การจำลองลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัว

นายวิษณุ คุณจักร

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
ปีการศึกษา 2548

ISBN 974-14-1925-2

ลิขสิทธิ์ของจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

MODELING OF GROUNDWATER FLOW CHARACTERISTICS IN UNSATURATED ZONE

Mr. Visanu Khunachak

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 2005

ISBN 974-14-1925-2

481914

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การจำลองลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัว
โดย	นาย วิษณุ คุณจักร
สาขาวิชา	วิศวกรรมแหล่งน้ำ
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย อนุมัติให้นับวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญามหาบัณฑิต

..... คณบดีคณะวิศวกรรมศาสตร์

(ศาสตราจารย์ ดร. ดิเรก ลาวัณย์ศิริ)

คณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์

..... ประธานกรรมการ

(อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี)

..... อาจารย์ที่ปรึกษา

(รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์)

..... กรรมการ

(อาจารย์ ดร. ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์)

..... กรรมการ

(รองศาสตราจารย์ ดร. ทวนทัน กิจไพศาลสกุล)

วิษณุ คุณจักร : การจำลองลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัว. (MODELING OF GROUNDWATER FLOW CHARACTERISTICS IN UNSATURATED ZONE) อ. ที่ปรึกษา : รศ.ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์, 218 หน้า. ISBN 974-14-1925-2.

การศึกษาเกี่ยวกับการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวมีความสำคัญในการวางแผนการเพาะปลูกและประเมินอัตราการเติมลงสู่น้ำใต้ดิน ในการศึกษานี้ได้ใช้แบบจำลองน้ำใต้ดิน HYDRUS-1D จำลองลักษณะการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวและพัฒนาการทดลองโดยใช้แบบจำลองกายภาพ และทำการทดลองหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินแต่ละชนิดจากการทดลองมาตรฐาน เพื่อนำมาใช้กำหนดค่าพารามิเตอร์ในการคำนวณการไหล การศึกษายังได้ประยุกต์ใช้และเปรียบเทียบผลการคำนวณปริมาณความชื้นในชั้นน้ำไม่อิ่มตัวกับข้อมูลภาคสนาม

ในการทดลองจากแบบจำลองกายภาพ ค่าความชื้นเริ่มต้นของดินแต่ละประเภท ให้ค่าใกล้เคียงกับค่าความจุเก็บกักของดิน (field capacity) และมีความสัมพันธ์กับปริมาณน้ำในดินตกค้าง (residual water content) ที่ได้จากการทดลองมาตรฐานที่ใช้การอัดความดัน ส่วนปริมาณน้ำในดินอิ่มตัว ผลการทดลองมาตรฐานมีปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับผลที่ได้จากการทดลองด้วยแบบจำลองกายภาพ ผลการศึกษายังพบว่ารูปแบบความชื้นจะเริ่มจากความชื้นเริ่มต้นและแพร่สู่ความชื้นอิ่มตัว เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวจากการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน เร็วกว่าการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ประมาณ 60-70 % และอัตราคงที่ประมาณ 50-80 % เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของดินแต่ละชนิดพบว่า ดินทรายใช้เวลาเร็วกว่า ดินตะกอนประมาณ 115 เท่า และมากกว่าดินเหนียวประมาณ 275 เท่า

เมื่อนำค่าจากค่าความจุเก็บกักของดินเป็นค่าเริ่มต้นของการคำนวณในการจำลองสภาพการไหลในพื้นที่สนาม พบว่าแบบจำลอง HYDRUS-1D สามารถจำลองสภาพความชื้นในดินได้ดีพอสมควร เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของดินจากการจำลองโดย HYDRUS-1D มีค่าน้อยกว่าข้อมูลวัดจริงภาคสนามประมาณ 10 % และการจำลองให้ค่าปริมาณน้ำในดินเฉลี่ยน้อยกว่าค่าที่วัดจากในพื้นที่สนามประมาณ 12-14 %

ภาควิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่อนิสิต.....

สาขาวิชา.....วิศวกรรมแหล่งน้ำ.....ลายมือชื่ออาจารย์ที่ปรึกษา.....

ปีการศึกษา 2548

4570547021 : MAJOR WATER RESOURCES ENGINEERING

KEY WORD: GROUNDWATER / UNSATURATED / SOIL / WATER CONTENT / RECHARGE

VISANU KHUNACHAK : MODELING OF GROUNDWATER FLOW CHARACTERISTICS IN UNSATURATED ZONE. THESIS ADVISOR : ASSOC. PROF.DR. SUCHARIT KOONTANAKULVONG, 218 pp. ISBN 974-14-1925-2.

Groundwater flow study in unsaturated zone is important for cultivation planning and groundwater recharge rate estimation. This study used groundwater model HYDRUS-1D to simulate flow in unsaturated zone and conducted developed physical model experiments to compare water content of each soil type and infiltration conditions. Hydraulic properties of each soil type were investigated by the standard experiments to determine parameters to calculate flow. The model was also applied to calculate water content in unsaturated zone in field conditions.

From the experiments it was found that the initial water content from physical model are closed to field capacity value of each soil type and related to the residual water content from standard soil water content experiments using pressure. The results also showed that water content pattern started with initial water content and diffused to saturated water content. Time to saturation from infiltration condition with groundwater level is faster than those of constant head results (60-70%) and constant flux results (50-80 %). The time to saturation of sand is faster than those of silt results (115 times) and clay results (275 times).

The simulation of groundwater flow in field conditions, using field capacity water content, showed that the HYDRUS-1D model can simulate water content profile fairly well, the time to saturation from model result is slower than field results for 10 % and the simulated average water content is lower than field data for 12-14 %.

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

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

Academic year 2005

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษาครั้งนี้ไม่อาจสำเร็จลุล่วงได้ ถ้าขาดความช่วยเหลือ ความอนุเคราะห์ และคำแนะนำต่าง ๆ จากบุคคลและหน่วยงาน ดังต่อไปนี้

ข้าพเจ้าใคร่ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร. สุจริต คูณธนกุลวงศ์ อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ซึ่งกรุณาให้คำปรึกษาและข้อแนะนำต่าง ๆ ในการทำวิทยานิพนธ์แก่ข้าพเจ้า ให้สำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ ชัยยุทธ สุขศรี รองศาสตราจารย์ ดร.ทวนทัน กิจไพศาลสกุล และ อาจารย์ ดร.ครรชิต ลิขิตเดชาโรจน์ ประธานและกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ ที่ได้กรุณาสละเวลาของท่านให้คำชี้แนะและตรวจแก้ไขวิทยานิพนธ์ รวมทั้งคณาจารย์ทุกท่านในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำ ที่ได้อบรมสั่งสอนความรู้ต่าง ๆ แก่ข้าพเจ้า

นอกจากนี้ ข้าพเจ้าขอขอบคุณ คุณโชคชัย สุทธิธรรมจิต ผู้จัดการหน่วยปฏิบัติการวิจัยระบบการจัดการแหล่งน้ำ เจ้าหน้าที่ของหน่วยปฏิบัติการวิจัยทุกท่าน คุณนริศ สุดใจดี คุณดนัย จำปานิล และชาวบ้านทุกท่านที่ได้ให้ความช่วยเหลือ ช่วยอำนวยความสะดวก และให้คำแนะนำในการเก็บข้อมูลภาคสนาม

รวมทั้ง ขอขอบพระคุณ ดร.ธวัชชัย ณ นคร ที่ปรึกษากรมวิชาการเกษตร ด้านปฐพีวิทยา คุณจินดารัตน์ ชื่นรุ่งและเจ้าหน้าที่ของกองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการให้ใช้ห้องปฏิบัติการของกลุ่มงานวิจัยปฐพีกายภาพและให้คำแนะนำด้วยดีมาตลอด

ขอขอบคุณ กรมชลประทาน กรมอุตุนิยมวิทยา ที่อนุเคราะห์ข้อมูลสำหรับใช้ในการวิจัย ขอขอบคุณ สำนักงานกองทุนสนับสนุนการวิจัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนโครงการติดตามข้อมูลน้ำบาดาล ทำให้ข้าพเจ้ามีโอกาสเข้าร่วมงานในตำแหน่งผู้ช่วยนักวิจัย และให้ข้อมูลต่าง ๆ ที่นำมาใช้ในการศึกษาครั้งนี้ด้วย ขอขอบคุณ บัณฑิตวิทยาลัย ที่ได้ให้ทุนสนับสนุนการทำวิจัยในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ พระพงษ์เทพ ธัมมครุโก ที่ได้กรุณาอบรมสั่งสอน และมอบเครื่องคอมพิวเตอร์สำหรับใช้ในการศึกษา ขอขอบคุณ Mr.Patric Tanna และครอบครัวที่ช่วยประสานงานจัดส่งอุปกรณ์การทดลองที่ใช้ในการทำวิทยานิพนธ์นี้ และขอขอบคุณเพื่อน รุ่นพี่ รุ่นน้องและเจ้าหน้าที่ในภาควิชาวิศวกรรมแหล่งน้ำทุกท่าน ที่ได้ให้ความช่วยเหลือด้านการเรียน และให้กำลังใจข้าพเจ้าตลอดมา

ท้ายที่สุดนี้ ข้าพเจ้าขอขอบพระคุณ บิดามารดาของข้าพเจ้า ที่ช่วยอบรมสั่งสอนและดูแลเอาใจใส่ข้าพเจ้าตลอดมา และขอขอบคุณ น้องสาวของข้าพเจ้าที่คอยดูแลและให้กำลังใจข้าพเจ้าด้วยดีตลอดมา

สารบัญ

หน้า

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

บทที่ 1 : บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา..... 1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา..... 2
1.3 ขอบเขตของการศึกษา..... 2
1.4 การศึกษาที่ผ่านมา..... 3
1.5 แนวทางการศึกษา.....7

บทที่ 2 : หลักการและทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

2.1 นิยามของชั้นน้ำ.....10
2.2 คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน.....10
2.3 ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา.....14
2.4 ลักษณะของชั้นน้ำไม่อิ่มตัว.....17
2.5 แบบจำลองการไหลของน้ำใต้ดิน.....22

บทที่ 3 : การเตรียมการและการทดลอง

3.1 การเตรียมตัวอย่างดินในการทดลอง.....24
3.2 การทดสอบหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของตัวอย่างดิน.....28
3.3 การเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้วัดความชื้นในการทดลอง 35
3.4 การเตรียมแบบจำลองทางกายภาพและการทดลอง.....39

หน้า

บทที่ 4 : ผลการทดลองแบบจำลองกายภาพ

4.1 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่....46

4.2 ผลการทดลองการปล่อยน้ำแบบระดับน้ำคงที่....51

4.3 ผลการทดลองการปล่อยน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน....55

4.4 สรุปผลการทดลองแบบจำลองกายภาพ....59

บทที่ 5 : การจำลองลักษณะการไหลโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

5.1 แบบจำลอง HYDRUS-1D....75

5.2 การกำหนดเงื่อนไขการทดลอง....76

5.3 การเตรียมข้อมูลในการคำนวณ....80

5.4 ผลการจำลองการไหล....83

บทที่ 6 : วิเคราะห์ผลการทดลอง

6.1 การเปรียบเทียบผลการทดลองจากห้องปฏิบัติการกับแบบจำลองกายภาพ....96

6.2 การเปรียบเทียบผลการจำลองจาก HYDRUS-1D กับผลการทดลองจาก แบบจำลองกายภาพ....96

6.3 การประยุกต์ใช้กับข้อมูลสนาม....106

6.4 วิเคราะห์และวิจารณ์....110

6.5 การนำไปประยุกต์ใช้....112

บทที่ 7 : สรุปและข้อเสนอแนะ

7.1 เครื่องมือและอุปกรณ์ที่พัฒนาใช้ในการทดลอง....115

7.2 การหาคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินชนิดต่าง ๆ....116

7.3 การทดลองการไหลของแบบจำลองกายภาพ....116

7.4 การจำลองสภาพการไหลโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์....117

7.5 การประยุกต์ใช้ในภาคสนาม....117

7.6 ข้อเสนอแนะ....118

รายการอ้างอิง....120

หน้า

ภาคผนวก

ก การหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดิน.....126

ข การหาค่ากราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำ.....140

ค การเตรียมการทดลองในห้องปฏิบัติการ.....150

ง ข้อมูลความชื้นและระดับน้ำใต้ดินวัดจริงในพื้นที่ภาคสนาม.....190

จ คู่มือและตัวอย่างการใช้ HYDRUS-1D.....198

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์.....218

สารบัญรูป

รูปที่		หน้า
1-1	ขั้นตอนในการศึกษา	9
2-1	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำของดินกับปริมาณน้ำในดิน	13
2-2	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำของดินในชั้นน้ำไม่อิ่มตัว กับค่าปริมาณน้ำในดิน	13
2-3	แผนภาพแสดง กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำ และ กราฟเก็บกักน้ำ กับค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ	14
2-4	วัฏจักรของน้ำที่ไหลผ่านชั้นรากพืช (Root zone) หรือชั้นน้ำไม่อิ่มตัว (Unsaturated zone)	18
2-5	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินตามการเติมน้ำลงในชั้นดิน	21
3-1	กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำ ของตัวอย่างดินชนิดต่าง ๆ	32
3-2	ลักษณะภายในของอุปกรณ์วัดความชื้นในดิน	36
3-3	อุปกรณ์เครื่องบันทึกข้อมูลรุ่น CR200	36
3-4	ตัวอย่างหน้าจอโปรแกรม PC200W	37
3-5	ชุดการทดลองการปล่อยน้ำแบบอัตราคงที่	43
3-6	ชุดการทดลองระดับน้ำคงที่	44
3-7	ชุดการทดลองมีระดับน้ำใต้ดิน	45
4-1	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบอัตราคงที่	48
4-2	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่	52
4-3	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน	56
4-4	การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ	60
4-5	เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่	64
4-6	เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่	67
4-7	เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ และมีระดับน้ำใต้ดิน	70
5-1	ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HYDRUS-1D	77
5-2	ข้อมูลนำเข้า และข้อมูลผลลัพธ์	81
5-3	ตัวอย่างผลการคำนวณที่ได้จากการจำลอง	81
5-4	ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่	85

รูปที่ หน้า

5-5 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่.....88
5-6 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ และมีระดับน้ำใต้ดิน.....91
6-1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นของแบบจำลองกายภาพ กับปริมาณน้ำในดินตกค้างของห้องปฏิบัติการกรมวิชาการเกษตร.....98
6-2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าปริมาณน้ำในดินอิ่มตัวของแบบจำลองกายภาพ กับห้องปฏิบัติการกรมวิชาการเกษตร.....99
6-3 ความสัมพันธ์ระหว่างเวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวกับขนาดอนุภาคดิน.....101
6-4 ผลการเปรียบเทียบดินชนิดทรายในแกนไร้หน่วย.....101
6-5 ผลการเปรียบเทียบดินชนิดตะกอนในแกนไร้หน่วย.....102
6-6 ผลการเปรียบเทียบดินชนิดดินเหนียวในแกนไร้หน่วย.....102
6-7 อัตราการเติมน้ำจากรูปแบบการเติมน้ำแบบอัตราคงที่.....104
6-8 อัตราการเติมน้ำจากรูปแบบการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่..... 105
6-9 ผลต่างระดับน้ำสะสมของบ่อน้ำสังเกตการณ์.....107
6-10 ผลการจำลองปริมาณน้ำในดินจากภาคสนามโดย HYDRUS-1D เทียบกับข้อมูลวัดจริงในสนาม.....109
6-11 ผลการเปรียบเทียบเวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของน้ำในดินชนิด CL.....109
6-12 การเปรียบเทียบเวลาและระยะทางในการอิ่มตัวของน้ำ 111
6-13 การเลือกช่วงผลต่างระดับน้ำสะสม 111
6-14 กระบวนการประยุกต์ใช้ในผลการศึกษา 114

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
3-1	การจำแนกดินตามขนาดของขนาดเม็ดดิน	26
3-2	การเตรียมตัวอย่างดินสำหรับการทดลอง	27
3-3	ผลการทดลองหาขนาด D_{50} ของดินชนิดต่าง ๆ	27
3-4	ค่าความสามารถในการซึมผ่านของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ	29
3-5	ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ	30
3-6	ค่าปริมาณความชื้น (%ปริมาตร) ที่ระดับแรงดึงน้ำ (pF) ต่าง ๆ ของดินแต่ละชนิด	30
3-7	ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดัน pF และความดันหน่วยต่าง ๆ	31
3-8	ค่าการปรับเทียบเซ็นเซอร์วัดความชื้น	38
4-1	ค่าอัตราการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ในดินชนิดต่าง ๆ	47
4-2	ค่าปริมาณน้ำในดินจากการทดลองในแบบจำลองกายภาพ	63
4-3	ค่าเวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของน้ำในดินแต่ละชนิดจากการทดลองในแต่ละระดับความลึก	73
5-1	ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ	79
5-2	การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง HYDRUS-1D	79
5-3	ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินที่หาได้จากการทดลองโดยใช้สมการของ van Genuchten	82
5-4	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ	82
5-5	ปริมาณน้ำในดินที่สภาพเริ่มต้นและสภาพอิ่มตัวจากโปรแกรม HYDRUS-1D ของดินแต่ละชนิด	94
5-6	ค่าเวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของน้ำในดินแต่ละชนิดจากโปรแกรม HYDRUS-1D ในแต่ละระดับความลึก	95
6-1	การเปรียบเทียบค่าปริมาณน้ำในดิน	97
6-2	ค่าความชื้นจากผลการคำนวณและภาคสนาม	108
6-3	การเปรียบเทียบค่าอัตราการเติมน้ำลงสู่ชั้นน้ำใต้ดิน	112