

## รายการอ้างอิง

1. Hannant , D.J., Fibre Cement and Fibre Concrete, John Wiley and Sons, Chichester, 1978, pp. 219.
2. ACI Committee 544.1R. 1982 . State of The Art Report on Fibre Reinforced Concrete, American Concrete Institute, Michigan. pp. 22.
3. Ritchie, A. G. B. and T. A. Rahman. 1974. The Effect of Fibre Reinforcement on the Rheological Properties of Concrete Mixes. Journal of the American Concrete Institute 1973 : pp. 29-44.
4. Ramakrishnan, V. , S. Gollapudi and Zellers. 1987. "Performance Characteristics and Fatigue Strength of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete". Journal of the American Concrete Institute 1987 :pp. 159-177.
5. Barr, B. 1987. "Compact Shear Test Specimen for FRC Materials," Composites 18(1) : pp.54-60.
6. Dardare J., 1975. "Contribution to the study of the mechanic behavior of concrete reinforced with Polypropylene fibres", In A. Nevillss (ed). Reinforced Cement and Concrete. The Construction Press, Lancaster. pp 227-236.
7. Balaguru, P.N. and S.P. Shah. 1988. Fiber Reinforced Cement Composites. McGraw Hill, Inc., New York. pp. 530.
8. Benaiche , F. and B. Barr. 1989 . "Fracture Characteristics of High Strength Concrete and FRC Materials," Fiber Reinforced Cements and Concretes Recent Developments., R. N. Swamy and B. Barr(eds)., The Elsevier Publishers, Essex.pp. 411-419.
9. S. Ghosh and A. Roy , "Polypropylene Fiber Concrete Beams in Flexure," RILEM Symposium on Fiber Reinforced Cement and Concrete, 1992 ,The St Edmundsbury Press Ltd, pp. 486-498.
10. L. Hebda, L. Rudzinski and B. Turlej , "Optimizing the Composition of Polypropylene Fiber Reinforced Cementitious Composites," RILEM Symposium on Fiber Reinforced Cement and Concrete, 1992 ,The St Edmundsbury Press Ltd, pp. 357-365.



11. S. Ghosh and A. Roy .“Polypropylene Fiber Concrete Beams in Shear-Flexure,”  
RILEM Symposium on Fiber Reinforced Cement and Concrete,1992 The St  
Edmundsbury Press Ltd, pp. 530-540.
12. Parviz Soroushian, Atallah Khan, and Jer-Wen Hsu , “Mechanical Properties of  
Concrete Materials Reinforced with Polypropylene or Polyethylene Fibers,” ACI  
Materials Journal , Nov.-Dec. 1992 ,pp. 535-540.
13. Ziad Bayasi and Jack Zeng , “Properties of Polypropylene Fiber Reinforced Concrete,” ACI  
Materials Journal, V. 89 No. 6 Nov.-Dec. 1992, pp.535-540.
14. Zollo, R. F. , J. A. Ilter and G. B. Bouchacourt. 1986. “Plastic and Drying Shrinkage in  
Concrete Containing Collated Fibrillated Polypropylene Fiber,” Symposium on  
Developments in fiber Reinforced Cement and Concrete. In R. N. Swamy (ed).  
Third International,The Construction Press, Lancaster. pp. 137-142.
15. Grzybowski, M. and S.P. Shah. 1990. “Shrinkage Cracking of Fiber Reinforced  
Concrete,” Journal of the American Concrete Institute ,1987 , pp.138-148.
16. A. Khajuria and P. Balaguru, “Plastic Shrinkage Characteristics of Fibre Reinforced  
Cement Composites”,RILEM Symposium on Fiber Reinforced Cement and  
Concrete, 1992 The St Edmundsbury Press Ltd ,pp. 82-90.  
John Wiley & Sons, New York, 1981.
17. ACI Committee 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete ( ACI 318-89).  
Detroit : American Concrete Institute , 1989.
18. Burns, N. “Moment-Currature Relationships for Partially Prestressed Concrete Beams”  
Journal of Prestressed Concrete Institute, Vol 9 , No.1, pp.52-63.
19. Hognestad , E., N.W., and Mchenry ,D., “Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength  
Design,” Journal of the American Concrete Institute. Vol.52, Dec. 1955,pp.455-479

ตารางที่ 1.1 คุณสมบัติของไฟเบอร์

Fibre	Diameter ( $\times 10^{-6}$ )	Length (mm)	Density ( $\times 10^3 \text{kg/m}^3$ )	Yong's Modulus (GN/m <sup>2</sup> )	Poisson's Ratio	Tensile Strength (MN/m <sup>2</sup> )	Elongation at break (%)	Typical Volume in Composite (%)
Chrysotile Abestos	0.02 - 30	< 40	2.55	164	0.3	200 - 1800	2 - 3	10
Crocidolite Abestos	0.1 - 20	-	3.37	196	-	3500	2 - 3	-
Carbon Type 1 (High modulus)	8	10-continuous	1.90	380	0.35	1800	0.5	2 - 12
Carbon Type 2 (High strength)	9	10-continuous	1.90	230	0.35	2600	1.0	2 - 12
Cellulose			1.2	10		300 - 500		10 - 20
E Glass	8 - 10		2.54	72	0.25	3500	4.8	2 - 8
Nylon (Type 242)	> 4	5 - 50	1.14	Rate dependent up to 4	0.40	750 - 900	13.5	0.1 - 6
Polypropylene Monofilament	100 - 200	5 - 50	0.9	Rate dependent up to 5	-	400	18	0.1 - 6
Polypropylene Fibrillated	500 - 4000	20 - 75	0.9	up to 8	0.29 - 0.46	400	8	0.2 - 1.2
Steel (High tensile)	100 - 600	10 - 60	7.86	200	0.28	700 - 2000	3.5	0.5 - 2
Steel (Stainless)	10 - 330	10 - 60	7.86	160	0.28	2100	3	0.5 - 2

ตารางที่ 1.2 กำลังรับแรงดึงของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์	% ไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน โดย น้ำหนัก	กำลังรับแรงดึงเฉลี่ย (กก./ตร.ซม.)
0.40	0.00	31.6
	0.15	31.0
	0.30	30.0
0.35	0.00	21.1
	0.15	41.6
	0.30	43.5
0.33 และน้ำยาลดน้ำ	0.00	31.3
	0.15	30.9
	0.30	38.8
0.33 และไม่โครซิลิกา	0.00	48.3
	0.15	38.7
	0.30	45.7

ที่มา : Benaiche และ Barr (1989)

ตารางที่ 3.1 แสดงอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้หล่อแผ่นพื้นอัดแรง และทับหน้า

ส่วนขององค์อาคาร	ชื่อตัวอย่าง	อัตราส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.						อัตราส่วนผสม ซีเมนต์ : ททราย : หิน
		โพลีโพรพิลีนไฟเบอร์	ซีเมนต์	ททราย	หิน	น้ำ	น้ำยา	
แผ่นพื้นอัดแรง	P1 - P5	-	540	777	1066	193.38	Sikament FF 6425	1 : 1.44 : 1.97 โดยน้ำหนัก w/c = 0.358
			กก.	กก.	กก.	กก.	กรัม	
ทับหน้า	NF0 , S	0	350	780	1090	200	-	1 : 2.23 : 3.11 โดยน้ำหนัก w/c = 0.571
	F6	600						
	F8	800						
	F10	1000						
		กรัม	กก.	กก.	กก.	กก.		

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตปกติ และคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

Compressive Strength (ksc)				
Fiber Content (g/m <sup>3</sup> )	Age ( days )			
	3	7	14	28
0	234	312	321	342
400	237	314	325	362
600	238	317	325	363
800	244	320	329	368
1000	237	319	327	359
1200	237	318	322	358

ตารางที่ 3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแตกกระจายของคอนกรีตปกติ และคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

Splitting Tensile Strength (ksc)				
Fiber Content (g/m <sup>3</sup> )	Age ( days)			
	3	7	14	28
0	21	27	28	32
400	22	27	29	34
600	22	28	30	35
800	27	30	35	37
1000	26	29	34	37
1200	26	29	33	36

ตารางที่ 3.4 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตปกติ และคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

Flexural Strength (ksc)				
Fiber Content ( g/m <sup>3</sup> )	Age ( days )			
	3	7	14	28
0	30	35	39	41
400	31	37	40	43
600	40	44	49	51
800	36	43	46	48
1000	36	39	42	47
1200	34	36	40	44

ตารางที่ 3.5 ค่าโมดูลัสของความยืดหยุ่นของคอนกรีต เปรียบเทียบกับคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

Fiber Content (g/m <sup>3</sup> )	Elastic Modulus (ksc) at 28 day			
	No. 1	No. 2	Avg.	%Different
0	339000	336000	338000	0.00
400	357000	361000	359000	6.21
600	340000	379000	360000	6.51
800	362000	363000	363000	7.40
1000	350000	337000	344000	1.78
1200	346000	347000	347000	2.66

ตารางที่ 3.6 ค่าร้อยละของการหดตัวเมื่อแห้งของซีเมนต์มอร์ตาปกติ  
และซีเมนต์มอร์ตาเสริมโพลีโพรพิลีนไฟเบอร์

% Drying Shrinkage						
Time (days)	Fiber Content (g/m <sup>3</sup> )					
	0 g/m <sup>3</sup>	400 g/m <sup>3</sup>	600 g/m <sup>3</sup>	800 g/m <sup>3</sup>	1000 g/m <sup>3</sup>	1200 g/m <sup>3</sup>
0	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
1	0.0283	0.0249	0.0169	0.0179	0.0159	0.0139
2	0.0410	0.0370	0.0298	0.0298	0.0287	0.0258
3	0.0488	0.0453	0.0387	0.0407	0.0406	0.0348
4	0.0595	0.0551	0.0496	0.0511	0.0496	0.0457
5	0.0634	0.0595	0.0546	0.0551	0.0535	0.0497
6	0.0683	0.0643	0.0586	0.0581	0.0575	0.0537
7	0.0693	0.0653	0.0606	0.0616	0.0595	0.0567
8	0.0722	0.0687	0.0645	0.0650	0.0634	0.0596
9	0.0751	0.0712	0.0665	0.0670	0.0654	0.0616
10	0.0771	0.0736	0.0675	0.0680	0.0674	0.0626
11	0.0800	0.0765	0.0725	0.0710	0.0704	0.0656
12	0.0820	0.0785	0.0744	0.0730	0.0724	0.0676
13	0.0839	0.0799	0.0774	0.0745	0.0734	0.0686
15	0.0868	0.0829	0.0794	0.0769	0.0753	0.0706
16	0.0888	0.0853	0.0844	0.0804	0.0773	0.0726
18	0.0937	0.0902	0.0874	0.0829	0.0823	0.0775
28	0.0976	0.0936	0.0913	0.0864	0.0853	0.0815
35	0.1005	0.0965	0.0943	0.0899	0.0882	0.0845
43	0.1034	0.0994	0.0983	0.0933	0.0912	0.0875
49	0.1112	0.1072	0.1032	0.1023	0.0981	0.0964
56	0.1190	0.1150	0.1132	0.1107	0.1061	0.1044
68	0.1259	0.1214	0.1181	0.1167	0.1110	0.1103



ตารางที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต กับเวลา  
เมื่อบ่มในน้ำ 28 วัน

Drying Shrinkage ( micro strain )						
Time (days)	Fiber Content (g/m <sup>3</sup> )					
	0 g/m <sup>3</sup>	400 g/m <sup>3</sup>	600 g/m <sup>3</sup>	800 g/m <sup>3</sup>	1000 g/m <sup>3</sup>	1200 g/m <sup>3</sup>
1	-24.30	-20.30	-16.20	-13.50	-12.15	-8.10
2	-28.35	-24.30	-20.25	-18.90	-16.20	-13.50
3	-36.45	-32.40	-30.38	-27.00	-25.46	-21.60
4	-40.50	-36.45	-32.40	-31.24	-27.00	-22.68
5	-44.55	-40.50	-35.64	-32.40	-29.70	-24.30
6	-48.60	-45.90	-39.15	-36.45	-34.02	-33.56
7	-40.50	-36.45	-35.10	-32.40	-29.70	-32.40
8	-32.40	-30.38	-32.40	-29.70	-24.30	-32.40
9	-29.70	-24.30	-27.00	-29.70	-26.33	-29.70
10	-32.40	-29.70	-29.70	-27.00	-28.35	-28.35
11	-24.30	-29.70	-30.38	-30.38	-24.30	-24.30
12	-26.33	-32.40	-26.33	-24.30	-24.30	-22.23
13	-30.38	-30.38	-24.30	-22.23	-20.25	-20.25
14	-32.40	-28.35	-24.30	-21.60	-19.44	-16.20
21	-27.00	-24.30	-20.25	-19.44	-18.23	-14.20
27	32.40	27.00	24.30	18.90	18.30	16.20
28	45.36	40.50	37.26	36.45	35.10	32.40
29	51.30	48.60	44.55	43.20	40.50	37.80
30	66.15	60.75	54.00	44.55	41.85	40.50
31	107.33	95.20	83.70	81.00	76.90	72.90
32	112.08	105.30	95.10	83.03	81.00	74.30
33	133.65	118.80	111.38	101.30	93.00	85.86
34	141.80	126.45	116.10	104.50	103.70	90.45
35	149.85	129.60	121.50	106.92	105.30	99.23
42	218.70	203.85	183.60	180.90	171.00	156.60
49	248.40	240.30	234.90	229.50	220.73	202.50
56	255.15	246.24	238.95	232.20	228.83	210.60
63	267.30	256.50	251.15	245.03	238.95	232.20
70	300.30	280.80	272.70	263.25	253.80	240.30
77	322.50	299.70	295.65	275.40	261.90	259.20

ตารางที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวของคอนกรีต กับเวลา  
เมื่อบ่มคอนกรีต ในห้องควบคุมความชื้นทันที

Drying Shrinkage ( micro strain )						
Time (Days)	Fiber Content (g/m <sup>3</sup> )					
	0 g/m <sup>3</sup>	400 g/m <sup>3</sup>	600 g/m <sup>3</sup>	800 g/m <sup>3</sup>	1000 g/m <sup>3</sup>	1200 g/m <sup>3</sup>
2	38.50	37.80	32.40	28.35	24.30	20.25
3	56.25	51.30	48.60	48.60	43.20	43.20
4	72.90	70.20	67.50	66.80	65.90	64.80
5	81.00	78.90	78.30	75.60	72.90	72.90
7	133.85	131.63	129.60	126.90	129.60	129.60
10	178.10	175.50	167.40	159.30	159.30	157.90
11	182.10	178.20	174.10	163.40	170.10	162.00
20	275.20	267.30	255.20	245.70	243.00	253.80
22	287.75	279.45	267.30	256.50	251.10	267.30
29	340.00	324.00	316.00	311.80	302.40	299.70
38	380.90	364.50	348.30	340.20	330.10	332.10

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.9 แสดงข้อมูลผลการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก ซึ่งหล่อพร้อมแผ่นพื้น และทับหน้า

พื้นตัวอย่างทดสอบ		ค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต (กก./ตร.ซม.)		ค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่น ของแท่งคอนกรีต(กก./ตร.ซม.)	ค่าเฉลี่ยหน่วยแรงอัดในเหล็กเสริม (กก./ตร.ซม.)
		ขณะถ่ายแรงอัด	ขณะทดสอบ	ขณะทดสอบ	ขณะเมื่อเริ่มจะทดสอบ
P2S	ทับหน้า	-	298	262000	9351
	แผ่นพื้นอัดแรง	540	720	525000	
P4NF0	ทับหน้า	-	302	264000	9795
	แผ่นพื้นอัดแรง	506	671	403000	
P3F6	ทับหน้า	-	319	271000	9157
	แผ่นพื้นอัดแรง	506	671	403000	
P1F8	ทับหน้า	-	329	275000	9400
	แผ่นพื้นอัดแรง	540	720	525000	
P5F10	ทับหน้า	-	351	280000	9500
	แผ่นพื้นอัดแรง	525	617	389000	

ตารางที่ 3.10 คุณสมบัติของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

	คอนกรีต ปกติ	คอนกรีตเสริมไฟเบอร์ ปริมาณ (กรัม /ลบ.ม.)					% ต่าง				
		400	600	800	1000	1200	400	600	800	1000	1200
ค่ายุบตัว (ซม.)	12	10.5	9.5	8	7	6.5	-12.50	-20.83	-33.33	-41.67	-45.83
% การไหล	74	68	56	44	40	34	-8.11	-24.32	-40.54	-45.95	-54.05
กำลังอัดที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	342	362	363	368	359	358	5.85	6.14	7.60	4.97	4.68
กำลังดึงแตกกระจายที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	32	34	35	37	37	36	6.25	9.38	15.63	15.63	12.50
กำลังดัดที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	41	43	51	48	47	44	4.88	24.39	17.07	14.63	7.32
โมดูลัสความยืดหยุ่น ที่ 28 วัน (กก./ตร.ซม.)	338000	359000	360000	363000	344000	347000	6.21	6.51	7.40	1.78	2.66
% การหดตัวเมื่อแห้งของแท่งมอร์ต้าที่ 68 วัน	0.1259	0.1214	0.1181	0.1167	0.111	0.1103	-3.57	-6.20	-7.31	-11.83	-12.39
การหดตัวแบบแห้งของแท่งคอนกรีต แบบบ่มน้ำ 28 วัน ที่เวลา 77 วัน	322.5	299.7	295.65	275.4	261.9	259.2	-7.07	-8.33	-14.60	-18.79	-19.63
การหดตัวแบบแห้งของแท่งคอนกรีต แบบไม่บ่ม น้ำ ที่เวลา 38 วัน	380.9	364.5	348.3	340.2	330.1	322.1	-4.31	-8.56	-10.69	-13.34	-15.44

ตารางที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด และค่าความโค้ง

ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ของพื้น P2S ที่ทับหน้ามีเหล็กเสริม

Strain (cm/cm)	c (cm)	Moment (kg-m)	Curvature ( $\times 10^{-6}$ rad/cm)	Remark
0.000020	-	0	-3	Zero Applied Moment
0.000118	-	221.0	14	First Cracking
0.000255	-	529.7	39	
0.001000	2.1210	707.1	471	Ultimate Moment
0.001250	1.9413	773.9	644	
0.001500	1.7805	811.9	842	
0.002000	1.5637	851.5	1279	
0.002500	1.4378	858.7	1739	
0.003000	1.4056	861.1	2134	

ตารางที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด และค่าความโค้ง

ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ของพื้น P4NF0 ที่ทับหน้าไม่มีเหล็กเสริม

Strain (cm/cm)	c (cm)	Moment (kg-m)	Curvature ( $\times 10^{-6}$ rad/cm)	Remark
0.000027	-	0	-4	Zero Applied Moment
0.000156	-	229.8	19	First Cracking
0.000331	-	543.5	51	
0.001000	2.1464	724.3	466	Ultimate Moment
0.001250	1.9506	787.7	641	
0.001500	1.7569	812.9	854	
0.002000	1.5431	852.4	1296	
0.002500	1.4188	859.6	1762	
0.003000	1.3870	862	2163	

ตารางที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด และค่าความโค้ง

ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ของพื้น P3F6 ที่ทับหน้าใช้ไฟเบอร์ปริมาณ 600 กรัม/ลบ.ม.

Strain (cm/cm)	c (cm)	Moment (kg-m)	Curvature ( $\times 10^{-6}$ rad/cm)	Remark
0.000025	-	0	-4	Zero Applied Moment
0.000142	-	213.4	17	First Cracking
0.000313	-	525.6	49	
0.001000	2.0126	721.8	497	Ultimate Moment
0.001250	1.8356	787.3	681	
0.001500	1.6633	816.5	902	
0.002000	1.4609	855.9	1369	
0.002500	1.3431	862.9	1861	
0.003000	1.3131	865.5	2285	

ตารางที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด และค่าความโค้ง

ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ของพื้น P1F8 ที่ทับหน้าใช้ไฟเบอร์ปริมาณ 800 กรัม/ลบ.ม.

Strain (cm/cm)	c (cm)	Moment (kg-m)	Curvature ( $\times 10^{-6}$ rad/cm)	Remark
0.000020	-	0	-3	Zero Applied Moment
0.000114	-	219.5	14	First Cracking
0.000251	-	539.9	39	
0.001000	1.9907	737.1	502	Ultimate Moment
0.001250	1.8227	806.7	686	
0.001500	1.6127	818.5	930	
0.002000	1.4165	857.7	1412	
0.002500	1.3060	867	1914	
0.003000	1.2803	871.9	2343	

ตารางที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัด และค่าความโค้ง

ที่ได้จากผลการวิเคราะห์ของพื้น P5F10 ที่ทับหน้าใช้ไฟเบอร์ปริมาณ 1000 กรัม/ลบ.ม.

Strain (cm/cm)	c (cm)	Moment (kg-m)	Curvature ( $\times 10^{-6}$ rad/cm)	Remark
0.000026	-	0	-4	Zero Applied Moment
0.000142	-	216.4	17	First Cracking
0.000314	-	541.4	49	
0.001000	1.9179	760.2	521	Ultimate Moment
0.001250	1.7084	811.0	732	
0.001500	1.5116	822.4	992	
0.002000	1.3314	863.7	1502	
0.002500	1.2254	871.5	2040	
0.003000	1.2066	880.2	2486	

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.6 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับ  
การวิเคราะห์ของพื้นตัวอย่าง P2S

ผลการทดสอบ								ผลการวิเคราะห์	
แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)
0	0	0.32	1.83	0.565	3.69	0.72	12.5	0.000	0.00
0.05	0.21	0.33	1.89	0.58	3.82	0.725	13.29	0.040	0.22
0.05	0.2	0.34	1.95	0.59	3.94	0.69	13.45	0.080	0.45
0.05	0.2	0.35	2.03	0.6	4.07	0.69	13.48	0.120	0.67
0.05	0.2	0.36	2.08	0.61	4.21	0.7	13.7	0.160	0.90
0.06	0.32	0.37	2.14	0.62	4.36	0.705	14.01	0.200	1.12
0.07	0.38	0.375	2.2	0.63	4.53	0.72	14.54	0.240	1.35
0.08	0.43	0.39	2.27	0.64	4.71	0.73	15.13	0.280	1.57
0.085	0.49	0.4	2.32	0.63	4.73	0.74	15.8	0.320	1.80
0.1	0.56	0.41	2.4	0.64	4.88	0.75	16.78	0.360	2.02
0.11	0.62	0.42	2.5	0.585	5.01	0.76	18	0.400	2.25
0.12	0.67	0.43	2.54	0.575	5.02	0.77	18.85	0.440	2.47
0.13	0.73	0.44	2.61	0.59	5.19	0.78	19.74	0.480	2.70
0.14	0.79	0.45	2.67	0.6	5.44	0.79	20.85	0.520	2.92
0.15	0.84	0.46	2.74	0.61	5.7	0.78	22.03	0.560	3.15
0.16	0.89	0.45	2.7	0.62	5.97	0.765	22.15	0.589	3.29
0.17	0.96	0.455	2.76	0.625	6.22	0.78	22.68	0.678	10.84
0.18	1.02	0.47	2.82	0.64	6.61	0.77	22.68	0.786	17.95
0.19	1.07	0.455	2.77	0.65	6.87	0.78	22.9	0.860	24.19
0.2	1.13	0.45	2.74	0.66	7.25	0.79	23.3	0.902	28.31
0.21	1.18	0.46	2.81	0.67	7.66	0.795	24	0.946	32.97
0.215	1.24	0.47	2.86	0.655	8.44	0.79	25.44	0.954	33.89
0.23	1.3	0.48	2.92	0.645	8.52	0.795	25.85	0.957	34.19
0.24	1.36	0.49	2.99	0.635	8.55	0.79	25.85		
0.25	1.42	0.5	3.07	0.65	8.68	0.79	25.85		
0.26	1.48	0.51	3.14	0.66	8.89				
0.27	1.53	0.52	3.22	0.665	9.23				
0.275	1.59	0.53	3.31	0.68	9.86				
0.285	1.65	0.54	3.4	0.685	10.41				
0.3	1.71	0.55	3.49	0.7	11.13				
0.31	1.77	0.56	3.59	0.71	11.68				



ตารางที่ 4.7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับ  
การวิเคราะห์ของพื้นตัวอย่าง P4NF0

ผลการทดสอบ								ผลการวิเคราะห์	
แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)
0	0	0.33	2.15	0.585	6.2	0.745	20.82	0.000	0.00
0.05	0.15	0.34	2.28	0.6	6.78	0.735	20.84	0.040	0.28
0.05	0.2	0.35	2.36	0.605	7.14	0.745	21.96	0.080	0.57
0.05	0.2	0.365	2.45	0.62	7.54	0.755	22.83	0.120	0.85
0.06	0.28	0.365	2.49	0.63	7.95	0.765	24.03	0.160	1.14
0.065	0.3	0.38	2.58	0.64	8.48	0.775	25.15	0.200	1.42
0.075	0.36	0.385	2.66	0.645	8.86	0.785	26.65	0.240	1.70
0.085	0.43	0.4	2.75	0.655	9.24	0.775	26.88	0.280	1.99
0.095	0.52	0.415	2.89	0.645	9.27	0.785	27.57	0.320	2.27
0.105	0.59	0.425	2.98	0.66	9.65	0.795	29.4	0.360	2.56
0.12	0.68	0.43	3.07	0.665	9.97	0.785	29.4	0.400	2.84
0.13	0.73	0.44	3.17	0.675	10.49	0.795	30.18	0.440	3.12
0.135	0.78	0.45	3.25	0.665	10.52	0.805	31.17	0.480	3.41
0.15	0.87	0.465	3.39	0.675	10.87	0.82	32.25	0.520	3.69
0.155	0.92	0.47	3.47	0.69	11.37	0.83	33.67	0.560	3.98
0.165	0.97	0.475	3.57	0.695	11.82	0.815	33.73	0.604	4.30
0.18	1.08	0.49	3.69	0.665	11.85	0.83	35.36	0.697	10.87
0.19	1.14	0.5	3.84	0.665	11.88	0.815	35.79	0.805	17.81
0.2	1.19	0.505	3.91	0.655	11.89			0.875	23.59
0.215	1.3	0.52	4.05	0.67	12.09			0.903	26.29
0.22	1.34	0.53	4.18	0.68	12.3			0.947	30.67
0.23	1.4	0.535	4.3	0.69	12.69			0.955	31.53
0.24	1.47	0.55	4.44	0.695	13.26			0.958	31.81
0.25	1.6	0.555	4.58	0.705	14.41				
0.255	1.6	0.57	4.8	0.715	15.72				
0.27	1.76	0.58	5.05	0.725	18.31				
0.28	1.78	0.55	5.21	0.715	18.31				
0.295	1.9	0.545	5.24	0.725	18.83				
0.295	1.93	0.56	5.44	0.715	18.84				
0.305	1.99	0.57	5.62	0.73	19.51				
0.325	2.16	0.58	5.91	0.74	20.11				

ตารางที่ 4.8 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับ  
การวิเคราะห์ของพื้นตัวอย่าง P3F6

ผลการทดสอบ								ผลการวิเคราะห์	
แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)
0	0	0.375	2.43	0.62	5.72	0.74	17.13	0.000	0.00
0.05	0.19	0.385	2.5	0.635	5.89	0.75	18	0.040	0.28
0.095	0.52	0.39	2.57	0.64	6.01	0.76	19.1	0.080	0.56
0.09	0.51	0.4	2.64	0.65	6.21	0.77	19.98	0.120	0.84
0.1	0.58	0.41	2.77	0.66	6.94	0.78	21.55	0.160	1.12
0.11	0.63	0.42	2.81	0.67	7.3	0.785	22.51	0.200	1.40
0.12	0.69	0.43	2.9	0.675	7.7	0.76	22.49	0.240	1.68
0.13	0.76	0.445	3	0.665	7.71	0.775	22.94	0.280	1.96
0.14	0.82	0.45	3.1	0.655	7.72	0.8	25.93	0.320	2.24
0.15	0.89	0.465	3.2	0.67	7.93	0.815	26.79	0.360	2.52
0.16	0.93	0.475	3.29	0.68	8.16	0.825	27.88	0.400	2.80
0.17	1.02	0.485	3.36	0.69	9.15	0.83	29.02	0.440	3.08
0.18	1.08	0.49	3.44	0.7	9.84	0.845	31.03	0.480	3.36
0.19	1.13	0.505	3.56	0.69	9.96	0.855	32.41	0.520	3.64
0.2	1.2	0.51	3.63	0.7	10.27	0.865	33.85	0.560	3.92
0.22	1.32	0.525	3.75	0.71	10.77	0.87	35.23	0.584	4.10
0.22	1.33	0.535	3.87	0.695	10.82	0.885	37.79	0.689	10.96
0.23	1.41	0.545	3.99	0.71	11.14	0.895	39.32	0.802	18.44
0.24	1.48	0.545	4.05	0.685	11.22	0.9	40.63	0.875	24.59
0.255	1.56	0.56	4.16	0.7	11.68	0.89	41.04	0.907	27.76
0.27	1.66	0.575	4.35	0.71	12.14	0.88	41.14	0.951	32.24
0.27	1.66	0.58	4.45	0.72	12.74			0.959	33.09
0.28	1.72	0.59	4.57	0.7	12.78			0.962	33.39
0.29	1.81	0.6	4.73	0.695	12.88				
0.3	1.89	0.615	4.92	0.71	13.35				
0.315	1.98	0.62	5.05	0.72	13.92				
0.32	2.02	0.635	5.24	0.73	14.64				
0.33	2.1	0.64	5.41	0.74	15.45				
0.345	2.19	0.63	5.44	0.705	15.46				
0.355	2.28	0.645	5.67	0.72	15.96				
0.365	2.37	0.63	5.71	0.73	16.4				



ตารางที่ 4.9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับ  
การวิเคราะห์ของพื้นตัวอย่าง P1F8

ผลการทดสอบ								ผลการวิเคราะห์	
แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)
0	0	0.25	1.3	0.565	3.78	0.79	21.8	0.000	0.00
0.05	0.18	0.265	1.41	0.575	3.92	0.775	21.82	0.040	0.22
0.065	0.28	0.27	1.44	0.64	6.64	0.77	21.82	0.080	0.44
0.075	0.34	0.285	1.53	0.655	6.97	0.785	22.11	0.120	0.66
0.08	0.38	0.29	1.56	0.67	7.35	0.795	22.41	0.160	0.88
0.065	0.29	0.305	1.63	0.635	7.43	0.805	23.05	0.200	1.09
0.055	0.23	0.315	1.69	0.63	7.44	0.815	23.87	0.240	1.31
0.05	0.2	0.32	1.75	0.625	7.45	0.825	24.62	0.280	1.53
0.06	0.25	0.33	1.8	0.635	7.63	0.775	24.68	0.320	1.75
0.075	0.34	0.345	1.89	0.65	7.92	0.77	24.72	0.360	1.97
0.08	0.36	0.345	1.89	0.66	8.32	0.785	25.12	0.400	2.19
0.065	0.29	0.36	1.98	0.67	8.81	0.795	25.71	0.440	2.41
0.055	0.23	0.37	2.02	0.675	9.19	0.805	26.14	0.480	2.63
0.07	0.31	0.385	2.12	0.685	9.59	0.815	26.7	0.520	2.85
0.085	0.39	0.395	2.21	0.695	10.23	0.83	27.5	0.560	3.06
0.09	0.41	0.405	2.27	0.705	11.05	0.835	28.3	0.600	3.27
0.1	0.46	0.415	2.34	0.715	11.81	0.825	28.31	0.704	11.02
0.11	0.52	0.425	2.42	0.705	11.89	0.835	28.91	0.819	18.53
0.12	0.58	0.43	2.49	0.715	12.29	0.825	28.96	0.896	24.98
0.13	0.65	0.44	2.58	0.73	13.02	0.835	29.8	0.909	26.36
0.14	0.7	0.45	2.67	0.735	13.79	0.84	30.42	0.953	30.63
0.15	0.75	0.465	2.75	0.745	14.88	0.84	32.12	0.963	31.68
0.16	0.79	0.48	2.88	0.755	15.72			0.969	32.23
0.17	0.85	0.485	2.96	0.765	16.53				
0.18	0.9	0.5	3.08	0.75	16.53				
0.195	0.99	0.5	3.13	0.775	17.72				
0.205	1.04	0.515	3.24	0.785	18.53				
0.21	1.09	0.525	3.34	0.795	19.4				
0.22	1.15	0.535	3.45	0.785	19.45				
0.23	1.19	0.55	3.59	0.795	20.05				
0.24	1.28	0.55	3.64	0.805	20.89				

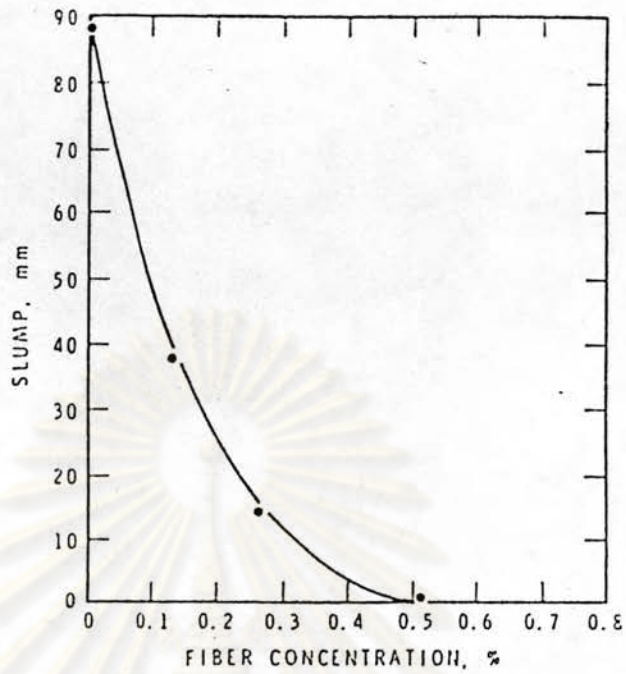
ตารางที่ 4.10 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว จากผลการทดสอบเทียบกับ  
การวิเคราะห์ของพื้นตัวอย่าง P5F10

ผลการทดสอบ								ผลการวิเคราะห์	
แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)	แรง (ตัน)	การแอ่นตัว (มม.)
0	0	0.42	2.43	0.69	5.36	0.76	13.41	0.000	0.00
0.05	0.21	0.43	2.52	0.68	5.37	0.725	13.53	0.040	0.27
0.075	0.36	0.44	2.58	0.695	5.5	0.74	14.16	0.080	0.54
0.08	0.4	0.455	2.66	0.705	5.58	0.75	14.46	0.120	0.80
0.095	0.47	0.46	2.73	0.71	5.7	0.76	15.05	0.160	1.07
0.105	0.52	0.47	2.8	0.72	5.82	0.77	15.83	0.200	1.34
0.11	0.58	0.48	2.85	0.71	5.84	0.755	15.98	0.240	1.61
0.12	0.64	0.49	2.92	0.72	6	0.77	16.4	0.280	1.87
0.15	0.79	0.5	3.01	0.675	6.22	0.78	17.18	0.320	2.14
0.165	0.86	0.51	3.09	0.67	6.26	0.79	18.27	0.360	2.41
0.17	0.9	0.52	3.16	0.665	6.27	0.775	18.27	0.400	2.68
0.18	0.96	0.535	3.24	0.685	6.57	0.79	19.04	0.440	2.94
0.19	1.02	0.54	3.31	0.695	6.89	0.8	19.9	0.480	3.21
0.2	1.09	0.55	3.41	0.7	7.1	0.76	20.05	0.520	3.48
0.22	1.2	0.565	3.53	0.71	7.43	0.755	20.09	0.560	3.75
0.24	1.31	0.57	3.61	0.72	7.86	0.77	20.42	0.602	4.17
0.25	1.37	0.585	3.69	0.73	8.38	0.78	20.88	0.725	11.31
0.27	1.5	0.59	3.78	0.74	8.89	0.79	21.3	0.845	19.13
0.28	1.53	0.6	3.87	0.75	10.54	0.795	21.93	0.901	23.82
0.305	1.69	0.61	3.97	0.73	10.57	0.81	23.02	0.914	25.04
0.31	1.72	0.62	4.07	0.73	10.99	0.82	24.19	0.960	29.31
0.32	1.78	0.635	4.22	0.715	11	0.83	25.56	0.968	30.13
0.33	1.85	0.64	4.31	0.725	11.12	0.82	25.63	0.978	31.07
0.345	1.95	0.65	4.46	0.74	11.41	0.83	26.4		
0.35	1.99	0.665	4.62	0.73	11.44	0.84	27.37		
0.36	2.05	0.67	4.72	0.74	11.66	0.83	27.42		
0.37	2.11	0.68	4.87	0.75	12.15	0.84	28.41		
0.38	2.2	0.67	4.9	0.735	12.16	0.85	29.28		
0.39	2.26	0.675	5	0.73	12.16	0.86	30.69		
0.4	2.32	0.695	5.16	0.745	12.54	0.87	32.26		
0.41	2.38	0.7	5.33	0.75	12.83				

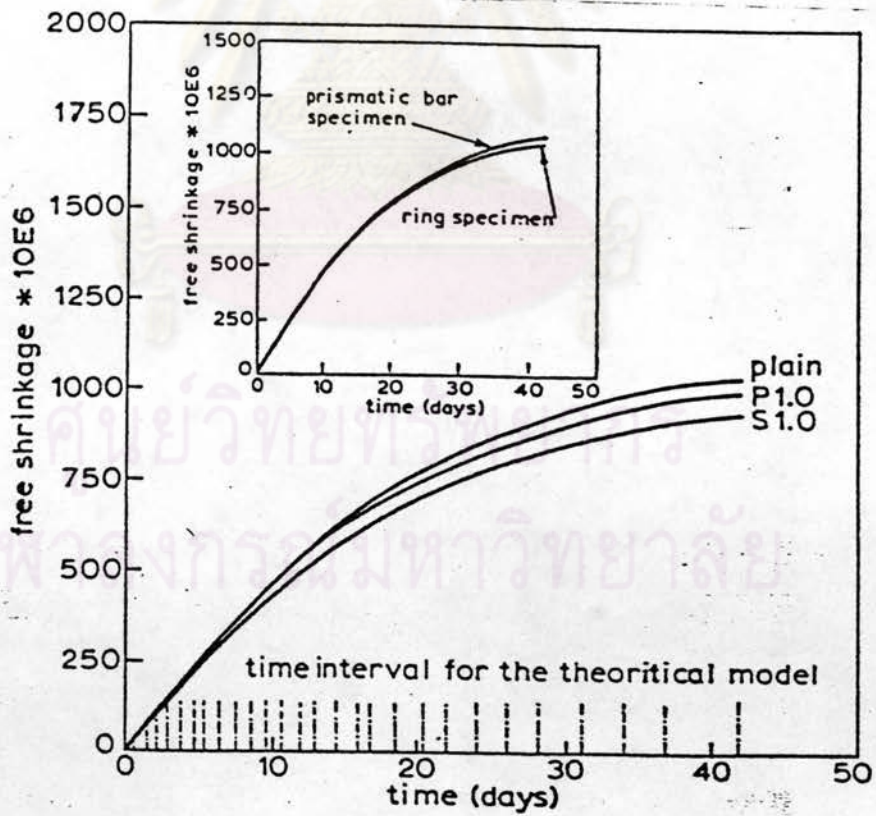
ตารางที่ 4.11 แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวเริ่มแรกและที่จุดประลัยของแผ่นพื้น

พื้นตัวอย่างทดสอบ	จุดแตกร้าวเริ่มแรก						จุดประลัย				
	น้ำหนักบรรทุก (กก.)			ระยะการแอ่นตัว (มม.)			น้ำหนักบรรทุก (กก.)				
	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	วิธี Strain Compatibility	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{วิธี StrainCompatibility}}$	วิธี ACI	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{วิธี ACI}}$
P2S	640	589	1.09	4.88	3.29	1.48	990	957	1.03	852	1.16
P4NF0	580	604	0.96	5.05	4.30	1.17	930	958	0.97	850	1.09
P3F6	645	584	1.10	5.67	4.10	1.38	980	962	1.02	852	1.15
P1F8	640	600	1.07	6.64	3.27	2.03	985	969	1.02	856	1.15
P5F10	720	602	1.20	6.00	4.17	1.44	1035	978	1.06	852	1.21

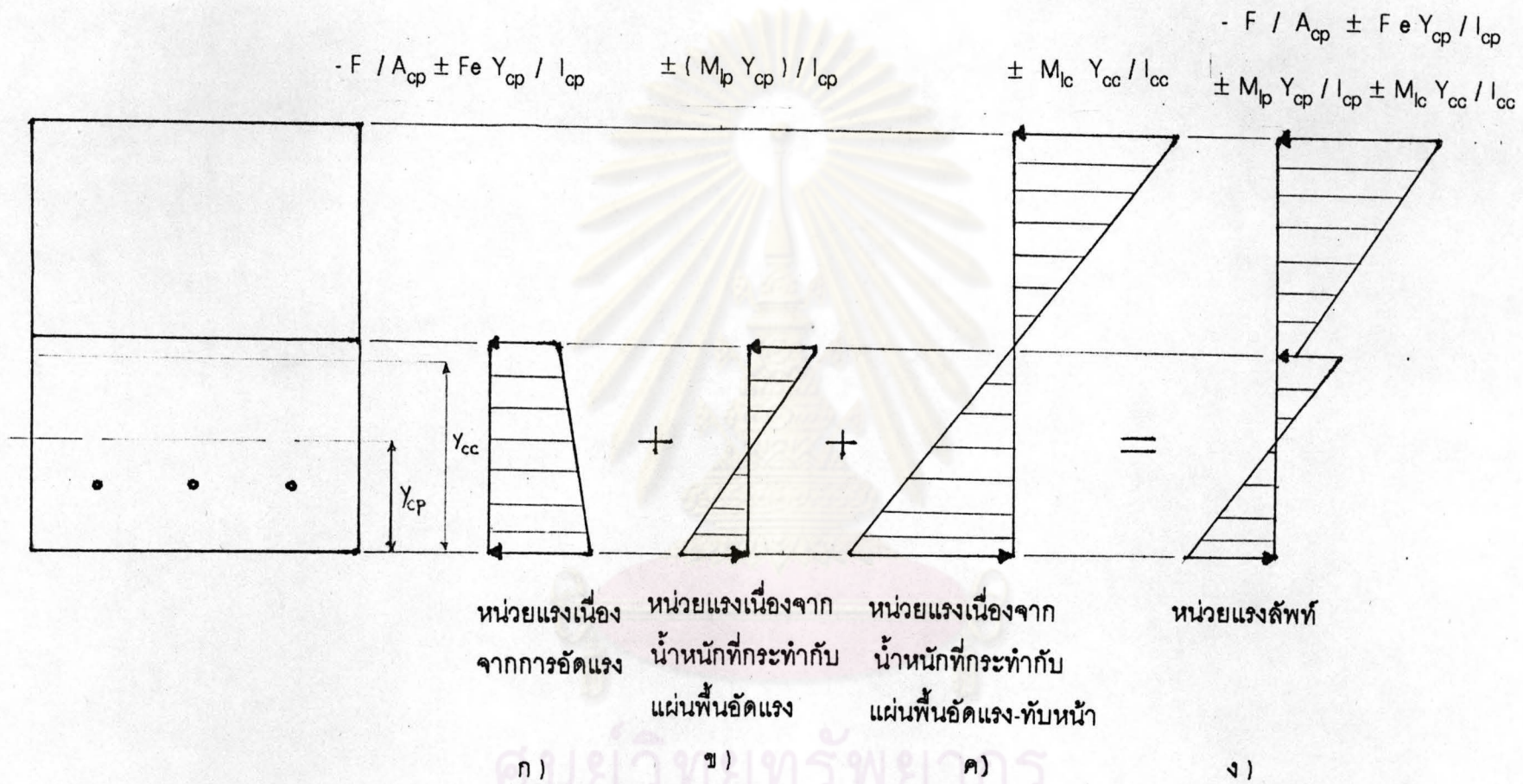
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



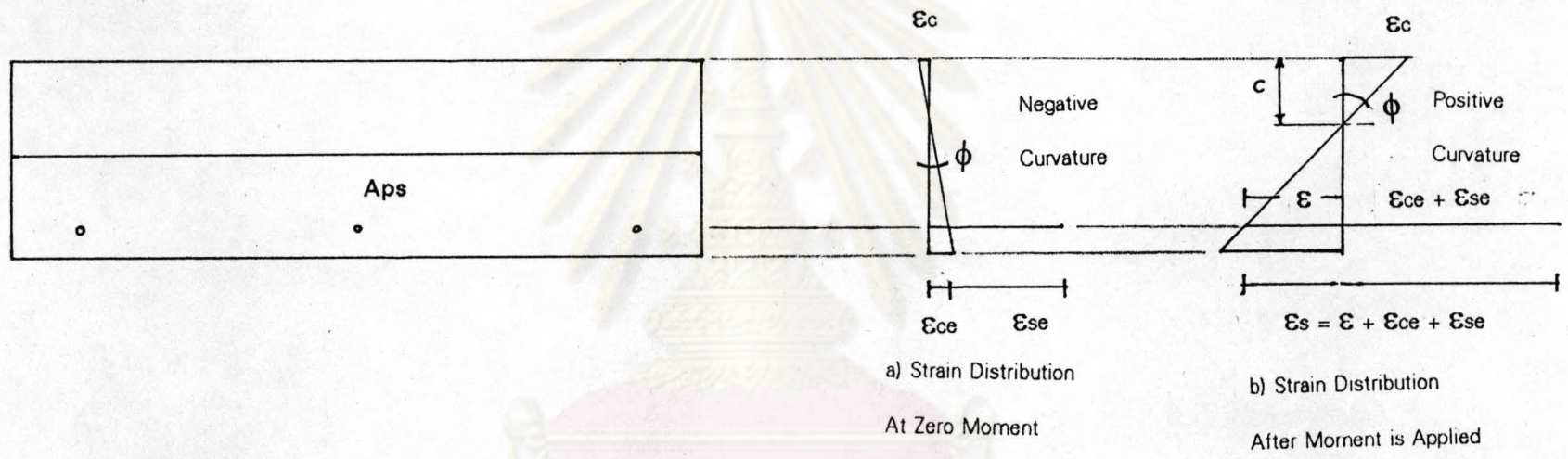
รูปที่ 1.1 การยุบตัวของไฟเบอร์คอนกรีต



รูปที่ 1.2 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวเนื่องจากการสูญเสียน้ำของคอนกรีตกับเวลา



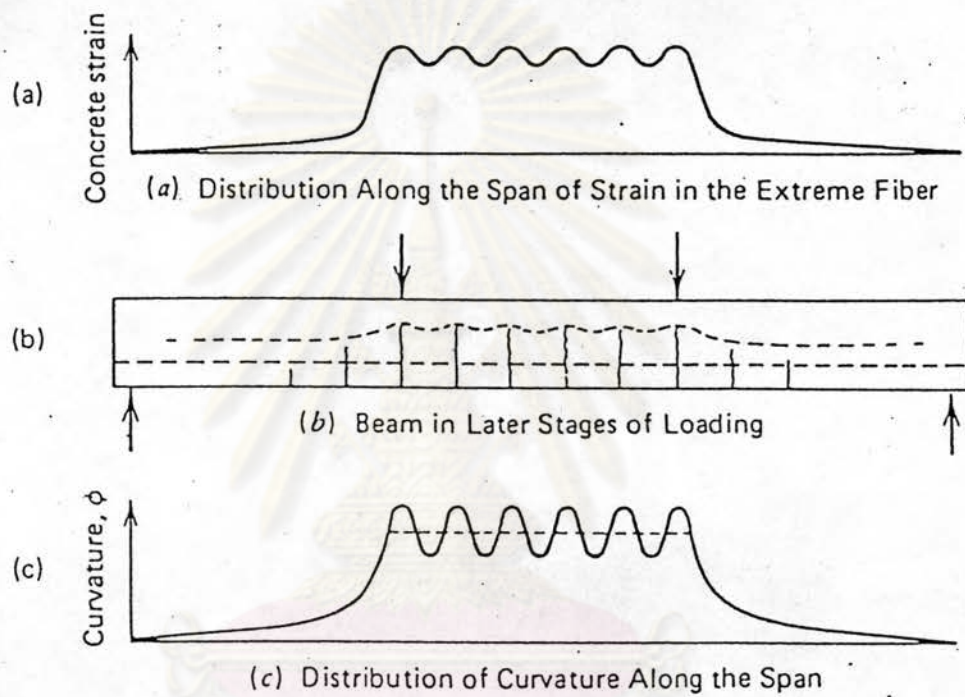
รูปที่ 2.1 การกระจายของหน่วยแรงที่หน้าตัดของแผ่นพื้นอัดแรง - ทับหน้า



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 รูปที่ 2.2 แสดงการแจกแจงความเครียดบนหน้าตัดเป็นเส้นตรง

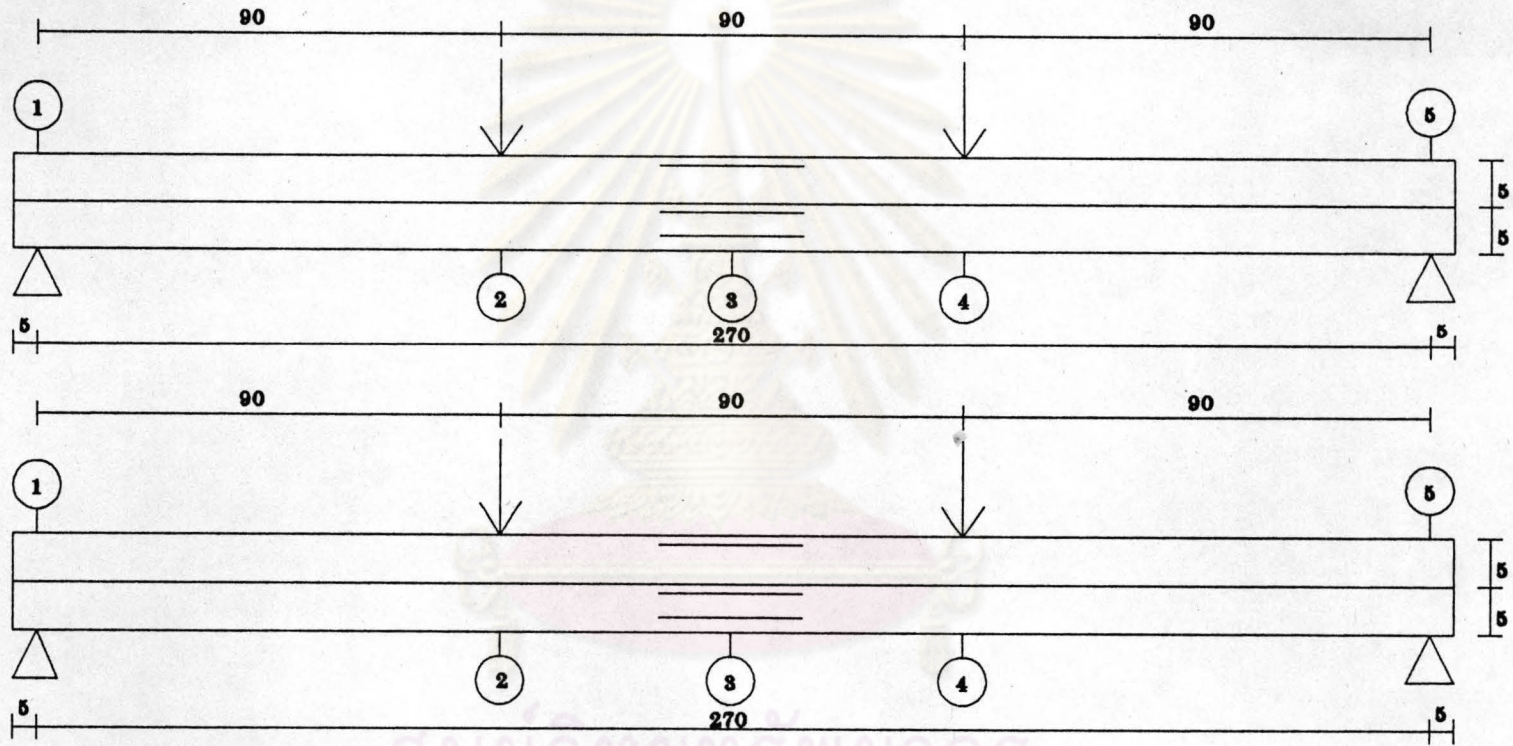






รูปที่ 2.4 แสดงความโค้งหลังการแตกร้าวของหน้าตัดเป็นค่าเฉลี่ยระหว่างค่าความโค้งสูงสุดที่หน้าตัดแตกร้าวและความโค้งต่ำสุดที่หน้าตัดซึ่งอยู่ระหว่างรอยแตกร้าว

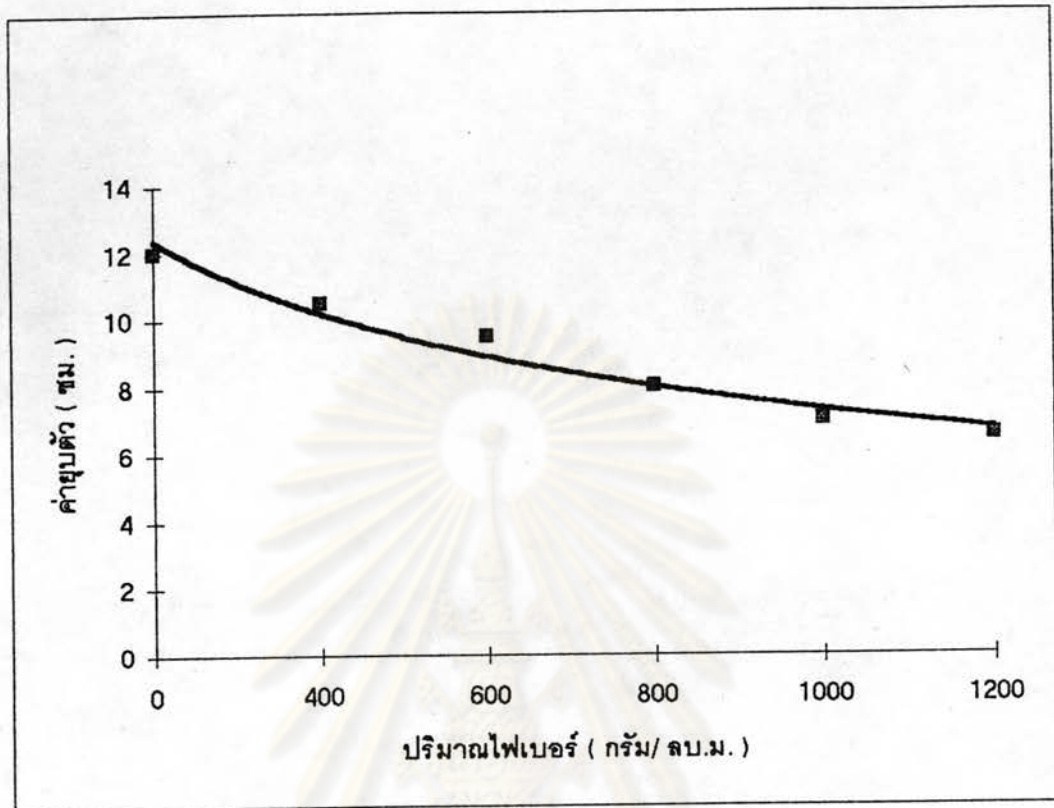
ก. ด้านหน้า



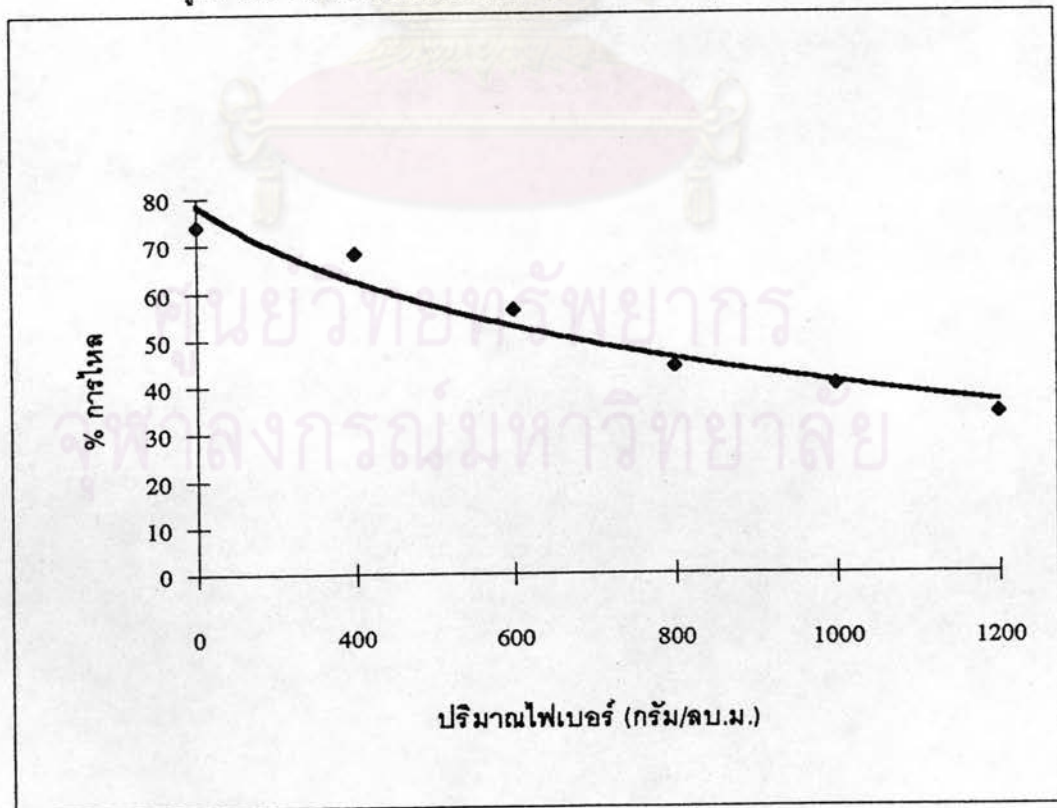
ข. ด้านหลัง

————— ภาจวัดความเครียดไฟฟ้า      ○ ภาจวัดแบบหน้าปัทม์      ทุกมิติมีหน่วยเป็น ซม.

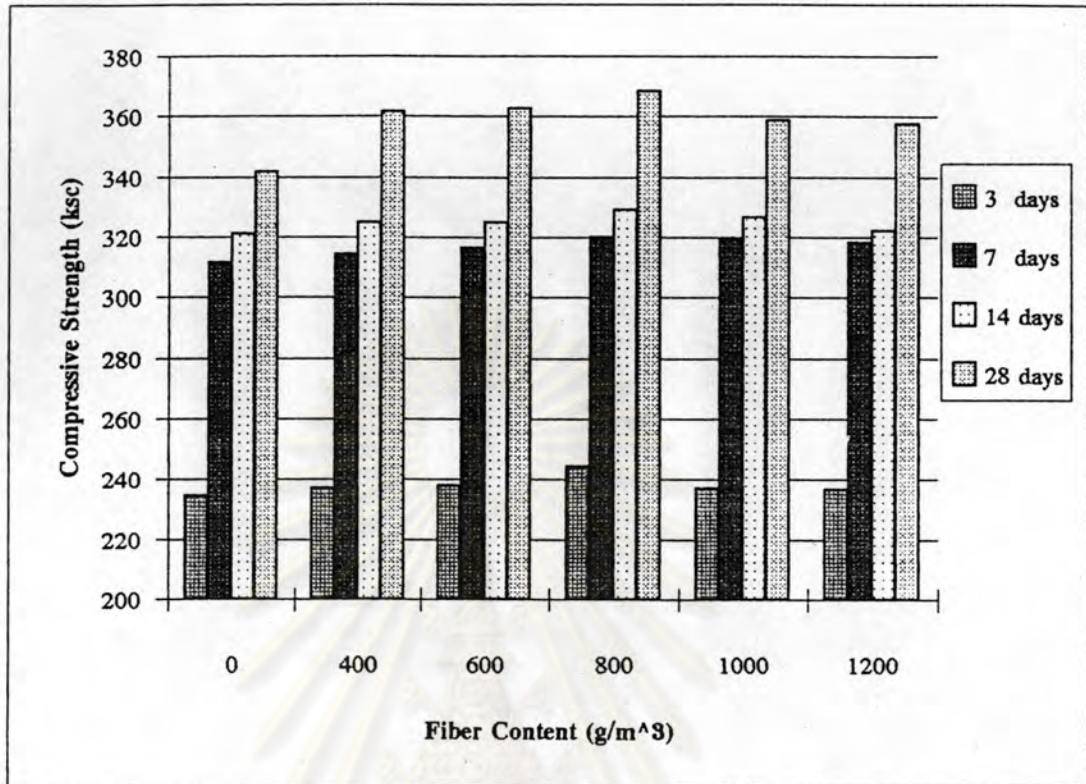
รูปที่ 3.1 การติดตั้งเครื่องมือทดสอบ แผ่นพื้นห้องเรียบพร้อมทับหน้า



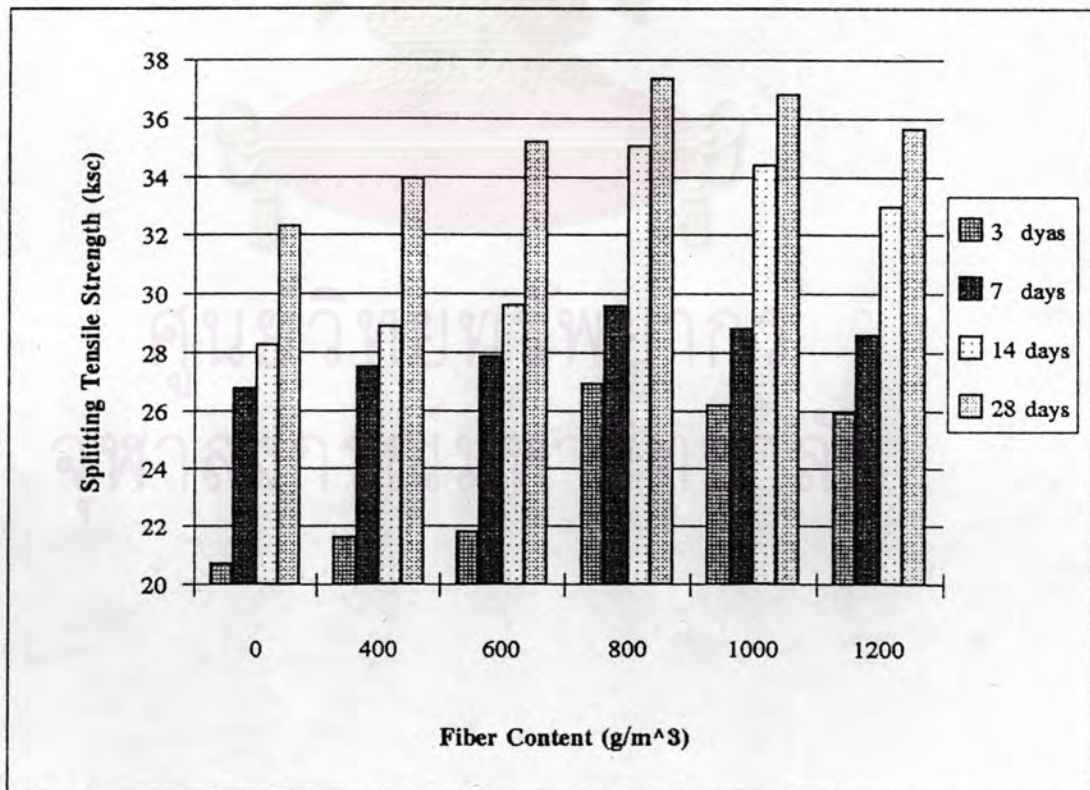
รูปที่ 3.2 ผลกระทบของปริมาณไฟเบอร์ ต่อค่าการยุบตัว ( $w/c=0.57$ )



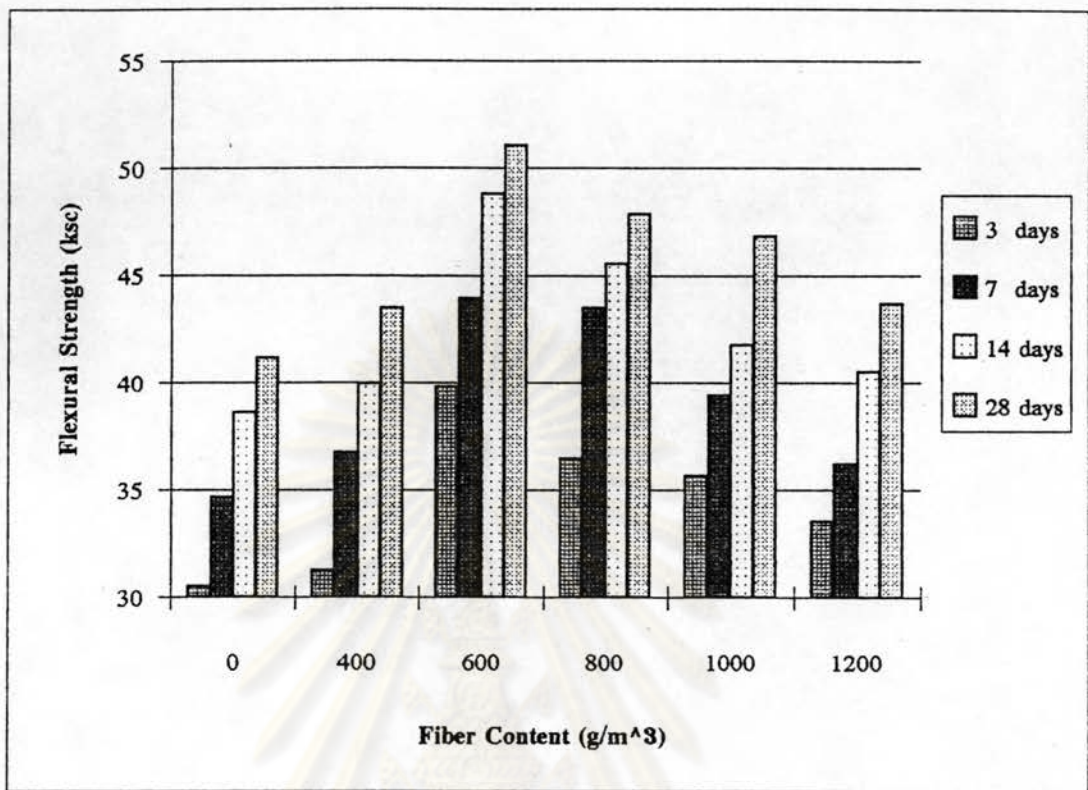
รูปที่ 3.3 ผลกระทบของปริมาณไฟเบอร์ ต่อ % การไหล ( $w/c=0.57$ )



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับปริมาณไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

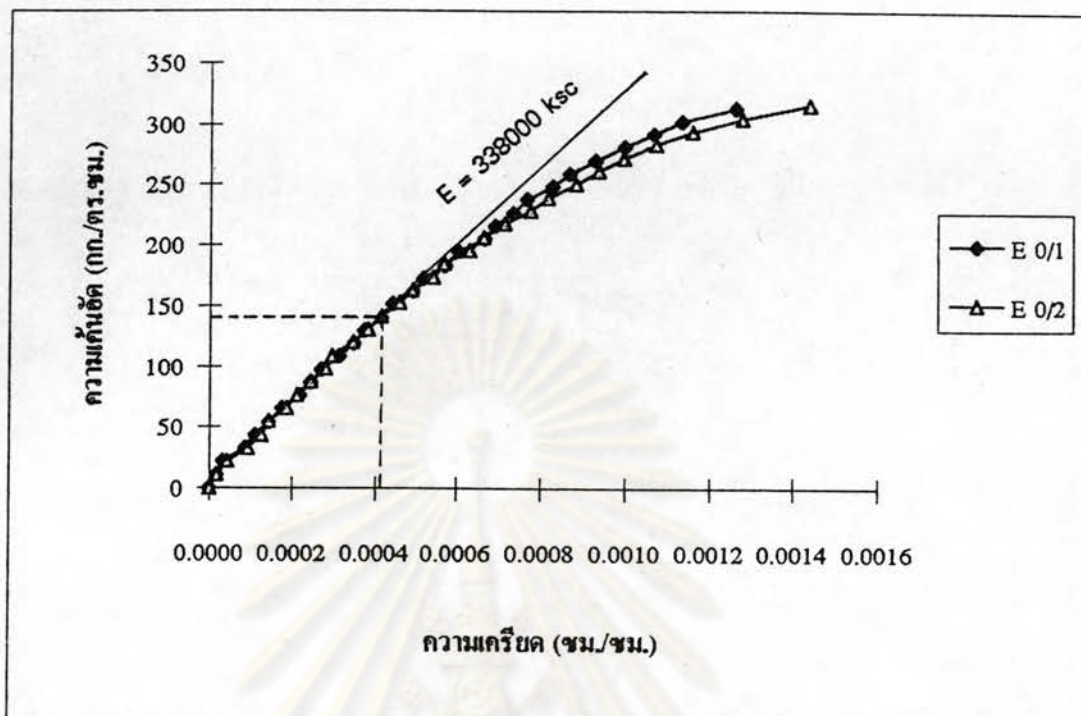


รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังดึงแตกกระจายของคอนกรีตปกติ  
กับคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

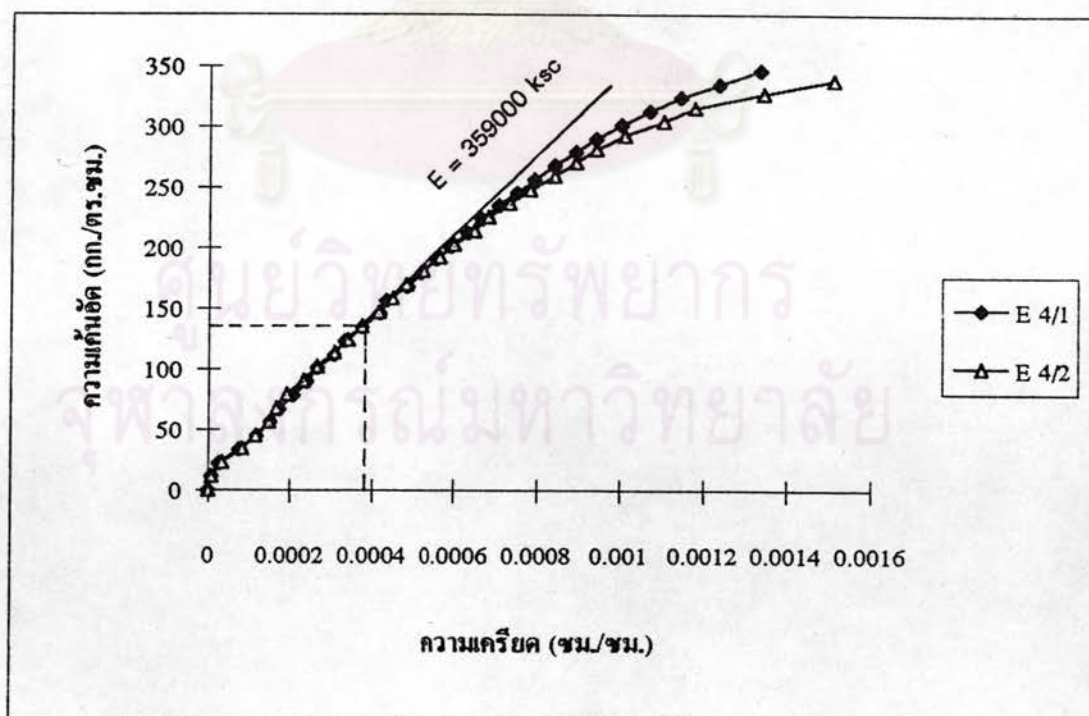


รูปที่ 3.6 กำลังรับแรงดัดของคอนกรีตปกติ และคอนกรีตเสริมไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

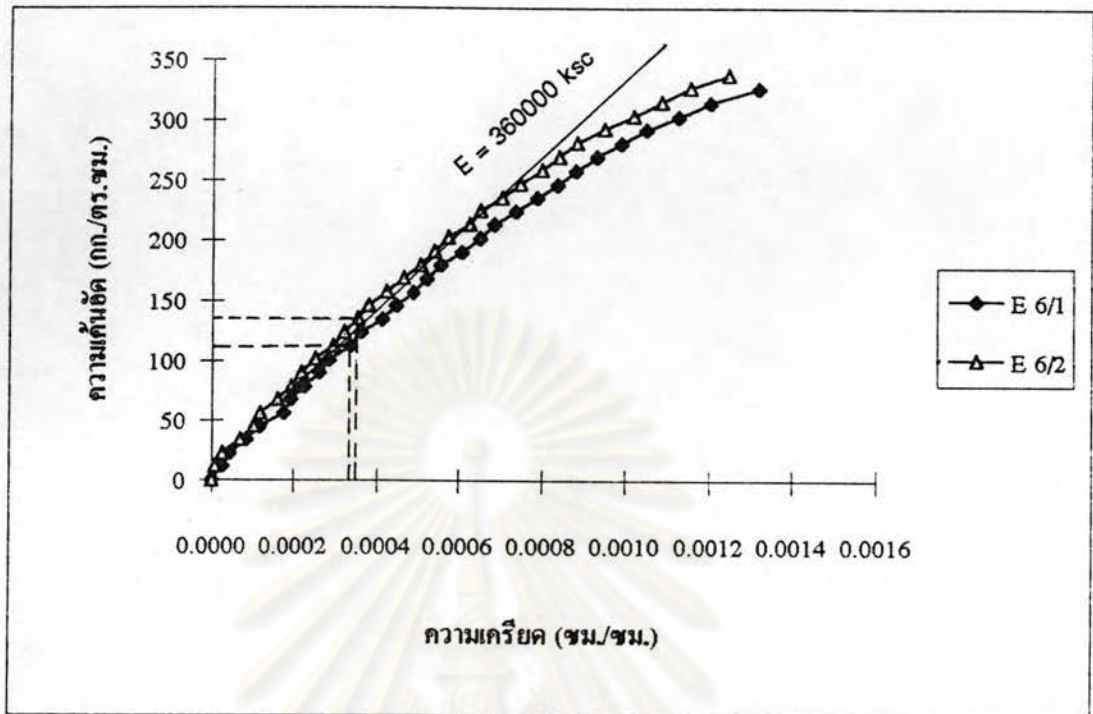


รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความเครียดของคอนกรีต



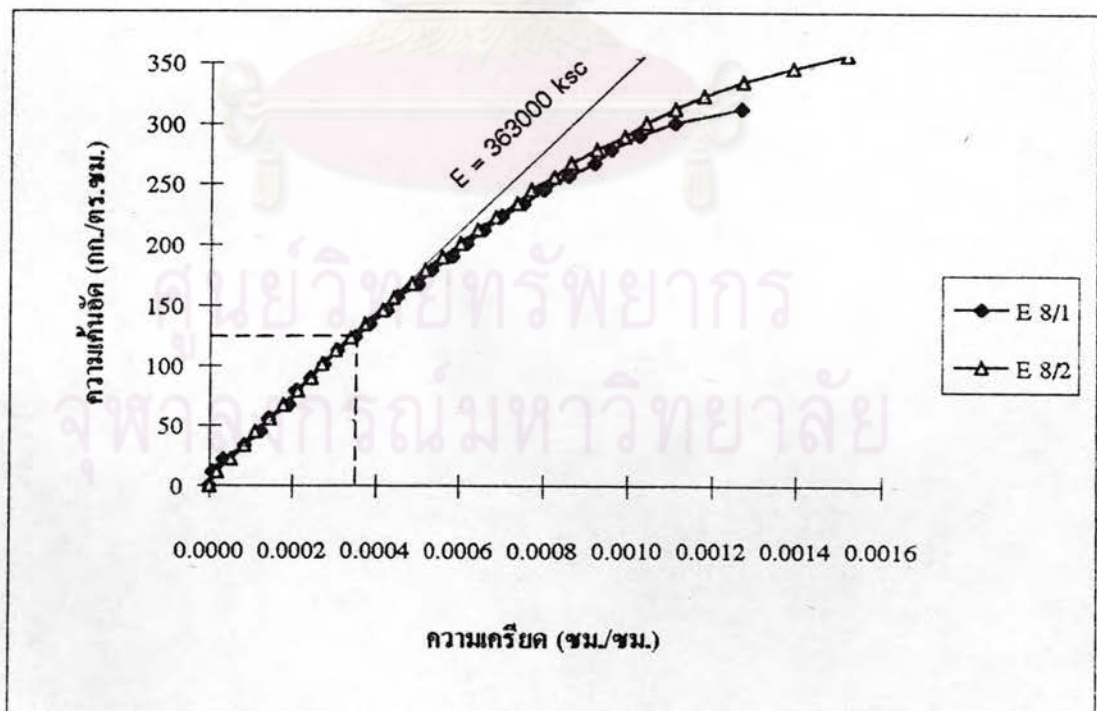
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับความเครียดของคอนกรีตเสริม

ไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน ปริมาณ 400 กรัม / ลบ.ม.



รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับความเครียดของคอนกรีตเสริม

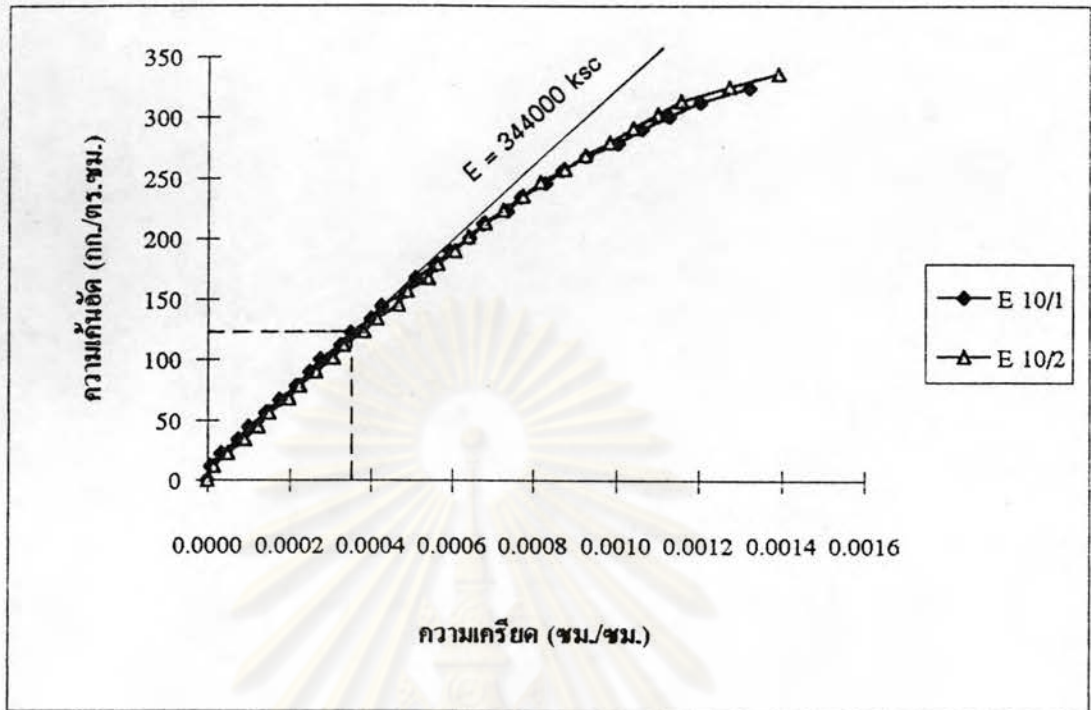
ไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน ปริมาณ 600 กรัม / ลบ.ม.



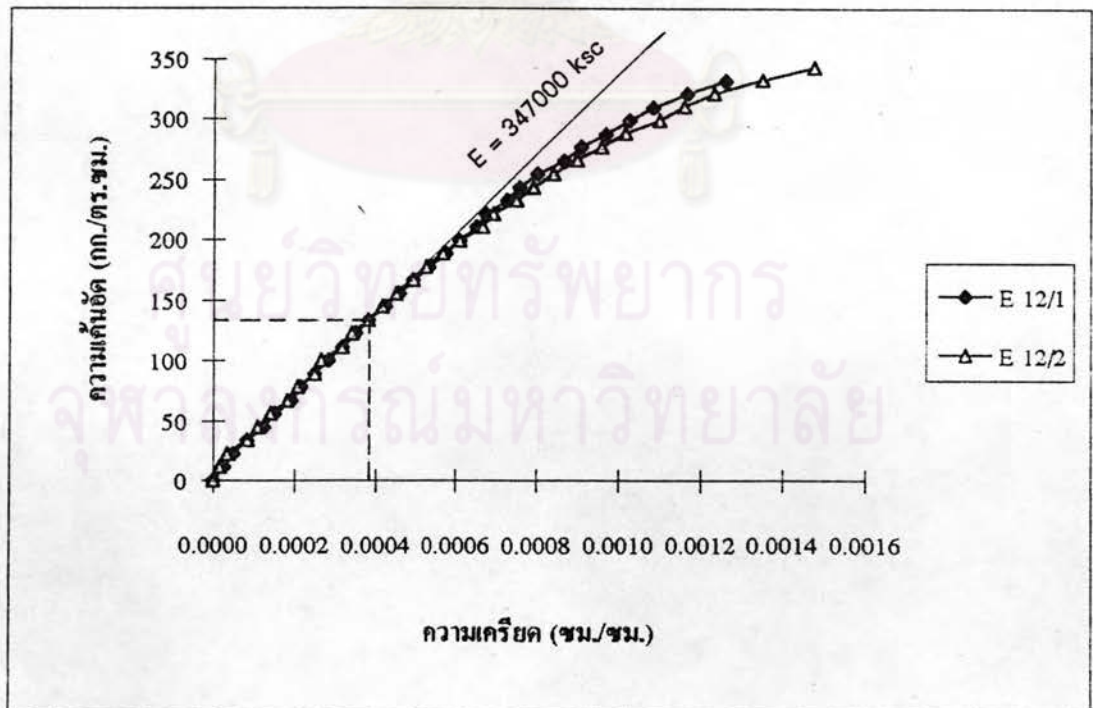
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับความเครียดของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์

ไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน ปริมาณ 800 กรัม / ลบ.ม.

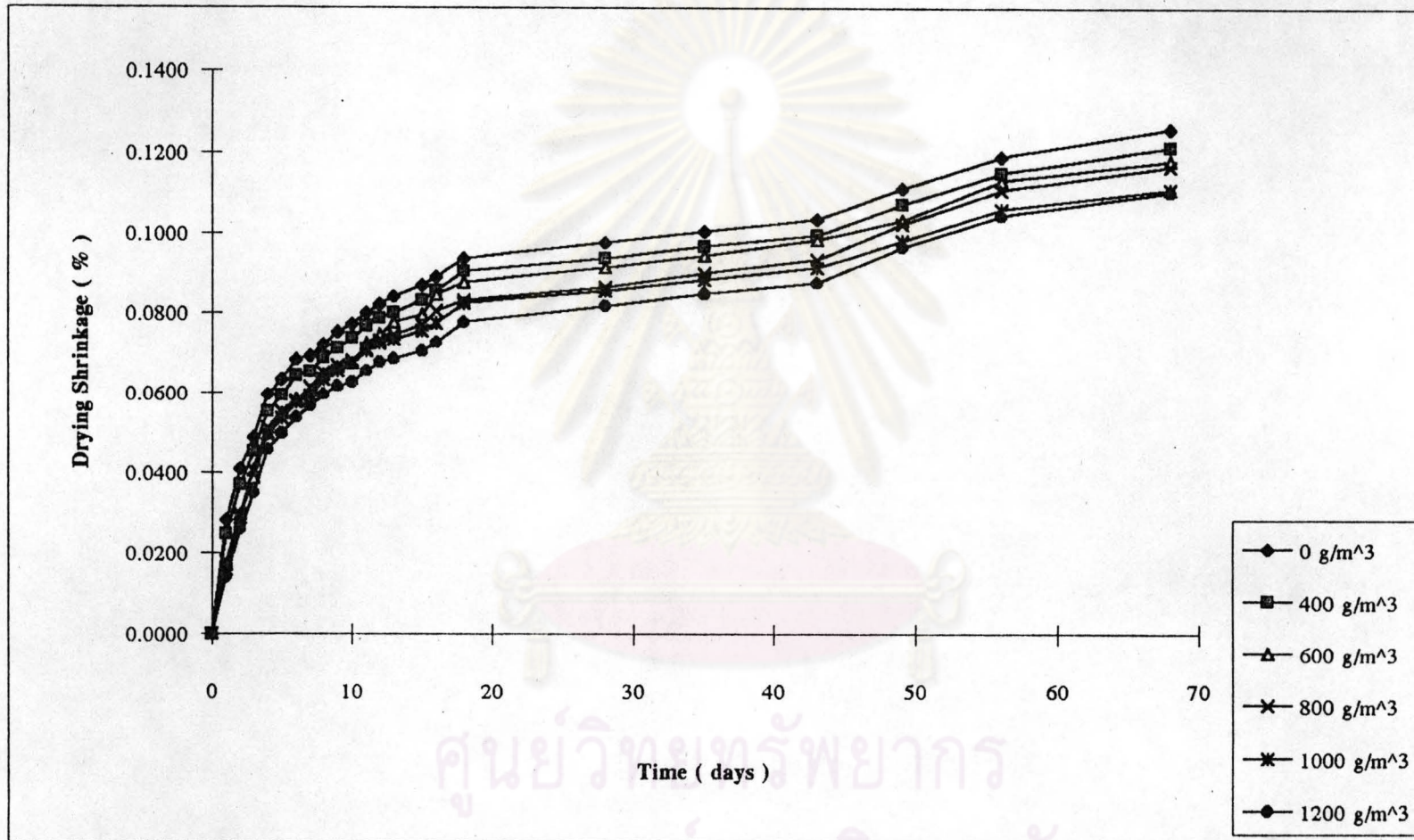




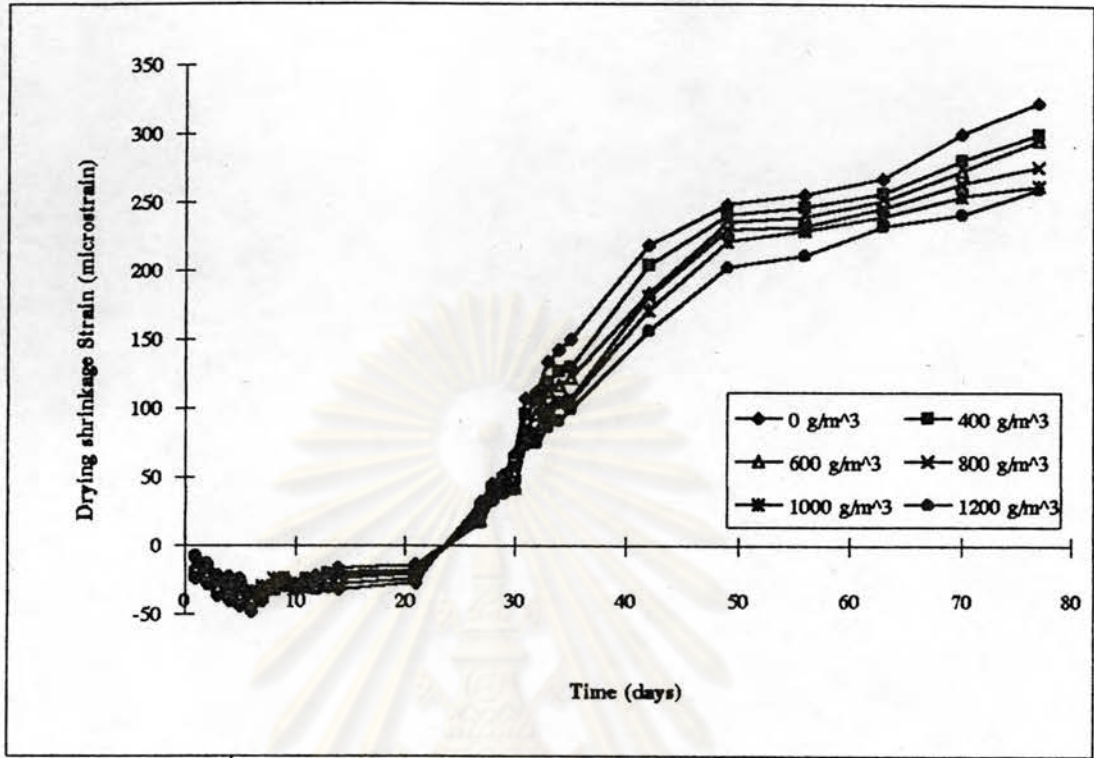
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับความเครียดของคอนกรีตเสริมไฟเบอร์  
ไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน ปริมาณ 1000 กรัม / ลบ.ม.



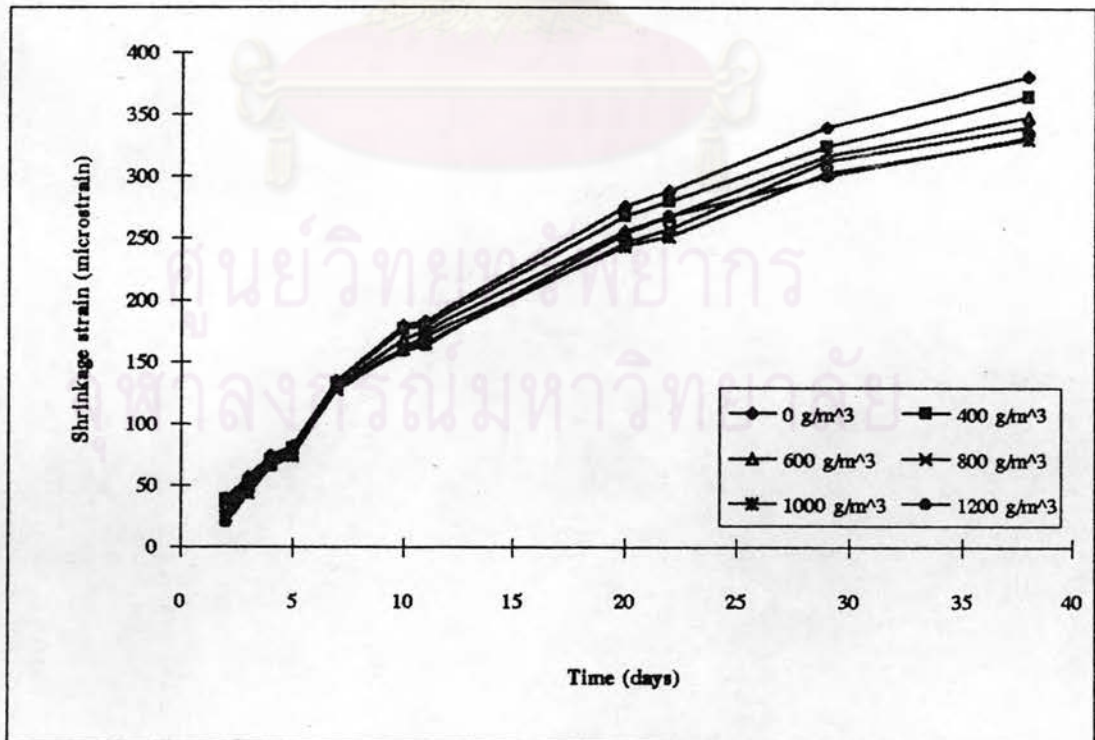
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด กับความเครียดของคอนกรีตเสริม  
ไฟเบอร์โพลีโพรพิลีน ปริมาณ 1200 กรัม / ลบ.ม.



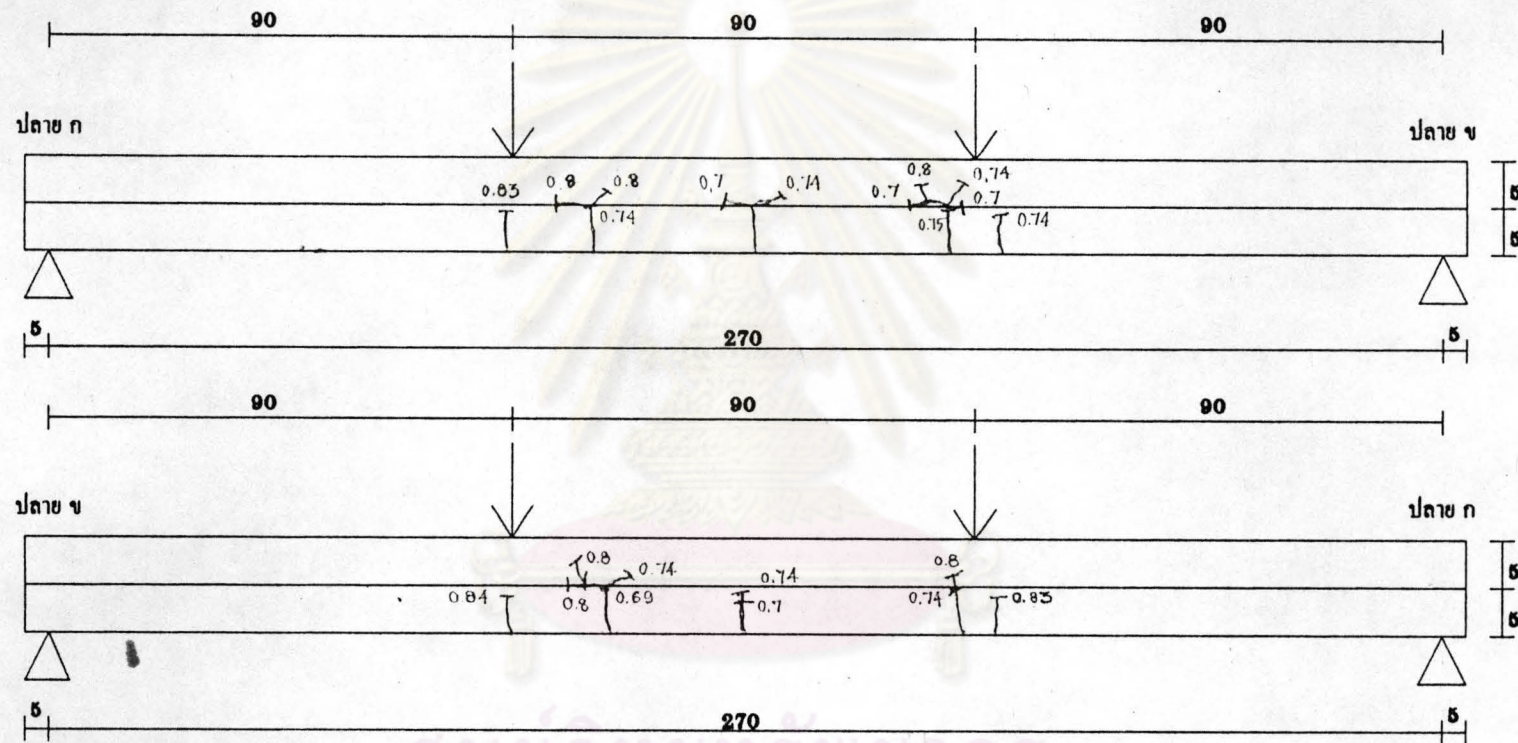
รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของแท่งมอร์ต้า กับเวลา



รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต กับเวลา  
เมื่อบ่มคอนกรีตในน้ำ 28 วัน

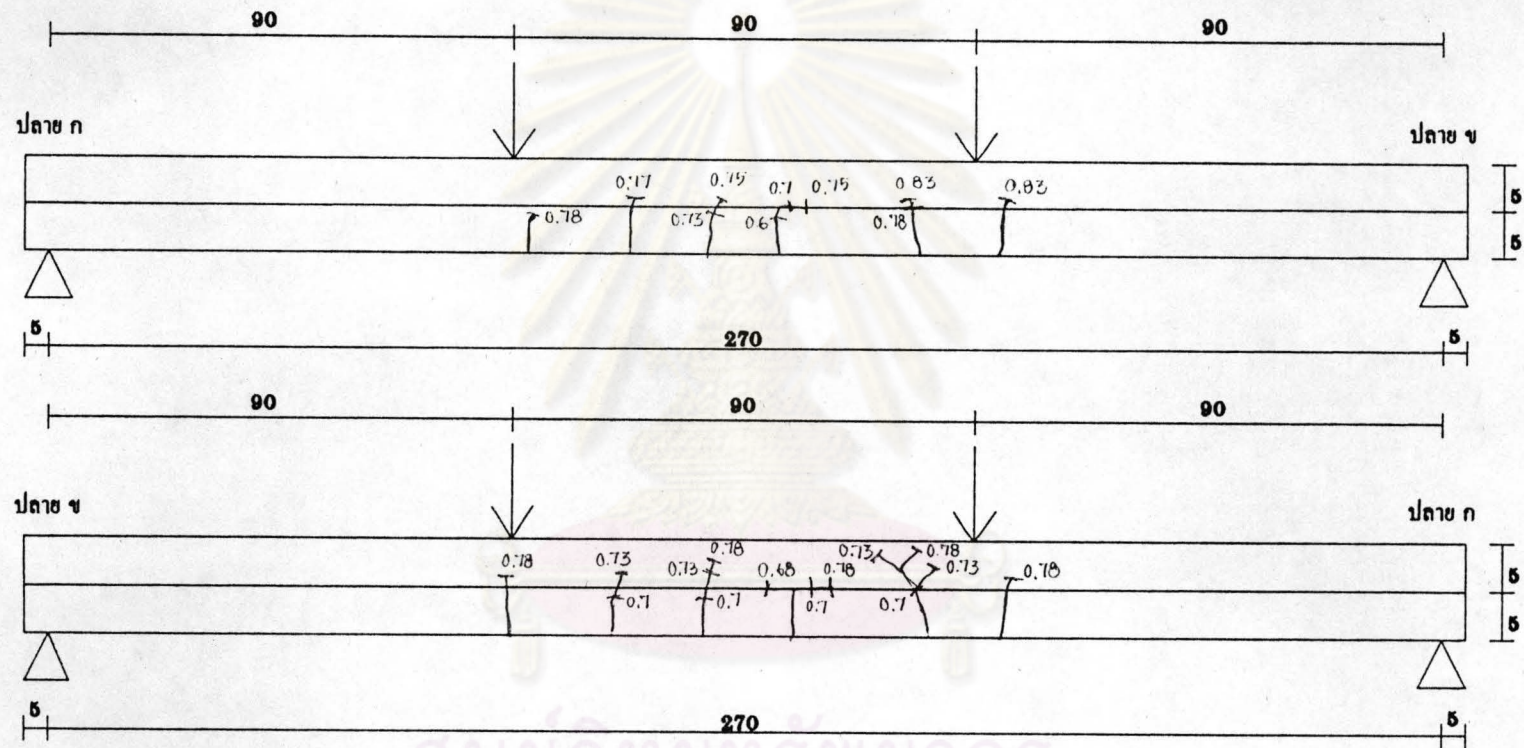


รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต กับเวลา  
เมื่อบ่มในห้คงควบคุมความชื้นทันที



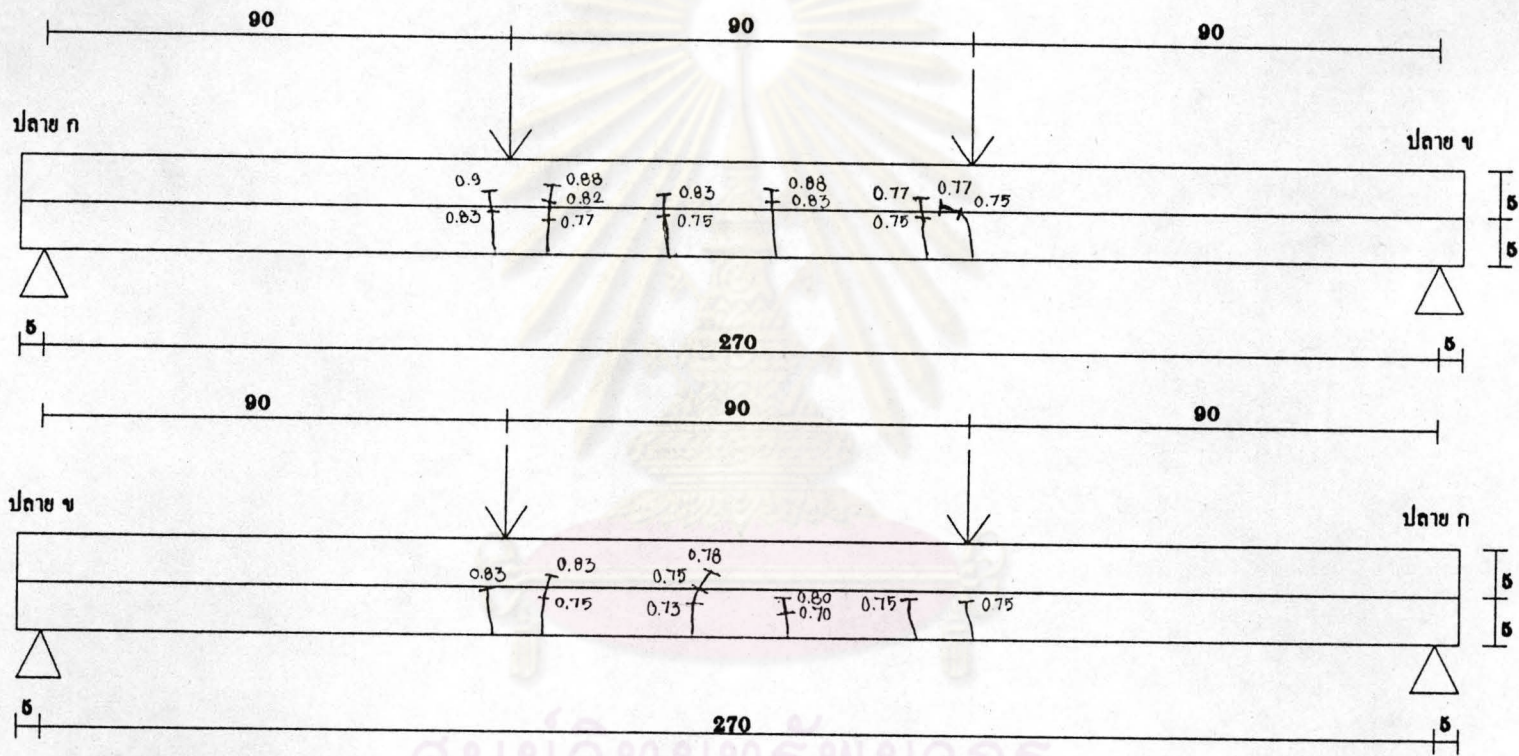
ศูนย์วิทยทรัพยากร

รูปที่ 3.16 แสดงรอยแตกของแผ่นพื้น P2S  
(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (ตัน) ขณะเกิดรอยแตกแล้ว)



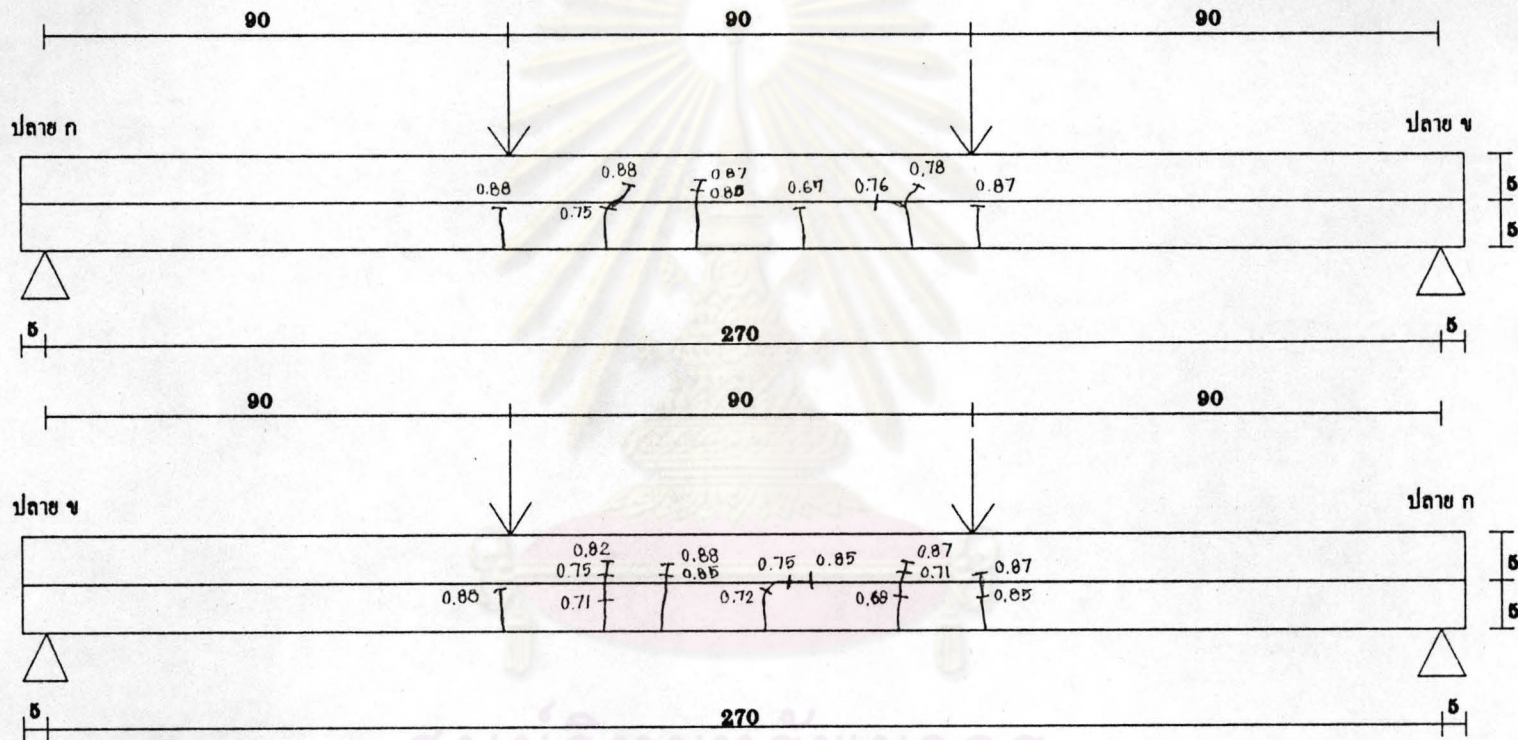
ศูนย์วิทยาศาสตร์พญากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 3.17 แสดงรอยแตกของแผ่นพื้น P4NFO  
(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (ตัน) ขณะเกิดรอยแตกแล้ว)

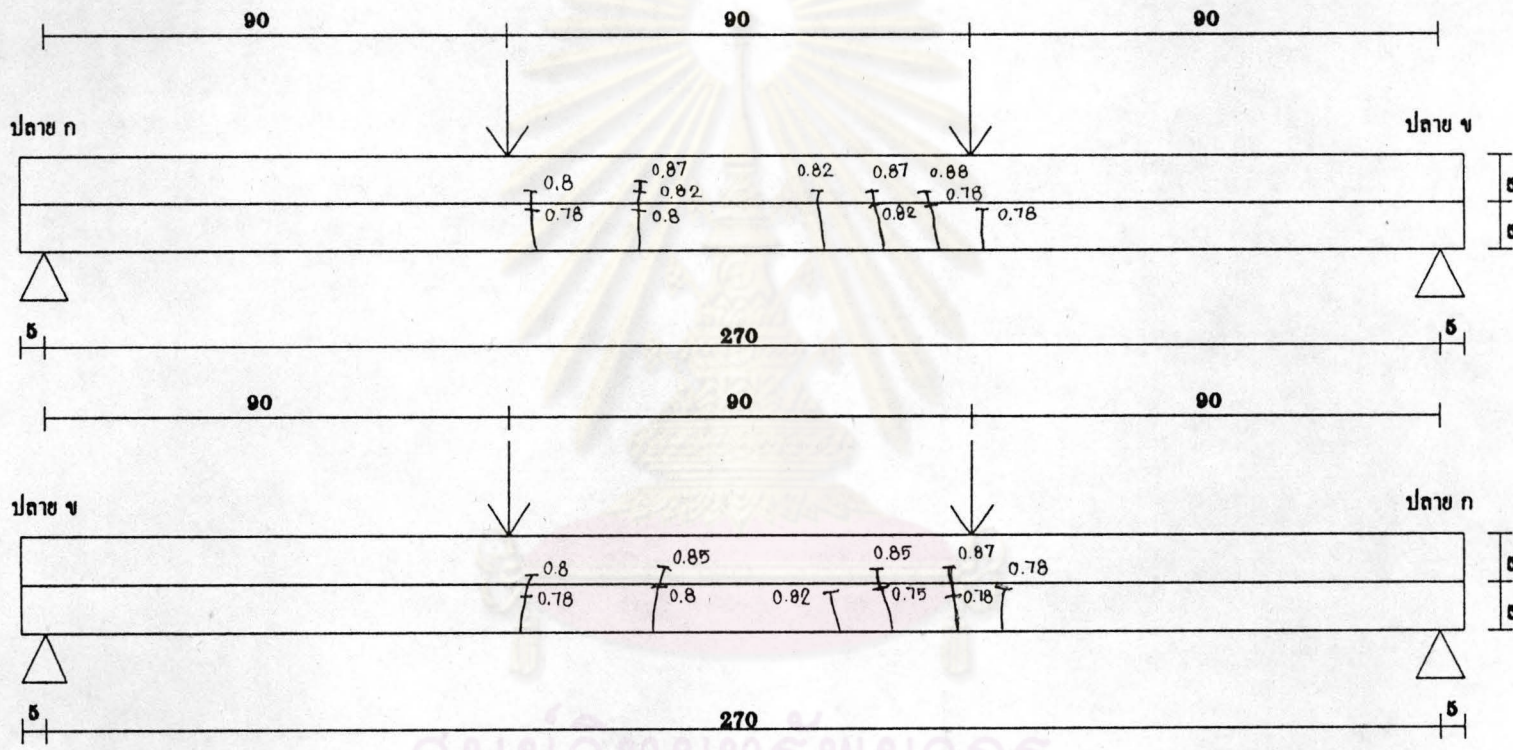


ศูนย์วิทยาศาสตร์พยากรณ์

รูปที่ 3.18 แสดงรอยแตกของแผ่นพื้น P3F6  
( ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก ( ต้น ) ขณะเกิดรอยแตกแล้ว )

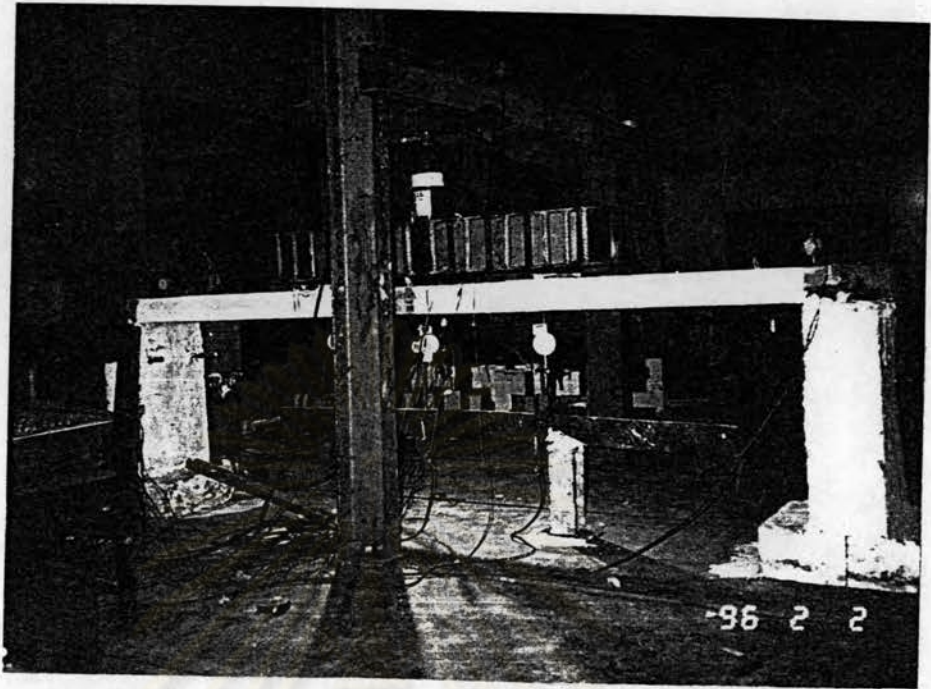


รูปที่ 3.19 แสดงรอยแตกของแผ่นพื้น P1F8  
 ( ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก ( ตัน ) ขณะเกิดรอยแตกแล้ว )

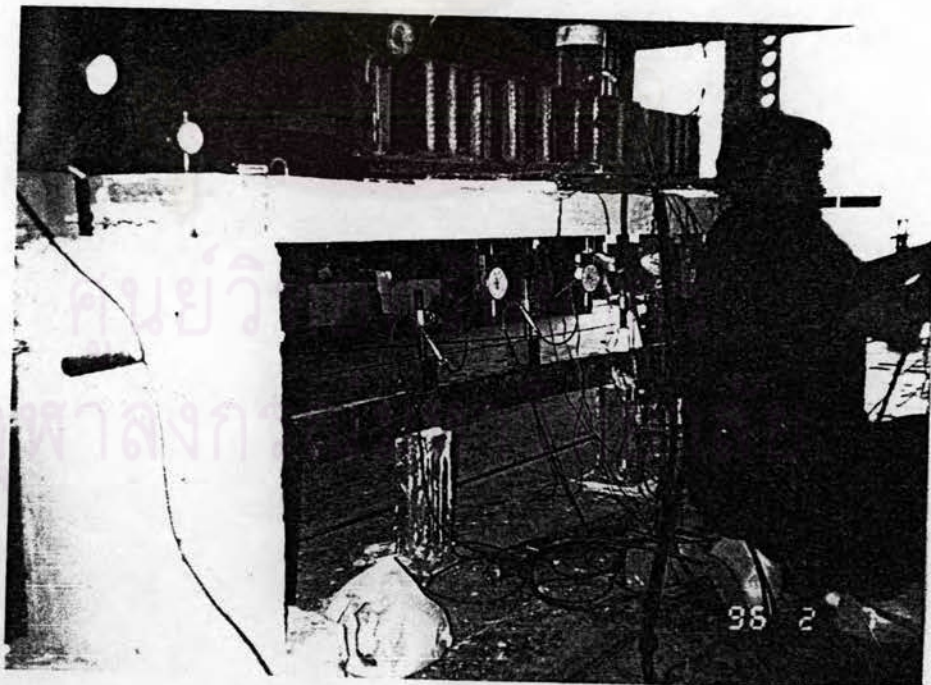


ศูนย์วิทยพักรพยากร  
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย  
 รูปที่ 3.20 แสดงรอยแตกของแผ่นพื้น P5F10  
 (ตัวเลขแสดงค่าน้ำหนักบรรทุก (ตัน) ขณะเกิดรอยแตกแล้ว)

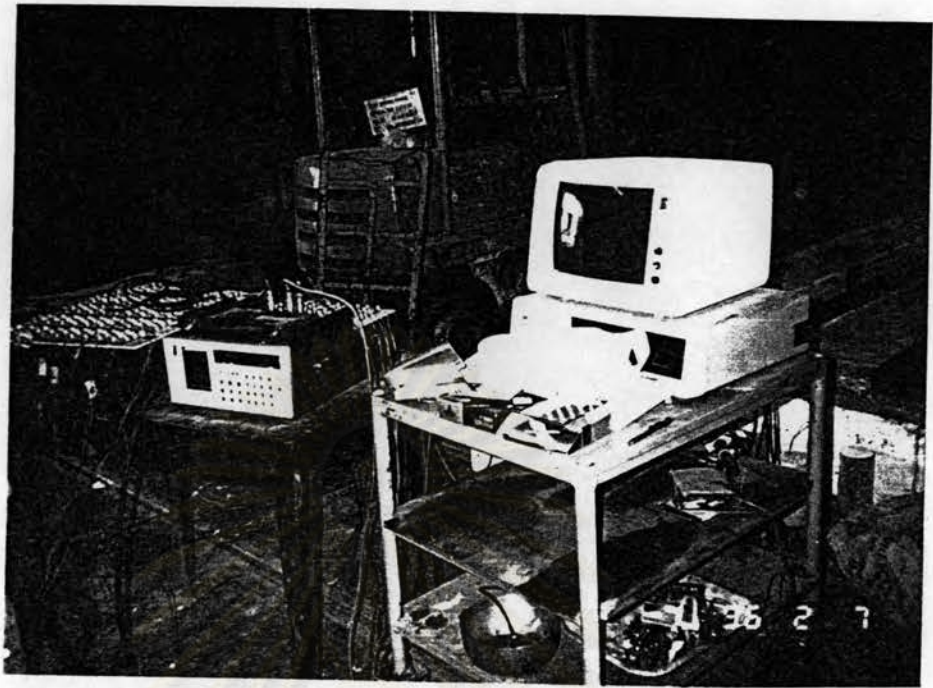




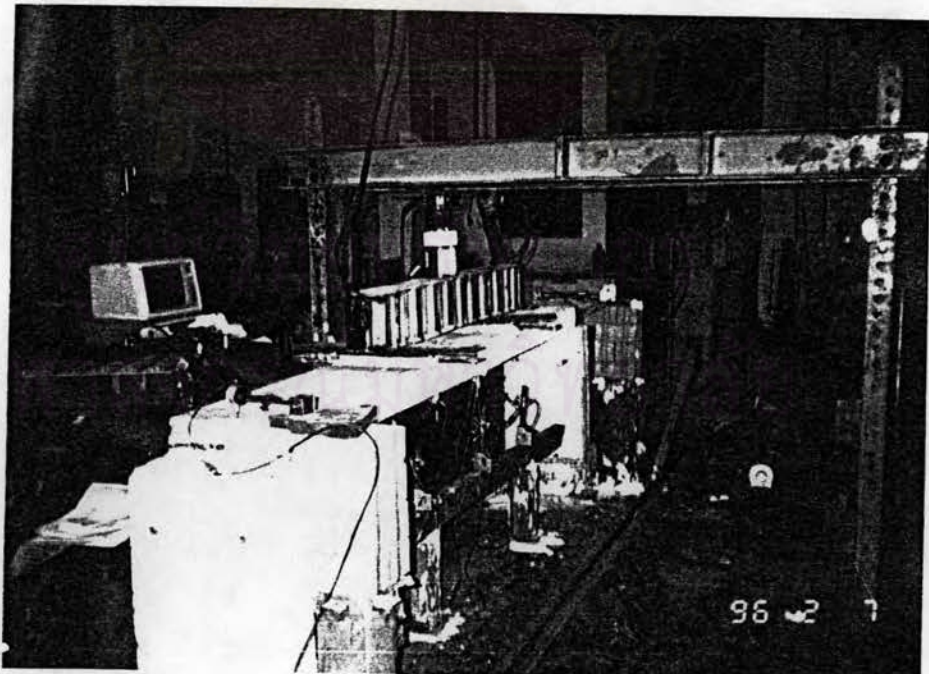
รูปที่ 3.21 แสดงการติดตั้งเครื่องมือและชิ้นตัวอย่างเพื่อทดสอบ



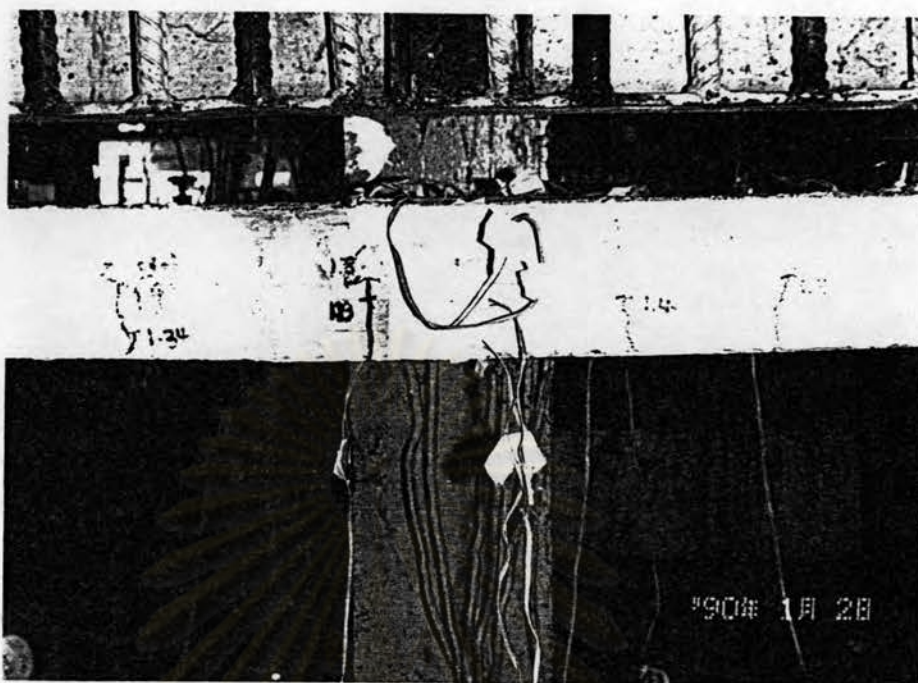
รูปที่ 3.22 แสดงการใช้ Dial Gage และ Load Cell เพื่อวัดระยะการเปลี่ยนแปลงในแนวดิ่ง และแรงกระทำของชิ้นตัวอย่าง



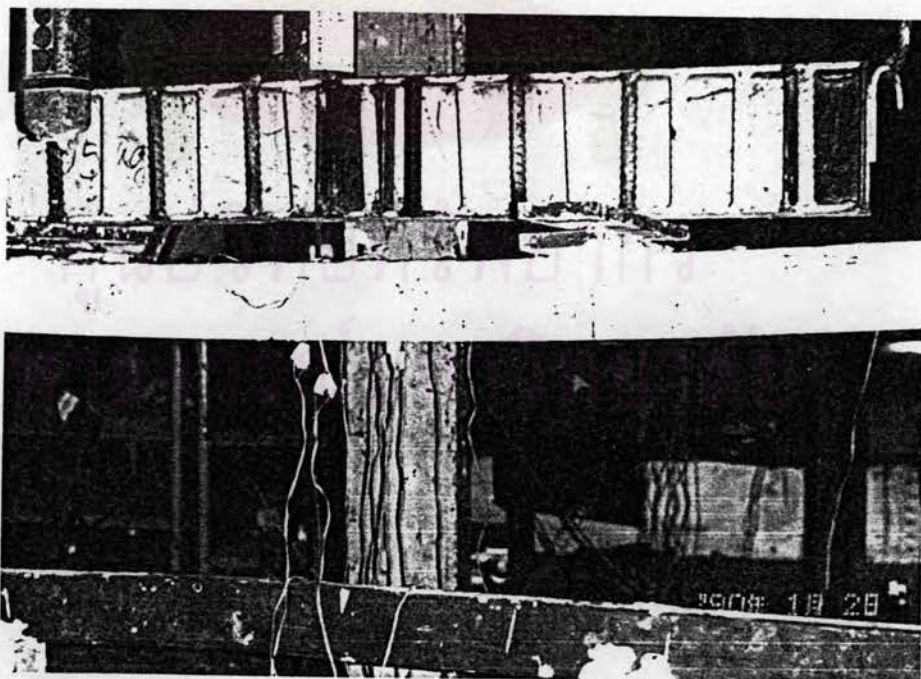
รูปที่ 3.23 แสดงเครื่อง Data Logger โดยแสดงค่าของแรงกระทำในเชิงตัวเลข



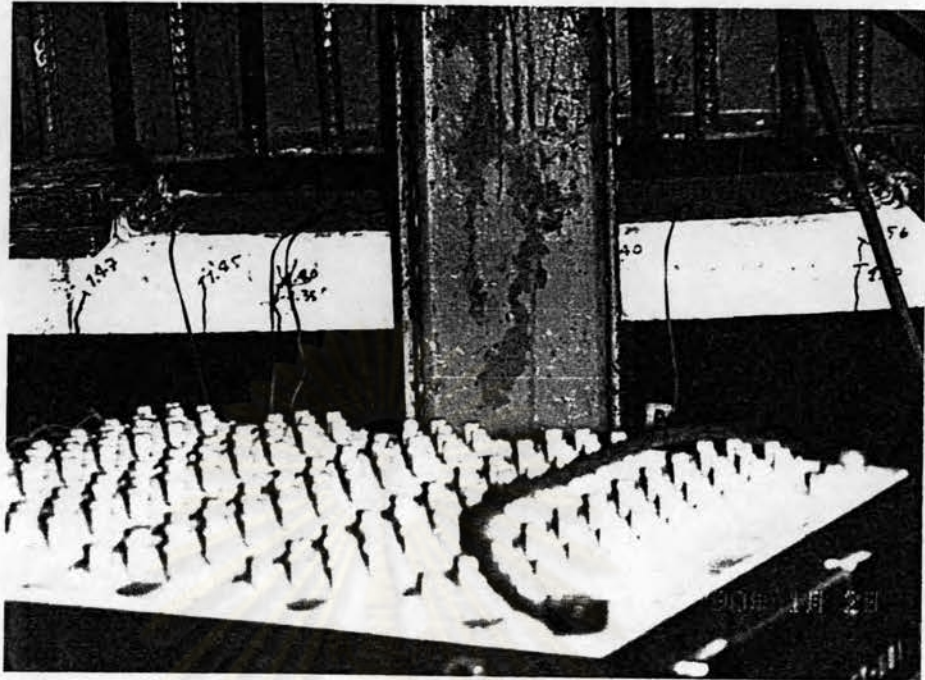
รูปที่ 3.24 แสดงโครงสร้างที่ใช้ยึดแม่แรงไฮดรอลิกที่ใช้เป็นแรงกระทำในการทดสอบ



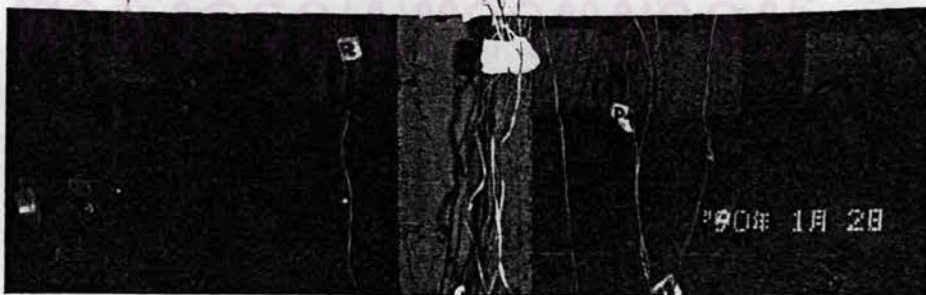
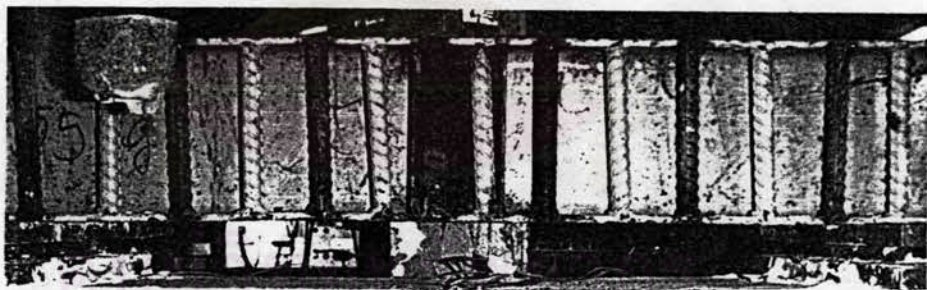
รูปที่ 3.25 แสดงลักษณะการแตกร้าวของพื้นตัวอย่าง P3F6 ขณะเกิดการวิบัติ



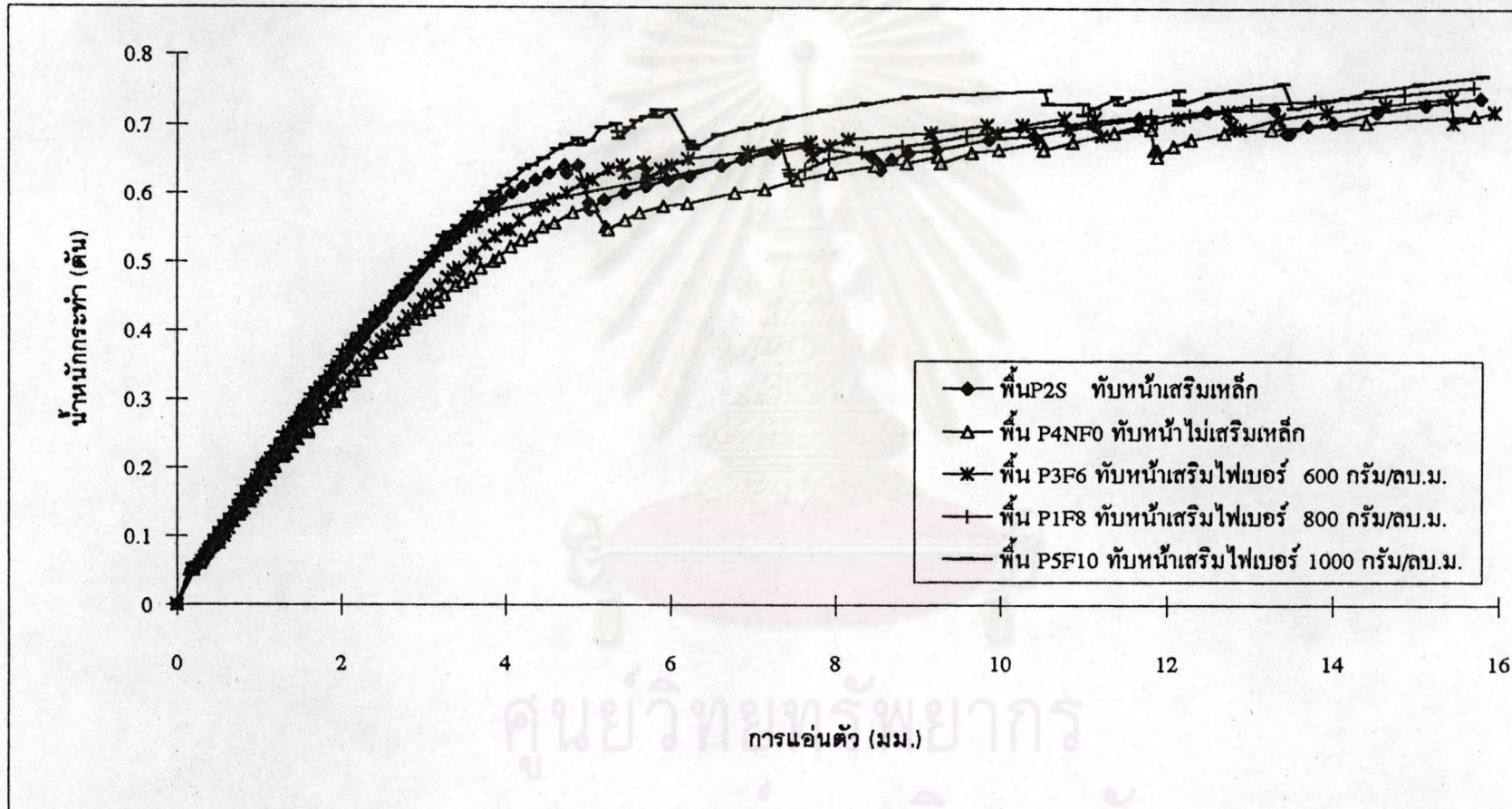
รูปที่ 3.26 แสดงลักษณะการแตกร้าวของพื้นตัวอย่าง P1F8 ขณะเกิดการวิบัติ



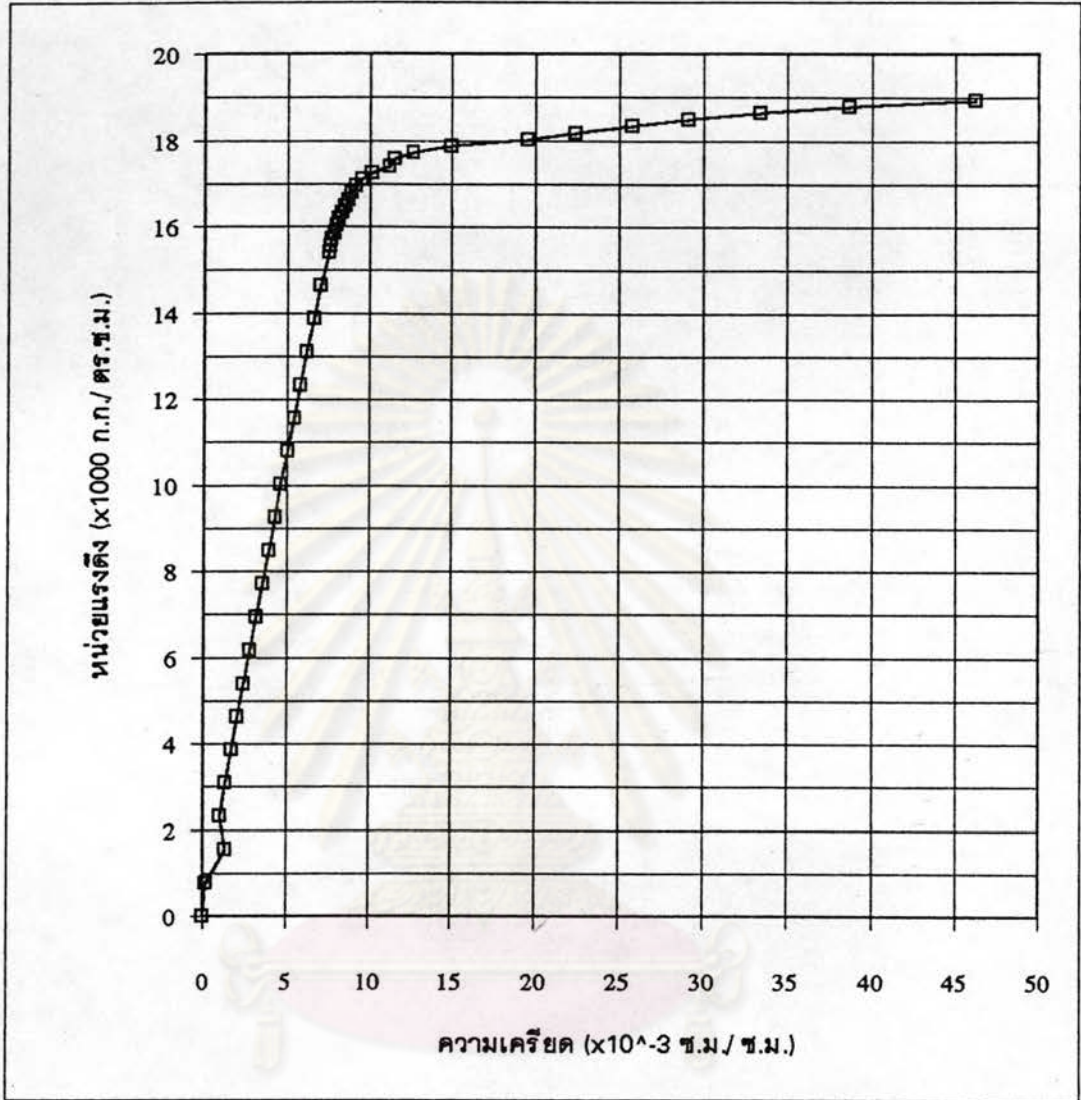
รูปที่ 3.27 แสดงลักษณะการแตกร้าวของพื้นตัวอย่าง P5F10 ขณะเกิดการวิบัติ



รูปที่ 3.28 แสดงลักษณะการแตกร้าวของพื้นตัวอย่าง P4NF0 ขณะเกิดการวิบัติ

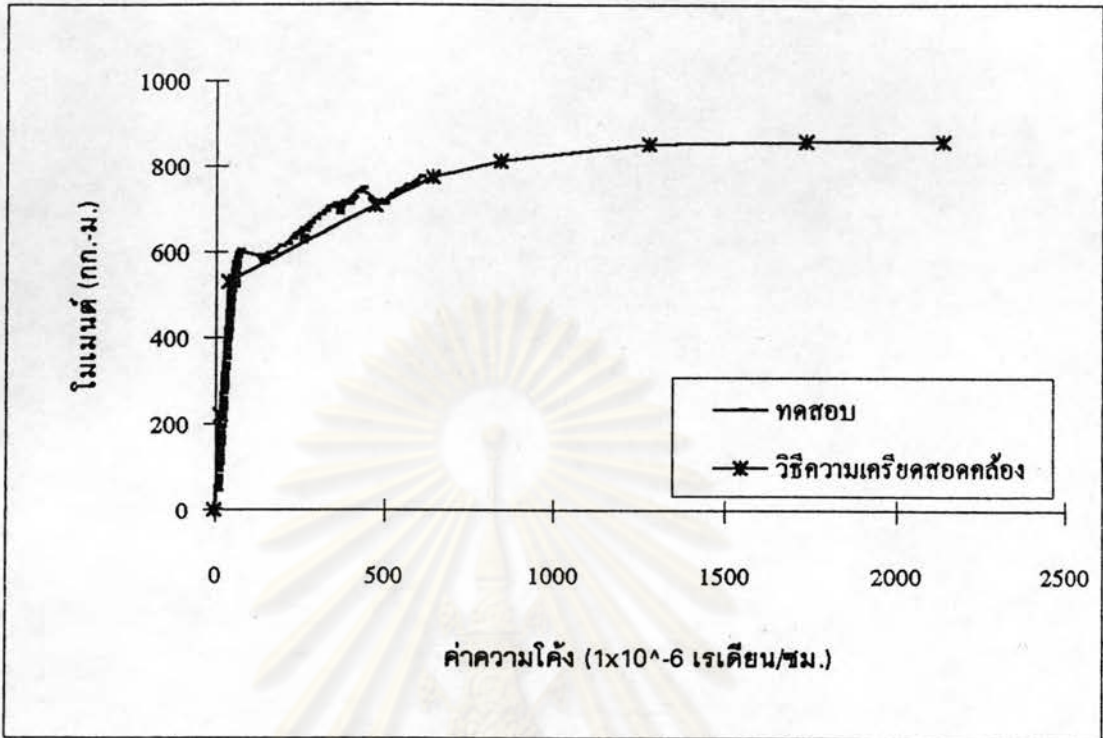


รูปที่ 3.29 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอนตัวจากการทดสอบพื้นตัวอย่างที่แปรเปลี่ยนทับหน้า

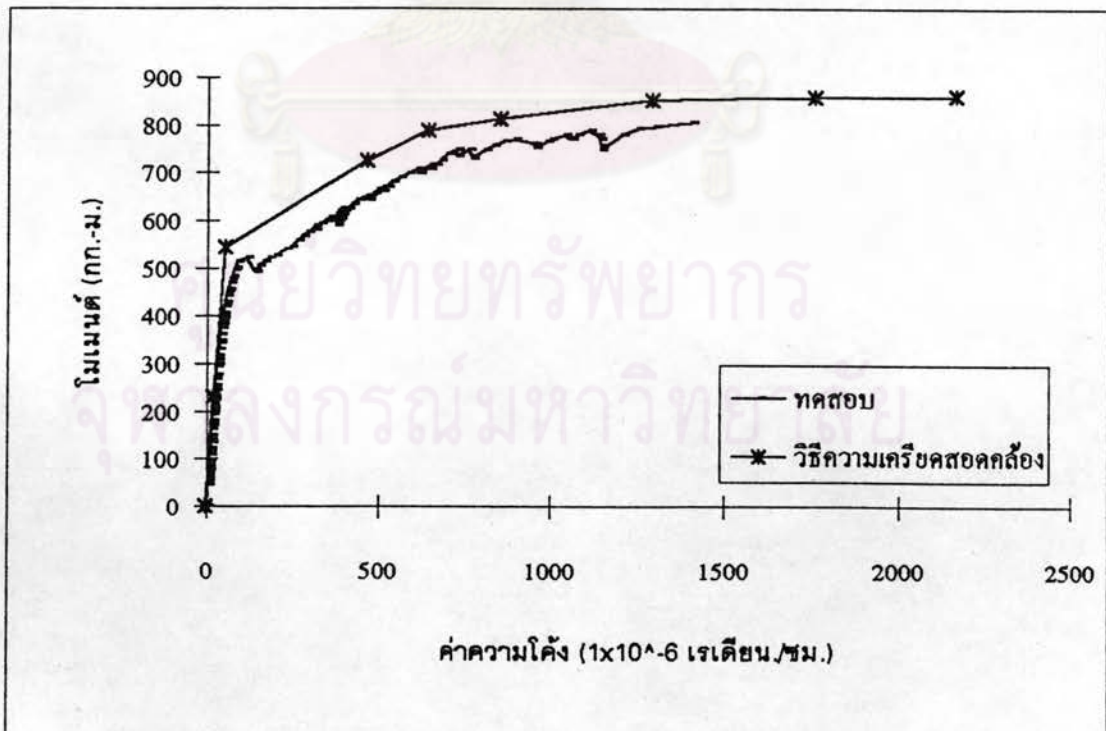


รูปที่ 3.30 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงและความเคียดของเหล็กรับแรงดึงสูง เส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม.

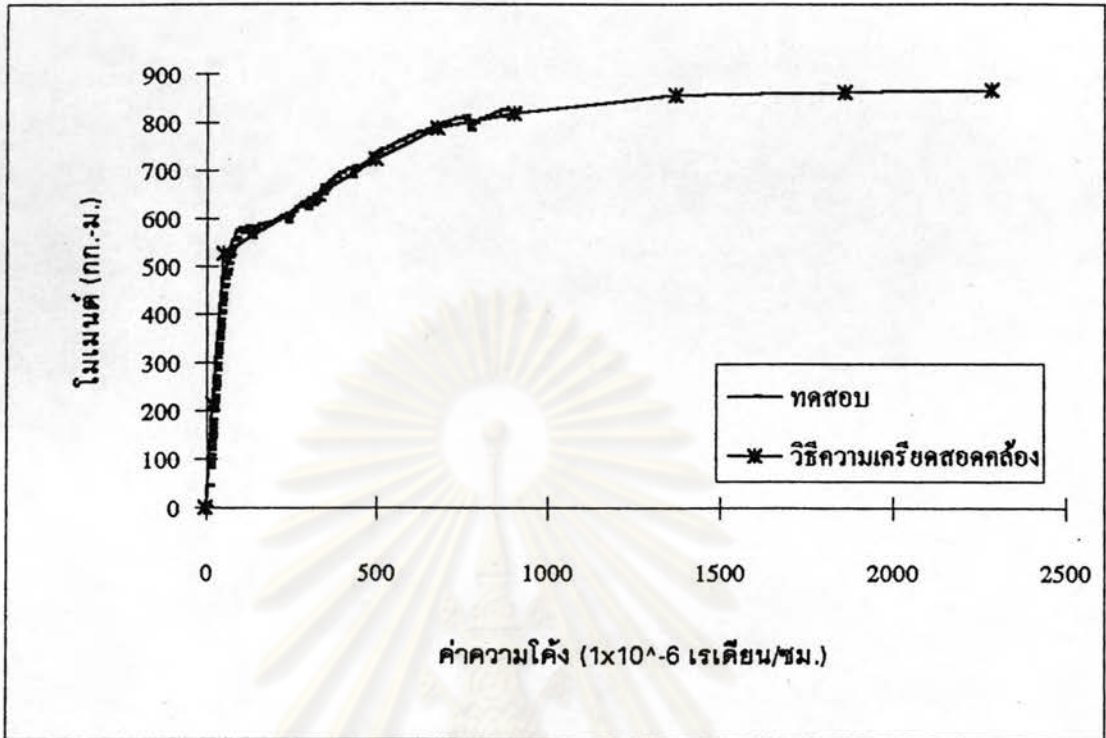
ศูนย์วิจัยเทคโนโลยีการ  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



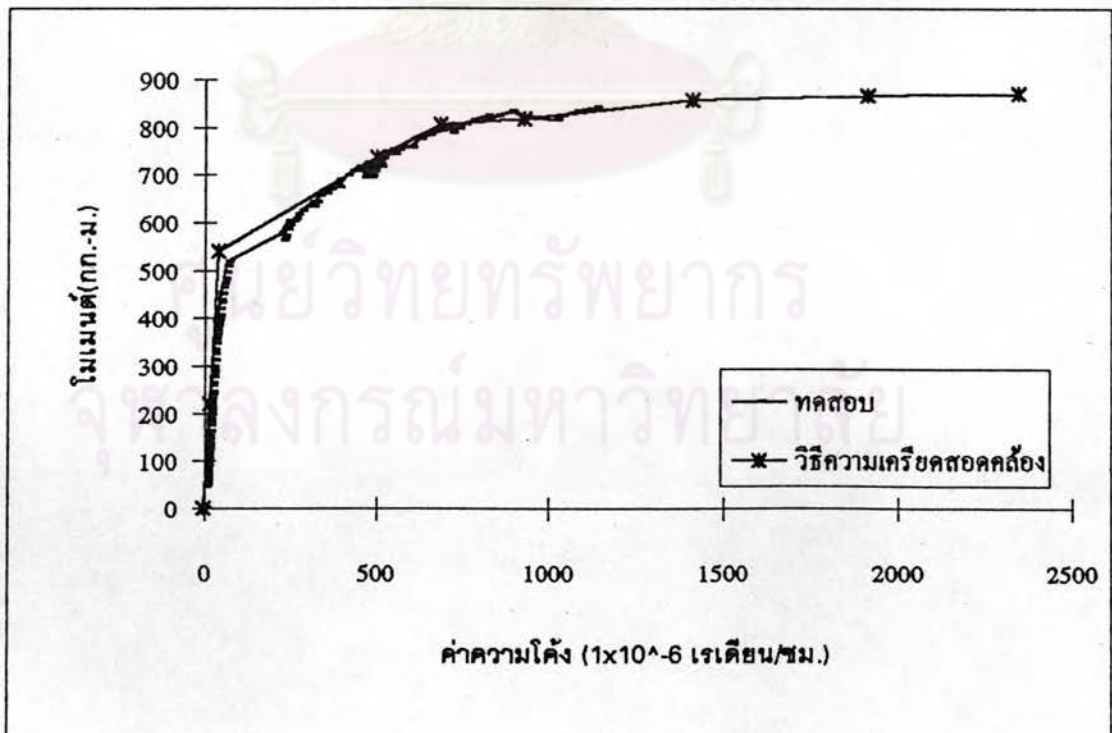
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์และความโค้งบนหน้าตัดกึ่งกลางช่วงทดสอบ  
ที่ได้จากการทดสอบ และจากการวิเคราะห์ ของแผ่นพื้น P2S



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ตัดและความโค้งบนหน้าตัดกึ่งกลางช่วงทดสอบ  
ที่ได้จากการทดสอบ และจากการวิเคราะห์แผ่นพื้น P4NF0

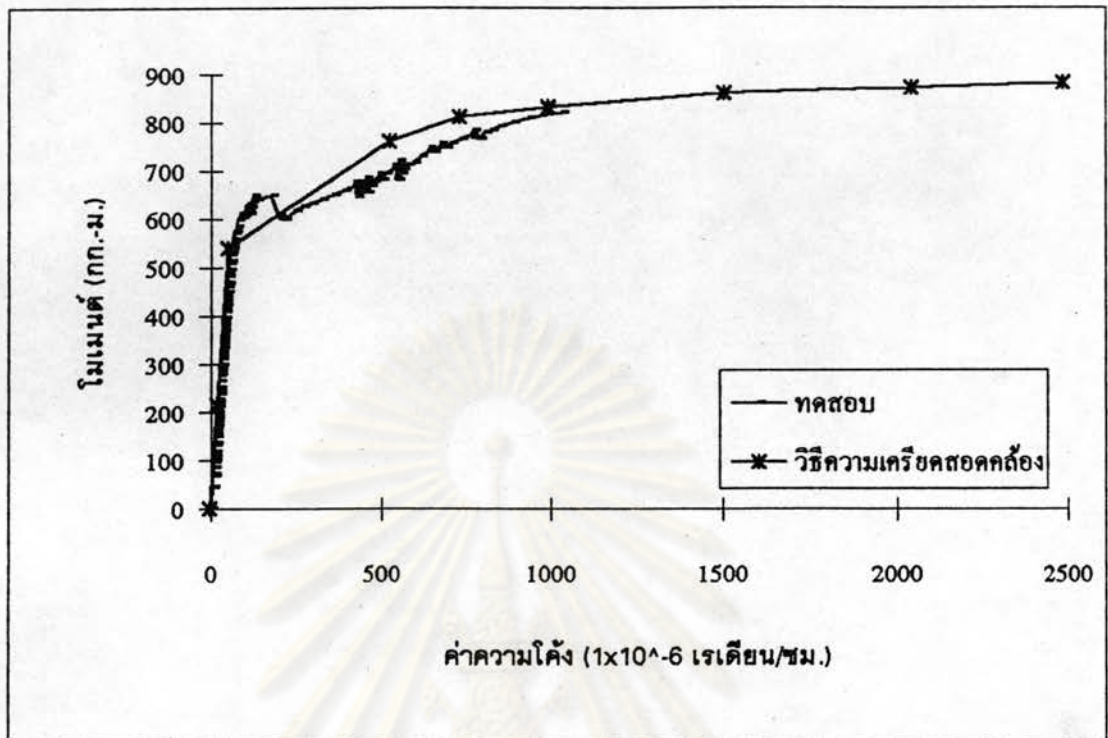


รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งบนหน้าตัดกึ่งกลางช่วงทดสอบ  
ที่ได้จากการทดสอบ และจากการวิเคราะห์ ของแผ่นพื้น P3F6



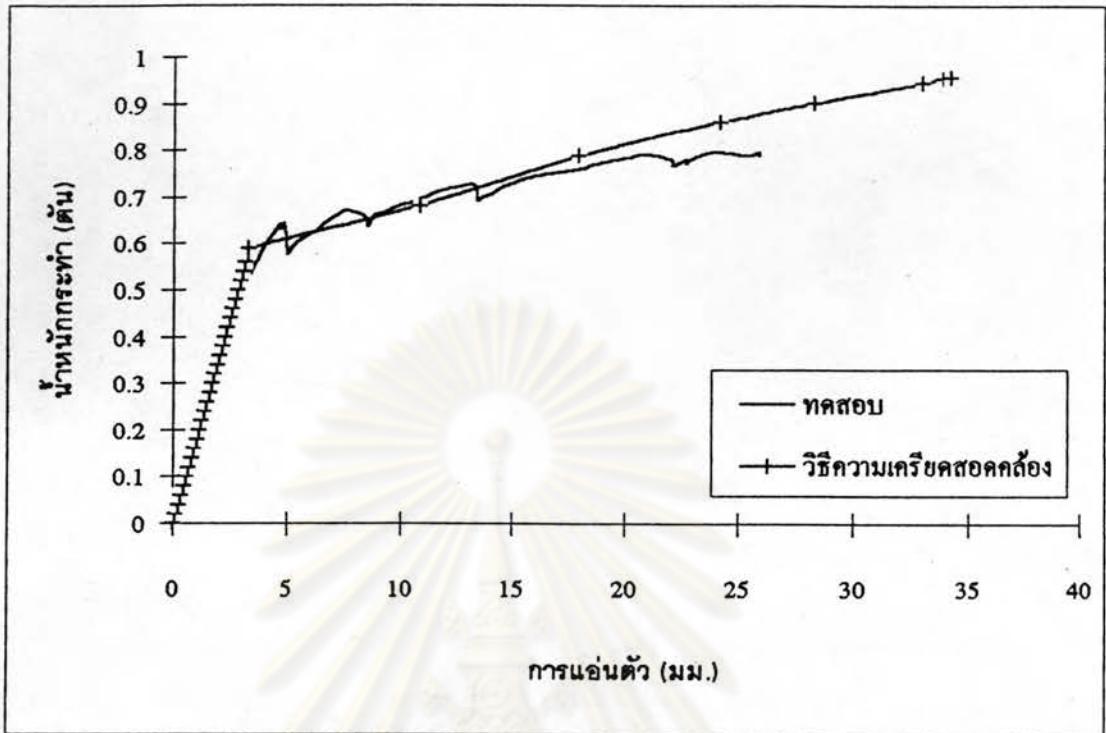
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งบนหน้าตัดกึ่งกลางช่วงทดสอบ  
ที่ได้จากการทดสอบ และจากการวิเคราะห์ ของแผ่นพื้น P1F8



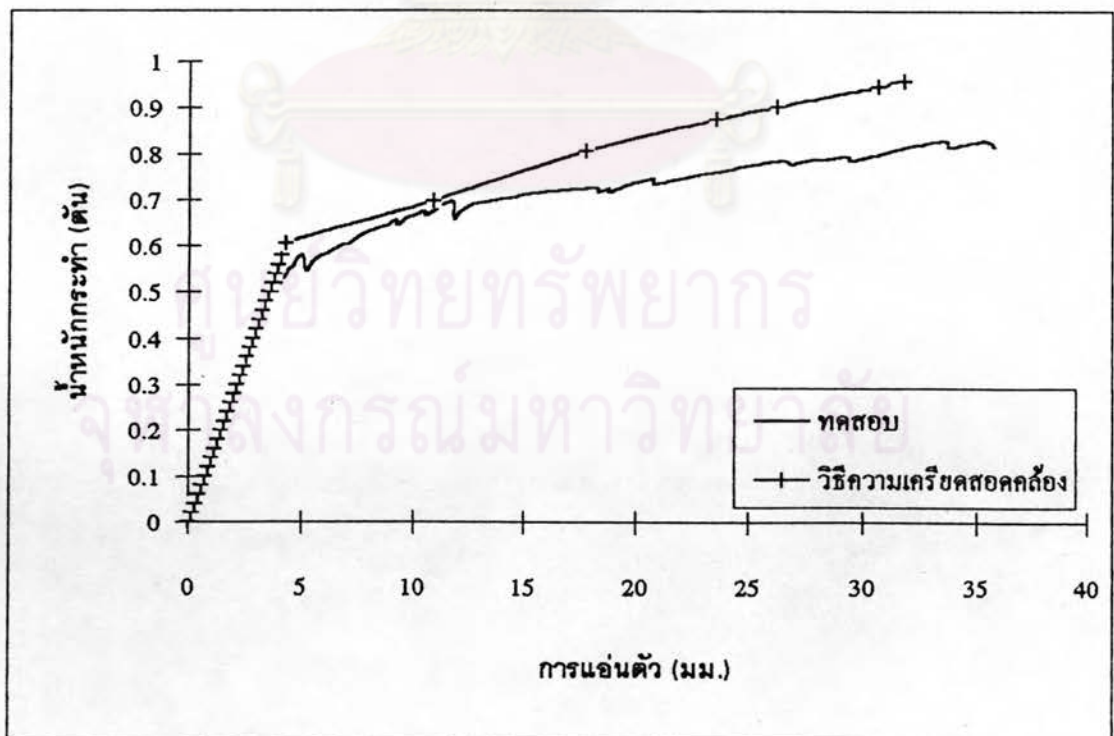


รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดและความโค้งบนหน้าตัดกึ่งกลางช่วงทดสอบ  
ที่ได้จากการทดสอบ และจากการวิเคราะห์ ของแผ่นพื้น P5F10

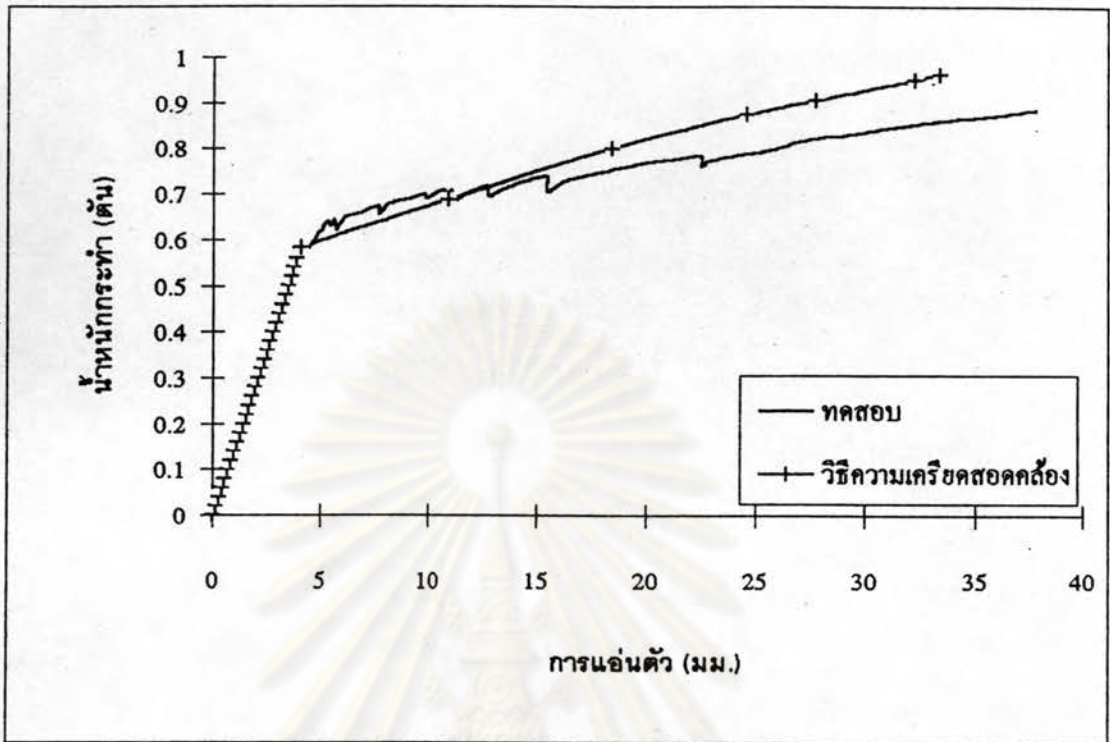
ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



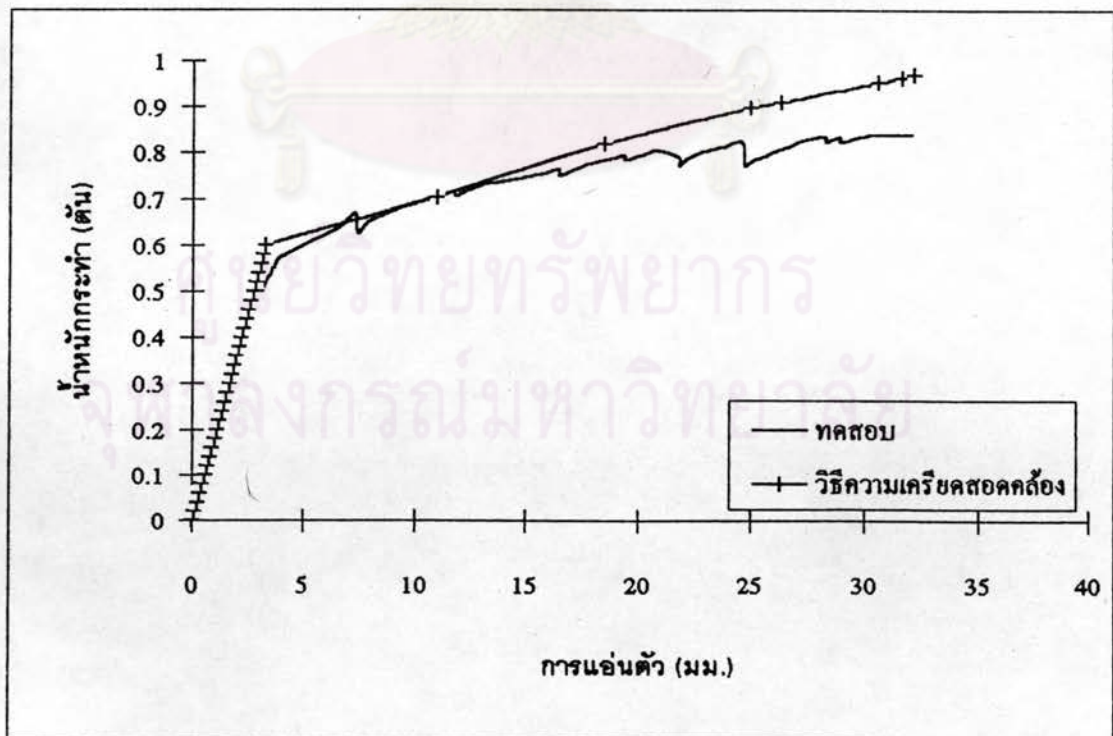
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการอ่นตัว ที่จุดกึ่งกลางช่วง  
จากการทดสอบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ของพื้น P2S ที่ทับหน้ามีเหล็กเสริม



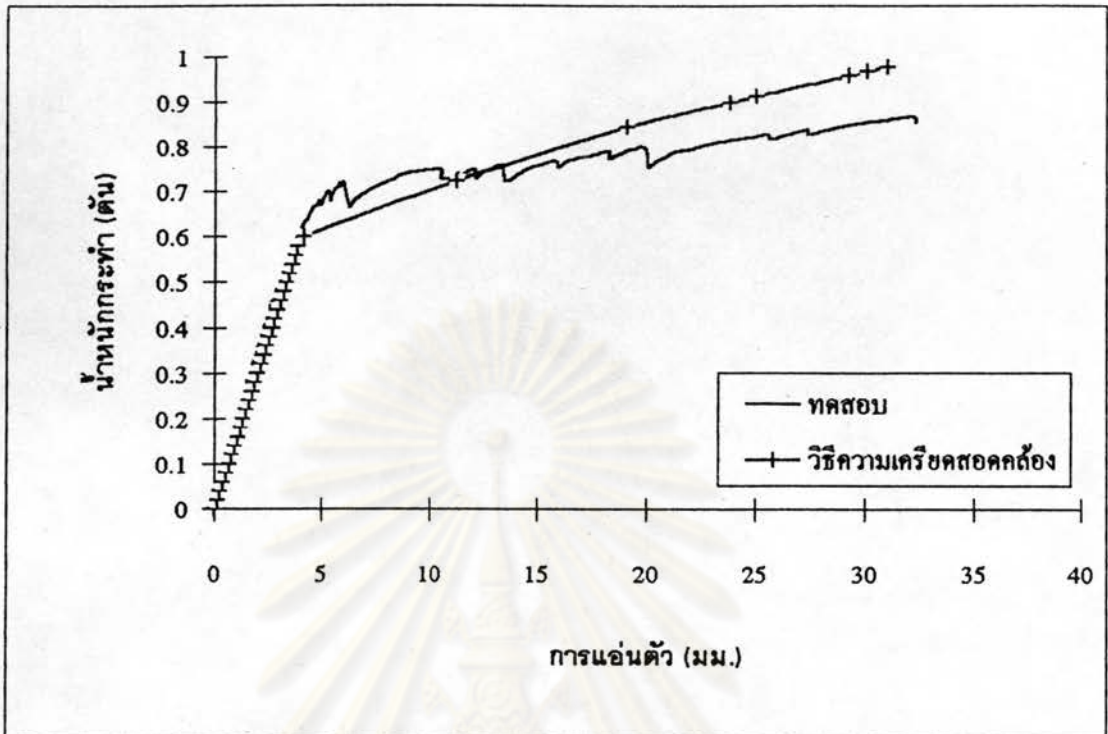
รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการอ่นตัว ที่จุดกึ่งกลางช่วง  
จากการทดสอบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ของพื้น P4NF0 ที่ทับหน้าไม่มีเหล็กเสริม



รูปที่ 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอนตัว ที่จุดกึ่งกลางช่วง  
จากการทดสอบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ของพื้น P3F6 ที่ทับหน้าใช้ไฟเบอร์ปริมาณ 600 กรัม/ลบ.ม.



รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอนตัว ที่จุดกึ่งกลางช่วง  
จากการทดสอบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ของพื้น P1F8 ที่ทับหน้าใช้ไฟเบอร์ปริมาณ 800 กรัม/ลบ.ม.



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงและการแอ่นตัว ที่จุดกึ่งกลางช่วง  
จากการทดสอบเทียบกับผลการวิเคราะห์ ของพื้น P5F10 ที่ทับหน้าใช้ไฟเบอร์ปริมาณ 1000 กรัม/ลบ.ม.

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

## ตัวอย่างการวิเคราะห์ห้ผ่นพื้น P3F6

คุณสมบัติของวัสดุที่ได้จากการทดสอบ

$$fc1 = 671 \text{ กก./ซม.}^2$$

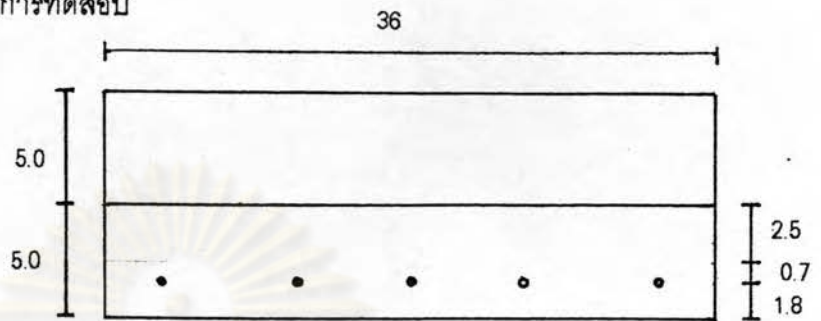
$$fc2 = 319 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$Ecp = 403000 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$Ect = 271000 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$Eps = 1.97 \times 10^6 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$fse = 9157 \text{ กก./ซม.}^2$$

เหล็กเสริมอัดแรงขนาด  $\varnothing$  4 มม. (5 เส้น)

คุณสมบัติของหน้าตัดพื้นอัดแรง

$$\text{ระยะเยื้องศูนย์กลาง } e = 0.7 \text{ ซม. } y_s = 1.8$$

$$\text{พื้นที่หน้าตัด } A_{cp} = 36 \times 5 = 180 \text{ ซม.}^2$$

$$\text{เนื้อที่หน้าตัดเหล็กเสริม } A_{ps} = \pi/4 \times 0.4^2 \times 5 = 0.6283 \text{ ซม.}^2$$

$$Y_{cp} = 2.5 \text{ ซม.}$$

$$\text{โมเมนต์อินเนอร์เซีย } I_{cp} = 36 \times 5^3 / 12 = 375 \text{ ซม.}^3$$

ทับหน้า (t) หนา 5 ซม. พื้นอัดแรง (h) หนา 5 ซม. ความหนาพื้นรวม (T) 10 ซม.

$$\text{น้ำหนักบรรทุกคงที่ของพื้น-ทับหน้า } 2400 \times 36 \times 10 / 100^2 = 64.4 \text{ กก./ม.}$$

$$\text{ความกว้างแปลง (transform width) } b' = 36 \sqrt{(319/671)} = 24.82 \text{ ซม.}$$

$$Y_{cc} = [ A_{cp} h/2 + b' t (h+t/2) ] / (A_{cp} + b' t)$$

$$= [ 180 \times 5/2 + 24.82 \times 5(5+5/2) ] / (180 + 24.82 \times 5) = 4.54 \text{ ซม.}$$

$$I_{cc} = I_{cp} + A_{cp} (Y_{cc} - h/2)^2 + b' t^3 / 12 + b' t [(h+t/2) - Y_{cc}]^2$$

$$= 375 + 180(4.54 - 5/2)^2 + 24.82 \times 5^3 / 12 + 24.82 \times 5 [(5 + 5/2) - 4.54]^2$$

$$= 2470.05 \text{ ซม.}^4$$

วิเคราะห์ความสัมพันธ์ของโมเมนต์ดัดและค่าความโค้ง

ก) เนื่องจากแรงอัดพื้น เมื่อโมเมนต์ดัด  $M = 0$ 

$$A_{cc} = A_{cp} + b' t = 180 + 24.82 \times 5 = 304.11$$

$$\text{แรงอัด } P = A_{ps} f_{se} = 0.6283 \times 9157 = 5753.51 \text{ กก.}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงที่ผิวบน } f_t &= P/A_{cc} - P e(T - Y_{cc})/I_{cc} \\ &= 5753.51/304.11 - 5753.51 \times 0.7 \times (10 - 4.54)/2470.05 \\ &= 10.017 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$\text{ความเครียดที่ผิวบน } \epsilon_t = f_t/E_c = 10.017/403000 = 2.486 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงที่ผิวล่าง } f_b &= P/A_{cc} + P e Y_{cc}/I_{cc} \\ &= 5753.51/304.11 + 5753.51 \times 0.7 \times 4.54/2470.05 \\ &= 26.323 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$\text{ความเครียดที่ผิวล่าง } \epsilon_b = f_b/E_c = 26.323/403000 = 6.532 \times 10^{-5}$$

$$\phi = -(6.532 \times 10^{-5} - 2.486 \times 10^{-5})/10 = -4.046 \times 10^{-6} \text{ เรเดียน/ซม.}$$

$$\begin{aligned} \text{ความเครียดที่ระดับเหล็ก } \epsilon_{ce} &= 8.2(6.532 \times 10^{-5} - 2.486 \times 10^{-5})/10 + 2.486 \times 10^{-5} \\ &= 5.803 \times 10^{-5} \end{aligned}$$

ข) เมื่อ  $\epsilon_{cs} = 0$

$$\epsilon_{se} = 9157/(1.97 \times 10^6) = 4.648 \times 10^{-3}$$

$$\epsilon_s = \epsilon_{ce} + \epsilon_{se} = 5.803 \times 10^{-5} + 4.648 \times 10^{-3} = 4.7063 \times 10^{-3}$$

$$f_s = 4.7063 \times 1.97 \times 10^6 = 9271 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{ดังนั้น } f = A_s f_s = 0.6283 \times 9271 = 5825 \text{ กก.}$$

$$f_t = 5825/304.11 - 5825 \times 0.7 \times (10 - 4.54)/2470.05 = 10.142 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_b = 5825/304.11 + 5825 \times 0.7 \times 4.54/2470.05 = 26.651 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\begin{aligned} \text{หน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับเหล็ก} &= 8.2/10 \times (26.651 - 10.142) + 10.142 \\ &= 23.679 \text{ กก./ซม.}^2 \end{aligned}$$

$$M = 23.679 \times 2470.05 / (4.54 - 1.8) = 21342.21 \text{ กก.-ซม.}$$

$$f_t = 10.142 + 21342.21 \times (10 - 4.54)/2470.05 = 57.314 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{ความเครียดที่ผิวบน } \epsilon_t = f_t/E_c = 57.314/403000 = 1.42 \times 10^{-4}$$

$$f_b = 26.651 - 21346.21 \times 4.54/2470.05 = -12.581 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{ความเครียดที่ผิวล่าง } \epsilon_b = f_b/E_c = -12.581/403000 = -3.122 \times 10^{-5}$$

$$\phi = (1.42 \times 10^{-4} + 3.122 \times 10^{-5})/10 = 1.734 \times 10^{-5} \text{ เรเดียน/ซม.}$$

ค) หาน้ำหนักบรรทุกที่หน้าตัดแรกเริ่มแรก

ตามมาตรฐาน ACI กำหนดโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ

$$1.99 \sqrt{f'_c} \text{ กก./ซม.}^2 \text{ จากสมการ ( 2.5 )}$$

$$M_{cr} = ( f/A_{cc} + f_e Y_{cp}/I_{cp} + f_r ) I_{cc}/Y_{cc} - WL^2/8$$

$$= (5825/180 + 5825 \times 0.7 \times 2.5 / 375 + 1.99 \sqrt{671}) \times 2470.05 / 4.54 - 86.4 \times 2.7^2 \times 100 / 8$$

$$= 52563 \text{ กก.-ซม.}$$

$$f_t = 10.142 + 52563 \times (10 - 4.54) / 2470.05 = 126.32 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{ความเครียดที่ผิวบน } \epsilon_t = f_t / E_c = 126.32 / 403000 = 3.13 \times 10^{-4}$$

$$f_b = 26.651 - 52563 \times 4.54 / 2470.05 = -69.97 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$\text{ความเครียดที่ผิวล่าง } \epsilon_b = f_b / E_c = -69.97 / 403000 = -1.736 \times 10^{-4}$$

$$\phi_{cr} = (3.13 \times 10^{-4} + 1.736 \times 10^{-4}) / 10 = 4.87 \times 10^{-5} \text{ เรเดียน/ซม.}$$

$$P_{cr} = Mx3/L = 52563 \times 3 / 270 = 584.03 \text{ กก.}$$

หาระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงขณะเกิดการแตกร้าวเริ่มแรก

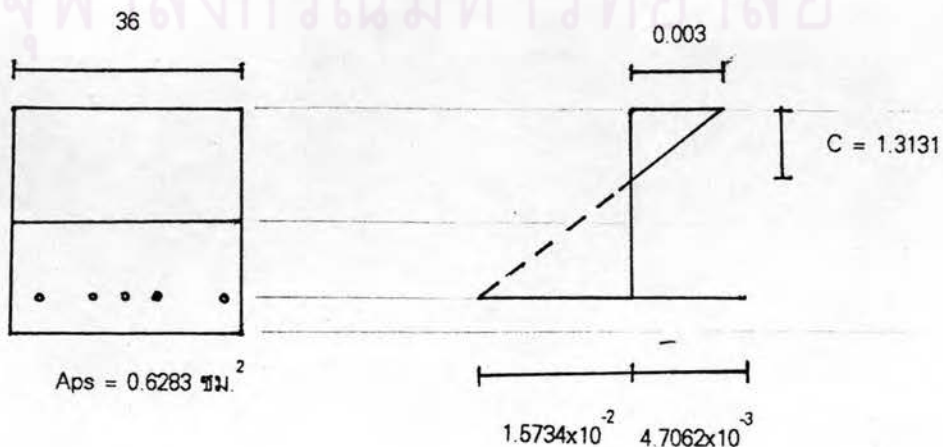
$$\Delta = 23 PL^3 / (648 E_c I_g)$$

$$= 23 \times 584.03 \times 270^3 / (648 \times 403000 \times 2470.05)$$

$$= 0.41 \text{ ซม.}$$

ง) หาน้ำหนักบรรทุกทุกประลัย

กำหนดให้ความเครียดของคอนกรีตที่ผิวบนเท่ากับ 0.003 ซม./ซม. และสมมุติ ตำแหน่งแกนสะเทินอยู่ห่างจากผิวบน 1.3131 ซม.





$$\phi = 0.003/1.3131 = 2.2847 \times 10^{-3}$$

$$E_{cs} = 0.003 \times (8.2 - 1.3131) / 1.3131 = 1.5734 \times 10^{-2}$$

$$E_{ps} = E_s + E_{cs} = 4.7063 \times 10^{-3} + 1.5734 \times 10^{-2} = 2.0441 \times 10^{-2}$$

หา  $f_{ps}$  จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงดึงสูงเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 มม. ในรูปที่ 3.30

$$T = 0.6283 \times 18000 = 11310 \text{ กก.}$$

จากสมการ ( 2.8ค )

$$\begin{aligned} C_c &= 36 \times 319 \times 2.2847 \times 10^{-3} \times 1.3131^2 / 0.002 \times [1 - 2.2847 \times 10^{-3} \times 1.3131 / (3 \times 0.002)] \\ &= 11310 \text{ กก.} \cong T \end{aligned}$$

หาตำแหน่งศูนย์กลางของแรง  $C_c$  จากสมการ ( 2.9ค )

$$\begin{aligned} x &= [1.3131 \times (8 \times 0.002 - 3 \times 2.2847 \times 10^{-3} \times 1.3131)] / [4 \times (3 \times 0.002 - 2.2847 \times 10^{-3} \times 1.3131)] \\ &= 0.766 \text{ ซม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} M &= C_c(x+d-c) \\ &= 11310(0.766 + 8.2 - 1.3131) = 86551 \text{ กก-ซม.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P &= Mx3/L \\ &= 86551 \times 3 / 270 = 962 \text{ กก.} \end{aligned}$$

หาระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงทดสอบขณะน้ำหนักบรรทุกทุกประลัยกระทำ

$$\begin{aligned} l_{cr} &= bc^3/3 + E_{ps} A_s (d-c)^2 / E_c \\ &= 36 \times 1.3131^3 / 3 + 1.97 \times 10^6 / 271000 \times 0.6283 (8.2 - 1.3131)^2 = 243.80 \text{ ซม.}^4 \end{aligned}$$

จากสมการ ( 2.15 )

$$I_e = (52563/86551)^3 \times 2470.05 + [1 - (52563/86551)^3] \times 243.80 = 742.43 \text{ ซม.}^4$$

จากสมการ ( 2.14 )

$$\Delta = 23 \times 962 \times 270^3 / (648 \times 271000 \times 742.43) = 3.339 \text{ ซม.}$$



ประวัติผู้เขียน

นายประเมษฐ์ เฉลิรัตน์โกมล เกิดวันที่ 15 สิงหาคม พ.ศ. 2513 ที่อำเภอคลองสาน  
จังหวัดกรุงเทพฯ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต จากภาควิชาวิศวกรรมโยธา  
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ ในปีการศึกษา 2534 และเข้าศึกษาต่อใน  
หลักสูตรวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ที่จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย เมื่อ พ.ศ. 2535



ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย