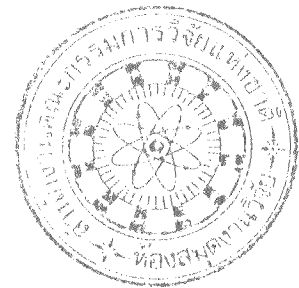
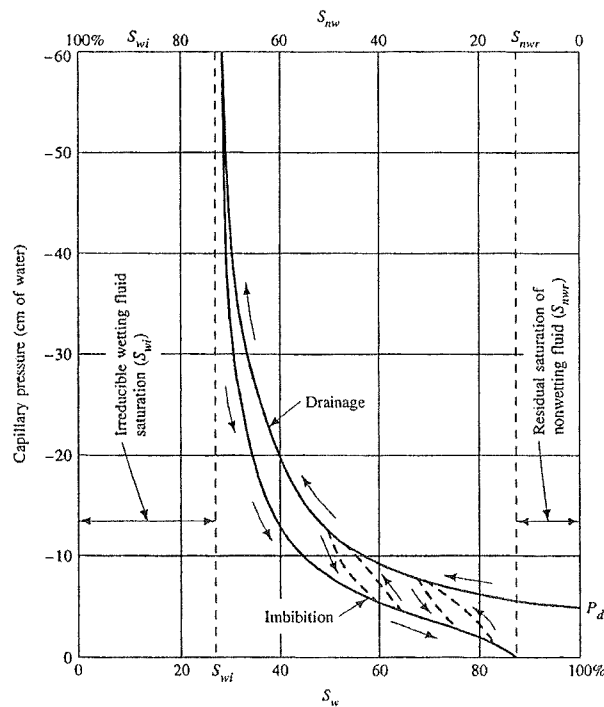


บทที่ 3 เส้นโค้งคุณลักษณะของน้ำมันเบนซินและก๊าซโซฮอล

3.1 เส้นโค้งคุณลักษณะของดินกับน้ำ

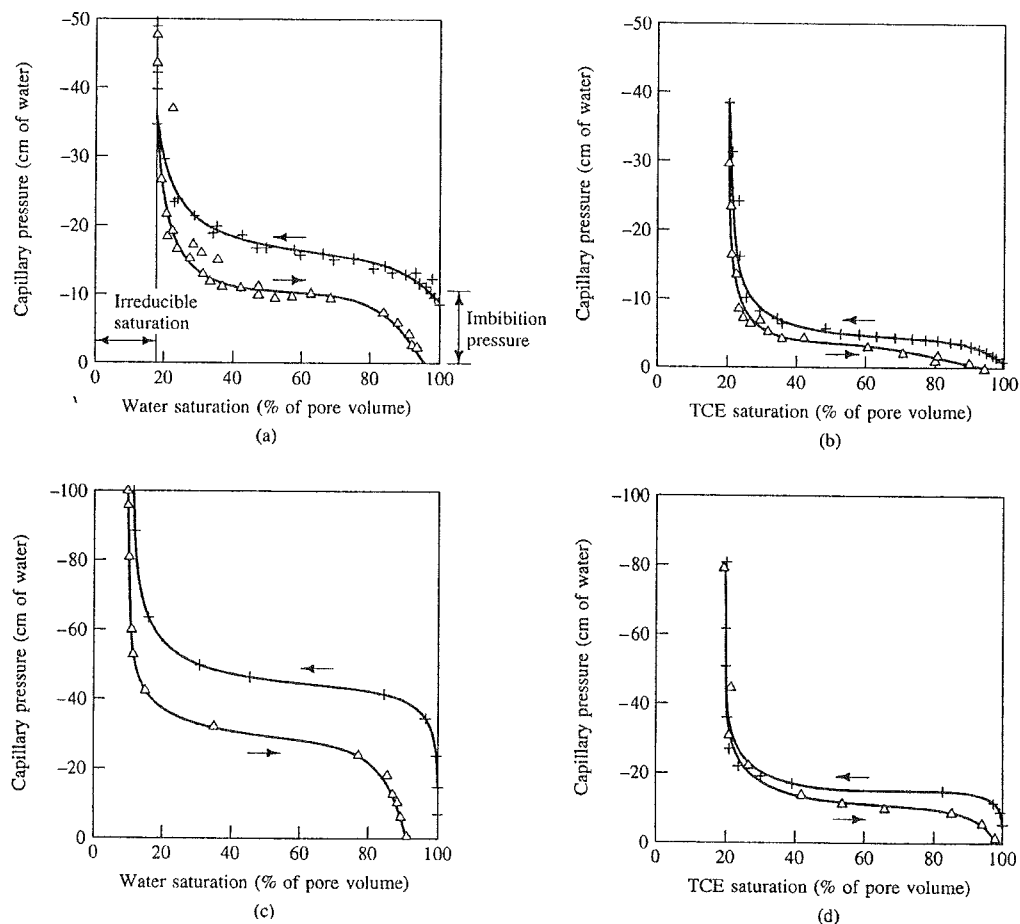
เส้นโค้งคุณลักษณะของดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve: SWCC) เป็นส่วนสำคัญของการแสดงความสัมพันธ์ในชั้นดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ (vadose zone) โดยจะอธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง soil suction และ soil water content เส้นโค้งลักษณะเฉพาะของดินกับน้ำ (SWCC) ยังได้แสดงความสัมพันธ์ช่องว่างของเม็ดดินไปจนถึงค่าการดูดซึมของน้ำโดยกระบวนการของดิน ณ ที่สภาวะความสัมพันธ์ที่มีปริมาณ water content ต่ำ จะมีค่าความสัมพันธ์ต่างไปด้วย ส่วนสภาวะที่มีปริมาณ water content สูง จะมี ความแตกต่างระหว่างช่องว่างของเม็ดดินและน้ำอิสระที่ลดต่ำลง ค่าความสัมพันธ์ของ soil suction จะลดต่ำลง เมื่อช่องว่างระหว่างเม็ดดินสามารถเข้าสู่ความสมดุลแล้ว น้ำอิสระกับ soil suction จะเกิดสมดุลจนถึงช่วงจุดที่เป็นค่า 0 เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำยังสามารถอธิบายความแตกต่างของ wetting characteristic curve and drying characteristic curve ที่เกิดขึ้นได้



รูปที่ 3-1 เส้นโค้งคุณลักษณะของดินกับน้ำ (Fetter, 1999)

จากรูปที่ 3-1 สามารถเรียกอีกอย่างว่ากราฟ Soil water retention curve หรือกราฟ Capillary pressure curve เป็นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary pressure และการอิ่มตัวด้วยน้ำ (Saturation) ของดิน

ซึ่งสามารถหาได้จากการทดลองโดยทำให้ดินอิ่มตัวด้วยน้ำหรืออยู่ในสภาพที่เปียก หรือเรียกว่า Wetting fluid saturation, S_w จากนั้นจึงค่อยๆ ทำให้ดินอยู่ในสภาพแห้ง โดยเพิ่มความดันเพื่อให้ น้ำไหลออก (Drainage) จุด P_d คือจุดที่ความดันสามารถทำให้น้ำเริ่มไหลออกเรียกว่า Displacement imbibitions bubbling pressure หรือ Air entry value เมื่อน้ำเริ่มไหลออกก็จะทำให้ค่าของ Wetting fluid saturation, S_w น้อยลงเรื่อยๆ และสภาพของดินจะเปลี่ยนจากสภาวะจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำ เป็นสภาวะที่ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ หรือเรียกว่า Nonwetting fluid saturation, S_{nw} จนเส้นการแห้ง (Drying curve) ขึ้นเป็นแนวตั้ง แสดงว่าที่ความดันสูงๆ นี้ก็ไม่สามารถทำให้น้ำไหลได้ เนื่องจากมีแรงดันคาปิลลารีทำให้น้ำเกาะอยู่ที่ผิวของเม็ดดิน โดยระยะของแนวตั้งถึงเส้นแกน Y เรียกว่า Irreducible wetting fluid saturation, S_{wi} ส่วนเส้นการเปียก (Imbibitions or wetting curve) คือการทำให้ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเปลี่ยนเป็นสภาวะที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำโดยการทำให้น้ำซึมเข้าไปในชั้นดินดินอิ่มตัว แต่ค่าของ Wetting fluid saturation, S_w จะได้ค่าน้อยกว่าเดิมเนื่องจากน้ำที่เข้าไปแทนที่ในช่องว่างของเม็ดดินไม่สามารถไล่อากาศที่ขังอยู่ในช่องว่างระหว่างเม็ดดินได้ทั้งหมด จึงไม่สามารถทำให้ค่า Wetting fluid saturation, S_w กลับเป็นเหมือนสภาพเดิม โดยค่าความแตกต่างนี้เรียกว่า Residual saturation of nonwetting fluid saturation, S_{nwr}

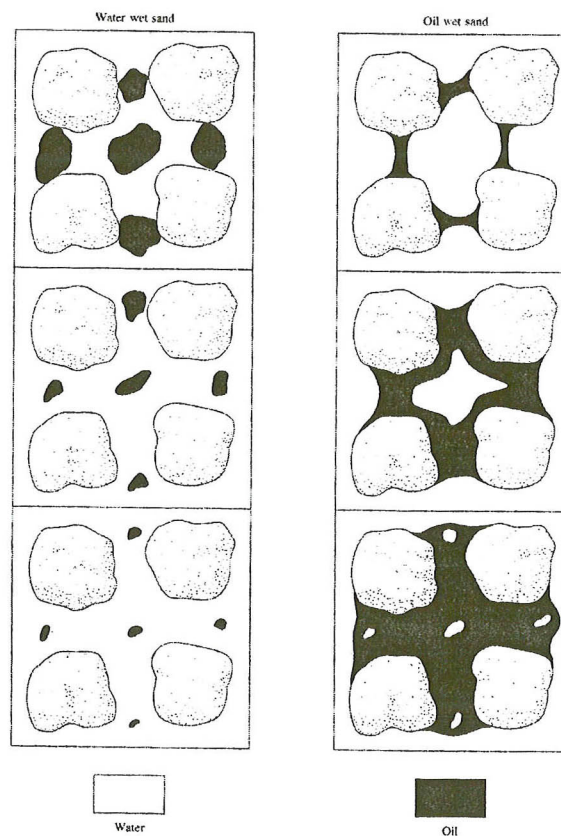


รูปที่ 3-2 ตัวอย่างกราฟ Soil water characteristic curve (Fetter, 1999)

จากรูปที่ 3-2 เป็นตัวอย่างกราฟ Soil Water Characteristic Curve กราฟ (a) น้ำและอากาศใน Medium sand (b) อากาศและสาร LNAPL (Trichloroethylene) ใน Medium sand (c) น้ำและอากาศ ใน Fine sand และ (d) อากาศและสาร LNAPL (Trichloroethylene) ใน Fine sand

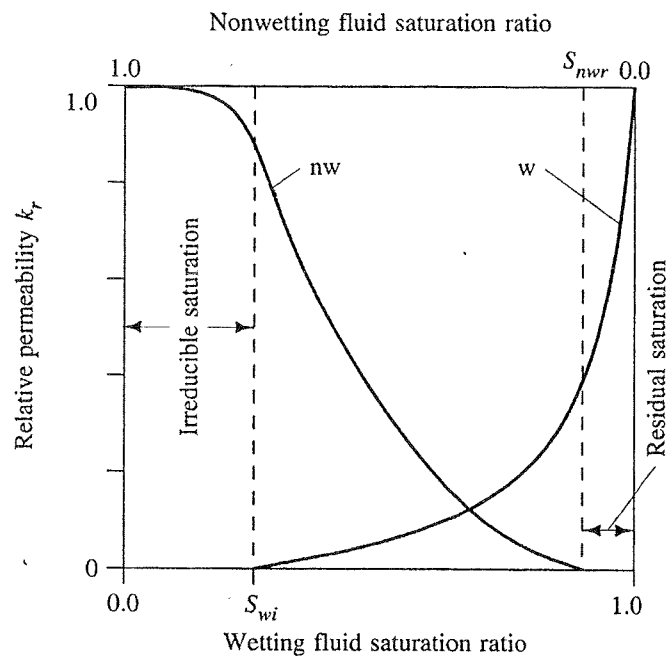
3.2 ความสามารถในการซึมผ่าน

มวลดินเป็นวัสดุที่มีช่องว่างต่อเนื่องในระหว่างเม็ดดิน เมื่อมีน้ำที่มีความดันต่างกันระหว่าง 2 จุดในมวลดิน จุดในมวลดินก็จะมีการไหลของน้ำผ่านช่องว่างเหล่านี้ ความสามารถที่มวลดินให้น้ำซึมผ่านไปได้ นี้เรียกว่า “ความซึมผ่านได้” (Permeability) ความสามารถในการไหลซึมผ่านของของเหลวในชั้นดินในเวลาเดียวกันถ้ามีของเหลว 2 ชนิดที่ไม่สามารถผสมกันได้ซึมเข้าไปในชั้นดินจะทำให้ของเหลวไหลเข้าไปในช่องว่างนั้นจนเต็ม ส่วนที่เกินก็จะไหลซึมลงไปสู่ดินที่มีชั้นลึกลงไป จากรูป 3-3 แสดงถึงการไหลของน้ำและอากาศ กับน้ำมันกับอากาศ ที่ไหลลงสู่ชั้นดินจากสถานะที่ดินไม่อิ่มตัวจนเป็นสถานะดินนั้นอิ่มตัว



รูปที่ 3-3 การไหลซึมผ่านของไหลของน้ำและอากาศ กับน้ำมันกับอากาศจนทำให้ดินอิ่มตัว

เนื่องจากของเหลวทั้งสองชนิดจะทำการไหลเข้าไปในช่องว่างต่างๆที่อยู่ในชั้นดินโดยของเหลวทั้งสองจะเข้าไปในช่องว่างอย่างรวดเร็ว ช่องว่างนี้จะแบ่งเป็นสองส่วน คือ ส่วนที่มีความสามารถในการไหลซึมผ่านมากกว่าจะเรียกว่า total pore space กับส่วนที่มีความสามารถในการไหลซึมผ่านน้อยหรือแทบจะไม่มีการซึมผ่านเลยจะเรียกว่า cross-sectional โดยที่ค่าของ Relative Permeability จะมีความสัมพันธ์กับค่า Intrinsic Permeability สามารถนำมาเขียน เฟสของ wetting และเฟสของ nonwetting ซึ่งจากรูป 3-4 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Relative-Intrinsic curve ที่เกิดจากการไหลของของเหลวที่สภาพ wetting และ nonwetting



รูปที่ 3-4 กราฟ Relative Permeability curve ของ 2 เฟส

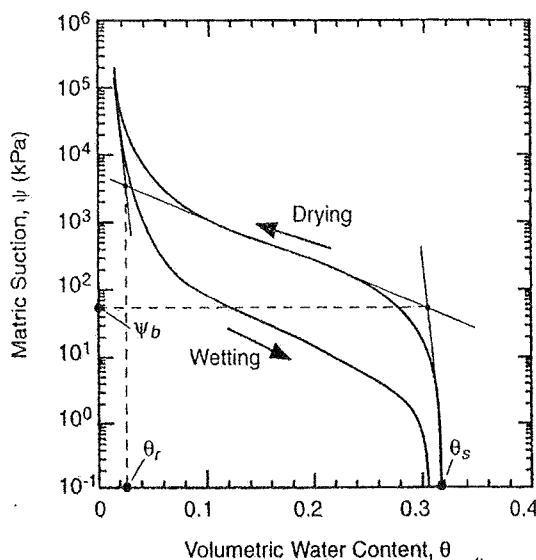
จากรูป 3-4 เส้นกราฟ w แสดงถึงการทำให้ของเหลวไหลลงไปในชั้นดินที่แห้งไม่มีน้ำเป็นส่วนผสม ในส่วน Irreducible saturation จะมีค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านของของเหลวจะเป็น 0 เนื่องจากของเหลวจะเข้าไปแทนที่ช่องว่างในชั้นดิน แต่เมื่อช่องว่างเหล่านั้นเต็มไปด้วยของเหลวแล้วจะทำให้ของเหลวส่วนอื่นสามารถไหลผ่านไปได้ จนความสามารถในการไหลซึมผ่านของของเหลวสูงขึ้นเรื่อยๆจนมีค่าเป็น 1 หรือ 100% ทำให้ดินอยู่ในสภาวะที่อิ่มตัวด้วยของเหลว นั่น จุดที่ของเหลวเริ่มมีการไหลผ่าน เรียกว่า Irreducible wetting fluid saturation, S_{wi} และเส้นกราฟ nw เป็นการนำดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำมาปล่อยให้น้ำไหลออกจนความสามารถในการไหลซึมผ่านของของเหลวเป็น 0 แต่ค่า wetting fluid saturation ratio จะไม่ถึง 1 หรือ 100% เนื่องจากยังมีน้ำเกาะจับเม็ดดินอยู่เพราะแรง Capillary Pressure ที่ดินกระทำกับของเหลวอยู่น้ำจึงไหลออกมาไม่หมด จุดที่การไหลสิ้นสุดเรียกว่า Residual saturation, S_{nwr}

