

## รายการอ้างอิง

### ภาษาไทย

- กระทรวงอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 25 (พ.ศ.2531) ออกตามความในพระราชบัญญัติโรงงาน พ.ศ.2512 เรื่อง หน้าที่ของผู้รับใบอนุญาตประกอบกิจการโรงงาน. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2531.
- กรมโรงงานอุตสาหกรรม. ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม เรื่อง กำหนดวิธีการเก็บทำลายฤทธิ์กำจัด ฝังทิ้ง เคลื่อนย้ายและการขนส่งสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ฉบับที่ 1) พ.ศ. 2531. กระทรวงอุตสาหกรรม, 2531.
- จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, สถาบันวิจัยโลหะและวัสดุ. รายงานการศึกษาวิจัยโครงการกำจัดกากแร่สังกะสี. คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2512.
- นภมิต คินีมาน. การทำกากตะกอนโลหะหนักจากกระบวนการบำบัดน้ำเสียซีไอดีให้เป็นปุ๋ยด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอยลิกไนต์. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2538.
- บริษัทผาแดง อินดัสตรี จำกัด (มหาชน). การตกตะกอนเหล็กในรูปกากตะกอนจากรีไซท์. จังหวัดตาก, 2536. (อัตสำเนา)
- บุญยง โสฬังศ์วัฒน์. การจัดการของเสียอันตราย. เอกสารประกอบการเรียน วิชา ENV IND. TOXIC. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2536.
- จินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2529.

### ภาษาอังกฤษ

- American Society for Testing and Materials. Standard Test Method for Compressive Strength of Hydraulic Cement Mortars (Using 2-in. or 50-mm Cube Specimens. ASTM C 109-86. Annual Book of ASTM Standards, Section 4, Vol. 04.01, pp. 74-79, 1986.
- Bishop, P.L. Leaching of inorganic hazardous constituents from stabilized/solidified hazardous wastes. Hazardous Waste & Hazardous Materials 5 (1988): 129-143.
- Claudio, J.R. Solidification of metal finishing slurry with cement. Wat. Sci. Tech. 24 (1991): 193-200.

- Cléments, J.A., and Griffiths, C.M. Solidification process. In A. Porteous (ed.), Hazardous waste management handbook, pp. 146-166. London: Reader In Engineering Mechanics Theopen University, 1985.
- Cheng, K.Y., and Bishop, P. Metal distribution in solidified/stabilized waste forms after leaching. Hazardous Waste & Hazardous Materials. 9 (1992): 163-171.
- Fuessle, R.W. and Tayer, M.A. Comparison of fly ash versus silica fume stabilization : Long-term results. Hazardous Waste & Hazardous Materials. 11 (1994) : 289-298.
- Lea, F., and Desch, D. The chemistry of cement and concrete. New York: St. Martin's Press, 1956.
- Leangon, K. Solidification of hazardous waste by cement-based techniques. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, 1990.
- Neville, A.M. Properties of concrete. London: Pitman Publishing Ltd., 1981.
- Perket, C.L., and Webster, W.C. Literature review of batch laboratory leaching and extraction procedures. In R.A. Conway, and B.C. Malloy (eds.), Hazardous Solid Waste Testing: First Conference. ASTM STP 760, pp. 7-27. American Society for Testing and Materials, 1981.
- Pojasek, R.B. Solidification as an ultimate disposal option for hazardous wastes. In R.B. Pojasek (ed.), Toxic and hazardous waste disposal, pp. 1-7 Michigan: Ann Arbor Science, 1979.
- Poon, C.S., Peters, C.J., and Perry, R. Use of stabilization processes in the control of toxic waste. Effluent Water Treat. J. 23 (1983): 145-159.
- Rijal, S.P. Solidification of laboratory wastes using cementitious binders. Master's Thesis, Asian Institute of Technology, 1990.
- Schofield, J.T. Sealosafe<sup>SM</sup>. In R.B. Pojasek (ed.), Toxic and hazardous waste disposal, pp. 297-319. Michigan: Ann Arbor Science, 1979.
- Shin, H.S., Her, N.Y., and Koo, J.K. Design optimization for solidification of hazardous wastes. Hazardous Waste & Hazardous Materials 5 (1988): 239-250.
- \_\_\_\_\_, Koo, J.K., Kim, J.O. and Yoon, S.p. Leaching characteristics of heavy metal from solidified sludge under seawater conditions. Hazardous Waste & Hazardous Materials 7 (1990): 261-271.

- \_\_\_\_\_, and Sujjwatthana, P. Factors affecting solidification of hazardous materials. In R. Abbou (ed.), Hazardous Waste: Detection, Control, Treatment, pp. 1549-1560. Amsterdam: Elsevier Science Publishers B.V., 1988.
- Shively, W., Bishop, P., Gress, D., and Brown, T. Leaching test of heavy metals stabilized with portland cement. Journal WPCF, 58 (1986): 234-241.
- Shuckrow, A.J., Pajak, A.P., and Touhill, C.J. Hazardous waste Leachate management manual. Park Ridge, N.J.: Noyes Data Corporation, 1982.
- Sollars, C.J., and Perry, R. Cement-based stabilization of wastes: Practical and theoretical considerations. Journal of the Institution of Water and Environment Management 3 (1989): 125-131.
- Tay, J.H. Fixation of flyash from refuse incineration. Singapore: School of Civil & Structural Engineering Nanyong Technological Institute, 1990. (Mimeographed)
- Thompson, D.W., Malone, P.G., and Jones, L.W. Survey of available stabilization technology. In R.B. Pojasek (ed.), Toxic and hazardous waste disposal, pp. 9-12. Michigan: Ann Arbor Science, 1979.
- U.S. EPA. Code of federal regulations, 40, parts 260 to 299. Office of the Federal Register National Archives and Records Administration, 1992.
- Youn, J.H. Solidification of laboratory wastes by using ordinary portland cement and lime rice husk ash cement. Master'S Thesis, Asian Institute of Technology, 1990.

ภาคผนวก ก  
ข้อมูลผลการทดลอง

ตารางที่ ๘1 ผลวิเคราะห์สมบัติทางด้านกายภาพของกากตะกอนจาโรไฮด์

สมบัติทางด้านกายภาพ	กากตะกอนจาโรไฮด์แบบธรรมดา	กากตะกอนซิลิโคจาโรไฮด์
ปริมาณน้ำบรรจุ (ร้อยละ)	29	50
	29	51
	31	54
ความถ่วงจำเพาะ	3.19	2.59
	3.24	2.65
ขนาดอนุภาค ( $D_{50}$ ) (ไมครอน)	6.78	9.58
	6.41	26.3
ความหนาแน่นรวม (ตัน/ลบ.ม.)	1.79	1.51
	1.96	1.52
	2.07	1.56
กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว



ตารางที่ ๘2 ผลวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจาโรไซต์ด้วยวิธีการย่อยด้วยกรด

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอน (มิลลิกรัม/น้ำหนักกิโลกรัมแห้ง)	
	จาโรไซต์แบบธรรมดา	ซิลิโคจาโรไซต์
อาร์เซนิก	116	7
	125	6
	150	3
แคดเมียม	760	28
	470	25
	320	25
โครเมียม	53	42
	45	36
	52	42
ปรอท	20	4
	20	3
	20	4
ตะกั่ว	1,080	970
	1,240	990
	1,430	840
สังกะสี	24,100	3,670
	23,230	9,620
	24,000	3,670

ตารางที่ ๘3 ผลวิเคราะห์ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซต์ดิบ

ลักษณะสมบัติ	จาโรไซต์แบบธรรมดา	ซิลิโคจาโรไซต์
พีเอช	3.94	3.63
	3.3	3.43
อาร์เซนิก (มก./ล.)	nd	nd
	nd	nd
แคดเมียม (มก./ล.)	9.67	1.12
	8.52	2.12
โครเมียม (มก./ล.)	nd	nd
	nd	nd
ปรอท (มก./ล.)	nd	nd
	nd	nd
ตะกั่ว (มก./ล.)	2.42	0.37
	4.18	0.36
สังกะสี (มก./ล.)	27.5	113.4
	31.9	77.2

nd = not detected : อาร์เซนิก <0.01 มก./ล. ,โครเมียม <0.2 มก./ล. ,ปรอท <0.02 มก./ล.

\*ความเข้มข้นของโลหะหนักวิเคราะห์ด้วยเครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง

ตารางที่ ๘4 ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักที่ใช้ในการทำกากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดาให้เป็น  
ก้อนในการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ชนิดและสัดส่วน วัสดุประสาน	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)					น้ำต่อวัสดุ ประสาน
	ตะกอนดิบ	เนื้อตะกอน	น้ำในตะกอน	วัสดุประสาน	น้ำที่เติม	
<b>ปูนซีเมนต์</b>						
ร้อยละ 7 (5)	1,000	710	290	50	50	6.8
ร้อยละ 14 (10)	1,000	710	290	100	100	3.9
ร้อยละ 35 (25)	1,000	710	290	250	250	2.16
<b>ปูนขาว</b>						
ร้อยละ 7 (5)	1,000	710	290	50	50	6.8
ร้อยละ 14 (10)	1,000	710	290	100	100	3.9
ร้อยละ 35 (25)	1,000	710	290	250	250	2.16
<b>ปูนซีเมนต์ผสม ปูนขาว(1ต่อ 1)</b>						
ร้อยละ 7 (5)	1,000	710	290	50	50	6.8
ร้อยละ 14 (10)	1,000	710	290	100	100	3.9
ร้อยละ 35 (25)	1,000	710	290	250	250	2.16
<b>ปูนซีเมนต์ผสม กากแร่สังกะสี ซิลิกาต(1ต่อ1)</b>						
ร้อยละ 7 (5)	1,000	710	290	50	50	6.8
ร้อยละ 14 (10)	1,000	710	290	100	100	3.9
ร้อยละ 35 (25)	1,000	710	290	250	250	2.16

หมายเหตุ กากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดามีปริมาณน้ำบรรจุประมาณร้อยละ 29

ส่วนผสมใน ( ) เป็นค่าที่เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนเปียก

สำหรับการหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม. จำนวน 4 ก้อน



ตารางที่ ๘5 ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักที่ใช้ในการทำกากตะกอนซิลิโคจาโรไซด์ให้เป็นก้อน  
ในการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ชนิดและสัดส่วน วัสดุประสาน	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)					น้ำต่อวัสดุ ประสาน
	ตะกอนดิบ	เนื้อตะกอน	น้ำในตะกอน	วัสดุประสาน	น้ำที่เติม	
<b>ปูนซีเมนต์</b>						
ร้อยละ 5	1,000	600	400	30	30	14.3
ร้อยละ 10	1,000	600	400	60	60	7.7
ร้อยละ 25	1,000	600	400	150	150	3.7
<b>ปูนขาว</b>						
ร้อยละ 5	1,000	600	400	30	30	14.3
ร้อยละ 10	1,000	600	400	60	60	7.7
ร้อยละ 25	1,000	600	400	150	150	3.7
<b>ปูนซีเมนต์ผสม ปูนขาว(1ต่อ 1)</b>						
ร้อยละ 5	1,000	600	400	30	30	14.3
ร้อยละ 10	1,000	600	400	60	60	7.7
ร้อยละ 25	1,000	600	400	150	150	3.7

หมายเหตุ กากตะกอนซิลิโคจาโรไซด์ลดปริมาณน้ำบรรจุจากร้อยละ 50 เหลือประมาณร้อยละ 40  
สำหรับการหล่อก้อนตัวอย่างขนาด 5x5x5 ซม. จำนวน 4 ก้อน

ตารางที่ ๘6 ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักที่ใช้ในการทำกากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดาให้เป็น  
ก้อนด้วยปูนซีเมนต์ในการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ชนิดและสัดส่วน วัสดุประสาน	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)					น้ำต่อวัสดุ ประสาน
	ตะกอนดิบ	เนื้อตะกอน	น้ำในตะกอน	วัสดุประสาน	น้ำที่เติม	
ปูนซีเมนต์						
ร้อยละ 6 (4)	1,000	710	290	40	50	8.3
ร้อยละ 8 (6)	1,000	710	290	60	60	5.8
ร้อยละ 11 (8)	1,000	710	290	80	80	4.6
ร้อยละ 14 (10)	1,000	710	290	100	100	3.9

หมายเหตุ กากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดามีปริมาณน้ำบรรจุประมาณร้อยละ 29  
ส่วนผสมใน ( ) เป็นค่าที่เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนเปียก

ตารางที่ ๘7 ปริมาณส่วนผสมโดยน้ำหนักที่ใช้ในการทำกากตะกอนซิลิโคจาโรไซด์ให้เป็นก้อน  
ด้วยปูนซีเมนต์ในการทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

อัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์	สัดส่วนผสมโดยน้ำหนัก (กรัม)					น้ำต่อ ปูนซีเมนต์
	ตะกอนดิบ	เนื้อตะกอน	น้ำในตะกอน	วัสดุประสาน	น้ำที่เติม	
ปูนซีเมนต์ประเภทหนึ่ง						
ร้อยละ 10	1,000	600	400	60	60	7.66
ร้อยละ 15	1,000	600	400	90	90	5.44
ร้อยละ 18	1,000	600	400	108	108	4.7
ร้อยละ 20	1,000	600	400	120	120	4.33
ปูนซีเมนต์ประเภทห้า						
ร้อยละ 10	1,000	600	400	60	60	7.66
ร้อยละ 15	1,000	600	400	90	90	5.44
ร้อยละ 18	1,000	600	400	108	108	4.7
ร้อยละ 20	1,000	600	400	120	120	4.33

หมายเหตุ ลดปริมาณน้ำบรรจุของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซด์จากร้อยละ 50 เหลือประมาณ  
ร้อยละ 40

ตารางที่ ๘8 กำลังรับแรงอัดของกากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วย  
วัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ชนิดและสัดส่วน วัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)					
	ระยะเวลาบ่ม 14 วัน			ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ค่าเฉลี่ย
<b>ปูนซีเมนต์</b>						
ร้อยละ 7 (5)	4.8	5.6	5.2	9.6	6.8	8.2
ร้อยละ 14 (10)	21.2	25	23.1	24	24.4	24.2
ร้อยละ 35 (25)	49	47	48	60	68.8	64.4
<b>ปูนขาว</b>						
ร้อยละ 7 (5)	11.6	13	12.3	9.6	10.4	10
ร้อยละ 14 (10)	25	27.2	26.1	25	25.6	25.3
ร้อยละ 35 (25)	63	65	64	61	57	59
<b>ปูนซีเมนต์ผสม ปูนขาว(1ต่อ 1)</b>						
ร้อยละ 7 (5)	6	6.6	6.3	10	10.8	10.4
ร้อยละ 14 (10)	22.8	25	23.9	29.6	34	31.8
ร้อยละ 35 (25)	47	49	48	49.6	48	48.8
<b>ปูนซีเมนต์ผสม กากแร่สังกะสี ซิลิกา(1ต่อ1)</b>						
ร้อยละ 7 (5)	5.6	2.6	4.1	2.4	2	2.2
ร้อยละ 14 (10)	6.4	6	6.2	2	4	3
ร้อยละ 35 (25)	13	15.6	14.3	12.6	10	11.3

หมายเหตุ กากตะกอนจาโรไซต์แบบธรรมดามีปริมาณน้ำบรรจุประมาณร้อยละ 29  
ส่วนผสมใน ( ) เป็นค่าที่เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนเปียก

ตารางที่ ๘9 กำลังรับแรงอัดของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยวัสดุประสานชนิดต่างๆ จากการทดสอบสัดส่วนผสมเบื้องต้น

ชนิดและสัดส่วน วัสดุประสาน	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)					
	ระยะเวลาบ่ม 14 วัน			ระยะเวลาบ่ม 28 วัน		
	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ค่าเฉลี่ย	ก้อนที่ 1	ก้อนที่ 2	ค่าเฉลี่ย
<b>ปูนซีเมนต์</b>						
ร้อยละ 5	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว
ร้อยละ 10	2.8	3.2	3	4	4.4	4.2
ร้อยละ 25	22.8	25.6	24.2	35	36	35.5
<b>ปูนขาว</b>						
ร้อยละ 5	2	1	1.5	2	2	2
ร้อยละ 10	3	4	3.5	3	3	3
ร้อยละ 25	10	12	11	14	15	14.5
<b>ปูนซีเมนต์ผสม ปูนขาว(1ต่อ 1)</b>						
ร้อยละ 5	1	3	2	2.4	2	2.2
ร้อยละ 10	5	6	5.5	7	9	8
ร้อยละ 25	18	19	18.5	20.4	23.2	21.8

หมายเหตุ กากตะกอนซิลิโคจาโรไซต์ลดปริมาณน้ำบรรจุจากร้อยละ 50 เหลือประมาณร้อยละ 40

ตารางที่ ๘10 กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็น  
ก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งจากขั้นตอนการทดสอบสัดส่วนผสมที่  
เหมาะสมที่สุด

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกาก ตะกอน(ร้อยละ)เทียบกับน้ำหนักแห้ง	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
6	3.6	4	2.06	1.84
	6.4	6	1.94	1.80
8	12	11.6	1.94	1.94
	12	14	1.95	1.94
11	16.4	20.4	1.96	1.96
	19.2	22	1.94	1.90
14	28	32.4	1.99	2.0
	21.6	31.2	1.91	1.87

ตารางที่ ๘11 กำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นของกากตะกอนซิลิโคจาโรไซด์ที่ทำให้เป็นก้อน  
 ก้อนด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่งและประเภทห้าจากขั้นตอนการทดสอบ  
 สัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อกากตะกอน (ร้อยละ) เทียบกับน้ำหนักแห้ง	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)		ความหนาแน่น (ตัน/ลบ.ม.)	
	14 วัน	28 วัน	14 วัน	28 วัน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง				
10	2	3	1.58	1.58
	2	3	1.59	1.57
15	20	23.2	1.62	1.60
	19	23.6	1.62	1.62
18	23.6	25	1.67	1.66
	24.8	29	1.64	1.67
20	24	26.8	1.65	1.66
	25	29	1.67	1.62
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทห้า				
10	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	1.58	1.57
	ไม่แข็งตัว	ไม่แข็งตัว	1.57	1.57
15	17	19.6	1.58	1.58
	16	17	1.60	1.60
18	20	22	1.62	1.60
	22.8	22	1.59	1.60
20	23.6	24	1.61	1.60
	22	26	1.59	1.62

ตารางที่ ๗12 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไฮด์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณ ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ไมโครกรัม/ลิตร)											
			อาร์เซนิก		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว		สังกะสี	
	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน
6	10.60	10.05	15.8	38.3	<2	<2	20.7	18.1	<2	<2	480	19	12	7
	10.65	10.0	15.4	29.6	<2	<2	23	16.5	<2	<2	465	18.2	14.1	8
8	10.92	10.44	13.8	26.2	<2	<2	33.9	20.9	<2	<2	507	15.8	9.9	7.8
	10.95	10.53	12.2	17.3	<2	<2	39.2	28	<2	<2	492	16.1	8.7	7.4
11	11.29	10.53	12.8	16.4	<2	<2	25.3	22.5	<2	<2	412	18.4	10.2	6.4
	11.32	10.58	13.4	11.7	<2	<2	21.6	20.6	<2	<2	356	18	9.7	6.3
14	11.42	10.66	10.8	15.4	<2	<2	39.6	20.4	<2	<2	230	<5	10.4	6.4
	11.49	10.70	13.1	21.4	<2	<2	27.5	18	<2	<2	160	<5	10	6.4

ตารางที่ ๗13 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไฮด์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ในขั้นตอนทดสอบสัดส่วนผสมที่เหมาะสมที่สุด

ปริมาณ ปูนซีเมนต์ (ร้อยละ)	พีเอช		ความเข้มข้นของโลหะหนัก (ไมโครกรัม/ลิตร)											
			อาร์เซนิก		แคดเมียม		โครเมียม		ปรอท		ตะกั่ว		สังกะสี	
	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน	1วัน	14วัน
10	10.69	10.54	4	2.9	<2	<2	228	21.7	<2	<2	<5	<5	18.6	10.3
	10.73	10.49	3.5	2.1	<2	<2	215	16.2	<2	<2	<5	<5	20.8	9.9
15	11.32	10.94	<2	<2	<2	<2	186	12.3	<2	<2	<5	<5	17	8.3
	11.32	10.99	<2	<2	<2	<2	201	11.1	<2	<2	<5	<5	24.5	9.8
18	11.40	11.24	<2	<2	<2	<2	80	71.5	<2	<2	<5	<5	14.5	13.7
	11.35	11.28	<2	<2	<2	<2	52	89.1	<2	<2	<5	<5	9.3	13.9
20	11.43	11.36	<2	<2	<2	<2	95.7	80.3	<2	<2	<5	<5	12.1	15.2
	11.47	11.34	<2	<2	<2	<2	55	48.4	<2	<2	<5	<5	17.8	13.4



ตารางที่ ๘14 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อน  
ด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 11 ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มคก./ล.)					
		อาร์เซนิก	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
1	11.35	14.9	<2	70.5	<2	321	9.6
	11.34	15.9	<2	73	<2	288	10.4
	11.34	15.3	<2	68.4	<2	350	12.5
7	11.13	12.9	<2	46.2	<2	56.8	6.4
	11.11	11.7	<2	41.8	<2	62.5	6.5
	11.13	11.2	<2	41	<2	45.3	5
28	10.39	26.2	<2	22	<2	5.1	5.2
	10.48	17.3	<2	21.4	<2	11.8	6.9
	10.42	29.6	<2	21.1	<2	<5	5.5
90	9.95	83.5	<2	8.1	<2	<5	6.7
	9.91	53.6	<2	13.2	<2	<5	6.8
	9.70	62.9	<2	7.5	<2	<5	6.4



ตารางที่ ๘15 ลักษณะสมบัติของน้ำสกัดจากกากตะกอนซิลิโคจาโรไซด์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วย  
ปูนซีเมนต์ร้อยละ 15 ที่ระยะเวลาบ่มต่างๆ

ระยะเวลาบ่ม (วัน)	พีเอช	ความเข้มข้นของโลหะหนัก (มกก./ล.)					
		อาร์เซนิก	แคดเมียม	โครเมียม	ปรอท	ตะกั่ว	สังกะสี
1	11.35	<2	<2	139.7	<2	<5	10.0
	11.36	<2	<2	144.1	<2	<5	12.2
	11.35	<2	<2	108.9	<2	<5	8.6
7	11.29	<2	<2	114.4	<2	<5	7.9
	11.32	<2	<2	109	<2	<5	7.3
	11.28	<2	<2	110.4	<2	<5	8.8
28	11.11	<2	<2	91.3	<2	<5	6.3
	11.20	<2	<2	80	<2	<5	7.0
	11.14	<2	<2	91.2	<2	<5	8.6
90	10.97	<2	<2	89.1	<2	<5	8.3
	11.15	<2	<2	86.4	<2	<5	7.6
	11.07	<2	<2	88.8	<2	<5	11

ตารางที่ ๘16 ลักษณะน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็น  
ก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10

ระยะเวลา (วัน)	ลักษณะน้ำชะละลาย			
	อัตราไหล (ลิตร/วัน)	ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก./ล.)
0	0	0	9.75	-
1	6.3	6.3	9.73	76
7	5.8	37.4	9.63	70
14	6.2	83.1	9.98	86
21	7.6	138.6	9.81	58
28	7.6	191.8	9.51	70
35	7.6	254.7	9.32	54
42	6	310.3	9.07	-
48	6	354.9	9.04	50
55	5	407.8	8.78	65
63	6.4	436.5	8.89	52
69	5.4	469.9	8.93	52
77	4.5	502.4	8.75	62
83	5.9	523.9	8.71	58
90	7.1	558.9	8.62	64

ตารางที่ ๘17 ลักษณะน้ำชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนซิลิโคจาไรโซดที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10

ระยะเวลา (วัน)	ลักษณะน้ำชะละลาย			
	อัตราไหล (ลิตร/วัน)	ปริมาณน้ำสะสม (ลิตร)	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก./ล.)
0	0	0	9.66	-
1	6.5	6.5	9.90	134
7	5.5	38	10.0	136
14	6.1	82.8	9.94	112
21	7.6	134	9.72	90
28	6.5	187.2	9.58	88
35	7	248.7	9.51	70
42	6	296.5	9.26	-
48	7.6	333.7	9.20	66
55	6.4	386.5	8.88	60
63	5.3	435.5	8.64	60
69	5	465.5	8.65	68
77	6.4	492	8.63	50
83	5.6	528.6	8.59	86
90	6	561.6	8.37	66

ตารางที่ ๑๘ ลักษณะน้ำชะละลายในคอลัมน์ควบคุม

ระยะเวลา (วัน)	ลักษณะน้ำชะละลาย	
	พีเอช	ความเป็นด่าง (มก./ล.)
0	6.95	-
1	6.28	26
7	6.76	30
14	6.53	22
21	6.59	40
28	6.79	44
35	6.81	32
42	7.09	-
48	6.8	32
55	6.58	32
63	6.82	30
69	6.98	36
77	7.36	40
83	6.83	36
90	6.46	28

ตารางที่ ๘19 ผลการวิเคราะห์ปริมาณโลหะหนักในกากตะกอนจาโรไซด์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วย  
ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในการทดสอบการชะละลายในคอลัมน์

โลหะหนัก	ปริมาณโลหะหนัก(มิลลิกรัม)ในกาก ตะกอนจาโรไซด์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อน หนัก 1,630 กรัม	ปริมาณโลหะหนัก(มิลลิกรัม)ในกาก ตะกอนซิลิโคจาโรไซด์ที่ทำให้เป็นก้อน หนัก 1,320 กรัม
อาร์เซนิก	9.24	821.6
	10.3	929
แคดเมียม	270.58	14.12
	273.84	14.26
โครเมียม	10.6	27.32
	37.16	19.8
ปรอท	3.04	19.1
	2.23	20
ตะกั่ว	573.76	367.22
	528.12	337.66
สังกะสี	44,547.9	4,956.6
	49,926.9	4,536.84

ภาคผนวก ข

ตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนผสมที่โลหะหนักถูกชะละลายในคอลัมน์  
ของกากตะกอนจาโรไซด์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์  
ในขั้นตอนการทดสอบการชะละลายในระยะยาว

### การคำนวณสัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย

ในที่นี้ จะยกตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลายในคอลัมน์ของกากตะกอนจาโรไฮด์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์ร้อยละ 10 โดยมีสูตรคำนวณดังนี้

$$\text{สัดส่วนสะสมที่โลหะหนักถูกชะละลาย} = \text{SUM } a_n / A_0$$

$\text{SUM } a_n$  = ปริมาณโลหะหนักที่ถูกชะละลายออกมาในช่วงเวลา  $n$

$A_0$  = ปริมาณโลหะหนักที่เป็นองค์ประกอบอยู่ทั้งหมดในตัวอย่าง

การคำนวณหา  $\text{SUM } a_n$  สามารถหาได้จากพื้นที่ใต้กราฟที่พล็อตระหว่างความเข้มข้นของโลหะหนักในน้ำชะละลาย กับปริมาตรน้ำชะละลายในช่วงระยะเวลา  $n$

ในที่นี้ จะยกตัวอย่างการคำนวณสัดส่วนสะสมที่อาร์เซนิกถูกชะละลายในช่วงระยะเวลา 90 วัน

ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลายออกมาในเวลา 1 วัน

= (ความเข้มข้นของอาร์เซนิกที่เวลาเริ่มต้น + ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 1) / 2 × ปริมาตรน้ำชะละลาย 1 วัน

ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลายออกมาในเวลา 7 วัน

= ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลาย 1 วัน + (ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 1 + ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 7) / 2 × ปริมาตรน้ำชะละลายสะสมตั้งแต่วันที่ 2 ถึงวันที่ 7

ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลายออกมาในเวลา 14 วัน

= ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลาย 7 วัน + (ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 7 + ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 14) / 2 × ปริมาตรน้ำชะละลายสะสมตั้งแต่วันที่ 8 ถึงวันที่ 14 )

ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลายออกมาในเวลา 28 วัน

= ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลาย 14 วัน + (ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 14 + ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 28) / 2 × ปริมาตรน้ำชะละลายสะสมตั้งแต่วันที่ 15 ถึงวันที่ 28 )

ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลายออกมาในเวลา 63 วัน

= ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลาย 28 วัน + (ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 28 + ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 63) / 2 × ปริมาตรน้ำชะละลายสะสมตั้งแต่วันที่ 29 ถึงวันที่ 63 )



ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลายออกมาในเวลา 90 วัน

= ปริมาณที่อาร์เซนิกถูกชะละลาย 63 วัน + ( ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 63+ ความเข้มข้นของอาร์เซนิกวันที่ 90)/2 x ปริมาณน้ำชะละลายสะสมตั้งแต่วันที่ 64 ถึงวันที่ 90 )

โดยใช้ข้อมูลจากตารางที่ 5.19 ( $A_0 = 875.31$  มก.) และจากตารางที่ ๘16 สามารถคำนวณสัดส่วนสะสมที่อาร์เซนิกถูกชะละลายในช่วงเวลา 90 วัน ผลการคำนวณแสดงดังตารางที่ ๘20

ตารางที่ ๘20 ผลคำนวณสัดส่วนสะสมที่อาร์เซนิกถูกชะละลายในช่วงระยะเวลา 90 วัน

ช่วงเวลา (วัน)	SUM $a_n$ (มคก.)	SUM $a_n/A_0$ (มคก./มก.)
1	377.7	0.43
7	1,879.8	2.15
14	2,873.8	3.29
28	5,085.8	5.82
63	7,644	8.74
90	9,051.6	10.35

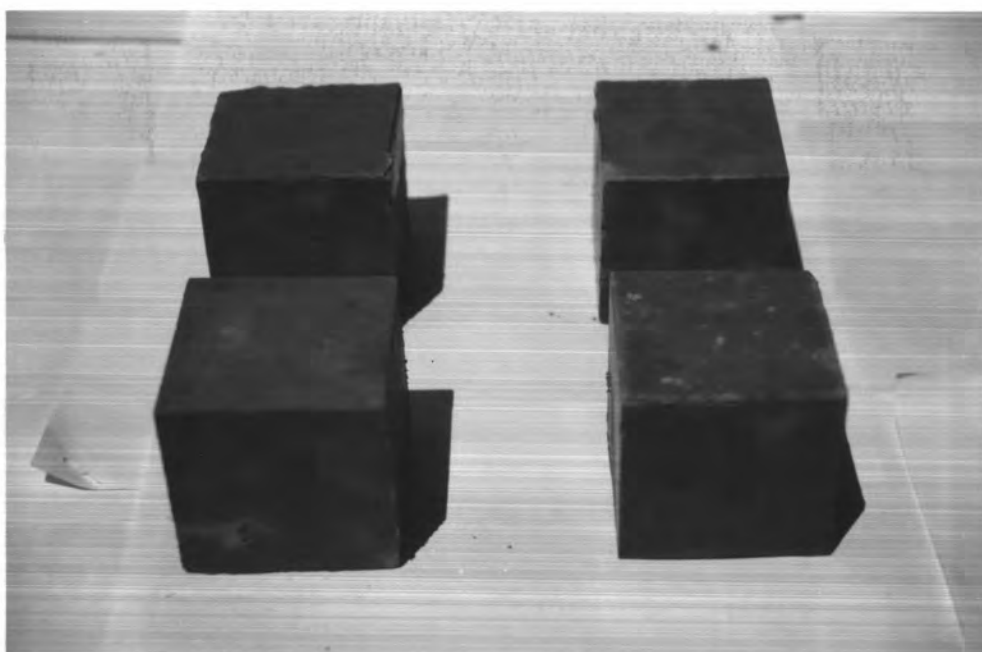
ภาคผนวก ค  
ภาพถ่ายก่อนตัวอย่าง



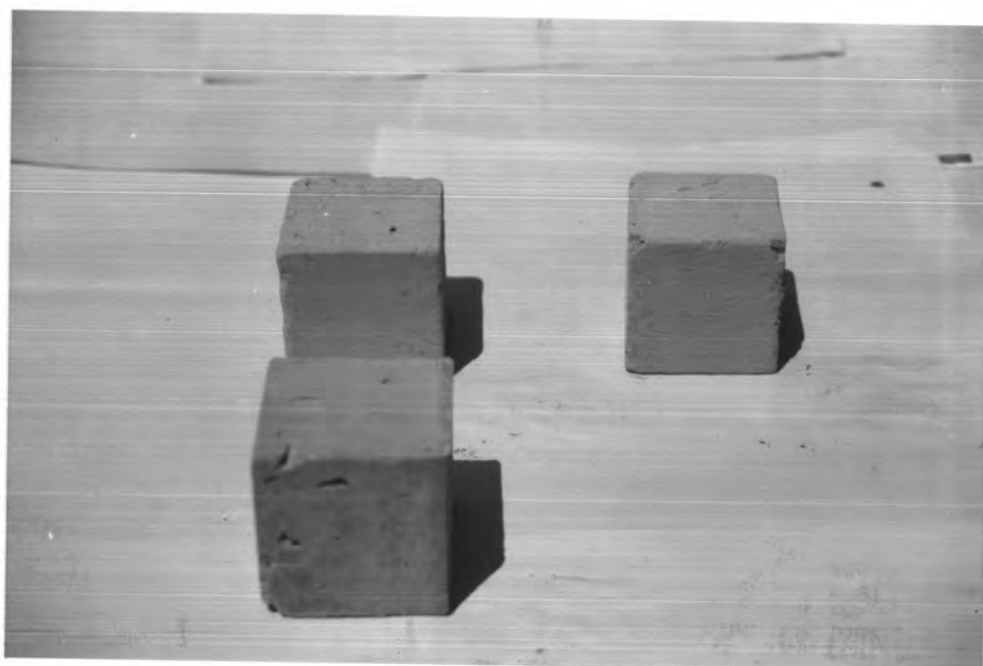
รูปที่ ๘1 กากตะกอนจาโรไฮด์แบบธรรมดา



รูปที่ ๘2 กากตะกอนซิลิโคจาโรไฮด์



รูปที่ ๘3 กากตะกอนจาโรไฮด์แบบธรรมดาที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์  
ร้อยละ 11 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง



รูปที่ ๘4 กากตะกอนซิลิโคจาโรไฮด์ที่ทำให้เป็นก้อนด้วยปูนซีเมนต์  
ร้อยละ 15 เทียบกับน้ำหนักกากตะกอนแห้ง

ภาคผนวก ง  
วิธีมาตรฐานที่ใช้ในการวิเคราะห์

Compressive Strength of Hydraulic Cement มอร์ตาร์  
(Using 2 in or 50 mm cube specimens) ASTM C109 - 86

วัตถุประสงค์

เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์โดยใช้แบบหล่อแห้งตัวอย่างขนาดลูกบาศก์ 2 นิ้ว หรือ 50 มม.

อุปกรณ์

1. เครื่องชั่ง 2000 กรัม อ่านได้ละเอียด 0.2 กรัม
2. กระบอกลดแรงดัน 500 มิลลิลิตร อ่านได้ละเอียด 10 มิลลิลิตร และ 500 มิลลิลิตร อ่านได้ละเอียด 25 มิลลิลิตร
3. แบบหล่อตัวอย่างขนาดลูกบาศก์ 2 นิ้ว หรือ 50 มม.
4. เครื่องผสมตามมาตรฐาน C305
5. อุปกรณ์ flow table ตามมาตรฐาน C 230
6. Tamper ทำด้วยยางแข็ง หรือไม้โอ๊ก(OAK)ที่แช่ในพาราฟินประมาณ 15 นาที ที่อุณหภูมิ 200° C มีขนาดหน้าตัด 1/2 x 1 นิ้ว มีความยาว 5-6 นิ้ว ปลายตัดเรียบตั้งฉากกับแกนจับ
7. เครื่องเหล็กมีน้ำหนักข้างของใบ 4-6 นิ้ว
8. Testing Machine มีความถูกต้องในการอ่านค่าแรงที่กดได้  $\pm 1\%$  ของค่าแรงสูงสุด

ทราย

ตามมาตรฐาน C778

อุณหภูมิและความชื้น

1. อุณหภูมิของอุปกรณ์และบริเวณที่จะทำการทดสอบอยู่ในช่วง 20-27.5° C
2. อุณหภูมิของน้ำใช้ในการผสมมอร์ตาร์  $23 \pm 1.7^{\circ} \text{C}$

3. ความชื้นสัมพัทธ์ในขณะเตรียมตัวอย่างต้องไม่น้อยกว่า 50 %
4. ความชื้นสัมพัทธ์ของที่ปมตัวอย่างไม่น้อยกว่า 95 %

จำนวนตัวอย่างที่ใช้อย่างน้อย 3 ตัวอย่างในการทดสอบแต่ละครั้ง

การเตรียมแบบหล่อตัวอย่าง

1. ทาน้ำมันยาง ๆ ที่ผิวด้านในของแบบหล่อกับฐาน
2. ทาน้ำมันชนิดชั้นหรือจารบีระหว่างตัวแบบหล่อกับฐาน
3. เช็ดน้ำมันส่วนเกินออกจากแบบหล่อ
4. ใช้จารบีทารอยต่อระหว่างแบบหล่อกับฐานที่ด้านนอก

วิธีการทดสอบ

#### 1. องค์ประกอบของมอร์ตาร์

ประกอบด้วยอัตราส่วนซีเมนต์ต่อทราย 1:2.75 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ 0.485 สำหรับซีเมนต์ปกติ และ 0.460 สำหรับซีเมนต์กระจายฟองอากาศโดยจะควบคุมค่า Flow จาก Flow table ให้อยู่ระหว่าง  $110 \pm 5$

#### 2. การทดสอบก่อนตัวอย่าง

ปล่อยให้มอร์ตาร์ทิ้งไว้เป็นเวลา 90 วินาที หลังจากผสมแล้ว และใน 15 วินาทีสุดท้ายให้ปาดมอร์ตาร์ที่ติดอยู่ขอบ ๆ ด้วยผสมลงและหมุนเครื่องผสมต่อไปอีก 15 วินาที ด้วยความเร็วรอบปานกลาง หลังจากนั้นถอดใบกวนที่ใช้ในการผสม ออกพร้อมกับเขย่าให้ มอร์ตาร์ ที่ติดอยู่กับใบกวนลงไปไปด้วยผสม

การหล่อตัวอย่างต้องหล่อให้เสร็จภายในเวลาไม่เกิน 2 นาที และ 30 วินาที หลังจากผสมเสร็จ การหล่อจะแบ่งเป็น 2 ชั้น โดยชั้นแรกจะหนาประมาณ 1 นิ้ว หรือ 25 มม. แล้วใช้ Tamper กระทุ้งชั้นละ 16 ครั้ง โดย 8 ครั้ง แรกจะมีทิศทางตั้งฉากกับ 8 ครั้งหลัง ให้ใช้แรงกระทุ้งพอประมาณและเท่ากันตลอด การเติมมอร์ตาร์ชั้นที่ 2 ให้เลยขอบแบบหล่อเล็กน้อยและใช้มือป้องขณะกระทุ้งเช่นเดียวกับชั้นแรก เมื่อเสร็จแล้วให้ใช้เกรียงปาดมอร์ตาร์ส่วนเกินออกในลักษณะคล้ายเลื่อย

### 3. การบ่มตัวอย่าง

หลังจากหล่อเสร็จให้นำตัวอย่างพร้อมแบบหล่อเก็บไว้ในที่ชื้นทันที และถอดแบบในเวลา 20-24 ชม. หลังจาก 24 ชม. แล้วให้แช่ตัวอย่างในสารละลาย Saturated lime water ยกเว้นในกรณีจะทดสอบที่ 24 ชม. และการควบคุมอุณหภูมิของสารละลายให้อยู่ระหว่าง  $23 \pm 1.7$  องศาเซลเซียส

### 4. การหาค่ากำลังรับแรงอัด

ให้กระทำในช่วงเวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้

เวลาที่ทดสอบ	ช่วงเวลาคลาดเคลื่อนที่ยอมรับได้
1 วัน	$\pm 1/2$ ชม.
3 วัน	$\pm 1$ ชม.
7 วัน	$\pm 3$ ชม.
28 วัน	$\pm 12$ ชม.

นำก้อนตัวอย่างที่จะทดสอบ วัดพื้นที่หน้าตัดที่จะให้แรงกด โดยใช้ด้านที่สัมผัสกับแบบหล่อ เซตผิวหน้าทั้ง 2 ด้าน ให้สะอาดปราศจากเม็ดทราย การให้แรงกดผิวหน้าของเครื่องมือทั้ง 2 ด้านที่สัมผัสกับก้อนตัวอย่างจะต้องเรียบและมี ball ติดตั้งอยู่ด้านบนของ Top Plate ในการให้แรงกดกับแท่งตัวอย่าง จะต้องอยู่ในแนวศูนย์กลางของเครื่องโดยเวลาที่ใช้ในการทดสอบควรอยู่ในเวลา 20-80 วินาที

### 5. การคำนวณ

บันทึกค่าแรงกดสูงสุดจากเครื่องกด และคำนวณในค่าของ psi โดยให้คำนวณความละเอียดถึง 10 psi

แท่งตัวอย่างที่ไม่สมบูรณ์ในการทดสอบแต่ละครั้งหากมีผลการทดสอบของแท่งตัวอย่างใดที่มีค่าเบี่ยงเบนเกินกว่า 10% ของค่าเฉลี่ย ควรตัดผลการทดสอบนั้นออกและนำแท่งใหม่มาวัดแทน



## Specific gravity of soils ASTM D 854-58

คำจำกัดความ

ความถ่วงจำเพาะของวัตถุใดๆ คือ อัตราส่วนของน้ำหนักในอากาศของเนื้อวัตถุนั้น ต่อน้ำหนักน้ำที่อุณหภูมิ 4 องศาเซลเซียส ที่มีปริมาตรเท่ากับวัตถุนั้น

อุปกรณ์1. ขวดหาความถ่วงจำเพาะ

ขวดวัดปริมาตรขนาดอย่างน้อย 100 มิลลิลิตรหรือขวดจุกแก้วขนาดอย่างน้อย 50

มิลลิลิตร

2. เครื่องชั่งน้ำหนัก

อ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัมเมื่อใช้ขวดวัดปริมาตร หรือ 0.001 กรัมเมื่อใช้ขวดจุก

แก้ว

การหาค่าสำหรับหาน้ำหนักน้ำและขวดที่อุณหภูมิต่างๆ

1. ล้างขวดวัดปริมาตรให้สะอาด เติมน้ำกลั่นลงไปจนถึงขีดที่คอ
2. ต้มไล่ฟองอากาศหรือดูดโดยปั๊มสุญญากาศประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด
3. เติมน้ำ ปรับระดับน้ำจนเสมอระดับที่คอขวดพอดี เช็ดภายนอกขวดให้แห้งแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

ไปชั่งน้ำหนัก

4. วัดอุณหภูมิของน้ำภายในขวด
5. ทำเช่นเดียวกับข้อ 3 และ 4 โดยให้ความร้อนหรือทำให้เย็นลงในช่วงอุณหภูมิที่ใช้

งานประมาณ 4-5 จุด

6. เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักขวดที่มีน้ำเต็ม และอุณหภูมิ

ตัวอย่างดิน

1. น้ำหนักดินอบแห้งอย่างน้อย 25 กรัม

2. ดินที่มีความชื้นตามธรรมชาติ
3. ดินอบแห้ง

#### วิธีการทดลอง

1. นำตัวอย่างที่ทราบน้ำหนักใส่ในขวดวัดปริมาตร เติมน้ำกลั่นลงไปประมาณ 3 ใน 4 ของปริมาตรขวด
2. ไล่ฟองอากาศโดยตัมหรือดูดด้วยปั๊มสุญญากาศประมาณ 10 นาที จนฟองอากาศหมด แล้วปล่อยให้เย็นลงถึงอุณหภูมิห้อง
3. เติมน้ำกลั่นให้เต็มถึงขีด เช็ดขวดภายนอกให้แห้ง นำไปชั่งน้ำหนักและวัดอุณหภูมิของน้ำดินในขวด

#### การคำนวณผลการทดลอง

$$\text{ความถ่วงจำเพาะ, } T_x / T_x = W_o / ( W_o + ( W_w - W_o ) )$$

$W_o$  = น้ำหนักของดินอบแห้ง , กรัม

$W_w$  = น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่เติมน้ำ ที่อุณหภูมิ  $T_x$  , กรัม

$W_b$  = น้ำหนักของขวดวัดปริมาตรที่เติมน้ำและดิน ที่อุณหภูมิ  $T_x$  , กรัม

$T_x$  = อุณหภูมิของส่วนประกอบขวดวัดปริมาตรเมื่อ  $W_o$  ถูกหา , องศาเซลเซียส

## Particle-size analysis of soils ASTM D422-63

บทนำ

การหาขนาดและการกระจายของเม็ดดิน อาจทำได้ด้วยกันหลายวิธี แต่ที่ใช้กันแพร่หลายคือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่างๆกัน มักใช้กับดินที่มีขนาดใหญ่กว่า 0.075 มม. วิธีตกตะกอนโดยใช้ไฮโดรมิเตอร์วัดการตกตะกอน เหมาะสำหรับเม็ดดินขนาด 0.2 มม. ถึง 0.0002 มม. ทั้งสองวิธีดังกล่าวอาจใช้ร่วมกันในการวิเคราะห์ขนาดตัวอย่างเดียวกันได้

วิธีการทดลอง

## 1. วิธีร่อนผ่านตะแกรง

น้ำหนักดินแห้งที่จะพอดีใช้ในการทดลองขึ้นอยู่กับขนาดของเม็ดที่ใหญ่ที่สุด ดังต่อไปนี้

ขนาดเม็ดใหญ่สุด นิ้ว (มิลลิเมตร)	น้ำหนักตัวอย่างดินอย่างน้อย (กรัม)
3/8 (9.5)	500
3/4 (19.0)	1000
1 (25.4)	2000
1 1/2 (38.1)	3000
2 (50.8)	4000
3 (76.2)	5000

1.1 ชั่งตะแกรงทุกขนาดที่ใช้ โดยตาชั่งอ่านได้ถึง 0.1 กรัม โดยตะแกรงชุดหนึ่งไม่เกิน 7 ใบ โดยมีขนาดละเอียดถึงเบอร์ 200 อยู่ด้วยทุกครั้ง

1.2 ในกรณีที่ตัวอย่างดินเกาะเป็นก้อนใหญ่ให้ทุบด้วยมืออย่าง

1.3 นำตัวอย่างดินที่อบชั่งน้ำหนักแล้ว ใส่ลงในตะแกรงที่เรียงลำดับจากหยาบไปละเอียด โดยมีฝาปิดด้านบนและมีภาตรองด้านล่าง นำไปเข้าเครื่องเขย่า 10 นาที

1.4 ชั่งทั้งดินที่ค้างอยู่ในตะแกรงรวมทั้งน้ำหนักตะแกรง แล้วนำไปคำนวณหาร้อยละของเม็ดดินที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ

## 2. วิธีตกตะกอน

2.1 นำตัวอย่างดินแห้งประมาณ 50 กรัมผสมน้ำกลั่นและน้ำยา dispersing agent จนได้น้ำผสมประมาณ 300 - 500 ลบ.ซม.

2.2 บั่นกวนผสมประมาณ 10 นาที เพื่อให้เม็ดดินที่จับกันแยกออกจากกัน แล้วเทลงในกระบอกตวง ใช้น้ำกลั่นฉีดล้างเศษดินจากเครื่องผสมลงให้หมด เติมน้ำให้ได้ระดับ 1000 ลบ.ซม.

2.3 ใส่น้ำกลั่นในกระบอกตวงไว้ข้างๆ อีกหนึ่งกระบอก เพื่ออ่านค่าปรับแก้เนื่อง จากอุณหภูมิ

2.4 ใช้จุกยางปิดปากกระบอกตกตะกอน เขย่าส่วนผสมให้เข้ากันแล้ววางลง เริ่มจับ เวลาทันที

2.5 หย่อนไฮโดรมิเตอร์ไปอ่านค่า ที่เวลา 0.25, 5, 1 และ 2 นาที โดยไม่ยก ไฮโดรมิเตอร์ออกจนกระทั่ง 2 นาที ให้ยกไฮโดรมิเตอร์ออกแล้วเขย่ากระบอกใหม่

2.6 วางกระบอกให้เกิดการตกตะกอนอีกครั้ง แล้วอ่านค่าที่ 2.5, 10, 20.... จนได้ค่า ประมาณ 8-15 ซีด และบันทึกอุณหภูมิไว้ด้วย

2.7 เมื่อทดลองเสร็จ เทส่วนผสมลงในถาด นำเข้าเตาอบเพื่อหาน้ำหนักดินแห้งที่แน่นอนอีกครั้ง

### การคำนวณผล

#### 1. การร่อนผ่านตะแกรง

ร้อยละของดินที่ค้างบนตะแกรง =  $\frac{\text{น้ำหนักดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักดินทั้งหมด}} \times 100$

ร้อยละค้ำสะสม = ผลบวกสะสมของร้อยละของดินที่ค้างบนตะแกรงที่หยาบกว่า  
 ร้อยละของดินที่ผ่านตะแกรง(% finer) =  $100 - \text{ร้อยละค้ำสะสม}$

#### 2. การตกตะกอน

2.1 ขนาดของเม็ดดิน (D) =  $k_2 \sqrt{L/t}$

$k_2$  = ค่าคงที่

L = ระยะตกตะกอน (ซม.)

t = เวลาในการตกตะกอน (นาที)

## 2.2 ร้อยละของดินที่มีขนาดเล็กกว่า (%finer)

$$\%F = 100/W_s (G/G-1) R_c$$

$W_s$  = น้ำหนักดินแห้งในส่วนผสม (กรัม)

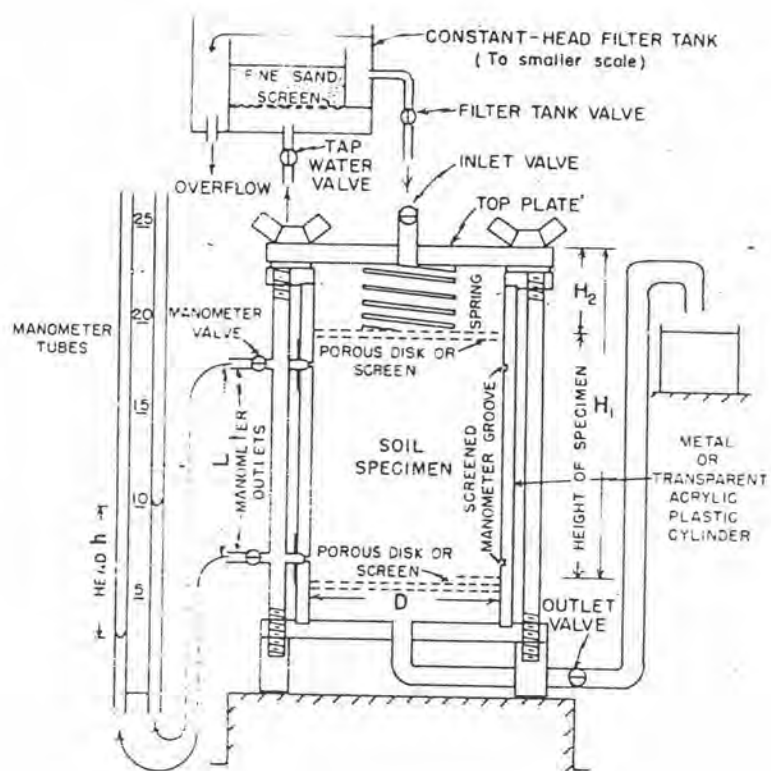
$R_c$  = ค่าที่อ่านได้จากไฮโดรมิเตอร์หลังแก้ไขแล้ว (ขีด)

$G$  = ความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน

Permeability of granular soils (constant head) ASTM D2434-68

อุปกรณ์

รูปเครื่องมือแสดงดังรูปที่ ผ5



รูปที่ ผ5 อุปกรณ์ทดสอบความให้ซึมได้



### วิธีการทดลอง

1. เตรียมตัวอย่างดินใส่ในแบบสำหรับทดสอบ วัดเส้นผ่านศูนย์กลางและความยาวของตัวอย่าง พร้อมทั้งชั่งน้ำหนัก
2. นำตัวอย่างดินมาติดตั้งท่อน้ำเข้าและออก และปล่อยน้ำเข้าและในขณะเดียวกันก็ระบายอากาศออกทางตอนบนของตัวอย่างดิน น้ำเริ่มระบายออกโดยไม่มีฟองอากาศแล้วปิดวาล์วระบาย
3. เปิดวาล์วทางน้ำออก จนไม่มีฟองอากาศแล้วปิด ปล่อยตัวอย่างดินให้ชุ่มน้ำอย่างน้อย 12 ชั่วโมงสำหรับดินเหนียว แต่สำหรับตัวอย่างทรายอาจทำการทดสอบได้ทันที
4. เริ่มทำการทดลองโดยเปิดวาล์วทางน้ำออก แล้วจับเวลาเป็นวินาที เมื่อปริมาตรน้ำที่วัดจากกระบอกตวงได้ 100 ลบ.ซม. จดบันทึกเวลาและอุณหภูมิน้ำ ทำซ้ำกันอย่างน้อย 5 ครั้ง

### การคำนวณผลการทดลอง

นำข้อมูลเฉลี่ยที่ได้ แทนลงในสมการดังต่อไปนี้

$$k = QL/Ah$$

$k$  = ความให้ซึมได้ (ซม./วินาที)

$Q$  = อัตราไหล (ลบ.ซม./วินาที)

$A$  = พื้นที่หน้าตัดของตัวอย่าง (ตร.ซม.)

$h/L$  = ไฮโดรลิกเกรเดียน

เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบเปลวเพลิง

ยี่ห้อ VARIAN รุ่น Spectr AA - 10 PLUS มีช่วงการทำงานดังนี้

	ความยาวคลื่น (nm)	ช่วงการทำงานที่เหมาะสม (มก./ล.)
แคดเมียม	228.8	0.02- 3
โครเมียม	357.9	0.06- 15
ตะกั่ว	217.0	0.1 - 30
สังกะสี	213.9	0.01- 2

สำหรับวิธี Vapor Generation

อาร์เซนิก	ช่วงการทำงานที่เหมาะสม	= 0.01- 0.02 มก./ล.
ปรอท	ช่วงการทำงานที่เหมาะสม	= 0.02- 0.04 มก./ล.

เครื่องอะตอมมิกแอบซอร์พชันสเปกโทรโฟโตมิเตอร์แบบกราไฟต์

ยี่ห้อ VARIAN รุ่น Spectr AA - 300 ช่วงการทำงานที่เหมาะสมไม่ได้กำหนดไว้

	ความยาวคลื่น (nm)	ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์ (มคก./ล.)
แคดเมียม	228.8	0.01
โครเมียม	357.9	0.075
ตะกั่ว	283.3	0.28
สังกะสี	213.9	0.0075

สำหรับวิธี Vapor Generation

อาร์เซนิก	ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์	= 0.2 มคก./ล.
ปรอท	ขีดจำกัดต่ำสุดของการวิเคราะห์	= 0.1 มคก./ล.



ประวัติผู้เขียน



นายรักษพล ชูชาติ เกิดวันที่ 29 ตุลาคม พ.ศ. 2512 ที่จังหวัดกรุงเทพมหานคร  
สำเร็จการศึกษาปริญญาตรีวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมอุตสาหการ คณะ  
วิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2533 และเข้าศึกษาต่อใน  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2535