



เอกสารอ้างอิง

1. Naaman, A.E. "Summary Review of FIP Symposium in Bucharest, Romania, "PCI Journal, V.25, No.6, Nov.-Dec.1980, pp.24-27
2. Lin, T.Y., and Burns, N.H., Design of Prestressed Concrete Structures, 3rd John Wiley and Sons Ins., New York, 1982
3. Emperger, F. V., "Reinforced Concrete With Additions of High Strength Pretensioned Steel," Research Studies in the Field of Reinforced Concrete, W. Ernst & Sohn, Berlin, 1939
4. Abeles, P.W., "Fully and Partly Prestressed Reinforced Concrete," ACI Journal, V.4, No.1, June 1959, pp.35-51
5. Siriaksorn, A., and Naaman, A.E., "Analysis and Design of Partially Prestressed Beams to Satisfy Serviceability Criteria," University of Illinois at Chicago, Department of Material Engineering, Report N.78 June 1978, 182 pp.
6. Hognestad, E., N.W., and McHenry, D., "Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design," ACI Journal
7. Naaman, A.E., and Siriaksorn, A., "Serviceability Based Design of Partially Prestressed Beams, Part 1: Analytic Formulation," PCI Journal, V.24, No.2, March - April 1979, pp 64 - 89
8. Gergely, P., and Lutz, L. A., "Causes Mechanisms and Control of Cracking in Concrete," ACI Publication SP-20, American Concrete Institute, Detroit, 1968
9. Burns, N.H., "Moment Curvature Relationship for Partially Prestressed Concrete Beams," PCI Journal, V.9 No.1, Feb.1964, pp.52-63
10. Nawy, E.G., and Chiang, J.Y., "Serviceability of Post - Tensioned Beam," PCI Journal, Jan - Feb 1980, pp.75 - 95

11. CEB - FIP, Model Code for Concrete Structure, Paris, 1978
pp 1 - 347
12. Magura, D.D., and Hognestad, E., "Test of Partially Prestressed Concrete Girders" Journal of Structure Division, ASCE, No. ST 1, Feb. 1966, p.327-343
13. Lin, T.Y., "Partial Prestressing Design Philosophy and Approach" Presentation at a joint symposium originated by ACI, CEB, PCI and FIP held in Philadelphia, 1976, published in FIP Note 69, Jul. - Aug. 1977, pp.5-9
14. Nawy, E.G., and Haung, P.T., "Crack and Deflection Control of Pretensioned Prestressed Beams," PCI Journal, V.22, No.3, May.-Jun. 1977, pp.30-43
15. ACI Committee 318 "Building Code Requirement for Reinforced Concrete (ACI 318-83)," American Concrete Institute, Detroit, 1983
16. Moustafa, S.E. "Design of Partially Prestressed Concrete Flexural Member" PCI Journal, V.22, No.3, May.-Jun. 1977, pp.12-29
17. Siriaksorn, A., and Naaman, A.E., "Serviceability Based Design of Partially Prestressed Beams. Part II: Computerized Design and Evaluation of Major Parameters," PCI Journal, V.24 No.2, Mar.- Apr. 1979, pp.64-89
18. Naaman, A.E., "Ultimate Analysis of Prestressed and Partially Prestressed Sections by Strain Compatibility" PCI Journal, V.22, No.1, Jan. 1977, pp.32-51
19. Harajli, M.H., and Naaman, A.E., "Static and Fatigue Tests on Partially Prestressed Beams," Journal of Structural Engineering, V.111, No.7, July 1985, pp.1602-1617
V.52, Dec. 1955, pp.455 - 479
20. Cohn, M.Z. and Bartlett, M., "Computer Simulated Flexural Tests of Partially Prestressed Concrete Sections," Journal of Structure Division, ASCE, No. ST12, Dec. 1982, pp. 2747 - 2765

21. Furlong, R.W. "Deign of Concrete Frames by Assigned Limit Moment."
"ACI Journal, Vol.67, No. 4, April 1970, pp.341 - 353
22. Naaman,A.E., and Siriaksorn,A., "Reliability of Partially
Prestressed Beams at Serviceability Limit State,
"PCI Journal, V.28 , No.1 , Jan.-Feb.1983



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รายการตารางประกอบ

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 แสดงชื่อของตัวอย่าง จำนวนเหล็กเสริม และค่า PPR

ตัวอย่างชุดที่	ชื่อตัวอย่าง	จำนวนและขนาดของ เหล็กเส้น (Rebar)	จำนวน ลวดอัดแรง (เส้น)	ค่า PPR ของหน้าตัดที่ จุดบีบตี
1	SPP 1	7 DB 16 1 DB 12	0	0
2	SPP 2	3 DB 12 4 DB 16	1	0.210
3	SPP 3	2 DB 16 3 DB 12	2	0.511
4	SPP 4	3 DB 12	3	0.774
5	Spp 5	-	4	1.00

SPP 1 = พื้นคอนกรีตอัดแรงบางส่วนหมายเลข 1

(Partial prestressing slab No 1)

ตารางที่ 3.2 คุณสมบัติของหน้าตัด ๗ ตำแหน่งที่เกิดการวิบัติ

SAMPLE	b (cm)	t (cm)	Ds (cm)	Dps (cm)	As (cm ²)	Aps (cm ²)	Fc' (ksc)	Fy (ksc)	Ps	Pps	PPR
1) SPP1	70	15	12	11.5	15.2	0	415.3	6195.16	0.018065	0	0
2) SPP2	70	15	12	11.995	11.43	1	415.3	5826.55	0.013607	0.001253	0.21
3) SPP3	70	15	12	10.9	7.41	2	415.3	5560.06	0.008821	0.002621	0.511
4) SPP4	70	15	12	10.76	3.99	3	415.3	4660.77	0.004035	0.003983	0.774
5) SPP5	70	15	12	10.76	0	4	415.3	4660.77	0	0.005310	1

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีต

คอนกรีต 1 ม³ มีปริมาณส่วนผสมต่าง ๆ ดังนี้

วัสดุ	ปริมาณ
ซีเมนต์	450 กก.
ทราย	700 กก.
หิน	1,120 กก.
น้ำ	190 ลิตร
น้ำสา pozzolite	900 ซีซี

หมายเหตุ เป็นคอนกรีตผสมเสร็จซีแพค

ศูนย์วิทยพัทยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.4 ผลการทดสอบของตัวอย่างแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ทดสอบจำนวน 4 ตัวอย่าง โดยมี 2 ตัวอย่างที่ติดตั้ง Dial Gage เพื่อหาค่าความสัมพันธ์ของหน่วยแรงและความเครียด เพื่อหาค่า Young's Modulus (E_c)

ตัวอย่างของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกของชิ้นส่วนที่ 1 และ 2

Load (Tons)	Δ ชิ้นส่วนที่ 1 (1/100 มม)	Δ ชิ้นส่วนที่ 2 (1/100 มม)
5	1.5	1
10	6	5
15	11	9.5
20	16	13
25	20	17
30	24.5	20.5
35	28	23.5
40	32	27.5
45	35	31
50	39	34

นำข้อมูลไปเขียน Stress - Strain Relationship Relationship ดังรูปที่ 3.17

Specimen No	Weight (KG)	Ultimate Load (Tons)
1	12.50	77.0
2	12.40	82.0
3	12.60	75.5
4	12.80	59.0

ได้ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดประลัยแห่งทรงกระบอก (f_c') = 415.3 กก/ตร.ซม.

หาค่า young's Modulus = 2.1×10^5 กก/ตร.ซม

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.5 ผลการทดสอบเหล็ก (Rebar)

จำนวนชิ้นส่วนที่ทดสอบ 6 ชิ้น
 DB 12 มม. 3 ชิ้น
 DB 16 มม. 3 ชิ้น

Specimen No	Size of Specimen	Gage per length	Load		Length (cm)	Weight (gm)	Elongation (cm)
			AT Y.P (KG)	AT MAX (KG)			
1	DB12	6.0	5,300	8,000	33.8	308.0	1.8
2	DB12	6.0	5,300	8,000	33.8	309.2	1.8
3	DB12	6.0	5,300	8,000	33.9	312.5	1.7
4	DB16	8.0	12,400	14,900	34.5	517.5	1.5
5	DB16	8.0	13,400	13,500	34.7	527.2	1.5
6	DB16	8.0	12,300	14,500	34.5	520.5	1.7

นำข้อมูลมาคำนวณหาค่าเฉลี่ยได้ดังนี้

$$f_y \text{ (average) for DB12} = 4,661 \text{ ksc}$$

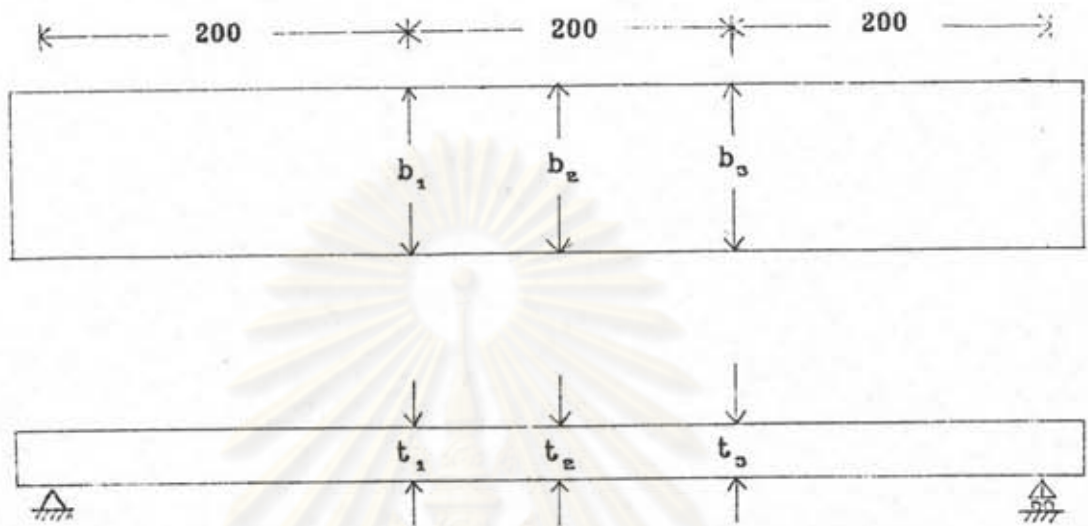
$$f_y \text{ (average) for DB16} = 6,318 \text{ ksc}$$

$$f_u \text{ (average) for DB12} = 7,080 \text{ ksc}$$

$$f_u \text{ (average) for DB16} = 7,114 \text{ ksc}$$

$$\text{Young's modulus } (E_s) = 2 \times 10^5 \text{ ksc}$$

ตารางที่ 3.6 ขนาดของตัวถัง SPP1 - SPP5



ชิ้นส่วน	ความกว้าง (ซม)			ความหนา(ซม)		
	b_1	b_2	b_3	t_1	t_2	t_3
1) SPP1	—	69.5	—	—	14.5	—
2) SPP2	—	69.5	—	—	14.4	—
3) SPP3	68.5	69.25	69.75	15.75	15.45	15.57
4) SPP4	71.75	71	73	16	15	15
5) SPP5	73.5	72	70.9	15	14	14.7

ตารางที่ 3.7 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP1

ลำดับที่	แรง(x100) (กก.)		การแอ่นตัว ที่จุดกึ่งกลาง (x0.05)(ซม.)		การทรุดตัวของ จุดรองรับ (x0.001)(ซม.)		STRAIN x 10 ⁶	REMARK
	1	2	1	2	1	2		
0	0	0	-16.9	9.4	0	0	0	CRACK
1	free	free	-77.7	-51.5	-23	-3	-621	
2	0.1	0.1	-18	3.4	150	-3	1	
3	2.2	2.1	-7.8	18.5	100	-3	100	
4	4.1	4.1	2.8	29.5	95	-3	220	
5	6.4	6.4	16.8	42	88	0	350	
6	8	8	26.8	52.8	80	0	470	
7	10.2	10.3	42.9	66.5	72	0	630	
8	12.3	12	55.6	77.8	65	0	770	
9	14.4	14.5	70.8	92.2	65	50	920	
** 10	14.4	14.7	-81.9	-83.7	65	50	920	
11	16.6	16.8	-69.4	-75	65	50	1080	
12	18.2	18.2	-59	-70.4	65	50	1180	
13	20.2	20.2	-45.1	-56.7	65	50	1300	
14	22.3	22.3	-29	-41.7	65	10	1480	
15	24.2	24.2	-13.3	-30.4	65	10	1635	
16	26.5	26.2	3.6	-14.5	65	10	1950	
17	28.2	28.2	22.9	31.2	65	100	2450	
18	30.2	30.2	51.7	51.3	65	120	FAIL	

** = ADJUST STRAIN GAUGE

ตารางที่ 3.8 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP2

ลำดับที่	แรง(x100) (กก.)		การอ่อนตัว ที่จุดกึ่งกลาง (x0.05) (ซม.)		การหลุดตัวของจุดรองรับ (x0.001) (มม.)		REMARK
	1	2	1	2	1	2	
0	free	free	-58.9	-48.9	0	0	CRACK
1	1.0	1.5	-3.0	9.2	0	14	
2	0.9	0.1	8.4	18.2	0	14	
3	2.0	2.0	21.7	32.8	0	17	
4	4.2	4.2	41.0	50.2	0	19	
5	6.0	6.0	52.5	59.8	0	20	
6	8.0	8.0	70.7	75.2	0	21	
7	10.2	10.2	89.7	99.2	0	27	
8	12.0	12.0	104.2	110.5	0	28	
9	14.2	14.0	111.4	117.0	92	28	
** 10	14.8	15.0	-48.8	-59.8	92	28	
11	16.0	16.1	-41.1	-52.0	85	35	
12	17.8	18.0	-25.0	-34.0	60	45	
13	20.2	20.4	-8.8	-15.1	53	49	
14	22.3	22.2	6.8	0.0	48	55	
15	24.0	24.0	27.7	20.7	40	69	
16	26.0	26.0	45.5	37.0	87	80	

** = ADJUST STRAIN GAGE



ตารางที่ 3.9 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP3

ลำดับที่	แรง(x100) (กก.)		การอนตัว ที่จุดกึ่งกลาง (x0.05) (ซม.)		การทรุดตัวของ จุดรองรับ (x0.001) (ซม.)		REMARK
	1	2	1	2	1	2	
0	free	free	-42.1	-37.5	-97	22	CRACK
1	0	0.1	13.1	20	-97	22	
2	1	1	23.6	31.5	-97	22	
3	2	2	33	40.4	-97	22	
4	3.1	3.1	43.1	50.5	-97	22	
5	4	4	55.1	63	-97	23	
6	5.1	5.1	64.8	72.3	-97	25	
**7	5.2	5.2	-78.4	-77.2	-97	25	
8	6	6.1	-71.2	-70.6	-97	25	
9	7.2	7.2	-61.1	-59.5	-97	26	
10	7.9	8	-54.1	-52.5	-97	27	
11	9.2	9.2	-42.4	-40.3	-92	28	
12	10	10	-34.4	-31.5	-92	29	
13	11.1	11	-24.6	-21.6	-80	28	
14	12.2	12.2	-13.5	-10	-82	28	
15	13.1	13	-1.3	2.3	-81	27	
16	14.1	14.1	5.3	9.2	-81	26.5	
17	15.2	15.2	16.7	20.6	-81	24	
18	16.1	16.2	26	30.6	-81	20	
19	17	17.1	34.8	36.9	-81	14	
20	18.2	18.2	48.7	50.5	-82	-95	
21	19	19	58.6	60.4	-81	-91	
22	20	20	72.3	74.1	-81	-84	
23	21	21	88	89.8	-82	-77	
24	22	22	111.2	112.9	-82	-77	

** = ADJUST STRAIN GAGE

ตารางที่ 3.10 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP4

ลำดับที่	แรง(x100) (กก.)		การแอ่นตัว ที่จุดกึ่งกลาง (x0.05) (ซม.)		การทรุดตัวของจุดรองรับ (x0.001) (ซม.)		REMARK
	1	2	1	2	1	2	
0	0.0	0.0	-49.8	-48.1	1	-98	CRACK
1	0.1	0.1	-5.7	-3.9	1	-86	
** 2	2.2	2.2	13.3	13.0	-99	-83	
			27.1	29.3	-99	-83	
3	3.0	3.0	32.8	36.0	-99	-80	
4	4.1	4.0	44.6	45.6	-96	-79	
5	5.3	5.2	59.9	62.0	-90	-80	
6	6.2	6.2	61.2	62.4	-85	-80	
7	7.1	7.0	91.7	94.7	-85	-80	
8	8.3	8.2	10.9	110.9	-82	-80	
** 9	9.0	6.6	-56.5	-26.9	-82	-80	
10	9.2	9.2	-50.2	-16.0	-70	-80	
11	10.0	10.0	-30.9	-1.5	-68	-81	
12	11.0	11.0	-6.5	22.4	-60	-88	
13	12.0	12.0	34.8	64.6	-54	-101	
14	12.4	12.5	56.0	67.5	-45	-101	

** = ADJUST STRAIN GAGE

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.11 ผลการทดสอบตัวอย่าง SPP5

ลำดับที่	แรง(x100) (กก.)		การแอ่นตัว ที่จุดกึ่งกลาง (x0.05)(ซม.)		การทรุดตัวของ จุดรองรับ (x0.001)(ซม.)		REMARK
	1	2	1	2	1	2	
0	free	free	-66.6	-65.6	0	0	CRACK
1	0.0	-0.2	-42.8	-40.1	-95	60	
2	1.1	1.0	-40.4	-36.6	-90	60	
3	2.0	2.0	-37.4	-33.4	-83	61	
4	3.1	3.0	-31.4	-28.6	-82	61	
5	4.2	4.0	-7.3	-6.8	-73	80	
6	5.0	5.0	24.9	25.6	-66	82	
7	6.0	6.0	60.7	64.2	-48	80	
8	7.0	7.2	109.4	112.7	-28	57	
** 9	6.5	7.0	-96.4	-52.5	-28	57	
10	8.0	8.0	-69.4	-23.1	-28	58	
11	16.0	28.5			-10	50	

** = ADJUST STRAIN GAGE

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการอ่อนตัวของตัวอย่าง SPP1

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)
1	0	3.1725
2	55	3.9600
3	215	4.7175
4	410	5.2825
5	640	5.9650
6	800	6.5200
7	1,025	7.3100
8	1,215	7.9400
9	1,445	8.9350
10	1,445	8.9350
11	1,660	9.5400
12	1,820	9.9150
13	2,020	10.6050
14	2,230	11.5825
15	2,420	12.2575
16	2,635	13.0775
17	2,820	14.4925
18	3,020	15.8150

DEF = การอ่อนตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail) = การอ่อนตัวที่จุดวิกฤติ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการอ่อนตัวของตัวข้อ SPP2

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D(fail) (CM)
1	0	2.9200	2.8963
2	50	3.4300	3.4022
3	200	4.1425	4.1089
4	420	5.0700	5.0289
5	600	5.6025	5.5571
6	800	6.4475	6.3953
7	1,020	7.5525	7.4913
8	1,200	8.2025	8.1361
9	1,410	9.0050	8.9321
10	1,410	9.0050	8.9321
11	1,605	9.3875	9.3115
12	1,790	10.3150	10.2314
13	2,030	11.2625	11.1713
14	2,225	11.9800	11.8830
15	2,400	13.0500	12.9443
16	2,600	14.1925	14.0775

DEF = การอ่อนตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail) = การอ่อนตัวที่จุดวิกฤติ

ศูนย์วิจัยทางวิศวกรรม
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการอ่อนตัวของค้ำอย่าง SPP3

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D(fail)(CM)
1	0	2.8175	2.5751
2	100	3.3675	3.0777
3	200	3.8250	3.4959
4	310	4.3300	3.9574
5	400	4.9475	4.5218
6	510	5.4325	4.9651
7	510	5.4325	4.9651
8	605	5.7775	5.2804
9	720	6.3125	5.7693
10	795	6.6675	6.0938
11	920	7.2950	6.6673
12	1,000	7.7200	7.0557
13	1,105	8.2675	7.5561
14	1,220	8.8450	8.0839
15	1,305	9.4575	8.6437
16	1,410	9.7975	8.9545
17	1,520	10.3800	9.4869
18	1,615	10.8825	9.9461
19	1,705	11.2900	10.3186
20	1,820	12.5275	11.4496
21	1,900	13.0475	11.9248
22	2,000	13.7675	12.5829
23	2,100	14.5825	13.3278
24	2,200	15.7400	14.3857

DEF = การอ่อนตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail)=การอ่อนตัวที่จุดวิบัติ

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPP4

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D (fail) (CM)
1	0	2.2675	2.0255
2	220	3.6500	3.2605
3	220	3.6500	3.2605
4	300	3.9750	3.5508
5	405	4.5300	4.0466
6	525	5.3475	4.7769
7	620	6.4150	5.7304
8	705	6.9850	6.2396
9	825	8.6163	7.6968
10	825	8.6163	7.6968
11	920	9.1563	8.1792
12	1,000	10.0563	8.9831
13	1,100	11.2188	10.0216
14	1,200	13.3913	11.9623
15	1,245	14.5388	12.9873

DEF = การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลาง

D (fail) = การแอ่นตัวที่จุดวิกฤติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัวของตัวอย่าง SPP5

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D(fail)(CM)
1	0	1.4075	1.2511
2	105	1.5800	1.4044
3	200	1.7750	1.5778
4	305	2.0500	1.8222
5	410	3.3375	2.0667
6	500	4.9975	4.4422
7	600	6.9375	6.1667
8	710	9.3825	8.3400
9	710	9.3825	8.3400
10	800	10.8475	9.6422

DEF = การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail) = การแอ่นตัวที่จุดวิบัติ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากกราฟทดสอบ

ลองตัวข้าง SPPI

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	M (KG.CM)	ϕ (rad/cm)	M(DL) (KG.CM)	M(JACK) (KG.CM)	ϕ (DL) (rad/cm)	M(TOTAL) (KG.CM)	ϕ (TOTAL) (rad/cm)
1	0	3.1725	0	0.000063	113400	209000	0.000024	322400	0.000107
2	55	3.9600	11000	0.000103	113400	209000	0.000024	335400	0.000127
3	215	4.7175	43000	0.000123	113400	209000	0.000024	365400	0.000147
4	410	5.2825	82000	0.000136	113400	209000	0.000024	404400	0.000162
5	640	5.9650	128000	0.000156	113400	209000	0.000024	450400	0.000180
6	800	6.5200	160000	0.000170	113400	209000	0.000024	482400	0.000194
7	1,025	7.3100	205000	0.000191	113400	209000	0.000024	527400	0.000215
8	1,215	7.9400	243000	0.000207	113400	209000	0.000024	565400	0.000231
9	1,445	8.9350	289000	0.000233	113400	209000	0.000024	611400	0.000257
10	1,445	8.9350	289000	0.000233	113400	209000	0.000024	611400	0.000257
11	1,660	9.5400	332000	0.000249	113400	209000	0.000024	654400	0.000273
12	1,820	9.9150	364000	0.000259	113400	209000	0.000024	683400	0.000283
13	2,020	10.6050	404000	0.000277	113400	209000	0.000024	728400	0.000301
14	2,230	11.5825	446000	0.000302	113400	209000	0.000024	768400	0.000326
15	2,420	12.2575	484000	0.000320	113400	209000	0.000024	808400	0.000344
16	2,635	13.0775	527000	0.000341	113400	209000	0.000024	849400	0.000365
17	2,820	14.4925	564000	0.000378	113400	209000	0.000024	886400	0.000402
18	3,020	15.8150	604000	0.000413	113400	209000	0.000024	928400	0.000437

DEF = การงอตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail) = การงอตัวที่จุดวิกฤติ

ตารางที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบ

แบบตัวถัง SPP2

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D(fail) (CM)	M (KG.CM)	ϕ (rad/cm)	M(DL) (KG.CM)	M(JACK) (KG.CM)	ϕ (DL) (rad/cm)	M(TOTAL) (KG.CM)	ϕ (TOTAL) (rad/cm)
1	0	2.9200	2.8963	0	0.000076	112,481	209,000	0.0000168	321,481	0.0000931
2	50	3.4300	3.4022	10,000	0.000089	112,481	209,000	0.0000168	331,481	0.0001084
3	200	4.1425	4.1089	40,000	0.000108	112,481	209,000	0.0000168	361,481	0.0001250
4	420	5.0700	5.0269	84,000	0.000132	112,481	209,000	0.0000168	405,481	0.0001493
5	600	5.6025	5.5571	120,000	0.000146	112,481	209,000	0.0000168	441,481	0.0001632
6	800	6.4475	6.3953	160,000	0.000166	112,481	209,000	0.0000168	481,481	0.0001852
7	1,020	7.5525	7.4913	204,000	0.000197	112,481	209,000	0.0000168	525,481	0.0002141
8	1,200	8.2025	8.1361	240,000	0.000214	112,481	209,000	0.0000168	581,481	0.0002311
9	1,410	9.0050	8.9321	282,000	0.000235	112,481	209,000	0.0000168	603,481	0.0002521
10	1,410	9.0050	8.9321	282,000	0.000235	112,481	209,000	0.0000168	603,481	0.0002518
11	1,605	9.3875	9.3115	321,000	0.000245	112,481	209,000	0.0000168	642,481	0.0002621
12	1,790	10.3150	10.2314	358,000	0.000269	112,481	209,000	0.0000168	679,481	0.0002863
13	2,030	11.2625	11.1713	406,000	0.000294	112,481	209,000	0.0000168	727,481	0.0003110
14	2,225	11.9800	11.8630	445,000	0.000312	112,481	209,000	0.0000168	766,481	0.0003298
15	2,400	13.0500	12.9443	480,000	0.000340	112,481	209,000	0.0000168	801,481	0.0003577
16	2,600	14.1925	14.0775	520,000	0.000370	112,481	209,000	0.0000168	841,481	0.0003876

DEF = การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail) = การแอ่นตัวที่จุดวิกฤต

ตารางที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของ
ค้ำช่วง SPP3

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D(fail) (CM)	M (KG.CM)	ϕ (rad/cm)	M(DL) (KG.CM)	M(JACK) (KG.CM)	ϕ (DL) (rad/cm)	M(TOTAL) (KG.CM)	ϕ (TOTAL) (rad/cm)
1	0	2.8175	2.5751	0	0.000074	103660	209000	0.0000087	312660	0.0000834
2	100	3.3675	3.0777	20000	0.000089	103660	209000	0.0000087	332660	0.0000980
3	200	3.8250	3.4959	40000	0.000101	103660	209000	0.0000087	352660	0.0001101
4	310	4.3300	3.9574	62000	0.000114	103660	209000	0.0000087	374660	0.0001235
5	400	4.9475	4.5218	80000	0.000131	103660	209000	0.0000087	392660	0.0001399
6	510	5.4925	4.9851	102000	0.000144	103660	209000	0.0000087	414660	0.0001528
7	510	5.4925	4.9851	102000	0.000144	103660	209000	0.0000087	414660	0.0001527
8	605	5.7775	5.2804	121000	0.000153	103660	209000	0.0000087	433660	0.0001619
9	720	6.3125	5.7693	144000	0.000167	103660	209000	0.0000087	456660	0.0001761
10	795	6.6675	6.0938	159000	0.000176	103660	209000	0.0000087	471660	0.0001855
11	920	7.2950	6.6673	184000	0.000193	103660	209000	0.0000087	496660	0.0002022
12	1,000	7.7200	7.0557	200000	0.000204	103660	209000	0.0000087	512660	0.0002134
13	1,105	8.2675	7.5561	221000	0.000219	103660	209000	0.0000087	533660	0.0002280
14	1,220	8.8450	8.0839	244000	0.000234	103660	209000	0.0000087	556660	0.0002433
15	1,305	9.4575	8.6437	261000	0.000250	103660	209000	0.0000087	573660	0.0002595
16	1,410	9.7975	8.9545	282000	0.000259	103660	209000	0.0000087	594660	0.0002685
17	1,520	10.3800	9.4959	304000	0.000275	103660	209000	0.0000087	616660	0.0002840
18	1,615	10.8825	9.9461	323000	0.000288	103660	209000	0.0000087	635660	0.0002973
19	1,705	11.2900	10.3186	341000	0.000299	103660	209000	0.0000087	653660	0.0003081
20	1,820	12.5275	11.4496	364000	0.000332	103660	209000	0.0000087	676660	0.0003409
21	1,900	13.0475	11.9248	380000	0.000346	103660	209000	0.0000087	692660	0.0003547
22	2,000	13.7675	12.5829	400000	0.000365	103660	209000	0.0000087	712660	0.0003738
23	2,100	14.5825	13.3278	420000	0.000396	103660	209000	0.0000087	732660	0.0003955
24	2,200	15.7400	14.3857	440000	0.000417	103660	209000	0.0000087	752660	0.0004262

DEF = การเบี่ยงตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail) = การเบี่ยงตัวที่จุดวิกฤติ

ตารางที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากภาวะค้ำของ
ค้ำอย่าง SPP4

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D(fail) (CM)	M (KG.CM)	ϕ (rad/cm)	M(DL) (KG.CM)	M(JACK) (KG.CM)	ϕ (DL) (rad/cm)	M(TOTAL) (KG.CM)	ϕ (TOTAL) (rad/cm)
1	0	2.2675	2.0255	0	0.000060	101299	209000	0.0000008	310299	0.000061
2	220	3.6500	3.2605	44000	0.000097	101299	209000	0.0000008	354299	0.000098
3	220	3.6500	3.2605	44000	0.000097	101299	209000	0.0000008	354299	0.000097
4	300	3.9750	3.5508	60000	0.000105	101299	209000	0.0000008	370299	0.000106
5	405	4.5300	4.0466	81000	0.000120	101299	209000	0.0000008	391299	0.000121
6	525	5.3475	4.7769	105000	0.000142	101299	209000	0.0000008	415299	0.000143
7	620	6.4150	5.7304	124000	0.000170	101299	209000	0.0000008	434299	0.000171
8	705	6.9650	6.2396	141000	0.000186	101299	209000	0.0000008	451299	0.000186
9	825	8.6163	7.6968	165000	0.000229	101299	209000	0.0000008	475299	0.000230
10	825	8.6163	7.6968	165000	0.000229	101299	209000	0.0000008	475299	0.000229
11	920	9.1563	8.1792	184000	0.000243	101299	209000	0.0000008	494299	0.000244
12	1,000	10.0563	8.9831	200000	0.000267	101299	209000	0.0000008	510299	0.000268
13	1,100	11.2188	10.0216	220000	0.000296	101299	209000	0.0000008	530299	0.000299
14	1,200	13.3913	11.9623	240000	0.000356	101299	209000	0.0000008	550299	0.000357
15	1,245	14.5388	12.9873	249000	0.000367	101299	209000	0.0000008	559299	0.000388

DEF = การเบี่ยงตัวจุดกึ่งกลาง

D(fail) = การเบี่ยงตัวจุดค้ำ

ตารางที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่ได้จากภาพทดสอบของ
ค้ำช่วง SPP5

NO	LOAD (KG)	DEF (CM)	D(fail) (CM)	M (KG.CM)	ϕ (rad/cm)	M(DL) (KG.CM)	M(JACK) (KG.CM)	ϕ (DL) (rad/cm)	M(TOTAL) (KG.CM)	ϕ (TOTAL) (rad/cm)
1	0	1.4075	1.2511	0	0.00003732	101299	209000	-0.000008	310269	0.00002932
2	105	1.5800	1.4044	21000	0.00004159	101299	209000	-0.000008	331299	0.00003389
3	200	1.7750	1.5778	40000	0.00004706	101299	209000	-0.000008	350299	0.00003906
4	305	2.0500	1.8222	61000	0.00005495	101299	209000	-0.000008	371299	0.00004635
5	410	3.3375	2.9657	82000	0.00008949	101299	209000	-0.000008	392299	0.00008049
6	500	4.9975	4.4422	100000	0.00013250	101299	209000	-0.000008	410299	0.00012450
7	600	6.9975	6.1657	120000	0.00018933	101299	209000	-0.000008	430299	0.00017593
8	710	9.3825	8.3400	142000	0.00024876	101299	209000	-0.000008	452299	0.00024076
9	710	9.3825	8.3400	142000	0.00024876	101299	209000	-0.000008	452299	0.00024076
10	800	10.8475	9.6422	160000	0.00028760	101299	209000	-0.000008	470299	0.00027960

DEF = การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลาง

D(fail) = การแอ่นตัวที่จุดวิกฤติ

ตารางที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเค้น
 สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวขึง SPP1

Step	M (kg.cm)	Curvature (rad/cm)	fs (ksc)	fps (ksc)	REMARK
Ext. Moment M = 0 EPcs = 0	0 0	0.0000000 0.0000000			PPR = 0.000
M = Morsacking EPo = 0.00100	127484	0.0000276	3489	13462	Rnf. Index = 0.2817
EPo = 0.00125	555319	0.0002287	4217	14139	Ductility = 1.62
EPo = 0.00150	667549	0.0002799	4902	14773	
EPo = 0.00175	771486	0.0003292	5519	15344	
EPo = 0.00200	862987	0.0003758	6078	15859	
EPs = EPy	943566	0.0004199	6195	15967	
EPo = 0.00225	960026	0.0004296	6195	16156	
EPo = 0.00250	963809	0.0004887	6195	16701	
EPo = 0.00275	965562	0.0005624	6195	17079	
EPo = 0.00300	964613	0.0006323	6195	17323	c/d = 0.376
	960501	0.0006944	6195		

ตารางที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเค้น
สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวถัง SPP2

Step	M (kg.cm)	Curvature (rad/cm)	f_s (ksc)	f_{ps} (ksc)	REMARK
Ext. Moment M = 0	0	-0.0000076			PPR = 0.210
EPCs = 0	91455	0.0000122			Rrf. Index = 0.2544
M = Mocracking	196793	0.0000332			Ductility = 1.99
EPC = 0.00100	549474	0.0002282	3477	13541	
EPC = 0.00125	654534	0.0002837	4309	14305	
EPs = EPy	840407	0.0003905	5827	15694	
EPC = 0.00150	747541	0.0003359	5061	14994	
EPC = 0.00175	831931	0.0003857	5757	15630	
EPC = 0.00200	851001	0.0004681	5827	16190	
EPC = 0.00225	860037	0.0005509	5827	16799	
EPC = 0.00250	865136	0.0006321	5827	17218	
EPC = 0.00275	866987	0.0007071	5827	17488	
EPC = 0.00300	864614	0.0007752	5827	17668	c/d = 0.340

ตารางที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเค้น
 สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวหล่อ SPP3

Step	M (kg.cm)	Curvature (rad/cm)	fs (ksc)	fps (ksc)	REMARK
Ext. Moment M = 0	0	-0.0000143			PPR = 0.464
EPCs = 0	190690	0.0000285			Rnf. Index = 0.2424
M = Mcracking	237638	0.0000391			Ductility = 2.36
EPC = 0.00100	524098	0.0002293	3502	13459	
EPC = 0.00125	616123	0.0002910	4483	14305	
EPC = 0.00150	700463	0.0003500	5399	15091	
EPCs = EPy	715008	0.0003606	5560	15228	
EPC = 0.00175	731357	0.0004324	5560	15844	
EPC = 0.00200	748947	0.0005218	5560	16579	
EPC = 0.00225	760474	0.0006107	5560	17088	
EPC = 0.00250	767257	0.0006974	5560	17430	
EPC = 0.00275	769864	0.0007771	5560	17652	
EPC = 0.00300	769972	0.0008523	5560	17809	c/d = 0.323

ตารางที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่คำนวณได้จากวิธีความเค้น
 สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวข้อ SPP4

Step	M (kg.cm)	Curvature (rad/cm)	fs (ksc)	fps (ksc)	REMARK
Ext. Moment M = 0	0	-0.0000218			PPR = 0.774
EPCs = 0	289976	0.0000447			Rnf.Index = 0.2231
M = Cracking	292088	0.0000452			Ductility = 3.15
EPC = 0.00100	501073	0.0002303	3527	13555	
EPs = EPy	570711	0.0002972	4661	14522	
EPC = 0.00125	572732	0.0003015	4661	14587	
EPC = 0.00150	613892	0.0003860	4661	15905	
EPC = 0.00175	633574	0.0004838	4661	16436	
EPC = 0.00200	652547	0.0005792	4661	17024	
EPC = 0.00225	664977	0.0006749	4661	17422	
EPC = 0.00250	672440	0.0007680	4661	17686	
EPC = 0.00275	676447	0.0008570	4661	17868	
EPC = 0.00300	677507	0.0009375	4661	17998	c/d = 0.297

ตารางที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งที่หาได้จากวิถึความเค้น
 สอดคล้อง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP5

Step	M (kg. cm)	Curvature (rad/cm)	fs (ksc)	fps (ksc)	REMARK
Ext. Moment M = 0	0	-0.0000306			PPR = 1.000
M = M _{cracking}	352708	0.0000516			Rrf. Index = 0.2233
E _{pc} = 0	385918	0.0000597			Ductility = 3.08
E _{pc} = 0.00100	496043	0.0002236	3357	13564	
E _{ps} = E _{py}	544842	0.0002961	4661	14678	
E _{pc} = 0.00125	549839	0.0003044	4661	14803	
E _{pc} = 0.00150	597971	0.0003840	4661	16016	
E _{pc} = 0.00175	619977	0.0004798	4661	16467	
E _{pc} = 0.00200	641905	0.0005709	4661	17017	
E _{pc} = 0.00225	657234	0.0006629	4661	17400	
E _{pc} = 0.00250	666558	0.0007519	4661	17656	
E _{pc} = 0.00275	671697	0.0008361	4661	17834	
E _{pc} = 0.00300	673322	0.0009119	4661	17958	c/d = 0.306

ตารางที่ 4.16 ค่าโมเมนต์ค้ำยัน (Ultimate Moment) ของทงาทดสอบ

เทียบกับทงาท่านวดด้วยวิธีต่าง ๆ

Name	ULTIMATE MOMENT (KG.CM)				$\frac{\text{Mu(Strain C)}}{\text{Mu(Test)}}$	$\frac{\text{Mu(ACI)}}{\text{Mu(Test)}}$	$\frac{\text{Mu(Ned's)}}{\text{Mu(Test)}}$
	Test	Strain Com	ACI	Nedde:man's			
SPP1	926400	960501	855050	841869	1.04	0.92	0.91
SPP2	841481	864614	730560	720517	1.03	0.87	0.86
SPP3	752660	769872	694097	589125	1.02	0.79	0.78
SPP4	559299	677507	502747	448944	1.21	0.90	0.80
SPP5	470299	675351	440021	393002	1.44	0.94	0.84

ตารางที่ 4.17 เปรียบเทียบค่า CRACK SPACING ระหว่างการทดลองและ CEB-FIP

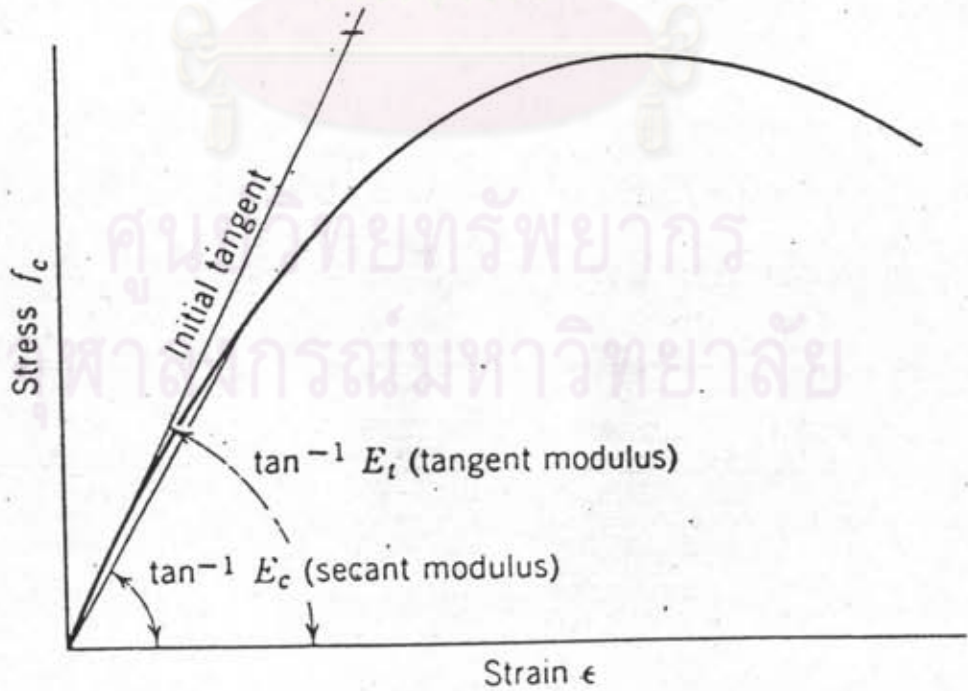
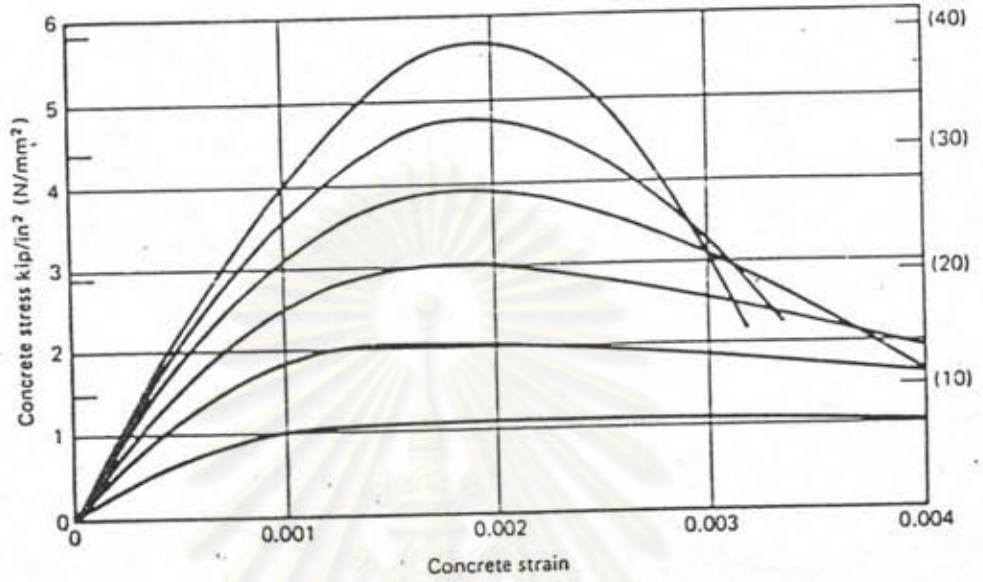
name	CEB - FIP					TEST		CEB - FIP
	covering(mm)	s(mm)	ϕ (mm)	As(cm ²)	c bottom (cm)	crack spacing(cm)	ϕ	crack spacing(cm)
spp1	25	100	16	15.2	7.01	8.3	7 DB16	9.6
spp2	25	100	12	15.2	7.01	8.0	1 DB12	10.48
	25	117	16	11.43	7.09	9.1	3DB12	
spp3	25	117	12	11.43	7.09	8.6	4DB16	8.4
	25	175	16	7.41	7.2	11.2	2DB16	1.34
spp4	25	175	12	7.41	7.2	10.5	3DB12	1.25
spp5	25	350	12	3.39	7.31	16.5	3DB12	1.18



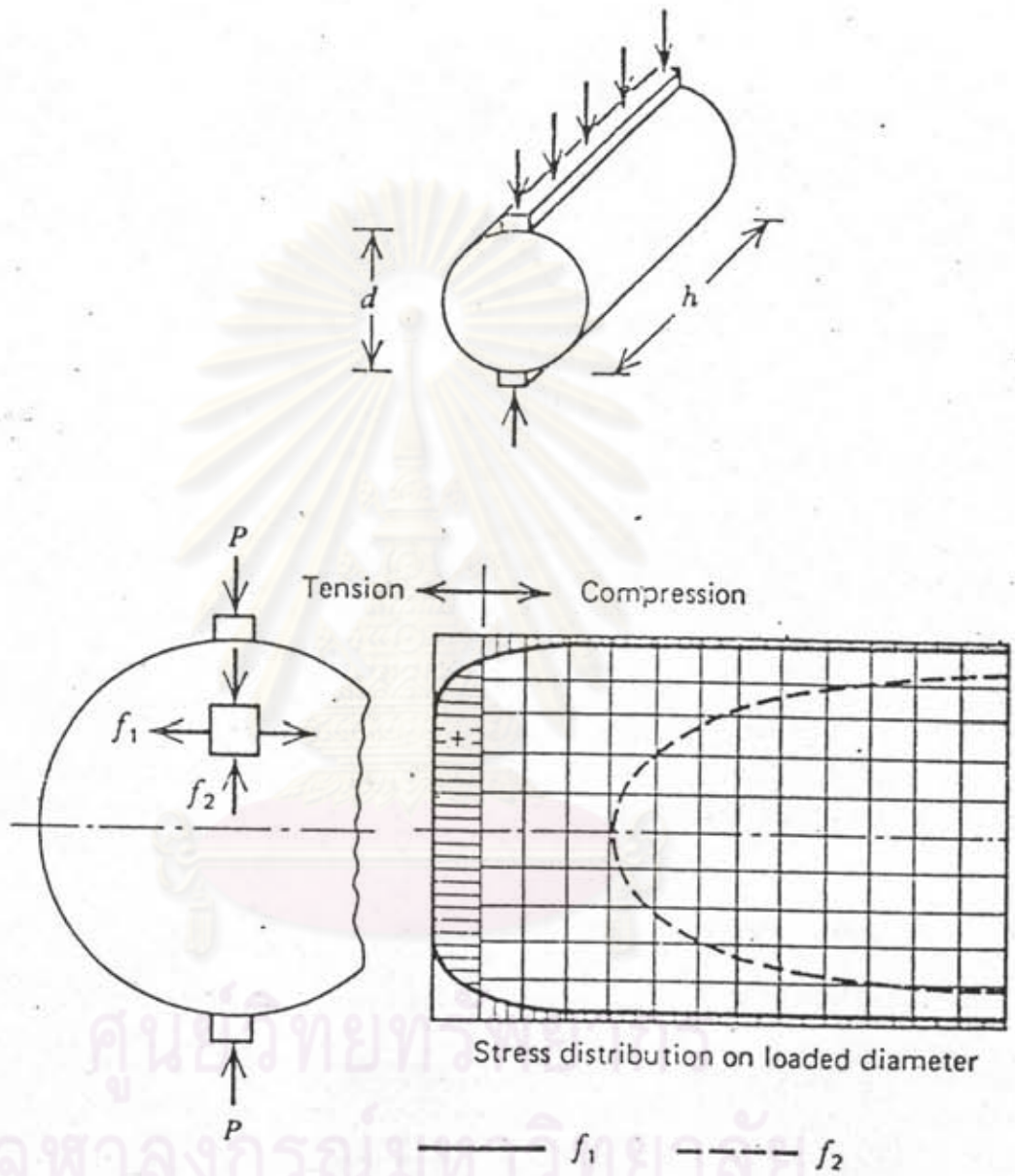
รายการประกอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

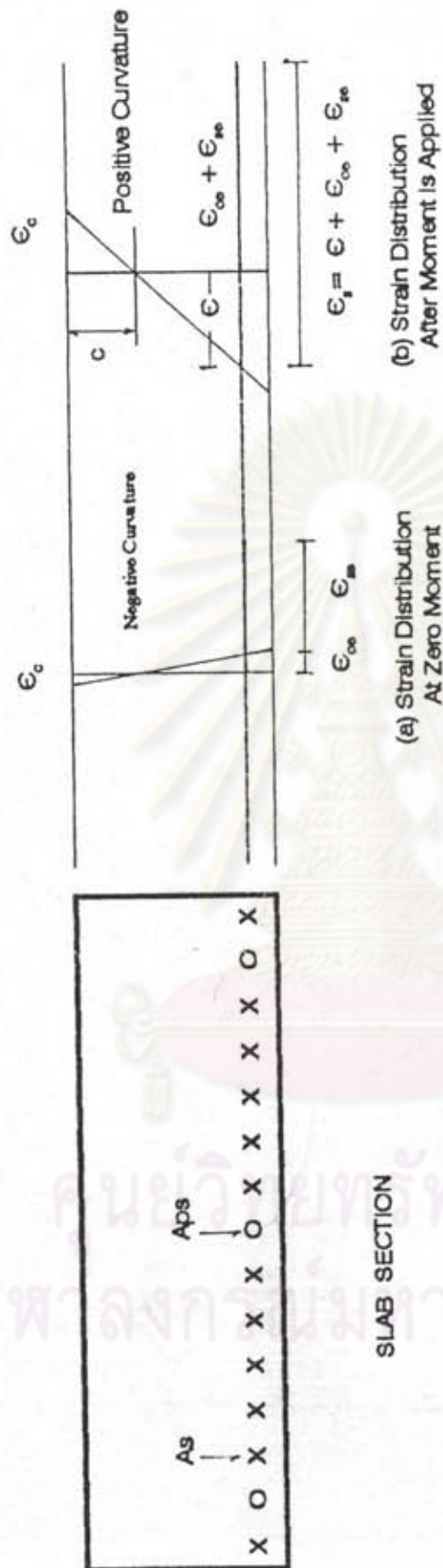
Stress-Strain Relationships for Concrete



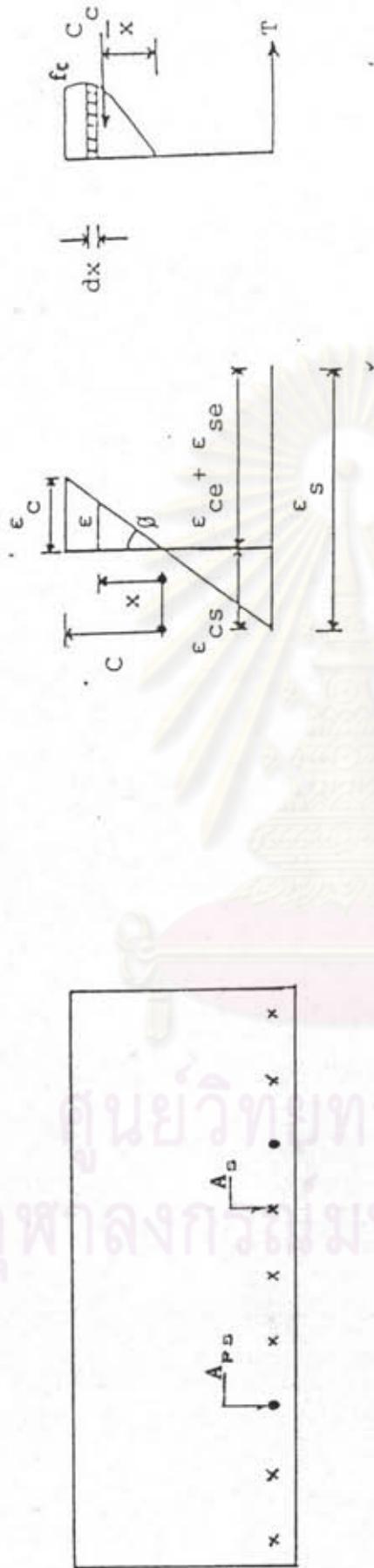
รูปที่ 2.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเคี้ยวของคอนกรีต



รูปที่ 2.2 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงดึงโดยวิธี Split Tensile Test



รูปที่ 2.3 แสดงการแจกแจงความเค้นดัดบนหน้าตัด เป็นเส้นตรง



รูปที่ 2.4 แสดงการแจกแจงหน่วยแรงและความเค้นดัดหลังการแตกตัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



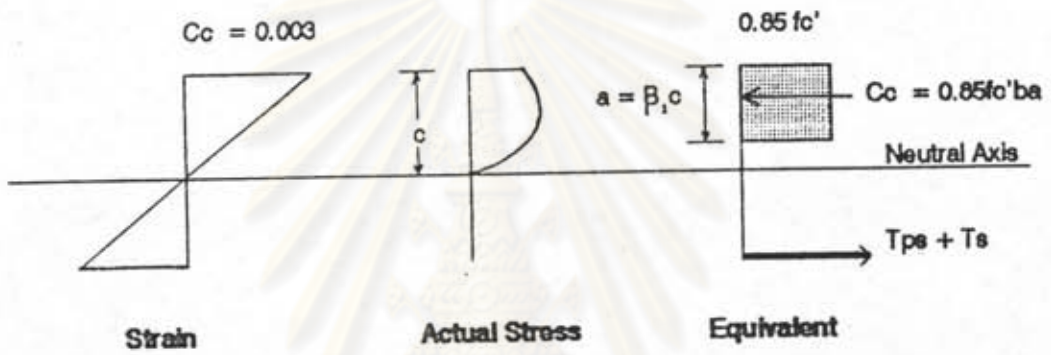
$$\Delta = -\frac{FL^2}{8EI} \left[e_2 + \frac{5}{6} (c_1 - c_2) \right]$$

CAMBER DUE TO PRESTRESSING FORCE

$$\Delta = \frac{Pb}{24EI} (3L^2 - 4b^2)$$

DEFLECTION DUE TO LOADING

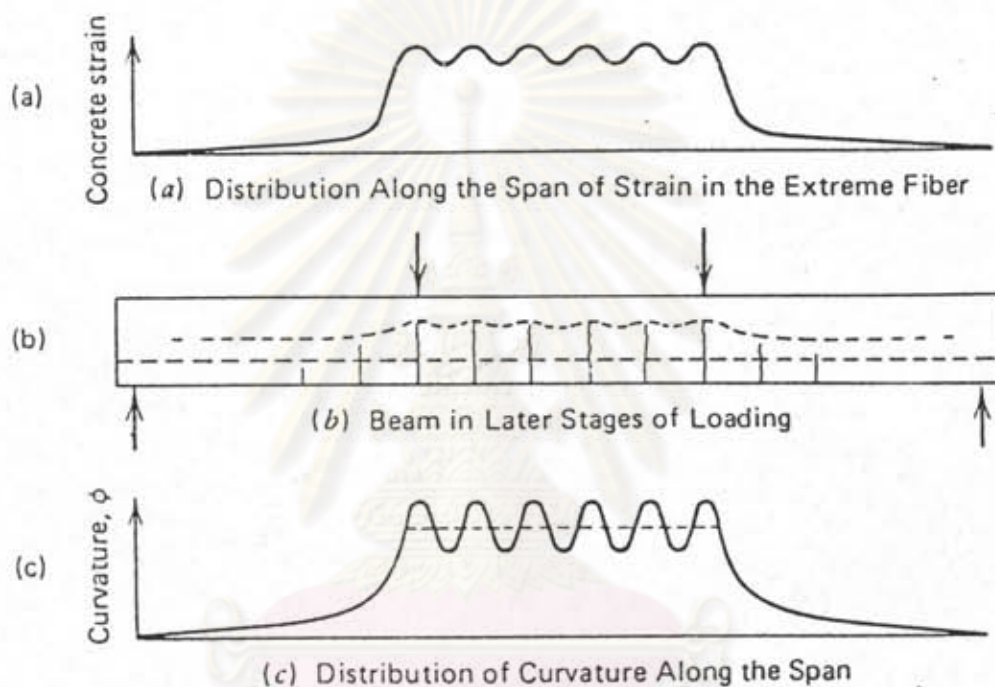
รูปที่ 2.5 แสดงการโก่งตัวและการแอ่นตัวของแผ่นพรีตริสซิ่งภายใต้หาความค้ม



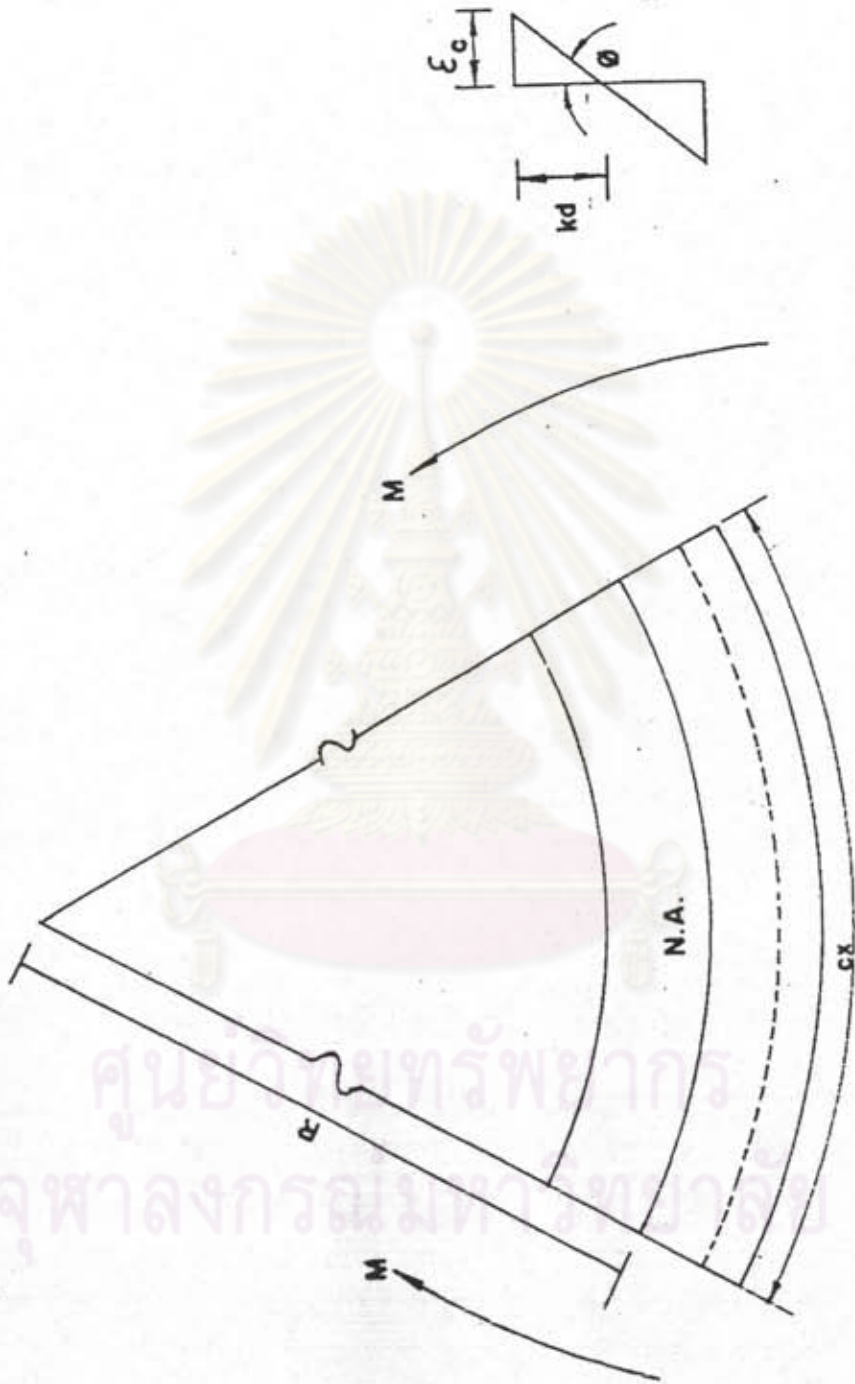
รูปที่ 2.6 แสดงการแจกแจงหน่วยแรงอัดในคอนกรีตเมื่อความเค้นในคอนกรีต
มีค่าสูงสุด ($\epsilon_c = 0.003$) ตามมาตรฐาน ACI

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

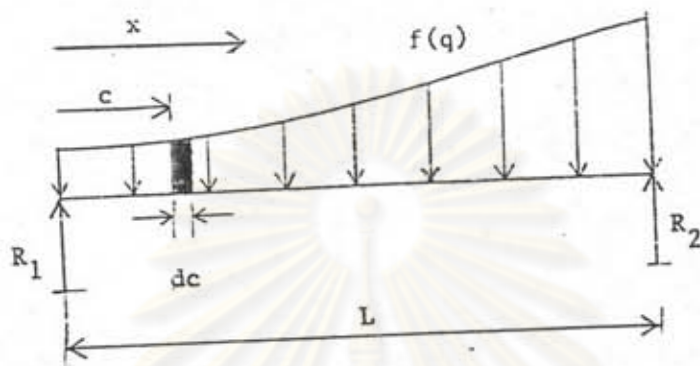
Analysis of Sections for Flexure



รูปที่ 2.7 แสดงความโค้งหลังการแตกร้าวของหน้าตัดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความโค้งสูงสุดที่หน้าตัดแตกร้าวและความโค้งต่ำสุดที่หน้าตัดซึ่งอยู่ระหว่างรอยแตกร้าว

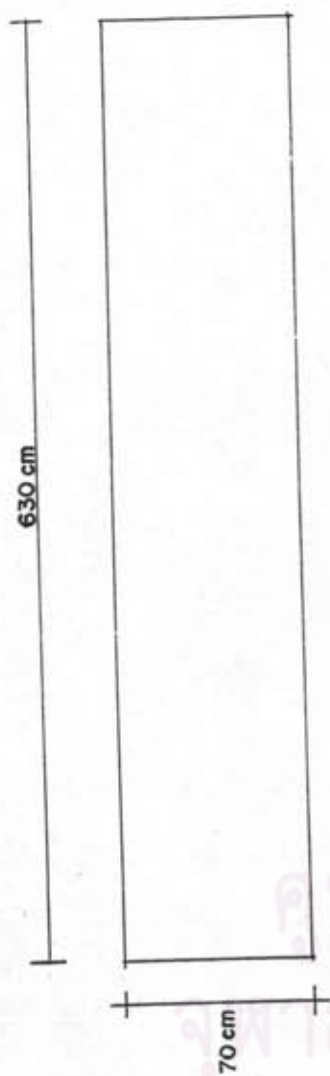


รูปที่ 2.8 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์, เหนือ และค่าความโค้ง

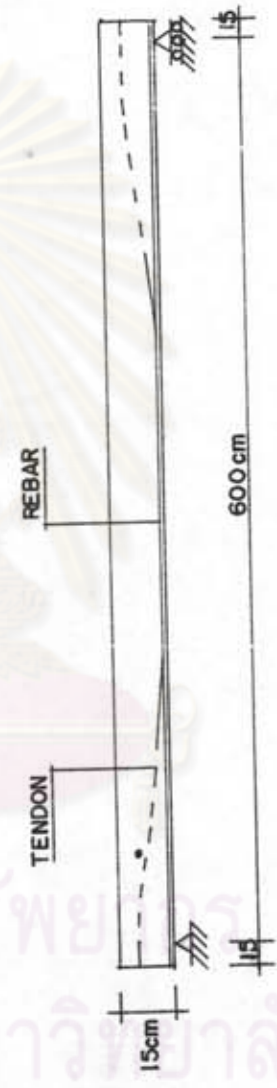


2.9 คำนวณอย่างง่ายรับน้ำหนักแบบกระจายใด ๆ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



PLAN



ELEVATION

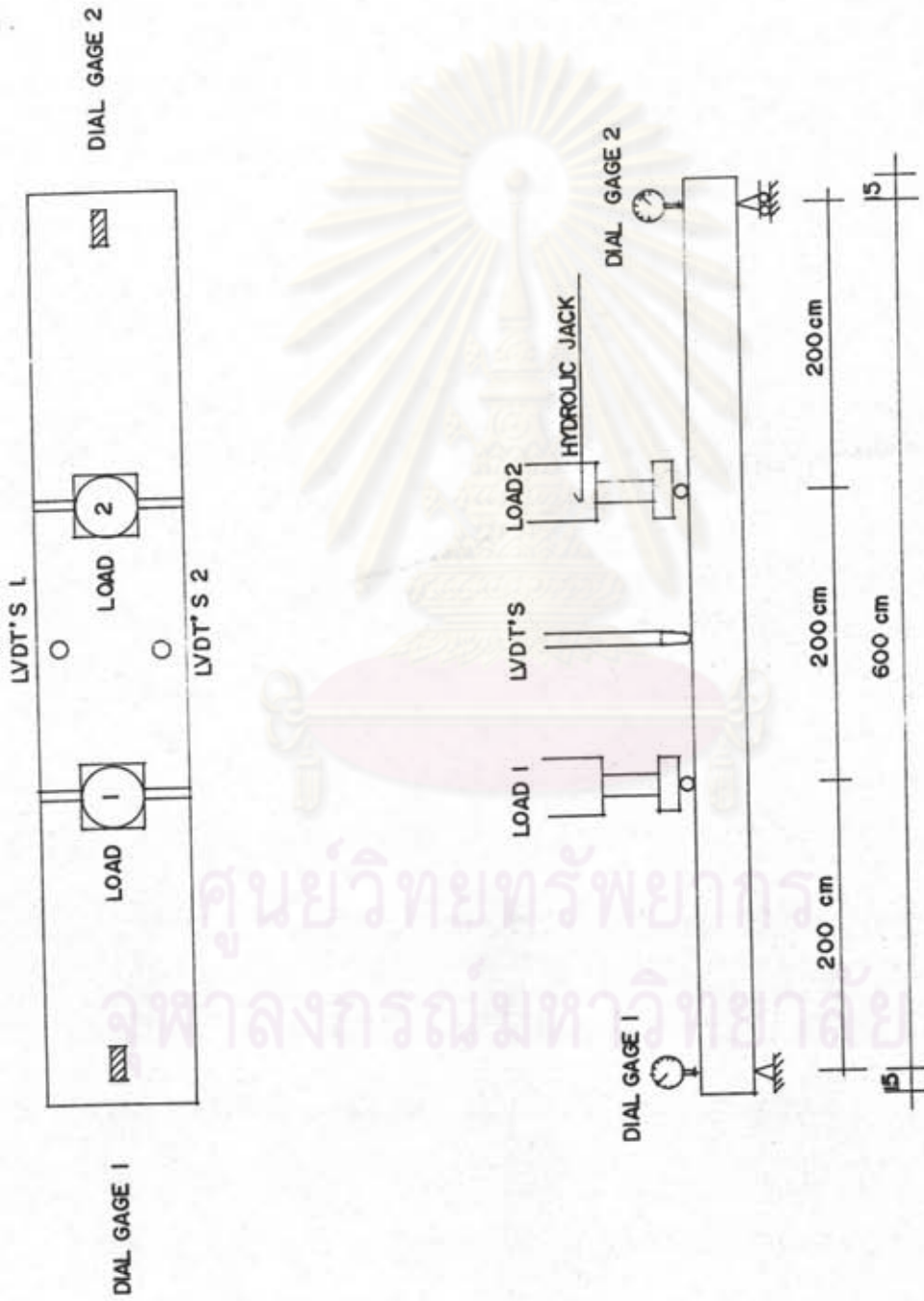


● UNBONDED - TENDON

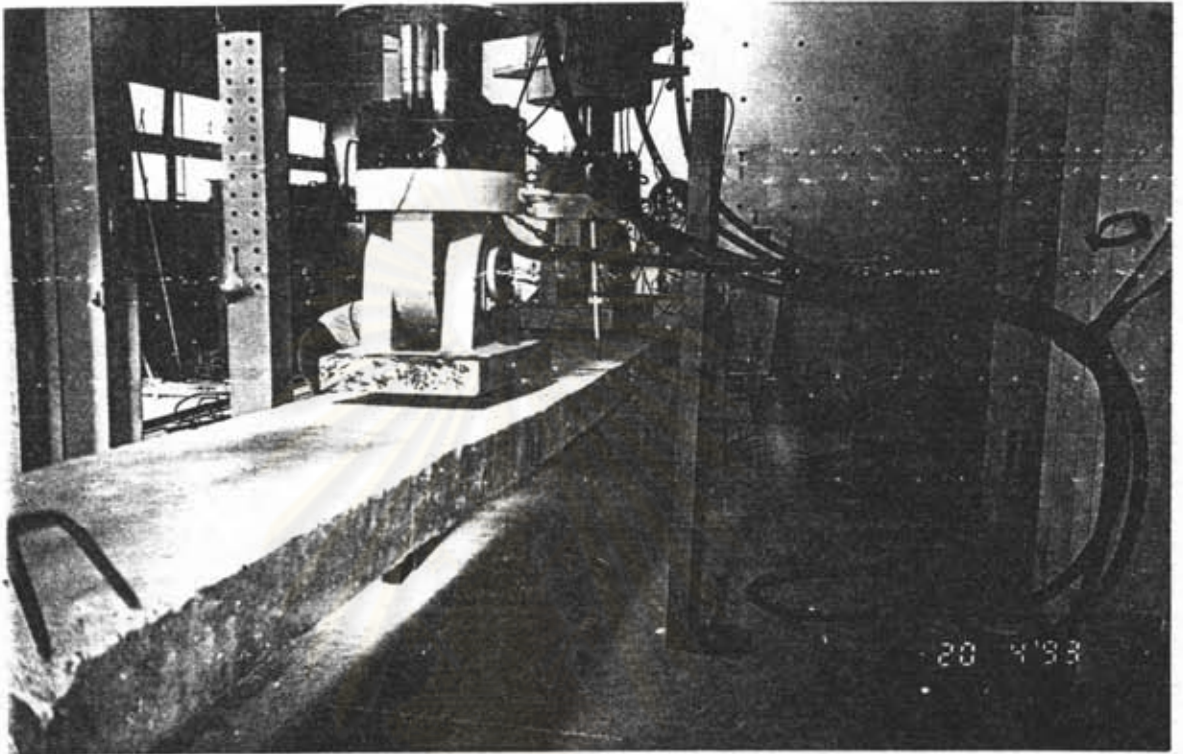
x REBAR

SECTION

รูปที่ 3.1 ลักษณะของตัวช่างและภาพเสริมเหล็ก

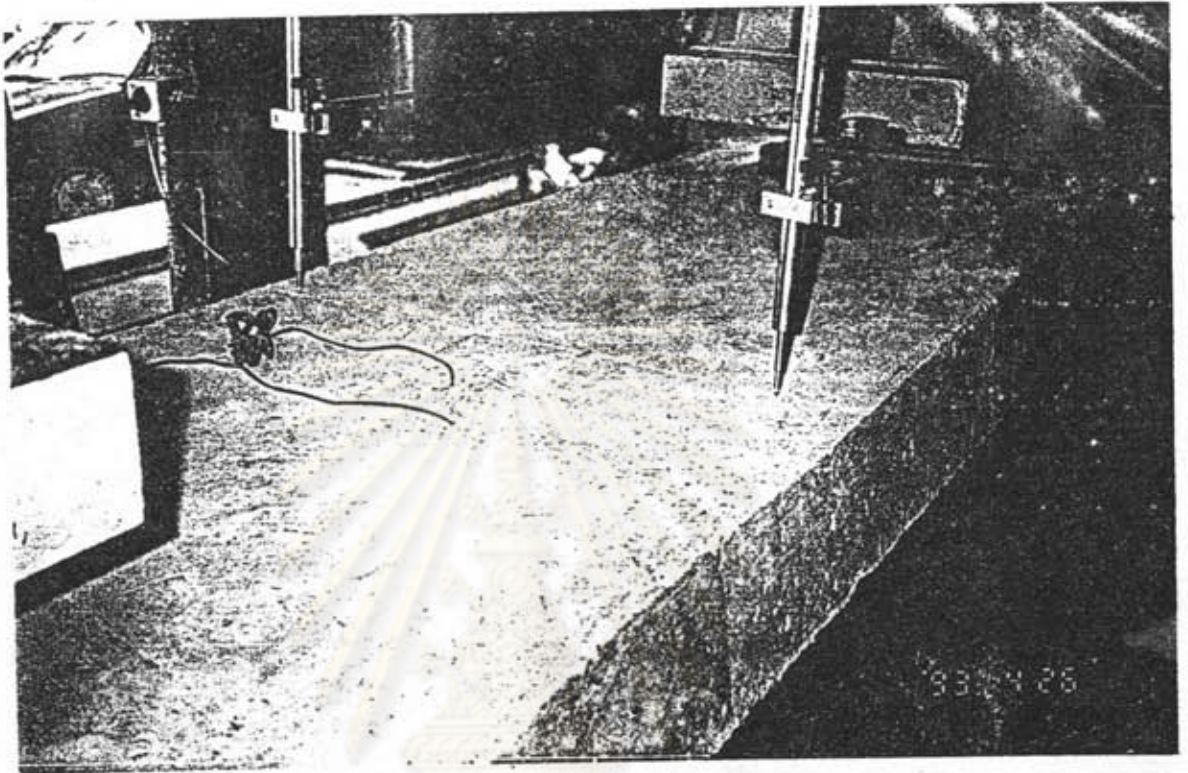


รูปที่ 3.2 แสดงลักษณะการติดตั้งเพื่องมอกำเข้าในการทดสอบ



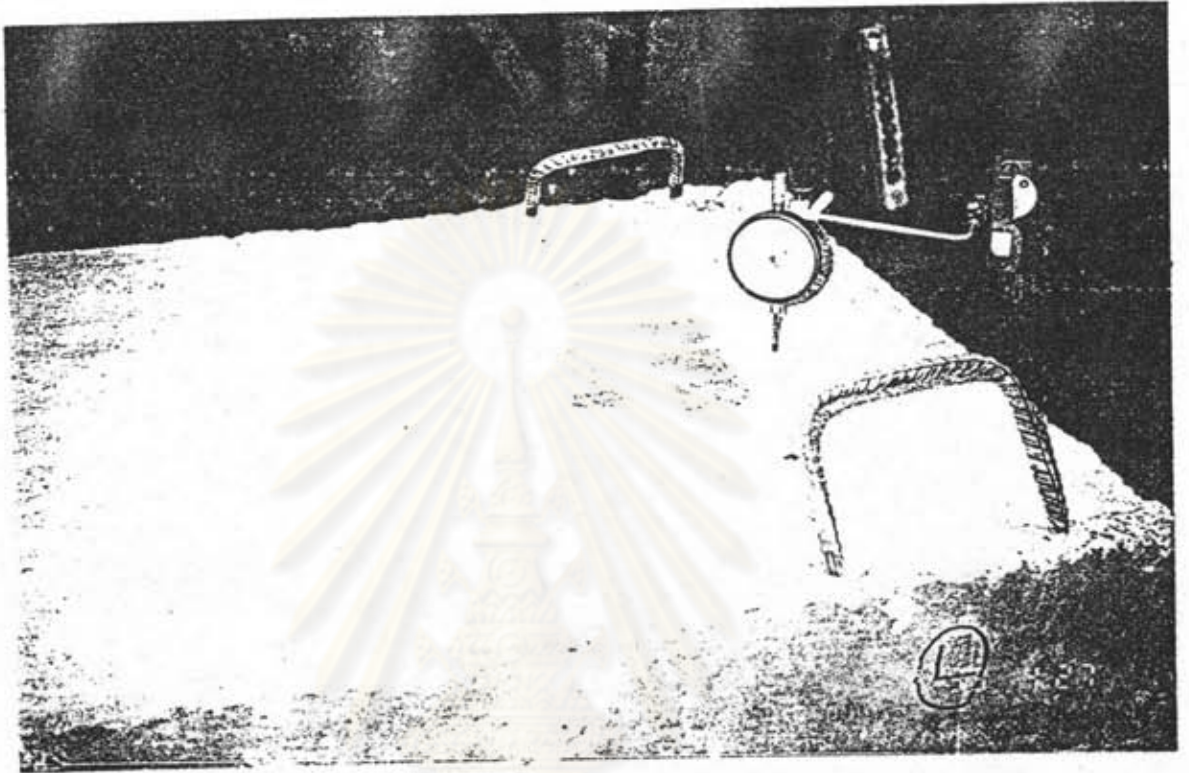
รูปที่ 3.3 เครื่องกวดน้ำหนักแบบไฮดรอลิกที่ใช้ในงานวิจัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



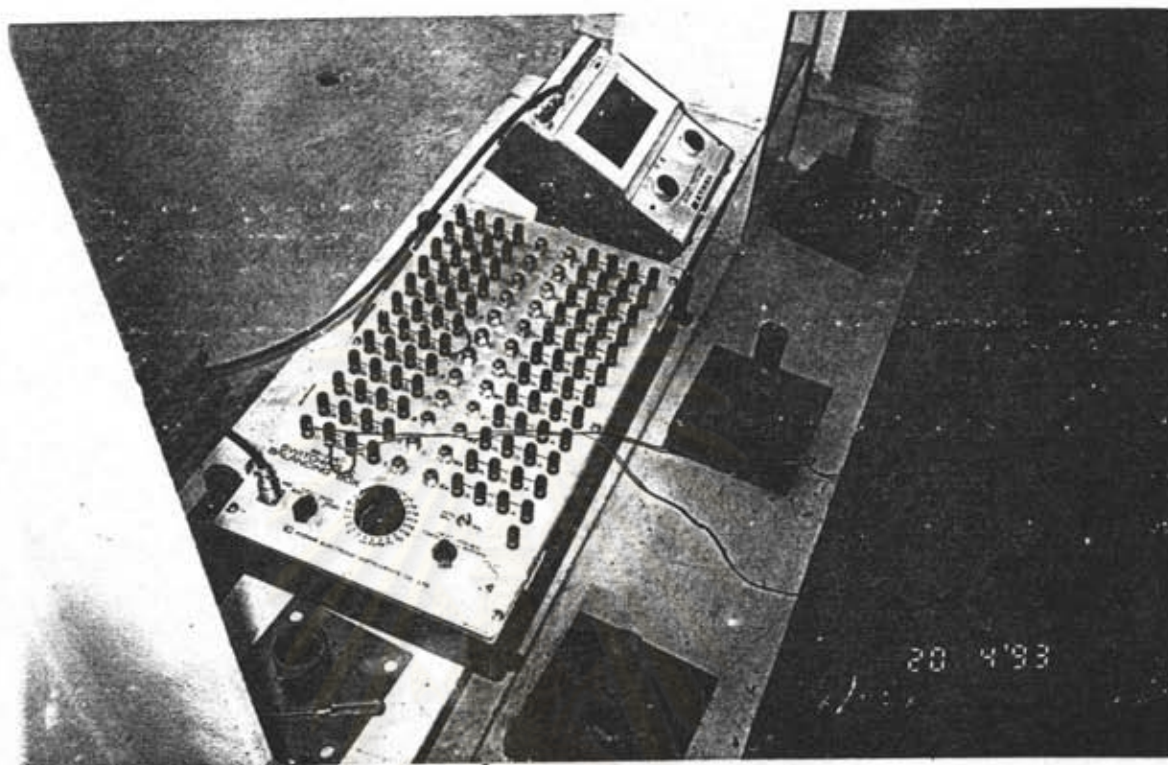
รูปที่ 3.4 เครื่อง LVDT's (LINEAR VARIABLE DISPLACEMENT TRANSDUCERS)
สำหรับวัดการเปลี่ยนระยะในแนวดิ่ง แบบใช้ไฟฟ้า

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



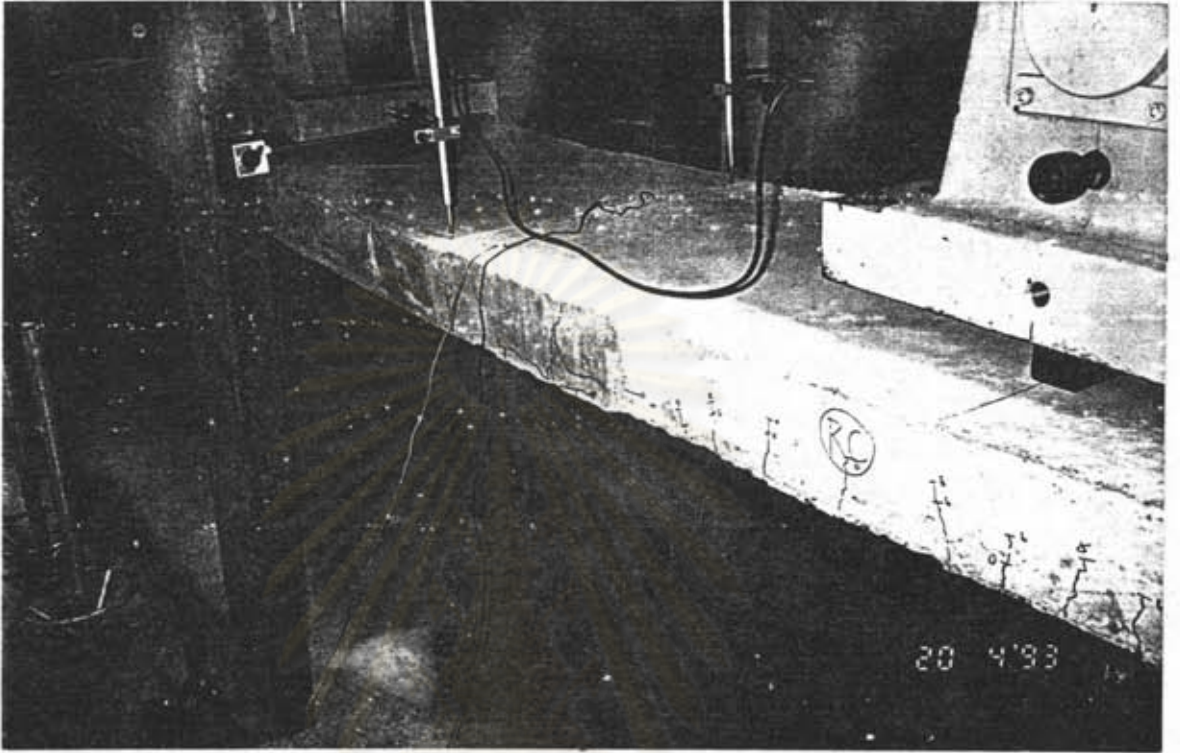
รูปที่ 3.5 ติดตั้ง DIAL GAGE บริเวณจุดรองรับเพื่อวัดค่าการทนต์ัว

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



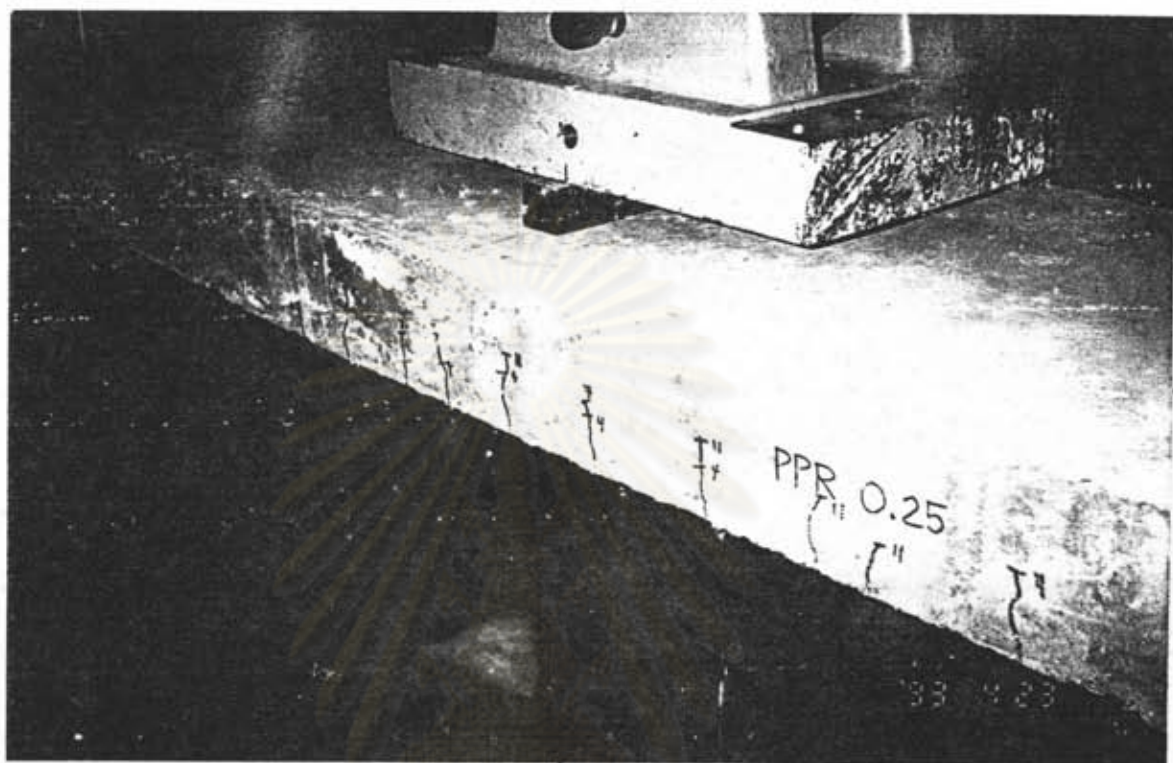
รูปที่ 3.6 เครื่องอ่านค่าความเครียด (STRAIN INDICATOR) และ
กล่องสวิตช์ (SWITCH BOX)

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



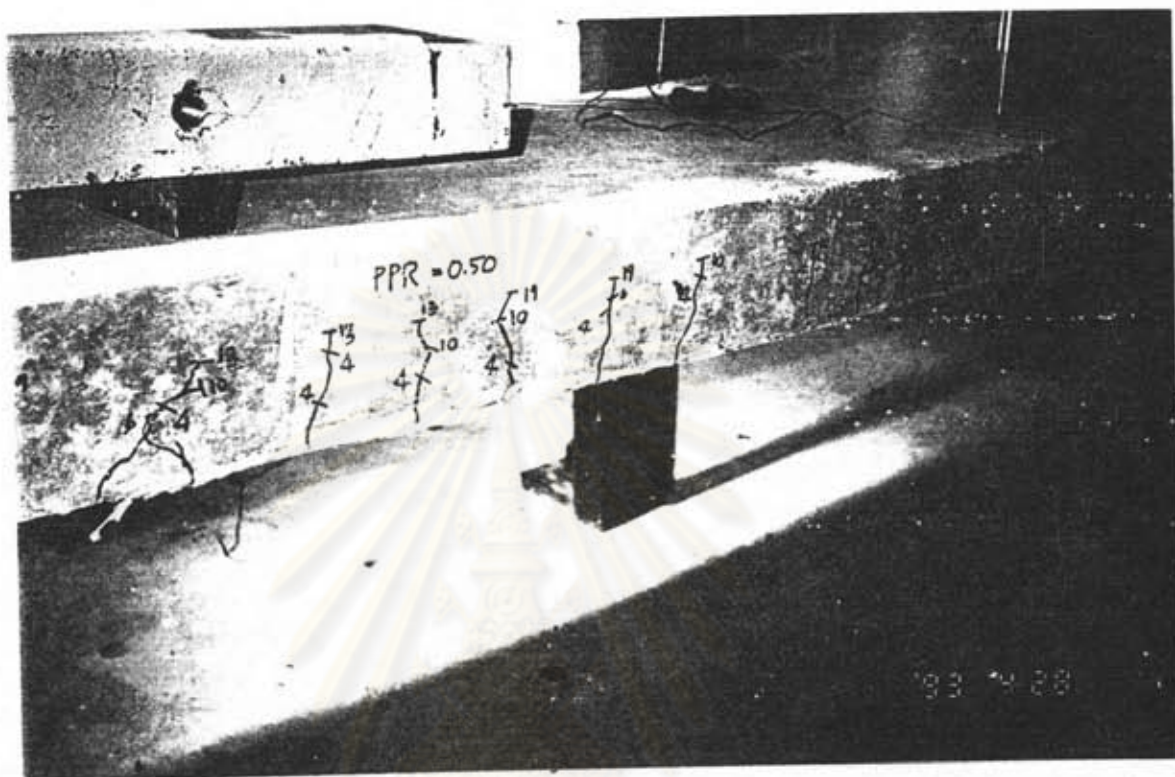
รูปที่ 3.7 ตัวอย่าง SPP1 ขณะทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



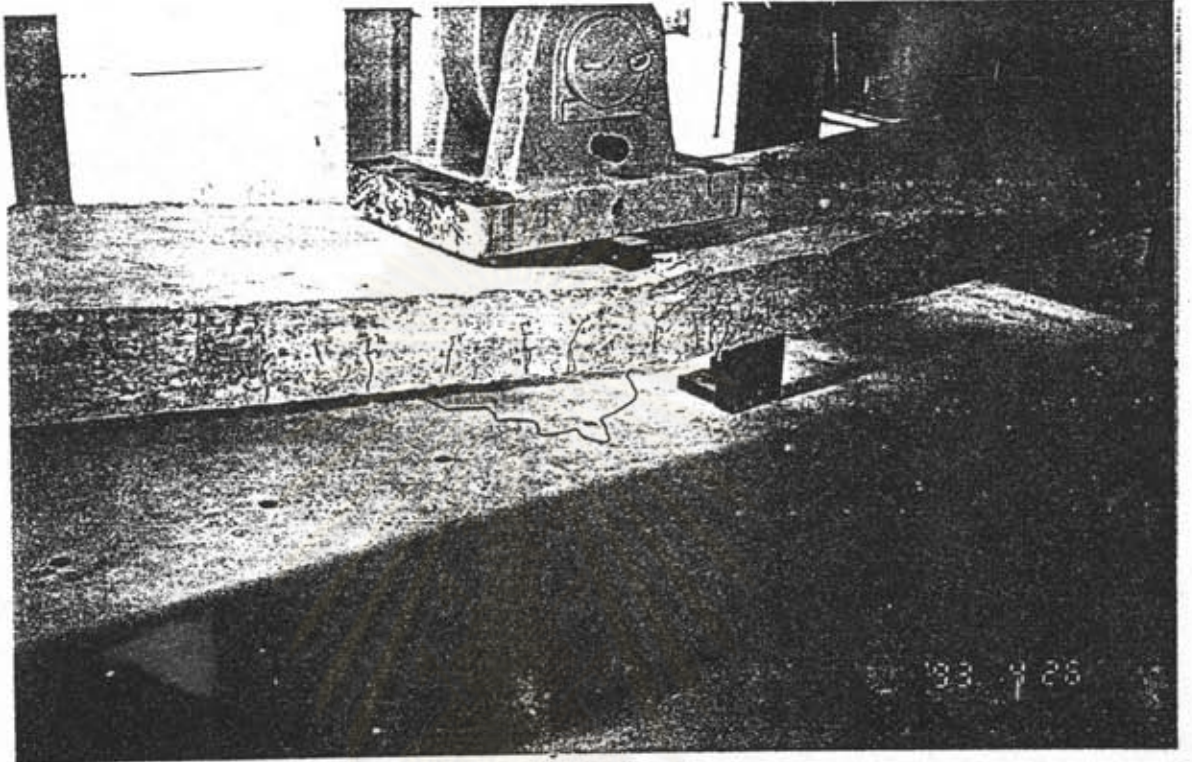
รูปที่ 3.8 ตัวอย่าง SPP2 ขณะทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



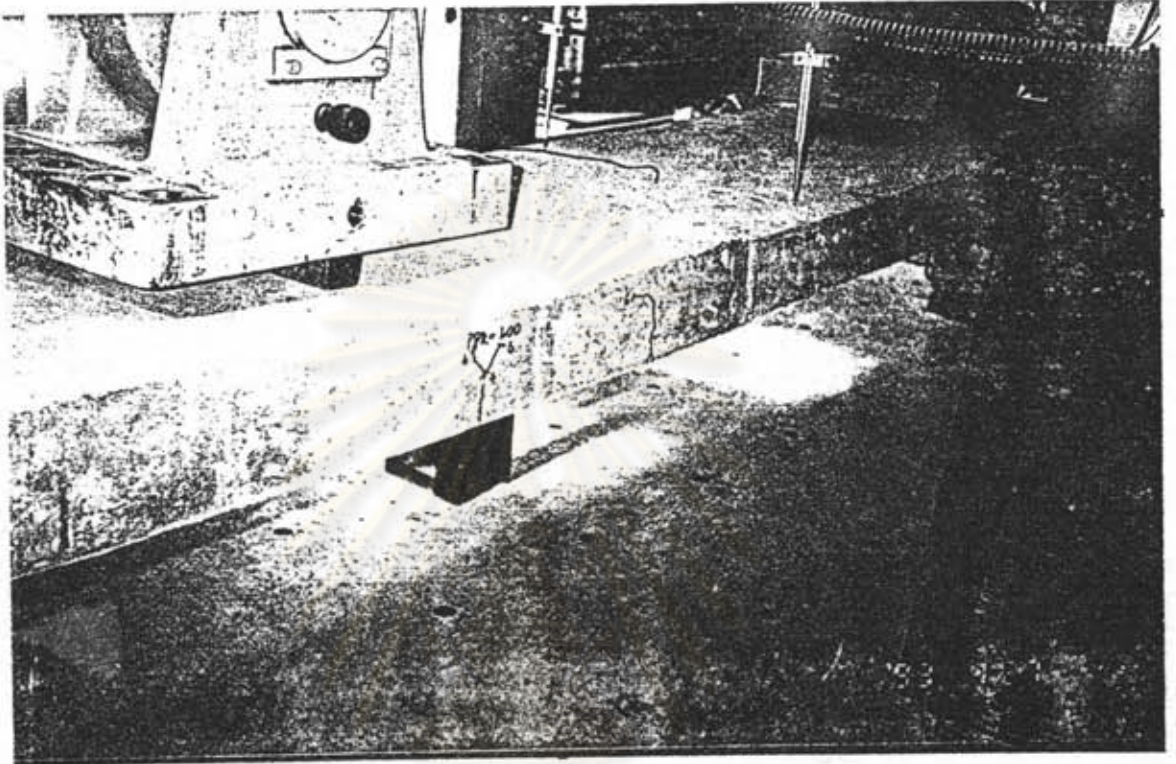
รูปที่ 3.9 ตัวอย่าง SPP3 ระยะเวลาสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.10 ตัวอย่าง SPP4 ขณะทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.11 ตัวอย่าง SPP5 ขณะทดสอบ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.12 ลักษณะรอยร้าวและการวิบัติ ของค้ำล่าง SPP1

ศูนย์วิจัยทางการแพทย์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.13 ลักษณะรอยร้าวและกาวิบัติ ของค้ำล่าง SPP2

ศูนย์วิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ 3.14 ดักชะรอยร้าวและกาวิบัติ ของค้ำยัน SPP3

ศูนย์วิศวกรรมศาสตร์
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



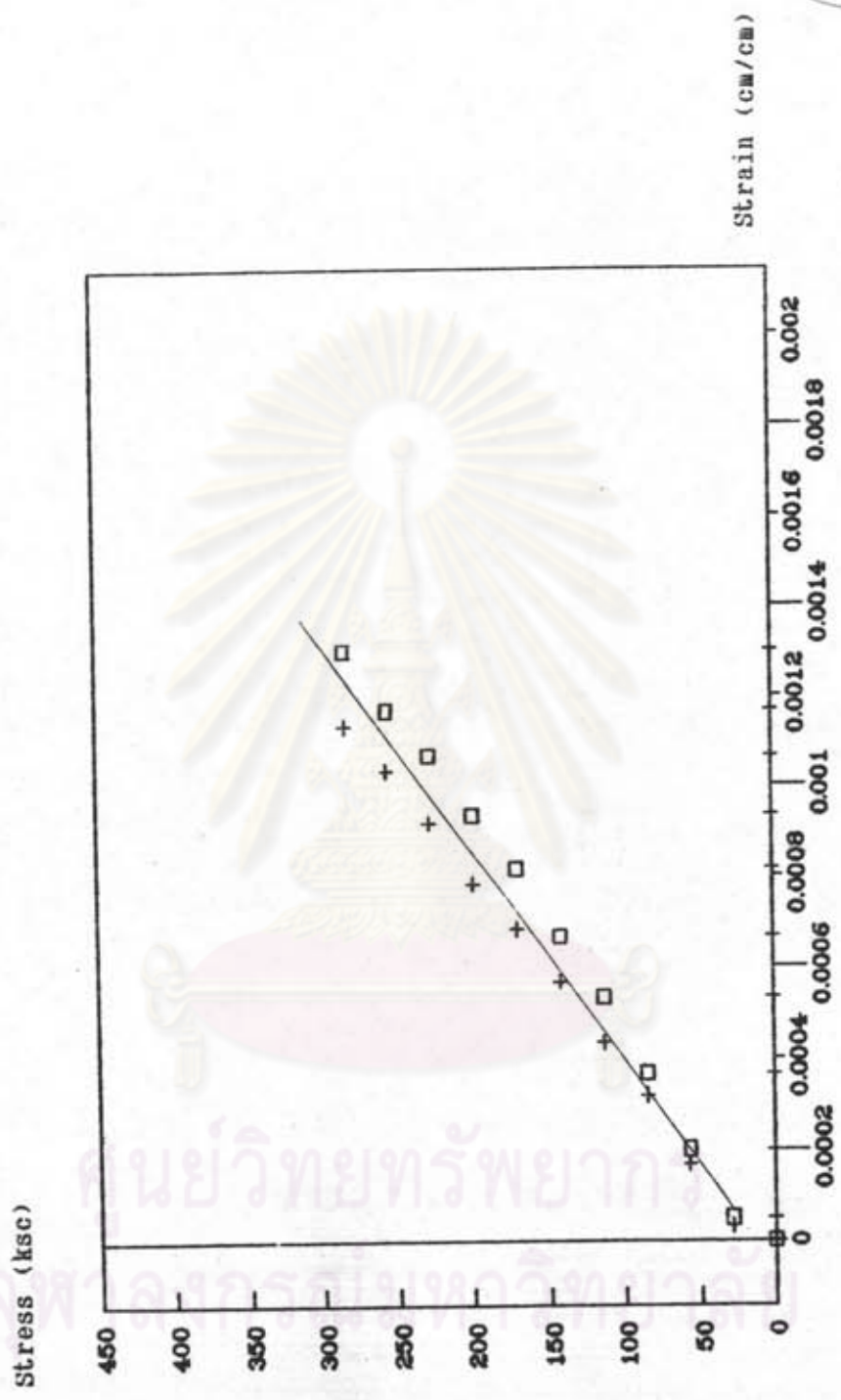
รูปที่ 3.15 ลักษณะข้อม้วนและภาวะวิกฤติ ของค้ำยัน SPP4

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

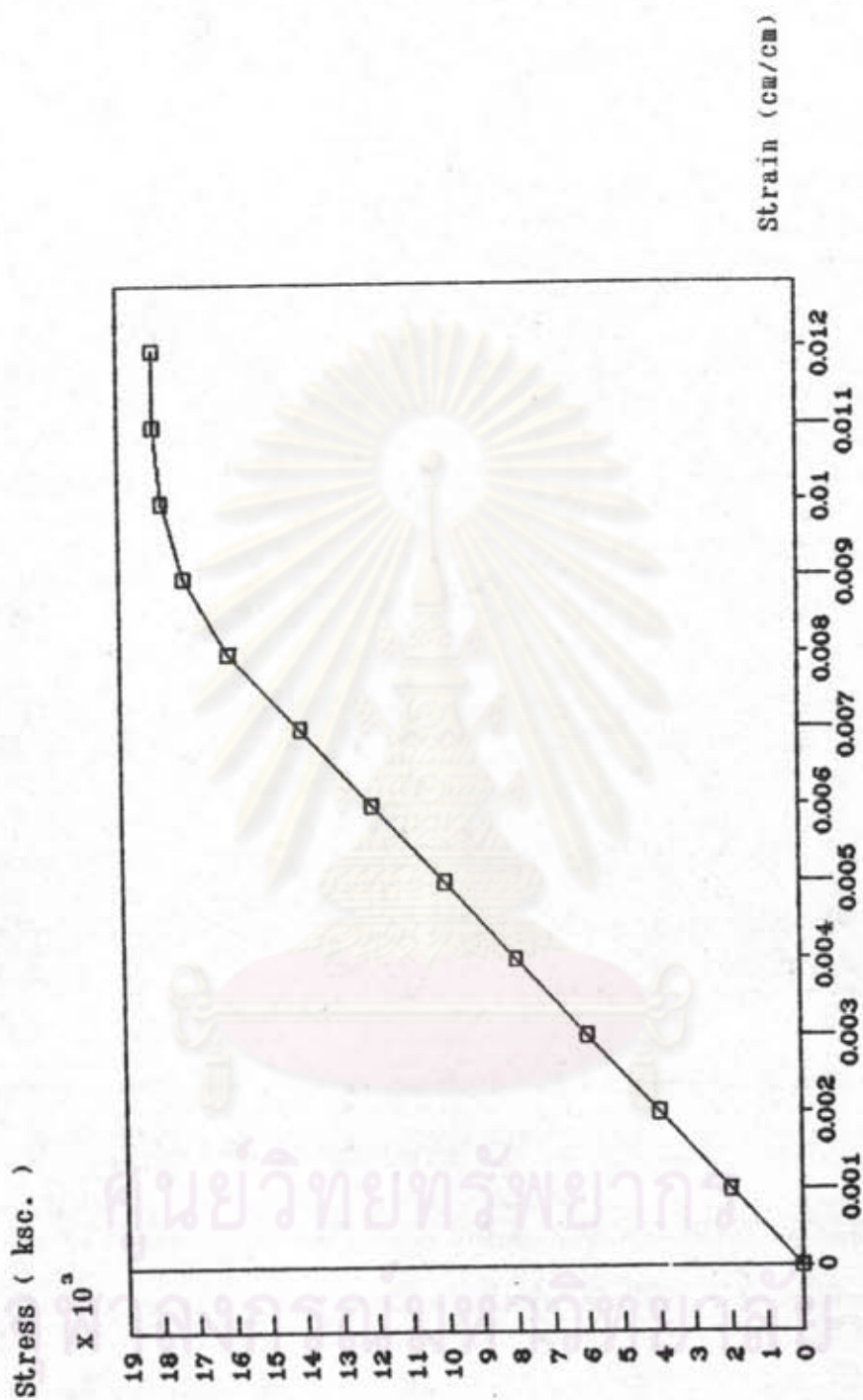


รูปที่ 3.16 ลักษณะร้าวและการวิบัติ ของค้ำย้ง SPP5

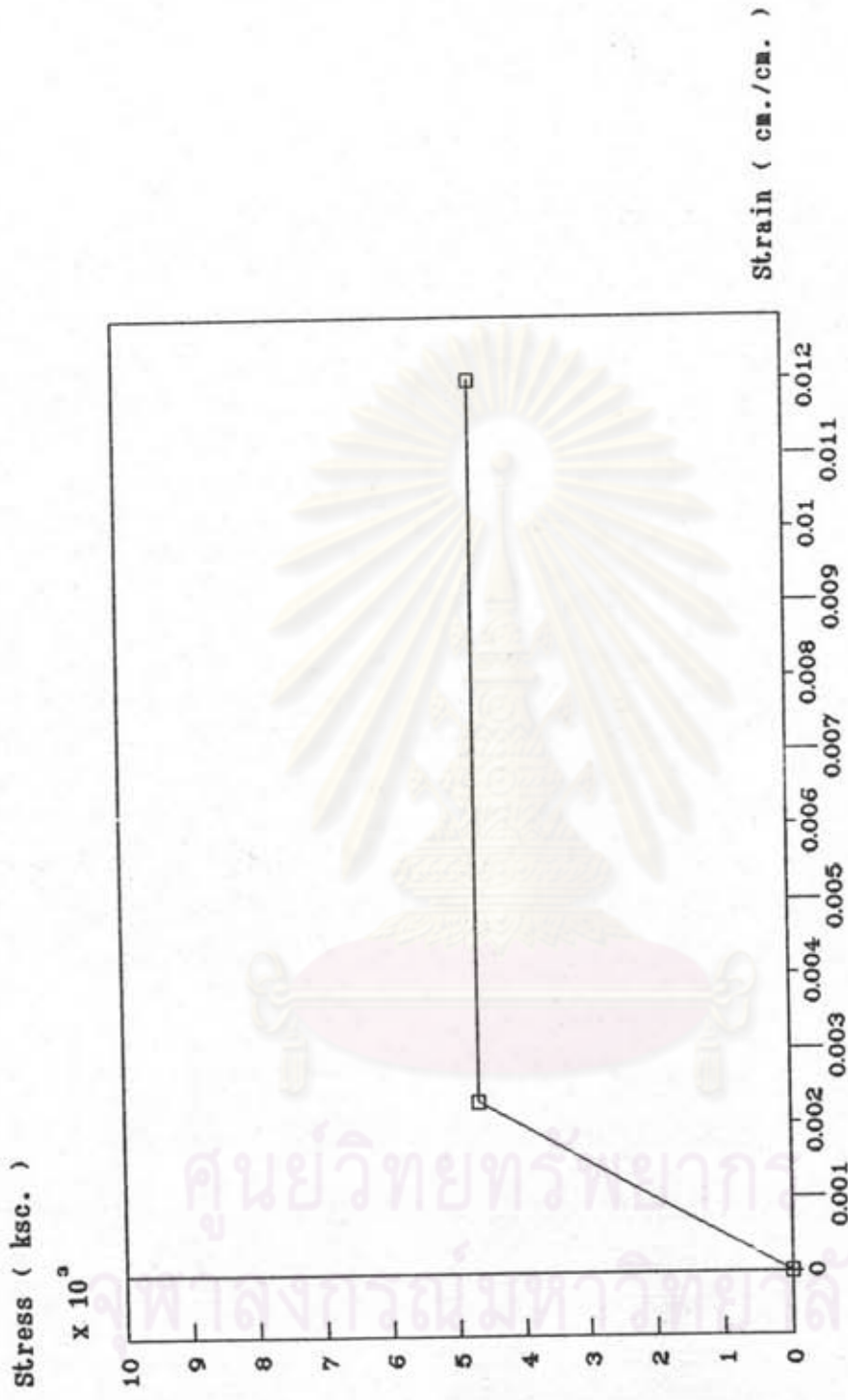
ศูนย์วิทยพัรพยากร
จุฬาลงกรณมหาวิทาลัย



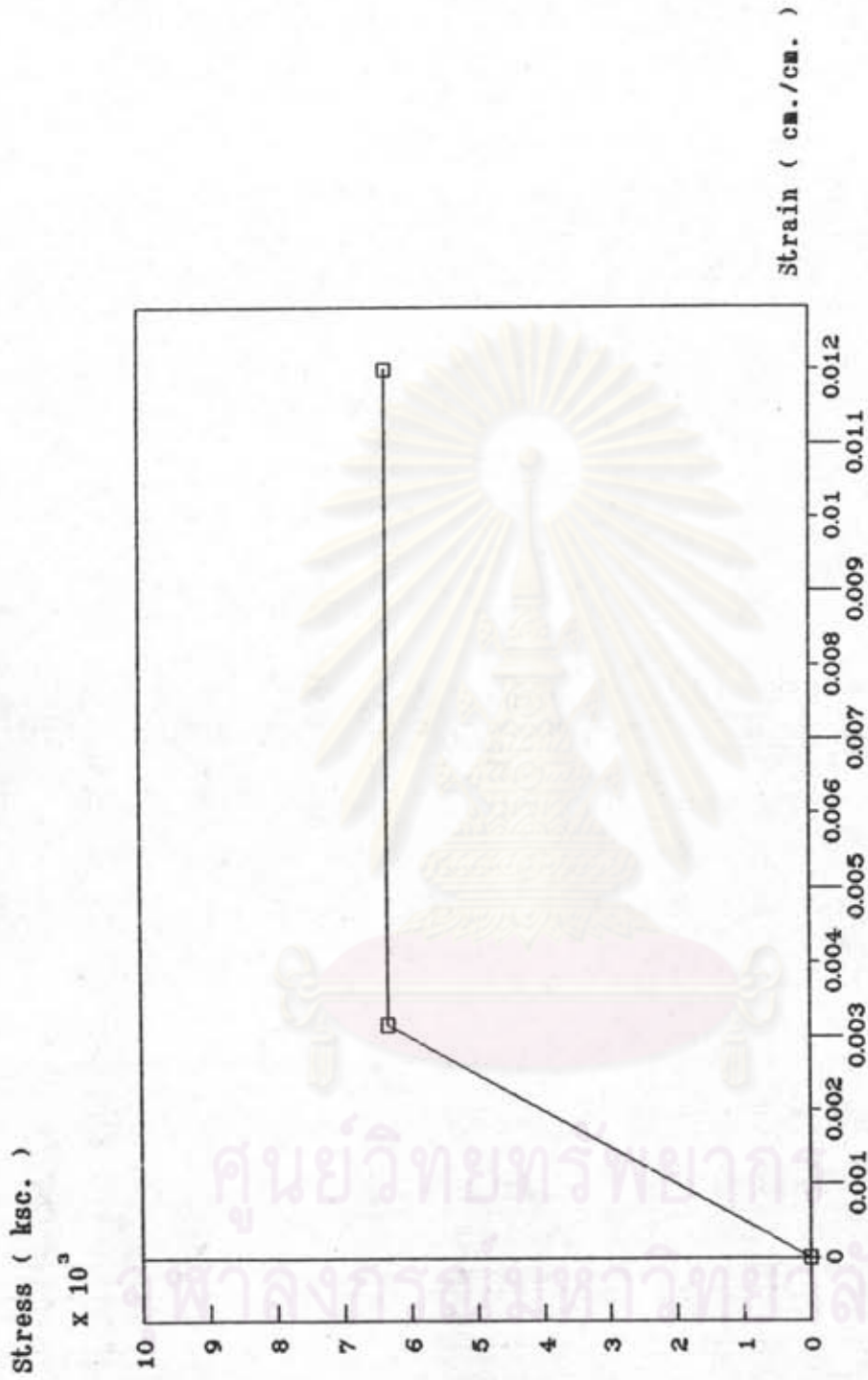
รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่าง หน่วยแรงกับแรงยืด และ ความเหี่ยของคอนกรีตปอร์ตแลนด์



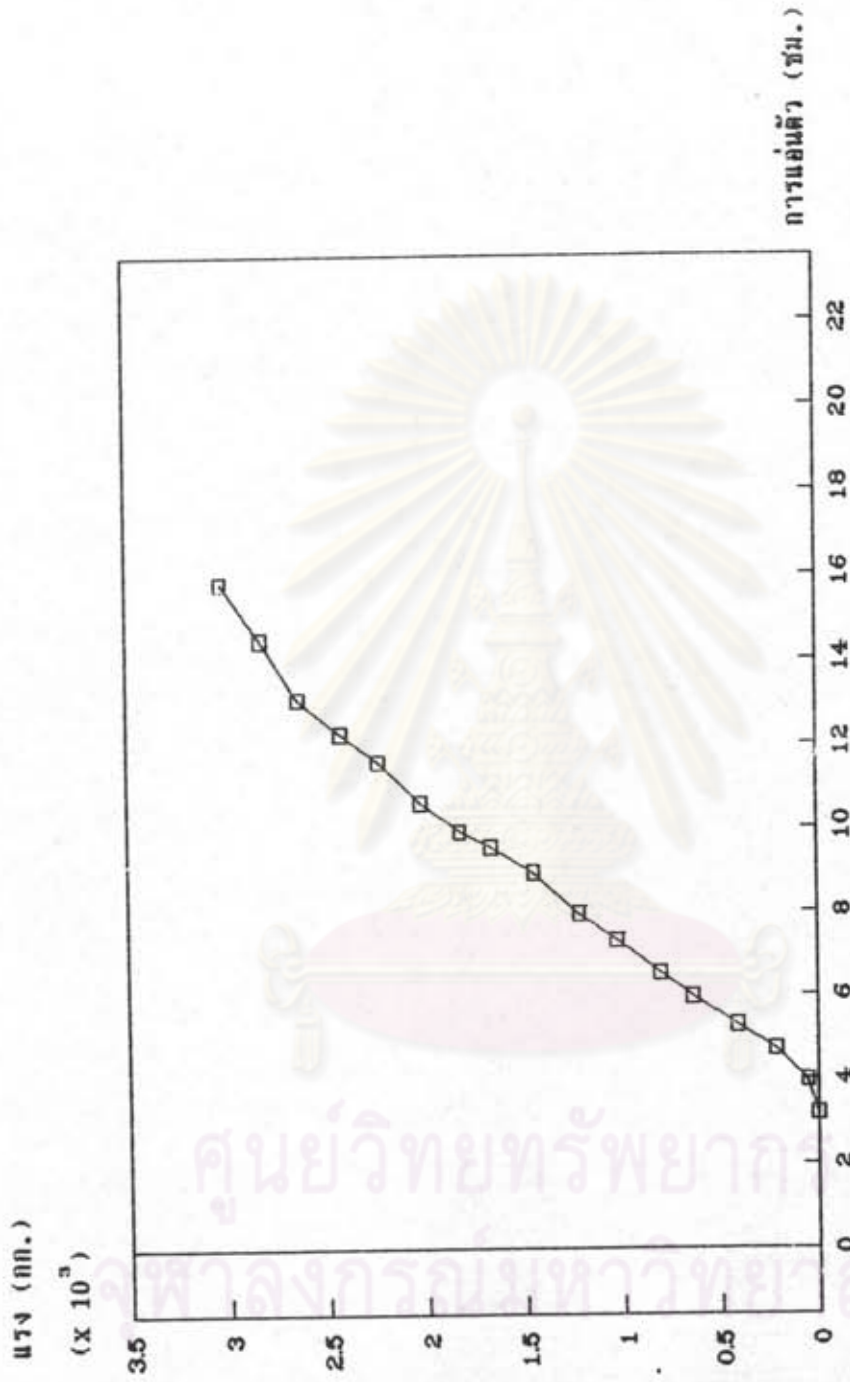
รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่าง และ ความเค้นของทendon



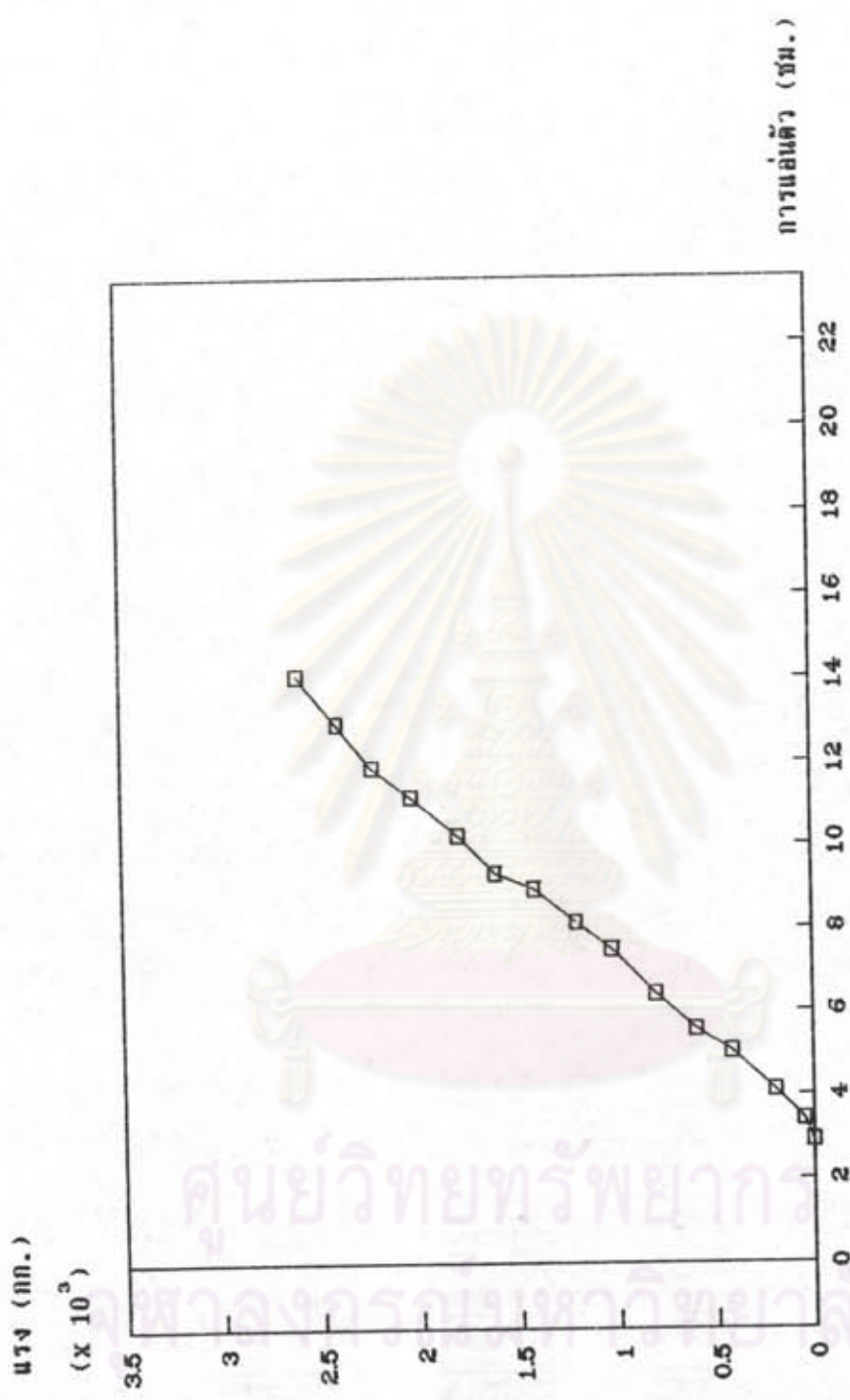
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเค้นของเหล็กเส้น DB 12 มม.



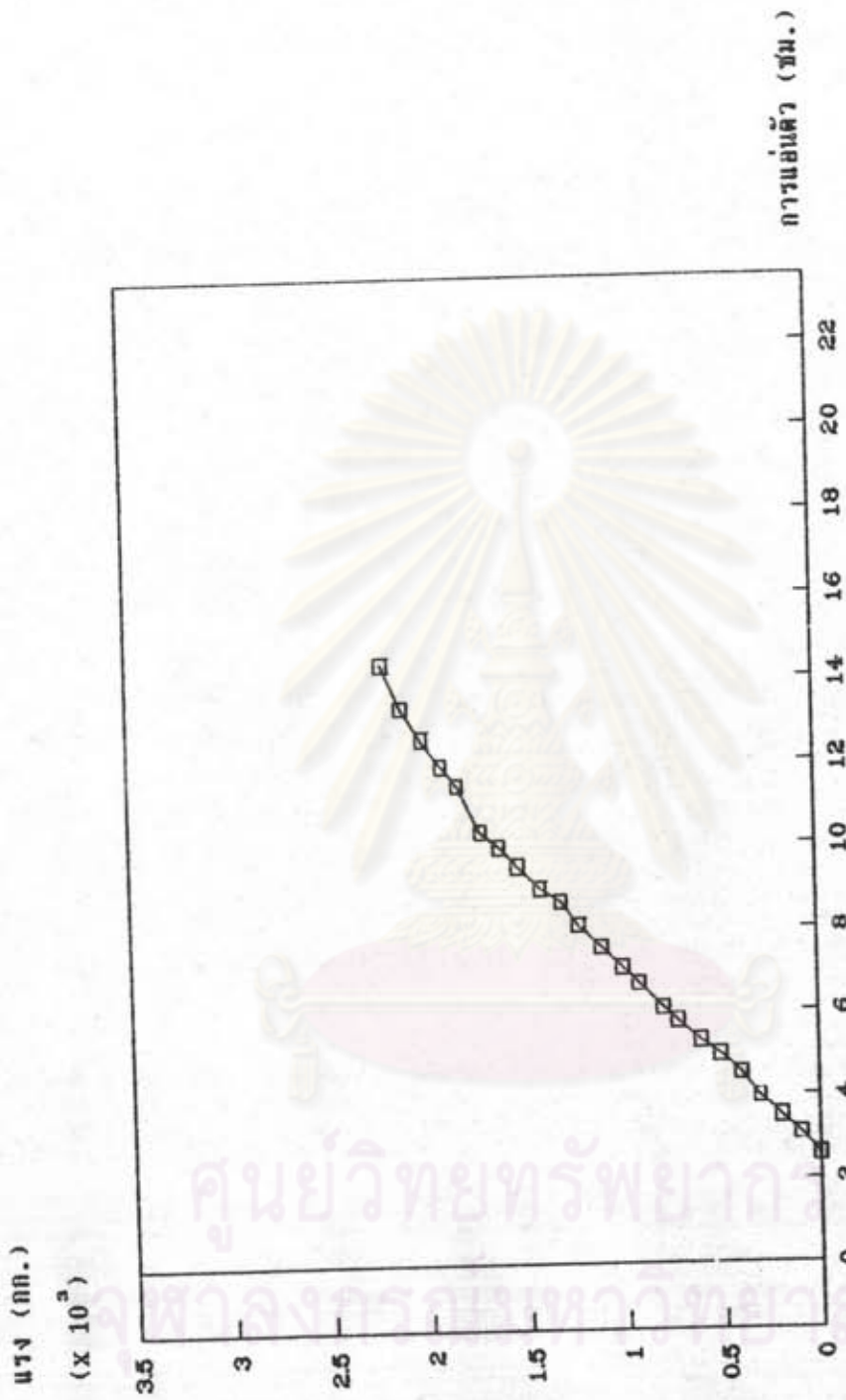
รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเค้นของเหล็กเส้น DB 16 มม.



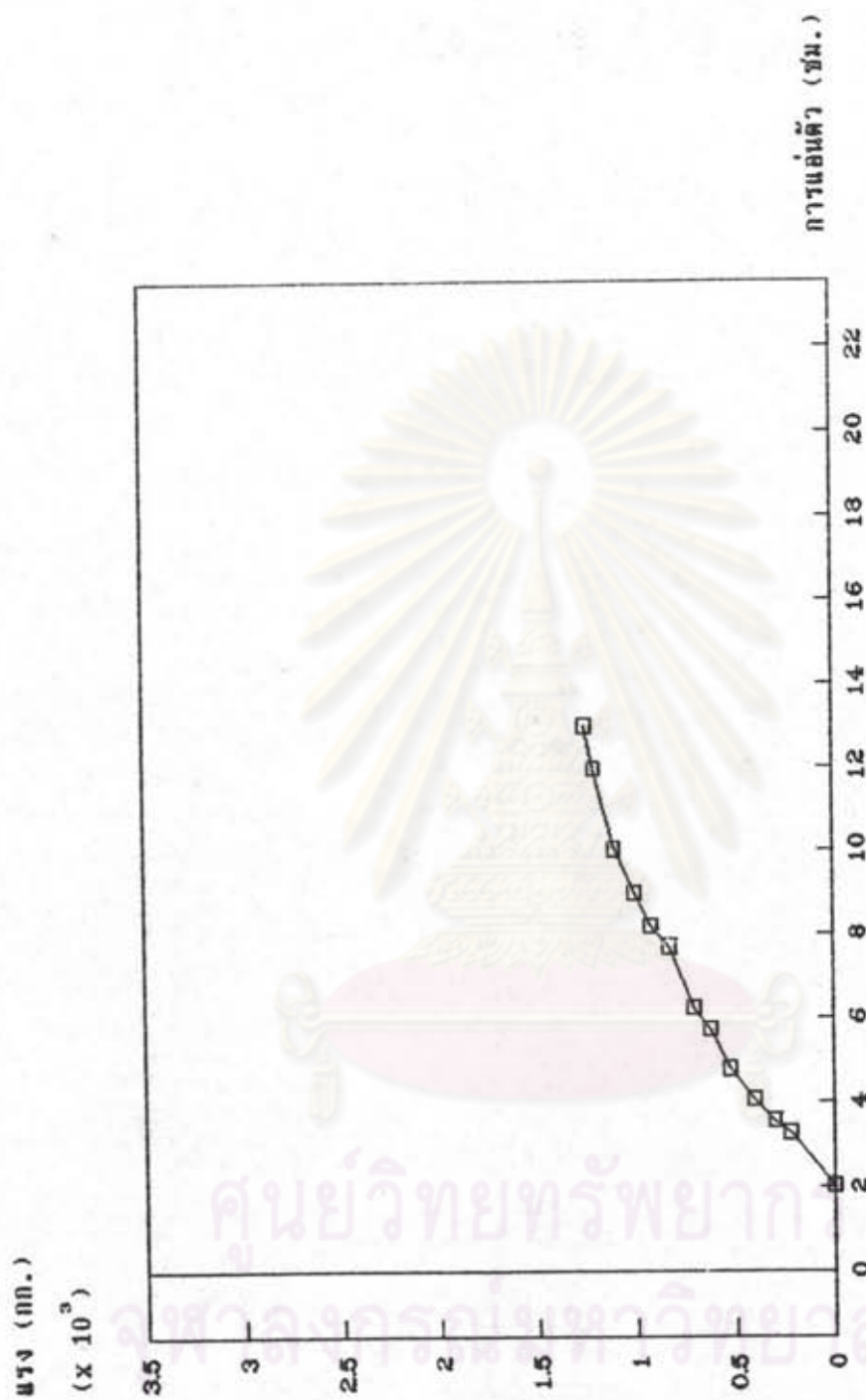
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรง และการแผ่ตัวของวัสดุของตัวอย่าง SPP1



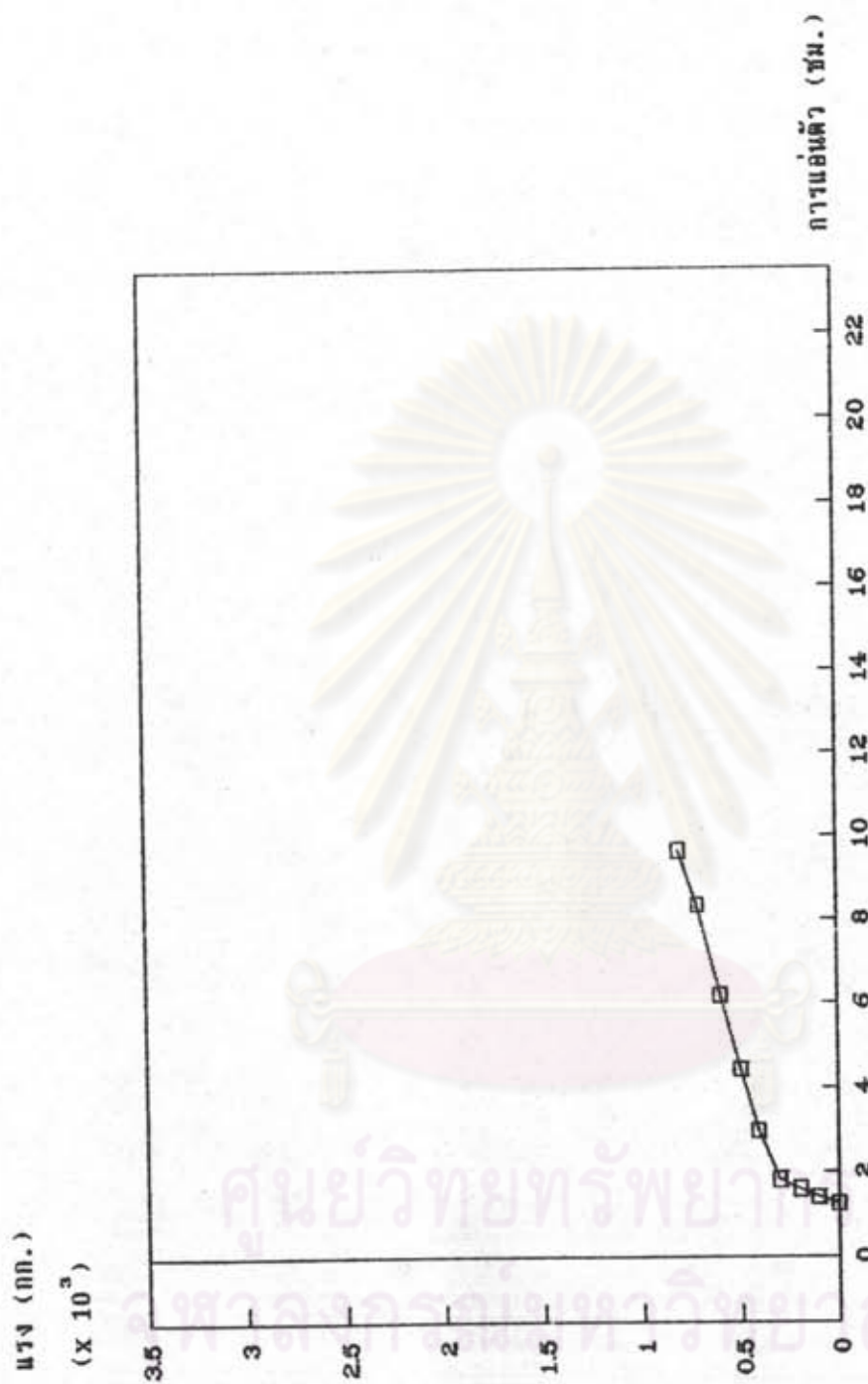
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแผ่คลื่นของตัวนำ SPP2



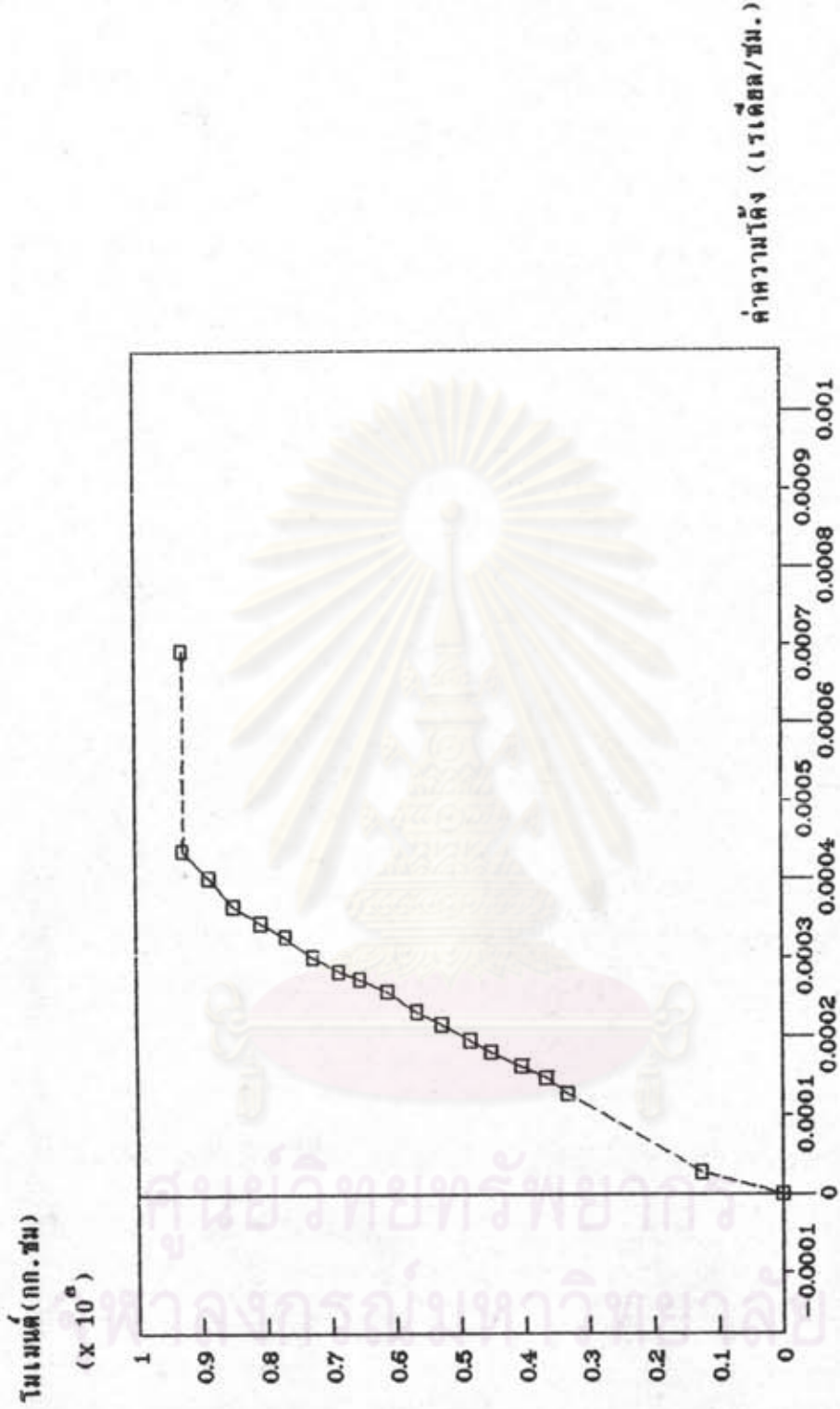
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแผ่ความร้อนของตัวนำไฟฟ้าของตัวนำ SPP3



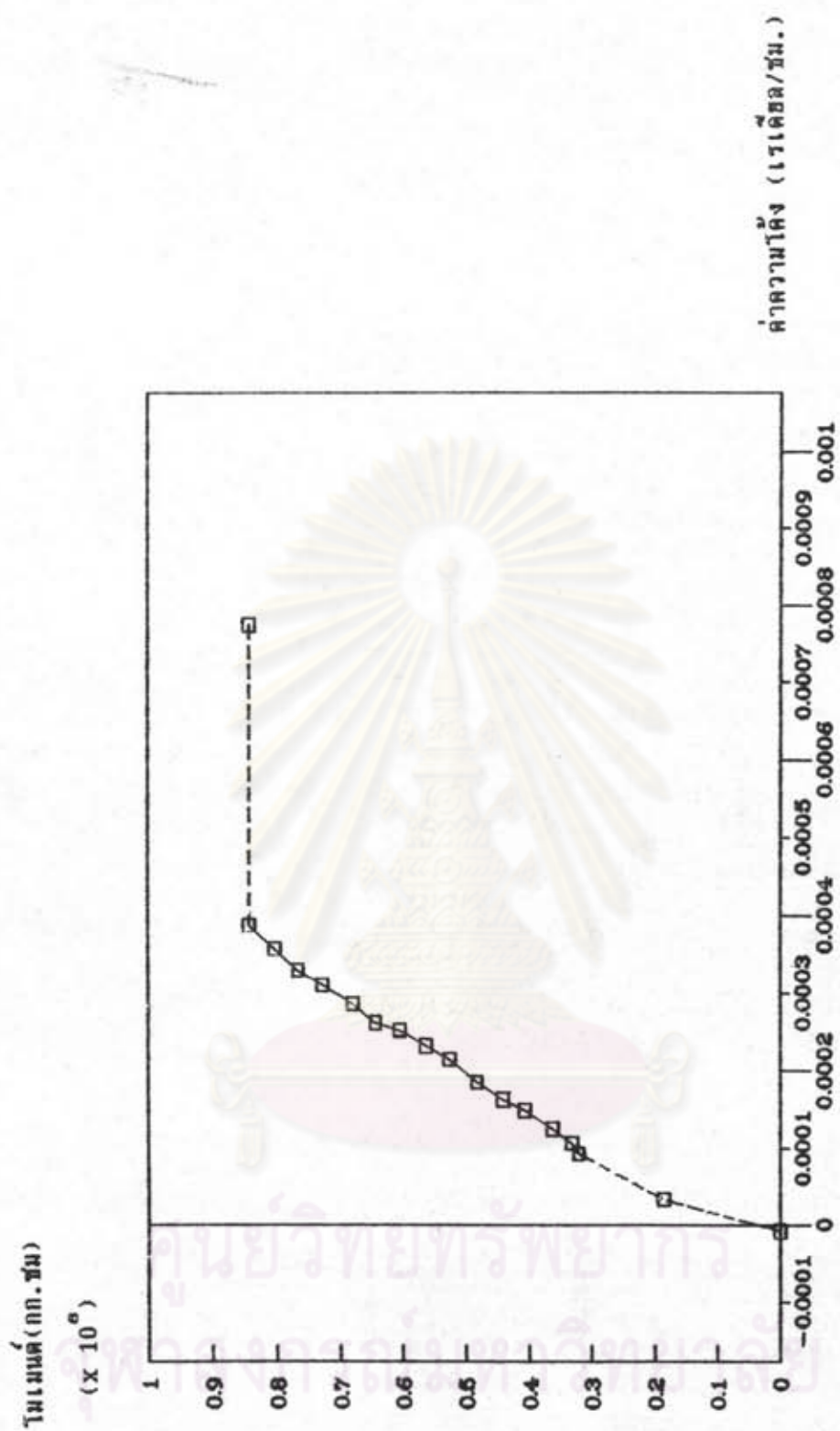
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแผ่ตัวของตัวอย่าง SPP4



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแผ่ตัวของตัวตัวอย่าง SPP5

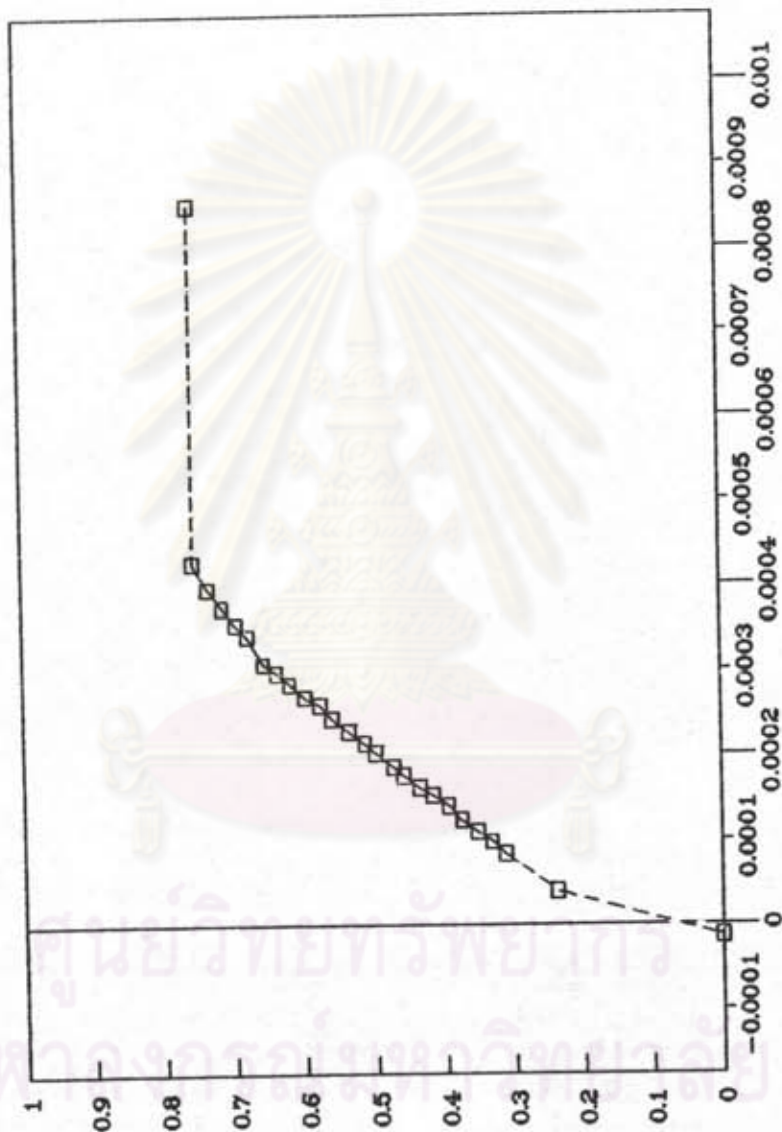


รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างไซเคิล และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP1



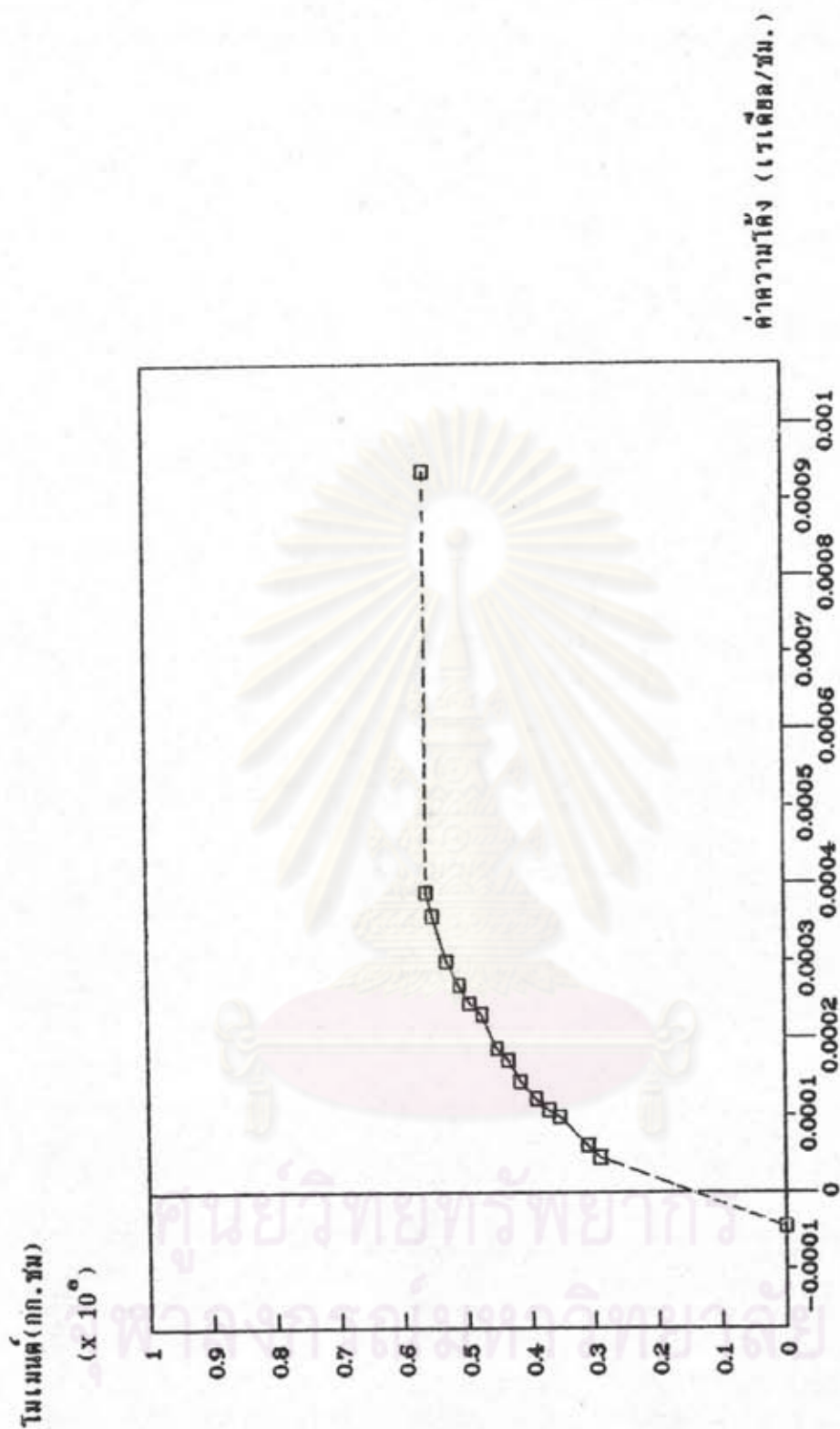
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโทเมนต์ และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP2

โตนเมนต์ (กก. ซม.)
($\times 10^6$)

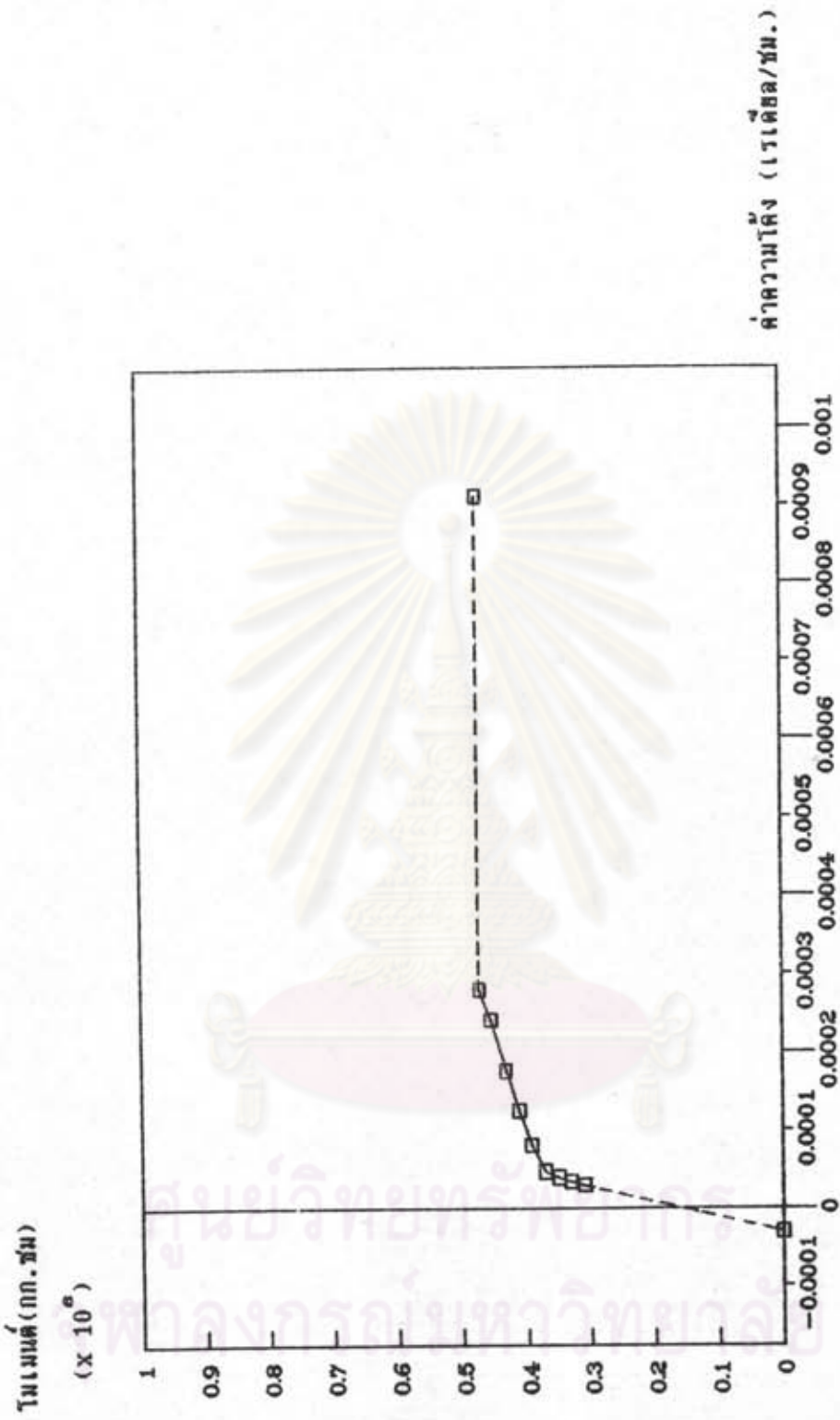


ค่าความโค้ง (เทคิล/ซม.)

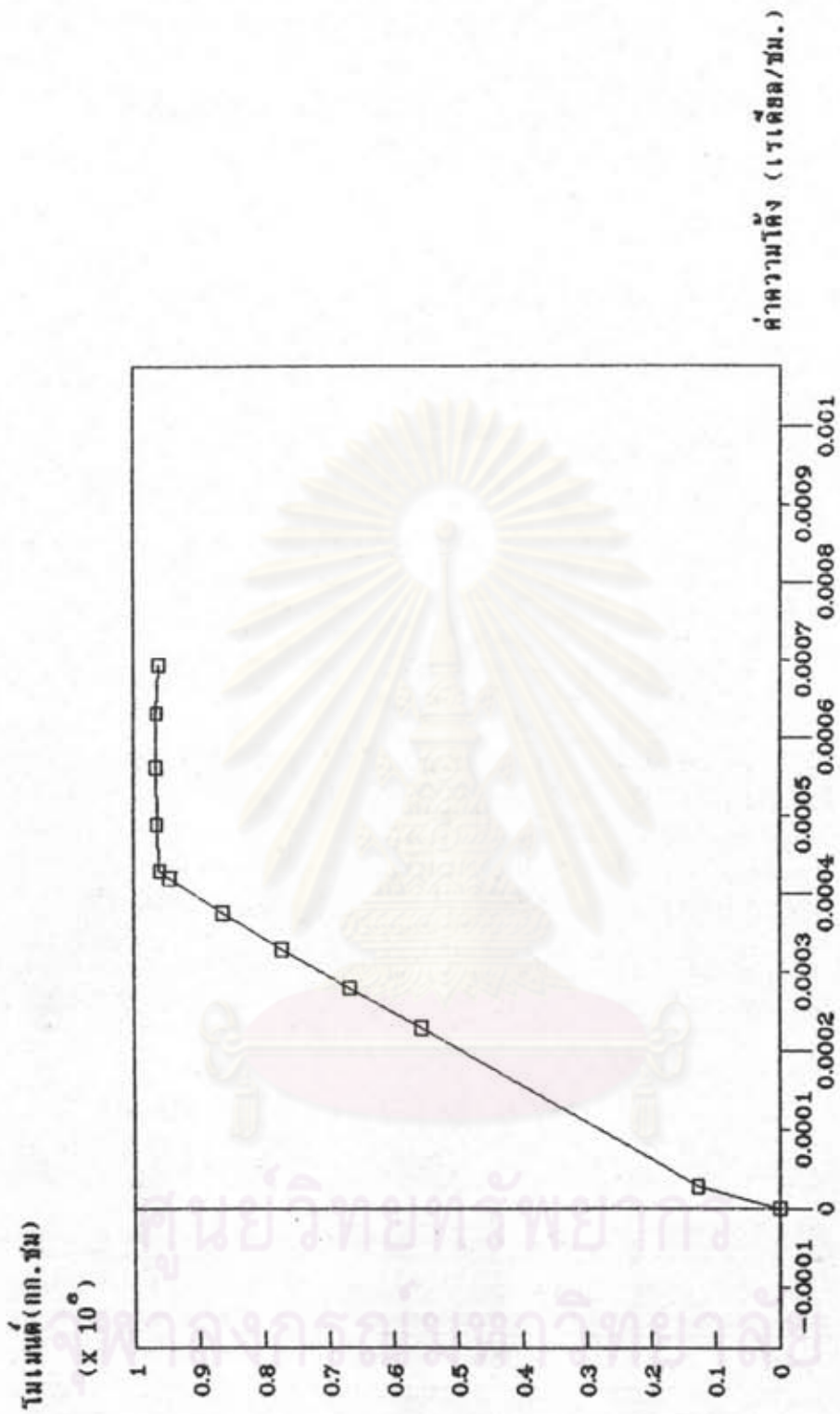
รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างโตนเมนต์ และค่าความโค้งที่ได้จากภาคต่อของตัวอย่าง SPP3



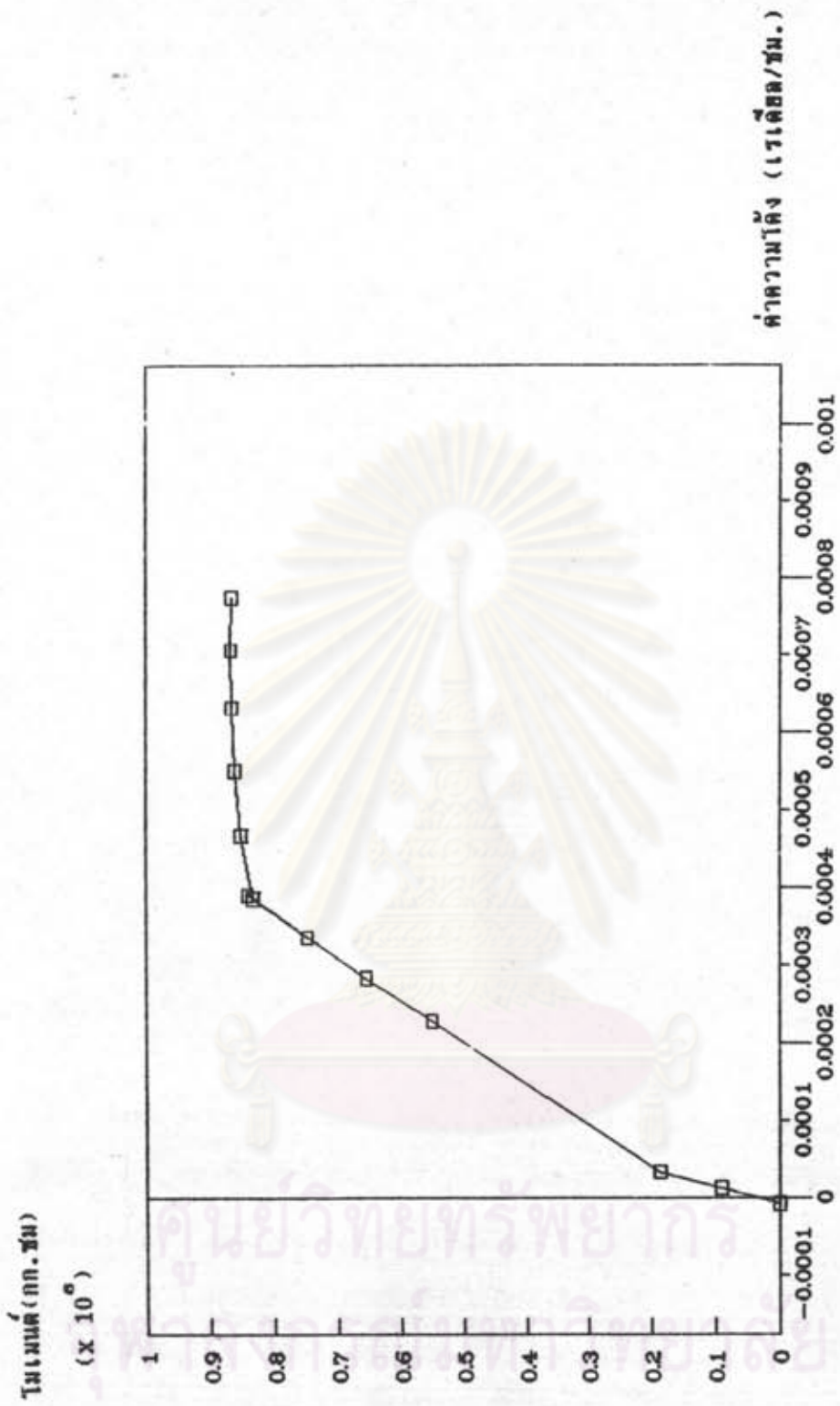
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างไซเคิล และค่าความถี่ที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP4



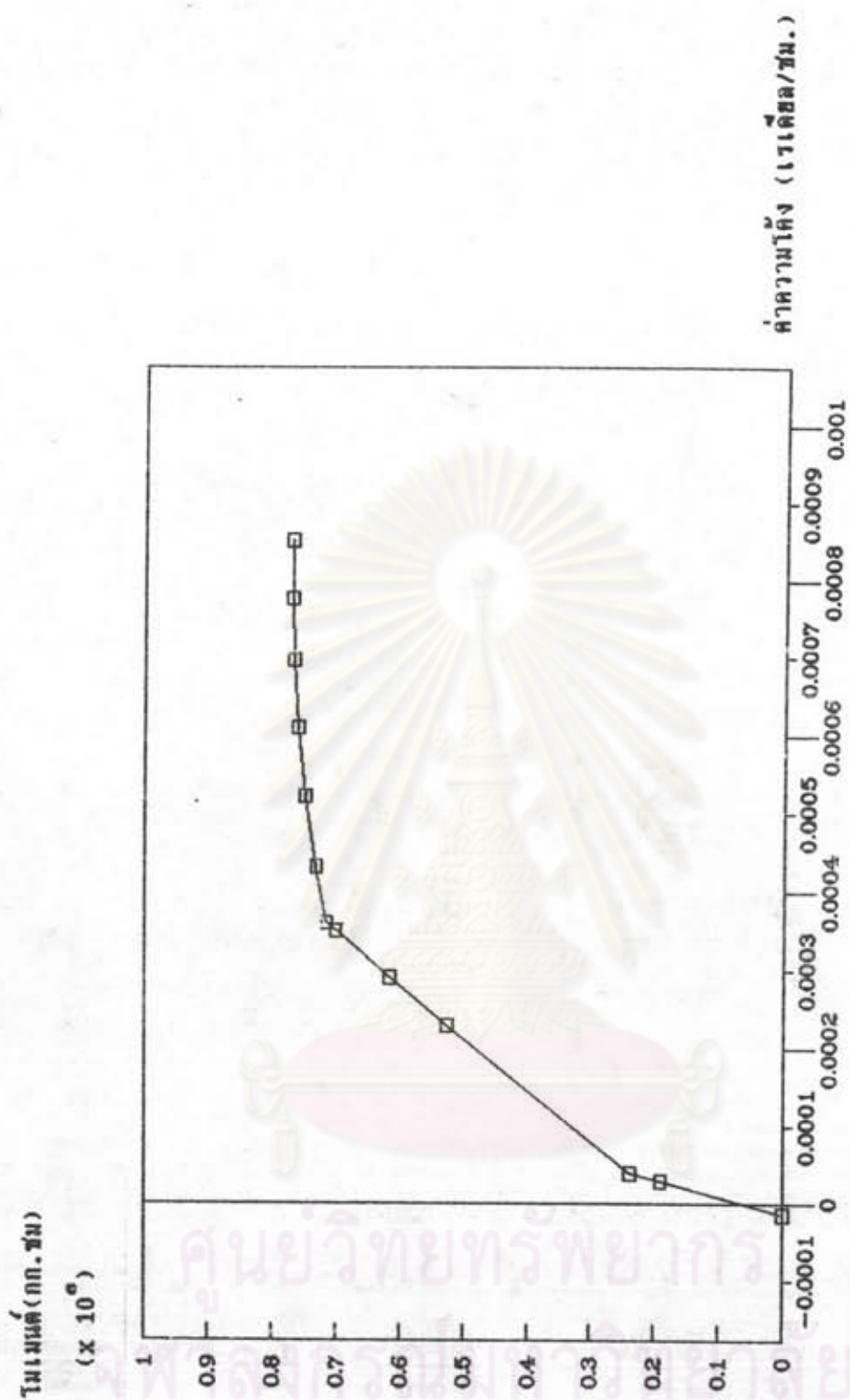
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างทอร์ค และค่าความโค้งที่ได้จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP5



รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างโตนเมนต์ และค่าความโค้งที่ค่าความเค้นคงที่
(Strain Compatibility) ของตัวหย่าง SPP1

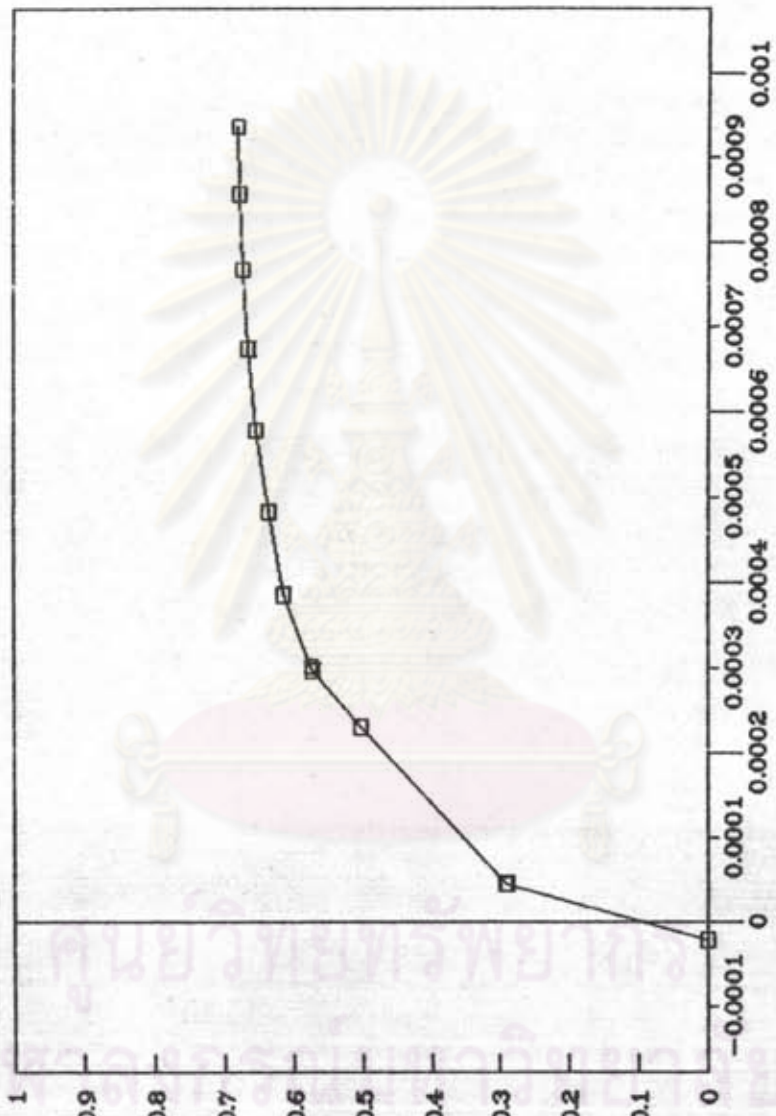


รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างโอมเมนต์ และค่าความเค้น ที่ค่าความเค้นที่มีความเร็วสอยคง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP2



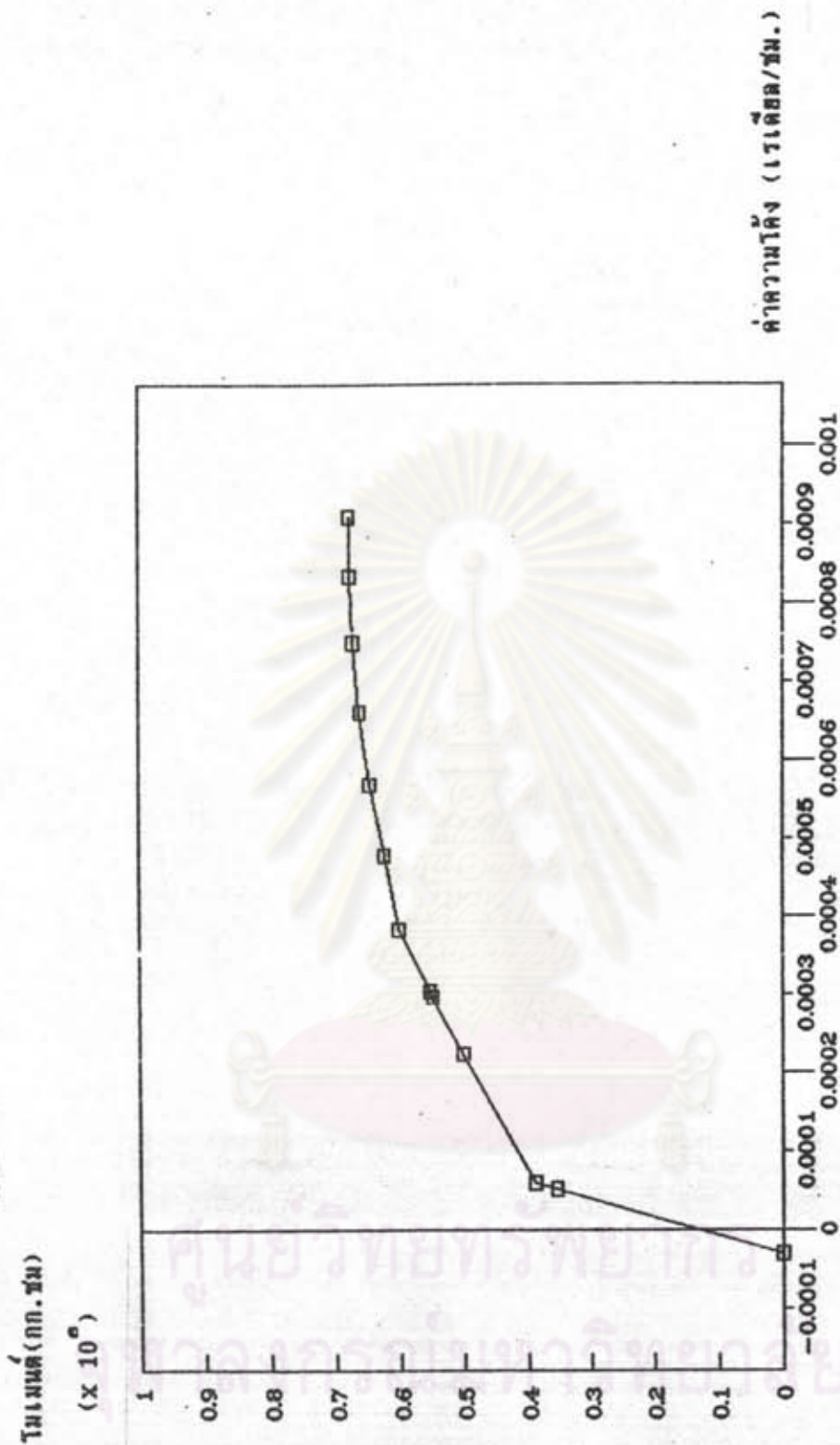
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างโตนเมนต์ และค่าความโค้งที่ค่าพิกัดที่มีความเค้นสอดคล้อง
(Strain Compatibility) ของตัวถัง SPP3

โตนเมนต์ (กก. ซม.)
(x 10⁶)



ค่าความโค้ง (มิลลิเมตร/มม.)

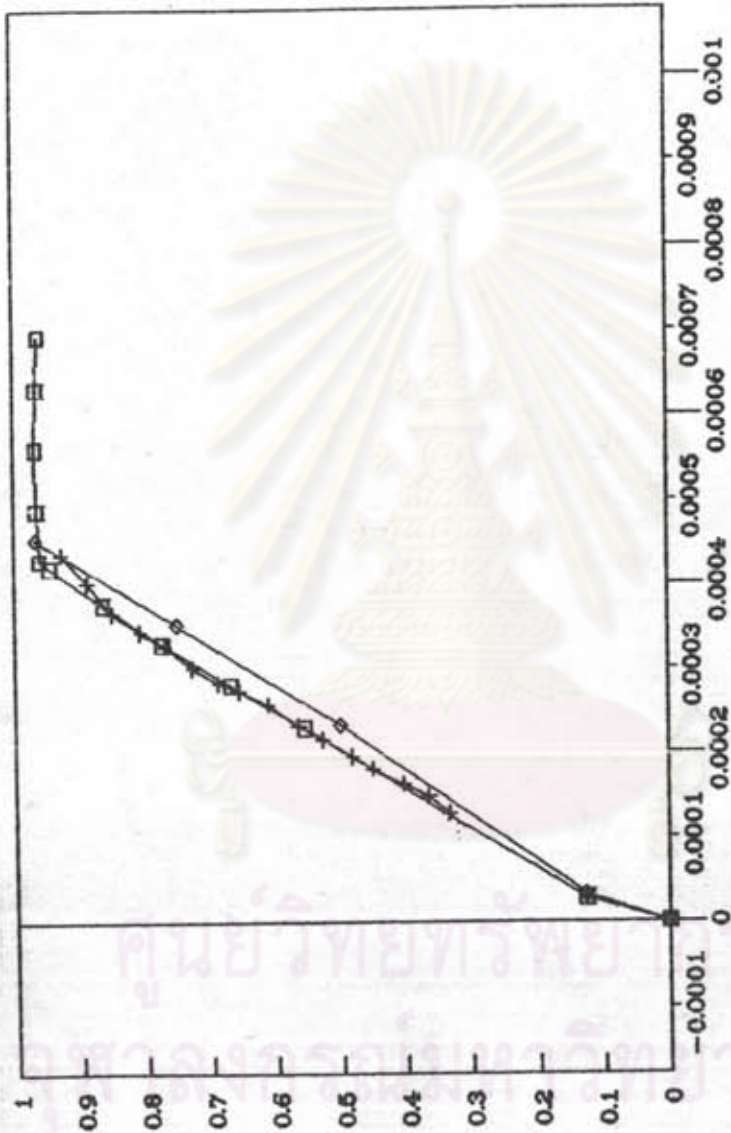
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างโตนเมนต์ และค่าความโค้งที่ความยาวโดยวัดกับความเค้นข้อต่อคดอง (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP4



รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และค่าความโค้งที่ค่าความเค้นที่มีความเค้นยืดหยุ่น (Strain Compatibility) ของตัวอย่าง SPP5

โตนเมนต์ (กก. ซม.)

(x 10⁶)



ค่าความโค้ง (มิลลิเมตร/มม.)

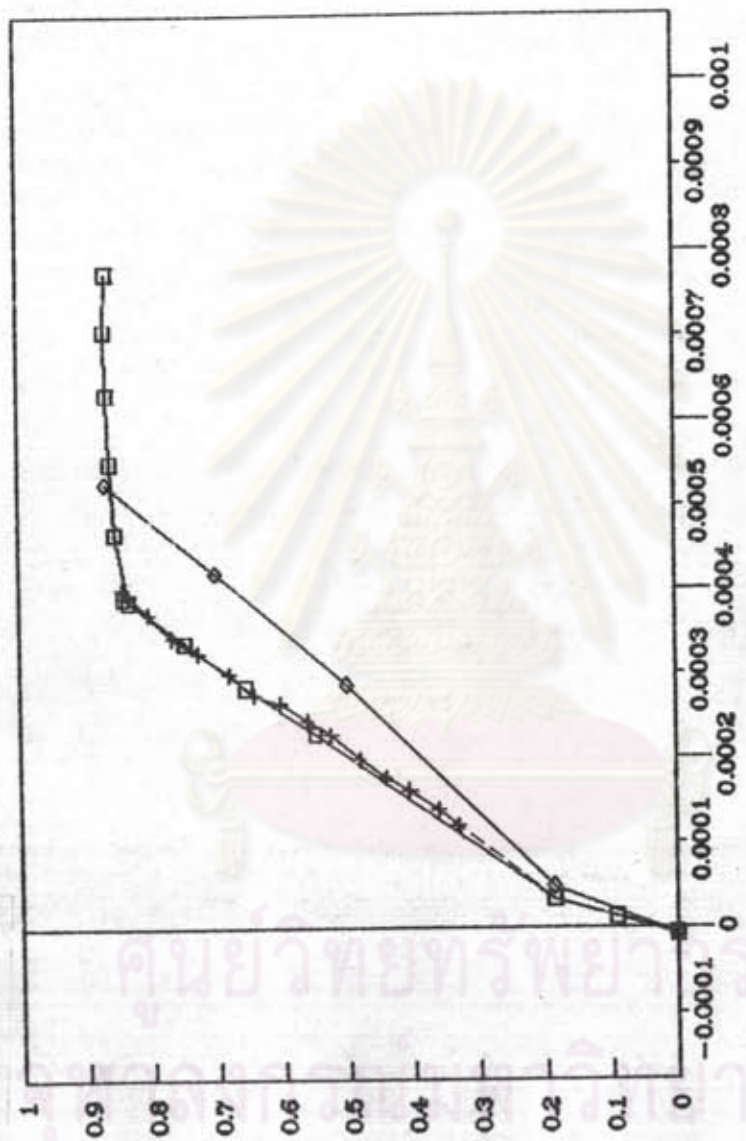
□ THEORY (Strain Com) + TEST ◇ Sriaksoorn

รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบ

เปรียบเทียบผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP1

โตนเมนต์ (กก. ซม.)

(x 10⁶)



ค่าความโค้ง (เรเดียน/ซม.)

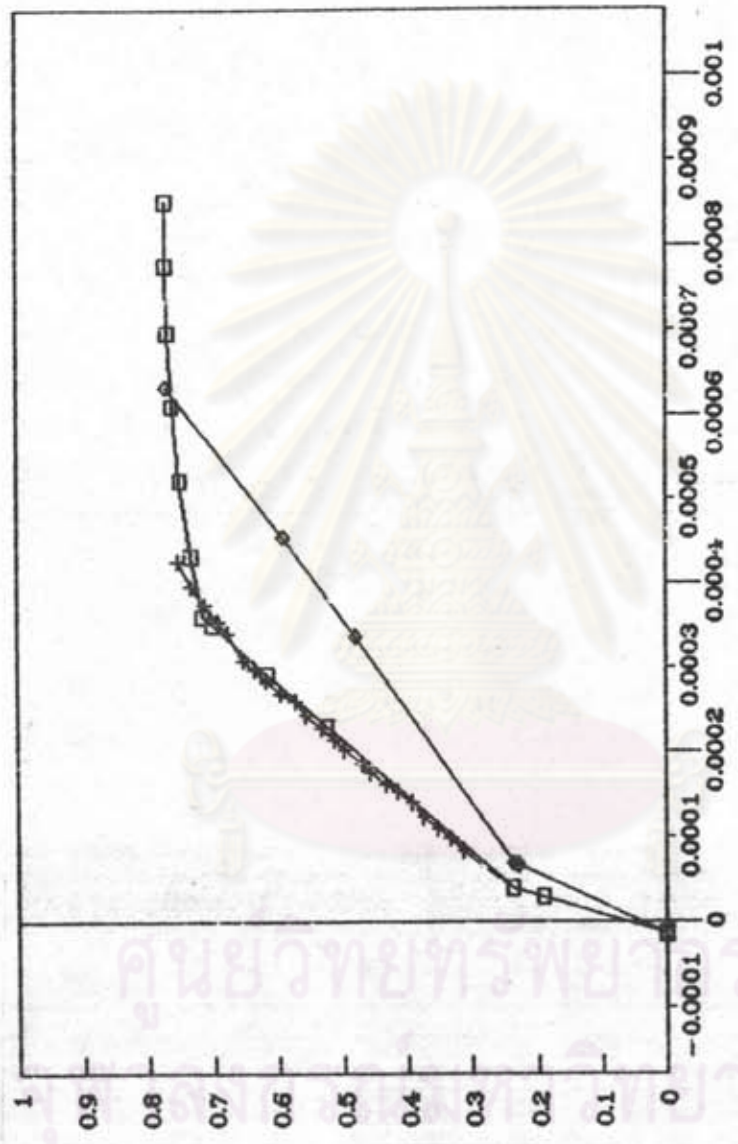
□ THEORY (Strain Com) + TEST ◊ Sirisakorn

รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างโตนเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบ

เปรียบเทียบค่าขนาดของตัวข้อ SPP2

โมเมนต์ (กก. ซม.)

(x 10⁶)



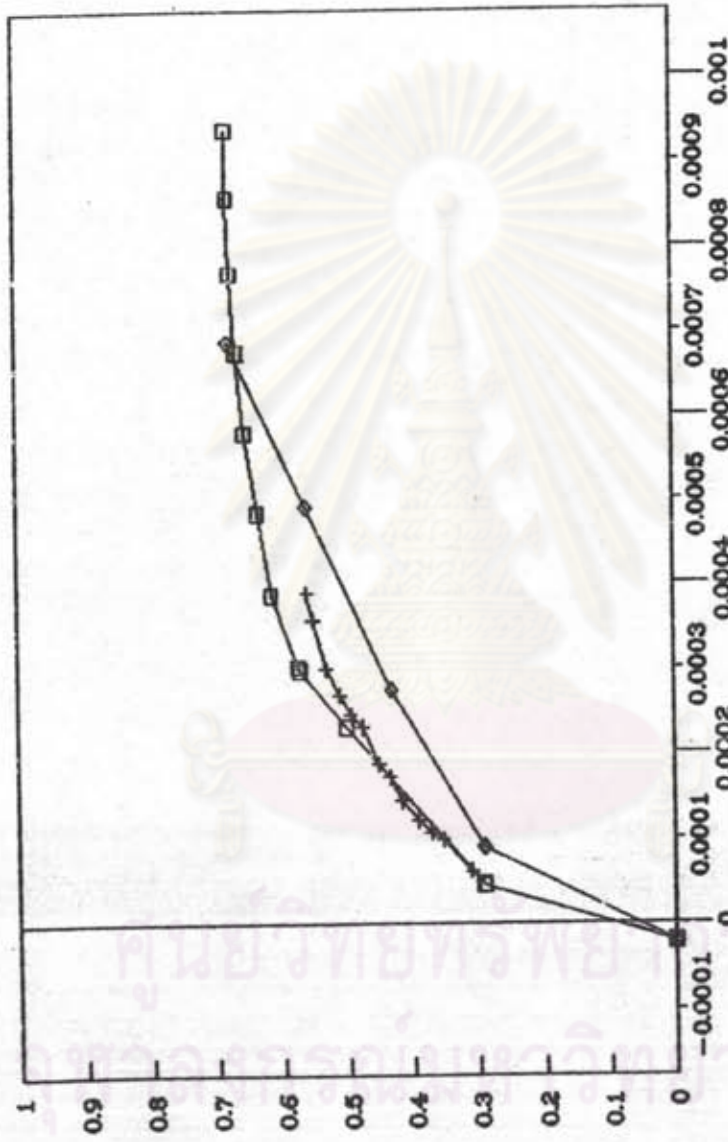
ค่าความโค้ง (เวกเตอร์/ซม.)

□ THEORY + TEST ◊ Sriaksoorn

รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบ

เปรียบเทียบกับผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP3

โมเมนต์ (กก. ซม.)
(x 10⁶)

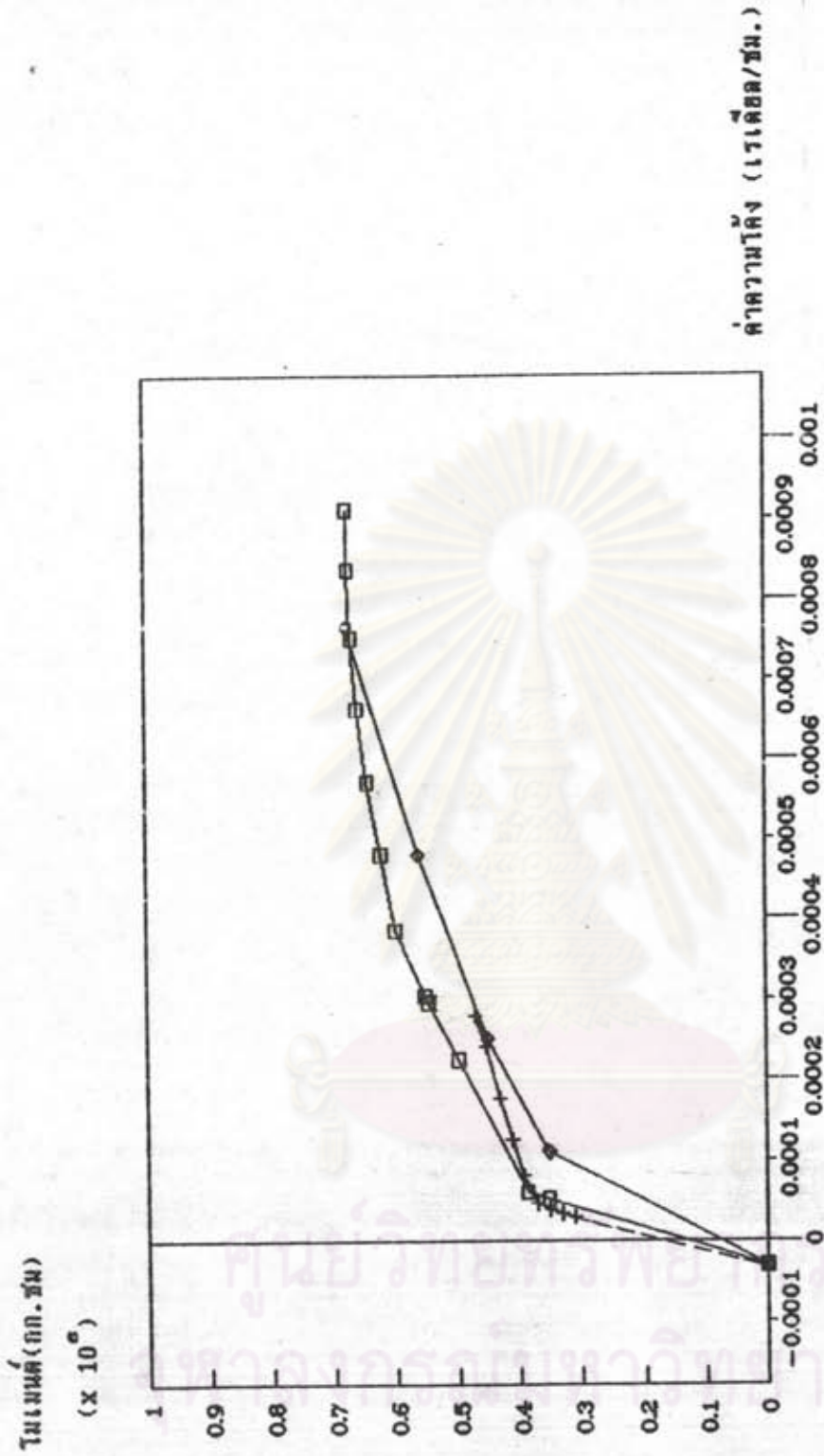


ค่าความโค้ง (มิลลิเมตร/ซม.)

□ THEORY (Strain Com) + TEST ◇ Sirakorn

รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบ

เปรียบเทียบกับผลที่คำนวณของตัวอย่าง SPP4

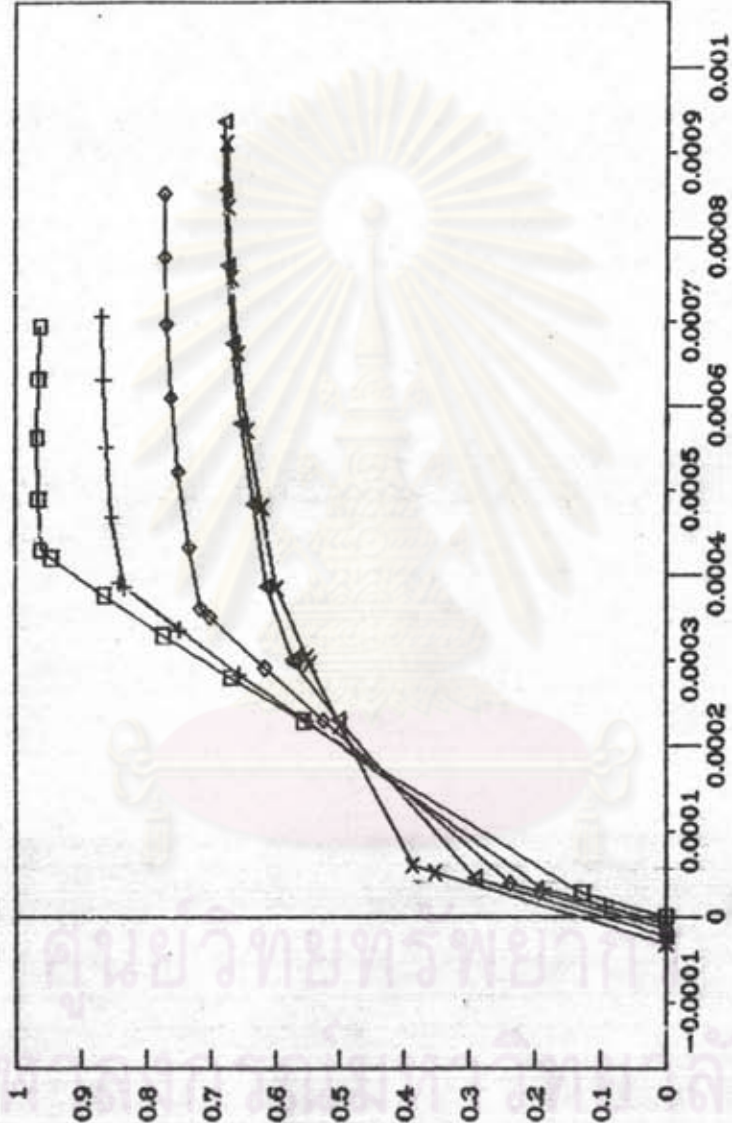


□ THEORY (Strain Com.) + TEST ◊ Siraksorn

รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และค่าความโค้งของผลทดสอบ

เปรียบเทียบผลกับผลคำนวณของตัวถัง SPP5

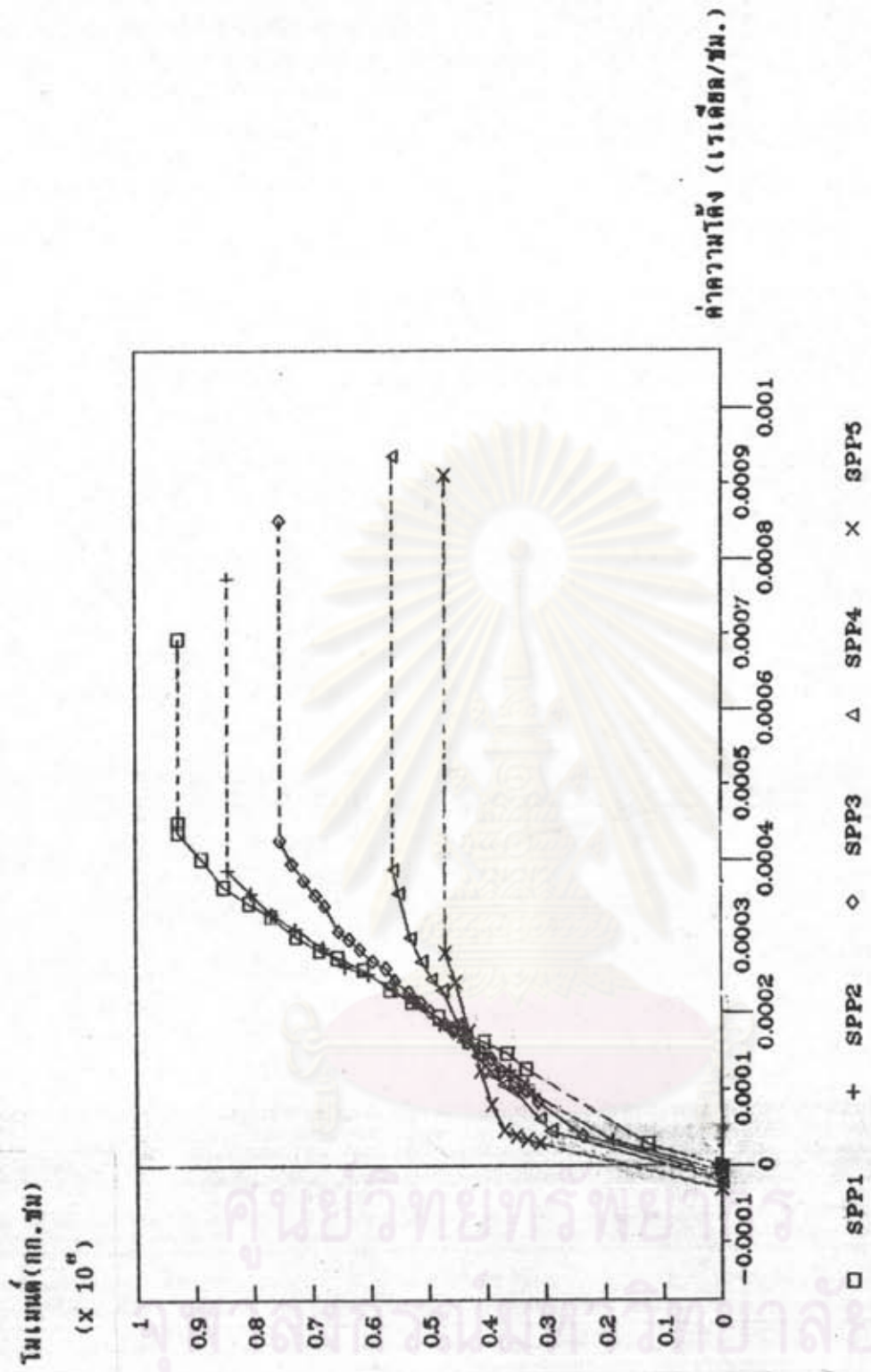
โตนเมนต์ (กก. ซม.)
(x 10⁶)



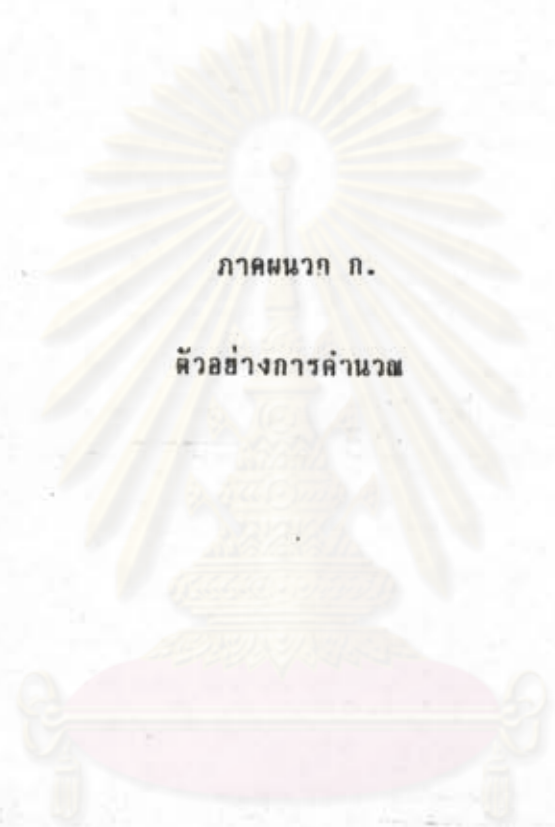
ค่าความโค้ง (เดกรี/ซม.)

□ SPP1 + SPP2 ◇ SPP3 △ SPP4 × SPP5

รูปที่ 4.21 ความสัมพันธ์ระหว่างโตนเมนต์ และค่าความโค้งที่โค้งกาวความหนา
ด้วยวีความเค้นยึดคดของตัวข้อ SPP1-SPP5



รูปที่ 4.22 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ค่าความโค้ง
จากการทดสอบของตัวอย่าง SPP1-SPP5



ภาคผนวก ก.

ตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ANALYSIS OF M - O DIAGRAM FOR RECTANGULAR SECTION (SPP3)

b =	70	cm.			
l =	15	cm.	Pp =	0.00262123	
da =	12	cm.	Ps =	0.00662143	
dpe =	10.9	cm.	fy =	5560.06	kg.
fee =	10201	kg.	As =	2.000	cm. ²
Es =	2000000	kg.	Ae =	7.410	cm. ²
Ec =	210000	kg.	A =	1050.00	cm. ²
lc' =	415.3	kg.	I =	19687.50	cm. ⁴
n =	9.52		EPo =	0.0020	

(1) เมื่อแรงกระทำภายนอกเท่ากับศูนย์ [$M_{ext} = 0$]

Ast = (n-1)(As + Ae) =	80.17	cm. ²
Atot = A + Ast =	1130.17	cm. ²
Ctop =	7.80	cm.
Cbot =	7.20	cm.
Itot =	21059.42	cm. ⁴
eccentric e =	3.10	cm.
F = As.fye =	20402	kg.
f _{top} = F/A - (F.e).C _{top} /I _{tot} =	-5.36	kg.
top strain (EP _{top}) =	-0.000025	rad.
f _{bot} = F/A - (F.e).C _{bot} /I _{tot} =	39.65	kg.
bottom strain (EP _{bot}) =	0.0001668	rad.
EP _{oe} =	0.0001302	rad.
curvature =	-0.000014	rad./cm.

(2) เมื่อหน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับเหล็กเสริม เท่ากับศูนย์ [$C_{ce} = 0$]

EP _{pe} = EP _{oe} + EP _{se} =	0.0052307	rad.
f _{pe} = EP _{pe} .Es =	10461.44	kg.
F = As.f _{pe} =	20923	kg.
stress due to F* f _{top} =	-5.50	kg.
f _{bot} =	40.66	kg.
stress in conc. at steel level f _{oe} =	28.04	kg.
M req' =	190578	kg.cm.
stress due to F+M* f _{top} =	65.15	kg.
f _{bot} =	-24.51	kg.
EP _{top} =	0.0003102	rad.
EP _{bot} =	-0.000116	rad.
curvature =	0.0000284	rad./cm.

(3) เมื่อโมเมนต์กระทำเท่ากับโมเมนต์ตกกราว [$M = M_{cr}$]

$$\begin{aligned}
 f_{bot} = f_r &= -1.99(f_c')^{0.5} = -40.55 && \text{ksa.} \\
 M_{cr} &= 237695 && \text{kg.cm.} \\
 f_{top} &= 82.55 && \text{ksa.} \\
 EP_{top} &= 0.0003930 && \text{rad.} \\
 EP_{bot} &= -0.000199 && \text{rad.} \\
 \text{curvature} &= 0.000390 && \text{rad./cm.}
 \end{aligned}$$

(4) เมื่อหน่วยแรงใน ซีเมนต์บริเวณจุดคาน (C_o เท่ากับ 0.00276009)

$$\begin{aligned}
 \text{Try } C_{top} &= 10.20900 && \text{cm.} \\
 O = EP_c/C_{top} &= 0.0015522 && \text{rad./cm.} \\
 C_o &= -3859108 && \text{kg.} \\
 x &= 8.18 && \text{cm.} \\
 EP_{ps} &= 0.0027600 && \\
 \text{From graph } f_y &= 5580 && \text{ksa.} \\
 EP_{ps} &= 0.0063033 && \\
 \text{From graph } f_{ps} &= 12607 && \text{ksa.} \\
 T &= 66413 && \text{kg. [near } C_o \Rightarrow \text{o.k.]} \\
 M &= 694150 && \text{kg.cm.}
 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

(5) เมื่อความเค้นที่ส่วนเรียดจนเกิน (

Try Clap = 4.369 0.001 0.00125 0.0015 0.00175 0.002 0.00225 0.0025 0.003

O = EPo/Clap = 0.0002289 0.0002911 4.294 4.206 4.047 3.838 3.680 3.569 3.524 cm. ***

Co = 52921 61765 70067 72919 74363 75366 76078 76836 kg.

x = 2.84 2.77 2.74 2.56 2.40 2.27 2.18 2.06 cm.

EPo = 0.0017466 0.0022432 0.0026997 0.0034390 0.0042533 0.0050710 0.0058599 0.0072157

From graph fy = 3493 4166 5399 5590 5580 5580 5560 5560 5560 kcc.

EPpe = 0.0067256 0.0071538 0.0075455 0.0081941 0.0089108 0.0096307 0.0103234 0.0115069

From graph fpe = 13451 14308 15091 15844 16573 17094 17427 17606 17606 kcc.

T = 52787 61860 70192 72888 74348 75368 76054 76813 kg.

M = 523135 616475 700463 731357 748699 760279 767071 769794 769794 kg.cm.

Step	M	Curvature	fe	fpe	REMARK
Ext. Moment M = 0	0	-0.000143			
EPo = 0	190678	0.000285			PPR = 0.464
M = Morecking	237635	0.000391			Rn. Index = 0.242
EPo = 0.001	523135	0.0002289	3493	13451	Ductility = 2.36
EPc = 0.00125	616475	0.0002911	5560	15227	
EPc = 0.00150	700463	0.0003500	4486	14308	
EPo = EPy	714686	0.0003610	5399	15091	
EPc = 0.00175	731357	0.0004324	5560	15844	
EPo = 0.00200	748699	0.0005211	5560	16573	
EPc = 0.00225	760279	0.0006101	5560	17094	
EPc = 0.00250	767071	0.0006966	5560	17427	
EPc = 0.00300	769794	0.0008513	5560	17606	c/dpe = 0.323

หาค่าแอนตัว (Δ) ที่จุดที่ขึ้นส่วนเกิดการวิบัติ

สมมติให้การแอนตัวเป็นแบบพาราโบลา

$$y = C x^2 \quad (c = \text{ค่าคงที่}) \quad (1)$$

$$\text{ได้ } y = (b/a^2) x^2 \quad (2)$$

เมื่อ

b = การแอนตัวที่จุดกึ่งกลาง

a = ระยะครึ่งหนึ่งของความยาว = 300 ซม.

x = ระยะที่เกิดการวิบัติเมื่อวัดจากศูนย์กลาง

$$\Delta_D = \Delta_C - y \quad (3)$$

Δ_D = การแอนตัวที่จุดใด ๆ ในช่วงครึ่งหนึ่งของความยาว

Δ_C = การแอนตัวที่จุดกึ่งกลาง

ตัวอย่างการคำนวณ จากตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอนตัวของตัวอย่าง SPP3 เมื่อจุดวิบัติอยู่ห่างจากจุดศูนย์กลางแผ่นดินเท่ากับ 88 ซม. การแอนตัวที่จุดกึ่งกลาง เมื่อแรงกระทำเท่ากับ 1,000 กิโลกรัม มีค่าเท่ากับ 7.72 ซม. จะหาการแอนตัวที่จุดวิบัติได้ดังนี้

$$\text{จากสมการ (2)} \quad y = b/a^2 x^2$$

$$\text{แทนค่า} \quad y = 7.72/(300)^2 (88)^2$$

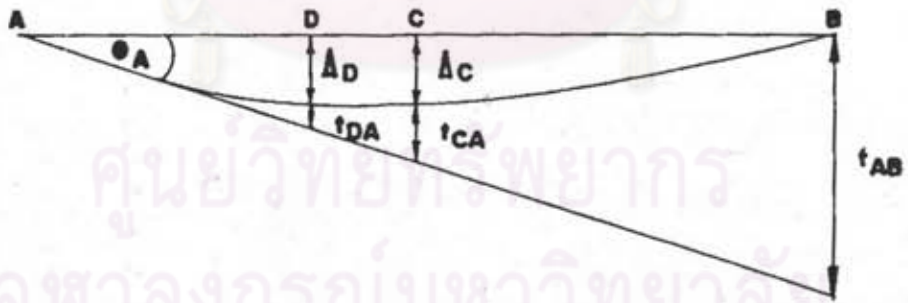
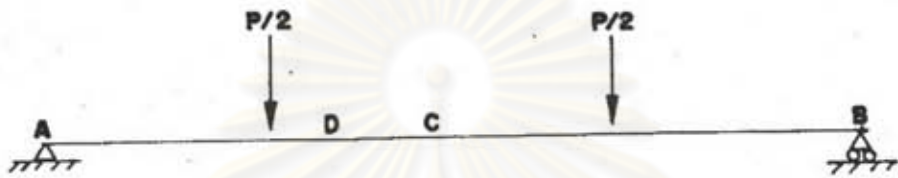
$$y = 0.6643$$

$$\begin{aligned} \text{จาก (3)} \quad \Delta_D &= \Delta_C - y \\ &= 7.72 - 0.6643 \\ &= 7.0557 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

ได้การแอนตัวที่จุดวิบัติ เท่ากับ 7.0557 ซม.

ความสัมพันธ์ระหว่าง Deflection (Δ) กับ Curvature (ϕ)

โมเมนต์กมุขโมเมนต์ - พื้นที่ (Moment - Area)



ลักษณะการเคลื่อนตัวของแผ่นหนากับแรงแบบ Two Point Load

ความสัมพันธ์ระหว่าง Deflection (Δ) กับ Curvature (ϕ) ที่จุดกึ่งกลาง

$$\tan \theta_A = (\Delta_C + t_{CA}) / (L/2)$$

$$\Delta_C = (\theta_A \cdot L/2) - t_{CA}$$

$$\theta_A = t_{AB}/L$$

$$t_{AB} = 1/EI \left[(2PL^3/324) + (PL^3/36) + (7PL^3/324) \right]$$

$$t_{AB} = 2 PL^3/36EI$$

$$\theta_A = t_{AB}/L = 2PL^2/36EI$$

$$t_{CA} = 1/EI \left[(PL^3/432) + (5PL^3/648) \right]$$

$$= 13PL^3/36^2EI$$

แทนค่า (1) ได้

$$\Delta_C = 23PL^3/36^2EI$$

$$\Delta_C = (23L^2/216) \phi$$

ความสัมพันธ์ระหว่าง Deflection (Δ) กับ Curvature (ϕ) ช่วง L/3 ถึง L/2

จาก (2) $\theta_A = t_{AB}/L$

และ $\theta_A = (\Delta_D + t_{DA}) / (L/3 + x)$

$$\Delta_C = \theta_A (L/3 + x) - t_{DA} \quad (3)$$

$$t_{AB} = 1/EI \left[(2PL^3/324) + (PL^3/36) + (7PL^3/324) \right]$$

$$= 2PL^3/36EI$$

แทนค่า ใน (2)

$$\theta_A = 2PL^2/36EI \quad (4)$$

$$t_{DA} = 1/EI \left[(1PLx^2/12EI) + (1PL^3x/324) \right] \quad (5)$$

นำ (5) แทน (3)

$$\Delta_D = 1/EI \left[PL^2(L/3 + x)/18 - (PLx^2 + PL^2(X + L/9)/36) \right]$$

ระยะ x วัดจากจุดที่แรงกระทำจนถึงตำแหน่งที่ต้องกาาร ซึ่งอยู่ในช่วง $L/3 < x < L/2$

จัดรูปใหม่

$$\begin{aligned} \Delta_D &= (0.09258 + 0.1667 x_1 - 0.44999 x_1^2) PL^3/6EI \\ &= (0.09258 + 0.1667 x_1 - 0.49999 x_1^2) L^2 \diamond \end{aligned}$$

เมื่อ

$$x_1 = x/L \quad \text{และ} \quad 0 < x_1 < L/6$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ประวัติผู้เขียน

นายบุญชัย วุฒินันท์ เกิดเมื่อวันที่ 29 มีนาคม พ.ศ. 2509 ที่อำเภอเมือง จังหวัด นครราชสีมา สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยขอนแก่น เมื่อปีการศึกษา 2530 และเข้าศึกษาหลักสูตร วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโครงสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อปีการศึกษา 2532



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย