สำนักงานวิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 5

การจำลองลักษณะการไหลโดยแบบจำลองคณิตศาสตร์

ในการศึกษาการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินนี้ได้มีการคำนวณการเปลี่ยนแปลงของค่าปริมาณน้ำภายในดินโดยในการคำนวณได้ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ในการคำนวณ ซึ่งได้มีการศึกษาและกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

5.1 แบบจำลอง HYDRUS-1D

ในยุคเริ่มต้นการพัฒนาแบบจำลองการไหล 1 มิติ ได้มีการพัฒนาแบบจำลองคณิตศาสตร์โดยเขียนเป็นโปรแกรมการคำนวณมากมาย เช่น TOUGH2 (Pruess Oldenburg and Moridis 1999), HYDRUS (Šimunek, Šejna and Van Genuchten 1998; 1999), FEHM (Zyvoloski et al. 1997), HYDROBIOGEOCHEM (Yeh et al. 1998), RZWQM (Ahuja et al. 1999) และ SWAP (Van Dam et al. 1997) ซึ่งโปรแกรมที่เป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย คือ HYDRUS เนื่องจากเป็นโปรแกรมที่เผยแพร่โดยไม่เสียค่าใช้จ่าย จึงมีการนำโปรแกรมนี้มาพัฒนาโดยทำให้สามารถแสดงรูปภาพของชั้นดิน และแสดงกราฟของความสัมพันธ์ของพารามิเตอร์ต่าง ๆ ให้เห็น โดยต่อมาได้พัฒนาให้มีโมดูลการคำนวณเพิ่มขึ้น ทั้งการคำนวณการถ่ายเทความร้อน การเคลื่อนตัวของสารละลาย การดึงน้ำจากรากพืช เป็นต้น

แบบจำลอง HYDRUS-1D เป็นแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ที่พัฒนามาโดย USDA เพื่อใช้จำลองสภาพการไหลของน้ำใต้ดินในทิศทาง 1 มิติ ตามแนวดิ่ง ใช้สมการของ Richard ในการคำนวณ มีวัตถุประสงค์เพื่อใช้ในการศึกษาจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำใต้ดินและสารละลายในทิศทางตามแนวดิ่งโดยสามารถเลือกใช้สมการที่เกี่ยวข้องกับสภาพการไหลได้หลายสมการไม่ว่าจะเป็น สมการของ Richard สมการของ van Genuchten เป็นต้น ซึ่งสมการเหล่านี้ใช้อธิบายพฤติกรรมการไหลของน้ำผ่านดินที่มีค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์แบบต่าง ๆ รวมทั้งในแบบจำลองยังสามารถกำหนดลักษณะการไหลได้หลายรูปแบบโดยใช้การแก้สมการด้วยวิธีการ Finite difference โดยแบบจำลอง HYDRUS-1D นี้ได้พัฒนาขึ้นมาจากการเขียนโปรแกรมคอมพิวเตอร์ด้วยภาษา FORTRAN และเป็นโปรแกรมที่เผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปสามารถใช้ได้

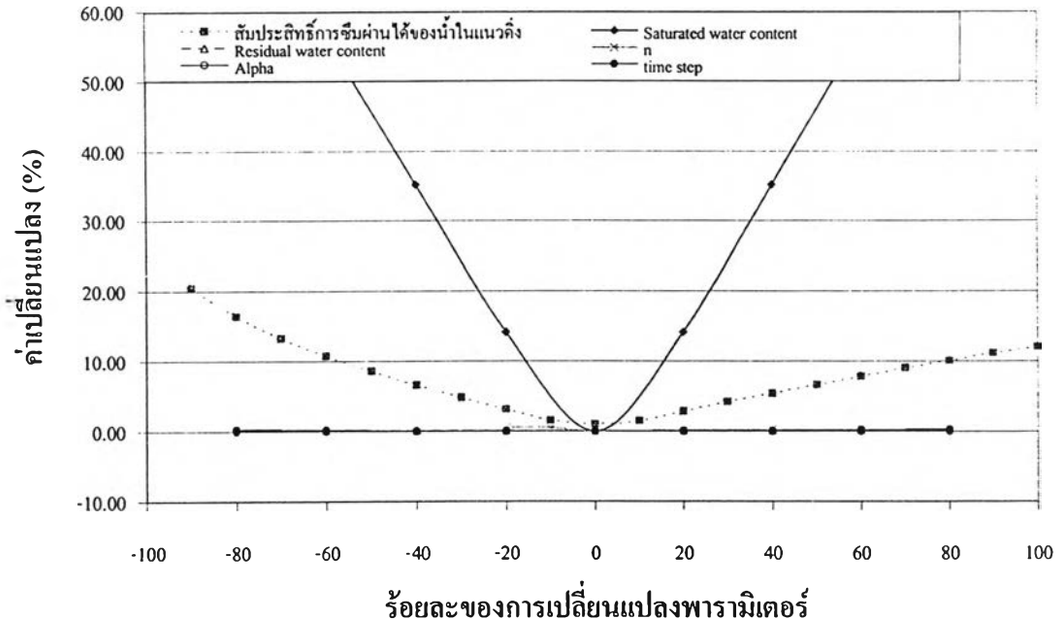
5.2 การกำหนดเงื่อนไขการทดลอง

ในการคำนวณสภาพการไหลโดยใช้แบบจำลอง HYDRUS-1D มีสมการให้เลือกใช้ในการคำนวณตามสภาพการไหลและสมมติฐานต่าง ๆ ที่ต้องการจำลองสภาพการไหล โดยสมการในแบบจำลองได้มาจากการพัฒนาและปรับปรุงทฤษฎีในสมการต่าง ๆ ซึ่งในการเลือกใช้สมการที่ตรงกับลักษณะสภาพการไหลจะช่วยให้ผลการคำนวณสามารถอธิบายสภาพการไหลได้ใกล้เคียงสภาพที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด

ก่อนทำการคำนวณโดยใช้แบบจำลองการศึกษาครั้งนี้ได้ทำการวิเคราะห์ผลการคำนวณของสมการในแบบจำลอง เพื่อใช้ในการพิจารณาค่าพารามิเตอร์ที่จำเป็นในการคำนวณและกำหนดแนวทางในการออกแบบการทดลองและวิเคราะห์ผลศึกษาต่อไป จากการวิเคราะห์ความอ่อนไหว (Sensitivity analysis) ของแบบจำลอง HYDRUS-1D ดังแสดงในรูปที่ 5-1 พบว่าค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์มีความสำคัญต่อผลของการเคลื่อนตัวของน้ำมากที่สุด คือ ค่าปริมาณน้ำในดินอิ่มตัว (Saturated water content) และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำในแนวดิ่ง

การจำลองการเคลื่อนตัวของน้ำโดยใช้สมการในแบบจำลอง การคำนวณมีค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ โดยส่วนใหญ่เป็นค่าพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน ซึ่งการหาค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณได้หาโดยวิธีการต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5-1 โดยค่า Saturated water content, Residual water content, n และ α หาได้จากการทดลองหากราฟความสัมพันธ์ดินและน้ำ แล้วนำผลการทดลองที่ได้มาหาความพันธ์เทียบกับสมการของ van Genuchten เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ต่อไป

การจำลองสภาพการไหลของน้ำผ่านดินชนิดต่าง ๆ ได้ทำการกำหนดการทดลองการเติมน้ำเป็น 3 รูปแบบ คือ การเติมน้ำแบบอัตราคงที่ การเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ และการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน โดยทำการทดสอบกับดินจำนวน 6 ชนิด ซึ่งในการคำนวณของแบบจำลอง HYDRUS-1D จะต้องมีการกำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ให้สอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงในการทดลองและในสนาม ในการคำนวณจึงได้กำหนดเงื่อนไขต่าง ๆ ดังต่อไปนี้



รูปที่ 5-1 ผลการวิเคราะห์ความอ่อนไหวของพารามิเตอร์ของแบบจำลอง HYDRUS-1D

5.3.1 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขต (Boundary condition)

ในการคำนวณของแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ การกำหนดขอบเขตเงื่อนไขของแบบจำลองเป็นสิ่งสำคัญเนื่องจากเป็นการกำหนดเงื่อนไขในการคำนวณ ซึ่งหากสามารถกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของการจำลองสภาพการไหลได้ใกล้เคียงสภาพที่แท้จริงจะช่วยให้ผลการคำนวณมีค่าใกล้เคียงกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด การกำหนดขอบเขตของการจำลองสภาพการไหลในแนวดิ่งของแบบจำลอง HYDRUS-1D สามารถกำหนดได้เงื่อนไขขอบเขตได้ 2 ส่วนคือ ขอบเขตด้านบน (Upper boundary) และ ขอบเขตด้านล่าง (Lower boundary) ดังแสดงในตารางที่ 5-2

โดยเงื่อนไขขอบเขตที่ใช้ในการทดลองได้กำหนดเงื่อนไขขอบเขตบนใช้เงื่อนไข ความดัน หรืออัตราการเติมน้ำเปลี่ยนแปลง เนื่องจากสามารถกำหนดลักษณะการเติมน้ำที่สามารถเปลี่ยนแปลงตามเวลาได้

ส่วนเงื่อนไขขอบเขตล่างใช้ เงื่อนไขมีการไหลอิสระ และมีความดันเปลี่ยนแปลง เพื่อจำลองลักษณะของการมีระดับน้ำใต้ดิน

5.3.2 การกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้น (Initial condition)

การจำลองสภาพการไหลของแบบจำลอง HYDRUS-1D สามารถกำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นในการคำนวณในแบบจำลองได้ 2 แนวทาง คือ การกำหนดค่าความดันเริ่มต้น หรือกำหนดค่าปริมาณน้ำในดิน (Water content) เริ่มต้นทั้งนี้ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขในสมการที่จะใช้ในการคำนวณและผลลัพธ์ที่ต้องการนำมาวิเคราะห์ต่อไป ซึ่งในการทดลองนี้ได้กำหนดเงื่อนไขเริ่มต้นโดยใช้ค่าปริมาณน้ำในดินเริ่มต้น โดยใช้ค่าปริมาณน้ำในดินที่วัดได้จากการทดลองในแบบจำลองกายภาพเป็นค่าเริ่มต้นในการกำหนดค่าเริ่มต้น โดยตรวจสอบจากค่าปริมาณน้ำในดินเริ่มต้นก่อนเริ่มทำการทดลองเพื่อให้ค่าเงื่อนไขเริ่มต้นในการคำนวณสอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้นจริงมากที่สุด

5.3.3 ค่าผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง (Output)

แบบจำลอง HYDRUS-1D สามารถแสดงผลการจำลองได้ในรูปของกราฟ โดยลักษณะกราฟของผลลัพธ์แสดงการเปลี่ยนแปลงในช่วงเวลาต่าง ๆ ของปริมาณน้ำในดินที่ตำแหน่งสังเกตการณ์ (observation points) ที่กำหนดไว้ และแสดงรูปตัดของการเปลี่ยนแปลงความชื้นตามความลึกของชั้นดินในแต่ละช่วงเวลาที่กำหนดไว้ได้ดังตัวอย่างในรูปที่ 5-3

นอกจากนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลองยังสามารถแสดงกราฟค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดิน เช่น กราฟความสัมพันธ์ดิน-น้ำ กราฟเก็บกักกน้ำ เป็นต้น รวมถึงแสดงเสถียรภาพของช่วงเวลาในการคำนวณ และค่าสมดุลของน้ำด้วย

ตารางที่ 5-1 ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ

ค่าพารามิเตอร์	วิธีการหาค่า	อ้างอิง
Saturated hydraulic - conductivity, K_s	ได้จากการทดลอง	ห้องปฏิบัติการ กองปฐพีวิทยา กรมวิชาการเกษตร
Saturated water content, θs	ได้จากการทดลอง	Simunek (2005)
Residual water content, θr	ได้จากการทดลอง	Simunek (2005)
n	คำนวณจาก ผลการทดลอง	Simunek (2005)
α	คำนวณจาก ผลการทดลอง	Simunek (2005)

ตารางที่ 5-2 การกำหนดเงื่อนไขขอบเขตของแบบจำลอง HYDRUS-1D

ขอบเขตด้านบน (Upper boundary)	ขอบเขตด้านล่าง (Lower boundary)
ความดันคงที่	ความดันคงที่
อัตราการเติมน้ำคงที่	อัตราการเติมน้ำคงที่
มีอากาศบริเวณชั้นผิวดิน	ความดันเปลี่ยนแปลง
มีอากาศบริเวณชั้นผิวดินและมีน้ำไหล	อัตราการเติมน้ำเปลี่ยนแปลง
ความดันเปลี่ยนแปลง	มีการไหลอิสระ
ความดัน หรือ อัตราการเติมน้ำ เปลี่ยนแปลง	มีการไหลเติมลงสู่ชั้นน้ำ
	มีพื้นผิวไหลซึม
	มีการไหลออกในแนวราบ

5.3 การเตรียมข้อมูลในการคำนวณ

การจัดการข้อมูลการทดลองสามารถแบ่งเป็นส่วนหลักได้ 2 ส่วน คือ ข้อมูลนำเข้า (Input) และข้อมูลผลลัพธ์ (Output) โดยมีกระบวนการดังแสดงในรูปที่ 5-2 โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการคำนวณ ซึ่งเป็นค่าคุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินหาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการกรมวิชาการเกษตรข้อมูลนำเข้า ได้แก่

Interation Criteria คือการกำหนดช่วงเวลา Δt และจำนวน time step

Soil Hydraulic Property Model เป็นส่วนที่ให้เลือกใช้สมการในการคำนวณ ซึ่งในการคำนวณนี้ได้เลือกใช้สมการของ van Genuchten ในการคำนวณ

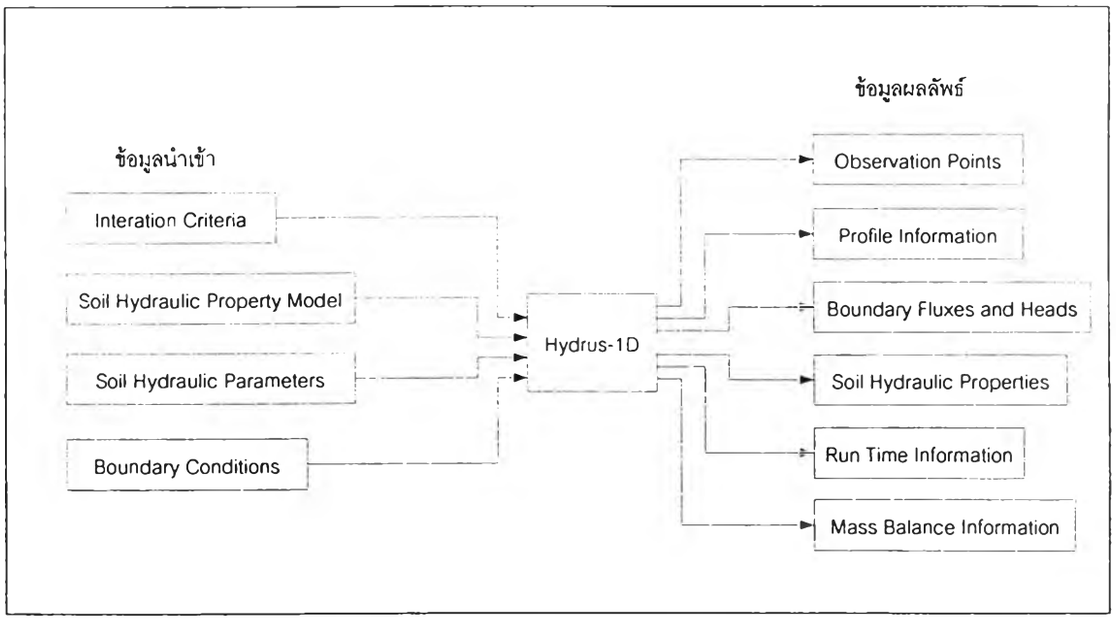
Soil Hydraulic Parameters ใช้ข้อมูลพารามิเตอร์คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินที่หาได้จากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

Boundary Conditions ได้แก่ ค่าขอบเขตบน(Upper boundary conditions) และขอบเขตล่าง(Lower boundary conditions) กำหนดจากเงื่อนไขและสมมติฐานของการออกแบบการทดลองหรือข้อมูลภาคสนาม และในส่วนของเงื่อนไขเริ่มต้นกำหนดจากค่าปริมาณน้ำในดินที่ได้จากแบบจำลองกายภาพ

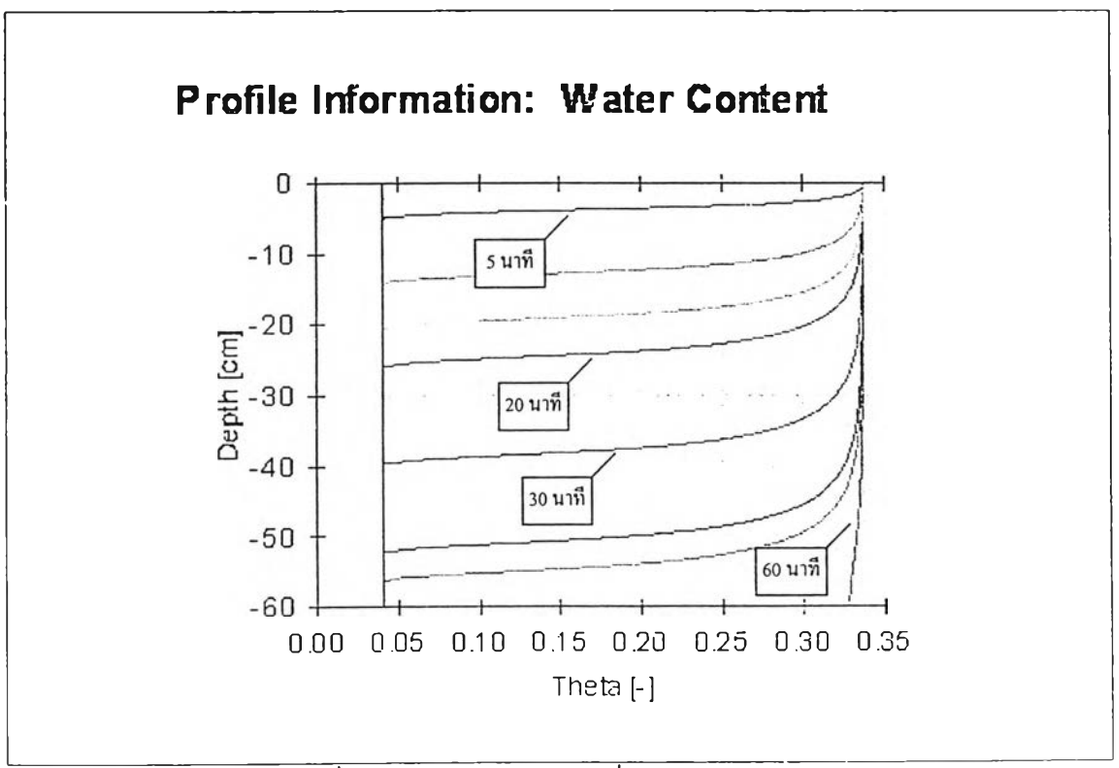
ในส่วนของข้อมูลผลลัพธ์จะแสดงผลลัพธ์ออกมาในรูปแบบกราฟฟิคและข้อมูลเป็นไฟล์ ที่มีชื่อ OBS_NODE.OUT ซึ่งจะแสดงเวลาและค่าความชื้นที่เกิดขึ้น

ค่าพารามิเตอร์ที่ต้องใช้ในการคำนวณหาได้จากการเทียบค่ากราฟความสัมพันธ์ดินและน้ำ ที่ได้จากการทดลองปฏิบัติการกับสมการของ van Genuchten (แสดงรายละเอียดในภาคผนวก ข) ซึ่งผลการเทียบทำให้ได้ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ดังแสดงในตารางที่ 5-3

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ที่ได้นี้บ่งบอกถึงคุณลักษณะทางชลศาสตร์ของดินแต่ละประเภท เพื่อนำไปใช้ในการคำนวณหาการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินแต่ละประเภท ซึ่งค่าพารามิเตอร์นี้นำไปใช้ร่วมกับค่าพารามิเตอร์ตัวอื่นซึ่งหาจากการทดลอง คือ ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำ (Hydraulic conductivity) มีค่าดังแสดงในตารางที่ 5-4 ซึ่งวิธีการหาแสดงไว้ในภาคผนวก ก



รูปที่ 5-2 ข้อมูลนำเข้า และข้อมูลผลลัพธ์



รูปที่ 5-3 ตัวอย่างผลลัพธ์ที่ได้จากการจำลอง

ตารางที่ 5-3 ค่าพารามิเตอร์คุณสมบัติทางชลศาสตร์ของดินที่หาได้จากทดลอง โดยใช้สมการของ van Genuchten

ชนิดตัวกลาง	ค่าพารามิเตอร์ที่หาได้จากการทดสอบ				
	θr	θs	α	n	m
SP	0.0820	0.3598	0.055	1.83	0.45
SW	0.0193	0.3252	0.030	2.35	0.57
MH	0.0271	0.3486	0.030	2.50	0.60
ML	0.0390	0.3621	0.033	2.30	0.56
CH	0.4153	0.4777	0.025	1.75	0.43
CL	0.3613	0.4204	0.055	1.55	0.35

ตารางที่ 5-4 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำในดินชนิดต่าง ๆ

ชนิดดิน	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมได้ของน้ำ, K_s (เมตร/วัน)
SP	13.71
SW	1.87
MH	1.46
ML	1.16
CH	0.007
CL	0.006

5.4 ผลการจำลองการไหล

จากการจำลองสภาพการไหลโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ HYDRUS-1D ได้ผลการศึกษาการเติมน้ำในดินชนิดต่าง ๆ แสดงในรูปที่ 5-4 ถึง 5-6 โดยสามารถสรุปผลการจำลองสภาพการไหลได้ดังนี้

5.4.1 รูปแบบการเติมน้ำ

ลักษณะการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ในดินทราย ได้แก่ SP และ SW พบว่า ค่าปริมาณน้ำในดินมีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะที่ระดับความลึก 10 ซม. ส่วนค่าปริมาณน้ำในดินที่ระดับความลึกอื่นมีค่าคงที่ Kohne และ Mohanty (2005) ศึกษาพบว่าสมการของ Richard เหมาะสำหรับการคำนวณในสภาพการไหลที่มีค่าเรย์โนลนัมเบอร์ต่ำ ซึ่งเมื่อนำผลการจำลองสภาพการไหลมาวิเคราะห์หาค่าเรย์โนลนัมเบอร์ พบว่ามีค่าในดินชนิด SP มีค่าเท่ากับ 17.46 และในดิน SW มีค่าเท่ากับ 13.16 ซึ่งถือว่าอยู่ในช่วงที่มีค่าสูง ทั้งนี้เนื่องจากการที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของน้ำมีค่าสูง และขนาดของอนุภาคตัวกลางมีขนาดใหญ่ การไหลจึงอยู่ใกล้เคียงกับสภาพการไหลแบบปั่นป่วนทำให้การจำลองมีค่าความคลาดเคลื่อนเกิดขึ้น ส่วนการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ในดินชนิดอื่นมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินค่อย ๆ เพิ่มขึ้นตามเวลา ทั้งนี้เห็นได้ว่าลักษณะของกราฟในดินชนิด MH, ML, CL และ CH มีค่าความชันจากมากไปน้อยตามลำดับ

การเติมน้ำในรูปแบบระดับน้ำคงที่มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินของดินแต่ละชนิดคล้ายคลึงกัน คือ ปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ จนอิ่มตัว โดยดินชั้นบนจะอิ่มตัวก่อนดินที่อยู่ด้านล่าง ส่วนการเติมน้ำรูปแบบมีระดับน้ำใต้ดินพบว่าดินบริเวณด้านบนของระดับน้ำใต้ดินที่ระดับ 50 เซนติเมตร มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินโดยมีการอิ่มตัวก่อนที่น้ำบริเวณด้านบนจะเติมลงมาถึง

5.4.2 ปริมาณน้ำในดิน

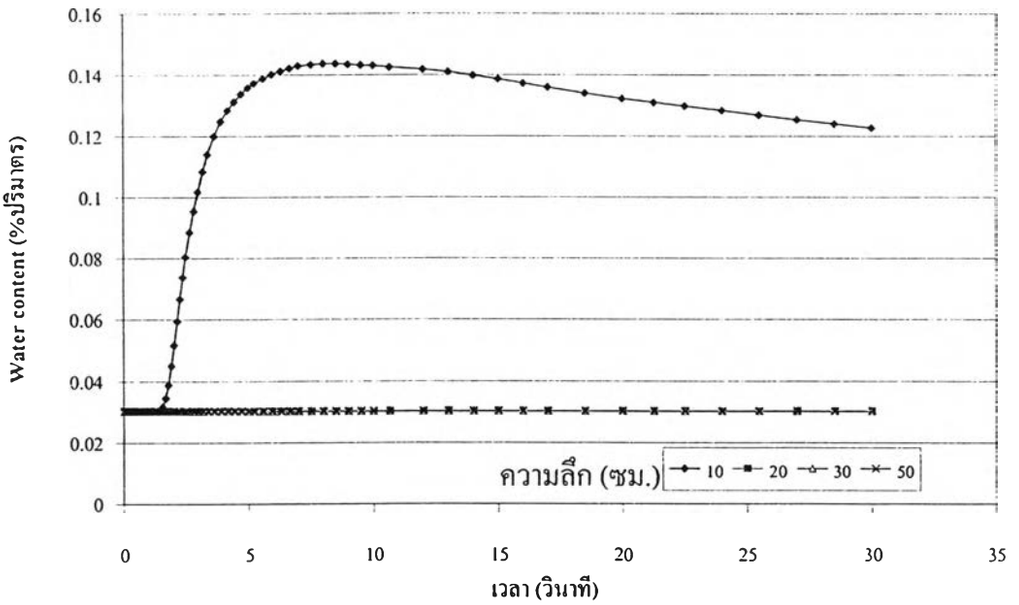
ปริมาณน้ำในดินสามารถสรุปผลการจำลองโดยแบ่งได้เป็น 2 ค่า คือ θr และ θs ซึ่งในการจำลองสภาพได้ผลดังแสดงในตารางที่ 5-5 โดยค่า θr และ θs ในการจำลองรูปแบบการเติมน้ำแบบต่าง ๆ มีค่าเท่ากัน ยกเว้นในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดินในตัวอย่างดิน SP และ SW ที่ผลการจำลองสามารถคำนวณได้ เนื่องจากสภาพขอบเขตของการไหล อยู่นอกช่วงความสามารถในการคำนวณของสมการ

5.4.3 เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัว

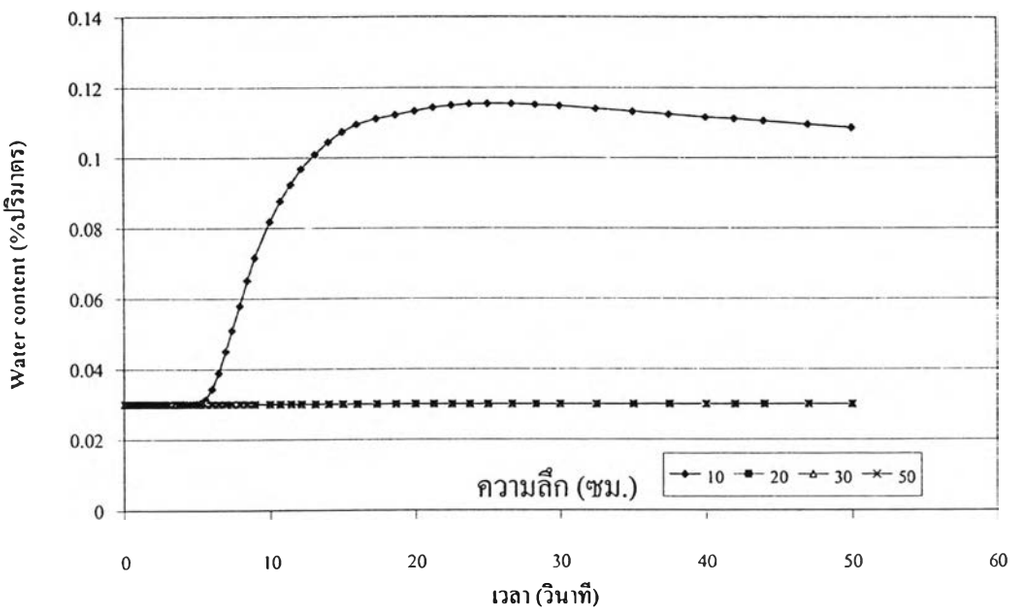
เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของดินในแต่ละระดับความลึกมีค่าดังแสดงไว้ในตารางที่ 5-6 เห็นได้ว่าค่าเวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของดินชนิดต่าง ๆ เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวที่ความลึกระดับ 50 เซนติเมตร การเติมน้ำแบบอัตราคงที่ใช้เวลามากกว่า การเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ และแบบมีระดับน้ำใต้ดิน ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องจากการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดินมีความชื้นจากด้านล่างถูกดึงขึ้นมาด้วยแรง capillary ของดิน ทำให้ดินภายในถังสแตนเลสอิ่มตัวได้เร็วขึ้น ส่วนการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำคงที่เหนือผิวดินเป็นการเติมน้ำแบบมีแรงดันช่วยให้น้ำสามารถซึมลงสู่ด้านล่างได้เร็วขึ้น

ซึ่งผลการคำนวณที่ได้นี้จะนำไปสรุปผลและวิเคราะห์เปรียบเทียบกับผลการทดลองในแบบจำลองกายภาพต่อไป

5.4.1 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

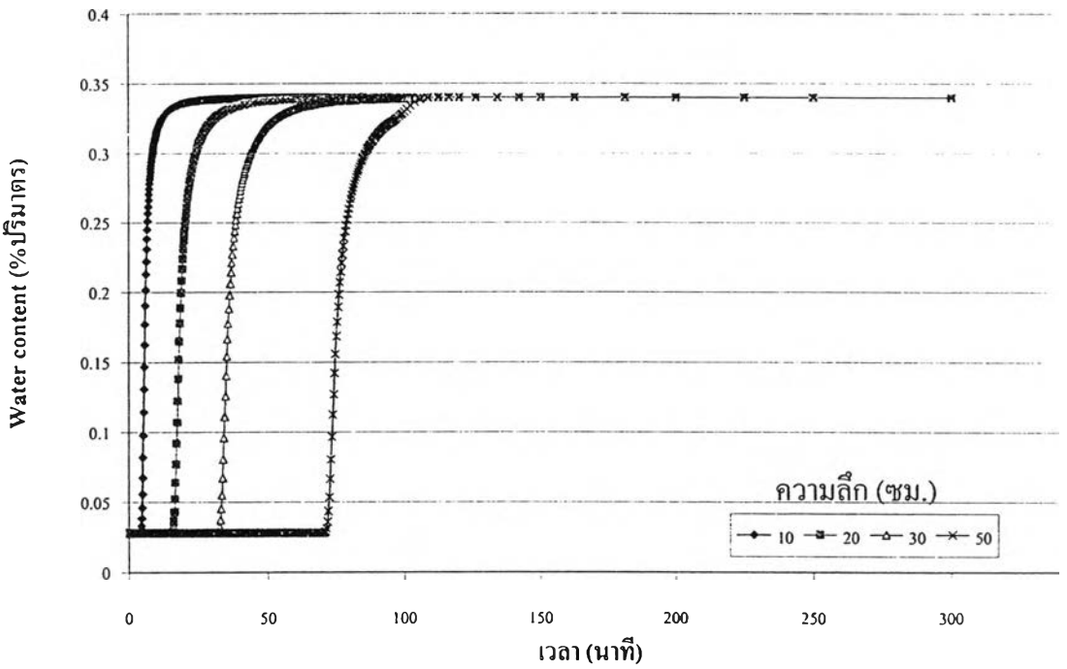


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน SP

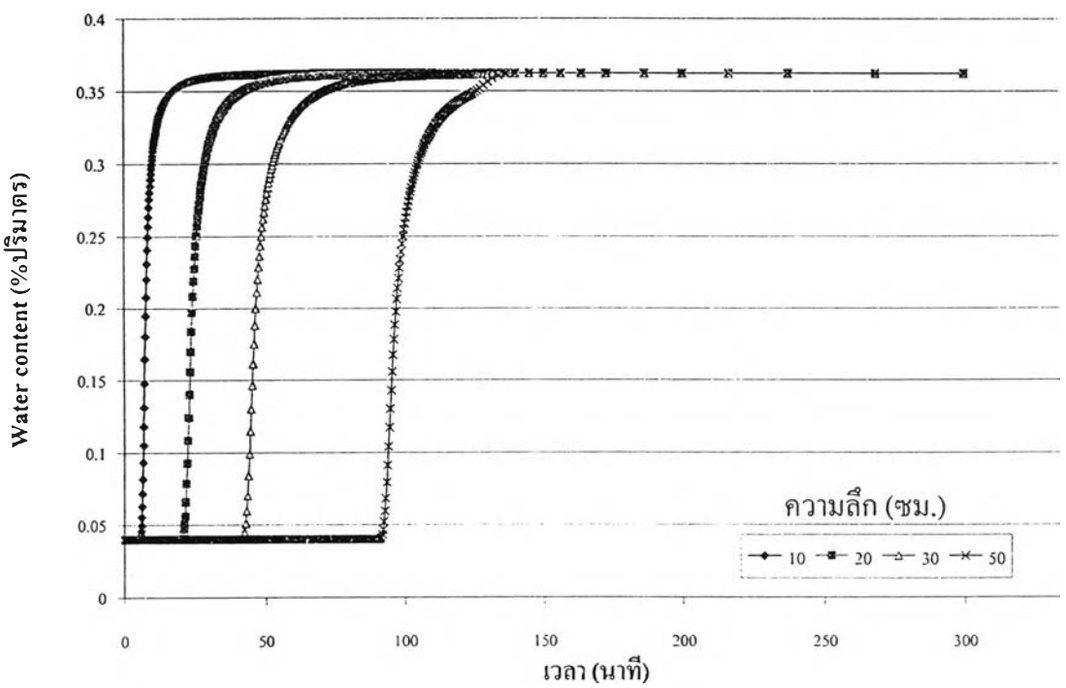


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน SW

รูปที่ 5-4 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

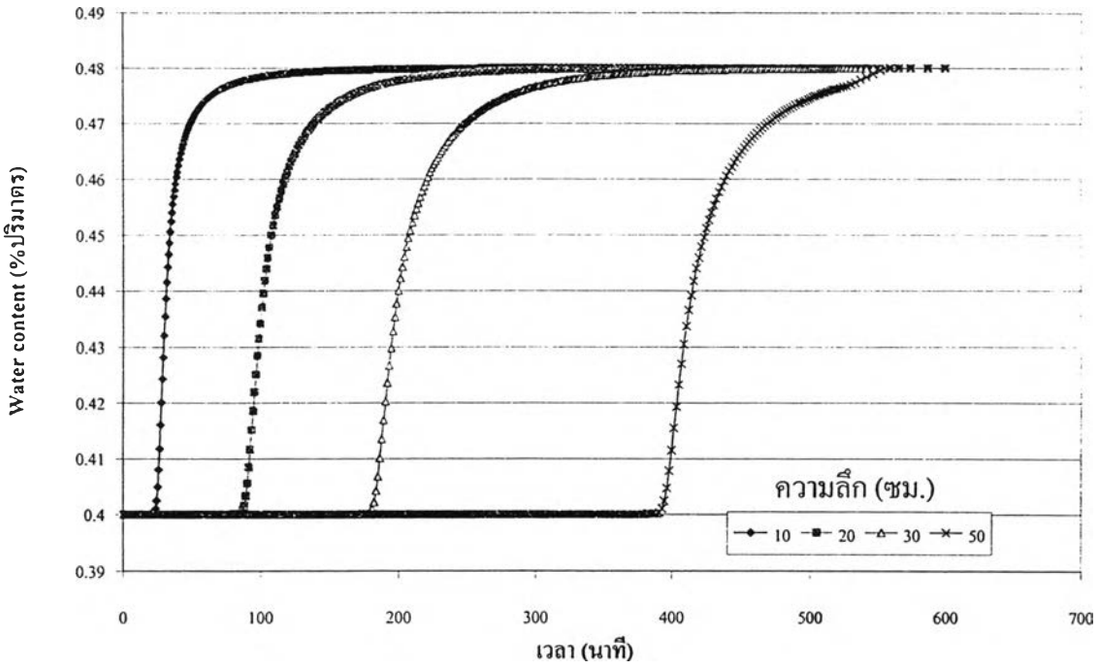


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน MH

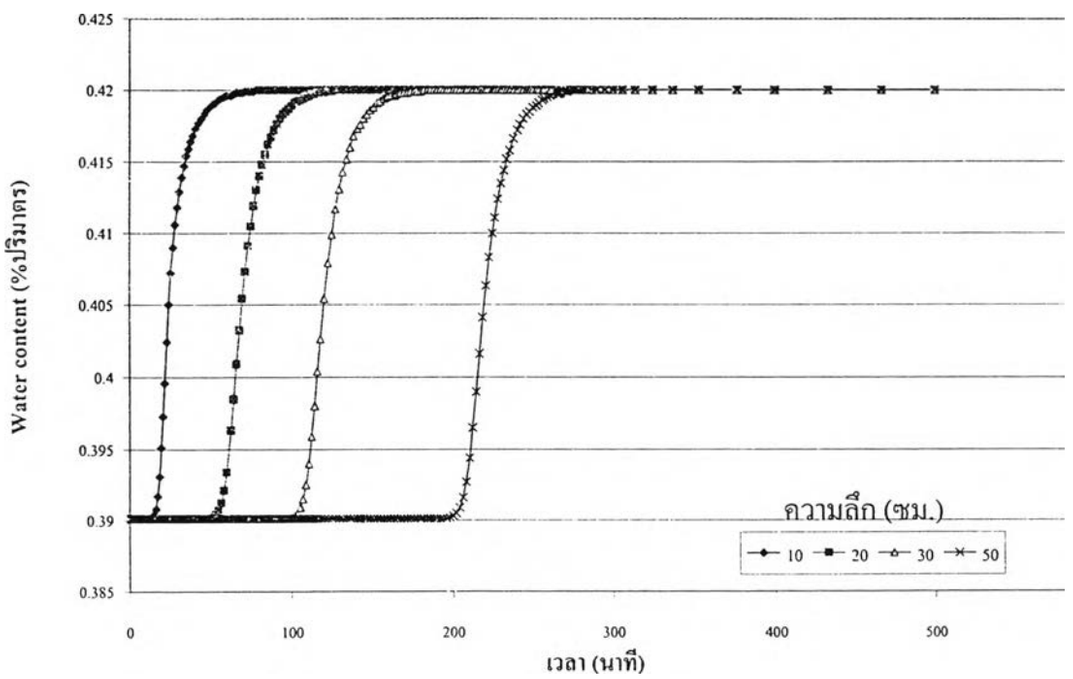


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน ML

รูปที่ 5-4 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)



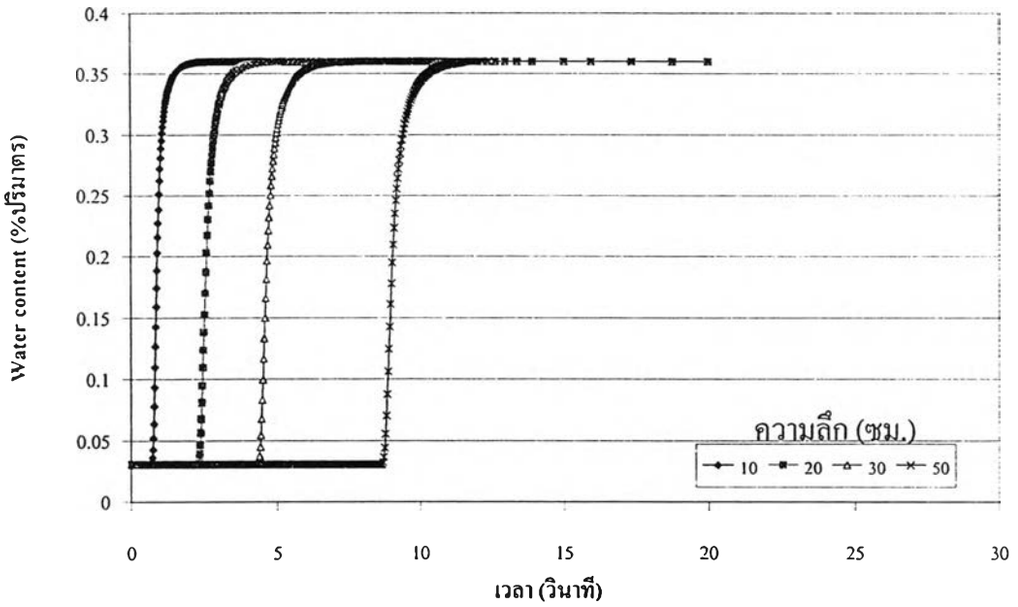
ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน CH



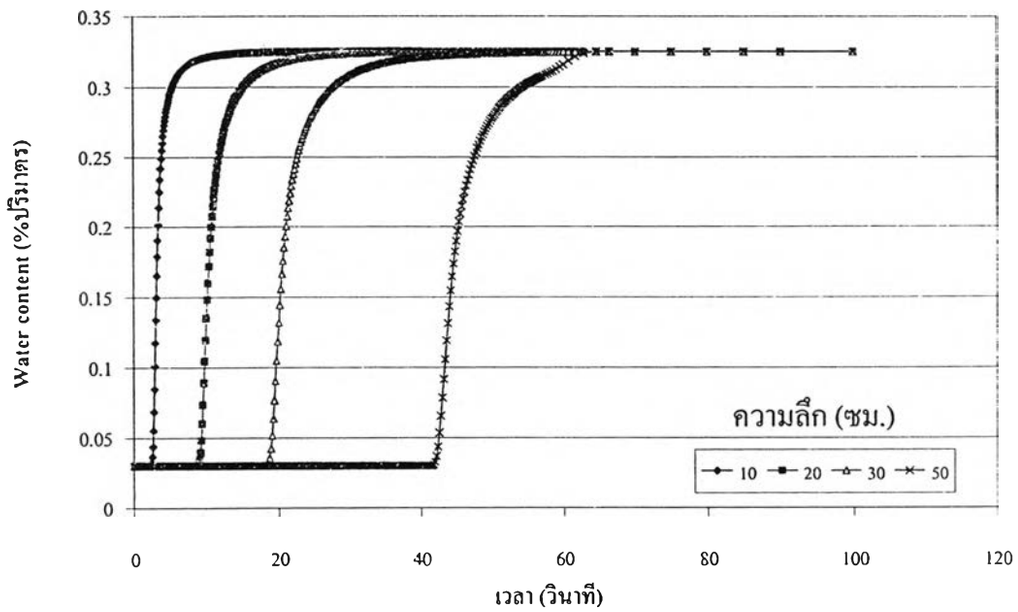
ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน CL

รูปที่ 5-4 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

5.4.2 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่

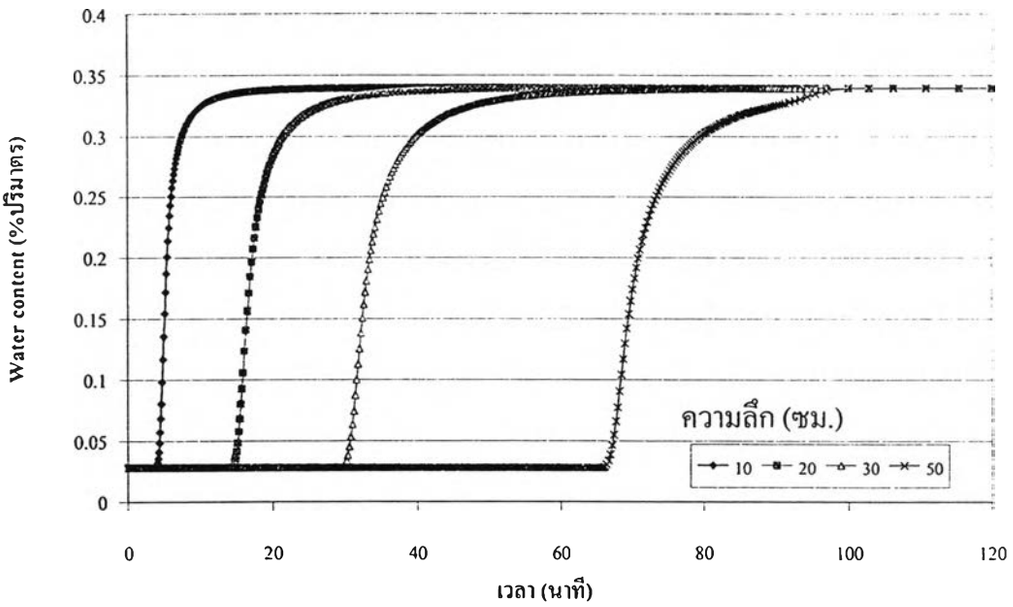


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน SP

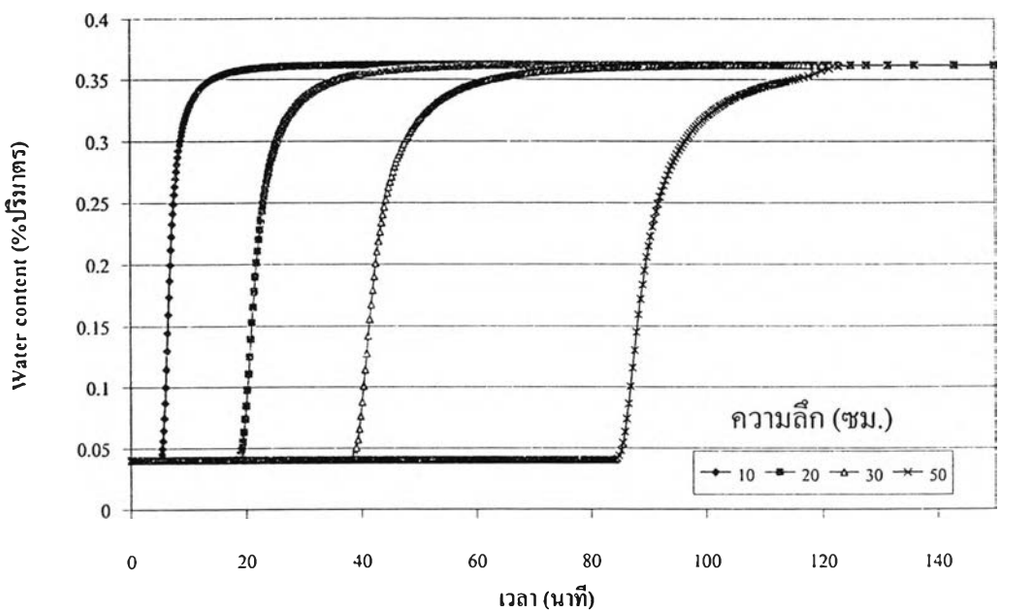


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน SW

รูปที่ 5-5 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่

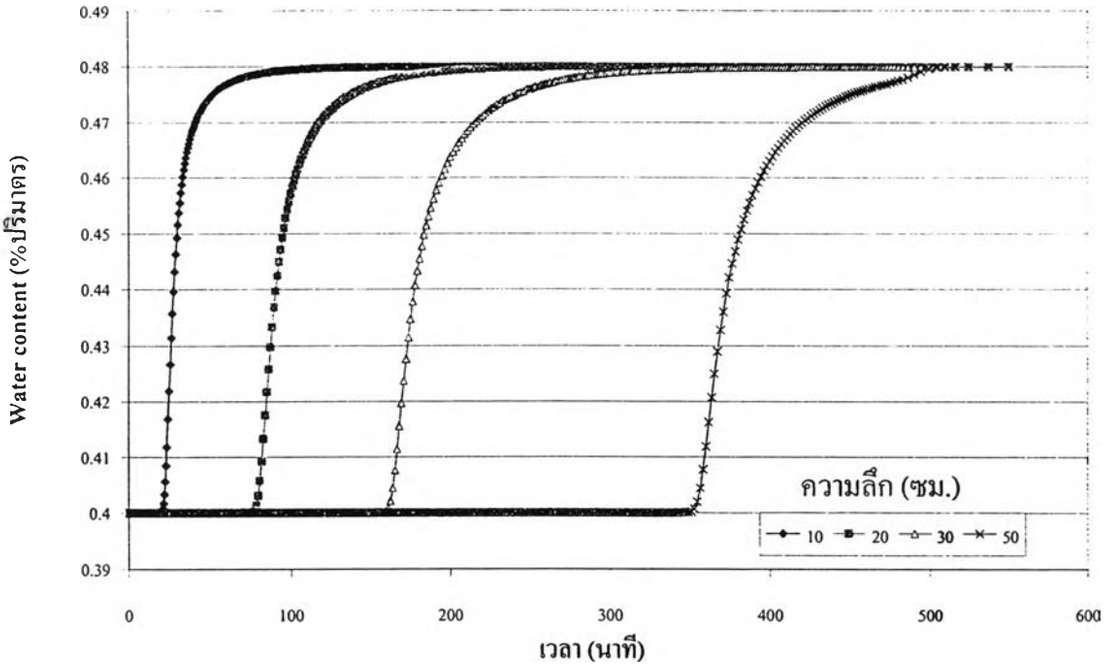


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน MH

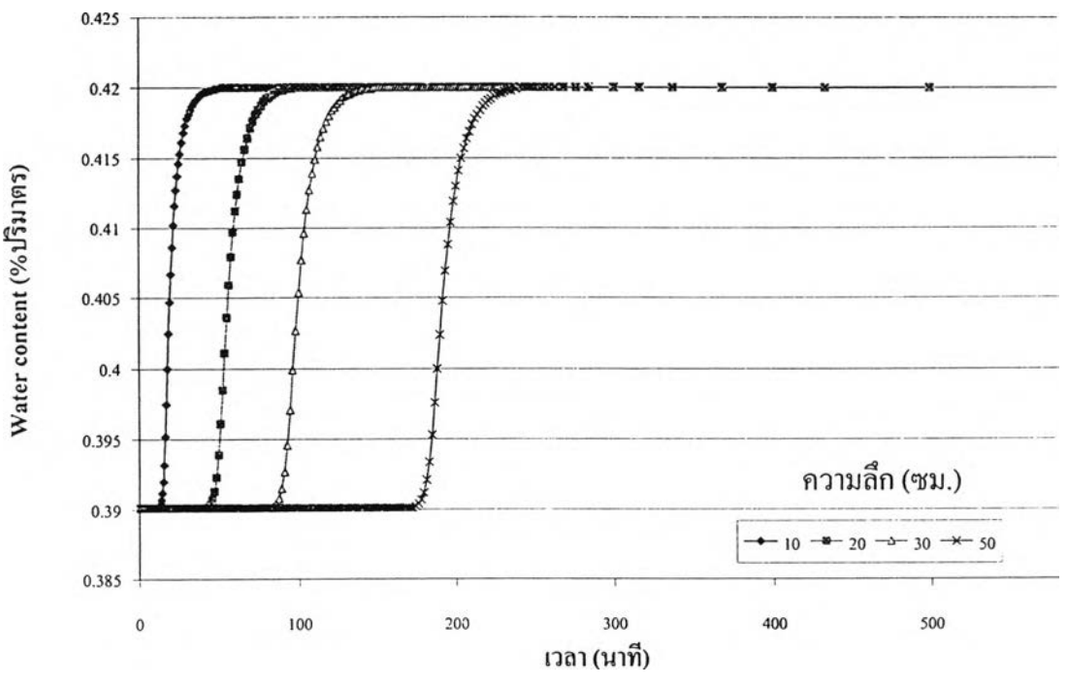


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน ML

รูปที่ 5-5 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ (ต่อ)



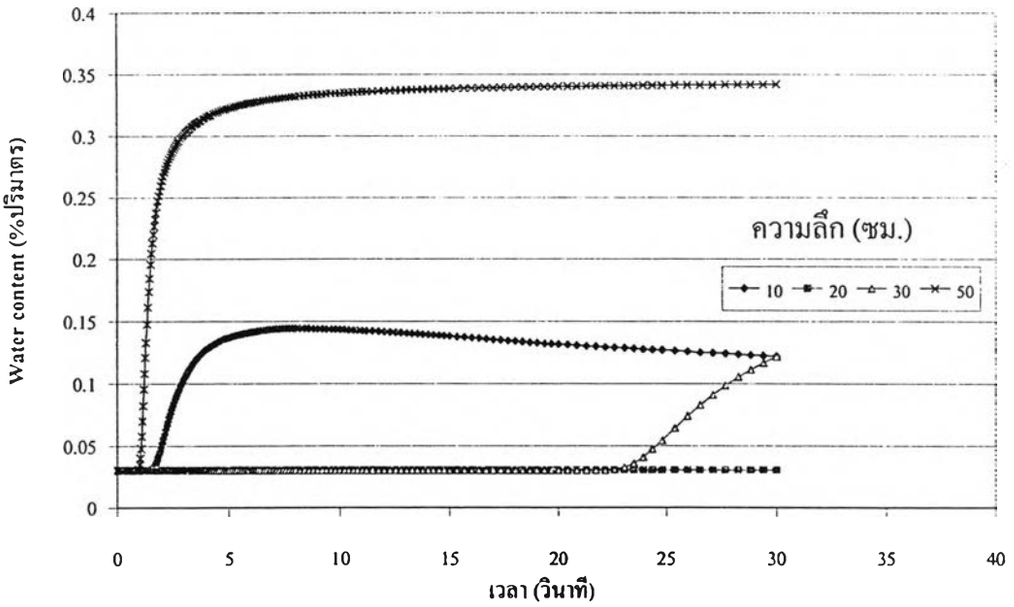
ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน CH



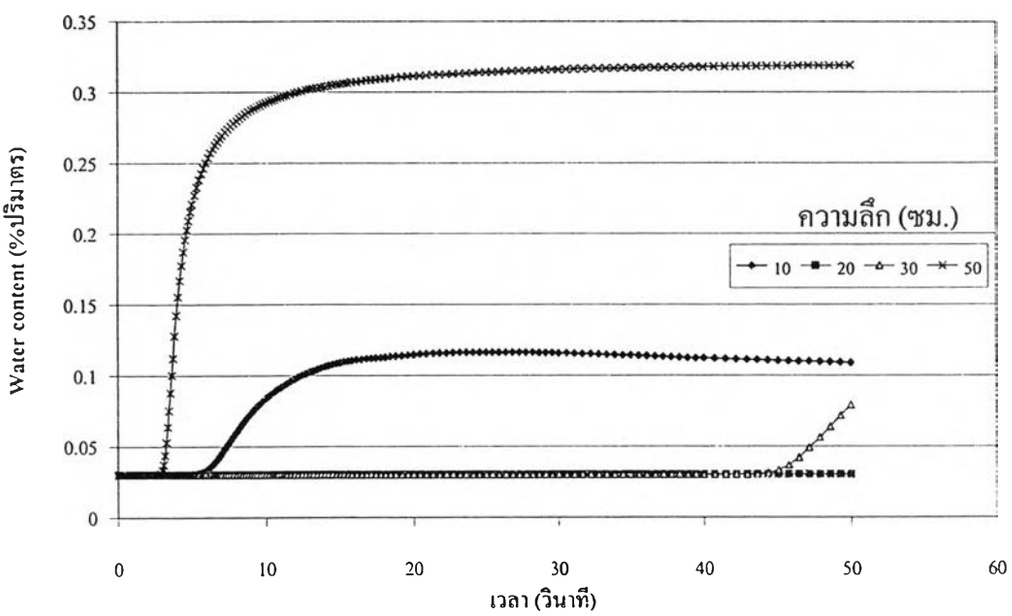
ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน CL

รูปที่ 5-5 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ (ต่อ)

5.4.3 ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน

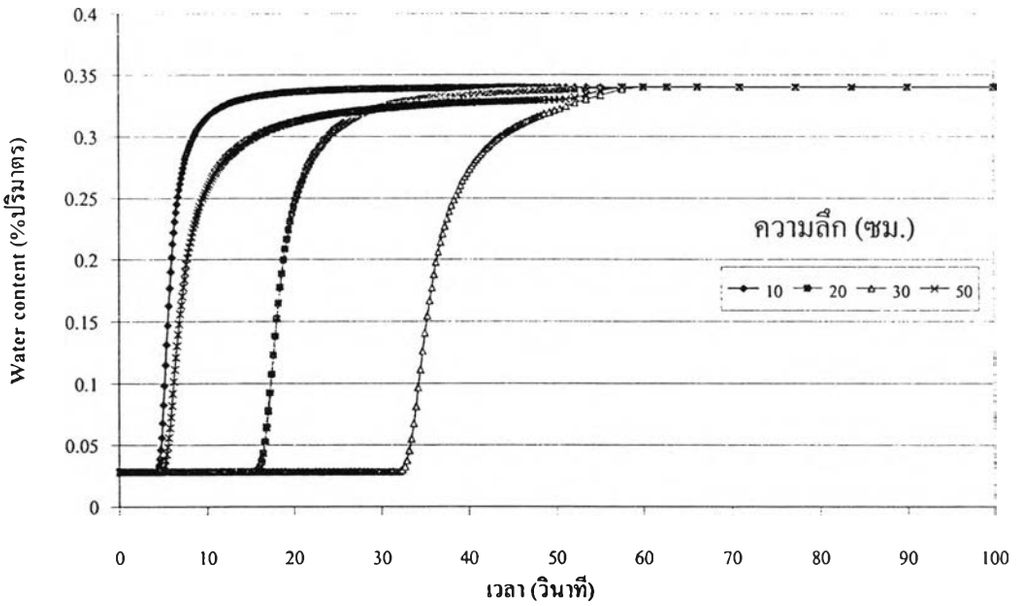


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน SP

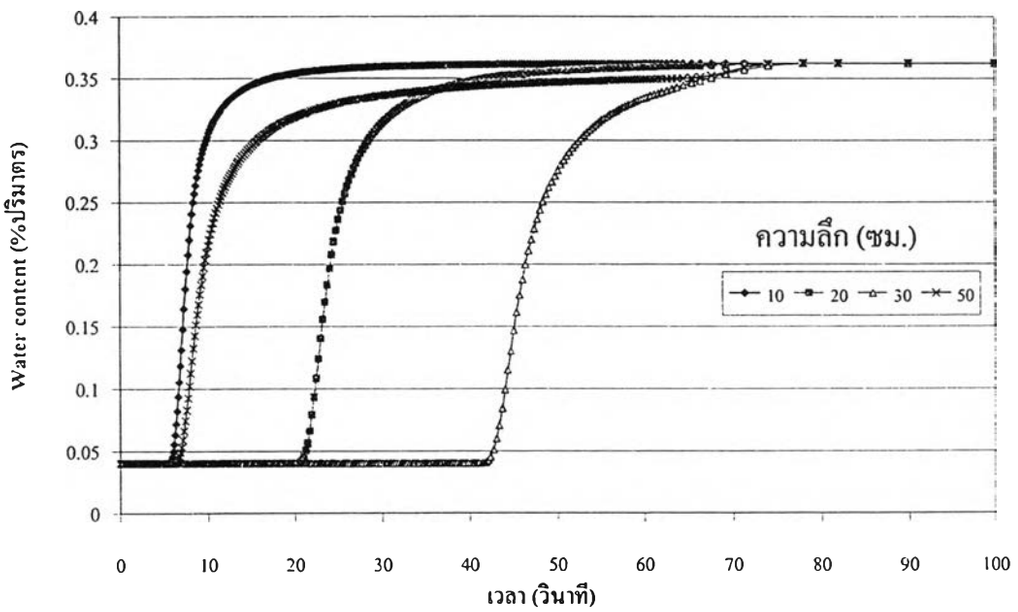


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน SW

รูปที่ 5-6 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน

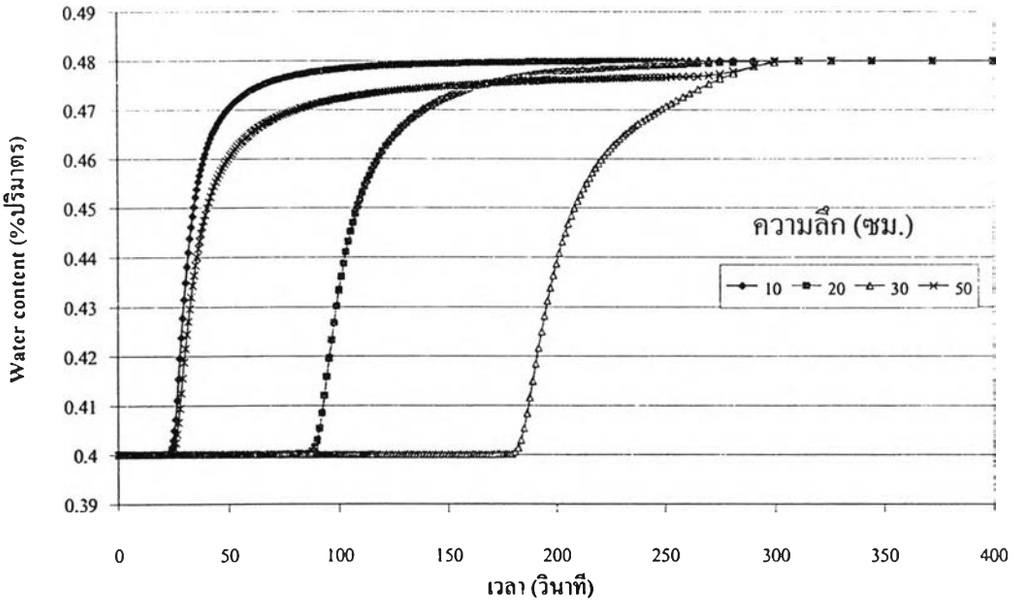


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน MH

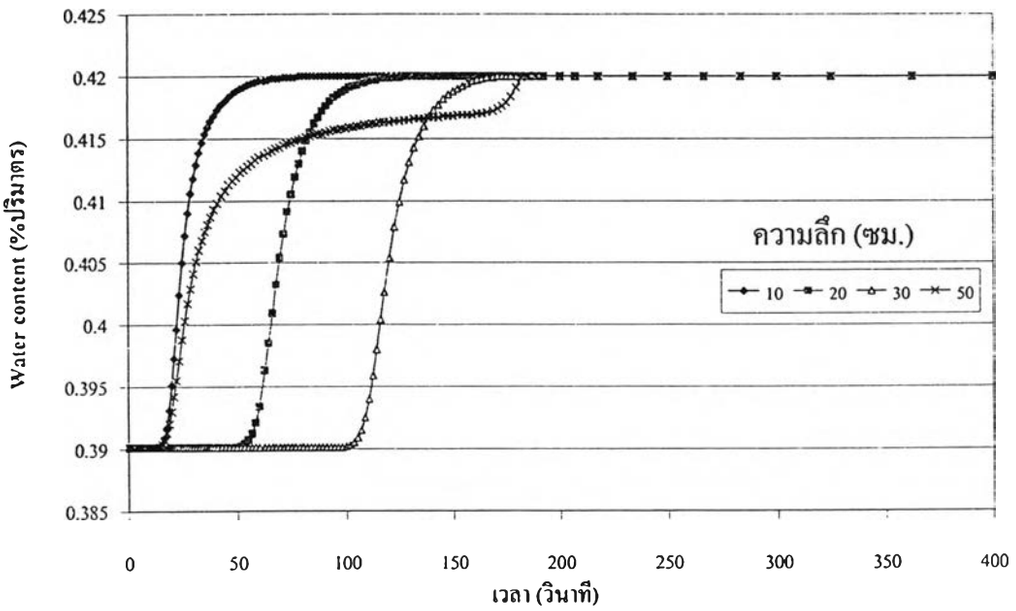


ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน ML

รูปที่ 5-6 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)



ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน CH



ผลการคำนวณการเปลี่ยนแปลงความชื้นในดิน CL

รูปที่ 5-6 ผลการจำลองการเปลี่ยนแปลงความชื้นจากวิธีการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)

ตารางที่ 5-5 ปริมาณน้ำในดินที่สภาพเริ่มต้นและสภาพอิ่มตัวจากโปรแกรม HYDRUS-1D ของดินแต่ละชนิด

Soil type	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	ปริมาณน้ำในดิน, θ (%ปริมาตร)					
		แบบอัตราคงที่		แบบระดับน้ำคงที่		แบบมีระดับน้ำใต้ดิน	
		θr	θs	θr	θs	θr	θs
SP	2.57	0.030	0.144	0.030	0.360	0.030	0.144
SW	2.35	0.030	0.115	0.030	0.325	0.030	0.319
ML	0.036	0.040	0.362	0.040	0.362	0.040	0.362
MH	0.042	0.028	0.340	0.028	0.340	0.028	0.340
CL	0.0017	0.390	0.420	0.390	0.420	0.390	0.420
CH	0.0013	0.400	0.480	0.400	0.480	0.400	0.480

ตารางที่ 5-6 ค่าเวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของน้ำในดินแต่ละชนิดจากโปรแกรม HYDRUS-1D ในแต่ละระดับความลึก

Soil type	ขนาดอนุภาค (มิลลิเมตร)	เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัว,t_0 (นาที)											
		อัตราคงที่				ระดับน้ำคงที่				มีระดับน้ำใต้ดิน			
		10	20	30	50	10	20	30	50	10	20	30	50
SP	2.57	0.133	-	-	-	0.045	0.088	0.130	0.193	0.130	-	0.500	0.500
SW	2.35	0.417	-	-	-	0.495	0.950	1.077	1.077	0.400	-	0.833	-
ML	0.036	101.0	133.0	136.0	139.7	50.4	96.7	122.9	127.8	74.0	78.0	78.0	74.0
MH	0.042	83.7	108.0	108.0	112.0	42.6	83.0	100.0	102.8	32.0	42.0	60.0	40.0
CL	0.0017	78.0	127.0	181.0	273.0	50.5	98.0	147.7	241.0	83.0	123.0	170.0	152.0
CH	0.0013	257.6	394.5	518.7	559.2	155.5	288.6	416.4	509.7	265.5	300.0	311.1	311.1

หมายเหตุ : ช่องว่างหมายถึงไม่มีการเปลี่ยนแปลงค่าความชื้น