



การศึกษาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินทรายปนทรายแป้ง ผสมดินเบนทอไนต์สำหรับชั้นกันซึมดินเหนียวอัด

The Study on Hydraulic Conductivity of Silty Sand and Bentonite Mixtures for Compacted Clay Liner Purposes

รมย์ยุพา หนูน้ำคำ* และรุ่งเรือง เลิศศิริวรกุล

ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น อ.เมือง จ.ขอนแก่น 40002

*Corresponding Author, E-mail: romyupa.n@kkumail.com

บทคัดย่อ

ชั้นกันซึมเป็นส่วนประกอบที่สำคัญในการออกแบบก่อสร้างหลุมฝังกลบขยะ เพื่อป้องกันน้ำชะขยะไม่ให้ไหลปนเปื้อนลงสู่ชั้นดินและแหล่งน้ำใต้ดิน การก่อสร้างชั้นกันซึมดินเหนียวอัดนั้น จะต้องมีความค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านตามเกณฑ์มาตรฐาน คือมีค่าต่ำกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที การศึกษานี้ใช้ตัวอย่างดินทรายปนทรายแป้งจากแหล่งฝังกลบขยะเทศบาลนครขอนแก่น บ้านคำบอน จังหวัดขอนแก่น ผสมกับดินเบนทอไนต์ธรรมชาติในอัตราส่วน 3%, 5% และ 7% โดยน้ำหนัก เพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน โดยใช้วิธีการทดสอบแบบแรงดันน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Method) ดินเบนทอไนต์เป็นดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวที่นิยมนำมาใช้ในการทำชั้นกันซึม เนื่องจากมีค่าความเป็นพลาสติกสูง และมีความสามารถในการบวมตัวได้ดี จากผลการศึกษาพบว่า ดินทรายปนทรายแป้งผสมดินเบนทอไนต์ที่ 5% และ 7% โดยน้ำหนักขึ้นไปนั้น มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ซึ่งเท่ากับ 3.75×10^{-8} และ 2.55×10^{-8} เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ อย่างไรก็ตามดินเหนียวชนิดอื่นก็สามารถนำมาใช้ในการทำชั้นกันซึมได้อีกเช่นกัน เพื่อเป็นการช่วยลดค่าใช้จ่ายในการก่อสร้าง

ABSTRACT

The liner is an important component of landfill facility. The liner can also prevent the leachate leaking to contaminate in the soil layer and subsurface water reservoir. Construction of compacted clay liner, according to the standard requirement the layer should have hydraulic conductivity less than 1×10^{-7} cm/s. Three mixtures were employed, ie. The silty sand obtained from Khon Kaen municipal landfill was mixed with bentonite at 3%, 5% and 7% by weight. Then, the mixtures were determined for values of hydraulic conductivity by Permeameter with Falling Head method. Bentonite is a clay mineral, which is mostly used in compacted clay liner construction because it performs high plasticity and high swelling. The experimental results showed that the required hydraulic conductivity of 1×10^{-7} cm/s could be achieved when the silty sand mixed with bentonite 5% and 7% by weight. The hydraulic conductivity values are 3.75×10^{-8} and 2.55×10^{-8} cm/s, respectively. However, in order to reduce the construction cost, natural clays can be used as well.

คำสำคัญ: สัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ดินเบนทอไนต์ ชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด

Keywords: Hydraulic Conductivity, Bentonite, Compacted Clay Liner

บทนำ

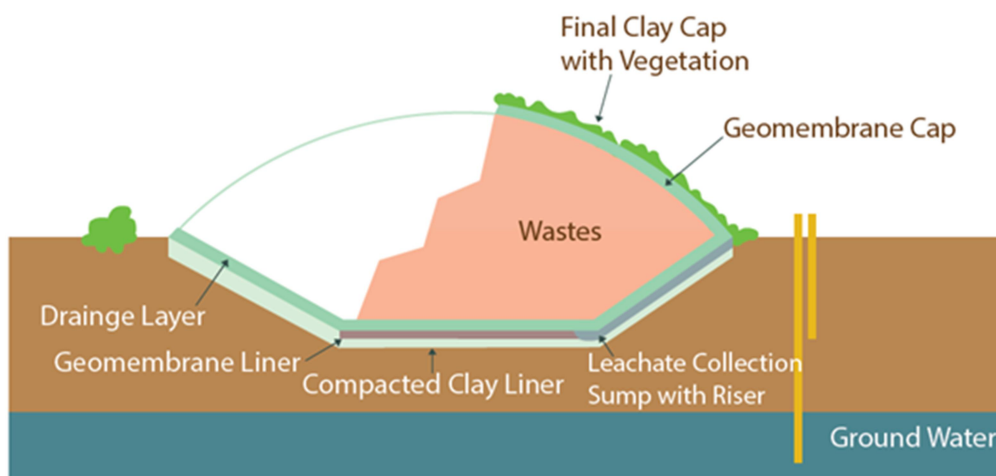
ปัจจุบันปัญหาสิ่งแวดล้อมเป็นปัญหาที่สำคัญ โดยเฉพาะปัญหาเรื่องขยะและของเสียที่เกิดจากกิจกรรมต่าง ๆ ในสังคม ซึ่งนับวันจะมีจำนวนที่เพิ่มมากขึ้นและการกำจัดขยะที่ไม่เป็นไปตามหลักสุขาภิบาล ก่อให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม โดยขยะสามารถก่อให้เกิดผลกระทบต่อแหล่งน้ำได้ทั้งน้ำผิวดิน และน้ำใต้ดิน เช่น การเทกองขยะไว้ที่กลางแจ้งหรือการกำจัดขยะด้วยการฝังกลบ (ธนิต, 2550) ปัญหาที่เกิดขึ้นคือการที่น้ำฝนได้ชะล้างและทำปฏิกิริยาทางเคมีกับสารหลากหลายชนิด ซึ่งบางชนิดก็เป็นสารพิษปะปนอยู่ในขยะ ถ้าสารพิษที่อยู่ในน้ำชะขยะ (Leachate) ไหลซึมลงไปปนเปื้อนแหล่งน้ำใต้ดิน ก็จะก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้อุปโภคบริโภคน้ำใต้ดินนั้นได้

การฝังกลบขยะที่ไม่ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม ต้องมีการออกแบบและการก่อสร้างอย่างถูกต้องตามหลักวิศวกรรม โดยมีชั้นกันซึม (Liners) ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของระบบฝังกลบขยะ ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้มลพิษในรูปแบบต่าง ๆ ที่เกิดจากของเสียกระจายหรือรั่วซึมออกไปปนเปื้อนต่อสิ่งแวดล้อม ซึ่งชั้นกันซึมจะมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ที่ต่ำกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที และมีความหนาไม่น้อยกว่า 60 เซนติเมตร (Xu et al., 2016) การเลือกใช้วัสดุกันซึมจะต้องคำนึงถึงความเหมาะสมหลายด้าน ดินเหนียวที่ทำได้ในท้องถิ่นที่

เกิดขึ้นตามธรรมชาติก็สามารถนำมาใช้เป็นชั้นกันซึมได้ ซึ่งดินเหนียวนั้นต้องมีคุณสมบัติที่สำคัญ 2 ประการ คือต้องมีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านคงที่ และต้องมีความสามารถที่จะหน่วงการเคลื่อนที่ของสารละลายโลหะหนักได้

การใช้ทรายผสมกับดินเบนทอไนต์ (Bentonite) เป็นอีกทางเลือกหนึ่งของการทำชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด (Compacted Clay Liner) (Li et al., 2017) เนื่องจากดินเบนทอไนต์เป็นดินที่ประกอบด้วยแร่ดินเหนียวชนิด Montmorillonite ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียวในกลุ่ม Smectite โครงสร้างประเภท 2:1 คือประกอบด้วยแผ่นซิลิกา (Silica Sheet) 2 แผ่น และแผ่นอะลูมินา (Alumina Sheet) 1 แผ่น คุณสมบัติที่สำคัญคือ มีความเป็นพลาสติก (Plasticity) และความสามารถในการบวมตัว (Swelling) สูงเมื่อดูดซับน้ำ (Gleason et al., 1997) ซึ่งการผสมดินเบนทอไนต์ลงไปในดินที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูง จะเป็นการลดปริมาตรช่องว่างที่อยู่ระหว่างเม็ดดิน ทำให้มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำลง

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน ในดินทรายปนทรายแป้งผสมกับดินเบนทอไนต์ในอัตราส่วนแตกต่างกัน สำหรับใช้ในการออกแบบการก่อสร้างชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด



รูปที่ 1 ส่วนประกอบที่สำคัญของหลุมฝังกลบขยะ (ดัดแปลงจาก โกวิทย์, 2544)

วัสดุและวิธีการดำเนินการศึกษา

ดินตัวอย่างและดินเบนทอไนต์

ดินตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบเป็นดินจากแหล่งฝังกลบขยะเทศบาลนครขอนแก่น บ้านคำบอน อำเภอเมือง จังหวัดขอนแก่น และดินเบนทอไนต์ที่ใช้ทดสอบนั้นเป็นประเภทแคลเซียมเบนทอไนต์ธรรมชาติ นำมาจากอำเภอชัยบาดาล จังหวัดลพบุรี

การทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่างที่ใช้ นั้น ทำการทดสอบภายใต้มาตรฐาน ASTM (Kalinski, 2006) ประกอบด้วย ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน (Specific

Gravity) (ASTM D854) ค่าขีดความชื้นเหลวของดิน (Atterberg Limit) (ASTM D4318) ได้แก่ ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit) ค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit) และการจัดจำแนกดิน (ASTM D2487)

การทดสอบคุณลักษณะพื้นผิวของดินตัวอย่างและดินเบนทอไนต์ ทำการทดสอบโดยวิธี Scanning Electron Microscope (SEM) และการวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีของดินเบนทอไนต์ โดยใช้วิธีการทดสอบ X-Ray Fluorescence (XRF) ดังแสดงผลในตารางที่ 1 (Nunamkam et al., 2017)

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของดินเบนทอไนต์

Oxide Formula	Mass (%)	Oxide Formula	Mass (%)
SiO ₂	58.668	SrO	0.057
Al ₂ O ₃	15.261	SO ₃	0.049
Fe ₂ O ₃	14.722	MnO ₂	0.044
MgO	5.456	Ta ₂ O ₅	0.033
TiO ₂	2.777	ZrO ₂	0.031
CaO	1.846	ZnO	0.025
K ₂ O	0.529	PdO	0.013
P ₂ O ₅	0.480	NiO	0.011

การเตรียมตัวอย่างดิน

การเตรียมตัวอย่างดินทำได้โดยนำดินตัวอย่างและดินเบนทอไนต์ ตากให้แห้ง และร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ก่อนนำดินตัวอย่างไปผสมกัน

การผสมดินตัวอย่างกับดินเบนทอไนต์นั้น ในการศึกษา นี้จะทำการผสม 3 แบบ คือ ดินตัวอย่างผสมกับดินเบนทอไนต์ 3%, 5% และ 7% โดยน้ำหนัก

การทดสอบการบดอัด

การบดอัดดิน (Compaction Test) เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความชื้นที่ให้ค่าหน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุด (Maximum Dry Unit Weight) (ทวิศักดิ์และนท, 2553) และใช้สำหรับการเตรียมดินตัวอย่างเพื่อทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่อไป ในศึกษานี้จะใช้วิธีการบดอัดแบบมาตรฐาน

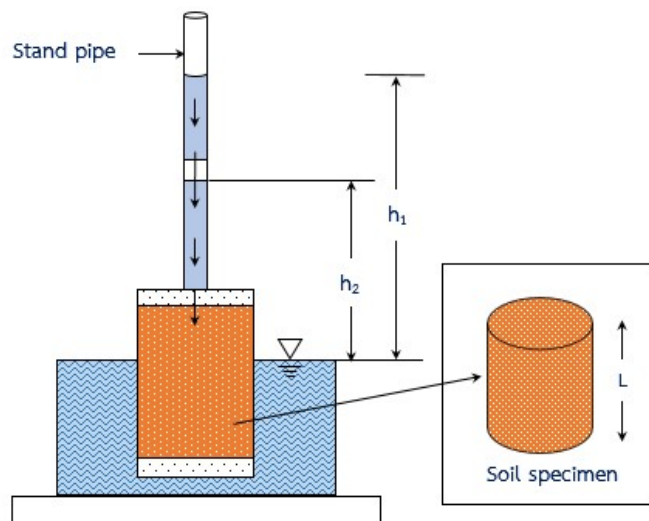
การทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐาน (Standard Proctor Test) ทำการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D698 โดยบดอัดดินในกระบอกบดอัดมาตรฐาน ที่มีเส้นผ่านศูนย์กลาง

10.15 เซนติเมตร และมีความสูง 11.65 เซนติเมตร ใช้คอนมาตรฐานที่มีน้ำหนัก 5.5 ปอนด์ บดอัดดินทั้งหมด 3 ชั้น แต่ละชั้นบดอัดจำนวน 25 ครั้ง

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน (Hydraulic Conductivity) จะใช้วิธีการทดสอบแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Method) ดังแสดงในรูปที่ 2 เนื่องจากดินตัวอย่างที่ใช้และดินเบนทอไนต์มีขนาดเม็ดดินที่ละเอียด ซึ่งตัวอย่างดินบดอัดที่นำมาทดสอบจะใช้ปริมาณความชื้นมากกว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินแบบมาตรฐานนั้น 2% และก่อนเริ่มการทดสอบต้องนำตัวอย่างดินผสมดินเบนทอไนต์ที่บดอัดแล้วไปทำให้อิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อให้ความชื้นกระจายทั่วมวลดิน

การทดสอบนี้ เพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านให้ค่าต่ำกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที ซึ่งเป็นค่ามาตรฐานที่ใช้ในการทำชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด (Compacted Clay Liner)



รูปที่ 2 ภาพจำลองการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านแบบระดับน้ำแปรเปลี่ยน (Falling Head Method)

ผลการศึกษาและอภิปรายผล

คุณสมบัติทางกายภาพและองค์ประกอบทางเคมี

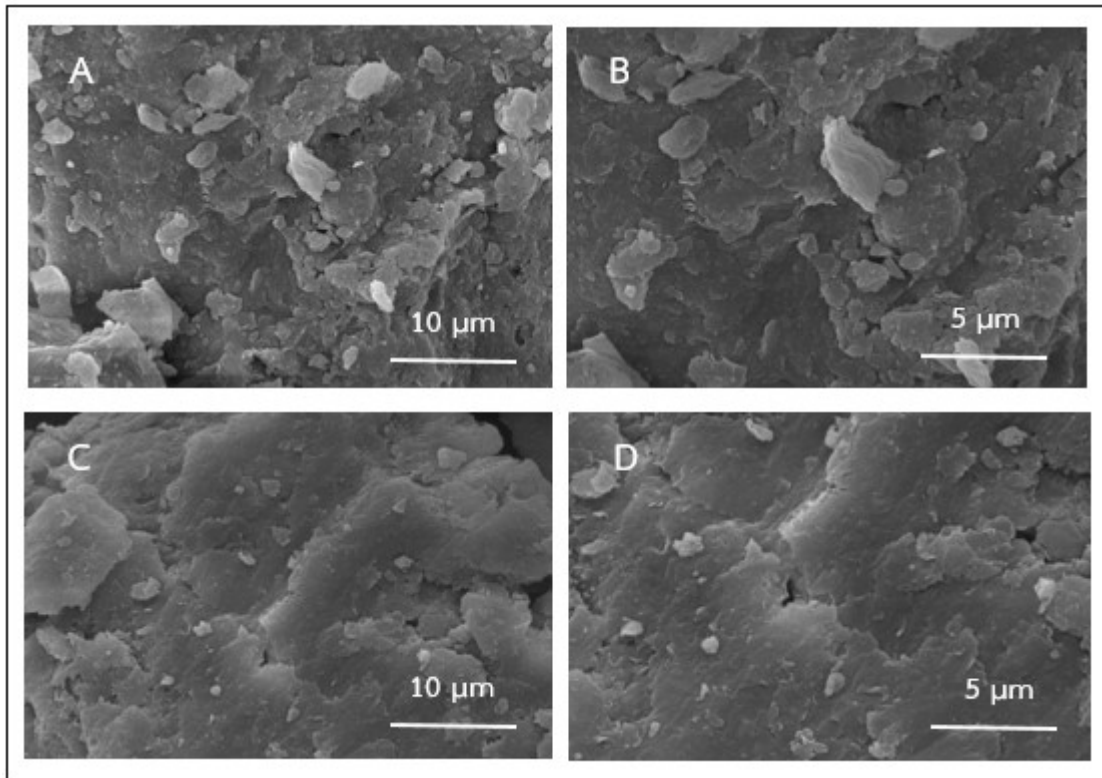
คุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่างและดินเบนทอไนต์ แสดงในตารางที่ 2 จากการจัดจำแนกดินตามวิธีการของ Unified Soil Classification System (USCS) ได้ว่า ดินตัวอย่าง เป็นดินกลุ่ม SM (Silty Sand) หรือ ดินทรายปนทรายแป้ง ค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน ปริมาณความชื้น ค่าขีดจำกัด

เหลว และดัชนีพลาสติกของดินเบนทอไนต์มีค่าสูงกว่าดินทรายเป็น

จากรูปที่ 3 แสดงถึงลักษณะพื้นผิวของเม็ดดินตัวอย่างทั้งสอง ผ่านกำลังขยาย 3000 และ 5000 เท่า พบว่า ดินเบนทอไนต์ซึ่งเป็นแร่ดินเหนียว (Clay Mineral) ชนิด Montmorillonite มีพื้นผิวลักษณะโครงสร้างเป็นแผ่น เรียงซ้อนกันเป็นชั้นอย่างเห็นได้ชัด

ตารางที่ 2 คุณสมบัติทางกายภาพของดินตัวอย่างและดินเบนทอไนต์

คุณสมบัติทางกายภาพ	ดินตัวอย่าง	ดินเบนทอไนต์
ปริมาณความชื้น (%)	10.45	52.56
ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน	2.59	2.74
ค่าขีดจำกัดเหลว (%)	24.91	105
ดัชนีพลาสติก (%)	9.28	63
ชนิดดิน (USCS)	SM	CH



รูปที่ 3 ภาพถ่าย SEM (A) ดินทรายปนทรายแป้ง กำลังขยาย 3000 เท่า (B) ดินทรายปนทรายแป้ง กำลังขยาย 5000 เท่า (C) ดินเบนทอไนต์ กำลังขยาย 3000 เท่า (D) ดินเบนทอไนต์ กำลังขยาย 5000 เท่า

ผลการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน

การทดสอบการบดอัดดินนั้น เป็นการทดสอบเพื่อจะ ผลนำไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างการทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์ การซึมผ่านต่อไป ผลการทดสอบแสดงตามตารางที่ 3

จากผลการทดสอบพบว่า ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด อยู่ในช่วง 8.14-9.28 กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร และค่า ความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) อยู่

ในช่วง 13.10-17.58 % ซึ่งสังเกตได้ว่าการเปลี่ยนแปลงค่า ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และค่าความชื้นที่เหมาะสมตามปริมาณ ดินเบนทอไนต์ที่ผสมเข้าไป ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ โกวิทช์ (2544) และในการเตรียมตัวอย่างดินที่ใช้ปริมาณความชื้นในการ บดอัดสูงกว่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมประมาณ 2% ก็เพื่อให้ สอดคล้องกับสภาพการใช้งานจริงและยังเป็นการทำให้ตัวอย่าง อยู่ในสภาพอึดตัวด้วยน้ำมากขึ้น

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบการบดอัดดินโดยวิธีการมาตรฐาน (Standard Proctor Test)

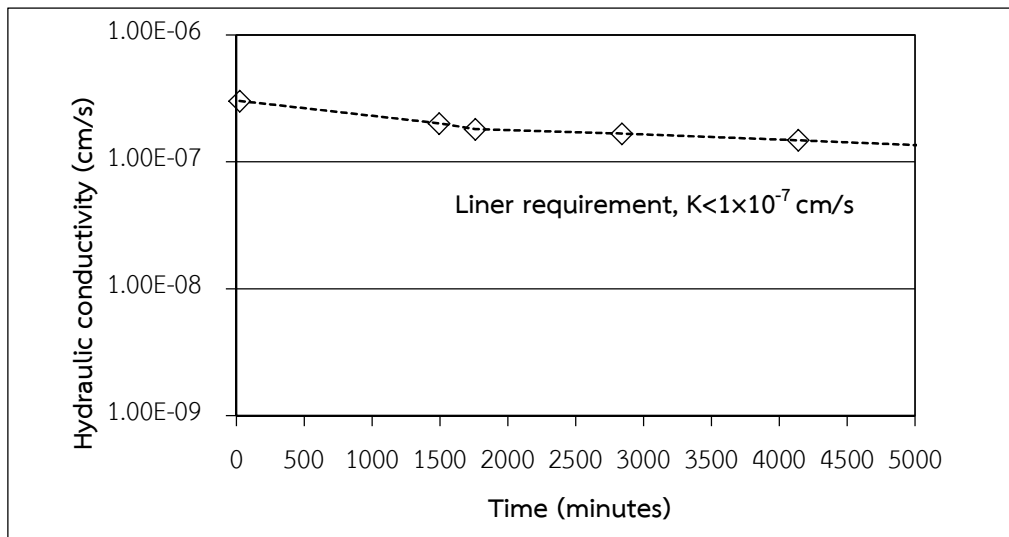
ตัวอย่างดินผสม	หน่วยน้ำหนักดินแห้งสูงสุด (kN/m ³) (Maximum Dry Unit Weight)	ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (%) (Optimum Moisture Content)
ดินทรายผสมดินเบนทอไนต์ 3%	9.28	13.10
ดินทรายผสมดินเบนทอไนต์ 5%	8.32	14.68
ดินทรายผสมดินเบนทอไนต์ 7%	8.14	17.58

ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่าน

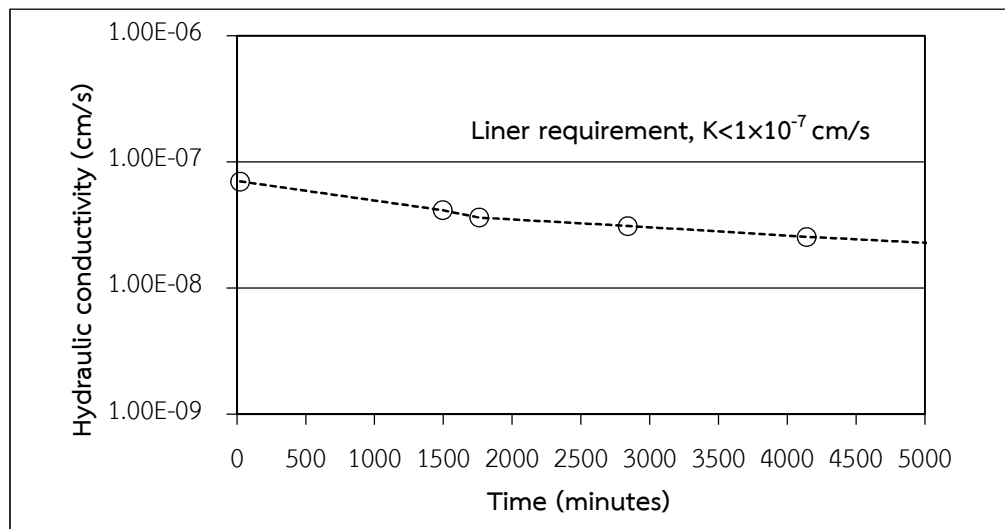
ความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับ เวลาที่ทำการทดลองของตัวอย่างดินผสมทั้ง 3 แบบ แสดงไว้ใน รูปที่ 4-6 โดยในช่วงแรกของการทดลองพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การ ซึมผ่านมีค่าสูงและจะลดลงจนเข้าสู่ค่าคงที่ค่าหนึ่ง เนื่องจากการ

ไหลของน้ำช่วงแรกยังไม่เข้าสู่สภาวะสมดุล (นั่นทันที และคณะ, 2549) โดยค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินทรายปนทรายแป้ง ผสมดินเบนทอไนต์ 3%, 5% และ 7% เท่ากับ 1.88×10^{-7} , 3.75×10^{-8} และ 2.55×10^{-8} เซนติเมตรต่อวินาที ตามลำดับ สำหรับดินทรายปนทรายแป้งผสมดินเบนทอไนต์ 3% นั้น มีค่า

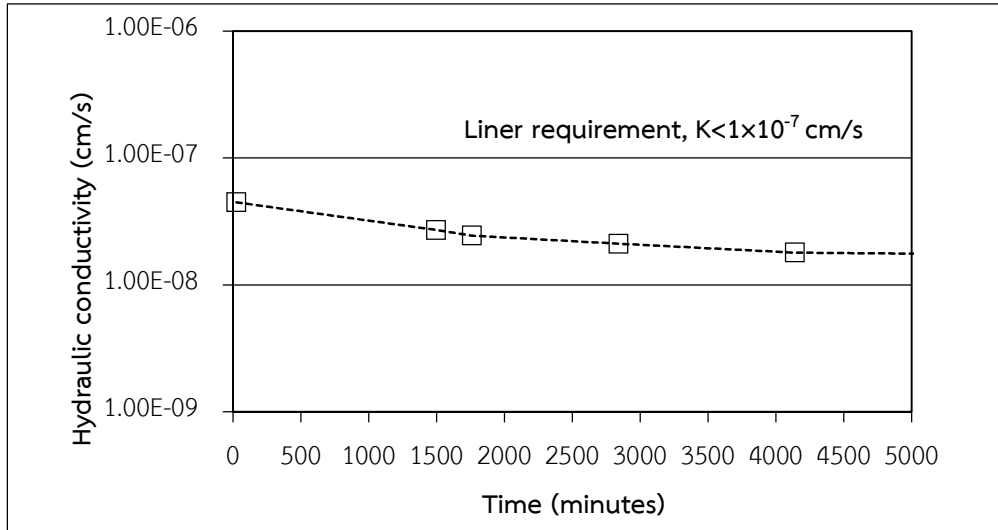
สัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูงกว่าค่ามาตรฐาน (1×10^{-7} เซนติเมตร และ 7% มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านผ่านเกณฑ์มาตรฐานของ ต่อวินาที) ส่วนดินทรายปนทรายแป้งผสมดินเบนทอไนต์ 5% การทำชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับเวลาของดินทรายปนทรายแป้งผสมดินเบนทอไนต์ 3%



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับเวลาของดินทรายปนทรายแป้งผสมดินเบนทอไนต์ 5%



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ของค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านกับเวลาของดินทรายปนทรายแป้งผสมดินเบนทอไนต์ 7%

สรุปผลการศึกษา

การผสมดินเบนทอไนต์กับดินทรายปนทรายแป้ง ที่มีค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านสูง เพื่อให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านต่ำลง และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของการทำชั้นกันซึม จะต้องใช้ดินเบนทอไนต์ผสมในปริมาณ 5% โดยน้ำหนัก ขึ้นไป อย่างไรก็ตามการทำชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด ยังต้องคำนึงถึงปัจจัยที่มีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านในระยะยาวอีกด้วย

กิตติกรรมประกาศ

การศึกษานี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนวิจัยสำหรับคณาจารย์บัณฑิตศึกษา เพื่อให้สามารถรับนักศึกษาที่มีความสามารถ และศักยภาพสูงเข้าศึกษาในหลักสูตรและทำวิจัยในสาขาที่อาจารย์มีความเชี่ยวชาญ ประจำปี 2557 บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น

เอกสารอ้างอิง

โกวิท ทัศนศิริ. (2544). คุณสมบัติการไหลซึมของของไหลที่มีสารปนเปื้อนผ่านวัสดุผสมระหว่างทรายกับเบนทอไนต์บดอัด. วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย. กรุงเทพฯ: 87 หน้า.

ทวีศักดิ์ วั่งไพศาล และนท แสงเทียน. (2553). คุณสมบัติของดินทรายปนทรายแป้งผสมเบนทอไนต์สำหรับก่อสร้างชั้นกันซึม. วารสารวิชาการ มอ. 12(1): 19-29.

ชนิด เฉลิมยานนท์. (2550). การใช้ทรายผสมเบนทอไนต์และดินเหนียวในชั้นกันซึมของบ่อฝังกลบมูลฝอย. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์, มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์. สงขลา: 106 หน้า.

นันทนิตย์ เจริญไธสง, ชนิด เฉลิมยานนท์, สุเมธ ไชยประพัทธ์ และผกาภาค เจริญพัฒนานนท์. (2549). สัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่านและการดูดติดผิวของทรายผสมเบนทอไนต์และดินเหนียวสงขลา. วารสารวิศวกรรมสิ่งแวดล้อมไทย 20(3): 139-146.

Gleason, M.H., Daniel, D.E. and Eykholt, G.R. (1997). Calcium and sodium bentonite for hydraulic containment applications. Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering 123(5): 438-445.

Kalinski, M. (2006). Soil mechanics lab manual. Kentucky: Hamilton Printing. pp. 13-113.

Li, L., Lin, C. and Zhang, Z. (2017). Utilization of shale-clay mixtures as a landfill liner material to retain heavy metals. Materials and Design 114: 73-82.

Nunamkam, R., Lertsirivorakul, R., Schulmeister, M. and Schwinghamer, K. (2017). Adsorption study of cadmium on natural bentonite and weathered Auburn shale. In: The National and International Graduate Research Conference 2017. Khon Kaen University, Khon Kaen. 115-121.

Xu, H., Zhu, W., Qian, X., Wang, S. and Fan, X. (2016). Studies on hydraulic conductivity and compressibility of backfills for soil-bentonite cutoff walls. Applied Clay Science 132-133: 326-335.