

ค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัวของดินเค็มซึ่งเป็นฟังก์ชันของความชื้น

UNSATURATED HYDRAULIC CONDUCTIVITY OF SALINE SOILS AS A FUNCTION OF MOISTURE CONTENT

ศุภสิทธิ์ คนใหญ่ (Supasit Konyai) *

ดร. วิชัย ศรีบุญลือ (Dr. Vichai Sriboonlue) **

ดร. เกรียงศักดิ์ ศรีสุข (Dr. Kriengsak Srisuk) ***

บทคัดย่อ

ดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดจากการไหลของน้ำใต้ดินในชั้นไม่อิ่มตัวพาเกลือขึ้นสู่ผิวดิน การจำลองการเคลื่อนที่ของตัวละลายเกลือในชั้นดินไม่อิ่มตัว จึงมีความสำคัญต่อการป้องกันดินเค็ม ในการจำลองการเคลื่อนที่ของตัวละลายเกลือในชั้นดินไม่อิ่มตัว ต้องอาศัยค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydraulic conductivity, $K(\theta)$) เป็นพารามิเตอร์ในการคำนวณ ดังนั้นการศึกษานี้ได้วิจัยหาวิธีการคำนวณเพื่อให้ได้ค่า $K(\theta)$ ที่เป็นฟังก์ชันของความชื้นของตัวอย่างดินที่ต้องการ โดยใช้การประยุกต์ Darcy's Law, continuity equation และความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงน้ำในดินกับความชื้นของดิน โดยวิธีทำให้เกิดการเคลื่อนที่ของน้ำเกลือขึ้นด้วยแรงคาพิลลารีไปตามช่องว่างของดินในท่อ PVC เส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีความยาวท่อ 3 ขนาด คือ 1.0 1.5 และ 2.0 เมตร ตั้งในอ่างน้ำเค็มซึ่งใช้สารละลายเกลือโซเดียมคลอไรด์ที่มีความเค็มประมาณ 150 mS/cm แล้ววัดความชื้นและความเค็มในดินที่ระยะเวลา 1 วัน 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 30 วัน ค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัวที่ได้จากการศึกษานี้เมื่อเปรียบเทียบกับ van Genuchten equation มีแนวโน้มในทิศทางเดียวกัน ส่วน Gardner equation จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการศึกษานี้ ก็ต่อเมื่อมีความชื้นในดินสูง

คำสำคัญ : สภาพนำชลศาสตร์ ชั้นไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดินเค็ม

Key Words : Hydraulic conductivity, Unsaturated zone, Saline soil

-
- * มหบัณฑิต หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมดินและน้ำ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น และผู้ช่วยนักวิจัย ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- ** นักวิจัย ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- *** นักวิจัย ศูนย์วิจัยน้ำบาดาล คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น และรองศาสตราจารย์ ภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยขอนแก่น

ABSTRACT

The saline soil in the Northeast Thailand caused by the salt accumulation in soil surface as the result of groundwater upward flow through the unsaturated zone. Mass transport through unsaturated zone modeling is very important for mitigation of soil salinization. Unsaturated hydraulic conductivity ($K(\theta)$) is an essential parameter for modeling. The aim of this study is to search for a reasonable and simple method to obtain the correct values of $K(\theta)$ as a function of water content of soil samples. By using Darcy's Law, continuity equation, and retention curve we can derive the proposed method. The measurement composes of pre-splited PVC tubes of 2 inch diameter with lengths of 1.0, 1.5 and 2.0 m. Each tube was filled with dry soil and stood vertically in buckets containing saline water (NaCl) of about 150 mS/cm allowing only the bottom end to immerse in the water. Saline water was left to move up by capillary through the soil column and water content and salt concentration of the soil were measured after 1, 7, 14, 21 and 30 days. The results showed that unsaturated hydraulic conductivity ($K(\theta)$) equation for van Genuchten equation was the same as that of Darcy's law but Gardner equation are similar result when high water content.

บทนำ

ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือนอกจากปัญหาน้ำท่วมและปัญหาก็ยังมียกหนึ่งปัญหาที่สำคัญคือปัญหาดินเค็ม การเกิดดินเค็มในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเกิดจากการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินเค็มซึมจากระดับน้ำใต้ดิน (water table) ผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (unsaturated zone) ขึ้นสู่ผิวดิน ในการทำงานเกี่ยวกับดินเค็มต้องการการคำนวณเกี่ยวกับการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินเค็มผ่านชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวขึ้นสู่ผิวดิน ซึ่งมีพื้นฐานอยู่บนกฎของดาร์ซี (Darcy's Law) ว่าด้วยความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการไหลต่อหน่วยพื้นที่หน้าตัด (flux) กับความชันเชิงชลศาสตร์ (hydraulic gradient) โดยมีค่าสภาพนำชลศาสตร์ (hydraulic conductivity) เป็นตัวเชื่อมความสัมพันธ์ ค่าสภาพนำชลศาสตร์สำหรับตัวกลางที่ไม่อิ่มตัว ($K\theta$) เป็นค่าที่ไม่คงที่ คือแปรผันตามค่าความชื้นของตัวกลาง (moisture content, water content, θ) ดังนั้นจึงต้องระบุค่าความชื้นของดินควบคู่ไปด้วย (พิมพันธ์, 2526) เมื่อตัวกลาง

หรือดินมีความชื้นสูง ค่าสภาพนำชลศาสตร์จะมีค่าสูงตามด้วย และค่าสูงสุดอยู่ที่สภาวะดินอิ่มตัวด้วยน้ำ (saturated condition) การหาค่า $K(\theta)$ ให้ได้ถูกต้องเป็นหัวใจสำคัญของการคำนวณการเคลื่อนที่ของน้ำในการไหลแบบไม่อิ่มตัว

ดังนั้นวัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เป็นการหาวิธีการทดลอง และคำนวณค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัว (unsaturated hydraulic conductivity) ซึ่งเป็นฟังก์ชันของความชื้นในดินเค็มด้วยการทำให้เกิดการเคลื่อนที่คาพิลลารีในแท่งดินเพื่อให้ได้ค่าที่ถูกต้องโดยวิธีการที่เหมาะสมคือสามารถควบคุมระยะเวลาได้ง่ายไม่ซับซ้อนและราคาถูก

อุปกรณ์และวิธีการ

ทฤษฎีที่ใช้ในการศึกษา

ในการคำนวณค่าสภาพนำชลศาสตร์ของดินไม่อิ่มตัว (unsaturated hydraulic conductivity) ได้

ใช้หลักการประยุกต์ Darcy's Law และใช้สมการต่อเนื่อง (continuity equation) แล้วนำค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้เปรียบเทียบกับสมการของ van Genuchten และสมการของ Gardner

กฎของดาร์ซีมีรูปสมการดังนี้ (Hillel, 1984)

$$q = K(\theta) \frac{dh}{dz}$$

โดยที่

q คือ flux density หรือ อัตราความเร็วของการเคลื่อนที่ของน้ำ (cm³/day)

K คือ ค่าสภาพนำชลศาสตร์ เป็น function ของความชื้น (cm/day)

$\frac{dh}{dz}$ คือ ความชันชลศาสตร์

การใช้สมการต่อเนื่อง

สมการต่อเนื่อง กล่าวว่อัตราการไหลของของไหลเข้าสู่ส่วนที่กำลังพิจารณา ลบด้วยอัตราการไหลออก ย่อมมีค่าเท่ากับอัตราการเพิ่มขึ้นของปริมาตรของของไหลในส่วนที่กำลังพิจารณา เราประยุกต์ใช้สมการต่อเนื่องในการคำนวณอัตราการไหล q ในแท่งดินที่ใช้ในการทดสอบ โดยการวัดค่าความชื้นในแท่งดินที่เปลี่ยนไปเนื่องจากการเคลื่อนที่ของน้ำในดินเนื่องจากแรงคาพิลลารี ในขณะเดียวกันเราสามารถเปลี่ยนค่าความชื้น ที่จุดต่างๆ ให้เป็นค่าเฮดความดันด้วยการใช้ความสัมพันธ์ของความชื้นกับเฮดความดัน (retention curve) จะทำให้เราสามารถหาค่าความชันชลศาสตร์ ($\frac{dh}{dz}$) ได้ เมื่อเรารู้ q และ $\frac{dh}{dz}$ ก็จะสามารถคำนวณ K(θ) ได้ดังสมการที่ (1)

Gardner equation

Gardner equation เป็นสมการหาค่าสภาพนำชลศาสตร์ในรูปความสัมพันธ์ของค่าสภาพนำชลศาสตร์ของดินอิ่มตัว (k_s) กับเฮดความดัน (ψ) โดยมี $\propto$ คือ empirical constant ดังสมการ (Hillel และ Gardner, 1970)

$$k(\psi) = k_s e^{-\alpha \psi}$$

van Genuchten equation

van Genuchten (1980) ได้พัฒนาสมการหาความสัมพันธ์ของความชื้นโดยปริมาตร (θ) ค่าสภาพนำชลศาสตร์ k

$$k(\theta) = k_s \theta_*^{\frac{1}{2}} \left[1 - (1 - \theta_*^{1/m})^m \right]^2$$

θ_* คือสัดส่วนความชื้น หรือ effective saturation หาได้จาก

$$\theta_* = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r}$$

คือความชื้นของดิน หรือ volumetric water content (cm³/cm³), θ_s คือค่าความชื้นของดินอิ่มตัว มีค่าเท่ากับ porosity (cm³/cm³) และ θ_r คือความชื้นของดินแห้งในร่ม หรือ residual moisture content (cm³/cm³)

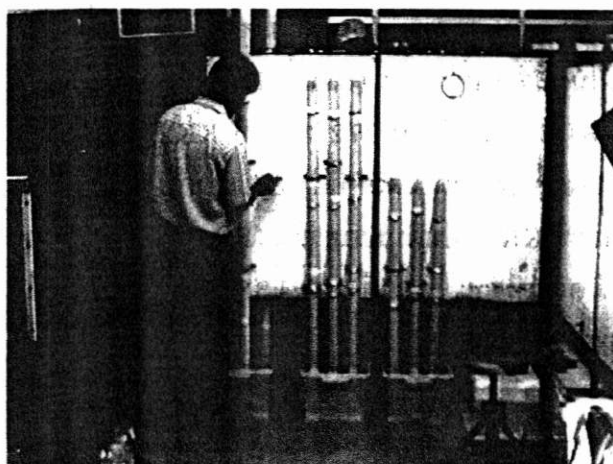
ค่า m ในสมการ (3) หาได้จากการพิตค่า m และค่า $\propto$ เข้ากับข้อมูล retention curve (ดังภาพที่ 4) โดยที่ $m = 1 - \frac{1}{n}$ ดังสมการต่อไปนี้

$$\theta = \theta_r + \frac{(\theta_s - \theta_r)}{\left[1 + (\alpha |\psi|)^n \right]^m}$$

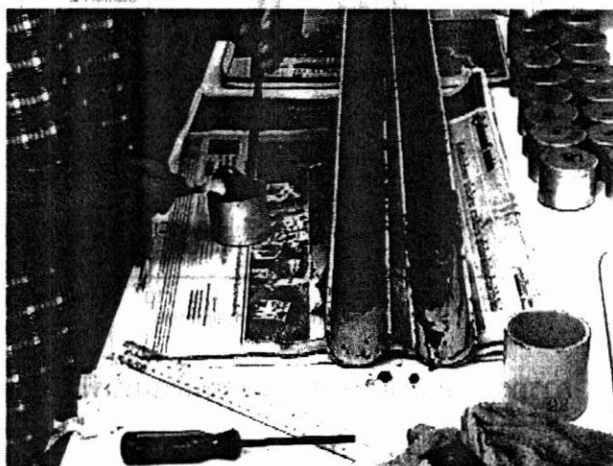
วิธีการศึกษา

ในการศึกษาครั้งนี้เป็นการหาค่าสภาพนำชลศาสตร์ของดินไม่อิ่มตัว (unsaturated hydraulic conductivity) ในดินเค็มการเคลื่อนที่ของน้ำขึ้นตามตัวอย่างแท่งดินจากระดับ water table ด้วยแรงคาพิลลารี ตัวอย่างดินจะถูกทำให้แห้งในร่มและทุบด้วยค้อนยางให้เป็นดินที่ไม่มีโครงสร้างเพื่อจะได้ดินที่เรียงตัวสม่ำเสมอ นำตัวอย่างดินบรรจุในกระบอก PVC ขนาด 2 นิ้ว ที่ผ่าครึ่งไว้ ปลายล่างมีฝาเจาะรูและรองด้วยผ้าขาวบาง ใช้เทปกระดาษปิดรอบและรัดท่อให้ประกบกันแน่นด้วยแหวนรัดท่อ

ประมาณ 3 ถึง 4 แหวน การบรรจุดินทำด้วยความระมัดระวังเพื่อให้ดินเรียงตัวอย่างสม่ำเสมอ สูงขึ้นจนถึงระดับดินที่ต้องการ ความสูงของดินแต่ละชนิดมีดังนี้ 1 เมตร จำนวน 3 ตัวอย่าง 1.5 เมตร และ 2 เมตร จำนวน 1 ตัวอย่าง รวมทั้งหมด 5 ตัวอย่าง ต่อดิน 1 ชนิด เนื่องจากมีดิน 3 ชนิด ดังนั้นจึงมีกระบอกตัวอย่างดินทั้งหมด 15 ตัวอย่าง ตัวอย่างดินทั้งหมดนี้ใช้ในการทดลองการเคลื่อนที่ขึ้นของน้ำเค็มขนาด 150 mS/cm (ซึ่งเป็นค่าความเค็มที่สูงมาก แต่ก็พบค่าประมาณนี้ในน้ำใต้ดิน ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือ) นำตัวอย่างดินตั้งในอ่างน้ำเค็มที่ได้รับการปรับความเค็มคงที่ที่ 150 mS/cm ให้ปลายล่างของกระบอกตัวอย่างดินจมลงในน้ำเค็ม 5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 1 โดยที่ระดับผิวน้ำและความเค็มของน้ำจะได้รับการปรับให้คงที่อย่างน้อย 2 ครั้งต่อวัน เวลาที่ให้น้ำเค็มเคลื่อนที่ขึ้นมี 1 วัน 7 วัน 14 วัน 21 วัน และ 30 วัน โดยที่ 1 วัน 7 วัน และ 14 วัน ใช้ตัวอย่าง 1 เมตร ส่วน 21 วัน กับ 30 วัน ใช้ตัวอย่าง 1.5 เมตร กับ 2 เมตร ตามลำดับ เมื่อถึงกำหนดเวลากระบอกตัวอย่างดินจะถูกยกขึ้นจากอ่างน้ำเค็ม วางนอนบนโต๊ะ คลายแหวนรัดท่อ ใช้คัตเตอร์กรีดเทปที่ปิดรอบประกบ แล้วแยกส่วนซีกหนึ่งของท่อออกจะเห็นตัวอย่างดินทั้งแท่งทำการวัดความยาวจากระดับผิวน้ำถึงระดับผิวเปียก (wet front) ซอยแบ่งตัวอย่างดินออกเป็นท่อนๆ ท่อนละ 10 ซม. เริ่มตั้งแต่ระดับผิวน้ำ ตัวอย่างดินแต่ละท่อนจะถูกแบ่งส่วนหนึ่งใส่กระป๋องโลหะดังแสดงในภาพที่ 2 เพื่อนำไปหาความชื้น ส่วนที่เหลือในแต่ละท่อนถูกนำไปผึ่งให้แห้งในร่มและใช้ในการหาค่าความเค็ม ในการวัดค่าความเค็มนำตัวอย่างดินที่แห้งในร่มขนาด 10 กรัม ใส่ลงในแก้วพลาสติกเติมน้ำกลั่น 50 กรัม ทิ้งไว้ 24 ชั่วโมง โดยกวนเป็นระยะๆ แล้ววัดค่าสภาพนำไฟฟ้า (electrical conductivity, E.C.) ของน้ำผสมดินนั้น



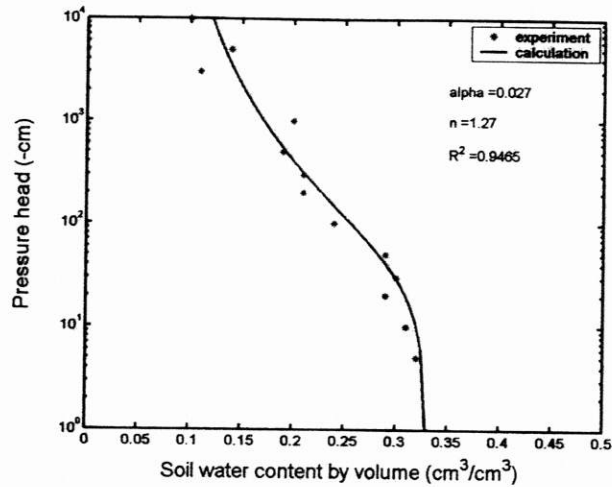
ภาพที่ 1 การนำท่อตัวอย่างดินแช่ในสารละลายเกลือ



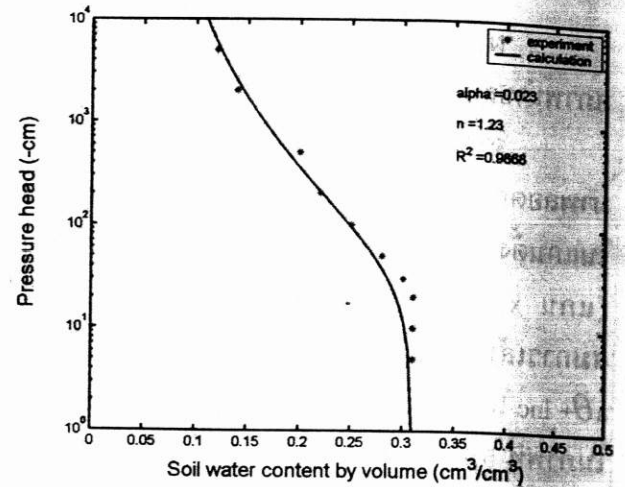
ภาพที่ 2 การแบ่งดินในท่อตัวอย่าง

ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

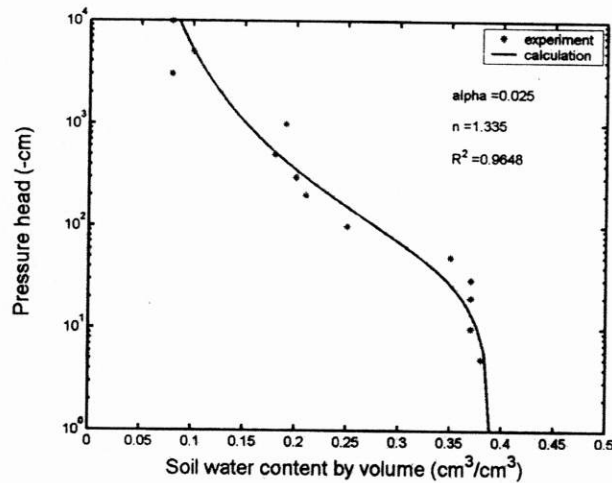
ผลการหาค่าคุณสมบัติทางกายภาพของดินจากการวิเคราะห์ขนาดของเม็ดดิน ได้กราฟการกระจายเม็ดดิน (grain size distribution curve) ดังแสดงในภาพที่ 3 ก. - ข. ส่วนผลการวิเคราะห์เนื้อดินของดินโดยสามเหลี่ยมจำแนกดินของ USDA พบว่าดินในพื้นที่ศึกษา บ้านนาเพีย ต.เมืองเพีย อ.บ้านไผ่ จ.ขอนแก่น ที่ Station 1 เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีขนาดเม็ดดินที่ค่า d_{50} เท่ากับ 0.078 มม. และที่ Station 2 เนื้อดินเป็นดินร่วนปนทราย (sandy loam) มีขนาดเม็ดดินที่ค่า d_{50} เท่ากับ 0.085 มม. ส่วนที่ Station 3 เนื้อดินเป็นดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) มีขนาดเม็ดดินที่ค่า d_{50} เท่ากับ 0.072 มม. และดินใน



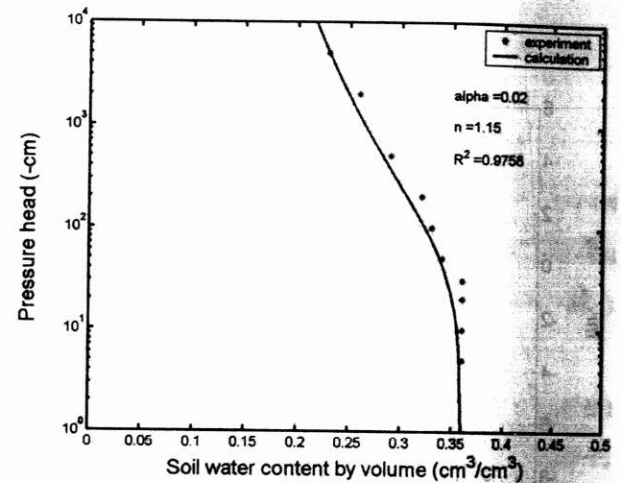
ก. Station 1



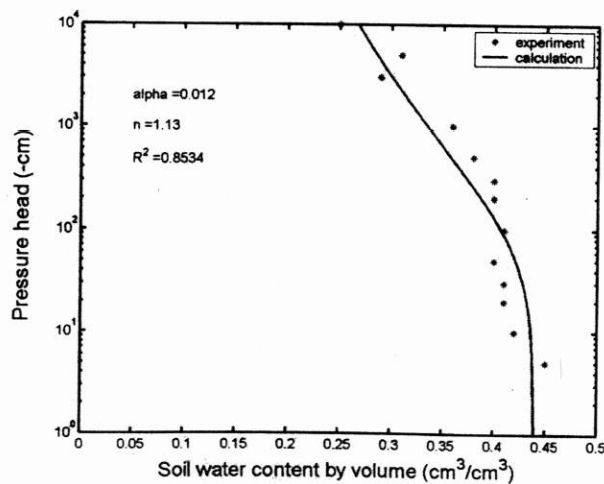
จ. KK 1



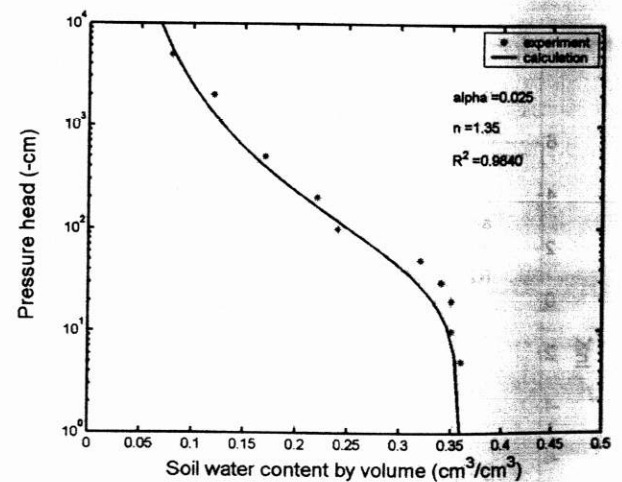
ข. Station 2



ฉ. KK 2



ค. Station 3



ฉ. KK 3

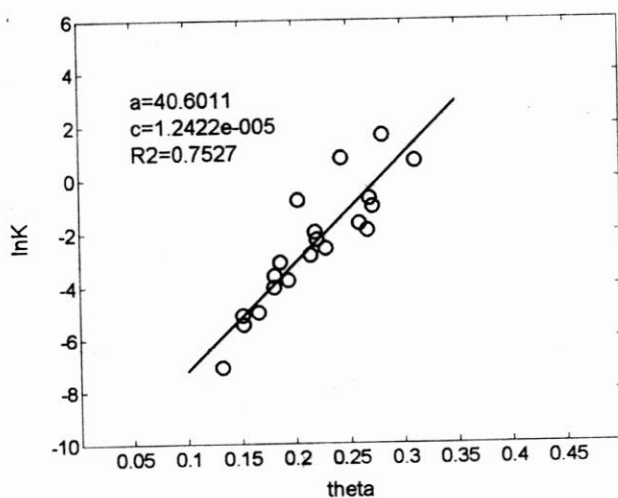
ภาพที่ 4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความชื้นกับเฮดความดันของพื้นที่ศึกษา

ผลการหาสมการจากความสัมพันธ์ของค่าสภาพนำคลศาสตร์ไม่สัมพันธ์กับความชื้น

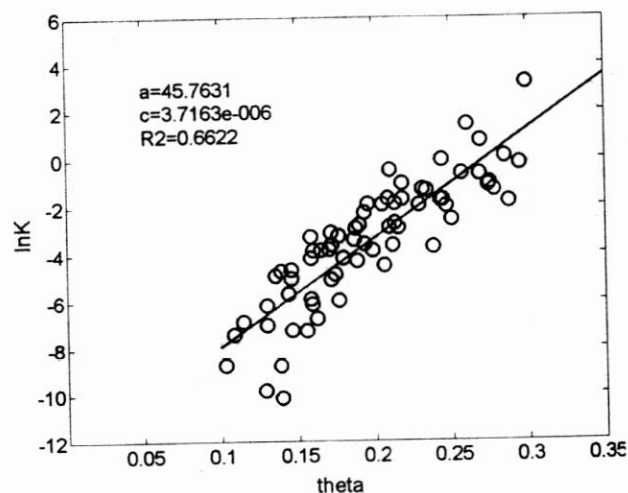
จากการคำนวณโดยการประยุกต์กฎของดาร์ซี มาพลอตกราฟด้วยโปรแกรม MATLAB โดยที่ให้ค่าในแกนตั้ง (แกน y) เป็นค่า $\ln K$ และค่าในแนวนอน (แกน x) เป็นค่าความชื้น (θ_v) โดยทำการฟิตสมการเส้นตรงผ่านจุดให้สมการอยู่ในรูป $\ln K = a\theta + \ln c$ โดยที่ค่า a และ c เป็นค่าคงที่ได้ผลดังแสดงในภาพที่ 5 ก.-จ. ตามลำดับ โดยได้ผลการคำนวณดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปร a และ c ที่ได้จากความสัมพันธ์ของค่าสภาพนำคลศาสตร์ไม่สัมพันธ์กับความชื้นในแต่ละพื้นที่ศึกษา

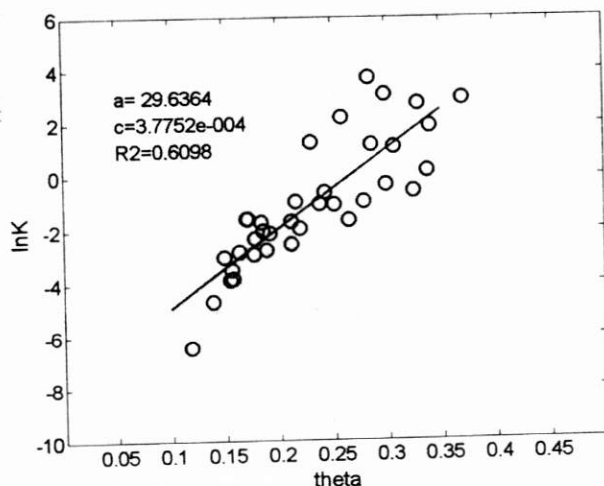
จุดเก็บตัวอย่างดิน	a	c
Station1	40.6011	1.2422E-5
Station2	29.6364	3.7752E-4
Station3	36.0776	2.5587E-7
KK1	45.7631	3.7163E-6
KK2	71.7560	8.8319E-11
KK3	31.4978	2.0827E-4



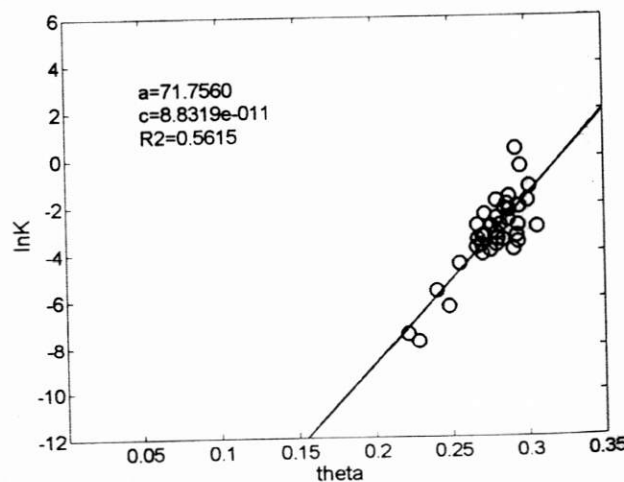
ก. Station 1



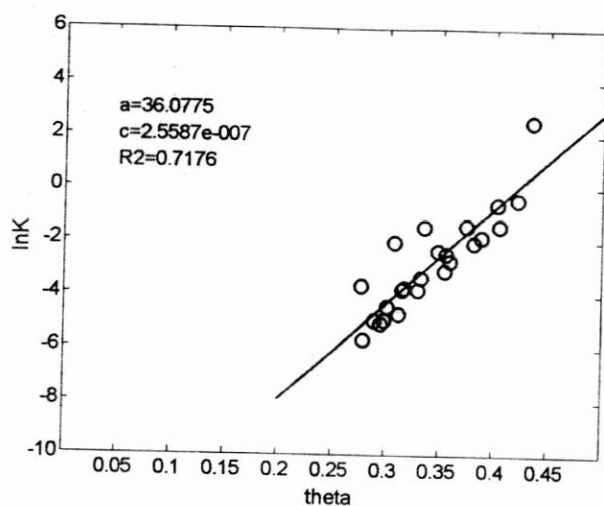
จ. KK1



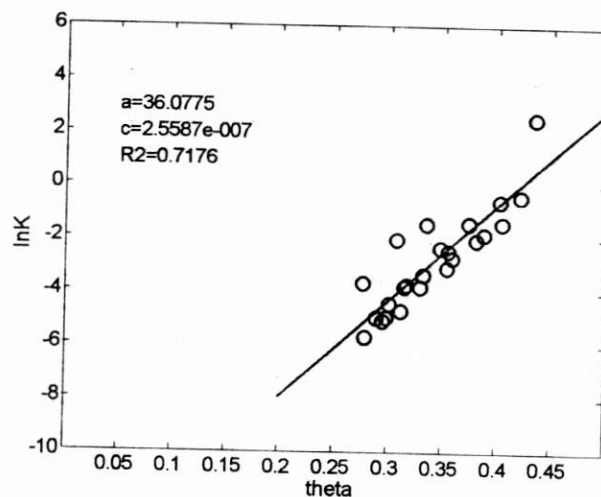
ข. Station 2



ฉ. KK2



ค. Station 3



จ. KK3

ภาพที่ 5 สมการเส้นตรงในรูป $\ln K = a + \ln c$ ในแต่ละพื้นที่ศึกษา

ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองและการคำนวณ

ผลการเปรียบเทียบค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองโดยใช้การประยุกต์กฎของดาร์ซี van Genuchten equation และ Gardner equation เมื่อนำค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองหาความชื้นจากการเคลื่อนที่ขึ้นด้วยแรงคาพิลลารีในแท่งดินพล็อตเป็นจุดและฟิตสมการเส้นตรงจากสมการที่ได้ กับค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จากการใช้สมการของ van Genuchten equation และ Gardner equation มีข้อสังเกตว่าค่าที่ได้จากสมการของ van Genuchten equation มีค่าที่ใกล้เคียงกันกับค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้กฎของดาร์ซีในดินที่มีลักษณะ

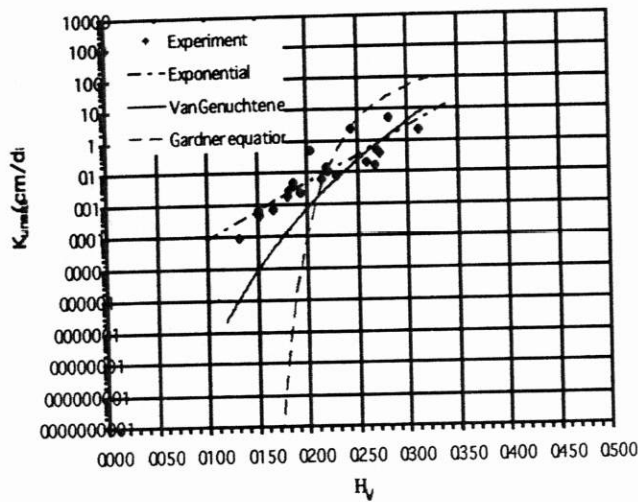
ทางกายภาพเป็นแบบดินร่วนปนทราย (sandy loam) ของ Station 1, Station 2 และที่ KK1 เช่นเดียวกับกับดินทรายร่วน (loamy sand) ของ KK3 ยกเว้นดินประเภทดินร่วน (loam) ของ KK2 และดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ของ Station 3 ค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จากสมการของ Gardner equation จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้กฎของดาร์ซี ก็ต่อเมื่อดินมีความชื้นสูง และที่ความชื้นต่ำค่าที่ได้จะลดลงอย่าง

รวดเร็วและจะลดลงไปเรื่อยๆ ดังแสดงในกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (K_{unsat}) กับความชื้นโดยปริมาตร (θ_v) ในภาพที่ 6 ก.-จ. ตามลำดับ

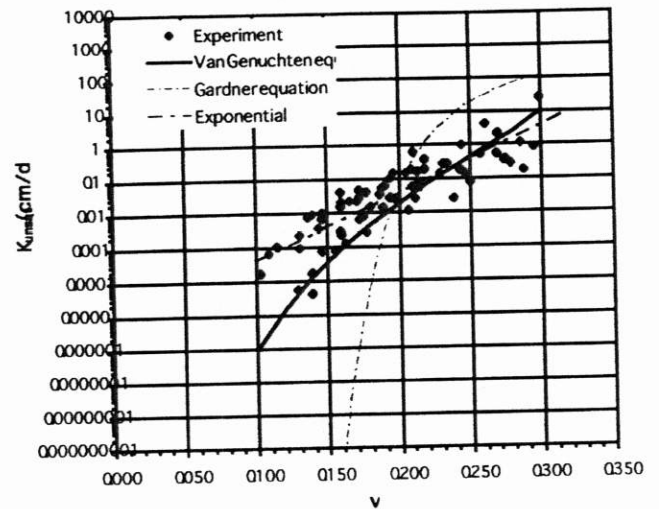
ค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่เป็นฟังก์ชันของความชื้นของดิน ที่ซึ่งได้จากการวัดในห้องปฏิบัติการสามารถนำไปใช้ในการคำนวณปริมาณการเคลื่อนที่ของน้ำใต้ดินเค็มขึ้นสู่ผิวดินได้ดังสมการริชาร์ดส์ (Richards equation) (Van Genuchten และ Wierenga, 1986)

$$\frac{\partial \theta}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[K_x(\theta) \frac{\partial H}{\partial x} \right]$$

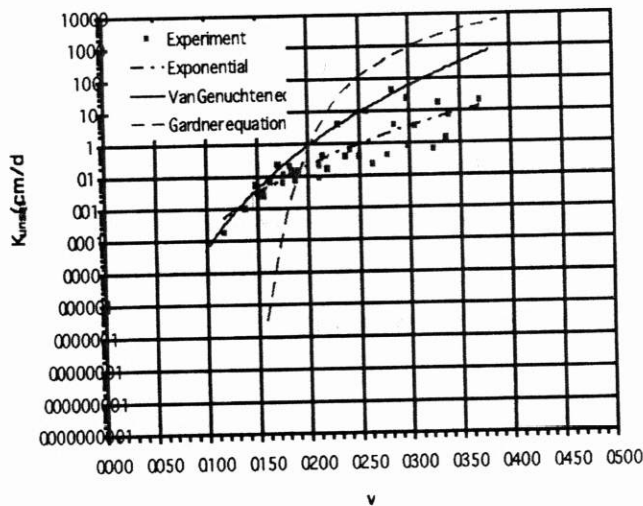
สมการริชาร์ดส์ (Richards equation) เป็นสมการสำหรับการเคลื่อนที่ผ่านดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเมื่ออยู่ในสถานะไม่คงตัว (unsteady flow) และเป็นสมการอนุพันธ์ย่อย (partial differential equation) เนื่องจากความชื้น (θ) อัตราการไหลของน้ำ (q) และเฮดชลศาสตร์ (H) ผันแปรไปตามเวลา (t) และระยะทาง (x) เนื่องจากการเคลื่อนที่ขึ้นด้วยแรงคาพิลลารี น้ำจะไหลซึมไปตามรูพรุนขนาดเล็กระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นค่า K ที่ได้จากห้องปฏิบัติการ จะใกล้เคียงกับค่า K ในสนาม



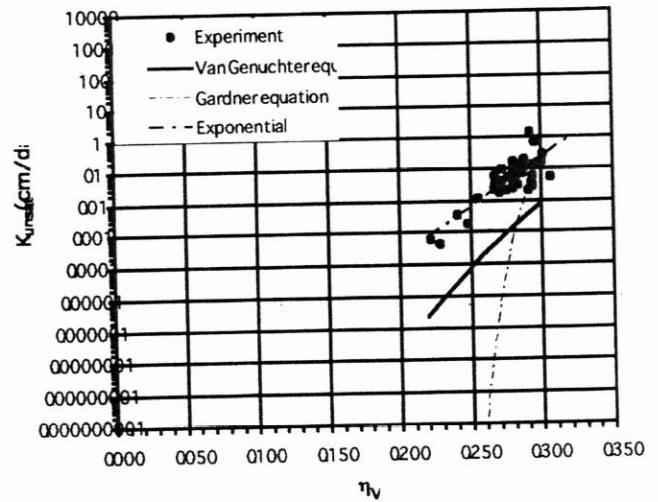
ก. Station 1



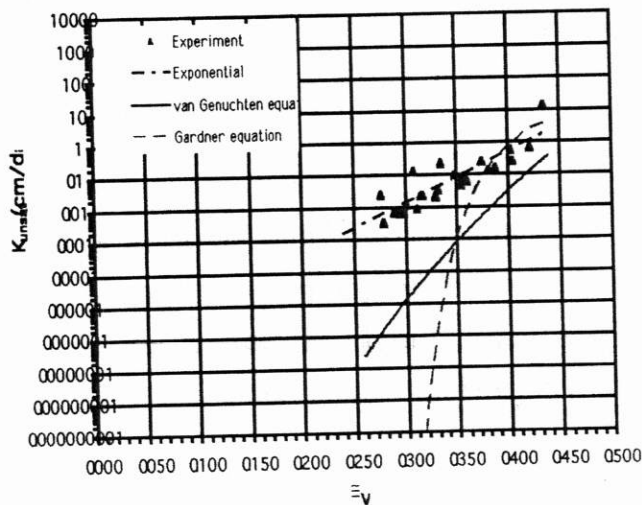
จ. KK 1



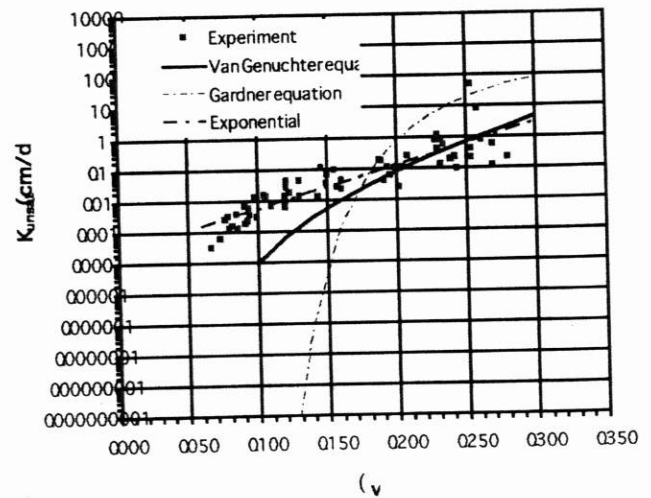
ข. Station 2



จ. KK 2



ค. Station 3



ฉ. KK 3

สรุปและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดลองการเคลื่อนที่ขึ้นของน้ำด้วยแรงคาพิลลารีในแท่งดิน ทำให้ทราบค่าความชื้นที่เปลี่ยนไปตามชั้นความสูงที่แบ่งในแท่งดิน และจากการทดลองค่าความสัมพันธ์ระหว่างความชื้น (θ) และเสดความดัน (ψ) ทำให้สามารถคำนวณหาค่าความชันชลศาสตร์ (hydraulic gradient, i) ได้ ทำให้สามารถหาค่าสภาพนำชลศาสตร์ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำจากการประยุกต์ใช้ Darcy's law เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากการคำนวณด้วย van Genuchten equation และ Gardner equation สรุปได้ดังนี้คือ ค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จาก van Genuchten equation มีค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากการประยุกต์ใช้กฎของดาร์ซี ในดินร่วนปนทราย (sandy loam) ของ Station 1, Station 2 และที่ KK1 เช่นเดียวกันกับดินทรายร่วน (loamy sand) ของ KK3 ยกเว้นดินประเภทดินร่วนเหนียว (clay loam) ของ KK2 และดินร่วนเหนียวปนทราย (sandy clay loam) ของ Station 3 ค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จากสมการของ Gardner equation จะให้ค่าที่ใกล้เคียงกับค่าที่ได้กับการประยุกต์ใช้กฎของดาร์ซี ก็ต่อเมื่อดินมีความชื้นสูง และที่ความชื้นต่ำค่าที่ได้จะตกลงอย่างรวดเร็วและจะตกลงไปเรื่อย ๆ

สมการค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้จากการทดลองการเคลื่อนที่ขึ้นของน้ำด้วยแรงคาพิลลารีในแท่งดิน สามารถเขียนให้อยู่ในรูป $\ln K = a + \ln c$ ได้ โดยที่ค่า a และ c เป็นค่าคงที่ได้ผลดังนี้คือ ที่ Station 1 มีค่า a คือ 40.6011 และค่า c คือ $1.2422E-5$ ที่ Station 2 มีค่า a คือ 29.6364 และค่า c คือ $3.7752E-4$ ที่ Station 3 มีค่า a คือ 36.0776 และค่า c คือ $2.5587E-7$ และที่ KK1 มีค่า a คือ 45.7631 และค่า c คือ $3.7163E-6$ ที่ KK2 มีค่า a คือ 71.7560 และค่า c คือ $8.8319E-11$ ที่ KK3 มีค่า a คือ 31.4978 และค่า c คือ $2.0827E-4$ กล่าวได้ว่าหากเราทราบค่าความชื้นของดินเราก็จะสามารถหาค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ไม่อิ่ม

ตัวได้ ในการเลือกใช้สมการที่ต้องพิจารณาถึงคุณสมบัติของเนื้อดินด้วยเช่นที่ Station 1 Station 2 และที่ KK1 ถึงเป็นดินชนิดเดียวกันแต่ค่าสภาพนำชลศาสตร์ที่ได้มีค่าที่ไม่เท่ากัน

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ ศูนย์วิจัยน้ำบาดาลภาควิชาเทคโนโลยีธรณี คณะเทคโนโลยีมหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่ให้การสนับสนุนเงินทุนในการทำวิจัยในครั้งนี้และภาควิชาวิศวกรรมเกษตร คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ภาควิชาทรัพยากรที่ดินและสิ่งแวดล้อม คณะเกษตรศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น ที่อำนวยความสะดวกและสนับสนุนในการทำวิจัยในครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

- พิมพ์พันธ์ เจิมสวัสดิพงษ์. 2526. ฟิสิกส์ของดิน. คณะเกษตรศาสตร์: มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- Hillel, D. and Gardner, W.R. 1970. Transient infiltration into crust topped profiles. *Soil sci.* 109: 69-76.
- Hillel, D. 1984. Diffusion coefficients of nirate, chloride, sulphate, and eater in cracked and uncracked chalk. *Soil Sci.* Vol. 35.
- Van Genuchten, M. T., and Wierenga, P. J. 1976. Mass transfer studies in sorbing porous media I. Analytical solutions. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 40: 473-480.
- Van Genuchten, M.T. 1980. A closed-from equation for predicting the hydraulic conductivity of unsaturated soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 44: 892-898.