

## บทที่ 3

### วิธีการดำเนินงานวิจัย

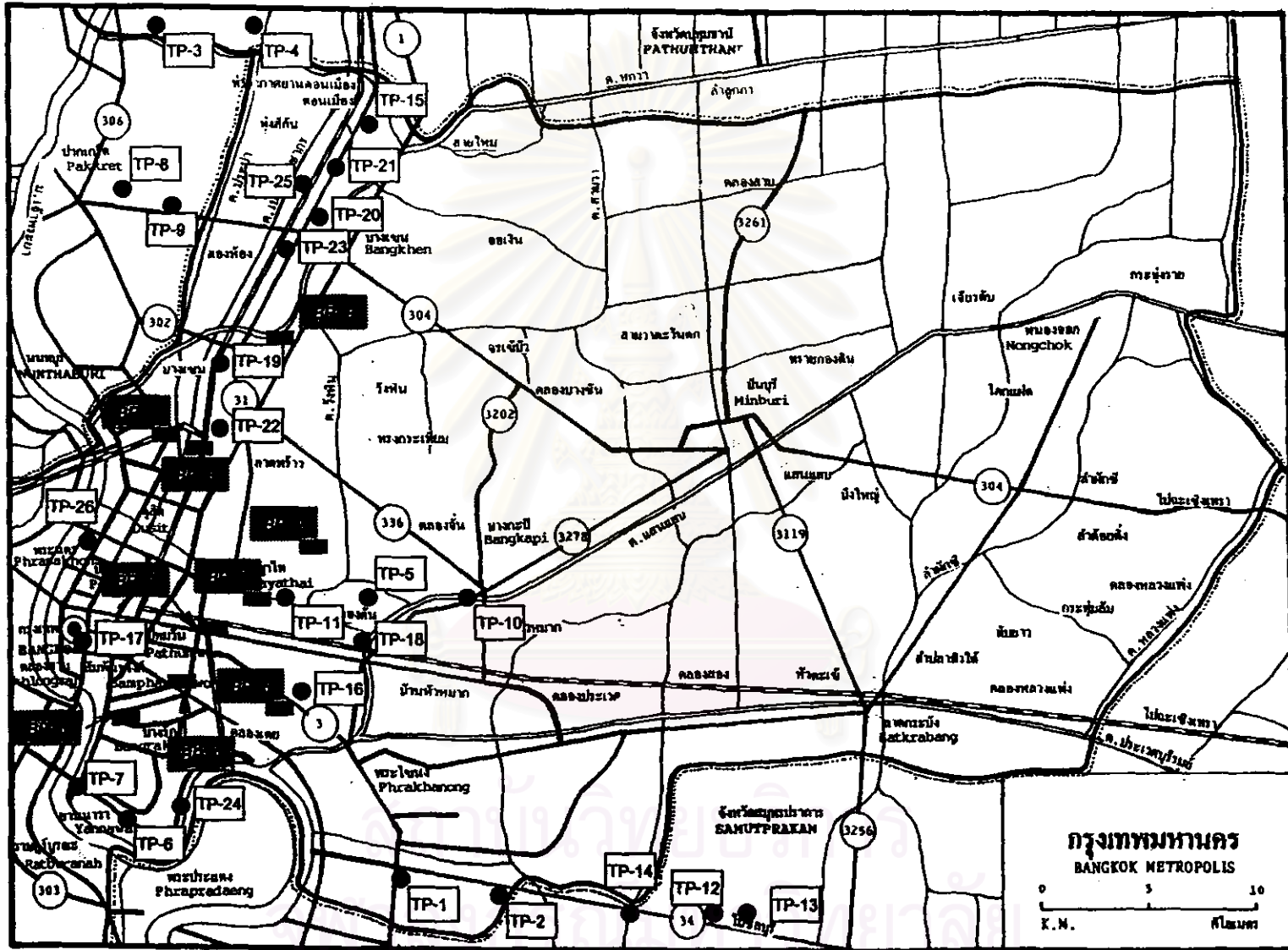
#### 3.1 ข้อมูลที่ใช้ในงานวิจัย

##### 3.1.1 ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่รวบรวมได้และการแบ่งประเภท

ข้อมูลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มที่เคยมีการทดสอบในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ที่รวบรวมได้ดังแสดงในรูปที่ 3.1 สามารถแยกประเภทของข้อมูลได้เป็น 2 ลักษณะคือ ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด โดยที่งานวิจัยนี้จะทำการวิเคราะห์และแปลผลจากข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดเป็นหลักเนื่องจากข้อมูลประเภทนี้สามารถนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาพฤติกรรมการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มสู่ดินรอบๆ เสาเข็ม เพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ที่จำเป็นสำหรับการคาดคะเนกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มตลอดจนค่าการทรุดตัวของเสาเข็มภายใต้น้ำหนักบรรทุกที่มากกระทำ

ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้เป็นข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด (Fully Instrumented Test Piles) ทั้ง Vibrating Wire Strain Gauge (VWSG) และ Extensometer แต่เนื่องจากข้อมูลที่ได้จากการแปลผลจาก Extensometer ส่วนใหญ่ติดตั้งไม่ครบทุกจุดในบริเวณที่มีการเปลี่ยนแปลงชั้นดินแต่จะติดตั้งที่ปลายเสาเข็มเพียงจุดเดียว จึงไม่สามารถที่จะนำมาใช้วิเคราะห์หาแรงตามแนวแกนได้อย่างสมบูรณ์ ดังนั้นในงานวิจัยนี้จะใช้ผลที่ได้จาก VWSG ที่ติดตั้งในเสาเข็มทดสอบมาทำการวิเคราะห์

ข้อมูลการทดสอบเสาเข็มที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดในงานวิจัยนี้มีจำนวนเสาเข็มทดสอบทั้งสิ้น 30 ต้น ดังแสดงในตารางที่ 3.1 โดยรายละเอียดข้อมูลการทดสอบแสดงไว้ในภาคผนวก



รูปที่ 3.1 เสาเข็มทดสอบที่เคยมีการทดสอบในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ที่ใช้ในงานวิจัยนี้

ตารางที่ 3.1 ข้อมูลเสาเข็มทดสอบที่รวบรวมได้

หมายเลขเสาเข็ม	โครงการ	ขนาด	ตำแหน่งที่ตั้ง
เสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด (Instrumented Bored Piles)			
TP-1	BBBE	φ 1.2 x 57.10	ถ. บางนา-ตราด กรุงเทพฯ
TP-2	BBBE	φ 1.2 x 46.25	ถ. บางนา-ตราด กรุงเทพฯ
TP-3	B-PE	φ 1.0 x 46.51	คลองรังสิต
TP-4	B-PE	φ 1.0 x 49.47	เชียงรากน้อย ปทุมธานี
TP-5	SES	φ 1.0 x 43.00	อโศก กรุงเทพฯ
TP-6	SES	φ 1.0 x 41.00	ถ. จันทน์ กรุงเทพฯ
TP-7	SES	φ 1.2 x 43.60	สาทร กรุงเทพฯ
TP-8	B-PE	φ 1.2 x 43.50	ถ. แจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ
TP-9	B-PE	φ 1.0 x 43.50	ถ. แจ้งวัฒนะ กรุงเทพฯ
TP-10	Abac	φ 1.2 x 54.00	ถ. รามคำแหง กรุงเทพฯ
TP-11	BECM	φ 1.5 x 57.50	ถ. พระราม 9 กรุงเทพฯ
TP-12	BBBE	φ 1.2 x 44.64	ถ. บางนา-ตราด กรุงเทพฯ
TP-13	BBBE	φ 1.2 x 53.79	ถ. บางนา-ตราด กรุงเทพฯ
TP-14	BBBE	φ 1.2 x 46.00	ถ. บางนา-ตราด กรุงเทพฯ
TP-15	BTS	φ 1.0 x 47.50	ดอนเมือง กรุงเทพฯ
TP-16	Asoke	φ 1.0 x 55.20	ถ. อโศก กรุงเทพฯ
TP-17	Worajack	φ 1.5 x 55.00	ถ. วรจักร กรุงเทพฯ
TP-18	Hopewell	φ 1.5 x 55.70	ช. ศูนย์วิจัย กรุงเทพฯ
TP-19	Hopewell	φ 0.8 x 43.30	ถ. กำแพงเพชร กรุงเทพฯ
TP-20	Hopewell	φ 1.5 x 49.70	ดอนเมือง กรุงเทพฯ
TP-21	Hopewell	φ 1.5 x 49.65	ถ. วิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ
TP-22	Hopewell	φ 0.8 x 39.80	ถ. กำแพงเพชร กรุงเทพฯ
TP-23	Hopewell	φ 1.5 x 50.97	ถ. วิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ
TP-24	BWWT	φ 1.5 x 60.00	ยานนาวา กรุงเทพฯ
TP-25	Hopewell	φ 1.5 x 49.70	ดอนเมือง กรุงเทพฯ
TP-26	Rama-8	φ 0.8 x 49.00	ถ. วิสุทธิกษัตริย์ กรุงเทพฯ

