

## เอกสารอ้างอิง

1. อุตสาหกรรม, กระทรวง "มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมท่อระบายน้ำคอนกรีตเสริมเหล็ก"  
มอก. 128-2518, กรุงเทพมหานคร.
2. สมาน รวยสูงเนิน, นิตยา ฐวีโรจน์กุล, "ไม้ไฟ," ฝ่ายวิจัย กองอนุรักษ์ดินน้ำ  
กรมป่าไม้.
3. สนั่น เจริญเผ่า และ วินิต ช่อวิเชียร "คอนกรีตเสริมเหล็ก" 94 พหลโยธินซอย 1,  
กรุงเทพ 4.
4. สุทัศน์ จันทรแสงเพชร "ยุ่งข้าวทำค้ำยปูนทรายเสริมไม้ไฟ" วิทยานิพนธ์ปริญญาโทมหาบัณฑิต,  
บัณฑิตวิทยาลัย, จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กทม. 2519.
5. American Society for Testing and Materials, "Standard Specifications  
for Reinforced Concrete Culvert, Storm Drain, and Sewage Pipe",  
1972 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Part 12, April,  
1972, Philadelphia, Pa., pp. 66-83.
6. American Society for Testing and Materials, "Standard Specifications  
for Determining physical Properties of Concrete Pipe or  
Tile", 1972 Annual Book of ASTM Standards, ASTM, Part 12,  
April, 1972, Philadelphia, Pa., pp. 341-347.
7. Billington, D.P., "Thin Shell Concrete Structures", McGraw-Hill,  
New York, 1965, pp. 6-23.
8. Timoshenko, S., Gere, J.M., "Theory of Elastic Stability", 2nd Ed.,  
McGraw-Hill, New York, 1959, pp. 278-282.
9. Timoshenko, S., Woinowsky-Krieger, S., "Theory of Plates and Shells",  
2nd Ed., McGraw-Hill, New York, 1959, pp. 507-514.
10. Theeranartsin N., "Analysis and design of ferro-cement pipes".  
The thesis for the degree of Master of Engineering at A.I.T.,  
Bangkok, Thailand.

11. Cox, F.B. and Geymayer, H.G. "Expedient Reinforcement for Use in South East Asia". Technical Report C-69-3, Report No. 1, U.S. Army Engineer Wes., 1969.
12. Jan Durrani A. "A Study of Bamboo as Reinforcement for Slab on Grade". M. Eng. Thesis, A.I.T. 1975.
13. Glenn, H.E. "Bamboo Reinforcement in Portland Cement Concrete". Bulletin No. 4, Clemson Agricultural College, Clemson, 1950.
14. Saucier, K.L. "Precast Concrete Element with Bamboo Reinforcement". Technical Report No. 9-646, U.S. Army Waterways Experiment Station, May 1964.

การคำนวณ

ตัวอย่างวิธีการคำนวณ ทอขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 60 ซม.

DESIGN STRESS FOR BASIC REINFORCEMENT

$E_b$	=	$2.29 \times 10^5$	ก.ก./ซม. <sup>2</sup>
$f_b$	=	350	"
$E_c$	=	$15210 \sqrt{f'_c}$	"
$f'_c$	=	240	"
$f_c$	=	$.45 f'_c = 100$	"
$n$	=	.972	
$k$	=	.217	
$j$	=	.927	
$R$	=	10.06	ก.ก./ซม. <sup>2</sup>

ค่าโมเมนต์คคคและแรงแนวแกน

ความหนา  $h = 7.9$  ซม.

รัศมี  $a = 33.75$  "

$\phi_0 = .037$  กำหนดระยะห่างของทรงรีกับท่อ = 1 นิ้ว (เหมือนกับทอขนาด)

$\sin \phi_0 = .037$

$\cos \phi_0 = .9993$

$b = \frac{1 - c^2}{1 + c^2} = .9918, \quad c^2 = \frac{h^2}{12a^2}$

$F = 3.13942$  จากสมการ (h)

$G = -10.7157$  จากสมการ (i)

$j = -3963$  จากสมการ (j)

และ  $R = -33.6642$  จากสมการ (k)

$A_6 = .00011$  จากสมการ (4\*)

$A_2 = -.31842$  จากสมการ (5\*)

$A_4 = -.25103$  จากสมการ (1\*)

จาก (34)

$$\begin{aligned} \phi = 0^\circ \quad M \phi &= -pa(-.31842 + (1.9918)(.00011 + 0)) \\ &= -pa(-.318201) \\ &= .342 + 60 + 33.75 + .318201 \\ &= 220.37 \quad \text{ก.ก.-ทท.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi = 90^\circ \quad M \phi &= -pa(-.31842 + (1.9918)(.25103 + 1)) \\ &= -pa(.18158) \\ &= -.342 + 60 + 33.75 + .18158 \\ &= -125.75 \quad \text{ก.ก.-ทท.} \end{aligned}$$

จาก (32)

$$\begin{aligned} \phi = 0^\circ \quad N \phi &= p(1 + .9918)(-.00011 + 1) \\ &= p(-.0002191) \\ &= -.342 + 60 + .0002191 \\ &= -.0045 \quad \text{ก.ก.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi = 90^\circ \quad N \phi &= p(1.9998)(-.25103 + 1) \\ &= p(-.500) \\ &= -.342 + 60 + .50 \\ &= -10.26 \quad \text{ก.ก.} \end{aligned}$$

หาขนาดน้ำหนักบนไม้ เสริมไม้ 2 ชั้น ระยะ + d = 5 ทท.  
และ - d = 5 ทท.

$$\begin{aligned} M_R &= Rbd^2 \\ &= 10.06 + 1 + 5^2 \\ &= 251.50 \quad \text{ก.ก.-ทท./ทท.} > 220 \text{ ก.ก.-ทท./ทท.} \end{aligned}$$

$$+ A_b = \frac{220.37 + 100}{350 + .927 + 5} = 13.58 \text{ ซม.}^2/\text{เมตร}$$

และ  $- A_b = \frac{125.75 + 100}{350 + .927 + 5} = 7.75 \text{ ซม.}^2/\text{เมตร}$

DESIGN STRESS FOR STEEL REINFORCEMENT

$$E_s = 2.1 \times 10^6 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$n = 9$$

$$K = .428$$

$$j = .857$$

$$R = 18.34 \text{ กก./ซม.}^2$$

เสริมเหล็กชั้นเดียว ให้  $+ d = 4.5 \text{ ซม.}$

$$- d = 3 \text{ ซม.}$$

$$+ M_R = 18.34 + 1 + 4.5^2 = 371.38 \text{ กก.-ซม.}$$

$$- M_R = 18.34 + 1 + 3^2 = 165 \text{ "}$$

$$A_s = \frac{220.37 + 100}{1200 + .857 + 4.5} = 4.76 \text{ ซม.}^2/\text{เมตร}$$

หอยขนาดอื่น ใช้วิธีเดียวกันนี้ สามารถหาขนาดหน้าตัดไม้ได้ และหน้าตัดของเหล็กเสริมได้

ตารางที่ 1 แรงดึงของไม้ไผ่

ตัวอย่าง	ขนาดหน้าตัด (ซม. x ซม.)	หน่วยแรงดึงสูงสุด (กก./ซม <sup>2</sup> .)	โมดูลัสยืดหยุ่น (กก./ซม <sup>2</sup> /10 <sup>5</sup> )	หมายเหตุ
มีข้อ	.82X.48	1,569	.99	ขาดที่ข้อ
มีข้อ	.90X.49	928	.84	แตกที่ใกล้จุดยึด
มีข้อ	.83X.50	1,440	1.02	ขาดที่ข้อ
มีข้อ	.82X.50	913	.69	แตกที่ใกล้จุดยึด
มีข้อ	.73X.85	1,789	.16	ขาดที่ข้อ
ไม่มีข้อ	.85X.68	1,057	.89	แตกที่ใกล้จุดยึด
ไม่มีข้อ	.82X.50	1,707	.93	แตกที่ใกล้จุดยึด
ไม่มีข้อ	.97X.41	2,084	1.17	ขาดที่กึ่งกลาง
ไม่มีข้อ	.76X.45	3,189	1.83	ขาดที่กึ่งกลาง
ไม่มีข้อ	.92X.46	1,910	1.02	ขาดที่กึ่งกลาง

ค่าเฉลี่ยแรงดึงสูงสุดของไม้ไผ่ 1,659 กก./ซม<sup>2</sup>.

ค่าเฉลี่ยแรงดึงของไม้ไผ่จากตัวอย่างที่มีข้อ 1,328 กก./ซม<sup>2</sup>.

ค่าเฉลี่ยแรงดึงของไม้ไผ่จากตัวอย่างที่ไม่มีข้อ 1,880 กก./ซม<sup>2</sup>.

ค่าเฉลี่ยของโมดูลัสยืดหยุ่น 1.74/10<sup>5</sup> กก./ซม<sup>2</sup>.

ตารางที่ 2 ความชื้นของไม้ผุ

ตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่าง ซมxซมxซม	น้ำหนักไม้ผุธรรมชาติ (กรัม)	น้ำหนักอบแห้ง 24 ชม. (กรัม)	ความชื้น (%)
1	1.26x.53x18.50	11.40	4.92	131.71
2	1.21x.43x14.60	9.12	3.80	140
3	1.19x.41x13.51	8.51	3.60	136.40
4	1.17x.42x12.36	7.20	3.04	136.84
5	1.04x.41x12.03	6.10	2.58	136.43

ตารางที่ 3 การดูดซึมน้ำของไม้ผุ

เวลา (ชั่วโมง)	ตัวอย่างการดูดซึมน้ำ (%)				
	1	2	3	4	4
ขนาดตัวอย่าง	1.08x.74	1.19x.87	1.17x.84	1.00x.54	1.245x.70
ซมxซมxซม	x20.38	x20.41	x20.30	x18.79	x20.44
0	0	0	0	0	0
5	5.40	3.80	4.27	4.46	5.00
1	7.84	5.78	6.78	5.86	6.82
2	10.67	7.80	9.30	8.15	9.98
3	12.11	9.64	11.68	9.55	11.48
4	14.65	10.77	13.07	10.32	13.31
5	16.32	11.69	14.32	10.96	14.81
6	17.99	12.31	15.58	12.10	15.81
7	19.54	13.74	17.46	13.38	16.95
24	31.23	21.13	28.14	20.51	28.95
48	37.40	25.95	33.79	24.71	31.78



ตารางที่ 4 แรงอัดสูงสุดของแท่งคอนกรีตลูกบาทมาตรฐาน

ขนาด .15f.15f.15 เมตร ที่ 28 วัน

ตัวอย่าง	หน่วยแรงอัดประลัย (กก.)	แรงอัดสูงสุด 28 วัน (กก./ซม <sup>2</sup> .)
1	61,500	273.33
2	57,600	256.01
3	53,700	238.67
4	56,400	250.66
5	43,200	192

ค่าเฉลี่ยแรงอัดสูงสุด 242.14 กก./ซม<sup>2</sup>.

ตารางที่ 5 แรงยึดเหนี่ยวระหว่างคอนกรีตและไม้ไผ่

ตัวอย่าง	ขนาดตัวอย่าง (ซม. x ซม.)	หน่วยแรงดึงประลัย (กก.)	แรงยึดเหนี่ยวสูงสุด (กก./ซม <sup>2</sup> .)
1	4.4x15	250	3.80
2	2.6x15	160	4.10
3	3.6x15	290	5.37
4	3.0x15	250	5.56

ค่าเฉลี่ยแรงยึดเหนี่ยวสูงสุด 4.71 กก./ซม<sup>2</sup>.

