

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

3.1.1 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน

ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณใกล้เคียงตำแหน่งที่ก่อสร้างเสาเข็มเจาะที่รวบรวมได้ เพื่อใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ ประกอบด้วย ความลึกของชั้นดินแต่ละชั้น ลักษณะของดินในชั้นนั้นๆ คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินที่ได้จากห้องปฏิบัติการและในสนาม เช่น ปริมาณความชื้นในมวลดิน (Natural Water Content) ค่าหน่วยน้ำหนักรวมของมวลดิน (Unit Weight) ค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ (Undrained Shear Strength) ที่ได้จากการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ในแต่ละชั้นดิน ซึ่งแสดงไว้ในภาคผนวก ทั้งนี้ การนำค่าพารามิเตอร์ของดินข้างต้นเพื่อใช้ในการวิเคราะห์นั้น ขึ้นอยู่กับวิจารณ์และประสบการณ์แต่ละบุคคล ดังนั้นผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่ได้อาจมีความคลาดเคลื่อนไปบ้าง

ข้อมูลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดในโครงการเดียวกันพร้อมกับข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดินที่ใช้ในการวิจัยครั้งนี้แสดงอยู่ในภาคผนวก ส่วนบริเวณพื้นที่โครงการที่ทำการทดสอบเสาเข็มแสดงในรูปที่ 3.1

3.1.2 ข้อมูลเสาเข็มที่ใช้ในการวิจัย

ประเภทเสาเข็มเจาะที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้แบ่งเป็น เสาเข็มเจาะที่มีการทดสอบโดยวิธี Bi-Directional Static Load Test ซึ่งมีการก่อสร้างเป็นครั้งแรกในประเทศไทย และเนื่องด้วยงบประมาณ ที่ใช้ในการทดสอบโดยวิธีนี้มีค่อนข้างสูง ดังนั้นจึงมีการก่อสร้างทั้งหมดจำนวน 2 ต้น ส่วนอีก 5 ต้น เป็นเสาเข็มเจาะที่อยู่ภายในบริเวณพื้นที่โครงการเดียวกัน ทำการทดสอบโดยวิธี Conventional Static Load Test ดังแสดงในรูปที่ 3.1

ลักษณะของเสาเข็มเจาะทั้ง 7 ต้น ที่ทำการศึกษาในครั้งนี้ เป็นเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด (Fully Instrumented Test Piles) ทั้ง Vibrating Wire Strain Gauge (VWSGs) และ Mechanical Extensometer (Telltales) โดยตำแหน่งที่ติดตั้ง VWSGs จะอยู่ตรงความลึกที่มีการ

เปลี่ยนแปลงชั้นดิน ส่วน Extensometer ในเสาเข็มเจาะที่ทำการทดสอบโดยวิธี Conventional Static Load Test จะติดตั้งที่ความลึก 2 ระดับ คือ ระดับความลึกบริเวณปลายเข็มและระดับความลึกที่สนใจ ทั้งนี้เพื่อเป็นการยืนยันผลที่ได้กับ VWSGs เท่านั้น ไม่สามารถนำผลจาก Extensometer มาใช้วิเคราะห์หาแรงตามแนวแกนได้อย่างสมบูรณ์ ส่วนการติดตั้ง Extensometer ในเสาเข็มที่ทำการทดสอบโดยวิธี Bi-Directional Static Load Test จะติดตั้งทั้งหมด 4 ระดับคือ Top of top jack, Bottom of top jack, Top of bottom jack และ Bottom of bottom jack เพื่อวัดการเคลื่อนตัวของ Hydraulic Jack ได้โดยตรง ดังแสดงในรูปที่ 3.2 ดังนั้น ในงานวิจัยนี้จะนำผลจาก VWSGs มาทำการวิเคราะห์หาแรงตามแนวแกนตลอดความยาวเข็ม ส่วนการเคลื่อนตัวของเข็มได้จาก Extensometer สำหรับการทดสอบโดยวิธี Bi-Directional Static Load Test และ Settlement Gauge ที่ระดับหัวเข็ม สำหรับการทดสอบโดยวิธี Conventional Static Load Test

3.1.2.1 เสาเข็มเจาะที่ทำการทดสอบโดยวิธี Conventional Static Load Test

เสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและทำการทดสอบโดยวิธีนี้มีทั้งหมด 5 ต้น ภายในพื้นที่โครงการเดียวกัน แบ่งเป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 600 มิลลิเมตร 4 ต้น คือ TP-13/1, TP-14, TP-16, TP-17 โดยมีความยาวเข็มเท่ากับ 30.31, 30.28, 35.10 และ 35.66 เมตร ตามลำดับ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1000 มิลลิเมตรมี 1 ต้น คือ TP-18 มีความยาวเข็ม 41.10 เมตร สำหรับสารละลายที่ใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะมีทั้งสารละลายเบนโทไนท์ (Bentonite Slurry) และ สารละลายโพลีเมอร์ผสมสารละลายเบนโทไนท์ ตามรายละเอียดดังแสดงใน ตารางที่ 3.1

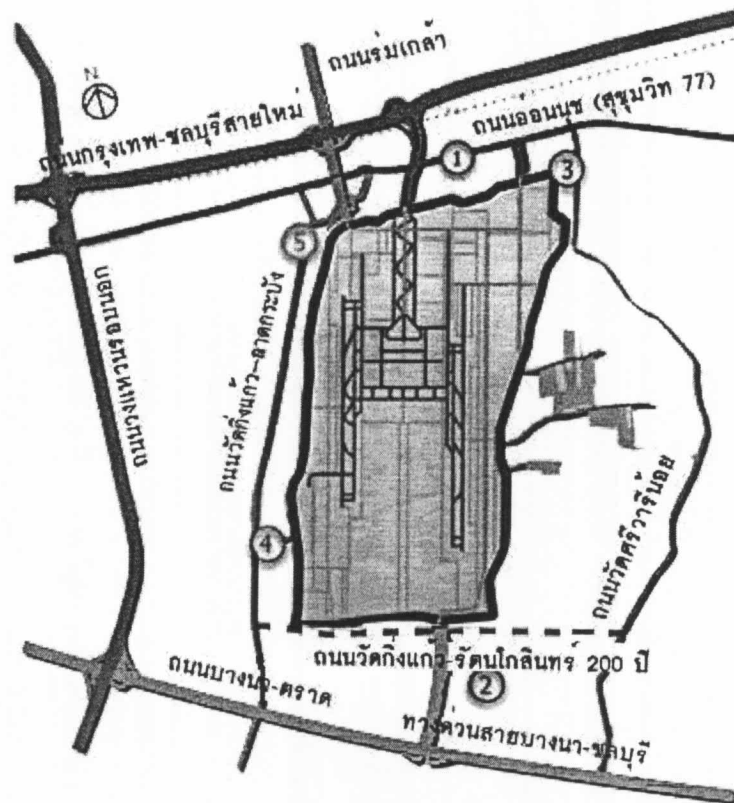
ในส่วนของการวิเคราะห์หาแรงตามแนวแกนคำนวณได้จาก VWSGs และการเคลื่อนตัวของเข็มวัดได้จาก Dial Gauge ที่ตำแหน่ง Pile Top

3.1.2.2 เสาเข็มเจาะที่ทำการทดสอบโดยวิธี Bi-Directional Static Load Test

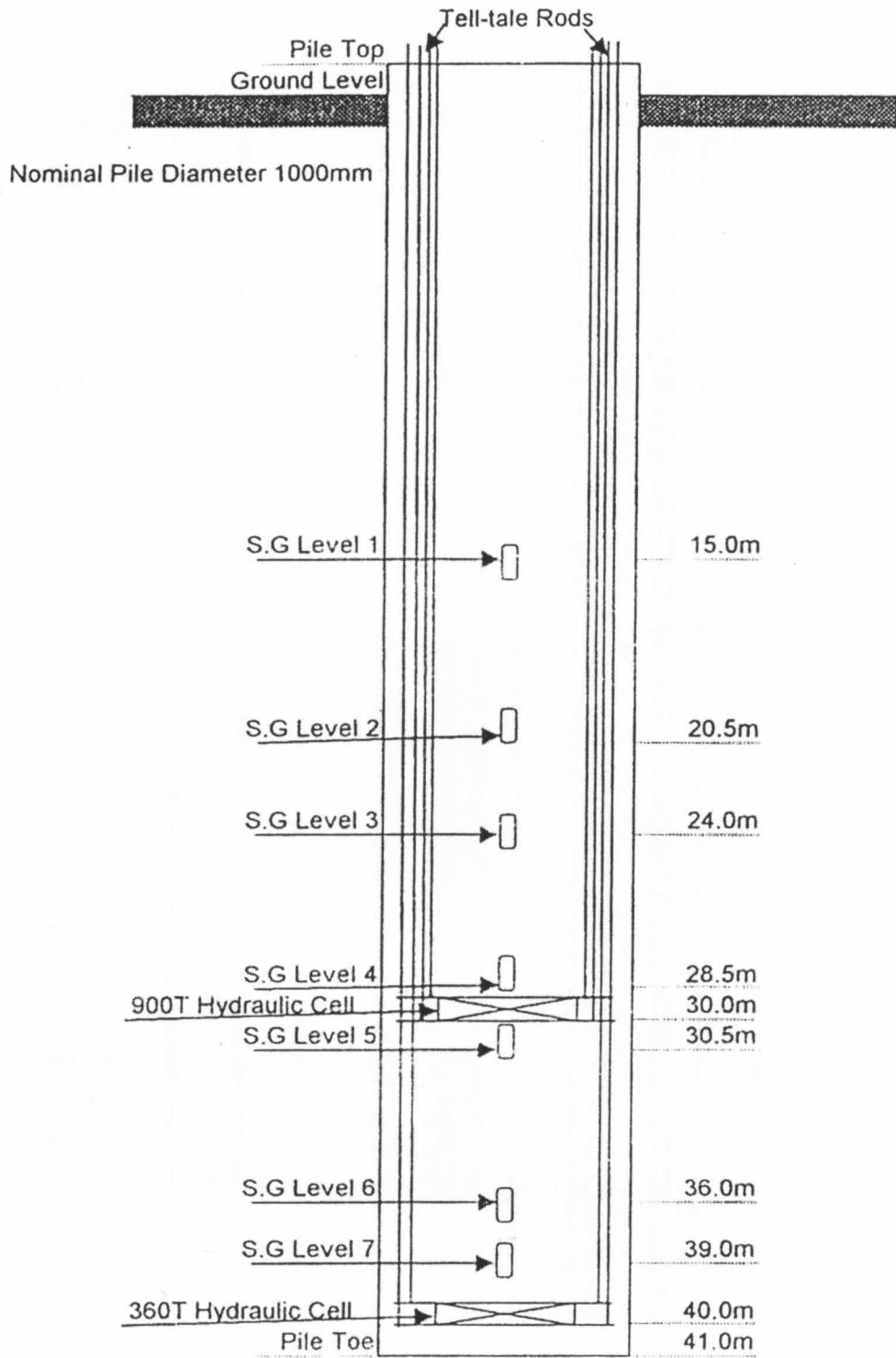
จากข้อมูลเสาเข็มที่รวบรวมได้จัดอยู่ในประเภทเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ คือ มีเส้นผ่าศูนย์กลางมากกว่า 600 มิลลิเมตรขึ้นไป มีความยาวเข็มมากกว่า 40 เมตร มีการติดตั้งเครื่องมือวัดทั้ง VWSGs, Extensometer และ Hydraulic Jack โดยทำการติดตั้ง Hydraulic Jack จำนวน 2 ตัว ต่อเข็ม 1 ต้น คือ ที่ระดับปลายเข็มและช่วงกลางเสาเข็ม ซึ่งก่อนทำการติดตั้งต้องพิจารณาว่า Hydraulic Jack ที่จะติดตั้งในช่วงกลางของเสาเข็มนั้น ต้องอยู่ที่ระดับความลึกเท่าไรจึงจะเหมาะสม สำหรับการทดสอบทั้ง 3 Stage เพื่อให้เห็นถึงพฤติกรรมการถ่ายแรงจากเสาเข็มไปสู่ดินได้อย่างชัดเจน ซึ่งตรวจสอบชั้นดินได้จาก Boring Log ส่วนสารละลายที่ใช้เพื่อรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะทั้ง 2

