



## บทที่ 4

### ผลการทดลองแบบจำลองกายภาพ

การทดลองในห้องทดลองได้ใช้แบบจำลองกายภาพโดยการจำลองสภาพการไหลของน้ำ โดยกำหนดการเติมน้ำ 3 แบบ คือ การเติมน้ำแบบอัตราคงที่ การเติมน้ำแบบระดับน้ำเหนือผิวดินคงที่ และการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน ได้ทำการวัดการเคลื่อนตัวโดยใช้เซนเซอร์ TDR (Time domain reflectometer) ซึ่งมีผลจากการทดลองต่าง ๆ ดังนี้

#### 4.1 ผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

การจำลองการปล่อยน้ำแบบอัตราคงที่เป็นการจำลองสภาพเหตุการณ์ฝนตกลงมาสู่ผิวดิน ในการศึกษาได้กำหนดรูปแบบการทดลอง โดยการกำหนดค่าอัตราการปล่อยน้ำเป็นค่าอัตราการปล่อยน้ำสูงสุด โดยค่าอัตราการปล่อยน้ำสูงสุดกำหนดให้มีค่าเท่ากับค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (Saturated Hydraulic conductivity) ของดินแต่ละชนิด ซึ่งในการกำหนดอัตราการเติมน้ำในดินแต่ละชนิดมีค่าดังตารางที่ 4-1 และผลการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ในดินชนิดต่าง ๆ ได้ผลการทดลองดังแสดงในรูปที่ 4-1

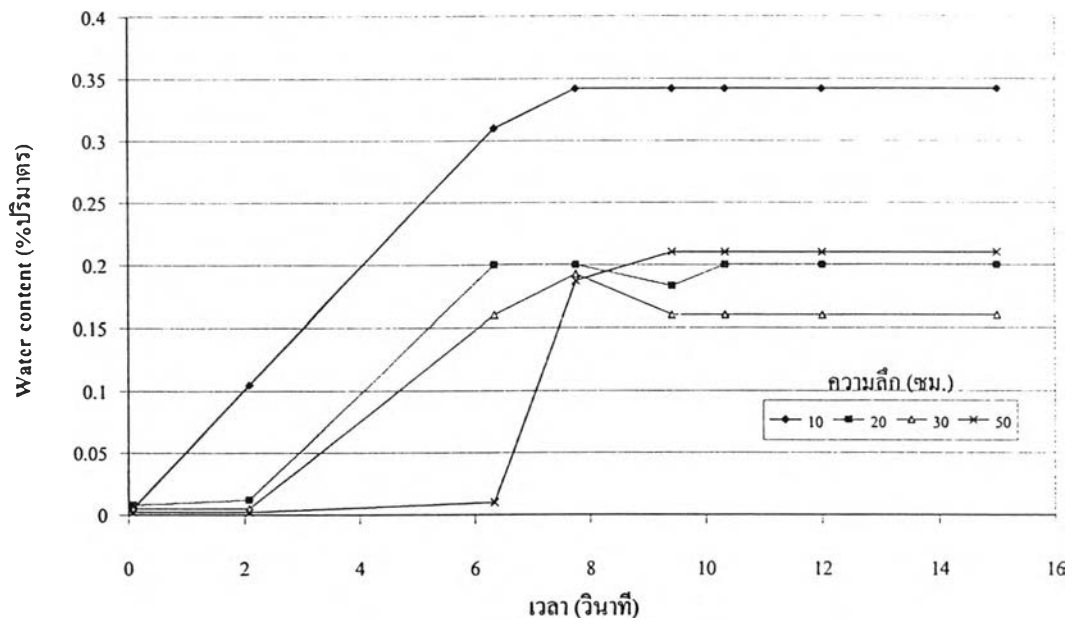
จากรูปที่ 4-1 เห็นได้ว่าเมื่อมีการเติมน้ำลักษณะการเคลื่อนตัวของน้ำจะค่อย ๆ เคลื่อนตัวจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง ความชื้นในดินจะค่อย ๆ เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยดินชั้นที่อยู่ด้านบนจะอิ่มตัวก่อน โดยดินส่วนใหญ่เมื่อได้รับการเติมน้ำในช่วงเวลาระยะเวลาหนึ่งดินภายในถึงสแตนด์เลสจะอิ่มตัวตลอดทั้งถัง

ดินประเภท SP และ SW มีลักษณะการเปลี่ยนแปลงค่าปริมาณน้ำในดินแตกต่างจากดินประเภทอื่น คือ อิ่มตัวเฉพาะในช่วงความลึกที่ 10 เซนติเมตร ส่วนที่ระดับความลึกด้านล่าง มีน้ำไหลผ่านช่องว่างระหว่างอนุภาคของดิน แต่ดินไม่สามารถกักเก็บน้ำไว้ได้จนอิ่มตัว ทั้งนี้เนื่องจากลักษณะการเติมน้ำของทรายจะไหลกระจายไม่เต็มตลอดทั่วทั้งพื้นที่หน้าตัดของถังสแตนด์เลส และช่องว่างระหว่างเม็ดดินของทรายมีขนาดใหญ่ทำให้น้ำไหลผ่านเม็ดทรายอย่างรวดเร็ว จึงทำให้ค่าปริมาณน้ำในทรายมีค่าไม่อิ่มตัวในการทดลองการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

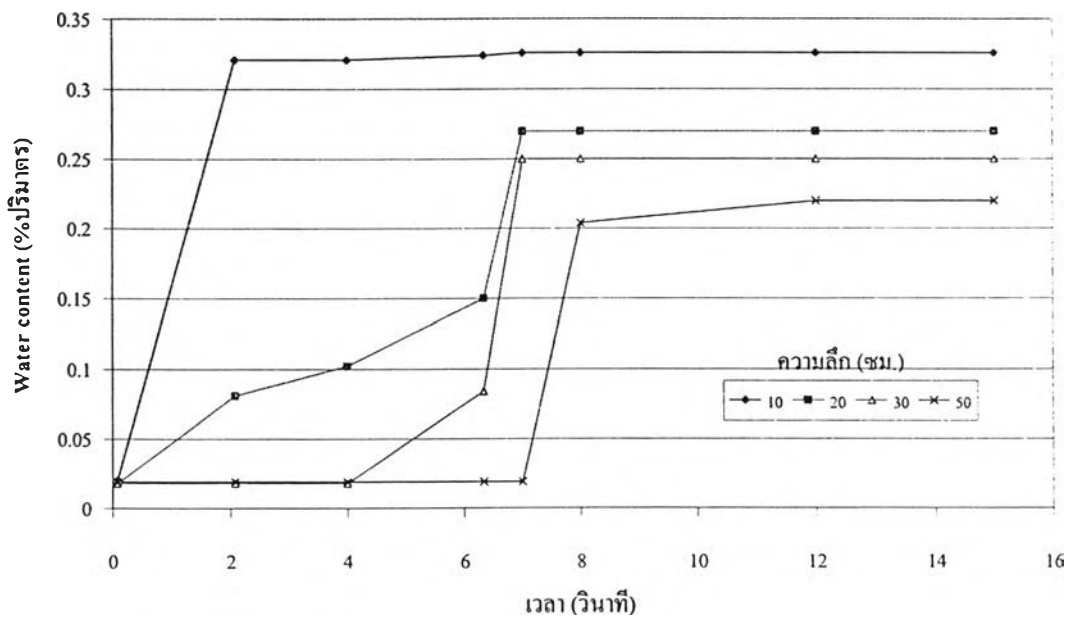
ดินประเภท MH, ML, CH, CL มีลักษณะรูปแบบการเปลี่ยนแปลงความชื้นคล้ายกัน คือ ปริมาณน้ำในดินที่ด้านบนของถังมีปริมาณเพิ่มมากขึ้น และไหลเติมลงสู่ดินที่อยู่ด้านล่าง โดยดินบริเวณด้านบนของถังจะอิ่มตัวก่อนดินที่อยู่ด้านล่าง แต่ทั้งนี้เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวขึ้นอยู่กับชนิดของดิน โดยดินเหนียวใช้เวลาในการอิ่มตัวมากกว่าดินตะกอน

ตารางที่ 4-1 ค่าอัตราการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ในดินชนิดต่าง ๆ

ชนิดของดิน	ค่าอัตราการเติมน้ำ (ชม./ชั่วโมง)
SP	57.13
SW	7.79
MH	6.08
ML	4.83
CH	0.03
CL	0.03

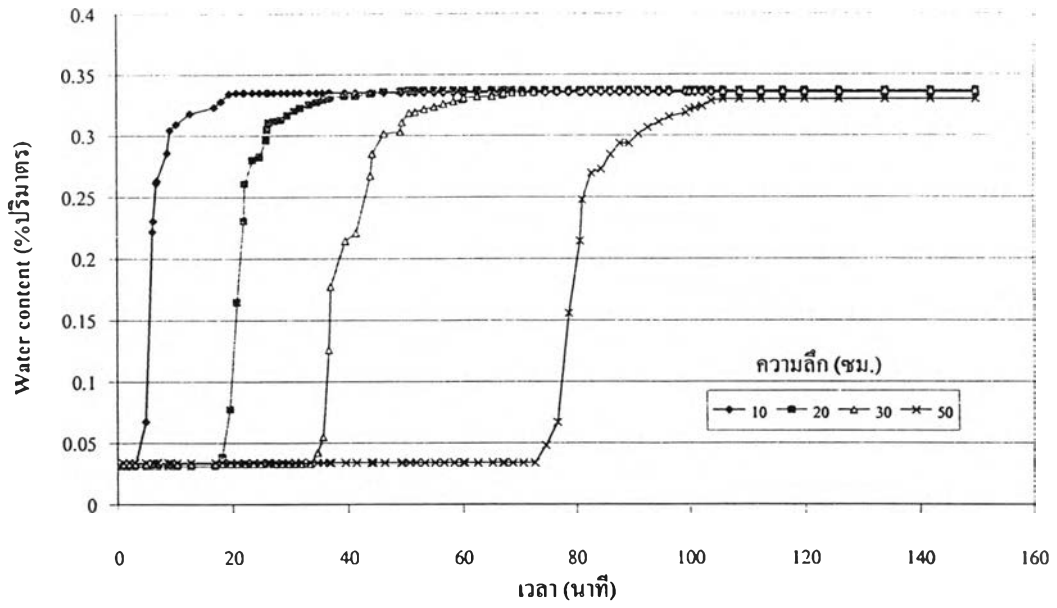


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน SP

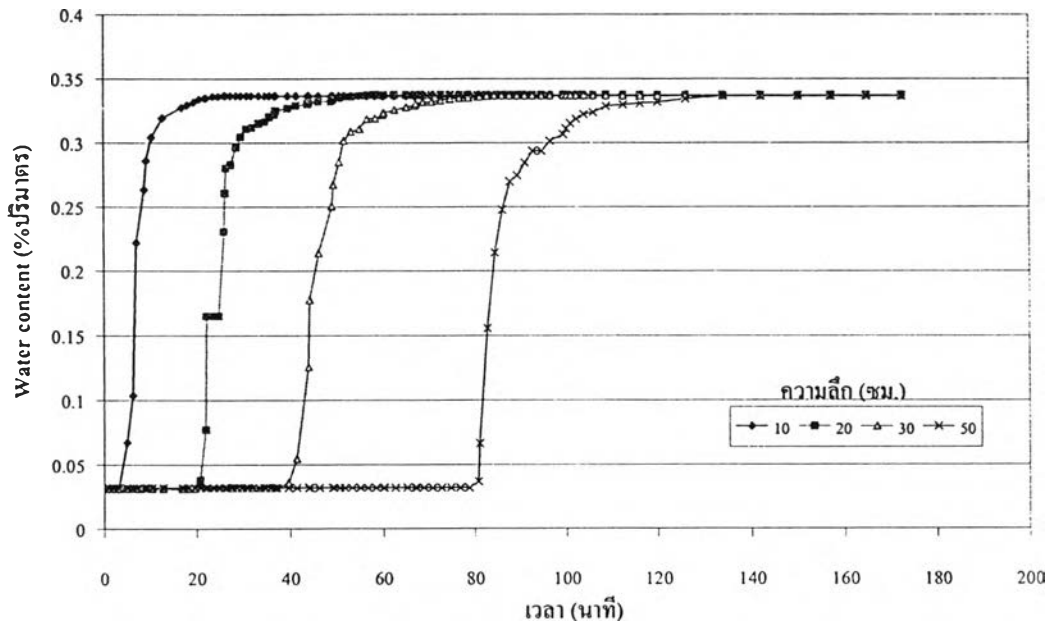


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน SW

รูปที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

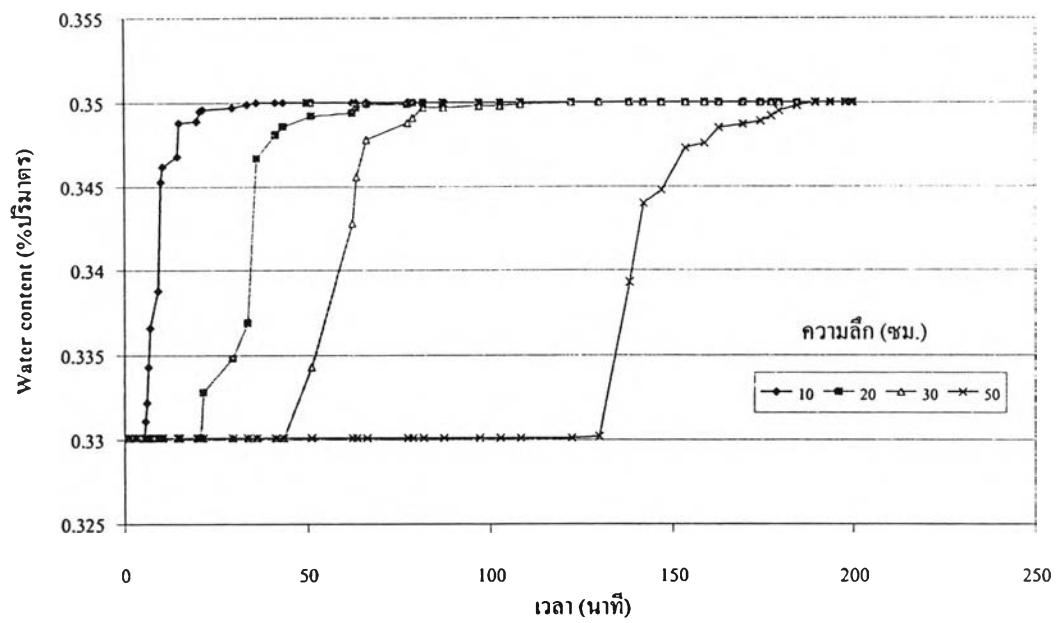


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน MH

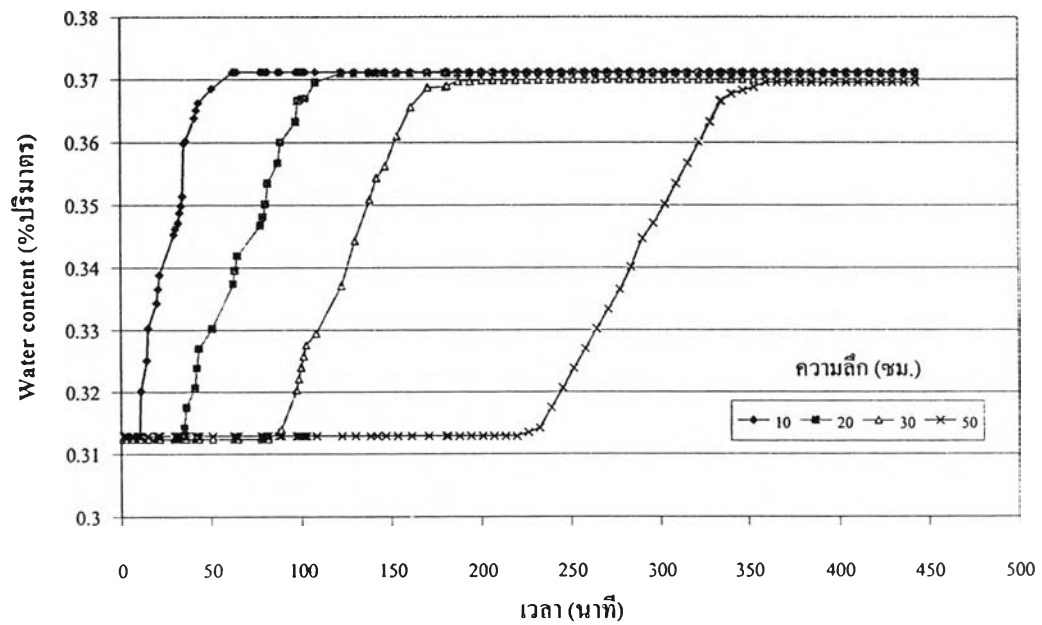


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน ML

รูปที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)



การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน CH



การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน CL

รูปที่ 4-1 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

#### 4.2 ผลการทดลองการปล่อยน้ำแบบระดับน้ำคงที่

การทดลองการปล่อยน้ำแบบระดับน้ำคงที่เป็นการจำลองสภาพของระดับน้ำที่ท่วมขังบนผิวดิน โดยในการศึกษาได้กำหนดให้มีน้ำท่วมขังอยู่บนผิวดิน 5 ซม. จนดินในถังอิมตัวด้วยน้ำจึงหยุดปล่อยน้ำที่ไหลเต็มจากที่ปล่อยน้ำหยดด้านบน ซึ่งผลการทดลองการปล่อยน้ำแบบระดับน้ำคงที่

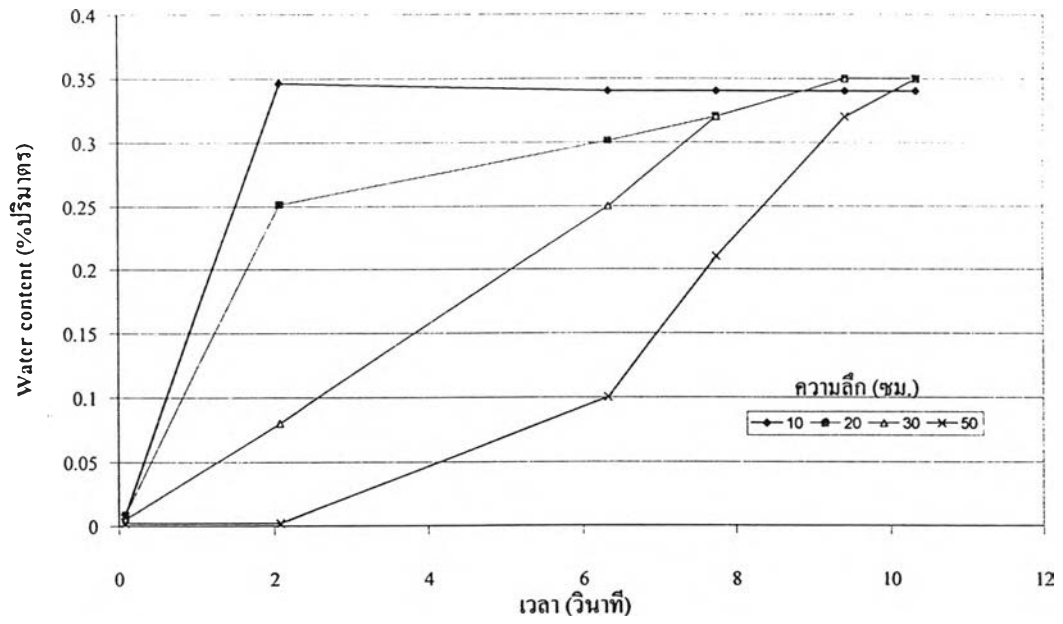
จากรูปที่ 4-2 การเติมน้ำในดินโดยกำหนดระดับน้ำคงที่พบว่าดินมีความชื้นเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ และอิมตัวจากด้านบนลงสู่ด้านล่าง โดยดินทุกประเภทจะมีการอิมตัวตลอดทั้งถึงสแตนเลส

ดินประเภท SP มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน โดยดินด้านบนอิมตัวก่อนดินที่อยู่ด้านล่างและดินภายในถึงสแตนเลสใช้เวลาในการอิมตัวค่อนข้างรวดเร็ว

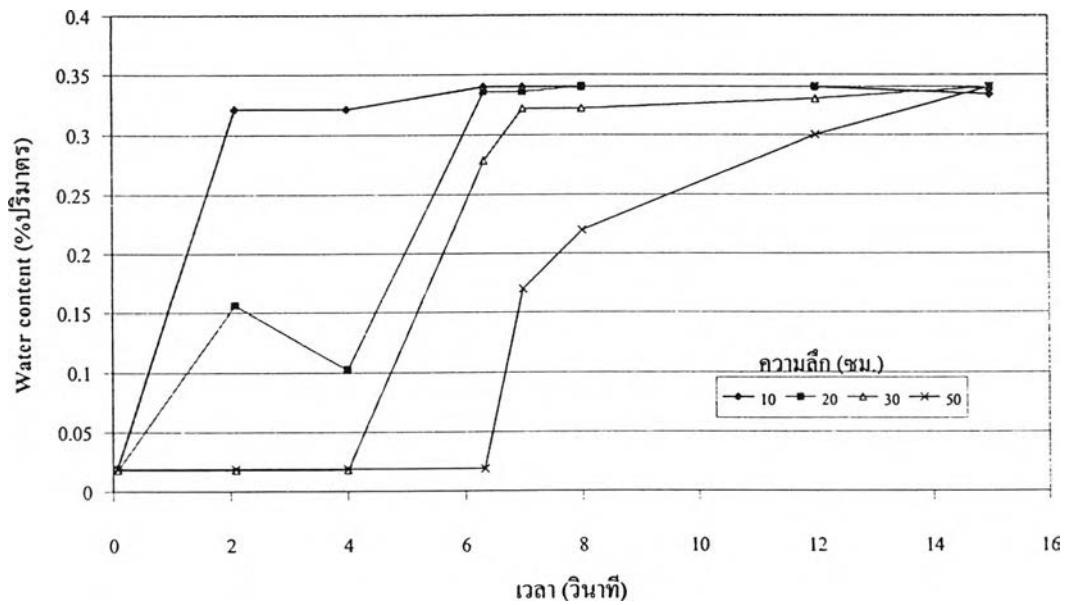
ดินประเภท SW มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินมีลักษณะคล้ายกับการเปลี่ยนแปลงในดินประเภท SP คือ ดินด้านบนอิมตัวก่อนดินด้านล่างและใช้เวลาค่อนข้างเร็ว การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินที่ระดับความลึก 20 เซนติเมตร มีปริมาณน้ำในดินลดลงเมื่อเวลาผ่านไป 4 วินาที แล้วจึงเพิ่มขึ้นตามปกติ ซึ่งเป็นการเปลี่ยนแปลงที่เกิดจากการไหลของน้ำผ่านตัวอย่างดินเป็นแบบไม่สม่ำเสมอ

ดินประเภท MH และ ML มีการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินโดยมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงใกล้เคียงกัน โดยดินประเภท MH ใช้เวลาในการอิมตัวนานกว่าดินประเภท ML ประมาณ 20 นาที

ดินประเภท CH และ CL มีการเปลี่ยนแปลงคือดินบริเวณด้านบนอิมตัวก่อน จากนั้นจึงค่อย ๆ ซึมผ่านลงมาสู่บริเวณด้านล่างจนอิมตัวตามระดับความลึก โดยดินประเภท CH ใช้เวลาในการอิมตัวเร็วกว่าดินประเภท CL ลักษณะการเปลี่ยนแปลงในดินประเภท CL ที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร พบว่าปริมาณน้ำในดินมีการเปลี่ยนแปลงเพิ่มขึ้นและลดลงในช่วงเวลาประมาณ 20 นาที เนื่องจากดินเหนียวเมื่อระบายน้ำออกจะเกิดรอยแยกขึ้น เมื่อน้ำซึมมาถึงรอยแยกปริมาณน้ำในดินจึงเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว จนดินเหนียวเกิดการจัดเรียงตัวของอนุภาคใหม่ ปริมาณช่องว่างระหว่างอนุภาคลดลง ทำให้ปริมาณน้ำในดินมีปริมาณลดลงด้วย

