การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปณต ศิริพุทธิชัยกุล

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปีการศึกษา 2545

ISBN 974-17-1748-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

2549

I20832175

MODELING OF GROUNDWATER FLOW IN THE UPPER PART OF LOWER CENTRAL PLAIN

Mr. Panot Siriputtichaikul

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 2002

ISBN 974-17-1748-2

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง
โดย	ปณต ศิริพุทธิชัยกุล
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

.... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์
(ศาสตราจารย์ ดร. สมศักดิ์ ปัญญาแก้ว)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

.... ประธานกรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. เสรี จันทรโยธา)

.... อาจารย์ที่ปรึกษา
(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

.... กรรมการ
(สมคิด บัวเพ็ง)

.... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

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

ปณต ศิริพุทธิชัยกุล : การจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง. (Modeling of Groundwater Flow in the Upper Part of Lower Central Plain) อาจารย์ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์. จำนวนหน้า 170 หน้า. ISBN 974-17-1748-2.

พื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่างบริเวณจังหวัด ชัยนาท สิงห์บุรี ลพบุรี สระบุรี สุพรรณบุรี อ่างทอง และพระนครศรีอยุธยา เป็นแหล่งทรัพยากรน้ำใต้ดินที่มีศักยภาพ และมีแนวโน้มการใช้น้ำเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยเฉพาะในช่วงที่ประสบภาวะแห้งแล้ง แต่ยังขาดการศึกษาพฤติกรรมการไหลของระบบน้ำใต้ดิน การจำลองสภาพการไหล และพฤติกรรมการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ดังกล่าวอย่างจริงจังที่จะใช้เป็นแนวทางในการวางแผนจัดการทรัพยากรน้ำใต้ดินให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุดได้

เพื่อตอบสนองต่อปัญหาดังกล่าว การศึกษาครั้งนี้จึงรวบรวมข้อมูลต่าง ๆ ที่มีอยู่อย่างจำกัดในพื้นที่ศึกษา เพื่อประเมินพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่จำเป็นในการพัฒนาแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน โดยเฉพาะสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ และอัตราการสูบน้ำ เพื่อตอบสนองต่อวัตถุประสงค์ในการพัฒนาขั้นตอนการจำลองสภาพการไหลให้สอดคล้องกับลักษณะเฉพาะของข้อมูลในพื้นที่ซึ่งไม่มีบ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำอย่างเป็นระบบ โดยใช้ข้อมูลเฉลี่ยของสถานการณ์น้ำในปี พ.ศ. 2542 เป็นพื้นฐานในการปรับแก้แบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัว ก่อนปรับแก้และสอบทานในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว เพื่อให้ได้แบบจำลองที่สามารถอธิบายพฤติกรรมการไหลของน้ำใต้ดินในช่วง พ.ศ. 2532-2544 ผลการศึกษาพบว่า ขั้นตอนการจำลองที่พัฒนาขึ้นสามารถใช้จำลองสภาพได้ในระดับที่น่าพอใจ และสามารถประมาณว่าการใช้น้ำใต้ดินเพิ่มสูงขึ้นจาก 300 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปีในปี พ.ศ. 2532 มาเป็น 800 ล้านลูกบาศก์เมตรต่อปี โดยเฉพาะในชั้นแรกของชั้นน้ำ ในปี พ.ศ. 2542 ส่งผลให้ระดับน้ำใต้ดินชั้นบนสุดมีแนวโน้มลดลง 2-10 เมตร โดยมีพื้นที่ที่ได้รับผลกระทบมากที่สุดคือ จังหวัดสิงห์บุรีและอ่างทอง นอกจากนั้นการประยุกต์ใช้ผลจากแบบจำลองดังกล่าวในการคาดการณ์ระดับน้ำในพื้นที่ใด ๆ พบว่ามีปัจจัยสำคัญ 2 ประการคืออัตราการเติมและการสูบน้ำ การศึกษาครั้งนี้ได้วิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างปัจจัยดังกล่าวเพื่อเป็นตัวอย่างในการใช้งานแบบจำลองสำหรับงานวางแผนจัดการในภาคสนามอย่างง่าย

ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่อนิสิต..

สาขาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา..

ปีการศึกษา 2545

##4270402421: MAJOR WATER RESOURCE ENGINEERING

KEY WORD: GROUNDWATER / MODEL / GROUNDWATER USE / TRANSMISSIVITY / CENTRAL PLAIN

PANOT SIRIPUTTICHAIKUL : MODELING OF GROUNDWATER FLOW IN THE UPPER PART OF LOWER CENTRAL PLAIN. THESIS ADVISOR: ASSOC. PROF. SUCHARIT KOONTHANAKULVONG. 170 pp. ISBN 974-17-1748-2.

The Upper Part of Lower Central Plain covered Chainat Singhburi Lopburi Saraburi Suphanburi AngThong and Ayuthaya Provinces, is the potential groundwater sources. Though groundwater use in this area increases, there is no concrete study on the groundwater system, groundwater modeling and characteristic of groundwater use in this area, which can be used as a guideline for optimal groundwater management.

To counter the stated problems, this study collected the limited information in the area to estimate parameters for groundwater modeling, i.e. hydraulic conductivity and ground water use to respond the objective of developing groundwater modeling procedure for the area under the constraint of limited observed well data and specific conditions in the study area. To calibrate the model, the water situation of the year 1999 was used to represent the steady condition, while the observed well data in the year 2000 - 2001 were used for unsteady condition. The modeling procedure developed can produce acceptable simulation results and from the model results showed that groundwater use increased from 300 million cu.m. in 1989 to 800 million cu.m. in 1999. As a result of pumpage increasing, groundwater level tended to decrease 2 - 10 m. in this recent 10 years. The most effected areas were in Singburi and AngThong Provinces. Finally, the model results were used to form an empirical relationship between groundwater level in the sample area and 2 significant factors, i.e. recharge rate and groundwater use. This simplified empirical relationship can be used for the simple estimation of groundwater level for basic planing and management in the field.

Department Water Resource Engineering

Field of study Water Resource Engineering

Academic year 2002

Student's signature...

Advisor's signature...

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้หากมีคุณค่าทางวิชาการ หรือคุณความดีในทางอื่นใด นั่นเป็นเพราะความกรุณาของอาจารย์ที่ปรึกษา คือ รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คุณธนกุลวงศ์ และคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย รวมทั้งนักวิจัยและผู้ร่วมงานทุกท่านในโครงการศึกษาศักยภาพและความต้องการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ด้านเหนือของที่ราบภาคกลางตอนล่าง ซึ่งได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.)

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะไม่มีวันเสร็จสมบูรณ์ได้ หากมิได้รับความอนุเคราะห์ข้อมูล และผลการศึกษาจำนวนมากจากหน่วยงานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง และเจ้าหน้าที่ของหน่วยงานเหล่านั้น รวมทั้งข้อมูลที่สำคัญที่สุดสำหรับการศึกษาครั้งนี้ จากประชาชนในพื้นที่ ผู้ให้ความเมตตา ช่วยเหลือในการศึกษาครั้งนี้ตลอดระยะเวลาของการศึกษา 4 ปี

วิทยานิพนธ์เล่มนี้จะไม่มีวันเกิดขึ้นได้ หากไม่มี อาจารย์ชัยยุทธ สุขศรี ผู้นำทางให้แก่ผู้ทำการศึกษา ในการเรียนรู้ด้านวิศวกรรมแหล่งน้ำ และการเรียนรู้ต่อบทบาทหน้าที่ของนักวิชาการที่สังคมควรคาดหวังได้

ผู้ทำการศึกษาขอขอบพระคุณบุคคลทุกท่าน ทั้งที่ได้กล่าวถึงข้างต้น และที่มิอาจกล่าวถึงได้ครบถ้วนในที่นี้ และขอกราบขอบพระคุณบิดามารดา ผู้ให้กำเนิด เลี้ยงดู และให้โอกาสในการศึกษาจนกระทั่งวิทยานิพนธ์เล่มนี้เสร็จสมบูรณ์ลง ในวันนี้ ไม่ว่าท่านจะมีโอกาสได้รับรู้หรือไม่ก็ตาม

สารบัญ

บทคัดย่อภาษาไทย...ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ...จ
กิตติกรรมประกาศ...ฉ
สารบัญ...ช
สารบัญรูป...ญ
สารบัญตาราง...ฎ

บทที่ 1. บทนำ...1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา...1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา...2
1.4 การศึกษาที่ผ่านมา..2
1.4.1 ด้านอุทกธรณีวิทยา...3
1.4.2 ด้านการประเมินค่าพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของน้ำใต้ดิน...................................9
1.4.3 ด้านการประเมินปริมาณน้ำเติมให้แหล่งน้ำใต้ดิน..11
1.4.4 ด้านการประเมินปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน 13
1.4.5 ด้านการจำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดิน..17
1.5 แนวทางการศึกษา...19

บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา...23
2.1 สภาพภูมิประเทศ...23
2.2 สภาพภูมิอากาศ...23
2.3 สภาพอุทกวิทยา...24
2.4 สภาพอุทกธรณีวิทยา..25
2.5 ระดับน้ำใต้ดิน...28
2.6 สภาพดินและการใช้ที่ดิน..32
2.7 สภาพเศรษฐกิจและสังคม...32

บทที่ 3 ทฤษฎีและแบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา..34
3.1 นิยามของคำศัพท์และพารามิเตอร์ที่ใช้..34
3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับสมการการไหลของน้ำใต้ดิน...35
3.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับพารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ของชั้นน้ำใต้ดิน.......................................36
3.4 ทฤษฎีเกี่ยวกับการวิเคราะห์ความคลาดเคลื่อนในการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง............37
3.5 หลักการที่ใช้ในการประเมินอัตราการสูบน้ำใต้ดิน...37
3.6 หลักการที่ใช้ในการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง......................39
3.7 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา...39

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 4 การพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา....................44

4.1 ขั้นตอนการพัฒนาการจำลอง....................44

4.2 การพัฒนาการจำลองเชิงแนวคิด....................47

4.3 การออกแบบการจำลอง ระบบกริดเซลล์ และช่วงระยะเวลาในการคำนวณ....................49

4.4 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต....................53

4.5 การกำหนดค่าพารามิเตอร์และข้อมูลที่ใช้ในการพัฒนาแบบจำลอง....................54

4.5.1 ค่าสัมประสิทธิ์การกักเก็บ....................54

4.5.2 ค่าสัมประสิทธิ์ความจุจำเพาะ....................55

4.5.3 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ....................55

4.5.4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในแนวดิ่ง....................58

4.5.5 ค่าระดับของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น....................58

4.5.6 ประเภทของชั้นน้ำใต้ดิน....................59

4.5.7 ค่าระดับน้ำหรือความดันน้ำ เริ่มต้น....................59

4.5.8 อัตราการเติมน้ำ....................60

4.5.9 อัตราการสูบน้ำ....................61

4.6 การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง....................64

4.7 การวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง....................68

บทที่ 5 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา....................70

5.1 แหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา....................70

5.1.1 ข้อมูลด้านภูมิประเทศและการปกครอง....................70

5.1.2 ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาน้ำผิวดิน....................70

5.1.3 ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา....................71

5.1.4 ข้อมูลด้านปริมาณการใช้น้ำใต้ดิน....................71

5.2 การนำเข้าข้อมูลสู่แบบจำลอง....................73

5.2.1 ชุดการคำนวณพื้นฐาน....................74

5.2.2 ชุดการคำนวณสภาพการไหล....................75

5.2.3 ชุดการคำนวณอัตราการสูบน้ำใต้ดิน....................77

5.2.4 ชุดการคำนวณอัตราการเติมน้ำใต้ดิน....................79

5.2.5 ชุดการคำนวณเกี่ยวกับทางน้ำ....................80

5.3 การแสดงผลลัพธ์การจำลอง....................81

สารบัญ (ต่อ)

บทที่ 6 ผลการจำลองสภาพการไหล........83
6.1 ผลการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง........83
6.1.1 ผลการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัว........83
6.1.2 ผลการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว........85
6.1.3 ผลการสอบทานแบบจำลอง........89
6.2 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง........91
6.3 ผลการจำลองระดับน้ำใต้ดิน........91
6.4 ผลการวิเคราะห์ระบบสมดุลน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา........93
6.5 ผลการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง........96

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ........99
7.1 บทสรุป........99
7.1.1 การพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา........99
7.1.2 การประเมินค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของแบบจำลอง........100
7.1.3 การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา........100
7.1.4 การศึกษาสมดุลของระบบน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา........101
7.1.5 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง........101
7.2 ข้อเสนอแนะ........101
7.2.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา........101
7.2.2 การพัฒนาการจำลอง........102
7.2.3 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง........103
7.2.4 การวางแผน จัดการทรัพยากรน้ำใต้ดิน........104

รายการอ้างอิง........105

ภาคผนวก........111
ก การประเมินค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำใต้ดิน........112
ข การประเมินอัตราการใช้น้ำใต้ดิน........117
ค ผลการคำนวณจากแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน........127
ง การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดินกับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง........139
จ ตัวอย่างข้อมูลนำเข้าและผลลัพธ์ของแบบจำลอง........141
ฉ พารามิเตอร์ทางชลศาสตร์ที่ใช้ในการศึกษา........150
ช ตัวอย่างหน้าตัดทางน้ำในพื้นที่ศึกษา........154

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์........170

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1-1 ขอบเขตพื้นที่ศึกษา.......... 2
1-2 รูปตัดแนวเหนือ-ใต้ แสดงชั้นน้ำใต้ดินบริเวณกรุงเทพมหานครและปริมณฑล.......... 3
1-3 รูปตัดแสดงชั้นน้ำใต้ดินในบริเวณพื้นที่ศึกษา.......... 4
1-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความต้องการน้ำกับปริมาณผลผลิตที่ได้.......... 13
1-5 ขั้นตอนในการศึกษา.......... 21
1-6 ข้อมูลที่ใช้ในการจำลอง.......... 22
2-1 ภาพจำลองระดับความสูงของพื้นที่ศึกษา.......... 23
2-2 ปริมาณฝนเฉลี่ยรายเดือนในพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2532 – 2543.......... 24
2-3 เส้นชั้นความสูงเท่ากันของปริมาณฝนเฉลี่ยรายปี.......... 24
2-4 แม่น้ำสายหลักในพื้นที่ศึกษา.......... 25
2-5 กลุ่มชั้นน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา.......... 26
2-6 จำนวนบ่อบาดาลของหน่วยงานต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา.......... 28
2-7 บ่อสังเกตการณ์ในชั้นน้ำใต้ดินชั้นต่าง ๆ ที่ใช้เทียบกับแบบจำลอง.......... 29
2-8 เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดินชั้นที่ 1 จากข้อมูลจริงในภาคสนาม 30
2-9 เส้นชั้นความสูงของระดับน้ำใต้ดินชั้นที่ 2-4 จากข้อมูลจริงในภาคสนาม.......... 31
2-10 แผนที่ดินแสดงคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำ.......... 33
2-11 แผนที่แหล่งทรายในพื้นที่ศึกษา.......... 33
3-1 โครงสร้างหลักของแบบจำลอง MODFLOW.......... 41
3-2 โครงสร้างการทำงานระหว่าง GMS และ MODFLOW.......... 43
3-3 ตัวอย่างหน้าจอแสดงการทำงานของแบบจำลอง GMS.......... 43
4-1 ขั้นตอนมาตรฐานในการพัฒนาการจำลองทางคณิตศาสตร์.......... 44
4-2 ขั้นตอนการพัฒนาการจำลองการไหลของน้ำใต้ดินสำหรับพื้นที่ศึกษา.......... 47
4-3 แผนภาพแสดงแนวคิดของแบบจำลองประเภทต่าง ๆ.......... 50
4-4 ประเภทของระบบกริดเซลล์.......... 50
4-5 ระบบกริดเซลที่ใช้ในการศึกษา.......... 51
4-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T' และ S'_c จำแนกตามชั้นน้ำ.......... 56
4-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง T' และ S'_c จำแนกตามประเภทของชั้นหินอุ้มน้ำ.......... 56
4-8 สัมประสิทธิ์การจ่ายน้ำแบบปรับหน่วย (T') ของชั้นน้ำต่าง ๆ ในพื้นที่ศึกษา.......... 57
4-9 การกระจายของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ของชั้นน้ำใต้ดินชั้นต่าง ๆ.......... 58
4-10 ค่าระดับของชั้นน้ำใต้ดินแต่ละชั้น.......... 59
4-11 ผลการประเมินอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน.......... 61
4-12 ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินรายปี ในพื้นที่ศึกษา ตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 – 2542.......... 64

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่ หน้า

4-13 ตัวอย่างข้อมูลระดับน้ำใต้ดิน และการเลือกข้อมูลที่เป็นตัวแทนของสภาวะคงตัว............................65

4-14 ตัวอย่างการสร้างความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่วัดจากสนามกับค่าจากแบบจำลอง ลงบนพิกัด 2 มิติ..66

4-15 ตัวอย่างการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของแบบจำลอง..69

5-1 โปรแกรม GMS ในส่วนของการนำเข้าข้อมูลชุดการคำนวณของแบบจำลอง MODFLOW ที่สำคัญในการศึกษาครั้งนี้ 5 ชุดการคำนวณ.. 74

5-2 การนำเข้าข้อมูลระดับน้ำเริ่มต้น ในชุดการคำนวณพื้นฐาน.. 75

5-3 การนำเข้าข้อมูลพารามิเตอร์ ในชุดการคำนวณสภาพการไหล..76

5-4 การเตรียมข้อมูลอัตราการสูบน้ำ และชุดการคำนวณอัตราการสูบน้ำใต้ดิน...................................78

5-5 การปรับแก้ข้อมูลอัตราการสูบน้ำใต้ดินแต่ละกริดเซลล์ด้วยคำสั่ง Point source/sink........................79

5-6 การนำเข้าข้อมูลในชุดการคำนวณอัตราการเติมน้ำใต้ดิน...80

5-7 การนำเข้าข้อมูลในชุดการคำนวณเกี่ยวกับทางน้ำ..81

5-8 ตัวอย่างผลการคำนวณของแบบจำลอง MODFLOW ในรูปแบบตัวอักษร....................................82

5-9 หน้าจอแสดงผลการคำนวณ ของแบบจำลอง MODFLOW.. 82

6-1 ผลการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัวเปรียบเทียบกับ ข้อมูลระดับน้ำปี พ.ศ. 2542 86

6-2 ผลการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวเปรียบเทียบกับ ข้อมูลระดับน้ำเดือนมีนาคม ปี พ.ศ. 2544 87

6-3 ผลการปรับเทียบแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัวเปรียบเทียบกับ ข้อมูลระดับน้ำเดือนกันยายน ปี พ.ศ. 2544 88

6-4 ความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองการไหลน้ำใต้ดินตั้งแต่ปี พ.ศ. 2532 –2544 90

6-5 ความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณระดับน้ำ กรณีเดือนเมษายน พ.ศ. 2534 90

6-6 ผลการทดสอบความอ่อนไหวของพารามิเตอร์..91

6-7 ภาพตัดแสดงระดับน้ำใต้ดินชั้นที่ 1 ปี พ.ศ. 2532 – 2544 จากแบบจำลอง..................................92

6-8 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินที่ทำการศึกษา กรณีตัวอย่าง ปี พ.ศ. 2542 95

6-9 อัตราการสูบน้ำชั้นที่ 1 ทั้งพื้นที่ศึกษา และผลการคำนวณระดับน้ำในฤดูแล้ง ปีต่างๆ.......................95

6-10 พื้นที่ตัวอย่างสำหรับการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของระดับน้ำใต้ดิน กับปัจจัยที่เกี่ยวข้อง...................96

6-11 ความสัมพันธ์ระหว่างระดับน้ำใต้ดินปลายฤดูกาลกับอัตราการสูบน้ำสุทธิเฉลี่ยในฤดูกาลนั้น 97

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

1-1 ผลการศึกษาความต้องการน้ำของข้าวในบางประเทศในเอเซีย....................13
1-2 ปริมาณการใช้น้ำจำแนกตามชุมชนและเขตบริการผู้ผลิตน้ำประปา....................15
1-3 อัตราการใช้น้ำของประชาชนในเขตเมือง....................16
2-1 ข้อมูลอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษา....................23
2-2 จำนวนบ่อน้ำตื้นและบ่อบาดาลรายจังหวัด....................27
2-3 จำนวนบ่อน้ำใต้ดินแยกตามหน่วยงาน....................27
2-4 ผลการดำเนินงานโครงการขุดเจาะบ่อน้ำตื้นของกรมส่งเสริมการเกษตรในปี 2536/37....................27
2-5 อัตราส่วนการใช้ที่ดินในพื้นที่ลุ่มน้ำเจ้าพระยา....................32
3-1 วิธีการวิเคราะห์ผลการสูบทดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นน้ำ....................36
3-2 ชุดการคำนวณในแบบจำลอง MODFLOW....................40
3-3 ข้อมูลที่ใช้ในชุดการคำนวณของ MODFLOW....................42
4-1 อัตราการไหลขอบเขตแต่ละด้านของแบบจำลอง....................54
4-2 ข้อมูลทางน้ำที่ใช้ในแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน....................62
4-3 อัตราการให้น้ำของบ่อน้ำใต้ดินที่ได้จากการสำรวจเปรียบเทียบกับค่าทางทฤษฎี....................62
4-4 การจำแนกสภาพการณ์ความแห้งแล้งในแต่ละปี....................63
4-5 สัมประสิทธิ์การสูบน้ำเพื่อการเกษตรรายเดือนและรายปี สำหรับกรณีต่าง ๆ....................63
4-6 ปริมาณการใช้น้ำใต้ดินจำแนกตามวัตถุประสงค์ ปี พ.ศ. 2542....................63
4-7 ข้อมูลที่ใช้และพารามิเตอร์ที่ปรับแก้ในแต่ละขั้นตอนของการปรับเทียบและสอบทานแบบจำลอง....................66
5-1 ข้อมูลที่รวบรวมจากหน่วยงานต่าง ๆ เพื่อใช้ในการศึกษา....................72
5-2 วิธีการนำเข้าข้อมูลสู่ระบบกริดของแบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน....................77
6-1 ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบคงตัว....................84
6-2 ค่าความคลาดเคลื่อนของแบบจำลองในสภาวะการไหลแบบไม่คงตัว....................85
6-3 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในเดือนเมษายน พ.ศ.2537 (กรณีฤดูแล้ง)....................94
6-4 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในเดือนตุลาคม พ.ศ.2537 (กรณีฤดูฝน)....................94
6-5 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินโดยเฉลี่ย (กรณี ปี 2542)....................94
6-6 สมดุลน้ำของระบบน้ำใต้ดินในกรณีตัวอย่างสำหรับสถานการณ์น้ำแบบต่าง ๆ....................94