

การศึกษาค่าความปลอดภัยโดยใช้ความแปรปรวนของพารามิเตอร์ของคุณสมบัติของดินใน การออกแบบฐานรากแบบตื้นบริเวณจังหวัดพิษณุโลก

The Study of Safety Factor based on the Variation of Soil Property Parameters in Shallow Foundations in Phitsanulok Area

ทิพย์วิมล แตะกระโทก*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร พิษณุโลก 65000
โทร.055-261000 ต่อ 4064 แฟกซ์ 055-261062 E-mail: tipwimol@yahoo.co.th

บทคัดย่อ

การเลือกค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ในการออกแบบฐานรากขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ไม่สามารถวัดเป็นตัวเลขได้ ยกตัวอย่างเช่น ประสบการณ์การออกแบบ, ความมั่นใจในข้อมูลดินเนื่องมาจากการกำเนิดของดินตามธรรมชาติที่มีความไม่คงที่อยู่เสมอ เป็นต้น แต่ในปัจจุบันมีการพัฒนาทฤษฎีทางคณิตศาสตร์มาช่วยในการประมาณค่าสิ่งที่ไม่สามารถบ่งบอกเป็นตัวเลข

งานวิจัยนี้เป็นการวิเคราะห์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ที่เหมาะสมโดยพิจารณาปัจจัยด้านข้อมูลดินที่มีความไม่คงที่ (Uncertainty) ตามธรรมชาติโดยใช้หลักทางสถิติและทฤษฎีความน่าจะเป็น ข้อมูลดินที่ใช้ศึกษาเป็นดินเหนียวประเภท CL ในเขตเทศบาลเมืองพิษณุโลกจำนวน 26 หลุม ข้อมูลเป็นแบบทฤษฎีจากการสำรวจในสนามและในห้องปฏิบัติการของหน่วยงานต่างๆ ความไม่คงที่ของคุณสมบัติดินได้แก่ Submerged Unit Weights, Cohesions ถูกจัดในรูปแบบการกระจายตัว (Probability Density Function) กรณีศึกษาที่ใช้คือการออกแบบฐานรากตื้นสี่เหลี่ยมจัตุรัสตามหลักของ Ultimate Limit State ในสภาวะน้ำอยู่บนผิวดิน

จากการทดสอบแบบ Chi-square พบว่ารูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมของค่า Submerged unit weight ที่ในระดับ D_f เท่ากับ 2.0 เมตรคือแบบ Exponential และที่ระดับ D_f เท่ากับ 2.5 และ 3.0 เมตรมีลักษณะ แบบ Triangular, การกระจายตัวที่เหมาะสมของค่า Cohesion (C) และค่ากำลังแบกทานของดินคือ แบบ Exponential เนื่องจากค่า COV (Coefficient of

Variance) มีค่าสูง (COV = 0.9) ทำให้ค่าความปลอดภัยที่แนะนำให้ใช้คือ 3.0

คำสำคัญ : ฐานรากแบบตื้น, ค่าปลอดภัย, ความแปรปรวนของคุณสมบัติดิน

Abstract-- Some parameters in the selection of proper factor of safety for the foundation designs are not always measurable, e.g., design experiences, nature of soil composition and its uncertainty, etc. But, some mathematical tools could be used to take this uncertainty into account.

In this research, the statistical and mathematical methods are taken to identify an appropriated factor of safety in which soil data may not know for certain. The study uses twenty six samplings of existing soil data in Phitsanulok downtown areas being tested by other agencies. The samplings are classified as clay (CL). Uncertainties of submerged unit weight and cohesion are fitted in form of probability density functions. A case study is applied to the design of a square shallow footing with ultimate limit state and ground-surface water level.

Based on Chi-square, tests have found that the appropriated distribution function of submerged unit weight at $D_f = 2.0$ meters is exponential, and $D_f = 2.5, 3.0$ meters are triangular. The appropriated distribution functions of cohesions and ultimate bearing capacities are exponential. Coefficient of variance of ultimate bearing capacity is of 0.9 thus the recommended suitable factor of safety is 3.0

