บทที่ 7

กำลังของวัสดุ

7.1 คอนกรีต

ในงานคอนกรีตเสริมเหล็ก คุณภาพของคอนกรีตมีความสำคัญไม่น้อยกว่าเหล็กเส้น แต่การตรวจสอบคุณภาพของคอนกรีตกระทำได้ยุ่งยากกว่า ปัจจัยที่สำคัญที่สุดอันหนึ่งที่เกี่ยวข้องกับคุณภาพของคอนกรีต คือ การผสม ซึ่งการผสมที่ดีและสม่ำเสมอนั้น ย่อมมาจากมาตรฐานของการทำงานที่ดี ฉะนั้น จึงเชื่อได้ว่า งานที่มีการผสมคอนกรีตดี ก็จะได้คอนกรีตที่มีคุณภาพที่ดี

ในบรรดาการก่อสร้างทั้งหมดในปัจจุบัน ซึ่งประกอบด้วยงานโครงสร้างคอนกรีตกว่าร้อยละ 80 นั้น มีอยู่จำนวนมากที่วิศวกรไม่มีโอกาสควบคุมหรือดูแลอย่างใกล้ชิด ดังนั้นจึงจำเป็นที่จะต้องทราบว่าคุณภาพของคอนกรีตที่ปรากฏอยู่ทั่วไปเป็นอย่างไร เป็นตามที่ต้องการหรือไม่เพียงไร

ประเภทของงานคอนกรีต งานคอนกรีตสามารถแยกตามคุณภาพของงานได้เป็น 2 ประเภท คือ

1. งานคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ คืองานคอนกรีตที่ไม่ได้ควบคุมอย่างถูกต้องใกล้ชิด ส่วนผสมไม่แน่นอน กรรมวิธีในการผสม การบ่ม และการเทไม่ได้มาตรฐาน และไม่ได้ติดตามคุณภาพ ซึ่งจะมีผลทำให้คุณภาพของงานไม่ดี มีช่วงแปรเปลี่ยนกว้าง อาจจะมีค่าสูงหรือต่ำกว่าที่ต้องการมาก

2. งานคอนกรีตที่มีการควบคุมคุณภาพ คือ งานที่มีการควบคุมการผสม การบ่ม การเทคอนกรีต และมีการติดตามทดสอบคุณภาพ คอนกรีตที่ได้จึงมีความแน่นอนและสม่ำเสมอ

การทดสอบ กำลังอัด (Compressive Strength) เป็นคุณสมบัติที่สำคัญของคอนกรีตที่ทดสอบกันโดยทั่วไป เนื่องจากกำลังอัดเป็นคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีต (Basic Characteristic Property) และทดลองได้ง่าย การศึกษานี้จะทดสอบคุณสมบัติอันนี้

วิธีการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต ซึ่งจะต้องเก็บตัวอย่างคอนกรีตด้วยแบบรูปทรงกระบอกหรือลูกบาศก์นี้มีข้อเสียอย่างมากข้อหนึ่ง คือ ต้องเสียเวลานาน (28 วัน) ไม่ทันความต้องการ ปัจจุบันการเทคอนกรีตสามารถกระทำได้อย่างรวดเร็วมาก แต่กรรมวิธีการเก็บตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีตได้วิวัฒนาการน้อยมากในช่วง 50 ปี ที่ผ่านมา แม้ว่าจะมีผู้พยายามค้นหาวิธีเร่งเวลาการทดสอบกำลังคอนกรีต[11] แต่ก็ยังไม่เป็นที่ยอมรับกัน

7.1.1 งานคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ

การศึกษานี้ได้เก็บตัวอย่างคอนกรีตจากสถานที่ก่อสร้างที่กำลังดำเนินอยู่ในกรุงเทพฯ โดยเก็บจากงานขนาดเล็ก ส่วนใหญ่เป็นตึกแถวและบ้านพักอาศัย ได้ตัวอย่างจาก 43 แห่งที่อยู่กระจัดกระจาย คิดเป็น 1 ใน 4 ของงานก่อสร้างประเภทนี้ที่กำลังดำเนินอยู่ในกรุงเทพฯ โดยประมาณ ปรากฏว่ากว่าร้อยละ 80 ใช้ซีเมนต์ผสม (Silica Cement) และเป็นซีเมนต์ตราเสือมากกว่าร้อยละ 50 (ดูตารางที่ 42) เป็นที่น่าสังเกตว่า การผสมคอนกรีตส่วนใหญ่ผสมเหลว (อัตราส่วนของน้ำกับปูนซีเมนต์สูง) มีไม่น้อยกว่าครึ่งหนึ่งที่ไม่สามารถวัดความยุบตัว (ดูด้วยสายตา) แต่ก็มีอยู่ประมาณ 10 % ที่ผสมดีมาก

ตัวอย่างคอนกรีตเก็บด้วยแบบเหล็กลูกบาศก์ ขนาด 15x15x15 ซม.^{3} เก็บจากสนามงานก่อสร้างที่กำลังเทส่วนของโครงสร้างต่าง ๆ โดยเก็บจำนวน 3 ลูกในงานแต่ละแห่ง ตัวอย่างคอนกรีตนี้ได้ถอดจากแบบหลังจากหล่อ 24 ชั่วโมง เมื่อถอดแบบแล้วเก็บไว้ในอากาศปกติ ไม่ได้บ่ม จากนั้นก็นำมาทดสอบหากำลังอัดประลัย ครั้งละ 1 ลูก เมื่ออายุครบ 3 วัน, 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ผลของการทดลองอยู่ในตารางที่ 27

---

[11] Remakrishnan, Venkataswamy. June 1976. "Past and Future of Concrete Quality Evaluation" Vol. 102 No. C 02. Journal of the Construction Division. ASCE.

ตารางที่ 27 ผลการทดลองตัวอย่างคอนกรีตของงานที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ

ตัวอย่างที่	แรงอัดประลัย (กก.)			กำลังอัด (กก./ซม.^{2})		
	3 วัน	7 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
1	28,000	36,300	49,800	124.4	161.3	221.3
2	27,000	36,700	39,200	120.0	163.1	174.2
3	10,100	12,600	22,800	44.9	56.0	101.3
4	30,000	34,200	42,200	133.3	152.0	187.6
5	13,000	23,800	36,300	57.8	105.8	161.3
6	16,800	20,000	27,400	74.7	88.9	121.8
7	18,000	24,500	29,500	80.0	108.9	131.1
8	15,600	19,500	24,000	69.3	86.7	106.7
9	18,100	27,000	29,800	80.4	120.0	132.4
10	37,600	51,900	63,300	167.1	230.7	281.3
11	7,000	13,200	20,400	31.1	58.7	90.7
12	31,000	36,000	43,900	137.8	160.0	195.1
13	26,200	34,000	45,000	116.4	151.1	200.0
14	20,000	28,500	35,000	88.9	126.7	155.6
15	18,500	35,800	45,000	82.2	159.1	200.0
16	12,100	25,500	35,500	53.8	113.3	157.8
17	–	19,300	23,300	–	85.8	103.6
18	21,200	26,500	37,400	94.2	117.8	166.2
19	44,000	52,700	60,400	195.6	234.2	268.4
20	44,100	59,400	69,800	196.0	264.0	310.2

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แรงอัดประลัย (กก.)			กำลังอัด (กก./ซม.^{2})		
	3 วัน	7 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
21	37,200	50,300	66,700	165.3	223.6	296.4
22	41,700	47,200	59,900	185.3	209.8	266.2
23	17,500	18,000	23,300	77.8	80.0	103.6
24	11,700	16,800	24,200	52.0	74.7	107.6
25	19,100	24,000	32,400	84.9	106.7	144.0
26	27,500	35,000	43,400	122.2	155.6	192.9
27	21,400	34,700	51,200	95.1	154.2	227.6
28	19,800	25,800	36,000	88.0	114.7	160.0
29	11,000	19,100	28,500	48.9	84.9	126.7
30	13,000	14,400	24,000	57.8	64.0	106.7
31	21,800	25,500	35,100	96.9	113.3	156.0
32	15,500	26,000	34,000	68.9	115.6	151.1
33	9,000	14,500	19,000	40.0	64.4	84.4
34	14,600	21,500	29,400	64.9	95.6	130.7
35	28,700	41,300	56,800	127.6	183.6	252.4
36	10,000	15,200	23,000	44.4	67.6	102.2
37	12,000	20,500	27,000	53.3	91.1	120.0
38	14,800	20,700	26,400	65.8	92.0	117.3
39	16,700	19,600	25,000	74.2	87.1	111.1
40	20,100	26,200	29,800	89.3	116.4	132.4

ตารางที่ 27 (ต่อ)

ตัวอย่างที่	แรงอัดประลัย (กก.)			กำลังอัด (กก./ซม.^{2})		
	3 วัน	7 วัน	28 วัน	3 วัน	7 วัน	28 วัน
41	14,800	16,200	22,200	65.8	72.0	98.7
42	29,500	35,300	45,500	131.1	156.9	202.2
43	15,500	19,400	23,500	68.9	86.2	104.4
44	44,700	57,300	66,000	198.7	254.7	293.3
45	18,800	27,600	34,800	83.6	122.7	154.7

ตารางที่ 28 สรุปผลการทดลองคอนกรีตที่ไม่มีการควบคุมคุณภาพ กำลังอัด กก./ซม.^{2}

อายุ วัน	จำนวน ตัวอย่าง	Average Value	Max. Value	Min. Value	Range	Standard Deviation	Coeff.of Variation %
3	45	95.4	198.7	31.1	167.6	44.9	47.1
7	45	127.4	264.0	56.0	208.0	54.2	42.5
28	45	164.6	310.0	84.0	226.0	62.5	38.0

ประมาณ 1 ใน 3 ของกำลังอัดเมื่อ 28 วัน มีค่าระหว่าง 120 – 180 กก./ซม.^{2} และประมาณ 1 ใน 3 มีค่าสูงกว่า 180 กก./ซม.^{2} ที่เหลืออีก 1 ใน 3 มีค่าต่ำกว่า 120 กก./ซม.^{2}

ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดเมื่อ 28 วัน มีค่าค่อนข้างต่ำ เมื่อเทียบกับแบบทรงกระบอก จะเป็นเพียง 125.4 กก./ซม.^{2} (กำลังอัดของคอนกรีตแบบทรงกระบอกขนาดเส้นผ่า

ศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. เป็น 80 % ของแบบลูกบาศก์ขนาด 20 x 20 x 20 ซม. และกำลังอัดของคอนกรีตแบบลูกบาศก์ขนาด 20 x 20 x 20 ซม. เป็น 95.2 % ของแบบลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม.)[12] ถ้าคิดค่าความปลอดภัยเท่ากับ 4 จะได้กำลังอัดที่ใช้งานเพียง 31.4 กก./ซม.^{2} น้อยกว่าค่าของกำลังอัดของคอนกรีตเสริมเหล็กที่กำหนดในเทศบัญญัติ ซึ่งกำหนดให้ไม่เกิน 45 กก./ซม.^{2} (ส่วนผสมปูนซีเมนต์, ทราย และหิน เป็น 1 : 2 : 4 โดยปริมาตร) ในกรณีที่ไม่มีเอกสารแสดงผลทดลอง

$$\text{Coefficient of Variation } (= \frac{\text{Standard Deviation}}{\text{Average Value}} \times 100)$$

มีค่าสูงมาก ตามมาตรฐานของการควบคุมคอนกรีต (Standard Concrete Control) ถ้า Coefficient of Variation มากกว่า 20 % ถือว่าเป็นค่าที่เลว[13] ฉะนั้น จาก ถ้า Coefficient of Variation เมื่อ 28 วัน เท่ากับ 38.0 % นั้น แสดงว่ากำลังคอนกรีตประเภทนี้มีช่วงแปรเปลี่ยนมาก ซึ่งชี้ให้เห็นว่าคุณภาพของคอนกรีตโดยทั่วไปนั้นมีความแตกต่างกันมาก ยังไม่ได้มาตรฐานที่ดีพอ

---

[12] Overgard, Jens. Sukapaddhanadhi, Narong. 1973. Design of Concrete Mixes. Research Project No.21/6. Applied Scientific Research Corporation of Thailand.

[13] Haddad, Gilbert. Freedman, Sidney. 1970. Statistical Product Control. Portland Cement Association.

อายุกับกำลังอัดของคอนกรีต

อายุ (วัน)	ร้อยละของกำลังอัดที่ 28 วัน
3	58.2
7	77.4
28	100

ในรูปที่ 13 แสดงการกระจายของกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตในระยะต่าง ๆ ดูตารางที่ 43 หน้า 138 ประกอบ

แม้ว่าตัวอย่างคอนกรีตนี้ได้เก็บจากของจริง เป็นส่วนผสมเดียวกับงานในสนาม แต่ด้วยเหตุที่สภาพแตกต่างกันและกรรมวิธีในการเก็บ ทำให้ค่าที่ได้จากการทดลองนี้ ยังคงมีความคลาดเคลื่อนจากค่าที่เป็นจริงบ้าง เนื่องจาก

1. แบบเก็บตัวอย่างเป็นแบบเหล็ก ไม่ดูดน้ำ แต่แบบในสนามงานเป็นแบบไม้ ซึ่งสามารถดูดซึมน้ำได้

2. การกระทุ้งหรือการสั่นสะเทือนที่ไม่เหมือนกัน

3. การขนส่งแบบตัวอย่าง ถึงแม้ว่าได้ขนส่งตัวอย่างคอนกรีตจากหน้างานที่หล่อภายหลัง Initial Setting Time ก็ตาม แต่เนื่องจากการสั่นสะเทือนของพาหนะและการลำเลียง ทำให้กระทบกระเทือนต่อตัวอย่างบ้าง

4. การบ่ม ตัวอย่างที่เก็บไม่ได้บ่มเลย โดยใช้สมมุติฐานว่า ในงานจริงก็ไม่มีการบ่ม ซึ่งอาจจะไม่เป็นจริง

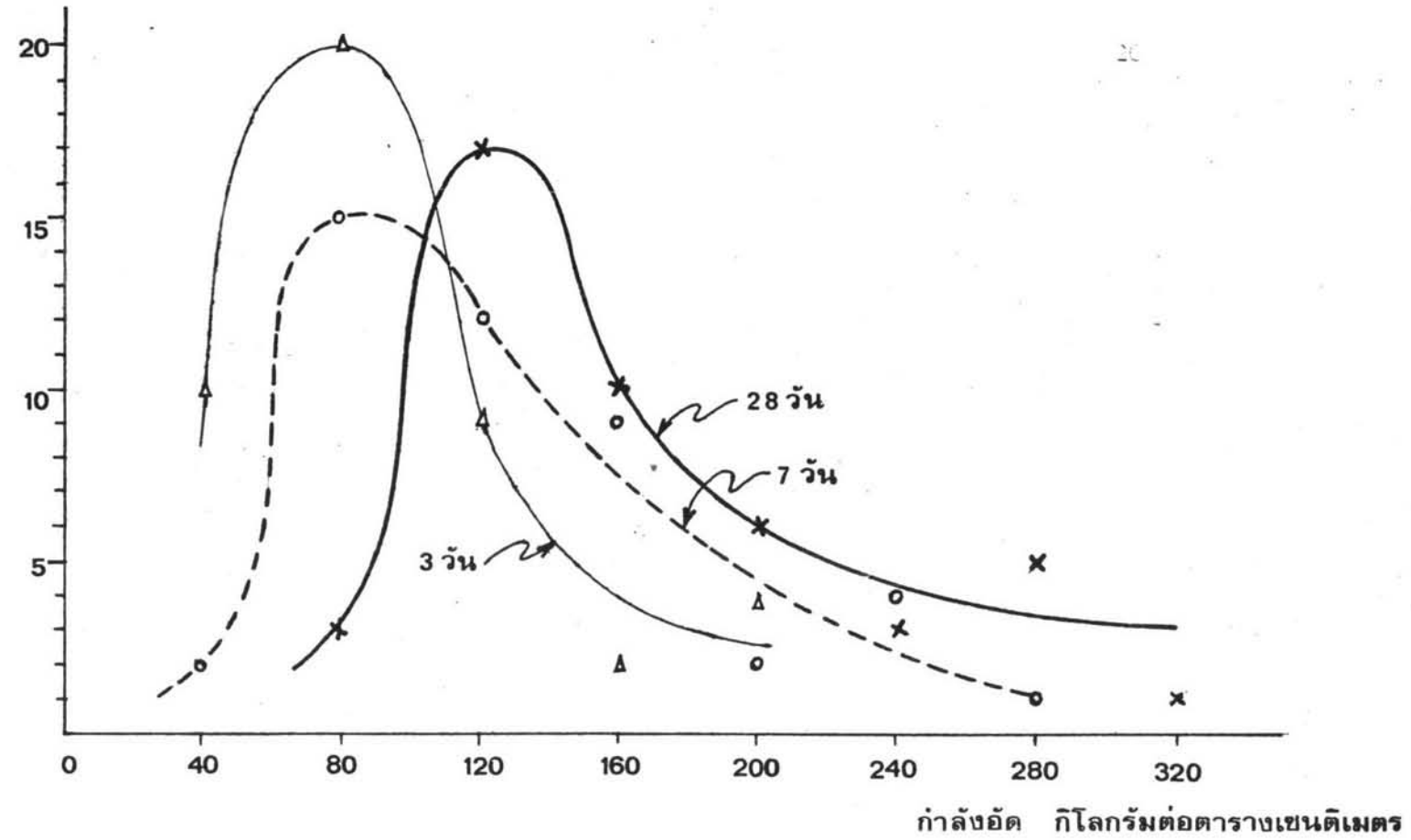
สรุป

1. การเลือกใช้วัสดุ และการผสมคอนกรีตของงานที่ศึกษานี้ ไม่ค่อยมีการวิวัฒนา

2. คุณภาพของงานคอนกรีตโดยทั่วไปไม่แน่นอน มีความแตกต่างกันมาก

3. ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดของคอนกรีตที่ทดลองได้มีค่าต่ำ ซึ่งเป็นเครื่องชี้ว่ากำลังอัดของคอนกรีตที่กำหนดไว้ในเทศบัญญัติยังคงใช้ได้สำหรับงานประเภทนี้

4. ค่าที่ได้นี้ ไม่ได้รวมถึงค่าของความคลาดเคลื่อน



รูปที่ 13 การกระจายของกำอัดของตัวอย่างคอนกรีต

7.1.2 กำลังของคอนกรีตผสมเสร็จ

คอนกรีตผสมเสร็จเป็นคอนกรีตประเภทที่มีการควบคุมคุณภาพ ในภาคผนวกตารางที่ 44 เป็นกำลังอัดของลูกบาศก์คอนกรีตขนาด 15 x 15 x 15 ซม. จากงานก่อสร้างจริงที่ใช้คอนกรีตผสมเสร็จ ซึ่งใช้ซีเมนต์ Type I อัตราส่วนน้ำหนักปูนซีเมนต์เป็นกิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ดังที่แสดงในตาราง ความยุบตัว 5 ซม. มมดวยน้ำ สำหรับค่ากำลังอัดเมื่อ 28 วัน เป็นค่าเฉลี่ยของตัวอย่างลูกคอนกรีต 2 ลูก ค่าเหล่านี้เป็นเพียงส่วนหนึ่งของงานเท่านั้น โดยคัดมาด้วยวิธี Random ผลวิเคราะห์อยู่ในตารางที่ 29 ซึ่งแสดงให้เห็นว่า ค่าเฉลี่ยของกำลังอัดที่ 28 วัน ล้วนสูงกว่าค่าที่ต้องการ (Required Strength) และสูงกว่าราว 25 % ส่วนค่าต่ำสุดก็ใกล้เคียงกับค่าที่ต้องการ ค่า Coefficient of Variation อยู่ระหว่าง 10 – 15 % ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ดี สรุปคือ คอนกรีตประเภทนี้มีคุณภาพดีสม่ำเสมอ มีความแปรเปลี่ยนน้อย

7.3 การทดลองเหล็กเส้น

การศึกษานี้ได้ทำการเก็บตัวอย่างเหล็กเส้นจากสนามงานก่อสร้างต่าง ๆ ที่กำลังดำเนินการก่อสร้าง นำมาทดสอบกำลังดึงและความยืดซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญของเหล็กเส้น ตัวอย่างเหล่านี้เป็นเหล็กเส้นกลม อยู่ในสภาพปกติในสนามงาน บางเส้นเก่าและมีสนิมบาง เป็นขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม., 9 มม., 12 มม., 15 มม., 19 มม.และ 25 มม. อย่างละ 20 ท่อน ความยาวท่อนละประมาณ 60 ซม. ทำการทดลองโดยเจาะ Gauge Length 20 ซม. ผลของการทดลองแสดงในตารางที่ 30

ตารางที่ 29 สรุปกำลังอัดของตัวอย่างคอนกรีตผสมเสร็จ (แบบลูกบาศก์), กก./ซม.^{2}

Cement Content Kg/m^3	Required Strength KSC	Age Days	Average	Max.Value	Min.Value	Range	Standard Deviation	Coefficient of Variation
275	-	7	195.1	291	145	146	30.94	15.86
	197.0	28	256.7	334	190	144	37.86	14.75
300	-	7	219.6	333	168	165	31.56	14.37
	238.3	28	296.9	399	222	177	36.50	12.29
325	-	7	235.3	309	193	116	31.6	13.43
	249.5	28	313.9	383	243	140	33.90	10.79
350	-	7	275.4	365	226	139	33.66	12.22
	275.7	28	353.3	484	295	189	34.83	9.86
375	-	7	295.6	448	237	211	40.74	13.78
	302.0	28	373.3	554	312	242	42.78	11.46

ตารางที่ 30 ผลการทดลองเหล็กเส้นกลม

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 มม.

NO.	Measured Diameter mm.			Mean Dia. mm.	Area CM^2	Load (Kg.)		% Elong.	Yield Strength KSC	Ultimate Strength KSC
	1	2	3			Yield	Ultimate			
1	6.0	5.8	5.8	5.8	0.27	1,200	1,550	20.0	4,444	5,741
2	6.0	6.0	6.2	6.1	0.29	1,250	1,570	16.0	4,310	5,414
3	5.7	5.6	5.5	5.6	0.25	1,020	1,310	19.0	4,080	5,240
4	5.4	5.9	6.0	5.8	0.26	1,280	1,810	14.5	4,923	6,961
5	5.9	5.6	5.6	5.7	0.25	1,250	1,510	20.0	5,000	6,040
6	6.1	5.8	5.8	5.9	0.27	710	930	29.0	2,630	3,444
7	6.1	6.0	6.0	6.0	0.28	1,120	1,510	20.0	4,000	5,393
8	5.8	5.7	5.8	5.8	0.26	1,250	1,520	12.5	4,808	5,846
9	6.1	6.1	6.0	6.1	0.29	1,800	2,290	10.0	6,207	7,896
10	6.3	6.2	6.0	6.2	0.30	1,100	1,480	19.0	3,667	4,933
11	6.2	6.0	6.1	6.1	0.29	740	930	22.5	2,552	3,207
12	5.9	5.8	5.7	5.8	0.26	2,000	2,170	12.0	7,692	8,346
13	5.7	5.6	5.6	5.6	0.25	690	980	21.5	2,760	3,920
14	6.0	6.3	6.0	6.1	0.29	1,060	1,500	10.0	3,655	5,172
15	5.9	5.7	5.9	5.8	0.26	1,100	1,530	18.0	4,231	5,885
16	5.8	5.9	6.1	5.9	0.27	920	1,240	20.0	3,407	4,592
17	5.4	5.3	5.5	5.4	0.23	710	920	29.5	3,087	4,000
18	5.4	5.5	5.7	5.5	0.24	980	1,300	15.5	4,083	5,417
19	5.4	5.7	5.4	5.5	0.24	1,310	2,030	10.0	5,458	8,458
20	5.8	6.1	6.2	6.0	0.28	1,090	1,420	20.0	3,893	5,071

ตารางที่ 30 (ต่อ)

ขนาดเส้นเอกศูนย์กลาง 9 มม.

No.	Measured Diameter mm.			Mean Dia. mm.	Area CM^2	Load (Kg.)		% Elong.	Yield Strength KSC	Ultimate Strength KSC
	1	2	3			Yield	Ultimate			
1	9.5	9.5	9.5	9.5	0.71	2,200	3,220	14.5	3,098	4,535
2	9.0	9.2	9.3	9.2	0.66	2,250	3,530	31.5	3,409	5,348
3	8.7	8.9	8.9	8.9	0.62	2,240	3,300	26.0	3,613	5,322
4	9.0	9.0	9.0	9.0	0.64	2,200	3,200	28.5	3,437	5,000
5	10.0	10.0	10.0	10.0	0.78	2,250	3,260	28.0	2,885	4,180
6	9.2	9.1	9.2	9.2	0.66	2,050	2,760	23.5	3,106	4,182
7	8.7	8.6	8.7	8.7	0.59	3,150	5,180	10.0	5,339	8,780
8	9.2	9.2	9.3	9.2	0.66	1,700	2,560	29.0	2,576	3,879
9	9.0	9.0	9.0	9.0	0.64	2,300	2,920	24.0	3,594	4,562
10	7.9	7.8	7.8	7.8	0.48	3,100	4,600	7.5	6,458	9,583
11	9.3	9.4	9.0	9.2	0.66	1,600	2,180	14.0	2,424	3,303
12	8.7	8.7	8.8	8.7	0.59	2,000	2,690	18.0	3,390	4,559
13	9.2	9.2	9.1	9.2	0.66	1,600	2,310	16.8	2,424	3,500
14	8.8	8.9	8.3	8.7	0.59	1,560	2,230	20.0	2,644	3,780
15	8.8	8.2	8.0	8.3	0.54	1,650	2,300	16.0	3,055	4,259
16	9.0	9.0	9.1	9.0	0.64	2,300	3,230	10.4	3,594	5,047
17	8.5	8.4	8.3	8.4	0.55	2,500	3,220	14.4	4,545	5,854
18	8.2	8.0	8.1	8.1	0.52	2,080	2,520	10.4	4,000	4,846
19	8.0	8.0	8.0	8.0	0.50	2,100	2,550	12.4	4,200	5,100
20	8.2	8.2	8.2	8.2	0.53	2,050	2,470	8.0	3,868	4,660

ตารางที่ 30 (ต่อ)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 12 มม.

NO.	Measured Diameter mm.			Mean Dia. mm.	Area CM^2	Load (Kg.)		% Elong.	Yield Strength KSC	Ultimate Strength KSC
	1	2	3			Yield	Ultimate			
1	11.8	11.7	11.8	11.8	1.10	3,230	5,150	22.0	2,936	4,682
2	11.9	12.2	12.2	12.1	1.15	3,360	5,180	28.5	2,922	4,504
3	11.8	11.8	11.9	11.8	1.10	3,380	5,400	27.0	3,073	4,910
4	12.0	12.0	12.0	12.0	1.14	3,840	5,560	26.0	3,368	4,877
5	12.3	12.0	11.8	12.0	1.14	3,830	6,000	21.0	3,360	5,263
6	11.8	11.5	12.0	11.8	1.10	3,600	5,560	19.0	3,091	5,054
7	12.3	12.4	12.3	12.3	1.19	3,950	5,820	19.5	3,319	4,891
8	11.9	12.0	12.2	12.0	1.14	3,930	5,730	22.5	3,447	5,026
9	12.0	11.9	12.0	12.0	1.14	3,700	5,120	28.0	3,246	4,491
10	12.1	12.1	12.6	12.3	1.19	3,450	5,050	25.0	2,899	4,244
11	12.1	12.2	12.1	12.1	1.15	4,100	5,730	24.5	3,565	4,983
12	11.4	11.5	11.5	11.5	1.04	2,800	3,890	27.5	2,692	3,740
13	12.1	12.0	12.0	12.0	1.14	2,900	4,730	24.0	2,544	4,149
14	11.6	11.8	11.7	11.7	1.07	3,400	4,900	26.0	3,177	4,579
15	12.1	12.0	12.1	12.1	1.15	3,700	5,570	24.5	3,217	4,843
16	12.2	12.2	12.4	12.2	1.17	4,400	6,570	24.0	3,761	5,615
17	11.8	11.8	12.0	11.9	1.11	2,700	3,680	24.0	2,432	3,315
18	11.9	11.9	11.8	11.9	1.11	2,700	3,740	22.4	2,432	3,369
19	11.8	11.9	11.8	11.8	1.10	2,750	3,620	12.8	2,500	3,291
20	11.8	12.0	11.7	11.8	1.10	2,720	3,540	20.8	2,473	3,218

ตารางที่ 30 (ต่อ)

ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 15 มม.

NO.	Measured Diameter mm.			Mean Dia. mm.	Area CM^2	Load (Kg.)		% Elong.	Yield Strength KSC	Ultimate Strength KSC
	1	2	3			Yield	Ultimate			
1	14.9	15.0	15.0	15.0	1.76	5,890	8,420	26.0	3,346	4,784
2	15.0	14.8	14.7	14.8	1.72	5,640	8,450	28.0	3,279	4,913
3	13.4	14.3	14.0	13.9	1.52	4,600	6,710	26.5	3,026	4,414
4	14.5	14.4	14.5	14.5	1.65	4,300	5,200	35.0	2,606	3,151
5	14.3	14.4	14.3	14.3	1.61	5,100	7,630	26.0	3,167	4,739
6	14.8	14.7	14.4	14.6	1.67	4,500	6,710	26.5	2,695	4,018
7	14.4	14.5	14.3	14.4	1.63	4,400	5,200	31.0	2,699	3,190
8	13.5	13.6	13.5	13.5	1.43	6,280	9,300	20.5	4,392	6,503
9	13.9	13.8	14.0	13.9	1.52	6,200	9,250	19.5	4,079	6,085
10	14.5	14.5	14.5	14.5	1.65	4,200	6,460	30.0	2,545	3,915
11	15.1	15.1	15.1	15.1	1.79	5,200	9,030	17.5	2,905	5,045
12	14.3	14.6	14.5	14.5	1.65	5,250	7,720	22.0	3,182	4,678
13	15.1	15.1	15.4	15.2	1.81	5,700	8,790	27.0	3,149	4,856
14	15.0	15.1	14.9	15.0	1.77	4,800	7,500	25.0	2,712	4,237
15	14.8	14.9	14.7	14.8	1.72	5,050	7,850	24.5	2,936	4,564
16	15.2	15.0	15.2	15.1	1.79	5,450	8,300	27.5	3,045	4,637
17	14.9	14.8	15.1	14.9	1.74	5,800	9,000	25.5	3,333	5,172
18	14.8	14.7	14.8	14.8	1.72	4,300	6,500	26.5	2,500	3,779
19	14.7	14.7	14.8	14.7	1.70	5,750	8,450	22.5	3,382	4,971
20	14.9	14.8	14.9	14.9	1.74	5,200	7,650	25.0	2,988	4,397

ตารางที่ 30 (ต่อ)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 19 มม.

NO.	Meamured Diameter mm.			Mean Dia. mm.	Area CM^2	Load (Kg.)		%	Yield Strength	Ultimate Strength
	1	2	3			Yield	Ultimate	Elong.	KSC	KSC
1	18.4	18.6	18.6	18.5	2.69	6,600	8,600	25.0	2,453	3,197
2	18.4	18.4	18.3	18.4	2.66	7,700	10,700	23.0	2,895	4,023
3	18.7	19.2	19.0	19.0	2.84	9,950	14,250	24.0	3,503	5,018
4	19.0	19.0	19.4	19.1	2.87	8,650	12,450	22.0	3,014	4,338
5	19.0	18.5	18.6	18.7	2.75	8,450	12,300	27.5	3,073	4,473
6	19.0	20.0	19.7	19.6	3.02	8,650	12,500	30.0	2,864	4,139
7	19.2	19.2	19.1	19.2	2.90	8,800	12,800	27.0	3,034	4,414
8	18.8	18.6	19.0	18.8	2.78	9,650	13,700	26.5	3,471	4,928
9	19.7	19.7	19.6	19.7	3.05	8,300	11,200	21.0	2,721	3,672
10	19.6	19.8	19.6	19.7	3.05	9,600	13,650	25.0	3,147	4,475
11	18.6	18.8	19.0	18.8	2.78	7,600	10,400	25.5	2,734	3,741
12	18.9	19.1	19.0	19.0	2.84	9,450	13,500	34.5	3,327	4,754
13	18.8	18.7	19.0	18.8	2.78	8,500	12,750	28.0	3,057	4,586
14	19.2	19.4	19.1	19.2	2.90	9,800	13,950	23.0	3,379	4,810
15	19.0	19.2	19.1	19.1	2.87	8,450	11,600	24.5	2,944	4,042
16	18.8	18.9	19.0	18.9	2.81	8,100	10,800	26.0	2,882	3,843
17	19.2	19.0	18.9	19.0	2.84	9,050	12,800	25.5	3,187	4,507
18	19.1	19.3	19.2	19.2	2.90	8,400	11,450	32.0	2,896	3,948
19	18.9	19.0	19.2	19.0	2.84	9,350	13,200	23.5	3,292	4,648
20	18.8	18.7	18.9	18.8	2.78	8,050	11,250	26.0	2,896	4,047

ตารางที่ 30 (ต่อ)

ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 25 มม.

NO.	Measured Diameter mm.			Mean Dia. mm.	Area CM^2	Load (Kg.)		% Elong.	Yield Strength KSC	Ultimate Strength KSC
	1	2	3			Yield	Ultimate			
1	25.6	25.8	25.5	25.6	5.15	19,000	28,850	26.0	3,689	5,602
2	25.2	25.2	25.3	25.2	4.99	17,800	26,000	28.0	3,567	5,210
3	24.8	24.8	24.9	24.9	4.87	15,100	22,450	24.0	3,100	4,610
4	25.1	25.2	25.2	25.2	4.99	17,500	26,000	23.0	3,507	5,210
5	24.9	25.1	25.0	25.0	4.91	15,300	21,750	27.5	3,116	4,430
6	24.6	25.0	24.8	24.8	4.83	14,300	20,000	27.0	2,961	4,141
7	25.2	25.1	25.1	25.1	4.95	14,300	19,300	30.0	2,889	3,89[illegible]
8	24.9	24.9	25.0	25.0	4.91	14,600	20,050	22.5	2,973	4,083
9	25.9	26.1	25.3	25.8	5.23	16,300	22,550	27.0	3,116	4,312
10	24.5	25.0	25.3	24.9	4.87	16,100	22,800	30.0	3,306	4,682
11	25.1	25.5	25.1	25.2	4.99	16,000	22,600	27.0	3,206	4,529
12	24.4	24.9	24.7	24.7	4.79	13,800	19,750	24.5	2,881	4,123
13	24.6	25.0	25.2	24.9	4.87	16,300	24,650	31.0	3,347	5,062
14	24.9	24.6	24.8	24.7	4.79	16,800	22,750	24.0	3,507	4,749
15	25.0	24.9	25.1	25.0	4.91	17,000	24,300	28.0	3,462	4,949
16	25.2	25.5	25.5	25.4	5.07	16,000	22,000	25.0	3,156	4,339
17	25.0	25.2	25.2	25.1	4.95	14,500	20,650	27.5	2,929	4,172
18	25.1	25.0	25.1	25.1	4.95	17,800	25,700	26.5	3,596	5,192
19	25.5	25.5	25.4	25.5	5.11	16,500	23,300	23.0	3,229	4,560
20	25.0	25.0	24.9	25.0	4.91	16,900	23,050	29.0	3,442	4,694

ตารางที่ 31 สรุปผลการทดลองเหล็กเส้นกลม

Group Diameter	Yield Stress KSC.			Ultimate Tensile Stress KSC.			0.5 Yield Stress KSC.		¼ Ult.Tens. Stress KSC.		%Elong.	No.of
	Average	Max.	Min.	Average	Max.	Min.	Average	Min.	Average	Min.	Av.	Elong. < 20%
6 mm	4,244	7,692	2,552	5,546	8,458	3,207	2,122	1,276	1,386	802	18.0	11
9 mm	3,583	6,458	2,424	5,014	9,583	3,303	1,792	1,212	1,254	826	18.1	11
12 mm	3,023	3,761	2,432	4,452	5,615	3,218	1,511	1,216	1,113	804	23.5	3
15 mm	3,098	4,392	2,500	4,602	6,503	3,151	1,549	1,250	1,151	788	25.6	2
19 mm	3,038	3,503	2,453	4,280	5,018	3,197	1,519	1,226	1,070	799	26.0	-
25 mm	3,249	3,689	2,881	4,627	5,602	3,899	1,624	1,441	1,157	975	26.5	-

ผลของการทดลอง แสดงว่าเหล็กเส้นทั่วไปมีคุณภาพดังนี้

1. กำลังดึงของเหล็กเส้นที่จุดคลาก (Yield Stress) และกำลังดึงประลัย (Ultimate Stress) มีค่าเฉลี่ยสูง และค่าต่ำสุดก็อยู่ในชั้นที่ดีใช้ได้ ค่าต่ำสุดของกำลังดึงที่จุดคลาก (Yield Stress) ล้วนสูงกว่าค่าที่กำหนดคือ 2,400 กก./ซม.^{2} ทั้งสิ้น

2. กำลังดึงของเหล็กเส้นที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเล็ก มีค่ามากกว่าขนาดที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ จากตารางที่ 31 ปรากฏว่า กำลังดึงของเหล็กเส้นขนาดตั้งแต่ 12 มม.ขึ้นไปมีค่าใกล้เคียงกัน ส่วนขนาด 6 มม.และ 9 มม.มีค่าสูงกว่า