3.3 สมการที่เกี่ยวข้อง

3.3.1 Soil Water Characteristic Curve

รูปที่ 3-5 เป็นกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary pressure และปริมาณความชื้นในดิน (Water content) สามารถได้จากตัวแปรที่ได้จากการทดลองโดยแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ Soil Water Characteristic Curve ประกอบด้วยตำแหน่งที่เกี่ยวข้องกับ Water content หรือ Suction ที่สภาวะความถ่วงจำเพาะและตำแหน่งที่ได้จากการทดลองหลายๆครั้ง โดยทำการกำหนดเป็นค่าคงที่ นั่นคือเลือกการจับกลุ่มของสมการของเส้นโค้งโดยทั่วไปที่ทำการกำหนดจุด โดยที่ Saturated water content (θ_s) จะบรรยายถึงส่วนประกอบทั้งหมดที่ช่องว่างโพรงอากาศในดินถูกแทนที่ด้วยน้ำ ส่วนใหญ่จะเหมือนกับการดูดซึมที่แสดงในเส้นโค้งของกราฟ ส่วน Air entry หรือ Bubbling (ψ_b) ความดันส่วนนี้จะบรรยายถึงแรงดูดที่ทำให้น้ำเริ่มเกิดการไหล โดยที่ปริมาณของ Air entry และปริมาณการตกค้าง (Residual water content, θ_r) จะสอดคล้องกันในการสร้างเส้นที่ผ่านระหว่างจุดต่อจุด สมการที่ได้จากกราฟมีดังนี้

$$\Theta = \frac{\theta - \theta_r}{\theta_s - \theta_r} \quad (3-1)$$



รูปที่ 3-5 ความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary pressure และปริมาณความชื้นในดิน

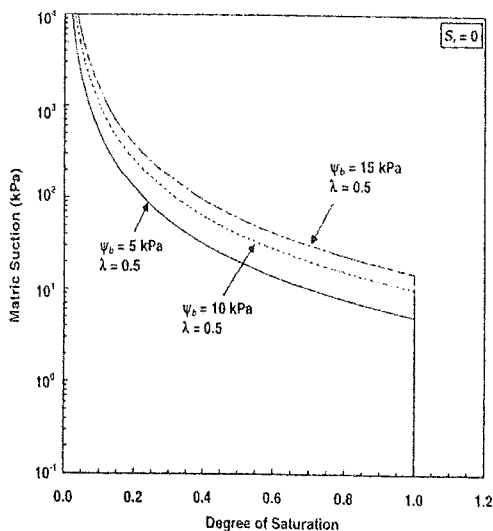
จุดประสงค์ของโมเดลเพื่ออธิบายถึงตัวแปรทั้งหมดซึ่งสามารถนิยามโดยแบบจำลอง Normalizing water content (Θ) หรือค่าความอิ่มตัว (Degree of saturation) ที่ดินอิ่มตัวเพื่อทำการประเมินถึงเปอร์เซ็นต์คงเหลือของของเหลวจึงสามารถกล่าวได้ว่าปริมาณคงเหลือของ Water content นั้นมีนัยสำคัญต่อปริมาณคงเหลือใน Degree of saturation (S_e)

$$S_e = \frac{S - S_r}{1 - S_r} \quad (3-2)$$

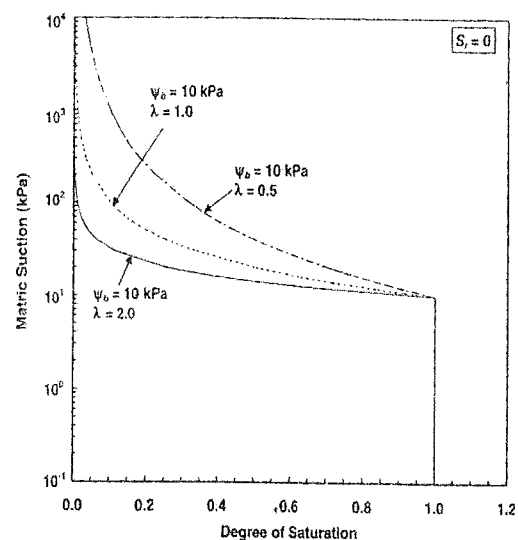
โดยที่ $\Theta = S_e$

3.3.2 สมการของ Brook and Corey (BC)

จากรูปที่ 3-6 แสดงถึงแบบจำลอง SWCC ที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงของ λ และ ψ_b ในแบบจำลอง ในรูปที่ 3-6(a) จะแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยน ψ_b ให้ λ เป็นค่าคงที่ ส่วนรูปที่ 3-6(b) แสดงผลกระทบของการเปลี่ยน λ ให้ ψ_b เป็นค่าคงที่ ในแต่ละที่ค่าการอิ่มตัวส่วนที่เหลือ S_r สมมุติให้เท่ากับ 0 เช่นเดียวกับ $\phi = S_e$ จากรูป 3-6(b) เปรียบเทียบค่าที่ได้ของ λ เป็นค่าที่มากกว่าครึ่งหนึ่งของช่องว่าง โดยให้ช่องว่างเป็นแกน y และ SWCC เป็นแกน x รูปที่ 3-7 แสดงถึง Suction water content ที่ทำการทดลองโดยชุดอุปกรณ์ Tempe cell และความสอดคล้องแบบจำลอง BC สำหรับดิน 3 ชนิด แบบจำลอง BC ทั้งหมดนี้เป็นการเปรียบเทียบค่าเพื่อหาค่าที่เหมาะสมที่สุด ดินที่มีคุณภาพต่ำสุด (coarse grained) เมื่อเปรียบเทียบแล้วจะได้ค่าที่ต่ำสุด และขอบเขตการดูดก็ต่ำไปด้วย แบบจำลองที่เกิดความคลาดเคลื่อนอาจมาจากการดูดที่เข้าใกล้ water content ในส่วนที่เหลือสูง การไม่ปรากฏให้เห็นของจุดเปลี่ยนระดับในการทดลองของแบบจำลองในบ่อครั้งจะส่งผลให้ค่า SWCC คลาดเคลื่อนไปด้วย การที่ผิวของเม็ดดินไม่เรียบทำให้ปริมาณของความดันอากาศยังคงอยู่ในช่องว่างของดินและสิ่งเหล่านี้ส่งผลให้ค่าที่ได้ไม่มีความแน่นอนเมื่อแบบจำลองอยู่ในรูปอื่นด้วยน้ำ

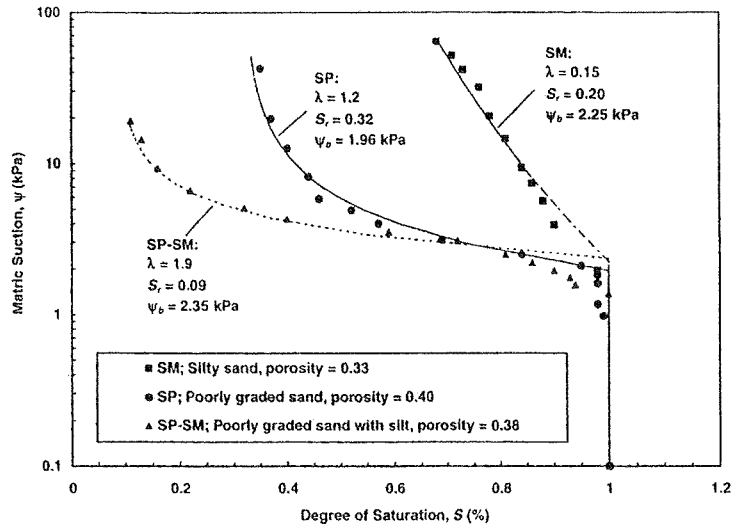


(a) การเปลี่ยน ψ_b โดยให้ λ เป็นค่าคงที่



(b) การเปลี่ยน λ โดยให้ ψ_b เป็นค่าคงที่

รูปที่ 3-6 ตัวอย่างสมการของ Brook and Corey (BC) (1964)



รูปที่ 3-7 Suction water content ที่ทำการทดลองโดยชุดอุปกรณ์ Tempe cell

สมการของแบบจำลอง BC เป็นดังนี้

$$S_e = \begin{cases} \left(\frac{\psi}{\psi_b} \right)^{-\lambda} & (\psi > \psi_b) \\ 1 & (\psi \leq \psi_b) \end{cases} \quad (3-3)$$

โดยที่ S_e = The Effective Degree of Saturation

h = ค่า Matrix Suction Head (ที่ระดับความสูงต่างๆ)

h_b = ค่า Air Entry Head

λ = ปริมาณค่าเฉลี่ยของฟองอากาศ

3.3.3 สมการ Van Genuchten (VG)

van Genuchten ได้เสนอถึงผิวของเม็ดดินในระบบปิด โดยแบบจำลองตัวแปรทั้ง 3 สำหรับ SWCC จากสมการเมื่อ a, n, m เป็นตัวแปรจากการคำนวณของแบบจำลอง VG สิ่งที่ได้แสดงให้เห็นสำหรับจุดโค้งสามารถยืดหยุ่น โค้งของกราฟได้มากกว่าแบบจำลอง BG แบบจำลองการดูดมีความกว้างและตัวอย่างลักษณะรูปร่างของโค้งดีกว่า ความเรียบของผิวที่ทำให้ความอัดอากาศเข้ามาและการดูดเข้าใกล้ส่วนที่เหลืออยู่เป็นผลกระทบที่สามารถจับต้องได้ (มองเห็นได้) จากสมการส่วนที่แสดงออกมาในหน่วยของความดันหรือ head ในก่อนหน้านี้นี้ตัวแปร a เป็นตัวกำหนดให้ α มีความผกผันกับความดัน ในกรณีต่อมาตัวแปร a กำหนดให้เป็น β ซึ่งมีความผกผันกับความดัน ที่มาของ β และ α คือส่วนที่ให้พลังงานอากาศออกมา ซึ่ง α จะใกล้เคียงกับความผกผันของอากาศที่ออกมาและ β จะมีความผกผันกับความดันของอากาศที่

ออกมาหรือจากความสูงของเส้นคาปิลลารี แบบจำลอง VG เป็นดังสมการ (3-4) และแสดงตัวอย่างในรูปที่ 3-8

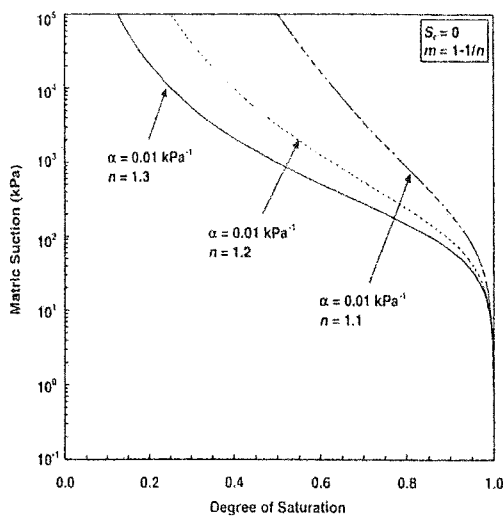
$$\Theta = S_e = \left[\frac{1}{1 + (\alpha \psi)^n} \right]^m \quad \begin{matrix} (m, n) \\ (m = 1 - 1/2n) \\ (m = 1 - 1/2n) \end{matrix} \quad (3-4)$$

โดยที่ α = ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับสถานะของความถ่วงจำเพาะ

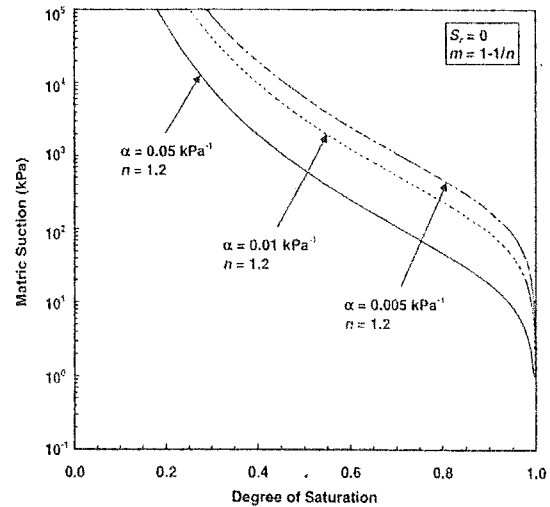
n = ตัวแปรที่เป็นความสัมพันธ์ของปริมาณค่าเฉลี่ยของฟองอากาศของดิน

m = ตัวแปรที่เป็นความสัมพันธ์ของลักษณะของเส้นโค้งในกราฟ

(โดยที่ m อาจมีความสัมพันธ์กับตัวแปร n)



(a) แสดงการเปลี่ยนค่าของตัวแปร n



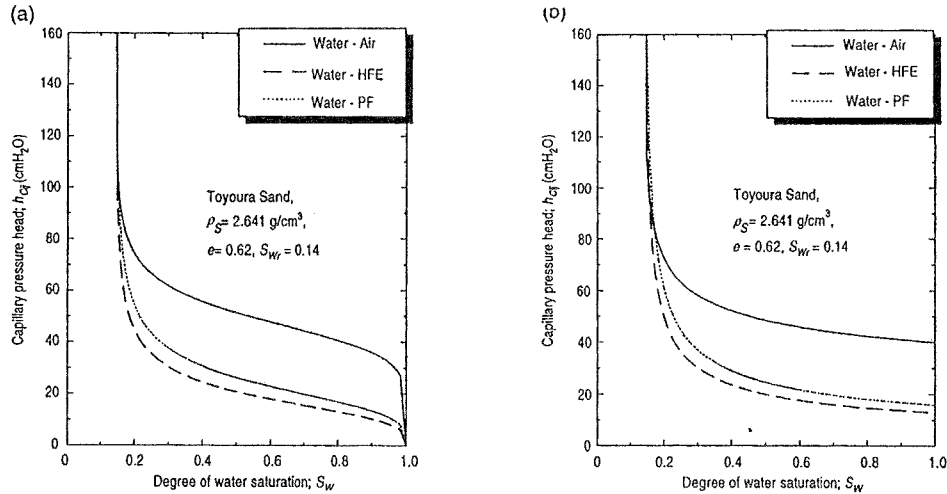
(b) แสดงการเปลี่ยนค่าของตัวแปร α

รูปที่ 3-8 ตัวอย่างสมการของ Van Genuchten (VG) (1980)

3.3.4 ลักษณะความสัมพันธ์แบบจำลองของ Brooks and Corey และ Van Genuchten

สมการของ Brooks and Corey และ van Genuchten จะมีความแตกต่างกันอยู่ คือ สมการของ van Genuchten ที่เส้นการแห้ง (Drying curve) จะเริ่มจากแรงดันคาปิลลารีที่ 0 จากนั้นจะเพิ่มขึ้นเรื่อยๆ ส่วนสมการของ Brooks and Corey เส้นการแห้งจะเริ่มจากแรงดันคาปิลลารีที่จุด P_d จากนั้นจึงค่อยๆ เพิ่มขึ้นตามลำดับ

