การศึกษาผลกระทบของน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีต่อคุณภาพน้ำและการบริหารจัดการน้ำในคลองประดู่

The Study on the Effect of Swine Farm Sewage on Water Quality and Water Management in Klong Pradue

ดวงนภา วานิชสรรพ์[1*], สันติ ทองพำนัก[2] และบัญชา ขวัญยืน[3]

Duangnapa Vanichsan[1,] Santi Tongpumnuk[2]* and *Bancha Kwanyuen[3]*

ABSTRACT

The effect of swine farm sewage on water quality in Klong Pradue, Samut Songkhram, Thailand was studied. The study was divided into 2 parts. The first part was the analysis of quality of water in the near outlets of Sub-Drains 4R, 5R, 6R and 7R and of water in the upper and lower parts of Klong Pradue. The second part was the application of MIKE 11 model comprising of MIKE with 11 HD, 11 AD and 11 WQ modules. The results showed that the overall water quality in Klong Pradue at all locations met the standard on cleanliness of natural water resources. However, the levels of some water quality parameters indicating cleanliness i.e. BOD, EC, and TDS were lower than the standard levels, particularly, in Klong Thaptab that received most sewage from swine farm. The application of MIKE showed a fair statistical agreement with the measured data. In addition, it was found that the water quality in May was lower than the standard. So the sewage release from the swine farm should be controlled and the water quality should be carefully monitored during this critical time. Finally, if there is a problem of low water quality, the extra discharge of clean water through the drainage system should be implemented to dilute the pollutants and improve the water quality.

Key words: water quality, sewage, swine farm

บทคัดย่อ

บทความนี้เป็นรายงานการศึกษาเกี่ยวกับคุณภาพน้ำในคลองประดู่ (เริ่มต้นตั้งแต่บริเวณ ต.เขาย้อย อ.เขาย้อย จ.เพชรบุรี และสิ้นสุดที่ ต.ประดู่ อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม) ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกร แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วน ส่วนแรกเป็นการตรวจวัดคุณภาพน้ำ โดยทำการวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำ ณ บริเวณคลองทับแถบ คลองระบายน้ำสาย 4R, 5R, 6R, 7R ประดู่ (ตำแหน่งใกล้จุดบรรจบคลองประดู่) ด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำคลองประดู่ ส่วนที่สองเป็นการประยุกต์ใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อศึกษาสภาพคุณภาพน้ำในคลองเหล่านี้ ซึ่งประกอบด้วย 3 แบบจำลองย่อย คือ แบบจำลองย่อย MIKE 11 HD แบบจำลองย่อย MIKE 11 AD และแบบจำลองย่อย MIKE 11 WQ พบว่า คุณภาพน้ำโดยรวมในคลองประดู่ ณ ตำแหน่งต่างๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำธรรมชาติ ในขณะที่ดัชนีคุณภาพน้ำบางประการมีค่าต่ำกว่ามาตรฐาน คือ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS) โดยเฉพาะบริเวณคลองทับแถบได้รับผลกระทบของน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมากที่สุด สำหรับการประยุกต์ใช้

[1*] ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน จ.นครปฐม 73140

Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaensaen, Kasetsart University, Kamphaensaen Campus, Nakhon Pathom 73140, Thailand.

* Corresponding author: Tel. 0 - 3435 - 1897, Fax. 0- 3435 - 1404, E-mail address: G5185015@ku.ac.th

แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 ให้ค่าทางสถิติอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจในช่วงเดือนพฤษภาคมมีปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำต่ำกว่ามาตรฐาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการควบคุมเพื่อลดการปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร และเฝ้าระวังในเรื่องของคุณภาพน้ำ รวมทั้งตรวจวัดคุณภาพน้ำ อนึ่งหากมีปัญหาคุณภาพน้ำต่ำกว่ามาตรฐานในคลองระบาย ควรแก้ปัญหาเฉพาะหน้าโดยทำการปล่อยน้ำลงคลองระบายน้ำเพิ่มเติม เพื่อไล่ของเสียออกจากระบบ

คำสำคัญ: คุณภาพน้ำ น้ำเสีย ฟาร์มเลี้ยงสุกร

คำนำ

น้ำเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีคุณค่าอย่างยิ่งต่อการดำรงชีวิตของมนุษย์ สัตว์และพืช แต่การเปลี่ยนแปลงของทรัพยากรน้ำที่มีอยู่ ทั้งเชิงปริมาณและคุณภาพ ทำให้เกิดความไม่สมดุลของการใช้ทรัพยากร เช่น ปัญหาน้ำท่วมในปี พ.ศ. 2549 ทำให้ประเทศชาติต้องเสียงบประมาณในการช่วยเหลือกว่า 10,000 ล้านบาท ปัญหาภัยแล้ง เมื่อปี พ.ศ. 2548 ต้องเสียงบประมาณในการช่วยเหลือกว่า 7,500 ล้านบาท (กรมป้องกันและบรรเทาสาธรณภัย, 2549) และที่สำคัญปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำ ซึ่งนับวันยิ่งทวีความรุนแรงมากขึ้น

คลองประดู่ในเขตฝั่งตะวันตกของแม่น้ำแม่กลอง จังหวัดสมุทรสงครามก็เช่นเดียวกันได้รับผลกระทบจากปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำ จากสาเหตุต่างๆ ไม่ว่าจะเป็นน้ำทิ้งจากชุมชน น้ำทิ้งจากภาคเกษตรกรรม อุตสาหกรรม และสาเหตุหลักจากภาคปศุสัตว์ (ฟาร์มเลี้ยงสุกร) (สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 (ราชบุรี), 2548) โดยฟาร์มเลี้ยงสุกรทำให้เกิดปริมาณน้ำเสียเฉลี่ย 20,15 และ 10 ลิตร/ตัว/วัน สำหรับฟาร์มขนาดเล็ก ขนาดกลาง และขนาดใหญ่ตามลำดับ หากคิดเป็นปริมาณความสกปรกในรูป BOD จะมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 3,000 2,500 และ 1,500 มิลลิกรัม/ลิตร (กรมควบคุมมลพิษ, 2540)

จากปัญหาดังกล่าว ประชาชนในพื้นที่ที่ได้รับความเดือดร้อนจากน้ำเน่าเสียในคลองประดู่ ได้ร้องเรียนกับหน่วยงานราชการที่เกี่ยวข้องถึงปัญหาที่เกิดขึ้นดังนั้นทางภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ร่วมกับสำนักชลประทานที่ 13 (สมุทรสงคราม) จึงได้ทำการศึกษาผลกระทบของน้ำทิ้งจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่มีต่อแหล่งน้ำ เพื่อเป็นข้อมูลในการวางแผนและแก้ไขในเรื่องการบริหารจัดการน้ำต่อไป

พื้นที่ศึกษา

คลองประดู่อยู่ในเขตความรับผิดชอบของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาราชบุรีฝั่งขวา ซึ่งมีความยาวทั้งหมด 27.8 กิโลเมตร เริ่มตั้งแต่บริเวณ ต.เขาย้อย อ.เขาย้อย จ.เพชรบุรี ไหลผ่าน จ.ราชบุรี ที่ ต.วัดเพลง อ.ปากท่อ และไหลลงแควอ้อม บริเวณวัดแก้วเจริญ ต.ประดู่ อ.อัมพวา จ.สมุทรสงคราม บริเวณคลองระบายน้ำสาขาที่ไหลรวมคลองประดู่และได้รับผลกระทบจากฟาร์มเลี้ยงสุกรมีจำนวน 4 สาย ได้แก่ 4R-ประดู่ 5R-ประดู่ 6R-ประดู่ และ 7R-ประดู่ ซึ่งคลองระบายน้ำเหล่านี้ตั้งอยู่ในเขต อ.ปากท่อ จ.ราชบุรี ดังแสดงใน Figure 1 สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 (ราชบุรี) (2548) รายงานสถานการณ์คุณภาพน้ำตั้งแต่ปี 2543 จนถึงปัจจุบันว่าบริเวณคลองประดู่เกิดการร้องเรียนจากประชาชนกรณีได้รับความเดือนร้อนจากการเน่าเสียของน้ำในคลองประดู่ โดยคาดว่าน่าจะมาจากการปล่อยน้ำเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

อุปกรณ์และวิธีการ

1. การศึกษาทางภาคสนาม เป็นการรวบรวมข้อมูลเบื้องต้น ประกอบด้วย

1.1 ข้อมูลทางคุณภาพน้ำ : กำหนดตำแหน่งที่ตั้งของจุดที่ทำการเก็บข้อมูลคุณภาพน้ำ ณ บริเวณคลองทับแถบ คลองระบายน้ำสาย 4R, 5R, 6R, 7R ประดู่ (ตำแหน่งใกล้จุดบรรจบคลองประดู่) ด้านเหนือน้ำและด้านท้ายน้ำคลองประดู่ พร้อมทั้งเก็บตัวอย่างน้ำมาวิเคราะห์ดัชนีคุณภาพน้ำต่างๆ ด้วยเครื่องมือวัดและวิธีการวิเคราะห์ ดังแสดงใน Table 1 จากนั้นทำการเปรียบเทียบระหว่างค่าที่วิเคราะห์ได้กับเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพน้ำแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ซึ่งเป็นคุณภาพน้ำที่เหมาะกับการนำมาใช้ประโยชน์ทางด้านการเกษตร ระยะเวลาเก็บข้อมูล คือ ช่วงระหว่างเดือนเมษายน พ.ศ. 2549 ถึง สิงหาคม พ.ศ. 2549 ได้ทำการเก็บข้อมูล 4 ครั้ง และช่วงระหว่างวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึง 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ได้ทำการเก็บข้อมูล 8 ครั้ง รวมทั้ง 2 ช่วงเวลาเก็บข้อมูลทั้งสิ้น 12 ครั้ง และตำแหน่งที่เก็บข้อมูลเป็นตำแหน่งเดียวกัน ดังแสดงใน Figure 2

การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้วิธีแกร็บแซมเปิล (แบบจ้วง) ในการเก็บตัวอย่างด้วยอุปกรณ์ Water Sample ดัชนีคุณภาพน้ำที่สามารถวิเคราะห์ค่าได้จาก

ภาคสนามทันที คือ DO, EC ส่วนดัชนีคุณภาพน้ำที่เหลือจะส่งวิเคราะห์ผลที่ห้องปฏิบัติการ

1.2 ระดับน้ำ : ทุกครั้งที่ทำการเก็บตัวอย่างน้ำจะทำการวัดระดับน้ำ

1.3 ความเร็วของน้ำ : โดยใช้เครื่องมือมาตรวัดกระแสน้ำ (Current Meter) ค่าที่วัดได้จากเครื่องมือนี้จะเป็นจำนวนรอบที่ใบพัดหมุน (N) เมื่อหมุนครบ 1 รอบ (ใช้เครื่องรุ่น OSK 7244 HIROI'S ELECTRIC CURRENT METER ของบริษัท OGAWA SEIKI ข้อกำหนดของเครื่องรุ่นนี้คือ 1 รอบเท่ากับ 10 N)

การวัดความเร็วของน้ำ เริ่มด้วยการแบ่งพื้นที่หน้าตัดคลองเป็นพื้นที่ย่อย จำนวนพื้นที่ย่อยขึ้นอยู่กับความกว้างของผิวน้ำ และความละเอียดถูกต้องที่ต้องการ จากนั้นทำการวัดระดับน้ำเพื่อกำหนดจุดความลึกที่จะทำการวัดความเร็วน้ำของพื้นที่ย่อยต่างๆ จำนวนจุดที่ทำการวัดความเร็วขึ้นอยู่กับความลึกของน้ำ ความเร็วของน้ำที่ได้ต้องเป็นความเร็วของน้ำเฉลี่ยในแนวตั้งตามความลึก

1.4 ปริมาณน้ำท่า :คำนวณหาค่าได้จากสมการที่ 1

$$Q = AV \quad (1)$$

เมื่อ Q คือ อัตราการไหล (m^3/s)

A คือ พื้นที่ (m^2)

V คือ ความเร็ว (m/s)

1.5 ภาคตัดขวางของคลอง รวบรวมข้อมูลจากโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาราชบุรีฝั่งขวา จำนวน 48 รูปตัดขวาง ซึ่งสำรวจโดยกรมชลประทาน

2. การศึกษาจากแบบจำลอง จะเป็นการดำเนินงานทางคอมพิวเตอร์ แสดงดัง Figure 3 ซึ่งประกอบด้วย

2.1 การสอบเทียบแบบจำลอง MIKE 11

2.1.1 แบบจำลองย่อย MIKE 11-HD (Hydrodynamic Model) ตั้งอยู่บนพื้นฐานของสมการเซนท์ - วีแนนท์ ซึ่งประกอบด้วยสมการต่อเนื่องและสมการโมเมนต์ตัม พารามิเตอร์ที่ใช้สอบเทียบแบบจำลองนี้ คือ Manning's ค่าn ซึ่งแสดงถึงความเสียดทานต่อการไหลของน้ำในทางน้ำเปิด ในทางน้ำเปิดธรรมชาติ ค่า n จะอยู่ระหว่าง 0.02-0.05 (ภูวดล, 2544) โดยทำการสอบเทียบค่า n จนกว่าระดับน้ำที่ได้จากแบบจำลองใกล้เคียงกับระดับน้ำที่วัดจริง

2.1.2 แบบจำลองย่อย MIKE 11-AD (Advection-Dispersion Model) พารามิเตอร์ที่ใช้สอบเทียบแบบจำลอง คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (DHI, 1995) ซึ่งแสดงถึงความสามารถในการแพร่กระจายของมวลสารในลำน้ำ โดยทำการสอบเทียบแบบจำลองจนกว่าค่าความเค็มที่ได้จากแบบจำลองกับวัดจริงใกล้เคียงกันค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสามารถคำนวณได้จากสมการในรูปทั่ว ๆ ไปดังแสดงในสมการที่ 2

$$D = fv^{ex} \quad (2)$$

เมื่อ D คือ สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (m^2/s)

f คือ แฟคเตอร์การแพร่กระจาย

v คือ ความเร็วการไหล (m/s)

ex คือ ค่าคงที่ยกกำลัง (Dimensionless Exponent)

2.1.3 แบบจำลองย่อย MIKE 11-WQ (Water Quality Model) ใช้อธิบายถึงกระบวนการเปลี่ยนแปลงของสารที่เกิดขึ้นทั้งทางกายภาพ เคมี และชีวภาพในลำน้ำ การศึกษาครั้งนี้เลือกใช้แบบจำลองคุณภาพน้ำที่ระดับ 1 ซึ่งแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่าง BOD และ DO (DHI, 1995) แบ่งการศึกษาออกเป็น 2 ส่วนคือ การการศึกษาปริมาณ DO และการศึกษาปริมาณ BOD

การศึกษาปริมาณ DO พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลองที่สำคัญประกอบด้วย สัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (K_a) อัตราการหายใจของพืชและสัตว์ที่ 20 องศาเซลเซียส (R_{20}) และอัตราการผลิตออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (P_{max}) โดยทำการสอบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ ซึ่งมีขั้นตอนแสดงดัง Figure 4

สำหรับการศึกษาปริมาณ BOD พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง คือ สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ (K_d)

โดยให้ทำการสอบเทียบพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ควบคุมแบบจำลอง เพื่อให้ BOD และ DO ที่คำนวณได้จากแบบจำลองมีความใกล้เคียงกันมากที่สุดกับ BOD และ DO ที่ได้ทำการบันทึกไว้

2.2 การวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อตรวจสอบผลจากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่สอบเทียบแล้วกับผลจากการตรวจวัดจริงในภาคสนาม พารามิเตอร์ทางสถิติที่ใช้ในการตรวจสอบประสิทธิผลการประยุกต์ใช้ชุดแบบจำลอง MIKE 11 คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ Correlation Coefficient (r) แสดงดังสมการที่ 3

$$r_{xy} = \frac{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}(X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^{N}(Y_i - \bar{Y})^2}} \quad (3)$$

เมื่อ r คือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์

x_i คือ ข้อมูลชุดที่หนึ่งที่ช่วงเวลา i

$\bar{x}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลด้านเข้าที่ใช้ในแบบจำลอง

y_i คือ ข้อมูลชุดที่สองที่ช่วงเวลา i

$\bar{y}$ คือ ค่าเฉลี่ยของข้อมูลชุดที่สอง

ผลและวิจารณ์

1. ผลการศึกษาทางด้านคุณภาพน้ำในคลองประดู่

ในการวิเคราะห์คุณภาพน้ำในคลองประดู่ สำหรับช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2549 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2549 และช่วงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 พบว่า คุณภาพน้ำในคลองประดู่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ อยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 คือ ค่าออกซิเจนที่ละลายในน้ำ (DO) (ช่วงเดือนเมษายน พ.ศ.2549 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ.2549) แสดงดัง Figure 5 และ Figure 6 แต่ยังมีดัชนีคุณภาพน้ำบางประการไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ทั้ง 2 ช่วงเวลา คือ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS) ผลการวิเคราะห์แสดงดัง Figure 7 และ Figure 8

Figure 7 เป็นผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสำหรับช่วงเดือนเมษายน พ.ศ. 2549 ถึงเดือนสิงหาคม พ.ศ. 2549 ของค่า BOD, EC และ TDS ผลพบว่า ค่า BOD ที่วิเคราะห์ได้มีค่าความแตกต่างกันในพิสัย 0.7 – 15 mg/l โดยตำแหน่งที่มีค่า BOD สูงสุด คือ ตำแหน่งที่ 4 คลองทับแถบ (หลังประตูระบายน้ำ) ในวันที่ 16 ส.ค. 49 เนื่องจากในวันดังกล่าวทางโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาราชบุรีฝั่งขวาไม่มีการส่งน้ำชลประทานให้กับพื้นที่ศึกษา จึงทำให้ของเสียตกค้างในลำน้ำเป็นจำนวนมาก เพราะไม่มีน้ำจากระบบชลประทานมาชะล้างและ เจือจางของเสียเหล่านั้นในช่วงเวลาดังกล่าว ถือว่าค่าที่วิเคราะห์ได้อยู่ในเกณฑ์ที่ไม่สามารถยอมรับได้ ทั้งนี้เกณฑ์มาตรฐานค่า BOD ของแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 ต้องมีค่าไม่เกิน 2 mg/l (ค่าส่วนใหญ่เกิน 2 mg/l)

ส่วนค่า EC เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเค็ม พบว่า มีค่าความแตกต่างกันในพิสัย 152.2-5,100 μS/cm ตำแหน่งที่มีค่า EC สูงสุด คือ ตำแหน่งที่ 4 คลองทับแถบ (หลังประตูระบายน้ำ) เนื่องจากตำแหน่งนี้อยู่ใกล้กับชายฝั่งทะเลและเป็นตำแหน่งที่เป็นประตูระบายน้ำ ส่วนใหญ่ประตูระบายน้ำจะปิดและเปิดในกรณีที่ต้องการระบายน้ำออกเท่านั้น บางครั้งมีการรุกล้ำของน้ำทะเลล้นเข้ามาในฝั่งน้ำจืด เนื่องจากได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง อีกทั้งเป็นช่วงเวลาที่ไม่มีการส่งน้ำชลประทาน (มิ.ย.-ก.ค.) จึงทำให้ความเข้มข้นของสารอนินทรีย์เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุนี้เองจึงทำให้ค่า EC สูงกว่าตำแหน่งอื่น