Index Terms-- Shallow foundation, Factor of safety, Variation of Soil Parameter

1. ความสำคัญและที่มาของโครงการ

ในปัจจุบันจังหวัดพิษณุโลกเป็นจังหวัดที่มีการเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจสูง มีการก่อสร้างอาคารสิ่งก่อสร้างมากมาย จึงจำเป็นต้องทราบลักษณะชั้นดิน เพื่อใช้ในการออกแบบฐานราก ซึ่งโครงการนี้เป็นการศึกษาค่าความแปรปรวนของค่าพารามิเตอร์ที่ส่งผลกระทบต่อค่ากำลังแบกทานสูงสุด (Ultimate Bearing Capacity, q_u) ของฐานรากตื้นชนิดสี่เหลี่ยมจัตุรัส (Square Foundation) ในสภาวะที่ดินมีสภาวะระดับน้ำอยู่ที่ระดับผิวดินและศึกษาค่าพารามิเตอร์ (C, γ_{sub}) โดยจะศึกษาระดับความลึกที่ 2 เมตร ถึง 3 เมตร ข้อมูลในการวิเคราะห์ประกอบด้วยข้อมูลการเจาะสำรวจดินรวมทั้งสิ้นจำนวน 26 หลุม ซึ่งลักษณะชั้นดินโดยทั่วไปบริเวณจังหวัดพิษณุโลก ที่ระดับความลึก 2 เมตร ถึง 3 เมตร เป็นดินเหนียวประเภท Low Plasticity Clay (CL) โครงการนี้จึงจะศึกษาเฉพาะดินเหนียวประเภท CL เท่านั้น โดยที่วิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์และค่ากำลังแบกทานของดิน (Ultimate Bearing Capacity, q_u) โดยใช้โปรแกรม ทางคอมพิวเตอร์ช่วยวิเคราะห์ทางสถิติเพื่อนำมาพิจารณาในการออกแบบฐานรากตื้นที่มีความเหมาะสม และปลอดภัย

2. ขั้นตอนการวิเคราะห์และทดสอบ

ขั้นตอนการทดสอบความแปรปรวนของพารามิเตอร์ในการออกแบบสามารถแยกออกเป็น 7 ขั้นตอนใหญ่ โดยพารามิเตอร์ที่นำไปทดสอบคือ ค่าหนึ่งหน่วยน้ำหนัก และ ค่า Cohesion ของดิน แสดงรายละเอียดดังข้างล่างนี้

ขั้นตอนที่ 1 หลังจากรวบรวมข้อมูลการเจาะดินแล้ว ทำการป้อนข้อมูลที่ได้ใน spreadsheet program ค่าที่ได้จากข้อมูลคือ ความลึก, ชนิดของชั้นดิน, Water Content, Unit Weight และค่า Specific Gravity (หากข้อมูลไม่มีใช้ 2.70) และค่า Cohesion

ค่าที่ได้จากการคำนวณ คือ Dry Unit Weight, Void Ratio, ω_{sat} , Saturated Unit Weight และค่า Submerged Unit Weight

ขั้นตอนที่ 2 แบ่งแยกข้อมูลค่า γ_{sub} , C ตามความลึกและชนิดของดินที่ใช้เป็นฐานราก ซึ่งมีทั้งหมด 3 กรณี

ขั้นตอนที่ 3 หากการกระจายตัวของข้อมูลค่า γ_{sub} , C โดยใช้การทดสอบ K-S tests และ Chi-Square Tests

ขั้นตอนที่ 4 นำค่า Standard Deviation (σ) มาคำนวณหาค่า n โดยวิธีหาจำนวนตัวอย่างในการจำลองแบบคอมพิวเตอร์

- เลือก Confidence Interval (ระดับความมั่นใจ) ในโครงการที่วิเคราะห์นี้เลือก 95%

$$1 - \alpha = 0.95 \text{ ดังนั้น } \alpha = 0.05$$

- หาค่า K จากตาราง Standard Normal Probability

$$K_{\alpha/2} = \phi^{-1}(1 - \alpha/2)$$

$$K_{0.025} = \phi^{-1}(1 - 0.025)$$

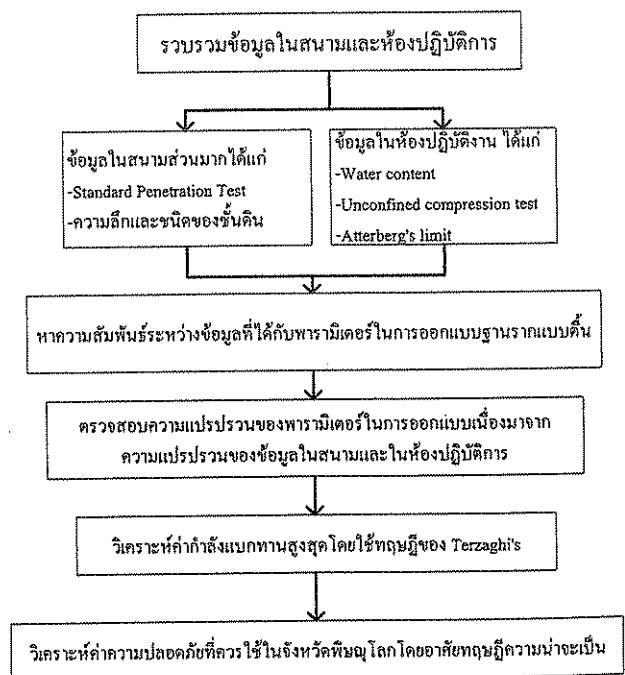
$$K_{0.025} = \phi^{-1}(0.975)$$

$$K_{0.025} = 1.96$$

- คำนวณหา n จาก

$$\sigma / \sqrt{n} \cdot K_{\alpha/2} = 1$$

$$\sqrt{n} = 1.96\sigma$$



รูปที่ 1 แสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ

ขั้นตอนที่ 5 คำนวณค่าความสามารถในการแบกทาน (Bearing Capacity) ของดินโดยอาศัยความสัมพันธ์ของ Terzaghi และจำลองคุณสมบัติของดินโดยใช้แบบจำลองทางคอมพิวเตอร์ (Simulations) โดยอาศัยเทคนิค Monte-Carlo Simulation โดยความสัมพันธ์ของ Terzaghi มีรายละเอียดดังสมการที่ 1

$$q_{ultimate} = CN_c + \frac{1}{2} B \gamma_1 N_\gamma + \gamma_2 D_f N_q \quad (1)$$

*ที่มา McCarthy, D.F. (1998)

โดย $q_{ultimate}$ คือ กำลังรับการแบกทานสูงสุด

C คือ Cohesions

B คือ ความกว้างของฐานราก

D_f คือ ความลึกของฐานรากจากผิวดิน

γ_1 คือ Effective Unit Weight ของดินใต้ระดับความลึก

ของฐานราก

γ_2 คือ Effective Unit Weight ของดินเหนือระดับความลึก

ของฐานราก

N_c, N_γ และ N_q คือ ค่า Soil-Bearing Capacity Factors

โดยมีจำนวนข้อมูลพื้นฐานจากห้องปฏิบัติการและการ

สำรวจในสนามดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ลักษณะโดยทั่วไปของข้อมูลที่น่าวิเคราะห์

ความลึก (D_f)	ตัวแปร	จำนวนข้อมูล ที่ใช้ใน แบบจำลอง	หมายเหตุ
2.0	γ'	1564	**
2.5	γ'	347	**
3.0	γ'	334	**
2.0	C	293*	ข้อมูลที่สร้างขึ้น ในแบบจำลอง
2.5	C	256*	ข้อมูลที่สร้างขึ้น ในแบบจำลอง
3.0	C	510*	ข้อมูลที่สร้างขึ้น ในแบบจำลอง
2.0	q_u	1564	ข้อมูลที่สร้างขึ้น ในแบบจำลอง
2.5	q_u	1564	ข้อมูลที่สร้างขึ้น ในแบบจำลอง
3.0	q_u	1564	ข้อมูลที่สร้างขึ้น ในแบบจำลอง

หมายเหตุ

* จำนวนน้อยที่สุดที่ต้องสร้างในแบบจำลองเพื่อให้ได้ confidence interval เท่ากับ 95 เปอร์เซ็นต์

** เนื่องจากความแปรปรวนของตัวแปรมีค่าต่ำ ดังนั้น จึงใช้ข้อมูลดิบทั้งหมดที่ได้จากหน่วยงานราชการใน จังหวัดพิษณุโลก

γ' คือ Submerged Unit Weight

C คือ Cohesion

q_u คือ Ultimate Bearing Capacity

ขั้นตอนที่ 6 พิจารณารูปแบบการกระจายตัวของค่าความสามารถในการแบกทาน (Bearing Capacity) โดยใช้ข้อกำหนดของ K-S test และ Chi-Square Test

ขั้นตอนที่ 7 วิเคราะห์ค่าความแปรปรวนของค่ากำลังแบกทานของดินโดยค่า Coefficient of Variances ($COV = \frac{\sigma}{\mu}$) โดย

ค่า μ คือค่าเฉลี่ย และ σ คือ ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard Deviations)

3. ผลการวิจัยค่าความแปรปรวนของค่าพารามิเตอร์ของดิน

ผลการวิจัยอ้างอิงมาจากข้อมูลที่ขอความอนุเคราะห์จากหน่วยงานราชการเช่น เทศบาลเมืองพิษณุโลก, หน่วยงานโยธา สังกัดกรมชลประทาน, โครงการก่อสร้างที่พักแพทย์และพยาบาล ม.นเรศวร จ.พิษณุโลก, ศูนย์วิทยาการ มหาวิทยาลัยนเรศวร ถนนสนามบิน, โครงการก่อสร้างอาคารตลาดคอนกรีตเสริมเหล็ก 1 ชั้นในที่ดินการรถไฟ จ.พิษณุโลก, และโครงการก่อสร้างสำนักงานอัยการ เขต 6 จ.พิษณุโลก เนื่องจากข้อมูลที่ได้มาจากหลุมเจาะที่กระจัดกระจายและกระทำโดยหน่วยงานต่างๆรวมทั้งไม่ได้วางแผนการสำรวจเพื่อตรวจสอบความไม่คงที่ชนิดต่างๆ เช่น ลักษณะความแปรปรวนเนื่องมาจากความแปรปรวนของข้อมูลจริงที่ประกอบไปด้วยสองส่วนคือ Real Spatial Variation และ Random Testing Errors, และลักษณะความแปรปรวนเนื่องมาจากความผิดพลาดของระบบการวัด (Systematic Errors) ที่ประกอบไปด้วยความผิดพลาดในการหาค่าเฉลี่ย (Statistical Error in the Mean) และความผิดพลาดเนื่องมาจากขบวนการวัด (Bias in Measurement Procedures) จึงทำให้ไม่สามารถแยก Spatial Variation ออกจาก Random Testing Errors ได้สำหรับในการวิจัยนี้ได้พิจารณาความไม่คงที่ของข้อมูลดินเนื่องมาจาก Data Scatter และ Systematic Error เป็นความแปรปรวนโดยใช้พารามิเตอร์ที่รวมความไม่คงที่เนื่องมาจากสองสาเหตุดังกล่าวเป็นค่าเฉลี่ยค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน และ รูปแบบการกระจายตัวของข้อมูล

การกระจายตัวของตัวแปร (γ_{sub} , C) ผลปรากฏว่าค่าความแปรปรวนของ Submerged Unit Weight จะมีค่าความแปรปรวนต่ำและมีค่าเฉลี่ยใกล้เคียงกัน และพบว่าค่าความแปรปรวนของค่า Cohesion มีความแปรปรวนสูงมากเมื่อเทียบกับ Submerged Unit Weight

การเลือกรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมในตัวแปร (γ_{sub} , C) เป็นการเปรียบเทียบการกระจายตัวของข้อมูลดิบและรูปแบบการกระจายตัวต่างๆที่มีอยู่ในทฤษฎีความน่าจะเป็นซึ่งรูปแบบการกระจายตัวที่เหมาะสมที่จะใช้แทนการกระจายตัวของข้อมูลดิบต้องสามารถแทนข้อมูลดิบนั้นให้ได้มากที่สุดแต่ในความเป็นจริงแล้วย่อมมีรูปแบบการกระจายตัวมากกว่าหนึ่งรูปแบบหรือไม่มีรูปแบบใดเลยในทฤษฎีความน่าจะเป็นที่สามารถแทนการกระจายตัวของข้อมูลดิบได้ จึงได้มีมาตรฐานมากำหนดซึ่งมาตรฐานที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือ Chi-square Test และ K-S Test ซึ่งทั้งสองมาตรฐานให้รูปแบบการกระจายตัวที่สอดคล้องกันแต่การทดสอบแบบ K-S Test กระทำได้ง่ายกว่าการทดสอบแบบ Chi-Square Test

ค่า Submerged Unit Weights สามารถแทนลักษณะการกระจายตัวด้วยรูปแบบการกระจายตัวแบบ Exponential และ Triangular ซึ่งทดสอบความเหมาะสมโดยใช้ (Goodness of Fits) โดยทั้งสองวิธีคือ Chi-square Test และ K-S Test ให้ผลลัพธ์ที่ตรงกัน โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงการสรุปค่าความแปรปรวนของค่า Submerged Unit Weights (หน่วยเป็น T/m^2)

กรณี	ความลึกของฐานราก(D _p)	รูปแบบการกระจายตัว	μ	σ	จำนวนข้อมูล	พารามิเตอร์ในรูปการกระจายตัว
1	2.0	Exponential	0.86	0.2	1564	Beta=0.2 Sheift=0.66
2	2.5	Triangular	0.89	0.1	347	Min=0.65 M.likely=0.9 Max=1.1
3	3.0	Triangular	0.88	0.1	334	Min=0.65 M.likely=0.9 Max=1.1

ค่า Cohesions สามารถแทนรูปแบบการกระจายตัวของข้อมูลด้วยรูปแบบการกระจายตัวแบบ Exponential โดยมีรายละเอียดดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 แสดงการสรุปค่าความแปรปรวนของค่า Cohesions (หน่วยเป็น T/m^2)

กรณี	ความลึกของฐานราก(D _p)	รูปแบบการกระจายตัว	μ	σ	จำนวนข้อมูล	พารามิเตอร์ในรูปการกระจายตัว
1	2.0	Exponential	9.1	8.7	293	Beta=8.7 Sheift=0.41
2	2.5	Exponential	8.9	8.2	256	Beta=8.2 Sheift=0.68
3	3.0	Exponential	12.5	11.5	510	Beta=11.51 Sheift=0.92

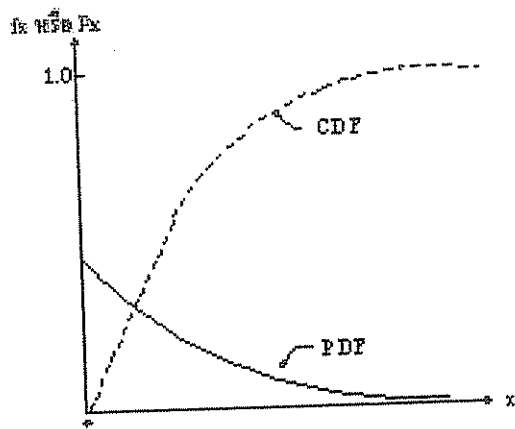
สำหรับการกระจายตัวของค่ากำลังแบกทานของดิน (Ultimate Bearing Capacity, q_u) เป็นรูปแบบ Exponential ทั้ง 3 กรณีศึกษา ค่ากำลังแบกทานของดินที่ระดับความลึก 2 เมตร และ 2.5 เมตร มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึก 3 เมตร จะมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนสูงกว่า 2 กรณีศึกษาแรก ดังแสดงในตารางที่ 4 ซึ่งพบว่าค่า Coefficient of Variance มีค่าสูงถึง 0.9 ทั้งสามกรณี

ตารางที่ 4 แสดงผลการวิจัยค่ากำลังแบกทานของดิน (หน่วยเป็น T/m^2)

กรณี	ระดับความลึก (m.)	รูปการกระจายตัว	σ	μ	COV
1	2	Exponential	66.2	70.7	0.9
2	2.5	Exponential	59.6	66.5	0.9
3	3	Exponential	91.13	100	0.9

4. วิเคราะห์ผลการวิจัยค่ากำลังแบกทานของดิน (Ultimate bearing capacity, q_u)

จากโปรแกรมช่วยวิเคราะห์ผลปรากฏว่า รูปแบบการกระจายตัวจะเป็นรูปแบบ Exponential ทั้ง 3 กรณีศึกษา ค่า Ultimate bearing capacity ที่ระดับความลึก 2 เมตร และ 2.5 เมตร มีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนใกล้เคียงกัน โดยที่ระดับความลึกที่ 3 เมตร จะมีค่าเฉลี่ยและความแปรปรวนมากที่สุด ความน่าจะเป็นของรูปแบบการกระจายตัวแบบ Exponential จะมีลักษณะดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 รูปแบบการกระจายตัวของ Exponential โดย f_x คือ Density Distribution Function และ F_x คือ Cumulative Density Function

ที่มา: Ang and Tang (1975)

สมการการหาความน่าจะเป็นของรูปแบบการกระจายตัวแบบ Exponential

$$P(T_1 > t) = P(x_t = 0) = e^{-vt}$$

$$F_{T1}(t) = P(T_1 < t) = 1 - e^{-vt}$$

$$f_{T1}(t) = dF / dt = ve^{-vt} \quad t > 0$$

Ang และ Tang (1975) ได้กล่าวว่าในทางสถิติค่า COV (Coefficient of Variance) ที่มีค่ามากกว่า 0.3 แสดงว่ามีความแปรปรวนสูง โดยในงานวิจัยนี้ได้กำหนดตาม Ang และ Tang ดังนี้

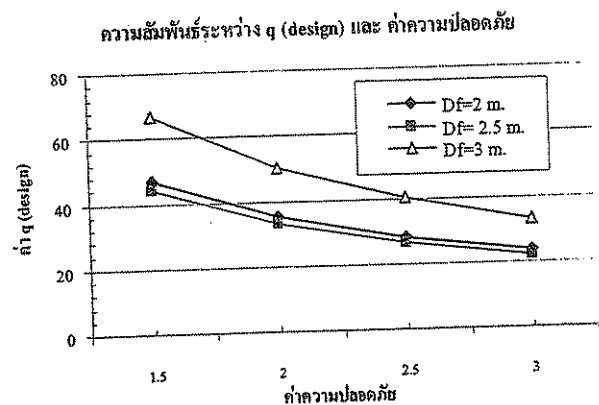
ถ้า $COV > 0.3$ แสดงว่าค่าความแปรปรวนของชั้นดินมีความแปรปรวนสูง

ถ้า $COV \leq 0.3$ แสดงว่าค่าความแปรปรวนของชั้นดินมีความแปรปรวนต่ำ

ในทางปฏิบัติหลักโดยทั่วไปในการเลือกค่าความปลอดภัยขึ้นอยู่กับปัจจัยที่ไม่สามารถประมาณเป็นตัวเลขได้ เช่น ความชำนาญของผู้ออกแบบอาคารประเภทนั้น ประสบการณ์ความเข้าใจพฤติกรรมของดิน ความน่าเชื่อถือของข้อมูลดิน ความชำนาญของผู้สำรวจ ความสำคัญของโครงสร้างต่อชีวิตและทรัพย์สิน เป็นต้น ซึ่งปัจจัยเหล่านี้ก่อให้เกิดความหลากหลายในการเลือกค่าความปลอดภัยผลลัพธ์ที่ตามมาคือก่อให้เกิดความแตกต่างในค่าก่อสร้าง เป็นต้น สำหรับงานวิจัยนี้พบว่ารูปแบบการกระจายตัวเป็นแบบ Exponential ซึ่งการ

เปลี่ยนแปลงของตัวแปร x ก่อให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของความน่าจะเป็น ($f_x(x)$) ดังแสดงในรูปที่ 2 และประกอบข้อมูลดินที่ได้ส่วนมากอยู่ภายในเขตเทศบาลเมืองพิษณุโลกซึ่งเป็นดินเหนียว ส่วนดินในบริเวณอื่นในจังหวัดอาจมีดินลูกรังเข้ามาเกี่ยวข้องซึ่งมีพฤติกรรมซับซ้อนกว่าดินเหนียวมาก การนำผลการวิจัยนี้ไปใช้กับบริเวณนอกเขตเทศบาลเมืองอาจต้องพิจารณาใหม่

แต่อย่างไรก็ตามฐานรากแบบตื้นในจังหวัดพิษณุโลกมักใช้เป็นฐานรากสำหรับอาคารชั้นเดียวเช่นที่อยู่อาศัยหรือตลาดสดแบบชั้นเดียว เป็นต้น มักก่อให้เกิดความสูญเสียน้อยและมักใช้ค่าความปลอดภัยมากกว่า 2 ตามแบบแผนที่เคยปฏิบัติมา แต่การวิจัยนี้อ้างอิงการเลือกค่าปลอดภัยจากค่าแปรปรวนของตัวแปรเป็นสำคัญซึ่งพบความแปรปรวนของ $q_{ultimate}$ ถึง 0.9 นับว่ามีค่าสูงมาก (Ang และ Tang (1975) ดังนั้นจึงแนะนำค่าความปลอดภัยที่ควรมีค่าเท่ากับ 3 ($F.S. = 3$) ได้ค่ากำลังแบกทานสำหรับการออกแบบดังตารางที่ 5



รูปที่ 3 ความสัมพันธ์ระหว่าง q (design) และ ค่าความปลอดภัย (Factor of Safety)

ตารางที่ 5 ค่า q_{design} ที่ควรใช้ ณ ระดับความลึกกรณีศึกษาที่ Factor of Safety ต่างๆ

F.S.	$q_{design} (T/m^2)$		
	$D_f=2 \text{ m.}$	$D_f=2.5 \text{ m.}$	$D_f=3 \text{ m.}$
1.5	47.13	44.33	66.69
2	35.35	33.25	50.02
2.5	28.28	26.6	40.02
3	23.56	22.17	33.35

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาวิจัยจะพบว่าค่าสัมประสิทธิ์ของความแปรปรวนกรณีศึกษาทั้ง 3 กรณีมีใกล้เคียงกันคือ 0.9 แสดงว่าลักษณะชั้นดินในบริเวณจังหวัดพิษณุโลก มีค่าความแปรปรวนมาก เพราะฉะนั้น ค่า Factor of Safety (F.S.) ที่ควรใช้ในการออกแบบฐานรากดินที่มีความปลอดภัยที่สุดคือ $F.S. = 3$

ค่า q_{design} ในการออกแบบฐานรากที่มีความปลอดภัยที่สุด

ที่ระดับ 2-2.5 เมตร ควรจะอยู่ประมาณ	22-23	T/M ²
ที่ระดับ 3 เมตร ควรจะอยู่ประมาณ	33	T/M ²

6. ข้อเสนอแนะ

1. การออกแบบฐานรากแบบดินในงานวิจัยนี้พิจารณาความแปรปรวนของข้อมูลเพื่อนำไปเลือกค่าความปลอดภัย (Factor of Safety) ในหลักการของการออกแบบโดยใช้ Ultimate Limit State ในการออกแบบฐานรากดินยังต้องคำนึงถึงฟังก์ชันการทำงาน (Service Functions) ของฐานรากอีกด้วย แต่ในงานวิจัยนี้ได้จำกัดอยู่ในหลักการของ Ultimate Limit State

2. ข้อมูลที่ได้บางข้อมูล ไม่มีคุณสมบัติของดิน เช่น ค่าความถ่วงจำเพาะ, ค่า water content ทำให้ต้องกำหนดใช้ค่าโดยเฉลี่ยจากการศึกษาที่เคยกระทำมาแล้ว

3. ข้อมูลหลุมเจาะสำรวจดินในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์มีเพียง 26 หลุม หากมีข้อมูลที่เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ การศึกษาวิจัยมีความแม่นยำและเป็นประโยชน์ยิ่งขึ้น

4. ข้อมูลหลุมเจาะการสำรวจดินที่รวบรวมได้ ส่วนใหญ่จะเป็นพื้นที่ในบริเวณอำเภอเมือง ซึ่งยังไม่ครอบคลุมทั่วจังหวัดพิษณุโลก

5. การศึกษาโครงการนี้ศึกษาเฉพาะดินเหนียว ประเภท CL เพราะเป็นชนิดของดินที่มักพบในระดับ 0-3 เมตรในเขตจังหวัดพิษณุโลก

7. บรรณานุกรม

- [1] มณเฑียร กังคหิเทียม. (2538). กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม, พิมพ์ครั้งที่ 6. อมรินทร์พริ้นติ้งแอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน).
- [2] วรณิ สุขสาตร. (2545). วิศวกรรมฐานราก, พิมพ์ครั้งที่ 6. สำนักพิมพ์ โฟร์เพช.

- [3] วรากร ไม้เรียง, จิรพัฒน์ โชติโกกร, และ ประทีป ดวงเดือน. (2525). ปฐพีกลศาสตร์ทฤษฎีและปฏิบัติการ, พิมพ์ครั้งที่ 3. ฟิสิกส์เซ็นเตอร์ การพิมพ์.
- [4] Ang, A. H-S. and Tang, W. H. (1975). Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume I, Basic Principles. John Wiley & Sons.
- [5] Ang, A. H-S. and Tang, W. H. (1984). Probability Concepts in Engineering Planning and Design, Volume II, Decision, Risk, and Reliability. John Wiley & Sons.
- [6] Das, B.M. (1998). Principles of Foundation Engineering, Fourth Edition. PWS Publishing Company, Boston.
- [7] McCarthy, D.F. (1998). Essentials of Soil Mechanics and Foundations. Prentice Hall.
- [8] Ross, S.M. (1997). Simulation, Second Edition. Academic Press.