

การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำ
แม่น้ำแม่กลองตอนบน

นางสาวนฤมล สังขประดิษฐ์



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-691-9

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

**CALIBRATION OF MATHEMATICAL MODEL MIKE 11
FOR PREDICTION OF WATER QUALITY IN UPPER MAEKLONG RIVER**

Miss Narumon Sungkapradis

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

Inter-department of Environmental Science

Graduate School

Chulalongkorn University

Academic Year 1998

ISBN 974-639-691-9

นฤมล สังฆประดิษฐ์ : การปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำ
แม่น้ำแม่กลองตอนบน (CALIBRATION OF MATHEMATICAL MODEL MIKE 11 FOR PREDICTION
OF WATER QUALITY IN UPPER MAEKLONG RIVER)

อ.ที่ปรึกษา : ผศ.ดร. ทวีวงศ์ ศรีบุรี
265 หน้า. ISBN 974-639-691-9

การศึกษาครั้งนี้ทำการปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบน โดยมีขอบเขตต้นน้ำ (upstream boundary) อยู่ที่เหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี และ ขอบเขตท้ายน้ำ (downstream boundary) อยู่ที่ท่าเรือเจ็ดเสมียน อ.โพธาราม จ.ราชบุรี รวมระยะทางทั้งสิ้นประมาณ 70 กิโลเมตร โดยการวิเคราะห์ข้อมูลผ่านการคำนวณ 3 ส่วน ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ได้แก่ แบบจำลองทางชลศาสตร์ (Hydrodynamic Model) แบบจำลองการเคลื่อนย้ายและแพร่กระจายมลสาร (Transport Dispersion Model) และแบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality Model) เพื่อวิเคราะห์ค่าทางชลศาสตร์ ค่าการแพร่กระจายมลสารในลำน้ำและสัมประสิทธิ์คุณภาพน้ำ ตามลำดับซึ่งพารามิเตอร์คุณภาพน้ำที่ศึกษา คือ ออกซิเจนละลาย บีโอดี ฟิคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียและอุณหภูมิ

ผลการปรับเทียบแบบจำลองทางชลศาสตร์เลือกใช้ค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิง (Manning' n)เท่ากับ 0.03 - 0.05 และแบบจำลองการเคลื่อนย้ายและแพร่กระจายมลสารซึ่งพิจารณาถึงสัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย (Dispersion coefficient) และค่าคงที่การย่อยสลาย (Decay constant) โดยใช้ค่าเท่ากับ 100 $\text{m}^2/\text{วินาที}$ และ 0.02 ชั่วโมง⁻¹ ตามลำดับ ส่วนแบบจำลองคุณภาพน้ำ ซึ่งคำนวณปริมาณออกซิเจนละลาย บีโอดีและอุณหภูมินั้น ตัวแปรที่ปรับเทียบ ได้แก่ ค่าคงที่การย่อยสลายสารอินทรีย์ (First order degradation constant for BOD at 20°C) เท่ากับ 0.23 วัน⁻¹ ผลผลิตออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง (Maximum oxygen production by photosynthesis) เท่ากับ 3.8 กรัม.ออกซิเจน / m^2 .วัน อัตราการหายใจของพืชและสัตว์ที่ 20°C (Respiration of plants and animals at 20°C) เท่ากับ 2.3 กรัม.ออกซิเจน / m^2 .วัน และสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ (Reaeration coefficient) จำนวนโดยใช้สมการของ O'Connor and Dubbins

ผลการสำรวจคุณภาพน้ำและผลการคำนวณคุณภาพน้ำโดยแบบจำลอง พบว่า คุณภาพน้ำจะลดลงเรื่อย ๆ ตามระยะทางจากต้นน้ำถึงท้ายน้ำ โดยปัจจัยที่มีผลต่อคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองโดยรวม ขึ้นอยู่กับปริมาณน้ำเสียที่ปล่อยลงสู่แหล่งน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำและฤดูกาลที่ทำการศึกษา

ผลการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง โดยใช้สถิติวิเคราะห์ความแตกต่างระหว่างค่าที่ได้จากการคำนวณโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์และผลจากการสำรวจ พบว่า ผลของการเปรียบเทียบระดับน้ำ ฟิคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ออกซิเจนละลาย บีโอดีและอุณหภูมิไม่แตกต่างกัน (t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่น 95% ยกเว้นค่าบีโอดี ที่สถานี MK11 ที่ไม่แตกต่างกันที่ระดับความเชื่อมั่น 99% และเมื่อทดสอบระดับน้ำโดยใช้สัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์อย่างง่าย (Correlation coefficient) มีค่าเท่ากับ 0.9 ส่วน พารามิเตอร์อื่นทดสอบด้วยสถิติตรวจสอบความถูกต้องของการคาดการณ์โดยใช้รากที่สองของความแตกต่างกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) พบว่า ฟิคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย มีความคลาดเคลื่อนของการคำนวณมากกว่าปริมาณออกซิเจนละลาย บีโอดีและอุณหภูมิ

ภาควิชา วิศวกรรม
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สาขาวิศวกรรม
ปีการศึกษา ๒๕๕๑

ลายมือชื่อนิสิต นฤมล สังฆประดิษฐ์
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม

C826824 : MAJOR INTER-DEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: MIKE 11 / MATHEMATICAL MODEL / WATER QUALITY MODEL / MAEKLONG RIVER
NARUMON SUNGKAPRADIS : CALIBRATION OF MATHEMATICAL MODEL MIKE 11
FOR PREDICTION OF WATER QUALITY IN UPPER MAEKLONG RIVER
THESIS ADVISOR : ASST.PROF.THAVIVONGSE SRIBURI, Ph.D.
265 p : ISBN 974-639-691-9

The purpose of this study is to calibrate mathematical model MIKE 11 for predicting upper Maeklong River water quality. The upstream boundary of the studied area is located at Vajiralongkong Dam, Thamuang District, Kanchanaburi Province, whereas the downstream boundary is located at Jedsamean Peir, Potharam District, Rajaburi Province. The total distance was about 70 kilometers. Data analysis is base on 3 modules of mathematical model MIKE 11 including Hydrodynamic Model (HD Model) , Transport Dispersion Model (TD Model) and Water Quality Model (WQ Model). This study is to analyze hydraulic , dispersion characteristic and water quality coefficient of the river. As for water quality parameters DO, BOD, fecal coliform bacteria and temperature were determined.

As for the calibration of Hydrodynamic Model, it was found that selected values of Manning roughness coefficient (Manning's n) are 0.03 - 0.05 and Transport Dispersion Model of which the selected dispersion coefficient is $100 \text{ m}^2/\text{s}$ and decay constant is 0.02 hr^{-1} . The results from Water Quality Model of which DO, BOD and temperature were calibrated are as follows : first order degradation constant for BOD at $20^\circ\text{C} = 0.23 \text{ day}^{-1}$, respiration of plants and animals at $20^\circ\text{C} = 2.3 \text{ g O}_2/\text{m}^2.\text{day}$, maximum oxygen production by photosynthesis at $20^\circ\text{C} = 3.8 \text{ g O}_2/\text{m}^2.\text{day}$ and O'Connor and Dubbins Expression is selected to calculate reaeration coefficient.

The result of water quality survey and calculation have shown that water quality gradually worsened from upstream to downstream. In general, Maeklong River quality depends on wastewater discharge, river water flow and seasonal change.

The result of mathematical model verification, water level, fecal coliform bacteria, DO, BOD and temperature are consistent with the data obtained from the survey from these two data sets were not significantly different (t-test) at 95% confidence interval , except BOD at MK11 station , which is significant at 99% confidence interval. Correlation coefficient of water level is 0.9 and another statistical analysis method of water quality parameters are root mean square error (RMSE), it was found that fecal coliform bacteria is more error than DO, BOD and temperature.

ภาควิชา..... INTER - DEPARTMENT
สาขาวิชา..... ENVIRONMENTAL SCIENCE
ปีการศึกษา..... ๒๕๔๘

ลายมือชื่อนิสิต..... นฤมล สุวาทิต
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีด้วยความกรุณา ความช่วยเหลือและสนับสนุนจากหลาย ๆ ท่าน โดยเฉพาะอย่างยิ่ง ผู้เขียนขอกราบขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ที่กรุณาให้คำปรึกษาความช่วยเหลือ รวมถึงทุนสนับสนุนในการทำวิจัย ศาสตราจารย์ ดร.สุภัทร์ วงศ์วิเศษสมจัย ที่กรุณาให้คำปรึกษาเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ รวมถึงให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลภาพตัดขวางลำน้ำและอื่น ๆ อีกทั้ง Dr. Nguyen Thoi และ คุณกฤษดา มหาสันตะนะ ที่ให้คำปรึกษาเกี่ยวกับการใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 และ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรย์ พณิชยกุล หัวหน้าภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้ห้องปฏิบัติการ รวมถึง ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กวรรณิการ์ กัลยาวงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำในการเก็บตัวอย่างฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย นอกจากนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ คณะกรรมการสอบโครงร่างวิทยานิพนธ์และวิทยานิพนธ์ทุกท่านที่ได้กรุณาให้คำแนะนำและแก้ไขให้ วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ในการทำวิทยานิพนธ์นี้จะเริ่มขึ้นไม่ได้หากไม่ได้รับความอนุเคราะห์แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11 และการใช้ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และห้องปฏิบัติการคอมพิวเตอร์จากสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงเครื่องมือเก็บตัวอย่างน้ำและเครื่องมือตรวจวัดปริมาณออกซิเจนละลาย จากภาควิชาภาควิชาวิทยาศาสตร์ทั่วไป ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเล และสหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์ สภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมถึงผู้ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลประกอบในการศึกษา ได้แก่ คุณพลชัย กลิ่นขจร ฝ่ายวิเคราะห์และประมวลผลสถิติ กองอุทกวิทยา กรมชลประทาน ซึ่งอนุเคราะห์ ข้อมูลปริมาณน้ำ คุณสุภาพร ภูเกษมวางกูร ที่ได้ให้คำแนะนำในการเก็บและวิเคราะห์ตัวอย่าง รวมถึง อุปกรณ์วิทยาศาสตร์ คุณวรรณิ มากันต์ ฝ่ายวิเคราะห์คุณภาพสิ่งแวดล้อม กองอนามัยสิ่งแวดล้อม กรมอนามัย กระทรวงสาธารณสุข ที่ได้ให้ความช่วยเหลือในการแนะนำการเก็บตัวอย่างและวิเคราะห์ ปริมาณฟีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียอีกทั้งอนุเคราะห์อุปกรณ์ทางวิทยาศาสตร์

ในการนี้ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณหน่วยงานราชการที่เอื้อเพื่อข้อมูลประกอบการศึกษา ดังต่อไปนี้ ที่ว่าการอำเภอท่าม่วง ท่ามะกา จังหวัดกาญจนบุรี และที่ว่าการอำเภอบ้านโป่ง โพธาราม จังหวัดราชบุรี รวมถึง เทศบาลตำบลท่าเรือพระแท่น เทศบาลเมืองราชบุรีและเทศบาลเมืองโพธาราม อีกทั้งพี่ ๆ และ เพื่อน ๆ ที่ช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่างน้ำและช่วยเหลือในด้านอื่นตลอดมา จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สมบูรณ์

สุดท้ายข้าพเจ้าขอขอบพระคุณบุคคลในครอบครัวทุกคนที่ให้ความรัก ความช่วยเหลือในด้านต่าง ๆ และเป็นกำลังใจแก่ข้าพเจ้าตลอดมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ.....	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฐ
บทที่	
1 บทนำ.....	1
2 ทบทวนเอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	8
3 ทฤษฎีที่ใช้ในแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE11	61
4 วัสดุ อุปกรณ์และวิธีดำเนินการศึกษา.....	92
5 การคำนวณปริมาณน้ำเสีย.....	106
6 ผลการศึกษาและวิจารณ์ผล.....	119
7 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ.....	179
รายการอ้างอิง.....	183
ภาคผนวก ก	193
ภาคผนวก ข	197
ภาคผนวก ค	254
ภาคผนวก ง	260
ประวัติผู้เขียน.....	265