จากรูปที่ 3-9 saturated water content (θ_s) ได้แสดงถึงตำแหน่งทั้งหมดของช่องว่างระหว่างเม็ดดินในดินที่จะถูกน้ำเข้ามาแทนที่ the air-entry or bubbling pressure (ψ_b) อธิบายถึง suction บนการดูดซึมที่ลดลงที่อากาศเริ่มเข้าในเม็ดดินที่มีช่องว่างขนาดใหญ่และความอิ่มตัวเริ่มลดลง



รูปที่ 3-9 แสดงความแตกต่างของสมการ van Genuchten และ Brooks and Corey โดยรูป (a) เขียนจากสมการของ van Genuchten รูป (b) เขียนจากสมการของ Brooks and Corey (Fetter, 1999)

3.4 สมการความซึมผ่าน

การหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้จากการทดลองสามารถหาได้จากกฎของ Darcy's Law ดังนี้

$$k_s = VL / Ath \quad (3-5)$$

โดยที่ V คือ อัตราการไหล
 A คือ พื้นที่หน้าตัดของทางน้ำไหล
 L คือ ความสูงของตัวอย่าง
 h คือ ระดับความดัน
 t คือ เวลาในการไหล

3.4.1 สมการสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของ Brook and Corey

การหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ของ Brook and Corey จะนำผลการทดลองที่ได้จากสมการการไหลผ่านของ Brook and Corey (1964) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ได้ดังสมการ (3-6) และสามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ (k) กับค่าสัมประสิทธิ์การอิ่มตัว (Θ) ดังสมการ (3-7)

$$k(\psi) = \begin{cases} k_s & \psi \leq \psi_b \\ k_s \left(\frac{\psi_b}{\psi} \right)^\eta & \psi > \psi_b \end{cases} \quad \text{เมื่อ } \eta = 2 + 3\lambda \quad (3-6)$$

โดยที่ k_s คือ สัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ในขณะอิ่มตัว

ψ คือ ค่าการดูด (ค่าความดัน)

ψ_b คือ ความดันที่ทำให้อากาศเริ่มไหลผ่าน

$$k_r = \Theta^{(2+3\lambda)/\lambda} = S_e^{(2+3\lambda)/\lambda} \quad (3-7)$$

โดยที่ k_r คือ ความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้

3.4.2 สมการสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของ Burdine และ Mualem

ในการหาสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของ Burdine (1953) และ Mualem (1978) จะนำผลการทดลองที่ได้มาจากการใช้สมการของ van Genuchten (1980) ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ (k) กับค่าการดูด (ψ) ดังสมการที่ (3-8) และแสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมผ่านได้ (k) กับค่าปริมาณของของเหลวในดิน (θ) ดังสมการ (3-9)

$$k_r(\psi) = \frac{\left[1 - (\alpha\psi)^{n-1} \left[1 + (\alpha\psi)^n\right]^{-m}\right]^2}{\left[1 + (\alpha\psi)^n\right]^{m/2}} \quad (3-8)$$

โดยที่ n คือ การแสดงความสัมพันธ์ขนาดคละของดิน

m คือ ค่าที่ได้จากการแสดงความสัมพันธ์ของค่า n

$$k_r = \Theta^{0.5} \left[1 - (1 - \Theta^{1/m})^m\right]^2 \quad (3-9)$$

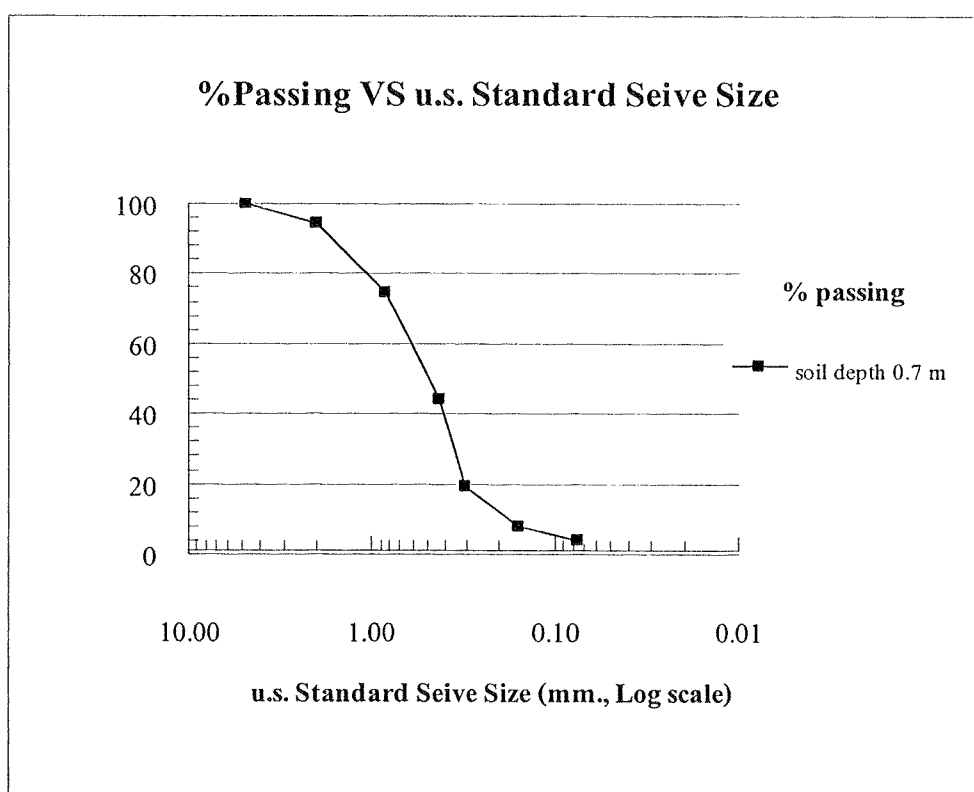
3.5 วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

3.5.1 ทราย

ตัวอย่างดินทรายที่ใช้ในการทดลองทำการเก็บตัวอย่างจากบริเวณคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยบูรพา จังหวัดชลบุรี ที่ระดับความลึก 0.7 เมตร โดยมีระดับความลึกของน้ำใต้ดินที่ 0.8 เมตร ตัวอย่างทรายที่ได้เป็นตัวอย่างแบบถูกรบกวน (Disturbed sample) คุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรมของดินทรายที่ใช้ในการทดลองสามารถทำการทดสอบตามมาตรฐานในตารางที่ 3-1 การกระจายขนาดของเม็ดดินทดสอบโดยวิธี Sieve Analysis ได้ผลดังแสดงในรูปที่ 3-10 มีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Coefficient of Uniformity, C_u) 1.77 และค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (Coefficient of Curvature, C_c) 1.10 จัดเป็นดินทรายที่มีขนาดคละไม่ดี (Poorly-Graded Soil) เมื่อจำแนกดินตามระบบ Unified Soil Classification จัดเป็นดินประเภท SP (Sand Poorly Graded)

ตารางที่ 3-1 คุณสมบัติของดินทรายตัวอย่าง

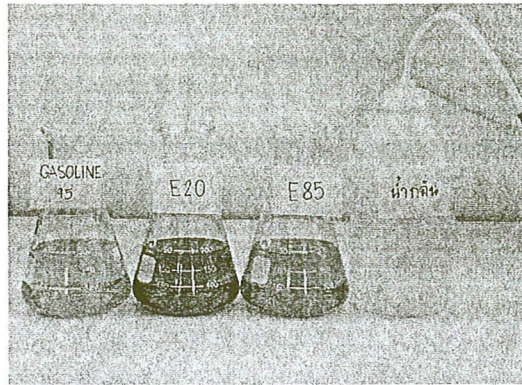
คุณสมบัติ	ระดับความลึกของดินที่ 0.7 เมตร
ความหนาแน่นในสนาม (กรัม/ซม. ³)	1.48
ปริมาณความชื้นในดิน (%)	16.39
ความถ่วงจำเพาะ	2.65
Soil Classification (USCS)	SP
สัมประสิทธิ์ของการซึม (ซม./วินาที)	0.03686



รูปที่ 3-10 การกระจายตัวของอนุภาคของดิน

3.5.2 ของเหลว

ของเหลวที่ใช้ในการศึกษาการไหลซึมผ่านประกอบไปด้วย น้ำกลั่น น้ำมันเบนซินออกเทน 95 น้ำมันแก๊สโซฮอล E20 และ น้ำมันแก๊สโซฮอล E85 ซึ่งเป็นน้ำมันที่มีจำหน่ายที่สถานีบริการน้ำมันบริษัท ปตท. โดยมีคุณสมบัติต่างๆ ดังตารางที่ 3-2 รูปที่ 3-11 แสดงรูปของเหลวที่ใช้ในการทดลอง



รูปที่ 3-11 ของเหลวที่ใช้ในการทดลอง

ตารางที่ 3-2 คุณสมบัติของของเหลวที่อุณหภูมิ 30 °C ที่ใช้ในการทดลอง

ของเหลว	สี	ความหนืด (Pa.s)	แรงตึงผิว (dynes/cm)	ความหนาแน่น (kg/m ³)
น้ำ	ใส	0.000798	71.20	995.68
แก๊สโซฮอล E20	เขียวใส	0.000422	19.90	744.10
แก๊สโซฮอล E85	แดงอ่อนๆ	0.000848	21.40	770.50
เบนซิน 95	เหลือง	0.000342	19.36	725.00

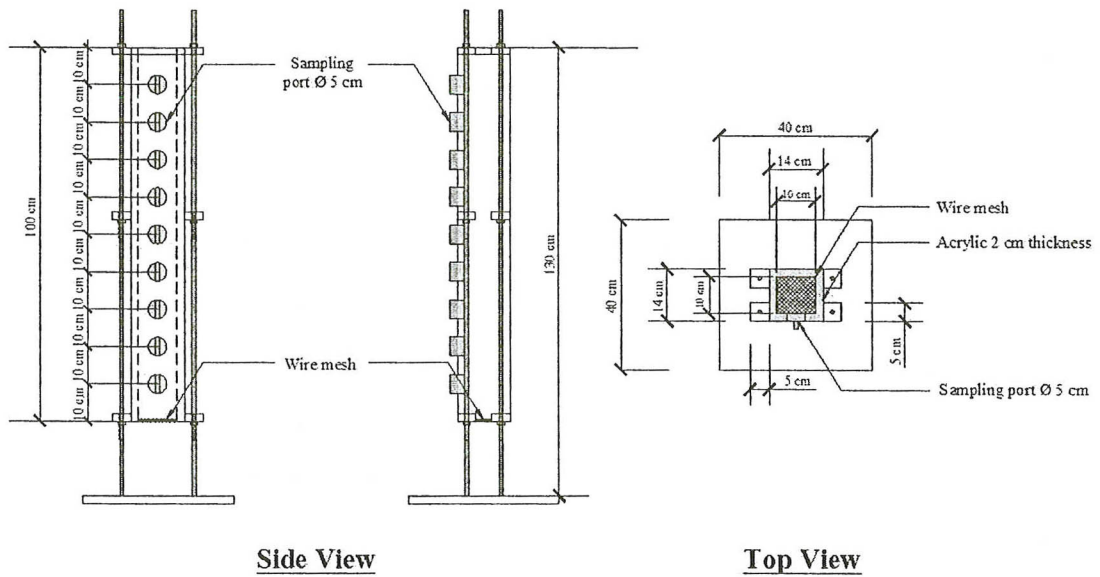
3.6 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลองและแผนการทดลอง

3.6.1 การทดสอบการไหลซึมในหนึ่งมิติ

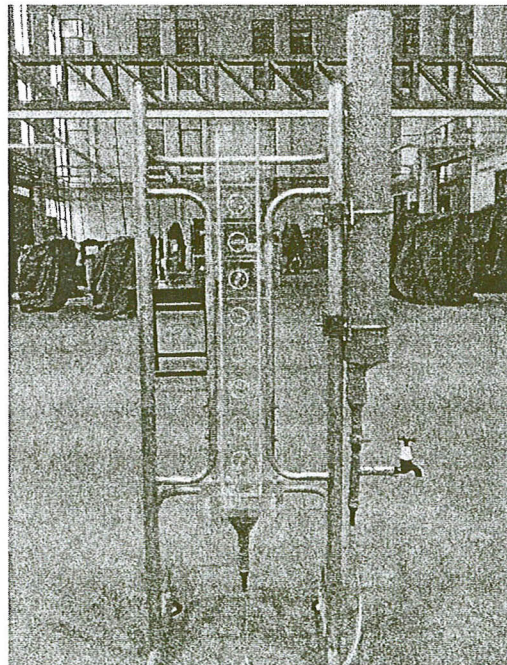
การทดสอบทำโดยเครื่องทดสอบการไหลซึมในหนึ่งมิติ (1-D infiltration column test) ดังแสดงภาพร่างในรูปที่ 3-12 และแสดงรูปถ่ายในรูปที่ 3-13 โดยกระบอกทรงสูงนี้ทำจาก acrylic และมีขนาด 10×10×100 ซม. ผนังของ column ใสเพื่อจะได้สังเกตการไหลซึมของของเหลวด้วยตาระหว่างการทดสอบ กระบอกทรงสูงจะมี sampling port 9 อัน เพื่อที่จะสามารถเก็บตัวอย่างดินออกมาทดสอบได้ port ที่ 1 (บนสุด) อยู่ที่ 10 ซม. จากส่วนบนสุดของกระบอกทรงสูงและ 8 อันต่อมาจะวางตัวที่ระยะ 10 ซม. ต่อมา ส่วนบนของกระบอกทรงสูงมีฝาปิดเพื่อป้องกันการระเหยของของเหลวในขณะที่ส่วนก้นของกระบอกทรงสูงจะมีตะแกรงเพื่อป้องกันไม่ให้ทรายถูกชะล้างออกมา

การทดสอบกระทำกับทรายแห้งโดยเริ่มต้นโดยทำทรายให้อิ่มตัวด้วยของเหลวโดยให้ของเหลวซึมขึ้นจากด้านล่างอย่างช้าๆ จนซึมมาถึงที่ผิวบนสุดของทรายและทิ้งไว้ 30 นาที จากนั้นให้ของเหลวไหลออกกระบอกทรงสูงโดยปล่อยไว้จนกระทั่งไม่มีของเหลวไหลออกมาจากก้นกระบอกทรงสูงจึงทำการเก็บ

ตัวอย่างดินทรายจากจุดเก็บตัวอย่างเพื่อหาปริมาณของของเหลวในดิน ตัวอย่างที่ได้ในแต่ละการทดลองมีทั้งสิ้น 9 ตัวอย่าง หมายความว่า การทดลองแบบนี้จะได้ drying curve



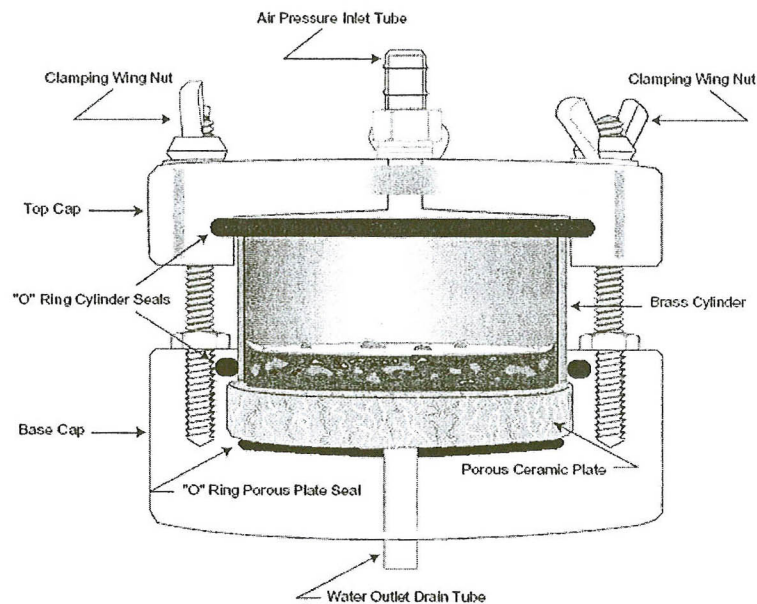
รูปที่ 3-12 ภาพร่างของเครื่องมือ 1-D infiltration column test



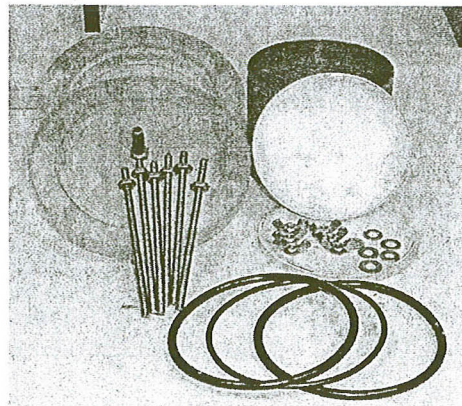
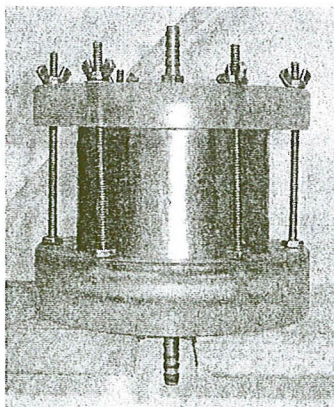
รูปที่ 3-13 รูปถ่ายของ 1-D infiltration column test

3.6.2 Tempe Cell

การทดสอบหา soil-water characteristic curves และ soil-LNAPL characteristic curve ของทรายชลบุรีจะทำโดยใช้ Tempe Cell ดังแสดงในรูปที่ 3-14 ส่วนบนและล่างวัสดุประกอบไปด้วยพลาสติกใสแข็งที่ทนความดันได้สูง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 7-8 เซนติเมตร มีช่องสำหรับอากาศเข้าและออกจากระบบ ส่วนกลางของวัสดุประกอบไปด้วย ขาง (O-ring), แผ่นเซรามิก, ชิ้นส่วนสำหรับยึดอุปกรณ์ (Clamp screws) และกระบอกสแตนเลสหรือพลาสติกใสที่ทนความดันได้สูง มีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5.7 เซนติเมตร สูง 5.7 เซนติเมตร ส่วนประกอบ เครื่องอัดความดันสามารถใช้ความดันที่ 0-1 บาร์ ในรูปที่ 3-15



รูปที่ 3-14 Tempe cell (Soilmoisture Equipment Corp., 2003)



รูปที่ 3-15 อุปกรณ์ทดลองการไหลซึมผ่านแบบเครื่องอัดความดัน (Tempe Pressure Cell)

การเตรียมตัวอย่างทำโดยการบรรจุทรายลงในเครื่องอัดความดันและทำการบดอัดแบบเปียก (Wet compaction) โดยบดอัดให้ทรายมีความหนาแน่น 1.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร จากนั้นทำทรายให้อิ่มตัวด้วยน้ำโดยให้น้ำซึมขึ้นจากด้านล่างอย่างช้าๆจนซึมมาถึงที่ผิวบนสุดของทราย จากนั้นทิ้งไว้ 30 นาที นำน้ำส่วนเกินทิ้งให้น้ำอยู่ในระดับเท่ากับผิวทรายชั้นบนสุด ส่วนการทดลองกับน้ำมันเบนซินออกเทน 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล สามารถทำได้เช่นเดียวกัน โดยเปลี่ยนของเหลวจากน้ำเป็นน้ำมันเบนซินออกเทน 95 และน้ำมันแก๊สโซฮอล E20 และน้ำมันแก๊สโซฮอล E85 ตามลำดับ โดยในแต่ละของเหลว ความหนาแน่นของทรายมีความหนาแน่น 1.56 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร หลังจากนั้นดำเนินการทดลองได้โดยให้ความดันด้านบนของเครื่องอัดความดันซึ่งความดันที่ให้นั้นมีความดันที่ 0.033, 0.066, 0.1, 0.15, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5, 0.7, 0.9 kPa เมื่อให้ความดันแก่ของเหลวครบ 24 ชั่วโมงต่อหนึ่งความดันแล้วบันทึกค่าเครื่องอัดความดันและน้ำหนักของของเหลวที่ไหลผ่านออกมาแล้วจึงเปลี่ยนค่าความดันต่อไป เมื่อทำการให้ความดันที่ระดับต่างๆครบแล้วนำตัวอย่างดินที่ผ่านการทดสอบแล้วไปชั่งน้ำหนักก่อนและหลังเข้าเตาอบเพื่อหา Water Content ที่ทำการทดลองได้โดยใช้ของเหลวที่ต่างกัน ได้แก่ น้ำ เบนซิน 95 E20 และ E85 ตามลำดับ จากนั้นนำค่าที่ได้จากการทดลองไปเขียนเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ

3.6.3 เครื่องทดสอบความซึมผ่านได้ของดิน

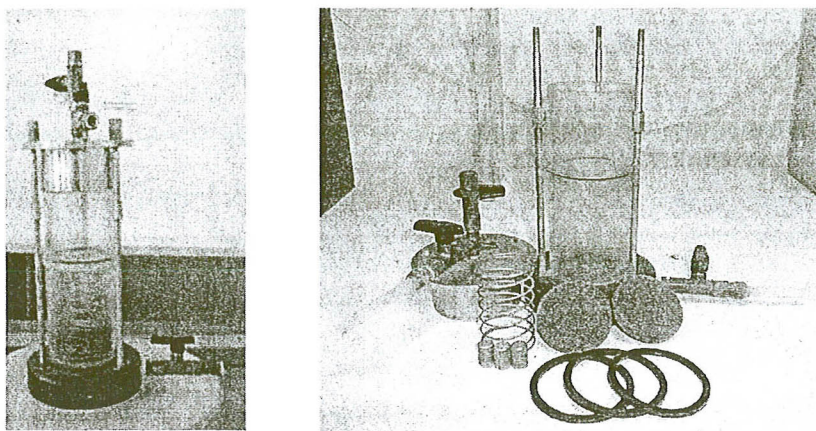
เครื่องทดสอบความซึมผ่านได้ของดินประกอบได้ด้วย 4 ส่วน ดังแสดงในรูปที่ 3-16 ดังนี้

ส่วนที่ 1 ฐานเป็นพลาสติกแข็งสีดำเข็มเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร และวาล์วสำหรับให้น้ำเข้าสู่ระบบ

ส่วนที่ 2 มีลักษณะเป็นพลาสติกใสสำหรับบรรจุทรายมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 5 เซนติเมตร

ส่วนที่ 3 มีลักษณะเป็นเหล็กมีเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 6 เซนติเมตร และวาล์ว 2 ช่องสำหรับให้น้ำออกจากระบบและไล่ฟองอากาศ

ส่วนที่ 4 ประกอบไปด้วยหินที่มีรูพรุนสูง และสริง

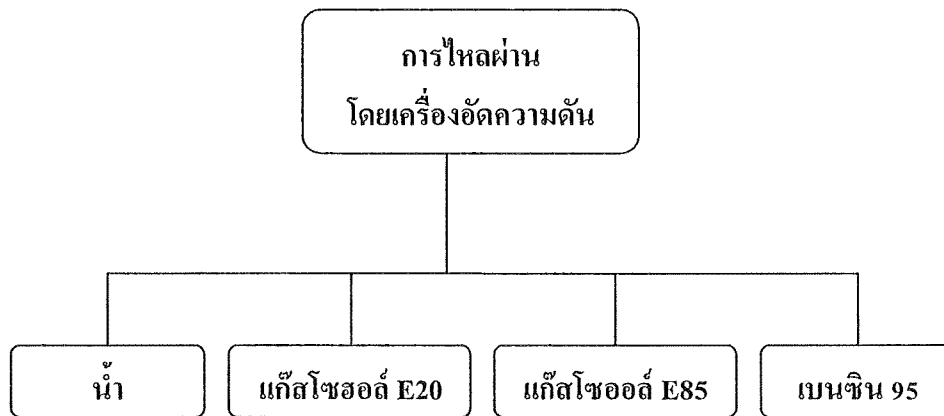


รูปที่ 3-16 ชุดทดสอบสัมประสิทธิ์ความชื้นได้ของดิน

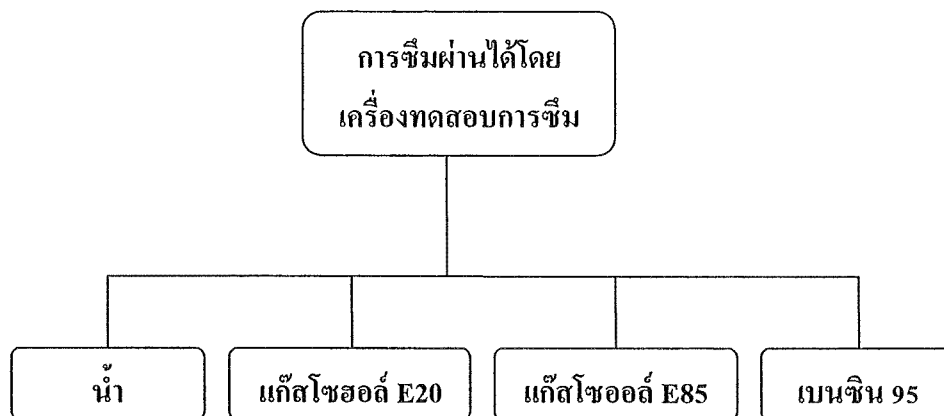
ทำการเตรียมตัวอย่างโดยนำทรายตัวอย่างมาชั่งเตรียมไว้ประมาณ 1500 กรัม วัดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง, ความสูงของ Mold เพื่อหาพื้นที่หน้าตัดและปริมาตรของตัวอย่างดิน ประกอบอุปกรณ์ทุกชิ้นเข้ากับ Cell วางวัสดุรอง (ตะแกรงหรือหินปูน) ไว้ด้านล่างของ Cell วางสปริงและหินปูนไว้ด้านบนแล้วนำไปชั่งหาน้ำหนักของ Cell เปล่า นำตัวอย่างดินที่ได้เตรียมไว้บรรจุลงใน Mold ที่ได้ประกอบไว้ใส่ตัวอย่างดินเป็นชั้นๆ ชั้นละประมาณไม่เกิน 1.5 เซนติเมตร แล้วเคาะด้านข้างของ Mold โดยให้ความหนาแน่นใกล้เคียงกับที่ใช้ในการทดสอบการซึมผ่านมากที่สุด จนกระทั่งผิวหน้าของตัวอย่างดินต่ำกว่าขอบของ Mold ประมาณ 2.5 เซนติเมตร ปรับผิวหน้าของตัวอย่างดินให้เรียบและนำเม็ดดินที่ติดอยู่ข้างๆ Mold ออกให้หมด นำหินปูนมาวางทับบนผิวหน้าของตัวอย่างดินและกดให้แน่น นำสปริงและฝาครอบมาใส่และยึดฝาครอบให้แน่นด้วยสกรู หลังจากนั้นไล่ฟองอากาศออกและทำให้ตัวอย่างดินอึดตัว โดยการติดตั้งกรวยให้มีความสูงของกรวยที่เพียงพอให้น้ำสามารถไหลซึมผ่านตัวอย่างดินได้ด้วยความดันของน้ำเองจากด้านล่างขึ้นสู่ผิวบนของตัวอย่างดินโดยต่อสายยางเข้ากับวาล์วระบายน้ำออก (Outflow) ซึ่งท่อที่อยู่ทางด้านล่าง น้ำจะค่อยๆซึมผ่านตัวอย่างดินพร้อมกับเปิดวาล์วไล่ฟองอากาศออกจากตัวอย่าง จากนั้นรอจนกระทั่งน้ำไหลออกจากตัวอย่างดินในช่องท่อทางน้ำเข้า (Inflow) ซึ่งอยู่ทางด้านบนของเครื่องทดสอบความซึมผ่านของดินในอัตราการไหลคงที่ โดยทดลองวัดปริมาณน้ำดู 4-5 ครั้งในเวลาที่กำหนดขึ้นเอง หากทดลองดูแล้วน้ำที่ไหลออกมีปริมาณที่เท่ากันตลอดในเวลาที่กำหนดไว้ก็แสดงว่าอัตราการไหลของน้ำคงที่แล้ว โดยที่ระหว่างการปล่อยน้ำเข้าในตัวอย่างดินเพื่อหาอัตราไหลนี้จะต้องคอยเติมน้ำในกรวยให้พอดีกับช่องระบายน้ำล้นอยู่ตลอดเวลาจนสิ้นสุดการทดลอง เมื่อมีอัตราการไหลคงที่แล้ว จึงหาอัตราการไหลที่แท้จริง โดยเริ่มจับเวลาพร้อมกับนำหลอดแก้วมารองรับน้ำที่ไหลออกจากตัวอย่างดิน ซึ่งวิธีการก็เหมือนกับการทดลองหาอัตราการไหลที่คงที่นั่นเอง โดยให้หาอัตราการไหลจริงอย่างน้อย 5 ครั้ง แล้วจึงถอยนำน้ำที่ได้ทั้งหมดมาหาค่าเฉลี่ยเป็นค่า Q (สถาพร ภูวจิตรจารุ, 2542)

3.6.4 แผนการทดลอง

แผนการทดลองการไหลซึมผ่านแบบเครื่องอัดความดันแสดงดังรูปที่ 3-17 และแผนการทดลองการไหลซึมผ่านเครื่องทดสอบความซึมผ่านได้ของดินแสดงดังรูปที่ 3-18



รูปที่ 3-17 แผนการทดลองการไหลซึมผ่านแบบเครื่องอัดความดัน



รูปที่ 3-18 แผนการทดลองการไหลซึมผ่านเครื่องทดสอบสัมประสิทธิ์ความซึมได้ของดิน

3.7 ผลการทดลองและวิเคราะห์ผลการทดลอง

3.7.1 SWCC

การทดลองการไหลผ่านจะได้ค่า Volumetric water content และค่า Degree of saturated (%) ซึ่งเป็นค่าเบื้องต้นที่จะนำไปใช้ในสมการของ Brook and Corey (1964) และ Van Genuchten (1980) จากการทดลองการไหลผ่านจะได้ค่าตัวแปรที่สำคัญในสมการของ BC ดังตารางที่ 3-3 จากการทดลองการไหลผ่านจะได้ค่าตัวแปรที่สำคัญในสมการของ VG ดังตารางที่ 3-4

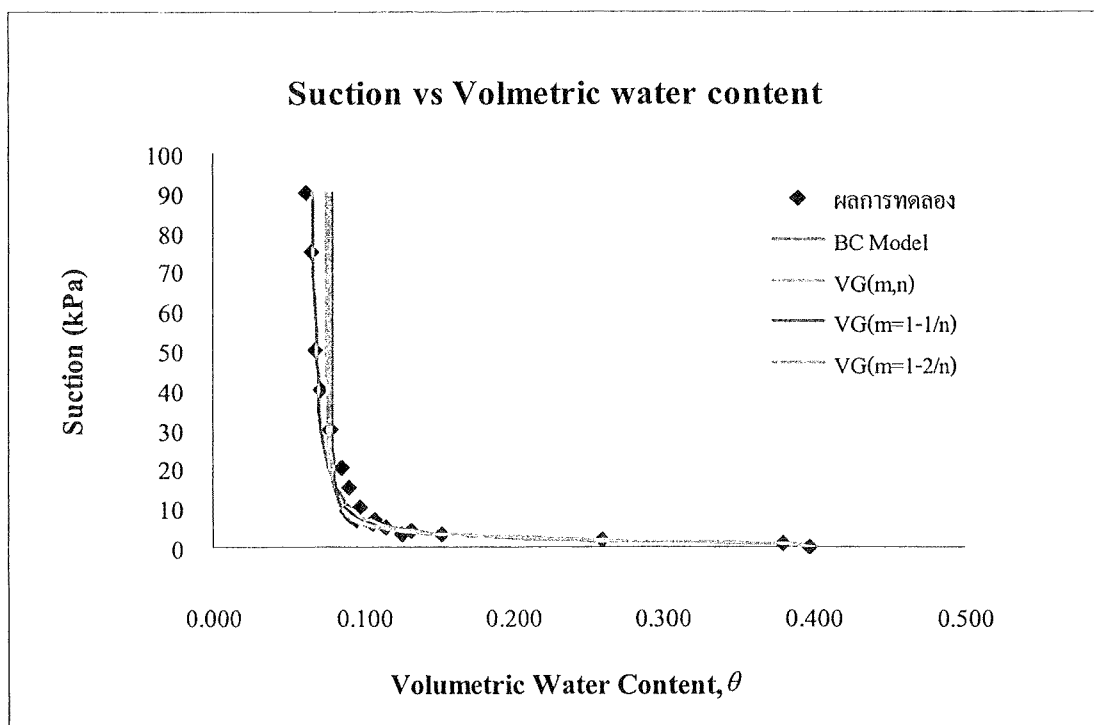
ตารางที่ 3-3 ตัวแปรของสมการ BC ที่ได้จากการทดลอง

Type of liquid	BC		
	θ_r	ψ_b	λ
น้ำ	0.0141	0.024	0.253
แก๊สโซฮอล์ E20	0.0111	0.003	0.231
แก๊สโซฮอล์ E85	0.0105	0.001	0.260
เบนซิน 95	0.0010	0.002	0.220

ตารางที่ 3-4 ตัวแปรของสมการ VG ที่ได้จากการทดลอง

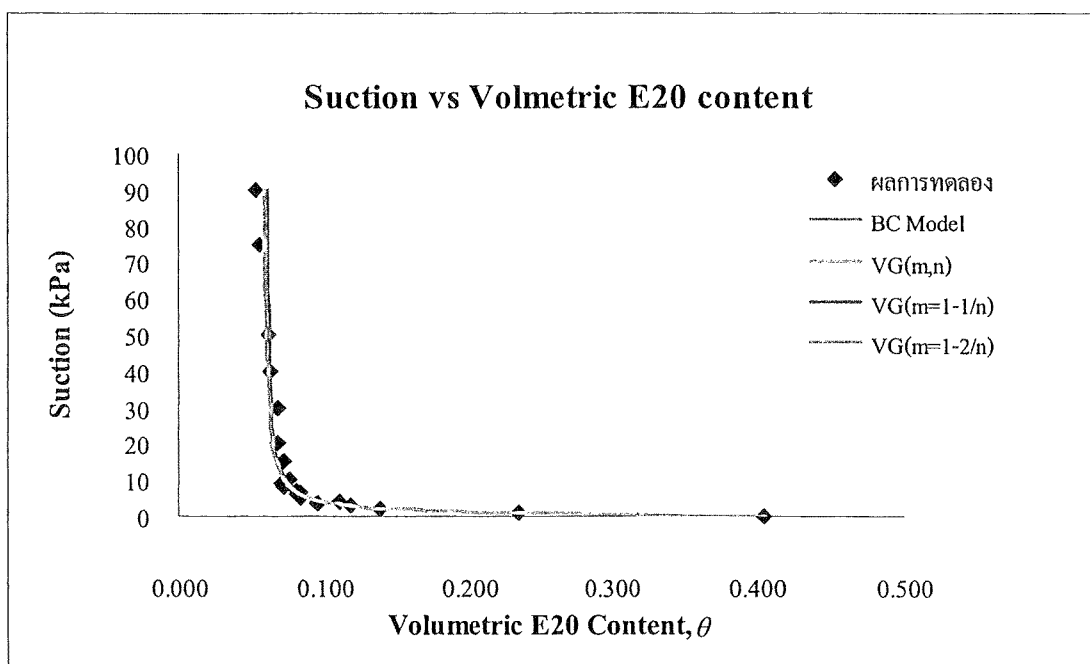
VG;(m,n)			VG;(m=1-1/n)			VG;(m=1-2/n)		
α	n	m	α	n	m	α	n	m
39.24	1.006	0.253	40.44	1.253	0.202	33.15	2.270	0.119
582.21	1.317	1.005	580.78	1.210	0.173	51.97	2.358	0.152
5913.69	1.005	1.777	13024.38	1.167	0.143	223.95	2.323	0.139
695.70	1.005	0.220	693.28	1.221	0.181	90.18	2.335	0.144

เมื่อทราบตัวแปรที่ต้องการใช้ในสมการสามารถนำค่าที่ได้มาแสดงในแบบจำลองของ BC และ VG โดยผลของสมการที่ให้ค่าใกล้เคียงนั้นจะสามารถดูได้จากกราฟที่มีค่าใกล้เคียงกับผลการทดลองมากที่สุด รูปที่ 3-19 เปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำกลั่นต่อสมการทั้งหมดพบว่าสมการของ BC ให้ผลที่ใกล้เคียงกับการทดลองมากที่สุด



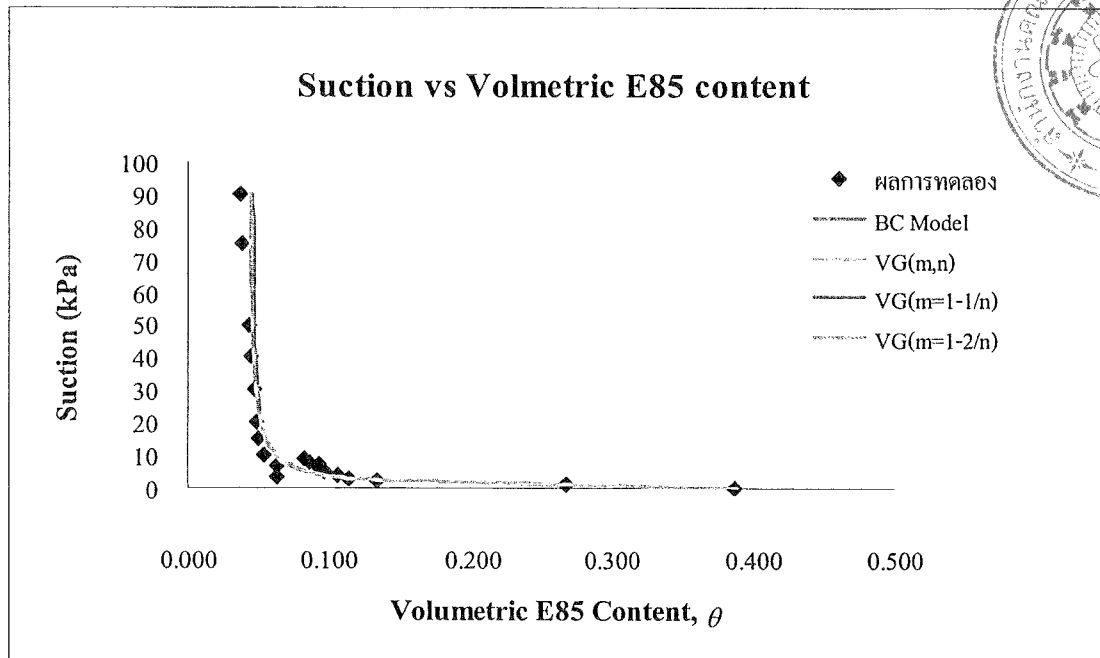
รูปที่ 3-19 กราฟแสดงผลแบบจำลองของน้ำระหว่าง Volumetric water content กับ Suction

เปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำมันแก๊สโซฮอล E20 ต่อสมการทั้งหมดพบว่า สมการทั้งหมดให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 3-20



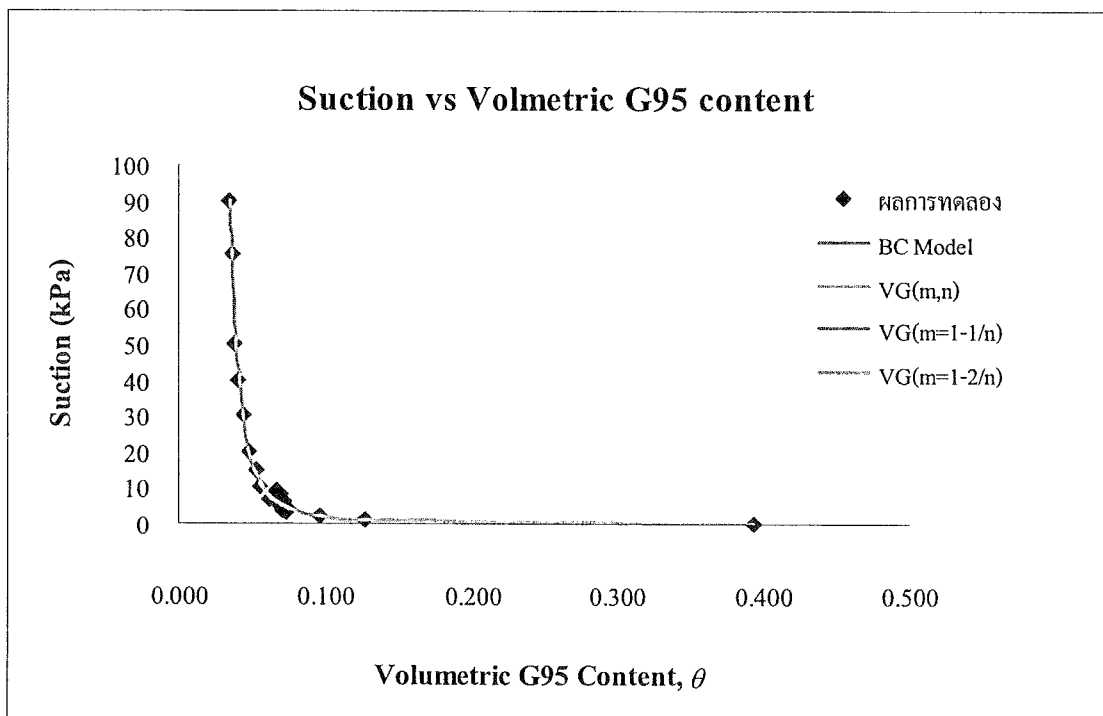
รูปที่ 3-20 กราฟแสดงผลแบบจำลองของ E20 ระหว่าง Volumetric E20 content กับ Suction

เปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำมันแก๊สโซฮอล E85 ต่อสมการทั้งหมดพบว่า สมการทั้งหมดให้ค่าที่ใกล้เคียงกับผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 3-21



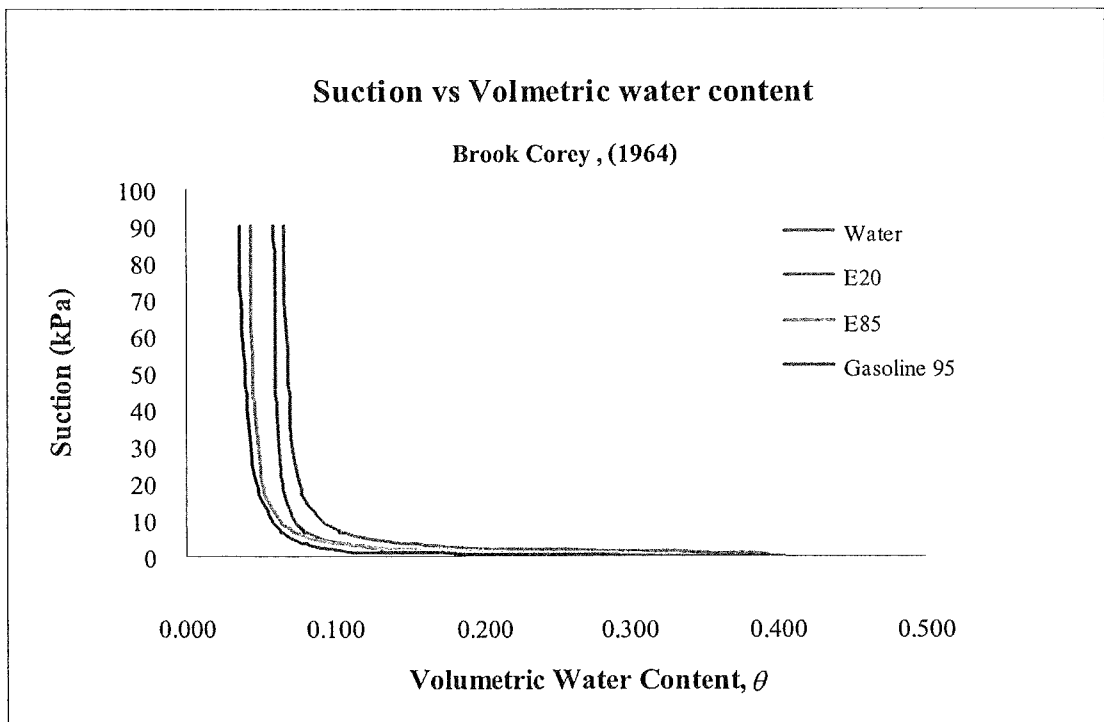
รูปที่ 3-21 กราฟแสดงผลแบบจำลองของ E85 ระหว่าง Volumetric E85 content กับ Suction

เปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำมันเบนซิน 95 ต่อสมการทั้งหมดพบว่า สมการทั้งหมดให้ค่าที่ใกล้เคียงมากกับผลการทดลองที่ได้ดังรูปที่ 3-22



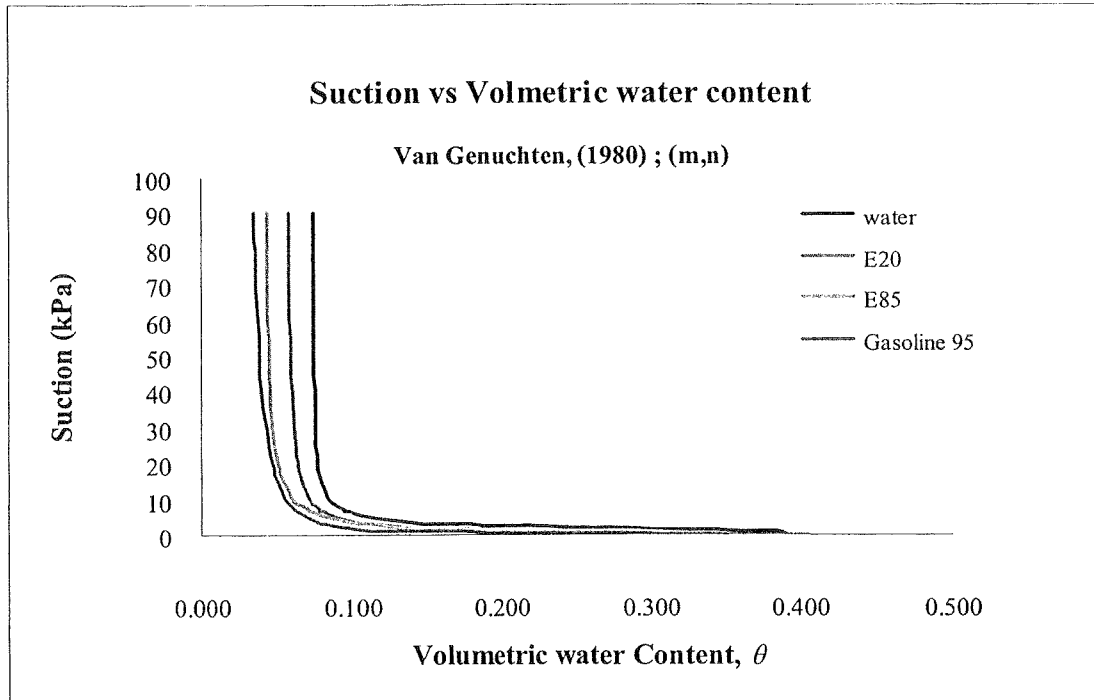
รูปที่ 3-22 กราฟแสดงผลแบบจำลองของเบนซิน 95 ระหว่าง Volumetric G95 content กับ Suction

เมื่อทราบตัวแปรที่ต้องการใช้ในสมการสามารถนำค่าที่ได้มาแสดงในแบบจำลองของ BC และ VG แล้ว การวิเคราะห์ผลว่าของเหลวชนิดใดที่มีการไหลผ่านดีที่สุดในนี้จะดูจากปริมาณการตกค้างของของเหลว ซึ่งหากมีการตกค้างน้อยก็หมายความว่ามีการไหลผ่านนั้นจะดีกว่าของเหลวที่มีปริมาณการตกค้างมาก เปรียบเทียบสมการ BC ต่อของเหลวทั้งหมดพบว่าของเหลวที่มีการไหลผ่านดีที่สุด คือ เบนซิน 95 รองลงมา คือ แก๊สโซฮอล์ E85, แก๊สโซฮอล์ E20 และน้ำ ตามลำดับ ดังตารางที่ 3-5 และ รูปที่ 3-23



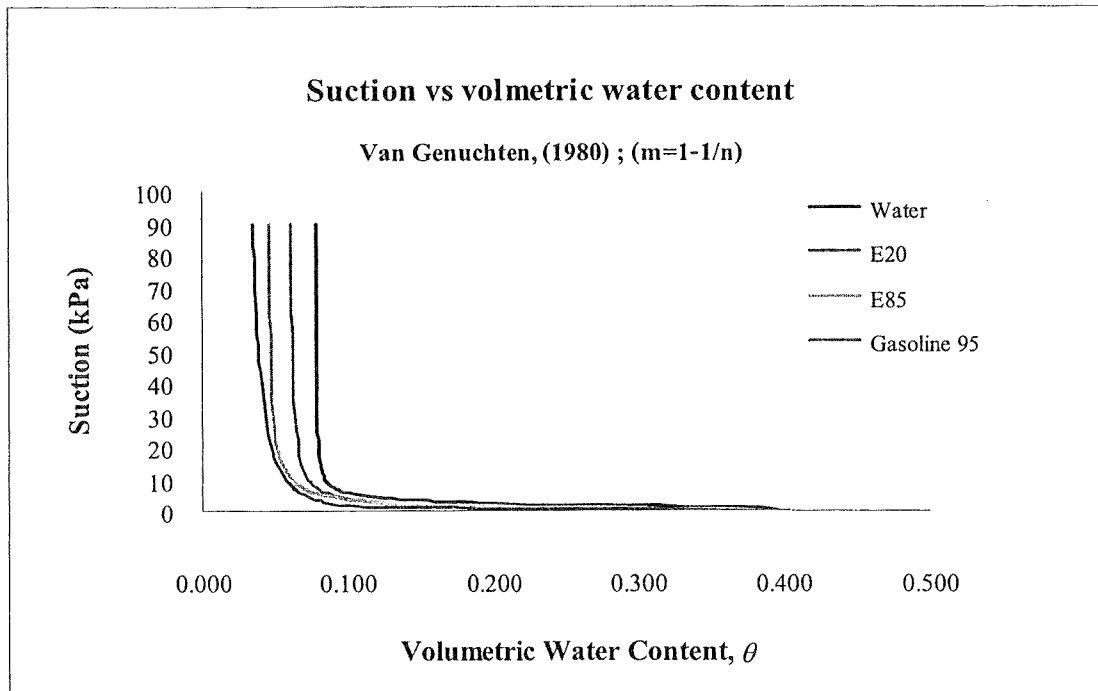
รูปที่ 3-23 กราฟแสดงผลแบบจำลอง BC ระหว่าง Volumetric water content กับ Suction ต่อของเหลว

เปรียบเทียบสมการ VG ; (m,n) ต่อของเหลวทั้งหมดพบว่า ของเหลวที่มีการไหลผ่านดีที่สุด คือ เบนซิน 95 รองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E85, แก๊สโซฮอล์ E20 และน้ำ ตามลำดับ ดังรูปที่ 3-24



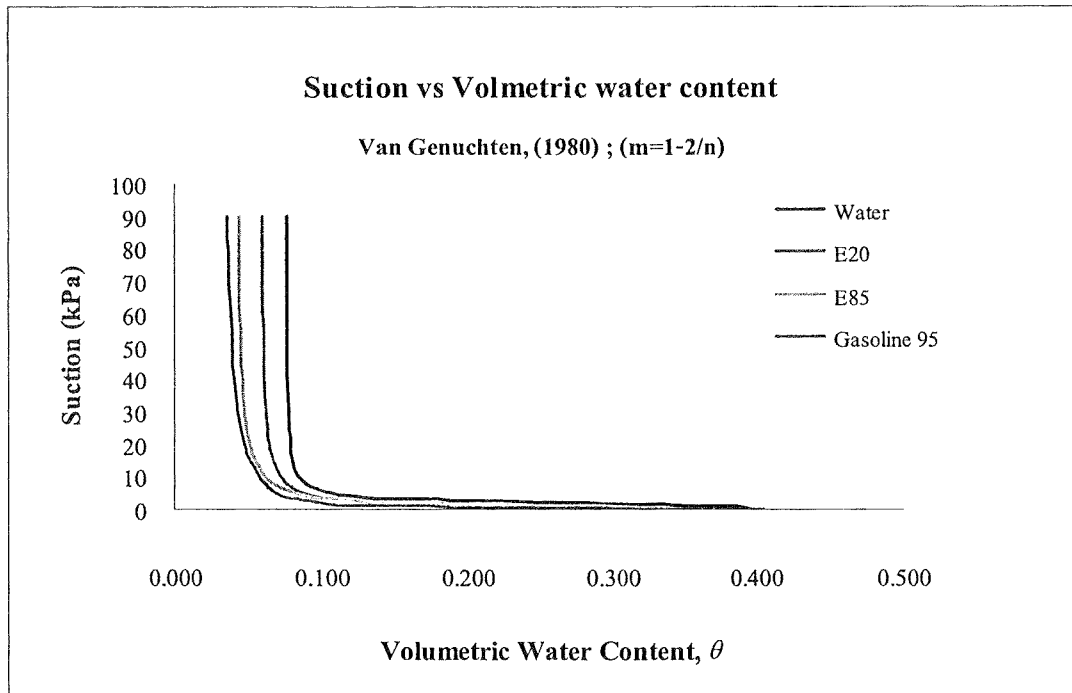
รูปที่ 3-24 กราฟแสดงผลแบบจำลอง VG ระหว่าง Volumetric water content กับ Suction ต่อของเหลว

เปรียบเทียบสมการ VG; ($m=1-1/n$) ต่อของเหลวทั้งหมดพบว่า ของเหลวที่มีการไหลผ่านดีที่สุดคือ เบนซิน 95 รองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E85, แก๊สโซฮอล์ E20 และน้ำ ตามลำดับ ดังรูปที่ 3-25



รูปที่ 3-25 กราฟแสดงผลแบบจำลอง VG ระหว่าง Volumetric water content กับ Suction ต่อของเหลว

เปรียบเทียบสมการ VG; ($m=1-2/n$) ต่อของเหลวทั้งหมดพบว่า ของเหลวที่มีการไหลผ่านดีที่สุดคือ เบนซิน 95 รองลงมาคือ แก๊สโซฮอล E85, แก๊สโซฮอล E20 และน้ำ ตามลำดับ ดังรูปที่ 3-26



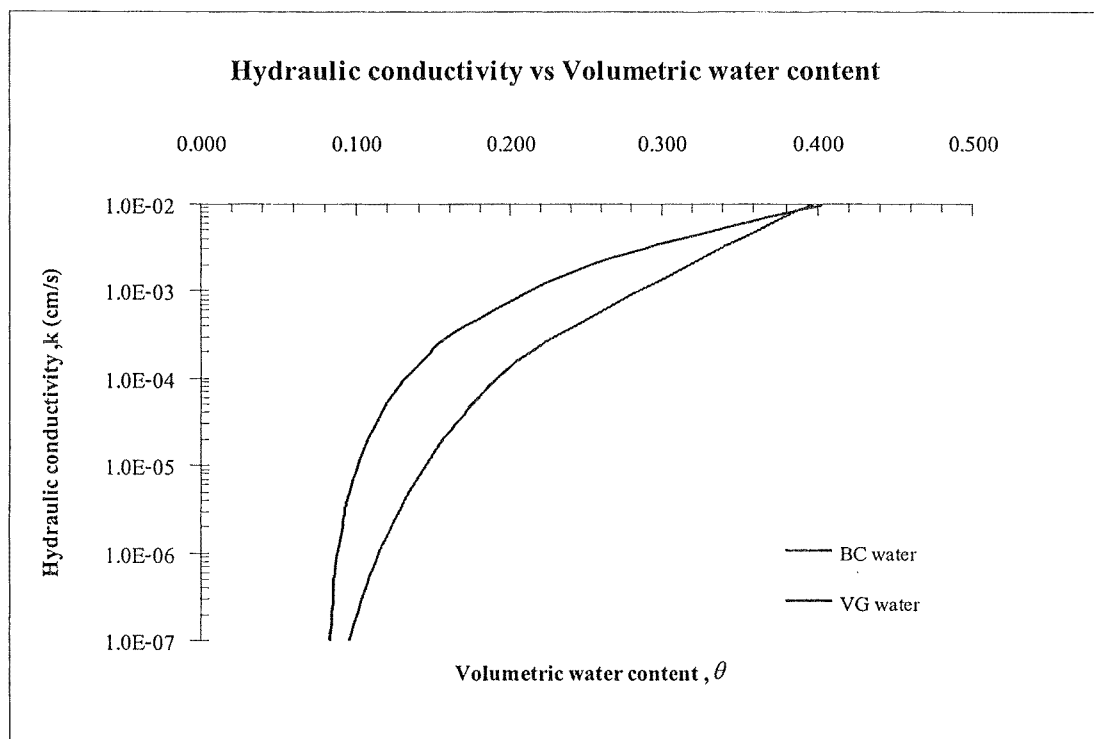
รูปที่ 3-26 กราฟแสดงผลแบบจำลอง VG ระหว่าง Volumetric water content กับ Suction ต่อของเหลว

ตารางที่ 3-5 แสดงปริมาณการตกค้างและความดันที่ทำให้อากาศเริ่มไหลออก

ตัวแปร	สมการ	น้ำ	E20	E85	เบนซิน 95
Residual Water content θ_r	BC	0.064	0.058	0.042	0.024
	VG ; (m,n)	0.075	0.059	0.042	0.024
	VG ; ($m=1-1/n$)	0.079	0.061	0.045	0.024
	VG ; ($m=1-2/n$)	0.077	0.059	0.043	0.024
Air-Entry ψ_b	BC	0.976	0.533	0.637	0.058
	VG ; (m,n)	1.439	0.536	0.638	0.058
	VG ; ($m=1-1/n$)	1.784	0.660	0.822	0.059
	VG ; ($m=1-2/n$)	1.586	0.575	0.701	0.058

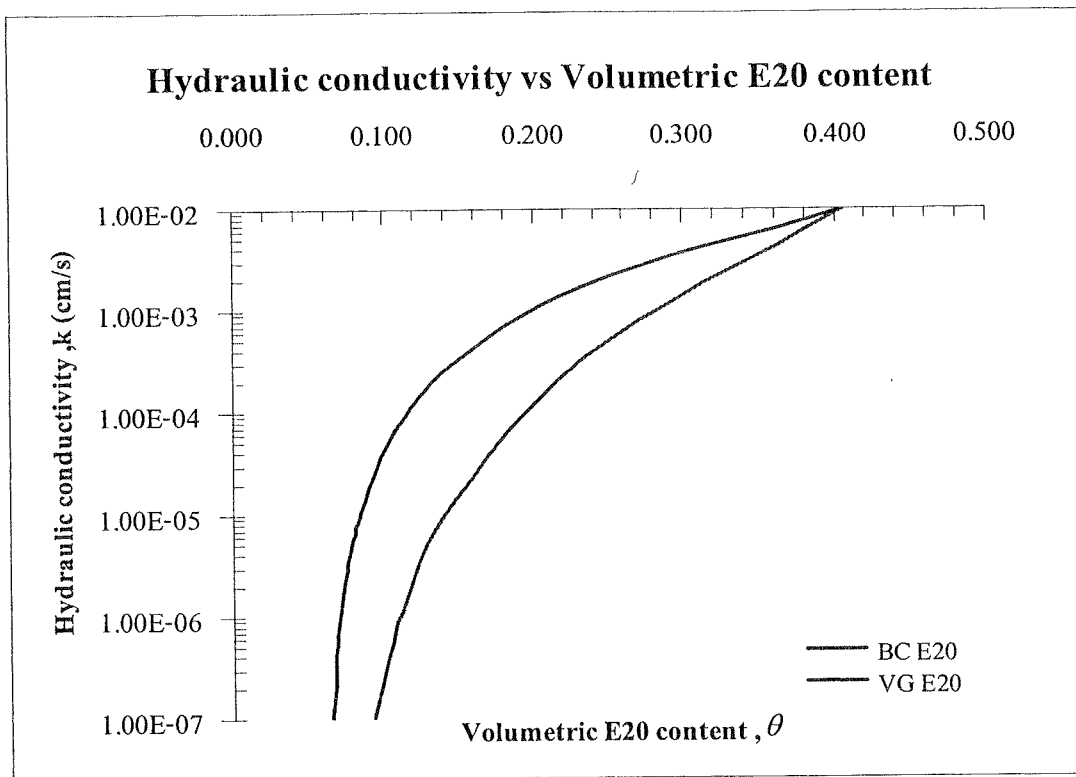
3.7.2 ผลการทดลองการซึมผ่าน

การทดลองการซึมผ่านจะทำการกำหนดปริมาตรที่ 250 ลบ.ซม ต่อการจับเวลา (วินาที) ในขณะที่ทำการทดลองทุกๆ 1 ครั้ง และผลการทดลองการซึมผ่านของของเหลวที่สูงที่สุด คือน้ำมันเบนซิน 95 รองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E20 น้ำ และแก๊สโซฮอล์ E85 ตามลำดับ เปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำกลั่นต่อสมการ ของ Campbell และ BM พบว่าให้ค่าที่ต่างกันโดยสมการของ BM มีค่าการซึมผ่านที่สูงกว่าสมการของ Campbell ดังรูปที่ 3-27



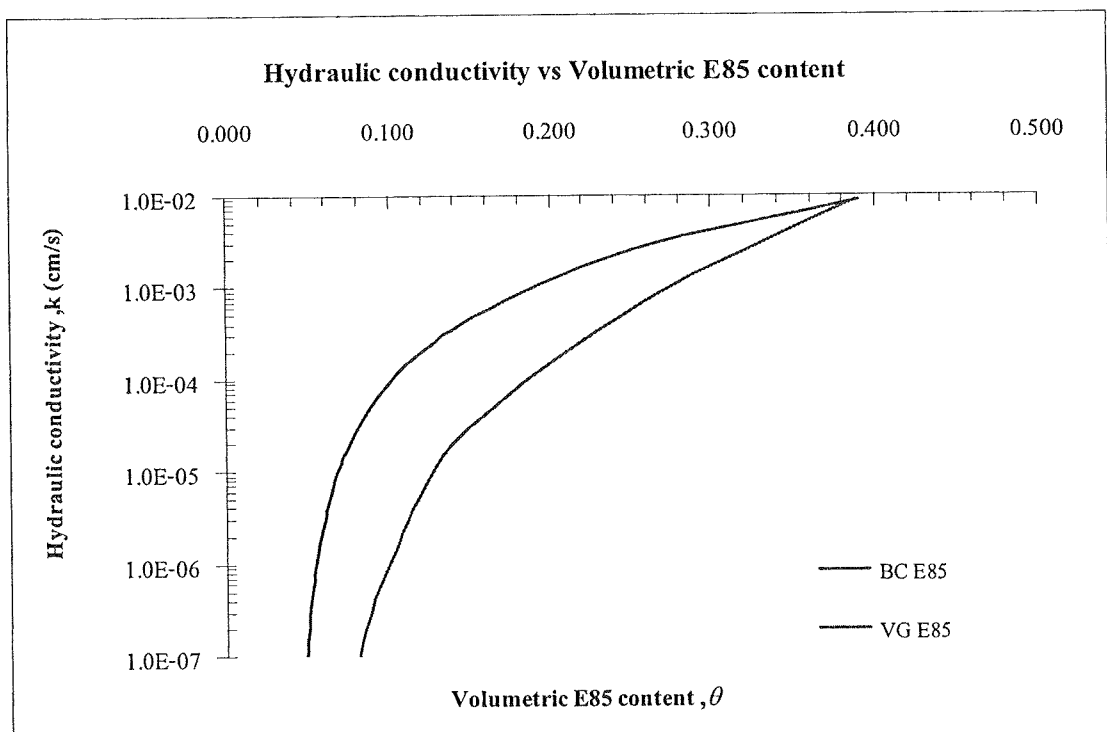
รูปที่ 3-27 กราฟแสดงผลแบบจำลอง Campbell และ BM ของน้ำระหว่าง k กับ θ

เปรียบเทียบของเหลวชนิดแก๊สโซฮอล์ E20 ต่อสมการทั้งสองสมการพบว่าให้ค่าที่ต่างกันโดยสมการของ BM มีค่าการซึมผ่านที่สูงกว่าสมการของ Campbell ดังรูปที่ 3-28



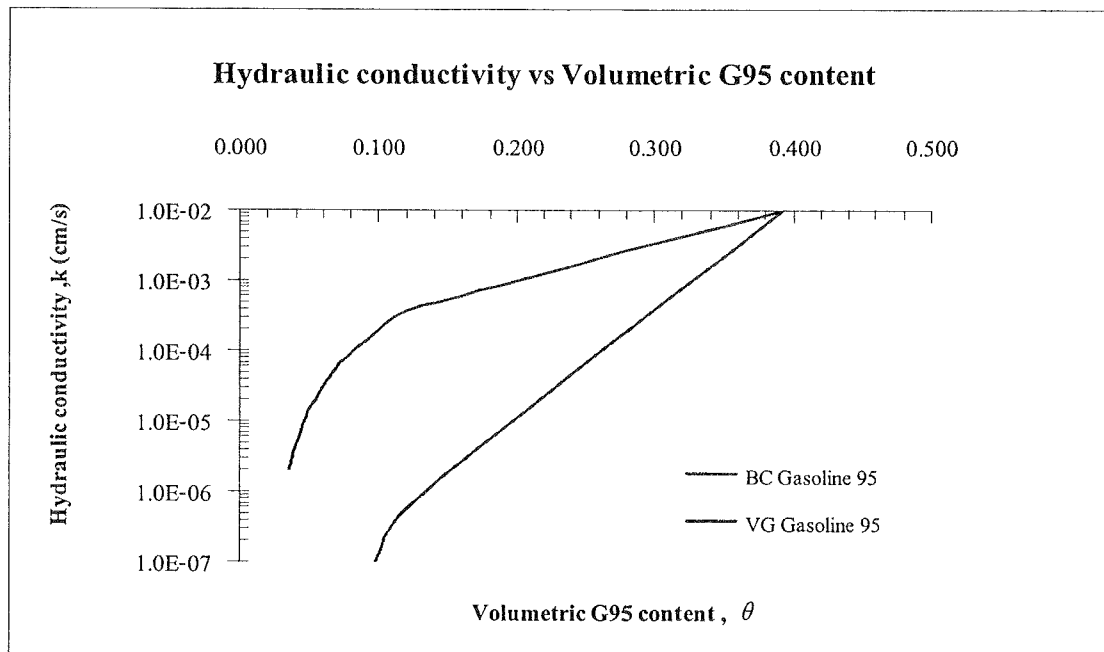
รูปที่ 3-28 กราฟแสดงผลแบบจำลอง Campbell และ BM ของ E20 ระหว่าง k กับ θ

เปรียบเทียบของเหลวชนิดแก๊สโซฮอล E85 ต่อสมการทั้งสองสมการพบว่าให้ค่าที่ต่างกันโดยสมการของ BM มีค่าการซึมผ่านที่สูงกว่าสมการของ Campbell ดังรูปที่ 3-29



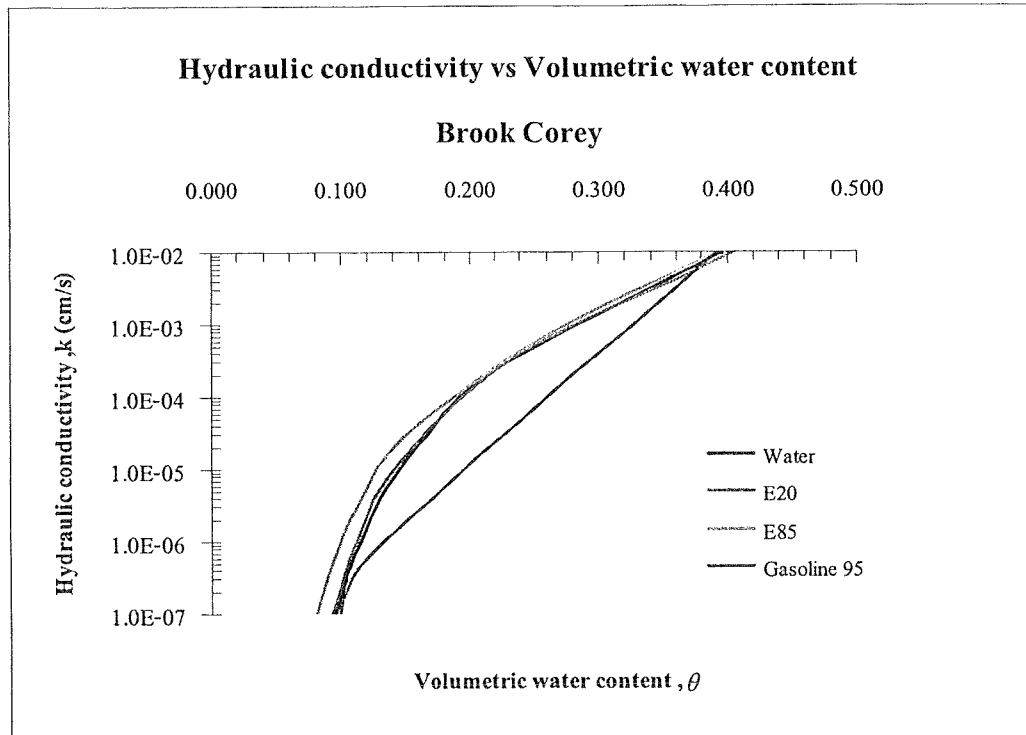
รูปที่ 3-29 กราฟแสดงผลแบบจำลอง Campbell และ BM ของ E85 ระหว่าง k กับ θ

เปรียบเทียบของเหลวชนิดเบนซิน 95 ต่อสมการทั้งสองสมการพบว่าให้ค่าที่ต่างกันโดยสมการของ BM มีค่าการซึมผ่านที่สูงกว่าสมการของ Campbell ดังรูปที่ 3-30



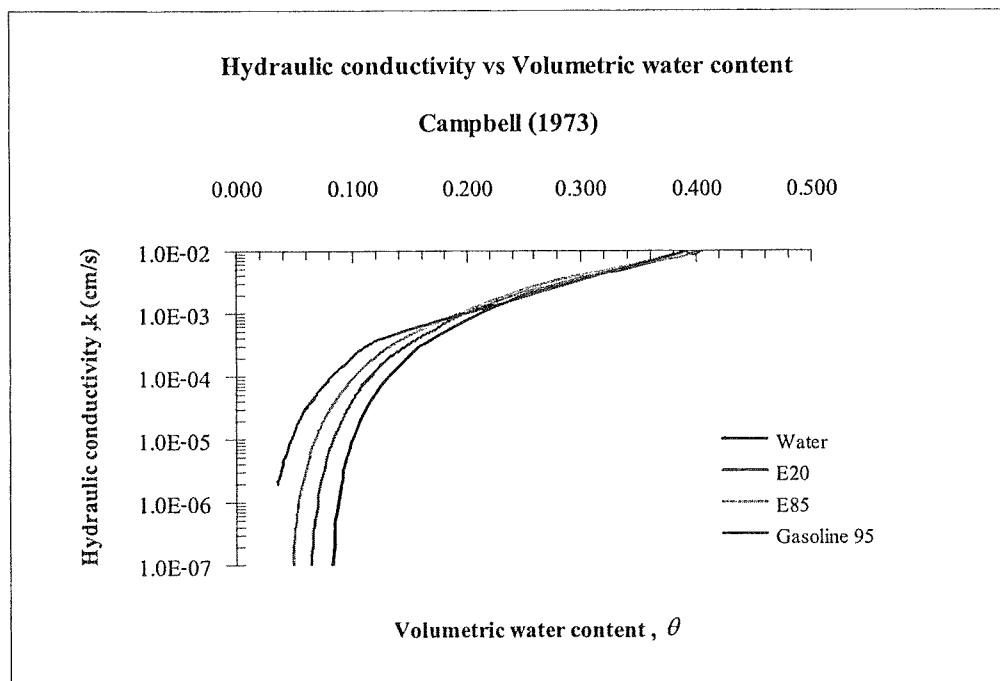
รูปที่ 3-30 กราฟแสดงผลแบบจำลอง Campbell และ BM ของ G95 ระหว่าง k กับ θ

เมื่อนำค่า k ของของเหลวทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับสมการของ Campbell พบว่าน้ำมันเบนซิน 95 มีการซึมผ่านที่สูงสุด รองลงมาคือน้ำมันแก๊ส โซฮอล์ E85, แก๊สโซฮอล์ E20 และน้ำ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3-31



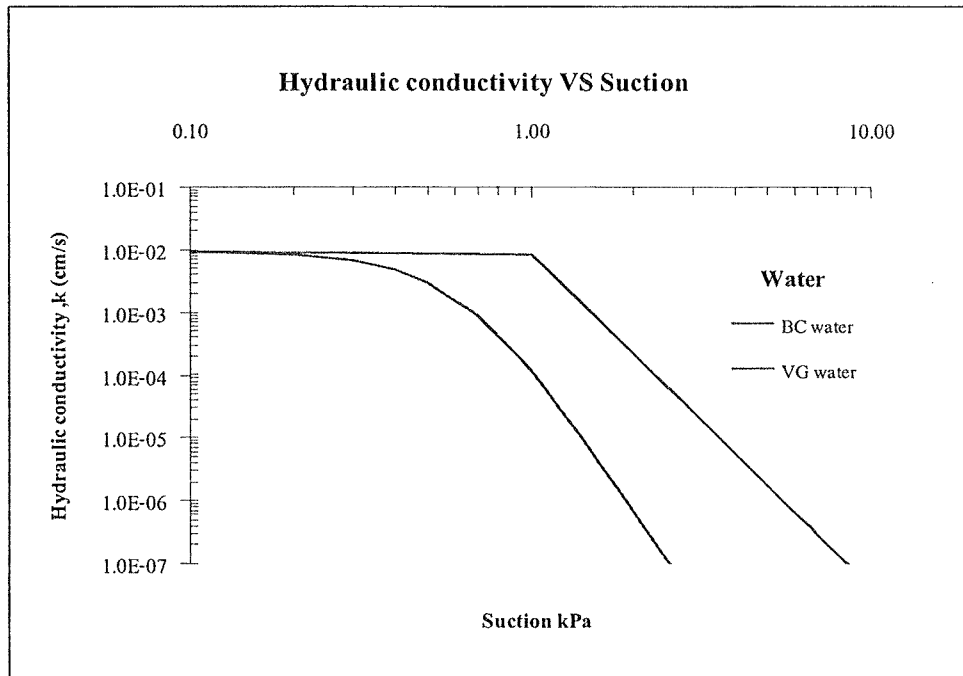
รูปที่ 3-31 กราฟแสดงผลแบบจำลอง Campbell ของของเหลว ระหว่าง k กับ θ

เมื่อนำค่า k ของของเหลวทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับสมการของ Campbell พบว่าน้ำมันเบนซิน 95 มีการซึมผ่านได้สูงสุดรองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E85, แก๊สโซฮอล์ E20, และน้ำ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3-32



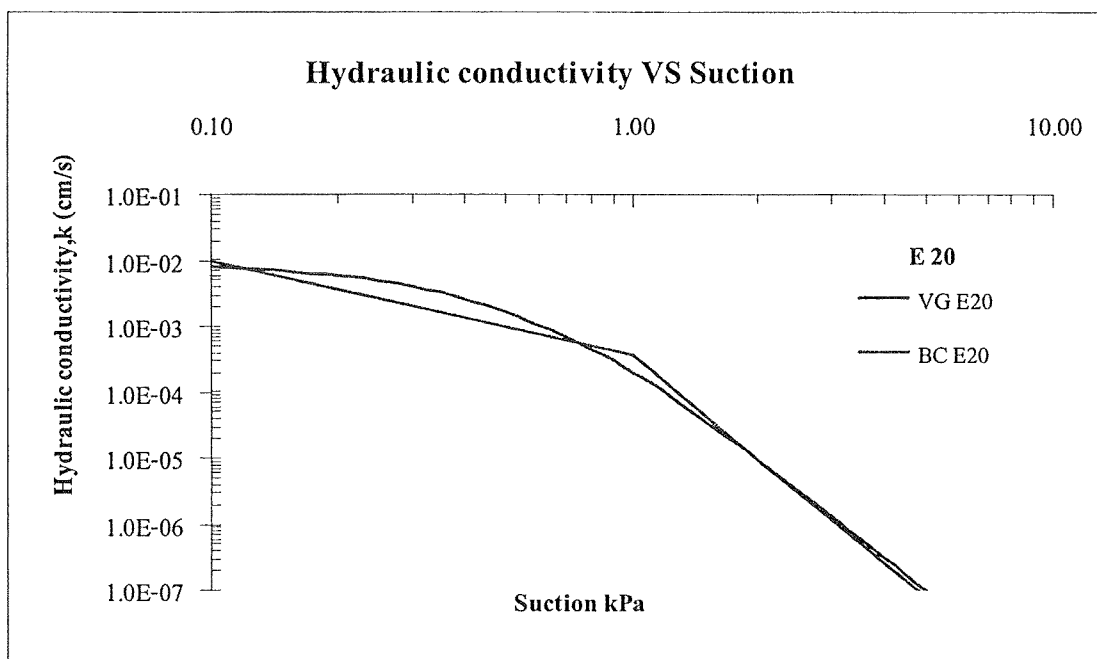
รูปที่ 3-32 กราฟแสดงผลแบบจำลอง BM ของของเหลวระหว่าง k กับ θ

เปรียบเทียบของเหลวชนิดเบนซิน 95 ต่อสมการของ BC และ BM พบว่าให้ค่าที่ต่างกันโดยสมการของ BM มีค่าการซึมผ่านที่สูงกว่าสมการของ BC ดังรูปที่ 3-33



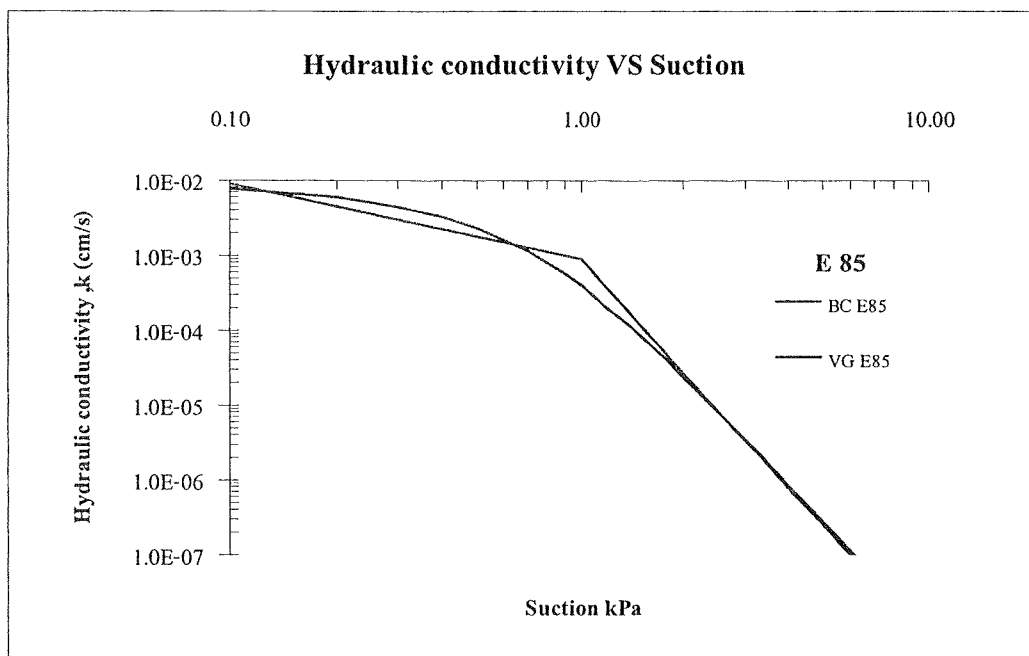
รูปที่ 3-33 กราฟแสดงผลของแบบจำลองของ BC และ BM ของน้ำระหว่าง k กับ ψ

เปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำมันแก๊สโซฮอล E20 ต่อสมการทั้งสองสมการพบว่ามีค่าการซึมผ่านที่ใกล้เคียงกัน ดังรูปที่ 4.17



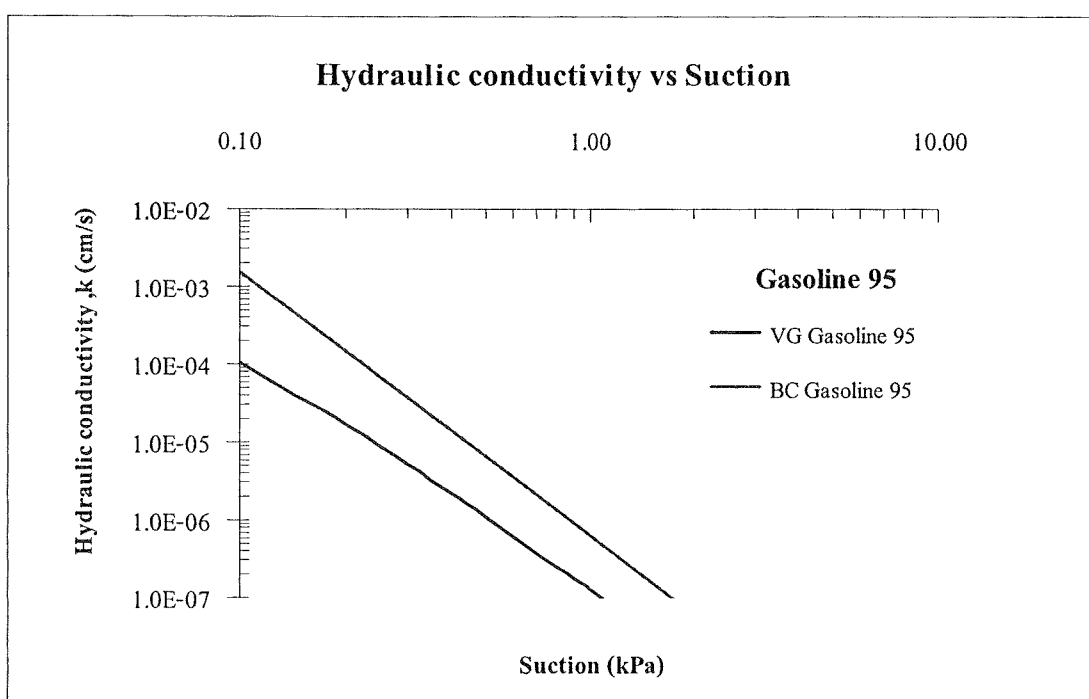
รูปที่ 3-34 กราฟแสดงผลของแบบจำลองของ BC และ BM ของ E20 ระหว่าง k กับ ψ

เปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำมันแก๊สโซฮอล E85 ต่อสมการทั้งสองสมการพบว่าให้การซึมผ่านที่ใกล้เคียงกันมาก ดังรูปที่ 3-35



รูปที่ 3-35 กราฟแสดงผลของแบบจำลองของ BC และ BM ของ E85 ระหว่าง k กับ ψ

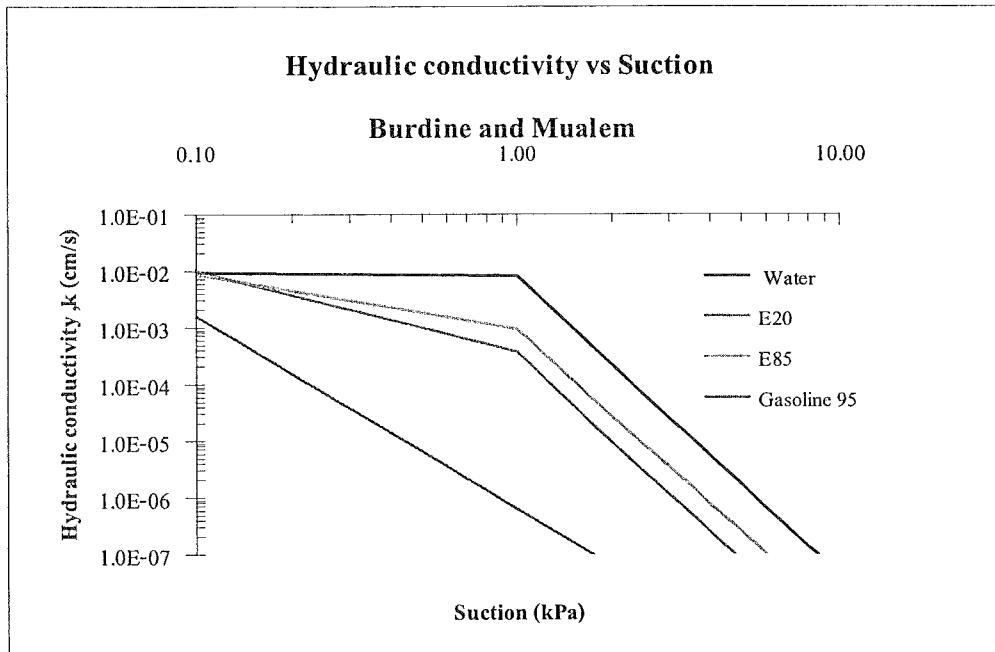
เมื่อเปรียบเทียบของเหลวชนิดน้ำมันเบนซิน 95 ต่อสมการทั้งสองสมการพบว่าให้ค่าการซึมผ่านที่ต่างกันเล็กน้อย โดยสมการของ BM มีค่าที่สูงกว่าสมการของ BC ดังรูปที่ 3-36



รูปที่ 3-36 กราฟแสดงผลของแบบจำลองของ BC และ BM ของเบนซิน 95 ระหว่าง k กับ ψ

เมื่อนำค่า k ของของเหลวทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับสมการของ BC พบว่าน้ำมันเบนซิน 95 มีการซึมผ่านได้สูงสุด รองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E20, แก๊สโซฮอล์ E85 และน้ำตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3-

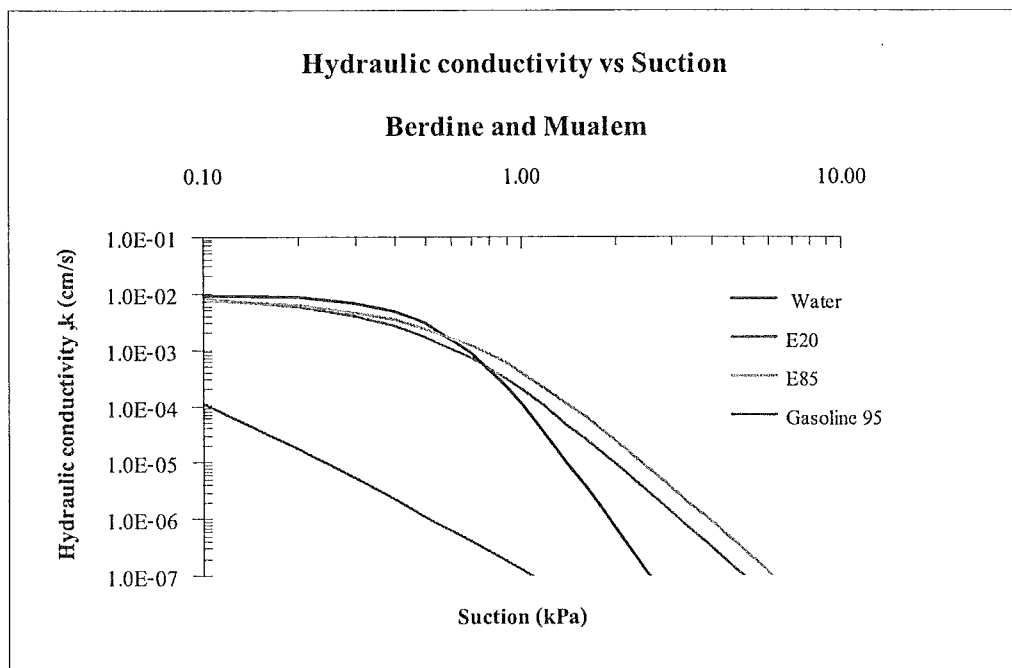
37



รูปที่ 3-37 กราฟแสดงผลของแบบจำลอง BC ของของเหลวทั้งหมดระหว่าง k กับ ψ

เมื่อนำค่า k ของของเหลวทั้งหมดที่ได้มาเปรียบเทียบกับสมการของ BM พบว่าน้ำมันเบนซิน 95 มีการซึมผ่านได้สูงสุด รองลงมาคือ น้ำ, แก๊สโซฮอล์ E20, และแก๊สโซฮอล์ E85 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3-

38



รูปที่ 3-38 กราฟแสดงผลของแบบจำลอง BM ของของเหลวทั้งหมดระหว่าง k กับ ψ

3.8 บทสรุป

การแสดงผลแบบจำลองของ Burdine (1953) and Mualem (1978) ซึ่งใช้ผลที่ได้จากสมการการไหลผ่านของ van Genuchten (1980) โดยการใช้ตัวแปร m, n ที่อยู่ในกรณี $m = 1 - 1/n$ เนื่องจากให้การแสดงผลที่เป็นไปตามทฤษฎีอย่างใกล้ชิดที่สุด จากการศึกษาการไหลซึมผ่านของแก๊สโซฮอล์ผ่านทรายจะสามารถทราบถึงคุณสมบัติการไหลซึมผ่านได้ดังนี้

- การศึกษาการไหลซึมผ่านทรายที่สภาวะความดันต่างๆจากเส้นโค้งลักษณะเฉพาะของดินกับน้ำพบว่าเมื่อนำผลของของเหลวทั้งหมดมาแสดงโดยสมการของ Brook and Corey (BC), 1964 และ van Genuchten (VG), 1980 เมื่อ $(m, n), (m = 1 - 1/n), (m = 1 - 1/2n)$ ได้ค่าที่ใกล้เคียงกับทฤษฎีที่ใช้ในผลการทดลอง จึงเหมาะแก่การนำสมการนี้ไปใช้
- ผลที่ได้จากสมการของ BC ของเหลวที่มีการไหลผ่านได้ดีที่สุดคือ เบนซิน 95 รองลงมาคือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20, และน้ำ และจากสมการของ VG ทั้งสามกรณี ของเหลวที่มีการไหลผ่านได้ดีที่สุด คือ เบนซิน 95 รองลงมาคือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85, น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E20, และน้ำ ซึ่งผลที่ได้ของทั้งสมการทั้งหมดนั้นให้ผลในลักษณะเดียวกันโดยการไหลผ่านที่ต่ำที่สุดของของเหลวนั้นจะสามารถทราบได้จากเส้นโค้งลักษณะเฉพาะของดินกับน้ำซึ่งได้จากค่าปริมาณการตกค้างของของเหลวในชั้นดินและค่าความดันที่ทำให้ของเหลวเริ่มไหลผ่าน
- ค่าปริมาณการตกค้างที่ได้ ของ BC และ VG ได้ผลในลักษณะเดียวกันคือ ปริมาณการตกค้างของน้ำมีค่ามากที่สุด รองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E20 แก๊สโซฮอล์ E85 และเบนซิน 95 ที่มีปริมาณการตกค้างน้อยที่สุด และค่าความดันที่ทำให้ของเหลวเริ่มไหลผ่านได้มากที่สุด คือ น้ำ แก๊สโซฮอล์ E85 แก๊สโซฮอล์ E20 และน้ำมันเบนซิน 95 ซึ่งค่าปริมาณการตกค้างจะมีความสัมพันธ์กันโดยหากมีค่าความดันที่ทำให้ของเหลวเริ่มไหลผ่านมาก ค่าปริมาณการตกค้างของของเหลวก็จะมากตามไปด้วย จึงแสดงได้ว่าของเหลวชนิดนั้นมีการไหลซึมผ่านได้ไม่ดี
- ผลที่ได้จากการทดลองการไหลซึมผ่านในขณะที่ดินอยู่ในสภาพอิ่มตัว 100 % (k_r) ของเหลวที่มีการซึมผ่านได้ดีที่สุดคือ เบนซิน 95 รองลงมาคือ แก๊สโซฮอล์ E20, น้ำและแก๊สโซฮอล์ E85 และจะนำผลที่ได้ไปหาค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้หรือความนำทางชลศาสตร์ (Hydraulic conductivity, k) โดยสมการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้กับปริมาตรของของเหลวในดิน (Volumetric water content) ของ Brook and Corey (1964), สมการเปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้กับค่าการดูด (Suction) ของ Campbell (1973) โดยใช้ผลที่ได้จากสมการของ BC (1964) และสมการเปรียบเทียบค่าทั้งสองของ Burdine (1953) and Mualem (1978) โดยใช้ผลที่ได้จากสมการของ VG (1980)
- เมื่อใช้สมการของทั้ง BC (1964) และ Burdine (1953) and Mualem (1978) เปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ (k) กับปริมาตรของของเหลวในดิน (θ) โดยได้ผลในลักษณะเดียวกันคือ เบนซิน 95 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ดีที่สุด รองลงมาคือ น้ำมันแก๊สโซฮอล์ E85, แก๊ส

โซฮอล E20, และน้ำ หากนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับปริมาณการตกค้างจะสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับผลการไหลผ่าน คือ การไหลผ่านที่มีปริมาณการตกค้างน้อยที่สุด ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้สูงเช่นเดียวกัน

- เมื่อใช้สมการของทั้ง Cambell (1973) และ Burdine (1953) and Mualem (1978) เปรียบเทียบระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้ (k) กับค่าการดูด (ψ) โดยได้ผลในลักษณะเดียวกันคือ เบนซิน 95 มีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้สูงรองลงมาคือ น้ำมันแก๊สโซฮอล E20, แก๊สโซฮอล E85, และน้ำ ตามลำดับ หากนำผลที่ได้เปรียบเทียบกับค่าความดันอากาศที่ทำให้ของเหลวเริ่มไหลผ่านจะสามารถแสดงความสัมพันธ์ที่สอดคล้องกับผลการไหลผ่าน คือ การไหลผ่านที่มีความดันอากาศที่ทำให้ของเหลวเริ่มไหลผ่านน้อยที่สุดนั้น ก็จะมีค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านได้สูงเช่นเดียวกัน
- ค่าการไหลผ่านและการซึมผ่านของผลการทดลองระหว่าง แก๊สโซฮอล E20 กับแก๊สโซฮอล E85 อาจมีความคลาดเคลื่อนกัน อันเนื่องมาจากค่าที่ต่างกันเพียงเล็กน้อยของสารประกอบชนิดเดียวกันในน้ำมันที่มีจึงสามารถยอมรับสรุปผลที่ได้