



รายงานสหกิจศึกษาบับสมบูรณ์

สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะระบบเปียก

Predictable Concrete Volume's Equation of Wet Process Bored Pile

นายศุภณัฐ คำอินทร์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561



รายงานสหกิจศึกษาฉบับสมบูรณ์

สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะระบบเปียก

Predictable Concrete Volume's Equation of Wet Process Bored Pile

นายสุภณัฐ คำอินทร์

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2561

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ชื่อโครงการสหกิจศึกษา สมการภาคการณั้ปริมาตรคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะระบบเปียก

ชื่อ-สกุล นักศึกษา นายสุกฤษณ์ คำอินทร์ รหัสประจำตัว 58011241

คณะ วิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมโยธา

ชื่อ-สกุล อาจารย์นิเทศ ดร.ศลิษา ไชยพุทธ

ชื่อ-สกุล ผู้นิเทศงาน นายพลวัฒน์ อ่ำจำปา

สถานประกอบการ บริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด

บทคัดย่อ

ในปัจจุบัน องค์อาคารในพื้นที่เศรษฐกิจมีขนาดที่สูงขึ้นมากจากอดีต อันเนื่องมาจากพื้นที่ที่มีอยู่อย่างจำกัด แต่ความต้องการของมนุษย์มีไม่จำกัด ดังนั้นเสาเข็มขนาดใหญ่จึงมีบทบาทอย่างมากในการสร้างความมั่นคงให้กับองค์อาคารดังกล่าว ซึ่งเสาเข็มขนาดใหญ่นิยมก่อสร้างด้วยวิธีเจาะแบบเปียก โดยวิธีการนี้มีหลักการสำคัญอย่างหนึ่งคือ การเทคอนกรีตภายใต้สารละลาย ซึ่งเป็นการเทแบบพิเศษที่ต้องมีการควบคุมการก่อสร้างอย่างรัดกุม เนื่องจากเสาเข็มก่อสร้างใต้ดินจึงสังเกตปัญหาที่เกิดขึ้นได้ยาก

จากการเทคอนกรีตเสาเข็มเจาะของโครงการ The Fine Bangkok ทำให้ทราบถึงลักษณะการเทคอนกรีตของเสาเข็มเจาะ ซึ่งหนึ่งในลักษณะดังกล่าวคือ ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้เท็จจริงตามหน้านางานนั้น แตกต่างจากปริมาตรที่คำนวณตามแบบ โดยมีปัจจัยหลากหลายประการที่ส่งผลให้เกิดลักษณะดังกล่าว การสร้างสมการภาคการณั้ปริมาตรคอนกรีตใช้จริงที่พิจารณาปัจจัยต่างๆเหล่านั้น ถือว่าช่วยในการตัดสินใจของผู้วางแผนงาน โดยเฉพาะด้านงบประมาณในการก่อสร้างได้พอสมควร

จากการศึกษาและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้ พบว่าปัจจัยหลักๆที่ส่งผลต่อปริมาตรคอนกรีตที่ใช้เทคือ สารละลายเบนโทไนท์ ป्लอกเหล็ก เหล็กเสริม และลักษณะหลุมเจาะได้ปลอกเหล็ก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Cooperative Title: Predictable Concrete Volume's Equation of Wet Process Bored Pile

Student intern name: Supanat Kum-in ID 58011241

Faculty: Engineering **Department:** Civil Engineering

Advisor name: Dr. Salisa Chaiyaput

Mentor name: Mr. Ponlawat Aumjumpa

Company: JWS CONSTRUCTION CO., LTD.



ABSTRACT

Nowadays, the local economy building is higher from the past. Due to the available limited space but the human needs unlimited, so a big pile have a role to create stability to the building. The popular method to create a large pile construction is wet process drilling. The important point in this method is pouring the concrete in bentonite slurry that must to careful in construction method because it's difficult to find the problem of underground construction.

From the bored pile in The Fine Bangkok project to know the character of the pouring concrete, so one of this is the volume of pouring concrete in actual is different from the calculated volume. There are many factors involved with that result. The considered equation creating to predict the actual concrete used to consider those factors. It helping to the decision of the budgetary planning.

From the study and data analyzing, which to know the factors affect the pouring concrete volume is bentonite slurry reinforcement steel casing and the hole under the casting.

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยสหกิจศึกษาเล่มนี้สำเร็จลุล่วงและสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาของเหล่าคณาจารย์ ทั้ง อาจารย์ศศิญา ไชยพุทธ , อาจารย์ณัฐรัตน์ สินสมุทรผดุง และอาจารย์ไตรรัตน์ เมืองทองอ่อน ที่กรุณา รั้งงานวิจัยนี้พิจารณาและให้คำแนะนำที่ช่วยเพิ่มความสมบูรณ์ให้กับงานวิจัยนี้ ทั้งการเพิ่มจุดเด่นและ แก้ไขข้อบกพร่อง ทั้งนี้ผู้ศึกษารู้สึกซาบซึ้งกับความกรุณาของเหล่าคณาจารย์ทุกท่านเป็นอย่างมาก

ต้องขอกราบขอบพระคุณทาง บริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด ที่เปิดโอกาสให้ผู้ศึกษา ได้เข้าไปศึกษาหาความรู้และประสบการณ์ใน โครงการ The Fine Bangkok Thonglor – Ekamai และ ต้องขอขอบพระคุณเหล่าพี่ๆในหน่วยงานที่คอยให้คำปรึกษา สอนการทำงาน ให้ข้อคิด และคอยดูแล ตลอดการสหกิจศึกษา

สุดท้ายนี้ผู้ศึกษาต้องขอขอบพระคุณ บิดา มารดา และผู้มีพระคุณทุกท่านที่คอยให้การสนับสนุน ตลอดมา ผู้ศึกษาหวังว่างานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจไม่มากนักน้อย และสำหรับข้อบกพร่องที่ อาจจะเกิดขึ้นผู้ศึกษาขออ้อมรับไว้และพร้อมแก้ไขเพื่อพัฒนางานวิจัยนี้ให้ดียิ่งขึ้น

ศุภณัฐ คำอินทร์

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	VII
สารบัญรูป	VIII
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	
2.1 เสาเข็ม	5
2.1.1 ความหมาย	6
2.1.2 พฤติกรรมของดิน โดยรอบเสาเข็ม	6
2.1.3 กรณีที่จะต้องใช้เสาเข็ม	8
2.1.4 การจำแนกชนิดของเสาเข็ม	9
2.2 เสาเข็มเจาะระบบเปียก	10
2.2.1 ความหมาย	10
2.2.2 พัฒนาการเสาเข็มเจาะระบบเปียกในประเทศไทย	11

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
2.2.3 ขั้นตอนในการก่อสร้าง	14
2.2.4 การทดสอบกรีตเสาเข็มเจาะระบบเปียก	17
2.2.5 การตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็ม	19
2.2.5.1 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม	19
2.2.5.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	20
2.2.6 พฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็ม	23
2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	24
2.2.8 มาตรฐานงานเสาเข็มเจาะ	27
2.2.8.1 ขั้นตอนในการก่อสร้าง	27
2.2.8.2 ความปลอดภัยในงานเสาเข็มเจาะ	30
2.2.8.3 เกณฑ์การยอมรับ	31
2.2.8.4 วิธีการแก้ไข	31
2.3 ความสัมพันธ์ของข้อมูล	32
2.3.1 ค่าสหสัมพันธ์ หรือ Correlation	32
2.3.2 การวิเคราะห์การถดถอย หรือ Linear Regression	33
2.3.3 ความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	35
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงานวิจัย	
3.1 ข้อมูล โครงการ	37
3.2 ศึกษาการทำงานภายในโครงการ พร้อมหาปัญหาที่สนใจ	37
3.3 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และแนวทางการดำเนินงานสำหรับงานวิจัย	38
3.4 ศึกษาขั้นตอนและเทคนิคในการทำงาน	39
3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล	48

สารบัญ(ต่อ)

เรื่อง	หน้า
3.5.1 แนวคิดที่ได้จากทฤษฎี	48
3.5.2 ข้อมูลที่บันทึกจากภาคสนาม	48
บทที่ 4 ผลการวิจัย	
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตที่ใช้กับความยาวของเสาเข็ม	55
4.1.1 วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์	56
4.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแตกต่างของปริมาตรคอนกรีตใช้จริงกับทฤษฎี	58
4.2 สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้จริง	62
4.2.1 การนำไปใช้งาน	65
4.2.2 เปรียบเทียบปริมาตรคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มขนาดต่างๆและหาเปอร์เซ็นต์เพื่อ	66
บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	68
5.2 ข้อเสนอแนะ	69
เอกสารอ้างอิง	70
ภาคผนวก ก.	71
ภาคผนวก ข.	74
ประวัติผู้เขียน	77

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
2.1	ตารางค่าของ Coefficient of lateral earth pressure, K ของเสาเข็ม	24
2.2	ตารางระดับความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สหพันธ์	35
3.1	ตารางบันทึกผลงานคอนกรีตระดับตัดหัวเข็มที่ -4.650 เมตร	53
4.1	ตารางหาค่า Δy จากการแทนค่า x ในสมการ 1 และ 2	57
4.2	ตารางสรุปปัจจัยและผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาตรคอนกรีต	58
4.3	ตารางเทียบปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็มขนาดต่างๆ	66



สารบัญรูปร่างภาพ

รูปภาพที่	หน้า
2.1 ความแตกต่างของฐานรากดิน แบบแผ่ และฐานรากเสาเข็ม	5
2.2 เสาเข็มกลุ่มซึ่งรับแรงในแนวแกน แรงทางด้านข้าง และ โมเมนต์ค้ดัดร่วมกัน	6
2.3 ภาพลักษณะการรับน้ำหนักของเสาเข็ม	7
2.4 เสาเข็มที่ใช้เป็นรองรับโครงสร้างสะพานข้ามแม่น้ำ	8
2.5 การจำแนกชนิดของเสาเข็มตามลักษณะการแทนที่ดิน (BS8004 1986)	9
2.6 เสาเข็มเจาะระบบเปียก	10
2.7 Friction Coefficient of Bangkok Sand (β)	12
2.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะภายใต้สารละลายเบนโทไนท์กับสารละลายโพลีเมอร์	12
2.9 ภาพขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเจาะเปียก (1) ตอกปลอกเหล็กกันดินโดยใช้ Vibro hammer (2) เจาะดินเหนียวโดยใช้สว่าน และเจาะใต้เบนโทไนท์โดยใช้ bucket (3) หย่อนเหล็กเสริมลงในหลุม (4) เทคอนกรีตใต้น้ำให้ดินเบนโทไนท์ขึ้นมา (5) เมื่อคอนกรีตถึงระดับที่ต้องการแล้วจึงถอนปลอกเหล็กขน	16
2.10 ลักษณะการไหลของคอนกรีตเสาเข็มขณะเท(1)	18
2.11 ลักษณะการไหลของคอนกรีตเสาเข็มขณะเท(2)	18
2.12 ลักษณะการไหลของคอนกรีตเสาเข็มขณะเท(3)	19
2.13 ภาพหลักการ Seismic test	20
2.14 ภาพการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์	21
2.15 ภาพการเตรียมเครื่องมือเพื่อทำ Dynamic load test	22
2.16 ภาพแรงในเสาเข็มที่วัดได้โดยการใช้ Strain gauge	23
2.17 ภาพ Load settlement curve ของเสาเข็มยาว	23
2.18 ภาพแรงเสียดทานผิวเสาเข็มเมื่อเสาเข็มมีผิวขรุขระ	25

สารบัญรูปภาพ(ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
2.19 ภาพเปรียบเทียบกราฟการทรุดตัวกับแรงกดของเสาเข็มเจาะที่ใช้เบนโทไนท์กับเสาเข็มเจาะ	25
2.20 ภาพปลายของเสาเข็มมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม	26
2.21 Correlation Coefficient	32
2.22 แนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูล	33
2.23 Simple Linear Regression	34
2.24 Multiple Linear Regression	34
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย	36
3.2 พื้นที่โครงการ The Fine Bangkok	37
3.3 หาดำแหน่งเบื้องต้น	39
3.4 Back Hoe ขุดเปิดหน้าดิน	40
3.5 ติดตั้งเหล็กเส้นควบคุมตำแหน่งปลอกเหล็กขณะกด	40
3.6 ควบคุมตำแหน่งปลอกเหล็กด้วยเหล็กเส้น	41
3.7 ตรวจสอบพิกัดปลอกเหล็ก	41
3.8 การเจาะดินด้วยหัวเจาะแบบ Bucket	42
3.9 รูป 1. การทดสอบค่า pH ของสารละลาย 2.การทดสอบค่าความหนาแน่นของสารละลาย 3. การทดสอบความหนืดของสารละลาย 4. การทดสอบเปอร์เซ็นต์ทรายที่ปนในสารละลาย	43
3.10 การใส่เหล็กเสริมในหลุมเจาะ	44
3.11 (a) การลงท่อ Tremie (b) การติดตั้งกรวยเทคอนกรีต	44
3.12 การเทคอนกรีต	45

สารบัญรูปร่างภาพ(ต่อ)

รูปภาพที่	หน้า
3.13 การถอนปลอกเหล็กออกหลังเทคอนกรีตเสร็จ	46
3.14 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Integrity Test	47
3.15 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี Dynamic Load Test	47
3.16 ลักษณะชั้นดินบริเวณ โครงการจากรายงานการสำรวจชั้นดิน	49
3.17 กำลังต้านทานออกแบบที่เสาเข็มต้องรับได้	50
3.18 แบบรายละเอียดของเสาเข็ม	51
3.19 แบบบันทึกผลงานเสาเข็มเจาะเปียกของโครงการ	52
4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเข็ม(1)	55
4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเข็ม	57
4.3 ภาพคอนกรีตปนเปื้อนที่ตัดออกจากเข็ม	58
4.4 ภาพการถอนปลอกเหล็ก	59
4.5 ลักษณะหลุมเจาะที่ทำให้เข็มเกิดการคอดและบวม และลักษณะการรับแรง	60
4.6 การใส่เหล็กเสริมในหลุมเจาะ	61
4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเข็ม(2)	62
4.8 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มตัวอย่าง	63
4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเข็ม(3)	64
4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเสาเข็มกับปริมาตรคอนกรีตที่ต้องเพื่อ	66

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โครงสร้างเสาเข็มเป็นโครงสร้างที่อยู่คู่กับองค์อาคารหรือสิ่งปลูกสร้างต่างๆมาอย่างยาวนาน ถูกคิดค้นมาเพื่อลดปัญหาการทรุดตัวของสิ่งปลูกสร้างที่ตั้งอยู่ในบริเวณที่ไม่เอื้ออำนวยในการก่อสร้างมากนัก เช่น บริเวณที่มีลักษณะเป็นดินอ่อนง่ายต่อการทรุดตัว เป็นต้น และยังเป็นโครงสร้างที่ช่วยรับน้ำหนักของสิ่งปลูกสร้างเพื่อให้โครงสร้างมีความมั่นคงเพิ่มขึ้นอีกด้วย ในระยะเวลาหนึ่ง เมื่อมีการขยายตัวของจำนวนประชากรในพื้นที่เศรษฐกิจ อันเนื่องมาจากการย้ายถิ่นฐานหรือเปอร์เซ็นต์การเกิดที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความต้องการในพื้นที่ใช้สอยหรืออยู่อาศัยมีมากขึ้นตามไปด้วย แต่กลับสวนทางกับพื้นที่ซึ่งมีอยู่อย่างจำกัด ทำให้องค์อาคารต้องมีการปรับเปลี่ยนให้สอดคล้องกับสภาพที่เกิดขึ้น โดยแทนที่จะขยายออกในแนวราบแต่จะเพิ่มความสูงขององค์อาคารในแนวตั้งให้มากขึ้น ซึ่งก็ต้องแลกมากับน้ำหนักขององค์อาคารที่มากขึ้นอย่างมหาศาล เสาเข็มจึงเข้ามามีบทบาทมากขึ้นในการแก้ปัญหาดังกล่าว ในยุคแรกเริ่มการก่อสร้างเสาเข็มจะใช้วิธีตอก ซึ่งก็จะพัฒนาแยกย่อยออกได้อยู่หลายประเภท แต่วิธีการตอกทำให้เกิดการสั่นสะเทือนขึ้นเป็นวงกว้างและมีกำลังรับน้ำหนักไม่เพียงพอต่ออาคารที่สูงขึ้นเรื่อยๆในปัจจุบัน ทำให้วิธีนี้ไม่เหมาะกับการก่อสร้างในชุมชนเมืองที่มีบ้านเรือนอยู่มากและมีความต้องการในการสร้างอาคารสูง จึงมีการพัฒนากรรมวิธีในการก่อสร้างเสาเข็มแบบใหม่ๆ ได้เป็นวิธีการเจาะซึ่งจะช่วยลดปัญหาการสั่นสะเทือนและยังมีกำลังรับน้ำหนักที่มากขึ้นมาก ตอบโจทย์การก่อสร้างในชุมชนเมืองที่มีความต้องการ โครงการตึกสูง ซึ่งวิธีการเจาะก็มีการพัฒนาวิธีการต่างๆออกมามากมายเพื่อให้สอดคล้องกับรูปแบบขององค์อาคารที่พัฒนาขึ้นเรื่อยๆ โดยวิธีการเจาะระบบเปียกก็เป็นหนึ่งในวิธีการที่สามารถก่อสร้างให้เสาเข็มมีกำลังรับน้ำหนักมากๆได้

การก่อสร้างด้วยวิธีเจาะหรือเรียกอีกอย่างว่า การก่อสร้างเสาเข็มแบบหล่อในที่ ได้มีการพัฒนาแล้วสามารถแบ่งประเภทหลักๆได้ 2 ประเภท คือ การก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบแห้งและแบบเปียก โดย 2 ประเภทนี้มีความแตกต่างกันในด้านขั้นตอนการก่อสร้าง และกำลังรับน้ำหนักที่เสาเข็มสามารถรับได้

เสาเข็มเจาะระบบเปียกนิยมใช้ก่อสร้างเสาเข็มที่มีขนาดใหญ่เพื่อรองรับองค์อาคารขนาดใหญ่และมีน้ำหนักมาก หลักการสำคัญของวิธีนี้คือการเทคอนกรีตในสารละลายซึ่งเป็นการเทคอนกรีตบริเวณพื้นที่ก่อสร้าง จึงจำเป็นต้องมีการสั่งซื้อคอนกรีตให้มีปริมาณเพียงพอต่อการเทในครั้งนั้นและต้องอยู่ในขอบเขตของงบประมาณ กล่าวคือถ้าสั่งซื้อคอนกรีตน้อยเกินไปจะไม่สามารถเทคอนกรีตได้สมบูรณ์ เสาเข็มที่ได้อาจมีคุณสมบัติที่ไม่ครบถ้วนตามที่ได้ออกแบบ ส่วนถ้าสั่งซื้อคอนกรีตมากเกินไปจะทำให้คอนกรีตเหลือซึ่งไม่ได้นำไปใช้งานใดๆ นั่นทำให้สูญเสียงบประมาณโดยใช่เหตุ ดังนั้นในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะแบบเปียกจึงควรมีเทคนิคในการคาดการณ์ปริมาณคอนกรีตที่มีความแม่นยำและใกล้เคียงปริมาณที่ใช้จริง เพื่อช่วยในการตัดสินใจสั่งซื้อคอนกรีตได้อย่างเหมาะสม

โครงการ The Fine Bangkok Thonglor-Ekamai ที่ผู้ศึกษาได้ศึกษาคูณานนั้นได้เลือกก่อสร้างโดยวิธีการเจาะแบบเปียก เพื่อให้สอดคล้องกับสภาพชุมชนโดยรอบบริเวณที่มีอยู่อย่างหนาแน่น และสามารถรับน้ำหนักตามที่ออกแบบมาได้อย่างเพียงพอ โดยทางบริษัท เจ ดับบลิว เอส คอนสตรัคชั่น จำกัด เป็นผู้รับเหมาหลัก และทางบริษัท สแตนดีพล์ จำกัด เป็นผู้รับเหมาย่อยซึ่งเป็นบริษัทที่รับก่อสร้างเสาเข็มโดยตรง ผู้ศึกษาเห็นถึงปัญหาในขั้นตอนการเทคอนกรีตที่บางหลุมเจาะมีคอนกรีตเหลือมากแต่บางหลุมเจาะกลับมีคอนกรีตไม่เพียงพอต้องมีการสั่งซื้อเพิ่มเติม เกิดความไม่แน่นอนของปริมาณคอนกรีตขึ้นซึ่งอาจจะมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อผู้ศึกษาจึงมีความสนใจในการสร้างเทคนิคการคาดการณ์ปริมาณคอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มเจาะระบบเปียก

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

- 1.2.1 เพื่อศึกษาขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก
- 1.2.2 เพื่อวิเคราะห์ปริมาณคอนกรีตที่ใช้ในโครงการและหาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาณคอนกรีตที่ใช้สร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก
- 1.2.3 เพื่อสร้างสมการคาดการณ์ปริมาณคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกล่วงหน้า

1.3 ขอบเขตการวิจัย

ด้านระยะเวลา

ผู้ศึกษาได้ทำการศึกษาใน โครงการ The Fine Bangkok Thonglor-Ekamai ตั้งแต่วันที่ 10 กันยายน พ.ศ.2561 จนถึงวันที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ.2561 ซึ่งผู้ศึกษาได้เริ่มศึกษาช่วงกลางของงานเข็มโครงการ งานเข็มเสร็จสิ้น เป็นระยะเวลาทั้งสิ้น 66 วัน

ด้านข้อมูลและเนื้อหา

ผู้ศึกษาได้ทำการวิจัยเก็บรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างเสาเข็มทั้งสิ้น 50 ต้น เนื้อหางานวิจัยจะมุ่งเน้น ไปในการศึกษาขั้นตอนการเทคอนกรีต การวิเคราะห์ปริมาตรที่ใช้ในการเทคอนกรีต และการสร้าง สมการคำนวณปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้สร้างเสาเข็มเจาะหน้าคคกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร ยาว 52 เมตร โดยข้อมูลหน้างานทั้งหมดได้จากโครงการ The Fine Bangkok Thonglor-Ekamai และได้รวบรวมทฤษฎีจากแหล่งข้อมูลที่น่าเชื่อถือ เพื่อใช้รองรับผลการปฏิบัติงาน

1.4 วิธีการดำเนินงาน

- 1.4.1 พิจารณาสภาพหน้างานและการทำงานของโครงการเพื่อหาปัญหาที่สนใจ
- 1.4.2 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และวิธีการของงานวิจัย
- 1.4.3 ทำการศึกษาขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก
- 1.4.4 เก็บรวบรวมข้อมูลการก่อสร้างเสาเข็มจากหน้างาน
- 1.4.5 พิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ก่อสร้างเสาเข็มเจาะใน 1 หลุมเจาะ
- 1.4.6 นำข้อมูลทั้งหมดมาวิเคราะห์หาความสัมพันธ์ และเปรียบเทียบข้อมูล
- 1.4.7 สรุปผลการวิจัย และปรับข้อมูลให้สามารถนำไปใช้ในโครงการต่อไปได้

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.5.1 สามารถประยุกต์ใช้สมการเพื่อคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ได้
- 1.5.2 สามารถใช้ศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก และเป็นแนวทางในการก่อสร้างแก่ผู้ที่สนใจได้
- 1.5.3 รู้และเข้าใจปัจจัยที่มีผลต่อการเทคอนกรีตเสาเข็ม
- 1.5.4 สามารถนำไปพัฒนาต่อยอดให้การคาดการณ์มีความแม่นยำมากขึ้น และใช้งานได้หลากหลายขึ้น



บทที่ 2

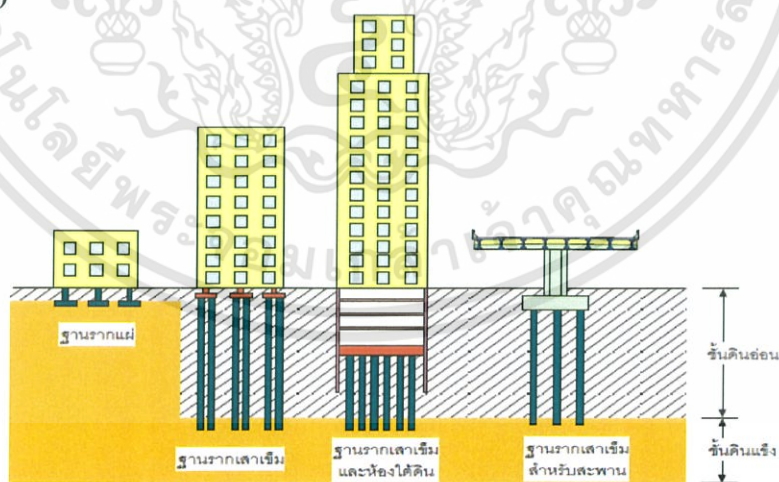
แนวคิดและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

พื้นที่เศรษฐกิจสำคัญของประเทศไทยส่วนใหญ่แล้วจะอยู่บริเวณภาคกลางซึ่งเป็นบริเวณที่เป็นชั้นดินตะกอน โดยที่ชั้นบนสุดเป็นดินอ่อนปกคลุมเป็นบริเวณกว้าง ซึ่งชั้นดินอ่อนนี้ก่อให้เกิดปัญหาทางด้านวิศวกรรมอย่างมาก ทั้งในด้านกำลังรับแรงเฉือนที่ต่ำและมีความทรุดตัวที่สูง ในการก่อสร้างจึงต้องมีฐานรากเสาเข็มเพื่อให้อาคารมีความมั่นคง ทั้งด้านกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกและด้านการทรุดตัว

ปัจจุบันอาคารสูงในพื้นที่กรุงเทพมหานครต้องการเสาเข็มที่มีกำลังรับน้ำหนักที่จุดสูงสุดมากถึง 1000 – 2000 ตันต่อต้น และต้องมีการทรุดตัวที่ต่ำ จึงมีความพยายามก่อสร้างเสาเข็มให้ลงลึกไปถึงชั้นทรายชั้นที่ 2 หรือที่ความลึกประมาณ 45 – 60 เมตร ด้วยความต้องการเสาเข็มที่มีขนาดใหญ่และมีความยาวมาก ๆ จึงได้มีการพัฒนาเทคนิคการก่อสร้างเสาเข็มเจาะในระบบเปียกขึ้น

การจะเข้าใจหลักการการก่อสร้าง ลักษณะการทำงาน พฤติกรรม ฯ จำเป็นต้องทำความเข้าใจกับความรู้พื้นฐานของเสาเข็ม เพื่อที่จะสามารถนำไปพิจารณาในงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกต่อไปได้

2.1 เสาเข็ม (Pile)

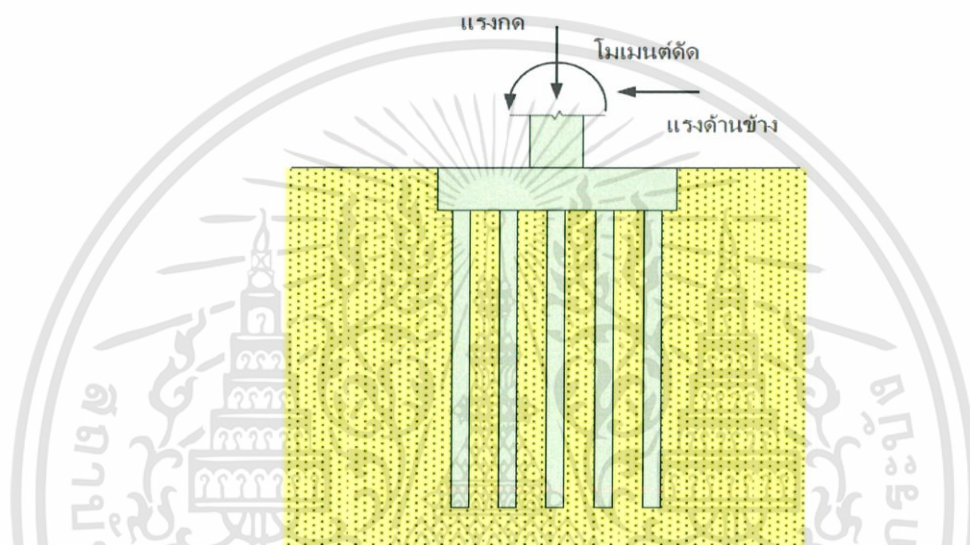


รูปที่ 2.1 ความแตกต่างของฐานรากดิน แบบแผ่และฐานรากเสาเข็ม

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

2.1.1 ความหมาย

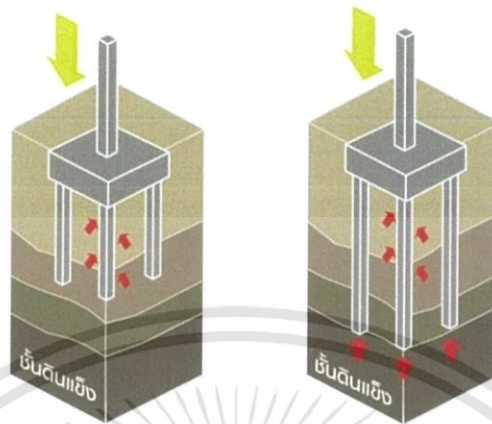
เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างที่อยู่ใต้สุดของอาคาร มีลักษณะเป็นท่อนฝังในดินเชื่อมต่อกับฐานราก หน้าที่ของเสาเข็มคือการถ่ายแรงกระทำตามแกน แรงกระทำทางข้าง แรงบิดและโมเมนต์คดลงสู่ชั้นดินหรือชั้นหินที่อยู่รอบและใต้เสาเข็ม โดยอาศัยแรงเสียดทานระหว่างผิวของเสาเข็มกับดิน และแรงต้านทานที่ปลายเข็มจากชั้นดินแข็ง



รูปที่ 2.2 เสาเข็มกลุ่มซึ่งรับแรงในแนวแกน แรงทางด้านข้าง และ โมเมนต์คดร่วมกัน
(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

2.1.2 พฤติกรรมของดิน โดยรอบเสาเข็ม (หนังสือวิศวกรรมฐานราก ผศ.ดร.ธนาคร คงสมบูรณ์, 2548)

เมื่อเริ่มบรรทุกน้ำหนักลงบนเสาเข็ม เสาเข็มจะเคลื่อนที่ลงตามทิศทางของแรง ในขณะที่เดียวกันดินที่เกาะอยู่ข้างๆผิวเสาเข็มก็พยายามต้านทานด้วยแรงเสียดทาน (Friction) ชั้นดินที่พยายามต้านทานแรงที่ถ่ายลงมาจากเสาเข็มก็จะเคลื่อนที่ตามเสาเข็มลงไปด้วย การเคลื่อนที่จะเกิดมากขึ้นเมื่อน้ำหนักบรรทุกสูงขึ้น เช่นเดียวกับหลักของการเกิดความเค้นก็ต้องเกิดความเครียด และเมื่อมีการถ่ายแรงลงสู่ชั้นดินมากขึ้นแรงเสียดทานจะถูกถ่ายจากหัวเสาเข็มลงสู่เสาเข็มที่ลึกลงไปมากขึ้น จนในที่สุดแรงต้านจะถูกถ่ายแรงลึกลงสู่ปลายเสาเข็ม เกิดแรงต้านที่ปลายเสาเข็มเข้ามาร่วมด้วยที่เรียกว่า แรงต้านที่ปลายเข็ม (End Bearing)



แรงเสียดทานระหว่างผิว
เสาเข็มกับดิน
(Friction)

แรงเสียดทานระหว่างผิวเสาเข็ม
กับดิน (Friction) ร่วมกับ แรงต้าน
ที่ปลายเสาเข็ม (End Bearing)

ภาพที่ 2.3 ภาพลักษณะการรับน้ำหนักของเสาเข็ม

(ที่มา: <https://www.posttoday.com/property/decoration/330759>)

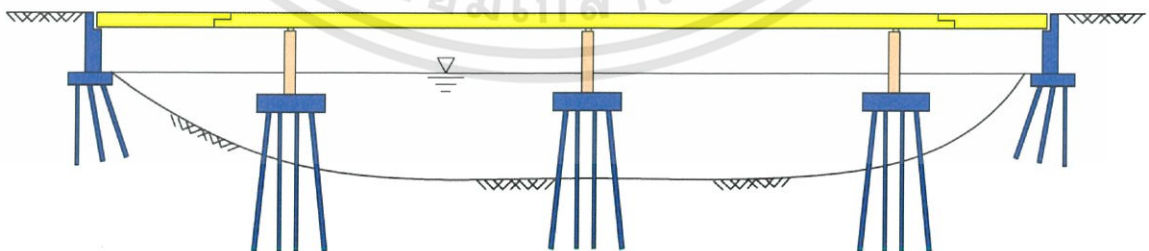
ผลสุดท้ายเมื่อน้ำหนักบรรทุกมากจนชั้นดินไม่สามารถจะต้านทานได้ ก็จะเกิดเป็นแนวเคลื่อนพัง (Shear Plane) โดยรอบผิวเสาเข็มและที่ปลายเสาเข็ม ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่ลงของเสาเข็มอย่างต่อเนื่อง (Progressive settlement) น้ำหนักบรรทุกที่จุดซึ่งเสาเข็มซึ่งเสาเข็มเริ่มทรุดตัวอย่างต่อเนื่องนี้เรียกว่า “น้ำหนักบรรทุกสูงสุด” (Ultimate Pile Capacity) โดยทั่วไปแล้ว การเคลื่อนที่ที่เป็นสาเหตุจากคุณสมบัติทางด้านอีลาสติกมีค่าเพียงพอที่จะทำให้เกิดการพัฒนากำลังของแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็ม ส่วนแรงต้านที่ปลายจะถูกพิจารณาเมื่อเกิดการเคลื่อนที่ลงมากกว่า 30% ของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง สำหรับงานเสาเข็มเจาะ

ในกรณีที่เสาเข็มวางอยู่ในชั้นดินหลายชนิดตลอดความยาวของเสาเข็ม เสาเข็มจะมีการถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินแต่ละชั้นไม่เท่ากันแม้ว่าการเคลื่อนตัวจะใกล้เคียงกันก็ตาม จากการทดสอบเสาเข็มเจาะในชั้นดินกรุงเทพมหานครพบว่าน้ำหนักที่ถ่ายลงชั้นดินส่วนใหญ่ส่งถ่ายผ่านผิวเสาเข็มประมาณ 75-90% ของน้ำหนักบรรทุกทั้งหมด ส่วนที่ปลายเสาเข็มจะมีการถ่ายน้ำหนักเพียง 10-25% เท่านั้น แต่จะค่อยๆ สูงขึ้นเมื่อเวลาผ่านไป เนื่องจากการคลายแรงต้านที่ผิวของดินส่วนบนเกิดการเคลื่อนที่ลงหรือทรุดตัว ทำให้เสาเข็มกดลงสู่ชั้นดินที่ปลายเสาเข็มมากขึ้น

สัดส่วนการถ่ายแรงที่ผิวและที่ปลายเสาเข็มนี้จะเปลี่ยนแปลงไปตามลักษณะของดิน เช่นในกรณีที่เสาเข็มหยั่งลงไปถึงชั้นหินแข็ง การถ่ายน้ำหนักจะเกิดขึ้นที่ปลายของเสาเข็มเป็นส่วนใหญ่ เพราะเสาเข็มเคลื่อนที่ลงเพียงเล็กน้อยชั้นหินก็รับน้ำหนักได้มาก ในขณะที่ชั้นดินรอบข้างเสาเข็มไม่สามารถถ่ายน้ำหนักได้เลย

2.1.3 กรณีที่ต้องใช้เสาเข็ม (หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง, 2554)

1. เมื่อชั้นดินระดับดินไม่สามารถรับน้ำหนักของอาคารได้ หรือเกิดได้ก็มีการทรุดตัวมากเกินไป เมื่อมีน้ำหนักของอาคารกดทับ จึงต้องใช้เสาเข็มในการถ่ายน้ำหนักของอาคารลงสู่ชั้นดินแข็งที่อยู่ในระดับลึก ถ้าชั้นดินแข็งอยู่ลึกมากน้ำหนักจะถ่ายลงสู่ดินในรูปของแรงเสียดทานที่ผิว
2. เมื่อโครงสร้างจะต้องรับแรงทางด้านข้าง หรือมีโมเมนต์คดจากโครงสร้างส่วนบน เสาเข็มอาจจะต้องถูกออกแบบให้รับได้ทั้งแรงในแนวตั้งและโมเมนต์ ซึ่งโครงสร้างส่วนใหญ่ในกรณีนี้จะเป็นกำแพงกันดิน (Retaining wall) หรือ โครงสร้างที่ต้องรับแรงลม หรือแรงเนื่องจากแผ่นดินไหว
3. เมื่อ โครงสร้างจะต้องก่อสร้างบน Expansive soil หรือ Collapsible soil ซึ่งมีความหนาแน่น Expansive soil จะพองตัวเมื่อความชื้นในดินเพิ่มขึ้น ถ้าใช้ฐานรากแบบดินจะทำให้โครงสร้างเกิดความเสียหายได้ จึงต้องใช้เสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักลงสู่ชั้นดินที่ไม่มีการพองตัว
4. ในกรณีที่โครงสร้างมีแรงถอนเกิดขึ้นเช่น โครงสร้างเสาส่งไฟฟ้าหรือ อาคารห้องใต้ดินที่มีจมน้ำใต้ระดับน้ำใต้ดินซึ่งจะมีแรงลอยตัวกระทำ ทำให้ต้องใช้เสาเข็มยึดโครงสร้างไว้เพื่อต้านทานแรงถอน
5. เสาเข็มของสะพานซึ่งการไหลของน้ำอาจกัดเซาะดินที่ท้องน้ำ จึงต้องใช้เสาเข็มเพื่อถ่ายน้ำหนักสะพานลงสู่ชั้นดินที่น้ำกัดเซาะลงไปไม่ถึง

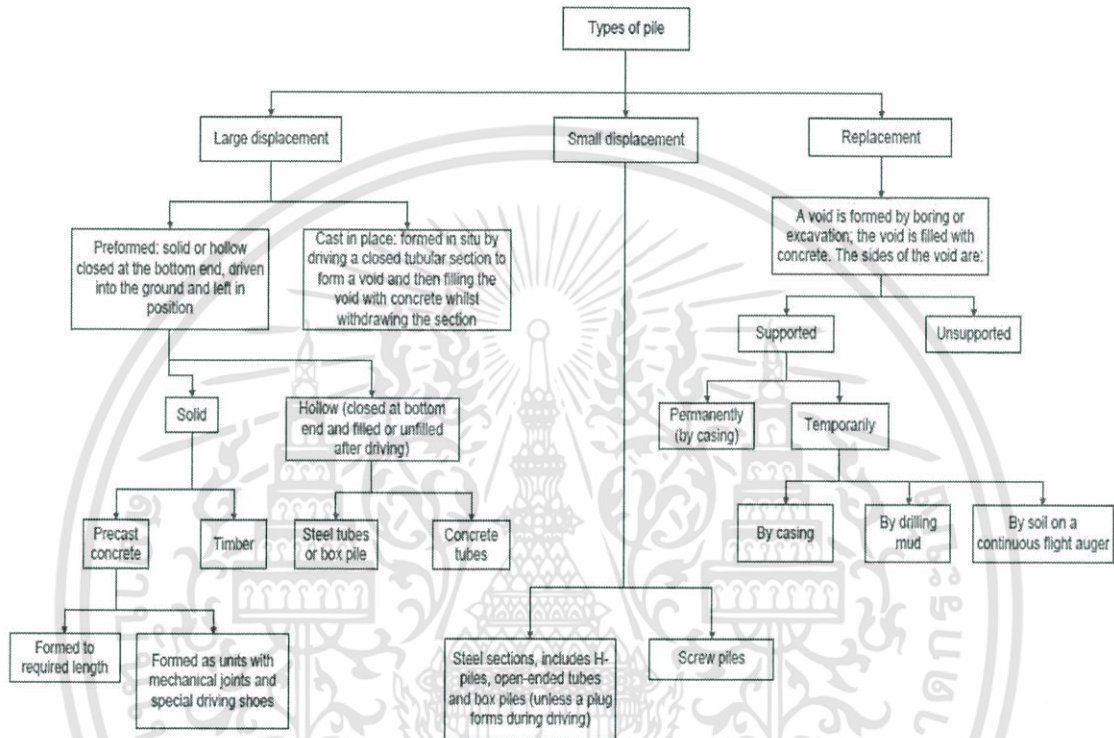


รูปที่ 2.4 เสาเข็มที่ใช้เป็นรองรับ โครงสร้างสะพานข้ามแม่น้ำ

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

2.1.4 การจำแนกชนิดของเสาเข็ม (หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง, 2554)

British Standard Code of Practice for Foundations (BS8004) ได้แบ่งเสาเข็มตามลักษณะการแทนที่ดินเป็น 3 พวกดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 การจำแนกชนิดของเสาเข็มตามลักษณะการแทนที่ดิน (BS8004 1986)
(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

1. เสาเข็มที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินในปริมาณสูง (Large displacement pile) เป็นเสาเข็มที่ตัก หรือเสาเข็มกลวงแต่ปิดปลายไว้ ซึ่งการติดตั้งทำได้โดยการตอกหรือกดลงในชั้นดิน ซึ่งได้แก่เสาเข็มตอกทุกชนิด
2. เสาเข็มที่ก่อให้เกิดการเคลื่อนตัวของดินในปริมาณต่ำ (Small displacement pile) เป็นเสาเข็มที่ต้องตอกหรือกดลงในดินเหมือนกัน แต่จะมีพื้นที่หน้าตัดน้อยดังนั้นจึงมีปริมาตรดินที่ต้องถูกแทนที่น้อยด้วย ซึ่งได้แก่เสาเข็มเหล็ก Wide Flange

3. เสาเข็มขุดดินออกและเทคอนกรีตแทนที่ (Replacement pile)

เป็นเสาเข็มที่มีการเจาะให้เป็นรูเพื่อเอาดินออกจากนั้นจึงเทคอนกรีตลงไปแทนที่ดินที่นำขึ้นมา การเจาะจะใช้ปลอกเหล็กป้องกันผนังหลุมเจาะพังทลาย และถ้าเจาะลึกมากในชั้นทรายที่อยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดินจะใช้สารละลายเบนโทไนท์เติมลงในหลุมเจาะเพื่อป้องกันมิให้หลุมเจาะพังเนื่องจากน้ำใต้ดินทะลักเข้ามา

2.2 เสาเข็มเจาะระบบเปียก (Wet Process Bored Pile)

เสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ระบบเปียก (Wet Process Large Diameter Bored Piles) ได้นำมาใช้รับน้ำหนักฐานรากในชั้นดินกรุงเทพมหานครมาเป็นเวลาประมาณ 30 ปีแล้ว การออกแบบและการก่อสร้างเสาเข็มเจาะได้มีพัฒนาการควบคู่ตามเทคโนโลยีในด้านอื่นๆ ที่มีความก้าวหน้าตามยุคสมัย เช่นการคำนวณ การสำรวจชั้นดิน การปรับปรุงประสิทธิภาพของเครื่องจักร การใช้สารละลายรักษาเสถียรภาพของหลุมเจาะแบบใหม่ รวมถึงประสบการณ์ของผู้รับเหมาก่อสร้างเสาเข็มเจาะ

2.2.1 ความหมาย

เสาเข็มเจาะแบบเปียกคือเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ที่มีขนาดตั้งแต่ 50 เซนติเมตรขึ้นไป มีการเติมสารละลาย เบนโทไนท์ (Bentonite) ระหว่างกระบวนการเจาะดิน เนื่องจากขนาดหลุมเจาะมีขนาดใหญ่และลึกมากตั้งแต่ 25 เมตร ขึ้นไป จึงต้องการให้มีสารละลายเลี้ยงหลุมเจาะเพื่อไม่ให้ดินพังทลายลงมาในหลุมเจาะ ซึ่งมักใช้ในงานอาคารขนาดใหญ่เนื่องจากรับน้ำหนักต่อต้นได้มาก โดยอยู่ในช่วง 50-1,000 ตันต่อต้น และยังมีการพัฒนาวิธีการขึ้นเรื่อยๆ ทำให้กำลังรับน้ำหนักสูงขึ้นมาก



รูปที่ 2.6 เสาเข็มเจาะระบบเปียก

(ที่มา: <https://tua635.com>)

2.2.2 พัฒนาการเสาเข็มเจาะระบบเปียกในประเทศไทย (การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9, 2547)

การออกแบบและก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในยุคแรกๆ ปีพ.ศ. 2514-2525

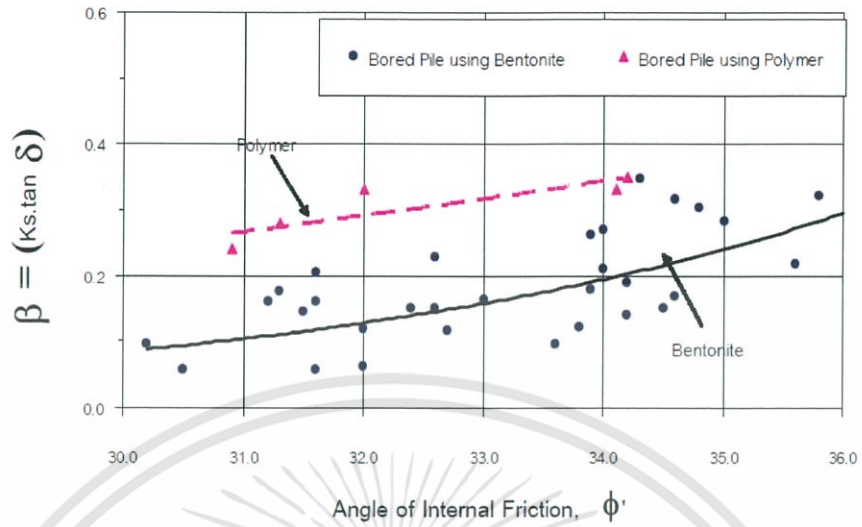
ในยุคแรกๆ ใช้วิธีการเจาะแบบก้านหมุนภายใต้สารละลายเบนโทไนท์ (Rotary drilling under bentonite slurry) ซึ่งมีทั้งระบบระบายน้ำกลับทาง (Reverse circulation method: RC) และระบบส่วน (Auger and Bucket method: A&B) การควบคุมคุณภาพสารละลายเบนโทไนท์ในขณะนั้นก็ยังไม่รัดกุม และสมรรถนะการรับน้ำหนักของเสาเข็มในขณะนั้นจึงไม่สูงเช่นในปัจจุบัน เนื่องจากวิศวกรไทยในขณะนั้นยังรู้เรื่องเสาเข็มเจาะระบบเปียกและสารละลายเบนโทไนท์ เสาเข็มเจาะระบบเปียกในขณะนั้น บางงานก็ออกแบบให้รับน้ำหนักออกแบบต่ำมาก

การออกแบบและก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในระหว่างปีพ.ศ. 2526-2540

ในช่วงนี้ผู้ออกแบบกำหนดให้ปลายเสาเข็มเจาะหยั่งถึงชั้นทรายชั้นที่สองที่ระดับความลึกประมาณ 50 เมตร และในปีต่อมา อาคารส่วนใหญ่ก็เริ่มออกแบบให้เสาเข็มให้ปลายเสาเข็มหยั่งในชั้นทรายชั้นที่สองและชั้นที่สามที่ระดับความลึกต่างๆ กันตั้งแต่ 45 ถึง 75 เมตร ในบางกรณี อาคารมีความสูงมาก และมีพื้นที่จำกัด ความต้องการกำลังรับน้ำหนักต่อต้นของเสาเข็มจึงสูงขึ้นจนไม่สามารถใช้เสาเข็มเจาะได้ จึงมีการเปลี่ยนรูปทรงของเสาเข็มให้เป็นรูปสี่เหลี่ยมซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าและกำลังรับน้ำหนักต่อต้นมากกว่า จึงมีการนำเสาเข็มเจาะรูปสี่เหลี่ยม (Barrette) เข้ามาใช้ในประเทศไทยเมื่อประมาณ ปี พ.ศ. 2528 และในปีเดียวกันนี้ ก็เริ่มมีการนำเทคโนโลยีการอัดฉีดน้ำปูนปลายเสาเข็มมาใช้ เพื่อเพิ่มความสามารถของแรงต้านทานที่ปลายเสาเข็ม

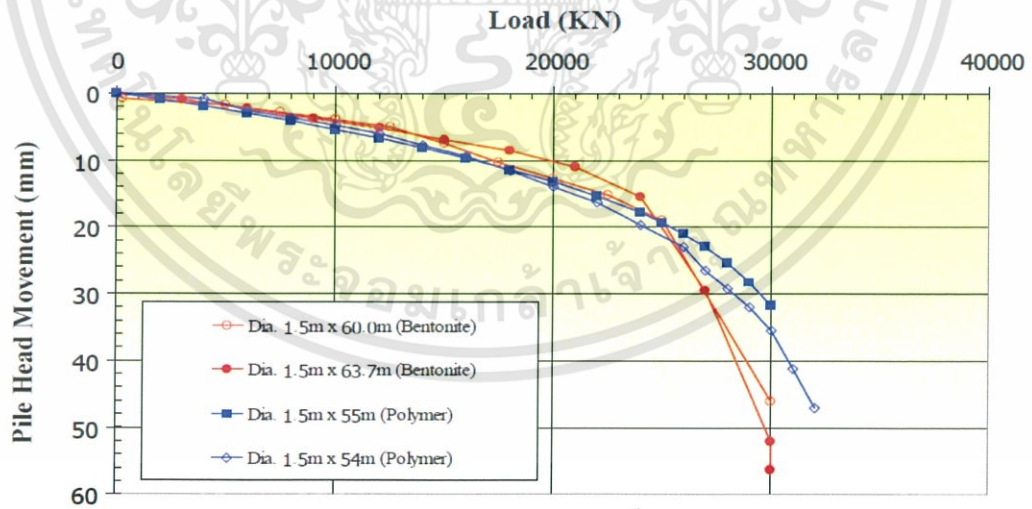
การออกแบบและก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกในปัจจุบัน

หลังจากปี พ.ศ. 2541 ได้มีการพัฒนาเทคโนโลยีของการก่อสร้างเสาเข็มเจาะ โดยเริ่มมีการนำสารละลายโพลีเมอร์ที่เริ่มมีการใช้กันแพร่หลายในสหรัฐอเมริกา มาใช้แทนสารละลายเบนโทไนท์และได้มีงานวิจัยที่เกี่ยวกับพฤติกรรมของเสาเข็มเจาะภายใต้สารละลายโพลีเมอร์ซึ่งพบว่าการใช้สารละลายโพลีเมอร์มีส่วนช่วยเพิ่มแรงเสียดทานด้านข้างระหว่างเสาเข็มเจาะกับชั้นดินทราย



รูปที่ 2.7 Friction Coefficient of Bangkok Sand (β)
(ที่มา: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9)

ในปัจจุบันด้วยเทคโนโลยีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกโดยใช้สารละลายโพลีเมอร์เป็นของเหลวขุ่นเสถียรภาพหลวมเจาะ พบว่าค่าการทรุดตัวที่น้ำหนักบรรทุกทดสอบสูงสุดมีค่าน้อยกว่าเสาเข็มเจาะระบบเปียกที่เจาะภายใต้สารละลายเบนโทไนท์



รูปที่ 2.8 เปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มเจาะภายใต้สารละลายเบนโทไนท์กับสารละลายโพลีเมอร์
(ที่มา: การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 9)

มีการพัฒนาขนาดหน้าตัดของเสาเข็มเจาะ ด้วยสถานะเศรษฐกิจในปัจจุบันการก่อสร้างอาคารสูงหรือระบบสาธารณูปโภคขนาดใหญ่ เช่น สะพาน สถานีรถไฟ จะกำหนดให้ใช้ฐานรากเสาเข็มเจาะขนาดใหญ่ซึ่งในประเทศไทยที่นิยมใช้กันมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.60 0.80 1.00 1.20 1.50 1.80 และ 2.00 เมตร โดยในแต่ละขนาดมีกำลังรับน้ำหนักบรรทุกแตกต่างกันตามหน้าตัด ในบางโครงการผู้ออกแบบกำหนดน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มต่อต้นเจาะโดยใช้สารละลายโพลีเมอร์ มีค่าอยู่ระหว่างกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม 2 ขนาด ทำให้การจัดวางขนาดและจำนวนเสาเข็มในฐานรากไม่เหมาะสม ตัวอย่างเช่นที่ความลึก 58 เมตร เสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.50 เมตร รับได้ 1100 ตัน เสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.80 เมตร รับได้ 1400 ตันแต่น้ำหนักที่ผู้ออกแบบกำหนดคือ 1250 ตัน จึงต้องเลือกใช้เสาเข็มเจาะขนาด 1.80 เมตร หากเสาเข็มที่ใช้มีจำนวนมากก็จะทำให้เกิดความสิ้นเปลืองโดยไม่เกิดประโยชน์ ดังนั้นจึงมีการริเริ่มพัฒนาเครื่องมือการก่อสร้างเสาเข็มเจาะให้สามารถเจาะเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.35 เมตร และ 1.65 เมตร เพื่อให้ผู้ออกแบบได้มีทางเลือกมากขึ้นในการเลือกใช้เสาเข็มซึ่งจะทำให้ต้นทุนของราคาค่าก่อสร้างเสาเข็มเจาะต่อกับกำลังรับน้ำหนักบรรทุกออกแบบมีความประหยัดกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับเสาเข็มเจาะในอดีต

การออกแบบโดยใช้เสาเข็มเดี่ยวหรือเสาเข็มกลุ่มจำนวนน้อยต้น เนื่องจากปัจจุบันเทคโนโลยีการก่อสร้างเสาเข็มเจาะได้พัฒนาทำให้ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มสูงขึ้นเมื่อเทียบกับในอดีตที่ผ่านมา และยังมีการเพิ่มขนาดหน้าตัดเสาเข็มให้หลากหลายมากขึ้นทำให้ผู้ออกแบบสามารถเลือกใช้และจัดวางเสาเข็มให้เกิดประสิทธิผล ซึ่งโดยทั่วไปหลักการจัดวางเสาเข็มในฐานรากจะพยายามใช้เสาเข็มจำนวนน้อยต้นในฐานรากหนึ่งเพื่อลดกระเปาะแรงเค้น (Stress Bulb) รวมของน้ำหนักบรรทุกที่ถ่ายลงที่ดิน ซึ่งส่งผลให้การทรุดตัวเกิดน้อยลง และยังส่งผลให้ลดจำนวนวัสดุในการก่อสร้างเสาเข็มได้อีกด้วย

2.2.3 ขั้นตอนในการก่อสร้าง

การติดตั้งปลอกเหล็กชั่วคราว (Temporary Steel Casing)

ทำการกดปลอกเหล็กลงในตำแหน่งหมุดที่วางไว้ด้วยเครื่องกระทุ้ง (Vibro Hammer) ลงไปถึงชั้นดินที่มีความแน่นปานกลาง โดยพิจารณาจากผลเจาะสำรวจชั้นดิน ปลอกเหล็กต้องมีความยาวตลอดช่วงความลึกของชั้นดินอ่อนและขณะทำการกดปลอกเหล็กจะต้องคอยควบคุมไม่ให้แนวปลอกเหล็กเบี่ยงเบนคลาดเคลื่อนจากศูนย์กลางตำแหน่งหมุด

การขุดเจาะเสาเข็มด้วยระบบแห้ง (Dry Process)

ช่วงแรกทำการเจาะดินภายในปลอกเหล็กด้วยหัวเจาะแบบสว่าน (Auger) ซึ่งในหลุมเจาะจะยังไม่มือน้ำหรือดินปนเข้ามาขั้นตอนนี้จึงเป็นการเจาะแบบระบบแห้ง เมื่อเจาะลงไปใกล้ถึงชั้นดินปนทราย (Silty Clay/Clayed Sand) จะเริ่มมือน้ำหรือดินสามารถทะลักเข้ามาในหลุมเจาะได้ จึงทำการใส่สารละลายช่วยพยุงดิน (Bentonite-Polymer Slurry) เพื่อป้องกันไม่ให้ดินในหลุมเจาะเกิดการพังทลาย พร้อมทั้งเปลี่ยนหัวเจาะมาเป็นแบบถังหมุนหรือบั้งก์ (Bucket)

การขุดเจาะเสาเข็มด้วยระบบเปียก (Wet Process)

ดำเนินการเจาะดินด้วยหัวเจาะแบบถังหมุนหรือบั้งก์ (Bucket) จนถึงระดับความลึกที่ต้องการ ซึ่งระหว่างนี้จะต้องเติมสารละลายพยุงดินในหลุมเจาะอยู่ตลอดเวลาโดยที่ระดับของสารละลายพยุงดินอยู่ไม่ต่ำกว่า 2 เมตรจากขอบด้านบนของปลอกเหล็ก สารละลายพยุงดินในหลุมเจาะนี้เป็นส่วนผสมของเบนโทไนท์กับโพลีเมอร์ โดยที่เบนโทไนท์เป็นตัวกักเก็บน้ำ (Filter Cake) ที่ผนังของหลุมเจาะทำให้สารละลายถ่ายแรงดันไปที่เม็ดทรายได้ส่วนโพลีเมอร์เป็นสารสังเคราะห์ ชนิดโมเลกุลใหญ่หรือแบบลูกโซ่ชนิดยาว (Long Chain Molecule) จะซึมผ่านเข้าไปในชั้นทราย โครงสร้างของโพลีเมอร์จะจับตัวยึดเหนี่ยวกับเม็ดทรายทำให้ผนังหลุมเจาะจับเป็นกลุ่มก้อนเล็กๆตกลงสู่ก้นหลุมเจาะเร็วขึ้น เมื่อเจาะถึงความลึกที่ต้องการจะทิ้งหลุมเจาะไว้ประมาณ 1 ชั่วโมง เพื่อบริหารให้ตะกอนตกลงมาที่ก้นหลุมเจาะให้หมดแล้วจึงใช้หัวเจาะแบบถังหมุนหรือบั้งก์กวาดเก็บตะกอนขึ้นมาให้หมด แล้วทำการตรวจสอบความลึกอีกครั้งด้วยลูกดิ่งถ่วงสายสลิงที่ทำเครื่องหมายแสดงระยะเอาไว้

การติดตั้งเหล็กเสริม (Reinforcement)

นำเหล็กเสริมที่ขึ้นรูปเรียบร้อยแล้วติดตั้งลงไปในหลุมเจาะ โครงเหล็กเสริมแต่ละท่อนจะต่อกัน โดยเชื่อมด้วยไฟฟ้า หรือรัดด้วยยูกริป (U-Grip) ระยะทาบไม่น้อยกว่า 40 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเหล็กเสริม ที่โครงเหล็กเสริมนี้จะมีลูกปูนกล้ายลูกล้อ (Roller) ร้อยอยู่ในเหล็กปลอก โดยรอบเป็นระยะๆ เพื่อให้ระยะหุ้มของคอนกรีตกับเหล็กเสริมมีค่าไม่น้อยกว่า 10 เซนติเมตร

การติดตั้งท่อเทคอนกรีต (Tremie Pipe)

นำท่อสำหรับเทคอนกรีตได้น้ำที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 8-10 นิ้ว มาใส่ในหลุมเจาะที่สะท้อน โดยต่อกันด้วยการหมุนเกลียวและปลายด้านบนจะมีกรวยรับคอนกรีต ส่วนปลายด้านล่างจะอยู่สูงจากก้นหลุมเจาะประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อให้คอนกรีตสามารถไหลออกมาได้อย่างสะดวก

การเทคอนกรีต

ทำการใส่โฟมเม็ดลงไปปากกรวยของท่อเพื่อทำหน้าที่ป้องกันคอนกรีตแยกตัวและไม่ให้คอนกรีตไปสัมผัสกับสารละลายพูนดินโดยตรง แล้วจึงเริ่มเทคอนกรีตตามลงไป คอนกรีตจะดันโฟมเม็ดให้ไล่น้ำออกมาจากปลายท่อและคอนกรีตนี้ก็จะเข้าไปแทนที่น้ำที่ก้นหลุม ส่วนเม็ดโฟมก็หลุดลอยขึ้นมาที่น้ำ และเพื่อป้องกันมิให้ตะกอนหรือสารละลายพูนดินเข้ามาปนกับคอนกรีตได้ จะต้องรักษาระดับปลายท่อเทคอนกรีตให้จมอยู่ในคอนกรีตอย่างน้อย 2 เมตร ตะกอนและสารละลายพูนดินจะถูกดันขึ้นมาตลอดเวลา จนมาอยู่ด้านบนของหัวเสาเข็ม ควรเพื่อให้หัวเสาเข็มมีระยะสูงขึ้นมาจากระดับที่ต้องการอีกประมาณ 1-2 เท่าของขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มเพื่อที่ตอนสร้างฐานรากจะได้ทำการสกัดคอนกรีตหัวเสาเข็มออกและนำเหล็กเสริมมาใช้งานได้

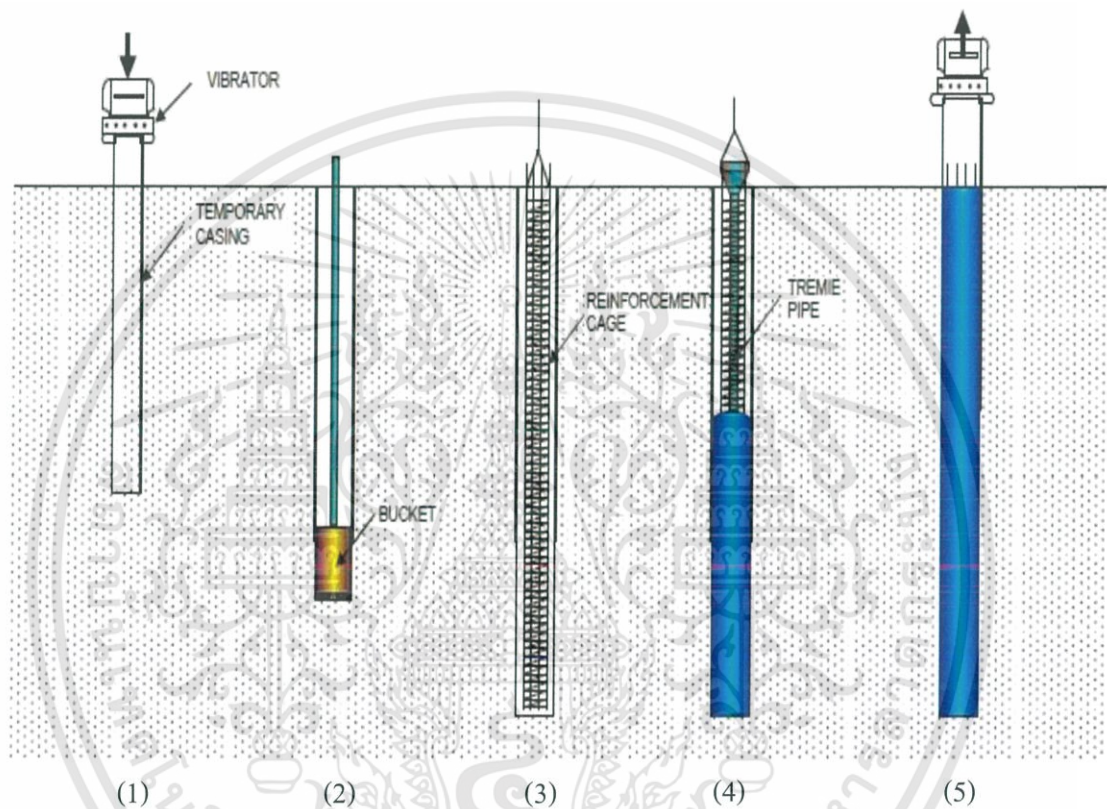
การรื้อท่อเทคอนกรีต

ทำการดึงท่อเทคอนกรีตขึ้นจากหลุมเจาะ โดยถอดแยกออกเป็นท่อนๆ ด้วยการคลายเกลียวพร้อมล้างทำความสะอาดและกองเก็บเพื่อเตรียมไว้ใช้งานในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะใหญ่ต่อไป

การถอนปลอกเหล็กออกจากหลุมเจาะ

ต้องทำการถอนปลอกเหล็กออกจากหลุมเจาะก่อนที่คอนกรีตจะแข็งตัว โดยใช้เครื่องมือชุดเดียวกับที่ใช้กดปลอกเหล็ก ค่อยๆ ดึงปลอกเหล็กขึ้น โดยพยายามควบคุมให้ปลอกเหล็กอยู่ในแนวตั้งเพื่อ

ป้องกันการพังของดินและการเคลื่อนตัวของเหล็กเสริม ภายในเวลา 24 ชั่วโมง จะต้องไม่กระทำการใดๆที่จะไปกระทบกระเทือนกับเสาเข็มต้นนั้นเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ในกรณีจำเป็นที่ต้องทำงานก่อนถึงเวลาที่กล่าวไว้ ระยะห่างระหว่างเสาเข็มต้นใหม่กับต้นที่เพิ่งเทคอนกรีตเสร็จต้องไม่น้อยกว่า 6 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม



รูปที่ 2.9 ภาพขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเจาะเปียก (1) ตอกปลอกเหล็กกั้นดินโดยใช้ Vibro hammer (2) เจาะดินเหนียวโดยใช้สว่าน และเจาะใต้เบนโทไทน์โดยใช้ bucket (3) หย่อนเหล็กเสริมลงในหลุม (4) เทคอนกรีตใต้น้ำให้ดินเบนโทไทน์ที่ขึ้นมา (5) เมื่อคอนกรีตถึงระดับที่ต้องการแล้ว จึงถอนปลอกเหล็กขึ้น

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

2.2.4 การเทคอนกรีตเสาเข็มเจาะระบบเปียก (งานคอนกรีตสำหรับเสาเข็มเจาะและงานเทใต้น้ำ
SEAFCO PUBLIC COMPANY LIMITED, 2561)

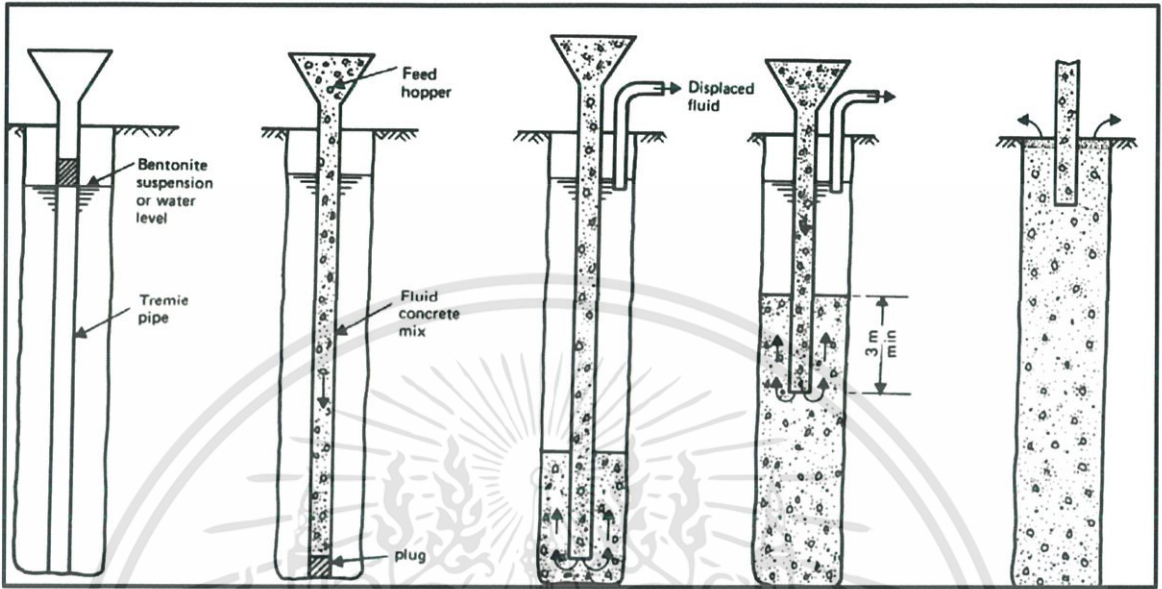
ความแตกต่างระหว่างคอนกรีตที่เทผ่านท่อกับคอนกรีตปกติ

1. ผู้ปฏิบัติงาน ไม่สามารถมองเห็นคอนกรีตระหว่างการเท
2. เทที่ความลึกประมาณ 50-60 m (บางโครงการลึก 100 m)
3. มีแรงดันน้ำใต้ดินและแรงดันดินสูงในส่วนที่มีความลึก (แรงดันน้ำใต้ดิน $40-50 \text{ T/m}^2$, แรงดันดิน $30-40 \text{ T/m}^2$)
4. การเทคอนกรีตต้องแทนที่และไล่สารละลายขุควัสดุ
5. คอนกรีตต้องปรับระดับด้วยน้ำหนักตัวเอง
6. ต้องมีการไหลที่ดีผ่านโครงเหล็กเสริมได้
7. คอนกรีตต้องมีความยึดเหนี่ยวและมีเสถียรภาพ

คอนกรีตสำหรับงานเสาเข็มเจาะระบบเปียก

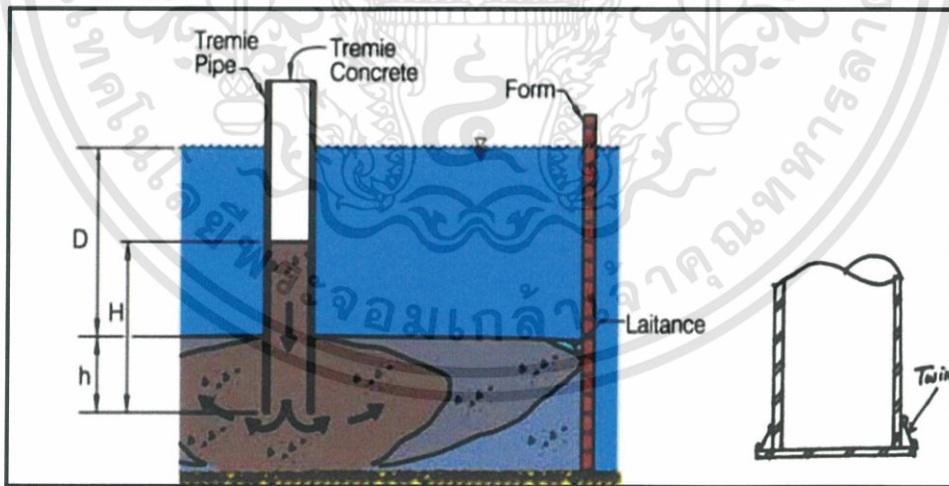
1. เคลื่อนไหลได้ดี (Excellent Fluidity)
2. สามารถอัดแน่นได้ดีภายใต้ น้ำหนักตัวเอง (Self-Compaction Under Self Weight)
3. ทนทานต่อการแยกตัว (Resistance to Segregation)
4. ควบคุมเวลาการก่อตัวได้ (Controlled Setting)
5. ทนทานต่อภาวะแวดล้อมที่กระด้าง (Resistance to Harsh Environment)
6. ทนทานต่อการถูกชะล้าง (Resistance to Leaching)
7. มีความแข็งแรง (Appropriate Strength and Stiffness)

ลักษณะการไหลของของคอนกรีตขณะเท



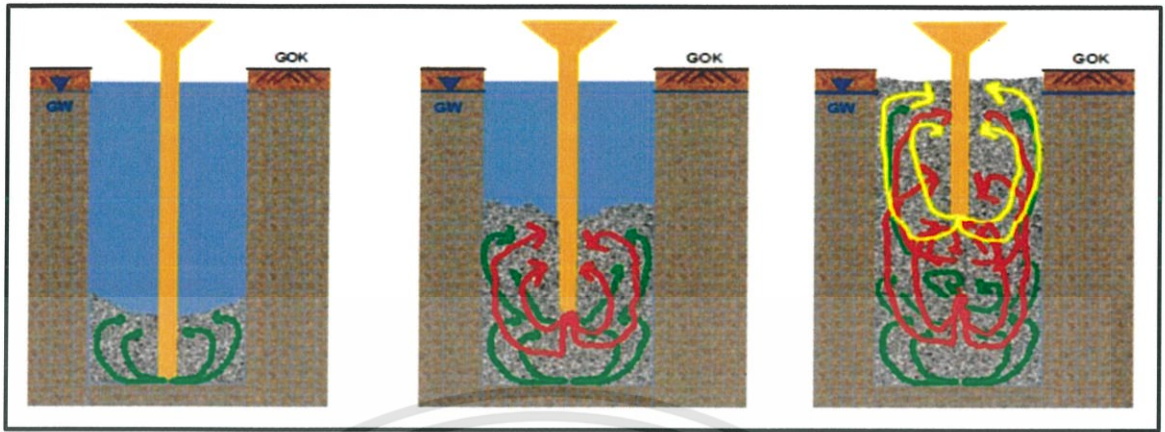
รูปที่ 2.10 ลักษณะการไหลของคอนกรีตเสาะเข็มขณะเท(1)

(ที่มา: งานคอนกรีตสำหรับเสาเข็มเจาะและงานเทใต้น้ำ SEAFCO PUBLIC COMPANY LIMITED)



รูปที่ 2.11 ลักษณะการไหลของคอนกรีตเสาะเข็มขณะเท(2)

(ที่มา: งานคอนกรีตสำหรับเสาเข็มเจาะและงานเทใต้น้ำ SEAFCO PUBLIC COMPANY LIMITED)



รูปที่ 2.12 ลักษณะการไหลของคอนกรีตเสาเข็มขณะเท(3)

(ที่มา: งานคอนกรีตสำหรับเสาเข็มเจาะและงานเทใต้น้ำ SEAFCO PUBLIC COMPANY LIMITED)

2.2.5 การตรวจสอบคุณภาพของเสาเข็ม (หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ดันเส็ง, 2554)

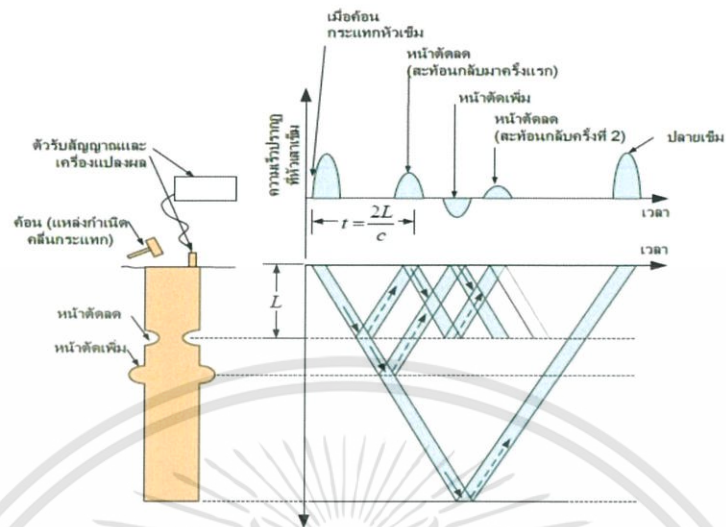
ทำการตรวจสอบ 2 ประเด็นหลักๆคือ ความสมบูรณ์ของเสาเข็มและกำลังรับน้ำหนักที่เสาเข็มสามารถรับได้

2.2.5.1 การตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็ม

โครงสร้างที่อยู่เหนือดินเช่นเสาอาคารคอนกรีตนั้นเราสามารถตรวจสอบว่าเสาคอนกรีตเอียง ปูด คอด หรือคอนกรีตไม่ได้คุณภาพได้ด้วยตาเปล่า แต่เสาเข็มเป็นส่วนสำคัญของโครงสร้างที่เมื่อก่อสร้างเสร็จแล้วจะไม่สามารถตรวจสอบได้โดยใช้ประสาทสัมผัสเนื่องจากเสาเข็มส่วนใหญ่จะอยู่ใต้ผิวดินลงไป ดังนั้นจึงจำเป็นต้องมีเครื่องมือซึ่งนำมาช่วยในการตรวจสอบเสาเข็ม

การทดสอบโดยใช้คลื่นเสียง (Sonic Integrity Test)

การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบแบบไม่ทำลาย (Non-Destructive Tests) หลักการพื้นฐานของวิธีนี้คือการสังเกตการณ์สะท้อนกลับของคลื่นที่เดินทางในหัวเสาเข็ม โดยการทดสอบจะใช้คลื่นขนาดเล็กเจาะที่หัวเสาเข็มเพื่อเป็นแหล่งกำเนิดคลื่นและเมื่อคลื่นเดินทางในหัวเสาเข็มไปกระทบกับขนาดหน้าตัด หรือสตีเฟนสที่เปลี่ยนแปลงไปจะทำให้เกิดการสะท้อนกลับของคลื่น ซึ่งคลื่นที่สะท้อนกลับจะถูกตรวจจับโดย Accelerometer ซึ่งวางอยู่บนหัวเสาเข็ม



รูปที่ 2.13 ภาพหลักการ Seismic test
(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ดันเส็ง)

2.2.5.2 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะต่างจากการตรวจสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มตรงที่ การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มจะทราบพฤติกรรมของเสาเข็มเมื่อรับแรงกระทำโดยปกติแล้ว การทดสอบเสาเข็มจะเป็นการทดสอบการรับแรงกดตามแกน ซึ่งการทดสอบจะเป็นการยืนยันว่าเสาเข็มที่ทดสอบนั้นสามารถรับแรงกดตามที่ได้ออกแบบไว้ได้

การทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ (Static Pile Load Test)

การทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์ คือการทดสอบเสาเข็ม โดยการเพิ่มแรงกระทำต่อหัวเสาเข็มอย่างช้าๆ มีลักษณะการทดสอบอยู่ 2 ชนิดคือ

1. วิธี Constant Rate of Penetration (CRP) เป็นการทดสอบ โดยเพิ่มแรงกดอย่างต่อเนื่องด้วยอัตรา การกดที่คงที่จนกระทั่งถึงจุดวิบัติ อัตราการกดอาจเท่ากับ 0.75 มิลลิเมตร/นาที่ สำหรับ friction pile ใน ดินเหนียว และ 1.55 มิลลิเมตร/นาที่ สำหรับ end bearing pile ในดินทราย

2. วิธี Maintained Load (ML) Test เป็นการเพิ่มแรงกดทดสอบเป็นขั้นจนแรงกดสุดท้ายมีค่า เท่ากับ 1.5 - 2 เท่าของน้ำหนักบรรทุกใช้งาน (Working Load) ในการทำการทดสอบจะบันทึกค่าทรุด ตัวของเสาเข็มต่อเวลาไว้ทุกขั้นการเพิ่มแรงกด ก่อนการเพิ่มแรงกดขั้นต่อไปต้องรอจนกระทั่งอัตราการ

ทรุดตัวน้อยกว่า 0.25 มิลลิเมตร/ชั่วโมง การทดสอบนี้อาจจะทดสอบจนถึงจุดวิกฤติก็ได้ วิธีการทดสอบนี้เหมาะกับการทดสอบตามสัญญาโดยเฉพาะการทดสอบ Proof Load กับเสาเข็มที่เป็นเสาเข็มใช้งาน (Working Pile) ในการเพิ่มแรงกดจะใช้แม่แรงดันหัวเสาเข็ม ซึ่งในการทดสอบจำเป็นจะต้องสร้างแรงกดทับแม่แรงเอาไว้เพื่อเป็นแรงปฏิกิริยา วิธีที่ใช้กันก็คือการใช้

1. น้ำหนักกดทับและ
2. วิธีใช้เสาเข็มสมอเพื่อสร้างแรงต้านที่เป็นแรงดึง

การทดสอบจะวัดระยะยุบตัวของหัวเสาเข็มเนื่องจากแรงกด ผลการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของกราฟระยะทรุดของหัวเสาเข็มที่สัมพันธ์กับน้ำหนักกดทดสอบ และระยะทรุดของหัวเสาเข็มกับเวลา จากกราฟจะสามารถระบุถึงกำลังประลัยของเสาเข็มได้ แต่ในบางกรณีที่ไม่สามารถระบุกำลังประลัยของเข็มได้อย่างชัดเจน อาจจะต้องใช้วิธีเชิงประสบการณ์ในการหาค่ากำลังประลัยของเสาเข็มตัวอย่าง

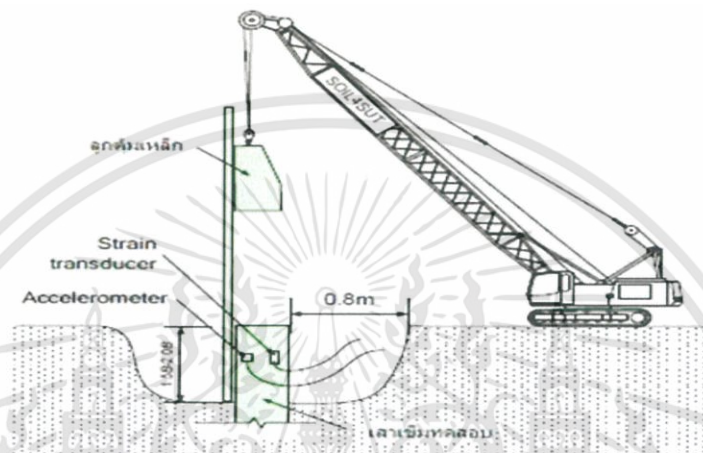


รูปที่ 2.14 ภาพการทดสอบด้วยวิธีสถิตยศาสตร์
(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

การทดสอบด้วยวิธีพลศาสตร์ (Dynamic Pile Load Test)

การทดสอบด้วยวิธีนี้เป็นการทดสอบที่ทำให้ทราบกำลังของเสาเข็มโดยการไม่ทำลายเสาเข็ม การทดสอบด้วยวิธีนี้มีราคาต่ำกว่า Static pile load test เนื่องจากใช้เวลาการทดสอบสั้น ไม่ต้องการน้ำหนักกดทับ การทดสอบกระทำได้ทั้งในระหว่างการตอกเสาเข็มซึ่งเรียกว่า Initial Driving Test หรือการทดสอบหลังจากที่ตอกเสาเข็มเสร็จและทิ้งไว้จนกระทั่งแรงดันที่เกิดขึ้นจากการก่อสร้างเสาเข็มกลับสู่สภาพปกติ (Restrike Test) ก่อนการทดสอบจะต้องจัดเตรียมหัวเสาเข็มให้เรียบ ในการทดสอบจะวัด

ความเครียดที่เกิดขึ้นด้วย Straintransducer และวัดความเร่งที่เกิดขึ้นด้วย Accelerometer ในการทดสอบ จะยกตุ้มทดสอบด้วยระยะความสูง 3-4 ค่าโดยครั้งแรกสูงประมาณ 20-50 เซนติเมตร และปล่อยให้ตก กระแทกหัวเสาเข็ม ผลการทดสอบจะได้จากการนำข้อมูลจาก Strain Transducer และ Accelerometer ไปวิเคราะห์ด้วยโปรแกรมคอมพิวเตอร์ตัวอย่างเช่น CAPWAP เป็นต้น



รูปที่ 2.15 ภาพการเตรียมเครื่องมือเพื่อทำ Dynamic load test

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

ผลที่ได้จากการวัดจะเป็นแรงที่หัวเสาเข็มและความเร็วที่หัวเสาเข็มดังสมการ ซึ่งความเร็วที่หัวเสาเข็มนั้นสามารถแปลงเป็นแรงที่หัวเสาเข็มได้โดยใช้สมการ

$$F = \frac{vEA}{c}$$

เมื่อ F คือ แรงที่วัดได้จาก Strain transducer

v คือ ความเร็วที่หัวเสาเข็ม

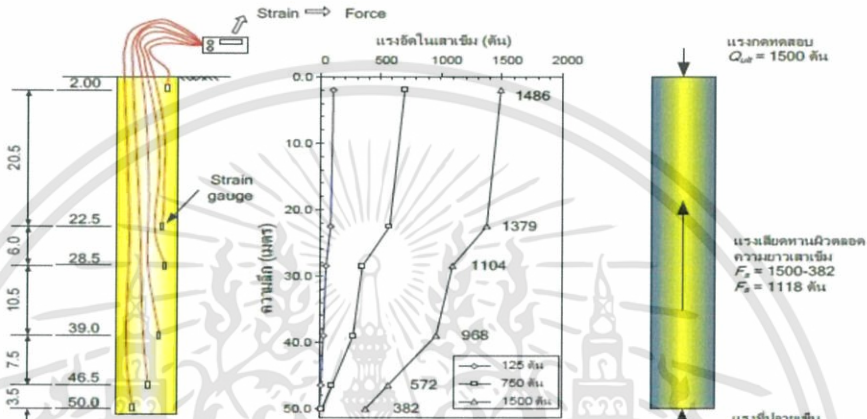
E คือ Modulus of elasticity ของวัสดุเสาเข็ม

A คือ พื้นที่หน้าตัดของเสาเข็ม

c คือ ความเร็วของคลื่นที่เดินทางในเสาเข็ม

2.2.6 พฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็ม (หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง, 2554)

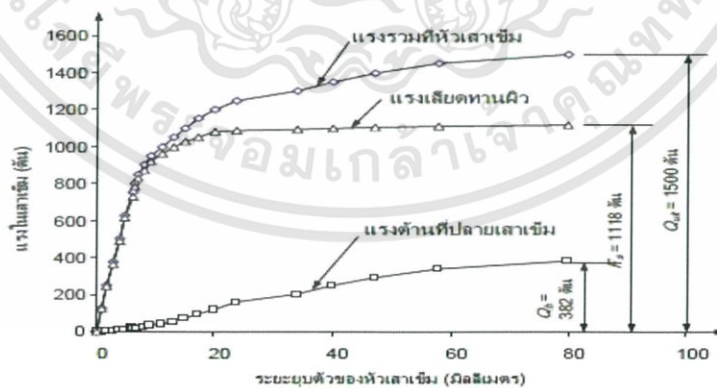
เมื่อมีแรงกดกระทำที่หัวเสาเข็มแรงที่หัวเสาเข็มจะถ่ายผ่านเสาเข็มไปสู่ดิน ซึ่งสามารถวัดแรงนี้ได้ทางอ้อมโดยการวัด Strain โดยใช้อุปกรณ์ที่เรียกว่า strain gauge ซึ่งติดตั้งไว้ในเสาเข็มดังรูปที่ 2.16 จากค่า strain ที่ได้นำมาแปลงเป็นแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มซึ่งจะทำให้สามารถศึกษาถึงพฤติกรรมการรับแรงของเสาเข็มได้



รูปที่ 2.16 ภาพแรงในเสาเข็มที่วัดได้โดยการใช้ Strain gauge

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

จากแรงที่วัดได้ในเสาเข็มถ้าจำแนกแรงที่เกิดขึ้นเป็นสองส่วนคือแรงเสียดทานที่ผิวเสาเข็มและแรงต้านที่ปลายเข็มและนำมาเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างระยะยุบตัวของหัวเสาเข็มกับแรงที่เกิดขึ้นในเสาเข็มจะได้ดังรูปที่ 2.17



รูปที่ 2.17 ภาพ Load settlement curve ของเสาเข็มยาว

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

จะเห็นว่าส่วนของแรงเสียดทานจะเกิดขึ้นเต็มที่เมื่อระยะขุดตัวของหัวเสาเข็มเท่ากับ 20 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าประมาณ 2% ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม ส่วนของแรงต้านปลายเข็มจะเกิดขึ้นเต็มที่เมื่อระยะขุดตัวของหัวเสาเข็มมีค่าเท่ากับ 80 มิลลิเมตร ซึ่งมีค่าประมาณ 8 % ของเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็ม

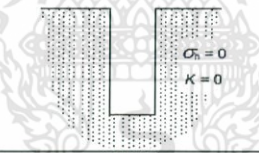

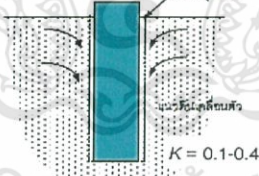
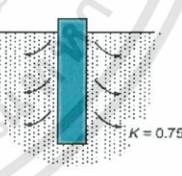
2.2.7 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม (หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง, 2554)

กรรมวิธีการก่อสร้าง

ในการคำนวณกำลังรับน้ำหนักบรรทุกทุกของเสาเข็มสิ่งที่จะต้องพิจารณาประกอบด้วยคือ ลักษณะการก่อสร้างซึ่งจะมีผลกระทบต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มอย่างมาก ตัวอย่างเช่น การตอกเข็มในหลุมที่มีการเจาะนำไว้ก่อน อาจทำให้แรงเสียดทานของเสาเข็มลดลง

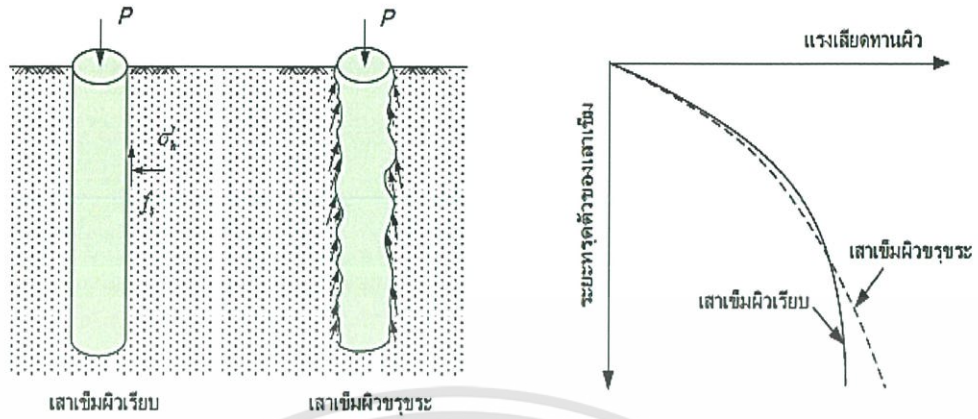
ตารางที่ 2.1 ค่าของ Coefficient of lateral earth pressure, K ของเสาเข็ม

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

ขั้นตอนการติดตั้ง	เสาเข็มเจาะทำให้ดินรอบเสาเข็มหลวม	เข็มตอกทำให้ดินรอบเสาเข็มแน่น
ก่อนการติดตั้งเสาเข็ม	 <p>$\sigma_h = 0$ $K = 0$</p>	 <p>$\sigma_h = K \sigma_v$ $K = 0.3 - 0.6$</p>
หลังการติดตั้งเสาเข็ม	 <p>แนวหมุนจะ แนวรับน้ำหนัก $K = 0.1 - 0.4$</p>	 <p>$K = 0.75 - 4$</p>

ความขรุขระของผิวเสาเข็ม

เนื่องจากเสาเข็มตอกนั้นจะทำการผลิตเสาเข็มโดยการควบคุมคุณภาพก่อนทำการติดตั้ง ดังนั้นผิวของเสาเข็มจึงมีความเรียบมากกว่ากรณีของเสาเข็มเจาะซึ่งใช้ดินเป็นแบบหล่อคอนกรีต ซึ่งจากการศึกษาของ Flemming et al. พบว่าเมื่อเสาเข็มมีความขรุขระกำลังของเสาเข็มจะสูงขึ้น

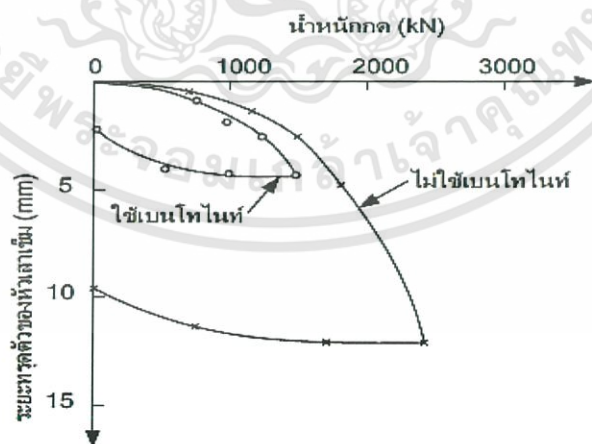


รูปที่ 2.18 ภาพแรงเสียดทานผิวเสาเข็มเมื่อเสาเข็มมีผิวขรุขระ

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

เนื่องจากเบนโทไนท์ป้องกันหลุมเจาะพังทลาย

เสาเข็มเจาะที่เจาะด้วยวิธีเจาะแบบเปียกและเจาะแบบแห้งจะให้ผลในการรับแรงไม่เหมือนกัน โดยที่เสาเข็มที่ก่อสร้างโดยใช้เบนโทไนท์จะมีกำลังรับแรงที่ต่ำกว่า แต่ต้องพึงระวังว่าในการเจาะแบบเจาะแห้งนั้นจะกระทำได้ในกรณีที่ไม่มีปัญหาเรื่องระดับน้ำใต้ดินเท่านั้น ถ้าชั้นดินเป็นชั้นดินทรายที่มีระดับน้ำใต้ดินอยู่สูง จำเป็นจะต้องใช้น้ำโคลนเบนโทไนท์เพื่อป้องกันหลุมเจาะพังทลาย และจากการทดสอบเสาเข็มเปรียบเทียบระหว่างเสาเข็มเจาะที่ใช้เบนโทไนท์กับเสาเข็มเจาะที่ไม่ใช้เบนโทไนท์พบว่าเสาเข็มเจาะที่ไม่ใช้เบนโทไนท์จะใช้กำลังรับแรงกดสูงกว่าเสาเข็มเจาะที่ใช้เบนโทไนท์

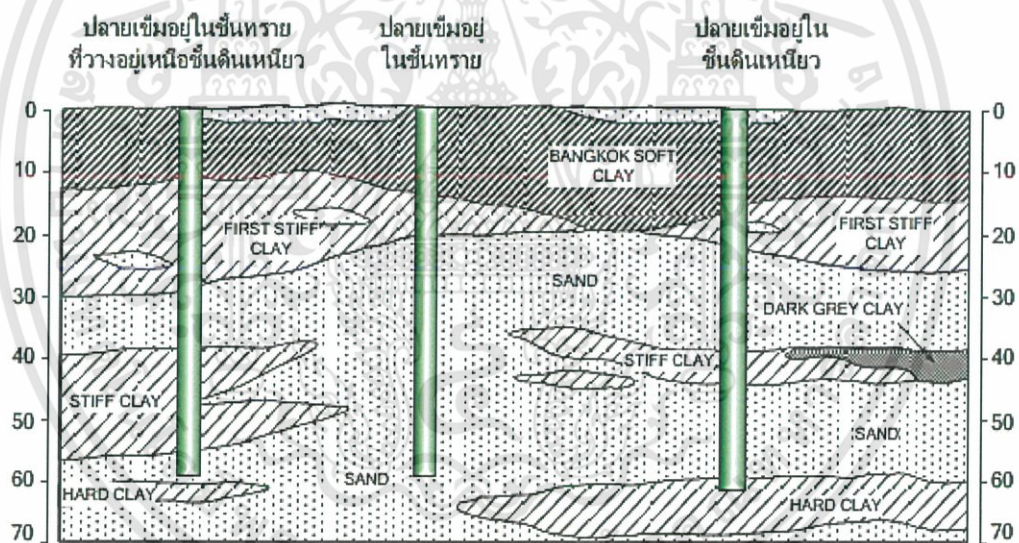


รูปที่ 2.19 ภาพเปรียบเทียบกราฟการทรุดตัวกับแรงกดของเสาเข็มเจาะที่ใช้เบนโทไนท์กับเสาเข็มเจาะ

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ต้นเส็ง)

ผลเนื่องจากชนิดของชั้นดินที่ปลายเสาเข็ม

ชนิดของดินที่ปลายเสาเข็มมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของดินเนื่องจากดินทรายจะมีหน่วยแรงต้านที่ปลายเข็มสูงกว่าดินเหนียว ดังนั้นในการเลือกความลึกของเสาเข็มมักจะเลือกให้ปลายเสาเข็มวางอยู่บนชั้นทรายแน่น ข้อควรระวังอีกประการหนึ่งคือ ปลายเข็มที่อยู่ในชั้นทรายแต่มีชั้นดินเหนียวอยู่ใต้ปลายเข็มลงไปอีกซึ่งเมื่อชั้นดินเหนียวนี้มี Effective stress เพิ่มขึ้นเนื่องจากแรงกดจากเสาเข็มจะทำให้เกิดการทรุดตัวเนื่องจาก Consolidation การเปรียบเทียบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มสองต้นที่วางอยู่ในชั้นดินเหนียวและชั้นดินทรายแสดงดังรูปที่ 2.20 ซึ่งจะเห็นได้ว่าเสาเข็ม A มีปลายอยู่ในชั้นดินเหนียวและเสาเข็ม B มีปลายอยู่ในชั้นดินทราย โดยเสาเข็ม B สั้นกว่าเสาเข็ม A แต่เมื่อทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มพบว่าเสาเข็มที่มีปลายวางอยู่ในชั้นทรายแน่นจะมีกำลังรับน้ำหนักสูงกว่าและเมื่อรับแรงกดเท่ากันจะมีการทรุดตัวที่น้อยกว่าด้วย



รูปที่ 2.20 ภาพปลายของเสาเข็มมีผลต่อกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

(ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ดันเส็ง)

2.2.8 มาตรฐานงานเสาเข็มเจาะ (มาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง)

2.2.8.1 ขั้นตอนในการก่อสร้าง

การเจาะดิน

วิธีการเจาะและอุปกรณ์ในการเจาะดินจะต้องทำให้ได้ผนังของหลุมเจาะและก้นหลุมเจาะที่ปราศจากดินหลวมอันจะทำให้หน้าสัมผัสที่ไม่ดีระหว่างคอนกรีตกับดินแน่น ในกรณีที่ใช้ส่วนเจาะการดึงส่วนขึ้นและการกดส่วนลงจะต้องกระทำอย่างช้าๆ เพื่อของเหลวที่พุงหลุมเจาะจะได้ไม่หมุนวนหรือเกิดแรงดูดกระทำต่อผนังหลุมเจาะในขณะที่ส่วนเคลื่อนที่ การหมุนวนของของเหลวจะทำให้เกิดการกัดเซาะผนังหลุมเจาะ และการเกิดแรงดูดทำให้ผนังหลุมเจาะพังทลาย ในการก่อสร้างเสาเข็มที่ออกแบบเป็นเสาเข็มรับแรงเสียดทานจะต้องทำความสะอาดหลุมเจาะเมื่อมีตะกอนก้นหลุมเกินกว่า 150 มิลลิเมตรดินจากหลุมเจาะจะต้องขนย้ายให้ห่างจากปากหลุมเจาะเพื่อป้องกันดินไหลลงไปหลุมเจาะหลังจากทำความสะอาดหลุมเจาะแล้ว

วิธีการติดตั้ง

ในกรณีที่จะต้องเจาะเสาเข็มใต้ระดับน้ำใต้ดินในดินทราย จะต้องใช้ปลอกเหล็กชั่วคราวหรือของเหลวพุงหลุมเจาะเพื่อให้หลุมเจาะมีเสถียรภาพ ระดับของ Slurry ในการเจาะต้องรักษาระดับไว้ไม่ต่ำกว่า 1.50 เมตรเหนือระดับน้ำใต้ดินและเหนือบริเวณที่ดิน ไม่มีเสถียรภาพเพื่อป้องกันการพังทลายของดินในบริเวณนั้นลงในหลุมเจาะ ผู้เจาะเสาเข็มจะต้องแสดงให้เห็นว่าหลุมเจาะมีเสถียรภาพ อาจใช้วิธีวัดระดับของก้นหลุมเมื่อหยุดการเจาะเป็นระยะเวลาหนึ่งในกรณีที่ใช้ของเหลวพุงหลุมเจาะเพื่อพุงผนังหลุมเจาะไว้ ก่อนจะติดตั้งปลอกเหล็ก ของเหลวที่ใช้ในระหว่างนี้อาจเป็นน้ำก็ได้ ยกเว้นแต่ในกรณีที่ทราบจากประสบการณ์ว่าจำเป็นจะต้องใช้ Slurry ถ้าการเจาะไม่ใช้ปลอกเหล็กจะต้องรักษาระดับของ Slurry ไว้เป็นพิเศษ จะต้องผสม Slurry ในถังผสมในพื้นที่ก่อสร้างหรือผสมเสร็จแล้วจึงส่งมายังพื้นที่ก่อสร้างโดยจะต้องไม่ทำการผสม Slurry ในหลุมเจาะ ในกรณีของ Polymer Slurry อาจทำการผสมในหลุมเจาะได้ Slurry จะต้องประกอบไปด้วยน้ำหรืออนุภาคแขวนลอยของแข็งหลายชนิด หรือใช้เป็นโพลิเมอร์ที่ผสมให้เข้ากันด้วยน้ำทำให้ได้คุณสมบัติที่เหมาะสมกับการเจาะเสาเข็ม เบนโทไทน์และ Attapulgit จะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดของ API 13A ชนิดของสารที่ใช้ขึ้นอยู่กับสภาพชั้นดินและคุณสมบัติของน้ำที่ใช้ผสม จะต้องมีการผลการทดสอบจากผู้ผลิตที่ระบุคุณสมบัติทางกายภาพและ

คุณสมบัติทางเคมีของสารที่นำมาใช้ เสนอต่อวิศวกรปฐพีก่อนการเริ่มเจาะเสาเข็มจะต้องผสม จัดเก็บ และขนย้าย Slurry โดยใช้อุปกรณ์ที่มักใช้งานกันในโครงการเจาะเสาเข็ม น้ำที่ใช้ในการผสมเพื่อเตรียม Slurry จะต้องสะอาด และเป็นน้ำจืดที่มีคุณภาพ ได้รับการอนุมัติจากวิศวกรปฐพีแล้ว จะต้องมีการ ทดสอบและบันทึกผลการทดสอบคุณสมบัติของ Slurry เพื่อใช้ควบคุมคุณภาพเสาเข็มเจาะ ผู้รับเหมา เสาเข็มจะต้องจัดเตรียมอุปกรณ์เพื่อการทดสอบในสนาม จะต้องมีการทดสอบด้วยความถี่สองครั้งต่อ หนึ่งกะการทำงาน โดยการทดสอบครั้งแรกกระทำเมื่อเริ่มต้นกะการทำงาน การทดสอบ Slurry อาจจะต้อง จำเป็นต้องทำหลายครั้งเพื่อให้แน่ใจว่า Slurry ที่ใช้นั้นมีคุณสมบัติที่ยอมรับได้ ผู้รับเหมาเสาเข็มจะต้อง จัดเตรียมอุปกรณ์ที่ใช้เก็บตัวอย่าง Slurry ที่สามารถเก็บตัวอย่าง Slurry ที่ความลึกใดก็ได้ในหลุมเจาะ ถ้าได้รับการร้องขอจากวิศวกรปฐพี

ผู้ก่อสร้างจะต้องใช้เครื่องมือเจาะและขั้นตอนการเจาะที่จะไม่ก่อให้เกิดแรงคูดขึ้นในหลุมเจาะสูง มากเกินไป หลังจากเสร็จสิ้นการขุดเจาะจะต้องทำความสะอาดกันหลุมด้วยการดูดตะกอนกันหลุม ขึ้นมาและแทนที่ด้วย Slurry ที่กำจัดตะกอนออกแล้ว การทำความสะอาดกันหลุมเจาะอาจใช้ถึงทำความสะอาด แบบเข้าได้ทางเดียวเพื่อป้องกันตะกอนหลุดออกจากถังทำความสะอาดในขณะที่ถอนกันเจาะขึ้น Slurry ที่อยู่ในหลุมเจาะจะต้องเป็นไปตามข้อกำหนดก่อนการเทคอนกรีต ถ้าการทำความสะอาด เปลี่ยนถ่าย กำจัดตะกอนทราย หรือเปลี่ยน Slurry ใหม่เป็นสิ่งที่จำเป็นต้องทำผู้รับเหมาจะต้องทำให้ เป็นไปตามข้อกำหนด การเทคอนกรีตเสาเข็มจะต้องกระทำต่อเนื่องหลังจากเจาะหลุมเจาะเสร็จ ถ้าไม่ สามารถเทคอนกรีตได้จะต้องคว้านหลุมเจาะอีกครั้ง ทำความสะอาดหลุมเจาะ และทดสอบ Slurry ก่อน การเทคอนกรีต อาจทำการเขียนกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณคอนกรีตทางทฤษฎีกับความลึก ของเสาเข็มแต่ละต้น และเปรียบเทียบกับปริมาณคอนกรีตที่ใช้จริงจากปริมาณที่รถบรรทุกคอนกรีต ส่งมายังหน้างาน สำหรับเสาเข็มที่มีแรงต้านปลายเข็มเป็นหลัก ปริมาณตะกอนทรายจะต้องไม่เกิน 4 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในกรณีอื่นปริมาณทรายจะต้องไม่เกินกว่า 10 เปอร์เซ็นต์ สำหรับในบางพื้นที่ขอม ให้มีปริมาณทรายได้สูงถึง 25 เปอร์เซ็นต์ความหนาแน่นของ Slurry จะต้องไม่เกิน 1.2 ตันต่อลูกบาศก์ เมตร สำหรับเสาเข็มที่มีแรงต้านปลายเข็มเป็นหลัก จะต้องเก็บตัวอย่างและทดสอบ Slurry ในถังเก็บ และจากตัวอย่างที่เก็บมาจากกันหลุม โดยเก็บห่างจากกันหลุมเป็นระยะ 0.3 เมตรจะต้องตรวจสอบกัน หลุมเจาะเพื่อยืนยันว่าไม่มีเศษดินจากหัวเจาะหรือดินจากผนังหลุมเจาะร่วงหล่นลงไปยังกันหลุมเจาะ

ปริมาณเศษดินที่ตกลงสู่ก้นหลุมเจาะจะต้องไม่เกิน 150 มิลลิเมตร โดยไม่มีการทำความสะอาดก้นหลุม
ในกรณีที่เป็นเสาเข็มที่ออกแบบให้ไม่มีการรับแรงที่ปลาย

เหล็กเสริมเสาเข็ม

การติดตั้งเหล็กเสริมลงในหลุมเจาะจะต้องกระทำหลังจากที่วิศวกรปฐพีได้ทำการตรวจสอบและ
ออกคำอนุมัติ หลังจากที่ได้รับอนุมัติให้ติดตั้งเหล็กเสริม เหล็กเสริมจะต้องวางไว้กลางหลุมเจาะ โดยมี
ระดับที่ถูกต้องโดยใช้ลูกปุนหนุนเหล็กเสริมเสาเข็มจะต้องไม่สัมผัสกับผนังหลุมเจาะและจะต้องถูกหุ้ม
ด้วยคอนกรีตโดยใช้อุปกรณ์หนุน เช่น ลูกปุน หนุนไว้อย่างเพียงพอ จะต้องรักษาระยะหุ้มคอนกรีตชั้น
ต่ำไว้เท่ากับ 75 มิลลิเมตร และช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมในแนวนอนจะต้องไม่น้อยกว่า 100 มิลลิเมตร
และ ช่องว่างระหว่างเหล็กเสริมตั้งจะต้องไม่ต่ำกว่า 3 เท่าของขนาดโตสุดของมวลรวมหยาบ (อย่างต่ำ
75 มิลลิเมตร)

คอนกรีตที่ใช้

จะต้องสอดคล้องกับข้อกำหนดดังนี้

ก. คอนกรีตที่ใช้ในวิธีการเจาะเสาเข็มระบบเจาะเปียกจะต้องมีค่ายุบตัว (Slump) อยู่ระหว่าง 175-
225 มิลลิเมตร

ข. มวลรวมโตสุดมีขนาดไม่เกิน 125 มิลลิเมตร

ค. มีสารหน่วงที่ทำให้คอนกรีตมีค่ายุบตัวที่ 125 มิลลิเมตรหรือมากกว่าหลังจาก 4 ชั่วโมง โดย
ชนิดของสารหน่วงจะต้องได้รับอนุมัติจากวิศวกรก่อนการใช้งาน

การเทคอนกรีตจะเริ่มได้หลังจากที่หลุมเจาะได้รับการยอมรับจากวิศวกรปฐพีและได้รับการ
ยอมรับการติดตั้งเหล็กเสริมจากวิศวกรคุมงานจะต้องมีการทำความสะอาดหลุมเจาะก่อนเริ่มเท
คอนกรีตการทำความสะอาดของเหลวหนืดอาจใช้วิธี Air Lift หรือการสูบของเหลวจากก้นหลุมแล้ว
เติมของเหลวหนืดที่สะอาดคืนลงหลุมเจาะ การเก็บตะกอนก้นหลุมเจาะอาจใช้ถังเก็บตะกอน (Clean
Out Bucket) ซึ่งขึ้นกับข้อกำหนดที่ระบุไว้ในสัญญา ถ้าเสาเข็มถูกออกแบบให้เป็นเสาเข็มรับแรงที่ปลาย
จะต้องตรวจสอบก้นหลุมอีกครั้งหลังจากติดตั้งเหล็กเสริมและก่อนการเทคอนกรีตด้วยเทปที่ถ่วงค้ำ
น้ำหนักไว้ที่ปลายเทป จะต้องเทคอนกรีตให้เสร็จในระหว่างที่หลุมเจาะมีเสถียรภาพและคอนกรีตยังคง

สภาพเหลว จะต้องไม่เริ่มเทคอนกรีตหากยังไม่ได้รับการยืนยันว่ามีคอนกรีตเพียงพอสำหรับการเทให้เสร็จในครั้งเดียว

การเทคอนกรีต

อาจใช้วิธีการเทคอนกรีตใต้น้ำ (Tremie) หรือวิธีการเทโดยปั๊ม ทั้งสองวิธีจะต้องใช้ตัวอุดท่อเพื่อป้องกันการปนเปื้อนของคอนกรีตสดกับ Slurry จะต้องติดตั้งท่อเทคอนกรีตให้ถึงก้นหลุมก่อนเริ่มเทคอนกรีต และจะต้องให้ความระมัดระวังในการเทคอนกรีตให้ไล่ Slurry ที่อยู่ในท่อออกไปในการเทคอนกรีตชุดแรก ท่อเทคอนกรีตจะต้องฝังอยู่ในคอนกรีตสดอย่างน้อย 1 เมตร ถึง 1.5 เมตรและรักษาระยะฝังนี้ไว้ตลอดการเทคอนกรีตเพื่อป้องกัน Slurry ทะลักเข้ามาในท่อเทคอนกรีตคอนกรีตที่เทลงในท่อเทชุดแรกเมื่อไหลขึ้นมาถึงหัวเสาเข็มเป็นคอนกรีตที่ปนเปื้อนกับดิน โกลนซึ่งจะต้องปล่อยทิ้งจนได้คอนกรีตสดที่สะอาด ไม่ควรจะยอมให้มีการยกท่อเทคอนกรีตขึ้นลงอย่างรวดเร็ว ก่อนการเริ่มงานจะต้องส่งรายละเอียดอุปกรณ์และวิธีการเทคอนกรีตให้วิศวกรอนุมัติเสียก่อน ในระหว่างการเทคอนกรีตจะต้องไม่ยกปลายท่อเทขึ้นเหนือระดับคอนกรีตที่เทไปแล้วท่อเทจะต้องไม่มีกร้าวซึม จะต้องไม่ใช่อุปกรณ์และท่อที่ทำจากอลูมิเนียมในการเทคอนกรีต จะต้องป้องกันความเสียหายของคอนกรีตที่ไหลขึ้นเหนือดิน และจะต้องบ่มคอนกรีตด้วยวิธีที่เหมาะสม

2.2.8.2 ความปลอดภัยในงานเสาเข็มเจาะ (Safety)

ข้อกำหนดที่ระบุนี้เป็นข้อกำหนดขั้นต่ำ ข้อกำหนดเฉพาะงานที่เข้มงวดกว่านี้ให้เป็นไปตามเกณฑ์ขององค์กรที่ดูแลด้านความปลอดภัย

ก๊าซในหลุมเจาะ

บุคลากรที่เกี่ยวข้องกับการเจาะเสาเข็มจะต้องระมัดระวังก๊าซพิษและก๊าซที่ระเบิดได้ที่อาจมีอยู่ในชั้นดินและถูกปลดปล่อยเมื่อเจาะเสาเข็ม ในพื้นที่ปฏิบัติงานจะต้องจัดเตรียมหน้ากากกันก๊าซ เครื่องตรวจจับก๊าซ และเครื่องมือปฐมพยาบาล พร้อมทั้งเครื่องเป่าลมไปยังก้นหลุม สำหรับในกรณีฉุกเฉินถ้าตรวจพบก๊าซหรือคาดว่าจะมีก๊าซในขณะขุดเจาะ จะต้องไม่อนุญาตให้ผู้ปฏิบัติงานเข้าไปเจาะหลุมเจาะจนกว่าจะระบายก๊าซออกจนปลอดภัย

การป้องกันปากหลุม

เมื่อหยุดการขุดเจาะชั่วคราวหรือเมื่อขุดเจาะเสร็จจะต้องปิดปากหลุมเจาะ วัสดุที่ปิดปากหลุมเจาะจะต้องมีความแข็งแรงเพียงพอที่จะป้องกันการพลัดตกลงไปในหลุมเจาะ

2.2.8.3 เกณฑ์การยอมรับ

เกณฑ์การยอมรับสำหรับเสาเข็มเจาะที่ก่อสร้างเสร็จแล้ว ดังหัวข้อต่อไปนี้จะต้องระบุไว้ในข้อกำหนดของงาน โดยอาจจะเพิ่มข้อกำหนดหรือลดค่าที่ยอมรับให้ลงโดยวิศวกรในเอกสารสัญญา การเปลี่ยนแปลงใดๆ ที่เกิดขึ้นจะต้องได้รับการยินยอมโดยวิศวกรก่อน

ตำแหน่งเสาเข็มและความดิ่ง

ถ้าไม่มีการเพื่อบรรยายเชิงศูนย์กลางของเสาเข็มไว้ในการออกแบบโครงสร้าง ค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับในการก่อสร้างของความดิ่งของเสาเข็มจะต้องเป็นไปตาม ACI 336.1 ค่าคลาดเคลื่อนของตำแหน่งหัวเสาเข็มจะต้องไม่เกินกว่า 4 เปอร์เซ็นต์ของเส้นผ่านศูนย์กลางของเสาเข็มหรือ 75 มิลลิเมตรในทุกทิศทาง โดยให้เลือกใช้ค่าที่ต่ำกว่าในสองกรณีนี้ สำหรับค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้ที่มีค่าน้อยกว่า 50 มิลลิเมตรนั้นยากที่จะทำได้ในทางปฏิบัติ

ผนังเสาเข็ม

ผนังเสาเข็มต้องรับแรงเฉือนการตรวจสอบผนังเสาเข็มจะต้องกระทำโดยผู้รับผิดชอบด้านธรณีเทคนิคในหน่วยงาน โดยพื้นที่หน้าตัดของผนังเสาเข็มจะต้องไม่ต่ำกว่า 98 เปอร์เซ็นต์ของพื้นที่หน้าตัดที่ระบุไว้ในแบบ

2.2.8.4 วิธีการแก้ไข

ในกรณีก่อสร้างเสาเข็มเสร็จและค่าคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเกินกว่าค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับให้ หรือมีขนาดเล็กกว่าแบบ หรือมีกำลังต่ำกว่าที่กำหนด จะต้องดำเนินการแก้ไขด้วยวิธีที่เหมาะสม ในกรณีที่มีข้อสงสัยในกำลังรับน้ำหนักบรรทุกของเสาเข็มอาจจะใช้วิธีทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบสถิต (Static Load Test) หรือทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มแบบพลศาสตร์แบบเกิดความเครียดสูง (High Strain Dynamic Testing) ในกรณีที่พบว่าเสาเข็มจะเกิดการเยื้องศูนย์กลางก่อนที่จะเทคอนกรีตอาจ

ใช้วิธีการแก้ไขที่ใช้ค่าใช้จ่ายต่ำ โดยการเพิ่มเหล็กเสริมในเสาเข็ม และ/หรือเพิ่มการยึดรั้งทางด้านข้างของโครงสร้าง (Structural Lateral Restraint) วิธีนี้ต้องมีการวิเคราะห์โดยวิศวกร โครงสร้างและคำนวณปริมาณเหล็กเสริมที่ต้องการ ถ้าเสาเข็มเยื้องศูนย์กลางจนกระทั่งวิธีนี้ไม่เหมาะสม ในทางปฏิบัติอาจจำเป็นต้องกลบหลุมเจาะด้วยปูนเกร้าท์ที่ค่อนข้างแห้ง (Leanmix Grout) แล้วทำการเจาะเสาเข็มใหม่อย่างระมัดระวัง และหมั่นตรวจสอบความตั้งและตำแหน่งของเสาเข็ม ในกรณีนี้จะต้องออกแบบให้กำลังของปูนเกร้าท์และความแข็งในขณะที่เจาะหลุมเท่ากับกำลังและความแข็งของดิน โดยรอบหลุมเจาะ ทางเลือกอีกทางหนึ่งที่เป็นไปได้คือ การเจาะเสาเข็มให้มีขนาดใหญ่กว่าเสาเข็มต้นเดิม โดยขนาดจะต้องใหญ่กว่าจนกระทั่งสามารถปรับแก้ตำแหน่งและความเอียงของเสาเข็มให้อยู่ในค่าคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

2.3 ความสัมพันธ์ของข้อมูล

2.3.1 ค่าสหสัมพันธ์ หรือ Correlation

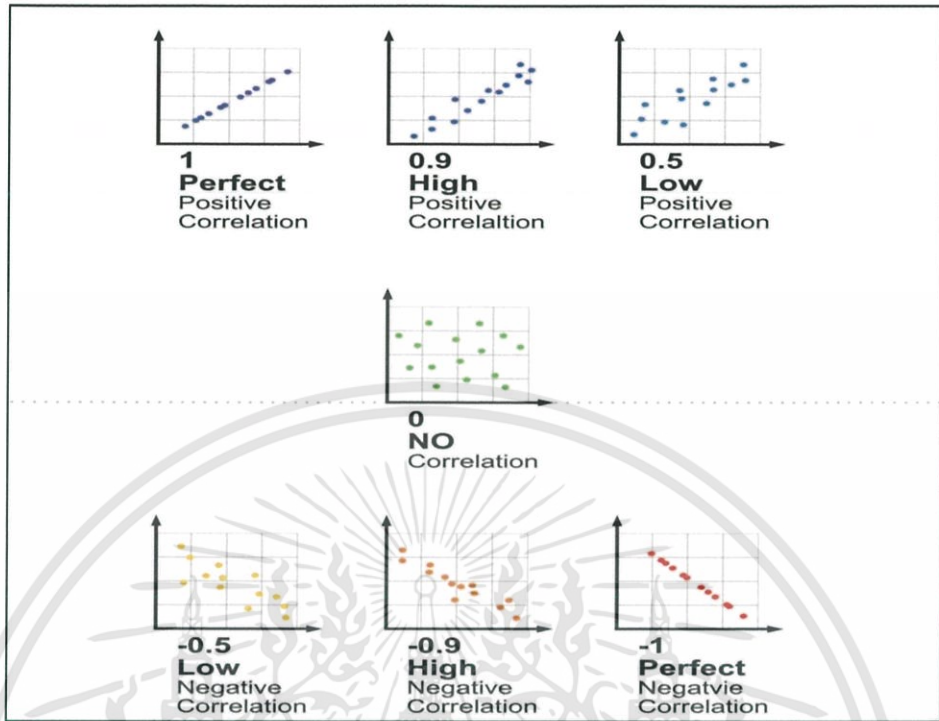
เป็นการดูทิศทางความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปร 2 ตัว โดยมี Correlation Coefficient (r) หรือ ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ เป็นตัวบ่งชี้ถึงความสัมพันธ์นี้ ซึ่งค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์จะมีค่าอยู่ระหว่าง -1.0 ถึง +1.0 ซึ่งหากมีค่าใกล้ -1.0 นั้นหมายความว่าตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์กันอย่างมากในเชิงตรงกันข้าม หากมีค่าใกล้ +1.0 นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีความสัมพันธ์กันโดยตรงอย่างมาก และหากมีค่าเป็น 0 นั้นหมายความว่า ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์ต่อกัน

Coefficient of Correlation

$$r = \frac{\sum(x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum(x_i - \bar{x})^2 \sum(y_i - \bar{y})^2}}$$

รูปที่ 2.21 Correlation Coefficient

(ที่มา: <https://medium.com/@infoB>)



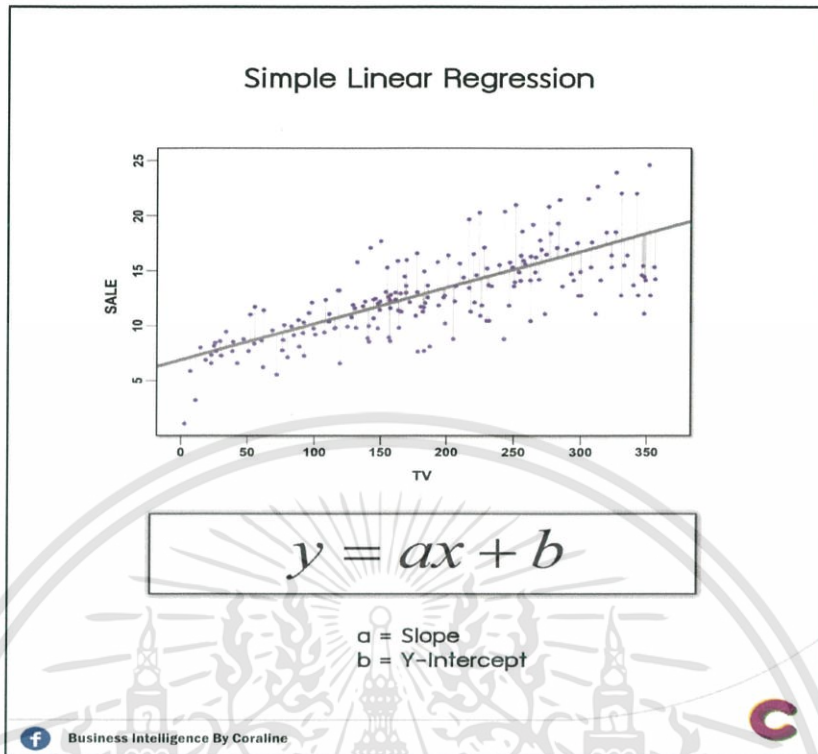
รูปที่ 2.22 แนวโน้มความสัมพันธ์ของข้อมูล

(ที่มา: <https://medium.com/@infoB>)

ทั้งนี้ การที่ตัวแปรทั้งสองตัวมีค่าสหสัมพันธ์แสดงออกถึงความสัมพันธ์กันนั้น หมายความว่า ตัวแปรทั้งสองมีแนวโน้มจะไปในทางเดียวกัน แต่อย่างไรก็ตาม ไม่ได้หมายความว่าตัวแปรทั้งสองนั้น เป็นปัจจัย หรือเป็นเหตุผลของกันและกัน ทั้งนี้จึงต้องนำไปวิเคราะห์ในเชิง Regression ต่อไป

2.3.2 Linear Regression หรือ การวิเคราะห์การถดถอย

เป็นการศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างตัวแปรตั้งแต่ 2 ตัวขึ้นไป ซึ่งได้แก่ตัว ประมวลการ (Predictor, X) และตัวตอบสนอง (Response, y) โดยเป็นความสัมพันธ์แบบเชิงเส้น (Linear) ทั้งนี้ใน ขั้นตอนการทำ Regression ต้องมีการเก็บจำนวน Sample space จำนวนมากพอ นั่นคือ มี x และ y ที่มีความสัมพันธ์กันหลายๆ ครั้ง เพื่อนำมาหาสมการความสัมพันธ์



รูปที่ 2.23 Simple Linear Regression

(ที่มา: <https://medium.com/@infoB>)

จะเห็นได้ว่า ในกราฟ มีจุดหลายจุด นั่นคือ จุดที่บ่งบอกว่า เมื่อ x มีค่าจำนวนหนึ่ง จะส่งผลให้ y มีค่าจำนวนหนึ่ง ดังนั้น จำนวนจุดจึงมีผลสำคัญต่อการทำ Regression

อย่างไรก็ตาม การ Regression อาจมีค่าคลาดเคลื่อนได้ และเมื่อมีค่าประมาณการ (Predictor) มีมากกว่า 1 ตัว จะเรียกว่า Multiple Linear Regression โดยมีรูปแบบสมการดังนี้

Multiple Linear Regression

$$y = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \dots + \beta_i x_i + \varepsilon$$

β คือ Coefficient หรือ ค่าสัมประสิทธิ์ของค่าประมาณการตัวนั้นๆ

รูปที่ 2.24 Multiple Linear Regression

(ที่มา: <https://medium.com/@infoB>)

2.3.3 ความหมายค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ (วิเคราะห์ข้อมูลสถิติและทำงานวิจัยด้วย Excel ปริศารณ์ กาญจนสำราญวงศ์)

สำหรับการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ การเลือกข้อมูลใน Input Range ไม่จำเป็นต้องสนใจว่าเป็นตัวแปรอิสระ หรือตัวแปรตาม เพราะการหาสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่ได้ให้ความสำคัญของการเป็นตัวแปรอิสระหรือตัวแปรตาม

การอธิบายระดับความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ไม่มีกฎแน่นอน ขึ้นอยู่กับผู้วิจัย โดยในที่นี้ขออธิบายระดับความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์ดังนี้

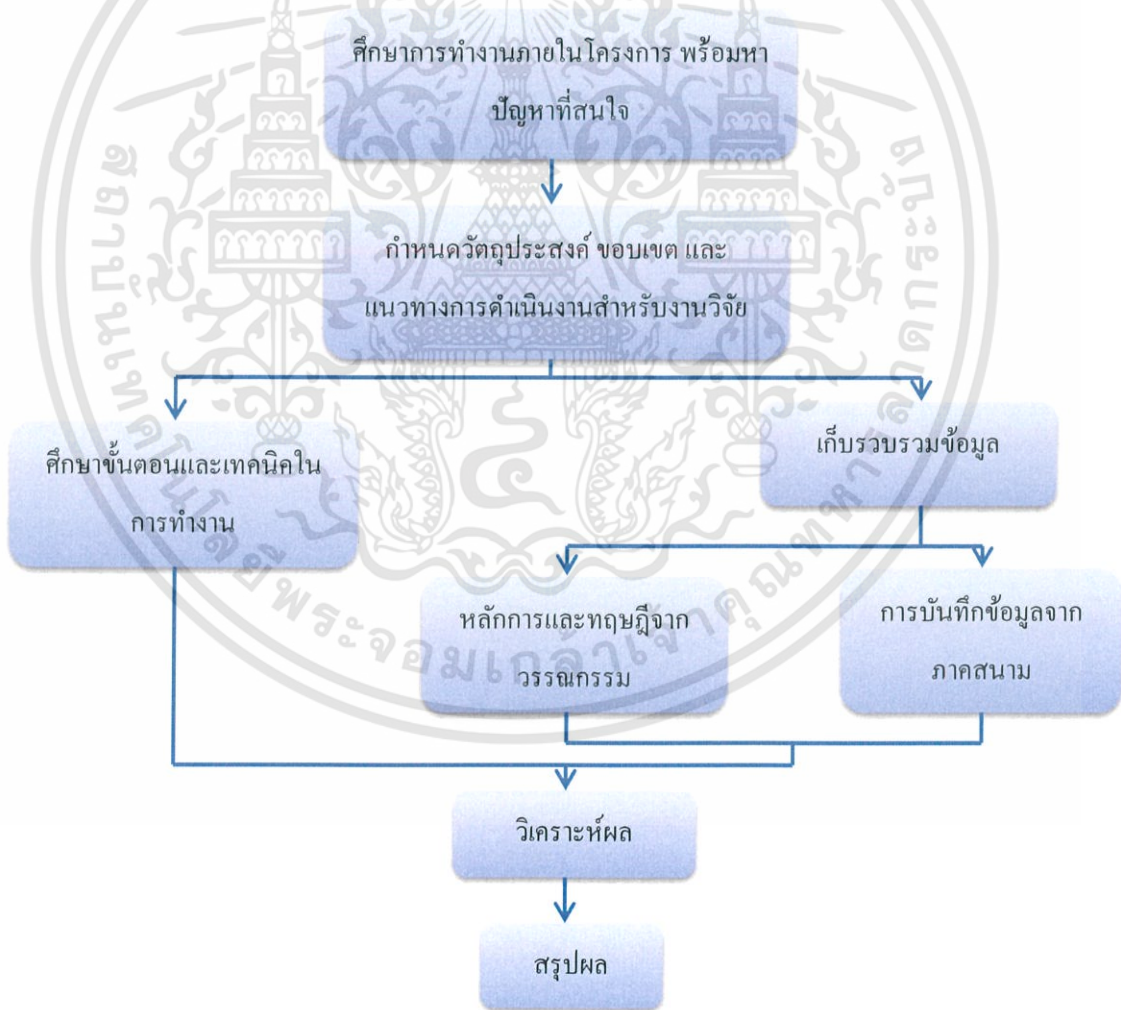
ตารางที่ 2.2 ตารางระดับความสัมพันธ์ของสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์
(ที่มา: วิเคราะห์ข้อมูลสถิติและทำงานวิจัยด้วย Excel ปริศารณ์ กาญจนสำราญวงศ์)

ค่าสัมประสิทธิ์สหสัมพันธ์	ความหมาย
0	ตัวแปรทั้งสองตัวไม่มีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกันเลย
0.01 – 0.45	ตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกันน้อย
0.46 – 0.69	ตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกันปานกลาง
0.70 - 1	ตัวแปรทั้งสองตัวมีความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงกันมาก

บทที่ 3

วิธีการดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยเรื่อง “สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะระบบเปียก” ได้มีการดำเนินงานมาหลากหลายขั้นตอน ซึ่งเป็นงานวิจัยที่ต้องใช้หลักการทางทฤษฎีและข้อมูลจากหน้างานจริงควบคู่กันให้สามารถวิเคราะห์ปัญหาที่พิจารณาได้ จึงจำเป็นต้องมีการเก็บรวบรวมข้อมูล ศึกษาการทำงาน วิเคราะห์ข้อมูล ฯ ทั้งนี้เพื่อให้เข้าใจและง่ายต่อการพิจารณาวิธีการดำเนินงานวิจัย จึงได้รวบรวมการดำเนินงานต่างๆสร้างเป็นแผนภาพ ดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนในการดำเนินงานวิจัย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1 ข้อมูลโครงการ

โครงการ The Fine Bangkok Thonglor – Ekamai ตั้งอยู่บริเวณเอกมัยซอย 12 เขตวัฒนา กรุงเทพมหานคร พื้นเนื้อที่ 1.3 ไร่ หรือ 2,025 ตารางเมตร เป็นคอนโด High Rise 31 ชั้น 1 อาคาร 220 ยูนิต เริ่มก่อสร้างเมื่อเดือนกรกฎาคม พ.ศ. 2561 และคาดว่าจะแล้วเสร็จในเดือนกันยายน พ.ศ. 2563



รูปที่ 3.2 พื้นที่โครงการ The Fine Bangkok
(ที่มา: Google Map)

3.2 ศึกษาการทำงานภายในโครงการ พร้อมหาปัญหาที่สนใจ

ลักษณะการทำงาน

ในช่วงที่ผู้ศึกษาได้เข้าสหกิจศึกษากับโครงการ The Fine Bangkok งานหลักที่โครงการได้ดำเนินการอยู่คือ งานก่อสร้างเสาเข็มของตัวอาคาร ซึ่งการก่อสร้างเสาเข็มทางโครงการเลือกใช้วิธีการก่อสร้างแบบเจาะด้วยระบบเปียก โดยก่อสร้างเป็นเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร เจาะถึงระดับความลึกที่ -57 เมตร จำนวนทั้งสิ้น 105 ต้น

ปัญหาที่สนใจ

จากการศึกษาลักษณะการทำงานในช่วงเวลาสหกิจศึกษา ผู้ศึกษามีความสนใจในเรื่อง การเทคอนกรีตสำหรับงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก เนื่องจากเห็นถึงความพิเศษของการเทคอนกรีต

ดังกล่าว ซึ่งแตกต่างจากการเทคอนกรีตของโครงสร้างในส่วนอื่น เป็นการเทคอนกรีตที่อยู่ใต้ดินไม่สามารถมองเห็นลักษณะของคอนกรีตหลังเทได้ด้วยตาเปล่า และยังมีปัจจัยหลากหลายประการที่ส่งผลกระทบของการเทคอนกรีต

ผู้ศึกษาพบว่าปริมาณคอนกรีตที่ใช้จริงตามหน้างานมีปริมาณมากกว่าที่ได้คำนวณตามทฤษฎีโดยอ้างอิงรายละเอียดเสาเข็มจากแบบก่อสร้างเสาเข็ม โดยในการก่อสร้างบางหลุมจะต้องสั่งคอนกรีตเพิ่มเนื่องจากปริมาณที่สั่งไม่เพียงพอต่อปริมาณที่ใช้จริง

3.3 กำหนดวัตถุประสงค์ ขอบเขต และแนวทางการดำเนินงานสำหรับงานวิจัย

กำหนดวัตถุประสงค์

เมื่อพิจารณาปัญหาที่พบและประโยชน์ที่งานวิจัยนี้จะเป็นประโยชน์ในอนาคต ผู้ศึกษาจึงเน้นในการสร้างสมการคาดการณ์ปริมาณคอนกรีตเพื่อให้สามารถวางแผนงบประมาณในการซื้อคอนกรีตให้ใกล้เคียงกับความเป็นจริงมากที่สุด โดยการจะสร้างสมการได้ต้องคำนึงถึงปัจจัยต่างๆที่จะส่งผลต่อปริมาณคอนกรีตที่แท้จริงตามหน้างาน และการจะเข้าใจปัจจัยเหล่านั้น ได้ก็ต้องมีการศึกษาขั้นตอนการเทคอนกรีตให้เข้าใจอย่างลึกซึ้ง

กำหนดขอบเขตการศึกษา

งานวิจัยนี้ได้จัดทำขึ้น โดยอาศัยข้อมูลจากการก่อสร้างจริงของเสาเข็มเจาะระบบเปียก หน้าตัดกลมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร และเป็นการก่อสร้างบนชั้นดินของย่านเอกมัย จากลักษณะแหล่งข้อมูลที่เก็บรวบรวมทำให้ข้อมูลที่ได้มีข้อจำกัดซึ่งผลการวิจัยนั้นคือ สมการการคาดการณ์ปริมาณคอนกรีตงานเสาเข็มเจาะเปียกอาจใช้ได้กับเหตุการณ์หรือลักษณะงานบางประการตามขอบเขตของข้อมูล

แนวทางการดำเนินงานสำหรับงานวิจัย

งานวิจัยนี้ต้องอาศัยทั้งหลักการจากทฤษฎีและข้อมูลที่ได้จากการปฏิบัติงานจริงซึ่งการปฏิบัติงานจริงนั้นนอกเหนือจากการเก็บรวบรวมข้อมูลแล้วยังต้องมีการศึกษาถึงขั้นตอนในการทำงานจริงเพื่อให้ทราบถึงปัญหาจริงที่เกิดขึ้นจริง และปัจจัยที่มีผลต่อการเทคอนกรีต ดังนั้นแนวทางในการดำเนินงานวิจัยจะประกอบไปด้วย

- การศึกษาขั้นตอนและเทคนิคในการทำงานจริงที่เกี่ยวข้องกับการเทคอนกรีต
- การเก็บข้อมูลทั้งจากทฤษฎีและภาคสนาม
- วิเคราะห์ข้อมูลพร้อมสร้างสมการคาดการณ์

3.4 ศึกษาขั้นตอนและเทคนิคในการทำงาน

การศึกษาขั้นตอนการก่อสร้างก็เป็นเรื่องที่สำคัญเช่นกัน ทำให้ทราบถึงปัญหาที่เกิดขึ้นจริงและปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรคอนกรีต ซึ่งในหัวข้อนี้จะอธิบายถึงขั้นตอนในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก และอธิบายเพิ่มเติมในขั้นตอนที่อาจจะส่งผลกระทบต่อปริมาตรคอนกรีต

1. หาดำแหน่งคร่าวๆที่จะทำการก่อสร้างเสาเข็มจากพิกัดตามแบบแล้วทำเครื่องหมายในที่ๆมองเห็นง่าย



รูปที่ 3.3 หาดำแหน่งเบื้องต้น

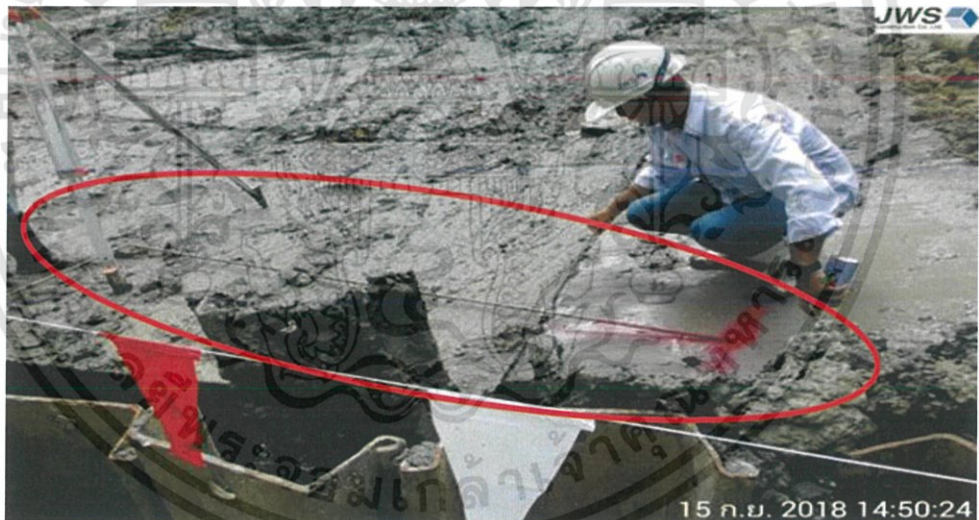
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

2. รถ Back Hoe ทำการขุดเปิดหน้าดินและวางแผ่นเหล็กที่จะใช้ในการปรับระดับพื้นเพื่อให้สามารถระบุตำแหน่งของเข็มแบบละเอียดได้ (การขุดเปิดหน้าดินยังทำให้ง่ายต่อการกดปลอกเหล็กหรือ Casing ในขั้นตอนต่อไปอีกด้วย)



รูปที่ 3.4 Back Hoe ขุดเปิดหน้าดิน
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

3. ทำการหาตำแหน่งเข็มแบบละเอียดและทำเครื่องหมายไว้ พร้อมติดตั้งเหล็กเส้นควบคุมตำแหน่งของปลอกเหล็กขณะทำการกด



รูปที่ 3.5 ติดตั้งเหล็กเส้นควบคุมตำแหน่งปลอกเหล็กขณะกด
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

4. ทำการกดปลอกเหล็กให้ตรงตำแหน่งโดยดูเครื่องหมายที่เหล็กเส้นทั้ง 2 แนวแกน และขณะกดต้องควบคุมให้ปลอกเหล็กอยู่ในแนวตั้งเสมอ



รูปที่ 3.6 ควบคุมตำแหน่งปลอกเหล็กด้วยเหล็กเส้น
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

- ตรวจสอบพิกัดปลอกเหล็กเทียบกับพิกัดเข็มค้ำแบบ เป็นการควบคุมไม่ให้เกิดการเอียงศูนย์ และทำการเก็บข้อมูลค่าระดับต่างๆเพื่อใช้วิเคราะห์การลงเหล็กเสริม



รูปที่ 3.7 ตรวจสอบพิกัดปลอกเหล็ก
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

- การเจาะดินในช่วงแรกรถเจาะจะติดตั้งหัวเจาะแบบสว่านเพื่อทำการเจาะชั้นดินส่วนบนโดยหัวเจาะแบบสว่านจะทำการเจาะถึงแค่ระดับปลายปลอกเหล็กเท่านั้น เมื่อเลขระดับปลอกเหล็กรถเจาะจะเปลี่ยนหัวเจาะเป็นแบบ Bucket พร้อมกับปล่อยสารละลายเบนโทไนท์แล้วทำการเจาะจนถึงระดับที่ต้องการ โดยสารละลายเบนโทไนท์จะถูกปล่อยลงหลุมเจาะตลอดการเจาะ

จากนั้นพื้หลุมเจาะไว้ประมาณ 1 ชั่วโมงเพื่อให้ตะกอนดินจมลงก้นหลุม จากนั้นใช้หัวเจาะ Bucket เก็บตะกอนเหล่านั้นออก

ผลต่อปริมาตรคอนกรีต

ช่วงการเจาะถึงระดับที่ต้องการนั้นในหน้างานจะมีความคลาดเคลื่อนของระดับอยู่คือในการเจาะเกือบทุกหลุมจะมีการเจาะเลยระดับที่ต้องการเล็กน้อย อยู่ในช่วง 0-1.5 เมตร ขึ้นอยู่กับการควบคุมของพนักงานคุมรถเจาะ และในทางปฏิบัติผนังหลุมเจาะจะไปตรงเสมอไป โดยอาจคอดหรือพองได้เป็นช่วงๆ



รูปที่ 3.8 การเจาะดินด้วยหัวเจาะแบบ Bucket
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

ซึ่งสารละลายที่ใช้นั้นจำเป็นต้องทดสอบและควบคุมให้สารละลายยังมีคุณสมบัติที่ตรงตามกำหนด เพื่อให้สามารถเพิ่มเสถียรภาพแก่ผนังหลุมเจาะขณะทำการเจาะได้ โดยการทดสอบประกอบไปด้วย

- การทดสอบค่า pH ของสารละลาย
- การทดสอบค่าความหนาแน่นของสารละลาย
- การทดสอบความหนืดของสารละลาย
- การทดสอบเปอร์เซ็นต์ทรายที่ปนในสารละลาย



รูปที่ 3.9 รูป 1. การทดสอบค่า pH ของสารละลาย 2.การทดสอบค่าความหนาแน่นของสารละลาย
3. การทดสอบความหนืดของสารละลาย 4. การทดสอบเปอร์เซ็นต์ทรายที่ปนในสารละลาย
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

7. การลงเหล็กเสริมนั้นเนื่องจากเสาเข็มที่ต้องการก่อสร้างมีความยาวมากๆซึ่งความยาวของเหล็กเส้นที่มีขายทั่วไปนั้นเป็นความยาวที่จำกัด ทำให้จำเป็นต้องมีการต่อของท่อนเหล็กแต่ละท่อนเพื่อให้เพียงพอต่อความยาวเสาเข็ม โดยท่อนเหล็กแต่ละท่อนจะประกอบไปด้วยเหล็กแกนและเหล็กปลอก และต้องมัดและติดตั้งให้ถูกต้องตามแบบที่กำหนด
- ผลต่อปริมาณคอนกรีต*

เนื่องจากในการก่อสร้างเสาเข็ม 1 ต้นต้องใช้เหล็กเสริมเหล่านี้เป็นจำนวนมากทำให้ปริมาณของหลุมเจาะลดลงเนื่องจากมีเหล็กเสริมเข้าแทนที่



รูปที่ 3.10 การใส่เหล็กเสริมในหลุมเจาะ
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

8. ลงท่อ Tremie ให้ปลายท่ออยู่สูงจากก้นหลุมประมาณ 50 เซนติเมตร เพื่อให้คอนกรีตไหลออกง่าย และติดตั้งกรวยเทคอนกรีตตรงส่วนบน



(a)

(b)

รูปที่ 3.11 (a) การลงท่อ Tremie (b) การติดตั้งกรวยเทคอนกรีต
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

9. เทเม็คโพนลงไปในหลุมและตรวจสอบ Slump คอนกรีตให้ตรงตามที่กำหนด จากนั้นเทคอนกรีตผ่านกรวยลงสู่ท่อ Tremie แล้วคอนกรีตจะเข้าแทนที่สารละลายเบนโทไนท์ โดยคอนกรีตจะไหลจนเต็มก้นหลุมแล้วจะเคลื่อนตัวขึ้นด้านบน โดยจะดันสารละลายเบนโทไนท์ขึ้นเรื่อยๆพร้อมกันนี้ต้องรักษาระยะของท่อ Tremie ให้จมอยู่ในคอนกรีตอย่างน้อย 2 เมตร โดยการถอดท่อ Tremie ออกเรื่อยๆเมื่อระดับคอนกรีตสูงขึ้นและเป็นการช่วยให้เทคอนกรีตง่ายขึ้น เทจนคอนกรีตไต่ระดับขึ้นมาเลยระดับตัดหัวเข็มหรือให้ขึ้นมาถึงปากปลอกเหล็ก
- ผลต่อปริมาตรคอนกรีต*

คอนกรีตที่ถูกเทในช่วงแรกจะมีความเสี่ยงต่อการปนเปื้อนสารละลายเป็นโทไนท์มากโดยเม็คโพนที่ใส่ไปนั้นช่วยป้องกันได้น้อยมาก โดยคอนกรีตที่เทช่วงแรกนี้จะถูกดันขึ้นไปด้านบนสุดของเสาเข็มซึ่งในทางปฏิบัติคอนกรีตช่วงนี้จะไม่นำไปใช้งานก็ต้องตัดทิ้ง การตัดเสาเข็มที่นั่นทำให้ความยาวเสาเข็มลดลงถ้าระดับผิวด้านบนหลังตัดคอนกรีตปนเปื้อนทิ้งต่ำกว่าระดับตัดหัวเข็มก็จะทำให้เกิดปัญหาในการทำงานได้ จึงต้องเพิ่มปริมาตรคอนกรีตให้คอนกรีตที่ปนเปื้อนล้นออกจากหลุมจะไป



รูปที่ 3.12 การเทคอนกรีต

(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

10. ทำการถอนปลอกเหล็กขึ้นและวัดระดับคอนกรีต ควบคุมให้ระดับคอนกรีตอยู่สูงกว่าระดับตัดหัวเข็ม และทิ้งไว้ 24 ชั่วโมงเพื่อให้คอนกรีตแข็งตัว ในระหว่างนี้จะต้องไม่ก่อสร้างเสาเข็มใกล้กับหลุมเจาะนี้เป็นระยะ 3-4 เท่าของเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม

ผลต่อปริมาตรคอนกรีต

การถอนปลอกเหล็กทำให้เกิดช่องว่างบริเวณขอบเสาเข็มซึ่งคอนกรีตบริเวณนั้นจะเข้าไปแทนที่ในช่องว่างทำให้ระดับผิวคอนกรีตด้านบนลดลง



รูปที่ 3.13 การถอนปลอกเหล็กออกหลังเทคอนกรีตเสร็จ

(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

11. หลังจากก่อสร้างเสาเข็มทุกต้นในโครงการเสร็จสิ้น จะทำการสุ่มตัวอย่างเพื่อทดสอบคุณสมบัติของเสาเข็มที่ก่อสร้างไป โดยทางโครงการได้เลือกการทดสอบที่ประกอบไปด้วย

- การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Integrity Test
- การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี Dynamic Load Test

ซึ่งใช้ตุ้มน้ำหนัก 20 ตัน ยกสูง 1.4 เมตร

โดยโครงการทำการสุ่มตัวอย่าง 2 ต้นเพื่อทำการทดสอบคุณสมบัติ ซึ่งการทดสอบทั้งสองชนิดต้องทำการตัดหัวเข็มให้ผิวบนของเสาเข็มอยู่ในระดับตัดหัวเข็มพร้อมกับทำให้ผิวบนเสาเข็มเรียบที่สุด



รูปที่ 3.14 การทดสอบความสมบูรณ์ของเสาเข็มด้วยวิธี Seismic Integrity Test
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)



รูปที่ 3.15 การทดสอบกำลังรับน้ำหนักของเสาเข็มด้วยวิธี Dynamic Load Test
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

3.5 การเก็บรวบรวมข้อมูล

ข้อมูลที่ใช้ในการทำงานวิจัยนี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนหลักๆคือ ข้อมูลจากการปฏิบัติงานจริงที่เป็นข้อมูลหลักในการใช้วิเคราะห์ และแนวคิดที่ได้จากทฤษฎีซึ่งเป็นหลักการที่ใช้อ้างอิงและเปรียบเทียบผลของการปฏิบัติงานจริง ในการดำเนินงาน ได้มีการเก็บรวบรวมข้อมูลดังนี้

3.5.1 แนวคิดที่ได้จากทฤษฎี

ได้ทำการรวบรวมหลักการและทฤษฎีที่สามารถใช้รองรับและอธิบายผลของการปฏิบัติงานจริงจากแหล่งความรู้ต่างๆ ดังนี้

- หนังสือที่เกี่ยวข้องกับเสาเข็มเจาะระบบเปียก
- บทความจากสื่อออนไลน์ที่เกี่ยวข้องเสาเข็มเจาะระบบเปียก
- งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเสาเข็มเจาะระบบเปียก

โดยหัวข้อในการเก็บรวบรวมก็จะมีหลากหลายเกี่ยวกับเสาเข็มเจาะระบบเปียกเพื่อให้ครอบคลุมและสามารถใช้อ้างอิงกับผลงานวิจัยที่ได้ ซึ่งหัวข้อหลักๆที่ได้รวบรวมจะมีดังนี้

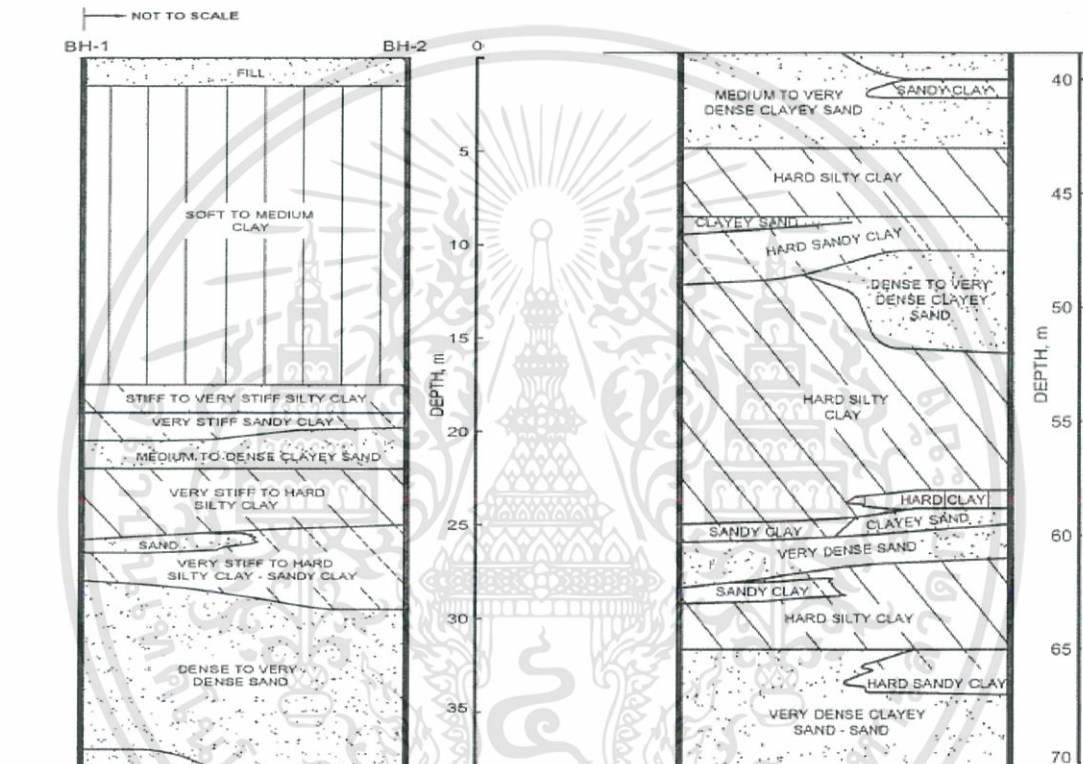
- หลักการทำงานของเสาเข็ม
- ข้อกำหนดในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก
- ปัจจัยที่ส่งผลให้เสาเข็มเกิดความเสียหาย
- ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก
- หลักการในการเทคอนกรีต

3.5.2 ข้อมูลที่บันทึกจากภาคสนาม

ข้อมูลพื้นฐานเกี่ยวกับงานเสาเข็มนั้นได้จากทางโครงการซึ่งได้แก่ ข้อมูลรายงานการเจาะสำรวจดิน แบบผังเสาเข็มและแบบรายละเอียดเสาเข็ม โดยจะใช้ในการควบคุมงานก่อสร้างและคำนวณปริมาตรคอนกรีต และเมื่อก่อสร้างเข็มต้นสุดท้ายเสร็จสิ้นจะได้รับข้อมูลผลการทดสอบคุณสมบัติต่างๆของเสาเข็มเพื่อใช้วิเคราะห์ผลลัพท์ต่อไป

นอกจากข้อมูลที่ได้จากโครงการแล้ว ในการทำงานยังมีแบบการบันทึกผลอยู่หลายแบบ โดยในแต่ละแบบก็จะมีวัตถุประสงค์เฉพาะอย่างเพื่อเป็นการแบ่งเรื่องอย่างชัดเจน ง่ายต่อการจัดการ

โดยในหัวข้อนี้จะยกข้อมูลหน้างานพร้อมตัวอย่างทั้งแบบการบันทึกผล และค่าที่ได้จากการบันทึกผล เพื่อให้เข้าใจการบันทึกข้อมูลที่ใช้ในการจัดทำงานวิจัย

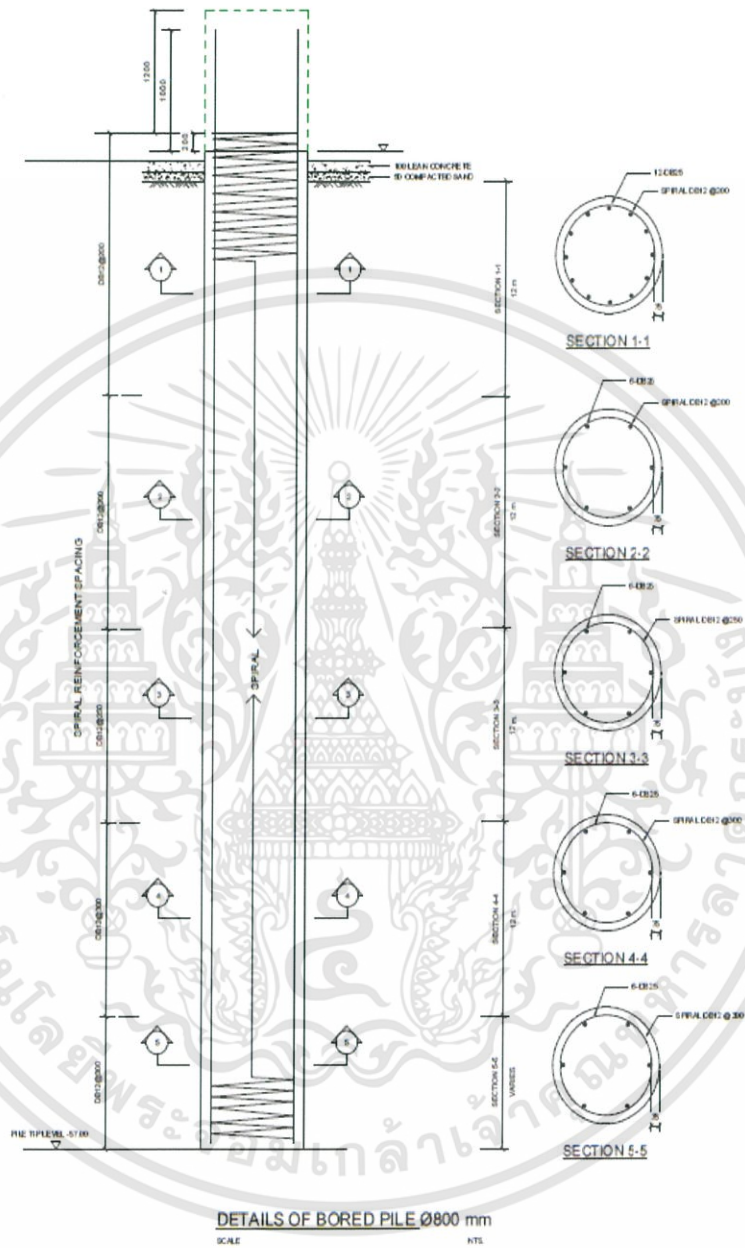


รูปที่ 3.16 ลักษณะชั้นดินบริเวณโครงการจากรายงานการสำรวจชั้นดิน
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

TABLE 1 : RECOMMENDED PILE CAPACITY FOR BORED CONCRETE PILE

Borehole	Pile Size (m.)	Pile Tip Depth (m.)	Accumulated Skin Friction (t/m)	Friction Load (t)	Ultimated End Bearing Capacity (t/m ²)	Ultimated End Bearing Load (t)	Ultimated Pile Load (t)	Allowable Load (t)
BH-1-2	φ - 0.80	50	296	744	270	136	880	352
	φ - 1.00	50	296	930	270	212	1142	457
	φ - 1.20	50	296	1116	270	305	1421	568
	φ - 1.50	50	296	1395	270	477	1872	749
	φ - 0.80	52	318	799	290	146	945	378
	φ - 1.00	52	318	999	290	228	1227	491
	φ - 1.20	52	318	1199	290	328	1527	611
	φ - 1.50	52	318	1499	290	512	2011	804
	φ - 0.80	54	340	855	280	141	996	398
	φ - 1.00	54	340	1068	280	220	1288	515
	φ - 1.20	54	340	1282	280	317	1599	640
	φ - 1.50	54	340	1602	280	495	2097	839

รูปที่ 3.17 กำลังต้านทานออกแบบที่เสาเข็มต้องรับได้
(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)



รูปที่ 3.18 แบบรายละเอียดของเสาเข็ม

(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

ตัวอย่างตารางข้อมูลที่ใช้ในการทำงานวิจัย

ตารางที่ 3.1 ตารางบันทึกผลงานคอนกรีตระดับตัดหัวเข็มที่ -4.650 เมตร

pile no.	pile cut off (m)	ความลึกหลุมจาก ปาก casing (m)	ความยาว เข็ม (m)	ระดับปาก casing (m)	Vคอนกรีต ทฤษฎี (m ³)	Vคอนกรีต จริง (m ³)
73	-4.650	57.70	53.05	0.000	26.314	29.00
94	-4.650	57.90	53.25	0.010	26.314	29.00
35	-4.650	57.90	53.25	0.370	26.314	29.00
13	-4.650	58.00	53.35	0.230	26.314	28.00
31	-4.650	57.70	53.05	0.350	26.314	28.00
98	-4.650	57.90	53.25	0.540	26.314	28.25
90	-4.650	57.90	53.25	0.350	26.314	28.50
17	-4.650	57.80	53.15	0.350	26.314	28.50
27	-4.650	58.00	53.35	0.360	26.314	28.25
99	-4.650	58.10	53.45	0.420	26.314	28.25
14	-4.650	57.70	53.05	0.230	26.314	28.25
95	-4.650	57.70	53.05	0.410	26.314	28.25
19	-4.650	58.30	53.65	0.600	26.314	28.25
80	-4.650	58.20	53.55	0.500	26.314	28.25

ตัวอย่างการคำนวณปริมาตรตามทฤษฎี

คำนวณปริมาตรของเสาเข็มที่มีระดับตัดหัวเข็มที่ -5.15 เมตร ระดับปลายเข็มที่ -57 เมตร เสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร

จากสมการ
$$V = \pi \frac{D^2}{4} h$$

เมื่อ V คือ ปริมาตรคอนกรีตตามทฤษฎี หน่วย ลูกบาศก์เมตร

D คือ ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม หน่วย เมตร

h คือ ความยาวของเสาเข็ม หน่วย เมตร

แทนค่า

$$V = \pi \frac{0.8^2}{4} (-5.15 - (-57))$$

ได้

$$V = 26.06 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

ดังนั้น เสาเข็มดังกล่าวต้องใช้ปริมาตรคอนกรีตตามทฤษฎี 26.06 ลูกบาศก์เมตร

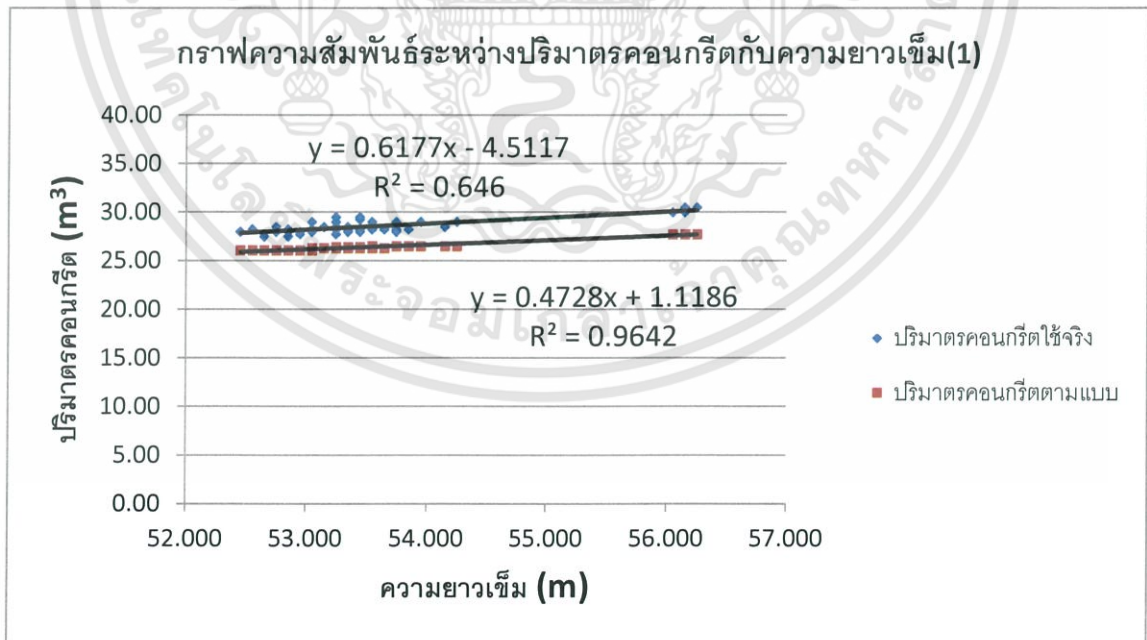
บทที่ 4

ผลการวิจัย

การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกอาศัยหลักการในการก่อสร้างทุกขั้นตอนภายในบริเวณก่อสร้าง ซึ่งการเทคอนกรีตก็เป็นหนึ่งในขั้นตอนนั้นและเป็นการเทคอนกรีตภายใต้สภาวะต่างๆ ทำให้งานเทคอนกรีตเสาเข็มเจาะระบบเปียกมีความพิเศษกว่างานเทคอนกรีตโครงสร้างส่วนอื่นๆ ซึ่งจากการเก็บรวบรวมข้อมูลจากโครงการ The Fine Bangkok สามารถนำมาพิจารณาได้ตามหัวข้อต่างๆดังนี้

4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตที่ใช้กับความยาวของเสาเข็ม

เป็นการหาความสัมพันธ์เพื่อใช้พิจารณาปริมาตรคอนกรีตที่ใช้จริงเทียบกับปริมาตรคอนกรีตที่ได้จากการคำนวณตามแบบของโครงการ ซึ่งปริมาตรทั้ง 2 เมื่อศึกษาจากหน้างานพบว่า มีปริมาตรไม่เท่ากัน จึงได้พิจารณาปริมาตรการเทคอนกรีตจำนวน 50 ต้น ชนิดหน้าตัดกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร เมื่อนำมาหาความสัมพันธ์สามารถกราฟความสัมพันธ์ได้ตามรูปที่ 4.1



รูปที่ 4.1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเข็ม(1)

4.1.1 วิเคราะห์กราฟความสัมพันธ์

ทั้งเส้นกราฟจากปริมาตรคอนกรีตจริงและเส้นกราฟจากปริมาตรคอนกรีตตามทฤษฎี มีแนวโน้มของข้อมูลเป็นเส้นตรง โดยยิ่งเสาเข็มมีความยาวมากขึ้น ปริมาตรคอนกรีตที่เสาะสมจะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย แต่เส้นทั้งสองจะมีลักษณะการวางตัวแบบขนานกันไป โดยที่เส้นจากปริมาตรใช้จริงมีระดับปริมาตรคอนกรีตเสาะสมที่มากกว่า เมื่อสร้างสมการจากแนวโน้มของข้อมูลจะได้สมการดังนี้

เส้นกราฟจากปริมาตรคอนกรีตจริง

$$y_1 = 0.6166x - 4.5117$$

สมการ 1

เส้นกราฟจากปริมาตรคอนกรีตตามทฤษฎี

$$y_2 = 0.4728x + 1.1186$$

สมการ 2

เมื่อ x คือ ความยาวเสาเข็ม หน่วย เมตร

y_1 คือ ปริมาตรคอนกรีตใช้จริงที่เทใน 1 หลุมเจาะ หน่วย ลูกบาศก์เมตร

y_2 คือ ปริมาตรคอนกรีตตามทฤษฎีที่เทใน 1 หลุมเจาะ หน่วย ลูกบาศก์เมตร

เนื่องจากการวางตัวของกราฟทั้งสองมีลักษณะขนานกัน เมื่อต้องการทราบผลต่างของปริมาตรคอนกรีตที่เทจริงกับทฤษฎี จึงต้องแทนค่า x จากช่วงข้อมูลเพื่อหาค่า y ของแต่ละกรณี จะทำให้ทราบผลต่างที่เกิดขึ้น

แทนค่า $x = 55$ เมตร ลงในทั้งสมการ 1 และ 2

สมการ 1 $y_1 = 0.6166(55) - 4.5117$

$$y_1 = 29.40 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

สมการ 2 $y_2 = 0.4728(55) + 1.1186$

$$y_2 = 27.12 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

$$y_1 - y_2$$

$$\Delta y = 29.40 - 27.12$$

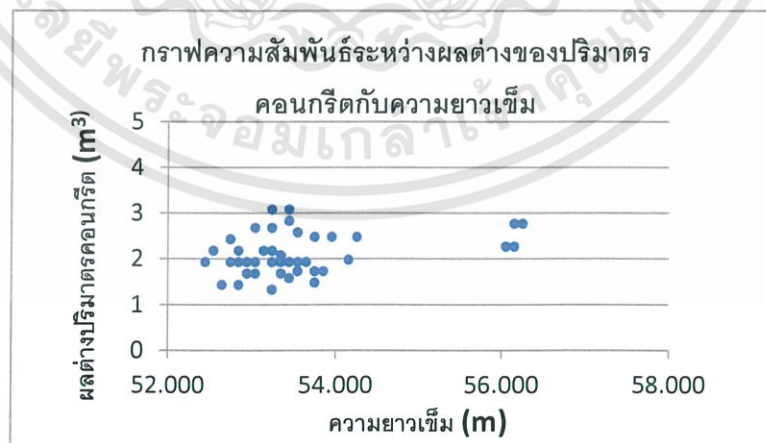
$$\Delta y = 2.28 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

นั่นคือ ผลต่างของปริมาตรคอนกรีตที่ความยาวเข็ม 55 เมตร มีค่าเท่ากับ 2.28 ลูกบาศก์เมตร เพื่อความแม่นยำ อาจแทนค่า x ในช่วงข้อมูลเพื่อพิจารณาค่า Δy ได้หลายๆค่า ดังตารางที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ตารางหาค่า Δy จากการแทนค่า x ในสมการ 1 และ 2

x	y_1	y_2	Δy
52	27.61	25.70	1.90
53	28.23	26.18	2.05
54	28.84	26.65	2.19
55	29.46	27.12	2.34
56	30.08	27.60	2.48
57	30.70	28.07	2.63
		Average	2.27

จากตารางทำให้ทราบว่าปริมาตรคอนกรีตที่ใช้จริงนั้นมากกว่าทฤษฎีโดยเฉลี่ย 2.27 ลูกบาศก์เมตร และเมื่อพิจารณารูปที่ 4.2 ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเข็มที่ได้จากข้อมูลหน้างาน ถือว่าผลต่างปริมาตรคอนกรีตที่คำนวณให้อยู่ในขอบข่ายที่รวบรวมจากหน้างาน



รูปที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างผลต่างของปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเข็ม

ดังนั้น ผลต่างของปริมาตรคอนกรีตที่ใช้จริงกับทฤษฎี โดยเฉลี่ยของเข็มนวดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร มีค่าเท่ากับ 2.27 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งสอดคล้องกับกราฟความสัมพันธ์ที่รวบรวมข้อมูลจากหน้างาน โดยในหัวข้อถัดๆ ไปจะยึดค่าผลต่างนี้เพื่อใช้ในการวิเคราะห์และคำนวณต่อไป

4.1.2 ปัจจัยที่ส่งผลต่อความแตกต่างของปริมาตรคอนกรีตที่ใช้จริงกับทฤษฎี

การที่ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้จริงนั้นไม่เท่ากับปริมาตรตามทฤษฎี มีปัจจัยบางอย่างที่ส่งผลให้เป็นเช่นนั้น โดยระบุออกมาได้ตามตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปปัจจัยและผลของปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อปริมาตรคอนกรีต

ปัจจัยที่ส่งผล	ลักษณะของปัจจัย	หมายเหตุ
1. สารละลายเบนโทไนท์	<p>การเทคอนกรีตภายใต้สารละลายเบนโทไนท์จะเป็นการเทไล่ระดับจากก้นหลุมขึ้นมาถึงระดับที่ต้องการ ซึ่งจากหลักการในการเทคอนกรีตทำให้คอนกรีตที่เทช่วงแรกๆ มีความเค้นที่จะสัมผัสสารละลายมากที่สุด โดยคอนกรีตที่ปนเปื้อนสารละลายจะมีคุณสมบัติที่ลดลงมาก ในทางปฏิบัติคอนกรีตส่วนที่ปนเปื้อนจะไม่สามารถใช้งานได้ นั่นคือต้องมีการเพิ่มปริมาตรคอนกรีตจากเดิมเพื่อดันคอนกรีตที่ปนเปื้อนพ้นจากระดับตัดหัวเข็มนซึ่งป็นระดับที่ใช้งานของเสาเข็ม</p>  <p>รูปที่ 4.3 ภาพคอนกรีตปนเปื้อนที่ตัดออกจากเข็ม</p>	

<p>2. ปลูกเหล็ก (Casing)</p>	<p>เมื่อทำการเทคอนกรีตเสร็จจำเป็นต้องถอนปลูกเหล็กออกเพื่อนำไปใช้ก่อสร้างต้นถัดไป ซึ่งการถอนปลูกเหล็กออกนั้นทำให้ขอบเสาเข็มที่เคยมีปลูกเหล็กติดตั้งอยู่เกิดช่องว่าง นั้นทำให้คอนกรีตที่ไหลเคลื่อนที่ไปแทนที่ในช่องว่างนั้น เมื่อพิจารณาจะพบว่าระดับผิวคอนกรีตหลังจากถอนปลูกเหล็กจะมีระดับที่ลดลง โดยถ้าระดับนั้นลดลงไปจนเลยระดับตัดหัวเข็มก็จะเกิดปัญหาในการก่อสร้างตามมา จึงต้องมีการเพิ่มปริมาณคอนกรีตเพื่อชดเชยคอนกรีตส่วนที่ไปแทนที่ปลูกเหล็ก ซึ่งปริมาณนี้สามารถคำนวณได้โดยจะเท่ากับปริมาณปลูกเหล็ก</p>  <p>รูปที่ 4.4 ภาพการถอนปลูกเหล็ก</p>	
------------------------------	--	--

<p>3. ลักษณะหลุมเจาะได้ปลอกเหล็ก</p>	<p>เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้เนื่องจากเป็นลักษณะที่เกิดขึ้นได้ดินลึกไม่สามารถมองเห็นปัญหาได้ และยังมีปัจจัยที่ส่งผลต่อลักษณะหลุมเจาะ คือ สภาพชั้นดินบริเวณที่ทำการขุดเจาะ และ คุณภาพสารละลายที่ช่วยพยุงผนังหลุมเจาะ โดยในบางระดับอาจเกิดการคอดของเข็มเนื่องจากดินเคลื่อนเข้าหลุมทำให้ใช้คอนกรีตน้อยลง แต่ในบางระดับอาจเกิดการบวมของเข็มเนื่องจากดินโดยรอบเกิดโพรงขึ้น หรือ ชั้นดินบางชนิดอาจมีสมบัติในการดูดคอนกรีตเข้าชั้นดิน และยังมีเรื่องความลึกของหลุมเจาะที่เครื่องจักรอาจเจาะเกินระดับปลายเข็มที่ต้องการซึ่งจะเกินไปไม่มากนักขึ้นอยู่กับผู้ควบคุมเครื่องจักร นั่นทำให้ต้องใช้คอนกรีตเพิ่มขึ้น</p>  <p>รูปที่ 4.5 ลักษณะหลุมเจาะที่ทำให้เข็มเกิดการคอดและบวม และลักษณะการรับแรง (ที่มา: หนังสือวิศวกรรมฐานราก พรพจน์ ดันเส็ง)</p>	<p>เนื่องจากลักษณะหลุมเจาะเป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ทำให้ยังไม่สามารถคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตได้ ดังนั้นขณะเทคอนกรีตถ้ามีคอนกรีตเหลือจากการเทเป็นจำนวนมาก ให้ตระหนักเลยว่าเสาเข็มอาจเกิดการคอดซึ่งจะส่งผลเสียต่อกำลังของเสาเข็มอย่างมาก แต่ถ้าขณะเทขาดคอนกรีตจำนวนมาก ให้ตระหนักไว้ว่าหลุมเจาะอาจเกิดโพรงหรือชั้นดินบางชั้นอาจมีปัญหา แต่จะไม่ส่งผลเสียต่อกำลังเสาเข็ม</p>
--------------------------------------	--	--

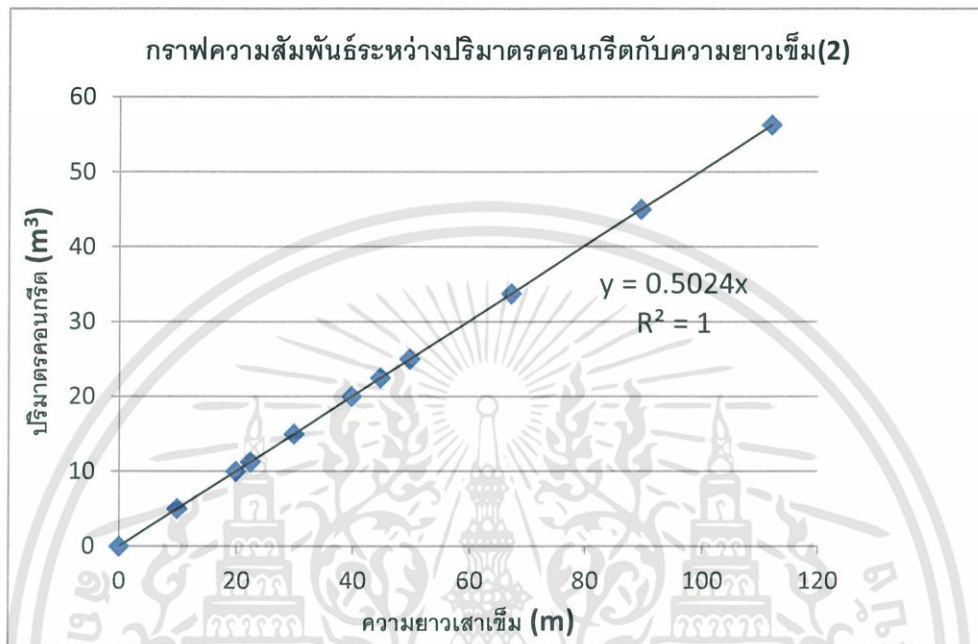
<p>4. เหล็กเสริม</p>	<p>เนื่องจากการก่อสร้างเสาเข็มจำเป็นต้องมีเหล็กเสริมเป็นองค์ประกอบ ซึ่งเหล็กเสริมนั้นจะประกอบไปด้วยเหล็กแกน เหล็กปลอก เป็นหลัก ซึ่งจำนวนของเหล็กแต่ละชนิดขึ้นอยู่กับผู้ออกแบบ โดยก่อนที่จะมีการเทคอนกรีตต้องมีการใส่เหล็กเสริมลงในหลุมเจาะก่อน ซึ่งเหล็กเสริมนี้จะไปแทนที่ที่ว่างในหลุมเจาะทำให้หลุมเจาะมีปริมาตรลดลง ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้เทก็จะลดลงตามไปด้วย ซึ่งปริมาตรที่หลุมเจาะถูกแทนที่ สามารถหาได้โดยจะเท่ากับปริมาตรของเหล็กเสริมที่ใส่ลงไป</p>	
----------------------	---	--



รูปที่ 4.6 การใส่เหล็กเสริมในหลุมเจาะ

4.2 สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้จริง

สมการคาดการณ์ได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเสาเข็ม



รูปที่ 4.7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเสาเข็ม(2)

จากกราฟที่ได้จากการคำนวณปริมาตรคอนกรีตตามแบบ ทำให้ได้สมการที่สามารถใช้ในการคาดการณ์คอนกรีตเสาเข็มเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร ได้คือ $y = 0.5024x$

เมื่อพิจารณาจากหัวข้อ 4.1 พบว่าควรเพิ่มปริมาตรคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยเฉลี่ย 2.27 ลูกบาศก์เมตร เนื่องจากปัจจัยที่ได้กล่าวไปข้างต้น ทำให้ได้สมการในการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตล่วงหน้าเป็น

$$y = 0.5024x + 2.27$$

สมการ 3

เมื่อ x คือ ความยาวเสาเข็ม หน่วย เมตร

y คือ ปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ในการเท 1 หลุมเจาะ หน่วย ลูกบาศก์เมตร

สมการนี้คือ สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตสำหรับเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร

การใช้ข้อมูลดังกล่าวในการวิเคราะห์และสร้างสมการสามารถทำได้ เนื่องจากเมื่อพิจารณาผลการทดสอบเสาเข็มตัวอย่างด้านกำลังรับน้ำหนัก พบว่าเสาเข็มตัวอย่างมีกำลังรับน้ำหนักมากกว่าที่กำหนดไว้โดยเฉลี่ย 9.8%

ตารางที่ 4 กำลังรับน้ำหนักของเสาเข็ม

หมายเลข เสาเข็ม ทดสอบ	แรง เสียดทานผิว (Skin Friction) (ตัน)	แรง ต้านทานที่ปลาย (Toe Resistance) (ตัน)	แรง ต้านทานรวม (Activated Capacity) (ตัน)
#20	936.3	93.0	1029.3
#60	950.7	95.5	1046.2

รูปที่ 4.8 ผลการทดสอบกำลังรับน้ำหนักเสาเข็มตัวอย่าง

(ที่มา: โครงการ The Fine Bangkok)

นอกจากนี้ยังสามารถสร้างสมการที่ใช้คาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็มที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางอื่นๆ ได้โดยอาศัยข้อมูลจากเสาเข็มเส้นผ่านศูนย์กลาง 0.80 เมตรที่ได้ทำการศึกษาวิจัย

โดยพจน์แรกของสมการคือความชันของกราฟ(m) นั่นคือ $m = \frac{y}{x}$ เมื่อพิจารณาที่มาของค่าในแกน x

และ y จะได้ว่า $m = \frac{\pi \frac{D^2}{4} h}{h}$ หรือก็คือ $m = \pi \frac{D^2}{4}$ ซึ่งการจะได้มาของความชันของสมการจำเป็นต้องอิงข้อมูลจากเข็มขนาด 0.80 เมตร โดยมีวิธีการดังนี้

$$\pi \frac{0.8^2}{4} = 0.5024$$

เทียบกับ
$$\pi \frac{D^2}{4} = m$$

ได้
$$m = 0.7850D^2$$
 สมการ 4

เมื่อ m คือ ความชันของกราฟ หรือ พจน์แรกของสมการ

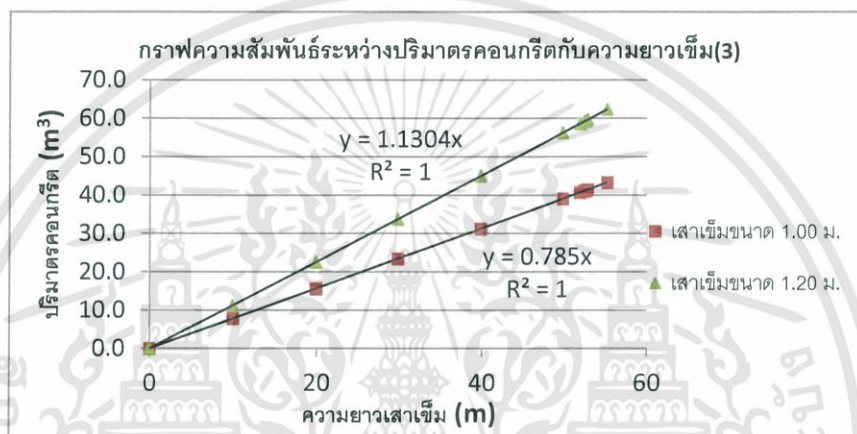
D คือ เส้นผ่านศูนย์กลางเสาเข็ม หน่วย เมตร

ตัวอย่าง เมื่อต้องการหาสมการของเสาเข็มขนาด 1.00 และ 1.20 เมตร ก็สามารถนำค่าเส้นผ่านศูนย์กลาง แทนลงในสมการที่ 4 โดยจะได้พจน์แรกของสมการคาดการณ์ออกมา คือ

เมื่อ $D = 1.00 : y = 0.7850x$

เมื่อ $D = 1.20 : y = 1.1304x$

โดยเมื่อพิจารณาจากรูปที่ 4.9 ซึ่งเป็นกราฟความสัมพันธ์ที่ได้จากการคำนวณปริมาตรคอนกรีตตาม ทฤษฎีของเสาเข็มขนาด 1.00 และ 1.20 เมตร พบว่าสมการนั้นเหมือนกับที่หามาได้



รูปที่ 4.9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างปริมาตรคอนกรีตกับความยาวเสาเข็ม(3)

จากนั้นพจน์ท้ายของสมการเกิดจากการเผื่อปริมาตรคอนกรีตไว้เพื่อรองรับปัจจัยที่จะเกิดขึ้น ซึ่งหาจากการประมาณให้คอนกรีตที่เผื่อนั้นเป็นทรงกระบอกเหมือนรูปร่างเสาเข็ม โดยอิงจากข้อมูลปริมาตรคอนกรีตที่เผื่อของเสาเข็มขนาด 0.80 เมตร แล้วเปรียบเทียบกับค่าการหาพจน์แรกซึ่งค่าที่ได้จะเป็นค่าประมาณเนื่องจากปริมาตรคอนกรีตที่เผื่อจากเข็มขนาด 0.80 เมตรนั้น ได้จากข้อมูลที่ใช้อย่างไม่ได้อามาจากการคำนวณ

โดยอาศัยสมการ $v = \pi \frac{D^2}{4} h$ โดยมีวิธีการดังนี้

$$\pi \frac{0.8^2}{4} = 2.27$$

เทียบกับ

$$\pi \frac{D^2}{4} = v$$

ได้

$$v = 3.5469D^2$$

สมการ 5

เมื่อ v คือ ปริมาตรคอนกรีตที่เพื่อของเสาเข็มขนาดต่างๆ หน่วย ลูกบาศก์เมตร

นั่นคือเมื่อต้องการสร้างสมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็มขนาดต่างๆ ต้องใช้สมการที่ 4 และ 5 ร่วมกัน โดยจะได้สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตโดยประมาณดังนี้

$$y = 0.7850D^2x + 3.5469D^2$$

สมการ 6

เมื่อ x คือ ความยาวเสาเข็ม หน่วย เมตร

y คือ ปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ในการเท 1 หลุมเจาะ หน่วย ลูกบาศก์เมตร

D คือ เส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็ม หน่วย เมตร

ดังนั้น สมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตเสาเข็มเจาะ คือ $y = 0.7850D^2x + 3.5469D^2$

4.2.1 การนำไปใช้งาน

เมื่อทราบความยาวและขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของเสาเข็มที่ต้องการทำการก่อสร้างก็สามารถคาดการณ์หาปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ได้ โดยที่ความยาวของเสาเข็มคิดจากระดับตัดหัวเข็มไปถึงระดับปลายล่างของเข็ม

ยกตัวอย่าง

ต้องการหาปริมาตรคอนกรีตเพื่อใช้ก่อสร้างเสาเข็มที่มีระดับปลายเข็มที่ -55 เมตร และมีระดับตัดหัวเข็มที่ -5 เมตร ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.00 เมตร

นั่นคือเสาเข็มมีความยาว 50 เมตร

จากสมการ 6

$$y = 0.7850D^2x + 3.5469D^2$$

แทนค่า

$$y = 0.7850(1.00^2)(50) + 3.5469(1.00^2)$$

ได้

$$y = 42.80 \text{ ลูกบาศก์เมตร}$$

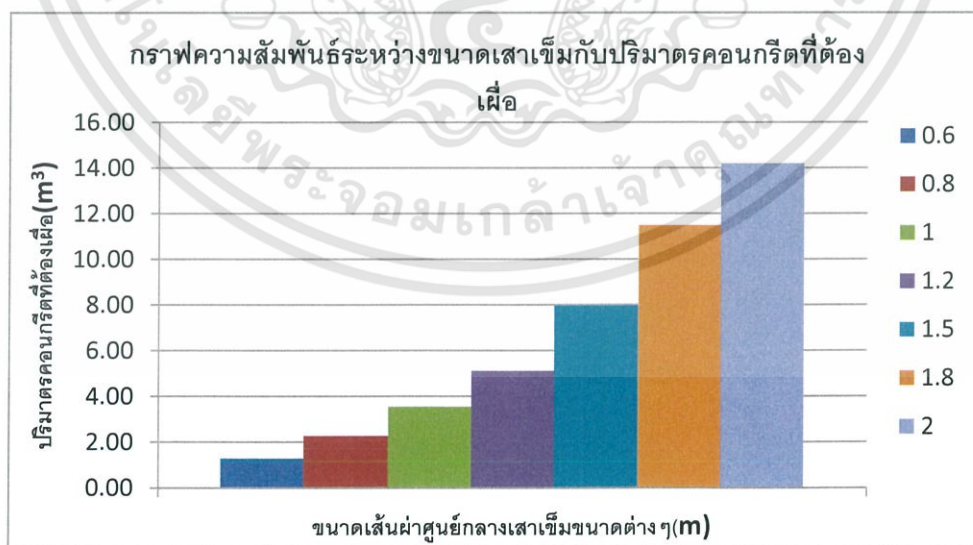
ดังนั้นจะต้องใช้คอนกรีต 42.8 ลูกบาศก์เมตร เพื่อให้เพียงพอต่อการก่อสร้างเสาเข็มดังกล่าว 1 ต้น

4.2.2 เปรียบเทียบปริมาตรคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มขนาดต่างๆและหาเปอร์เซ็นต์เพื่อ

ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มขนาดต่างๆนั้นจะไม่เหมือนกัน ขึ้นอยู่กับความยาวเสาเข็ม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง และค่าเผื่อจากปัจจัยในหัวข้อ 4.1.2 โดยการเปรียบเทียบนี้จะให้ ความยาวของ เสาเข็ม และขนาดของปลอกเหล็กเท่ากัน เพื่อให้สามารถเปรียบเทียบกันได้ ดังตารางที่ 4.3

ตารางที่ 4.3 ตารางเทียบปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็มขนาดต่างๆ

ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลาง เสาเข็ม(m)	ความยาว เสาเข็ม(m)	ปริมาตรตาม แบบ(m ³)	ปริมาตรที่ ต้องใช้(m ³)	ปริมาตรที่ ต้องเผื่อ(m ³)	%ปริมาตรที่ต้อง เผื่อ(%)
0.6	58	16.39	17.67	1.28	7.790
0.8	58	29.14	31.41	2.27	7.790
1	58	45.53	49.08	3.55	7.790
1.2	58	65.56	70.67	5.11	7.790
1.5	58	102.44	110.42	7.98	7.790
1.8	58	147.52	159.01	11.49	7.790
2	58	182.12	196.31	14.19	7.790



รูปที่ 4.10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเสาเข็มกับปริมาตรคอนกรีตที่ต้องเผื่อ

พบว่ายิ่งเสาเข็มมีขนาดที่ใหญ่ขึ้นก็ต้องใช้ปริมาตรคอนกรีตที่มากขึ้นและปริมาตรคอนกรีตที่ใช้เพื่อป้องกันหัวข้อ 4.1.2 ก็มากขึ้นตาม โดยปริมาตรคอนกรีตที่ใช้เพื่อนั้นเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของปริมาตรตามทฤษฎี ซึ่งคิดเป็น 7.790 % ของปริมาตรตามทฤษฎี



บทที่ 5

สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาขั้นตอนและเทคนิคในการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก ทำให้ทราบว่าบางขั้นตอนในงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกมีปัจจัยที่ส่งผลกระทบต่อปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ ซึ่งปัจจัยต่างๆเหล่านั้นได้แก่

1. สารละลายเบนโทไนท์ เป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มระบบเปียกเพิ่มขึ้น
2. ปลอกเหล็ก เป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มระบบเปียกเพิ่มขึ้น
3. ลักษณะหลุมเจาะได้ปลอกเหล็ก เป็นปัจจัยที่ควบคุมไม่ได้ ซึ่งทำให้ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มระบบเปียกอาจเพิ่มขึ้นหรือลดลงได้
4. เหล็กเสริม เป็นปัจจัยที่ทำให้ปริมาตรคอนกรีตที่ใช้ก่อสร้างเสาเข็มระบบเปียกลดลง

โดยภาพรวมปัจจัยเหล่านี้ทำให้การก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียกต้องใช้คอนกรีตเพิ่มขึ้นจากที่คำนวณตามทฤษฎี ทั้งนี้สำหรับเสาเข็มหน้าตัดกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร ต้องใช้คอนกรีตเพิ่มหรือเผื่อจากการคำนวณตามทฤษฎีประมาณ 2.27 ลูกบาศก์เมตร ซึ่งคิดเป็น 7.790% ของปริมาตรตามทฤษฎี

จากการวิเคราะห์ข้อมูลของเสาเข็มหน้าตัดกลม ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร สามารถใช้หลักการทางคณิตศาสตร์ในการสร้างสมการคาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตเสาเข็มเจาะเปียกขนาดต่างๆได้ โดยได้สมการ $y = 0.7850D^2x + 3.5469D^2$ โดยที่ x คือความยาวเสาเข็มหน่วยเมตร y คือปริมาตรคอนกรีตที่ต้องใช้ในการเท 1 หลุมเจาะหน่วยลูกบาศก์เมตร และ D คือเส้นผ่าศูนย์กลางเสาเข็มหน่วยเมตร ซึ่งสมการนี้สามารถใช้คาดการณ์ปริมาตรคอนกรีตของเสาเข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางและความยาวต่างๆได้

5.2 ข้อเสนอแนะ

ทั้งนี้เนื่องจากสมการนี้เป็นเพียงการคาดการณ์เพื่อช่วยในการตัดสินใจประมาณราคาก่อสร้างให้ใกล้เคียงกับงานจริง ซึ่งใช้สำหรับเสาเข็มชนิดหน้าตัดกลมและเป็นชั้นดินย่านเอมบี โดยอ้างอิงข้อมูลจากงานก่อสร้างเสาเข็มเจาะขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.80 เมตร ซึ่งใช้ความสัมพัทธ์และสมการทางคณิตศาสตร์ในการสร้างสมการคาดการณ์ ทำให้ไม่มีข้อมูลจากหน้างานมารับในส่วนของการคาดการณ์ปริมาตรของเสาเข็มที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางนอกเหนือจากขนาด 0.80 เมตร

จากการที่ข้อมูลที่ใช้วิเคราะห์มีความจำกัดตามลักษณะหน้างาน มีปัจจัยอีกบางส่วนที่ไม่ได้พิจารณา ทำให้สมการยังมีข้อจำกัดในการใช้งานอยู่ และอาจมีความคาดเคลื่อนเกิดขึ้นได้ จึงควรศึกษาปัจจัยเหล่านั้นเพิ่มเติมและขยายขอบเขตของการศึกษาเพื่อให้ครอบคลุมงานเสาเข็มเจาะระบบเปียกขนาดอื่นๆ



เอกสารอ้างอิง

ขนาดล คงสมบูรณ์. (2548). เอกสารประกอบการสอนวิชา วศย.344 วิศวกรรมฐานราก (ปรับปรุงครั้งที่

2). มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ กรุงเทพมหานคร. สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2561

พรพจน์ ต้นเส็ง. (2554). วิศวกรรมฐานราก. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี กรุงเทพมหานคร.

สืบค้นเมื่อ 14 ตุลาคม 2561

ประทุมทิพย์ รอดเกิด. (2552). ขั้นตอนการทำเข็มเจาะสำหรับอาคารขนาดใหญ่.

สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2561 จากเว็บไซต์:

<http://oknation.nationtv.tv/blog/pratumthip/2009/10/12/>

กฤษณ์ เข้มสะโ. (2556). เสาเข็มมีกี่อย่าง แล้วจะเลือกใช้อย่างไร. สืบค้นเมื่อ 10 ตุลาคม 2561

จากเว็บไซต์: <http://www.thaihomemaster.com/showinformation.php?TYPE=12&ID=513>

Pisun Sirisuksakulchai. (2558). ขั้นตอนการก่อสร้างเสาเข็มเจาะระบบเปียก. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม

2561 จากเว็บไซต์: <http://www.thaiengineering.com/2015/index.php/technology/item/550-construction-process-pile-wet-system>

ยี่น ภู่วรรณ. -. การสร้างรูปแบบโมเดลคณิตศาสตร์เชิงเส้น. สืบค้นเมื่อ 11 ตุลาคม 2561

จากเว็บไซต์: https://web.ku.ac.th/schoolnet/snet2/knowledge_math/cr_model_lin.htm



ภาคผนวก ก.
ตารางบันทึกผล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตารางบันทึกผล งานคอนกรีตระดับตัดหัวเข็มที่ -5.150 เมตร

pile no.	pile cut off (m)	ความลึกหลุมจากปากcasing (m)	ความยาวเข็ม (m)	ระดับปากcasing (m)	Vคอนกรีตทฤษฎี (m ³)	Vคอนกรีตจริง (m ³)
58	-5.150	57.60	52.45	0.190	26.063	28.00
68	-5.150	57.90	52.75	0.200	26.063	28.00
70	-5.150	58.20	53.05	0.360	26.063	28.00
61	-5.150	58.10	52.95	0.240	26.063	28.00
62	-5.150	57.80	52.65	0.430	26.063	27.50
55	-5.150	57.70	52.55	0.380	26.063	28.25
72	-5.150	57.90	52.75	0.300	26.063	28.50
71	-5.150	57.90	52.75	0.270	26.063	28.00
56	-5.150	57.90	52.75	0.170	26.063	28.00
67	-5.150	58.00	52.85	0.230	26.063	28.00
66	-5.150	58.10	52.95	0.320	26.063	28.00
53	-5.150	58.10	52.95	0.400	26.063	27.75
64	-5.150	58.00	52.85	0.380	26.063	27.50
59	-5.150	58.00	52.85	0.450	26.063	28.25
57	-5.150	58.00	52.85	0.530	26.063	28.00

ตารางบันทึกผล งานคอนกรีตระดับตัดหัวเข็มที่ -4.650 เมตร

pile no.	pile cut off (m)	ความลึกหลุมจากปากcasing (m)	ความยาวเข็ม (m)	ระดับปากcasing (m)	Vคอนกรีตทฤษฎี (m ³)	Vคอนกรีตจริง (m ³)
73	-4.650	57.70	53.05	0.000	26.314	29.00
94	-4.650	57.90	53.25	0.010	26.314	29.00
35	-4.650	57.90	53.25	0.370	26.314	29.00
13	-4.650	58.00	53.35	0.230	26.314	28.00
31	-4.650	57.70	53.05	0.350	26.314	28.00
98	-4.650	57.90	53.25	0.540	26.314	28.25
90	-4.650	57.90	53.25	0.350	26.314	28.50
17	-4.650	57.80	53.15	0.350	26.314	28.50
27	-4.650	58.00	53.35	0.360	26.314	28.25
99	-4.650	58.10	53.45	0.420	26.314	28.25
14	-4.650	57.70	53.05	0.230	26.314	28.25
95	-4.650	57.70	53.05	0.410	26.314	28.25
19	-4.650	58.30	53.65	0.600	26.314	28.25
80	-4.650	58.20	53.55	0.500	26.314	28.25

ตารางบันทึกผล งานคอนกรีตระดับตัดหัวเข็มที่ -1.850 เมตร

pile no.	pile cut off (m)	ความลึกหลุมจากปาก casing (m)	ความยาวเข็ม (m)	ระดับปาก casing (m)	Vคอนกรีตทฤษฎี (m ³)	Vคอนกรีตจริง (m ³)
6	-1.850	58.00	56.15	0.360	27.721	30.00
5	-1.850	58.00	56.15	0.460	27.721	30.00
1	-1.850	57.90	56.05	0.150	27.721	30.00
2	-1.850	58.10	56.25	0.560	27.721	30.50
3	-1.850	58.00	56.15	0.410	27.721	30.50

ตารางบันทึกผล งานคอนกรีตระดับตัดหัวเข็มที่ -4.450 เมตร

pile no.	pile cut off (m)	ความลึกหลุมจากปาก casing (m)	ความยาวเข็ม (m)	ระดับปาก casing (m)	Vคอนกรีตทฤษฎี (m ³)	Vคอนกรีตจริง (m ³)
49	-4.450	57.70	53.25	0.140	26.415	29.50
46	-4.450	57.80	53.35	0.390	26.415	28.50
38	-4.450	57.90	53.45	0.260	26.415	29.25
40	-4.450	57.90	53.45	0.300	26.415	29.50
39	-4.450	57.90	53.45	0.210	26.415	28.00
42	-4.450	57.70	53.25	0.070	26.415	27.75
41	-4.450	57.90	53.45	0.200	26.415	29.50
47	-4.450	58.00	53.55	0.530	26.415	29.00

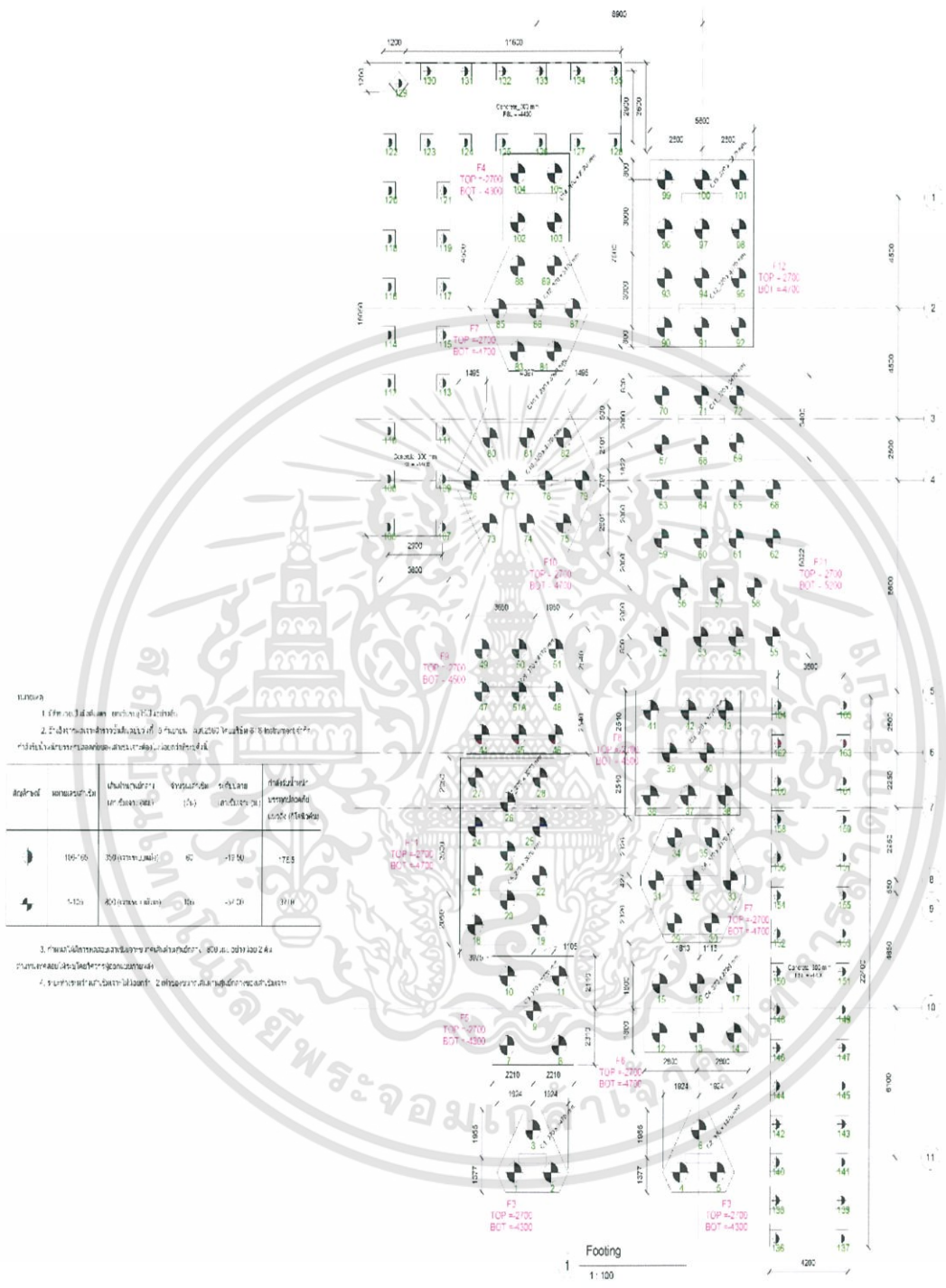
ตารางบันทึกผล งานคอนกรีตระดับตัดหัวเข็มที่ -4.250 เมตร

pile no.	pile cut off (m)	ความลึกหลุมจากปาก casing (m)	ความยาวเข็ม (m)	ระดับปาก casing (m)	Vคอนกรีตทฤษฎี (m ³)	Vคอนกรีตจริง (m ³)
11	-4.250	58.00	53.75	0.590	26.515	29.00
8	-4.250	57.80	53.55	0.480	26.515	28.25
104	-4.250	58.00	53.75	0.390	26.515	28.25
103	-4.250	58.10	53.85	0.310	26.515	28.25
102	-4.250	58.00	53.75	0.300	26.515	28.00
7	-4.250	58.20	53.95	0.420	26.515	29.00
9	-4.250	58.40	54.15	0.420	26.515	28.50
10	-4.250	58.50	54.25	0.520	26.515	29.00



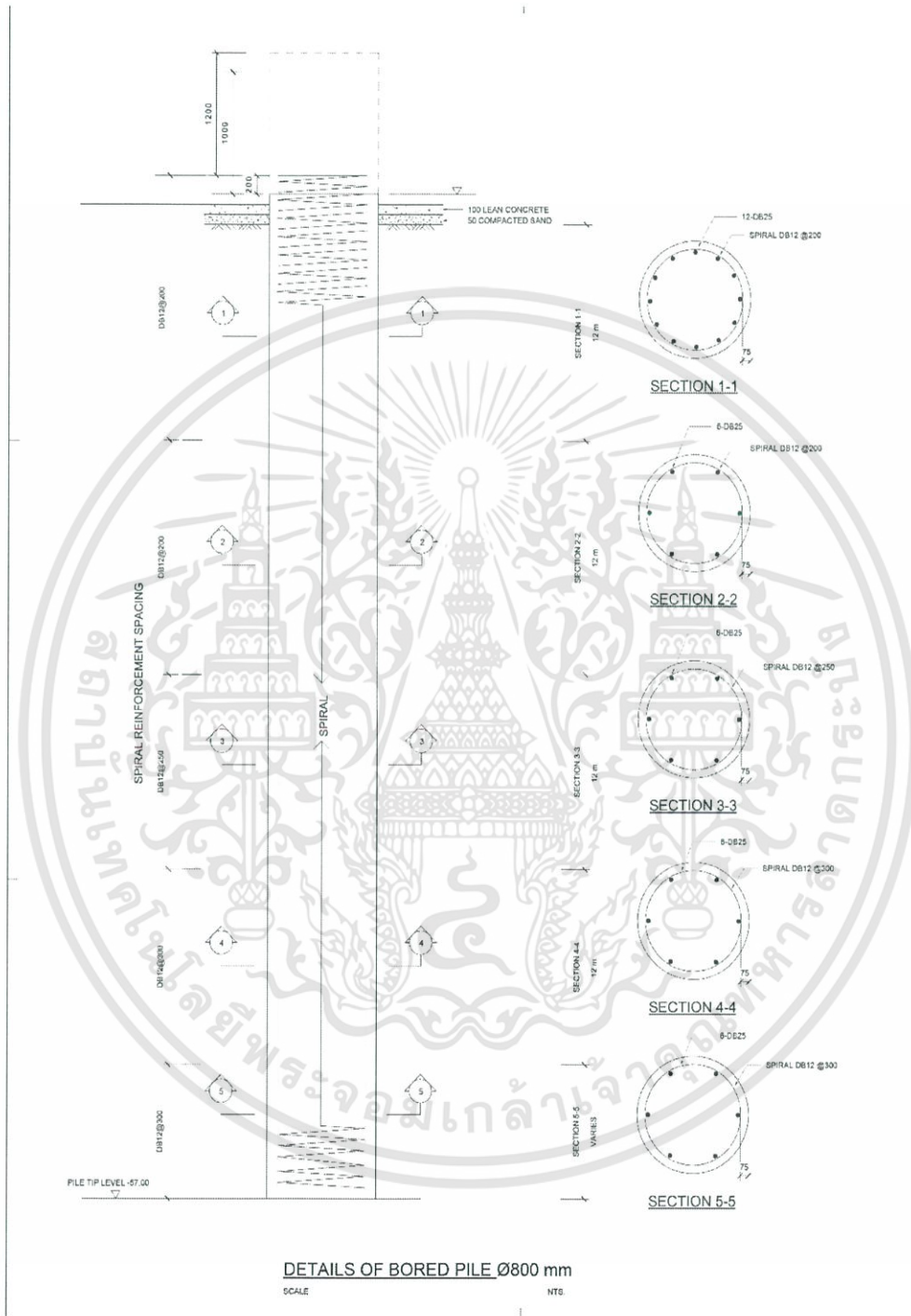
ภาคผนวก ข. แบบก่อสร้างเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบแปลนผังฐานรากและเสาเข็ม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



แบบขยายรายละเอียดเสาเข็ม

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ – นามสกุล	นายสุภณัฐ คำอินทร์
วัน เดือน ปีเกิด	1 พฤษภาคม พ.ศ. 2540
ที่อยู่	บ้านเลขที่ 35 หมู่ 14 เทศบาลตำบลคูใต้ อำเภอเมือง จังหวัดน่าน 55000
โทรศัพท์	062-1067983
อีเมล	gun_supanat@hotmail.com
ประวัติการศึกษา	พ.ศ. 2552 – 2554 มัธยมศึกษาตอนต้น โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จังหวัดน่าน พ.ศ. 2555 – 2557 มัธยมศึกษาตอนปลาย โรงเรียนศรีสวัสดิ์วิทยาคาร จังหวัดน่าน พ.ศ. 2558 – 2561 วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง