เอกสารอ้างอิง

1. การเคหะแห่งชาติ ประเทศไทย. การเปรียบเทียบระบบพื้น SEACON, FS - 01 และ FS - 02. กรุงเทพมหานคร ประเทศไทย, 2520.

2. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศ. มาตรฐานสำหรับอาคารคอนกรีตเสริมเหล็ก. มาตรฐาน ว.ส.ท. 1001 - 16 มิถุนายน 2517, กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์รวมมิตรไทย, 2517.

3. กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ. การประมาณราคาในงานก่อสร้าง. พิมพ์ครั้งที่ 10 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์คุรุสภา ลาดพร้าว, 2523.

4. ต่อตระกูล ยมนาค, พิบูลย์ จินาวัฒน์, เรืองศักดิ์ กันตบุตร, พิชัย แท่นชวาล และ อรุณ ชัยเสรี. "ระบบพื้นสำเร็จรูป" ในเสาเข็มและระบบพื้นสำเร็จรูป, หน้า 1 - 65 ชมรมวิศวกรรมโยธา แผนกวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย, 2521.

5. วินิต ช่อวิเชียร. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 2 กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์ ป.สัมพันธ์พาณิชย์, 2521.

6. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. ศัพท์วิทยาการวิศวกรรมโยธา. กรุงเทพมหานคร : โรงพิมพ์สหมิตรการพิมพ์, 2517.

7. Abeles P.W. Introduction to Prestressed Concrete Volume 2. First Published, Concrete Publications Limited, London, 1966, pp. 471.

8. Ableles P.W. Introduction to Prestressed Concrete Volume 1. First Published, Concrete Publications Limited, London, 1966, pp. 293.

9. Abeles P.W., Bardhan - Roy B.R. and Turner F.H. Prestressed Concrete Designer's Handbook. Second Edition, A Viewpoint Publication, 1976, pp. 272.

10. Stephen Revesz "Behavior of Composite T - Beams with Prestressed and Unprestressed Reinforcement" Journal of the American concrete Institure, Proceedings V.49, No 12, Dec. 1953, pp. 585 - 592.

11. Evans R.H. and Parker A.S. "Behavior of Prestressed Concrete Composite Beams" Journal of the American Concrete Institute, Proceedings V. 51, No 5, May 1955, pp. 861 - 878.

12. Hanson N.W. "Precast - Prestressed Concrete Bridges. 2 - Horizontal Shear Connections" Journal of the PCA Research and Development Laboratories, V. 2, No 2, May 1960, pp. 38 - 58, PCA Development Bulletin D. 35.

13. Saemann J.C. and Washa G.W. "Horizontal Shear connections Between Precast Beam and Cast - In - Place Slabs" Journal of the American Concrete Institute, Proceedings V. 61, No 11, Nov. 1964, pp. 1383 - 1410.

14. Badoux J.C. and Hulsbos C.L. "Horizontal Shear Connection in Composite Concrete Beams Under Repeated loads" Journal of the American Concrete Institute, Proceedings V. 64, No 12, Dec. 1967, pp. 881 - 819.

15. Chung H.W. and Chung T.Y. "Prestressed Concrete Composite Beams Under Repeated loading" Journal of the American Concrete Institute, Proceedings V. 73, No 5, May 1976, pp. 291 - 295.

16. Magura D.D., Sozen M.A. and Siess C.P. " A Study of Stress Relaxation in Prestressing Reinforcement" Journal of Prestressed Concrete Institute, Vol. 9, No 2, April 1964, pp. 13 - 57.

17. Neville A.M. and Meyers B.L. "Creep of Concrete : Influencing Factors and Prediction" ACI Special Publication No 9, 1964, pp. 1 - 33.

18. Branson D.E. and Kripanarayanan K.M. "Loss of Prestress, Camber and Deflection of Non - Composite and Composite Prestressed Concrete Structure" Journal of Prestressed Concrete Institute, Vol. 16, No 5, September 1971, pp. 22 - 52.

19. Branson D.E. Deformation of Concrete Structure. McGraw - Hill, New York, 1977, 546 pp.

20. "Prediction of Creep, Shrinkage and Temperature Effects in Concrete Structure" Report by ACI Committee 209, Designing for Effects of Creep, Shrinkage, Temperature in Concrete Structure, ACI Special Publication SP - 27, 1971, pp. 51 - 93.

21. Troxell G.E., Raphael J.M. and Davis R.W. "Long Time Creep and Shrinkage Test of Plain and Reinforced Concrete" ASTM Proceedings, V. 58, 1958, pp. 1 - 20.

22. Lin, T.Y. and Burns, N.H. Design of Prestressed Concrete Structures. Third Edition, John Wiley & Sons, New York, 1981.

23. Warwaruk, J., Sozen, M.A. and Seiss, C.P. "Strength and Behaviour in Presstressed Concrete Beams" Engineering Experiment Station Bulletin, No 464, Illinois : Department of Civil Engineering, The University of Illinois, 1962.

24. Burns, N. "Moment - Curvature Relationships for Partially Prestressed Concrete Beams" Journal of Prestressed Concrete Institute, Vol. 9, No 1, February 1964, pp 52 - 63.

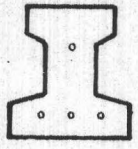
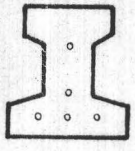
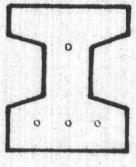
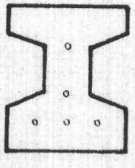
25. MacGregor, J.G., Sozen, M.A. and Siess, C.P. "Strength of Concrete Beams with Web Reinforcement" Journal of the American Concrete Institute, Vol. 62, No 12, December 1965, pp. 1503 - 1519.

26. ACI Committee 318 Building Code Requirements for Reinforced Concrete (ACI 318 - 77). Detroit : American Concrete Institute, 1977.

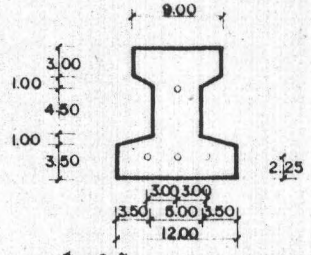
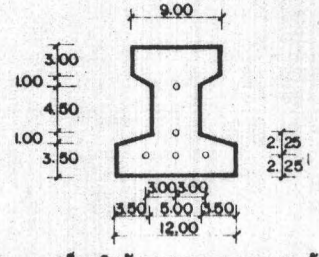
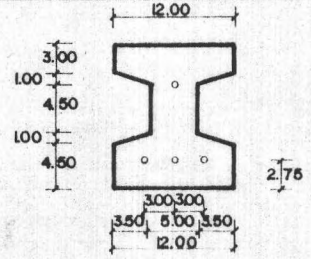
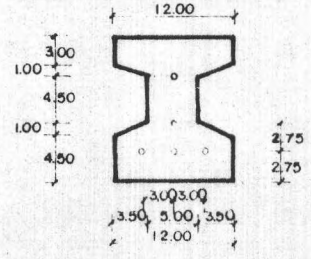
27. Libby, J.R. Modern Prestressed Concrete. Second Edition, Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1977.

28. Khachaturian, N. and Gurfinkel, G. Prestressed Concrete. First Edition, McGraw - Hill Book Company, New York, 1969.

ตารางที่ 3.1 แสดงรายละเอียดของการทดลองคานคอนกรีตอัดแรง

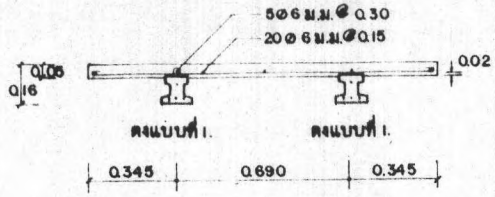
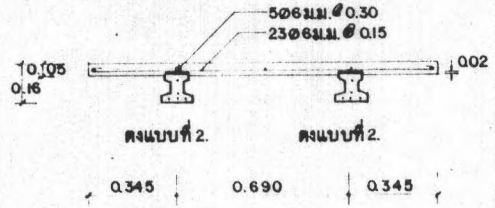
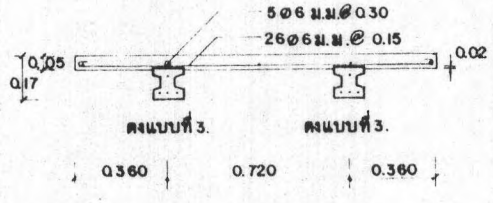
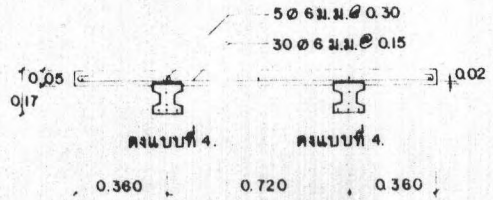
ชื่อคาน	ชนิดและรูปตัดขวางของคาน	ความยาวทั้งหมดของคาน (ม.)	ความยาวประสิทธิผลของคาน (ม.)	ความลึกประสิทธิผลของคาน (ซ.ม.)	อัตราส่วนช่วงความยาวประสิทธิผลต่อความลึกทั้งหมด (–)	ลักษณะการวางบนจุดรองรับและวิธีการให้น้ำหนักบรรทุก
J_1	 คานแบบที่ 1.	3.50	3.30	9.07	25.39	คานช่วงเดียวอธรรมดา บรรทุกน้ำหนักแบบ บรรทุกน้ำหนักที่จุดแบ่งสาม.
J_2	 คานแบบที่ 2.	4.00	3.80	8.95	29.23	คานช่วงเดียวอธรรมดา บรรทุกน้ำหนักแบบ บรรทุกน้ำหนักที่จุดแบ่งสาม.
J_3	 คานแบบที่ 3.	4.60	4.30	9.44	30.71	คานช่วงเดียวอธรรมดา บรรทุกน้ำหนักแบบ บรรทุกน้ำหนักที่จุดแบ่งสาม.
J_4	 คานแบบที่ 4.	5.00	4.80	9.25	34.29	คานช่วงเดียวอธรรมดา บรรทุกน้ำหนักแบบ บรรทุกน้ำหนักที่จุดแบ่งสาม.

ตารางที่ 3.2 แสดงรายละเอียดของคงอัดแรงแต่ละแบบ

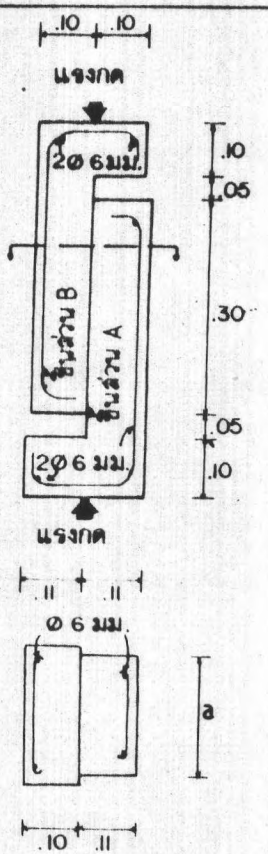
ชื่อ	รายละเอียดของรูปตัดขวางของคง	เนื้อที่ของเหล็กเสริมแรงดึงรวม (ซ.ม.^{2})	พื้นที่หน้าตัดของคง (ซ.ม.^{2})	ระยะเยื้องศูนย์ของเหล็กเสริมอัดแรง (ซ.ม.)	ระยะจากแกนสะเทินถึงขอบด้านนอกสุดของหน้าตัด (ซ.ม.)	เปอร์เซ็นของเหล็กเสริมอัดแรง (%)	โมเมนต์อินเนอร์เชียของหน้าตัด (ซ.ม.^{4})	เปอร์เซ็นต์ของการอัดแรง (%)	น้ำหนักของคงต่อความยาวหนึ่งเมตร (กก./เมตร)
คงแบบที่ 1.	 เหล็กเสริมอัดแรงขนาด ø 4 มม. (4 เส้น)	0.503	107.00	2.01	7.06	0.616	1816.83	0.70 *	25.68
คงแบบที่ 2.	 เหล็กเสริมอัดแรงขนาด ø 4มม. (5 เส้น)	0.628	107.00	1.89	7.06	0.780	1816.83	0.70 *	25.68
คงแบบที่ 3.	 เหล็กเสริมอัดแรงขนาด ø5มม. (4 เส้น)	0.785	129.50	2.22	7.22	0.693	2618.85	0.70 *	31.08
คงแบบที่ 4.	 เหล็กเสริมอัดแรงขนาด ø 5 มม. (5 เส้น)	0.980	129.50	2.03	7.22	0.885	2681.85	0.70 *	31.08

หมายเหตุ *.70 ของค่าหน่วยแรงดึง 17,500 ก.ก./ซ.ม.^{2} เท่ากับ 12,250 ก.ก./ซ.ม.^{2}

ตารางที่ 3.3 แสดงรายละเอียดของการทดลองแผ่นพื้น – คาน

ชื่อ แผ่นพื้น – คาน	รายละเอียดรูปตัดขวางของแผ่นพื้น – คาน	ความยาวทั้งหมด ของแผ่นพื้น – คาน (ม.)	ความยาวประสิทธิผล ของแผ่นพื้น – คาน (ม.)	ความลึกประสิทธิผล ของแผ่นพื้น – คาน (ซ.ม.)	อัตราส่วนช่วงความยาว ประสิทธิผลต่อความลึก ทั้งหมด (–)	ลักษณะการวางบนจุดรองรับและ วิธีการให้น้ำหนักบรรทุก
S1.		3.00	2.80	12.07	17.50	คานช่วงเดียวอธรมดา บรรทุกน้ำหนัก แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ
S2.		3.50	3.30	11.95	20.63	คานช่วงเดียวอธรมดา บรรทุกน้ำหนัก แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ
S3.		4.00	3.80	12.44	22.35	คานช่วงเดียวอธรมดา บรรทุกน้ำหนัก แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ
S4.		4.50	4.30	12.25	25.29	คานช่วงเดียวอธรมดา บรรทุกน้ำหนัก แผ่กระจายอย่างสม่ำเสมอ

ตารางที่ 3.4 แสดงรายละเอียดของชิ้นตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสระหว่างคอนกรีตเดิมกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่

ลำดับที่	รายละเอียดและวิธีการทดสอบ			ลักษณะของผิวสัมผัสระหว่างชิ้นส่วน A กับชิ้นส่วน B	อัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน	
		ค่า a (ในชิ้นส่วน A) (ซม.)	ค่า b (ในชิ้นส่วน B) (ซม.)		ในชิ้นส่วน A	ในชิ้นส่วน B
1		9	11	เรียบ*	1 : 1.65 : 2.35 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ .40	1 : 2 : 4 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ .55
2		9	11	เรียบ*		
3		12	14.5	เรียบ*		
4		12	14.5	เรียบ*		
5		9	11	หยาบ$^{\psi}$		
6		9	11	หยาบ$^{\psi}$		
7		12	14.5	หยาบ$^{\psi}$		
8		12	14.5	หยาบ$^{\psi}$		

*ผิวสัมผัสเรียบ หมายถึง ผิวสัมผัสด้านชิ้นส่วน A ถูกปาดให้เรียบก่อนหล่อชิ้นส่วน B ทับ ซึ่งจะมีลักษณะของผิว ดังแสดงในรูปที่ 3.5

$^{\psi}$ผิวสัมผัสหยาบ หมายถึง ผิวสัมผัสด้านชิ้นส่วน A ถูกขีดเป็นร่องกว้างประมาณ .1 ซม. ลึกประมาณ .16 ซม. ($\frac{1}{16}$") ขวางตลอดความกว้างของชิ้นส่วนเป็นระยะ ๆ ห่างกันประมาณ 2.5 ซม. ก่อนหล่อชิ้นส่วน B ทับ ซึ่งจะมีลักษณะของผิวดังแสดงในรูปที่ 3.6

ตารางที่ 3.5 แสดงอัตราส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้หล่อตงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่

ส่วนขององค์อาคาร	อัตราส่วนผสมคอนกรีต ซีเมนต์ : ทราย : หิน	อัตราส่วนผสมใน 1 ลบ.ม.			
		ซีเมนต์	ทราย	หิน	น้ำ
ตง	1 : 1.65 : 2.36 โดยน้ำหนัก อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ .40	440 กก.	724 กก.	1,038 กก.	176 กก.
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริม-เหล็กหล่อกับที่	1 : 2 : 4 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ .55	271 กก.	680 กก.	1,318 กก.	149 กก.

ตารางที่ 4.1 แสดงข้อมูลผลการทดสอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกซึ่งหล่อพร้อมตงที่ใช้ในการทดสอบตง

ชื่อตง	ค่าเฉลี่ยกำลังอัดประลัยของแท่งคอนกรีต ($กก/ซม^2$)		ค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่นของแท่งคอนกรีต ($กก/ซม^2$)	
	ขณะถ่ายแรงอัด	ขณะทดสอบ	ขณะถ่ายแรงอัด	ขณะทดสอบ
J_1	291.20 (2)	421.10 (28)	2.61×10^5	3.29×10^5
J_2	282.90 (2)	435.45 (31)	2.56×10^5	3.37×10^5
J_3	291.20 (2)	421.10 (28)	2.61×10^5	3.29×10^5
J_4	282.90 (2)	435.45 (31)	2.56×10^5	3.37×10^5

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงอายุของคอนกรีตเป็นวัน

ตารางที่ 4.2 แสดงค่าการเสื่อมสูญของแรงอัด และระยะการแอ่นตัวขึ้นที่จุดกึ่งกลางช่วงของคานที่ทดสอบ

คาน	แรงอัดเริ่มแรก (กก)	แรงอัดขณะคอนกรีตอายุ 28 วัน (กก)	การเสื่อมสูญแรงอัดที่ 28 วัน (%)			ระยะการแอ่นตัวขึ้นขณะเมื่อถ่ายแรงเสร็จ (มม)			ระยะการแอ่นตัวขึ้นขณะคอนกรีตมีอายุ 28 วัน (มม)
			ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	
J_1	6161.75	5478.54	11.09	12.32	.90	2.72	2.68	1.02	3.0
J_2	7693.00	6706.76	12.82	13.93	.92	3.32	3.95	.84	4.0
J_3	9616.25	8296.90	13.72	14.24	.96	4.53	4.90	.92	5.5
J_4	12029.50	10329.73	14.13	15.88	.89	5.70	6.65	.86	7.5

ตารางที่ 4.3 แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวเริ่มแรกและที่จุดประลัยของคาน

คาน	จุดแตกร้าวเริ่มแรก						จุดประลัย								ระยะการแอ่นตัว
	น้ำหนักบรรทุก (กก)			ระยะการแอ่นตัว (มม)			น้ำหนักบรรทุก (กก)					ระยะการแอ่นตัว (มม)			ที่จุดประลัย (ทดสอบ) / ที่จุดแตกร้าวเริ่มแรก (ทดสอบ)
	ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	ทดสอบ	วิธี Strain Compa--tibi--lity	วิธี ACI	ทดสอบ / วิธี Strain Com.	ทดสอบ / วิธี ACI	ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	
J_1	363	320.72	1.13	5.82	6.84	.85	694	582.40	535.31	1.11	1.21	61.40	45.10	1.36	10.50
J_2	345	311.74	1.11	8.71	9.79	.89	626	582.99	532.43	1.07	1.18	69.40	63.70	1.09	7.97
J_3	383	357.07	1.07	8.43	11.53	.73	694	699.82	632.25	.99	1.10	93.60	84.80	1.10	11.10
J_4	407	359.74	1.13	12.10	16.00	.76	737	704.56	660.21	1.05	1.12	89.90	99.00	.90	7.43

สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ 4.4 แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดน้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน (Service live load) ของคาน

คาน	น้ำหนักบรรทุกจร (กก)															
	ที่หน่วยแรงอัดยอมให้ของคอนกรีต			ที่หน่วยแรงดึงยอมให้ของคอนกรีต			ที่ระยะการแอ่นตัว $\frac{L}{360}$			ที่จุดใช้งานจาก ACI 1.4 DL + 1.7 LL			ที่จุดใช้งานจาก วสท. 1.7 DL + 2.0 LL		
	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$
J_1	405	345.90	1.17	337	297.97	1.13	423	360	1.17	334.24	276.43	1.22	281.79	230.63	1.22
J_2	345	313.41	1.10	324	291.60	1.11	360	325	1.11	320.65	271.11	1.18	267.06	224.96	1.19
J_3	420	383.89	1.09	355	334.99	1.06	424	360	1.18	352.67	319.98	1.10	292.25	264.47	1.11
J_4	435	339.63	1.28	277	339.62	1.11	403	307	1.31	373.72	333.72	1.12	309.27	274.72	1.13

ตารางที่ 4.5 แสดงข้อมูลผลการทดลอบแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอกซึ่งหล่อพร้อมตงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ ที่ใช้ในการทดลอบแผ่นพื้น-ตง

ชื่อแผ่นพื้น-ตง	ค่าเฉลี่ยกำลังประลัยของแท่งคอนกรีต (กก./ซม.^{2})		ค่าเฉลี่ยโมดูลัสยืดหยุ่นของแท่งคอนกรีต (กก./ซม^2)	
	ขณะถ่ายแรงอัด	ขณะทดลอบ	ขณะถ่ายแรงอัด	ขณะทดลอบ
S1				
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่	—	218.86 (15)	—	2.23×10^5
ตง	282.10 (2)	412.11 (36)	2.59×10^5	3.09×10^5
S2				
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่	—	223.28 (18)	—	2.23×10^5
ตง	292.50 (2)	420.85 (39)	2.55×10^5	3.07×10^5
S3				
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่	—	223.92 (17)	—	2.28×10^5
ตง	282.10 (2)	410.25 (43)	2.59×10^5	3.22×10^5
S4				
แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่	—	255.11 (23)	—	2.38×10^5
ตง	292.50 (2)	428.90 (46)	2.55×10^5	3.15×10^5

หมายเหตุ ตัวเลขในวงเล็บแสดงอายุของคอนกรีตเป็นวัน

ตารางที่ 4.6 แสดงคุณสมบัติและระยะการแอ่นตัวขึ้นที่จุดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น-ตงที่ทดสอบ

ชื่อแผ่นพื้น-ตง	ความกว้างของปีก b (ซม)	ความลึกประสิทธิผล d (ซม)	เปอร์เซนต์ของเหล็กเสริมอัดแรง ∂_{ps} (%)	เปอร์เซนต์ของการอัดแรงเริ่มแรก f_{si} (%)	หน่วยแรงอัดเฉลี่ยในเหล็กเสริม ขณะเมื่อเริ่มจะทดสอบ (กก/ซม^2)	ระยะการแอ่นตัวขึ้น-ของแผ่นพื้น-ตง ขณะเมื่อเริ่มจะทดสอบ (มม)
S_1	69	12.07	.060	.70*	10715	1.5
S_2	69	11.95	.076	.70*	10495	1.5
S_3	72	12.44	.088	.70*	10496	2.0
S_4	72	12.25	.111	.70*	10237	1.5

หมายเหตุ * .70 ของค่าหน่วยแรงดึง 17,500 กก/ซม^2 เท่ากับ 12,250 กก/ซม^2

ตารางที่ 4.7 แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดแตกร้าวเริ่มแรกและที่จุดประลัยของแผ่นพื้น-คาน

แผ่นพื้น-คาน	จุดแตกร้าวเริ่มแรก						จุดประลัย								ระยะการแอ่นตัว
	น้ำหนักบรรทุก (กก/ม^2)			ระยะการแอ่นตัว (มม)			น้ำหนักบรรทุก (กก/ม^2)					ระยะการแอ่นตัว (มม)			ที่จุดประลัย (ทดสอบ / ที่จุดแตกร้าวเริ่มแรก (ทดสอบ))
	ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	ทดสอบ	วิธี Strain Compa-tibi-lity	วิธี ACI	ทดสอบ / วิธี Strain Com.	ทดสอบ / วิธี ACI	ทดสอบ	ทฤษฎี	ทดสอบ / ทฤษฎี	
S_1	773	802.94	.96	2.50	2.16	1.16	1510	1536.79	1405.79	.98	1.07	26.00	22.10	1.18	10.40
S_2	623	605.35	1.03	3.01	3.10	.97	1386	1341.26	1213.81	1.03	1.14	47.80	42.80	1.12	15.88
S_3	582	523.69	1.11	3.25	3.95	.82	1292	1265.54	1116.32	1.02	1.16	63.50	64.93	.98	19.54
S_4	446	424.47	1.05	4.50	5.30	.85	1069	1202.08	1057.09	.89	1.01	87.00	103.10	.84	19.33

ตารางที่ 4.8 แสดงผลการทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกที่จุดน้ำหนักบรรทุกจรใช้งาน (Service live load) ของแผ่นพื้น-ตง

แผ่นพื้น-ตง	น้ำหนักบรรทุกจร (กก/ม^2)														
	ที่หน่วยแรงอัดยอมให้ของคอนกรีต			ที่หน่วยแรงดึงยอมให้ของคอนกรีต			ที่ระยะการแอ่นตัว $\frac{L}{360}$			ที่จุดใช้งานจาก ACI 1.4 DL + 1.7 LL			ที่จุดใช้งานจาก วสท. 1.7 DL + 2.0 LL		
	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$	ทดสอบ	ทฤษฎี	$\frac{\text{ทดสอบ}}{\text{ทฤษฎี}}$
S_1	1179	1173.91	1.00	700	729.63	.96	1126	1154.59	.97	754.76	699.65	1.08	618.77	571.93	1.08
S_2	990	951.69	1.04	569	547.20	1.04	874	845.41	1.03	689.11	597.95	1.15	562.97	485.48	1.16
S_3	905	868.06	1.04	526	474.37	1.11	825	746.53	1.11	638.12	545.11	1.17	519.00	439.94	1.18
S_4	760	861.11	.88	406	389.50	1.04	642	614.58	1.05	520.06	513.75	1.01	418.65	413.29	1.01

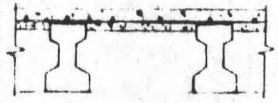
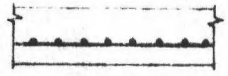
ตารางที่ 4.9 แสดงค่าความต้านทานโมเมนต์ดัดที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากหน้าตัดเชิงประกอบของแผ่นพื้น-ตงที่ทดสอบ

ลำดับที่	(ชื่อตง, แผ่นพื้น-ตง)	ค่าความต้านทานโมเมนต์ดัด (กก - ม)								
		จุดแตกร้าวเริ่มแรก			จุดที่ใช้งาน			จุดประลัย		
		ตง	แผ่นพื้น-ตง	% ที่เพิ่มขึ้นของโมเมนต์ดัด	ตง	แผ่นพื้น-ตง	% ที่เพิ่มขึ้นของโมเมนต์ดัด	ตง	แผ่นพื้น-ตง	% ที่เพิ่มขึ้นของโมเมนต์ดัด
1	(ตง J_1, แผ่นพื้น-ตง S_1)	428	626	46	327	521	59	749	1124	50
2	(ตง J_2, แผ่นพื้น-ตง S_2)	468	728	56	363	672	85	839	1445	72
3	(ตง J_3, แผ่นพื้น-ตง S_3)	621	959	54	459	878	91	1067	1882	76
4	(ตง J_4, แผ่นพื้น-ตง S_4)	741	1002	35	545	936	72	1269	2039	61

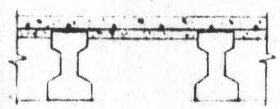
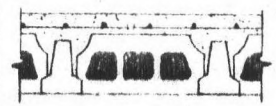
ตารางที่ 4.10 แสดงผลการทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสระหว่างตงกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่

ลำดับที่	ลักษณะของผิวสัมผัส	กำลังประลัยของแท่งคอนกรีต (กก/ซม^2)		พื้นที่ผิวสัมผัส	แรงกดสูงสุด	หน่วยแรงเฉือนสูงสุด	หน่วยแรงเฉือนสูงสุดเฉลี่ย
		ชิ้นส่วน A (อายุ 35 วัน)	ชิ้นส่วน B (อายุ 28 วัน)	(ซม^2)	(กก)	(กก/ซม^2)	(กก/ซม^2)
1	เรียบ			270	4320	16.00	
2	เรียบ	453.80	202.48	270	4910	18.19	15.77
3	เรียบ			360	5000	13.89	
4	เรียบ			360	5395	14.99	
5	หยาบ			270	7710	28.56	
6	หยาบ	446.17	184.95	270	8485	31.43	27.23
7	หยาบ			360	9510	26.42	
8	หยาบ			360	8100	22.50	

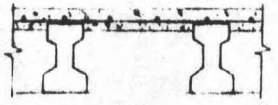
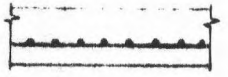
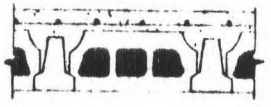
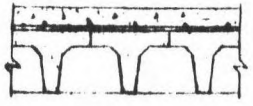
ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพื้นระบบต่าง ๆ

ลำดับ	รายการ	พื้นระบบตงคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ 	พื้นระบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ 	พื้นระบบอิฐบล็อคและคานรูปตัวทีหงาย	พื้นระบบคานรูปตัวที
	เมื่อพื้นแต่ละระบบรับน้ำหนักจะปลอดภัย LL	150 กก/ม^2	150 กก/ม^2	150 กก/ม^2	150 กก/ม^2
	น้ำหนักของตัวแผ่นพื้นเมื่อสร้างเสร็จ DL	152 กก/ม^2	240 กก/ม^2	203 กก/ม^2	156 กก/ม^2
1	LL/DL	.9868	.6250	.6520	.9615
	ความหนาทั้งหมดของแผ่นพื้น d	16 ซม.	10 ซม.	15.5 ซม.	17 ซม.
2	LL/d	9.375 กก/ซม^3	15 กก/ซม^3	9.677 กก/ซม^3	8.823 กก/ซม^3
	ราคาวัสดุต่อตารางเมตรของแผ่นพื้น MC (จากตารางที่ ผ 1 - ผ 4)	164.06 บาท/ม^2	316.23 กก/ม^2	170.20* บาท/ซม^2	188.49 บาท/ม^2

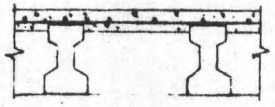
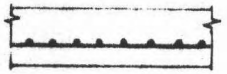
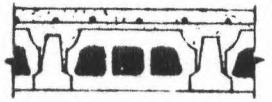
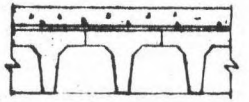
ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพื้นระบบต่าง ๆ (ต่อ)

ลำดับ	รายการ	พื้นระบบตงคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหลอกบัท	พื้นระบบคอนกรีตเสริมเหล็กหลอกบัท	พื้นระบบอิฐบล็อคและคานรูปตัวทีหงาย	พื้นระบบคานรูปตัวที
					
3	LL/MC (Material Utilization)	.9143 กก/บาท	.4743 กก/บาท	.8813 กก/บาท	.7958 กก/บาท
	ราคาค่าแรงต่อตารางเมตรของแผ่นพื้น	37.81 บาท/$ม^2$	52.72 บาท/$ม^2$	22.05 บาท/$ม^2$	43.55 บาท/$ม^2$
4	ราคาแผ่นพื้นต่อตารางเมตร กรณีไม่ทำฝ้าเพดาน (จากตารางที่ ผ 1 - ผ 4)	202.95 บาท/$ม^2$	368.98 บาท/$ม^2$	247.25 บาท/$ม^2$	232.04 บาท/$ม^2$
5	ราคาแผ่นพื้นต่อตารางเมตร กรณีที่ทำฝ้าเพดาน (จากตารางที่ ผ 1 - ผ 4)	357.95 บาท/$ม^2$	528.98 บาท/$ม^2$	352.25 บาท/$ม^2$	378.15 บาท/$ม^2$

ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพื้นระบบต่าง ๆ (ต่อ)

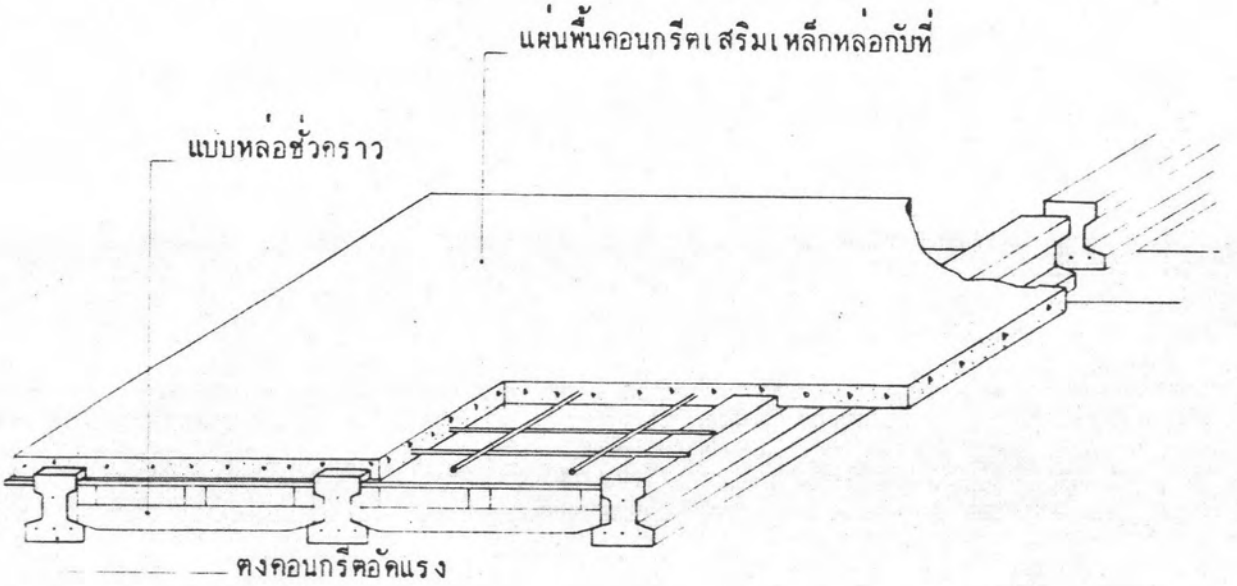
ลำดับ	รายการ	พื้นระบบตงคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ 	พื้นระบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ 	พื้นระบบอิฐบล็อคและคานรูปตัวทีหงาย 	พื้นระบบคานรูปตัวที 
6	รูปลักษณะและความสะดวกในการติดตั้งก่อสร้างของพื้น				
	- ลักษณะของห้องแผ่นพื้น	เป็นแนวคานชอยมีความเรียบร้อยของผิว	ห้องเรียบแบน และมีความเรียบร้อยของผิว	ห้องเรียบแบนแต่ไม่มีความเรียบร้อยของผิว	เป็นแนวคานชอยมีความเรียบร้อยของผิว
	- ความสะดวกในการติดตั้ง	ใช้รอกหรือติดตั้งด้วยแรงงานคนได้สามารถตัดดัดแปลงได้ง่าย	หล่อกับที่สามารถตัดแปลงได้ง่าย	ใช้รอกหรือติดตั้งด้วยแรงงานคนได้สามารถดัดแปลงได้ค่อนข้างง่าย	ใช้รอกหรือติดตั้งด้วยแรงงานคนได้สามารถตัดดัดแปลงได้ค่อนข้างง่าย และจะต้องมีการเชื่อม Shear key

ตารางที่ 4.11 แสดงรายละเอียดของการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพื้นระบบต่าง ๆ (ต่อ)

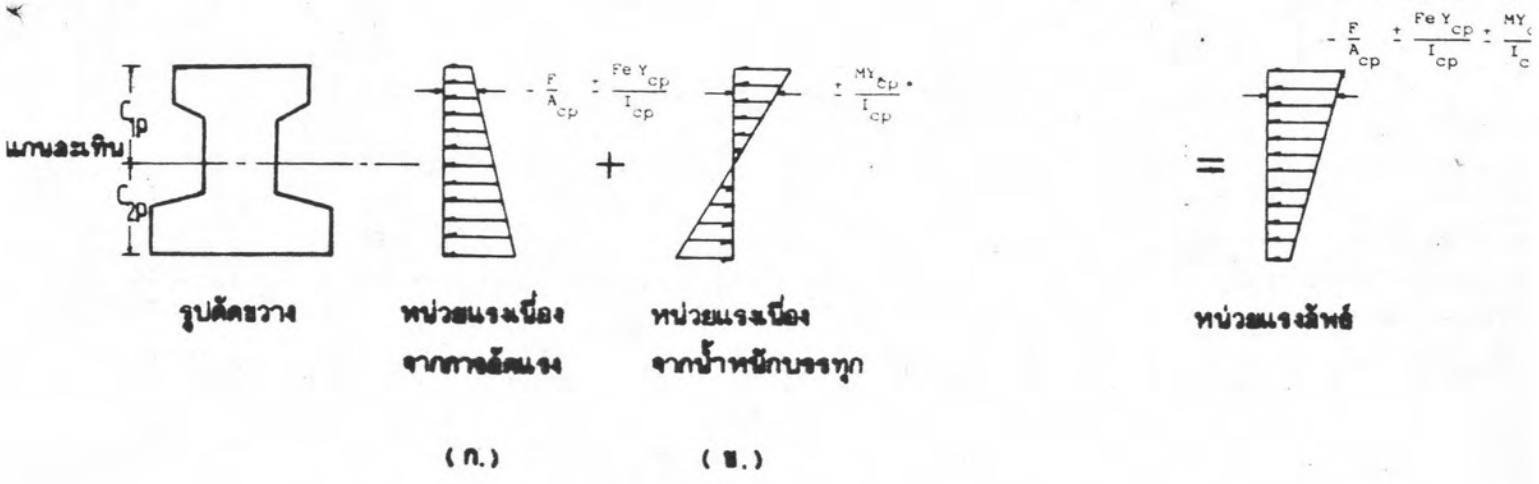
ลำดับ	รายการ	พื้นระบบตงคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ 	พื้นระบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ 	พื้นระบบอิฐบล็อคและคานรูปตัวทีหงาย 	พื้นระบบคานรูปตัวที 
	-การใช้ Form work และเสาค้ำยันในการติดตั้ง	ต้องติดตั้ง Form work แต่ไม่ต้องใช้เสาค้ำยัน	ต้องติดตั้ง Form work และเสาค้ำยัน	ไม่ใช้ Form work แต่ต้องค้ำยันที่จุดกึ่ง-กลางช่วง	ไม่ใช้ Form work แต่ต้องใช้ค้ำยันที่จุดกึ่งกลางช่วง
	-ความเสียหายจากการขนส่ง และติดตั้ง	มีน้อยมาก	มีน้อยมาก	มีบ้างจากอิฐบล็อค	มีน้อยมาก
	-การติดตั้งไฟฟ้า และการเดินท่อประปาและระบายน้ำ	การติดตั้งไฟฟ้า จะติดกับใต้ท้องพื้น การติดตั้งท่อประปาและระบายน้ำก็จะทำได้ในเวลาเท-แผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่	การติดตั้งไฟฟ้า จะติดกับใต้ท้องพื้น การติดตั้งท่อประปาและระบายน้ำก็จะทำได้ในเวลาเท-พื้นคอนกรีต	การติดตั้งไฟฟ้า จะติดกับใต้ท้องพื้น การติดตั้งท่อประปาและระบายน้ำต้องมีการสะกัดอิฐบล็อค	การติดตั้งไฟฟ้า จะติดกับใต้ท้องพื้น การติดตั้งท่อประปาและระบายน้ำต้องมีการสะกัดคอนกรีต

หมายเหตุ * ไม่รวมค่าวัสดุฉาบใต้ท้องพื้น

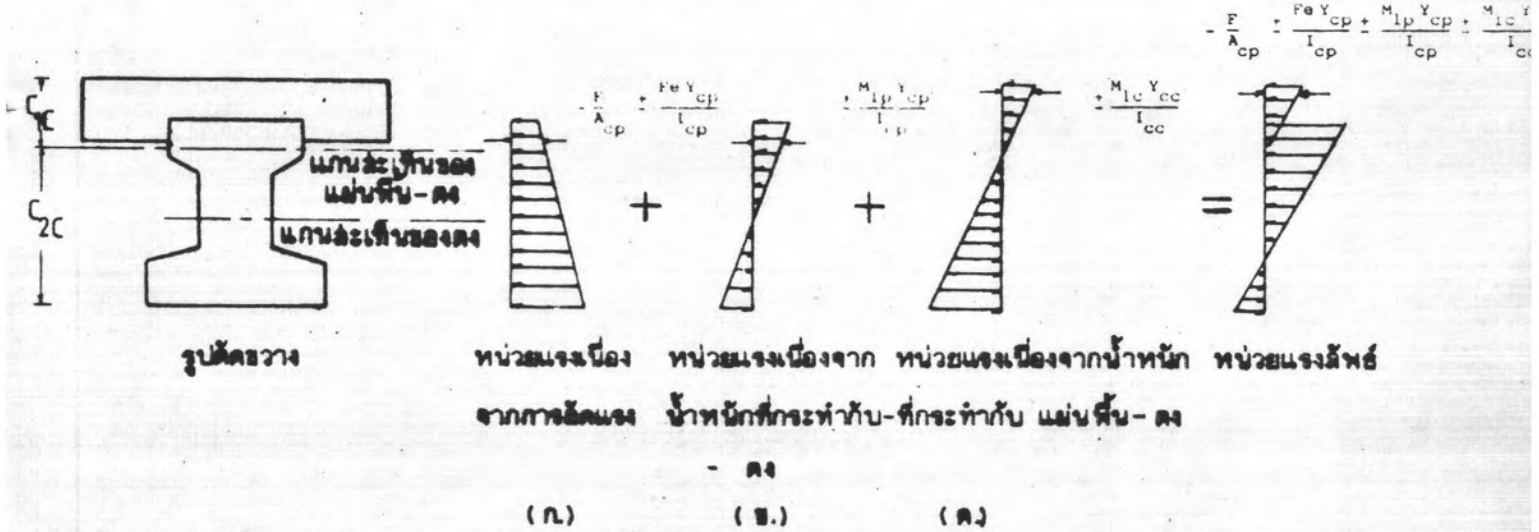
ϕ ไม่รวมค่าแรงฉาบปูนใต้ท้องพื้น



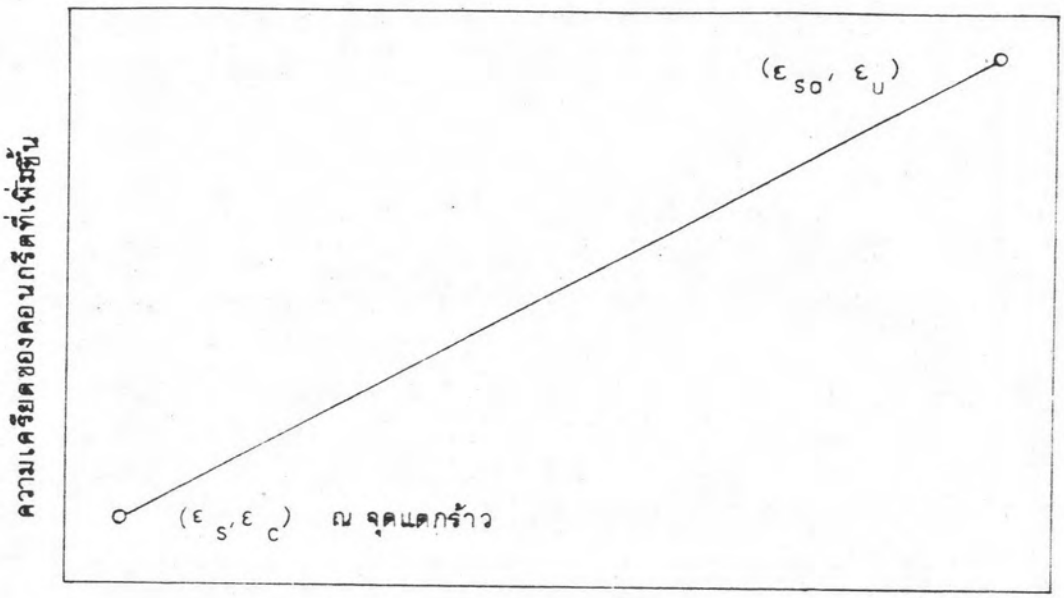
รูปที่ 1.1 แสดงลักษณะของพื้นสำเร็จรูประบบคานคอนกรีตอัดแรง
และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่



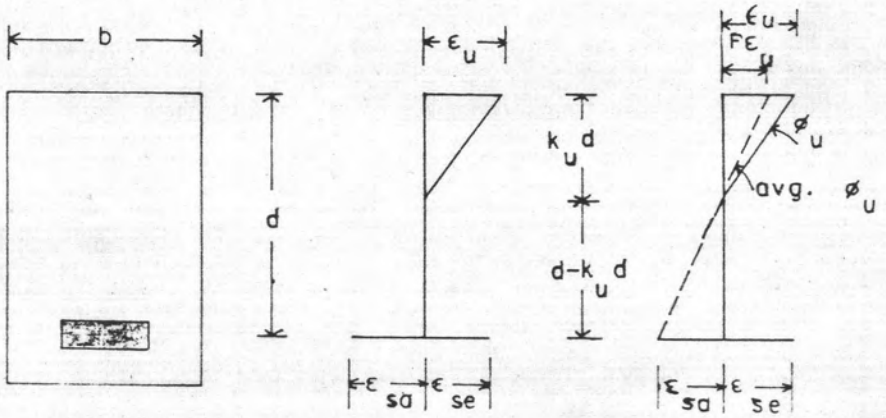
รูปที่ 2.1 การกระจายของหน่วยแรงที่หน้าตัดของคานคอนกรีตอัดแรง



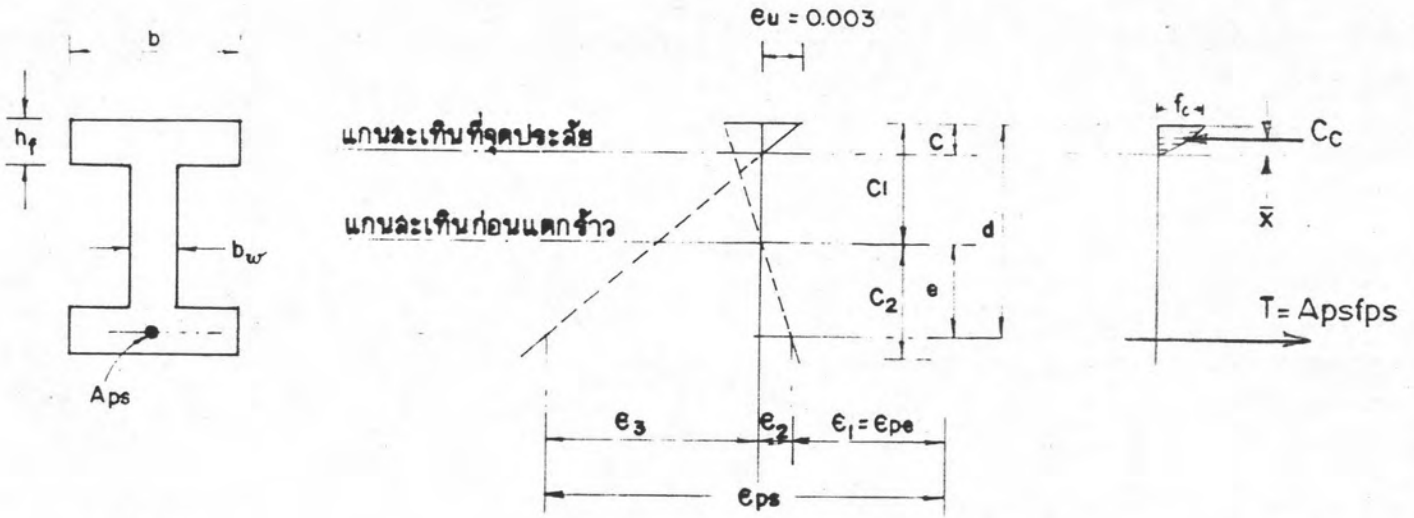
รูปที่ 2.2 การกระจายของหน่วยแรงที่หน้าตัดของแผ่นพื้น-คาน



รูปที่ 2.3 แสดงความสัมพันธ์อุดมคติของความเครียดในคอนกรีต
กับเหล็กเสริมอัดแรง

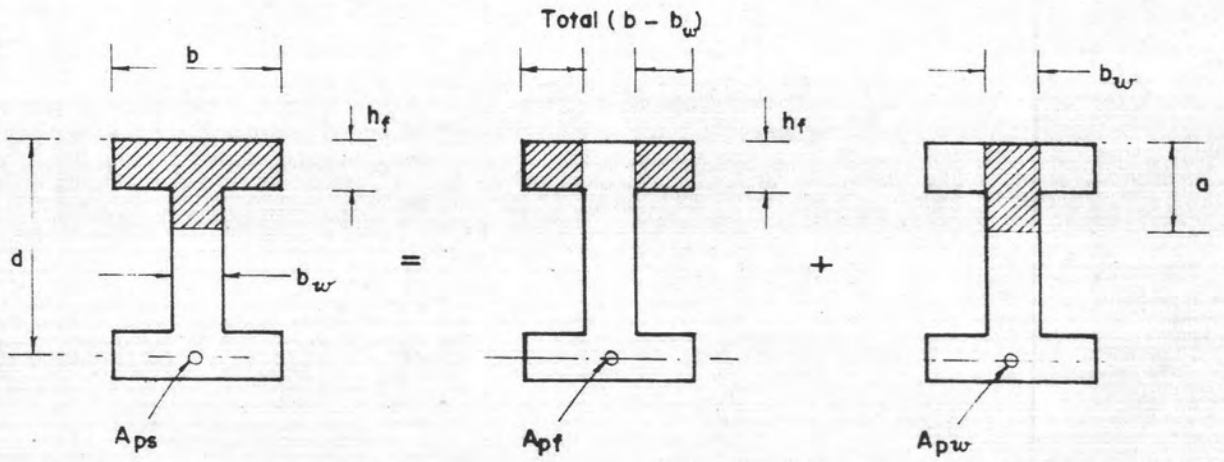


รูปที่ 2.4 แสดงลักษณะความเครียดของคานแบบมีการยึดเกาะ (bonded)
ที่จุดประลัย



(ก) หน้าตัดคาน (ข) การกระจายความเครียด (ค) การกระจายหน่วยแรง

รูปที่ 2.5 การกระจายของความเครียดและหน่วยแรงที่ใช้ในการคำนวณกำลังดัดประลัย.

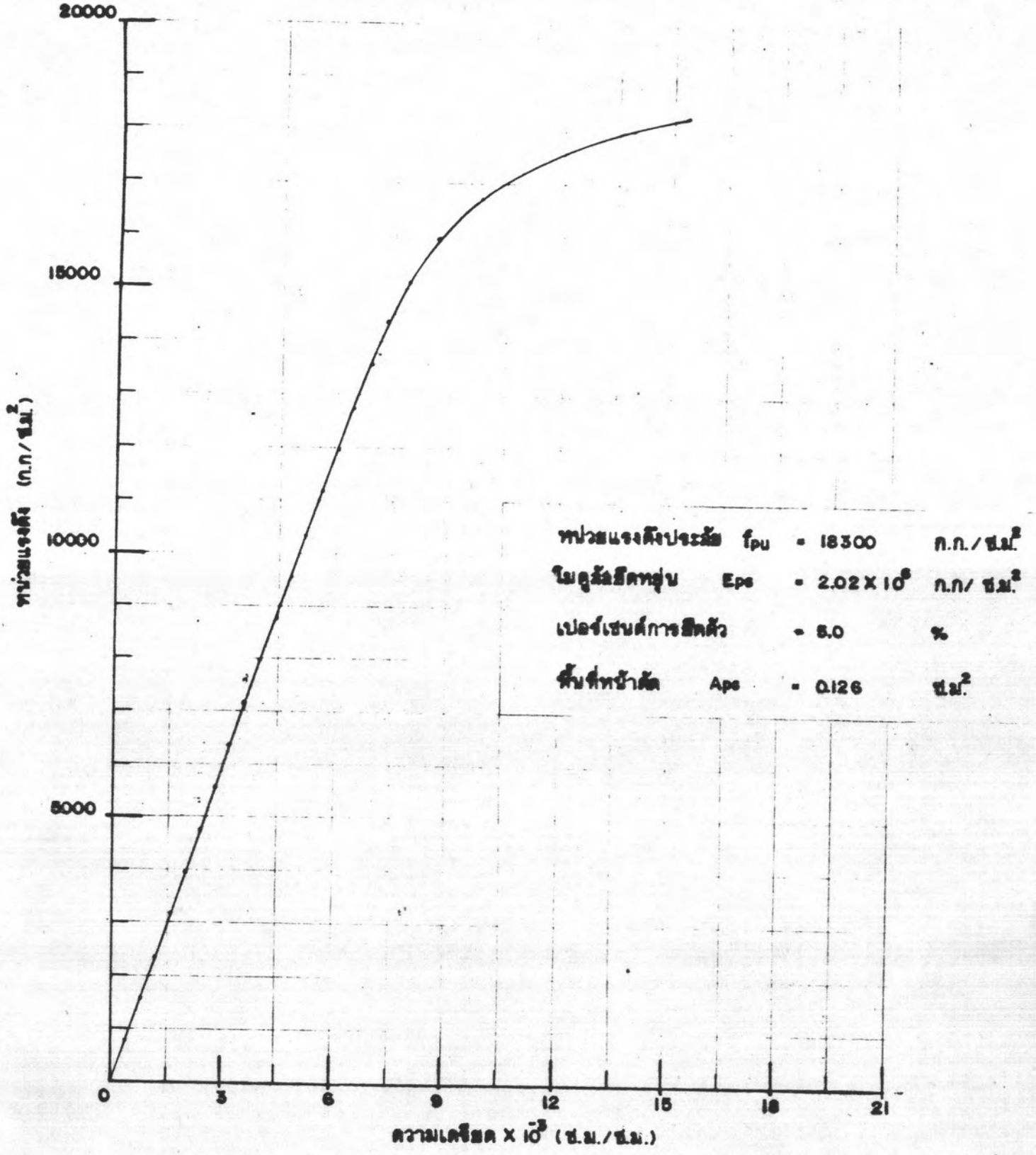


(ก) หน้าตัดทั้งหมด (Total Section)

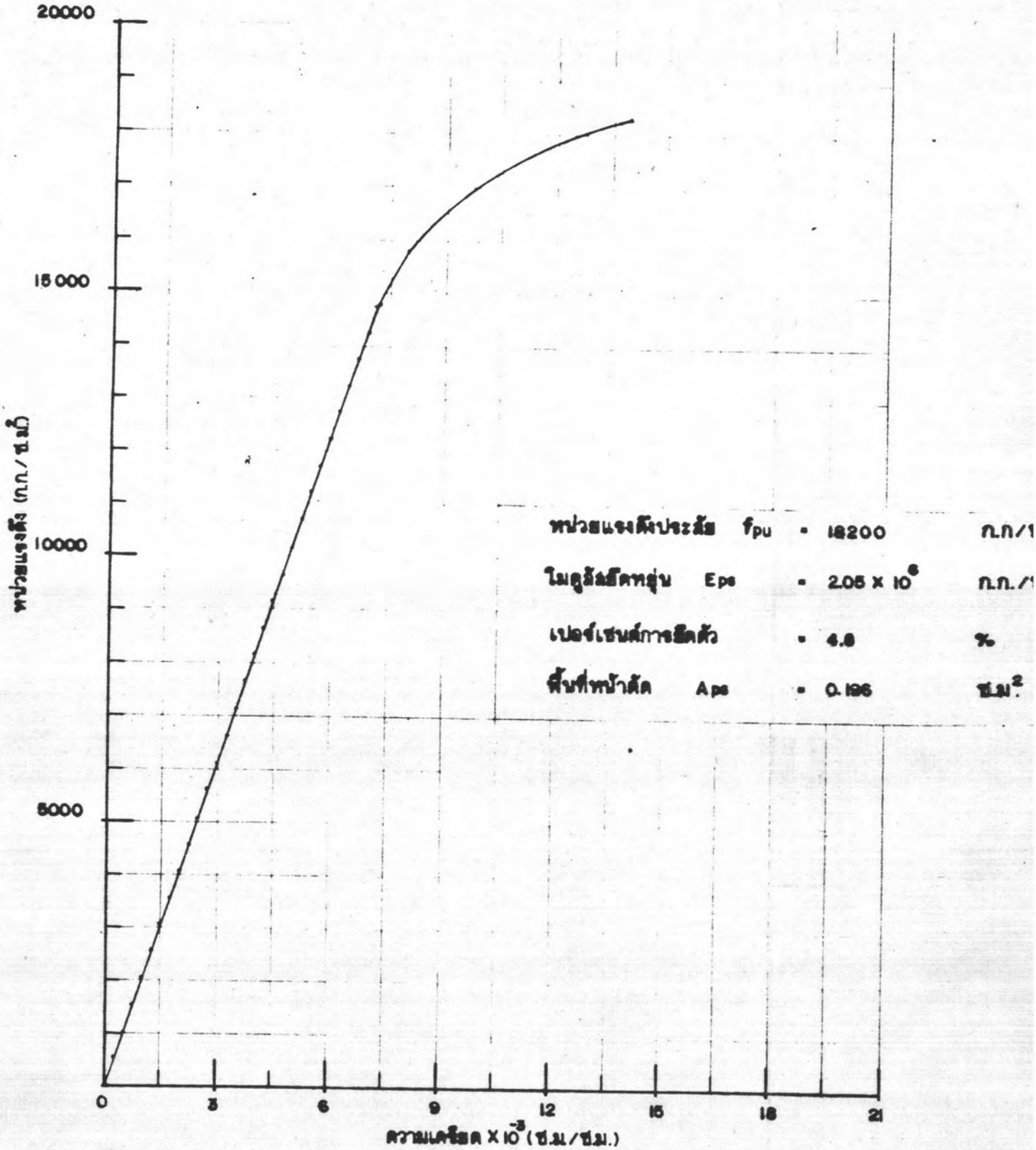
(ข) ส่วนปีกคานส่วนยื่น (Flange Part)

(ค) ส่วนในตัวคาน (Web Part)

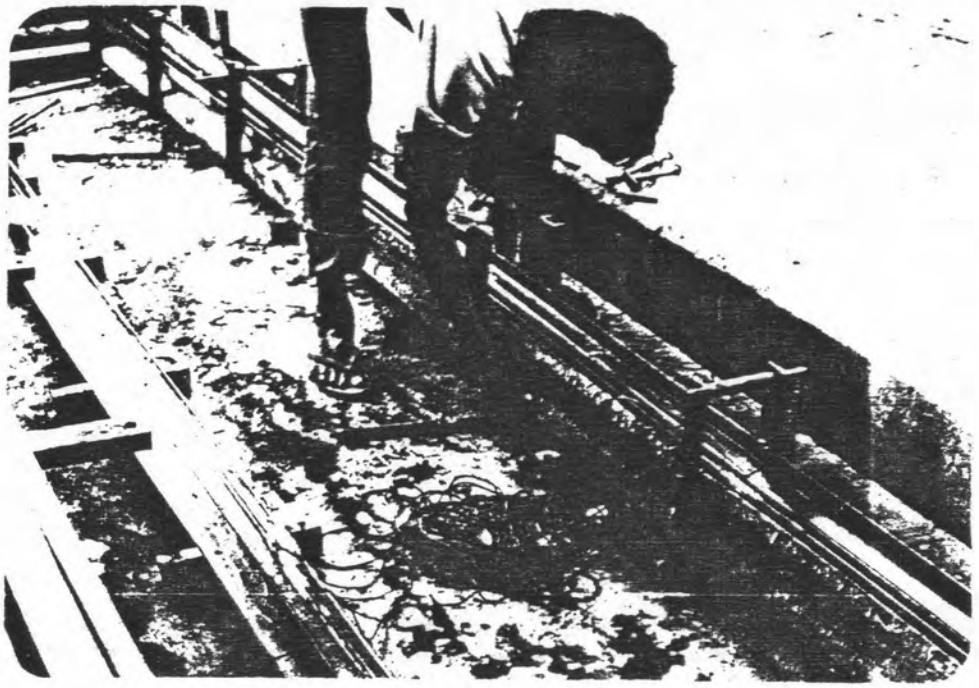
รูปที่ 2.6 แสดงการแยกส่วนแรงอัดของคานมีปีกที่มีแกนละเทินอยู่นอกปีก.

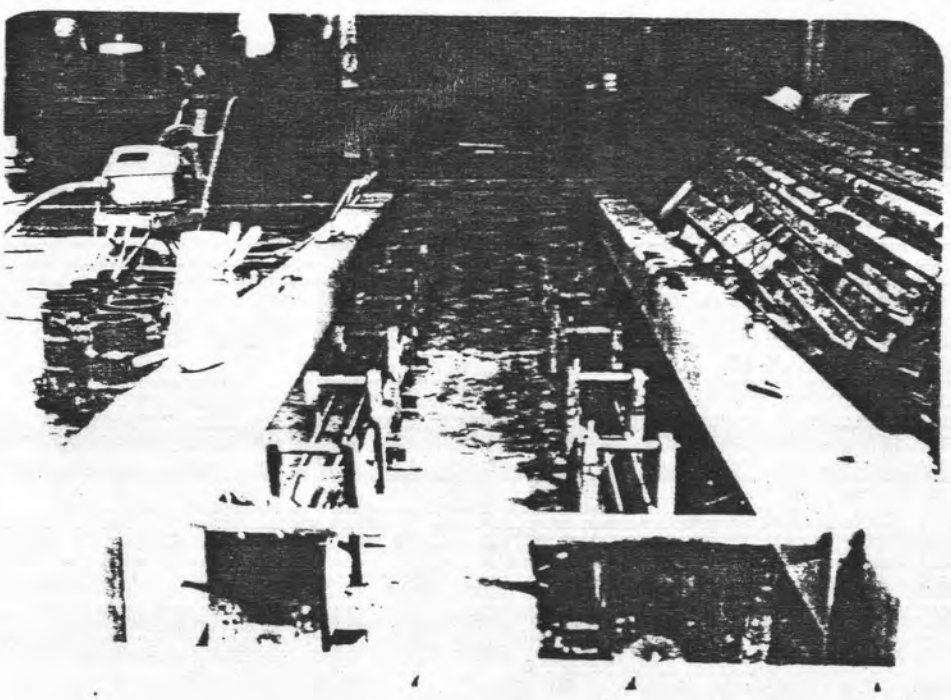


รูปที่ 3.1 การทดสอบการดึงเหล็กเสริมรับแรงดึงลูกเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 ม.ม.

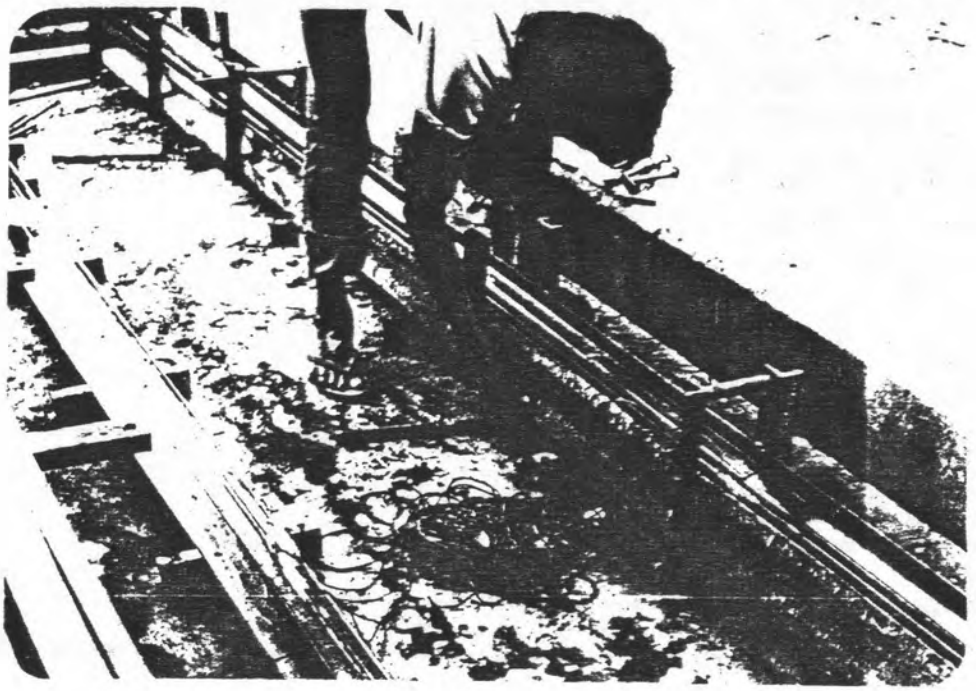


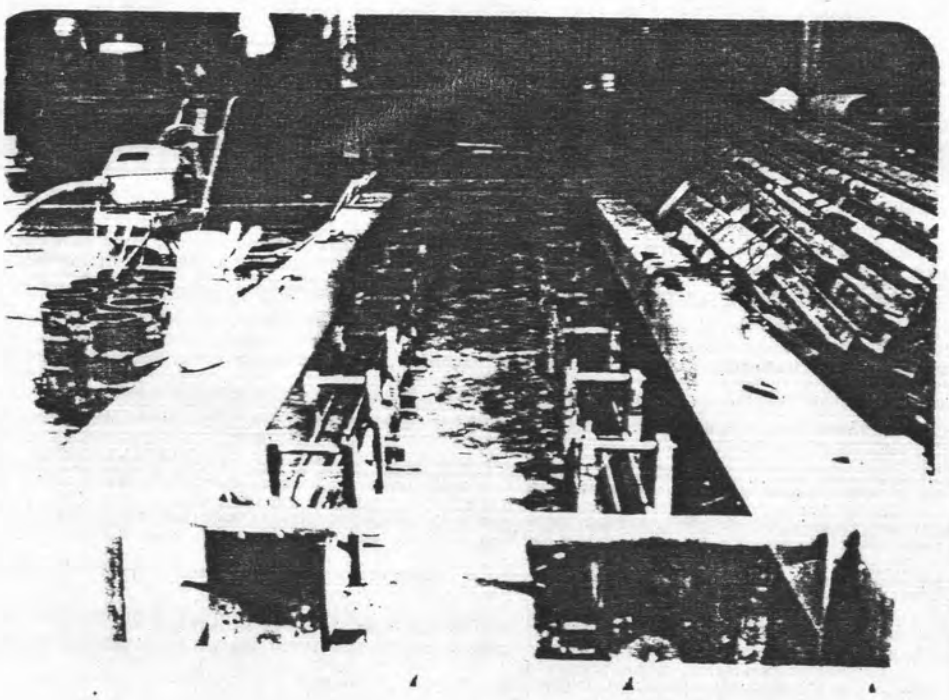
รูปที่ 3.2 การทดสอบการดึงเหล็กเสริมรับแรงดึงลูกเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 ม.ม.



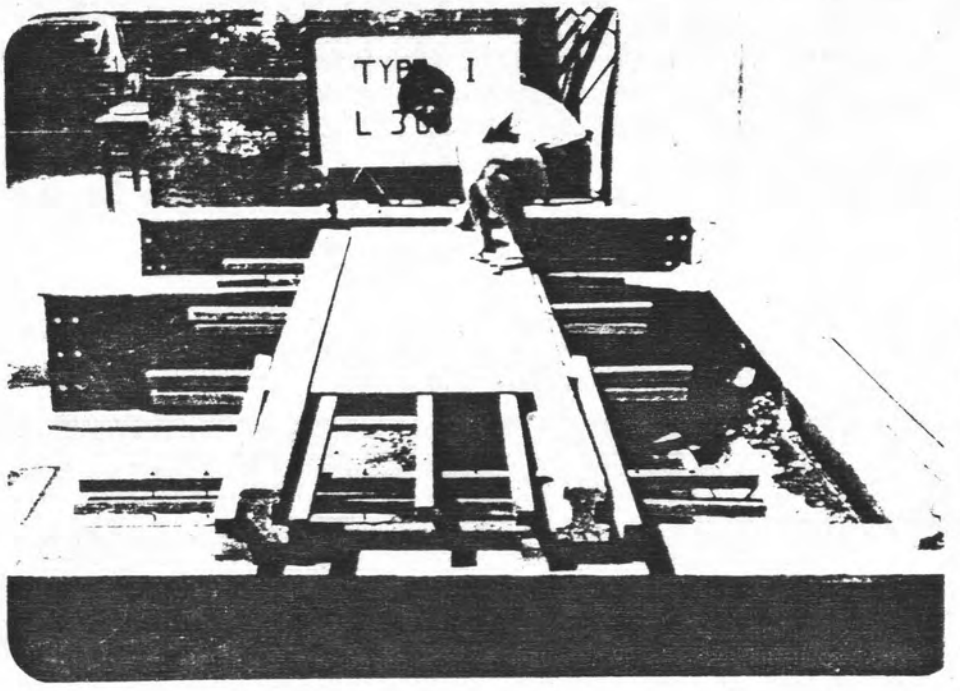


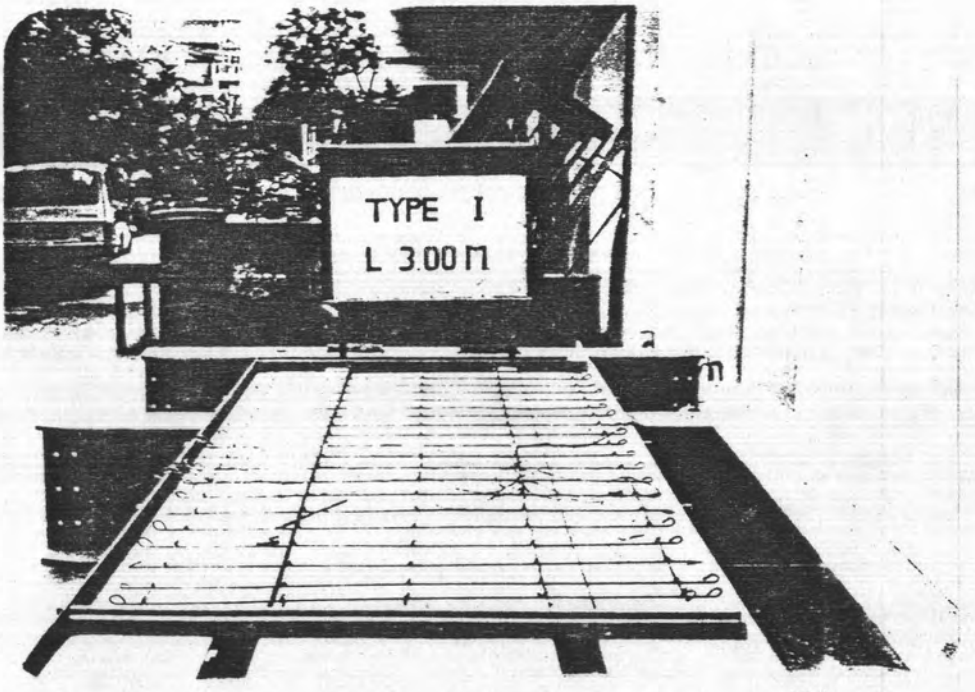
รูปที่ 3.3 แสดงแบบเหล็กสำหรับหล่อตงคอนกรีตอัดแรงที่ใช้ทดสอบ



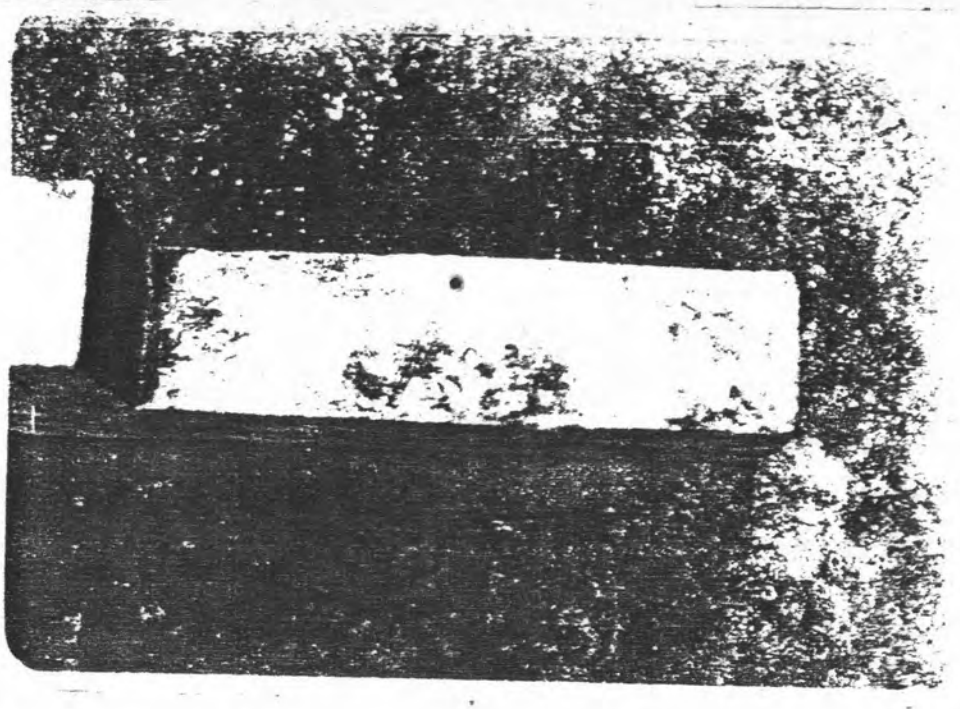


รูปที่ 3.3 แสดงแบบเหล็กสำหรับหล่อตงคอนกรีตอัดแรงที่ใช้ทดสอบ

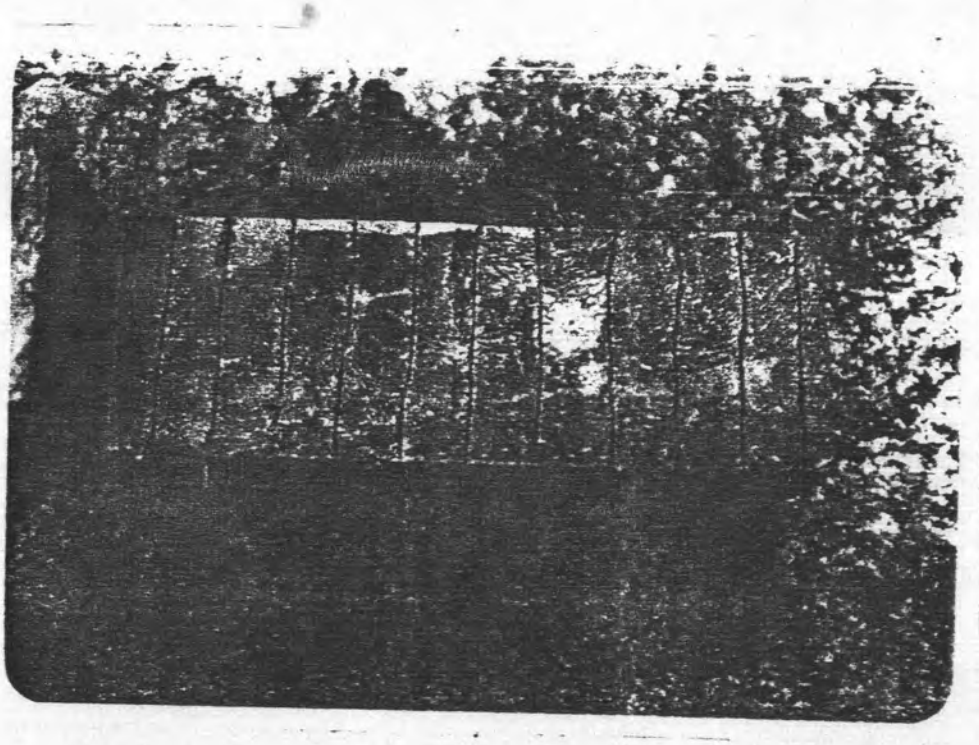




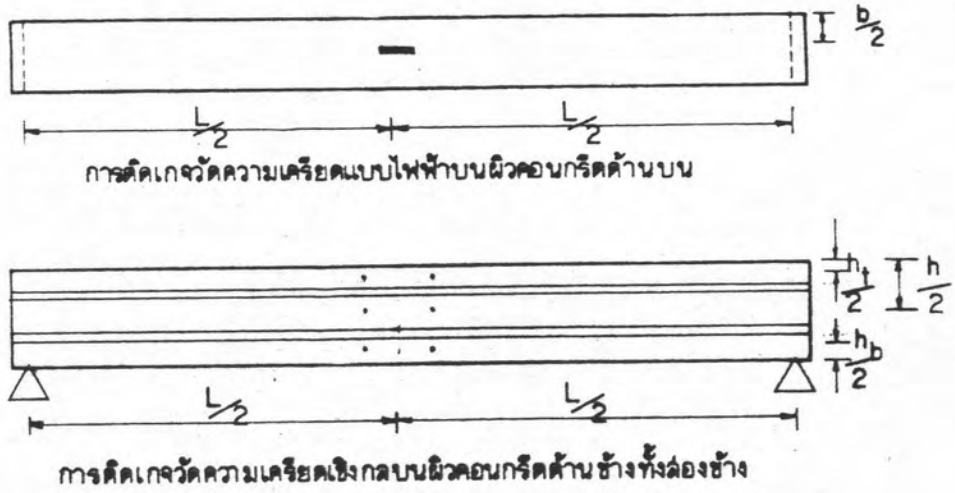
รูปที่ 3.4 แสดงแบบไม้สำหรับหล่อแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่เพื่อการทดสอบแผ่นพื้น - ตง



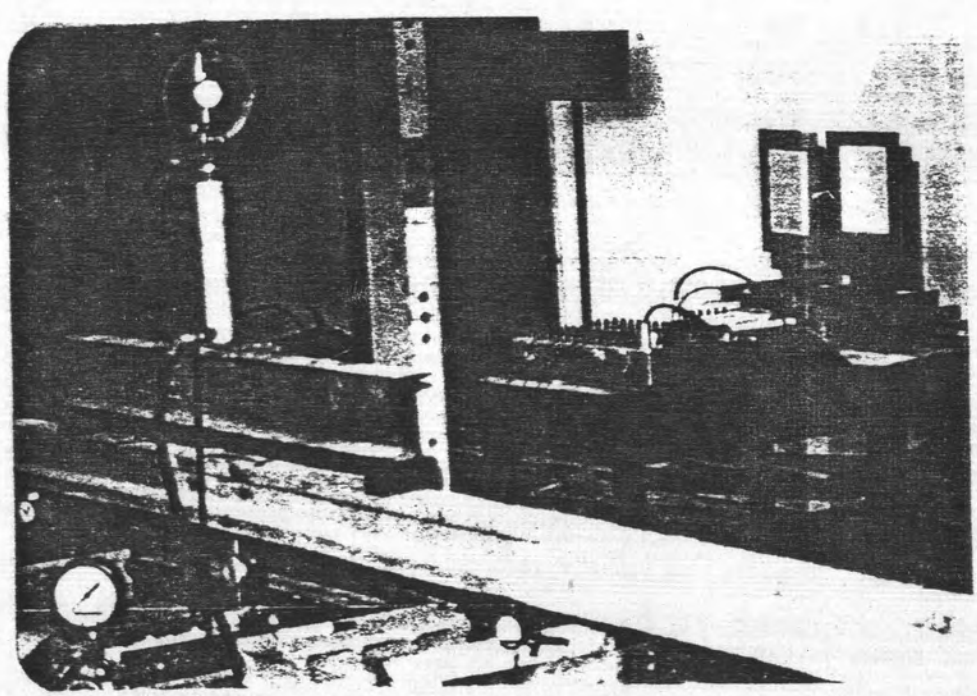
รูปที่ 3.5 แสดงลักษณะของผิวสัมผัสเรียบ



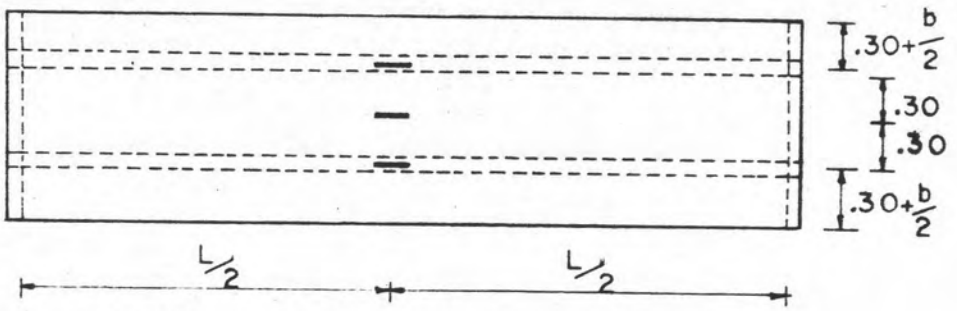
รูปที่ 3.6 แสดงลักษณะของผิวสัมผัสหยาบ



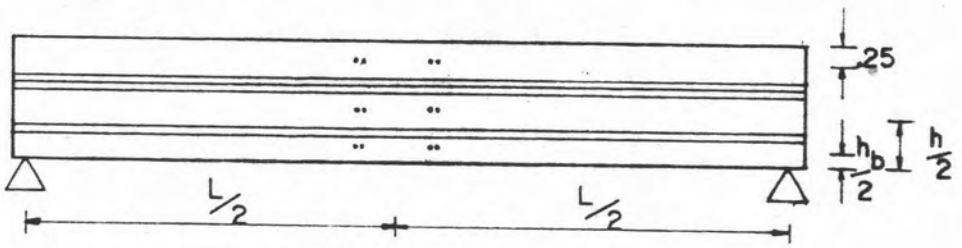
รูปที่ 3.7 แสดงตำแหน่งการติดเกจวัดความเครียดของคอนกรีตบนคานที่ใช้ทดสอบ



รูปที่ 3.8 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของคาน

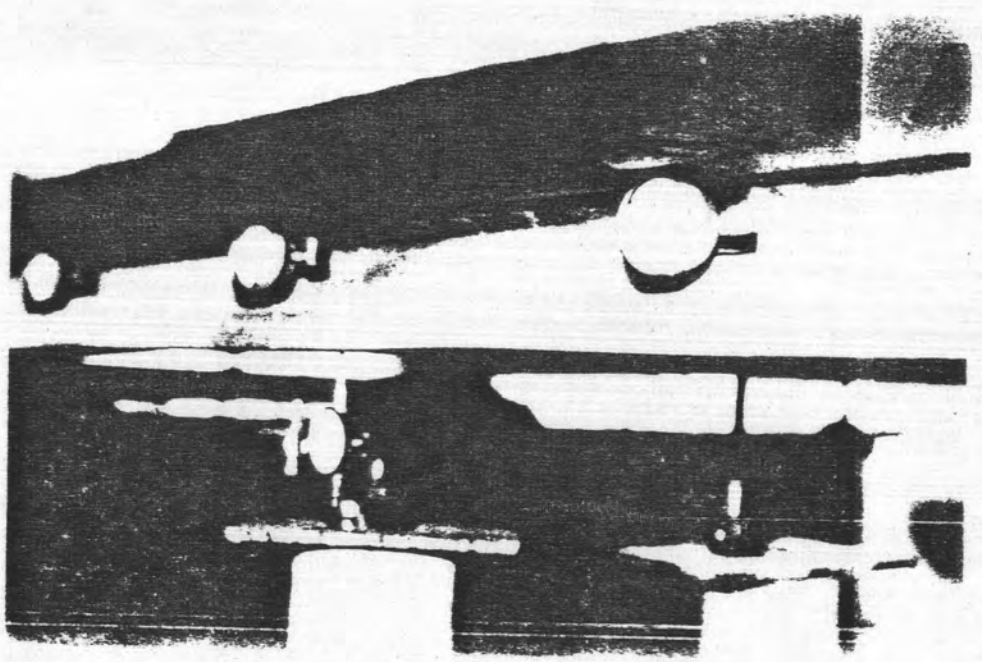


การติดเกจวัดความเครียดแบบไฟฟ้าบนผิวคอนกรีตด้านบน

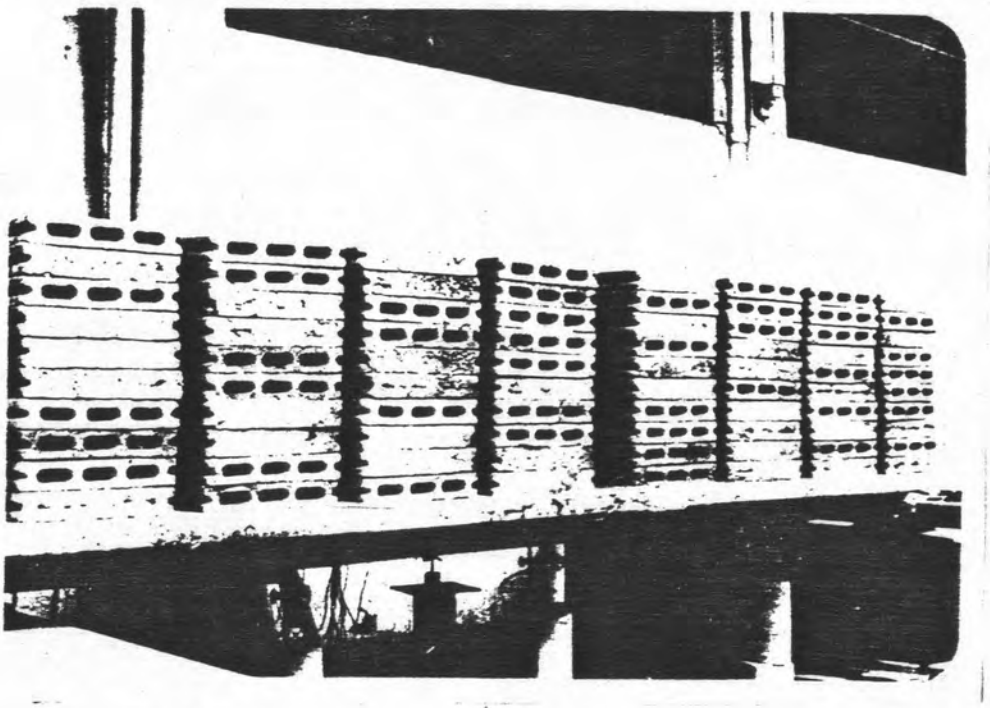


การติดเกจวัดความเครียดเชิงกลบนผิวคอนกรีตด้านข้างทั้งสองข้าง

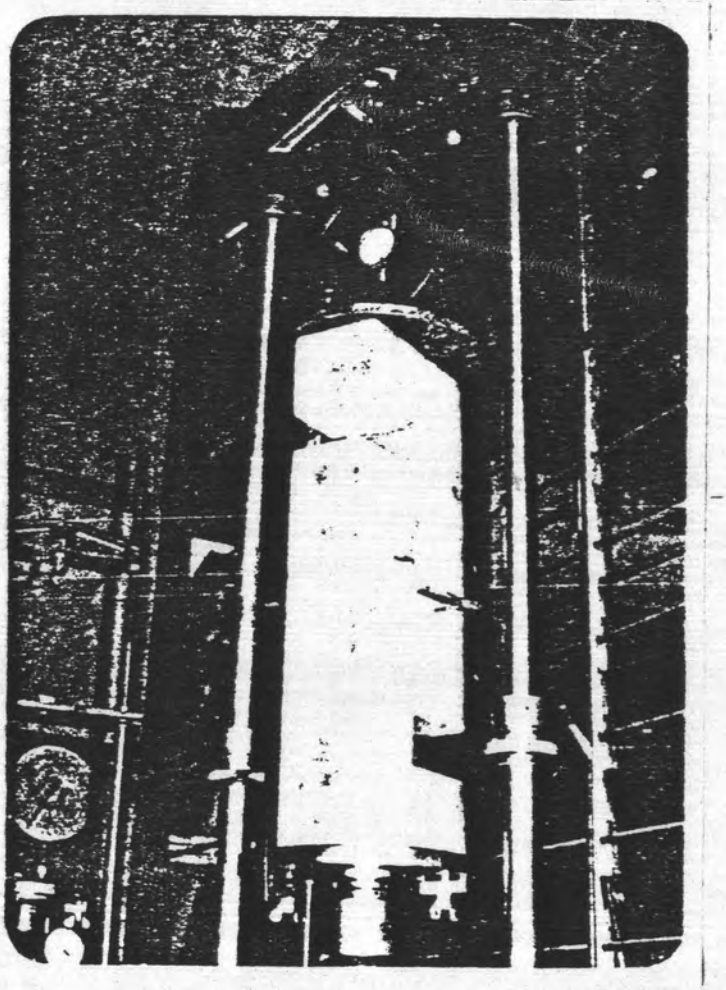
รูปที่ 3.9 แสดงตำแหน่งการติดเกจวัดความเครียดของคอนกรีตบนแผ่นพื้น-คานที่ใช้ทดสอบ



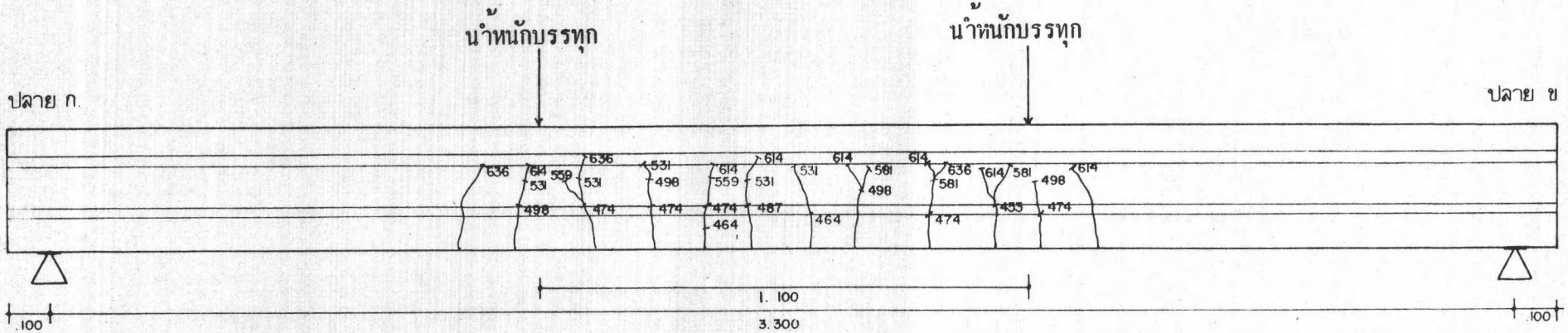
รูปที่ 3.10 แสดงการติดเกจวัดการเลื่อนตัวสัมพัทธ์ระหว่างคาน
กับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่



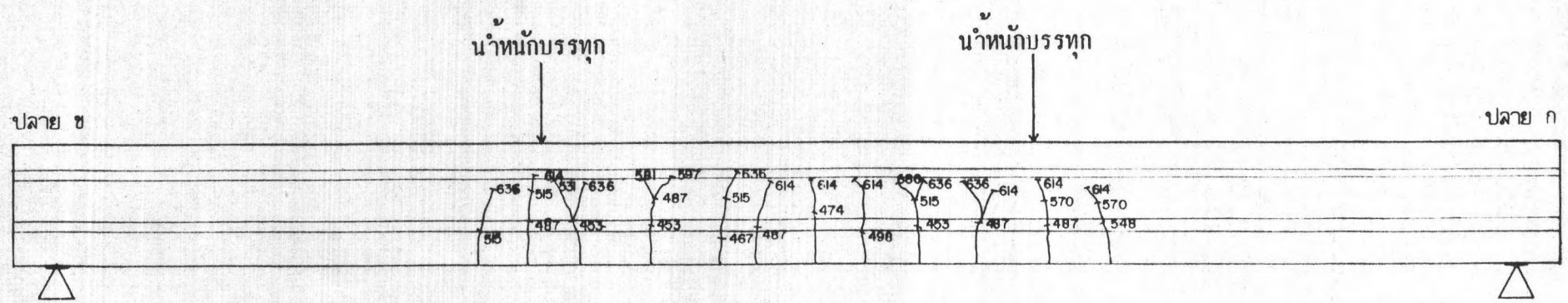
รูปที่ 3.11 การทดสอบการรับน้ำหนักบรรทุกของแผ่นพื้นคง



รูปที่ 3.12 การทดสอบหากำลังรับแรงเฉือนที่ผิวสัมผัสระหว่างตงกับแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่



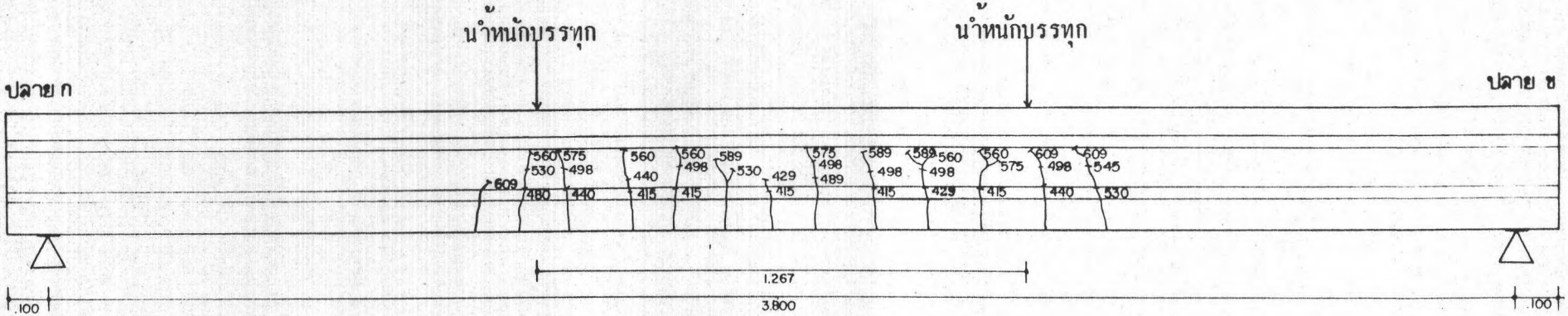
(1)



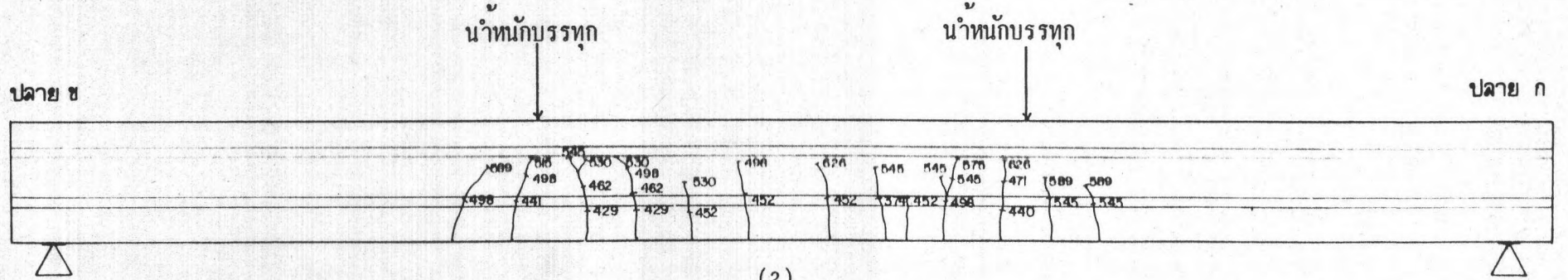
(2)

รูปที่ 4.1 ลักษณะการแตกร้าวของคาน J_1

(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (ก.ก) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)



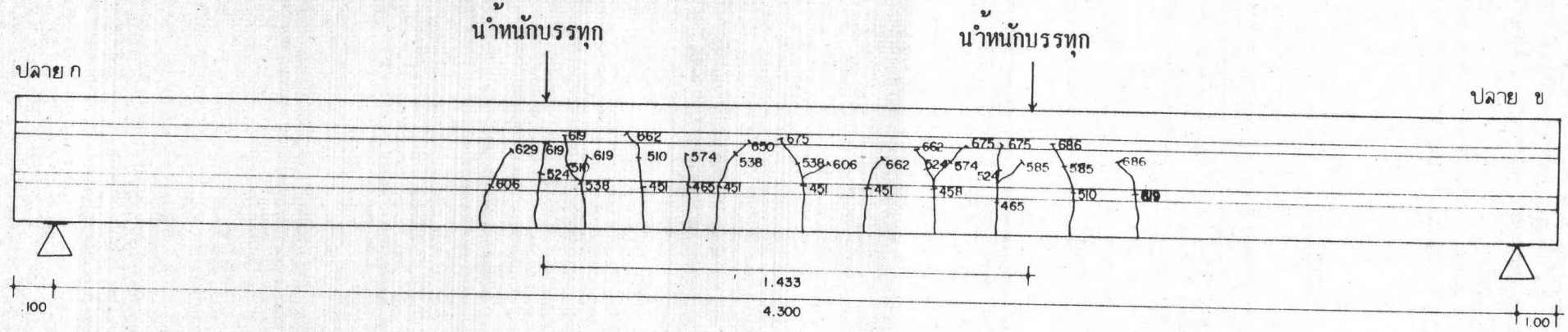
(1)



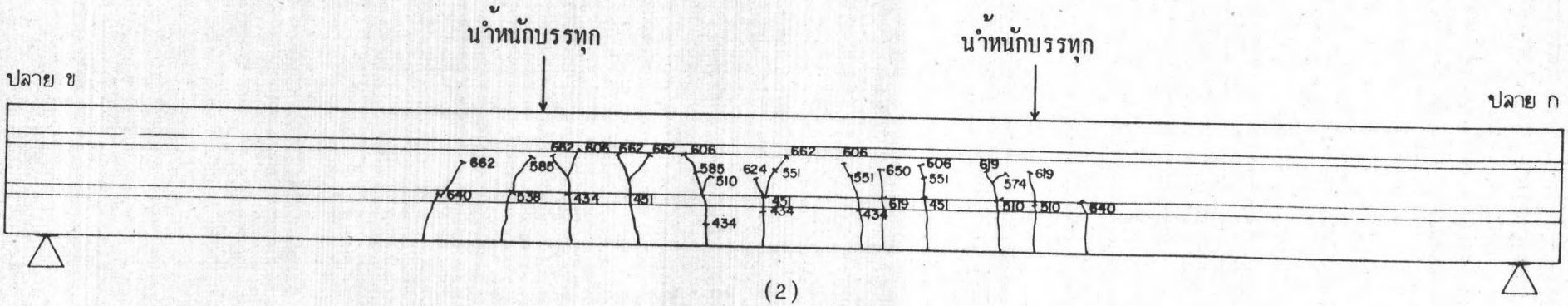
(2)

รูปที่ 4.2 ลักษณะการแตกร้าวของคาน J_2

(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (ก.ก) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)



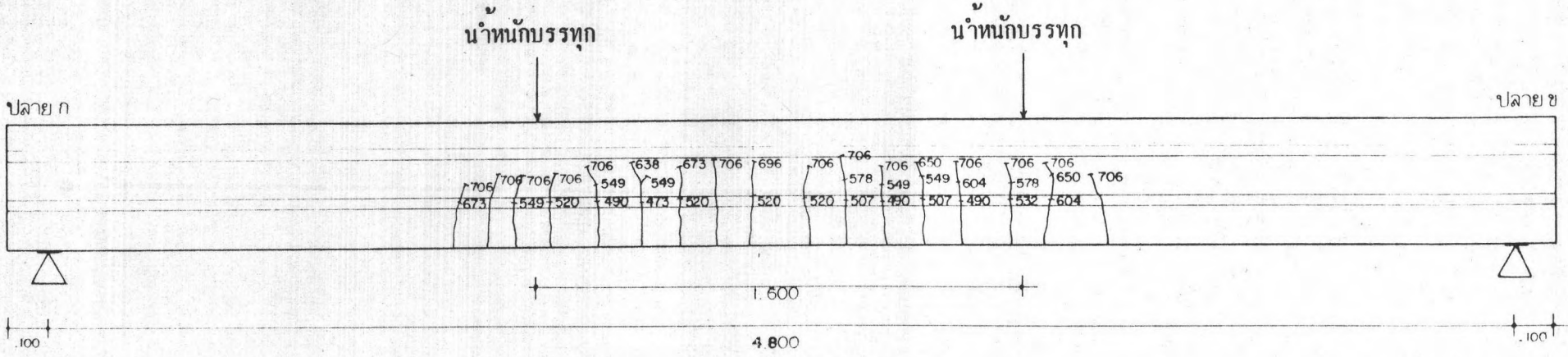
(1)



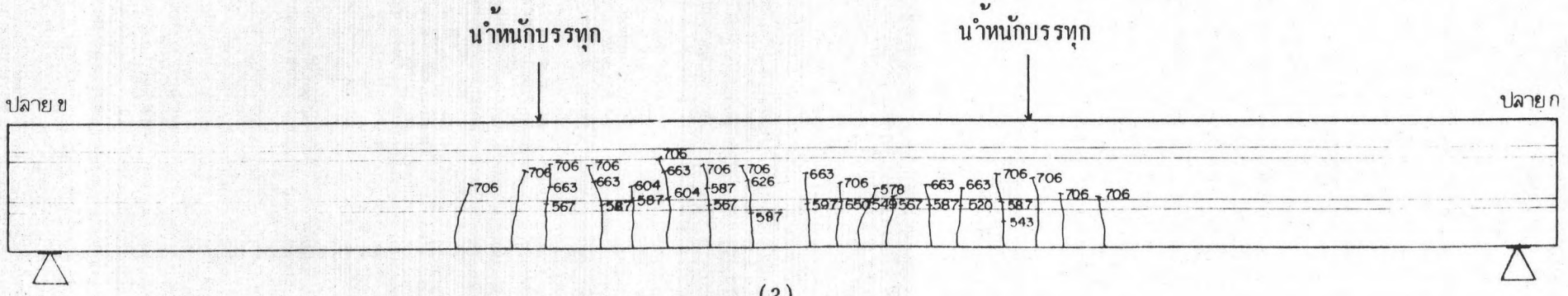
(2)

รูปที่ 4.3 ลักษณะการแตกร้าวของคาน J_3

(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (ก.ก) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)



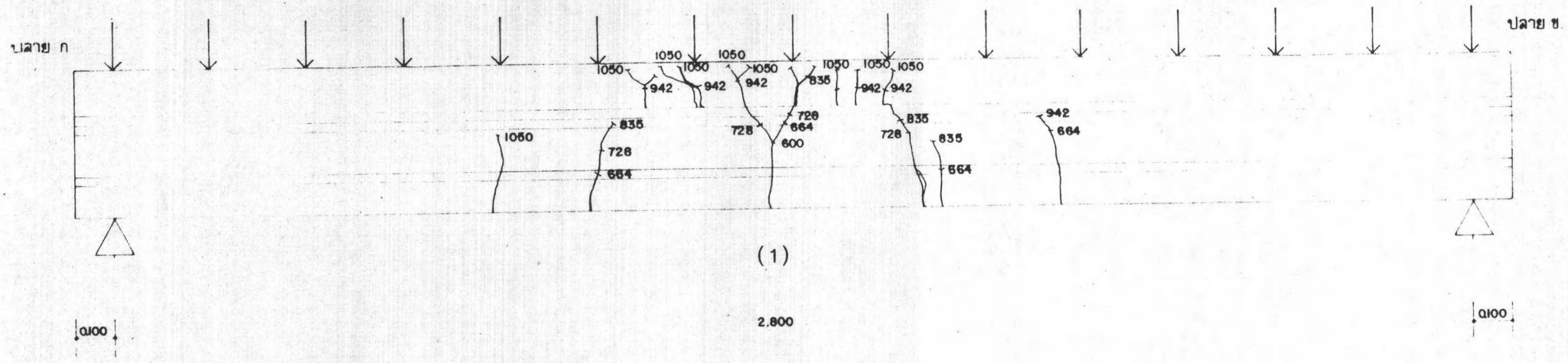
(1)

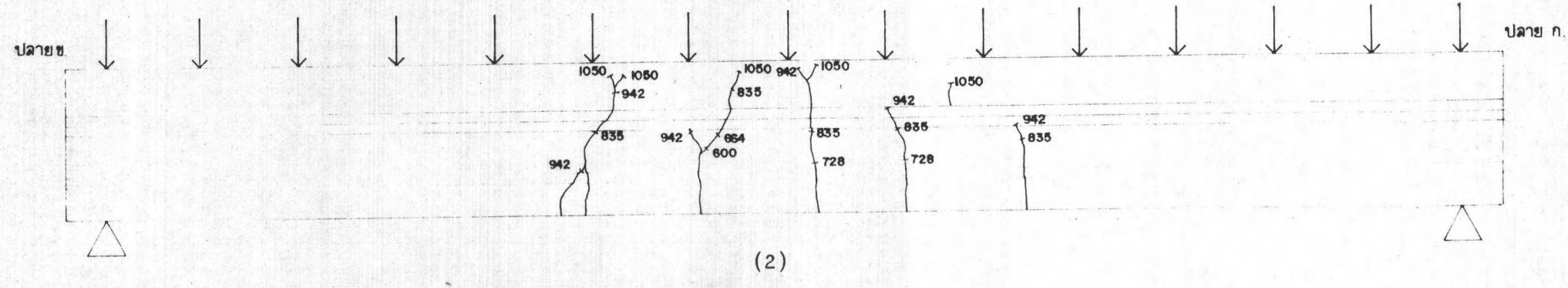


(2)

รูปที่ 4.4 ลักษณะการแตกร้าวของคาน J_4

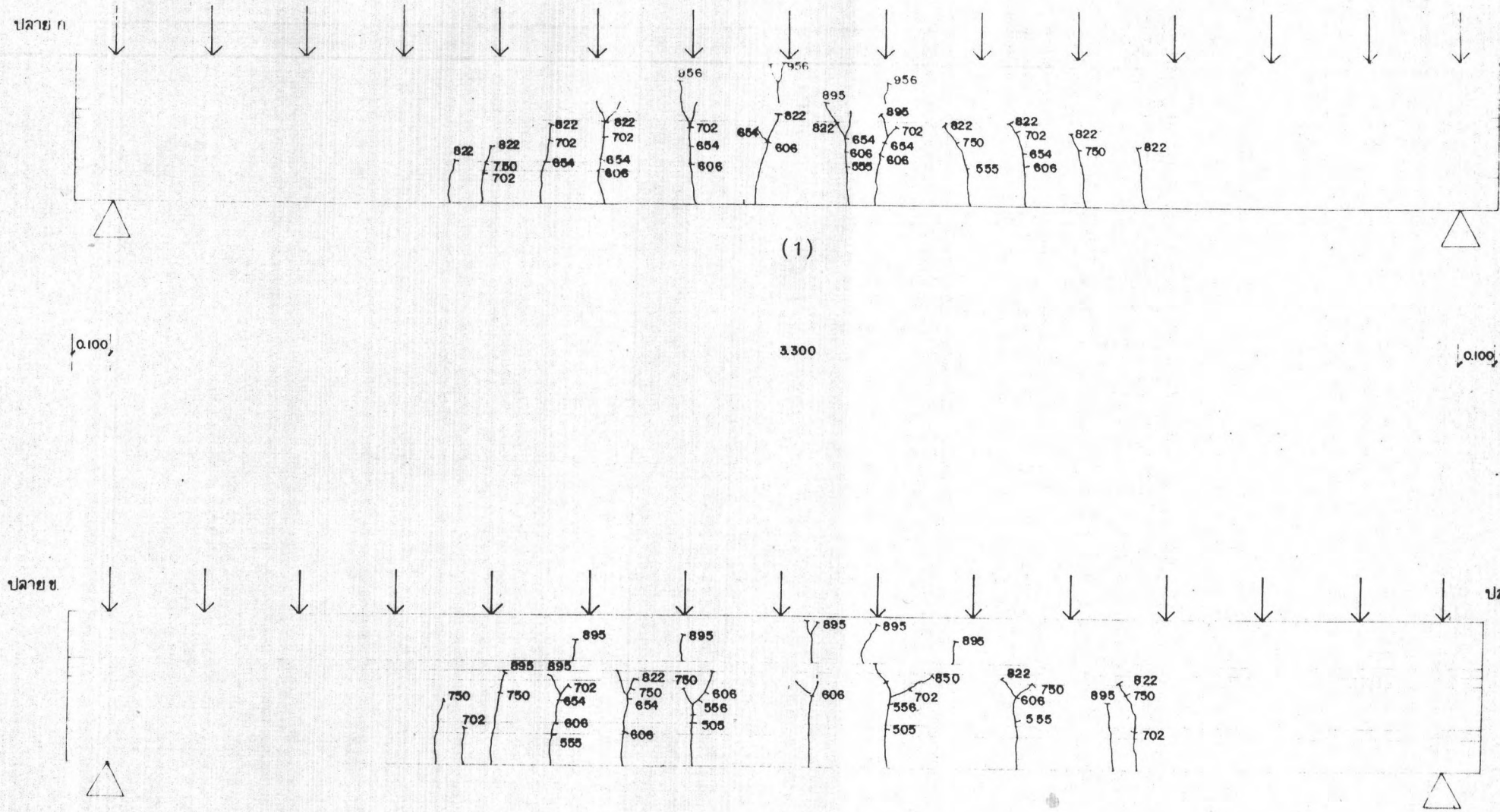
(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (กก) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)





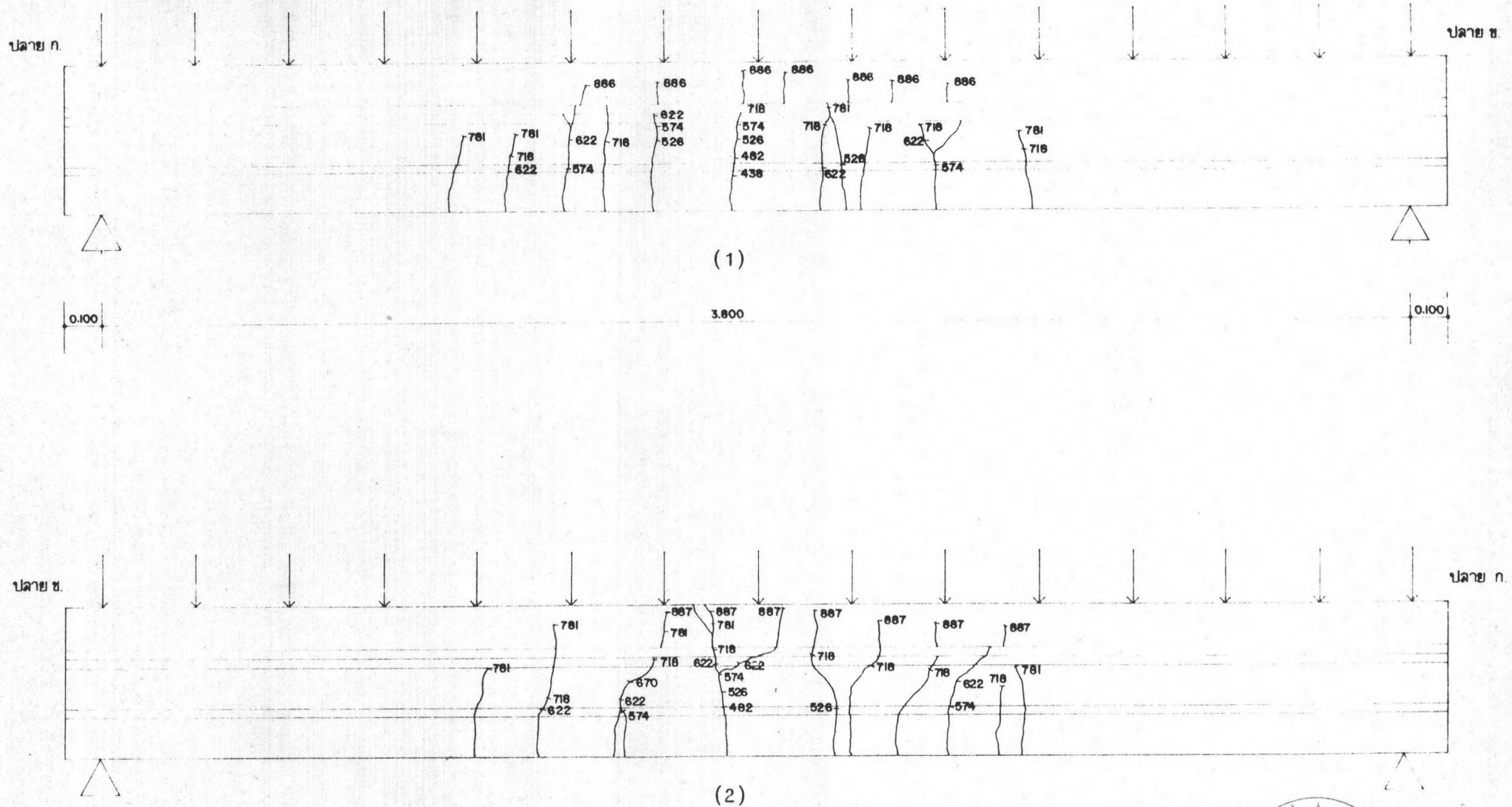
รูปที่ 4.5 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น-คาน SI

(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (ก.ก./ม.) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)



รูปที่ 4.6 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น- คง S_2

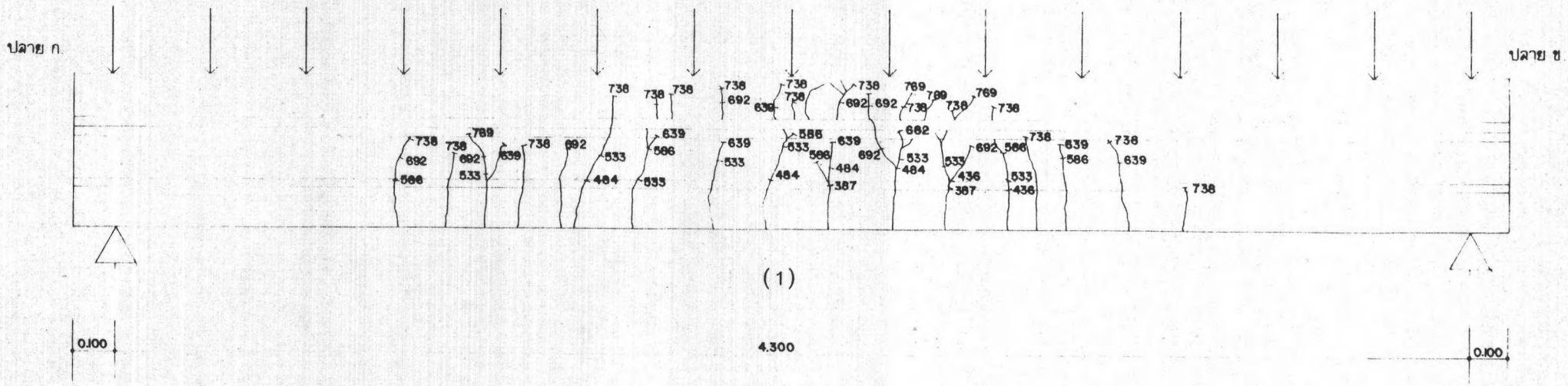
(ตัวเลขแสดงค่าน้ำหนักบรรทุก(ก.ก./ม.) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)

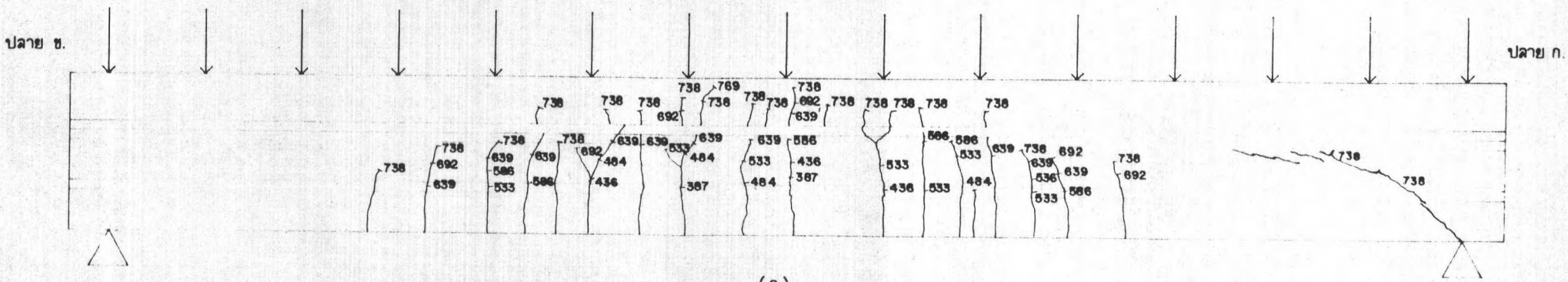


รูปที่ 4.7 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น – คง S3

(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (กก./ม.) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)

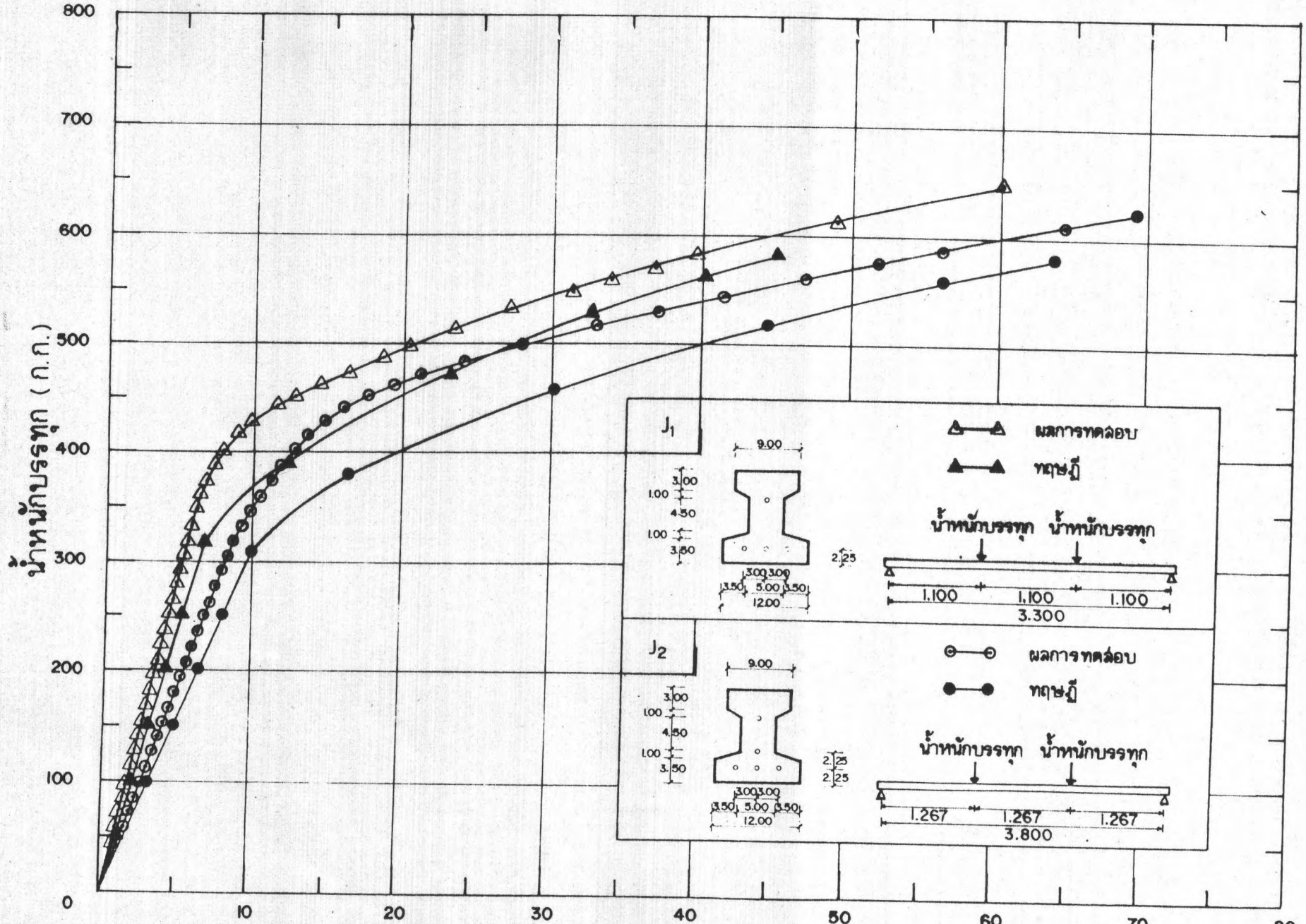
สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย



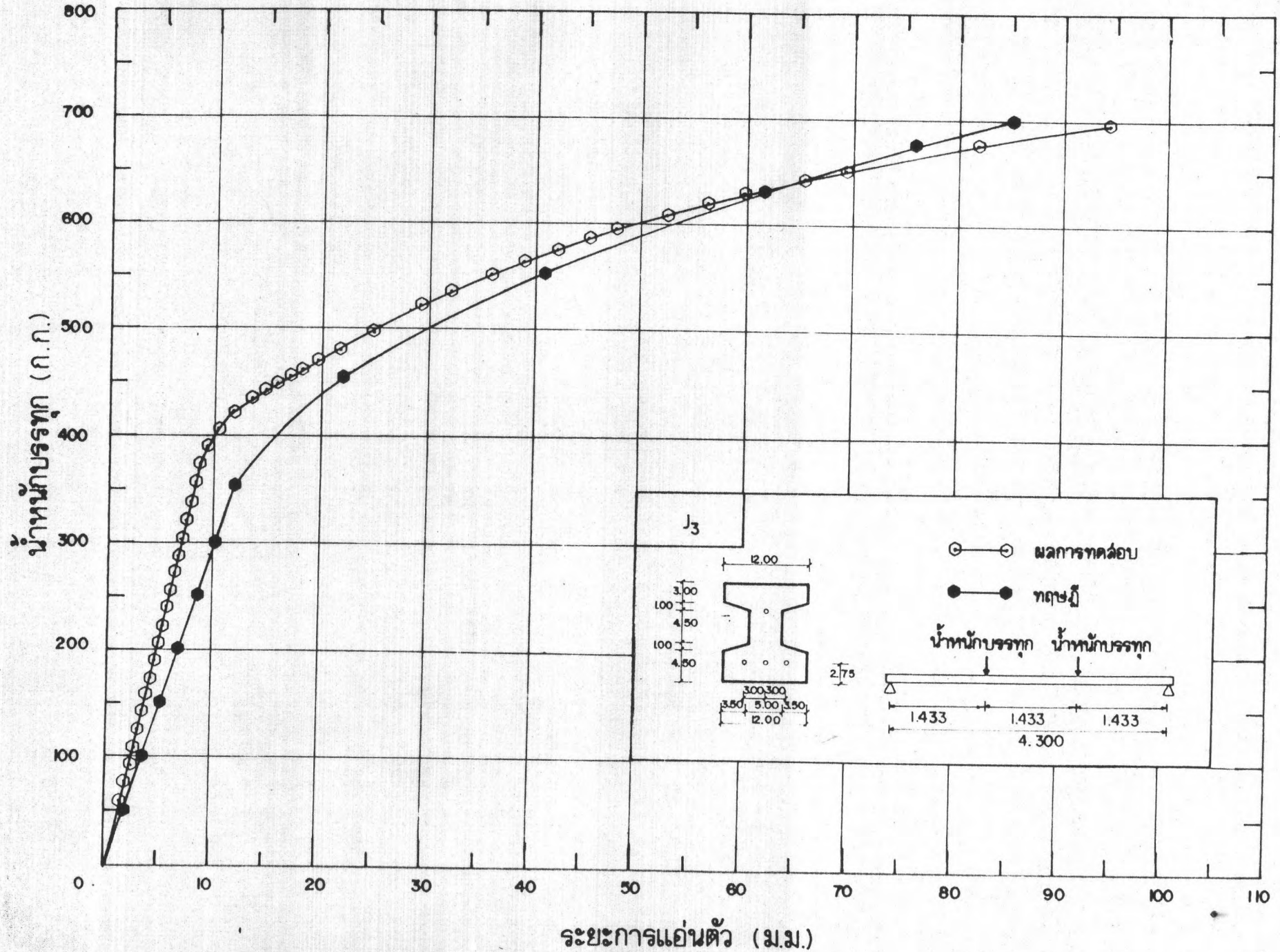


รูปที่ 4.8 ลักษณะการแตกร้าวของแผ่นพื้น – ตง S4

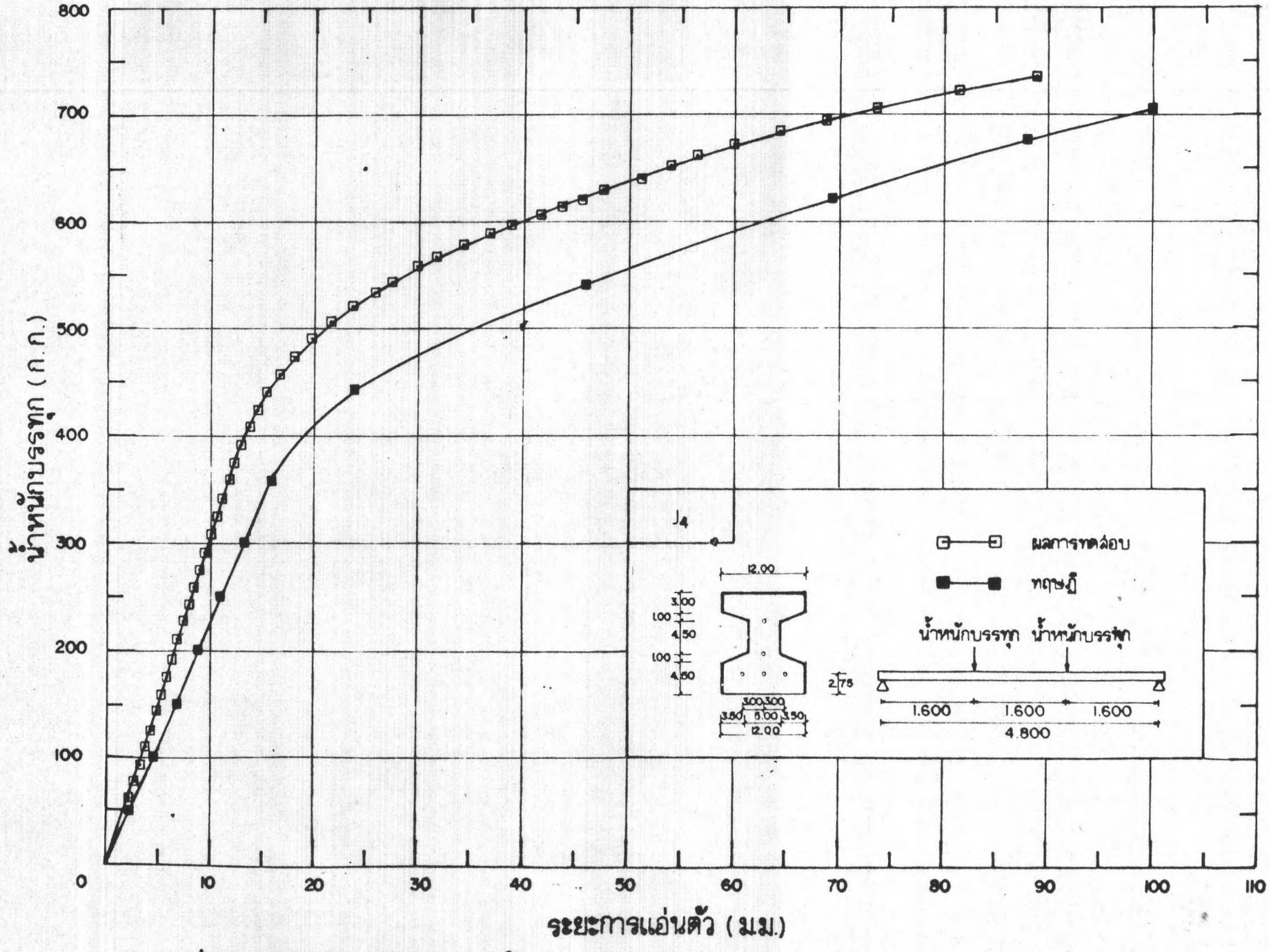
(ตัวเลขแสดงค่าของน้ำหนักบรรทุก (กก. /ม.) ขณะเกิดรอยแตกร้าว)



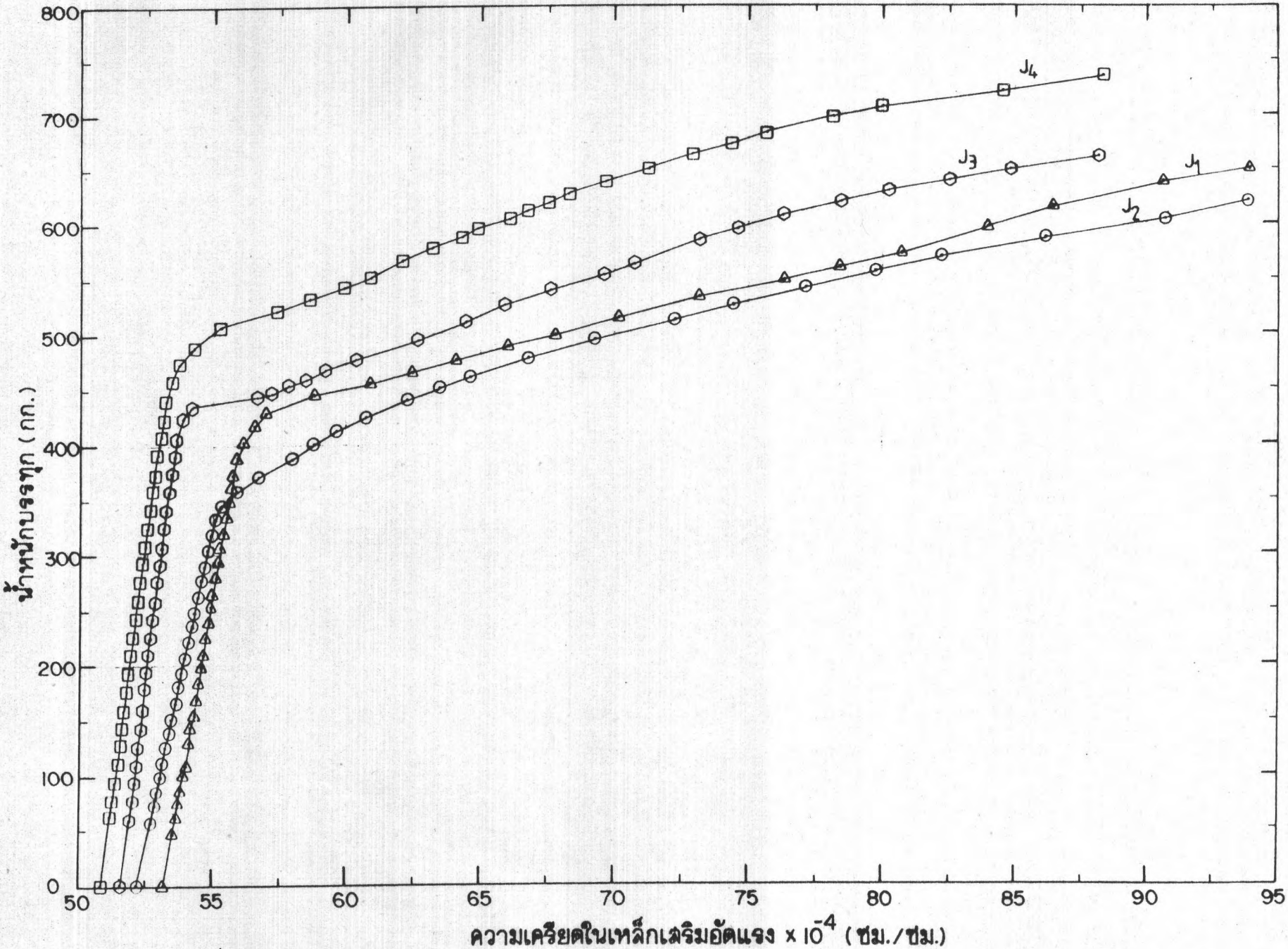
รูปที่ 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงของคาน J_1 และคาน J_2



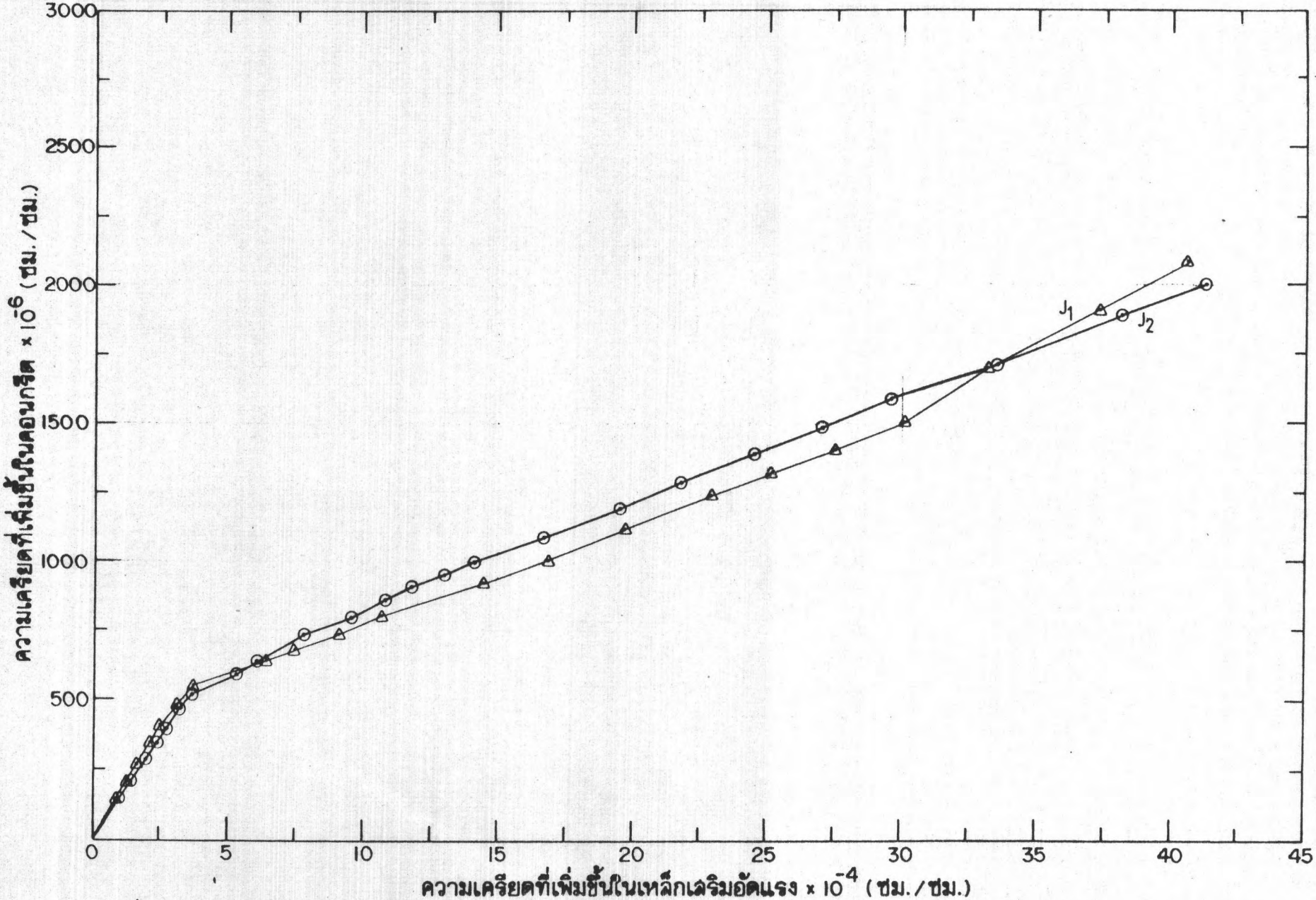
รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงของคาน J_3



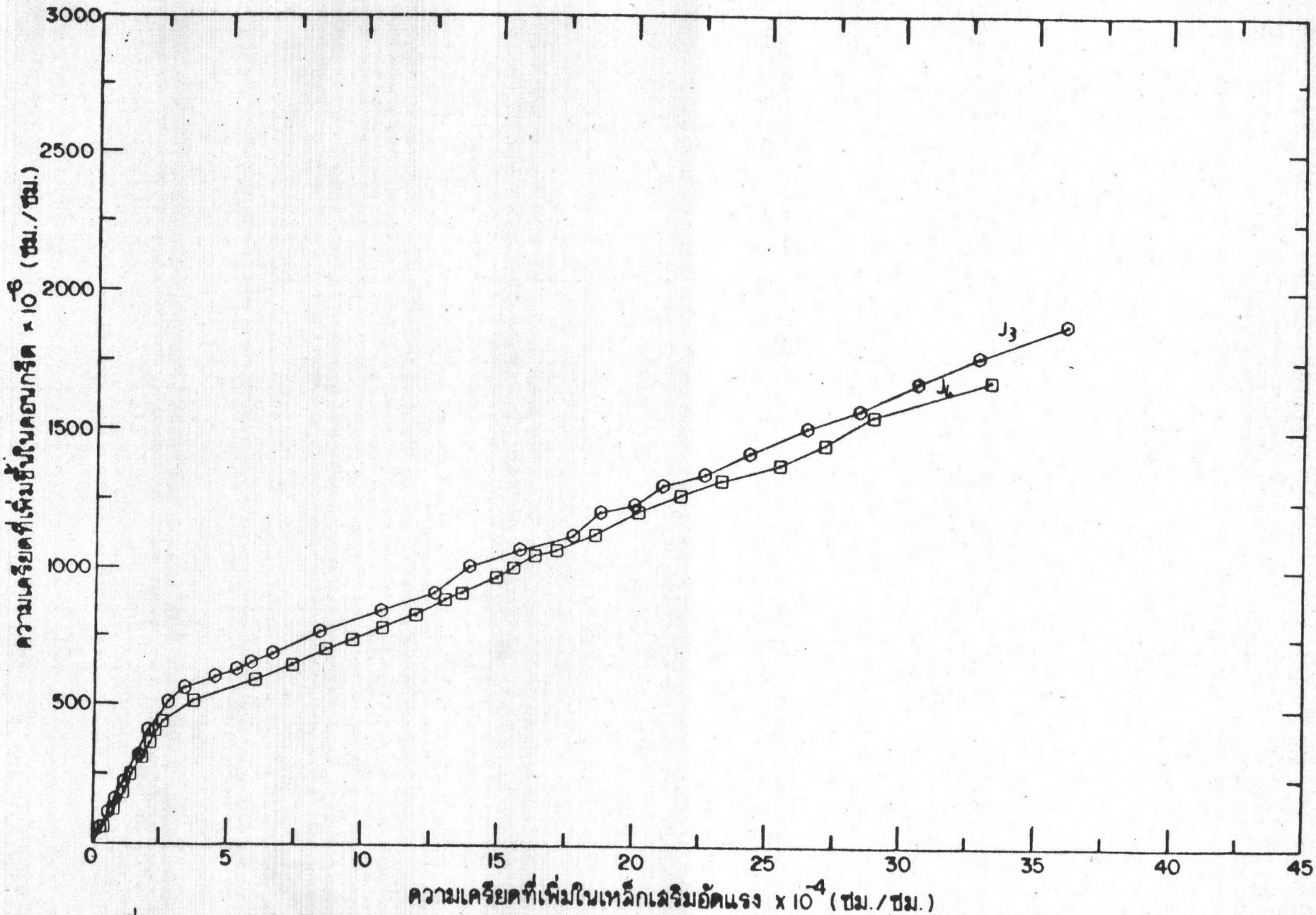
รูปที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงของคาน J_4



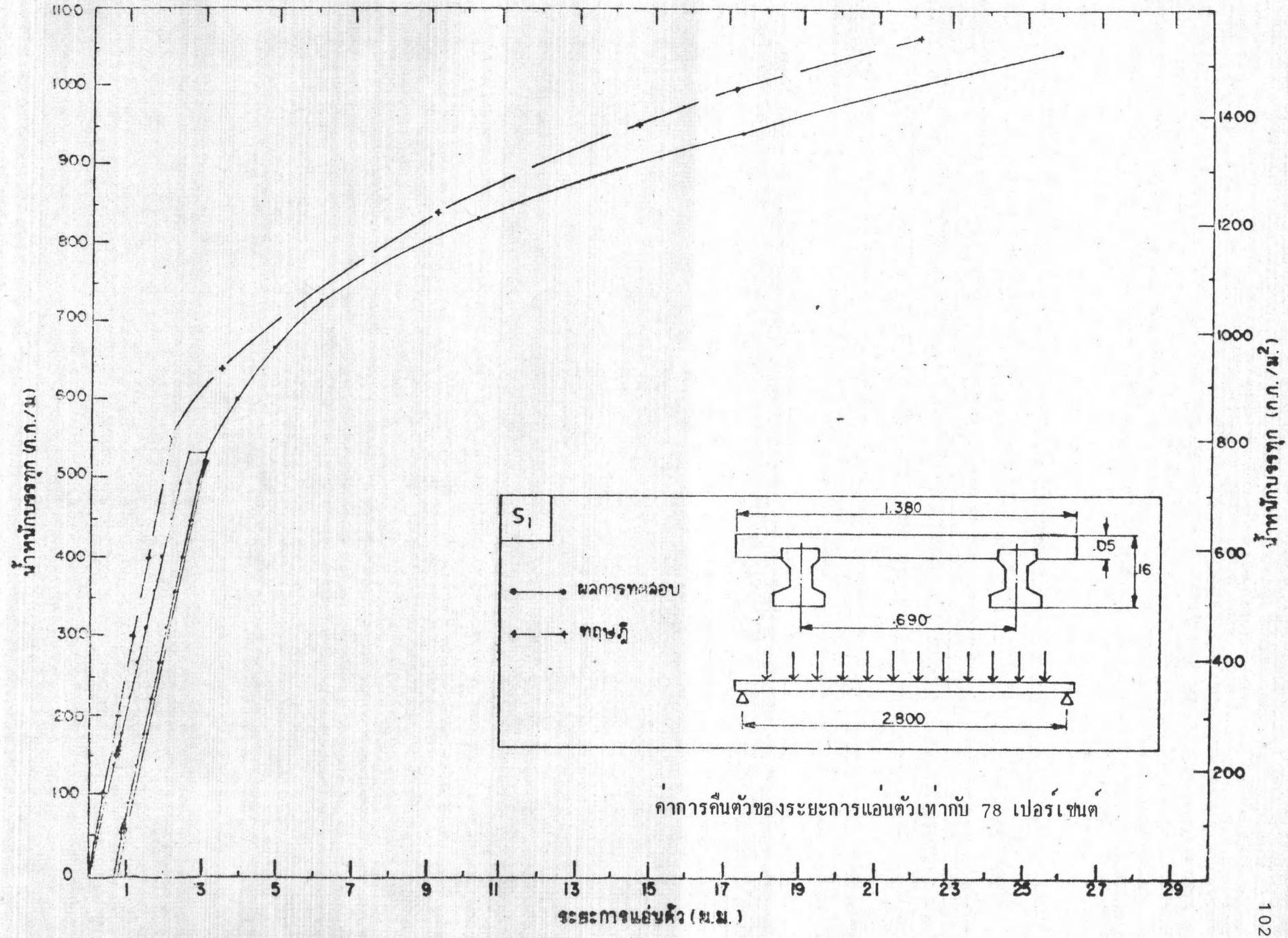
รูปที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริมอัดแรงที่จุดกึ่งกลางช่วงของคาน J_1, J_2, J_3 และ J_4



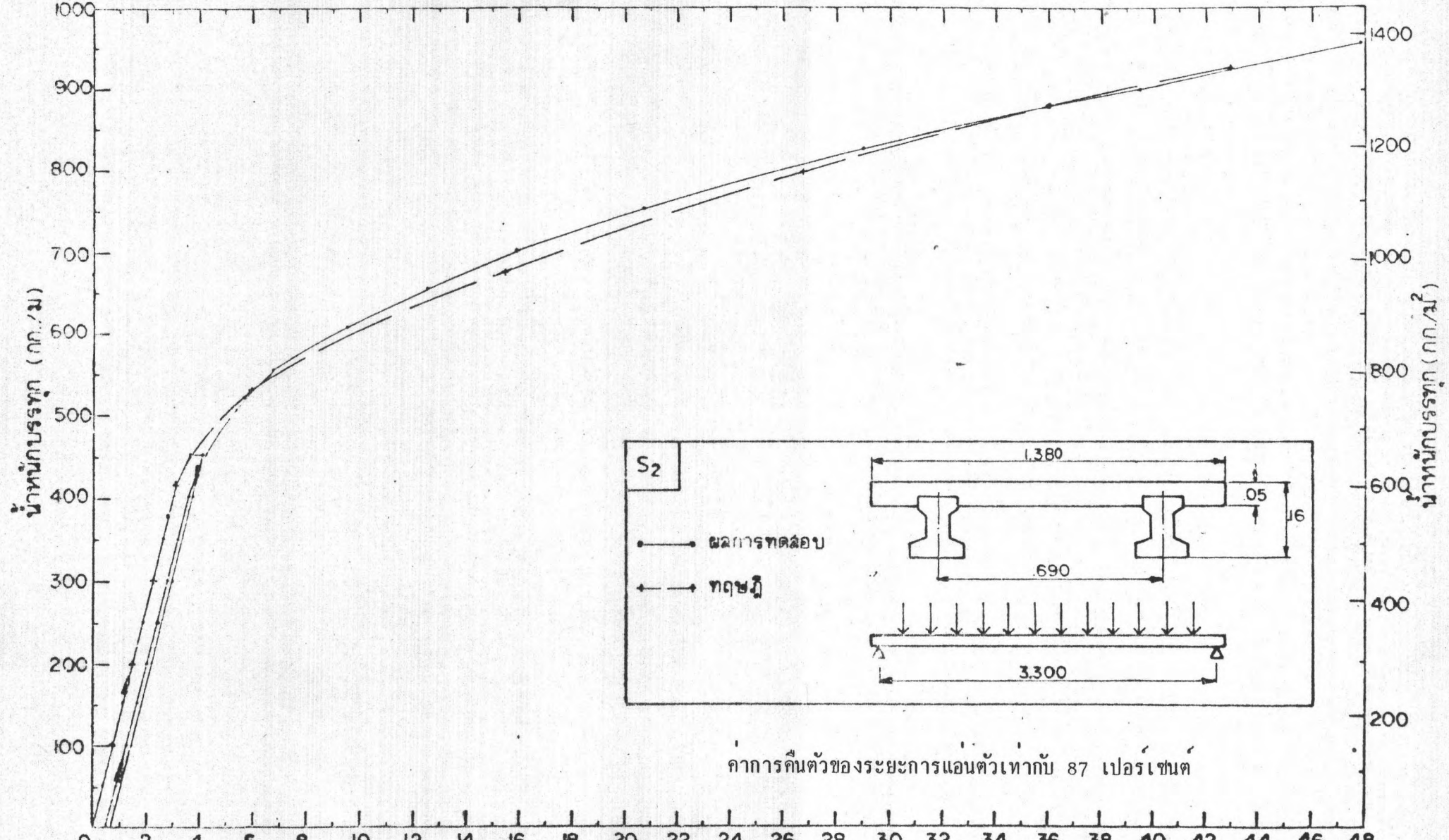
รูปที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในคอนกรีตกับความเครียดในเหล็กเสริมอัดแรงที่จุดกึ่งกลางช่วงของคาน J_1 และ J_2



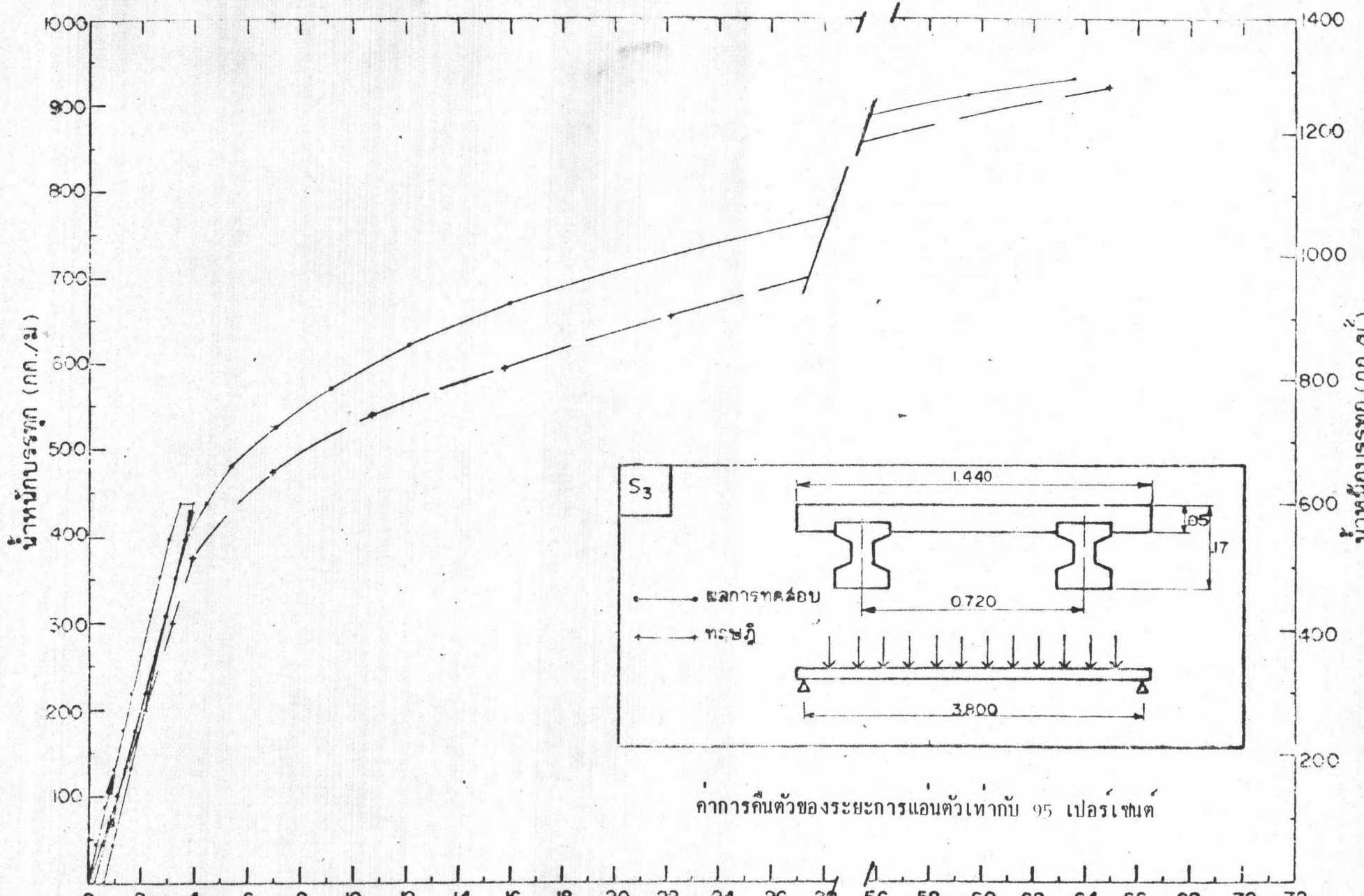
รูปที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดในคอนกรีตกับความเครียดในเหล็กเสริมอัดแรงที่จุดกึ่งกลางช่วงของคาน J_3 และ J_4



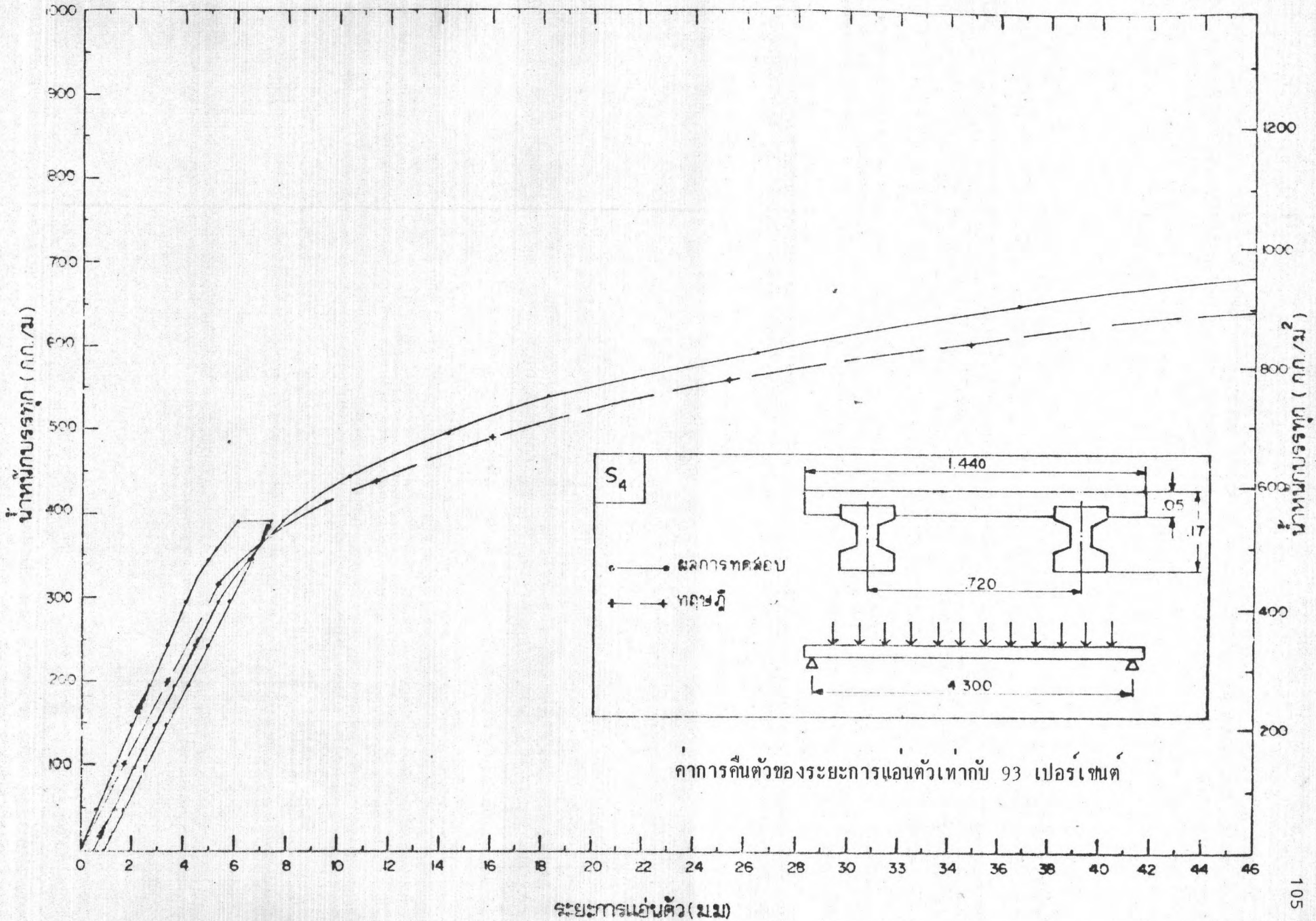
รูปที่ 4.15 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น-ดง S_1



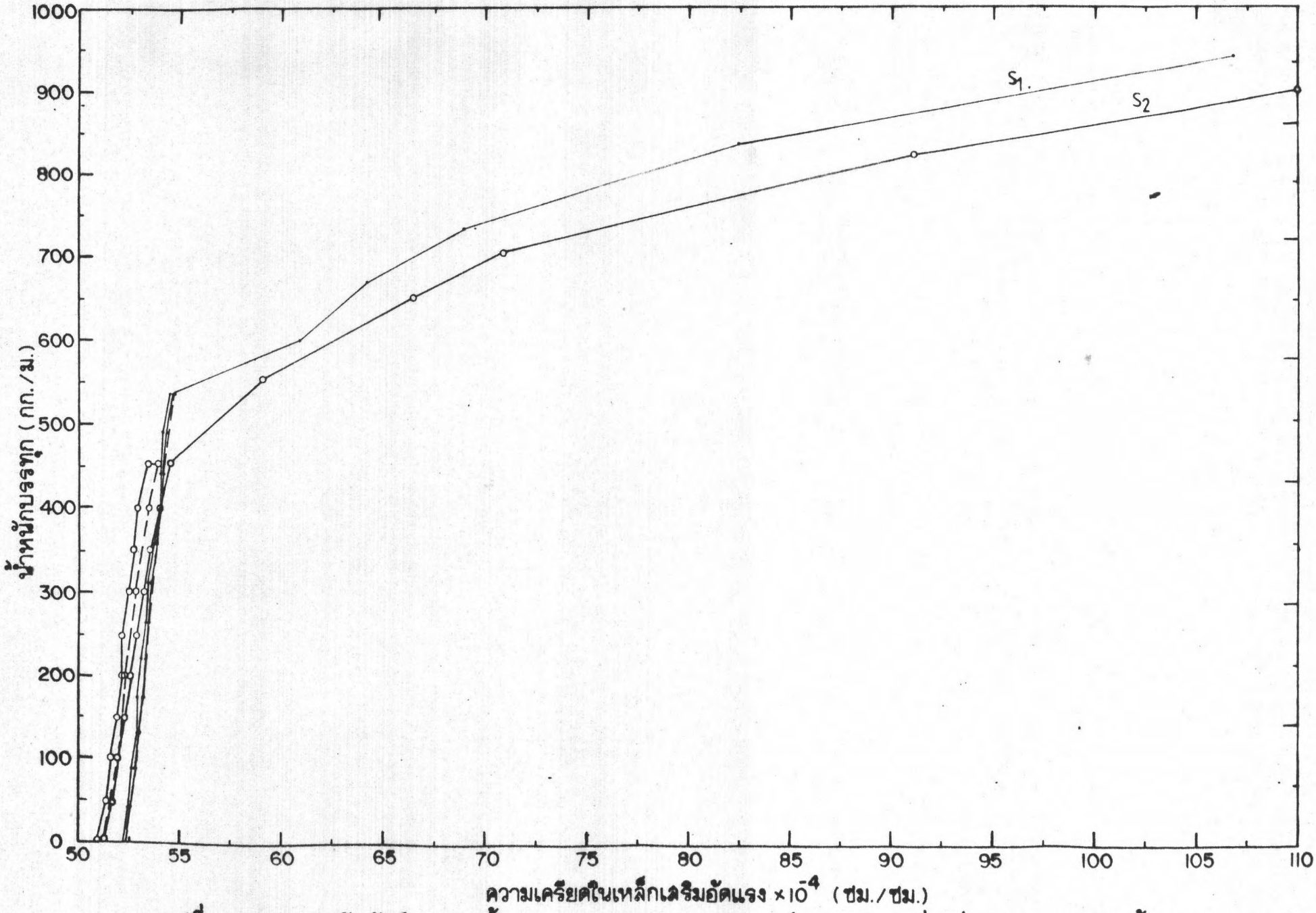
รูปที่ 4.16 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น-คาน S_2



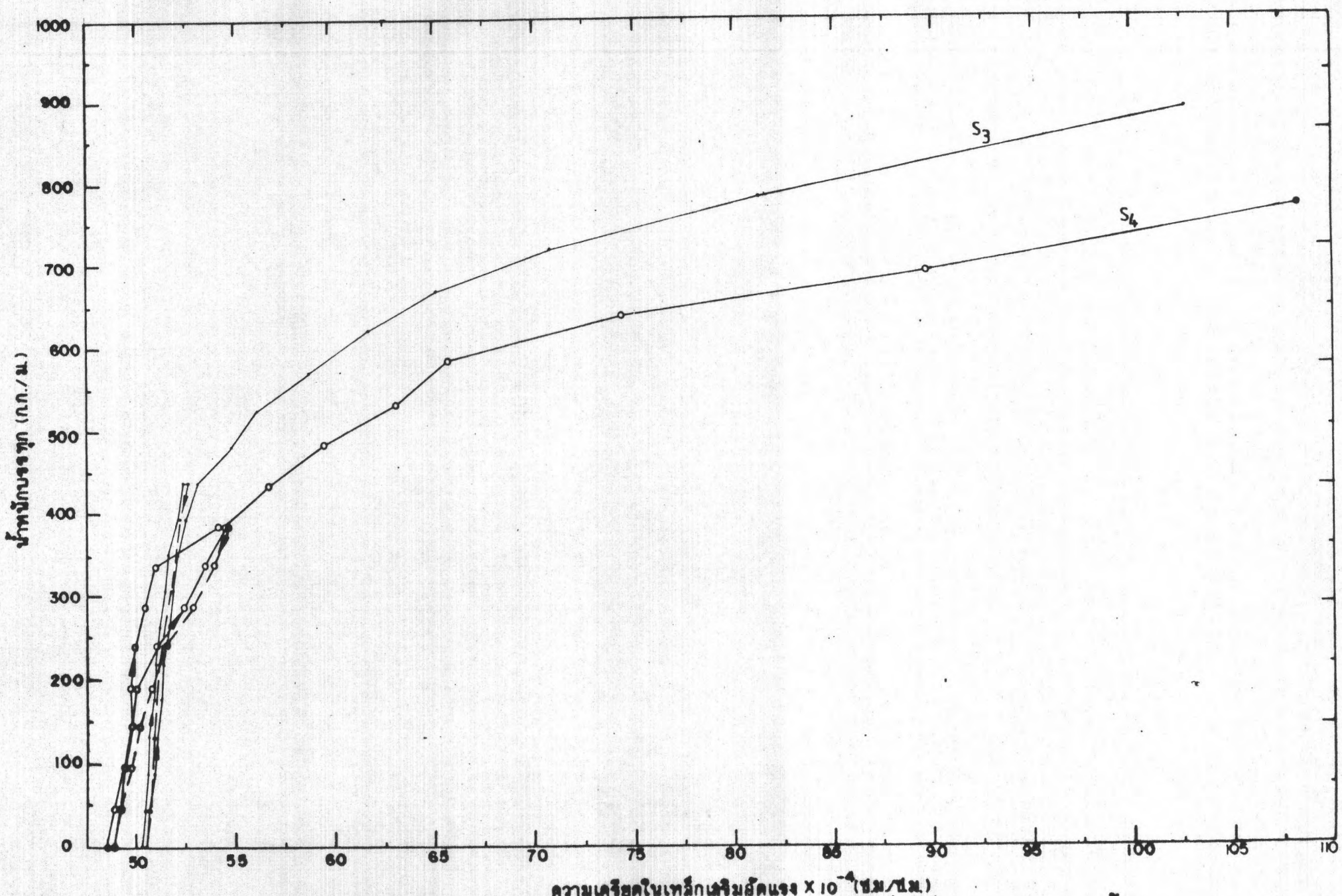
รูปที่ 4.17 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุก กับ การแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น-คง S_3



รูปที่ 4.18 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น – คง S_4

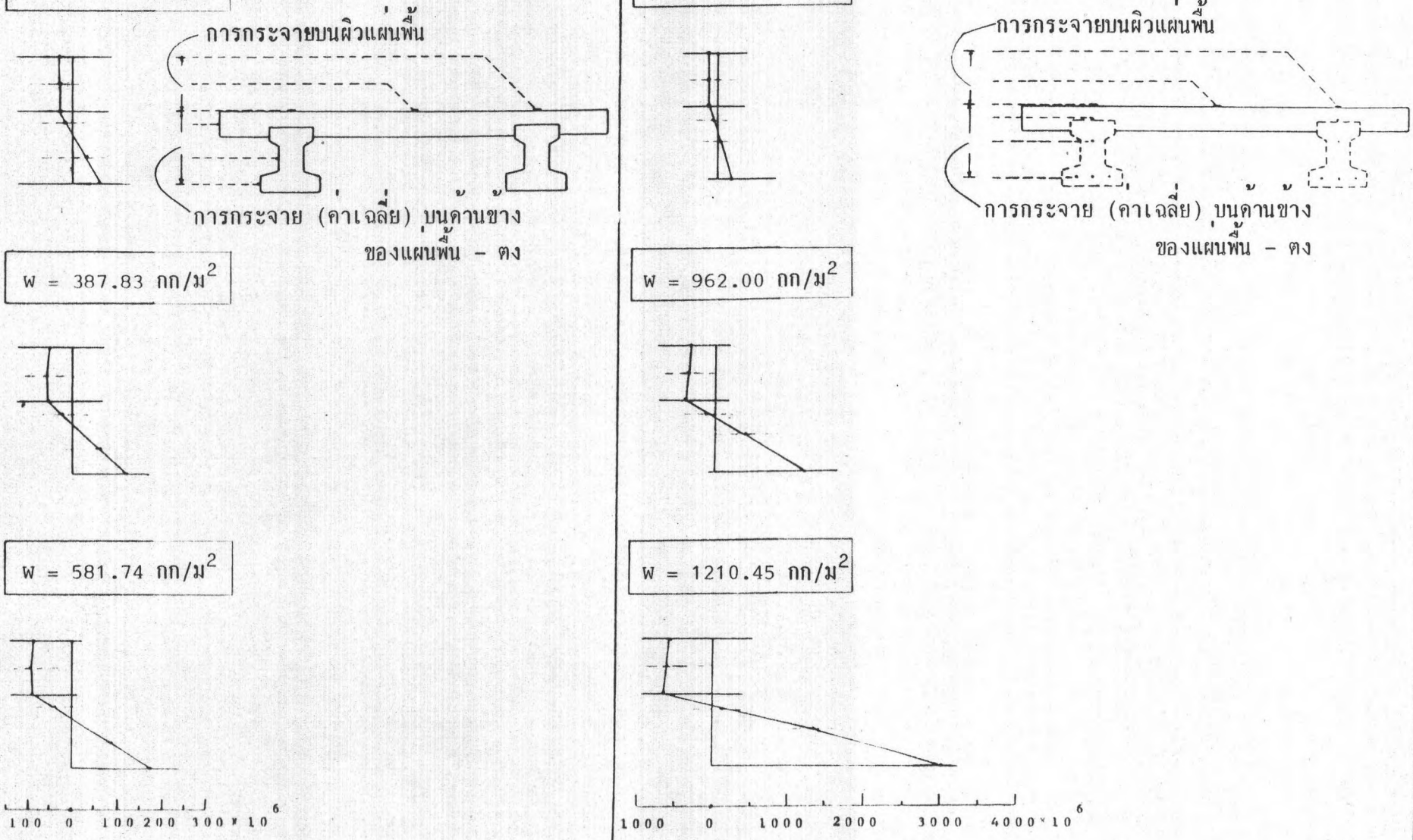


รูปที่ 4.19 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริมอัดแรงที่จุดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น - ตง S_1 และ S_2



รูปที่ 4.20 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับความเครียดในเหล็กเสริมอัดแรงที่จุดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น - คง S_3 และ S_4

การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตก่อนเกิดการแตกร้าว	การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตและเหล็กเสริมอัดแรงหลังเกิดการแตกร้าว
w = 193.91 กก/ม^2	w = 775.65 กก/ม^2
w = 387.83 กก/ม^2	w = 962.00 กก/ม^2
w = 581.74 กก/ม^2	w = 1210.45 กก/ม^2



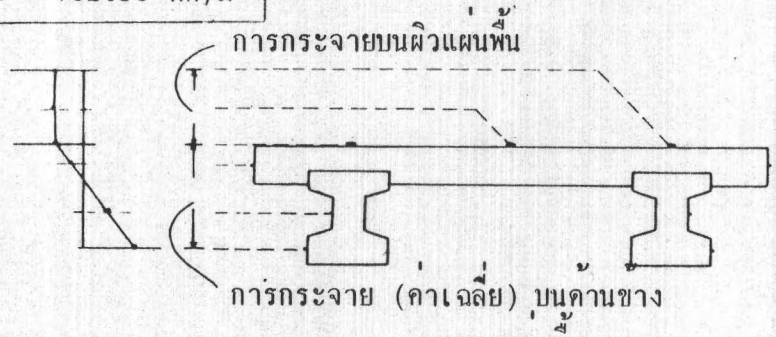
รูปที่ 4.21 การกระจายหน่วยความเครียดที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น – ตง S_1

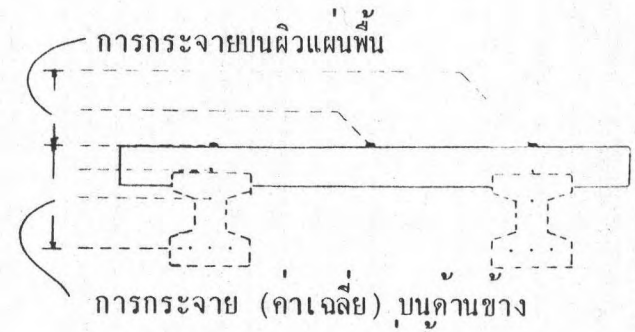
การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตก่อนเกิดการแตกร้าว	การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตและเหล็กเสริมอัดแรงหลังเกิดการแตกร้าว
$w = 219.39$ กก/ม^2	$w = 804.43$ กก/ม^2
การกระจายบนผิวแผ่นพื้น	การกระจายบนผิวแผ่นพื้น
การกระจาย (ค่าเฉลี่ย) บนด้านข้างของแผ่นพื้น - ตง	การกระจาย (ค่าเฉลี่ย) บนด้านข้างของแผ่นพื้น - ตง
$w = 438.78$ กก/ม^2	$w = 1016.70$ กก/ม^2
$w = 585.04$ กก/ม^2	$w = 1297.07$ กก/ม^2
100 0 100 200 300 × 10^6	1500 0 1500 3000 4500 6000 × 10^6

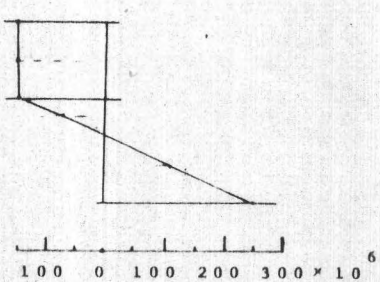
รูปที่ 4.22 การกระจายหน่วยความเครียดที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น- ตง S_2

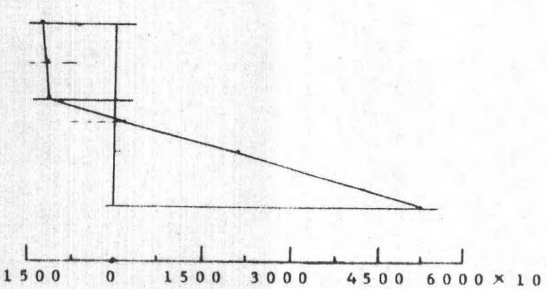
หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตก่อนเกิดการแตกร้าว	การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตและเหล็กเสริมอัดแรงหลังเกิดการแตกร้าว
$w = 182.58$ กก/ม^2	$w = 730.33$ กก/ม^2
$w = 365.17$ กก/ม^2	$w = 930.13$ กก/ม^2
$w = 485.25$ กก/ม^2	$w = 1230.64$ กก/ม^2



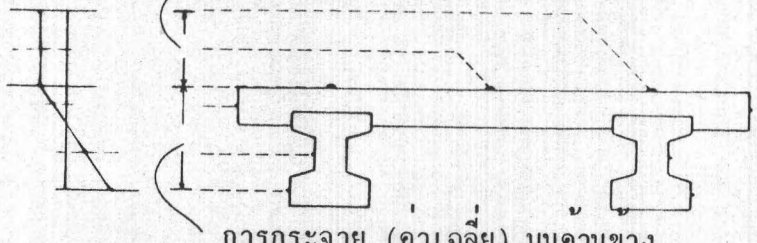


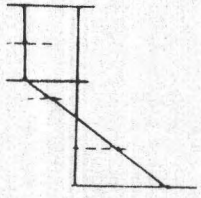


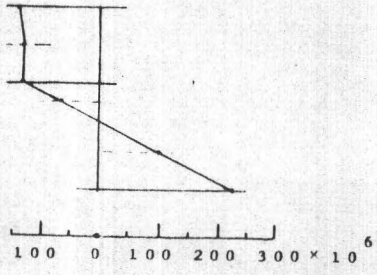


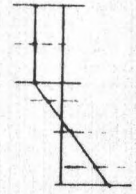
รูปที่ 4.23 การกระจายหน่วยความเครียดที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น - ตง S_3

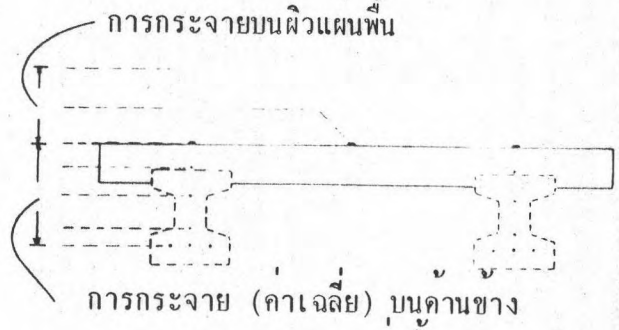
การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตก่อนเกิดการแตกร้าว	การกระจายหน่วยความเครียดของคอนกรีตและเหล็กเส้นเสริมอัดแรงหลังเกิดการแตกร้าว
$w = 134.47$ กก/ม^2	$w = 672.36$ กก/ม^2
$w = 268.94$ กก/ม^2	$w = 672.36$ กก/ม^2
$w = 403.42$ กก/ม^2	$w = 813.17$ กก/ม^2

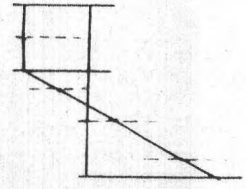


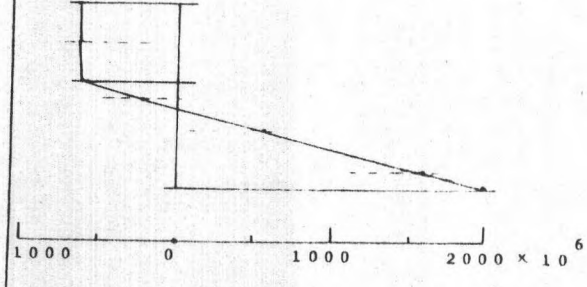












รูปที่ 4.24 การกระจายหน่วยความเครียดที่หน้าตัดกึ่งกลางช่วงของแผ่นพื้น - ตง S4

ภาคผนวก

1. <u>การคำนวณออกแบบแผ่นพื้น</u>

1.1 ข้อกำหนดทั่วไปในการออกแบบ

ก. การจัดน้ำหนักบรรทุก

น้ำหนักประลัย U ที่ใช้ในการออกแบบ

$$U = 1.7\,DL + 2.0\,LL$$

เมื่อ U = น้ำหนักประลัยที่ใช้ออกแบบ

DL = น้ำหนักบรรทุกคงที่ที่ใช้งาน

LL = น้ำหนักบรรทุกจรที่กำหนด

ข. ตัวคูณลดค่ากำลังประลัย

สำหรับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริง เพื่อความปลอดภัยจะใช้ตัวคูณลดกำลังประลัย ϕ คูณเข้ากับกำลังประลัยที่คำนวณได้จริง ดังนี้

ϕ = 0.90 สำหรับการดัด

= 0.85 สำหรับแรงเฉือน

ค. หน่วยแรงที่ยอมให้ของคอนกรีต

หน่วยแรงในคอนกรีตชั่วคราวทันทีที่ถ่ายแรง ต้องไม่เกิน

$.60\,f'_{ci}$ สำหรับรับแรงดัด

$.795\sqrt{f'_{ci}}$ สำหรับรับแรงดึง

เมื่อ f'_{ci} = กำลังอัดประลัย เมื่อเวลาเริ่มอัดแรงในคอนกรีต

หน่วยแรงในคอนกรีตในขณะใช้งาน ต้องไม่เกิน

$.45\,f'_{c}$ สำหรับรับแรงดัด

$1.59\sqrt{f'_{c}}$ สำหรับรับแรงดึง

ง. หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมอัดแรง

หน่วยแรงในเหล็กเสริมอัดแรงขณะที่ดึงต้องไม่เกิน $.80\,f_{pu}$ หรือ $.94\,f_{py}$

หน่วยแรงในเหล็กเสริมอัดแรงทันทีที่ถ่ายแรงไปให้คอนกรีตต้องไม่เกิน $.70\,f_{pu}$

1.2 หลักเกณฑ์ในการเลือกขนาดของหน้าตัด

รูปร่างหน้าตัดเป็นตัวบ่งถึงความประหยัดของโครงสร้าง ตัวที่แสดงถึงประสิทธิภาพของหน้าตัด คือ e เป็นไร้มิติ ค่าของ e ถ้ามากขึ้น ก็หมายถึงรูปตัดนั้นมีความประหยัดขึ้นตามตัว

$$\text{ค่าของ} \quad e = \frac{I}{AC_1C_2}$$

โดยค่า I = โมเมนต์อินเนอร์เชีย ของหน้าตัด

A = เนื้อที่หน้าตัด

C_1, C_2 = ระยะจากแกนศูนย์ถ่วงถึงผิวบนและล่างของหน้าตัด

1.3 รายละเอียดของการออกแบบ

1.3.1 กำหนดคุณสมบัติของวัสดุ

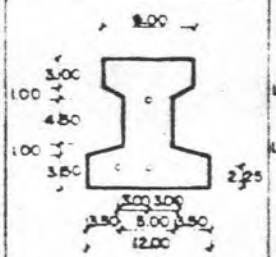
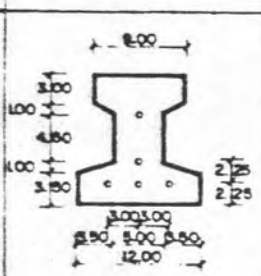
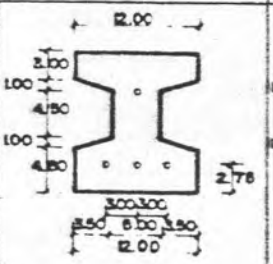
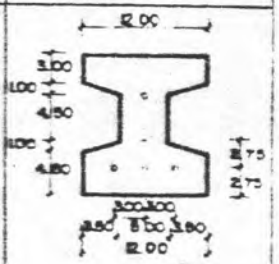
กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ในคาน $(f'_c)_{cp}$ = 350 กก/ซม^2

กำลังอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ในแผ่นพื้นคอนกรีต-เสริมเหล็กหล่อกับที่ $(f'_c)_t$ = 150 กก/ซม^2

กำลังดึงประลัยของเหล็กเสริมอัดแรง f_{pu} = 17500 กก/ซม^2

1.3.2 คุณสมบัติของหน้าตัด

ก. คุณสมบัติของหน้าตัดคาน

คานแบบที่ 1	คานแบบที่ 2	คานแบบที่ 3	คานแบบที่ 4
4 ø 4 มม	5 ø 4 มม	4 ø 5 มม	5 ø 5 มม
e = 2.01 ซม	e = 1.89 ซม	e = 2.22 ซม	e = 2.03 ซม
			
A_{cp} = 107 ซม^2 I_{cp} = 1816.83 ซม^4 Y_{tp} = 7.056 ซม Y_{bp} = 5.944 ซม Z_{tp} = 257.49 ซม^3 Z_{bp} = 305.66 ซม^3 w = 25.68 กก/ม		A_{cp} = 129.5 ซม^2 I_{cp} = 2618.85 ซม^4 Y_{tp} = 7.223 ซม Y_{bp} = 6.777 ซม Z_{tp} = 362.49 ซม^3 Z_{bp} = 386.34 ซม^3 w = 31.08 กก/ม	

ข. หน่วยแรงประสิทธิผลเนื่องจากแรงอัดในคาน

$$f_{c,p} = -\frac{F_e}{A_{cp}} \pm \frac{F_e Y_{cp}}{I_{cp}}$$

โดยคิด หน่วยแรงดึงเริ่มแรก $.70 f_{pu}$ = 12250 กก/ซม^2

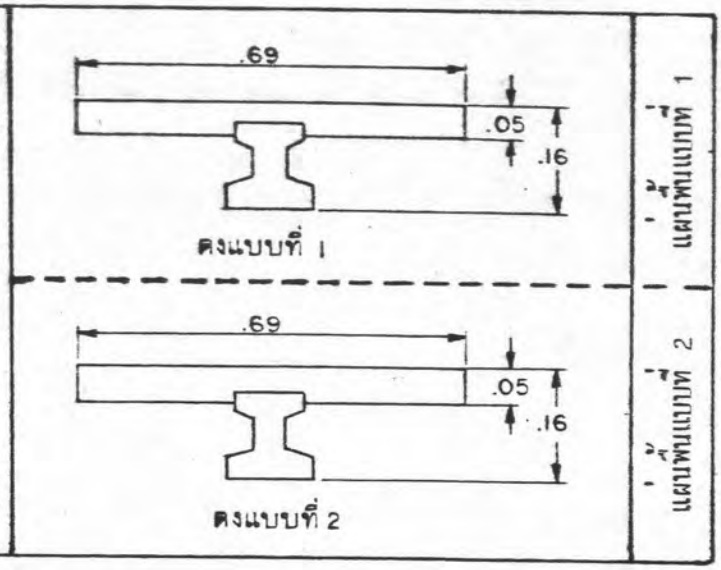
การเสื่อมสูญหน่วยแรงทั้งหมด 20%

หน่วยแรงอัดประสิทธิผล = 9800 กก/ซม^2

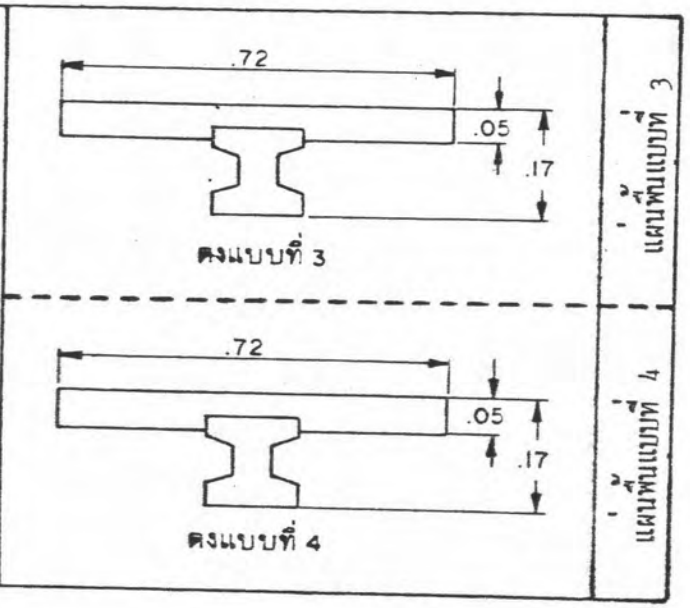
รายการ	หน่วยแรงประสิทธิผลเนื่องจากแรงอัด (กก/ซม^2)	
	ที่ผิวบนสุดของหน้าตัด	ที่ผิวล่างสุดของหน้าตัด
คานแบบที่ 1	7.61	78.64
คานแบบที่ 2	12.38	95.88
คานแบบที่ 3	12.30	103.49
คานแบบที่ 4	20.41	124.64

ค. เมื่อหล่อแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ หนา 5 ซม อมทับคาน โดยใช้วิธีเนื้อที่หน้าตัดแปลง (transformed section concept) จะได้หน้าตัดเชิงประกอบคานหนึ่งตัวเป็นรูปตัวที (T) และมีคุณสมบัติของหน้าตัด

A_{cc}	=	313.25	ซม^2
I_{cc}	=	6396.83	ซม^4
Y_{tc}	=	4.995	ซม
Y_{bc}	=	11.005	ซม
Z_{tc}	=	1280.65	ซม^3
Z_b	=	581.27	ซม^3
W_{DL}	=	104.76	กก/ม
	=	151.83	กก/ม^2



A_{cc}	=	339.5	ซม^2
I_{cc}	=	8026.57	ซม^4
Y_{tc}	=	5.338	ซม
Y_{bc}	=	11.662	ซม
Z_{tc}	=	1503.67	ซม^3
Z_{bc}	=	688.27	ซม^3
W_{DL}	=	112.32	กก/ม
	=	156.00	กก/ม^2



1.3.3 กำลังรับแรงดัดของหน้าตัด

ก. กำลังรับแรงดัดประลัยของแผ่นพื้น $M = \phi M_U'$

$= .9 M_U'$

โดยที่ $M_U' = A_{ps} f_{ps} d(1 - .59 \frac{\partial_p f_{ps}}{f_c'})$

และ $f_{ps} = f_{pu}(1 - .5 \partial_p \frac{f_{pu}}{f_c'})$

รายการ	A_{ps} (ซม^2)	d (ซม)	b (ซม)	$\partial_p = \frac{A_{ps}}{bd}$ ($x10^{-4}$)	f_{ps} (กก/ซม^2)	M_U' (กก-ม)	$\phi M_U'$ (กก-ม)
แผ่นพื้นแบบที่ 1	.503	12.066	69	6.042	16883	983	885
แผ่นพื้นแบบที่ 2	.628	11.950	69	7.616	16722	1192	1073
แผ่นพื้นแบบที่ 3	.785	12.440	72	8.764	16605	1529	1376
แผ่นพื้นแบบที่ 4	.982	12.250	72	11.134	16363	1827	1645

ข. ตรวจสอบกำลังรับแรงดัดที่หน่วยแรงที่ยอมให้คอนกรีต M = Z6 ที่ยอมให้ของคอนกรีต

รายการ	กำลังรับแรงดัด (กก - ม)		
	เมื่อหน่วยแรงอัด		เมื่อหน่วยแรงดึง
	ที่ผิวบนสุดของแผ่นพื้น = .45 $(f'_c)_t$ = 67.5 กก/ซม^2	ที่ผิวบนสุดของส่วนตัวตง = .45 $(f'_c)_{cp}$ = 157.5 กก/ซม^2	ที่ผิวล่างสุดของแผ่นพื้น = 1.59 $\sqrt{(f'_c)_{cp}}$
แผ่นพื้นแบบที่ 1	1320	4806	630
แผ่นพื้นแบบที่ 2	1320	4653	730
แผ่นพื้นแบบที่ 3	1550	4985	917
แผ่นพื้นแบบที่ 4	1550	4706	1062

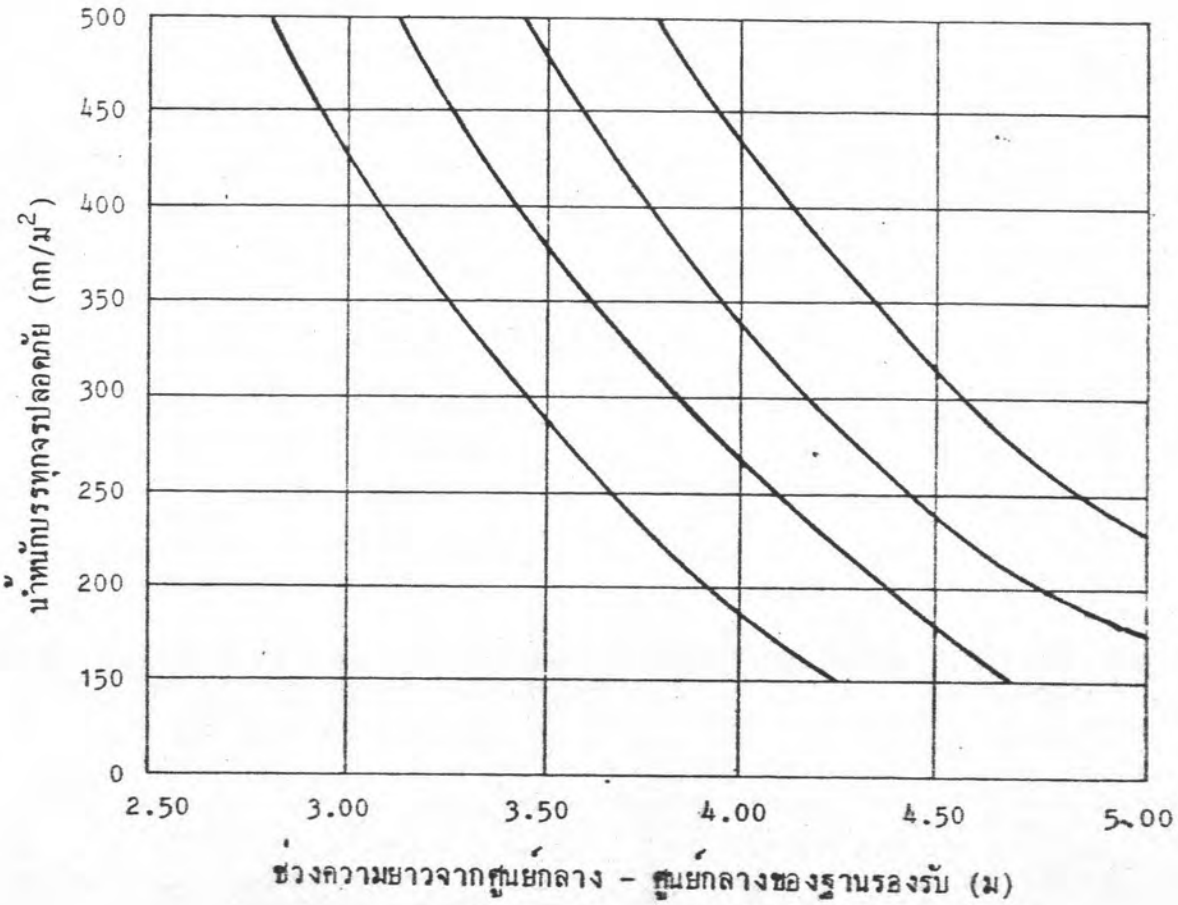
ค. น้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานปลอดภัยของแผ่นพื้น $M_{LL} = \frac{1}{2}[.9M'_U - 1.7M_{DL}]$

และระยะการแอ่นตัวของแผ่นพื้นขณะรับน้ำหนักบรรทุกที่ใช้งานปลอดภัย

$$\Delta = \frac{5}{384}\frac{WL^4}{15210\sqrt{f'_c}\, I_g}$$

รายการ		ช่วงความยาว c/c ของฐานรองรับ (ม)						
		2.50	3.00	3.50	4.00	4.50	5.00	5.50
แผ่นพื้นแบบที่ 1	น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (กก/ม^2)	692	441	290	191			
	ระยะการแอ่นตัวขณะรับน้ำหนักนี้ (มม)	1.34	1.76	2.15	2.41			
แผ่นพื้นแบบที่ 2	น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (กก/ม^2)	866	562	379	260	178		
	ระยะการแอ่นตัวขณะรับน้ำหนักนี้ (มม)	1.67	2.24	2.81	3.28	3.60		
แผ่นพื้นแบบที่ 3	น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (กก/ม^2)	1,090	717	491	345	245	173	
	ระยะการแอ่นตัวขณะรับน้ำหนักนี้ (มม)	1.75	2.38	3.03	3.62	4.12	4.44	
แผ่นพื้นแบบที่ 4	น้ำหนักบรรทุกปลอดภัย (กก/ม^2)	1,330	883	613	439	319	233	170
	ระยะการแอ่นตัวขณะรับน้ำหนักนี้ (มม)	2.07	2.93	3.78	4.61	5.36	5.98	6.38

แสดงเป็นตาราง



ง. ตรวจสอบระยะการแอ่นตัวของคานขณะคอนกรีตยังก่อสร้าง

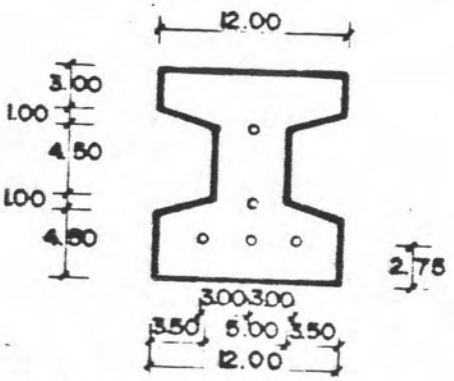
หาระยะช่วงความยาวของคานมากสุดที่ให้ระยะการแอ่นตัวไม่เกิน $\frac{L}{360}$ ในขณะคอนกรีตยังโดยไม่ใช้ค้ำยัน ซึ่งจะประมาณว่าน้ำหนักบรรทุกขณะทำการคอนกรีตยัง เท่ากับ 200 กก/ม^2

$$L_{max} = 3\sqrt{\frac{1}{5} \times 360w \ (384 \times 15210 \sqrt{f'_c} \times I_g}$$

รายการ	ความยาวช่วงจากศูนย์กลาง - ศูนย์กลางมากสุด (ม)
แผ่นพื้นแบบที่ 1	4.30
แผ่นพื้นแบบที่ 2	4.30
แผ่นพื้นแบบที่ 3	4.80
แผ่นพื้นแบบที่ 4	4.80

2. ตัวอย่างการวิเคราะห์คงและแผ่นพื้น-คง

วิเคราะห์คง J_4



เหล็กเสริมอัดแรงขนาด ø 5 มม. (5 เส้น)

คุณสมบัติของหน้าตัด

ระยะเยื้องศูนย์ $e = 2.03$ ซม

พื้นที่หน้าตัด $A_{cp} = 129.50$ ซม^2

เนื้อที่ของเหล็กเสริม $A_{ps} = .982$ ซม^2

โมเมนต์อินเนอร์เชีย $I_{cp} = 2618.85$ ซม^4

คุณสมบัติของวัสดุจากการทดสอบได้

$f_c' = 435.45$ กก/ซม^2, $E_c = 3.37 \times 10^5$ กก/ซม^2

$f_{pu} = 18200$ กก/ซม^2, $E_{ps} = 2.05 \times 10^5$ กก/ซม^2

f_{se} ขณะทดสอบ $= 10248.67$ กก/ซม^2

หาน้ำหนักบรรทุกแตกร้าวเริ่มแรก

ตามมาตรฐาน ACI กำหนดโมดูลัสแตกร้าว (Modulus of Rupture) ของคอนกรีตมีค่าเท่ากับ $1.99\sqrt{f_c'}$ กก/ซม^2

จากสมการ (2.23)

$$M_{cr} = .982 \times 10248.67 \times 2.03 + \frac{.982 \times 10248.67 \times 2618.85}{129.5 \times 6.777} + \frac{1.99\sqrt{435.45} \times 2618.8}{6.777}$$

$$= 665.09 \text{ กก - ม}$$

$$M_{DL} = \frac{WL^2}{8} = \frac{(31.08)(4.8)^2}{8} = 89.51 \text{ กก - ม}$$

$$P_{LL} = \frac{(M_{cr} - M_{DL})3}{L} = \frac{(665.09 - 89.51)3}{4.8} = 359.74 \text{ กก}$$

หาระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงขณะเกิดการแตกร้าวเริ่มแรก

$$\Delta = \frac{23}{648}\frac{PL^3}{E_c I_g}$$

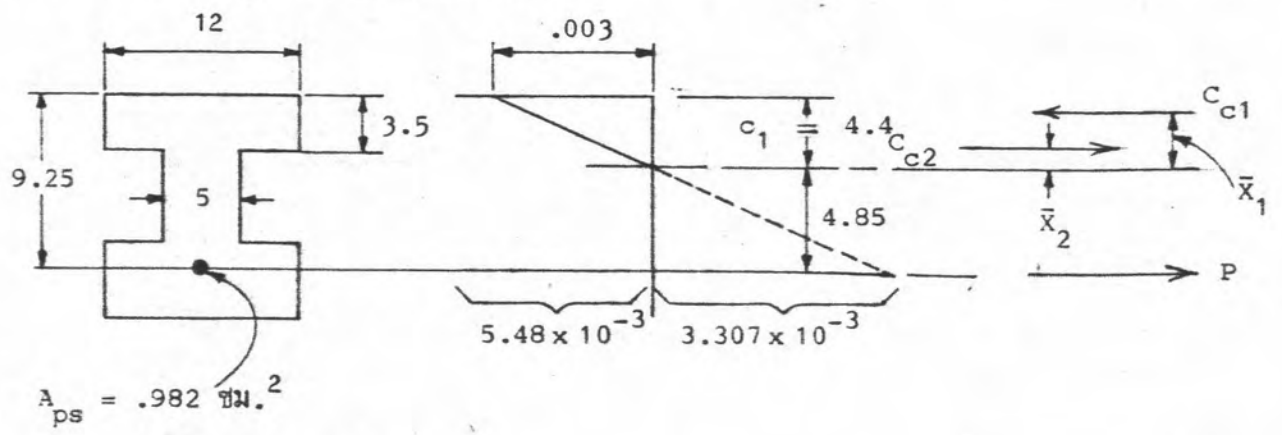
$$= \frac{23 \times 359.74 \times (480)^3}{648 \times 3.37 \times 10^5 \times 2618.85}$$

$$= 1.6 \text{ ซม}$$

หอสมุดกลาง สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

หาน้ำหนักบรรทุกประลัย

โดยกำหนดให้ความเครียดคอนกรีตที่ผิวบนเท่ากับ .003 ซม/ซม และสมมุติตำแหน่งแกนสะเทินอยู่ห่างจากผิวบน 4.4 ซม



จากสมการ (2.35)

$$\varepsilon_{ps} = \frac{10248.67}{2.05 \times 10^{6}} + \frac{10248.67 \times 2.03}{129.5 \times 3.37 \times 10^{5}} \left[1 + \frac{(2.03)^2}{20.22} + \frac{.003}{4.4}(9.25 - 4.4)\right.$$

$$= 4999.35 \times 10^{-6} + 481.53 \times 10^{-6} + 3.307 \times 10^{-3}$$

$$= 8.788 \times 10^{-3} \text{ ซม}$$

หา f_{ps} จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงดึงสูงเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม ในรูปที่ 3.2

$$P = .982 \times 16300 = 16006.6 \text{ กก}$$

จากสมการ (2.25)

$$C_{c_1} = \frac{12}{2.54} \times 435.45 \times 14.19 \times \frac{.003 \times 4.4}{.0025 \times 2.54}\left[1 - \frac{.003}{3 \times .0025}\right]$$

$$= 16580 \text{ กก}$$

$$C_{c_2} = \frac{7}{2.54} \times 435.45 \times 14.19 \times \frac{.003}{4.4 \times .0025} \times \frac{(.9)^2}{2.54}\left[1 - \frac{(\frac{.003}{4.4} \times .9)}{(3 \times .0025}\right]$$

$$= 613.18 \text{ กก}$$

$$C_c = 16580 - 613.18 = 15966.82 \text{ กก} \approx P$$

หาตำแหน่งของ C_{c_1} และ C_{c_2} จากสมการ (2.26)

$$\bar{X}_1 = 4.4\frac{(8 \times .0025 - 3 \times .003)}{12 \times .0025 - 4 \times .003}$$

$$= 2.69 \text{ ซม}$$

$$\bar{X}_2 = .9\frac{[8 \times .0025 - 3 \times \frac{.003}{4.4} \times .9]}{12 \times .0025 - 4 \times \frac{.003}{4.4} \times .9}$$

$$= .584 \text{ ซม}$$

$$M'_U = 16580\ (4.85 + 2.69) - 613\ (4.85 + .584)$$

$$= 1216.81 \text{ กก - ม}$$

$$P_{LL} = (1216.81 - 89.51)\ \frac{8}{4.8}$$

$$= 704.56 \text{ กก}$$

<u>หาระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงขณะน้ำหนักประลัยกระทำ</u>

$$I_{cr} = \frac{12}{12}(3.5)^3 + 12 \times 3.5\ (4.4 - 1.75)^2 + \frac{20}{12}(.9)^3 + \frac{2.05}{3.37} \times 10 \times .982\ (9.25 - 4.4)^2$$

$$= 479.90 \text{ ซม}^4$$

จากสมการ (2.24)

$$I_e = [\frac{665.09}{1216.81}]^3\ 2618.85 + [1 - (\frac{665.09}{1216.81})^3]\ 479.90$$

$$= 821.96 \text{ ซม}^4$$

$$\Delta = \frac{(23)\ (704.56)\ (480)^3}{(648)\ (3.37 \times 10^5)\ (821.96)}$$

$$= 9.99 \text{ ซม}$$

หาค่าน้ำหนักบรรทุกใช้งานของคาน

หาน้ำหนักบรรทุกที่หน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีต

ตามมาตรฐาน ACI กำหนดหน่วยแรงอัดที่ยอมให้ของคอนกรีตขณะใช้งาน เท่ากับ $.45 f'_c$ กก/ซม^2 ดังนั้น

$$M \text{ ที่ } .45 f'_c = [-21.39 + .45 \times 435.45] \frac{2618.85}{7.223}$$

$$= 632.91 \text{ กก - ม}$$

$$P_{LL} = (632.91 - 89.51) \frac{3}{4.8}$$

$$= 339.63 \text{ กก}$$

หาน้ำหนักบรรทุกที่หน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีต

ตามมาตรฐาน ACI กำหนดหน่วยแรงดึงที่ยอมให้ของคอนกรีตขณะใช้งาน เท่ากับ $.45 \sqrt{f'_c}$ กก/ซม^2 ดังนั้น

$$M = [130.58 + 1.59 \sqrt{435.45}] \frac{2618.85}{6.777}$$

$$= 632.90 \text{ กก - ม}$$

$$P_{LL} = (632.90 - 89.51) \frac{3}{4.8}$$

$$= 339.62 \text{ กก}$$

หาน้ำหนักบรรทุกที่ระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงเท่ากับ $\frac{L}{360}$

น้ำหนักบรรทุกที่ระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงเท่ากับ $\frac{L}{360} = \frac{480}{360}$ = 1.33 ซม อ่านจากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับการแอ่นตัวตามทฤษฎี รูปที่ 4.11 ได้ P_{LL} = 307 กก

คำนวณหาความสัมพันธ์ของน้ำหนักบรรทุกกับระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วง

กำหนดความเครียดของคอนกรีตที่ผิวบนเท่ากับ .0015 ซม/ซม

สมมุติตำแหน่งแกนสะเทินอยู่ที่ 5.55 ซม จากผิวบน

จากสมการ (2.35)

$$\varepsilon_{ps} = \frac{10248.67}{2.05 \times 10^{6}} + \frac{10248.67 \times 2.03}{129.5 \times 3.37 \times 10^{5}} \left[1 + \left(\frac{2.03}{20.22}\right)^{2}\right] + .0015 \left(\frac{9.25 - 5.55}{5.55}\right)$$

$$= 4999.35 \times 10^{-6} + 481.53 \times 10^{-6} + 1.00 \times 10^{-3}$$

$$= 6.481 \times 10^{-3} \text{ ซม/ซม}$$

หา f_{ps} จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงดึงกับความเครียดของเหล็กเสริมรับแรงดึงสูงเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 มม ในรูปที่ 3.2

$$P = .982 \times 12950 = 12716.9 \text{ กก}$$

จากสมการ (2.25)

$$C_{c_1} = \frac{12}{2.54} \times 435.45 \times 14.19 \times \frac{.0015}{.0025} \times \frac{5.55}{2.54} \left[1 - \frac{.0015}{3 \times .0025}\right]$$

$$= 13917.01 \text{ กก}$$

$$C_{c_2} = \frac{7}{2.54} \times 435.45 \times 14.19 \times \frac{.0015}{5.55 \times .0025} \times \frac{(2.25)^{2}}{2.54} \left[1 - \frac{\left(\frac{.0015}{5.55} \times 2.05\right)}{(3 \times .0025)}\right]$$

$$= 1263.64 \text{ กก}$$

$$C_c = 13917.01 - 1263.64 = 12653.37 \text{ กก} \approx P$$

หาตำแหน่งของ C_{c_1} และ C_{c_2} จากสมการ (2.26)

$$\bar{X}_1 = 5.55 \left(\frac{8 \times .0025 - 3 \times .0015}{12 \times .0025 - 4 \times .003}\right)$$

$$= 3.581 \text{ ซม}$$

$$\bar{X}_2 = 2.05 \frac{(8 \times .0025 - 3 \times \frac{.0015}{5.55} \times 2.05)}{(12 \times .0025 - 4 \times \frac{.0015}{5.55} \times 2.05)}$$

$$= 1.346 \text{ ซม}$$

$$M'_U = 13917.01 \ (3.70 + 3.581) - 1263.64 \ (3.70 + 1.346)$$

$$= 949.53 \text{ กก - ม}$$

$$P_{LL} = (949.53 - 89.51) \frac{3}{4.8}$$

$$= 537.52 \text{ กก}$$

$$I_e = \left[\frac{665.09}{949.53}\right]^3 2618.85 + \left[1 - \left(\frac{665.09}{949.53}\right)^3\right] 741.66$$

$$= 1372.11 \text{ ซม}^4$$

ระยะการแอ่นตัวที่จุดกึ่งกลางช่วงขณะรับน้ำหนักบรรทุกนี้

$$\Delta = \frac{(23)(537.52)(480)^3}{(648)(3.37 \times 10^5)(1372.11)}$$

$$= 4.57 \text{ ซม}$$

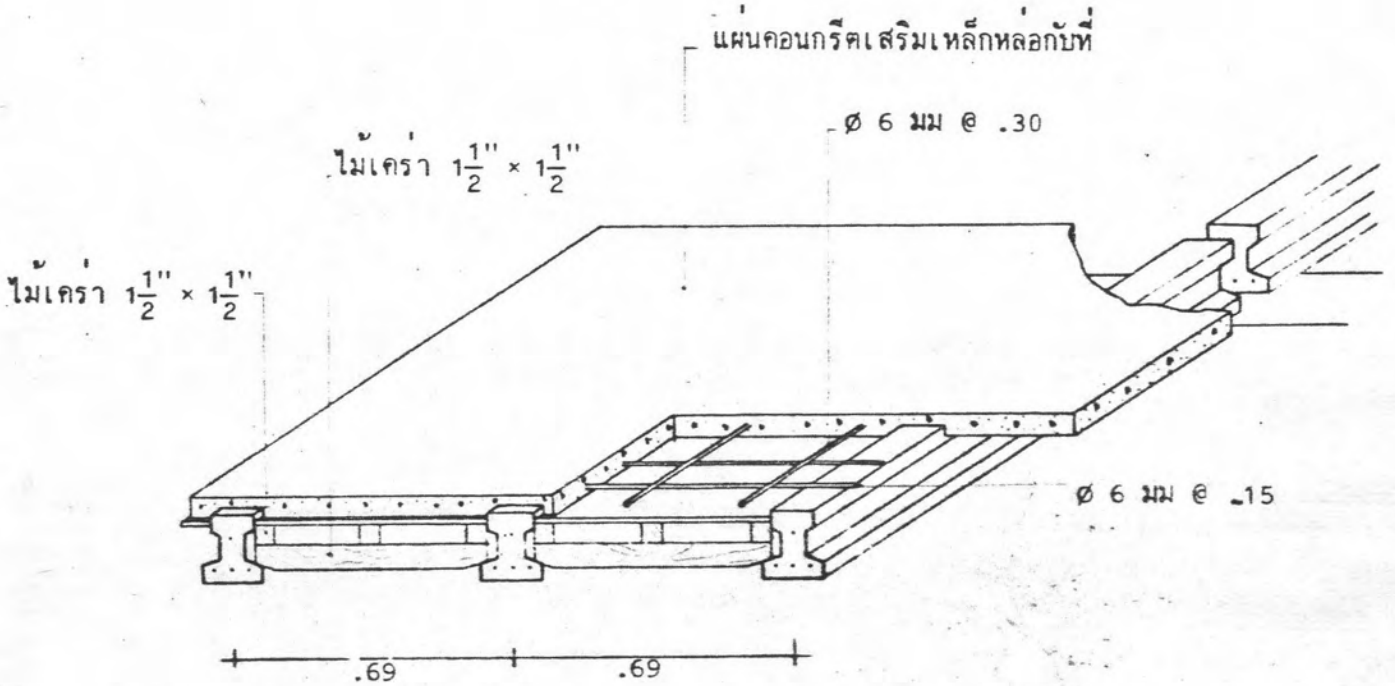
หา P_{LL} และ Δ ตำแหน่งที่ความเครียดคอนกรีตที่ผิวบนเท่ากับ .001, .0020, .0025 และ .003 ตามลำดับเป็นต้น นำค่า P_{LL} และ Δ มาเขียนกราฟ ดังแสดงในรูปที่ 4.11

3. การวิเคราะห์ราคาค่าก่อสร้างของพื้นระบบต่าง ๆ

จะวิเคราะห์ราคาค่าก่อสร้างของพื้นแต่ละระบบออกมาเป็นค่าวัสดุรวมค่าแรงของแผ่นพื้นต่อตารางเมตร (Unit Quantities Method) โดยถือเอาราคาวัสดุในท้องตลาดเมื่อเดือน ธันวาคม พ.ศ. 2525 เป็นเกณฑ์ และคิดว่าพื้นแต่ละระบบมีความยาวและความกว้างของพื้นที่ 4 × 4 ม. รับน้ำหนักบรรทุกจรปลอดภัย 150 กก/$ม^2$

ก. พื้นสำเร็จรูประบบตงคอนกรีตอัดแรงและแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ (พื้นระบบ ก)

ด้วยขนาดช่วงยาวและน้ำหนักบรรทุกจรดังกล่าว จากตารางหรือกราฟของความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักที่ใช้งานปลอดภัยกับช่วงความยาวในหัวข้อ 1.2 ภาคผนวก จะใช้แผ่นพื้นแบบที่ 1 ซึ่งประกอบด้วยตงแบบที่ 1 และคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่หนา 5 ซม. ตัวตงจะวางเป็นระยะ .69 ม. (ศูนย์กลาง - ศูนย์กลาง) ส่วนคอนกรีตหล่อกับที่เสริมเหล็กขนาด 6 มม. ผูกเป็นตะแกรงระยะห่าง .30 ม.ทางแนวยาว และ .15 ม.ทางแนวขวาง ดังรูปที่ ผ - 1



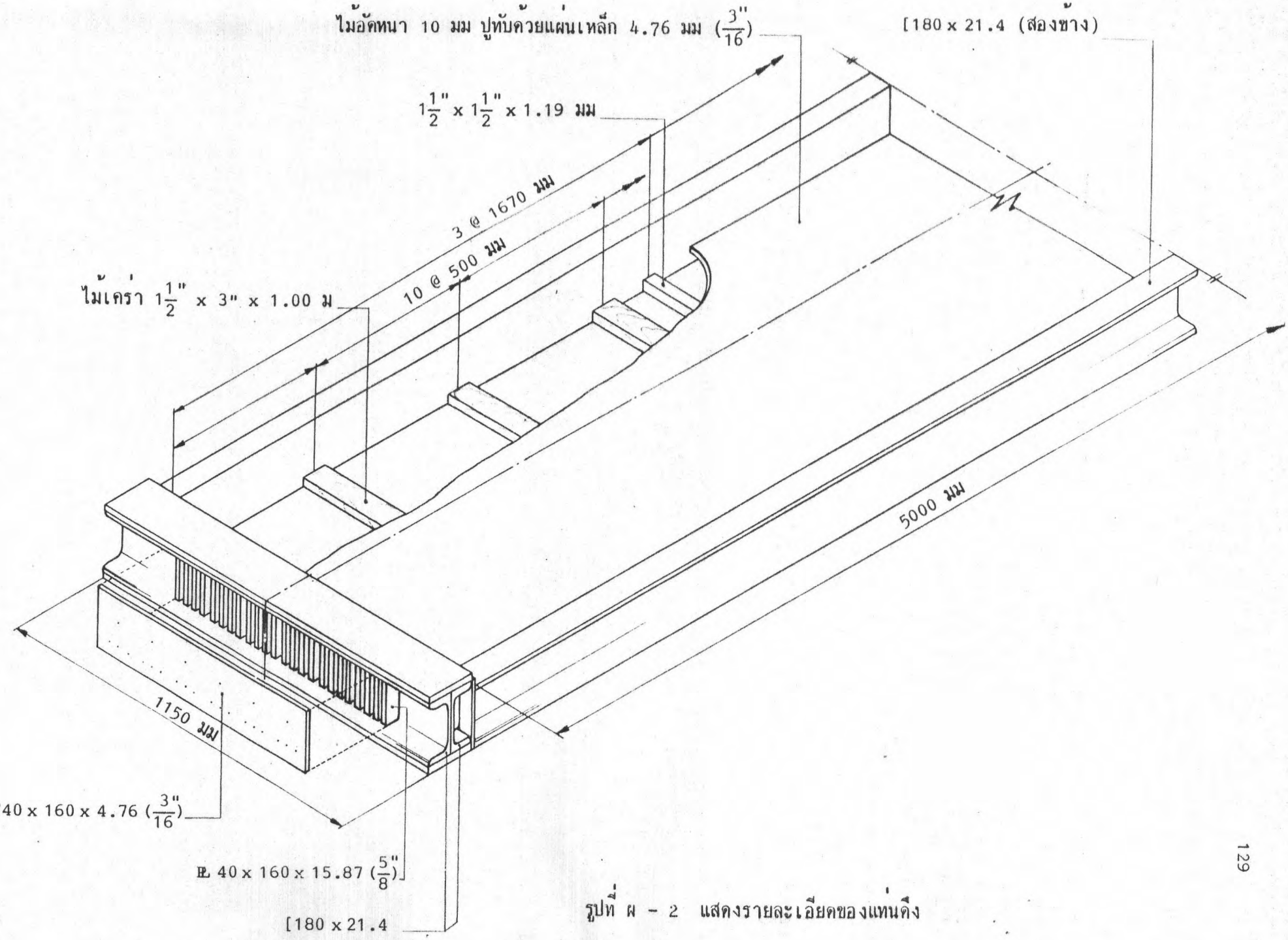
รูปที่ ผ - 1 แสดงรายละเอียดของพื้นสำเร็จรูประบบตงคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่

ประมาณราคาต้นทุนของตงคอนกรีตอัดแรง

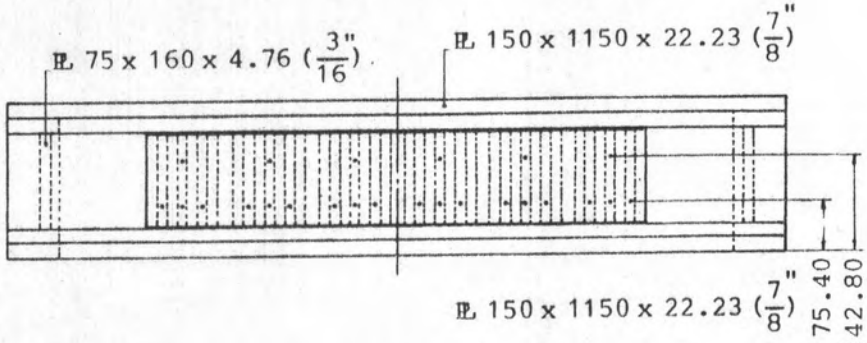
โดยการออกแบบแท่นดึง และแบบหล่อ ซึ่งทำการหล่อตงได้ในบริเวณก่อสร้างอาคาร ดังรูปที่ ผ - 2 และ ผ - 3 ตามลำดับ

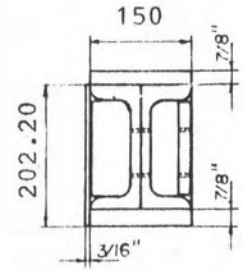
ประมาณราคาของแท่นดึง (จากรูป ผ - 2)

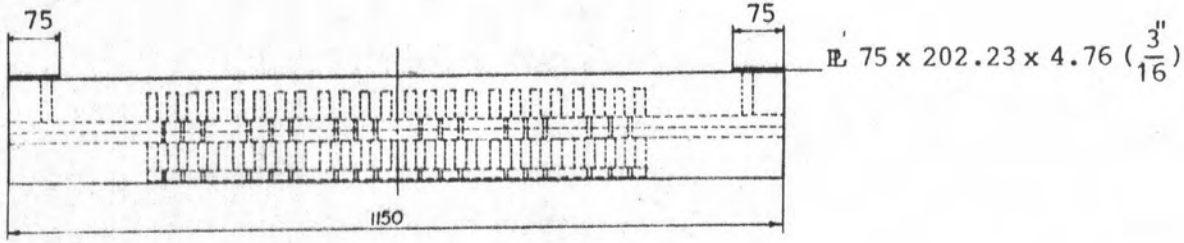
ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	[180 × 21.4	312.44	กก	10	3124.4
2	เหล็กแผ่นหนา 22.23 มม. ($\frac{7''}{8}$)	119.62	กก	10	1196.20
3	เหล็กแผ่นหนา 15.87 มม. ($\frac{5''}{8}$)	82.02	กก	10	820.20
4	เหล็กแผ่นหนา 9.53 มม. ($\frac{3''}{8}$)	11.04	กก	10	110.40
5	เหล็กแผ่นหนา 4.76 มม. ($\frac{3''}{16}$)	185.74	กก	10	1857.4
6	□ $1\frac{1''}{2} \times 1\frac{1''}{2}$	2.74	กก	10	27.40
7	ไม้อัดหนา 10 มม.	1.68	แผ่น	375	630.70
8	ไม้เคร่า $1\frac{1''}{2} \times 3''$	1.13	ฟุต^3	150	169.50
	ราคาวัสดุทั้งหมด				7936.20
	ค่าแรงงาน (20% ของราคาวัสดุทั้งหมด)				1587.24
	ค่าวัสดุ และแรงงานของแท่นดึง				9523.44



รูปที่ ผ - 2 แสดงรายละเอียดของแท่นดึง



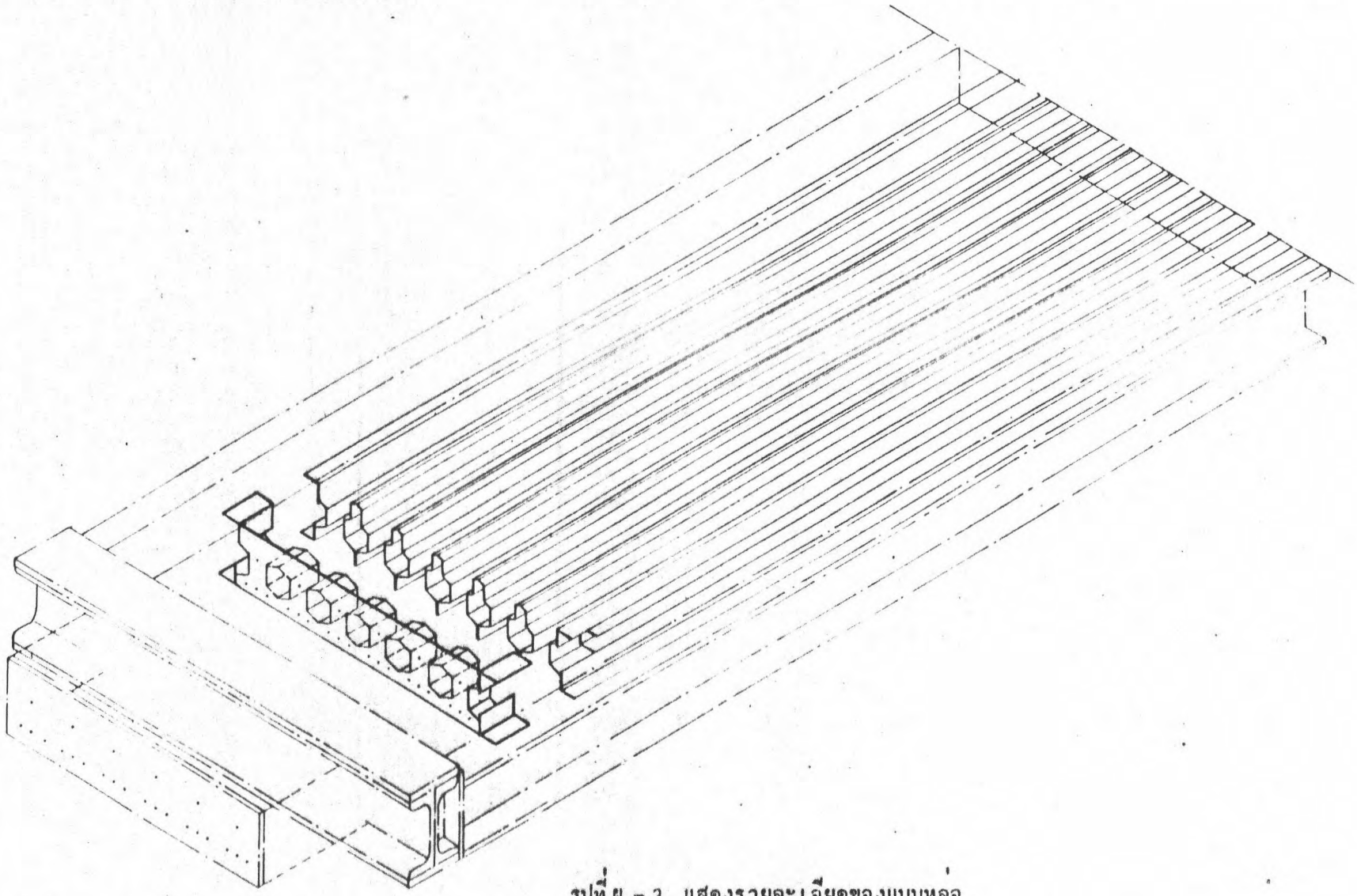




รูปที่ ผ - 2 แสดงรายละเอียดของแท่นดึง (ต่อ)

ประมาณราคาของแบบหล่อ (จำนวน 6 ตัว จากรูป ผ - 3)

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	เหล็กแผ่นหนา 3.17 มม. ($\frac{1}{8}$") ใช้ทำแบบข้าง	200.608	กก	10	2006.08
2	เหล็กแผ่นหนา 9.53 มม. ($\frac{3}{8}$") ใช้ทำแบบปิดหัวท้าย	13.90	กก	10	139.08
3	เหล็กแผ่นหนา 4.76 มม. ($\frac{3}{16}$") ใช้ทำตัวยึดแบบโดยเชื่อมติดกันแบบปิดหัวท้าย	6.687	กก	10	66.87
4	เหล็กฉาก 40 × 40 × 3 ใช้เสริมแบบข้างและทำเป็นตัวยึดแบบ	62.10	กก	10	621.00
	ราคาวัสดุทั้งหมด				2833.03
	ค่าแรงงาน (25% ของราคาวัสดุทั้งหมด)				708.26
	ค่าวัสดุ และแรงงานของแบบหล่อ				3541.29



รูปที่ ผ – 3 แสดงรายละเอียดของแบบหล่อ

1. คิดค่าเสื่อมราคาของแท่นดึงแบบหล่อ 20% และ 100% ต่อปี ตามลำดับ

ระยะเวลาของการใช้แท่นดึงและแบบหล่อ 2 วัน/ครั้ง

$$\text{ค่าเสื่อมราคาของแท่นดึง} = \frac{(.2)(9523.44)(2)}{(365)(6)} = 1.739 \text{ บาท/ตัน}$$

$$\text{ค่าเสื่อมราคาของแบบหล่อ} = \frac{(3541.29)(2)}{(365)(6)} = 3.234 \text{ บาท/ตัน}$$

ราคาปลอกจำปา 36 บาท/ตัว จำนวน 8 ตัว/ตัน อายุใช้งาน 2 ปี

$$\text{ค่าเสื่อมราคาของปลอกจำปา} = \frac{(36)(8)(2)}{(365)(2)} = .79 \text{ บาท/ตัน}$$

ราคาจำปา 35 บาท/ตัว จำนวน 8 ตัว/ตัน อายุใช้งาน 100 ครั้ง

$$\text{ค่าจำปาต่อการใช้หนึ่งครั้ง} = \frac{(35)(8)}{100} = 2.80 \text{ บาท/ตัน}$$

$$\text{ค่าดอกเบี้ย (18% ต่อปี)} = \frac{.18(9523.44+3541.29+36\times8\times6+35\times8\times6)2}{(365)(6)}$$

$$= 2.71 \text{ บาท/ตัน}$$

2. ค่าแรงร้อยและดึงเหล็กเสริมแรงดึงสูง ช่าง 1 คน 150 บาท/วัน คนงาน 1 คน 70 บาท/วัน เครื่องดึงเหล็กฯ ขนาด 6 ตัน ราคา 100,000 บาท จำนวน 1 ตัว ตง 1 ตัว ใช้เวลาทำงาน 30 นาที รวมค่าแรง 150 + 70 = 220 บาท/วัน (8 ชั่วโมง)

$$\text{ค่าเสื่อมราคาเครื่องดึงเหล็ก (20% ต่อปี)} = \frac{.20}{365}(100{,}000) = 54.79 \text{ บาท/วัน}$$

$$\text{ค่าดอกเบี้ย (18% ต่อปี)} = \frac{.18}{365}(100{,}000) = 49.31 \text{ บาท/วัน}$$

$$\text{รวมราคาค่าร้อยและดึงเหล็กฯ} = \frac{(220+54.79+49.31)(30)}{(8)(60)}$$

3. ค่าแรงประกอบแบบ คนงาน 4 คน 70 บาท/วัน คง 1 ตัว ใช้เวลาประกอบ 20 นาที รวมค่าแรง (4)(70) = 280 บาท/วัน

$$\text{ค่าแรงประกอบแบบ} = \frac{(280)(20)}{(8)(60)} = 11.67 \text{ บาท/วัน}$$

4. ค่าแรงเทคอนกรีต ช่างปูน 10 คน 120 บาท/วัน คนงาน 3 คน 70 บาท/วัน คง 1 ตัว ใช้เวลาเทคอนกรีต 20 นาที รวมค่าแรง $120 + 3 \times 70 = 330$ บาท/วัน

$$\text{ค่าแรงเทคอนกรีต} = \frac{(330)(20)}{(8)(60)} = 13.75 \text{ บาท/วัน}$$

5. ค่าแรงถอดแบบและเคลื่อนย้ายเก็บกอง คนงาน 4 คน 70 บาท/วัน คง 1 ตัว ใช้เวลาทำงาน 20 นาที รวมค่าแรงคนงาน $4 \times 70 = 280$ บาท/วัน

$$\text{ค่าแรงถอดแบบและเคลื่อนย้ายเก็บกอง} = \frac{(280)(20)}{(8)(60)} = 11.67 \text{ บาท/วัน}$$

รวมค่าแรงทั้งหมด $20.26 + 11.67 + 13.75 + 11.67 = 57.35$ บาท/ต้น

ลำดับ	รายการ	จำนวน	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	คอนกรีตชนิดแข็งตัวเร็ว	.0428	$ม^3$	1500	64.20
2	เหล็กเสริมแรงดึงสูง ขนาด 4 มม.	2.156	กก	17	36.652
3	แบบหล่อ (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง)*	-	-	-	11.27
4	ค่าแรง	-	-	-	57.35
	ราคาต่อเมตร				42.37

หมายเหตุ * รวมค่าเสื่อมราคาของแท่นดึง, หัวยึด

การประมาณราคาค่าก่อสร้างแผ่นพื้น

1. ค่าแรงติดตั้ง หัวหน้าคนงาน 1 คน 100 บาท/วัน คนงาน 4 คน 70 บาท/วัน รอกกำลังยก 1 ตัน ราคา 4,000 บาท จำนวน 1 ตัว ใช้เวลาติดตั้ง 20 นาที รวมค่าแรง $100 + (4)(70) = 380$ บาท/วัน

ค่าเสื่อมราคารอก (20% ต่อปี) $= \frac{.2\ (4000)}{365} = 2.19$ บาท/วัน

ค่าดอกเบี้ย (18% ต่อปี) $= \frac{.18\ (4000)}{365} = 1.97$ บาท/วัน

ค่าแรงติดตั้ง $= \frac{(380+2.19+1.97)}{(23)(.69)(4)} = 6.05$ บาท/ม^2

2. ค่าแรงประกอบแบบ ช่างไม้ 1 คน 120 บาท/วัน คนงาน 2 คน 70 บาท/วัน ใน 1 วัน วางแบบได้ พื้นที่ 21 ม^2 รวมค่าแรง $120 + 2 \times 70 = 260$ บาท/วัน

ค่าแรงประกอบแบบ $= \frac{260}{21} = 12.38$ บาท/ม^2

ค่าไม้เคร่า $1\frac{1}{2} \times 1\frac{1}{2}$ (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง) $= \frac{41.96}{50} = .84$ บาท/ม^2

ค่าไม้อัด (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง) $= \frac{110.21}{3} = 36.74$ บาท/ม^2

ถ้าให้ถอดแบบเมื่อคอนกรีตอายุครบ 14 วัน

ค่าดอกเบี้ยของไม้แบบ (18% ต่อปี) $= \frac{(.18)(41.96+110.2)(16)}{365}$

$= 1.2$ บาท/ม^2

ค่าไม้แบบ (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง) $= .84 + 36.74 + 1.2$

$= 38.78$ บาท/ม^2

3. ค่าแรงผูกเหล็กตะแกรง ค่าแรง 1500 บาท ต่อหนึ่งตันของเหล็กเสริม

ค่าแรงผูกเหล็กตะแกรง $= \frac{(164)(.22)(1.5)}{16} = 3.38$ บาท/ม^2

4. ค่าแรงเทคอนกรีตกับที่ ช่างปูน 1 คน 120 บาท/วัน คนงาน 3 คน 70 บาท/วัน ใน 1 วัน เทคอนกรีตได้พื้นที่ 30 ม^2 รวมค่าแรง $120 + (3)(70) = 330$ บาท/วัน

ค่าแรงเทคอนกรีตกับที่ $= \frac{330}{30} = 11$ บาท/ม^2

5. ค่าแรงถอดแบบไม้ คนงาน 2 คน 70 บาท/วัน ใน 1 วัน ถอดแบบได้ 130 $ม^2$

รวมค่าแรง (2)(70) = 140 บาท/วัน

ค่าแรงถอดถอย $= \frac{140}{130} = 1.08$ บาท/$ม^2$

6. ค่าแรงทำความสะอาดพื้น 5 บาท/$ม^2$

รวมค่าแรงงานก่อสร้างพื้นระบบ (ก) = 6.05+12.38+3.38+11+1.08+.5

= 38.89 บาท/$ม^2$

ตารางที่ ผ - 1 แสดงค่าวัสดุ และค่าแรงของการก่อสร้างพื้นสำเร็จรูประบบคงคอนกรีตอัดแรง และแผ่นพื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ (พื้นระบบ ก.)

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	คงคอนกรีตอัดแรงรูปตัวไอ (I) แบบที่ 1	20	ม	42.37	847.40
2	เหล็กเสริม ø 6 มม.	36.08	กก	9.71	350.34
3	ลวดผูกเหล็ก	0.45	กก	15	6.75
4	คอนกรีต	0.80	$ม^3$	1000	800.00
5	ไม้แบบ (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง)	16	$ม^2$	38.78	620.48
6	ค่าวัสดุทั้งหมด				2624.97
7	ค่าวัสดุต่อตารางเมตร				164.06
8	ค่าแรงต่อตารางเมตร				38.89
	ราคาแผ่นพื้นต่อตารางเมตรของระบบ (ก)				
	กรณีไม่ทำฝ้าเพดาน				202.95
	กรณีทำฝ้าเพดาน (ค่าทำฝ้าเพดาน 160 บาท/$ม^2$)				357.95

ข. พื้นคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ (พื้นระบบ ข)

ขนาดของแผ่นพื้น 4 × 4 ม. ใช้พื้นหนา 10 ซม. เสริมเหล็กตะแกรง ขนาด ø 9 มม. @ 0.20 ม.

1. ค่าแรงสร้างแบบหล่อและค้ำยัน หัวหน้าช่างไม้ 1 คน 120 บาท/วัน ช่างไม้ 3 คน 90 บาท/วัน ใช้เวลา 3 วัน ทำไม้แบบได้พื้นที่ 40 ม^2 รวมค่าแรง 120 + (3)(90) = 390 บาท/วัน

$$\text{ค่าแรงสร้างแบบหล่อ} = \frac{3(390)}{(40)}$$

$$= 29.25 \text{ บาท/ม}^2$$

2. ค่าแรงดัดและผูกเหล็ก หัวหน้าช่างเหล็ก 1 คน 120 บาท/วัน ช่างเหล็ก 2 คน 80 บาท/วัน ใน 1 วัน ทำงานได้พื้นที่ 40 ม^2 รวมค่าแรง 120 + (2)(80) = 280 บาท/วัน

$$\text{ค่าแรงดัดและผูกเหล็ก} = \frac{280}{40}$$

$$= 7.00 \text{ บาท/ม}^2$$

3. ค่าแรงเทคอนกรีต ช่างปูน 1 คน 120 บาท/วัน คนงาน 3 คน 70 บาท/วัน ใน 1 วัน เทคอนกรีตได้พื้นที่ 20 ม^2 รวมค่าแรง 120 + (3)(70) = 330 บาท/วัน

$$\text{ค่าแรงเทคอนกรีต} = \frac{330}{20}$$

$$= 16.50 \text{ บาท/ม}^2$$

$$\text{รวมค่าแรงงานก่อสร้างพื้นระบบ (ข)} = 29.25 + 7.00 + 16.5$$

$$= 52.75 \text{ บาท/ม}^2$$

พระบรมราชูปถัมภ์ สถาบันวิทยบริการ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ตารางที่ ผ – 2 แสดงค่าวัสดุ และค่าแรงของการก่อสร้างพื้น – ระบบคอนกรีตเสริมเหล็กหล่อกับที่ (พื้นระบบ ข)

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	คอนกรีต	1.6	$ม^3$	1,000	1,000.00
2	เหล็กเสริม ø 9 มม.	84	ม	9.57	803.88
3	ลวดผูกเหล็ก	1.05	กก	15	15.75
4	ไม้แบบและค้ำยัน (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง)	17.6	$ฟุต^3$	150	2,640.00
5	ค่าวัสดุทั้งหมด				5,059.63
6	ค่าวัสดุต่อตารางเมตร				316.23
7	ค่าแรงต่อตารางเมตร				52.75
	ราคาแผ่นพื้นต่อตารางเมตรของระบบ (ข)				
	กรณีไม่ทำฝ้าเพดาน				368.98
	กรณีทำฝ้าเพดาน (ค่าทำฝ้าเพดาน 160 บาท/$ม^2$)				528.98

ค. พื้นระบบอิฐบล็อคและคานรูปตัวทีหงาย (พื้นระบบ ค)

วางพาดคานรูปตัวทีหงายในลักษณะช่วงคาน 4 ม. มีไม้ค้ำยันกันการโก่ง วางเหล็กตะแกรง ø 6 มม. ระยะห่าง .25 ม. เทคอนกรีตทับหน้าหนา 3 ซม.

1. ค่าแรงติดตั้ง หัวหน้าคนงาน 1 คน 100 บาท/วัน คนงาน 4 คน 70 บาท/วัน รอกกำลังยก 1 ตัน ราคา 4,000 บาท จำนวน 1 ตัว ใน 1 วัน ติดตั้งได้พื้นที่ 35 $ม^2$ รวมค่าแรง 100 + (40)(70) = 380 บาท/วัน

ค่าเสื่อมราคารอก (20% ต่อปี) = $\frac{.2(4,000)}{365}$

= 2.19 บาท/วัน

ค่าดอกเบี้ย (18% ต่อปี) = $\frac{.18(4,000)}{365}$

= 1.97 บาท/วัน

ค่าแรงติดตั้ง = $\frac{380 + 2.19 + 1.97)}{35}$

= 11.00 บาท/$ม^2$

2. ค่าแรงผูกเหล็กตะแกรง ค่าแรง 1,500 บาทต่อหนึ่งตันของเหล็กเสริม

ค่าแรงผูกเหล็กตะแกรง = (136)(.22)(1.5)

= 2.80 บาท/$ม^2$

3. ค่าแรงเทคอนกรีตทับหน้า หนา 3 ซม. ช่างปูน 1 คน 120 บาท/วัน คนงาน 3 คน 70 บาท/วัน ใน 1 วัน เทคอนกรีตได้พื้นที่ 40 $ม^2$ รวมค่าแรง 120 + (3)(70) = 330 บาท/วัน

ค่าแร่งเทคอนกรีตทับหน้า = $\frac{330}{40}$ = 8.25 บาท/$ม^2$

4. ค่าแรงฉาบปูนท้องพื้น 23.56 บาท/$ม^2$

รวมค่าแรงงานก่อสร้างพื้นระบบ (ค) = 11 + 2.80 + 8.25 23.56

= 45.61 บาท/$ม^2$

ตารางที่ ผ - 3 แสดงค่าวัสดุและค่าแรงของการก่อสร้างพื้นระบบอิฐบล็อคและคานรูปตัวทีหงาย (พื้นระบบ ค)

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	คานและอิฐบล็อค	16	$ม^2$	107.1 *	1,713.60
2	เหล็กเสริม ø 6 มม.	29.92	กก	9.71	290.52
3	ลวดผูกเหล็ก	.35	กก	15	5.25
4	คอนกรีต	.48	$ม^3$	1,000	480.00
5	ไม้ค้ำยัน (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง)	-	-	-	186.39
6	ค่าวัสดุปูนฉาบ	16	$ม^2$	31.44	503.04
7	ค่าความเสียหายของอิฐบล็อค (5%)	16	$ม^2$	2.96	47.36
8	ค่าวัสดุทั้งหมด				3,226.16
9	ค่าวัสดุต่อตารางเมตร				201.64
10	ค่าแรงต่อตารางเมตร				45.61
	ราคาแผ่นพื้นต่อตารางเมตรของระบบ (ค)				
	กรณีไม่ทำฝ้าเพดาน				287.25
	กรณีทำฝ้าเพดาน (ค่าทำฝ้าเพดาน 160 บาท/$ม^2$)				352.25

หมายเหตุ *ประมาณราคาในลักษณะเดียวกับการประมาณราคาต้นทุนของตงในพื้นระบบ ก

ง. พื้นระบบคานรูปตัวที (พื้นระบบ ง)

วางพาดชิ้นส่วนในลักษณะช่วงคาน 4 ม. ค้ำยันที่จุดกึ่งกลางช่วง แล้ววางเหล็กตะแกรงขนาด ϕ 6 มม. ระยะห่าง .40 ม.ทางแนวยาว และ .20 ม.ทางแนวขวาง เทคอนกรีตทับหน้าหนา 3 ซม.

1. ค่าแรงติดตั้ง หัวหน้าคนงาน 1 คน 100 บาท/วัน คนงาน 4 คน 70 บาท/วัน รอกกำลังยก 1 ตัน ราคา 4,000 บาท จำนวน 1 ตัว เครื่องเชื่อมไฟฟ้า ราคา 5,000 บาท จำนวน 1 ตัว คาน 1 ตัวใช้เวลาติดตั้ง 25 นาที

รวมค่าแรง $100 + (4)(70)$ $= 380$ บาท/วัน

ค่าเสื่อมราคาของรอกและเครื่องเชื่อม (20% ต่อปี) $= \frac{.2(4,000 + 5,000)}{365}$

$= 4.93$ บาท/วัน

ค่าดอกเบี้ย (18% ต่อปี) $= \frac{.18(4,000 + 5,000)}{365}$

$= 4.44$ บาท/วัน

ค่าแรงติดตั้ง $= \frac{(380+4.90+4.44)}{23.04}$

$= 16.90$ บาท/$ม^2$

2. ค่าแรงผูกเหล็กตะแกรง ค่าแรง 1500 บาท/หนึ่งตันของเหล็กเสริม

ค่าแรงผูกเหล็กตะแกรง $= \frac{(128)(.22)(1.5)}{16}$

$= 2.64$ บาท/$ม^2$

3. ค่าแรงเทคอนกรีตข้างหน้า หนา 3 ซม. ช่างปูน 1 คน 120 บาท/วัน คนงาน 3 คน 70 บาท/วัน ใน 1 วันเทคอนกรีตได้พื้นที่ 40 $ม^2$

รวมค่าแรง $120 + (3)(70)$ $= 330$ บาท/วัน

ค่าแรงเทคอนกรีตข้างหน้า $= \frac{330}{40}$

$= 8.25$ บาท/$ม^2$

4. ค่าแรงก่ออิฐฉาบปูนที่หัวคาน ค่าก่ออิฐ 1.87 บาท/ม^2 ค่าฉาบปูน 8.89 บาท/ม^2

ค่าแรงก่ออิฐฉาบปูนที่หัวคาน = 1.87 + 8.89

= 10.76 บาท/ม^2

5. ค่าแรงทำความสะอาดท้องพื้น 5 บาท/ม^2

รวมค่าแรงงานก่อสร้างเพิ่มระบบ (ง) = 16.90 + 2.64 + 8.25 + 10.76 + 5

= 43.55 บาท/ม^2

ตารางที่ ผ - 4 แสดงค่าวัสดุและค่าแรงของการก่อสร้างพื้นระบบคานรูปตัวที (พื้นระบบ ง)

ลำดับ	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคา/หน่วย (บาท)	จำนวนเงิน (บาท)
1	คานรูปตัวที	16	$ม^2$	129.5 *	2,072.00
2	เหล็กเสริม ø 6 มม.	28.16	กก	9.71	273.43
3	ลวดผูกเหล็ก	.27	กก	15	4.05
4	คอนกรีต	.48	$ม^3$	1,000	480.00
5	ไม้ค้ำยัน (ต่อการใช้งาน 1 ครั้ง)	-	-	-	186.39
6	ค่าวัสดุทั้งหมด				3,015.87
7	ค่าวัสดุต่อตารางเมตร				188.49
8	ค่าแรงต่อตารางเมตร				43.55
	ราคาแผ่นพื้นต่อตารางเมตรของระบบ (ง)				
	กรณีไม่ทำฝ้าเพดาน				232.04
	กรณีทำฝ้าเพดาน				278.15

หมายเหตุ *ประมาณราคาในลักษณะเดียวกับการประมาณราคาต้นทุนของคงในพื้นระบบ ก

อนึ่ง ราคาค่าก่อสร้างของพื้นแต่ละระบบนั้น คิดจากราคาในการก่อสร้างที่กระทำได้โดยไม่มีเวลาเสียเปล่าของแรงงาน หรืออุปสรรคในการก่อสร้าง เช่น ฝนตก เป็นต้น

ประวัติการศึกษา

นายรังศิยากรณ์ กำประสิทธิ์ สำเร็จการศึกษาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา จากจุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ปีการศึกษา 2521 เคยเป็นวิศวกรประจำบริษัท เนาวรัตนพัฒนาการ ปัจจุบันรับราชการอยู่ที่ คณะวิศวกรรมเทคโนโลยี วิทยาลัย-เทคโนโลยีและอาชีวศึกษา วิทยาเขตเทเวศร์ กรุงเทพมหานคร