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง 21
2.2	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายในลำน้ำ 27
2.3	แสดงค่าคงที่ของการเติมอากาศในลำน้ำ 32
2.4	แสดงปริมาณออกซิเจนที่ผลิตได้จากกระบวนการสังเคราะห์แสงและกระบวนการหายใจ ในลำน้ำ 34
2.5	แสดงช่วงของค่าคงที่การย่อยสลายสารอินทรีย์ที่ 20°C 37
2.6	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายของฟีคัลโคลิฟอร์ม 49
3.1	แสดงรายละเอียดของแต่ละ Model Level 82
3.2	แสดงชนิดของกระบวนการที่ใช้ในการคำนวณแต่ละ Model Level 83
3.3	กระบวนการต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นในแต่ละ Model Level 84
4.1	แสดงวิธีการเก็บและรักษาตัวอย่าง 95
4.2	วิธีที่ใช้วิเคราะห์คุณภาพน้ำที่ศึกษา 95
5.1	แสดงข้อมูลอัตราการใช้น้ำแยกตามชุมชน และแหล่งกำเนิดน้ำเสีย จ.กาญจนบุรี 110
5.2	การประมาณปริมาณน้ำเสียและปริมาณบีโอดีชุมชน ในเขตอำเภอท่ามะกา ปี พ.ศ.2535 111
5.3	แสดงอัตราการใช้น้ำของแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่าง ๆ ใน จ.กาญจนบุรี 111
5.4	แสดงความเข้มข้นบีโอดีสำหรับแหล่งน้ำเสียอื่น ๆ ใน จ.กาญจนบุรี 112
5.5	แสดงอัตราการใช้น้ำแยกตามชุมชนและแหล่งกำเนิดน้ำเสีย ใน จ.ราชบุรี 113
5.6	แสดงปริมาณการบีโอดีสำหรับแหล่งกำเนิดน้ำเสียอื่น ๆ ใน จ.ราชบุรี 114
5.7	แสดงปริมาณน้ำเสียและการบีโอดีต่อหน่วยที่ระบายจากสถานประกอบการต่าง ๆ 114
6.1	แสดงค่าคงที่การย่อยสลายฟีคัลโคลิฟอร์มที่ใช้ในแบบจำลองต่าง ๆ 171
6.2	แสดงช่วงของค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลายสารอินทรีย์ 173
6.3	แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของฟีคัลโคลิฟอร์มโดยใช้สถิติวิเคราะห์ 176
6.4	แสดงผลการทดสอบความแตกต่างของ DO , BOD และ อุณหภูมิ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ t-test 177

สารบัญตาราง (ต่อ)

6.5	แสดงผลการทดสอบความคลาดเคลื่อนของ DO , BOD และ อุณหภูมิ โดยใช้สถิติวิเคราะห์ RMSE	178
ก-1	มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม	215
ก-2	มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน	216
ข-1	แสดงข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่าง ๆ จากชุมชนของตำบล ที่ติดแม่น้ำแม่กลอง ใน อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	198
ข-2	แสดงข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนของตำบล ที่ติดแม่น้ำใน อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี	199
ข-3	แสดงปริมาณน้ำทิ้งของแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลอง ใน อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	200
ข-4	แสดงปริมาณน้ำทิ้งของแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี	201
ข-5	แสดงปริมาณการบีโอดีของน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดน้ำเสีย ชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	202
ข-6	แสดงปริมาณการบีโอดีจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี	203
ข-7	แสดงปริมาณน้ำทิ้งและการบีโอดีจากน้ำทิ้งชุมชนของ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2541	204
ข-8	แสดงปริมาณน้ำทิ้งและการบีโอดีจากน้ำทิ้งชุมชนของ อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2541	205
ข-9	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณการบีโอดีของอุตสาหกรรม ที่ก่อให้เกิดมลพิษในตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลอง อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	206
ข-10	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณการบีโอดีของอุตสาหกรรม ที่ก่อให้เกิดมลพิษในตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลอง อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี	206
ข-11	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณการบีโอดีจากเกษตรกรรม โดยพิจารณาจากน้ำทิ้งจากฟาร์มปศุสัตว์ใน อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี	207
ข-12	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณการบีโอดีจากเกษตรกรรม โดยพิจารณาจากน้ำทิ้งจากฟาร์มปศุสัตว์ใน อ.ท่ามะกา จ.กาญจนบุรี	208

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-13	แสดงข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนของตำบล ที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี	209
ข-14	แสดงข้อมูลแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนของตำบล ที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.โพธาราม จ.ราชบุรี.....	210
ข-15	แสดงปริมาณน้ำทิ้งของแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี	211
ข-16	แสดงปริมาณน้ำทิ้งของแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.โพธาราม จ.ราชบุรี.....	212
ข-17	แสดงปริมาณภาระบีโอดีจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี	213
ข-18	แสดงปริมาณภาระบีโอดีจากแหล่งกำเนิดน้ำเสียจากชุมชนต่าง ๆ ของตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลองใน อ.โพธาราม จ.ราชบุรี.....	214
ข-19	แสดงปริมาณน้ำทิ้งและภาระบีโอดีจากน้ำทิ้งชุมชนของ อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี ช่วงเดือน มกราคม พ.ศ.2541	215
ข-20	แสดงปริมาณน้ำทิ้งและภาระบีโอดีจากน้ำทิ้งชุมชนของ อ.โพธาราม จ.ราชบุรี ช่วงเดือน มกราคม พ.ศ.2541	216
ข-21	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณภาระบีโอดีของอุตสาหกรรม ที่ก่อให้เกิดมลพิษในตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลอง อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี.....	217
ข-22	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณภาระบีโอดีของอุตสาหกรรม ที่ก่อให้เกิดมลพิษในตำบลที่ติดแม่น้ำแม่กลอง อ.โพธาราม จ.ราชบุรี.....	217
ข-23	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณภาระบีโอดีจากเกษตรกรรม โดยพิจารณาจากน้ำทิ้งจากฟาร์มปศุสัตว์ใน อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี.....	218
ข-24	แสดงแหล่งกำเนิดน้ำเสียและปริมาณภาระบีโอดีจากเกษตรกรรม โดยพิจารณาจากน้ำทิ้งจากฟาร์มปศุสัตว์ใน อ.โพธาราม จ.ราชบุรี.....	219
ข-25	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 ของสถานี MK7 (ท่าเรือเจ็ดเสมียน อ.โพธาราม จ.ราชบุรี)	220
ข-26	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541 ของสถานี MK7 (ท่าเรือเจ็ดเสมียน อ.โพธาราม จ.ราชบุรี)	220

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-27	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 ของสถานี MK8 (สะพานโพธาราม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี).....	221
ข-28	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541 ของสถานี MK8 (สะพานโพธาราม อ.โพธาราม จ.ราชบุรี).....	221
ข-29	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 ของสถานี MK9 (สะพานเฉลิมพระเกียรติบรมราชินี อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี)	222
ข-30	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541 ของสถานี MK9 (สะพานเฉลิมพระเกียรติบรมราชินี อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี)	222
ข-31	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 ของสถานี MK10 (สะพานเฉลิมพระเกียรติ ร.9 อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี).....	223
ข-32	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541 ของสถานี MK10 (สะพานเฉลิมพระเกียรติบรมราชินี อ.บ้านโป่ง จ.ราชบุรี)	223
ข-33	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 ของสถานี MK11 (สะพานจันทบูรเบกษา อ.ท่ามะกา จ. กาญจนบุรี).....	224
ข-34	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541 ของสถานี MK11 (สะพานจันทบูรเบกษา อ.ท่ามะกา จ. กาญจนบุรี).....	224
ข-35	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 ของสถานี MK12 (สะพานแสนตอ อ.ท่ามะกา จ. กาญจนบุรี).....	225
ข-36	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541 ของสถานี MK12 (สะพานแสนตอ อ.ท่ามะกา จ. กาญจนบุรี).....	225
ข-37	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 ของสถานี MK13 (เหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี).....	226
ข-38	แสดงผลการวิเคราะห์คุณภาพน้ำ ในช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541 ของสถานี MK13 (เหนือเขื่อนวชิราลงกรณ์ อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี).....	226
ข-39	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย รายสถานี ระหว่างวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	227
ข-40	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย รายสถานี ระหว่างวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	227

สารบัญตาราง (ต่อ)

ข-41	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของบีโอดี รายสถานี ระหว่างวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	228
ข-42	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของบีโอดี รายสถานี ระหว่างวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	228
ข-43	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของพีคัลโคลิฟอร์ม ระหว่างวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	229
ข-44	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของพีคัลโคลิฟอร์ม ระหว่างวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	229
ข-45	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ระหว่างวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	230
ข-46	แสดงค่าสูงสุด ต่ำสุดและค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ระหว่างวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	230
ข-47	แสดงผลการวิเคราะห์ปริมาณพีคัลโคลิฟอร์มในน้ำทิ้งชุมชน	231

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แผนที่แม่น้ำแม่กลอง6
2.1	แสดงวัฏจักรน้ำ.....9
2.2	อธิบายสมการต่อเนื่อง13
2.3	แสดงการใช้สมการโมเมนต์ในการคำนวณการไหลของน้ำ14
2.4	อธิบายการเคลื่อนย้ายและแพร่กระจายมลสารโดยใช้สมการทิศทางเดียว (one dimentional equation)24
2.5	ความสัมพันธ์ระหว่างการเคลื่อนย้ายและแพร่กระจายของมลสารที่ปล่อยลงสู่แม่น้ำ25
2.6	ความสัมพันธ์ของแสงอาทิตย์กับปริมาณออกซิเจนและคาร์บอนไดออกไซด์29
2.7	แสดงชั้นความลึกของน้ำที่แสงส่องผ่าน29
2.8	แสดง DO - sag curve.....31
2.9	อัตราการลดลงของออกซิเจนในการย่อยสลายสารอินทรีย์.....35
2.10	แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง CBOD , NBOD และ Total BOD37
2.11	ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์52
3.1	แสดงหน้าตัดลำน้ำที่พิจารณาเป็นลำน้ำรูปสี่เหลี่ยมหลาย ๆ รูป.....64
3.2	แสดงหน้าตัดลำน้ำที่พิจารณาในสมการ Resistance Radius67
3.3	แสดงหน้าตัดลำน้ำที่พิจารณาในสมการ Hydrualic Radius69
3.4	กริดต่าง ๆ ตามหน้าตัดของลำน้ำ71
3.5	Center 6-point Abbott Scheme.....71
3.6	Centering of Continuity equation in 6-point Abbott Scheme72
3.7	Centering of Momentum equation in 6-point Abbott Scheme74
3.8	แสดงรูปแบบของ Box Model77
4.1	แผนผังสถานีตรวจวัดระดับน้ำและปริมาณน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนบน96
4.2	แผนที่แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำ97
4.3	แผนผังสถานีตรวจวัดคุณภาพน้ำและตำแหน่งจุดทิ้งน้ำเสียของแม่น้ำแม่กลองตอนบน98
4.4	แผนผังแสดงขั้นตอนในการคำนวณและปรับเทียบแบบจำลอง MIKE 11105
5.1	แสดงปริมาณการขับไอดีจากการคำนวณรายตำบล ที่ทิ้งลงสู่แม่น้ำแม่กลองตอนบน117

สารบัญรูป (ต่อ)

6.1	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของออกซิเจนละลาย ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	120
6.2	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของบีโอดี ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	121
6.3	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	122
6.4	ผลการเปรียบเทียบค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิ ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	123
6.5	ผลการปรับเทียบระดับน้ำ สถานี K2B ช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2539 ถึงมกราคม พ.ศ.2540.....	124
6.6	ผลการปรับเทียบพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย สถานี MK12 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540.....	125
6.7	ผลการปรับเทียบพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย สถานี MK10 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540.....	126
6.8	ผลการปรับเทียบพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรีย สถานี MK9 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540.....	126
6.9	ผลการคำนวณปริมาณพีคัลโคลิฟอร์มแบคทีเรียตามระยะทาง วันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ.2540.....	127
6.10	ผลการปรับเทียบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK12 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540.....	129
6.11	ผลการปรับเทียบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK11 ช่วงวันที่ 5 - 22 มกราคม พ.ศ.2540	129
6.12	ผลการปรับเทียบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK10 ช่วงวันที่ 5 - 22 มกราคม พ.ศ.2540	130
6.13	ผลการปรับเทียบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK9 ช่วงวันที่ 5 - 22 มกราคม พ.ศ.2540	130
6.14	ผลการปรับเทียบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK8 ช่วงวันที่ 5 - 22 มกราคม พ.ศ.2540	131

สารบัญรูป (ต่อ)

6.15	ผลการคำนวณออกซิเจนละลายตามระยะทาง วันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ.2540	132
6.16	ผลการเปรียบเทียบบีโอดี สถานี MK12 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	133
6.17	ผลการเปรียบเทียบบีโอดี สถานี MK11 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	133
6.18	ผลการเปรียบเทียบบีโอดี สถานี MK10 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	134
6.19	ผลการเปรียบเทียบบีโอดี สถานี MK9 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	134
6.20	ผลการเปรียบเทียบบีโอดี สถานี MK8 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	135
6.21	ผลการคำนวณค่าบีโอดีเฉลี่ยตามระยะทาง วันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ.2540	136
6.22	ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ สถานี MK12 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	137
6.23	ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ สถานี MK11 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	137
6.24	ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ สถานี MK10 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	138
6.25	ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ สถานี MK9 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	138
6.26	ผลการเปรียบเทียบอุณหภูมิ สถานี MK8 ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540	139
6.27	ผลการคำนวณอุณหภูมิตามระยะทาง วันที่ 7 มิถุนายน พ.ศ.2540	140
6.28	ผลการตรวจสอบระดับน้ำ สถานี K2B ช่วงเดือนมกราคม - มีนาคม พ.ศ.2537	141
6.29	ผลการตรวจสอบปริมาณพีคัลโคลิฟอร์ม สถานี MK12 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	142
6.30	ผลการตรวจสอบปริมาณพีคัลโคลิฟอร์ม สถานี MK10 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	142
6.31	ผลการตรวจสอบปริมาณพีคัลโคลิฟอร์ม สถานี MK9 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	143
6.32	ผลการคำนวณปริมาณพีคัลโคลิฟอร์มตามระยะทาง วันที่ 25 มกราคม พ.ศ.2541	144
6.33	แสดงผลการคำนวณพีคัลโคลิฟอร์มเฉลี่ยตามระยะทาง ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	145
6.34	ผลการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK12 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	146
6.35	ผลการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK11 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	146

สารบัญรูป (ต่อ)

6.36	ผลการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK10 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	147
6.37	ผลการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK9 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	147
6.38	ผลการตรวจสอบปริมาณออกซิเจนละลาย สถานี MK8 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	148
6.39	ผลการคำนวณปริมาณออกซิเจนละลายตามระยะทาง วันที่ 25 มกราคม พ.ศ.2541	149
6.40	แสดงการคำนวณออกซิเจนละลายเฉลี่ยตามระยะทาง ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	150
6.41	ผลการตรวจสอบค่าบีโอดี สถานี MK12 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	150
6.42	ผลการตรวจสอบค่าบีโอดี สถานี MK11 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	151
6.43	ผลการตรวจสอบค่าบีโอดี สถานี MK10 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	151
6.44	ผลการตรวจสอบค่าบีโอดี สถานี MK9 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	152
6.45	ผลการตรวจสอบค่าบีโอดี สถานี MK8 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	152
6.46	ผลการคำนวณค่าบีโอดีตามระยะทาง วันที่ 25 มกราคม พ.ศ.2541	153
6.47	แสดงการคำนวณค่าบีโอดีเฉลี่ยตามระยะทาง ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	154
6.48	ผลการตรวจสอบค่าอุณหภูมิ สถานี MK12 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	154
6.49	ผลการตรวจสอบค่าอุณหภูมิ สถานี MK11 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	155
6.50	ผลการตรวจสอบค่าอุณหภูมิ สถานี MK10 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	155
6.51	ผลการตรวจสอบค่าอุณหภูมิ สถานี MK9 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	156
6.52	ผลการตรวจสอบค่าอุณหภูมิ สถานี MK8 ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541	156
6.53	ผลการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยตามระยะทาง วันที่ 25 มกราคม พ.ศ.2541	157
6.54	แสดงการคำนวณอุณหภูมิเฉลี่ยตามระยะทาง ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541.....	158
ข-1	แสดงหน้าตัดตามยาวของแม่น้ำแม่กลองตอนบน (longitudinal profilke).....	232
ข-2	แสดงปริมาณน้ำและระดับน้ำ สถานี K11A, K2B, และ K5 ช่วงเดือน ธ.ค.2539 -ม.ค. 2540	233

สารบัญรูป (ต่อ)

ข-3	แสดงปริมาณน้ำและระดับน้ำ สถานี K11A และ K5 ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540234
ข-4	แสดงปริมาณน้ำและระดับน้ำ สถานี K11A, K2B และ K5 ช่วงเดือน ม.ค-มี.ค. 2537235
ข-5	แสดงปริมาณน้ำและระดับน้ำ สถานี K11A และ K5 ช่วงเดือน มกราคม พ.ศ. 2541236
ข-6	แสดงผลการคำนวณความเร็วในการไหล ช่วงวันที่ 5 - 22 มิถุนายน พ.ศ.2540237
ข-7	แสดงผลการคำนวณความเร็วในการไหล ช่วงวันที่ 23 - 27 มกราคม พ.ศ.2541238
ข-8	แสดงหน้าตัดลำน้ำ (Cross-section)239
ง-1	แสดงรูปแปลนแม่น้ำแม่กลอง (ตั้งแต่ อ.ท่าม่วง ถึง อ.โพธาราม)261