

การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำ
แม่น้ำแม่กลองตอนล่าง

นางสาวภัทรา เฟื่องธรรมกীরติ



วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิทยาศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม

บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2541

ISBN 974-639-635-8

ลิขสิทธิ์ของบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

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

Miss Patthra Pengthemkeerati

**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

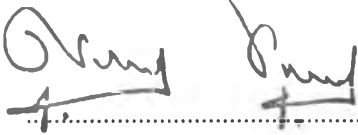
Chulalongkorn University

Academic Year 1998

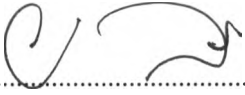
ISBN 974-639-635-8

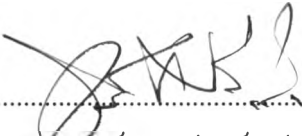
หัวข้อวิทยานิพนธ์ การเปรียบเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์
คุณภาพน้ำ แม่น้ำแม่กลองตอนล่าง
โดย นางสาวภัทรา เพ็งธรรมกิริติ
สาขาวิชา วิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม
อาจารย์ที่ปรึกษา ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี

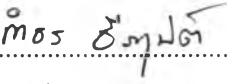
บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่ง
ของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาโทบัณฑิต

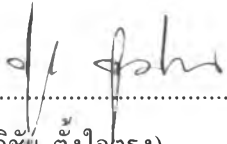

..... คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย
(ศาสตราจารย์ นายแพทย์ศุภวัฒน์ ชุตินวงศ์)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์


..... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบูลย์)


..... อาจารย์ที่ปรึกษา
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี)


..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำธร ชีรคุปต์)


..... กรรมการ
(อาจารย์ ดร.สุกิจชัย ตั้งใจตรง)

ภัทรา เพ็งธรรมกิตติ : การปรับเทียบแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 ในการคาดการณ์คุณภาพน้ำ
แม่น้ำแม่กลองตอนล่าง (Calibration of Mathematical Model MIKE 11 for Prediction of Water Quality
in lower Maeklong River) อ.ที่ปรึกษา : ผศ. ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี
258 หน้า. ISBN 974-639-635-8

การศึกษาระบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 เพื่อวิเคราะห์คุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ตั้งแต่อำเภอเมือง จังหวัดราชบุรี ซึ่งเป็นขอบเขตต้นน้ำ (กม.ที่ 95.85) จนถึงปากแม่น้ำ ที่อำเภอเมือง จังหวัดสมุทรสงครามซึ่งเป็นขอบเขตท้ายน้ำ (กม.ที่ 136.85) โดยทำการปรับเทียบแบบจำลองใน 3 ส่วน คือ แบบจำลองอุทกศาสตร์ (Hydrodynamic model) แบบจำลองการแพร่กระจายสาร (Transport Dispersion model) และแบบจำลองคุณภาพน้ำ (Water Quality model) เพื่อวิเคราะห์และจำลองสภาพทางชลศาสตร์ การแพร่กระจายมลสารในลำน้ำ และคุณภาพน้ำ ตามลำดับ ข้อมูลที่จำเป็น ได้แก่ ออกซิเจนละลาย บีโอดี ความเค็มและอุณหภูมิ เก็บสำรวจคุณภาพน้ำตามสถานีตรวจวัดจำนวน 6 สถานี (กม.ที่ 95.85 114.85 123.85 132.85 135.85 และ 136.85) ในเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540 และเดือนมกราคม พ.ศ.2541 ส่วนข้อมูลปริมาณน้ำเสียและความสกปรกในรูปบีโอดีพิจารณาเฉพาะแหล่งกำเนิดน้ำเสียหลักจากชุมชน อุตสาหกรรมและปศุสัตว์ในพื้นที่ตำบลริมน้ำจังหวัดราชบุรีและสมุทรสงคราม ซึ่งกำหนดให้ระบายลงสู่ท่อระบายน้ำและคลองสายต่างๆ โดยตัวเลขการประเมินได้จากข้อมูลการเก็บสำรวจของรายงานการศึกษาความเหมาะสมของระบบบำบัดน้ำเสียที่เกี่ยวข้อง ในงานศึกษาแบ่งเป็น 2 ขั้นตอน คือ 1) การปรับเทียบแบบจำลอง และ 2) การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง

การปรับเทียบแบบจำลองทำโดยการปรับเปลี่ยนค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ในแบบจำลองทั้ง 3 ส่วน ผลการศึกษาพบว่า ค่าที่เหมาะสมของสัมประสิทธิ์ความขรุขระ (Manning's n) เท่ากับ 0.025 สัมประสิทธิ์การแพร่กระจายเท่ากับ 100-300 เมตร²/วินาที ในช่วงกิโลเมตรที่ 95.85-129.85 และ 300-1,200 เมตร²/วินาที ในช่วงกิโลเมตรที่ 129.85-136.85 สัมประสิทธิ์การย่อยสลาย 0.20 วัน⁻¹ ผลผลิตของออกซิเจนสูงสุดโดยกระบวนการสังเคราะห์แสงและการใช้ออกซิเจนโดยกระบวนการหายใจของพืชและสัตว์น้ำ เท่ากับ 1 และ 2.5 กรัม ออกซิเจน/เมตร²/วัน และสัมประสิทธิ์การเติมอากาศใช้สมการการเติมอากาศของ O'Connor & Dubbins สำหรับแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง โดยจะให้ผลจากการคำนวณจากแบบจำลองใกล้เคียงที่สุดกับข้อมูลจริง

การตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง เป็นการประยุกต์ใช้ค่าสัมประสิทธิ์จากการปรับเทียบ ผลการศึกษาพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ข้างต้นมีความเหมาะสมเป็นอย่างดีกับแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง โดยให้ผลเปรียบเทียบระหว่างการคำนวณโดยแบบจำลองและข้อมูลจริงไม่แตกต่างกันมีนัยสำคัญ (t-test) ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 และให้ค่าคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) อยู่ในช่วง 3.49-7.62 กรัม/ลิตร สำหรับความเค็ม 0.159-0.544 มิลลิกรัม/ลิตร สำหรับออกซิเจนละลายและบีโอดี และ 0.188-0.317 องศาเซลเซียส สำหรับอุณหภูมิ

ผลการศึกษาพบว่า แม่น้ำแม่กลองตอนล่างในสภาพปัจจุบันมีคุณภาพน้ำอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานแหล่งน้ำประเภท 3 แต่พบความวิกฤตบางช่วงเวลา (บีโอดีสูงกว่า 4 มิลลิกรัม/ลิตร) และพื้นที่ที่มีความจำเป็นต้องมีระบบบำบัดน้ำเสีย คือ เทศบาลเมืองราชบุรีและเทศบาลเมืองสมุทรสงคราม

ภาควิชา.....
สาขาวิชา.....
ปีการศึกษา.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....

#C826865 : MAJOR INTERDEPARTMENT OF ENVIRONMENTAL SCIENCE
KEY WORD: MIKE 11 / MATHEMATICAL MODEL / RIVER MODEL / WATER QUALITY MODEL
PATTHRA PENGTHEMKEERATI : CALIBRATION OF MATHEMATICAL MODEL MIKE 11
FOR PREDICTION OF WATER QUALITY IN LOWER MAEKLONG RIVER
THESIS ADVISOR : ASST. PROF. THAVIVONGSE SRIBURI, Ph.D.
258 p. : ISBN 974-639-635-8

This study concerned with mathematical model "MIKE 11" for water quality analysis in lower Maeklong River which covered the area of Muang District, Rajaburi Province (km.95.85) and Maeklong estuary in Samut Songkram Province (km.136.85). The study was based on calibration of three modules: Hydrodynamic model (HD model), Transport Dispersion model (TD model) and Water Quality model (WQ model). The purpose of this study was to analyze and simulate hydraulic characteristic, dispersion characteristic in the river stream and water quality respectively. The significant factors of the models input consist of discharge, water level, water quality and wastewater loading. Selected water quality parameters were dissolve oxygen (DO), biochemical oxygen demand (BOD), salinity and temperature which were collected from six stations (at km.95.85, 114.85, 123.85, 132.85, 135.85 and 136.85) during the month of June 1997 and January 1998. The part of wastewater loading, including wastewater quantity and BOD loading, were taken only from the major checkpoints of wastewater resource from communities, industrial zones and livestock farm along the riverside of sub-district areas in Rajaburi and Samut Songkram Provinces. Wastewater loading were determined the drain quality from sewage drains and canals. The values were obtained by calculation from several reserches and the designs of the collection system and sewage treatment plant. The study was divided into 2 stages: 1) calibration of mathematical model and 2) verification of mathematical model

Calibration of mathematical model operated by adjusting the coefficients in 3 modules of MIKE 11. The result was found that appropriated value for manning's n was 0.025, dispersion coefficient were 100-300 m²/sec for km.95.85-129.85 and 300-1200 m²/sec for km.129.85-136.85, BOD decay coefficient was 0.20 day⁻¹, maximum oxygen production by photosynthesis and oxygen consumption by respiration of plant and animal were 1 and 2.5 g O₂/m²/day respectively, and using reaeration equation of O'Connor & Dubbins for lower Maeklong River region. These coefficients gave the closely results with the survey data.

