การเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์หาสมดุลน้ำ โดยการประยุกต์ใช้ในแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน

นาย วีรพล เพชรานนท์

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2549

ISBN 974-14-2715-8

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

COUPLING SURFACE WATER AND GROUNDWATER MODELS FOR WATER BALANCE ANALYSIS WITH AN APPLICATION TO THE UPPER CENTRAL GROUNDWATER BASIN

Mr. Werapol Bejranonda

A Thesis Submitted in Partial Fulfillment of the Requirements

for the Degree of Master of Engineering Program in Water Resources Engineering

Department of Water Resources Engineering

Faculty of Engineering

Chulalongkorn University

Academic year 2006

ISBN 974-14-2715-8

Copyright of Chulalongkorn University

490523

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์หาสมดุลน้ำโดยการประยุกต์ใช้ในแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน
โดย	นายวีรพล เพชรานนท์
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์

คณะวิศวกรรมศาตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร.ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร.สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

.....กรรมการ

(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

.....กรรมการ

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.เสรี จันทรโยธา)

วีรพล เพชรานนท์ : การเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินเพื่อวิเคราะห์หาสมดุลน้ำโดยการประยุกต์ใช้ในแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน. (COUPLING SURFACE WATER AND GROUNDWATER MODELS FOR WATER BALANCE ANALYSIS WITH AN APPLICATION TO THE UPPER CENTRAL GROUNDWATER BASIN) อ. ที่ปรึกษา : รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์, 255 หน้า. ISBN 974-14-2715-8.

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นเครื่องมือที่มีบทบาทสำคัญที่ช่วยวางแผนบริหารจัดการแหล่งน้ำ โดยในอดีตแบบจำลองได้เริ่มพัฒนามาจาก 2 ส่วนหลักคือ น้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน ทำให้การคำนวณการไหลของน้ำทั้งสองส่วนแยกออกจากกัน อย่างไรก็ตาม เมื่อมีความต้องการวิเคราะห์องค์ประกอบการไหลของน้ำทั้งระบบอุทกวิทยา เพื่อนำมาประยุกต์ใช้เป็นเครื่องมือในการบริหารจัดการน้ำผิวดินและใต้ดินไปพร้อมกัน ฉะนั้นการพัฒนาการเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดินจึงถูกนำมาทดสอบและประยุกต์ใช้ในการศึกษานี้ โดยแบบจำลอง SWAT และ MODFLOW เป็นแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดินที่นำมาใช้ในการศึกษาการเชื่อมต่อแบบจำลอง เพื่อพิจารณาพฤติกรรมการไหลของน้ำและวิเคราะห์หาองค์ประกอบทางอุทกวิทยา ซึ่งการเชื่อมต่อแบบจำลองได้ดำเนินการเชื่อมต่อแบบกึ่งสมบูรณ์ (semi-coupling) โดยทำการเชื่อมต่อแบบจำลองทั้งสองเข้าด้วยกันในแต่ละเดือน โดยพิจารณาการแลกเปลี่ยนน้ำในลำน้ำกับน้ำใต้ดินและการเติมน้ำจากผิวดินสู่ใต้ดินเป็นส่วนที่ใช้ในการเชื่อมโยงแบบจำลองทั้งสองเข้าด้วยกันทั้งในมิติของเวลาและพื้นที่ ทำให้การจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินมีการปฏิสัมพันธ์กันอย่างพลวัต นอกจากนี้ได้สร้างโปรแกรมที่ใช้ในการแลกเปลี่ยนข้อมูลของแบบจำลอง รวมถึงดำเนินการจำลองตามเงื่อนไขที่ได้กำหนดไว้

แอ่งน้ำบาดาลภาคกลางตอนบนหรือแอ่งเจ้าพระยาตอนบนขนาด 45,400 ตร.กม. ได้ถูกเลือกให้เป็นพื้นที่ในการประยุกต์ใช้การเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน เมื่อทำการสอบเทียบแบบจำลองและทำการคำนวณน้ำท่าและน้ำระดับน้ำใต้ดินในช่วงปี 2536 ถึง 2546 พบว่าการเชื่อมต่อส่งผลให้การคำนวณปริมาณน้ำท่าและระดับน้ำใต้ดินทำได้ดีมากขึ้น โดยทำให้การวิเคราะห์สมดุล น้ำบริเวณที่มีการแลกเปลี่ยนน้ำผิวดินและน้ำใต้ดินสอดคล้องกับระบบอุทกวิทยาในพื้นที่ศึกษา และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วสามารถคำนวณปริมาณน้ำท่ารายเดือนและระดับน้ำใต้ดินมีค่าใกล้เคียงกับค่าสังเกตการณ์มากขึ้นเฉลี่ย 12% และ 2.3% เมื่อเทียบกับแบบจำลองที่ไม่มีการเชื่อมต่อ และใกล้เคียงมากขึ้นที่สุดในฤดูแล้ง

ภาควิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่อนิสิต .....