ตารางที่ 3.1 (ต่อ) ข้อมูลเสาเข็มทดสอบที่รวบรวมได้

หมายเลข	โครงการ	ขนาด	ตำแหน่งที่ตั้ง
เสาเข็มแบบเรียดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด (Instrumented Barrette Piles)			
BP-1	BECM	1.5 x 3.0 x 57.50	ถ. พระราม 9 กรุงเทพฯ
BP-2	MRTA 12	0.8 x 2.7 x 47.10	ช. เทียนร่วมมิตร กรุงเทพฯ
BP-3		0.8 x 2.5 x 46.50	บางซื่อ กรุงเทพฯ
BP-4		0.8 x 2.5 x 46.30	บางซื่อ กรุงเทพฯ
เสาเข็มแบบเรียดที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด (Non-Instrumented Barrette Piles)			
BP-5	Green Tower	1.0 x 2.7 x 48.90	ถ. พระราม 4 กรุงเทพฯ
BP-6	Jewelry.	0.85 x 2.72 x 61.80	ถ. สุรศักดิ์ กรุงเทพฯ
BP-7	R.Rajdumri	0.8 x 2.7 x 55.70	ถ. ราชดำริ กรุงเทพฯ
BP-8	Vipavadee.	0.8 x 2.7 x 50.00	ถ. วิภาวดีรังสิต กรุงเทพฯ
BP-9	Langsuan.	0.8 x 2.7 x 55.00	ถ. หลังสวน กรุงเทพฯ

หมายเหตุ :

BBBE	=	Bang Na – Bang Pli – Bang Pakong Expressway
BWWT	=	Bangkok Waste Water Treatment Project
B-PE	=	Bang Pa In – Pak Kret Expressway
SES	=	Second Stage Expressway System
BTS	=	Bangkok Transit System
BECM	=	B.E.C. World Office and Broadcasting Complex
MRTA	=	Metropolitan Rapid Transit Authority
Jewelry.	=	Jewelry Trade Center
R.Rajdumri	=	Royal Rajdumri
Vipavadee.	=	Vipavadee ATM Tower
Langsuan.	=	Langsuan 658 Building

### 3.1.1.1 เสาเข็มเจาะ

เสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดที่รวบรวมได้มีจำนวน 26 ต้น ซึ่งมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางตั้งแต่ 0.80 – 1.50 เมตร และมีความยาวมากกว่า 40 เมตร ซึ่งสามารถทำการแยกประเภทเสาเข็มตามลักษณะของชั้นดินที่ปลายเสาเข็มและสภาพที่ปลายเสาเข็ม ได้ดังนี้

- เสาเข็มเจาะที่ไม่มีการอัดฉีดน้ำปูนปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง

เสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและมีปลายของเสาเข็มหยั่งอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองมีจำนวน 17 ต้น คือ เสาเข็ม TP-1 , TP-2 , TP-3 , TP-5 , TP-6 , TP-8 , TP-9 , TP-15 ถึง TP-22 , TP-25 , และ TP-26 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.2

- เสาเข็มเจาะอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง

เสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและมีปลายของเสาเข็มหยั่งอยู่ในชั้นทรายชั้นสองพร้อมทั้งการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเสาเข็ม (Base Grouted) เพื่อลดปัญหาตะกอนก้นหลุมที่ตกค้างจากการเจาะซึ่งจะมีผลทำให้กำลังต้านทานที่ปลายเสาเข็มลดลงและการทรุดตัวมากขึ้น จำนวนเสาเข็มเจาะประเภทนี้ที่ทำการรวบรวมได้มี 4 ต้น คือ TP-11 , TP-12 , TP-13 และ TP-14 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.2

- เสาเข็มเจาะที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง

เสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและมีปลายของเสาเข็มหยั่งอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง (Very Stiff to Hard Clay) มีจำนวน 5 ต้น คือ เสาเข็ม TP-4 , TP-7 , TP-10 , TP-23 และ TP-24 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 เสาเข็มเจาะทดสอบที่รวบรวมได้

เสาเข็ม	ขนาด	เครื่องมือวัด WWSG		ชั้นดินปลาย เสาเข็ม	อัดฉีดน้ำปูนปลายเสาเข็ม		ระยะฝัง (เมตร)
		ติด	ไม่ติด		อัดฉีด	ไม่อัดฉีด	
TP-1	φ 1.2 x 57.10	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	6.10
TP-2	φ 1.2 x 46.25	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	10.25
TP-3	φ 1.0 x 46.51	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	12.01
TP-4	φ 1.0 x 49.47	✓		Hard Clay		✓	4.47
TP-5	φ 1.0 x 43.00	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	18.00
TP-6	φ 1.0 x 41.00	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	15.00
TP-7	φ 1.2 x 43.60	✓		Hard Clay		✓	3.60
TP-8	φ 1.2 x 43.50	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	1.50
TP-9	φ 1.0 x 43.50	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	1.50
TP-10	φ 1.2 x 54.00	✓		Hard Clay		✓	19.00
TP-11	φ 1.5 x 57.50	✓		2 <sup>nd</sup> Sand	✓		7.00
TP-12	φ 1.2 x 44.64	✓		2 <sup>nd</sup> Sand	✓		2.64
TP-13	φ 1.2 x 53.79	✓		2 <sup>nd</sup> Sand	✓		10.79
TP-14	φ 1.2 x 46.00	✓		2 <sup>nd</sup> Sand	✓		2.50
TP-15	φ 1.0 x 47.50	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	9.00
TP-16	φ 1.0 x 55.20	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	2.20
TP-17	φ 1.5 x 55.00	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	10.00
TP-18	φ 1.5 x 55.70	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	6.70
TP-19	φ 0.6 x 43.30	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	8.30
TP-20	φ 1.5 x 49.70	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	10.70
TP-21	φ 1.5 x 49.65	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	11.65
TP-22	φ 0.8 x 39.80	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	18.80
TP-23	φ 1.5 x 50.97	✓		Hard Clay		✓	7.47
TP-24	φ 1.5 x 60.00	✓		Hard Clay		✓	5.00
TP-25	φ 1.5 x 49.70	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	10.70
TP-26	φ 0.8 x 49.00	✓		2 <sup>nd</sup> Sand		✓	8.00

### 3.1.1.2 เส้าเข็มแบบเรียด

เส้าเข็มแบบเรียดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดที่รวบรวมได้มีจำนวน 4 ดัน ซึ่งสามารถทำการแยกประเภทเส้าเข็มตามลักษณะของชั้นดินที่ปลายเส้าเข็มและสภาวะที่ปลายเส้าเข็มได้ดังนี้

- เส้าเข็มแบบเรียดอัดฉีดน้ำปูนปลายเส้าเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สอง

เส้าเข็มแบบเรียดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและมีปลายของเส้าเข็มยังอยู่ในชั้นทรายชั้นที่สองพร้อมทั้งการอัดฉีดน้ำปูนที่ปลายเส้าเข็มเพื่อลดปัญหาตะกอนกั้นหลุมที่ตกค้างจากการเจาะจากเครื่องมือเจาะ Diaphragm Wall และปัญหาความหลวมของทรายเนื่องจากการรบกวนดินจากหัวเจาะ ซึ่งจะมีผลทำให้กำลังต้านทานที่ปลายเส้าเข็มลดลงและการทรุดตัวมากขึ้น จำนวนเส้าเข็มแบบเรียดประเภทนี้ที่ทำการรวบรวมได้มี 3 ดัน คือ BP-1 , BP-3 และ BP-4 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3

- เส้าเข็มแบบเรียดที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง

เส้าเข็มแบบเรียดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดและมีปลายของเส้าเข็มยังอยู่ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สอง (Very Stiff to Hard Clay) มีจำนวน 1 ดัน คือ เส้าเข็ม BP-2 รายละเอียดดังแสดงในตารางที่ 3.3

เส้าเข็มแบบเรียดที่มีการก่อสร้างในกรุงเทพฯ มีน้อยเนื่องจากปัญหาเรื่องราคาค่าก่อสร้างที่สูงและใช้เวลาในการก่อสร้างเส้าเข็มแบบเรียดต่อหนึ่งต้นมากกว่าเส้าเข็มเจาะประมาณ 24 ชั่วโมง ดังนั้นเส้าเข็มแบบเรียดที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดจึงสามารถทำการรวบรวมได้เพียง 4 ดัน นอกเหนือจากนี้เป็นข้อมูลที่รวบรวมเพิ่มเติมจากข้อมูลเส้าเข็มแบบเรียดที่ไม่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดอีก 5 ดัน คือ BP-5 ถึง BP-8 ดังแสดงในตารางที่ 3.3 เพื่อใช้ประกอบการวิจัย

ตารางที่ 3.3 เสาเข็มแบบเรียดทดสอบที่รวบรวมได้

เสาเข็ม	ขนาด	เครื่องมือวัด WWSG		ชั้นดินปลาย เสาเข็ม	อัดฉีดน้ำปูนปลายเสาเข็ม		ระยะฝัง (เมตร)
		ติด	ไม่ติด		อัดฉีด	ไม่อัดฉีด	
BP-1	1.5 x 3.0 x 57.50	✓		2 <sup>nd</sup> Sand	✓		7.00
BP-2	0.8 x 2.7 x 47.10	✓		Hard Clay		✓	6.60
BP-3	0.8 x 2.5 x 46.50	✓		2 <sup>nd</sup> Sand	✓		3.50
BP-4	0.8 x 2.5 x 46.30	✓		2 <sup>nd</sup> Sand	✓		3.30
BP-5	1.0 x 2.7 x 48.90		✓	2 <sup>nd</sup> Sand		✓	5.90
BP-6	0.85 x 2.72 x 61.80		✓	2 <sup>nd</sup> Sand	✓		3.80
BP-7	0.8 x 2.7 x 55.70		✓	2 <sup>nd</sup> Sand		✓	14.20
BP-8	0.8 x 2.7 x 50.00		✓	2 <sup>nd</sup> Sand		✓	7.00
BP-9	0.8 x 2.7 x 55.00		✓	2 <sup>nd</sup> Sand		✓	13.50

### 3.1.2 ข้อมูลการเจาะสำรวจชั้นดิน

ข้อมูลผลการวิเคราะห์ชั้นดินและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนามเช่นค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ค่าหน่วยน้ำหนักรวมของมวลดิน รวมทั้งค่า N จากการทดสอบ Standard Penetration Test (SPT) ในแต่ละชั้นดิน มีความจำเป็นควบคู่ไปกับผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในแต่ละหน่วยงานก่อสร้างที่รวบรวมได้จำนวน 35 ดันเพื่อใช้ในการวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ของค่าพารามิเตอร์ต่างๆ ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยครั้งนี้ โดยข้อมูลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่ใช่ข้อมูลดินที่บริเวณตำแหน่งก่อสร้างเสาเข็มทดสอบโดยตรงแต่เป็นข้อมูลดินบริเวณพื้นที่โครงการเดียวกันที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้นผลการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ อาจจะได้คลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงบ้าง

ข้อมูลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มแบบเรียดและเสาเข็มเจาะที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดที่เคยมีการทดสอบในเขตพื้นที่กรุงเทพฯ ๙ พร้อมกับข้อมูลผลการเจาะสำรวจชั้นดินที่รวบรวมได้สำหรับงานวิจัยในครั้งนี้แสดงอยู่ในภาคผนวก ซึ่งจะประกอบไปด้วยข้อมูลที่เกี่ยวกับเสาเข็มทั้งขนาดและความยาวของเสาเข็มทดสอบ ค่า N จากการทดสอบ SPT ในแต่ละความลึก กราฟแสดงการส่งถ่ายน้ำหนักบรรทุก (Load Distribution Curve) ค่าหน่วยแรงเสียดทาน (Unit Skin Friction,  $f_s$ ) ที่แต่ละชั้นดินและค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Unit End



Bearing Resistance,  $q_E$ ) รวมทั้งกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าการทรุดตัวที่ได้จากการทดสอบเสาเข็ม

### 3.2 วิธีการวิเคราะห์และข้อจำกัดในการวิเคราะห์

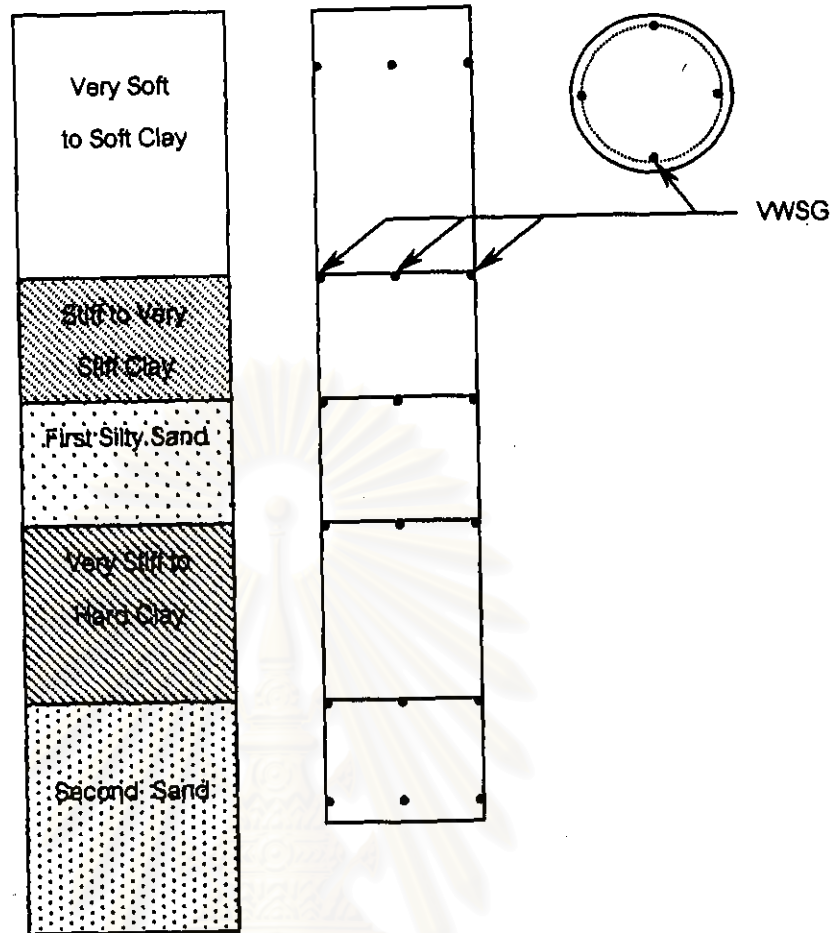
การวิเคราะห์ข้อมูลเพื่อให้ได้มาซึ่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ตามวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้อาศัยข้อมูลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มทดสอบที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัดประเภท Vibrating Wire Strain gauges ในการหาค่าการส่งถ่ายแรงตลอดความยาวเสาเข็ม ซึ่งจะทำให้สามารถวิเคราะห์หาค่าหน่วยแรงเสียดทาน (Unit Skin Friction,  $f_u$ ) ที่แต่ละชั้นดินและหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม (Unit End Bearing Resistance,  $q_E$ ) ได้

#### 3.2.1 การติดตั้ง Vibrating Wire Strain gauges

Vibrating Wire Strain gauges (VWSG) จะติดตั้งที่โครงเหล็กเสริมในขั้นตอนการลงเหล็กเสริมเสาเข็มก่อนการเทคอนกรีต ตำแหน่ง VWSG จะติดตั้งที่ระดับความลึกที่ต้องการทราบค่าการถ่ายแรง โดยในแต่ละระดับความลึกจะติดตั้ง VWSG ประมาณ 4 – 5 ตัวรอบเสาเข็ม เพื่อนำค่าที่อ่านได้มาเฉลี่ย

ข้อมูลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มทดสอบที่มีการติดตั้งเครื่องมือวัด VWSG ที่รวบรวมได้ในงานวิจัยนี้ พบว่าตำแหน่ง VWSG จะติดตั้งที่ระดับความลึกที่ชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลง (รูปที่ 3.2) ซึ่งตำแหน่งการติดตั้งลักษณะนี้จำเป็นต้องอาศัยผลการเจาะสำรวจชั้นดินบริเวณที่จะก่อสร้างเสาเข็มที่แสดงในรูป Boring Log เพื่อกำหนดตำแหน่ง ณ ระดับความลึกที่ชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2 ตำแหน่งการติดตั้ง VWSG

### 3.2.2 การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็ม

#### 3.2.2.1 ชั้นดินเหนียว

การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มในชั้นดินเหนียวจะเสนอในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า adhesion factor ( $\alpha$ ) กับค่ากำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำ ( $S_u$ ) จากการทดสอบ Unconfined Compression Test และความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skin Friction Ratio ( $f_s / N$ ) กับค่า  $N$  จากการทดสอบ SPT โดยการวิเคราะห์หาค่ากลับจากหน่วยแรงเสียดทาน (Unit Skin Friction,  $f_s$ ) ในชั้นดินเหนียว ที่คำนวณได้จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มทดสอบที่มีการติดตั้ง Vibrating Wire Strain gauges ค่า  $\alpha$  หาได้จาก

$$\alpha = f_s / S_u$$

ค่า  $f_s$  ในชั้นดินเหนียวแต่ละชั้นเป็นค่า  $f_s$  ณ ค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม (deformation at pile top) ที่ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ( $Q_{ult}$ ) ที่หาได้จากทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977)

ค่า  $S_u$  ในชั้นดินเหนียวอ่อน ใช้ค่าที่ได้จากการทดสอบ Unconfined Compression Test แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ยตลอดชั้นดิน สำหรับชั้นดินเหนียวแข็ง ค่า  $S_u$  มาจากความสัมพันธ์แบบ Empirical ระหว่างค่า  $N$  จากการทดสอบ SPT กับ  $S_u$  ที่เสนอโดย วีระนันท์ (2526) โดยที่ค่า  $N$  มาจากการทดสอบ SPT โดยใช้ hammer แบบ Safety

ข้อมูลดินที่ใช้ในการวิเคราะห์ส่วนใหญ่ไม่ใช่ข้อมูลดินที่บริเวณตำแหน่งก่อสร้างเสาเข็มทดสอบโดยตรงแต่เป็นข้อมูลดินบริเวณพื้นที่โครงการเดียวกันที่อยู่ใกล้เคียง ดังนั้นผลการวิเคราะห์ค่า  $\alpha$  อาจจะคลาดเคลื่อนไปจากความเป็นจริงบ้าง

### 3.2.2.2 ชั้นทราย

การประมาณค่าแรงเสียดทานด้านข้างของเสาเข็มในชั้นทรายจะเสนอในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า friction factor ( $\beta$ ) ซึ่งมีค่าเท่ากับ  $k_s \tan \delta$  กับมุมเสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) และความสัมพันธ์ระหว่างค่า Skin Friction Ratio ( $f_s / N'$ ) กับค่า  $N'$  จากการทดสอบ SPT โดยการวิเคราะห์กลับจากหน่วยแรงเสียดทาน (Unit Skin Friction,  $f_s$ ) ในชั้นทราย โดยค่า  $k_s \tan \delta$  หาได้จาก

$$k_s \tan \delta = f_s / \sigma'_{vt}$$

ค่า  $f_s$  ในชั้นทรายชั้นที่หนึ่งและชั้นที่สองเป็นค่า  $f_s$  ณ ค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม (deformation at pile top) ที่ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย ( $Q_{ult}$ ) ที่หาได้จากทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) และค่ามุม  $\phi'$  เป็นค่าที่หาจากความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $N$  จากการทดสอบ SPT ภายหลังการปรับแก้ผลของ  $\sigma'_{vt}$  กับค่ามุม  $\phi'$  ที่เสนอโดย Peck, Hanson & Thornburn (1974)

ค่า  $\sigma'_v$  เป็นค่า effective overburden pressure ณ จุดกึ่งกลางของชั้นทรายที่พิจารณา โดยพิจารณาถึงผลกระทบของการ drawdown ของระดับน้ำใต้ดิน (Piezometric Level) ในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

### 3.2.3 การประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็ม

การประมาณค่าแรงต้านที่ปลายเสาเข็มจะเสนอในรูปค่า Mobilized Bearing Capacity  $N_q$  สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทราย และค่า Bearing Capacity  $N_c$  สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียว สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นทรายจะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า Mobilized  $N_q$  กับค่ามุมเสียดทานภายในประสิทธิผล ( $\phi'$ ) ซึ่งค่า Mobilized  $N_q$  วิเคราะห์กลับจากค่าหน่วยแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม ( $q_E$ ) ดังสมการ

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

ค่า  $q_E$  ในชั้นทรายชั้นที่สองซึ่งเป็นชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม เป็นค่า  $q_E$  ณ ค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม (deformation at pile top) ที่ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย ( $Q_{ult}$ ) ที่หาได้จากทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977)

ค่า  $\sigma'_v$  เป็นค่า effective overburden pressure ณ จุดกึ่งกลางจากระดับความลึกเริ่มต้นของชั้นทรายชั้นที่สองกับค่าระดับปลายเสาเข็ม (Pile Tip) โดยค่า  $\sigma'_v$  ที่ใช้จะพิจารณาถึงผลกระทบของการ drawdown ของระดับน้ำใต้ดิน (Piezometric Level) ในพื้นที่กรุงเทพฯ ดังแสดงในรูปที่ 2.4

สำหรับเสาเข็มที่มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวผลวิเคราะห์จะแสดงค่าในรูปค่า Bearing Capacity  $N_c$  ซึ่งหาได้จากสมการดังต่อไปนี้

$$\text{Bearing Capacity } N_c = q_E / S_u$$

ค่า  $q_E$  ในชั้นดินเหนียวแข็งชั้นที่สองซึ่งเป็นชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม เป็นค่า  $q_E$  ณ ค่าการทรุดตัวที่หัวเสาเข็ม (deformation at pile top) ที่ให้ค่ากำลังรับน้ำหนักบรรทุกประลัย ( $Q_{ult}$ ) ที่หาได้จากทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) และค่า  $S_u$  มาจากความสัมพันธ์แบบ Empirical

ระหว่างค่า  $N$  จากการทดสอบ SPT กับ  $S_u$  ที่เสนอโดย วีระนันท์ (2526) โดยที่ค่า  $N$  มาจากการทดสอบ SPT โดยใช้ hammer แบบ Safety

ค่า  $f_s$  และค่า  $q_E$  สำหรับเสาเข็มแบบเรียดทดสอบที่ติดเครื่องมือวัดจำนวน 4 ต้นและเสาเข็มเจาะทดสอบที่ติดเครื่องมือวัดจำนวน 26 ต้นแสดงไว้ในภาคผนวก โดยค่า  $f_s$  ที่แสดงในภาคผนวก เป็นค่าที่คัดเลือกเฉพาะช่วงที่ติด VWSG ถูกตำแหน่งเท่านั้นและเป็นค่าที่นำมาใช้ในการวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆ สำหรับค่า deformation ที่หัวเสาเข็ม ณ จุดที่ให้ค่า  $Q_{ur}$  ตามทฤษฎีของ Butler & Hoy (1977) ที่แสดงในภาคผนวกใช้สำหรับหาค่า  $f_s$  และค่า  $q_E$  ที่จะนำมาวิเคราะห์หาค่า  $\alpha$  ค่า  $\beta$  ( $k_s \tan \delta$ ) ค่า Mobilized  $N_q$  และค่า Bearing Capacity  $N_c$

### 3.2.4 การประมาณค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มและดินรอบนอก

ผลการวิเคราะห์ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นระหว่างเสาเข็มและดินรอบนอก (Soil-Pile Elastic modulus,  $E_s$ ) ที่ใช้ในการหาค่าการทรุดตัวของเสาเข็มซึ่งเสนอโดย Poulos & Davis (1980) จะนำเสนอในรูปความสัมพันธ์ระหว่างค่า  $E_s$  กับค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของเสาเข็ม (Working Load) โดยค่า  $E_s$  สามารถหาได้จากสมการดังนี้

$$E_s = \frac{P I}{p d}$$

$$E_s = \frac{E_p}{k R a}$$

ค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ ข้างต้นได้อธิบายไว้ในหัวข้อที่ 2.6 ในบทที่ 2 โดยในการวิเคราะห์หาค่า  $E_s$  จะทำการแก้สองสมการข้างต้น โดยการ vary ค่า  $K$  แล้วใช้วิธี Backfigure จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม เพื่อวิเคราะห์หาค่า  $E_s$  ที่ทำให้สองสมการข้างต้นเป็นจริง ในการวิเคราะห์ค่า  $E_s$  จากผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจะมีการปรับแก้ค่าการทรุดตัวที่วัดได้ เนื่องจากผลจากการใช้เสาเข็มสมอเป็นตัวดันน้ำหนัก