

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	ชั้นดิน และเส้นการกระจายตัว ของค่าปริมาณความชื้น (Water content) ของชั้นดินในเขต กทม. ตามแนว เหนือ-ใต้	3
2	ปัญหาที่เกิดจากการทรุดตัวของฐานรากดินเหนียวอ่อน	4
3	ปัญหาที่เกิดจากเสถียรภาพต่ำของฐานรากดินเหนียวอ่อน	4
4	การปรับปรุงคุณภาพดินโดยใช้ Soil Cement Column	5
5	การปรับปรุงคุณภาพดินโดยเร่งการระบายน้ำในชั้นดินเหนียวอ่อน ร่วมกับน้ำหนักกดทับ	5
6	รูปแบบการทดสอบในสนาม	8
7	เครื่องจักรในการติดตั้งอุปกรณ์ในสนาม	9
8	รูปแบบการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนในสนามทั้ง 2 รูปแบบ	10
9	การทรุดตัวที่เกิดขึ้นทั้งหมดของการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนด้วยความร้อนทั้ง 2 รูปแบบ	10
10	ลักษณะการลดลงของแรงดันน้ำส่วนเกิน กับเวลาตามรอบของการให้อุณหภูมิแก่ดินเหนียวอ่อนในสนามรูปแบบที่ 1	11
11	การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกิน กับอุณหภูมิของการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนในสนามรูปแบบที่ 2	11
12	การเปลี่ยนแปลงแรงเฉือนในดินที่ความลึก 6 เมตรทดสอบโดยใช้ Vane Shear ระหว่างการทดสอบปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวอ่อนในสนามทั้ง 2 รูปแบบ	12
13	คุณสมบัติของดินหลังจากการปรับปรุงคุณภาพดินแบบเพิ่ม – ลดอุณหภูมิ (แบบที่ 1)	13
14	คุณสมบัติของดินหลังจากการปรับปรุงคุณภาพดินแบบคงที่อุณหภูมิ (แบบที่ 2)	14
15	เครื่องมือทดสอบแบบการอัดตัวคายน้ำ (Oedometer) สำหรับการทดสอบการเปลี่ยนแปลงปริมาตรของดินเหนียวอ่อน	17
16	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร กับ อุณหภูมิของดินเหนียวถูกอัดตัวปกติ	18

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
17	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร กับ อุณหภูมิของดินเหนียวถูกอัดตัวมากกว่าปกติ ในลักษณะที่เพิ่มน้ำหนักจนถึง 2,230 kPa และลดน้ำหนักลง ทำให้ดินเกิดการขยายปริมาตรขึ้น	18
18	เครื่องมือทดสอบแบบแรงอัดสามแกน (Triaxial Cell) สำหรับ การทดสอบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างดิน	19
19	การเปลี่ยนแปลงปริมาตร กับอุณหภูมิ ของตัวอย่างดินเหนียวกรุงเทพฯ แบบคงสภาพที่มีค่า OCR = 1, 2 และ 4	19
20	เครื่องมือทดสอบการอัดตัวคายน้ำตัดแปลงเพื่อการทดสอบ การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิในมวลดิน	20
21	การเปลี่ยนแปลงปริมาตรกับอุณหภูมิของตัวอย่างดินเหนียวกรุงเทพฯ แบบคงสภาพที่มีค่า OCR = 1, 2, 4 และ 8	20
22	การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ กับ อุณหภูมิ ที่แรงดันในการทดสอบต่างกัน	22
23	การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำ กับ อุณหภูมิ ของตัวอย่างดินเหนียวถูก อัดตัวปกติ และดินเหนียวถูกอัดตัวมากกว่าปกติ	23
24	การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกิน กับการเพิ่มอุณหภูมิของตัวอย่าง ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพที่มีค่า OCR = 1, 2 และ 4	23
25	การเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกิน กับการลดอุณหภูมิของตัวอย่าง ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพที่มีค่า OCR = 1, 2 และ 4	24
26	เครื่องมือทดสอบแบบแรงอัดสามแกน (Triaxial Cell) สำหรับ การทดสอบเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่างดิน	26
27	การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับน้ำหนักกับอุณหภูมิแบบมีการระบายน้ำ ของตัวอย่างดินมีค่า OCR ต่างๆกัน	27
28	การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพ ที่ถูกอัดตัวปกติ ที่อุณหภูมิต่างๆ	28
29	การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพ มีค่า OCR=2 ที่อุณหภูมิต่างๆ	29

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
30	การเปลี่ยนแปลงค่ากำลังรับน้ำหนักของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพ มีค่า OCR=4 ที่อุณหภูมิต่างๆ	29
31	คุณสมบัติพื้นฐานของดินที่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อน กับดิน ที่ไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อน	30
32	การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนช่องว่างของดินเหนียว ที่อุณหภูมิต่างๆ	31
33	ค่าความชื้นน้ำของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพ จากการ ทดสอบอัดตัวคายน้ำ (Oedometer) และจากการทดสอบแบบ ความดันน้ำคงที่ ที่อุณหภูมิต่างๆ	32
34	อุปกรณ์การทดสอบหาค่าการนำพาความร้อนแบบการอัดตัวคายน้ำ	33
35	ค่าการนำพาความร้อน กับอุณหภูมิ ที่แรงดันต่างๆของตัวอย่าง ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพ	34
36	อุปกรณ์การทดสอบหาค่าการนำพาความร้อนแบบการอัดตัวคายน้ำ	34
37	ค่าการนำพาความร้อนกับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิของตัวอย่าง ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ แบบคงสภาพ	35
38	เครื่องผลิตความร้อนพลังงานแสงอาทิตย์ (Solar Heater)	41
39	เครื่องทำความร้อนไฟฟ้าแบบขด 4500 วัตต์(Heater)	41
40	เครื่องควบคุมอุณหภูมีย่านอุณหภูมิ 30-90 องศาเซลเซียส (Thermostat)	42
41	ปั้มน้ำขนาด 0.5 HP	42
42	ท่อทองแดงสำหรับส่งผ่านน้ำร้อนขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 นิ้ว	43
43	ท่อเหล็กภายในท่อทองแดงขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง ½ นิ้ว	43
44	การประกอบระบบส่งน้ำร้อนลงดิน	44
45	สายไฟวัดอุณหภูมิ (Thermocouple) และท่อนำการติดตั้ง	44
46	อุปกรณ์วัดการทรุดตัวระดับลึกของชั้นดิน(Dep Settlement Plate)	45
47	อุปกรณ์วัดการทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement Plate)	45
48	อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำด้วยระบบไฟฟ้าแบบเกษตรศาสตร์ (KU Piezometer)	46
49	ส่วนประกอบอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำด้วยระบบไฟฟ้าแบบเกษตรศาสตร์ (KU Piezometer)	46

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
50	อุปกรณ์วัดแรงดันน้ำแบบ AIT (AIT Type Piezometer)	47
51	เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติรุ่น DL 2100 (Data Logger DL 2100)	47
52	เครื่องทดสอบ Cone Penetration Test (CPT)	48
53	ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบในสนาม	49
54	ลักษณะหลอดแก้วสุญญากาศทำหน้าที่รับแสงอาทิตย์ และกันความร้อน ออกจากหลอดแก้ว	50
55	อุณหภูมิภายในถังผลิตน้ำร้อนที่ได้จากพลังงานแสงอาทิตย์(ปิด Heater) เปรียบเทียบกับอุณหภูมิอากาศ	51
56	พื้นที่ ที่ทำการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยความร้อน	52
57	รูปด้านบนตำแหน่งการติดตั้งเครื่องมือทดสอบวัดพฤติกรรม	52
58	รูปตัดการติดตั้งอุปกรณ์วัดพฤติกรรม และระบบการให้ความร้อน	53
59	รูปตัดการติดตั้งอุปกรณ์วัดพฤติกรรมบริเวณพื้นที่ทดสอบ	53
60	รูปตัดการติดตั้งอุปกรณ์วัดพฤติกรรมบริเวณพื้นที่อ้างอิง	54
61	การติดตั้งท่อทองแดงขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	54
62	ตำแหน่งการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermo couple)	56
63	รูปตัดตำแหน่งการติดตั้งสายวัดอุณหภูมิ (Thermo couple)	56
64	ลักษณะการติดตั้งอุปกรณ์วัดการทรุดตัวระดับลึกของชั้นดิน (Deep Settlement Plate)	57
65	รูปตัดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดการทรุดตัวที่ผิวดิน (Surface Settlement) และอุปกรณ์วัดการทรุดตัวระดับลึกของชั้นดิน (Deep Settlement Plate)	58
66	การควบคุมหินพูนให้อิ่มตัวตลอดเวลาโดยใช้ถุงยางป้องกัน KU Piezometer	58
67	การติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำด้วยระบบไฟฟ้าแบบเกษตรศาสตร์ (KU Piezometer)	59
68	รูปตัดตำแหน่งการติดตั้งอุปกรณ์วัดแรงดันน้ำด้วยระบบไฟฟ้า แบบเกษตรศาสตร์ (KU Piezometer)	59
69	ตำแหน่งการตั้งเครื่องมืออุปกรณ์ที่ทำการทดสอบ และพื้นที่อ้างอิง	61
70	การถมทรายเพื่อปรับสภาพพื้นดินให้อยู่ในสภาพ OCR = 1	62

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
71	ท่อเหล็กขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1/2 นิ้ว ภายในท่อทองแดง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1 นิ้ว	62
72	การวางเครื่องผลิตน้ำร้อนจากพลังงานแสงอาทิตย์หลังจากมทราย	63
73	เครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data logger) สำหรับบันทึก อุณหภูมิ และแรงดันน้ำระหว่างการทดสอบ	63
74	ตำแหน่งการทดสอบ CPT และ การเจาะเก็บตัวอย่างดินภายหลัง การให้ความร้อน	66
75	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตามความลึก กับ เวลา	72
76	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงตามความลึก กับ เวลา	73
77	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงตามความลึก กับ เวลา (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)	74
78	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงตามความลึก กับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะสั้น)	75
79	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงตามความลึก กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)	76
80	ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิตามความลึกที่รัศมี 10 ซม. กับ เวลา	77
81	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่รัศมี 10 ซม. ตามความลึก กับ เวลา (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)	78
82	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่รัศมี 10 ซม. ตามความลึก กับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะสั้น)	79
83	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่รัศมี 10 ซม. ตามความลึก กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)	80
84	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา	84
85	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)	85

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
86	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตร ณ เวลาต่างๆ กับระยะรัศมี (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)	86
87	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะสั้น)	87
88	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)	88
89	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตร ณ เวลาต่างๆ กับ ระยะรัศมี (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นระยะเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)	89
90	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา	92
91	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)	93
92	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ณ เวลาต่างๆ กับระยะรัศมี (ช่วงให้ความร้อนตลอดเวลา)	94
93	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงการให้ความร้อนเป็นรอบในระยะสั้น)	95
94	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ เวลา (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)	96
95	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ณ เวลาต่างๆ กับ ระยะรัศมี (ช่วงหยุดให้ความร้อนเป็นเวลานานก่อนให้ความร้อนใหม่)	97
96	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำ (KU Piezometer)	101
97	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นที่ผิวท่อทองแดง	102
98	การเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงเพิ่มขึ้น	103

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
99	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่ลดลงที่ตำแหน่งที่ติดตั้งเครื่องมือวัดแรงดันน้ำ (KU Piezometer)	104
100	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตรที่ระยะรัศมีต่างๆ กับ อุณหภูมิที่ลดลงที่ผิวท่อทองแดง	105
101	การเปลี่ยนแปลงระหว่างอุณหภูมิที่ความลึก 3 เมตรที่รัศมีต่างๆ กับอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงลดลง	106
102	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ระยะรัศมี 10 ซม. กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง	107
103	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ระยะรัศมี 20 ซม. กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง	108
104	ความสัมพันธ์ระหว่างแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร ระยะรัศมี 30 ซม. กับการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง	109
105	ผลการทดสอบ Cone Penetration Test (CPT	112
106	ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินที่ไม่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อน และดินที่ได้รับการปรับปรุงด้วยความร้อนที่ระยะความลึกต่างๆ	113
107	เปรียบเทียบค่าอัตราส่วนช่องว่าง (e) ก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพดิน ด้วยความร้อนที่ระดับความลึกต่างๆ	113
108	เปรียบเทียบค่ากำลังรับรับน้ำหนักของดินก่อน และหลังการปรับปรุงคุณภาพด้วยความร้อน จากผลการทดสอบแรงอัดแบบไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined Compression Test)	114
109	ลักษณะของพลังงานความร้อนแผ่กระจายในแนวรัศมี	118
110	รูปตัดขวางการกระจายความร้อนในชั้นดินเหนียวอ่อนตามแนวรัศมี	118
111	ความสัมพันธ์ระหว่างการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดงที่มีผลต่อการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินที่ความลึก 3 เมตร กับระยะรัศมีต่างๆ	124

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
112	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิที่ผิวท่อทองแดง กับแรงดันน้ำส่วนเกิน ที่ผิวท่อทองแดงที่ประมาณได้จากภาพที่ 111	125
113	สมการที่ได้จากการ วิเคราะห์โดยใช้สมการถดถอยเชิงเส้นตรง ระหว่างอุณหภูมิกับแรงดันน้ำที่ผิวท่อทองแดง	126
114	ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้กระแสไฟฟ้าเพิ่ม อุณหภูมิ 20 องศาเซลเซียส กับราคาค่าใช้จ่าย	128
ภาพผนวกที่		
1	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตามความลึก กับ เวลา (ก่อนการใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่)	140
2	ความสัมพันธ์ระหว่างอุณหภูมิตามความลึก กับ เวลา (หลังการใช้ค่าเฉลี่ยเคลื่อนที่)	140
3	ตัวอย่างผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าอุณหภูมิในชั้นดินในสนาม ที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)	141
4	ตัวอย่างผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงแรงดันน้ำส่วนเกินในชั้นดิน ในสนามที่ได้จากเครื่องบันทึกข้อมูลอัตโนมัติ (Data Logger)	142