

รายการอ้างอิง

ภาษาไทย

กระทรวงอุตสาหกรรม. 2540. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 6 (พ.ศ.2540)

ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ. 2535 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว. (ม.ป.ท.)

เกรียงศักดิ์ อุดมสินโรจน์. 2546. ของเสียอันตราย. พิมพ์ครั้งที่ 1. (ม.ป.ท.)

นภดล กรณ์ศิลป์ และคณะ. 2542. ความรู้เบื้องต้นด้านการปรับปรุงคุณภาพดินโดยวิธี

jet grouting. การสัมมนาเรื่องงาน jet grouting ในวิศวกรรมปฐพี วันศุกร์ที่ 22 ตุลาคม 2542 ณ ห้องกษัตริย์ศึก 2 ชั้น 3 โรงแรมโซลทวินทาวเวอร์ หน้า 1 ถึง 43

มณฑิร กังสดิเทียม. 2538. กลศาสตร์ของดินด้านวิศวกรรม. พิมพ์ครั้งที่ 6. กรุงเทพมหานคร : บริษัท อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์ พับลิชชิ่ง จำกัด (มหาชน)

วินิต ช่อวิเชียร. 2539. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 8. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สัมพันธ์พาณิชย์.

สุรพัชร พันพานิชย์กุล. 2517. การทำเสถียรกากตะกอนจากโรงงานหลอมแบตเตอรี่เก่า. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

ไสว โฉมระสุภฤกษ์. 2539. ปัญหาและแนวทางการแก้ไขมลพิษในการหลอมตะกั่ว จากแบตเตอรี่เก่า. เอกสารเผยแพร่ทางวิชาการโรงงาน ฉบับ ก.พ. – พ.ค. 2539. กระทรวงอุตสาหกรรม.

หน่วยข้อเสนอเทคโนโลยีอันตรายและความปลอดภัย. 2544. ฐานการจัดการความรู้เรื่องความปลอดภัยด้าน สารเคมี [Online]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย. แหล่งที่มา:

<http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Merck/msdst/1017/101768.htm>

หน่วยข้อเสนอเทคโนโลยีอันตรายและความปลอดภัย. 2544. ฐานการจัดการความรู้เรื่องความปลอดภัยด้าน สารเคมี [Online]. จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย: โครงการศูนย์วิจัยแห่งชาติด้านการจัดการสิ่งแวดล้อมและของเสียอันตราย. แหล่งที่มา:

<http://www.chemtrack.org/MSDSSG/Merck/msdst/1120/112067.htm>

ภาษาอังกฤษ

- Allan, M. L., and Kukacka, L. E. 1995. Blast furnace slag-modified grouts for in situ stabilization of Chromium-contaminated soil. Waste Management 15: 193-202.
- ASTM D 422-63. 1995. Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soil. American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 04.08: 10-16.
- ASTM D 1633-84. 1995. Standard Test Method for Compressive Strength of Molded Soil-Cement Cylinders. American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 04.08: 148-150.
- ASTM D 2487-93. 1995. Standard Classification of Soils for Engineering Purposes. American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 04.08: 217-227.
- ASTM D 6236-98. 2004. Guide for Coring and Logging Cement-or Lime-Stabilized Soil. American Society for Testing and Material. Annual Book of ASTM Standard. 04.09
- Arocha, M. A., McCoy, B. J., and Jackman, A. P. 1996. VOC immobilization in soil by adsorption, absorption and encapsulation. Journal of Hazardous Materials 51: 131-149.
- Bell, A. L. 1993. Jet grouting. Ground Improvement. Edited by M. P. Moseley. : 149-174. : Blackie Academic & Professional.
- BOC Edwards. 2001. Material Safety Data Sheet: Product Name GS Battery. Available from: www.bocedwards.com/pdf/P120-05-000_GS_Battery.pdf
- Cavalca, L., Di Gennaro, P., Colombo, M., Andreoni, V., Bernasconi, S., Ronco, I., and Bestetti, G. 2000. Distribution of catabolic pathways in some hydrocarbon-degrading bacteria from a subsurface polluted soil. Microbiol 151: 877-887
- Day, S. R., Zarlinski, S. J., and Jacobson, P. 1997. Stabilization of cadmium-impacted soils Using jet-grouting technique. ASCE Specialty Conference Minneapolis, Minnesota October 4-8, 1997 In-situ Remediation of the Environmental. Available from: www.geocon.net/pdf/paper33.pdf

- La Grega, M. D., Buckingham, P. L., and Evans, J. C. 1994. Stabilization and Solidification. In P.H. King (ed), Hazardous Waste Management. : 641-704. Singapore: McGraw-Hill book.
- Mueller Associated, Inc. 1989. Waste Oil: Reclaiming Technology, Utilization and Disposal. New Jersey, NOYES DATA CORPORATION.
- Nedwed, T., and Clifford, D. A. 1997. A survey of lead battery recycling sites and soil remediation processes. Waste Management, 17, 4: 257-269.
- Peck, R. B., Hansen, W. E., and Thornburn, T. H. 1974. Foundation Engineering. New York, USA.: John Wiley & Sons.
- Shih, C. J., and Lin, C. F. 2003. Arsenic contaminated site at an abandoned Copper smelter plant: waste characterization and solidification/stabilization Treatment. Chemosphere. 53: 691-703.
- Suen, Z. L., Lizone, C., Hsi, H. Y., Chien, M. C., and Ming, C. L. 1998. Adsorption characteristics of lead onto soils. Journal of Hazardous Materials. A63: 37-49.
- Tabba, A., and Ayotamuno M. J. 2000. Soil mixing of stratified contaminated sands. Journal of Hazardous Materials. B72: 53-75.
- U.S. Environmental Protection Agency. 1994. Test Methods for Evaluating Solid Waste, Physical/Chemical Methods. Washington D.C.
- U.S. Environmental Protection Agency. 2001. State of Maryland Department of the Environment Cleanup Standard for Soil and Groundwater. USA.
- Walker, A. D. 1992. Site remediation using soil mixing techniques on a hazardous waste Site: a case history. Available from : www.geocon.net/pdf/paper12.pdf
- Yukselen, M. A., and Alpaslan, B. 2001. Leaching of metals from soil contaminated by mining activities. Journal of Hazardous Materials. B87: 289-300.



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ก.

วิธีวิเคราะห์ค่าพารามิเตอร์ต่างๆในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การหาขนาดของเม็ดทราย

นำตัวอย่างทรายหยาบที่อบจนแห้งจำนวน 500 ก. มาผ่านตะแกรง เบอร์ 4 10 20 40 60 100 200 และ Pan จำนวน 8 ใบ โดยทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงเปล่าก่อน และทำการชั่งน้ำหนักของตะแกรงที่มีทรายค้างอยู่ นำค่าต่างๆที่บันทึกมาสร้างเป็นตารางที่ ก.1

ตารางที่ ก.1 การหาขนาดของเม็ดทราย

ตะแกรง	รูตะแกรง (มม.)	น้ำหนัก ตะแกรง (ก.)	น้ำหนัก ตะแกรง และทราย (ก.)	น้ำหนัก ทรายค้าง ตะแกรง (ก.)	เปอร์เซ็นต์ ค้าง (%)	เปอร์เซ็นต์ ค้างสะสม (%)	เปอร์เซ็นต์ ผ่าน สะสม (%)
4	4.75	105.02	115.47	10.45	2.09	2.09	97.91
10	2	101.14	142.53	41.39	8.28	10.37	89.63
20	0.85	96.64	202.87	106.23	21.25	31.62	68.38
40	0.425	92.12	245.78	153.66	30.73	62.35	37.65
60	0.25	90.43	191.5	101.07	20.21	82.56	17.44
100	0.15	86.59	158.95	72.36	14.47	97.03	2.97
200	0.075	86.66	94.8	8.14	1.63	98.66	1.34
Pan		67.43	74.13	6.7			

จากรูปที่ 5.1 เมื่อลากเส้นตัดที่ แกน เปอร์เซ็นต์ผ่านสะสม ที่ 10 % จะได้ขนาดเม็ดทราย คือ 0.2 มม. ซึ่งก็คือค่า D_{10} และในทำนองเดียวกันก็จะหาค่าได้ที่ D_{30} และ D_{60} เช่นกัน ส่วนการหาค่า C_u และ C_c ทำได้โดยการแทนค่าจากสมการ

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} \quad (ก.1)$$

โดยที่

C_u = Coefficient of Uniformity

D_{60} = ขนาดของเม็ดดินที่ดินจะมีขนาดเล็กกว่านี้ จำนวน 60 %

D_{10} = ขนาดของเม็ดดินที่ดินจะมีขนาดเล็กกว่านี้ จำนวน 10 %

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10} \times D_{60}} \quad (\text{ก.2})$$

โดยที่

C_c = Coefficient of Curvature

D_{30} = ขนาดของเม็ดดินที่ดินจะมีขนาดเล็กกว่านี้ จำนวน 30 %

ลักษณะของดินที่มีขนาดคละกัันดีแสดงในตารางที่ ก.2

ตารางที่ ก.2 ลักษณะของดินที่มีขนาดคละกัันดี

ชนิดของดิน	C_u	C_c
กรวด	มากกว่า 4	1 - 3
ทราย	มากกว่า 6	1 - 3

จากตารางที่ ก.2 ทำให้ทราบได้ว่าทรายหยาบที่ใช้เป็นทรายที่มีขนาดคละกัันไม่ดี ($C_u=3.5$ และ $C_c=0.9$)

ปริมาณวัสดุและสารเคมีต่างๆที่ใช้ในการทดลอง

ทรายหยาบ (ความหนาแน่นของทรายหยาบ = 1,600 กก./ม.³)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่ใช้ต่อ 1 หลุม} &= 0.5 \text{ ม.} \times 0.5 \text{ ม.} \times 1.0 \text{ ม.} \times 1,600 \text{ กก./ม.}^3 \times 1.33 (\%) \\ &= 532 \text{ กก.} \end{aligned}$$

ปูนซีเมนต์ (ใช้ 400 กก./ม.³ ของทรายหยาบ)

$$\begin{aligned} \text{ปริมาณที่ใช้ต่อ 1 หลุม} &= 0.6 \text{ ม.} \times 0.6 \text{ ม.} \times 1.0 \text{ ม.} \times 3.14 \times 0.25 \times 400 \text{ กก.} \\ &= 113 \text{ กก.} \end{aligned}$$

Pb(NO₃)₂ (ใช้ Pb 1,000 มก./กก. ของทรายหยาบ)

$$\text{มวลโมเลกุลของ Pb(NO}_3)_2 = 331.22$$

$$\text{มวลอะตอมของ Pb} = 207.2$$

$$\begin{aligned} \text{ต้องใช้ Pb(NO}_3)_2 &= \frac{1,000 \times 331.22}{207.2} \\ &= 1,599 \text{ มก./กก. ของทรายหยาบ} \\ \text{ปริมาณที่ใช้ต่อ 1 หลุม} &= 1,599 \text{ มก./กก.} \times 532 \text{ กก.} \times 0.001 \\ &= 850 \text{ ก.} \end{aligned}$$

เบนซีน (ใช้ 340 มก./กก. ของทรายหยาบ)

$$\begin{aligned} \text{ความหนาแน่นของเบนซีน} &= 0.879 \text{ ก./ซม.}^3 \\ \text{ปริมาณที่ใช้ต่อ 1 หลุม} &= 340 \text{ มก./กก.} \times 532 \text{ กก.} \times 0.001 \\ &= 180.88 \text{ ก.} \\ &= 180.88 \text{ ก.} \\ &= \frac{180.88 \text{ ก.}}{0.879 \text{ ก./ซม.}^3} \\ &= 206 \text{ มล.} \end{aligned}$$

การเตรียมน้ำชะ

กรดซัลฟิวริก 96.3 ก. ความหนาแน่น 1.84 ก./ซม.³ ในสารละลาย 100 ก.

ต้องการ 80 ก. จาก $100 \times 80 = 83.07 \text{ ก.}$

96.3

$$\text{จาก } V = \frac{M}{D} = \frac{83.07}{1.84} = 45.1 \text{ มล.}$$

กรดไนตริก 69.6 ก. ความหนาแน่น 1.41 ก./ซม.³ ในสารละลาย 100 ก.

ต้องการ 20 ก. จาก $100 \times 20 = 28.74 \text{ ก.}$

69.6

$$\text{จาก } V = \frac{M}{D} = \frac{28.74}{1.41} = 20.4 \text{ มล.}$$

การคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่างๆ

การคำนวณกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของตัวอย่าง

ตัวอย่าง 1.5L ที่ 28 วัน

- ความสูง 15.98 ซม.
- เส้นผ่าศูนย์กลาง 7.27 ซม.
- น้ำหนัก 1,128.7 ก.

ค่าความหนาแน่นหาได้จาก

$$D = \frac{1128.7}{(0.25 \times 3.14 \times 7.27 \times 7.27 \times 15.98)}$$

$$= 1.702 \text{ ตัน/ม.}^3$$

ตารางที่ ก.3 ค่าที่อ่านได้จากเครื่องทดสอบค่ากำลังรับแรงอัด ของตัวอย่าง 1.5L ที่ 28 วัน

Deformation (a) Reading (Div)	Load (b) Reading (Div)
0	0
10	8
20	26
30	46
40	70
50	95
60	120
70	150
80	178
90	205
100	237
120	300
140	360
160	408
180	446
200	476
220	225

ข้อมูลจากตารางที่ ก.3 สามารถคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดได้จากสมการ

$$A' = \frac{A}{(1-0.0001a)} \quad (\text{ก.3})$$

โดยที่

$$\begin{aligned} A' &= \text{พื้นที่หน้าตัดที่จุดวิบัติ, ซม.}^2 \\ A &= \text{พื้นที่หน้าตัดเริ่มต้น, ซม.}^2 \\ a &= \text{ค่า Div ที่จุดวิบัติ (คอลลัมน์ a)} \end{aligned}$$

$$y = 1.2222b + 72.0738 \quad (\text{ก.4})$$

โดยที่

$$\begin{aligned} y &= \text{ค่ากำลังรับแรงอัด, ปอนด์} \\ b &= \text{ค่า Div ที่จุดวิบัติ (คอลลัมน์ b)} \end{aligned}$$

$$s = \frac{y}{2.205A'} \quad (\text{ก.5})$$

โดยที่

$$s = \text{ค่ากำลังรับแรงอัด, กก./ซม.}^2$$

แทนค่าสมการที่ ก.3 จะได้

$$A' = 42.357 \text{ ซม.}^2$$

แทนค่าสมการที่ ก.4 จะได้

$$y = 501.066 \text{ ปอนด์}$$

แทนค่าสมการที่ ก.5 จะได้

$$s = 7.00 \text{ กก./ซม.}^2$$

การคำนวณค่าใช้จ่ายต่างๆ

การคิดค่าใช้จ่ายในการบำบัด

ตัวอย่าง

ถ้ามีดินที่จะต้องทำการบำบัดจำนวน $1,250 \text{ ม.}^3$ (ขนาดพื้นที่ $25 \times 25 \times 2.00 \text{ ม.}^3$ ลึกจากผิวดิน 2.00 ม.)

ใช้เวลาในการทำงานในสนาม 3 วัน สำหรับการบำบัดแบบทำในพื้นที่

ใช้เวลาในการทำงานในสนาม 3 วัน (งานขุด ใช้รถขุดดิน 2 คันในงานขุดดิน 1 วัน และงานถมกลับ ใช้รถขุดดิน 2 คันในงานถมดิน และใช้รถปรับหน้าดิน 1 คันทำงาน 2 วัน) สำหรับการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่

คิดค่าใช้จ่ายในการขนส่งเที่ยวไปเที่ยวเดียว และไม่คิดค่าถังที่ใช้บรรจุของเสียอันตราย (ดินปนเปื้อน) สำหรับการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่

ไม่คิดค่าใช้จ่ายในการเจาะสำรวจดิน วิเคราะห์สารปนเปื้อนในดิน และการทำการทดลองนำร่อง เนื่องจากไม่ว่าจะเป็นการบำบัดแบบในหรือนอกพื้นที่ ก็ต้องทำกระบวนการเหล่านี้เหมือนกัน จึงไม่ได้นำมาคิด

การบำบัดแบบทำในพื้นที่

- การทำเสถียรและการทำก้อนแข็ง $2,000$ บาทต่อดิน 1 ม.^3
- ค่า Mobilization $200,000$ บาทต่องาน (สำหรับงานขนาดกลาง และขนาดใหญ่)

การบำบัดแบบทำนอกพื้นที่

- การทำเสถียรและการทำก้อนแข็ง $5,250$ บาทต่อดิน 1 ม.^3
- ค่าขุดดิน หากเป็นรถขุดขนาดเล็กถึงขนาดกลาง คิดค่าใช้จ่ายวันละ $5,000$ บาทต่อวันต่อคัน หากเป็นพื้นที่ขนาดใหญ่ก็อาจจะต้องใช้จำนวนรถขุด หรือใช้เวลามากขึ้น
- ค่าฝังดินกลับ คิดค่าใช้จ่ายวันละ $5,000$ บาทต่อวันต่อคัน อาจจะต้องใช้รถบดช่วยหากขนาดของรถขุดเล็กเกินไป
- ค่าขนส่งดิน โดยทั่วไปขึ้นต่ำอยู่ที่ 350 บาทต่อดิน 1 ม.^3 (ในพื้นที่เดียวกัน ระยะทางไม่เกิน 10 กม.)

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำในพื้นที่

$$\begin{aligned}
 &= (2,000) \times 1,250 + 200,000 \\
 &= 2,700,000 \text{ บาท} \\
 &= 2,160 \text{ บาท/ม.}^3
 \end{aligned}$$

ค่าใช้จ่ายในการบำบัดแบบทำนอกพื้นที่

$$\begin{aligned}
 &= (5,250 + 350) \times 1,250 + 5,000 \times 2 + 5,000 \times 2 \times 2 + 5,000 \times 2 \\
 &= 7,040,000 \text{ บาท} \\
 &= 5,632 \text{ บาท/ม.}^3
 \end{aligned}$$

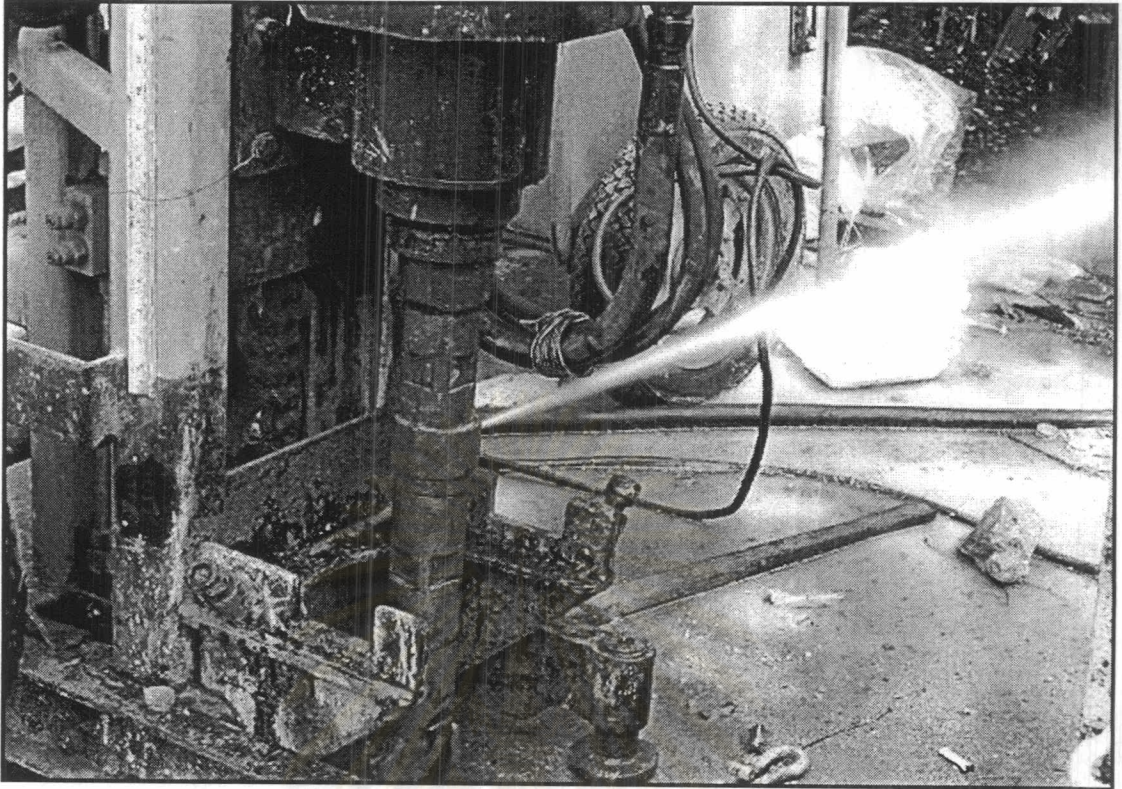


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

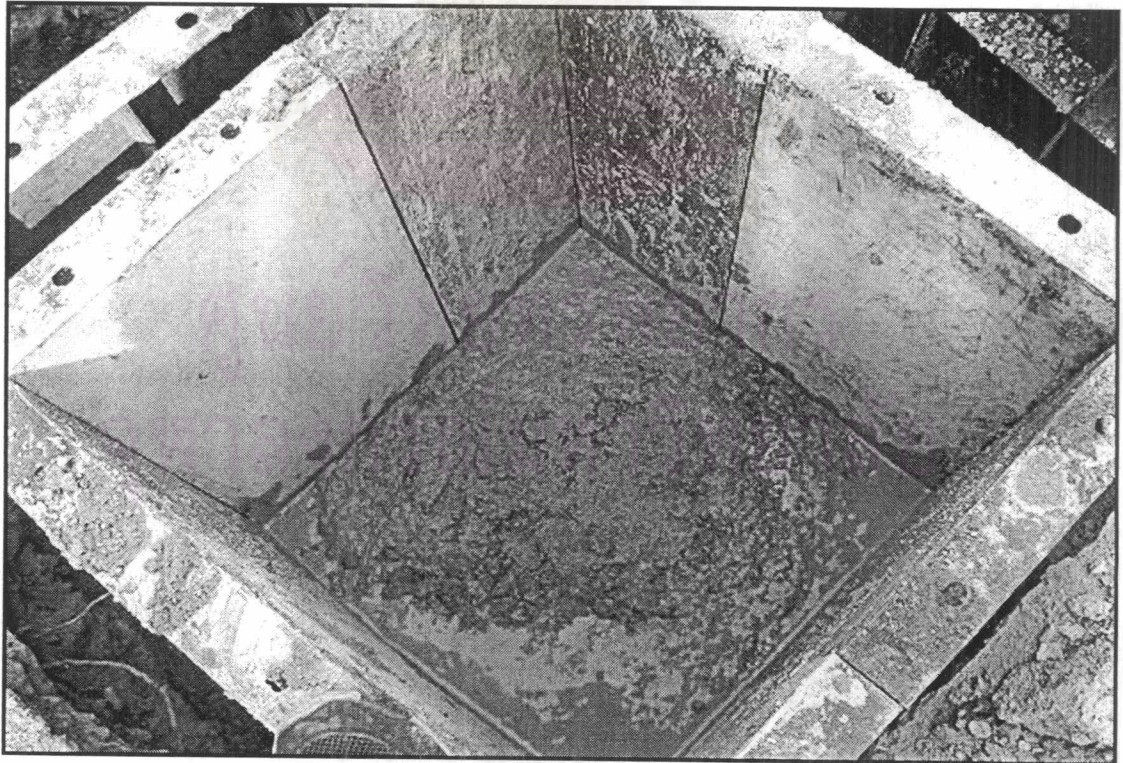


ภาคผนวก ข.
ภาพงานวิจัยบางส่วน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



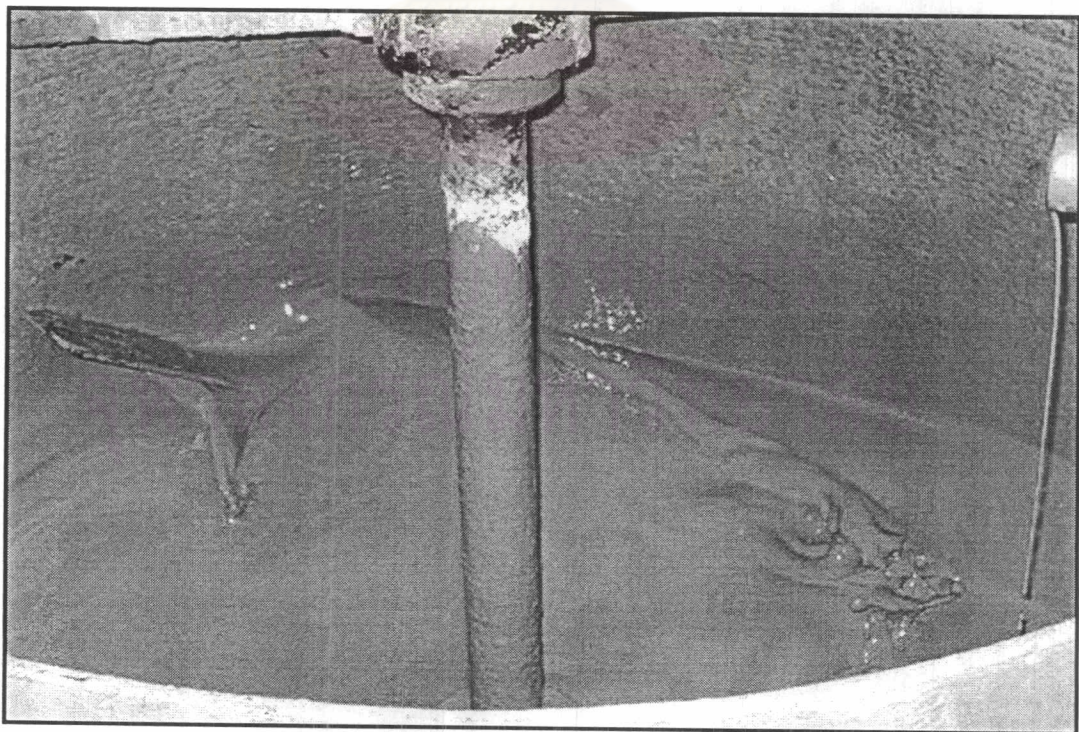
รูปที่ ข.1 ทดสอบแรงดันหัวฉีดที่ 100 บาร์



รูปที่ ข.2 ทรอยหายาบที่ผสมกับสารละลาย $Pb(NO_3)_2$ ขณะใส่ลงในแบบโลหะ



รูปที่ ข.3 การติดตั้งหัวฉีดเข้ากับอุปกรณ์ส่วน Base Machine



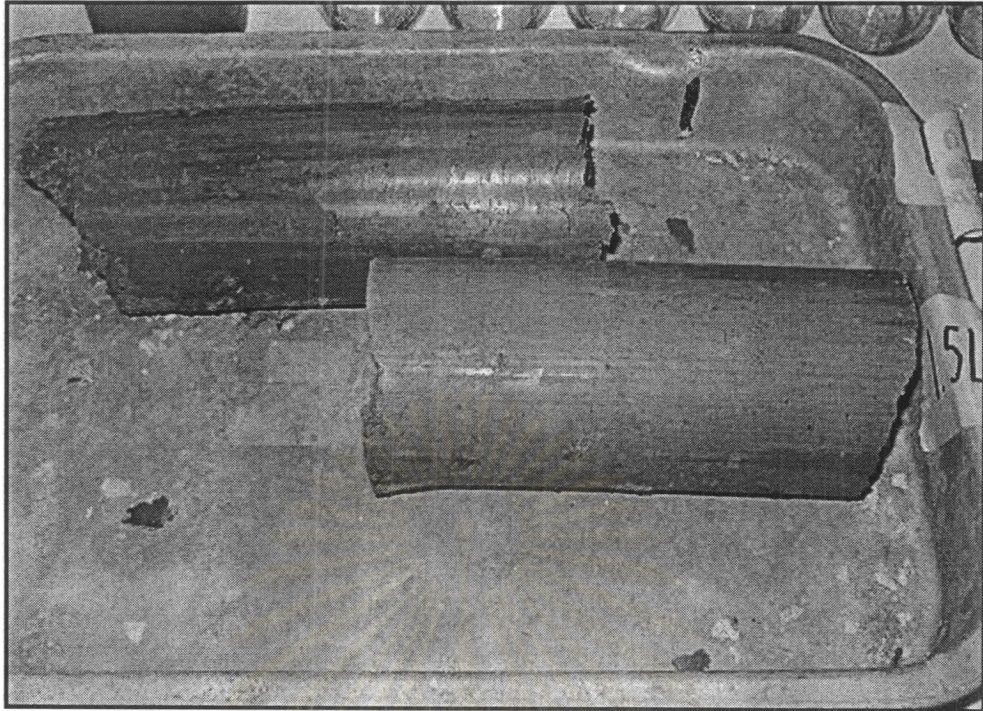
รูปที่ ข.4 ซีเมนต์เพสท์ที่ถูกผสมอยู่ใน Agent Plant



รูปที่ ข.5 สภาพของดินซีเมนต์หลังจากทำเจ็ทเกร้าตั้งเป็นเวลา 1 คืน



รูปที่ ข.6 การใช้เครื่องดันไฮโดรลิกดันดินซีเมนต์ออกจากกระบอกบาง



รูปที่ ๑.๗ สภาพของดินซีเมนต์ที่ถูกดันออกจากกระบอบาง ก่อนนำไปห่อด้วยพลาสติก



รูปที่ ๑.๘ การวิบัติของดินซีเมนต์ในขณะที่ทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด



ภาคผนวก ค.
ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทดลอง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นในการทดลอง

ในการวิจัยครั้งนี้ได้มีปัญหามากมายที่เกิดขึ้นในการทดลอง จนทำให้ต้องมีการเปลี่ยนแปลงขอบเขต และวิธีการทดลองจนแตกต่างไปจากที่นำเสนอในโครงร่างวิทยานิพนธ์ โดยมีปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นดังนี้

ปัญหาความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในดิน

ในโครงร่างวิทยานิพนธ์ได้เลือกเจาะสำรวจดินที่อยู่ในบริเวณย่านบรรทัดทอง เนื่องจากเป็นย่านที่มีผู้ซ่อมรถเป็นจำนวนมาก ทำให้ดินในย่านนี้มีการปนเปื้อนของตะกั่ว และน้ำมันเครื่องเก่ามาก แล้วนำมาวิเคราะห์โครงสร้างของดิน และวิเคราะห์หาชนิดและปริมาณของสารปนเปื้อนในดิน โดยจะทำการเจาะสำรวจที่ความลึกในช่วง 5 – 10 เมตรจากผิวดิน โดยสารปนเปื้อนที่ทำการวัดคือ ตะกั่ว และเบนซีน นำค่าปริมาณของสารปนเปื้อนที่มากที่สุด เป็นค่าที่จะใช้ผสมกับดินตัวอย่างในการทำเจ็ดเกร้าดิงในสนาม โดยดินตัวอย่างที่นำมาใช้ในสนาม จะมีลักษณะทางโครงสร้างเหมือนกับดินที่อยู่ในบริเวณย่านบรรทัดทองโดยใช้วิธีการจำแนกดินตาม Unified Soil Classification (USC)

ซึ่งผลการวิเคราะห์สารปนเปื้อนในดินมีดังนี้

ตารางที่ ค.1 ผลการวิเคราะห์ปริมาณสารปนเปื้อนในดิน

ระดับดิน (ม.)	ตะกั่ว (มก./ล.)	เบนซีน (มก./ล.)
-5.00	44.38	ไม่พบ
-7.00	48.35	ไม่พบ
-9.00	36.81	ไม่พบ

จากตารางที่ ค.1 จะเห็นได้ว่าปริมาณสารปนเปื้อนในดินมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานของสารปนเปื้อนในดินในเขตที่พักอาศัย ซึ่งค่าของตะกั่วที่ปนเปื้อนในดินต้องไม่เกิน 400 มก./กก.ดิน และค่าของเบนซีนที่ปนเปื้อนในดินต้องไม่เกิน 12 มก./กก.ดิน ทำให้ไม่สามารถนำค่าที่วิเคราะห์ได้ในเบื้องต้น มาเป็นค่าที่จะใช้ผสมกับดินตัวอย่างในการทำเจ็ดเกร้าดิงในสนาม

เหตุผลอีกประการที่อาจจะบอกถึงค่าปริมาณสารปนเปื้อนในดินที่ระดับความลึกตั้งแต่ 5 เมตรลงไปมีค่าน้อย เนื่องจากทั้งตะกั่วและเบนซีนนั้นมีความสามารถในการยึดจับกับดินได้ดี หากการปนเปื้อนที่เกิดขึ้นมาจากการปนเปื้อนที่ผิวดินแล้ว ก็จะทำให้เกิดการปนเปื้อนที่ช่วงดินบน

โดยจะเกิดการปนเปื้อนในดินลำน้อยมาก แต่อาจเกิดการปนเปื้อนในดินลำนได้มากในกรณี เช่น ถังเก็บน้ำมันหรือท่อส่งน้ำมันที่ฝังใต้ดินเกิดการรั่วแตก

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกความเข้มข้นของสารปนเปื้อน ที่จะใช้เป็นค่าที่จะใช้ผสมกับดิน ตัวอย่างในการทำเจตกร้าตั้ง โดยให้มีค่ามากกว่ามาตรฐานของสารปนเปื้อนในดินในเขตที่พักอาศัย โดยที่ความเข้มข้นของตะกั่วใช้ค่า 1,000 มก./กก.ดิน และความเข้มข้นของเบนซีนใช้ค่า 340 มก./กก.ดิน ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐาน

ปัญหาในการเลือกตัวแทนของสารตะกั่วที่ใช้ในการทดลอง

รูปของตะกั่วที่พบในสารละลายตะกั่วในแบตเตอรี่รถยนต์นั้น คือ $PbSO_4$ เป็นส่วนมาก ซึ่งสามารถละลายน้ำได้ไม่มาก (40 มก./ล. ที่ 15 องศาเซลเซียส) จึงจำเป็นที่จะต้องเลือกใช้ตะกั่วในรูปของ $Pb(NO_3)_2$ ที่ละลายน้ำได้ดีกว่ามาก เพื่อป้องกันการรบกวนของปริมาณน้ำที่มากเกินไป

จากการศึกษาพบว่ารูปของตะกั่วที่พบในดินทั่วไปจะอยู่ในรูปของ $PbCO_3$ เป็นส่วนมาก แม้ว่ารูปของตะกั่วที่พบในสารละลายตะกั่วในแบตเตอรี่รถยนต์ จะมีหลายรูปเช่น Pb^0 $PbSO_4$ และ PbO ก็ตามแต่เมื่อเวลาผ่านไปรูปของตะกั่วก็จะเปลี่ยนไปเป็นรูป $PbCO_3$ แสดงให้เห็นว่าการใช้ $Pb(NO_3)_2$ ในการแทนที่ $PbSO_4$ นั้น ค่อนข้างที่จะเชื่อถือได้

ปัญหาในการผสมสารปนเปื้อนลงในดินตัวอย่าง

ในโครงร่างวิทยานิพนธ์ได้เลือกใช้ตัวอย่างดินคือดินที่เป็นดินชั้นล่าง (Sub Soil) ซึ่งดินชั้นล่างเหล่านี้มีคุณสมบัติเป็นดินเหนียว ทั้งนี้วัตถุประสงค์ในการเลือกใช้ดินชั้นล่าง ก็เพื่อที่จะลดการเกิดการรบกวนของสารอินทรีย์ในดินตัวอย่าง ที่จะทำให้ผลของการทดลองคลาดเคลื่อน

ซึ่งในการทำการผสมดินตัวอย่างซึ่งเป็นดินเหนียวกับสารปนเปื้อน ไม่ว่าจะเป็ตะกั่ว หรือ เบนซีน ไม่สามารถผสมให้สารปนเปื้อนกระจายตัวอย่างสม่ำเสมอในดินตัวอย่างได้ และหากใช้ เวลาในการผสมมากเกินไป จะทำให้เบนซีนระเหยไปจนหมด

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้เลือกใช้ทรายหยาบที่ใช้ในงานก่อสร้างแทนดินชั้นล่าง เนื่องจากมี สารอินทรีย์อยู่น้อย ทำให้รบกวนการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันน้อย และสามารถทำการผสมกับ สารปนเปื้อนได้ดี

จากการศึกษาพบว่า ดินจำพวกดินเม็ดละเอียดหรือดินเหนียวจะมีความสามารถในการดูดซับทั้งตะกั่วและเบนซีนได้ดีกว่า ดินจำพวกดินเม็ดหยาบหรือทราย

โดยดินชั้นล่างของกรุงเทพฯส่วนใหญ่ เป็นดินเหนียวในสัญลักษณ์กลุ่ม CH และกลุ่ม CL สำหรับดินที่อยู่ในระดับความลึกประมาณ 13 ม. ลงไป ซึ่งมีความสามารถในการดูดซับทั้งตะกั่วและเบนซีนได้ดี

แต่ปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับของดินคือค่าพีเอช คือเมื่อค่าพีเอชเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับของดินก็จะเพิ่มขึ้นด้วย

ปริมาณของสารอินทรีย์ในดิน ก็มีผลกระทบต่อความสามารถในการดูดซับของดินเช่นกัน คือเมื่อปริมาณของสารอินทรีย์ในดินเพิ่มสูงขึ้น ความสามารถในการดูดซับของดินก็จะเพิ่มขึ้นด้วย แต่ในงานวิจัยครั้งนี้ จะไม่นำดินที่มีปริมาณของสารอินทรีย์มาใช้ในการทดลอง เนื่องจากสารอินทรีย์ในดิน จะรบกวนผลการทดลองต่างจนทำให้ได้ค่าที่คลาดเคลื่อนจากความเป็นจริง

ปัญหาในการทำเจ็ทเกร้าติ้งและค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์

ในโครงร่างวิทยานิพนธ์ได้เลือกใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ สำหรับทำการฉีดซีเมนต์เพสต์ไว้ที่ค่า 0.5 1.0 1.5 และ 2.0 โดยมีค่าพารามิเตอร์ต่างๆดังแสดงในตารางที่ 4.1

ซึ่งในการทำงานจริงในสนามหัวฉีดของอุปกรณ์การทำเจ็ทเกร้าติ้ง ไม่สามารถฉีดซีเมนต์เพสต์ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ได้ เนื่องจากซีเมนต์เพสต์ที่ได้มีความข้นมากเกินไป จนต้องหยุดการทำเจ็ทเกร้าติ้งที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 เพราะอาจก่อให้เกิดอันตรายจากการแตกของสายส่ง หรือเกิดปัมระเบิดได้

ดังนั้นผู้วิจัยจึงได้ทำการตัดอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.5 ออก และทำเจ็ทเกร้าติ้งที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 1.0 1.5 และ 2.0 เท่านั้น โดยไม่ได้เพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 2.5 ไปด้วย เนื่องจากหากดูจากแนวโน้มกำลังรับแรงอัดของตัวอย่าง มีค่าลดลงเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ และแนวโน้มความเข้มข้นของสารปนเปื้อนในน้ำชะตัวอย่าง มีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ ทำให้ไม่มีความจำเป็นที่ต้องเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ที่ 2.5 ไปด้วย

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ง.
การสำรวจสภาพชั้นดิน

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน

ผลการเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน ของสถาบันเทคโนโลยีราชมงคล ปทุมวัน ตั้งอยู่ที่ ถนนพระราม 1 แขวงปทุมวัน เขตปทุมวัน กรุงเทพมหานคร (รูปที่ ง.1) ซึ่งงานภาคสนามประกอบด้วยงานเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน จำนวน 1 หลุม ความลึก 15.45 เมตร พร้อมได้เก็บตัวอย่างดินตามความลึก จากนั้นส่งเข้าห้องปฏิบัติการเพื่อทดสอบหาคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่างๆ ของดิน



รูปที่ ง.1 พื้นที่ที่ทำการเจาะสำรวจสภาพชั้นดิน

สภาพธรณีวิทยาในบริเวณพื้นที่โครงการ

จากแผนทางธรณีวิทยาประเทศไทย จังหวัดกรุงเทพมหานครและพื้นที่โดยรอบ มาตราส่วน 1: 250,000 ปี 2527 ซึ่งจัดทำโดยสำนักธรณีวิทยา (เดิม) กรมทรัพยากรธรณี แสดงให้เห็นว่า พื้นที่โครงการตั้งอยู่ในเขตกรุงเทพมหานคร ซึ่งในแง่ธรณีวิทยาจัดแบ่งอยู่ใน Bangkok Subregion ของพื้นที่ราบภาคกลาง ตะกอนที่สะสมอยู่ใน Bangkok Subregion เป็นตะกอนลุ่มน้ำ มีอาณาเขตครอบคลุมพื้นที่ตั้งแต่ปากอ่าวไทย จังหวัดสมุทรปราการ กรุงเทพฯ นนทบุรี ปทุมธานี และบางส่วนของนครปฐม สมุทรสงคราม และฉะเชิงเทรา ลักษณะโดยทั่วไปของตะกอนในพื้นที่นี้ จะมีการแทรกสลับกันเป็นชั้นๆ ของชั้นทราย และชั้นดินเหนียว โดยมีความหนาของตะกอนมากกว่า 2,000 เมตร โดยเฉพาะอย่างยิ่งบริเวณจังหวัดอยุธยา และกรุงเทพฯ จากการศึกษาข้อมูลที่ได้ทำการสำรวจมาก่อนพบว่า ตะกอนที่พบในเขตจังหวัดกรุงเทพฯ และพื้นที่โดยรอบ มีการเรียงลำดับชั้น (Stratigraphy) ที่ค่อนข้างแน่นอนดังนี้

ผิวดิน - ประมาณ 2 เมตร เป็นชั้น Weathered Crust ของดินเหนียวอ่อนซึ่งเกิดจากการแห้งตัว (Desiccation) ของชั้นดินเหนียวอ่อน ทำให้ดินชั้นนี้มีคุณสมบัติแบบ Overconsolidated Clay

ความลึก 2 เมตร - ประมาณ 15 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) สีเทาถึงเทาดำ ชั้นดินนี้เป็นชั้นดินที่ก่อให้เกิดปัญหาด้านวิศวกรรมมากที่สุด เพราะดินเหนียวอ่อนมีค่าความต้านทานแรงเฉือนต่ำ และมีการยุบตัวสูง ซึ่งดินเหนียวอ่อนนี้มีต้นกำเนิดมาจากตะกอนทะเล (Marine Deposit) ในลักษณะของการสะสมตัวบริเวณที่ราบน้ำขึ้นถึง (Tidal Flat) จึงทำให้ความหนาของชั้นดินเหนียวอ่อนค่อนข้างจะสม่ำเสมอ ดินเหนียวอ่อนเป็นดินชนิด Slightly Overconsolidated Clay ถึง Normally Consolidated Clay

ความลึก 15 เมตร - ประมาณ 20 เมตร เป็นชั้นดินเหนียวแข็งชั้นแรก สีของดินเหนียวแข็งชั้นแรกไม่แน่นอนแต่ส่วนใหญ่จะมีสีเหลืองปนน้ำตาลถึงน้ำตาลแดง ซึ่งเกิดจาก Subregion Process of Desiccation และปฏิกิริยาออกซิเดชัน (Oxidation) ซึ่งบังถึงสภาพแวดล้อมที่เปิดโล่งของพื้นที่ในอดีต ก่อนที่จะถูกทับถมโดยชั้นดินเหนียวอ่อนในเวลาต่อมา ค่าความต้านทานแรงเฉือนของชั้นดินเหนียวแข็งมีค่าสูงกว่าชั้นดินเหนียวอ่อนมาก ดินเหนียวแข็งชั้นแรกเป็นดินชนิด Overconsolidated Clay ซึ่งทำให้มีค่าการยุบตัวต่ำ

หลังจากความลึกประมาณ 20 เมตร เป็นต้นไป ความหนาของชั้นดินมีการเปลี่ยนแปลงสูง โดยที่ได้ดินเหนียวแข็งชั้นที่หนึ่งจะรองรับด้วยชั้นทรายชั้นแรก โดยทรายชั้นแรกนี้จะเริ่มพบได้ที่ความลึกประมาณ 20-30 เมตร ในเขตกรุงเทพฯ และมักประกอบด้วยทรายและกรวดเป็นส่วนใหญ่

การตัดขนาดของทรายชั้นแรกค่อนข้างดี และต่อจากทรายชั้นแรกจะพบชั้นดินเหนียวแข็งมากสลับกับชั้นทรายไปเรื่อยๆ

การเจาะสำรวจดิน

ผู้วิจัยได้ดำเนินการเจาะสำรวจดิน จำนวน 1 หลุม ความลึก 15.45 เมตร (BH-1) ในการเจาะสำรวจได้ใช้เครื่องเจาะแบบ Percussion ซึ่งหัวเจาะมีขนาด 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และเพื่อป้องกันการพังของหลุมเจาะได้ใส่ท่อกรุกกันดินพัง (Steel Casing) ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร ในชั้นดินช่วงบนหรือในช่วงความลึกที่จำเป็นขณะเจาะสำรวจ สำหรับกระบวนการเจาะที่ใช้เป็นการเจาะแบบฉีดล้าง (Wash Boring)

การเก็บตัวอย่างดินทั่วไปจะเก็บทุกระยะความลึก 1.5 เมตร เพื่อให้ได้ข้อมูลที่ถูกต้องแน่นอน วิธีการในการเก็บตัวอย่างสำหรับโครงการนี้มีดังต่อไปนี้

- ชั้นดินเหนียวอ่อน (Soft clay) เก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอบอกบาง โดยเก็บทุกระยะความลึก 1.5 เมตร
- ชั้นดินเหนียวแข็ง (Stiff clay) เก็บตัวอย่างโดยใช้กระบอบอกผ่า โดยทำการเก็บทุกระยะความลึก 1.5 เมตร

การเก็บตัวอย่างดินที่ใช้แบ่งออกได้เป็น 2 ชนิด ตามอุปกรณ์การเก็บดังนี้

การเก็บด้วยกระบอบอกบาง (Shelby Tube Sampler) ลักษณะของกระบอบอกบางเป็นกระบอบอกเหล็กขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 7.1 ซม. ยาว 65 ซม. และหนาประมาณ 1.5 มม. กดลงในชั้นดินเหนียวที่มีค่า Consistency อยู่ในช่วง Very soft to stiff ด้วยระบบไฮดรอลิค ตัวอย่างดินลักษณะนี้เรียกว่า ตัวอย่างดินไม่ถูกรบกวน (Undisturbed sample) หลังจากเก็บตัวอย่างดินได้แล้วต้องปิดหัวท้ายกระบอบอกด้วยเทียนไขเพื่อป้องกันความชื้นระเหย แล้วขนย้ายไปห้องปฏิบัติการด้วยความระมัดระวัง และเก็บรักษาไว้ในที่ควบคุมความชื้น เพื่อทดสอบหาค่าแรงเฉือน (Shear Strength) และคุณสมบัติอื่นๆ ของดิน

การเก็บด้วยกระบอบอกผ่า (Split Spoon Sampler) ลักษณะกระบอบอกผ่าเป็นกระบอบอกเหล็กซึ่งผ่าออกเป็น 2 ซีก นำมาประกบกันไว้โดยมีเกลียวครอบหัวและท้ายกระบอบอก เมื่อเก็บตัวอย่างดินแล้วสามารถจะเปิดแยกเพื่อดูตัวอย่างดินได้ กระบอบอกผ่ามีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกและภายในเท่ากับ 5.0 ซม. และ 3.5 ซม. ตามลำดับ และยาว 69 ซม. การเก็บตัวอย่างดินแข็งหรือทรายจะทำหลังจากทำความสะอาดกันหลุมเจาะเรียบร้อยแล้ว โดยตอกลงไปในดินด้วยลูกตุ้ม

เหล็กหนัก 63.5 กิโลกรัม ระยะยกลูกตุ้ม 76.2 ซม. ลูกตุ้มเหล็กกระทบบนเป็นก้านนำส่ง จดบันทึกค่าการตอกทุกระยะจมลง 15 ซม. เป็นจำนวน 3 ระยะ ค่าการตอก 2 ระยะหลังรวมกัน เรียกว่า ค่า Standard Penetration Number การทดสอบวิธีนี้เรียกว่า การตอกทดลอง (Standard Penetration Test-SPT) ซึ่งสามารถนำไปวิเคราะห์หาความต้านทานของดิน (ตารางที่ ง.1) โดยการทดสอบนี้เป็นไปตามมาตรฐาน ASTM D 1586

ตารางที่ ง.1 ค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่า SPT-N กับ ϕ ของทราย และ S_{uc} ของดินเหนียว

SPT-N Blows (Blows/300 mm)	Relative density ดินทราย	Angle of internal friction (ϕ), (deg.)
0 - 4	Very Loose	< 28°
4 - 10	Loose	28° - 30°
10 - 30	Medium Dense	30° - 36°
30 - 50	Dense	36° - 41°
> 50	Very Dense	> 41°
SPT-N Blows (Blows/300 mm)	Consistency ดินเหนียว	Undrained shear strength S_{uc} , (kN/m ²)
< 2	Very Soft	< 15
2 - 4	Soft	15 - 25
4 - 8	Medium	25 - 50
8 - 15	Stiff	50 - 100
15 - 30	Very Stiff	100 - 200
> 30	Hard	> 200

การทดสอบในห้องปฏิบัติการ

การทดสอบตัวอย่างดินในห้องปฏิบัติการนี้ ประกอบด้วย การทดสอบหาคุณสมบัติทางกายภาพของดิน ซึ่งจะกระทำกับตัวอย่างดินที่เป็นตัวแทน (Representative Sample) ที่ได้จากขั้นตอนการเจาะสำรวจดิน ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการนี้ ใช้วิธีการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM โดยการทดสอบต่างๆ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 4.2

การทดสอบหาปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติ และขีดพิกัดแอดเตอร์เบอร์ก

ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติและขีดพิกัดแอดเตอร์เบอร์ก เป็นคุณสมบัติขั้นพื้นฐานที่สำคัญของดิน คุณสมบัติดังกล่าวจะขึ้นอยู่กับตัวแปรหลายชนิด อาทิเช่น ส่วนประกอบทางเคมี ความชื้นเหลว (Consistency) กำลังของดิน (Soil Strength) ประวัติความเค้น (Stress History) และลักษณะการยุบอัดตัวของมวลดิน เป็นต้น โดยเมื่อพิจารณาร่วมกับการกระจายขนาดของเม็ดดินแล้ว ค่าขีดพิกัดแอดเตอร์เบอร์กจะช่วยในการจำแนกดินชนิดมวลละเอียด และส่วนละเอียดของดินมวลหยาบ

การทดสอบหาขนาดเม็ดดิน

ขนาดของเม็ดดินมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งในกรณีดินมวลหยาบ เม็ดดินนั้นมีขนาดแตกต่างกันนับตั้งแต่ขนาดใหญ่กว่า 300 มิลลิเมตร ไปจนถึงขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร สามารถจำแนกชนิดของดินตามขนาดของเม็ดดินได้ดังนี้

- กรวดมนใหญ่ (Boulder) ขนาดใหญ่กว่า 300 มิลลิเมตร
- กรวดมนเล็ก (Cobble) ขนาด 75 มิลลิเมตร - 300 มิลลิเมตร
- กรวด (Gravel) ขนาด 4.75 มิลลิเมตร - 75 มิลลิเมตร
- ทราย (Sand) ขนาด 0.074 มิลลิเมตร - 4.75 มิลลิเมตร
- ทรายแป้ง (Silt) ขนาด 0.002 มิลลิเมตร - 0.074 มิลลิเมตร
- ดินเหนียว (Clay) ขนาดเล็กกว่า 0.002 มิลลิเมตร

มวลดินที่เม็ดขนาดใหญ่กว่า 0.074 มิลลิเมตร ขึ้นไป เป็นดินมวลหยาบ ซึ่งเสถียรภาพของมวลดินชนิดนี้จะขึ้นอยู่กับความเสียดทานของผิวเม็ดดิน เรียกดินมวลหยาบชนิดนี้ว่า ดินเสียดทาน โดยเป็นดินที่ไม่มีแรงเหนียวนำระหว่างผิวของเม็ดดิน การหาขนาดของเม็ดดินชนิดนี้ทำได้โดยการร่อนผ่านตะแกรง (Sieving) เบอร์ต่าง ๆ ซึ่งเรียงลำดับความละเอียดโดยตะแกรงละเอียดที่สุดไว้ข้างล่าง และหยาบที่สุดไว้ข้างบน

จากผลการทดสอบขีดพิกัดแอดเตอร์เบอร์กและขนาดเม็ดดิน สามารถนำไปใช้ในการจำแนกชนิดดินได้ โดยการจำแนกในการศึกษาค้นคว้าครั้งนี้อาศัยมาตรฐานของ Unified Soil Classification System ดังตารางที่ 3.5

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลดินรวม

ตัวอย่างดินถูกนำไปศึกษาน้ำหนักของมวลดินรวมซึ่งเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของดินโดยวิธีชั่งน้ำหนักและวัดขนาด โดยอาศัยหลักการ

$$\text{ความหนาแน่น} = \frac{\text{มวล}}{\text{ปริมาตร}} \quad (\text{ง.1})$$

การทดสอบแรงอัดแกนเดียว

การหาความต้านทานแรงเฉือนโดยวิธีทดสอบแรงอัดแกนเดียว เป็นแบบหนึ่งของวิธีทดสอบแรงอัดสามแกน โดยไม่มีความดันที่กระทำต่อผิวมวลดินด้านข้าง (Confining Pressure) ดังนั้นความต้านทานแรงเฉือนของมวลดินจะเกิดขึ้นเนื่องจากหน่วยแรงในแกนตั้ง (Axial Stress) เท่านั้น

วิธีการทดสอบตัวอย่างดินโดยไม่มีความดันกระทำต่อผิวมวลดินด้านข้างดังกล่าว ทำให้สภาพของดินตัวอย่างไม่เหมือนกับสภาพความเป็นจริงตามธรรมชาติของดิน ดังนั้น ผลการทดสอบความต้านทานแรงเฉือนของมวลดินจึงเป็นเพียงค่าประมาณเท่านั้น อย่างไรก็ตาม วิธีทดสอบแรงอัดแกนเดียวก็นิยมใช้กันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะตัวอย่างดินจำพวกดินเหนียว เพราะสามารถกระทำได้รวดเร็วและประหยัด

ค่าความต้านทานแรงเฉือนดินตัวอย่างจึงขึ้นอยู่กับสถานะภาพและปริมาณน้ำในมวลดิน หน่วยแรงเหนียวนำของมวลดิน (Cohesion) และค่าแรงเฉือนของดิน (Undrained Shear Strength) หาความต้านทานได้จากการทดสอบแรงอัดแกนเดียว โดยมีค่าประมาณครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength) ในดินสภาพอิ่มตัวและไม่มีน้ำไหลออกจากมวลดินขณะเฉือนดิน มุมเสียดทานภายในมวลดินจะมีค่าเท่ากับศูนย์ ดังนั้น

$$c = S_{uc} = \frac{q_u}{2} \quad (\text{ง.2})$$

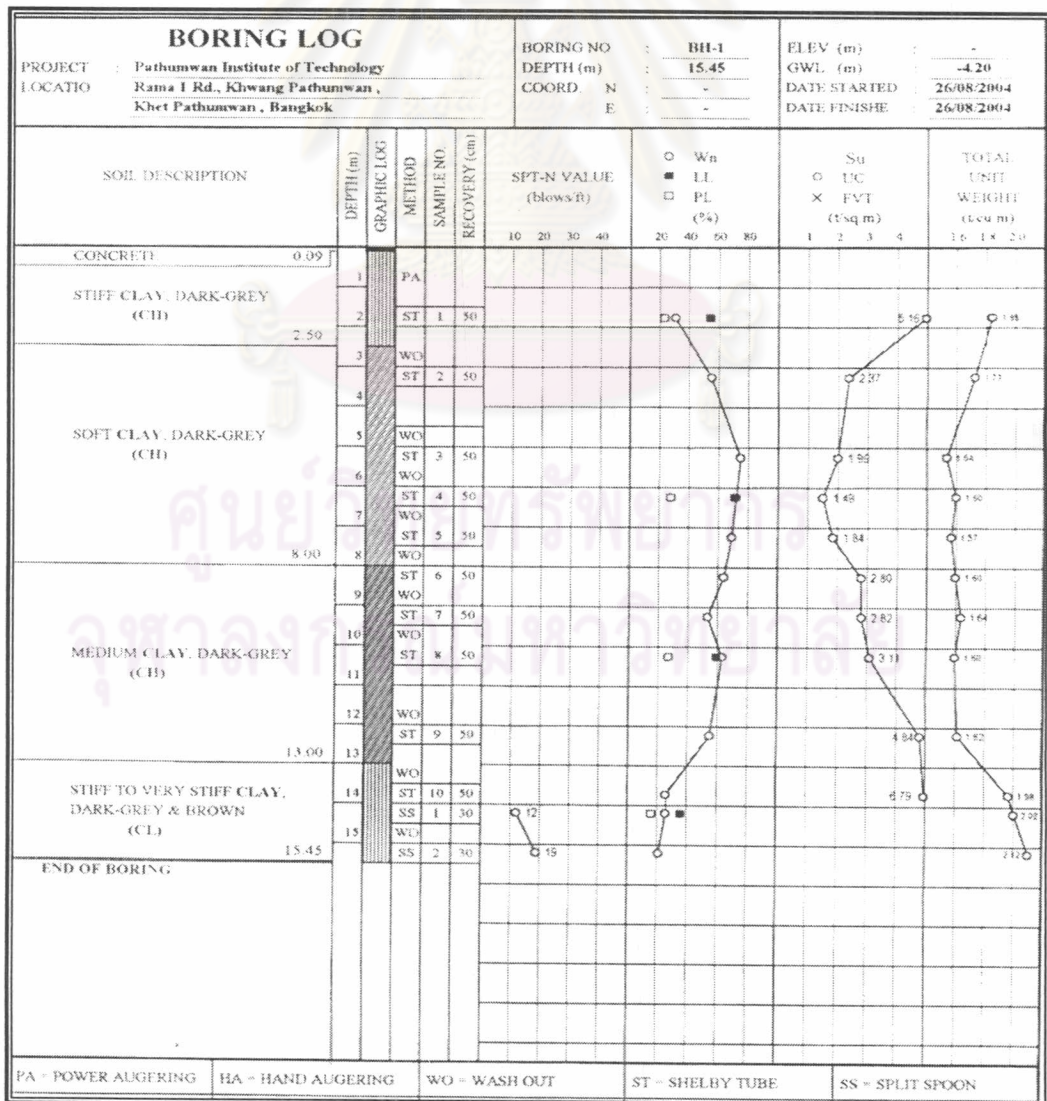
เมื่อ	c	=	หน่วยแรงเหนียวนำ (Cohesion)
	S_{uc}	=	ค่าแรงเฉือนของดินจาก Unconfined Compression Test
	q_u	=	หน่วยแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength)

หน่วยแรงเหนี่ยวนำที่ได้นี้จะมีความเท่ากับความต้านทานแรงเฉือนในสภาพที่ไม่มีน้ำไหลออกจากมวลดิน (Undrained Shear Strength, S_{uc}) ซึ่งมีความเหมาะสมในการนำมาใช้ในกรณีมวลดินบรรทุกน้ำหนักในช่วงระยะเวลาสั้น (Short Term) ของโครงสร้างขนาดเล็กบนชั้นดินเหนียว ซึ่งจะถูกพิจารณาว่าเป็นช่วงเวลาที่ดินมีความวิกฤตมากที่สุด

ผลการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

ข้อมูลผลการทดสอบดินถูกนำมาวิเคราะห์เพื่อศึกษาถึง การกระจายขนาดของเม็ดดิน ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติ และขีดจำกัดแอดเตอร์เบอร์ก หลังจากการรวบรวมและวิเคราะห์ข้อมูลแล้วนำมาผลมาสรุปและนำเสนอตั้งแสดงไว้ในตารางที่ ง.2 ผลการทดลองรวม

ตารางที่ ง.2 ผลการทดลองรวม



PA = POWER AUGERING HA = HAND AUGERING WO = WASH OUT ST = SHELBY TUBE SS = SPLIT SPOON

ลักษณะการเรียงลำดับชั้นดิน (Subsurface Stratigraphy)

ข้อมูลลักษณะการจัดเรียงตัวและคุณสมบัติของดินแต่ละชั้น (Borehole Logs and Soil Properties) ที่ได้จากการสำรวจจากหลุมเจาะ BH-1 ถูกนำมารวบรวมเข้ากับผลการทดสอบต่างๆ จากห้องปฏิบัติการ ตามที่แสดงไว้ในตารางที่ ง.3 โดยมีการจัดเรียงตัวจากบนลงล่าง ดังนี้

ตารางที่ ง.3 ข้อมูลลักษณะการจัดเรียงตัวและคุณสมบัติของดินแต่ละชั้น

ความลึก (ม.)	ชั้นดิน	ลักษณะที่พบ
0.00-0.09	Concrete	-
0.00-2.50	ดินเหนียวแข็ง (Stiff Clay Layer)	ดินเหนียวแข็ง มีค่าความต้านทานแรงเฉือนสูงปานกลาง
2.50-8.00	ดินเหนียวอ่อน (Soft Clay Layer)	ดินเหนียวอ่อน สีเทาอ่อนถึงเทาอมน้ำตาลอ่อน และเทาเข้ม ค่าความเป็นพลาสติกดีสูง มีเศษแตกหักของเปลือกหอยปะปนอยู่ในเนื้อดิน และดินมีค่าความต้านทานแรงเฉือนต่ำ
8.00-13.00	ดินเหนียวแข็งปานกลาง (Medium Stiff Clay Layer)	ดินเหนียวแข็งปานกลาง สีเทาอ่อนถึงเทาอมน้ำตาลอ่อน และเทาเข้ม ค่าความเป็นพลาสติกดีสูง และดินมีค่าความต้านทานแรงเฉือนปานกลาง
13.00-14.45	ดินเหนียวแข็งถึงแข็งมาก (First Stiff to Very Stiff Clay Layer)	ดินเหนียวปนทรายแป้งและทราย แข็งถึงแข็งมาก สีน้ำตาลอ่อนอมเทา และสีเทาอ่อนอมน้ำตาล มีค่าความเป็นพลาสติกดีปานกลางถึงสูง มีค่าความต้านทานแรงเฉือนค่อนข้างสูง

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดิน

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของชั้นดินที่ทำการสำรวจและทดสอบ พบว่า ปริมาณน้ำในมวลดินตามธรรมชาติมีค่าสูงในชั้นดินเหนียวอ่อนถึงแข็งปานกลาง แต่มีแนวโน้มที่จะลดลงตามความลึกในชั้นดินเหนียวแข็ง ค่าการตอกทดลอง (SPT) มีค่าสูงขึ้นเรื่อย ๆ ตามความลึก ดินที่พบในพื้นที่โครงการสามารถจำแนกตามมาตรฐาน USC (ตารางที่ 3.5) คือ ดินเหนียว ซึ่งสามารถจำแนกเป็น CL และ CH

โดยสรุปได้ว่า สภาพชั้นดินในโครงการนี้ แบ่งออกเป็น 4 ชั้นใหญ่ๆ เรียงจากบนลงล่าง ดังนี้ (1) ชั้นดินเหนียวแข็ง เป็นดินเหนียวสีน้ำตาลอมเทา หนาประมาณ 2.50 เมตร (2) ชั้นดินเหนียวอ่อน สีเทาถึงเทาอ่อน และน้ำตาลอมเทา หนาประมาณ 5.50 เมตร และพบเศษแตกหักของ

เปลือกหอยปะปนในเนื้อดิน (3) ชั้นดินเหนียวแข็งปานกลาง สีน้ำตาลอมเทาถึงเทาเข้ม มีความหนาเฉลี่ยประมาณ 5 เมตร (4) ชั้นดินเหนียวปนทรายแป้งและทรายแข็งถึงแข็งมาก สีเทาอ่อนและน้ำตาลอ่อนพบได้ตั้งแต่ความลึกเฉลี่ย 13.00 เมตร ลงไป จนกระทั่งสิ้นสุดความลึกของการเจาะสำรวจ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ประวัติผู้เขียนวิทยานิพนธ์

นาย ณัฐรินทร์ เลิศศรีมงคล เกิดเมื่อวันที่ 12 พฤษภาคม พ.ศ. 2519 ที่กรุงเทพมหานคร สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาบัณฑิตจาก คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหิดล เมื่อปี พ.ศ. 2542 และได้เข้าทำงานที่บริษัท พุทธรัตน์ก่อสร้าง จำกัด ในตำแหน่ง วิศวกร ในปีเดียวกัน จากนั้นได้ศึกษาต่อในระดับปริญญาโทบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชา วิศวกรรมสิ่งแวดล้อม จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปี พ.ศ. 2545



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย