

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 ลักษณะทั่วไปของดินบริเวณเขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร



รูปที่ 2.1 เขตพื้นที่กรุงเทพมหานคร

ที่มา : http://203.155.220.217/office/cpd/db/doc/khetmap_A3/bma_75000.pdf

กรุงเทพมหานครตั้งอยู่บนตำแหน่งที่ค่อนข้างต่ำของพื้นที่ที่ปกคลุมของชั้นดินเหนียวอ่อน กรุงเทพฯ ใกล้เคียงชายฝั่งทะเลปากอ่าวไทย (รูปที่ 2.1) มีพื้นที่เป็นรูปคล้ายสี่เหลี่ยมผืนผ้า วางตัวล้อมแม่น้ำเจ้าพระยาทั้ง 2 ฝั่ง พื้นที่ของกรุงเทพมหานครจึงได้รับอิทธิพลจากน้ำท่วมอยู่เป็นประจำ กรุงเทพมหานครแบ่งเขตการปกครองเป็น 50 เขตในปัจจุบัน เกือบทุกเขตมีอาคารและสิ่งปลูกสร้างวางตัวอยู่เกือบเต็มพื้นที่ อย่างไรก็ตามอาคารและสิ่งปลูกสร้างขนาดใหญ่มักจะกระจุกตัวกันอยู่ในบริเวณส่วนกลางของพื้นที่ ซึ่งเรียกได้ว่าเป็นเขตพื้นที่กรุงเทพฯชั้นใน

ดังนั้นอาคารก่อสร้างต่างๆ จึงต้องวางตัวอยู่บนฐานรากเสาเข็ม หรือ เกซอน (Caisson) เพื่อถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินที่แข็งแรงกว่าเบื้องล่าง ทั้งยังทำให้การทรุดตัวลดลงจนไม่เกิดความเสียหายต่อ

สิ่งก่อสร้างอีกด้วย ปัจจุบันอาคารสูงในกรุงเทพมหานคร อาจจะต้องหยั่งฐานรากลงไปลึกถึงประมาณ 40 – 50 เมตร เพื่อหลีกเลี่ยงปัญหาการทรุดตัว

2.1.1 คุณสมบัติโดยรอบของดินเขตกรุงเทพมหานคร

ปณต (2545) ได้รวบรวมผลการศึกษาและสรุปคุณสมบัติของดินในชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ในเขตพื้นที่กรุงเทพมหานครและพื้นที่ข้างเคียง แสดงรวมไว้ในตารางที่ 2.1 และตารางที่ 2.2 โดยตารางที่ 2.1 เป็นคุณสมบัติทางกายภาพต่างๆไป ส่วนตารางที่ 2.2 เป็นคุณสมบัติทางวิศวกรรม

Layer		Particle size distribution			Wn(%)	LL(%)	PL(%)	LI	$g_s (\text{t/m}^3)$	Gs
		Sand, % (2-0.06mm.)	Silt, % (0.06-0.002mm.)	Clay, % (<0.002mm.)						
Weathered Clay	Gulachol (1970) Weathered Clay				51.2±6.9	77.5±2.1	33.9±0.5	0.4		2.71±0.1
	Brand (1971) Weathered Clay				62.9±4.2	89.6±5.1	38.6±2.4			62.9±4.2
	Phuong (1973) Weathered Clay				50-90	80-100	30-45	0.60-1.00		2.65-2.70
	TASNEENART (1984) Weathered Clay				80-100	80-90	30-36	0.2-2.0	1.55-1.99	
	ปณต (2545) Weathered Clay				60-86.9	58-91.5	11.94-49.4		1.40-1.72	
Soft to Medium Clay	Moh et al. (1969) (AIT) 4.5-7.6 m.	1-3	40-45	50-60	0-110	0-100	35-45	0.80-1.10		2.66-2.74
	Phuong (1978) (AIT) 4.5-9.0 m.	1-4	35-65	65-90	50-120	80-120	25-65	0.60-1.00		2.66-2.72
	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 2-14 m.				61.1±11.5	63.5±12.8		1.172±0.684		2.66±0.035
	TSAI (1982) (AIT)				85-70	79-95	30-34	0.91-0.78		
	TSAI (1982) (Nong Ngoo Hao)				125-65	80-122	25-52	1.1-0.92		
	TSAI (1982) (Pathumwan)				66-48	68-72	26-38	0.68-0.78		
	TSAI (1982) (Pem Prachal)				62-82	75-110	26-40	0.67-0.88		
	PARENTILLA (1988)				26.1±7.5	49.9±9.7	22.6±3.9	0.169±0.306	2.0±0.18	
	TASNEENART (1984) Soft Clay				40-90	40-90	20-40	0.2-2.0	1.5-1.75	
	ถาวร (2529) 0-14.2 m.				60.35±9.3	63.61±6.8	28.20±2.6	1.65±0.07		2.654±0.06
	กวีวัฒน์ (2530) Soft-Medium Clay				57-63	62-68	28-30	0.8-1.00	1.6-1.7	2.64-2.69
	สุพัตน์ (2530) บางนา				68.22±7.9	66.9±10.4	87.92±8.4	1.58±0.06		2.68±0.05
	อาคม (2542)				94.36	93.9	31.7	1.5		2.57
	ปณต (2545)				39.4-74	51.6-82.6	22.8-84.4		1.40-1.80	
Stiff to Very Stiff Clay	Muklabhant et al. (1966) 26-36 ft.				20-40	45-70	23-30		1.54-1.60	2.7-2.8
	Vongthiesres (1966) 48 ft.				30	58	24		1.49	
	Hengchuovenich 86 ft.				20-80	59.5±5.9	22.6±1.6		1.61	2.74±0.08
	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 14-25 m.				31.8±12	49.1±15.1				2.1±2.81
	TASNEENART (1984) First Stiff Clay				15-40	25-90	15-40	-0.75	1.80-2.15	
	TASNEENART (1984) Second Stiff Clay				15-35	30-70	15-30	-1.1	1.80-2.25	
	กวีวัฒน์ (2530) Stiff-Very Stiff Clay				27-30	52-68	23-26	0.1-0.2	1.9-2.0	2.65-2.71
	ปณต (2545) 15-25 m.				17.9-48.3	39-69.1	19.1-31.7		1.86-2.0	

ตารางที่ 2.1 สรุปคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวกรุงเทพฯ (อ้างอิง วิชาญ ภูพิพัฒน์)

Layers		Su (UC)	Sensitivity (UC)	Su (Vane)	Sensitivity (Vane)	SPT	e_o	C_c	Cr	C_v
soft to Medium Clay	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 2-14 m.	8.13±1.98	2.60±1.87	2.72±1.7	2.59±1.67		1.73±0.33	0.81±0.30	0.29±0.09	
	TSAI (1982) (AIT)						2.06±0.32	1.11±0.21	0.17±0.04	1.64±0.59
	TSAI (1982) (Nong Ngoo Hao)						2.99±0.51	1.42±0.49	0.20±0.07	1.47±0.50
	TSAI (1982) (Pathumwan)						1.68±0.38	0.78±0.20	0.14±0.07	1.86±0.44
	TSAI (1982) (Pom Prachul)						2.19±0.38	0.87±0.13	0.17±0.06	2.04±1.1
	PARENTILLA (1983)							0.21±0.14	0.16±0.18	
	TASNEENART (1984) Soft Clay									
	กำธร (2529) 0-14.02m.	2.85±1.22				7.80±5.75				
	กวีงษ์ (2530) Soft-Medium Clay	2.40-3.40		2.40-4.90			1.1-1.6	0.5-0.6	0.05-0.14	
	ปฤษฎ (2545) Medium Clay	4.48±2.6								
Stiff to Very Stiff Clay	Vongthieres (1966)		1.3-1.5							
	Hengchaovanich (1969)	5.0-15	1.3							
	ศรีบุญฤทธิ์ (1977) 14-25 m.	15.6±9.15						0.30±0.22	0.15±0.08	
	TASNEENART (1984) 1 st stiff Clay									
	TASNEENART (1984) 2 nd stiff Clay									
	กำธร (2529)	6.93±2.4				23.40±6.7				
	กวีงษ์ (2530) Stiff-Very Stiff Clay	10.0-12				23-25	0.74-0.84	0.74-0.84	0.03-0.08	
	ปฤษฎ (2545) Stiff-Very Stiff Clay	12.1±8.8								

ตารางที่ 2.2 สรุปคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินเหนียวกรุงเทพ (อ้างอิง วิทยุ ภูพิพัฒน์)

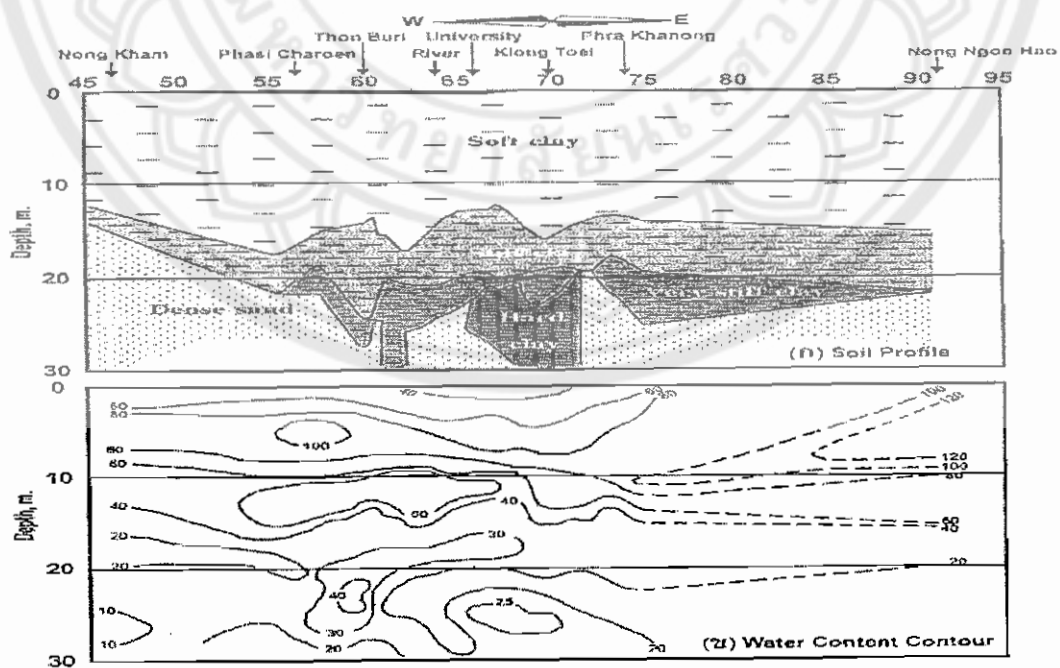
2.1.2 แนวตะวันออก – ตะวันตกของกรุงเทพมหานคร

ลักษณะดิน

ลักษณะชั้นดินตามแนวตะวันออก-ตะวันตกของกรุงเทพมหานครแสดงไว้ในรูปที่ 2.2 เป็นชั้นตั้งแต่หนองจอก (ด้านทิศตะวันออก) ผ่านพระโขนงคลองเตย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย แม่น้ำเจ้าพระยา ธนบุรี ภาษีเจริญ ไปสุดที่หนองแขมทางด้านทิศตะวันตกของกรุงเทพมหานคร ชั้นดินตามแนวนี้อาจมีชั้นดินเหนียวอ่อนวางตัวอยู่ตอนบน หนาประมาณ 12-15 เมตร ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนแปรเปลี่ยนพอประมาณในช่วงตอนกลางของแนว ได้ชั้นดินเหนียวอ่อนเป็นชั้นดินเหนียวแข็งวางตัวอยู่เป็นคลื่น (โดยเฉพาะช่วงตอนกลางของแนว) หนาประมาณ 3-8 เมตร ได้ชั้นดินเหนียวแข็งเป็นชั้นเหนียวปนทรายวางตัวอยู่เป็นช่วงๆ ความหนาไม่แน่นอน ถัดจากชั้นดินเหนียวปนทรายบางช่วงจะเป็นชั้นทราย แต่บางช่วงเป็นชั้นดินเหนียวปนทรายแข็งที่แข็งแรงมาก เป็นที่น่าสังเกตว่าชั้นดินช่วงพระโขนงไปภาษีเจริญมีความแปรเปลี่ยนมาก บางช่วงก็พบชั้นทรายที่ความลึกประมาณ 20-25 เมตรจากผิวดิน แต่บางช่วงก็เป็นชั้นดินเหนียวปนทรายแข็งที่แข็งแรงมาก การใช้ฐานรากเสาเข็มจึงควรมีความระมัดระวัง

คุณสมบัติทางวิศวกรรม

ข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแนวภาพตัดนี้แสดงไว้เฉพาะ Contour ของ water content ของชั้นดินช่วงความลึก 0-30 เมตรแรก ดังแสดงไว้ในภาพที่ 2.2



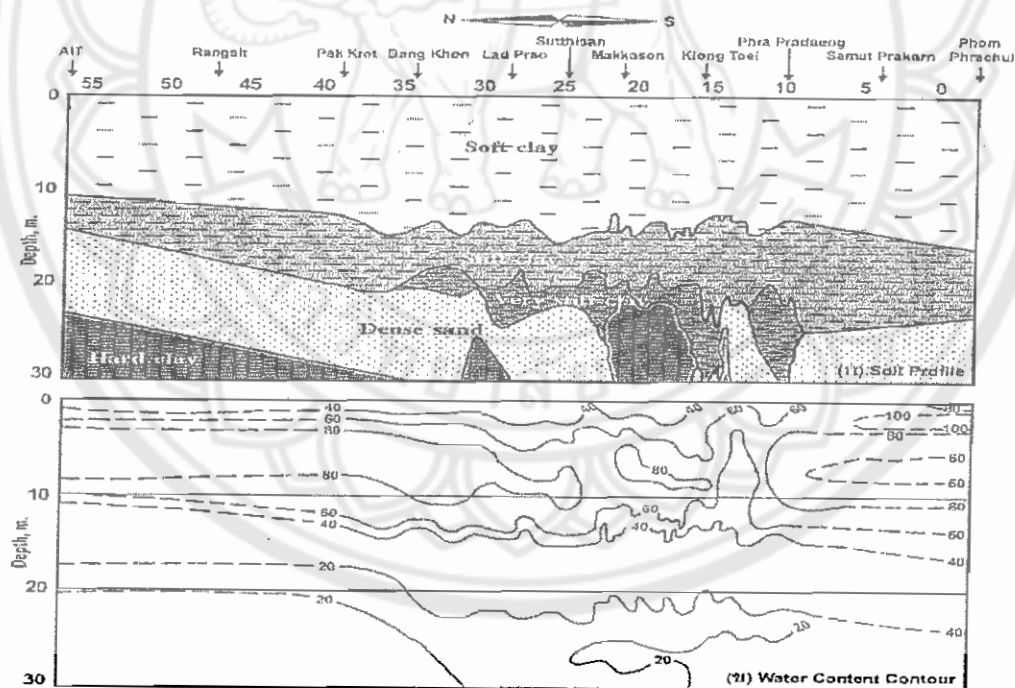
รูปที่ 2.2 ลักษณะชั้นดิน และ Contour ของ water content (w) (อ้างอิง วิชาญ ภูพิพัฒน์)

2.1.3 แนวเหนือ-ใต้ของกรุงเทพมหานคร

ลักษณะชั้นดิน

ลักษณะชั้นดินตามแนวเหนือ-ใต้ของกรุงเทพมหานคร แสดงไว้ในรูปที่ 2.3 เป็นชั้นดินตั้งแต่ อ่าวไทย (ป้อมพระจุล) ขึ้นไปทางเหนือผ่านสมุทรปราการ พระประแดง คลองเคบ มักกะสัน สุทธิสาร ลาดพร้าว บางเขน ปากเกร็ด รังสิต ไปสุดที่เออีที ในภาพแสดงชั้นดินเหนียวอ่อนวางตัวอยู่ตอนบนหนาประมาณ 11-15 เมตรได้ลงไปเป็นชั้นเหนียวแข็งวางตัวอยู่เป็นลอนคลื่นหนาประมาณ 5-10 เมตร ถัดลงไปเป็นชั้นดินเหนียวปนทรายแข็งมากที่มีความหนาไม่แน่นอนและมีอยู่เป็นช่วงๆ ได้ลงไปจึงเป็นชั้นทรายหนาพอประมาณ แต่ผิวบนของชั้นทรายเป็นลอนคลื่นไม่สม่ำเสมอประมาณว่าความหนาของชั้นทรายนี้น่าจะขึ้นอยู่กับระยะทางจากปากเกร็ด โดยเฉพาะช่วงกลางของพื้นที่คุณสมบัติทางวิศวกรรม

ข้อมูลคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแนวภาพตัดนี้แสดงไว้เฉพาะ Contour ของ water content ของชั้นดินช่วงความลึก 0-30 เมตรแรก ดังแสดงไว้ในรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 ลักษณะชั้นดิน และ Contour ของ water content (w) (อ้างอิง วิชาญ ภูพิพัฒน์)

2.2 ประเภทของเสาเข็มและการเลือกใช้

เสาเข็มสามารถแบ่งได้ เป็น 2 กลุ่ม คือ เสาเข็มตอก และ เสาเข็มเจาะ

2.2.1 เสาเข็มตอก แบ่งเป็นกลุ่มใหญ่ ๆ ดังนี้

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง (Prestressed Concrete Pile)

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรง รูปร่างและหน้าตัดเหมือนกับเสาเข็มคอนกรีตธรรมดา แต่สามารถทำได้ยาวกว่า และมีพื้นที่หน้าตัดเล็กกว่า สำหรับเหล็กเสริมตามยาวนั้น เป็นลวดเหล็กรับแรงดึงได้สูง ตามมอก. 95-2517 หรืออาจจะใช้ลวดเหล็กตาม ASTM 416-59 T หรือ JIS G 3536-1971

เสาเข็มคอนกรีตอัดแรงมีอยู่สองชนิดด้วยกัน คือ ชนิดดึงลวดเหล็กก่อน แล้วจึงหล่อคอนกรีต และชนิดหล่อคอนกรีตก่อน แล้วค่อยดึงลวดเหล็ก

การเลือกใช้เสาเข็มคอนกรีตหล่อสำเร็จ เสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดมาก สามารถรับแรงกระแทกเนื่องจากการตอกได้มาก และถ้าช่วงดินอ่อนลึก ๆ เสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดมากกว่า จะทำหน้าที่เสาได้ดีกว่าเสาเข็มที่มีพื้นที่หน้าตัดเล็ก

รูปแบบ หน้าตัด	ขนาดและความยาว (ม.)	พื้นที่หน้าตัด (ตร.ม.)	เส้นรอบรูป (ซม.)	น้ำหนัก (กก. /ม.)	น้ำหนักที่ รับได้ ปลอดภัย (ตัน)
สี่เหลี่ยมตัน	0.15X0.15X4.00-8.00m.	223	58	54	4-6
รูปตัวไอ	0.18X0.18X4.00-14.00m.	242	72	58	6-8
สี่เหลี่ยมตัน	0.18X0.18X7.00-21.00m.	322	70	78	10-15
รูปตัวไอ	0.20X0.20X7.00-21.00m.	288	101	69	15-20
สี่เหลี่ยมตัน	0.20X0.20X7.00-21.00m.	398	78	96	15-20
รูปตัวไอ	0.22X0.22X7.00-21.00m.	342	107	82	20-25
สี่เหลี่ยมตัน	0.22X0.22X7.00-21.00m.	480	85	115	20-25
รูปตัวไอ	0.26x0.26X7.00-23.00m.	522	117	125	25-30
สี่เหลี่ยมตัน	0.26X0.26X7.00-23.00m.	674	102	162	30-35
รูปตัวไอ	0.30X0.30X7.00-23.00m.	662	136	159	30-35
สี่เหลี่ยมตัน	0.30X0.30X7.00-23.00m.	896	117	215	35-45
รูปตัวไอ	0.35X0.35X7.00-25.00m.	881	159	211	35-45
สี่เหลี่ยมตัน	0.35X0.35X7.00-25.00m.	1221	136	293	40-50
รูปตัวไอ	0.40X0.40X7.00-25.00m.	1247	189	299	45-55
สี่เหลี่ยมตัน	0.40X0.40X7.00-25.00m.	1596	157	383	55-60
รูปตัวไอ	0.45X0.45X7.00-26.00m.	1466	211	352	50-55
สี่เหลี่ยมตัน	0.45X0.45X7.00-26.00m.	2021	177	485	60-70

ตารางที่ 2.3 คุณสมบัติต่างๆ ของเสาเข็มคอกคอนกรีตอัดแรง (อ้างอิง กวี หวังนิเวศน์กุล, 2548)

เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก (Reinforced Concrete Pile)

เสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก มีรูปร่างได้หลายแบบ มักออกแบบให้จุดศูนย์กลางของหน้าตัดทับจุดศูนย์กลางของเสาเข็ม เหล็กเสริมตามยาวต้องมีพอเพียงที่จะรับโมเมนต์ดัดเนื่องจากการขนส่ง และยกคอก ต้องมีอย่างน้อย 4 เส้น เส้นผ่านศูนย์กลางไม่ควรเล็กกว่า 9 มิลลิเมตร สำหรับเหล็กปลอก อาจเป็นปลอกแบบพัน หรือ แบบปลอกเดี่ยวก็ได้ ต้องเสริมบริเวณปลาย และโคนเสาให้มาก เพราะทั้งที่โคนและที่ปลายเสาเข็ม อาจเสียหายเนื่องจากแรงกระแทกได้ การทำให้คอนกรีตแน่นอาจใช้เครื่องเขย่าหรืออาจใช้แบบชนิดเหวี่ยง ก็ได้

เสาเข็มเหล็ก (Steel Piles)

เสาเข็มเหล็ก ถ้าทำด้วยท่อเหล็ก ควรเหล็กรีดใส่ในท่อหลังจากตอกได้ถึงระดับที่ต้องการแล้ว แต่เสาเข็มเหล็กที่ใช้กันมักเป็นรูปตัว H เพราะสามารถตอกลงในดินได้ลึกกว่าชนิดอื่น ๆ สามารถตอกทะลุชั้นหินบางได้ และสามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้มากกว่ารูปอื่น ๆ

ข้อเสียของเสาเข็มเหล็ก ได้แก่การกัดกร่อน การป้องกันการกัดกร่อนสามารถกระทำโดยเพื่อ ความหนาของเหล็กไว้ 1/16 นิ้ว จากที่คำนวณ หรืออาจจะเลือกใช้โลหะชนิดพิเศษ ซึ่งทำไว้สำหรับ ป้องกันการกัดกร่อนโดยเฉพาะก็ได้ สำหรับเสาเข็มเหล็กที่ฝังอยู่ในชั้นดินที่ถูกรบกวน หรือชั้นดินถม บริเวณที่มีน้ำขึ้น น้ำลง หรือบริเวณที่เรียกว่าเปียก ๆ แห่ง ๆ นั้น ต้องป้องกันบริเวณนี้เป็นกรณีพิเศษ เช่น เหล็กรีดหุ้มก่อนถมดิน หรือทาสี ยะตอยโดยรอบก่อนการถมดิน เป็นต้น

เสาเข็มไม้ (Timber Piles)

เสาเข็มไม้ นิยมใช้ในงานก่อสร้างชั่วคราว และในพื้นที่ห่างไกล ลักษณะของเสาเข็มไม้ที่ดี ควร เป็นไม้เบญจพรรณ เนื้อแข็ง คัดกิ่ง และทุบเปลือกออก ตอนตอกเอาด้านปลายลง ต้องมีลำต้นตรง และ หากต้องใช้เป็นเสาเข็มถาวร ต้องออกแบบให้หัวเสาเข็มอยู่ใต้ระดับน้ำทุกฤดูกาล เพื่อลดภาวะ การผุ กร่อน หรือ ยุ่ยสลายของเนื้อไม้

2.2.2 เสาเข็มเจาะ แบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ

เสาเข็มเจาะระบบแห้ง (Bored Pile using Dry Process)

ในพื้นที่ที่มีอาคารหรือโครงสร้างข้างเคียงอยู่มาก การตอกเสาเข็มอาจก่อให้เกิดความเสียหาย จึง นิยมเลี่ยงความเสี่ยง มาใช้เสาเข็มเจาะแทน ในงานที่น้ำหนักใช้งานลงเสาเข็มไม่มาก เช่น 20 ตัน – 60 ตันต่อต้น มักนิยมใช้เสาเข็มเจาะระบบแห้ง ซึ่งมีหลายขนาด เช่น ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.35 เมตร 0.45 เมตร และ 0.60 เมตร เป็นต้น

ข้อจำกัดของเสาเข็มชนิดนี้คือ สามารถทำลงได้ลึกแค่เพียงผิวบนของชั้นทราย ไม่สามารถทำลึก ลงไปได้อีกเพราะเกรงว่าจะมีน้ำใต้ดินไหลเข้ามาและก่อปัญหาในการเหล็กรีดได้ จึงทำให้กำลังรับ น้ำหนักของเสาเข็มประเภทนี้มีจำกัด

เสาเข็มเจาะระบบเปียก (Bored Pile using Wet Process)

เสาเข็มเจาะประเภทนี้มักนิยมใช้ในกรณีที่ต้องการให้รับน้ำหนักมากๆ เช่น 200-1500 ตันต่อต้น ทั้งนี้เพราะสามารถเจาะลงไปได้ลึกตามต้องการได้ (ในกรุงเทพมหานคร ลึกได้ถึงประมาณ 65 เมตร) การทำงานก่อสร้างต้องใช้เครื่องเจาะขนาดใหญ่และมีการเหล็กรีดได้น้ำด้วยระบบท่อ (Tremie Pipe) การเจาะต้องใช้ระบบท่อเหล็กป้องกันหลุมเจาะพังในช่วงดินอ่อน และใช้สารละลายเป็นโตนัดหรือ สารโพลิเมอร์ป้องกันหลุมพังในชั้นดินทรายหรือดินเหนียวที่อยู่ลึกลงไป

ดังนั้น เพื่อให้เกิดความคุ้มทุน ระบบเสาเข็มประเภทนี้จึงมักมีขนาดใหญ่ คือ ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.60 – 1.50 เมตร

2.3 การทำเสาเข็มเจาะมีวิธีการดังต่อไปนี้ (อ้างอิง นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์, 2540)

2.3.1 เสาเข็มเจาะขนาดเล็ก (Small Diameter Bored Pile)

การทำเสาเข็มเจาะชนิดนี้ใช้เครื่องมือขนาดเล็กเคลื่อนย้ายง่าย ทำงานได้ในบริเวณจำกัด เช่น ได้เพดานต่ำๆ ในชอกเกบ หรือมุมตึก ซึ่งปั้นจั่นไม่สามารถเข้าไปตอกเสาเข็มได้

อุปกรณ์หลักประกอบด้วย ขาตั้ง 3ขา (Tripod) ซึ่งปรับระดับสูง-ต่ำ กว้าง-แคบได้ ปลอกเหล็กชั่วคราว (Temporary Casing) กระเช้าตักดิน (Bucket) ลูกตุ้ม (Cylindrical Hammer) และเครื่องควั่นลม (Air Winch)

ขั้นตอนการทำงาน

➤ การเจาะและการใส่ casing

เมื่อตั้ง Tripod เข้าตรงกลางศูนย์เสาเข็มแล้ว ใช้ Bucket เจาะนำเป็นรูลึกประมาณ 1.50 เมตร แล้วนำ Casing ซึ่งทำเป็นท่อนๆ ยาวประมาณ 1.40 เมตร ต่อกันด้วยเกลียว ตกลงไปในรูเจาะในแนวดิ่ง จนถึงชั้นดินแข็งปานกลาง ที่พอเพียงที่จะป้องกันการพังทลายของชั้นดินอ่อนและน้ำใต้ดินไว้ได้ จากนั้นใช้ Bucket ขุดเจาะเอาดินออกจนถึงชั้นดินปนทราย ซึ่งในเขตกรุงเทพมหานครมักจะอยู่ที่ความลึกประมาณ 21-23 เมตร

➤ การปรับสภาพกันหลุมเจาะ

เมื่อเจาะถึงความลึกที่ต้องการแล้วใส่คอนกรีตแห้งที่ผสมในอัตราส่วน 1:2:4 โดยปริมาตรลงไปยังกันลึ้มประมาณ 0.15-0.25 ลบ.ม. แล้วกระทุ้งด้วยลูกตุ้มจนแน่น เป็นการทำให้กันหลุมสะอาดและอัดแน่นไม่มีเศษดินหรือทรายร่วงตกค้างอยู่ และยังอาจเกิดเป็น Bulb ของคอนกรีตแห้ง ซึ่งจะช่วยเพิ่ม Bearing Capacity และลดค่าการทรุดตัว (Settlement) ของเสาเข็มเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก

➤ การใส่เหล็กเสริม

ใส่เหล็กเสริมที่ผูกสำเร็จเป็นโครงไว้แล้วลงไปในรูเจาะ (จะผูกเป็นโครงยาวประมาณ 5-6 เมตร เพื่อให้สะดวกในการยกลง) ต่อกันระหว่างท่อนด้วยการผูกทาบตามระยะทาบมาตรฐานที่กำหนดโดย ว.ส.ท. ใส่ต่อกันลงไปจนได้ความยาวตามแบบ เหล็กเสริมนี้จะใส่ลูกปูน (Spacer) ที่ทำด้วยปูนทราย ไว้เป็นระยะ เพื่อช่วยประคองโครงเหล็กให้ทรงตัวอยู่ในรูเจาะ โดยมี Covering ไม่น้อยกว่า 7.5 ซม. อยู่โดยรอบ

➤ การเทคอนกรีต

เทคอนกรีตลงในรูเจาะโดยผ่านกรวย (Hopper) ที่มีท่อปล่อยขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6-8 นิ้ว ความยาวประมาณ 1 เมตร เพื่อให้คอนกรีตหล่นลงกลั่นหลุมตรงๆ ไม่ปะทะผนังรูเจาะ ซึ่งวิธีนี้จะช่วยลดการแยกตัวของคอนกรีตได้มาก และเนื่องจากงานหล่อคอนกรีตของเสาเข็มเจาะนั้นไม่สามารถใช้เครื่องเขย่าหรือเครื่องจี้ได้ จึงต้องให้คอนกรีตมีค่าการทำงานได้ (Workability) สูง โดยควบคุม Slump มีค่าระหว่าง 12.5-15.0 ซม.

➤ การถอน Casing

เมื่อเทคอนกรีตจนสูงกว่าปลาย Casing ประมาณ 3-4 เมตร แล้ว จึงเริ่มถอน Casing ขึ้นแล้วถอนออกทีละท่อน ขณะถอน Casing ต้องระวังให้คอนกรีตอยู่ใน Casing ตลอดเวลา เพื่อจะไม่ให้ชั้นดินบีบตัวจนทำให้ขนาดเสาเข็มเปลี่ยนไปหรือมีน้ำใต้ดินไหลเข้ามาในรูเจาะ เมื่อคอนกรีตยุบตัวลงก็เทคอนกรีตเพิ่มให้ได้ระดับตามต้องการ หลังจากหล่อเสาเข็มเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้ระดับที่ต้องการแล้วค่อยการเทเกินเพื่อไว้สำหรับสกัดคอนกรีตที่มีสิ่งสกปรกออกประมาณ 1 เท่าเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม คุณสมบัติของวัสดุ

➤ คอนกรีต

ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัยไม่ต่ำกว่า 210 กก./ซม.² เมื่อทดสอบด้วยก้อนคอนกรีตตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 15x15x15 ซม. ที่อายุ 28 วัน

มี Cement Content ไม่น้อยกว่า 300 กก./ม³ และมีค่าSlump 12.5-15.0 ซม. ในกรณีที่ไม่สะดวกในการใช้คอนกรีตผสมเสร็จ จะทำการผสมคอนกรีตที่หน่วยงานในอัตราส่วน 1:2:4 โดยปริมาตร

➤ เหล็กเสริม

เหล็กแกนใช้เหล็ก SR-24 ตามมาตรฐาน มอก.20-2527 โดยพื้นที่หน้าตัดของเหล็กไม่น้อยกว่า 0.5% ของพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

เหล็กปลอก ใช้เหล็ก SR-24 ตามมาตรฐาน มอก.20-2527 จะผูกเป็นเหล็กปลอกเดี่ยวหรือเหล็กปลอกเกลียวก็ได้ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มม. และมีระยะห่างกันไม่เกิน 0.20 เมตร

➤ ขนาดและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกปลอกค้ำ

ขนาดของเสาเข็ม (cm.)	พื้นที่หน้าตัด (cm. ²)	เส้นรอบรูป (cm.)	ความลึก (m.)	รับน้ำหนักบรรทุก ทุกปลอกค้ำ(tons)
Ø35	962	110	18-23	25-35
Ø43	1452	135	18-23	40-50
Ø50	1963	157	18-23	60-80
Ø60	2827	188	18-23	90-120

ตารางที่ 2.4 แสดงขนาดและความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกทุกปลอกค้ำของเสาเข็มเจาะ

ขนาดเล็ก (อ้างอิง นิพนธ์ สุวรรณสุขโรจน์, 2540)

หมายเหตุ

- ความยาวของเสาเข็มเปลี่ยนแปลงได้ตามคุณสมบัติของชั้นดินหรือค่าการรับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ
- น้ำหนักบรรทุกปลอดภัยที่กำหนดไว้นั้นใช้สำหรับในเขตกรุงเทพมหานคร อาจเปลี่ยนแปลงได้เพราะขึ้นกับคุณสมบัติของดินและความยาวเสาเข็ม

2.3.2 เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ (Large Diameter Bored Pile)

ในปัจจุบัน จากการที่ราคาที่ดินย่านธุรกิจมีราคาที่สูงและมีพื้นที่ไม่กว้างขวางนัก ทำให้จำเป็นต้องสร้างอาคารที่มีขนาดสูง เพื่อให้ได้พื้นที่มากขึ้นในแนวตั้ง อาคารเหล่านี้ย่อมมีน้ำหนักบรรทุกค่อนข้างสูงดังนั้นจึงมีความจำเป็นต้องให้เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่และลึกกว่าปกติเป็นฐานรากของอาคาร

เครื่องมือที่ใช้ในการทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ส่วนใหญ่นั้นเป็นเครื่องจักรกลหนัก เช่น รถเครน (Crawler Crane) เครื่องเจาะ (Rotary Drilling Rig) เครื่องเขย่า (Vibrohammer) ปลูกเหล็กกันดินชั่วคราว (Temporary Casing) และ Bentonite plant เป็นต้น

การทำเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่แบ่งออกเป็น 2 วิธีคือ Wet Process และ Dry Process

2.3.2.1 เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ระบบ Wet Process

Wet Process หรือมีชื่อเรียกอีกอย่างหนึ่งว่า Slurry Method จะใช้กับสภาพดินที่มีชั้นทรายหรือมีน้ำใต้ดิน จำเป็นต้องใช้ของเหลว (Slurry) ช่วยสร้างแรงดันในหลุมเจาะ เพื่อป้องกันไม่ให้หลุมเจาะพัง ทั้งนี้สาร Slurry อาจจะเป็นสารละลาย Bentonite หรือน้ำธรรมดาก็ได้แล้วแต่สภาพของดิน

ขั้นตอนการทำงาน

➤ การใส่ Casing

เมื่อตรวจสอบตำแหน่งศูนย์เข็มเรียบร้อยแล้วใช้ Vibrohammer กด Casing ลงไปจนลึกถึงชั้นดินแข็งปานกลาง ซึ่งดินกรุงเทพมหานคร ต้องใส่ Casing ลึกประมาณ 12-14 เมตร จึงสามารถป้องกันมิให้น้ำใต้ดินและชั้นดินอ่อนพังทลายเข้ามาในรูเจาะได้ ในขณะที่ทำการกด Casing ลงในดินนั้น จะมีการตรวจสอบ และควบคุมมิให้ Casing กลาดเคลื่อนไปจากศูนย์เข็มและแนวตั้งตลอดเวลา

➤ การเจาะ

เมื่อใส่ Casing ลงถึงความลึกที่ต้องการแล้วจะทำการขุดเจาะเอาดินขึ้นมา โดยใช้เครื่องเจาะแบบ Rotary Drilling ที่มีหัวเจาะแบบสว่าน (Auger) และบั้งก็ (Bucket) ให้เลือกใช้งานตามความ

เหมาะสม หัวเจาะนี้สามารถทำการเจาะได้ลึกตามความยาวของก้านเจาะ (Kelly Bar) ที่เป็นแบบ Telescopic รูเจาะที่ได้จากการใช้เครื่องมือแบบนี้ จะตรงได้ตั้งและมีขนาดสม่ำเสมอตลอดทั้งต้น

ในช่วงแรกที่ยังเจาะได้โดยไม่มีดินหรือน้ำทลายเข้ามาจะใช้หัวเจาะแบบ Auger เมื่อเจาะใกล้ถึง ชั้นดินปนทราย (Silty Clay /Sandy Clay) ที่น้ำหรือดินสามารถพังทลายเข้ามาได้ จึงจะใส่สาร Slurry ลงไปในรูเจาะ และเปลี่ยนหัวเจาะแบบ Bucket สาร Slurry จะช่วย Stabilize พังดินของผนังรูเจาะและ Hydraulic Head ของสาร Slurry จะช่วยต้านแรงดันจากด้านข้างมิให้พังเข้ามา

➤ การใส่เหล็กเสริม

เมื่อเจาะถึงความลึกที่ต้องการแล้ว นำเหล็กเสริมที่ผูกสำเร็จเป็นโครงไว้แล้วมาใส่ในรูเจาะ โครงเหล็กเสริมแต่ละท่อนจะต่อกันโดยการเชื่อมด้วยไฟฟ้าหรือผูกทาบก็ได้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ ขึ้นอยู่กับความยาวหรือน้ำหนักของเหล็กเสริม โครงเหล็กเสริมนี้จะมีลูกปูนลักษณะคล้ายขนมโดนัท ร้อยอยู่ในเหล็กปลอกโดยรอบเป็นระยะ ๆ เพื่อช่วยประคองโครงเหล็กให้ทรงตัวอยู่ในรูเจาะโดยมี Covering ไม่น้อยกว่า 7.5 ซม. อยู่โดยรอบ

➤ การเท Concrete

ใช้วิธีการเทคอนกรีตได้น้ำ โดยการเทผ่านท่อ Tremie Pipe ขนาด $\varnothing 8'' - 10''$ ที่มี Plug จำพวก Foam, ลูกบอลล์, Vermiculite หรือวัสดุอื่นอุดอยู่ เพื่อป้องกันมิให้คอนกรีตแยกตัว (Segregation) และ ป้องกันคอนกรีตไม่ให้ไปสัมผัสกับสาร Slurry โดยตรง เมื่อเทคอนกรีตลงใน Tremie Pipe คอนกรีตจะดัน Plug ออกไปทางปลายท่อด้านล่างซึ่งอยู่เหนือก้นหลุมเพียงเล็กน้อยพอให้คอนกรีตไหลได้สะดวก คอนกรีตที่พุ่งออกมาอย่างแรงจะดันตะกอนก้นหลุมที่อาจมีอยู่บ้าง และ Plug ให้ลอยขึ้นมา จึงจะมีแต่เนื้อ คอนกรีตลงไปที่ก้นหลุมและเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนหรือสาร Slurry เข้ามาปะปนกับคอนกรีตได้ จะต้องรักษาปลาย Tremie Pipe ให้จมอยู่ในคอนกรีตตลอดเวลาของการเทคอนกรีต โดยมีระยะจมน้อย 2.0 ม. ตะกอนและสาร Slurry จึงจะถูกดันลอยขึ้นมาตลอดเวลาจนมาอยู่ส่วนบนของหัวเสาเข็ม โดยทั่วไปเมื่อเทคอนกรีตจนได้ระดับแล้ว จะต้องมีส่วนช่วยเพื่อสำหรับสกัดเอาส่วนหัวของเสาเข็มออก ประมาณ 1 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

➤ การถอน Casing

ต้องถอน Casing ออกก่อนคอนกรีตจะแข็งตัวหลังจากเทคอนกรีตถึงระดับที่ต้องการแล้ว ใช้ Vibrohammer ดึง Casing ขึ้น โดยพยายามควบคุมให้อยู่ในแนวตั้ง เพื่อป้องกันการพังของดินและการ เคลื่อนตัวของเหล็ก หลังจากถอน Casing เสร็จ จะต้องไม่ไปกระทบกระเทือนกับเสาเข็มต้นนั้นจนกว่า คอนกรีตจะแข็งตัว ซึ่งใช้เวลาประมาณ 24 ชม. และระยะใกล้เคียงที่จะทำงานได้ ควรมี ระยะห่างจากจุด ศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

➤ คุณสมบัติ การใช้งาน และการควบคุมคุณภาพของ Bentonite Slurry

- คุณสมบัติ Bentonite Slurry ที่ใช้งานได้ต้องมีคุณสมบัติดังนี้

1. pH มีค่าไม่ต่ำกว่า 7
2. Density มีค่าระหว่าง 1.00 – 1.035 ดัน/ม³ และปริมาณผง Bentonite ที่ใช้ ผสมประมาณ 2-6 % โดยน้ำหนัก
3. Viscosity มีค่า 30 – 90 SEC. (March" s Cone Test)
4. Sand Content ไม่เกิน 6%

- ปริมาณ

Bentonite Slurry ในรูเจาะจะต้องมีปริมาณมากพอที่จะต้านแรงดันด้านข้างที่ดินทรายและน้ำใต้ดินจะพังทลายเข้ามาในรูเจาะ ดังนั้นในขณะเจาะจะต้องใส่ Bentonite ให้เต็ม Casing อยู่ตลอดเวลา และคอยเติมเพิ่มอยู่เสมอ เพื่อรักษาระดับของ Bentonite ให้คงที่

- กระบวนการ Recycle

Bentonite ที่ผสมแล้วจะใช้งานได้หลายครั้ง โดยมีการ Treatment อยู่เสมอ ซึ่งมีอุปกรณ์และขบวนการดังแผนที่แสดงไว้ข้างล่างนี้ กล่าวโดยย่อคือ Bentonite Slurry ที่ผ่านการใช้งานมาแล้วจะถูกสูบจากหลุมเจาะที่กำลังเทคอนกรีต มาตกตะกอนทรายหยาบในถังเก็บใบที่ 1 ก่อน แล้วจึงถูกส่งต่อไปยังถังเก็บใบที่ 2 ภายในถังเก็บใบที่ 2 นี้ Bentonite Slurry จะถูกแยกทรายละเอียดออกด้วยเครื่อง Cyclone อยู่ตลอดเวลา

ก่อนนำ Bentonite ในถังที่ 2 ไปใช้งาน จะต้องตรวจสอบคุณภาพต่างๆ ว่าได้ตามมาตรฐานหรือไม่ ถ้ายังไม่ได้ตามข้อกำหนดก็ต้องเพิ่มระยะเวลาการ Treatment ออกไปอีก และหรือเติม Bentonite ที่ผสมใหม่จากใน Mixer ลงไปเพิ่มจนได้คุณภาพตามต้องการ จึงจะสามารถนำไปใช้งานได้

2.3.2.2 เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ระบบ Dry Process

ในสภาพดินบางแห่งเมื่อเจาะแล้วไม่พบตาน้ำใต้ดินหรือชั้นทราย อัดตัวแน่นจนไม่เกิดการพังทลายของหลุมเจาะ หรือสามารถกด Casing ให้ลึกพอเพียงที่จะป้องกันทั้งน้ำและดินทรายมิให้พังทลาย เข้าในรูเจาะได้ก็จะสามารถทำเสาเข็มเจาะในระบบ Dry Process ได้โดยไม่จำเป็นต้องทำในระบบ Wet Process ซึ่งจะมีกรรมวิธียุ่งยากและควบคุมคุณภาพได้ลำบากกว่า

- ขั้นตอนการทำงาน

- การใส่ Casing

ใช้ Vibrohammer กด Casing ที่เป็นท่อเหล็กยาวประมาณ 15 – 18 ม. ลงไปในดิน โดยตรวจสอบและควบคุมให้อยู่ในแนวตั้งตลอดเวลาหลังจากนั้นหากเจาะดินลึกเกินความยาวของ Casing แล้วยังมีน้ำหรือดินทราย เข้ามาได้อีก ก็จะนำ Casing อีกท่อนมาเชื่อมต่อ แล้วกดลงไปจนได้ความลึกที่สามารถป้องกันรูเจาะมิให้มีการพังทลายได้

- การเจาะ

ใช้เครื่องเจาะแบบเดียวกับที่ใช้ในระบบ Wet Process แต่เนื่องจากในรูเจาะไม่มีน้ำหรือของเหลว (Slurry) จึงใช้หัวเจาะที่เป็นแบบสว่าน (Auger) เพียงอย่างเดียว โดยไม่ต้องใช้หัวเจาะแบบบั้งก็ (Bucket) ซึ่งทำให้ขุดเจาะได้สะดวกและรวดเร็วกว่าการเจาะในระบบ Wet Process มาก

- การปรับสภาพกันหลุมเจาะ

เมื่อเจาะถึงระดับความลึกที่ต้องการ ได้โดยไม่น้ำแล้ว ก่อนใส่เหล็กเสริม กันหลุมเจาะจะได้รับ การปรับให้แน่น โดยการใส่คอนกรีตแห้งประมาณ 0.25 – 0.75 ม³ ลงไปแล้วกระทุ้ง (Compact) ด้วย ลูกตุ้มจนแน่น เป็นการทำให้ กันหลุมเจาะสะอาด และอัดแน่นไม่มีเศษดินหรือทรายร่วนค้ำอยู่ และ ยังอาจเกิดเป็น Bulb ของคอนกรีตแห้ง ซึ่งจะช่วยเพิ่ม Bearing Capacity และลดค่า Settlement ของ เสาเข็มเมื่อรับน้ำหนักบรรทุก

- การใส่เหล็กเสริม

เมื่อปรับกันหลุมจนแน่นดีแล้ว นำเหล็กเสริมที่ผูกสำเร็จเป็นโครงไว้แล้วมาใส่ในรูเจาะ โครง เหล็กเสริมแต่ละท่อนจะต่อกันโดยการเชื่อมด้วยไฟฟ้า หรือผูกทาบก็ได้ตามความเหมาะสม ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความยาวหรือน้ำหนักของเหล็กเสริม โครงเหล็กเสริมนี้จะมีลูกปลูกลักษณะคล้ายขนมโดนัทร้อยอยู่ในเหล็กโดยรอบเป็นระยะๆ เพื่อช่วยประคองโครงเหล็กให้ทรงตัวอยู่ในรูเจาะ โดยมี Covering ไม่น้อยกว่า 7.5 ซม. อยู่โดยรอบ

- การเท Concrete

ใช้ Tremie Pipe เป็นอุปกรณ์ช่วยในการเทคอนกรีตเช่นเดียวกับการเทคอนกรีตในระบบ Wet Process แต่ Tremie Pipe ที่ใช้สำหรับเทคอนกรีตในระบบ Dry Process นี้ ได้รับการออกแบบมาเป็น พิเศษโดยเฉพาะเพื่อให้สามารถเทคอนกรีตได้อย่างรวดเร็วและยังป้องกันการเกิด Segregation ของ คอนกรีตได้เป็นอย่างดีด้วย โดยทั่วไป Tremie Pipe จะมีขนาด ๑๘” – 10” และมีความยาวสัมพันธ์กับ ความลึกของรูเจาะ โดยให้มีระยะ Free – Fall ประมาณ 3.0 ม.

- การถอน Casing

เมื่อเทคอนกรีตถึงระดับที่เผื่อไว้แล้ว ใช้ Vibrohammer ดึง Casing ขึ้น โดยพยายามควบคุมให้อยู่ในแนวตั้ง เพื่อป้องกันการพังของดินและการเคลื่อนตัวของเหล็ก ในกรณีที่ใส่ Casing ต่อกันไว้เกิน 1

ท่อน จะต้องถอนขึ้นมาจนถึงรอยต่อ แล้วตัดขาดออกจากกัน จากนั้นจึงถอน Casing ส่วนที่เหลือในลักษณะเดียวกันจนหมด เสาเข็มเจาะที่ทำเสร็จแล้วจะมีส่วนหัวสูงกว่าระดับใช้งานจริง ประมาณ 50 ซม. เพื่อให้สกัดส่วนที่เป็น Latent/Slime Concrete ออก จนเหลือแค่เนื้อคอนกรีตที่สมบูรณ์

หลังจากถอน Casing เสร็จแล้ว จะต้องไม่ไปกระทบกระเทือนกับเสาเข็มต้นนั้นจนกว่าคอนกรีตจะแข็งตัวซึ่งใช้เวลาประมาณ 24 ชม. และระยะใกล้เคียงที่จะทำงานได้ ควรมีระยะห่างจากจุดศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 6 เท่า ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

ข้อดีของการทำเสาเข็มเจาะในระบบ Dry Process

- สามารถตรวจสอบลักษณะชั้นดินของหลุมเจาะนั้น ๆ ได้ตามสภาพที่เป็นจริง เพราะลักษณะดั้งเดิมไม่เสียไป เนื่องจากไม่ถูกคลุกเคล้าด้วยสาร Slurry
- สามารถตรวจสอบสภาพของกันหลุมได้อย่างชัดเจน ซึ่งจะพิสูจน์ให้เห็นด้วยตาเปล่าได้ว่าไม่มีเศษดิน หรือตะกอนใดๆ อันจะทำให้สูญเสียความสามารถในการรับน้ำหนักตกค้างอยู่ที่กันหลุมเจาะ
- สามารถควบคุมให้เสาเข็มมีความสมบูรณ์ได้ดีกว่า เนื่องจากเนื้อคอนกรีตจะไม่มีสารอย่างอื่นมาเจือปน ทำให้ได้ Strength ตามต้องการ อีกทั้งเนื้อคอนกรีตจะต่อเนื่องกันอย่างสม่ำเสมอไม่ขาดตอนเพราะไม่ได้เทคอนกรีตในสาร Slurry จึงไม่ต้องกังวลเรื่องความไม่สมบูรณ์ของเสาเข็ม
- หัวเสาเข็มไม่มีตะกอนหรือฟองอากาศมาก จึงสามารถลดส่วนที่เผื่อไว้เพื่อสกัดออกให้น้อยลงได้ทำให้ประหยัดค่าใช้จ่ายในงานสกัดหัวเสาเข็ม
- ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มจะเป็นไปตามค่าที่คำนวณได้จากคุณสมบัติของดิน เพราะสภาพกันหลุมและผิวดินด้านข้างในรูเจาะไม่ได้ถูกเคลือบด้วยสาร Slurry ทำให้ได้ค่า Bearing และ Friction อย่างสมบูรณ์
- รักษาสภาพพื้นที่ทำงานและบริเวณรอบๆ ให้สะอาดได้ดีกว่า เช่น ถนนที่ใช้เป็นทางผ่าน เข้า ออก ไม่เลอะเทอะจากสาร Slurry ที่อาจไหลลงไป
- การทำงานสะดวก และรวดเร็วกว่า
- สามารถรับน้ำหนักปลอดภัยได้ดีกว่าเสาเข็มเจาะที่มีขนาดเดียวกันที่ทำโดยระบบ

Wet Process

● คุณสมบัติของวัสดุ

คอนกรีต

- ใช้คอนกรีตที่มีกำลังอัดประลัยไม่ต่ำกว่า 240 กก./ซม² เมื่อทดสอบด้วยก้อนคอนกรีตตัวอย่างรูปลูกบาศก์ขนาด 15X15x15 ซม. ที่อายุ 28 วัน

- มี Cement content ไม่น้อยกว่า 350 กก. /ม³ มีค่า Slump 15 – 20 ซม. และผสมน้ำยาหน่วง(Retarder) เพื่อยืดระยะเวลาก่อตัว ออกไปอีกประมาณ 4 – 6 ชม.

เหล็กเสริม

- เหล็กแกน ใช้เหล็ก SD -30 ตามมาตรฐาน มอก. 24 – 2527 จะผูกเป็นปลอกเดี่ยวหรือปลอกเกลียวก็ได้ โดยมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางไม่เล็กกว่า 6 มม. และมีระยะห่างกันไม่เกิน 0.30 ม.

- ขนาด และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกตลอดภัย

ขนาดของเสาเข็ม Pile Size (cm.)	พื้นที่หน้าตัด Cross Section Area (cm. ²)	เส้นรอบรูป Perimeter (cm.)	ความลึก Depth (m.)	รับน้ำหนักบรรทุก ตลอดภัย Safe Load (tons)
Ø50	1963	157	25 - 36	70 - 100
Ø60	2827	188	25 - 36	90 - 160
Ø80	5026	251	25 - 46	140 - 270
Ø90	6362	283	25 - 46	160 - 300
Ø100	7854	314	25 - 46	180 - 350
Ø120	11310	377	25 - 46	220 - 500

ตารางที่ 2.5 แสดงขนาด และความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกตลอดภัยเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่
หมายเหตุ

1. ความยาวของเสาเข็มเปลี่ยนแปลงได้ตามคุณสมบัติของชั้นดินหรือค่าการรับน้ำหนักบรรทุกที่ต้องการ

2. น้ำหนักบรรทุกตลอดภัยที่กำหนดไว้นั้นใช้สำหรับในเขตกรุงเทพมหานครอาจเปลี่ยนแปลงได้เพราะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของดินและความยาวเสาเข็ม

การก่อสร้างเสาเข็มเจาะที่กล่าวโดยสรุปนี้ดูง่าย ๆ แต่ขณะทำจริงจะมีความยุ่งยากพอสมควร อุปกรณ์ต้องมีคุณภาพตามที่กำหนดและผู้ทำต้องมีประสบการณ์พอสมควร

เสาเข็มเจาะจะมีราคาสูงกว่าเสาเข็ม ค.อ.ล. หรือ ค.ส.ล. เมื่อเทียบความสามารถในการรับน้ำหนักกับราคา (บาท/ ตัน) การพิจารณาเลือกใช้จริงต้องอาศัยเหตุผลอย่างอื่นมากกว่าราคา

2.4 ข้อดี ข้อเสีย ของเสาเข็มตอกและเสาเข็มเจาะ

2.4.1 เสาเข็มตอก (Driven Precast Concrete or Prestressed Concrete Pile) เป็นเสาเข็มคอนกรีตเสริมเหล็ก หรือคอนกรีตเสริมเหล็กแบบ prestress มีข้อดีและข้อเสีย คือ

ข้อดี

- ตรวจสอบคุณภาพของโครงสร้างในเสาเข็มก่อนตอกเสาเข็ม
- เพิ่มความหนาแน่นของดินประเภท Granular Soil เนื่องจากการตอกเสาเข็มทำให้เพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักได้ด้วย
- ไม่มีผลกระทบต่อวิธีการสร้างจากน้ำใต้ดิน
- สามารถใช้เสาเข็มยาวได้

ข้อเสีย

- ทำให้เกิดการสั่นสะเทือน เนื่องมาจากการตอก และเป็นผลทำให้เกิดการยกตัวสูงขึ้นของผิวดินใกล้เคียง ซึ่งอาจเป็นอันตรายต่อโครงสร้างในบริเวณใกล้เคียง
- ทำให้เกิดการเสียหายของเสาเข็มได้ ถ้าต้องเสาเข็มแรงเกินไป
- มีผลกระทบต่อโครงสร้างของเสาเข็ม อันเนื่องมาจากการตอกเสาเข็ม

2.4.2 เสาเข็มเจาะ(Bored and Cast in Place Piles)

ข้อดี

- ไม่เกิดการดันดินด้านข้างให้ยกตัวสูงขึ้น
- เปลี่ยนแปลงความยาวของเสาเข็มได้
- ตรวจสอบคุณสมบัติของดินในหลุมเจาะและนำมาเปรียบเทียบกับข้อมูลดินจากการสำรวจได้
- ไม่มีผลกระทบต่อโครงสร้างของเสาเข็ม เนื่องมาจากการตอกและยกเสาเข็ม
- ไม่ทำให้เกิดเสียงดังและความสั่นสะเทือน

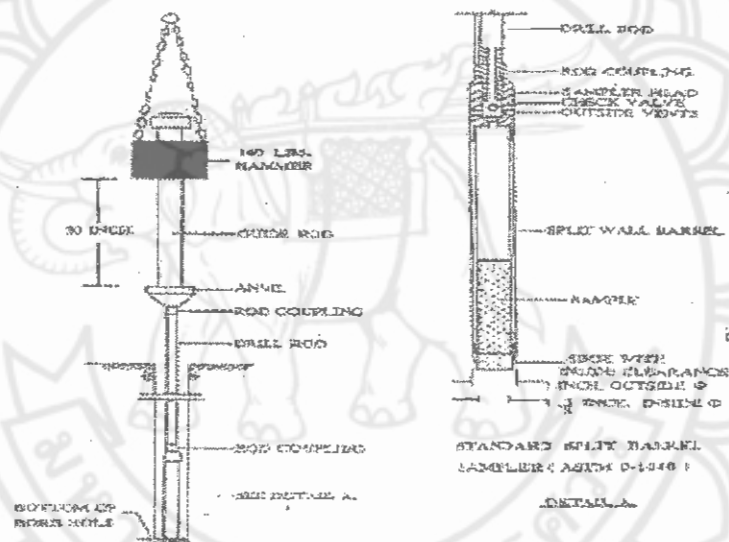
ข้อเสีย

- อาจทำให้ดินประเภท Sandy Soil หรือ Gravelly Soil มีความหนาแน่นน้อยลง เนื่องมาจากการเจาะหลุม
- เมื่อพบน้ำใต้ดิน จะทำให้ไม่สะดวกในการเทคอนกรีต และไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีต

- น้ำในหลุมเจาะ อาจทำให้เกิดความเสียหายต่อคอนกรีตที่ยังไม่แข็งตัวหรืออาจทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักของเสาเข็มลดลงไป
- ถ้าเป็นดินประเภท Granular Soil จะไม่สามารถขยายปลายเสาเข็มได้

2.5 Standard Penetration Test (SPT: ASTM D1586)

การทดสอบการตอกทะลวงมาตรฐาน ทดสอบโดยใช้ ตู้น้ำหนักมาตรฐาน (Hammer) ตอกให้กระบอกผ่าจมลงไปก่อน 6 นิ้วแรก จากนั้นจึงเริ่มนับจำนวนครั้งที่ใช้ในการตอกจนกระบอกผ่าจมถึงระดับลึก 18 นิ้ว จำนวนครั้งในการตอกนี้เรียก N-value



รูปที่ 2.4 การทดสอบการตอกทะลวงมาตรฐาน (SPT)

ในการหาค่าการทรุดตัวจากค่า N-value มีผู้เสนอทฤษฎี และ กราฟมากมายรวมถึงการปรับค่า N-value แต่ สำหรับค่า N-value จะมีความผิดพลาดได้มากในกรณีที่ดินนั้นเป็น ทรายละเอียดมาก หรือ ทรายที่มีตะกอนทรายปน (very fine or silty sand) ที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน (Saturated condition) ค่าที่ได้ในสนามนี้จะต้องนำมาปรับแก้ขึ้นเนื่องมาจาก Overburden pressure ภายในดิน

2.5.1 การนำผลการทดสอบ Standard Penetration Test ไปใช้งาน

Schmertmann (1975) – Granular -

$$N_{60} = C_N \times N \quad (2.1)$$



(2.2) สำนักทดสอบ

22 ก.ค. 2551

$$\phi = \tan^{-1} \left[\frac{N_{60}}{12.2 + 20.3 \left(\frac{\sigma'_v}{P} \right)} \right]^{0.34}$$

เมื่อ N_{60} = ค่า SPT ที่ปรับแก้ค่าแล้ว

σ'_v = Effective overburden Pressure

N = ค่า SPT ที่ทดสอบได้

P = Atmospheric pressure = 100 kN/m²

$$C_N = \sqrt{95.76 / \sigma'_v} \quad (2.3)$$

เมื่อ σ'_v = มีหน่วยเป็น kN/m²

Hara และ คณะ (1971) เสนอสมการแสดงความสัมพันธ์ C_u ที่ได้จากการทดสอบแรงอัดสามแกนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวดังนี้

$$C_u = 29(N_{60})^{0.72} \text{ kN/m}^2 \quad (2.4)$$

2.6 การออกแบบเสาเข็ม (Pile Design)

2.6.1 แรงที่กระทำต่อเสาเข็ม (Loads)

แรงที่กระทำต่อฐานรากเสาเข็มได้คำนวณโดยพิจารณาจากข้อกำหนดต่าง ๆ ใน BS 5400 โดยที่น้ำหนักคงที่ของโครงสร้างต่าง ๆ ของแผ่นพื้นอาคารศูนย์ซ่อมบำรุง จะถูกนำมาพิจารณาร่วมกับน้ำหนักบรรทุกจรของรถไฟฟ้า แรงที่เกิดจากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ แรงที่เกิดจากการยึดหรือหดตัวของคอนกรีต แรงที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากการทรุดตัวไม่เท่ากันของเสาเข็ม ฯลฯ เป็นแรงที่กระทำในกรณีต่าง ๆ ของข้อกำหนดของสภาวะการใช้งาน และภาวะประลัยแรงที่กระทำในสภาวะการใช้งาน จะนำมาใช้กำหนดกำลังน้ำหนักบรรทุกที่ความต้องการของเสาเข็มเพื่อการออกแบบความยาวของเสาเข็ม และตรวจสอบการเคลื่อนตัวของหัวเสาเข็มขณะที่แรงกระทำในสภาวะประลัยได้นำมาใช้เฉพาะงานออกแบบโครงสร้างของเสาเข็ม

2.6.2 แรงดันน้ำในมวลดิน (Pore Water Pressure)

จากผลของการตรวจวัดแรงดันน้ำใต้ดินในสภาพปัจจุบัน ทำให้ทราบว่า ในบริเวณโครงการระดับของแรงดันน้ำใต้ดิน มีค่าลดลงจากระดับแรงดันน้ำในอุดมคติ (Hydrostatic pressure) ประมาณ 220 KPa โดยทั่วไปแล้ว สำหรับงานที่ไม่สำคัญหรืองาน โครงสร้างชั่วคราวต่าง ๆ สามารถใช้ค่าที่วัดได้

นี้ในการออกแบบเสาเข็มได้เลย แต่ทว่า ในโครงการฯ นี้มีข้อกำหนดว่าโครงสร้างจะต้องมีอายุการใช้งานไม่น้อยกว่า 120 ปี ดังนั้นในการออกแบบ จึงต้องพิจารณาถึงความเป็นไปได้ของการ เพิ่มขึ้นของระดับน้ำใต้ดิน (Possibility of groundwater recovery to hydrostatic profile) ในช่วงอายุการใช้งานที่ยาวมากนี้ด้วย ในทางปฏิบัติ จึงมีการพิจารณาใช้ค่าของแรงดันน้ำที่วัดได้ (Measured pore water pressure) และแรงดันน้ำในอุดมคติ (Hydrostatic pressure)

2.6.3 อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety)

การกำหนดอัตราส่วนความปลอดภัยในงานฐานรากเสาเข็มโดยทั่วไปแล้ว ขึ้นอยู่กับความสำคัญของโครงสร้าง สภาพและอายุของการใช้งาน ความแม่นยำในการประเมินน้ำหนักที่มากกระทำ ความเข้าใจในพฤติกรรมของเสาเข็มเมื่อน้ำหนักมากกระทำ ข้อมูลของชั้นดิน ความแม่นยำในการประเมินกำลังน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม กรรมวิธีในการผลิตเสาเข็ม กรรมวิธีและอุปกรณ์ที่ใช้ในการตอกหรือก่อสร้างเสาเข็ม การตรวจสอบและประกันคุณภาพของงานเสาเข็มใช้งาน ดังนั้น วิศวกรผู้ออกแบบ ต้องพิจารณาในการกำหนดอัตราส่วนความปลอดภัยอย่างรอบคอบ

ในโครงการนี้อัตราส่วนความปลอดภัยของงานเสาเข็มมีดังนี้ (อ้างอิง อ.กรกฎ นุสิทธิ์)

ลักษณะการใช้งาน	อัตราส่วนความปลอดภัย
1. เสาเข็มเดี่ยว	
1) รับแรงกด (Axial Compression)	>2.0
2) รับแรงกดและแรงดัดต่าง ๆ (Axial Compression with Negative Skin Friction)	>1.75 >3.0
3) รับแรงดึง (Axial Tension)	
2. เสาเข็มกลุ่ม	
1) รับแรงกด (Axial Compression)	>2.0
2) รับแรงกดและแรงดัดต่าง ๆ (Axial Compression with Negative Skin Friction)	>1.50 >3.0
3) รับแรงดึง (Axial Tension)	

ตารางที่ 2.6 อัตราส่วนความปลอดภัยของงานเสาเข็ม

2.7 การออกแบบเสาเข็มเดี่ยว

โครงสร้างของเสาเข็มต้องไม่รับแรงเกินขนาดที่ยอมให้ (The pile structure must not be overstressed)

- การรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต้องมีค่าความปลอดภัยเพียงพอต่อการเฉือนพังของชั้นดิน (There must be an adequate factor of safety against a shear failure)
- การทรุดตัวของเสาเข็มในสภาวะใช้งานต้องไม่มากกว่าค่าที่ยอมให้ (The settlement of pile subjected to the design load must be within tolerable limits)

2.7.1 ข้อคำนึงในการออกแบบเสาเข็ม

- แรงต่างๆที่กระทำต่อเสาเข็ม รวมถึงแรงกดลง อันเนื่องจากการทรุดตัวของดินรอบข้างเสาเข็ม
- ความแข็งแรงของเสาเข็ม
- สภาพชั้นดินและกำลังรับน้ำหนักของชั้นดิน
- ค่าอัตราส่วนความปลอดภัย
- วัสดุและรูปร่างของเสาเข็มตอก
- การใช้งานเป็นเสาเข็มกลุ่มหรือเสาเข็มเดี่ยว
- เครื่องมือที่ใช้ตอก
- สภาพสิ่งแวดล้อมข้างเคียงพื้นที่ตอกเสาเข็ม

2.7.2 กำลังรับน้ำหนักในแนวดิ่ง (อ้างอิง อ.กรกฎ นุสิทธิ์)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มในทางทฤษฎีของวิศวกรรมธรณีเทคนิค เป็นการคำนวณจากข้อมูลของชั้นดิน (Subsurface Conditions) และพฤติกรรมของแรงยึดเหนี่ยวหรือแรงต้านทานระหว่างเสาเข็มและชั้นดิน (Pile/Soil Interaction Behavior) ดังรายละเอียดต่อไปนี้

- กำลังรับน้ำหนักกดในแนวแกน (Axial compression)
- กำลังรับแรงดึงในแนวแกน (Axial tension)
- แรงกดลง (Negative skin friction, NSF) ที่กระทำต่อเสาเข็ม

2.7.2.1 กำลังรับน้ำหนักกดในแนวแกน (Axial compression)

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p \quad (2.5)$$

โดยที่

Q_u = กำลังรับน้ำหนักกดสูงสุด (Ultimate pile capacity)

Q_b = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ปลายเสาเข็ม (Ultimate end-bearing capacity)

Q_s = กำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ผิวเสาเข็ม (Ultimate skin friction capacity)

W_p = น้ำหนักสุทธิของเสาเข็ม (weight of pile)

CHART -Axial compression

$$Q_u = Q_b + Q_s - W_p$$

$$\text{Sand, } Q_b = N_q \sigma'_{vo} A_p$$

$$\text{Sand, } Q_s = K_s \sigma'_{vo} \tan \delta A_s$$

$$\text{Clay, } Q_b = S_u N_c A_p$$

$$\text{Clay, } Q_s = \alpha \bar{S}_u A_s$$

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ปลายเสาเข็ม (Ultimate base capacity: Q_b) ในชั้นดินที่มีความเหนียวต่ำ หรือชั้นทราย (Cohesion less soils)

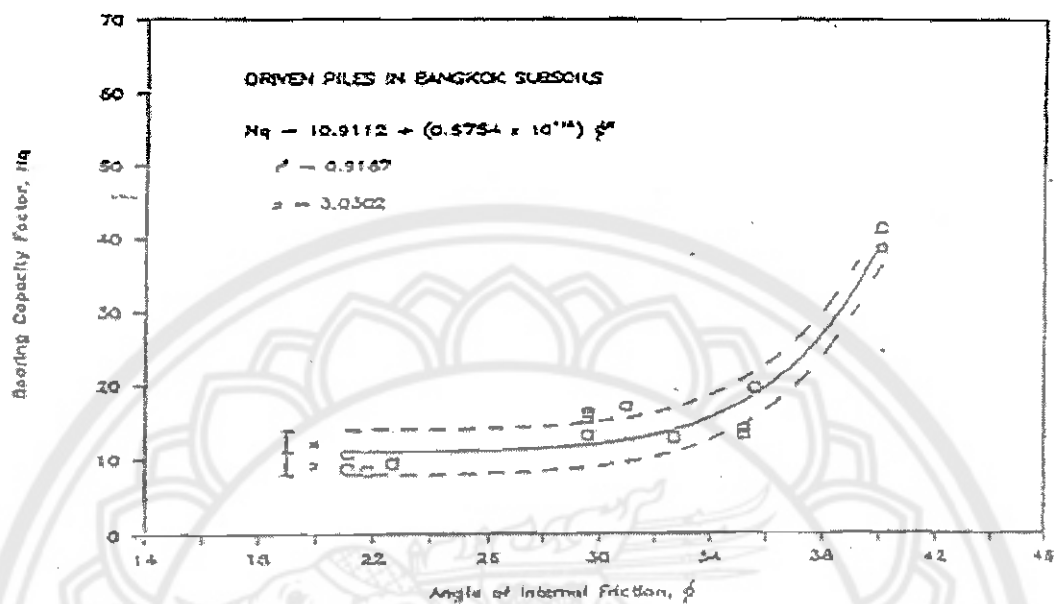
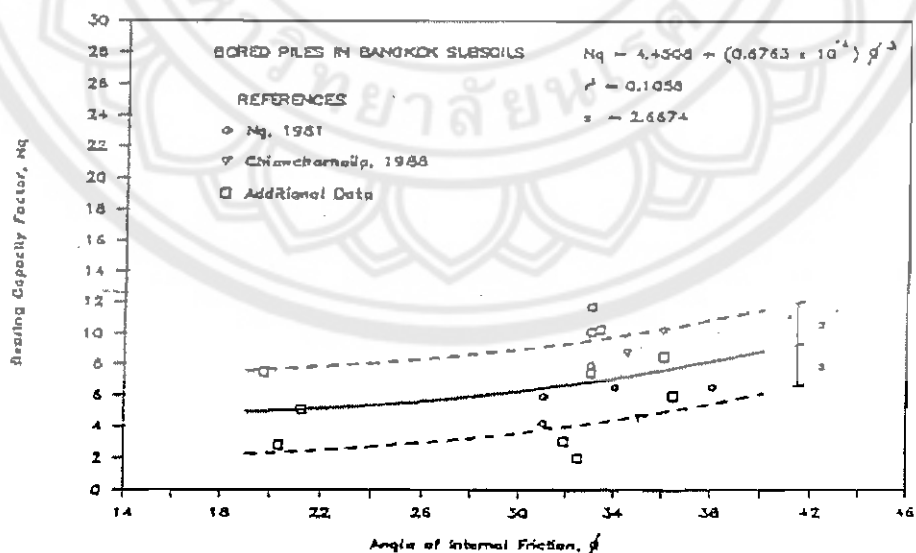
$$Q_b = N_q \sigma'_{vo} A_p \quad (2.6)$$

โดยที่

N_q = ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับน้ำหนัก (a bearing capacity factor)

σ'_{vo} = ค่าหน่วยแรงกดทับประสิทธิผล ในช่วงความลึกของเสาเข็มที่พิจารณา
(Effective overburden pressure at pile base level)

A_p = พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม (cross sectional area of pile)

ค่า N_q ของเสาเข็มตอกBearing Factor - N_q for Driven Pileรูปที่ 2.5 ค่า N_q ของเสาเข็มตอก (อ้างอิง Pimpasugdi, 2532)ค่า N_q ของเสาเข็มเจาะ

Relationship between Bearing Capacity Factor and Angle of Internal Friction for Bored Piles

รูปที่ 2.6 ค่า N_q ของเสาเข็มเจาะ (อ้างอิง Pimpasugdi, 2532)

ในสภาพดินเหนียว (Cohesive soils)

$$Q_b = S_u N_c A_p \quad (2.7)$$

โดยที่

S_u = ค่าหน่วยแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำที่ระดับปลายเสาเข็ม
(Average undrained shear strength at pile base)

N_c = ค่าสัมประสิทธิ์กำลังรับน้ำหนัก (a bearing capacity factor, 9 is used for deep foundation)

σ'_{vo} = ค่าหน่วยแรงกดทับรวม ที่ระดับปลายเสาเข็ม (total overburden pressure at pile base level)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกที่เกิดจากแรงเสียดทานตามผิวเสาเข็ม (Ultimate skin friction capacity: Q_s) ในสภาพดินทราย (Cohesion less soils)

$$Q_s = K_s \sigma'_{vo} \tan \delta A_s \quad (2.8)$$

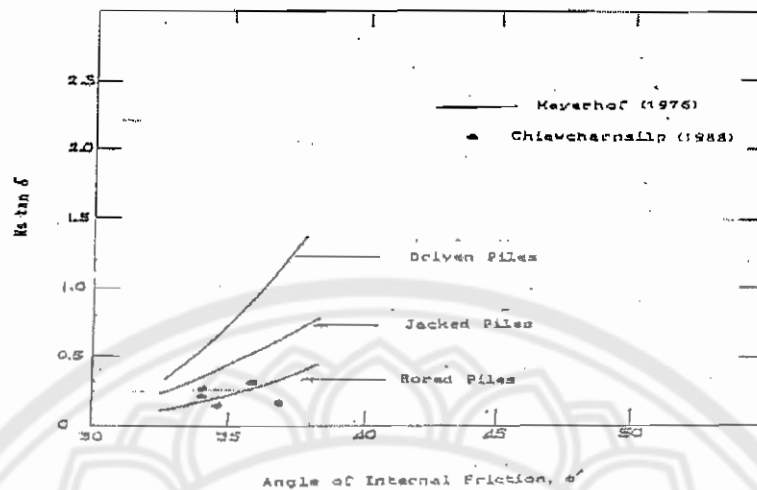
โดยที่

K_s = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงในแนวราบ (a coefficient of horizontal soil stress)

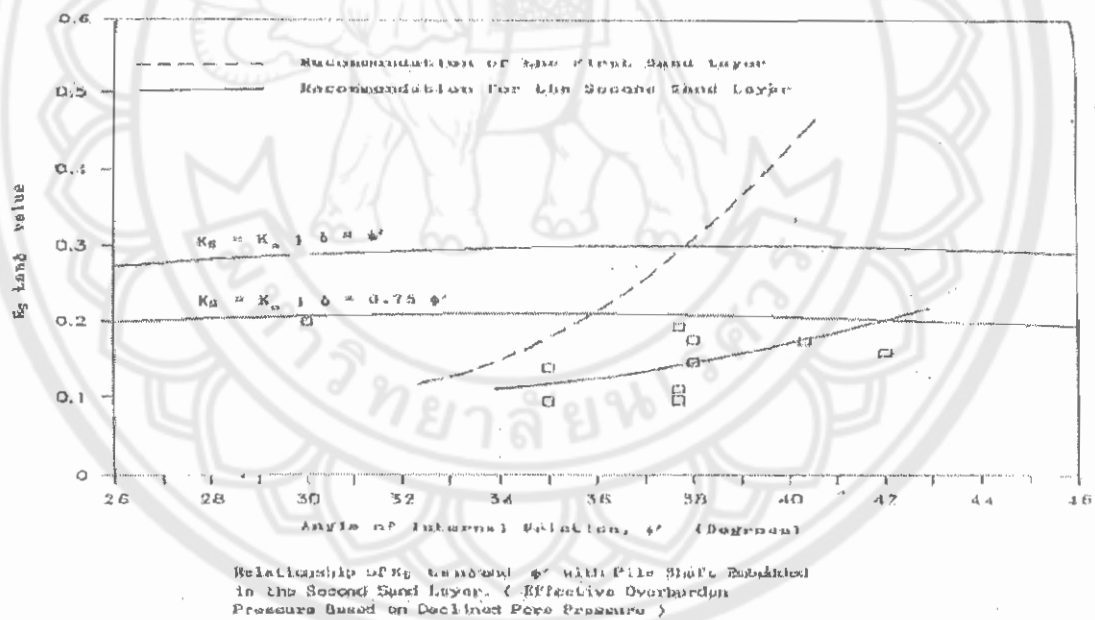
σ'_{vo} = ค่าหน่วยแรงกดทับประสิทธิภาพ ในช่วงความลึกของเสาเข็มที่พิจารณา
(The average effective overburden pressure along the length of pile shaft providing support)

δ = ค่าเฉลี่ยของมุมเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม
(The average angle of friction between the soil and the shaft material)

A_s = พื้นที่ผิวของเสาเข็มที่สัมผัสดิน (Area of shaft in contact)



รูปที่ 2.7 ค่า $K_s \tan \delta$ ของเสาเข็มตอก (อ้างอิง Chiewcharnsilp, 2531)



รูปที่ 2.8 ค่า $K_s \tan \delta$ ของเสาเข็มเจาะ (อ้างอิง Oonchillikul, 2533)

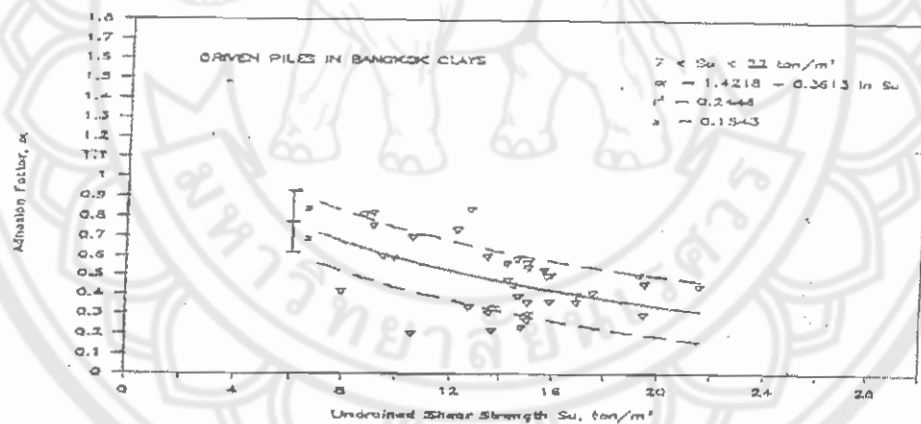
ในสภาพดินเหนียว (Cohesive Soils)

$$Q_s = \alpha \bar{S}_u A_s \quad (2.9)$$

โดยที่

- α = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (An adhesion factor)
 α = ค่าหน่วยแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโดยเฉลี่ย ของดินรอบข้างเสาเข็ม
 (The average undrained shear strength of the soil surrounding the pile shaft)
 A_s = ค่าพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่สัมผัสดิน (Area of pile shaft in contact with the soil)

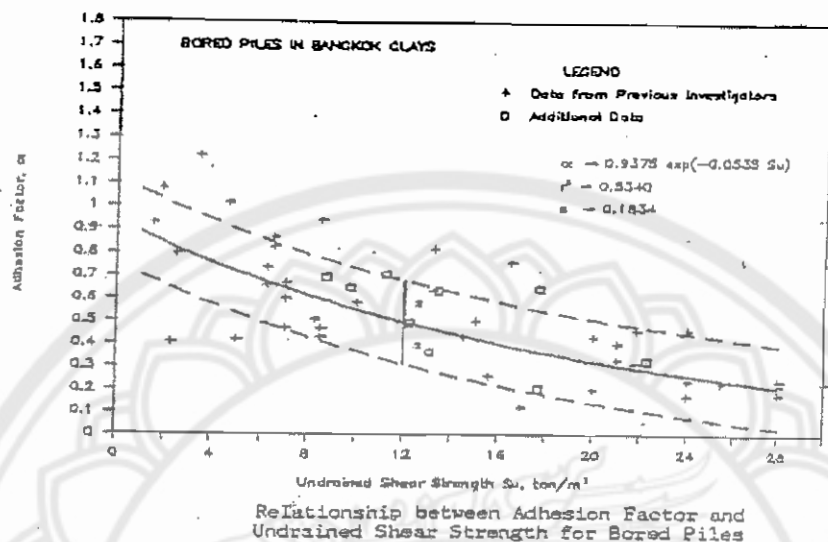
ค่า Adhesion Factor ระหว่างผิวเสาเข็มตอกและดินรอบข้าง



Adhesion Factor between Concrete Driven Pile and Cohesive Soil

รูปที่ 2.9 ค่า Adhesion Factor ระหว่างผิวเสาเข็มตอกและดินรอบข้าง (อ้างอิง Pimpasugdi, 2532)

ค่า Adhesion Factor ระหว่างผิวเสาเข็มเจาะและดินรอบข้าง



รูปที่ 2.10 ค่า Adhesion Factor ระหว่างผิวเสาเข็มเจาะและดินรอบข้าง (อ้างอิง Pimpasugdi, 2532)

2.7.2.2 กำลังรับแรงดึงในแนวแกน (Axial tension) (อ้างอิง อ.กรกฎ นุสิทธิ์)

กำลังรับแรงดึงสูงสุดในแนวแกนของเสาเข็มมีวิธีการประเมิน ดังนี้

$$Q_{ut} = Q_s + W_p \quad (2.10)$$

โดยที่

Q_{ut} = กำลังรับแรงถอนสูงสุด (ultimate tension capacity)

Q_s = แรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มสูงสุด (ultimate shaft resistance)

W_p = น้ำหนักของเสาเข็ม (weight of pile)

แรงต้านทานการดึงหรือถอนของเสาเข็มในสภาพดินเหนียว (Cohesive soils)

$$Q_s = \alpha \bar{S}_u A_s \quad (2.11)$$

โดยที่

α = ค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทาน (an adhesion factor)

$\bar{S}_u$ = ค่าหน่วยแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำโดยเฉลี่ย ของดินรอบข้างเสาเข็ม

(The average undrained shear strength of the soil surrounding the pile shaft)

A_s = ค่าพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่สัมผัสดิน
(Area of pile shaft in contact with the soil)

ในสภาพดินทราย (Cohesion less soils)

$$Q_s = K_s \tan \delta \times \sigma'_{vo} \times A_s \times d \quad (2.12)$$

โดยที่

$K_s \tan \delta$ = ค่าสัมประสิทธิ์ของหน่วยแรงในแนวราบ (a coefficient of horizontal soil stress)

σ'_{vo} = ค่าหน่วยแรงกดทับประสิทธิภาพ ในช่วงความลึกของเสาเข็มที่พิจารณา
(The average effective overburden pressure along the length of pile shaft providing support)

d = ค่าเฉลี่ยของมุมเสียดทานระหว่างดินและเสาเข็ม
(The average angle of friction between the soil and the shaft material)

A_s = ค่าพื้นที่หน้าตัดของเสาเข็มที่สัมผัสดิน (area of pile shaft in contact with the soil)

2.7.2.3 แรงดูดลง (Negative skin friction, NSF) ที่กระทำต่อเสาเข็ม

เขตกรุงเทพฯ และปริมณฑล แรงดูดที่กระทำต่อเสาเข็ม พิจารณาว่าเกิดขึ้นจากการทรุดตัวของดิน จากการสูบน้ำบาดาลเกินอัตรา จากการที่ปลายเสาเข็มวางบนชั้นทรายชั้นแรกที่มีการทรุดตัวน้อยมาก ทำให้การทรุดตัวในชั้นดินเหนียวอ่อนที่อยู่ในช่วง 15 ถึง 18 เมตรแรก ซึ่งเกิดการทรุดตัวได้มากกว่าชั้นดินอื่นๆ ที่อยู่ใต้ปลายเสาเข็ม กลายเป็นแรงดูดที่กระทำต่อเสาเข็ม

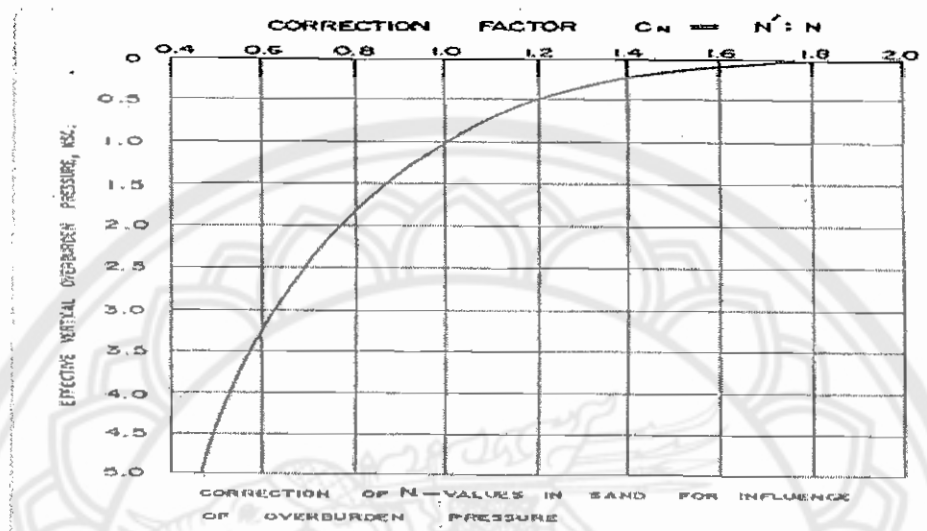
$$NFS = \beta \times \sigma'_{vo} \quad (2.13)$$

โดยที่

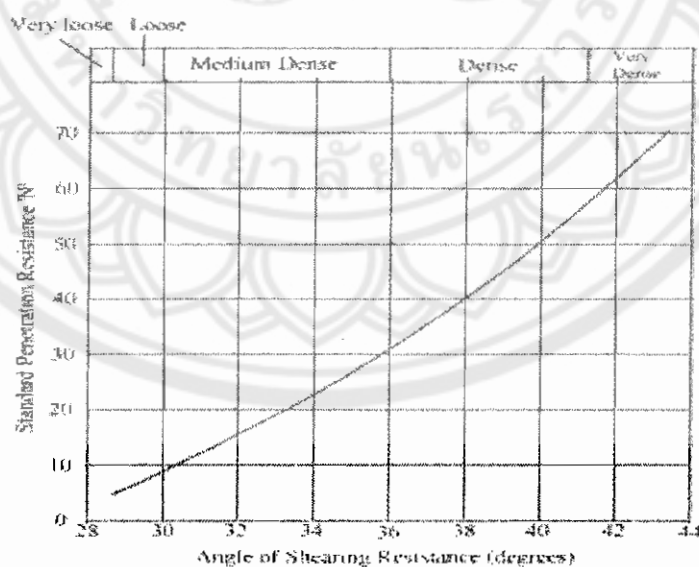
β = สัมประสิทธิ์ของแรงดูด (an adhesion factor) ในชั้นดินเหนียวอ่อน ค่า $\beta = 0.2$

σ'_{vo} = ค่าเฉลี่ยของหน่วยแรงกดทับประสิทธิภาพ ในช่วงความลึกของเสาเข็มที่พิจารณา
ในชั้นดินอ่อนที่มีแรงดูด (Average effective overburden pressure)

ดินทราย

รูปที่ 2.13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า C_n และค่า N-Value

ดินทราย



รูปที่ 2.14 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่า Angle internal friction และค่า N-Value

2.7.3 อัตราส่วนความปลอดภัย (Factor of Safety)

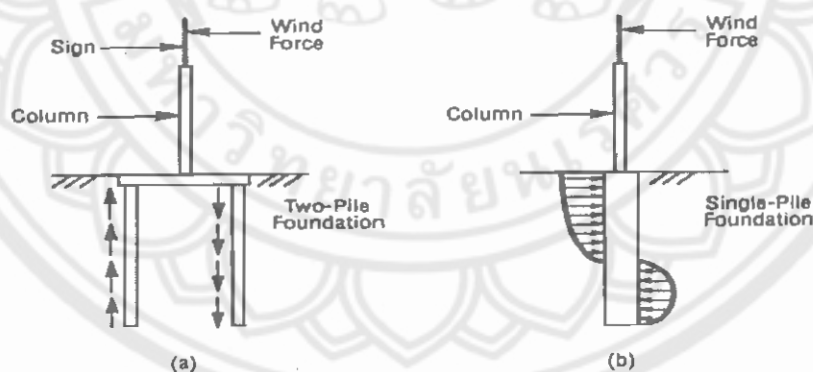
- กำลังรับน้ำหนักกดในแนวแกน (Axial compression) โดยทั่วไปใช้ $FS = 2 - 2.5$
- กำลังรับแรงดึงในแนวแกน (Axial tension) โดยทั่วไปใช้ $FS = 3$
- แรงถูกลง (Negative skin friction, NSF) ที่กระทำต่อเสาเข็ม

2.7.4 กำลังรับน้ำหนักในแนวราบ

แรงกระทำด้านข้าง เช่น แรงลม แรงแผ่นดินไหว แรงกระแทกจากวัตถุ ซึ่งพฤติกรรมการรับแรงด้านข้างของเสาเข็มมีความซับซ้อน เพราะมีพฤติกรรมร่วมกัน ระหว่างคุณสมบัติความแข็งแรงของเสาเข็ม (Structural Stiffness of Pile) และกำลังรับแรงต้านทานด้านข้างของดิน (Passive Resistance of Soil)

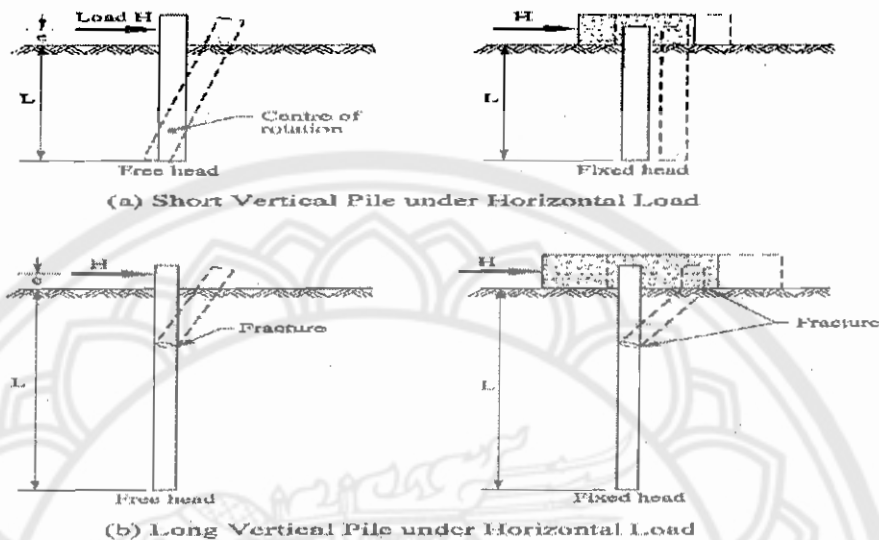
B. Brom (1964) แบ่งพฤติกรรมของเสาเข็มรับแรงด้านข้างเป็น 2 กลุ่ม คือ พฤติกรรมของเสาเข็มสั้น และพฤติกรรมของเสาเข็มยาว

2.7.4.1 การถ่ายแรงของเสาเข็มและดินรอบข้างเมื่อรับแรงกระทำด้านข้าง



รูปที่ 2.15 การถ่ายแรงของเสาเข็มและดินรอบข้างเมื่อรับแรงกระทำด้านข้าง (อ้างอิง B.Brom, 2507)

2.7.4.2 พฤติกรรมการรับแรงต้านข้างของเสาเข็มสั้นและเสาเข็มยาว



รูปที่ 2.16 พฤติกรรมการรับแรงต้านข้างของเสาเข็มสั้นและเสาเข็มยาว (อ้างอิง B.Brom, 2507)

การระบุว่าเสาเข็มจะมีพฤติกรรมแบบเสาเข็มสั้น (Rigid Short Pile) หรือพฤติกรรมแบบเสาเข็มยาว (Flexible Long Pile) สามารถบอกได้โดยการคำนวณค่า Stiffness Factor R และ T

$$R = \sqrt[4]{\frac{EI}{kB}} \quad (2.14)$$

$$T = \sqrt[5]{\frac{EI}{n_h}} \quad (2.15)$$

(มีหน่วยตามหน่วยความยาว)

โดยที่

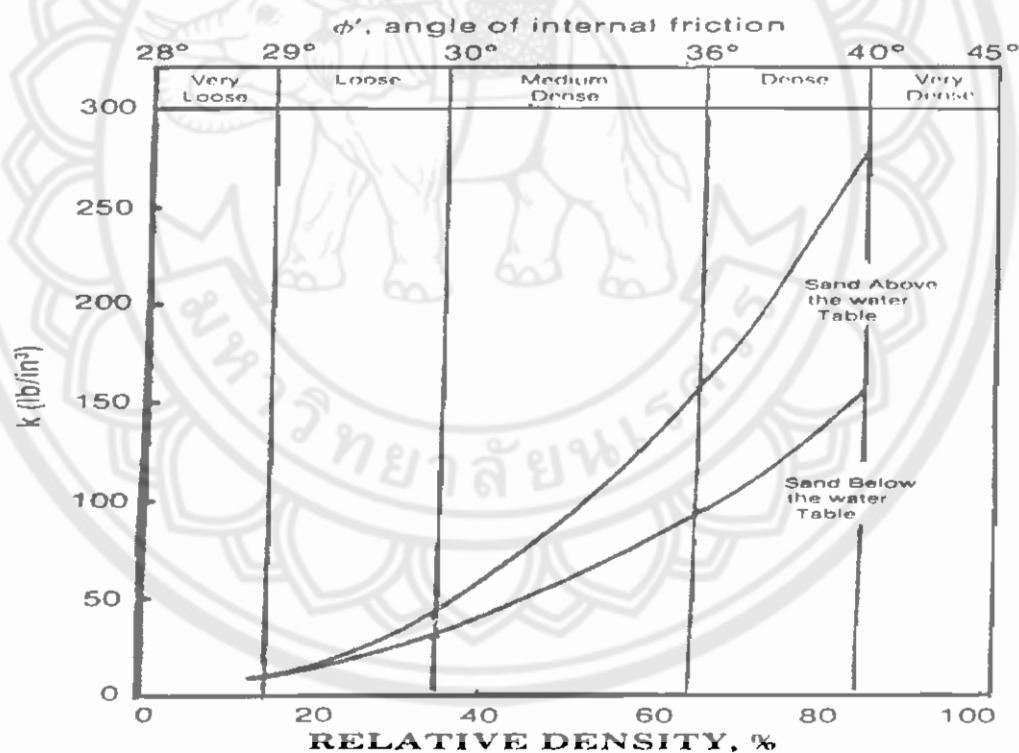
E	คือ	ค่า Young Modulus ของเสาเข็ม
I	คือ	ค่า โมเมนต์อินเนอร์เซียของเสาเข็ม
B	คือ	ขนาดความกว้างของเสาเข็ม
n_h	คือ	สัมประสิทธิ์การแปรเปลี่ยนของ modulus, $n_h = KB/x$
k	คือ	ค่าสัมประสิทธิ์ของ Subgrade Reaction ของดิน

ค่า k มีค่าสัมพันธ์กับ Undrained Shear Strength ดังตาราง

Consistency	Soft to medium	Firm to stiff	Stiff to very stiff	Hard
Undrained shear strength (kPa)	10 - 50	50 - 100	100 - 200	>200
Range of k (kPa)	670 - 3350	15,000 - 30,000	30,000 - 60,000	>60,000

ตารางที่ 2.7 ค่า k ของ (Cohesion Soil) (อ้างอิง B.Brom, 2507)

ค่า k มีค่าสัมพันธ์กับ Angle of internal friction ดังรูป



รูปที่ 2.17 ค่า k ของดินทราย (อ้างอิง B.Brom, 2507)

Pile Head Conditions	Short Pile		Flexible Long Pile	
	Linear increasing E	Constant E	Linear increasing E	Constant E
Free Head	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$	$L \geq 4T$	$L \geq 3.5R$
Fix Head	$L \leq 2T$	$L \leq 2R$	$L \geq 4T$	$L \geq 3.5R$

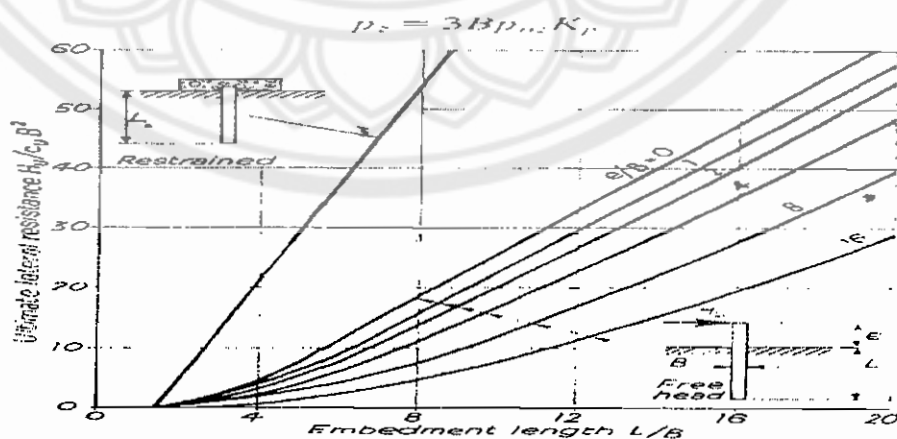
ตารางที่ 2.8 ระยะปลอดภัยเมื่อหัวเสาเข็มมีลักษณะต่างๆ

2.7.4.3 กำลังต้านทานด้านข้างประลัยของเสาเข็มสั้น (Ultimate Resistance of Short Rigid Pile, Hub)

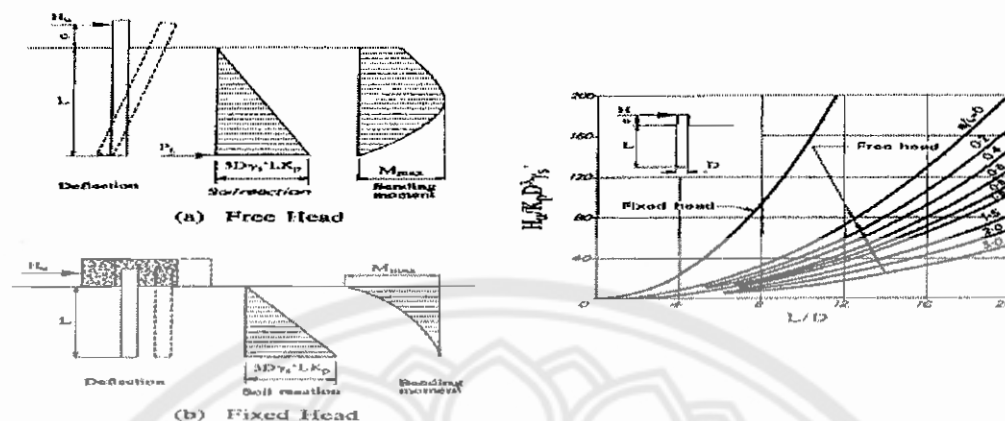
การประเมินกำลังต้านทานแรงกระทำด้านข้างทำได้หลายวิธีเช่น ใช้ตามข้อเสนอของ B. Brom หรือ วิธีของ Reese and Wang ที่ใช้หลักการของ p-y curves (Load –deformation curves of surrounding soil)

วิธีของ B. Brom ถือเป็นวิธีการอย่างง่ายและสะดวก

Brom ได้ให้แนวทางในการหากำลังต้านทานด้านข้างประลัยในชั้นดินเหนียวและดินทราย ไว้ในรูปดังนี้



รูปที่ 2.18 กำลังต้านทานด้านข้างประลัยของเสาเข็มสั้นในชั้นดินเหนียว (อ้างอิง B.Brom, 2507)



รูปที่ 2.19 กำลังต้านทานด้านข้างประลัยของเสาเข็มสั้นในชั้นดินทราย (อ้างอิง B.Brom, 2507)

2.8 การออกแบบเสาเข็มกลุ่ม

การใช้เสาเข็มสำหรับงานฐานรากของโครงสร้าง หากมีน้ำหนักกระทำลงสู่ฐานรากมากกว่าความสามารถที่เสาเข็มจะรับได้ จำเป็นจะต้องใช้เสาเข็มหลายๆต้น เพื่อรับน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างได้อย่างปลอดภัย จากการศึกษาที่ต้องใช้เสาเข็มหลายๆต้น จะต้องมีการจัดรูปแบบของเสาเข็ม เพื่อให้เกิโมเมนต์น้อยที่สุด

2.8.1 ระยะห่างของเสาเข็มกลุ่ม

เสาเข็มอยู่ในช่วง 2-3 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มและจัดให้มีระยะจากศูนย์กลางเสาเข็มถึงของฐานรากประมาณ 1-1.5 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

2.8.2 ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม (Group Efficiency, G_c)

เป็นอัตราส่วนของแรงต้านทั้งหมดที่เสาเข็มกลุ่มรับได้ ต่อผลรวมของแรงต้านของเสาเข็มเดี่ยว แต่ละต้นที่จำนวนเท่ากัน

2.8.3 กำลังรับน้ำหนักในแนวดิ่งของเสาเข็มกลุ่ม

ดินเหนียว

พฤติกรรมของเสาเข็มกลุ่มในดินเหนียว เมื่อระยะห่างระหว่างเสาเข็มน้อยๆ การเคลื่อนพังจะเป็นแบบ Block Type Failure แต่ถ้าระยะการจัดวางของเสาเข็มมีมากขึ้นไป การเคลื่อนพังจะเป็นแบบ Individual Pile Failure

-กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มกลุ่มแบบการเคลื่อนพัง Individual Pile Failure

$$Q_{v \text{ group ult.}} = G_c \times n \times P_{v \text{ single ult.}} \quad (2.16)$$

$Q_{v \text{ group ult.}}$	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกลุ่ม
G_c	=	ประสิทธิภาพของเสาเข็มกลุ่ม
n	=	จำนวนเสาเข็มทั้งหมดในกลุ่ม
$P_{v \text{ single ult.}}$	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกเสาเข็มเดี่ยวในแนวดิ่ง

spacing	2.5B	3B	3.5B	4B	4.5B	5B	5.5B	6B
Group Efficiency	0.65	0.70	0.75	0.80	0.85	0.90	0.95	1.00

ตาราง 2.9 ค่าสัมประสิทธิ์ของเสาเข็มกลุ่มที่ระยะห่างเสาเข็มต่างๆ (modified form AASHTO, 1998)

-กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มกลุ่มแบบการเคลื่อนพัง Block Type Failure

$$Q_{v \text{ group ult.}} = (2X + 2Y) \times Z \times S_{u \text{ avg}} + X \times Y \times N_c \times S_u \quad (2.17)$$

กรณี $Z/X \leq 2.5$, $N_c = 5 \times (1 + 0.2X/Y) \times (1 + 0.22Z/X)$

กรณี $Z/X > 2.5$, $N_c = 7.5 \times (1 + 0.2X/Y)$

โดยที่

$Q_{v \text{ group ult.}}$	=	กำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มกลุ่ม
$S_{u \text{ avg}}$	=	ค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงเฉือนแบบไม่ระบายน้ำของดินเหนียวตลอดความยาวเสาเข็ม
S_u	=	ค่ากำลังแรงเฉือนที่ฐานรากของเสาเข็ม
N_c	=	แฟกเตอร์สำหรับคำนวณค่ากำลังแบกทาน
X, Y	=	ด้านกว้าง ขว
Z	=	ความลึกที่ระดับใดๆ

ดินทราย

กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มกลุ่มในดินทรายสามารถคำนวณจากผลรวมของกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มแต่ละที่อยู่ในกลุ่ม เนื่องจากการตอกเสาเข็มในดินทรายจะทำให้ความหนาแน่นในดินทรายสูงมากขึ้น

$$Q_{v \text{ group ult.}} = n \times P_{v \text{ single ult.}} \quad (2.18)$$

โดยที่

$Q_{v \text{ group ult.}}$

=

กำลังรับน้ำหนักบรรลยของเสาเข็มกลุ่ม

n

=

จำนวนเสาเข็มทั้งหมดในกลุ่ม

$P_{v \text{ single ult.}}$

=

กำลังรับน้ำหนักบรรลยเสาเข็มเดี่ยวในแนวดิ่ง

ดินอ่อน

ในกรณีชั้นดินอ่อนอยู่ใต้ฐานราก ต้องพิจารณาถึงโอกาสการเลื่อนทะลุผ่านของเสาเข็มกลุ่มลงสู่ชั้นดินอ่อนกว่า และ/หรือ การทรุดตัวปริมาณมากใตักกลุ่มเสาเข็มด้วย โดยใช้วิธี Equivalent Footing ค่าความเค้นที่ระดับใดๆ หาได้จาก

$$\sigma_i = P / ((X_i + Z_i) + (Y + Z_i)) \quad (2.19)$$

โดยที่

σ_i

=

ความเค้นที่ระดับที่พิจารณาใดๆ

P

=

น้ำหนักบรรทุกที่กระทำต่อเสาเข็มกลุ่ม

Z_i

=

ระดับความลึกที่พิจารณา

X, Y

=

ความกว้าง ความยาวของฐานรากกลุ่ม

2.8.4 กำลังรับน้ำหนักในแนวราบของเสาเข็มกลุ่ม

กำลังรับน้ำหนักในแนวราบของเสาเข็มกลุ่มจะมีค่าน้อยกว่าผลรวมของกำลังเสาเข็มเดี่ยวที่อยู่ในกลุ่มเดียวกัน อันเนื่องมาจากผลกระทบของ Pile Soil Pile Interaction ของเสาเข็มในกลุ่ม ซึ่งเป็นเหตุให้เสาเข็มที่อยู่ในกลุ่มเสาเข็มมีการเคลื่อนตัวมากกว่าเสาเข็มเดี่ยว แม้ว่ารับน้ำหนักบรรทุกภายนอกต่อต้านเท่ากันก็ตาม และยังเป็นสาเหตุให้เกิด โมเมนต์ดัดของเสาเข็มในกลุ่มมีค่ามากยิ่งขึ้นด้วย

ค่ากำลังรับน้ำหนักประลัยที่เสาเข็มกลุ่มรับน้ำหนักแนวราบ คำนวณได้จาก

$$Q_{L \text{ GROUP ULT}} = \eta \times n \times P_{L \text{ SINGLE ULT}} \quad (2.20)$$

โดยที่

$Q_{L \text{ GROUP ULT}}$ = กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มกลุ่มในแนวราบ

η = Efficiency Factor

n = จำนวนเสาเข็มทั้งหมดในกลุ่ม

$P_{L \text{ SINGLE ULT}}$ = กำลังรับน้ำหนักประลัยของเสาเข็มเดี่ยวในแนวราบ

SOIL TYPE	COHESIONLESS SOIL	COHESIVE SOIL
EFFICIENCY FACTOR, η	0.75	0.81

ตารางที่ 2.10 ค่าEfficiency factor ของดินชนิดต่างๆ

2.9 ทฤษฎีที่ใช้ในการวิจัย

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ปลายเสาเข็ม (Q_b)

วิธีของJanbu's value

ดินทราย : $Q_b = A_b (\bar{q} N_q' d_q)$ (2.21)

วิธีของ Meyerhof

ดินเหนียว : $Q_b = A_b (9 S_u)$ (2.22)

วิธีการคำนวณของ Vesic

ดินทราย : $Q_b = A (\bar{\eta} \bar{q} N_q' d_q)$ (2.23)

ดินเหนียว : $Q_b = A_b (c N_c' d_c)$ (2.24)

กำลังรับน้ำหนักบรรทุกสูงสุดที่ผิวเสาเข็ม (Q_s)

วิธีของ Meyerhof

ดินทราย : $Q_s = A_s (\bar{q} k \tan \delta)$ (2.25)

วิธี SPT

ดินเหนียว : $Q_s = A_s (N/5)$ (2.26)

วิธี λ

$$\text{ดินเหนียว} : Q_s = A_s \lambda (\bar{q} + 2S_u) \quad (2.27)$$

วิธี α

$$\text{ดินเหนียว} : Q_s = A_s \alpha S_u \quad (2.28)$$

พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับ Sand คือ ϕ , SPT พารามิเตอร์ที่ใช้สำหรับ Clay คือ Undrained shear strength (C_u)

2.10 เหตุผลที่ใช้สูตร ดังกล่าวในการคำนวณรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม

เหตุผลที่ใช้สูตร การคำนวณรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็ม คือ เป็นสูตรการคำนวณที่ได้รับการยอมรับ และนิยม ใช้ในการคำนวณการรับน้ำหนักของเสาเข็มโดยทั่วไป และสูตรที่เลือกใช้นั้นสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมเอกเซลได้อย่างเหมาะสม และสะดวก

สูตรที่เลือกใช้นั้นสามารถที่จะนำมาประยุกต์ใช้กับโปรแกรมเอกเซลได้อย่างเหมาะสม และสะดวก กล่าวคือ สูตรบางสูตรมีการใช้ตัวแปรที่ได้จากการอ่านกราฟ และกราฟนั้นไม่มีสมการที่เป็นตัวแทน การคำนวณการรับน้ำหนักได้ของเสาเข็มในโครงการนี้ มีการคำนวณในปริมาณมาก หากแต่การมาอ่านกราฟแล้วนำมาแทนค่า จะทำให้เสียเวลามาก และเกิดข้อผิดพลาดขึ้นได้และการกลับมาแก้ไขการคำนวณทีหลังจะทำยากลำบากด้วย จึงทำให้เกิดข้อจำกัดในการเลือกสูตร ดังนั้นทำให้เลือกสูตรที่มีลักษณะที่มีตัวแปรเป็นสมการที่แทนค่าได้เลย ซึ่งสามารถนำมาใช้กับโปรแกรมเอกเซลได้อย่างเหมาะสมและสะดวก