

อิทธิพลของสารละลายที่มีต่อคุณสมบัติการพองตัวและการซึมผ่านของ แผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว

Effect of Permeated Liquid on the Swell Volume and Permeability of Geosynthetic Clay Liner

วีรยา ฉิมอ้อย และอนเนกพงศ์ ธรรมาธิวัฒน์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ศูนย์รังสิต ปทุมธานี 12120

บทคัดย่อ

การใช้แผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียวในการป้องกันการปนเปื้อนของน้ำใต้ดินจากการซึมของน้ำชะมูลฝอยเป็นวิธีที่นิยมในปัจจุบัน การวิจัยนี้ศึกษาถึงอิทธิพลของชนิดของสารละลายโดยใช้สารละลายที่เป็นธาตุประจุเดี่ยว (LiCl , NaCl และ KCl) ธาตุประจุคู่ (CaCl_2 , MgCl_2 , ZnCl_2 และ CuCl_2) และธาตุสามประจุ (FeCl_3) ความเข้มข้นของสารละลาย CaCl_2 และค่า pH ของสารละลายต่อค่าปริมาตรการพองตัวและค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว โดยใช้การทดสอบการยุบอัดตัวซึ่งเป็นการทดสอบโดยอ้อมเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน จากผลการทดสอบปริมาตรการพองตัวพบว่าปริมาตรการพองตัวในสารละลายธาตุประจุเดี่ยวจะมีค่ามากกว่าธาตุประจุคู่ และธาตุสามประจุ ที่ความเข้มข้นเดียวกัน และปริมาตรการพองตัวมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายเพิ่มขึ้น ในกรณีของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านพบว่าที่ความเข้มข้นของสารละลายเท่ากันจะได้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงเมื่อประจุของธาตุในสารละลายเพิ่มขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่ามากขึ้น และค่า pH มีผลน้อยมากกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านยกเว้นเมื่อ pH ต่ำมาก ($= 2$) และเมื่อ pH สูงมาก ($= 12$)

คำสำคัญ : แผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ปริมาตรการพองตัว สารละลาย

Abstract

Nowadays geosynthetic clay liners are frequently used as hydraulic barriers from leachate in liner for waste containment facilities. This research aims to study the effect of type of permeated liquid by using monovalent (LiCl , NaCl and KCl), divalent (CaCl_2 , MgCl_2 , ZnCl_2 and CuCl_2) and trivalent (FeCl_3) salt solutions, various concentrations of CaCl_2 and pH on swelling volume and coefficient of permeability. The consolidation test, the indirect method, was used to find the coefficient of permeability. At similar concentration, swell volume was larger with monovalent cation solutions than with divalent and trivalent cation solutions. With various concentrations, swell volumes decreased with the increasing of concentration for all solutions. For the coefficient of permeability of GCL, it is found that GCLs permeated with divalent and trivalent cations solution had higher coefficient of permeability than GCLs permeated with monovalent solutions and

deionized water. The coefficient of permeability of GCLs decreased with the increasing of concentration. Moreover, it is found that pH only influenced the coefficient of permeability when pH was very low ($=2$) or very high ($=12$).

Keywords : Geosynthetic clay liners, coefficient of permeability, swell volume, permeated liquid

1. บทนำ

ในปัจจุบันการใช้แผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของน้ำชะมูลฝอยจากบ่อฝังกลบขยะเป็นที่นิยมมาก เนื่องจากสะดวกในการก่อสร้างและมีการใช้จำง่าย [1] แผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียว ประกอบด้วยชั้นของเบนโทไนท์ (น้ำหนักต่อหน่วยพื้นที่ประมาณ 5 กิโลกรัม/ตารางเมตร) ประกบด้วยชั้นของ Geotextiles จึงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำของแผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวมีค่าต่ำ (น้อยกว่า 10^{-9} เซนติเมตร/วินาที) เนื่องจากในการใช้งานของแผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวนั้นแปรเปลี่ยนไปตามสภาวะแวดล้อม ซึ่ง [2] พบว่าเมื่อมีสารละลายอื่นมาทำปฏิกิริยากับแร่ประกอบดินเหนียวหรือเบนโทไนท์ที่อยู่ในแผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวจะทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวลดลง [3] พบว่าการแทนที่ธาตุโซเดียม (Na) ของเบนโทไนท์ด้วยธาตุอื่น ๆ จากสารละลายที่เป็นตัวกลางการซึมผ่านจะมีผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของเบนโทไนท์มีค่าเปลี่ยนไป โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่า 4.1×10^{-9} cm/sec สำหรับ LiCl และ 4.1×10^{-6} cm/sec สำหรับ $MgCl_2$ [4] ได้ศึกษาอิทธิพลของความเข้มข้นของเกลือโซเดียมที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวโดยพบว่า เมื่อความเข้มข้นของ NaCl เพิ่มขึ้นทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าเพิ่มขึ้นด้วย

การวิจัยนี้ได้ศึกษาถึงอิทธิพลของชนิดของสารละลายโดยใช้สารละลายที่เป็นธาตุประจุเดี่ยว (LiCl, NaCl และ KCl) ธาตุประจุคู่ ($CaCl_2$, $MgCl_2$, $ZnCl_2$ และ $CuCl_2$) และธาตุสามประจุ ($FeCl_3$) ความเข้มข้นของสารละลายแตกต่างกัน และค่า pH ของสารละลายต่อค่า

ปริมาตรการพองตัวและค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียว โดยใช้การทดสอบการยุบอัดตัวซึ่งเป็นการทดสอบโดยอ้อมเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

2. ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

ในการวิจัยในครั้งนี้ใช้แผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวที่มีชื่อว่า Enviromat รุ่น E 100 ผลิตภัณฑ์ประเทศออสเตรเลีย ซึ่งประกอบด้วยชั้นของโซเดียมเบนโทไนท์หนาประมาณ 3.5 มิลลิเมตร และประกบด้วยชั้นของ Geotextiles หนาประมาณ 0.5 มิลลิเมตร โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ตามที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของแผ่นโพลิเอทิลีนสังเคราะห์ที่ใช้ในงานวิจัย

Enviromat รุ่น E 100	Unit	
Swell Index	ml/2g	≥ 27
Fluid Loss	ml	≥ 15
Moisture Content	%	≤ 15
Cover Non-Woven Mass per Unit Area	g/m ²	270
Carrier Mass per Unit Area	g/m ²	110
GCL Total Mass (@ 0% moisture content)	g/m ²	4380
Bentonite Mass (@ 0% moisture content)	g/m ²	4000
k-value (Permeability)	m/s	$\leq 3 \times 10^{-11}$

3. วิธีการทดสอบ

3.1 การทดสอบคุณสมบัติการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียว

การทดสอบคุณสมบัติการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวทำการทดสอบโดยการบดแร่ประกอบดินเหนียวแห้งภายในแผ่นโพลีเอทิลีนที่หั่นเป็นชิ้นที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 ผสมกับน้ำหรือสารละลายที่จะใช้ทดสอบโดยเทสารละลายประมาณ 90 มิลลิลิตร ในกระบอกตวง 100 มิลลิลิตร แล้วจึงผสมแร่ประกอบดินเหนียวลงไปทีละ 0.1 กรัม จนครบ 2 กรัม แล้วจึงเติมน้ำหรือสารละลายให้พอดี 100 มิลลิลิตร แล้วใช้จุกยางปิดปากกระบอกตวง แล้วตั้งทิ้งไว้ 1 คืน แล้วจึงอ่านปริมาตรการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวในหน่วย มิลลิลิตร โดยงานวิจัยนี้แบ่งการทดสอบเป็น 3 ชุด คือ

1. ศึกษาอิทธิพลของชนิดของสารละลาย ได้แก่ NaCl, KCl, LiCl, CaCl₂, MgCl₂, ZnCl₂, CuCl₂, CuCl₂ และ FeCl₃ ที่ความเข้มข้น 0.005, 0.01, 0.025, 0.1 และ 1M

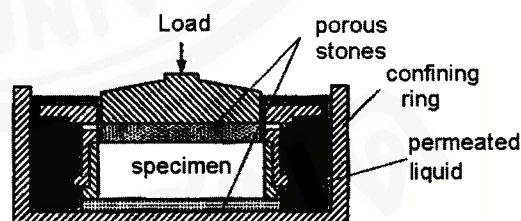
2. ศึกษาอิทธิพลของค่า pH โดยใช้สารละลาย HCl และ Na(OH) ผสมกับน้ำให้ได้ pH 2, 4, 6, 8, 10, 12 และ 13

3. ศึกษาอิทธิพลของ pH และความเข้มข้น โดยใช้สารละลาย HCl และ NaOH ผสมกับ CaCl₂ ความเข้มข้น 0.01, 0.025 และ 0.1 M

3.2 การหาคุณสมบัติความชื้นน้ำของแผ่นโพลีเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียว (Permeability Test)

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นโพลีเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียว เป็นการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 4318 โดยใช้เครื่องมือทดสอบการอัดตัวคายน้ำแบบมาตรฐานนั้นสามารถทดสอบ โดยมีการปรับเปลี่ยน mold สำหรับใส่ตัวอย่าง เพื่อให้สามารถทนต่อสารเคมีชนิดต่าง ๆ ที่ใช้ในการทดสอบได้ สำหรับภาพเครื่องมือทดสอบมาตรฐานแสดงในรูปที่ 3.1 สำหรับขั้นตอนการทดสอบ จะเริ่มจากการนำตัวอย่างแผ่นโพลีเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10 เซนติเมตรไปแช่ใน

สารละลายที่จะใช้ในการทดสอบเป็นระยะเวลาประมาณ 48 ชั่วโมง เพื่อให้แผ่นโพลีเอทิลีนสังเคราะห์ดินเหนียวอิ่มตัวก่อนที่จะทำการทดสอบ หลังจากนั้นนำตัวอย่างไปติดตั้งใน Consolidometer แล้วนำไปชั่งเพื่อทราบค่ามวลของตัวอย่างก่อนการทดสอบ นำตัวอย่างดินติดตั้งใน consolidometer โดยมีหินพรุน (Porous stone) ประกบทั้งบนและล่างของตัวอย่างเพื่อให้ น้ำในตัวอย่างสามารถไหลออกได้อย่างสะดวก นำ consolidometer ติดตั้งเข้าไปใน Load frame ติด dial gauge (ความละเอียด 0.01 mm) สำหรับวัดการทรุดตัวของตัวอย่าง แล้วหล่อสารละลายที่กำหนดลงใน consolidometer ให้ระดับอยู่เหนือระดับดินตัวอย่าง คำนวณน้ำหนักที่ต้องใช้ในการกดทับตัวอย่างเพื่อให้มีหน่วยแรงกดทับตามที่กำหนด คือ 100, 200, 300 และ 400 kPa เริ่มวางน้ำหนักกดทับชุดแรกแล้วจดบันทึกเวลาพร้อมกับค่าที่อ่านจาก dial gauge โดยจะอ่านค่า dial gauge ที่เวลาต่าง ๆ กัน โดยจะทิ้งไว้เป็นเวลาจนกระทั่งเกิดการทรุดตัวอย่างน้อย 90% แล้วจึงใส่น้ำหนักกดทับชั้นต่อไป ซึ่งจากการทดสอบโดยเฉลี่ยแล้วต่อน้ำหนักกดทับ 1 ค่าใช้เวลาประมาณ 1 สัปดาห์ เมื่อครบรอบการทดสอบก็นำตัวอย่างออกจาก consolidometer วัดความสูงของตัวอย่าง ทำการชั่งน้ำหนัก และหาค่าความชื้นของตัวอย่างหลังการทดสอบ



รูปที่ 3.1 แสดงหน้าตัดของ consolidometer

การคำนวณค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านหาได้จากความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัวที่ได้จากการทดสอบกระบวนการอัดตัวคายน้ำกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน คือ

$$k = c_v m_v \gamma \quad (1)$$

เมื่อ k = ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

c_v = ค่าสัมประสิทธิ์ความยุบตัว

m_v = ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวของปริมาตร

$$m_v = \frac{a_v}{1 + e_0} \quad (2)$$

e_0 = อัตราส่วนช่องว่างเริ่มต้น

$$a_v = \frac{\Delta e}{\Delta p'} \quad (3)$$

γ = หน่วยน้ำหนักของสารละลายตัวกลาง

Δe = การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่าง

$\Delta p'$ = การเปลี่ยนแปลงหน่วยแรงกดทับ

ในการวิจัยนี้จะใช้น้ำกลั่นและสารละลาย NaCl, KCl, LiCl, CaCl₂, MgCl₂, ZnCl₂, CuCl₂, FeCl₃ ความเข้มข้น 0.1 M เพื่อศึกษาถึงผลกระทบของประจุไอออนที่ส่งผลกระทบต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน นอกจากนี้ใช้สารละลาย HCl และ NaCl ไตรเทรทกับสารละลาย CaCl₂ ในการศึกษาผลกระทบของ pH ต่อสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน โดยในการทดสอบจะใช้สารละลาย HCl ไตรเทรทกับสารละลาย CaCl₂ ความเข้มข้น 0.025 M และ 0.01 M จะมีค่า pH เท่ากับ 2, 4 และ 6 ตามลำดับ และใช้สารละลาย NaCl ไตรเทรทกับสารละลาย CaCl₂ ความเข้มข้น 0.025 M และ 0.01 M จะมีค่า pH เท่ากับ 8, 10 และ 12 ตามลำดับ นอกจากนี้ในการทดสอบจะใช้สารละลาย CaCl₂ ความเข้มข้น 0.025, 0.05, 0.1, 0.5 และ 1 M ในการศึกษาผลกระทบของความเข้มข้นของสารละลายต่อสัมประสิทธิ์

การซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว เงื่อนไขการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 เงื่อนไขการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว

Test Series	Normal Stress (kPa)	Permeant liquid	pH	Concentration (M)
DS-1	100, 200, 300, 400	DI, NaCl, KCl, LiCl, CaCl ₂ , MgCl ₂ , ZnCl ₂ , CuCl ₂ , FeCl ₃	-	0.1
DS-2	100, 200, 300, 400	CaCl ₂	2, 4, 6, 8, 10, 12	0.1
DS-3	100, 200, 300, 400	CaCl ₂	4.0	0.025, 0.05, 0.1, 0.5, 1

4. ผลการทดสอบ

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ประกอบดินเหนียว

จากการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางกายภาพของแร่ประกอบดินเหนียวภายในแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียวพบว่าแร่ประกอบดินเหนียวจะมีค่าความชื้นตามธรรมชาติ 12 % ค่าขีดจำกัดเหลว 540 % ขีดจำกัดพลาสติก 62 % และค่าดัชนีพลาสติก 472 % ซึ่งมีค่ามากกว่าดินเหนียวโดยทั่วไปมาก เนื่องจากแร่ประกอบดินเหนียวมีแร่มอนทอร์มอริลไอโนที่เป็นแร่ประกอบหลักสามารถพองตัวได้มาก ส่งผลให้ช่องว่างระหว่างอนุภาคของแร่มอนทอร์มอริลไอโนที่มากตามไปด้วย น้ำจึงสามารถเข้าไปอยู่ในช่องว่างระหว่างอนุภาคของแร่มอนทอร์มอริลไอโนได้มาก และจากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะพบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของแร่ประกอบดินเหนียวมีค่าเท่ากับ 2.78 ส่วนการกระจายตัวของเม็ดดินพบว่ามีเพียง

2.27% จัดเป็นพวกทราย 21.95% จัดเป็นพวกทรายแป้ง และ 60% จัดเป็นพวกดินเหนียว ซึ่งมีขนาดเม็ดดินละเอียดมาก มีขนาดเล็กกว่า 0.002 มม.

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียว

4.2.1 อิทธิพลของธาตุองค์ประกอบในการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียว

การทดสอบคุณสมบัติการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวภายในแผ่นใยดินเหนียวสังเคราะห์โดยใช้น้ำกลั่นและสารละลาย LiCl, NaCl, KCl, CaCl₂, MgCl₂, ZnCl₂, CuCl₂, FeCl₃ ความเข้มข้นตั้งแต่ 0.005 M ถึง 1 M ซึ่งผลการทดสอบทั้งหมดแสดงในตารางที่ 3 และผลการทดสอบปริมาตรการพองตัวเมื่อสารละลายมีค่า pH ต่าง ๆ กัน แสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 3 ปริมาตรการพองตัวเมื่อใช้สารละลายต่างชนิดกันและความเข้มข้นต่างกัน

ความเข้มข้น (M)	ปริมาตรการพองตัว (mL)								
	DW	LiCl	NaCl	KCl	CaCl ₂	MgCl ₂	ZnCl ₂	CuCl ₂	FeCl ₃
-	37.0								
0.005		34.5	31.0	26.0	27.0	26.5	25.0	24.0	21.5
0.01		33.5	30.0	25.5	20.5	20.0	19.0	19.0	16.0
0.025		32.0	28.0	24.0	14.0	13.5	12.5	15.0	11.0
0.1		27.0	22.5	19.0	10.0	9.5	9.0	11.0	8.0
1		12.0	8.5	5.5	9.0	9.0	8.0	10.0	8.0

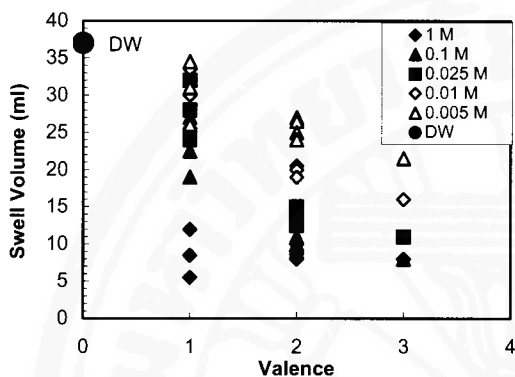
ตารางที่ 4 ปริมาตรการพองตัวเมื่อใช้สารละลายที่มีค่า pH ต่างกัน

สารละลาย	ความเข้มข้น (M)	ปริมาตรการพองตัว (mL)						
		pH=2	pH=4	pH=6	pH=8	pH=10	pH=12	pH=13
DW+HCl+NaOH	-	25.0	35.5	35.0	33.5	33.0	32.0	22.0
CaCl ₂ +HCl+NaOH	0.01	16.0	18.0	21.0	23.0	25.0	27.0	
CaCl ₂ +HCl+NaOH	0.025	13.0	13.5	14.5	15.0	16.0	18.0	
CaCl ₂ +HCl+NaOH	0.1	10.0	10.5	10.5	11.0	11.0	11.5	

ปริมาตรการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวในน้ำกลั่นมีค่าเท่ากับ 37.0 mL ซึ่งใกล้เคียงกับผลการทดสอบของ [5] ซึ่งได้ค่าปริมาตรการพองตัวของแร่มอนท์มอริลโลไนท์กับน้ำเท่ากับ 35.5 mL และปริมาตรการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวในสารละลาย LiCl, NaCl และ KCl (เป็นธาตุที่มีประจุเดียว คือ Na⁺, K⁺ และ Li⁺) จะมีค่า

มากกว่าการทดลองที่ใช้สารละลาย CaCl₂, MgCl₂, ZnCl₂ และ CuCl₂ (เป็นธาตุที่มีประจุคู่ คือ Ca⁺², Mg⁺², Zn⁺² และ Cu⁺²) ส่วนปริมาตรการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวที่ใช้สารละลาย FeCl₃ (เป็นธาตุที่มีประจุ +3 หรือ Fe⁺³) ในการทดลองพบว่ามีความน้อยที่สุดเนื่องจากธาตุที่มีประจุเดียว (Na⁺, K⁺ และ Li⁺) จะมีความหนาของชั้นน้ำมากกว่าธาตุที่

มีประจุคู่และประจุ +3 ส่งผลให้แร่ประกอบดินเหนียวพองตัวได้มากที่สุด ตามที่แสดงในรูปที่ 2 ซึ่งจากรูปดังกล่าวพบอีกว่าปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวในสารละลายที่มีประจุเพิ่มขึ้นจาก +1 เป็น +2 จะมีอิทธิพลมากกว่าการเพิ่มประจุจาก +2 และ +3 [5]

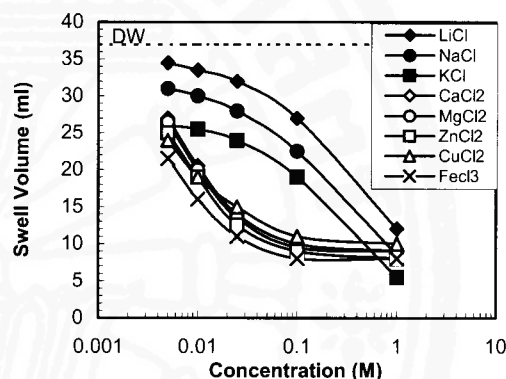


รูปที่ 2 ปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวกับจำนวนประจุของธาตุในสารละลาย

4.2.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลาย

เมื่อพิจารณาอิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณการพองตัว ดังแสดงในรูปที่ 3 จะเห็นว่าสำหรับสารละลายธาตุประจุเดียว (LiCl, NaCl และ KCl) ความเข้มข้นของสารละลาย ซึ่งหมายถึงความเข้มข้นของประจุไอออนบวกมีน้อยจะทำให้ปริมาณการพองตัวมาก และมีค่าลดลงไม่มากนักเมื่อในช่วงที่มีความเข้มข้นน้อย (ช่วง 0.005M – 0.025M) เนื่องจากจำนวนไอออนบวกยังมีปริมาณไม่มากพอ แต่เมื่อความเข้มข้นสูงขึ้น ตั้งแต่ 0.025M ขึ้นไปจะพบว่ามีปริมาณการพองตัวลดลงอย่างเห็นได้ชัด เนื่องจากจำนวนไอออนบวกที่เพิ่มขึ้นมากจึงทำให้มีแรงดึงดูดระหว่างประจุสูงทำให้การขยายตัวของแร่ประกอบดินเหนียวเกิดขึ้นได้น้อย สำหรับสารละลายธาตุสองประจุและสามประจุ การเพิ่มขึ้นของความเข้มข้นทำให้ปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวลดลงเช่นกัน แต่การลดลงอย่างรวดเร็วจะเกิดขึ้นในช่วงที่มีความเข้มข้นต่ำ ๆ (ช่วง 0.005M – 0.025M) เนื่องจากแรงดึงดูดของธาตุสองประจุ และสามประจุมีค่าสูง เมื่อเปลี่ยนแปลงความเข้มข้นหรือเพิ่มจำนวนไอออน

บวกก็ส่งผลให้ปริมาณการพองตัวลดลงอย่างรวดเร็ว แต่เมื่อความเข้มข้นสูงมาก (ช่วง 0.025M – 1M) ปริมาณการพองตัวไม่เปลี่ยนแปลงถึงแม้จะมีปริมาณไอออนบวกเพิ่มขึ้นมากก็ตาม ดังนั้น ความแตกต่างระหว่างปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวนั้นขึ้นกับปริมาณไอออนบวกที่พอเหมาะ หากปริมาณไอออนบวกมีจำนวนน้อยก็ไม่ส่งผลต่อปริมาณการพองตัว และหากปริมาณไอออนบวกมากเกินไปก็ไม่สามารถทำให้อนุภาคของแร่ประกอบดินเหนียวเข้าใกล้กันได้มากขึ้น จึงทำให้ปริมาณการพองตัวไม่เปลี่ยนแปลง



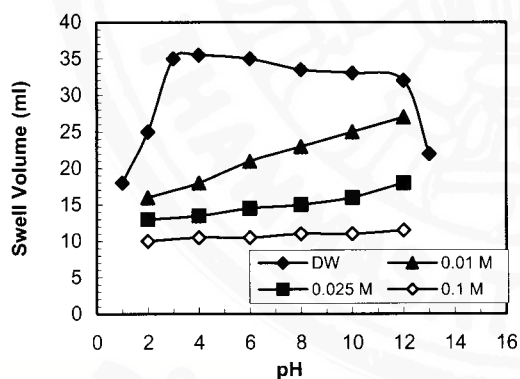
รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเข้มข้นของสารละลายต่อปริมาณการพองตัว

4.2.3 อิทธิพลของ pH ของสารละลาย

ผลการทดสอบผลกระทบของค่า pH ต่อปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียว แสดงในรูปที่ 4 พบว่าสารละลายที่ได้จากการผสมกันระหว่าง HCl และ Na(OH) และน้ำกลั่นจะส่งผลกระทบต่อปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวมากกว่าสารละลายที่ผสมกันระหว่าง HCl, Na(OH) และ CaCl_2 ที่ทุกความเข้มข้น โดยพบว่าการทดสอบที่ใช้สารละลายที่ได้จากการผสมระหว่าง HCl และ Na(OH) และน้ำกลั่น ปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวจะมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็ว เมื่อค่า pH เพิ่มขึ้นจนมีค่า pH = 3 หลังจากนั้นปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวจะมีค่าคงที่ (ปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวประมาณ 35 mL) จนกระทั่ง pH > 12 ค่าปริมาณการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวจะเริ่มลดลงอย่างรวดเร็ว เนื่องจากอนุภาคดินเหนียวมี

ส่วนประกอบที่เป็น hydroxyl (OH^-) ที่ผิวและขอบของอนุภาค ซึ่งจะมีแนวโน้มการแตกตัวในน้ำเกิดเป็น SiO^- และ H^+ การแตกตัวนี้เองจะมีการเปลี่ยนแปลงได้อย่างมากขึ้นกับการเปลี่ยนแปลงค่า pH การเพิ่มค่า pH จะส่งผลให้อิออนของไฮโดรเจน (H^+) มีแนวโน้มที่จะออกไปอยู่ในสภาพของสารละลายได้มากขึ้น และทำให้ค่าประจุไฟฟ้าลบที่ผิวของอนุภาคดินเหนียวมีกำลังมากขึ้น ยิ่งไปกว่านั้น alumina ที่ขอบของอนุภาคดินเหนียวจะมีค่าประจุไฟฟ้าเป็นบวกในสภาพ pH ต่ำ และจะเป็นลบในสภาพ pH สูง เป็นผลให้ในสภาพที่เป็นกรด (pH ต่ำ) ขอบของอนุภาคดินเหนียวสามารถดึงดูดอิออนลบที่มาพร้อมกับน้ำได้อีกด้วย [5]

สำหรับสารละลายที่ผสมกันระหว่าง HCl , NaOH และ CaCl_2 พบว่าปริมาณการพองตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตาม pH ที่เพิ่มขึ้นเมื่อสารละลายมีความเข้มข้นน้อย (0.01M) ในขณะที่ปริมาณการพองตัวมีค่าคงที่ตาม pH เมื่อสารละลายมีความเข้มข้นเพิ่มขึ้น (0.025M และ 0.1M)



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า pH ของสารละลายกับ ปริมาณการพองตัว

4.3 ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

การทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจากการทดสอบการอัดตัวคาน้ำที่มีน้ำหนักกดทับ 100, 200, 300 และ 400 kPa และใช้สารละลายตัวกลางในการซึมผ่านต่างกันแต่มีความเข้มข้นเท่ากัน 0.1M ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียวสามารถหาได้ 2 ค่า

จากค่าสัมประสิทธิ์การยุบอัดตัวที่ 50% และ 90% ซึ่งมีค่าใกล้เคียงกัน แต่ในงานวิจัยนี้จะใช้เฉพาะค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านที่การยุบอัดตัว 90% เท่านั้นเนื่องจากเป็นสภาวะที่แผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียวอยู่ในสภาพสมดุล

ตารางที่ 5 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียวซึ่งอยู่ในช่วง 10^{-9} – 10^{-11} ซม./วินาที ซึ่งมีค่าต่ำและอยู่ในเกณฑ์สำหรับใช้เป็นแผ่นกันซึมของการฝังกลบขยะ และจะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียวมีค่าลดลงเมื่อหน่วยแรงกดทับมีค่ามากขึ้นในสารละลายทุก ๆ ชนิด เนื่องจากหน่วยแรงกดทับทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างในแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียว [2]

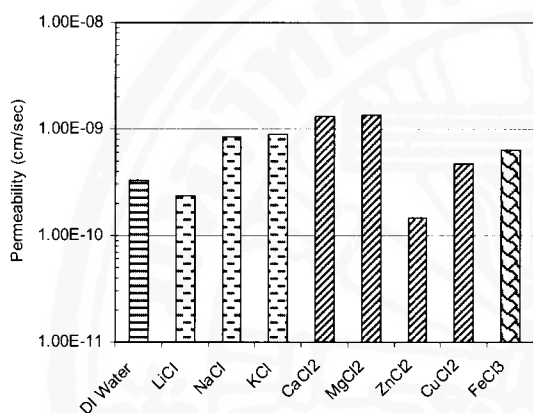
ตารางที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเมื่อสารละลายตัวกลางต่างกัน ที่ความเข้มข้น 0.1M

สารละลาย	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (ซม./วินาที)			
	100 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa
DW	3.28E-10	2.87E-10	6.66E-10	2.72E-10
LiCl	2.36E-10	2.07E-10	6.13E-11	1.21E-11
NaCl	8.42E-10	3.76E-10	1.06E-10	6.53E-10
KCl	9.04E-10	2.88E-10	1.09E-10	4.83E-10
CaCl_2	1.32E-09	3.85E-10	5.99E-11	1.91E-11
MgCl_2	1.36E-09	4.24E-10	9.03E-11	3.15E-11
ZnCl_2	1.50E-10	5.68E-11	4.20E-11	2.82E-11
CuCl_2	4.79E-10	1.84E-10	2.12E-11	3.34E-11
FeCl_3	6.42E-10	1.05E-10	4.97E-11	2.61E-11

4.3.1 อิทธิพล ของ สารละลายตัวกลางต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

ชนิดของสารละลายตัวกลางมีผลทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นใยสังเคราะห์ดินเหนียวมีค่าต่างกัน ดังแสดงในรูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของสารละลายต่าง ๆ กันที่ความ

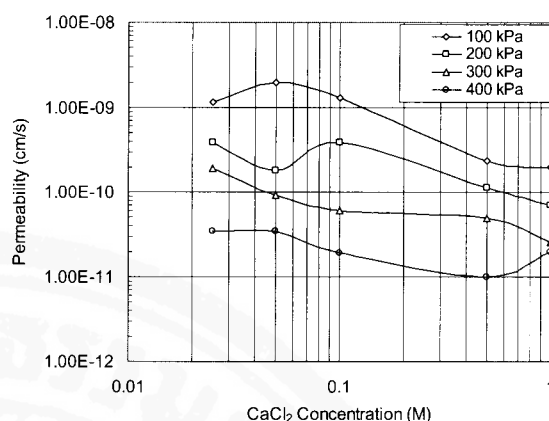
เข้มข้น 0.1M ที่หน่วยแรงกดทับ 100 kPa โดยสารละลายที่เป็น monovalent จะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงกว่ากรณีของน้ำยักเว้น LiCl สารละลายที่เป็น divalent และ trivalent จะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงกว่าน้ำยักเว้น $ZnCl_2$ และสารละลายที่เป็น divalent จะมีค่าสูงกว่าสารละลายที่เป็น trivalent ทั้งนี้เนื่องจากธาตุที่มาแทนที่แร่ประกอบดินเหนียวในแผ่นโพลีเอทิลีน [3], [6]



รูปที่ 5 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของสารละลายต่าง ๆ ที่หน่วยแรงกดทับ 100 kPa

4.3.2 อิทธิพลของความเข้มข้นของสารละลายตัวกลางต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของแผ่นโพลีเอทิลีนดินเหนียวเมื่อใช้สารละลาย $CaCl_2$ ที่มีความเข้มข้นต่างกันเป็นตัวกลางการซึมผ่านที่หน่วยแรงกดทับต่าง ๆ กันแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งจะเห็นได้ว่าค่าความเข้มข้นมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเมื่อความเข้มข้นมากขึ้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าน้อยลง [6] โดยผลที่ได้จะสอดคล้องกับผลการทดสอบปริมาตรการพองตัวเมื่อใช้สารละลาย divalent ในช่วงของความเข้มข้นตั้งแต่ 0.01M ถึง 1M นั้นปริมาตรการพองตัวของแร่ประกอบดินเหนียวจะมีค่าลดลงทำให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลง



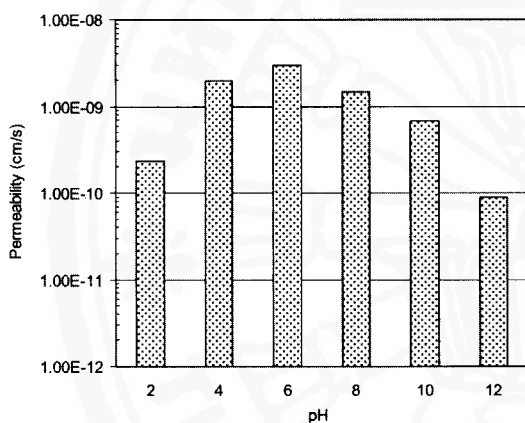
รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับความเข้มข้นของ $CaCl_2$

4.3.3 อิทธิพลของค่า pH ต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

ผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเมื่อใช้สารละลาย ($CaCl_2 + HCl + NaOH$) ความเข้มข้น 0.1M ที่มีค่า pH ต่างกันแสดงในตารางที่ 6 พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านอยู่ระหว่าง 10^{-9} - 10^{-12} รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับค่า pH ที่หน่วยแรงกดทับ 100 kPa พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในช่วงของความเป็นกรด (pH ระหว่าง 2-6) มีค่าเพิ่มขึ้น แต่ในช่วงของความเป็นเบส (pH ระหว่าง 8-12) พบว่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลง โดยในช่วงของค่า pH ระหว่าง 4-10 นั้นค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก (ประมาณ 2.5 เท่า) แต่เมื่อค่า pH มีค่าต่ำมาก (= 2) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงประมาณ 6 เท่า และเมื่อค่า pH มีค่าสูงมาก (=12) ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจะมีค่าลดลงประมาณ 16 เท่า [5] เมื่อหน่วยแรงกดทับมีค่ามากขึ้น ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าไม่แตกต่างกันมากนักเมื่อมี pH แตกต่างกัน

ตารางที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเมื่อใช้สารละลายความเข้มข้น 0.1M ที่ pH ต่างกัน

pH	ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (cm/sec)			
	100 kPa	200 kPa	300 kPa	400 kPa
2	2.33E-10	2.08E-10	2.50E-10	1.66E-11
4	1.94E-09	1.49E-10	6.23E-11	1.57E-11
6	2.94E-09	8.35E-10	3.10E-11	1.34E-11
8	1.46E-09	3.08E-10	9.72E-12	3.83E-12
10	6.85E-10	2.51E-10	1.94E-11	8.11E-12
12	8.96E-11	3.00E-10	5.92E-11	9.83E-12



รูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับค่า pH ที่หน่วยแรงกดทับ 100 kPa

5. บทสรุป

จากผลการทดสอบปริมาตรการพองตัวของเมมเบรนใช้สารละลายต่างชนิดกันที่ความเข้มข้นเดียวกัน พบว่า ปริมาตรการพองตัวในสารละลายธาตุประจุเดี่ยวจะมีค่ามากกว่าธาตุประจุคู่ หรือธาตุสามประจุ เมื่อใช้สารละลายชนิดเดียวกันที่ความเข้มข้นต่างกัน พบว่าปริมาตรการพองตัวมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นเพิ่มขึ้นในทุกสารละลาย เมื่อใช้สารละลายที่มีค่า pH ต่างกันพบว่าสำหรับสารละลายที่ไม่มี CaCl_2 ค่า pH มีผลน้อยมากต่อปริมาตรการพองตัว ยกเว้นที่ pH ต่ำมาก (≤ 2) และที่ pH สูงมาก ($=13$) ค่าปริมาตรการพองตัวจะมีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับปริมาตรการพองตัวที่ pH อื่น ๆ เมื่อใช้สารละลายที่มี CaCl_2

ผสมด้วยพบว่าค่าปริมาตรการพองตัวเพิ่มขึ้นเมื่อ pH มีค่าเพิ่มขึ้น

จากผลการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านพบว่าเมื่อใช้สารละลายต่างชนิดกันที่ความเข้มข้นเท่ากัน ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงเมื่อใช้สารละลายที่มีประจุของธาตุเพิ่มขึ้น และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงตามหน่วยแรงกดทับที่เพิ่มขึ้น เมื่อใช้สารละลาย CaCl_2 ที่มีความเข้มข้นต่าง ๆ กัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงเมื่อความเข้มข้นของสารละลายมีค่ามากขึ้น เมื่อใช้สารละลายที่มีค่า pH ต่างกัน พบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านมีค่าลดลงเมื่อ pH ต่ำมาก ($= 2$) และเมื่อ pH สูงมาก ($=12$) แต่สำหรับสารละลายที่มีค่า pH อยู่ในช่วง 4 - 10 ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านจะมีค่าไม่แตกต่างกันมากนัก

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนจากสภาวิจัยแห่งชาติ ประจำปีงบประมาณ 2549

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Bouazza, A., Geosynthetic Clay Liners (special issue). Geotextiles and Geomembranes, Vol. 18, pp. 2-4, 2000.
- [2] Petrov, R.J., Rowe, R.K. and Quigley, R.M., Selected Factors Influencing GCL Hydraulic Conductivity. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 123 (8), pp. 683-695, 1997a.
- [3] Mitchell, J.K., Fundamentals of Soil Behavior, 2nd Edition, John Wiley & Sons, Inc., New York, 437p, 1993.
- [4] Petrov, R.J., Rowe, R.K. and Quigley, R.M., Comparison of Laboratory Measured GCL Hydraulic Conductivity Based on Three Permeameter Types.

- Geotechnical Testing Journal, Vol. 20 (1), pp. 49-62, 1997b.
- [5] Jo, H.Y., Katsumi, T., Benson, C.H. and Edil, T.B., Hydraulic Conductivity and Swelling of Nonprehydrated GCLs Permeated with Single-species Salt solutions. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, Vol. 127 (7), pp. 557-567, 2001.
- [6] Petrov, R.J. and Rowe, R.K., GCL-chemical Compatibility by Hydraulic Conductivity Testing and Factors Impacting its Performance. Canadian Geotechnical Journal, Vol. 34 (6), pp. 863-885, 1997.