



เอกสารอ้างอิง

1. วิศวกรรมศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย, ล่งพาน. การสร้างโครงสร้างซีเมนต์เสริมเหล็ก  
การสร้างเชิงเก็บน้ำ, ศาสนาวิชาการศึกษา ล่วง. ฉบับที่ 5, ล่งพานวิศวกรรมศาสตร์  
ประยุกต์แห่งประเทศไทย, กรุงเทพมหานคร 2521.
2. Paul, B.K., and Pama, R.P. Ferrocement. International Ferrocement  
Information Center (IFIC), Asian Institute of Technology,  
Bangkok, Thailand, 1978.
3. Sabnis, G.M. "Ferrocement - Past and Present." Paper Presented at  
the ACI symposium on Ferrocement - Material and Applications,  
April 1978.
4. Babcock, E.S. "The Effects of Precycling on the strength of Ferrocement," M.S. Thesis, Naval Postgraduate School, Monterey,  
California, June 1975.
5. Bezukladov, V.F., and others. Ship Hulls Made of Reinforced Concrete,  
Navships Translation No. 1148, 1968.
6. Naaman, A.E. "Reinforcing Mechanisms in Ferrocement." M.S. Thesis,  
Massachusetts Institute of Technology, September 1970.
7. Key, W.H. "Impact Resistance of Ferro-Cement Plates." M.S. Thesis,  
Department of Naval Architecture and Marine Engineering,  
Massachusetts Institute of Technology, May 1970.
8. Shah, S.P. "Evaluation of Ferrocement as a Construction Material." Proceedings of the Conference on New Materials in Concrete  
Construction, University of Illinois at Chicago Circle,  
December 1972.

9. Romualdi, J.P., and Batson, G.B. "Mechanics of Crack Arrest in Concrete." Journal of the Engineering Mechanics Division, ASCE, Vol. 89, EM 3, June 1963, pp. 147-168.
10. Romualdi, J.P., and Batson, G.B. "Behavior of Reinforced Concrete Beams with Closely Spaced Reinforcement." ACI Journal, Proceedings, Vol. 60, June 1963, pp. 775-789.
11. Romualdi, J.P., and Mandel, J.A. "Tensile Strength of Concrete Affected by Uniformly Distributed and Closely Spaced Short Lengths of Wire Reinforcement." ACI Journal, Proceedings, Vol. 61, No. 6, June 1964, pp. 657-671.
12. Naaman, A.E. "Performance Criteria for Ferrocement." Journal of Ferrocement, Vol. 9, No. 2, April 1979, pp. 75-91.
13. Shah, S.P. "Tentative Recommendations for the Construction of Ferrocement Tanks." Proceedings of ACI Symposium on Ferrocement, Toronto, Canada, April 1978, pp. 103-113.
14. Pama, R.P., Sutharatnachaiyaporn, C., and Lee, S.L. "Rigidities and Strength of Ferrocement." First Australian Conference on Engineering Materials, The University of New South Wales, 1974, pp. 287-308.
15. Lee, S.L., Raisinghani, M., and Pama, R.P. "Mechanical Properties of Ferrocement." FAO Seminar on the Design and Construction of Ferrocement Vessels, October 1972, 20 pp.
16. Shah, S.P., and Key, W.H. "Impact Resistance of Ferrocement." Journal of the Structural Division, ASCE, Vol. 98, No. ST1, January 1972, pp. 111-123.

17. Broutman, L.J., and Krock, R.H. Modern Composite Materials. Addison-Wesley Publishing Company, London, 1967.
18. Nathan, G.K., and Paramasivam, P. "Mechanical Properties of Ferrocement Material." Proceedings of First Australian Conference on Engineering Materials, University of New South Wales, Sydney, 1974, pp. 309-331.
19. Guerra, A.J., Naaman, A.E., and Shah, S.P. "Cracking and Leakage Characteristics of Ferrocement Water Tanks." Department of Materials Engineering, University of Illinois at Chicago Circle, Report # 76-3, September 1976, 54 pp., NTIS # PB 258003/RC.
20. Paramasivam, P., Nathan, G.K., and Lee, S.L. "Analysis, Design and Construction of Ferrocement Water Tanks." Journal of Ferrocement, Vol. 9, No. 3, July 1979, pp. 115-127.
21. Narinder S. Saluja, "Design Data on Solar Water Heaters." Report No. 4 on Solar Flares in Relation to Radio Communications and Study of Allied Solar Phenomena, ASRCT, Bangkok, 1967.
22. Gibson, J.E. Linear Elastic Theory of Thin Shells. Simon Engineering Laboratories, University of Manchester, England, 1965.
23. Walkus, R., and Kowalski, T.G. "Ferrocement : A Survey" Concrete (London), Vol. 5, No. 1, Feb. 1971, pp. 1-5.
24. Naaman, A.E., and Shah, S.P. "Tensile Test of Ferrocement." ACI Journal, September 1971, pp. 693-698.
25. Chapman, A.J. Heat Transfer. 2<sup>nd</sup> edition, Macmillan, New York, 1960.

26. Saunders, J.H., and Frisch, K.C. Polyurethanes : Chemistry and Technology. Part II Technology, Interscience Publishers, John Wiley & Sons, New York, 1964.
27. Holman, J.P. Heat Transfer. 4<sup>th</sup> ed. New York : McGraw-Hill Book Co., 1976.
28. Gray, W.S., and Manning, G.P. Concrete Water Towers, Bunkers, Silos and other elevated structures. 5<sup>th</sup> edition, Cement and Concrete Association, London, 1973.
29. Rao, A.K., and Gowder, C.S.K. "A Study of Behavior of Ferrocement in Direct Compression." Cement and Concrete, Vol. 10, No. 3, Oct.-Dec., 1969, pp. 231-237.
30. Narinder, S. Saluja, "Performance Tests on Israelian Solar Water Heater." Report No. 1, Research Project No. 4/6, Solar Research Unit, Technological Research Institute, Bangkok, December 1965.
31. Pama, R.P., Intaragumhaeng, V., and Paul, B.K. "Study of Tensile Cracks and Bond - Slip in Ferrocement." Proceedings of ACI Symposium on Ferrocement, Toronto, Canada, April 1978, pp. 43-79.
32. Timoshenko, S.P., and Woinowsky - Krieger, S. Theory of Plates and Shells. 2<sup>nd</sup> ed. New York : McGraw-Hill Book Co., 1959.
33. Sharma, P.C., and Gopalaratnam, V.S. Ferrocement Water Tank. International Ferrocement Information Center, Asian Institute of Technology, Bangkok, Thailand, 1980.

ตารางที่ 2.1 รายละเอียดของการหุ้มฉนวนถึงเก็บน้ำร้อนเฟอร์โรซีเมนต์ T2-T

ลำดับ การทดลอง	$k^*$ ซีเมนต์มอร์ตาร์ $\times 10^3 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ซม.วินาที}^\circ\text{C}}$	ชนิดของฉนวน	ความหนาของฉนวน ซม.	$k$ ฉนวน $\times 10^5 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ซม.วินาที}^\circ\text{C}}$	$k^\ddagger$ สังกะสี $\frac{\text{แคลอรี}}{\text{ซม.วินาที}^\circ\text{C}}$	$h^+$ อากาศ $\times 10^4 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ซม.วินาที}^\circ\text{C}}$
1	2.8	-	-	-	-	3.0
2	2.8	โฟมโพลีสไตรีน	2.54	8.26**	0.268	3.0
3	2.8	อากาศ	2.54	7.03*	0.268	3.0

\* Chapman<sup>(25)</sup>, \*\* Saunders และ Frisch<sup>(26)</sup>, ‡ Holman<sup>(27)</sup> และ + Gray และ Manning<sup>(28)</sup>

ตารางที่ 2.2 ถึงเก็บน้ำเพื่อโรตารีเมนต์เสริมลดตาข่ายจากแหล่งต่าง ๆ

แหล่งที่มา ของตังน้ำ	ขนาดของตัง			ลดตาข่าย						หมายเหตุ
	สูง (ฟุต)	เส้นผ่าศูนย์กลาง (ฟุต)	ความหนา (นิ้ว)	ชนิด	เส้นผ่าศูนย์กลาง (นิ้ว)	ขนาดตา (นิ้ว)	จำนวนชั้น	อัตราส่วน ปริมาตรในแนว แรง (%)	พื้นที่ผิวจำเพาะ ในแนวแรง (นิ้ว <sup>2</sup> /นิ้ว <sup>3</sup> )	
Parama Sivam, (20) et al	8.5 [2.6 ม.]	8.5 [2.6 ม.]	1.25 [3.175 ซม.]	สี่เหลี่ยมแนบประ สาน (WOVEN SQUARE WIRE MESH) เบอร์ BWG 20	0.034	0.33	3	0.66	0.78	ใช้โครงเหล็ก Ø 5 มม. ขนาด GRID 6" x 6" จำนวน 2 ชั้น ค่าความเค้น ตอนแตกราวเริ่มแรกคาดไว้ประมาณ 335 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ทดลองเก็บน้ำไว้ 12 เดือน ที่ระดับน้ำสูง 8 ฟุต ปรากฏว่าไม่มี รอยซึมของน้ำโดยที่ไม่ได้ใช้น้ำยากันซึม เลย
สถาปนวิสัยฯ <sup>(1)</sup>	4.3 [1.3 ม.]	6.2 [1.9 ม.]	1.2 [3.0 ซม.]	ลดกรงไก่เบอร์ BWG 25	0.020	0.5	2	0.1	0.428	โครงเหล็ก Ø 6 มม. ขนาด GRID 16" x 8" ขึ้นเต็ว ไม่ได้ใช้น้ำยากันซึม และไม่มีปัญหาเรื่องน้ำซึม
CFAC	5.4 [1.65 ม.]	4.1 [1.25 ม.]	0.8 [2.0 ซม.]	ลดกรงไก่เบอร์ BWG 20 และ 25	0.035 และ 0.020	0.5	1 1	0.312	0.88	โครงเหล็ก Ø 6 มม. ด้วในชั้นมัน ไม่ใ้ น้ำยากันซึม ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำซึม ตอนนี เลิกผลิตจำหน่ายแล้ว
ในงานวิสัยดี	1.97 [0.60 ม.]	2.13 [0.65 ม.]	1.0 [2.54 ซม.]	สี่เหลี่ยมแนบ เชื่อม (WELDED SQUARE WIRE MESH) เบอร์ BWG 20	0.035	0.5				โครงเหล็ก Ø 6 มม. ขนาด GRID 17 x 12 ซม. ขึ้นเต็ว ไม่ได้ใช้น้ำยากัน ซึม ไม่มีปัญหาเรื่องน้ำซึม
T2-T							2	0.385	0.44	
T2-P							2	0.385	0.44	
T4-P							4	0.77	0.88	

ตารางที่ 3.1 กำลังรับแรงดึงประลัยของบริคเคท

ลำดับที่	ไซโนเิง	ส่วนผสมของ ซีเมนต์มอร์ตาร์ (ซีเมนต์:ทราย: น้ำ)	แรงดึงประลัย (กก.)	กำลังแรงดึงประลัย (กก./ซม. <sup>2</sup> ) เมื่ออายุ 7 วัน	
				แต่ละตัวอย่าง	เฉลี่ย
1	T2-T	1:2:0.5 โดยน้ำหนัก	130	20.15	26.94 (385 ปอนด์/ตร.นิ้ว)
2			155	24.03	
3			172	26.66	
4			216	33.48	
5			196	30.38	
1	T2-P	1:2:0.5 โดยน้ำหนัก	218	33.79	36.22 (514 ปอนด์/ตร.นิ้ว)
2			232	35.96	
3			230	35.65	
4			255	39.53	
5			254	39.37	
6			213	33.02	
1	T4-P	1:2:0.5 โดยน้ำหนัก	198	30.69	29.97 (424 ปอนด์/ตร.นิ้ว)
2			182	28.21	
3			186	28.83	
4			184	28.52	
5			226	35.03	
6			184	28.52	

ตารางที่ 3.2 กำลังอัดประลัยของก้อนซีเมนต์มอร์ต้าร์รูปลูกบาศก์ 2 นิ้ว

ลำดับที่	ไซโนตัง	ส่วนผสมของ ซีเมนต์มอร์ต้าร์ (ซีเมนต์:ทราย: น้ำ)	แรงอัดประลัย (ตัน)	กำลังอัดประลัย (กก./ซม. <sup>2</sup> ) เมื่ออายุ 7 วัน	
				แต่ละตัวอย่าง	เฉลี่ย
1	T2-T	1:2:0.5 โดยน้ำหนัก	8.35	323.56	321.86 (4598 ปอนด์/ตร.นิ้ว)
2			7.68	297.60	
3			8.50	329.38	
4			8.50	329.38	
5			8.50	329.38	
1	T2-P	1:2:0.5 โดยน้ำหนัก	7.00	271.25	332.93 (4756 ปอนด์/ตร.นิ้ว)
2			8.40	325.50	
3			9.30	360.38	
4			9.10	352.63	
5			8.85	342.94	
6			8.90	344.88	
1	T4-P	1:2:0.5 โดยน้ำหนัก	6.75	261.56	284.17 (4060 ปอนด์/ตร.นิ้ว)
2			8.70	337.13	
3			5.30	205.38	
4			6.50	251.88	
5			8.00	310.00	
6			8.75	339.06	



ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองสังเกตเก็บน้ำร้อนเฟอโรซีเมนต์ไม่หุ้มฉนวน

เวลา	อุณหภูมิที่อ่านได้ (°C)				
	ผนังถังฉนวนนอก 1	ผนังถังฉนวนนอก 2	ฝาถังด้านบน	น้ำในถัง	อุณหภูมิห้อง
13.15	62.0	62.5	53.0	67.0	33.5
13.30	61.5	62.0	57.0	66.5	33.5
14.00	60.2	60.8	58.0	65.1	33.5
14.30	59.1	59.8	57.5	64.0	33.5
15.00	58.1	58.8	56.0	63.0	33.3
15.30	57.0	57.8	55.1	61.8	32.9
16.00	56.0	56.0	54.4	60.5	32.4
16.30	55.0	54.8	53.5	59.5	32.0
17.00	54.0	53.9	52.8	58.5	31.8
↓					
09.00	36.2	36.1	35.0	38.0	30.1

หมายเหตุ. ทำการทดลองวันที่ 17 กันยายน 2522

ตารางที่ 4.2 ผลการทดลองถึงเก็บน้ำร้อนเฟอร์ไรซีเมนต์หุ้มด้วยโพลีโพลีไตรน (ครั้งที่หนึ่ง)

เวลา	อุณหภูมิที่อ่านได้ (°C)				
	สังกะสีผิวนอก 1	สังกะสีผิวนอก 2	ฝาถังด้านบน	น้ำในถัง	อุณหภูมิห้อง
12.00	39.1	40.1	66.8	71.0	32.5
12.30	39.1	40.1	66.5	70.2	32.5
13.00	39.0	40.0	66.0	70.0	33.0
13.30	39.1	40.2	66.0	69.5	33.0
14.00	38.5	40.0	65.1	69.0	32.2
14.30	37.0	39.0	64.9	68.0	31.5
15.00	36.0	38.0	64.0	68.0	30.0
15.30	36.0	38.0	63.9	67.6	30.1
16.00	36.0	38.0	63.1	67.0	31.0
16.30	36.0	38.0	62.8	66.4	31.0
17.00	36.0	38.0	62.5	66.0	31.0
↓					
09.00	33.5	35.0	53.0	56.0	30.0
12.00	36.0	37.0	52.0	55.0	33.5

หมายเหตุ. ทำการทดลองวันที่ 3 ตุลาคม 2522

ตารางที่ 4.3 ผลการทดลองถึงเก็บน้ำร้อนเฟอโรโซเมนต์หุ้มด้วยโพลีโพลีสไตรีน (ครั้งที่สอง)

เวลา	อุณหภูมิที่อ่านได้ (°C)				
	สังกะสีผิวนอก 1	สังกะสีผิวนอก 2	ฝาถังด้านบน	น้ำในถัง	อุณหภูมิห้อง
12.00	37.0	36.0	63.0	70.0	33.4
13.00	37.5	37.0	65.0	69.5	33.4
14.00	37.0	37.0	64.5	68.0	33.4
15.00	37.0	38.0	64.0	67.0	33.0
16.00	36.5	38.0	63.5	66.5	32.2
17.00	37.5	36.1	63.0	66.0	31.8
18.00	37.0	36.0	62.0	65.0	31.0
19.00	37.0	35.2	62.0	64.5	30.5
20.00	36.0	34.5	61.0	64.0	29.8
21.00	36.0	34.0	60.0	63.0	29.0
22.00	35.0	34.0	59.5	62.5	29.0
↓					
06.00	32.0	30.0	55.0	58.0	26.0
07.00	31.5	30.0	54.0	57.0	25.8
08.00	32.0	32.0	54.0	56.5	26.8
09.00	32.5	32.0	53.5	56.0	28.5

หมายเหตุ. ทำการทดลองวันที่ 21 พฤศจิกายน 2522



ตารางที่ 4.4 ผลการทดลองถึงเก็บน้ำร้อนเฟอโรซีเมนต์โดยใช้อากาศเป็นฉนวน

เวลา	อุณหภูมิที่อ่านได้ (°C)				
	สังกะสีฉนวนก 1	สังกะสีฉนวนก 2	ฝาถังด้านบน	น้ำในถัง	อุณหภูมิห้อง
12.00	43.5	46.0	65.1	70.9	33.2
13.00	44.0	46.1	65.1	69.6	34.0
14.00	43.0	46.0	64.5	68.5	33.8
15.00	43.0	45.9	63.9	67.5	33.6
16.00	42.0	45.0	63.0	66.6	33.0
17.00	42.0	44.1	62.0	66.0	32.6
↓					
09.00	36.0	38.0	50.5	53.5	30.5
12.00	37.0	39.0	49.5	52.0	33.5

หมายเหตุ. ทำการทดลองวันที่ 11 ตุลาคม 2522

ให้อุณหภูมิของน้ำร้อนตอนเริ่มต้น = 65.0 °C  
 อุณหภูมิห้อง = 33.5 °C

ตามรูปที่ 2.4 แสดงการสูญเสียความร้อนออกจากถัง

$$\therefore \sum (U_i A_i) = U_1 A_1 + U_2 A_2 + U_3 A_3$$

$$\text{และ } U_1 = \frac{1}{\frac{2.54}{2.7686 \times 10^{-3}} + \frac{1}{3.0 \times 10^{-4}}} = 2.35 \times 10^{-4} \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{ วินาที } ^\circ\text{C}}$$

$$U_2 = \frac{1}{\frac{2.54}{2.7686 \times 10^{-3}} + \frac{1}{3.0 \times 10^{-4}}} = 2.35 \times 10^{-4} \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{ วินาที } ^\circ\text{C}}$$

$$U_3 = \frac{1}{\frac{5.0}{2.7686 \times 10^{-3}} + \frac{1}{3.0 \times 10^{-4}}} = 1.95 \times 10^{-4} \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{ วินาที } ^\circ\text{C}}$$

$$\therefore \sum (U_i A_i) = 2.35 \times 10^{-4} \times 3318.31 + 2.35 \times 10^{-4} \times 12252.21 + 1.95 \times 10^{-4} \times 3318.31$$

$$= 4.21 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{วินาที } ^\circ\text{C}}$$

จากสมการ (2.25)  $T(t) = 33.5 + 31.5 e^{-2.17 \times 10^{-5} t}$

เวลาที่ผ่านไป, t (ชม.)	อุณหภูมิในถัง, T(t) (°C)
0	65.00
1	62.60
2	60.44
3	58.42
4	56.55
5	54.81
6	53.21
7	51.73
8	50.36
9	49.09
10	47.92
11	46.84
12	45.83
13	44.91
14	44.05
15	43.26
16	42.52
17	41.85
18	41.22
19	40.64

ให้จุดอุณหภูมิของน้ำร้อนตอนเริ่มต้น = 71.0 °C

จุดอุณหภูมิห้อง = 32.5 °C

ตามรูปที่ 2.4 แสดงการสูญเสียความร้อนออกจากถัง

$$\therefore \sum(U_i A_i) = U_1 A_1 + U_2 A_2 + U_3 A_3$$

$$\text{และ } U_1 = \frac{1}{\frac{2.54}{2.7686 \times 10^3} + \frac{2.54}{8.26 \times 10^5} + \frac{1}{3.0 \times 10^4}} = 2.86 \times 10^5 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{วินาที}^{\circ}\text{C}}$$

$$U_2 = \frac{1}{\frac{2.54}{2.7686 \times 10^3} + \frac{2.54}{8.26 \times 10^5} + \frac{0.03}{0.268} + \frac{1}{3.0 \times 10^4}} = 2.84 \times 10^5 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{วินาที}^{\circ}\text{C}}$$

$$U_3 = \frac{1}{\frac{5.0}{2.7686 \times 10^3} + \frac{1}{3.0 \times 10^4}} = 1.95 \times 10^4 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{วินาที}^{\circ}\text{C}}$$

$$\therefore \sum(U_i A_i) = 2.86 \times 10^5 \times 3318.31 + 2.84 \times 10^5 \times 12252.21 + 1.95 \times 10^4 \times 3318.31$$

$$= 1.09 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{วินาที}^{\circ}\text{C}}$$

จากสมการ (2.25)  $T(t) = 32.5 + 38.5 e^{-5.6 \times 10^{-6} t}$

เวลาที่ผ่านไป, t (ชม.)	จุดอุณหภูมิในถัง, T(t) (°C)
0	71.0
1	70.22
2	69.45
3	68.71
4	67.97
5	67.25
6	66.55
7	65.86
8	65.18
9	64.52
10	63.87
11	63.23
12	62.61
13	61.99
14	61.4
15	60.82
16	60.24
17	59.68
18	59.13
19	58.59
20	58.06
21	57.54
24	56.23

ให้จุดอุณหภูมิของน้ำร้อนตอนเริ่มต้น = 70.9 °C  
 จุดอุณหภูมิห้อง = 33.2 °C

ตามรูปที่ 2.4 แสดงการสูญเสียความร้อนออกจากถัง

$$\therefore \sum(U_i A_i) = U_1 A_1 + U_2 A_2 + U_3 A_3$$

$$\text{และ } U_1 = \frac{1}{\frac{2.54}{2.7686 \times 10^{-3}} + \frac{2.54}{8.26 \times 10^{-5}} + \frac{1}{3.0 \times 10^{-4}}} = 2.86 \times 10^{-5} \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{ วินาที } ^\circ\text{C}}$$

$$U_2 = \frac{1}{\frac{2.54}{2.7686 \times 10^{-3}} + \frac{2.54}{7.025 \times 10^{-5}} + \frac{0.03}{0.268} + \frac{1}{3.0 \times 10^{-4}}} = 2.47 \times 10^{-5} \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{ วินาที } ^\circ\text{C}}$$

$$U_3 = \frac{1}{\frac{5.0}{2.7686 \times 10^{-3}} + \frac{1}{3.0 \times 10^{-4}}} = 1.95 \times 10^{-4} \frac{\text{แคลอรี}}{\text{ชม.}^2 \text{ วินาที } ^\circ\text{C}}$$

$$\therefore \sum(U_i A_i) = 2.86 \times 10^{-5} \times 3318.31 + 2.47 \times 10^{-5} \times 12252.21 + 1.95 \times 10^{-4} \times 3318.31$$

$$= 1.04 \frac{\text{แคลอรี}}{\text{วินาที } ^\circ\text{C}}$$

จากสมการ (2.25)  $T(t) = 33.2 + 37.7 e^{-5.35 \times 10^{-6} t}$

เวลาที่ผ่านไป, t (ชม.)	อุณหภูมิในถัง, T(t) (°C)
0	70.9
1	70.76
2	69.46
3	68.76
4	68.08
5	67.41
6	66.75
7	66.1
8	65.47
9	64.85
10	64.24
11	63.64
12	63.06
13	62.48
14	61.92
15	61.36
16	60.82
17	60.29
18	59.77
19	59.26
20	58.76
21	58.26
24	56.95

ตารางที่ 4.8 การแปรสมบเทียบทั้งสี่โมเดลเรโซแนนซ์ด้วยควมดัน

ลำดับ	ขนาดข่าบ		V <sub>m</sub>	σ <sub>s</sub> psi	σ <sub>mu</sub> psi	A <sub>fL</sub> in <sup>2</sup>	A <sub>m</sub> in <sup>2</sup>	E <sub>f</sub> psi	σ <sub>cr</sub> จากการทดสอบ psi	σ <sub>cr</sub> จากทฤษฎีและสูตร		
	S <sub>RL</sub> in <sup>2</sup> /in <sup>3</sup>	V <sub>fL</sub> %								BK (17)*	NP (18)*	psi N (6) *
1	5.24	3.45	0.9655	2.286x10 <sup>3</sup>	300	0.157	4.643	22.86x10 <sup>6</sup>	437.5	368.52	355.1	1033.6
2	5.24	3.45	0.9655	2.286x10 <sup>3</sup>	300	0.157	4.643	22.86x10 <sup>6</sup>	721.88	368.52	355.1	1033.6
3	2.51	2.65	0.974	2.93 x10 <sup>3</sup>	300	0.211	7.989	29.3 x10 <sup>6</sup>	429.25	369.85	353.81	651.4
4	2.58	2.72	0.973	2.93 x10 <sup>3</sup>	300	0.211	7.789	29.3 x10 <sup>6</sup>	445.75	371.60	355.33	661.2
5	3.69	3.07	0.969	2.75 x10 <sup>3</sup>	300	0.184	6.016	27.5 x10 <sup>6</sup>	456.52	375.13	359.35	816.6
6	3.57	2.97	0.970	2.75 x10 <sup>3</sup>	300	0.184	6.216	27.5 x10 <sup>6</sup>	456.52	372.68	357.25	799.8
7	1.21	1.24	0.988	2.93 x10 <sup>3</sup>	300	0.106	8.395	29.3 x10 <sup>6</sup>	329.41	332.73	323.9	469.4
8	1.69	1.74	0.983	2.93 x10 <sup>3</sup>	300	0.211	11.989	29.3 x10 <sup>6</sup>	344.26	345.88	334.43	536.6
9	0.44	0.385	0.996	1.5 x10 <sup>3</sup>	514	0.091	23.53	15.0 x10 <sup>6</sup>	115.0	517.72	517.33	575.6
10	0.88	0.77	0.992	1.5 x10 <sup>3</sup>	425	0.182	23.44	15.0 x10 <sup>6</sup>	205.0	433.15	432.17	548.2

\* ตัวเลขในวงเล็บเป็นเลขที่เอกสารอ้างอิง



ตารางที่ 4.0 การเปรียบเทียบทั้งเกินน้ำเพชรโรซิเมนต์ด้วยความดัน

ลำดับ	$\sigma_{mu}$ psi	ลดตราบัว		$\sigma_{cr}$ จากการ ทดลอง psi	$\frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{mu}}$	$\sigma_{cr}$ จากทฤษฎีและสูตร			$\sigma_{cr}$ จากทฤษฎีและสูตร / $\sigma_{mu}$					
		SRL 2 in/in	V <sub>FL</sub> %			psi	$\sigma_{cr}$ จากทฤษฎีและสูตร		psi	BK (17)	NP (18)	BK (17)	NP (18)	N (6)
							BK (17)	NP (18)						
1	300	5.24	3.45	437.5	1.46	366.52	355.1	1033.6	1.23	1.18	1.18	3.45		
2	300	5.24	3.45	721.88	2.41	368.52	355.1	1033.6	1.23	1.18	1.18	3.45		
3	300	2.51	2.65	429.25	1.43	369.85	353.81	651.4	1.23	1.15	1.15	2.17		
4	300	2.56	2.72	445.75	1.49	371.60	355.33	661.2	1.24	1.18	1.18	2.20		
5	300	3.69	3.07	456.52	1.52	375.13	359.35	816.6	1.25	1.20	1.20	2.72		
6	300	3.57	2.97	456.52	1.52	372.68	357.25	799.8	1.24	1.19	1.19	2.67		
7	300	1.21	1.24	329.41	1.10	332.73	323.9	469.4	1.11	1.08	1.08	1.56		
8	300	1.69	1.74	344.26	1.15	345.88	334.43	536.6	1.15	1.11	1.11	1.79		
9	514	0.44	0.385	115.0	0.22	517.72	517.33	575.6	1.01	1.01	1.01	1.12		
10	425	0.88	0.77	205.0	0.48	433.15	432.17	548.2	1.02	1.02	1.02	1.29		

\* ตัวเลขในวงเล็บเป็นเลขที่เอกสารอ้างอิง

ตารางที่ 5.1\* แสดงราคาของถังเก็บน้ำร้อนเพอร์โรซีเมนต์พร้อมหุ้มฉนวนจุ 200 ลิตร

รายการ	จำนวนที่ต้องใช้	ราคาวัสดุ ต่อหน่วย (บาท)	ราคาวัสดุที่ใช้ (บาท)
<u>ถังเก็บน้ำร้อนเพอร์โรซีเมนต์</u>			
1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ชนิดที่สาม	50 กก.	1.3	65
2. ทรายละเอียด	100 กก.	0.05	5
3. ลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบเชื่อม (หน้ากว้าง 0.9 ม.)	7 ม.	24	168
4. เหล็กกลม $\varnothing$ 6 มม.	6 กก.	8.5	51
5. ลวดผูกเหล็ก	0.25 กก.	18	4.50
6. ท่อเหล็กอบสังกะสี $\varnothing$ 19 มม.	0.9 ม.	20	18
7. ค่าทำเกลียวท่อน้ำ	5 หัว	2.50	12.50
8. ค่าเจาะแผ่นเหล็กเชื่อมติดท่อน้ำ	5 หัว	8	40
<u>ฉนวน</u>			
1. โฟมโพลีสไตรีน 2'x 4'x 1"	3 แผ่น	18	54
2. เหล็กอบสังกะสีแผ่นเรียบ # 32 3'x8'	1 แผ่น	70	70
∴ รวมค่าวัสดุทั้งหมด = 488 บาท			
<u>ค่าแรง</u>			
ช่างเหล็กและช่างปูนไม่จำเป็นต้องมีฝีมือที่ชำนาญ คิดค่าแรง = 60 บาท ต่อคนต่อวัน			
1. งานโครงเหล็กถังพร้อมกรุลวดตาข่าย ทำเสร็จในหนึ่งวันโดยช่าง 1 คน = 60 บาท			
2. งานฉาบฉวยปูน ทำเสร็จในสองวันโดยช่าง 2 คน = 240 บาท			
3. งานหุ้มฉนวน ทำเสร็จในหนึ่งวันโดยช่าง 1 คน = 60 บาท			
∴ รวมค่าแรงทั้งหมด = 360 บาท			
∴ ราคาต่อหน่วยของถัง เมื่อรวมค่าวัสดุและค่าแรงแล้ว = 848 บาท			

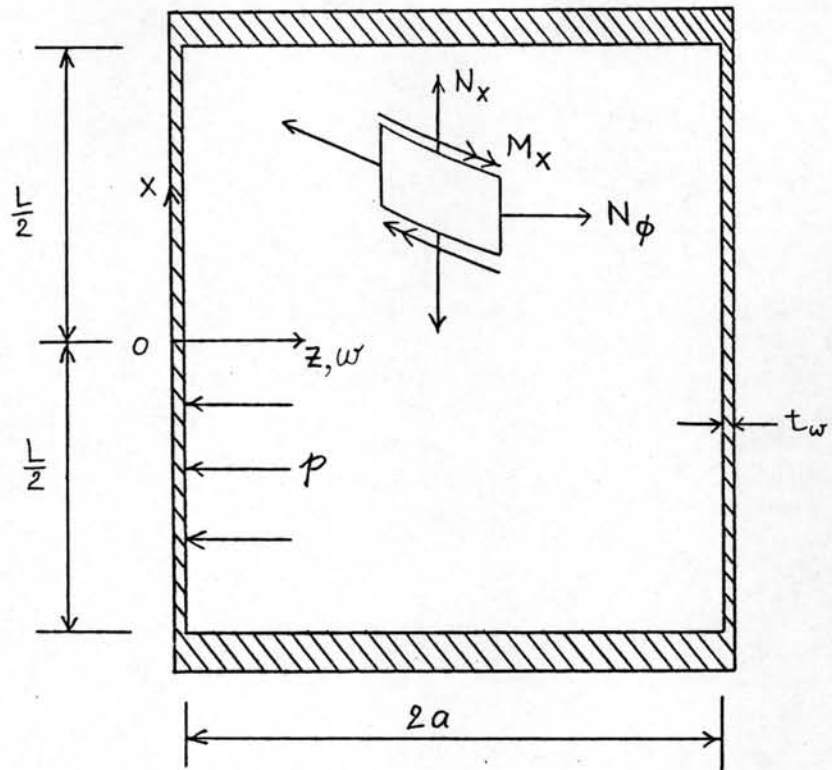
\* ราคาประมาณในเดือน มิ.ย. - ก.ย. 2522

ตารางที่ 5.2 แสดงราคาเปรียบเทียบของระบบเครื่องทำน้ำร้อนด้วยแสงอาทิตย์

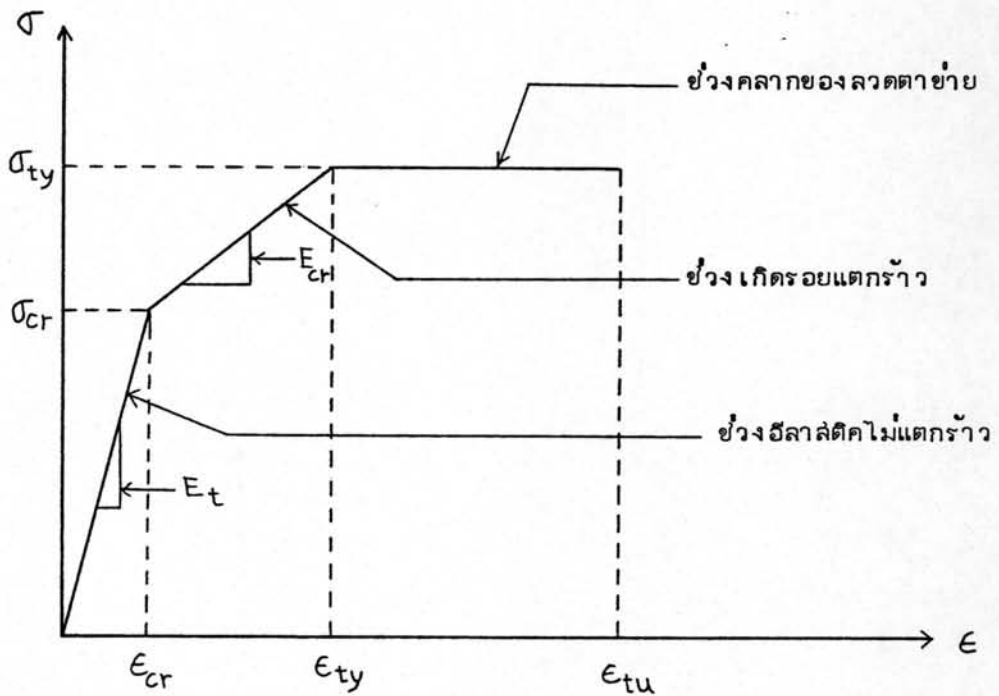
วันที่	ผู้ผลิตหรือจำหน่าย	ชนิดวัสดุของถังเก็บน้ำร้อน	ขนาดความจุของถัง (ลิตร)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	หมายเหตุ
7 ก.ค. 23	บริษัท โฮลล่า เทคโนโลยี อินเทอร์เน็ต จำกัด 2046-2048 ถนนรามคำแหง กทม. โทร. 3146472	เหล็กโรลล์มิม	150	19,000	ราคาเฉพาะถัง 3700 บาท
			250	25,000	ราคาเฉพาะถัง 5000 บาท
4 ส.ค. 23	บริษัท อเมริกัน แอปพลายแอนด์ แอนด์ เฮนคิเนียร์ จำกัด 998 ถนนเจริญกรุง โทร. 2355411, 2344700, 2345467, 2349725	แก้วเคลือบ	150	20,000	เฉพาะราคาถังทางบริษัทปิด เป็นความลับ
4 ส.ค. 23	บริษัท BUILDING MATERIALS TRADING จำกัด 39 สุขุมวิท ซอย 20 กทม. 11 โทร. 3912581	ทองแดง	180	21,000	เฉพาะราคาถังทางบริษัทปิด เป็นความลับ

ตารางที่ 5.3 แสดงราคาเปรียบเทียบของเงื่อนน้ำทำด้วยวัสดุชนิดต่าง ๆ

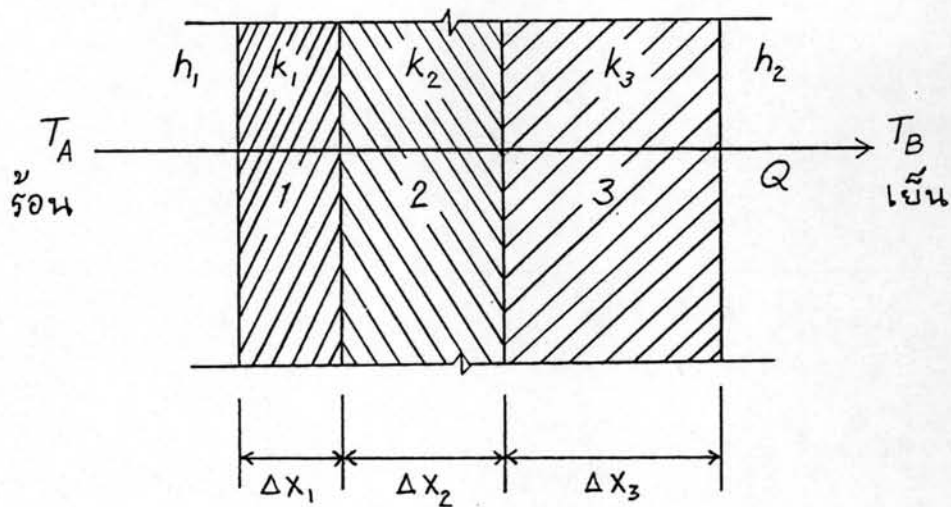
วันที่	ผู้ผลิตหรือจำหน่าย	ชนิดวัสดุของเงื่อน	ขนาดความจุ ของเงื่อน (ลิตร)	ราคาต่อหน่วย (บาท)	หมายเหตุ
7 ก.ค. 23	บริษัท พรีเมียร์โปรดักส์ จำกัด 62 ซอยมหาตมะเล็กหลวง 3 ถนนราชดำริ กทม. โทร. 2516510	ไฟเบอร์กลาส	1000 1120 2500	2900 3100 5200	-
7 ก.ค. 23	ห้างหุ้นส่วนจำกัด พหลโยธิน 920-922 ถนนพหลโยธิน กทม. โทร. 2793322	เหล็กอาบ สังกะสี  พลาสติก	  200 2000	  2200 2800 1300 4500	ชนิดเหล็กบาง ชนิดเหล็กหนา
21 ส.ค. 23	ห้างหุ้นส่วนจำกัด สินเอง เอนจิเนียริ่ง 1309 ถนนจันทร์ ยานนาวา กทม. 12 โทร. 2863081, 2868525	เหล็กไร้สนิม เหล็ก ทองแดง	200 200 200	3000 1500 มากกว่า 3000	-
	สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์ประยุกต์แห่งประเทศไทย (1)	เฟอร์โรซีเมนต์	3400	ค่าวัสดุ 1157 ค่าแรง 578 รวม 1735	คิดค่าแรงเท่ากับ 50% ของ ราคาวัสดุ
	Sharma และ Gopalaratnam <sup>(33)</sup>	เฟอร์โรซีเมนต์	1200	1107.50	-



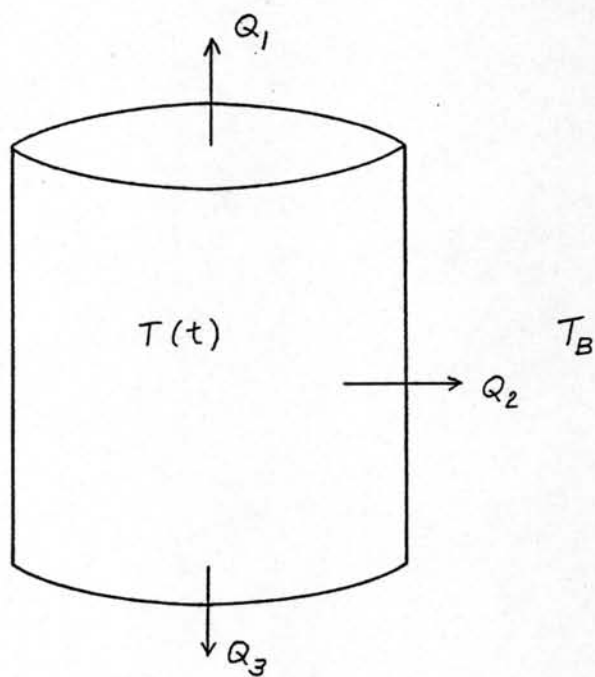
รูปที่ 2.1 ถังเก็บน้ำเฟอร์โรซีเมนต์รับความต็มภายใน



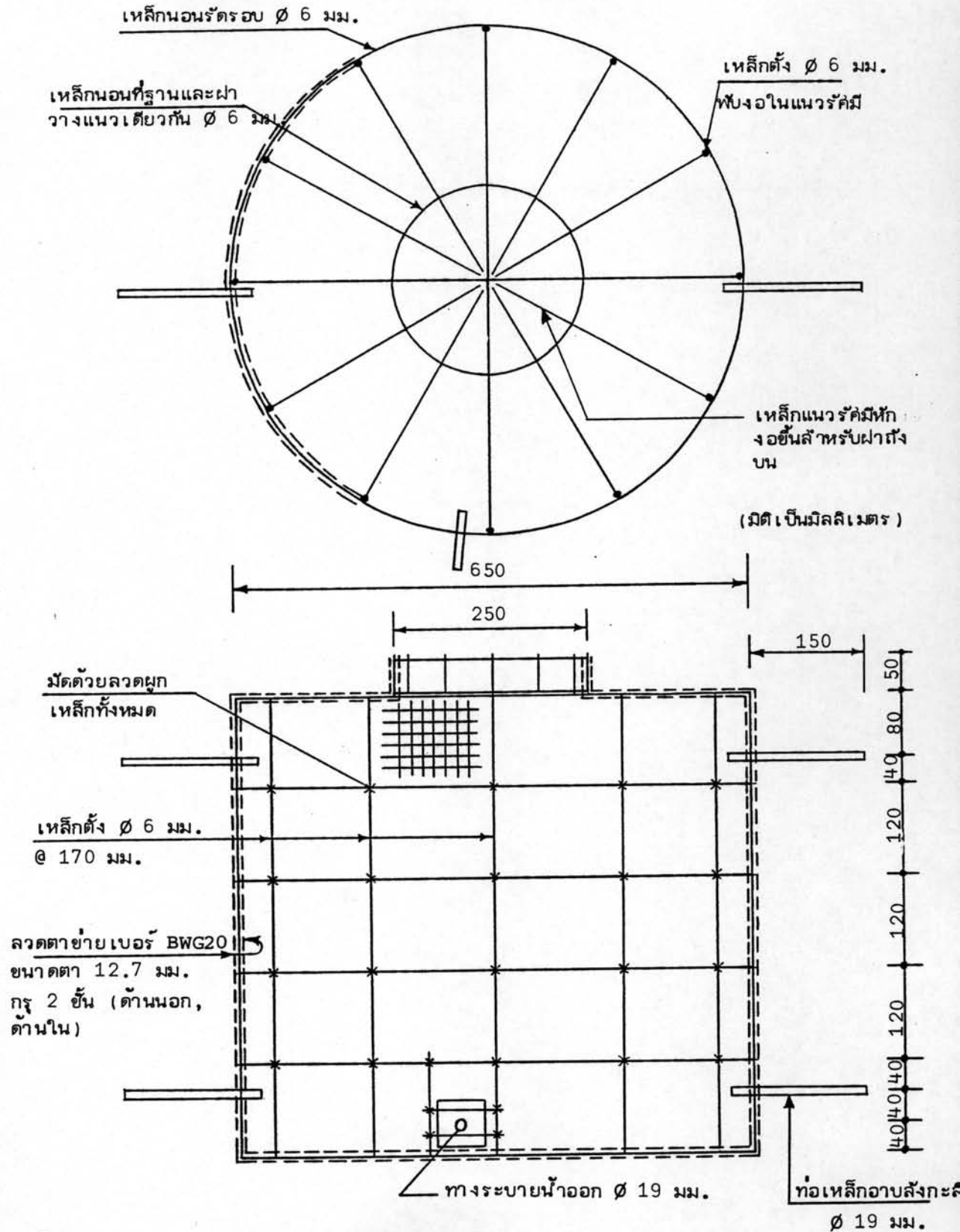
รูปที่ 2.2 ความสัมพันธ์จำลองระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียดในชั้นล่วนเฟอร์โรซีเมนต์รับแรงดึง



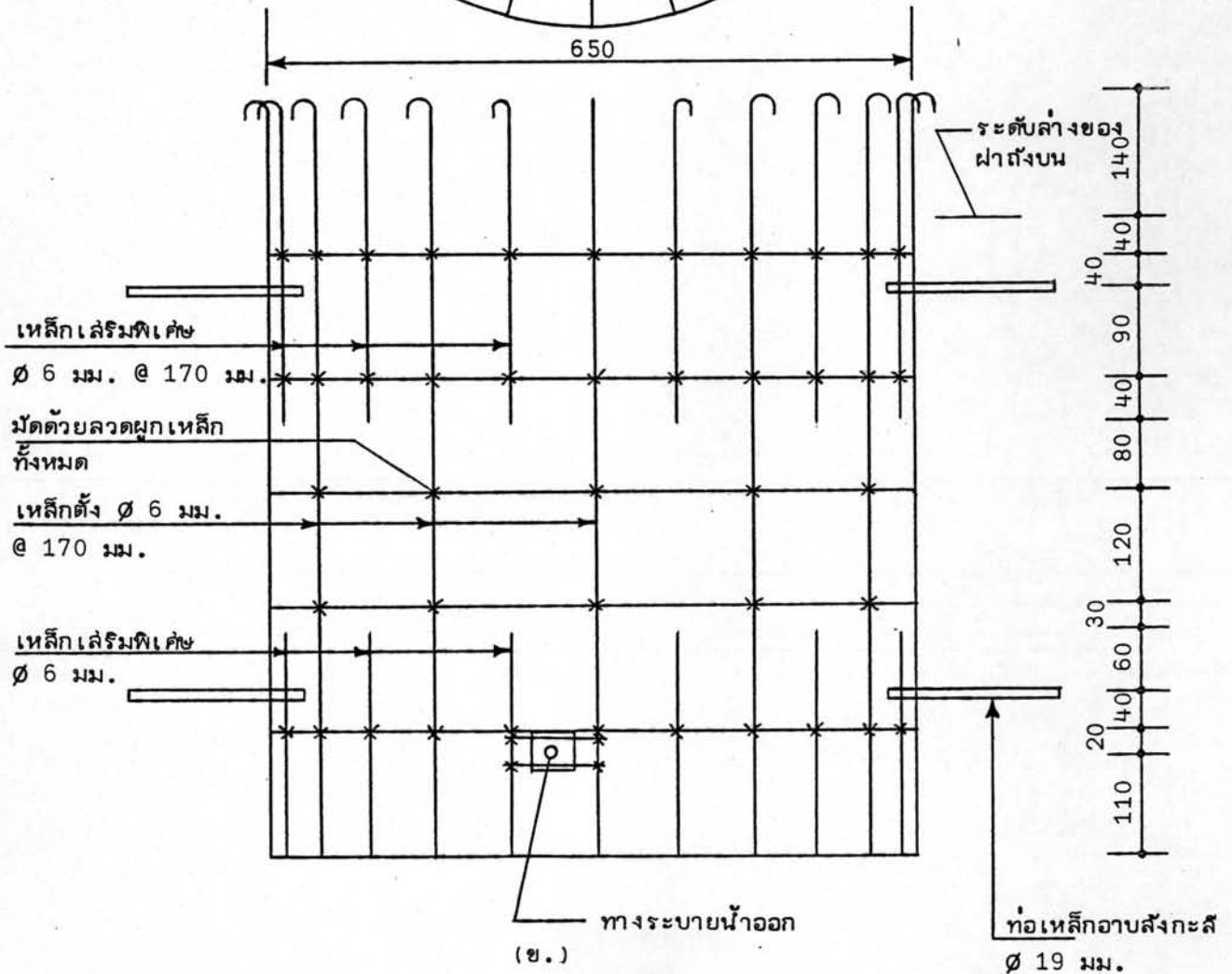
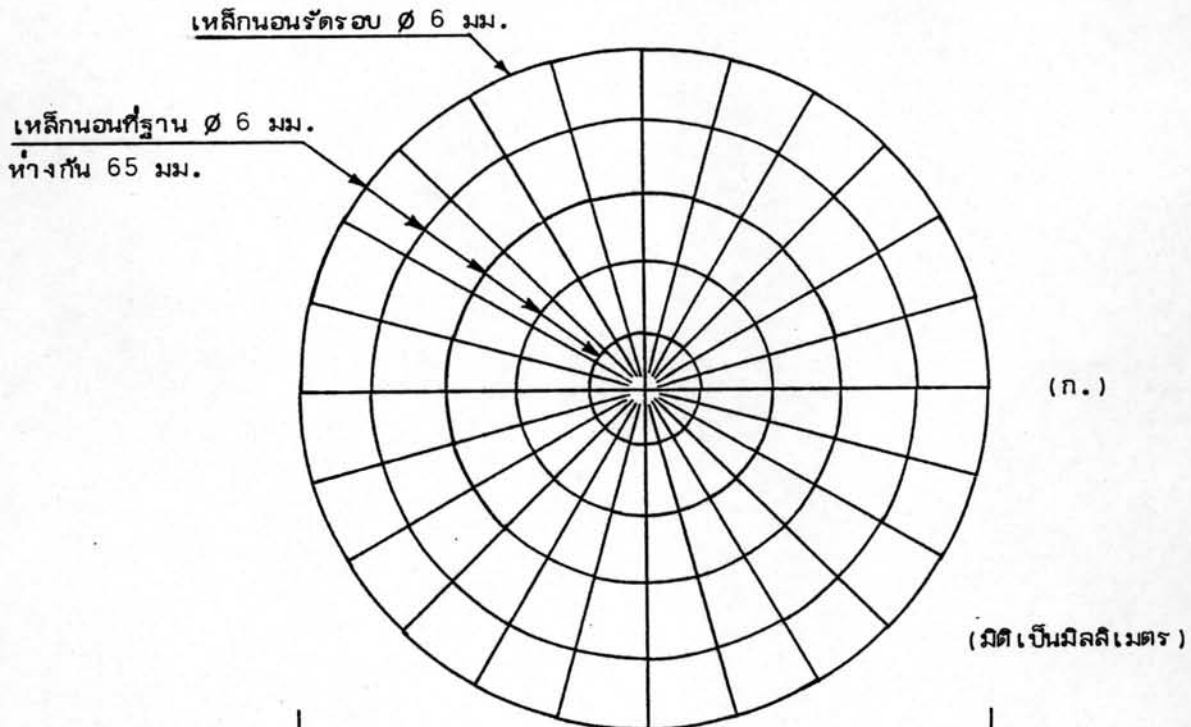
รูปที่ 2.3 การถ่ายเทความร้อนผ่านฉนวนวัสดุประกอบ



รูปที่ 2.4 การสูญเสียความร้อนจากถังเก็บน้ำร้อนเฟอร์โรซีเมนต์



รูปที่ 2.5 แสดงรายละเอียดโครงเหล็กของถัง T2-T

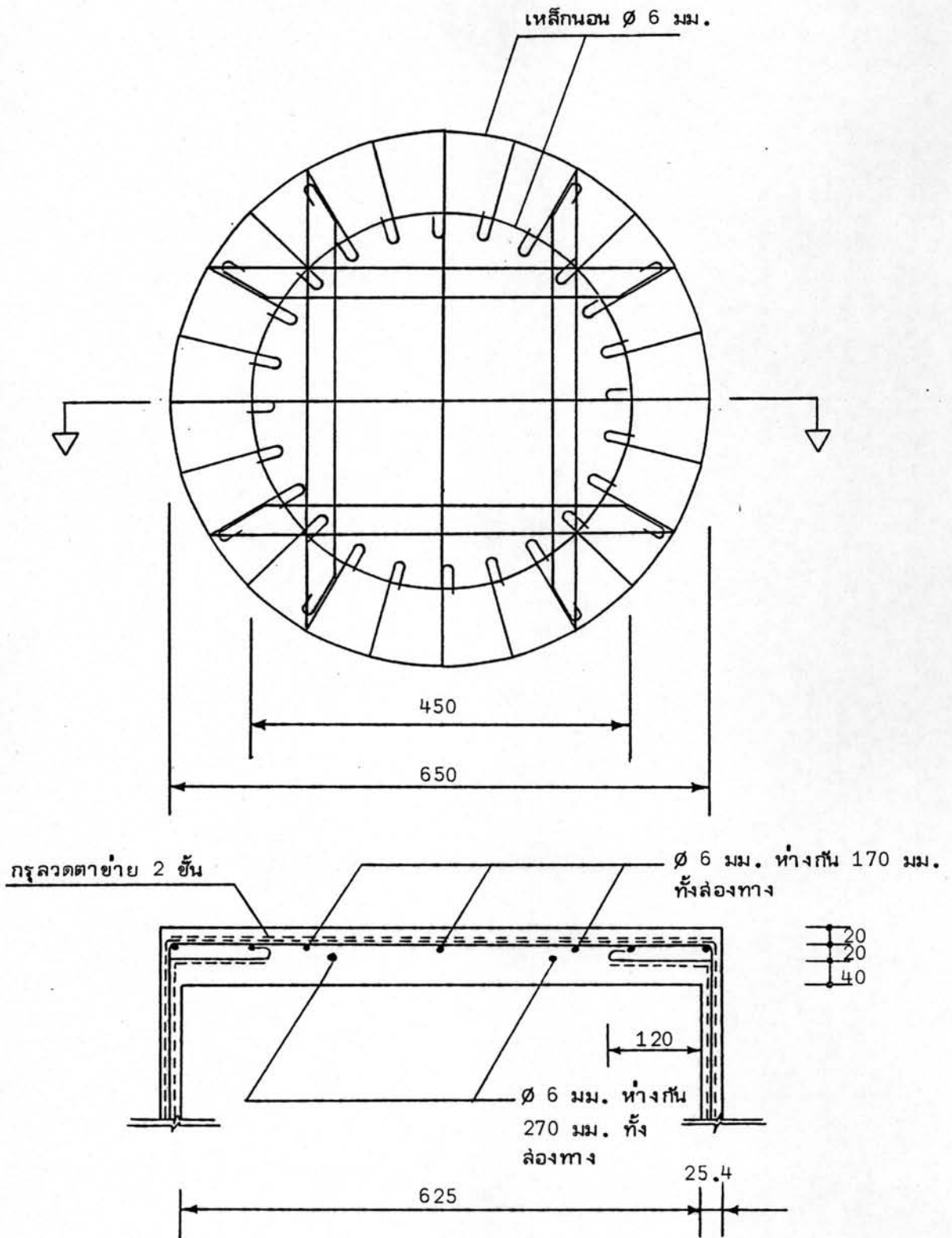


รูปที่ 2.6 แสดงรายละเอียดเหล็กเสริมของถัง T2-P และ T4-P

ก. ฝาถังล่าง

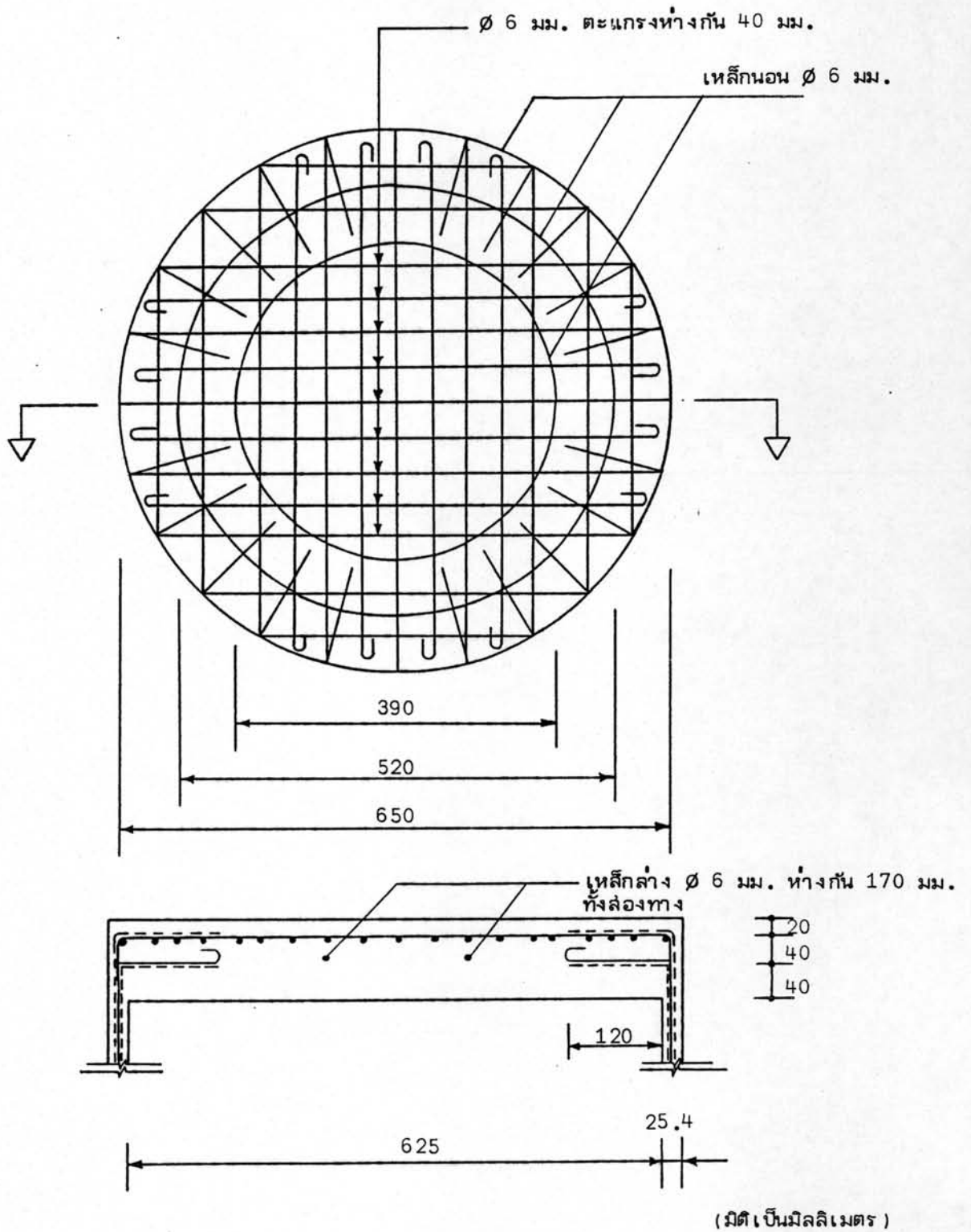
ข. โครงเหล็กผนังถังทรงกระบอก



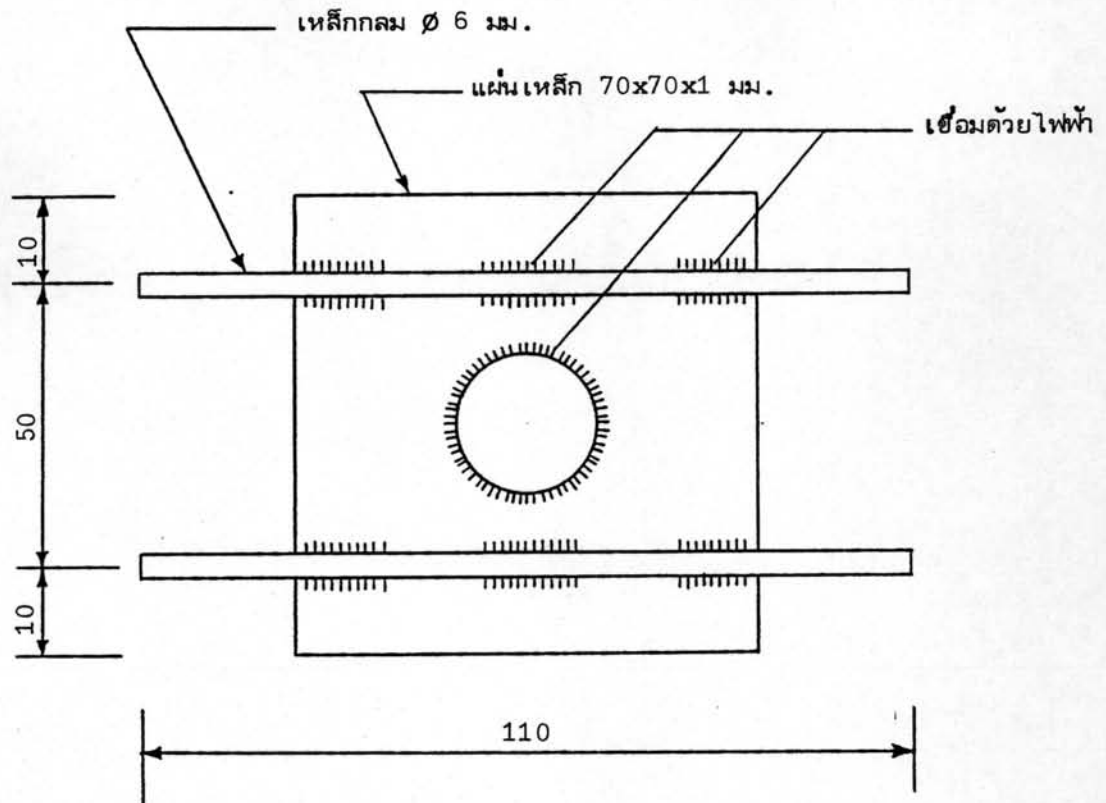


รูปที่ 2.7 แสดงรายละเอียดเหล็กค้ำของ T2-P

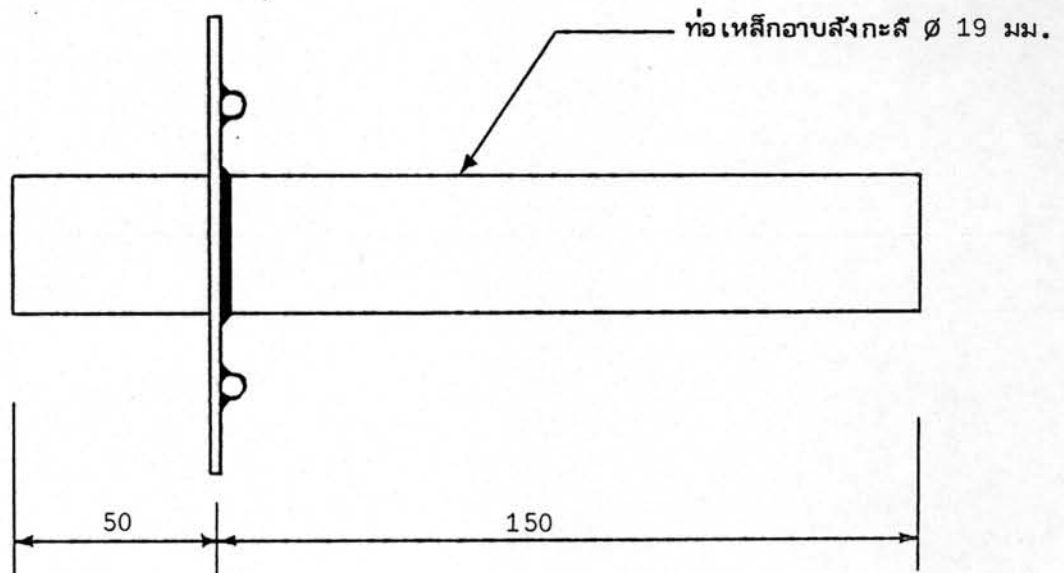
(มิติเป็นมิลลิเมตร)



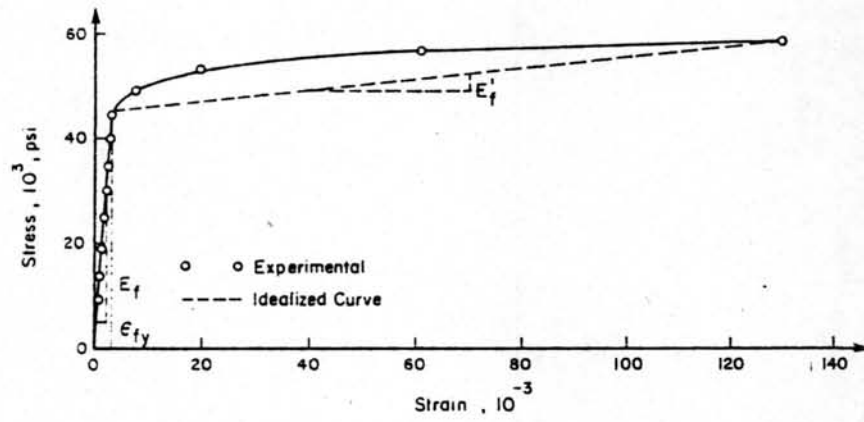
รูปที่ 2.8 แสดงรายละเอียดเชิงดัดฟ้าึงบนของ T4-P



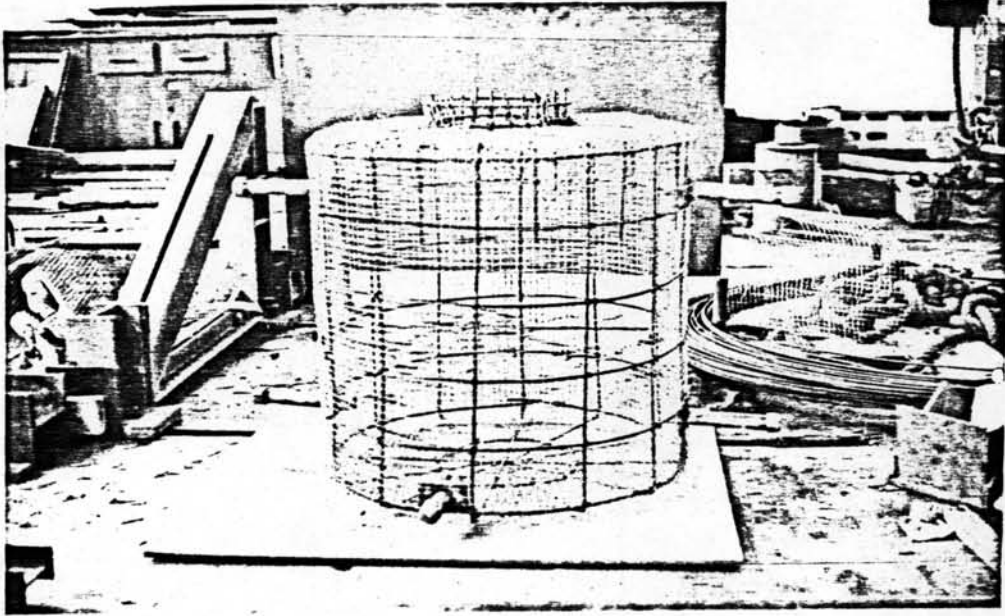
(มิติเป็นมิลลิเมตร)



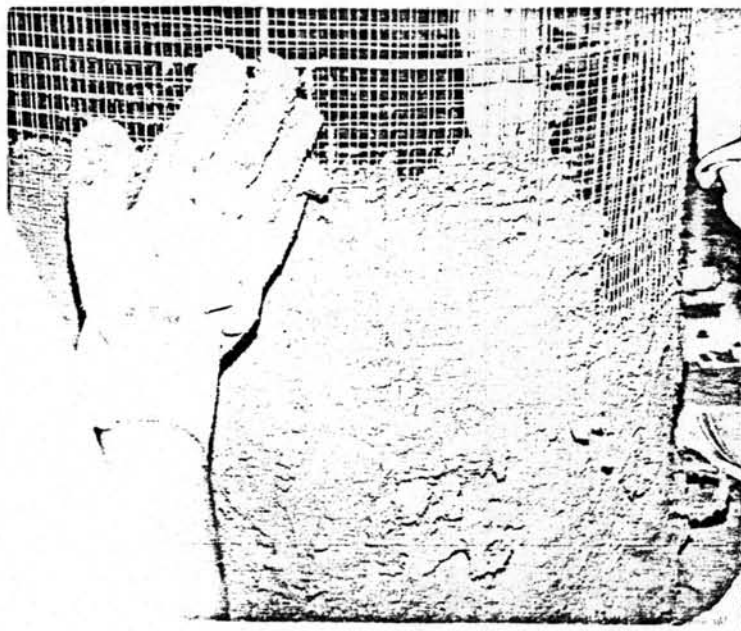
รูปที่ 2.9 แสดงรายละเอียดของท่อน้ำ



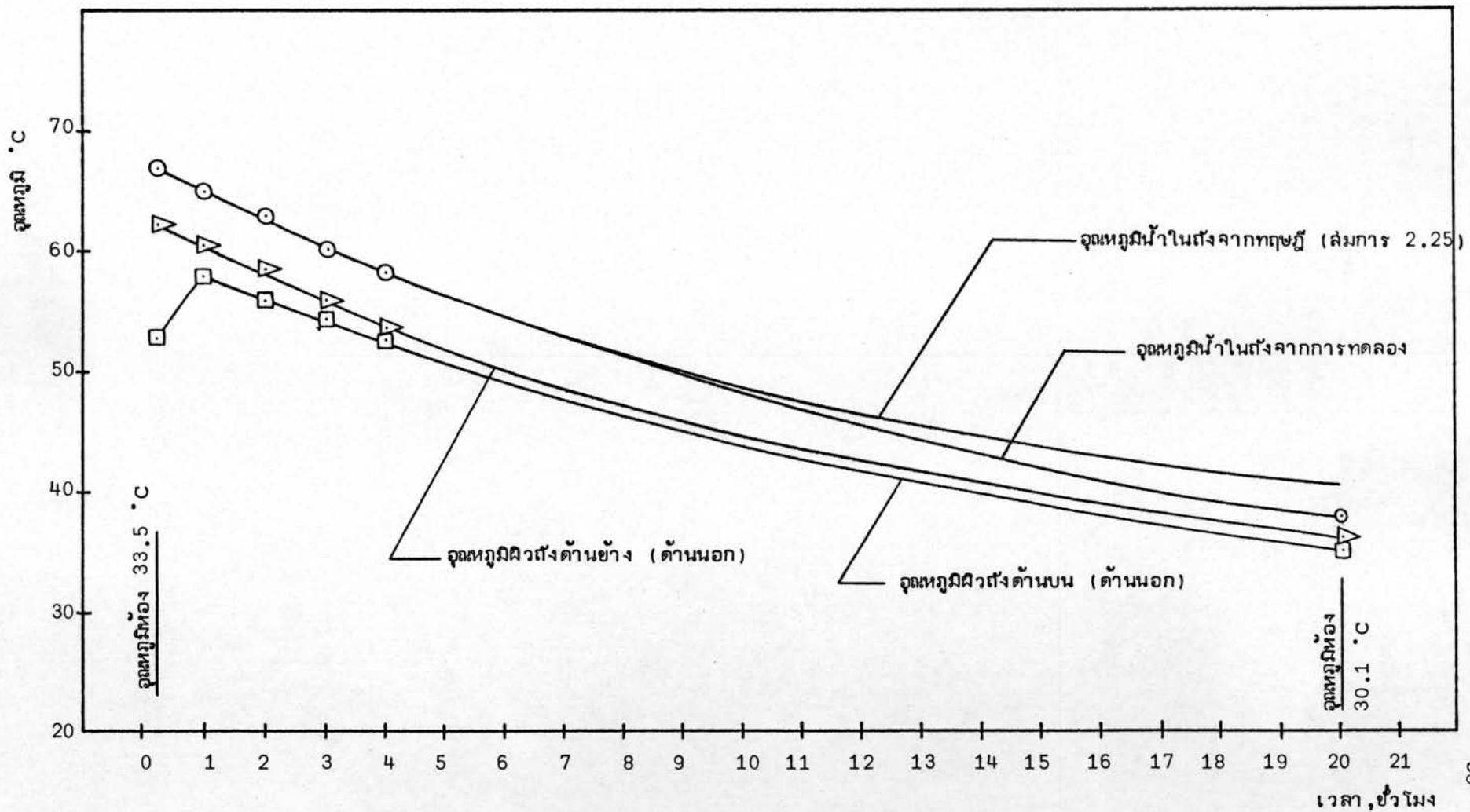
รูปที่ 3.1 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียดของลวดตาย่ายเบอร์ BWG 20 (จากเอกสารอ้างอิงที่ (31))



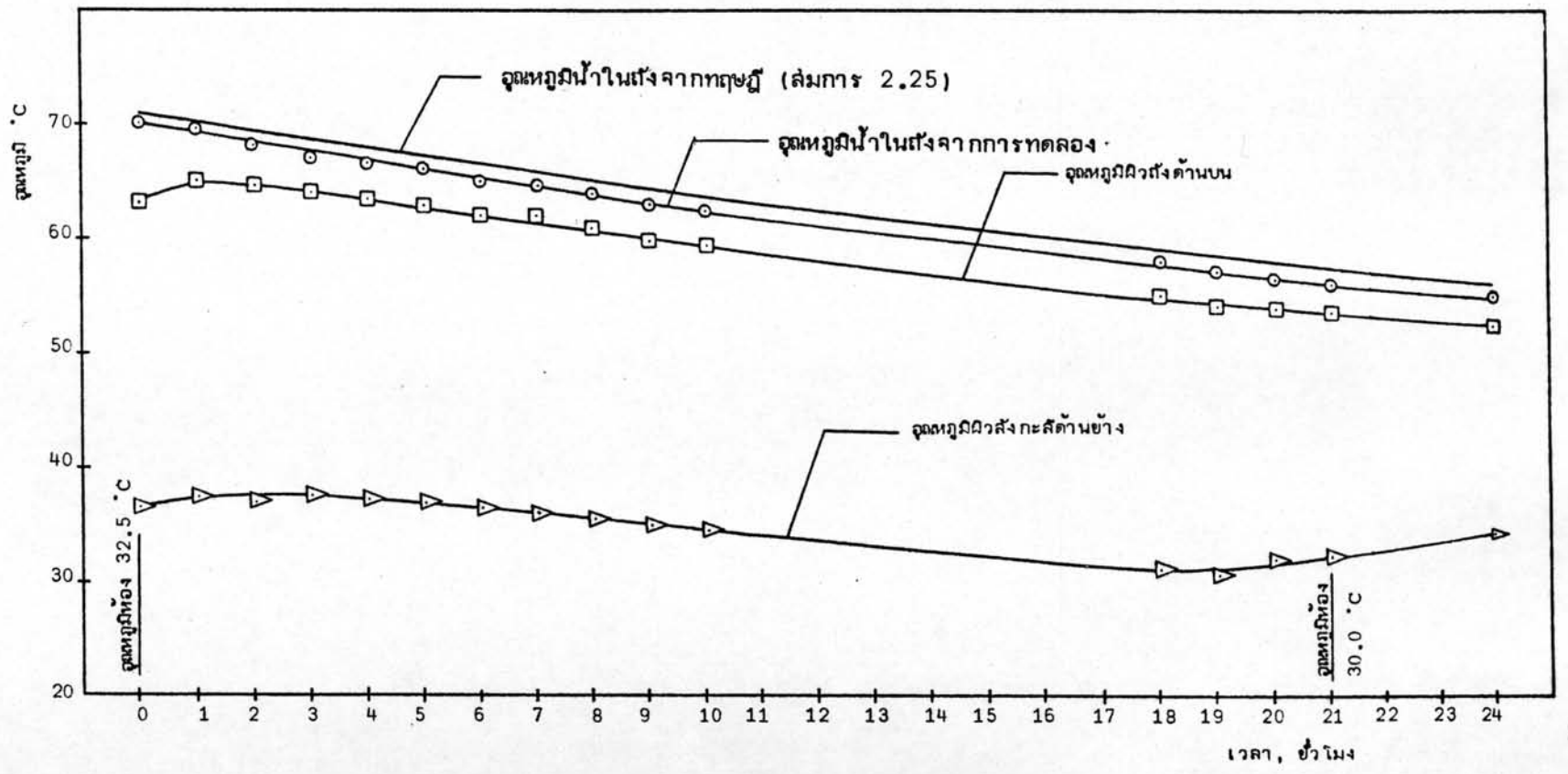
รูปที่ 3.2 แสดงโครงเหล็กกรวดด้วยลวดตาข่ายของถัง



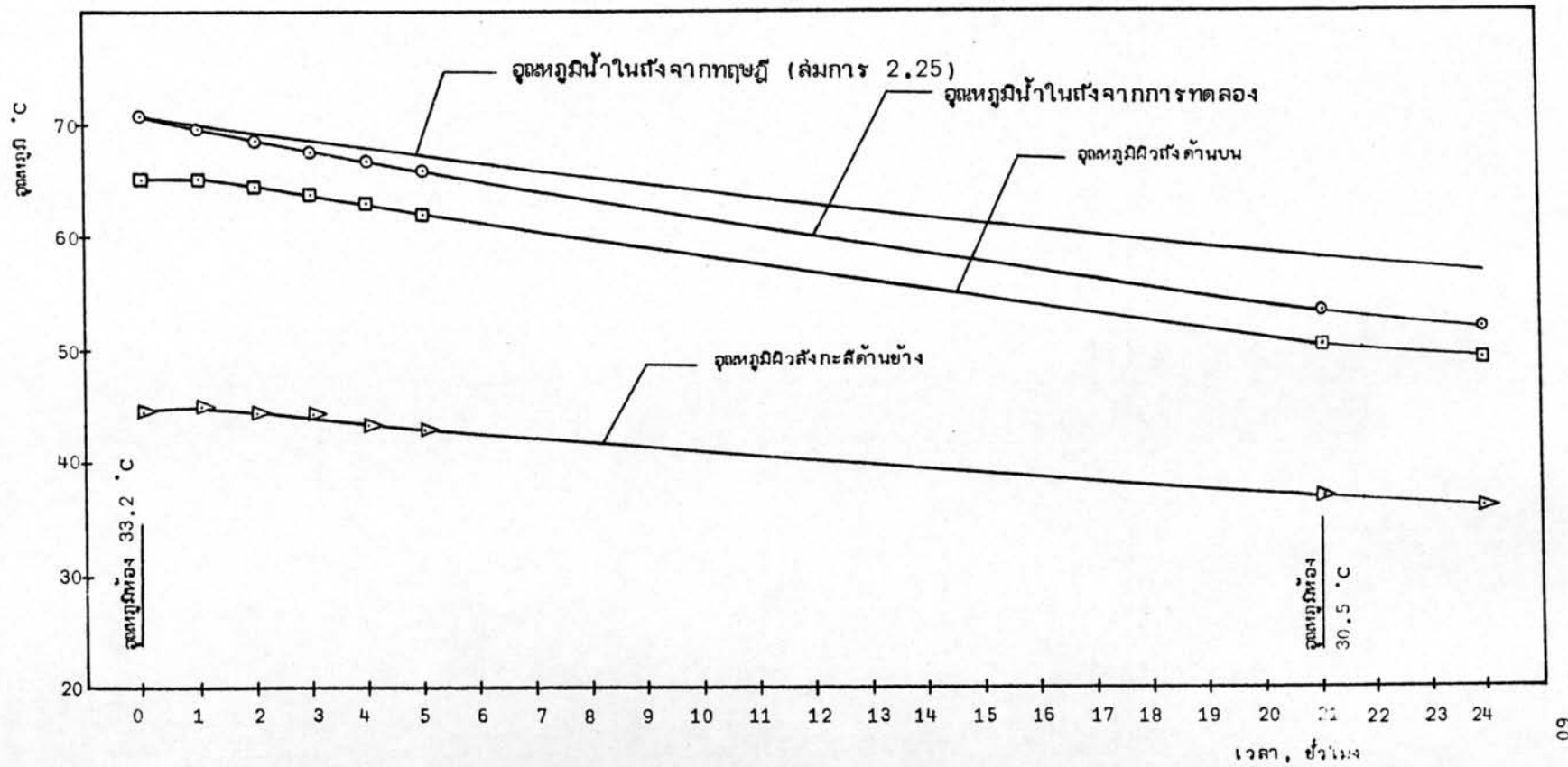
รูปที่ 3.3 แสดงการฉาบอัดปูนของผนังถัง



รูปที่ 4.1 การแปรเปลี่ยนของจุดอุณหภูมิกับเวลาของน้ำร้อนและถัง เพอร์โรซิเมนต์ไร้หุ้มฉนวน

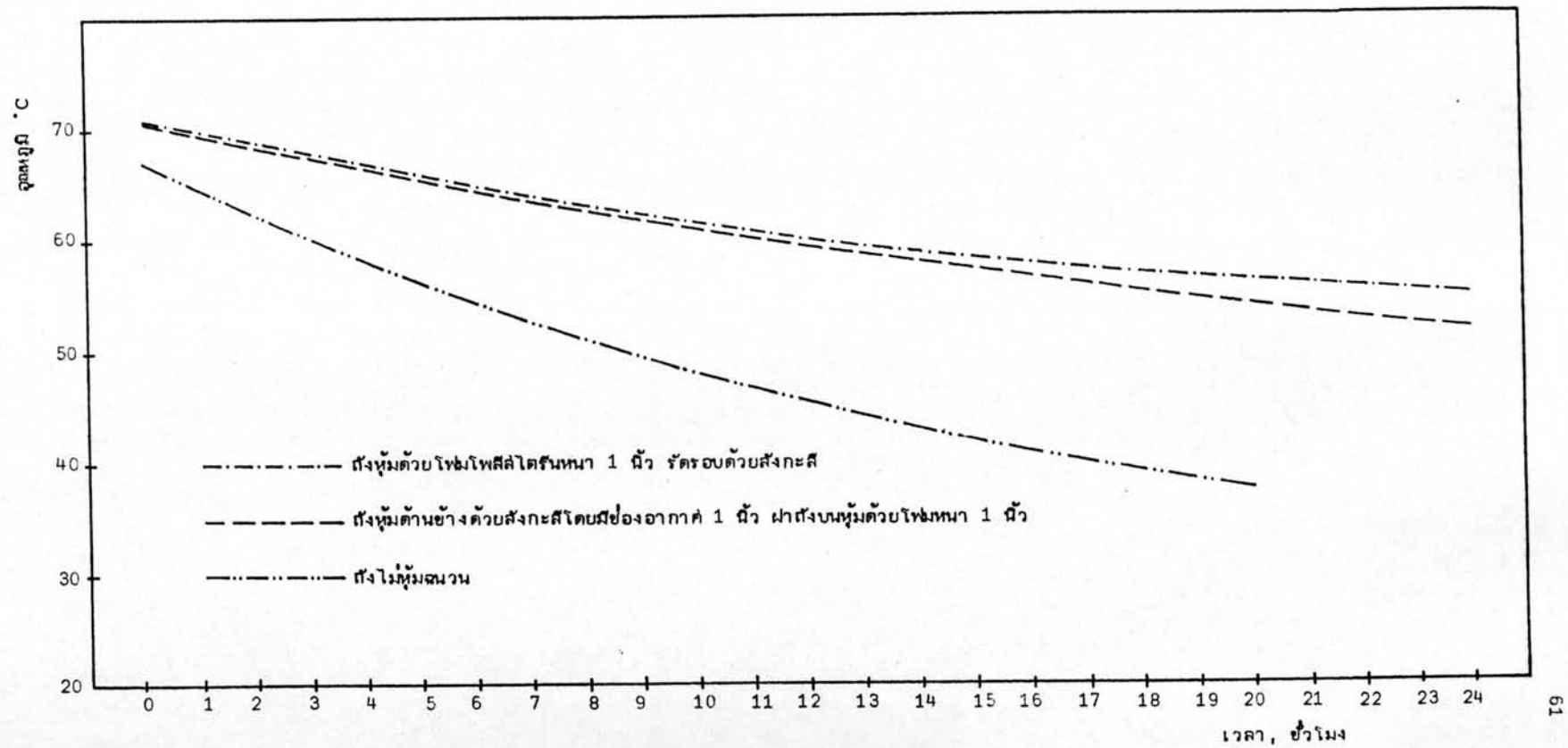


รูปที่ 4.2 การแปรเปลี่ยนของจุดอุณหภูมิกับเวลาของน้ำร้อนและถัง เพอร์โรซีเมนต์หุ้มด้วยโพลีโอสโตรโฟลีนหนา 1 นิ้ว รัศจรอบด้วยสังกะสี



รูปที่ 4.3 การแปรเปลี่ยนของจุดอุณหภูมิกับเวลาของน้ำร้อนและถัง เฟอร์โรซีเมนต์หุ้มค้ำนข้างด้วยสังกะสีโดยมีช่องอากาศ 1 นิ้ว ผาถังบนหุ้มด้วยโพลีเอทานอล 1 นิ้ว





รูปที่ 4.4 การแปรเปลี่ยนของอุณหภูมิกับเวลาของน้ำร้อนในถังเก็บน้ำร้อนเฟอโรโรซีเมนต์หุ้มด้วยฉนวนต่าง ๆ กัน

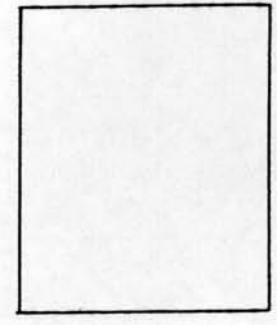
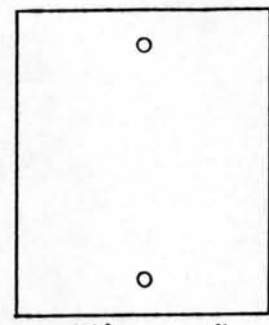
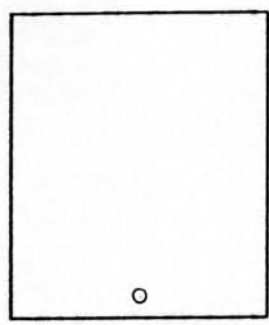
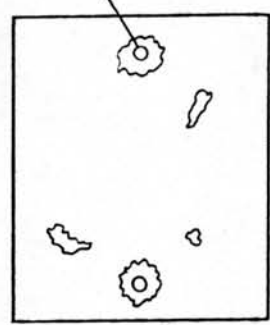
หน้า 1

หน้า 2

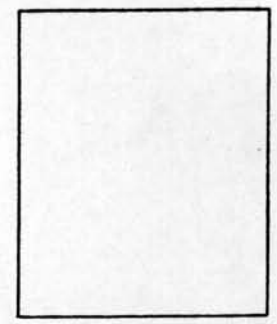
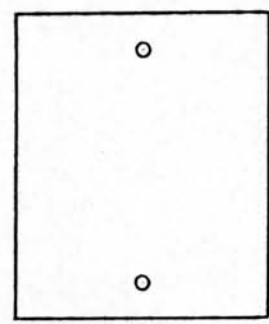
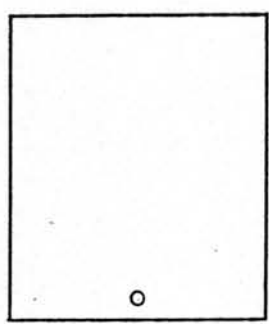
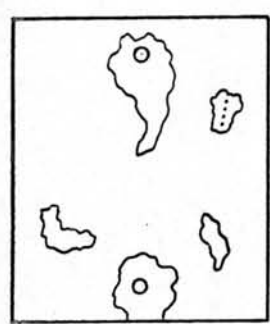
หน้า 3

หน้า 4

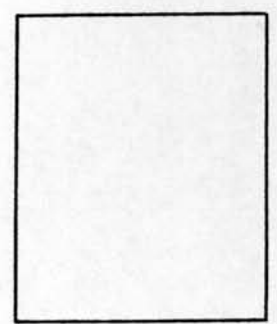
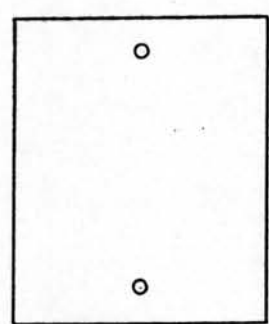
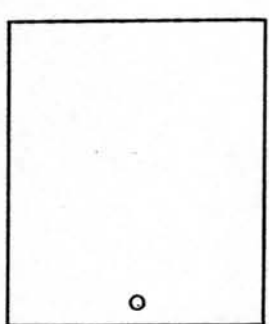
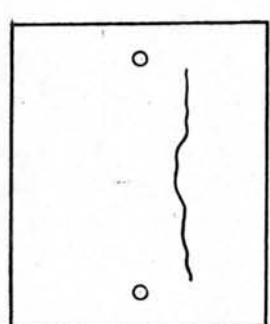
ท่อความดันเข้า



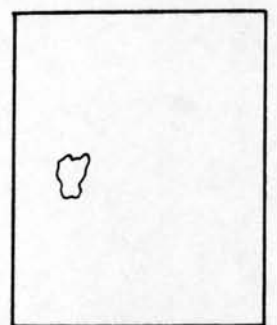
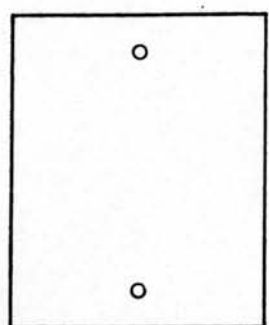
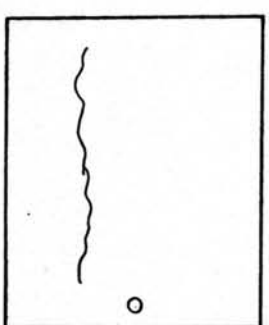
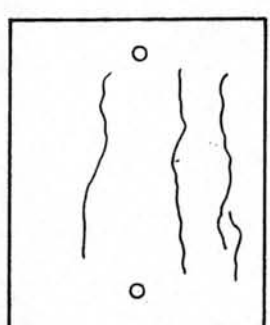
ความดันภายในถัง 10 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



ความดันภายในถัง 16 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



ความดันภายในถัง 24 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



รอยแตกครั้งสุดท้าย

(มาตราส่วน 1:150)

รูปที่ 4.5 แสดงรอยซึมของน้ำและรอยแตกครั้งสุดท้ายของถัง T4-P

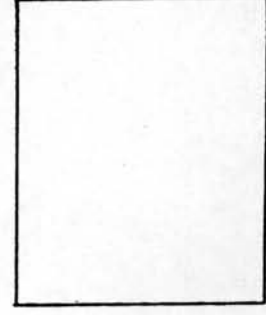
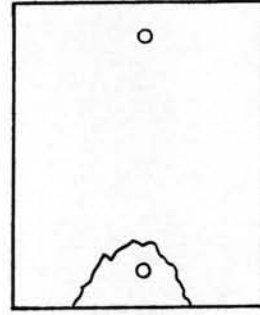
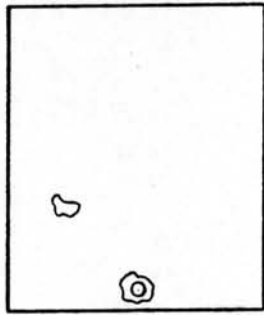
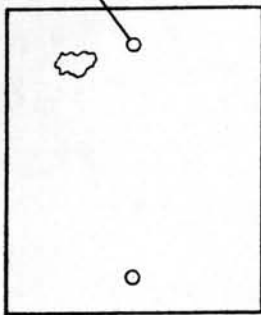
หน้า 1

หน้า 2

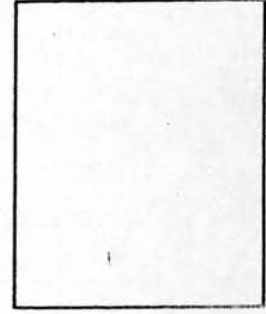
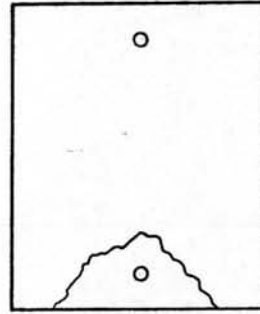
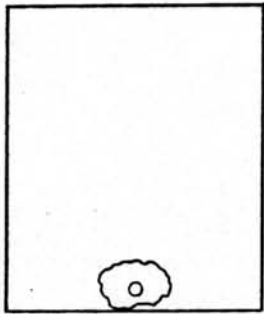
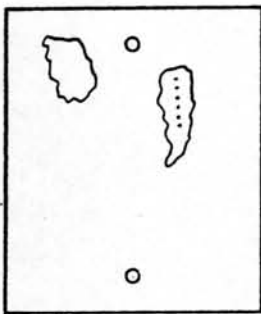
หน้า 3

หน้า 4

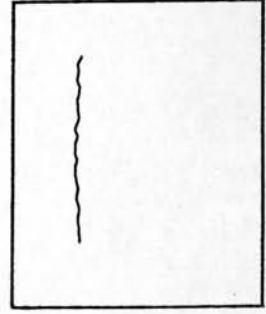
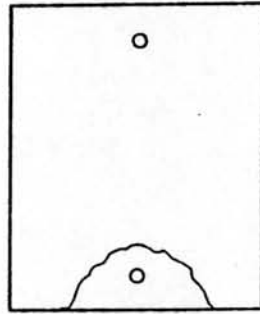
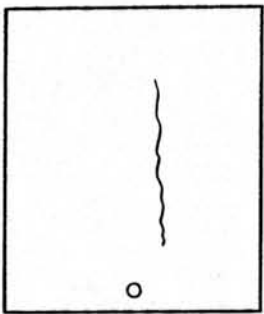
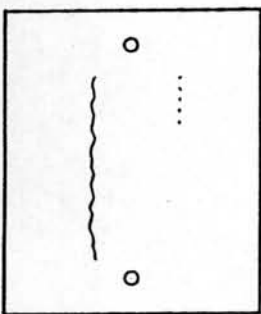
ท่อความดันเข้า



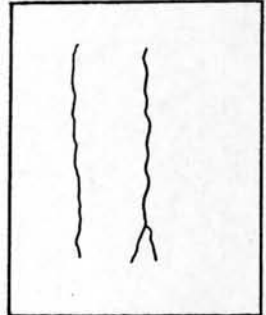
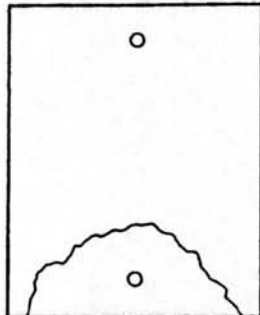
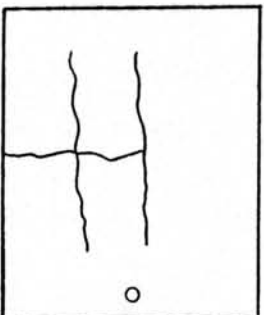
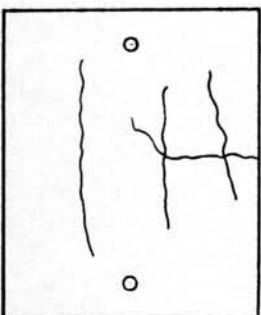
ความดันภายในถัง 6 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



ความดันภายในถัง 9 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



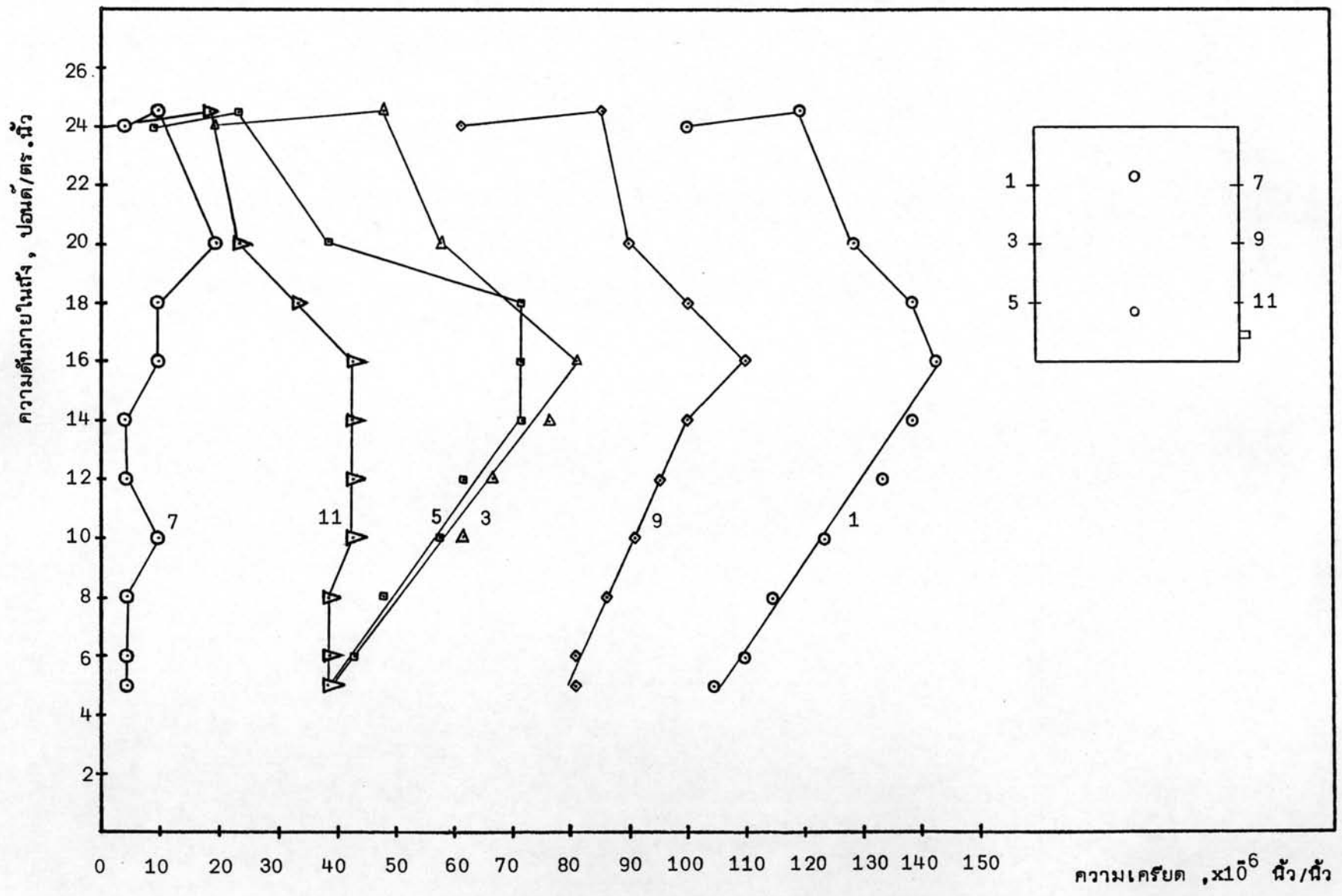
ความดันภายในถัง 14 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว



ความดันภายในถัง 15 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว

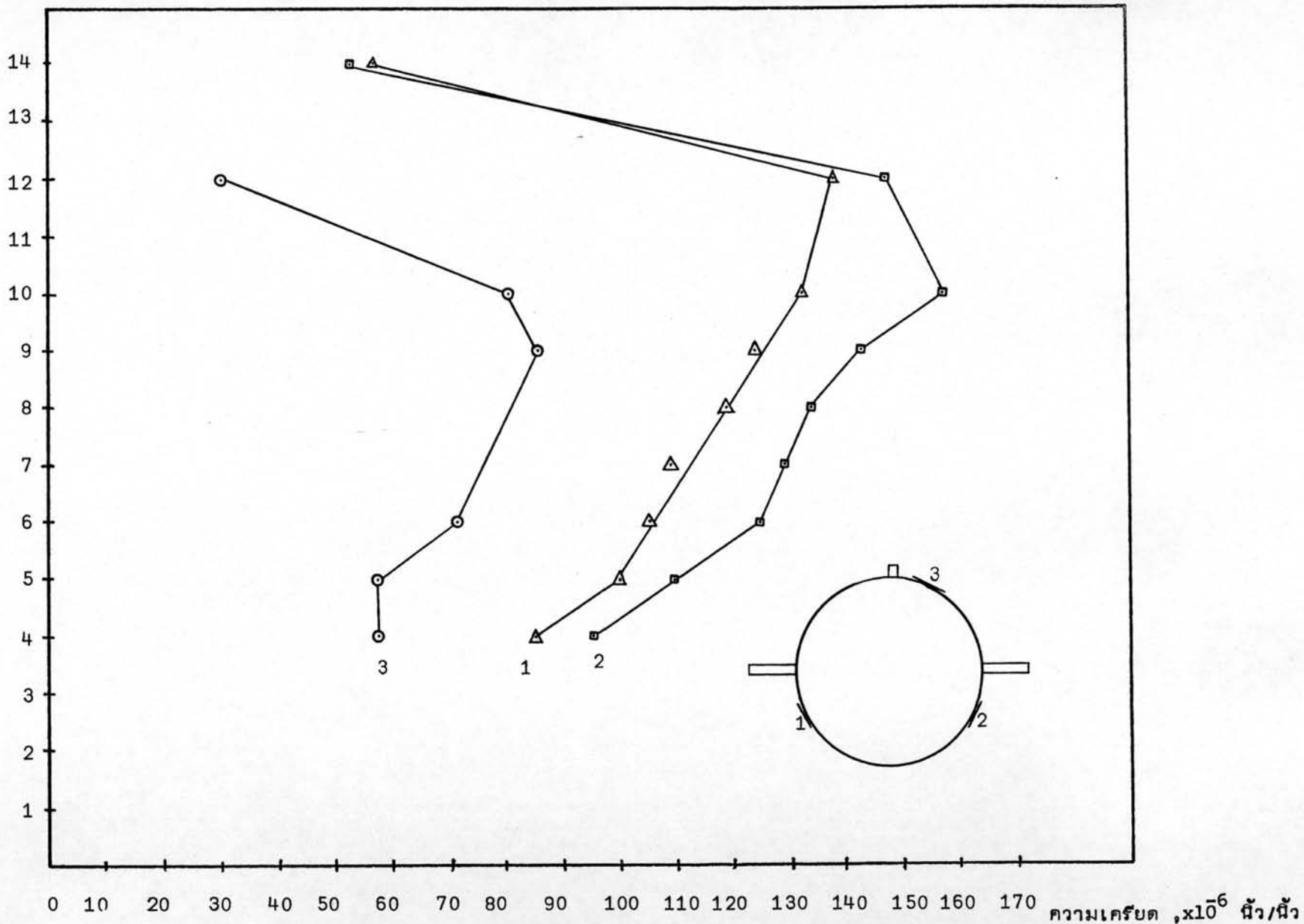
รูปที่ 4.6 แสดงรอยซึมของน้ำและรอยแตกกว้างของถัง T2-P

(มาตราส่วน 1:150)

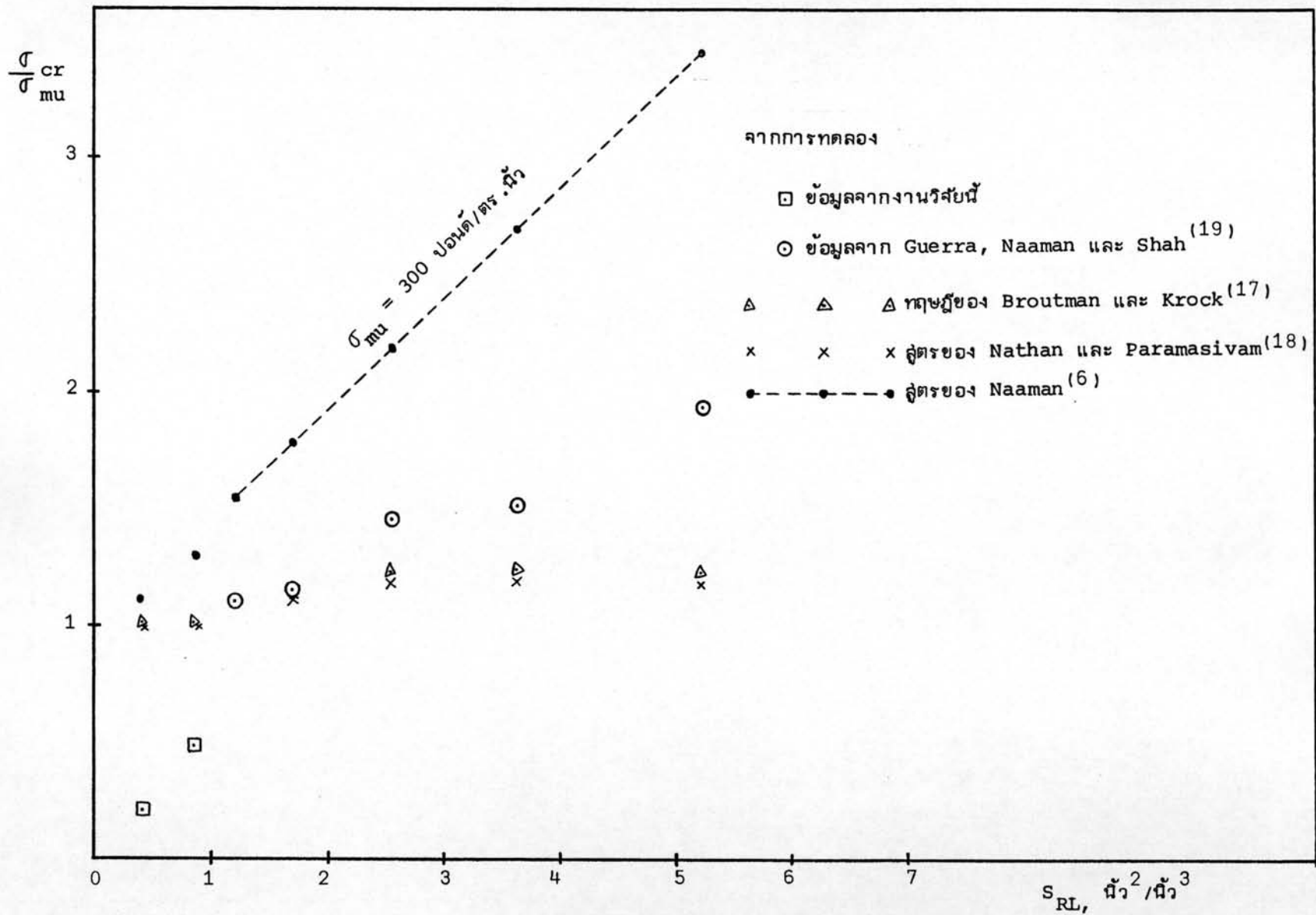


รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นภายในถัง กับความเครียดของผนังถังในแนวรอบถังของถัง T4-P

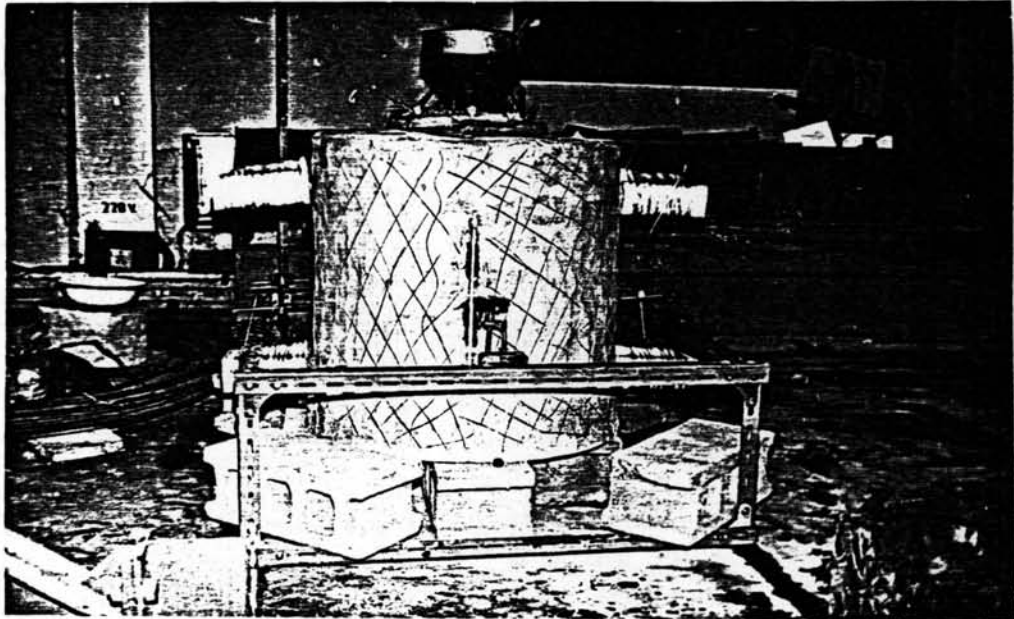
ความดันภายในถัง, ปอนด์/ตร.นิ้ว



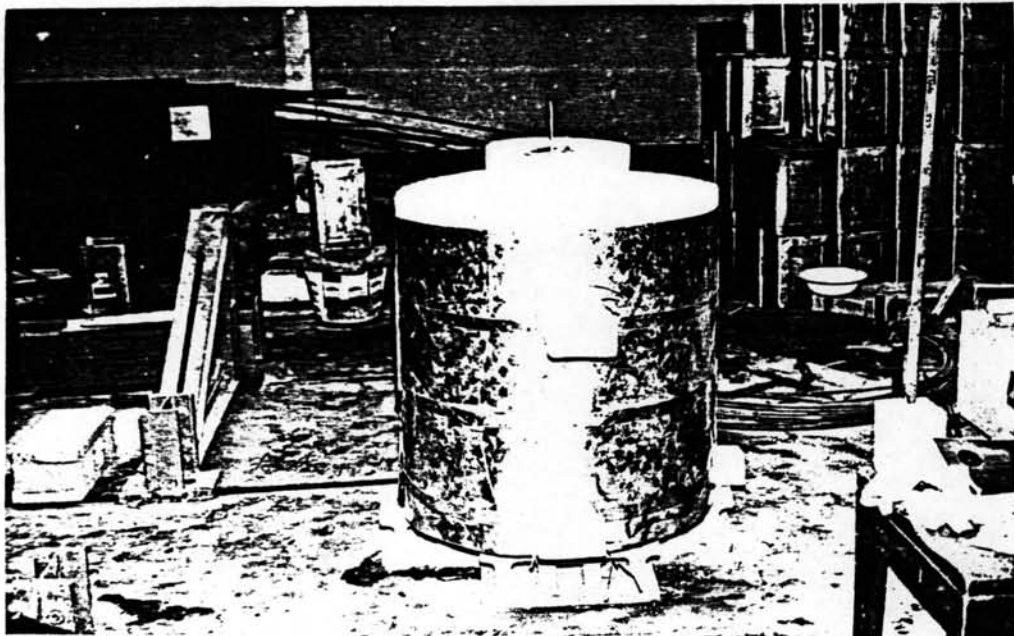
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างความดันภายในถัง กับความเครียดของลวดดึงในแนวรอบถังของลวด T2-P



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนความเค้นแตกช้าเริ่มแรกของถึงต่อหน่วยแรงดึงประ สลัของมอรัตกับค่าที่นิยามค่าเพาะของ ลวดตาข่ายในแนวแรง



รูปที่ 4.10 แสดงการทดลองการเก็บความร้อนของถังไม้หุ้มฉนวน



รูปที่ 4.11 แสดงการทดลองการเก็บความร้อนของถังหุ้มฉนวนด้วยโฟมโพลีสไตรีน รัศรอบด้วยสังกะสี

การคำนวณ ก.



ตัวอย่างการคำนวณความเค้นภายในถัง เนื่องจากความร้อน

1. ความเค้นเนื่องจากความร้อน (Temperature Stress)

ให้อุณหภูมิของน้ำร้อนภายในถัง =  $70^{\circ}\text{C}$

โมดูลัสยืดหยุ่นของซีเมนต์มอร์ต้า  $E_{mt} = 2.1 \times 10^5 \text{ กก./ซม.}^2$

สัมประสิทธิ์การขยายตัว เนื่องจากความร้อนของซีเมนต์มอร์ต้า  $\delta = 11 \times 10^{-6} (^{\circ}\text{C})^{-1}$

ความแตกต่างของอุณหภูมิระหว่างผิวในกับผิวนอกถัง  $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$

$$\begin{aligned} \therefore \text{หน่วยแรงดึงมากที่สุด} & \text{ในแนวรอบถังของซีเมนต์มอร์ต้า เนื่องจากความร้อน}^{(28)} = \frac{\Delta T}{2} E_{mt} \delta \\ & = \frac{5 \times 2.1 \times 10^5 \times 11}{2 \times 10^6} \\ & = 5.8 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

2. ความเค้นเนื่องจากน้ำภายในถัง (Hydrostatic Pressure)

ถังที่ทำการศึกษาทดลองเป็นแบบถังฝาปิดที่มีน้ำบรรจุอยู่เต็ม เนื่องจากไม่มีสูตรสำเร็จในการคำนวณหาหน่วยแรงดึงในแนวรอบถังมากที่สุด จึงได้คำนวณโดยพิจารณาถังเป็นแบบฝาเปิดซึ่งทำให้ได้ค่าหน่วยแรงดึงในแนวรอบถังมากกว่ากรณีแรกเป็นไปในทางปลอดภัยขึ้น นอกจากนี้ค่าหน่วยแรงที่คำนวณได้มีค่าน้อยมากเมื่อเทียบกับค่าความเค้นเนื่องจากความร้อนหรือเนื่องจากความดันภายในถัง จึงใช้วิธีคำนวณโดยประมาณ ดังนี้

จากวิธีการคำนวณตาม Gray และ Manning<sup>(28)</sup>

$$\text{ค่าอัตราส่วน } \frac{H}{D} = \frac{60}{65} = 0.923 \quad \text{และ} \quad \frac{H}{d} = \frac{60}{2.54} = 23.62$$

โดยที่  $H$  = ความสูงของถัง  $D$  = ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางของถังและ  $d$  = ความหนาของผนังถัง จากตารางหาค่าตัวคงที่ในรูปที่ 2.4 จะได้  $K = 0.75$  สำหรับแรงดึงมากที่สุดต่อหน่วยความสูงของถังในแนวรอบถัง

$$\therefore \text{แรงดึงมากที่สุดต่อหน่วยความสูงของถังในแนวรอบถัง} = (K) \cdot p \cdot \frac{D}{2}$$

$$= \frac{0.75 \times 60 \times 65}{1000 \times 2}$$

$$= 1.5 \text{ กก./ชม.}$$

หรือคิดเป็นหน่วยแรงดึงมากที่สุดใ้ในแนวรอบถัง

$$= \frac{1.5}{2.54} = 0.59 \text{ กก./ชม.}^2$$

.°. รวมหน่วยแรงดึงมากที่สุดใ้ในแนวรอบถัง เนื่องจากน้ำร้อน

$$= 5.8 + 0.59$$

$$= 6.39 \text{ กก./ชม.}^2$$

แต่หน่วยแรงดึงของซีเมนต์มอร์ต้า เมื่อเกิดการแตกร้าว = 21.0 กก./ชม.<sup>2</sup>

(ให้ซีเมนต์มอร์ต้าร์เกิดรอยแตกร้าวเมื่อความเครียดเท่ากับ 0.01%)

.°. คิดแล้วยังมีค่าอัตราส่วนความปลอดภัยอยู่ =  $\frac{21.0}{6.39} = 3.3$

การเสริมลวดตาข่ายจะช่วยป้องกันการแตกร้าวด้วย

ภาคผนวก ข.

ตัวอย่างการออกแบบถังเก็บน้ำร้อนเฟอโรโครซีเมนต์รูปทรงกระบอก ฮัดด้วยความดัน

ตามรูปที่ 2.1 กำหนดให้ถังเก็บน้ำเฟอโรโครซีเมนต์มีขนาดดังนี้

$$a = \text{รัศมี} = 32.5 \text{ ซม. หรือ } 12.8 \text{ นิ้ว, } t_w = \text{ความหนา} = 2.54 \text{ ซม. หรือ } 1 \text{ นิ้ว}$$

$$L = \text{ความสูง} = 60 \text{ ซม. หรือ } 23.62 \text{ นิ้ว และค่า poisson ratio } \nu = 0.2$$

$$\text{ความดันภายในถัง} = 20 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว หรือ } 1.4 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{ใช้อัตราส่วนความปลอดภัย} = 1.25 \text{ ซึ่งเท่ากับที่ใช้โดย Paul และ Pama (2)}$$

$$\therefore \text{ความดันภายในถังที่ใช้ออกแบบ} = 25 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว หรือ } 1.75 \text{ กก./ซม.}^2$$

จากสมการ (2.8)

$$M_x = -2D\beta^2 [A_1 \cos\beta x \cosh\beta x - A_4 \sin\beta x \sinh\beta x]$$

$$M_\theta = \nu M_x$$

$$N_\theta = \frac{-Et_w}{a} [A_1 \sin\beta x \sinh\beta x + A_4 \cos\beta x \cosh\beta x] + pa \quad (1)$$

$$\text{และ } Q_x = -2D\beta^3 [-(A_1 + A_4) \sin\beta x \cosh\beta x + (A_1 - A_4) \cos\beta x \sinh\beta x]$$

$$\text{โดยที่ } \beta = \frac{4}{\sqrt{a^2 t_w^2}} \sqrt{3(1-\nu^2)} = 0.143 \text{ 1/ซม.} \quad (2)$$

$$D = \frac{Et_w^3}{12(1-\nu^2)} = 1.42 E \text{ กก.-ซม.} \quad (3)$$

$$w = A_1 \sin\beta x \sinh\beta x + A_4 \cos\beta x \cosh\beta x - \frac{pa^2}{Et_w} \quad (4)$$

$$\text{โดยที่ } A_1 = \frac{2pa^2}{Et_w} \left[ \frac{\sin\alpha \cosh\alpha - \cos\alpha \sinh\alpha}{\sin 2\alpha + \sinh 2\alpha} \right] = -\frac{9.9}{E} \text{ ซม.} \quad (5)$$

$$A_4 = \frac{2pa^2}{Et_w} \left[ \frac{\cos\alpha \sinh\alpha + \sin\alpha \cosh\alpha}{\sin 2\alpha + \sinh 2\alpha} \right] = -\frac{26.4}{E} \text{ ซม.} \quad (6)$$

$$M_x = 0.57 \cos 0.143x \cosh 0.143x - 1.53 \sin 0.143x \sinh 0.143x \quad (7)$$

$$M_\emptyset = 0.11 \cos 0.143x \cosh 0.143x - 0.31 \sin 0.143x \sinh 0.143x \quad (8)$$

$$N_\emptyset = 0.77 \sin 0.143x \sinh 0.143x + 2.06 \cos 0.143x \cosh 0.143x + 56.9 \quad (9)$$

$$Q_x = -0.3 \sin 0.143x \cosh 0.143x - 0.14 \cos 0.143x \sinh 0.143x \quad (10)$$

จากสมการ (7), (8), (9) และ (10) ก็สามารถหาค่าแรงภายในต่าง ๆ ได้ที่ระยะ X ใด ๆ ดังนี้

X (ชม.)	$M_x$ (กก.-ชม./ชม.)	$M_\emptyset$ (กก.-ชม./ชม.)	$N_\emptyset$ (กก./ชม.)	$Q_x$ (กก./ชม.)
30	42.4	8.5	0.48	12.07
25	2.2	0.44	17.66	4.5
20	-8.5	-1.7	41.4	0.4
15	-6.7	-1.34	54.8	-0.8
10	-2.8	-0.56	59.04	-0.7
5	-0.2	-0.04	59.3	-0.3
0	0.6	0.12	58.9	0

จะเห็นว่าค่า  $N_\emptyset$  มากที่สุด = 59.3 กก./ชม. หรือ 331.4 ปอนด์/นิ้ว ที่ระยะประมาณ 5 ชม. จากกึ่งกลางถึง

ค่าหน่วยแรงดึงมากที่สุดในแนวรอบถึง เนื่องจากความร้อนจากภาคผนวก ก. = 5.8 กก./ชม.<sup>2</sup> หรือ 82.9 ปอนด์/ตร.นิ้ว

ดังนั้นจึงออกแบบผนังถึงให้รับ  $N_\emptyset = 59.3 + 5.8 \times 2.54 = 74.03$  กก./ชม. หรือ

413.7 ปอนด์/นิ้ว ด้วยเฟอร์โรซีเมนต์ในช่วงยังไม่แตกกร้าว (Uncracked Range) ซึ่งในกรณีนี้ตัวควบคุมวิกฤต คือค่าความเค้นตอนแตกกร้าวเริ่มแรก ( $\sigma_{cr}$ ) ของเฟอร์โรซีเมนต์รับแรงดึง

กำหนดให้ โมดูลัสยืดหยุ่นของลวดตาข่าย  $E_f = 15.0 \times 10^6$  ปอนด์/ตร.นิ้ว

โมดูลัสยืดหยุ่นของซีเมนต์มอร์ตาร์  $E_{mt} = 3.0 \times 10^6$  ปอนด์/ตร.นิ้ว

แรงดึงประลัยของลวดตาข่าย  $\sigma_{fu} = 58.4 \times 10^3$  ปอนด์/ตร.นิ้ว

แรงดึงประลัยของซีเมนต์มอร์ตาร์  $\sigma_{mu} = 300$  ปอนด์/ตร.นิ้ว

ความเครียดตอนแตกกร้าวของซีเมนต์มอร์ตาร์  $\epsilon_{mu} = 0.01\%$

ในการออกแบบเฟอร์โรซีเมนต์รับแรงดึง มีทฤษฎีและสูตรในการคำนวณดังนี้

ก. ออกแบบตามสูตรสำเร็จของ Naaman<sup>(6)</sup>

ขั้นตอนการออกแบบเป็นดังนี้ (Paul และ Pama<sup>(2)</sup>)

1) กำหนดให้ค่าความเค้นตอนแตกกร้าวเริ่มแรกของเฟอร์โรซีเมนต์  $\sigma_{cr} = 400$  ปอนด์/ตร.นิ้ว

$$\therefore \text{ต้องใช้พื้นที่หน้าตัดของเฟอร์โรซีเมนต์รับแรงดึง} = \frac{413.7}{400}$$

$$\therefore A_c = 1.03 \text{ ตร.นิ้ว/นิ้ว}$$

$\therefore$  ในความกว้างของหน้าตัดหนึ่งนิ้วเลือกใช้ความหนา  $t_w = 1.0$  นิ้ว

2) ลวดตาข่ายที่ใช้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง  $d = 0.035$  นิ้ว ขนาดตา  $S_f = 0.5$  นิ้ว

$$\begin{aligned} \therefore \text{ค่าพื้นที่ผิวจำเพาะของลวดตาข่ายในทิศทางของแรงกระทำ } S_{RL} &= \frac{\pi(0.035)n}{0.5 \times 1} \\ &= 0.22 n \end{aligned}$$

$$\text{จากสมการ (2.9) } \sigma_{cr} = 140S_{RL} + \sigma_{mu}$$

$$\therefore 413.7 = 140 \times 0.22n + 300$$

จะได้  $n = 3.7$  ขึ้น ใช้ 4 ขึ้น

3) ตรวจสอบดูว่าเมื่อเสริมลวดตาข่ายจำนวน 4 ชั้น และ เหล็กโครง  $\varnothing$  6 มม. แล้ว จะพอดีกับความหนาของผนังซึ่งที่ออกแบบหรือไม่ โดยให้ความหนาของปูนหุ้มเหล็กเท่ากับ 0.08 นิ้ว

$$\begin{aligned} \therefore \text{ความหนาจริง} &= 2 \times 0.08 + \frac{2 \times 0.6}{2.54} + 4 (0.035 \times 2) \\ &= 0.912 \text{ นิ้ว} < 1.0 \text{ นิ้ว} \text{ ใช้ได้} \end{aligned}$$

4) ค่าอัตราส่วนปริมาตรที่เป็นจริงของลวดตาข่ายในทิศทางของแรงกระทำ

$$\begin{aligned} V_{fL} &= \frac{\pi (0.035)^2 4}{4 \times 0.5 \times 1} \\ &= 0.0077 \text{ หรือ } 0.77\% \end{aligned}$$

$$\text{และ } V_{fL} (\text{min.}) = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{fu}} = \frac{400}{58.4 \times 10^3} = 0.0068 \text{ หรือ } 0.68\% < 0.77\% \text{ ใช้ได้}$$

5) ค่าความเค้นตอมแตกראวเริ่มแรกหาได้จาก

$$\begin{aligned} \therefore \sigma_{cr} &= 140 \times 0.22 \times 4 + 300 \\ &= 423 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว} > 413.7 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว} \end{aligned}$$

$\therefore$  เสริมด้วยลวดตาข่ายสี่เหลี่ยมแบบเชื่อม (Welded Square Wire Mesh)

เบอร์ BWG 20 ขนาดตา 0.5x0.5 นิ้ว จำนวน 4 ชั้น

ข. ออกแบบตาม Law of Mixture ของ Broutman และ Krock<sup>(17)</sup>

$$\text{จากสมการ (2.17) } \sigma_{cr} = \sigma_{mu} V_m + \epsilon_{mu} E_f V_{fL}$$

$$\therefore 413.7 = 300(1 - V_{fL}) + \frac{0.01}{100} \times 15.0 \times 10^6 V_{fL}$$

$$\text{จะได้ } V_{fL} = 0.095$$

$$\therefore S_{RL} = \frac{4 \times 0.095}{0.035} = 10.86 \text{ นิ้ว}^2 / \text{นิ้ว}^3$$

$$\therefore 10.86 = \frac{\pi(0.035)n}{0.5 \times 1}$$

จะได้  $n = 49$  ชั้น

ค. ออกแบบตามสูตรของ Nathan และ Paramasivam (18)

$$\text{จากสมการ (2.18) } \sigma_{cr} = \sigma_s \left( \frac{A_{fL}}{A_m} \right)^{1.1} + \sigma_{ms}$$

$$\therefore 413.7 = 1500 \left( \frac{A_{fL}}{A_m} \right)^{1.1} + 300$$

$$\text{หรือเขียนเป็น } \left( \frac{V_{fL}}{1 - V_{fL}} \right)^{1.1} = \frac{113.7}{1500}$$

จะได้  $V_{fL} = 0.0876$

$$\therefore \frac{\pi(0.035)n}{0.5 \times 1} = \frac{4 \times 0.0876}{0.035}$$

จะได้  $n = 46$  ชั้น

ถ้าหากเสริมลวดตาข่าย 4 ชั้น ตามที่ออกแบบไว้ครั้งแรกจะได้ค่า  $\sigma_{cr}$  ตามสมการ (2.17) และ (2.18) ดังนี้

$$\begin{aligned} \text{สมการ (2.17) } \sigma_{cr} &= 300 \times 0.992 + \frac{0.01}{100} \times 15.0 \times 10^6 \times \frac{0.77}{100} \\ &= 309.2 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว} \end{aligned}$$

หรือคิดเป็น 74.6% ของค่าที่ออกแบบ

$$\begin{aligned} \text{สมการ (2.18) } \sigma_{cr} &= 1500 \left( \frac{0.182}{23.44} \right)^{1.1} + 300 \\ &= 307.2 \text{ ปอนด์/ตร.นิ้ว} \end{aligned}$$

หรือคิดเป็น 74.15% ของค่าที่ออกแบบ

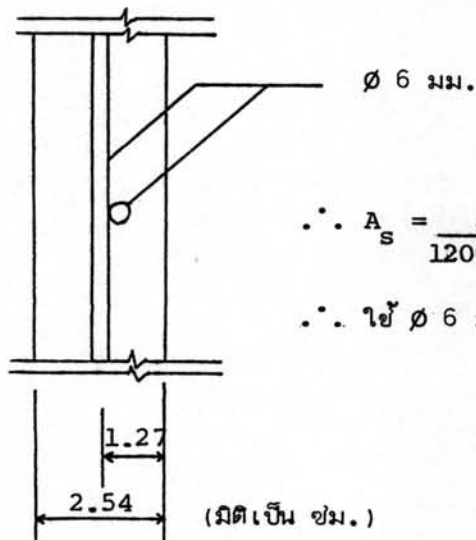


ค่า  $M_x$  ของผนังดังมากที่สุดเท่ากับ 42.4 กก.-ซม./ซม.

สมมติให้  $f'_c = 175$  กก./ตร.ซม.,  $f_c = 79$  กก./ตร.ซม.,  $n = 10.1$

$f_s = 1200$  กก./ตร.ซม.

$\rho = 0.01312$ ,  $k = 0.399$ ,  $j = 0.867$ ,  $R = 13.65$



$$\therefore A_s = \frac{42.4 \times 100}{1200 \times 0.867 \times 1.27} = 3.2 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

$\therefore$  ใช้  $\varnothing 6$  มม. @ 8.5 ซม. C/C ในแนวตั้ง

ส่วนการออกแบบฝาผนัง ได้พิจารณาเป็นแผ่นพื้นกลมที่มีน้ำหนักบรรทุกทุกแผ่สม่ำเสมอและปลายของขอบวางอยู่บนที่รองรับธรรมดา เนื่องจากผนังดังมีลัดไฟนล้นน้อยมากเมื่อเทียบกับฝาผนัง แต่ก็ไต่ยื่นเหล็กเสริมจากผนังดังเลยเข้าไปในฝาผนังเพื่อรับโมเมนต์ยึดที่ขอบผาซึ่งเกิดขึ้นจาก End Restraint ลมการของโมเมนต์ยึดสามารถเขียนได้ดังนี้ (32)

$$M_r = \frac{q}{16} (3 + \nu) (a^2 - r^2) \quad (11)$$

$$\text{และ } M_t = \frac{q}{16} [a^2 (3 + \nu) - r^2 (1 + 3\nu)] \quad (12)$$

- โดยที่  $M_r$  = โมเมนต์ตัดต่อหน่วยความยาวกระทำตามหน้าตัด เส้นรอบวงของแผ่นพื้นกลม  
 $M_t$  = โมเมนต์ตัดต่อหน่วยความยาวกระทำตามหน้าตัดในแนวรัศมีของแผ่นพื้นกลม  
 $q$  = น้ำหนักบรรทุกทุกแผ่สม่ำเสมอ  
 $a$  = รัศมีของแผ่นพื้นกลม  
 $r$  = ระยะใด ๆ จากจุดศูนย์กลางของแผ่นพื้นกลม  
 $\nu$  = Poisson Ratio

กำหนดให้  $\nu = 0.2$  และความตึงภายในตั้งเท่ากับ 40 ปอนด์ต่อตารางนิ้วหรือ 2.8 กก. ต่อ ตร.ซม. เพื่อให้ผ้าตึงแข็งแรงกว่าผนังตั้งจะได้เกิดการรูดในผนังตั้ง ซึ่งเป็นส่วนที่สนใจในการศึกษาความแข็งแรง

$$\begin{aligned} \text{จากสมการ (11)} \quad M_r &= \frac{2.8}{16} (3+0.2) (32.5^2 - r^2) \\ &= 591.5 - 0.56 r^2 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \text{และสมการ (12)} \quad M_t &= \frac{2.8}{16} [32.5^2 (3+0.2) - r^2 (1+3 \times 0.2)] \\ &= 591.5 - 0.28 r^2 \end{aligned} \quad (14)$$

จากสมการ (13) และ (14) สามารถหาค่าได้ที่ระยะ  $r$  ใด ๆ ดังนี้

$r$ (ซม.)	0	2.54	5.08	7.62	10.16	12.7	15.24	17.78	20.32
$M_r$ (กก.-ม./ม.)	591.5	587.9	577.1	559.0	533.7	501.2	461.4	414.5	360.3
$M_t$ (กก.-ม./ม.)	591.5	589.7	584.3	575.3	562.6	546.3	526.5	502.9	475.9

22.86	25.4	27.94	30.48	32.57
298.9	230.2	154.3	71.2	0
445.2	410.9	372.9	331.4	294.5

$$\text{สมมติให้ } f'_c = 175 \text{ กก./ซม.}^2, f_c = 79 \text{ กก./ซม.}^2, n = 10.1, f_s = 1200 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\rho = 0.01312, k = 0.399, j = 0.867, R = 13.65$$

$$\therefore \text{ ความลึกประสิทธิภาพของแผ่นพื้นกลม} = \sqrt{\frac{591.5}{13.65}} = 6.6 \text{ ซม.}$$

$$\text{ใช้ความหนาของฝาตั้ง} = 10 \text{ ซม.}$$

เหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์ดัดกระทำตามหน้าตัดเส้นรอบวง

$$\text{ที่ระยะ } r = 0, A_s = \frac{59150}{1200 \times 0.867 \times 8} = 7.1 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

$$\text{ใช้ } \varnothing 6 \text{ มม. @ } 3.9 \text{ ซม. C/C}$$

$$\text{ที่ระยะ } r = 22.86 \text{ ซม.}, A_s = \frac{298.9 \times 100}{1200 \times 0.867 \times 8} = 3.6 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

$$\text{ใช้ } \varnothing 6 \text{ มม. @ } 7.7 \text{ ซม. C/C}$$

เหล็กเสริมสำหรับโมเมนต์ดัดกระทำตามหน้าตัดในแนวรัศมี

ที่ระยะ  $r = 0$  โมเมนต์เท่ากับในแนวเส้นรอบวง

$$\text{ดังนั้นใช้ } \varnothing 6 \text{ มม. @ } 3.9 \text{ ซม. C/C}$$

$$\text{ที่ระยะ } r = 22.86 \text{ ซม.}, A_s = \frac{445.2 \times 100}{1200 \times 0.867 \times 8} = 5.4 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

$$\text{ใช้ } \varnothing 6 \text{ มม. @ } 5.0 \text{ ซม. C/C}$$

$$\text{ที่ระยะ } r = 32.57 \text{ ซม.}, A_s = \frac{294.5 \times 100}{1200 \times 0.867 \times 8} = 3.6 \text{ ซม.}^2/\text{ม.}$$

$$\text{ใช้ } \varnothing 6 \text{ มม. @ } 7.7 \text{ ซม. C/C}$$

## ประวัติการศึกษา

นายวิญญู จินตนาวัฒน์ เกิดเมื่อวันที่ 20 เมษายน พ.ศ. 2496 ที่จังหวัดเชียงใหม่  
สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ปีการศึกษา 2519

