การจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี

นายวินัย เชาวน์วิวัฒน์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2542

ISBN 9744-333-662-1

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

I19286975

SIMULATION OF SALTWATER INTRUSION IN NONTHABURI AQUIFER

Mr. Winai Chaowiwat

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic Year 1999

ISBN 9744-333-662-1

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี
โดย	นายวินัย เชาวน์วิวัฒน์
ภาควิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.....คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(รองศาสตราจารย์ ดร.ธัชชัย สุมิตร)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.....ประธานกรรมการ
(ศาสตราจารย์ จักรี จัตุฑะศรี)

.....กรรมการและอาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

.....กรรมการ
(ดร. วจี รามณรงค์)

.....กรรมการ
(อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)

วินัย เชาวน์วิวัฒน์ : การจำลองสภาพการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี (SIMULATION OF SALTWATER INTRUSION IN NONTHABURI AQUIFER) อาจารย์ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์. 275 หน้า.

ปัจจุบันในพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล หน่วยงานราชการ/รัฐวิสาหกิจและหน่วยงานเอกชนมีการสูบน้ำบาดาลในปริมาณที่สูงมาก จึงส่งผลทำให้ชั้นน้ำนนทบุรีได้รับผลกระทบจากการลดระดับของน้ำบาดาลและการรุกล้ำของน้ำเค็มที่มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ดังนั้นในการศึกษาครั้งนี้จึงได้นำเอาแบบจำลอง MODFLOW และแบบจำลอง MT3D มาใช้ในการจำลองสภาพการไหลและการรุกล้ำของน้ำเค็ม

ผลการประมาณอัตราการสูบน้ำบาดาลโดยเปรียบเทียบกับผลของค่าระดับน้ำบาดาล ในปี 2540 พบว่า กรุงเทพมหานครและปริมณฑล (7 จังหวัด) มีการใช้น้ำประมาณวันละ 2,490,829 ลูกบาศก์เมตร มาจากภาคเอกชนประมาณ 1,351,408 ลูกบาศก์เมตร และภาคราชการประมาณ 1,139,421 ลูกบาศก์เมตร คิดเป็น 54% และ 46% ของปริมาณการใช้น้ำบาดาลทั้งหมด ตามลำดับ ซึ่งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นปีละ 5.1% ในช่วงปี 2526-2540 โดยที่การใช้น้ำส่วนใหญ่อยู่ในภาคอุตสาหกรรม 44% สำหรับการใช้น้ำเพื่ออุปโภคบริโภค 29% หน่วยงานราชการอื่นๆ 17% และการประปาทั้งสอง 10% ตามลำดับ

ผลการจำลองสภาพในช่วงปี 2536-2540 พบว่า มวลเกลือของชั้นน้ำนนทบุรีมาจากทะเล 84% และการรั่วจากชั้นน้ำนครหลวง 16% ของมวลเกลือที่ไหลเข้า สำหรับการไหลออกไปยังชั้นน้ำด้านข้าง 91% ของมวลเกลือที่ไหลออก จากการสูบน้ำ 1% และจากการรั่วซึมออกชั้นน้ำสามโคก 3% จากเปอร์เซ็นต์การไหลเข้าและออกจากชั้นน้ำนนทบุรี ชี้ว่าแหล่งของน้ำเค็มนี้มาจาก การรั่วซึมของน้ำเค็มจากทะเล และละลายจากเกลือในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ และชั้นน้ำนครหลวงได้ และความสัมพันธ์ของพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเค็มกับอัตราการสูบน้ำ พบว่าพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบหรือการแพร่ของน้ำเค็มเป็นสัดส่วนโดยตรงกับอัตราการสูบน้ำ และพื้นที่ที่ประสบปัญหาการแทรกตัวของน้ำเค็มอยู่บริเวณจังหวัดปทุมธานี สมุทรปราการ และสมุทรสาคร

แนวทางในการแก้ไขและป้องกันการรุกล้ำของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี ควรควบคุมอัตราการสูบน้ำบาดาลให้ลดลงในอัตรา 2-4% ต่อปี จากปี 2540 โดยเฉพาะในพื้นที่กรุงเทพตอนบน และบางส่วนของปทุมธานี เพื่อลดความเสี่ยงในการแพร่ขยายของน้ำกร่อยต่อไปในชั้นน้ำนนทบุรี

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่อนิสิต .....

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2542

WINAI CHAOWIWAT : SIMULATION OF SALTWATER INTRUSION IN NONTHABURI AQUIFER. THESIS ADVISER : ASSOC. PROF. DR. SUCHARIT KOONTHANAKULVONG, 275 pp.

At present, in Bangkok metropolitan area and its vicinity, the government and private sectors have utilized groundwater at a very high rate. Nonthaburi aquifer is then affected by the groundwater drawdown and saltwater intrusion to the aquifer. In the study, MODFLOW and MT3D programs were used to simulate groundwater flow and saltwater intrusion.

From groundwater pumpage estimation by comparing with piezometric head in 1997 found that Bangkok and its vinicity (7 provinces) use groundwater at the rate of 2,490,829 cubic meters per day, i.e., private sector used 1,351,408 cubic meters per day and public sector used 1,139,421 cubic meters per day, which are 54% and 46% respectively. During the year 1983-1997, water use increased at rate of 5.1% per year. The major users of groundwater are industrial sectors (44%), domestic use and (29%), other public sector (17%) and water authorities (10%).

From the simulation during the year 1993-1997, it is found that salt mass transport in the Nonthaburi aquifer is from sea (84%) and leakance from the Nakhonluang Aquifer (16%) of total inflow salt mass. The outflow mass transport to lateral aquifer is equal to 96% of total outflow mass, pumpage is 1% and leakance to the Sam Khok Aquifer is 4%. From salt mass balance, it is showen that intruded salt water came from the leakance of saltwater from sea and dissolved from salt in Bangkok soft clay and Nakhonluang Aquifer. From the relation of salt effected area and pumpage rate, it is found that the effected area is proportional to pumpage rate and the critical area are in Patumthani, Samutprakarn and Samutsakorn Provinces.

The counter measure for salt water intrusion is to control pumpage rate at the range of 2-4% decrease per year from 1997 especially in the Northern part of Bangkok and a part of Patumthani Provinces to reduce the risk of salt water further dispersion in the aquifer.

สาขาวิชา Water Resources Engineering ลายมือชื่อนิสิต Winai Chaowiwat

ภาควิชา Water Resources Engineering ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา

ปีการศึกษา 1999

กิตติกรรมประกาศ

ข้าพเจ้าใคร่ขอบพระคุณ ศาสตราจารย์จักรี จัตุฑะศรี อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี อาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์ และโดยเฉพาะอย่างยิ่ง รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษา ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและข้อแนะนำ ตลอดจนความคิดเห็นต่างๆ ในการทำวิทยานิพนธ์ด้วยดีตลอดมา อีกทั้งบรรดาคณาจารย์วิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่านที่ได้ประสิทธิประสาทวิชาความรู้ต่างๆ และอบรมสั่งสอนข้าพเจ้าตลอดมา ทำให้ข้าพเจ้าเข้าใจ และตระหนักถึงความสำคัญของศาสตร์ทางด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ ทำให้การวิจัยของข้าพเจ้าสำเร็จลุล่วงลงได้

นอกจากนี้ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบคุณ ดร.วจี รามณรงค์ อดีตผู้อำนวยการโครงการป้องกันและแก้ไขวิกฤตการณ์น้ำบาดาลฯ คุณสมคิด บัวเพ็ง หัวหน้าฝ่ายวิชาการและแผนงานน้ำบาดาล กรมทรัพยากรธรณี, นางอรนุช หล่อเพ็ญศรี นักธรณีวิทยา 7 กรมทรัพยากรธรณี และเจ้าหน้าที่ศูนย์ปฏิบัติการโครงการฯ ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บข้อมูลในภาคสนาม และให้ความอนุเคราะห์ข้อมูลต่างๆ ที่จำเป็นต่องานวิจัยในครั้งนี้

อนึ่งข้าพเจ้าขอขอบพระคุณโครงการศึกษาข้อมูลและศักยภาพการพัฒนาแหล่งน้ำเพื่ออุตสาหกรรม ในเขตกรุงเทพมหานครและปริมณฑล และคุณโชคชัย สุทธิธรรมจิต นักวิจัยประจำโครงการ อีกทั้งหน่วยงานราชการต่างๆ ที่ให้ข้อมูลที่เป็นประโยชน์ครั้งนี้ และขอขอบคุณบรรดาเพื่อนรวมทั้งรุ่นพี่และรุ่นน้องในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการเรียนตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา พี่น้อง ทุกท่าน ที่มีส่วนสนับสนุนในด้านการเงิน ที่อยู่อาศัย และให้กำลังใจเสมอมาจนสำเร็จการศึกษา

วินัย เชาวน์วิวัฒน์

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... จ

กิตติกรรมประกาศ ..... ฉ

สารบัญ ..... ช

สารบัญตาราง ..... ฌ

สารบัญภาพ ..... ญ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา 1

1.2 วัตถุประสงค์ 2

1.3 ขอบข่ายวิทยานิพนธ์ 3

1.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 6

1.5 แนวทางการวิจัย 15

บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา 18

2.1 สภาพภูมิประเทศ 18

2.2 สภาพภูมิอากาศ 18

2.3 สภาพธรณีวิทยา 22

2.4 สภาพอุทกธรณีวิทยา 31

บทที่ 3 ทฤษฎีและหลักการที่ใช้ในการศึกษา 38

3.1 นิยามของค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ 38

3.2 สมการการไหลของน้ำใต้ดิน 47

3.3 กลไกการแพร่ของน้ำใต้ดิน 48

3.4 หลักการประมาณอัตราการสูบน้ำ 50

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 4 แบบจำลองที่นำมาใช้ในการศึกษา 55

4.1 การทำงานของแบบจำลอง MODFLOW 55

4.2 การทำงานของแบบจำลอง MT3D 63

4.3 แบบจำลอง GMS 69

บทที่ 5 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง 71

5.1 ขั้นตอนการประยุกต์ใช้แบบจำลอง 71

5.2 การจัดการข้อมูลที่ใช้ 85

บทที่ 6 ผลการศึกษา 96

6.1 สภาพปัญหาของพื้นที่ศึกษา 96

6.2 การประเมินอัตราการสูบน้ำ 108

6.3 การปรับเทียบแบบจำลอง (Model Calibration) 121

6.4 ผลการตรวจสอบการจำลองสภาพ 126

6.5 ผลการจำลองสภาพ 130

6.6 ผลการจำลองสภาพในอนาคต 143

6.7 สรุปความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบน้ำกับความเค็ม 161

6.8 แนวทางแก้ไขและป้องกัน 168

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ 170

7.1 ข้อสรุป 170

7.2 ข้อเสนอแนะ 173

สารบัญ(ต่อ)

หน้า

รายการอ้างอิง 175

ภาคผนวก ก ข้อมูลอัตราการสูบน้ำของหน่วยงานเอกชนและหน่วยงานราชการ 186

ภาคผนวก ข ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำใต้ดินของบ่อสังเกตการณ์ 193

ภาคผนวก ค ข้อมูลผลการเก็บข้อมูลในภาคสนามและการเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นคลอไรด์ของบ่อสังเกตการณ์ 205

ภาคผนวก ง ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง MT3D 218

ภาคผนวก จ ผลการศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การแพร่ที่ผ่านมา 237

ภาคผนวก ฉ ผลการคำนวณระดับน้ำเปรียบเทียบกับบ่อสังเกตการณ์ 248

ภาคผนวก ช ผลการคำนวณความเค็ม 260

ภาคผนวก ซ เขตวิกฤตการณ์น้ำบาดาล 269

ประวัติผู้ศึกษา 275

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาและแหล่งข้อมูล	3
3-1	สัมประสิทธิ์อัตราการสูบน้ำเฉลี่ย	53
3-2	สัมประสิทธิ์อัตราการสูบน้ำบาดาลเฉลี่ยในแต่ละไตรมาส	54
4-1	รายละเอียดของชุดการคำนวณต่างๆ ของแบบจำลอง MODFLOW	56
4-2	องค์ประกอบของโมดูลต่างๆ ตามขั้นตอนการจัดการในแต่ละชุดการคำนวณ	57
4-3	ข้อมูลที่ใช้ในการป้อนข้อมูลในชุดการคำนวณ MODFLOW	60
4-4	รายละเอียดของชุดการคำนวณต่างๆ ของแบบจำลอง MT3D	66
4-5	ข้อมูลที่ใช้ในการป้อนข้อมูลในชุดการคำนวณ MT3D	67
5-1	สรุปค่าความสามารถในการแพร่ตามแนว longitudinal	91
6-1	จำนวนบ่อบาดาลและปริมาณการใช้น้ำบาดาลที่มีการลงทะเบียนในพื้นที่ศึกษา	117
6-2	ปริมาณการใช้น้ำบาดาล (ปรับแก้แล้ว) ในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ.2526-2540	118
6-3	ปริมาณการสูบน้ำบาดาลในชั้นน้ำต่างๆ ในช่วงปี 2526-2540	119
6-4	ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยที่ได้จากการปรับเทียบข้อมูลระดับน้ำ	123
6-5	ค่าพารามิเตอร์เฉลี่ยที่ได้จากการปรับเทียบข้อมูลความเค็ม	126
6-6	สมดุลของน้ำบาดาลรวมทุกชั้นน้ำ เฉลี่ยช่วงปี พ.ศ.2536-2540	135
6-7	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการแพร่ของน้ำเค็ม ช่วงปี พ.ศ.2536-2540	140
6-8	สมดุลของเกลือ ในช่วง ปี 2536-2540	143
6-9	การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในกรณีต่างๆ	144
6-10	สมดุลของน้ำบาดาลรวมทุกชั้นน้ำ เฉลี่ย ช่วงปี พ.ศ. 2541-2560	152
6-11	พื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากการแพร่ของน้ำเค็มในชั้นน้ำนนทบุรี ภายในเส้นชั้นความสูง 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในช่วงปี พ.ศ.2541-2560	159
6-12	สมดุลของมวลเกลือรวมทุกชั้นน้ำ เฉลี่ย ช่วงปี พ.ศ. 2541-2560	160

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	พื้นที่จังหวัดกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	4
1-2	สถานที่ตั้งพื้นที่ศึกษา	5
1-3	แนวทางการศึกษา	17
2-1	สภาพภูมิประเทศของพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล	20
2-2	เส้นชั้นความสูงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายเดือน	21
2-3	แผนที่โครงสร้างธรณีวิทยาของประเทศไทย	23
2-4	แผนที่ธรณีวิทยาลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา	24
2-5	แผนที่อุทกธรณีวิทยาภาคกลางตอนใต้	25
2-6	แผนที่รูปตัดแนวเหนือ-ใต้ แสดงชั้นน้ำบาดาลบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล	32
3-1	รูปแสดงคำจำกัดความของสัมประสิทธิ์การกักเก็บ ในกรณี (a) ชั้นน้ำแบบปิด และ (b) ชั้นน้ำแบบเปิด	40
3-2	ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับระดับความลึก (A) หินชั้น (B) หินทราย	44
3-3	ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับความลึกของพื้นที่ศึกษา	44
3-4	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความสามารถในการแพร่ กับระยะทางในการเดินทางของสาร	45
4-1	โครงสร้างของโปรแกรมหลักแบบจำลองMODFLOW	58
4-2	รูปแบบการป้อนข้อมูลของ Well Package	61
4-3	ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณสมดุลของน้ำของแบบจำลอง MODFLOW	62
4-4	โครงสร้างของโปรแกรมหลักแบบจำลอง MT3D	65
4-5	ตัวอย่างการแสดงผลการคำนวณสมดุลของมวลเกลือของแบบจำลอง MT3D	68
4-6	ผังการทำงานร่วมกันของแบบจำลอง MODFLOW แบบจำลอง MT3D และแบบจำลอง GMS	70
5-1	การแบ่งกริดในแบบจำลอง MODFLOW และ MT3D	74
5-2	ลักษณะกริดเซลล์และการกำหนดค่าขอบเขตต่างๆของชั้นน้ำ	75

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
5-3	การแบ่งชั้นน้ำในแบบจำลองการไหล	78
5-4	ภาพตัดขวางของระบบชั้นน้ำต่างๆ และการประยุกต์แบบจำลองชั้นน้ำ 3 มิติ	78
5-5	การกำหนดขอบเขตความเข้มข้นคลอไรด์	80
5-6	การกระจายตัวของค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้	89
5-7	การกระจายค่าสัมประสิทธิ์ความซึมได้จากการทดสอบ consolidation	90
5-8	ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นคลอไรด์เฉลี่ยกับความเข้มข้นที่ความลึก	93
5-9	ตัวอย่างการกระจายอัตราการสูบน้ำลงในกริดเซลล์ ชั้นน้ำนนทบุรี ปี พ.ศ. 2540	95
5-10	ตัวอย่างการกระจายอัตราการสูบน้ำในพื้นที่ศึกษา ชั้นน้ำนนทบุรี ปี พ.ศ. 2540	95
6-1	เปรียบเทียบระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำพระประแดง ปี 2526, 2536 และ ปี 2540	99
6-2	เปรียบเทียบระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำนครหลวง ปี 2526, 2536 และ ปี 2540	100
6-3	เปรียบเทียบระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำนนทบุรี ปี 2526, 2536 และ ปี 2540	101
6-4	เส้นชั้นความสูงความเข้มข้นคลอไรด์ของชั้นน้ำพระประแดง ปี 2529 2531 2536 และ 2540	103
6-5	เส้นชั้นความสูงความเข้มข้นคลอไรด์ของชั้นน้ำนครหลวง ปี 2529 2531 2536 และ 2540	104
6-6	เส้นชั้นความสูงความความเข้มข้นคลอไรด์ของชั้นน้ำนนทบุรี ปี 2529 2531 2536 และ 2540	105
6-7	เปรียบเทียบระดับน้ำบาดาล ความเค็มและปริมาณการสูบน้ำที่อนุญาต ช่วงปี พ.ศ. 2526-2540	106
6-8	จำนวนบ่อบาดาลและปริมาณการใช้น้ำของภาคเอกชนแบ่งตามประเภทผู้ใช้น้ำรายจังหวัดในปี 2540	109

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6-9	ปริมาณการใช้น้ำของภาคเอกชน ในช่วงปี พ.ศ. 2526-2540	110
6-10	จำนวนบ่อบาดาลและปริมาณการใช้น้ำของภาคราชการแบ่งตามหน่วยงานรายจังหวัดในปี 2540	113
6-11	ปริมาณการใช้น้ำของภาคราชการ ในช่วงปี พ.ศ. 2526-2540	114
6-12	ปริมาณการใช้น้ำบาดาลในพื้นที่ศึกษา ในช่วงปี พ.ศ.2526-2540	115
6-13	การกระจายอัตราการสูบน้ำในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ.2536 และ 2540	120
6-14	ตัวอย่างการเปรียบเทียบความเปลี่ยนของระดับน้ำใต้ดินที่คำนวณได้กับบ่อสังเกตการณ์ที่สถานีต่างๆ	122
6-15	เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นคลอไรด์ที่คำนวณได้กับบ่อสังเกตการณ์ ในช่วงปี 2529-2535	125
6-16	เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของระดับน้ำที่คำนวณได้กับบ่อสังเกตการณ์ ในช่วงปี 2536-2540	128
6-17	เปรียบเทียบความเปลี่ยนแปลงของความเข้มข้นคลอไรด์ที่คำนวณได้กับบ่อสังเกตการณ์ ในช่วงปี 2536-2540	129
6-18	เปรียบเทียบเส้นชั้นความสูงระดับน้ำบาดาลที่คำนวณได้กับการสังเกตการณ์ในช่วงปี 2535	131
6-19	สมดุลของน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นน้ำต่างๆ ในช่วงปี พ.ศ. 2536-2540	133
6-20	สมดุลของน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นน้ำระบบชั้นน้ำกรุงเทพในช่วงปี พ.ศ. 2536-2540	134
6-21	สมดุลของน้ำบาดาลเฉลี่ยในชั้นน้ำนนทบุรีในช่วงปี พ.ศ. 2536-2540	134
6-22	เปรียบเทียบเส้นชั้นความสูงความเค็มที่คำนวณได้กับบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำพระประแดง ปี พ.ศ. 2536และ 2540	136
6-23	เปรียบเทียบเส้นชั้นความสูงความเค็มที่คำนวณได้กับบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำนครหลวง ปี พ.ศ. 2536และ 2540	137
6-24	เปรียบเทียบเส้นชั้นความสูงความเค็มที่คำนวณได้กับบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำนนทบุรี ปี พ.ศ. 2536และ 2540	138

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6-25	สมดุลของมวลเกลือเฉลี่ยในระบบชั้นน้ำกรุงเทพ ในช่วงปี พ.ศ. 2536-2540	142
6-26	สมดุลของมวลเกลือเฉลี่ยในระบบชั้นน้ำนนทบุรี ในช่วงปี พ.ศ. 2536-2540	142
6-27	การคาดการณ์ระดับน้ำบาดาลของชั้นน้ำนนทบุรีที่บ่อสังเกตการณ์ต่างๆ ช่วงปี 2541-2560	146
6-28	เส้นชั้นความสูงระดับน้ำบาดาลชั้นน้ำนนทบุรีในกรณีอัตราการสูบน้ำคงที่ ในปี 2541 2550 และ 2560	147
6-29	เส้นชั้นความสูงระดับน้ำบาดาลชั้นน้ำนนทบุรีในกรณีอัตราการสูบน้ำเพิ่มขึ้น ปีละ 2% ในปี 2541 2550 และ 2560	148
6-30	เส้นชั้นความสูงระดับน้ำบาดาลชั้นน้ำนนทบุรีในกรณีอัตราการสูบน้ำเพิ่มขึ้น ปีละ 4% ในปี 2541 2550 และ 2560	149
6-31	เส้นชั้นความสูงระดับน้ำบาดาลชั้นน้ำนนทบุรีในกรณีอัตราการสูบน้ำลดลง ปีละ 2% ในปี 2541 2550 และ 2560	150
6-32	เส้นชั้นความสูงระดับน้ำบาดาลชั้นน้ำนนทบุรีในกรณีอัตราการสูบน้ำลดลง ปีละ 4% ในปี 2541 2550 และ 2560	151
6-33	ตัวอย่างการเปรียบเทียบความเปลี่ยนของความเค็มชั้นน้ำนนทบุรี บ่อสังเกตการณ์ที่สถานีต่างๆ	156
6-34	เปรียบเทียบเส้นชั้นความสูงของความเค็ม ชั้นน้ำนนทบุรีในกรณีต่างๆ ในปี 2541 2550 และ 2560	157
6-35	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเค็มกับอัตราการสูบน้ำ ในกรณีต่างๆ ของพื้นที่ตอนบน ชั้นน้ำนนทบุรี	164
6-36	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเค็มกับอัตราการสูบน้ำ ในกรณีต่างๆ ของพื้นที่ตอนล่าง ชั้นน้ำนนทบุรี	164
6-37	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มกับอัตราการสูบน้ำในกรณีต่างๆ ของพื้นที่ ตอนบน ชั้นน้ำนนทบุรี	165
6-38	ความสัมพันธ์ระหว่างความเค็มกับอัตราการสูบน้ำในกรณีต่างๆ ของพื้นที่ ตอนล่าง ชั้นน้ำนนทบุรี	165

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่		หน้า
6-39	ความสัมพันธ์ระหว่างพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบจากน้ำเค็มกับระยะเวลา	166
6-40	ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการสูบน้ำกับพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบความเค็มมากกว่า 1,000 มิลลิกรัม/ลิตร ในกรณีต่างๆในปี พ.ศ. 2560	166