประทานประเภททดน้ำส่งน้ำและป้องกันน้ำเค็ม ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอดำมะคา บ้านโป่ง เมืองนครปฐม สามพราน และบ้านแพ้ว ดำเนินการป้องกันน้ำเค็ม โครงการนี้ส่งน้ำผ่านคลองส่งน้ำเพื่อทิ้งน้ำลงแม่น้ำท่าจีนเพื่อผลักดันน้ำเค็มไม่ให้เข้ามาทำความเสียหายพื้นที่เกษตรกรรมในอำเภอสามพราน และบ้านแพ้ว

2) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษานครปฐม เป็นโครงการชลประทานประเภททดน้ำส่งน้ำครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอดำมะคา บ้านโป่ง โพธาราม บางแพ ดำเนินสะดวก เมืองนครปฐม สามพราน และบ้านแพ้ว

3) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาท่ามะกา เป็นโครงการชลประทานประเภทตหน้าส่งน้ำครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอท่ามะกา ท่าม่วง เมืองราชบุรี บ้านโป่ง โปธาราม และจอมบึง

4) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาดำเนินสะดวก เป็นโครงการชลประทานประเภทเก็บกักน้ำและป้องกันน้ำเค็ม ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอดำเนินสะดวก เมืองสมุทรสงคราม บางคนที อัมพวา และบ้านแพ้ว ด้านการป้องกันน้ำเค็ม มีการสร้างคันป้องกันน้ำเค็มและคลองส่งน้ำ เพื่อป้องกันน้ำเค็มไม่ให้เข้าทำความเสียหายพื้นที่เกษตรกรรม ในอำเภอดำเนินสะดวก เมืองสมุทรสงคราม บางคนที และอัมพวา

5) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาพนมทวน เป็นโครงการชลประทานประเภทส่งน้ำ ทดน้ำและสูบน้ำ ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอท่ามะกา ท่าม่วง และพนมทวน

6) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาราชบุรีฝั่งซ้าย เป็นโครงการชลประทานประเภทส่งน้ำทดน้ำ เก็บกักน้ำและสูบน้ำ ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอเมืองราชบุรี โปธาราม บางแพ และบางคนที

7) โครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาราชบุรีฝั่งขวา เป็นโครงการชลประทานประเภททดน้ำส่งน้ำและป้องกันน้ำเค็ม ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอเมืองราชบุรี วัดเพลง ปากท่อ บางคนที และอัมพวา

8) อ่างเก็บน้ำห้วยสำนักไม้เต็ง เป็นโครงการชลประทานประเภทเก็บกักน้ำด้วยอ่างเก็บน้ำและส่งน้ำ ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอปากท่อ

9) โครงการชลประทานท่าล้อ เป็นโครงการชลประทานประเภทสูบน้ำ ครอบคลุมพื้นที่บางส่วนของอำเภอท่าม่วงและพนมทวน

นอกจากนี้ยังมีโครงการชลประทานขนาดเล็กรวม 11 โครงการ โดยมีลักษณะโครงการเป็นอ่างเก็บน้ำและฝายทดน้ำเพื่อการเพาะปลูกและอุปโภคบริโภค รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.1 และมีสถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าของกรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน โดยศูนย์บริการโครงการสูบน้ำด้วยไฟฟ้า จังหวัดกาญจนบุรี จัดตั้งสถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองจำนวน 5 สถานีในจังหวัดราชบุรี รายละเอียดแสดงดังตารางที่ 3.2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 โครงการชลประทานขนาดเล็กในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง

โครงการ	ความจุ (ล้านลูกบาศก์เมตร)	พื้นที่ได้รับประโยชน์ (ไร่)
จังหวัดราชบุรี		
1. อ่างเก็บน้ำบ้านรางม่วง	0.11	1,200
2. อ่างเก็บน้ำพุเสือเต้น	0.06	500
3. อ่างเก็บน้ำหนองบัวค่าย	0.20	100
4. อ่างเก็บน้ำทุ่งหินสี	0.62	อุปโภค – บริโภค
5. อ่างเก็บน้ำห้วยต้นห่าง	0.06	1,200
6. ฝ่ายทดน้ำบ้านเขาถ้ำ	-	1,500
7. ฝ่ายทดน้ำบ้านอ่างทอง	-	500
8. ฝ่ายทดน้ำบ้านปู่ทิม	-	4,000
9. ฝ่ายทดน้ำห้วยนาคราช	-	4,050
จังหวัดกาญจนบุรี		
1. อ่างเก็บน้ำหนองทะเลสาบ	0.20	100
2. อ่างเก็บน้ำบ้านสระลอย	0.15	150

ที่มา: กรมชลประทาน (2539) อ้างถึงใน กรมพัฒนาที่ดิน (2542)

ตารางที่ 3.2 สถานีสูบน้ำด้วยไฟฟ้าในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง

สถานี	แหล่งน้ำ	ปีที่จัดตั้ง	ตำบล	อำเภอ	พื้นที่รับน้ำ(ไร่)
1. บ้านวัดท้ายเหมือง	แม่น้ำแม่กลอง	2524	พงสวาย	เมือง	2,500
2. บ้านคลองข่อย	แม่น้ำแม่กลอง	2536	คลองข่อย	โพธาราม	1,200
3. บ้านนาออก	ห้วยอ่างทอง	2537	อ่างหิน	ปากท่อ	2,000
4. บ้านคู้กระถิ่น	แม่น้ำแม่กลอง	2534	คู้กระถิ่น	เมือง	3,000
5. บ้านคู้กระถิ่น 2	แม่น้ำอ้อม	2539	คู้กระถิ่น	เมือง	2,500

ที่มา: กรมพัฒนาและส่งเสริมพลังงาน (2540) อ้างถึงใน กรมพัฒนาที่ดิน (2542)

### 3.5.2 โครงการพัฒนาแหล่งน้ำใต้ดิน

ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองมีหน่วยงานราชการและเอกชนขุดเจาะบ่อบาดาลเพื่อการอุปโภคบริโภค อุตสาหกรรม และเกษตรกรรม น้ำบาดาลจำนวนมากถูกสูบน้ำมาใช้ในการปลูกอ้อยในอำเภอท่าม่วง ท่ามะกา เมืองราชบุรี บ้านโป่ง โพธาราม โรงงานอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น โรงงานน้ำตาล โรงงานกระดาษ มีการขุดเจาะบ่อบาดาลเพื่อนำมาใช้ในกิจกรรมต่างๆ ภายในโรงงานเป็นจำนวนมาก จำนวนบ่อบาดาลที่ขุดเจาะโดยภาคเอกชนไม่ทราบจำนวนที่แน่นอนได้จำนวนบ่อบาดาลที่ขุดเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ มีจำนวนทั้งสิ้น 1,171 บ่อ ดังตารางที่

ตารางที่ 3.3 จำนวนบ่อบาดาลที่ขุดเจาะโดยหน่วยงานราชการต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง

จังหวัด	หน่วยงานราชการ				
	กรมทรัพยากรธรณี	รพช.	กรมอนามัย	กรมโยธาธิการ	รวม
ราชบุรี	310	69	83	221	683
กาญจนบุรี	132	63	31	47	273
นครปฐม	9	17	4	47	77
สมุทรสงคราม	-	44	10	73	127
สมุทรสาคร	-	7	-	4	11
<b>รวม</b>	<b>451</b>	<b>200</b>	<b>128</b>	<b>392</b>	<b>1,171</b>

ที่มา: กรมพัฒนาที่ดิน (2542)

### 3.6 แหล่งกำเนิดมลพิษหลักในพื้นที่ลุ่มน้ำ

จากการที่พื้นที่ส่วนใหญ่ในลุ่มน้ำแม่กลองเป็นพื้นที่ราบ เหมาะสำหรับการเกษตรกรรม ทำให้ประชาชนส่วนใหญ่ในพื้นที่ลุ่มน้ำประกอบอาชีพทางการเกษตรกรรม หรือประกอบกิจกรรมที่เกี่ยวข้องกับการเกษตรเป็นหลัก มีโรงงานที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เช่น โรงงานน้ำตาลในจังหวัดกาญจนบุรี และโรงงานแป้งมันในจังหวัดราชบุรี เป็นต้น ซึ่งกิจกรรมต่างๆ ที่เกิดขึ้นในลุ่มน้ำนั้น ส่วนหนึ่งจะเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษของลุ่มน้ำด้วยเช่นกัน ซึ่งจากการรวบรวมข้อมูลแหล่งกำเนิดมลพิษในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง พบว่าลุ่มน้ำแม่กลองมีแหล่งกำเนิดมลพิษต่างๆ ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ดังนี้

#### 3.6.1 ชุมชน

แหล่งกำเนิดมลพิษจากชุมชนจัดว่าเป็นแหล่งที่ก่อให้เกิดของเสียอันเนื่องมาจากกิจกรรมในการดำเนินชีวิตประจำวันของมนุษย์ หรือเป็นสิ่งปฏิกูลที่มนุษย์ปล่อยออกมา เช่น การอาบน้ำ การซักล้าง น้ำใช้ในครัว เป็นต้น โดยลักษณะของน้ำเสียที่ปล่อยออกมาส่วนใหญ่จะเป็นพวกสารอินทรีย์และสารเคมีที่ใช้ในครัวเรือน ซึ่งส่วนใหญ่จะก่อให้เกิดความสกปรกในรูปของค่า BOD และปริมาณแบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด

#### 3.6.2 โรงงานอุตสาหกรรม

แหล่งกำเนิดมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมเกิดจากน้ำเสียจากโรงงาน และนิคมอุตสาหกรรมต่างๆ ที่อยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ ซึ่งในทางอุตสาหกรรมมีการนำน้ำมาใช้เป็นส่วนประกอบสำคัญในกระบวนการผลิต เช่น ใช้ในการหล่อเย็น การซักล้าง เป็นต้น ดังนั้นน้ำเสียที่เกิดจากโรงงานอุตสาหกรรมมักจะมีปริมาณและคุณลักษณะแตกต่างกันไปตามประเภทของโรงงาน นอกจากนี้ขนาดของโรงงานยังมีผลต่อปริมาณและคุณลักษณะของน้ำเสียด้วย

ดังนั้นจะเห็นว่าแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานอุตสาหกรรมมีผลต่อคุณภาพน้ำในพื้นที่ลุ่มน้ำเป็นอย่างมาก เนื่องจากปริมาณและคุณลักษณะของน้ำเสียที่แตกต่างกันไปในแต่ละประเภทของโรงงาน อีกทั้งยังมีปัจจัยเสริมในด้านขนาดและที่ตั้งของโรงงานด้วย ส่งผลให้แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทโรงงานยากแก่การควบคุมและป้องกันได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยโรงงานในพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองส่วนใหญ่เป็นโรงงานที่เกี่ยวกับการแปรรูปผลผลิตทางการเกษตร เช่น โรงงานน้ำตาล โรงงานแป้งมัน เป็นต้น โดยคุณภาพน้ำทิ้งของโรงงานประเภทต่างๆ แสดงดังตารางที่ 3.4

ตารางที่ 3.4 ค่า BOD ของน้ำทิ้งจากโรงงานบางประเภท

ประเภทของโรงงานอุตสาหกรรม	ค่า BOD (mg/l)
โรงงานน้ำตาล	71,200
โรงงานแป้งมันสำปะหลัง	6,550
โรงงานสุรา	31,660
โรงงานทอผ้า ย้อมผ้า	5,700
โรงงานกระดาษ	750
โรงงานสับปะรดกระป๋อง	1,680 - 3,450
โรงงานปะหมี่สำเร็จรูป	2,770
โรงงานไอศกรีม	3,000

ที่มา: สมบูรณ์ ลูวีระ (2537)

### 3.6.3 การเกษตรกรรม

แหล่งกำเนิดมลพิษจากเกษตรกรรม ได้แก่ พื้นที่การเกษตร และการปศุสัตว์ที่ตั้งอยู่ในพื้นที่ลุ่มน้ำ โดยมลพิษที่ส่งผลต่อลุ่มน้ำนั้นเกิดจากธาตุอาหารที่มีอยู่ในปุ๋ยเคมี เช่น ไนโตรเจน ฟอสเฟต และสารพิษจากยากำจัดศัตรูพืช เป็นต้น โดยมลพิษเหล่านี้จะถูกชะล้างโดยน้ำฝนแล้วไหลลงสู่แหล่งน้ำ นอกจากนี้การดำเนินการปศุสัตว์ของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลองในปัจจุบันมีการพัฒนาเป็นฟาร์มใหญ่ และมีการดำเนินการอย่างครบวงจรยิ่งขึ้น จึงอาจส่งผลให้เกิดมลพิษในปริมาณมากและรุนแรงขึ้น แหล่งกำเนิดมลพิษประเภทเกษตรกรรมจึงเป็นแหล่งกำเนิดมลพิษที่สำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำแม่กลอง เนื่องจากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทนี้มีผลกระทบต่อคุณภาพชีวิตของประชาชนส่วนใหญ่ในพื้นที่ เพราะประชาชนส่วนใหญ่ในพื้นที่ประกอบอาชีพเกษตรกรรมเป็นหลัก โดยพืชสำคัญของพื้นที่ลุ่มน้ำ ได้แก่ ข้าว อ้อยโรงงาน มันสำปะหลัง พืชผัก และไม้ผล ส่วนสัตว์เลี้ยงหลักในพื้นที่ ได้แก่ โค สุกร ไก่ และเป็ด

### 3.7 สถานการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลอง (พิทักษ์ ยูวานนท์, 2547)

จากการรายงานสถานการณ์น้ำเน่าเสียในแม่น้ำแม่กลองของฝ่ายจัดสรรน้ำและบำรุงรักษา โครงการชลประทานสมุทรสงคราม (2546) (อ้างถึงใน พิทักษ์ ยูวานนท์, 2547) สามารถสรุปสถานการณ์คุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลอง ได้ดังนี้

ปี พ.ศ.2512 แม่น้ำแม่กลองเกิดเน่าเสียครั้งแรกในหน้าแล้ง เป็นระยะแรกที่ปริมาณน้ำในแม่น้ำมีน้อย และเป็นเหตุหีบอ้อยของโรงงานทำน้ำตาลบริเวณ จ.กาญจนบุรี โดยโรงงานระบายน้ำแบบไม่มีระบบบำบัด

ปี พ.ศ.2515 และ พ.ศ.2516 ในฤดูแล้งเกิดภาวะเน่าเสียอย่างรุนแรง ตั้งแต่ช่วงอำเภอกำแพงแสน ไปถึงปากแม่น้ำในจังหวัดสมุทรสงครามรวมระยะทาง 100 กิโลเมตร ซึ่งทำให้เกิดความสูญเสียทางด้านเศรษฐกิจและสุขอนามัยของประชาชน

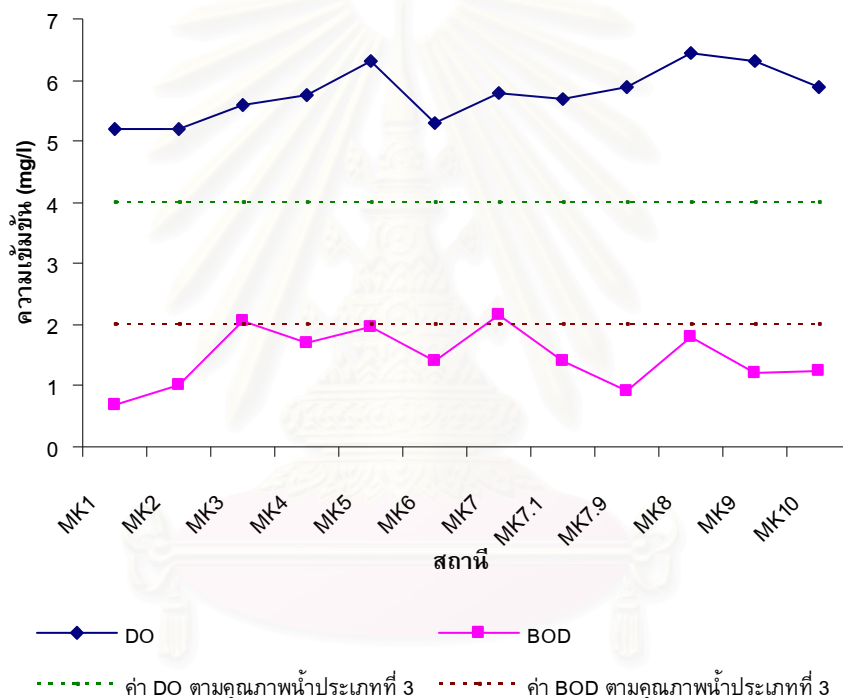
ปี พ.ศ.2520 ถึง พ.ศ.2522 เกิดสภาวะฝนแล้งติดต่อกัน ทำให้ปริมาณน้ำซึ่งไหลมาตามแม่น้ำสาขาต่าง ๆ มีปริมาณน้อยกว่าเกณฑ์ปกติมากโดยเฉพาะอย่างยิ่งแม่น้ำแม่กลองบริเวณตั้งแต่ใต้เขื่อนวชิราลงกรณ์ (เปลี่ยนชื่อเป็น เขื่อนแม่กลอง ตั้งแต่ พ.ศ.2544) ลงไปเกือบจะไม่มีน้ำไหลผ่าน ประกอบกับเป็นระยะที่เขื่อนศรีนครินทร์สร้างเสร็จแล้วเริ่มเก็บกักน้ำ (สร้างเสร็จปี พ.ศ.2517 เก็บน้ำปี พ.ศ.2520) จากสภาวะฝนแล้งดังกล่าว ทำให้ปริมาณน้ำไหลลงอ่างเก็บน้ำมีน้อย เสียเวลาเก็บกักน้ำนานประมาณ 2-3 ปี จึงสามารถระบายน้ำเพื่อผลิตกระแสไฟฟ้า และเพื่อการชลประทานได้ ทำให้สภาพภูมิประเทศบริเวณจังหวัดสมุทรสงครามโดยทั่วไปเกิดสภาวะดินเค็มซ้ำซาก เนื่องจากน้ำทะเลได้ไหลเข้ามาตามคลองธรรมชาติซึ่งมีอยู่มากมาย เขื่อนวชิราลงกรณ์ก็ไม่สามารถระบายน้ำลงไปผลักดันและเจือจางน้ำเค็มได้มากนัก เนื่องจากปริมาณน้ำที่ การไฟฟ้าฝ่ายผลิตแห่งประเทศไทย (กฟผ.) ระบายมาให้มีปริมาณจำกัด เพียงพอเฉพาะพื้นที่ในเขตชลประทานของโครงการแม่กลองใหญ่เท่านั้น สภาวะดินเค็มในเขตจังหวัดสมุทรสงครามดังกล่าวทำให้ราษฎรซึ่งประกอบอาชีพทำสวนได้รับความเดือดร้อน เนื่องจากผลผลิตตกต่ำ บางรายไม่สามารถประกอบอาชีพทำสวนได้ต่อไปเนื่องจากสภาพดินเค็ม

ปี พ.ศ.2524 ถึง ปี พ.ศ.2525 บ่อบำบัดน้ำเสียของโรงงานน้ำตาลสร้างเสร็จ ทำให้ค่าออกซิเจนละลายในน้ำสูงขึ้น และค่าความสกปรกลดลง

ปี พ.ศ. 2538 ถึง ปี พ.ศ.2542 แม่น้ำแม่กลองตลอดลำน้ำมีคุณภาพน้ำทั่วไปอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) ออกตามความในพระราชบัญญัติส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ พ.ศ.2535 เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินตีพิมพ์ในราชกิจจานุเบกษาฉบับประกาศทั่วไป เล่ม 11 ตอนที่ 16 ง ลงวันที่ 24 กุมภาพันธ์ 2537 โดยกำหนดให้แม่น้ำแม่กลองทั้งสาย ตั้งแต่จุดบรรจบแม่น้ำที่บ้านปากแพรก อ.เมือง จ.กาญจนบุรี จนถึง ปากแม่น้ำที่ จ.สมุทรสงคราม มีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (รายละเอียดในภาคผนวก ก)

วันที่ 23-25 มกราคม พ.ศ.2545 เกิดเหตุการณ์น้ำเน่าเสียส่งผลกระทบต่อปลาในกระชัง บริเวณ อ.บางคณที จ.สมุทรสงคราม โดยเหตุการณ์ในครั้งนั้นไม่สามารถระบุสาเหตุได้แน่ชัด แต่มีการตั้งสมมติฐานว่าอาจเกิดจากการปล่อยน้ำเสียจากโรงงานทำหัวผักกาดเค็มในเขต อ.เมือง และอ.โพธาราม จ.ราชบุรี ทำให้มีผู้เลี้ยงปลาเสียหายจำนวน 12 ราย คิดเป็นมูลค่ากว่า 3 ล้านบาท

จากการตรวจสอบคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองในปี พ.ศ.2549 โดยกรมควบคุมมลพิษ พบว่า แม่น้ำแม่กลองยังมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์ดี มีคุณภาพน้ำตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 โดยมีปริมาณออกซิเจนละลาย เฉลี่ยทุกสถานีตรวจวัดประมาณ 5.78 มิลลิกรัมต่อลิตร และค่า BOD เฉลี่ยทุกสถานีตรวจวัดประมาณ 1.46 มิลลิกรัมต่อลิตร รายละเอียดดังภาพที่ 3.3



ภาพที่ 3.3 ปริมาณออกซิเจนละลาย และค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตามสถานีต่างๆ ในปี พ.ศ.2549

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2549)

โดยรายละเอียดของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำของกรมควบคุมมลพิษ แสดงดังตารางที่ 3.5

ตารางที่ 3.5 รายละเอียดของสถานีเก็บตัวอย่างน้ำแม่ น้ำแม่กลองของกรมควบคุมมลพิษ

รหัสสถานี	ระยะทางจากปากแม่น้ำ (กม.)	ที่ตั้ง	อำเภอ	จังหวัด
MK1	1	ปากน้ำแม่กลอง	เมือง	สมุทรสงคราม
MK2	9	หน้าโรงพยาบาลสมุทรสงคราม	เมือง	สมุทรสงคราม
MK3	17	หน้าที่ว่าการ อ.เมืองอัมพวา	อัมพวา	สมุทรสงคราม
MK4	26	ใต้คลองดำเนินสะดวก	ดำเนินสะดวก	ราชบุรี
MK5	43	สะพานศิริลักษณ์	เมือง	ราชบุรี
MK6	59	หน้าวัดมณีโชติ	โพธาราม	ราชบุรี
MK7	78	หน้าวัดอู่ทุมพร	บ้านโป่ง	ราชบุรี
MK7.1	85	สะพานวัดลาดบัวขาว	บ้านโป่ง	ราชบุรี
MK7.9	94	สะพานเฉลิมพระเกียรติ ร.9	ท่ามะกา	กาญจนบุรี
MK8	105	บ.ท่าเรือ	ท่ามะกา	กาญจนบุรี
MK9	124	ท้ายเขื่อนวชิราลงกรณ์	ท่าม่วง	กาญจนบุรี
MK10	139	บ.ปากแพรก	เมือง	กาญจนบุรี

ที่มา: ดัดแปลงจากกรมควบคุมมลพิษ (2549)

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## บทที่ 4

### วิธีการดำเนินการศึกษา

#### 4.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการศึกษา

##### 4.1.1 อุปกรณ์สำหรับการประเมินความสามารถในการรองรับมลพิษ

1. เครื่องคอมพิวเตอร์พร้อมระบบปฏิบัติการ Microsoft Windows XP
2. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ SMS (Surface Water Modeling System) เวอร์ชัน 8.1 เพื่อใช้เป็นแบบจำลองอุทกศาสตร์ (ใช้แบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 ซึ่งเป็น module หนึ่งของโปรแกรม SMS)
3. โปรแกรมคอมพิวเตอร์ WASP (Water Quality Analysis Simulation Program) เวอร์ชัน 7.0 เพื่อใช้เป็นแบบจำลองคุณภาพน้ำ

##### 4.1.2 อุปกรณ์ออกภาคสนาม

1. เครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำ (water sampler)
2. เครื่องวัดปริมาณออกซิเจนละลาย (DO meter)
3. ขวดเก็บรักษาน้ำตัวอย่าง
4. ถังแช่น้ำตัวอย่าง
5. น้ำกลั่น เพื่อล้างหัววัด DO (DO probe)
6. แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร

##### 4.1.3 อุปกรณ์สำหรับหาค่า BOD

1. ขวด BOD ขนาด 300 มิลลิลิตร
2. สารเคมีที่ใช้สำหรับหาปริมาณออกซิเจนละลาย
3. เครื่องเป่าอากาศ
4. ตู้อินคิวเบต (incubator) สำหรับบ่มเชื้อที่ 20 องศาเซลเซียส

#### 4.2 วิธีการดำเนินการศึกษา

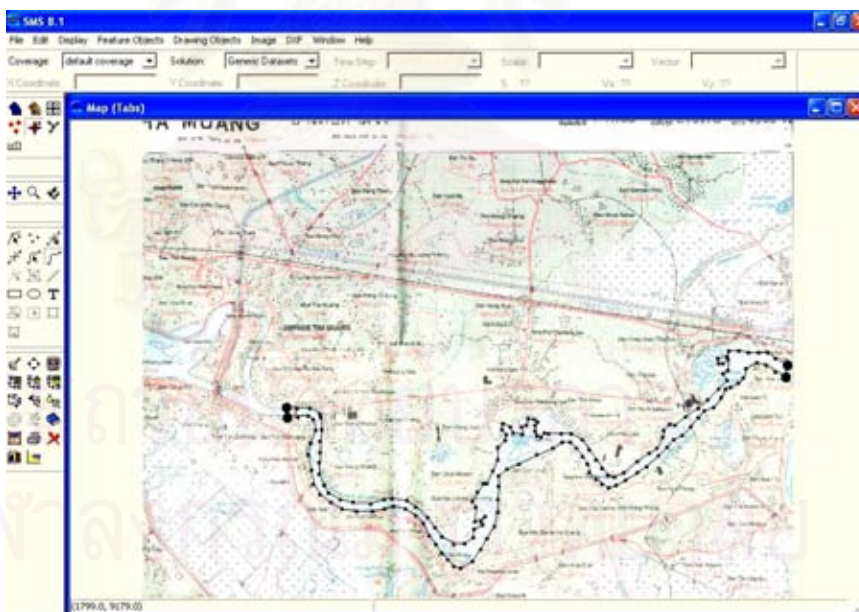
1. รวบรวมข้อมูลพื้นฐาน
  - 1.1 ข้อมูลลักษณะกายภาพของลำน้ำ
    - ข้อมูลหน้าตัดลำน้ำ (cross section)

- 1.2 ข้อมูลอุทกวิทยา จากสถานีวัดน้ำกรมชลประทาน
  - ระดับน้ำ (water level)
  - อัตราการไหล (flow rate)
- 1.3 ข้อมูลคุณภาพน้ำ จากสถานีตรวจคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ
- 1.4 ข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสีย
- 1.5 แผนที่ภูมิประเทศ มาตรฐาน 1:50,000 ของกรมแผนที่ทหาร เพื่อใช้ในการออกเก็บข้อมูลภาคสนาม และใช้ในแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2

2. ป้อนข้อมูลลงในแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 เพื่อคำนวณค่าความเร็วของลำน้ำ โดยการนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 สามารถทำได้ดังนี้

#### 2.1 นำเข้าข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ

เป็นการบอกให้แบบจำลองรู้ถึงลักษณะทางกายภาพของลำน้ำที่ทำการศึกษา โดยการนำเข้าแผนที่ของพื้นที่ศึกษาในรูปแบบ digital image หรืออาจใช้ภาพถ่ายทางอากาศก็ได้ จากนั้นสร้างเส้นเพื่อเป็นตัวแทนขอบเขตของลำน้ำ (creating feature arcs) โดยการลากเส้น (feature arcs) เชื่อมจุดตลอดฝั่งลำน้ำทั้งฝั่งซ้ายและฝั่งขวา รวมทั้งลากเส้นเชื่อมชายฝั่งด้านซ้ายและชายฝั่งด้านขวาบริเวณที่เป็นจุดเริ่มต้นและจุดสิ้นสุดการจำลอง ดังภาพที่ 4.1



ภาพที่ 4.1 การนำเข้าข้อมูลลักษณะทางกายภาพของลำน้ำ

## 2.2 ใช้คำสั่ง Map -> 2D Mesh

เนื่องจากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 จะทำการแก้สมการโดยใช้เทคนิค finite element จึงต้องทำการแบ่งลำน้ำให้เป็น elements ย่อยๆ โดยใช้คำสั่ง Map -> 2D Mesh ดังภาพที่ 4.2



ภาพที่ 4.2 ตัวอย่าง element ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

## 2.3 กำหนดเงื่อนไขขอบเขต (boundary condition)

เป็นการนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลและระดับน้ำ ที่จุดเริ่มต้นของลำน้ำ (upstream) และจุดสิ้นสุดของลำน้ำ ตามลำดับ ดังภาพที่ 4.3

โดยข้อมูลอัตราการไหลที่นำเข้าแบบจำลองในการศึกษาในครั้งนี้เป็นข้อมูลเฉลี่ย ซึ่งส่งผลให้ค่าความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลองมีลักษณะเป็นการไหลแบบคงที่ (steady state flow) เนื่องจากข้อมูลอัตราการไหลที่รวบรวมได้ไม่ละเอียดพอที่จะทำการจำลองแบบ dynamic และอีกเหตุผลหนึ่งที่ทำให้การจำลองการไหลคงที่ คือ ในการนำข้อมูลความเร็วของกระแสน้ำที่ได้มาเป็นข้อมูลนำเข้าในแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP นั้น แบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ไม่สามารถรับข้อมูลความเร็วของกระแสน้ำแบบ dynamic ได้ จึงทำการจำลองความเร็วของกระแสน้ำในลักษณะการไหลแบบคงที่



ภาพที่ 4.3 ตัวอย่างการกำหนด boundary condition สำหรับแม่น้ำแม่กลองตอนบน

#### 2.4 กำหนดคุณสมบัติของลำน้ำ (material properties)

เป็นการใส่ข้อมูลคุณสมบัติของลำน้ำ โดยค่าที่ต้องทำการกำหนด ได้แก่ ค่า eddy viscosity และค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

#### 2.5 บันทึกข้อมูลและใช้คำสั่งประมวลผล (save & run)

เป็นการสั่งให้แบบจำลองทำการประมวลผล โดยก่อนทำการประมวลผลต้องทำการบันทึกข้อมูลก่อน จากนั้นใช้คำสั่ง RMA2 -> Run RMA2 เพื่อประมวลผล ซึ่งแบบจำลองจะทำการคำนวณค่าความเร็วของกระแสน้ำในแนวแกน x และแกน y และค่าความลึกของลำน้ำ

3. นำข้อมูลที่ทำกรรวบรวมได้จากข้อ 1 และผลที่ได้จากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 (ค่าความเร็วของกระแสน้ำในแนวแกน  $x$  และค่าความลึกของน้ำ) ป้อนลงในโปรแกรมจำลองคุณภาพน้ำ WASP7.0 เพื่อคำนวณค่าคุณภาพน้ำ พารามิเตอร์ที่ต้องการคำนวณได้แก่ ปริมาณออกซิเจนละลาย และ ค่า BOD โดยการนำเข้าข้อมูลสู่โปรแกรมจำลองคุณภาพน้ำ WASP7.0 สามารถทำได้ดังนี้

### 3.1 การแบ่ง Segments

#### 3.1.1 ชื่อ Segments

การแบ่งลำน้ำแม่กลองออกเป็น Segments ย่อยๆ ต้องมีการใส่ชื่อของแต่ละ Segments ลงในแบบจำลอง ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้แบ่ง Segments ของลำน้ำออกเป็น 70 Segments ได้แก่ MK1 ถึง MK 70

#### 3.1.2 ปริมาตรแต่ละ segments

ปริมาตรของแต่ละ segments จะคิดคำนวณจากสูตรหาปริมาตร คือ ความกว้างของลำน้ำ คูณความลึกเฉลี่ยของลำน้ำ และคูณความยาวของลำน้ำ จะได้ปริมาตรในแต่ละ segments

#### 3.1.3 Velocity Multiplier & Depth

เป็นการใส่ค่าความเร็วของน้ำในแต่ละ segment โดยความเร็วที่ได้จากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2

#### 3.1.4 Segments Type

Segments Type ในแบบจำลอง WASP7.0 แบ่งออกเป็น 4 ลักษณะ ซึ่งจะต้องป้อนข้อมูลเพื่อระบุ Segments Type ในแต่ละ Segments ให้ตรงกับพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ต้องการให้แบบจำลอง WASP7.0 ทำการคำนวณ เนื่องจากมีความเกี่ยวเนื่องกัน ในการศึกษาครั้งนี้กำหนดให้ Segments Type ของทุก Segments ที่ได้แบ่งไว้เป็น Surface Water Segment ซึ่งรายละเอียดของ Segments Type แต่ละชนิด มีดังนี้ คือ

3.1.4.1 Surface Water Segment ใช้ในกรณีที่ต้องการคำนวณเลือกพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่มีความสัมพันธ์กับการเติมอากาศในแต่ละ Segments

3.1.4.2 Sub-Surface Water Segment ใช้ในกรณีที่ต้องการคำนวณเลือกพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ไม่มีความสัมพันธ์กับการเติมอากาศในแต่ละ Segments

3.1.4.3 Surface Benthic Segment ใช้ในกรณีที่ Segments นั้นๆ เป็น Surficial Benthic

3.1.4.4 Sub-Surface Benthic Segment ใช้ในกรณีที่ Segment นั้นๆ เป็น Segment ที่อยู่ใต้ชั้น Surficial Benthic

### 3.2 การป้อนข้อมูล

3.2.1 Input Parameterization เป็นการใส่ข้อมูลทั่วไปที่ต้องการให้แบบจำลองคำนวณ คือ

1) Data Set Name เป็นการกำหนดชื่อของข้อมูล ในการศึกษาครั้งนี้ กำหนดชื่อว่า Maeklong River นอกจากนี้ยังมีช่องว่างให้ผู้ป้อนข้อมูลใส่รายละเอียดเกี่ยวกับโครงการได้ตามความต้องการ

2) Model Type ในแบบจำลอง WASP7.0 แบ่งออกเป็น 6 ชนิด คือ Eutrophication, Simple Toxicants, Non-Ionizing Toxicants, Organic Toxicants, Mercury และ Heat ซึ่งได้กำหนดให้แบบจำลองคำนวณแบบ Eutrophication

3) Restart Option ในแบบจำลอง WASP7.0 ผู้ใช้สามารถใช้ Restart file ระหว่างที่แบบจำลองกำลังประมวลผล (Model Run) ซึ่งโปรแกรมจะหยุดทำงานชั่วคราวหนึ่ง (Snap-shot) เมื่อการคำนวณสิ้นสุด โดย Restart Option มีให้เลือก 3 ลักษณะ คือ