ตารางที่ 6 ค่าโมเมนต์คัตและแรงแนวแกนที่  $\theta = 0^\circ$  และ  $\theta = 90^\circ$

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน (ซม.)	ความหนา (ซม.)	น้ำหนักบรรทุก กก./ซม.		$\theta = 0^\circ$		$\theta = 90^\circ$	
		Cracking load kg/cm - cm	Ultimate load Kg/cm 2 cm	M (Kg/cm-cm)	N (Kg/cm-cm)	M (Kg/cm-cm)	N (Kg/cm-cm)
30	5	10.26	15.36	57.07	-.00899	-32.56	-5.13
60	7.5	20.52	30.72	220.37	-.004496	-125.75	-10.26
80	9.5	27.36	40.96	389.65	-003324	-222.38	-13.68
100	11	34.20	51.20	604.11	-002428	-344.85	-17.101

ตารางที่ 7 พื้นที่หน้าตัดของไม้ไผ่และของเหล็กเสริมในท่อน้ำแต่ละขนาดที่น้ำหนักบรรทุกเดียวกัน

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	ความหนา	พื้นที่หน้าตัดไม้ไผ่ตามขวาง						พื้นที่หน้าตัดเหล็กเสริมตามขวาง			
		วงใน ซม <sup>2</sup> /เมตร			วงนอก ซม <sup>2</sup> /เมตร			วงใน ซม <sup>2</sup> /เมตร			วงนอก ซม <sup>2</sup> /เมตร
ซม.	ซม.	พื้นที่ ซม <sup>2</sup> .	ขนาด ซมxซม.	จำนวน เส้น	พื้นที่ ซม <sup>2</sup> .	ขนาด ซมxซม.	จำนวน เส้น	พื้นที่ ซม <sup>2</sup> .	ขนาด ซมxซม.	จำนวน เส้น	
30	5	7.04	.5x1	14	-	-	-	2.22	Ø6 มม.	8	—
60	7.5	13.58	.5x2	14	7.75	.5x2	8	4.76	Ø6 มม.	14	—
80	9.5	17.16	.5x2	18	9.79	.5x2	10	7.57	Ø9 มม.	12	—
100	11	20.68	.5x2	21	11.81	.5x2	12	9.76	Ø9 มม.	15	—

ตารางที่ 8 ผลการทดลองการรับน้ำหนักของท่อน้ำเสริมไม้ไผ่

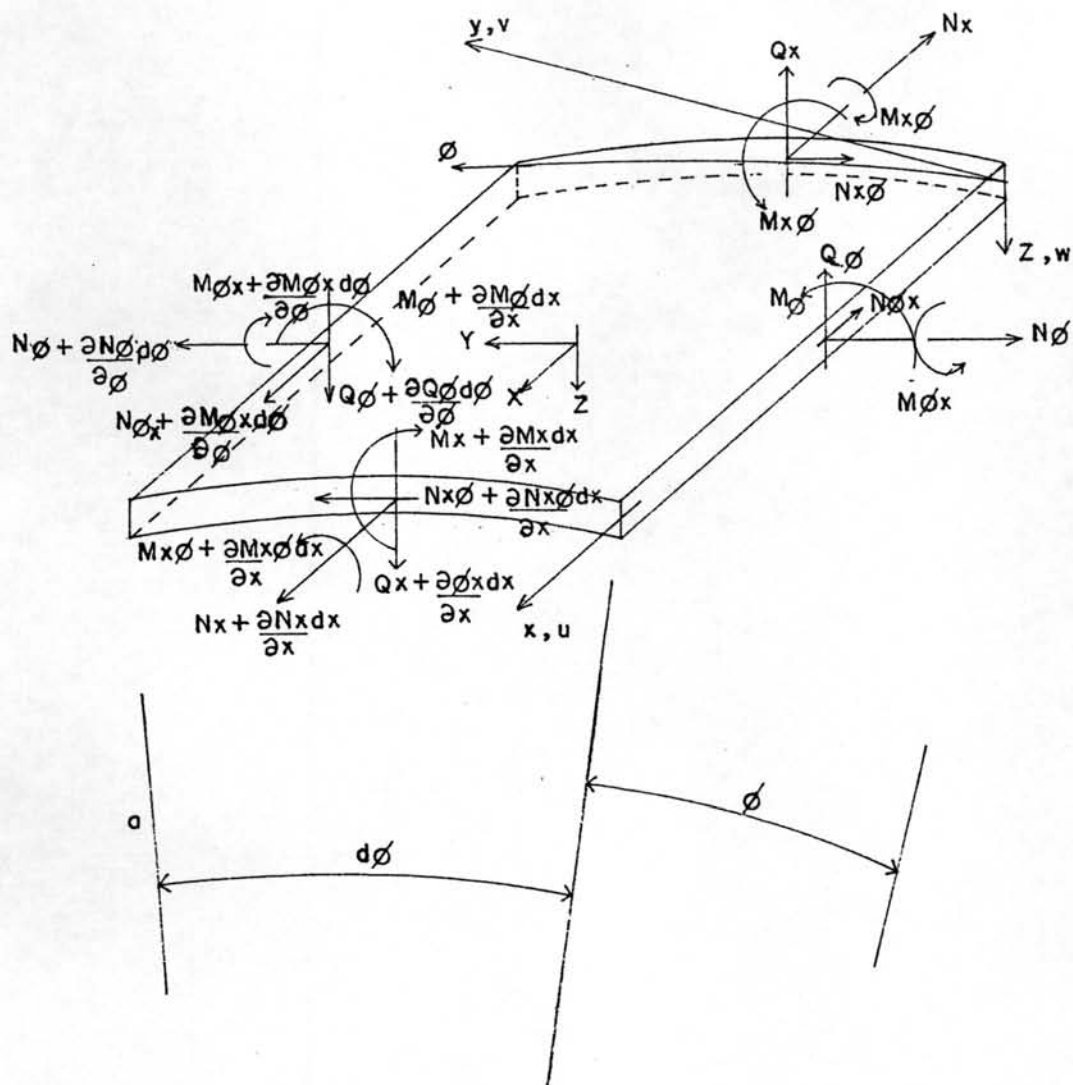
เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน	ความหนา	Cracking load Kg/cm		Ultimate load Kg/cm		Average Kg/cm	
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	Crack load Kg/cm	Ultimate load Kg/cm
30	5	9.98	9.98	20.62	22.62	9.98	21.62
60	7.5	19.06	12.70	46.62	34.62	15.90	40.62
80	9.5	29.04	28.13	50.62	52.62	28.58	51.62
100	11	33.58	34.48	60.62	59.62	34.03	60.12

ตารางที่ ๑ การเปรียบเทียบราคากระหว่างท่อน้ำเสริมไม้ไผ่กับท่อน้ำเสริมเหล็ก

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ซม.	ความหนา ซม.	ราคาท่อน้ำคอนกรีต (บาท)			2. แหงกว่า 1 %	3. แหงกว่า 1 %
		1. เสริมไม้ไผ่	2 เสริมเหล็ก	3 เสริมเหล็กชั้น 4 มอก. 18-2518		
30	5	71.50	86.50	120.00	20.98 %	68 %
60	7.5	205.00	270.00	315.00	31.71 %	54 %
80	9.5	347.00	488.00	510.00	40.63 %	48 %
100	11.0	506.00	712.00	750.00	40.71 %	48 %

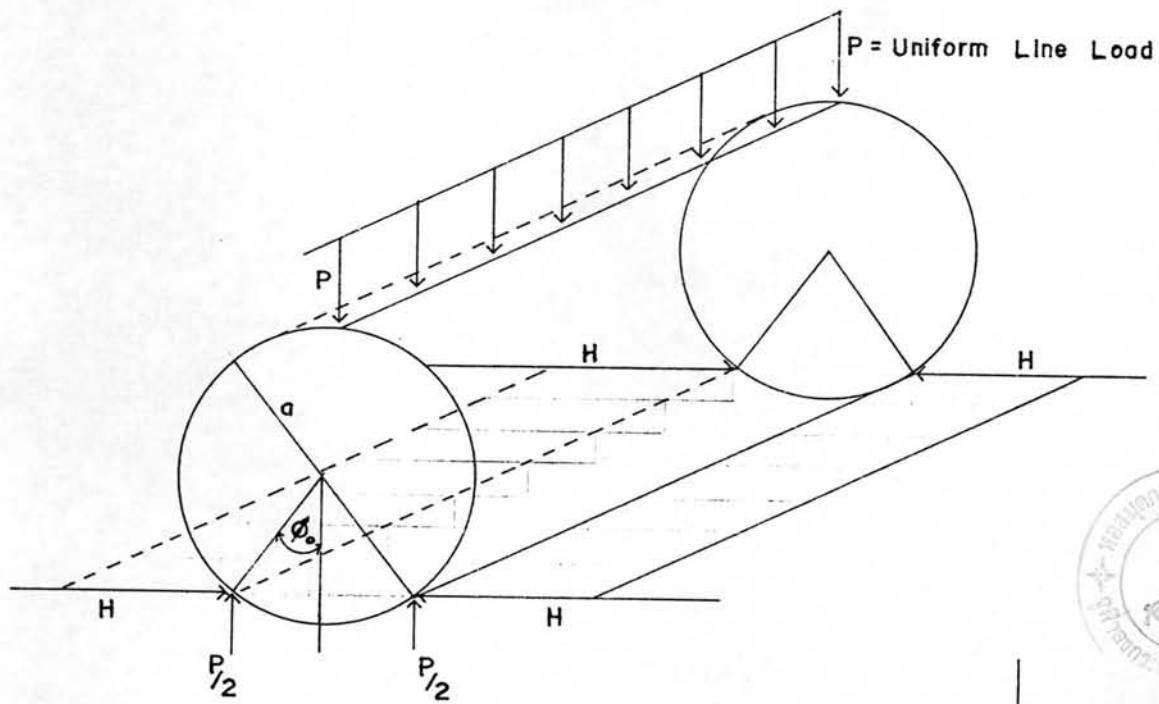
ตารางที่ 10 ผลการทดลองการรับน้ำหนักของท่อเสริมเหล็กไม้มาตรฐาน

เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน ซม.	ความหนา ซม.	Cracking load Kg/cm		Ultimate load Kg/cm		Average Kg/cm	
		ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	ตัวอย่างที่ 1	ตัวอย่างที่ 2	Cracking load Kg/cm	Ultimate load Kg/cm
30	5	9.07	9.07	10.89	10.89	9.07	10.89
60	7.5	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69	22.69
80	9.5	8.17	8.62	14.52	18.15	8.40	16.33
100	11	24.95	27.62	43.26	46.73	26.28	44.96

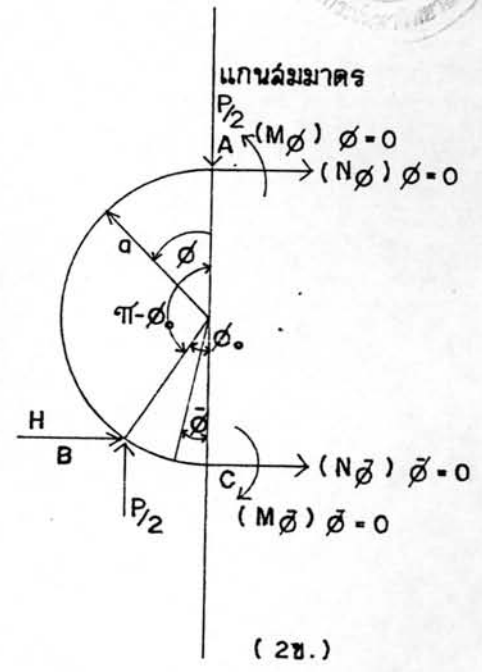


รูปที่ 1 รูปแสดงความสัมพันธ์ของการเปลี่ยนแปลงตำแหน่ง ( $v, u, w$  ทิศทางบวก)

ค่าความเค้นลัพธ์และน้ำหนักบรรทุก



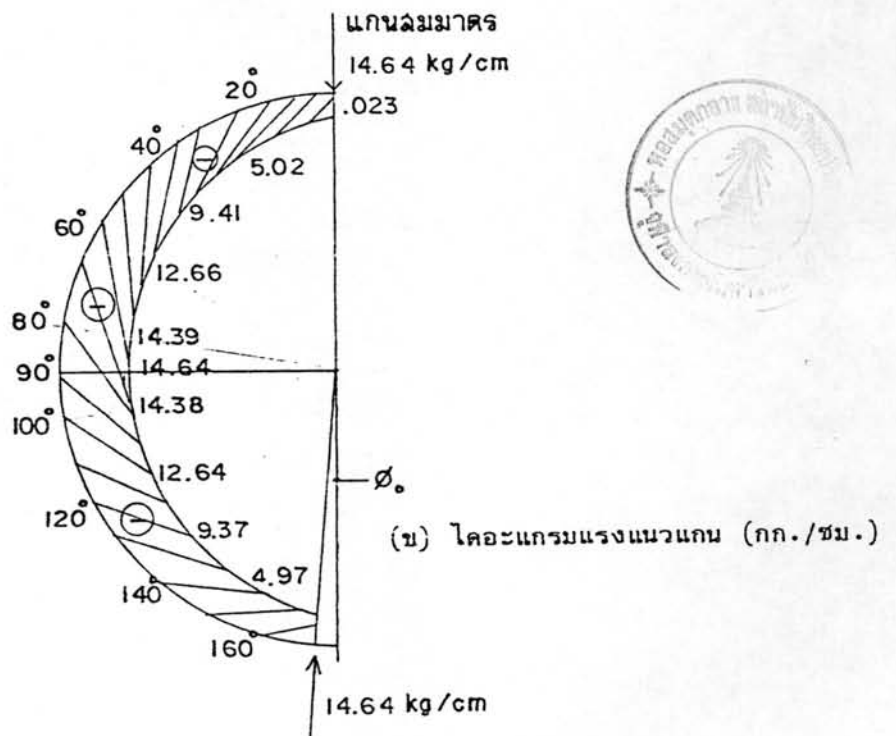
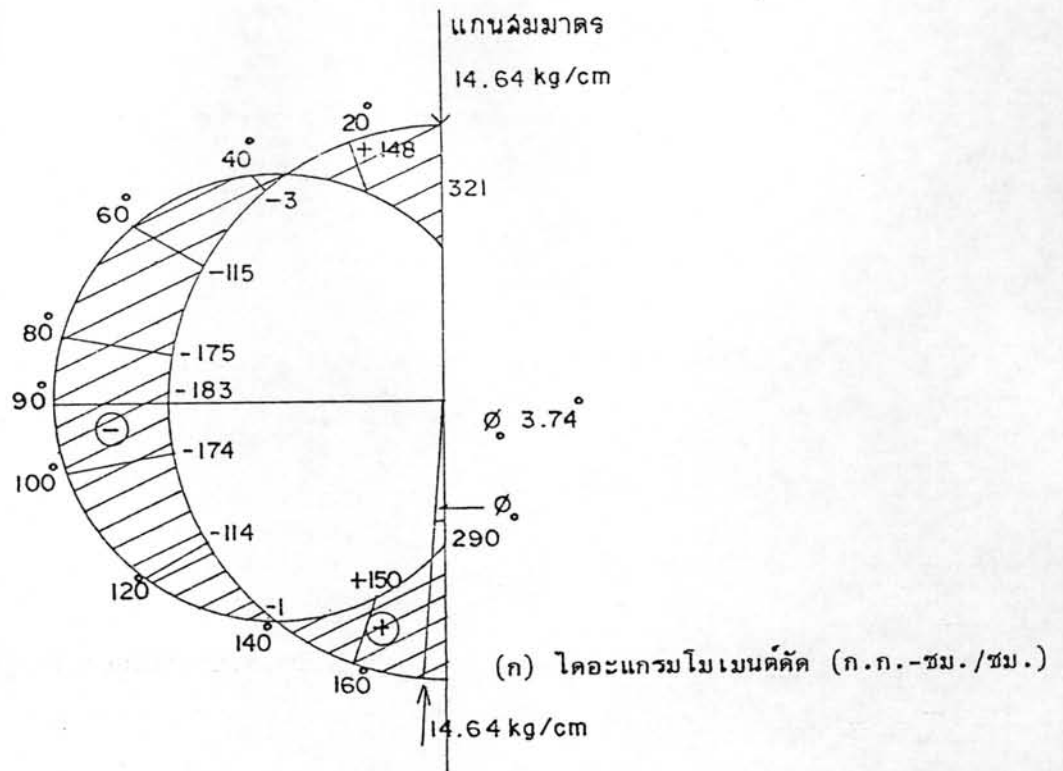
( 2 ก. )



( 2 ข. )

รูปที่ 2 น้ำหนักบรรทุกกระทำที่ท่อน้ำ

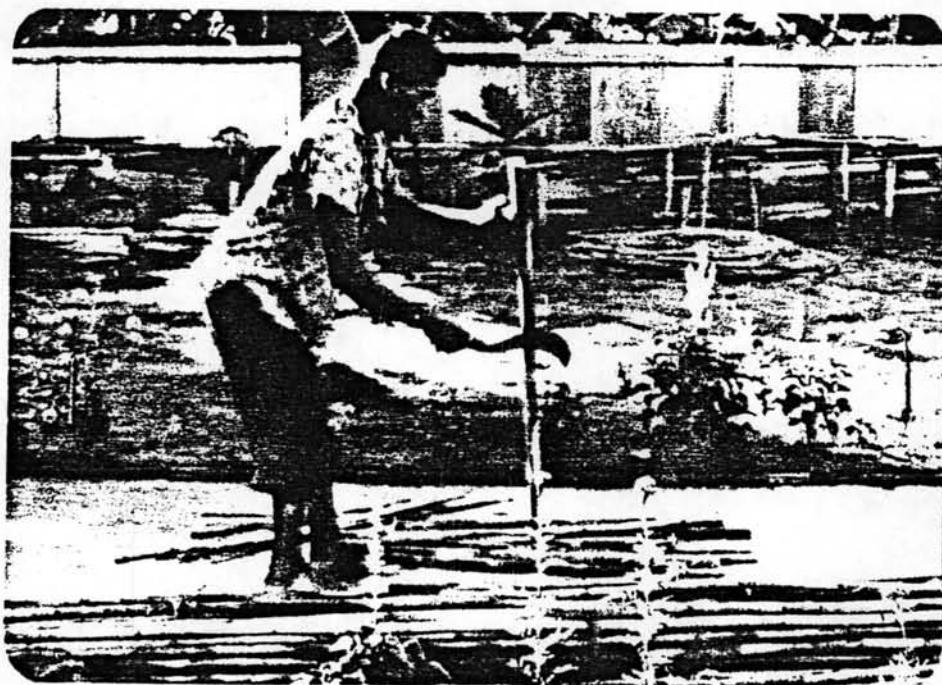




รูปที่ 3 รูปแสดงโคโระแกรมของโมเมนต์คัตและแรงแนวแกนของท่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 60 ซม. มาตรฐานชั้น 4 มอก. 218-2518



รูปที่ 4.1 แสดงการตัดไม้ไผ่



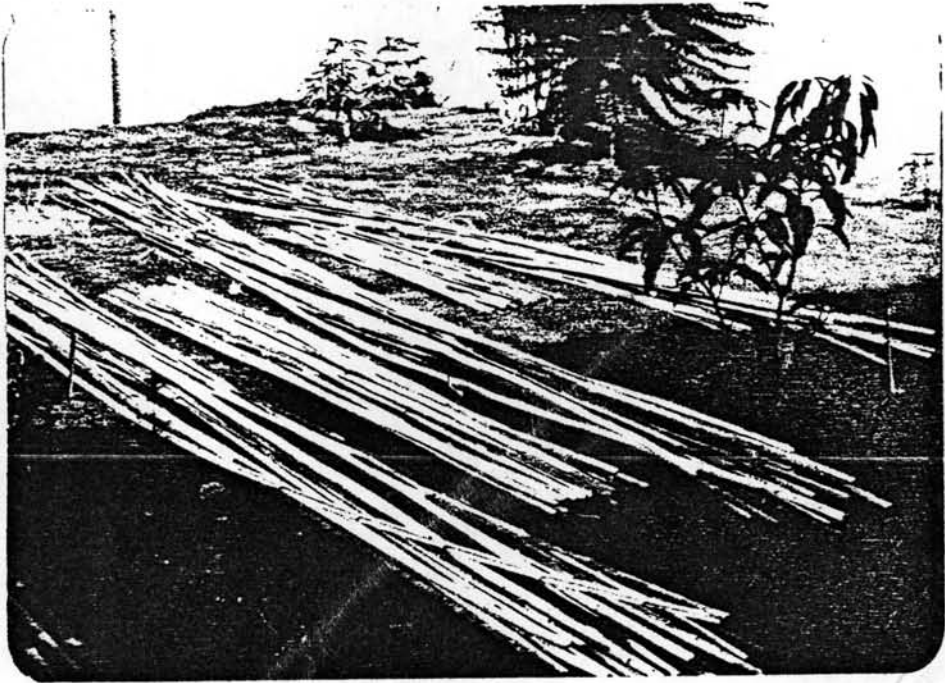
รูปที่ 4.2 แสดงการผ่าไม้ไผ่



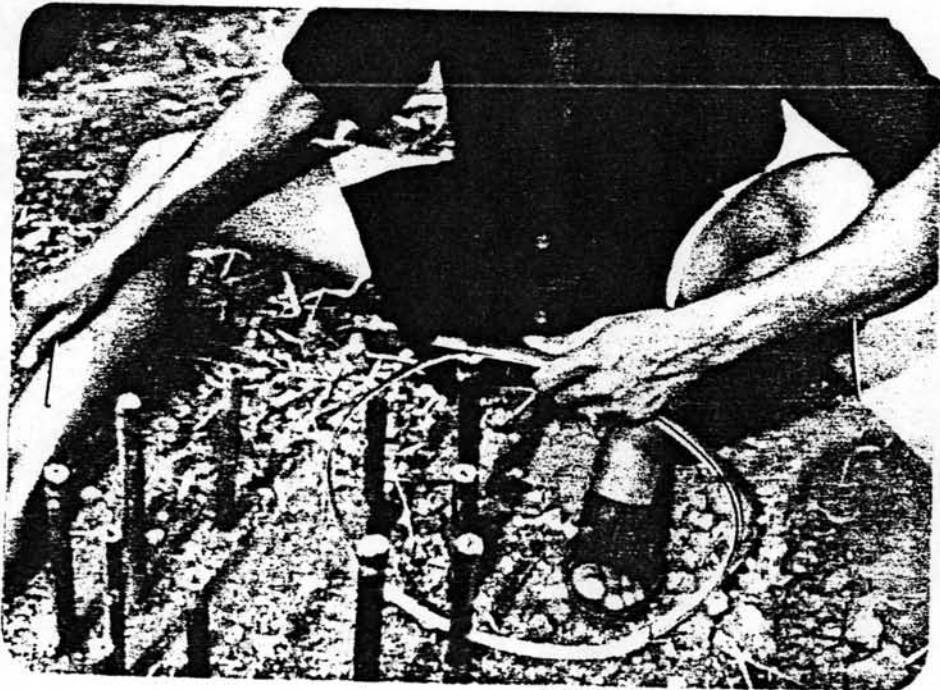
รูปที่ 4.3 แสดงการฉีกไม้ไผ่



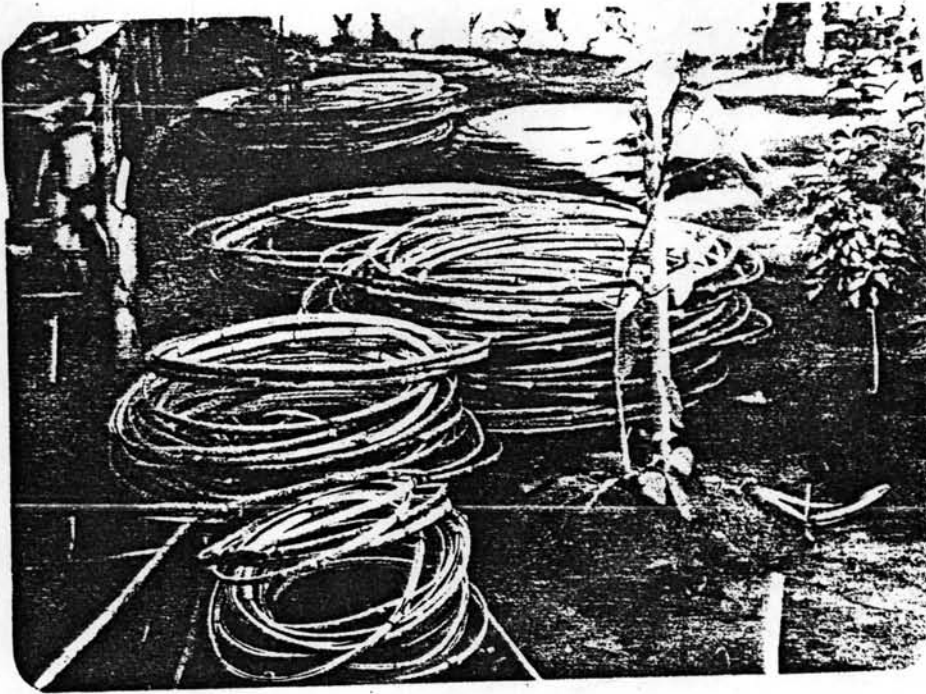
รูปที่ 4.4 การเหลาไม้ไผ่



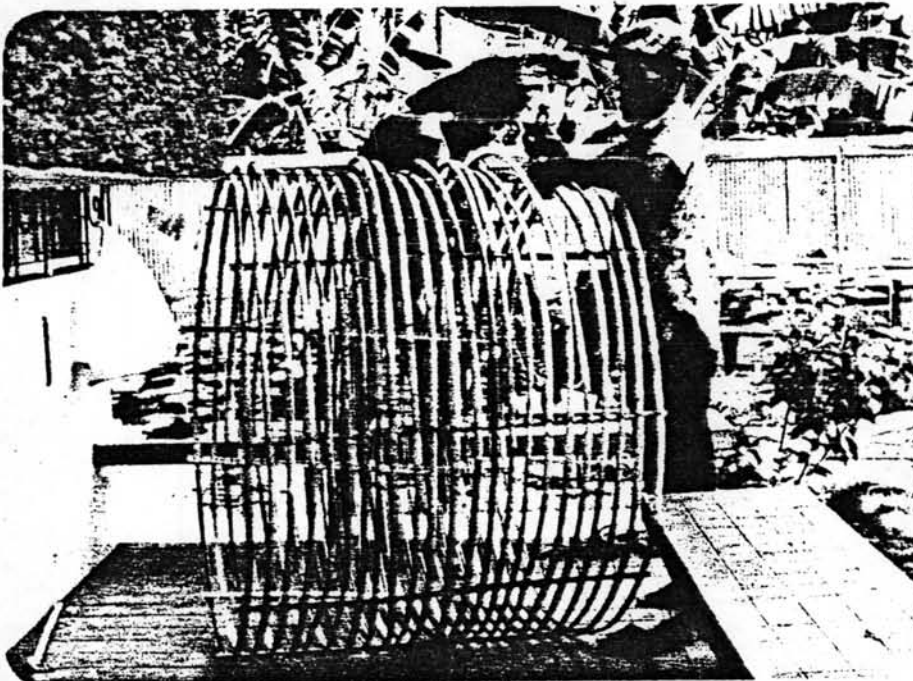
รูปที่ 4.5 ไม้ไผ่ที่ผ่าเตรียมไว้แล้ว



รูปที่ 4.6 แสดงการขดไม้ไผ่ให้เป็นวงกลม



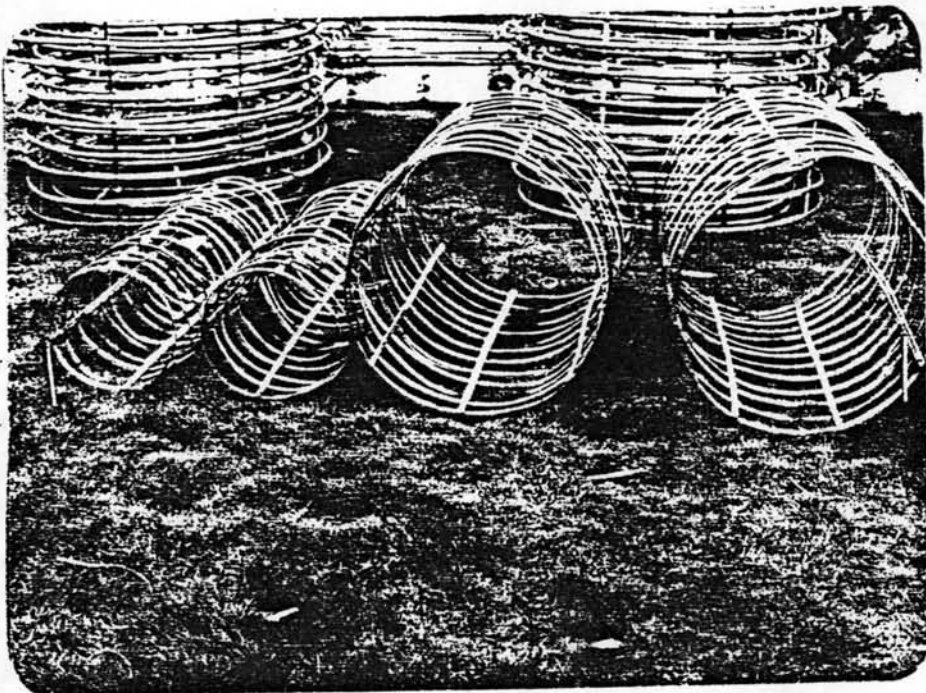
รูปที่ 4.7 ไม้ไผ่ที่ขุดเป็นวงกลมเสร็จแล้ว



รูปที่ 4.8 การประกอบยึดโครงไม้ไผ่

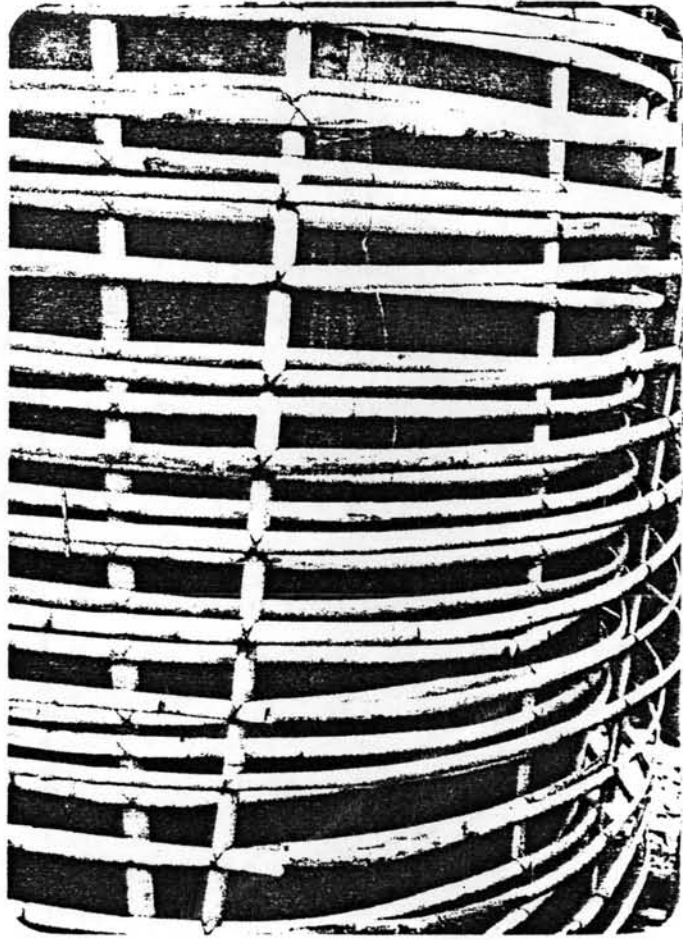


รูปที่ 4.9 การผูกมัดยึดโครงไม้ไผ่

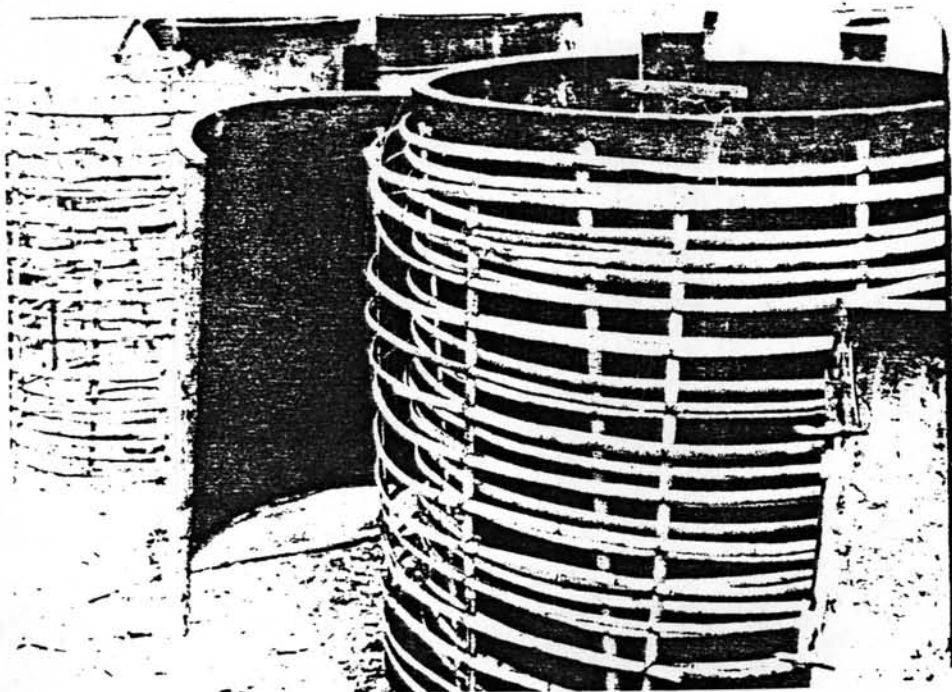


รูปที่ 4.10 โครงไม้ไผ่ที่เตรียมเสร็จแล้ว

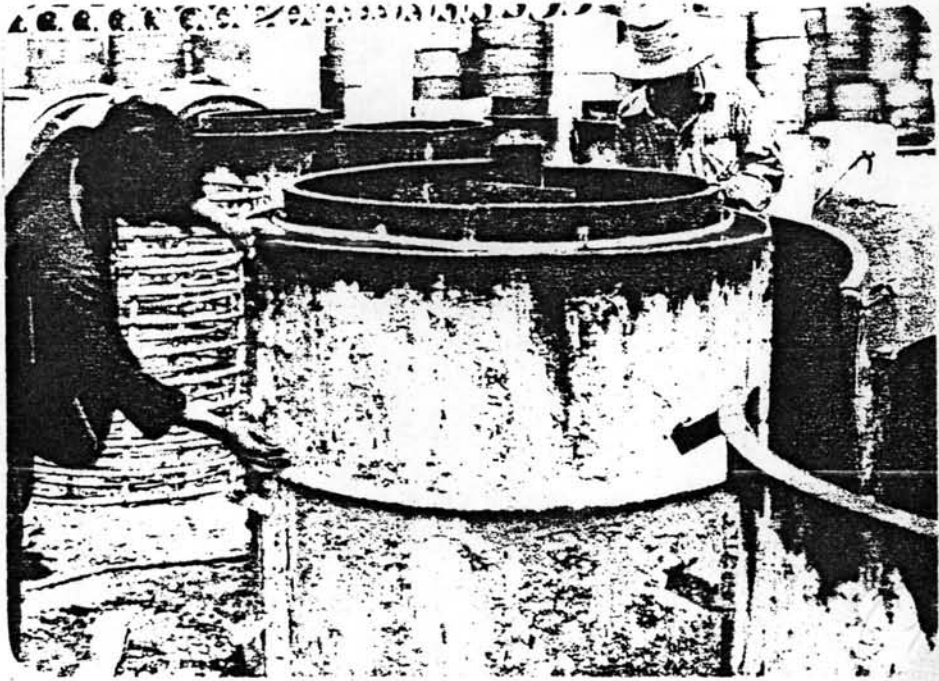




รูปที่ 5.1 การนำโครงไม้ไผ่เข้าประกอบแบบภายใน



รูปที่ 5.2 การประกอบแบบหล่อภายนอก



รูปที่ 5.3 โครงไม้ไผ่ที่ประกอบแบบเสร็จแล้ว



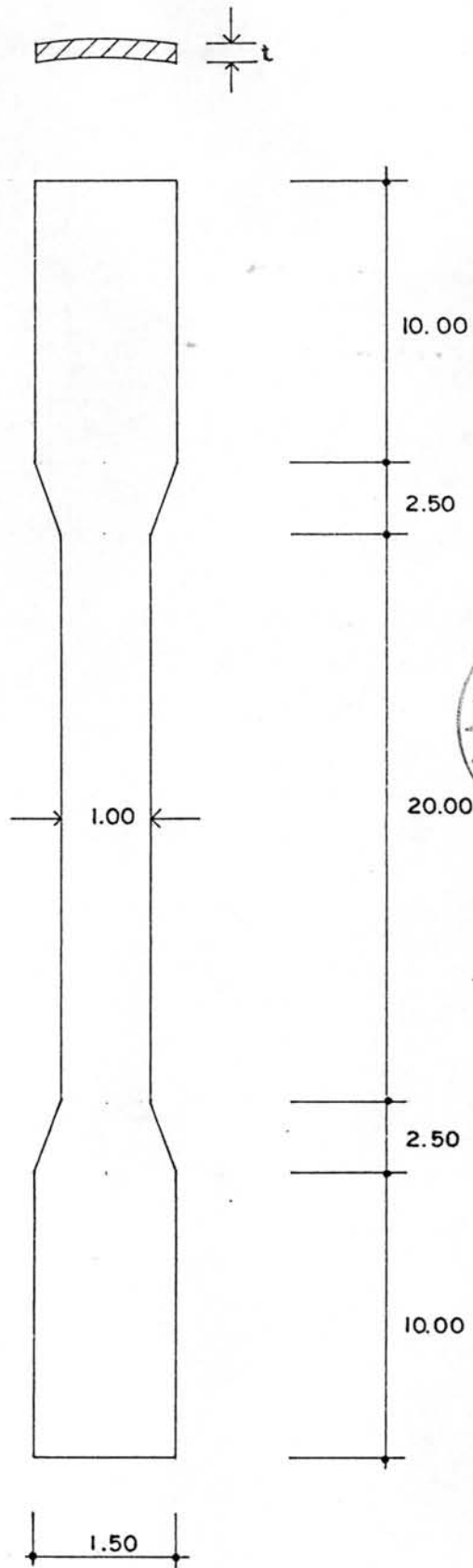




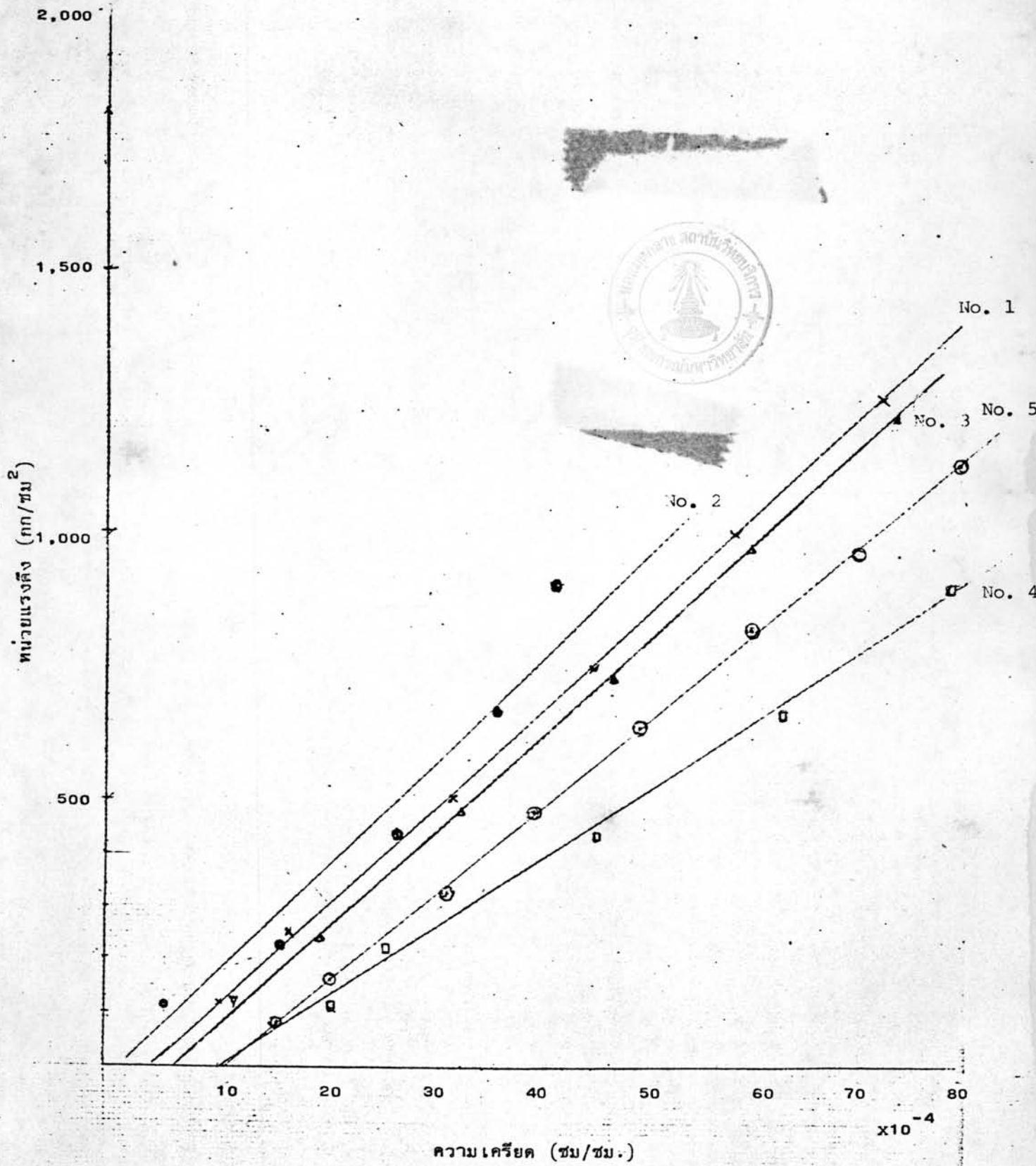
รูปที่ 6.2 การกระทุ้งคอนกรีตให้แน่น



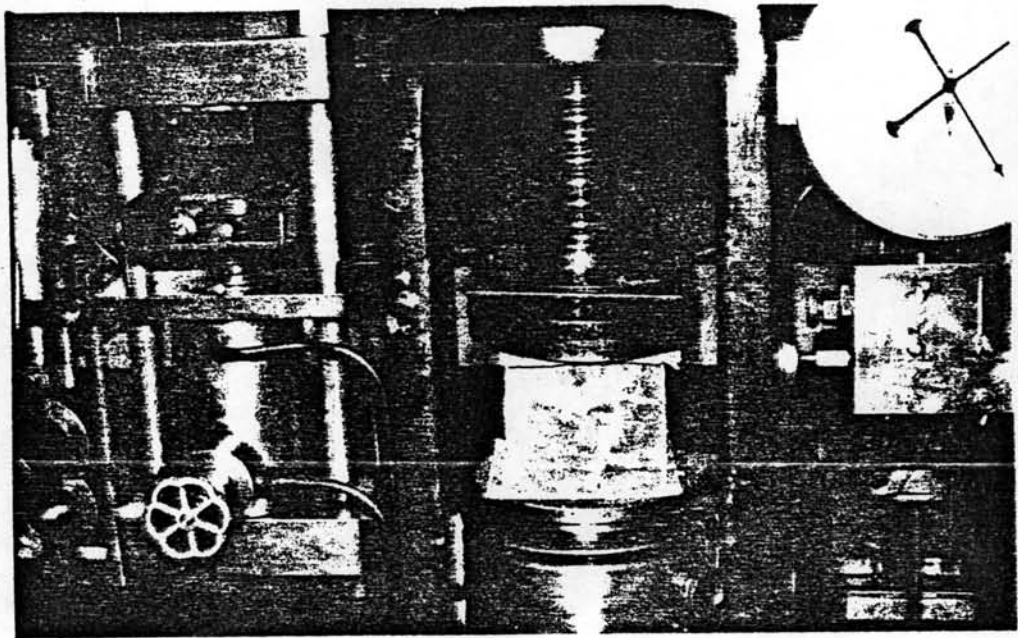
รูปที่ 6.3 ท่อเมื่อถอดแบบออกแล้ว



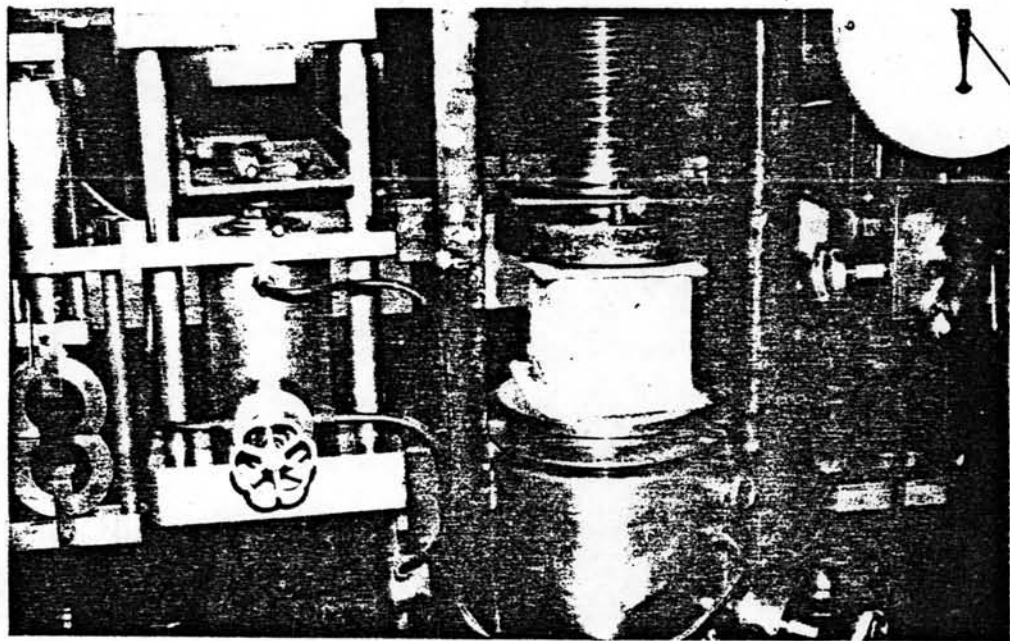
รูปที่ 7 (ก) ตัวอย่างไม้ไผ่ที่ใช้ในการทดลองหาการรับแรงดึงของไม้ไผ่  
(หน่วยเป็นเซนติเมตร)



รูปที่ 7 (ข) กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างแรงดึงและความเคี้ยวของไม้ไผ่

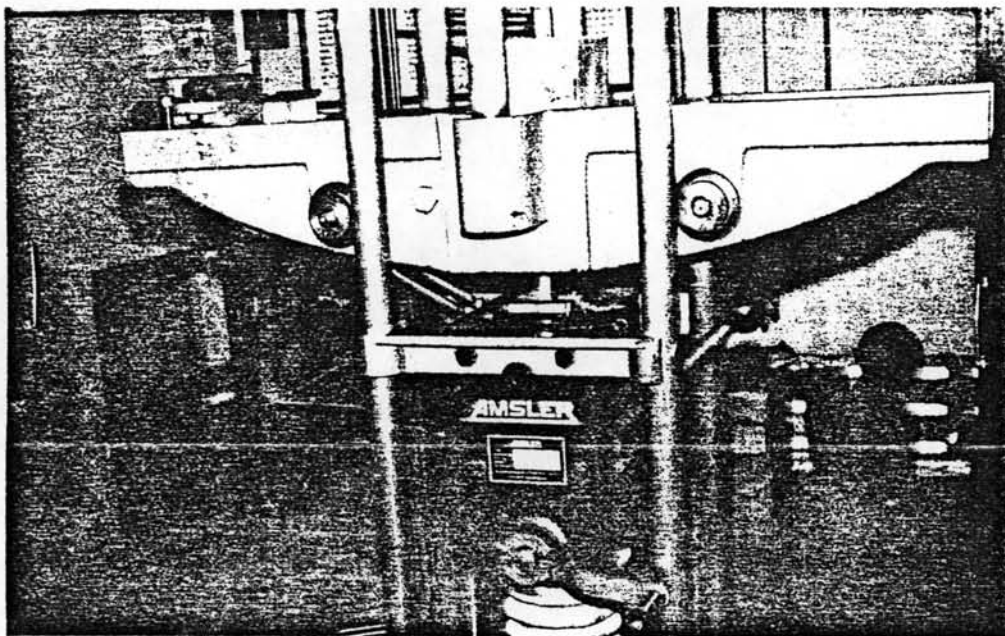


(ก)

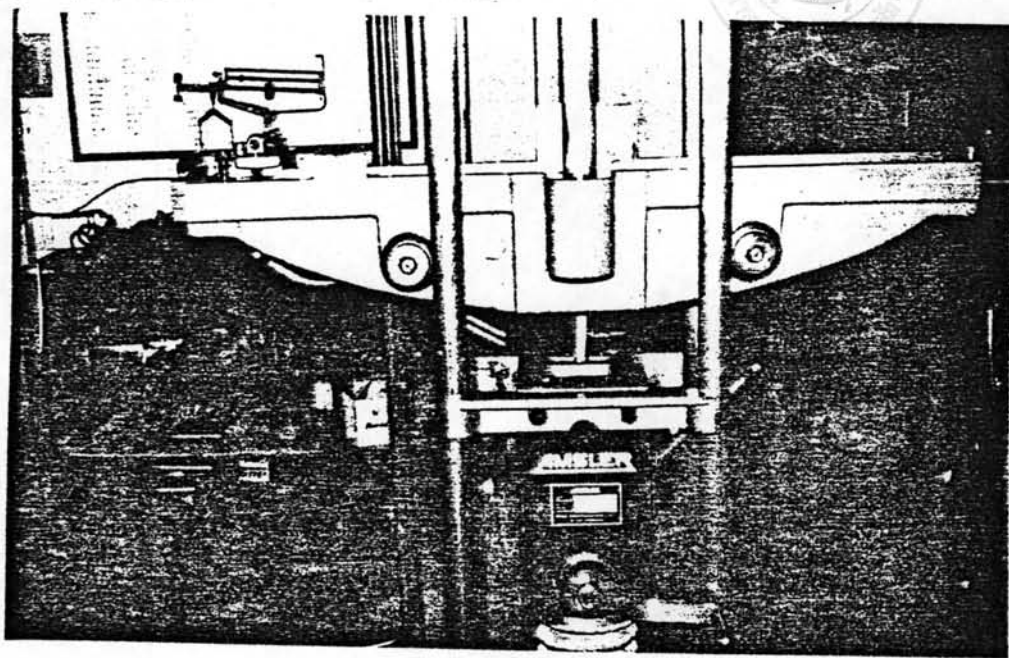


(ข)

รูปที่ 8 (ก), (ข) การทดลองหาค่าการอัดสูงสุดในแท่งคอนกรีต  
มาตรฐาน .15x.15x.15 ม.

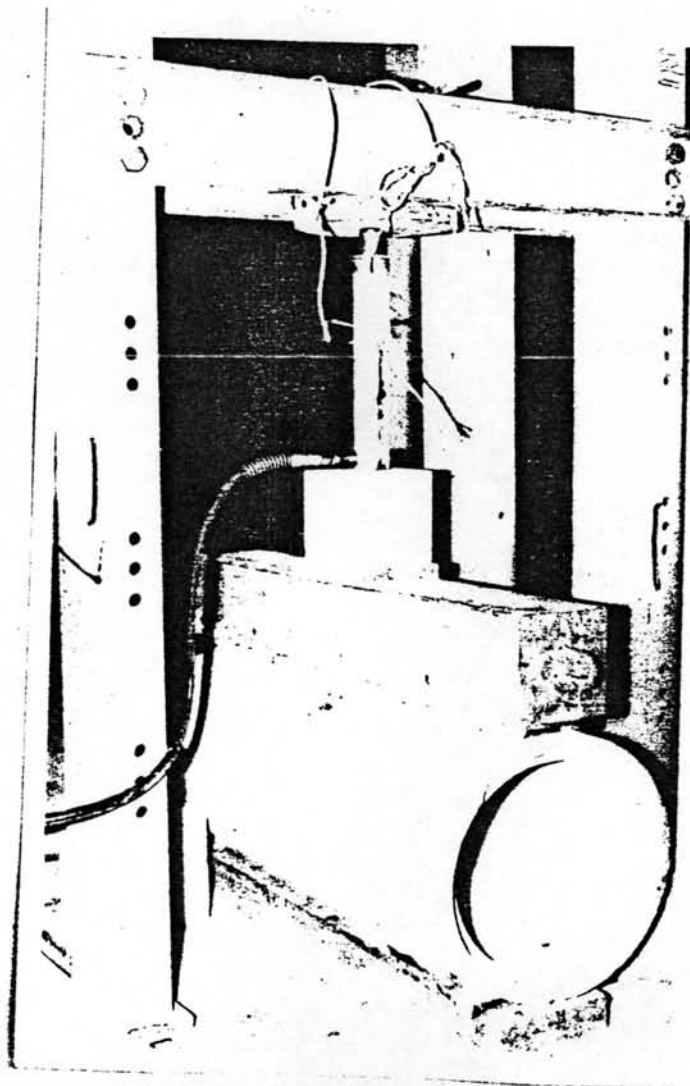
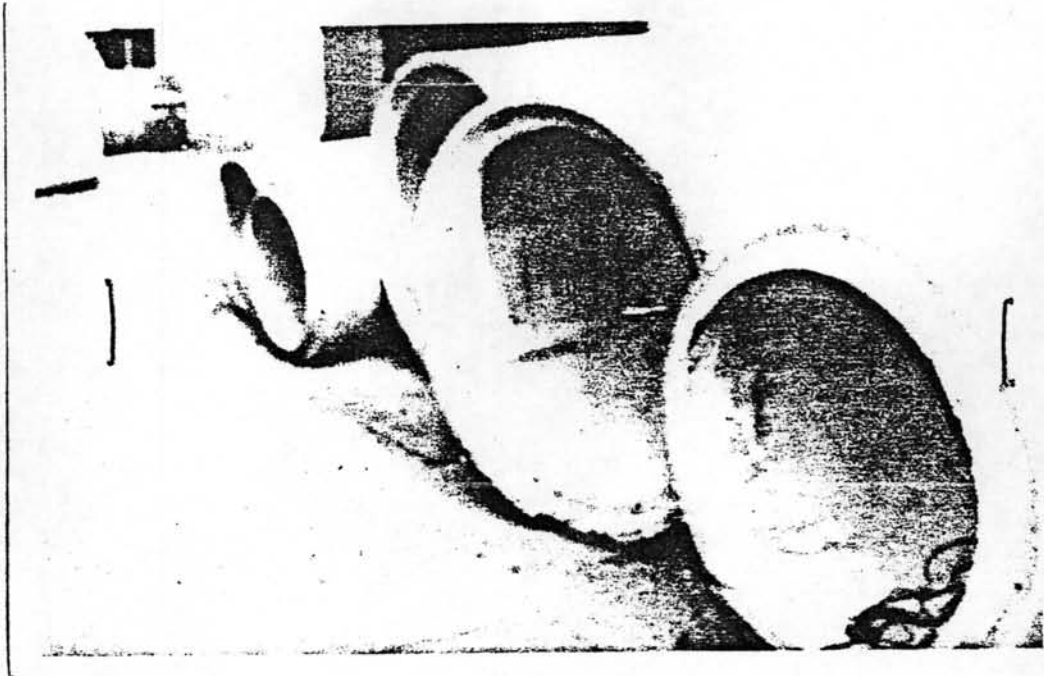