Verification of mathematical model was examined by using calibrated coefficients. Results showed that all selected coefficients were positive correspond with lower Maeklong River, and were not significantly different in compared results from calculated values and real data by using t-test at confident 95% and root mean square error (RMSE) were 3.49-3.72 g/l for salinity, 0.159-0.544 mg/l for DO and BOD, and 0.188-0.317 °C for temperature.

The result of the study indicated that water quality of lower Maeklong River was stand on stream standard type 3 established by Office of the Nation Environment Board at present, but condition sometime was critical (BOD > 4 mg/l). The wastewater treatment units were immediately required in Rajaburi and Samut Songkram municipal.

ภาควิชา.....INTER - DEPARTMENT.....
สาขาวิชา.....ENVIRONMENTAL SCIENCE.....
ปีการศึกษา.....1998.....

ลายมือชื่อนิสิต.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....
ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษาร่วม.....



กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยความช่วยเหลือและการสนับสนุนอย่างดีจากบุคคลหลายๆฝ่าย ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ทวิวงศ์ ศรีบุรี อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ที่กรุณาสละเวลาให้คำปรึกษา ชี้แนะแนวทางในการแก้ปัญหา และแนะนำเทคนิคต่างๆในการทำวิทยานิพนธ์ตลอดมา และขอขอบพระคุณ ศาสตราจารย์ ดร.สุภัทธ์ วงศ์วิเศษสมจัญ ที่ท่านได้กรุณาแนะนำความรู้ต่างๆเพิ่มเติมเกี่ยวกับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ให้คำปรึกษาและความช่วยเหลืออย่างดี พร้อมได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูลในการดำเนินงานศึกษา

ขอขอบพระคุณผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.พิพัฒน์ พัฒนผลไพบุลย์ ประธานกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กำธร ธีรคุปต์ และอาจารย์ ดร.ศุภิชัย ตั้งใจตรง ที่กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าอย่างยิ่งเป็นกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ พร้อมกับให้ความคิดเห็นเสนอแนะ ตลอดจนช่วยตรวจสอบรายละเอียดต่างๆ ในวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณสถาบันวิจัยสภาวะแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้ความอนุเคราะห์โปรแกรม MIKE 11 อุปกรณ์คอมพิวเตอร์ และห้องปฏิบัติการซึ่งเป็นส่วนสำคัญในงานศึกษา

ขอขอบคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จรรย์ พนิชกุล และคณาจารย์ภาควิชาวิทยาศาสตร์สิ่งแวดล้อม คณะวิทยาศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์ในการใช้ห้องปฏิบัติการ และขอขอบคุณ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อม ภาควิชาวิทยาศาสตร์ทางทะเลและวิทยาศาสตร์ทั่วไป คณะวิทยาศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และคุณสุกพร ภูเกษมวรานุกร ที่ให้ความอนุเคราะห์ใช้เครื่องมือทางวิทยาศาสตร์ต่างๆ เพื่อประกอบการทำวิทยานิพนธ์

ขอขอบคุณ คุณพลชัย กลิ่นขจร กรมชลประทาน คุณสะอาด ปราดเปรียว กรมโรงงาน เจ้าหน้าที่ฝ่ายอุทกศาสตร์ กรมเจ้าท่า เจ้าหน้าที่กองจัดการคุณภาพน้ำ กรมควบคุมมลพิษ และเจ้าหน้าที่ในหน่วยราชการส่วนกลางและท้องถิ่นในจังหวัดราชบุรีและสมุทรสงคราม ที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆในการดำเนินงานศึกษา และขอขอบคุณ Dr. Nguyen Huu Thoi จากสถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย Mr.Imran Maqsood คุณกฤษฎา มหาสันทนะ และคุณอิสรา พิริยะพิเศษพงศ์ ที่ได้ให้คำแนะนำและถ่ายทอดวิธีการดำเนินการของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11

ขอขอบคุณ ทุน โครงการผลิตและพัฒนาอาจารย์ของทบวงมหาวิทยาลัย และบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ที่ให้การสนับสนุนทุนเพื่อใช้ในการศึกษาและงานวิจัยส่วนหนึ่ง

ขอขอบคุณ คุณสุมิตร คุณเจตน์ พี่ๆและเพื่อนๆ สหสาขาวิชาวิทยาศาสตร์สภาวะแวดล้อมทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือทั้งในการออกภาคสนามและให้ข้อคิดเห็นต่างๆ เป็นอย่างดี

ท้ายนี้ ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ มารดาและบุคคลในครอบครัว ผู้ซึ่งให้โอกาสที่ดีในชีวิต ให้ความรัก ความห่วงใยและการเอาใจใส่ ให้กำลังกายและกำลังใจ แก่ข้าพเจ้าเสมอมา

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	จ
กิตติกรรมประกาศ	ฉ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ฉ

บทที่

1	บทนำ.....	1
2	การทบทวนเอกสารและทฤษฎี.....	7
3	วัสดุ อุปกรณ์และการดำเนินงานศึกษา.....	79
4	การประเมินปริมาณและความสกรปรกของน้ำเสียในพื้นที่ศึกษา.....	100
5	ผลการศึกษาและการวิจารณ์ผล.....	120
6	สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	196
	รายการอ้างอิง	200
	ภาคผนวก ก.....	206
	ภาคผนวก ข.....	210
	ภาคผนวก ค.....	251
	ภาคผนวก ง.....	254
	ประวัติผู้เขียน	258

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
2.1	แสดงค่าสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง (n) สำหรับทางน้ำชนิดต่างๆ..... 38
2.2	แสดงค่าสัมประสิทธิ์แมนนิ่งพื้นฐาน (n_0) 40
2.3	แสดงค่าความไม่สม่ำเสมอของผิวท้องน้ำ (n_1) 40
2.4	แสดงการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดภาคตัดขวาง (n_2)..... 41
2.5	แสดงผลกระทบจากสิ่งกีดขวางทางน้ำ (n_3) 41
2.6	แสดงผลของพืชปกคลุมและสภาวะการไหล (n_4) 42
2.7	แสดงค่าแฟกเตอร์สำหรับความคดเคี้ยวของลำน้ำ (m_5)..... 44
2.8	แสดงการตอบสนองของพืชต่อระดับความเค็มต่างๆ..... 49
2.9	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสำหรับแม่น้ำ จากงานศึกษาที่ผ่านมา..... 56
2.10	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายสำหรับแม่น้ำที่ได้รับอิทธิพลกระแสน้ำขึ้น น้ำลงและเอสตูรี จากงานศึกษาที่ผ่านมา..... 57
2.11	แสดงค่าสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย (K_d) จากงานศึกษาต่างๆ 72
2.12	แสดงผลผลิตของออกซิเจน โดยการสังเคราะห์แสง (P) และการหายใจของพืช และสัตว์น้ำ (R)..... 76
3.1	แสดงข้อมูลที่จำเป็นในงานศึกษาและแหล่งที่มาของข้อมูล..... 81
3.2	แสดงวิธีการที่ใช้เก็บและวิเคราะห์ตัวอย่างน้ำ 85
4.1	แสดงรายชื่อตำบลริมแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง 102
4.2	แสดงจุดปล่อยทิ้งน้ำเสียในพื้นที่ศึกษามานท่อระบายน้ำและคลองธรรมชาติ..... 104
4.3	แสดงประชากรแฝงในพื้นที่ศึกษา 106
4.4	แสดงอัตราการใช้น้ำ และค่าความสกปรกในรูปบีโอดี..... 113
4.5	แสดงอัตราการใช้น้ำและอัตราการเกิดน้ำเสียและค่าความสกปรกในรูปบีโอดีต่อ หน่วยที่ระบายจากสถานประกอบการต่างๆ 115
5.1	ผลคุณภาพน้ำในแม่น้ำแม่กลองตอนล่างช่วงปีพ.ศ.2534-2538 โดยกรมควบคุมมลพิษ... 127
5.2	แสดงปริมาณและสัดส่วนของน้ำเสียและความสกปรกในรูปบีโอดีในพื้นที่ศึกษา..... 128

สารบัญญัตราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
5.3	แสดงปริมาณและสัดส่วนของน้ำเสียและความสกปรกในรูปบีโอดี สำหรับพื้นที่เทศบาลเมืองราชบุรี..... 129
5.4	แสดงปริมาณและสัดส่วนของน้ำเสียและความสกปรกในรูปบีโอดี สำหรับพื้นที่เทศบาลเมืองสมุทรสงคราม 129
5.5	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มและระดับน้ำ ณ สถานีต่างๆ..... 163
5.6	แสดงการแปรค่าผลผลิตของออกซิเจนโดยกระบวนการสังเคราะห์แสง และอัตราการหายใจในระดับสเกลหยาบ 174
5.7	แสดงผลผลิตของออกซิเจน โดยกระบวนการสังเคราะห์แสงจากการทดลอง และการคำนวณ..... 181
5.8	แสดงการเปรียบเทียบข้อกำหนดของสมการ O'Connor & Dubbins และสภาพของพื้นที่ศึกษา..... 183
5.9	แสดงความคลาดเคลื่อนของการพยากรณ์ (RMSE) ของพารามิเตอร์คุณภาพน้ำ ตามสถานีปรับเทียบจากการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 191
ก-1	มาตรฐานการระบายน้ำทิ้งจากแหล่งกำเนิดประเภทโรงงานอุตสาหกรรม และนิคมอุตสาหกรรม 207
ก-2	มาตรฐานคุณภาพน้ำผิวดิน..... 208
ข-1	แสดงจำนวนและขนาดของแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่างๆในพื้นที่ตำบลริมแม่น้ำแม่กลอง ตอนล่าง ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540 211
ข-2	แสดงจำนวนและขนาดของแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่างๆในพื้นที่ตำบลริมแม่น้ำแม่กลอง ตอนล่าง ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2541 213
ข-3	แสดงปริมาณน้ำเสียของแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่างๆในพื้นที่ตำบลริมแม่น้ำแม่กลอง ตอนล่าง ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540 215
ข-4	แสดงปริมาณน้ำเสียของแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่างๆในพื้นที่ตำบลริมแม่น้ำแม่กลอง ตอนล่าง ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2541 217
ข-5	แสดงปริมาณความสกปรกของแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่างๆในพื้นที่ตำบลริมแม่น้ำ แม่กลองตอนล่าง ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540 219

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางที่	หน้า
ข-6	แสดงปริมาณความสกปรกของแหล่งกำเนิดน้ำเสียต่างๆในพื้นที่ตำบลริมแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2541 221
ข-7	แสดงค่าออกซิเจนละลาย บีโอดีและอุณหภูมิของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง โดยกรมควบคุมมลพิษช่วงปี พ.ศ.2534-2538 223
ข-8	แสดงค่าออกซิเจนละลาย บีโอดีและอุณหภูมิของแม่น้ำแม่กลองตอนล่างจากการสำรวจ ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 225
ข-9	แสดงค่าออกซิเจนละลาย บีโอดีและอุณหภูมิของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง จากการสำรวจในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 (ครั้งที่ 1) และ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (ครั้งที่ 2) 227
ข-10	แสดงข้อมูลคุณภาพน้ำในรอบ 1 วันของสถานีตรวจวัดในแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ช่วงวันที่ 14-15 และ 21-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 และ 27 มกราคม พ.ศ.2541 228

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
1.1	แสดงที่ตั้งของแม่น้ำแม่กลอง..... 3
2.1	แสดงการเปลี่ยนแปลงโมเมนต์ 24
2.2	แสดงการกำหนดกริดในลำน้ำ 30
2.3	แสดง center 6-point Abbott scheme 31
2.4	แสดง centering of continuity equation in 6-point Abbott scheme 32
2.5	แสดง centering of momentum equation in 6-point Abbott scheme 33
2.6	แสดงลักษณะการเคลื่อนที่ของสารใน 3 ลักษณะ คือ การพา (advection or convection) การแพร่กระจาย (dispersion) และการเกิดปฏิกิริยา (reaction) 47
2.7	แสดงภาพของแบบจำลองกล่อง (box-model)..... 50
2.8	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายและอัตราการไหล กรณีศึกษาบริเวณเอสทูรี Scottish 53
2.9	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายของเอสทูรี Potomac และระยะทางจากสะพาน Chain ในวอชิงตัน ดี.ซี. ถึงเอสทูรีตอนล่าง..... 54
2.10	แสดงการย่อยสลายสารอินทรีย์แบบคาร์บอนเชิงสและแบบไนโตรจีนส์กับเวลา 60
2.11	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความสามารถในการละลายน้ำของออกซิเจนกับอุณหภูมิ และความเค็ม 61
2.12	แสดงกระบวนการแลกเปลี่ยนออกซิเจนของน้ำและอากาศ..... 62
2.13	กราฟแสดงค่าสัมประสิทธิ์การเติมอากาศที่ความเร็วและความลึกของน้ำในระดับต่างๆ.. 64
2.14	แสดงการเปลี่ยนแปลงปริมาณออกซิเจนละลายตามเวลา เนื่องจากการสังเคราะห์แสง 65
2.15	แสดงความสามารถในการสังเคราะห์แสงที่ระดับความลึกต่างๆ 66
2.16	แสดงการเปลี่ยนแปลงสัมประสิทธิ์การย่อยสลายตามอุณหภูมิ 73
2.17	แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การเติมอากาศและความสามารถในการละลาย ของออกซิเจน 77
3.1	แสดงจุดเก็บตัวอย่างน้ำของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง 83
3.2	แผนผังการดำเนินงานวิจัยและการทำงานของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ MIKE 11 87

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
3.3	แผนภาพแสดงขอบเขตและจุดเปรียบเทียบสำหรับแบบจำลองอุทกศาสตร์ 89
3.4	แผนผังแสดงขั้นตอนการเปรียบเทียบสัมประสิทธิ์สำหรับแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ 90
3.5	แผนภาพแสดงขอบเขตและจุดเปรียบเทียบสำหรับแบบจำลองการแพร่กระจายสาร ของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลอง 92
3.6	แผนภาพแสดงขอบเขตและจุดเปรียบเทียบสำหรับแบบจำลองคุณภาพน้ำ ของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง 94
3.7	แผนภาพแสดงขอบเขตและจุดเปรียบเทียบสำหรับแบบจำลองการแพร่กระจายสาร ของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง 97
4.1	แสดงพื้นที่อยู่อาศัยของชุมชนในจังหวัดสมุทรสงคราม ริมแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง 101
4.2	แผนภาพแสดงจุดเชื่อมคลองต่างๆซึ่งเป็นจุดปล่อยทิ้งน้ำจากตำบลริมน้ำบริเวณแม่น้ำ บริเวณแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง 105
4.3	แผนภาพแสดงปริมาณและความสกปรกในรูปบีโอดีของจุดปล่อยทิ้งน้ำจุดต่างๆ บริเวณแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลอง (5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540) 118
4.4	แผนภาพแสดงปริมาณและความสกปรกในรูปบีโอดีของจุดปล่อยทิ้งน้ำจุดต่างๆ บริเวณแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลอง (23-27 มกราคม พ.ศ.2541) 119
5.1	กราฟแสดงค่าออกซิเจนละลายของสถานีต่างๆในแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 121
5.2	กราฟแสดงค่าบีโอดีของสถานีต่างๆในแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 122
5.3	กราฟแสดงอุณหภูมิของสถานีต่างๆในแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 122
5.4	แสดงค่าออกซิเจนละลายเฉลี่ยตามระยะทางของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ช่วงเดือนมิถุนายนพ.ศ.2540 และเดือนมกราคม พ.ศ.2541 124
5.5	แสดงค่าบีโอดีเฉลี่ยตามระยะทางของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540 และเดือนมกราคม พ.ศ.2541 125

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.6	แสดงอุณหภูมิเฉลี่ยตามระยะทางของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540 และเดือนมกราคม พ.ศ.2541..... 125
5.7	กราฟเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่สถานี K2B เมื่อแปรสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง แบบสเกลหยาบ..... 131
5.8	กราฟเปรียบเทียบค่าระดับน้ำที่สถานี K2B เมื่อแปรสัมประสิทธิ์ความขรุขระแมนนิ่ง แบบสเกลละเอียด..... 132
5.9	แสดงผลการเปรียบเทียบระดับน้ำที่สถานีเปรียบเทียบ K2B ช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2539 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2540 (กรณีการปรับเทียบแบบจำลองอุทกศาสตร์) 133
5.10	แสดงภาพแนวยาว (longitudinal profile) ของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง..... 135
5.11	แสดงผลการเปรียบเทียบระดับน้ำที่สถานีเปรียบเทียบ K2B ช่วงเดือนมกราคมถึงเดือนมีนาคม พ.ศ. 2537 140
5.12	แสดงค่าระดับน้ำที่สถานี K2B จากการคำนวณโดยแบบจำลอง ช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2540 (กรณีการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกศาสตร์)..... 141
5.13	แสดงค่าระดับน้ำที่สถานี K2B จากการคำนวณโดยแบบจำลอง ช่วงเดือนมกราคม พ.ศ. 2541 (กรณีการประยุกต์ใช้แบบจำลองอุทกศาสตร์)..... 141
5.14	แสดงค่าระดับน้ำของแม่น้ำแม่กลองบริเวณกิโลเมตรที่ 72.85 ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ. 2540..... 143
5.15	แสดงค่าระดับน้ำของแม่น้ำแม่กลองบริเวณกิโลเมตรที่ 72.85 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2541..... 143
5.16	แสดงค่าระดับน้ำของแม่น้ำแม่กลองบริเวณกิโลเมตรที่ 75.85 ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540..... 144
5.17	แสดงความเร็วการไหลของแม่น้ำแม่กลองจากแบบจำลองอุทกศาสตร์ 145
5.18	แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความเค็มจากการแปรสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายต่างๆ แบบระดับสเกลหยาบกับค่าจริง..... 147
5.19	แสดงผลการเปรียบเทียบปริมาณความเค็มจากการแปรสัมประสิทธิ์การแพร่กระจายต่างๆ แบบระดับสเกลละเอียดกับค่าจริง 147

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.20	แสดงผลการคำนวณปริมาณความเค็มตามระยะทางเมื่อใช้สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ในช่วง 100-1,200 เมตร/วินาที 149
5.21	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบความเค็มจากแบบจำลองกับค่าจริงโดยแปรจุดกำหนด สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ที่ 200 เมตร ² /วินาที ตามสถานีเปรียบเทียบต่างๆ..... 150
5.22	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบความเค็มจากแบบจำลองกับค่าจริงโดยแปรจุดกำหนด สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ที่ 300 เมตร ² /วินาที ตามสถานีเปรียบเทียบต่างๆ..... 151
5.23	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบความเค็มจากแบบจำลองกับค่าจริงโดยแปรจุดกำหนด สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ที่ 500 เมตร ² /วินาที ตามสถานีเปรียบเทียบต่างๆ..... 152
5.24	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบความเค็มจากแบบจำลองกับค่าจริงโดยแปรจุดกำหนด สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ที่ 1,000 เมตร ² /วินาที ตามสถานีเปรียบเทียบต่างๆ 153
5.25	กราฟแสดงผลเปรียบเทียบความเค็มจากแบบจำลองกับค่าจริงโดยแปรจุดกำหนด สัมประสิทธิ์การแพร่กระจาย ที่ 1,200 เมตร ² /วินาที ตามสถานีเปรียบเทียบต่างๆ 154
5.26	แสดงผลเปรียบเทียบความเค็มที่สถานี MK 2 ในช่วงวันที่ 21-22 มิถุนายน พ.ศ. 2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจาย)..... 155
5.27	แสดงผลเปรียบเทียบความเค็มที่สถานี MK 3 ในช่วงวันที่ 21-22 มิถุนายน พ.ศ. 2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจาย)..... 155
5.28	แสดงผลเปรียบเทียบความเค็มที่สถานี MK 4 ในช่วงวันที่ 21-22 มิถุนายน พ.ศ. 2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองการแพร่กระจาย)..... 156
5.29	แสดงผลเปรียบเทียบความเค็มที่สถานี MK 2 ในช่วงวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการแพร่กระจาย) 161
5.30	แสดงผลเปรียบเทียบความเค็มที่สถานี MK 2/3 ในช่วงวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการแพร่กระจาย) 161
5.31	แสดงผลเปรียบเทียบความเค็มที่สถานี MK 3 ในช่วงวันที่ 27 มกราคม พ.ศ. 2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองการแพร่กระจาย) 162
5.32	แสดงระดับน้ำที่สถานี K5 (บริเวณหน้าวัดศรีทธาธรรม) ในช่วงวันที่ 21-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 164

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.33	แสดงปริมาณความเค็มตามระยะทางจากปากแม่น้ำ (วันที่ 21-22 มิถุนายน พ.ศ.2540) ... 164
5.34	แสดงระดับน้ำที่สถานี K5 (บริเวณหน้าวัดศรีทธาธรรม) ในช่วงวันที่ 27 มกราคมพ.ศ.2541 165
5.35	แสดงปริมาณความเค็มตามระยะทางจากปากแม่น้ำ (วันที่ 27 มกราคม พ.ศ.2541)..... 165
5.36	แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีเปรียบเทียบที่ MK2 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 168
5.37	แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีเปรียบเทียบที่ MK3 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 168
5.38	แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีเปรียบเทียบที่ MK4 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 169
5.39	แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีเปรียบเทียบที่ MK5 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 169
5.40	กราฟเปรียบเทียบค่าบีโอดีที่สถานี MK2 เมื่อแปรสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย 170
5.41	กราฟเปรียบเทียบค่าบีโอดีที่สถานี MK3 เมื่อแปรสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย 170
5.42	กราฟเปรียบเทียบค่าบีโอดีที่สถานี MK4 เมื่อแปรสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย 171
5.43	กราฟเปรียบเทียบค่าบีโอดีที่สถานี MK5 เมื่อแปรสัมประสิทธิ์การย่อยสลาย 171
5.44	แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีเปรียบเทียบที่ MK2 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 172
5.45	แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีเปรียบเทียบที่ MK3 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 172
5.46	แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีเปรียบเทียบที่ MK4 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 173
5.47	แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีเปรียบเทียบที่ MK5 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายนพ.ศ.2540 (กรณีการเปรียบเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 173
5.48	กราฟเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายที่สถานี MK4 เมื่อแปรผลผลิตของออกซิเจนโดย กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจแบบระดับสเกลหยาบ 175

สารบัญญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.49 กราฟเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายที่สถานี MK4 เมื่อแปรผลผลิตของออกซิเจนโดย กระบวนการสังเคราะห์แสงและการหายใจแบบระดับสเกลละเอียด.....	175
5.50 กราฟเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายที่สถานี MK2 เมื่อแปรสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ.....	176
5.51 กราฟเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายที่สถานี MK3 เมื่อแปรสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ.....	177
5.52 กราฟเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายที่สถานี MK5 เมื่อแปรสัมประสิทธิ์การเติมอากาศ.....	177
5.53 แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK2 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 (กรณีการปรับเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	178
5.54 แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK3 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 (กรณีการปรับเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	178
5.55 แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK4 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 (กรณีการปรับเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	179
5.56 แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK5 ในช่วงวันที่ 5-22 มิถุนายน พ.ศ.2540 (กรณีการปรับเทียบแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	179
5.57 แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีปรับเทียบที่ MK2 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	185
5.58 แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีปรับเทียบที่ MK3 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	185
5.59 แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีปรับเทียบที่ MK4 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	186
5.60 แสดงผลเปรียบเทียบค่าอุณหภูมิของสถานีปรับเทียบที่ MK5 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	186
5.61 แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีปรับเทียบที่ MK2 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ).....	187

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
5.62	แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีปรับเทียบที่ MK3 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 187
5.63	แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีปรับเทียบที่ MK4 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 188
5.64	แสดงผลเปรียบเทียบค่าบีโอดีของสถานีปรับเทียบที่ MK5 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 188
5.65	แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK2 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 189
5.66	แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK3 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 189
5.67	แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK4 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 190
5.68	แสดงผลเปรียบเทียบค่าออกซิเจนละลายของสถานีปรับเทียบที่ MK5 ในช่วงวันที่ 23-27 มกราคม พ.ศ.2541 (กรณีการตรวจสอบความถูกต้องของแบบจำลองคุณภาพน้ำ)..... 190
5.69	แสดงการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนละลายจากแบบจำลองตามระยะทาง..... 192
5.70	แสดงการเปลี่ยนแปลงบีโอดีจากแบบจำลองตามระยะทาง 192
5.71	แสดงการเปลี่ยนแปลงออกซิเจนละลายในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง 194
5.72	แสดงการเปลี่ยนแปลงบีโอดีในช่วงน้ำขึ้นน้ำลง..... 194
ข-1	แสดงภาคตัดขวาง (cross-section) ของแม่น้ำแม่กลอง ระยะทาง (chainage) ที่ 16.85 ถึง 136.85..... 232
ข-2	แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่สถานี K11A และระดับน้ำที่สถานี K2B และสถานี K5 ในช่วงเดือนมกราคมถึงมีนาคม พ.ศ.2537..... 247
ข-3	แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่สถานี K11A และระดับน้ำที่สถานี K2B และสถานี K5 ในช่วงเดือนธันวาคม พ.ศ.2539 ถึงเดือนมกราคม พ.ศ.2540 248
ข-4	แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่สถานี K11A และระดับน้ำที่สถานี K5 ในช่วงเดือนมิถุนายน พ.ศ.2540..... 249

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
ข-5	แสดงข้อมูลปริมาณน้ำที่สถานี K11A และระดับน้ำที่สถานี K5 ในช่วงเดือนมกราคม พ.ศ.2541.....	250
ค-1	แสดงลักษณะ รูปร่างและกิโลเมตรน้ำของแม่น้ำแม่กลองตอนล่าง	252