

การทบทวนวิธีการออกแบบฐานรากเสาเข็มปัจจุบันในพื้นที่กรุงเทพมหานคร A Review on Current Design of Pile Foundations in Bangkok

สิริัญญา ทองชาติ^{1*} และ ปวริส รื่นนุสรณ์²

Siranya Thongchart^{1*}, Pawaris Ruennusarn²

¹ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

²นิสิตปริญญาโท ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ กำแพงแสน มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering at Kamphaeng Saen, Kasetsart University, Kamphaeng Saen Campus

* Corresponding author E-mail: fengsytc@ku.ac.th

(Received: June 15, 2018, Revised: November 13, 2018, Accepted: January 7, 2019)

บทคัดย่อ

บทความฉบับนี้แสดงวิธีปฏิบัติที่ผู้ออกแบบเลือกใช้ในการออกแบบเสาเข็ม ตั้งแต่การวางแผนการเจาะสำรวจ การพิจารณาพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบ ตลอดจนการทบทวนกฎหมายและข้อบังคับที่เกี่ยวข้อง โดยใช้แบบสอบถามในการสัมภาษณ์กลุ่มเป้าหมาย และชี้ให้เห็นถึงประเด็นที่ควรระวังตามบริบทและสภาพของพื้นที่ศึกษา ผลการศึกษารูปได้ว่า วิธีการเจาะแบบฉีดล้างเป็นวิธีที่นิยมใช้กันมากที่สุด ควบคู่กับการทดสอบ SPT ในสนาม พารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบพิจารณาค่ากำลังรับแรงเฉือนจากค่า N-Value การพิจารณาการทรุดตัวของเสาเข็มใช้หลักการวางเสาเข็มไว้บนชั้นดินแข็ง กฎหมายและข้อบังคับที่พิจารณาคือพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร กฎกระทรวงฉบับที่ 6 และข้อกำหนดของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย บริบทที่สำคัญของพื้นที่พบว่า ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเป็นดินที่มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมาก ปริมาณน้ำในมวลดินสูง การทรุดตัวสูงและเป็นดินที่มีความไวตัว ดังนั้นผู้ออกแบบควรเป็นผู้กำหนดพารามิเตอร์ที่ต้องการและต้องตรวจสอบข้อมูลจากผลการเจาะสำรวจให้ถี่ถ้วน ทั้งนี้วิธีปฏิบัติปัจจุบันในการออกแบบฐานรากเสาเข็มในพื้นที่ ยังคงมีอีกหลายประเด็นที่เป็นข้อมูลที่สำคัญเบื้องต้น สำหรับการนำมาพิจารณาเพื่อหาแนวปฏิบัติที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับมาตรฐานงานวิศวกรรมฐานรากเสาเข็มที่จะเกิดขึ้นต่อไปในประเทศไทย

คำสำคัญ: ฐานรากเสาเข็ม, กรุงเทพฯ, การสำรวจดิน, พารามิเตอร์ในการออกแบบ

Abstract

This paper presents a process of pile foundation design since the planning of soil exploration, consideration of design parameter and related laws or regulations. The questionnaire was used to interview the target group. And pointed out the issues to be aware of the context and conditions of the study area. The study concluded that. The wash boring method is mostly used for drilling exploration and field testing using SPT. The parameters of shear strength design transformed by using N-value. Consideration of settlement is based on the principle of piling on hard clay. For laws or regulations related to the design are the Building Control Act, Ministerial regulation no. 6 are mainly considered and Thailand Engineering Standard. Contextual analysis of this area found that an issue

was Bangkok Clay is very low shear strength, highly water content, highly compressibility and sensitive. Therefore, in the soil exploration, the designer should define the required design parameters and thoroughly examine the results of the drilling. The current practice of pile foundation design in this area, there are still a number of issues that are important information. For consideration to find the correct and appropriate guidelines for standard pile foundation engineering will continue to occur in Thailand.

Keywords: Pile foundations, Bangkok, Soil exploration, Design parameters

1.บทนำ

พื้นที่กรุงเทพมหานครตั้งอยู่ในโซนชั้นดินที่มีลักษณะพิเศษที่เรียกว่า “ดินเหนียวกรุงเทพ” ซึ่งเป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนจากน้ำทะเล (Marine deposit) ดังนั้นดินชั้นบนของกรุงเทพมหานคร ความหนาประมาณ 12-18 เมตร จะเป็นดินเหนียวอ่อนที่มีปริมาณน้ำในมวลดินสูง กำลังรับแรงเฉือนต่ำ และมีการทรุดตัวสูงด้วย ทำให้การออกแบบฐานรากในปัจจุบันเลือกใช้ฐานรากเสาเข็มในการรับน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างด้านบน เพื่อถ่ายแรงให้ชั้นดินด้านล่างซึ่งเป็นดินที่เกิดจากการทับถมของตะกอนน้ำพา (Alluvial deposit) ที่ได้รับอิทธิพลจากการพัดพาของตะกอนบริเวณลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยา ทั้งนี้พบว่าชั้นดินด้านล่างของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ จะเป็นดินเหนียวแข็งสลับกับชั้นทราย ที่มีกำลังรับน้ำหนักเพียงพอต่อการต้านทานการพิบัติ รวมถึงลดการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้นอีกด้วย

[1] และ [2] พบว่า การออกแบบเสาเข็มในปัจจุบันผู้ออกแบบยังคงใช้วิธีดั้งเดิมในการออกแบบ (Traditional Approach) เพื่อหากำลังต้านทานการพิบัติของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static) โดยอาศัยคุณสมบัติความแข็งแรงของชั้นดินที่อยู่โดยรอบและที่ปลายของเสาเข็ม มาพิจารณากำลังต้านทานการพิบัติดังกล่าว พฤติกรรมการถ่ายน้ำหนักระหว่างเข็มกับดินมีปัจจัยหลายอย่างที่เกี่ยวข้อง ทำให้วิศวกรผู้ออกแบบต้องพิจารณาปัจจัยต่างๆให้รอบคอบบนสมมติฐานการคำนวณที่ถูกต้อง เลือกพารามิเตอร์ของดินให้สอดคล้องกับพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงให้มากที่สุด สอดคล้องกับการศึกษาของ [3] พบว่าการพิบัติของงานฐานรากส่วนหนึ่งเป็นผลมาจากการที่วิศวกรผู้ออกแบบประเมินกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มสูงเกินไป โดยในปัจจุบันมีการศึกษาและนำเสนอข้อมูลที่เกี่ยวข้องกับพารามิเตอร์ในการออกแบบเสาเข็มสำหรับดินกรุงเทพมหานคร

ต่อเนื่อง [4-8] แต่ผลการศึกษาดังกล่าวก็ยังไม่ได้รับการเผยแพร่และเป็นที่รู้จักสำหรับวิศวกรออกแบบมากนัก ทั้งนี้ได้มีการศึกษา [9] ที่ทำการทบทวนวรรณกรรมและนำผลการทดสอบ static load test จำนวน 36 ข้อมูล มาประเมินและให้ข้อเสนอแนะสำหรับค่าพารามิเตอร์ ได้แก่ α , β และ N_q ที่จำเป็นในการออกแบบฐานรากเสาเข็มสำหรับดินกรุงเทพ

บทความนี้ได้ทำการศึกษาทบทวนวิธีการออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก โดยใช้แบบสอบถามในการสัมภาษณ์เชิงลึก (Deep interviews) กับวิศวกรและผู้ออกแบบรวมถึงผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานฐานรากเสาเข็ม และศึกษาทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง (Documentary research) สำหรับส่วนแรกของการบทความเป็นการนำเสนอผลของเทคนิควิธีที่นิยมเลือกใช้ในการออกแบบที่ครอบคลุมการปฏิบัติงานจริง ตั้งแต่แนวปฏิบัติในการวางแผนการเจาะสำรวจ วิธีการเจาะสำรวจ การแปลผลพารามิเตอร์จากผลการทดสอบ ตลอดจนการเลือกค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ ที่ใช้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก รวมถึงการทบทวนกฎหมาย ข้อบังคับหรือเอกสารมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงานฐานรากเสาเข็ม เพื่อสรุปวิธีการต่างๆ ที่นิยมใช้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็มตอกในพื้นที่กรุงเทพมหานคร สำหรับส่วนที่สองเป็นการชี้ให้เห็นถึงประเด็นที่สำคัญในการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับบริบท สภาพและเงื่อนไขของพื้นที่ ทั้งนี้ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการร่างมาตรฐานเพื่อหาแนวปฏิบัติที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับงานวิศวกรรมฐานรากเสาเข็ม (Code for Foundation Engineering) หรือมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพที่เกี่ยวข้อง (Code of Practice) ในประเทศไทยที่จะเกิดขึ้นต่อไป

2. กฎหมาย ข้อกำหนดและมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับงาน

ก่อสร้างและงานฐานรากเสาเข็ม

กฎหมายที่เกี่ยวกับงานก่อสร้าง (ที่มีลำดับศักดิ์ตามกฎหมายสูงสุด รองจากรัฐธรรมนูญ) คือ พระราชบัญญัติ ได้แก่ พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พระราชบัญญัติการผังเมือง พระราชบัญญัติการขุดดินและถมดิน พระราชบัญญัติการจัดสรรที่ดิน พระราชบัญญัติการส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พระราชบัญญัติมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม พระราชบัญญัติวิศวกร พระราชบัญญัติสถาปนิก พระราชบัญญัติการประกอบวิชาชีพก่อสร้าง พระราชบัญญัติคุ้มครองแรงงาน พระราชบัญญัติการส่งเสริมและรักษาคุณภาพสิ่งแวดล้อม และพระราชบัญญัติควบคุมน้ำมันเชื้อเพลิง โดยมีกฎหมายลูกและกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องที่ออกโดยอาศัยอำนาจความตามในพระราชบัญญัติต่างๆที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้างอีกประมาณ 3276 ฉบับ ทั้ง พระราชกฤษฎีกา กฎกระทรวง ประกาศกระทรวง ข้อบัญญัติ เทศบัญญัติและประกาศอื่นๆ เป็นต้น และมีที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมฐานรากประมาณ 30 ฉบับ

หน่วยงานที่รับผิดชอบในการกำหนดมาตรการกำกับดูแลความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สินที่เกี่ยวกับการก่อสร้างและการควบคุมการก่อสร้างอาคาร ได้แก่ กรมโยธาธิการและผังเมือง กระทรวงมหาดไทย โดยได้ดูแลและถือปฏิบัติกฎหมายที่เกี่ยวข้อง ได้แก่ กฎหมายว่าด้วยการผังเมือง กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร กฎหมายว่าด้วยการขุดดินและถมดิน กฎหมายว่าด้วยการจัดรูปที่ดินเพื่อพัฒนาพื้นที่ และกฎหมายอื่นที่เกี่ยวข้อง อันเป็นเครื่องมือของรัฐ เพื่อจุดประสงค์ให้เกิดประสิทธิภาพของอาคาร รวมถึงเกิดความปลอดภัยในชีวิตทรัพย์สิน และสุขลักษณะของผู้ใช้อาคารดังกล่าว โดยขอบเขตอำนาจกฎหมายควบคุมอาคารในเชิงกิจกรรม แบ่งได้เป็น วิธีการออกแบบอาคาร วิธีการก่อสร้าง ปรับปรุง รื้อถอน อาคาร วิธีการใช้อาคาร วิธีลงโทษ วิธีการอุทธรณ์ เนื้อหาทางวิชาการ ในกฎหมายควบคุมอาคาร ประกอบด้วย การกำหนดบทบาททางวิชาชีพสถาปัตยกรรม การกำหนดบทบาททางวิชาชีพวิศวกรรมโครงสร้าง การกำหนดบทบาททางวิชาชีพผู้รับเหมาก่อสร้าง การระบุความแข็งแรงเรื่องเกี่ยวกับแผ่นดินไหว การออกแบบเพื่อคนพิการและทุพพลภาพ เป็นต้น

นอกจากนี้ หน่วยงานที่เกี่ยวข้องต่างๆ ยังมีการออกมาตรฐานงานด้านวัสดุ มาตรฐานงานด้านการทดสอบ มาตรฐานประกอบการออกแบบที่เกี่ยวข้องกับงานวิศวกรรมฐานราก ดังตารางที่ 1

3. วิธีการวิจัย

ในการศึกษานี้ได้มีการทบทวนเอกสารงานวิจัยที่เผยแพร่และจัดทำเครื่องมือสำหรับการสัมภาษณ์เชิงลึก เพื่อหาแนวปฏิบัติในการออกแบบฐานรากเสาเข็มตอกที่วิศวกรผู้ออกแบบหรือผู้ที่เกี่ยวข้องนิยมเลือกปฏิบัติ รวมถึงการพิจารณาถึงกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับงานก่อสร้างและทางด้านฐานราก ดังรายละเอียดขั้นตอนวิธีการวิจัยต่อไปนี้ (รูปที่ 1)

สำหรับการพัฒนาเครื่องมือในการทำแบบสอบถาม (Questionnaire) มีการพิจารณาความเที่ยงตรงของแบบสอบถามโดยใช้ความเห็นจากผู้เชี่ยวชาญด้านวิศวกรรมปฐพี เพื่อพิจารณาข้อคำถามในแบบสอบถามว่าวัดได้ตรงตามวัตถุประสงค์หรือไม่ การสุ่มตัวอย่างเลือกใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างแบบไม่ใช้ความน่าจะเป็น (Nonprobability sampling) และการคัดเลือกกลุ่มเป้าหมายใช้วิธี Purposive sampling เป็นลักษณะของการคัดเลือกกลุ่มตัวอย่างตามวัตถุประสงค์ของการวิจัยและทำการสัมภาษณ์ให้ครอบคลุมทุกภาคส่วนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบทั้งส่วนที่เป็นผู้ออกแบบในหน่วยงานราชการ อาทิเช่น วิศวกรผู้ออกแบบที่ทำงานอยู่ในหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบฐานรากอาคารหรือสิ่งก่อสร้าง สิ่งก่อสร้าง เช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง, กรมทางหลวง, องค์การบริหารส่วนจังหวัด (อบจ.), องค์การบริหารส่วนตำบล (อบต.) เป็นต้น ผู้ปฏิบัติงานในบริษัทเอกชนที่รับงานเจาะสำรวจ ทดสอบดิน และแปลผลข้อมูลดินเพื่องานฐานรากและกลุ่มวิศวกรผู้ออกแบบและนักวิชาการที่เกี่ยวข้องกับงานทางด้านวิศวกรรมปฐพี ทั้งนี้เพื่อให้เห็นแนวปฏิบัติที่นิยมใช้ในแต่ละขั้นตอนที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ

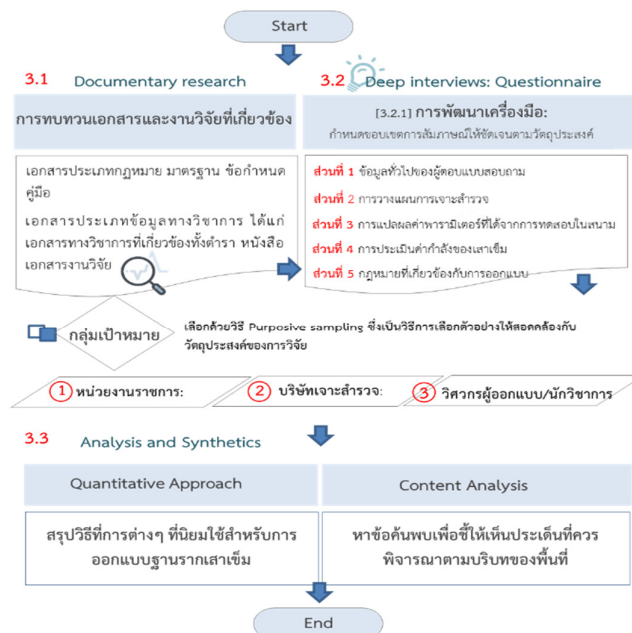
วิธีการกำหนดขนาดตัวอย่างของกลุ่มเป้าหมายใช้ตารางของ Yamane [10] เนื่องจากข้อจำกัดด้านการหาขนาดของ

ประชากรที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมปฐพีที่แน่นอน ดังนั้นจึงทำการวิเคราะห์กลุ่มเป้าหมายโดยเลือกขนาดประชากรเป็นไม่จำกัดขนาด (จำนวนประชากรเท่ากับ ∞) ระดับความเชื่อมั่น 95% และระดับความคลาดเคลื่อน $(e) \pm 10\%$ จะได้จำนวน

กลุ่มเป้าหมายที่ควรจะเป็นอยู่ที่ 100 ชุด การเก็บข้อมูลดำเนินการตามหน่วยงานหรือกลุ่มเป้าหมายที่ตั้งเป้าไว้

ตารางที่ 1 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องในงานวิศวกรรมฐานราก

กรมทางหลวงชนบท	กรมโยธาธิการและผังเมือง	กรมชลประทาน	สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม	วสท.
มทข.101-2545 มาตรฐานงานคอนกรีตและคอนกรีตเสริมเหล็ก	มยผ.1252-51 มาตรฐานการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์ Dynamic Load Test	มาตรฐานรายละเอียดและคุณลักษณะทางวิศวกรรมของเสาเข็ม	มอก.395-2524 มอก. เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จ	วสท.1007-34 มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก โดยวิธีหน่วยแรงใช้งาน
มทข.105-2545 มาตรฐานงานฐานรากคอนกรีตเสริมเหล็กทั่วไป	มยผ.1301-54 มาตรฐานประกอบการออกแบบอาคารเพื่อต้านทานการสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว		มอก.396-2524 มอก.เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงหล่อสำเร็จ	วสท.1008-38 มาตรฐานสำหรับการออกแบบอาคารคอนกรีตเสริมเหล็กโดยวิธีกำลัง
มทข.106-2545 มาตรฐานงานเสาเข็ม	มยผ.1551-51 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Test		มอก.397-2537 มอก.เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จแบบแรงเหวี่ยง	วสท.1019-46 กำหนดมาตรฐานสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะ
มทข.301-2545 วิธีการทดสอบมาตรฐานการเจาะสำรวจดิน			มอก.398-2537 มอก.เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กอัดแรงโดยใช้แรงเหวี่ยง	มาตรฐานความปลอดภัยสำหรับงานก่อสร้าง
			มอก.399-2524 มอก.เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อสำเร็จขนาดสั้น	



รูปที่ 1 ขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย

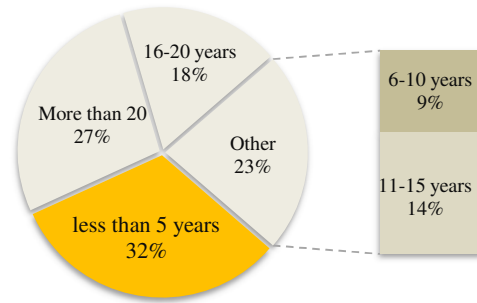
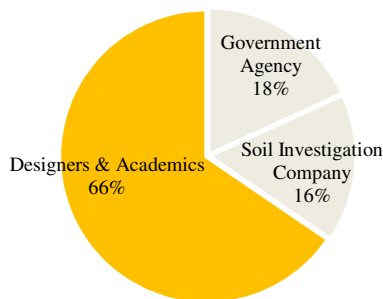
4. ผลสรุปวิธีการต่างๆ ที่นิยมใช้ในการออกแบบฐานราก

เสาเข็มตอกในพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ผลการสัมภาษณ์เชิงลึกเพื่อนำเสนอเทคนิควิธีที่นิยมเลือกใช้ในการออกแบบครอบคลุมทุกขั้นตอนตั้งแต่การวางแผนการเจาะสำรวจจนถึงการเลือกพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ แสดงดังรายละเอียดต่อไปนี้

4.1 กลุ่มเป้าหมายและข้อมูลผู้ตอบแบบสอบถาม

สัดส่วนของกลุ่มเป้าหมายที่ได้จากการสัมภาษณ์แบ่งเป็น 3 กลุ่ม ได้แก่ (1) ผู้ออกแบบและนักวิชาการ อาทิเช่น วิศวกรปฐพีและผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบฐานราก อาจารย์และนักวิชาการจากมหาวิทยาลัย และผู้เชี่ยวชาญทางด้านวิศวกรรมปฐพี เป็นต้น (2) วิศวกรออกแบบจากหน่วยงานภาครัฐ อาทิเช่น กรมโยธาธิการและผังเมือง กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท เป็นต้น และ (3) บริษัทเจาะสำรวจ (บริษัทเอกชน) โดยการเข้าสัมภาษณ์กับวิศวกรหรือผู้ปฏิบัติงานที่เกี่ยวข้องโดยตรง และมีการให้คะแนนด้วยวิธี Weight method ตามประสบการณ์ของผู้ตอบแบบสอบถาม รวมทั้งสิ้น 110 ชุดข้อมูล แสดงสัดส่วนของกลุ่มตัวอย่างและประสบการณ์ได้ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 สัดส่วนและประสบการณ์ของกลุ่มเป้าหมาย

4.2 แนวปฏิบัติในการเจาะสำรวจ

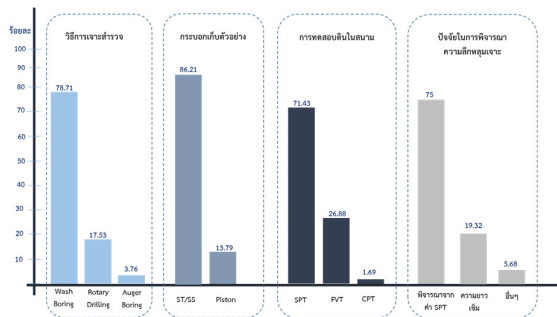
การเจาะสำรวจเพื่อให้ได้มาซึ่งพารามิเตอร์ที่ใช้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็มตอก มีเทคนิคและวิธีที่นิยมปฏิบัติดังรายละเอียดขั้นตอนต่อไปนี้

(1) ปัจจัยสำคัญที่ใช้ในการวางแผนการเจาะสำรวจที่มีการพิจารณาถึงมากที่สุด (ร้อยละ 70) แบ่งได้เป็น 2 ประเด็น ได้แก่ (1) ด้านลักษณะพื้นที่ที่ตั้งของโครงการ/ ความซับซ้อนทางธรณีวิทยา (ร้อยละ 35.75) และ (2) ขนาดของโครงการหรือมูลค่างาน (ร้อยละ 34.25) ส่วนปัจจัยอื่นๆ (ร้อยละ 30) ได้แก่ ความต้องการของผู้ว่าจ้าง (ซึ่งบริษัทเจาะสำรวจพิจารณาปัจจัยนี้เป็นปัจจัยสำคัญที่สุด) และลักษณะฐานรากของอาคาร เป็นต้น

(2) ระยะห่างและจำนวนของหลุมเจาะสำรวจ ผู้ตอบแบบสอบถามพิจารณาจากลักษณะพื้นที่และความสำคัญของโครงการ ถ้าเป็นอาคารที่สูงน้อยกว่า 4 ชั้น การเลือกจำนวนของหลุมเจาะสำรวจ อยู่ที่ 1-2 หลุม (ร้อยละ 80) และสำหรับอาคารที่มีความสูงเกินกว่า 4 ชั้น ควรกำหนดให้มีการเจาะสำรวจไม่น้อยกว่า 1-3 หลุม ทั้งนี้การเลือกจำนวนของหลุมเจาะต้องพิจารณาจากปัจจัยอื่นๆ ประกอบด้วยทั้งด้านงบประมาณของโครงการ สภาพความซับซ้อนทางธรณีวิทยา ความแปรปรวนของชั้นดิน และลักษณะของโครงการต่างๆ ส่วนระยะห่างระหว่างหลุมเจาะพิจารณาจากน้ำหนักกระทำหรือหลุมเจาะควรห่างกันประมาณ 50 – 100 เมตร เช่น ถ้า

เป็นงานก่อสร้างสะพานตามแม่น้ำเจ้าพระยา 1 หลุมต่อ 1 ตอม่อ สะพาน เป็นต้น

(3) วิธีการเจาะสำรวจที่เลือกใช้มากที่สุดสำหรับพื้นที่ กรุงเทพมหานครคือ วิธีการเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) ร้อยละ 78.71 (ดังรูปที่ 3)



รูปที่ 3 ร้อยละของแนวปฏิบัติในการเจาะสำรวจ

(4) กระทบกเก็บตัวอย่างที่เลือกใช้มากที่สุด (ร้อยละ 86.21) คือกระทบกเปลือกบาง (Shelby Tube; ST) สำหรับ ดินอ่อนถึงแข็งปานกลาง ตามมาตรฐาน ASTM D1587 เพื่อ เก็บตัวอย่างที่ไม่ถูกรบกวน (Undisturbed sample) และ กระทบกผ่า (Split Spoon sampler; SS) สำหรับดินแข็ง ตามมาตรฐาน ASTM D1586 เพื่อเก็บตัวอย่างถูกรบกวน (Disturbed sample) นอกจากนี้พบว่า สำหรับดินอ่อนมาก (ร้อยละ 13.79) มีการเลือกใช้กระทบกสูบชัก (Piston sampler) ในการเก็บตัวอย่าง (ดังรูปที่ 3) ระยะห่างตามความ ลึกในการเก็บตัวอย่างจะทำการเก็บตัวอย่างทุกๆ 1.5 เมตร

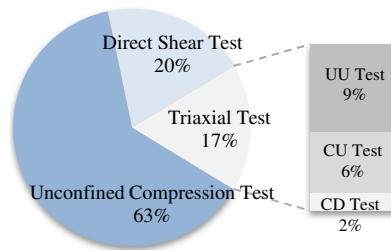
(5) การทดสอบในสนามที่เลือกปฏิบัติมากที่สุดคือ การ ทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) สำหรับกรณี ดินแข็งคู่กับการเก็บตัวอย่างด้วยกระทบกผ่า (ร้อยละ 71.43) รองลงมาคือการทดสอบ Field Vane Shear (FVT) ซึ่งจะ นิยมใช้ในหน่วยงานกรมทางหลวงหรือกรมทางหลวงชนบท เพื่อหาค่ารับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน และนำไป วิเคราะห์เสถียรภาพของชั้นคันทาง ส่วนการทดสอบ Cone Penetration Test (CPT) ไม่เป็นที่นิยมในปัจจุบัน เนื่องจาก

ไม่สามารถเก็บตัวอย่างขึ้นมาทำการทดสอบได้ และไม่สามารถกดผ่านชั้นทรายแน่นมากได้ มีสัดส่วนของการใช้งาน อยู่เพียงร้อยละ 1.69

(6) ความลึกของการเจาะสำรวจ (ดังรูปที่ 3) พิจารณาจาก จำนวนครั้งของการตอกทดสอบ SPT มากที่สุด (ร้อยละ 75) โดยผู้ตอบแบบสอบถามมีการพิจารณาความลึกของการเจาะ สำรวจเมื่อขึ้นดินมีค่า N-value มากกว่า 50 ครั้งต่อฟุต ติดกัน 3 ครั้ง (ร้อยละ 60.23) อีกทั้งพบว่า มีผู้ออกแบบส่วนหนึ่ง (คิดเป็นร้อยละ 14.77) พิจารณาค่า N-value ที่มากกว่า 35 ครั้งต่อฟุต เป็นชั้นสิ้นสุดการเจาะสำรวจ (End of Boring) ส่วนร้อยละ 19.32 พิจารณาจากความลึกของปลายเสาเข็มที่ ออกแบบไว้ และร้อยละ 5.68 พิจารณาจากความลึกของชั้น ดินอ่อน หรือตามประสบการณ์ของผู้ออกแบบ

(7) การทดสอบในห้องปฏิบัติการเพื่อหาคุณสมบัติทาง กายภาพ ในการจำแนกประเภทของดิน (Classification) ทำ โดยการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM ได้แก่การทดสอบ Atterberg limit (ASTM D4318), การทดสอบ Natural water content (ASTM D2216), การทดสอบ Sieve Analysis (ASTM D422-63), การหาค่า Specific Gravity (ASTM D 854-58) และการทดสอบ Unit weight (ASTM D7263-09)

ส่วนการทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านกำลังเลือกใช้ การทดสอบ Unconfined Compression Test (ASTM D2166) มากที่สุด (ร้อยละ 63) เพราะเป็นการทดสอบที่ สะดวก ไม่มีความซับซ้อนในการทดสอบ ประหยัดเวลา มี ค่าใช้จ่ายน้อย ลำดับต่อมา (ร้อยละ 37) เป็นการทดสอบ Direct Shear Test (ASTM D3080) และการทดสอบ Triaxial Test (ASTM D2850, D4767) ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 ร้อยละของวิธีการทดสอบกำลังของดิน

(8) การพิจารณาทดสอบ Consolidation test พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 54.55 ไม่ได้ทำการทดสอบ สำหรับการพิจารณาการทรุดตัวของดิน เลือกใช้พารามิเตอร์ที่ได้จากความสัมพันธ์ (Empirical correlation) ที่มีการเผยแพร่ นอกจากนี้ยังมีการทดสอบทางด้านอื่นๆ อาทิเช่น การทดสอบคลอไลต์ หรือการทดสอบทางเคมีจะมีการดำเนินการ ถ้าหากโครงสร้างอยู่ใกล้ทะเล เป็นต้น

4.3 แนวปฏิบัติในการแปลผลค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากการทดสอบในสนาม

ผลการศึกษานี้แบ่งเป็น 2 ส่วน คือ (1) ส่วนของแนวปฏิบัติในการเลือกสมการหรือปัจจัยที่พิจารณาสำหรับการปรับแก้ผลการทดสอบและ (2) แนวปฏิบัติในการเลือกสมการหรือวิธีการในการแปลผลการทดสอบเป็นค่ากำลังของดินในรูป c และ ϕ ที่นิยมปฏิบัติ ดังต่อไปนี้

4.3.1 สมการหรือปัจจัยที่พิจารณาสำหรับการปรับแก้

• การปรับแก้ผลการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT)

การทดสอบ SPT เป็นการทดสอบที่นิยมที่สุด ซึ่งผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 76.79 เลือกที่จะปรับแก้ผลการทดสอบ (ร้อยละ 23.21 ไม่พิจารณาปรับแก้ผล N-value เนื่องจากเลือกใช้ในการเปรียบเทียบกับผลการทดสอบ Pile Load Test และวิธีอื่นๆ ตามแต่ประสบการณ์) ซึ่งปัจจัยที่พิจารณาสำหรับการปรับแก้มีอยู่ด้วยกัน 3 ประเด็น (ดังรูปที่ 5) ได้แก่

- การปรับแก้ความเค้นในแนวตั้งในชั้นทราย (Cohesionless soil) [11-18] คิดเป็นร้อยละ 42.47

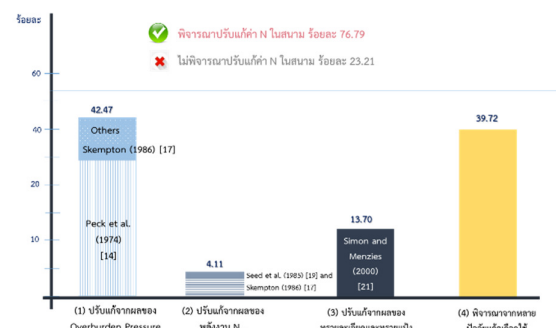
- การปรับแก้ตามมาตรฐานพลังงานเนื่องจากเครื่องมือ [17],[19-20] คิดเป็นร้อยละ 4.11

- การปรับแก้เนื่องจากผลของการทดสอบในชั้นทรายละเอียด (fine sand) หรือชั้นทรายแป้ง (silty sand) หากระดับทดสอบต่ำกว่าระดับน้ำใต้ดิน ค่าที่ได้จะคลาดเคลื่อนเนื่องจากแรงดันน้ำในโพรงจะไม่สามารถระบายได้ทัน [21] คิดเป็นร้อยละ 13.70

การพิจารณาปรับแก้เนื่องจากความเค้นในแนวตั้งประสิทธิผล (Effective Overburden Pressure) เป็นปัจจัยที่ผู้ออกแบบพิจารณาถึงมากที่สุด โดยเลือกใช้สมการที่นำเสนอโดย Peck et al.[14] มากที่สุด (ร้อยละ 70.22) รองลงมาเป็นวิธีที่นำเสนอโดย Skempton [17] (ร้อยละ 10.03) และวิธีอื่นๆ ตามลำดับ อาทิเช่น [13],[15],[18] เป็นต้น ทั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถาม ร้อยละ 39.72 (ดังรูปที่ 5) เลือกใช้วิธีในการคำนวณจากสมการหลายๆ สมการแล้วพิจารณาค่าที่ใช้ตามประสบการณ์ของแต่ละบุคคล

• การทดสอบ Field Vane Shear Test (FVT)

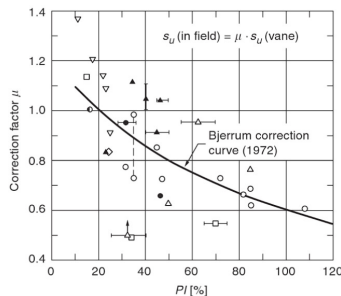
การทดสอบ FVT เป็นการทดสอบเพื่อหาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวอ่อน โดยพิจารณาตั้งแต่การเลือกรูปแบบการกระจายของหน่วยแรง (β) บนใบพัดเนื่องจากมีผลต่อการ



รูปที่ 5 การปรับแก้ผลการทดสอบ SPT

แปลค่ากำลังรับแรงเฉือน (S_u) ของดิน พบว่า รูปแบบการกระจายของหน่วยแรงที่นิยมพิจารณาตอนการแปลผลค่าเลือกโดยบริษัทเจาะสำรวจและเลือกใช้การกระจายแบบ Uniform end shear ($\beta = 2/3$) มากที่สุดคิดเป็น ร้อยละ 76.67 และรองลงมาคือ Triangular end shear ($\beta = 1/2$) คิดเป็นร้อยละ 23.33

สำหรับการปรับแก้ค่า (μ) เลือกปรับแก้ตามทฤษฎีของ Bjerrum [22] มากที่สุดคิดเป็นร้อยละ 85 (ดังรูปที่ 6) รองลงมาคือ สมการที่เสนอโดย [23-24]



รูปที่ 6 ค่าตัวประกอบสำหรับปรับแก้ผลการทดสอบ FVT [22]

4.3.2 แนวปฏิบัติในการเลือกสมการหรือวิธีการแปลผลการทดสอบเป็นค่ากำลังของดินในรูป c และ ϕ

- การแปลผลค่า SPT เป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินสำหรับดินเหนียว (S_u) มีผู้นำเสนอไว้หลากหลายสมการ อาทิเช่น [25-28] เป็นต้น โดยสมการที่นิยมใช้มากที่สุด (ร้อยละ 73.83) คือทฤษฎีและกราฟของ NAVFAC [26] หรือสามารถคำนวณได้ดังสมการ $S_u = \frac{2}{3} N (t/m^2)$ รองลงมาคือทฤษฎีของ Stroud [27] และ Pitupakorn [28] มีสัดส่วนร้อยละเท่ากับ 19.63 และร้อยละ 6.54 ตามลำดับ
- สมการที่เลือกใช้ในการแปลผลค่า SPT เป็นค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินสำหรับดินทราย (ϕ) มีผู้นำเสนอไว้หลากหลายสมการ อาทิเช่น [14],[25],[29-32] เป็นต้น โดยสมการที่นิยมใช้มากที่สุดคือ Peck et al.[14] เป็นสัดส่วนร้อยละ 90.63 และรองลงมาคือทฤษฎีของ [31] และ [32] สัดส่วนร้อยละ 7.29 และร้อยละ 2.08 ตามลำดับ

4.4 แนวปฏิบัติในการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

4.4.1 แนวคิดในการออกแบบ (conceptual design)

การออกแบบค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอก มีวิธีการวิเคราะห์ 2 วิธีคือ

การวิเคราะห์ด้วยวิธี α -method (total stress analysis) โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบคือ ค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินเหนียวแบบไม่ระบายน้ำ (S_u)

การวิเคราะห์ด้วยวิธี β -method (effective stress analysis) โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบคือ สำหรับทราย (Sand) คือ ค่ามุมเสียดทานประสิทธิผล (ϕ) และดินเหนียวกรณี drained condition คือ ค่า ϕ'

เนื่องจากพารามิเตอร์ที่ได้จากการเจาะสำรวจส่วนใหญ่สำหรับดินเหนียวนั้น ค่ากำลังรับแรงเฉือนจะอยู่ในรูปแบบของ Undrained parameter (S_u) ที่ได้จากการทดสอบ Unconfined compression test และการแปลจากค่า N-Value ดังนั้นแนวปฏิบัติส่วนใหญ่ในการออกแบบเสาเข็มจะเลือกใช้วิธี α -method (total stress analysis) สำหรับดินเหนียว (Clay) และใช้วิธี β -method (effective stress analysis) สำหรับดินทราย (Sand)

4.4.2 การประเมินกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลายของเสาเข็ม (Ultimate bearing capacity)

การออกแบบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกปลายของเสาเข็มด้วยวิธีสถิตศาสตร์ มีสมการที่ใช้ในการออกแบบด้วยกันหลายวิธี ซึ่งมีความแตกต่างกันตามค่าสัมประสิทธิ์ของ N_c , N_q , α , β , δ และค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

การวิเคราะห์ด้วยวิธี α -method (total stress analysis) สำหรับดินเหนียว ($\phi = 0$)

- สมการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงต้านทานที่ปลายเข็ม (Q_b) ได้แก่

$$Q_b = (S_u N_c + q) A_p \quad (1)$$

เมื่อ q คือ total Overburden Pressure ที่ปลายเสาเข็ม และ A_p คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม เมื่อ $N_q = 1$ [14],[17] สำหรับค่า N_c มีผู้เสนอกราฟไว้หลากหลาย อาทิเช่น [33-37] เป็นต้น โดยผลการศึกษาพบว่า ร้อยละ 62.37 เลือกใช้ค่า $N_c = 9$ [34,36] ดังนั้นสมการในการคำนวณค่า Q_b สำหรับดินเหนียวจึงนิยมใช้สมการ (2) รองลงมาร้อยละ 29.45 ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้สมการที่นำเสนอโดย Skempton [33] ด้วยสมการ $6.14 \leq N_c \leq 9$ เมื่อ $D/B \geq 4$ และร้อยละ 8.18 เลือกใช้สมการของ Bowles [37] ทั้งนี้ผู้ตอบแบบสอบถามยังให้ข้อคิดเห็นว่า สมการของ Bowles มีไว้เพื่อเป็นการเปรียบเทียบค่า

$$Q_b = (9 S_u + q)A_p \quad (2)$$

หรือ $Q_{b(net)} = 9S_u A_p$

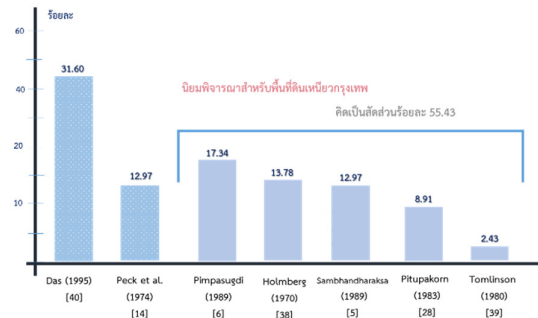
- สมการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์การวิเคราะห์แรงเสียดทานของผิวเสาเข็ม (Q_f) ได้แก่ [14],[17]

$$Q_s = P \sum_{i=1}^N (f_{si} \Delta L_i) \quad (3)$$

เมื่อ f_{si} คือ Unit skin friction resistance, P คือ เส้นรอบรูปของเสาเข็มและ ΔL_i คือ ความยาวของเสาเข็มในช่วงที่พิจารณา โดย f_{si} สำหรับวิธี α -method สามารถคำนวณดังสมการ (4) [10],[13]

$$f_{si} = \alpha S_u \quad (4)$$

เมื่อ ค่า α คือ adhesion factor ซึ่งมีผู้เสนอไว้หลายท่าน อาทิเช่น [5-6],[14],[28],[38-40] สมการที่ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้สำหรับพื้นที่ดินเหนียวกรุงเทพ คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 55.43 (ดังรูปที่ 7) รองลงมา คือกราฟของ Das [40] (ร้อยละ 31.60) และกราฟของ Peck, et al. [14] เป็นต้น



รูปที่ 7 ร้อยละของสมการ ค่า α ที่นิยมเลือกใช้

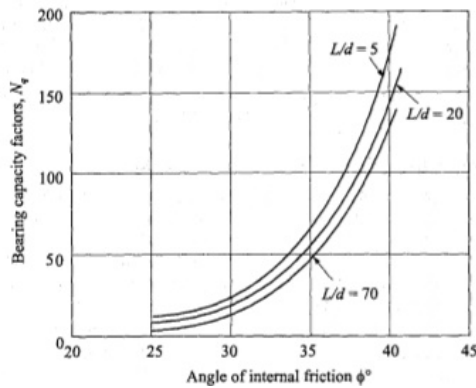
การวิเคราะห์ด้วยวิธี β -method (effective stress analysis) สำหรับดินทราย ($c=0$)

- สมการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์แรงต้านทานที่ปลายเข็ม (Q_b) ได้แก่

$$Q_b = q' N_q A_p \quad (5)$$

เมื่อ q' คือ Effective Overburden Pressure ที่ปลายเสาเข็มโดย N_q มีผู้เสนอค่าไว้หลากหลาย อาทิเช่น [5-6],[36-37],[41-44] ผลการศึกษาพบว่า ค่า N_q ที่นำเสนอโดย Tomlinson [36] มีผู้เลือกใช้มากที่สุดสัดส่วนร้อยละ 33.90 (ดังรูปที่ 8) รองลงมาคือตามทฤษฎีของ Meyerhof [44] และ Terzaghi [41] สัดส่วนร้อยละเท่ากับ 25.42 และร้อยละ 16.95 ตามลำดับ

กราฟที่เป็นความสัมพันธ์ของค่า N_q สำหรับทรายในพื้นที่กรุงเทพโดยเฉพาะ พบว่าผู้ตอบแบบสอบถาม (ร้อยละ 23.73) เลือกใช้สมการที่นำเสนอโดย Pimpasugdi [6] มากที่สุด คิดเป็นสัดส่วนร้อยละ 12.71 ส่วนอีกร้อยละ 11.02 เป็นสมการความสัมพันธ์ที่นำเสนอโดยท่านอื่น อาทิเช่น Vesic [42] และ Poulos [43] เป็นต้น



รูปที่ 8 Bearing capacity factor of N_q [38]

- สมการทั่วไปที่ใช้ในการวิเคราะห์การวิเคราะห์แรงเสียดทานของผิวเสาเข็ม (Q_n) ได้แก่ สมการที่ (3) โดย f_{si} สำหรับวิธี β -method สำหรับดินทรายสามารถคำนวณดังสมการที่ (6) [14],[17],[40]

$$f_{si} = K_s \tan \delta \sigma'_{vo} \quad (6)$$

โดยพารามิเตอร์ที่มีความแตกต่างกันในการวิเคราะห์ได้แก่ค่า K_s ซึ่งปกติจะมีค่าเท่ากับ K_0 แต่ก็สามารถเปลี่ยนแปลงได้ตามชนิดของเสาเข็ม โดยมีผู้นำเสนอค่า K_s ไว้ดังนี้ [36],[40],[46-47] โดยค่า K_s ที่นำเสนอโดย Das [40] มีผู้เลือกใช้มากที่สุด และสำหรับค่ามุมเสียดทานระหว่างดินกับเข็ม (soil-pile friction angle; δ) โดยปกติจะใช้ค่า $\delta = 0.75\phi'$ (สำหรับเสาเข็มคอนกรีต) ตามทฤษฎีของ Tomlinson [36] มากที่สุดสัดส่วนร้อยละ 84 หรือใช้ตามสมการของ [47] ได้แก่ ค่า $\delta = 0.5 - 0.8\phi'$ (สัดส่วนร้อยละ 16)

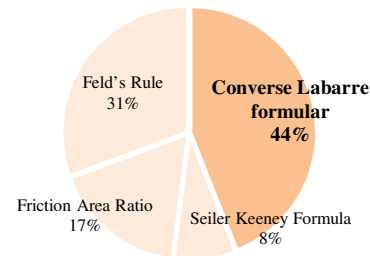
4.5 การพิจารณาค่าแรงดูดของเสาเข็ม (Negative skin friction; Q_n)

จากผลการศึกษาพบว่า ผู้ออกแบบจำนวนร้อยละ 56.48 เลือกที่จะไม่พิจารณาค่า Negative skin friction โดยในการออกแบบใช้หลักการในการเผื่อด้วยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยไว้เลย ทั้งนี้ส่วนหนึ่งเนื่องมาจากมีการถมดินเป็นระยะเวลานานพอก่อนเริ่มการก่อสร้าง รวมถึงการพิจารณาชั้นดินเป็น Layered soil รวมถึงต้องพิจารณาว่า เสาเข็มนั้นๆ เป็น friction pile หรือไม่ ความสูงของชั้นดินถมเป็นเท่าไร

เป็นผลให้ผู้ออกแบบเลือกที่จะเผื่อค่าแรงดูดลงไปกับค่า Factor of Safety แทน เป็นต้น

4.6 การประเมินประสิทธิภาพของเข็มกลุ่ม

ในการออกแบบฐานรากเสาเข็มกลุ่มผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้สมการในการประเมินประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม (ดังรูปที่ 9) โดยใช้ทฤษฎี Converse-Labarre ดังสมการที่ (5) มากที่สุด (ร้อยละ 44)



รูปที่ 9 สัดส่วนของการเลือกใช้ค่า η

$$\eta = 1 - \left[\frac{(n-1)m + (m-1)n}{90mn} \right] \times \tan^{-1} \left(\frac{D}{d} \right) \quad (5)$$

เมื่อ m, n คือจำนวนแถวของเสาเข็ม, D คือขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มและ d คือระยะห่างของเสาเข็ม ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [2] ที่ทำการศึกษารูปแบบฐานรากอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร ส่วนสมการที่เลือกใช้รองลงมาคือการหาค่าประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม โดยวิธีของ Feld's Rule โดยเฉพาะผู้ออกแบบที่มีประสบการณ์สูง

4.7 การพิจารณาค่าการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็ม (settlement of pile)

การประเมินค่าการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็ม พบว่า ร้อยละ 53.42 ของผู้ตอบแบบสอบถาม จะไม่พิจารณาค่าการทรุดตัวของฐานรากเสาเข็ม เนื่องจากผู้ออกแบบส่วนใหญ่พิจารณาว่า ได้ทำการวางปลายเสาเข็มไว้ในชั้นดินแข็งหรือชั้นทรายแล้ว ซึ่งถือว่าเกิดการทรุดตัวน้อยมาก และร้อยละ 46.58 ที่พิจารณาการทรุดตัว โดยยอมให้การทรุดตัวไม่เกิน 25 mm. หรือพิจารณาจากค่าแรงต้านทานกดของชั้นดิน (Subgrade reaction) เป็นต้น

4.8 การทดสอบเสาเข็ม

การทดสอบเสาเข็มแบ่งได้เป็น การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ได้แก่ การทดสอบ Seismic test และการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม ได้แก่ (1) การทดสอบ Dynamic load test (2) การทดสอบ Static load test ผลการตอบแบบสอบถามพบว่า ผู้ตอบแบบสอบถาม จำนวนร้อยละ 66.67 จะกำหนดการทดสอบ Seismic test อยู่ร้อยละ 100 เพื่อตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม ส่วนการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม มีหลักการพิจารณาดังนี้ (1) สำหรับวิธี Dynamic load test สัดส่วนการทดสอบอยู่ที่ร้อยละ 1-5 ของจำนวนเสาเข็มในโครงการ และ (2) การทดสอบ Static load test สัดส่วนการทดสอบอยู่ที่ร้อยละ 1-2 ของจำนวนเสาเข็มในโครงการ แต่ทั้งนี้พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามมีข้อเสนอแนะว่า ควรพิจารณาสัดส่วนของการทดสอบตามแต่

ส่วนผลจากการประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็ม โดยวิธีพลศาสตร์ พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามพิจารณา (ร้อยละ 56.73) โดยเลือกใช้ทฤษฎี ของ Hiley Formula มากที่สุด (คิดเป็นร้อยละ 52.04) ดังสมการ (6)

$$Q_u = \frac{c_h E_h}{s + \frac{1}{2}(k_1 + k_2 + k_3)} \cdot \frac{W_r + n^2 W_p}{W_r + W_p} \quad (6)$$

เมื่อ W_r น้ำหนักค้ำและ W_p น้ำหนักเข็มเป็นต้น, n คือ Coefficient of restitution, S คือระยะที่เสาเข็มจมเป็นเซนติเมตร, k คือ temporary compression ถัดไปเป็นทฤษฎีของ Danish Formular ร้อยละ 19.39 ดังสมการ (7)

$$Q_u = \frac{c_h E_h}{s + C_1} \quad (7)$$

และ Engineering New Formula ร้อยละ 16.33 ดังสมการ (8) และวิธีอื่นๆ อีกร้อยละ 12.24

$$Q_u = \frac{W_h}{s + 2.54C} \quad (8)$$

ส่วนร้อยละ 43.27 ไม่พิจารณาความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธีพลศาสตร์

4.9 ทบทวนข้อกำหนด กฎหมาย กฎกระทรวง พระราชบัญญัติที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบฐานรากในประเทศไทย

ถึงแม้ว่าประเทศไทยยังไม่มีมาตรฐานของการออกแบบสำหรับงานวิศวกรรมฐานราก (Code for foundation Engineering) แต่การออกแบบ การควบคุมการก่อสร้างและการใช้งานของอาคารจะถูกควบคุมจากหน่วยงานของรัฐ ภายใต้กฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร (พระราชบัญญัติควบคุมอาคาร พ.ศ.2522) ในด้านวิธีการออกแบบและก่อสร้างให้มีความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน ซึ่งมีขอบเขตของกฎหมายครอบคลุม 3 ประเด็นหลักดังนี้

1. วิธีการออกแบบอาคาร หลักพื้นฐานจะมีการครอบคลุมเรื่องสุขภาพ ความปลอดภัยในชีวิตและทรัพย์สิน และมีกฎหมายที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบเพื่อความยั่งยืน (Sustainable design) หรือเพื่อการประหยัดพลังงานเพิ่มเติมจากกฎหมายควบคุมอาคาร ได้แก่ พระราชบัญญัติส่งเสริมการอนุรักษ์พลังงาน พ.ศ.2535 เป็นต้น

2. วิธีการก่อสร้าง ปรับปรุง รื้อถอนอาคาร

3. วิธีการใช้อาคาร จะมีประเด็นเรื่องอาคารที่ควบคุมการใช้งานและอาคารที่ต้องมีการขออนุญาตใช้อาคาร

นอกจากนั้น กฎหมายควบคุมอาคารยังครอบคลุม วิธีการจัดตั้งหน่วยงานเพื่อการบริหารกฎหมายควบคุมอาคาร (มีหน่วยงานที่ตั้งขึ้นเป็นการเฉพาะ เช่น คณะกรรมการควบคุมอาคาร คณะกรรมการอุทธรณ์หรือสำนักควบคุมอาคาร เป็นต้น ซึ่งมีภาระหน้าที่เป็นการเฉพาะตามกฎหมายควบคุมอาคาร และก่อให้เกิดหน่วยงานต่างๆ แยกแขนงออกไป) วิธีการลงโทษและวิธีการอุทธรณ์ ส่วนวิธีการบริหารอาคารจะเป็นภาระของเจ้าของอาคารที่จะต้องดูแลอาคารเองหรือหากมีกฎหมายก็จะเป็นกฎหมายส่งเสริมที่อาจเทียบเคียงได้ คือ พระราชบัญญัติรักษาความสะอาดและความเป็นระเบียบ

เรียบร้อยของบ้านเมือง พ.ศ.2535 เป็นต้น การขอใบอนุญาตประกอบวิชาชีพที่เกี่ยวข้องกับการก่อสร้าง เช่น สถาปัตยกรรม วิศวกรรม หรือผู้รับเหมาก่อสร้างนั้น ประเทศไทยไม่มีสภาวิชาชีพที่จัดตั้งขึ้นเพื่อกำกับดูแลเป็นการเฉพาะ และมีพระราชบัญญัติวิศวกร พ.ศ.2542 พระราชบัญญัติสถาปนิก พ.ศ.2543 ในการกำกับดูแล

ทั้งนี้กฎหมายที่ออกตามความในพระราชบัญญัติ ได้แก่ กฎกระทรวง ซึ่งมีกฎกระทรวงที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรพอสรุปได้เป็นสังเขปดังนี้ (ตารางที่ 2) และกฎที่ออกโดยอาศัยอำนาจนิติบัญญัติของส่วนราชการท้องถิ่น อาทิเช่น ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร ประกาศกรุงเทพมหานคร

ผลการตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ พบว่า ร้อยละ 65.6 พิจารณากฎหมายหรือข้อกำหนดในการออกแบบตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร กฎกระทรวงและประกาศหรือข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร และร้อยละ 24.78 ทำการออกแบบโดยพิจารณาตามมาตรฐานหรือข้อแนะนำของวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย (วสท.) ส่วนข้อกำหนดงานของหน่วยงานอื่นๆ ตามที่ผู้ออกแบบหรือผู้ปฏิบัติงานพิจารณาจะเป็นไปตามหน่วยงานที่เกี่ยวข้อง อาทิเช่น กรมทางหลวง กรมทางหลวงชนบท (คิดเป็นร้อยละ 9.62) เป็นต้น

5. ผลสรุปประเด็นสำคัญในการวิเคราะห์ที่เกี่ยวข้องกับ

บริบท สภาพและเงื่อนไขของพื้นที่

5.1 สภาพและเงื่อนไขของพื้นที่

ลักษณะชั้นดินกรุงเทพประกอบด้วย 2 ส่วนหลัก ได้แก่ ดินชั้นบน เป็นดินเหนียวอ่อนที่เกิดจากการทับถมของตะกอนจากน้ำทะเล (Marine deposit) ที่มีความลึกประมาณ 12-18 เมตร มีลักษณะพิเศษที่พึงระวังคือ เป็นชั้นดินที่มีกำลังแรงเฉือนต่ำ ปริมาณน้ำในมวลดินสูง เป็นชั้นดินที่มีความไวตัว (Sensitive) มีความเป็นพลาสติกสูง (Highly plastic) และสามารถอัดตัวได้สูง (Highly compressibility) ทั้งนี้มีผู้นำเสนอคุณสมบัติของดินชั้นนี้ไว้หลายท่าน อาทิเช่น [48-50] ใน

อดีตชั้นดินชั้นนี้เป็นชั้นที่รองรับฐานรากสำหรับโครงสร้างที่มีน้ำหนักเบา ส่วนดินชั้นที่สอง ในปัจจุบันจะเป็นชั้นที่รองรับฐานรากของโครงสร้าง ลักษณะชั้นดินเกิดจากการสะสมตัวของตะกอนน้ำพา (Alluvial deposit) ประกอบด้วยดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากสลับกับชั้นทราย คุณสมบัติต่างๆ ของชั้นดินสามารถดูได้จากรายงานของ Balasubramaniam [51] โดยลักษณะการวางตัวของตะกอนน้ำพานี้ เป็นชั้นดินเหนียวแข็งถึงแข็งมากอัดแน่นเกินปกติ (Overconsolidated clay) สีนํ้าตาลหรือสีนํ้าตาลอมเทา พบที่ประมาณความลึก 15-33 เมตร ถัดไปเป็นชั้นดินทราย โดยทรายชั้นแรกพบที่ความลึกประมาณ 20-30 เมตร ส่วนชั้นทรายชั้นที่สอง เป็นชั้นทรายสีนํ้าตาลหรือนํ้าตาลอ่อน มีขนาดคละไม่ดี (Poorly graded) มีความหนาไม่แน่นอน ดังนั้นในบางพื้นที่โครงการขนาดใหญ่จึงทำการวางปลายเสาเข็มเจาะในชั้นทรายชั้นที่ 3 ซึ่งเป็นชั้นทรายแน่นเม็ดหยาบปนกรวด (dense coarse sand with some gravel) ทรายชั้นนี้ พบที่ความลึกประมาณ 60-65 เมตร เป็นต้น

ทั้งนี้ในการออกแบบฐานรากเสาเข็มปัจจุบันควรพิจารณาถึงผลกระทบของระดับน้ำใต้ดิน (Phreatic surface) ที่เพิ่มสูงขึ้น (เนื่องจากการลดการสูบน้ำบาดาลในพื้นที่กรุงเทพมหานคร) เป็นผลทำให้ ค่า Effective stress มีค่าลดลง เป็นต้น

5.2 การสำรวจดินตามสภาพเงื่อนไขของพื้นที่

การสำรวจสภาพชั้นดินในพื้นที่กรุงเทพมหานครหรือพื้นที่อื่นใดนั้น การจัดทำข้อกำหนดในการวางแผนและเลือกใช้วิธีการสำรวจดินยังไม่สามารถกำหนดได้ชัดด้วยกฎเกณฑ์ที่เฉพาะเจาะจง ดังนั้นผู้ออกแบบหรือผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบ จึงเลือกใช้การพิจารณาหลักเกณฑ์ตามเอกสารหรือข้อแนะนำต่างๆ ที่เผยแพร่ออกมาผ่านหนังสือคู่มือ อาทิเช่น หนังสือคู่มือ ความรู้เกี่ยวกับการสำรวจชั้นดิน [52] หนังสือการเจาะสำรวจดินทางวิศวกรรม: การเจาะสำรวจ เก็บตัวอย่างและการทดสอบในสนาม [53] หรือมาตรฐานของ

มทข.301-2545: วิธีการทดสอบมาตรฐานการเจาะสำรวจของกรมทางหลวงชนบท และคู่มือ STS Handbook [54] เป็นต้น โดยมีปัจจัยประกอบการพิจารณาดังนี้

1. การกำหนดตำแหน่ง/จำนวนของหลุมเจาะพิจารณาจากลักษณะพื้นที่ที่ตั้งของโครงการ/ความซับซ้อนทางธรณีวิทยาเป็นสำคัญ ซึ่งในพื้นที่กรุงเทพมหานครเป็นตะกอนที่ถูกเคลื่อนย้ายมาจากที่อื่น (Transported soil) ที่

ลักษณะทางธรณีวิทยาไม่มีความซับซ้อนมากนัก ดังนั้นตำแหน่ง/จำนวนของหลุมเจาะ จึงมีข้อเสนอแนะว่า ควรกำหนดตำแหน่งผังอาคารหรือโครงสร้างอาคาร หรือถ้าเป็นไปได้ควรกำหนดตำแหน่งหลุมเจาะให้ตรงกับตำแหน่งโครงสร้างสำคัญของอาคาร เช่น บริเวณแกนลิฟท์ ผนังรับแรงเฉือน ใต้คาน้ำ เพื่อลดความเสี่ยงจากความแปรปรวนของชั้นดิน และควรผลสำรวจดินอย่างน้อย 2 หลุม ในหนึ่งพื้นที่เพื่อให้เห็น

ตารางที่ 2 กฎกระทรวง ประกาศกระทรวง ข้อบัญญัติกรุงเทพฯ ประกาศกรุงเทพฯ ที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรม

กฎกระทรวง	รายละเอียด
ฉบับที่ 4 (พ.ศ.2526)	กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ เงื่อนไขการก่อสร้าง (มาตรการความปลอดภัยต่อประชาชน)
ฉบับที่ 6 (พ.ศ.2527)	ข้อ 18. กำหนดการรับน้ำหนักบรรทุกทุกชนิด ข้อ 20. การคำนวณฐานรากบนเสาเข็มที่ตอกในชั้นดินอ่อนหรือค่าหน่วยแรงต่างๆ ในการคำนวณออกแบบโครงสร้างของอาคาร ความต้านทาน ความคงทน ลักษณะและคุณสมบัติของวัสดุที่ใช้ในการก่อสร้าง พ.ศ.2540 (แก้ไขล่าสุดโดยกฎกระทรวงฉบับที่ 48)
ฉบับที่ 10 (พ.ศ.2528)	ก่อสร้างดัดแปลง รื้อถอน หรือเคลื่อนย้ายอาคาร (แก้ไขล่าสุดโดยกฎกระทรวงฉบับที่ 57 พ.ศ.2544)
ฉบับที่ 33 (พ.ศ.2535)	กำหนดโครงสร้างและอุปกรณ์ ซึ่งเป็นส่วนประกอบของอาคารสูง และอาคารขนาดใหญ่พิเศษ
ฉบับที่ 39 (พ.ศ.2537)	กำหนดแบบและวิธีการเกี่ยวกับการติดตั้งระบบการป้องกันอัคคีภัย ระบบการจัดแสงสว่าง การระบายอากาศ ระบบจ่ายพลังงานไฟฟ้าสำรอง
ฉบับที่ 55 (พ.ศ.2543)	กำหนดลักษณะ แบบ รูปทรง สัดส่วน เนื้อที่ ที่ตั้งของอาคาร เนื้อที่ของที่ว่างของอาคารพักอาศัย
(พ.ศ.2550)	กฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนักความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ.2550 (ให้ยกเลิกกฎกระทรวง ฉบับที่ 49 (พ.ศ.2540)
(พ.ศ.2555)	กฎกระทรวงกำหนดหลักเกณฑ์การอนุญาตดัดแปลงอาคาร เพื่อเสริมความมั่นคงแข็งแรงของอาคารให้สามารถต้านแรงสั่นสะเทือนจากแผ่นดินไหว พ.ศ.2555 (กฎกระทรวงนี้ให้ใช้บังคับแก่อาคารตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคารในบริเวณที่กำหนดในกฎกระทรวงกำหนดการรับน้ำหนัก ความต้านทาน ความคงทนของอาคาร และพื้นดินที่รองรับอาคารในการต้านทานแรงสั่นสะเทือนของแผ่นดินไหว พ.ศ. 2550)
(พ.ศ.2558)	กฎกระทรวง ว่าด้วยการควบคุมป้ายหรือสิ่งก่อสร้างขึ้นสำหรับติดตั้งป้ายตามกฎหมายว่าด้วยการควบคุมอาคาร พ.ศ.2558
(พ.ศ.2561)	กฎกระทรวง กำหนดหน้าที่ความรับผิดชอบของผู้ออกแบบ ผู้ควบคุมงาน ผู้ดำเนินการ ผู้ครอบครองอาคาร และเจ้าของอาคาร พ.ศ.2561
ประกาศกระทรวง	เรื่องความปลอดภัยในการทำงานเกี่ยวกับการตอกเสาเข็ม พ.ศ.2531
ข้อบัญญัติกรุงเทพมหานคร	เรื่องควบคุมอาคาร พ.ศ.2544
ประกาศกรุงเทพมหานคร	เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ วิธีการ และเงื่อนไขในการก่อสร้าง ดัดแปลง รื้อถอน หรือเคลื่อนย้ายอาคาร เพื่อป้องกันอันตรายที่อาจเกิดแก่สุขภาพ ชีวิต ร่างกาย และทรัพย์สินของประชาชน
ประกาศกรุงเทพมหานคร	เรื่อง กำหนดหลักเกณฑ์ในการก่อสร้างอาคารและสาธารณูปโภค

ลักษณะการวางตัวของชั้นดิน ทั้งนี้การกำหนดหรือการวางแผนการเจาะสำรวจ ต้องขึ้นอยู่กับความจำเป็นของข้อมูลที่จะใช้ในการออกแบบของวิศวกรผู้ออกแบบ

2. ความลึกของการเจาะสำรวจ ตามข้อเสนอแนะของ USBR [55] กำหนดไว้ว่า ความลึกของการเจาะสำรวจควรครอบคลุมถึงชั้นดินที่รับการถ่ายน้ำหนักจากเสาเข็มหรือฐานรากได้ทั้งหมด และครอบคลุมชั้นดินที่อาจเกิดการหลุดตัวจาก

การรับน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งจากผลการตอบแบบสอบถาม ผู้ออกแบบร้อยละ 75 พิจารณาจากค่า N-Value ที่มากกว่า 35-50 ครั้งต่อฟุต เนื่องจากเป็นชั้นดินที่มีความสามารถเพียงพอต่อการรับแรงของน้ำหนักจากโครงสร้างและค่าการทรุดตัวของชั้นดินนี้ก็จะมีความลดลงด้วย

3. การสำรวจชั้นดิน/เทคนิควิธีที่นิยมใช้ สำหรับพื้นที่นี้ เลือกใช้วิธีการเจาะแบบฉีดล้าง (Wash boring) เนื่องจากเป็นวิธีการที่ไม่ยุ่งยาก และสามารถเคลื่อนย้ายอุปกรณ์ได้ง่ายและสะดวก โดยเลือกใช้กระบอกเก็บตัวอย่างด้วยวิธี ST สำหรับดินที่ไม่ถูกรบกวน และ SS สำหรับดินที่ถูกรบกวน ทั้งนี้สิ่งที่ควรระวัง คือดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯเป็นดินที่มีความไวตัว (Sensitive) ดังนั้นการเก็บตัวอย่างจึงต้องทำด้วยความระมัดระวัง และสำหรับงานที่ต้องการควบคุมสภาพของตัวอย่างดินให้คงสภาพที่สุด ควรเลือกใช้กระบอกเก็บตัวอย่างประเภท Piston sampler ซึ่งผลจากการตอบแบบสอบถาม ในครั้งนี้พบว่า ผู้ตอบแบบสอบถามเลือกใช้เพียงร้อยละ 13.79 ทั้งนี้ กระบอกเก็บตัวอย่าง Piston sample ยังไม่เป็นที่นิยมเป็นผลมาจากความซับซ้อนของระบบกระบอก และมีค่าใช้จ่ายที่สูงกว่าเมื่อเทียบกับกระบอก ST และ SS เป็นต้น

จากการศึกษาพบว่า การปฏิบัติงานด้านการสำรวจดินส่วนใหญ่ใช้มาตรฐานการทดสอบเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM แต่ทั้งนี้สิ่งที่ควรระวังคือ การปฏิบัติการของผู้ปฏิบัติงานสำรวจ หรือช่างสำรวจที่อาจจะเลยและไม่พึงระวังในขั้นตอนต่างๆ อาทิเช่น การขนย้ายตัวอย่าง Undisturbed sample เพื่อนำไปทดสอบในห้องปฏิบัติการ จะต้องระมัดระวังเพื่อให้ตัวอย่างคงสภาพที่สุด การยกตุ้มตอกทดสอบระหว่างการเจาะสำรวจดินที่ใช้แรงงานในการควบคุม อาจเป็นผลให้ระยะยกต่างๆ เกิดความผิดพลาด ทั้งนี้เพื่อความเที่ยงตรงควรมีการพิจารณาเรื่อง Automatic hammer เข้ามาใช้ เพื่อความเที่ยงตรงของระยะยกต่างๆ เป็นต้น

5.3 การออกแบบฐานราก

การพิจารณากำลึงรับน้ำหนักบรรทุกของฐานรากเสาเข็มนั้น พารามิเตอร์ที่สำคัญได้แก่ ค่ากำลึงรับแรงเฉือน

ของดิน ที่เพียงพอต่อการต้านทานการบิดของเสาเข็ม และการทรุดตัวที่จะเกิดขึ้น ทั้งนี้สมการที่ใช้ในการออกแบบเพื่อหาค่ากำลึงรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบสถิตยศาสตร์นั้น มีอยู่ด้วยกันหลายวิธี ซึ่งใช้หลักการ (conceptual) อยู่บนพื้นฐานที่คล้ายคลึงกัน ดังนั้นการพิจารณาสมการที่ใช้ในการแปลผลค่าพารามิเตอร์จากทดสอบในสนาม ค่าสัมประสิทธิ์ของตัวคูณกำลึงรับน้ำหนัก (N_c , N_q , N_γ) ค่าสัมประสิทธิ์รูปร่างของเสาเข็ม (β) ค่าตัวคูณลด (α) ค่ามุมเสียดทานระหว่างดินกับเสาเข็ม (δ) และค่าอัตราส่วนความปลอดภัยที่เหมาะสม ผู้ออกแบบส่วนใหญ่ใช้วิธีการเปรียบเทียบ (Comparative) ด้วยสมการหลากหลายแนวคิด และใช้ผลการทดสอบกำลึงรับน้ำหนักของเสาเข็ม (Pile load test) มาพิจารณาร่วมด้วย โดยมีผู้นำเสนอสมการต่างๆที่เหมาะสมกับดินเหนียวกรุงเทพฯไว้หลากหลายท่าน [4-8],[28]

การพิจารณาผลของแรงดูดของเสาเข็ม (Negative skin friction) สำหรับดินกรุงเทพฯ ผู้ตอบแบบสอบถามร้อยละ 56.48 เลือกที่จะไม่พิจารณา เนื่องจากได้มีการเผื่อค่า FS. ไว้ในการออกแบบแล้ว ทั้งนี้ยังที่ทราบกันอยู่แล้ว ว่าลักษณะชั้นดินของดินกรุงเทพฯชั้นบนเป็นดินอ่อนที่มีการทรุดตัวได้สูง ดังนั้นในโครงการที่มีการถมดินหรือในพื้นที่ที่มีการสูบน้ำบาดาล อันเป็นผลให้ดินอ่อนในชั้นดังกล่าวเกิดการทรุดตัวได้ ผู้ออกแบบต้องพิจารณาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการทรุดตัวของดินอ่อนและเสาเข็มว่ามีความสัมพันธ์กันอย่างไร และเกิดผลที่ดินทรุดตัวมากกว่าเสาเข็มที่ทำให้เกิดแรงดูดเนื่องจาก Negative skin friction หรือไม่ โดยอาจใช้ผลการวิเคราะห์ด้วยวิธี Finite element มาพิจารณาประกอบเป็นต้น

6. สรุปผลการศึกษา

การทบทวนวิธีการออกแบบฐานรากเสาเข็มตอกในปัจจุบันสำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานครเน้นผลการสัมภาษณ์เชิงลึก (Deep interview) เพื่อให้เห็นแนวปฏิบัติปัจจุบันที่

ผู้ออกแบบและผู้ที่เกี่ยวข้องกับงานฐานรากดำเนินการอยู่
ครอบคลุมตั้งแต่การวางแผนการเจาะสำรวจจนถึงการเลือก
พารามิเตอร์ในการออกแบบ

ผลสรุปในส่วนแรก

(1) สำหรับพื้นที่กรุงเทพมหานครและส่วนใหญ่ใน
ประเทศไทย เลือกเทคนิคและวิธีการสำรวจดินด้วยวิธีการ
เจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring) ควบคู่กับการทดสอบดินใน
สนามด้วยวิธี SPT กระบอกรับตัวอย่างที่เลือกใช้ คือ ST
(สำหรับเก็บตัวอย่างคงสภาพดินอ่อนและแข็งปานกลาง) และ
SS (สำหรับเก็บตัวอย่างไม่คงสภาพ ในกรณีที่ดินเป็นดินแข็ง)
โดยการทดสอบในห้องปฏิบัติการที่ทดสอบ เป็นไปเพื่อการจำแนก
ประเภทของดินได้แก่ การทดสอบ Atterberg limit, การ
ทดสอบหา Natural water content, การทดสอบ Sieve
analysis การทดสอบหาค่า Unit weight เป็นต้น และการ
ทดสอบเพื่อหาคุณสมบัติทางด้านกำลังของตัวอย่างดินที่เก็บ
แบบคงสภาพ (Unconfined compression test) โดย
ขั้นตอนการปฏิบัติงาน อ้างอิงตามมาตรฐาน ASTM

(2) การแปลผลการทดสอบที่ได้จากในสนาม (SPT) เพื่อ
หาค่ากำลังรับแรงเฉือนของดินนั้น ผู้ออกแบบส่วนใหญ่
พิจารณาการปัจจัยที่เกิดจากความเค้นในแนวตั้งในชั้นทราย
มากที่สุด โดยผู้ออกแบบเลือกใช้สมการที่ได้จาก Peck [14]
โดยการแปลผลค่า N-value ไปเป็นค่า S_u ใช้สมการ
ความสัมพันธ์ของ NAVFAC [26] และจาก ค่า N-value ไป
เป็น ϕ ใช้ความสัมพันธ์ของ Peck [14] และ ส่วนใหญ่
ผู้ออกแบบยังคงเลือกใช้ค่าโดยพิจารณาจากสมการที่
หลากหลายเพื่อเปรียบเทียบข้อมูล

(3) การประเมินความสามารถในการรับน้ำหนักของ
เสาเข็ม ส่วนใหญ่พิจารณาจากคุณสมบัติของดินโดยรอบ
เสาเข็ม ค่าสัมประสิทธิ์ N_c ใช้ความสัมพันธ์ของ Skempton
[34] และ N_q ใช้ความสัมพันธ์ของ Tomlinson [36] ค่า
adhesion factor (α) และ K_s ความสัมพันธ์ของ Das [40]

และค่า δ มีค่าเท่ากับ 0.75ϕ [39] ส่วนการประเมิน
ความสามารถประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่มเลือกใช้วิธีของ
Converse-Labarre [40]

(4) การพิจารณาการทรุดตัว ผู้ออกแบบใช้แนวคิดของ
การวางปลายเสาเข็มอยู่บนชั้นดินแข็ง และไม่พิจารณาค่าแรง
ดูดลงของเสาเข็ม (Negative skin friction) เนื่องจากในการ
ออกแบบใช้การเผื่อด้วยค่าอัตราส่วนความปลอดภัย

(5) กำหนดการทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มทุกต้น
(ร้อยละ 100) ส่วนการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม
ด้วยวิธี Dynamic load test พิจารณาที่สัดส่วนร้อยละ 1-5
ของจำนวนเสาเข็มในโครงการ และ Static load test ที่
สัดส่วนร้อยละ 1-2 ของจำนวนเข็มในโครงการ แต่ทั้งนี้ยังต้อง
พิจารณาปัจจัยอื่นๆที่เกี่ยวข้องถึงความจำเป็นที่จะต้องทำการ
ทดสอบด้วย

(6) การออกแบบส่วนใหญ่ ผู้ออกแบบพิจารณา
กฎหมายและข้อกำหนดตามพระราชบัญญัติควบคุมอาคาร
และกฎหมายลูกที่ออกตามความในพรบ. และพิจารณา
มาตรฐานและข้อกำหนดของวสท. รวมถึงหน่วยงานต้นสังกัด
ที่ผู้ออกแบบต้องเข้าไปเกี่ยวข้อง

ผลสรุปในส่วนที่ 2: ประเด็นสำคัญที่จะเป็นคุณลักษณะ พิเศษของดินเหนียวกรุงเทพ

(1) สภาพและเงื่อนไขของพื้นที่ ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ
เป็นดินที่มีกำลังรับแรงเฉือนต่ำมาก ปริมาณน้ำในมวลดินสูง
เป็นดินที่มีความไวตัว และการทรุดตัวสูง ดังนั้นปัจจัยเหล่านี้
เป็นข้อจำกัดที่สำคัญในการออกแบบ ทำให้งานฐานราก
เสาเข็มในปัจจุบันต้องวางความยาวของเสาเข็มอยู่ในดินชั้นที่
2 ซึ่งเป็นดินเหนียวแข็งสลับกับชั้นทราย จากสภาพเงื่อนไข
ของพื้นที่นี้จะพบว่า การออกแบบต้องตรวจสอบข้อมูลจากผล
การเจาะสำรวจให้ถี่ถ้วน และต้องเชื่อมั่นในข้อมูลที่จะนำมา
ออกแบบ เนื่องจากสภาพดินเป็นดินที่ไวตัว ดังนั้นขั้นตอนการ

เก็บตัวอย่างดินในสนามหรือการขนย้ายตัวอย่างเพื่อนำมาทดสอบกำลังในห้องปฏิบัติการเป็นสิ่งที่ต้องระมัดระวัง

การพิจารณาผลของแรงดูดลงของเสาเข็ม (Negative skin friction) ที่ผู้ตอบแบบสอบถามส่วนใหญ่ เลือกใช้การเผื่อด้วยค่าอัตราส่วนความปลอดภัยนั้น ในการออกแบบจริงควรพิจารณาปัจจัยต่างๆ ที่ทำให้การทรุดตัวของดินโดยรอบเสาเข็มว่ามีความสัมพันธ์อย่างไรกับเสาเข็ม เพื่อให้การออกแบบเป็นไปอย่างถูกต้อง

(2) การเลือกการทดสอบด้วยวิธี SPT และแปลผลค่ากำลังของดินจากค่า N-value นั้น เป็นที่นิยมอย่างมากในประเทศไทย ถึงแม้ว่าอาคารบางอาคารในปัจจุบันจะมีเสาเข็มที่ยาวมากกว่า 60 เมตร ดังนั้นมาตรฐานการทำงานลักษณะนี้เป็นสิ่งที่ควรกลับมาทบทวนกันอย่างจริงจัง เนื่องจากการทดสอบ SPT ยังมีข้อจำกัดและความแปรปรวนอีกหลายปัจจัย ซึ่งการเลือกการทดสอบด้วยวิธีอื่นอาจเป็นแนวทางที่ดีกว่า

ทั้งนี้ข้อมูลเบื้องต้นเหล่านี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่เกี่ยวข้องกับการออกแบบและหน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับการร่างมาตรฐาน อาทิเช่น สำนักพัฒนามาตรฐาน กรมโยธาธิการและผังเมือง หรือองค์กรกำหนดมาตรฐาน โดยวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทยฯ เป็นต้น เพื่อหาแนวปฏิบัติที่ถูกต้องและเหมาะสมสำหรับงานวิศวกรรมฐานรากเสาเข็ม (Code for Foundation Engineering) หรือมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพที่เกี่ยวข้อง (Code of Practice) ในประเทศไทยที่จะเกิดขึ้นต่อไป

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] Randolph, M.F. (1994). Design methods for pile groups and piled rafts. 13th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, New Delhi, India, Vol.5, pp.61-82.
- [2] Amornfa, K., Phienweij, N. and Kitpayuck, P. (2012). Current practice on foundation design of high-rise buildings in Bangkok, Thailand. Lowland Technology International, Vol. 14, No.2, pp.70 – 83.
- [3] Promboon, S. and Jitjurjun, C. (2003). Format of Foundation Failures in Thailand, Academic Article, Inter Consult Co.,Ltd. (in Thai).
- [4] Ng, K.C. (1983). The construction problems and performance of large bored piles in second sand layer, Master thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- [5] Sambhandharaksa, S. (1989). Recent Piling Practice in Bangkok Plain, Proceedings of the Seminar Engineering for Coastal Development, Bangkok, Vol. 4, pp. 5 – 105 to 5 – 118.
- [6] Pimpasugdi, S. (1989). Performance of bored, driven and auger press piles in Bangkok subsoil, Master thesis, Asian Institute of Technology, Bangkok.
- [7] Submanee Wong, C. (1999). Behavior of instrumental barrette and bored piled in Bangkok subsoils, Master Thesis, Chulalongkorn University, Bangkok.
- [8] Boonyarak, T. (2002). Behavior of polymer slurry for wet-process bored pile construction in Bangkok subsoils, Master thesis, Chulalongkorn University, Bangkok.
- [9] Boonyatee, T., Tongjarukae, J., Uaworakunchai, T. and Ukritchon, B. (2015). A Review on Design of Pile Foundations in Bangkok, Geotechnical Engineering Journal of the SEAGS and AGSSEA, Vol. 46, No. 1, pp.76 – 85.
- [10] Yamane, Taro. (1967). Statistics, An Introductory Analysis. 2nd Ed. New York: Harper and Row.
- [11] Gibbs, H. J., and Holtz, W. G. (1957). Research on determining the density of sands by spoon penetration testing. Proceedings of the 4th International Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering, London, Vol. 1, pp. 35-39.
- [12] Bazaraa, R. S. (1967). Use of the standard penetration test for estimating settlements of shallow foundations on sand. Ph.D. thesis, University of Illinois, Urbana, Urbana, IL.
- [13] Tomlinson, M. J. (1969). Foundation design and construction. 2nd ed. Pitman, London, England.

- [14] Peck, R. B., Hanson, W. E., and Thornburn, T. H. (1974). Foundation Engineering. 2nd ed. John Wiley, New York. 514 p.
- [15] Seed, H.B., Arango, I., and Chan, C.K. (1975). Evaluation of Soil Liquefaction Potential during Earthquakes, Report No. EERC 75-28. Earthquake Engineering Research Center, University of California, Berkeley.
- [16] Riggs, C. O. (1986). North American Standard Penetration Test practice: An essay: in Use of In-situ Tests in Geotechnical Engineering. ASCE Geotechnical Special Publication No. 6.
- [17] Skempton, A. W. (1986). Standard Penetration Test Procedures and the Effects in Sands of Overburden Pressure, Relative Density. Particle Size, Aging and Overconsolidation. Geotechnique, v. 36:3, pp. 425-447.
- [18] Liao, S. S. C. and Whitman, R. V. (1986). Overburden Correction Factors for SPT in Sand. Journal of Geotechnical Engineering, A.S.C.E., v. 112:3, pp. 373-377.
- [19] Seed, H.B., Tokimatsu, K., Harder, L.F., and Chung, R.M. (1985). Influence of SPT Procedures in Soil Liquefaction Resistance Evaluation. Journal of Geotechnical Engineering, ASCE, Vol.111, No.12, pp. 142 27
- [20] Clayton, C. R. I. (1990). SPT Energy Transmission: Theory, Measurement, and Significance: Ground Engineering, Vol.23, No.10, pp. 35-43.
- [21] Simons, N., Menzies B., and Matthews, M. (2002). A Short Course in Geotechnical Site Investigation, Thomas Telford.
- [22] Bjerrum, L. (1972). Embankments on soft ground, proceedings, ASCE specialty Conference on performance on earth and earth supported structures, Purdue University, Lafayette, vol. II, pp. 1-54.
- [23] Morris, P.M., and Williams, D.T. (1994). Effective Stress Vane Shear Test Correction Factor Correlations, Canadian Geotechnical Journal. Vol.31, No.3, pp. 335-342.
- [24] Das, G., Lacasse, S., Lunne, I., and Hoeg, K. (1986). Use of In Situ Tests for Foundation Design in Clay. Proceedings of In Situ'86, ASCE, pp.1-30.
- [25] Terzaghi, K., and Peck, R. B. (1967). Soil Mechanics in Engineering Practice, Second Edition, John Wiley, New York, 729p.
- [26] NAVFAC (1986) Soil Mechanics: Design Manual 7.01, Naval Facilities Engineering Command, Alexandria, Virginia.
- [27] Stroud, M. A. (1974). The standard penetration test in insensitive clays and soft rock, Proceedings of the 1st European Symposium on Penetration Testing, Sweden: Stockholm, vol. 2, No. 2, pp. 367-375.
- [28] Pitupakorn, W. (1983). Prediction of pile carrying capacity from standard penetration test in Bangkok metropolis subsoil, Master thesis, Chulalongkorn University, Bangkok.
- [29] Meyerhof, G.G. (1956). Penetration Test and Bearing Capacity of Cohesionless Soils. Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE, Vol.82, No. SM1, pp. 1-19.
- [30] Kulhawy, F.H., and Mayne, P.W. (1990). Manual of Estimating Soil Properties for Foundation Design. Electric Power Research Institute, Palo Alto, USA.
- [31] Sambhandraksa, S. and Thanudklung, C. (1990). Modulus and Strength of Bangkok Sand Related to SPT Correlation. Proceedings of the 10th Southeast Asian Geotechnical Conference, Bangkok, Taipei, Taiwan, pp. 457 – 462.
- [32] Teixeira, A. H., Godoy, N. S. (1996). Analysis, design and execution of shallow foundations. In. HACHICH et al. (eds). Foundations: theory and practice. Sao Paulo: Pini, pp. 227-264.
- [33] Skempton, A.W. (1951). The Bearing Capacity of Clays. Proc. Building Research Congress, 180-189.
- [34] Skempton, A. W. (1959). Cast-in-situ bored piles in London Clay. Geotechnique, vol. 9, No.4, pp. 153-173.

- [35] Sower, G. F., Martin, C. B. & Wilson, L. L. (1961). The bearing capacity of friction pile groups in homogeneous clay from model studies. Proc. 5th Int. Conf. Soil Mech. 2, 155,
- [36] Tomlinson, M. J. (1995). Pile Design and Construction Practice. 4th edition, Chapman & Hall.
- [37] Bowles, J.E. (1996). Foundation Analysis and Design 5th Edition. McGraw Hill, Singapore.
- [38] Holmberg, S. (1970). Load testing of driven piles in Bangkok clay. Journal of South East Asian Society of Soil Engineering, Vol. 1, No.2, pp. 61-78.
- [39] Tomlinson, M. J. (1980). Foundation Design and Construction. 6th Edition. Longman Scientific & Technical, Essex, England.
- [40] Das, B.M. (1995). Principles of foundation engineering. 3rd Edition. PSW publishing Company.
- [41] Terzaghi, K. (1943). Theoretical Soil Mechanics. John Wiley, New York.
- [42] Vesic, A. S. (1977). Design of pile foundations. Transportation research board. National research council, Washington.
- [43] Poulos, HG. and Davis, EH. (1980). Pile foundation analysis and design, Wiley, New York.
- [44] Meyerhof, G.G. and Adams, J. I. (1968). The Ultimate Uplift Capacity of Foundations, Canadian Geotechnical Journal, Vol.5, No.4.
- [45] Bhushan, K. (1982). Discussion: New Design Correlations for Piles in Sands. Journal of Geotechnical Engineering Division, ASCE GT, 1508-1510.
- [46] The Engineering Institute of Thailand. (1978). Bearing Capacity of pile. (in Thai).
- [47] Coyle, H.M. and Castello, R.R. (1981). New design correlations for piles in sand. ASCE Journal of Geotechnical Engineering. 197(GT7), 965-985.
- [48] Ladd, C.C., and Foott, R. (1974). New design procedure for stability of soft clays. Journal of the Geotechnical Engineering Division, Vol. 100, No. 7, pp.763 – 786.
- [49] Sambhandharaksa, S. and Taesiri, Y. (1987). Development of Theory and Practice in Geotechnical Engineering. Theme Lecture No.1, 8th ARC on SMFE, Kyoto, Vol.2.
- [50] Bergado, D.T., Balasubramaniam, A., Fanni, R.J., and Holtz, R.D. (2002). Prefabricated vertical drains (PVDs) in soft Bangkok clay: a case study of the new Bangkok International Airport project. Canadian Geotechnical Journal, Vol.39, No.2, pp. 304 – 315.
- [51] Balasubramaniam, A., Oh, E. Y.-N. and Phienweij, N. (2009). Bored and driven pile testing in Bangkok sub-soil. Journal of Lowland Technology International. Vol.11, No.1, pp. 29 – 36.
- [52] Materials Research and Testing Division. (2016). A Knowledge of Soil Explorations. Department of Public Works and Town & Country Planning, Thailand. (in Thai).
- [53] Kuvichitjarus, S. (2001). Soil Investigation: Boring, Sampling and Field Tests. Bangkok: Kasetsart University Press. 247.
- [54] STS Group. (2016). STS Handbook A Guide for Testing Surveying Investigating and Monitoring for Civil Engineering and Environment Works. Bangkok: STS Engineering Consultants. 256p. (in Thai).
- [55] U.S. Department of Interior Bureau of Reclamation. (1998). Earth Manual Part 1. The 3rd, U.S. Government Printing Office, Washington, D.C