บทที่ 2
หลักการและทฤษฎี

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเกิดในพื้นที่ราบลุ่มแม่น้ำเจ้าพระยาตอนล่างของประเทศไทย ครอบคลุมพื้นที่กรุงเทพมหานครและปริมณฑล ความหนาของชั้นดินประมาณ 10 – 15 เมตร มีคุณสมบัติในการยุบตัวสูง ความสามารถในการซึมน้ำต่ำ ทำให้การทรุดตัวเกิดขึ้นมากและใช้เวลายาวนาน การก่อสร้างถนนบนดินเหนียวอ่อนกรุงเทพในระยะแรกไม่มีการปรับปรุงดินฐานรากแต่อย่างใด เช่นสายบางนา – บางปะกงประมาณ กม. 28 – 30 ในช่วง 20 ปีที่ผ่านมาทำให้เกิดการทรุดตัวมากกว่า 2 เมตร (Bergado et al., 1990) ทำให้เสียทั้งเวลาและค่าใช้จ่ายในการยกระดับถนนภายหลังการก่อสร้างอยู่หลายครั้งและยังส่งผลเสียต่อผิวทางอีกด้วย ต่อมากรมทางหลวงได้นำเทคนิคการปรับปรุงดินฐานรากโดยวิธีเร่งการระบายน้ำออกจากชั้นดินเหนียวอ่อนมาใช้กับโครงการก่อสร้างทางหลวงพิเศษ กรุงเทพฯ – ชลบุรี (สายใหม่) เป็นโครงการแรก

2.1 งานที่ต้องใช้วิศวกรรมปฐพีจะมีความเกี่ยวข้องกับงานก่อสร้าง ดังเช่น

2.1.1 ตรวจสอบสภาพชั้นดินและหิน ว่ามีสภาพตรงกับเงื่อนไขสภาพชั้นดินที่ใช้ในการออกแบบหรือไม่ ในขั้นตอนนี้จะมีความสำคัญ โดยเฉพาะในโครงการที่มีการขุดหลุมหรือทำฐานรากขนาดใหญ่ เนื่องจากจะมีโอกาสได้เห็นสภาพชั้นดินมากกว่า ข้อมูลชั้นดินที่ได้จากหลุมเจาะในขั้นตอนการเจาะสำรวจในบางครั้งสภาพชั้นดินในพื้นที่ก่อสร้างมีความ แตกต่างไปจากที่ได้ออกแบบไว้จึงจำเป็นต้องมีการเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์บางตัว

2.1.2 เปรียบเทียบพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจริงกับที่ได้ออกแบบไว้ โดยการติดตั้งเครื่องมือวัดที่สามารถวัดข้อมูลการเคลื่อนตัว ระดับน้ำใต้ดิน และข้อมูลอื่นๆที่สำคัญกระบวนลักษณะนี้ เรียกว่า ทฤษฎีการเฝ้าสังเกต (Observational Method) ข้อมูลที่ได้จากการติดตั้งเครื่องมือวัด อาจได้ข้อมูลที่สำคัญนำไปเปลี่ยนแปลงค่าพารามิเตอร์บางตัว เพื่อช่วยในการปรับแก้การออกแบบให้ถูกต้องยิ่งขึ้น

2.1.3 ทำการทดสอบคุณภาพของการก่อสร้าง โดยเฉพาะในงานบดอัดดิน และงานฐานราก ในบางโอกาสงานของวิศวกรธรณีจะต้องทำอย่างต่อเนื่องถึงแม้ว่าจะเสร็จสิ้นโครงการแล้วก็ตาม เช่น การวัดอัตราการทรุดตัวที่เกิดขึ้นในระยะยาว จะต้องมีการวัดข้อมูลการทรุดตัวที่ต่อเนื่องในช่วงหนึ่งเดือน หรือจนกระทั่งหนึ่งปีหลังจากเสร็จสิ้นการก่อสร้าง งานแก้ไขปรับปรุงและซ่อมแซม

ให้โครงสร้างใช้ประโยชน์ได้ตามอายุการใช้งานและตามวัตถุประสงค์ที่ได้ออกแบบไว้ งานเหล่านี้ล้วนเป็นอีกบทบาทหนึ่งที่วิศวกรธรณีจะต้องเข้าไปเกี่ยวข้อง

2.2 ที่ตั้งท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

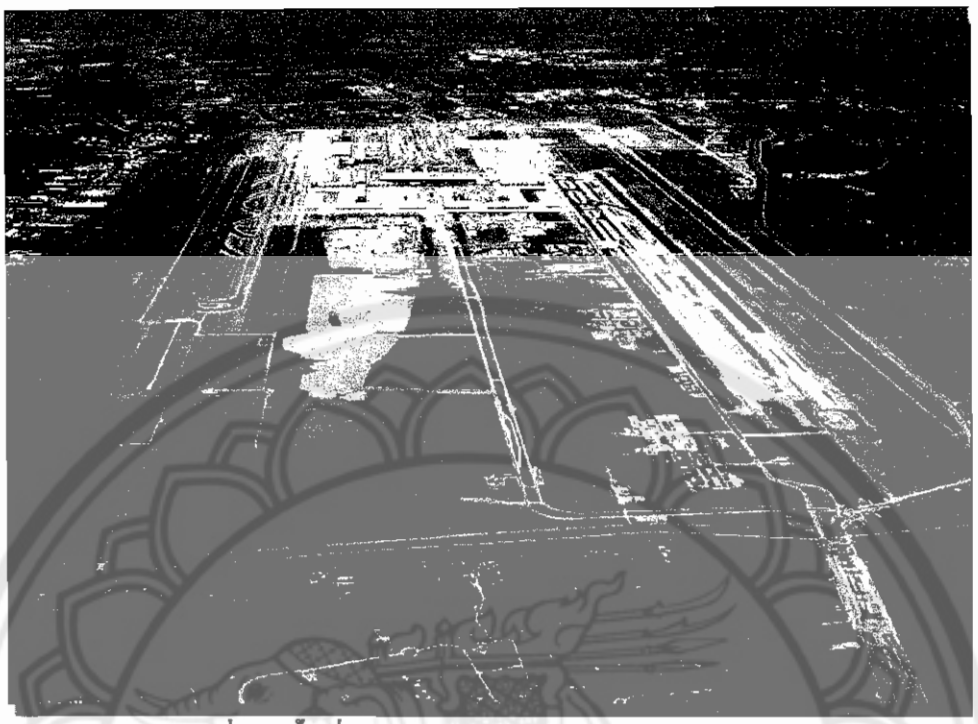
ที่ตั้งของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิอยู่ห่างจากใจกลางกรุงเทพมหานคร 30 กิโลเมตรทางทิศตะวันออก พื้นที่มีขนาด 4 กิโลเมตร× 8 กิโลเมตร เปิดใช้ในปี 2006 ปัจจุบันมีจำนวนผู้ใช้บริการท่าอากาศยานสุวรรณภูมิประมาณ 125,000 คนต่อวัน

รูปที่ 2.1 ที่ตั้งของท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

แผนงานหลักของการก่อสร้างท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

- ปี 2005 จะทำ 2 Runway และ 1 สถานีปลายทาง
- ปี 2010 จะเพิ่มอีก 1 Runway และเพิ่มหอบังคับการบิน



รูปที่ 2.2 พื้นที่และการก่อสร้างท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ

ทางวิ่ง (Runway) ท่าอากาศยานสุวรรณภูมิ มี 2 เส้น แต่ละมีความกว้างเส้นละ 60 เมตร โดยทางวิ่งฝั่งตะวันตกมีความยาว 3,700 เมตร และฝั่งตะวันออก มีความยาว 4,000 เมตร มีระยะห่างกัน 2,200 เมตร มีทางขับขนานกับทางวิ่งทั้ง 2 เส้น สำหรับให้บริการขึ้น-ลง ของตัวเครื่องบินได้พร้อมกัน และเมื่อพัฒนาจนสมบูรณ์แล้ว จะมีทางวิ่งทั้งหมด 4 เส้นเป็นทางวิ่งข้างละ 2 เส้นขนานกันส่วนหลุมจอดอากาศยาน มีจำนวนทั้งหมด 120 หลุมจอด แบ่งเป็นหลุมจอดประชิดอาคารเทียบเครื่องจำนวน 51 หลุมจอด และจอดระยะไกลอีก 69 หลุมจอด รวมถึงหลุมจอดสำหรับรองรับเครื่องบินขนาดใหญ่อย่าง แอร์บัส A-380 จำนวน 5 หลุมจอด

2.3 การปรับปรุงคุณภาพดิน

เนื่องจากดินที่มีอยู่ในพื้นที่ก่อสร้างอาจมีคุณสมบัติไม่เหมาะสมที่จะใช้รองรับน้ำหนักบรรทุกจากโครงสร้างต่างๆ เช่น อาคาร สะพาน ทางด่วน และเขื่อน เพราะดินเป็นสิ่งที่เกิดขึ้นตามธรรมชาติ จึงทำให้คุณสมบัติต่างๆ เปลี่ยนแปรไปตามสภาพพื้นที่และลักษณะการกำเนิด ตัวอย่างเช่น ดินเม็ดหยาบที่ทับถมกันอยู่ในที่อาจอยู่ในสภาพหลวมมากและมีแนวโน้มที่จะเกิดการทรุดตัวสูงเมื่อได้รับน้ำหนักบรรทุก กรณีเช่นนี้ดินดังกล่าวควรได้รับการปรับปรุงคุณภาพดิน เช่น การบดอัดดินให้แน่นขึ้น เพื่อเพิ่มหน่วยน้ำหนัก และกำลังรับแรงเฉือนของดินดังกล่าว

2.3.1 จุดประสงค์ในการปรับปรุงคุณภาพดิน

เทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีต่างๆ มีจุดประสงค์เพื่อ

1. เพื่อลดการทรุดตัวของโครงสร้างปรับปรุงกำลังรับแรงเฉือนของดิน และเพิ่มความสามารถในการรับกำลังแบกทาน (Bearing Capacity)ของฐานรากแบบตื้นเพราะเป็น พื้นที่ที่ต้องการความแข็งแรงของดินคันทางเพื่อรองรับแรงจากผิวทาง

2. เพื่อเพิ่มสัมประสิทธิ์ความปลอดภัย (Factor of Safety) ในการต้านทานการพังของความลาด (Slope)

3. เพื่อลดการหดตัวและการขยายตัวของดินเพราะเป็นสาเหตุของการเกิดรอยแตกของผิวคันทาง

2.3.2 การปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน โดยการใช้ Soil Cement Column Method

การปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน โดยการใช้ เสาเข็มดินซีเมนต์ (Soil Cement Column) นิยมใช้ในการก่อสร้างทางคันทาง งานฐานรากอาคารขนาดเล็ก และ งานป้องกันเชิงลาดริมตลิ่ง มีจุดประสงค์หลักในการเพิ่มเสถียรภาพ และลดการทรุดตัวของโครงสร้างในงานดังกล่าวแบ่งตามวิธีก่อสร้างได้ 3 วิธี คือ การผสมแบบเปียก (Wet Mechanical Mixing) การผสมแบบแห้ง (Dry Mechanical Mixing) และวิธีฉีดอัดด้วยแรงดัน (Jet Grouting)

ความเหมาะสมของแต่ละวิธีขึ้นอยู่กับเงื่อนไขต่างๆ เช่นราคา ประสิทธิภาพ สภาพดินในบริเวณนั้น แหล่งวัสดุ ช่วงเวลาในการทำงาน และประสบการณ์การก่อสร้างในแต่ละท้องถิ่น เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพชั้นดินอ่อน โดยการใช้เครื่องจักร และเครื่องมือพิเศษที่มีแกนเจาะ และใบกวนสามารถปั่นผสมปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภท 1 มอก. 15 กับดินอ่อนโดยตรง ตลอดความยาวของชั้นดิน ในการก่อสร้างใช้ดอกสว่านขนาดใหญ่เพื่อเจาะลงไปในดิน หมุนเพื่อคัดดินในบริเวณรอบๆ ดอกสว่านจนเหลว และทำการอัดฉีดส่วนผสมซีเมนต์ซึ่งมีอัตราส่วนเหมาะสมที่ออกแบบไว้เข้าไปในดิน กวนดินในหลุมเจาะ และซีเมนต์ให้เข้าเป็นเนื้อเดียวกันแล้วค่อยๆ ถอนก้านเจาะออกมาจากหลุมเจาะ ปล่อยทิ้งไว้ให้คอนกรีตจับตัวแข็งแน่น และทำเช่นเดียวกันนี้กับดินบริเวณรอบๆ ตามระยะห่างที่ได้ออกแบบไว้

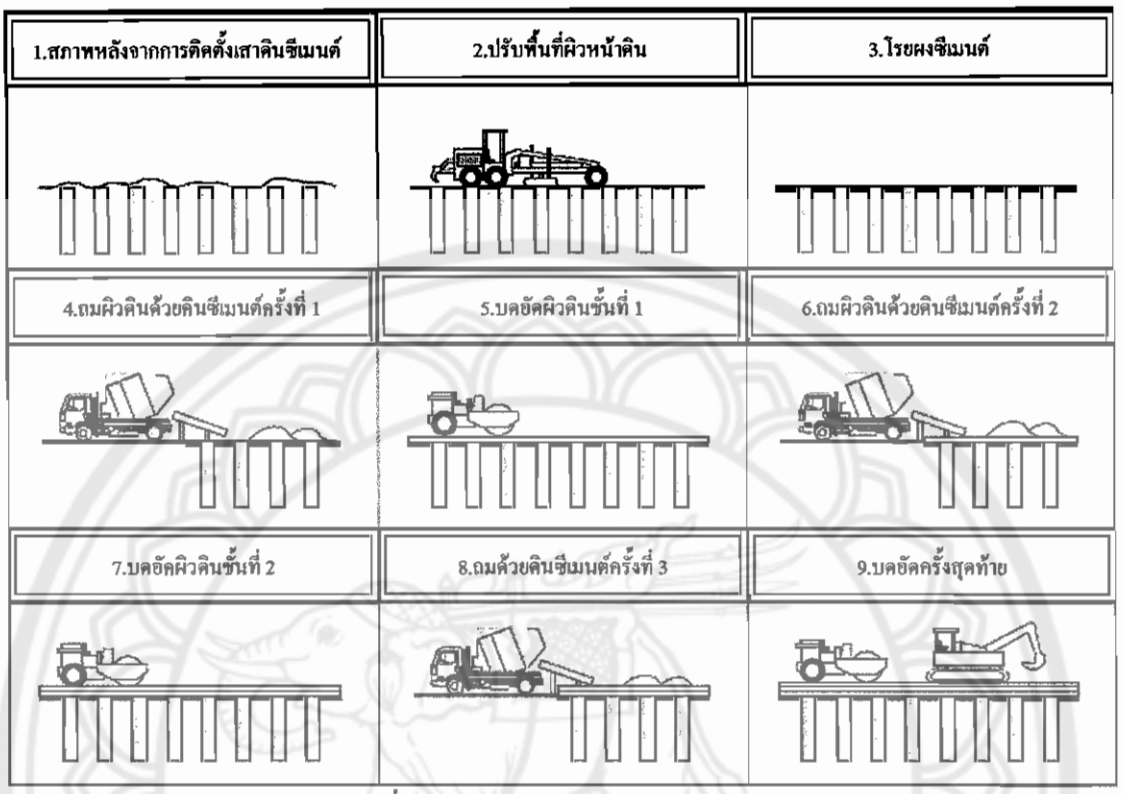
Cement Column เป็นวิธีการปรับปรุงคุณภาพของชั้นดินเหนียวอ่อน โดยการการนำน้ำฉีดลงไปในดินอ่อนด้วยแรงHigh pressure jet เพื่อทำลายโครงสร้างจากนั้นก็อัดดินซีเมนต์ลงไปที่ตำแหน่งของดินเดิมให้ยุ่ยผสมปูนซีเมนต์เข้าไปผสมระหว่างดินกับซีเมนต์เรียกว่า Cement Colmn เมื่อ Set ตัวมันมีโครงสร้างคล้ายเสาเพราะว่าเวลาฉีดหัวJet จะเหวี่ยงรอบตัวเองทำให้กลมเหมือนเสา Strength ที่ได้จะใกล้เคียงกับ Stiff Clay

2.3.2.1 วิธีการก่อสร้าง

ตารางที่ 2.1 มาตรฐานของกรมทางหลวง

ข้อมูลเครื่องจักร	สถานที่				
	GSE	ACM	OPC	At-grade Road	Fire Rescue
ชื่อบริษัท	Soil Cement Col.	Prommitr	CISCO	Thai Tenox & Thai Piling Rig	Power-P
จำนวนเครื่องจักร	3	2	2	6	3
น้ำหนักเครื่องจักร	35-40 ton	30 ton	25 ton	40 ton	22 ton
ประเภทการผสม	แห้ง	แห้ง	เปียก	เปียก	อัดฉีดด้วยแรงดัน
Rotary Power	27.2 HP	-	~100 HP	60-80 HP	-
จำนวนหัวฉีด	1	4	2	1	4
ขนาดหัวฉีด	25 mm	20 mm	-	50 mm	1.8 mm
ตำแหน่งหัวฉีด	ด้านข้าง	ด้านข้าง	ด้ายท้าย	ด้านท้าย	ด้านข้าง
จำนวนใบมีด	2	6	5	7	1
รูปร่างใบมีด	Heart	Straight Bar	Straight Bar	Straight Bar	Straight Bar (with reflecting cup)
จำนวนใบมีดที่ติดกับตัวเครื่อง	-	1	2	3	-
ความจุของซีเมนต์(/ดิน)	185 Kg/m^3	225 Kg/m^3	225 Kg/m^3	185 Kg/m^3	175 Kg/m^3
อัตราส่วนระหว่างน้ำต่อซีเมนต์	-	-	1	0.8	1
ระยะเวลาในการฉีดซีเมนต์	เพิ่มขึ้น	เพิ่มขึ้น	ลดลง	ลดลง	เพิ่มขึ้น
ความเร็วของการหมุนลง	120 -140 rpm	20-30 rpm	15 -18 rpm	20 - 30 rpm	40 rpm
ความเร็วในการลง	2 – 4 m/min	1 m/min	3.5 m/min	1.5 m/min	1-2 m/min
ความเร็วของการหมุนขึ้น	120 140 rpm	12 – 15 rpm	-	20 -30 rpm	15 -20 rpm
ความเร็วในการขึ้น	1 - 2 m/min	1 m/min	-	3 m/min	1 - 2m/min
แรงดันของหัวฉีด	4 – 6 bar	6 – 7 bar	10 – 15 bar	20 bar	250 – 300 bar

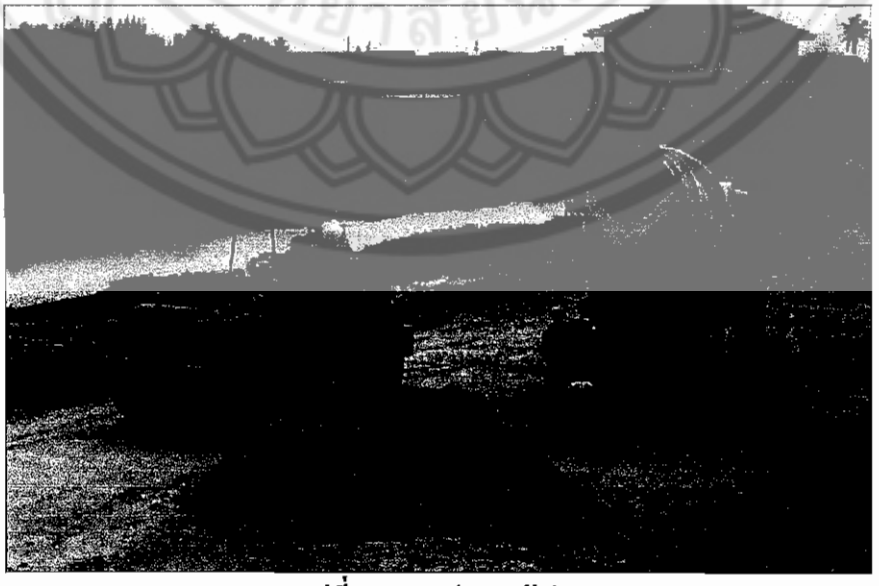
2.3.2.2 การก่อสร้างทางซีเมนต์ที่มีความเสถียรภาพ



รูปที่ 2.3 แสดงการก่อสร้างทางซีเมนต์

ความเสถียรภาพของซีเมนต์

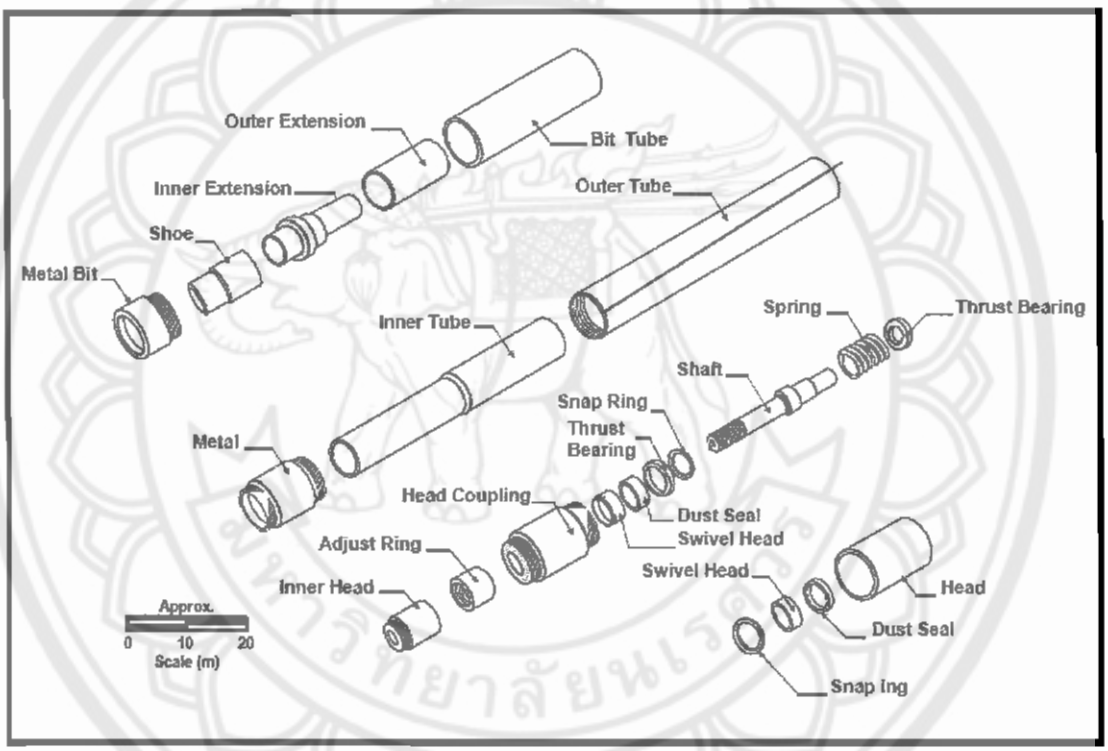
- ความแข็งแรงมากกว่า 150 ตัน/ตารางเมตร
- ความหนา 0.6 เมตร



รูปที่ 2.4 การปรับหน้าดิน

2.3.2.3 อุปกรณ์ Soil Cement Column Method

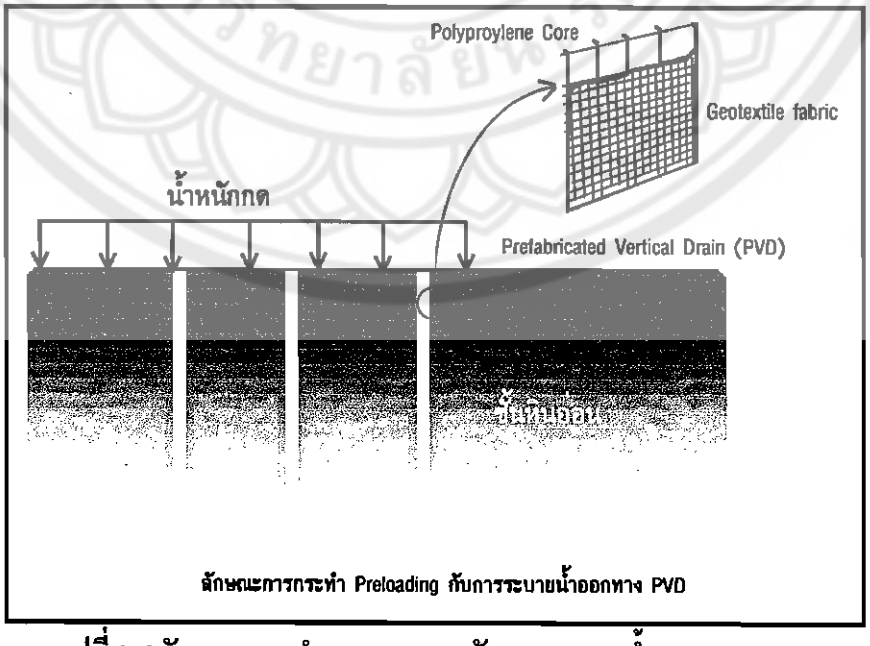
1. เครื่องเจาะ
2. หัวเจาะพร้อมใบมีด
3. เครื่องเจาะตัวอย่างดิน
4. เครื่องฉีดซีเมนต์
5. ซีเมนต์
6. Coring



รูปที่ 2.5 ส่วนประกอบของชิ้นส่วนท่อ

2.3.3 การปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน โดยการใช้ PVD Preloading Method

Preloading หมายถึง การนำดิน (ส่วนใหญ่ใช้ทราย) ไปถมในส่วนของการก่อสร้าง Runway แล้วปล่อยให้เกิดการทรุดตัวและขุดออก มีจุดประสงค์คือ ทำให้เกิดการทรุดตัวขึ้นก่อนที่จะทำสิ่งปลูกสร้างถาวร มีผลให้กำลังของดินเพิ่มขึ้น ส่วนมากใช้ควบคู่ไปกับ PVD มาจากคำว่า Prefabricated Vertical Drain เป็นวิธีการติดตั้งแถบวัสดุสังเคราะห์หุ้มกระดาษลงไปในดินเหนียวอ่อนในแนวดิ่งเพื่อเป็นช่องทางสำหรับระบายน้ำออกจากชั้นดินเหนียวอ่อนซึ่งจะปักในดินอ่อนเป็นระยะแล้วแต่การออกแบบดังแสดงในรูป 2.21 เพื่อเร่งการทรุดตัวเมื่อใช้กระบวนการเพิ่มความดันน้ำในโพรงของดิน เช่น การถมดินทับไว้บนผิวดิน การทิ้งตุ้มน้ำหนักเพื่อให้เกิดแรงสั่นสะเทือน ทำให้เกิดการทรุดตัวรีดน้ำ (Consolidation) ของชั้นดินเหนียวอ่อนอย่างรวดเร็ว เนื่องจากน้ำระบายออกหมด ก็จะเหลือเฉพาะส่วนที่เป็นเม็ดดินทำให้ดิน มี Strength สูงขึ้นซึ่งจะสามารถลดการทรุดตัวหลังจากการก่อสร้างลงได้มาก การใช้ PVD เป็นพัฒนาการจากการทำSand Drain ซึ่งมีจุดอ่อนที่ท่อทรายจะคอดและขาดกลางได้ง่าย หลักการออกแบบก็ใช้ทฤษฎีของ Radial Consolidation สัมประสิทธิ์ของการอัดตัวคายน้ำเป็นพารามิเตอร์หลักที่ใช้ในการวิเคราะห์อัตราการทรุดตัวของดิน ซึ่งพารามิเตอร์นี้เป็นค่าสัมประสิทธิ์ประกอบรวมของค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำของดินและสัมประสิทธิ์การยุบตัวของดิน โดยปกติจะหาจากการทดสอบการอัดตัวคายน้ำของตัวอย่างในแนวดิ่ง C $k_v(1+e)/a_v\gamma_w$ ในกรณีที่ดินมีลักษณะแอนไอโซโทรปิก ค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำด้านแนวราบ $C_h = k_h/(1+e)/a_h\gamma_w$ ซึ่งได้จากการทดสอบดินตัวอย่างในแนวราบ และค่าสัมประสิทธิ์การอัดตัวคายน้ำในแนวรัศมีเมื่อมีแรงกระทำในแนว $k_h(1+e)/a_v\gamma_w$



รูปที่ 2.6 ลักษณะการทำ Preloading กับการระบายน้ำออกทาง PVD

2.3.3.1 ข้อกำหนด PVD

ตารางที่ 2.2 ข้อกำหนด PVD

ลักษณะ	ข้อกำหนด	วัตถุประสงค์
1. ขนาดการเปิดที่เห็นได้ชัด	$< 90\ \mu m$	การอุดตัน
2. ความต้านทานแรงดึงรวม	> 0.35 kN	กำลังการขยาย
3. กำลังการฉีด	> 0.1 kN	เร่งรีบ
4. แรงต้านการเจาะรู	> 0.1 kN	การเจาะรู
5. ปริมาตรที่ปล่อยออกที่ 200 kPa ด้วยอัตราความลาดเอียงของระบบน้ำของ 1 (In Plane)	> 500 m^3/yr	การไหลของน้ำตามยาว
6. ปริมาตรที่ปล่อยออกที่ 200 kPa ด้วยอัตราความลาดเอียงของระบบน้ำของ 1 (Modified triaxial)	> 500 m^3/yr > 900 kPa	การไหลของน้ำตามยาว กำลังต้านทาน
7. ความทนทานต่อการแตก	> 50 mm	ขนาด
8. สภาพของเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ (ความยาว + ความกว้าง)/2		

ข้อกำหนดของโครงสร้างดิน

ไม่มีเส้นใย, เข็มเจาะและชนิดของเส้นใยที่ต่อเนื่อง ทำให้ทนทานต่อการสังเคราะห์ Polymersตามข้อกำหนดต่อไปนี้

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดของโครงสร้างดิน

ลักษณะ	ข้อกำหนด	วัตถุประสงค์
น้ำหนัก	$\geq$ 130 g/m^2	ควบคุมคุณภาพ
ลักษณะการขยายตัว	$\geq$ 8 kN/m	กำลังการขยาย
การยืดขยายภายใต้แรงกดดันก่อนเสียรูป	$\leq$ 50 %	ความยืดตัว
CBR แรงต้านการเจาะรู	$\geq$ 1,000 N	การเจาะรู

การระบายน้ำที่สถานที่ก่อสร้างท่าอากาศยาน

พื้นที่การสูบน้ำทั้งหมด

- 400,000 ตารางเมตร

ระยะเวลาการอัดตัวคายน้ำ

- 6 เดือน

น้ำหนักที่ผิวดันทาง

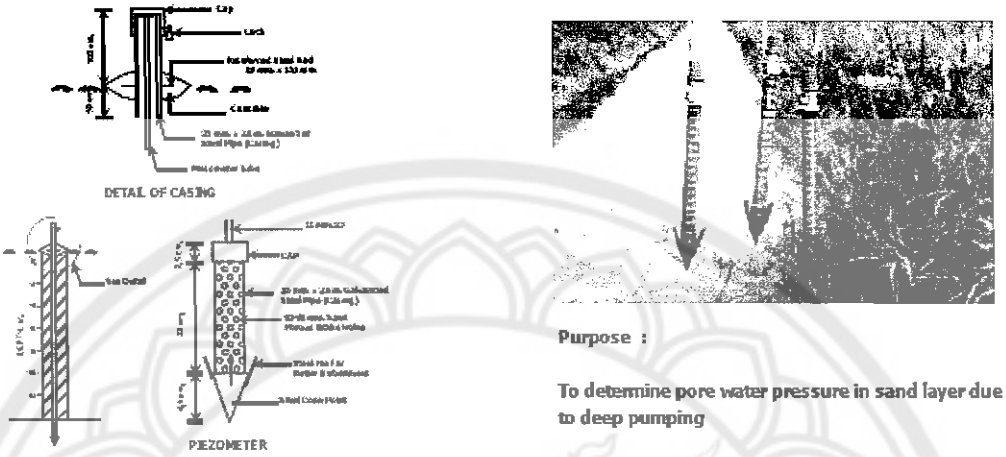
- 6 ตัน/ตารางเมตร
- 2.8 เมตร ของคันดิน

มาตรฐานที่ยอมรับ

60 – 70 % (การทรุดตัวสูงสุด)

2.3.3.2 อุปกรณ์ PVD Preloading Method

1. เครื่องวัดระดับน้ำ

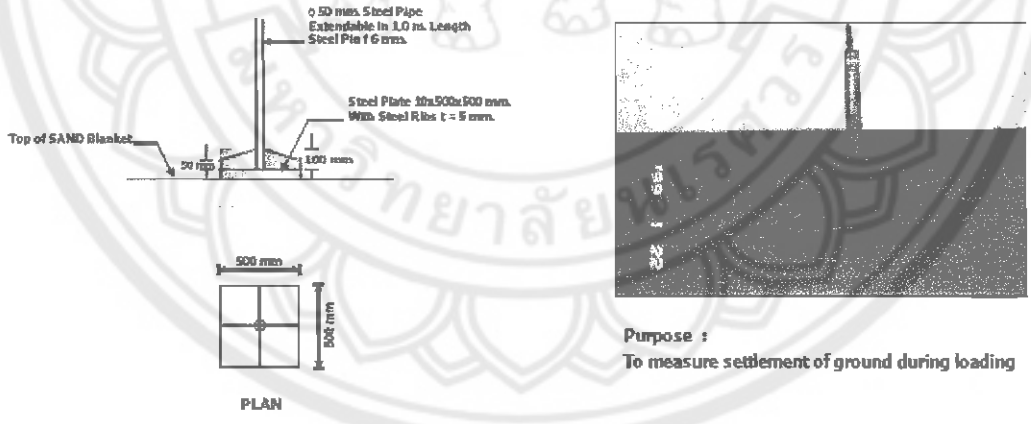


รูปที่ 2.7 การติดตั้งท่อของเครื่องวัดระดับน้ำใต้ดิน

2. ท่อ

3. ทรายให้น้ำหนัก

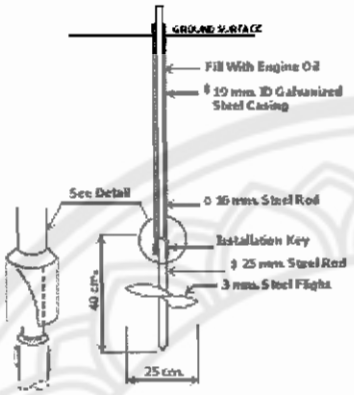
4. Settlement Plate



รูปที่ 2.8 Settlement Plate เป็นเครื่องมือที่ใช้ตรวจสอบระดับน้ำที่อยู่ในดิน

ขั้นตอนการติดตั้ง Settlement Plate

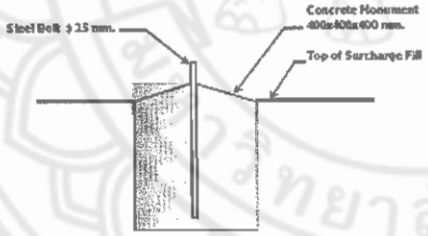
- เตรียมเครื่องมือที่จะทำการติดตั้ง Settlement Plate



Purpose :
To measure settlement of soil layer and to locate position of piezometer at that depth

รูปที่ 2.9 การติดตั้ง Settlement

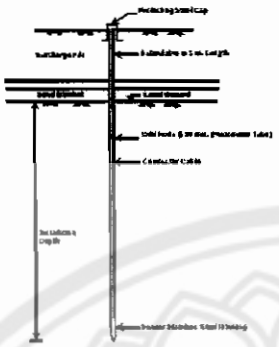
- การเทผิวคอนกรีตปิดทับบริเวณที่ติดตั้ง Settlement Plate



Purpose :
To determine surface settlement and settlement of fill material

รูปที่ 2.10 การเทผิวคอนกรีต

5. Eledtrical Piezometer

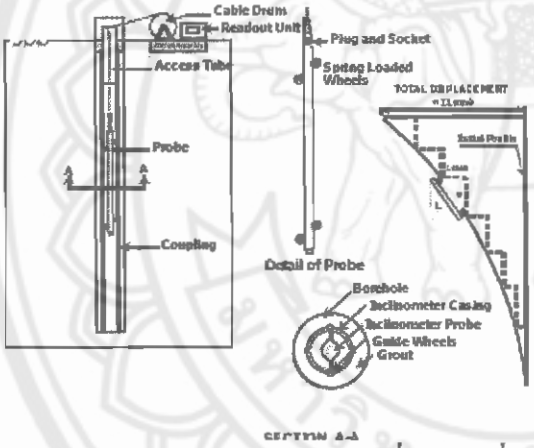


Purpose :

To determine excess pore water pressure during preloading

รูปที่ 2.11 เครื่องวัดระดับน้ำใต้ดินไฟฟ้า

6. Inclinometer

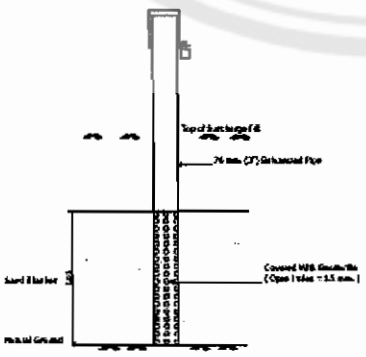


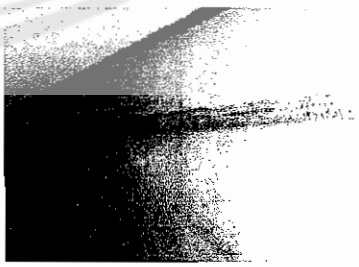
Purpose :-

To measure lateral movement for checking stability

รูปที่ 2.12 เครื่องมือวัดความเอียง

7. Obsrevation Well

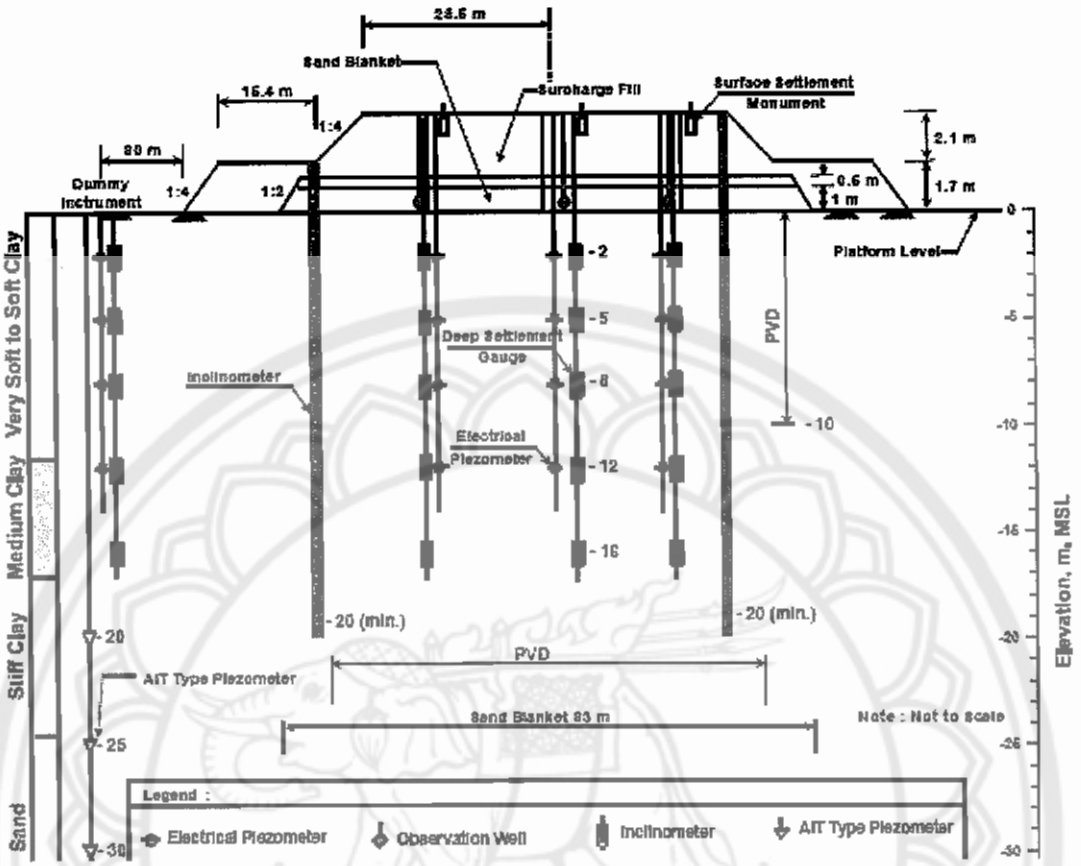




Purpose :

To determine efficiency of drainage system at top.

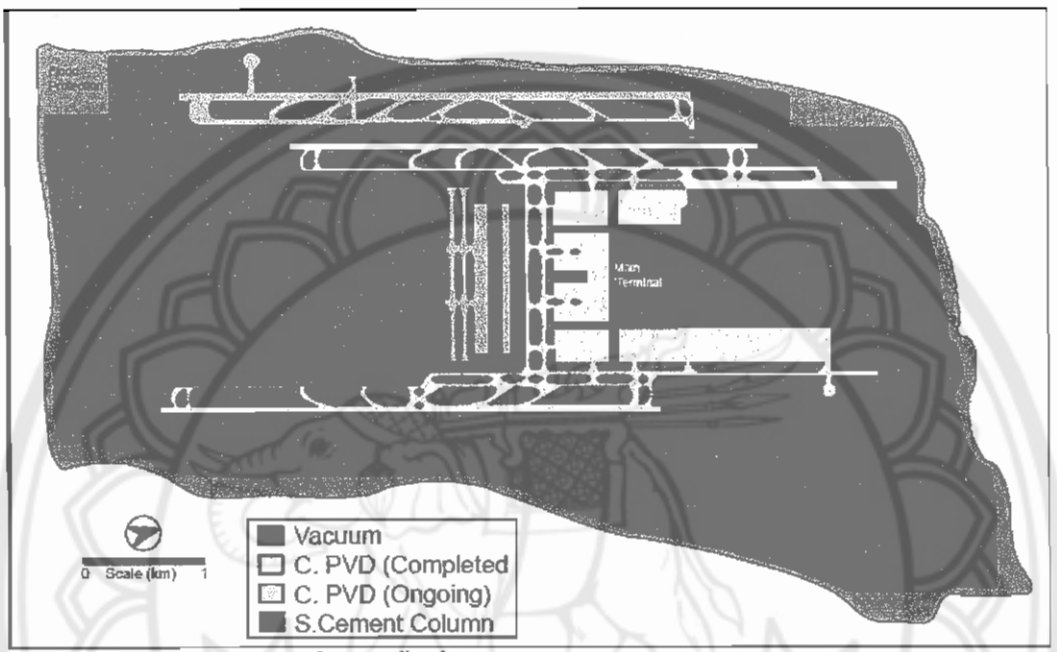
รูปที่ 2.13 Obsrevation Well



รูปที่ 2.14 การประเมินการติดตั้ง

2.3.4 การปรับปรุงคุณภาพดินอ่อน โดยการใช้ Vacuum Consolidation

วิธี Vacuum Consolidation เป็นการปรับปรุงคุณภาพดินควบคู่ไปกับ วิธี PVD ซึ่งจะช่วยให้เร่งระยะเวลาการทำ PVD ให้เร็วขึ้นเพื่อสูบน้ำที่เกิดจากการคายตัวของน้ำในแนวดิ่ง โดยการต่อท่อเข้ากับ **Vacuum Pump**



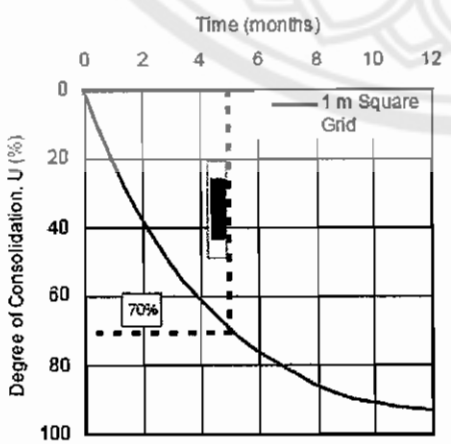
รูปที่ 2.15 พื้นที่ของการทำ Vacuum Consolidation

2.3.4.1 ตัวอย่างการคำนวณ

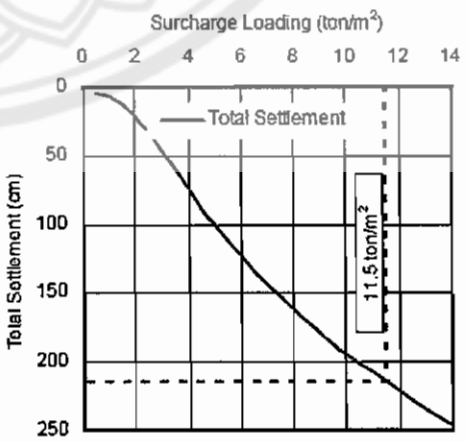
เป้าหมายของการทรุดตัว = 1.5 m

เวลาการก่อสร้าง : 5-6 เดือน

เวลาในการอัดตัวคายน้ำ : 4-5 เดือน



รูปที่ 2.16 กราฟการยุบตัวกับเวลา



รูปที่ 2.17 กราฟการยุบตัวกับน้ำหนัก

2.3.4.2 การดำเนินการติดตั้ง PVD

- วางระดับ
- ติดตั้ง PVD
- เชื่อมต่อ PVD ไปยังตำแหน่งผิว Vacuum
- ทำให้มั่นคง , แข็งแรง
- นำส่วนเพิ่มน้ำหนักออก

MISSING