



ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสัมพัทธ์ของทรายกับสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสถานะสมดุล

RELATIONSHIP BETWEEN SAND RELATIVE DENSITY AND EARTH PRESSURE COEFFICIENT AT-REST

ทวีศักดิ์ ปิติคุณพงศ์สุข¹ และสิทธา จิตสามารถ²

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

² วิศวกรโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นสัมพัทธ์กับค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างของทรายในสถานะสมดุล (K_0 -conditions) ตัวอย่างทรายที่ใช้เป็นทรายสะอาดที่ไม่มีความเชื่อมแน่น (Cohesionless clean sand) 3 ขนาด ได้แก่ ทรายขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 0.2 มม., 0.6 มม. และ 1.0 มม. ตัวอย่างทรายถูกเตรียมขึ้นโดยมีความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, $R.D.$) ของตัวอย่างทรายที่ระดับต่างๆ ได้แก่ 20%, 40%, 60% และ 80% การศึกษาวิจัยครั้งนี้ได้ทำการวัดค่าสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างของทรายในสถานะสมดุล (K_0) โดยใช้เครื่องมือ Modified K_0 -Oedometer ที่ประดิษฐ์ขึ้นซึ่งสามารถใช้ในการวัดค่า K_0 ได้โดยตรง เครื่องมือ Modified K_0 -Oedometer ที่ใช้ในการศึกษาวิจัยครั้งนี้มีลักษณะเป็นทรงกระบอก ที่มีการเจาะรูวงกลมไว้ที่ผนังด้านข้างของทรงกระบอก พร้อมทั้งมีการติดตั้งระบบการวัดแรงเอาไว้ ทำให้สามารถวัดหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบของทรายได้จากนั้น ค่า K_0 ของทรายที่ระดับ $R.D.$ ต่างๆ คำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบ (σ'_h) กับหน่วยแรงประสิทธิผลแนวตั้ง (σ'_v)

คำสำคัญ: ทราย, สัมประสิทธิ์แรงดันดิน, ความหนาแน่นสัมพัทธ์, แรงดันดินในแนวราบ, แรงดันดินประสิทธิผล

ABSTRACT

This research aims to study the effect of sand relative density on the value of later earth pressure coefficient (K_0). Three sizes of clean sands with diameter of 0.2 mm., 0.6 mm. and 1.0 mm. were prepared. Sand specimens at relative density of 20%, 40%, 60% and 80% were prepared into a cylindrical mold of an invented modified K_0 -oedometer. The mold of the device has a circular hole that is connected to a load cell. When vertical effective stress is applied at the top of specimen, the soil settles but tends to expand laterally. The lateral deformation of specimen was recovered back to zero lateral strain position and load cell could measure the effective lateral earth pressure at K_0 -conditions. The values of K_0 were then determined by the ratio of horizontal effective stress (σ'_h) to vertical effective stress (σ'_v)

KEYWORDS: sand, earth pressure coefficient, relative density, horizontal stress, effective stress

1. บทนำ

การพัฒนาสังคมและชุมชนที่เกิดขึ้นอย่างรวดเร็ว ส่งผลให้มีความต้องการใช้พื้นที่ไปในการก่อสร้างโครงสร้างเพื่อประโยชน์ใช้สอยต่าง ๆ ทั้งบนพื้นดินและใต้ดิน เพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานรองรับการพัฒนาของประเทศ ดังนั้น เพื่องานก่อสร้างอย่างปลอดภัย จึงมีความจำเป็นอย่างมากที่ต้องการทำการสำรวจชั้นดินอย่างเป็นระบบ เพื่อให้ได้ข้อมูลและพฤติกรรมของดินที่จะนำไปใช้ในการออกแบบทางวิศวกรรมปฐพีเพื่อให้โครงสร้างทางวิศวกรรมต่างๆ มีความปลอดภัย ค่าสัมประสิทธิ์แรงดันด้านข้างของดินในสภาวะสมดุล (Coefficient of earth pressure at-rest) หรือ K_0 จัดเป็นคุณสมบัติของดินที่สำคัญค่าหนึ่งที่ใช้ในการออกแบบทางด้านวิศวกรรมปฐพี เช่น เสาค้ำยัน กำแพงกันดิน เป็นต้น ค่า K_0 สามารถวัดได้จากการทดสอบจากวิธีต่าง ๆ ดังพบได้จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องจากงานวิจัยต่าง ๆ เช่น Jitsamart and Pitikhunpongsuk (2012), Jitsamart (2015), Pitikhunpongsuk et al. (2015), Jirathanathaworn (2009) Jirathanathaworn et al. (2010), Thomann and Hryciw (1990), Thomann (1990), Dyvik et al. (1985), Kelly (1969) เป็นต้น นอกจากนี้ ค่า K_0 สามารถคำนวณได้จากสมการเชิงประจักษ์ (Empirical equations) ต่าง ๆ ดังที่ได้มีนักวิจัยในสาขาวิศวกรรมปฐพีได้ศึกษาและเสนอไว้ ดังพบได้ในรายละเอียดงานวิจัยของ Terzaghi (1934), Jaky (1944), Jaky (1948), Mayne and Kulhawy (1982) เป็นต้น

