



เอกสารอ้างอิง

1. เอนก ชมวงษ์, "ความแข็งแรงของผนังก่ออิฐต่อการรับแรงค้ำข้าง" วิทยานิพนธ์ปริญญา
มหาบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,
พ.ศ. 2525.
2. Holmes, M., "Steel Frame with Brick Work and Concrete Infilling",
Proceedings of The Institution of Civil Engineers, Vol. 19,
1961, pp. 473-475.
3. Holmes, M., "Combined Loading on Infilled Frames", Proc. Instn.
Civ. Engrs, Vol. 25, 1963, pp. 31-36.
4. Stafford Smith, B., "Lateral Stiffness of Infilled Frames", Journal
of Structural Division, ASCE, Vol. 88, No. ST6, 1962,
pp. 183-199.
5. Stafford Smith, B., "Behaviour of Square Infilled Frames", Journal
of Structural Division, ASCE, Feb., 1966, pp. 381-403.
6. Smolira, M., "Analysis of Infilled Shear Walls", Proc. Instn. Civ.
Engrs., Paper No. 7672, Dec. 1973, pp. 895-912.
7. Hariwongjongjaroen, V., "Analysis of Brick Infilled Concrete Frames
Subjected to Lateral Load", Thesis, Graduate School Chula-
longkorn University, 1980.
8. Mast, R.F., "Auxiliary Reinforcement In Concrete Connection",
Journal of Structural Division, ASCE, Vol. 94, No. ST6,
June, 1968, pp. 1485-1504.
9. Benjamin, J.R. and Williams, H.A., "The Behaviour of one Storey
Brick Shear Walls", Journal of Structural Division, ASCE,
Vol. 84, No. ST4, 1958, pp. 1723 I-30.
10. Shan S. Kuo, Numerical Methods and Computers, Second Printing,
Addison-Wesley Publishing Company, July, 1966.

11. Benjamin, S., "Lateral Stiffness of Rectangular Infilled Frames", Thesis No. 690 Asian Institute of Technology, Bangkok, 1974.
12. Tongpatankul, S., "The Structural Behaviour of Brick Infilled Reinforced Concrete Frames", Thesis No. 211, SEATO Graduate School of Engineering, Bangkok, 1968.
13. R.S. Sandhu, "Program Two-Dimensional Stress Analysis", The Ohio State University, Columbus, Ohio.
14. J.T. Oden, Beams on elastic foundation, Mechanics of Elastic Structures, McGraw-Hill, PP. 163-170, 1967
15. Ferdinand L. Singer, Combined Stresses, Strength of Material, pp. 327-337, Second Edition, Harper & Fow Publishing, 1962.
16. Turnsek, V. and Cacovic, F., "Some Experimental Results on the Strength of Brick Masonry Walls", Proceedings of Second International Brick Masonry Conference, Stake-on-Trent, Apr. 1970.
17. Tassios, T.P., "Physical and Mathematical Models For Re-design of Damageol Structures" Introductory Report for IABSE Symposium, International Association for Bridge and Structural Engineer, Venezia, 1983.
18. Yamada, M., "Ultimate State Aseismic Design of Reinforced Concrete Structure", Vancouver, BC, Final Report, IABSE, Sep., 1984, PP. 177-184.
19. Vinit Chovichien, Stability of Structures, 1977, PP.20-22

20. Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318-83)
American Concrete Institute, Detroit, 1971, pp. 51-52 .
21. ปณีธาน ลักณะประสิทธิ์, การวิเคราะห์โครงสร้าง, พิมพ์ครั้งที่ 1, หน้า 79-85,
สามเสนการพิมพ์, 2527.



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

$\frac{L}{H}$	K_1	K_2	$K_1 K_2$	$K_1 + K_2$
0.655	.289	1.084	.313	1.373
0.798	.370	.867	.321	1.237
0.982	.474	.643	.305	1.117
1.313	.661	.399	.264	1.060

ตารางที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างสัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง ($\frac{L}{H}$) และค่าคงที่

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ส่วนผสม	น้ำหนักต่อ 1 ม ³ (กก)
ซีเมนต์	350
หิน	1225
ทราย	700
น้ำ	154-182

ตารางที่ 3.1 แสดงส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้หล่อแผ่นผนังคอนกรีตกลางสำเร็จรูป

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก)	เส้นผ่าศูนย์กลาง ซม	แรงอัดประลัย ตัน	หน่วยแรงอัด กก/ซม ²
1	13.40	15.533	54.0	285.0
2	13.70	15.529	51.0	269.3
3	13.55	15.546	50.0	263.4
4	13.70	15.579	53.0	278.0
ค่าเฉลี่ย				273.9

ตารางที่ 3.2 การทดสอบหาหน่วยแรงประลัยของคอนกรีตที่ใช้หล่อผนัง

ตัวอย่าง	น้ำหนัก (กก)	เส้นผ่าศูนย์กลาง ซม	แรงอัดประลัย ตัน	หน่วยแรงยึด กก/ซม ²	(ปรับแก้ขนาด) หน่วยแรงยึด กก/ซม ²
1	1.60	7.99	10.12	201.8	190.4
2	1.58	8.08	10.40	202.8	191.4
3	1.60	8.04	11.05	217.6	205.3
ค่าเฉลี่ย					195.7

รูปที่ 3.3 การทดสอบหาหน่วยแรงประลัยของปูนก่อยาแนว

ตัวอย่าง	ความยาว (L) (ซม)	ความสูง (H) (ซม)	$\left(\frac{L}{H}\right)$	ความยาว ทะแยงมุม (ซม)
CW1	329.0	250.5	1.313	413.5
CW2	246.0	250.5	0.982	351.1
CW3	200.0	250.5	0.798	320.5
CE4	164.0	250.5	0.655	299.4

รูปที่ 3.4 แสดงขนาดของผนังคอนกรีต CW

แถววัดความ เครียดไฟฟ้า	ผนัง CW1	ผนัง CW2	ผนัง CW3	ผนัง CW4
	ชั้นส่วน	ชั้นส่วน	ชั้นส่วน	ชั้นส่วน
1	59	39	85	48
2	238	159	107	198
3	153	102	94	128
4	69	46	81	58
5	249	166	103	208
6	69	46	81	58
7	249	166	103	208
8	153	102	94	128
9	59	39	85	48
10	238	159	107	198

ตารางที่ 3.5 แสดงตำแหน่งของแผ่นค้ำวัดความเครียดที่ติดบนผนังคอนกรีตทั้ง 4



ผนัง	แรงในแนวตั้ง P_v (ตัน)	Δ_1 (มม)	Δ_2 (มม)	Δ_3 (มม)
CW1	15	0.240	0.14	0.505
CW2	20	0.125	0.165	0.518
CW3	24	0.117	0.256	0.603
CW4	17	0.050	0.236	0.695

ตารางที่ 3.6 แสดงระยะการเคลื่อนที่ของผนังทั้ง 4 ผนังกับแรงที่วัดได้ก่อนผนังจะวิบัติ

เมื่อ Δ_1 = ระยะหดตัวในแนวราบของขอบมุมล่างของผนัง

Δ_2 = ระยะหดตัวในแนวตั้งของขอบมุมบนของผนัง

Δ_3 = ระยะแอ่นตัวในแนวราบของขอบมุมบน เมื่อวัดสัมพันธ์กับขอบล่างของผนัง

หมายเหตุ ค่าที่แสดงนี้เป็นค่าที่แทนจุดเหล่านี้นด้วยสมการเส้นตรง

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เลขไฟฟ้า No.	ตำแหน่ง แกน X	ตำแหน่ง แกน Y	ผนัง CW1 1×10^{-6}	ผนัง CW2 1×10^{-6}	ผนัง CW4 1×10^{-6}
1	/		122.95	119.0	94.4
2	/		17.21	23.49	19.80
3	/		49.80	39.63	13.60
4		/	20.90	28.64	20.50
5		/	96.52	101.96	116.90
6	/		16.60	20.22	16.30
7	/		94.06	92.62	77.0
8		/	20.29	40.72	50.10
9		/	111.27	123.09	161.30
10		/	28.89	30.02	23.90

ตารางที่ 3.7(ก) แสดงค่าความเครียดบนผนังของแผง CW1, CW2 และ CW4

गेजไฟฟ้า No.	ตำแหน่ง แกน X	ตำแหน่ง แกน Y	CW3 1×10^{-6}
1	/		34.65
2	/		26.03
3	/		33.28
4	/		36.39
5	/		38.63
6		/	87.13
7		/	110.6
8		/	41.20
9		/	106.45
10		/	80.40

ตารางที่ 3.7 (ข) แสดงค่าความเครียดบนผนังของผนัง CW3

ตัวอย่าง ทดสอบ	แรงกด ตัน	หน่วยแรงอัด* (σ_y กก/ซม ²)	หน่วยแรงอัด** (σ_y กก/ซม ²)
CS1	18.0	45.00	90.00
CS2	14.0	35.00	70.00
CS3	14.5	36.25	72.50
ค่าเฉลี่ย		38.75	77.50

ตารางที่ 3.8 แสดงการหาค่าหน่วยแรงอัดของตัวอย่างทดสอบ CS1-CS3

- หมายเหตุ * หน่วยแรงอัดเมื่อหารด้วยหน้าตัดรวม ($A = 400$ ซม²)
 ** หน่วยแรงอัดเมื่อหารด้วยหน้าตัดจริง ($A = 200$ ซม²)

ตัวอย่าง ทดสอบ	แรงเฉือน P_h (ตัน)	หน่วยแรงเฉือน* (กก/ซม ²)	หน่วยแรงเฉือน** (กก/ซม ²)
SS1	4.97	12.42	10.35
SS2	5.03	12.58	10.48
ค่าเฉลี่ย		12.50	10.42

ตารางที่ 3.9 แสดงการหาค่าหน่วยแรงเฉือนของรอยต่อระหว่างปูนก่อกับแผ่นตัวอย่าง

- หมายเหตุ * หน่วยแรงเฉือนเมื่อใช้พื้นที่ผิวสัมผัสจริง
 ** หน่วยแรงเฉือนเมื่อใช้พื้นที่หน้าตัดของผนังปกติ

หนังสือ	การโก่งตัว	ผลทดสอบ	ผลทฤษฎี	$\frac{\text{ทฤษฎี}}{\text{ทดสอบ}}$	ค่าเฉลี่ย
CW1	Δ_1	0.140	0.163	0.68	0.72
	Δ_2	0.140	0.101	0.72	
	Δ_3	0.505	0.390	0.77	
CW2	Δ_1	0.125	0.117	0.94	0.93
	Δ_2	0.165	0.156	0.94	
	Δ_3	0.518	0.477	0.92	
CW3	Δ_1	0.117	0.088	0.75	0.80
	Δ_2	0.256	0.218	0.85	
	Δ_3	0.603	0.610	1.01	
CW4	Δ_1	0.050	0.040	0.80	0.75
	Δ_2	0.236	0.175	0.74	
	Δ_3	0.695	0.495	0.71	

ตารางที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของหนังสือระหว่างผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์



ผนัง	แรงแนวราบ P_h (กก)	ทฤษฎี Δ_h (มม)	ทฤษฎี Δ_3 (มม)	$\frac{\Delta_h}{\Delta_3}$	ทดสอบ Δ_3 (มม)	ทดสอบ Δ_h (มม)
CW1	19700	0.287	0.390	0.736	0.505	0.372
CW2	19641	0.306	0.477	0.642	0.518	0.332
CW3	19162	0.342	0.610	0.560	0.603	0.338
CW4	11130	0.217	0.495	0.438	0.695	0.304

ตารางที่ 4.2 แสดงการหาค่าการโก่งตัวในแนวราบสูงสุดของผนัง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนัง	แรงแนวราบ (1) P_h (กก)	แรงแนวราบ (2) P_h (กก)	แรงแนวตั้ง (2) P_v (กก)	v_c (2) กก/ชม ²	หน่วยแรงอัดหลัก สูงสุด กก/ชม ²	หน่วยแรงดึงหลัก สูงสุด กก/ชม ²	$\frac{P_h(1)}{P_h(2)}$
CW1	19700	26057	19840	13.72	$0.80 f'_c$	$0.70 \sqrt{f'_c}$	0.76
CW2	19641	20372	20745	14.32	$0.53 f'_c$	$0.71 \sqrt{f'_c}$	0.96
CW3	19162	17273	21635	14.92	$0.52 f'_c$	$0.69 \sqrt{f'_c}$	1.11
CW4	11130	15032	22960	15.71	$0.53 f'_c$	$0.68 \sqrt{f'_c}$	0.74

ตารางที่ 4.3 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนต์เอลิเมนต์

(1) = ผลการทดสอบ

(2) = ผลการวิเคราะห์ไฟไนต์เอลิเมนต์ เมื่อกำหนดให้หน่วยแรงเฉือนมีค่าเท่ากับหน่วยแรงเฉือนที่ยอมให้ตาม ACI Code

$f'_c = 274$ กก/ชม²

เกจไฟฟ้า	ผนัง CW1			ผนัง CW2		
	ทดสอบ ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ทดสอบ	ทดสอบ ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ทดสอบ
1	122.95	91.8	0.75	119.0	98.7	0.83
2	17.21	5.7	0.33	23.49	9.5	0.40
3	49.80	37.8	0.76	39.63	31.7	0.80
4	20.90	10.9	0.52	28.64	16.1	0.56
5	96.52	55.2	0.57	101.96	85.6	0.84
6	16.60	7.3	0.44	20.22	10.7	0.53
7	94.06	63.8	0.68	92.62	67.9	0.73
8	20.29	11.4	0.56	40.72	24.5	0.60
9	111.27	85.3	0.77	123.09	118.2	0.96
10	28.89	11.99	0.42	30.02	18.0	0.60
			เฉลี่ย	0.58		
					เฉลี่ย	0.68

ตารางที่ 4.4 ก. แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดที่ได้จากเกจไฟฟ้ากับค่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์

เกจไฟฟ้า	ผนัง CW3			ผนัง CW4		
	ทดสอบ ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ทดสอบ	ทดสอบ ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ($\mu\epsilon$)	ทฤษฎี ทดสอบ
1	34.65	26.6	0.77	94.40	75.6	0.80
2	26.03	23.1	0.89	19.80	6.4	0.32
3	33.28	26.3	0.79	13.60	10.7	0.79
4	36.39	28.2	0.77	20.50	13.8	0.67
5	38.63	31.7	0.82	116.90	107.1	0.92
6	87.13	70.0	0.80	16.30	7.8	0.48
7	110.6	90.7	0.82	77.0	53.5	0.69
8	41.20	38.4	0.93	50.10	35.2	0.70
9	106.25	101.6	0.96	161.30	140.5	0.87
10	80.40	75.6	0.94	23.90	17.9	0.75
		เฉลี่ย	0.85		เฉลี่ย	0.70

ตารางที่ 4.4 ข. แสดงการเปรียบเทียบค่าความถี่ที่วัดได้ของไฟฟ้ากับค่าที่ได้จากผลการวิเคราะห์



ผนัง	$\frac{L}{H}$	ความยาวทะแยง มุม (ซม)	ระยะหอคั่ว (1) ทะแยงมุม . (ซม)	ϵ_{da} ($\mu\epsilon$)	ϵ_{dm} ($\mu\epsilon$)	$\frac{\epsilon_{da}}{\epsilon_{dm}}$
CW1	1.313	413.5	0.0279	67.57	50.70	1.33
CW2	0.982	351.1	0.0329	93.71	89.20	1.35
CW3	0.789	320.6	0.0363	113.14	79.51	1.42
CW4	0.655	299.4	0.0227	75.81	50.26	1.50
เฉลี่ย						1.40

ตารางที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดเฉลี่ยตลอดแนวทะแยงกับค่าที่กึ่งกลางผนัง

(1) = ระยะหอคั่วหาได้จากการอินทิเกรตพื้นที่ใต้กราฟของรูปที่ 4.8

ϵ_{da} = ความเครียดเฉลี่ยตลอดแนวทะแยงมุม

ϵ_{dm} = ความเครียดค่าสุดที่กึ่งกลางผนัง

ผนัง	θ	ตำแหน่ง	แกน x	แกน y	α	ϵ_z	$\epsilon_z (\theta-\alpha)$
CW1	37.28	ใกล้แรง	122.95	111.27	42.15	165.84	165.24
		กึ่งกลาง	49.80	20.29	22.17	53.77	51.91
		ใกล้จตุรรองรับ	94.06	96.52	45.74	134.77	133.30
CW2	45.52	ใกล้แรง	119.0	123.09	45.97	171.21	171.21
		กึ่งกลาง	39.63	40.72	45.78	56.82	56.82
		ใกล้จตุรรองรับ	92.63	101.96	47.75	137.74	137.64

ตารางที่ 4.6 ก. แสดงการหาค่าความเครียดแนวทแยงมุมของเกลจไฟฟ้า

หนังสือ	θ	ตำแหน่ง	แกน x	แกน y	α	ϵ_z	$z(\theta-\alpha)$
CW3	51.40	ใกล้แรง	34.65	106.25	71.94	111.75	104.64
		กึ่งกลาง	33.28	41.20	51.07	52.96	52.96
		ใกล้จุดรองรับ	38.63	110.6	70.75	117.15	110.53
CW4	56.79	ใกล้แรง	94.40	161.30	59.16	186.9	186.66
		กึ่งกลาง	13.60	50.10	74.81	51.91	49.36
		ใกล้จุดรองรับ	77.0	116.90	56.63	139.98	139.98

ตารางที่ 4.6 ข. แสดงการหาค่าความเครียดแนวทแยงมุมของเกจไฟฟ้า

ผนัง	แรงแนวราบ P_h (กก)	(1) หน่วยแรงอัดหลัก สูงสุด (กก/ซม ²)	(2) หน่วยแรงอัดหลัก (กก/ซม ²)	(1) $\frac{f_c'}{f_c}$	หน่วยแรงดึง (3) หลักสูงสุด (กก/ซม ²)	(3) $\frac{f_c'}{\sqrt{f_c}}$
CW1	19700	165.0	78.9	$0.60 f_c'$	8.8	$0.53 \sqrt{f_c'}$
CW2	19641	140.6	96.8	$0.51 f_c'$	11.3	$0.68 \sqrt{f_c'}$
CW3	19162	157.4	121.0	$0.57 f_c'$	12.7	$0.77 \sqrt{f_c'}$
CW4	11130	106.8	90.6	$0.39 f_c'$	8.4	$0.51 \sqrt{f_c'}$

ตารางที่ 4.7 แสดงค่าหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดบนผนังที่จุดวิบัติในผนังทดสอบ

(1) = ศึกษาชิ้นส่วนที่อยู่ติดกับแรงกระทำในแนวราบ

(2) = ศึกษาชิ้นส่วนที่ห่างออกมา ซึ่งจะอยู่ในแนวทะแยงมุม ณ จุดตัดกันของแนวแรง

หนังสือ	P_h (กก) (1)	P_h (กก) (2)	$\frac{(1)}{(2)}$
CW1	19700	20908	0.94
CW2	19641	17206	1.14
CW3	19162	15405	1.24
CW4	11130	14322	0.78

ตารางที่ 4.8 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตรของ Benjamin และ William

(1) = ผลการทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนัง	P_h (กก) (1)	P_h (กก) (2)	P_h (กก) (3)	$\frac{(2)}{(1)}$	$\frac{(3)}{(1)}$
CW1	19700	31214	18467	1.58	0.94
CW2	19641	25344	14994	1.29	0.76
CW3	19162	22142	13100	1.16	0.68
CW4	11130	19737	11677	1.77	1.05

ตารางที่ 4.9 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตรของ Turnsek และ เพื่อน

(1) = ผลการทดสอบ

(2) = ไขควงสมบัติของปูนก่อ

(3) = ไขควงสมบัติของคอนกรีต



ผนัง	P_h (1) (กก)	P_h (2) (กก)	P_h (3) (กก)	$\frac{(2)}{(1)}$	$\frac{(3)}{(1)}$
CW1	19700	62321	36871	3.16	1.87
CW2	19641	44066	26071	2.24	1.33
CW3	19162	33176	19628	1.73	1.02
CW4	11130	25291	14963	2.30	1.34

ตารางที่ 4.10 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตรของ เอนก

(1) = ผลการทดสอบ

(2) = ใช้คุณสมบัติของปูนก่อ

(3) = ใช้คุณสมบัติของคอนกรีต

หนังสือ	P_h (ก)	P_h (ข)	P_h (ค)	P_h (ง)	$\frac{(2)}{(1)}$	$\frac{(3)}{(1)}$	$\frac{(4)}{(1)}$
CW1	19700	30575	22931	18345	1.55	1.66	0.93
CW2	19641	24040	18030	14425	1.22	0.92	0.73
CW3	19162	20511	15383	12307	1.07	0.80	0.64
CW4	11130	17848	13386	10708	1.60	1.20	0.96

ตารางที่ 4.11 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตรคำนวณอย่างง่าย พิจารณาการวิบัติเนื่องจากแรงเฉือน

(1) = ผลการทดสอบ

(2) = $C = 1.00$

(3) = $C = 0.75$

(4) = $C = 0.60$

หนังสือ	P_h (กก) (1)	P_h (กก) (2)	P_h (กก) (3)	$\frac{(2)}{(1)}$	$\frac{(3)}{(1)}$
CW1	19700	143138	34093	7.3	1.73
CW2	19641	99185	25564	5.0	1.30
CW3	19162	38171	21456	2.0	1.12
CW4	11130	66556	18557	6.0	1.67

ตารางที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับสูตรคำนวณอย่างง่าย พิจารณาการวิบัติเนื่องจากแรงดึงหลัก

(1) = ผลการทดสอบ

(2) = ใช้คุณสมบัติของปูนก่อ

(3) = ใช้คุณสมบัติคอนกรีต

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ผนัง	(1) $\frac{P_h}{\Delta_h}$	(2) $\frac{P_h}{\Delta_h}$	(3) $\frac{P_h}{\Delta_h}$	(4) $\frac{P_h}{\Delta_h}$	$\frac{(2)}{(1)}$	$\frac{(3)}{(1)}$	$\frac{(4)}{(1)}$
CW1	5.29×10^5	6.864×10^5	7.674×10^5	6.089×10^5	1.30	1.45	1.15
CW2	5.916×10^5	6.419×10^5	5.739×10^5	5.234×10^5	1.08	0.97	0.88
CW3	5.669×10^5	5.603×10^5	4.664×10^5	4.759×10^5	0.99	0.82	0.84
CW4	3.661×10^5	5.129×10^5	3.828×10^5	4.390×10^5	1.40	1.04	1.20

ตารางที่ 4.13 แสดงการเปรียบเทียบค่าสถิติเนสของผนัง

(1) = ผลการทดสอบ

(2) = ผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนต์

(3) = ผลการคำนวณการโก่งตัวเนื่องจากแรงเฉือน

(4) = ผลการคำนวณโดยใช้สูตรเอ็มไพริคัล

ผนัง	R กก	A_w (ซม ²) (1)	σ_s กก/ซม ² (1)	σ_s (กก/ซม ²) (2)
CW1	24760	889.4	27.84	19.10
CW2	28032	783.4	35.78	25.50
CW3	30711	697.6	44.02	31.85
CW4	20319	612.4	33.18	24.21

ตารางที่ 4.14 แสดงค่าหน่วยแรงอัดในแนวทะแยงมุมที่จุดวิกฤติ

(1) = ค่าหน่วยแรงอัดในสมการที่ (4.21)

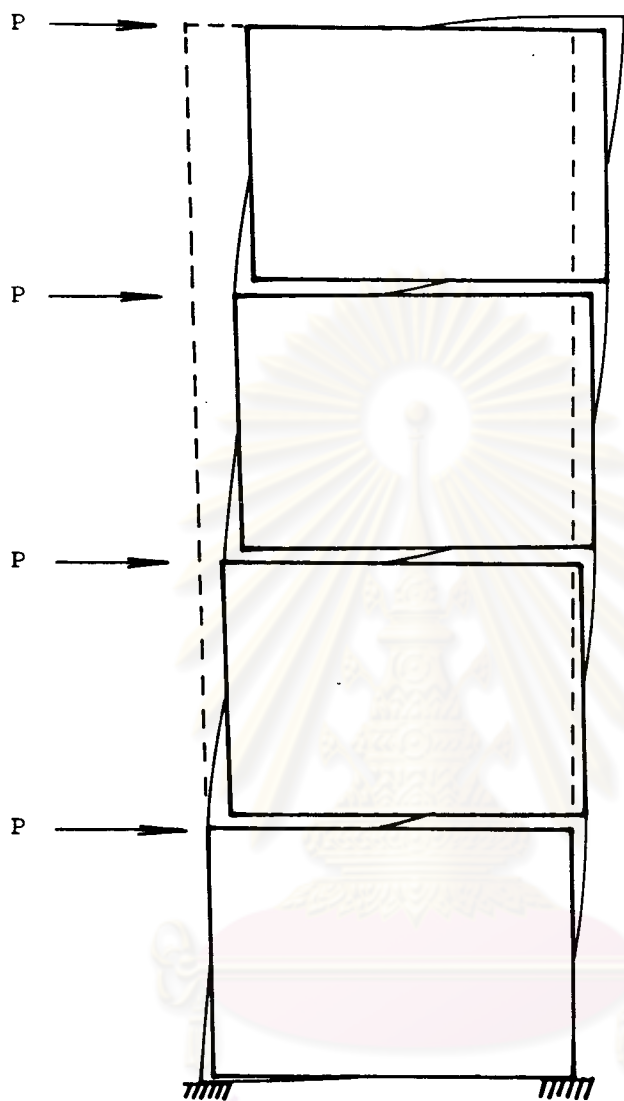
(2) = ผลการวิเคราะห์ด้วยไฟไนท์เอเลเมนต์

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

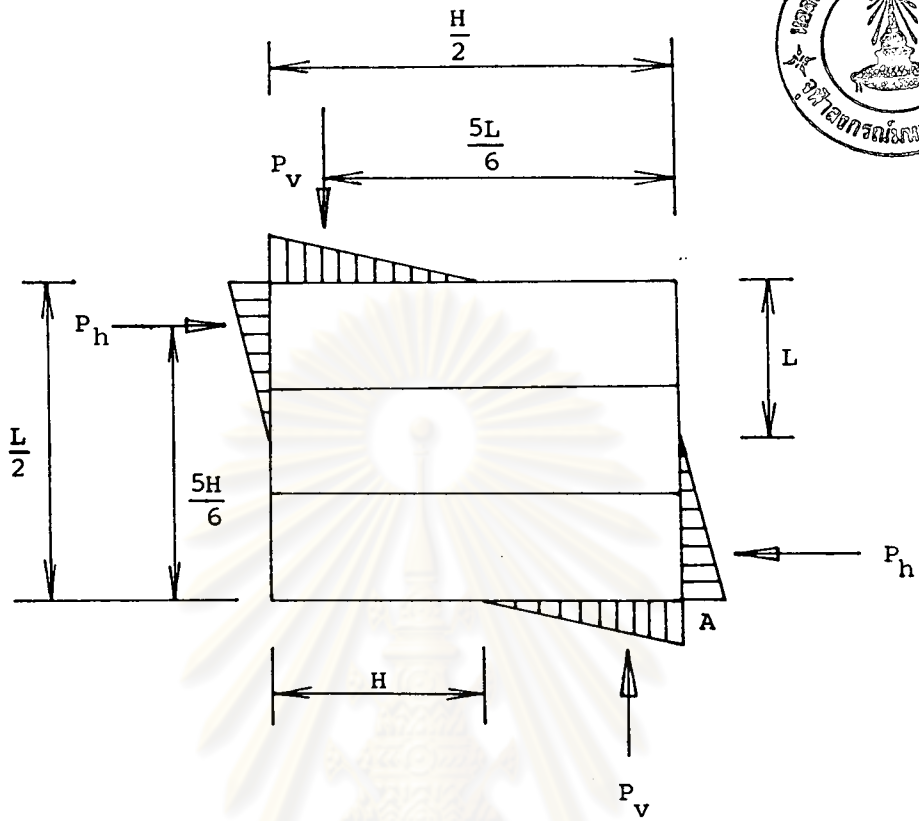
ผนัง	Δ_{ux} (ซม)	Δ_{uy} (ซม)	Δ_{uz} (ซม)	α องศา	θ องศา	$\Delta_{uz} \cos(\theta-\alpha)$ (ซม)	Ld (ซม)	σ_s (กก/ซม ²)
CW1	.0348	.0163	.0384	25.10	37.28	.0375	413.5	25.03
CW2	.0345	.0227	.0413	33.34	45.52	.0404	351.1	33.02
CW3	.0365	.0309	.0478	40.25	51.40	.0469	320.6	41.99
CW4	.0222	.0267	.0347	50.26	56.79	.0345	299.4	33.07

ตารางที่ 4.15 แสดงการหาค่าแรงอัดในแนวทะแยงมุมที่จุกวิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

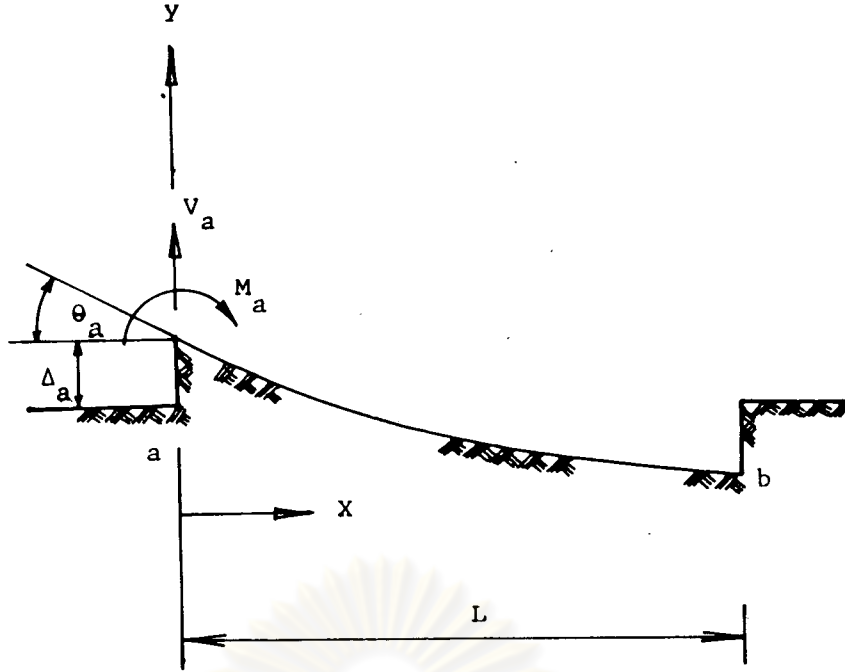


รูปที่ 1.1 จุดคกคดับของพอร้ทอลเฟรม เมื่อรับแรงค้านข้างในแนวราบ

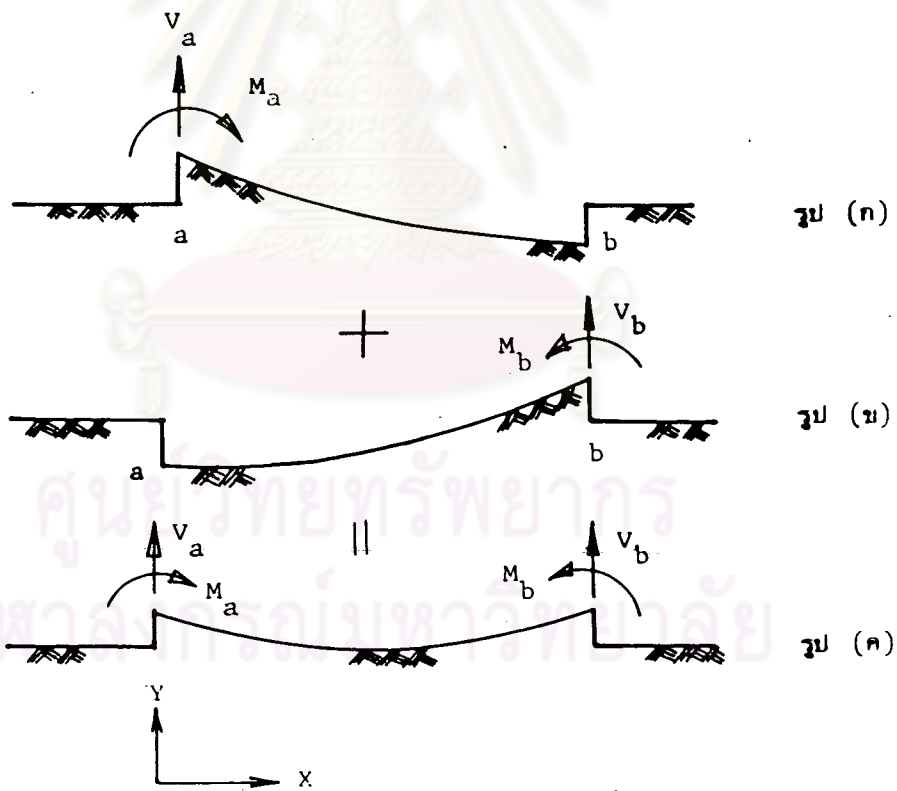


รูปที่ 1.2 แทนแรงกระทำรูปสามเหลี่ยมด้วยแรงแบบจุด

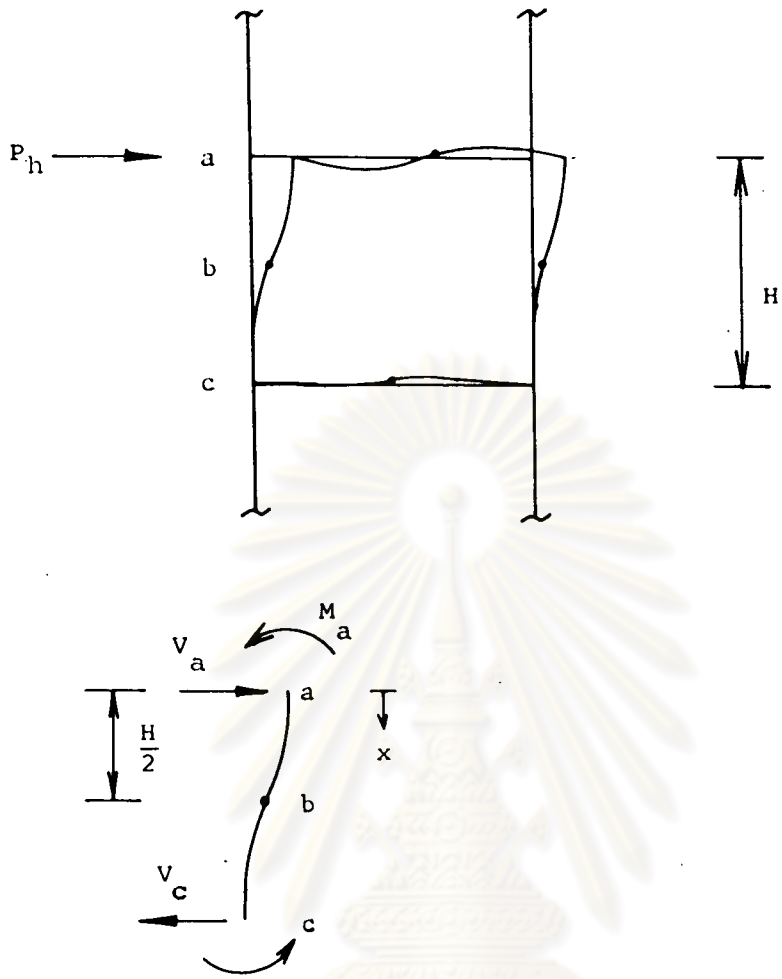
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



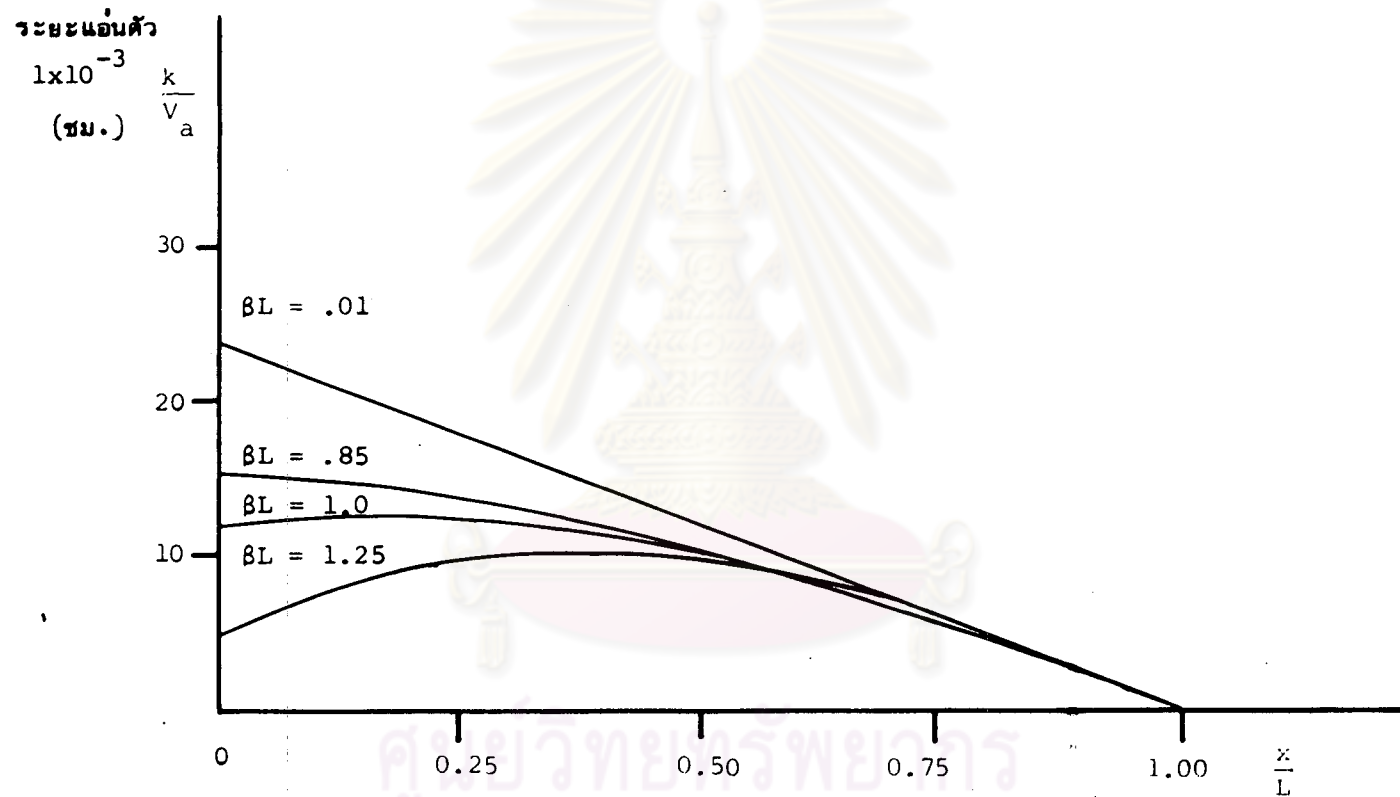
รูปที่ 2.1 คานวางบนพื้นอีลาสติกรับแรงคัต และแรงเฉือนที่จุด a



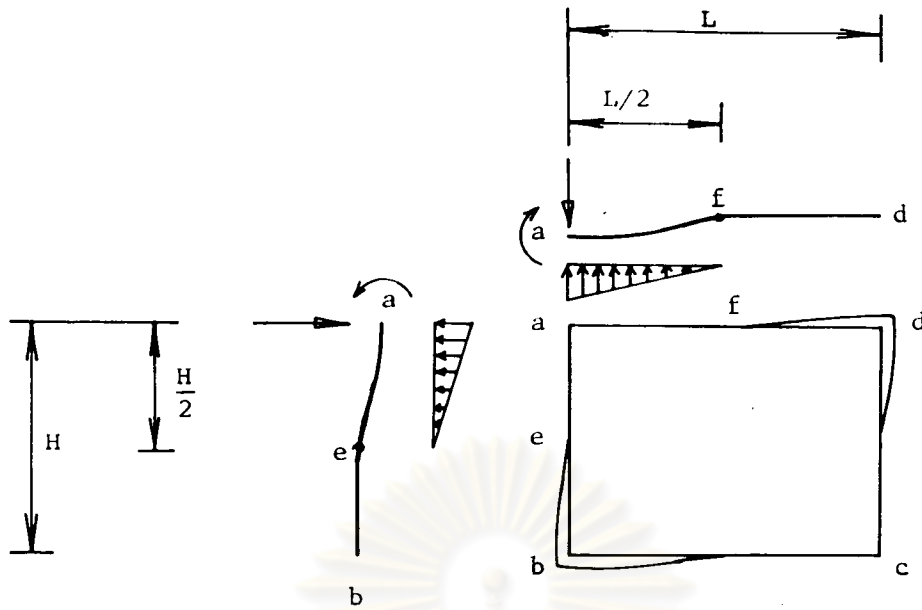
รูปที่ 2.2 แสดงการ Superposition ของเส้นอีลาสติค



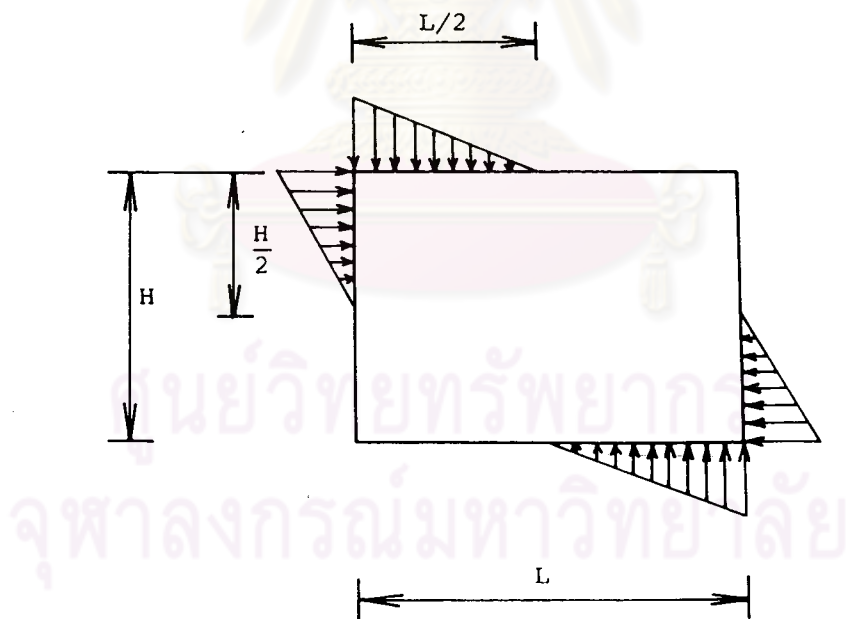
ศูนย์วิทยพัทยากร
 รูปที่ 2.3 แสดงแรงที่เกิดขึ้นในโครงข้อแข็งของตึกสูงชั้นกลาง ๆ
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



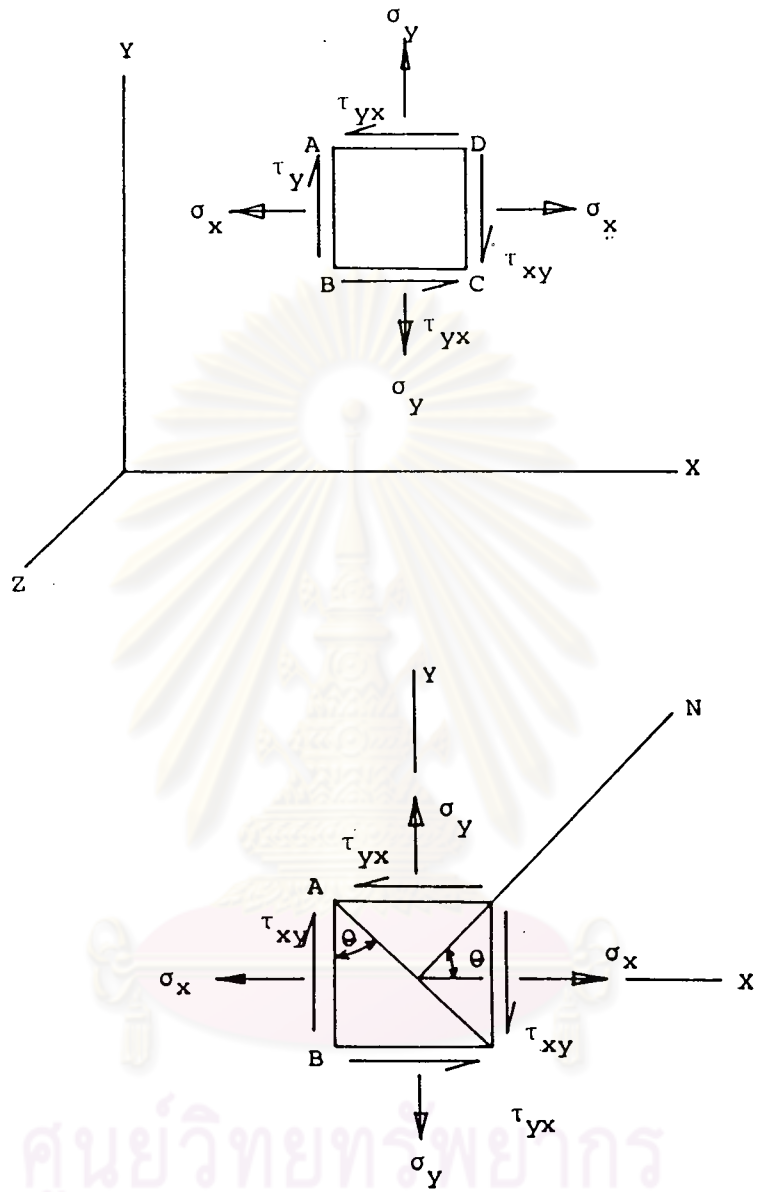
รูปที่ 2.4 แสดงการแนนวัดของเสาจากรูมต้อคานและเสาดิ่งกึ่งกลางเสา



รูปที่ 2.5 แรงปฏิสัมพันธ์ที่ผนังกระทำต่อโครงข้อแข็ง เป็นรูปสามเหลี่ยม

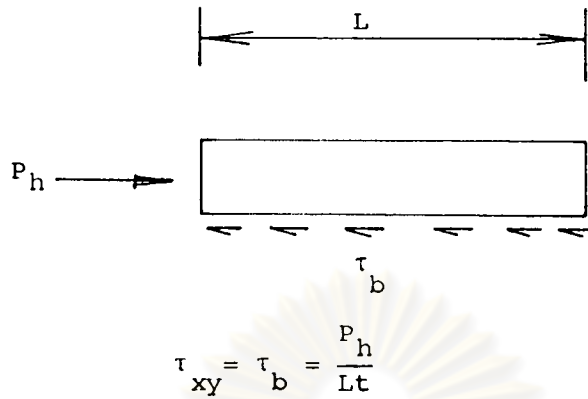


รูปที่ 2.6 แสดงพฤติกรรมของแรงที่โครงข้อแข็งกระทำต่อผนัง

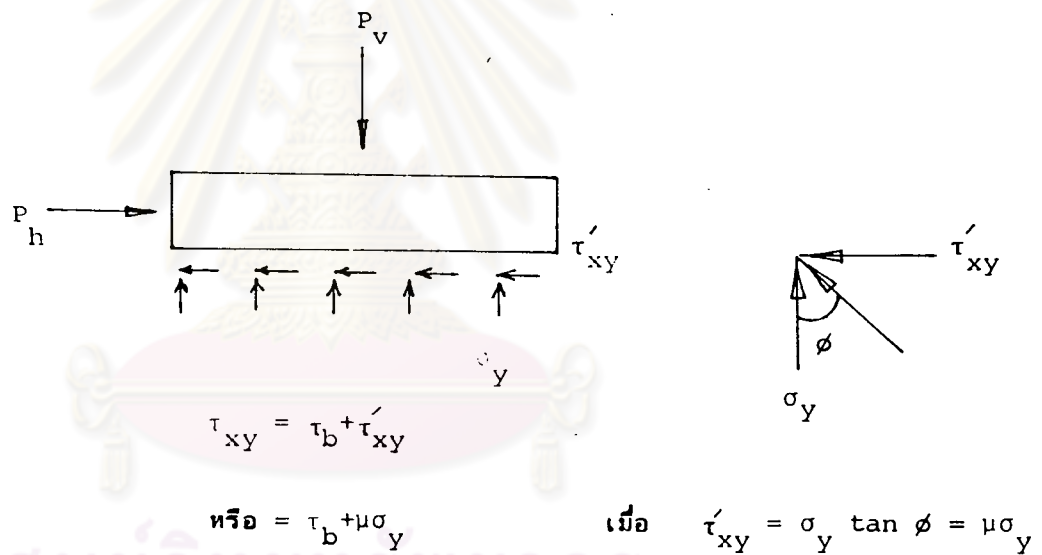


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 2.7 ศึกษาหน่วยแรงบนชิ้นส่วนเล็ก ๆ ในโครงสร้างใด ๆ 2 มิติ

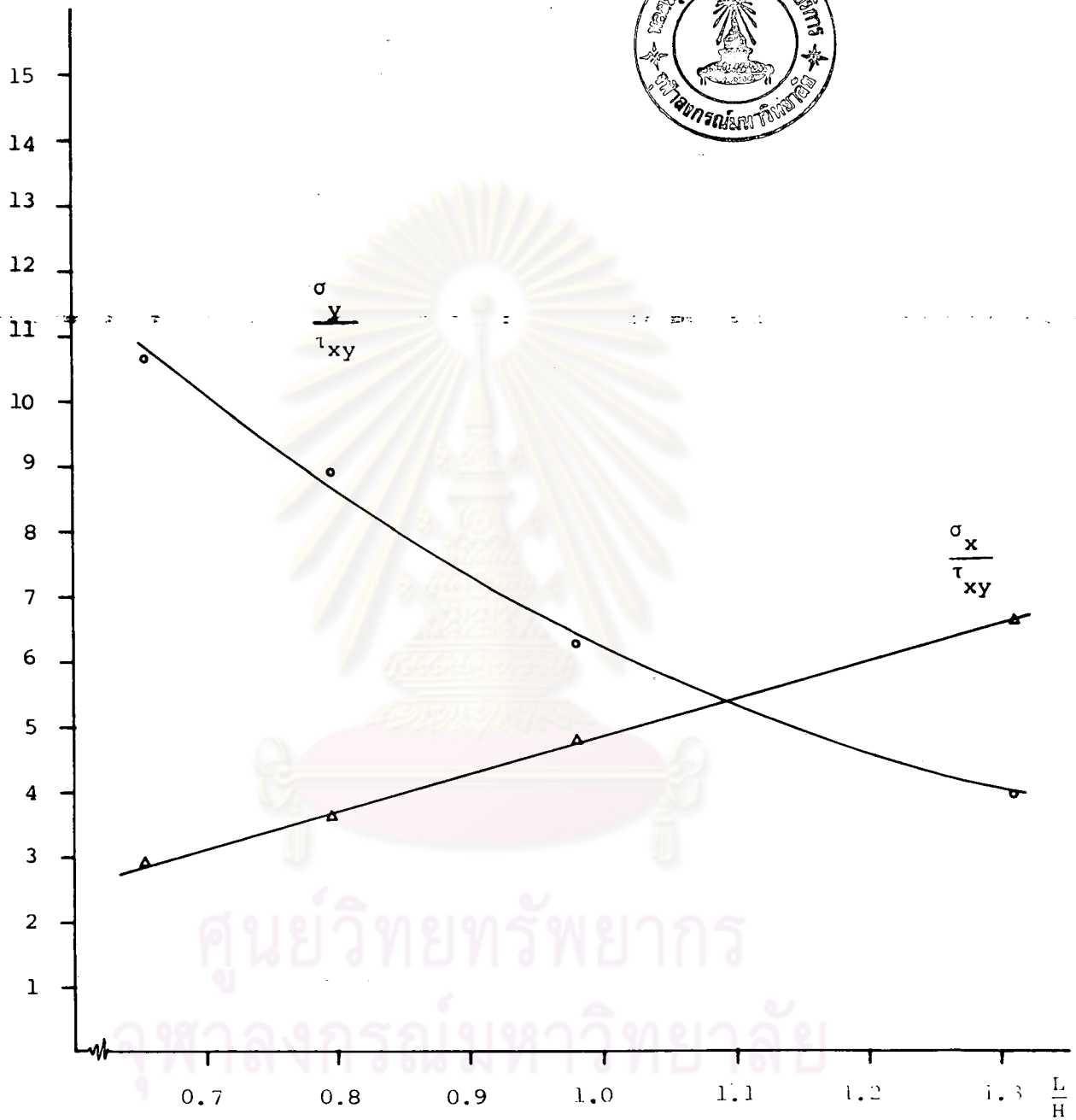


รูปที่ 2.8 (ก) แสดงหน่วยแรงเฉือนโดยตรงเนื่องจากแรงในแนวราบ

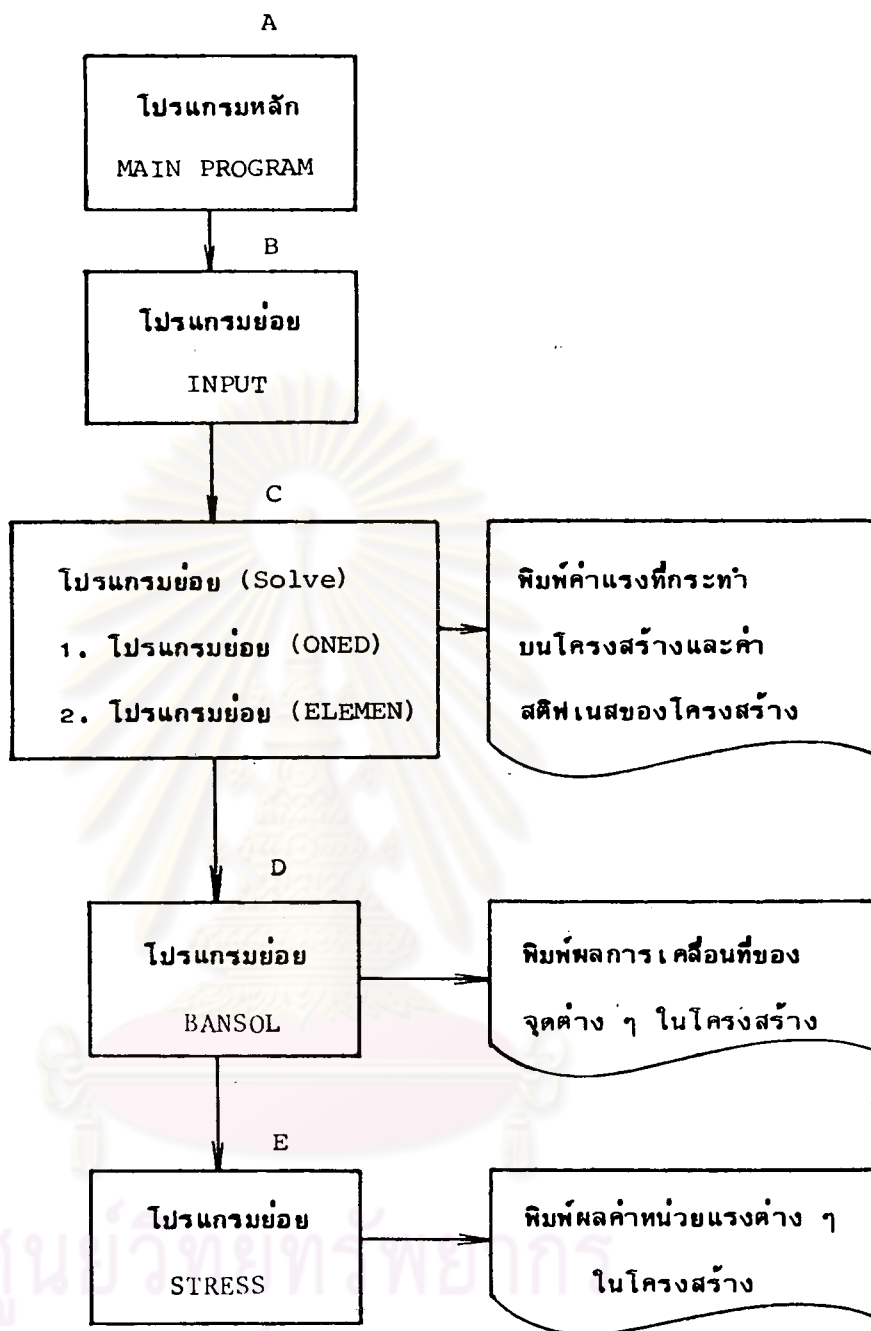


รูปที่ 2.8(ข) แสดงหน่วยแรงเฉือนซึ่งประกอบด้วยหน่วยแรงเฉือนโดยตรงกับหน่วยแรงเฉือนเนื่องจากหน่วยแรงกดทับ

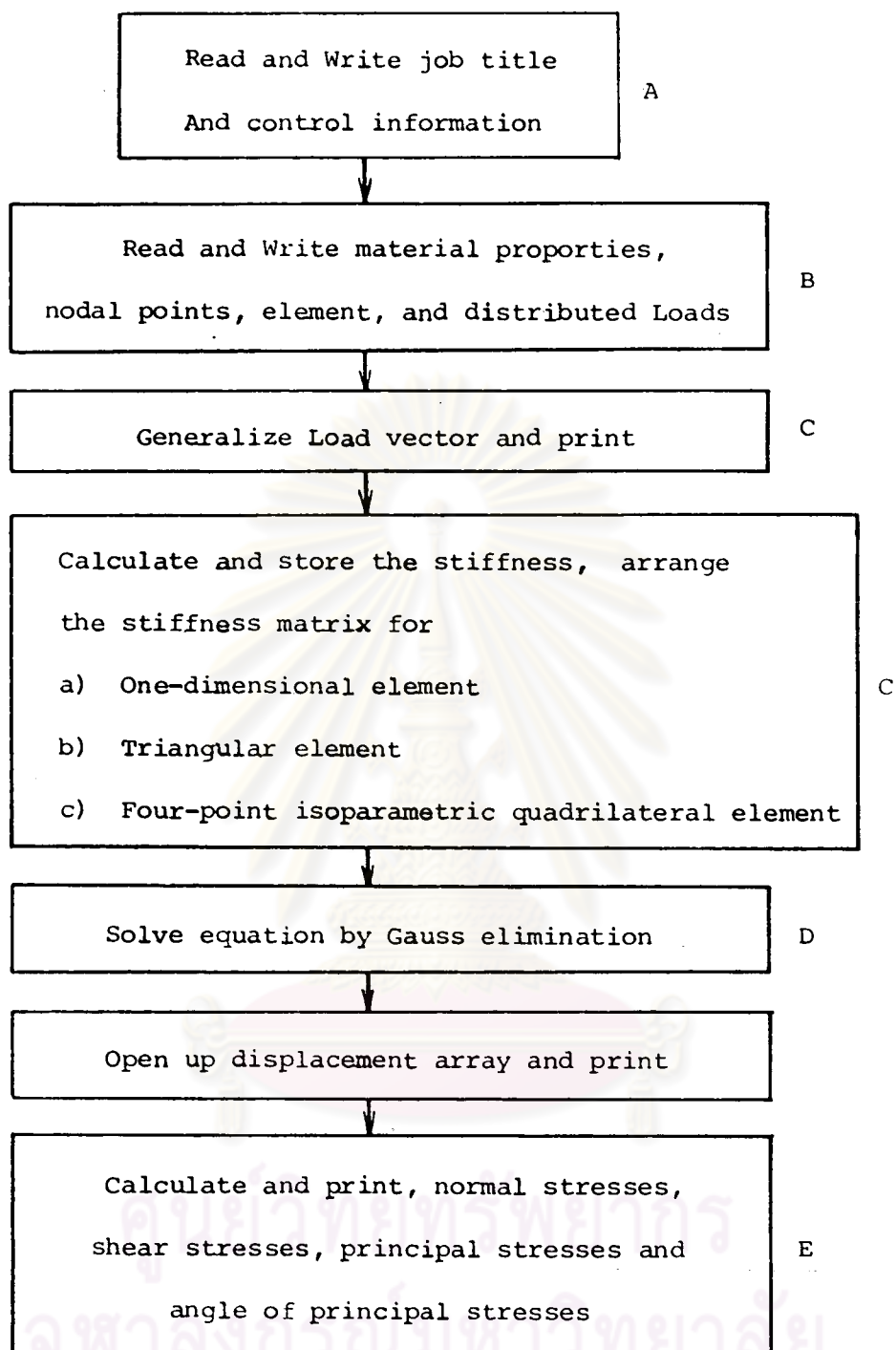
$$\frac{\sigma_x}{\tau_{xy}}, \frac{\sigma_y}{\tau_{xy}}$$



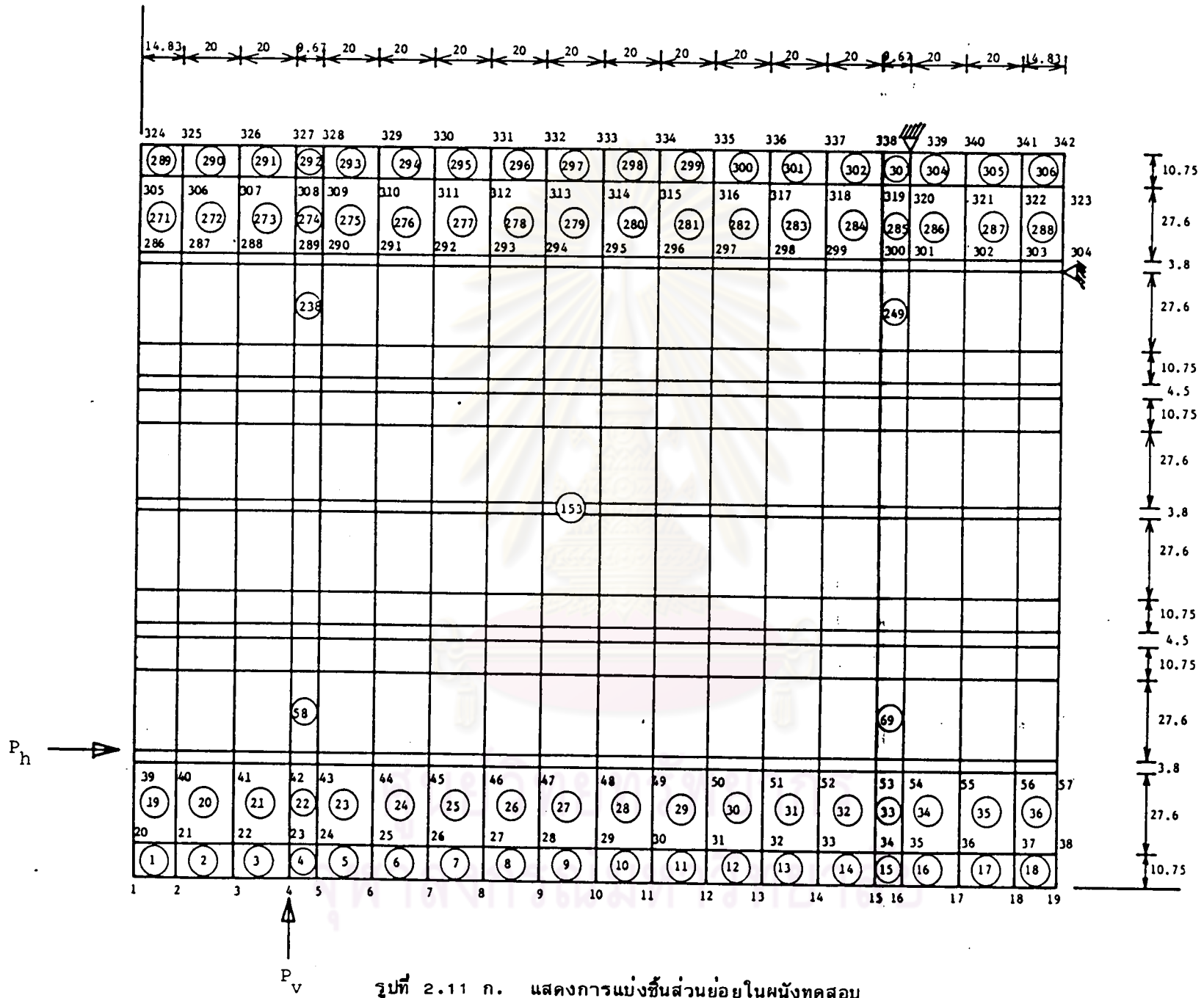
รูปที่ 2.9 แสดงความสัมพันธ์ของ $\frac{\sigma_x}{\tau_{xy}}$ และ $\frac{\sigma_y}{\tau_{xy}}$ เทียบกับสัดส่วน $(\frac{L}{H})$



รูปที่ 2.10(ก) ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์

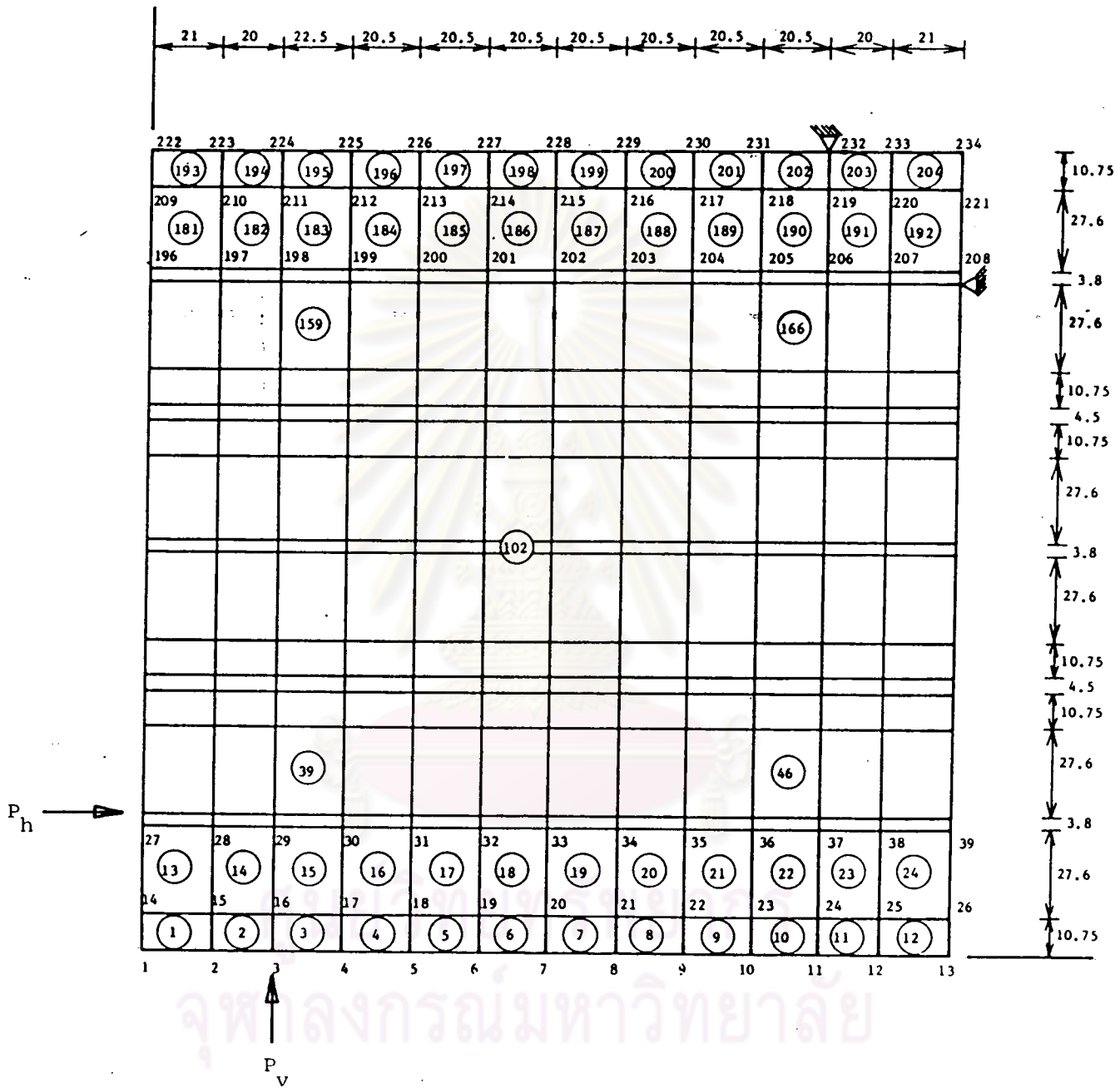


รูปที่ 2.10(ข) ขั้นตอนการคำนวณของโปรแกรมไฟไนต์เอเลเมนต์



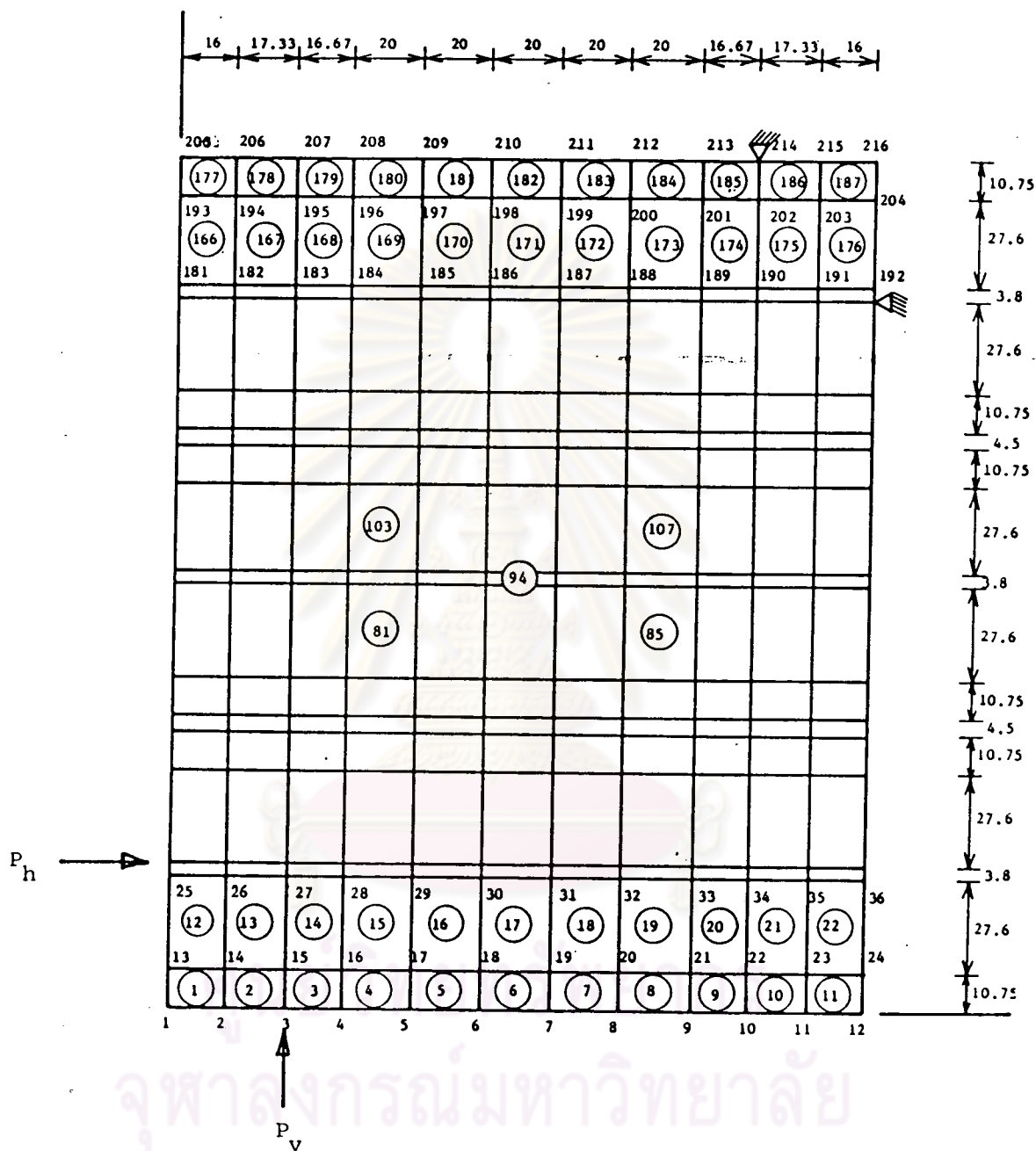
รูปที่ 2.11 ก. แสดงการแบ่งชั้นส่วนย่อยในผนังทดสอบ

ผนัง CW1 $\frac{L}{H} = 1.313$



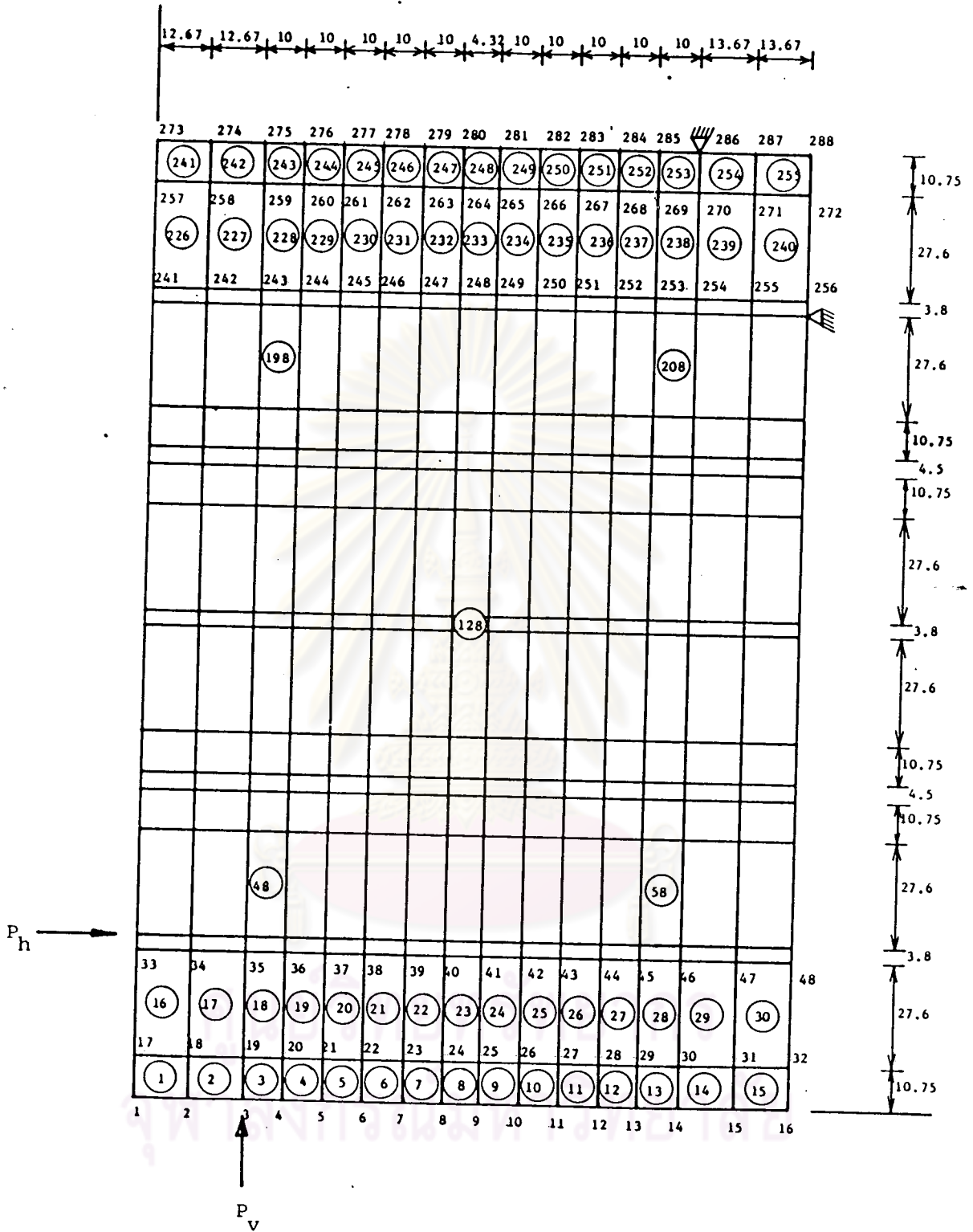
รูปที่ 2.11 ข. แสดงการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในผนังทดสอบ

ผนัง CW2 $\frac{L}{H} = 0.982$



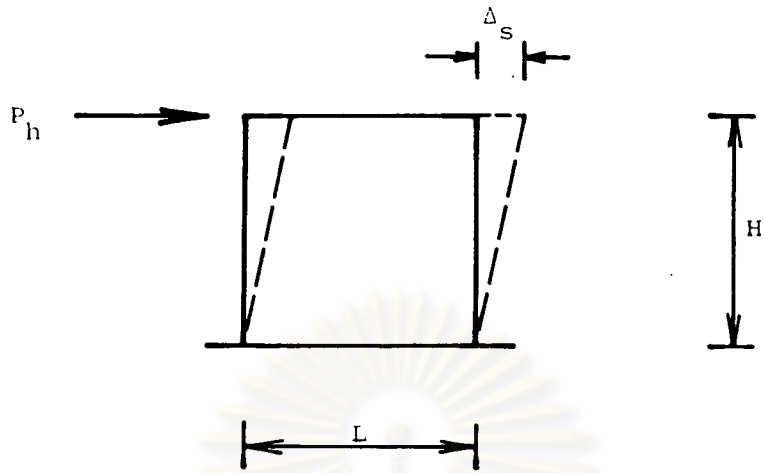
รูปที่ 2.11 ค. แสดงการแบ่งชิ้นส่วนย่อยในผนังทดสอบ

ผนัง CW3 $\frac{L}{H} = 0.798$

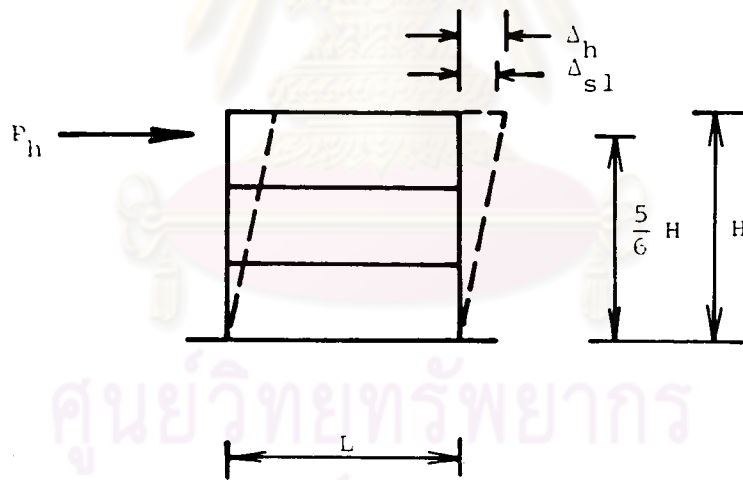


รูปที่ 2.11 ง. แสดงการแบ่งชั้นส่วนย่อยในผนังทดสอบ

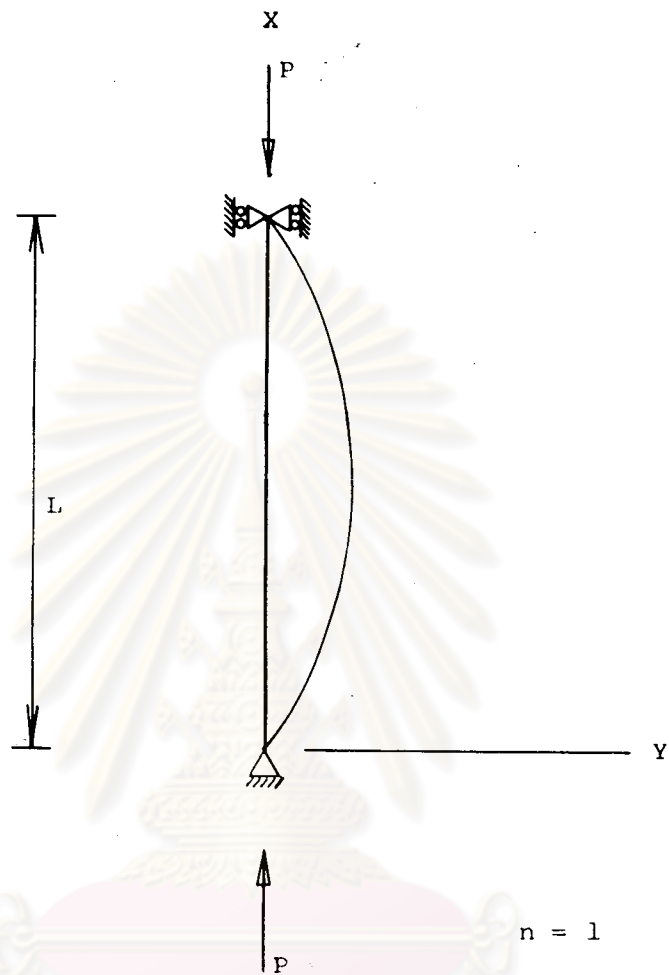
ผนัง CW4 $\frac{L}{H} = 0.655$



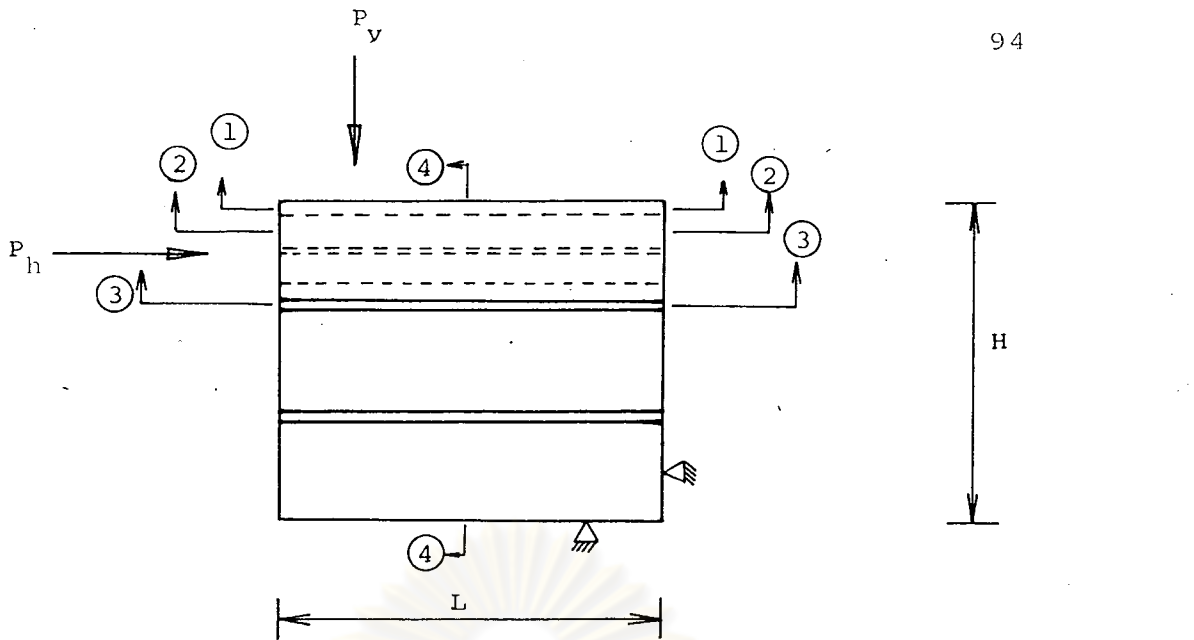
รูปที่ 2.12 แสดงการเปลี่ยนรูปร่างของผนังด้วยการเฉือน



รูปที่ 2.13 แสดงการเปลี่ยนรูปร่างของผนังคอนกรีตลงสำเร็จรูปด้วยการเฉือน



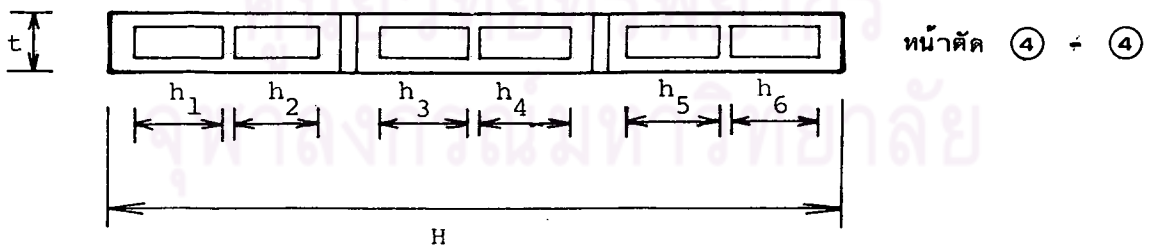
ศูนย์วิทยทรัพยากร
รูปที่ 2.14 เสายาวเมื่อรับแรงกดจะเกิดการโก่งตัว
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



$$I_1 = I_3 = \frac{1}{12} Lt^3$$

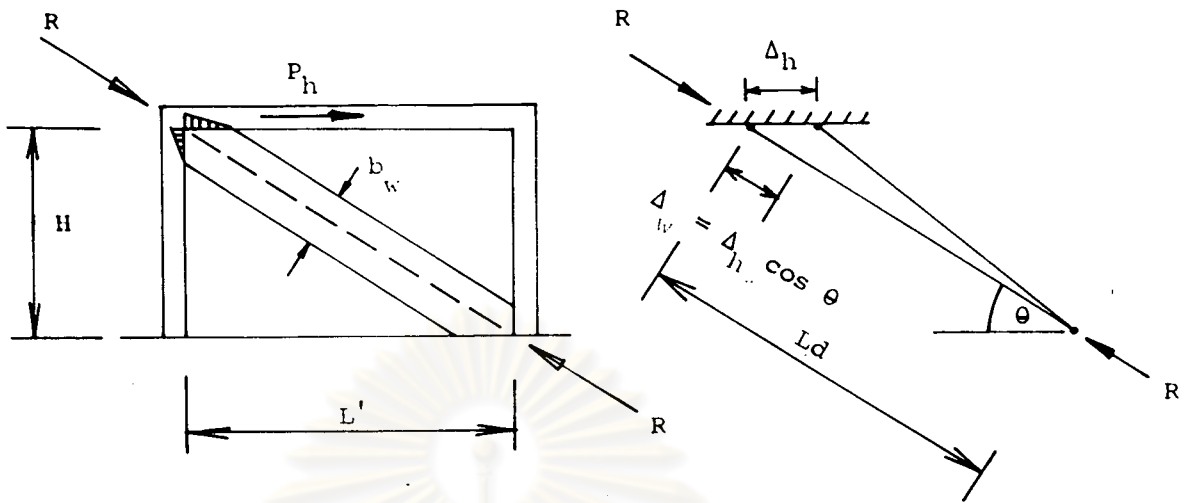


$$I_2 = \frac{Lt}{2} (\bar{y})^2$$



$$I_4 = \frac{1}{12} (H - h_i)t^3 + h_i \frac{t}{2} (\bar{y})^2$$

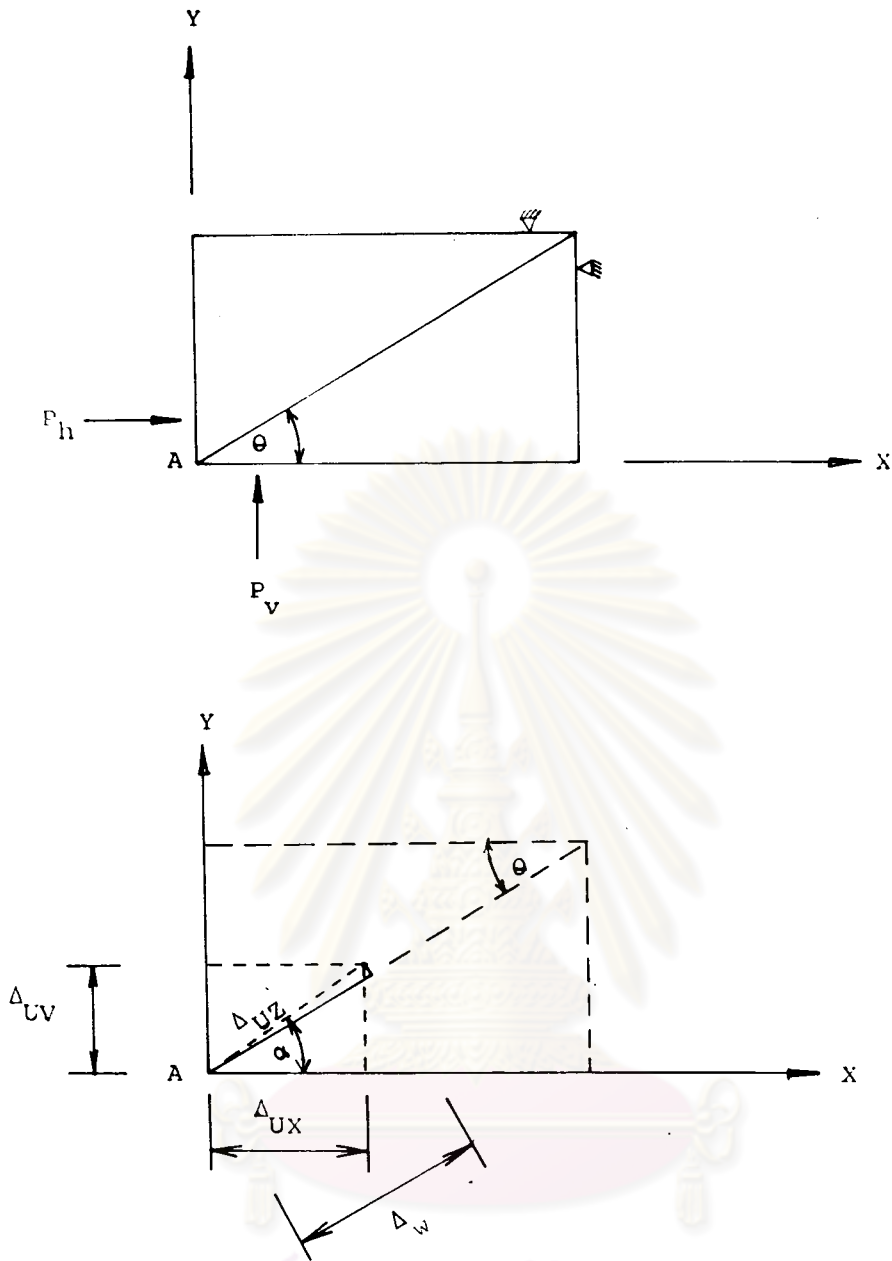
รูปที่ 2.15 แสดงหน้าตัดของผนังเพื่อให้อภิปรายการโก่งเดาะ



รูปที่ 2.16 แสดงแบบจำลองของค้ำยันเสมือนในผนังคอนกรีตบรรจุในโครงข้อแข็ง

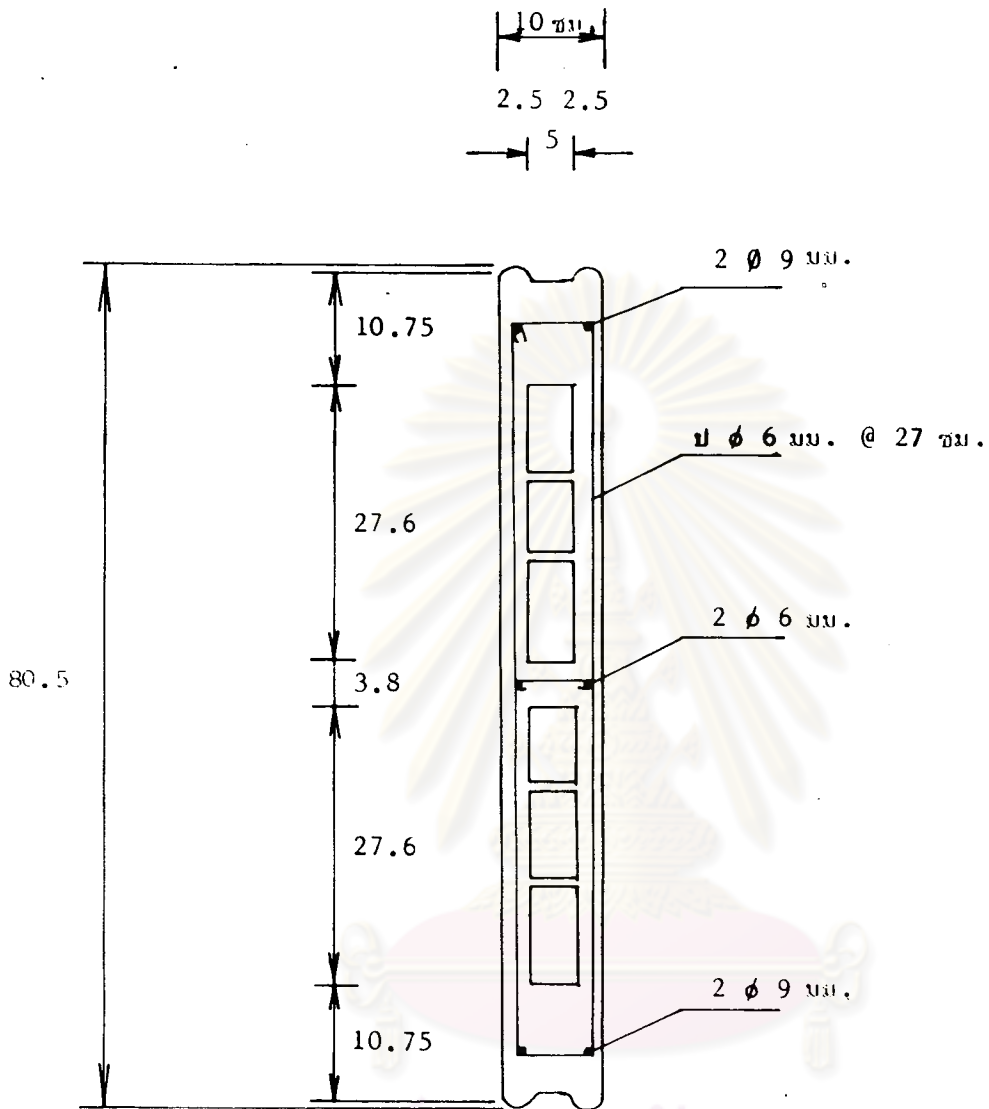


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



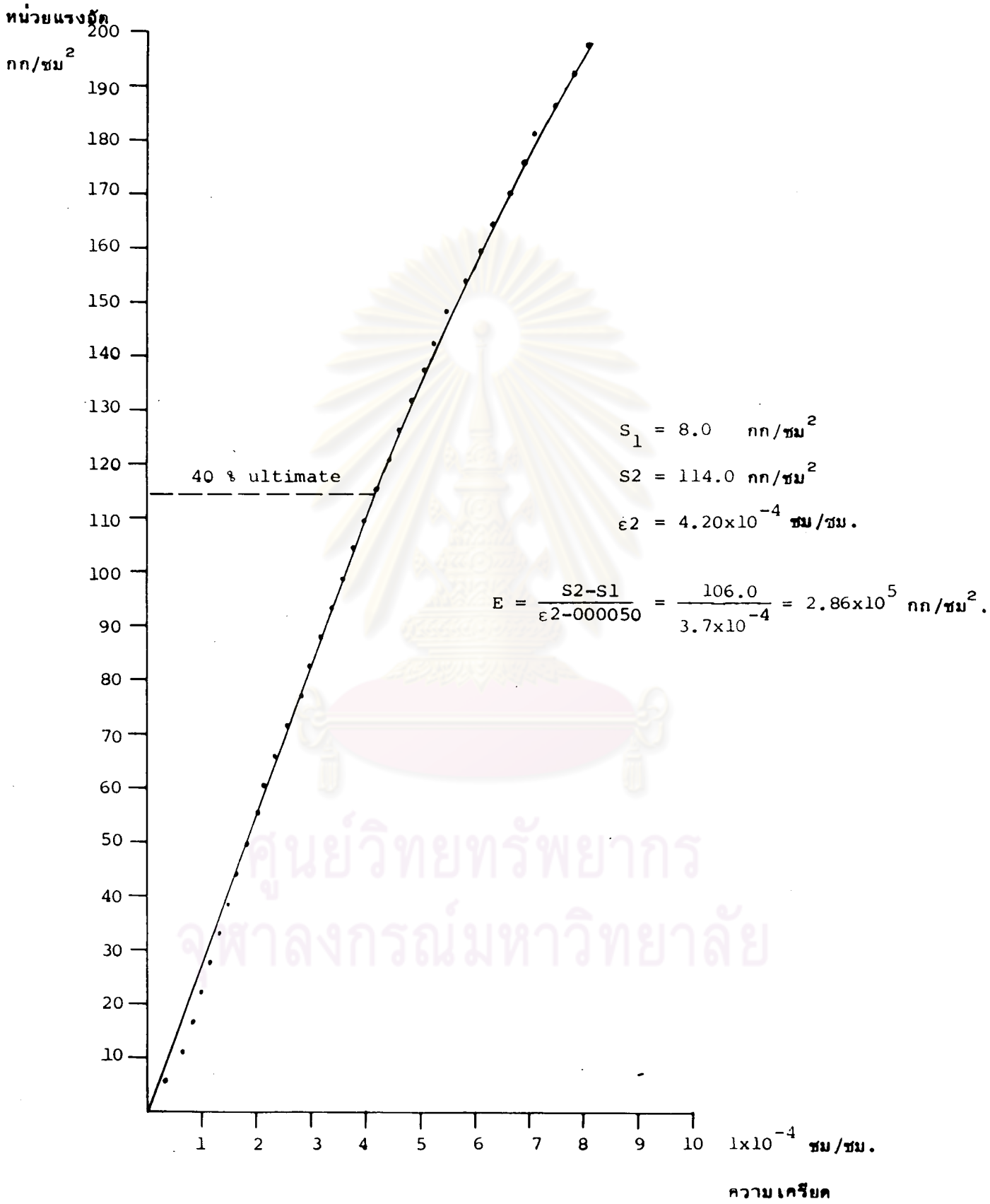
รูปที่ 2.17 แสดงการหาค่าการยึดหดตัวของค้ำยันเสมือน

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.1 รายละเอียดหน้าตัดของแผ่นผนังคอนกรีตวางสำเร็จรูป

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

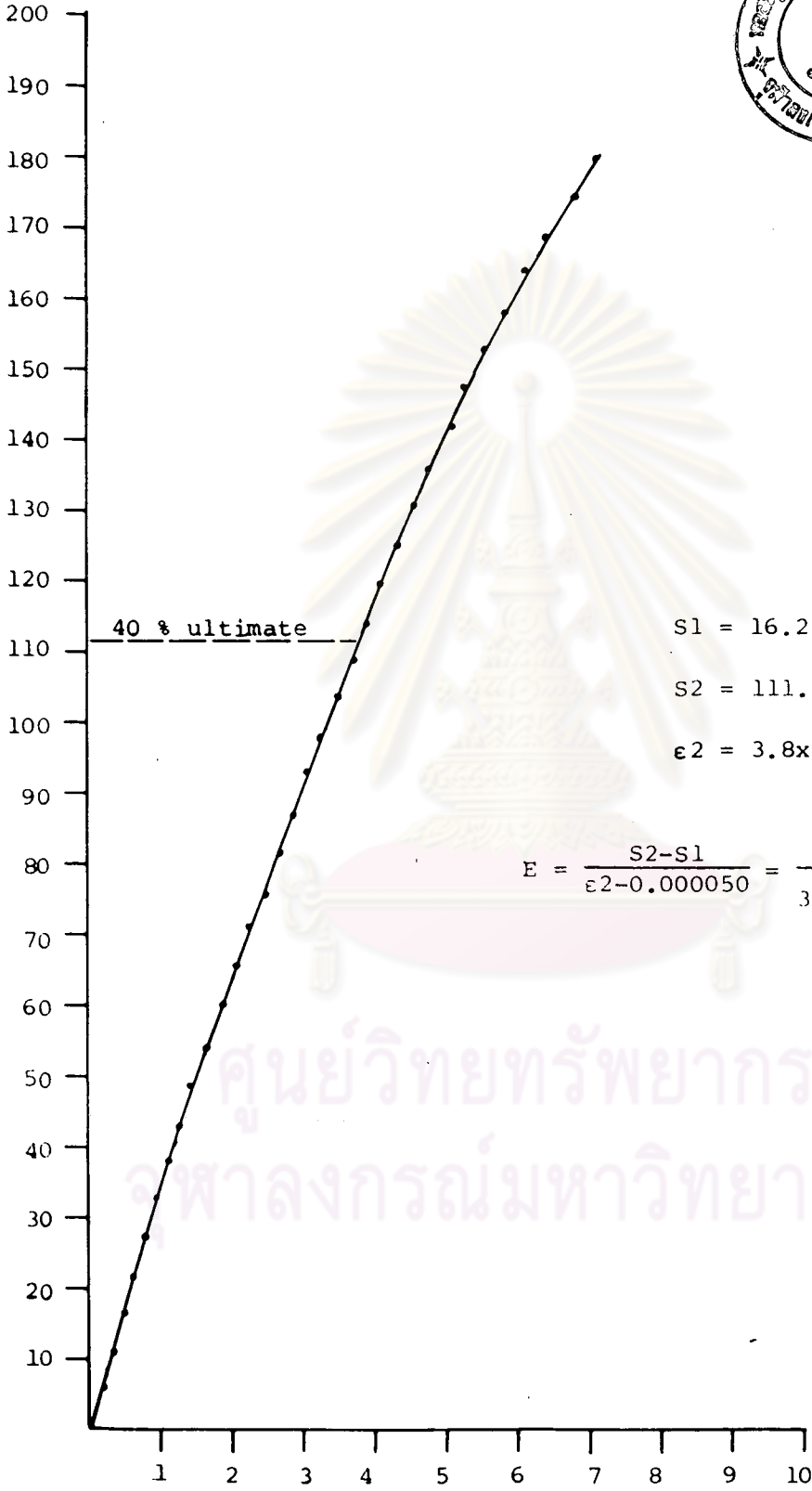


รูปที่ 3.2 ก. การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต



หน่วยแรงอัด

กก/ซม²



40 % ultimate

$S_1 = 16.2 \quad \text{กก/ซม}^2$

$S_2 = 111.2 \quad \text{กก/ซม}^2$

$\epsilon_2 = 3.8 \times 10^{-4} \quad \text{ซม/ซม.}$

$$E = \frac{S_2 - S_1}{\epsilon_2 - 0.000050} = \frac{95}{3.3 \times 10^{-4}} = 2.88 \times 10^5 \quad \text{กก/ซม}^2$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

1x10⁻⁴ ซม/ซม.

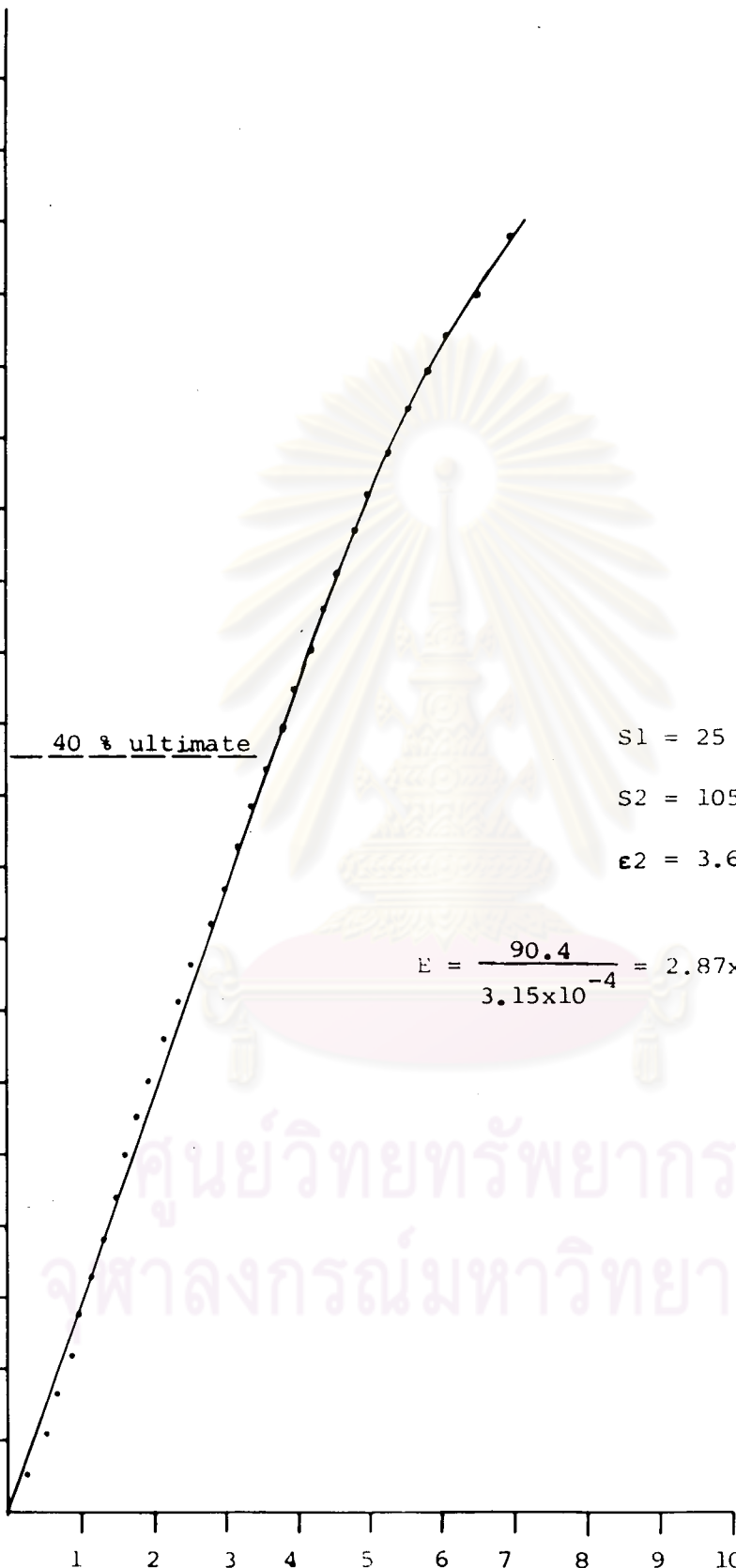
ความเค้นค

รูปที่ 3.2 ข. การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

หน่วยแรงอัด

กก/ซม²

200
190
180
170
160
150
140
130
120
110
100
90
80
70
60
50
40
30
20
10



$S_1 = 25 \text{ กก/ซม}^2$

$S_2 = 105.4 \text{ กก/ซม}^2$

$\epsilon_2 = 3.65 \times 10^{-4} \text{ ซม/ซม.}$

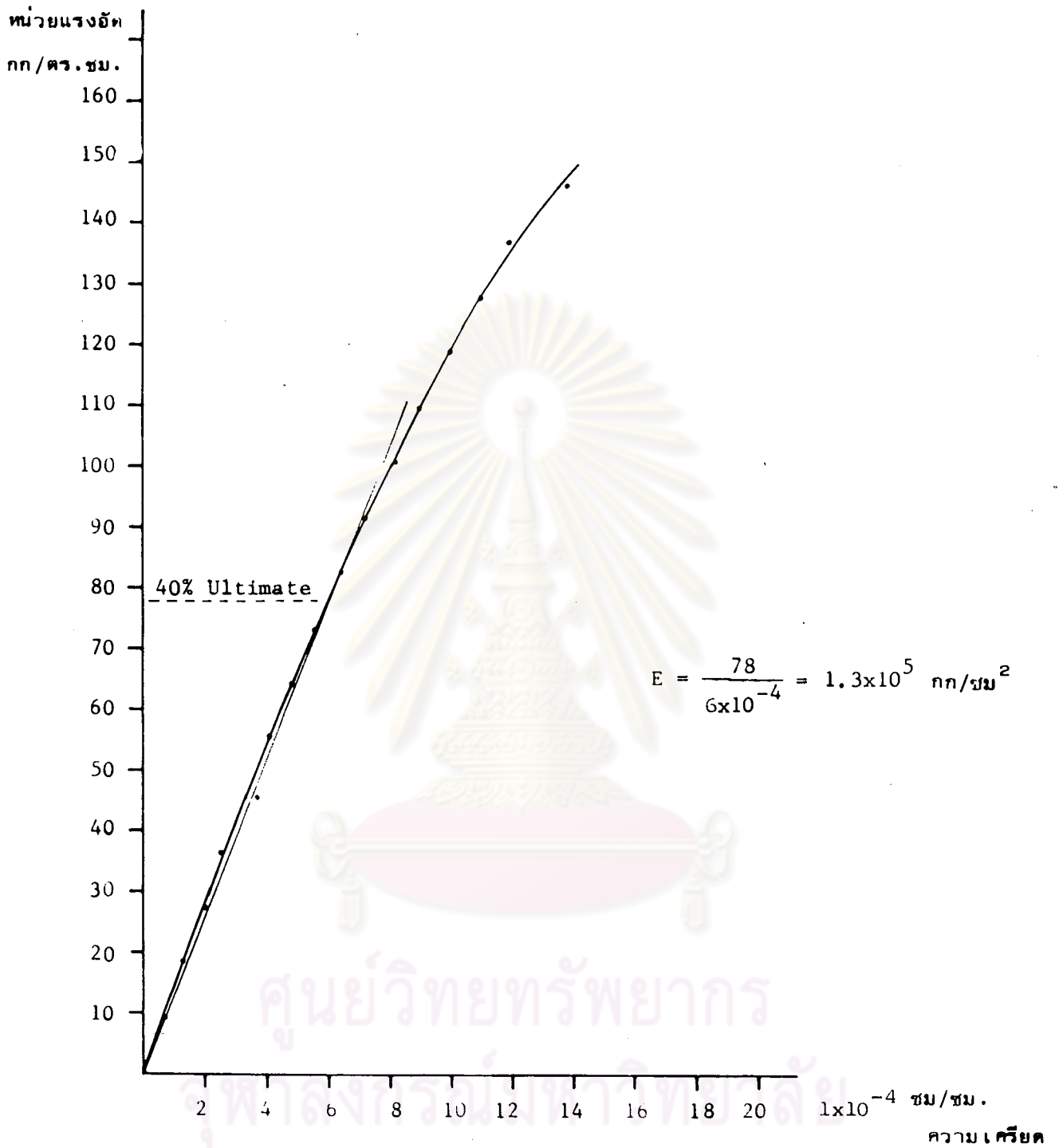
$$E = \frac{90.4}{3.15 \times 10^{-4}} = 2.87 \times 10^5 \text{ กก/ซม}^2.$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

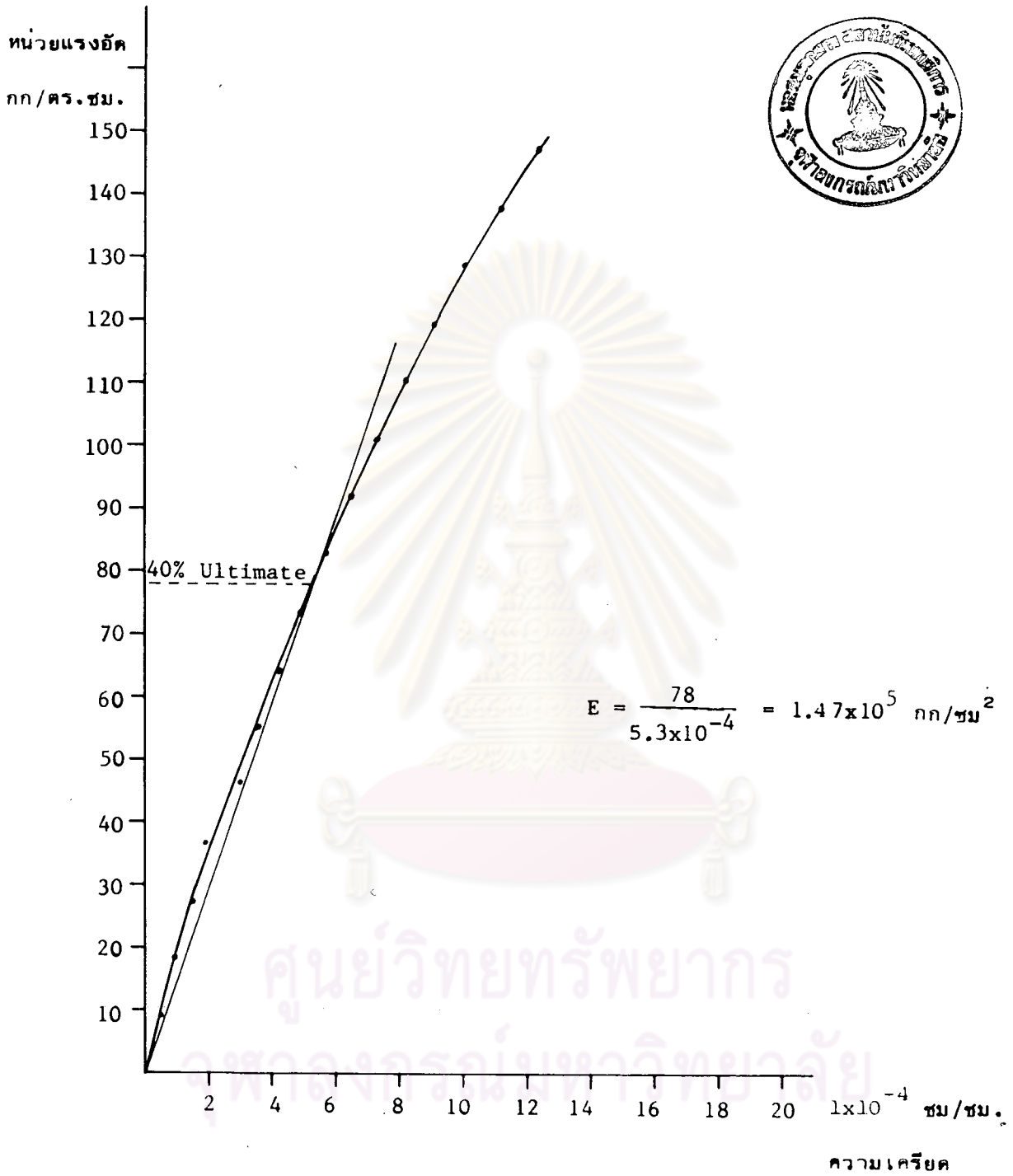
$1 \times 10^{-4} \text{ ซม/ซม.}$

ความเคียด

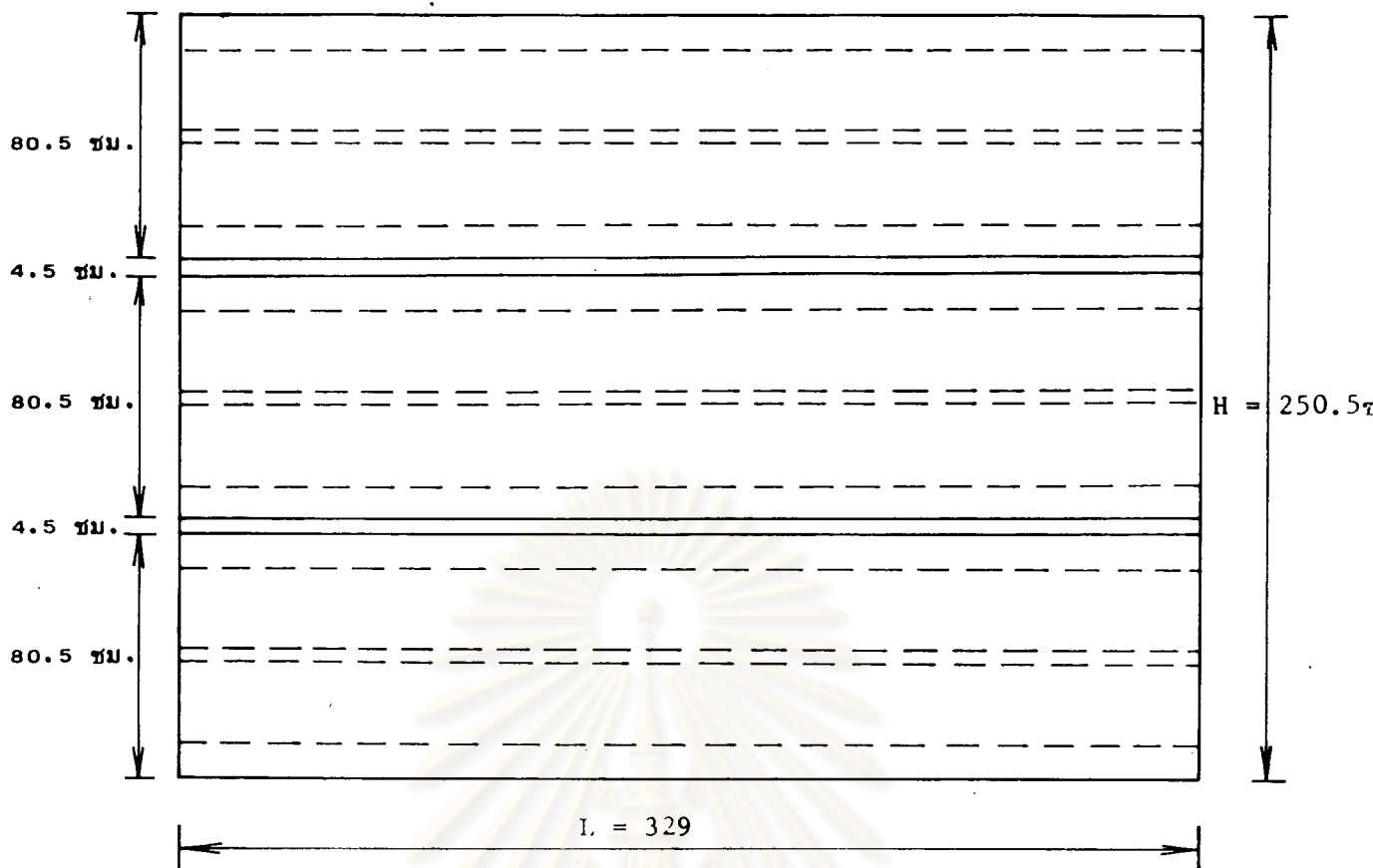
รูปที่ 3.2 ค. การหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต



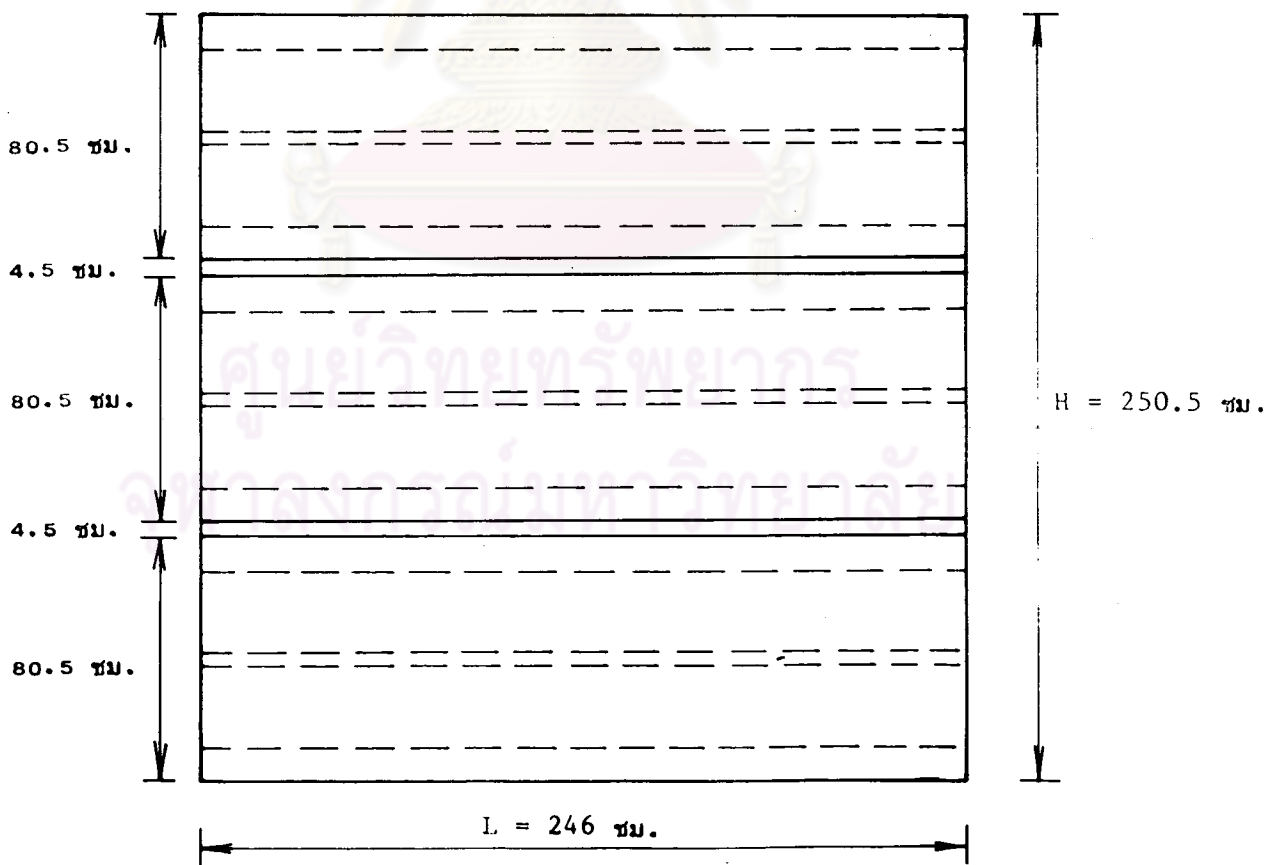
รูปที่ 3.3ก แสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของปูนก่อ



รูปที่ 3.3x แสดงการหาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของปูนก่อ

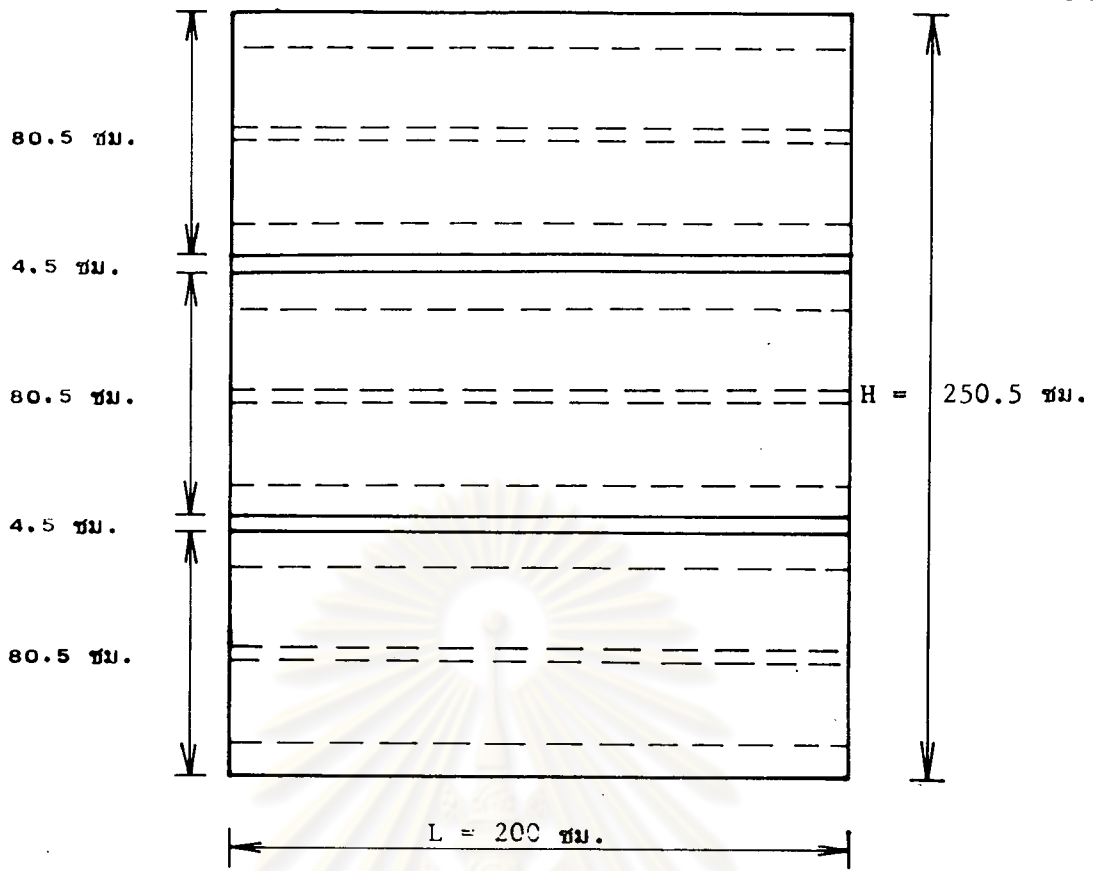


ผนัง CW1 $\frac{L}{H} = 1.313$

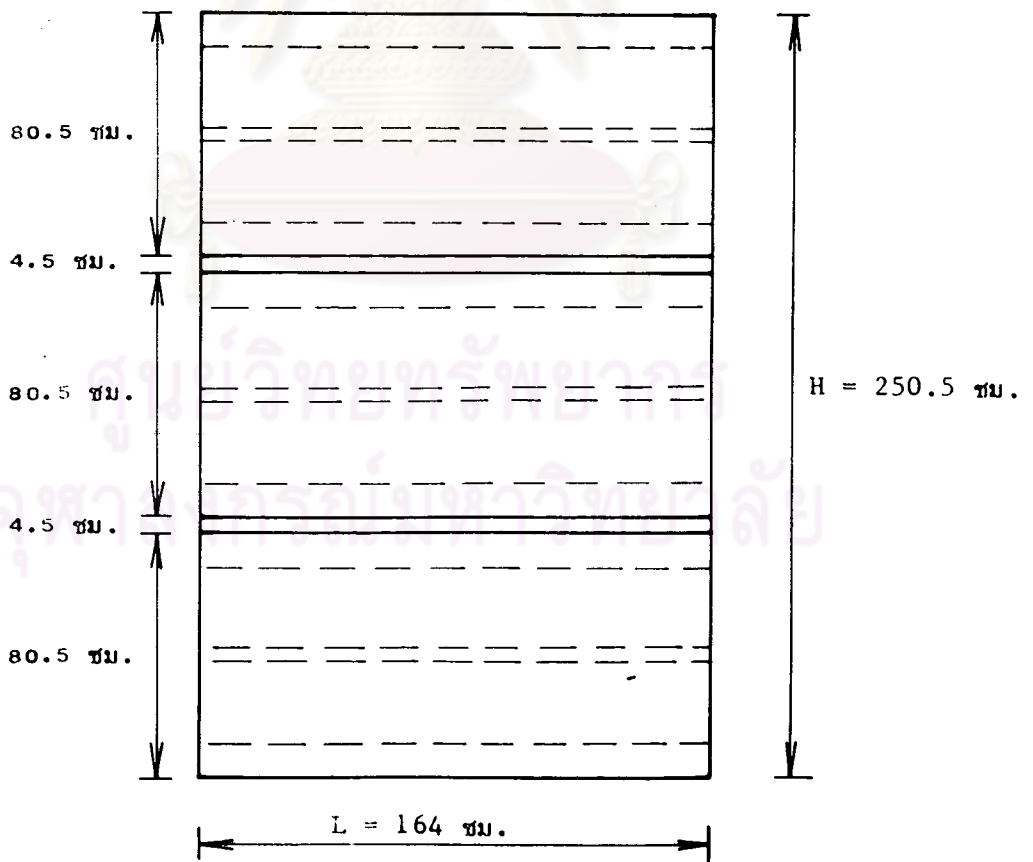


ผนัง CW2 $\frac{L}{H} = 0.982$

รูปที่ 3.4 แสดงขนาดและรูปร่างของผนังคอนกรีตกลางสำเร็จรูป



ผนัง CW3 $\frac{L}{H} = 0.798$

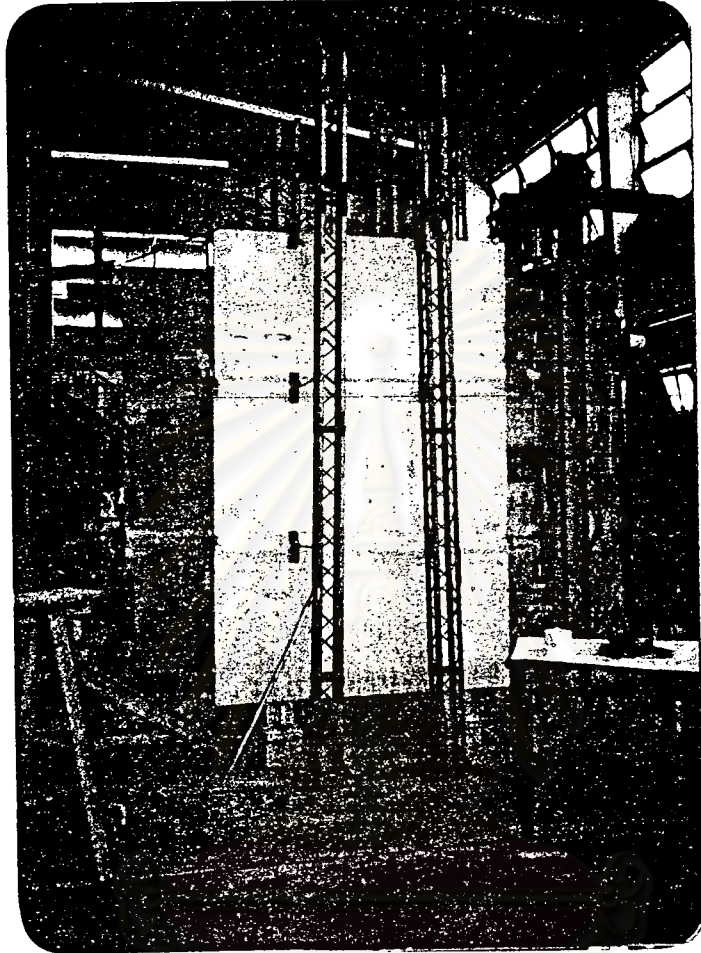


CW4 $\frac{L}{H} = 0.655$

รูปที่ 3.4 แสดงขนาดและรูปร่างของผนังคอนกรีตกลางสำหรับเรือ



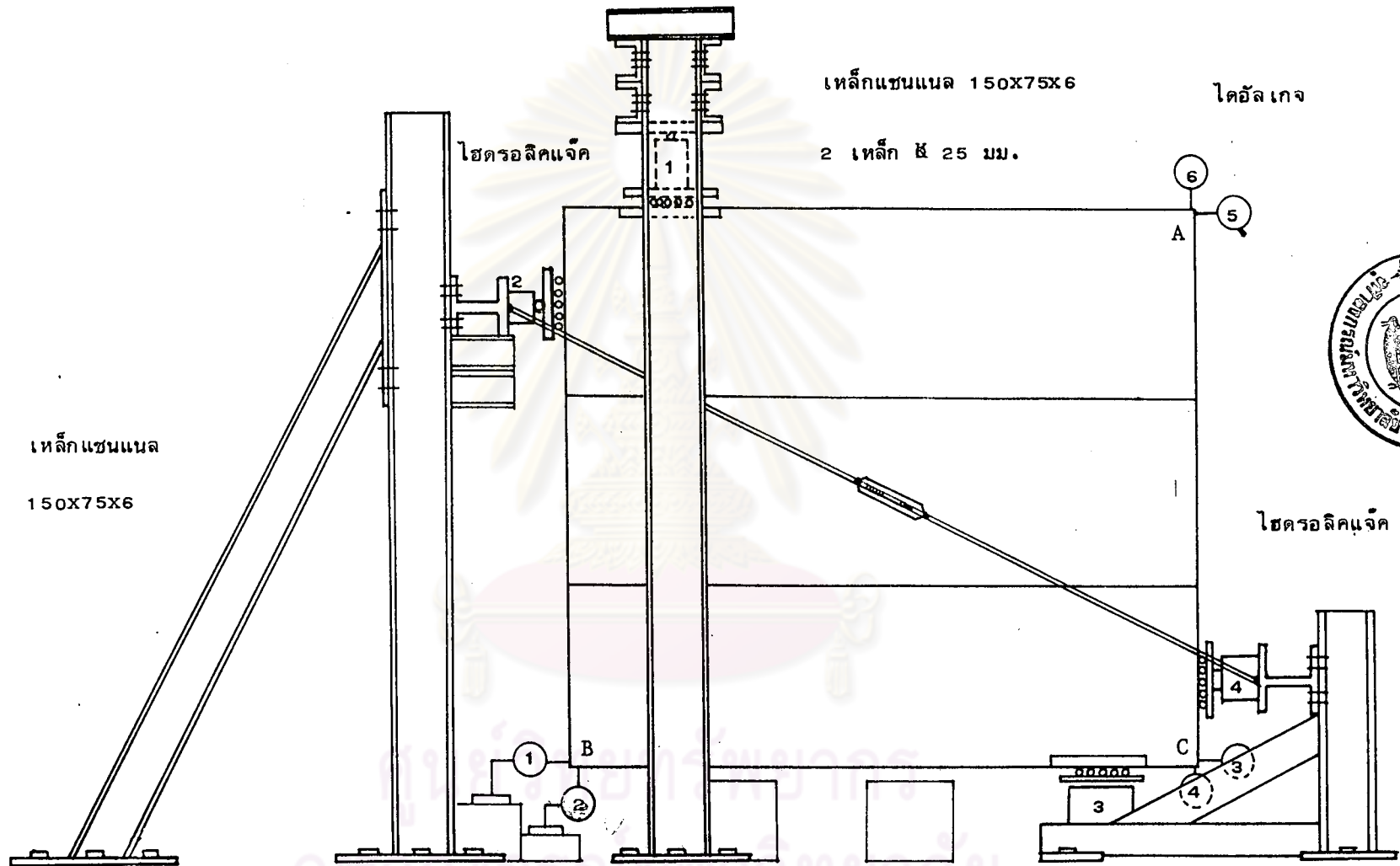
ศูนย์วิทยุทรพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 3.5 การติดตั้งแผ่นคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป 3 ชั้น



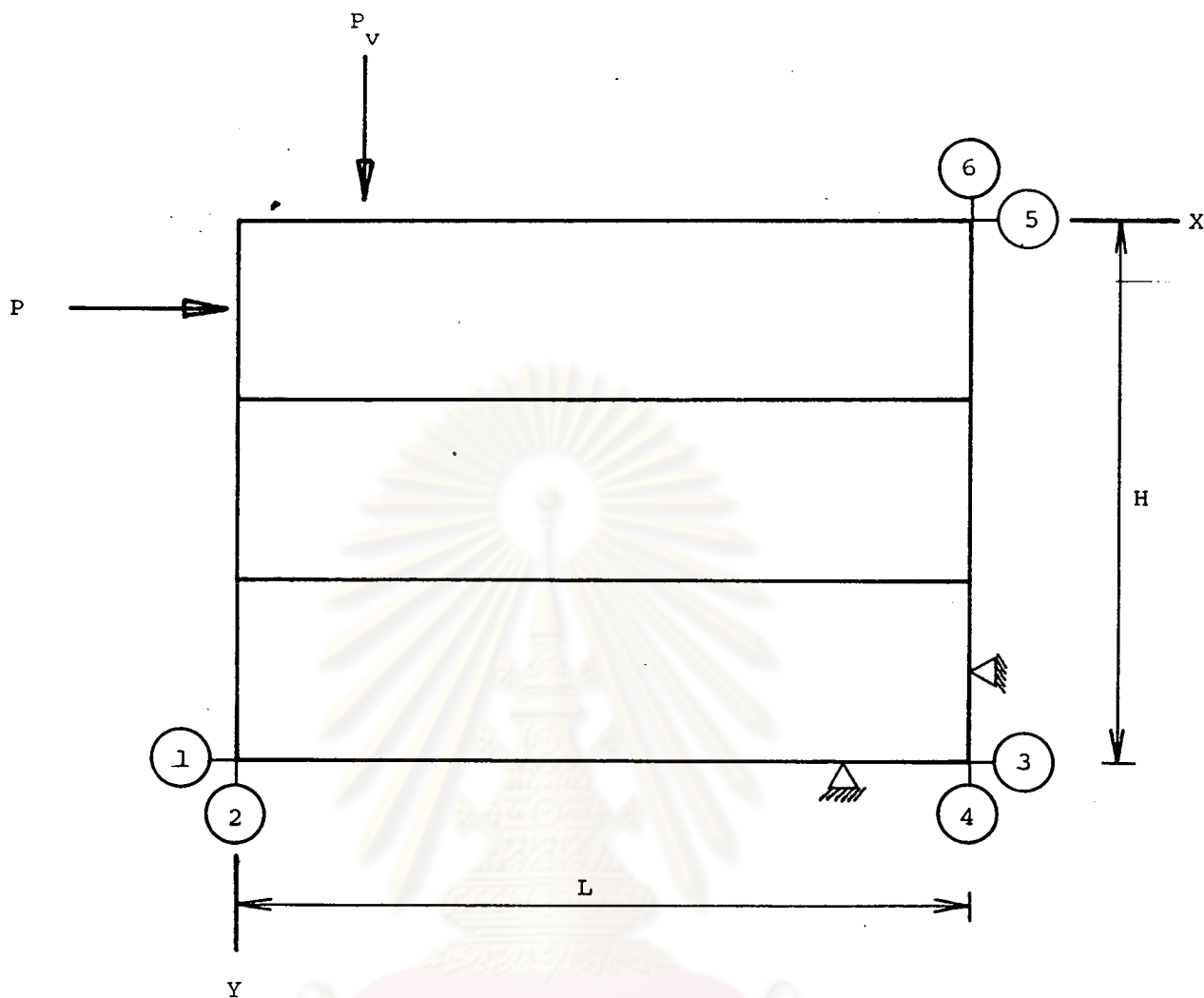
รูปที่ 3.6 ลักษณะของแผ่นผนังคอนกรีตกลางสำเร็จรูปหลังจาก

ยาแนวแล้วเสร็จ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



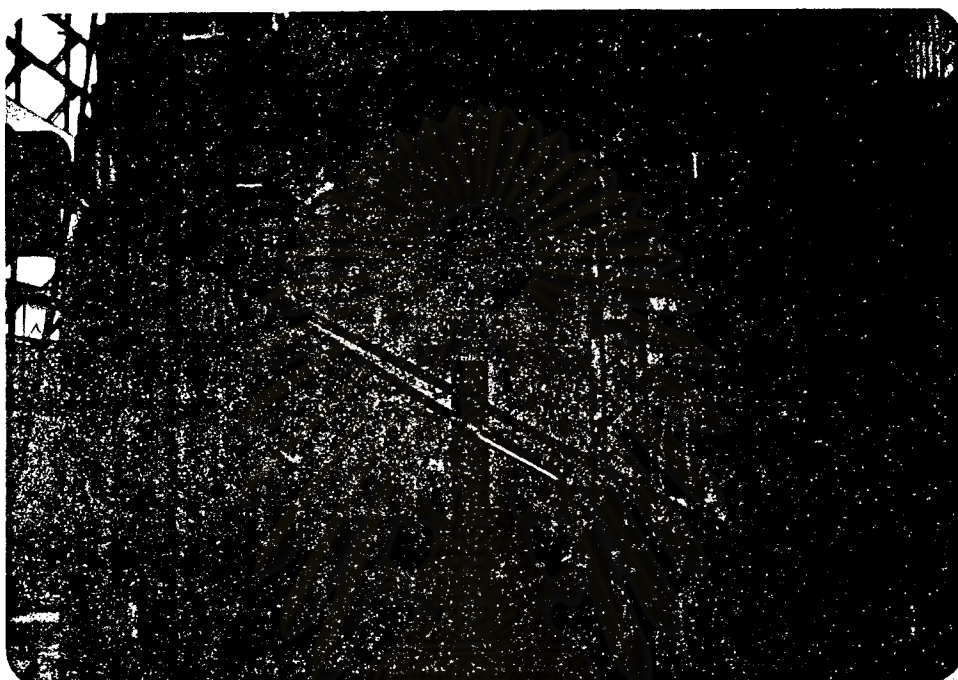
รูปที่ 3.7 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบการรับแรงต้านข้างของหมั่นคอนกรีตกลาง



เมื่อ ได้อัลเกจ No. 1, 3, 5 วัดค่าการเคลื่อนที่ในแนวราบ (แกน X)
ได้อัลเกจ No. 2, 4, 6 วัดค่าการเคลื่อนที่ในแนวตั้ง (แกน Y)

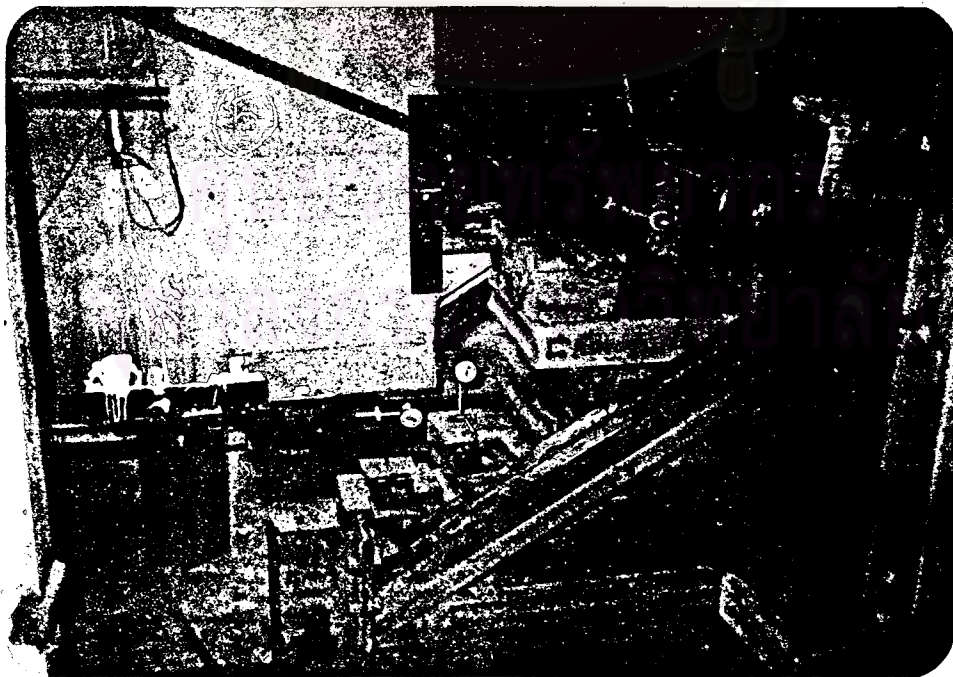
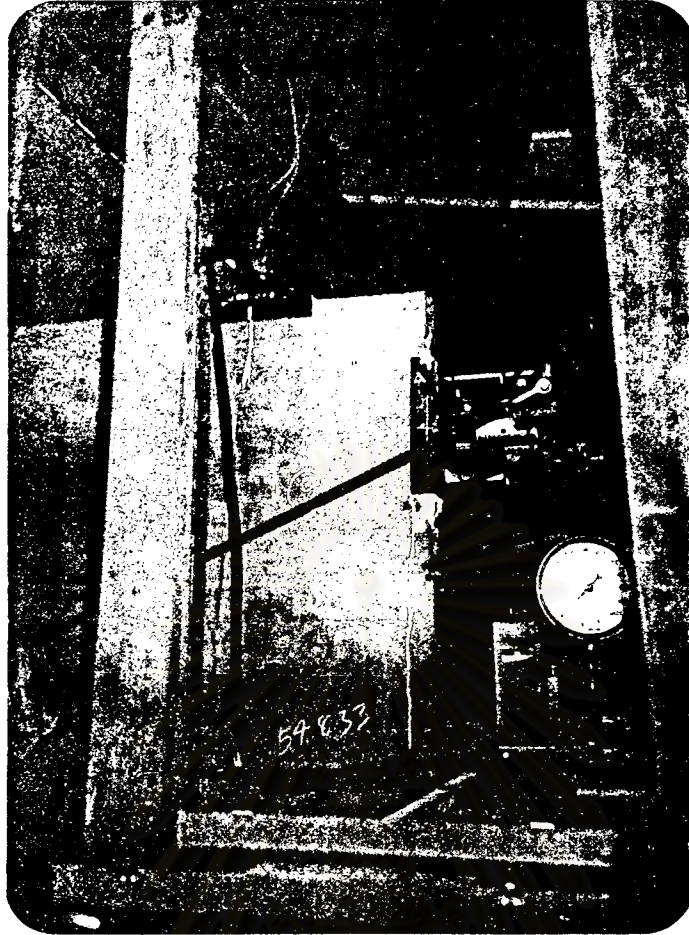
ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.8 ตำแหน่งการติดตั้งเกจวัดการเปลี่ยนรูปร่างของตัวอย่างทดสอบ

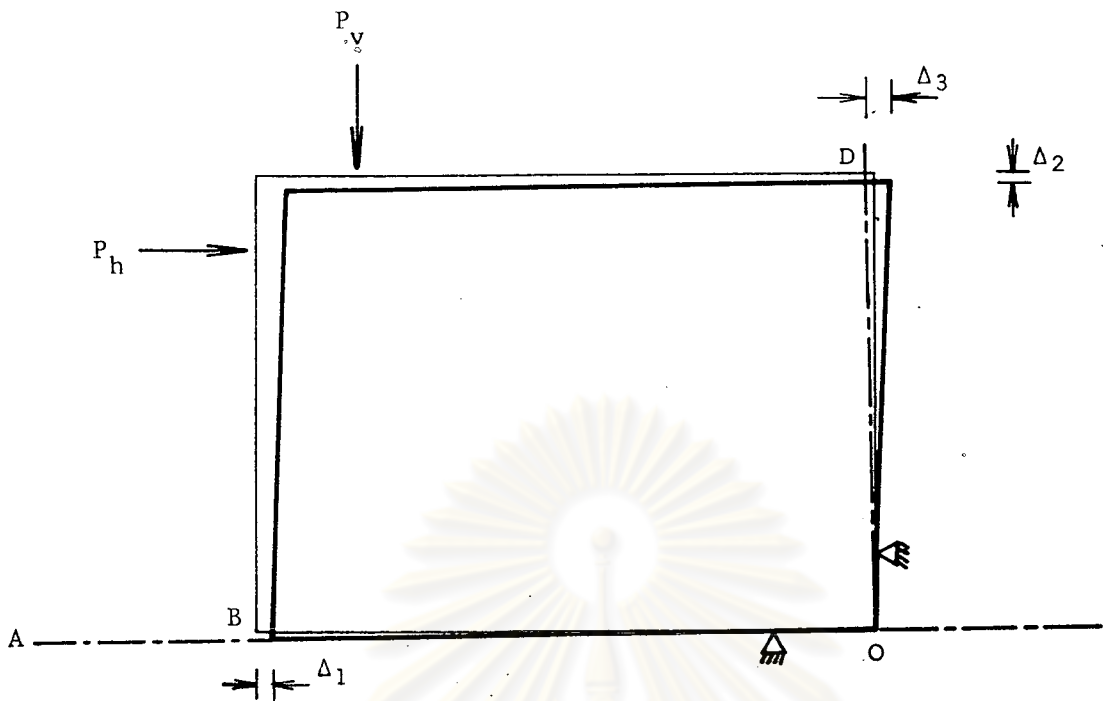


รูปที่ 3.9 ตำแหน่งการติดตั้งความเครียดทั้งแบบไฟฟ้าและเชิงกล

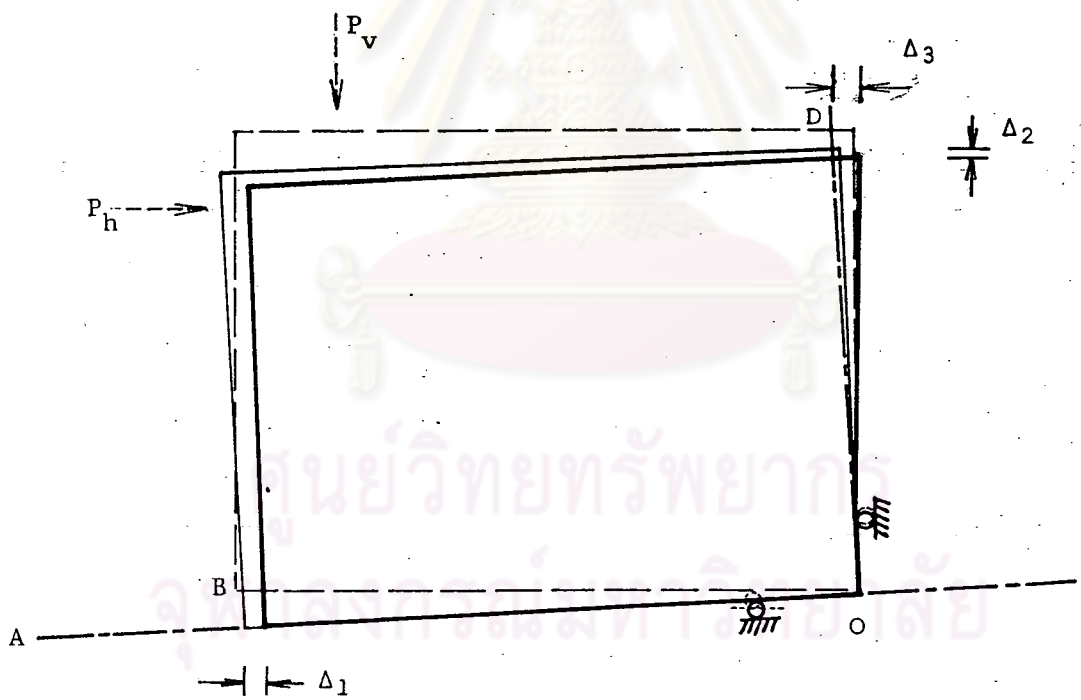
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 การบรรจุหน้าหนักด้วยไฮดรอลิกแนจ



การโก่งตัวตามทฤษฎี



การโก่งตัวจากการทดสอบ

รูปที่ 3.11 แสดงการวัดค่าการโก่งตัวของผนัง



(ก) ผนัง CW 1 $\frac{L}{H} = 1.313$

รูปที่ 3.12 รอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตกลางหลังการวิบัติ
ของ CW-1



(ข) ผัง CW 2 $\frac{L}{H} = 0.982$

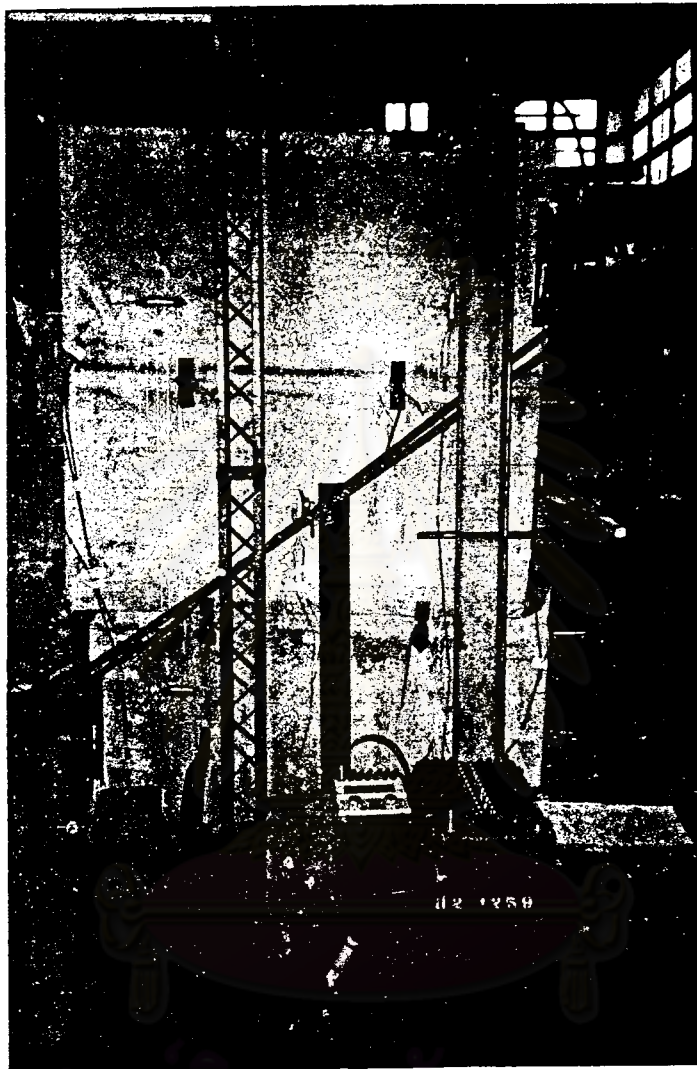
รูปที่ 3.12 รอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตกลางหลังการวิบัติของ CW-2

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



(ค) ผนัง CW 3 $\frac{L}{H} = 0.80$

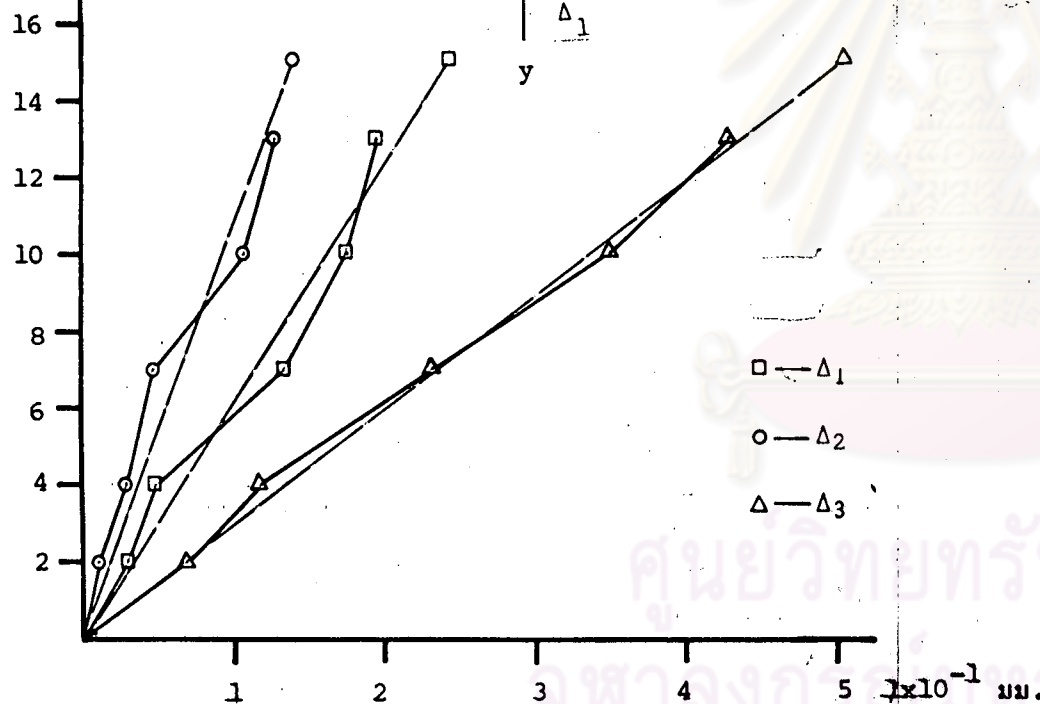
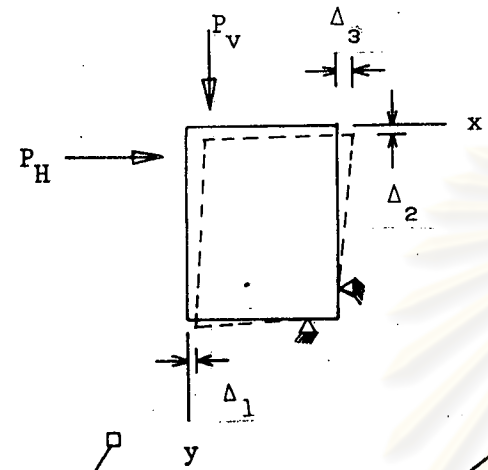
รูปที่ 3.12 รอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตกลางหลังการวิบัติของ CW-3



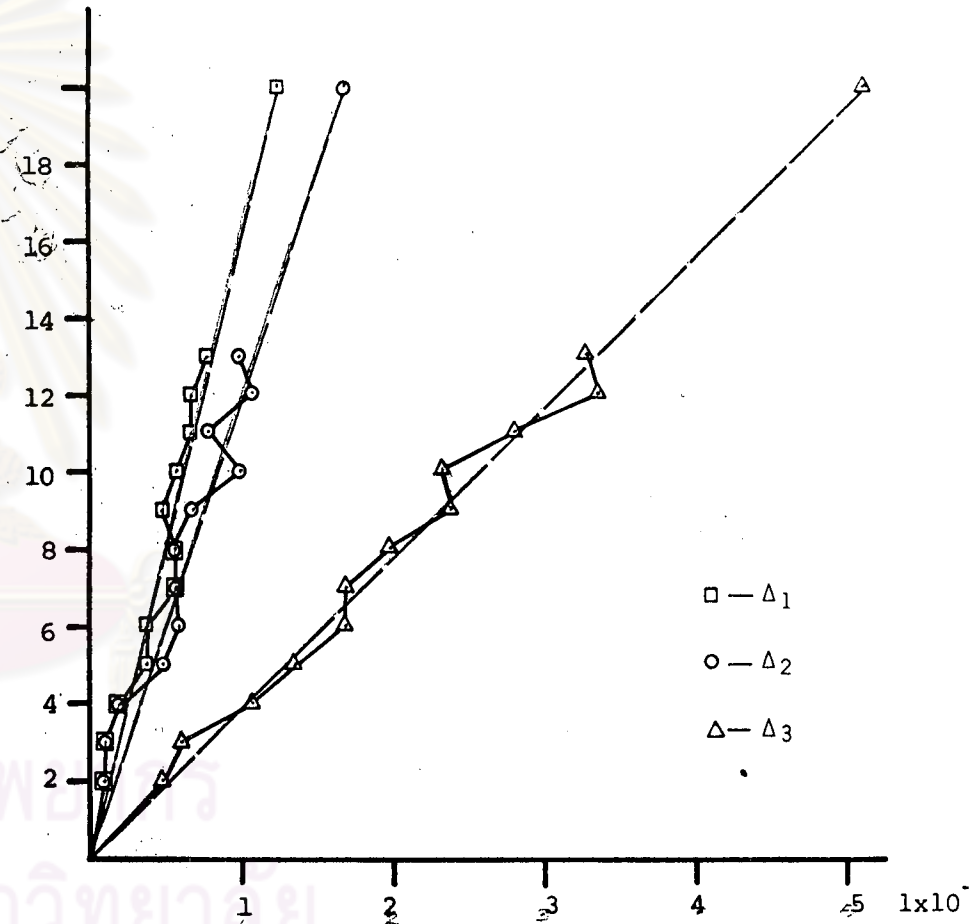
(ง) ผัง CW 4 $\frac{L}{H} = 0.655$

รูปที่ 3.12 รอยแตกร้าวของผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปหลังการวิบัติ
ของ CW-4

แรงในแนวตั้ง
(P_v)
(ตัน)



(ก) ผนัง CW1 $\frac{L}{H} = 1.313$ ระยะโก่งตัว

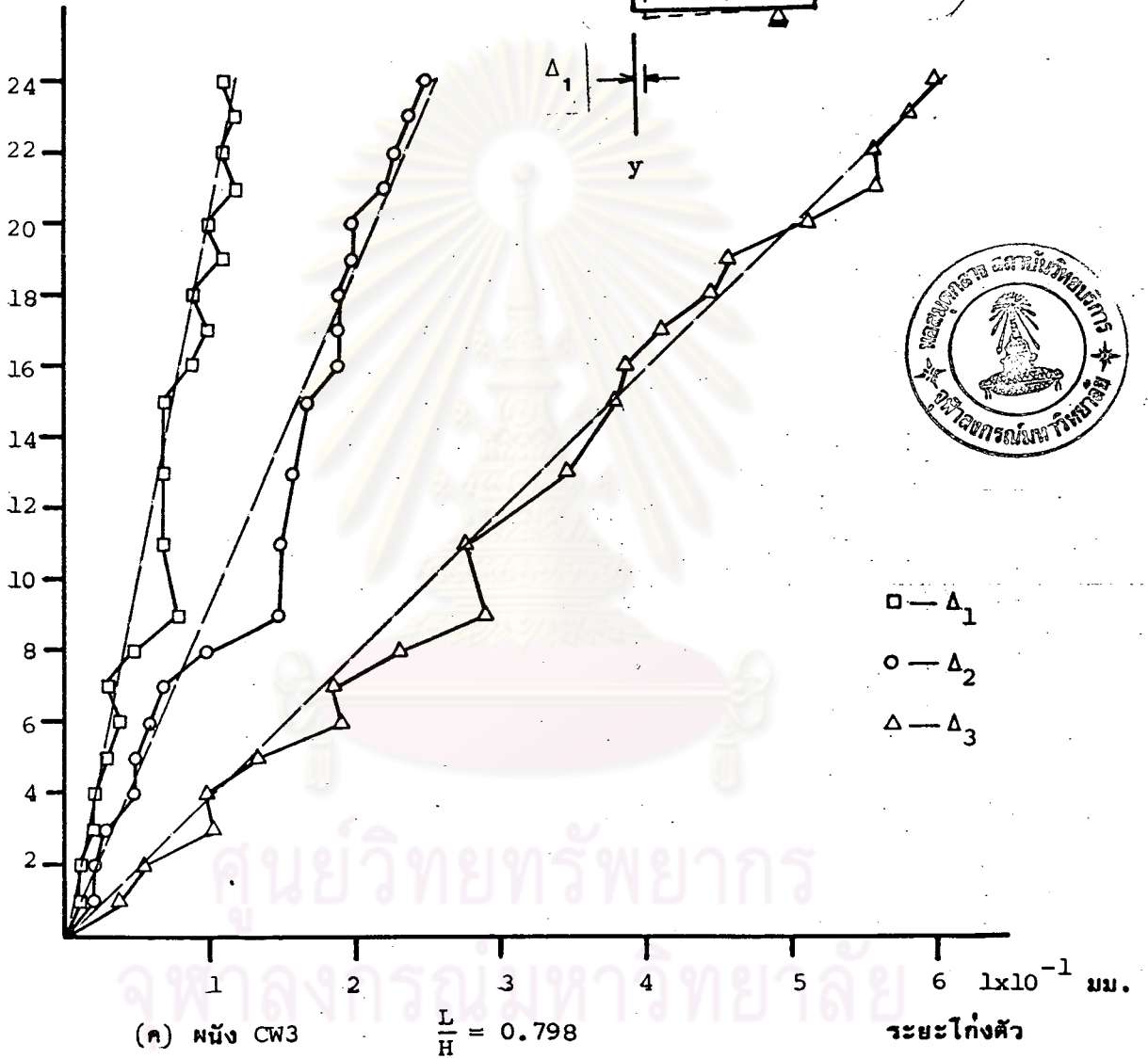


(ข) ผนัง CW2 $\frac{L}{H} = 0.982$ ระยะโก่งตัว

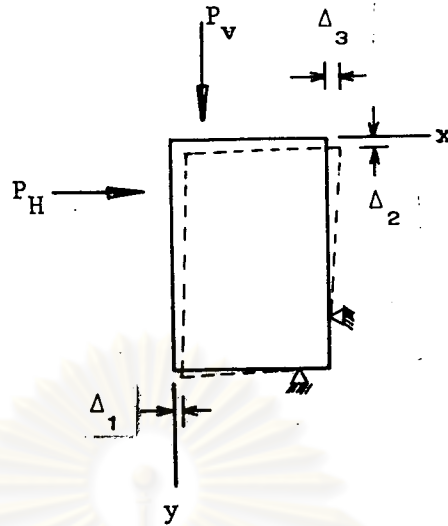
รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าการโก่งตัวของผนัง

แรงในแนวตั้ง

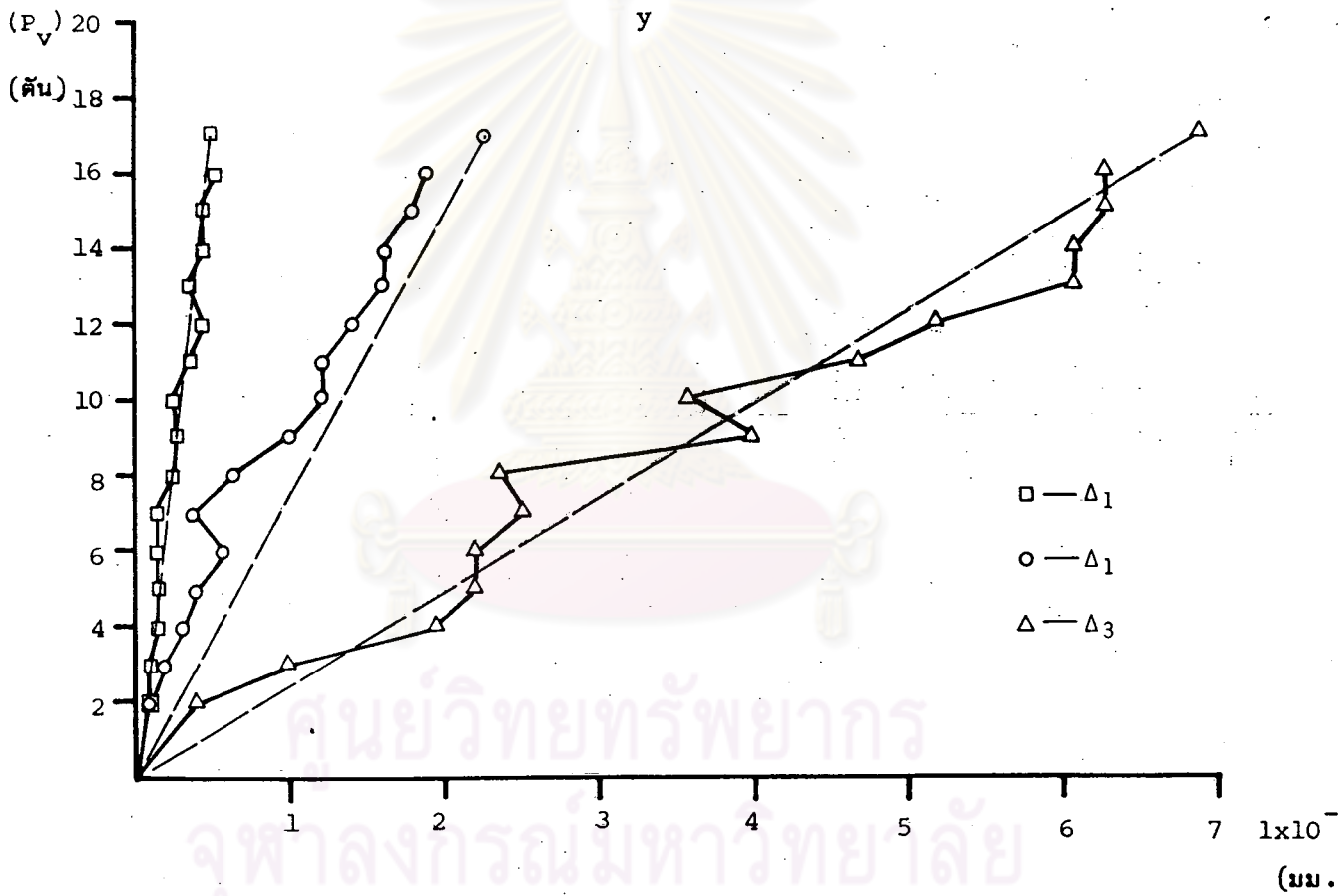
(P_v)
(ตัน)



รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าการโก่งตัวของผนัง



แรงในแนวตั้ง

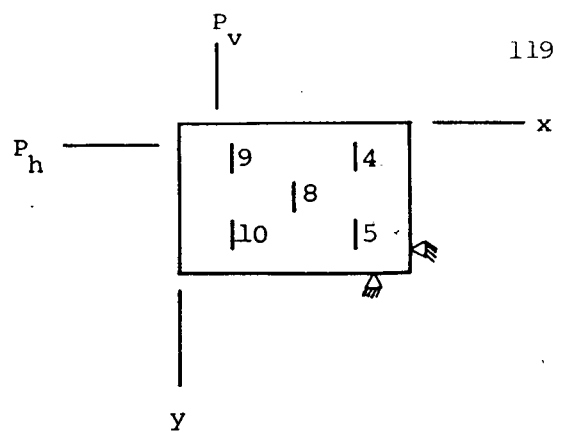
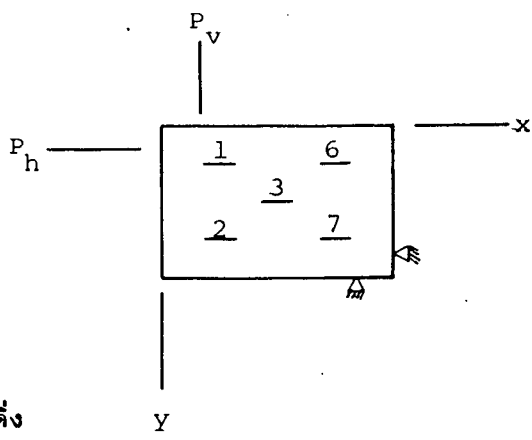


(ง) หน้า CW4

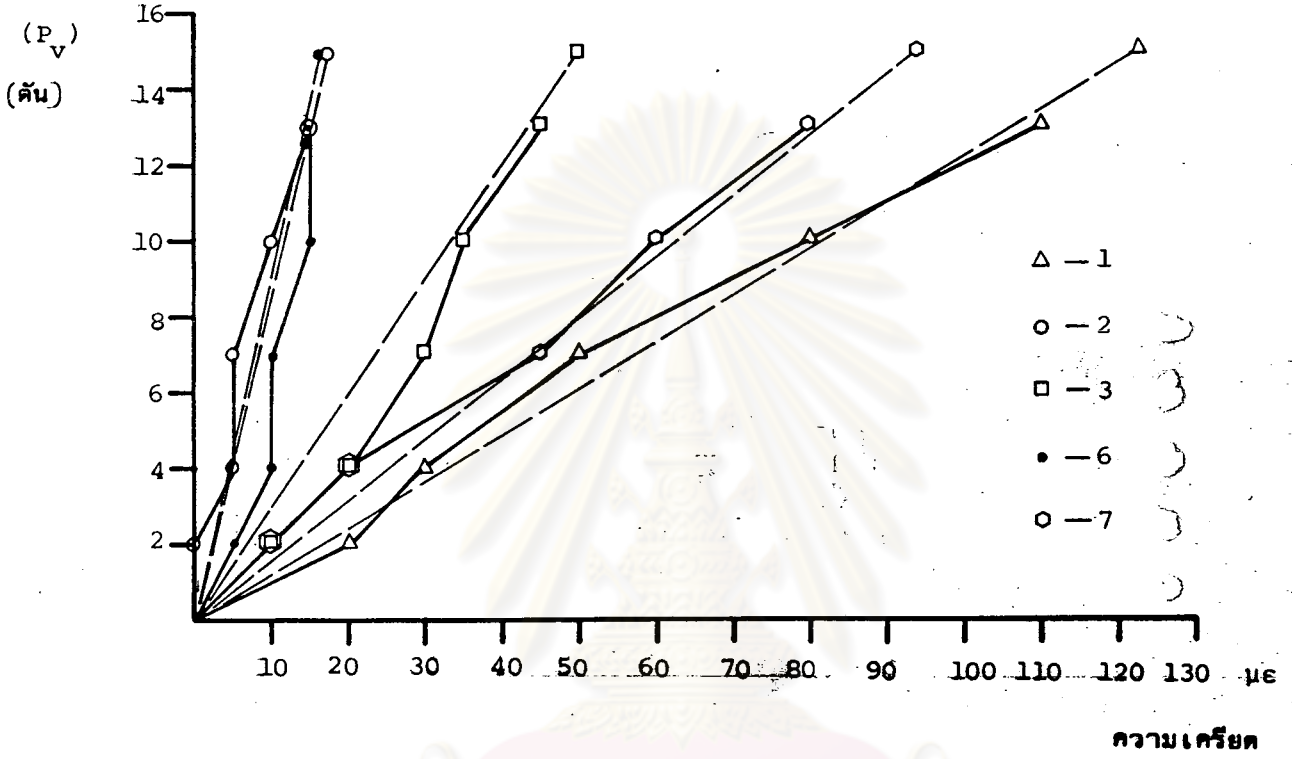
$$\frac{L}{H} = 0.655$$

ระยะโก่งตัว

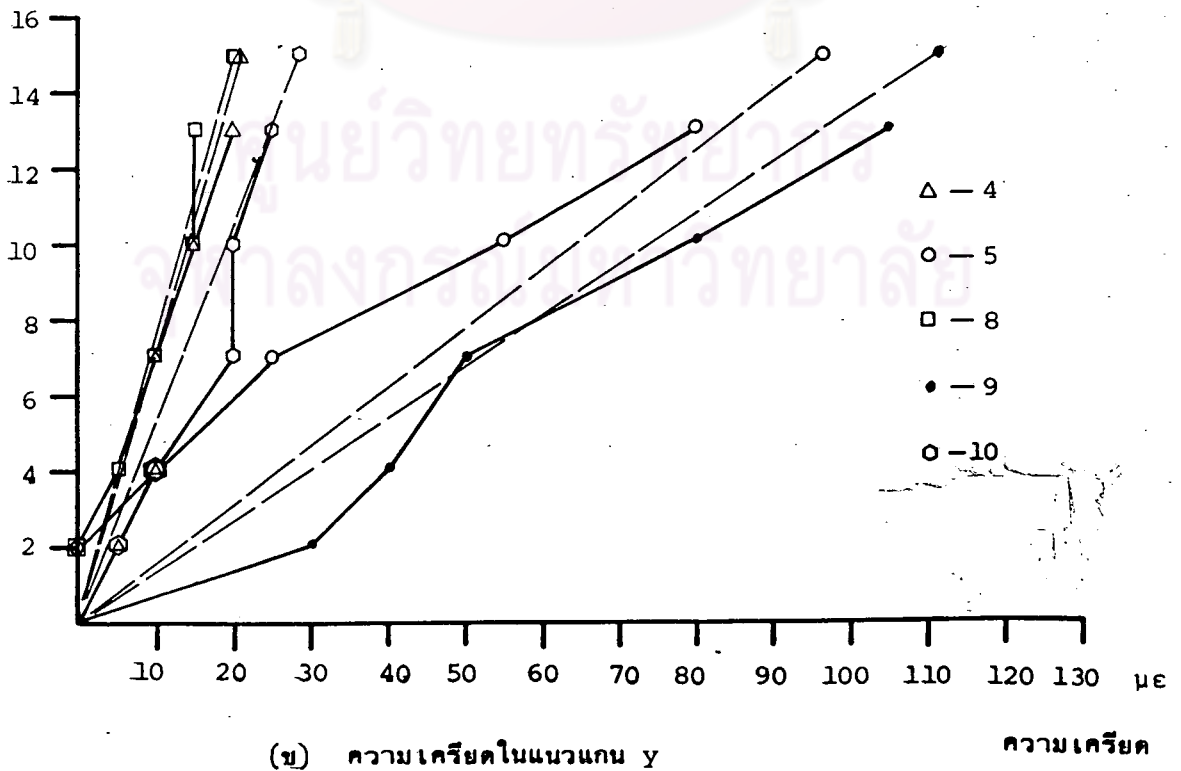
รูปที่ 3.13 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในตั้งและค่าการโก่งตัวของหน้า



แรงในแนวตั้ง

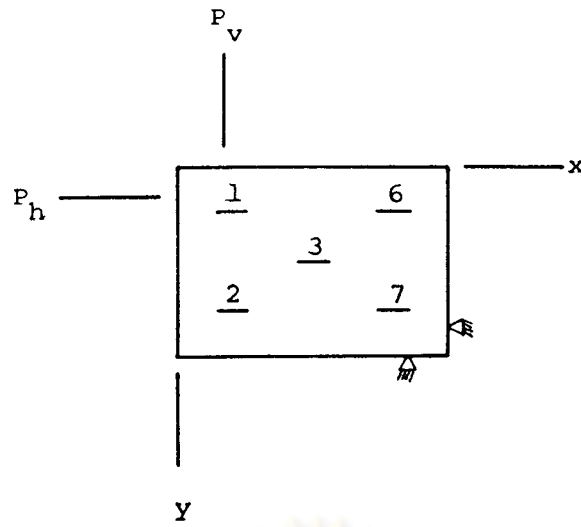


(ก) ความเคียดในแนวแกน x

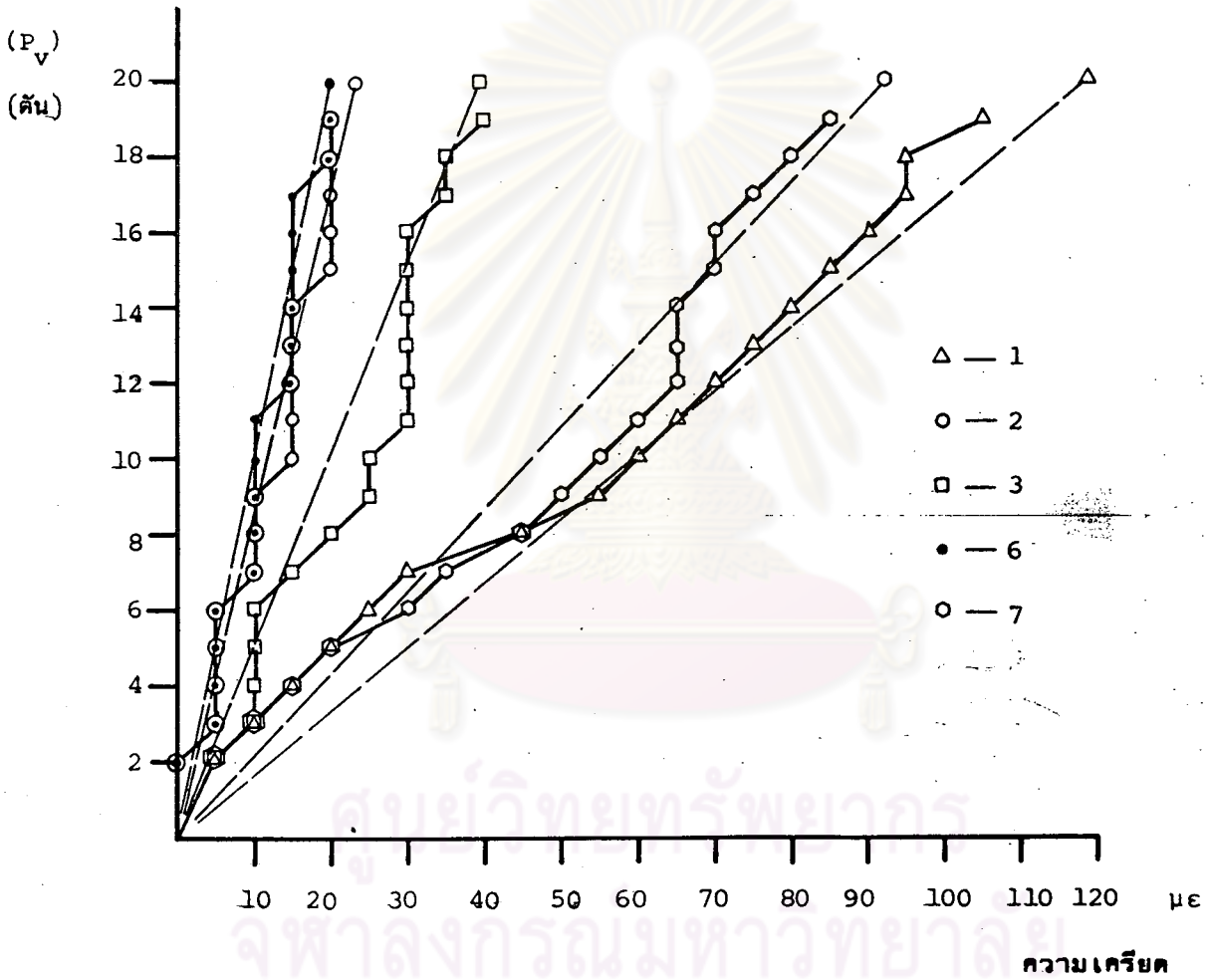


(ข) ความเคียดในแนวแกน y

รูปที่ 3.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าความเคียดของผนัง CW1

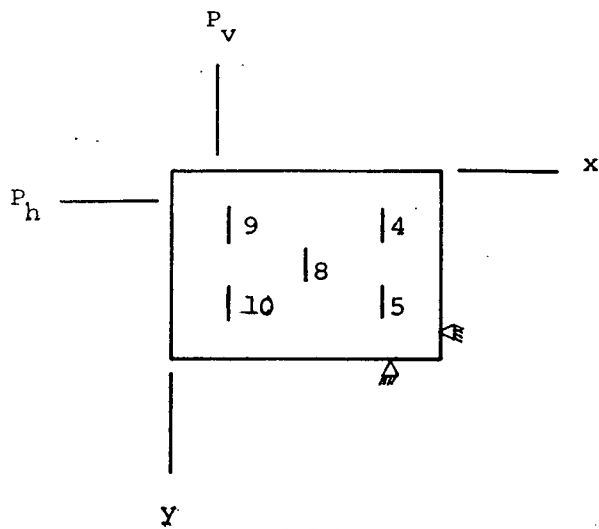


แรงในแนวตั้ง

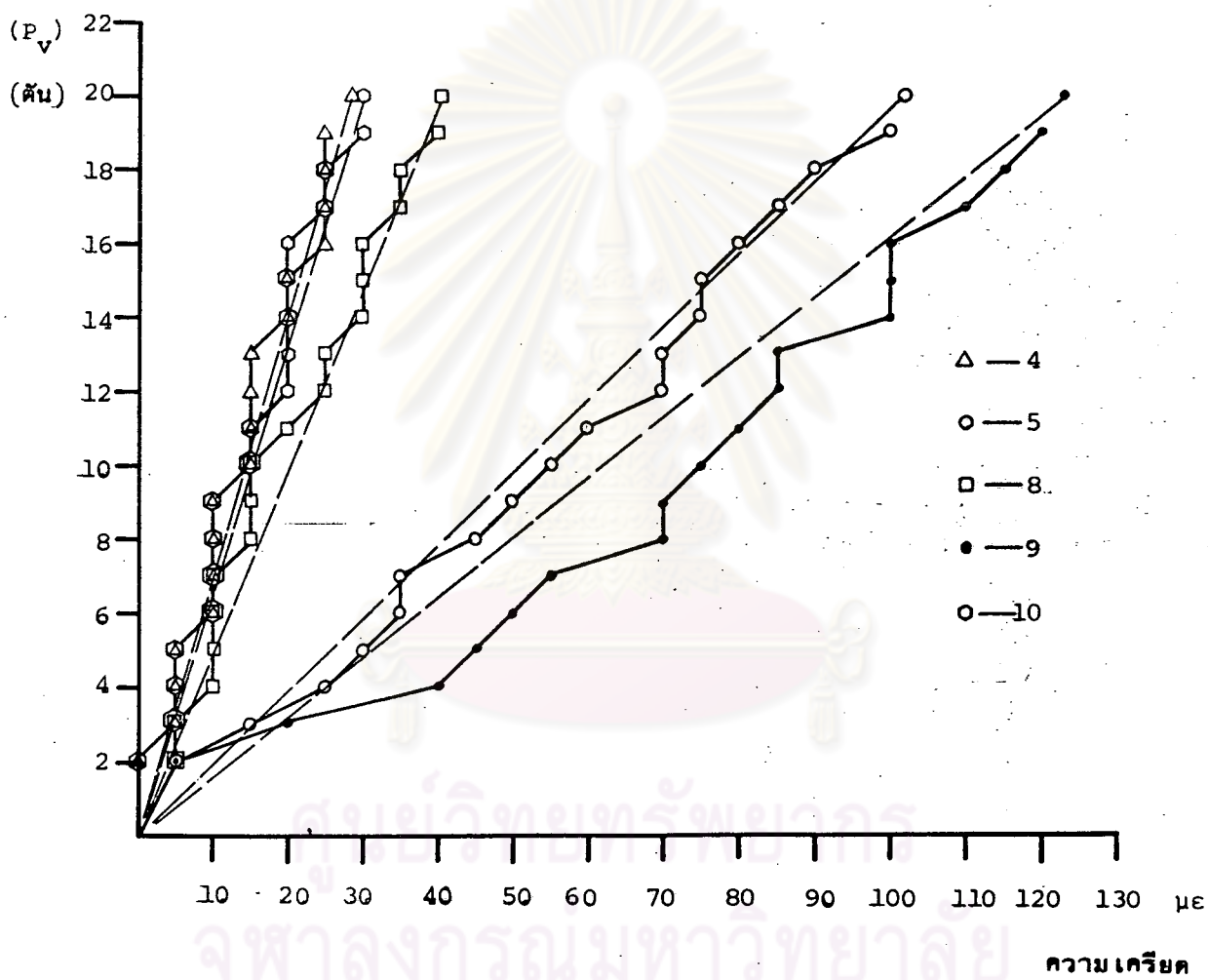


(ก) ความเครียดในแนวแกน x

รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าความเครียดของผนัง CW2



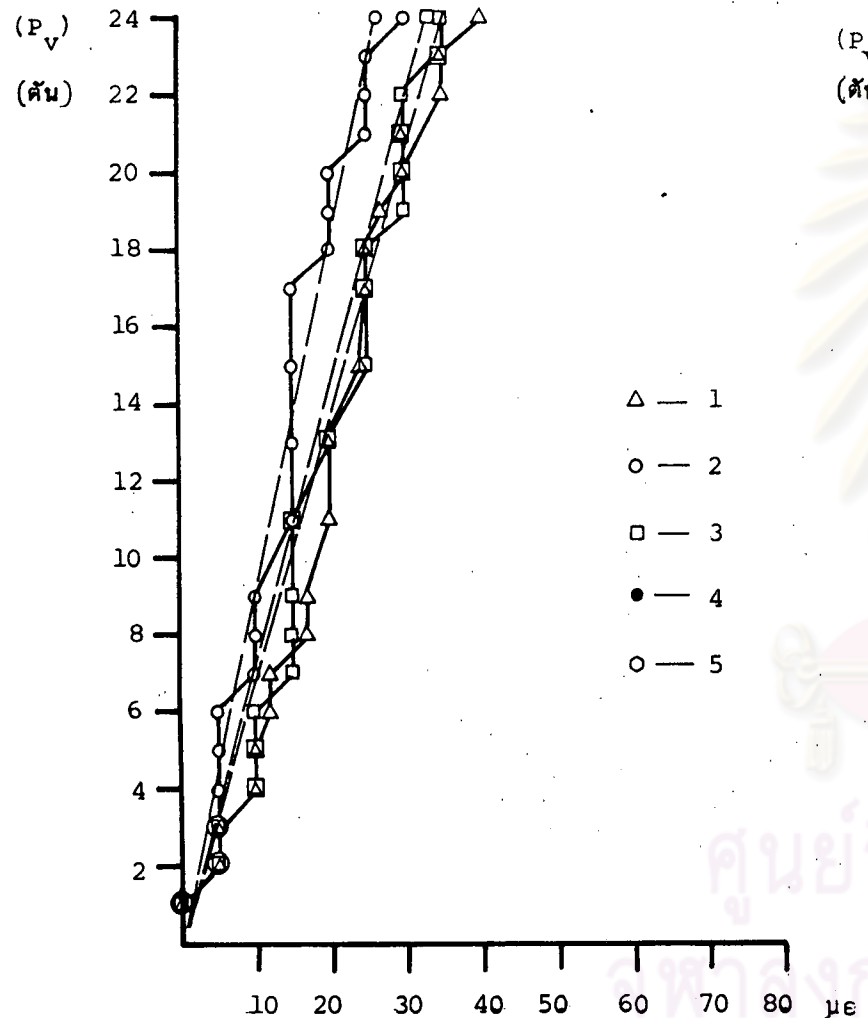
แรงในแนวดิ่ง



(ข) ความเคียดในแนวแกน y

รูปที่ 3.15 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวดิ่งและค่าความเคียดของผนัง CW2

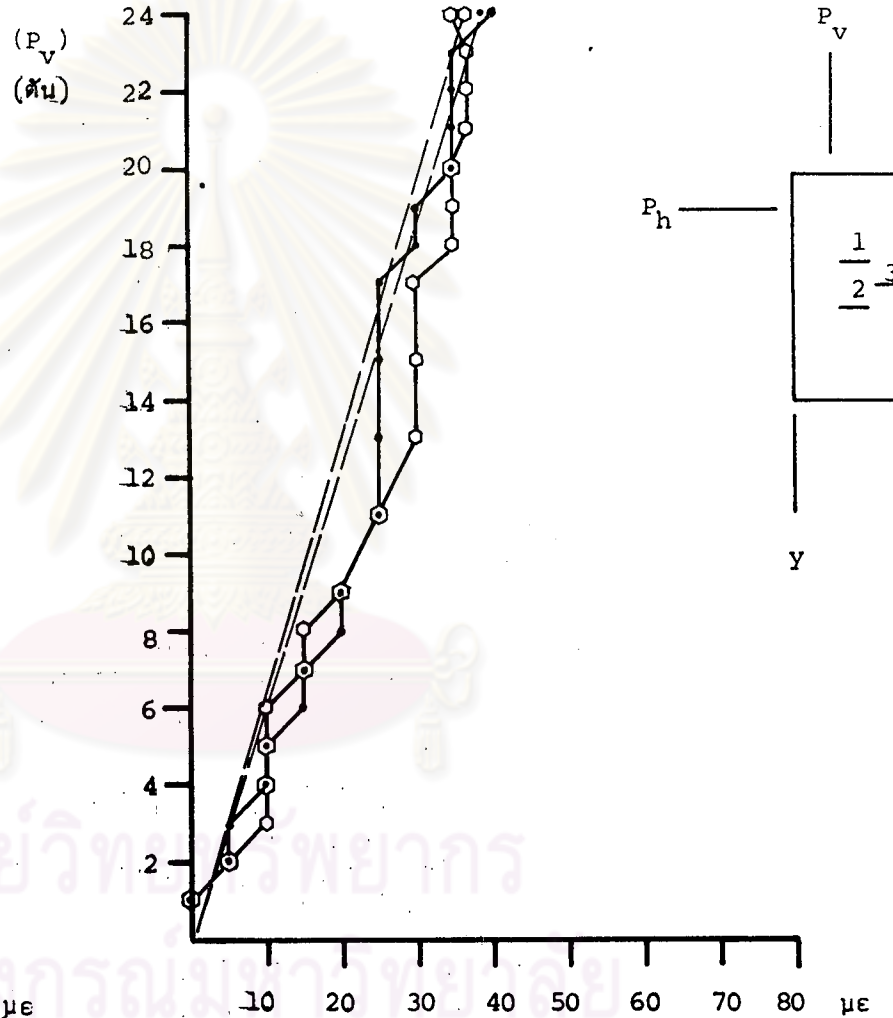
แรงในแนวตั้ง



- △ — 1
- — 2
- — 3
- — 4
- — 5

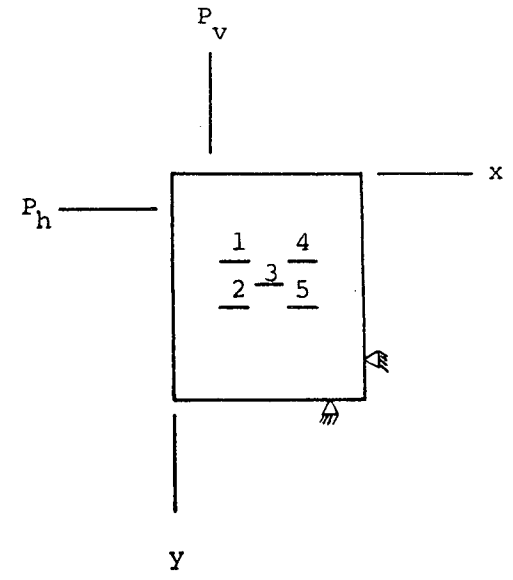
ความเคียด

แรงในแนวตั้ง

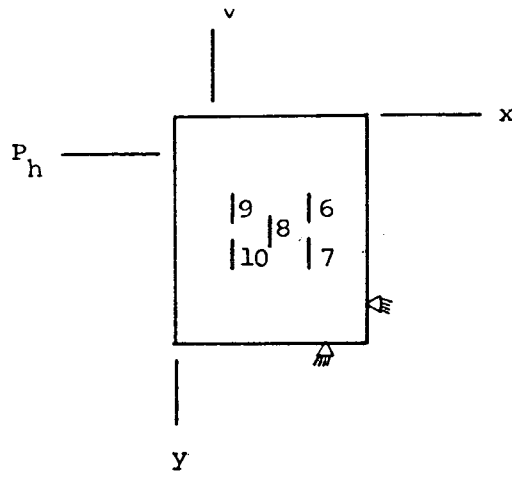


ความเคียด

(ก) ความเคียดในแนวแกน x



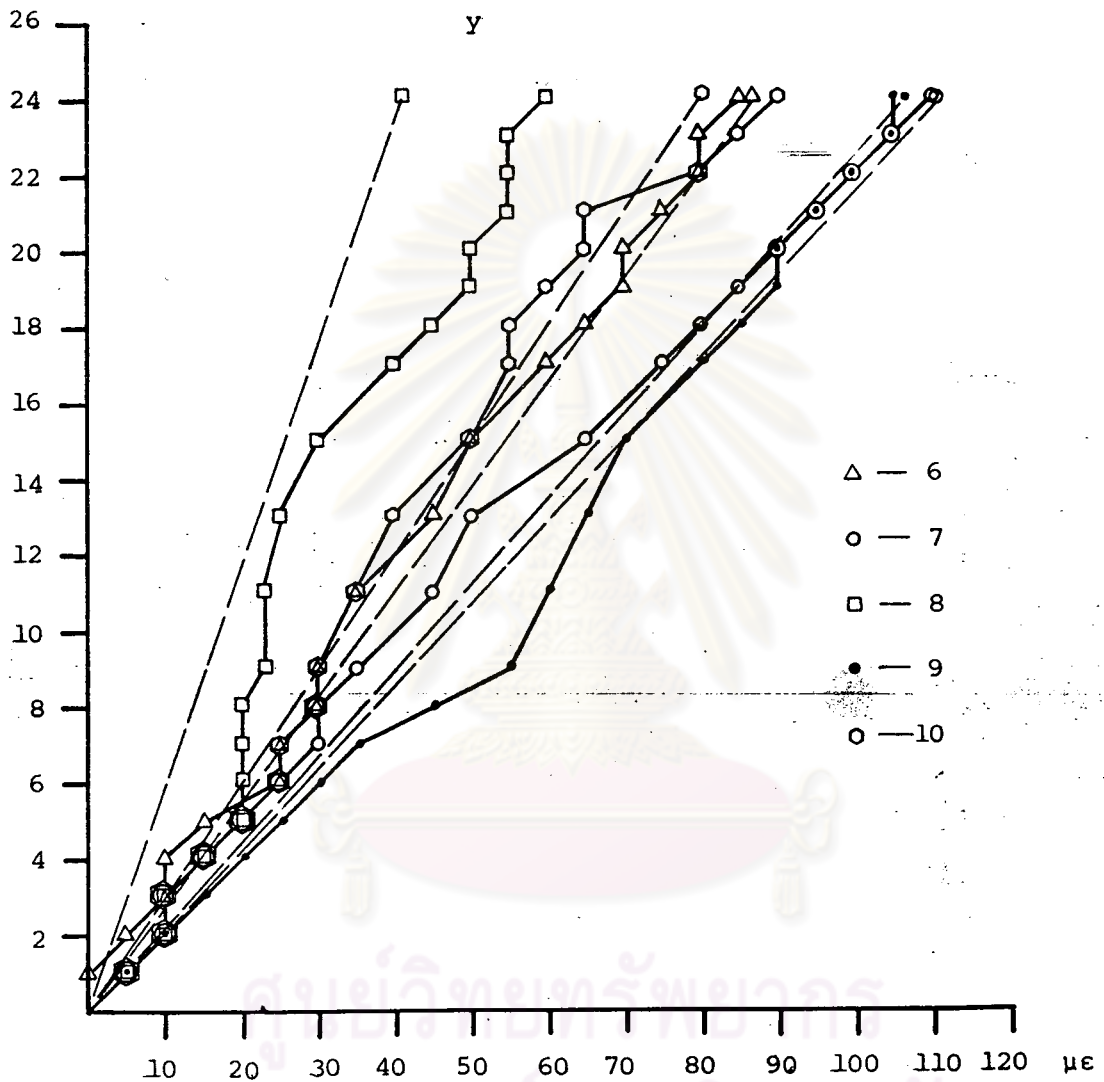
รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าความเคียดของผนัง CW3



แรงในแนวตั้ง

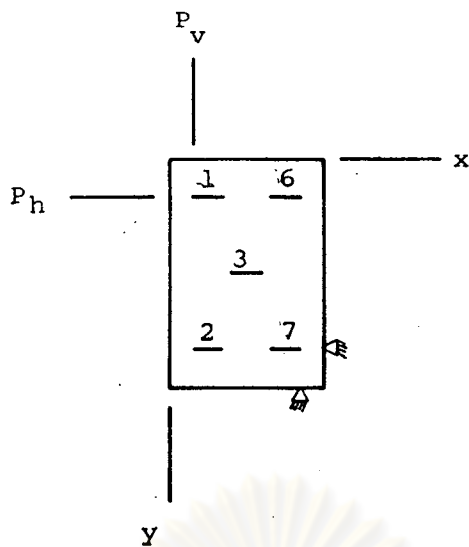
(P_v)

(ค่าน)

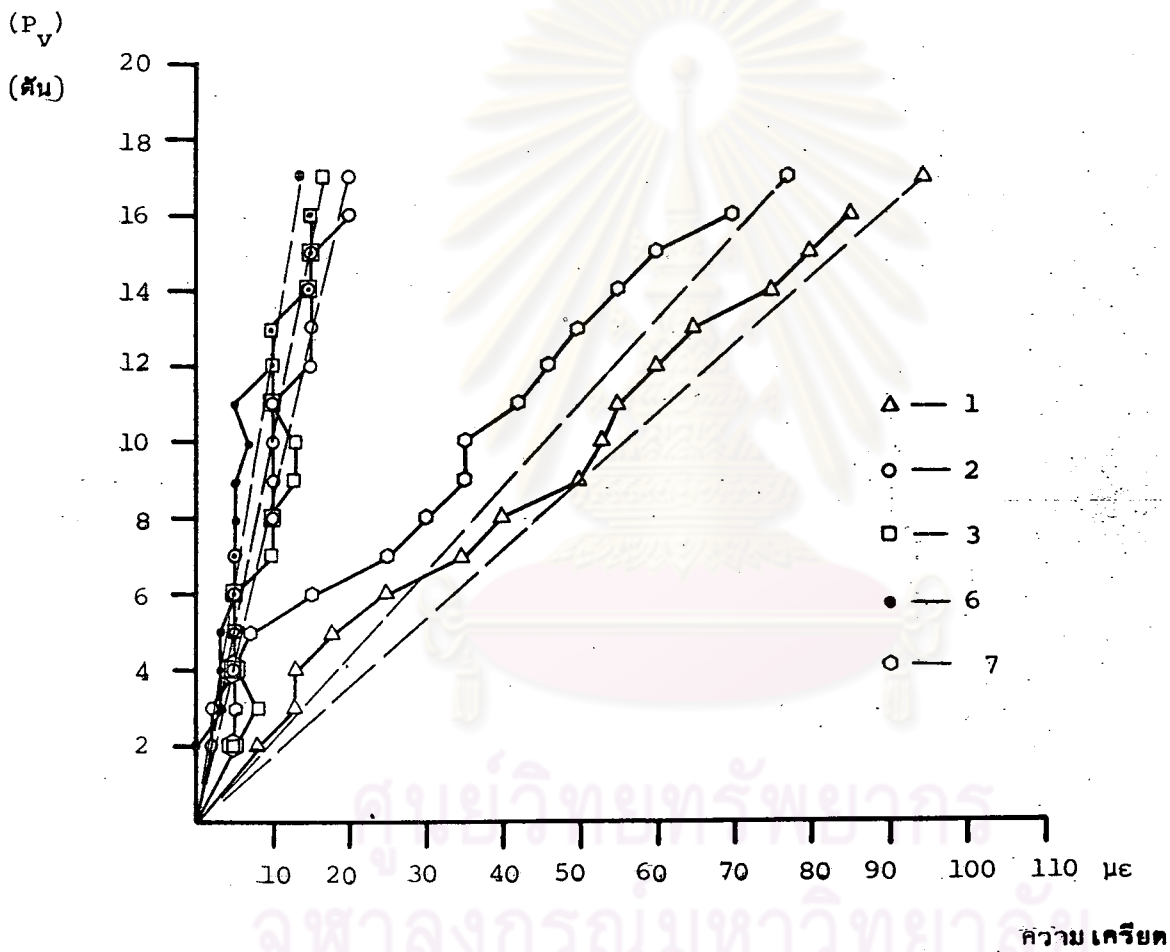


(ข) ความเครียดในแนวแกน y

รูปที่ 3.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าความเครียดของผนัง CW3

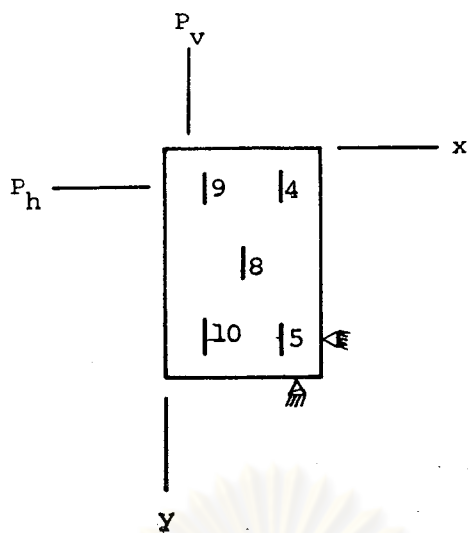


แรงในแนวตั้ง



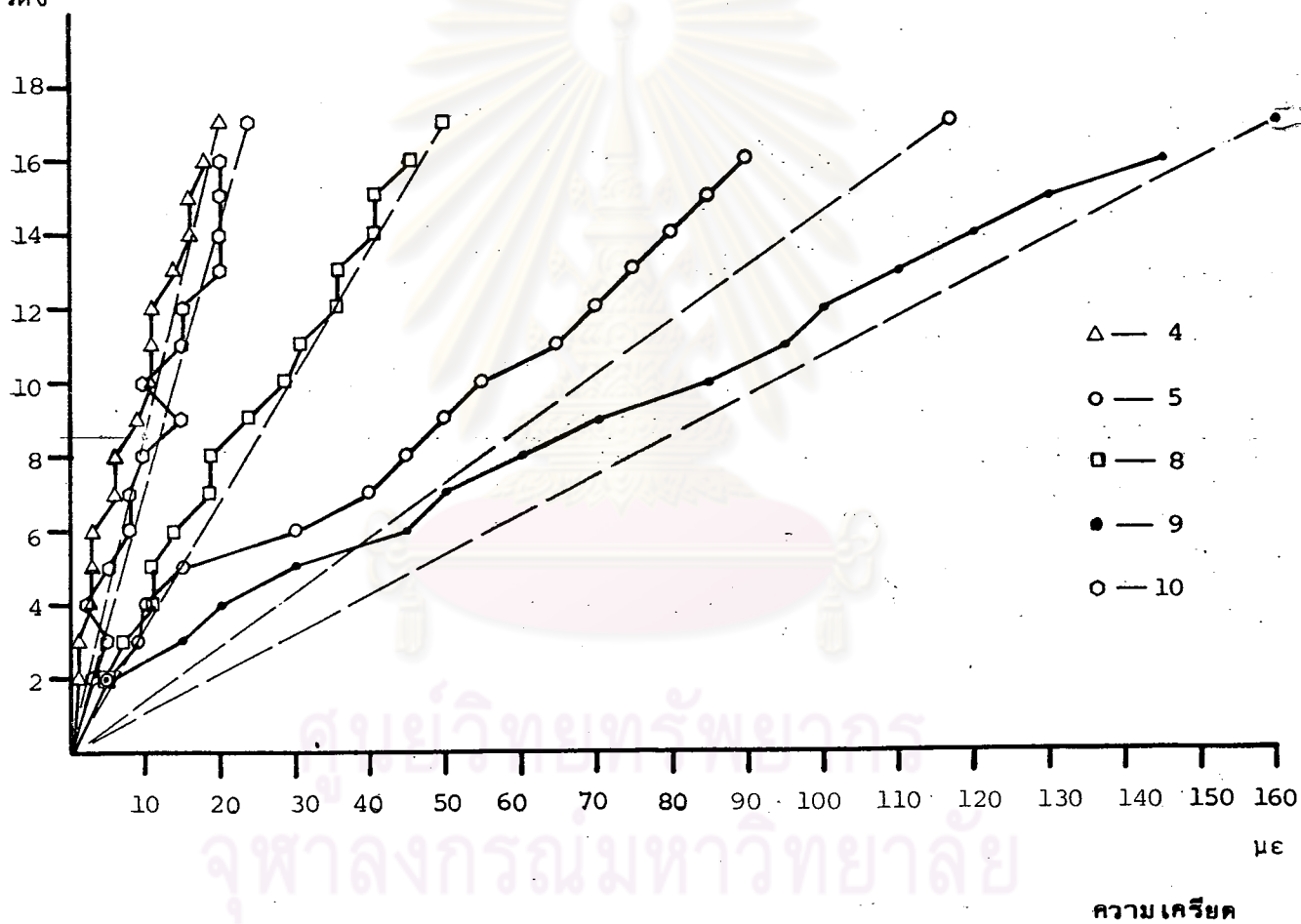
(ก) ความเครียดในแนวแกน x

รูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าความเครียดของผนัง CW4



แรงในแนวตั้ง

(P_v)
(ตัน)

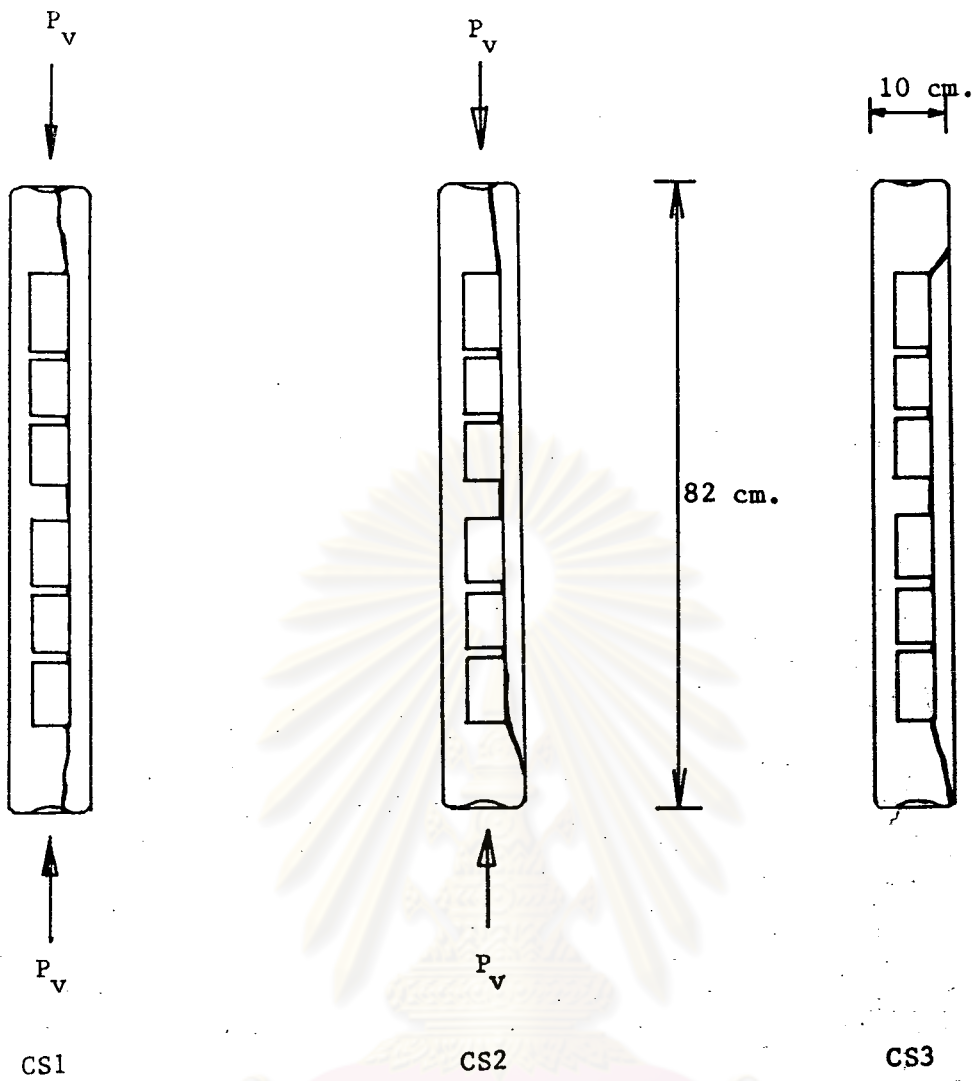


(ข) ความเครียดในแนวแกน y

รูปที่ 3.17 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงในแนวตั้งและค่าความเครียดของผนัง CW4



ศูนย์วิทยุทรัพยากร
รูปที่ 3.18 แสดงการทดสอบแผ่นผนังคอนกรีตกลวงสำเร็จรูปรับแรงอัด
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



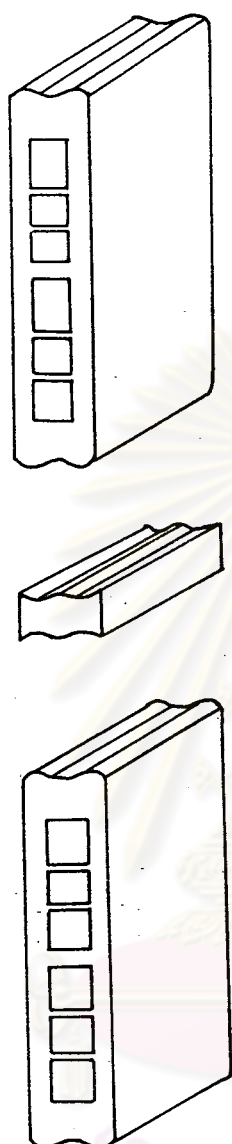
รูปที่ 3.19 แสดงลักษณะการวิบัติของแผ่นตัวอย่าง CS1 - CS3

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.2๐ การติดตั้ง เครื่องมือ เพื่อทดสอบหาแรง เฉือนของรอยต่อ
ระหว่างปูนทรายกับแผ่นคอนกรีตกลวงสำเร็จรูป

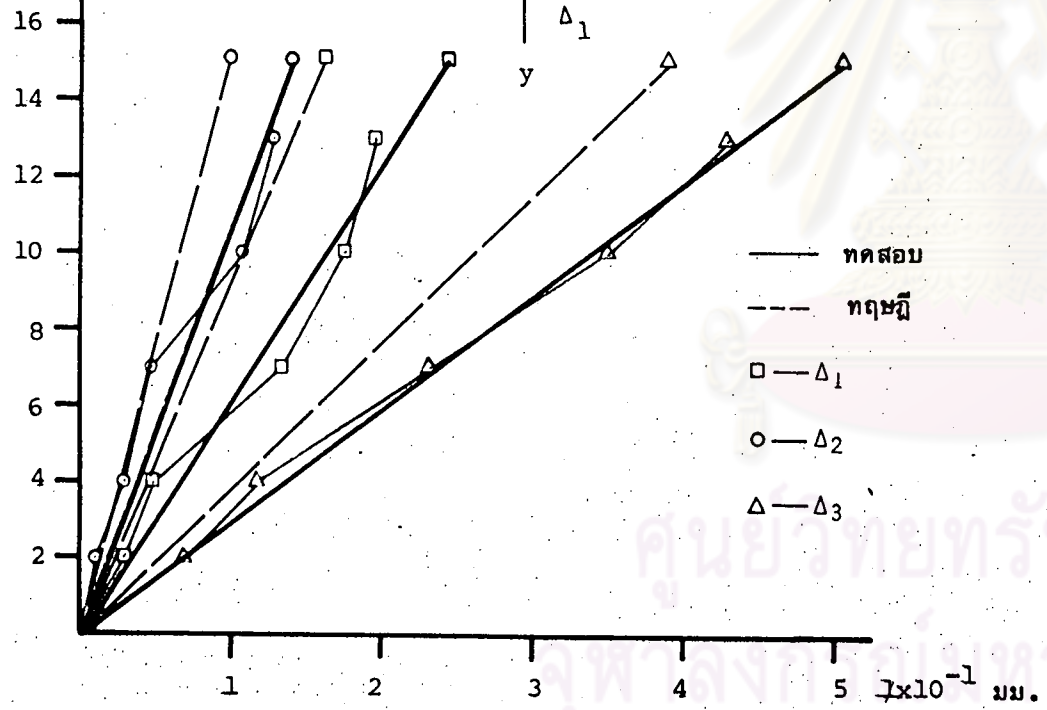
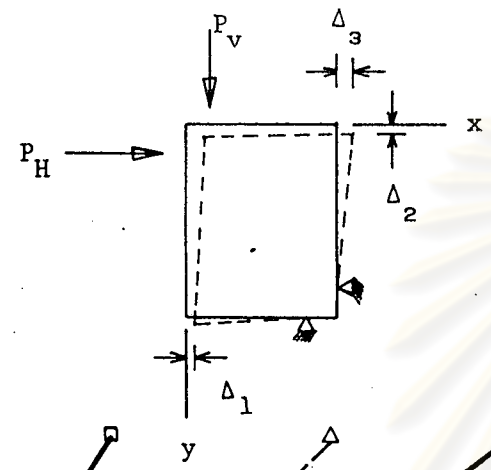
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



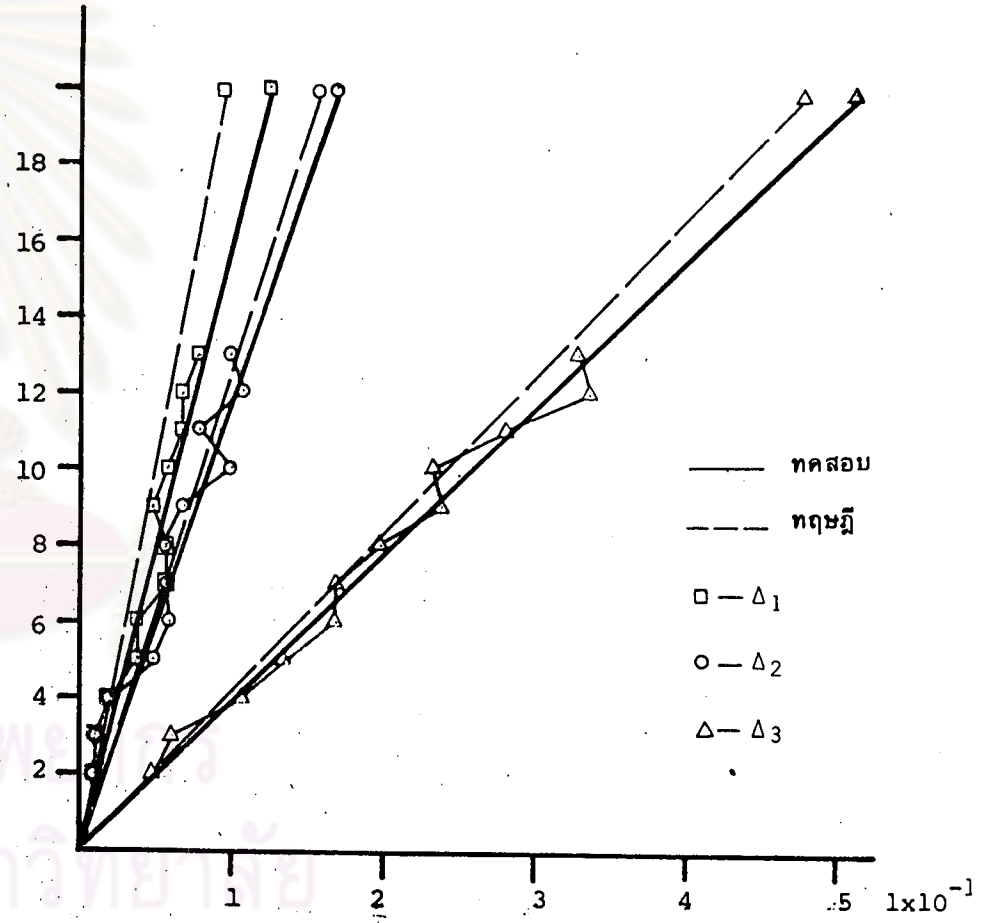
ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.21 แสดงลักษณะการบัดกรีของตัวอย่างทดสอบ SS

แรงในแนวตั้ง
(P_V)
(ตัน)

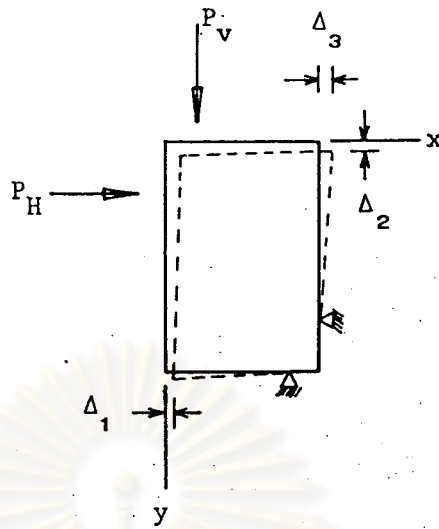


(ก) หน้า CW1 $\frac{L}{H} = 1.313$ ระยะโก่งตัว

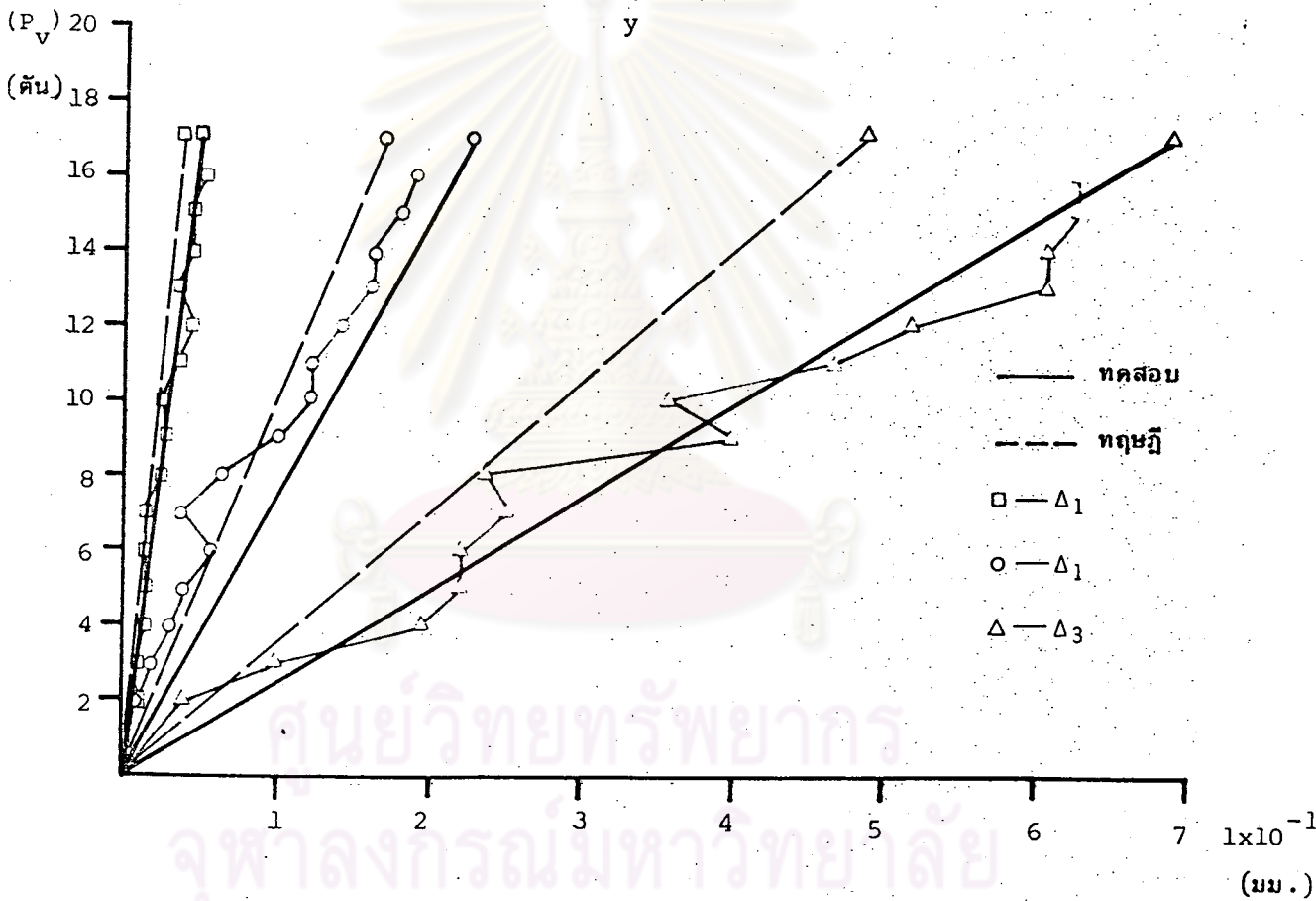


(ข) หน้า CW2 $\frac{L}{H} = 0.982$ ระยะโก่งตัว (มม.)

รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของผนัง



แรงในแนวดิ่ง

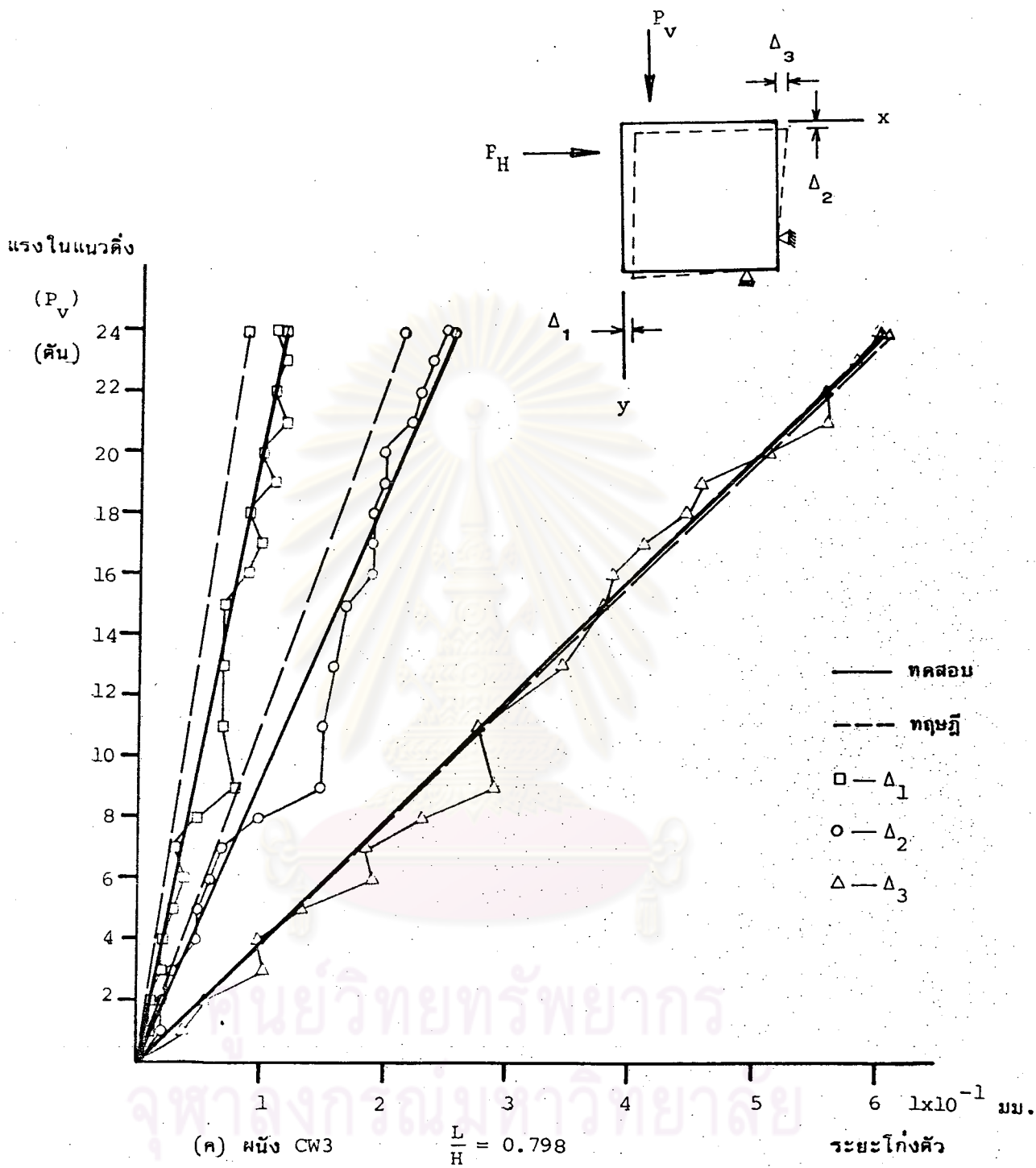


(ง) ผัง CW4

$$\frac{L}{H} = 0.655$$

ระยะโก่งตัว

รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของผนัง

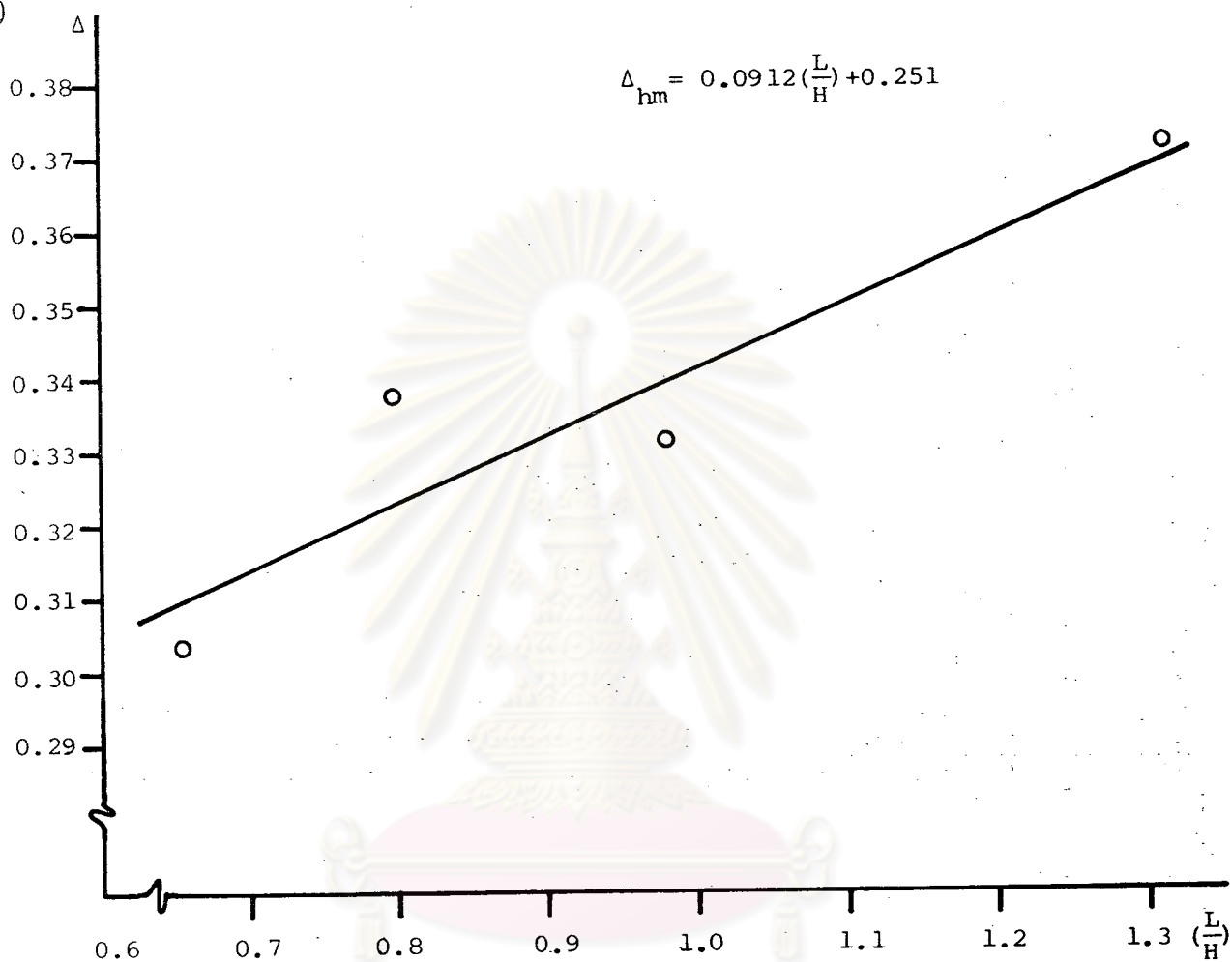


รูปที่ 4.1 แสดงการเปรียบเทียบค่าการโก่งตัวของผนัง

ค่าโก่งตัว

สูงสุด

(มม)

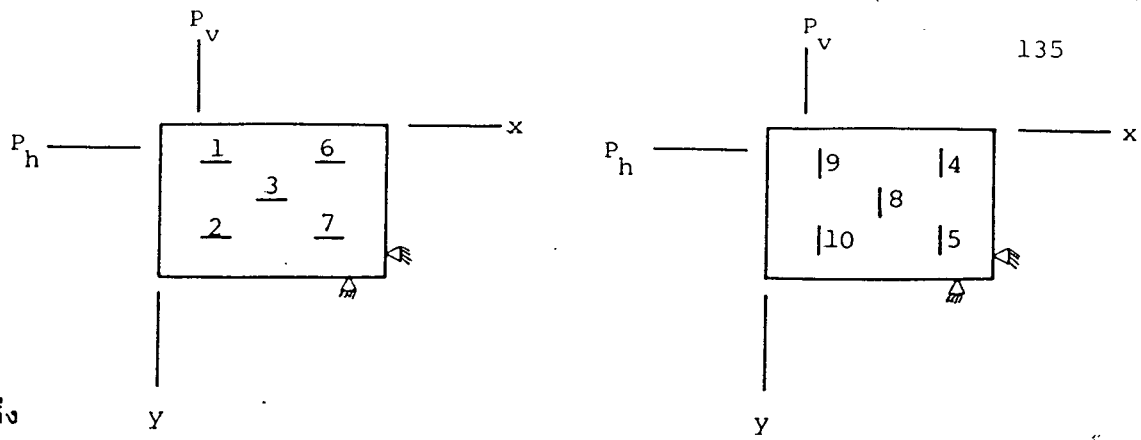


รูปที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าโก่งตัวสูงสุดกับสัดส่วน $\frac{L}{H}$

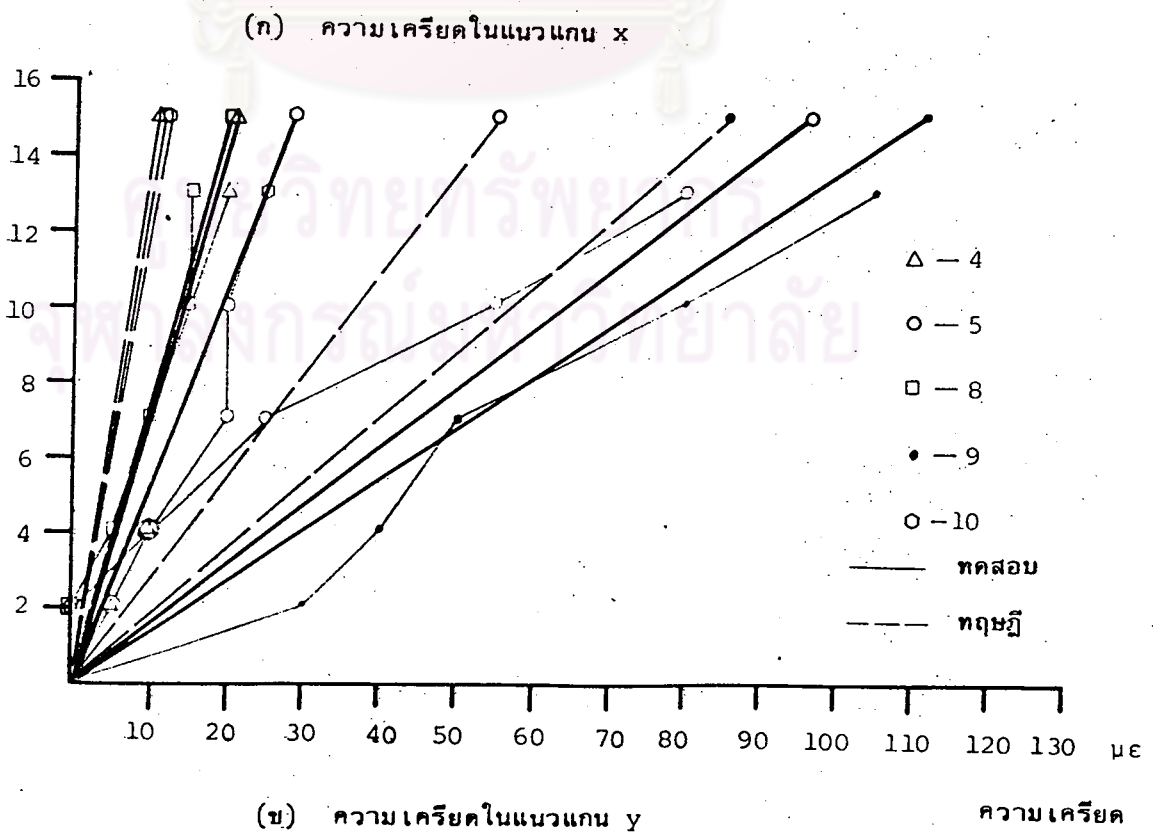
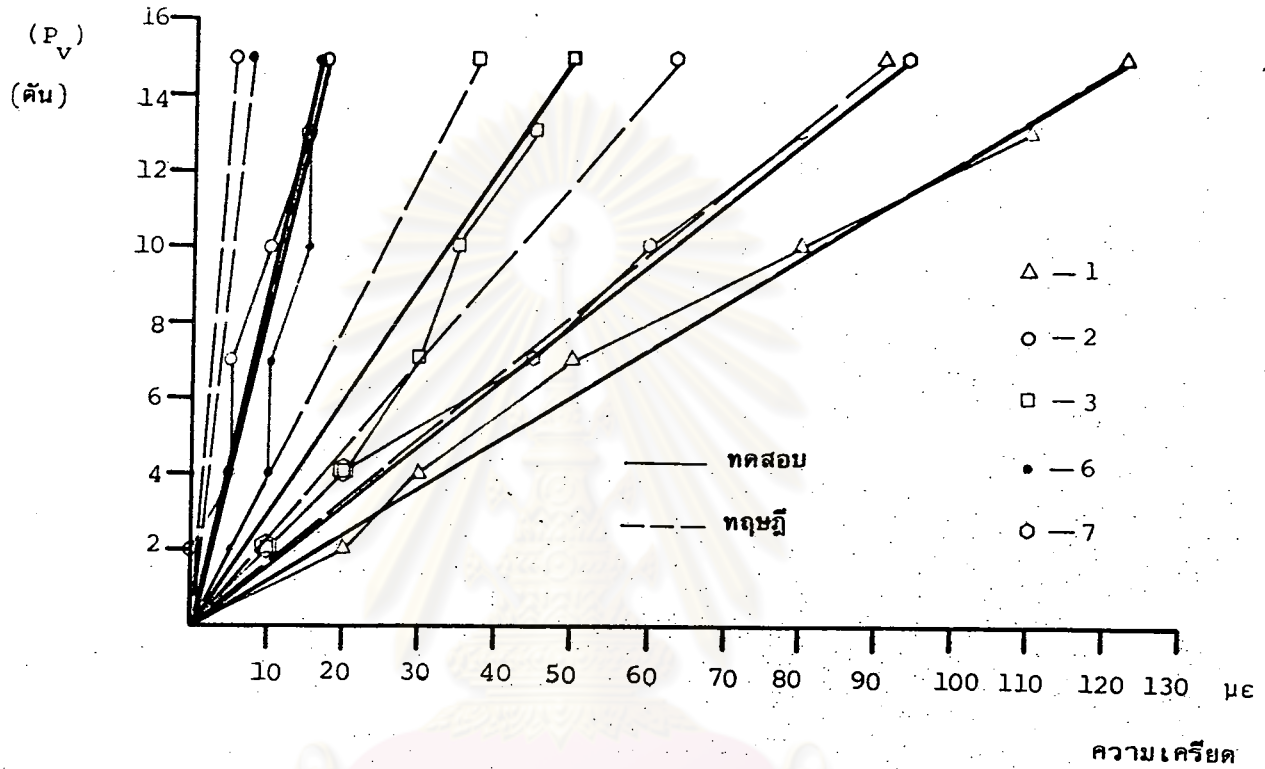
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



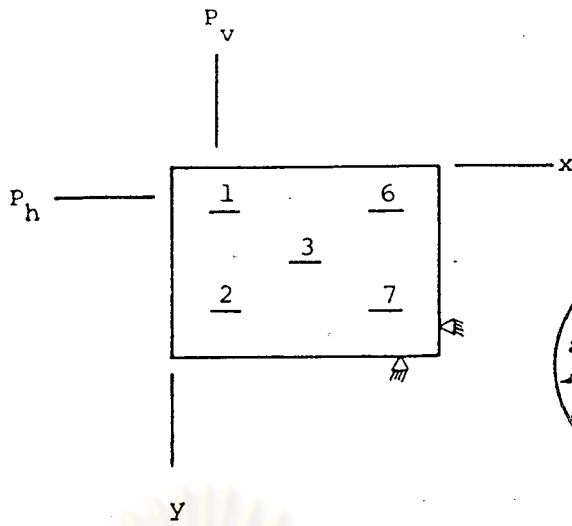
รูปที่ 4.3 แสดงลักษณะการอัดปนทรายไม้เต็มหน้าตัดของผนังทดสอบ



แรงในแนวตั้ง

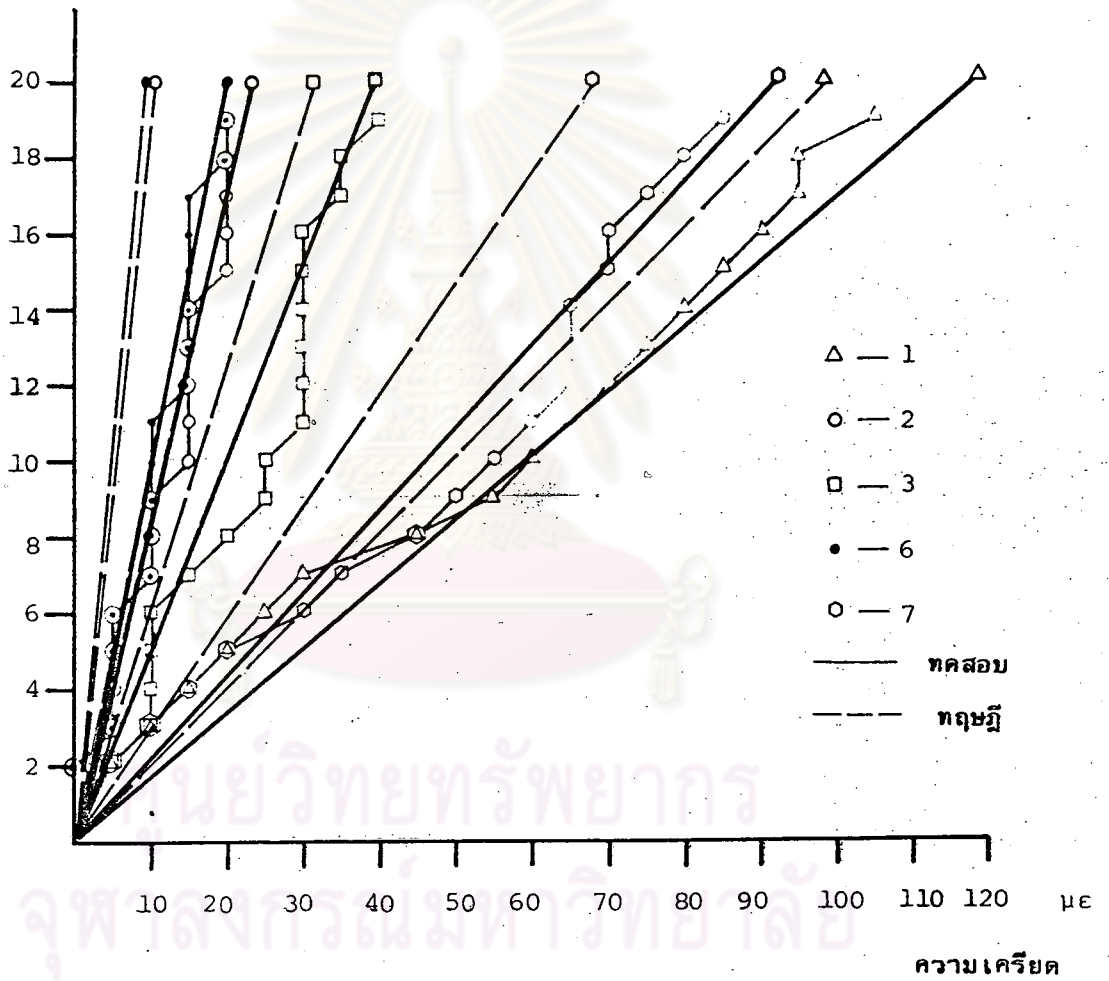


รูปที่ 4.4 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CWI



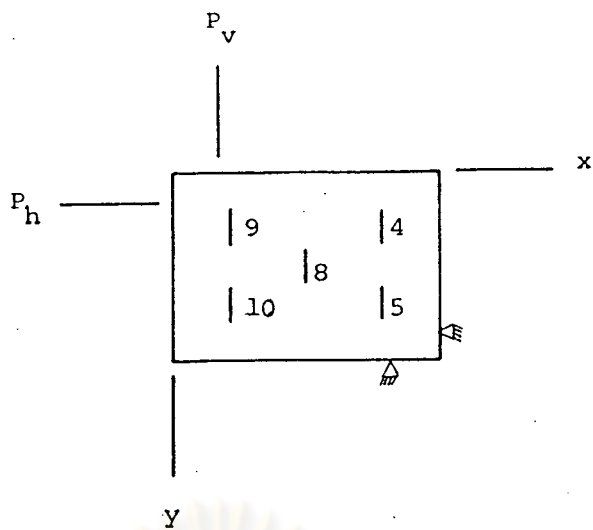
แรงในแนวตั้ง

(P_v)
(ตัน)

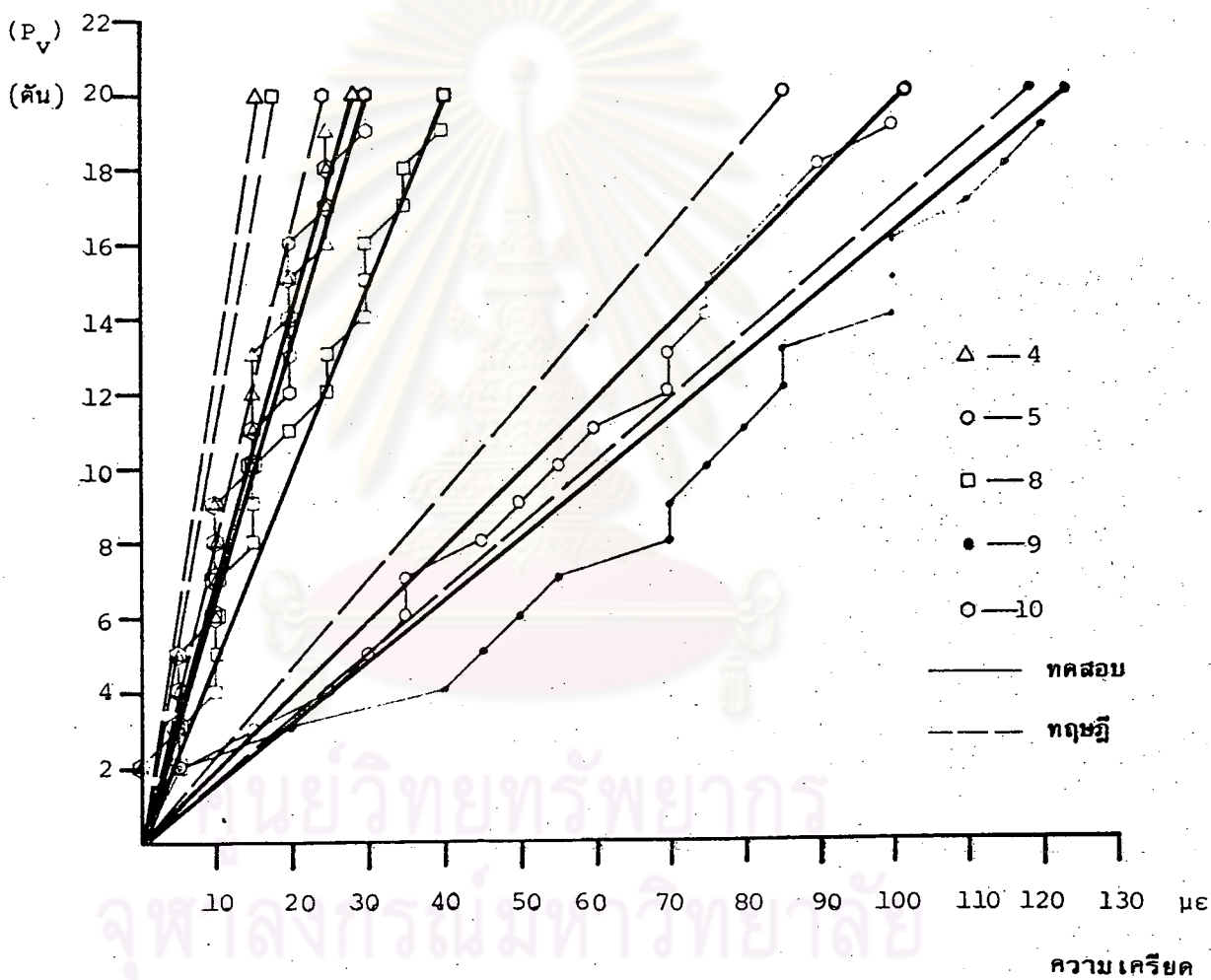


(ก) ความเครียดในแนวแกน x

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW2



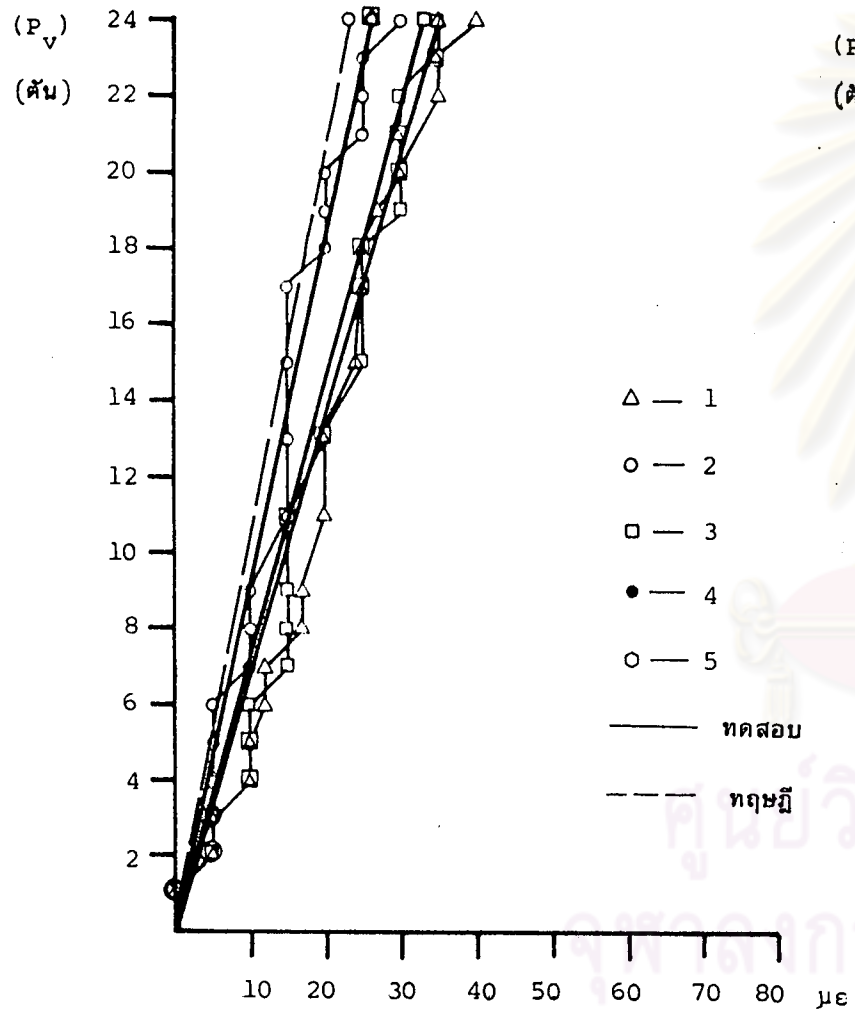
แรงในแนวตั้ง



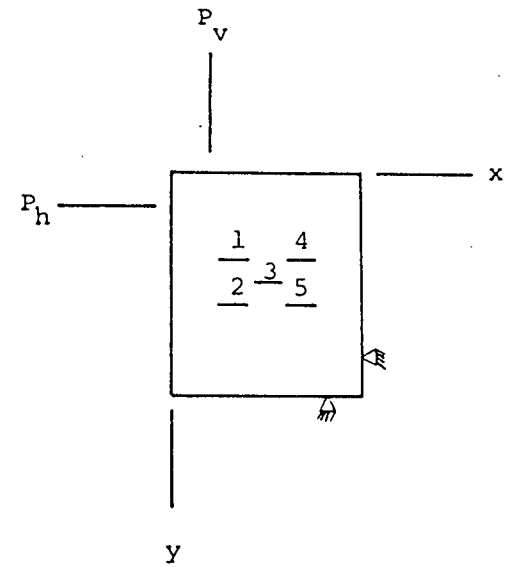
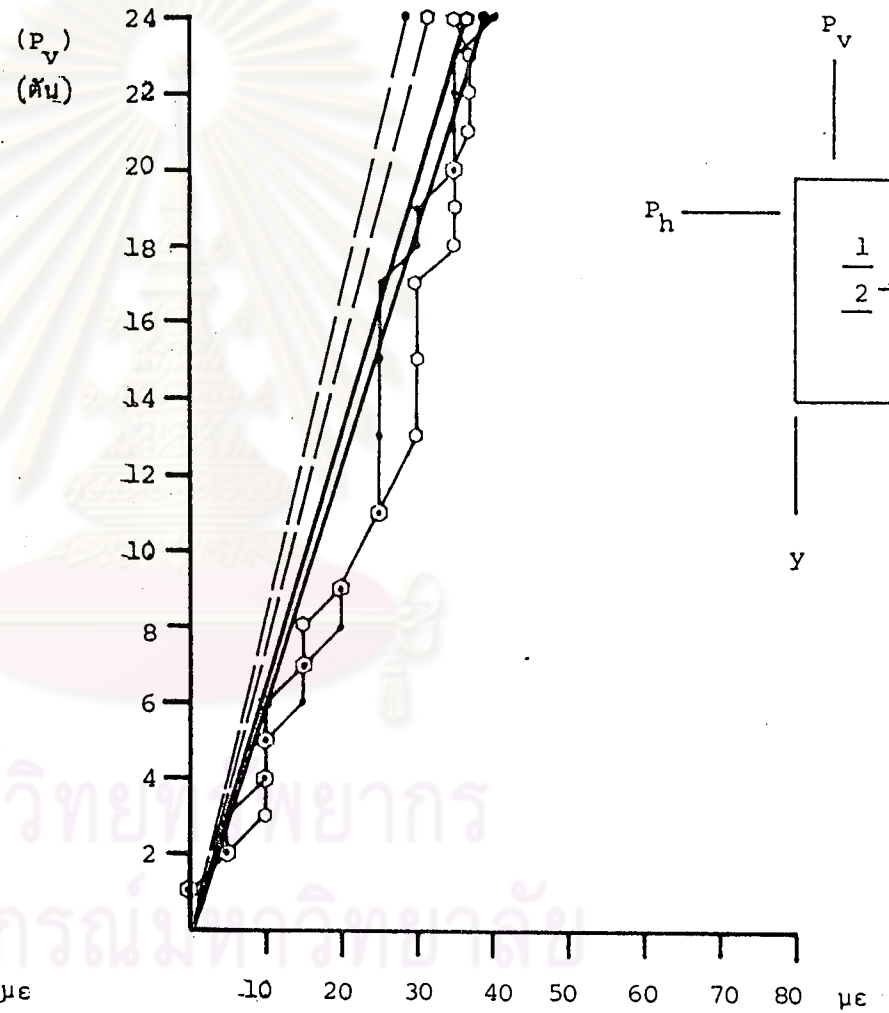
(ข) ความเครียดในแนวแกน y

รูปที่ 4.5 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW2

แรงในแนวตั้ง



แรงในแนวตั้ง

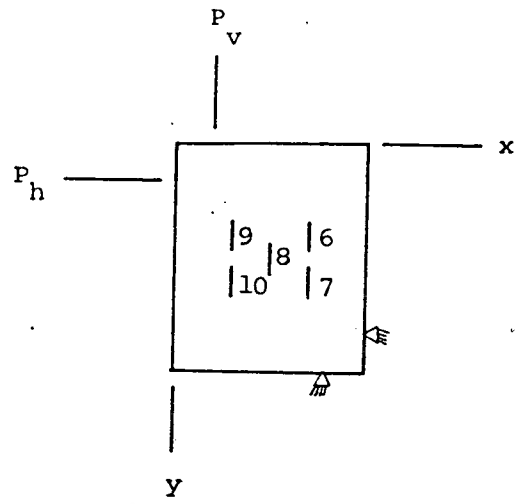


ความเครียด

ความเครียด

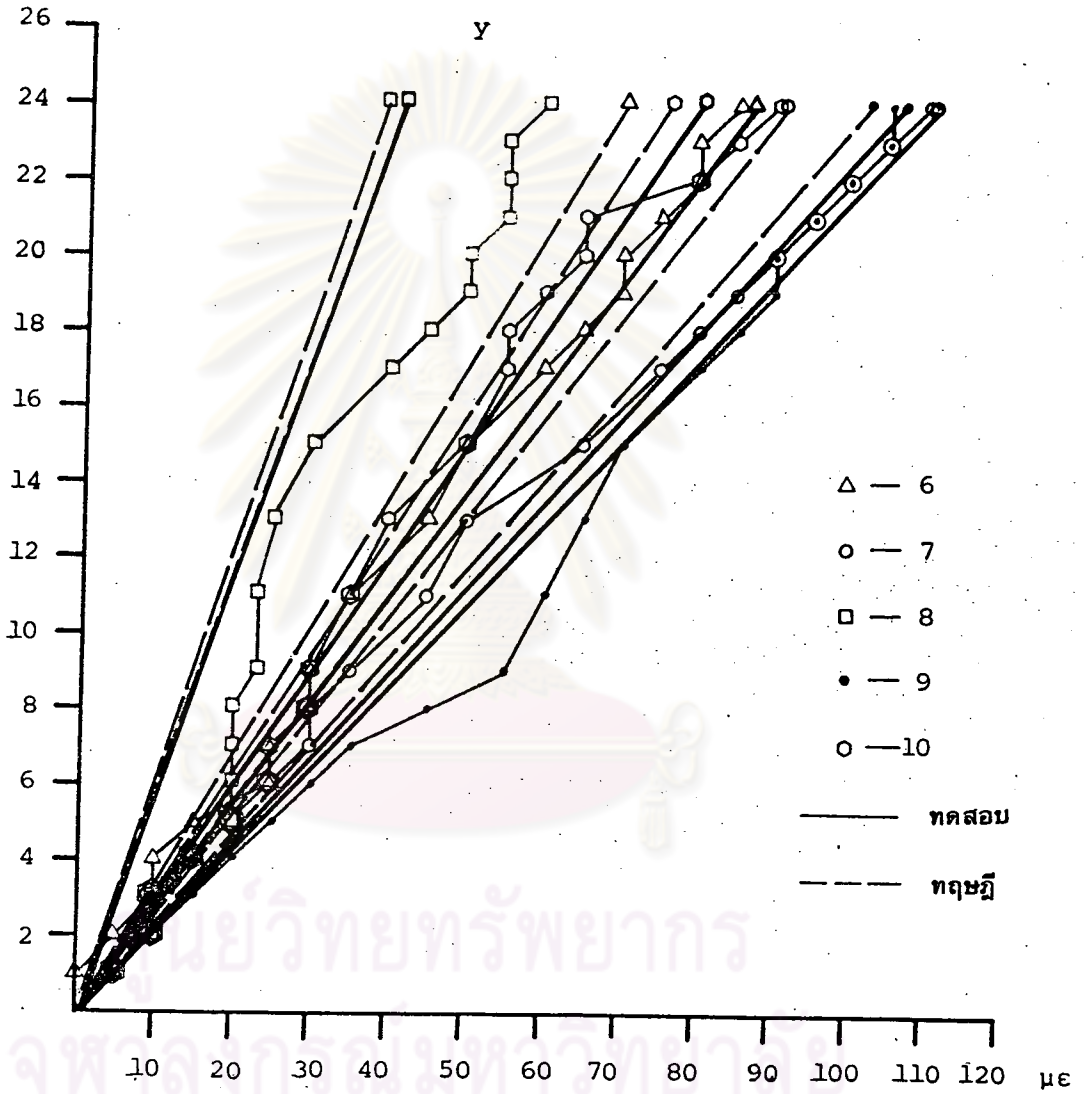
(ก) ความเครียดในแนวแกน x

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CM3



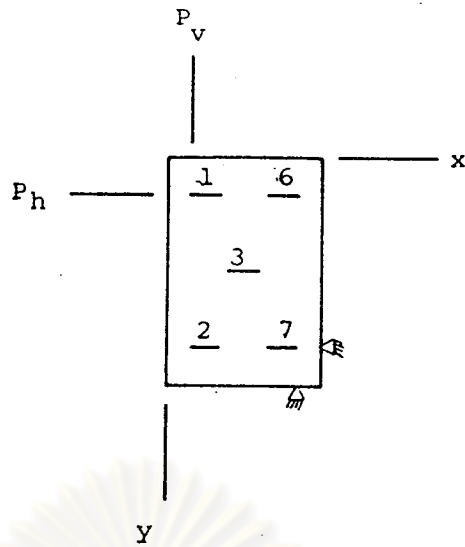
แรงในแนวตั้ง

(P_v)
(ตัน)



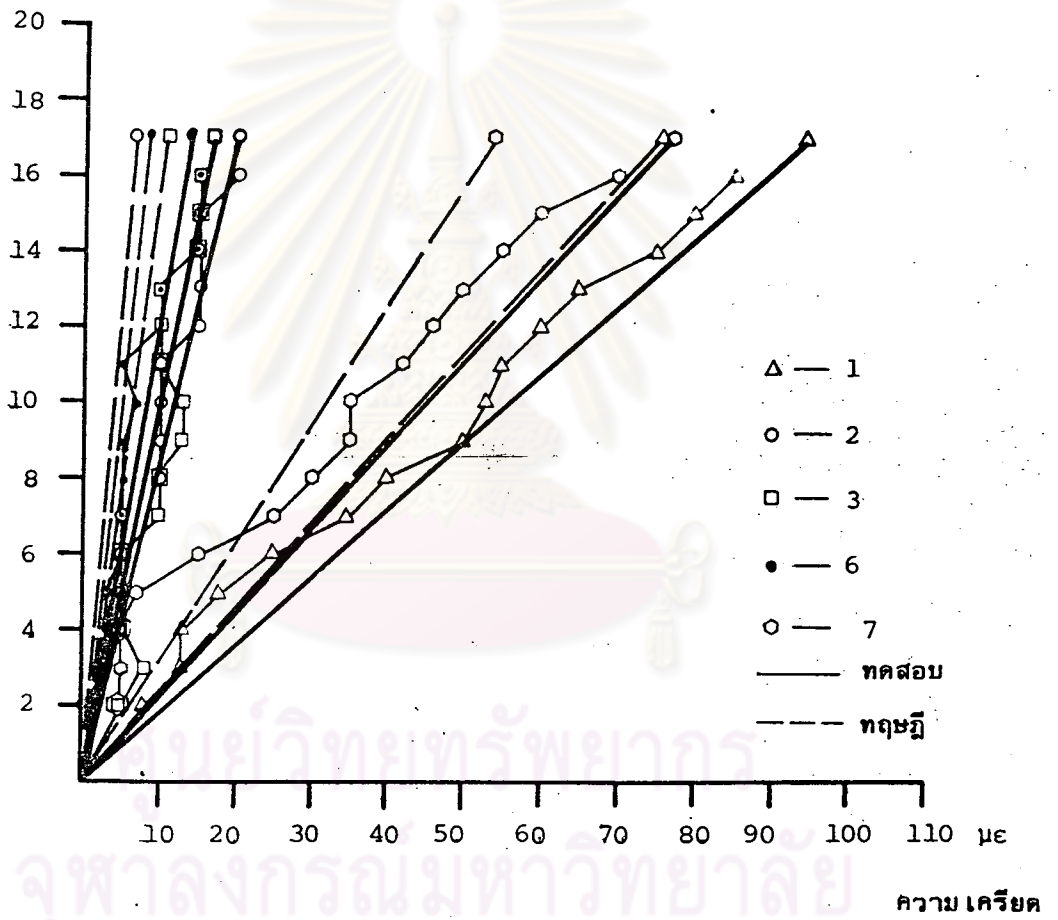
(ข) ความเครียดในแนวแกน y

รูปที่ 4.6 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW3



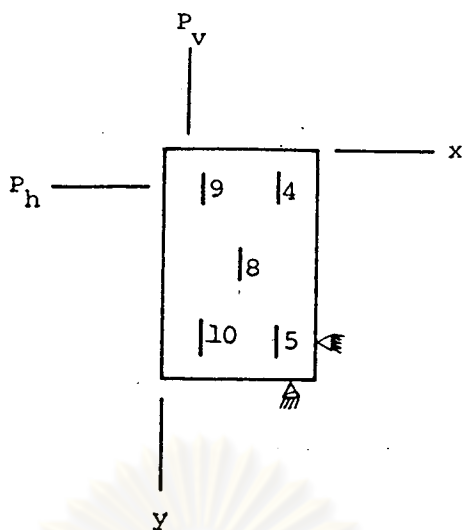
แรงในแนวตั้ง

(P_v)
(ค่าน)



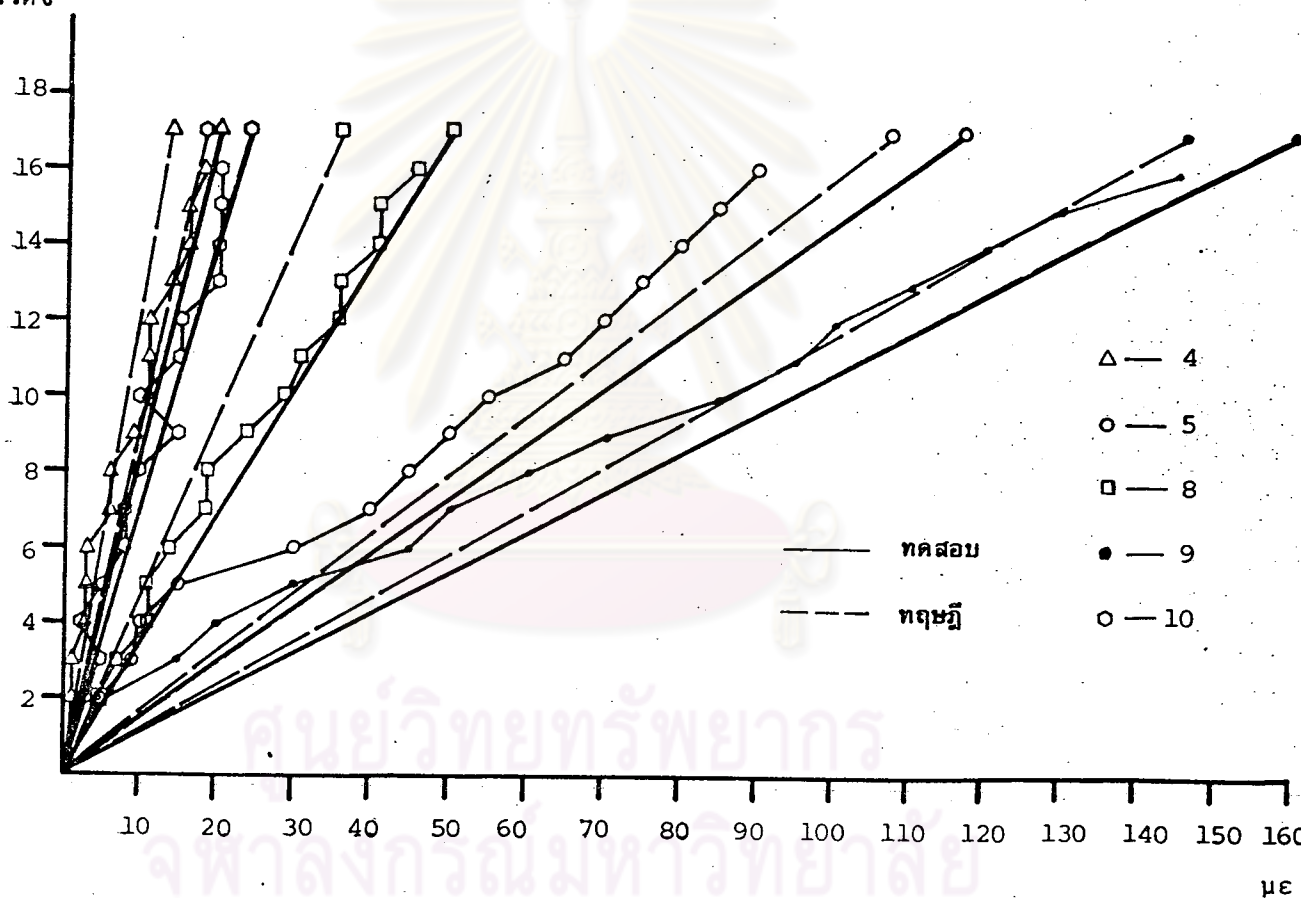
(ก) ความเครียดในแนวแกน x

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW4



แรงในแนวตั้ง

(P_v)
(ตัน)

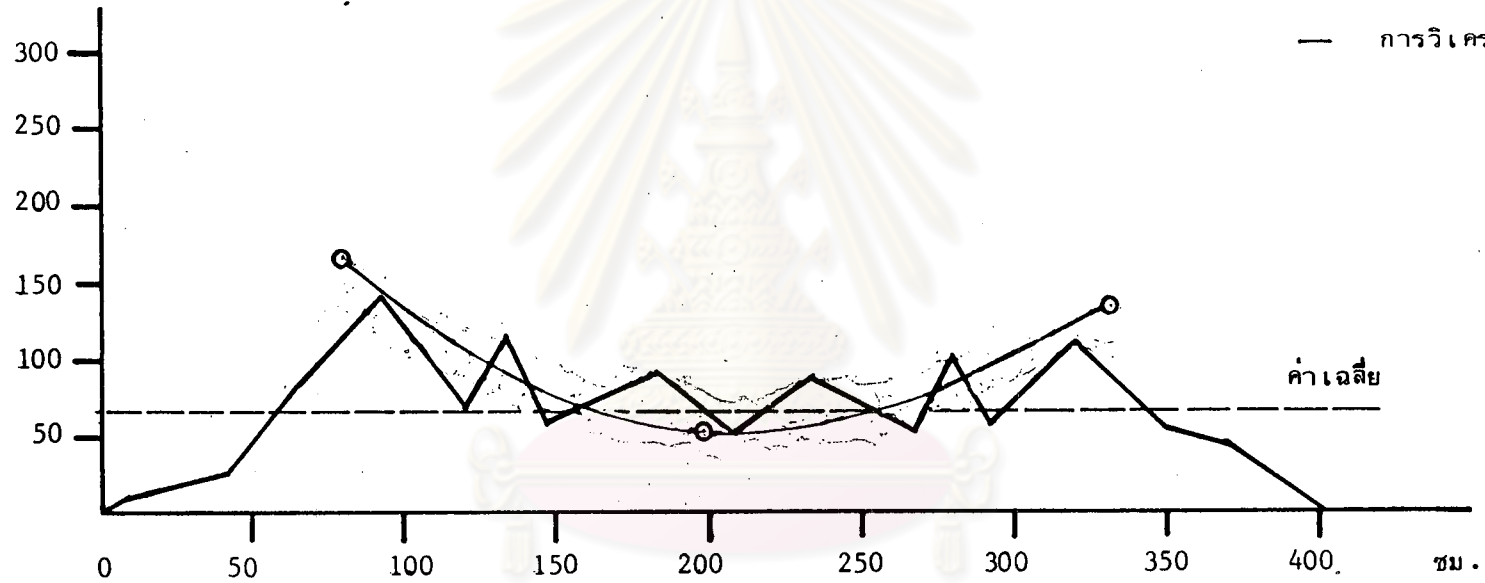


(ข) ความเครียดในแนวแกน y

รูปที่ 4.7 แสดงการเปรียบเทียบค่าความเครียดของผนัง CW4

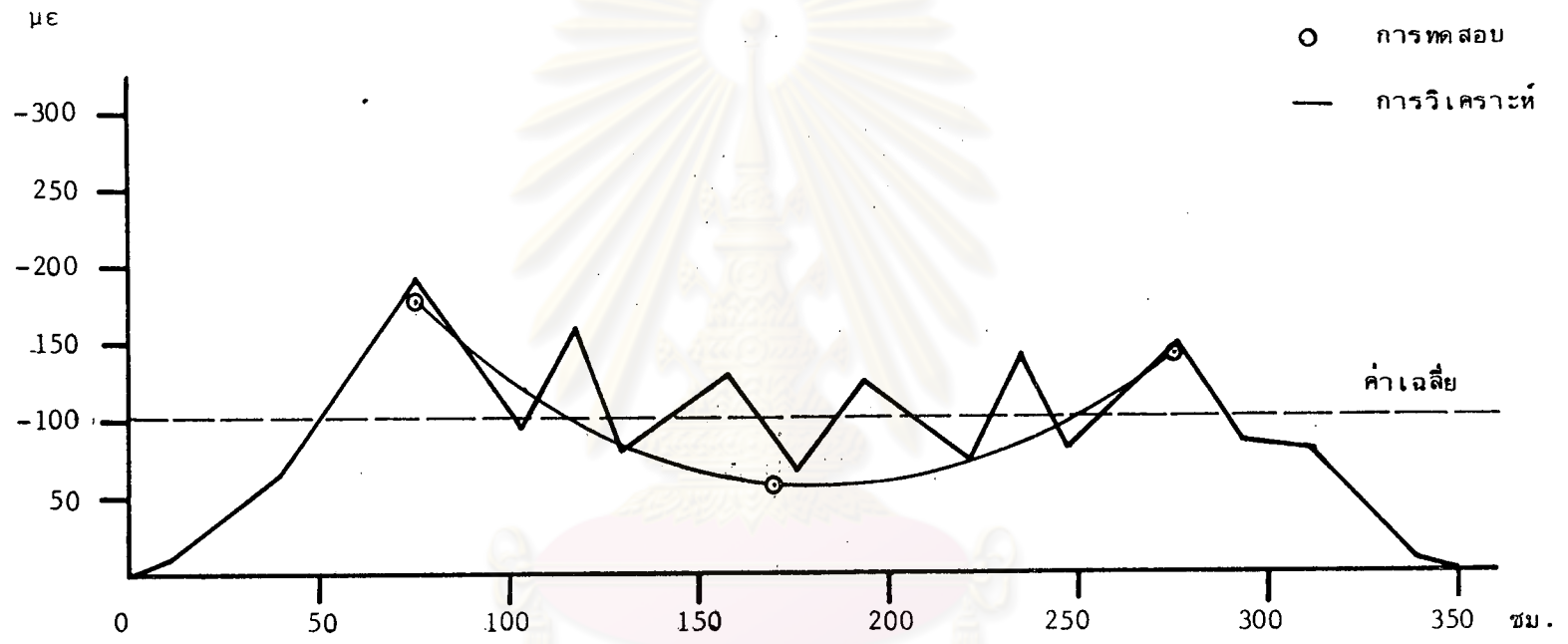
ความเครียด

μe



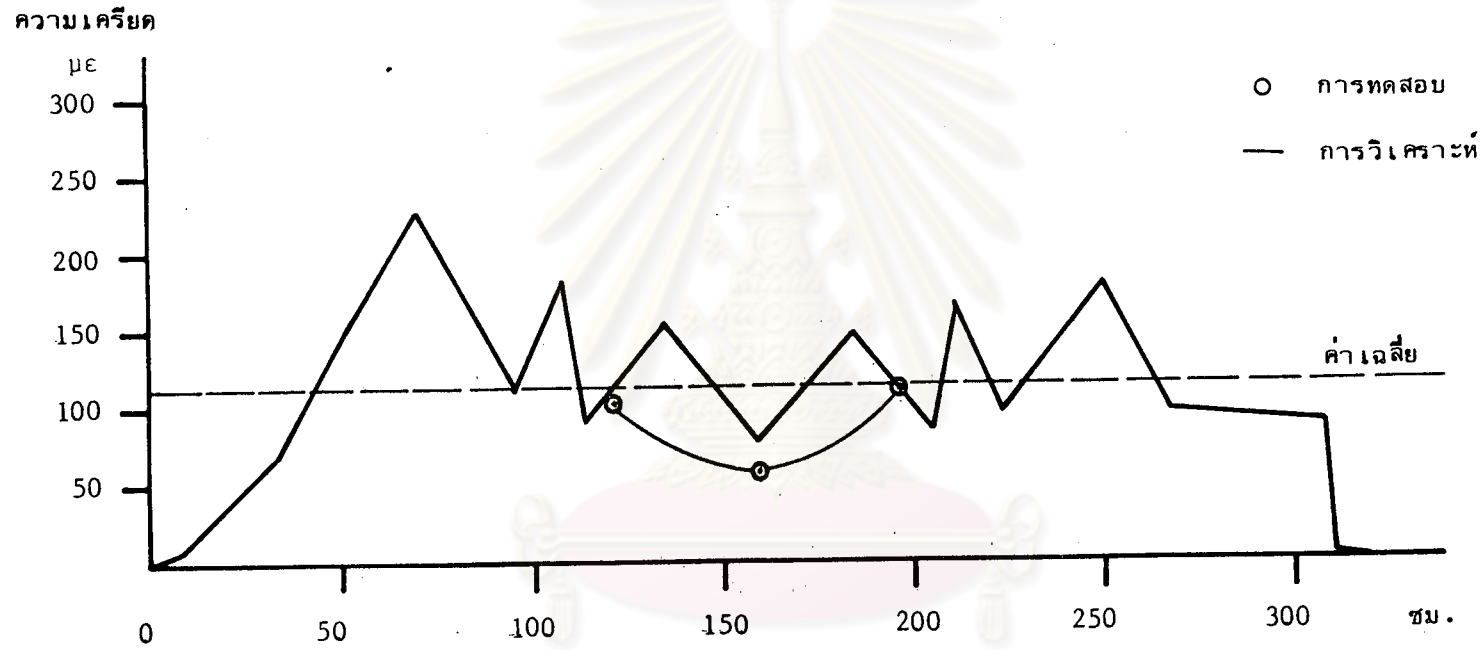
รูปที่ 4.8 ก. ความเครียดวัดในแนวทะแยงมุมตามแนวแรงของผนัง CW1

ความเครียด



รูปที่ 4.8 ข.. ความเครียดวัดในแนวทะแยงมุมตามแนวแรงของผนัง CW2

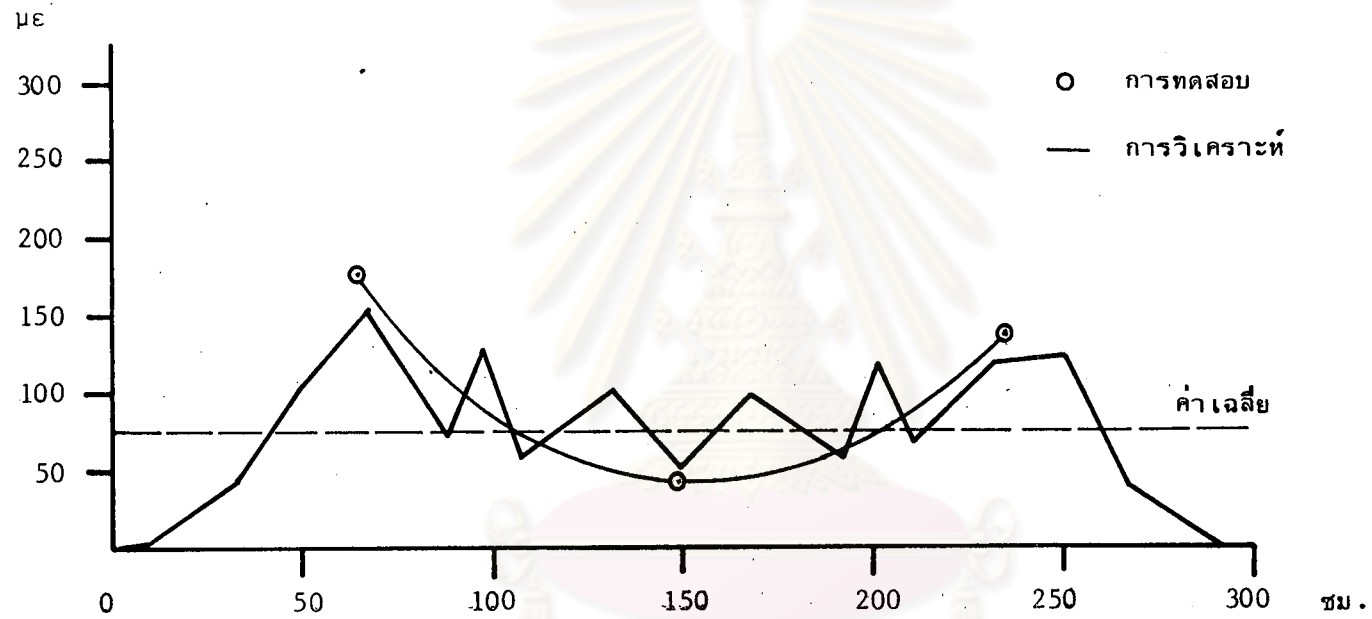
ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 4.8ค. ความเครียดวัดในแนวทะแยงมุมตามแนวแรงของผนัง CW3

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ความเครียด



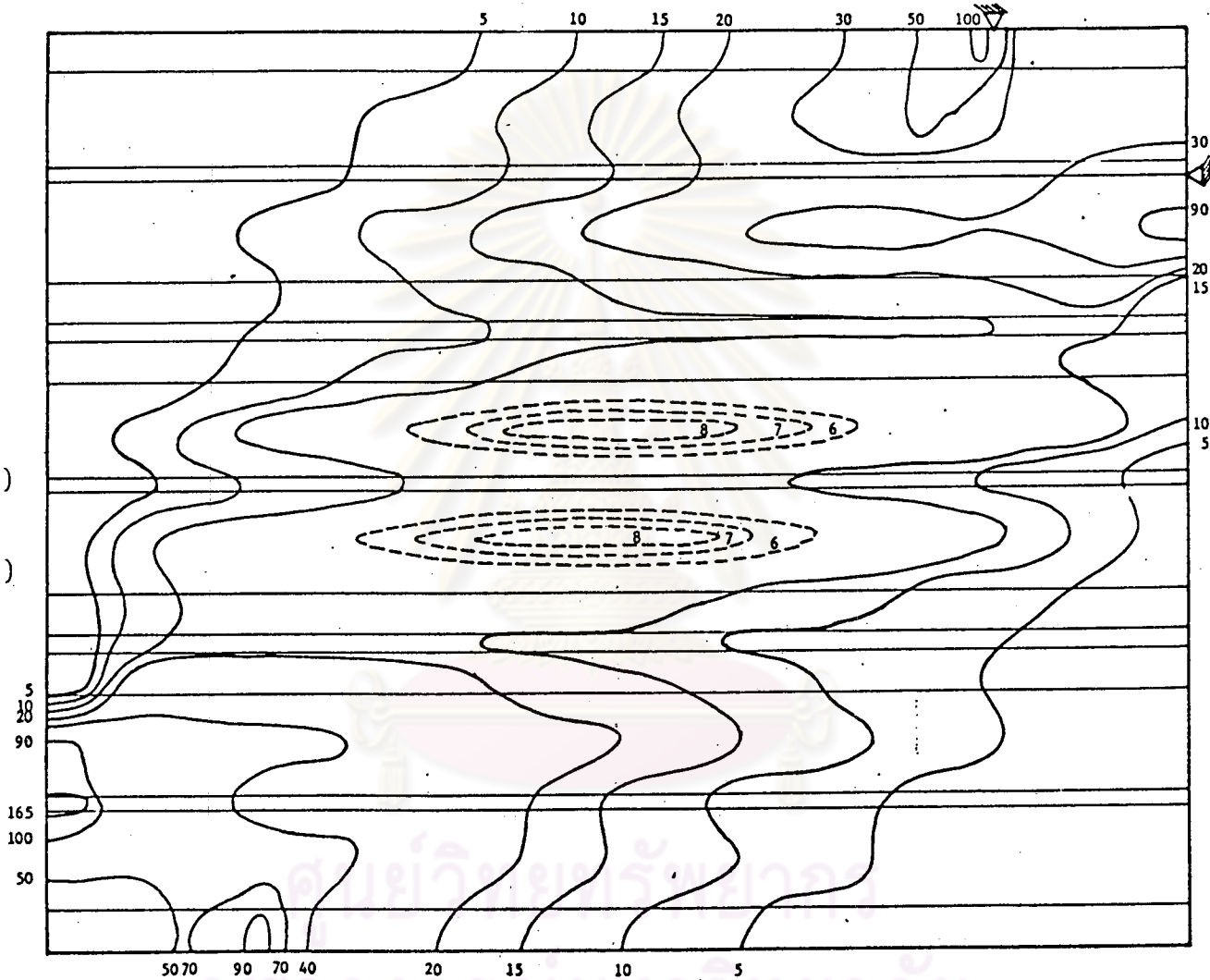
รูปที่ 4.8 ง. ความเครียดวัดในแนวทะแยงมุมตามแนวแรงของผนัง CW4

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

--- หน่วยแรงดึงหลัก (กก./ซม.²)

— หน่วยแรงอัดหลัก (กก./ซม.²)

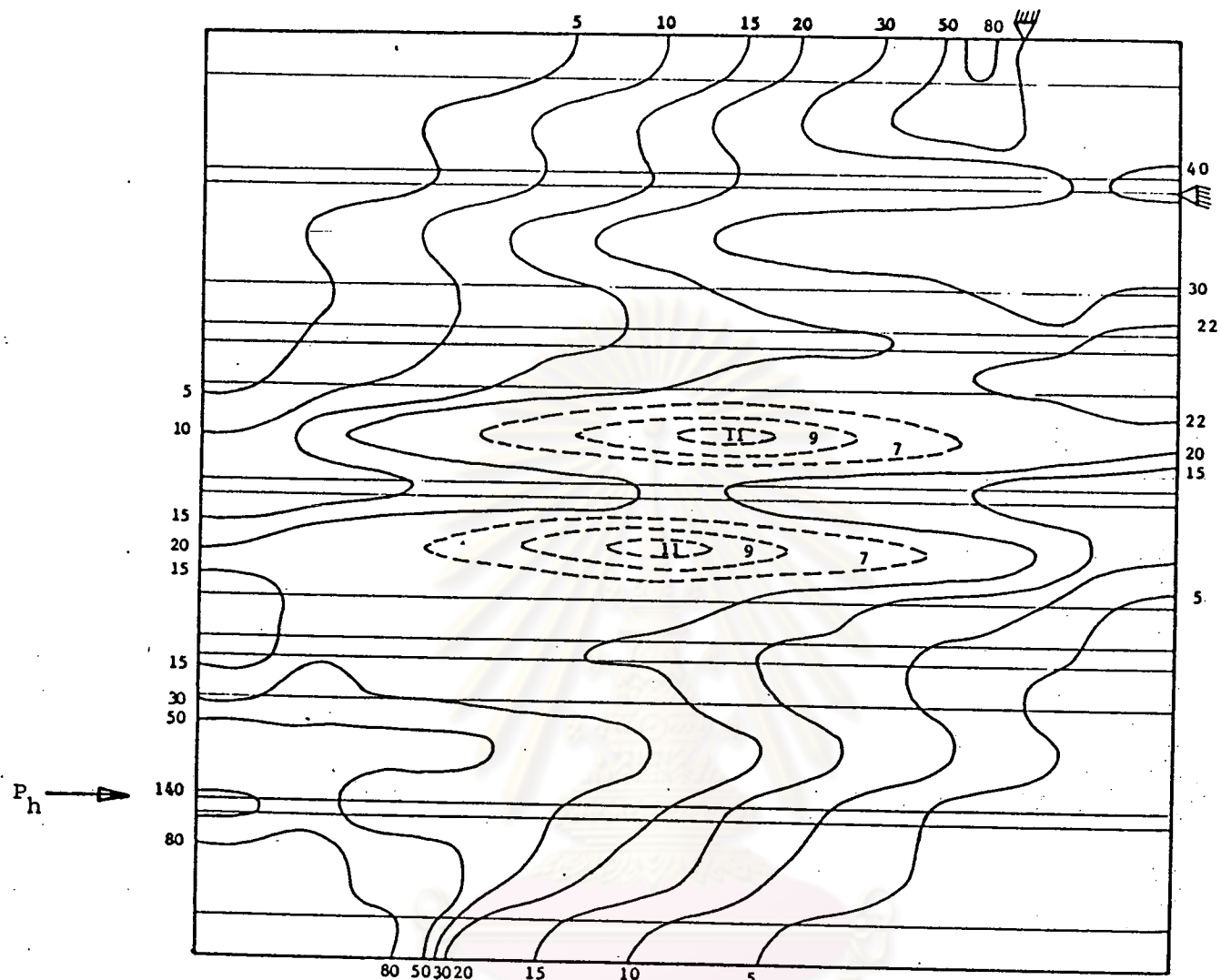
P_h →



↑
 P_v

รูปที่ 4.9 ก. แสดงเส้นระดับของหน่วยแรงหลักในผนังทดสอบ

ผนัง CW1 $\frac{L}{H} = 1.313$



P_v

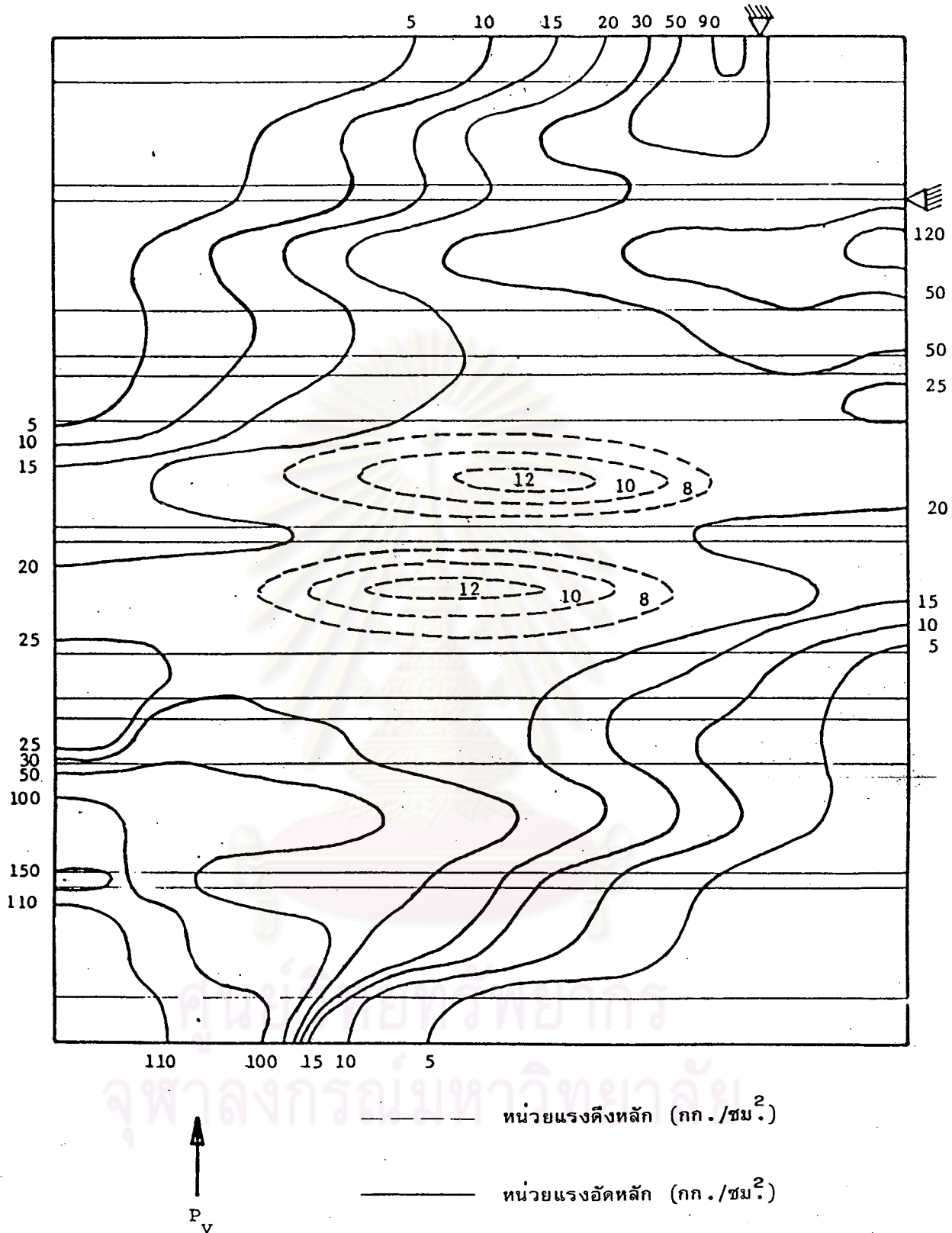
----- หน่วยแรงดิ่งหลัก (กก./ซม.²)

———— หน่วยแรงอัดหลัก (กก./ซม.²)

รูปที่ 4.9 ข. แสดงเส้นระดับของหน่วยแรงหลักในผนังทดสอบ

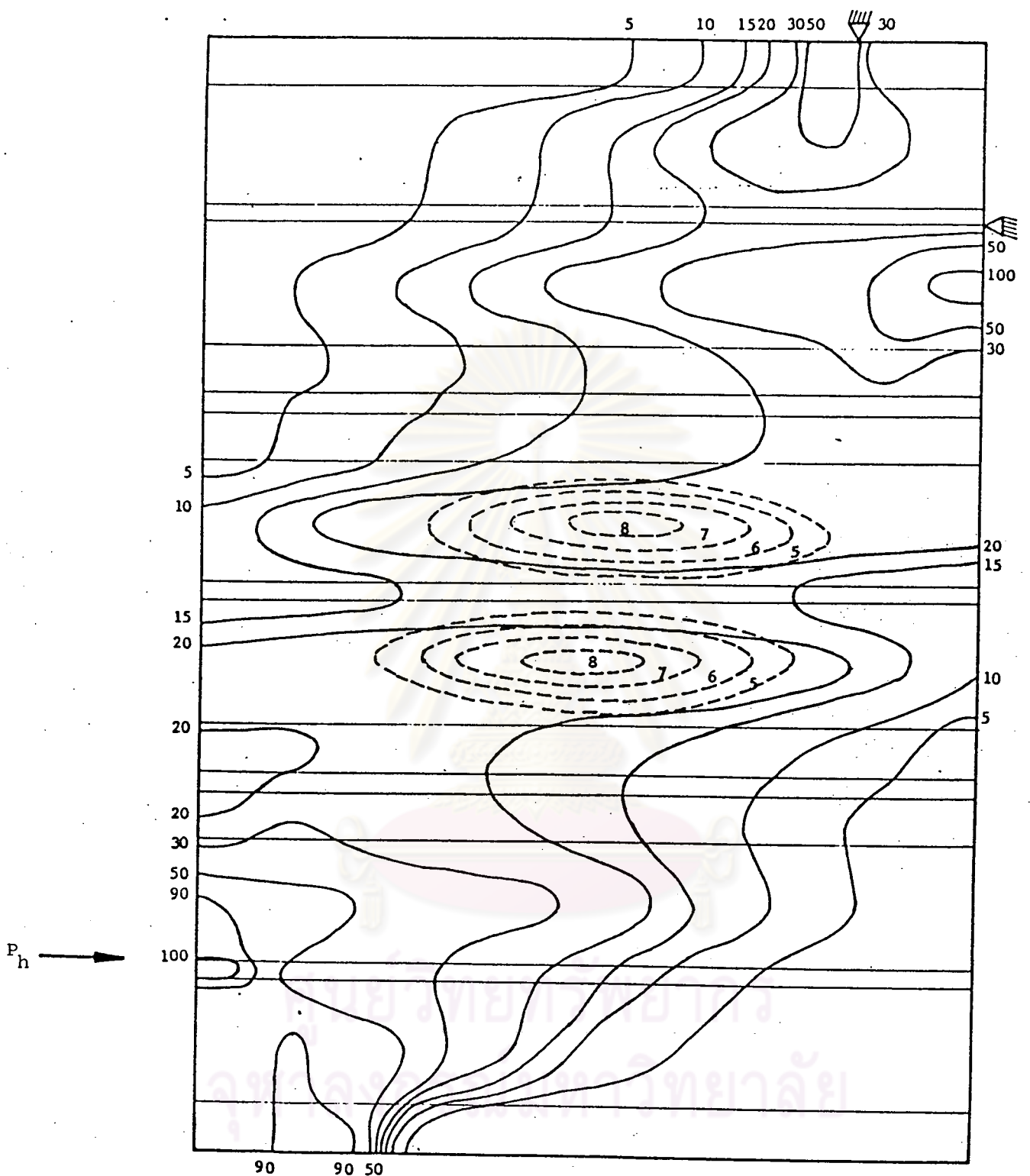
ผนัง CW2 $\frac{L}{H} = 0.982$





รูปที่ 4.9 ค. แสดงเส้นระดับของหน่วยแรงหลักในผนังทดสอบ

ผนัง CW3 $\frac{L}{H} = 0.798$



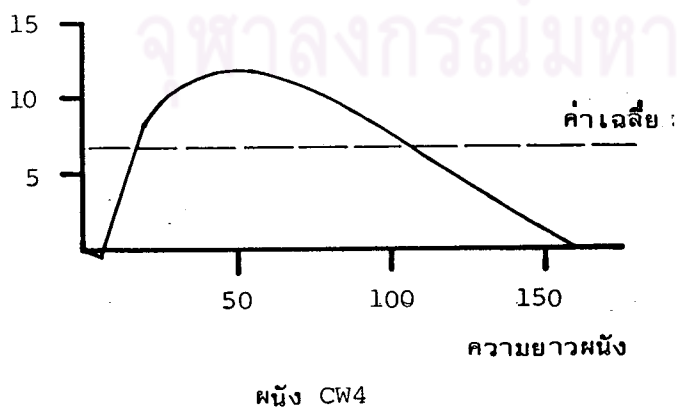
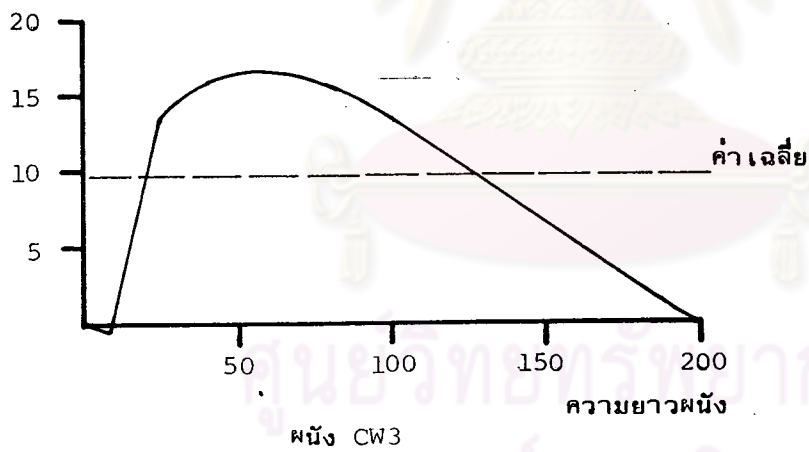
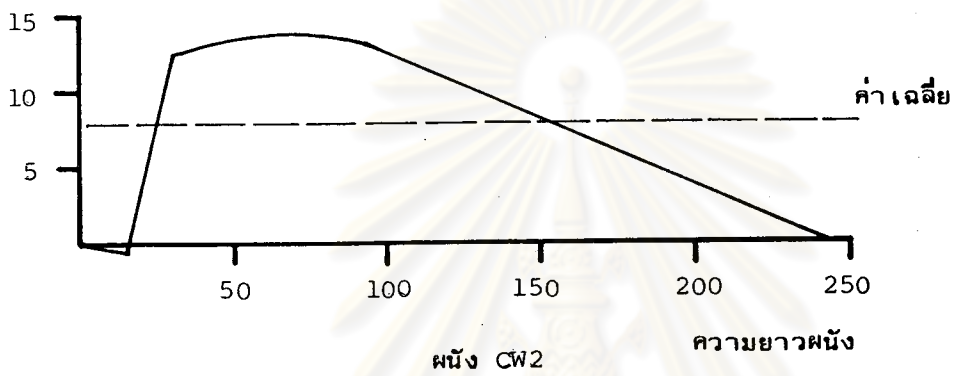
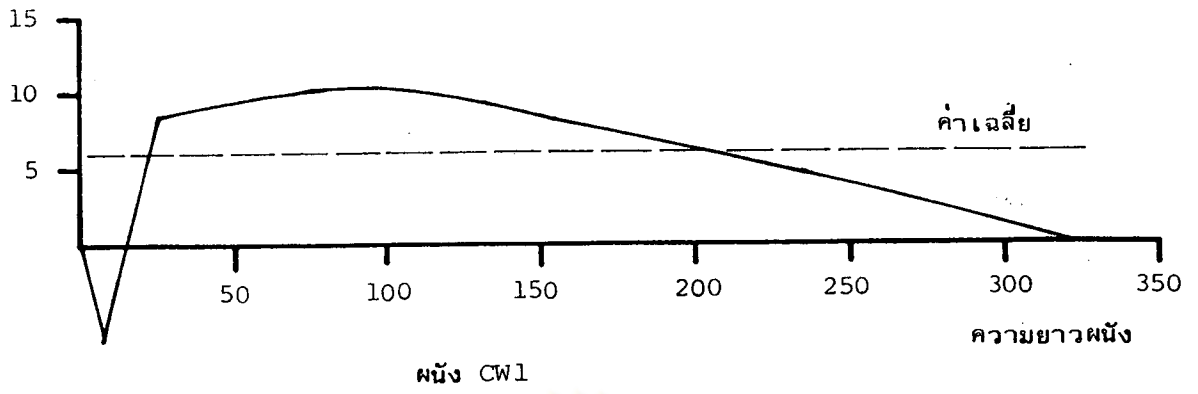
--- หน่วยแรงดิ่งหลัก (กก./ชม.²)
 — หน่วยแรงอัดหลัก (กก./ชม.²)

↑
 P_v

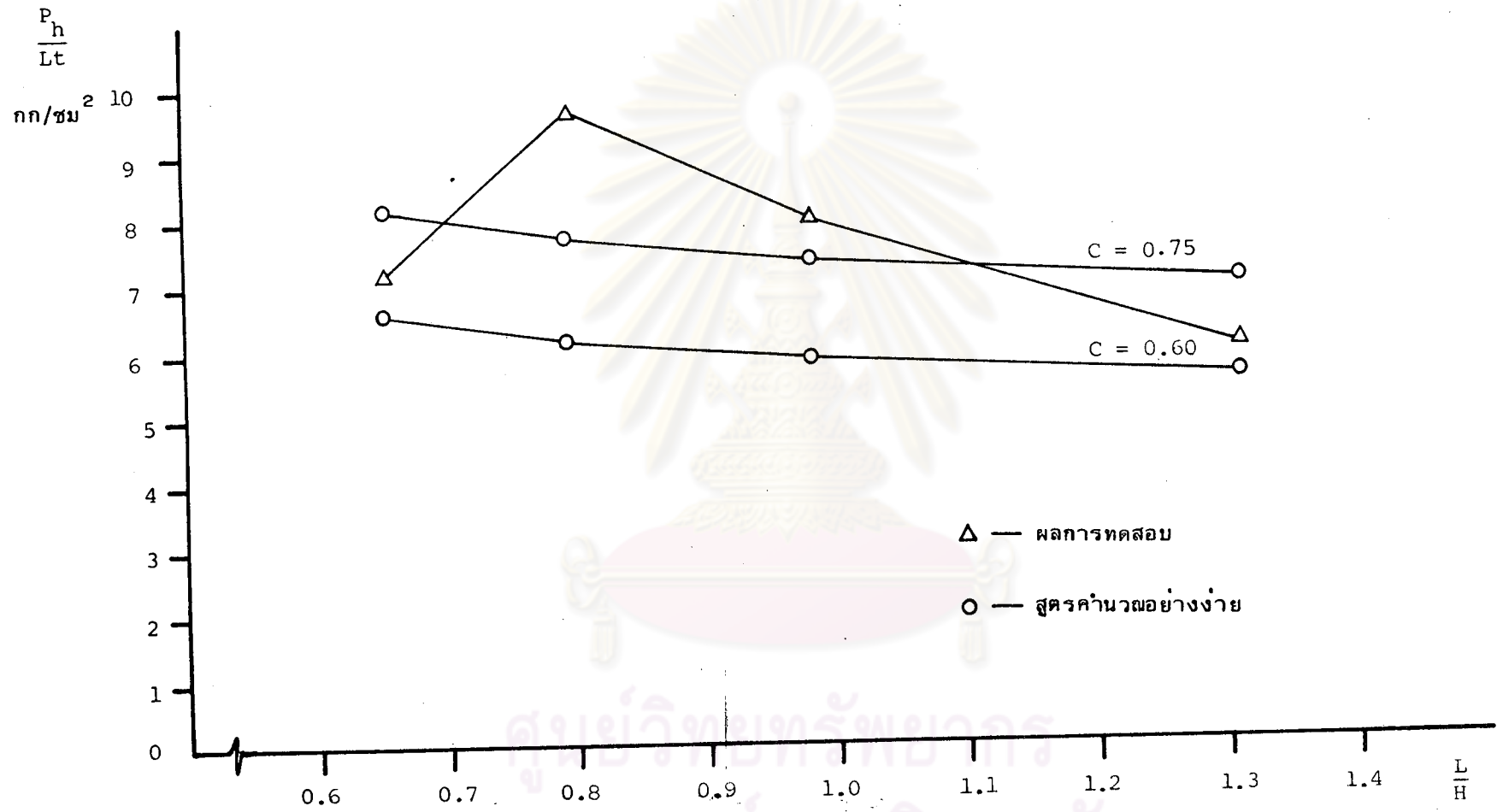
รูปที่ 4.9 ง. แสดงเส้นระดับของหน่วยแรงหลักในผนังทดสอบ

ผนัง CW4 $\frac{L}{H} = 0.655$

หน่วยแรงเฉือน



รูปที่ 4.10 แสดงหน่วยแรงเฉือนที่รอยต่อโกลีแรงกระทำ

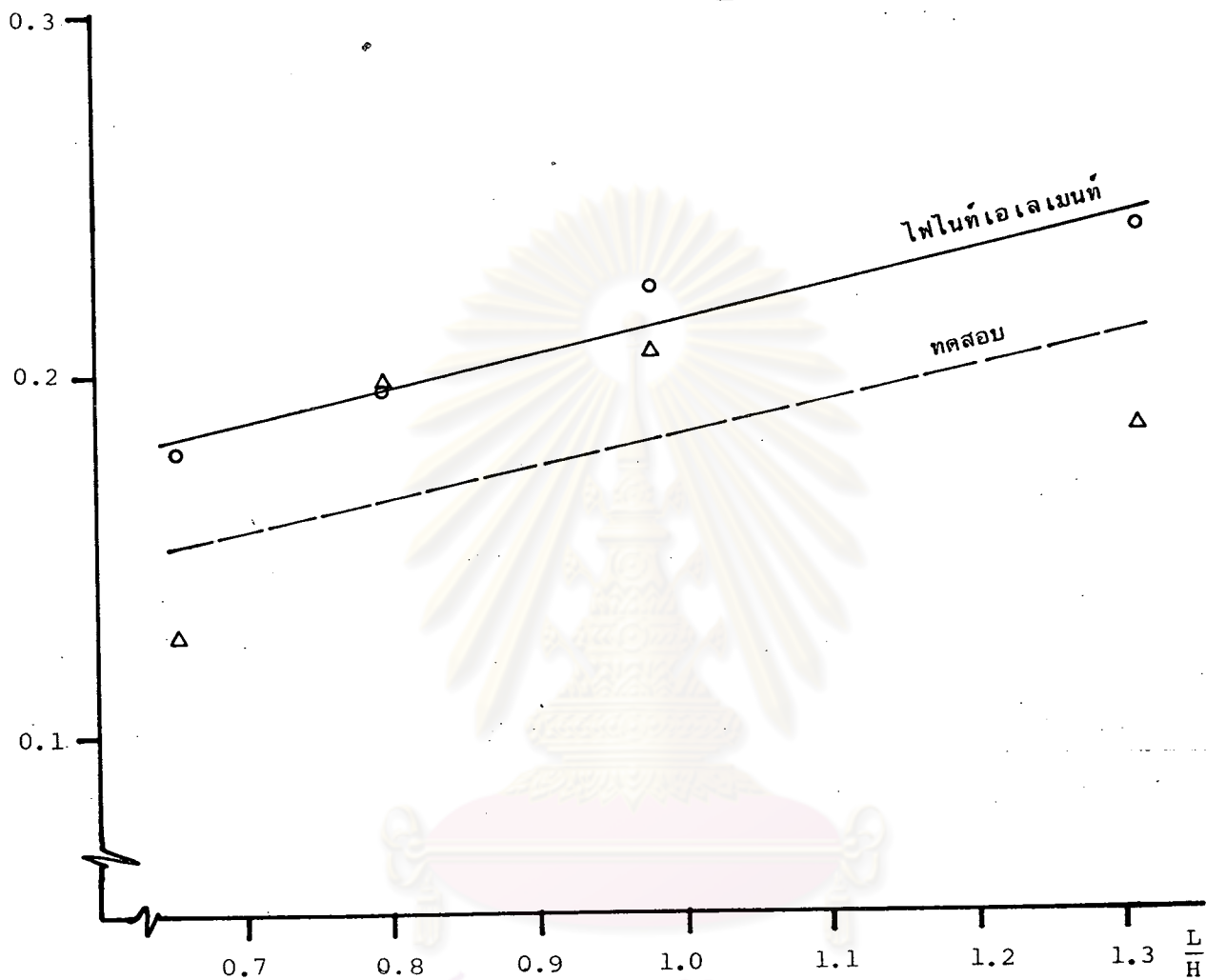


รูปที่ 4.11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงเฉือนเฉลี่ยกับสัดส่วนความยาวต่อความสูงของผนัง

$$\frac{P_h}{\Delta_h E t}$$

○ — ไฟไนท์เอเลเมนต์

△ — ทดสอบ



รูปที่ 4.12 แสดงการเปรียบเทียบค่าสตีฟเนสของผนังทดสอบ

ประวัติการศึกษา

นายรักษ์ รักไทยดี เกิดวันที่ 11 พฤษภาคม 2501 สำเร็จการศึกษาชั้นมัธยมศึกษาตอนปลาย (บ.ศ. 5) จากโรงเรียนพิริยาลัย (แพร่) ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2521 สำเร็จการศึกษาวศวรรรศาสตร์บัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่ ในเดือนมีนาคม พ.ศ. 2525



ศูนย์วิทยพัชการ
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย