



การประชุมวิชาการสมาคมวิศวกรรมเกษตรแห่งประเทศไทย

ระดับชาติ ครั้งที่ 20 วันที่ 14-15 มีนาคม 2562

ณ โรงแรมฮาร์ตโรค พัทยา จังหวัดชลบุรี

Available online at [www.tsae.asia](http://www.tsae.asia)

การลดค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายโดยผสมกับปูนขาวและปูนซีเมนต์

Reduction of hydraulic conductivity of sand by mixing with lime and cement.

ทศชัย ใจอ่อน<sup>1</sup>, นิตพงษ์ อุ่นเรือน<sup>1</sup>, สมชาย ดอนเจดีย์<sup>1\*</sup>

Taschai Jai-un<sup>1</sup>, Nitipong Aunruean<sup>1</sup>, Somchai Donjadee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน, คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน, มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน, นครปฐม, 73140

<sup>1</sup>Department of Irrigation Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaengsarn, Kasetsart University – Kamphaengsarn Campus, NakhonPathom, 73140

\*Corresponding author: E-mail: [fengscd@ku.ac.th](mailto:fengscd@ku.ac.th)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ได้ศึกษาความสามารถในการลดค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายโดยการผสมด้วยปูนขาวและปูนซีเมนต์ ซึ่งได้ดำเนินการโดยใช้ดินทรายที่พบเจอได้ทั่วไปซึ่งมีการรั่วซึมที่สูงมาทดลองในห้องปฏิบัติการ และใช้วิธีระดับน้ำคงที่ พบว่าค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายที่ไม่ได้รับการผสมปูนขาวหรือปูนซีเมนต์เฉลี่ยอยู่ที่  $239.71 \text{ cm day}^{-1}$  เมื่อนำดินทรายมาผสมปูนขาวในอัตราส่วน 3,5,7,9 และ 11 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก และดินทรายผสมปูนซีเมนต์ในอัตราส่วน 2,4,6,8 และ 10 เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก จากการทดลองพบว่าค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายมีค่าลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมปูนขาวหรือปูนซีเมนต์ลงไป ซึ่งค่าความนำชลศาสตร์ต่ำสุดคือ  $47.82 \text{ cm day}^{-1}$  และ  $3.79 \text{ cm day}^{-1}$  ดินทรายผสมปูนขาวและดินทรายผสมปูนซีเมนต์ตามลำดับ สรุปได้ว่าดินทรายที่ผสมปูนซีเมนต์มีประสิทธิภาพในการลดค่าความนำชลศาสตร์ได้ดีกว่าดินทรายที่ผสมปูนขาว

คำสำคัญ: ความนำชลศาสตร์, ดินทราย, การรั่วซึม

Abstract

This research aimed to reduce hydraulic conductivity of sandy soils by mixing it with lime and cement. Sandy soil which generally permits high seepage losses was conducted an experiment in a laboratory using the constant head method. Results showed that the average of hydraulic conductivity of sandy soil was  $239.71 \text{ cm day}^{-1}$ . However, mixing sandy soil with lime in the ratio of 3,5,7,9 and 11 percent by weight, and with cement at a ratio of 2,4,6,8 and 10 percent by weight, found that the hydraulic conductivity values of the sandy soils continuously decreased with increasing of lime or cement. Mixing sandy soils with lime and cement obtained the minimum hydraulic conductivity values of  $47.82 \text{ cm day}^{-1}$  and  $3.79 \text{ cm day}^{-1}$ , respectively leading to the conclusion that using cement with sandy soil was able to effectively reduce hydraulic conductivity better than lime.

Keywords: Hydraulic conductivity, Sandy Soil, Lime, Cement, Seepage

1 บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่มีความเกี่ยวข้องกับการทำการเกษตรกรรมเป็นอย่างมาก โดยมีเนื้อที่ที่ใช้ประโยชน์ทางการเกษตรรวมทั้งหมด 149,242,393 ไร่ หรือคิดเป็นร้อยละ

47 ของเนื้อที่ทั้งหมดในประเทศ แต่กลับมีพื้นที่การเกษตรที่อยู่ในเขตชลประทานเพียง 31,538,356 ไร่ คิดเป็นร้อยละ 21 ของพื้นที่การเกษตร (Office of Agricultural Economics, 2016) เห็นได้ว่าพื้นที่ทำการเกษตรส่วนใหญ่จะอยู่นอกเขตชลประทาน

ถึงร้อยละ 79 ดังนั้นการทำเกษตรกรรมในพื้นที่นอกเขตชลประทานจึงต้องอาศัยน้ำฝนเป็นหลักหากเกิดภาวะภัยแล้งหรือฝนทิ้งช่วงจะทำให้พืชเกิดสภาวะขาดน้ำจนทำให้เกิดความเสียหายกับการปลูกพืชได้ ปัญหาดังกล่าวรัฐบาลได้มีนโยบายเพิ่มพื้นที่แหล่งน้ำในพื้นที่ของเกษตรกร โดยกระทรวงเกษตรและสหกรณ์ได้มอบหมายให้กรมพัฒนาที่ดินดำเนินการจัดหาแหล่งน้ำ จึงได้มีโครงการแหล่งน้ำในไร่นานอกเขตชลประทาน (Land development department, 2018) ประจำปีงบประมาณ พ.ศ. 2561 โดยส่งเสริมให้มีการขุดสระน้ำขนาด 1,260 m<sup>3</sup> เพื่อบรรเทาสภาพปัญหาภัยแล้ง การขาดแคลนน้ำ และเพิ่มประสิทธิภาพการเก็บกักน้ำในพื้นที่ของการเกษตร ซึ่งเกษตรกรเป็นผู้รับผิดชอบค่าใช้จ่ายเพียง 2,500 บาท จำนวน 47,500 สระ ดังนั้นทำให้ได้รับความสนใจจากเกษตรกรเป็นอย่างมาก สระเก็บน้ำดังกล่าวกระจายอยู่ทั่วประเทศ ซึ่งบางพื้นที่ไม่เหมาะสมที่จะทำการขุดสระเก็บน้ำเนื่องจากสภาพดินไม่เหมาะสม จากรายงานของสำนักเศรษฐกิจการเกษตร พบว่ามีสระเก็บน้ำนอกเขตชลประทานร้อยละ 18 ไม่สามารถขังน้ำไว้ใช้ได้ตามที่ออกแบบไว้ เนื่องจากมีการรั่วซึมสูงมากสาเหตุจากสภาพดินที่ไม่เหมาะสม (Office of Agricultural Economics, 2008) เช่น ในพื้นที่ลุ่มน้ำลำภาชี ซึ่งสภาพดินมีลักษณะเป็นดินทราย ดังนั้นหากต้องการขุดสระเก็บน้ำไว้ในพื้นที่จำเป็นต้องหาแนวทางในการปรับปรุงดินบริเวณพื้นผิวสระให้มีความสามารถลดการรั่วซึมให้อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ การลดอัตราการรั่วซึมของดินสามารถทำได้หลายวิธี เช่นการใช้วัสดุป้องกันเช่น การปูด้วยแผ่นพลาสติก การดาดด้วยคอนกรีต การดาดด้วยดินซีเมนต์ (Jin *et al.*, 2018) การดาดด้วยดินโคลน (Bouwer *et al.*, 2001) การดาดด้วยผ้าใบคอนกรีต (Donjatee *et al.*, 2017) การใช้น้ำยางธรรมชาติ (Nakasun *et al.*, 2007) และการปรับปรุงดินให้มีคุณสมบัติในการเพิ่มประสิทธิภาพลดการรั่วซึมของน้ำ เช่น การบดอัดดิน (Bouwer *et al.*, 2001; Kolawole *et al.*, 2005) การผสมวัสดุบางชนิดเข้าไปในดิน เช่น ปุ๋ยคอก (Shahid *et al.*, 1996) เบนโทไนท์ (Gleason *et al.*, 1997; Malusis *et al.*, 2009) ปูนขาว (Angsuwotai, 1982) ปูนซีเมนต์ (Tipmontree, 2009) เป็นต้น อย่างไรก็ตามแต่ละวัสดุก็จะมีข้อดีข้อเสียแตกต่างกันออกไป งานวิจัยนี้ได้พิจารณาเลือกใช้ดินทรายในการทดสอบโดยจะทำการตรวจวัดหาค่าความนำคลศาสตร์ (hydraulic conductivity, K) เนื่องจากค่าความนำคลศาสตร์เป็นพารามิเตอร์ที่แสดงถึงความง่ายของการเคลื่อนที่น้ำผ่านชั้นดิน เนื่องจากน้ำเคลื่อนที่ผ่านดินทรายได้ง่ายจึงมีค่า K สูง ดังนั้น เมื่อจะมีการ

สร้างสิ่งก่อสร้างที่เกี่ยวข้องกับการขีมน้ำบนพื้นที่ดินทราย ที่ต้องการให้น้ำไหลซึมผ่านได้ยาก เช่น ในสระน้ำ ไร่นา และทำนบดิน ต้องมีการปรับปรุงดินทรายโดยการตรวจสอบจากค่า K การลดค่า K ของดินทรายได้สามารถทำได้โดยการผสมสารที่มีอนุภาคขนาดเล็กที่สามารถแทรกเข้าอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดทราย สารเหล่านี้ได้แก่ ดินเหนียว เบนโทไนท์ ปูนขาว และปูนซีเมนต์ เป็นต้น เมื่อสารขนาดเล็กเหล่านี้แทรกเข้าในช่องว่างระหว่างเม็ดทราย ทำให้ความพรุนของดินทรายเป็นผลให้ค่า K ลดลงด้วย ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้ ปูนขาวและปูนซีเมนต์ ซึ่งปูนทั้ง 2 ชนิดนี้นอกจากช่วยลดค่า K แล้วยังช่วยให้ชั้นดินทรายมีเสถียรภาพอีกด้วย อีกทั้งปูนทั้ง 2 ชนิดนี้สามารถหาได้ไม่ยากจากร้านวัสดุก่อสร้างโดยทั่วไป และหากพบว่าเมื่อใช้ในปริมาณเพียงเล็กน้อยแล้วได้ผลดีก็จะช่วยประหยัดค่าใช้จ่ายด้วยโดยที่ค่า K สามารถตรวจวัดจากห้องปฏิบัติการมี 2 วิธี ได้แก่วิธีเฮดลดลง (falling head) และวิธีเฮดคงที่ (constant head) โดยที่วิธีเฮดลดลงมักจะใช้กับตัวอย่างที่น้ำซึมผ่านได้ยาก วิธีเฮดคงที่จะใช้กับตัวอย่างที่น้ำซึมผ่านได้ง่าย ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาการลดค่า K ของดินทรายซึ่งเริ่มจากน้ำซึมผ่านได้ง่ายในดินทราย แต่เมื่อผสมกับปูนขาวหรือปูนซีเมนต์แล้วน้ำจะซึมผ่านได้ยาก และยากขึ้นเรื่อยๆเมื่อเปอร์เซ็นต์ปูนมากขึ้น จึงจำเป็นต้องเลือกใช้วิธีที่เหมาะสม วิธีเฮดคงที่แม้จะยุ่งยากกว่าวิธีเฮดลดลงในการทดสอบ แต่เนื่องจากการคำนวณค่า K จากผลของการทดสอบแบบเฮดคงที่ ซึ่งล้ากับกฎของดาร์ซีโดยตรง จะให้ค่าที่ถูกต้องกว่าจากวิธีเฮดลดลง (Sandoval *et al.*, 2017) อีกทั้งวิธีเฮดคงที่สามารถประยุกต์ใช้กับวัสดุที่มีค่า K สูงมาก (Nijp *et al.*, 2013) ไปจนถึงวัสดุที่มีค่า K ต่ำมาก (Yu *et al.*, 2013) ดังนั้น วิธีเฮดคงที่จึงเหมาะสมกับการศึกษานี้ หลักการวัดค่า K มีพื้นฐานมาจากกฎของดาร์ซี (Darcy's law) ซึ่งกล่าวว่าอัตราการไหล (Q) ของน้ำผ่านชั้นดินแปรผันตรงกับพื้นที่หน้าตัดการไหล (A) และความชันชลศาสตร์ (i, dh/dL) โดยมี K เป็นค่าสัดส่วนคงที่ (constant of proportionality) เรียกว่าความนำคลศาสตร์ เขียนเป็นสูตรได้ดังนี้

$$Q = KAi = \frac{dh}{dL} \quad (1)$$

เมื่อ dL คือ ระยะทางการเคลื่อนที่ของน้ำในดินซึ่งทำให้เฮดลดเท่ากับ dh เมื่อต้องการหาค่า K โดยวิธีเฮดคงที่ที่เราจะเปลี่ยนสมการ (1) เป็น

$$K = \frac{QL}{Ah} \quad (2)$$

เมื่อ L คือระยะห่างของจุดวัดเฮดลด (h) ในแนวการไหล

## 2 อุปกรณ์และวิธีการ

### 2.1 เพอร์เมียมิตเตอร์แบบเสดคองท์

เพอร์เมียมิตเตอร์แบบเสดคองท์ที่เป็นเครื่องมือที่เลียนแบบมาจากการทดลองของดาร์ซี (Figure 1) ประกอบด้วยภาชนะทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10 cm วางในแนวตั้งสูง 30 cm (Figure 2) บรรจุตัวอย่างที่จะทดสอบเต็ม มีท่อน้ำเข้าด้านบน ท่อน้ำออกด้านล่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในของท่อทั้งสองเท่ากันคือ 1.5 cm ส่วนบนของท่อน้ำเข้ารับน้ำจากถังขนาดประมาณ 0.2 m<sup>3</sup> ความสูงจากผิวน้ำที่ควบคุมจนถึงด้านบนของตัวอย่างเท่ากับ 390 cm ถึงด้านล่างเท่ากับ 420 cm ท่อน้ำออกเชื่อมกับส่วนล่างของภาชนะบรรจุตัวอย่างแล้วงอขึ้นสูงจากพื้นล่างของตัวอย่าง 20 cm เพื่อมั่นใจว่าตัวอย่างดินมีความอิ่มตัวเต็มที่และสะดวกในการวัดอัตราการไหลด้วย เนื่องจากเพอร์เมียมิตเตอร์ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีமானอมิเตอร์สำหรับวัดเสดคองท์ที่จุด 2 จุดตามแนวการไหลจึงอนุโลมให้ใช้ระดับเข้ากับระดับน้ำออกแทนและถือเอาตลอดความยาวของตัวอย่างเป็นระยะการไหล L ซึ่งมีค่าเท่ากับ 30 cm ส่วนค่าเสดคองท์ h เท่ากับ 400 cm

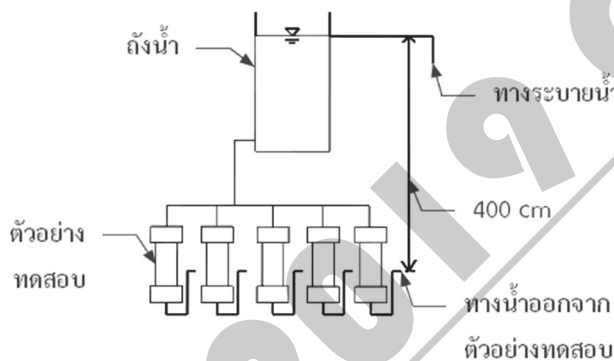


Figure 1 Pemeameter



Figure 2 Example

### 2.2 ตัวอย่างวัสดุพูนที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุพูนหลักที่ใช้คือดินทรายธรรมชาติที่ขุดมาจากแปลงทดลองภาควิชาวิศวกรรมชลประทาน มก. กำแพงแสนโดยชุดลึกไม่เกิน 30 cm แล้วนำไปทดสอบที่ห้องปฏิบัติการภาควิชา

วิศวกรรมชลประทาน มก. กำแพงแสน โดยเริ่มจากการฝั่งให้แห้งในร่มจนกระทั่งมีค่าความชื้นคงที่ วัดความชื้นของดินทรายตัวอย่างด้วยวิธีชั่งก่อนและหลังอบแห้ง (gravimetric method) ได้ค่าที่ 0.32 % โดยน้ำหนัก วัดการแจกแจงขนาดเม็ดดินโดยการวิเคราะห์ด้วยตะแกรงร่อน (sieve analysis) ได้การแจกแจงดังแสดงใน (Figure 3) ได้ค่า  $d_{10}$ ,  $d_{30}$  และ  $d_{60}$  เท่ากับ 0.183, 0.342 และ 0.585 ตามลำดับ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (coefficient of uniformity, Cu) เท่ากับ 3.20 และสัมประสิทธิ์ความโค้ง (coefficient of curvature, Cc) เท่ากับ 1.09 พบว่าเป็นดินทรายที่มีขนาดคละกั้นไม่ดีตามมาตรฐานของ ASTM D422 – 63

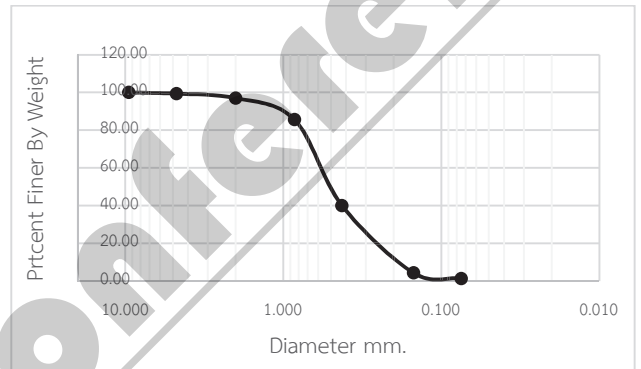


Figure 3 Grain size distributions

เพื่อลดอัตราการไหลผ่านตัวกลางพูน (flow through porous media) จึงผสมปูนขาวและปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนที่ไม่เกิน 12% สัดส่วนของตัวอย่าง ทราย:ปูนขาว คือ 97:3, 95:5, 93:7, 91:9 และ 89:11 สำหรับสัดส่วนของตัวอย่าง ทราย:ปูนซีเมนต์ คือ 98:2, 96:4, 94:6, 92:8 และ 90:10 โดยผสมในขณะที่ตัวอย่างยังแห้งอยู่ ใช้พู่กันเล็กคลุกเคล้าจนมั่นใจในความเป็นเนื้อเดียวกัน

### 2.3 วิธีการทดสอบ

ภาชนะที่บรรจุตัวอย่างสารผสมได้รับการติดตั้งบนตะแกรงลาดในแนวตั้ง เรียงเป็นแถว สูงจากพื้นประมาณ 80 cm ท่อน้ำเข้าที่ได้รับน้ำประปาจากถังควบคุมระดับน้ำคงที่ป้อนน้ำเข้าสู่ตัวอย่างทั้ง 5 ภาชนะ (Figure 4) ในเวลาเดียวกันปล่อยให้น้ำไหลผ่านตัวอย่างระยะเวลาหนึ่งแล้วจึงรองรับน้ำที่ไหลออกจากแต่ละตัวอย่างด้วยกระบอกตวงขนาด 500 ml พร้อมทั้งจับเวลาการไหลจนถึง 100 ml แล้วจึงหยุด เพื่อความละเอียดถูกต้องมากที่สุด โดยทำซ้ำไม่น้อยกว่า 5 ครั้ง ทุกครั้งก็หาค่าอัตราการไหลโดยหารปริมาตรน้ำด้วยเวลาการไหล เมื่อเห็นว่าอัตราการไหลคงที่ไม่น้อยกว่า 3 ครั้งจึงถือเอาค่าเฉลี่ย 3 ครั้งสุดท้าย แล้วจึงบันทึกอุณหภูมิของน้ำ



Figure 4 Flow rate measurement

#### 2.4 การคำนวณค่าความนำชลศาสตร์

ค่าความนำชลศาสตร์สามารถหาได้จากสมการที่ 2 เมื่อมีอัตราการไหลเฉลี่ย  $Q$  ที่ได้จากการทดสอบแต่ละตัวอย่าง ค่า  $L$  คือความยาวของตัวอย่างเท่ากับ 30 cm ส่วน  $A$  คือพื้นที่หน้าตัดของการไหลมีค่าเท่ากับ  $78.54 \text{ cm}^2$  และ  $h$  เป็นค่าความแตกต่างระหว่างเขตของมานอมิเตอร์ที่ต่อเชื่อมกับภาชนะบรรจุตัวอย่าง 2 จุด ห่างกัน  $L$  ตามทิศทางการไหล แต่เนื่องจากเพอร์มิเตอร์ในการศึกษาครั้งนี้ไม่มีมานอมิเตอร์จึงถือเอาความแตกต่างในแนวตั้งของระดับน้ำเข้าและออกเป็นค่า  $h$  ซึ่งมีค่าเท่ากับ 400 cm ทำให้สมการที่ 2 สามารถเขียนได้เป็น

$$K = 9.55 \times 10^{-4} Q \quad (3)$$

เมื่อ  $Q$  เป็นอัตราการไหลในหน่วย  $\text{m}^3 \text{ s}^{-1}$  จะได้  $K$  ในหน่วย  $\text{cm s}^{-1}$

เนื่องจากค่า  $K$  แปรผันตามค่าความหนืด (viscosity) ของน้ำ ซึ่งความหนืดแปรผันตามอุณหภูมิ ดังนั้นเพื่อให้การเปรียบเทียบมีความถูกต้อง จึงต้องปรับค่า  $K$  ให้เป็นค่าที่ได้จากการไหลของน้ำที่อุณหภูมิเดียวกัน ปกติใช้ 20 องศาเซลเซียส ดังสมการต่อไปนี้

$$K_{20} = K_T \frac{\eta_{20}}{\eta_T} \quad (4)$$

เมื่อ  $\eta_{20}$  และ  $\eta_T$  คือ ค่าความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียสและที่อุณหภูมิ  $T$  ใดๆ

### 3 ผลและวิจารณ์

การศึกษาหาความสามารถในการลดการรั่วซึมของน้ำในดินทรายที่ผสมปูนขาวและปูนซีเมนต์ จะเป็นประโยชน์ในการนำไปใช้ในการปรับปรุงพื้นที่ที่ทำการขุดสระน้ำที่พื้นที่นั้นมีลักษณะเป็นดินทรายเช่นในพื้นที่ลุ่มน้ำล้าภาชี ทำให้เกษตรกรที่มี

ปัญหาในการกักเก็บน้ำในสระในช่วงฤดูแล้งสามารถเก็บกักน้ำได้มีประสิทธิภาพมากขึ้น

ในการทดลองนี้ได้ทำการบดอัดดินทรายพบว่า ค่าความหนาแน่นของดินทรายก่อนทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ย  $1.55 \text{ g cm}^{-3}$  และหลังทำการทดสอบมีค่าเฉลี่ย  $1.56 \text{ g cm}^{-3}$  การทดสอบหาค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายหลังจากที่ทำการบดอัดแล้วโดยวิธีความดันคงที่ พบว่ามีค่าความนำชลศาสตร์เฉลี่ยอยู่ที่  $239.71 \text{ cm day}^{-1}$  เมื่อทำการเปรียบเทียบ  $K$  ของสารผสม ทรายกับปูนขาวและ ทรายกับปูนซีเมนต์ ค่า  $K$  ลดลงเมื่อสัดส่วนของปูนมากขึ้น ด้วยอัตราการลดลงเร็วในขณะที่สัดส่วนปูนน้อยๆ และเมื่อสัดส่วนปูนมากขึ้นอัตราการลดก็ช้าลง โดยมีความสัมพันธ์ดัง (Figure 5) และสามารถสร้างสมการความสัมพันธ์ได้ดังสมการที่ 5 และ สมการที่ 6 สำหรับ ทรายผสมปูนขาวและทรายผสมปูนซีเมนต์ตามลำดับ

$$K_{SL} = 265.2 P_{SL}^{-0.68} \quad (5)$$

$$K_{SC} = 407.4 P_{SC}^{-1.90} \quad (6)$$

เมื่อ  $K_{SC}$  และ  $K_{SL}$  คือ ความนำชลศาสตร์ในหน่วย  $\text{cm day}^{-1}$   $P_{SC}$  และ  $P_{SL}$  คือ % ปูนซีเมนต์ที่ใช้ผสมในดินทราย ตัวห้อย  $SC$  และ  $SL$  คือ ทรายผสมปูนซีเมนต์และทรายผสมปูนขาวตามลำดับ

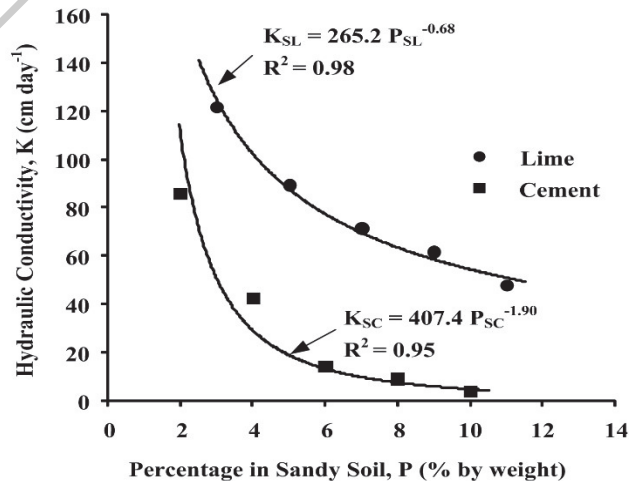


Figure 5 Hydraulic Conductivity of Sandy soil mixed with Cement (or Lime)

จาก (Figure 5) แสดงให้เห็นว่าค่า  $K$  มีค่าลดลงเมื่อนำปูนขาวมาผสมกับดินทราย โดยมีค่า  $K$  เท่ากับ  $121.37 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $89.21 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $71.31 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $61.55 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $47.82 \text{ cm day}^{-1}$  สำหรับส่วนผสมปูนขาวร้อยละ 3, 5, 7, 9, 11

โดยน้ำหนักตามลำดับ โดยที่ความหนาแน่นของการทดสอบดินทรายผสมปูนขาวอัดอยู่ระหว่าง  $1.71 \text{ g cm}^{-3}$  ถึง  $1.76 \text{ g cm}^{-3}$  และค่า K มีค่าลดลงเมื่อนำปูนซีเมนต์มาผสมกับดินทรายโดยมีค่า K เท่ากับ  $85.50 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $42.21 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $14.15 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $8.82 \text{ cm day}^{-1}$ ,  $3.79 \text{ cm day}^{-1}$  สำหรับส่วนผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 2, 4, 6, 8, 10 โดยน้ำหนักตามลำดับโดยที่ความหนาแน่นของการทดสอบดินทรายผสมปูนซีเมนต์อัดอยู่ระหว่าง  $1.73 \text{ g cm}^{-3}$  ถึง  $1.86 \text{ g cm}^{-3}$

จะเห็นได้ว่าเมื่อมีการผสมปูนซีเมนต์หรือปูนขาวเพิ่มขึ้นพบว่าค่าความนำชลศาสตร์จะลดลงอย่างต่อเนื่องแสดงให้เห็นว่าปูนซีเมนต์และปูนขาวมีประสิทธิภาพในการช่วยลดค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายลงได้

#### 4 สรุป

การลดค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายโดยการผสมปูนขาวเป็นวิธีหนึ่งที่สามารถลดค่าความนำชลศาสตร์ลงได้ จากการศึกษาครั้งนี้พบว่า ค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายมีค่าลดลงเมื่อมีการผสมปูนขาวเพิ่มขึ้น โดยที่ค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายที่ผสมกับปูนขาวร้อยละ 3 โดยน้ำหนักมีค่า K อยู่ที่  $121.37 \text{ cm day}^{-1}$  เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมลงไปค่าความนำชลศาสตร์จะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายที่ผสมปูนขาวร้อยละ 11 โดยน้ำหนักมีค่า K อยู่ที่  $47.82 \text{ cm day}^{-1}$  ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 5

การลดค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายโดยการผสมปูนซีเมนต์เป็นวิธีหนึ่งที่ได้ผลดีสามารถลดค่าความนำชลศาสตร์ลงได้อย่างมาก จากการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายมีค่าลดลงเมื่อมีการผสมปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ โดยที่ค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายที่ผสมกับปูนซีเมนต์ร้อยละ 2 โดยน้ำหนักมีค่า K อยู่ที่  $85.50 \text{ cm day}^{-1}$  เมื่อมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมลงไปค่าความนำชลศาสตร์จะลดลงอย่างต่อเนื่อง โดยที่ค่าความนำชลศาสตร์ของดินทรายที่ผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักมีค่า K อยู่ที่  $3.79 \text{ cm day}^{-1}$  ซึ่งเป็นไปตามสมการที่ 6

เมื่อนำค่าความนำชลศาสตร์ของสารผสมทั้ง 2 มาเปรียบเทียบกับกันจะเห็นว่าการลดค่าความนำชลศาสตร์ดินทรายด้วยปูนซีเมนต์นั้นมีประสิทธิภาพมากกว่าการลดค่าความนำชลศาสตร์ดินทรายด้วยปูนขาวอย่างเห็นได้ชัด

จากการศึกษาพบว่าการนำปูนซีเมนต์ไปใช้เพื่อลดค่าความนำชลศาสตร์นั้นเหมาะสมกว่าการใช้ปูนขาวแต่ยังไม่เหมาะสมที่สุด

โดยค่าความนำชลศาสตร์ที่เหมาะสมที่จะใช้ชุดสระไว้สำหรับการกักเก็บที่เหมาะสมควรมีค่าไม่เกิน  $0.86 \text{ cm day}^{-1}$  (Srihawatt *et al.*, 1999) ซึ่งการศึกษาครั้งนี้พบว่าค่าความนำชลศาสตร์ยังมีค่าที่สูงกว่า  $0.86 \text{ cm day}^{-1}$  ทุกตัวอย่างทดสอบโดยที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ 10% โดยน้ำหนัก ที่มีค่าความนำชลศาสตร์น้อยที่สุดอยู่ที่  $3.79 \text{ cm day}^{-1}$  ซึ่งหากต้องการที่จะลดค่าความนำชลศาสตร์ของสระน้ำให้มีประสิทธิภาพตามมาตรฐานที่แนะนำ ควรมีการเพิ่มอัตราส่วนผสมของสารที่นำมาใช้ทดสอบ หรือเลือกใช้สารผสมอื่นเพื่อช่วยลดค่าความนำชลศาสตร์ลง เช่น เบนโทไนท์ หรือการเลือกลดค่าความนำชลศาสตร์ด้วยวิธีอื่น ๆ เช่น การคาดด้วยผ้าใบคอนกรีตหรือพลาสติก Polyethylene

#### 5 กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้เพราะความอนุเคราะห์จากภาควิชาวิศวกรรมชลประทานที่ได้ให้สถานที่ในการทำงานวิจัย และยังให้คำแนะนำในการทำงานวิจัยนี้ให้ลุล่วงไปได้ด้วยดีพร้อมทั้งทุนในการซื้ออุปกรณ์ทำงานวิจัย

#### 6 เอกสารอ้างอิง

- Angsuwotai, P. 1982. Permeability of soil mixed with lime. *KKU Engineering Quarterly*. 9 (3): 61-67. (in Thai)
- Bouwer, H., Ludke, J., Rice R.C. 2001. Sealing pond bottoms with muddy water. *Ecological Engineering*. 18: 233-238.
- Donjadee, S., Vudthivanich, V., and Sanguanduan, N. 2017. Application of Concrete Fabric for Irrigation. *Cholakorn Books*. 4 January 2017: 167-166. (in Thai)
- Gleason, M.H., Daniel, D.E. and Eykholt, G.R. 1997. Calcium and sodium bentonite for hydraulic containment applications. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 123(5): 438-445.
- Jin, L., Song, W., Shu, X., and Huang, B. 2018. Use of water reducer to enhance the mechanical and durability properties of cement-treated soil. *Construction and Building Materials*. 159: 690-694.
- Kolawole, J., Osinuibi, M., Charles, M.O., Nwaiwu, A.M. 2005. Hydraulic conductivity of compacted Lateritic soil. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 131(8): 1034-1041.

- Land development department. 2018. Project for digging farmpond in rainfed area. Available at: [http://www.ldd.go.th/WEB\\_water/index.html](http://www.ldd.go.th/WEB_water/index.html). on 9 July 2018. (in Thai)
- Malusis, M.A., Barben, E. J., and Evans, J.C. 2009. Hydraulic conductivity and compressibility of soil-bentonite backfill amended with activated carbon. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*. 135(5): 664-672.
- Nakusun, C., Kaesaman, A., and Rungvichaniwit, A. 2007. Prototype of using natural latex to pave pond. Full research reports. Bangkok: Thailand Research Fund. (in Thai)
- Nijp, J.J., Metselaar, K., Limpens, J., Gooren, H.P.A., and van der Zee, SEATM. (2013) A modification of the constant-head permeameter to measure saturated hydraulic conductivity of highly permeable media. *MethodX* 4: 134-142.
- Office of Agricultural Economics. 2008. Annual report 2008. (in Thai)
- Office of Agricultural Economics. 2016. Agricultural statistics of Thailand 2016. Bangkok: Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Sandoval, G.F.B., Galobardes, I., Teixeira, R.S., and Toralles, B.M. 2017. Comparison between the falling head and the constant head permeability tests to assess the permeability coefficient of sustainable pervious concretes. *Case Studies in Construction Materials* 7: 317-328.
- Shahid, A., M. Aslam and M. Shafiq. 1996. Reducing water seepage from earthen ponds. *Agricultural Water Management*. 30: 69-76.
- Srithawat Na Ayudhaya, S., Nilpunt, S., Oonthum, S., and Chanthawatcharakorn, N. 1999. Assessment of water loss by leakage of ponds dug in various soil series on high ground. Academic documents:502. Soil Survey and Classification Division. Land Development Department. Ministry of Agriculture and Cooperatives. (in Thai)
- Tipmontree, T. 2009. Influencing Factors of Permeability on Fine Grain Soil Admixed with Cement. Master of Engineering Thesis. King Mongkut's University of Technology North Bangkok. (in Thai)
- Yu, L., Rogiers, B., Gedeon, M., Marivoet, J., De Craen, M., and Mallants, D. 2013. A critical review of laboratory and in-situ hydraulic conductivity measurements for the Boom Clay in Belgium. *Applied Clay Science* 75-76: 1-12.