(ก)

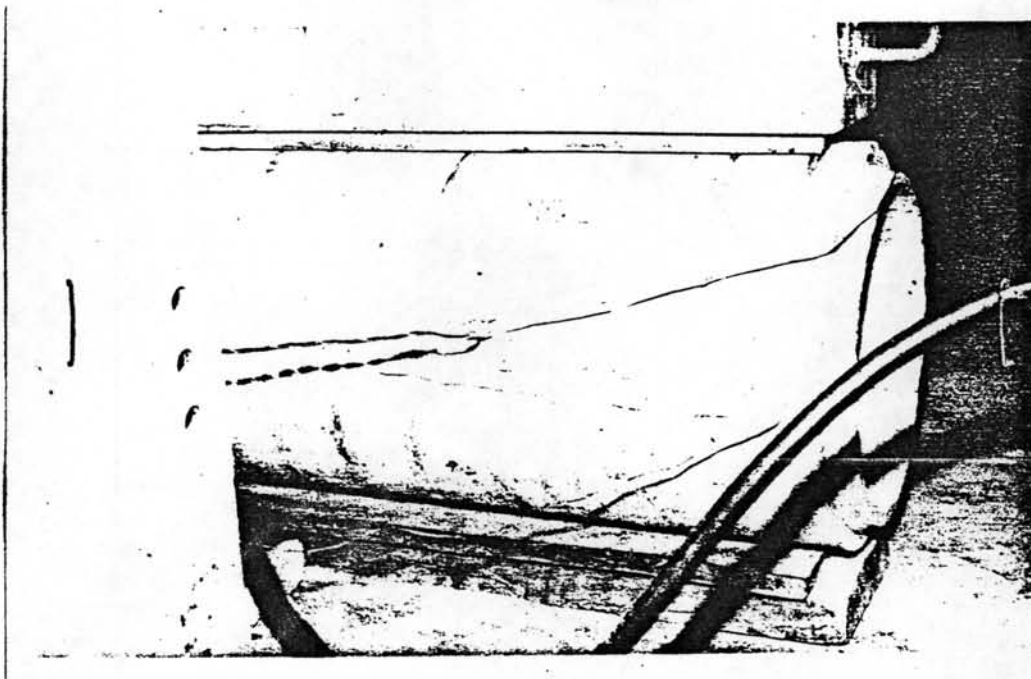


(ข)

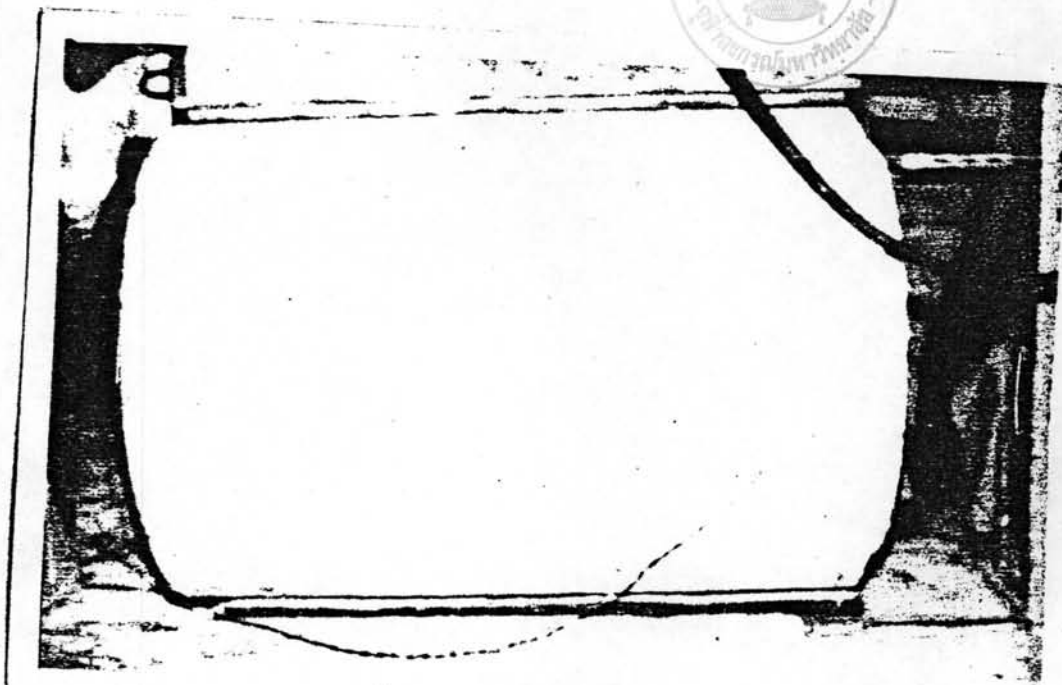
รูปที่ ๑ การทดลองหาแรงยึดเหนี่ยวระหว่างไม้ไผ่กับคอนกรีต



รูปที่ 10.2 แสดงการทดลองการรับน้ำหนักบรรทุกท่อขนาด  $\phi$  30 ซม.

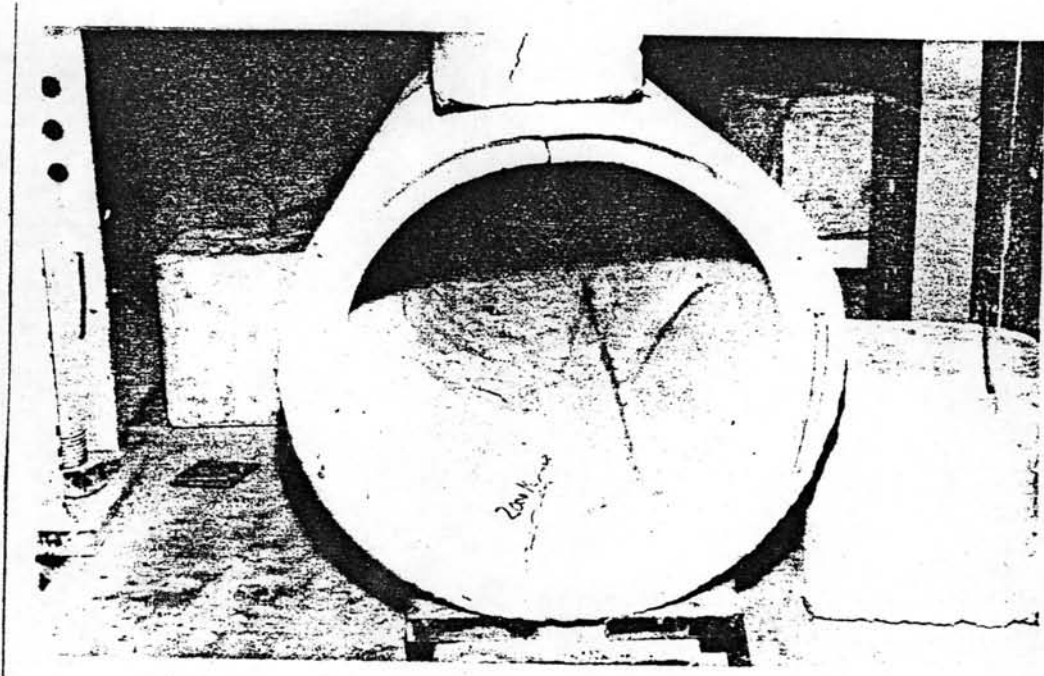


รูปที่ 10.3 แสดงการแตกร้าวของท่อ  $\phi$  60 ซม. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก

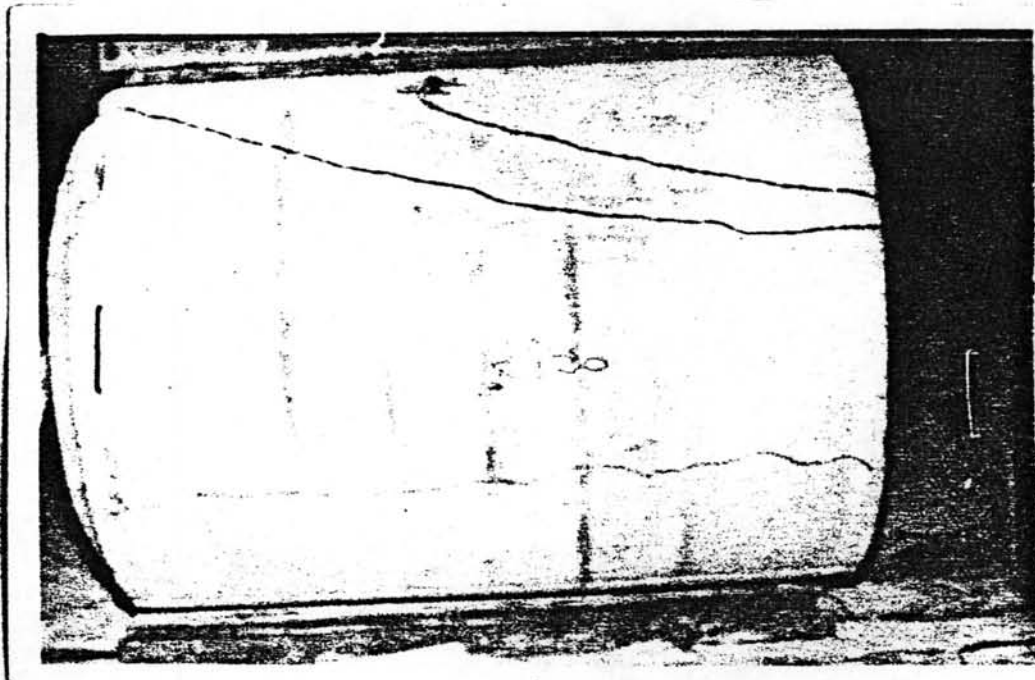


รูปที่ 10.4 แสดงการแตกร้าวของท่อ  $\phi$  80 ซม. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก



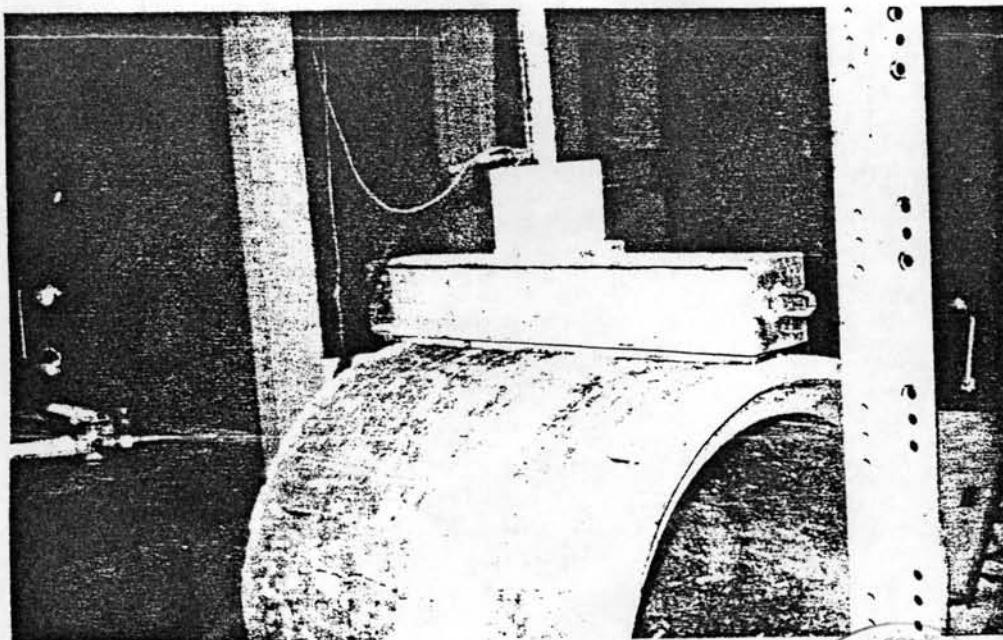


(ก)

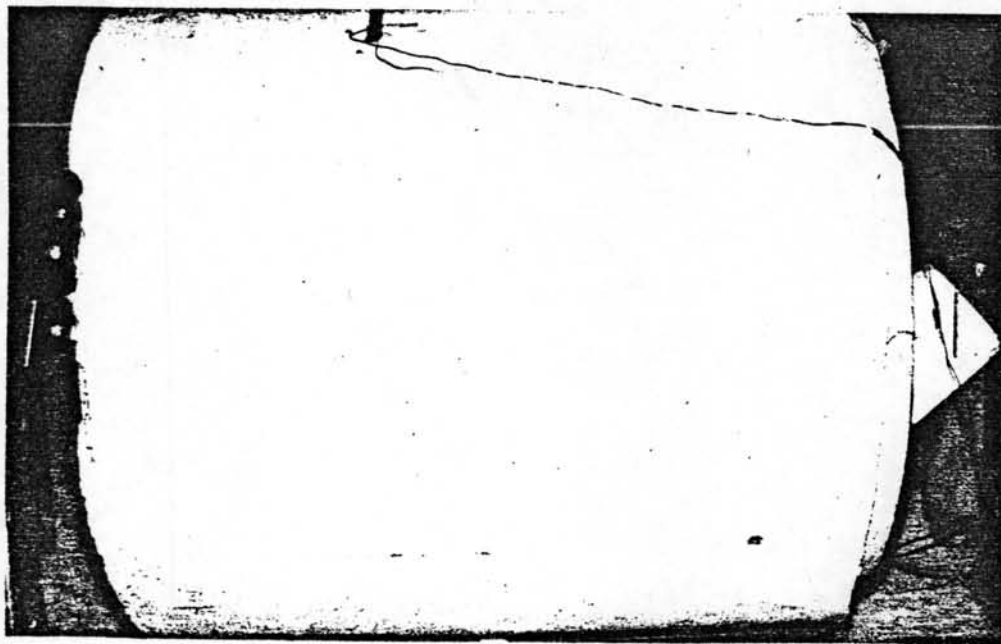


(ข)

รูปที่ 10.5 แสดงการแตกร้าวของท่อ  $\phi$  80 ซม. ภายใต้้น้ำหนักบรรทุก

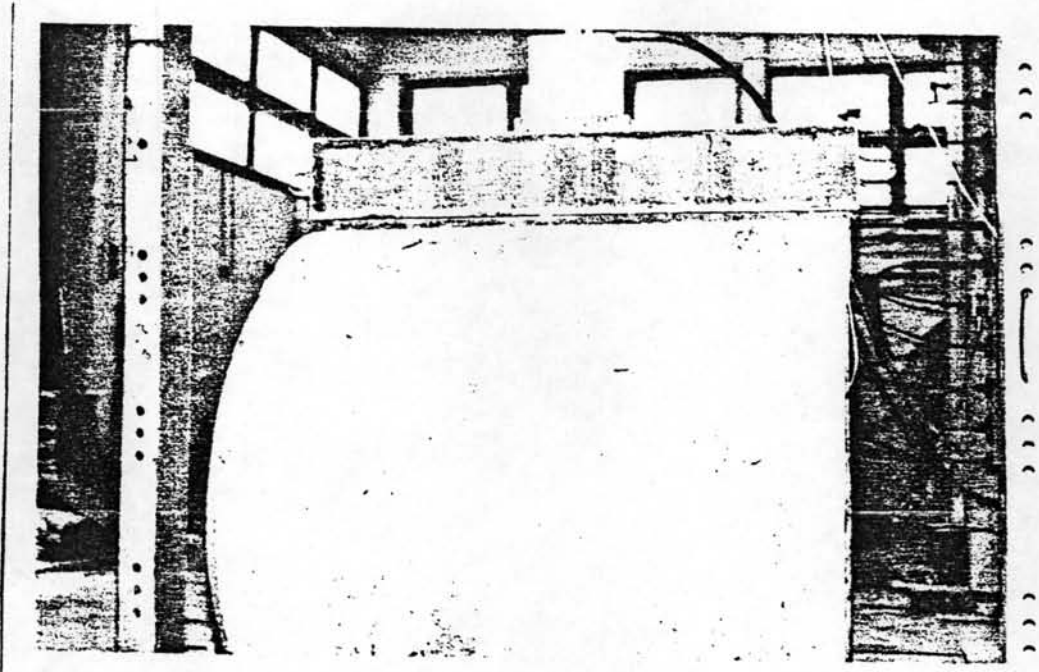


(ก)

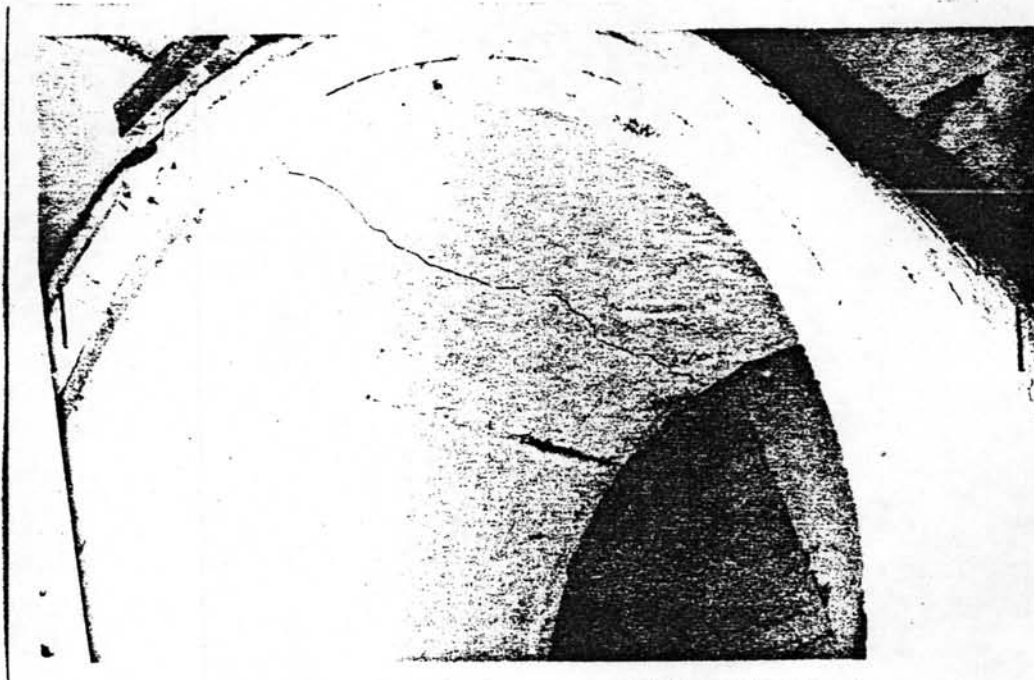


(ข)

รูปที่ 10.6 แสดงการแตกร้าวของท่อ  $\phi$  100 ซม. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก



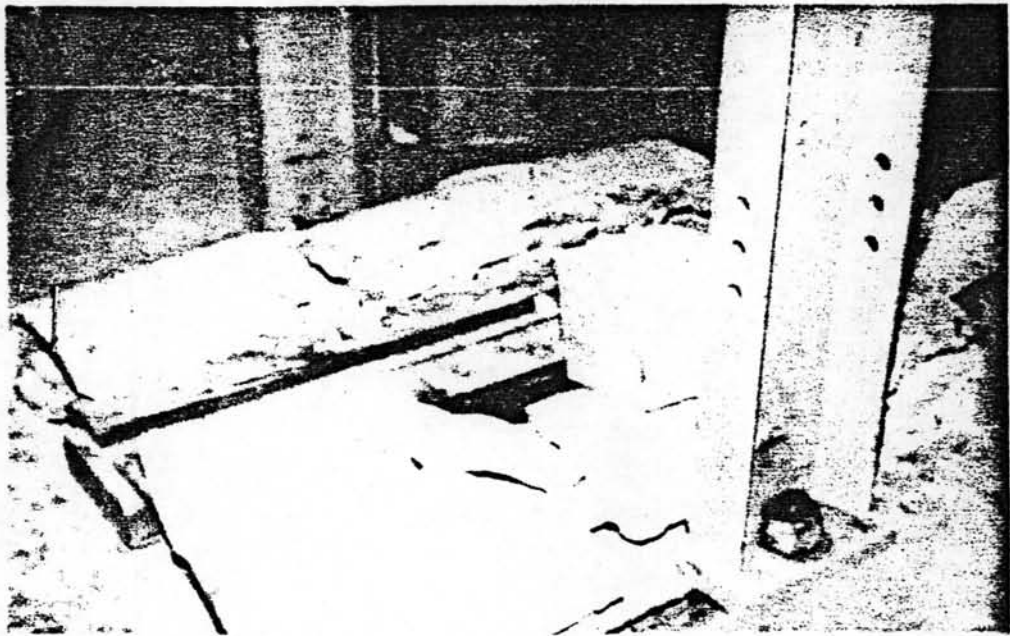
(ก)



(ข)

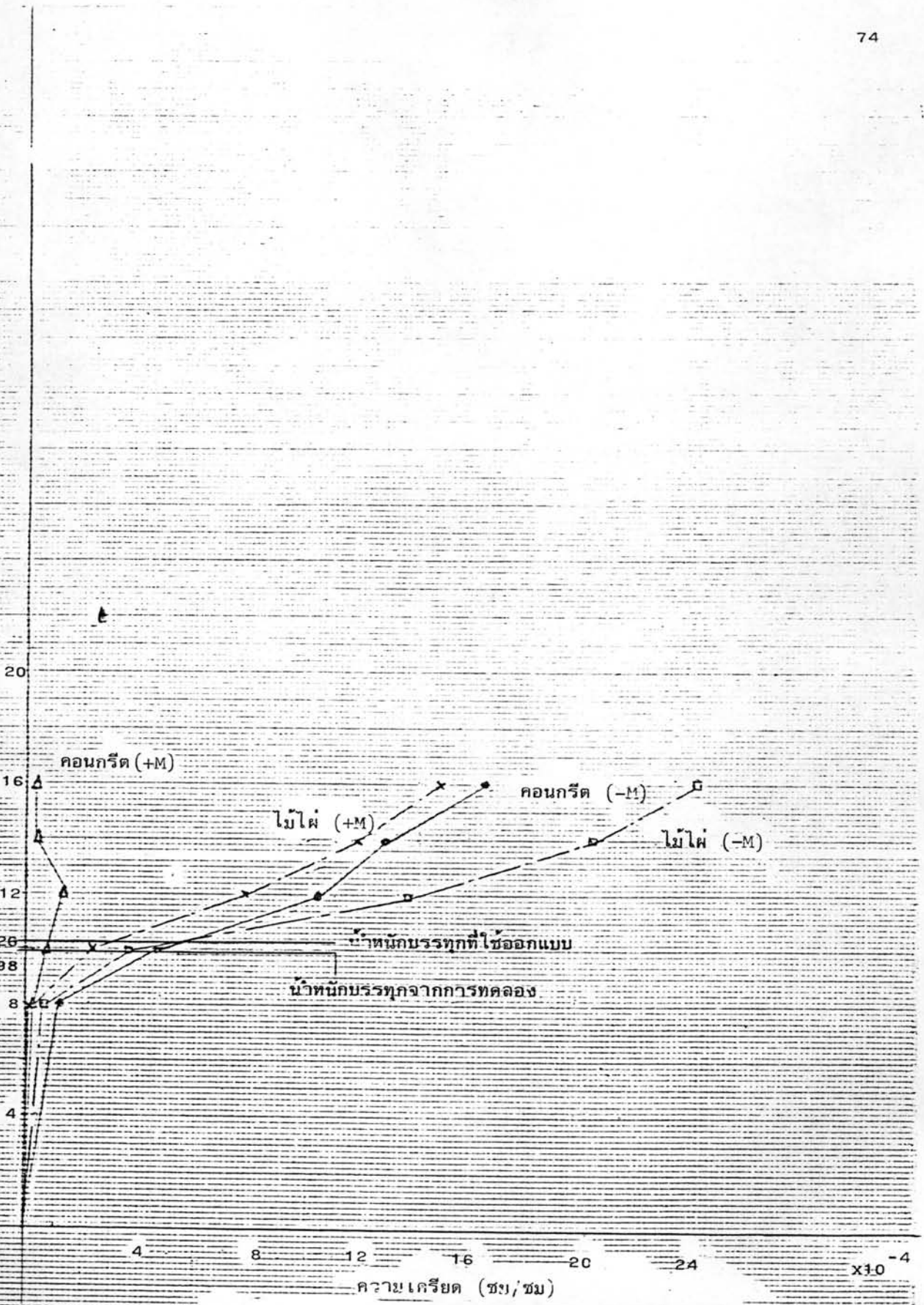
รูปที่ 10.7 แสดงการแตกร้าวของท่อ ค.ส.ล. หัวโปที่ไม่ได้มาตรฐาน

ขนาด  $\phi$  100 ซม. ภายใต้น้ำหนักบรรทุก



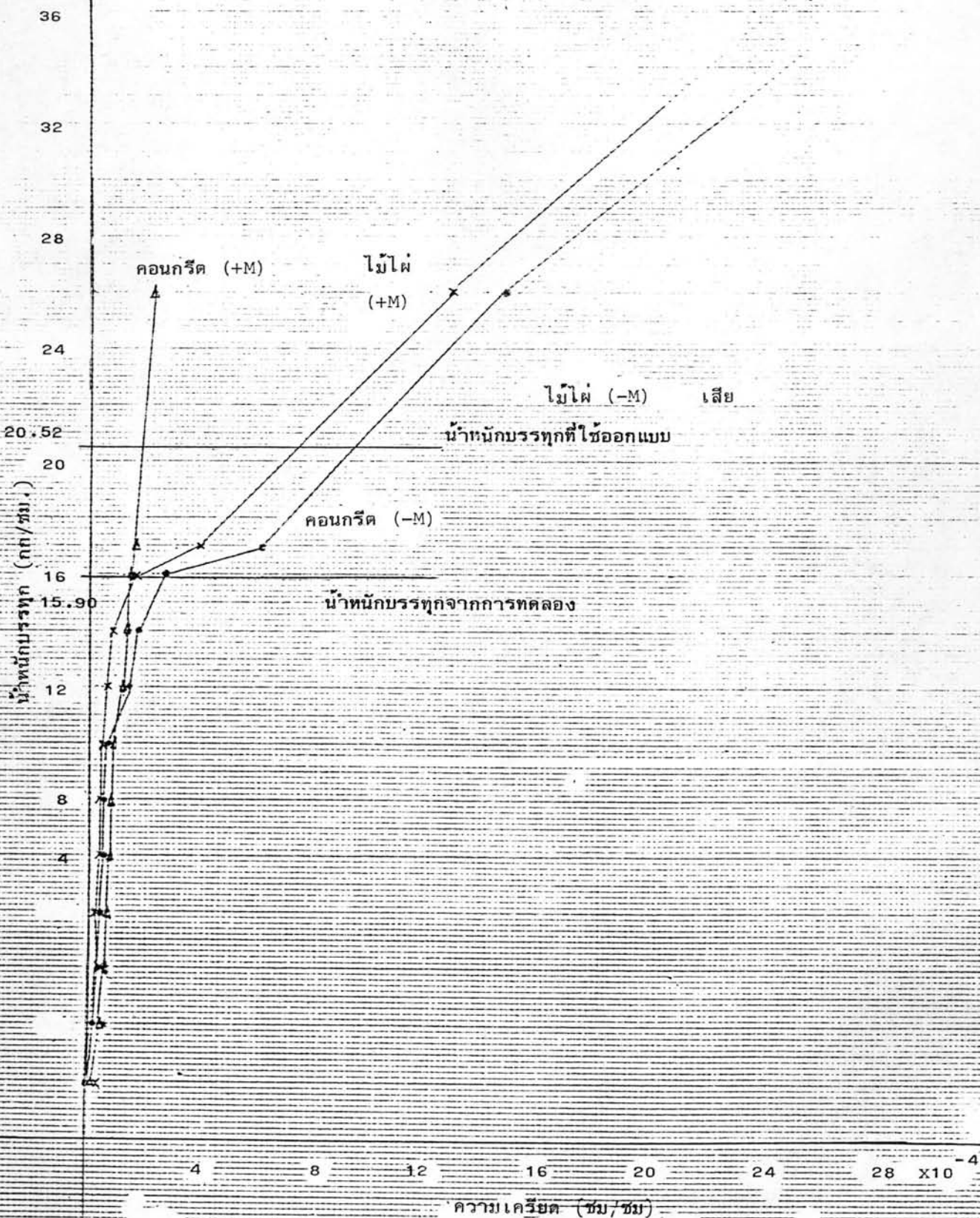
รูปที่ 10.8 แสดงการรั่วซึมของท่อทองแดงทั่วไปที่ไม่ได้มาตรฐาน ขนาด  $\phi$  30 มม.

น้ำหนักบรรทุก (กก./ซม.)



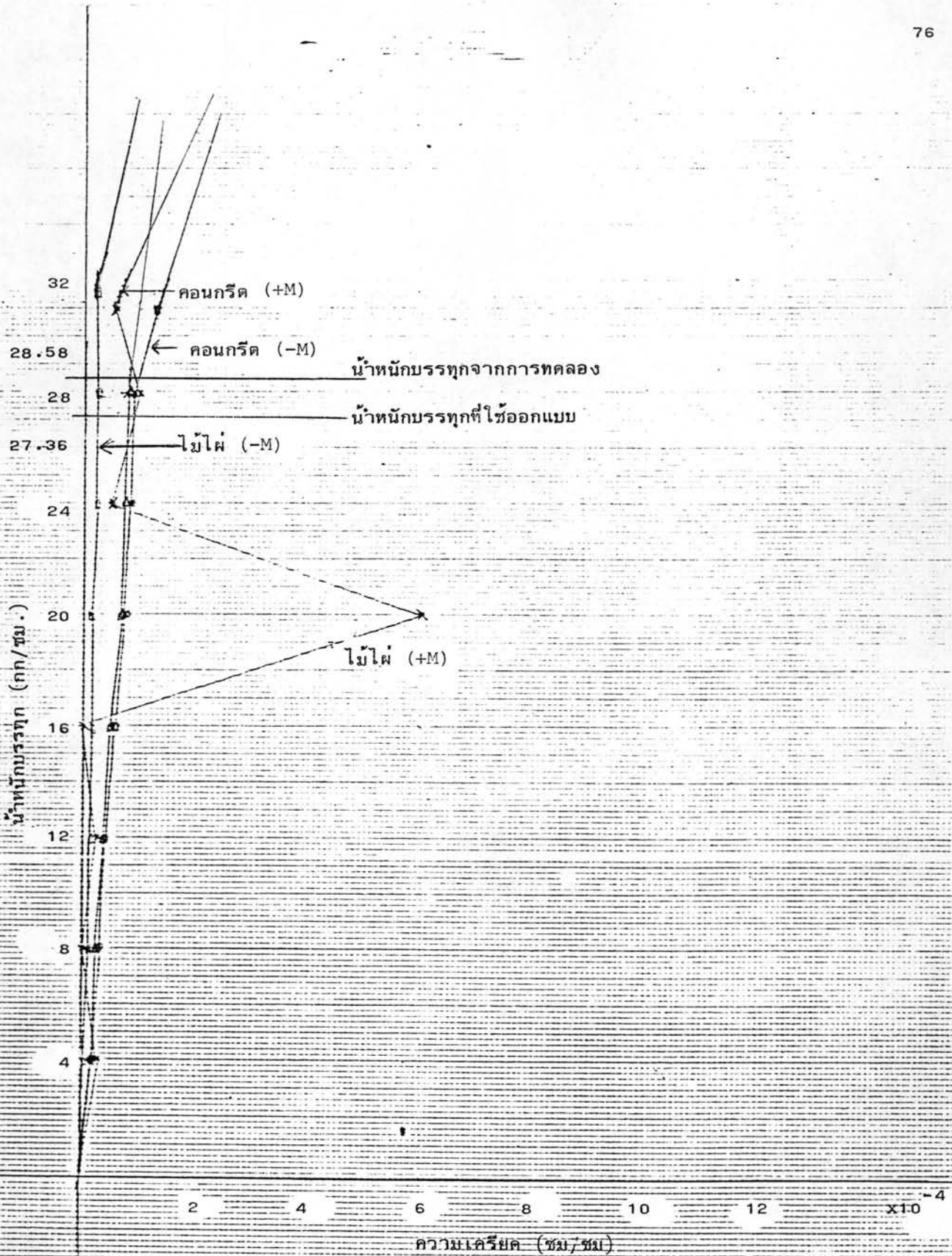
รูปที่ 11.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรทุกกับค่าความเคี้ยวของไม้และคอนกรีต

ของท่อ ๑ 30 ซม.

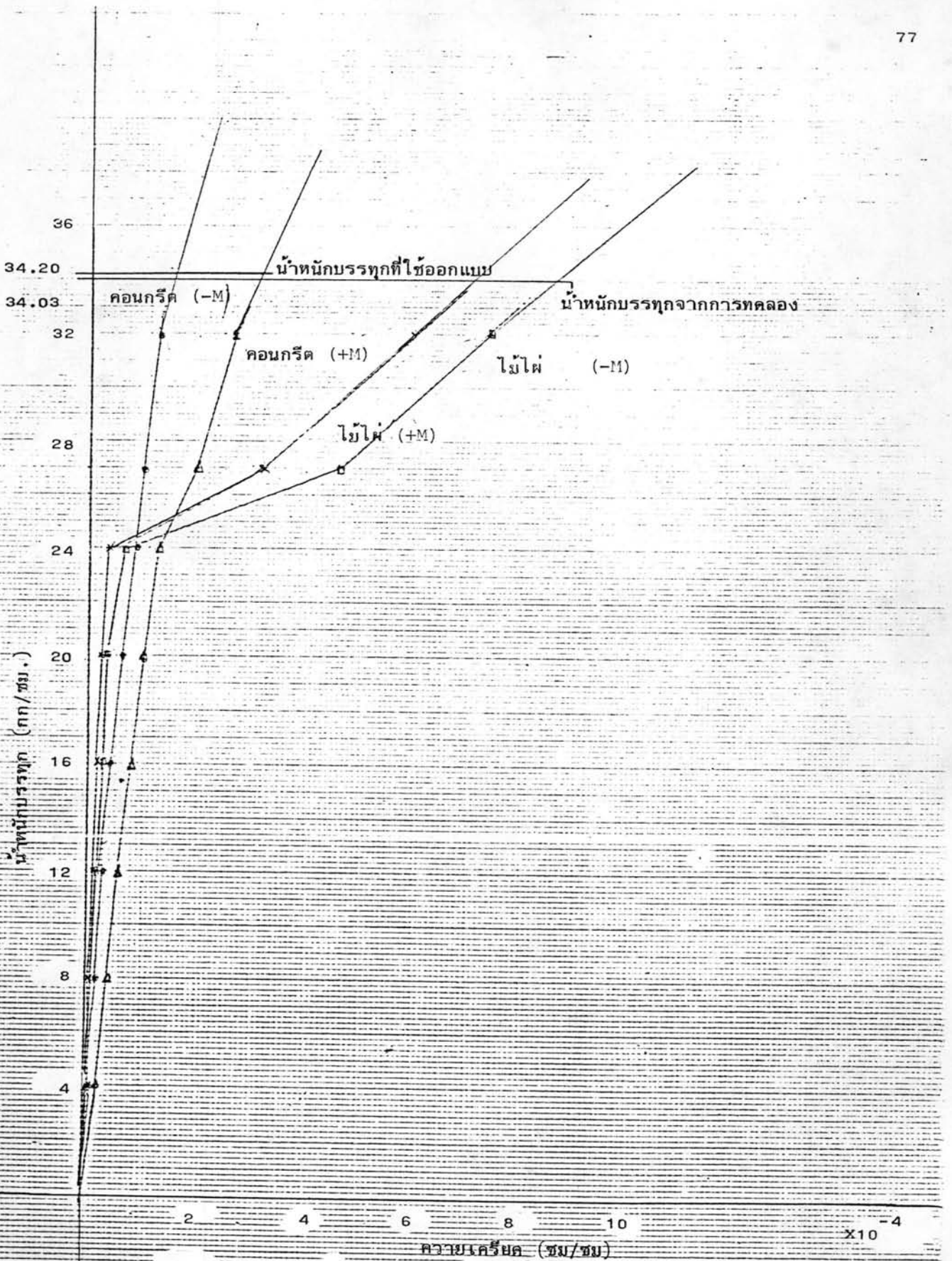


รูปที่ 11.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักปรอททุกกับค่าความเครียดของไม้ผุและคอนกรีต

ของท่อ  $\phi$  60 ซม.



รูปที่ 11.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุกับค่าความเคียดของ ไม้ไผ่และคอนกรีต ของท่อขนาด  $\phi$  80 ซม.



รูปที่ 14.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างน้ำที่ดูดซึมกับค่าความเคียดของไม้ผิและคอนกรีต

ของท่อ  $\phi$  100 ซม.





**ประวัติการศึกษา**

**นายโชคชัย พันธ์ศิริกุล สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิศวกรรมโยธา  
จากสถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า ธนบุรี ปีการศึกษา 2519 ปัจจุบันรับราชการที่ กองออกแบบ  
และก่อสร้าง กรมอาชีวศึกษา กระทรวงศึกษาธิการ**