2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาวะสมดุล (Coefficient of earth pressure at-rest, K_0) คือ คุณสมบัติของดินที่สำคัญที่ใช้ในการคำนวณออกแบบทางวิศวกรรมปฐพี เช่น ฐานรากเสาค้ำยัน กำแพงกันดิน เป็นต้น ค่า K_0 สามารถคำนวณได้จากสมการที่ (1) ซึ่งเป็นอัตราส่วนระหว่างหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบ (Horizontal effective stress, σ'_h) ต่อหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง (Vertical effective stress, σ'_v) ในสภาวะสมดุลโดยอยู่ในสภาวะของดินที่ไม่เกิดการเสียรูป (Deformation) หรือความเครียดทางด้านข้างเกิดขึ้น (Zero-lateral strain)

เนื่องจากการวัดค่าหน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบ (σ'_h) ทั้งในสนามและในห้องปฏิบัติการนั้นทำได้ยาก จึงมีนักวิจัยได้ศึกษาความสัมพันธ์ของค่า K_0 กับคุณสมบัติทางวิศวกรรมอื่นๆ ของดินและเสนอเป็นสมการเชิงประจักษ์ (Empirical equations) เพื่อใช้ในการประมาณค่า K_0 เช่น สมการเชิงประจักษ์ดังสมการที่ (2) เป็นสมการที่เสนอโดย Jaky เมื่อปี ค.ศ. 1944 ซึ่งเป็นการประมาณค่า K_0 โดยใช้มุมเสียดทานภายในของดิน (ϕ') สมการที่ (2) นี้จัดได้ว่าเป็นสมการที่เหมาะสมสำหรับประมาณค่า K_0 ของทราย (Sands) ซึ่งปกติเป็นดินที่ไม่มีความเหนียว ซึ่งเป็นสมการที่ได้รับการยอมรับในการใช้ประมาณค่า K_0 ของดิน อย่างไรก็ตาม สมการที่ (2) มีความเหมาะสมสำหรับทรายสะอาด (Clean sands) ที่ไม่มีประวัติการถูกกดทับ แต่ดินทั่วไปเป็นดินที่มีส่วนผสมของดินเม็ดละเอียดปนอยู่ ทำให้ดินมีประวัติการถูกกดทับซึ่งแสดงด้วยค่าการอัดตัวเกินปกติ (Over consolidated soils) ซึ่งค่า K_0 ของดินกลุ่มนี้สามารถประมาณได้โดยใช้สมการที่ (3) ซึ่งเสนอโดยงานวิจัยของ Schimdt (1966), Sherif and Koch (1970) และ Mayne and Kulhawy (1982)

จากสมการที่ (2) และ (3) จะเห็นได้ว่า ค่า K_0 มีค่าขึ้นอยู่กับค่า ϕ' ของดิน โดยทั่วไป สำหรับทรายที่มีค่า ϕ' สูงหรือทรายที่มีค่าความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, R.D.) สูงจะมีค่า K_0 ต่ำ และทรายที่มีค่า ϕ' หรือ R.D. ต่ำ จะมีค่า K_0 สูง นอกจากนี้ ค่า ϕ' ของทรายยังมีความสัมพันธ์โดยตรงกับขนาดของเม็ดทราย (Grain size) กล่าวคือ ทรายเม็ดใหญ่ มีแนวโน้มค่า ϕ' สูงกว่า ทรายละเอียด

$$K_o = \frac{\sigma'_h}{\sigma'_v} \quad (1)$$

$$K_o = 1 - \sin \phi' \quad (2)$$

$$(K_o)_{oc} = (K_o)_{nc} \times (OCR)^{\sin \phi'} \quad (3)$$

เมื่อ K_o = สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสถานะสมดุล

σ'_h = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวราบ

σ'_v = หน่วยแรงประสิทธิผลในแนวดิ่ง

ϕ' = มุมเสียดทานภายในของดิน

OCR = อัตราส่วนการอัดตัวของดิน

จากสมมติฐานที่ได้จากสมการเชิงประจักษ์ข้างต้นนี้ จึงเป็นที่มาในการศึกษาวิจัยครั้งนี้ เพื่อจะได้นำเสนอผลการทดสอบค่า K_o ของทรายที่มีค่า R.D. ต่างๆ กัน รวมทั้งแสดงการวิเคราะห์หาค่า R.D. ของทรายมีผลกับการเปลี่ยนแปลงค่า K_o อย่างไรดังจะได้แสดงไว้ในหัวข้อถัดไป

3. วัสดุและวิธีการทดสอบ

3.1 ตัวอย่างดินที่ใช้ในการทดสอบ

ดินที่ใช้ในการทดสอบเป็นทรายแห้ง ซึ่งตัวอย่างทรายแต่ละชุดการทดสอบ เตรียมจากการร่อนผ่านตะแกรงทำให้ได้ทรายที่มีขนาดสม่ำเสมอ (Uniform sands) 3 ชุด ได้แก่

(1) ทราย A มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.2 มม.

(2) ทราย B มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 0.6 มม.

(3) ทราย C มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 1.0 มม.

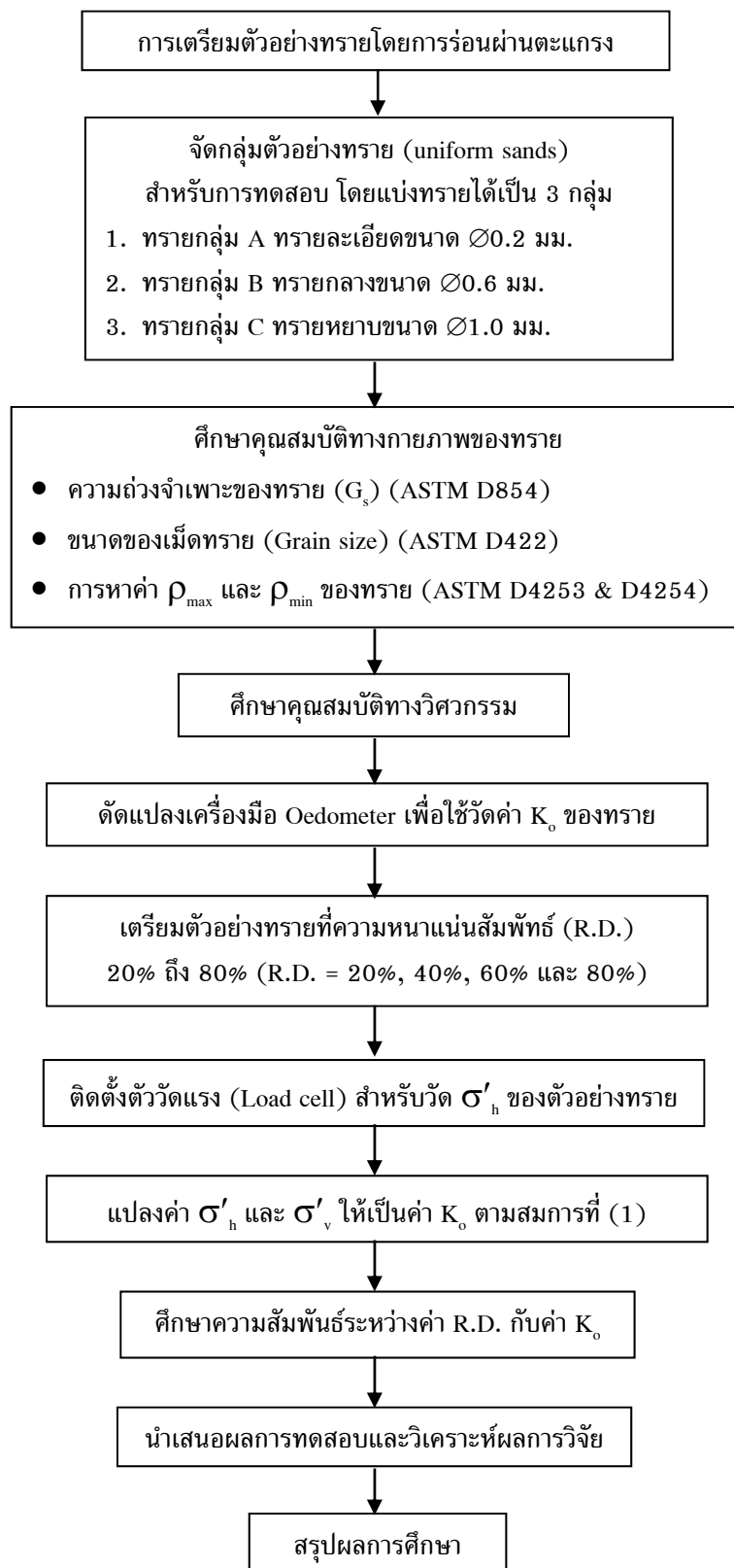
จากนั้น ทรายแต่ละขนาดที่ได้จากการร่อนผ่านตะแกรง จะถูกนำมาเตรียมเป็นตัวอย่างทรายสำหรับการทดสอบ หาค่า K_o ในแบบทรงกระบอก (Cylindrical mold) โดยตัวอย่างทรายมีความหนาแน่นสัมพัทธ์ (R.D.) เท่ากับ 20%, 40%, 60% และ 80%

3.2 ขั้นตอนการทดสอบ

ขั้นตอนการศึกษาวิจัยครั้งนี้แสดงดังรูปที่ 1

3.3 เครื่องมือทดสอบเพื่อวัดค่า K_o

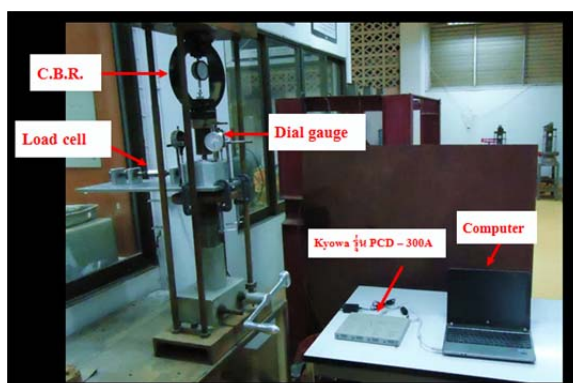
เครื่องมือที่ใช้งานวิจัยนี้ เป็นเครื่องมือที่ประดิษฐ์ขึ้นมาเพื่อใช้ในการหาค่า K_o เรียกว่าเครื่องมือ K_o -Oedometer ซึ่งได้มาจากการดัดแปลงแบบ Oedometer มีลักษณะเป็นแบบทรงกระบอก ทำมาจากอลูมิเนียมซึ่งทำให้แบบไม่เป็นสนิมเมื่อถูกความชื้นในระหว่างการทดสอบ และเนื่องจากอลูมิเนียมเป็นวัสดุที่มีผิวเรียบจึงลดผลกระทบเรื่องความเสียดทานระหว่างผนังของแบบกับเม็ดทรายที่อาจเกิดขึ้นในระหว่างการทดสอบด้วย ผนังของแบบอลูมิเนียมมีความหนาเท่ากับ 1 ซม. ความสูงของแบบเท่ากับ 5.8 ซม.



รูปที่ 1 ขั้นตอนการศึกษาวิจัย

และเส้นผ่านศูนย์กลางภายในเท่ากับ 13.8 ซม. ผนังของแบบทรงกระบอกมีรูวงกลมที่ต่อเข้ากับตัววัดแรง (Load cell) แบบทรงกระบอกนี้ตั้งอยู่บนแผ่นอลูมิเนียมความหนา 1 ซม. ซึ่งบนแผ่นอลูมิเนียมนี้ มีการติดตั้ง load cell ซึ่งใช้ในการวัดหน่วยแรงด้านข้างของตัวอย่างทราย เมื่อตัวอย่างทรายในแบบทรงกระบอกถูกแรงกระทำกดทับในแนวดิ่ง การทดสอบครั้งนี้ แรงกระทำในแนวดิ่งที่ apply สู่วัตถุมาจากการกดจากเครื่องกดแบบ CBR โดยหน่วยแรงแนวดิ่งที่ใช้ทดสอบครั้งนี้มีค่าอยู่ในช่วง 0 ถึง 920 kPa รูปที่ 2 แสดงการติดตั้งตัวอย่างทรายในแบบทรงกระบอกเข้ากับเครื่องกด CBR รวมทั้งการต่อเข้ากับชุดเครื่องมือสำหรับการบันทึกข้อมูลการทดสอบ รูปที่ 3 แสดงแผนภาพการติดตั้งตัวอย่างทรายเข้ากับเครื่องกด CBR เพื่อป้องกันไม่ให้เกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างของตัวอย่าง ที่ด้านหลังถัดออกมาจาก load cell ถูกต่อกันออกมาซึ่งติดตั้งเข้ากับ fixed support ทำให้สามารถปรับเข้าออกของการเคลื่อนตัวในแนวราบ (Horizontal displacement checker) ของตัวอย่างได้ ทำให้ไม่เกิดการเคลื่อนตัวด้านข้างของตัวอย่างทรายในระหว่างการทดสอบ

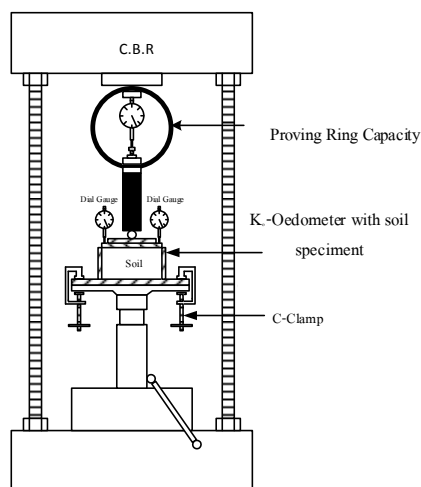
ตัววัดแรง (Load cell) ที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้มีระดับการวัดแรงได้สูงสุด (Load capacity) เท่ากับ 50 kg โดยมีระดับความคลาดเคลื่อนในการวัดเท่ากับ ± 0.05 kg ในขณะทดสอบ load cell เชื่อมเข้ากับเครื่องแปลงสัญญาณ Kyowa รุ่น PCD-300A ซึ่งผลการอ่านค่าแรงดันด้านข้างของตัวอย่างจะถูกเก็บบันทึกไว้ที่เครื่องคอมพิวเตอร์ ที่เชื่อมโยงกับเครื่องแปลงสัญญาณ นอกจากนี้ ในระหว่างการทดสอบ มีการติดตั้ง dial gauge ที่มีความละเอียดเท่ากับ 0.002 ซม. จำนวน 3 ตัว เพื่อใช้วัดการทรุดตัว (การเคลื่อนตัวในแนวดิ่ง หรือ Vertical deformation) ของตัวอย่างด้วย การติดตั้ง dial gauge ทั้ง 3 ตัวมีลักษณะวางตัวกันเป็นรูปสามเหลี่ยมทำมุม 60 องศาซึ่งกันและกัน โดยยึด dial gauge ด้วยตัวจับยึดแบบ c-clamp ซึ่งจับยึดกับแผ่นฐานอลูมิเนียม



รูปที่ 2 เครื่องมือ K₀-Oedometer ต่อเข้ากับ load cell สำหรับวัดค่า σ'_h
(Load cell เชื่อมเข้ากับชุดเครื่องมือสำหรับการบันทึกผลการทดสอบ)
(Jitsamart and Pitikhunongsuk, 2012)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของทรายทั้ง 3 ชุด

Soil Properties Sand Type	G_s	e_{max}	e_{min}	γ_{dmin} (g/cm ³)	γ_{dmax} (g/cm ³)
Sand A: Fine sand	2.63	0.87	0.39	1.40	1.89
Sand B: Medium sand	2.65	0.82	0.46	1.44	1.79
Sand C: Medium-to-coarse sand	2.68	0.88	0.43	1.41	1.87



รูปที่ 3 แผนภาพการติดตั้ง K_o-Oedometer เข้ากับเครื่องทดสอบ CBR เพื่อให้น้ำหนักในแนวตั้ง
(Jitsamart and Pitikhunpongsuk, 2012)

4. ผลการทดสอบ

4.1 คุณสมบัติทางกายภาพ (Physical soil properties)

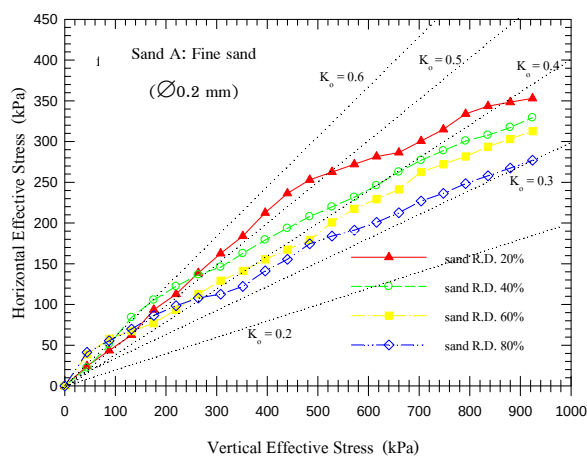
ดินที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นทรายขนาดสม่ำเสมอ (Uniform sands) ซึ่งได้จากการร่อนผ่านตะแกรงร่อนดิน ดังกล่าวแล้วในหัวข้อที่ 3.1 คุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญ ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะของทราย (G_s) และอัตราส่วนช่องว่างสูงสุด (e_{max}) และอัตราส่วนช่องว่างต่ำสุด (e_{min}) ของทราย แสดงในตารางที่ 1 ค่า e_{max} และ e_{min} ได้จากการทดสอบโดยใช้เครื่องทดสอบการสั่นตัวอย่าง (Vibration testing) ค่าอัตราส่วนช่องว่างของทราย แสดงถึงความหนาแน่นของทราย ซึ่งนำไปใช้ในการคำนวณความหนาแน่นของทรายที่ R.D. ระดับต่าง ๆ สำหรับการเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

4.2 ความสัมพันธ์ระหว่าง σ'_h และ σ'_v ของทราย

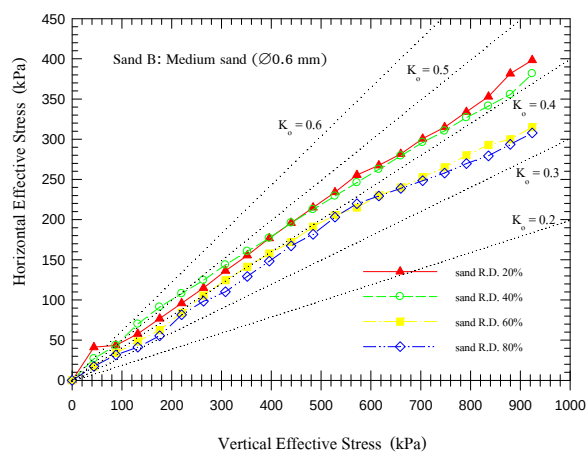
รูปที่ 4 ถึง 6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ'_h และ σ'_v ที่ความหนาแน่นสัมพัทธ์ (R.D.) ระดับ 20%, 40%, 60% และ 80% ของทราย A, B และ C ตามลำดับ

ตารางที่ 2 ค่า K_o ของทรายที่ R.D. ระดับต่าง ๆ

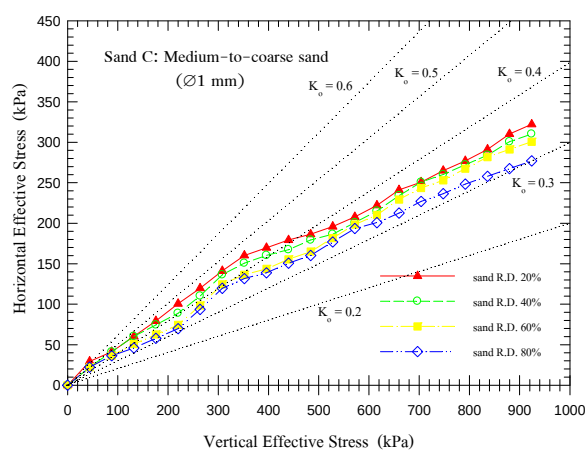
	สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง, K_o			
R.D.(%)	20%	40%	60%	80%
ทราย A	0.46	0.44	0.41	0.39
ทราย B	0.44	0.41	0.36	0.34
ทราย C	0.39	0.37	0.35	0.33
ค่าเฉลี่ย	0.43	0.41	0.37	0.35



รูปที่ 4 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ'_h กับ σ'_v ของทราย A ที่ R.D. ระดับต่างๆ



รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ'_h กับ σ'_v ของทราย B ที่ R.D. ระดับต่าง ๆ



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่า σ'_h กับ σ'_v ของทราย C ที่ R.D. ระดับต่าง ๆ

จากรูปที่ 4 ถึง 6 พบว่า ผลการทดสอบที่ได้สอดคล้องกับพฤติกรรมของทรายตามทฤษฎี กล่าวคือ ความชันของกราฟ ($\Delta\sigma'_h/\Delta\sigma'_v$) ซึ่งเท่ากับ K_0 มีค่าลดลงเมื่อ R.D. ของทรายสูงขึ้น เนื่องจาก ทรายที่มีความหนาแน่นสัมพัทธ์สูง (R.D. สูง) จะมีค่ามุมเสียดทานภายใน (ϕ) สูงขึ้นทำให้เม็ดทรายเกิดการขัดตัวกันภายใน ทำให้ทรายมีกำลังรับแรงเฉือนสูงขึ้น เมื่อรับแรงกดทับจึงเกิดการขยายตัวออกทางด้านข้างลดลง ซึ่งแสดงถึงค่า K_0 ที่มีค่าลดลง

จากผลการทดสอบรูปที่ 4 ถึง 6 สามารถประมาณค่า K_0 ได้ดังสรุปค่า K_0 เฉลี่ยของทรายขนาดต่างๆ ไว้ในตารางที่ 2 ซึ่งพบว่า K_0 ของทรายมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.43, 0.41, 0.37 และ 0.35 ที่ R.D. เท่ากับ 20%, 40%, 60% และ 80% ตามลำดับ นอกจากนี้ พบว่า ทรายมีค่า K_0 ลดลง เมื่อขนาดเม็ดทรายโตขึ้น

5. สรุปผลการวิจัย

จากผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้ พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_0 กับ R.D. ของทราย สรุปได้ดังนี้

- 5.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพ พบว่า ทรายที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้ มีค่า ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน เท่ากับ 2.63 ถึง 2.68 จัดว่าเป็นทรายประเภท Quartz sand ซึ่งคุณสมบัติทั่วไปของทรายประเภทนี้คือมีความคงทนของเม็ดทราย กล่าวคือ เม็ดทรายไม่เปราะ ไม่แตกหักง่ายเมื่อได้รับแรง
 - 5.2 ทรายที่ใช้ทดสอบครั้งนี้ มีค่าอัตราส่วนช่องว่างสูงสุด (e_{max}) เท่ากับ 0.82 ถึง 0.88 และมีค่าอัตราส่วนช่องว่างต่ำสุด (e_{min}) เท่ากับ 0.39 ถึง 0.46 ค่า e_{max} และ e_{min} นำไปใช้ในการคำนวณระดับความหนาแน่นสัมพัทธ์ (R.D.) เพื่อใช้เตรียมตัวอย่างทรายในการทดสอบเพื่อศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างค่า K_0 กับ R.D. ของทราย
 - 5.3 เครื่องมือ K_0 -Oedometer ที่ประดิษฐ์ขึ้นเป็นเครื่องมือที่ใช้สำหรับวัดการทรุดตัว (Settlement) และสัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้างในสภาวะสมดุล (Coefficient of Earth Pressure at-rest, K_0) ของทราย ซึ่งสอดคล้องตาม K_0 -conditions กล่าวคือ ตัวอย่างทรายไม่มีการเสียรูปด้านข้างเกิดขึ้น (Zero-lateral strain) ค่า K_0 ของทรายทุกขนาดมีค่าลดลง เมื่อความหนาแน่นสัมพัทธ์ (Relative density, R.D.) ของทรายเพิ่มขึ้น
 - 5.4 จากผลการทดสอบ พบว่า ค่า K_0 เฉลี่ย มีค่าเท่ากับ 0.43, 0.41, 0.37 และ 0.35 เมื่อทรายมีค่า R.D. เท่ากับ 20%, 40%, 60% และ 80% ตามลำดับ
 - 5.5 เมื่อทรายมีขนาดโตขึ้น ค่า K_0 มีค่าลดลง เช่น ที่ R.D. 20% พบว่า ค่า K_0 มีค่าเท่ากับ 0.46, 0.44 และ 0.39 สำหรับทราย A (ϕ 0.2 มม.), ทราย B (ϕ 0.6 มม.) และทราย C (ϕ 1.0 มม.) ตามลำดับ
- สัมประสิทธิ์แรงดันดินด้านข้าง (K_0) จัดว่าเป็นคุณสมบัติสำคัญของดินที่ใช้ในการออกแบบโครงสร้างทางวิศวกรรมปฐพีและงานทางด้านธรณีเทคนิคแบบต่างๆ เช่น กำแพงกันดิน ฐานรากเสาเข็ม เป็นต้น ในทางวิศวกรรมปฐพี การวัดค่า K_0 ยังไม่มีข้อกำหนดเป็นมาตรฐานแน่นอน ดังนั้น วิธีการทดสอบวัดค่า K_0 ให้ได้ถูกต้องนั้นยังจัดว่าเป็นงานศึกษาวิจัยทางด้านวิศวกรรมปฐพีที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง

เอกสารอ้างอิง

- [1] Jitsamart, S. and Pitikhunpongsuk, T. (2012). "The Effect of Relative Density of Sands on Coefficient of Earth Pressure At-rest," The 17th National Conference on Civil Engineering (17th NCCE), May 9th-11th, Udornthani, 6p.

-
- [2] Jitsamart, S. (2015). **"The Study of Relationship between Relative Density of Sands and Coefficient of Earth Pressure At-rest (K_0)"**, Master Thesis, Graduate School, Kasetsart University, Bangkok.
- [3] Pitikhunpongsuk, T., Hryciw, R.D. and Green, R.A. (2015). **"Photoelastic Sensors for Determination of Horizontal Stress and K_0 in 2-Dimensional Granular Assemblies,"** Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vol.38, No.5, September to December, pp.1-11.
- [4] Jirathanathaworn, T., (2009). **"Development of Photoelastic Methods Towards Study of Mechanical Aging of 2-Dimensional Granular Assemblies,"** Ph.D. Thesis, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan.
- [5] Jirathanathaworn, T., Hryciw, R. D., and Green, R. A. (2010). **"Photoelastic Sensors for Measurement of K_0 ,"** Proceedings of GeoFlorida, ASCE Geo-Institute Geotechnical Special Publication 199, ASCE, Reston, Virginia, pp.1275-1283.
- [6] Thomann, T.G. and Hryciw, R.D. (1990). **"Laboratory Measurement of Small Strain Shear Modulus under K_0 Conditions,"** Geotechnical Testing Journal, ASTM, Vol.13, No.2, pp. 97-105.
- [7] Thomann, T.G. (1990). **"Stiffness and Strength Changes in Cohesionless Soils due to Stress History and Dynamic Disturbance,"** Ph.D. Dissertation, University of Michigan, Ann Arbor, Michigan, 183p.
- [8] Dyvik, R., Lacasse, S. and Martic, R. (1985). **"Coefficient of Lateral Stress from Oedometer Cell,"** Proceedings of the 11th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, San Francisco, August, pp.1003-1006.
- [9] Kelly, G.P. (1969) **"An Evaluation of K_0 in the Triaxial Test,"** Internal Report, Civil Engineering Department, Purdue University, West Lafayette, Indiana.
- [10] Terzaghi, K. (1934). **"Large Retaining Wall Tests,"** Engineering News Record, No.112, Feb 1st, pp.136-140.
- [11] Jaky, J. (1944). **"The Coefficient of Earth Pressure at Rest"** Journal for Society of the Hungarian Architects and Engineers. Budapest, Hungary, Oct., pp.355-358.
- [12] Jaky, J. (1948). **"Pressure in Silos,"** Proceedings of the 2nd International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol.1, pp.103-107.
- [13] Mayne, P.W. and Kulhawy, F.H. (1982). **" K_0 -OCR Relationships in Soil,"** Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol.108, No.6, June, pp.851-872.
- [14] Schmidt, B. (1966). Discussion of **"Earth Pressure at Rest Related to Stress History,"** Canadian Geotechnical Journal, National Research Council, Ottawa, Ontario, Canada, Vol.3, No.4, pp.239-242.
- [15] Sherif, M.A. and Koch, D.E. (1970). **" K_0 as Related to Soil Precompression Ratio,"** Highway Research Record, National Academy of Science, Washington D.C., No.323, pp.39-48.