หลุม คือ สารละลายโพลีเมอร์ผสมเบนโทไนท์ ส่วนปลายเข็มหยั่งอยู่ในชั้นทรายแน่นชั้นที่สองทั้ง 2 ต้น ดังแสดงใน ตารางที่ 3.1

ในส่วนของการวิเคราะห์หาแรงตามแนวแกนคำนวณได้จาก VWSGs และการเคลื่อนตัวของเข็มได้จาก Extensometer ที่ตำแหน่งของ Hydraulic Jack



รูปที่ 3.1 บริเวณที่ตั้งพื้นที่โครงการที่มีการทดสอบเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้



รูปที่ 3.2 ลักษณะการติดตั้งเครื่องมือวัดในเสาเข็มที่ทำการทดสอบโดยวิธี
Bi-Directional Static Load Test

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเสาเข็มทดสอบที่รวบรวมได้

เสาเข็ม	ชนิดการทดสอบ	เส้นผ่าศูนย์กลางเข็ม (mm)	ระดับหัวเข็ม (m MSL)	ระดับปลายเข็ม (m MSL)	ความยาวเข็มที่ออกแบบ (m)	น้ำหนักทดสอบสูงสุด (tons)	ชนิดของ Slurry
Instumented Bored Pile (TP-15,BH-1)	Bi-Directional Static Load Test	1000	0.07	-41.29	41.00	1400	Polymer
Instumented Bored Pile (TP-19,B-6)	Bi-Directional Static Load Test	1200	0.30	-41.19	41.50	2284	Polymer
Instumented Bored Pile (TP-13/1,BH-1)	Static Pile Load Test	600	0.19	-30.31	30.31	300	Polymer
Instumented Bored Pile (TP-14,BH-12)	Static Pile Load Test	600	0.82	-30.28	30.28	375	Polymer
Instumented Bored Pile (TP-17,BN-5)	Static Pile Load Test	600	0.07	-35.66	35.66	500	Polymer
Instumented Bored Pile (TP-16,BN-5)	Static Pile Load Test	600	0.08	-35.10	35.10	400	Bentonite
Instumented Bored Pile (TP-18,BN-5)	Static Pile Load Test	1000	0.15	-41.10	41.10	1350	Bentonite

Note:

TP = Test Pile No.

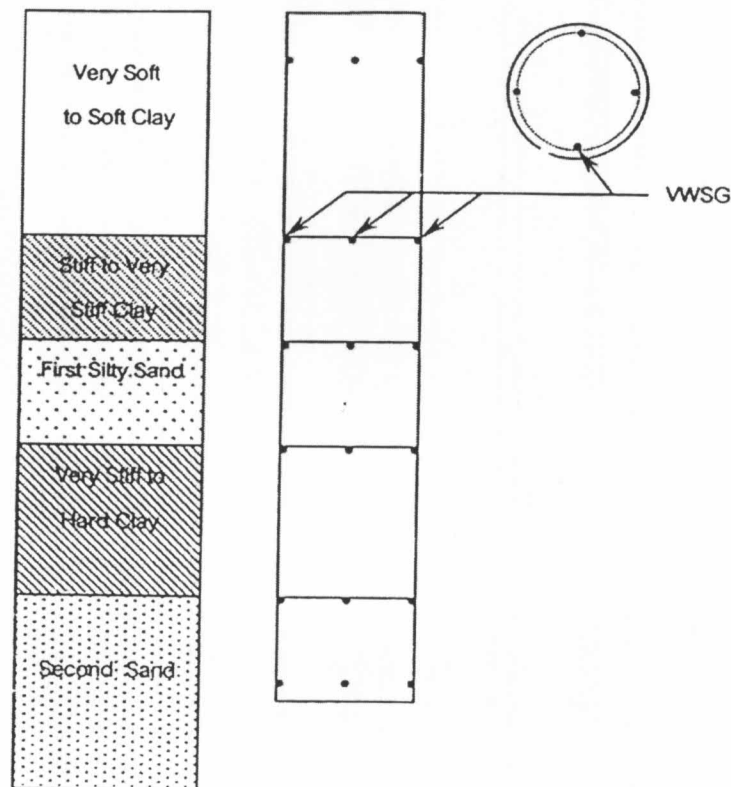
B,BH,BN = Test Location

3.2 วิธีการวิเคราะห์และข้อจำกัดในการวิเคราะห์

วิธีการวิเคราะห์ในขั้นต้นจำเป็นต้องทราบพฤติกรรมการส่งถ่ายแรงตามแนวแกนตลอดความยาวเสาเข็มทดสอบ ซึ่งวิเคราะห์ได้จากการติดตั้ง Vibrating wire Strain Gauges (VWSGs) จากนั้นก็จะสามารถวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงเสียดทานรอบๆ เสาเข็ม (Unit Skin Friction, f_s) ที่แต่ละชั้นดินและหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Unit End Bearing Resistance, q_E) ได้

3.2.1 ลักษณะการติดตั้ง Vibrating Wire Strain Gauges

จากข้อมูลที่รวบรวมได้ในงานวิจัยนี้พบว่า การติดตั้ง VWSGs จะติดตั้งกับโครงเหล็กเสริมในแต่ละระดับประมาณ 2-3 ตัว เพื่อนำค่ามาเฉลี่ย โดยให้มีตำแหน่งการติดตั้งตรงกับความลึกที่มีการเปลี่ยนแปลงชั้นดินดังรูปที่ 3.3 ซึ่งการกำหนดตำแหน่งบริเวณเหล็กเสริมต้องอาศัยข้อมูลชั้นดินจากการเจาะสำรวจที่แสดงในรูปของ Boring Log เพื่อให้มีตำแหน่งการติดตั้งตรงตามระดับความลึกที่ต้องการ



รูปที่ 3.3 แสดงตำแหน่งการติดตั้ง Vibrating Wire Strain Gauges

3.2.2 การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม

3.2.2.1 ชั้นดินเหนียว

การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มในชั้นดินเหนียวจะเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Adhesion Factor (α) กับค่า Undrained Shear Strength (S_u) หากค่า α โดยการวิเคราะห์หาค่ากลับจากหน่วยแรงเสียดทานด้านข้าง (Unit Skin Friction, f_s) ในชั้นดินเหนียวดังสมการ

$$\alpha = f_s / S_u$$

ค่า f_s ในชั้นดินเหนียวได้จากการวิเคราะห์แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในตัวเสาเข็มที่ระดับความลึกตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน โดยพิจารณาน้ำหนักของเสาเข็มในแต่ละช่วงที่แบ่ง สำหรับค่า f_s ในชั้นดินเหนียวแต่ละชั้นแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณีที่ความเค้นในชั้นดินเหนียวแต่ละชั้นพัฒนาตัวจนเต็มที่ (Fully Mobilized) ค่า f_s ที่ใช้คำนวณคือ $f_{s, \text{ที่จุดวิกฤติ}}$ อีกกรณีคือความเค้นในชั้นดินเหนียวแต่ละชั้นพัฒนาตัวไม่ถึงจุดวิกฤติ ค่า f_s ที่ใช้คำนวณคือค่าความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุดในชั้นดินแต่ละชั้นขณะทดสอบ

ค่า S_u ในชั้นดินเหนียวอ่อนใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test นำมาหาค่าเฉลี่ยตลอดชั้นดิน สำหรับชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay or Hard Clay) หาค่า S_u ได้จากค่า SPT N-Value ที่เสนอความสัมพันธ์โดยวีระนันท์ (2526) ทั้งนี้ค่า N ที่ได้จากการทดสอบ SPT ในชั้นดินเหนียวไม่ต้องทำการปรับแก้

3.2.2.2 ชั้นทราย

การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มในชั้นทรายจะเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่างค่า Friction Factor (β) ซึ่งมีค่าเท่ากับ $k_s \tan \delta$ กับค่ามุมเสียดทานภายในประสิทธิผล (ϕ') โดยหาค่า β จากการวิเคราะห์หาค่ากลับจากหน่วยแรงเสียดทานด้านข้าง (Unit Skin Friction, f_s) ในชั้นทรายกับค่า Effective Overburden Pressure ดังสมการ

$$\beta = f_s / \sigma'_{vi}$$

ค่า f_u ในชั้นทรายได้จากการวิเคราะห์แรงตามแนวแกนที่เกิดขึ้นภายในตัวเสาเข็มที่ระดับความลึกตรงบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงชั้นดิน โดยพิจารณาน้ำหนักของเสาเข็มในแต่ละช่วงที่แบ่ง สำหรับค่า f_u ในชั้นทรายแต่ละชั้นแบ่งเป็น 2 กรณี คือ กรณี ที่ความเค้นในชั้นทรายแต่ละชั้นพัฒนาตัวจนเต็มที่ (Fully Mobilized) ค่า f_u ที่ใช้คำนวณคือ f_u ที่จุดวิกฤติ อีกกรณีคือความเค้นในชั้นทรายแต่ละชั้นพัฒนาตัวไม่ถึงจุดวิกฤติ ค่า f_u ที่ใช้คำนวณคือค่าความเค้นที่เกิดขึ้นสูงสุดในชั้นทรายแต่ละชั้นขณะทดสอบ

ค่ามุม ϕ' ในชั้นทรายเป็นค่าที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ' กับค่า N' ที่ปรับแก้เนื่องจากผลของ σ'_{vi} ซึ่งเสนอโดย Peck Hanson & Thornburn (1974)

ค่า σ'_{vi} เป็นค่า Effective Overburden Pressure ณ ตำแหน่งกึ่งกลางชั้นทรายที่พิจารณา ในการคำนวณค่า σ'_{vi} จากสมการข้างต้นจะพิจารณาถึงผลกระทบจากการสูบน้ำบาดาลในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ทำให้เกิดการ Drawdown ของระดับน้ำใต้ดิน (Piezometric Level) ดังรูปที่ 2.4 มีผลให้ค่า σ'_{vi} เพิ่มขึ้น

3.2.3 การประมาณค่าแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

3.2.3.1 กรณีปลายเข็มหยั่งในชั้นดินเหนียว

จะเสนอในรูปของความสัมพันธ์ระหว่าง Bearing Capacity Factor, N_c กับค่า Undrained Shear Strength, S_u เมื่อ ทำการวิเคราะห์กลับจะหาค่า N_c ได้จากสมการ

$$N_c = q_E / S_u$$

ค่าความต้านทานของดินที่ปลายเข็มจะเกิดขึ้นเต็มที่เมื่อการทรุดตัวของเข็มมีค่าอยู่ระหว่าง 10-15% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม (Cooke and Whitaker, 1961) ในการวิจัยนี้ใช้ค่า q_E ณ ค่าการทรุดตัวที่เกิดขึ้นเท่ากับ 10% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ในกรณีที่การทรุดตัวเมื่อหยุดการทดสอบเสาเข็มมีค่าไม่ถึง 10% ของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม ก็ใช้ค่า q_E ที่การทรุดตัวเกิดขึ้นสูงสุด ส่วนค่า S_u ได้จากค่า SPT N-Value ที่เสนอความสัมพันธ์โดยวีระนันท์ (2526) ทั้งนี้ค่า N ที่ได้จากการทดสอบ SPT ในชั้นดินเหนียวไม่ต้องทำการปรับแก้

3.2.3.2 กรณีปลายเข็มหยั่งในชั้นทราย

จะเสนอในรูปแบบของความสัมพันธ์ระหว่าง Mobilized Bearing Capacity Factor, N_q กับค่ามุมเสียดทานภายในประสิทธิผล (ϕ') ซึ่งค่า Mobilized N_q วิเคราะห์กลับจากหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (q_E) ดังสมการ

$$\text{Mobilized } N_q = q_E / \sigma'_v$$

ค่า σ'_v เป็นค่า Effective Overburden Pressure ที่ระดับความลึกปลายเข็ม ในการคำนวณค่า σ'_v จะพิจารณาถึงผลกระทบจากการสูบน้ำบาดาลในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ทำให้เกิดการ Drawdown ของระดับน้ำใต้ดิน (Piezometric Level) ดังรูปที่ 2.4 มีผลให้ค่า σ'_v เพิ่มขึ้น

ค่ามุม ϕ' ในชั้นทรายเป็นค่าที่ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างมุม ϕ' กับค่า N' ที่ปรับแก้เนื่องจากผลของ σ'_v ซึ่งเสนอโดย Peck Hanson & Thornburn (1974)