- No Restart File แบบจำลองจะไม่ทำการ Restart File
- Create Restart File แบบจำลองจะมีการ Restart File ในส่วนของปริมาตรท้ายสุด และความเข้มข้นของแต่ละ Segments ในแต่ละดัชนีคุณภาพน้ำที่เลือก
- Create/Read Restart File แบบจำลองจะมีการ Restart File ในส่วนของปริมาตรเริ่มต้น และความเข้มข้นของแต่ละ Segments ก่อนทำการ Create Restart File

4) Date and Time เป็นการระบุวันที่และเวลาเริ่มต้นการคำนวณ ซึ่งจะเทียบเท่ากับเวลา  $t_0$  ของการคำนวณ

5) Hydrodynamic แบบจำลองมีการไหล 3 ลักษณะ ให้เลือกคำนวณ ซึ่งใน 2 แบบแรก (Net Flow และ Gross Flow) จะเป็นการคำนวณการเปลี่ยนแปลงมวลระหว่าง Segments ที่มีการไหล 2 ทิศทางในแนวราบ ใน Segments ที่ติดกัน ส่วนในแบบที่ 3 จะใช้คำนวณ ในลักษณะ 3 มิติ แบบ Net Transport

### 3.2.2 Systems เป็นการใส่ข้อมูลเฉพาะของระบบ

3.2.2.1 Systems Data เป็นการเลือกพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่จะใช้ในการคำนวณ ซึ่งมี 3 ทางเลือก คือ

- Simulated พารามิเตอร์ที่เลือก option นี้แบบจำลองจะทำการคำนวณในทุกๆ สูตรที่เกี่ยวข้องกับสภาพที่เปลี่ยนแปลงไปของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เลือกในทุกๆ time step

- Constant เป็นการเลือกให้แบบจำลองคำนวณค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เลือกให้เป็นค่าคงที่ของระบบ เป็นการศึกษาผลกระทบระหว่างพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ โดยให้พารามิเตอร์ที่กำหนดเป็นค่าคงที่

- Bypassed เป็นการสั่งให้แบบจำลองไม่คำนวณในพารามิเตอร์คุณภาพน้ำในส่วนที่เลือก

ในการศึกษาครั้งนี้เลือกศึกษาในพารามิเตอร์ค่า BOD จึงกำหนดให้เป็นส่วนที่ Simulated ส่วนในพารามิเตอร์ต่างๆ ที่เหลือเลือก Bypass

3.2.2.2 Dispersion/Flow Bypass เป็นการกำหนดให้ในแต่ละ State Variable มีผลจาก Dispersion หรือ Flow

3.2.2.3 Density เป็นค่า Density ในสภาพเริ่มต้นการคำนวณ ในหน่วย กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ( $\text{g/cm}^3$ )

3.2.2.4 Maximum Concentration เป็นส่วนของความเข้มข้นสูงสุดที่กำหนดในแต่ละพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ แบบจำลองจะทำการคำนวณค่าความเข้มข้นจนถึงระดับความเข้มข้นที่กำหนดจะสิ้นสุดการคำนวณ

3.2.2.5 Boundary/Load Scale & Conversion Factor เป็นการกำหนดในกรณีที่ต้องการให้แบบจำลองคำนวณผลจากการเกิดมลพิษ หรือ Boundary Condition ที่เกิดจากการเพิ่มหรือลดปริมาณภาระมลพิษ (Loads) ลงสู่ระบบ เช่น หากต้องการดูผลจากการเพิ่ม Loads เป็น 2 เท่า ให้ตั้งค่า Scale factor เป็น 2 แทนการใส่ข้อมูลเพิ่ม

3.2.3 Segmentation Screen เป็นการกำหนดจำนวน ปริมาตร ค่าดัชนีสิ่งแวดล้อม และความเข้มข้นของสาร (Constituent Concentration) ของแต่ละ Segments ที่มีความสัมพันธ์กับพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่เลือก

3.2.3.1 Segment Definition เป็นการใส่ข้อมูล Geometry Information ในแต่ละ Segments

- Segment Naming Conversion ใส่ชื่อของ Segments ตามความต้องการของผู้ป้อนข้อมูล และความเหมาะสมของโครงการที่ศึกษา โดยในการศึกษาครั้งนี้ได้แบ่งแม่น้ำแม่กลองออกเป็น 70 Segments

- Volume ปริมาตรของแต่ละ Segments ในหน่วย ลูกบาศก์เมตร ( $\text{m}^3$ )

- Water Velocity/Depth เป็นการใส่ข้อมูลเกี่ยวกับความเร็วและความลึกของลำน้ำ

- Bottom Segment ในการศึกษาครั้งนี้ในแต่ละ Segments ไม่ได้มีการแบ่ง Segments ในแนวตั้ง ค่า Bottom Segment จึงกำหนดอยู่ที่ None

3.2.3.2 Segment Environmental Parameter เป็นการป้อนข้อมูล Environmental Parameter ที่จะนำมาพิจารณาในการคำนวณ เช่น ค่าอุณหภูมิ ความเร็วของลำน้ำ ค่า pH เป็นต้น จะเป็นการใส่เพื่อคำนวณหาค่าพารามิเตอร์นั้นใน Segments ถัดไป

3.2.3.3 Initial Concentration ผู้ป้อนข้อมูลต้องใส่ค่า Initial Condition ของค่า BOD ในแต่ละ Segments

3.2.3.4 Fraction Dissolved เป็นค่า Fraction Dissolved เริ่มต้นของการคำนวณในแต่ละ Segments ซึ่งในค่า BOD กำหนดให้มีค่าเท่ากับ 1.0

3.2.4 Segment Parameter Scale Factors เป็นส่วนต่อเนืองที่กำหนดไว้ใน Scale Factor ในการคำนวณกำหนดให้ Scale Factors มีค่าเท่ากับ 1.0 จึงใส่ค่า Segment Parameter ที่เป็นข้อมูลชุดเดียวกัน

3.2.5 Dispersion ในส่วนนี้ประกอบด้วย 4 ตาราง ในกรณีที่เลือกคำนวณ Surface Water Toxicant จะต้องเลือก Water Column Dispersion เป็น Preprocessor หรือ กำหนดตัวเลขของ Exchange Field เท่ากับ 1.0

3.2.5.1 Exchange Fields เป็นตารางแรกที่อยู่ทางบนซ้ายของ Screen ในส่วนนี้ผู้ป้อนข้อมูลต้องเลือก Types of Exchange ซึ่งมี 2 ชนิด

- Surface Water Exchange เป็นการศึกษาในส่วนที่เป็น Surface Water

- Pore Water Exchange เป็นการศึกษาในส่วนที่เป็น Bed ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้เลือกใช้ชนิดแรก คือ Surface Water Exchange

3.2.5.2 Dispersion Function ในแต่ละ Exchange Field จะสามารถ กำหนด Exchange Function ได้ 10 Exchange Function และในแต่ละค่าจะมีให้กำหนดค่า Exchange Segment แต่ละคู่ และจะเชื่อมโยงกับ Dispersion Time Function

- Segment Pairs เป็นการใส่ค่าการเปลี่ยนแปลงที่เกิดขึ้น ระหว่าง Segments

- Cross Sectional Area เป็นการกำหนดพื้นที่หน้าตัดในแต่ละค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion Coefficients) ที่เกี่ยวเนื่องกับพื้นที่ที่จะเกิดการ ผสมกัน ซึ่งเป็นส่วนของพื้นที่สัมผัสในแนวตั้งใน Segment Pairs ที่ติดกันที่มีการเปลี่ยนแปลง

- Characteristic Mixing Length เป็นระยะทางที่มีผลต่อ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย

3.2.5.3 Dispersion Time Function เป็นการกำหนดค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายระหว่าง Segment ที่ติดกัน

3.2.6 Flows ชนิดของการไหลมี 6 ชนิด คือ

- Surface Water Flow
- Pore Water
- Solid Transport 1
- Solid Transport 2
- Solid Transport 3
- Evaporation / Precipitation

### 3.2.6.1 Flow Function

- Segment Flow เป็นการกำหนดค่าการไหลของแต่ละ Segment

- Fraction of Flow เป็นการใส่ค่า Fraction of The Flow ที่เคลื่อนย้ายจาก Segment หนึ่งไปยังอีก Segment หนึ่ง

3.2.6.2 Flow Time Function เป็นการป้อนข้อมูลเวลาการไหลที่เปลี่ยนแปลงตามเวลา

3.2.7 Boundary Condition ค่า Boundary Condition จะกำหนดในแต่ละ Segment ที่มีการไหลของน้ำเข้าและออกจาก Segments ซึ่งจะมีการคำนวณในแต่ละ Boundary ในแต่ละ Segments โดยสามารถใส่ค่า Boundary Condition ให้เปลี่ยนแปลงตามเวลาได้

3.2.8 Loads เป็นส่วนที่ใส่ค่าภาระมลพิษที่เกิดขึ้นในแต่ละ Segments ลงในแบบจำลอง โดยการประเมินภาระมลพิษที่เกิดขึ้นอธิบายไว้ในหัวข้อ 4.3

3.2.9 Time Function เป็นการกำหนดค่า Environmental & Kinetic Time

3.2.10 Validity Check เป็นการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลที่ป้อนในแบบจำลอง

3.2.11 Model Execution เป็นการสั่งให้แบบจำลองเริ่มคำนวณตามข้อมูลที่ป้อนเอาไว้

รายละเอียดการป้อนข้อมูลพื้นฐานลงแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP แสดงดังตารางที่ 4.1 ถึง ตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาตรของแต่ละ segment

segment	volume (m <sup>3</sup> )	segment	volume (m <sup>3</sup> )	segment	volume (m <sup>3</sup> )
MK1	2.64E+06	MK25	1.98E+06	MK49	2.37E+06
MK2	2.50E+06	MK26	2.58E+06	MK50	2.46E+06
MK3	3.30E+06	MK27	2.10E+06	MK51	2.59E+06
MK4	3.00E+06	MK28	2.48E+06	MK52	2.59E+06
MK5	2.73E+06	MK29	3.50E+06	MK53	2.81E+06
MK6	4.13E+06	MK30	2.28E+06	MK54	2.20E+06
MK7	4.00E+06	MK31	2.16E+06	MK55	2.40E+06
MK8	1.14E+07	MK32	2.04E+06	MK56	2.70E+06
MK9	4.20E+06	MK33	2.00E+06	MK57	2.75E+06
MK10	1.85E+06	MK34	2.10E+06	MK58	3.30E+06
MK11	2.05E+06	MK35	2.40E+06	MK59	3.00E+06
MK12	2.60E+06	MK36	1.98E+06	MK60	2.70E+06
MK13	3.01E+06	MK37	2.40E+06	MK61	1.65E+06
MK14	4.20E+06	MK38	2.58E+06	MK62	1.80E+06
MK15	2.25E+06	MK39	2.70E+06	MK63	2.50E+06
MK16	6.75E+06	MK40	2.10E+06	MK64	2.40E+06
MK17	3.42E+06	MK41	2.34E+06	MK65	3.60E+06
MK18	1.98E+06	MK42	2.93E+06	MK66	2.70E+06
MK19	5.60E+06	MK43	2.35E+06	MK67	2.70E+06
MK20	4.00E+06	MK44	2.52E+06	MK68	2.30E+06
MK21	3.20E+06	MK45	2.28E+06	MK69	2.40E+06
MK22	3.50E+06	MK46	2.22E+06	MK70	2.00E+06
MK23	3.20E+06	MK47	2.22E+06		
MK24	1.62E+06	MK48	2.40E+06		

หมายเหตุ ทุก segment เล็ก segment type เป็น surface water segment

ตารางที่ 4.2 รายละเอียดการป้อนข้อมูลลงแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP

function	detail
Model type	Eutrophication
Hydrodynamics	Net Flow
System Option	เลือก Simulate ที่ช่อง DO และ CBOD1 ช่องอื่นเลือก Bypassed
Exchange field	Surface Water Exchange
Flow Function	Surface Flow Function
Initial Condition	- DO 4.5 mg/l - CBOD 2.0 mg/l
Boundary Condition	- DO 7.0 mg/l - CBOD 1.0 mg/l
Time Step	WASP Calculated

4. ทำการปรับเทียบ (calibrate) แบบจำลอง โดยนำข้อมูลที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มาปรับเทียบกับค่าที่ได้จากสถานีตรวจคุณภาพน้ำ โดยผลของการปรับเทียบค่าทั้งสองจะต้องใกล้เคียงกันมากที่สุด โดยใช้ค่า root mean square error ในการเปรียบเทียบ

5. เก็บตัวอย่างน้ำเพื่อนำมาตรวจสอบความถูกต้อง (verify) ของแบบจำลอง โดยรายละเอียดของการเก็บตัวอย่างมีดังนี้

#### 5.1 จุดเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างบริเวณเดียวกับสถานีตรวจคุณภาพน้ำของกรมควบคุมมลพิษ ซึ่งมี 4 สถานี รวมทั้งกำหนดจุดเก็บตัวอย่างน้ำเพิ่มความเหมาะสม ตารางที่ 4.3 ตารางที่ 4.3 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในการเก็บตัวอย่างน้ำภาคสนาม

จุดที่	สถานที่	อำเภอ	จังหวัด	UTM
1	วัดบ้านใหม่	ท่าม่วง	กาญจนบุรี	47P 0569772,1540771
2	สวนสาธารณะท่าเรือพระแท่น	ท่ามะกา	กาญจนบุรี	47P 0581057,1542256
3	วัดห้วยเหนียว	ท่ามะกา	กาญจนบุรี	47P 0582357,1537586
4	วัดดงสัก	ท่ามะกา	กาญจนบุรี	47P 0584864,1536633
5	วัดลาดบัวขาว	บ้านโป่ง	ราชบุรี	47P 0590698,1531376
6	วัดอู่ทุมพร	บ้านโป่ง	ราชบุรี	47P 0593637,1525668
7	วัดใหญ่นครชุมน์	โพธาราม	ราชบุรี	47P 0591797,1522759
8	วัดখনอน	โพธาราม	ราชบุรี	47P 0591527,1517692
9	วัดไทรอารีรักษ์	โพธาราม	ราชบุรี	47P 0591894,1514888

## 5.2 ช่วงเวลาเก็บตัวอย่าง

เก็บตัวอย่างในช่วงเดือนกุมภาพันธ์ 2550 เพื่อเป็นตัวแทนของคุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลองในช่วงที่มีปริมาณน้ำน้อย และเดือนสิงหาคม 2549 เพื่อเป็นตัวแทนช่วงน้ำมาก

## 5.3 พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์

พารามิเตอร์ที่วิเคราะห์ ได้แก่ อุณหภูมิ ค่า pH ปริมาณออกซิเจนละลาย และค่า BOD โดยวิธีวิเคราะห์และการเก็บรักษาตัวอย่างแสดงดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 วิธีวิเคราะห์และการเก็บรักษาตัวอย่าง

พารามิเตอร์	วิธีวิเคราะห์	การเก็บรักษาตัวอย่าง
Temperature	direct	-
pH	direct	-
DO	direct	-
BOD	azide modification method	ice

## 6. ประเมิน TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน โดยมีขั้นตอนดังนี้

6.1 กำหนดค่าเป้าหมายของพารามิเตอร์ที่ทำการศึกษา โดยอ้างอิงจากคุณภาพน้ำประเภทที่ 3 ตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ที่กำหนดโดยประกาศคณะกรรมการสิ่งแวดล้อมแห่งชาติ ฉบับที่ 8 (พ.ศ.2537) เรื่องกำหนดมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน ซึ่งมีรายละเอียด ดังตารางที่ 4.5

ตารางที่ 4.5 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3

พารามิเตอร์	เกณฑ์กำหนดสูงสุด
DO	ไม่ต่ำกว่า 4.0 mg/l
BOD	ไม่สูงกว่า 2.0 mg/l

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2537)

6.2 กำหนดเงื่อนไขการจัดการ (scenario) เพื่อจำลองสภาพการปล่อยของเสีย โดย scenario ที่กำหนดจะมีลักษณะเป็น load reduction scenario โดยรวมกรณีวิกฤต (worse case) เอาไว้ด้วย จากนั้นประมวลผลด้วยแบบจำลองตาม scenario ที่กำหนดไว้

6.3 นำค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองในแต่ละ scenario มาเปรียบเทียบกับค่าเป้าหมายที่กำหนดไว้ในข้อ 6.1 เพื่อพิจารณาว่าค่าที่ได้จากแบบจำลองเกินเป้าหมายที่กำหนดไว้หรือไม่

6.4 เลือก scenario ที่ประมวลผลด้วยแบบจำลองแล้วค่าคุณภาพน้ำไม่เกินค่าเป้าหมายในข้อ 6.1 และใช้ scenario นั้นเป็นพื้นฐานในการคำนวณ TMDL ของค่า BOD และประเมินปริมาณของเสียจากแหล่งกำเนิดต่างๆ โดย TMDL ประกอบด้วยส่วนต่างๆ ดังนี้

$$\text{TMDL} = \sum \text{WLA} + \sum \text{LA} + \text{MOS}$$

โดยที่ WLA = Waste Load Allocation for point sources discharge

LA = Load Allocation for non-point sources

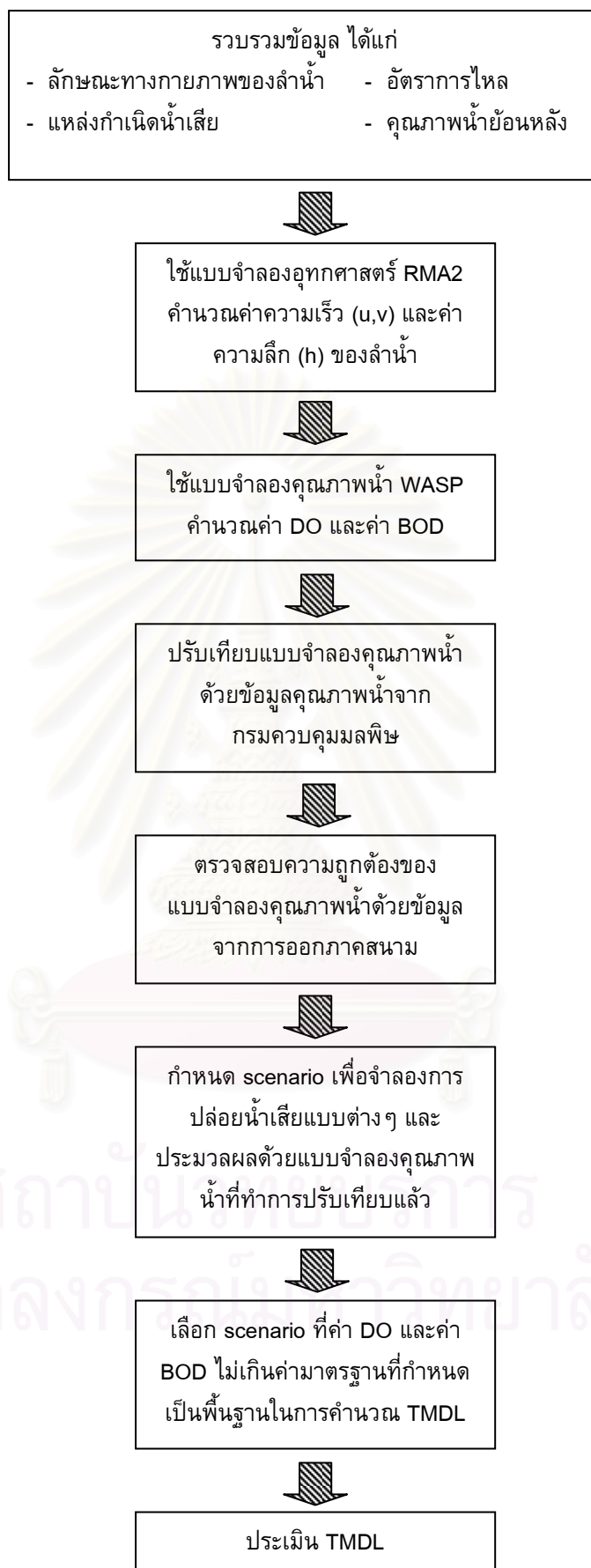
MOS = Margin of Safety

## 7. วิเคราะห์ สรุปผล และเสนอแนะ

ขั้นตอนในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำสามารถสรุปได้ดังภาพที่ 4.4



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 4.4 ขั้นตอนในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ

### 4.3 การประเมินภาระมลพิษ

ขั้นตอนการประเมินภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบนของการศึกษาในครั้งนี้ได้อ้างอิงจากวิทยานิพนธ์ เรื่อง การประเมินภาระมลพิษในลุ่มน้ำแม่กลอง (วราภรณ์ ทนงศักดิ์, 2547) ซึ่งมีรายละเอียด ดังนี้

#### 4.3.1 แหล่งกำเนิดมลพิษจากชุมชน

การประเมินปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นในแต่ละเทศบาลคำนวณจากปริมาณน้ำใช้จากอัตราการใช้น้ำเฉลี่ยของแต่ละขนาดชุมชน คูณด้วยจำนวนประชากรในแต่ละเทศบาล ใช้วิธีการคิดปริมาณน้ำเสียดังนี้ (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

ปริมาณการเกิดน้ำเสียเฉลี่ย	=	80% ของปริมาณน้ำใช้เฉลี่ย
ปริมาณน้ำซึมเข้าท่อรวบรวมน้ำเสีย	=	20% ของปริมาณการเกิดน้ำเสียเฉลี่ย
ปริมาณน้ำเสียรวมจากพื้นที่	=	ปริมาณการเกิดน้ำเสียเฉลี่ย + ปริมาณน้ำเสียซึมเข้าท่อรวบรวมน้ำเสีย
หรือปริมาณน้ำเสียรวมจากพื้นที่	=	96% ของปริมาณน้ำใช้

ส่วนการประเมินค่า BOD จากแหล่งกำเนิดมลพิษประเภทชุมชน ทำโดยนำค่าปริมาณน้ำเสียที่คำนวณได้คูณด้วยค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำที่กรมควบคุมมลพิษได้ประเมินไว้ คือ ค่า BOD มีค่าเฉลี่ยคุณภาพน้ำ เท่ากับ 122.00 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

#### 4.3.2 แหล่งกำเนิดมลพิษปศุสัตว์

จากรูปแบบการเลี้ยงปศุสัตว์ในพื้นที่ศึกษา พบว่า ฟาร์มสุกร ไก่ โค และการเลี้ยงปลา เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียหลักในพื้นที่ศึกษา ดังนั้นจึงเลือกประเมินค่าภาระมลพิษจากสุกร ไก่ โค และการเลี้ยงปลา เป็นสำคัญ ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

##### 4.3.2.1 การประเมินภาระมลพิษจากสุกร ไก่ และโค

1) การประเมินปริมาณน้ำเสีย สามารถประเมินได้จาก

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณน้ำเสียจากปศุสัตว์ (ลิตร/วัน)} &= \text{จำนวนตัว} \\ &\times \text{อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/} \\ &\quad \text{ตัว/วัน)} \end{aligned}$$

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียจากสุกร ไก่ และโค จากข้อมูลที่เคยมีการศึกษาไว้แล้ว ดังตารางที่ 4.3

2) การประเมินภาระมลพิษ สามารถประเมินได้จาก

$$\text{ค่าภาระมลพิษ (กก./วัน)} = \text{ปริมาณน้ำเสียจากปศุสัตว์ (ลิตร/วัน)} \\ \times \text{ค่าความเข้มข้น (mg/l)}$$

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ใช้ข้อมูลอัตราการเกิดน้ำเสียจากสุกร ไก่ และโค จากข้อมูลที่เคยมีการศึกษาไว้แล้ว ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 อัตราการเกิดน้ำเสีย และค่า BOD ของสุกร ไก่ และโค

ชนิดของสัตว์	อัตราการเกิดน้ำเสีย (ลิตร/ตัว/วัน)	ค่า BOD (mg/l)
สุกร*	40	3400
ไก่**	17	176.47
โค**	150	906.67

ที่มา: \*กรมควบคุมมลพิษ (2545), \*\*สำนักงานนโยบายและแผนสิ่งแวดล้อม (2538)

#### 4.3.2.2 การประเมินภาระมลพิษจากการเลี้ยงปลา

การประเมินภาระมลพิษจากการเลี้ยงปลา ประเมินจากปริมาณน้ำทิ้ง ซึ่งในการเลี้ยงปลาจะเกิดน้ำทิ้งเท่ากับ 4.38 ลบ.ม./ไร่/วัน และประเมินภาระมลพิษจาก

$$\text{ค่าภาระมลพิษ (กก./วัน)} = \text{ปริมาณน้ำเสียจากการเลี้ยงปลา (ลบ.ม./วัน)} \\ \times \text{ค่าความเข้มข้น (mg/l)}$$

จากการตรวจวัด พบว่า ค่า BOD ของน้ำทิ้งจากกิจกรรมเพาะเลี้ยงปลา เท่ากับ 18 mg/l (กรมควบคุมมลพิษ, 2545)

#### 4.3.3 แหล่งกำเนิดมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรม

การประเมินภาระมลพิษจากโรงงานอุตสาหกรรมในรูปของค่า BOD ทำดังนี้

$$\text{ปริมาณความสกปรกในรูปของ BOD (กก./วัน)} = \text{ค่า BOD (mg/l)} \\ \times \text{ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)} \\ \times 10^{-6}$$

#### 4.3.4 แหล่งกำเนิดมลพิษจากพื้นที่นาข้าว พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม

การประเมินภาระมลพิษจากการเกษตรกรรมครั้งนี้ใช้ข้อมูลการใช้ประโยชน์ที่ดินของกรมพัฒนาที่ดินปี พ.ศ.2543 ในการแบ่งประเภทการใช้ประโยชน์ที่ดิน โดยแบ่งพื้นที่ออกเป็น 3 ประเภท คือ พื้นที่นาข้าว พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม (รวมพื้นที่ที่เป็นพืชสวน และพืชไร่เข้าด้วยกัน)

##### 4.3.4.1 การประเมินปริมาณน้ำ

การคำนวณปริมาณน้ำใช้ในการเพาะปลูกทำโดยนำพื้นที่เพาะปลูกคูณด้วยอัตราการใช้น้ำต่อพื้นที่ ดังตารางที่ 4.7 ส่วนปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการเกษตรกรรมจะคิดจากปริมาณน้ำ Return Flow ซึ่งจะคิดเป็นร้อยละ 20 ของปริมาณน้ำที่นำไปใช้

ตารางที่ 4.7 ปริมาณการใช้น้ำของพืชในพื้นที่ลุ่มน้ำ

ชนิดพืช	ปริมาณการใช้น้ำ	หน่วย
นาข้าว	2,000	ลบ.ม./ไร่/จน.วันที่เพาะปลูก
ไม้ผล และพืชไร่	1,700 – 3,500	ลบ.ม./ไร่/ปี
ป่า	2,000 – 4,000	ลบ.ม./ไร่/ปี

ที่มา: วารสารอนุรักษ์ดินและน้ำ, ม.ป.ป.

##### 4.3.4.2 การประเมินภาระมลพิษจากพื้นที่นาข้าว พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เกษตรกรรม

นำค่าปริมาณน้ำเสียที่เกิดขึ้นจากการคำนวณในข้อ 4.2.4.1 คูณด้วยค่าความเข้มข้นที่มีการศึกษาตรวจวัดแล้ว ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ค่า mean run off concentration (mg/l) ของแต่ละประเภทการใช้ที่ดิน

ประเภทการใช้ที่ดิน	ค่า mean run off concentration ของ BOD (mg/l)
นาข้าว	3.83
ไม้ผล – พืชไร่	3.83
ป่าไม้	6.0

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2545)

## บทที่ 5

### ผลการศึกษา และอภิปรายผลการศึกษา

#### 5.1 ภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

##### 5.1.1 แหล่งกำเนิดชุมชน

การประเมินภาระมลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดชุมชนในการศึกษาดังนี้จะทำการประเมินจากชุมชนที่อยู่ห่างจากแม่น้ำแม่กลองไม่เกิน 1 กิโลเมตรเท่านั้น ซึ่งจากการศึกษาของวรารัตน์ ทนงศักดิ์ (2547) พบว่า มีอยู่ด้วยกัน 10 เทศบาล แสดงดังตารางที่ 5.1

ตารางที่ 5.1 จำนวนประชากรในเทศบาลที่อยู่ห่างจากแม่น้ำแม่กลองไม่เกิน 1 กิโลเมตร

จังหวัด	เทศบาล	อำเภอ	ประชากร (คน)
กาญจนบุรี	เทศบาลตำบลท่าม่วง	ท่าม่วง	11,502
	เทศบาลตำบลท่าเรือ	ท่ามะกา	13,067
	เทศบาลตำบลท่าไม้	ท่ามะกา	8,628
	เทศบาลตำบลพระแท่น	ท่ามะกา	5,783
	เทศบาลตำบลห้วยเหนียว	ท่ามะกา	4,273
	เทศบาลตำบลท่ามะกา	ท่ามะกา	8,461
ราชบุรี	เทศบาลเมืองบ้านโป่ง	บ้านโป่ง	25,260
	เทศบาลตำบลท่าผา	บ้านโป่ง	20,693
	เทศบาลเมืองโพธาราม	โพธาราม	12,172
	เทศบาลตำบลเจ็ดเสมียน	โพธาราม	3,761
รวม			113,600

ที่มา: ดัดแปลงจากรวบรวม ทนงศักดิ์ (2547)

จากการประเมินภาระมลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดชุมชน พบว่า มีภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ทั้งสิ้นประมาณ 2,594.44 กิโลกรัมต่อวัน

### 5.1.2 แหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม

จากการรวบรวมข้อมูล พบว่า อุตสาหกรรมหลักในพื้นที่ศึกษาเป็นอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการแปรรูปสินค้าเกษตร โดยมีอุตสาหกรรมน้ำตาล และอุตสาหกรรมกระดาษเป็นอุตสาหกรรมหลักในพื้นที่ นอกจากนี้ยังมีโรงงานผลิตสุราของ บริษัท แสงโสม จำกัด เป็นแหล่งกำเนิดมลพิษหลักในพื้นที่ศึกษาอีกด้วย (วรารณ ทนงศักดิ์, 2547)

จากการประเมินภาระมลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม พบว่า มีภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ทั้งสิ้นประมาณ 44,854.58 กิโลกรัมต่อวัน

### 5.1.3 แหล่งกำเนิดปศุสัตว์

จากรูปแบบการเลี้ยงปศุสัตว์ในพื้นที่ศึกษา พบว่า ฟาร์มสุกร ไก่ โค และการเลี้ยงปลา เป็นแหล่งกำเนิดน้ำเสียหลักในพื้นที่ศึกษา (วรารณ ทนงศักดิ์, 2547) โดยจากการประเมินภาระมลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดปศุสัตว์ พบว่า มีภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ทั้งสิ้นประมาณ 5,921.60 กิโลกรัมต่อวัน

### 5.1.4 แหล่งกำเนิดเกษตรกรรม

การประเมินภาระมลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเกษตรกรรมในการศึกษาครั้งนี้ จะแบ่งเป็นมลพิษที่เกิดจากพื้นที่นาข้าว พื้นที่ป่าไม้ และพื้นที่เพาะปลูกพืชสวนและพืชไร่ โดยแหล่งกำเนิดแต่ละประเภทมีพื้นที่ แสดงดังตารางที่ 5.2

ตารางที่ 5.2 พื้นที่และการใช้น้ำในการเกษตรกรรมในพื้นที่ศึกษา

ชนิดพืช	พื้นที่ (ตร.กม.)	ปริมาณการใช้น้ำ (ลบ.ม./ปี)
นาข้าว	403.39	504,240,455.00
ไม้ผลและพืชไร่	1,007.47	2,203,840,625.00
ป่าไม้	44.97	112,423,045.00
<b>รวม</b>	<b>1,455.83</b>	<b>2,820,504,125.00</b>

ที่มา: ดัดแปลงจากรวราภรณ์ ทนงศักดิ์ (2547)

จากการประเมินภาระมลพิษที่เกิดจากแหล่งกำเนิดเกษตรกรรม พบว่า มีภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ทั้งสิ้นประมาณ 6,052.87 กิโลกรัมต่อวัน

ดังนั้น เมื่อรวมภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนทั้งหมด พบว่า แม่น้ำแม่กลองตอนบนมีภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ทั้งสิ้น 59,423.49 กิโลกรัมต่อวัน แยกเป็น ภาระมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (point source) 47,449.02

กิโลกรัมต่อวัน และภาระมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอน (non-point source) 11,974.47 กิโลกรัมต่อวัน

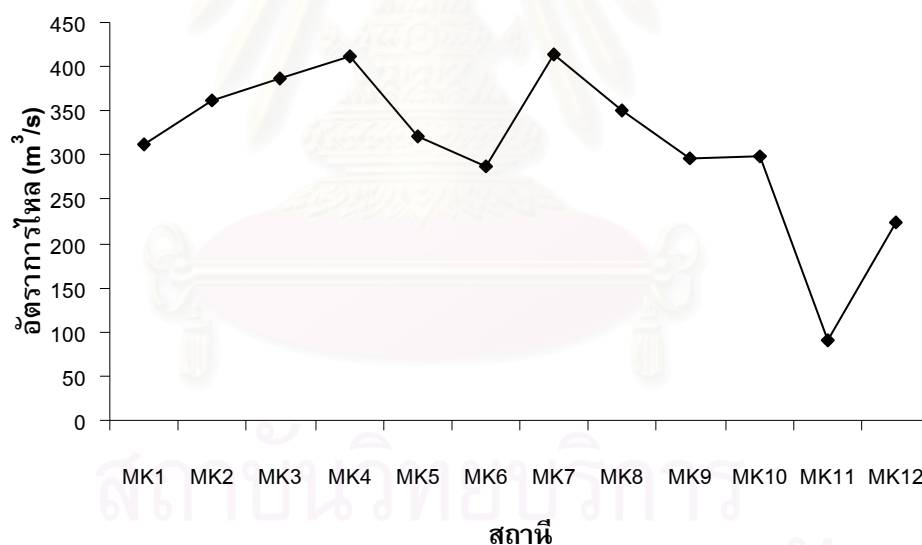
## 5.2 การเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2

### 5.2.1 อัตราการไหลของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบน

ขั้นตอนแรกของการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 คือ การรวบรวมข้อมูลเพื่อใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลอง ซึ่งข้อมูลที่สำคัญ ได้แก่ อัตราการไหลของน้ำ โดยข้อมูลอัตราการไหลของแม่น้ำแม่กลองที่ใช้ในการศึกษาครั้งนี้ได้มาจากรายงานการวิจัย เรื่อง ศักยภาพของการพัฒนาลุ่มน้ำที่มีต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง (สิทธิชัย ตันธนะสุภะดี, 2547) ซึ่งนำข้อมูลอัตราการไหลของแม่น้ำแม่กลองมาจากสถานีวัดน้ำของกรมชลประทานในปี พ.ศ.2546 และวัดเพิ่มในบางจุด โดยแบ่งอัตราการไหลของน้ำออกเป็น 2 ช่วง คือ ช่วงฤดูฝน (เดือนพฤษภาคม ถึง เดือนตุลาคม) และช่วงฤดูแล้ง (เดือนพฤศจิกายน ถึง เดือนเมษายน)

#### 5.2.1.1 ช่วงฤดูฝน

อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบนของแต่ละสถานีในช่วงฤดูฝน แสดงดังภาพที่ 5.1

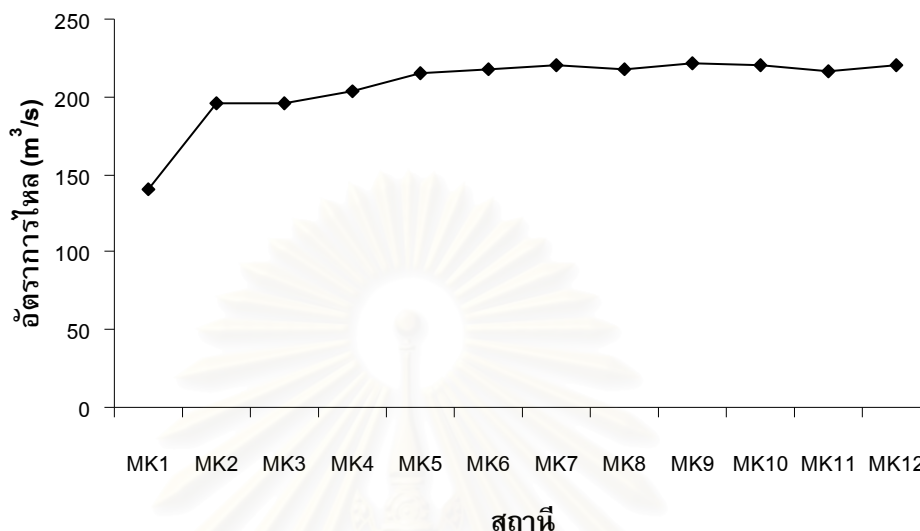


ภาพที่ 5.1 อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูฝน

โดยการนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลของแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 จะนำเข้าเฉพาะค่าอัตราการไหลของจุดที่เริ่มทำการจำลองเท่านั้น ซึ่งในการศึกษาครั้งนี้ คือ บริเวณท้ายเขื่อนแม่กลอง (สถานี MK1) โดยมีอัตราการไหลเฉลี่ย เท่ากับ 311.5 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที (m<sup>3</sup>/s)

### 5.2.1.2 ช่วงฤดูแล้ง

อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบนของแต่ละสถานีในช่วงฤดูแล้ง แสดงดังภาพที่ 5.2



ภาพที่ 5.2 อัตราการไหลเฉลี่ยของน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูแล้ง

โดยข้อมูลอัตราการไหลที่นำเข้าแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 คือ อัตราการไหลเฉลี่ยที่สถานี MK1 ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $140.83 \text{ m}^3/\text{s}$

### 5.2.2 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2

โดยทั่วไปแล้วในการจำลองสภาพการไหลของน้ำด้วยแบบจำลองอุทกศาสตร์ พารามิเตอร์สำคัญที่ต้องทำการเปรียบเทียบ คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ( $n$ ) ซึ่งเป็นค่าที่บอกถึงลักษณะของท้องน้ำของแหล่งน้ำที่ทำการศึกษา (กรีติ ลีวัจนกุล, ม.ป.ป.) แต่เนื่องจากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 เป็นแบบจำลองแบบ 2 มิติ จึงมีพารามิเตอร์อื่นที่เกี่ยวข้องกับการจำลองสภาพการไหลด้วย คือ ค่า eddy viscosity ( $E_{xx}$ ) โดยค่า eddy viscosity เป็นพารามิเตอร์ที่บอกถึงลักษณะการไหลของน้ำหรือของไหลที่เกิดจากอิทธิพลของโมเมนตัมทำให้น้ำหรือของไหลมีการไหลในลักษณะหมุนวน (eddy)

ในการจำลองสภาพการไหลของแม่น้ำแม่กลองตอนบน (ไม่มีผลกระทบจากน้ำทะเลหนุน) พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ( $n$ ) มีค่าเท่ากับ 0.05 และค่า eddy viscosity มีค่าเท่ากับ  $10 \text{ m}^2/\text{s}$  ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกับผลการศึกษาของ นฤมล สังขประดิษฐ์ (2541) ที่ทำการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบน ซึ่งผลจากการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11 พบว่า มีค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนอยู่ระหว่าง 0.03 – 0.05 โดยผลของการเปรียบเทียบ และผลที่ได้จากแบบจำลอง (ค่าความเร็วของกระแสน้ำ) มีดังนี้

### 5.2.2.1 ช่วงฤดูฝน

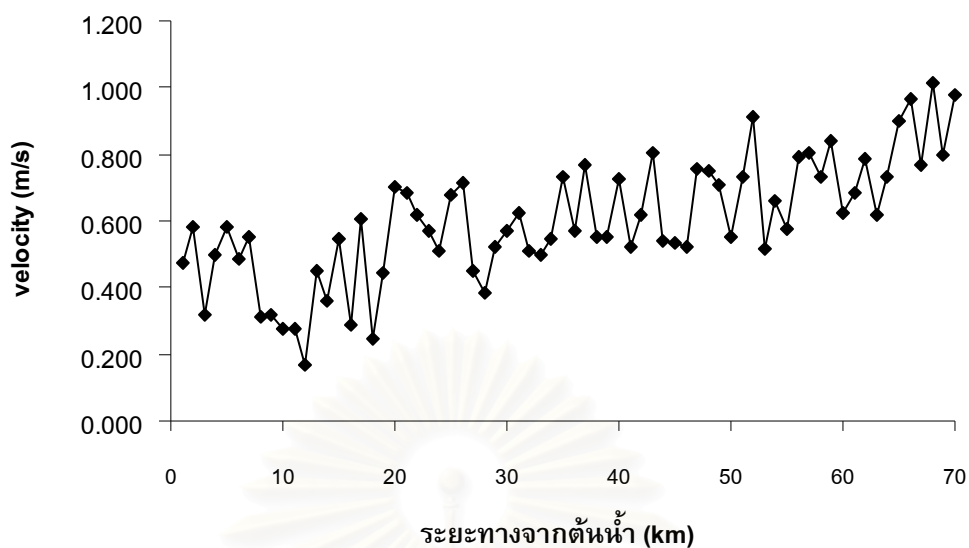
ข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 ได้แก่ ค่าความเร็วของกระแสน้ำ (velocity;  $v$ ) มีหน่วยเป็นเมตรต่อวินาที (m/s) ซึ่งได้มาจากการเก็บข้อมูลในภาคสนามวันที่ 19 สิงหาคม 2549 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.3

ตารางที่ 5.3 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในช่วงฤดูฝน

จุดเก็บ ที่	velocity		error
	computed	observe	
1	0.53	0.45	0.0795
2	0.75	0.64	0.1125
3	0.72	0.61	0.108
4	0.54	0.46	0.081
5	0.57	0.48	0.0855
6	0.58	0.49	0.087
7	0.67	0.57	0.1005
8	0.63	0.54	0.0945
9	0.7	0.60	0.105
<b>Root Mean Square Error</b>			0.09553

ส่วนค่าความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลอง แสดงดังภาพที่ 5.3

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.3 ความเร็วของกระแสน้ำในฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2

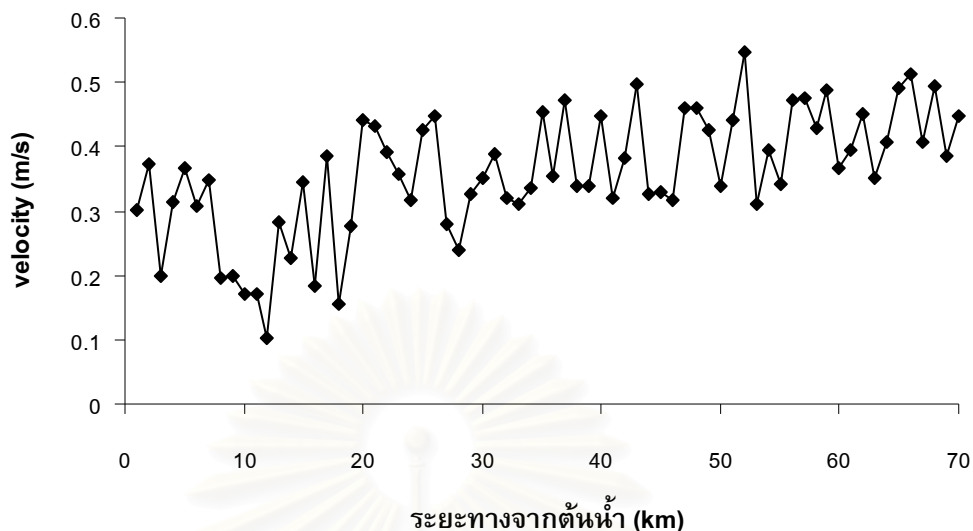
#### 5.2.2.2 ช่วงฤดูแล้ง

ข้อมูลที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 ในช่วงฤดูแล้งได้มาจากการเก็บข้อมูลภาคสนามในวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2550 และเมื่อนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลที่ได้จากแบบจำลอง ได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5.4

ตารางที่ 5.4 ผลการเปรียบเทียบข้อมูลที่ได้จากแบบจำลองกับข้อมูลที่ได้จากการสำรวจในช่วงฤดูแล้ง

จุดเก็บ ที่	velocity		error
	computed	observe	
1	0.33	0.4	-0.07
2	0.47	0.51	-0.04
3	0.45	0.6	-0.15
4	0.33	0.29	0.04
5	0.35	0.38	-0.03
6	0.34	0.35	-0.01
7	0.4	0.43	-0.03
8	0.36	0.31	0.05
9	0.36	0.4	-0.04
<b>Root Mean Square Error</b>			0.06377

ส่วนค่าความเร็วของกระแสน้ำที่ได้จากแบบจำลอง แสดงดังภาพที่ 5.4



ภาพที่ 5.4 ความเร็วของกระแสน้ำในฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2

อย่างไรก็ดี ข้อมูลอัตราการไหลที่นำเข้าแบบจำลอง และข้อมูลความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลแบบค่าเฉลี่ย ดังนั้น ผลการจำลองจึงเป็นเพียงค่าที่ยอมรับได้ในระดับการวางแผนเท่านั้น

### 5.3 การเลือกแบบจำลองคุณภาพน้ำที่ใช้ในการศึกษา

ในขั้นตอนการวางแผนการศึกษาผู้วิจัยได้วางแผนที่จะใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำแบบ 2 มิติ RMA4 เนื่องจากแบบจำลองคุณภาพน้ำ RMA4 เป็นแบบจำลองย่อย (module) แบบจำลองหนึ่งของโปรแกรมคอมพิวเตอร์ SMS เช่นเดียวกับแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 โดยแบบจำลองคุณภาพน้ำ RMA4 สามารถเชื่อมต่อกับแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 เพื่อนำค่าความเร็วและความลึกของกระแสน้ำ (output ของ RMA2) มาใช้เป็นข้อมูลนำเข้าของแบบจำลองได้โดยตรง และอีกเหตุผลหนึ่ง คือ การใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำแบบ 2 มิติอาจให้ผลที่สอดคล้องกับภาพความเป็นจริงมากขึ้น เนื่องจากในธรรมชาติแล้วแม่น้ำมีความคดเคี้ยวและมีบางช่วงที่แม่น้ำมีลักษณะเป็นแอ่งกว้างทำให้น้ำไหลช้า ไม่ค่อยหมุนเวียนทำให้อาจเกิดการสะสมของมลพิษบริเวณนั้นได้ แต่จากการศึกษาแบบจำลองคุณภาพน้ำ RMA4 พบว่าแบบจำลองคุณภาพน้ำ RMA4 มีข้อจำกัดที่ทำให้แบบจำลองนี้ไม่เหมาะสมกับการจำลองค่า DO และค่า BOD เนื่องจากเป็นแบบจำลองที่ออกแบบมาเพื่อเน้นในงานด้านการติดตามมลสารในแหล่งน้ำ เน้นการจำลองการเคลื่อนที่ของมลสาร (transportation of pollutant) แต่ไม่ได้คำนึงถึงกระบวนการย่อยสลายของสาร โดยเฉพาะสารประเภทสารอินทรีย์ที่มีกระบวนการในการย่อย

สลายที่ค่อนข้างซับซ้อน ซึ่งในการจำลองค่า DO และค่า BOD จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องคำนึงถึงกระบวนการย่อยสลายออกซิเจน และอัตราการเติมอากาศลงสู่แหล่งน้ำ ผู้วิจัยจึงเลือกใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เวอร์ชัน 7.0 ที่พัฒนาโดย USEPA แทน เนื่องจากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เป็นแบบจำลองคุณภาพน้ำที่มีฟังก์ชันในการจำลองค่า DO และ ค่า BOD ที่ผู้ใช้สามารถกำหนดความซับซ้อนในการคำนวณได้ นอกจากนี้ แบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ยังเป็นแบบจำลองที่ USEPA แนะนำให้ใช้เป็นเครื่องมือในการประเมินค่า TMDL ของแหล่งน้ำ เนื่องจากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ถูกพัฒนาให้มีฟังก์ชันที่ง่ายต่อการปรับเพิ่มหรือลด load ในแต่ละเงื่อนไขการจัดการ (scenario) ซึ่งเป็นขั้นตอนสำคัญของการประเมินค่า TMDL ของแหล่งน้ำอีกด้วย

#### 5.4 การเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP

ในการจำลองคุณภาพน้ำด้วยแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ในการศึกษาครั้งนี้ ได้ใช้คำสั่งให้แบบจำลองคำนวณ time step ที่เหมาะสมในการจำลองคุณภาพน้ำ โดยใช้ระยะเวลาในการจำลอง 5 วัน ซึ่งอ้างอิงจากวิธีมาตรฐานในการวัดค่า BOD หลังจากปล่อยให้มีการย่อยสลายเป็นเวลา 5 วัน โดยในการจำลองสมมติให้มีการปล่อยมลพิษทุกวัน วันละ 1 ครั้ง เพื่อความสอดคล้องกับหลักการประเมินค่า TMDL ที่เป็นการพิจารณาถึงปริมาณมลพิษที่สามารถปล่อยลงสู่แหล่งน้ำได้ใน 1 วัน

จากนั้นจึงทำการเปรียบเทียบค่าคงที่ของแบบจำลอง โดยค่าคงที่ที่เกี่ยวข้องในการจำลองค่า DO และค่า BOD ในการศึกษาครั้งนี้ คือ ค่าคงที่ของการย่อยสลาย BOD ที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (BOD decay rate constant @ 20°C;  $k_d$ ) และค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส (reaeration rate constant @ 20°C;  $k_a$ ) โดยข้อมูลที่ใช้ในการเปรียบเทียบแบบจำลอง ได้แก่ ข้อมูลคุณภาพน้ำในปี พ.ศ.2546 จากรายงานการวิจัย เรื่อง ศักยภาพของการพัฒนาลุ่มน้ำที่มีต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง (สิทธิชัย ตันธนะสฤณี, 2547)

จากการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP พบว่า เพื่อให้ค่าคุณภาพน้ำที่คำนวณด้วยแบบจำลองมีค่าใกล้เคียงกับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในพื้นที่จริง จำเป็นต้องมีการกำหนดให้ค่า  $k_d$  ของแม่น้ำในแต่ละช่วงมีค่าที่แตกต่างกัน โดยในการแบ่งแม่น้ำเพื่อกำหนดค่า  $k_d$  จะแบ่งตามคุณลักษณะของน้ำเสียที่ถูกปล่อยลงสู่แม่น้ำ เนื่องจากในเงื่อนไข (assumption) ของแบบจำลอง Streeter-Phelps ซึ่งเป็นแบบจำลองพื้นฐานของแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP กำหนดไว้ว่า ค่าคงที่ของการย่อยสลาย BOD จะเป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของ BOD (Rinaldi, S. et al., 1979) กล่าวคือ หากความเข้มข้นของ BOD มีค่ามาก ค่าคงที่การย่อยสลาย BOD จะมีค่ามากตามไปด้วย นอกจากนี้ ค่า  $k_d$  ยังขึ้นกับ อุณหภูมิ และ

ลักษณะทางอุทกศาสตร์ของแหล่งน้ำอีกด้วย (Wright, R.M. et al., 1979) ดังนั้น ในการเปรียบเทียบแบบจำลองจึงแยกการเปรียบเทียบเป็น 2 ชุด โดยมีรายละเอียดดังนี้

#### 5.4.1 การเปรียบเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูฝน

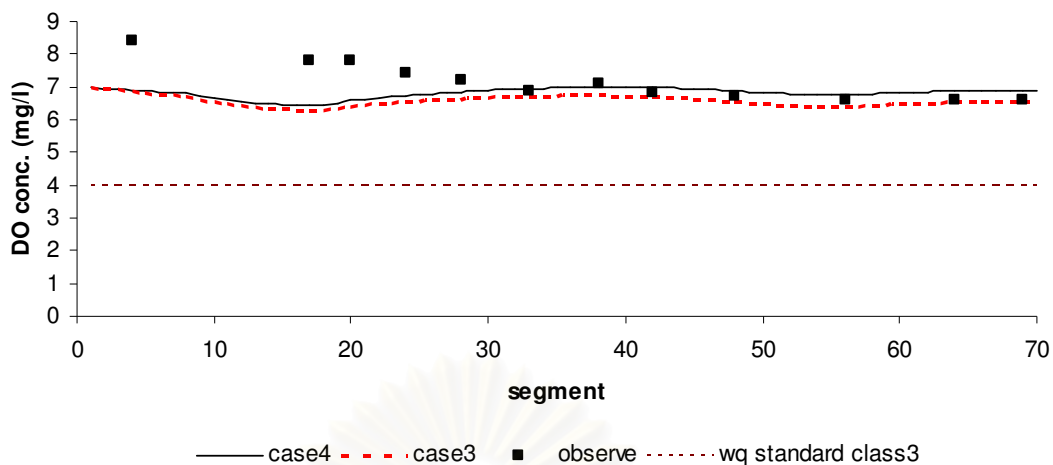
ในการปรับเทียบค่า  $k_d$  และค่า  $k_a$  ใช้วิธีลองผิดลองถูก (trial & error) โดยกำหนดค่าเริ่มต้นด้วยการอ้างอิงจากผลของการเปรียบเทียบแบบจำลอง MIKE11 เพื่อใช้คาดการณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบน (นฤมล สังขประดิษฐ์, 2541) โดยมีค่า  $k_d = 0.23 \text{ day}^{-1}$  และค่า  $k_a = 0.25 \text{ day}^{-1}$  รายละเอียดของการปรับเทียบแสดงดังตารางที่ 5.5

ตารางที่ 5.5 การกำหนดค่า  $k_d$  และค่า  $k_a$  ในการปรับเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูฝน

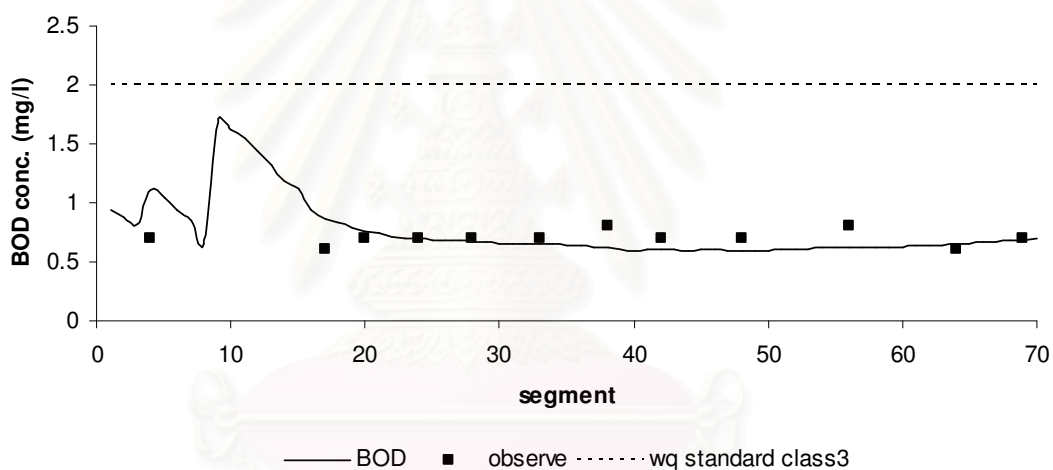
กรณี ที่	$k_d$ ( $\text{day}^{-1}$ )			$k_a$ ( $\text{day}^{-1}$ )	RMSE*	
	segment ที่ 1-16	segment ที่ 17-44	segment ที่ 45-70	segment ที่ 1-70	DO	BOD
1	0.6	0.2	0.2	0.2	0.9032	0.2480
2	0.6	0.2	0.2	0.25	0.7485	0.2482
3	0.75	0.25	0.3	0.25	0.8160	0.1663
4	<b>0.75</b>	<b>0.25</b>	<b>0.3</b>	<b>0.30</b>	<b>0.9039</b>	<b>0.1985</b>

\*RMSE = Root Mean Square Error

จากตารางที่ 5.5 จะเห็นว่าในกรณีที่ 3 ให้ค่า RMSE น้อยที่สุด แต่เมื่อเปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าจากการวัดแล้วพบว่า เป็นแบบ underestimate ทั้งหมด แต่ค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองในกรณีที่ 4 มีทั้งช่วงที่เป็น underestimate และ overestimate ดังนั้นจึงเลือกค่า  $k_d$  และค่า  $k_a$  ในกรณีที่ 4 เป็นตัวแทนค่า  $k_d$  และค่า  $k_a$  ที่ใช้ในการจำลองคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝน โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดได้ผลแสดงดังภาพที่ 5.5 และภาพที่ 5.6



ภาพที่ 5.5 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากแบบจำลอง  
กับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูฝน



ภาพที่ 5.6 การเปรียบเทียบค่า BOD ที่ได้จากแบบจำลอง  
กับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูฝน

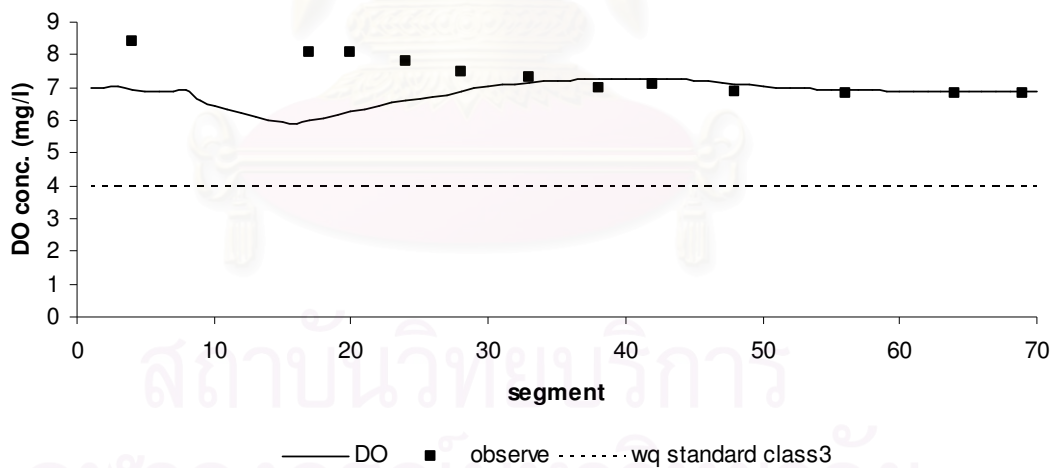
#### 5.4.2 การปรับเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูแล้ง

การปรับเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูแล้งทำเช่นเดียวกับในช่วงฤดูฝน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 5.6

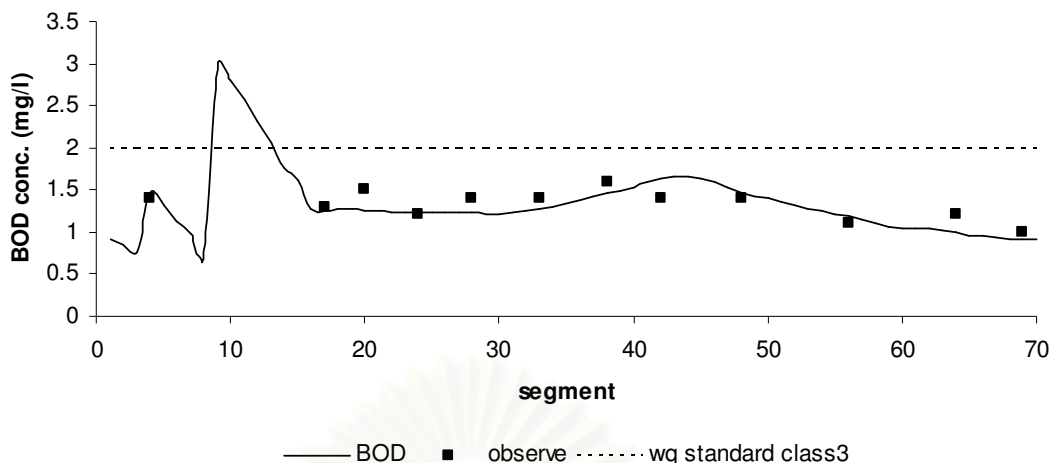
ตารางที่ 5.6 การกำหนดค่า  $k_d$  และค่า  $k_a$  ในการปรับเทียบแบบจำลองในช่วงฤดูแล้ง

กรณี ที่	$k_d$ ( $\text{day}^{-1}$ )			$k_a$ ( $\text{day}^{-1}$ )	RMSE	
	segment ที่ 1-16	segment ที่ 17-44	segment ที่ 45-70	segment ที่ 1-70	DO	BOD
1	0.50	0.125	0.125	0.25	1.2433	0.2760
2	0.25	0.125	0.125	0.20	1.6199	0.2760
3	0.50	0.1875	0.1875	0.25	1.3518	0.4727
4	0.50	0.25	0.25	0.25	1.3291	0.5026
5	0.50	0.075	0.25	0.25	1.2119	0.1450
<b>6</b>	<b>0.50</b>	<b>0.075</b>	<b>0.25</b>	<b>0.30</b>	<b>1.0018</b>	<b>0.1450</b>

จากตารางที่ 5.6 จะเห็นว่าค่า RMSE ในกรณีที่ 6 มีค่าน้อยที่สุด ดังนั้นจึงเลือกค่า  $k_d$  และค่า  $k_a$  ในกรณีที่ 6 เป็นตัวแทนค่า  $k_d$  และค่า  $k_a$  ที่ใช้ในการจำลองคุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้ง โดยเมื่อทำการเปรียบเทียบค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดได้ผลแสดงดังภาพที่ 5.7 และภาพที่ 5.8



ภาพที่ 5.7 การเปรียบเทียบค่า DO ที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูแล้ง



ภาพที่ 5.8 การเปรียบเทียบค่า BOD ที่ได้จากแบบจำลอง  
กับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดในช่วงฤดูแล้ง

สำหรับการเปรียบเทียบแบบจำลองในทั้งสองฤดู จะเห็นว่า ในการเปรียบเทียบค่า  $k_d$  ได้ทำการแบ่งลำน้ำออกเป็น 3 ช่วง โดยใช้เกณฑ์คุณลักษณะของน้ำเสียที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ เป็นการแบ่ง เนื่องจากค่า  $k_d$  เป็นสัดส่วนกับความเข้มข้นของ BOD (Rinaldi, S. et al., 1979) โดยในช่วง segment ที่ 1 ถึง 16 เป็นช่วงที่แม่น้ำไหลผ่านโรงงานอุตสาหกรรมกระดาษ และ โรงงานสุรา ซึ่งมีการปล่อยน้ำที่มีค่า BOD ค่อนข้างสูง ดังนั้นค่า  $k_d$  ของแม่น้ำในช่วงนี้จึงควรมีค่าที่สูงกว่าช่วงอื่น ส่วนในช่วง segment ที่ 17 ถึง 44 เป็นช่วงที่แม่น้ำไหลผ่านพื้นที่เกษตรกรรม และชุมชนเบาบาง น้ำเสียที่ระบายลงสู่แหล่งน้ำมีความเข้มข้นของ BOD ไม่สูงมาก ค่า  $k_d$  ของแม่น้ำในช่วงนี้จึงควรมีค่าที่ต่ำกว่าช่วงอื่น ส่วนใน segment ที่ 45 ถึง 70 เป็นช่วงที่แม่น้ำไหลผ่านแหล่งชุมชนหนาแน่น และโรงงานอุตสาหกรรม ค่า  $k_d$  ของแม่น้ำบริเวณนี้จึงควรมีค่าที่สูงขึ้น ซึ่งหากพิจารณาผลการเปรียบเทียบค่า  $k_d$  แล้ว พบว่า ค่า  $k_d$  ของแม่น้ำในช่วงต่างๆ เป็นไปตามเหตุผลที่กล่าวมาข้างต้น

## 5.5 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP

ในการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ในการศึกษารั้งนี้ ทำโดยการนำผลที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองที่ทำการเปรียบเทียบแล้ว มาเปรียบเทียบกับ ข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้จากการออกภาคสนาม โดยรายละเอียดของการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP มีดังนี้

### 5.5.1 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากการออกภาคสนาม

ในการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการออกเก็บตัวอย่างน้ำ 2 ครั้ง คือ วันที่ 19 สิงหาคม 2549 เพื่อใช้เป็นตัวแทนคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝน และ 11 กุมภาพันธ์ 2550 เพื่อใช้เป็นตัวแทนคุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้ง โดยรายละเอียดและผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำ แสดงดังตารางที่ 5.7 ถึง ตารางที่ 5.9

ตารางที่ 5.7 จุดเก็บตัวอย่างน้ำในการเก็บตัวอย่างน้ำภาคสนาม

จุดที่	สถานที่	อำเภอ	จังหวัด	UTM
1	วัดบ้านใหม่	ท่าม่วง	กาญจนบุรี	47P 0569772,1540771
2	สวนสาธารณะท่าเรือพระแท่น	ท่ามะกา	กาญจนบุรี	47P 0581057,1542256
3	วัดห้วยเหินยิว	ท่ามะกา	กาญจนบุรี	47P 0582357,1537586
4	วัดดงสัก	ท่ามะกา	กาญจนบุรี	47P 0584864,1536633
5	วัดลาดบัวขาว	บ้านโป่ง	ราชบุรี	47P 0590698,1531376
6	วัดอู่ทุมพร	บ้านโป่ง	ราชบุรี	47P 0593637,1525668
7	วัดใหญ่นครชุมน์	โพธาราม	ราชบุรี	47P 0591797,1522759
8	วัดขนอน	โพธาราม	ราชบุรี	47P 0591527,1517692
9	วัดไทรอารีรักษ์	โพธาราม	ราชบุรี	47P 0591894,1514888

ตารางที่ 5.8 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากการออกภาคสนามวันที่ 19 สิงหาคม 2549

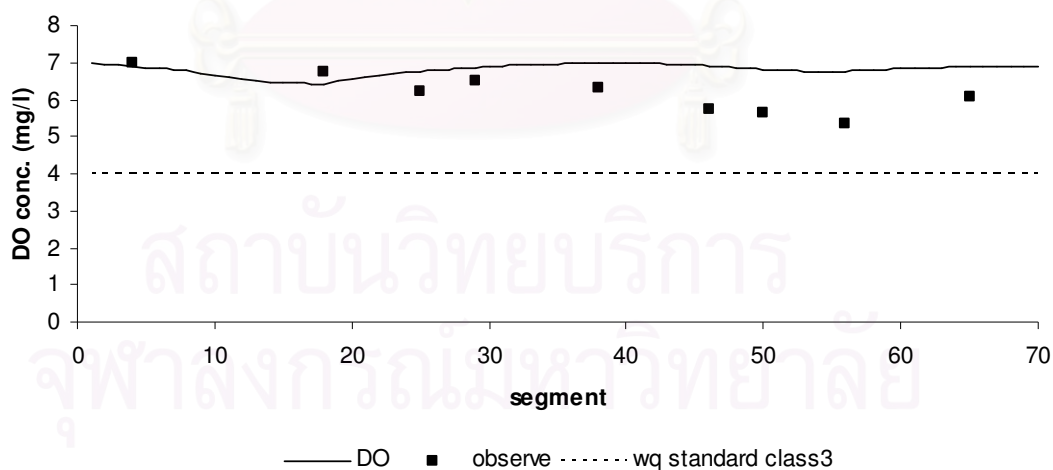
จุดที่	อุณหภูมิน้ำ (°C)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)
1	28.5	7.1	6.98	1.28
2	29.9	7.3	6.76	1.12
3	28.2	7.4	6.21	1.24
4	28.9	7.4	6.50	1.20
5	28.1	7.4	6.33	1.14
6	28.6	7.0	5.72	1.08
7	28.7	7.1	5.62	1.04
8	28.1	7.4	5.36	1.00
9	28.5	7.1	6.05	1.12

ตารางที่ 5.9 ผลการตรวจวัดคุณภาพน้ำจากการออกภาคสนามวันที่ 11 กุมภาพันธ์ 2550

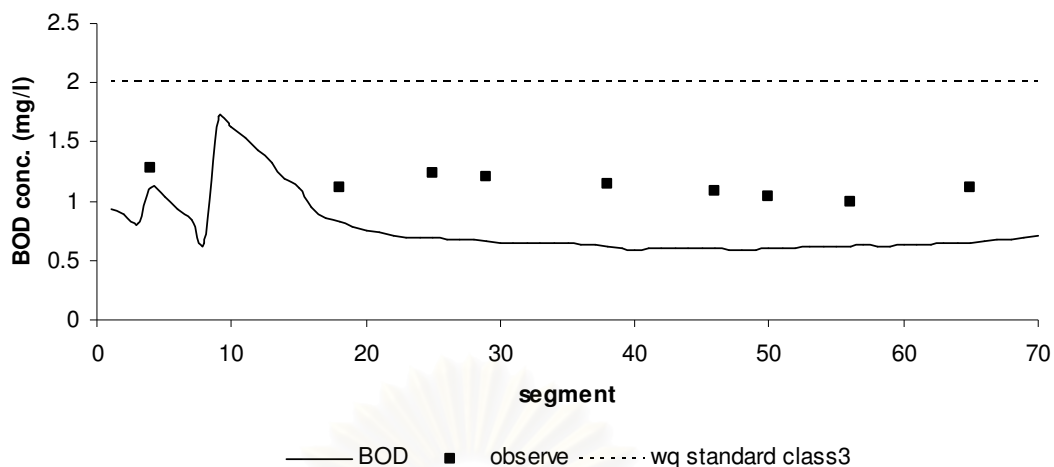
จุดที่	อุณหภูมิน้ำ (°C)	pH	DO (mg/l)	BOD (mg/l)
1	27.3	7.5	5.75	1.50
2	27.6	7.2	5.60	1.20
3	28.0	7.2	5.45	1.30
4	27.8	7.4	5.40	1.70
5	27.5	7.1	5.25	1.60
6	27.4	7.0	5.20	1.50
7	27.5	7.3	5.10	1.35
8	27.7	7.1	5.35	1.10
9	27.5	7.1	5.20	1.05

### 5.5.2 การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

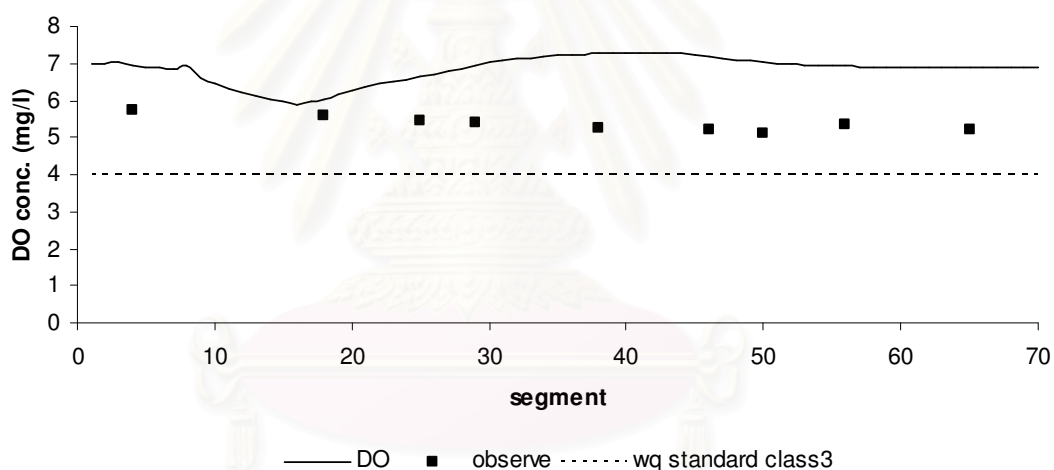
เมื่อนำข้อมูลคุณภาพน้ำที่ได้จากการออกภาคสนามมาเปรียบเทียบกับผลของค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 5.9 ถึงภาพที่ 5.12



ภาพที่ 5.9 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว  
เปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม

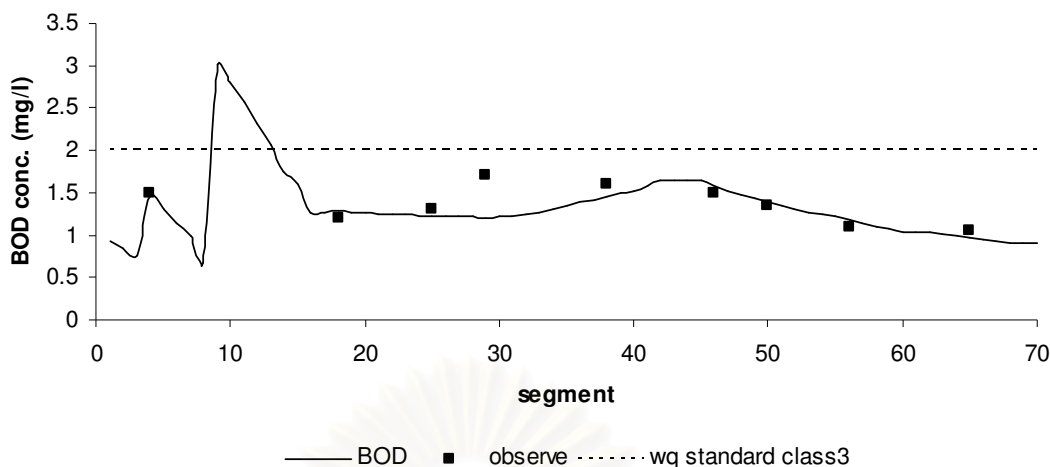


ภาพที่ 5.10 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว  
เปรียบเทียบกับค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม



ภาพที่ 5.11 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว  
เปรียบเทียบกับค่า DO ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ 5.12 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP ที่ปรับเทียบแล้ว เปรียบเทียบกับค่า BOD ที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำภาคสนาม

จากภาพที่ 5.9 ถึง ภาพที่ 5.12 จะเห็นว่า ถึงแม้ค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองกับค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนามจะมีค่าที่ไม่เท่ากัน เนื่องจากการตรวจวัดคุณภาพน้ำในภาคสนามทำในปี พ.ศ.2549 แต่ข้อมูลอัตราการไหลที่ใช้ในแบบจำลองเป็นข้อมูลของปี พ.ศ.2546 แต่ถ้าสังเกตถึงความคล้อยตามกันของข้อมูลจะพบว่าข้อมูลมีความคล้อยตามกัน และมี order of magnitude ของค่าที่ได้จากแบบจำลองและค่าที่ได้จากการวัดใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในภาพที่ 5.9 และภาพที่ 5.12 จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นหรือลดลงของค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากแบบจำลองและค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการตรวจวัดเป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงอาจกล่าวได้ว่าแบบจำลองคุณภาพน้ำที่ปรับเทียบแล้วนี้สามารถใช้จำลองค่าคุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลองตอนบนได้

## 5.6 การประเมิน TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

### 5.6.1 การกำหนดเงื่อนไขการจัดการเพื่อใช้ในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ

การประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำเป็นการประเมินเพื่อหาความสามารถในการรองรับมลพิษประเภทใดประเภทหนึ่งที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำนั้นๆ โดยเนื่องจากในความเป็นจริงแล้วเราไม่สามารถจะปล่อยมลพิษแล้วสังเกตว่าเมื่อไรแหล่งน้ำนั้นๆ ก็จะเน่าเสียได้ ดังนั้นในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำจึงเป็นต้องใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ เพื่อจำลองการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำแทนการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำจริงๆ ด้วยเหตุนี้ขั้นตอนหลักในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำจึงเป็นขั้นตอนในการกำหนดเงื่อนไขการจัดการ (scenario) เพื่อจำลองการปล่อยของเสียลงสู่แหล่งน้ำ แล้วทำการคำนวณค่าคุณภาพน้ำด้วยแบบจำลอง

คุณภาพน้ำที่ทำการเปรียบเทียบแล้ว เพื่อดูว่า scenario ใด ให้ผลของค่าพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ทำการศึกษาไม่เกินค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้

แนวคิดในการกำหนด scenario ที่เสนอในงานวิจัยนี้แบ่งได้เป็น 2 แนวคิดใหญ่ คือ หากทำการจำลองคุณภาพน้ำแล้วพบว่าแหล่งน้ำนั้นมีค่าคุณภาพน้ำเกินกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ให้ทำการกำหนด scenario โดยการลด load ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจนค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการจำลองไม่เกินค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ ในทางกลับกัน หากทำการจำลองคุณภาพน้ำแล้วพบว่าแหล่งน้ำนั้นมีค่าคุณภาพน้ำไม่เกินกว่าค่ามาตรฐานคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้ ให้ทำการกำหนด scenario โดยการเพิ่ม load ที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำจนค่าคุณภาพน้ำที่ได้จากการจำลองเท่ากับหรือใกล้เคียงกับค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้

อย่างไรก็ดี แนวคิดกำหนด scenario ที่เสนอไว้ข้างต้นเป็นเพียงแนวคิดกว้าง ๆ เท่านั้นในบางกรณีอาจต้องทำการกำหนด scenario ตามความเหมาะสมของพื้นที่ศึกษา โดยในการศึกษาดังนี้มีการกำหนด scenario ดังตารางที่ 5.10 และตารางที่ 5.11

ตารางที่ 5.10 scenario ในช่วงฤดูฝน

scenario	LSF*	รายละเอียด	หมายเหตุ
base	1.0	ป้อนค่าภาระมลพิษตามที่ประเมินได้ในหัวข้อ 5.1	ใช้เป็น base run
1	1.2	ป้อนค่าภาระมลพิษเหมือน base run	เพิ่มภาระมลพิษทั้งหมดอีก 20%
2	1.3	ป้อนค่าภาระมลพิษเหมือน base run	เพิ่มภาระมลพิษทั้งหมดอีก 30%
3	1.5	ป้อนค่าภาระมลพิษเหมือน base run	เพิ่มภาระมลพิษทั้งหมดอีก 50%
4	1.0	ป้อนภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบน ในช่วง segment ที่ 1 ถึง segment ที่ 16 เพิ่มขึ้น จากภาระมลพิษเดิมร้อยละ 20 ส่วนช่วง segment ที่ 17 ถึง segment ที่ 70 ป้อนค่าภาระมลพิษเพิ่มขึ้นจากเดิม ร้อยละ 200	-

ตารางที่ 5.11 scenario ในช่วงฤดูแล้ง

scenario	LSF*	รายละเอียด	หมายเหตุ
base	1.0	ป้อนค่าภาระมลพิษตามที่ประเมินได้ในหัวข้อ 5.1	ใช้เป็น base run
1	1.0	ป้อนค่าภาระมลพิษเหมือน base run ยกเว้น segment ที่ 4 และ 9 โดยสมมติให้ โรงงาน บริเวณ segment ดังกล่าวมีการบำบัดน้ำเสียจน มีค่า BOD ลดลง 20%	-
2	1.0	ป้อนค่าภาระมลพิษเหมือน base run ยกเว้น segment ที่ 4 และ 9 โดยสมมติให้ โรงงาน บริเวณ segment ดังกล่าวมีการบำบัดน้ำเสียจน มีค่า BOD ลดลง 30%	-

ตารางที่ 5.11 (ต่อ)

scenario	LSF*	รายละเอียด	หมายเหตุ
3	1.0	ป้อนค่าภาระมลพิษเหมือน base run ยกเว้น segment ที่ 4 และ 9 โดยสมมติให้ โรงงาน บริเวณ segment ดังกล่าวมีการบำบัดน้ำเสียจน มีค่า BOD ลดลง 35%	-
4	1.0	ป้อนค่าภาระมลพิษเหมือน base run ยกเว้น segment ที่ 4 และ 9 โดยสมมติให้ โรงงาน บริเวณ segment ดังกล่าวมีการบำบัดน้ำเสียจน มีค่า BOD ลดลง 40%	-
5	1.0	กำหนดให้ segment ที่ 4 และ segment ที่ 9 มีการลดปริมาณภาระมลพิษลงร้อยละ 35 ส่วน ในช่วง segment ที่ 17 ถึง segment ที่ 70 มีการเพิ่มภาระมลพิษอีกร้อยละ 100	-

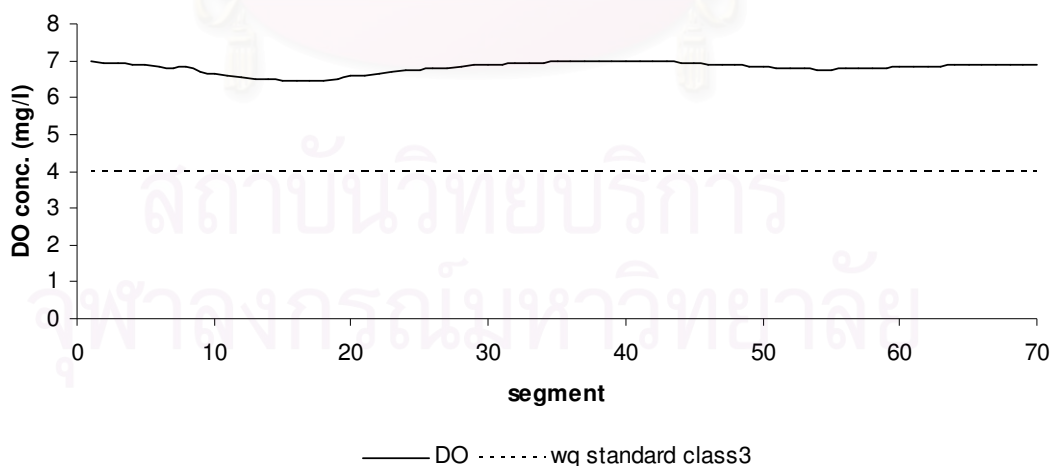
\*Loading Scale Factor เป็นตัวคูณสำหรับเพิ่มหรือลดค่ามลพิษที่ป้อนในแบบจำลอง

## 5.6.2 ผลการจำลองคุณภาพน้ำของแต่ละ scenario

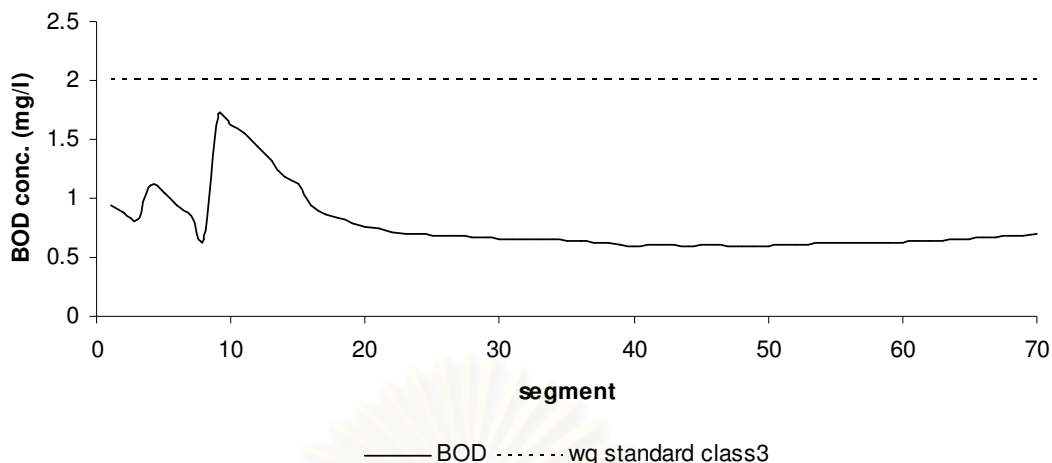
### 5.6.2.1 ช่วงฤดูฝน

#### 1) base scenario

ในการจำลองคุณภาพน้ำตาม base scenario ทำโดยการป้อนข้อมูลค่าภาระมลพิษตามที่ประเมินไว้ในหัวข้อที่ 5.1 เพื่อใช้เป็นตัวแทนสถานการณ์คุณภาพน้ำก่อนมีการจัดการด้านคุณภาพน้ำ โดยผลจากการจำลองแสดงดังภาพที่ 5.13 และภาพที่ 5.14



ภาพที่ 5.13 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario

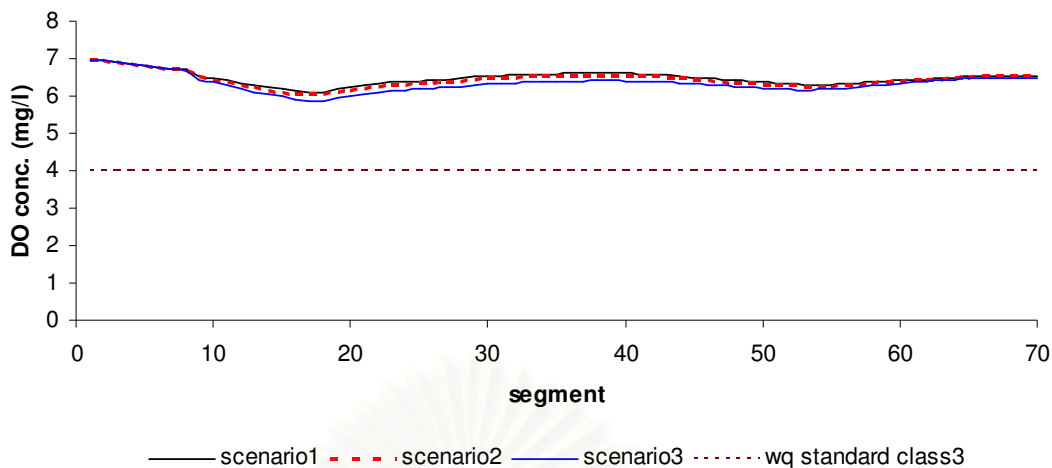


ภาพที่ 5.14 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario

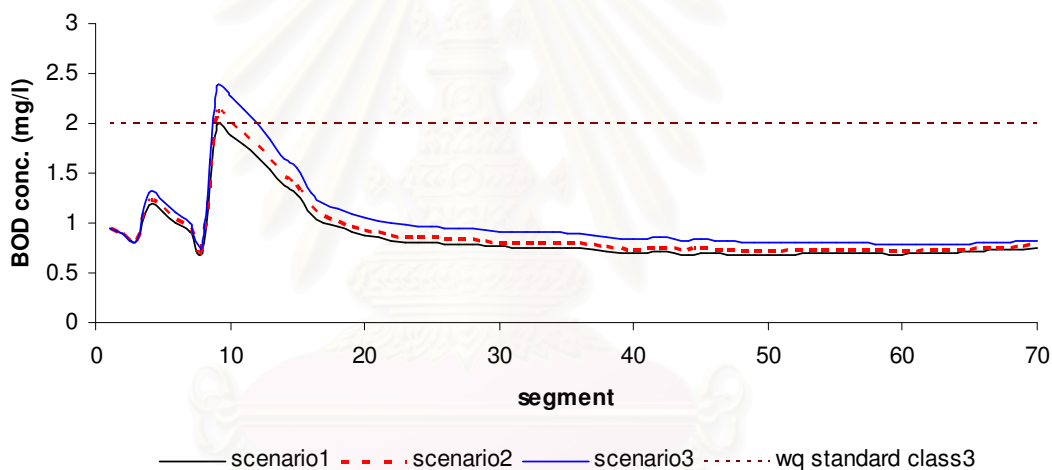
จะเห็นว่าค่า DO ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูฝนตลอดทั้งลำน้ำมีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดลำน้ำประมาณ 6.57 mg/l ส่วนค่า BOD ตลอดทั้งลำน้ำก็มีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยประมาณ 0.76 mg/l และค่า BOD สูงสุดอยู่ที่ segment ที่ 10 โดยมีค่าประมาณ 1.71 mg/l

## 2) scenario 1 ถึง scenario 3

จากการจำลองคุณภาพน้ำตาม base scenario จะเห็นว่า ค่า BOD ตลอดทั้งลำน้ำมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 แสดงให้เห็นว่าแม่น้ำแม่กลองตอนบนยังมีความสามารถในการรองรับมลพิษอีก ดังนั้นในการกำหนด scenario เพื่อการประเมิน TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูฝนจึงทำการกำหนดให้มีการเพิ่มภาระมลพิษลงสู่แม่น้ำมากขึ้น โดยใน scenario 1 ถึง scenario 3 กำหนดให้มีการเพิ่มภาระมลพิษอีกร้อยละ 20 30 และ 50 ตามลำดับ โดยผลการจำลองแสดงดังภาพที่ 5.15 และภาพที่ 5.16



ภาพที่ 5.15 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 3



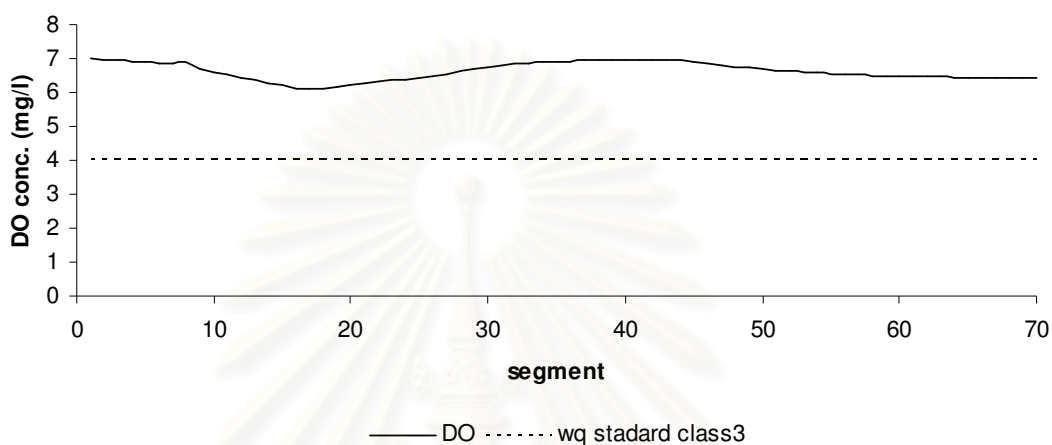
ภาพที่ 5.16 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 3

จากผลการจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 3 จะเห็นว่า ค่า BOD ใน segment ที่ 10 มีค่าเพิ่มขึ้นจนถึงเกณฑ์มาตรฐานใน scenario ที่ 1 และเพิ่มจนเกินเกณฑ์มาตรฐานใน scenario ที่ 2 และ scenario ที่ 3 แต่ค่า BOD ตั้งแต่ segment ที่ 16 ไปจนถึง segment ที่ 70 ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้อยู่มาก ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงกิโลเมตรที่ 16-70 จากท้ายเขื่อนแม่กลองยังมีความสามารถในการรองรับภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ได้อีก

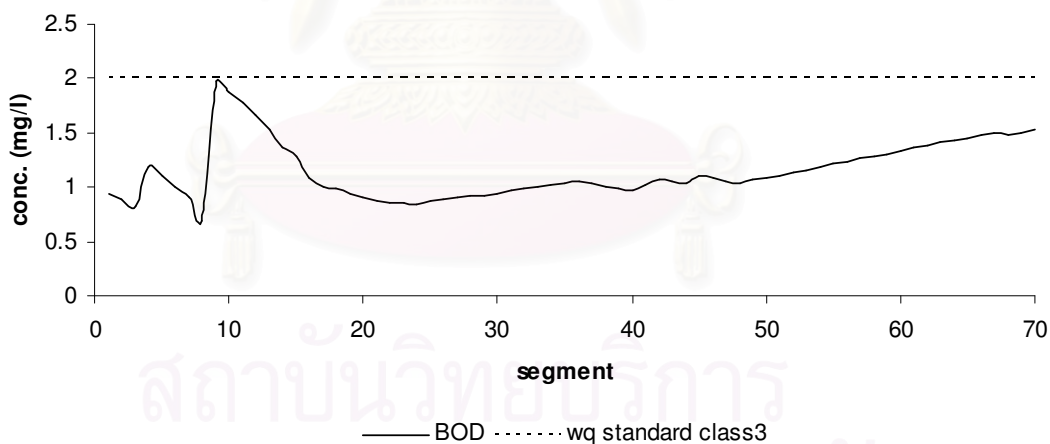
### 3) scenario 4

จากผลการจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 3 พบว่า แม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงกิโลเมตรที่ 16-70 จากท้ายเขื่อนแม่กลองยังมี

ความสามารถในการรองรับภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ได้อีก ดังนั้นใน scenario 4 จึงทำ  
กำหนดให้ปริมาณภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วง segment ที่ 1 ถึง segment ที่  
16 มีค่าเพิ่มขึ้นจากภาระมลพิษเดิมร้อยละ 20 ตาม scenario ที่ 1 และช่วง segment ที่ 17 ถึง  
segment ที่ 70 มีค่าภาระมลพิษเพิ่มขึ้นจากเดิม ร้อยละ 200 ซึ่งผลของการจำลองตามเงื่อนไข  
ของ scenario 4 แสดงดังภาพที่ 5.17 และ ภาพที่ 5.18



ภาพที่ 5.17 ค่า DO ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 4



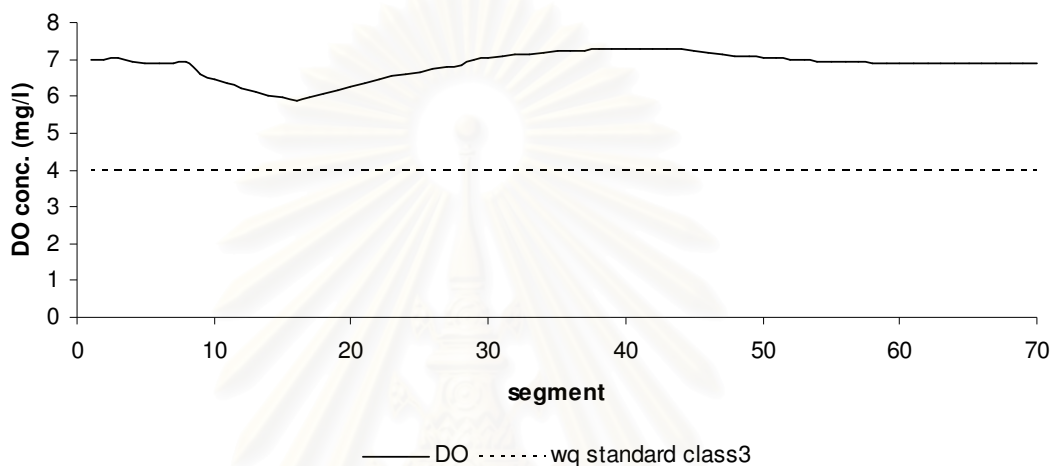
ภาพที่ 5.18 ค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 4

จากผลการจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 4 ซึ่งให้เห็นว่า  
แม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงกิโลเมตรที่ 16-70 จากท้ายเขื่อนแม่กลองในช่วงฤดูฝน มี  
ความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปของค่า BOD ได้เพิ่มจากเดิมอีกประมาณร้อยละ 200

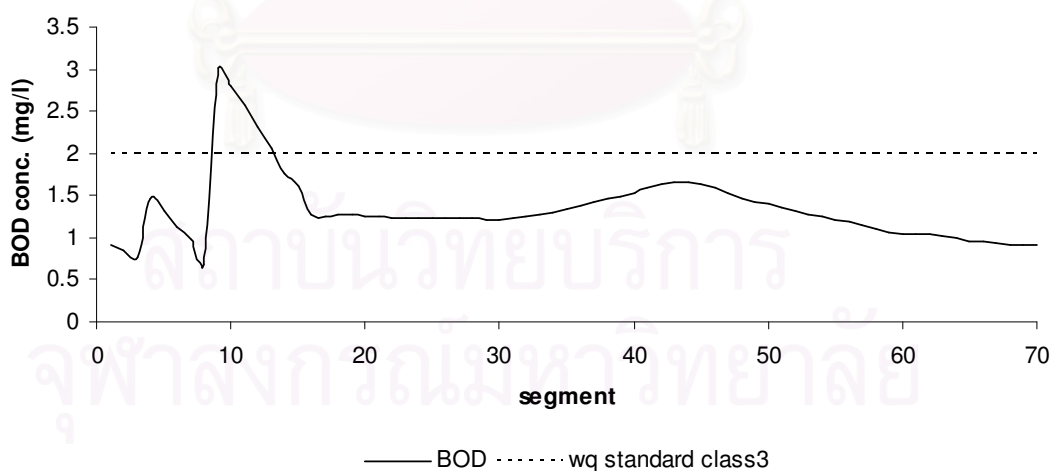
### 5.6.2.2 ช่วงฤดูแล้ง

#### 1) base scenario

เช่นเดียวกับ base scenario ในช่วงฤดูฝน ที่การจำลองคุณภาพน้ำตาม base scenario จะทำโดยการป้อนข้อมูลค่าภาระมลพิษตามที่ประเมินไว้ในหัวข้อที่ 5.1 เพื่อใช้เป็นตัวแทนสถานการณ์คุณภาพน้ำก่อนมีการจัดการด้านคุณภาพน้ำ โดยผลจากการจำลองแสดงดังภาพที่ 5.19 และภาพที่ 5.20



ภาพที่ 5.19 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario



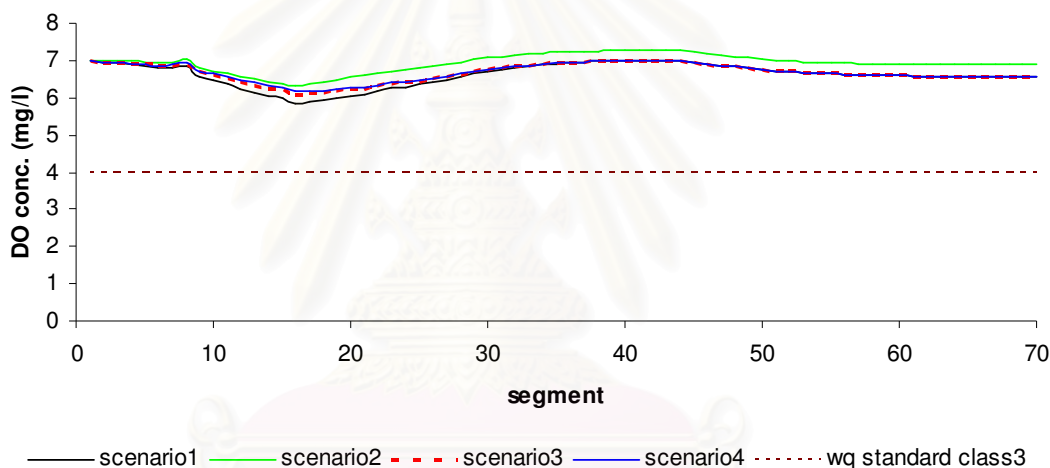
ภาพที่ 5.20 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ base scenario

จากการจำลอง จะเห็นว่า ค่า DO ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน ในช่วงฤดูแล้ง มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดทั้งลำน้ำประมาณ

6.55 mg/l ส่วนค่า BOD ในบางช่วงของแม่น้ำตั้งแต่ segment ที่ 10 ถึง 14 มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน แต่หลังจากผ่าน segment ที่ 14 ไปแล้วค่า BOD จะมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีค่าเฉลี่ยตลอดลำน้ำประมาณ 1.34 mg/l และมีค่าสูงสุดที่ segment ที่ 10 คือ 3.02 mg/l เนื่องจากได้รับมลพิษหลักจาก segment 4 และ 9 ดังนั้นในการกำหนด scenario เพื่อการประเมิน TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนจะเน้นในการจัดการคุณภาพน้ำจากแหล่งกำเนิดใน segment ที่ 4 และ 9

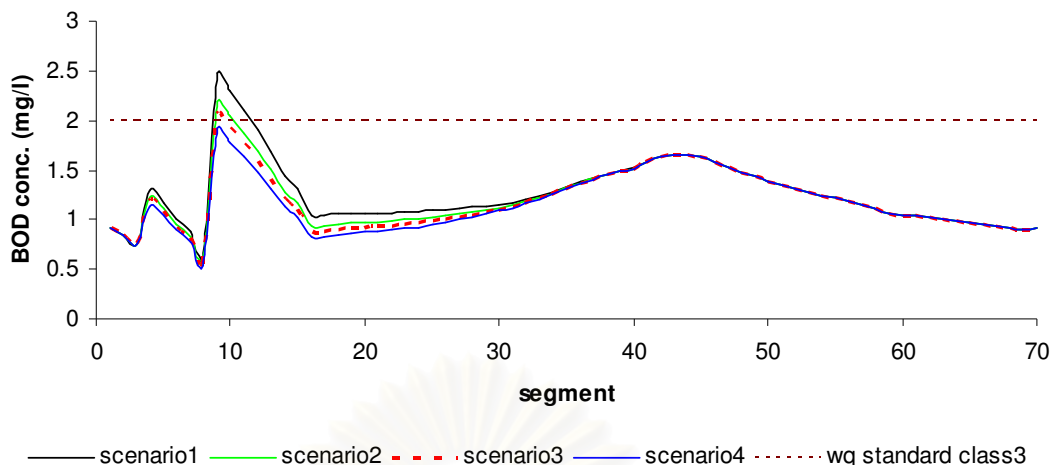
## 2) scenario 1 ถึง scenario 4

จากผลการจำลองตาม base scenario พบว่า แหล่งมลพิษหลักอยู่บริเวณ segment ที่ 4 และ segment ที่ 9 ดังนั้น ใน scenario ที่ 1 ถึง 4 จึงกำหนดให้แหล่งมลพิษในบริเวณทั้งสองปล่อยมลพิษลดลงร้อยละ 20 30 35 และ 40 ตามลำดับ โดยผลจากการจำลองแสดงดังภาพที่ 5.21 และภาพที่ 5.22



ภาพที่ 5.21 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 4

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

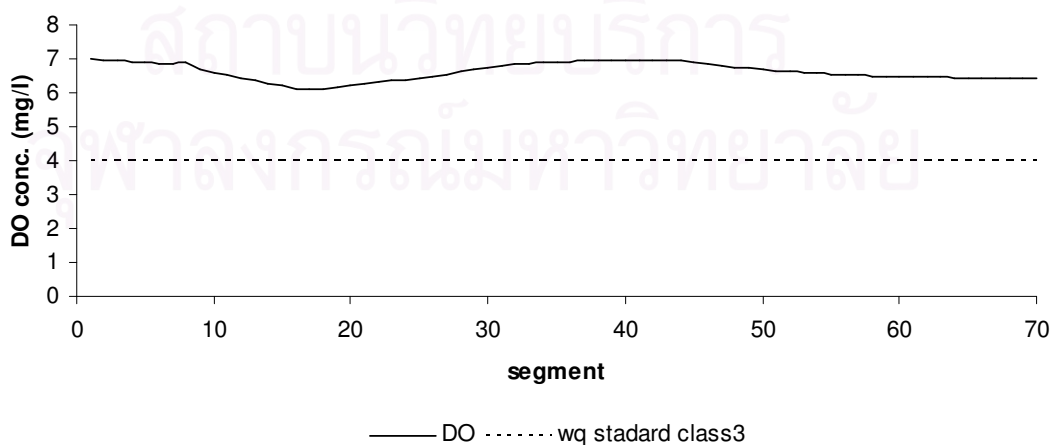


ภาพที่ 5.22 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 4

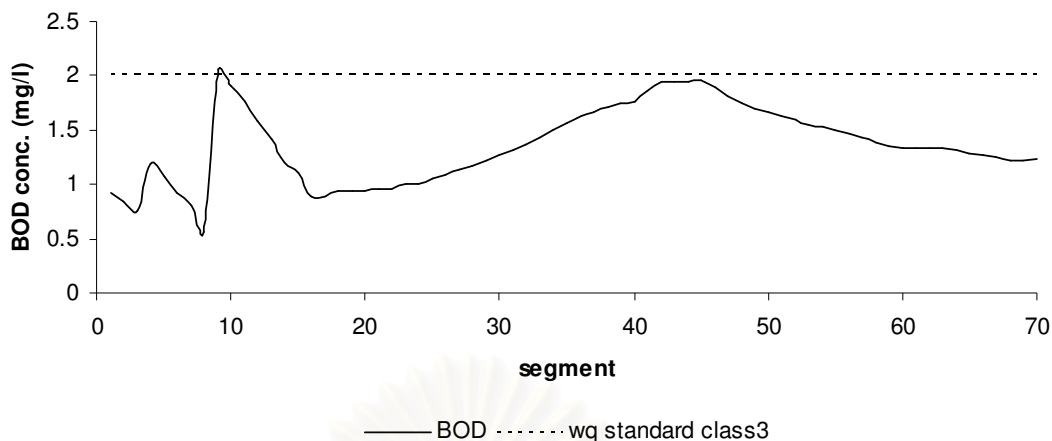
จากผลการจำลองตามเงื่อนไขของ scenario ที่ 1 ถึง scenario ที่ 4 จะเห็นว่า ค่า BOD ใน segment ที่ 10 มีค่าลดลงจนถึงเกณฑ์มาตรฐานใน scenario ที่ 3 โดยที่ค่า BOD ตั้งแต่ segment ที่ 16 ไปจนถึง segment ที่ 70 ยังมีค่าต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ซึ่งแสดงให้เห็นว่า แม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงกิโลเมตรที่ 16-70 จากท้ายเขื่อนแม่กลองยังมีความสามารถในการรองรับภาระมลพิษในรูปของค่า BOD ได้อีกเช่นเดียวกับในช่วงฤดูฝน

### 3) scenario 5

จากเหตุผลที่กล่าวไว้ข้างต้นจึงทำการกำหนด scenario ที่ 5 โดยกำหนดให้ segment ที่ 4 และ segment ที่ 9 มีการลดปริมาณภาระมลพิษลงร้อยละ 35 ส่วนในช่วง segment ที่ 17 ถึง segment ที่ 70 มีการเพิ่มภาระมลพิษอีกร้อยละ 100 โดยผลการจำลองแสดงดังภาพที่ 5.23 และภาพที่ 5.24



ภาพที่ 5.23 ค่า DO ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP  
เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 5

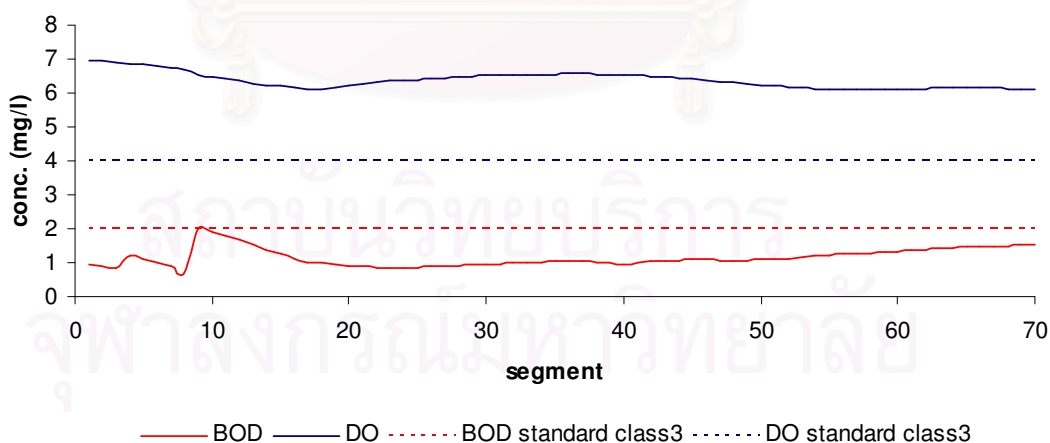


ภาพที่ 5.24 ค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 5

### 5.6.3 การเลือก scenario เพื่อใช้เป็นพื้นฐานในการประเมิน TMDL

#### 5.6.3.1 ช่วงฤดูฝน

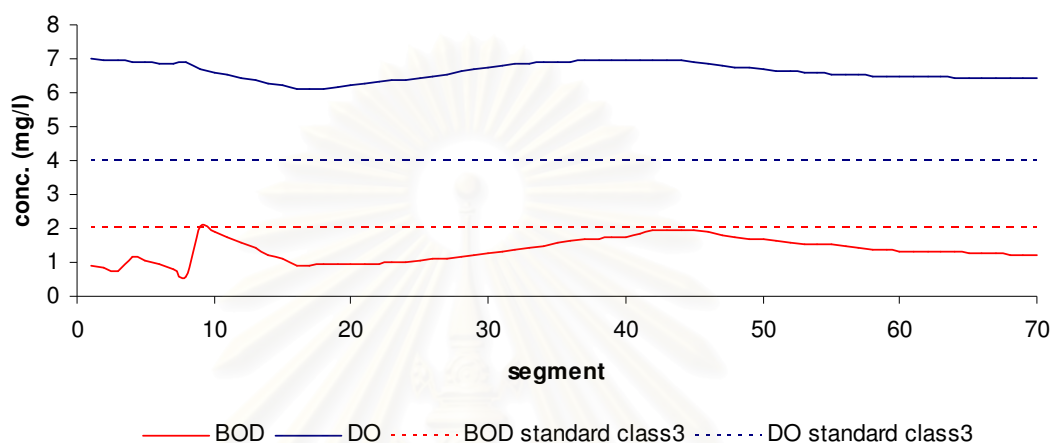
ในการจำลองคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝนของแม่น้ำแม่กลองตอนบนด้วย scenario แบบต่างๆ พบว่า scenario ที่ 4 เหมาะสมสำหรับใช้เป็นพื้นฐานในการประเมิน TMDL ในช่วงฤดูฝน เนื่องจาก จากผลการจำลองจะเห็นว่าทั้งค่า DO และค่า BOD ตลอดทั้งลำน้ำมีค่าเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานตามมาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คือ ค่า DO สูงกว่า 4.0 mg/l และค่า BOD ต่ำกว่า 2.0 mg/l ดังภาพที่ 5.25



ภาพที่ 5.25 ค่า DO และค่า BOD ในช่วงฤดูฝนที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 4

### 5.6.3.2 ช่วงฤดูแล้ง

จากการจำลองคุณภาพน้ำในช่วงฤดูแล้งด้วย scenario แบบต่างๆ พบว่า scenario ที่ 5 เหมาะสมสำหรับใช้เป็นพื้นฐานในการประเมิน TMDL ในช่วงฤดูแล้งด้วย เหตุผลเช่นเดียวกันกับในช่วงฤดูฝน โดยผลจากการจำลองคุณภาพน้ำตาม scenario ที่ 3 แสดงดังภาพที่ 5.26



ภาพที่ 5.26 ค่า DO และค่า BOD ในช่วงฤดูแล้งที่ได้จากแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP เมื่อจำลองตามเงื่อนไขของ scenario 5

### 5.6.4 TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน และข้อเสนอแนะในการจัดการคุณภาพน้ำ

#### 5.6.4.1 ช่วงฤดูฝน

เนื่องจาก scenario ที่ 4 เป็น scenario ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นพื้นฐานในการประเมิน TMDL ในช่วงฤดูฝน ดังนั้นในการคำนวณปริมาณมลพิษที่สามารถปล่อยลงสู่แม่น้ำได้จะอ้างอิงจากเงื่อนไขการจัดการคุณภาพน้ำที่กำหนดไว้ใน scenario ที่ 4 ซึ่งได้แก่การเพิ่มภาระมลพิษขึ้นอีกร้อยละ 20 จาก base scenario ในช่วง segment ที่ 1 ถึง segment ที่ 16 และเพิ่มภาระมลพิษอีกร้อยละ 200 ในช่วง segment ที่ 17 ถึง segment ที่ 70

จากการประเมินภาระมลพิษในหัวข้อ 5.1 พบว่าแม่น้ำแม่กลองตอนบนมีภาระมลพิษในรูปของค่า BOD รวมทั้งสิ้น 59,423.49 กิโลกรัมต่อวัน แยกเป็น ภาระมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่แน่นอน (point source) 47,449.02 กิโลกรัมต่อวัน และภาระมลพิษจากแหล่งกำเนิดที่ไม่แน่นอน (non-point source) 11,974.47 กิโลกรัมต่อวัน โดยหากทำการคำนวณภาระมลพิษตาม scenario ที่ 4 แม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูฝนจะมีภาระมลพิษแสดงดังตารางที่ 5.12

ตารางที่ 5.12 ภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบนเมื่อคิดตาม scenario ที่ 4 ในช่วงฤดูฝน

เงื่อนไข	segment 1 - 16	segment 17 - 70	รวม
ภาระมลพิษเดิม (kg/d)	45,840.15	13,583.34	59,423.49
ภาระมลพิษตาม scenario 4 (kg/d)	55,008.18	54,333.34	109,341.52

จากตารางที่ 5.12 สรุปได้ว่า ในช่วงฤดูฝนแม่น้ำแม่กลองตอนบนมีความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปของค่า TMDL ของ BOD ประมาณ 109,341.52 กิโลกรัมต่อวัน โดยเมื่อเทียบกับภาระมลพิษเดิมแล้ว พบว่า แม่น้ำแม่กลองในช่วงกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 จากท้ายเขื่อนแม่กลอง ยังสามารถรองรับภาระมลพิษได้เพิ่มขึ้นอีกประมาณร้อยละ 20 ส่วนในช่วงกิโลเมตรที่ 17 ถึง 70 จากท้ายเขื่อนแม่กลอง แม่น้ำแม่กลองยังสามารถรองรับมลพิษเพิ่มขึ้นได้อีกประมาณร้อยละ 200

#### 5.6.4.2 ช่วงฤดูแล้ง

ในส่วนของการประเมิน TMDL ในช่วงฤดูแล้ง จะทำการคำนวณปริมาณภาระมลพิษที่สามารถปล่อยลงสู่แม่น้ำได้โดยอ้างอิงจากเงื่อนไขการจัดการคุณภาพน้ำตาม scenario ที่ 5 ซึ่งได้แก่ การกำหนดให้ โรงงานบริเวณ segment ที่ 4 และ segment ที่ 9 มีการบำบัดน้ำเสียจนมีค่า BOD ลดลงร้อยละ 35 และในช่วง segment ที่ 17 ถึง segment ที่ 70 มีการเพิ่มภาระมลพิษอีกร้อยละ 100 โดยโรงงานบริเวณ segment ที่ 4 และ 9 ได้แก่ บริษัท แสงโสม จำกัด และ บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด ซึ่งมีภาระมลพิษ 10,398.07 และ 33,938.52 กิโลกรัมต่อวัน ตามลำดับ (รายละเอียดในภาคผนวก จ)

เมื่อคำนวณภาระมลพิษตาม scenario ที่ 5 จะได้ว่า แม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูแล้งจะมีภาระมลพิษดังตารางที่ 5.13

ตารางที่ 5.13 ภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบนเมื่อคิดตาม scenario ที่ 5 ในช่วงฤดูแล้ง

เงื่อนไข	segment 1 - 16	segment 17 - 70	รวม
ภาระมลพิษเดิม (kg/d)	45,840.15	13,583.34	59,423.49
ภาระมลพิษตาม scenario 5 (kg/d)	30,060.40	27,166.98	57,227.38

จากตารางที่ 5.13 สรุปได้ว่า ในช่วงฤดูแล้งแม่น้ำแม่กลองตอนบนมีความสามารถในการรองรับมลพิษในรูปของค่า TMDL ของ BOD ประมาณ 57,227.38 กิโลกรัมต่อวัน โดยเมื่อเทียบกับภาระมลพิษเดิมแล้ว พบว่า แม่น้ำแม่กลองในช่วงกิโลเมตรที่ 1 ถึง 16 จากท้ายเขื่อนแม่กลองควรมีการลดภาระมลพิษโดยเฉพาะบริเวณ segment ที่ 4 และ 9 ลงอีก

ประมาณร้อยละ 35 ส่วนในช่วงกิโลเมตรที่ 17 ถึง 70 จากท้ายเขื่อนแม่กลอง แม่น้ำแม่กลองยังสามารถรองรับมลพิษเพิ่มขึ้นได้อีกประมาณร้อยละ 100

#### 5.6.4.3 ข้อเสนอแนะในการจัดการคุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลอง

##### ตอนบน

จากผลการจำลองคุณภาพน้ำของแม่น้ำแม่กลองตอนบน พบว่า โดยรวมแล้วค่า DO และค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยเฉพาะในช่วงฤดูฝน ยกเว้นบางช่วงของลำน้ำในฤดูแล้งที่มีค่า BOD เกินเกณฑ์มาตรฐาน และเมื่อพิจารณาช่วงของแม่น้ำแม่กลองที่มีค่า BOD เกินเกณฑ์มาตรฐาน พบว่า เป็นช่วงที่แม่น้ำไหลผ่านโรงงานอุตสาหกรรมขนาดใหญ่ที่มีความต้องการใช้น้ำในกระบวนการผลิตเป็นจำนวนมาก ได้แก่ บริษัท แสงโสม จำกัด ผู้ผลิตสุราแสงโสม และ บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด ผู้ผลิตกระดาษ ทำให้มีน้ำทิ้งจำนวนมากเช่นกัน และเมื่อพิจารณาจากกระบวนการผลิตแล้ว พบว่า อุตสาหกรรมทั้งสองก่อให้เกิดความสกปรกในรูปของค่า BOD เป็นจำนวนมาก ดังนั้น การจำลองคุณภาพน้ำด้วยแบบจำลองคุณภาพน้ำในการศึกษาครั้งนี้จึงทำการจำลองภายใต้เงื่อนไขที่ว่า หากไม่มีการบำบัดน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดทั้งสอง หรือหากระบบบำบัดน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดทั้งสองเกิดขัดข้อง คุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบนจะเป็นเช่นไร ซึ่งจากผลการจำลอง พบว่า การจำลองภายใต้เงื่อนไขดังกล่าวทำให้คุณภาพน้ำช่วงที่ผ่านแหล่งกำเนิดทั้งสองมีค่า BOD สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 และสามารถบำบัดตัวเองจนมีค่า BOD ตามเกณฑ์มาตรฐานได้เมื่อผ่านไปประมาณ 4 กิโลเมตร (ภาพที่ 5.21) ดังนั้นในการประเมิน TMDL โดยเฉพาะในช่วงฤดูแล้งจึงมุ่งเน้นในการกำหนดเงื่อนไขการจัดการคุณภาพน้ำของแหล่งกำเนิดดังกล่าว ซึ่งจากการจำลองคุณภาพน้ำตาม scenario ต่างๆ ที่กำหนดไว้ พบว่า หากโรงงานทุกโรงงานที่มีการระบายน้ำทิ้งลงแม่น้ำแม่กลองมีการบำบัดน้ำเสียจนมีค่า BOD ไม่เกิน 60 mg/l ตามเกณฑ์สูงสุดที่กฎหมายกำหนดแล้ว ค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนจะมีค่าไม่เกินมาตรฐานคุณภาพน้ำ หรืออีกแนวทางหนึ่ง คือ การที่ระบบบำบัดน้ำเสียของบริษัท แสงโสม จำกัด และบริษัท อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด ต้องมีความประสิทธิภาพในการบำบัดค่า BOD อย่างน้อยร้อยละ 35 ขึ้นไป ค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนจึงเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 (ภาพที่ 5.23)

## บทที่ 6

### สรุปผลการศึกษา และข้อเสนอแนะ

#### 6.1 สรุปผลการศึกษา

##### 6.1.1 ผลการเปรียบเทียบแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา

การศึกษาค้นคว้านี้ได้พัฒนาแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 และแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP โดยมีค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของแบบจำลองแสดงดังตารางที่ 6.1 ตารางที่ 6.1 ค่าพารามิเตอร์ที่สำคัญของแบบจำลองที่ทำการศึกษา

แบบจำลอง	พารามิเตอร์
แบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2	- ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (n) - ค่า eddy viscosity
แบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP	- ค่าคงที่อัตราการย่อยสลาย BOD ( $k_d$ ) - ค่าคงที่อัตราการเติมอากาศ ( $k_a$ )

โดยค่าที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองทั้งสองมีดังนี้

1) ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 ได้แก่ ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning (n) มีค่าเท่ากับ 0.05 และ ค่า eddy viscosity มีค่าเท่ากับ  $10 \text{ m}^2/\text{s}$

2) ค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP แสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ค่าของพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้จากการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ WASP

ฤดู	ค่าคงที่การย่อยสลาย BOD $k_d (\text{day}^{-1})$			ค่าคงที่อัตราการเติมอากาศ $k_a (\text{day}^{-1})$
	segment ที่ 1-16	segment ที่ 17-44	segment ที่ 45-70	segment ที่ 1-70
ฝน	0.75	0.25	0.30	0.30
แล้ง	0.50	0.075	0.25	0.30

##### 6.1.2 ค่าประมาณของ TMDL ในรูปของค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

จากการคำนวณค่า TMDL ในช่วงฤดูฝนโดยการกำหนด scenario ให้มีการเพิ่มภาระมลพิษขึ้นอีกร้อยละ 20 จากภาระมลพิษเดิมในช่วง segment ที่ 1 ถึง segment ที่ 16 และ

เพิ่มภาระมลพิษอีกร้อยละ 200 ในช่วง segment ที่ 17 ถึง segment ที่ 70 พบว่า ค่า TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูฝนมีค่าเท่ากับ 109,341.52 กิโลกรัมต่อวัน ส่วนการคำนวณค่า TMDL ในช่วงฤดูแล้งโดยการกำหนด scenario ให้โรงงานบริเวณ segment ที่ 4 และ segment ที่ 9 มีการบำบัดน้ำเสียจนมีค่า BOD ลดลงร้อยละ 35 และเพิ่มภาระมลพิษอีกร้อยละ 100 ในช่วง segment ที่ 17 ถึง segment ที่ 70 พบว่า ค่า TMDL ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนในช่วงฤดูแล้งมีค่าเท่ากับ 57,227.38 กิโลกรัมต่อวัน

รายละเอียดของค่า TMDL ในรูปของค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบนแสดงดังตารางที่ 6.2

ตารางที่ 6.2 ค่าประมาณของ TMDL ในรูปของค่า BOD ของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

ช่วงเวลา	กม.ที่ 1 - 16	กม.ที่ 17 - 70	TMDL (kg/d)
ฤดูฝน (พ.ค. - ต.ค.)	55,008.18	54,333.34	<b>109,341.52</b>
ฤดูแล้ง (พ.ย. - เม.ย.)	30,060.40	27,166.98	<b>57,227.38</b>

## 6.2 ข้อเสนอแนะ

1) แบบจำลองคุณภาพน้ำที่เหมาะสมสำหรับใช้ในการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำควรเป็นแบบจำลองที่มีฟังก์ชันที่ง่ายต่อการเพิ่มหรือลดภาระมลพิษที่เป็นตัวแปรนำเข้าของแบบจำลอง เนื่องจากหลักสำคัญของการประเมิน TMDL ของแหล่งน้ำ คือ การกำหนด scenario ของการปล่อยภาระมลพิษลงสู่แหล่งน้ำ เพื่อคำนวณค่าคุณภาพน้ำให้ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้

2) เนื่องจากข้อมูลอัตราการไหลที่นำเข้าแบบจำลองอุทกศาสตร์ RMA2 และข้อมูลความเร็วของกระแสน้ำที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลอง ในการศึกษาครั้งนี้เป็นข้อมูลแบบค่าเฉลี่ย ดังนั้น ผลการจำลองจึงเป็นเพียงค่าที่ยอมรับได้ในระดับการวางแผนเท่านั้น หากต้องการจำลองลักษณะการไหลของแม่น้ำโดยละเอียดควรทำการจำลองแบบ dynamic โดยนำเข้าข้อมูลอัตราการไหลแบบรายวัน

3) ควรมีการเก็บตัวอย่างน้ำบริเวณกิโลเมตรที่ 10 ถึง 20 เพิ่มขึ้น เนื่องจาก จากผลการจำลอง พบว่า บริเวณดังกล่าวเป็นบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงค่า BOD สูงที่สุด แต่ในบริเวณนั้นไม่มีข้อมูลคุณภาพน้ำย้อนหลัง โดยหากมีข้อมูลบริเวณดังกล่าวจะทำให้การปรับเทียบค่า  $k_d$  ได้ค่าที่ดีขึ้น

4) เนื่องจากข้อมูลสำคัญที่มีผลต่อความถูกต้องของแบบจำลอง ได้แก่ ปริมาณภาระมลพิษ ดังนั้นขั้นตอนสำคัญขั้นตอนหนึ่ง คือ การประเมินภาระมลพิษ โดยควรมีการเปรียบเทียบค่าภาระมลพิษที่ประเมินได้กับงานวิจัยที่ศึกษาในพื้นที่เดียวกันหรือพื้นที่ใกล้เคียง

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

กীরติ ลีวัจนกุล. ม.ป.ป. ชลศาสตร์. ปทุมธานี: SPEC.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2545. การสำรวจความสามารถในการรองรับมลพิษของแหล่งน้ำเพื่อการจัดการมลพิษจากกิจกรรมขนาดเล็กในพื้นที่อนุรักษ์น้ำดิบเพื่อการประปา.

กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2540. โครงการจัดการคุณภาพน้ำและจัดทำแผนปฏิบัติการในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคกลาง. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ กระทรวงวิทยาศาสตร์ เทคโนโลยี และสิ่งแวดล้อม.

ควบคุมมลพิษ, กรม. 2537. มาตรฐานคุณภาพน้ำ. กรุงเทพมหานคร: กรมควบคุมมลพิษ.

ฉัตรไชย รัตนไชย. 2539. การจัดการคุณภาพน้ำ. พิมพ์ครั้งที่ 2. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ทวีวงศ์ ศรีบุรี. 2541. การประยุกต์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เพื่อการจัดการคุณภาพน้ำในลำน้ำธรรมชาติ. กรุงเทพมหานคร: สถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

นฤมล สังขประดิษฐ์. 2541. การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำแม่น้ำแม่กลองตอนบน. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

เปี่ยมศักดิ์ เมนะเสวต. 2543. แหล่งน้ำกับปัญหามลพิษ. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์แห่งจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

พัฒนาที่ดิน, กรม. 2542. แผนการใช้ที่ดินลุ่มน้ำสาขาที่ราบแม่น้ำแม่กลอง. กรุงเทพมหานคร: กรมพัฒนาที่ดิน กระทรวงเกษตรและสหกรณ์.

พิทักษ์ ยุวานนท์. 2547. การระบายน้ำท้ายเขื่อนแม่กลองกับคุณภาพน้ำ. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิศวกรรมชลประทาน ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

เมธาพันธ์ ชาลีกุล. 2539. แนวทางการจัดการน้ำสำหรับการวางแผนพัฒนาลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

วราภรณ์ ทนงค์ศักดิ์. 2547. การประเมินการะมลพิษในลุ่มน้ำแม่กลอง. วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต. สาขาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

- วริยา มิตตา. 2547. การประยุกต์แบบจำลองคณิตศาสตร์เพื่อประเมินความสามารถในการรองรับของเสียสูงสุดรายวันของปริมาณความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมีในแม่น้ำยมจังหวัดแพร่. วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต. สาขาการจัดการลุ่มน้ำและสิ่งแวดล้อมภาควิชาอนุรักษ์วิทยาบัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.
- สิทธิชัย ตันระณะสุทธิ. 2547. ศักยภาพของการพัฒนาลุ่มน้ำที่มีต่อคุณภาพน้ำในลุ่มน้ำแม่กลอง. กรุงเทพมหานคร: คณะวนศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

#### ภาษาอังกฤษ

- Cubilo, F., Rodrigues, and Bornwell. 1992. A system for control of river water quality for the community of MADRID using QUAL2E. Journal of Water Quality International 26: 1867-1872.
- Delaware Department of Natural Resources and Environmental Control. 1998. Total Maximum Daily Load (TMDL) Analysis for Nanticoke River and Broad Creek Delaware. Dover: DNREC.
- Donnell, B. P., Letter, J. V., and McAnally, W. H. 2003. Users Guide for RMA2 Version 4.5. New York: Wex Tech Systems, Inc.
- Kang, M. S., Park, S. W., Lee, J. J., and Yoo, K. H. 2006. Applying SWAT for TMDL programs to a small watershed containing rice paddy fields. Agricultural water management 79: 72-92.
- Letter, J. V., and Donnell, B. P. 2003. Users Guide for RMA4 Version 4.5. New York: Wex Tech Systems, Inc.
- Lung, W. S. 2001. Water Quality Modeling for Wasteload Allocations and TMDLs. New York: John Wiley & Sons, Inc.
- Palmer, M. D. 2001. Water Quality Modeling. Washington, D.C.: The World Bank.
- Rinaldi, S., Soncini-Sessa, R., Stehfest, H., and Tamura, H. 1979. Modeling and Control of River Quality. New York: McGraw-Hill International Book Company.
- United State Environmental Protection Agency. 2000. Total Maximum Daily Load (TMDL) Development for Dissolve Oxygen in the Ogeechee River. Georgia: USEPA.
- Wang, P. F., Martin, J., and Morrison, G. 1999. Water Quality and Eutrophication in Tampa Bay, Florida. Estuarine, Coastal and Shelf Science 49: 1-20.

Wool, T. A., Ambrose, R. B., Martin, J. L., Comer, E. A., USEPA, Environmental Research Laboratory Athens, USACE-Waterways Experiment Station Vicksburg, and Tetra Tech, Inc. n.d. Water Quality Analysis Simulation Program (WASP) Version 6.0 Draft: User's Manual. Georgia: USEPA.

Wright, R.M., McDonnell, A.J. 1979. In-Stream Deoxygenation Rate Prediction. Journal of the Environmental Engineering Division Vol.15 No.2: 323-335.



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ก

มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ตารางที่ ก.1 มาตรฐานคุณภาพน้ำในแหล่งน้ำผิวดิน

ดัชนีคุณภาพน้ำ <sup>1/</sup>	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด <sup>2/</sup> ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท3	ประเภท4	ประเภท5
1.สี กลิ่นและรส (Colour, Odour and Taste)	-	-	๓	๓'	๓'	๓'	-
2.อุณหภูมิ (Temperature)	°ซ	-	๓	๓'	๓'	๓'	-
3.ความเป็นกรดและต่าง (pH)	-	-	๓	5-9	5-9	5-9	-
4.ออกซิเจนละลาย (DO) <sup>2/</sup>	มก./ล.	P20	๓	6.0	4.0	2.0	-
5.บีโอดี (BOD)	มก./ล.	P80	๓	1.5	2.0	4.0	-
6.แบคทีเรียกลุ่มโคลิฟอร์มทั้งหมด (Total Coliform Bacteria)	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มล.	P80	๓	5,000	20,000	-	-
7.แบคทีเรียกลุ่มฟีคอลโคลิฟอร์ม (Fecal Coliform Bateria)	เอ็ม.พี.เอ็น/ 100 มล.	P80	๓	1,000	4,000	-	-
8.ไนเตรต (NO3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	๓	5.0		-	
9.แอมโมเนีย (NH3) ในหน่วยไนโตรเจน	มก./ล.	-	๓	0.5		-	
10.ฟีนอล (Phenols)	มก./ล.	-	๓	0.005		-	
11.ทองแดง (Cu)	มก./ล.	-	๓	0.1		-	
12.นิกเกิล (Ni)	มก./ล.	-	๓	0.1		-	
13.แมงกานีส (Mn)	มก./ล.	-	๓	1.0		-	
14.สังกะสี (Zn)	มก./ล.	-	๓	1.0		-	
15.แคดเมียม (Cd)	มก./ล.	-	๓	0.005* 0.05**		-	
16.โครเมียมชนิดเฮกซะวาเลนต์ (Cr Hexavalent)	มก./ล.	-	๓	0.05		-	

ดัชนีคุณภาพน้ำ <sup>1/</sup>	หน่วย	ค่าทางสถิติ	เกณฑ์กำหนดสูงสุด <sup>2/</sup> ตามการแบ่งประเภทคุณภาพน้ำตามการใช้ประโยชน์				
			ประเภท 1	ประเภท 2	ประเภท3	ประเภท4	ประเภท5
17.ตะกั่ว (Pb)	มก./ล.	-	๕		0.05		-
18.ปรอททั้งหมด (Total Hg)	มก./ล.	-	๕		0.002		-
19.สารหนู (As)	มก./ล.	-	๕		0.01		-
20.ไซยาไนด์ (Cyanide)	มก./ล.	-	๕		0.005		-
21.กัมมันตภาพรังสี (Radioactivity) -ค่ารังสีแอลฟา (Alpha) -ค่ารังสีเบตา(Beta)	เบคเคอเรล/ล.	-	๕		0.1 1.0		-
22.สารฆ่าศัตรูพืชและสัตว์ชนิดที่มีคลอรีนทั้งหมด (Total Organochlorine Pesticides)	มก./ล.	-	๕		0.05		-
23.ดีดีที (DDT)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕		1.0		-
24.บีเอชซีชนิดแอลฟา (Alpha-BHC)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕		0.02		-
25.ดิลดริน (Dieldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕		0.1		-
26.อัลดริน (Aldrin)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕		0.1		-
27.เฮปตาคลอร์และเฮปตาคลออีพอกไซด์ (Heptachor & Heptachlorepoxide)	ไมโครกรัม/ล.	-	๕		0.2		-
28.เอนดริน (Endrin)	ไมโครกรัม/ล.	-			ไม่สามารถตรวจพบได้ตามวิธีการตรวจสอบที่กำหนด		-

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2549)

หมายเหตุ:

- <sup>1/</sup> กำหนดค่าเฉพาะในแหล่งน้ำประเภทที่ 2-4 สำหรับแหล่งน้ำประเภทที่ 1 ให้เป็นไปตามธรรมชาติ และแหล่งน้ำประเภทที่ 5 ไม่กำหนดค่า

- <sup>2/</sup>ค่า DO เป็นเกณฑ์มาตรฐานต่ำสุด
- ฐ เป็นไปตามธรรมชาติ
- ฌ อนุภาคน้ำจะต้องไม่สูงกว่าอนุภาคน้ำตามธรรมชาติเกิน 3 องศาเซลเซียส
- \*น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  ไม่เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- \*\*น้ำที่มีความกระด้างในรูปของ  $\text{CaCO}_3$  เกินกว่า 100 มิลลิกรัมต่อลิตร
- P 20 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 20 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง
- P 80 ค่าเปอร์เซ็นต์ไทล์ที่ 80 จากจำนวนตัวอย่างน้ำทั้งหมดที่เก็บมาตรวจสอบอย่างต่อเนื่อง
- วิธีการตรวจสอบเป็นไปตามวิธีการมาตรฐานสำหรับการวิเคราะห์น้ำและน้ำเสีย Standard Methods for Examination of Water and Wastewater ซึ่ง APHA : American Public Health Association ,AWWA : American Water Works Association และ WPCF : Water Pollution Control Federation ของสหรัฐอเมริกา ร่วมกันกำหนด

ตารางที่ ก.2 ประเภทคุณภาพน้ำผิวดิน

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 1	ได้แก่ แหล่งน้ำที่คุณภาพน้ำมีสภาพตามธรรมชาติโดยปราศจากน้ำทิ้งจากกิจกรรมทุกประเภทและสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติก่อน</li> <li>(2) การขยายพันธุ์ตามธรรมชาติของสิ่งมีชีวิตระดับพื้นฐาน</li> <li>(3) การอนุรักษ์ระบบนิเวศน์ของแหล่งน้ำ</li> </ol>
ประเภทที่ 2	ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ <ol style="list-style-type: none"> <li>(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน</li> <li>(2) การอนุรักษ์สัตว์น้ำ</li> <li>(3) การประมง</li> <li>(4) การว่ายน้ำและกีฬาทางน้ำ</li> </ol>

## ตารางที่ ก.2 (ต่อ)

ประเภทแหล่งน้ำ	การใช้ประโยชน์
ประเภทที่ 3	<p>ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ</p> <p>(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำทั่วไปก่อน</p> <p>(2) การเกษตร</p>
ประเภทที่ 4	<p>ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อ</p> <p>(1) การอุปโภคและบริโภคโดยต้องผ่านการฆ่าเชื้อโรคตามปกติและผ่านกระบวนการปรับปรุงคุณภาพน้ำเป็นพิเศษก่อน</p> <p>(2) การอุตสาหกรรม</p>
ประเภทที่ 5	<p>ได้แก่ แหล่งน้ำที่ได้รับน้ำทิ้งจากกิจกรรมบางประเภท และสามารถเป็นประโยชน์เพื่อการคมนาคม</p>

ที่มา: กรมควบคุมมลพิษ (2549)

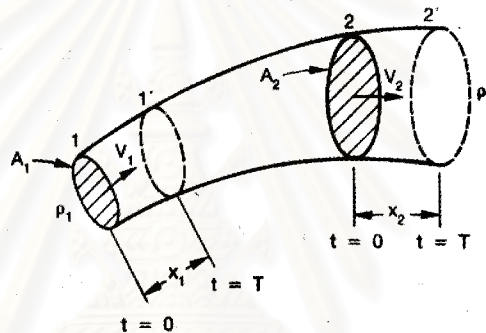
## ภาคผนวก ข

### แบบจำลองอุทกศาสตร์พื้นฐาน

#### ข.1 หลักชลศาสตร์ (Principle of Hydraulics) (กิริติ ลีวัจนกุล, ม.ป.ป.)

##### ข.1.1 สมการการไหลต่อเนื่อง (continuity equation)

สมการการไหลต่อเนื่องเป็นสมการที่ใช้หาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหล ความเร็ว และพื้นที่หน้าตัดการไหล ซึ่งการวิเคราะห์สมการการไหลต่อเนื่องจะใช้ หลักการอนุรักษ์มวลสาร (conservation of mass) กล่าวคือ มวลสารไม่มีทางสูญหายหรือเพิ่มขึ้นได้ แต่มวลสารสามารถเคลื่อนที่หรือเปลี่ยนตำแหน่งได้



ภาพที่ ข.1 การไหลแบบต่อเนื่อง

เมื่อพิจารณาการไหลของของไหลดังภาพที่ ข.1

เมื่อให้  $A_1$  และ  $A_2$  คือ พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2

$V_1$  และ  $V_2$  คือ ความเร็วของของไหลที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2

$\rho_1$  และ  $\rho_2$  คือ ความหนาแน่นของของไหลที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2

ที่เวลา  $t=0$  ของไหลอยู่ที่ตำแหน่ง 1 – 2 มีมวล (1 – 2)

ที่เวลา  $t=T$  ของไหลเคลื่อนที่ไปอยู่ที่ตำแหน่ง 1' – 2' มีมวล (1' – 2')

จากหลักการอนุรักษ์มวลสาร มวลของของไหลไม่มีการสูญหายหรือเพิ่มขึ้น  
ดังนั้น

$$\text{มวลของไหล (1 – 2)} = \text{มวลของไหล (1' – 2')} \quad (1)$$

เมื่อนำมวลของไหล (1' – 2) ลบสมการที่ 1 ทั้งสองข้าง จะได้

มวลของไหล (1 - 1') = มวลของไหล (2 - 2')

$$m_1 = m_2$$

$$\rho_1 V_1 = \rho_2 V_2$$

$$\rho_1 A_1 x_1 = \rho_2 A_2 x_2 \quad (2)$$

หารสมการที่ 2 ด้วย เวลา T ทั้งสองข้างจะได้

$$\rho_1 A_1 \frac{x_1}{T} = \rho_2 A_2 \frac{x_2}{T}$$

$$\rho_1 A_1 V_1 = \rho_2 A_2 V_2 \quad (3)$$

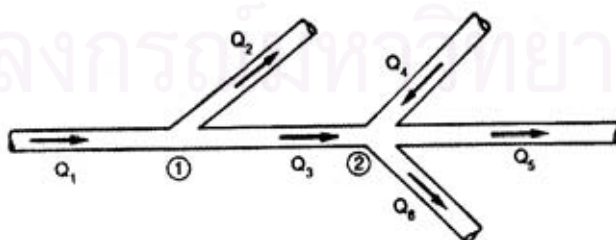
สมการที่ 3 คือ สมการการไหลต่อเนื่องในกรณีที่มีความหนาแน่นของของไหลทั้งสองด้านไม่เท่ากัน เช่น อุกฤษฏีทั้งสองด้านไม่เท่ากัน ทำให้มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน หรือในกรณีที่ด้านเหนือของแม่น้ำเจ้าพระยาเป็นน้ำจืด และด้านท้ายน้ำบริเวณใกล้อ่าวไทยเป็นน้ำเค็ม ทำให้มีความหนาแน่นไม่เท่ากัน เป็นต้น

สำหรับของไหลอัดตัวได้ยาก (incompressible fluid) และมีอุณหภูมิต่างกัน จะมีความหนาแน่น  $\rho_1 = \rho_2$  ดังนั้น จากสมการที่ 3 จะได้สมการการไหลต่อเนื่อง คือ

$$A_1 V_1 = A_2 V_2 = Q \quad (4)$$

โดยที่ Q คืออัตราการไหล (discharge หรือ volume flow rate หรือ volume flux) มีหน่วยเป็นปริมาตรต่อเวลา หมายถึง ปริมาตรของของไหลที่ผ่านพื้นที่หน้าตัดใดๆ ต่อหนึ่งหน่วยเวลา เช่น น้ำไหลผ่านสะพานพระราม 9 ด้วยอัตราการไหล 800 ลูกบาศก์เมตรต่อวินาที ( $m^3/s$  หรือ cms) แปลว่า ใน 1 วินาที มีปริมาณน้ำไหลผ่าน 800 ลูกบาศก์เมตร เป็นต้น

ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลเข้าและอัตราการไหลออกที่จุดเชื่อมต่อของของไหล (node or junction) ดังภาพที่ ข.2



ภาพที่ ข.2 การไหลคงที่ที่จุดเชื่อมต่อ

ผลรวมของอัตราการไหลเข้า = ผลรวมของอัตราการไหลออก

$$\begin{aligned} \Sigma Q_{in} &= \Sigma Q_{out} & (5) \\ \text{ที่จุด 1 มี} & Q_1 = Q_2 + Q_3 \\ \text{ที่จุด 2 มี} & Q_3 + Q_4 = Q_5 + Q_6 \end{aligned}$$

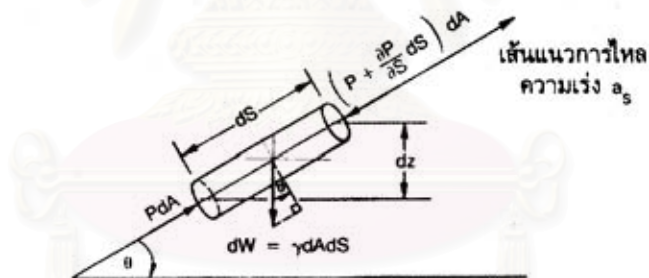
### ข.1.2 สมการพลังงาน (energy equations)

สมการพลังงาน เป็นสมการที่เกี่ยวข้องกับงานที่ต้องการหาความดัน ความเร็ว ระดับ ความลึก และการสูญเสียพลังงานเนื่องจากการไหล มักจะใช้คู่กับสมการการไหลต่อเนื่อง เพื่อใช้ในการหาอัตราการไหล ความเร็ว หน้าตัดการไหล และความลึกของการไหล เป็นต้น

แนวความคิดเกี่ยวกับสมการพลังงาน ในขั้นต้นอาศัยสมการของ Leonhard Euler ที่ได้มีการหาสมการความสัมพันธ์ระหว่างระดับ ความดัน และความเร็วของการไหลตามเส้นแนวการไหลซึ่ง Bernoulli ได้วิเคราะห์ต่อจนเป็นสมการพลังงานที่ใช้ในปัจจุบัน ดังนี้

#### ข.1.2.1 สมการของ Leonhard Euler

พิจารณาเส้นแนวการไหลของของไหลกำลังเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว  $a_s$  ทำมุม  $\theta$  กับแนวราบ ดังในภาพที่ ข.3



ภาพที่ ข.3 การเคลื่อนที่ของของไหลตามเส้นแนวการไหล

แรงที่กระทำต่อชิ้นของไหลประกอบด้วย

1) แรงดัน (pressure force) เนื่องจากความดัน  $P$  ด้านหนึ่ง และความดัน  $P + \frac{\partial P}{\partial s} ds$  อีกด้านหนึ่งของชิ้นการไหล

2) แรงเนื่องจากน้ำหนักของชิ้นการไหล

$$\text{น้ำหนักของชิ้นการไหล} = dW = \gamma \nabla = \gamma dA ds \quad (6)$$

แรงย่อยของน้ำหนักของชิ้นของไหลตามทิศทางการไหล

$$dW \sin\theta = \gamma dAdS \sin\theta \quad (7)$$

ความเร่งของของไหล  $a_s = \frac{dV}{dt}$

แต่ความเร็ว  $V = f(S,t)$

เมื่อ  $S,t$  คือ ระยะทางและเวลาตามลำดับ

ดังนั้น ความเร่ง  $a_s = \frac{\partial V}{\partial S} \frac{dS}{dt} + \frac{\partial V}{\partial t} \frac{dt}{dt}$

$$a_s = V \frac{\partial V}{\partial S} + \frac{\partial V}{\partial t} \quad (8)$$

ในการไหลคงที่ (steady flow) ไม่มีการเปลี่ยนแปลงความเร็วตามเวลา

ดังนั้น ความเร่ง  $a_s = V \frac{\partial V}{\partial S}$  (9)

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน จะได้

$$\Sigma F = ma$$

หรือ  $PdA - \left[ P + \frac{\partial P}{\partial S} dS \right] dA - dW \sin\theta = ma$

$$PdA - \left[ P + \frac{\partial P}{\partial S} dS \right] dA - \gamma dAdS \left[ \frac{dz}{dS} \right] = \rho dAdS \left[ V \frac{\partial V}{\partial S} \right]$$

$$dz + \frac{dP}{\gamma} + \frac{VdV}{g} = 0 \quad (10)$$

สมการที่ 10 คือสมการ Leonhard Euler

### ข.1.2.2 สมการ Bernoulli

จากสมการพลังงานของ Leonhard Euler สามารถอินทิเกรตได้ดังนี้

$$\int dz + \int \frac{dP}{\gamma} + \int \frac{VdV}{g} = 0$$

$$z + \frac{P}{\gamma} + \frac{V^2}{2g} = C \quad (11)$$

สมการที่ 11 คือสมการพลังงานของ Bernoulli ใช้สำหรับเงื่อนไขในการไหลของของไหลดังนี้

- 1) ของไหลจินตภาพ (ideal) คือ ของไหลที่ไม่มีแรงเสียดทาน และอัดตัวได้ยาก (incompressible)
- 2) การไหลคงที่ตามเวลา (steady flow) และเป็นกรไหลอย่างต่อเนื่อง
- 3) การไหลเป็นไปตามเส้นแนวการไหล
- 4) ความเร็วกระจายสม่ำเสมอตลอดหน้าตัดการไหลและมีค่าเท่ากับความเร็วเฉลี่ย
- 5) แรงที่กระทำต่อของไหลมีเพียงแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force) และแรงดัน (pressure force) เท่านั้น

ทุกเทอมในสมการ Bernoulli มีมิติเป็นความยาว (L) ดังตารางที่ ข.1 ตารางที่ ข.1 เทอมต่างๆ ในสมการพลังงานของ Bernoulli

เทอม	ชื่อเรียก	มิติ
Z	หัวศักดา (potential head หรือ elevation head)	L
$\frac{P}{\gamma}$	หัวความดัน (pressure head)	$\frac{F L^3}{L^2 F} = L$
$\frac{V^2}{2g}$	หัวความเร็ว (velocity head)	$\frac{L^2 T^2}{T^2 L} = L$

หมายเหตุ F คือ แรงหรือน้ำหนัก

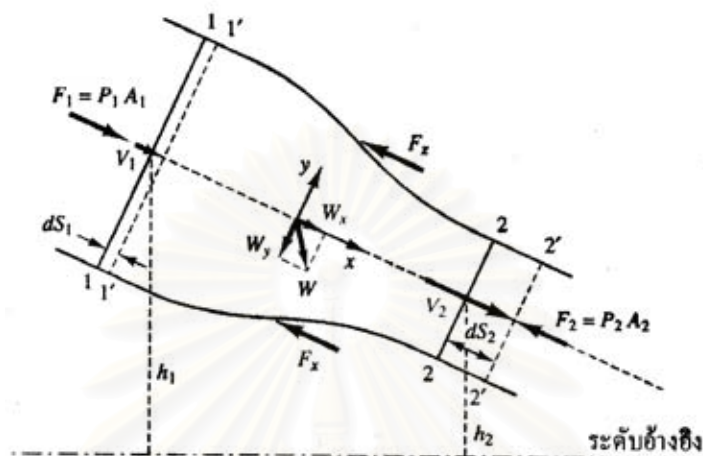
L คือ ความยาว

T คือ เวลา

### ข.1.3 สมการโมเมนตัม (momentum equation)

เมื่อมีการไหลผ่านโครงสร้างทางชลศาสตร์ เช่น การไหลผ่านฝายน้ำล้น ประตูน้ำ ข้อต่อ ท่อลดขนาด ข้อต่อท่อเพิ่มขนาด และข้องอของท่อ เป็นต้น จะเกิดแรงกระแทกเนื่องจากโมเมนตัมของของไหลกระทำต่อโครงสร้างที่รับแรง ในหัวข้อนี้จะกล่าวถึงการหาแรงจากการเคลื่อนที่ของของไหลโดยใช้สมการโมเมนตัมอย่างง่าย เพื่อหาแรงที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนที่ของของไหล

การหาแรงจากการเคลื่อนที่ของของไหลโดยใช้สมการโมเมนตัมอย่างง่ายสามารถทำได้โดยพิจารณาการไหลของของไหลในท่อดังภาพที่ ข.4 ในปริมาตรควบคุม (control volume) ที่เวลาเริ่มต้น ของไหลอยู่ระหว่างหน้าตัด 1 - 1 กับ 2 - 2 เมื่อเวลาผ่านไป dt ของไหลเคลื่อนที่ไปอยู่ระหว่างหน้าตัด 1' - 1' กับ 2' - 2'



ภาพที่ ข.4 การหาสมการโมเมนตัม

กฎการเคลื่อนที่ข้อที่ 2 ของนิวตัน เมื่อมวลของไหลเคลื่อนที่ในปริมาตรควบคุม จะมี

$$\begin{aligned}\sum \vec{F} &= m\vec{a} \\ &= m \frac{d\vec{V}}{dt} \\ &= \frac{m\vec{V}_2 - m\vec{V}_1}{\nabla t} \\ \sum \vec{F} &= \frac{m(\vec{V}_2 - \vec{V}_1)}{\nabla t}\end{aligned}\quad (12)$$

ทั้งแรง  $\vec{F}$  และความเร็ว  $\vec{V}$  เป็นปริมาณเวกเตอร์

เนื่องจาก ความหนาแน่น  $\rho = \frac{m}{\nabla}$

หรือ  $m = \rho \nabla$  (13)

แทนค่า  $m$  จากสมการที่ 13 ในสมการที่ 12 จะได้

$$\sum F = \frac{\rho \nabla (\vec{v}_2 - \vec{v}_1)}{\nabla t} \quad (14)$$

เมื่อ  $\frac{\nabla}{\nabla t}$  คือ ปริมาตรของไหลที่มีการไหลใน 1 หน่วยเวลา หมายถึงอัตราการไหล  $Q$

ดังนั้น แทนค่า  $\frac{\nabla}{\nabla t} = Q$  ในสมการที่ 14 จะได้

$$\sum \vec{F} = \rho Q (\vec{v}_2 - \vec{v}_1) \quad (15)$$

แนวแกน x มี 
$$\sum F_x = \rho Q (v_{2x} - v_{1x}) \quad (16)$$

แนวแกน y มี 
$$\sum F_y = \rho Q (v_{2y} - v_{1y}) \quad (17)$$

แนวแกน z มี 
$$\sum F_z = \rho Q (v_{2z} - v_{1z}) \quad (18)$$

แรงภายนอก (external forces) ที่กระทำกับปริมาตรควบคุมตามแนวแกน x หาได้จาก

$$\begin{aligned} \sum F &= F_1 - F_2 - F_x + W_x \\ \sum F &= P_1 A_1 - P_2 A_2 - F_x + W_x \end{aligned} \quad (19)$$

โดยที่  $F_1$  และ  $F_2$  คือ แรงดันของของไหลที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 ตามลำดับ  
 $P_1$  และ  $P_2$  คือ ความดันของของไหลที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 ตามลำดับ  
 $A_1$  และ  $A_2$  คือ พื้นที่หน้าตัดของของไหลที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 ตามลำดับ  
 $V_1$  และ  $V_2$  คือความเร็วของของไหลที่หน้าตัด 1 และหน้าตัด 2 ตามลำดับ  
 $F_x$  คือ แรงต้านการไหลที่ผนังท่อ  
 $W_x$  คือ น้ำหนักของไหลตามแนวแกน x

#### ข.1.4 การไหลในทางน้ำเปิด (Open Channel Flow)

##### ข.1.4.1 การไหลในทางน้ำเปิด

การไหลในทางน้ำเปิด หมายถึง การไหลที่มีผิวของของไหลสัมผัสกับอากาศ ซึ่งเรียกผิวของของไหลนี้ว่า ผิวของของไหลอิสระ โดยมีความดันบรรยากาศ

(atmospheric pressure) กระทำต่อผิวของไหลอิสระ ดังนั้น ผิวของไหลอิสระตามแนวยาวของทางน้ำเปิดจึงเป็นเส้นระดับชลศาสตร์ (hydraulic grade line) ทางน้ำเปิดที่พบเห็นโดยทั่วไปแบ่งได้ 2 ลักษณะ คือ

#### ข.1.4.1.1 ทางน้ำเปิดตามธรรมชาติ (natural open channel)

เป็นทางน้ำเปิดที่มีสภาพสลับซับซ้อน เปลี่ยนแปลงไปตามสถานที่ ลักษณะไม่แน่นอน เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น ร่องน้ำ คู คลอง และแม่น้ำ เป็นต้น

#### ข.1.4.1.2 ทางน้ำเปิดที่สร้างขึ้น (artificial channel)

เป็นทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้น เพื่อให้เกิดประโยชน์ตามวัตถุประสงค์ที่ต้องการ ซึ่งการวางแผนทางการไหลสามารถกำหนดได้จากเส้นระดับชั้นความสูง (contour) ของพื้นที่ โดยอาศัยหลักการที่ว่าของไหลย่อมไหลจากที่ที่มีพลังงานสูงไปสู่ที่ที่มีพลังงานต่ำกว่าตามแรงโน้มถ่วงของโลก ตัวอย่างของทางน้ำเปิดที่สร้างขึ้น เช่น คลองคอนกรีต รางระบายน้ำข้างถนน รางคอนกรีตเสริมเหล็ก และท่อที่มีน้ำไหลไม่เต็มท่อ เป็นต้น

#### ข.1.4.2 ประเภทของการไหลในทางน้ำเปิด

ในทางชลศาสตร์สามารถแบ่งการไหลในทางน้ำเปิดได้ 2 ประเภท คือ การแบ่งตามชนิดของการไหล (type of flow) ซึ่งมีรายละเอียดดังนี้

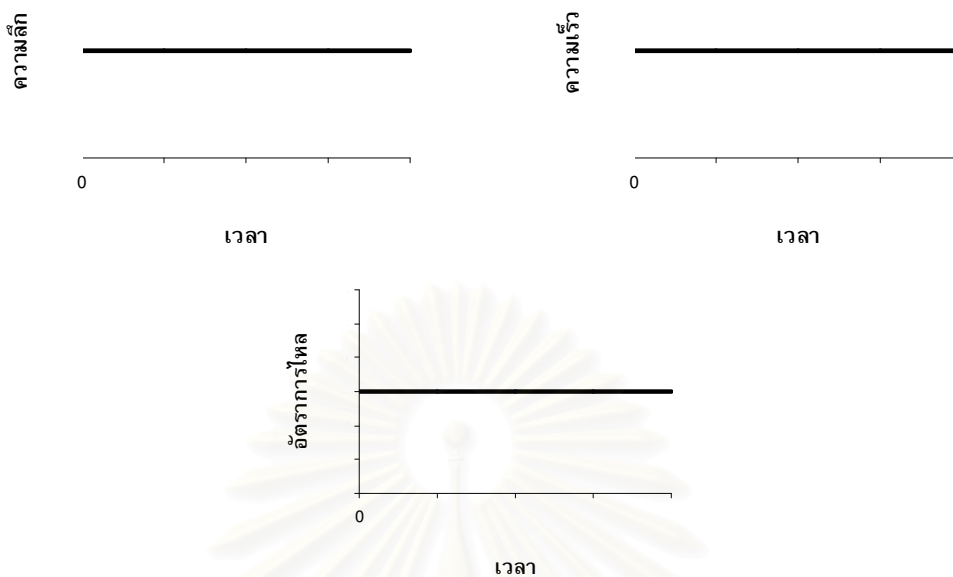
##### ข.1.4.2.1 การแบ่งตามชนิดของการไหล

มีหลักเกณฑ์ในการแบ่ง 2 ประการ คือ

- 1) เกณฑ์เกี่ยวกับเวลา (time criterion) มี 2 ลักษณะ คือ
  - การไหลคงที่ (steady flow) คือ การไหลที่ไม่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือ ตัวแปรต่างๆ ของการไหล เช่น ความลึก (y) ความเร็ว (V) และอัตราการไหล (Q) ที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของทางน้ำเปิดคงที่ในช่วงเวลาที่กำหนด (dt) หรือ

$$\frac{d}{dt}(y, V, Q, \dots) = 0 \quad (20)$$

ลักษณะการไหลคงที่ มักจะเกิดในทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้น เพราะสามารถควบคุมปริมาณการไหลคงที่ได้ด้วยประตูน้ำต่างๆ ส่วนทางน้ำเปิดตามธรรมชาติก็อาจเกิดการไหลคงที่ได้ในกรณีที่พิจารณาการไหลในช่วงเวลาสั้นๆ ดังนั้นภาพของสมการที่ 20 สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ ข.5

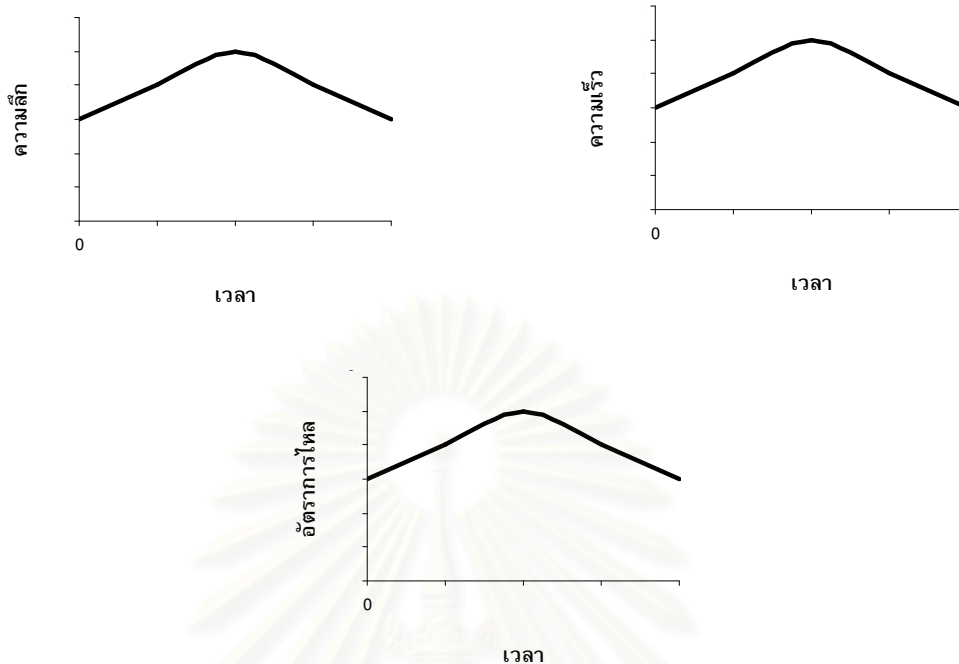


ภาพที่ ข.5 การไหลคงที่ในทางน้ำเปิด

- การไหลไม่คงที่ (unsteady flow) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา กล่าวคือ ตัวแปรต่างๆ ของการไหล เช่น ความลึก (y) ความเร็ว (V) และอัตราการไหล (Q) ที่หน้าตัดใดหน้าตัดหนึ่งของทางน้ำเปิดเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา หรือ

$$\frac{d}{dt}(y, V, Q, \dots) \neq 0 \tag{21}$$

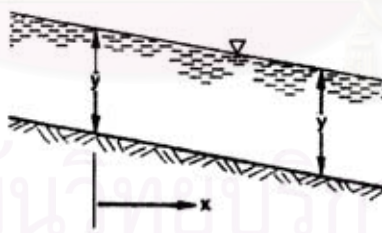
ลักษณะการไหลไม่คงที่ มักจะเกิดขึ้นกับทางน้ำเปิดธรรมชาติ ซึ่งมีความผันแปรของตัวแปรต่างๆ ที่เกี่ยวข้องมาก โดยปริมาณน้ำที่ไหลลงทางน้ำเปิด ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ปริมาณน้ำฝน การซึมลงดิน การกักขังบนผิวดิน และการระเหย เป็นต้น ซึ่งมีผลทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงความลึก ความเร็ว และอัตราการไหลในทางน้ำเปิด ส่วนในทางน้ำเปิดที่มนุษย์สร้างขึ้นก็เกิดการไหลไม่คงที่ได้ เช่น ปริมาณน้ำที่ปล่อยจากเขื่อนสู่คลองชลประทานเปลี่ยนแปลงไปตามเวลาที่ควบคุม หรือการผันน้ำจากคลองชลประทานไปใช้ก็จะทำให้เกิดการไหลไม่คงที่ได้ ดังนั้นภาพของสมการที่ 21 สามารถอธิบายได้ดังภาพที่ ข.6



ภาพที่ ข.6 การไหลไม่คงที่ในทางน้ำเปิด

2) เกณฑ์เกี่ยวกับตำแหน่งพื้นที่การไหล (space criterion) แบ่งออกเป็น 2 ชนิด คือ

- การไหลแบบสม่ำเสมอ (uniform flow) คือการไหลที่มีความลึกของการไหล ( $y$ ) คงที่ ตลอดระยะทาง ( $x$ ) ของทางน้ำเปิด ดังภาพที่ ข.7



ภาพที่ ข.7 การไหลแบบสม่ำเสมอ

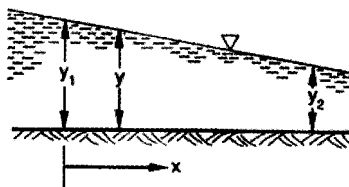
จากภาพที่ ข.7 จะเห็นได้ว่า ความลึก ( $y$ ) ไม่เป็นฟังก์ชันกับระยะทาง ( $x$ ) หรือ

$$y \neq f(x) \quad (22)$$

นั่นคือ

$$\frac{dy}{dx} = 0 \quad (23)$$

- การไหลแบบเปลี่ยนแปลง (varied flow) หรือ การไหลแบบไม่สม่ำเสมอ (non-uniform flow) คือการไหลที่มีความลึกของของไหลเปลี่ยนแปลงไปตามระยะทางของทางน้ำเปิด ดังภาพที่ ข.8



ภาพที่ ข.8 การไหลแบบเปลี่ยนแปลง

จากภาพที่ ข.8 จะเห็นได้ว่า ความลึก ( $y$ ) เป็นฟังก์ชันกับระยะทาง ( $x$ ) หรือ

$$y = f(x) \quad (24)$$

นั่นคือ

$$\frac{dy}{dx} \neq 0 \quad (25)$$

นอกจากนี้ในการไหลแบบเปลี่ยนแปลงยังแบ่งได้อีก 2 ชนิด คือ

- i) การไหลแบบเปลี่ยนแปลงน้อย (gradually varied flow; GVF) คือ การไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงระดับความลึกตามระยะทางน้อย
- ii) การไหลแบบเปลี่ยนแปลงเร็ว (rapidly varied flow; RVF) คือการไหลที่มีการเปลี่ยนแปลงความลึกตามระยะทางอย่างทันทีทันใด เช่น น้ำกระโดด (hydraulic jump) น้ำตก (hydraulic drop) และบริเวณที่น้ำลอดไหลจากประตูระบายน้ำ เป็นต้น

#### ข.1.4.2.2 การแบ่งตามสภาวะการไหล

จะพิจารณาผลของแรงกระทำที่เกี่ยวข้องกับการไหล 3 ชนิด คือ แรงเนื่องจากความหนืด (viscous force) แรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force) และแรงเนื่องจากความเฉื่อยของมวล (inertia force) โดยมีผลของแรงต่างๆ ดังนี้

- 1) ผลของแรงเนื่องจากความหนืด เมื่อเปรียบเทียบกับแรงเนื่องจากความเฉื่อยของมวลจะได้ Reynolds number\* ( $N_r$ ) ดังนี้

---

\* Reynolds number ( $N_r$ ) คือ อัตราส่วนของแรงเฉื่อย (inertia force) ต่อแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล (viscous force)

$$N_r = \frac{VR}{V} \quad (26)$$

โดยที่  $V$  คือ ความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิด

$R$  คือ รัศมีชลศาสตร์ หาได้จากพื้นที่หน้าตัดการไหลหารด้วยเส้นของเปียกของทางน้ำเปิด

$V$  คือ ความหนืดเปรียบเทียบ

จากผลการทดลอง การทดสอบ และตรวจวัดค่าตัวแปรต่างๆ ในสมการที่ 26 ทั้งในห้องปฏิบัติการ และสภาพแม่น้ำจริง พบว่า ผลของแรงเนื่องจากความหนืดสามารถแบ่งสภาวะการไหลในทางน้ำเปิดได้ 3 ประเภท คือ

i) การไหลแบบราบเรียบ (lamina flow) คือ การไหลที่มีการเคลื่อนที่อย่างเป็นระเบียบ มีแรงกระทำเนื่องจากความหนืดมาก โดยมีค่า Reynolds number น้อยกว่า 500

ii) การไหลแบบปั่นป่วน (turbulent flow) คือ การไหลที่มีการเคลื่อนที่อย่างไม่เป็นระเบียบ สายน้ำปั่นป่วน วกวนไม่แน่นอน มีแรงกระทำเนื่องจากความหนืดน้อย โดยมีค่า Reynolds number มากกว่า 2000

iii) การไหลแบบผสม (transitional flow) คือ การไหลที่ผสมกันอยู่ระหว่างการไหลแบบราบเรียบกับการไหลแบบปั่นป่วน โดยมีค่า Reynolds number อยู่ระหว่าง 500 ถึง 2000

2) ผลของแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก เมื่อเปรียบเทียบกับแรงเนื่องจากความเฉื่อยของมวล จะได้ค่า Froude number\* ( $F_r$ ) คือ

$$F_r = \frac{V}{\sqrt{gD}} \quad (27)$$

โดยที่  $V$  คือ ความเร็วของการไหลในทางน้ำเปิด

$g$  คือ ความเร่งเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก

$D$  คือ ความลึกชลศาสตร์ (hydraulic depth) หาได้จากพื้นที่หน้าตัดการไหลหารด้วยความกว้างของผิวของของไหลอิสระบนหน้าตัดการไหล

---

\* Froude number ( $F_r$ ) คือ อัตราส่วนของแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก (gravity force) ต่อแรงเนื่องจากความหนืดของของไหล (viscous force)

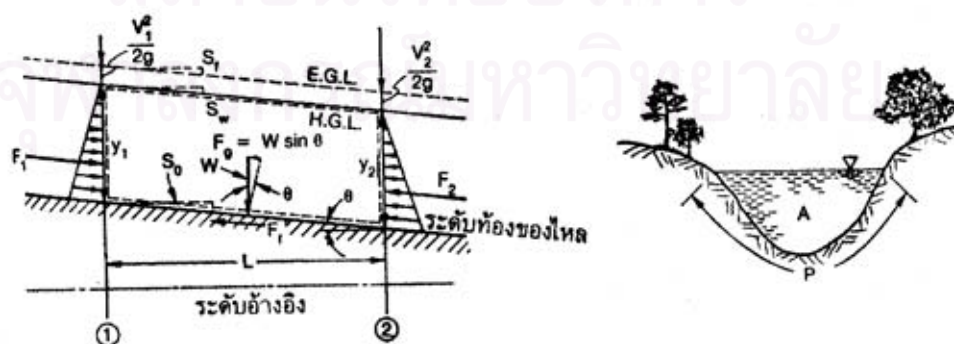
จากผลการทดสอบการไหลในทางน้ำเปิด พบว่า ผลของแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลกสามารถแบ่งสภาวะการไหลในทางน้ำเปิดได้ 3 ประเภท คือ

- i) การไหลวิกฤต (critical flow) คือ การไหลที่มีค่า Froude number เท่ากับ 1 มีความลึกเท่ากับความลึกวิกฤต และความเร็วเท่ากับความเร็ววิกฤต
- ii) การไหลใต้วิกฤต (subcritical flow) คือ การไหลที่มีการไหลอย่างช้าๆ ความลึกมากกว่าความลึกวิกฤต โดยมีค่า Froude number น้อยกว่า 1
- iii) การไหลเหนือวิกฤต (supercritical flow) คือ การไหลที่มีการไหลเร็ว ความลึกน้อยกว่าความลึกวิกฤต โดยมีค่า Froude number มากกว่า 1

### ข.1.4.3 การไหลแบบสม่ำเสมอ

การไหลในทางน้ำเปิดเป็นการเคลื่อนที่ของของไหลภายใต้แรงโน้มถ่วงของโลก จากที่ที่มีพลังงานสูงไปสู่บริเวณที่มีพลังงานต่ำ ซึ่งขณะที่ของไหลเคลื่อนที่จะเกิดการสูญเสียพลังงานเนื่องจากมีแรงเสียดทานในบริเวณที่ของไหลสัมผัสกับทางน้ำเปิด แรงเสียดทานที่เกิดขึ้นนี้มีทิศทางตรงกันข้ามกับทิศทางการไหล ซึ่งการไหลแบบสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นเมื่อแรงเสียดทานเท่ากับแรงเนื่องจากแรงโน้มถ่วงของโลก โดยที่การไหลแบบสม่ำเสมอนี้บางครั้งเรียกว่า การไหลแบบปกติ (normal flow) การไหลแบบสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นเมื่อ

- 1) คุณสมบัติทางเรขาคณิตและสภาพการไหลในทางน้ำเปิด คือ ความลึก หน้าตัดลำน้ำ อัตราการไหล และความเร็ว คงที่ทุกหน้าตัดการไหล
- 2) ความลาดของระดับท้องของไหล (bottom slope;  $S_0$ ) ความลาดผิวของของไหล (surface slope;  $S_w$ ) ความลาดของเส้นระดับพลังงาน (energy grade line;  $S_f$ ) มีค่าเท่ากัน และเท่ากับความลาด (S) ตลอดช่วงความยาวที่เกิดการไหลแบบสม่ำเสมอ ซึ่งในทางน้ำเปิดจะมีสภาพการไหลแบบสม่ำเสมอได้ถ้าไม่มีความเร่ง (acceleration) หรือความหน่วง (deceleration) ในแต่ละหน้าตัดการไหล แสดงว่า สภาพการไหลแบบสม่ำเสมอจะเกิดขึ้นได้ต่อเมื่อแรงโน้มถ่วงของโลกในทิศทางการไหลมีค่าเท่ากับแรงเสียดทานของการไหล



ภาพที่ ข.9 การไหลแบบสม่ำเสมอในทางน้ำเปิด

เมื่อพิจารณาภาพตัดอิสระ (free-body diagram) ของการไหลแบบสม่ำเสมอระหว่างหน้าตัด 1 กับหน้าตัด 2 ดังภาพที่ ข.9 พบว่า มีแรงกระทำต่อของไหล 3 ชนิด คือ

i) แรงดันสถิต (hydrostatic pressure force)  $F_1$  และ  $F_2$  กระทำต่อของไหลทั้งสองหน้าตัด

ii) น้ำหนักของของไหล ( $W$ ) หมายถึง แรงโน้มถ่วงของโลกสามารถแยกเป็นแรงในทิศทางการไหล ( $F_g$ ) คือ

$$\begin{aligned} F_g &= W \sin \theta = \gamma V \sin \theta \\ F_g &= \gamma AL \sin \theta \end{aligned} \quad (28)$$

โดยที่  $\gamma$  คือ น้ำหนักจำเพาะของของไหล

$A$  คือ พื้นที่หน้าตัดการไหล

$L$  คือ ระยะทางการไหล

$\sin \theta$  คือ ความลาดของระดับท้องของของไหล

ซึ่งในกรณีที่  $\theta$  มีค่าน้อย จะมีผลให้  $\sin \theta \approx \tan \theta \approx S$

ดังนั้น จากสมการที่ 28 จะได้

$$F_g = \gamma ALS \quad (29)$$

iii) แรงเสียดทานของการไหล (resistance force;  $F_f$ ) ที่ผิวสัมผัสระหว่างของไหลกับผนังทางน้ำเปิดหาได้จาก

$$F_f = \tau_0 PL \quad (30)$$

โดยที่  $\tau_0$  คือ ความเค้นเฉือนที่ผนังทางน้ำเปิด (wall shear stress) หมายถึงแรงเสียดทานต่อพื้นที่ที่ของไหลสัมผัสทางน้ำเปิด

$P$  คือ เส้นขอบเปียก (wetted perimeter)

$L$  คือ ระยะทางการไหล

ในปี ค.ศ.1773 Antoine Chezy วิศวกรชาวฝรั่งเศส พบว่า ความเค้นเฉือนที่ผนังทางน้ำเปิด ( $\tau_0$ ) เป็นปฏิภาคโดยตรงกับความเร็วเฉลี่ยที่หน้าตัดการไหล ( $V$ ) ยกกำลังสอง

$$\begin{aligned}\tau_0 &\propto V^2 \\ \tau_0 &= KV^2\end{aligned}\quad (31)$$

โดยที่  $K$  คือ ค่าคงที่

แทนค่า  $\tau_0$  จากสมการที่ 31 ลงในสมการที่ 30 จะได้

$$F_f = KV^2PL \quad (32)$$

ผลรวมของแรงทั้ง 3 ชนิดในแนวการไหล คือ

$$F_1 + F_g - F_2 - F_f = 0 \quad (33)$$

เนื่องจากการไหลแบบสม่ำเสมอ ความลึกของของไหลที่หน้าตัด 1 เท่ากับหน้าตัด 2 ทำให้มีแรงดันสถิต  $F_1 = F_2$  ดังนั้น จากสมการที่ 33 จะได้

$$F_g = F_f \quad (34)$$

จากสมการที่ 34 แสดงว่า แรงโน้มถ่วงของโลกในทิศทางการไหล เท่ากับแรงเสียดทานของของไหล ซึ่งเมื่อแทนค่า  $F_g$  จากสมการที่ 29 และ  $F_f$  จากสมการที่ 32 ในสมการที่ 34 จะได้

$$\gamma ALS = KV^2PL$$

หรือ

$$\begin{aligned}V &= \sqrt{\left(\frac{\gamma}{K}\right)\left(\frac{A}{P}\right)S} \\ V &= C\sqrt{RS}\end{aligned}\quad (35)$$

โดยที่  $R = \frac{A}{P}$  คือ รัศมีชลศาสตร์ (hydraulic radius)

$C = \sqrt{\frac{\gamma}{K}}$  คือ สัมประสิทธิ์ของ Chezy ซึ่งขึ้นอยู่กับสภาพทางน้ำเปิด และสภาพการ

ไหล

สมการที่ 35 เป็นสมการที่ Antoine Chezy ได้เสนอและเป็นที่ยอมรับกันโดยทั่วไป ซึ่งสมการนี้เป็นสมการการไหลแบบสม่ำเสมอที่มีความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ( $V$ ) รัศมีชลศาสตร์ ( $R$ ) และความลาด ( $S$ ) โดยที่  $S$  คือความลาดของเส้นระดับ

พลังงาน  $S_f$  เพราะว่าการไหลในทางน้ำเปิดเป็นการไหลจากบริเวณที่มีพลังงานสูงไปสู่บริเวณที่มีพลังงานต่ำกว่า สำหรับในกรณีของการไหลแบบสม่ำเสมอ สามารถแทนค่าความลาดท้องน้ำ  $S_0$  หรือความลาดผิวหน้า  $S_w$  หรือความลาดของเส้นระดับพลังงาน  $S_f$  ในสมการที่ 2.35 ได้เลย เพราะ  $S = S_0 = S_w = S_f$

ในช่วงปี ค.ศ.1891 ถึง ค.ศ.1895 Robert Manning วิศวกรชาวไอริชได้วิเคราะห์ผลการทดลองการไหลในทางน้ำเปิดทั้งในห้องปฏิบัติการและในแม่น้ำหลายแห่ง พบว่า ในการไหลแบบสม่ำเสมอค่าสัมประสิทธิ์ของ Chezy มีความสัมพันธ์กับสัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning คือ

$$C = \frac{1}{n} R^{\frac{1}{6}} \quad (36)$$

โดยที่  $n$  คือ สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning ซึ่ง Chow (1959) ได้เสนอแนะค่า  $n$  ดังตารางที่ ข.2

แทนค่า  $C$  จากสมการที่ 36 ในสมการที่ 35 จะได้

$$V = \frac{1}{n} R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (37)$$

$$Q = VA$$

$$Q = \frac{1}{n} A R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (38)$$

สมการที่ 37 และสมการที่ 38 คือ สมการการไหลแบบสม่ำเสมอของ Manning ซึ่งมีความถูกต้องเมื่อมีสภาพการไหลแบบปั่นป่วนสมบูรณ์ (fully turbulent flow)

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ข.2 สัมประสิทธิ์ความขรุขระของ Manning

ผิวทางน้ำเปิด	n
1) ทางน้ำเปิดธรรมชาติ (natural channel)	
เรียบและตรง	0.030
ไหลช้าเนื่องจากมีสระลึกเป็นช่วงๆ	0.040
แม่น้ำสายหลัก	0.035
2) ลุ่มน้ำที่มีน้ำท่วมถึง (flood plains)	
ทุ่งหญ้า	0.035
ไม้พุ่มเตี้ยบางๆ	0.050
ไม้พุ่มเตี้ยมาก	0.075
ต้นไม้	0.150
3) ทางน้ำเปิดดินขุด (excavated earth channel)	
เรียบ	0.022
มีกรวดบ้าง	0.025
เต็มไปด้วยหญ้า	0.030
ก้อนหิน	0.035
4) ทางน้ำเปิดลาดผิว (artificially lined channels)	
แก้ว	0.010
ทองเหลือง	0.011
เหล็กเรียบ	0.012
เหล็กทาสี	0.014
เหล็กมีหมุดย้ำ	0.015
เหล็กหล่อ	0.013
คอนกรีตขัดผิว	0.012
คอนกรีตผิวหยาบ	0.014
ไม้ไผ่เรียบ	0.012
ไม้ไม่ได้ใส	0.013
ดินเหนียว	0.014
ก่ออิฐ	0.015
ยางมะตอย	0.016
โลหะลูกฟูก	0.022
หินเรียง	0.025

ที่มา: กิรติ ลีวัจนกุล, ม.ป.ป.

การเลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระ  $n$  ที่เหมาะสมต้องอาศัยประสบการณ์ และการตัดสินใจจากองค์ประกอบต่างๆ ที่สำคัญ ดังนี้

1) ความขรุขระของผิวทางน้ำเปิด (surface roughness) หมายถึงขนาดและรูปร่างของวัสดุที่เป็นผิวทางน้ำเปิด ถ้าวัสดุเป็นเม็ดละเอียด จะมีค่า  $n$  ต่ำ ในขณะที่วัสดุเม็ดหยาบมีค่า  $n$  สูง

2) พืชปกคลุม (vegetation) หมายถึง การที่มีพืชเจริญเติบโตในทางน้ำเปิด เช่น มีหญ้าขึ้น หรือมีผักตบชวาลอยน้ำ เป็นต้น ลักษณะเช่นนี้จะทำให้ค่า  $n$  มากขึ้น เพราะไปขวางทางน้ำ ทำให้ลดพื้นที่การไหล ซึ่งผลของการมีพืชปกคลุมต่อสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมากหรือน้อยขึ้นอยู่กับขนาด ความหนาแน่น และชนิดของพืช

3) ความผันแปรและความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด (channel irregularities and alignment) คือ ความผันแปรของทางน้ำเปิดอันเนื่องมาจากความแปรเปลี่ยนของรูปร่าง หน้าตัด และขนาดตามความยาวของทางน้ำเปิด ตลอดจนความคดเคี้ยวของทางน้ำเปิด ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงมาก จะทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระมากตามไปด้วย

4) การกัดเซาะและการตกตะกอน (scouring and silting) เมื่อทางน้ำเปิดถูกกัดเซาะโดยกระแสน้ำมากก็เท่ากับเป็นการเพิ่มความขรุขระของผนังคลอง ทำให้สัมประสิทธิ์ความขรุขระมากขึ้น ในทางตรงข้าม หากมีการตกตะกอนด้วยวัสดุที่มีความละเอียดกว่าผิวทางน้ำเปิด จะช่วยลดความขรุขระของพื้นผิว ทำให้สภาพการไหลสะดวกยิ่งขึ้น ดังนั้นสัมประสิทธิ์ความขรุขระจะมีแนวโน้มน้อยลง

## ภาคผนวก ค

### แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่เกี่ยวกับสมดุลของออกซิเจนในแหล่งน้ำ

#### สมดุลของออกซิเจนในแหล่งน้ำ (Dissolved Oxygen Balance)

(จัตราไชย รัตนไชย, 2539)

การควบคุมปัญหามลพิษทางน้ำที่ดำเนินการอยู่ในปัจจุบัน ส่วนใหญ่จะมีวัตถุประสงค์เพื่อปกป้องสิ่งมีชีวิตในน้ำ และเพื่อป้องกันไม่ให้เกิดปัญหาสภาวะแวดล้อมที่ไม่พึงประสงค์ในแหล่งน้ำ ซึ่งอาจเกิดจากการที่ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำลดต่ำลง เพื่อบรรลุจุดประสงค์นี้ มาตรการป้องกันมลพิษทางน้ำส่วนใหญ่จึงมุ่งเน้นไปที่การควบคุมปริมาณสารที่ต้องการใช้ออกซิเจนในน้ำเสีย ระดับความรุนแรงของสารประเภทนี้สามารถวัดออกมาในเชิงของปริมาณความต้องการออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์ หรือค่า BOD การวางแผนออกแบบ และการทำงานของอุปกรณ์บำบัดน้ำเสียส่วนใหญ่จะอาศัยหลักการเกี่ยวกับสมดุลของออกซิเจนละลายในแหล่งน้ำ และการพยายามควบคุมปริมาณความเข้มข้นของออกซิเจนละลายให้อยู่ในระดับที่เหมาะสม

#### ค. 1 การสลายตัวของสารอินทรีย์ในแหล่งน้ำ

เมื่อสารอินทรีย์ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำ จุลินทรีย์ในแหล่งน้ำที่สามารถใช้ประโยชน์จากสารอินทรีย์ชนิดนั้น ก็จะใช้สารนั้นในปฏิกิริยาทางชีวเคมีที่เหมาะสม และนำพลังงานและสารผลผลิตที่ได้ไปใช้ในการสร้างเซลล์และกระบวนการเจริญเติบโต ผลของปฏิกิริยาจะทำให้มีการสร้างเซลล์ใหม่และการย่อยสลายซึ่งทำให้ความเข้มข้นของสารเคมีบางชนิดลดลง ตลอดจนการสร้างสารผลผลิตใหม่ขึ้น ซึ่งมักเรียกว่าสารผลพลอยได้ (by-product) บางชนิดเป็นสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างง่าย ๆ สามารถใช้เป็นสารอาหารของสิ่งมีชีวิตกลุ่มอื่นได้อีก สิ่งมีชีวิตกลุ่มหลังนี้จะสร้างปฏิกิริยาในลักษณะเดียวกับปฏิกิริยาข้างต้นและสร้างเซลล์ใหม่เพิ่มขึ้นอีก และย่อยสลายสารอินทรีย์ที่เหลือต่อไปเป็นทอดๆ

กระบวนการเช่นนี้จะดำเนินการต่อเนื่องกันหลายขั้นตอนเพื่อตอบสนองความต้องการทางเมตาโบลิซึมของสิ่งมีชีวิตชนิดพันธุ์ต่าง ๆ เพื่อย่อยสลายสารอินทรีย์ที่มีโครงสร้างซับซ้อนให้มีโครงสร้างง่ายขึ้น และสร้างสารผลพลอยได้ในรูปของสารเคมีอนินทรีย์และแก๊ส แล้วปล่อยสู่แหล่งน้ำ ในปฏิกิริยาเคมีแบบลูกโซ่เช่นนี้ สิ่งมีชีวิตชนิดพันธุ์ต่าง ๆ ได้ใช้สารเคมีที่ถูกปล่อยลงสู่แหล่งน้ำเป็นอาหาร และปล่อยของเสียเพื่อเป็นอาหารแก่ชนิดพันธุ์อื่น ๆ ในห่วงโซ่อาหารอย่างต่อเนื่อง

สิ่งมีชีวิตบางชนิดในแหล่งน้ำอาจไม่สามารถใช้ประโยชน์จากสารเคมีบางชนิดได้ เนื่องจากไม่มีความต้องการสารดังกล่าวในกระบวนการเมตาโบลิซึมของตน ในกรณีเช่นนี้ สิ่งมีชีวิตชนิดดังกล่าวจะไม่ได้รับผลกระทบทางนิเวศจากการเติมสารเคมีชนิดนั้นๆ ลงสู่แหล่งน้ำ นอกเสียจากว่ากระบวนการถูกโซ่ของสิ่งมีชีวิตชนิดอื่นจะสร้างสารผลพลอยได้ที่มีผลกระทบต่อการทำงานของมัน

## ค.2 ความต้องการออกซิเจนในแหล่งน้ำ

ปัจจัยหนึ่งที่เป็นไปในกระบวนการเมตาโบลิซึมของสิ่งมีชีวิตในน้ำได้แก่ ออกซิเจน กลไกที่ออกซิเจนละลายจะถูกนำไปใช้มีหลายรูปแบบ ได้แก่

### ค.2.1 ความต้องการออกซิเจนแบบจับปล้น

ความต้องการออกซิเจนแบบนี้เกิดจากสารเคมีบางชนิดซึ่งมักเป็นสารเคมีอินทรีย์ (เช่น sulphites) ที่สามารถเข้าทำปฏิกิริยาอย่างรวดเร็วกับออกซิเจนในแหล่งน้ำ ความต้องการออกซิเจนแบบนี้ขึ้นอยู่กับชนิดและปริมาณของสารเคมีที่มีคุณสมบัติในลักษณะนี้ ปฏิกิริยาที่เกี่ยวข้องเป็นปฏิกิริยาเคมีโดยแท้ไม่ใช่ปฏิกิริยาชีวเคมีที่ได้กล่าวถึงข้างต้น ความต้องการออกซิเจนในรูปแบบนี้จึงควรวัดและวิเคราะห์ต่างหาก เพราะเกิดจากกลไกที่ต่างกันและด้วยอัตราเร็วที่ต่างกันมาก กล่าวคือ มักเกิดขึ้นภายในไม่กี่นาที แทนที่จะเป็นชั่วโมงหรือวันดังเช่นปฏิกิริยาชีวเคมี

### ค.2.2 ความต้องการออกซิเจนแบบคาร์บอนเนเชียส (Carbonaceous Biochemical Oxygen Demand; CBOD)

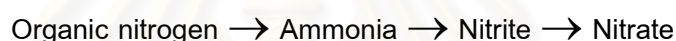
ความต้องการออกซิเจนแบบนี้เกิดจากกระบวนการเมตาโบลิซึมของสารเคมีอินทรีย์โดยสิ่งมีชีวิต เมื่อจุลินทรีย์ย่อยสลายสารอินทรีย์โดยกระบวนการทางชีวเคมีสิ่งที่ได้รับก็คือคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำ ปฏิกิริยาดังกล่าวเป็นปฏิกิริยาเดียวกับที่เกิดขึ้นในร่างกายมนุษย์ซึ่งหายใจเอาออกซิเจนเข้าไปเพื่อใช้ในกระบวนการเมตาโบลิซึม และคายคาร์บอนไดออกไซด์และน้ำออกมา

ในความหมายทั่วไป ความต้องการออกซิเจนแบบคาร์บอนเนเชียส คือค่า BOD นั้นเอง การวิเคราะห์ค่า BOD ควรจะทำในลักษณะที่สามารถแยกความต้องการส่วนนี้ออกจากความต้องการออกซิเจนแบบเฉียบพลัน และความต้องการออกซิเจนแบบไนโตรจีนัส ซึ่งเป็นปฏิกิริยาที่เกิดจากสาเหตุต่างกัน และมีอัตราเร็วของปฏิกิริยาต่างกัน

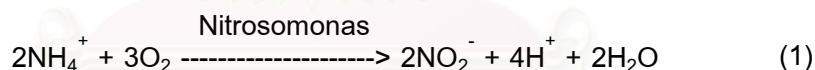
ปริมาณ BOD ในแหล่งน้ำและอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่เกิดจาก BOD ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายอย่าง เช่น ชนิดและปริมาณของสารเคมีในน้ำ ชนิดและปริมาณของสิ่งมีชีวิต ตลอดจนสภาพแวดล้อมอื่นๆ เช่น อุณหภูมิ ความเป็นกรด-ด่าง (pH) ปริมาณสารอื่นๆ เช่น ไนโตรเจน ฟอสฟอรัส และธาตุปฏิกาย่อย (trace elements)

### ค.2.3 ความต้องการออกซิเจนแบบไนโตรจีเนส (Nitrogenous Biochemical Oxygen Demand; NBOD)

สารประกอบไนโตรเจนที่ปะปนอยู่ในน้ำเสียอาจมีไนโตรเจนอยู่ในรูปสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์ แอมโมเนีย ไนไตรต์ และไนเตรต ภายใต้สภาพแวดล้อมที่เหมาะสม สารประกอบไนโตรเจนเหล่านี้อาจเข้าทำปฏิกิริยาทางชีวเคมีเปลี่ยนรูปจากสารประกอบไนโตรเจนอินทรีย์เป็นแอมโมเนีย และแอมโมเนียถูกเติมออกซิเจนกลายเป็นไนไตรต์และไนเตรต



ปฏิกิริยา 2 ขั้นตอนหลังรวมเรียกว่า ไนตริฟิเคชัน (nitrification) ซึ่งเป็นปฏิกิริยาต่อเนื่องกันโดยแบคทีเรียไนโตรโซโมนัส (nitrosomonas) และไนโตรแบคเตอร์ (nitrobacter) ตามลำดับ



ปริมาณออกซิเจนที่ต้องการในกระบวนการไนตริฟิเคชัน คือ ความต้องการออกซิเจนแบบไนโตรจีเนส หรือ NBOD ซึ่งเป็นความต้องการออกซิเจนในปฏิกิริยาชีวเคมีเช่นเดียวกับ CBOD แต่ควรแยกพิจารณาต่างหาก เนื่องจากปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นเกิดโดยจุลินทรีย์ต่างชนิดกัน ใช้สารเคมีต่างกัน ภายใต้สภาวะแวดล้อมต่างกัน และตัวอัตราเร็วของปฏิกิริยาที่ต่างกัน

### ค.3 แบบจำลองเกี่ยวกับสมดุลของออกซิเจนในน้ำ

สมดุลของออกซิเจนในน้ำ เป็นผลรวมของปฏิกิริยาการลดออกซิเจนในน้ำ (deoxygenation) และการเติมออกซิเจนในน้ำ (reoxygenation) ปฏิกิริยาการลดออกซิเจนในน้ำ หมายถึง ปฏิกิริยาเคมีและชีวเคมีต่างๆ ที่ใช้ออกซิเจนที่เกิดขึ้นในน้ำ ซึ่งรวมถึงปฏิกิริยาที่เกิดจากความต้องการออกซิเจนอย่างฉับพลัน CBOD NBOD และปฏิกิริยาอื่นๆ ซึ่งปฏิกิริยาเหล่านี้ล้วนมีผลทำให้ปริมาณออกซิเจนละลายน้ำลดลง ในทางตรงกันข้าม ปฏิกิริยาการเติมออกซิเจนในน้ำ หมายถึง ปฏิกิริยาหรือกลไกที่เติมออกซิเจนเข้าไปในน้ำ เช่น การเติมอากาศโดยธรรมชาติ หรือปฏิกิริยาสังเคราะห์แสงโดยพืชสีเขียว เป็นต้น

#### ค.3.1 ปฏิกิริยาการลดปริมาณออกซิเจนละลาย

ความต้องการออกซิเจนที่เกิดจากปฏิกิริยาการลดออกซิเจน เกิดจากเมตาโบลิซึมของจุลินทรีย์หลายชนิดพันธุ์ โดยใช้สารอินทรีย์หลายชนิด ปฏิกิริยาทางชีวเคมีบางปฏิกิริยาอาจแทนได้ด้วยสมการเดียวกันหรือคล้ายๆ กัน แต่ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ใช้อธิบายปรากฏการณ์หนึ่งได้ สำหรับสภาพแวดล้อมหนึ่ง ในเวลาหนึ่ง อาจไม่สามารถใช้อธิบายปรากฏการณ์เดียวกันได้สำหรับอีกสภาพแวดล้อมหนึ่ง หรืออีกเวลาหนึ่ง การที่ระบบชีววิทยาตามธรรมชาติมีลักษณะซับซ้อนและเปลี่ยนแปลงอยู่ตลอดเวลาเช่นนี้ ทำให้ในปัจจุบันเรายังไม่สามารถสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ง่ายๆ ที่สามารถอธิบายปรากฏการณ์ของระบบได้อย่างถูกต้องแม่นยำ กล่าวโดยสรุปคือ แบบจำลองที่ใช้อธิบายการลดปริมาณออกซิเจนในแหล่งน้ำสามารถใช้ได้เพียงเพื่อประมาณค่าผลกระทบรวมๆ เกี่ยวกับสมดุลของออกซิเจนในแหล่งน้ำ แต่ไม่สามารถจะให้ค่าที่ถูกต้องแม่นยำได้

ความสัมพันธ์รูปแบบต่างๆ ได้ถูกเสนอขึ้นเพื่ออธิบายปรากฏการณ์ที่เกิดขึ้นจากการเติม BOD ลงในลำธาร สูตรความสัมพันธ์แรกสุด ซึ่งยังคงเป็นที่ยอมรับในปัจจุบัน ได้แก่ ความสัมพันธ์ที่เสนอโดย Streeter and Phelps ในปี ค.ศ. 1925 โดยทั้งสองพบว่าค่า BOD ที่วัดได้ ณ จุดต่างๆ ของลำธารเป็นฟังก์ชันของระยะทาง และสามารถอธิบายได้อย่างถูกต้องพอสมควร โดยสูตรคณิตศาสตร์ง่ายๆ ดังนี้

$$-\frac{dL}{dT} = k_1 L \quad (3)$$

โดยที่ L = ปริมาณ Ultimate BOD ที่เหลือ ณ เวลา t (มิลลิกรัม/ลิตร)

t = เวลา (วัน)

$k_1$  = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการลดออกซิเจน (วัน<sup>-1</sup>)

เมื่ออินทิเกรต (integrate) สมการที่ 3 ตั้งแต่เวลา  $t=0$  ถึง  $t=t$  จะได้

$$L_t = L_0 e^{-k_1 t} \quad (4)$$

โดยที่  $k_1$  = ค่าคงที่ของปฏิกิริยาการลดออกซิเจน (วัน<sup>-1</sup>)

$L_t$  = ค่า BOD ที่เหลืออยู่ในน้ำ ณ เวลา  $t=t$

$L_0$  = ค่า BOD ที่เหลืออยู่ในน้ำ ณ เวลา  $t=0$

ปฏิกิริยาอันดับที่ 1 (first order reaction) ใช้สำหรับอธิบายปรากฏการณ์หลายชนิด บางครั้งก็มีเหตุผลทางทฤษฎีสนับสนุนเป็นอย่างดี เช่นในกรณีของการแผ่กัมมันตภาพรังสี และในบางกรณีก็มีหลักฐานทางสถิติสนับสนุน เช่นในกรณีของการเพิ่มประชากรและการตายของแบคทีเรียเมื่อถูกยาฆ่าเชื้อ รวมทั้งการเปลี่ยนแปลงปริมาณของ BOD แต่บางครั้งก็ถูกนำไปใช้เป็นการคำนวณอย่างง่าย (empirical) กล่าวคือ ไม่มีเหตุผลทางทฤษฎีสนับสนุนอย่างชัดเจน หากเพียงเพื่อความสะดวกในการอธิบายปรากฏการณ์บางอย่างโดยประมาณ

ตามสมการที่ 4 อัตราเร็วที่ BOD ถูกใช้ไป (เข้าทำปฏิกิริยากับออกซิเจนในน้ำ) ขึ้นอยู่กับความเข้มข้นของ BOD โดยที่อัตราเร็วของปฏิกิริยาจะสูงสุด ณ บริเวณถัดจากจุดปล่อยน้ำเสีย และจะลดลงเรื่อยๆ เมื่อปริมาณ BOD ลดลงในเวลาต่อมา นั่นคือความต้องการออกซิเจนในลำธารเนื่องจากน้ำเสียดังกล่าวลดลงเป็นฟังก์ชันของเวลา โดยที่อุณหภูมิเป็นตัวแปรสำคัญที่มีผลต่อค่า  $k_1$  เนื่องจากปฏิกิริยาทางชีวเคมีหลายอย่างขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความสัมพันธ์ระหว่าง  $k_1$  และอุณหภูมิมักที่จะเขียนอธิบายเป็นความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ชัดเจน เนื่องจากแต่ละปฏิกิริยามีกลไกต่างกัน อย่างไรก็ตาม อาจประมาณในภาพรวมในลักษณะความสัมพันธ์อย่างง่าย ได้ว่า

$$k_{1(T)} = k_{1(20^\circ\text{C})} \theta^{(T-20)} \quad (5)$$

โดยที่  $k_{1(T)}$  =  $k_1$  ที่อุณหภูมิ  $T^\circ\text{C}$

$k_{1(20^\circ\text{C})}$  =  $k_1$  ที่อุณหภูมิ  $20^\circ\text{C}$

$\theta$  = ค่าคงที่ = 1.047

### ค.3.2 ปฏิกริยาการเติมออกซิเจนในแหล่งน้ำ

กลไกที่ออกซิเจนจะถูกเติมลงไปแหล่งน้ำมี 3 วิธี คือ (1) การเติมอากาศโดยธรรมชาติ (2) การสังเคราะห์แสงของพืช และ (3) การเติมออกซิเจนที่ไม่ใช่โดยวิธีธรรมชาติ

#### ค.3.2.1 การเติมอากาศโดยธรรมชาติ (atmospheric reaeration)

การเติมอากาศ หรือการเติมออกซิเจน หมายถึง การบวนการถ่ายเทอากาศ (gas transfer process) ซึ่งเกิดขึ้นตามธรรมชาติตลอดเวลาที่ผิวน้ำ โมเลกุลของออกซิเจนเคลื่อนที่จากบรรยากาศเข้าสู่ น้ำตลอดเวลา ขณะเดียวกันจะมีออกซิเจนซึ่งละลายในน้ำ เคลื่อนที่ออกจากน้ำเข้าสู่บรรยากาศตลอดเวลาเช่นกัน อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกซิเจนทั้งสองขึ้นอยู่กับอุณหภูมิและตัวแปรอื่นๆ

ในกรณีที่ความต้องการออกซิเจนเท่ากับศูนย์ กระบวนการนี้จะเข้าสู่สภาพสมดุลทางพลวัต (dynamic equilibrium) กล่าวคือ อัตราเร็วของการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกซิเจนไปในสองทิศทางเท่ากัน ผลที่ได้คือ ความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัวของออกซิเจนในน้ำจะถึงจุดอิ่มตัว ค่าความเข้มข้นที่จุดอิ่มตัวของออกซิเจนขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ ที่สำคัญ ได้แก่ ความดันบรรยากาศ และอุณหภูมิ

เมื่อปริมาณออกซิเจนละลายลดลงกว่าระดับที่จุดอิ่มตัว เนื่องจากความต้องการออกซิเจนในน้ำ อัตราเร็วที่โมเลกุลออกซิเจนจะเคลื่อนที่จากน้ำสู่บรรยากาศก็จะลดลง แต่อัตราเร็วที่โมเลกุลจะเคลื่อนที่จากบรรยากาศสู่น้ำก็ยังคงเท่าเดิม เนื่องจากความดันบรรยากาศยังคงเดิม ดังนั้นการเคลื่อนที่ของโมเลกุลออกซิเจนจากบรรยากาศสู่น้ำจะมากกว่าจากน้ำสู่บรรยากาศ ผลลัพธ์สุทธิคือ การเติมออกซิเจนลงไปน้ำเพื่อทดแทนส่วนที่หายไป กระบวนการเติมอากาศโดยวิธีธรรมชาตินี้ อาจอธิบายได้ด้วยความสัมพันธ์ ดังนี้

$$-\frac{dC}{dt} = k_L \frac{A}{V} (C_0 - C) \quad (6)$$

โดยที่  $C$  = ความเข้มข้นของออกซิเจนละลายในน้ำ

$C_0$  = ความเข้มข้นอิ่มตัวของออกซิเจนละลายในน้ำ

$t$  = เวลา

$k_L$  = ค่าสัมประสิทธิ์การถ่ายเทอากาศ

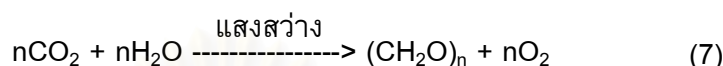
$A$  = พื้นที่ผิวสัมผัส

$V$  = ปริมาณน้ำ (หรือของเหลวอื่น)

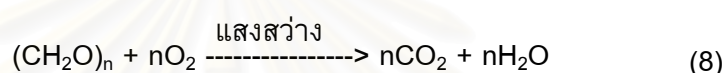
ค่าสัมประสิทธิ์  $k_L$  ขึ้นอยู่กับปัจจัยหลายประการ เช่น อุณหภูมิ ฟิล์มที่เกิดบนผิวน้ำ ความปั่นป่วนของกระแสน้ำ (turbulence) และสารเจือปนในน้ำ

### ค.3.2.2 การสังเคราะห์แสง (photosynthesis)

การสังเคราะห์แสงโดยคลอโรฟิลล์ของพืชสีเขียวในน้ำ โดยเฉพาะสาหร่ายเป็นอีกกลไกหนึ่งที่ทำให้เกิดการเติมออกซิเจนลงสู่แหล่งน้ำ ตามสมการ

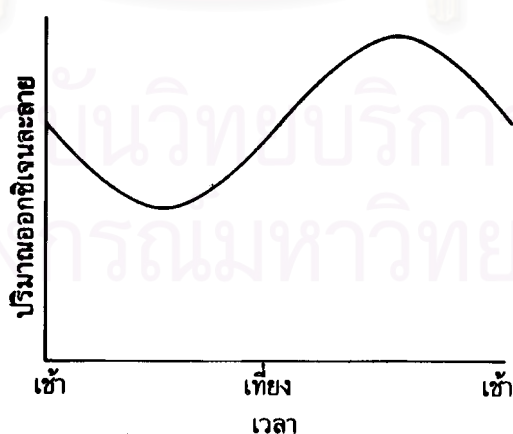


$(\text{CH}_2\text{O})_n$  หมายถึง เซลล์ใหม่ของสาหร่ายที่เป็นผลผลิตของปฏิกิริยา ขณะเดียวกันสาหร่ายก็ใช้ออกซิเจนในการหายใจ



โดยทั่วไป ปริมาณออกซิเจนที่สร้างขึ้นจะมีค่าประมาณ 1.5 เท่าของที่ถูกใช้ไปในการหายใจ แต่เมื่อสาหร่ายตาย การย่อยสลายของสาหร่ายต้องการออกซิเจนจากแหล่งน้ำ ซึ่งอาจสร้างผลกระทบทางลบต่อคุณภาพของแหล่งน้ำมากขึ้น

ด้วยเหตุที่การสังเคราะห์แสงเกิดขึ้นเฉพาะในช่วงกลางวันที่มีแสงสว่างแต่การหายใจเกิดขึ้นตลอด 24 ชั่วโมง ทำให้ปริมาณออกซิเจนเปลี่ยนแปลงตลอดเวลาในแต่ละวัน (diurnal variation) โดยเฉพาะอย่างยิ่งในทะเลสาบ ภาพที่ ค.1 แสดงตัวอย่างการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว



ภาพที่ ค.1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนในแต่ละวัน

ปริมาณออกซิเจนจะลดลงต่ำสุดตอนเช้าตรู่ ในช่วงกลางวัน ปฏิริยาสังเคราะห์แสงจะเพิ่มปริมาณออกซิเจนให้แหล่งน้ำจนถึงจุดสูงสุดในตอนบ่าย หลังจากนั้น เมื่อแสงอาทิตย์ลดน้อยลง ปฏิริยาสังเคราะห์แสงจะช้าลง การเติมออกซิเจนก็ลดลง จนในที่สุดเหลือแต่การใช้ออกซิเจนในการหายใจ ซึ่งทำให้ปริมาณออกซิเจนลดลงเรื่อยๆ จนถึงจุดต่ำสุดในตอนเช้าตรู่ก่อนเริ่มต้นของวัฏจักรใหม่ในวันต่อไป การเข้าใจปรากฏการณ์นี้เป็นสิ่งสำคัญในการวางแผนควบคุมการตรวจสอบคุณภาพน้ำ ได้มีการเสนอแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มากมายสำหรับอธิบายกระบวนการเติมออกซิเจนโดยการสังเคราะห์แสง แต่ก็ยังไม่มีแบบจำลองใดเป็นที่ยอมรับกันอย่างแพร่หลาย

### ค.3.2.3 การเติมออกซิเจนที่ไม่ใช่โดยวิธีธรรมชาติ (artificial oxygenation)

นอกจากกลไกทั้งสองข้างต้น ในทางปฏิบัติบางครั้งต้องหาวิธีการต่างๆ เพื่อเติมอากาศลงไปในน้ำ เพื่อรักษาสมดุลออกซิเจนให้อยู่ในระดับที่ต้องการ เช่น

- 1) การเติมอากาศโดยแรงกล
- 2) การเติมอากาศโดยกังหัน (turbine)
- 3) การเติมอากาศโดยฝาย

### ค.3.3 แบบจำลองคณิตศาสตร์ของกระบวนการเติมอากาศ

แบบจำลองที่นิยมใช้กันอย่างกว้างขวางในทางปฏิบัติสำหรับอธิบายกระบวนการเติมอากาศในลำธาร ใช้หลักการของสมการถ่ายเทอากาศ (สมการที่ 2.45) เนื่องจากความเข้าใจในเรื่องกระบวนการสังเคราะห์แสงยังไม่ดีพอ จึงมักไม่ได้นำไว้ในแบบจำลอง ส่วนการเติมอากาศที่ไม่ใช่โดยวิธีธรรมชาติ ซึ่งใช้เพียงบางกรณีก็มักจะไม่ได้นำไว้ในสมการทั่วไปเช่นกัน แต่จะพิจารณาเป็นกรณีๆ ไป

ในสมการที่ 6 เทอม  $C_0 - C$  คือความแตกต่างระหว่างความเข้มข้นสูงสุดของปริมาณออกซิเจนละลาย ( $C_0$ ) กับความเข้มข้นของออกซิเจนละลายขณะนั้น ( $C$ ) ซึ่งมักจะเรียกว่า ปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่ (deficit:  $D$ )

$$D = C_0 - C \quad (9)$$

ในส่วนของลำธารใดๆ ที่อุณหภูมิคงที่ พบว่าพื้นที่ ( $A$ ) ปริมาตร ( $V$ ) และความเข้มข้นสูงสุด ( $C_0$ ) มีค่าคงที่ การเปลี่ยนแปลงความเข้มข้น ( $C$ ) มีค่าเท่ากับ การเปลี่ยนแปลงของปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่ ดังนั้นสมการที่ 2.45 อาจเขียนเป็น

$$\frac{dD}{dt} = k_2 D \quad (10)$$

ซึ่งเมื่ออินทิเกรตจะได้

$$D = D_0 e^{k_2 t} \quad (11)$$

โดยที่  $D$  = ปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่ ( $C_0 - C$ ) เมื่อเวลา  $t$

$D_0$  = ปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดเมื่อเวลา  $t = 0$

$k_2$  = สัมประสิทธิ์ของการเติมอากาศ

กระบวนการเติมอากาศขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ เนื่องจากอุณหภูมิทำให้ค่าของ  $k_2$  และ  $C_0$  (และ  $D$ ) เปลี่ยนไป ความสัมพันธ์ระหว่าง  $k_2$  กับอุณหภูมิอาจแสดงได้โดยความสัมพันธ์

$$k_{2,t} = k_{2,20^\circ\text{C}} \alpha^{(T-20)} \quad (12)$$

โดยที่  $k_{2,t}$  = สัมประสิทธิ์การเติมอากาศที่  $T^\circ\text{C}$

$k_{2,20^\circ\text{C}}$  = สัมประสิทธิ์การเติมอากาศที่  $20^\circ\text{C}$

$\alpha$  = ค่าคงที่ = 1.0238

#### ค.4 สมการของ Streeter – Phelps

เมื่อรวมสมการของกระบวนการเติมออกซิเจนและลดออกซิเจนเข้าด้วยกันจะได้สมการรวมสำหรับอธิบายสมดุลของออกซิเจน สมการหนึ่งที่นิยมใช้กันมาก คือ สมการของ Streeter – Phelps ซึ่งตั้งชื่อเพื่อเป็นเกียรติแก่นักวิทยาศาสตร์สองท่านผู้บุกเบิกงานด้านนี้

หลักการของเรื่องนี้เป็นเรื่องที่สามารถทำความเข้าใจได้โดยง่าย โดยอาจเขียนเป็นความสัมพันธ์ ดังนี้

$$[\text{ความเข้มข้นของออกซิเจนท้ายน้ำ}] = [\text{ความเข้มข้นของออกซิเจนต้นน้ำ}] + [\text{การเติมออกซิเจน}] - [\text{การลดออกซิเจน}]$$

ดังได้กล่าวข้างต้นแล้ว เกี่ยวกับกระบวนการเติมออกซิเจน และกระบวนการลดออกซิเจน ดังนั้นเมื่อรวมสมการของการเติมออกซิเจน (สมการที่ 10) เข้ากับสมการของการลดออกซิเจน (สมการที่ 3) จะได้ผลรวมของการลดและเพิ่มออกซิเจน

$$\frac{dD}{dt} = k_1L - k_2D \quad (13)$$

แทนค่า L ด้วย  $L_0e^{-k_1t}$  และค่า D ด้วย  $D_0e^{-k_2t}$  แล้วอินทิเกรต จะได้

$$D = \frac{k_1L_0}{k_2 - k_1} (e^{-k_1t} - e^{-k_2t}) + D_0e^{-k_2t} \quad (14)$$

สมการที่ 14 คือ สมการ Streeter – Phelps ซึ่งจะให้ค่าปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่ (D) ที่จุดต่างๆ ตรงบริเวณท้ายน้ำ ซึ่งจะขึ้นอยู่กับ

- 1) ปริมาณออกซิเจนที่ยังขาดอยู่ในตอนเริ่มต้น ( $D_0$ )
- 2) ปริมาณ BOD ตอนเริ่มต้น ( $L_0$ )
- 3) สัมประสิทธิ์ของการลดออกซิเจน ( $k_1$ )
- 4) สัมประสิทธิ์ของการเติมออกซิเจน ( $k_2$ )
- 5) เวลาที่น้ำไหล (t) ในลำธารตั้งแต่จุดเริ่มต้น

คำตอบของสมการ Streeter – Phelps ที่ค่า t ต่างๆ จะให้กราฟออกซิเจนแซก (oxygen sag curve) ดังแสดงในรูป ค.2



ภาพที่ ค.2 กราฟออกซิเจนแซก

เริ่มที่การเติม BOD ลงในจุดบริเวณต้นน้ำ ปริมาณออกซิเจนจะลดลงอย่างรวดเร็วเกินกว่าที่จะถูกเติมได้ทันโดยวิธีธรรมชาติ ในเวลาต่อมา เมื่อ BOD ลดลง อัตราการลดออกซิเจนจะลดลง ขณะที่อัตราการเติมออกซิเจนเพิ่มขึ้น ปริมาณออกซิเจนจะลดลงจนถึงจุดวิกฤต ซึ่งอัตราเร็วทั้งสองมีค่าเท่ากัน และความเข้มข้นของออกซิเจนลดลงจนถึงจุดต่ำสุด และออกซิเจนก็จะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จุดวิกฤตเป็นจุดสำคัญมาก เนื่องจากเป็นจุดที่มีระดับออกซิเจนละลายต่ำสุด เป็นบริเวณที่อาจมีปัญหา ซึ่งต้องได้รับการตรวจติดตามเป็นพิเศษ

เมื่อมีจุดปล่อยน้ำเสียหลายๆ จุด อาจใช้สมการ Streeter – Phelps สำหรับหาค่าออกซิเจนที่จุดต่างๆ ในลำธารได้ ในทางกลับกัน เราอาจใช้สมการนี้เพื่อกำหนดค่า BOD ที่สามารถปล่อยสู่ลำธารได้ โดยควบคุมปริมาณออกซิเจนให้อยู่ในระดับหนึ่ง วิธีการเช่นนี้เป็นวิธีการที่ใช้กันทั่วไปในการกำหนดปริมาณน้ำทิ้ง การแก้สมการดังกล่าวจะยุ่งยากขึ้นเมื่อมีหลายสมการ (จุดน้ำทิ้งหลายจุด)

สมการของ Streeter – Phelps เป็นสมการหลักที่ใช้ในปัจจุบันสำหรับการทำนายผลกระทบของน้ำเสียต่อปริมาณออกซิเจนในลำธาร อย่างไรก็ตามสมการนี้ยังมีขีดจำกัดอยู่บ้าง ได้แก่

1) จากข้อสมมติฐานเบื้องต้นที่ว่า กระบวนการเติมและลดออกซิเจนในน้ำเป็นปฏิกิริยาอันดับที่ 1 ซึ่งในความเป็นจริงแล้วอาจมิได้เป็นเช่นนั้น เมื่อใดที่ปฏิกิริยาในแหล่งน้ำนั้นมีพฤติกรรมต่างจากสมมติฐานมาก แบบจำลองนี้อาจให้คำตอบที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริงได้

2) แบบจำลองนี้ไม่ได้รวมถึงผลของปฏิกิริยาในตริฟิเคชัน และกระบวนการสังเคราะห์แสง ต่อปริมาณออกซิเจนในน้ำ ได้มีการทดลองเพิ่มสมการเหล่านี้เข้าไปในแบบจำลองบ้างในระยะต่อมาแต่ยังไม่เป็นที่ยอมรับ

3) สมการนี้ใช้ประยุกต์ได้ดีสำหรับลำธารส่วนที่เป็นน้ำจืดเท่านั้น พบว่าคำตอบที่ได้ในการประยุกต์ใช้แบบจำลองนี้ที่บริเวณปากแม่น้ำบริเวณติดทะเล หรือทะเลสาบยังมีปัญหาอยู่บ้าง

4) การที่ไม่มีแบบจำลองอื่นให้เลือก หรือการมีแบบจำลองเดียวสำหรับกรณีทั่วไปทุกกรณีทำให้บางครั้งแบบจำลองถูกใช้ไปในกรณีที่ไม่เหมาะสมกับสถานการณ์

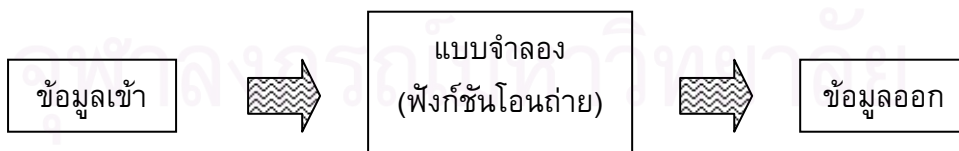
## ภาคผนวก ง

### กระบวนการและขั้นตอนใหม่ในการสร้างแบบจำลอง

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เกิดจากความพยายามของมนุษย์ที่จะจำลองสภาพ (simulate) ปรากฏการณ์ต่างๆ ที่เกิดขึ้นไม่ว่าสิ่งนั้นจะเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติหรือเป็นสิ่งที่มนุษย์เข้าไปเกี่ยวข้องด้วย โดยพยายามอธิบายด้วยสมการทางคณิตศาสตร์ ซึ่งสามารถช่วยให้เข้าใจระบบได้ดีขึ้น แบบจำลองที่ดีนั้นสามารถใช้คาดการณ์ถึงกระบวนการต่างๆ ที่เกิดขึ้นในระบบย่อยๆ ในขณะที่เดียวกันก็ช่วยคาดการณ์ว่าอะไรจะเกิดขึ้นเมื่อภาวะการณ์ภายนอกระบบแปรผันไปจากเดิม หรือช่วยให้ทราบว่าอะไรเป็นปัจจัยสำคัญในการก่อให้เกิดกระบวนการหรือพฤติกรรมต่างๆ (ทวิวงส์ ศรีบุรี, 2541) โดยสรุปแล้ววัตถุประสงค์ของการสร้างแบบจำลองมี 5 ประการ คือ

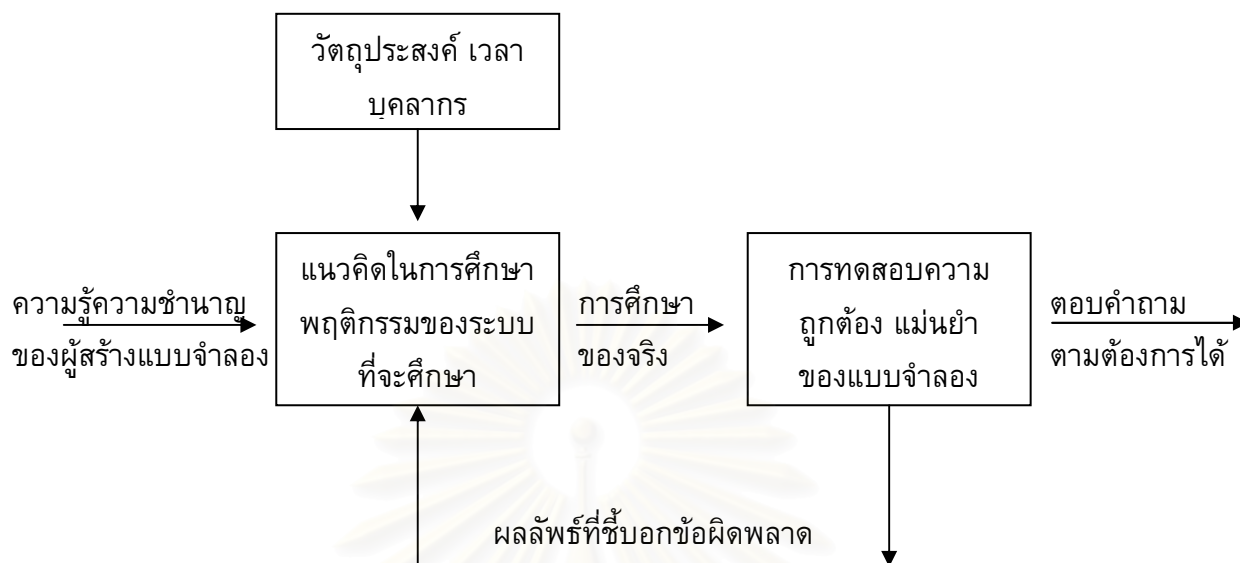
- 1) เพื่อบอกถึงข้อเท็จจริงเกี่ยวกับระบบ
- 2) เพื่อบอกถึงแนวความคิดของผู้สร้างแบบจำลองที่มีต่อระบบและการจัดการระบบ
- 3) เพื่อให้ผู้สร้างและผู้อื่นในวงการวิเคราะห์ระบบเกิดแนวความคิดใหม่ๆ ในการสร้างและใช้แบบจำลองอย่างละเอียดถี่ถ้วนมากขึ้น
- 4) เพื่อใช้แบบจำลองคาดการณ์หรือพยากรณ์ว่าระบบจะแสดงพฤติกรรมอย่างไร ถ้าสิ่งหนึ่งสิ่งใดหรือหลายสิ่งในระบบแปรผันไป
- 5) เพื่อเป็นเครื่องมือชี้ให้เห็นว่าอะไรเป็นสาเหตุที่ทำให้ระบบเปลี่ยนแปลงไปในลักษณะต่างๆ ที่บ่งบอกได้ถึงแนวทางในการจัดการ

แบบจำลองทางคณิตจะแสดงถึงความจริงหรือทฤษฎีที่เกี่ยวกับความเป็นจริงและพฤติกรรมของสิ่งนั้น ข้อมูลเบื้องต้นของแบบจำลอง เรียกว่า ข้อมูลเข้า (input data) และผลที่ได้รับจากแบบจำลอง เรียกว่า ข้อมูลออก (output data) ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าและข้อมูลออก เรียกว่า ฟังก์ชันโอนถ่าย (transfer function) ดังแสดงในภาพที่ ง.1



ภาพที่ ง.1 ความสัมพันธ์ระหว่างข้อมูลเข้าและข้อมูลออก

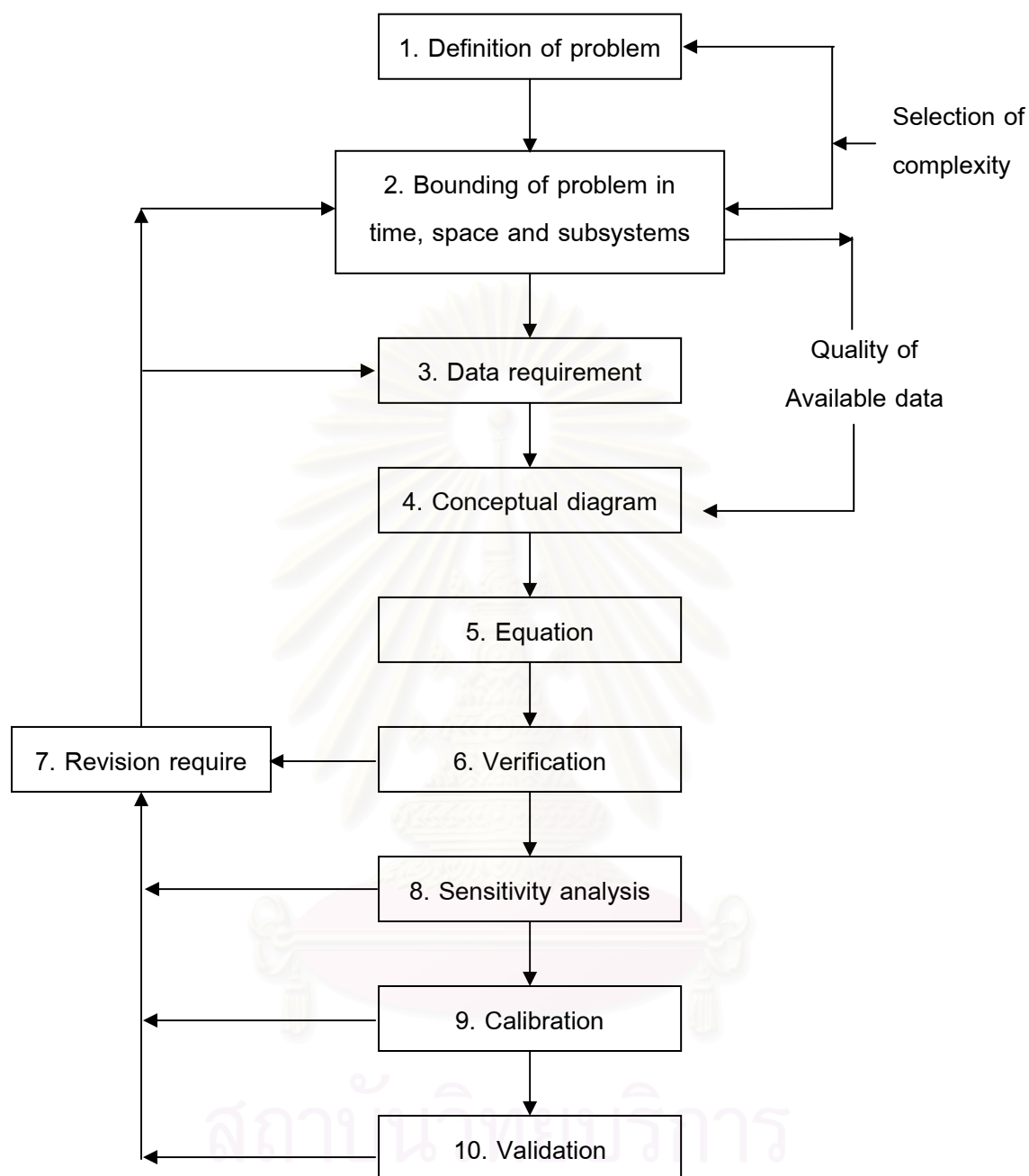
ในการสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ไม่ว่าจะเป็นระบบง่าย ๆ หรือระบบที่ สลับซับซ้อนกระบวนการหลักๆ จะคล้ายคลึงกัน ดังแสดงในภาพที่ ง.2



ภาพที่ ง.2 กระบวนการหลักในการสร้างแบบจำลองของระบบ

จากภาพที่ ง.2 จะเห็นว่าในการสร้างแบบจำลองนั้น แบบจำลองจะทำงานให้คำตอบ ตามวัตถุประสงค์หรือไม่ขึ้นกับความรู้ ความเข้าใจ ความชำนาญ และวัตถุประสงค์ของผู้สร้าง ซึ่งถ้าผู้สร้างเข้าใจทั้งโครงสร้างและหน้าที่ของระบบอย่างดีแล้วก็จะสามารถสร้างแบบจำลองที่ เลียนแบบระบบที่แท้จริงได้ อย่างไรก็ตามยังต้องขึ้นกับเวลา บุคลากร และงบประมาณเป็น องค์ประกอบหลักด้วย การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์มักใช้ทฤษฎีที่มีอยู่แล้วผนวกกับ แนวคิดของผู้สร้าง ดังนั้นจึงจำเป็นต้องอาศัยหลักการสำรวจจากพื้นที่จริง และใช้ระบบที่เป็นอยู่ จริงเป็นเครื่องมือทดสอบ หากแบบจำลองที่สร้างสามารถตอบคำถามที่กำหนดไว้ใน วัตถุประสงค์ได้อย่างพอใจแล้ว ก็เป็นอันสิ้นสุดกระบวนการสร้าง แต่ถ้ายังมีข้อผิดพลาดอยู่ผล จากข้อมูลออกจะบ่งชี้ว่าควรแก้ไขตรงไหน อย่างไรก็ตาม กระบวนการดังกล่าวมีขั้นตอนที่ กำหนดให้ผู้สร้างแบบจำลองดำเนินการได้ดังภาพที่ ง.3

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาพที่ ง.3 ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของระบบต่างๆ

ซึ่งอธิบายโดยย่อได้ดังนี้

**ขั้นตอนที่ 1** กำหนดปัญหาที่ต้องการแก้ไข เพื่อใช้กำหนดรูปแบบและทิศทางของแบบจำลอง

- ขั้นตอนที่ 2** กำหนดกรอบของปัญหาให้อยู่ในรูปของเวลา พื้นที่ และระบบย่อยของระบบทั้งหมด
- ขั้นตอนที่ 3** ความต้องการในข้อมูล ซึ่งจะมีปริมาณและคุณภาพมากน้อยเพียงใดขึ้นกับความสลับซับซ้อนของแบบจำลองที่จะสร้างข้อมูลที่มีอยู่แล้ว

ในขั้นตอนที่ 1-3 มักจะถูกจำกัดด้วยงบประมาณ เวลา และข้อมูลที่มีอยู่ ผู้สร้างแบบจำลองที่เริ่มต้นใหม่ๆ ที่มีความเข้าใจในโครงสร้างและการทำงานเป็นอย่างดีมักจะออกแบบโครงสร้างของแบบจำลองที่เกินขีดจำกัดของงบประมาณ เวลา และข้อมูลที่มีอยู่เสมอ

**ขั้นตอนที่ 4** เขียนโครงสร้างของแบบจำลองจากแนวคิดที่ผู้สร้างมีอยู่หรือจากกลุ่มผู้สร้าง ขั้นตอนนี้บางครั้งก็อาจทำก่อนขั้นตอนรวบรวมข้อมูล แต่มักจะถูกจำกัดด้วยข้อมูลที่มีอยู่ การเขียนโครงข่ายของแบบจำลองจึงมักทำภายหลังจากที่ทราบปริมาณและคุณภาพของข้อมูลแล้ว

**ขั้นตอนที่ 5** สร้างสมการแสดงความเป็นไปและความสัมพันธ์ของระบบที่เชื่อมโยงกับการให้คำตอบของปัญหาที่กำหนดไว้ในขั้นตอนที่ 1 และ 2 ในขั้นตอนนี้จะคำนึงถึง

- 1) จะให้แบบจำลองตัดสินใจแก้ปัญหาให้คำตอบเรื่องอะไร ในระดับใด
- 2) จำแนกองค์ประกอบ (ตัวแปร) ของแบบจำลองที่จะเป็นตัวกำหนด (regulate) และตัวผลลัพธ์ให้ครบถ้วน
- 3) สร้างความสัมพันธ์เชื่อมโยงตัวแปรต่างๆ ด้วยรูปแบบทางคณิตศาสตร์ โดยอาศัยผลงานวิจัยที่ผ่านมาหรือประสบการณ์ของผู้เชี่ยวชาญเป็นหลัก
- 4) กำหนดพารามิเตอร์ที่จะเป็นข้อมูลออก อินดิเคเตอร์ กำหนดช่วงเวลา (time interval) และระยะเวลา (time span) ที่จะให้แบบจำลองหาคำตอบให้
- 5) ผนวกแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันอย่าง

**ขั้นตอนที่ 6** ทดลองการทำงานของแบบจำลองและความถูกต้องของผลลัพธ์ เมื่อเชื่อมโยงสมการหรือแบบจำลองย่อยต่างๆ เข้าด้วยกันแล้ว ถ้าเป็นขั้นตอนทดสอบว่าแบบจำลองที่สร้างขึ้นสามารถทำงานหรือคำนวณได้ตามต้องการหรือไม่ มีความถูกต้องตามหลักตรรกะ และอธิบายความเป็นไปของกระบวนการ

ต่างๆ ได้ตามที่คิดไว้หรือไม่ ขั้นตอนนี้ส่วนมากมักใช้ข้อมูลที่มีอยู่แล้วในอดีตเป็นตัวทดสอบ

**ขั้นตอนที่ 7** การแก้ไขปรับปรุงแบบจำลอง กรณีที่การทำงานยังไม่ดีพอ ซึ่งอาจเกิดจากแบบจำลองยังไม่สมบูรณ์ การเชื่อมต่อกันยังไม่เป็นไปตามตรรกะ รายละเอียดในแบบจำลองยังไม่เพียงพอ หรือตั้งวัตถุประสงค์ไว้มากกว่าข้อมูลที่มีอยู่จะหาคำตอบได้ ก็จะต้องมีการทบทวนกันใหม่ โดยกลับไปเริ่มที่ขั้นตอนที่ 2 จะทำให้ได้แบบจำลองที่ให้ความพอใจได้

**ขั้นตอนที่ 8** ในกรณีที่แบบจำลองทำงานได้ดีแล้ว มีความถูกต้องแม่นยำตามที่ตั้งเกณฑ์ไว้ ก็จะต้องมีการตอบสนองต่อการเปลี่ยนแปลงพารามิเตอร์ต่างๆ ภายในแบบจำลอง (sensitivity analysis) ว่าเมื่อกำหนดให้พารามิเตอร์ต่างๆ คงที่แล้ว การเปลี่ยนพารามิเตอร์ตัวหนึ่งไปในระดับต่างๆ จะทำให้มีผลลัพธ์ออกมาแตกต่างกันไปจากเดิมอย่างมีตรรกะและระดับการเปลี่ยนแปลงยอมรับได้หรือไม่ ถ้ายังไม่ตอบสนองในระดับที่ดีพอ ก็จะต้องกลับไปเริ่มขั้นตอนที่ 7 คือทบทวนแบบจำลองกันใหม่อีกจนพอใจ

**ขั้นตอนที่ 9** เป็นการเปรียบเทียบพารามิเตอร์ในแบบจำลอง ขั้นตอนนี้มักจะทำการันเสมอในแบบจำลอง เพื่อให้ได้ค่าตรงหรือใกล้เคียงกับค่าที่ตรวจวัดได้จริง หรือที่ควรจะเป็น ทั้งนี้เนื่องจากแบบจำลองนั้นมีโอกาสเลียนแบบของจริงได้ 100% ค่าที่ได้จึงมักคลาดเคลื่อนไปจากค่าจริง จึงต้องมีการเปรียบเทียบ

**ขั้นตอนที่ 10** เป็นการพิสูจน์ความถูกต้องของแบบจำลอง เพื่อทดสอบว่าแบบจำลองทำงานได้ดีและถูกต้องเพียงใด เมื่อกำหนดสถานะต่างๆ ในการจัดการระบบเปลี่ยนไป ถือได้ว่าเป็นขั้นตอนการตรวจประสิทธิภาพและประสิทธิผลของแบบจำลองว่า ถ้ามีการเปลี่ยนแปลงข้อมูลภายนอกที่เป็นข้อมูลเข้าแล้ว แบบจำลองจะทำงานได้สมเหตุสมผลหรือไม่ ซึ่งถ้ามาถึงขั้นตอนนี้แล้วแบบจำลองให้ผลถูกต้องแน่นอนและมีตรรกะในทุกกรณี ก็ถือได้ว่าแบบจำลองนี้สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในพื้นที่อื่นๆ เพื่อหาคำตอบมาช่วยในการกำหนดนโยบายการจัดการได้เป็นอย่างดี

ภาคผนวก จ

การประเมินภาระมลพิษของแม่น้ำแม่กลองตอนบน

ตารางที่ จ.1 ภาระมลพิษจากแหล่งกำเนิดชุมชน

จังหวัด	เทศบาล	อำเภอ	ประชากร (คน)	ปริมาณการใช้ น้ำรวม (ลบ.ม./วัน)	ปริมาณ น้ำเสีย ลบ.ม./วัน	BOD load กก./วัน
กาญจนบุรี	เทศบาลตำบลท่าม่วง	ท่าม่วง	11,502	2,242.89	2,153.17	262.69
	เทศบาลตำบลท่าเรือ	ท่ามะกา	13,067	2,548.07	2,446.14	298.43
	เทศบาลตำบลท่าไม้	ท่ามะกา	8,628	1,682.46	1,615.16	197.05
	เทศบาลตำบลพระแท่น	ท่ามะกา	5,783	1,127.69	1,082.58	132.07
	เทศบาลตำบลห้วยเหนียว	ท่ามะกา	4,273	833.24	799.91	97.59
	เทศบาลตำบลท่ามะกา	ท่ามะกา	8,461	1,649.90	1,583.90	193.24
ราชบุรี	เทศบาลเมืองบ้านโป่ง	บ้านโป่ง	25,260	4,925.70	4,728.67	576.90
	เทศบาลตำบลท่าผา	บ้านโป่ง	20,693	4,035.14	3,873.73	472.60
	เทศบาลเมืองโพธาราม	โพธาราม	12,172	2,373.54	2,278.60	277.99
	เทศบาลตำบลเจ็ดเสมียน	โพธาราม	3,761	733.40	704.06	85.90
รวม			113,600	22,152.00	21,265.92	2,594.44

ตารางที่ จ.2 ภาระมลพิษจากแหล่งกำเนิดอุตสาหกรรม

ชื่อ	อำเภอ	ปริมาณ น้ำทิ้ง (ลบ.ม./วัน)	ค่า BOD (mg/l)	BOD load (kg/day)
บริษัท ไทยเคนเปเปอร์ จำกัด (มหาชน)	ท่าม่วง	2,100.00	32.55	68.36
บริษัท แสงโสม จำกัด	ท่าม่วง	630.00	16,317.00	10,279.71
โรงงานสุรากรมสรรพสามิต จ.กาญจนบุรี	ท่าม่วง	700.00	20.00	14.00
บริษัท น้ำตาลวังขนาย จำกัด	ท่าม่วง	1,800.00	20.00	36.00
บริษัท แป้งมันเอเซีย จำกัด	ท่าม่วง	1,800.00	52.20	93.96
บริษัท กระดาษสหไทยอุตสาหกรรม จำกัด	ท่าม่วง	1,261.74	20.00	25.23
บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด	ท่าม่วง	13,981.68	20.00	279.63
บริษัท อุตสาหกรรมกระดาษคราฟท์ไทย จำกัด	ท่าม่วง	40,952.00	819.00	33,539.69
บริษัท น้ำตาลท่ามะกา จำกัด	ท่ามะกา	800.00	20.00	16.00
บริษัท ประจวบอุตสาหกรรม จำกัด	ท่ามะกา	500.00	20.00	10.00
บริษัท น้ำตาลไทยกาญจนบุรี จำกัด	ท่ามะกา	950.00	20.00	19.00
บริษัท เขื่อกระดาษสยาม จำกัด	บ้ำงโป่ง	752.90	20.00	15.06
บริษัท สยามคราฟท์อุตสาหกรรม จำกัด	บ้ำงโป่ง	9,910.68	20.00	198.21
บริษัท ผลิตภัณฑ์กระดาษไทย จำกัด	บ้ำงโป่ง	6,514.10	20.00	130.28

ตารางที่ จ.2 (ต่อ)

ชื่อ	อำเภอ	ปริมาณน้ำทิ้ง (ลบ.ม./วัน)	ค่า BOD (mg/l)	BOD load (kg/day)
บริษัท ผลิตภัณฑ์กระดาษไทย จำกัด	บ้านโป่ง	1,996.48	20.00	39.93
บริษัท น้ำตาลบ้านโป่ง จำกัด	บ้านโป่ง	4,475.73	20.00	89.51
<b>รวม</b>		<b>89,125.31</b>		<b>44,854.58</b>

ตารางที่ จ.3 ภาระมลพิษจากสุกร

อำเภอ	จังหวัด	จำนวนสุกร (ตัว)	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	คิดเป็น ร้อยละ50	BOD load (กก./วัน)
ท่าม่วง	กาญจนบุรี	570	22.80	11.40	38.76
ท่ามะกา	กาญจนบุรี	8,363	334.52	167.26	568.68
บ้านโป่ง	ราชบุรี	4,890	195.60	97.80	332.52
โพธาราม	ราชบุรี	27,774	1,110.96	555.48	1,888.63
<b>รวม</b>		<b>41,597</b>	<b>1,663.88</b>	<b>831.94</b>	<b>2,828.60</b>

ตารางที่ จ.4 ภาระมลพิษจากไก่

อำเภอ	จังหวัด	จำนวนไก่ (ตัว)	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	คิดเป็น ร้อยละ50	BOD load (กก./วัน)
ท่าม่วง	กาญจนบุรี	43,582	740.89	370.45	65.37
ท่ามะกา	กาญจนบุรี	110,756	1,882.85	941.43	166.13
บ้านโป่ง	ราชบุรี	278,163	4,728.77	2,364.39	417.24
โพธาราม	ราชบุรี	57,269	973.57	486.79	85.90
<b>รวม</b>		<b>489,770</b>	<b>8,326.09</b>	<b>4,163.05</b>	<b>734.65</b>

ตารางที่ จ.5 ภาระมลพิษจากโค

อำเภอ	จังหวัด	จำนวนโค (ตัว)	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	คิดเป็น ร้อยละ50	BOD load (กก./วัน)
ท่าม่วง	กาญจนบุรี	3641	546.15	273.08	247.59
ท่ามะกา	กาญจนบุรี	10287	1543.05	771.53	699.52
บ้านโป่ง	ราชบุรี	7442	1116.30	558.15	506.06
โพธาราม	ราชบุรี	12185	1827.75	913.88	828.58
<b>รวม</b>		<b>33555</b>	<b>5033.25</b>	<b>2516.63</b>	<b>2281.75</b>

ตารางที่ จ.6 ภาระมลพิษจากปลา

อำเภอ	จังหวัด	พื้นที่เลี้ยงปลา (ไร่)	ปริมาณน้ำเสีย (ลบ.ม./วัน)	คิดเป็น ร้อยละ50	BOD load (กก./วัน)
ท่าม่วง	กาญจนบุรี	502.52	2201.04	1100.52	19.81
ท่ามะกา	กาญจนบุรี	455.32	1994.30	997.15	17.95
บ้านโป่ง	ราชบุรี	691.93	3030.65	1515.33	27.28
โพธาราม	ราชบุรี	293.43	1285.22	642.61	11.57
รวม		<b>1943.2</b>	<b>8511.22</b>	<b>4255.61</b>	<b>76.60</b>

ตารางที่ จ.7 ภาระมลพิษจากการเกษตรกรรม

ชนิดพืช	พื้นที่	ปริมาณการใช้น้ำ	return flow 20%	BOD load
	(ตร.กม.)	(ลบ.ม./ปี)	(ลบ.ม./ปี)	(kg/d)
นาข้าว	403.39	504,240,455.00	100,848,091.00	1,058.21
ไม้ผลและพืชไร่	1,007.47	2,203,840,625.00	440,768,125.00	4,625.05
ป่าไม้	44.97	112,423,045.00	22,484,609.00	369.61
รวม	<b>1,455.83</b>	<b>2,820,504,125.00</b>	<b>564,100,825.00</b>	<b>6,052.87</b>

สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นางสาวกนกทัศน์ ยลปราโมทย์ เกิดวันที่ 13 มีนาคม พ.ศ.2524 จบการศึกษาปริญญาวิทยาศาสตรบัณฑิต ภาควิชาเคมีเทคนิค คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2545 และเข้ารับการศึกษต่อในหลักสูตรสหสาขาวิชาวิทยาศาสตรสิ่งแวดล้อม คณะบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยในภาคต้นปีการศึกษา 2547



สถาบันวิทยบริการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย