



เอกสารอ้างอิง

1. Lin, T.Y., and Burns, N.H., Design of Prestressed Concrete Structures, 3rd John Wiley and Sons Ins., New York, 1982
2. Abeles, P.W., " Fully and Partly Prestressed Reinforced Concrete," ACI Journal, V.4, No1, June 1959 , pp.35-51
3. Abeles, P.W., " Partial Prestressing in England," PCI Journal, V.8, No.1, Feb. 1963, pp.51-72
4. Abeles, P.W., "Design of Partially Prestressed Concrete Beams," ACI Journal, Proceeding, V.64, No.10, Oct. 1967, pp.669-677
5. Bennett, E.W., and Veerasubramanian, N., " Behavior of Nonrectangular Beams with Limited Prestress After Flexural Cracking, " ACI Journal, Proceeding, V.69, No.9 , Sep. 1972, PP.533-542
6. Naaman, A.E., " Ultimate Analysis of Prestressed and Partially Prestressed Sections by Strain Compattibility " PCI Journal, V.22, No.1, Jan. 1977, pp.32-51
7. Nilson, A.H., Design of Prestressed Concrete, 1st Edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, N.Y., 1978

8. Nilson, A.H., " Flexural Stresses After Cracking in Partially Prestressed Beams" PCI Journal, V.21, No.4, July-Aug. 1976 , pp.72-81
9. Bennett, E.W., and Joynes, H.W., " Fatigue Resistance of Reinforcement in Partially Prestressed Beam , " PCI Journal, V.22, No.2, Mar.-Apr.1977, PP.78-89
10. 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 No.78 June 1978 , 182.pp.
11. Hanson, J.M., Hulsbos, C.L., and Van Horn, D.A., " Fatigue Test of Prestressed Concrete I-Beams., " Proceeding ASCE , V.96, No.ST-11, Nov.1970, pp.2443-2463
12. Prince, K.M., and Edward, A.D., " Fatigue Strength of Prestressed Concrete Flexural Members , " Proceedings, Ins. of Civil Engineerings, V.47, Oct.1970, pp.205-226
13. ACI Commettee 215 , " Consideration for Design of Concrete Structures Subjected to Fatigue Loading , " ACI Journal V.71, No.3, Mar.1974, PP.97-121
14. Burns, N.H., " Moment Curvature Relationship for Partially Prestressed Concrete Beams , " PCI Journal , V.9 , No.1 , Feb.1964 , pp.52-63

15. Moustafa, S.E., " Design of Partially Prestressed Concrete Flexural Members " PCI Journal, V.22, No.3, May.-Jun. 1977, pp.12-29
16. 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
17. 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
18. Leonhardt, F., " Recommendation for the Degree of Prestressing in Prestressed Concrete Structures ," Presentation at a joint symposium originated by ACI , CEB , PCI and FIP held in Philadelphia , 1976 , published in FIP Note 69 , July - Aug.1977 , pp.9-14
19. Bennett, E.W., and Chandrasekhar, C.S., " Calculate of the Width of Cracks in Class 3 Prestressed Beams, " Proceedings , Ins. of Civil Engineers (London) , V.49, July 1977 pp.333-346
20. 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

21. Gergelay, P., and Lutz, L.A., " Causes Mechanisms and Control of Cracking in Concrete," ACI Publication SP.20 , American Concrete Ins. , Detroit ,1968
22. ACI Committee 443 " Analysis and Design of Reinforce Concrete Bridge Structures, " , American Concrete Ins. ,Detroit, 1977, pp.67-68
23. ACI Committee 318 " Building Code Requirement in Reinforce Concrete (ACI 318-83), " American Concrete Ins. ,Detroit,1983
24. Branson, D.E., " Design Procedures for Computing Deflection , " ACI Journal, Proceeding, V.65, No.9, Sep. 1968, pp.730-442
25. Branson, D.E., " The Deformation of Noncomposite and Composite Prestressed Concrete Structure, " SP-43 , American Concrete Ins. ,Detroit, Michigan, 1974
26. Martin, D.E., " A Rational Method for Estimating Camber and Deflection of Precast Prestressed Members, " PCI Journal, V.22, No.1 , Jan.-Feb. 1977 , pp.100-108
27. Nawy, E.G., and Potyondy, J.G., " Flexural Cracking Behavior of Pretensioned Prestressed Concrete I and T-Beams, " ACI Journal Proceeding , V.68 , No.5 , May.1971 , pp.355-360

28. Trost, H., " The Calculations of Deflection of Reinforced Concrete Members - A Rational Approach, " Adrian Pauw Symposium on Designing for Creep and Shrinkage , ACI Convention , Houston, Oct.1978
29. Brondum - Nielson, T., " Stress Analysis of Concrete Sections under Service Loads," ACI Journal , V.76 , NO.2 , Feb.1979 , pp.195-211
30. Hill, A.H., " Partial Prestressing.- Is There Need for a Guide to Good Practice, " FIP Note 73 , Mar.- Apr.1978, pp.6-11
31. Naaman, A.E., " Summary Review of FIP Symposium in Bucharest , Romania, " PCI Journal, V.25, No.6, Nov.-Dec.1980, pp.24-27
32. Inomata, S., " A Design Procedure for Partially Prestressed Concrete Beams Based on Strength and Serviceability," PCI Journal, V.27 No.5 , Sep.-Oct.1982, pp.100-116
33. Huber, A., " Practical Design of Partially Prestressed Concrete Beams, " Concrete International, V.5 , No.4 , Apr.1983, pp.49-54
34. Bresler, B., and Bertaro, V., " Behavior of reinforced Concrete under Repeated Loading, " Journal of Structural Division , ASCE, V.94 , No.ST-6 , June , 1968 , pp.1567-1590

35. Verna, J.R., and Stelson, T.E., " Repeated Loading Effect on Ultimate Static Strength of Concrete Beams , " Journal of the American Concrete Institute , V.60 , No.6 , Jun 1963 , pp.743-750
36. Kriparayanan, K.M., and Branson, D.E., " Short-Time Deflection of Beams under Single and Repeated Load Cycles, " ACI Journal, Proceeding , V.69 , No.2 , Feb.1972 , pp.110-117
37. Naaman, A.E., and Siriaksorn, A., " Serviceability Based Design of Partially Prestressed Beams. Part I: Analytic Formulation, " PCI Journal , V.24 , No.2 , Mar.-Apr.1979 , pp.64-89
38. 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
39. Mansur, M.A., " Partially Prestressed Concrete Beams under Repeated Loading, " International Symposium Nonlinearity and Continuity in Prestressed Concrete, University of Waterloo Waterloo , Ontario , Canada , July 4-6 , 1983
40. Naaman, A.E., and Siriaksorn, A., " Reliability of Partially Prestressed Beams at Serviceability Limit State, " PCI Journal , V.28 , No.1 , Jan.-Feb.1983

41. Bennett, E.W., and Dave, N.J., " Test Performances and Design of Concrete Beams with Limited Prestressed," The Structural Engineering Journal (London) , V.47 , No.12 , Dec.1969 , pp.487-496
42. 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



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ตารางและรูปภาพ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.1 การแบ่งชุดทดสอบ และสัดส่วนน้ำหมักบรทุก

ตัวอย่างชุดที่	ชื่อตัวอย่าง	เหล็กเสริมตามยาว	ลวดอัดแรง	สัดส่วนน้ำหมักบรทุกกระทำซ้ำ
1	PP1 S1	2 DIA. 10 มม.	1 DIA. 4 มม	น้ำหมักบรทุกสถิติ
1	PP1 R1	2 DIA. 10 มม.	1 DIA. 4 มม	20-50 % ของกำลังประลัย
1	PP1 R2	2 DIA. 10 มม.	1 DIA. 4 มม	40-70 % ของกำลังประลัย
1	PP1 R3	2 DIA. 10 มม.	1 DIA. 4 มม	60-90 % ของกำลังประลัย
2	PP2 S1	1 DIA. 10 มม.	2 DIA. 4 มม	น้ำหมักบรทุกสถิติ
2	PP2 R1	1 DIA. 10 มม.	2 DIA. 4 มม	20-50 % ของกำลังประลัย
2	PP2 R2	1 DIA. 10 มม.	2 DIA. 4 มม	40-70 % ของกำลังประลัย
2	PP2 R3	1 DIA. 10 มม.	2 DIA. 4 มม	60-90 % ของกำลังประลัย

สัญลักษณ์ทางอักษรของชื่อตัวอย่าง

- PP หมายถึง คานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนในชุดที่ 1 หรือ 2
 S1 หมายถึง การทดสอบด้วยน้ำหมักบรทุกสถิติ
 R1 หมายถึง การทดสอบด้วยน้ำหมักบรทุกกระทำซ้ำ ช่วง 20-50 % ของกำลังประลัย
 R2 หมายถึง การทดสอบด้วยน้ำหมักบรทุกกระทำซ้ำ ช่วง 40-70 % ของกำลังประลัย
 R3 หมายถึง การทดสอบด้วยน้ำหมักบรทุกกระทำซ้ำ ช่วง 60-90 % ของกำลังประลัย

ศูนย์วิทยทรัพยากร
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตัวอย่างที่ 2.2 รายละเอียดของคานทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบ	b (ซม)	h (ซม)	d (ซม)	f'_c (กก/ซม. ²)	P_a (%)	P_{ps} (%)	w	PPR
PP1 S1	10	17.8	14.8	487	1.06	0.08	0.12	0.273
PP1 R1	10	18.3	15.3	431	1.02	0.082	0.132	0.275
PP1 R2	10	18	15	431	1.05	0.084	0.14	0.275
PP1 R3	10	17.6	14.6	487	1.08	0.086	0.124	0.274
PP2 S1	10	17.8	14.8	450	0.53	0.17	0.12	0.596
PP2 R1	10	18.3	15.3	503	0.51	0.16	0.10	0.591
PP2 R2	10	17.9	14.9	503	0.53	0.17	0.10	0.591
PP2 R3	10	18.1	15.1	450	0.52	0.17	0.115	0.593

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.3 ข้อมูลการถึงลวดอัดแรงในคานตัวอย่างทดสอบชุดที่ 1

ตัวอย่างทดสอบ	ความเครียดในลวดอัดแรง ($\times 10^{-6}$)	หน่วยแรงในลวดอัดแรง (กก/ซม ²)	แรงอัดเริ่มแรก (กก)	fpi/fpu
PP1 S1	5630	11035	1386	0.60
PP1 R1	5200	10192	1280	0.56
PP1 R2	6030	11819	1485	0.65
PP1 R3	5850	11466	1440	0.63
		Av. 11128		Av. 0.61

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.4 ข้อมูลการดึงลวดอัดแรงในคานตัวอย่างทดสอบชุดที่ 2

ตัวอย่างทดสอบ	ความเครียดในลวดอัดแรงเส้นที่ ($\times 10^{-6}$)		ความเครียดในลวดอัดแรงเส้นที่ ($\times 10^{-6}$)		แรงอัดเริ่มแรก (กก.)	fpi/fpu
	1	2	1	2		
PP2 S1	6020	5980	11799	11720	2955	0.64
PP2 R1	5850	5700	11466	11172	2845	0.62
PP2 R2	6010	5970	11780	11700	2950	0.64
PP2 R3	6010	6150	11780	12054	2995	0.65
			Av. 11706	Av. 11662		0.64

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.5 ข้อมูลของการเสื่อมสลายของการอัดแรงของคานตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่างทดสอบ	แรงอัดเริ่มแรก (กก)	แรงอัด هنگامการเสื่อมสลาย (กก)	การเสื่อมสลาย (%)	ค่าเฉลี่ยแรงอัดประสิทธิภาพ (กก/ซม. ²)	fse/fpu (กก/ซม.)
PP1 S1	1386	1324	4.46	10536	0.58
PP1 R1	1280	1225	4.29	9748	0.53
PP1 R2	1485	1420	4.33	11300	0.62
PP1 R3	1440	1373	4.62	10926	0.59
PP2 S1	2955	2777	6.02	11049	0.60
PP2 R1	2845	2662	6.44	10591	0.59
PP2 R2	2950	2773	5.98	11033	0.60
PP2 R3	2995	2805	6.34	11160	0.61

ศูนย์วิจัยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 2.6 สัดส่วนการผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานวิจัยนี้

วัสดุ	น้ำหนัก ต่อ ลบ.ม. ของคอนกรีต (กก.)
ซีเมนต์	400
ทราย	858
หิน	1024
น้ำ	175
สารเคมีผสมเพิ่ม	4

ตารางที่ 2.7 ผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีต

กำลังอัดประลัย , f'_c (กก/ซม. ²)	โมดูลัสยืดหยุ่น, E_c (กก/ซม. ²)
487	2.09×10^5
450	2.04×10^5
431	2.04×10^5
461	2.10×10^5

ศูนย์วิทยพัชกร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.1 กำลังรับแรงอัดของคานตัวอย่าง

ตัวอย่างทดสอบ	PPR	f_c (กก/ซม. ²)	P_{Test} (กก)	M_{Test} (กก/ซม)	ลักษณะการวิบัติ
PP1 S1	0.273	487	7500	150,000	แรงคัต
PP1 R1	0.275	431	8820	176,400	แรงคัต
PP1 R2	0.275	431	8000	160,000	แรงคัต
PP1 R3	0.274	487	7400	148,000	แรงดึงแนวทแยง
PP2 S1	0.596	450	6000	120,000	แรงคัต
PP2 R1	0.591	503	7480	149,600	แรงคัต
PP2 R2	0.591	503	6480	129,600	แรงคัต
PP2 R3	0.593	450	7000	140,000	แรงคัต

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 3.2 ค่าคงที่ A และ B ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของการอัดแรง 0.27

ชื่อตัวอย่าง	A (มม.)	B (มม. / รอบ)
PP1 R1	1.43	0.022
PP1 R2	2.621	0.092
PP1 R3	3.383	0.119

ตารางที่ 3.3 ค่าคงที่ A และ B ของกลุ่มตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของการอัดแรง 0.59

ชื่อตัวอย่าง	A (มม.)	B (มม. / รอบ)
PP2 R1	0.698	0.016
PP2 R2	2.195	0.094
PP2 R3	3.116	0.107



ตารางที่ 3.4 เปรียบเทียบค่าความแกร่งสัมพัทธ์ (Relative Stiffness, EI/L) จากการทดสอบก่อนและหลังการกระทำซ้ำ ของกลุ่มทดสอบชุดที่มีค่าอัตราส่วนของการอัดแรง 0.27

ตัวอย่าง	(EI/L) _{Before} (kg-cm)	(EI/L) _{After} (kg-cm)	ค่าความแตกต่างหลังการกระทำซ้ำ (%)
PP1 R1	6.81×10^6	6.31×10^6	7.3
PP1 R2	7.30×10^6	4.70×10^6	35.6
PP1 R3	7.96×10^6	4.62×10^6	41.9

ตารางที่ 3.5 เปรียบเทียบค่าความแกร่งสัมพัทธ์ (Relative Stiffness, EI/L) จากการทดสอบก่อนและหลังการกระทำซ้ำ ของกลุ่มทดสอบชุดที่มีค่าอัตราส่วนของการอัดแรง 0.59

ตัวอย่าง	(EI/L) _{Before} (kg-cm)	(EI/L) _{After} (kg-cm)	ค่าความแตกต่างหลังการกระทำซ้ำ (%)
PP2 R1	7.52×10^6	7.34×10^6	2.4
PP2 R2	7.67×10^6	5.43×10^6	29.2
PP2 R3	8.24×10^6	5.36×10^6	34.9

ตารางที่ 3.6 เปรียบเทียบโมเมนต์ตัดแตกช้า จากการทดสอบและจากการคำนวณของกลุ่ม
ทดสอบชุดที่มีอัตราส่วนของการอัดแรง 0.27

ตัวอย่าง	$(M_{cr})_{test}$ (กก-ซม)	$(M_{cr})_{cal}^{(1)}$ (กก-ซม)	$(M_{cr})_{cal}^{(2)}$ (กก-ซม)	$(M_{cr})_{test}$ $(M_{cr})_{cal}^{(1)}$	$(M_{cr})_{test}$ $(M_{cr})_{cal}^{(1)}$
PP1 S1	62,000	35,000	35,400	1.77	1.75
PP1 R1	-	34,600	34,800	-	-
PP1 R2	58,000	35,200	35,540	1.64	1.63
PP1 R3	56,000	34,900	35,120	1.60	1.59
				MEAN = 1.67 S.D. = 0.08	MEAN = 1.66 S.D. = 0.08

ตารางที่ 3.7 เปรียบเทียบโมเมนต์ตัดแตกช้า จากการทดสอบและจากการคำนวณของกลุ่ม
ทดสอบชุดที่มีอัตราส่วนของการอัดแรง 0.59

ตัวอย่าง	$(M_{cr})_{test}$ (กก-ซม)	$(M_{cr})_{cal}^{(1)}$ (กก-ซม)	$(M_{cr})_{cal}^{(2)}$ (กก-ซม)	$(M_{cr})_{test}$ $(M_{cr})_{cal}^{(1)}$	$(M_{cr})_{test}$ $(M_{cr})_{cal}^{(1)}$
PP2 S1	78,000	47,860	48,120	1.62	1.53
PP2 R1	-	49,860	50,640	-	-
PP2 R2	70,000	49,040	49,800	1.42	1.37
PP2 R3	72,000	49,000	49,740	1.46	1.41
				MEAN = 1.50 S.D. = 0.10	MEAN = 1.43 S.D. = 0.08

หมายเหตุ

$(M_{cr})_{cal}^{(1)}$

จากวิธี Strain Compatibility

$(M_{cr})_{cal}^{(2)}$

จาก ดร.อำนาจพร

ตารางที่ 3.8 เปรียบเทียบกำลังประลัยจากการทดสอบและจากการคำนวณของกลุ่มทดสอบ
ชุดที่มีอัตราส่วนของการอัดแรง 0.27

ตัวอย่าง	$(M_u)_{test}$ (กก-ซม)	$(M_u)_{cal}^{(1)}$ (กก-ซม)	$(M_u)_{cal}^{(2)}$ (กก-ซม)	$(M_u)_{test}$ $(M_u)_{cal}^{(1)}$	$(M_u)_{test}$ $(M_u)_{cal}^{(1)}$
PP1 S1	150,000	156,000	120,400	0.96	1.24
PP1 R1	176,400	146,000	123,600	1.21	1.42
PP1 R2	160,000	144,000	120,900	1.11	1.32
PP1 R3	148,000	152,000	118,700	0.97	1.24
				MEAN = 1.06 S.D. = 0.11	MEAN = 1.3 S.D. = 0.08

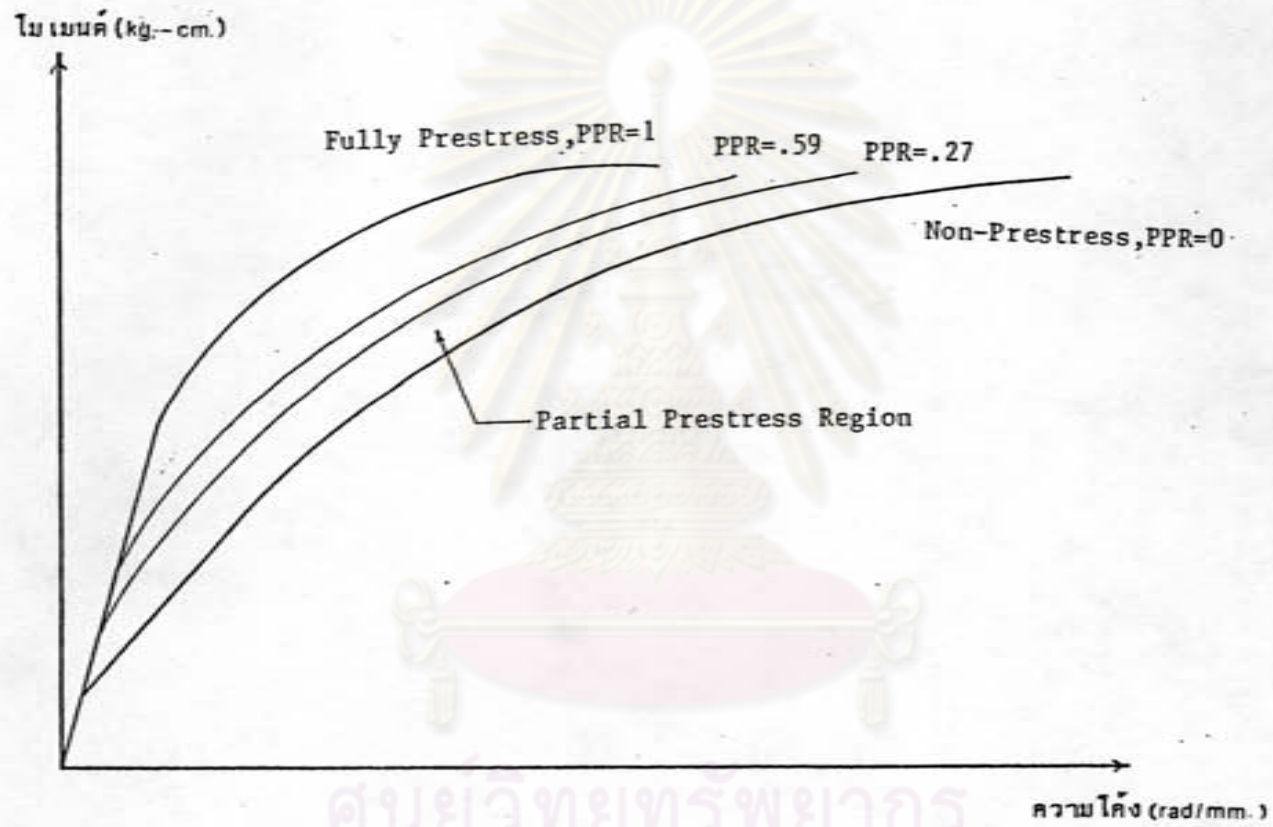
ตารางที่ 3.9 เปรียบเทียบกำลังประลัยจากการทดสอบและจากการคำนวณของกลุ่มทดสอบ
ชุดที่มีอัตราส่วนของการอัดแรง 0.59

ตัวอย่าง	$(M_u)_{test}$ (กก-ซม)	$(M_u)_{cal}^{(1)}$ (กก-ซม)	$(M_u)_{cal}^{(2)}$ (กก-ซม)	$(M_u)_{test}$ $(M_u)_{cal}^{(1)}$	$(M_u)_{test}$ $(M_u)_{cal}^{(1)}$
PP2 S1	120,000	122,000	106,000	0.98	1.13
PP2 R1	149,000	141,000	110,900	1.06	1.34
PP2 R2	129,000	136,000	107,800	0.948	1.20
PP2 R3	140,000	136,000	108,400	1.029	1.29
				MEAN = 1.005 S.D. = 0.05	MEAN = 1.24 S.D. = 0.09

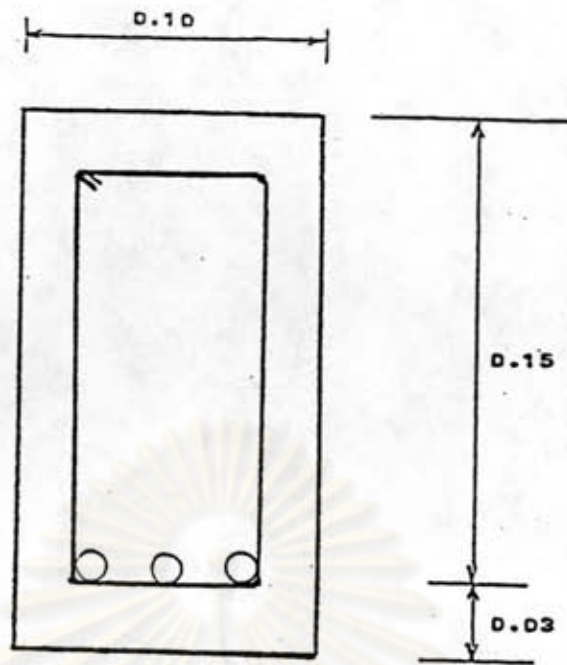
หมายเหตุ

$(M_u)_{cal}^{(1)}$ จาก วิธี Strain Compatibility

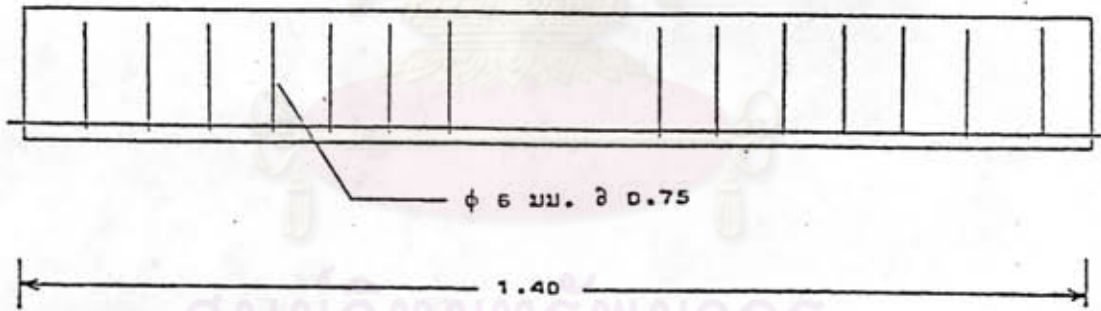
$(M_u)_{cal}^{(2)}$ จาก ACI-Code



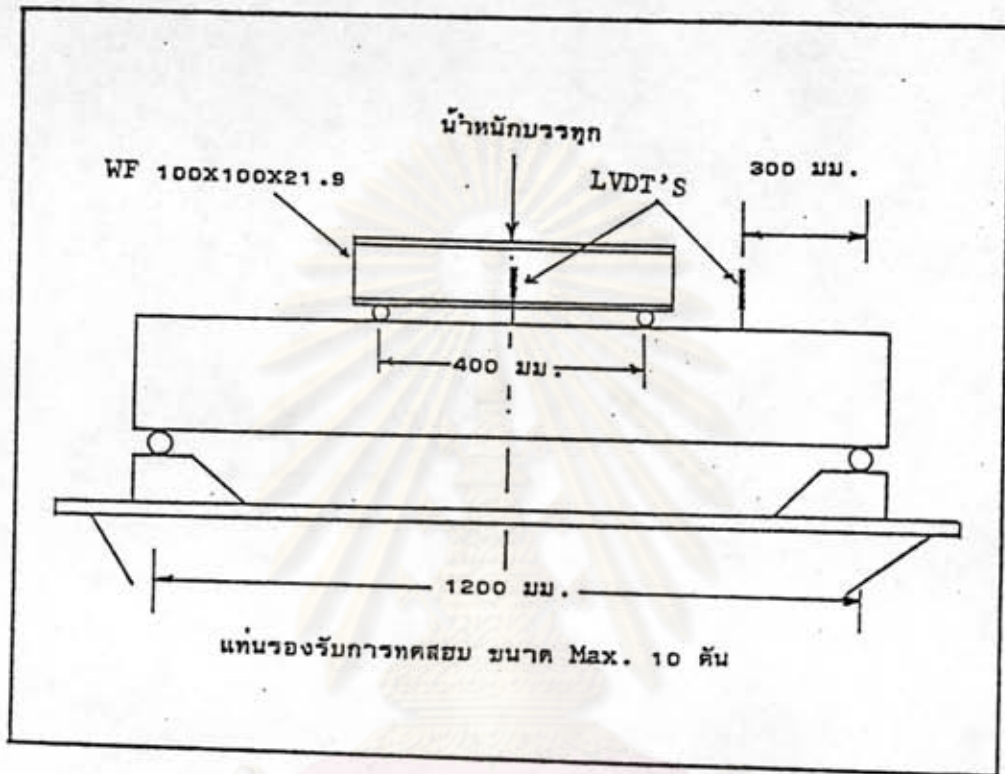
รูปที่ 1.1 ภาพจำลองของขอบเขตของอัตราส่วนของการอัดแรง



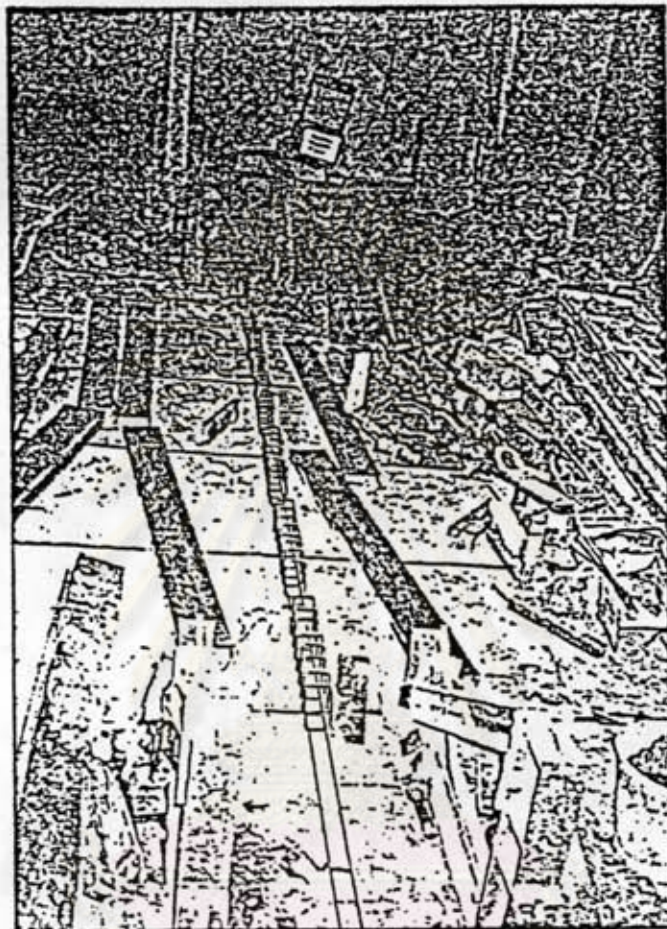
ตำแหน่ง เหล็กเสริมของคานตัวอย่าง



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
รูปที่ 2.1 รูปหน้าตัดและการจัดเหล็กปลอก



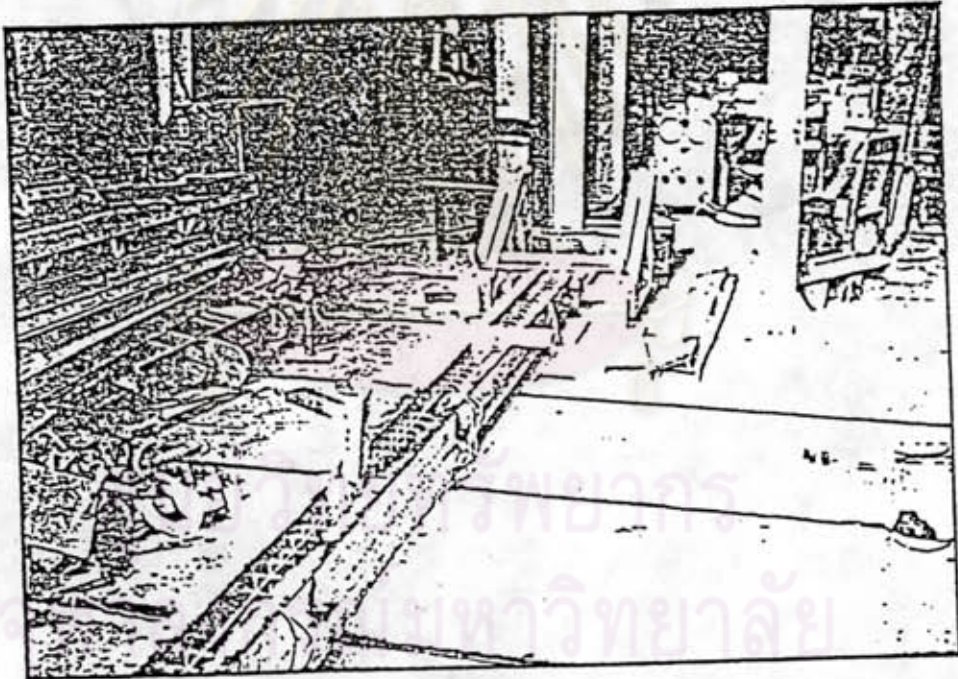
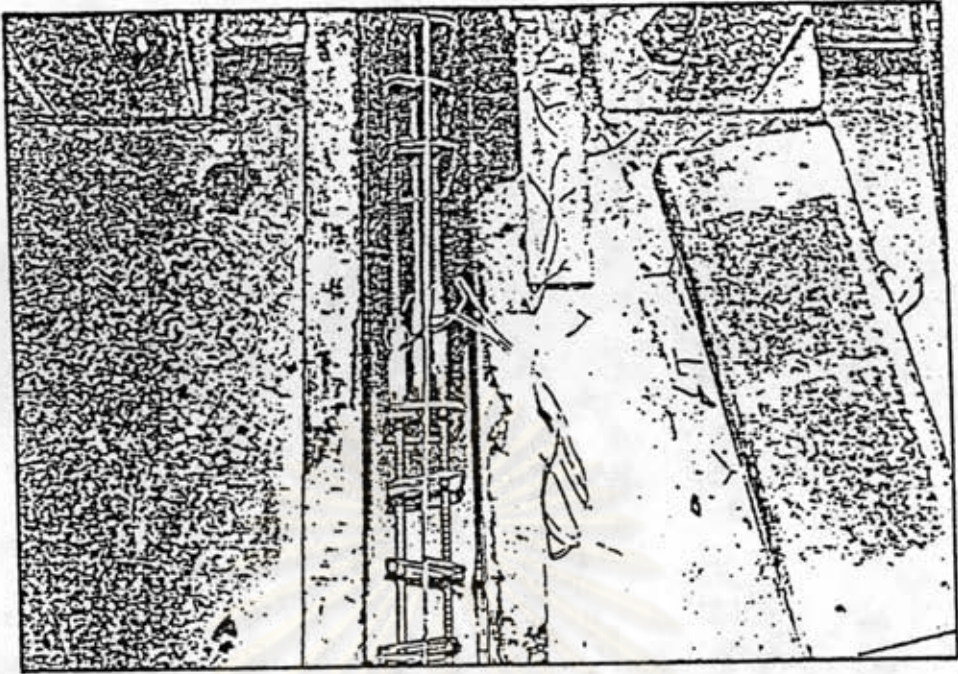
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งในการติดตั้งอุปกรณ์ต่าง ๆ
 ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
 จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



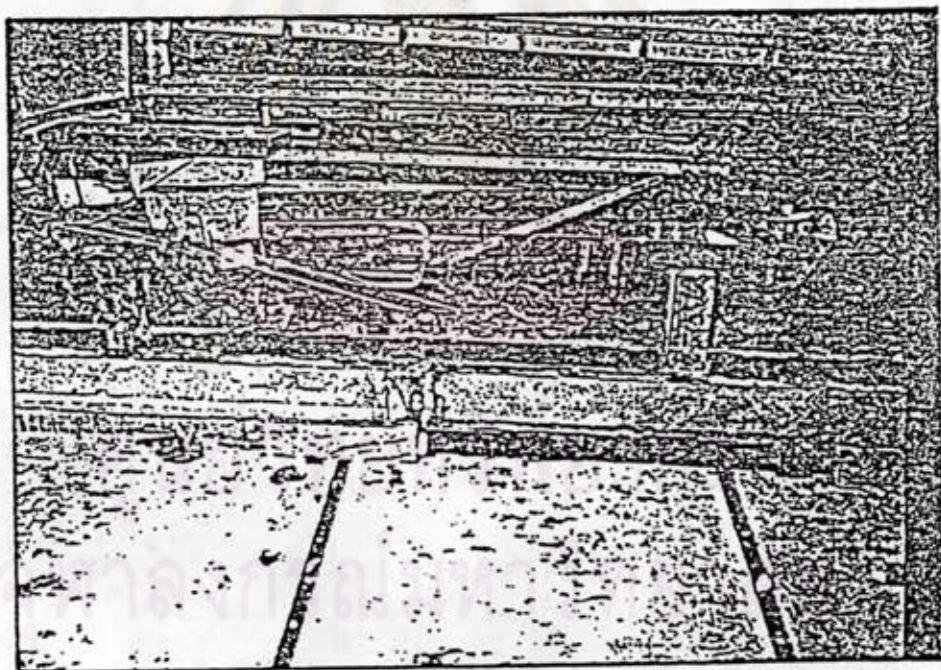
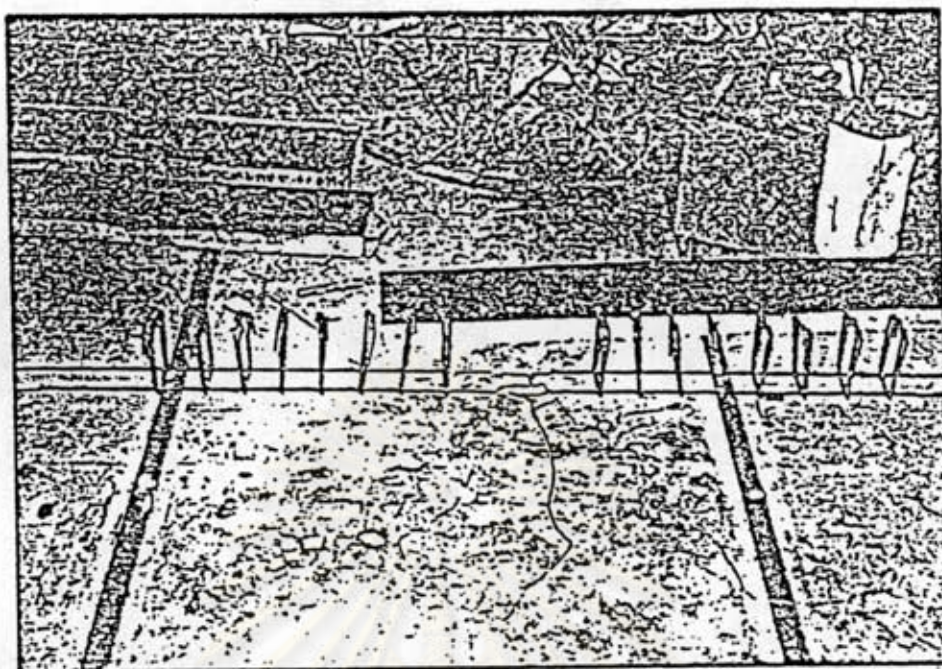
ศูนย์วิทยทรัพยากร

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

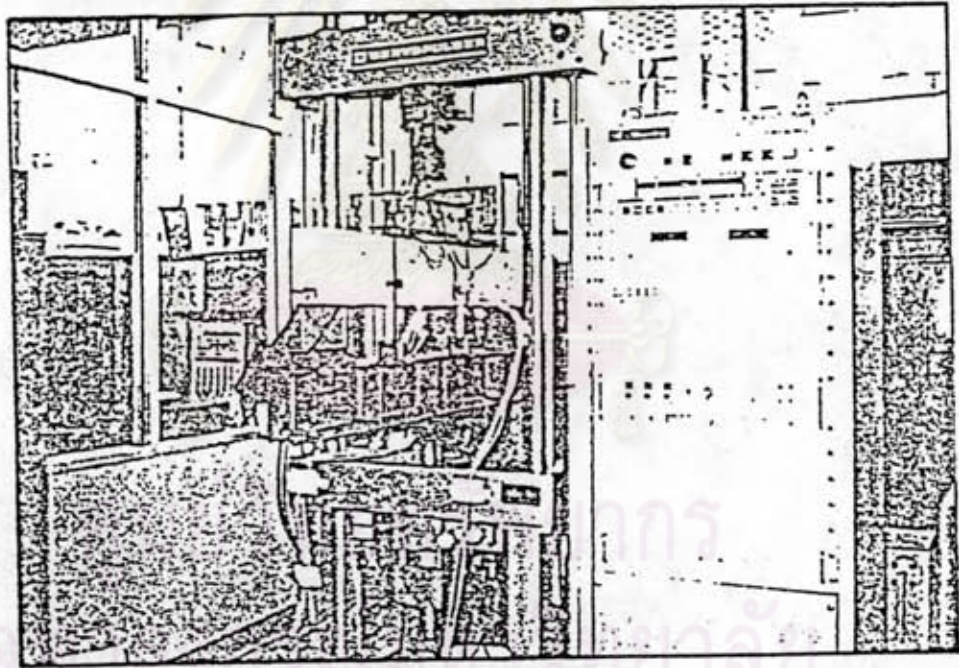
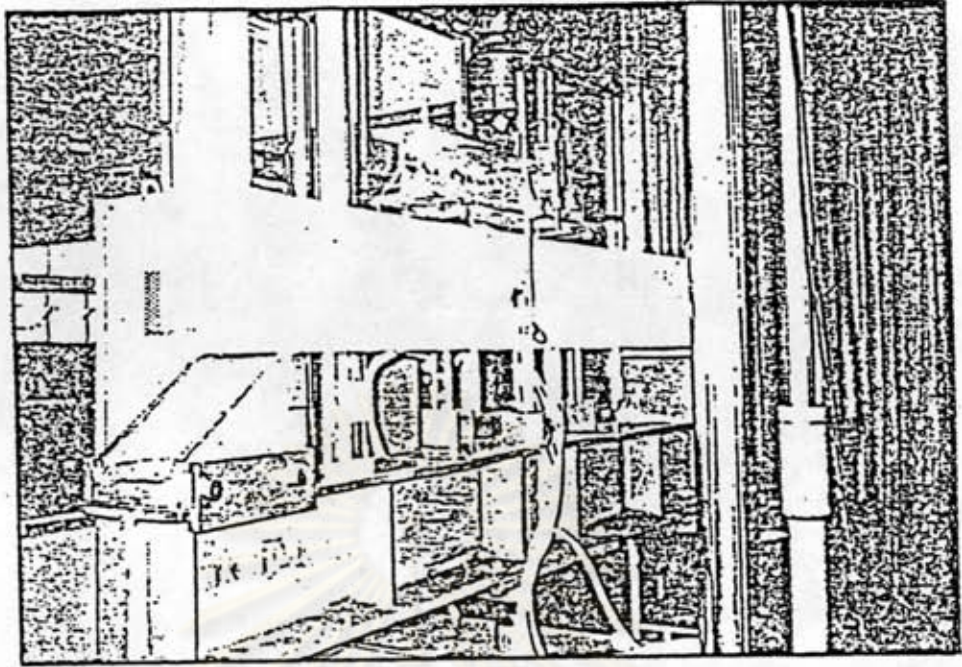
รูปที่ 2.3 การดึงลวดและการเสริมเหล็กปลอก



รูปที่ 2.4 ตำแหน่งของเกจ และ การเตรียมแบบคาน

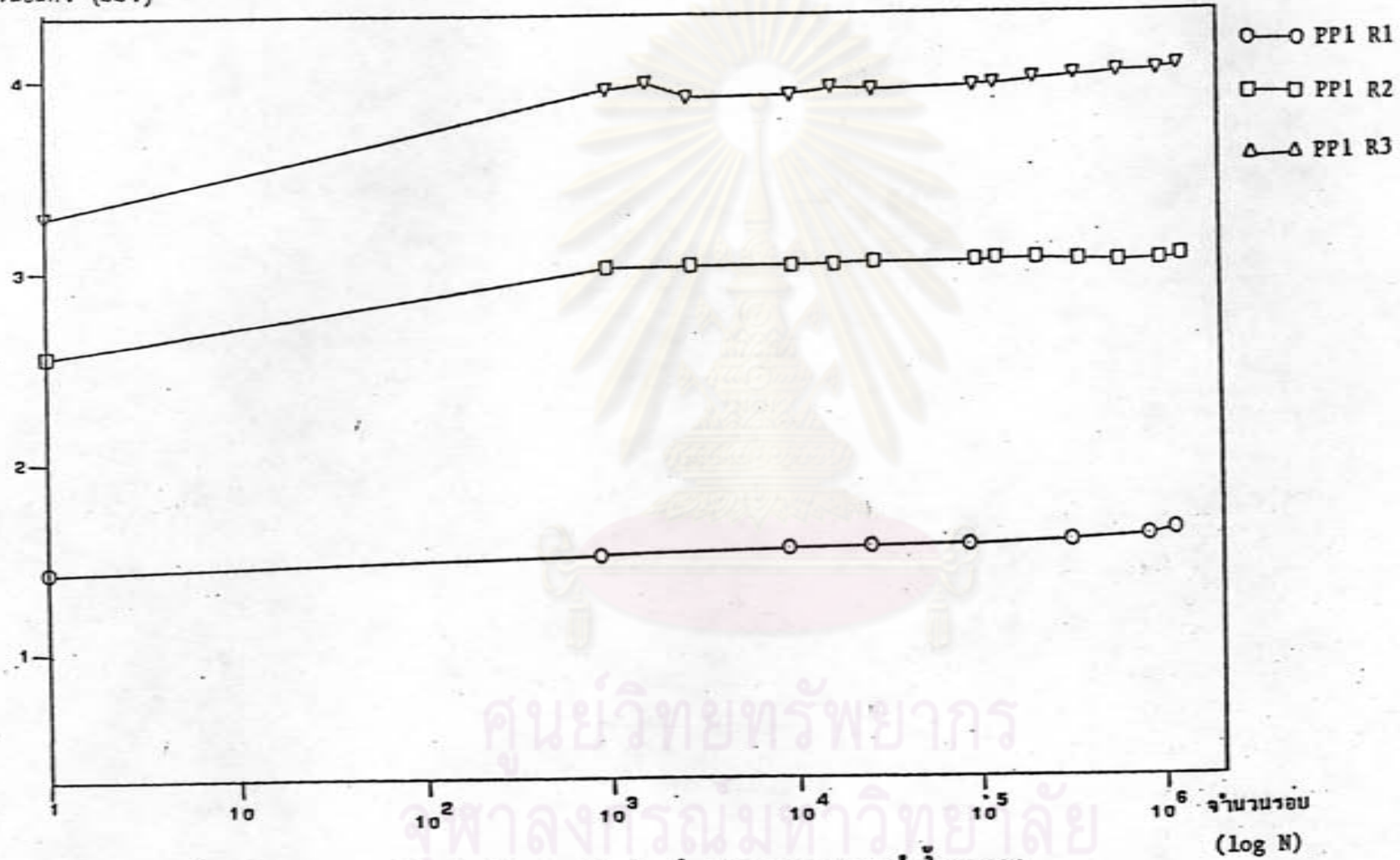


รูปที่ 2.5 ตัวอย่างที่แตกฉนกริตแล้ว



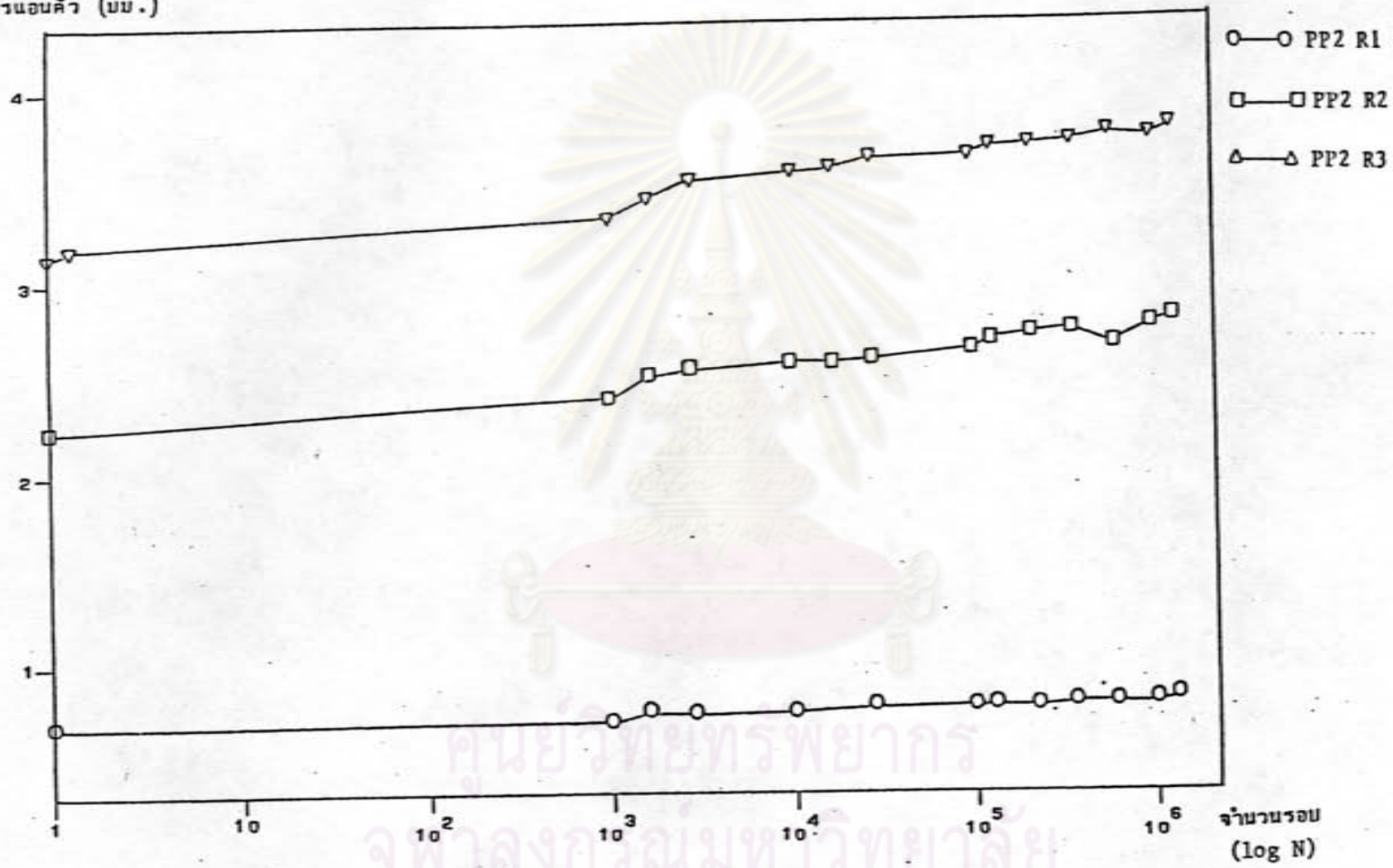
รูปที่ 2.6 การติดตั้งอุปกรณ์พร้อมทำการทดสอบ

การนอ้ศ้ว (มข.)



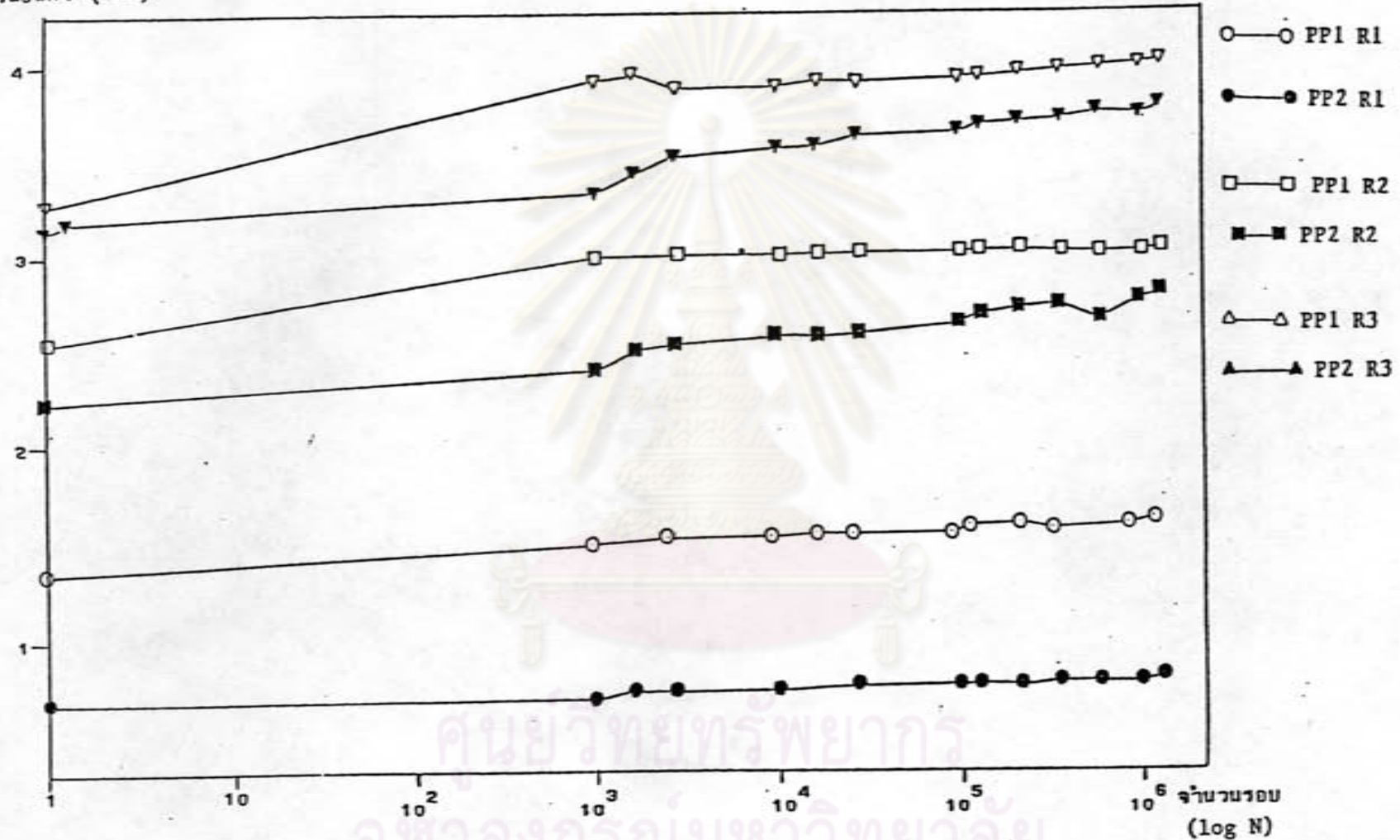
รูปที่ 2.7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนอ้ศ้ว กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำของคาน ตัวอย่าง PP1 R1 , PP1 R2 และ PP1 R3

การแอนคัว (บข.)

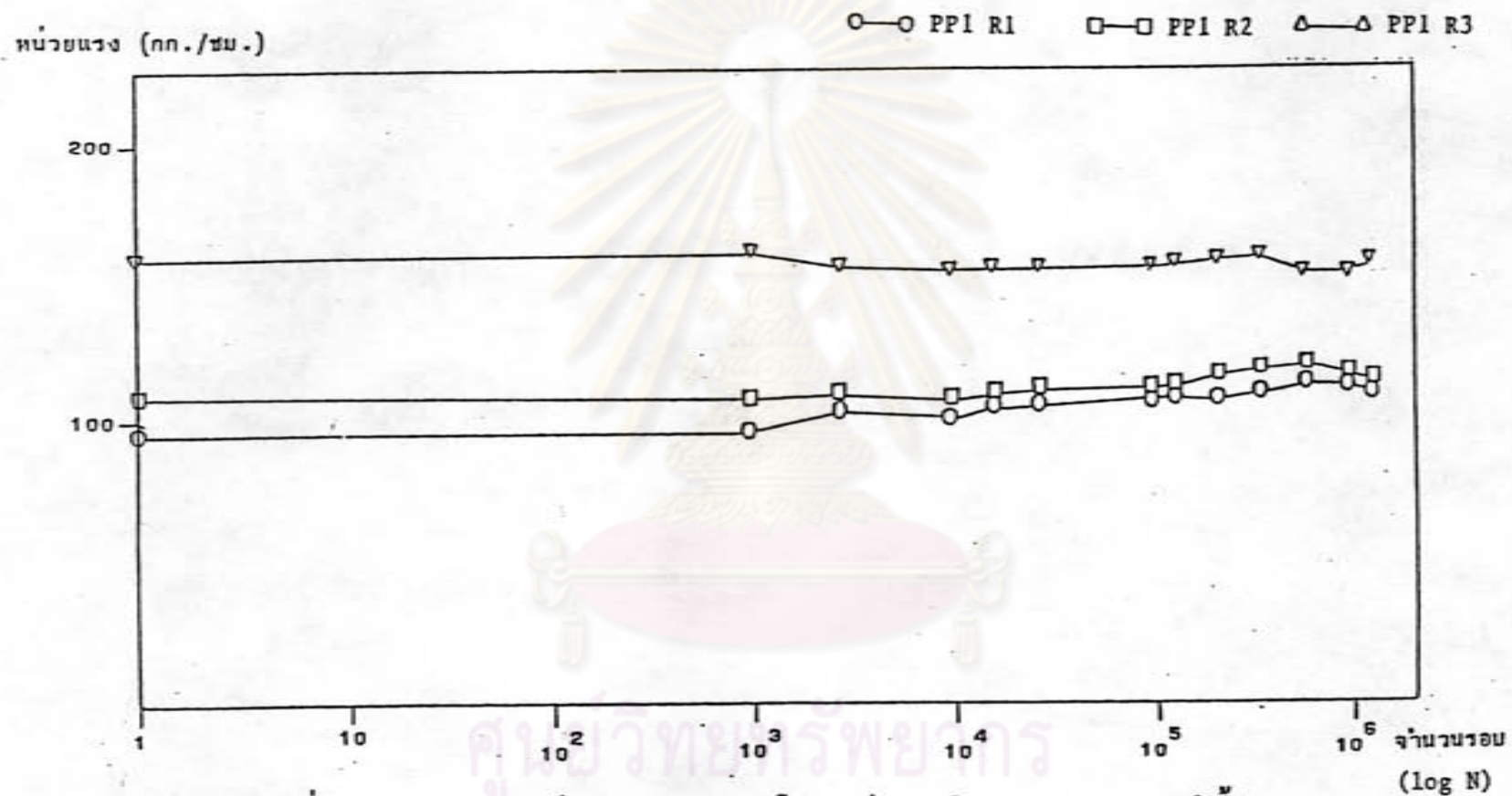


รูปที่ 2.8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการแอนคัว กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำของคาน ตัวอย่าง PP2 R1 , PP2 R2 และ PP2 R3

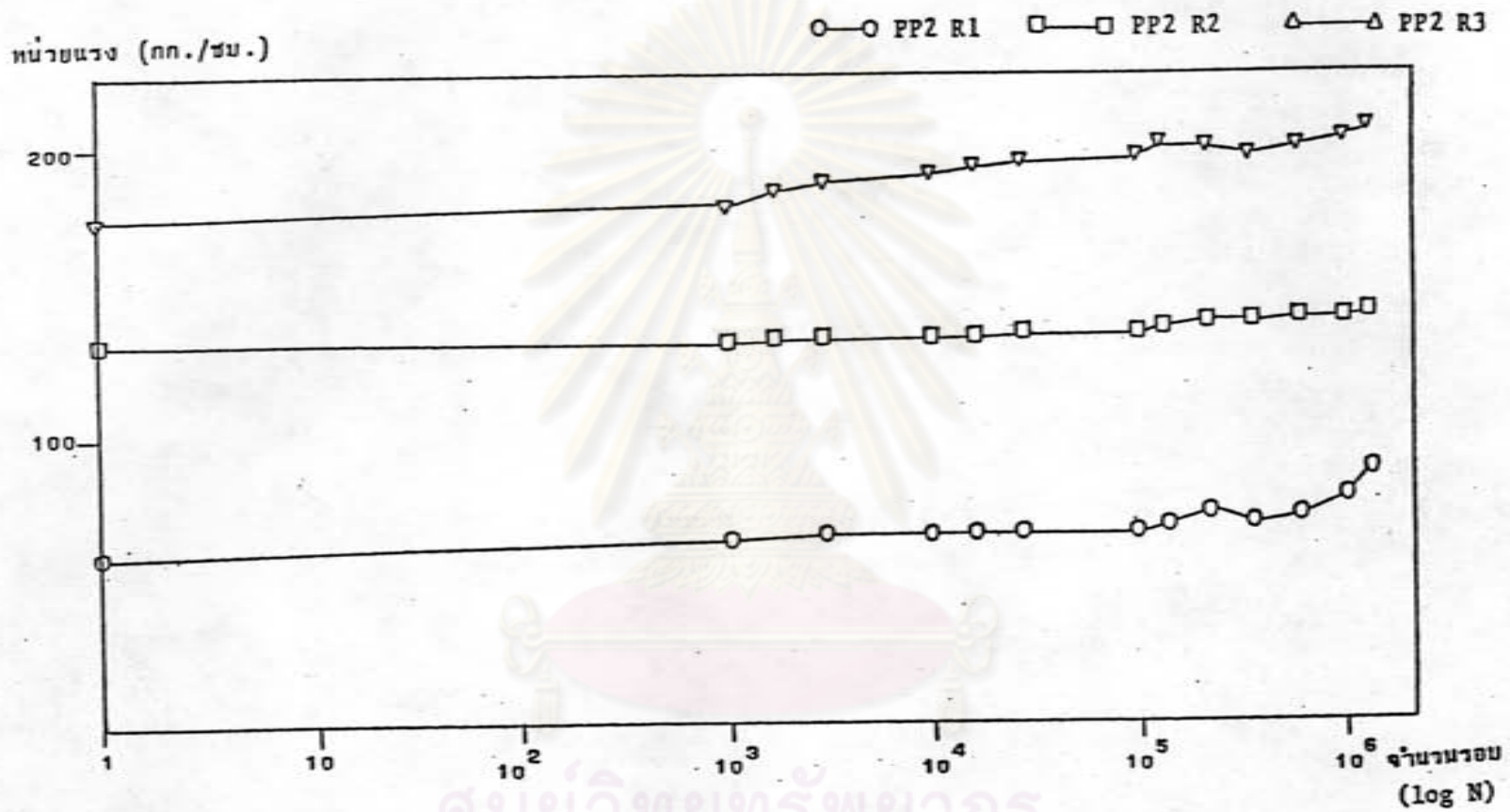
การอ่อนตัว (มม.)



รูปที่ 2.9 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าการอ่อนตัว กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ ของคาแล้วอย่าง ที่มีค่าอัตราส่วนของภาระอัดแรงต่างกัน



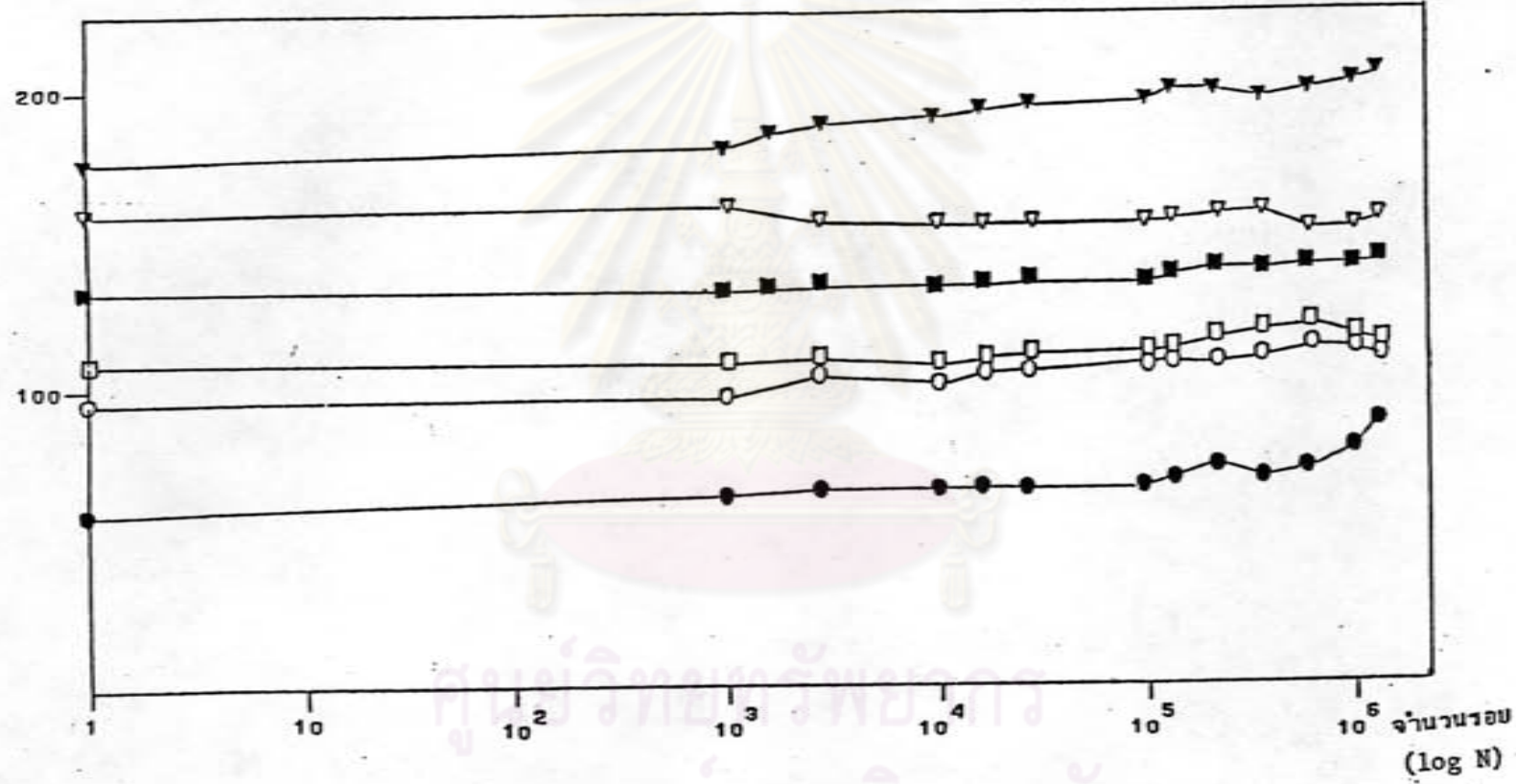
รูปที่ 2.10 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในคอนกรีต กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำของคานตัวอย่าง PP1 R1 , PP1 R2 และ PP1 R3



รูปที่ 2.11 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในคอนกรีต กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ ของคาตัวอย่าง PP2 R1 , PP2 R2 และ PP2 R3

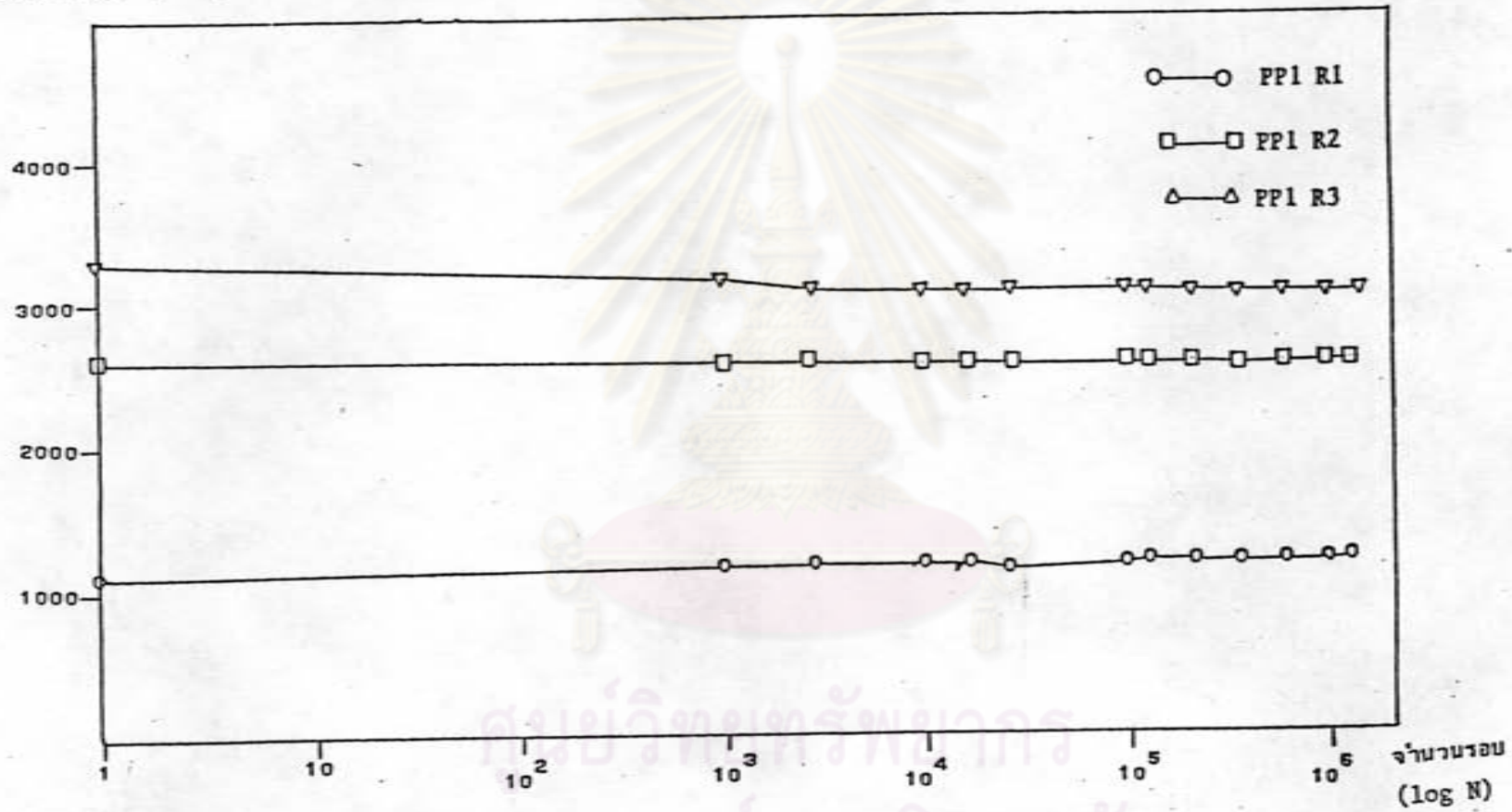
หน่วยแรง (กก./ชม.)

○—○ PP1 R1 □—□ PP1 R2 △—△ PP1 R3
 ●—● PP2 R1 ■—■ PP2 R2 ▲—▲ PP2 R3

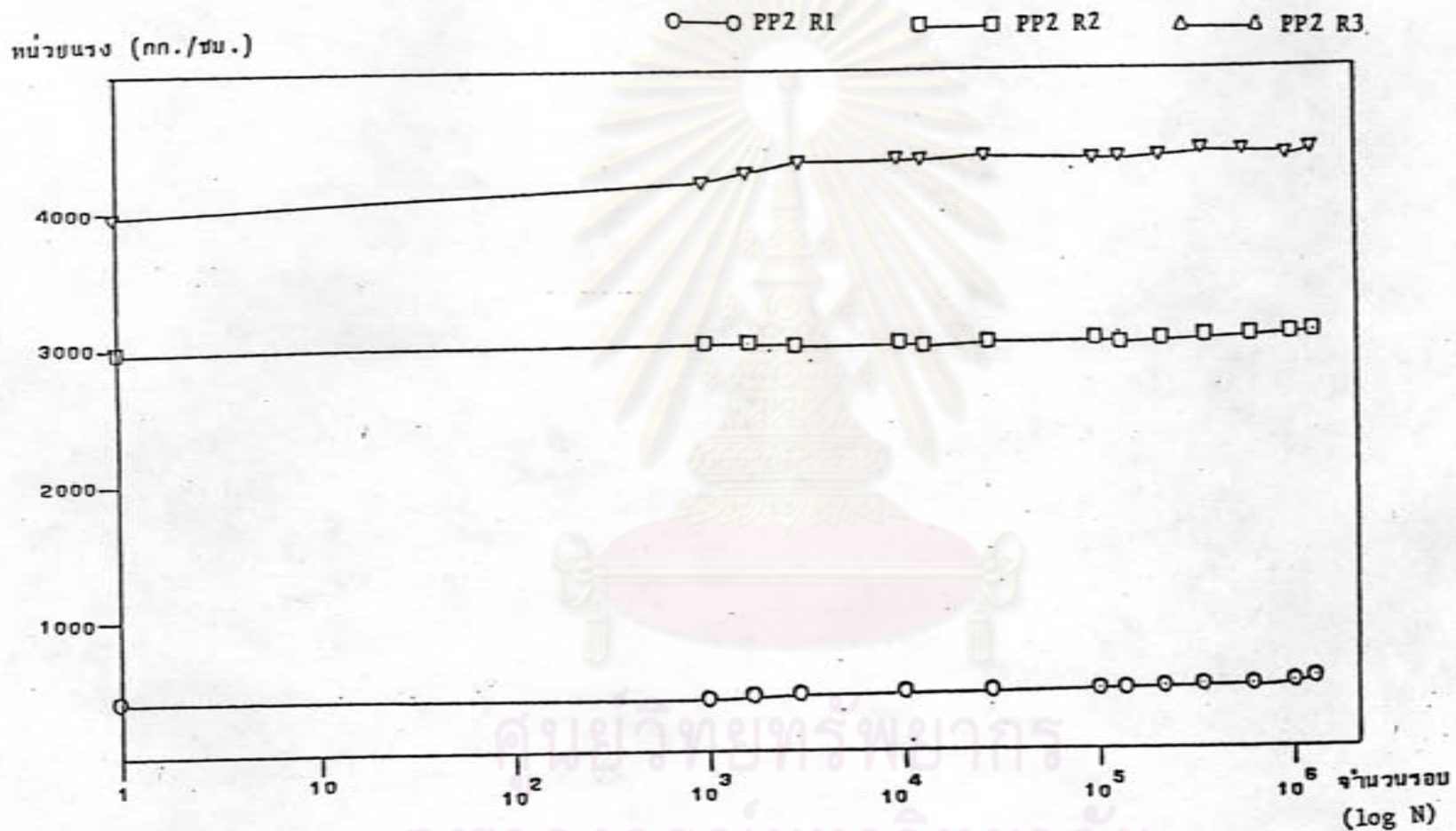


รูปที่ 2.12 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในคอนกรีต กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำของคานตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของการอัดแรงต่างกัน

หน่วยแรง (กก./ชม.)



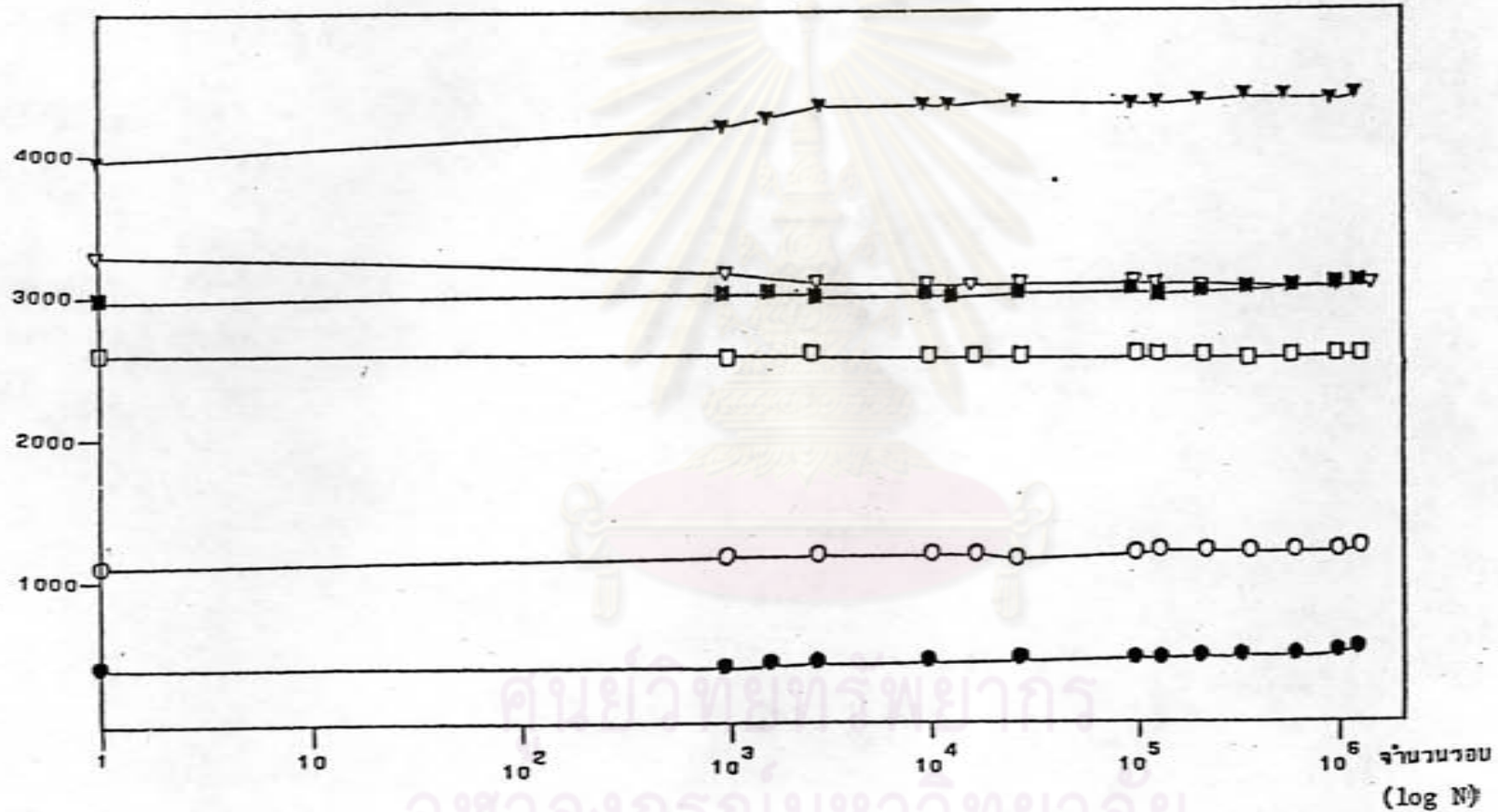
รูปที่ 2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในเหล็กเสวิม กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ
ของคานตัวอย่าง PP1 R1 , PP1 R2 และ PP1 R3



รูปที่ 2.14 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในเหล็กเสริม กับ จำนวนรอบของขดลวดทำขี้
 ขวดตัวอย่าง PP2 R1 , PP2 R2 และ PP2 R3

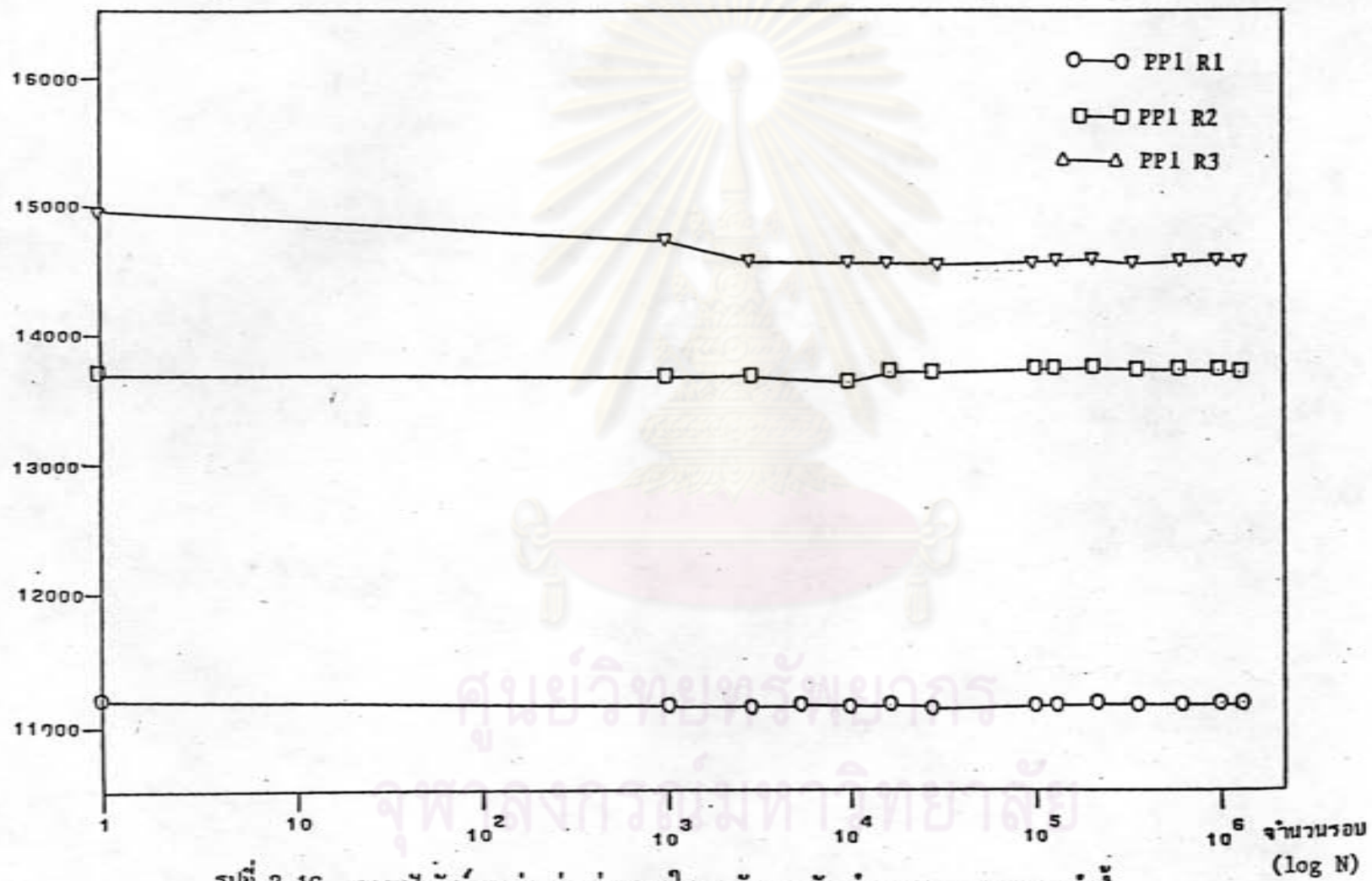
หน่วยแรง (กก./ซม.)

○—○ PP1 R1 □—□ PP1 R2 △—△ PP1 R3
●—● PP2 R1 ■—■ PP2 R2 ▲—▲ PP2 R3



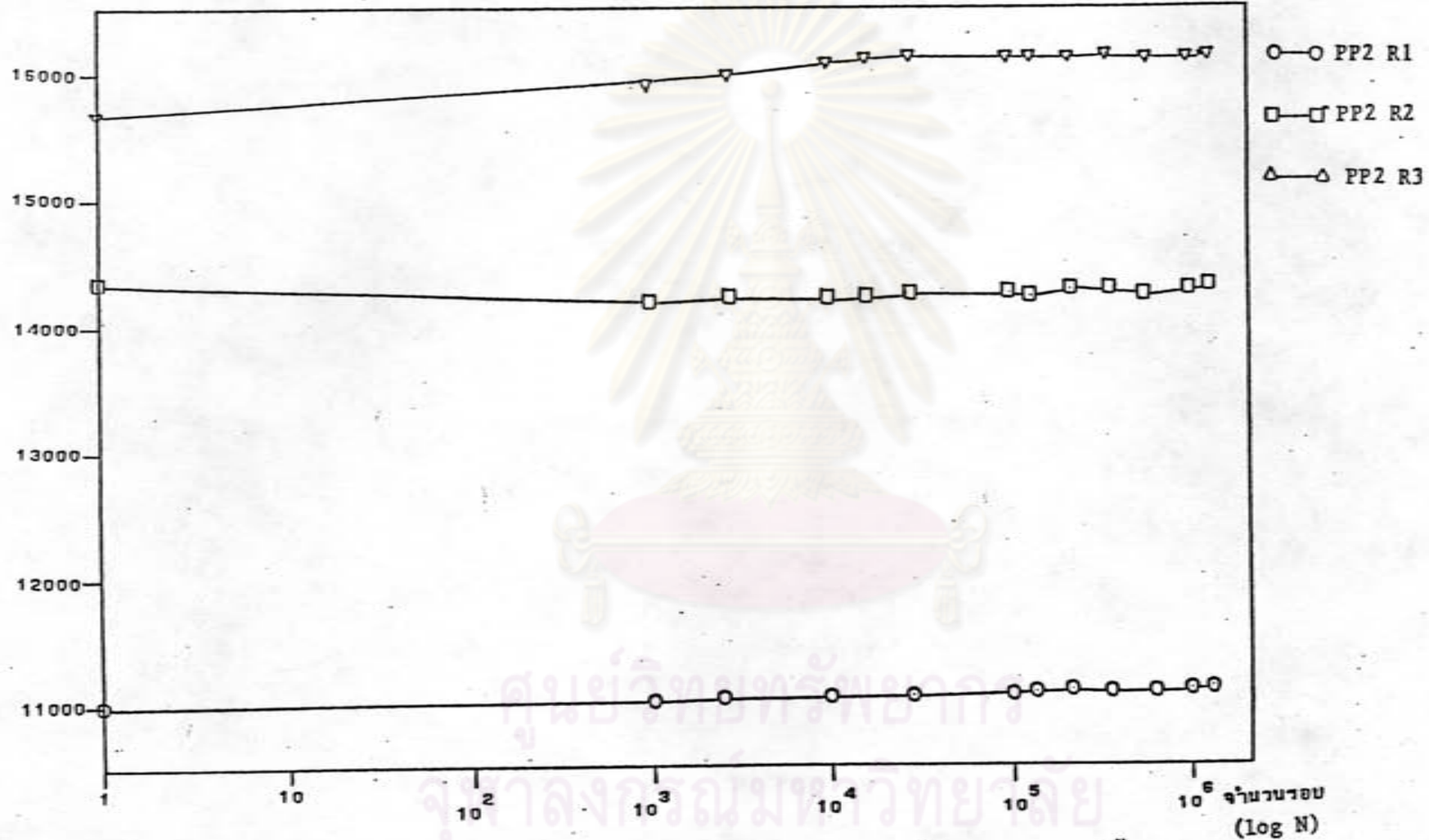
รูปที่ 2.15 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในเหล็กเสวิม กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำของคานตัวอย่างที่มีอัตราส่วนของการอัดแรงต่างกัน

หน่วยแรง (กก./ชม.)



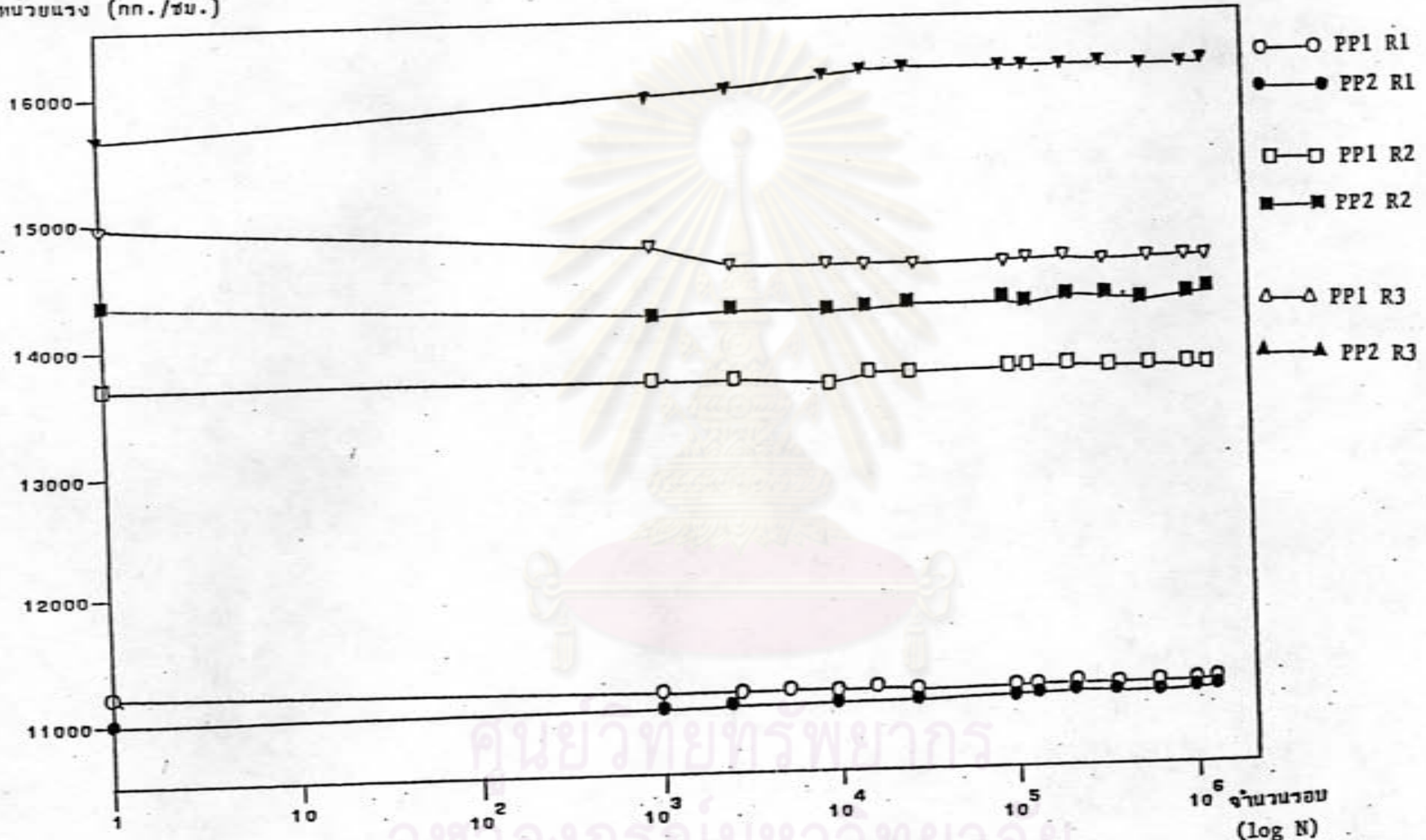
รูปที่ 2.16 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในเวลาอัดแรง กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำของคาน้ำอย่าง PP1 R1 , PP1 R2 และ PP1 R3

หน่วยแรง (กก./ซม.)

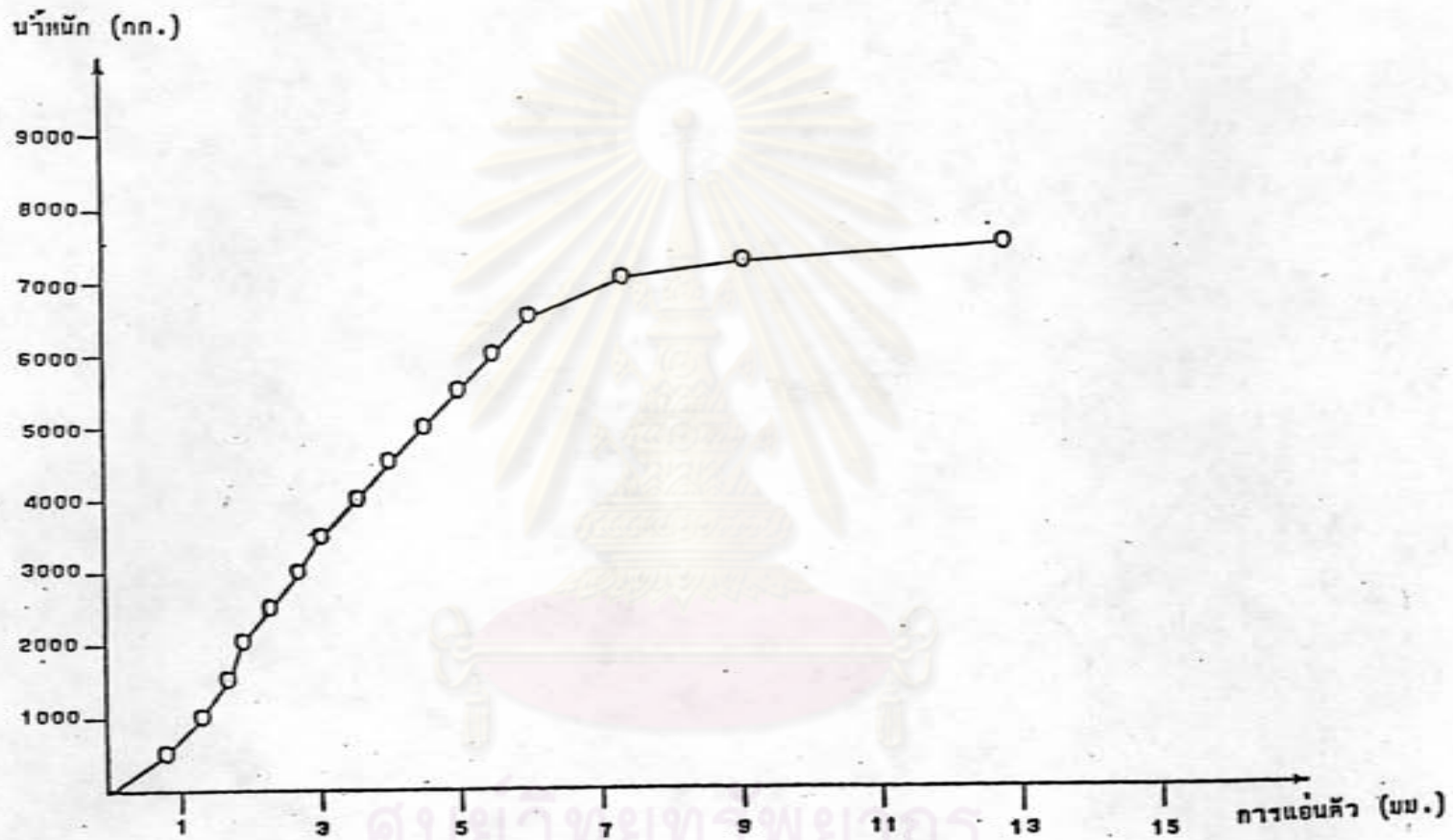


รูปที่ 2.17 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าหน่วยแรงในลวดอัดแรง กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำ ของคานตัวอย่าง PP2 R1 , PP2 R2 และ PP2 R3

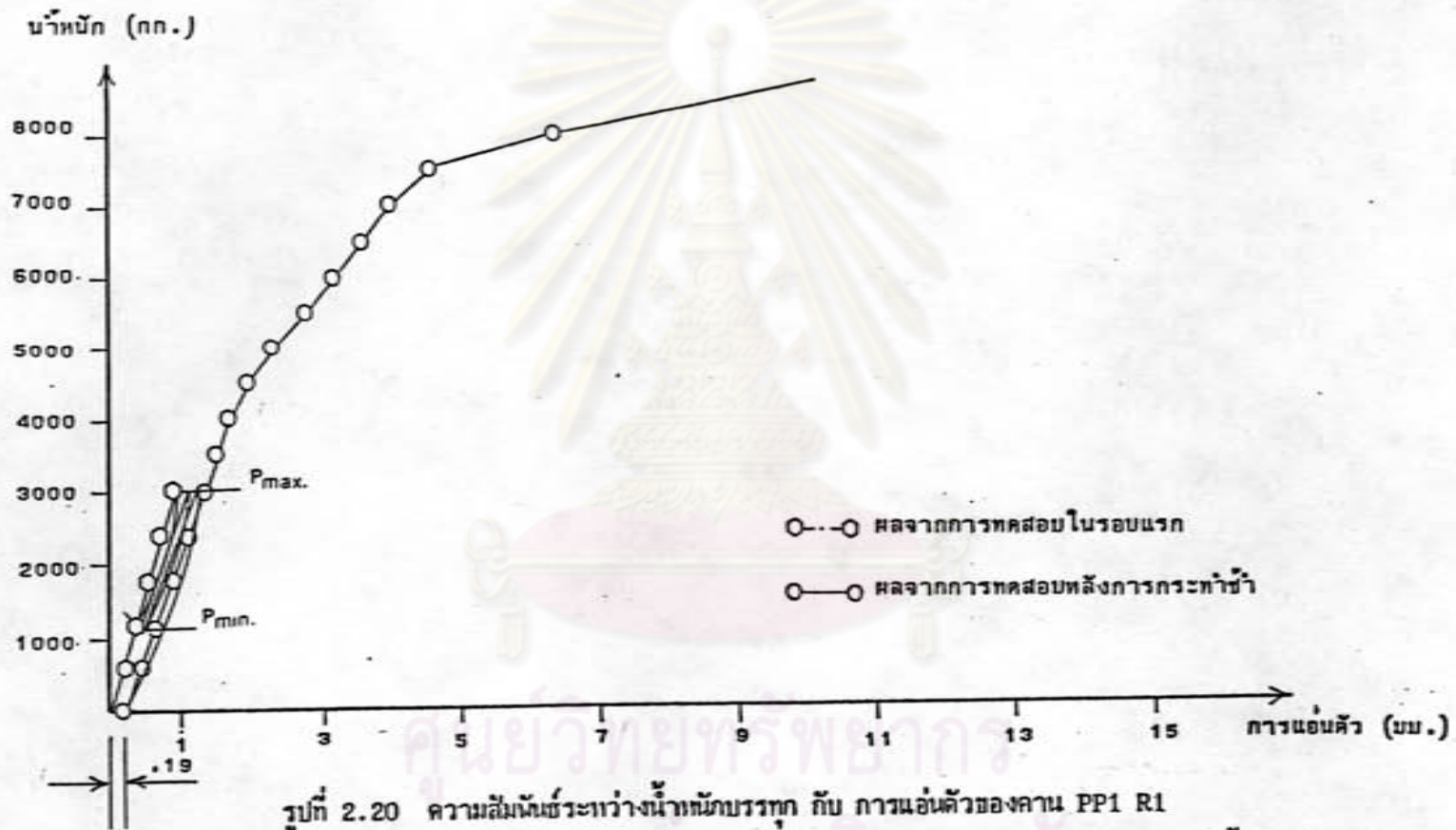
หน่วยแรง (กก./ชม.)



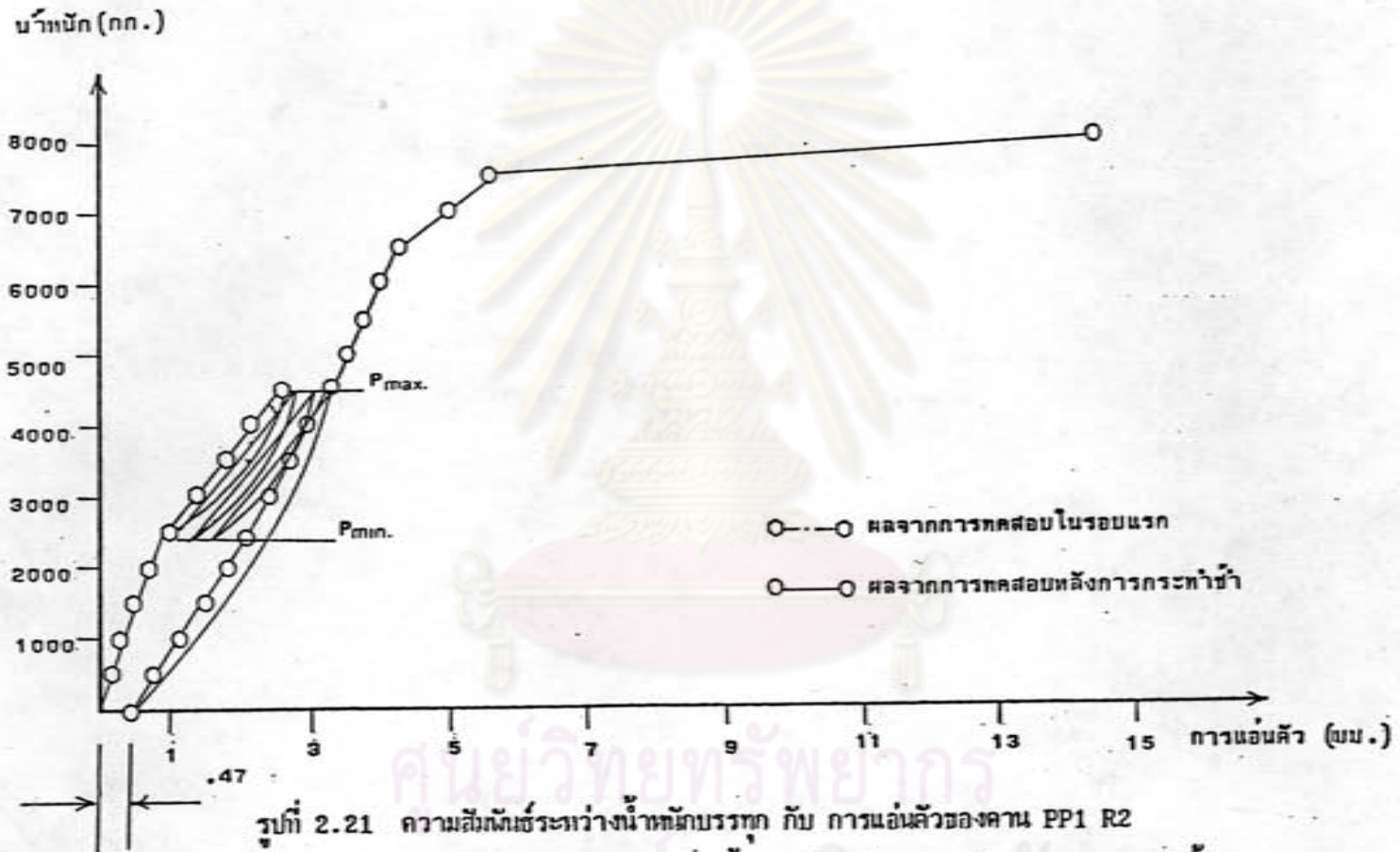
รูปที่ 2.18 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างค่าน้ำแรงในลวดอัดแรง กับ จำนวนรอบของการกระทำซ้ำของคานตัวอย่างที่เอื้อตราส่วนของการอัดแรงต่างกัน



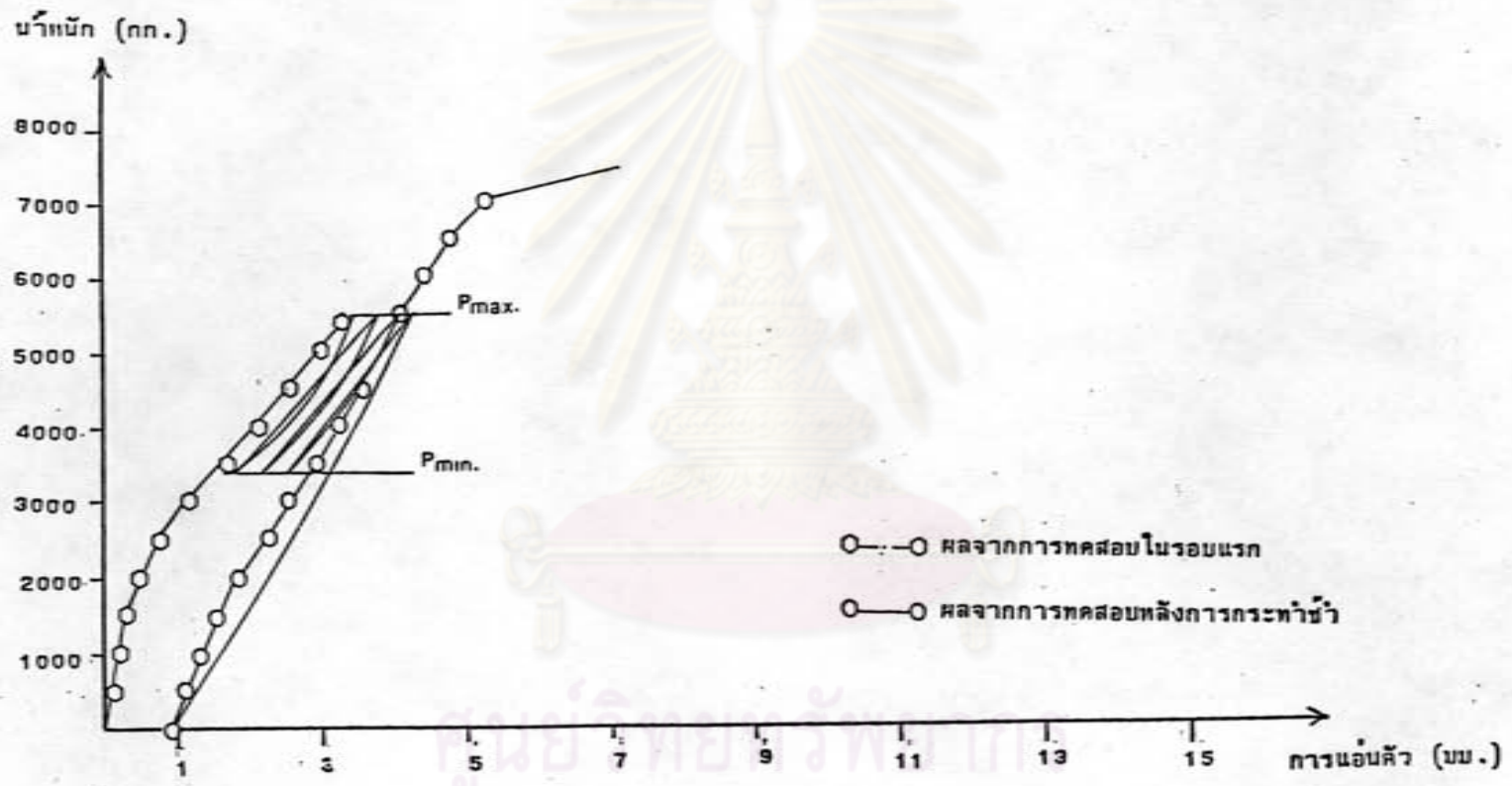
รูปที่ 2.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การแอนคิวของคาน PP1 S1
จากการทดสอบ



รูปที่ 2.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอนตัวของคาน PP1 R1 จากการศึกษาการทดสอบหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ รอบแรกของการกระทำซ้ำ

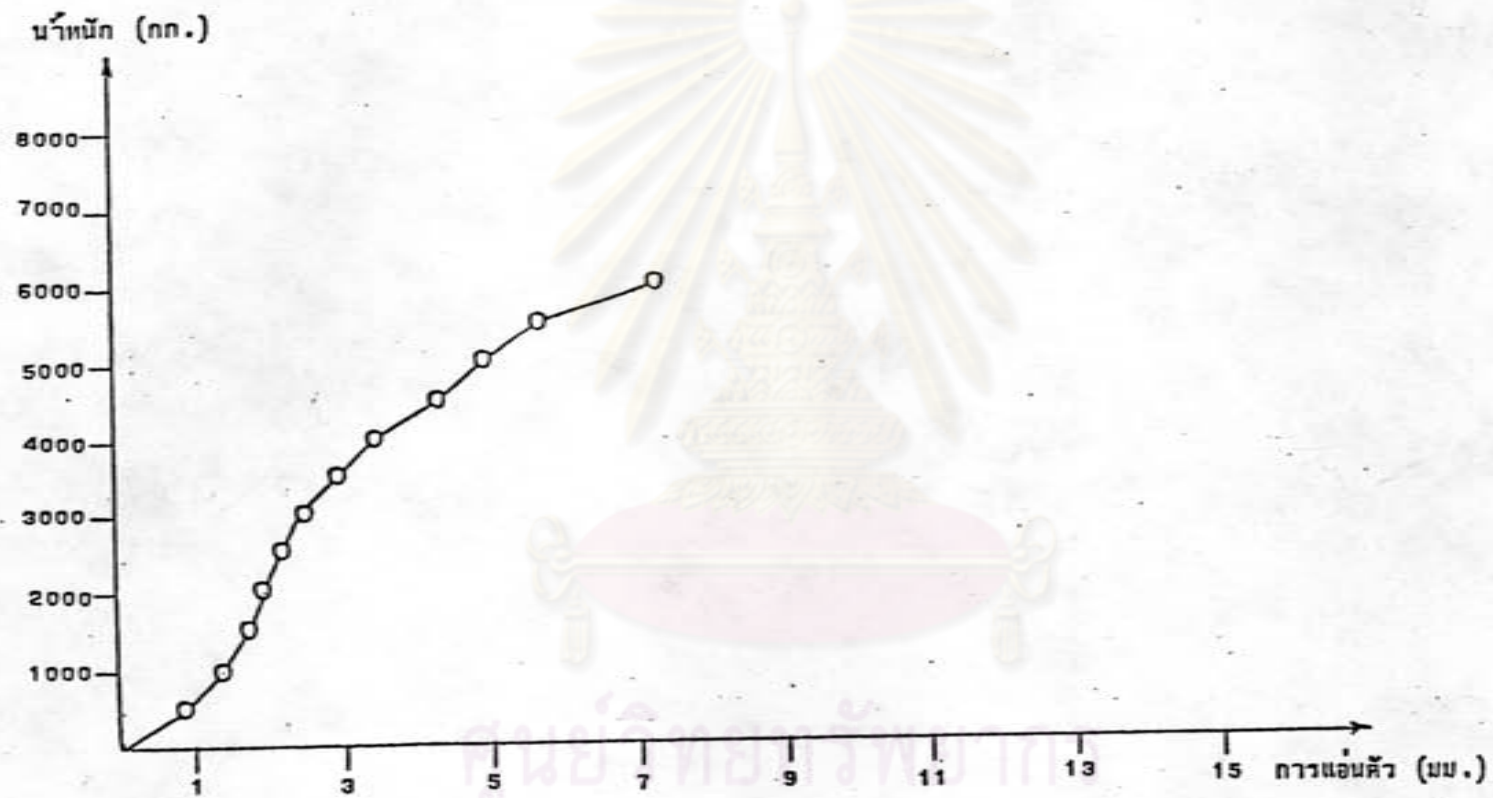


รูปที่ 2.21 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ดูดซับน้ำ กับ การแอนคั่วของคอนกรีต PP1 R2 จากการทดสอบหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ รอยร้าวของการกระทำซ้ำ

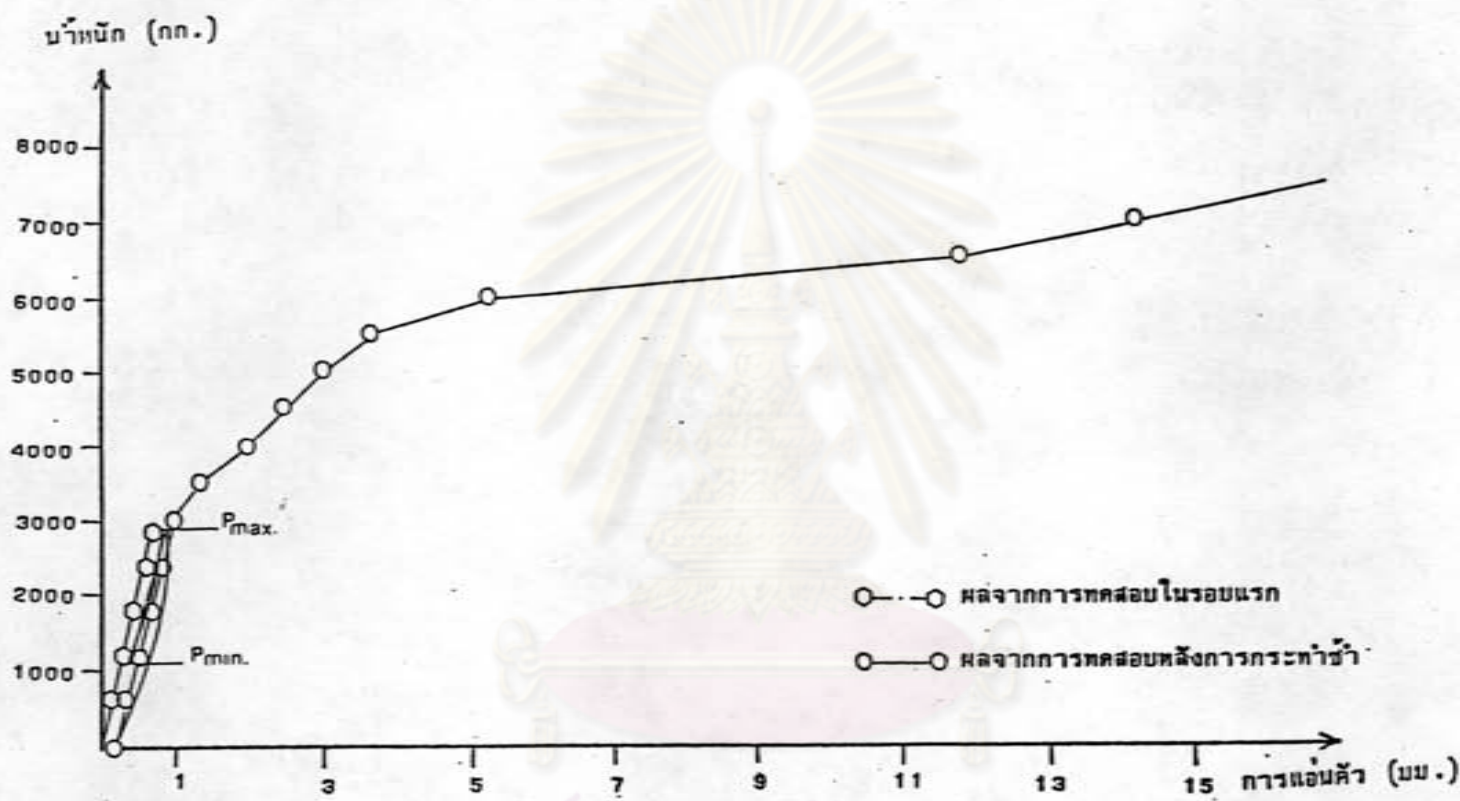


.95

รูปที่ 2.22 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแฉกของคาน PP1 R3 จากการทดสอบหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ รอบแรกของการกระทำซ้ำ

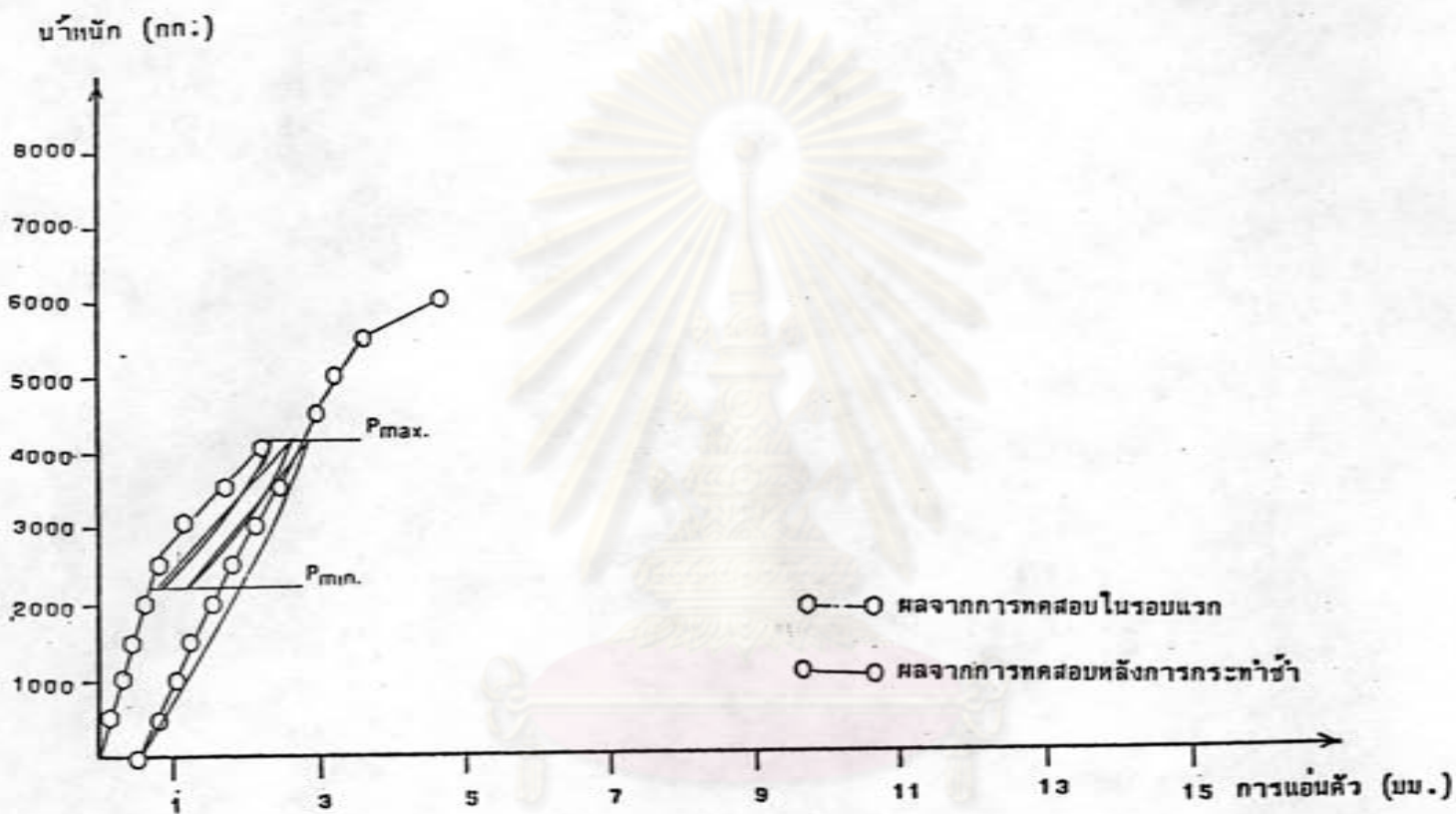


รูปที่ 2.23 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุ กับ การแอนตัวของคาน PP2 S1 จากการทดสอบ



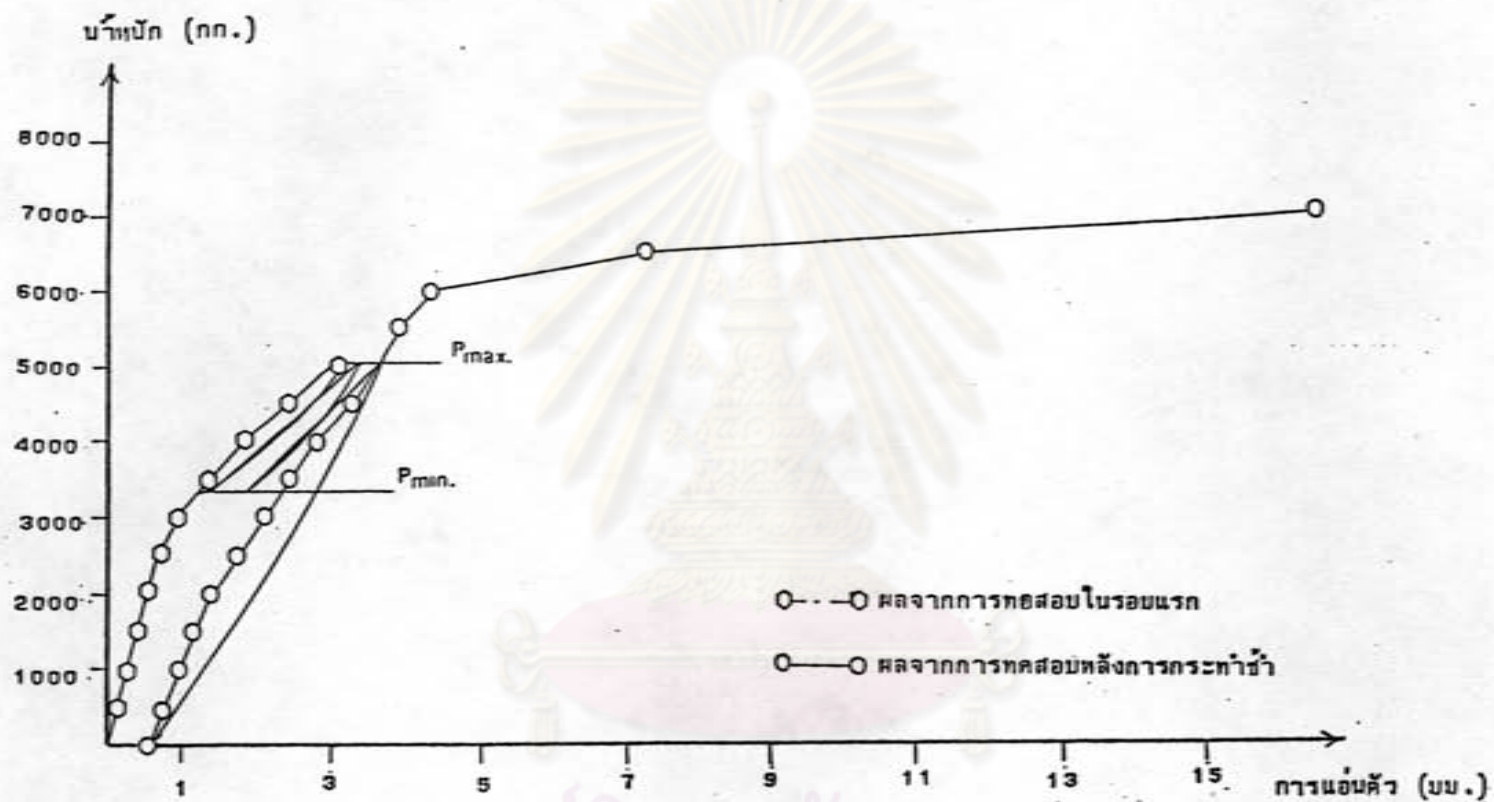
รูปที่ 2.24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การแอนค้ำของคาน PP2 R1 จากการศึกษาทดสอบหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ รอบแรกของการกระทำซ้ำ

จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

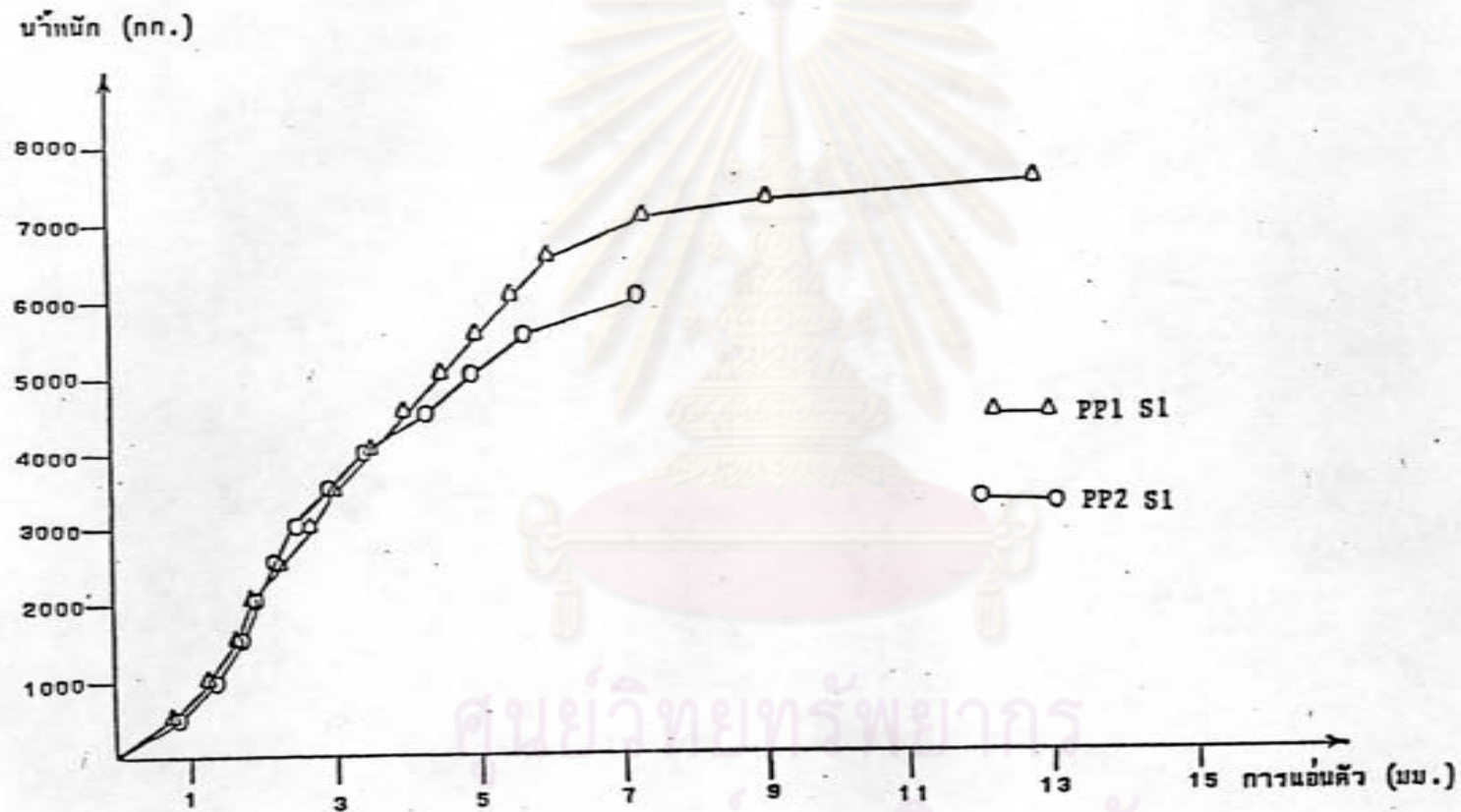


รูปที่ 2.25 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การอุ่นคิ้วของคาน PP2 R2 จากการศึกษาทดสอบหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ รอบแรกของการกระทำซ้ำ

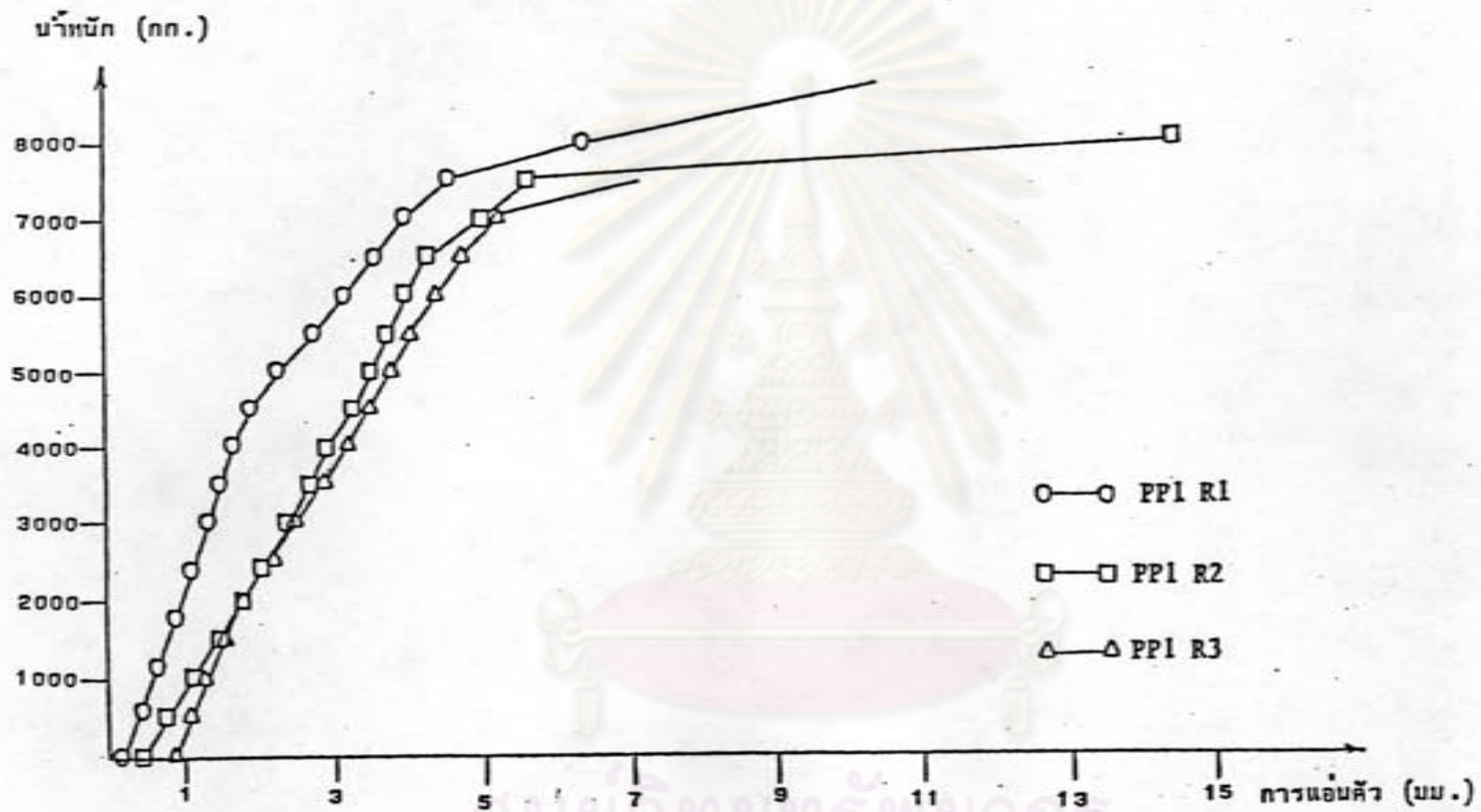
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



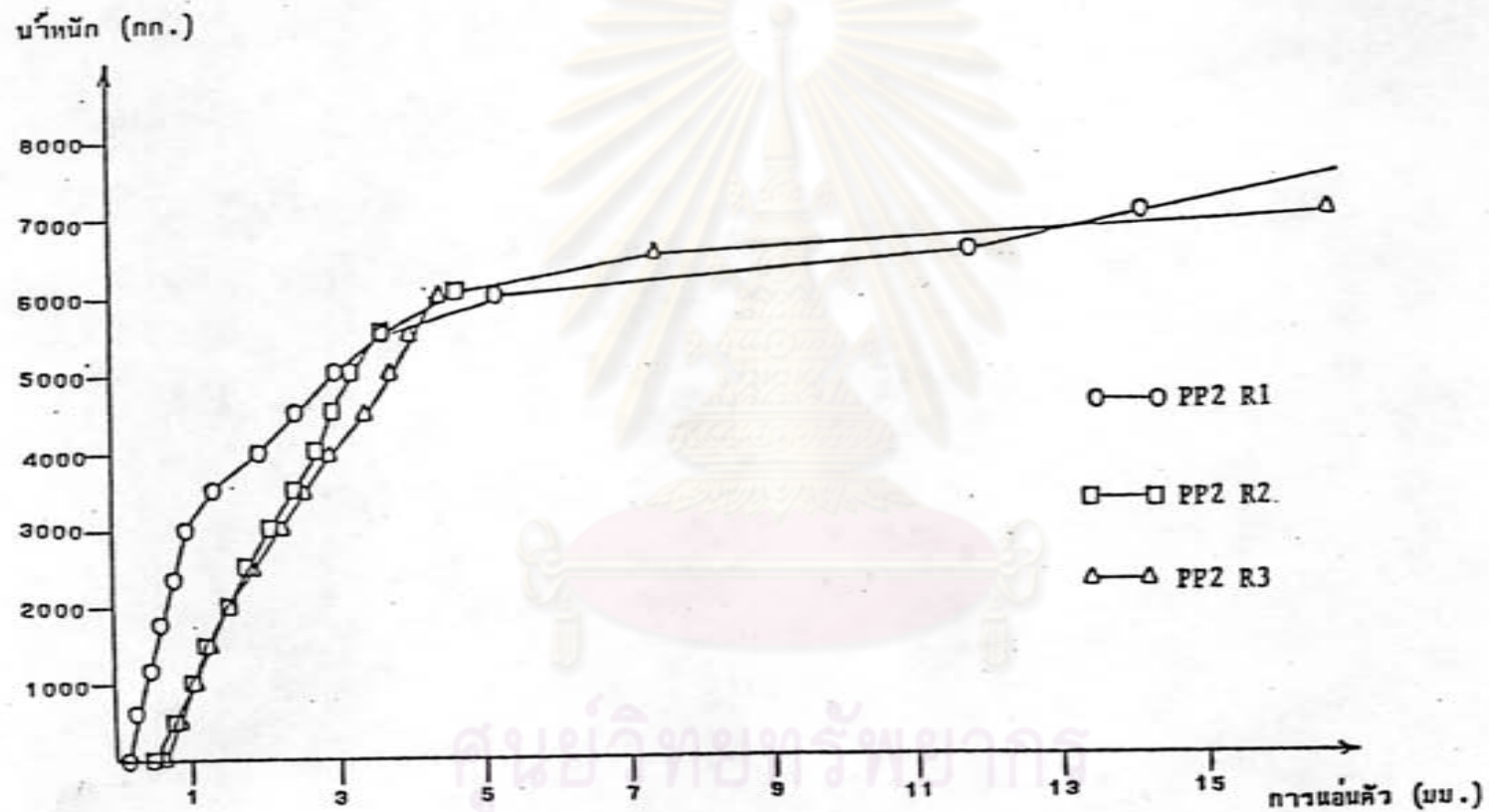
รูปที่ 2.26 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่เก็บรวมกับการแอนดัวของคอนกรีต PP2 R3 จากการศึกษาการทดสอบหลังการกระทำน้ำ เปรียบเทียบกับ รอบแรกของการกระทำน้ำ



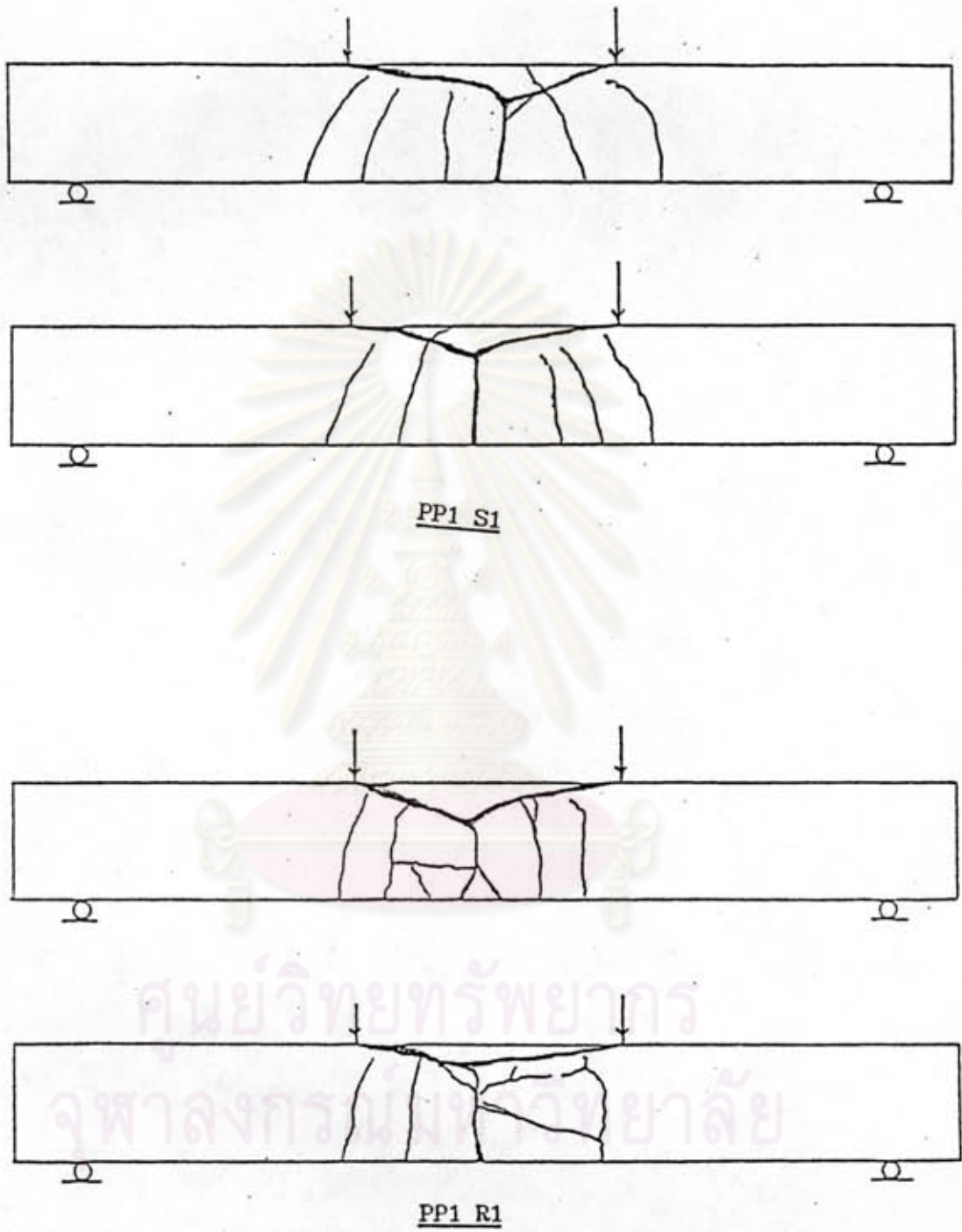
รูปที่ 2.27 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรทุกกับการอบตัวของคาน PP1 S1
PP2 S1 จากการทดสอบ



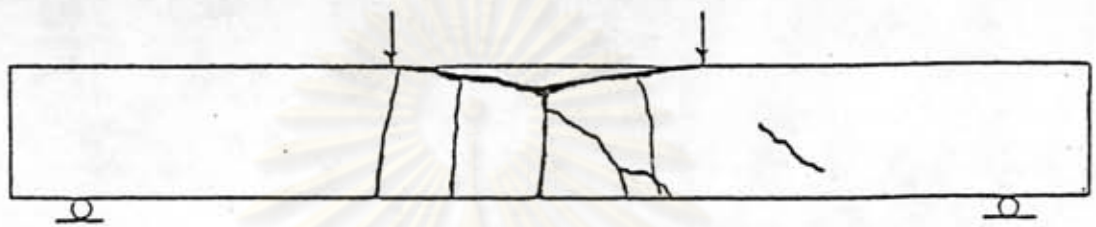
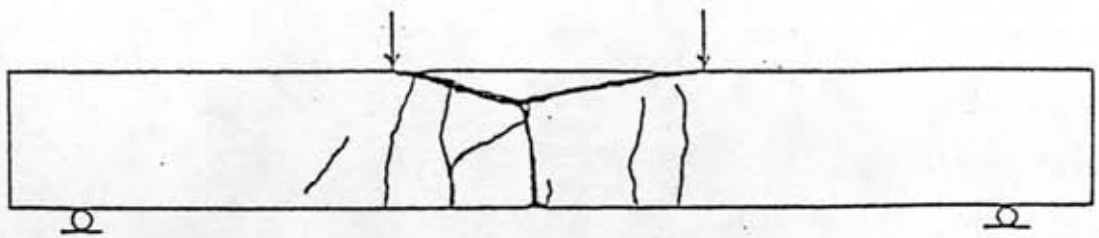
รูปที่ 2.28 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุกับการแอนตัวของคาน PP1 R1 , PP1 R2 และ PP1 R3 จากการทดสอบหลังการกระทำซ้ำ



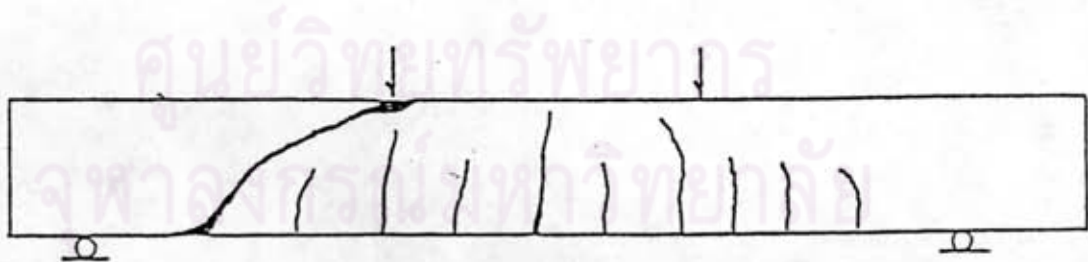
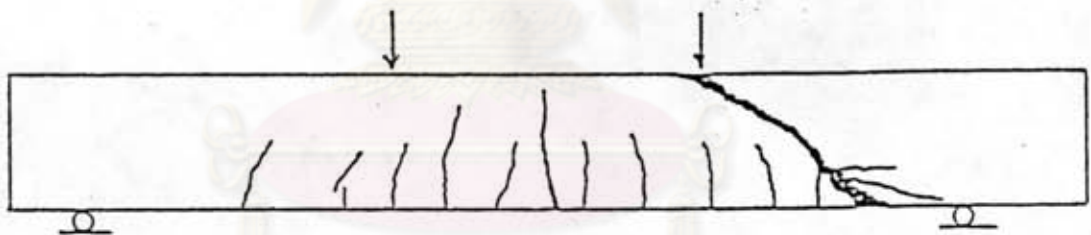
รูปที่ 2.29 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรทุกกับการอ่อนตัวของคาน PP2 R1 , PP2 R2 และ PP2 R3 จากการทดสอบหลังการกระทำซ้ำ



รูปที่ 2.30 ลักษณะการบิดของคาน PP1 S1 และ PP1 R1

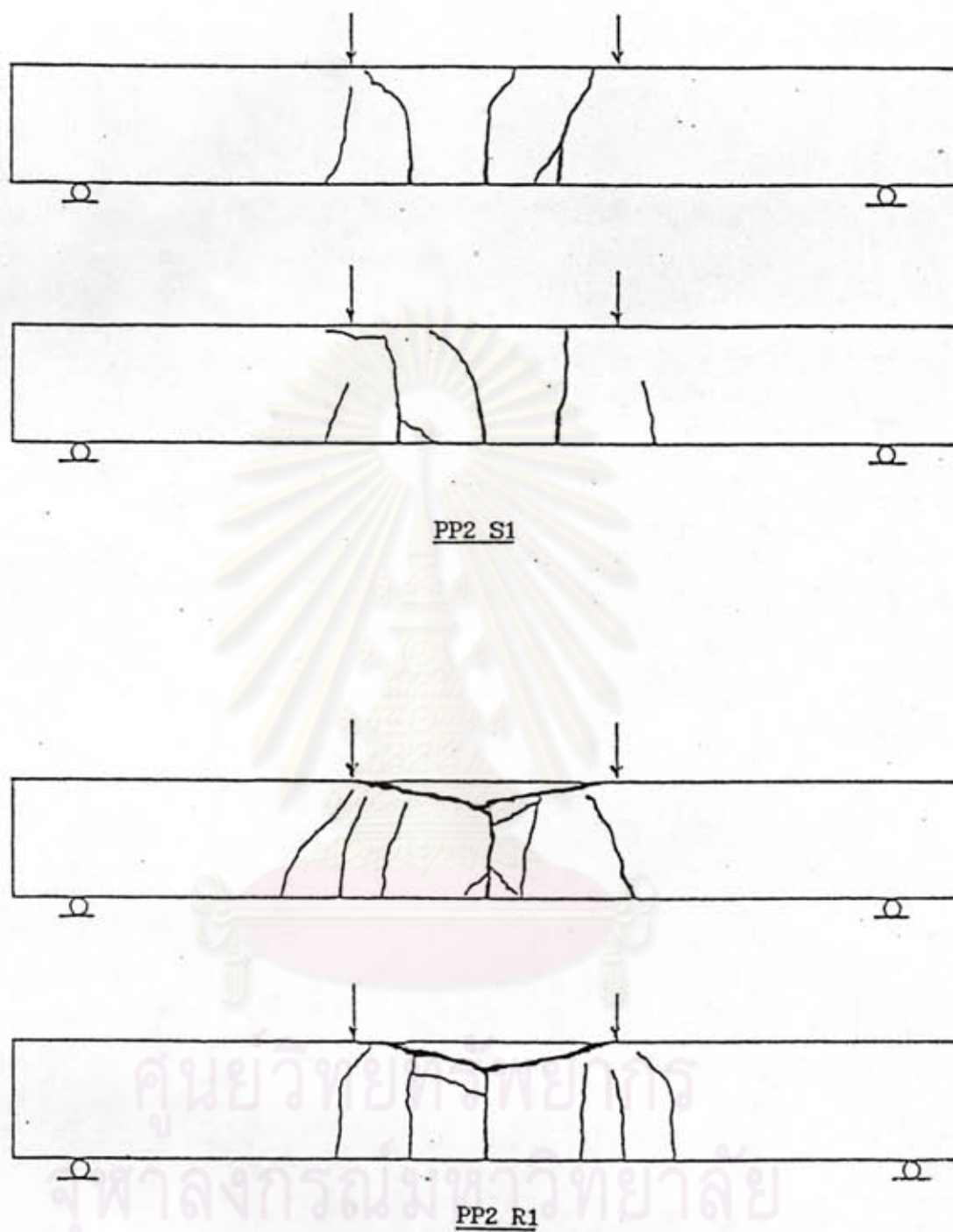


PP1 R2

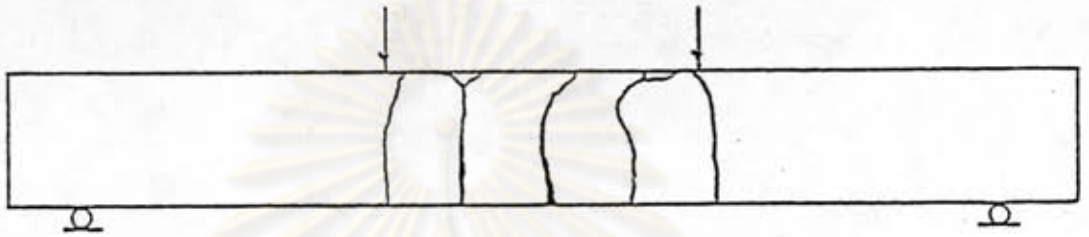
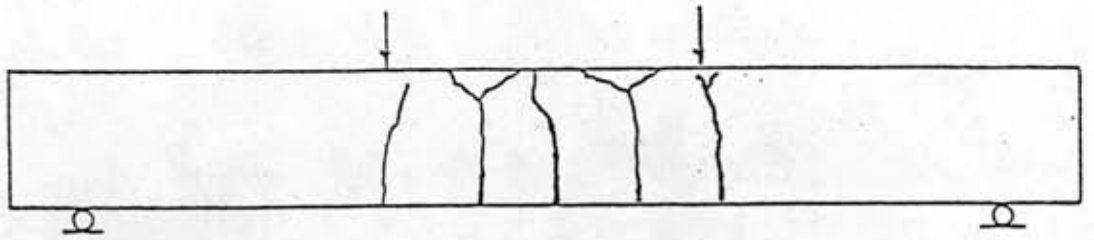


PP1 R3

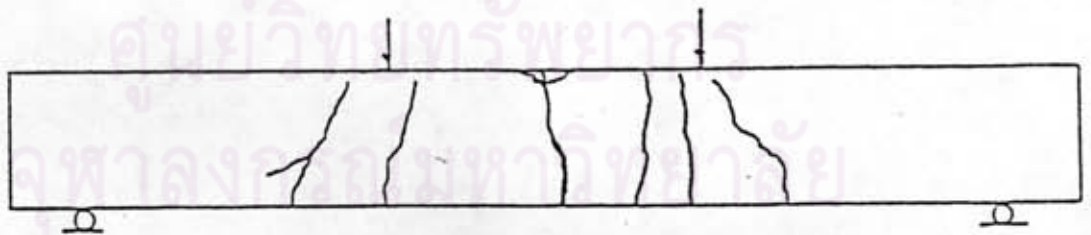
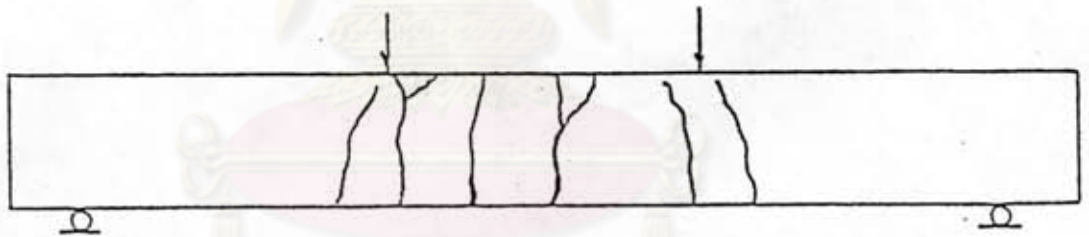
รูปที่ 2.31 ลักษณะการวิบัติของคาน PP1 R2 และ PP1 R3



รูปที่ 2.32 ลักษณะการวิบัติของคาน PP2 S1 และ PP2 R1

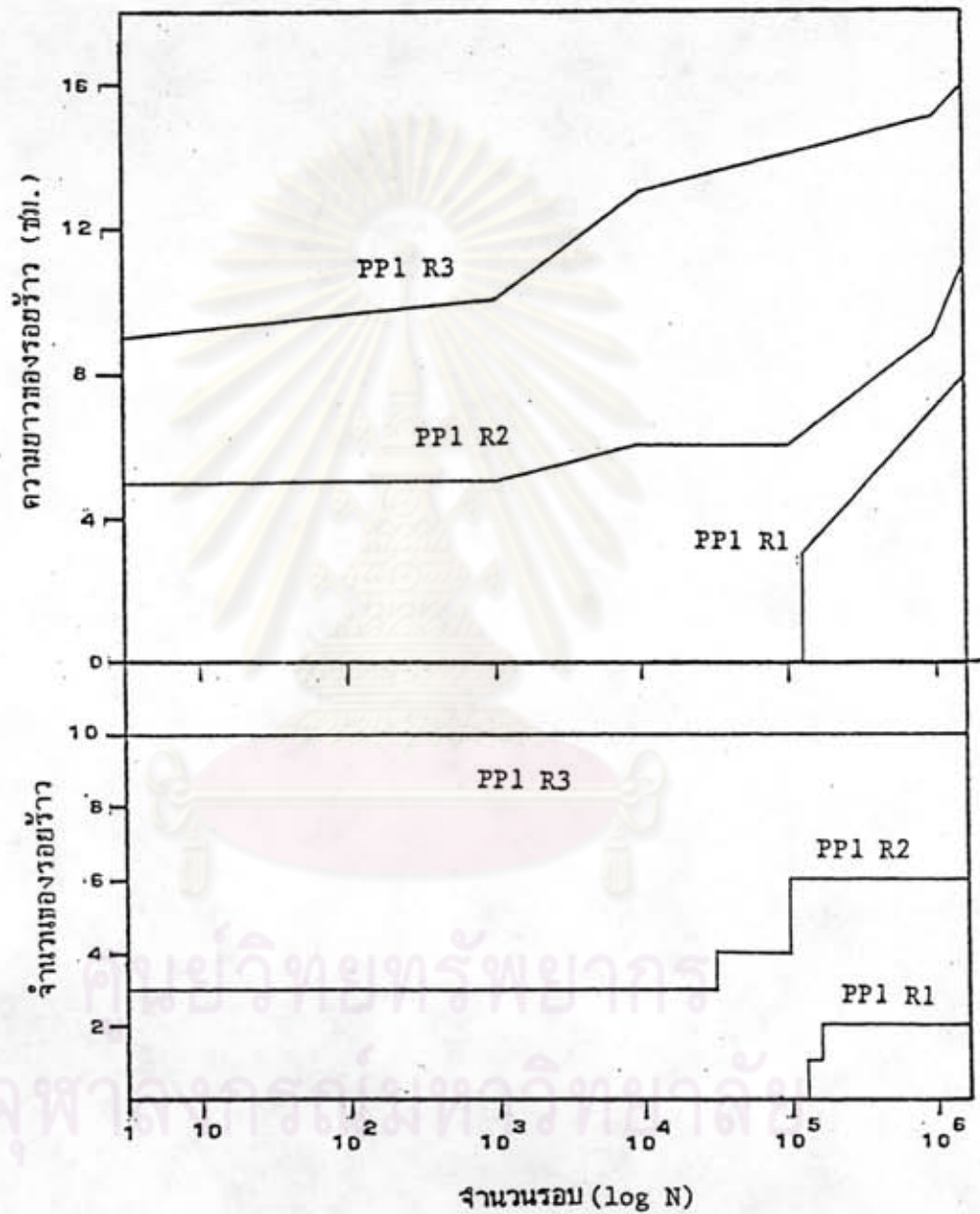


PP2 R2

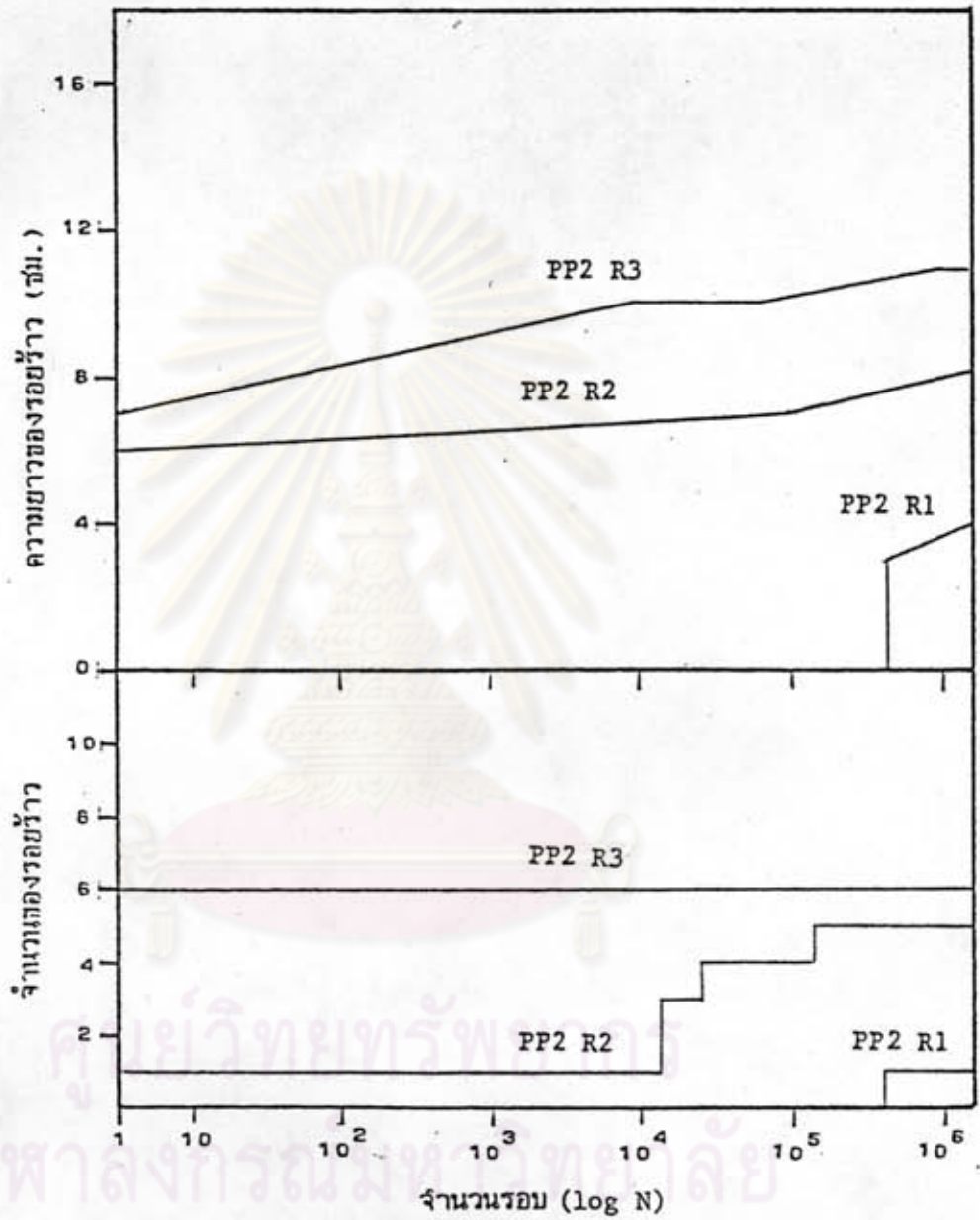


PP2 R3

รูปที่ 2.33 ลักษณะการวิบัติของคาน PP2 R2 และ PP2 R3

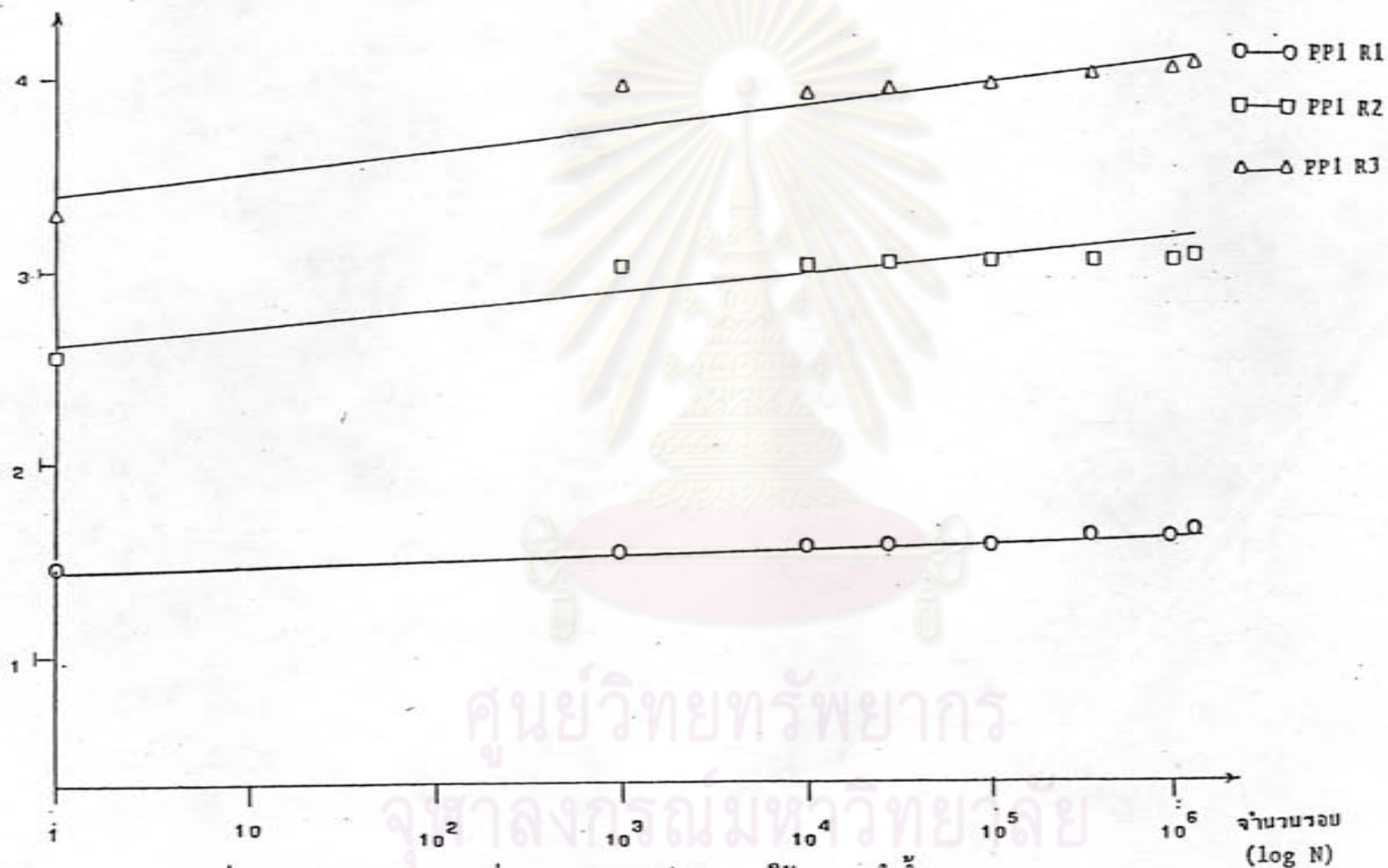


รูปที่ 3.1 การเปลี่ยนแปลงขนาด และ จำนวนของรอยแตกข้าว ภายใต้การกระทำซ้ำของคานตัวอย่างกลุ่มที่มีค่าอัตราส่วนของการอัดแรง 0.27



รูปที่ 3.2 การเปลี่ยนแปลงขนาด และ จำนวนของรอยแตกข้าว ภายใต้การกระทำซ้ำ
ของคานตัวอย่างกลุ่มที่มีค่าอัตราส่วนของการอัดแรง 0.59

การอ่อนตัว (บม.)

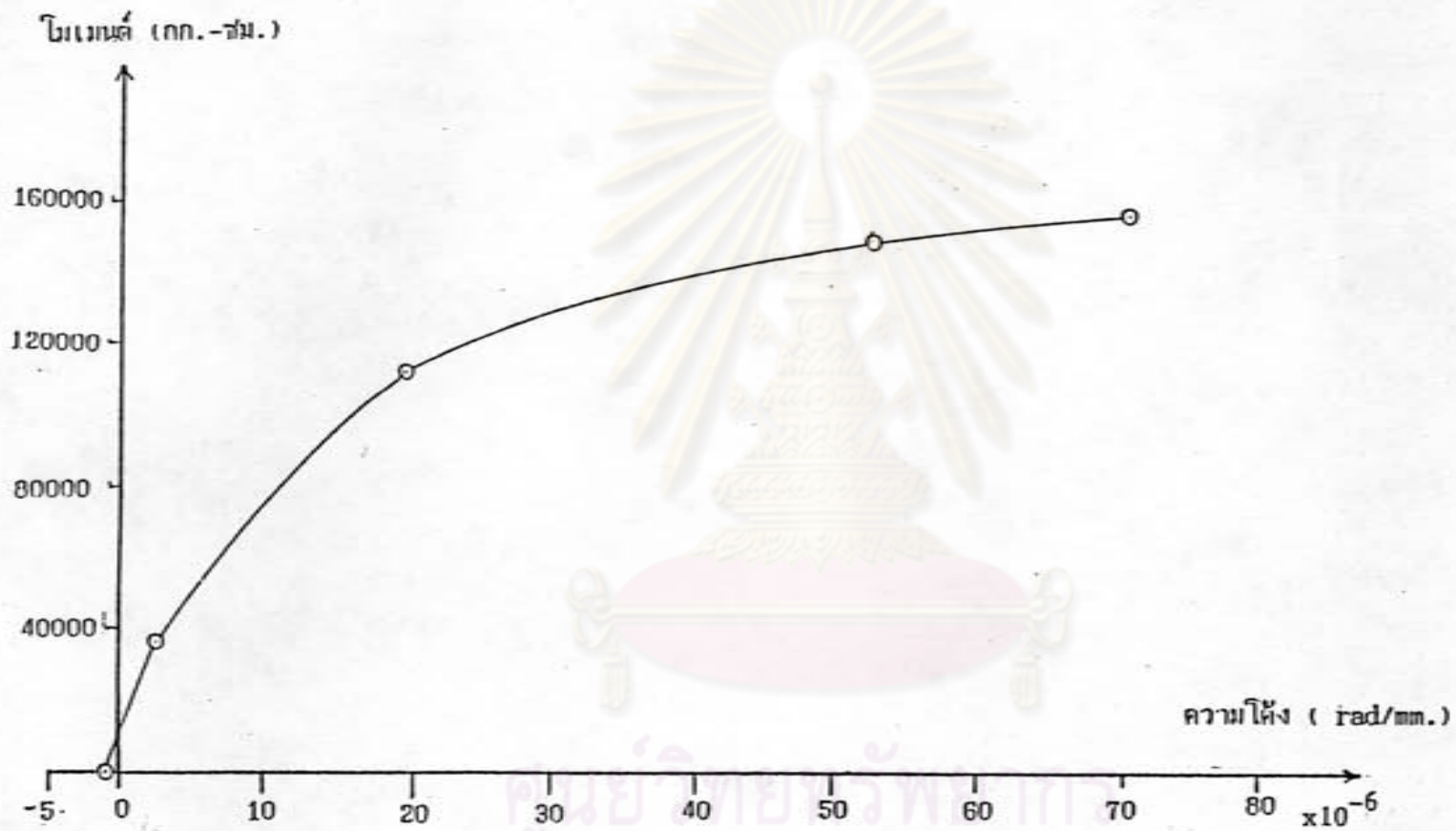


รูปที่ 3.3 แนวโน้มของการเพิ่มขนาดของการอ่อนตัว ภายใต้การกระทำซ้ำ
ของควมตั่วอย่างกลุ่มที่มีค่าอัตราส่วนทองการัดแรง 0.27

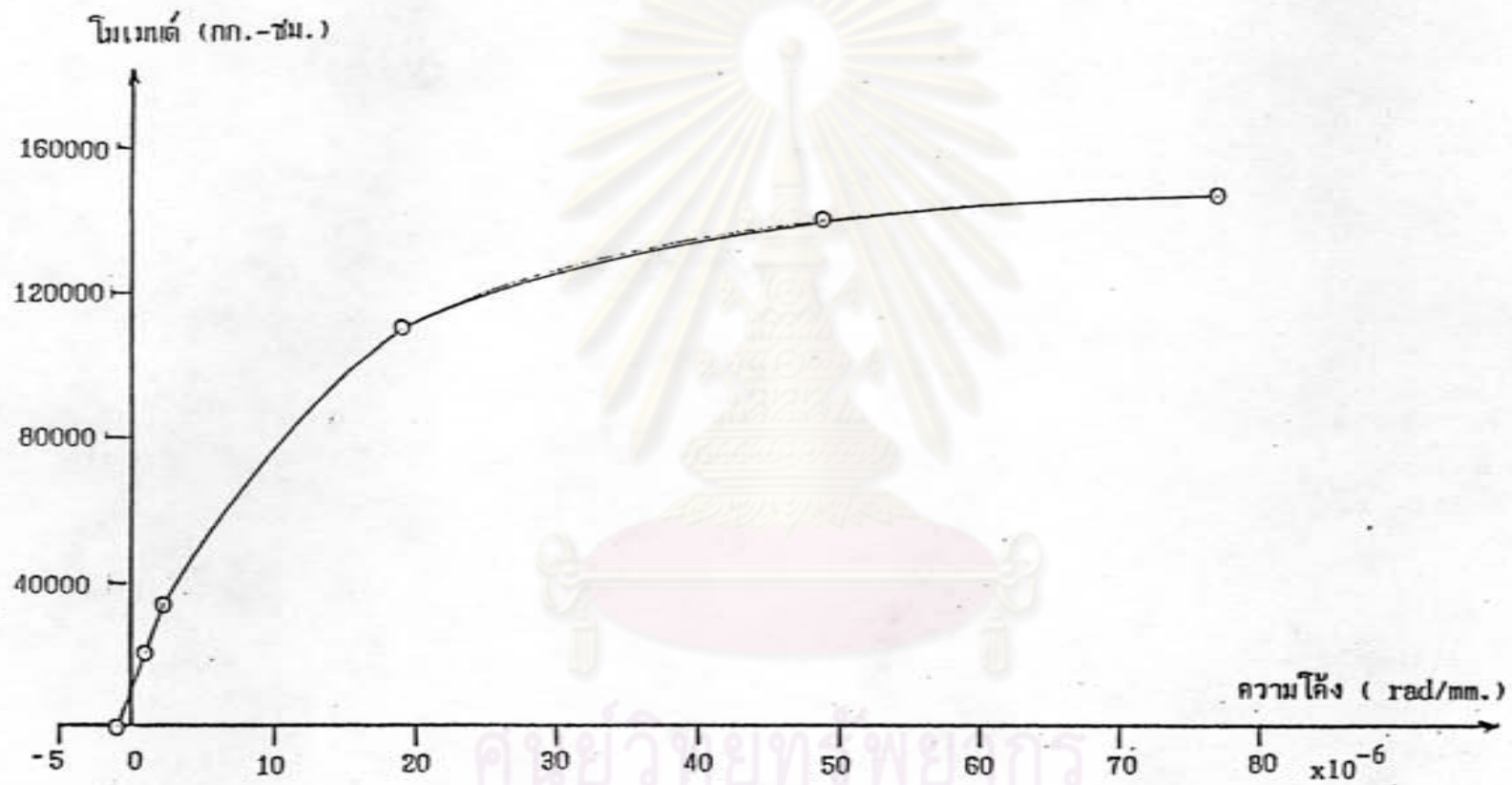
การแตกสัว (mm.)



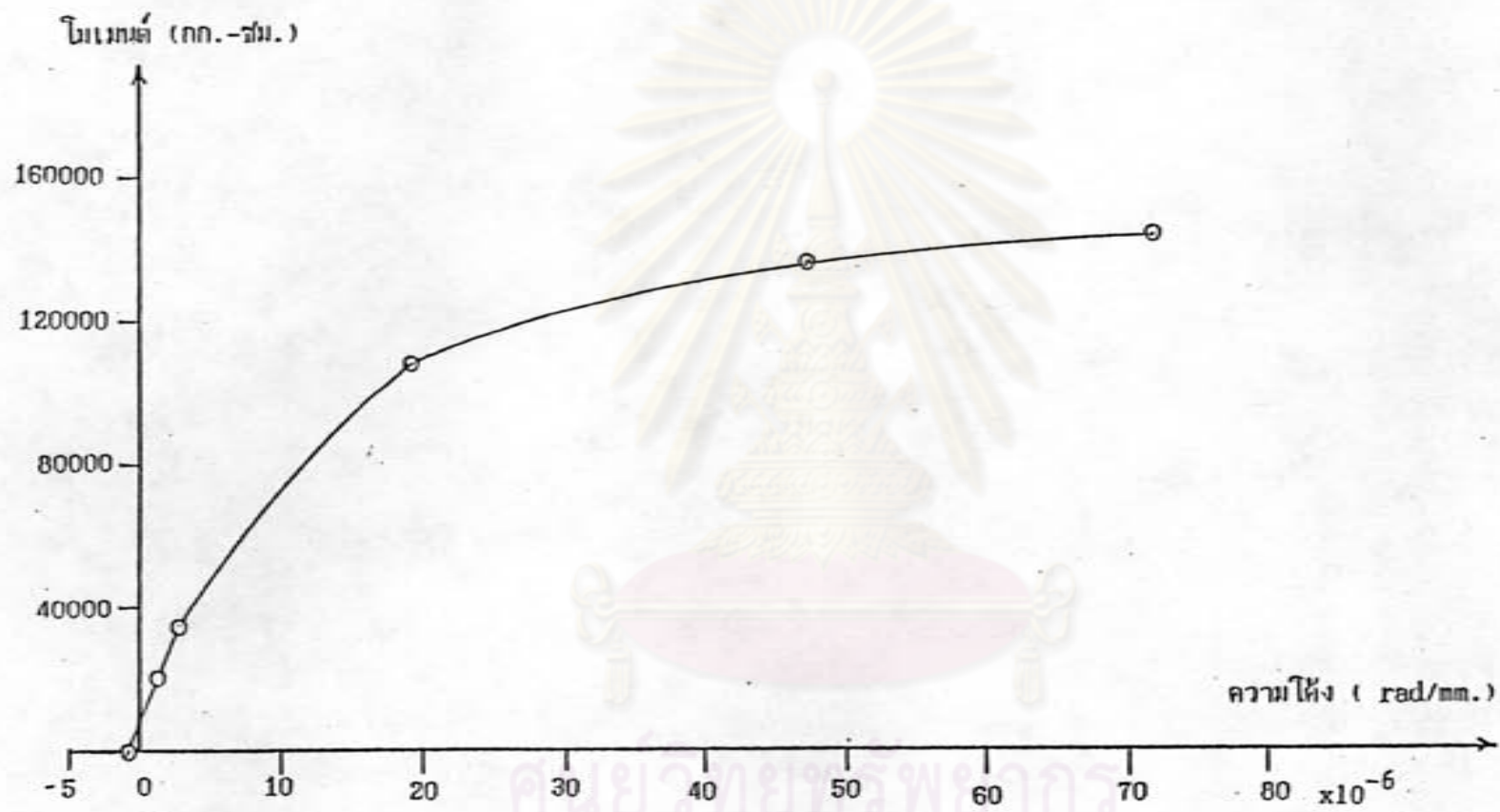
รูปที่ 3.4 แนวโน้มของการเพิ่มขนาดของการแตกสัว ภายใต้การกระทำที่
ของคาตัวอย่างกลุ่มที่มีค่าอัตราส่วนของการอัดแรง 0.59



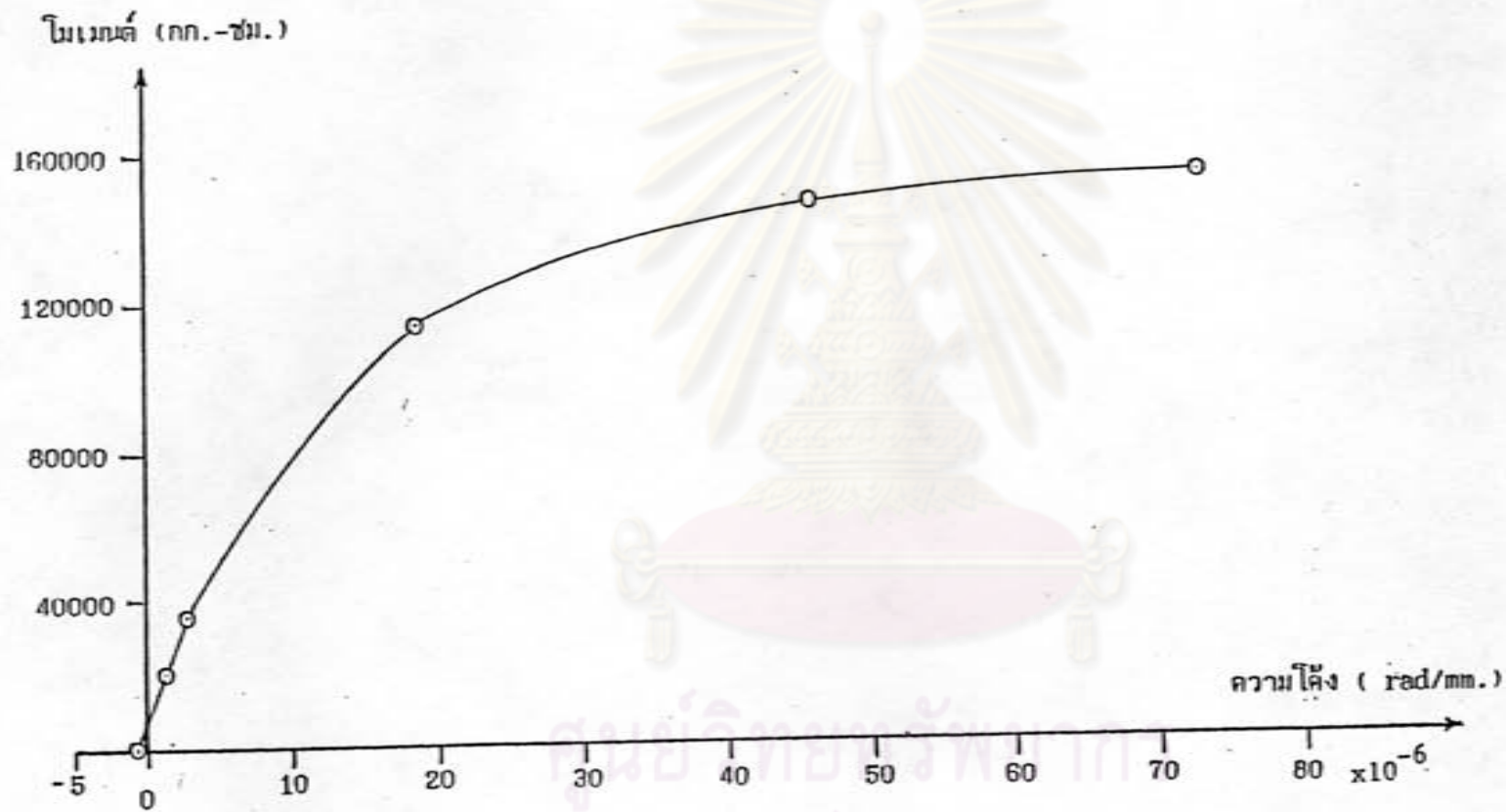
รูปที่ 3.5 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ความโค้งของคาน PP1 S1
จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



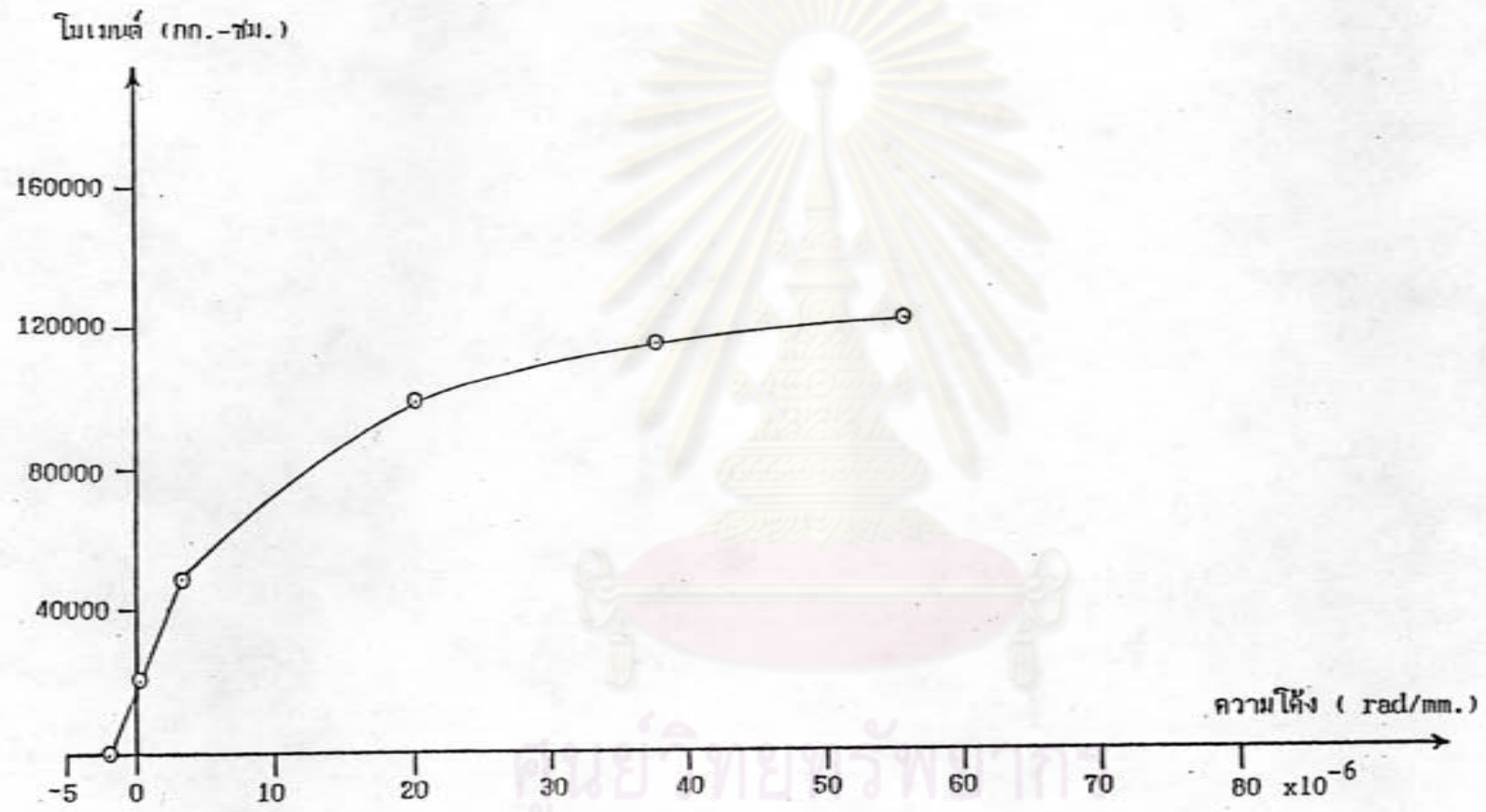
รูปที่ 3.6 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ความโค้งของคาน PP1 R1
จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



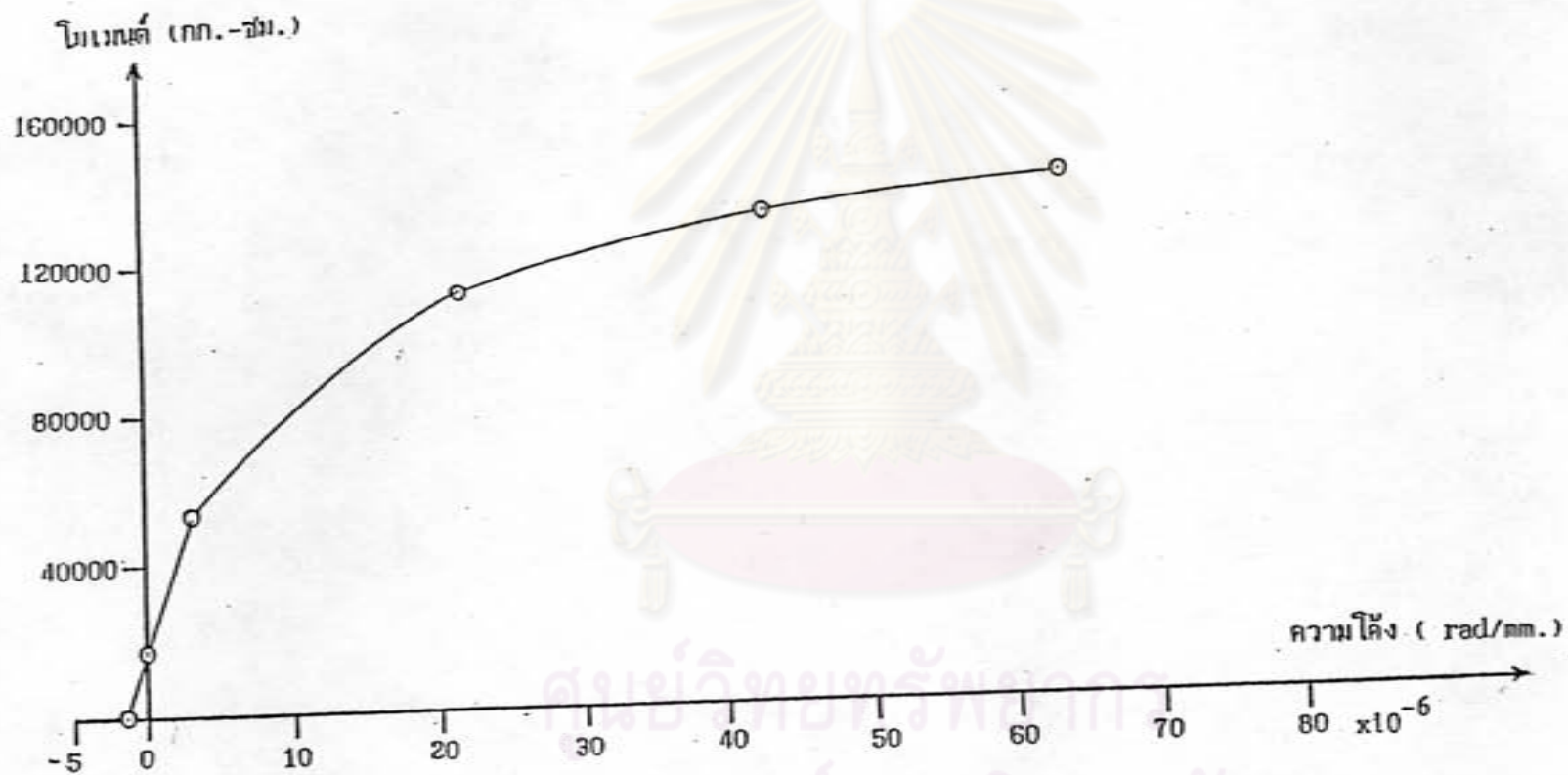
รูปที่ 3.7 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ความโค้งของคาน PP1 R2
จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



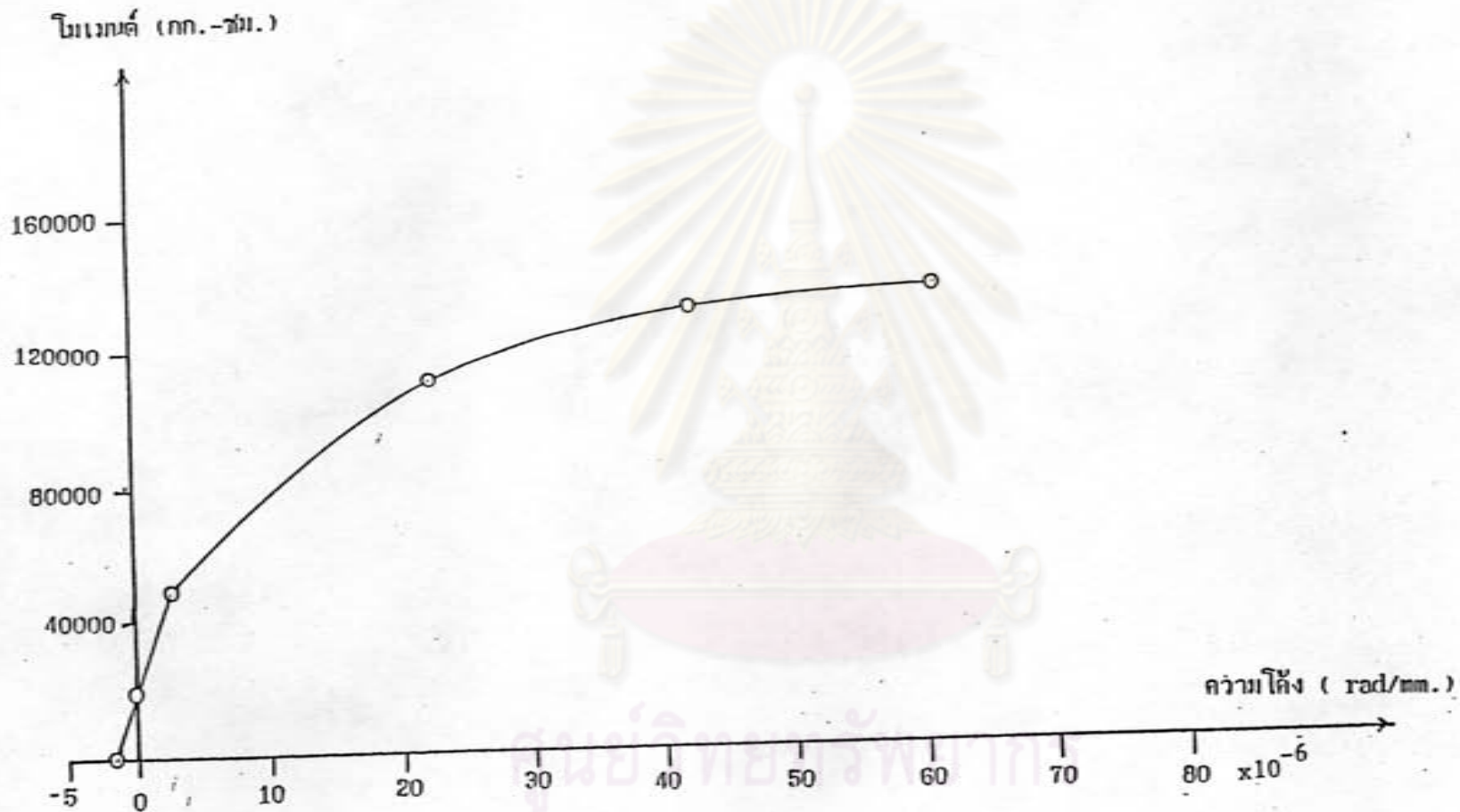
รูปที่ 3.8 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ความโค้งของคาน PP1 R3
จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



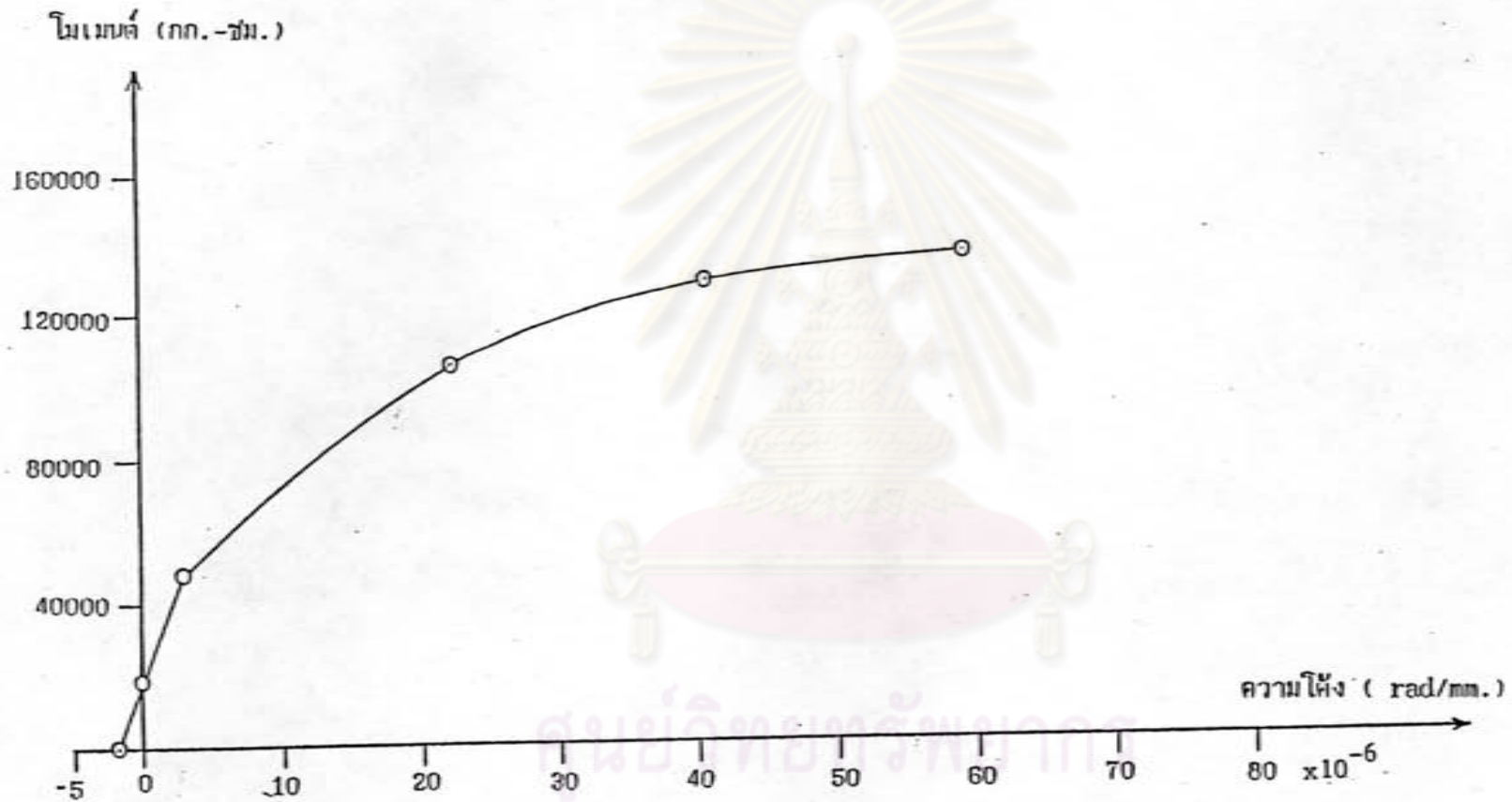
รูปที่ 3.9 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ความโค้งของคาน PP2 S1 จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



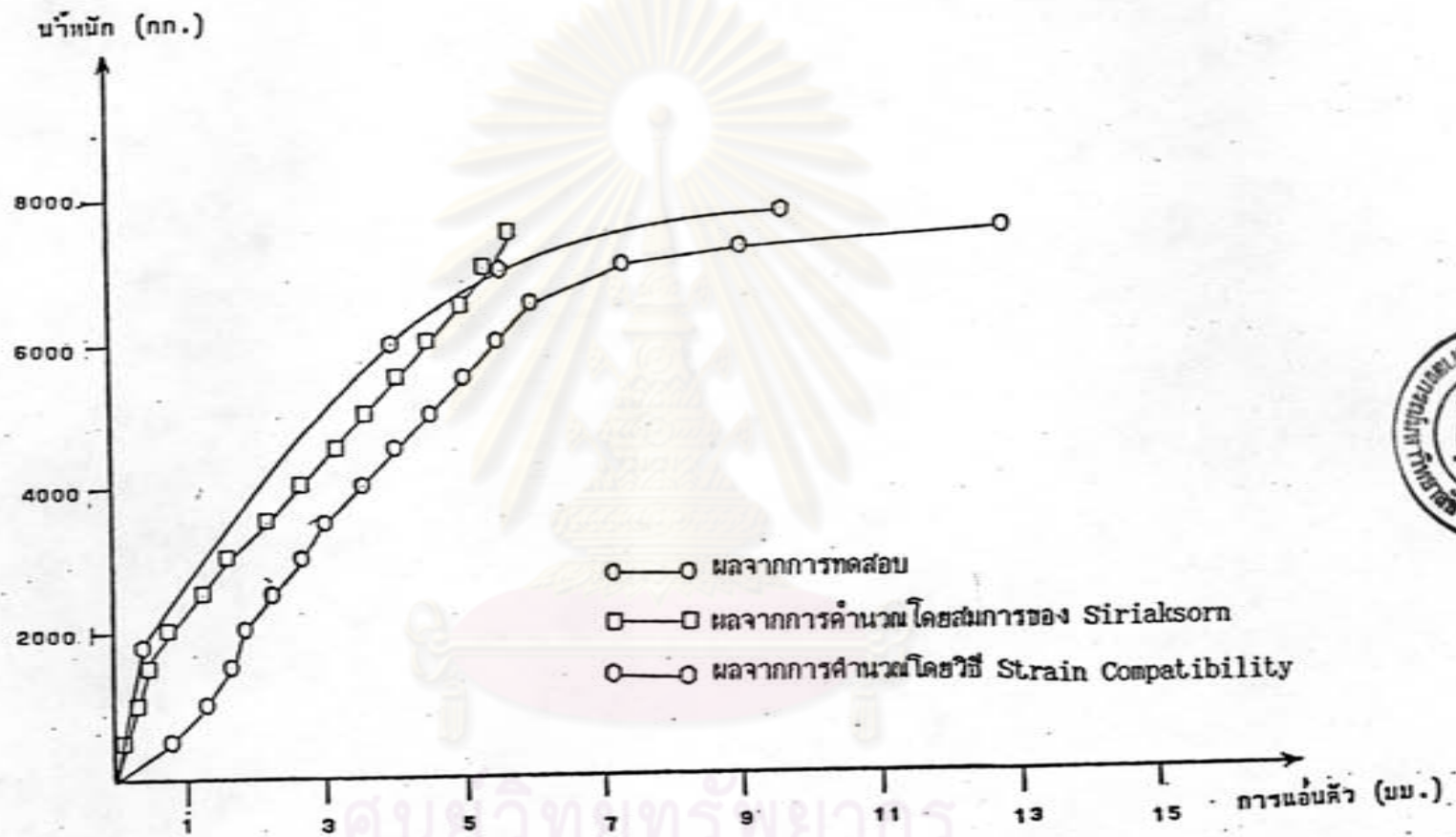
รูปที่ 3.10 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ความโค้งของคาน PP2 R1
จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



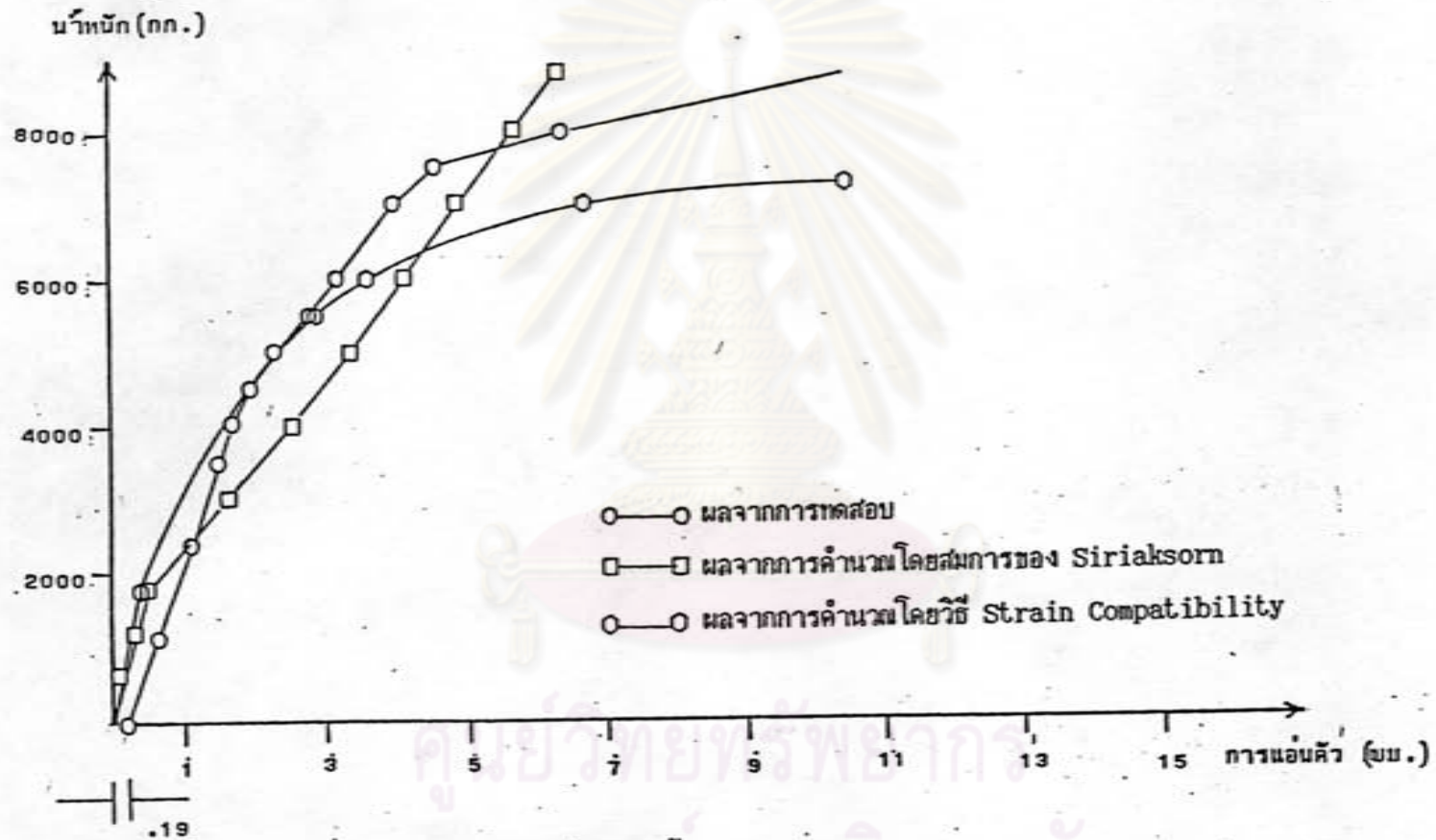
รูปที่ 3.11 ความสัมพันธ์ระหว่างโบนเวตต์ และ ความโค้งของคาน PP2 R2
จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



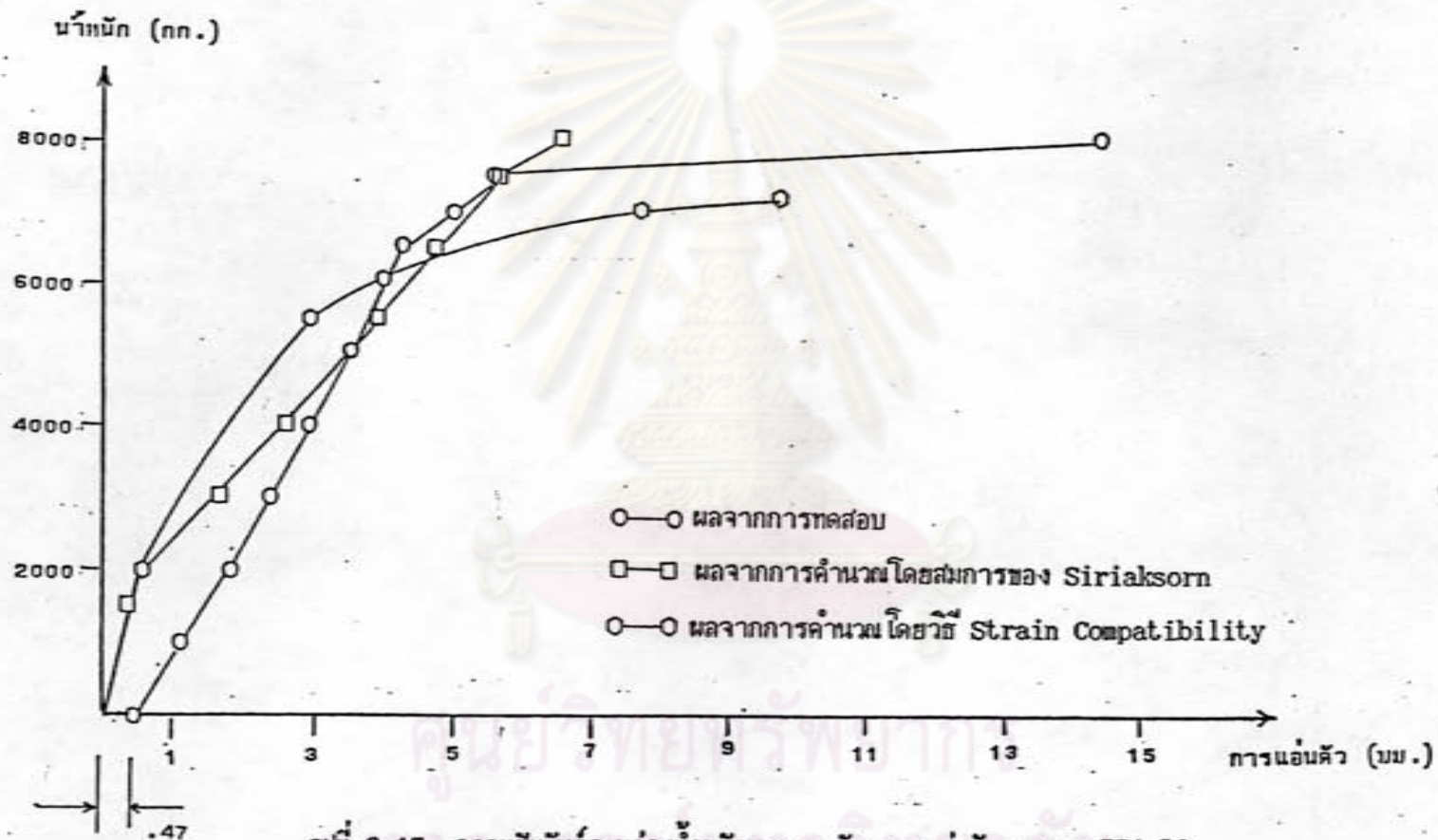
รูปที่ 3.12 ความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ และ ความโค้งของคาน PP2 R3
จากการคำนวณโดยวิธี Strain Compatibility



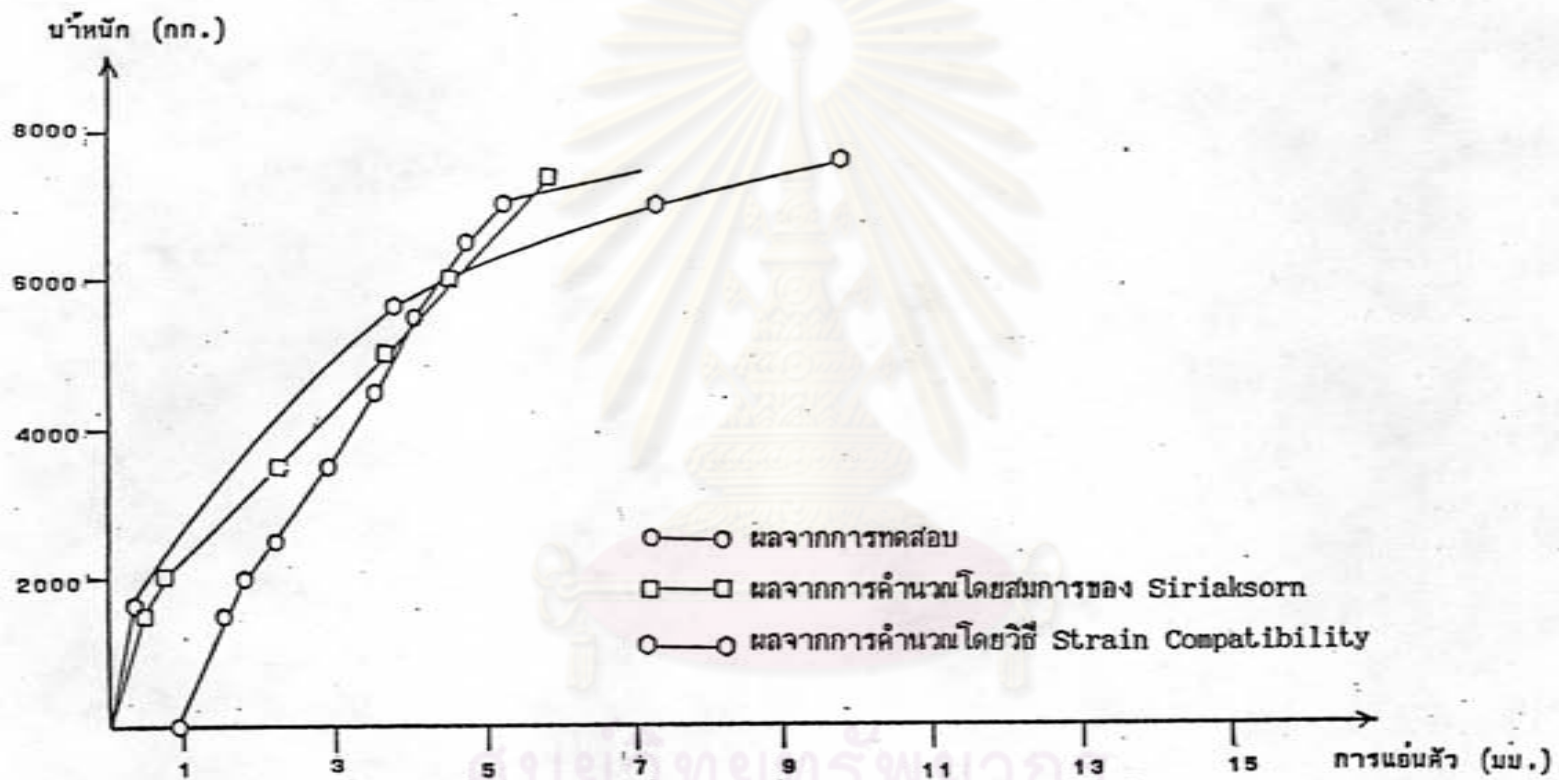
รูปที่ 3.13 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุ กับ การอ้วนตัวของคาน PP1 S1
จากการทดสอบเปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



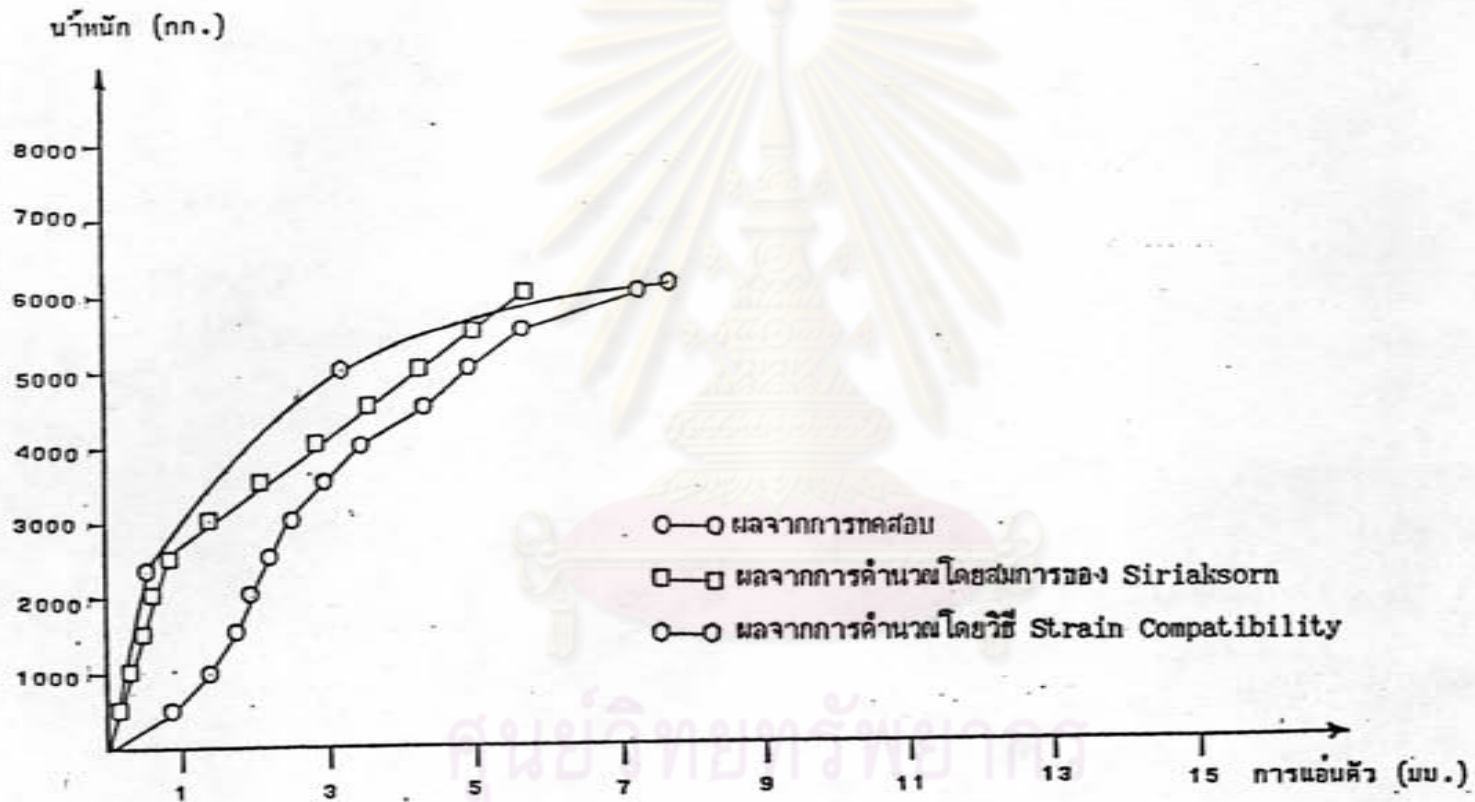
รูปที่ 3.14 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การยืดตัวของคาน PP1 R1 จากการศึกษาการทดสอบหลังการกระทำน้ำ เปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



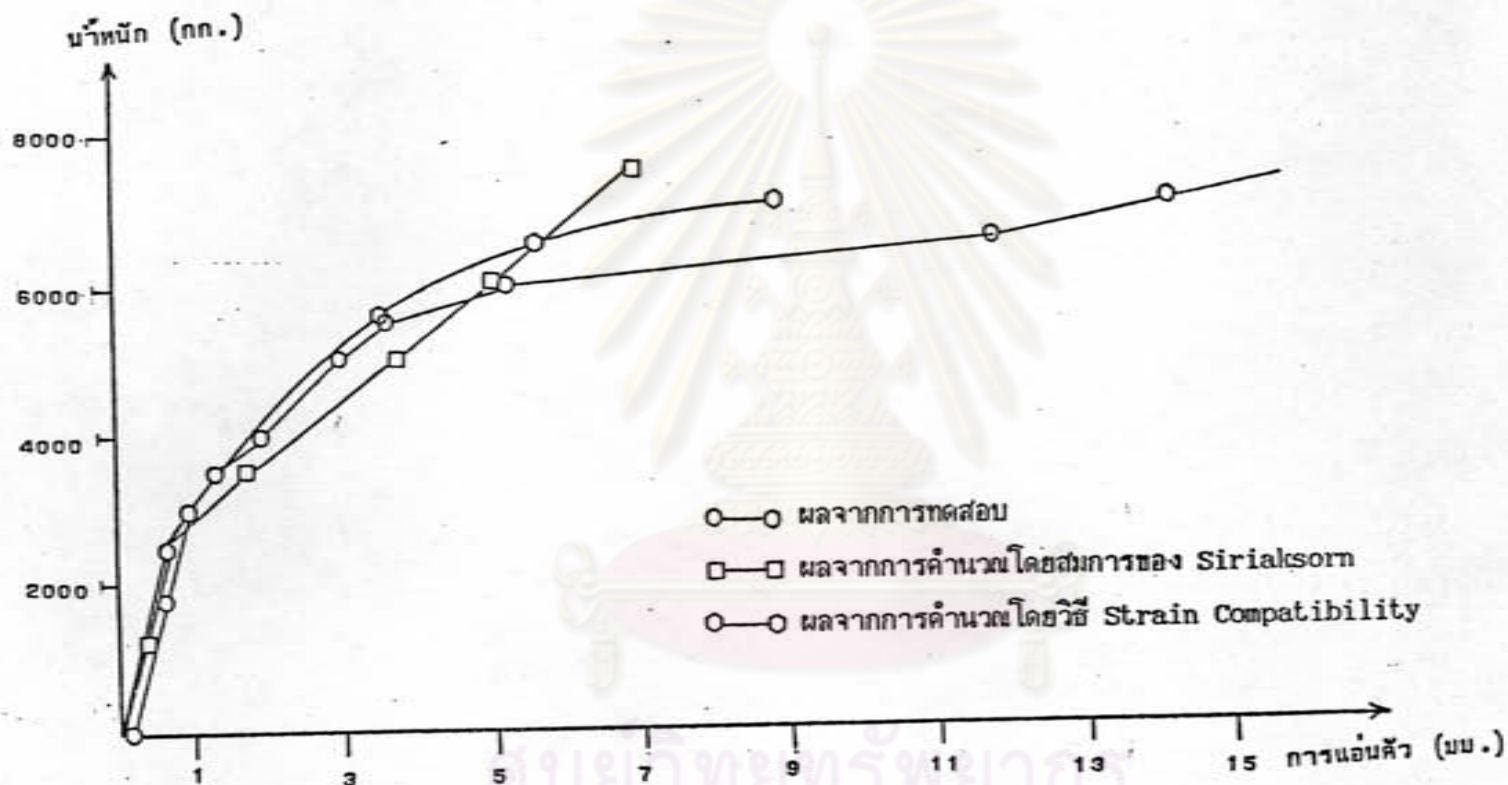
รูปที่ 3.15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุ กับ การแฉตัวของคาน PP1 R2 จากการศึกษาหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



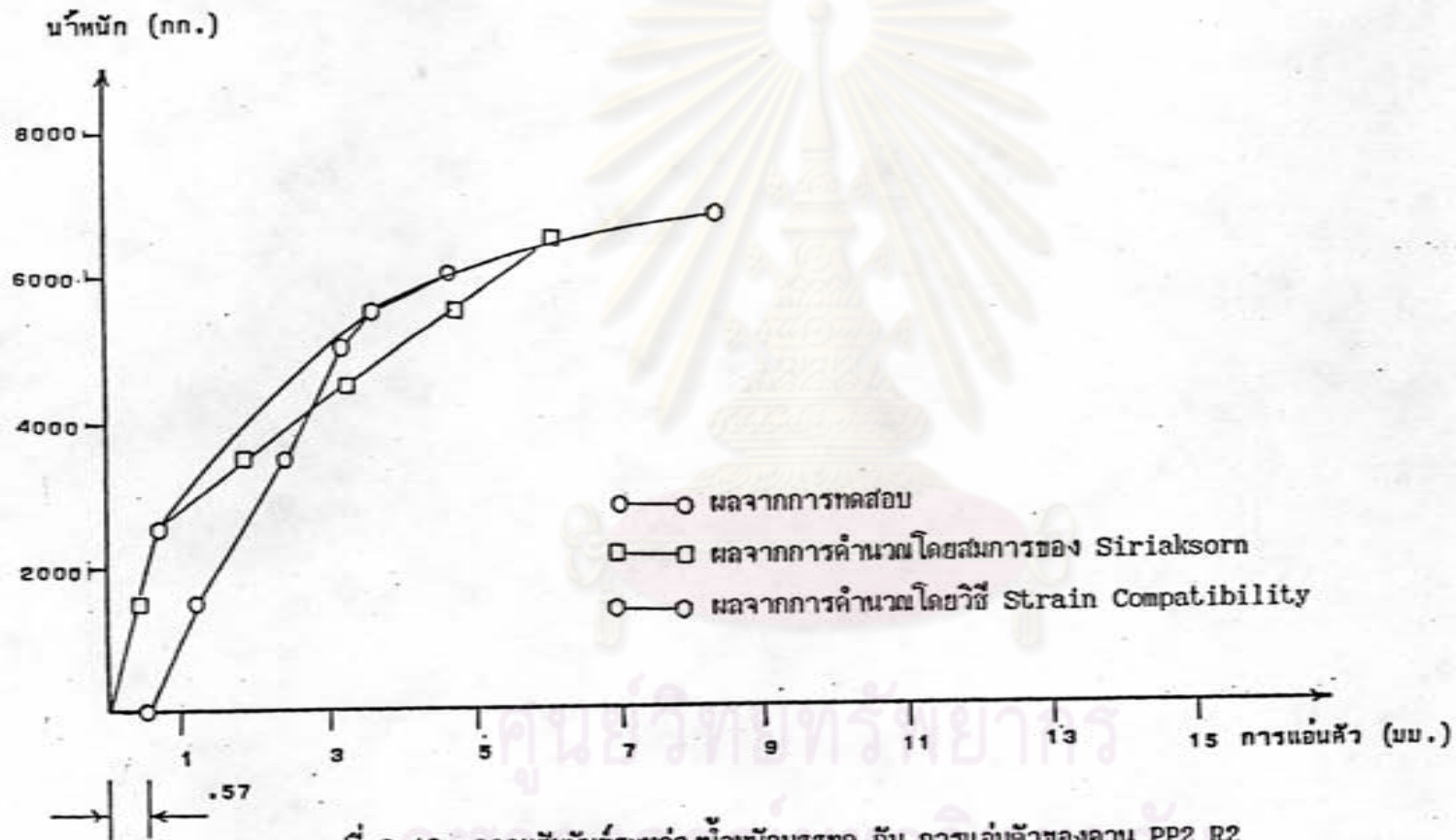
รูปที่ 3.16 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักกับรพทก กับ การอ่อนตัวของคาน PP1 R3 จากการศึกษาทดลองและการกระทำไว้ เปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



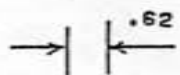
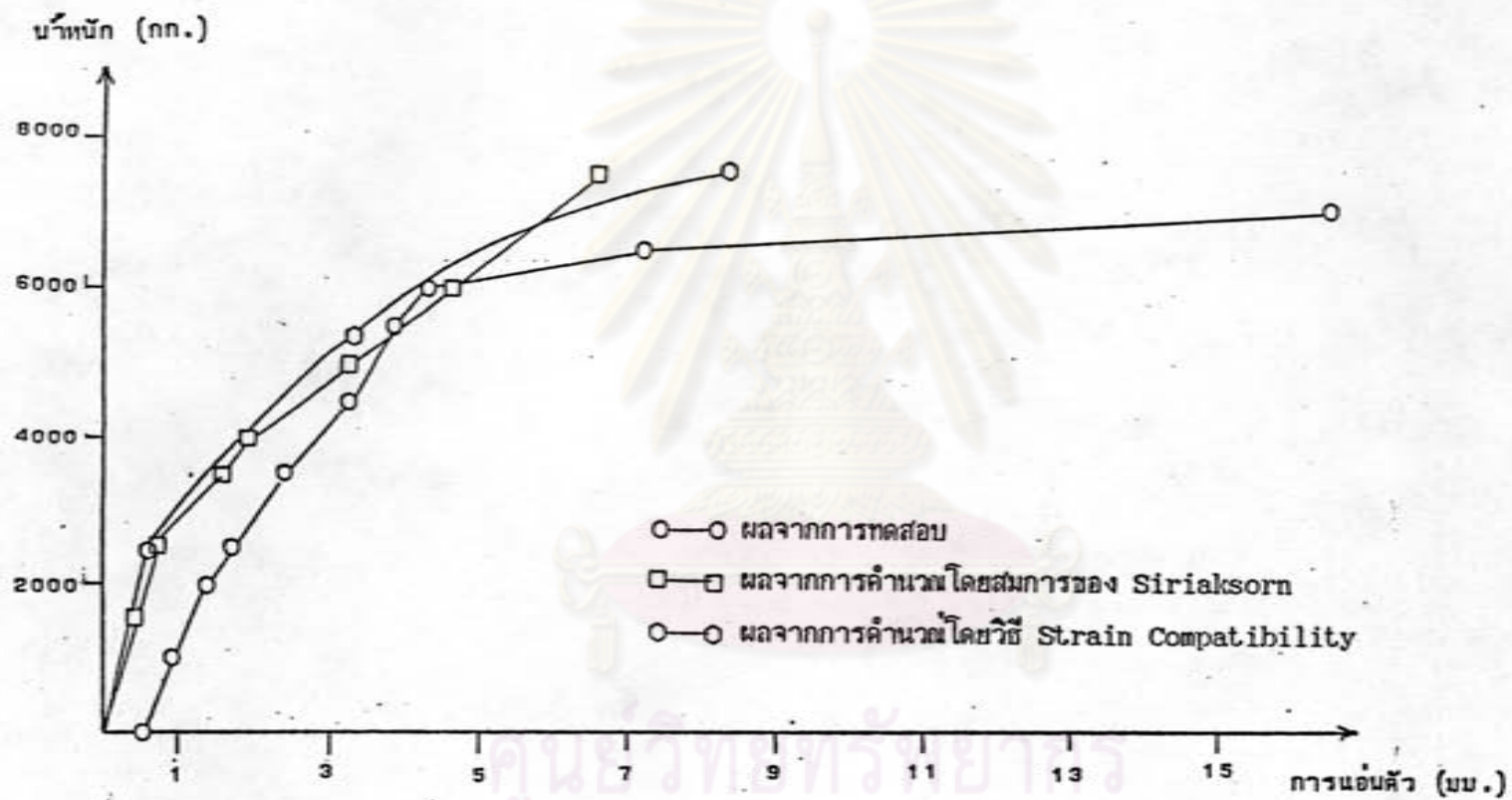
รูปที่ 3.17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุ กับ การอืดตัวของคาน PP2 S1
จากการทดสอบเปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



รูปที่ 3.18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการอ่อนตัวของคาน PP2 R1 จากการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างการทดสอบหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



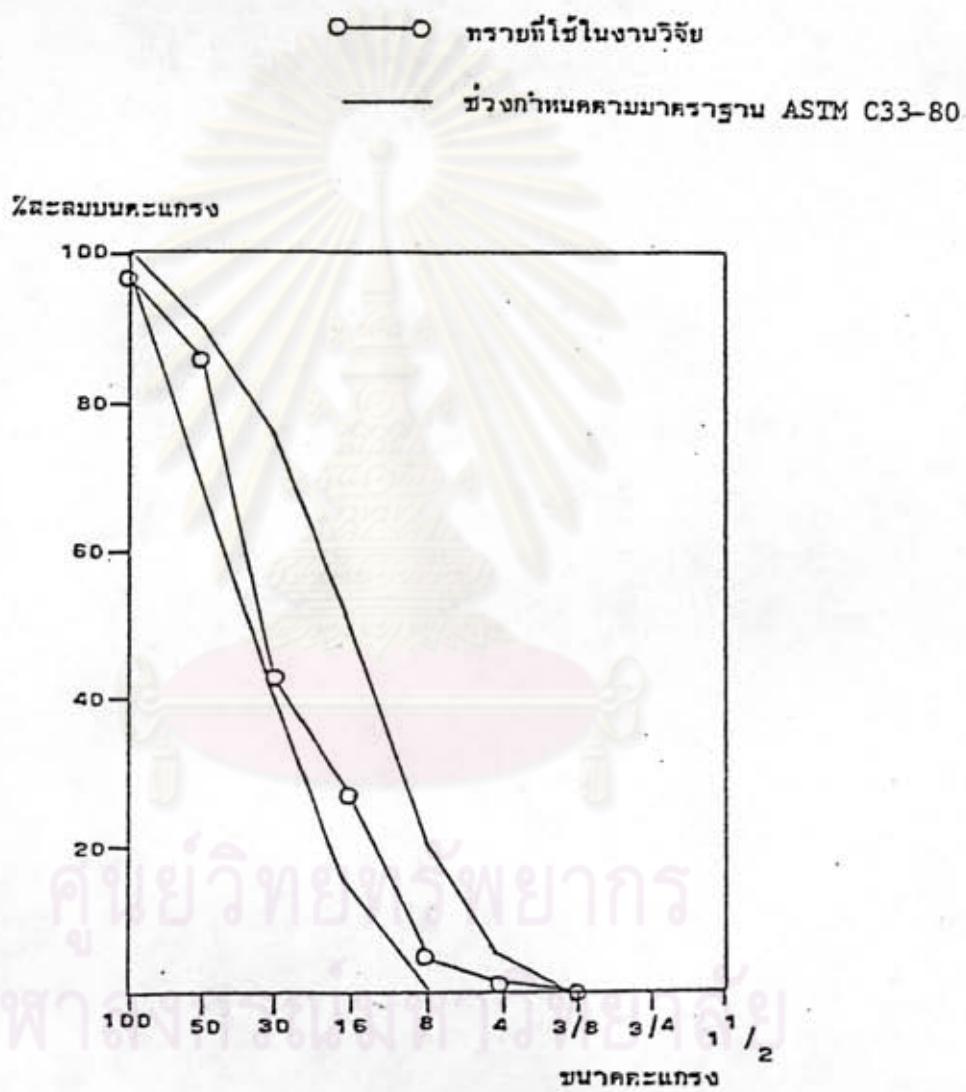
รูปที่ 3.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ดูดซับไว้กับ การอ่อนตัวของคาน PP2 R2 จากการศึกษาหลังจากการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



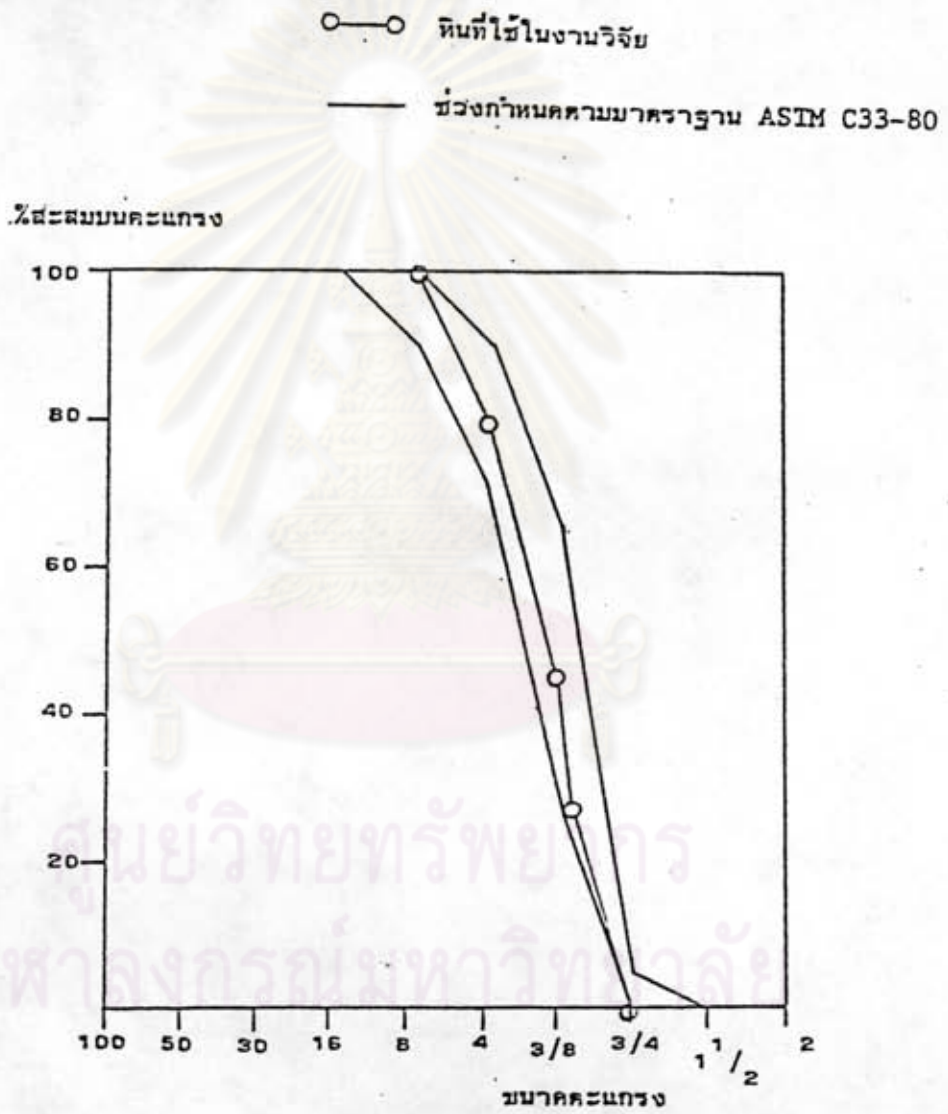
รูปที่ 3.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ดูดซับ กับ การอ่อนตัวของคาน PP2 R3 จากการศึกษาทดลองหลังการกระทำซ้ำ เปรียบเทียบกับ ผลจากการคำนวณ



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



รูปที่ ก.1 ปริมาณคละของทราย



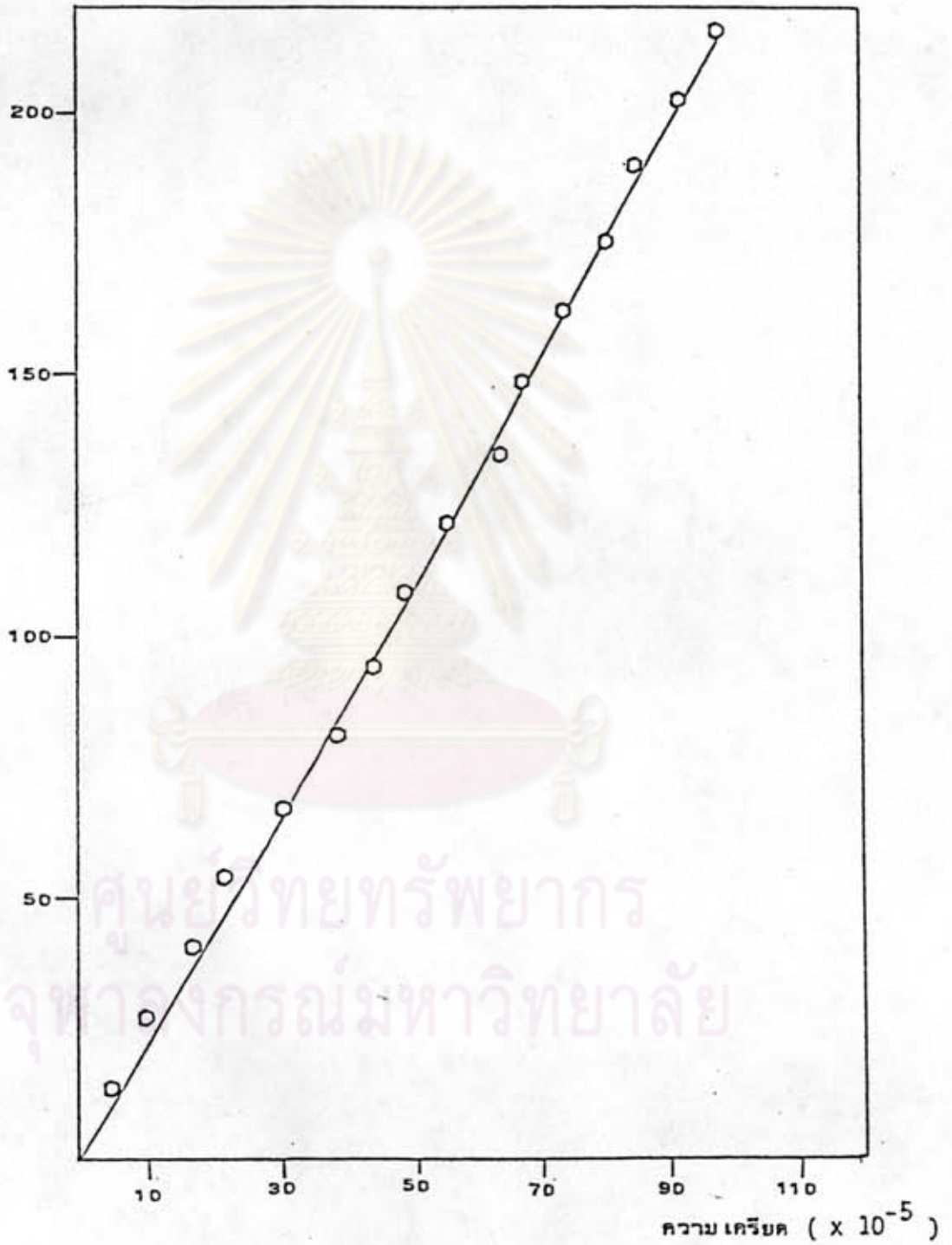
รูปที่ ก.2 ปริมาณผลของหิน

หน่วยแรง (กก./ซม.)



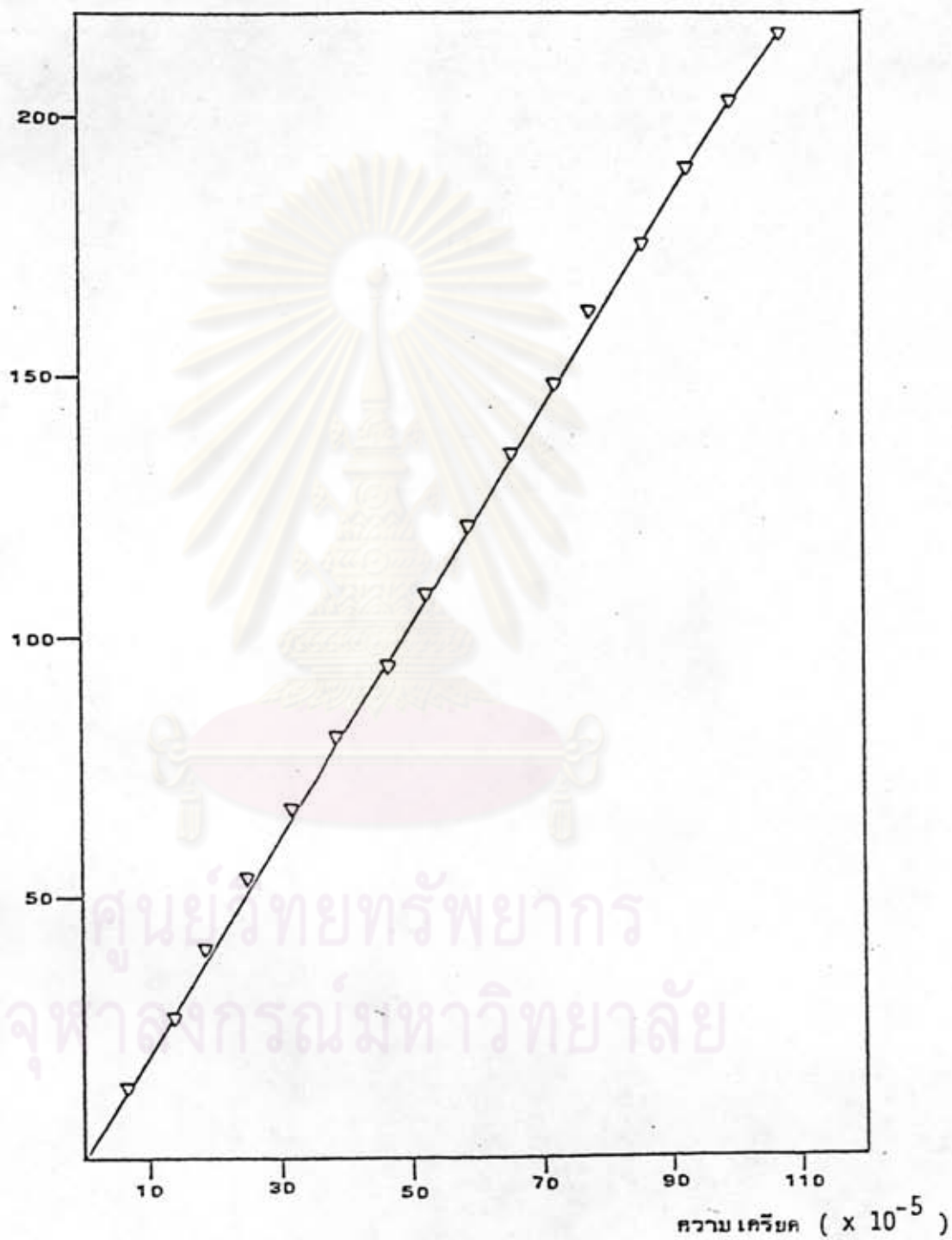
รูปที่ ก.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของแท่งคอนกรีต
ทรงกระบอกความคมตัวอย่างदान PP1 S1 และ PP1 R3

หน่วยแรง (กก./ซม.)



รูปที่ ก.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของแท่งคอนกรีต
ทรงกระบอกควบคุมตัวอย่างตาม PP1 R1 และ PP1 R2

หน่วยแรง (กก./ซม.)



รูปที่ ก.5 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเคี้ยวของแท่งคอนกรีต
ทรงกระบอกควบคุมตัวอย่างदान PP2 S1 และ PP2 R3

หน่วยแรง (กก./ซม.)



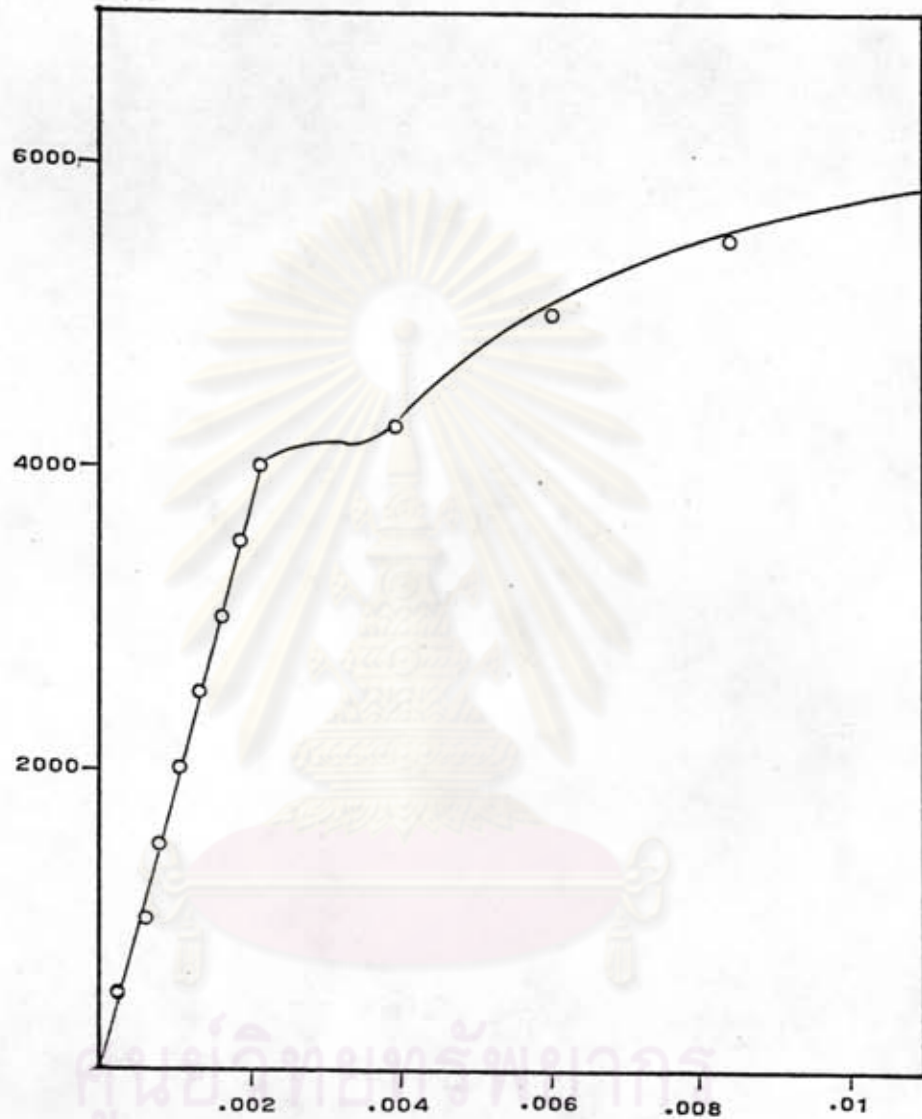
รูปที่ ก.6 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของแท่งคอนกรีต
ทรงกระบอกแวนคู่มตัวอย่างคาน PP2 R1 และ PP2 R2

หน่วยแรง (กก./ซม.)



รูปที่ ก.7 เปรียบเทียบความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของแท่งคอนกรีต
ทรงกระบอกความคุมตัวอย่างคาบทุกคาบ

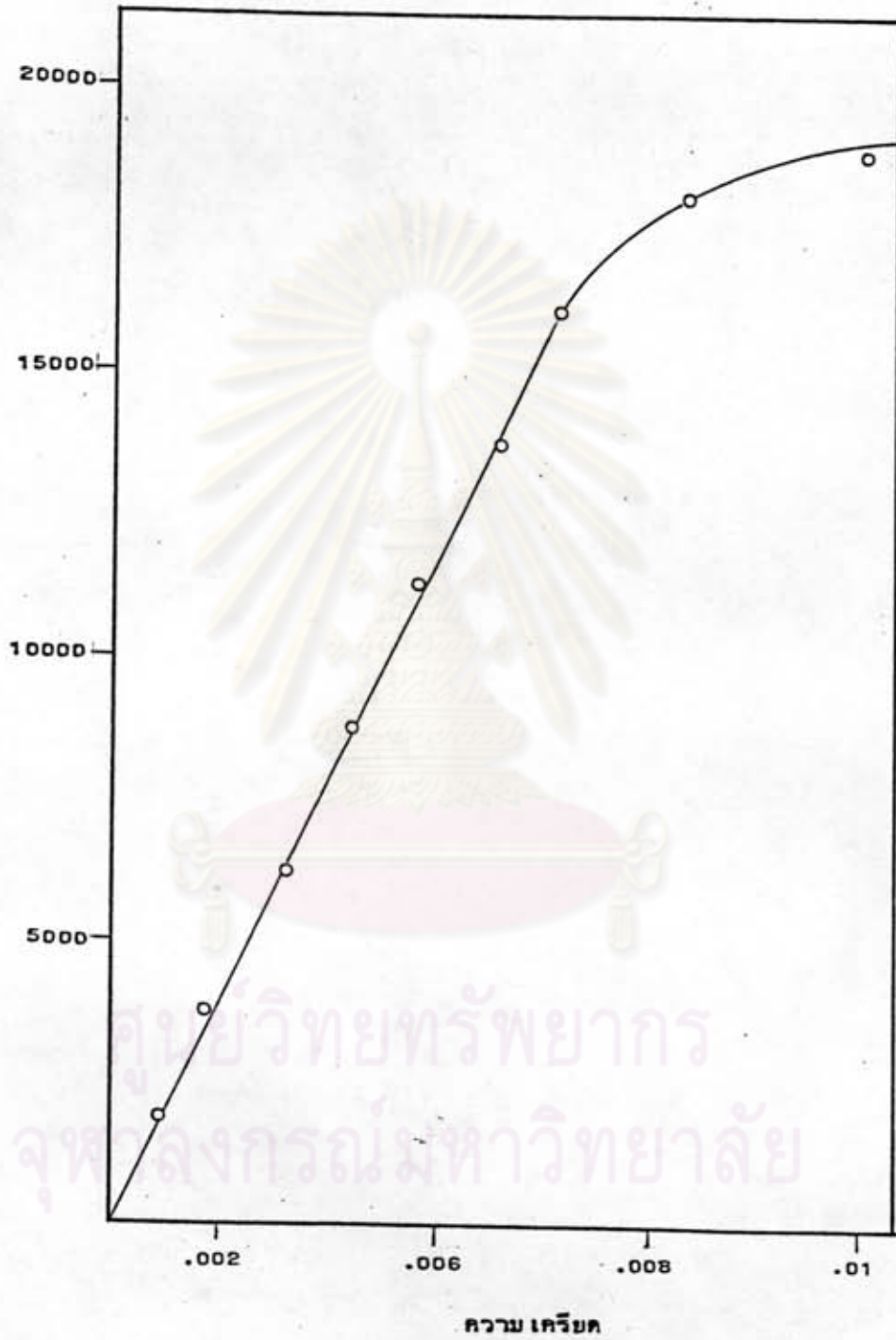
หน่วยแรง (กก./ซม.)



รูปที่ ก.8 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของเหล็กเสริมที่ใช้ในงานวิจัย.



หน่วยแรง (กก./ซม.)



รูปที่ ก.9 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกับความเครียดของลวดอัดแรงที่ใช้ในงานวิจัย



ภาคผนวก ข.

สมการและตัวอย่างการคำนวณ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ภาคผนวก ข.

สมการและตัวอย่างการคำนวณ

ข.1 สมการที่ใช้ในการวิเคราะห์ข.1.1 หน่วยแรงในคอนกรีต เหล็กเสริม และลวดอัดแรงหน่วยแรงตัดภายใต้หน้าตัดที่ไม่แตกร้าว

หน่วยแรงที่เกิดขึ้นเนื่องจากแรงอัดประสิทธิผล และแรงอัดกระทำเยื้องศูนย์กลาง และน้ำหนักตายตัว สามารถเขียนเป็นสมการรูปทั่วไป คือ

$$f = \frac{P}{A} + \frac{P \cdot e_o \cdot y}{I} - \frac{M_D \cdot y}{I} \quad (\text{ข.1})$$

สมการ (ข.1) สามารถแจกเป็นสมการรูปทั่วไป ในการคำนวณหาค่าหน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับต่าง ๆ ดังนี้

$$\text{ที่ระดับยอด} : f_{ct} = f_{ps} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1}{A_c} - \frac{e_o \cdot y_t}{I} \right\} + \frac{M \cdot y_t}{I} \quad (\text{ข.2})$$

$$\text{ที่ระดับล่าง} : f_{ct} = f_{ps} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1}{A_c} + \frac{e_o \cdot y_b}{I} \right\} - \frac{M \cdot y_b}{I} \quad (\text{ข.3})$$

$$\text{ที่ระดับเหล็กอัดแรง} : f_{cpe} = f_{ps} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1}{A_c} + \frac{e_o^2}{I} \right\} - \frac{M \cdot e_o}{I} \quad (\text{ข.4})$$

$$\text{ที่ระดับเหล็กไม่อัดแรง} : f_{one} = f_{ps} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1}{A_c} + \frac{e_o \cdot (d_s - y_t)}{I} \right\} - \frac{M \cdot (d_s - y_t)}{I} \quad (\text{ข.5})$$

เมื่อ	A_{ps}	=	พื้นที่หน้าตัดของเหล็กเสริมอัดแรง
	A_c	=	พื้นที่หน้าตัดของคอนกรีต
	e_o	=	ระยะเยื้องศูนย์กลางระหว่างเหล็กเสริมอัดแรงกับศูนย์กลางของหน้าตัด
	y_c	=	ระยะจากจุดยอดถึงจุดศูนย์กลางของหน้าตัด
	y_b	=	ระยะจากจุดล่างถึงจุดศูนย์กลางของหน้าตัด
	d_s	=	ระยะจากจุดศูนย์กลางเหล็กเสริมไม่อัดแรงถึงจุดยอดของคาน
	I	=	โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัด

ภายใต้แรงอัดประสิทธิผลและน้ำหนักตายตัว f_{ps} และ M จากสมการ (ข.2) ถึง (ข.5) จะเท่ากับ f_{se} และ M_o ตามลำดับ สมการ (ข.4) จึงสามารถเขียนใหม่ได้เป็น

$$(f_{cps})_{F+M} = f_{se} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1 + e_o^2}{A_c I} \right\} - \frac{M_o \cdot e_o}{I} \quad (ข.6)$$

เมื่อน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกมากกว่าน้ำหนักบรรทุกตายตัว และน้อยกว่าโมเมนต์ตัดตรงข้ามสมการ (ข.4) สามารถเขียนใหม่เป็น

$$(f_{cps})_{F+M} = f_{ps} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1 + e_o^2}{A_c I} \right\} - \frac{M \cdot e_o}{I} \quad (ข.7)$$

จากสมการ (ข.6) และ (ข.7) สามารถหาค่าหน่วยแรงที่เปลี่ยนไปในเหล็กเสริมอัดแรง เนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกภายนอกใด ๆ ซึ่งเพิ่มขึ้นจากน้ำหนักบรรทุกตายตัว

$$\Delta f_{ps} = \frac{E_{ps}}{E_c} \left\{ f_{se} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1 + e_o^2}{A_c I} \right\} - \frac{M_o \cdot e_o}{I} - f_{ps} \cdot A_{ps} \left\{ \frac{1 + e_o^2}{A_c I} \right\} + \frac{M \cdot e_o}{I} \right\} \quad (ข.8)$$

$$\text{แต่ } \Delta f_{ps} = f_{se} + f_{ps}$$

สมการ (ข.8) สามารถจัดเทอมใหม่ได้ดังนี้

$$\Delta f_{ps} = \frac{E_{ps} \cdot (M - M_o) \cdot e_o \cdot f_{se}}{E_c \cdot (f_{se} + \frac{f'_{se} \cdot E_{ps}}{E_c}) \cdot I} \quad (ข.9)$$

เมื่อ $f'_{ps} = f_{ps} \cdot A_{ps} \cdot \left\{ \frac{1}{A_c} + \frac{e_o^2}{I} \right\}$

ตั้งให้หน่วยแรงในลวดอัดแรง ภายใต้งานโมเมนต์ภายนอกที่มากกว่าโมเมนต์ตายตัว คือ

$$f_{ps} = f_{ps} + \frac{E_{ps} \cdot (M - M_D) \cdot e_o \cdot f_{ps}}{E_c \cdot \left\{ f_{ps} + \frac{f'_{ps} \cdot E_{ps}}{E_c} \right\} \cdot I} \quad (ข.10)$$

แทนค่าสมการ (ข.10) ลงในสมการ (ข.2)-(ข.5) จะสามารถหาหน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับต่าง ๆ เมื่อ $M_D < M < M_{cr}$

โมเมนต์ตัดแตกร้าว

จากสมการที่ (ข.3) หน่วยแรงในคอนกรีตที่ผิวล่าง คือ

$$f_{cb} = f_{ps} \cdot A_{ps} \cdot \left\{ \frac{1}{A_c} + \frac{e_o \cdot y_b}{I} - \frac{M \cdot y_b}{I} \right\}$$

ตามข้อกำหนดของ ACI 318-83 กำหนดให้โมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีตเท่ากับ $1.99 \sqrt{f'_c}$ แทนค่า ลงในสมการ (ข.3) สามารถจัดเทอมใหม่ คือ

$$M_{cr} = f_{ps} \cdot A_{ps} \cdot \left\{ e_o + \frac{I}{A_c y_b} \right\} + 1.99 \sqrt{f'_c} \cdot \frac{I}{y_b} \quad (ข.11)$$

นำค่า M_{cr} ในสมการที่ (ข.11) แทนค่าลงในสมการ (ข.10) จะได้

$$f_{ps} = f_{ps} + \frac{E_{ps} \cdot (M_{cr} - M_D) \cdot e_o}{E_c \cdot \left[1 - \frac{A_{ps} \cdot E_{ps}}{E_c} \left\{ \frac{1}{A_c} + \frac{e_o^2}{I} \right\} \cdot I \right]}$$

นำค่าหน่วยแรงในลวดอัดแรงแทนค่าลงในสมการ (ข.11) สามารถจัดรูปได้ดังนี้

$$M_{cr} = \frac{A_{ps} \cdot f_{se} \cdot (e_o + k_t) \cdot 1 - \left\{ \frac{e_o \cdot E_{ps} \cdot M_D}{E_c \cdot I \cdot \left[f_{se} + \frac{f'_{se} \cdot E_{ps}}{E_c} \right]} \right\} + 1.99 \sqrt{f'_c} \cdot \frac{I}{y_b}}{1 - \left\{ \frac{A_{ps} \cdot f_{se} \cdot (e_o + k_t) \cdot E_{ps} \cdot e_o}{\left[f_{se} + \frac{f'_{se} \cdot E_{ps}}{E_c} \right] \cdot E_c \cdot I} \right\}} \quad (\text{ข.12})$$

เมื่อ $k_t = I/A_c \cdot y_b$

ข.1.1.2 หน่วยแรงตัดภายใต้หน้าตัดแตกร้าว

คอนกรีตอัดแรงบางส่วนในสภาพก่อนการแตกร้าว ยังมีลักษณะเป็นวัสดุเนื้อเดียว (Homogeneous Material) การวิเคราะห์จึงใช้ทฤษฎีอัสติคได้อย่างถูกต้อง แต่หลังจากความเกิดการแตกร้าว คุณสมบัติของวัสดุไม่มีลักษณะเป็นเนื้อเดียว (Non-homogeneous Material) การวิเคราะห์ด้วยวิธีอัสติคจึงให้ค่าที่ไม่ถูกต้อง โดยเฉพาะในช่วงพฤติกรรมไร้เชิงเส้น (Non-Linear) การวิเคราะห์ในช่วงนี้จำเป็นต้องใช้หลักการ ความสอดคล้องของความเครียด (Strain Compatibility) และหลักการสมดุลของแรง (Equalibrium of Force)

การวิเคราะห์โดยวิธี Strain Compatibility สามารถทำได้ตามหลักการดังนี้

1. กำหนดค่าความเครียดที่ผิวบนของคอนกรีต (ϵ_c)
2. สมมติค่าความลึกของแกนสเทิน (Neutral Axis, c)
3. คำนวณค่าแรงอัดในคอนกรีต (C) และแรงดึงในเหล็กเสริม (T) โดยที่ค่า

แรงอัดในคอนกรีตสามารถคำนวณจาก

$$C = \int_0^c f_c \cdot b \cdot dx \quad (\text{ข.13})$$

เมื่อหน่วยแรงในคอนกรีต (f_c) ในช่วงใช้เชิงเส้น สามารถหาได้โดยสมการของ Hognestad ดังนี้

$$f_c = f'_c \cdot \left[\frac{2 \cdot \phi \cdot x}{\epsilon_o} - \left\{ \frac{\phi \cdot x}{\epsilon_o} \right\}^2 \right]$$

แทนค่า f_c ในสมการที่ (ข.13) จะได้ค่าแรงอัดในคอนกรีตสำหรับหน้าตัดสี่เหลี่ยมผืนผ้า ดังนี้

$$C = b \cdot f'_c \cdot \frac{\phi \cdot c^2}{\epsilon_o} \cdot \left\{ 1 - \frac{\phi \cdot c}{3 \epsilon_o} \right\} \quad (\text{ข.14})$$

จากสมดุลย์ของแรง จะได้

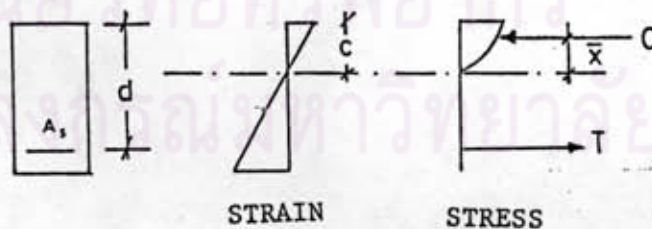
$$C = T$$

$$b \cdot f'_c \cdot \frac{\phi \cdot c^2}{\epsilon_o} \cdot \left[1 - \frac{\phi \cdot c}{3 \epsilon_o} \right] = A_s \cdot f_s + A_{ps} \cdot f_{ps} \quad (\text{ข.15})$$

ทำการสมมุติค่า c โดยวิธีลองผิดลองถูก (Trial and Error) จนกระทั่งความสมดุลย์แรงในสมการที่ (ข.15) ให้ค่าที่สอดคล้องกัน

4. คำนวณระยะจากแกนสะเทินถึงจุดศูนย์กลางของแรงอัดของคอนกรีตจาก

$$\bar{x} = c \cdot \left[\frac{8 \epsilon_o + 3 \phi \cdot c}{12 \epsilon_o - 4 \phi \cdot c} \right] \quad (\text{ข.16})$$



รูปที่ ข.1

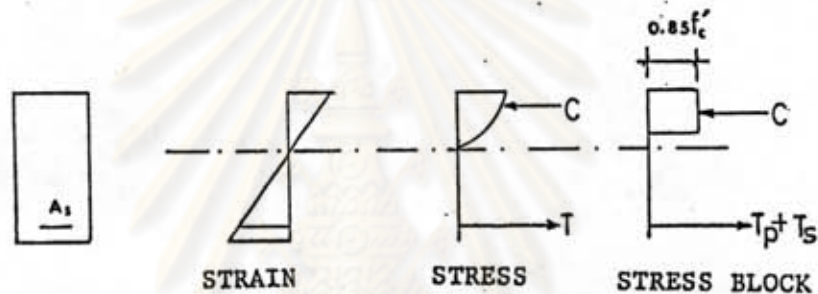
5. จากรูป (ข.1) สามารถคำนวณโมเมนต์ ได้จาก

$$M = T \cdot (d - c + \bar{x})$$

6. สามารถคำนวณโมเมนต์ และความโค้งสำหรับความเครียดที่ผิวบนของคอนกรีต ค่าอื่นได้โดยวิธีการเดียวกัน จากข้อ 2 ถึง ข้อ 6

ข.1.1.3 กำลังประลัย

นอกจากจะหากำลังประลัยด้วยการวิเคราะห์โดยตรงจากวิธี Strain Compatibility ยังสามารถคำนวณหากำลังประลัยของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วนโดยใช้หลักการเดียวกันกับวิธีการในการคำนวณของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก และคานคอนกรีตอัดแรงทั่วไป เพียงแต่ใช้คุณสมบัติจากเหล็กเสริมธรรมดาและลวดอัดแรงไปในขณะเดียวกัน



รูปที่ ข.2

จากรูป (ข.2) เป็นการสมมุติการกระจายหน่วยแรงอัด ที่จุดประลัยด้วยรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ตามวิธีของ Whitney เปรียบเทียบระหว่างคานคอนกรีตอัดแรงทั่วไป และคานคอนกรีตเสริมเหล็กธรรมดา กับคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน พบว่า แรงดึงประลัยมีค่า

$$\begin{aligned} T &= T_s + T_p \\ &= A_s \cdot f_y + A_{ps} \cdot f_{ps} \end{aligned} \quad (\text{ข.21})$$

สำหรับคานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า สามารถคำนวณแรงอัดประลัย ได้จาก

$$C = 0.85 f'_c \cdot a \cdot b$$

จากสมมติฐานของแรง

$$C = T$$

$$0.85 f'_c \cdot a \cdot b = A_s f_y + A_{ps} \cdot f_{ps}$$

$$a = (A_s \cdot f_y + A_{ps} \cdot f_{ps}) / 0.85 f'_c \cdot b \quad (\text{ข.22})$$

ตั้งที่กลางตัดประลัยของคานสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$M_u = T(d-a/2)$$

$$= A_{ps} \cdot f_{ps} (d_p - a/2) + A_s \cdot f_y (d_s - a/2) \quad (\text{ข.23})$$

สำหรับค่า f_{ps} ทั้ง ACI และ PCI กำหนดให้ใช้สมการในการคำนวณหน่วยแรง
ในลวดอัดแรงที่จุดประลัยของคาน ไว้ดังนี้

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot 1 - \left[\frac{0.5 \cdot A_{ps} \cdot f_{pu}}{b \cdot d_p \cdot f'_c} \right]$$

โดยสมการข้างต้นจะให้ค่าที่สอดคล้องเฉพาะในกรณีที่หน่วยแรงอัดประลัยมีผล มี
ค่ามากกว่าครึ่งหนึ่งของหน่วยแรงประลัยของลวดอัดแรง ($f_{ps} > 0.5 f_{pu}$)

ข.1.1.4 การแอ่นตัว

สามารถเขียนรูปสมการทั่วไป ในการคำนวณค่าการแอ่นตัว ได้ในรูปสมการดิฟ
เฟอเรนเชียล ดังนี้

$$\frac{d^2 y}{dx^2} = \frac{M}{E_c I_{eff}}$$

เมื่อ y = ระยะการแอ่นตัว

x = ระยะตามความยาวของคาน

$$E_c I_{eff} = \text{สติฟเนสของคาน}$$

สำหรับการแอนตัวของคานคอนกรีตอัดแรงบางส่วน ทั้งก่อนและหลังการแตกร้าว Siraikson และ Naaman (10) ได้เสนอสมการในการหาค่าแอนตัวของคานที่มีฐานรองรับแบบง่าย ภายใต้น้ำหนักบรรทุกทุกแบบ 2 จุด จากสมการดิฟเฟอเรนเชียลข้างต้นให้อยู่ในรูปแบบที่สะดวกต่อการใช้งานดังนี้

$$\Delta = \left[\frac{L^2}{8} - \frac{b^2}{6} \right] \cdot \frac{M}{E_c I_{eff}} \quad (\text{ข.24})$$

โดยที่ I_{eff} = โมเมนต์ความเฉื่อยประสิทธิผล

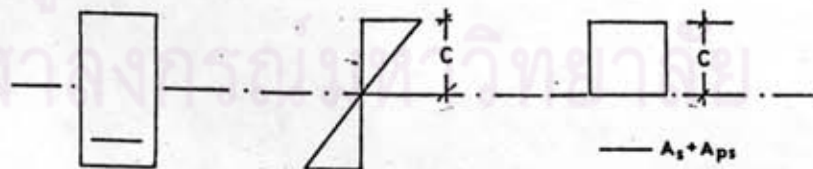
สำหรับค่า I_{eff} ได้ถูกเสนอโดย Branson ดังนี้

$$I_{eff} = \left[\frac{M_{cr}}{M} \right]^3 \cdot I_g + 1 + \left[\frac{M_{cr}}{M} \right]^3 \cdot I_{cr} \leq I_g \quad (\text{ข.25})$$

เมื่อ I_g = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดไม้แตกร้าว

I_{cr} = โมเมนต์ความเฉื่อยของหน้าตัดที่แตกร้าว

สำหรับ คานรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า ค่า I_{cr} สามารถคำนวณจากสมการ ดังรูป (ข.3)



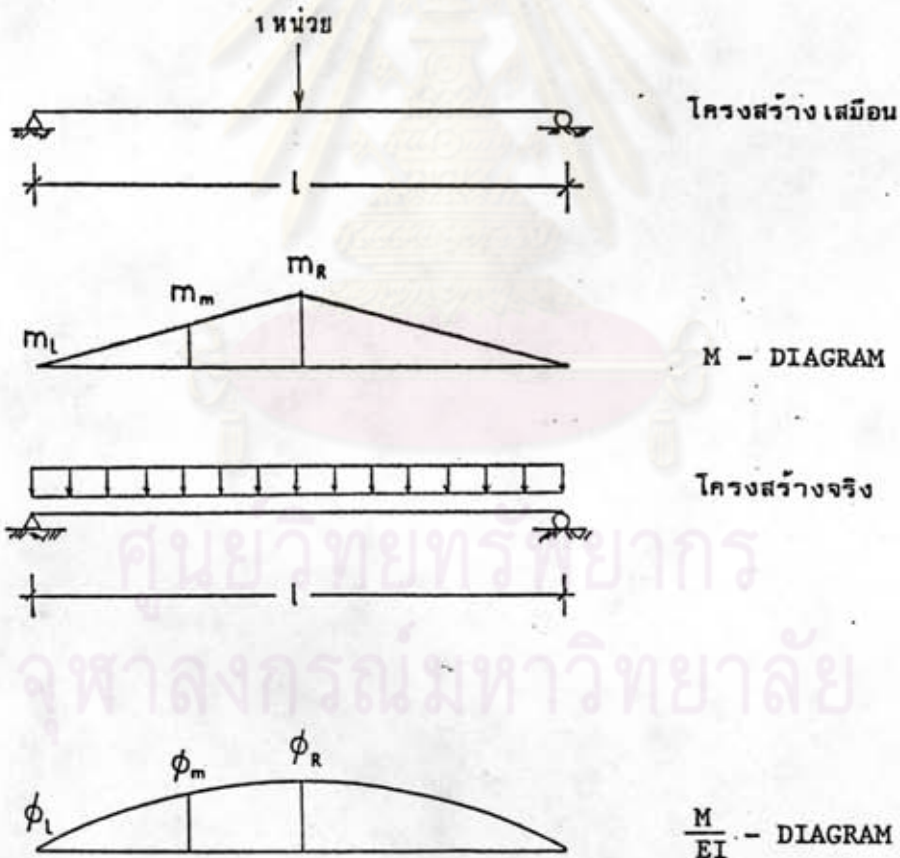
รูปที่ ข.3

$$I_{cr} = \frac{b \cdot c^3}{3} + \frac{A_{ps} \cdot E_{ps}}{E_c} \cdot (d_p - c)^2 + \frac{A_s \cdot E_s}{E_c} \cdot (d_s - c)^2$$

สมการ (ข.24) สามารถทำนายค่าการแอ่นตัวได้ค่อนข้างแม่นยำ สำหรับพฤติกรรมในช่วงก่อนเข้าสู่ช่วงคลาก แต่หลังจากช่วงคลาก สมการข้างต้นไม่สามารถอธิบายได้อย่างถูกต้อง เนื่องจากเป็นพฤติกรรมในช่วงใช้เชิงเส้น การคำนวณหาค่าการแอ่นตัวในช่วงก่อนและหลังจากช่วงคลาก สามารถกระทำได้โดยใช้หลักการของงานเสมือน (Virtual Work) ซึ่งใช้ค่าความโค้ง (ϕ) ที่ได้จากการวิเคราะห์ด้วยวิธี Strain Compatibility ดังนี้

$$\Delta = \int \phi \cdot m \cdot dx \tag{ข.26}$$

เมื่อ ϕ = ความโค้งบนโครงสร้างจริง
 m = ค่าโมเมนต์จาก น้ำหนัก 1 หน่วยบนโครงสร้างสมมุติ



รูปที่ ข.4

จากรูปเป็นการแสดงไดอะแกรมของโมเมนต์ เนื่องจากน้ำหนัก 1 หน่วย กระทำบนโครงสร้างสมมุติ m ตำแหน่งที่ต้องการหาการแอ่นตัว เมื่อทราบค่า ϕ จากการวิเคราะห์

ด้วยวิธี Strain Compatilality และ m จากไดอะแกรมของโมเมนต์จาก น้ำหนัก 1 หน่วย ดังนั้นสามารถหาค่าการแอ่นตัวได้จากการอินทิเกรต ค่าในสมการ ข.26 โดยวิธีของ Simpson ดังนี้

$$2. \int^{1/2} \phi \cdot m \cdot dx = \frac{1}{6} [\phi_1 \cdot m_1 + 4\phi_m \cdot m_m + \phi_R \cdot m_R]$$

เมื่อ m_1, m_m, m_R = ค่าโมเมนต์จากน้ำหนัก 1 หน่วยในตำแหน่งซ้าย กลางและขวา ของช่วงอินทิเกรต ตามลำดับ

ϕ_1, ϕ_m, ϕ_R = ค่าความโค้งบนโครงสร้างจริงในตำแหน่งซ้าย กลางและขวา ของช่วงอินทิเกรต ตามลำดับ

ข.2 ตัวอย่างการคำนวณ

ตาม PP1 S1 : $b = 10 \text{ cm.} : h = 17.8 \text{ cm.} : e_o = 5.9 : f_c = 487 \text{ ksc.}$
 : $A_s = 1.57 \text{ cm.}^2 : A_{ps} = .125 \text{ cm.}^2 : f_{ps} = 10536 \text{ ksc.}$

$$PPR = \frac{(M_u)_p}{(M_u)_p + S}$$

จากสมการ (ข.22) $0.85 f'_c \cdot a \cdot b = A_s \cdot f_y + A_{ps} \cdot f_{ps}$

$$a = (A_s \cdot f_y + A_{ps} \cdot f_{ps}) / 0.85 f'_c \cdot b$$

โดยที่ ACI, PCI กำหนดให้

$$f_{ps} = f_{pu} \cdot 1 - \left[\frac{0.5 A_{ps} \cdot f_{pu}}{b \cdot d_p \cdot f'_c} \right]$$

$$= 18,000 \text{ kg/cm}^2$$

และ

$$a = 2.11 \text{ cm.}$$

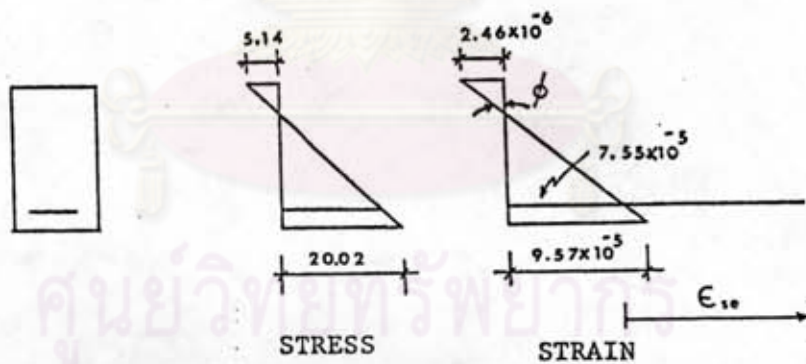
$$\begin{aligned} (M_u)_{p+a} &= A_{ps} \cdot f_{ps} (d_p - a/2) + A_s \cdot f_y (d_s - a/2) \\ &= 120.400 \text{ kg-cm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} (M_u)_p &= A_{ps} \cdot f_{ps} (d_p - a/2) \\ &= 32,860 \text{ kg-cm.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{PPR} &= 32,860/120,400 \\ &= 0.273 \end{aligned}$$

คำนวณ Moment - Curvature โดยวิธี Strain Compatibility

- At dead load moment : $M_d = 1170 \text{ kg-cm}$



รูปที่ ๒.5

จากสมการ (๒.2) และ (๒.3) จะได้

$$\begin{aligned} f_{ct} &= f_{ps} \cdot A_{ps} \cdot \left[\frac{1 - e_o \cdot y_t}{A_c} + \frac{M_D \cdot y_t}{I} \right] \\ &= 5.14 \text{ kg-cm}^2 \end{aligned}$$

$$f_{cb} = -20.02 \text{ kg-cm}^2$$

จากรูป (ข.5) จะได้

$$\epsilon_{ct} = 2.46 \times 10^{-5}$$

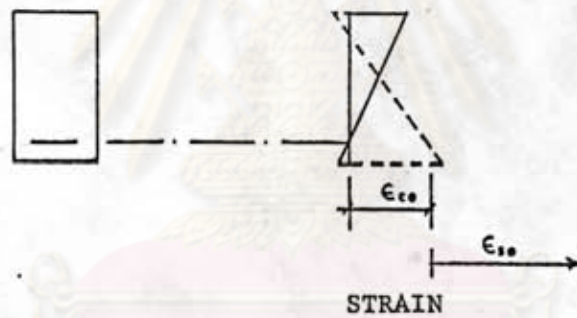
$$\epsilon_{cb} = 9.57 \times 10^{-5}$$

$$\phi = 6.75 \times 10^{-5}$$

$$\epsilon_{ce} = 7.55 \times 10^{-5}$$

$$\begin{aligned} \epsilon_{ps} = \epsilon_{se} &= f_{se} / E_{ps} \\ &= 5.37 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

- Zero strain in concrete at level of strain

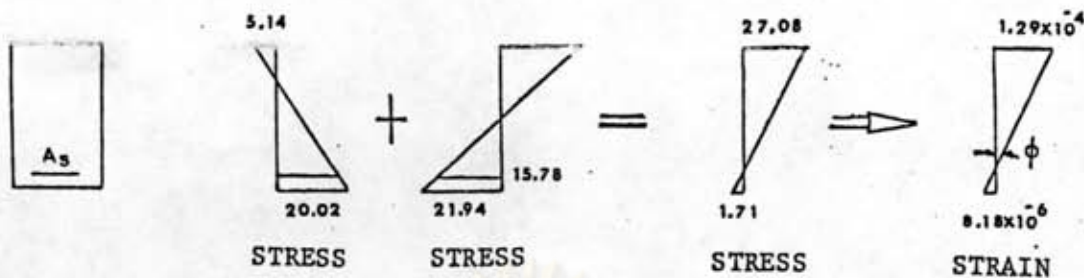


รูปที่ ข.6

จากรูป (ข.6) หน่วยแรงในคอนกรีตที่ระดับลวดอัดแรงเพิ่มเป็น

$$\begin{aligned} \epsilon_{ps} &= \epsilon_{se} + \epsilon_{ce} \\ &= 5.37 \times 10^{-3} + 7.55 \times 10^{-5} \\ &= 5.44 \times 10^{-3} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} f_{ps} &= E_{ps} \cdot \epsilon_{ps} \\ &= 10,673 \text{ kg-cm}^2 \end{aligned}$$



รูปที่ ๗.๗

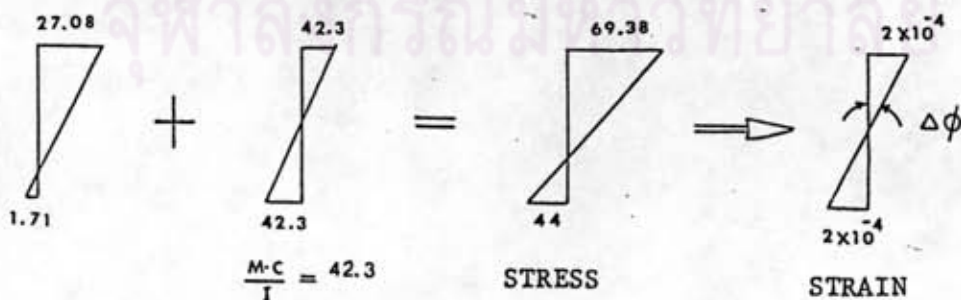
จากรูป (๗.๗) จะสามารถหา M ซึ่งทำให้ความเครียดของคอนกรีตที่ระดับเหล็กเสริมเป็นศูนย์จาก

$$\begin{aligned} \frac{M \cdot y}{I} &= 15.78 \\ M &= \frac{15.78 \times 4700}{6.4} \\ &= 11,580 \quad \text{kg-cm} \\ \phi &= 8.43 \times 10^{-6} \quad \text{rad/cm} \end{aligned}$$

- Cracking Moment.

โมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีต $f_{cr} = 1.99 \sqrt{f'_c} = 44 \text{ กก/ซม}^2$

หน่วยแรงที่เพิ่มขึ้นจนถึงโมดูลัสแตกร้าวของคอนกรีต $f = 44 - 1.71 = 42.3$



รูปที่ ๗.๘

โมเมนต์ที่เพิ่มขึ้น $M = \frac{f \cdot I}{c} = \frac{42.3 \times 4700}{8.9} = 22340 \text{ kg-cm.}$

$$M_{cr} = 11580 + 22340 = 33920 \text{ kg-cm.}$$

โมเมนต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้ความโค้งเพิ่มขึ้น

$$\Delta \phi = \frac{2(2.02 \times 10^{-4})}{17.8}$$

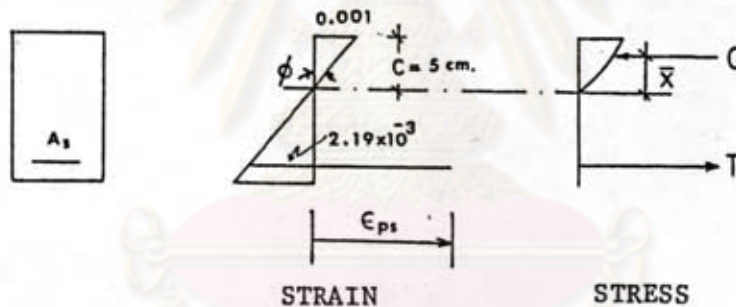
$$= 2.27 \times 10^{-5}$$

$$\phi_{cr} = 8.43 \times 10^{-6} + 2.27 \times 10^{-5}$$

$$= 3.11 \times 10^{-5}$$



- At top fiber strain = 0.001



รูปที่ ๗.๙

ลองค่าความลึกของแกนสะเทิน , $c = 5 \text{ cm.}$

จากรูป (๗.๙) จะได้ $\phi = 2.0 \times 10^{-4} \text{ rad/cm}$

จากสมการ (๗.๑๔) จะได้

$$C = b \cdot f'_c \cdot \frac{\phi \cdot c^2}{\epsilon_o} \cdot \left[1 - \frac{\phi \cdot c}{3\epsilon_o} \right]$$

$$C = 8440 \text{ kg}$$

$$\epsilon_{ps} = 5.44 \times 10^{-3} + 2.19 \times 10^{-3} = 7.64 \times 10^{-3}$$

$$T_p = 1882 \text{ kg}$$

$$\epsilon_s = 2.19 \times 10^{-3}$$

$$T_s = 7900 \quad \text{kg}$$

จากสมการ (ข.16)

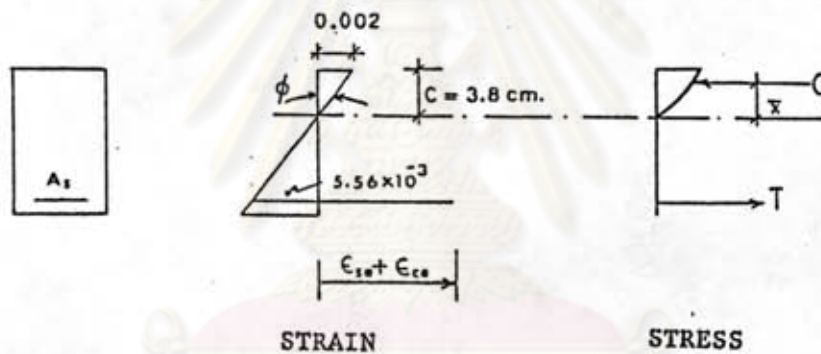
$$\bar{x} = c \cdot \left[\frac{8\epsilon_o + 3\phi \cdot c}{12\epsilon_o - 4\phi \cdot c} \right]$$

$$= 3.27 \quad \text{cm}$$

$$M = T_{p+s} (d + \bar{x} - c)$$

$$= 114,050 \quad \text{kg-cm}$$

- Top fiber strain = 0.002



รูปที่ ข.10

ลองค่าความลึกของแกนสะเทิน, $c = 3.8 \text{ cm}$

$$= 5.26 \times 10^{-4} \quad \text{rad/cm}$$

จากสมการ (ข.14) จะได้

$$C = 10,800 \quad \text{kg}$$

$$\epsilon_{p+s} = 5.44 \times 10^{-3} + 5.56 \times 10^{-3} = 0.011$$

$$T_p = 2243 \quad \text{kg}$$

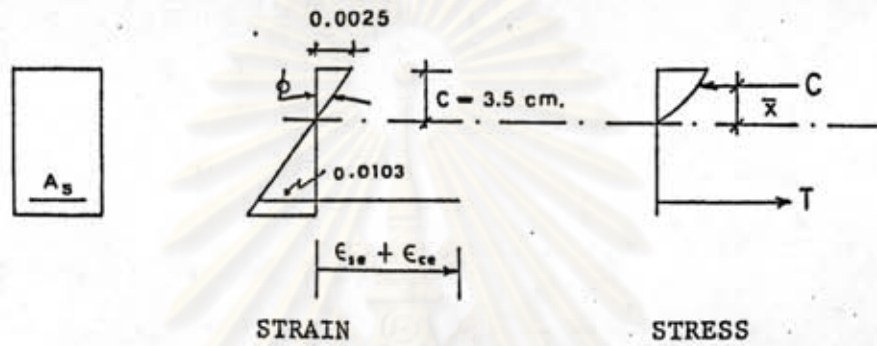
$$\epsilon_s = 5.56 \times 10^{-3}$$

$$T_s = 7900 \quad \text{kg}$$

จากสมการ (ข.16)

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 2.6 \quad \text{cm} \\ M &= 10140 \quad (14.1) \\ &= 143,000 \quad \text{kg-cm.}\end{aligned}$$

- At top fiber strain = 0.0025



รูปที่ ข.11

ลองค่าความลึกของแกนสะเทิน, $c = 3.5 \text{ cm}$

จากรูป (ข.11) จะได้ $= 7.14 \times 10^{-4} \text{ rad/cm}$

จากสมการ (ข.14) จะได้

$$\begin{aligned}C &= 11,300 \quad \text{kg} \\ \epsilon_{p_n} &= 5.44 \times 10^{-3} + 0.0103 = 0.0157 \\ T_p &= 2330 \quad \text{kg} \\ \epsilon_n &= 0.0103 \\ T_n &= 8640 \quad \text{kg}\end{aligned}$$

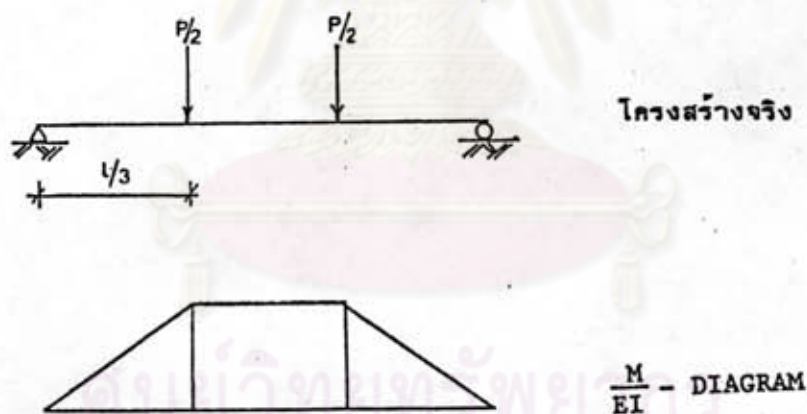
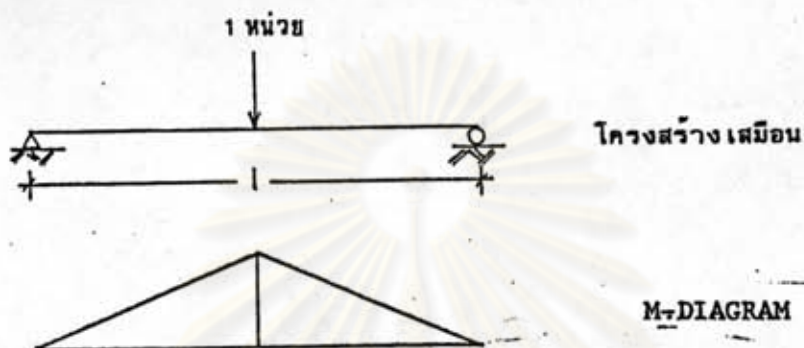
จากสมการ (ข.16) จะได้

$$\begin{aligned}\bar{x} &= 2.41 \quad \text{cm} \\ M &= (T_p + T_n)(d + \bar{x} - c) \\ &= 10,970 \quad (14.21) \\ &= 156,000 \quad \text{kg-cm.}\end{aligned}$$

คำนวณค่าการแอ่นตัวจากค่าความโค้งโดยใช้ทฤษฎีงานเสมือน (Virtual Work)

จากสมการ (ข.26) คือ

$$\Delta = \int^b \phi \cdot m \cdot dx$$



จากรูป (ข.12) เมื่อพิจารณาจากรูปไดอะแกรมโมเมนต์ของโครงสร้างเสมือน และโครงสร้างจริงจะเห็นว่าความโค้งลักษณะสมมาตร ดังนั้นการอินทิเกรตจึงสามารถกระทำได้ โดยแบ่งช่วงอินทิเกรตออกเป็น 2 ช่วง คือช่วง 0 ถึงระยะ $l/3$ และช่วงระยะ $l/3$ ถึง $l/2$ ตามลักษณะความต่อเนื่องของฟังก์ชันจะได้

$$2 \int^{l/2} \phi \cdot m \cdot dx = 2 \cdot \left(\int_0^{l/3} \phi \cdot m \cdot dx + \int_{l/3}^{l/2} \phi \cdot m \cdot dx \right)$$

สำหรับค่าแอนต์ัวของคาน PP1 S1 ที่ระยะสูงสุดก่อนการวิบัติสามารถคำนวณได้โดยการแทนค่า δ ที่ระยะต่าง ๆ จากโครงสร้างจริง และค่าแทนค่า η ที่ระยะต่าง ๆ จากโครงสร้างเสมือนลงในสมการข้างต้นโดยใช้วิธีการอินทิเกรตเชิงเลขคณิตตามวิธีของ Simpson's Rule จะได้

$$\Delta = 0.963 \quad \text{cm.}$$

เมื่อเปรียบเทียบค่าการแอนต์ัวที่คำนวณจากสมการจาก Sirialksorn และ Naaman (10) จากสมการ (ข.24) จะได้

$$\Delta = 0.586 \quad \text{cm.}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



ภาคผนวก ค.

ผลการทดสอบคานตัวอย่าง

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.1 คาน PP1 S1

คานตัวอย่าง : PP1 S1				
น้ำหนักบรรทุก (กก)	ค่าความแอ่นตัว (มม)	ความเครียดใน คอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
0	0	0	0	0
250	0.0898	-34.1	22.1	12.2
500	0.1432	-72.3	46.3	27.6
750	0.2230	-71.9	68.0	71.3
1000	0.3203	-103.9	90.2	100.2
1250	0.3749	-138.0	122.1	127.8
1500	0.4344	-183.2	159.7	154.6
1750	0.5566	-226.8	185.6	189.4
2000	0.6094	-279.5	218.3	227.0
2250	0.9907	-435.5	595.8	562.7
2500	1.2736	-530.4	686.4	676.1
2750	1.3502	-629.9	874.8	764.3
3000	1.4321	-814.3	1003.6	896.7
3250	1.5953	-895.5	1109.2	1077.4
3500	1.8307	-967.0	1202.7	1225.9
3750	2.0003	-1063.6	1299.3	1346.2
4000	2.1220	-1116.1	1418.4	1498.9
4250	2.2981	-1183.7	1532.6	1640.7
4500	2.4402	-1259.2	1629.3	1756.1
4750	2.7195	-1312.5	1691.8	1864.3
5000	2.8498	-1437.4	1766.4	1986.0
5250	2.8992	-1500.1	1840.1	2074.3

ตารางที่ ค.1 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 S1				
น้ำหนักบรรทุก (กก)	ค่าความแอ่นตัว (มม)	ความเครียดใน คอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
5500	3.0246	-1564.8	1905.0	2193.8
5750	3.3228	-1623.0	1962.3	2301.4
6000	3.4325	-1694.2	2003.4	2397.7
6250	3.5075	-1758.0	2219.8	2518.0
6500	3.7182	-1837.0	2593.4	2623.1
6750	4.1082	-2187.1	-	2834.5
7000	4.4429	-2547.0	-	3343.7
7250	5.6209	-2930.6	-	3739.2
7500	8.2308	-3272.3	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.2 คาน PP1 R1

		คานตัวอย่าง : PP1 R1			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเคียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเคียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเคียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๓}
1	0	0	-1.9	0	0
	300	0.201	-27.5	21	21.2
	600	0.294	-58.7	48.7	48.7
	900	0.413	-82.7	68.9	71.1
	1200	0.524	-109.2	90.7	96.5
	1500	0.536	-139.2	117.6	128.1
	1800	0.598	-179.8	191.2	189.9
	2100	0.755	-222.7	249.7	253.8
	2400	0.989	-296.9	416.1	396.7
	2700	1.131	-383.6	570.4	586.0
	3000	1.432	-454.8	646.1	730.4
2	1200	0.538	-215.9	131.7	147.2
	1500	0.564	-250.9	168.4	200.9
	1800	0.609	-288.2	237.1	261.3
	2100	0.743	-330.7	299.7	325.9
	2400	0.974	-370.9	472.8	518.4
	2700	1.130	-413.8	593.1	603.7
	3000	1.433	-459.8	669.2	691.4
	1200	0.544	-234.2	135.4	141.1
	1500	0.569	-272.8	171.8	201.3

คานตัวอย่าง : PP1 R1					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แฉ่งตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
1,000	1800	0.631	-318.3	239.5	268.7
	2100	0.758	-363.3	303.7	337.4
	2400	1.105	-419.4	489.0	521.9
	2700	1.213	-460.1	597.8	611.2
	3000	1.509	-490.7	684.5	704.0
5,000	3000	1.518	-493.6	691.4	708.1
	1200	0.547	-220.5	128.3	140.5
10,000	1200	0.549	-217.0	115.1	138.3
	3000	1.521	-478.4	680.7	700.9
30,000	1200	0.551	-247.1	111.4	129.1
	3000	0.528	-493.8	688.3	698.4
50,000	1200	0.541	-262.8	112.4	131.3
	3000	1.513	-497.5	673.2	691.0
100,000	3000	1.535	-512.8	692.7	709.1
	1200	0.553	-272.3	118.0	140.6
	3000	1.534	-510.9	693.4	709.4

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R1					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอนตัว (มม)	ความเคียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเคียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเคียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
150,000	1200	0.551	-271.0	117.8	139.7
	1200	0.550	-261.9	120.1	142.3
200,000	3000	1.537	-510.3	699.5	721.6
	3000	1.537	-507.1	707.2	722.1
400,000	1200	0.551	-257.7	125.3	144.2
	3000	1.544	-520.2	709.8	722.7
600,000	1200	0.563	-280.7	123.4	144.9
	3000	1.549	-537.8	715.6	724.3
800,000	1200	0.566	-296.1	128.9	145.4
	1200	0.564	-292.9	126.3	139.2
1,000,000	1500	0.591	-331.0	168.4	193.1
	1800	0.643	-367.8	225.3	255.8
	2100	0.772	-413.2	291.0	328.4
	2400	1.134	-460.6	457.7	491.2
	2700	1.251	-497.4	603.3	621.3
	3000	1.549	-538.1	716.8	724.8

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

		คานตัวอย่าง : PP1 R1			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
1,200,000	1200	0.566	-267.5	127.6	141.4
	1500	0.593	-321.6	166.7	194.3
	1800	0.644	-362.4	220.3	256.8
	2100	0.778	-407.2	294.8	327.6
	2400	1.137	-445.3	458.6	489.9
	2700	1.259	-481.7	601.6	620.3
	3000	1.603	-517.0	711.4	717.8
1,400,000	1200	0.566	-273.0	126.8	139.8
	1500	0.594	-318.6	167.4	199.7
	1800	0.647	-362.4	222.6	251.3
	2100	0.781	-405.6	298.3	334.8
	2400	1.139	-444.8	459.4	486.3
	2700	1.263	-483.9	600.3	622.7
	3000	1.609	-515.2	713.5	719.5
1,600,000	1200	0.566	-291.6	125.9	145.1
	1500	0.598	-339.1	169.3	203.5
	1800	0.649	-382.7	227.1	255.8
	2100	0.789	-425.4	299.7	332.5
	2400	0.141	-464.2	461.3	489.7
	2700	0.270	-503.4	607.8	630.4

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

		คานตัวอย่าง : PP1 R1			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
1,800,000	3000	0.611	-533.8	713.9	721.1
	1200	0.571	-237.8	127.7	144.5
	1500	0.598	-280.2	171.3	200.3
	1800	0.649	-323.0	232.1	265.8
	2100	0.793	-363.8	303.4	337.8
	2400	1.144	-402.9	471.6	491.3
	2700	1.278	-441.7	612.3	641.8
	3000	1.613	-477.3	715.8	721.9
2,000,000	1200	0.572	-259.1	131.1	143.4
	1500	0.598	-307.7	178.5	201.9
	1800	0.650	-351.0	230.4	269.8
	2100	0.794	-396.1	314.3	348.7
	2400	1.147	-436.0	477.6	498.2
	2700	1.279	-473.7	625.3	661.4
	3000	1.614	-509.9	720.8	724.1
	0	0.19	0.6	0	0
300	0.342	-27.6	32.1	35.8	
600	0.50	-63.4	82.9	79.1	
900	0.62	-110.4	172.4	121.0	
1200	0.72	-159.6	285.3	168.3	

ตารางที่ ค.2 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R1					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอนตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
	1500	0.85	-210.1	396.9	219.4
	1800	0.95	-258.7	501.7	330.6
	2100	1.05	-304.4	601.0	474.8
	2400	1.16	-347.2	698.4	568.3
	2700	1.26	-390.1	793.1	670.9
	3000	1.36	-429.6	881.1	796.3
	3500	1.51	-494.8	1020.6	1010.7
	4000	1.71	-567.3	1168.3	1195.8
	4500	1.92	-633.8	1284.1	1317.6
	5000	2.30	-712.6	1431.6	1508.0
	5500	2.78	-797.4	1619.8	1694.1
	6000	3.21	-882.3	1790.2	1935.5
	6500	3.59	-966.4	1901.6	2106.8
	7000	4.04	-1042.4	2090.9	2375.3
	7500	4.56	-1117.7	2458.7	2798.4
	8000	6.41	-1518.4	3260.6	3207.5
	8820				

ตารางที่ ค.3 คาน PP1 R2

คานตัวอย่าง : PP1 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
1	0	0	-0.0	0	0
	500	0.14	-37.6	39.3	30.1
	1000	0.31	-75.8	75.9	81.4
	1200	.43	-104.4	135.5	141.6
	1500	.56	-129.6	160.7	128.5
	2000	.75	-194.6	316.8	183.0
	2500	1.0	-298.2	620.9	572.6
	3000	1.43	-402.9	922.8	884.2
	3500	1.86	-488.9	1155.7	1116.2
	4000	2.17	-575.0	1380.9	1411.3
	4500	2.55	-657.2	1583.3	1667.4
	2	4000	2.37	-595.9	1463.2
3500		2.21	-531.2	1371.4	1317.5
3000		2.01	-461.0	1233.7	1248.4
2500		1.8	-387.1	1063.9	996.3
2000		1.57	-311.4	892.2	874.8
1500		1.31	-234.4	698.1	703.2
1200		1.15	-189.1	574.1	561.1
0		0.27	-31.3	191.9	103.2
0	0.37	-1.1	0	0	

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
1,000	1800	1.9	-258.4	740.1	767.3
	2100	1.94	-270.8	761.5	880.4
	2400	2.1	-308.3	855.7	976.8
	2700	2.24	-337.5	936.9	1035.6
	3000	2.4	-377.6	1031.4	1193.2
	3300	2.56	-414.1	1119.1	1223.3
	3600	2.7	-445.8	1201.1	1277.6
	3900	2.85	-485.5	1293.8	1304.5
	4200	3.0	-524.6	1377.6	1395.2
	5,000	2400	2.13	-311.8	847.1
2700		2.28	-345.6	943.1	1011.4
3000		2.44	-382.2	1038.7	1122.8
3300		2.58	-417.4	1113.8	1208.6
3600		2.75	-455.9	1209.5	1299.4
3900		2.88	-490.6	1289.6	1321.7
4200		3.03	-528.9	1371.3	1397.6
10,000	2400	2.1	-302.7	822.6	922.4
	2700	2.31	-349.2	950.2	998.6
	3000	2.42	-372.9	1012.1	1100.3
	3300	2.56	-409.5	1089.1	1171.4

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเคียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเคียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเคียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
30,000	3600	2.72	-445.6	1175.2	1249.3
	3900	2.86	-482.9	1262.9	1287.6
	4200	3.01	-520.0	1349.2	1372.4
	2400	2.16	-311.5	878.0	963.5
	2700	2.31	-344.1	959.3	112.7
	3000	2.47	-381.6	1051.3	1137.8
	3300	2.62	-418.2	1137.7	1220.9
	3600	2.77	-453.3	1226.4	1311.4
	3900	2.91	-491.1	1306.9	1339.7
	4200	3.06	-530.2	1395.8	1411.2
50,000	2400	2.19	-320.8	909.1	968.7
	2700	2.35	-355.9	993.8	1118.9
	3000	2.51	-390.8	1082.3	1145.1
	3300	2.66	-427.8	1171.9	1229.0
	3600	2.8	-463.8	1255.2	1319.8
	3900	2.95	-500.8	1342.3	1344.2
	4200	3.09	-538.2	1422.4	1418.6
	2400	2.2	-321.7	895.4	970.1
	2700	2.36	-358.6	983.7	1117.4
	3000	2.52	-395.1	1074.6	1143.6

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเคี้ยว ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคี้ยวใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคี้ยวใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
100,000	3300	2.67	-429.8	1165.5	1234.8
	3600	2.89	-467.0	1288.1	1308.4
	3900	2.97	-504.8	1344.1	1347.6
	4200	3.1	-540.9	1418.7	1420.3
	2400	2.25	-333.0	900.0	970.7
	2700	2.4	-367.2	993.4	1119.6
	3000	2.55	-402.9	1081.7	1149.8
150,000	3300	2.69	-438.7	1165.5	1240.6
	3600	2.84	-474.1	1247.2	1320.5
	3900	2.98	-511.6	1332.5	1354.7
	4200	3.11	-546.3	1418.2	1422.9
	2400	2.26	-333.1	907.3	969.4
	2700	2.4	-368.1	989.1	1116.3
	3000	2.55	-403.8	1083.5	1151.6
200,000	3300	2.69	-440.3	1172.4	1243.5
	3600	2.84	-478.1	1251.6	1324.5
	3900	2.97	-507.0	1330.0	1361.8
	4200	3.12	-547.2	1412.9	1423.7
	2400	2.27	-348.9	888.6	968.6
	2700	2.43	-374.5	972.3	1114.3

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แฉ่งตัว (มม)	ความเคียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
400,000	3000	2.56	-418.1	1065.3	1143.5
	3300	2.69	-451.0	1213.2	1247.8
	3600	2.86	-482.6	1276.8	1338.5
	3900	3.01	-511.4	1383.4	1363.4
	4200	3.14	-565.9	1401.9	1425.5
600,000	2400	2.26	-359.9	864.8	966.4
	2700	2.41	-381.4	942.3	1110.3
	3000	2.55	-430.6	1036.9	1134.7
	3300	2.67	-462.2	1189.4	1239.4
	3600	2.84	-491.0	1263.0	1325.8
800,000	3900	3.01	-520.8	1331.5	1357.2
	4200	3.13	-575.7	1377.6	1409.8
	2400	2.27	-365.9	865.3	968.3
	2700	2.43	-389.4	964.8	1113.9
	3000	2.56	-431.8	1041.6	1136.1
	3300	2.68	-476.1	1204.8	1243.3
	3900	3.0	-542.1	1301.4	1359.4
4200	3.14	-580.0	1383.4	1411.9	
	0	0.43	0.4	0	0
	2400	2.04	-267.8	714.0	798.4



ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
1,200,000	3000	2.38	-346.9	905.9	1101.3
	3300	2.59	-387.4	1112.8	1222.6
	3600	2.87	-443.1	1203.0	1268.4
	3900	2.98	-498.6	1289.4	1299.0
	4200	3.1	-527.4	1351.1	1387.8
1,400,000	2400	2.28	-340.5	828.0	884.6
	2700	2.39	-371.1	931.5	974.5
	3000	2.57	-409.8	1002.4	1197.3
	3300	2.70	-461.2	1158.3	1269.0
	3600	2.86	-481.0	1212.6	1664.7
1,600,000	3900	3.03	-513.8	1299.4	1302.5
	4200	3.15	-556.0	1352.2	1394.6
	2400	2.26	-350.6	800.8	886.5
	2700	2.39	-382.1	899.4	968.4
	3000	2.61	-420.7	973.8	1183.2
1,600,000	3300	2.70	-478.1	1119.9	1271.1
	3600	2.87	-489.5	1186.4	1658.4
	3900	3.03	-520.6	1257.7	1300.9
	4200	3.14	-566.5	1317.2	1389.3

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

		คานตัวอย่าง : PP1 R2			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
1,800,000	2400	2.27	-324.9	825.6	884.3
	2700	2.39	-348.5	927.4	961.9
	3000	2.56	-374.0	1007.0	1191.4
	3300	2.69	-437.8	1148.1	1269.7
	3600	2.88	-471.1	1217.8	1674.3
	3900	3.04	-495.3	1292.5	1309.2
	4200	3.14	-539.6	1355.0	1393.8
2,000,000	2400	2.27	-323.3	830.5	893.7
	2700	3.39	-346.1	927.6	963.4
	3000	2.56	-392.2	1006.4	1190.3
	3300	2.71	-420.5	1152.3	1272.4
	3600	2.89	-468.3	1209.8	1669.3
	3900	3.05	-500.8	1293.4	1303.9
	4200	3.15	-539.2	1352.6	1399.2
	0	0.47	-10.0	0	0
	500	0.79	-51.7	86	50.4
	1000	1.17	-102.0	227.5	128.6
	1500	1.54	-161.8	409.1	244.3
	2000	1.81	-219.9	561.8	367.0
	2400	2.04	-268.0	684.5	586.9

ตารางที่ ค.3 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
	3000	2.38	-346.8	871.9	812.4
	3500	2.66	-413.2	1046.8	1047.1
	4000	2.92	-481.2	1194.9	1383.4
	4200	3.01	-501.0	1240.0	1509.2
	4500	3.29	-579.4	1446.8	1656.3
	5000	3.53	-644.7	1587.7	1867.5
	5500	3.77	-711.7	1715.6	2045.6
	6000	4.02	-780.6	1858.2	2303.2
	6500	4.27	-849.2	2001.4	2550.1
	7000	5.0	-1048.9	2249.2	2844.6
	7500	5.56	-1228.1	-	3368.4
	8000	14.44	-3451.4	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.4 คาน PP1 R3

คานตัวอย่าง : PP1 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอนตัว (มม)	ความเคียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
	0	0	1.9	0	0
	500	0.16	-42.1	27.8	57.9
	1000	0.29	-83.7	58.1	95.1
	1500	0.41	-128.3	94.6	133.4
	2000	0.57	-178.8	146.2	198.9
	2500	0.81	-233.9	208.2	278.3
	3000	1.19	-369.7	677.2	630.2
	3500	1.69	-490.5	1006.7	988.6
	3600	1.79	-512.6	1139.4	1078.1
	4000	2.13	-580.8	1261.6	1242.3
	4500	2.55	-656.1	1470.7	1555.0
	5000	2.97	-735.8	1679.3	1802.4
	5400	3.29	-796.0	1846.4	1998.6
	5000	3.14	-754.6	1771.9	1879.3
	4500	2.93	-698.6	1667.5	1603.4
	4000	2.71	-640.4	1555	1312.4
	3600	2.52	-593.0	1458.6	1103.2
	3500	2.42	-566.6	1403.1	1072.5
	0	0.42	-50.3	322.7	121.3
	0	0.59	-3.9	-3.7	0
	3600	3.04	-548.9	1281.5	1203.6

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
1,000	4000	3.23	-594.8	1377.9	1334.8
	4500	3.48	-652.9	1502.6	1586.4
	5000	3.73	-710.4	1626.9	1746.8
	5400	3.93	-756.2	1724.7	1901.0
3,000	3600	3.05	-544.9	1270.9	1201.4
	4000	3.25	-590.9	1367.3	1330.0
	4500	3.5	-648.6	1489.1	1536.8
	5000	3.75	-704.7	1613.2	1744.3
	5400	3.95	-749.8	1705.5	1874.0
5,000	3600	2.96	-527.1	1187.6	1192.4
	4000	3.17	-573.1	1293.0	1323.6
	4500	3.43	-632.2	1425.9	1466.8
	5000	3.68	-688.7	1549.9	1689.0
	5400	3.88	-733.5	1647.9	1772.4
10,000	3600	2.97	-520.9	1179.8	1190.2
	4000	3.19	-570.5	1292.9	1320.7
	4500	3.44	-625.4	1417.7	1456.5
	5000	3.7	-683.0	1542.0	1680.4
	5400	3.89	-729.2	1641.4	1771.0

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

จำนวนรอบ, N	คานตัวอย่าง : PP1 R3				
	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ อ่อนตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
30,000	3600	3.05	-530.1	1215.0	1211.4
	4000	3.24	-575.0	1312.1	1342.8
	4500	3.49	-630.0	1432.9	1571.3
	5000	3.74	-686.7	1557.1	1688.0
	5400	3.93	-731.3	1650	1783.5
50,000	3600	3.03	-526.3	1210.2	1211.3
	4000	3.23	-571.0	1305.1	1330.4
	4500	3.48	-627.9	1429.4	1565.3
	5000	3.72	-682.6	1548.7	1667.1
	5400	3.92	-727.3	1643.8	1780.9
100,000	3600	3.07	-532.1	1217.5	1217.0
	4000	3.27	-578.2	1316.1	1344.0
	4500	3.52	-635.2	1437.7	1575.5
	5000	3.76	-688.6	1553.6	1670.8
	5400	3.94	-732.1	1644.1	1781.7
150,000	3600	3.07	-533.5	1211.7	1210.3
	4000	3.27	-579.7	1308.1	1313.4
	4500	3.51	-635.0	1427.9	1563.4
	5000	3.75	-689.3	1545.1	1661.8

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอนตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๓}
200,000	5400	3.95	-734.4	1638.3	1789.9
	3600	3.03	-533.1	1183.0	1210.1
	4000	3.25	-581.2	1291.7	1310.0
	4500	3.51	-638.4	1419.5	1564.3
	5000	3.75	-693.0	1536.7	1666.8
	5400	3.94	-736.5	1628.9	1790.1
400,000	3600	3.07	-561.3	1174.4	1201.7
	4000	3.27	-607.9	1278.0	1313.3
	4500	3.53	-664.9	1407.4	1565.4
	5000	3.78	-721.4	1527.6	1681.0
	5400	3.97	-764.9	1618.4	1790.8
600,000	3600	3.11	-589.4	1178.6	1206.8
	4000	3.3	-632.1	1269.1	1321.0
	4500	3.55	-687.8	1391.9	1545.0
	5000	3.79	-743.6	1512.6	1687.0
	5400	3.98	-785.7	1600	1788.7
	4000	3.37	-569.7	1285.8	1321.8

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

จำนวนรอบ, N	คานตัวอย่าง : PP1 R3				
	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเครียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๓}
800,000	4500	3.63	-626.6	1412.4	1530.0
	5000	3.88	-682.1	1532.1	1677.0
	5400	4.07	-725.2	1622.6	1790.5
1,000,000	3600	3.19	-524.2	1190.8	1211.5
	4000	3.38	-567.1	1286.1	1322.8
	4500	3.63	-622.6	1408.1	1531.3
	5000	3.88	-677.8	1527.9	1677.8
	5400	4.07	-721.2	1618.9	1789.2
1,200,000	3600	3.19	-538.7	1178.8	1211.8
	4000	3.39	-583.2	1274.5	1312.3
	4500	3.63	-637.4	1394.2	1523.9
	5000	3.88	-693.2	1515.5	1666.8
	5400	4.07	-735.5	1605.3	1781.2
1,400,000	3600	3.19	-553.9	1165.2	1211.1
	4000	3.39	-578.4	1258.2	1302.5
	4500	3.64	-654.3	1380.6	1524.3
	5000	3.89	-709.4	1501.5	1659.8
	5400	4.07	-749.6	1587.9	1780.9

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

จำนวนรอบ, N	คานตัวอย่าง : PP1 R3				
	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แฉ่งตัว (มม)	ความเคี้ยว ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเคี้ยวใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเคี้ยวใน ลวดยึดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๑}
1,600,000	3600	3.21	-560.2	1173.5	1218.6
	4000	3.42	-605.9	1280.3	1327.1
	4500	3.69	-663.6	1411.3	1526.8
	5000	3.95	-720.1	1536.2	1676.4
	5400	4.14	-763.5	1630.4	1791.3
1,800,000	3600	3.25	-524.4	1241.8	1219.1
	4000	3.45	-569.3	1337.9	1331.0
	4500	3.71	-625.9	1461.1	1532.4
	5000	3.96	-682.6	1582.4	1677.8
	5400	4.15	-725.8	1672.6	1790.7
2,000,000	3600	3.25	-545.6	1217.7	1220.3
	4000	3.46	-590.7	1315.8	1327.9
	4500	3.72	-647.3	1441.2	1530.3
	5000	3.96	-701.4	1561.1	1677.7
	5400	4.16	-745.6	1654.3	1788.4
	0	0.94	0.4	0	0
	500	1.16	-51.3	57.1	69.0
	1000	1.36	-103.9	134.1	172.9
	1500	1.59	-166.2	254.0	267.7

ตารางที่ ค.4 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP1 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แฉ่งตัว (มม)	ความเคี้ยว ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคี้ยวใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคี้ยวใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
	2000	1.87	-231.5	399.8	355.4
	2500	2.26	-308.7	589.5	467.1
	3000	2.55	-381.5	771.1	784.0
	3500	2.9	-457.3	965.1	990.4
	3600	2.95	-469.6	991.3	1034.2
	4000	3.25	-532.7	1158.6	1212.4
	4500	3.57	-603.2	1331.8	1604.3
	5000	3.87	-670.0	1487.1	1853.2
	5500	4.16	-236.7	1639.3	2045.1
	6000	4.43	-800.7	1766.1	2330.4
	6500	4.8	-880.9	1956.9	2601.5
	7000	5.24	-962.3	2158.0	3020.8
	7400	-	-	-	-

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.5 คาน PP2 S1

คานตัวอย่าง : PP2 S1				
น้ำหนักบรรทุก (กก)	ค่าความแอ่นตัว (มม)	ความเคี้ยวตใน คอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคี้ยวตใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคี้ยวตใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
0	0	0	0	0
250	0.0996	-30.3	14.3	16.7
500	0.2302	-61.1	30.9	33.4
750	0.3421	-92.4	55.4	57.0
1000	0.4498	-119.8	75.8	78.7
1250	0.5233	-152.2	97.2	99.8
1500	0.3893	-190.4	121.3	123.2
1750	0.6531	-230.0	153.1	155.4
2000	0.7131	-272.6	173.7	176.0
2250	0.8342	-320.2	208.9	210.8
2500	0.9097	-394.8	245.3	247.6
2750	1.2090	-422.7	325.7	328.5
3000	1.4905	-479.6	432.6	435.4
3250	1.6004	-514.8	579.0	581.1
3500	1.6847	-554.9	795.2	797.6
3750	1.8973	-590.2	981.7	985.3
4000	2.0094	-629.7	1171.6	1174.4
4250	2.2205	-800.3	1726.9	1727.6
4500	2.4010	-889.9	1878.0	1901.9
4750	2.5054	-974.5	2007.8	2011.4
5000	2.6090	-1061.1	2113.2	2135.6
5250	2.8403	-1150.2	2232.2	2231.8



ตารางที่ ค.5 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 S1				
น้ำหนักบรรจุ (กก)	ค่าความแน่นตัว (มม)	ความเครียดใน คอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
5500	3.0049	-1240.1	2322.4	2374.4
5750	3.7178	-1369.8	2380.1	2693.2
6000	5.3415	-1960.2	-	3409.9

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.6 คาน PP2 R1

		คานตัวอย่าง : PP2 R1			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๑}
	0	0	0	0	0
1	300	0.09	-34.1	16.4	11.3
	600	0.18	-64.3	31.7	37.5
	900	0.24	-83.9	57.1	60.2
	1200	0.34	-126.3	80.2	82.4
	1500	0.41	-159.7	102.3	107.9
	1800	0.49	-194.4	131.1	135.2
	2100	0.61	-233.5	152.2	162.8
	2400	0.64	-290.1	171.3	187.4
	2800	0.73	-323.2	211.4	220.6
	1,000	1100	0.35	-132.5	70.5
1500		0.43	-175.4	100.8	97.6
1800		0.48	-205.8	159.2	129.4
2100		0.55	-239.9	164.8	167.1
2400		0.64	-281.4	178.4	185.6
3,000	2800	0.71	-312.0	203.6	217.0
	1100	0.39	-155.1	81.0	68.4
	1500	0.44	-185.3	114.1	106.7
	1800	0.51	-214.6	164.3	132.8
	2400	0.66	-284.1	179.8	188.5

ตารางที่ ค.6 (ต่อ)

		ตามตัวอย่าง : PP2 R1			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
5,000	2800	0.74	-323.7	220.6	226.4
	1100	0.4	-158.0	78.1	72.2
	1500	0.46	-179.1	109.8	105.5
	1800	0.51	-212.1	158.4	130.4
	2100	0.58	-245.8	171.0	178.0
	2400	0.64	-278.9	178.3	186.7
	2800	0.74	-322.0	220.4	224.3
10,000	1100	0.42	-170.3	90.4	89.1
	1500	0.45	-185.8	118.3	111.6
	1800	0.51	-215.5	152.3	134.4
	2100	0.58	-249.4	177.6	175.3
	2400	0.65	-282.2	192.0	198.4
	2800	0.74	-325.6	227.9	231.4
50,000	1100	0.38	-146.3	71.2	86.9
	1500	0.45	-186.3	117.3	112.4
	1800	0.53	-220.0	148.1	146.8
	2100	0.59	-252.5	179.6	184.3
	2400	0.69	-283.9	196.8	200.4
	2800	0.76	-324.8	227.4	238.1

ตารางที่ ค.6 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R1					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-3}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-3}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-3}$
100,000	1100	0.39	-152.0	74.6	87.1
	1500	0.46	-192.4	121.0	118.6
	1800	0.55	-225.0	150.8	148.8
	2100	0.63	-257.6	179.7	183.3
	2400	0.7	-287.9	204.1	200.7
	2800	0.77	-329.9	232.4	239.8
150,000	1100	0.4	-158.6	74.6	90.6
	1500	0.48	-197.8	123.8	121.3
	1800	0.55	-231.0	154.4	152.4
	2100	0.62	-261.8	181.0	189.0
	2400	0.69	-292.6	206.3	210.5
	2800	0.78	-332.9	232.3	243.2
200,000	1100	0.39	-162.7	76.3	91.1
	1500	0.47	-201.9	126.7	127.7
	1800	0.54	-235.3	155.6	153.2
	2100	0.61	-266.1	183.2	190.4
	2400	0.71	-299.3	206.8	211.5
	2800	0.78	-339.2	234.3	247.6
	1100	0.39	-189.4	77.4	92.3

ตารางที่ ค.6 (ต่อ)

		คานตัวอย่าง : PP2 R1			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
400,000	1500	0.47	-228.9	127.6	129.3
	1800	0.54	-263.3	156.8	159.1
	2100	0.61	-294.8	183.2	203.0
	2400	0.68	-325.3	203.4	235.4
	2800	0.77	-365.6	234.0	258.9
600,000	1100	0.4	-161.8	78.4	90.8
	1500	0.47	-203.7	126.8	128.1
	1800	0.54	-237.0	158.3	152.0
	2100	0.61	-269.6	184.6	196.8
	2400	0.68	-300.6	207.3	216.4
	2800	0.8	-340.4	238.2	247.9
800,000	1100	0.4	-175.8	80.6	91.7
	1500	0.5	-218.7	131.4	128.4
	1800	0.55	-252.2	162.3	157.6
	2100	0.62	-284.8	189.3	198.7
	2400	0.69	-316.1	211.1	221.9
	2800	0.79	-357.1	240.3	252.8
	1500	0.48	-230.4	124.3	131.3

ตารางที่ ค.6 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R1					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-3}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-3}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-3}$
1,000,000	1800	0.56	-263.9	168.4	161.8
	2100	0.63	-296.8	191.3	206.8
	2400	0.7	-328.2	218.6	237.1
	2800	0.8	-368.5	245.0	259.7
1,200,000	1100	0.42	-214.5	70.8	95.1
	1500	0.5	-253.3	128.4	140.8
	1800	0.57	-287.9	171.6	196.8
	2100	0.64	-318.3	201.2	219.5
1,400,000	2400	0.71	-350.5	219.9	245.8
	2800	0.81	-390.7	247.4	268.4
	1100	0.42	-234.8	112.3	98.4
	1500	0.52	-274.2	172.1	176.8
1,600,000	1800	0.57	-307.1	200.8	209.4
	2100	0.64	-340.2	257.3	238.6
	2400	0.72	-372.4	289.4	266.7
	2800	0.81	-412.7	291.1	288.9
1,600,000	1100	0.41	-208.2	110.6	92.2
	1500	0.59	-283.2	172.3	175.4
	1800	0.64	-315.7	203.1	210.0

ตารางที่ ค.6 (ต่อ)

		คานตัวอย่าง : PP2 R1			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แฉ่งตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเครียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๑}
1,800,000	2100	0.74	-346.9	246.8	241.1
	2400	0.81	-386.9	290.7	267.3
	2800	0.84	-421.6	327.8	289.5
	1100	0.49	-218.7	118.2	103.2
	1500	0.57	-258.5	162.4	177.4
	1800	0.63	-288.6	194.3	213.6
	2100	0.71	-323.9	235.6	247.8
	2400	0.79	-360.3	294.3	271.4
	2800	0.84	-435.8	326.8	293.2
	0	0.17	0.2	0	0
	300	0.19	-21.2	29.2	33.4
	600	0.29	-61.6	63.4	65.3
	900	0.4	-106.8	97.2	103.8
	1100	0.49	-155.7	131.1	137.4
	1500	0.56	-193.3	192.8	178.7
	1800	0.64	-229.0	238.4	224.8
	2100	0.72	-265.4	293.1	281.6
	2400	0.82	-308.1	401.0	364.1
	2800	0.87	-330.2	512.3	444.2
	3000	1.0	-388.5	630.2	569.0

ตารางที่ ค.6 (ต่อ)

ความตัวอย่าง : PP2 R1					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรจุทุก (กก)	ค่าความ แน่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
	3500	1.32	-578.2	721.8	710.5
	4000	1.97	-800.7	868.0	854.3
	4500	2.48	-942.3	1091.5	1064.2
	5000	3.04	-1080.2	1318.4	1331.6
	5500	3.68	-1204.2	1581.3	1612.4
	6000	7.27	-2083.2	1818.4	1934.8
	6500	11.84	-2536.9	2097.1	2112.3
	7000	14.23	-2753.4	2354.8	2430.8
	7480				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.7 คาน PP2 R2

		คานตัวอย่าง : PP2 R2			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเคียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
1	0	0	0.0	0	0
	500	0.25	-37.7	31.8	24.3
	1000	0.46	-73.9	67.3	48.4
	1500	0.6	-113.7	114.0	72.9
	2000	0.76	-160.1	179.7	102.7
	2500	0.94	-223.9	300.2	135.6
	3000	1.19	-304.6	518.4	357.1
	3500	1.63	-487.5	1233.1	1213.0
	4000	2.23	-631.0	1586.7	1694.3
	1,000	2200	1.57	-355.0	572.1
2500		1.69	-396.5	680.3	695.1
3000		1.94	-473.8	887.6	942.3
3500		2.18	-548.7	1197.4	1232.4
4000		2.42	-627.4	1567.8	1605.3
3,000	2200	1.65	-364.5	574.3	605.8
	2500	1.78	-407.9	689.5	710.8
	3000	2.04	-485.4	893.6	952.3
	3500	2.29	-561.3	1203.1	1247.5
	4000	2.53	-635.7	1569.4	1617.4

ตารางที่ ค.7 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
5,000	2200	1.66	-365.4	574.1	584.3
	2500	1.81	-412.1	688.3	722.0
	3000	2.07	-487.1	894.2	943.6
	3500	2.31	-560.7	1212.4	1267.8
	4000	2.55	-637.1	1554.8	1623.5
10,000	2200	1.65	-356.0	565.1	607.8
	2500	1.81	-403.4	687.4	714.5
	3000	2.08	-482.4	892.3	956.8
	3500	2.33	-557.2	1232.5	1255.0
	4000	2.58	-633.7	1561.4	1620.6
30,000	2200	1.67	-370.0	571.8	600.3
	2500	1.82	-415.2	689.0	732.5
	3000	2.07	-488.2	907.6	943.2
	3500	2.32	-561.6	1230.7	1227.7
	4000	2.57	-636.7	1556.3	1617.2
50,000	2200	1.69	-372.7	567.1	589.4
	2500	1.84	-418.1	677.8	721.6
	3000	2.1	-491.9	901.7	938.1
	3500	2.36	-566.2	1219.5	1212.5

ตารางที่ ค.7 (ต่อ)

		คานตัวอย่าง : PP2 R2			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
100,000	4000	2.61	-640.6	1579.4	1629.3
	2200	1.73	-361.5	570.4	594.6
	2500	1.89	-407.2	687.2	729.1
	3000	2.15	-482.2	911.3	941.5
	3500	2.4	-555.4	1211.9	1223.8
	4000	2.66	-630.9	1581.3	1634.3
150,000	2200	1.74	-283.0	580.6	607.8
	2500	1.92	-329.3	688.3	731.2
	3000	1.9	-328.5	902.1	926.5
	3500	2.16	-402.3	1213.5	1233.2
	4000	2.67	-550.1	1580.4	1635.9
200,000	2200	1.58	-334.9	562.3	593.1
	2500	1.75	-382.0	656.2	728.4
	3000	2.03	-459.2	887.9	908.3
	3500	2.31	-539.3	1202.1	1221.0
	4000	2.58	-655.3	1570.2	1609.1
	2500	1.94	-379.1	659.1	731.3

ตารางที่ ค.7 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
400,000	3000	2.81	-457.5	901.8	914.7
	3500	2.47	-533.9	1211.3	1231.6
	4000	2.72	-666.9	1584.3	1639.2
	2200	1.8	-361.9	578.0	616.3
	2500	1.97	-408.2	689.4	719.6
600,000	3000	2.23	-482.8	903.5	961.2
	3500	2.49	-555.3	1241.7	1264.5
	4000	2.74	-658.1	1587.1	1643.3
	2200	1.67	-346.2	567.2	604.3
	2500	1.84	-390.5	689.4	711.4
800,000	3000	2.13	-469.2	899.6	952.8
	3500	2.4	-547.8	1235.7	1258.6
	4000	2.67	-674.3	1575.2	1631.4
	2200	1.82	-388.3	632.3	648.7
	2500	1.99	-436.2	712.4	776.4
1,000,000	3000	2.26	-510.8	909.6	983.2
	3500	2.53	-585.8	1247.1	1284.9
	4000	2.78	-655.6	1589.5	1647.2

ตารางที่ ค.7 (ต่อ)

จำนวนรอบ, N	คานตัวอย่าง : PP2 R2				
	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอนตัว (มม)	ความเคี้ยว ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๒}	ความเคี้ยวใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๒}	ความเคี้ยวใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๒}
1,200,000	2200	1.83	-389.2	635.1	652.3
	2500	1.99	-435.5	712.9	781.0
	3000	2.28	-514.7	911.2	991.7
	3500	2.55	-589.4	1255.8	1288.5
	4000	2.8	-660.9	1599.1	1656.3
1,400,000	500	0.79	-44.1	233.7	268.3
	1000	1.01	-85.6	466.5	497.8
	1500	1.2	-133.1	528.4	539.2
	2000	1.47	-197.3	786.2	765.4
	2200	1.58	-226.9	1103.2	1143.7
	2500	1.76	-272.0	1233.2	1297.8
	3000	2.06	-356.6	1317.6	1411.2
	3500	2.36	-441.6	1429.5	1534.5
1,600,000	4000	2.64	-524.6	1553.2	1621.4
	2200	1.72	-277.5	792.2	831.8
	2500	1.89	-322.8	1130.2	1182.4
	3000	2.19	-399.8	1287.9	1315.2
	3500	2.45	-470.7	1564.3	1587.6
	2200	1.83	35.0	713.9	721.1



ตารางที่ ค.7 (ต่อ)

		คานตัวอย่าง : PP2 R2			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แฉ่งตัว (มม)	ความเคี้ยว ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเคี้ยวใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๑}	ความเคี้ยวใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๑}
1,600,000	2500	2.0	-18.1	832.1	844.7
	3000	2.28	-89.9	998.7	1021.3
	3500	2.55	-162.3	1302.5	1332.8
	4000	2.81	-235.9	1603.2	1643.1
1,800,000	2200	1.85	34.0	678.4	647.8
	2500	2.01	-12.6	830.4	847.3
	3000	2.29	-90.9	981.2	1018.1
	3500	2.57	-166.2	1279.8	1308.9
	4000	2.82	-236.9	1621.8	1657.9
	0	0.57	-5.5	0	0
	500	0.82	-56.0	47.6	100.3
	1000	1.06	-100.7	150.2	154.0
	1500	1.25	-152.4	282.7	258.6
	2000	1.52	-217.5	438.3	381.4
	2500	1.82	-295.7	542.0	502.3
	3000	2.12	-378.8	776.4	721.1
	3500	2.41	-462.3	991.8	962.0
	4000	2.69	-543.8	1232.0	1189.4
	4500	2.97	-630.3	1504.1	1517.2
	5000	3.26	-721.2	1773.7	1799.8

ตารางที่ ค.7 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R2					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
	5500	3.65	-817.6	8009.5	2101.5
	6000	4.72	-950.0	2391.4	2446.7
	6480				

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ค.8 คาน PP2 R3

		คานตัวอย่าง : PP2 R3			
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเคียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเคียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
1	0	0	-1.4	-0.6	0
	500	0.16	-43.9	28.2	29.8
	1000	0.31	-88.7	64.5	70.2
	1500	0.44	-134.5	104.2	120.6
	2000	0.58	-184.1	150.0	185.6
	2500	0.74	-240.6	206.2	278.7
	3000	1.0	-335.4	301.0	560.5
	3500	1.45	-526.4	836.7	1034.7
	4000	1.97	-661.4	1318.4	1504.9
	4500	2.54	-769.3	1735.0	1937.6
2	5000	3.15	-860.9	2069.5	2301.8
	4500	2.96	-807	1949.4	2096.1
	4000	2.73	-740.3	1829.2	1917.5
	3500	2.48	-669.1	1664.3	1793.8
3	3300	2.37	-640.0	1587.1	1615.4
	4000	2.69	-734.5	1751.5	1883.2
	4500	2.93	-804.7	1900.9	2046.1
	5000	3.19	-872.5	2058.1	2300.4
	3300	2.45	-651.0	1588.5	1610.3

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
1000	3500	2.55	-677.5	1640.1	1784.6
	4000	2.82	-750.9	1824.4	1911.2
	4500	3.08	-818.5	1996.1	2094.5
	5000	3.33	-885.8	2147.0	2384.5
3000	3300	2.55	-669.9	1663.9	1627.8
	3500	2.65	-700.0	1722.2	1834.3
	4000	2.92	-772.0	1902.4	1993.4
	4500	3.2	-844.0	2087.2	2168.9
	5000	3.44	-911.2	2238.2	2456.0
5000	3300	2.61	-680.6	1690.3	1662.4
	3500	2.72	-712.8	1752.0	1872.3
	4000	3.0	-789.0	1944.9	2030.2
	4500	3.28	-859.0	2132.1	2231.5
	5000	3.53	-925.0	2286.1	2504.1
10,000	3300	2.65	-691.1	1705.3	1668.9
	3500	2.75	-720.8	1761.8	1884.3
	4000	3.03	-793.9	2023.7	2047.3
	4500	3.31	-865.6	2139.7	2357.8
	5000	3.58	-933.6	2298.7	2518.9

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดยึดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
30,000	3300	2.66	-699.1	1673.6	1668.0
	3500	2.78	-732.8	1771.2	1881.3
	4000	3.06	-805.8	1953.1	2051.0
	4500	3.34	-875.9	2135.3	2354.4
	5000	3.6	-944.7	2296.7	2518.6
50,000	3300	2.72	-714.0	1704.4	1746.8
	3500	2.82	-743.0	1765.8	1920.3
	4000	3.1	-814.6	1954.2	2109.6
	4500	3.38	-886.2	2149.3	2395.7
	5000	3.65	-954.7	2303.7	2521.3
100,000	3300	2.72	-725.5	1702.3	1747.4
	3500	2.82	-752.7	1762.7	1921.1
	4000	3.11	-827.6	1962.8	2107.4
	4500	3.39	-897.2	2145.2	2388.2
	5000	3.66	-965.2	2306.2	2523.6
150,000	3300	2.68	-727.1	1640.1	1744.4
	3500	2.8	-759.9	1732.3	1912.3
	4000	3.11	-835.8	1941.3	2089.7
	4500	3.39	-905.8	2125.7	2356.1

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ⁻⁶	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ⁻⁶
200,000	5000	3.66	-972.7	2285.1	2522.7
	3300	2.75	-742.7	1684.8	1748.6
	3500	3.39	-769.2	1746.6	1921.3
	4000	3.14	-843.0	1949.2	2101.3
	4500	3.43	-914.6	2145.2	2378.4
	5000	3.69	-981.9	2303.0	2521.6
400,000	3300	2.73	-734.0	1658.3	1756.8
	3500	2.86	-764.2	1746.6	1929.2
	4000	3.15	-838.9	1951.4	2112.7
	4500	3.44	-910.2	2144.2	2377.4
	5000	3.71	-979.0	2302.9	2525.4
	3300	2.75	-720.9	1693.2	1751.1
600,000	3500	2.88	-752.9	1779.0	1922.0
	4000	3.18	-828.2	1986.1	2109.8
	4500	3.46	-898.1	2170.9	2368.2
	5000	3.73	-965.8	2331.2	2527.3
	3300	2.8	-738.6	1690.2	1753.0
	3500	2.91	-769.4	1768.4	1927.4

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แฉ่งตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
800,000	4000	3.21	-842.0	1968.0	2111.1
	4500	3.5	-914.1	2159.0	2374.5
	5000	3.76	-981.2	2319.1	2526.9
1,000,000	3300	2.75	-750.9	1648.7	1747.2
	3500	2.88	-782.3	1742.5	1909.8
	4000	3.18	-857.2	1948.4	2084.3
1,200,000	4500	3.47	-929.6	2142.0	2347.8
	5000	3.74	-996.6	2298.1	2518.4
	3300	2.8	-752.5	1681.4	1757.6
1,400,000	3500	2.92	-786.0	1773.0	1911.4
	4000	3.22	-860.6	1977.2	2108.5
	4500	3.51	-932.9	2167.9	2369.9
1,400,000	5000	3.78	-1000.7	2323.8	2527.4
	3300	2.77	-711.7	1661.7	1755.1
	3500	2.84	-744.0	1759.7	1913.4
1,400,000	4000	3.2	-818.3	1958.6	2109.5
	4500	3.49	-892.3	2151.8	2366.8
	5000	3.77	-960.9	2318.7	2525.5

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) $\times 10^{-6}$	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) $\times 10^{-6}$
1,600,000	3300	2.77	-733.1	1678.6	1757.1
	3500	2.9	-764.0	1768.8	1914.3
	4000	3.22	-843.1	1986.8	2112.2
	4500	3.5	-914.0	2173.4	2371.4
	5000	3.78	-982.9	2338.0	2527.9
1,800,000	3300	2.85	-755.0	1713.0	1759.8
	3500	2.96	-784.7	1785.4	1920.6
	4000	3.25	-858.5	1990.7	2117.4
	4500	3.55	-931.1	2182.9	2378.6
	5000	3.81	-996.9	2337.9	2529.0
2,000,000	3300	2.82	-767.6	1669.7	1760.4
	3500	2.95	-799.3	1770.1	1919.8
	4000	3.24	-874.6	1969.9	2118.6
	4500	3.54	-947.0	2163.0	2379.1
	5000	3.81	-1013.8	2317.6	2528.4
	4500	3.55	-950.3	2200.7	2396.3
	4000	3.28	-881.8	2009.0	2081.0
	3500	2.97	-803.3	1788.9	1907.6
	3300	2.84	-771.7	1693.2	1751.4
	0	0.71	-176.2	430.1	297.2

ตารางที่ ค.8 (ต่อ)

คานตัวอย่าง : PP2 R3					
จำนวนรอบ, N	น้ำหนัก บรรทุก (กก)	ค่าความ แอ่นตัว (มม)	ความเครียด ในคอนกรีต (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเครียดใน เหล็กเสริม (มม/มม) x 10 ^{-๓}	ความเครียดใน ลวดอัดแรง (มม/มม) x 10 ^{-๓}
	0	0.62	-000.4	0.7	0
	500	0.78	-48.9	46.8	60.5
	1000	0.95	-102.4	100.3	140.1
	1500	1.14	-164.9	179.3	251.6
	2000	1.42	-247.0	327.2	346.3
	2500	1.77	-336.6	552.4	423.3
	3000	2.1	-419.8	762.7	612.3
	3300	2.3	-469.7	896.3	757.7
	3500	2.43	-503.2	981.4	834.6
	4000	2.83	-606.0	1282.7	1108.2
	4500	3.27	-715.4	1602.5	1550.7
	5000	3.67	-820.5	1883.5	1804.6
	5500	3.94	-890.5	2013.4	2011.0
	6000	4.37	-995.3	2306.2	2311.3
	6500	8.34	-1635.8	2813.3	2987.2
	7000	18.6	-2719.4	2880.9	-



ประวัติผู้เขียน

นาย นันทชัย มณฑาดีเกิด เกิดวันอังคารที่ 12 กันยายน พ.ศ.2504 สำเร็จการศึกษาได้รับปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ เมื่อปีการศึกษา 2526 และได้เข้าศึกษาต่อที่ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต ณ บัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ในปีการศึกษา 2527



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย