หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาของปัญหา

ฐานรากของอาคารในเขตกรุงเทพฯ ส่วนใหญ่มักจะใช้เสาเข็มตอก (ยกเว้นอาคารขนาดใหญ่ที่ออกแบบเสาเข็มให้รับน้ำหนักบรรทุกมากกว่า 100 ตันต่อต้นขึ้นไป) ดังนั้น การคำนวณกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มให้ได้ค่าใกล้เคียงกับความเป็นจริง จึงเป็นสิ่งสำคัญในการออกแบบ

เนื่องจากชั้นดินในกรุงเทพฯ มีดินชั้นบนเป็นดินอ่อนหนาประมาณ 12.0 เมตร ต่อจากนั้นเป็นชั้นดินเหนียวแข็งปานกลางและดินเหนียวแข็งซึ่งอยู่ถัดลงมาจากชั้นดินเหนียวอ่อนและมีความหนาอีกประมาณ 10.0 เมตร ส่วนชั้นทรายมักจะพบที่ความลึกไม่แน่นอน บางแห่งอาจพบที่ระดับความลึกจากผิวดินประมาณ -23.0 ถึง -25.0 เมตร หรือลึกกว่านี้ การออกแบบเสาเข็มของอาคารส่วนใหญ่จึงต้องใช้ข้อมูลดินจากชั้นดินเหนียวแข็งกับชั้นทรายเป็นส่วนใหญ่

การใช้สูตรคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจากคุณสมบัติของดิน (Static pile formula) เพื่อประหยัดราคาก่อสร้าง ค่าพารามิเตอร์ของดินที่เอาไปใช้คำนวณ จะต้องใช้ให้ได้กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มใกล้เคียงให้มากที่สุดกับความเป็นจริง (อาจเกิดขึ้นได้โดย compensation ของ error ก็ได้)

ในกรุงเทพฯ การเก็บตัวอย่างดินในงานเจาะสำรวจของชั้นดินเหนียวแข็งและทรายมักจะไม่เก็บตัวอย่างดินแข็งและทรายให้คงสภาพเดิม (Undisturbed sample) มาทดลองวัดกำลังของดินในห้องทดลอง มักจะเก็บตัวอย่างดินแบบ disturbed sample ด้วย Split barrel sampler พร้อมกับทำ Sounding test ไปด้วยในตัว ในวิธีการทำ Sounding มักจะใช้ Standard penetration test เพื่อหาค่าแรงทะลุมาตรฐาน N เพื่อความรวดเร็วการออกแบบเสาเข็มจึงมีความจำเป็นที่จะต้องใช้วิธีการประมาณค่าพารามิเตอร์ของดินเหนียวแข็งและทรายจากค่า N (SPT) ในหนังสือตำราทั่ว ๆ ไป ได้มีผู้เสนอความสัมพันธ์ของค่า N

ศูนย์วิทยทรัพยากร จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

กับกำลังจากการทดสอบการอัดโดยไม่ถูกจำกัด (Unconfined compressive strength, q_u) เช่น Terzaghi และ Peck (1948) และ Sowers (1961) และค่า N กับมุมเสียดทานประสิทธิผลของดินทราย ($\bar{\phi}$) เช่น Meyerhof (1956) Kishida (1967) และ Peck Hanson และ Thornburn (1974) ซึ่งได้มาจากการวิเคราะห์คุณสมบัติของชั้นดินในแถบยุโรปและอเมริกา ซึ่งอาจจะใช้กับชั้นดินในเขตกรุงเทพฯ ไม่ได้ สาเหตุอาจเกิดจากที่ดินมีคุณสมบัติทางด้านพื้นฐานไม่เหมือนกันทีเดียว และ Stress history ของดินไม่เหมือนกัน ซึ่งค่า N จะไม่แสดงความแตกต่างให้เด่นชัด และนอกจากนี้แล้ว การออกแบบเสาเข็มในดินเหนียวยังต้องใช้ค่าตัวประกอบการยึดเกาะ (adhesion factor α) ที่จะหาได้จากการทดสอบเสาเข็มและเป็นค่าสำหรับใช้ได้ในบริเวณหนึ่ง ดังนั้นเพื่อเป็นการออกแบบเสาเข็มให้ดีในกรุงเทพฯ เราจึงควรทราบคุณสมบัติของดินซึ่งมาจากวิธี empirical เหล่านี้ในเขตกรุงเทพฯ

1.2 <u>วัตถุประสงค์ของการวิจัย</u>

งานศึกษาและวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ใหญ่เพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของชั้นดินแข็งและทรายจากค่า N (SPT) และหาค่าตัวประกอบการยึดเกาะ (adhesion factor) สำหรับดินกรุงเทพฯ เพื่อใช้ในการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตอกชนิดคอนกรีตอัดแรงจากสูตร Static pile formula หรือจากสูตร empirical ต่าง ๆ ที่มีอยู่

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในดินเหนียวแข็ง การวิจัยแบ่งการวิเคราะห์ออกเป็น 3 ส่วน ดังนี้

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับกำลังจากการทดสอบการอัดโดยไม่ถูกจำกัด (q_u) จากข้อมูลการเจาะสำรวจดินทางด้านวิศวกรรม เพื่อเอาไปใช้หาค่า N ในการวิจัยส่วนที่ (2) และเพื่อใช้ในการคำนวณแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม ในกรณีที่มีแต่ข้อมูลเพียงค่า N จากการทดสอบ SPT เพื่อนำมาใช้ในการวิจัยในส่วนที่ (3) ในกรณีที่ปลายเสาเข็มอยู่ในดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) และใช้ในการคำนวณหน่วยแรงเสียดทานของเสาเข็มในกรณีที่ปลายเข็มอยู่ในดินทรายปนดิน (Clayey sand)

2. วิเคราะห์หาค่าตัวประกอบการยึดเกาะ (adhesion factor α) ของชั้นดินเหนียวแข็งจากผลการทดสอบเสาเข็มจนถึงน้ำหนักบรรทุกประลัย (น้ำหนักบรรทุกประลัยจาก

การทดสอบ คือน้ำหนักที่ทำให้ได้ค่าอัตราส่วนสูงสุดระหว่างค่าการทรุดตัวที่เพิ่มขึ้นต่อน้ำหนักที่เพิ่มขึ้น $\Delta S/\Delta P \simeq \alpha$ จากหลักการของ Vesic (1963)) โดยใช้ค่าหน่วยแรงเฉือนของดินจากการวัดกำลังอัดของดินโดยไม่ถูกจำกัด (Unconfined shear strength S_u) ที่วัดได้มาจากห้องทดลอง และ/หรือค่า S_u ที่ประมาณการจากค่า N (SPT)

๓. วิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างหน่วยแรงเสียดทาน (Ultimate skin friction) และหน่วยแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม (Ultimate end bearing) กับค่า N ที่วัดได้จากการทดสอบ SPT ในกรณีที่ปลายเข็มอยู่ในดินแข็งหรือดินทรายปนดิน (Clayey sand)

สำหรับการวิเคราะห์ข้อมูลในชั้นดินทรายปนดินเหนียว (Clayey sand) การวิจัยประกอบด้วยการวิเคราะห์หาเฉพาะความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างหน่วยแรงเสียดทาน (Ultimate skin friction) และหน่วยแรงต้านที่ปลายเข็ม (Ultimate end bearing) ของเสาเข็มกับค่า N จาก SPT ของ Clayey sand นอกจากนั้นยังได้วิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่าN กับค่า equivalent* มุมเสียดทานประสิทธิผลของดิน (Equivalent effective angle of internal friction $\bar{\phi}$) โดยใช้ผลจากการทดสอบเสาเข็ม เพื่อเอาค่า $\bar{\phi}$ มาให้ได้ใช้ในงานด้านอื่น

1.3 ขอบเขตของงานวิจัย

ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัยนี้ประกอบด้วย ข้อมูลการเจาะสำรวจดินทางด้านวิศวกรรมจากจำนวนหลุมเจาะ 144 จุดของงานทั้งหมด 75 โครงการ หน่วยงานตั้งอยู่ในเขตท้องที่ลาดกระบัง สะพานควาย ดินแดง ลาดพร้าว บางซื่อ สามเสน พญาไท ลุมพินี เพลินจิต สุขุมวิท กล้วยน้ำไท ช่องนนทรี หัวลำโพง ราษฎรบูรณะ ภาษี เจริญและสะพานพุทธ ซึ่งลักษณะของชั้นดินในกรุงเทพฯ สามารถแบ่งออกได้เป็น 4 ชั้นด้วยกัน คือ ชั้นผิวดิน (Weathered clay) หนาประมาณ ๓.๐ ถึง ๕.๐ เมตร ชั้นดินอ่อนหนาประมาณ ๖.๐ ถึง ๑๒.๐ เมตร ชั้นดินแข็งอยู่ถัดจากชั้นดินอ่อนหนาประมาณ ๕.๐ ถึง ๑๐.๐ เมตร (บางแห่งอยู่ลึกลงไปถึงระดับ -๓๐.๐ เมตรจากผิวดิน) ชั้นดินถัดไปเป็นชั้นดินทรายละชั้นดินเหนียวสลับชั้นทราย ส่วนข้อมูลการทดสอบเสา

---

* เพราะว่าดินทรายปนดิน (Clayey Sand) มีทั้งค่า $\bar{C}$ และ $\bar{\phi}$

เข็มชนิดเสาเข็มตอก มีจำนวน 43 ต้น เป็นเสาเข็มที่มีปลายเข็มจมอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งจำนวน 34 ต้น และปลายเข็มจมอยู่ในชั้นดินทรายปนดินเหนียว จำนวน 9 ต้น เนื่องจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่มีปลายเข็มจมอยู่ในชั้นทรายสะอาด (Dense silty sand) หาได้ยากมาก จึงไม่ได้ทำการวิจัยเพื่อการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่จมอยู่ในชั้นทรายสะอาด เสาเข็มทั้ง 43 ต้นมีขนาดตั้งแต่ 0.25 เมตร จนถึงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม 0.60 เมตร ความลึกของปลายเข็มประมาณ -18.50 ถึง -28.60 เมตร จากผิวดิน รูปร่างหน้าตัดของเสาเข็มทางเรขาคณิตมีรูปสี่เหลี่ยมตัน (Solid square) รูปสี่เหลี่ยมมีรูกลวงตรงกลาง (Hollow square) เสาเข็มกลมมีรูกลวงตรงกลาง เสาเข็มรูปตัวไอ (I) เสาเข็มรูป Double half moon ซึ่งทั้งหมดนี้เป็นเสาเข็มประเภทคอนกรีตอัดแรงและมีเสาเข็มเหล็กรูป Wide Flange เพียง 2 ต้น จึงไม่สามารถจะหาความแตกต่างทางพฤติกรรมของเสาเข็มระหว่างเสาเข็มทำด้วยคอนกรีตอัดแรงหรือทำด้วยเหล็ก

1.4 วิธีการดำเนินการวิจัยโดยย่อ

1.4.1 การหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับค่า N

ทำการวิจัยโดยใช้หลักการทางสถิติหาค่าคงที่ที่เหมาะสมระหว่างค่า q_u กับ N ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรกของชั้นดินกรุงเทพฯ โดยแยกความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับ N ตาม plasticity ของดิน ซึ่งค่า N และ q_u รวบรวมมาจากข้อมูลการเจาะสำรวจดินทางด้านวิศวกรรมและโมเดลคณิตศาสตร์ที่ใช้ในการวิจัยนี้ ใช้รูปแบบเดียวกันกับการเสนอความสัมพันธ์ระหว่างค่า q_u กับ N โดย Terzaghi และ Peck (1948) De Mello (1971) และ Sowers (1961) (นั่นคือ เสนอความสัมพันธ์ของค่า N กับ q_u ตามประเภทของดิน เช่น low plasticity และ clayey silts medium plasticity และ high plasticity)

1.4.2 การหาค่าตัวประกอบการยึดเกาะ (α) ของดินเหนียวแข็ง

คำนวณจากค่าแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มตอกทำด้วยคอนกรีตอัดแรงในส่วนที่จมอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็ง ซึ่งค่าแรงเสียดทานที่ผิวของเสาเข็มในชั้นดินเหนียวแข็ง หาได้จากการเอาค่าแรงต้านที่ปลายเข็ม (คำนวณจากสูตร $Q_p = 9S_uA_p$) และแรงเสียดทานของดินเหนียวอ่อนและแข็งปานกลางชั้นบน (คำนวณจากสูตร $Q_s = \alpha S_uA_s$ และค่า α ของดินอ่อนที่มี S_u อยู่ระหว่าง 1.0 ถึง 2.5 ตันต่อตารางเมตร และดินแข็งปานกลางที่มีค่า S_u อยู่ระหว่าง 2.5 ถึง 5.0 ตันต่อตารางเมตร

เอามาจากค่าที่เสนอโดย Tomlinson (1957)) หักออกจากค่าน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ทดสอบได้ในสนาม ค่า S_u (Undrained shear strength) ของดินอ่อนและแข็งปานกลาง ใช้ค่าหน่วยแรงเฉือนซึ่งเป็นค่าเฉลี่ยทั้ง Stratum ได้มาจากการวัดกำลังอัดของดินโดยไม่ถูกจำกัด (Unconfined shear strength) ที่วัดได้จากห้องทดลอง ส่วนค่า S_u ของดินเหนียวแข็งใช้ค่าหน่วยแรงเฉือนจากการวัดกำลังอัดของดินโดยไม่ถูกจำกัดที่วัดได้จากห้องทดลอง และ/หรือประมาณการจากค่า N โดยคิดเอาค่าเฉลี่ยทั้ง Stiff clay stratum มาใช้

1.4.3 <u>การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างหน่วยแรงเสียดทานและหน่วยแรงต้านที่ปลายเข็มกับค่า N(SPT) ของดินเหนียวแข็ง</u>

การหาค่าแรงเสียดทานเฉพาะในส่วนของดินแข็งก็ทำลักษณะเดียวกับในการที่หาค่า α ของดินเหนียวแข็ง (ข้อ 1.4.2) และหน่วยแรงเสียดทานของดินเหนียวแข็ง (q_s) คำนวณเฉพาะจากการเอาค่าแรงเสียดทานในดินเหนียวแข็งที่หามาได้หารด้วยพื้นที่ผิวของเสาเข็มในส่วนที่จมอยู่ในดินแข็ง ส่วนหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็ม (q_p) คำนวณจาก $q_p = 9S_u$ เมื่อหาค่า q_s และ q_p ได้แล้ว จึงใช้หลักการทางสถิติหาความสัมพันธ์ระหว่าง q_s และ q_p กับค่า N และสรุปเป็นสูตร empirical ในรูปแบบคล้ายกับที่เสนอโดย Meyerhof (1956) ซึ่งใช้ได้ส่วนมากในกรณีที่ปลายเข็มอยู่ในชั้นทรายสะอาด

1.4.4 <u>การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์แบบ empirical ระหว่างหน่วยแรงเสียดทานและแรงต้านที่ปลายของเสาเข็มกับค่า N(SPT) ของดินทรายปนดินเหนียว</u>

หาค่าแรงต้านของเสาเข็มเฉพาะในส่วนที่จมอยู่ในชั้นดินทรายปนดินเหนียว ทำได้โดยหักค่าแรงเสียดทานของดินเหนียวช่วงบนทั้งหมดออกจากค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัยที่ทดสอบได้ในสนาม (โดยใช้วิธีของข้อ 1.4.2) แรงต้านที่หามาได้นี้เป็นผลรวมของแรงเสียดทานและแรงต้านทานที่ปลายของเสาเข็ม

การคำนวณแยกหาหน่วยแรงเสียดทาน (q_s) และหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเข็ม (q_p) ของดินทรายปนดินเหนียว ทำโดยวิธี Trial and error โดยสมมติมุม $\bar{\phi}$ แล้วหาค่าตัวประกอบวิสัยสามารถรับแรงทาน (N_q) ซึ่งสัมพันธ์กับมุม $\bar{\phi}$ ที่เสนอโดย Meyerhof (1976) แล้วคำนวณค่า q_p และคำนวณหาค่า q_s โดยใช้ค่ามุม equivalent $\bar{\phi}$ อันเดียวกัน (คำนวณโดยใช้สูตรและวิธีการที่เสนอโดย Meyerhof 1976) เมื่อเอาค่า q_s และ q_p

และผลรวมที่คำนวณได้จากการ Trial มุม equivalent $\bar{\phi}$ อันหนึ่งซึ่งมาคำนวณแรงต้านทานรวมจนได้ใกล้เคียงหรือเท่ากับแรงต้านทานรวมที่หามาได้จากการทดสอบเสาเข็มที่กล่าวข้างต้น ค่า $\bar{\phi}$ ที่ได้ถือว่าเป็น equivalent $\bar{\phi}$ ของดินทรายปนดินเหนียวในสนามแล้วก็จะให้ค่า q_s และ q_p เฉพาะของดินทรายปนดินเหนียวที่รองรับเสาเข็มทดสอบนี้

อนึ่งในการคำนวณค่า q_s และ q_p ได้ใช้วิธีการคำนวณแบบ effective stress analysis ค่าความเค้นประสิทธิผลของดินในแนวดิ่ง ($\bar{\sigma}_{vo}$) จึงคิดจากค่าความเค้นเนื่องจากน้ำหนักของดินทั้งหมด (Total stress) ลบด้วยหน่วย แรงดันของน้ำในดิน (Pore water pressure) ซึ่งค่าหน่วยแรงดันของน้ำในดินประมาณได้จาก เส้น Contour บอกค่าระดับน้ำในชั้นทรายในเขต กทม. ที่เสนอโดย ดร. จิระศักดิ์ เปรมจิต (1979) (โดยตั้งสมมุติฐานว่าไม่มี head loss ในชั้นทราย เนื่องจากการสูบน้ำบาดาล)

ต่อจากนั้นจึงทำการหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าที่ได้ของ q_s และ q_p กับ N จะใช้หลักการทางสถิติเช่นเดียวกับข้อ 1.4.3

1.4.5 <u>การวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับมุม equivalent $\bar{\phi}$ ของดินทรายปนดินเหนียว</u>

จากการหาค่ามุม equivalent $\bar{\phi}$ จากผลการทดสอบเสาเข็มในข้อ 1.4.4 และค่า N(SPT) ของดินทรายปนดินจากข้อมูลเจาะดินในหน่วยงานเดียวกับข้อมูลทดสอบเสาเข็ม ทำให้สามารถเอามาสรุปความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับมุม equivalent $\bar{\phi}$ ที่หาได้ด้วยหลักการทางสถิติเพื่อหาสมการแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่า N กับมุม equivalent $\bar{\phi}$ ของดินทรายปนดินเหนียวในดินกรุงเทพฯและนำไปใช้หาค่า N_q โดยใช้ความสัมพันธ์ของ Meyerhof (1976) เท่านั้น

1.5 <u>ประโยชน์ที่จะได้จากการวิจัย</u>

ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้ คาดว่าจะช่วยให้ผู้ออกแบบเสาเข็มสามารถคาดคะเนน้ำหนักบรรทุกประลัยของเสาเข็มตอกทำด้วยคอนกรีตอัดแรงในดินกรุงเทพฯ จากค่า N(SPT) ได้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น โดยใช้ค่าพารามิเตอร์ของดินที่ประมาณการจากค่า N(SPT) และสูตร empirical แต่อย่างไรก็ตาม กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มและค่า S_u ที่ได้โดยประมาณ

จากค่า N(SPT) จากผลของการวิจัยครั้งนี้ อาจจะเหมาะสมสำหรับใช้ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักในแนวแกนของเสาเข็มตอกทำด้วยคอนกรีตอัดแรงในชั้นดินบริเวณกรุงเทพฯ เท่านั้น เนื่องจากข้อมูลคุณสมบัติของดินและผลการทดสอบเสาเข็มเป็นข้อมูลของดินในกรุงเทพฯ ด้วยเหตุผลอันเดียวกัน ความสัมพันธ์ระหว่าง α กับ S_u ก็คงได้เฉพาะในดินกรุงเทพฯ และในกรณีที่เสาเข็มอยู่ลึกไม่เกิน 30 เมตร

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย