

ผลกระทบของการกระจายตัวของเม็ดดินต่อเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ

Effect of Particle size distribution on Soil-Water Characteristics Curve (SWCC)

นครินทร์ เนียมตะเคียน¹ ภูริช แซ่โก² และ อ.ดร.วีรยุทธ โกมลวิลาศ³

^{1,2,3} ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอเกี่ยวกับพฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ซึ่งจะมีพฤติกรรมที่แตกต่างจากดินที่อิ่มตัวด้วยน้ำอย่างชัดเจน พฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำสามารถถูกอธิบายด้วยเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil water characteristic Curve, SWCC) ซึ่งเราสามารถใช้ประโยชน์จาก SWCC นี้ เพื่อนำมาวิเคราะห์ในเรื่องต่างๆ เช่น Effective stress of unsaturated soil, Seepage analysis เป็นต้น

คำสำคัญ: ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ, เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ, แรงดึงน้ำ, ระดับความอิ่มตัวของตัวน้ำ

Abstract

-

Keywords: -

1. คำนำ

ในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารหรือบ้านพักที่อยู่อาศัยต้องก่อสร้างบนพื้นที่ที่มีความแข็งแรง เพื่อที่จะรองรับน้ำหนักของสิ่งก่อสร้างเหล่านั้นได้

ซึ่งถ้าดินส่วนใหญ่เป็นดินที่สภาพไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ ดังนั้นเราจำเป็นต้องศึกษาพฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ เพื่อจะได้นำความรู้ในส่วนนี้ไปใช้ออกแบบโครงสร้างในชั้นฐานรากต่อไป พฤติกรรมของดินแบบไม่อิ่มตัวด้วยน้ำสามารถถูกอธิบายด้วยเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ซึ่งเราสามารถใช้ประโยชน์จาก SWCC นี้ เพื่อนำมาใช้วิเคราะห์ในเรื่องต่างๆ เช่น Effective stress of unsaturated soil, Seepage analysis เป็นต้น

เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) คือ เส้นที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Matric suction และ Degree of saturation เมื่อค่า Matric suction สูงขึ้นจะทำให้เกิดความต่างของแรงดันระหว่างแรงดันน้ำ และแรงดันอากาศ สูงขึ้น จะทำให้ค่า Degree of saturation ลดลง และเมื่อค่า Matric suction ลดลงจะทำให้เกิดความต่างของแรงดันระหว่างแรงดันน้ำ และแรงดันอากาศ สูงลง จะทำให้ค่า Degree of saturation สูงขึ้น ซึ่งการเปลี่ยนแปลงดังกล่าวจะส่งผลพฤติกรรมของดินที่ไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

โดยดินแต่ละชนิดจะมีค่าเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ที่ไม่เหมือนกัน อันเนื่องมาจากคุณสมบัติหนึ่งของดิน คือ Particle size distribution ถ้า Particle size distribution มีความหยาบ จะทำให้ค่า Degree of saturation น้อยลง แต่ ถ้า Particle size distribution มีความแน่น จะทำให้ค่า Degree of saturation เพิ่มขึ้น

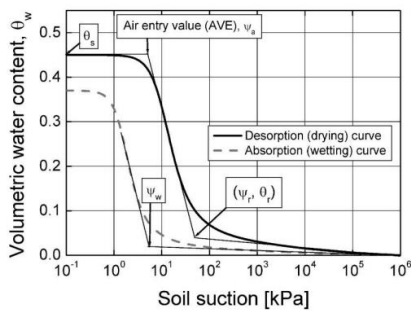
เพื่อที่จะได้เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) เราจะทำการทดสอบด้วย Pressure Plate test ในส่วนการทดลองเพื่อหาค่า SWCC นั้นมีทดสอบได้ยาก แล้วใช้เวลาค่อนข้างนานไม่ว่าจะเป็นขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างดินทดสอบ หรือ ขั้นตอนทดสอบเองพร้อมกับในประเทศไทยมีผลการทดสอบที่น้อยและยังไม่แพร่หลายอีกด้วย

แต่ก็มีนักวิจัยที่ได้เสนอ SWCC Model คือ Van Genuchten เพื่อทำนายค่าเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ซึ่งมีความสะดวกและง่ายในการนำไปใช้งาน และยังมี SWCC Model ของนักวิจัยหลายๆคนได้นำ SWCC Model ของ Van

Genuchten โดยเพิ่มการทำนายพารามิเตอร์ของสมการ SWCC จาก Particle size distribution เพื่อทำนายผลได้แม่นยำมากขึ้นอีกด้วย
 ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงทำการรวบรวมสรุปผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับ SWCC ที่นักวิจัยได้นำเสนอการทำนายค่า SWCC จาก Particle size distribution curve เอาไว้ และได้ทำการเปรียบเทียบการทดสอบจากการนำ Model ของนักวิจัยแต่ละคน เพื่อเป็นตัวช่วยให้กับผู้สนใจเส้นโค้งลักษณะเฉพาะ ดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ของดินทรายที่ไม่ เยอะ

2. วารณกรรมปริทัศน์

2.1 กราฟความสัมพันธ์ของ SWCC กับ Drying curve และ wetting curve



รูปที่ 2-1 Soil Water Characteristic Curve (Fredlund and Xing,1994)

2.2 ผลกระทบของ Drying curve และ Wetting curve

ต่อ SWCC

Drying curve คือ เป็นสถานะที่ความดันทำให้ น้ำเริ่มไหลออกจากดิน ทำให้สภาพของดินเปลี่ยนจากสถานะอิ่มตัวด้วยน้ำ กลายเป็นสถานะที่ ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำ

Wetting curve คือ การทำให้ดินไม่อิ่มตัวด้วยน้ำเปลี่ยนเป็นสถานะ ที่ดินอิ่มตัวด้วยน้ำ โดยการทำให้ น้ำซึมเข้าไปในชั้นดิน

2.3 สมการการทำนาย SWCC

สมการ Van Genuchten

ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง Matrix suction กับ Degree of Saturation โดยสมการนี้ประกอบด้วยพารามิเตอร์อิสระ 3 ตัวด้วยกัน คือ (α, m, n) , ซึ่งได้จากการประมาณได้จากข้อมูลของเส้นกราฟ

$$\theta = \left[\frac{1}{1 + (\alpha\phi)^n} \right]^m$$

$$m = 1 - 1/n$$

โดยที่ θ คือ Degree of saturation

α คือ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะ

ϕ คือ ค่า Matrix Suction Head (ที่ระดับความสูงต่างๆ)

n คือ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ของปริมาณค่าเฉลี่ยของฟองอากาศ ของดิน

m คือ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ของลักษณะของเส้นโค้งในกราฟ

2.4 การทำนายพารามิเตอร์ของสมการ SWCC จาก Particle size distribution

1. Varallyay (1982)

$$\theta = 0.01(-56.4\rho_b + 0.00205Cl^2 + 123.79)$$

$$n = 0.336\rho_b - 0.053$$

$$\alpha = 10^{[0.417 - 0.04271\rho_b Cl - 1.513\rho_b]}$$

โดย Cl คือ % Clay ขนาด (< 0.002 mm)

2. Vereecken (1989)

$$\alpha = \exp(-2.486 + 0.025 \times Sa - 2.617 \times \rho_b - 0.023Cl)$$

$$n = \exp(0.053 - 0.009 \times Sa - 0.013 \times Cl + 0.00015 \times Cl^2)$$

$$\theta_r = 1.5 + 0.5Cl$$

โดย Sa คือ % Sand ขนาด (0.05-2.0 mm)

3. Minasny (1999)

$$\alpha = 0.1361 + 1.6929d_g$$

$$n = 1.4062 - 0.0050\sigma_g$$

$$\theta_r = -0.733 + 0.427Cl + 0.267Si$$

โดย Cl คือ % Clay ขนาด (< 0.002 mm), Si คือ % Slit ขนาด (0.002-0.05 mm)

4. Rajkai (2004)

$$\ln\alpha = 27.18 + 0.15\rho_b Si + 0.18Cl - 13.32\ln(Si) - 0.024\rho_b^2 Cl + 0.314Si - 0.0027Cl^2 - \frac{0.75Sa}{Si} - 0.013\rho_b^2 Si^2$$

$$\ln n = -0.287 + 0.47\rho_b - 0.0080M - 0.00007Cl^2 + 0.06\ln(Cl) - 0.00046\rho_b Sa - 0.01\rho_b^2 Cl - \frac{0.0068Sa}{Si} + 0.00015\rho_b^2 Cl^2$$

โดย Cl คือ % Clay ขนาด (< 0.002 mm), Sa คือ % Sand ขนาด (0.05-2.0 mm), Si คือ % Slit ขนาด (0.002-0.05 mm)

โดย ρ_b คือ bulk density (g/cm³)

θ_r คือ Residual Degree of saturation

d_g คือ Geometric mean Particle - size diameter (mm) - การหาค่า d_g

$$d_g = \exp(a)$$

$$a = 0.01(\%Cl \times \ln(0.01) + \%Si \times \ln(0.026) + \%Cl \times \ln(1.025))$$

σ_g คือ Geometric standard deviation (mm)

-การหาค่า σ_g

$$\sigma_g = \exp(b)$$

$$b^2 = 0.01(\%Cl \times (\ln(0.01))^2 + \%Sl \times (\ln(0.026))^2 + \%Cl \times (\ln(1.025))^2 - a^2)$$

2.5 การทำนายพารามิเตอร์สำหรับเส้น Wetting curve

สมการที่ใช้ในการเปลี่ยนจาก α_d ให้เป็น α_w สำหรับ

Van Genuchten Model

$$\alpha_w = 1.243 + 0.871 \ln(\alpha_d) + 0.252 \ln(\alpha_d)^2 + 0.0373 \ln(\alpha_d)^3 + 0.002798 \ln(\alpha_d)^4 + 8.48 \times 10^{-5} \ln(\alpha_d)^5$$

$$n_w = 1.897 + 6.0058 \times 10^{-5} \exp(n_d) + 1.3414(n_d)^2$$

3.ระเบียบวิจัย

3.1 ศึกษาความเป็นมาและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

เส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) คือ เส้นที่อธิบายถึงความสัมพันธ์ระหว่าง Matric suction และ Degree of saturation โดยดินแต่ละชนิดจะมีค่าเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ (Soil Water Characteristic Curve, SWCC) ที่ไม่เหมือนกัน อันเนื่องจากคุณสมบัติหนึ่งของดิน คือ Particle size distribution ถ้า Particle size distribution มีความหลวม จะทำให้ค่า Degree of saturation น้อยลง แต่ถ้า Particle size distribution มีความแน่น จะทำให้ค่า Degree of saturation เพิ่มขึ้น

3.2 ศึกษาสมการ SWCC

ผู้วิจัยได้เลือกใช้ model ของ Van Genuchten ในการศึกษาสมการ SWCC

Van Genuchten ได้เสนอความสัมพันธ์ระหว่าง Matric suction กับ Degree of Saturation โดยสมการนี้ประกอบด้วยพารามิเตอร์อิสระ 3 ตัวด้วยกัน คือ (α, m, n), ซึ่งได้จากการประมาณได้จากข้อมูลของเส้นกราฟ

$$\theta = \left[\frac{1}{1 + (\alpha\varphi)^n} \right]^m$$

$$m = 1 - 1/n$$

โดยที่ θ คือ Degree of saturation

α คือ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์กับความถ่วงจำเพาะ

φ คือ ค่า Matrix Suction Head (ที่ระดับความสูงต่างๆ)

n คือ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ของปริมาณค่าเฉลี่ยของ

ฟองอากาศของดิน

m คือ ตัวแปรที่มีความสัมพันธ์ของลักษณะของเส้นโค้งใน

กราฟ

3.3 ศึกษาสมการ SWCC ที่ขึ้นกับ Particle Size Distribution

3.4 ทำนายผลการทดสอบ

3.4.1 ทำนายผลผลเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ Drying Path

โดยเริ่มจากสร้างตารางเพื่อ Input ข้อมูลต่าง ๆ ที่จำเป็นเพื่อคำนวณหา Parameter ต่าง ๆ จากนั้นจึงนำ Parameter ต่าง ๆ ที่ได้ไปแทนในสมการ Van Genuchten ในโปรแกรม Excel

Input Parameter	Value	Unit	Remarks
Se	70.44	% USDA	0.05-0.6 mm
Ss	22.58	% USDA	0.002-0.075 mm
Ct	0.38	% USDA	4-0.002 mm
sk	4.828	g/cm ³	Calculated
sd	1.72	g/cm ³	
M	0	%	
Dg	0.27194024		
TP	0.00017946		
Porosity	0.3463		
Volumetric water content	0.58		
nc	0.0427907		Calculated



Output Parameter	Value
beta s	0.3463
beta r	0
alpha	0.013204609
n	1.333669001
m	0.27197148

รูปที่ 3.1 ตัวอย่างการ Input ข้อมูลที่จำเป็นในการคำนวณ Parameter จากสมการ Rajkai et al. (2004)

3.4.2 ทำนายผลผลเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ Wetting Path

โดยเริ่มจากการคำนวณเปลี่ยน α_{dry} เป็น α_{wet} จากสมการของ Raghuram et al. (2020) จากนั้นจึงนำ α_{wet} ที่ได้ไปแทนในสมการ Van Genuchten ในโปรแกรม Excel

Vereecken Parameter	Value
theta s	0.3463
theta r	0.03125
alpha	0.008603511
n	1.333669001
m	1



Vereecken Parameter	Value
theta s	0.3463
theta r	0.03125
alpha	0.013204609
n	1.333669001
m	1

Variilly Parameter	Value
theta s	0.307516531
theta r	0
alpha	0.004971887
n	0.5014
m	1



Variilly Parameter	Value
theta s	0.307516531
theta r	0
alpha	0.005349692
n	0.5014
m	1

รูปที่ 3.2 ตัวอย่างการเปลี่ยน α_{dry} เป็น α_{wet}

3.5 เปรียบเทียบผลการทดสอบ

เริ่มจากการนำค่าที่ได้จากการคำนวณด้วยสมการ Van Genuchten นำมาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดลอง ด้วยค่าทางสถิติอย่าง Root Mean Square Error (RMSE) และ R2 ในโปรแกรม Excel ซึ่งจะมีรายละเอียดและตัวอย่างโปรแกรมดังนี้

Suction (kPa)	Pressure Head (cm-H2O)	Theta (%)	Rajkai	Difference
0.201779968	2.01779968	40.09852745	39.3443431	-0.722213136
0.395877643	3.95877643	38.28431373	39.05634906	0.772035329
0.713847718	7.13847718	37.1312548	38.53178695	1.39453205
1.391809317	13.91809317	35.3924119	37.45334608	2.07403695
2.32189425	23.2189425	33.6682745	35.86378159	2.31515444
3.440213263	34.40213263	32.28411765	34.3286335	2.02851586
			RMSE	=SQRT(SUMSQ(A6:A10)/COUNT(A6:A10))
			RSQ	0.933180041

รูปที่ 3.3 ตัวอย่างการคำนวณ Root Mean Square Error (RMSE)

Suction (kPa)	Pressure Head (cm-H2O)	Theta (%)	Vereecken	Difference
1.869855259	18.69855259	39.7826087	33.25134319	-6.53126513
2.52377524	25.2377524	38.47826087	30.5451396	-7.933121268
6.824530194	68.24530194	19.7826087	14.1505112	-5.632097503
20.27728291	202.7728291	16.19565217	3.71737779	-12.47831439
40.24871744	402.4871744	14.45652174	2.120858295	-12.33563344
105.9355927	1059.355927	12.82608696	1.59809113	-11.22799583
191.6723204	1916.723204	11.73913043	1.531451112	-10.20767932
			RMSE	9.823100721
				=RSQ(A6:A10, A6:A10)

รูปที่ 3.4 ตัวอย่างการคำนวณ R²

4. ผลการทดสอบ

4.1 ค่า Parameter ต่าง ๆ จากแต่ละสมการ

จาก Particle Size Distribution และการคำนวณ α_{dry} จากสมการ Raghuram et al. (2020) เมื่อนำไปแทนค่าสมการในสมการต่าง ๆ จะได้ค่า Parameter ต่าง ๆ ดังตัวอย่างนี้

Sy	Vereecken Parameter					
	θ_s	θ_r	α_{dry}	α_{wet}	n	m
GS	0.	0.	0.	0.	1.	1
mbol	331	015	012	020	921	.00

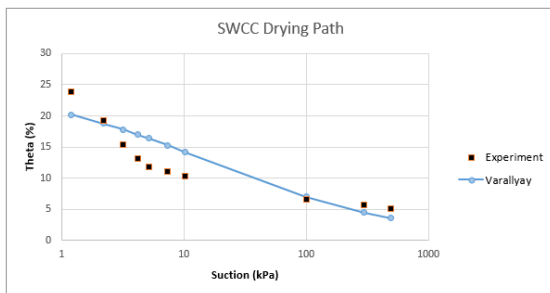
ตารางที่ 4.1 ตัวอย่าง Vereecken et al. (1989) Parameter

Sy	Minasny Parameter					
	θ_s	θ_r	α_{dry}	α_{wet}	n	m
GS	0.	0.	1.	1.	1.	0.
mbol	316	000	871	897	401	286

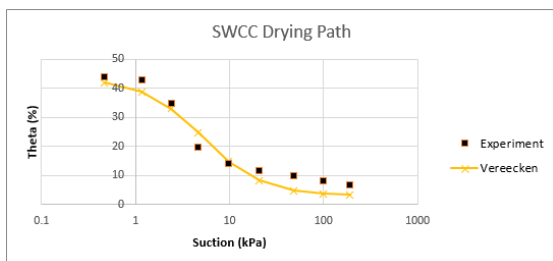
ตารางที่ 4.2 ตัวอย่าง Minasny et al. (1999) Parameter

4.2 ผลการทำนายเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ

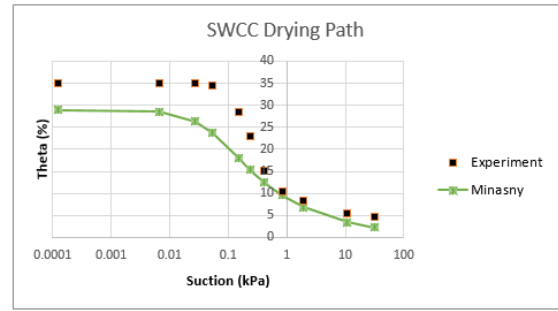
นำค่า Parameter ต่าง ๆ ที่ได้ไปแทนในสมการ Van Genuchten ดังตัวอย่างนี้



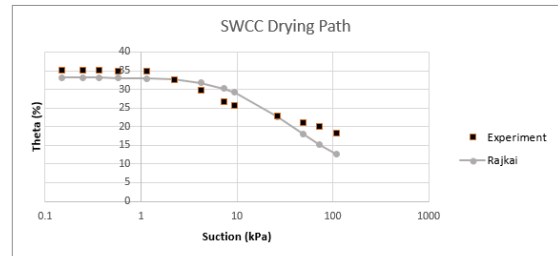
รูปที่ 4.1 ตัวอย่างการแทนค่า Parameter ต่าง ๆ ในสมการ Varallyay et al. (1982)



รูปที่ 4.2 ตัวอย่างการแทนค่า Parameter ต่าง ๆ ในสมการ Vereecken et al. (1989)



รูปที่ 4.3 ตัวอย่างการแทนค่า Parameter ต่าง ๆ ในสมการ Minasny et al. (1999)



รูปที่ 4.4 ตัวอย่างการแทนค่า Parameter ต่าง ๆ ในสมการ Rajkai et al. (2004)

4.3 เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายกับผลจากการทดลองด้วยค่าทางสถิติ

เปรียบเทียบผลที่ได้จากการทำนายเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ กับผลจากการทดลองด้วยค่า Root Mean Square Error และ R²

Symbol	Vereecken		Rajkai		Minasny		Varallyay	
	RMSE	RSQ	RMSE	RSQ	RMSE	RSQ	RMSE	RSQ
CL S I	5.423	0.920	2.938	0.868	12.314	0.833	12.630	0.965

ตารางที่ 4.3 ตัวอย่างการเปรียบเทียบผลการทำนายด้วยสมการกับผลการทดลองด้วยค่าสถิติ

5. สรุปผลการวิจัย

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการทำนายเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ สามารถสรุปได้ดังนี้

5.1.1 สมการ Rajkai et al.(2004) ทำนายดินทรายปนดินเหนียวได้ใกล้เคียงที่สุดสำหรับ Drying Path

5.1.2 สมการ Vereecken et al. (1989) ทำนายดินทรายที่มีการกระจายตัวของค่า Particle Size ตั้งแต่ 0.002 mm. ได้ใกล้เคียงที่สุดทั้ง Drying Path และ Wetting Path

5.1.3 สมการ Minasny et al. (1999) ทำนายดินทรายที่มี Particle Size มากกว่า 0.05 mm. ทั้งหมดได้ใกล้เคียงที่สุด

5.1.4 สมการ Vereecken et al. (1989) ทำนายดินทรายปนดินเหนียวได้ใกล้เคียงที่สุดสำหรับ Wetting Path

5.2 ข้อเสนอแนะและแผนการดำเนินงานในอนาคต

5.2.1 ผู้ที่สนใจสามารถนำ Excel ไปใช้ในการทำนายเส้นโค้งลักษณะเฉพาะดินกับน้ำ กับดินทรายชนิดอื่น ๆ เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้ประโยชน์อื่นต่อไป

5.2.2 ผู้ที่สนใจสามารถนำโค้ดและค่าต่าง ๆ ในงานวิจัยไปพัฒนาประยุกต์ใช้กับงานอื่น ๆ ซึ่งจะทำให้ประหยัดเวลายิ่งขึ้นไป

กิตติกรรมประกาศ

ทางผู้วิจัยขอขอบคุณ อ.ดร.วีรยุทธ โกมลวิลาศ อาจารย์ที่ปรึกษาปริญญาโท ที่ได้กรุณาให้คำแนะนำ จัดหาอุปกรณ์ ตรวจสอบโครงการวิจัยด้วยความเอาใจใส่เป็นอย่างดีตั้งแต่เริ่มต้นจนกระทั่งเสร็จสิ้นสมบูรณ์ ขอขอบคุณรุ่นพี่ และเพื่อน ๆ ในคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ทุกท่านที่คอยให้คำปรึกษามาเป็นอย่างดี และขาดไม่ได้ขอขอบคุณทางครอบครัวของทางผู้วิจัยทั้งสองที่คอยสนับสนุนและให้กำลังใจมาโดยตลอด

เอกสารอ้างอิง

- [1] Ammavajjala Sesha Sai Raghuram, S.M.ASCE1, B. Munwar Basha, M.ASCE2, and Arif Ali Baig Moghal, M.ASCE3, Effect of Fines Content on the Hyteretic Behavior of Water- Retention Characteristic Curves of Reconstituted Soils, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003114.
- [2] Andrey K.Guber, and Yakov A.Pachepsky, Multimodeling with Pedotransfer Functions. Documentation and User Manual for PTF Calculator (CalcPTF) Version 3.0, USDA-ARS, November 2010
- [3] Chaminda Pathma Kumaara Gallage, and Taro Uchimura, Effects of Dry Density and Grain Size Distribution on Soil-Water Characteristic Curves of Sandy Soils, Soil and Foundation Vol.50, No.1, 161-172, Feb. 2010, Japan Geotechnical Society
- [4] Hong Yang, Harianto Rahardjo, Eng-Choon Leong, and D.G. Fredlund, Factors Affecting Drying and Wetting Soil-Water Characteristic Curves of Sandy Soils, NRC Research on 6 October 2004
- [5] H.Vereecken, J.Maes, J.Feyen, and P.Darius, Estimating the Soil Moisture Retention Characteristic from Texture, Bulk Density, and Carbon Content, 0038-075X/89/1486-0389\$02.00/0, Soil Science, December 1989, Vol.148, No.6
- [6] Kalman Rajkai, Sandor Kabos, and M.Th. van Genuchten, Estimating the Water Retention Curve from Soil Properties: Comparison of Linear, Nonlinear, and Concomitant Variable Methods,
- [7] M.Kikumoto, H.Kyokawa, T.Nakai, and H.M. Shahin, A Simple Elasto-Plastic Model for Unsaturated Soils and Interpretations of Collapse and Compaction behaviours, Nagoya Institute of Technology, Nagoya, Japan
- [8] Sh.Ghorbani Dashtaki, and M.Homae, Using Geometric Mean Particle Diameter to Derive Point and Continuous Pedotransfer Functions Retention Characteristic Curves of Reconstituted Soils, DOI: 10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0003114.
- [9] Zou Lei, Effects of Grain-Size Distribution and Hysteresis on Soil-Water Characteristic Curve (SWCC) , <http://doi.org/10.32657/10220/47603>

2.2.1 สมการ

สมการจะใช้ตัวอักษร “Times New Roman” ขนาด 10 จุดในการเขียนลักษณะทางคณิตศาสตร์ ตูยละเอียดเพิ่มเติมในหัวข้อที่ 2.5

2.2.2 การเว้นระยะ

การเว้นระยะระหว่างบรรทัดสำหรับหัวข้อย่อย เช่น 2.1 และ 2.2 จะใช้ขนาดระยะ 5 จุด เนื้อเรื่องในแต่ละบรรทัดให้จัดเรียงชิดซ้ายและขวาอย่างสวยงามโดยตั้งค่า Alignment แบบ Thai Distributed (“Justify”)

กำหนดระยะในการย่อหน้าอยู่ที่ 5 มิลลิเมตร

2.4 ชื่อเรื่อง ชื่อผู้แต่ง และหัวข้อ

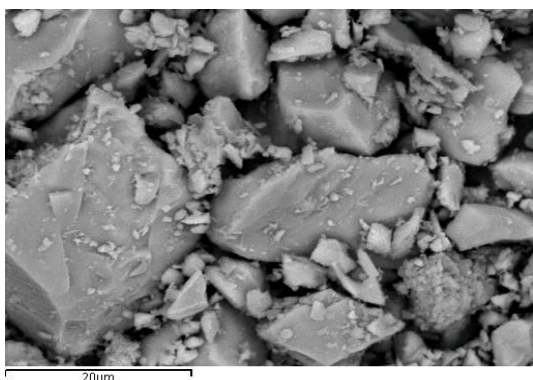
การพิมพ์ชื่อเรื่อง ให้วางไว้ตำแหน่งกลางหน้ากระดาษ เริ่มจากชื่อเรื่องภาษาไทย ขึ้นบรรทัดใหม่เป็นชื่อเรื่องภาษาอังกฤษ ชื่อผู้เขียนและสถาบันให้พิมพ์ไว้ใต้ชื่อเรื่องและอยู่กลางหน้ากระดาษ แบบคอลัมน์เดี่ยว ระบุที่อยู่ของที่ทำงาน แต่ไม่ต้องระบุตำแหน่งทางวิชาการหรือสถานะของนิสิตนักศึกษาใด ๆ ทั้งสิ้น

2.5 การจัดทำรูปภาพ

รูปภาพที่ใช้จะต้องมีความคมชัดเพียงพอเพื่อที่จะให้ผู้อ่านสามารถเห็นรายละเอียดในรูปภาพได้ชัดเจน

รูปภาพจะต้องวางไว้ตำแหน่งกลางคอลัมน์ หรือในกรณีจำเป็นจริงๆ เพื่อรักษารายละเอียดในภาพอาจยอมให้มีความกว้างได้เต็มหน้ากระดาษ ตัวอักษรทั้งหมดในรูปภาพ จะต้องมีขนาด 11-12 จุด เพื่อให้ผู้อ่านสามารถอ่านได้สะดวก โดยรูปภาพทุกรูปจะต้องมีหมายเลขแสดงลำดับและคำบรรยายได้ภาพ หมายเลขและคำบรรยายรวมกันแล้วควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด ควรจะเว้นบรรทัด 1 บรรทัด เนื้อขอบของรูปภาพและใต้คำอธิบายภาพ ตัวอย่างการจัดวางรูปดังแสดงในรูปที่ 1

คำบรรยายได้ภาพ ห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่น ห้ามเขียนว่า “รูปที่ 1 แสดงความสัมพันธ์...” ที่ถูกต้องควรเป็น “รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่าง...”



รูปที่ 1 ภาพถ่ายขยายกำลังสูงของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

2.6 การเขียนสมการ

สมการที่ใช้ในบทความควรจะเป็นการสร้างจากโปรแกรม MathType หรือเป็นวัตถุของ Microsoft Equation มีขนาด 10 จุด และเป็นตัวอักษร “Times New Roman” ขนาด 10 จุด สมการทุกสมการจะต้องมีหมายเลขกำกับอยู่ภายในวงเล็บ และเรียงลำดับที่ถูกต้อง ตำแหน่งของหมายเลขสมการ (ใช้ตัวอักษร TH Sarabun New ธรรมดา ขนาด 12 จุด) จะต้องอยู่ชิดขอบด้านขวาของคอลัมน์ ตำแหน่งของสมการให้จัดตามความสวยงาม ดังแสดงในสมการที่ (1)

$$\frac{c+d}{e} = f \quad (1)$$

โดยการอธิบายตัวแปรที่ระบุในสมการ ให้ใช้ตัวอักษร Times New Roman ตัวอักษรเอียง ขนาด 10 จุด ตัวอย่างเช่น c หมายถึงจำนวนช่างไฟฟ้า, d คือ จำนวนช่างฝ้า, e คือค่าคงที่เท่ากับ 2 และ f คือผลลัพธ์ที่ได้

2.7 การจัดทำตาราง

ตัวอักษรในตาราง ให้ใช้ตัวอักษร TH SarabunPSK ธรรมดาขนาด 11-12 จุด ควรตีเส้นกรอบตารางด้วยหมึกดำให้ชัดเจน ตัวอย่างตารางดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

ตารางทุกตารางจะต้องมีหมายเลขและคำบรรยายกำกับเหนือตาราง หมายเลขกำกับและคำบรรยายนี้รวมกันแล้ว ควรมีความยาวไม่เกิน 2 บรรทัด ในคำบรรยายเหนือตารางห้ามใช้คำว่า “แสดง” เช่นเดียวกับกรณีรูปภาพ

2.8 การอ้างอิงและเอกสารอ้างอิง

เอกสารอ้างอิง ให้ใช้ตัวอักษร TH Sarabun New ธรรมดาขนาด 12 จุด การอ้างอิงในบทความ ให้ใช้เครื่องหมายวงเล็บเหลี่ยม เช่น [2] จะต้องเรียงลำดับหมายเลขอ้างอิงจากหมายเลขน้อยไปสู่หมายเลขมาก ให้ถูกต้อง การอ้างอิงหมายเลขที่มีลำดับติดต่อกันให้ใช้รูปแบบดังนี้ [1-5] โดยต้องระบุชื่อบทความที่อ้างอิงให้ชัดเจน ให้จัดรายการอ้างอิงให้อยู่ในแนวตรงตามตัวอย่าง โดยเว้นระยะจากขอบซ้ายให้ตรงกันทุกรายการ

ตารางที่ 1 สรุปรายละเอียดรูปแบบตัวอักษรสำหรับบทความ

หัวข้อ	ลักษณะ	ตัวอักษร	รูปแบบ	ขนาด (จุด)
ชื่องานวิจัย	Title_new	TH Sarabun New	หนา	16
ชื่อผู้เขียน	Author_new	TH Sarabun New	ธรรมดา	12
ต้นสังกัด	Affiliation_new	TH Sarabun New	เอียง	11
หัวข้อ 1 (1,2,..)	Heading1_new	TH Sarabun New	หนา	14
หัวข้อ 2 (1.1,1.2,..)	Heading2_new	TH Sarabun New	เอียง	12
หัวข้อ 3 (1.1.1, ...)	Heading3_new	TH Sarabun New	เอียง	12

เนื้อหาและ บทคัดย่อ	Content_new	TH Sarabun New	ธรรมดา	12
คำอธิบายรูป	Caption_new	TH Sarabun New	ธรรมดา	11
คำอธิบายตาราง	Caption_table_ ew	TH Sarabun New	ธรรมดา	11
ตัวแปรในสมการ **	N/A	Times New Roman	เอียง	10
เอกสารอ้างอิง	Reference_new	TH Sarabun New	ธรรมดา	12

** จัดทำโดยการใช้ *MathType/ Ms Equation Object*. (ตัวอย่างของเชิงอรรถ)

2.9 คำย่อที่ใช้

หากมีการใช้คำย่อ ให้ระบุคำเต็มแล้วตามด้วยวงเล็บคำย่อเมื่อกล่าวถึงในครั้งแรก ถึงแม้ว่าจะเคยกล่าวในบทคัดย่อไปแล้วก็ตาม

3. บทสรุป

กรุณาตรวจบทความอย่างรอบคอบก่อนส่งให้กรรมการพิจารณา

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณนิสิตที่ให้ความร่วมมือรักษาระเบียบการเขียนบทความอย่างเคร่งครัด

เอกสารอ้างอิง

- [1] S. Hiranvarodom, "Modeling of Strategy for Photovoltaic Development and Dissemination in Thailand", *3rd World Conference on Photovoltaic Energy Conversion*, 2003, pp. 123-133. **(In case of Articles from Conference Proceedings (published))**
- [2] J.E. Bowles. *Foundation and Analysis Design*. The McGraw-Hill Companies, Inc., 1996, pp. 123-132. **(In case of Book)**
- [3] S. Thongmune, T. Matsumoto, S. Kobayashi, P. Kitiyodom and K. Kurosawa. "DEM simulations of push-up load tests for sand plug in steel pipe pile". *Soils and Foundations*, 51(5), pp. 959-974, May. 2011. **(In case of Journal)**
- [4] S. Mack. "Desperate." M.A. thesis, University of Calgary, Canada, 2000. **(In case of Dissertation and Theses)**
- [5] มนูญกิตติ์ คำทอง, ขวัญชัย กรพันธ์ และ นิชฌานันท์ ห่องสินหลาก,
"การเสริมกำลังเสาคอนกรีต", *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 7*, พ.ศ.2554, หน้า 100-106. **(กรณีบทความในเอกสารประกอบการประชุม)**
- [6] มนูญกิตติ์ คำทอง, ขวัญชัย กรพันธ์ และ นิชฌานันท์ ห่องสินหลาก,
การเสริมกำลังเสาคอนกรีต, สำนักพิมพ์นานมี, พ.ศ.2554, หน้า 100-106. **(กรณีหนังสือ)**
- [7] มนูญกิตติ์ คำทอง, ขวัญชัย กรพันธ์ และ นิชฌานันท์ ห่องสินหลาก,

"การเสริมกำลังเสาคอนกรีต", *วารสารวิจัย ม.ช.*, ปีที่ 5, พ.ศ.2554, หน้า 100-106. **(กรณีบทความในวารสาร)**