และค่า TDS เป็นค่าที่บ่งบอกถึงความเค็ม เช่นเดียวกับค่า EC พบว่า มีความแตกต่างกันในพิสัย 77.4-3,570 mg/l เมื่อพิจารณาจากพิสัยของค่า TDS ในแหล่งน้ำซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 100-500 mg/l (เกษม, 2526) ถือได้ว่าตำแหน่งที่มีค่า TDS สูงสุด คือ ตำแหน่งที่ 4 คลองทับแถบ (หลังประตูระบายน้ำ) เนื่องจากบริเวณดังกล่าวอยู่ใกล้ชายฝั่งทะเลจึงได้รับอิทธิพลจากน้ำทะเล ทำให้บริเวณนี้มีความเค็มมากขึ้น

Figure 8 เป็นผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำสำหรับช่วงวันที่ 13 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึง วันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ของค่า BOD, EC และ TDS ผลพบว่า ค่า BOD ที่วิเคราะห์ได้มีความแตกต่างในพิสัย 0.90-58.50 mg/l และมีแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นหรือลดลงมีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน ไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาใดก็ตาม แต่มีบางตำแหน่งที่มีค่า BOD สูงกว่าตำแหน่งอื่นอย่างชัดเจน คือ ตำแหน่งที่ 4 หลังประตูระบายน้ำคลองทับแถบ ในวันที่ 21 กุมภาพันธ์ 50 และวันที่ 10 พฤษภาคม 50 เนื่องจากตำแหน่งนี้อยู่ใกล้กับชายฝั่งทะเลและเป็นตำแหน่งที่เป็นประตูระบายน้ำ ส่วนใหญ่ประตูระบายน้ำจะปิดและเปิดในกรณีที่ต้องการระบายน้ำออกเท่านั้น บางครั้งมีการรุกล้ำของน้ำทะเลล้นเข้ามาในฝั่งน้ำจืด เพราะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง รวมทั้งในเดือนพฤษภาคมของปีนี้มีฝนตก ทำให้มีการนำพาของเสียจากบริเวณอื่นมาสะสมและที่สำคัญพฤติกรรมการปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ยังส่งผลทำให้ความสกปรกของน้ำเพิ่มขึ้น เนื่องจากเกิดการลักลอกปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร

ส่วนค่า EC พบว่า มีความแตกต่างกันในพิสัย 0.23-40.25 mS/cm และค่า TDS มีความแตกต่างกันในพิสัย 138-24,150 mg/l สำหรับค่า EC และ TDS ที่วิเคราะห์ได้นั้นมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นและลดลงเป็นไปในทิศทางเดียวกันไม่ว่าจะเป็นช่วงเวลาใดก็ตาม ตำแหน่ง

ที่มีค่า EC และ TDS มีค่าสูงสุดยังเป็นตำแหน่งและวันเดียวกัน คือ ตำแหน่งที่ 4 หลังประตูระบายน้ำคลองทับแถบ ในวันที่ 13 ก.พ. 50 ถึง วันที่ 25 พ.ค. 50 เนื่องจากตำแหน่งนี้อยู่ใกล้กับชายฝั่งทะเลและเป็นตำแหน่งที่เป็นประตูระบายน้ำ ส่วนใหญ่ประตูระบายน้ำจะปิดและเปิดในกรณีที่ต้องการระบายน้ำออกเท่านั้น บางครั้งมีการรุกล้ำของน้ำทะเลล้นเข้ามาในฝั่งน้ำจืด เพราะได้รับอิทธิพลของน้ำขึ้นน้ำลง ทำให้น้ำบริเวณนี้มีความเค็มและเกิดการสะสมของเกลือเพิ่มขึ้น

2. ผลการศึกษาจากแบบจำลองคณิตศาสตร์

ข้อมูลที่ใช้สำหรับแบบจำลองคณิตศาสตร์ คือ ข้อมูลในช่วงวันที่ 21 ก.พ. 50 ถึง วันที่ 25 พ.ค. 50 จุดที่ทำการสอบเทียบคือ ต้นน้ำของคลองประดู่ คลองระบายน้ำสาย 4R ถึง 5R (ตำแหน่งที่เชื่อมต่อคลองประดู่) และท้ายน้ำของคลองประดู่ แสดงดัง Figure 9 ผลการศึกษาจากแบบจำลองคณิตศาสตร์แบ่งออกเป็น 3 แบบจำลอง สรุปได้ดังนี้

2.1 แบบจำลองย่อย MIKE 11-HD พบว่าค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่เหมาะสมของคลองประดู่มีค่าอยู่ระหว่าง 0.025 ถึง 0.029 แสดงดัง Table 2 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ระหว่างค่าระดับน้ำที่วัดได้จริงกับค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลอง พบว่า ที่จุด 4R เท่ากับ – 0.244 ถือได้ว่าเป็นปฏิภาคผกผัน ซึ่งยอมรับไม่ได้ เพราะข้อมูลรูปตัดขวางที่นำมาใช้กับแบบจำลองนั้นเป็นข้อมูลเดิมในปัจจุบันไม่มีการสำรวจใหม่ จึงส่งผลให้ความสัมพันธ์ที่ได้มีค่าค่อนข้างต่ำ อีกทั้งยังได้รับอิทธิพลจากระดับน้ำทางด้านเหนือน้ำ เนื่องจากจุดนี้อยู่ใกล้บริเวณเหนือน้ำมากสุด และในบางช่วงเวลาประตูระบายน้ำด้านเหนือน้ำปิด ส่งผลทำให้ทิศทางการไหลของน้ำผิดไปจากธรรมชาติ คือ ไหลจากที่ต่ำไปที่สูง ส่วนจุด 5R ถึง 7R นั้นมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ระหว่างค่าระดับน้ำที่วัดได้จริงกับค่าระดับน้ำที่คำนวณได้จากแบบจำลองอยู่ระหว่าง 0.799 ถึง 0.992 สำหรับผลการสอบเทียบระดับน้ำของแบบจำลองอุทกพลศาสตร์ระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง แสดงดัง Figure 10

2.2 แบบจำลองย่อย MIKE 11-AD พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายที่เหมาะสมกับคลองประดู่มีค่าอยู่ระหว่าง 10 ถึง 25 ตร.ม./วินาที (ใช้ค่า ex = 0 เมื่อความเร็วการไหลจะไม่มีอิทธิต่อสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย) แสดงดัง Table 3 และมีค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) ระหว่างค่าความเค็มที่วัดได้จริงกับค่าความเค็มที่คำนวณได้จากแบบจำลองอยู่ระหว่าง 0.689 ถึง 0.880 สำหรับผลการสอบเทียบค่าความเค็มของแบบจำลองการพา-แพร่กระจายระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง แสดงดัง Figure 11

2.3 แบบจำลองย่อย MIKE 11-WQ พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.2 day^{-1} อัตราการผลิตออกซิเจนสูงสุดจากการสังเคราะห์แสงของพืชมีค่าเท่ากับ 3.5 g $O_2/m_2/day$ อัตราการหายใจของพืชและสัตว์น้ำมีค่าเท่ากับ 1 g $O_2/m_2/day$ ค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศมีค่าเท่ากับ $3.9\ v^{0.5}\ h^{-1.5}$ และการสอบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำยังพบว่า ผลการสอบเทียบ DO และ BOD ระหว่างค่าที่เกิดขึ้นจริงกับค่าที่คำนวณได้จากแบบจำลองให้ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (Correlation, r) อยู่ระหว่าง 0.40 ถึง 0.66 และ 0.783 ถึง 0.961 ตามลำดับ สำหรับผลการสอบเทียบค่า DO และค่า BOD ของแบบจำลองคุณภาพน้ำระหว่างค่าที่ได้จากการวัดจริงกับค่าที่ได้จากแบบจำลอง แสดงดัง Figure 12 และ Figure 13

3. ข้อเสนอแนะและแนวทางแก้ไข

ในช่วงฤดูฝนมีการปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรลงสู่คลองประดู่เป็นจำนวนมาก สังเกตได้จากคุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้นั้น ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ โดยปกติแล้วคุณภาพน้ำในช่วงฤดูฝนน่าจะมีแนวโน้มดีขึ้นแต่กลับตรงกันข้าม คือ ในช่วงเดือนพฤษภาคมของปีพ.ศ. 2550 มีฝนตก ทำให้คุณภาพน้ำที่วิเคราะห์ได้ โดยเฉพาะ BOD ไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ สรุปได้ว่า พฤติกรรมการปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรโดยตรงเพื่อการชะล้างฟาร์มนั้นเป็นต้นเหตุทำให้เกิดปัญหาน้ำเน่าเสีย แนวทางในการแก้ไข คือ

3.1 ตรวจสอบและติดตามการระบายน้ำและของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร โดยไม่ให้มีการปล่อยน้ำเสียและของเสียลงสู่แม่น้ำ หากเป็นไปได้ฟาร์มเลี้ยงสุกรควรติดตั้งระบบบำบัดน้ำเสียก่อนปล่อยน้ำเสียลงสู่แม่น้ำทุกครั้ง

3.2 ควรตรวจวิเคราะห์คุณภาพน้ำ เพื่อทำให้ทราบถึงสถานการณ์น้ำของคลองประดู่ เพื่อที่จะสามารถบริหารจัดการน้ำได้ทัน

3.3 ควรแก้ไขในเรื่องการกำหนดมาตรฐานขนาดฟาร์มสุกร ให้ครอบคลุมถึงฟาร์มเลี้ยงสุกรขนาดเล็ก

3.4 ควรมีการควบคุมในเรื่องการปิด-เปิดน้ำ

3.5 หากมองถึงเรื่องพลังงาน ทุกฟาร์มเลี้ยงสุกรควรมีการทำระบบก๊าซชีวภาพ โดยนำของเสียจาก

ฟาร์มสุกรมาเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ เพื่อนำมาใช้เป็นพลังงานในการกำเนิดกระแสไฟฟ้าใช้ในฟาร์ม

4. การลดมลพิษในคลองประดู่

ในการลดมลพิษของคลองประดู่ ได้นำแบบจำลองที่ผ่านการสอบเทียบแล้วมาประยุกต์ใช้ในช่วงเวลาเดิม คือ ระหว่างวันที่ 21 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2550 ถึงวันที่ 25 พฤษภาคม พ.ศ. 2550 ซึ่งเป็นช่วงต่อระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝน มีการปล่อยของเสียลงสู่คลองประดู่เป็นจำนวนมาก ส่งผลให้คุณภาพน้ำในช่วงนี้มักจะเสื่อมโทรม โดยสมมุติให้ช่วงเวลาดังกล่าวมีการควบคุมการปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร เพื่อลดปริมาณความสกปรกจากฟาร์มเลี้ยงสุกร ภายใต้เงื่อนไขที่ว่าตำแหน่งพิจารณาแต่ละตำแหน่งต้องมีการลดปริมาณความสกปรกเท่ากันตลอดเดือน แนวทางในการปรับลด คือ ทำการปรับลดปริมาณ BOD ลง 20, 25, 30, 35, 40, 45, 50, 55, 60 และ 65 เปอร์เซ็นต์จากปริมาณ BOD เดิม พบว่า ในเดือนพฤษภาคมมีการปรับลดปริมาณ BOD มากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับเดือนอื่น ปริมาณ BOD ที่ต้องปรับลดในแต่ละตำแหน่งมีปริมาณมากถึง 50% ดังนั้นจึงสรุปได้ว่าเดือนพฤษภาคมประสบปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำมากที่สุด โดยมีสาเหตุมาจากพฤติกรรมการปล่อยของเสีย ในช่วงฤดูฝนจะมีการลักลอบปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรลงสู่คลองประดู่เป็นจำนวนมาก และฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นฟาร์มระบบเปิด จึงทำให้การควบคุมปริมาณของเสียที่จะปล่อยลงสู่คลองประดู่ทำได้ยาก หากมีการควบคุมปริมาณของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร รวมทั้งเฝ้าระวังสถานการณ์คุณภาพน้ำ โดยการตรวจวัดคุณภาพน้ำในช่วงวิกฤติ คุณภาพน้ำของคลองประดู่ย่อมดีขึ้น

Table 1 Measurement and analysis of water quality parameters

Water Quality Parameters	Instrument / Method
Biochemical Oxygen Demand (BOD)	Dilution Method
Dissolved Oxygen (DO)	DO Meter
Electrical Conductivity (EC)	Conductivity Meter
Total Dissolved Solids (TDS)	pH/ISO Meter Model 250 ของ Denver Instrument

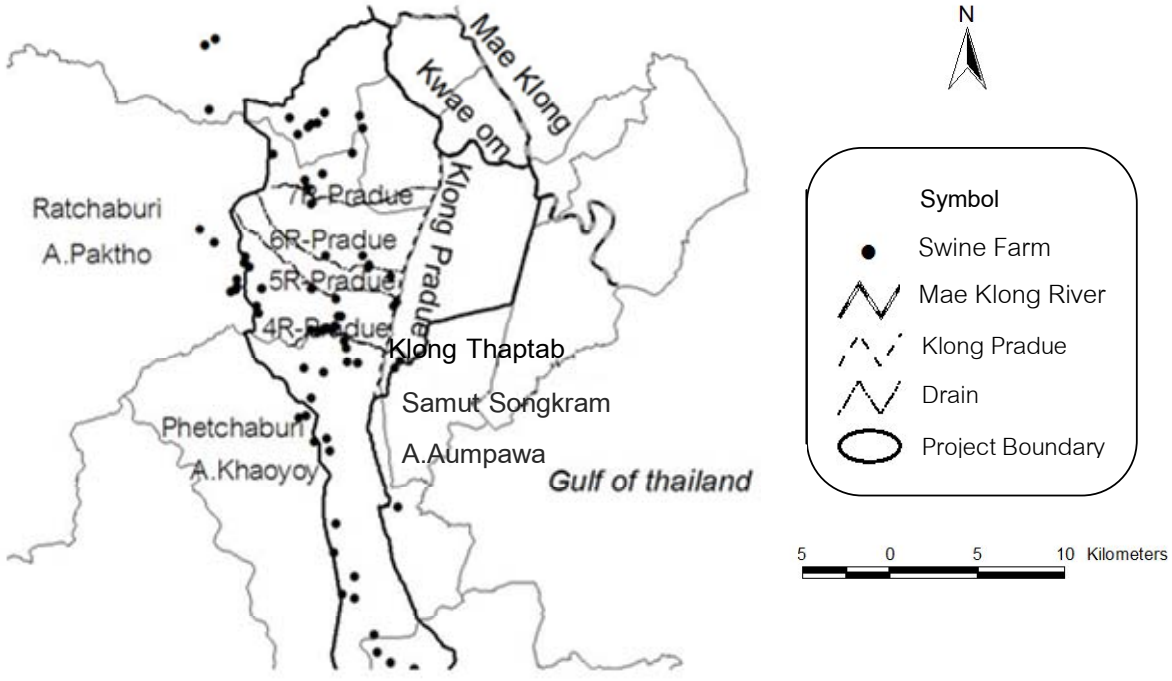


Figure 1 Map of study area (Klong Pradue) in 2006

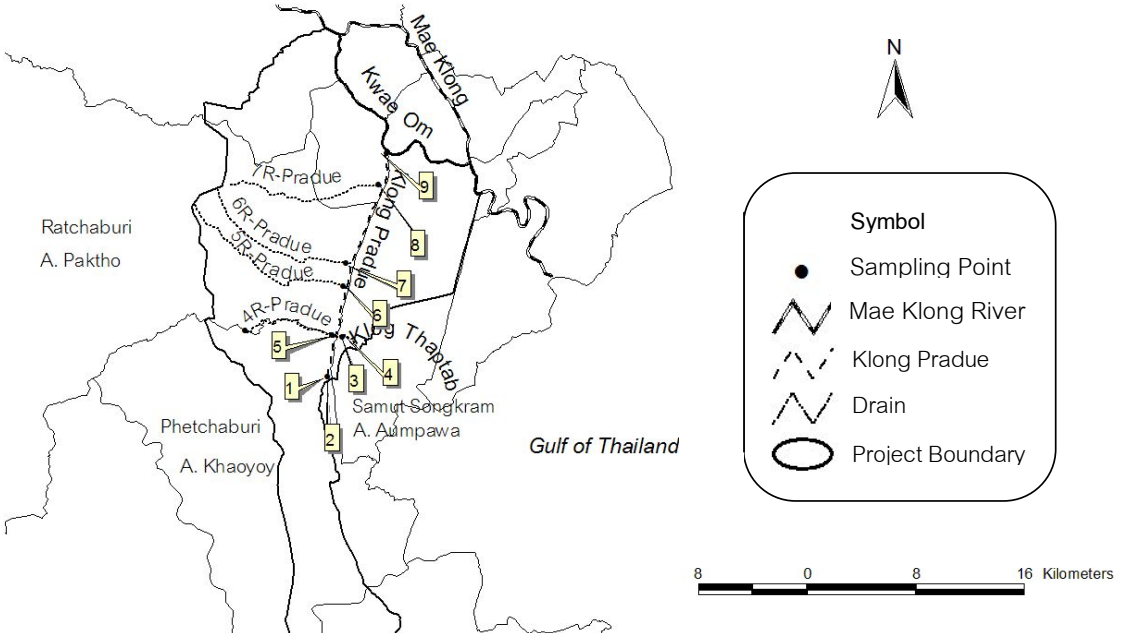


Figure 2 Map of sampling points in Klong Pradue

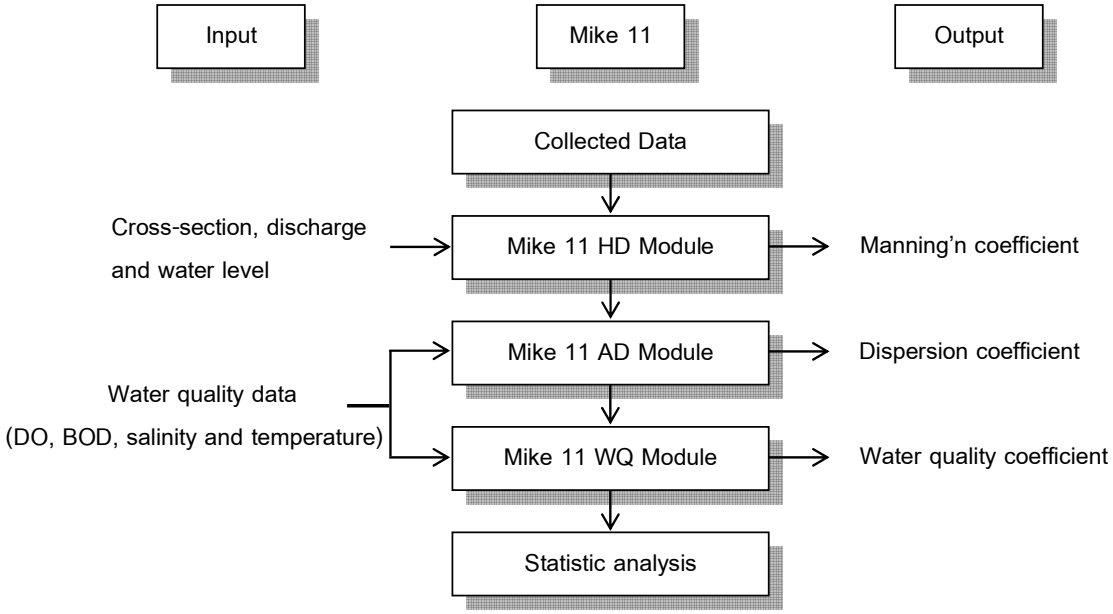


Figure 3 Flow chart of study procedure (MIKE 11)

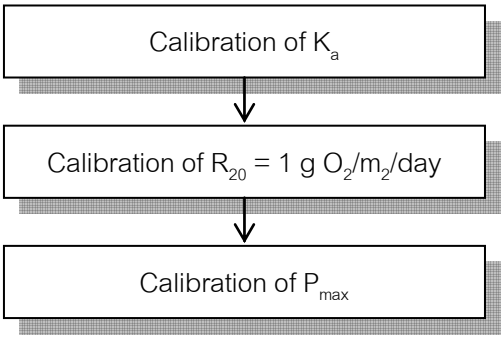


Figure 4 Procedure of DO calibration

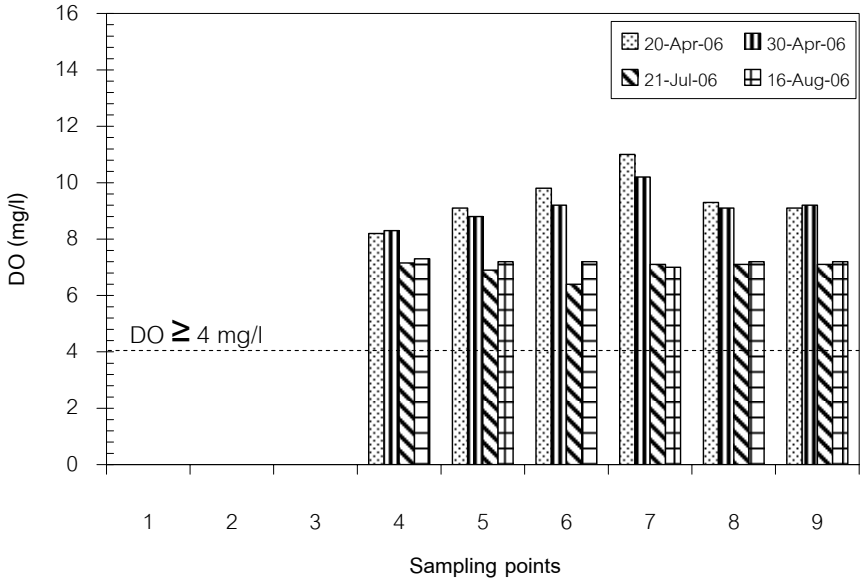


Figure 5 DO in Klong Pradue on certain days during April to August 2006

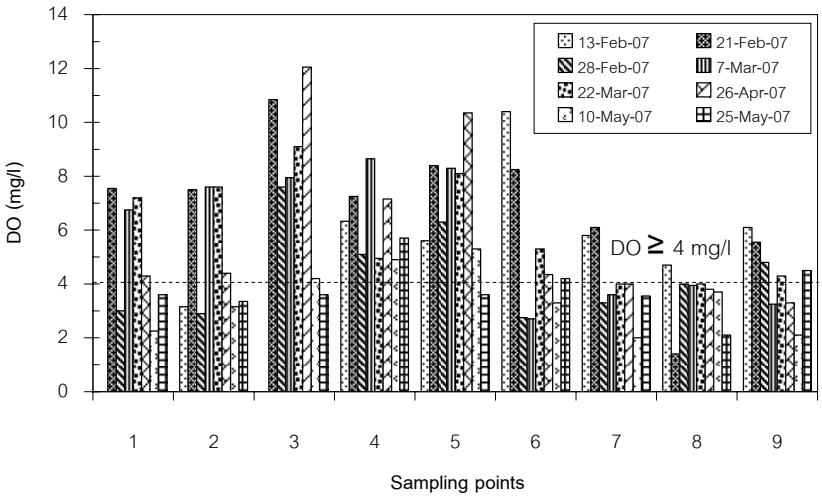


Figure 6 DO in Klong Pradue on certain days during 13 February to 25 May 2007

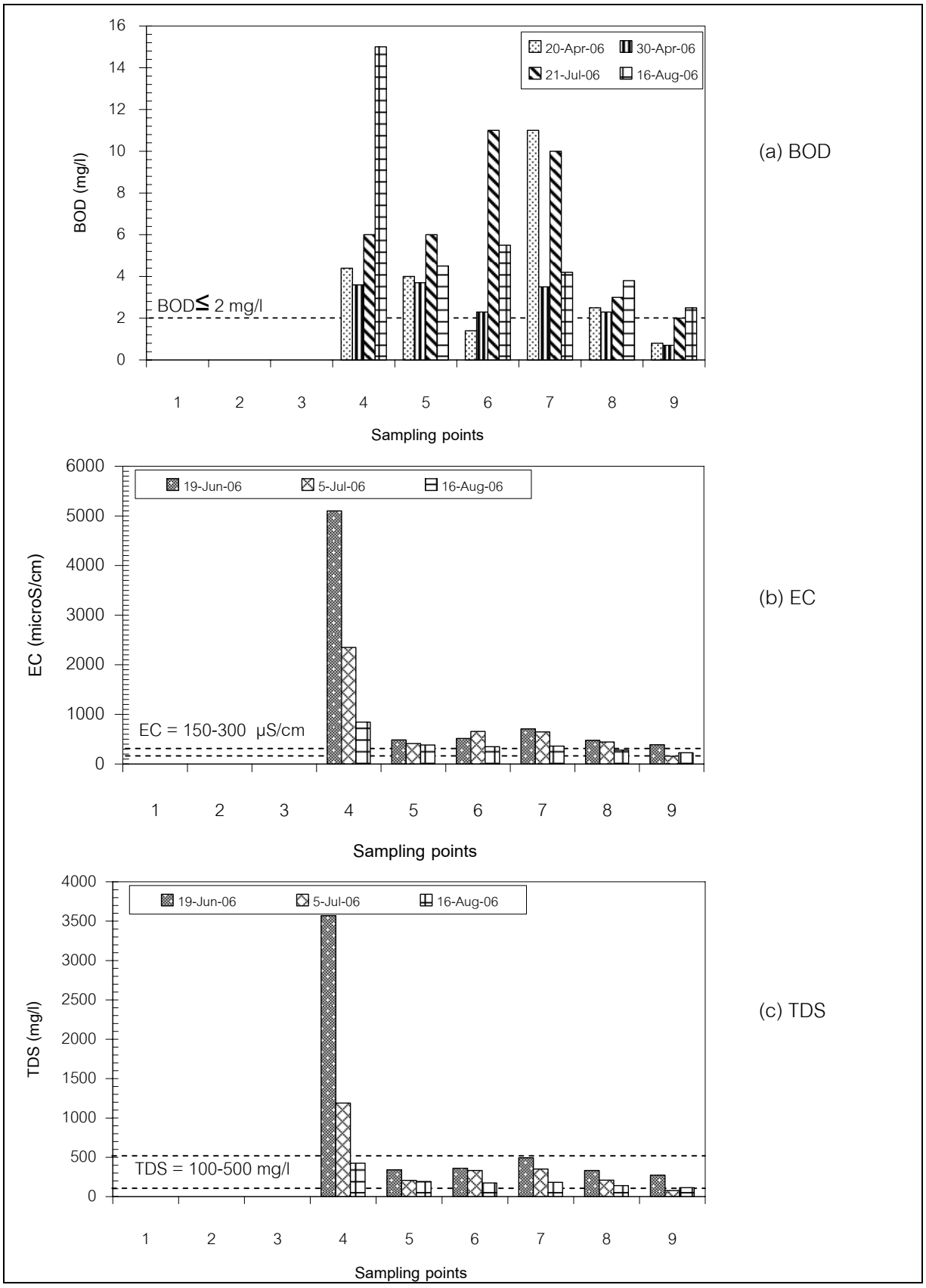


Figure 7 BOD, EC และ TDS in Klong Pradue on certain days during April to August 2006

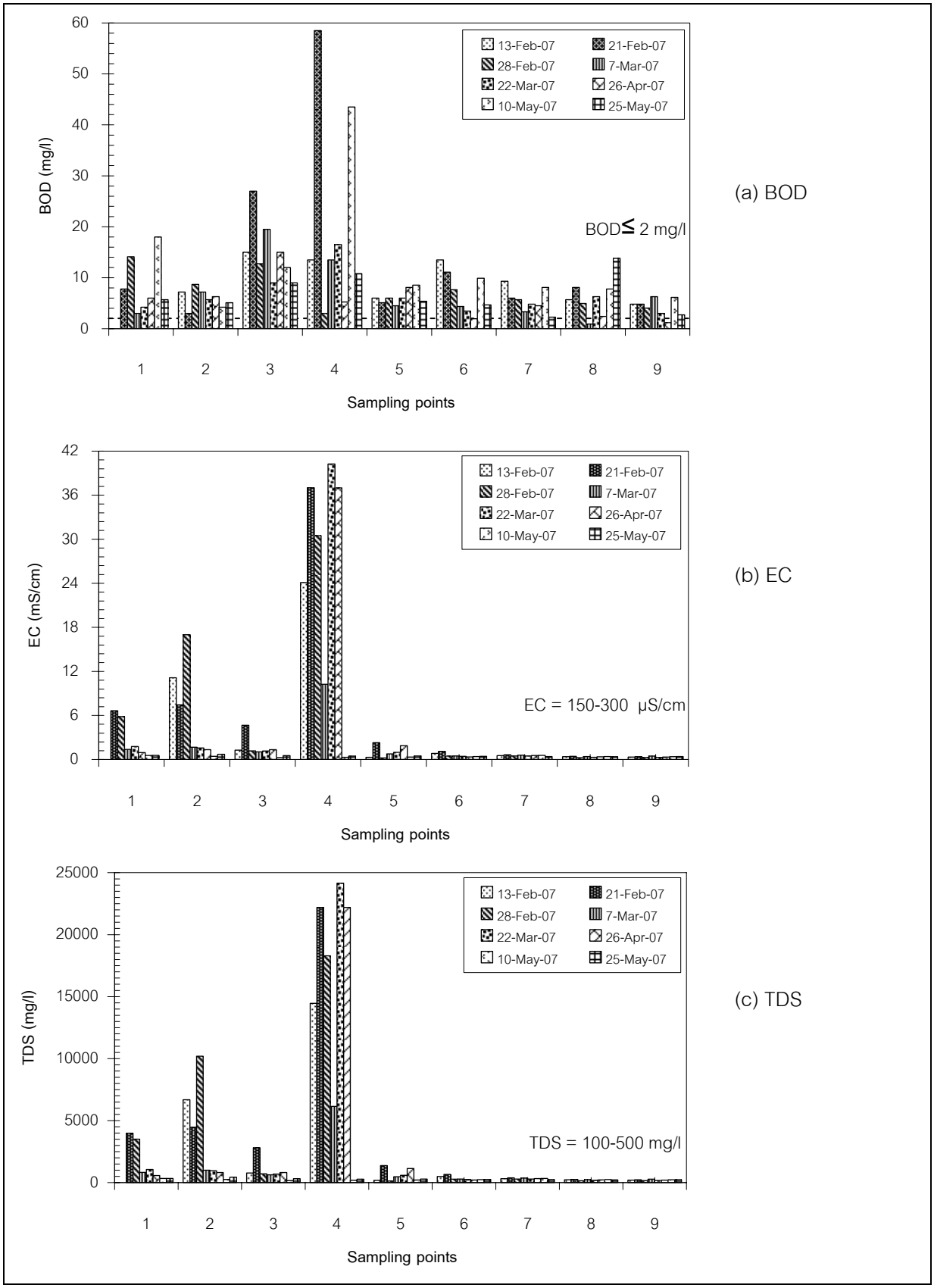


Figure 8 BOD, EC and TDS in Klong Pradue on certain days during 13 February to 25 May 2007

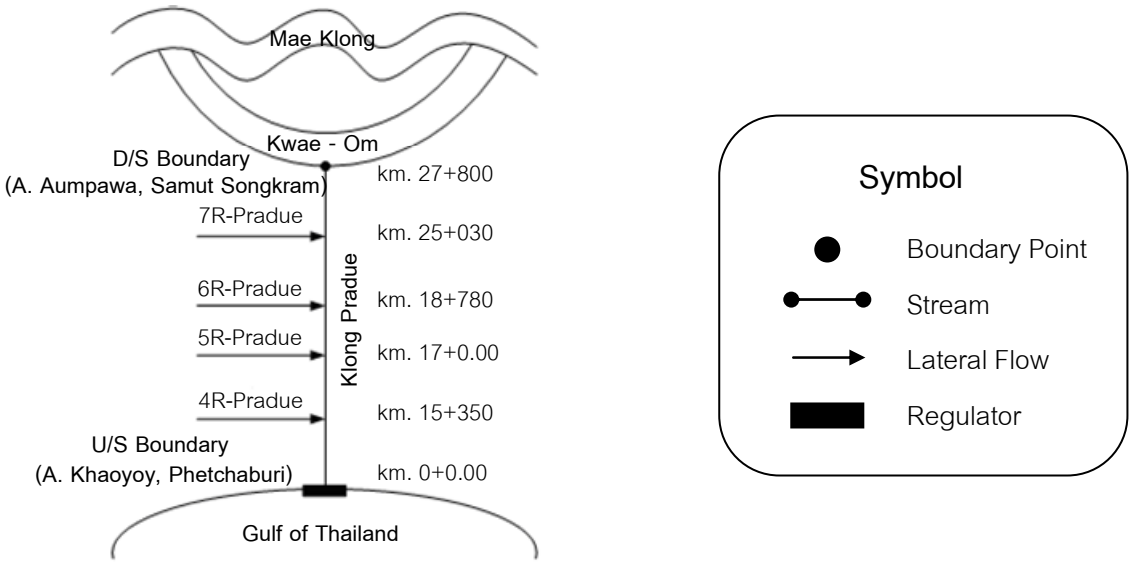
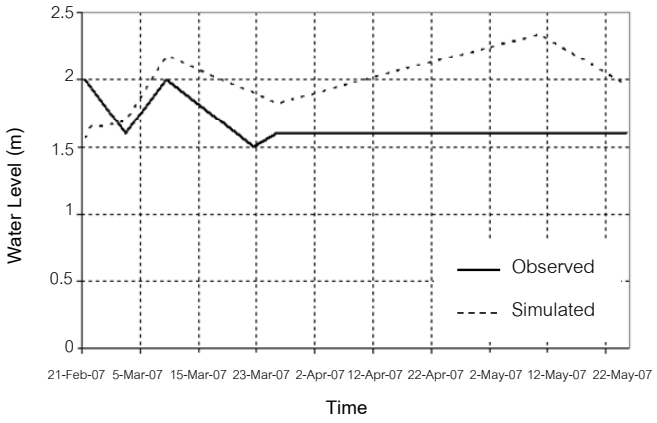


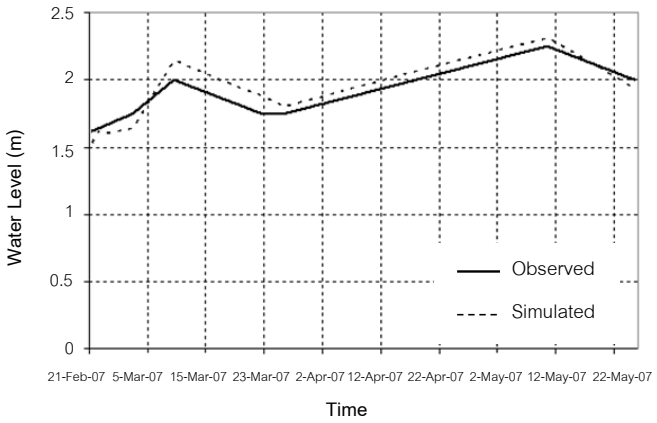
Figure 9 The river network system for the study (Klong Pradue)

Table 2 The Hydrodynamic Model parameter (Manning' n) in Klog Pradue

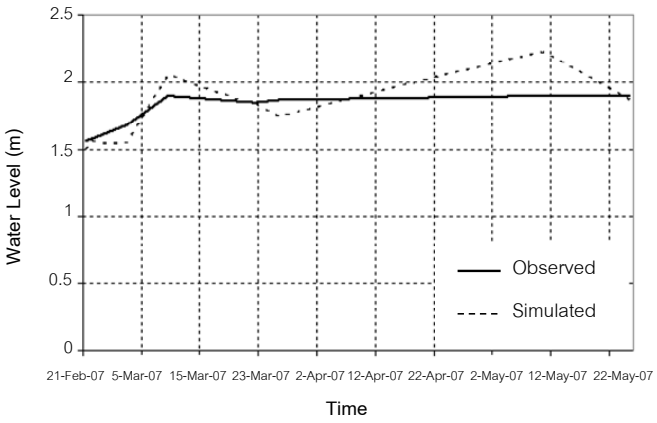
Monitoring Points	Chainage (km.)	Manning' n
Upstream Boundary to 4R	0-15,350	0.029
4R to 5R	15,350-17,000	0.025
5R to 6R	17,000-18,780	0.029
6R to 7R	18,780-25,030	0.025
7R to Downstream Boundary	25,030-27,800	0.029



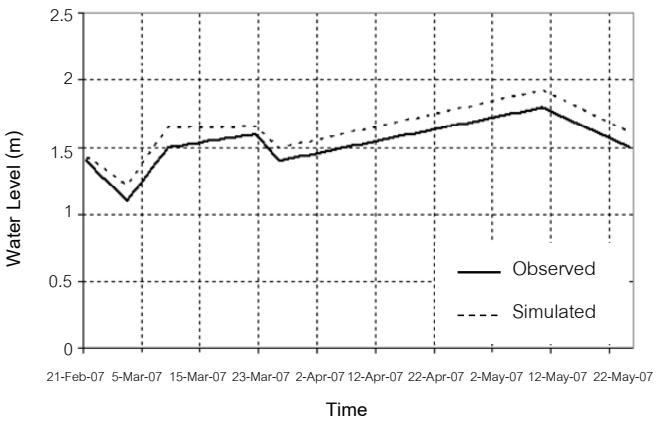
a) 4R



b) 5R



c) 6R

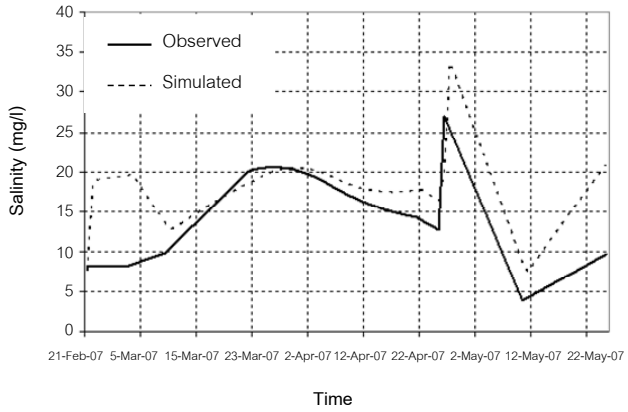


d) 7R

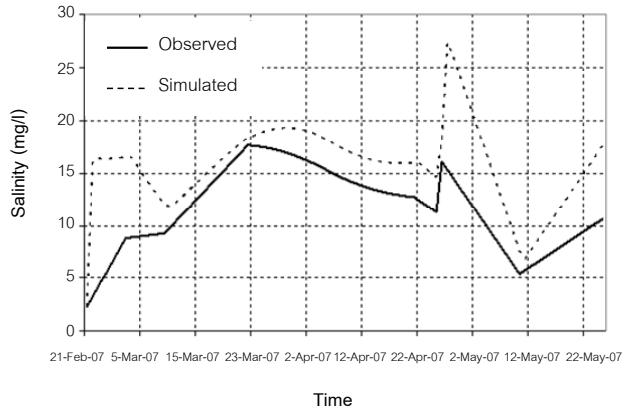
Figure 10 The comparison of water level between observed data and Hydrodynamic model simulated data at chainage 4R, 5R, 6R and 7R

Table 3 The Advection-Dispersion Model parameter in Klog Pradue

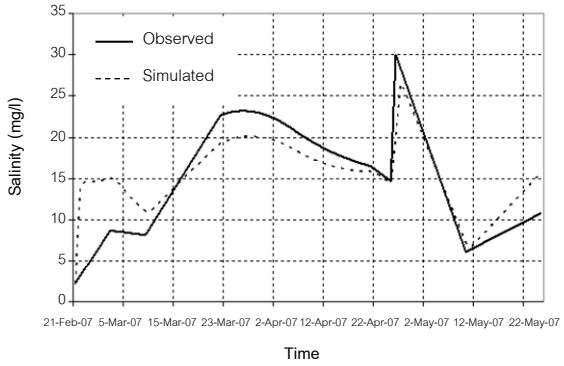
Monitoring Points	Chainage (km.)	Dispersion coefficient (m^2/s)
Upstream Boundary to 4R	0-15,350	25
4R to 5R	15,350-17,000	20
5R to 6R	17,000-18,780	25
6R to 7R	18,780-25,030	10
7R to Downstream Boundary	25,030-27,800	10



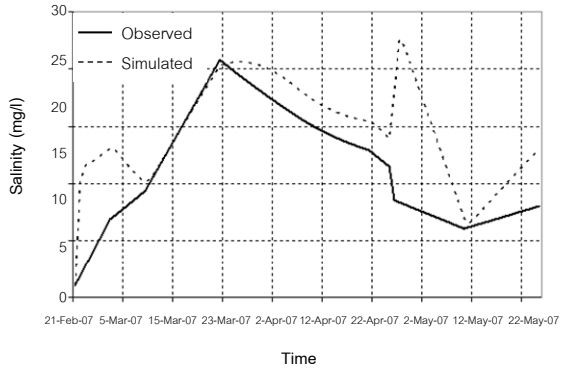
a) 4R



b) 5R

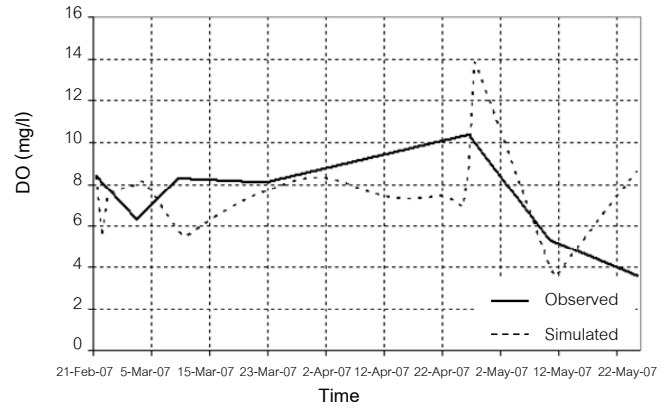


c) 6R

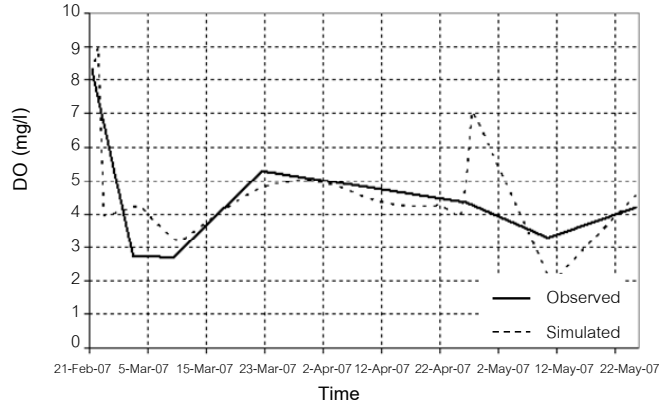


d) 7R

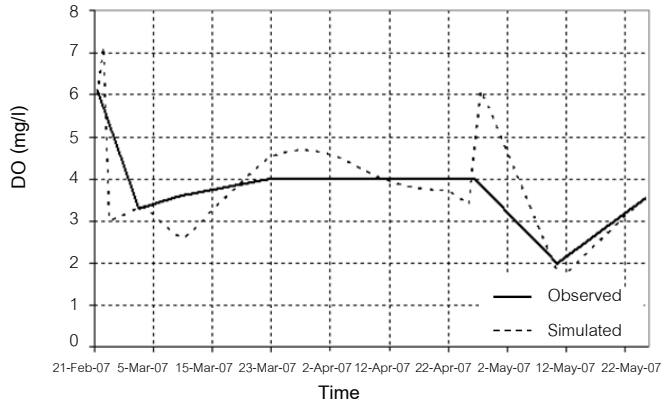
Figure 11 The comparison of salinity between observed data and Advection-Dispersion model simulated data at chainage 4R, 5R, 6R and 7R



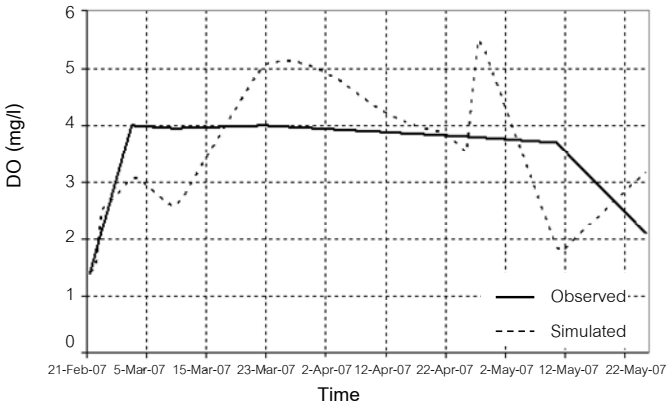
a) 4R



b) 5R

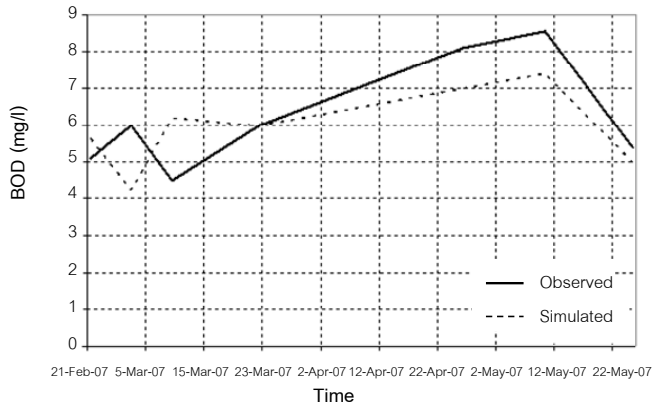


c) 6R

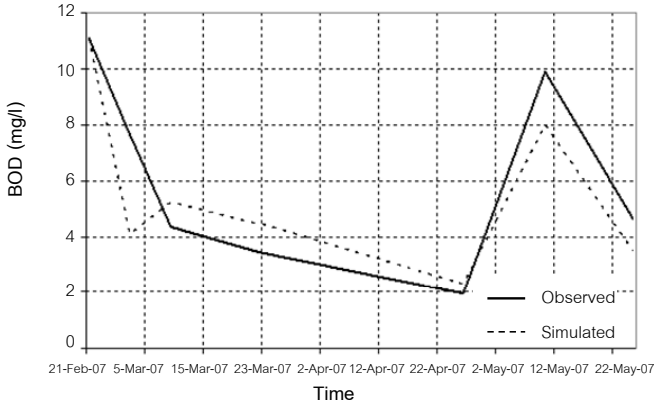


d) 7R

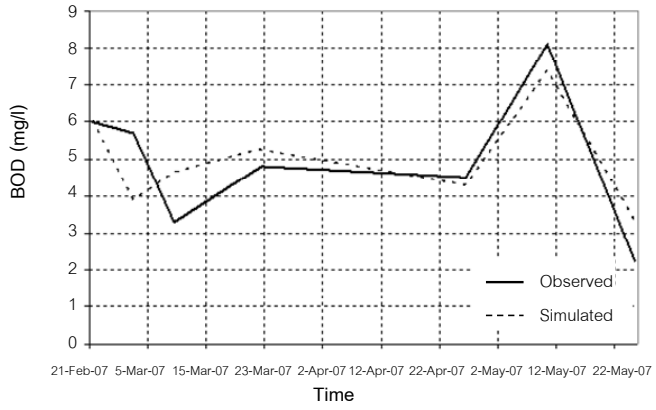
Figure 12 The comparison of DO between observed data and Water Quality Model simulated data at chainage 4R, 5R, 6R and 7R



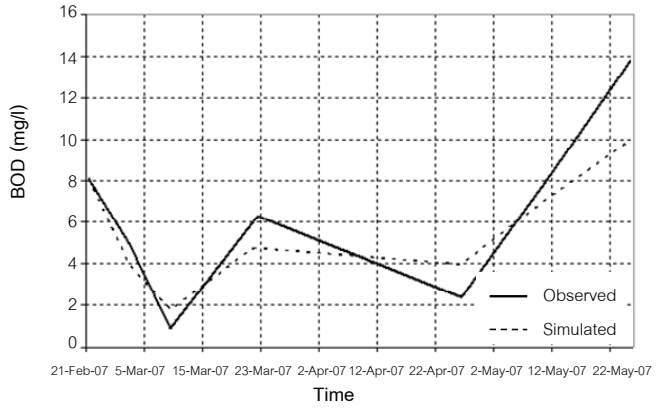
a) 4R



b) 5R



c) 6R



d) 7R

Figure 13 The comparison of BOD between observed data and Water Quality Model simulated data at chainage 4R, 5R, 6R and 7R

สรุปผลการศึกษา

1. ด้านคุณภาพน้ำ

คุณภาพน้ำในคลองประดู่ ณ ตำแหน่งต่าง ๆ ทั้งสองช่วงระยะเวลานั้นอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณภาพแหล่งน้ำผิวดินประเภทที่ 3 แต่ยังมีดัชนีคุณภาพน้ำบางประการไม่อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถยอมรับได้ คือ ค่าความต้องการออกซิเจนทางชีวเคมี (BOD) ค่าการนำไฟฟ้า (EC) และปริมาณของแข็งทั้งหมดที่ละลายในน้ำ (TDS) ตำแหน่งที่พบปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำ คือ คลองทับแถบ ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณภาพน้ำบริเวณนี้ ได้แก่ ฝน อิทธิพลของน้ำทะเล/ระยะทางจากทะเล การปิด-เปิดประตูระบายน้ำ รวมทั้งช่วงเวลาการส่งน้ำของโครงการส่งน้ำและบำรุงรักษาราชบุรีฝั่งขวา (หยุดการส่งน้ำชลประทานในธันวาคมถึงกุมภาพันธ์) และช่วงฤดูกาล (ช่วงต่อระหว่างฤดูแล้งกับฤดูฝนประมาณต้นเดือนพฤษภาคม) ดังนั้นช่วงเวลาดังกล่าวควรมีการเฝ้าระวังในเรื่องปัญหาคุณภาพน้ำของคลองประดู่ เพื่อติดตามสถานการณ์คุณภาพน้ำพร้อมทั้งหาแนวทางในการบริหารจัดการน้ำต่อไป

2. แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11

1) จากการสอบเทียบแบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11 แบบจำลองย่อย MIKE 11 HD ซึ่งเป็นแบบจำลองที่ศึกษาลักษณะการไหลของคลองประดู่ ให้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระลำน้ำที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 0.025 ถึง 0.029 สำหรับการศึกษาทางด้านคุณภาพน้ำ พารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 AD ซึ่งหมายถึงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายนั้นให้ค่าที่เหมาะสมอยู่ระหว่าง 10-25 เมตร^2/วินาที และพบว่าพารามิเตอร์ที่ควบคุมแบบจำลอง MIKE 11 WQ ซึ่งประกอบด้วยพารามิเตอร์ทั้งสิ้น 4 ตัว มีค่าดังนี้ คือ 1) สัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์มีค่าเท่ากับ 0.2 day^{-1} 2) ผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงมีค่าเท่ากับ 3.5 g O_2/m_2/day 3) การใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการหายใจของพืชและสัตว์น้ำ มีค่าเท่ากับ 1.0 g O_2/m_2/day และ 4) สัมประสิทธิ์การเติมอากาศใช้สมการ O'Connor & Dobbin ผลการคำนวณจากแบบจำลองย่อย MIKE 11 ทั้งสามมีค่าค่อนข้างใกล้เคียงกับค่าที่บันทึกได้ แสดงว่าค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์หรือค่าทางสถิตินั้นอยู่ในเกณฑ์ที่น่าพอใจ

2) การลดมลพิษในคลองประดู่ ในช่วงเดือนพฤษภาคมมีปัญหาทางด้านคุณภาพน้ำมากกว่าเดือนอื่น คือ ต้องปรับลดปริมาณ BOD มากกว่า 50% ทุกตำแหน่ง สาเหตุอันเนื่องมาจากพฤติกรรมการปล่อยของเสีย ในช่วงฤดูฝนจะมีการลักลอบปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกรลงสู่คลองประดู่เป็นจำนวนมาก และเป็นการยากที่จะควบคุมปริมาณของเสียที่เกิดขึ้น เพราะฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นฟาร์มระบบเปิด จะส่งผลทำให้คุณภาพน้ำไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงมีความจำเป็นที่จะต้องทำการควบคุมการปล่อยของเสียจากฟาร์มเลี้ยงสุกร และเฝ้าระวังในเรื่องของคุณภาพน้ำรวมทั้งตรวจวัดคุณภาพเป็นระยะโดยเฉพาะช่วงที่วิกฤติ

ข้อเสนอแนะ

1. จากผลการศึกษาของโครงการพบว่าปัญหาหลักของพื้นที่ที่ทำการศึกษาที่ประสบอยู่คือ

- รูปตัดลำน้ำ ควรจะมีการสำรวจใหม่เนื่องจากพบว่าปัจจุบันรูปตัดลำน้ำได้มีการเปลี่ยนแปลงขนาดไปจากเดิม
- ข้อมูลปริมาณการไหลในลำน้ำ และข้อมูลปริมาณฝน ควรที่จะมีการติดตั้งสถานีวัดน้ำฝนน้ำท่าในพื้นที่โครงการ เพื่อประโยชน์ในการบริหารจัดการน้ำอย่างเป็นระบบและมีประสิทธิภาพ
- การบริหารจัดการในเรื่องการเปิด-ปิดประตูระบายน้ำ ทางโครงการควรมีการประสานงานกับเกษตรกรในเรื่องการจดบันทึกข้อมูลดังกล่าว เพื่อให้ได้จำนวนข้อมูลที่มากขึ้นและมีความถูกต้องแม่นยำ

2. เนื่องจากมีข้อจำกัดในการเก็บข้อมูล จึงทำให้ข้อมูลที่ได้นั้นมีจำนวนน้อย ดังนั้นควรมีการเก็บข้อมูลเพิ่มเติม เพื่อที่จะสามารถทำการเปรียบเทียบได้ง่ายขึ้น

3. เนื่องจากฟาร์มเลี้ยงสุกรเป็นระบบเปิด ในช่วงฤดูฝนมักจะปล่อยของเสียลงสู่แม่น้ำ ในส่วนนี้ไม่สามารถบริหารจัดการได้ และของเสียที่เกิดจากฟาร์มเลี้ยงสุกรที่เป็นสาเหตุทำให้น้ำเน่าเสีย ดังนั้นหากเป็นไปได้ฟาร์มเลี้ยงสุกรควรจัดการกับมูลสุกร โดยนำมาเป็นปุ๋ย และเป็นวัตถุดิบในการผลิตก๊าซชีวภาพ

4. จัดทำระบบติดตามคุณภาพน้ำแบบต่อเนื่อง โดยเฉพาะอย่างยิ่งในช่วงที่มีปัญหาเพื่อไม่ให้เกิดปัญหาในอนาคต โดยหาวิธีลดผลกระทบและหาวิธีบริหารจัดการน้ำที่เหมาะสมต่อไป

คำขอบคุณ

ทุนวิจัยจากสถาบันวิจัยและพัฒนา ปี 2549-2550 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ และทุนสนับสนุน

คุณภาพงานวิจัยระดับบัณฑิตศึกษา ประจำปีการศึกษา 2550 มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

เอกสารอ้างอิง

เกษม จันทร์แก้ว. 2526. การจัดการลุ่มน้ำ. ภาควิชาอนุรักษ์วิทยา คณะวนศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.

กรมป้องกันและบรรเทาสาธรณภัย. 2549. สรุปสถานการณ์ภัยของประเทศไทย ตั้งแต่ พ.ศ. 2532 – 2547.แหล่งที่มา: http://www.disaster.go.th

กรมควบคุมมลพิษ. 2540. การจัดการคุณภาพน้ำและจัดทำแผนปฏิบัติการในพื้นที่ลุ่มน้ำภาคตะวันออกเฉียงเหนือ. โรงพิมพ์กรมควบคุมมลพิษ, กรุงเทพฯ.

ดอน เครือหอม และวีระ ครุวิจักษณ์. 2547. การตรวจวัดคุณภาพน้ำในแนวป้องกันน้ำเค็ม จ.สมุทรสงคราม. โครงงานวิศวกรรมชลประทาน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

ภูวดล พรหมชา. 2544. การวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำบางปะกงโดยใช้แบบจำลองคณิตศาสตร์ MIKE 11. วิทยานิพนธ์ปริญญาโท, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สันติ ทองพำนัก. 2528. หลักการวัดน้ำชลประทาน. ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน คณะวิศวกรรมศาสตร์. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

สำนักงานสิ่งแวดล้อมภาคที่ 8 (ราชบุรี). 2548. งานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมภาคตะวันตก ปี 2548. พิมพ์ครั้งที่ 1. โรงพิมพ์มีโชคกราฟฟิค, ราชบุรี.

Danish Hydraulic Institute (DHI). 1995. MIKE 11 Reference Manual. n.p.

Received 10 September 2008
Accepted 28 December 2008