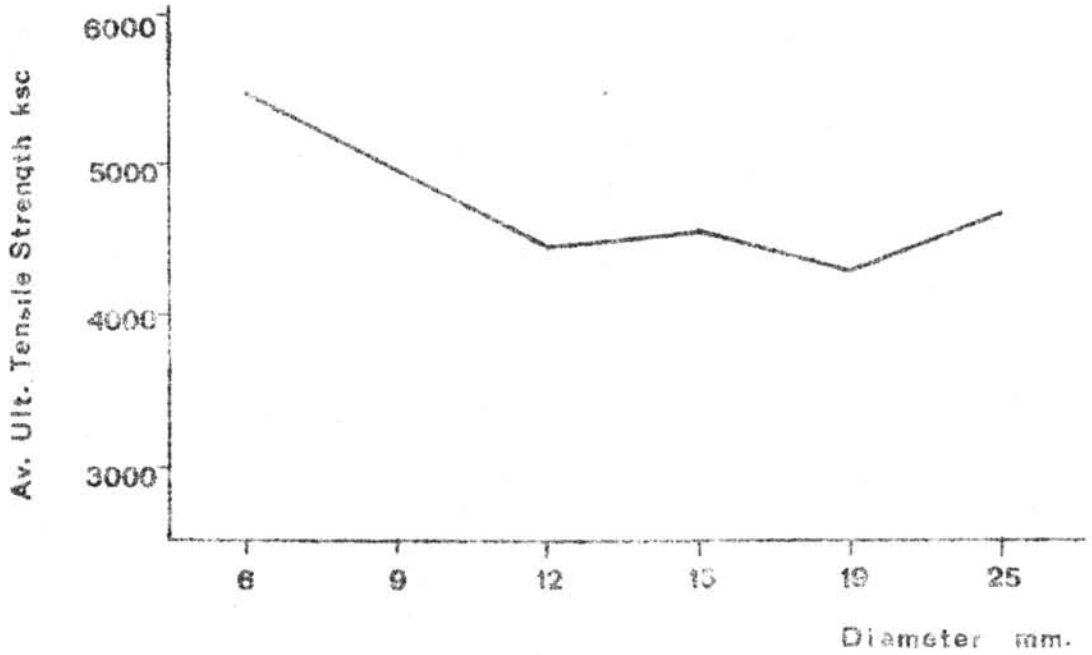
3. ความยืด (Elongation) ไม่ดีเท่าที่ควร เหล็กเส้นขนาดเล็กมีค่าความยืดเฉลี่ยน้อยกว่าเหล็กเส้นขนาดใหญ่กว่า โดยเฉพาะขนาด 6 มม.และ 9 มม. ค่าเฉลี่ยต่ำไปเล็กน้อยและมากกว่าครึ่งหนึ่งของตัวอย่างที่ทดลองมีค่าความยืดต่ำกว่า 20 %

จากผลที่ได้นี้ พิจารณาพระราชบัญญัติ[14] หรือเทศบัญญัติ[15] ซึ่งกำหนดให้ใช้กำลังดึงของเหล็กเสริมไม่เกิน 1 ใน 4 ของแรงประลัยและถ้าไม่มีเอกสารของผู้ชำนาญแสดงผลของการทดลองให้ใช้กำลังดึงในการคำนวณไม่เกิน 1,200 กก./ซม.^{2} จะเห็นว่าในกรณีที่กำหนดให้ใช้ไม่เกิน 1,200 กก./ซม.^{2} นั้น เป็นค่าที่ปลอดภัย เพราะครึ่งหนึ่งของค่าต่ำสุดของกำลังดึงที่จุดคลากของเหล็กที่ทดลองได้ล้วนมีค่าไม่ต่ำกว่า 1,200 กก./ซม.^{2} แต่หากถือตามค่าเฉลี่ย (ครึ่งหนึ่งของค่ากำลังดึงเฉลี่ยที่จุดคลาก) ที่ทดลองได้ซึ่งสูงกว่า 1,514 กก./ซม.^{2} ขึ้นไป จะเห็นว่าถ้ากำหนดให้ใช้กำลังดึงของเหล็กเส้นไม่เกิน 1,200 กก./ซม.^{2} นั้น เป็นการกำหนดที่ให้ส่วนความปลอดภัยมากเกินไป น่าจะให้ใช้ได้สูงกว่านี้ ส่วนกรณีที่กำหนดให้ใช้กำลังดึงของเหล็กเสริมไม่เกิน

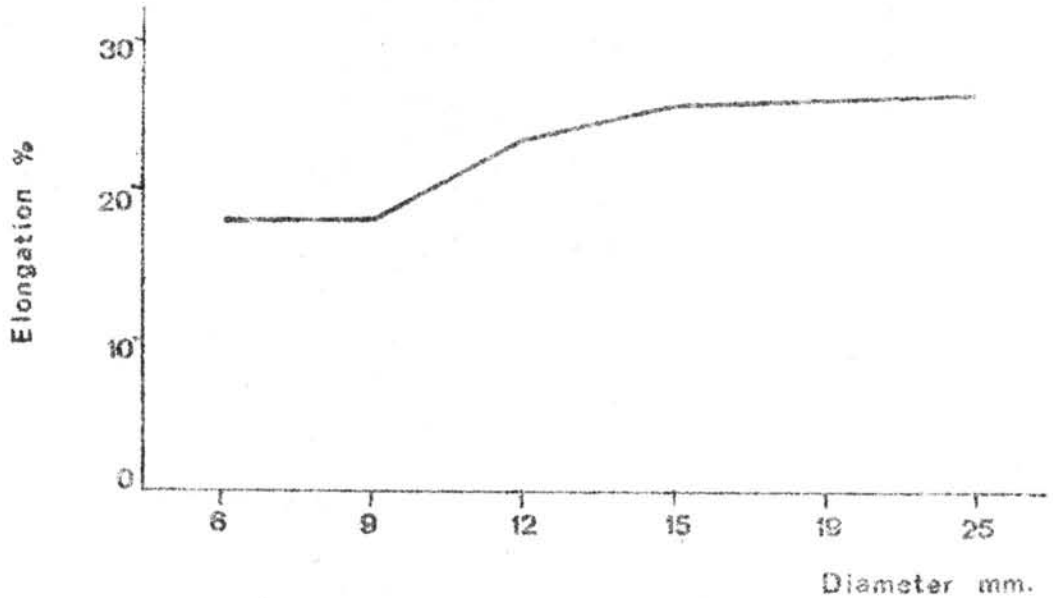
---

[14]เทศบัญญัติของเทศบาลนครกรุงเทพ เรื่องควบคุมการก่อสร้างอาคาร พุทธศักราช 2483.

[15]พระราชบัญญัติ ควบคุมการก่อสร้างอาคาร พุทธศักราช 2479.



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ของกำลังดึงกับขนาดของเหล็กเส้น



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ของความยืดกับขนาดของเหล็กเส้น

1 ใน 4 ของแรงประลัยนั้น ทำให้ค่าที่ใช้ได้ต่ำ และต่ำมากถ้าถือตามค่าต่ำสุด (ดูตารางที่ 31 ช่องที่ 11) ดังนั้น การกำหนดกรณีนี้จึงไม่เหมาะสมที่จะใช้กับกรณีของเหล็กเส้นกลม

7.3 การทดลองลวดคอนกรีตอัดแรง (P.C. Wire)

เก็บตัวอย่างลวด P.C. Wire จากสถานที่ ๆ ใช้งานต่าง ๆ แหล่งที่เก็บได้แก่โรงงานทำเสาเข็มคอนกรีตอัดแรง 4 แห่ง เป็นลวด P.C. Wire ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 มม., 5 มม. และ 7 มม. อยู่ในสภาพที่ไม่ใหม่นัก บางเส้นมีสนิมจับอยู่บ้าง คุณสมบัติที่ทดสอบได้แก่กำลังดึงและความยืด ผลการทดลองแสดงในตารางที่ 33

ตารางที่ 32 สรุปผลการทดลองลวด P.C. Wire

	Ultimate Tensile Strength KSC				Modulus of Elasticity	% Elong. Average
	Max.Value	Min.Value	Range	Average		
4 mm	18,889	16,825	2,064	17,986	2,029,478	3.9
5 mm	19,286	17,449	1,837	18,674	2,134,354	3.6
7 mm	17,818	16,312	1,506	17,290	2,070,996	4.7

ค่าของกำลังดึงอยู่ในขั้นที่ดีใช้ได้ และมีความสม่ำเสมอพอใช้ ส่วนค่าของความยืดไม่ดี มีหลายค่าต่ำกว่าค่ากำหนด คือ 4% โดยเฉพาะอย่างยิ่งขนาด 4 มม. และ 5 มม.

ตารางที่ 33 ผลการทดลองลวด P.C. Wire

Diameter 4 mm., Area = 0.126 CM^2, Gauge Length 20 Cm.

NO.	Load (Kgs.)		Length After Test cm.	Dia. After Test mm.	Ult.Tensile Strength KSC	Max Elong. %
	Yield	Ultimate				
1	2,100	2,240	20.7	3.8	17,778	3.5
2	2,050	2,160	-	3.4	17,143	-
3	2,230	2,380	21.1	3.3	18,889	5.5
4	2,190	2,300	-	3.6	18,254	-
5	2,140	2,260	20.7	3.7	17,936	3.5
6	2,120	2,260	-	3.3	17,936	-
7	2,110	2,240	-	3.6	17,778	-
8	2,140	2,260	-	3.0	17,936	-
9	2,130	2,260	21.0	3.0	17,936	5.0
10	2,160	2,270	20.6	3.5	18,016	3.0
11	-	2,120	20.1	3.9	16,825	0.5
12	2,120	2,250	-	3.0	17,857	-
13	2,130	2,230	20.7	2.8	17,698	3.5
14	2,120	2,230	20.9	3.5	17,698	4.5
15	2,100	2,170	-	3.4	17,222	-
16	2,130	2,210	-	3.4	17,540	-
17	2,230	2,360	21.0	3.0	18,730	5.0
18	2,250	2,360	-	3.0	18,730	-
19	2,250	2,350	-	2.8	18,651	-
20	2,240	2,350	20.9	3.3	18,651	4.5
21	2,280	2,330	-	3.6	18,492	-

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 4 mm. NO.1

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation x0.0001 in	Total Elongation cm.	% Elongation
0	9 0	0	0	0	0
200	9 64	64	64	0.016	0.08
400	0 25	61	125	0.032	0.16
600	0 85	60	185	0.047	0.24
800	1 40	55	240	0.061	0.31
1,000	2 0	60	300	0.076	0.38
1,200	2 60	60	360	0.091	0.46
1,400	3 17	57	417	0.106	0.53
1,600	3 75	58	475	0.121	0.61
1,800	4 40	65	540	0.137	0.69
2,000	5 44	104	644	0.164	0.82
2,100	8 0	256	900	0.229	1.14

Length After Test 20.7 cm.

Dia. After Test 3.8 mm.

Yield Load 2,100 Kgs.

Ultimate Load 2,240 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 4 mm. NO.2

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation x0.0001 in	Total Elongation cm.	% Elongation
0	4 0	0	0	0	0
200	4 73	73	73	0.019	0.09
400	5 33	60	133	0.034	0.17
600	5 88	55	188	0.048	0.24
800	6 51	63	251	0.064	0.32
1,000	7 16	65	316	0.080	0.40
1,200	7 72	56	372	0.094	0.47
1,400	8 31	59	431	0.109	0.55
1,600	8 93	62	493	0.125	0.63
1,800	9 58	65	558	0.142	0.71
2,000	2 0	142	700	0.178	0.89
2,050	2 85	85	758	0.199	1.00

Length After Test ขาดนอก

Dia After Test 3.4 mm.

Yield Load 2,050 Kgs.

Ultimate Load 2,160 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 4 mm. NO.3

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation		% Elongation
			x0.0001 in	cm.	
0	1 0	0	0	0	0
200	1 70	70	70	0.018	0.09
400	2 26	56	126	0.032	0.16
600	2 80	54	180	0.046	0.23
800	3 39	59	239	0.061	0.31
1,000	3 97	58	297	0.075	0.38
1,200	4 59	62	359	0.091	0.46
1,400	5 20	61	420	0.107	0.54
1,600	5 78	58	478	0.121	0.61
1,800	6 43	65	543	0.138	0.69
2,000	7 21	78	621	0.158	0.79
2,200	9 75	254	875	0.222	1.11

Length After Test 21.1 cm.

Dia After Test 3.3 mm.

Yield Load 2,230 Kgs.

Ultimate Load 2,380 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 5 mm., Area = 0.196 CM^2, Gauge Length 20 CM.

NO.	Load (Kgs.)		Length After Test cm.	Dia.After Test mm.	Ult.Tensile Strength KSC	Max Elong. %
	Yield	Ultimate				
1	3,500	3,720	20.7	4.5	18,980	3.5
2	3,500	3,780	20.8	4.8	19,286	4.0
3	3,550	3,760	20.5	4.2	19,184	2.5
4	3,550	3,690	20.7	4.4	18,826	3.5
5	3,600	3,710	20.7	4.2	18,928	3.5
6	3,540	3,710	20.8	4.5	18,928	4.0
7	3,500	3,730	-	4.5	19,031	-
8	3,650	3,770	-	4.6	19,235	-
9	3,650	3,780	20.7	4.5	19,286	3.5
10	3,630	3,740	20.5	4.0	19,082	2.5
11	3,650	3,760	20.8	4.6	19,184	4.0
12	3,430	3,490	-	4.6	17,806	-
13	3,400	3,560	20.8	4.0	18,163	4.0
14	3,400	3,420	-	4.8	17,449	-
15	3,400	3,580	20.7	4.2	18,265	3.5
16	3,300	3,480	-	4.2	17,755	-
17	3,410	3,610	-	4.5	18,418	-
18	3,380	3,420	-	4.3	17,449	-
19	3,560	3,750	20.8	4.5	19,133	4.0
20	3,600	3,740	20.8	4.4	19,082	4.0

ตารางที่ 33 (ก)

Diameter 5 mm. NO.1

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation x0.0001 in	Total Elongation cm.	% Elongation
0	2 0	0	0	0	0
300	2 57	57	57	0.015	0.08
600	3 12	55	112	0.028	0.14
900	3 65	53	165	0.042	0.21
1,200	4 19	54	219	0.056	0.28
1,500	4 77	58	277	0.070	0.35
1,800	5 33	56	333	0.085	0.43
2,100	5 87	54	387	0.098	0.49
2,400	6 52	65	452	0.115	0.58
2,700	7 18	66	518	0.132	0.66
3,000	7 84	66	584	0.148	0.74
3,300	8 74	90	674	0.171	0.86
3,500	0 66	192	866	0.220	1.10

Length After Test 20.7 cm.

Dia. After Test 4.5 mm.

Yield Load 3,500 Kgs.

Ultimate Load 3,720 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 5 mm. NO.2

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation		% Elongation
			x0.0001 in	cm.	
0	4 0	0	0	0	0
300	4 46	46	46	0.012	0.06
600	5 4	58	104	0.026	0.13
900	5 60	54	158	0.041	0.21
1,200	6 9	49	207	0.053	0.27
1,500	6 70	61	268	0.068	0.34
1,800	7 29	59	327	0.083	0.42
2,100	7 86	57	384	0.098	0.49
2,400	8 40	54	438	0.111	0.56
2,700	9 0	60	498	0.126	0.63
3,000	9 60	60	558	0.142	0.71
3,300	0 40	80	638	0.162	0.81
3,500	2 52	212	850	0.216	1.08

Length After Test 20.8 cm.

Dia. After Test 4.8 mm.

Yield Load 3,500 Kgs.

Ultimate Load 3,780 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 5 mm. NO.3

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation		% Elongation
			x0.0001 in	cm.	
0	1 0	0	0	0	0
300	1 64	64	64	0.016	0.08
600	2 24	60	124	0.032	0.15
900	2 83	59	183	0.046	0.22
1,200	3 40	57	240	0.061	0.29
1,500	4 0	60	300	0.076	0.36
1,800	4 58	58	358	0.091	0.43
2,100	5 17	59	417	0.106	0.51
2,400	5 78	61	478	0.121	0.58
2,700	6 38	60	538	0.137	0.65
3,000	7 03	65	603	0.153	0.73
3,300	7 88	85	688	0.175	0.83
3,550	9 66	178	866	0.220	1.10

Length After Test 20.5 cm.

Dia. After Test 4.2 mm.

Yield Load 3,550 Kgs.

Ultimate Load 3,760 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 7 mm. Area = 0.385 CM^2, Gauge Length 20 CM.