สาขาวิชา วิศวกรรมแหล่งน้ำ ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา .....

ปีการศึกษา 2549

4670503521 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: COUPLING / HYDROLOGICAL MODEL / SWAT / MODFLOW / WATER BALANCE

WERAPOL BEJRANONDA : COUPLING SURFACE WATER AND GROUNDWATER FOR WATER BALANCE ANALYSIS WITH AN APPLICATION TO THE UPPER CENTRAL GROUDWATER BASIN. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF. SUCHARIT KOONTANAKULVONG, 255 pp. ISBN 974-14-2715-8.

The mathematical model is one of the important tools in water resources planning and management. However the surface water and groundwater models are mostly simulated separately due to the convenience of model-development and limitation of data. When hydrological elements of whole water system are needed, the coupling of both surface and subsurface simulation is then developed in this study. SWAT and MODFLOW, surface and groundwater model, were semi-coupled to determine flow behavior and hydrological component in this study. The coupled models were executed by running simulation individually while river-groundwater interaction and groundwater recharge are connected each other monthly to create surface and groundwater dynamic interaction. An interface program was also written to operate and transmit the model's information to the coupling process.

The Upper Central Groundwater Basin of Thailand, 45,400 sq.km., included the Upper Chao Phraya Surface Basin was chosen to be the study area for this coupling method. The calibrated result of coupled simulations in 1993-2003 provided monthly water components in hydrologic cycle. The result showed that the coupling method made the simulation of streamflow and groundwater improved, the water balance analysis is able to describe the local interaction of surface and subsurface water. The streamflow and groundwater level calculations were enhanced, with respectively 12% and 2.3% better than those of uncoupled results, especially in the dry season.

Department Water Resources Engineering Student's signature .....

Field of study Water Resources Engineering. Advisor's signature .....

Academic year 2006

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์เล่มนี้หากมีคุณค่าทางวิชาการ และคุณความดีในทางใด นั่นเป็นเพราะความกรุณาของ อาจารย์ที่ปรึกษา รศ. ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์ ที่ทำให้เข้าใจถึงวิธีการทำงานวิจัย คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์และคณาจารย์ทุกท่านของภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่มีให้ความรู้และจุดประกายความคิดในเรื่องของน้ำให้น่าสนใจจนมาถึงทุกวันนี้ Prof.Dr.Manfred Koch ที่ให้คำแนะนำและโอกาสที่ดีในการวิจัยที่เยอรมนี และพ่อกับแม่ที่ให้โอกาสอย่างอิสระในการก้าวเข้ามาทำงานลักษณะนี้

การศึกษาครั้งนี้ไม่สามารถทำได้สำเร็จลุล่วงได้ดี หากขาดความช่วยเหลือจากหลายฝ่ายด้วยกัน กรมทรัพยากรน้ำบาดาลที่ให้ข้อคิดเห็นและข้อมูลในการศึกษา กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยาที่ให้ความอนุเคราะห์ข้อมูล หัวหน้าโครงการชลประทานในพื้นที่ศึกษา ที่ให้ความสะดวกในการเยี่ยมชมและสนับสนุนข้อมูลในพื้นที่ เกษตรกรที่เต็มใจบรรยายและให้ข้อมูลการใช้น้ำบาดาลของตน ผู้นำชุมชนที่ได้ให้การสนับสนุนและแนะนำคณะผู้วิจัยให้เข้าใจและรู้จักสภาพการใช้น้ำบาดาลที่แท้จริงของคนในพื้นที่ คุณโชคชัย สุทธิธรรมจิต ที่ให้การเริ่มต้นการพัฒนาแบบจำลองอย่างละเอียด

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ที่ได้เอื้อเฟื้อสถานที่ บุคลากร เครื่องมือและอุปกรณ์ในการศึกษา สุดท้ายนี้ ต้องขอขอบคุณ โครงการศึกษาการใช้น้ำผิวดินร่วมกับน้ำใต้ดินในพื้นที่ภาคกลางตอนบน ของกรมทรัพยากรน้ำบาดาล และหน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัยที่สนับสนุนเงินทุนและข้อมูลในการศึกษานี้

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย..... ง

บทคัดย่อภาษาอังกฤษ..... จ

กิตติกรรมประกาศ..... ฉ

สารบัญ..... ช

สารบัญรูป..... ญ

สารบัญตาราง..... ฎ

บทที่ 1 บทนำ..... 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2

1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 2

1.4 การศึกษาที่ผ่านมา..... 7

1.4.1 ด้านแบบจำลองน้ำฝน-น้ำท่า..... 7

1.4.2 ด้านแบบจำลองน้ำใต้ดิน..... 9

1.4.3 ด้านการเชื่อมโยงแบบจำลองน้ำผิวดินและใต้ดิน..... 12

1.5 การพัฒนาการของงานวิจัย..... 13

1.6 ขั้นตอนการดำเนินการศึกษา..... 15

1.7 เนื้อหาของวิทยานิพนธ์..... 17

บทที่ 2 สภาพทั่วไปของพื้นที่ศึกษา..... 19

2.1 สภาพภูมิประเทศ..... 20

2.2 สภาพภูมิอากาศ..... 22

2.3 สภาพอุทกวิทยา..... 24

2.4 สภาพอุทกธรณีวิทยา..... 29

2.5 สภาพดินและการใช้ที่ดิน..... 32

หน้า

บทที่ 3 นิยามและทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการเชื่อมต่อ..... 40
3.1 นิยามคำศัพท์และพารามิเตอร์ที่ใช้..... 40
3.2 ทฤษฎีเกี่ยวกับความสัมพันธ์ของน้ำฝนและน้ำท่า..... 47
3.3 ทฤษฎีเกี่ยวกับสมการการไหลของน้ำใต้ดิน..... 52
3.4 แบบจำลองที่ใช้ในการศึกษา.....53
3.4.1 แบบจำลอง SWAT-2005.....53
3.4.2 แบบจำลอง MODFLOW-2000..... 57
3.5 ทฤษฎีเกี่ยวกับการเชื่อมต่อแบบจำลอง.....62
3.6 การประเมินการปรับปรุงของการเชื่อมต่อแบบจำลอง..... 69

บทที่ 4 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา..... 71
4.1 ข้อมูลที่ใช้ในการศึกษา..... 71
4.1.1 ข้อมูลด้านภูมิประเทศและการปกครอง..... 75
4.1.2 ข้อมูลด้านอุตุนิยมวิทยา และอุทกวิทยาน้ำผิวดิน..... 76
4.1.3 ข้อมูลด้านดินและการใช้ที่ดิน..... 81
4.1.4 ข้อมูลด้านธรณีวิทยาและอุทกธรณีวิทยา.....87
4.1.5 ข้อมูลด้านปริมาณการใช้น้ำ..... 88

บทที่ 5 การเชื่อมโยงแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน..... 93
5.1 การพัฒนาการเชื่อมต่อการจำลอง.....93
5.2 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง.....95
5.3 การออกแบบการเชื่อมต่อแบบจำลอง.....97
5.3.1 หน่วยคำนวณเชิงพื้นที่.....101
5.3.2 ช่วงระยะเวลาในการคำนวณ 104
5.3.3 การปรับแก้ค่าพารามิเตอร์..... 105
5.3.4 การเชื่อมต่อค่าพารามิเตอร์..... 105
5.4 สรุปขั้นตอนการเชื่อมต่อแบบจำลอง.....106
5.5 โปรแกรมการเชื่อมต่อแบบจำลอง.....109

หน้า

บทที่ 6 การประยุกต์ใช้แบบจำลองที่ถูกเชื่อมต่อในพื้นที่ศึกษา..... 117
6.1 ขั้นตอนการพัฒนาการจำลอง.....117
6.2 การพัฒนาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์..... 119
6.3 ผลการจำลองน้ำผิวดิน..... 130
6.4 ผลการจำลองน้ำใต้ดิน..... 135
6.5 ผลสรุปสมดุลน้ำในพื้นที่ศึกษา.....142
6.6 ผลการปรับปรุงจากการเชื่อมต่อแบบจำลอง.....146

บทที่ 7 บทสรุปและข้อเสนอแนะ..... 155
7.1 การพัฒนาการเชื่อมต่อแบบจำลอง..... 155
7.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลองในพื้นที่ศึกษา.....158
7.3 การปรับปรุงจากการเชื่อมต่อแบบจำลอง..... 162
7.4 ข้อเสนอแนะ..... 163
7.4.1 ข้อสังเกตจากการศึกษา.....164
7.4.2 การประยุกต์ใช้แบบจำลอง..... 167
7.4.3 แนวทางการศึกษาวิจัยเพิ่มเติม..... 168

หน้า

รายการอ้างอิง..... 171
ภาคผนวก.....177
ก การใช้โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองกับพื้นที่ศึกษาอย่างง่าย
และการทดสอบการเชื่อมต่อแบบจำลอง..... 178
ข การออกแบบการจำลองและช่วงระยะเวลาในการคำนวณ
ของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา.....203
ค การปรับเทียบและสอบทานแบบจำลองของแบบจำลองในพื้นที่ศึกษา.....223
ง ผลการประเมินการองค์ประกอบทางอุทกวิทยาและการเติมน้ำใต้ดิน
ในพื้นที่ศึกษาด้วยแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว..... 232
จ การนำเข้าข้อมูลและผลลัพธ์ของแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน..... 220
ฉ Sources code ของโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลองน้ำผิวดินและน้ำใต้ดิน..... 249

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....255

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	วัฏจักรทางอุทกวิทยาของน้ำจืดในแผ่นดิน	2
1-2	ขอบเขตในการพิจารณาน้ำผิวดิน	5
1-3	ขอบเขตการศึกษาสภาพทางอุทกธรณีวิทยา	6
1-4	ขั้นตอนการพัฒนาการเชื่อมต่อแบบจำลอง	16
2-1	พื้นที่ศึกษาแบ่งตามขอบเขตการปกครอง	19
2-2	ลักษณะภูมิประเทศและขอบเขตพื้นที่ศึกษา	21
2-3	อุณหภูมิเฉลี่ยปี พ.ศ. 2514-2543 ของพื้นที่ศึกษา	23
2-4	ความเร็วลมเฉลี่ยปี พ.ศ. 2514-2543 ของพื้นที่ศึกษา	23
2-5	ปริมาณการระเหยจากถาดเฉลี่ยปี พ.ศ. 2514-2543 ของพื้นที่ศึกษา	24
2-6	เส้นชั้นความสูงแสดงปริมาณน้ำฝนเฉลี่ยรายปี พ.ศ.2536-2546 จาก 19 สถานี	25
2-7	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในช่วงเวลา 30 ปี ระหว่าง พ.ศ.2514-2543 ของลุ่มน้ำในพื้นที่ศึกษา	26
2-8	เส้นลำน้ำสายหลักและลุ่มน้ำในพื้นที่ศึกษาและโดยรอบ	27
2-9	ปริมาณน้ำท่าตามธรรมชาติของลุ่มน้ำในพื้นที่ศึกษา	28
2-10	ปริมาณน้ำท่าที่ไหลผ่านสถานีวัดน้ำท่า C2 P7A N12A และ Y4ใน พ.ศ. 2536-2546	28
2-11	ลักษณะทางอุทกธรณีวิทยาของพื้นที่ศึกษา	30
2-12	การวางตัวของชั้นน้ำใต้ดินในจังหวัดพิษณุโลก	31
2-13	แผนที่กลุ่มชุดดินบริเวณพื้นที่ศึกษาและโดยรอบ	34
2-14	แผนที่การใช้ที่ดินในเขตพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2543	37
3-1	องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลอง	43
3-2	องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการศึกษาแบบจำลองน้ำใต้ดิน	43
3-3	สมมติฐานของวิธี SCS	47
3-4	โปรแกรม AVSWAT-X ที่ใช้ในการศึกษาน้ำผิวดิน	54
3-5	ขั้นตอนการจำลองการไหลของน้ำในวงจรอุทกวิทยาที่คำนวณด้วยแบบจำลองSWAT	55
3-6	ข้อมูลการนำเข้าของแบบจำลอง SWAT	56
3-7	ข้อมูลระดับความสูงเชิงเลข DEM แสดงเป็นภาพ 3 มิติ	57
3-8	โปรแกรม GMS 5.0 ที่ใช้ในการศึกษาน้ำใต้ดิน	58
3-9	ขั้นตอนการทำงานของแบบจำลอง MODFLOW	59

รูปที่		หน้า
5-16	โปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง	112
5-17	การกำหนดไฟล์ที่ในแบบจำลองน้ำใต้ดิน	113
5-18	โปรแกรมเชื่อมต่อเมื่อกำหนดข้อมูลครบถ้วนแล้ว	114
5-19	องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ได้จากโปรแกรมการเชื่อมต่อ	115
6-1	ขั้นตอนการพัฒนาแบบจำลองเพื่อทำการศึกษาสมดุลน้ำในพื้นที่ศึกษา	118
6-2	แบบจำลองเชิงแนวคิดของแบบจำลองน้ำผิวดิน	120
6-3	สถานีน้ำท่าที่ใช้ในการกำหนดเงื่อนไขขอบเขตน้ำไหลเข้า-ออก และการแบ่งลุ่มน้ำย่อยในพื้นที่ศึกษา	122
6-4	แบบจำลองเชิงแนวคิดของชั้นน้ำใต้ดินบริเวณขอบแอ่งจังหวัดพิษณุโลก	123
6-5	แบบจำลองเชิงแนวคิดของชั้นน้ำใต้ดิน	124
6-6	กริดเซลล์ของแบบจำลองน้ำใต้ดินในแอ่งน้ำใต้ดินภาคกลางตอนบน	125
6-7	แบบจำลองเชิงมโนทัศของแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว	127
6-8	การเชื่อมต่อระหว่างลุ่มน้ำย่อยในแบบจำลอง SWAT และกริดเซลล์ในแบบจำลอง MODFLOW	128
6-9	การกำหนดค่าในโปรแกรมเชื่อมต่อแบบจำลอง	129
6-10	ปริมาณน้ำท่าที่ได้จากแบบจำลอง SWAT และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว เทียบกับปริมาณน้ำท่าที่บันทึกไว้ของสถานีน้ำท่า C.2 ในช่วง พ.ศ.2536-2546	131
6-11	ส่วนขยาย 1 ของช่วงเวลาปริมาณน้ำในลำน้ำในช่วงน้ำมาก ที่ได้จากแบบจำลองน้ำผิวดิน	131
6-12	ส่วนขยาย 2 ของช่วงเวลาปริมาณน้ำในลำน้ำในช่วงน้ำน้อย ที่ได้จากแบบจำลองน้ำผิวดิน	132
6-13	ส่วนขยาย 3 ของช่วงเวลาแสดงน้ำในลำน้ำในช่วงน้ำน้อย ที่ได้จากแบบจำลองน้ำผิวดิน	132
6-14	น้ำท่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว(coupled)	133
6-15	เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำท่ารายเดือนระหว่างก่อนการเชื่อมต่อ และหลังการเชื่อต่อแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่ารายฤดูกาล	134
6-16	เปรียบเทียบความแตกต่างของปริมาณน้ำท่ารวมในแต่ละฤดูกาลระหว่าง ก่อนการเชื่อมต่อและหลังการเชื่อต่อแบบจำลอง กับปริมาณน้ำท่ารายฤดูกาล เทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานี C.2 (observed)	134

รูปที่		หน้า
6-17	จุดในแบบจำลองที่นำมาพิจารณาระดับน้ำ	136
6-18	ระดับน้ำจุดที่ 1 ที่ได้จากแบบจำลอง MODFLOW และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว เทียบกับระดับน้ำบ่อสังเกตการณ์ PCP-20ในโครงการพลายชุมพล จังหวัดพิษณุโลก	136
6-19	ระดับน้ำจุดที่ 2 ที่ได้จากแบบจำลอง MODFLOW และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วในจังหวัดกำแพงเพชร	137
6-20	ระดับน้ำจุดที่ 3 ที่ได้จากแบบจำลอง MODFLOW และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วในจังหวัดพิจิตร	137
6-21	ระดับน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว(coupled) เทียบกับค่าที่วัดได้จากสถานี C.2 (observed)	138
6-22	ความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำจากแบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อม (uncoupled) และแบบจำลองเชื่อมต่อแล้ว (coupled) ในช่วงปี พ.ศ. 2535-2546	139
6-23	ระดับน้ำฤดูฝนปี พ.ศ. 2545 จากแบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ-Uncoupled แบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วในสภาพการไหลไม่คงตัวของ-Coupled บ่อสังเกตการณ์ระดับน้ำปีฤดูฝนปี พ.ศ. 2546-Observed Wet และจุดสังเกตการณ์ตลอดช่วงจำลองระดับน้ำใต้ดิน-Obseverd Points	140
6-24	การพิจารณาสมดุลน้ำจากแบบจำลองที่ได้รับการเชื่อมต่อแล้ว	143
6-25	สมดุลน้ำเฉลี่ยปี พ.ศ. 2536-2545 ในระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว (coupled SWAT+MODFLOW)	144
6-26	สมดุลน้ำปี พ.ศ.2543 ในระบบทางอุทกวิทยาจากแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว	145
6-27	ความแตกต่างของปริมาณน้ำในลำน้ำที่สถานี C2 ที่คำนวณได้ จากแบบที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ (uncoupled) และแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว (coupled) ในปี พ.ศ. 2536-2545	146
6-28	การเปลี่ยนรูปทรง hydrograph ของพื้นที่ศึกษา จากการเชื่อมต่อแบบจำลอง(coupled) ในปี พ.ศ. 2536-2537	147
6-27	เปรียบเทียบน้ำท่าที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่ไม่ได้เชื่อมต่อ(uncoupled) กับที่เชื่อมต่อแล้ว(coupled) และค่าที่วัดได้จากสถานี C.2 (observed)	151
6-28	ระดับน้ำใต้ดินที่ได้จากการคำนวณจากแบบจำลองที่ไม่ได้เชื่อมต่อ(uncoupled) กับที่เชื่อมต่อแล้ว(coupled) และค่าที่บ่อสังเกตการณ์ (observed)	152

รูปที่ หน้า

6-29 เปรียบเทียบความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนของปริมาณน้ำท่า
ที่ได้จากแบบจำลองที่ไม่ได้เชื่อมต่อและแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว..... 153
6-30 เปรียบเทียบความแตกต่างของความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำใต้ดิน
ที่ได้จากแบบจำลองที่ไม่ได้เชื่อมต่อและแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว..... 154
7-1 สัดส่วนขององค์ประกอบทางอุทกวิทยาเทียบกับปริมาณน้ำไหลเข้า
สู่พื้นที่ศึกษาน้ำผิวดินเฉลี่ยปี พ.ศ. 2536-2545.....161
7-2 ปริมาณการเติมน้ำใต้ดินจากผิวดินและจากลำน้ำ เฉลี่ยปี พ.ศ. 2536-2545
ในแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว..... 162
7-3 พื้นที่แนะนำในการสร้างบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำส่วนบน..... 165
7-4 พื้นที่แนะนำในการสร้างบ่อสังเกตการณ์ชั้นน้ำส่วนล่าง..... 165
7-5 การใช้น้ำผิวดินร่วมกับน้ำใต้ดินซึ่งมีส่วนสัมพันธ์กัน..... 168

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1-1	เนื้อหาของวิทยานิพนธ์ในแต่ละบท	18
2-1	ลักษณะทางอุตุนิยมวิทยาของพื้นที่ศึกษาคาบเฉลี่ย 30 ปี ระหว่าง พ.ศ.2514-2543	22
2-2	ปริมาณน้ำฝนรายเดือนในช่วงเวลา 30 ปี ระหว่าง พ.ศ.2514-2543 ของลุ่มน้ำในพื้นที่ศึกษา	24
2-3	กลุ่มชุดดินในพื้นที่ศึกษา	35
2-4	การจำแนกกลุ่มการใช้ที่ดิน	38
3-1	การวิเคราะห์จุดเด่นและจุดด้อยของโปรแกรม SWAT-2005	53
3-2	การวิเคราะห์จุดเด่นและจุดด้อยของโปรแกรม MODFLOW-2000	58
3-3	ชุดการคำนวณในแบบจำลอง MODFLOW	60
4-1	ข้อมูลและแหล่งข้อมูลที่ใช้ในการศึกษาในแบบจำลอง SWAT และ MODFLOW ของการศึกษานี้	72
4-2	สถานีน้ำฝนที่คัดเลือกสำหรับการศึกษาฝนรายวัน	76
4-3	สถานีสภาพอากาศที่คัดเลือกในการสภาพอากาศเฉลี่ย 30 ปี	78
4-4	สัดส่วนของชนิดดินที่จัดกลุ่มใหม่ในพื้นที่ศึกษา	81
4-5	คุณสมบัติของดินแต่ละกลุ่มในพื้นที่ศึกษา	84
4-6	การจำแนกกลุ่มการใช้ที่ดินเพื่อใช้ในแบบจำลองน้ำผิวดิน	85
4-7	สัดส่วนการใช้ที่ดินในเขตพื้นที่ศึกษา ปี พ.ศ. 2543	87
4-8	ปริมาณการใช้น้ำในลุ่มน้ำช่วงปี พ.ศ.2537 – 2546	89
4-9	ปริมาณการใช้น้ำผิวดินของแต่ละลุ่มน้ำทีใช้ในแบบจำลอง SWAT เฉลี่ยปี พ.ศ.2537-2546	90
4-10	การใช้น้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษาในปี 2546	92
6-1	ข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองน้ำผิวดิน	122
6-2	ข้อมูลและตัวแปรที่ใช้ในการปรับเทียบแบบจำลองน้ำใต้ดิน	126
6-3	ความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย พ.ศ.2536-2545 ของน้ำในลำน้ำของแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว	133
6-4	ความคลาดเคลื่อนของน้ำท่าในแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วของปีตัวอย่าง	133
6-5	ความคลาดเคลื่อนของระดับน้ำใต้ดินเฉลี่ย ปีพ.ศ.2536-2545 ของแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว	135
6-6	สมดุลน้ำเฉลี่ยในปี พ.ศ. 2536-2545 ของน้ำผิวดินและใต้ดิน	143

ตารางที่ หน้า

6-7 ความแตกต่างของน้ำในลำน้ำเฉลี่ยปี พ.ศ. 2536-2545 ของแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว... 150
6-8 ความแตกต่างของน้ำท่าในแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้วของปีตัวอย่าง..... 150
6-9 ความแตกต่างของระดับน้ำใต้ดินในบ่อสังเกตการณ์ของแบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว เฉลี่ยปี พ.ศ. 2536-2545.....145
7-1 ค่าพารามิเตอร์ทางอุทกวิทยาเฉลี่ย พ.ศ. 2536-2545 ที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง..... 160
7-2 สรุปความคลาดเคลื่อนเฉลี่ย พ.ศ. 2536-2545 ของการคำนวณการไหลในลำน้ำ และระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา..... 160
7-3 ผลการพัฒนาจากการเชื่อมต่อแบบจำลองทีมีต่อปริมาณน้ำในลำน้ำ และระดับน้ำใต้ดิน.....163
7-1 องค์ประกอบทางอุทกวิทยาที่ใช้ในการเชื่อมต่อแบบจำลอง.....153
7-2 สรุปความคลาดเคลื่อนของผลการคำนวณน้ำท่าและระดับน้ำใต้ดินในพื้นที่ศึกษา..... 153
7-3 ผลการเชื่อมต่อแบบจำลองทีมีต่อปริมาณน้ำท่าและระดับน้ำใต้ดิน.....157

คำอธิบายสัญลักษณ์และคำย่อ

SW	น้ำผิวดิน (surface water)
GW	น้ำใต้ดิน (groundwater)
E/T	ปริมาณการระเหยและคายน้ำของพืช (evaportranspiration)
Δt	ผลต่างของเวลาในแต่ละช่วง (time interval)
Coupled	แบบจำลองที่เชื่อมต่อแล้ว
Uncoupled	แบบจำลองที่ยังไม่ได้เชื่อมต่อ
ม.รทก. , m.MSL.	ความสูงหน่วยเป็น เมตร จากระดับน้ำทะเลปานกลาง
mcm.	ล้าน ลบ.ม. (million cubic meter)
(M)	มิติของมวล
(L)	มิติของระยะทาง
(T)	มิติของเวลา
Wet	ช่วงฤดูฝน (เม.ย.- ก.ย.)
Dry	ช่วงฤดูแล้ง (ต.ค.-มี.ค.)
DEM	ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Digital Elevation Model)
h	ระดับน้ำ (piezometric head)
Q	ปริมาณการไหลของน้ำ