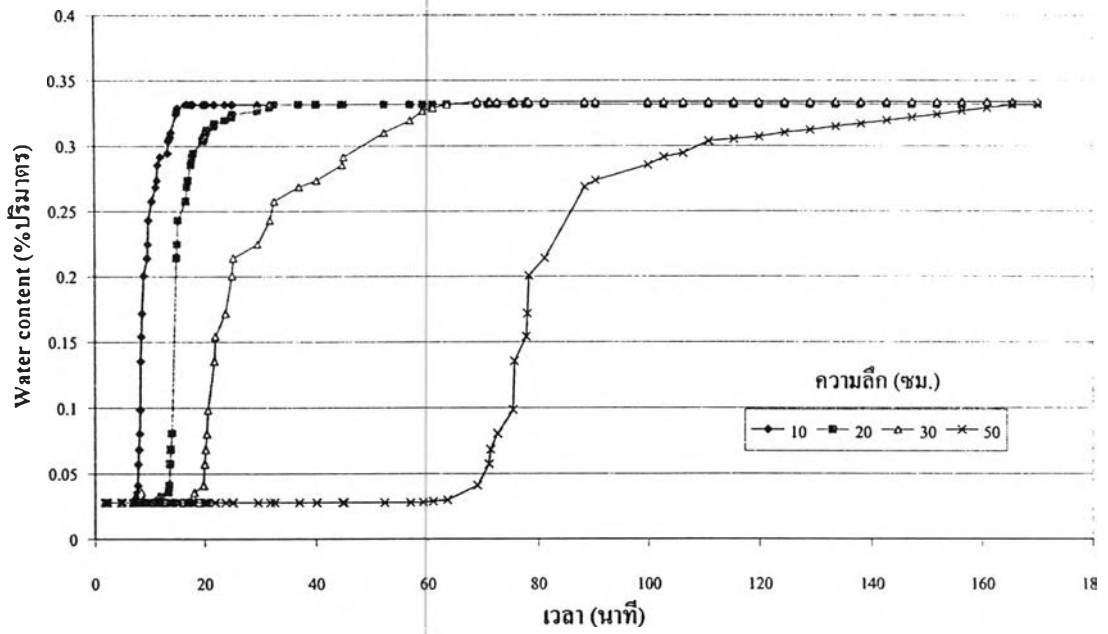


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน SP

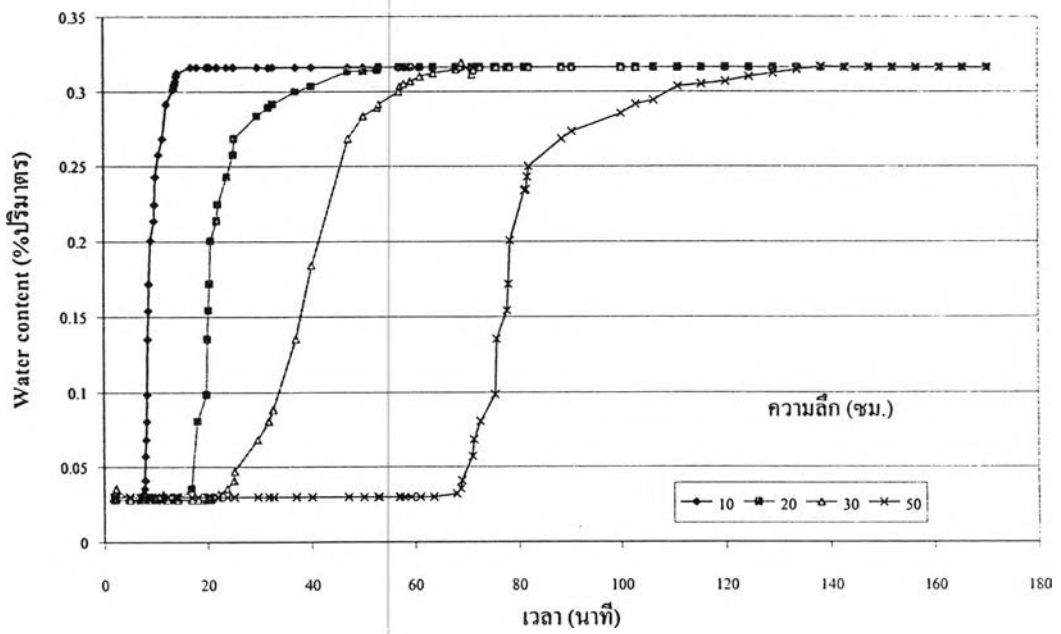


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน SW

รูปที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่



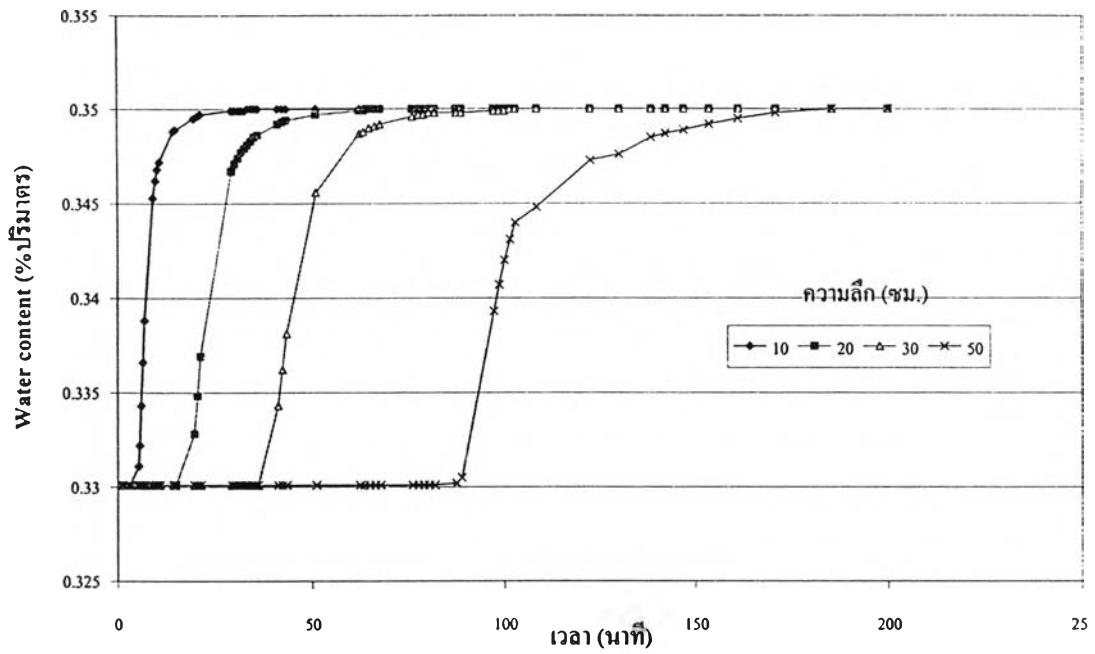
การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน MH



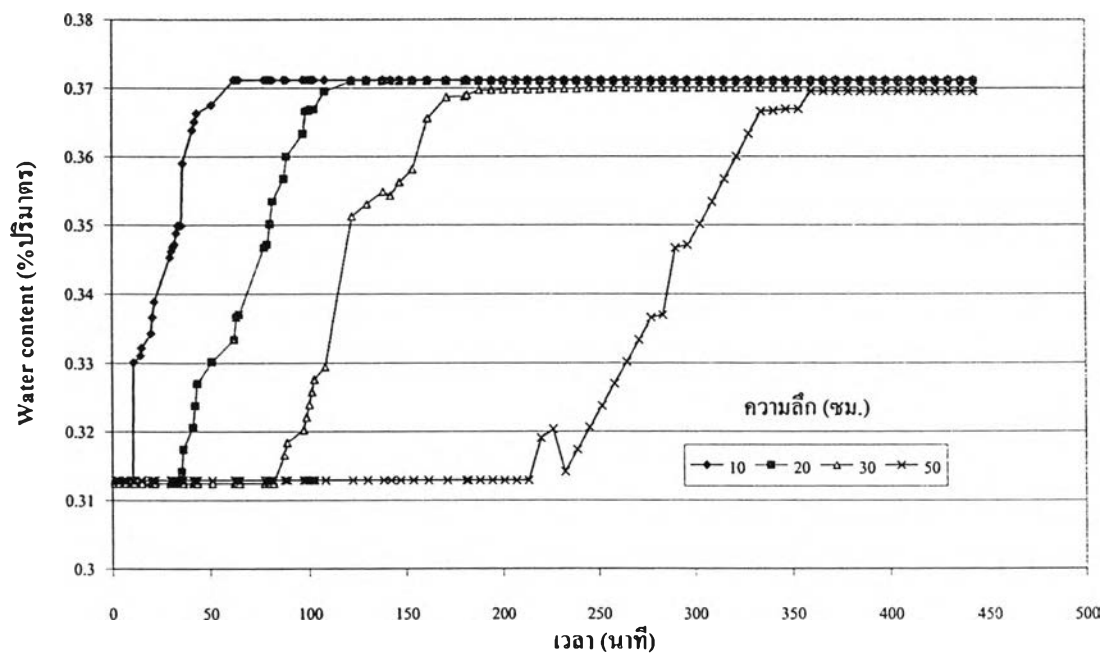
การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน ML

รูปที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)





การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน CH



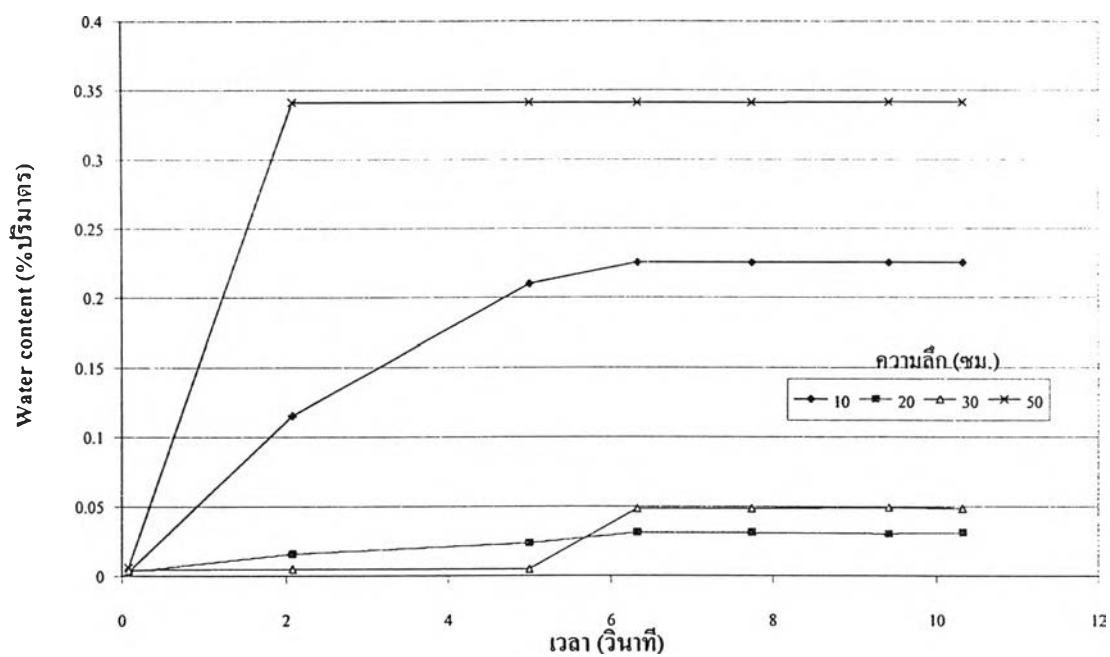
การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน CL

รูปที่ 4-2 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่(ต่อ)

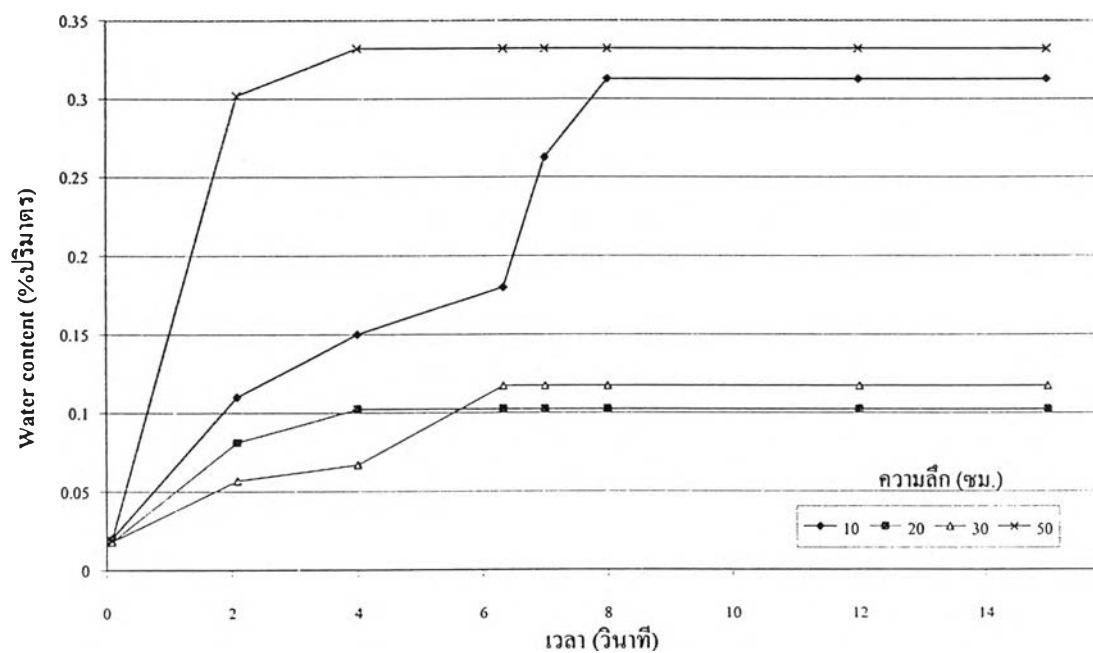
#### 4.3 ผลการทดลองการปล่อยน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน

การทดลองปล่อยน้ำลงสู่ถังที่มีระดับน้ำใต้ดินเป็นการศึกษาถึงการเคลื่อนตัวของน้ำในบริเวณที่อยู่ใกล้กับระดับน้ำใต้ดิน โดยการทดลองได้กำหนดให้มีระดับน้ำใต้ดินซึ่งอยู่ด้านล่างของถังสแตนเลส 5 ซม. (กำหนดจากตำแหน่งของเซ็นเซอร์) ในด้านบนของถังสแตนเลสมีการเติมน้ำจากที่ปล่อยน้ำหยดลงมาในถังสแตนเลสจนดินอิ่มตัว แล้วจึงหยุดปล่อยน้ำหยดและสังเกตการณ์เปลี่ยนแปลงของปริมาณน้ำในดินต่อไป

จากรูปที่ 4-3 เห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจะมีลักษณะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ จากดินด้านบนลงสู่ด้านล่าง โดยดินที่ระดับความลึก 10, 20 และ 30 เซนติเมตร จะมีลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นคล้ายกับการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ แต่ในดินที่ระดับความลึก 50 เซนติเมตร ซึ่งอยู่ติดกับระดับน้ำใต้ดิน พบว่ามีค่าปริมาณน้ำในดินเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ก่อนที่ดินจากการเติมน้ำด้านบนจะซึมลงมาถึง

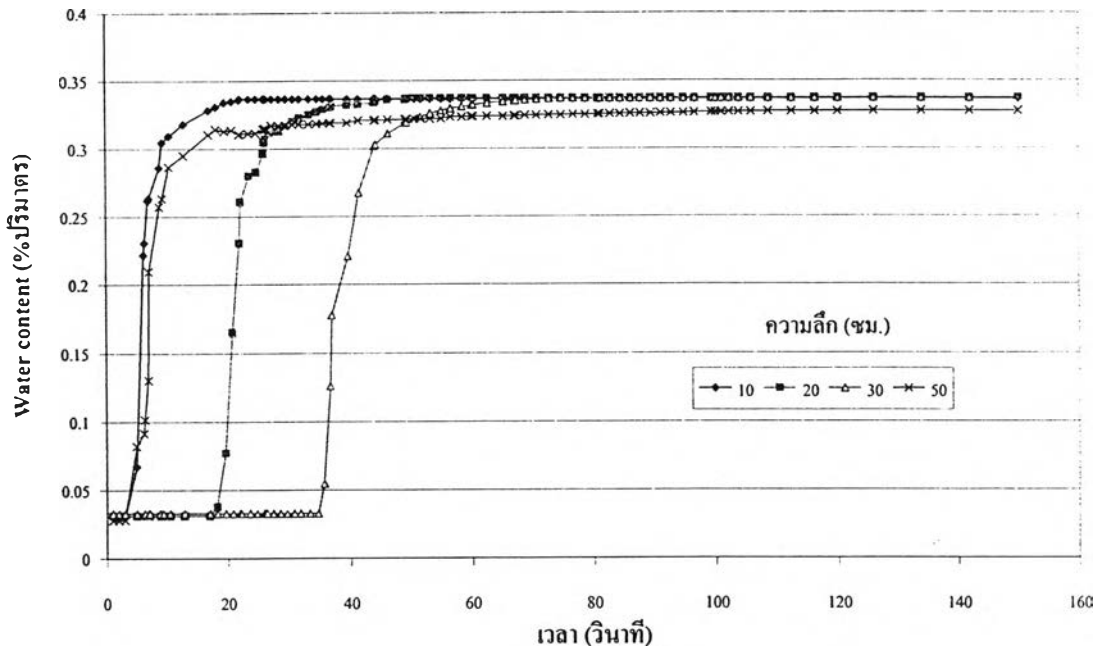


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน SP

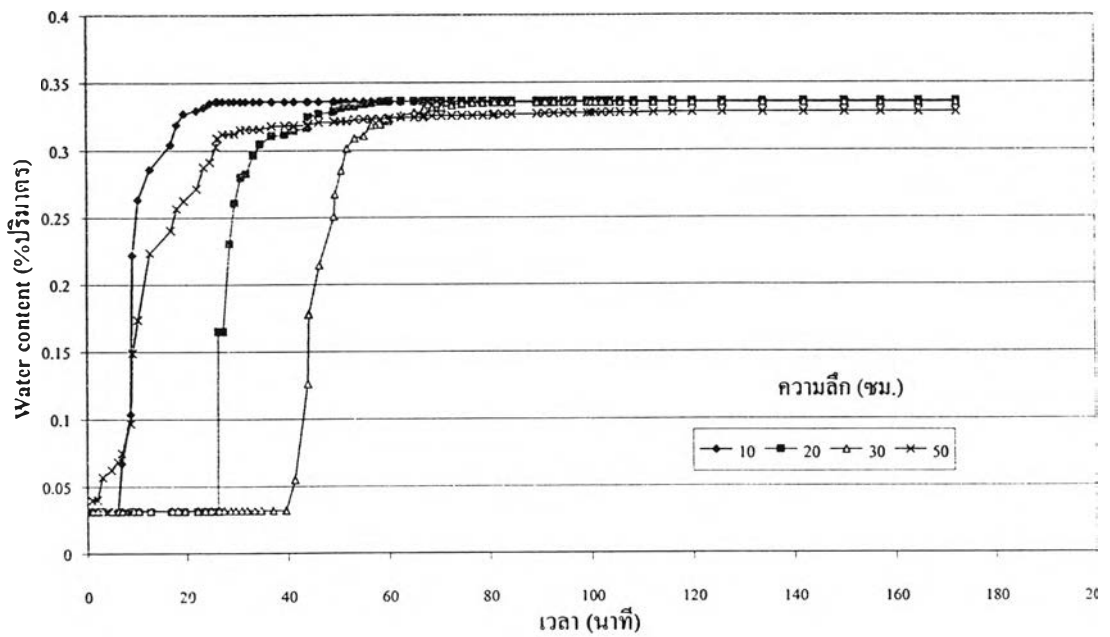


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน SW

รูปที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน

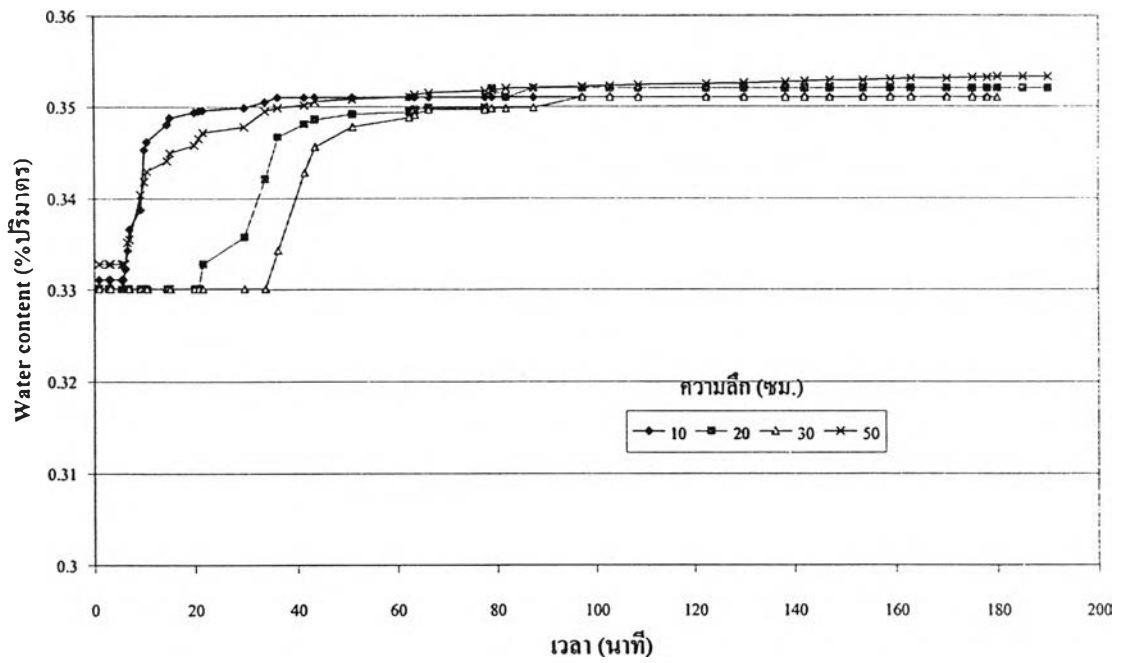


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน MH

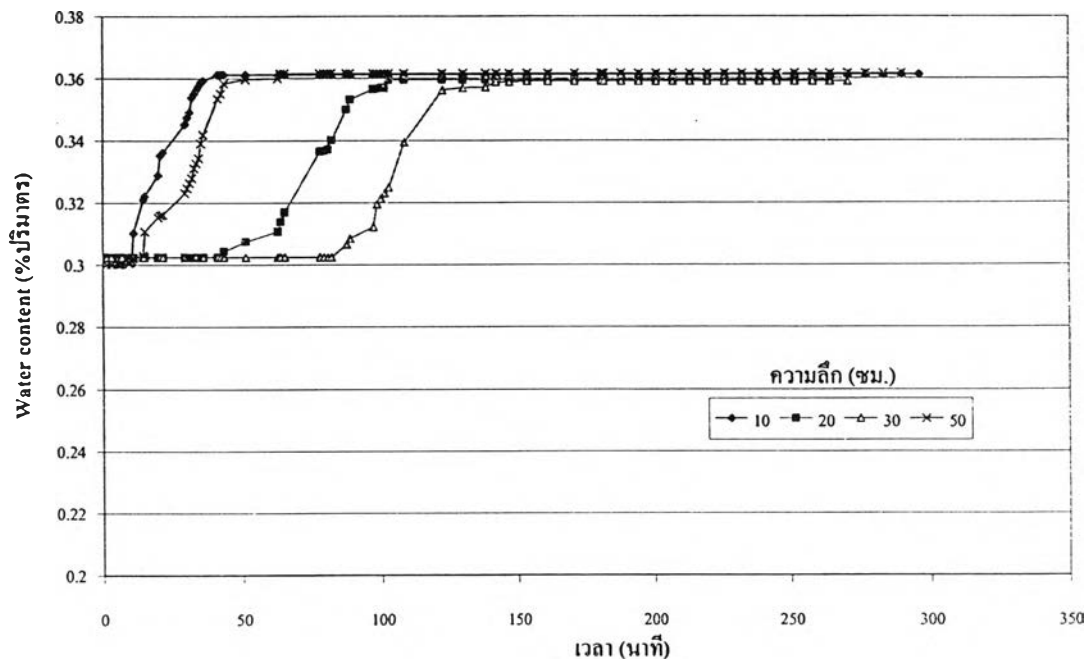


การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน ML

รูปที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)



การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน CH



การเปลี่ยนแปลงค่าความชื้นในดิน CL

รูปที่ 4-3 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน(ต่อ)

#### 4.4 สรุปผลการทดลองแบบจำลองกายภาพ

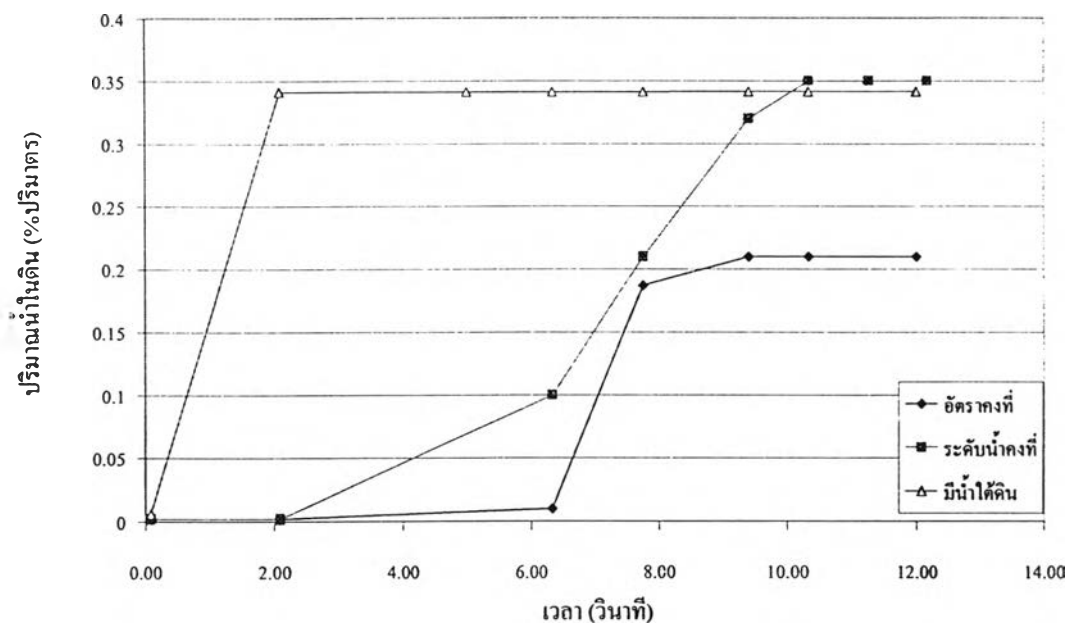
การทดลองในแบบจำลองกายภาพสามารถสรุปลักษณะการไหลของน้ำในสภาพการเติมน้ำแบบต่าง ๆ ได้ดังนี้

##### 4.4.1 รูปแบบการเติมน้ำ

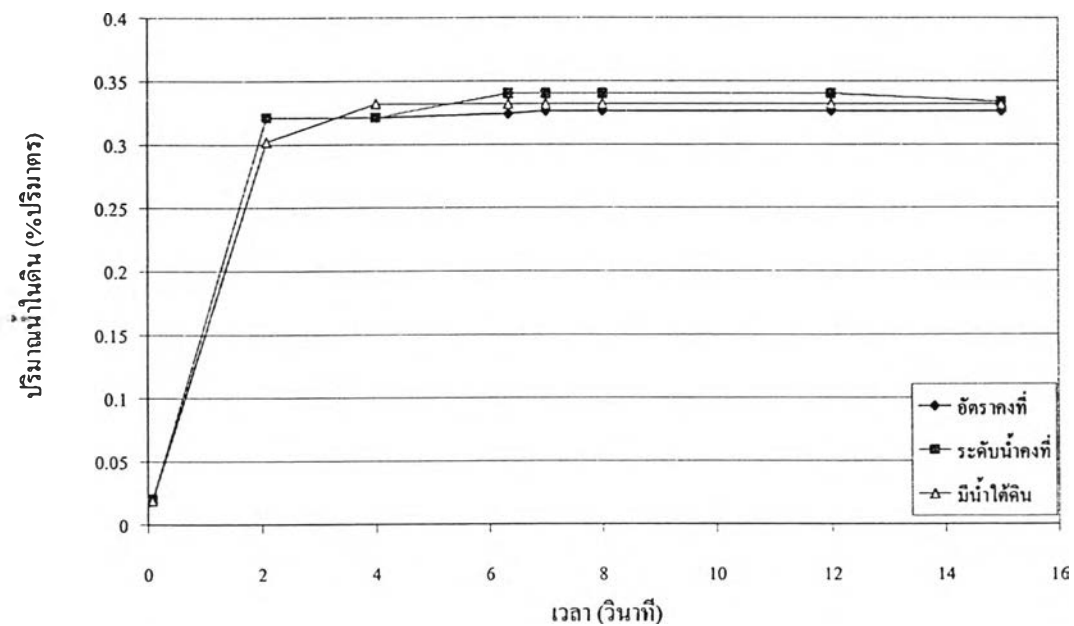
จากการทดลองพบว่าเวลาที่ดินแต่ละชนิดใช้ในการอิ่มตัวในแต่ละการทดลองนั้นใช้เวลาไม่เท่ากัน และดินที่อยู่ภายในถังสแตนเลสใช้เวลาในการอิ่มตัวนั้นก็ไม่เท่ากัน ดังแสดงในรูปที่ 4-4 จากการวิเคราะห์เกี่ยวกับลักษณะการเติมน้ำพบว่าการเติมน้ำแบบอัตราคงที่ และการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่มีการเคลื่อนตัวของน้ำในลักษณะใกล้เคียงกันแต่ใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนตัวแตกต่างกัน ส่วนการเคลื่อนตัวของน้ำในการเติมน้ำแบบมีระดับน้ำได้ดินพบว่าดินที่อยู่บริเวณส่วนล่างของถังสแตนเลสจะถึงความชื้นจากระดับน้ำได้ดินขึ้นมาจนอิ่มตัวในขณะที่การเติมน้ำจากด้านบนยังเคลื่อนตัวลงมาไม่ถึงทำให้ใช้ระยะเวลาในการอิ่มตัวน้อยกว่าการเติมน้ำแบบอื่น ๆ (แสดงในรูปที่ 4-7) ซึ่งจะสังเกตเห็นได้ชัดเจนในดินประเภท CH, CL, MH และ ML ส่วนในดินประเภท SP และ SW ใช้เวลาในการเคลื่อนตัวน้อยทำให้เห็นความแตกต่างไม่ชัดเจนมากนัก

##### 4.4.2 ปริมาณน้ำในดิน

จากผลการทดลองเห็นได้ว่าลักษณะการเปลี่ยนแปลงความชื้นของดินบริเวณที่อยู่ใกล้น้ำจะมีความชื้นเพิ่มสูงขึ้นเรื่อย ๆ จนถึงค่าความชื้นระดับหนึ่งดินจะเริ่มอิ่มตัว โดยค่าพารามิเตอร์ที่ใช้วัดการอิ่มตัวของน้ำคือ Saturated water content,  $\Theta_s$  โดยดินแต่ละประเภทจะมีค่าไม่เท่ากัน ซึ่งสามารถสรุปค่าปริมาณน้ำในดิน ดังแสดงในตารางที่ 4-2 ลักษณะการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินภายในถังสแตนเลสมีการเปลี่ยนแปลงตามเวลา คือ ดินทรายจะใช้เวลาในการอิ่มตัวน้อยกว่าดินตะกอนและดินเหนียวตามลำดับ (ดังแสดงในรูปที่ 4-5 ถึง รูปที่ 4-7)

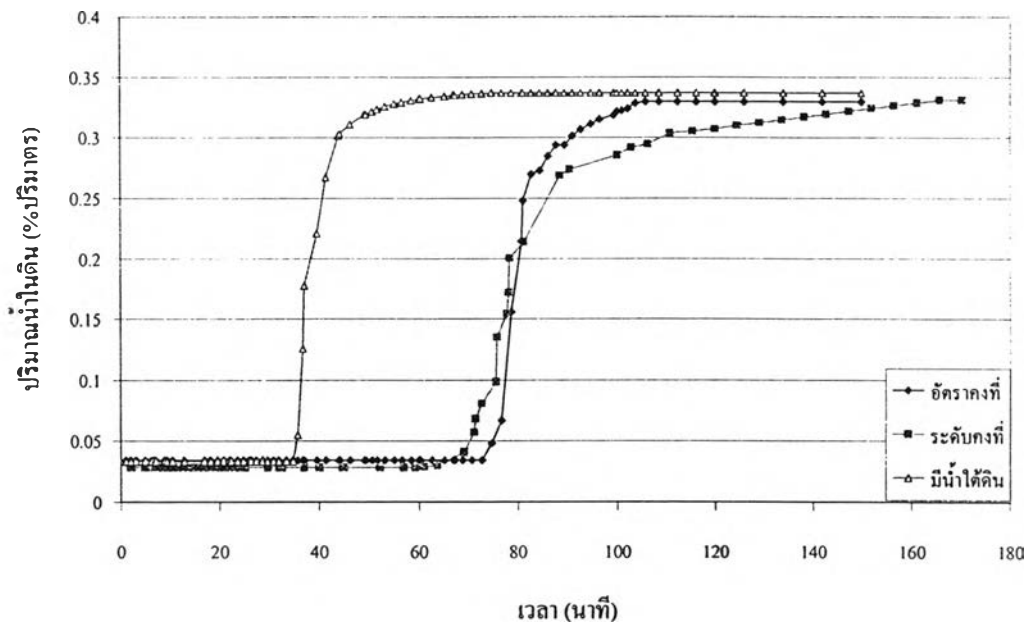


การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ ในดินประเภท SP

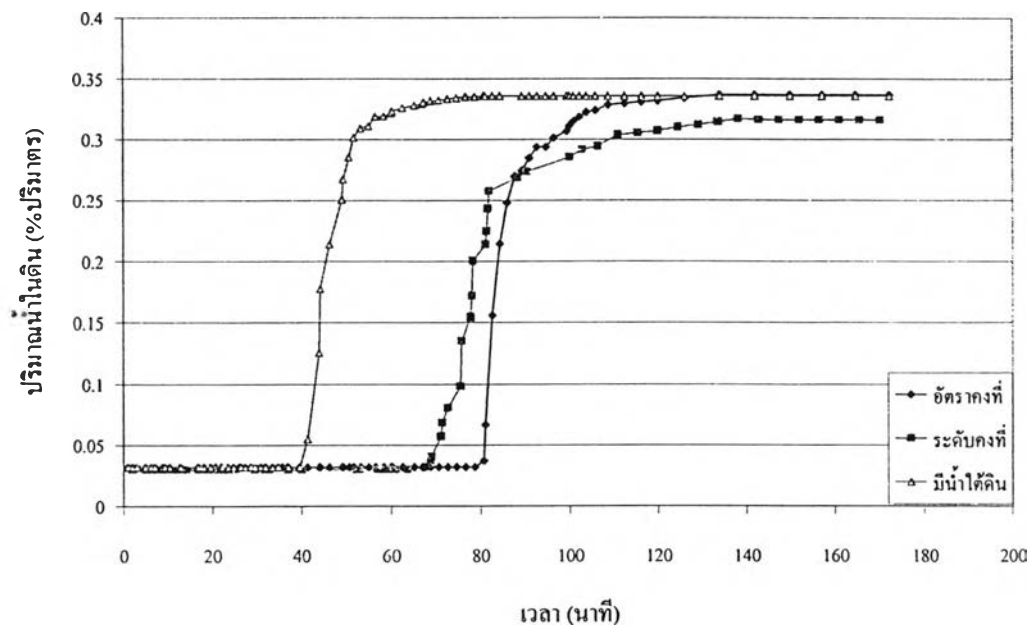


การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ ในดินประเภท SW

รูปที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ



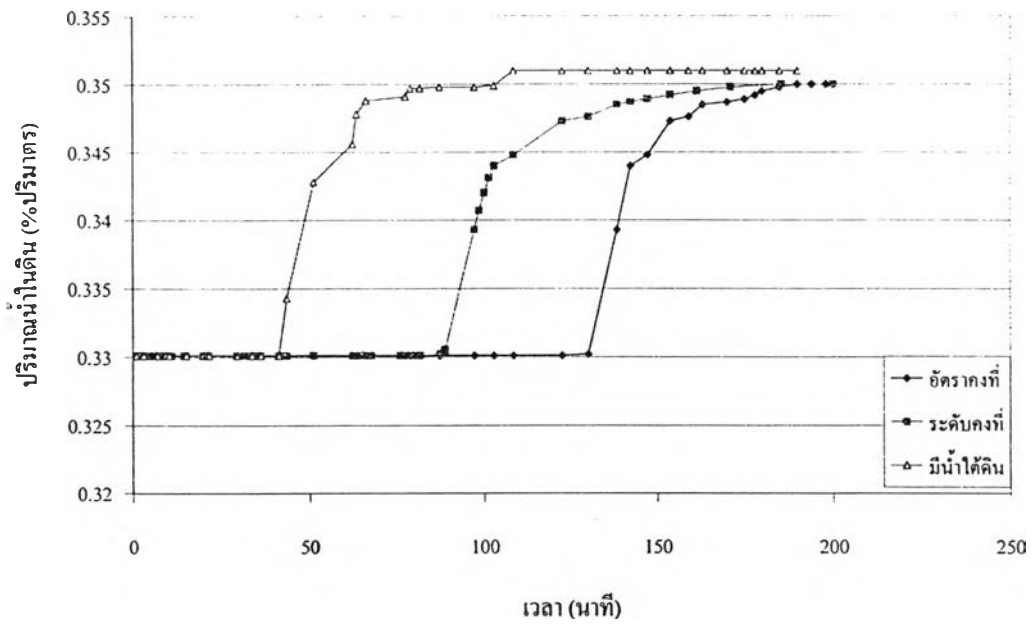
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ ในดินประเภท MH



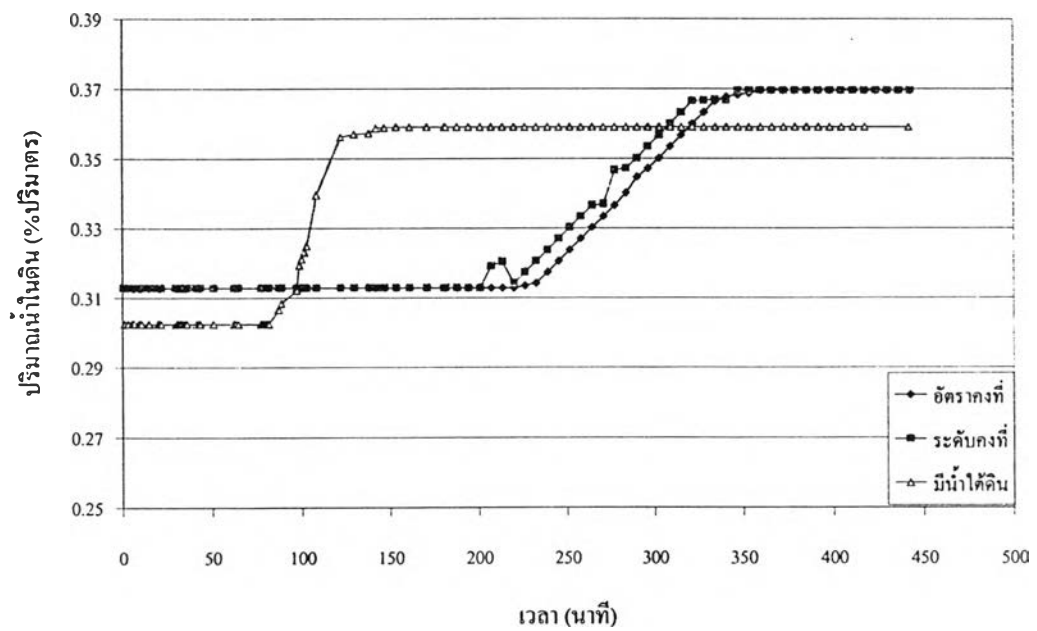
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ ในดินประเภท ML

รูปที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ (ต่อ)





การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ ในดินประเภท CH



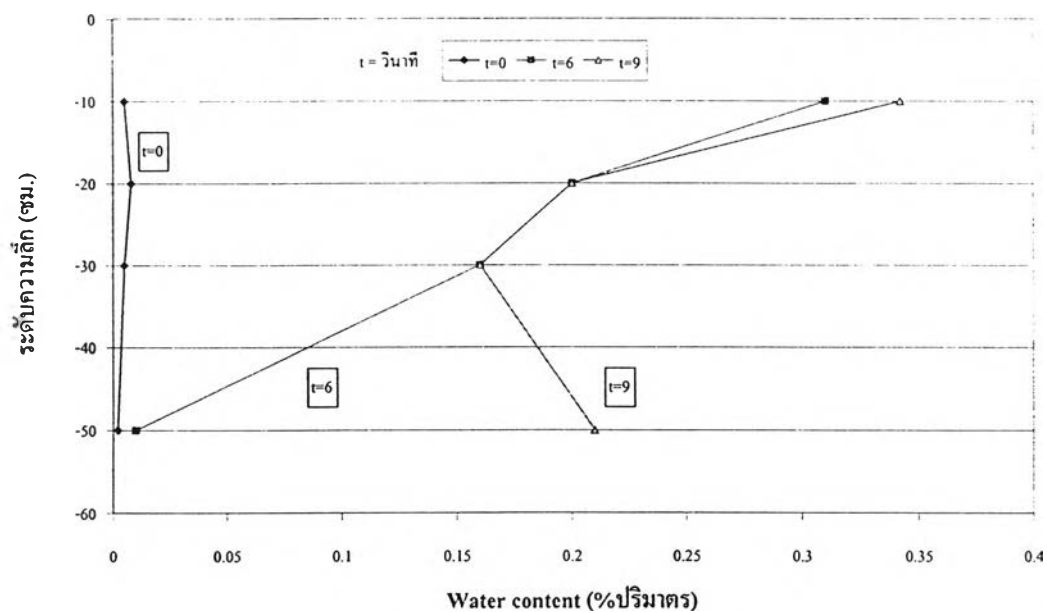
การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ ในดินประเภท CL

รูปที่ 4-4 การเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินจากการเติมน้ำแบบต่าง ๆ (ต่อ)

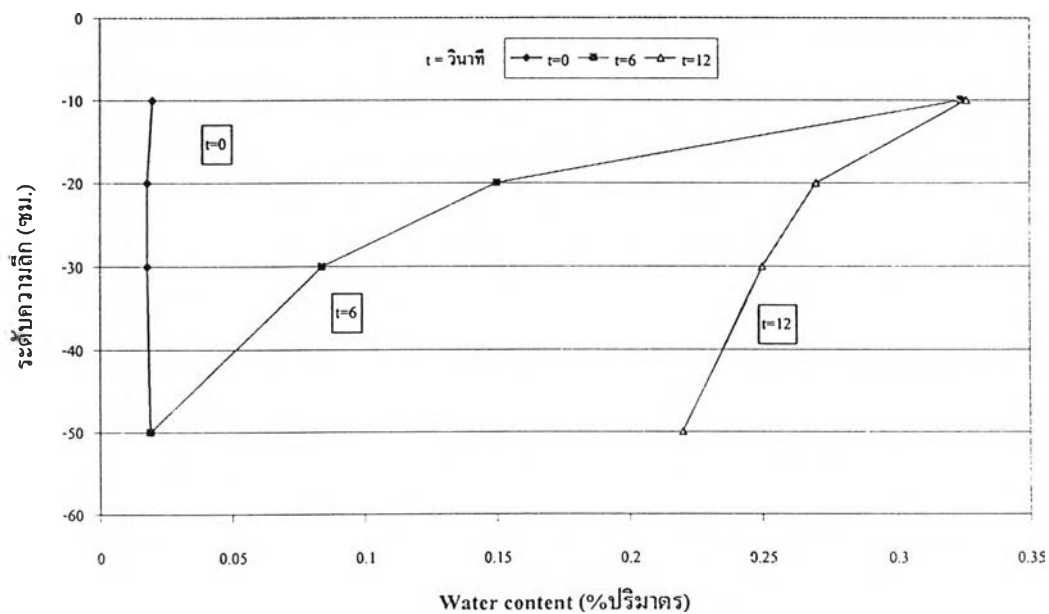
ตารางที่ 4-2 ค่าปริมาณน้ำในดินจากการทดลองในแบบจำลองกายภาพ

Soil type	ขนาด อนุภาค (มิลลิเมตร)	ปริมาณน้ำในดิน, $\theta$ (%ปริมาตร)					
		แบบอัตราคงที่		แบบระดับน้ำคงที่		แบบมีระดับน้ำใต้ดิน	
		$\theta_r$	$\theta_s$	$\theta_r$	$\theta_s$	$\theta_r$	$\theta_s$
SP	2.57	0.005	0.342	0.008	0.350	0.003	0.341
SW	2.35	0.020	0.326	0.018	0.340	0.020	0.313
ML	0.036	0.031	0.337	0.028	0.316	0.031	0.337
MH	0.042	0.033	0.337	0.028	0.334	0.033	0.337
CL	0.0017	0.312	0.371	0.312	0.371	0.302	0.362
CH	0.0013	0.330	0.350	0.330	0.350	0.331	0.353

### การเติมน้ำแบบอัตราคงที่

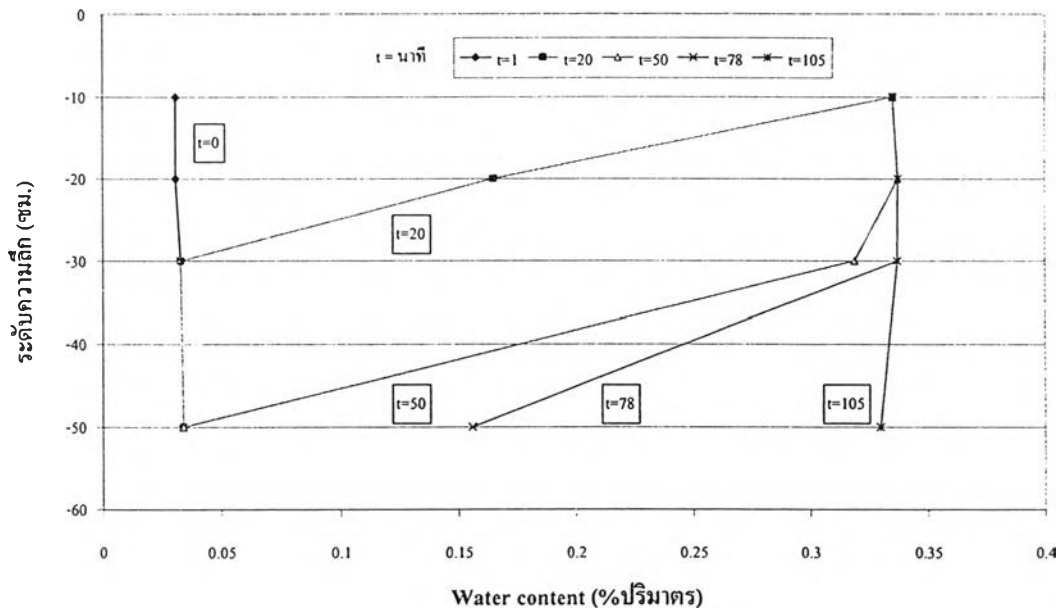


### การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด SP

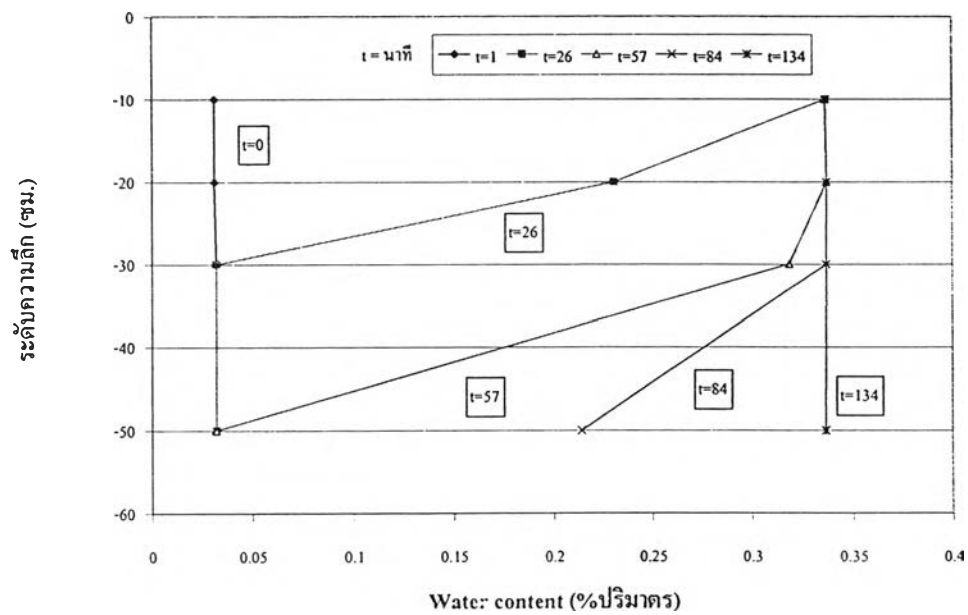


### การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด SW

รูปที่ 4-5 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่

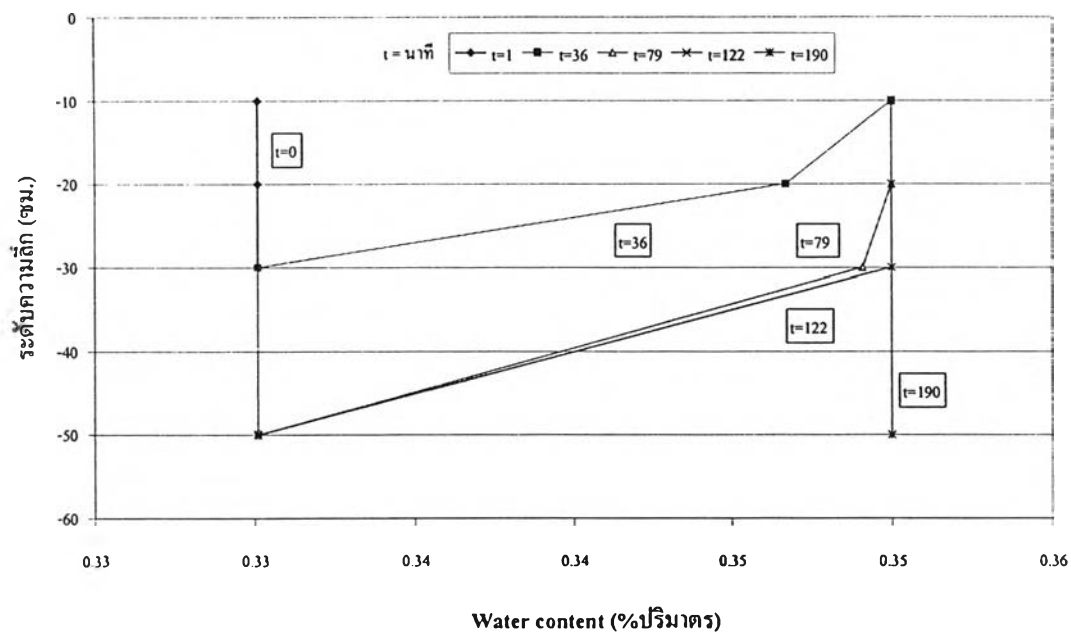


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด MH

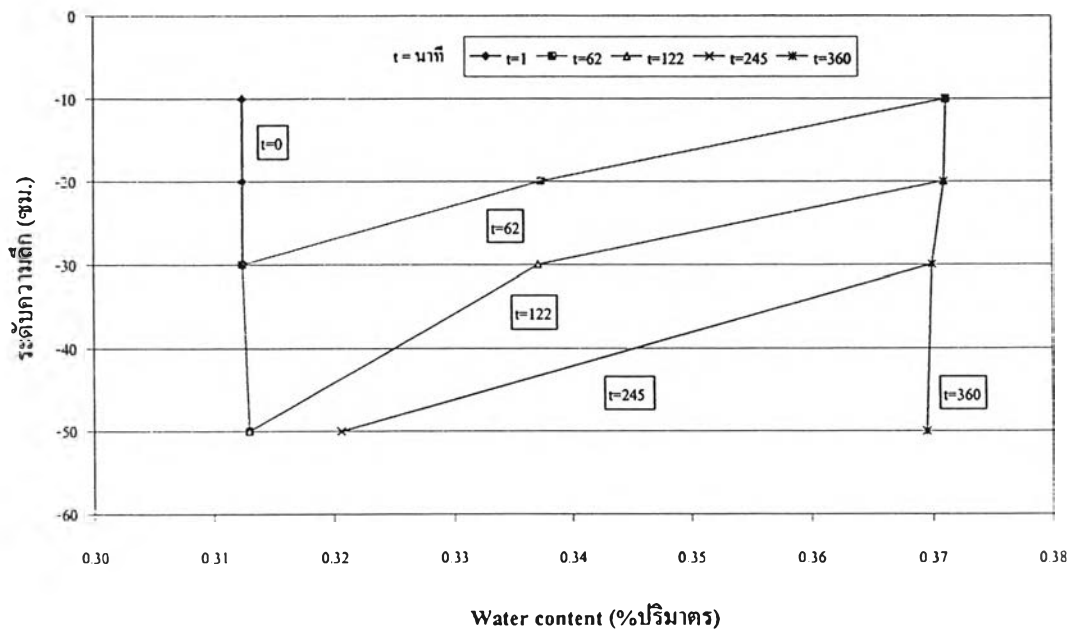


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด ML

รูปที่ 4-5 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้เ็นการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)



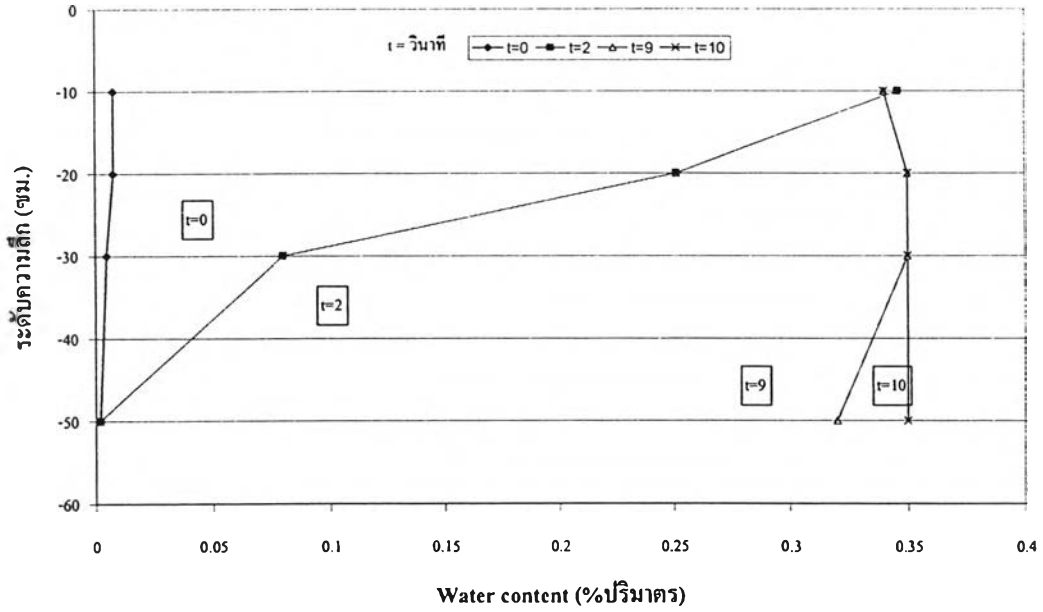
การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด CH



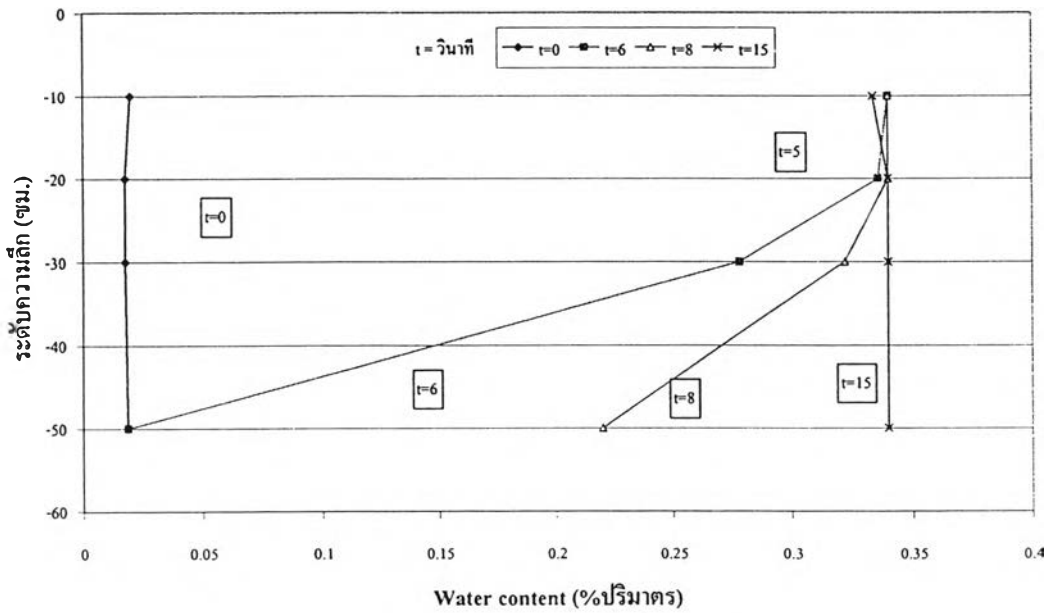
การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด CL

รูปที่ 4-5 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่(ต่อ)

การเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่

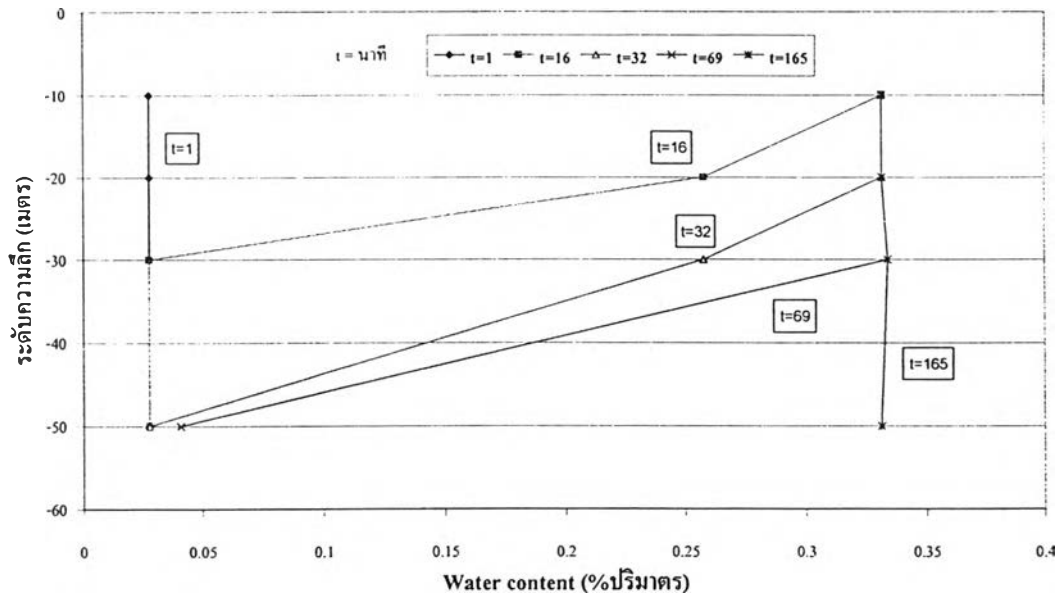


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด SP

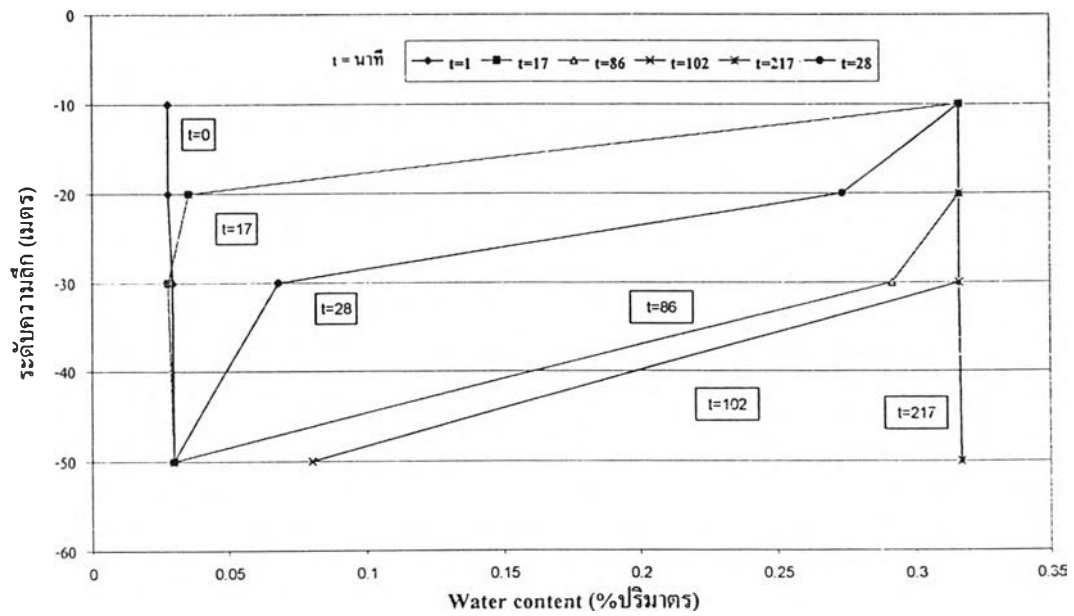


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด SW

รูปที่ 4-6 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอัดตัวในการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่

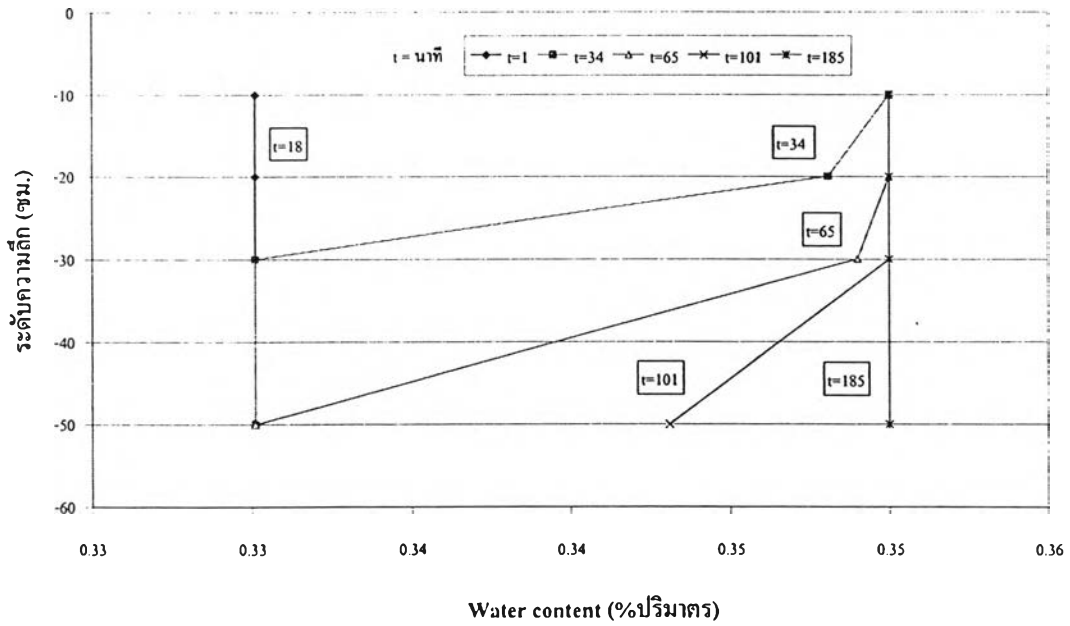


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด MH

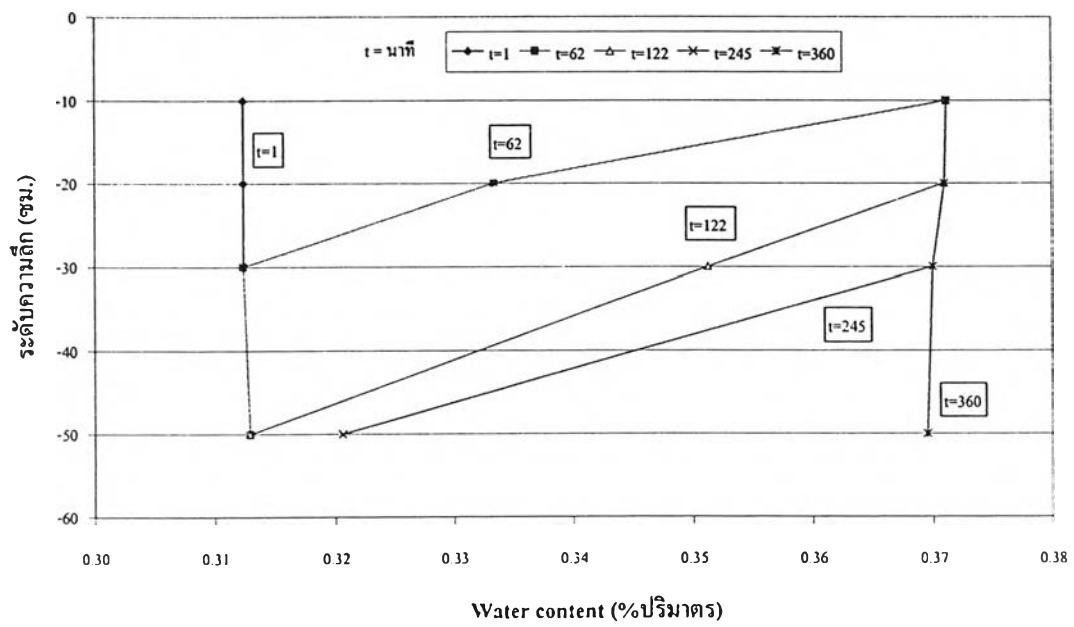


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด ML

รูปที่ 4-6 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ (ต่อ)



การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด CH

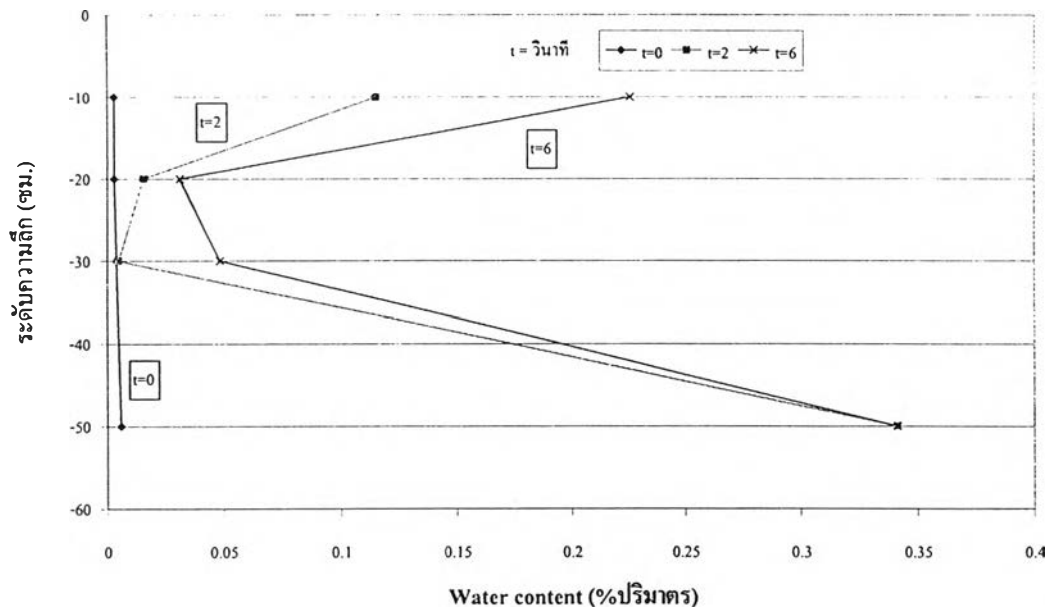


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด CL

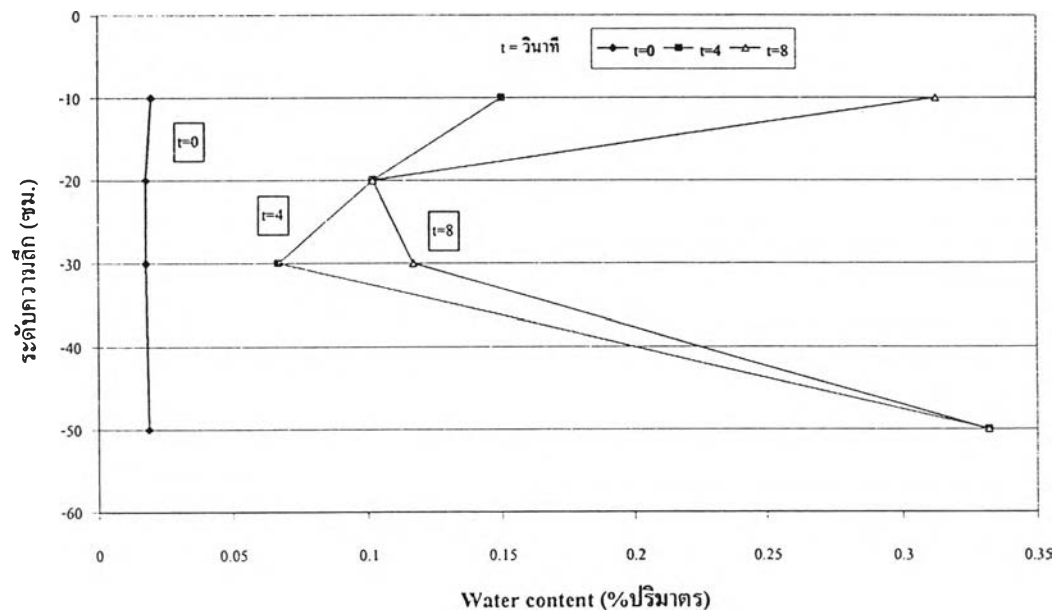
รูปที่ 4-6 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวเินการเติมน้ำแบบระดับน้ำคงที่ (ต่อ)



การเติมน้ำแบบมีระดับน้ำใต้ดิน

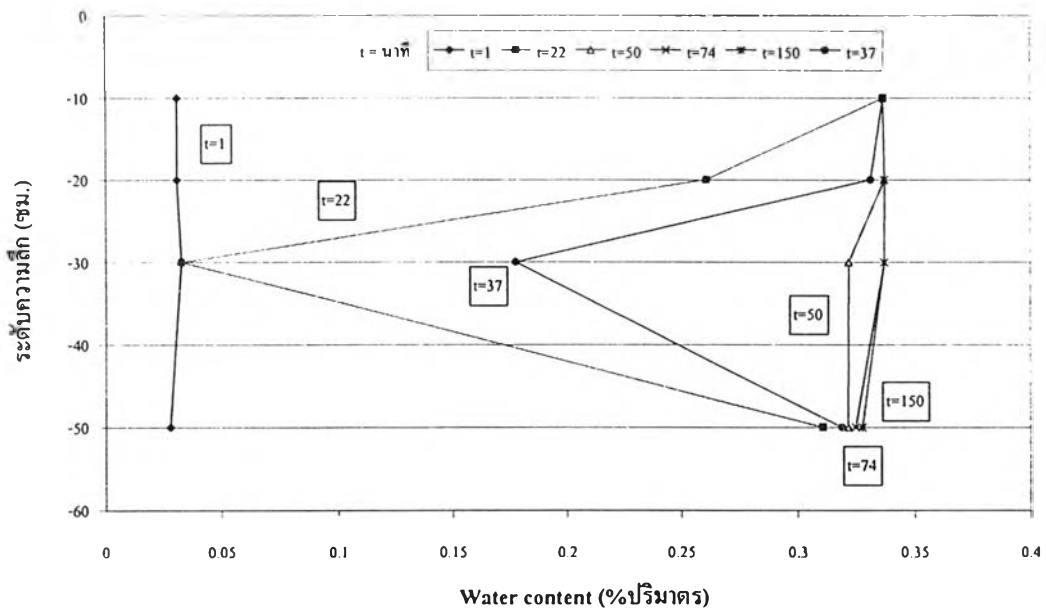


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด SP

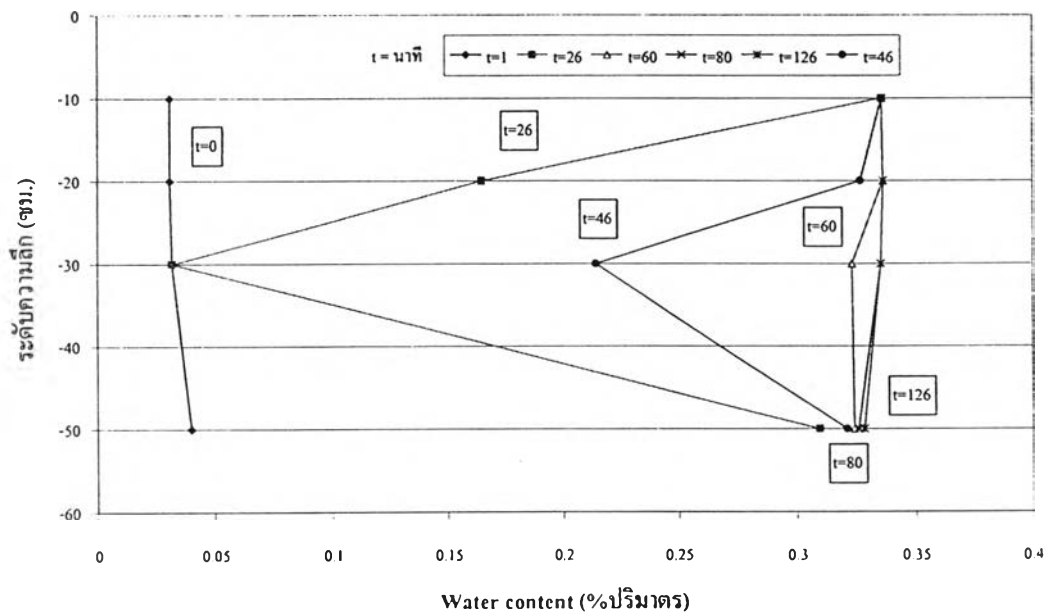


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด SW

รูปที่ 4-7 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอัดตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน

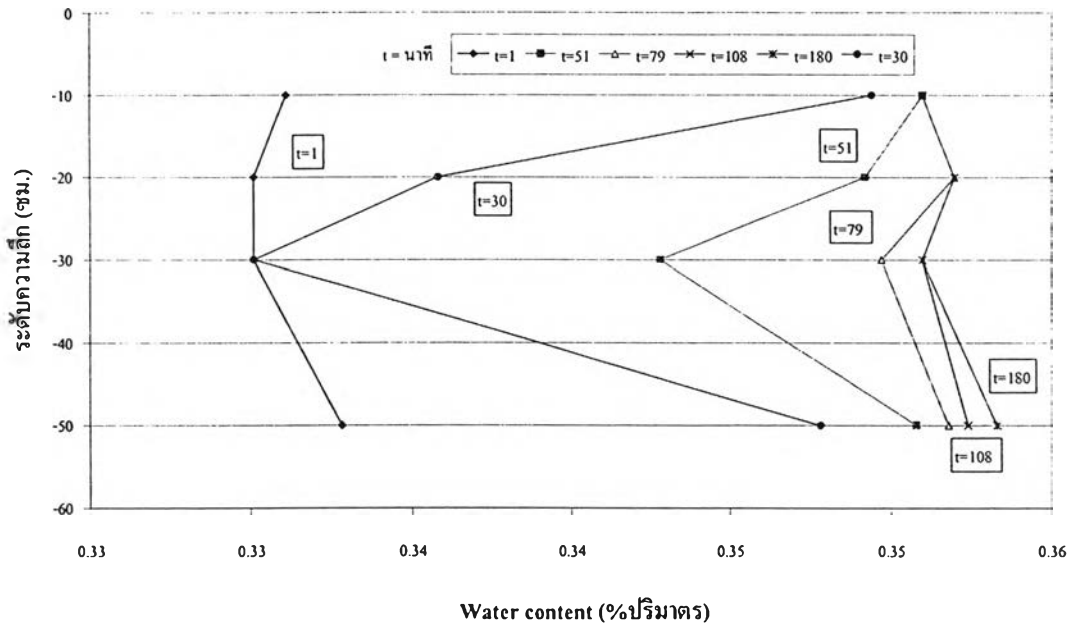


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด MH

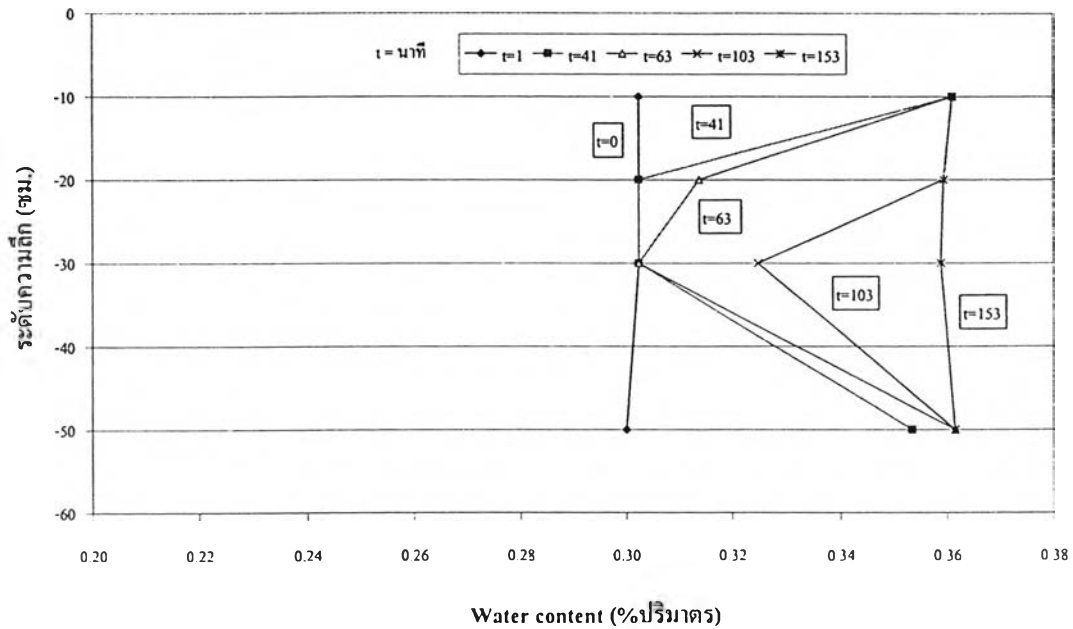


การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด ML

รูปที่ 4-7 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอัดตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน (ต่อ)



การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด CH



การเปลี่ยนแปลงความชื้นในดินชนิด CL

รูปที่ 4-7 เวลาที่ดินแต่ละระดับความลึกใช้ในการอิ่มตัวในการเติมน้ำแบบอัตราคงที่และมีระดับน้ำใต้ดิน (ต่อ)

ตารางที่ 4-3 ค่าเวลาที่ใช้ในการอิ่มตัวของน้ำในดินแต่ละชนิดจากการทดลองในแต่ละระดับความลึก

ชนิดดิน	ขนาด อนุภาค (มิลลิเมตร)	เวลาที่ใช้ในการอิ่มตัว, $t_0$ (นาที)											
		แบบอัตราคงที่ ที่ระดับความลึก(ซม.)				แบบระดับน้ำคงที่ ที่ระดับความลึก(ซม.)				แบบมีระดับน้ำใต้ดิน ที่ระดับความลึก (ซม.)			
		10	20	30	50	10	20	30	50	10	20	30	50
SP	2.57	0.130	0.172	0.130	0.157	0.035	0.157	0.157	0.175	0.105	0.105	0.157	0.035
SW	2.35	0.117	0.117	0.117	0.200	0.105	0.133	0.250	0.250	0.133	0.067	0.105	0.035
ML	0.036	20.8	50.7	78.7	105.8	16.7	32.6	69.0	165.0	22.2	50.0	74.7	19.0
MH	0.042	26.0	56.0	84.4	134	16.9	53.0	72.6	142.9	26.4	60.3	80.7	50.7
CH	0.0013	36.2	79.0	122.0	190.0	33.7	65.0	101.0	185.0	51.0	87.5	108.4	180.0
CL	0.0017	60.0	130.0	251.8	366.5	62.5	122.4	245.4	360.0	41.4	102.8	153.7	63.6

#### 4.4.3 เวลาที่ใช้ในการอัดตัว

เวลาที่ใช้ในการอัดตัวของดินแต่ละระดับความลึก และรูปแบบการเติมน้ำแสดงในตารางที่ 4-3 เห็นได้ว่า ดินที่มีอักษรตัวหน้าเป็น S ซึ่งหมายถึง ทราย จะใช้เวลาในการอัดตัวเร็วกว่าดิน อักษรตัวหน้าเป็น M ซึ่งหมายถึงดินตะกอน และ C ซึ่งหมายถึง ดินเหนียว ตามลำดับ นอกจากนี้ จากผลการทดลองยังเห็นได้ว่าที่ระดับความลึกต่าง ๆ ส่วนใหญ่ดินที่มีลักษณะอักษรตัวหลังเป็น H ซึ่งหมายถึงมีค่าความเหนียวสูง (High liquid limit) จะใช้ระยะเวลาในการอัดตัวนานกว่าดินที่มี ลักษณะอักษรตัวหลังเป็น L ซึ่งหมายถึงมีค่าความเหนียวต่ำ (Low liquid limit)