NO.	Load (Kgs.)		Length After Test cm.	Dia.After Test mm.	Ult.Tensile Strength KSC	Max. Elong. %
	Yield	Ultimate				
1	6,100	6,840	21.1	6.0	17,766	5.5
2	6,150	6,790	21.1	5.9	17,636	5.5
3	6,100	6,500	-	-	16,883	-
4	6,000	6,750	21.1	5.7	17,532	5.5
5	6,100	6,820	20.8	5.9	17,714	4.0
6	6,150	6,750	21.1	5.8	17,532	5.5
7	6,100	6,800	21.0	5.7	17,662	5.0
8	6,200	6,830	21.1	5.9	17,740	5.5
9	6,150	6,790	21.1	5.2	17,636	5.5
10	6,300	6,850	21.1	5.7	17,792	5.5
11	6,200	6,860	21.1	5.5	17,818	5.5
12	5,900	6,690	-	5.5	17,377	-
13	5,800	6,500	20.3	6.8	16,883	1.5
14	6,150	6,720	21.1	5.6	17,455	5.5
15	5,900	6,280	-	6.2	16,312	-
16	5,900	6,280	-	5.6	16,313	-
17	6,000	6,600	20.7	6.9	17,143	3.5
18	6,200	6,790	21.0	5.4	17,636	5.0
19	5,900	6,390	-	6.4	16,597	-
20	5,800	6,300	20.4	6.7	16,364	2.0

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 7 mm. NO.1

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation		% Elongation
			x0.0001 in	cm.	
0	3 0	0	0	0	0
500	3 51	51	51	0.013	0.06
1,000	3 95	44	95	0.024	0.12
1,500	4 45	50	145	0.037	0.19
2,000	4 93	48	193	0.049	0.25
2,500	5 41	48	241	0.061	0.31
3,000	5 88	47	288	0.073	0.37
3,500	6 40	52	340	0.086	0.43
4,000	6 92	52	392	0.100	0.50
4,500	7 44	52	444	0.113	0.57
5,000	7 97	53	497	0.126	0.63
5,500	8 65	68	565	0.144	0.72
6,000	0 22	157	722	0.183	0.92
6,100	1 50	128	850	0,216	1.08

Length After Test 21.1 cm.

Dia. After Test 6.0 mm.

Yield Load 6,100 Kgs.

Ultimate Load 6,840 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

Diameter 7 mm. NO.2

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation x0.0001 in	Total Elongation cm.	% Elongation
0	2 0	0	0	0	0
500	2 48	48	48	0.012	0.06
1,000	3 91	43	91	0.023	0.12
1,500	4 40	49	140	0.036	0.18
2,000	4 84	44	184	0.047	0.24
2,500	5 35	51	235	0.060	0.30
3,000	5 84	49	284	0.072	0.36
3,500	6 33	49	333	0.085	0.43
4,000	6 80	47	380	0.097	0.49
4,500	7 34	54	434	0.110	0.55
5,000	7 93	59	493	0.125	0.63
5,500	8 63	70	563	0.143	0.72
6,000	0 24	161	724	0.184	0.92
6,150	1 35	111	835	0.212	1.06

Length After Test 21.1 cm.

Dia. After Test 5.9 mm.

Yield Load 6,150 Kgs.

Ultimate Load 6,790 Kgs.

ตารางที่ 33 (ต่อ)

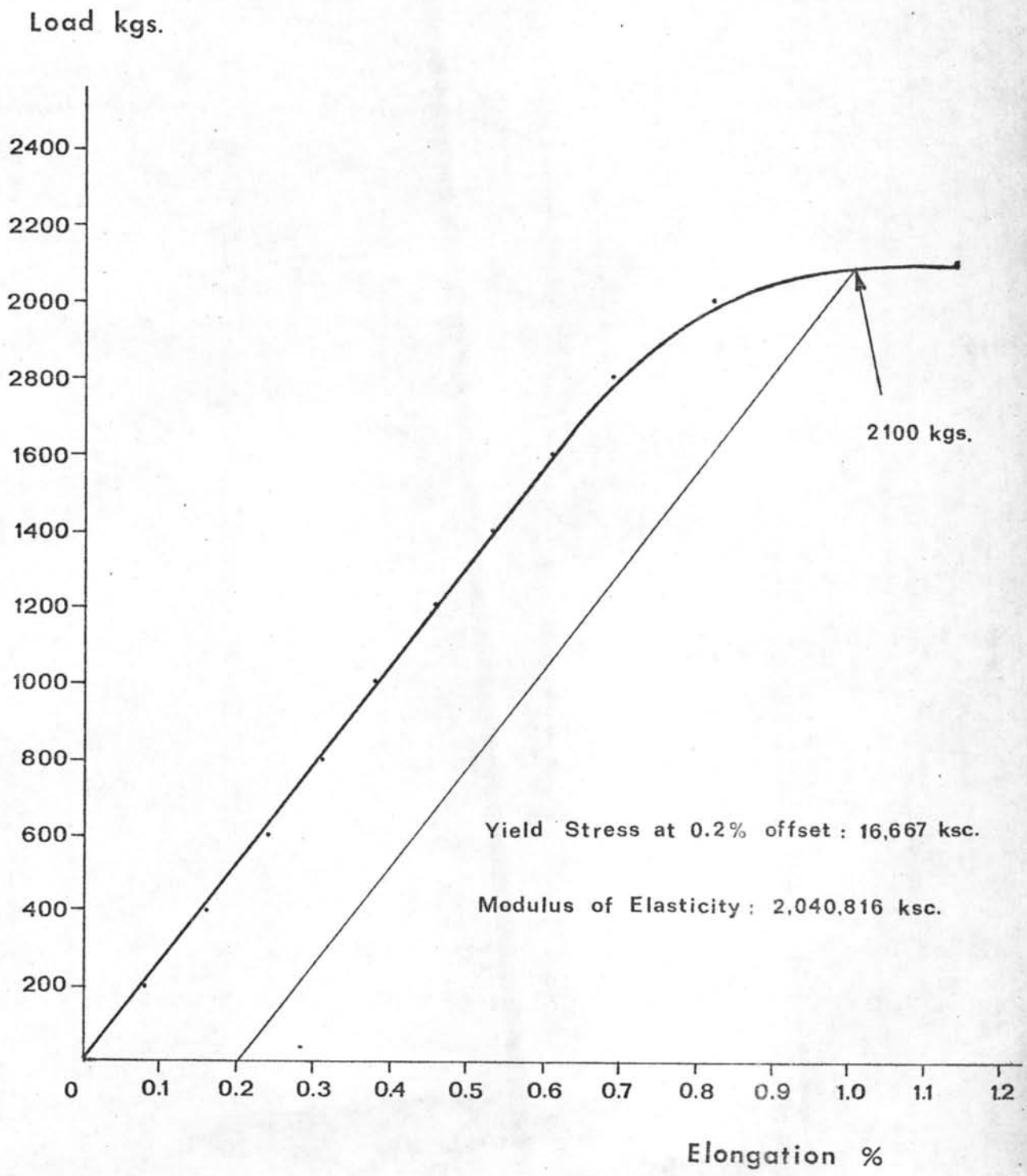
Diameter 7 mm. NO.3

Load Kgs.	Dial Gauge Reading	Elongation x0.0001 in	Total Elongation		% Elongation
			x0.0001 in	cm.	
0	2 0	0	0	0	0
500	2 51	51	51	0.013	0.07
1,000	2 96	45	96	0.024	0.12
1,500	3 44	48	144	0.037	0.19
2,000	3 93	49	193	0.049	0.25
2,500	4 42	49	242	0.061	0.31
3,000	4 90	48	290	0.074	0.37
3,500	5 37	47	337	0.086	0.43
4,000	5 90	53	390	0.099	0.50
4,500	6 43	53	443	0.113	0.57
5,000	7 04	61	504	0.128	0.64
5,500	7 93	89	593	0.151	0.76
6,000	9 72	179	772	0.196	0.98
6,100	0 42	70	842	0.214	1.07

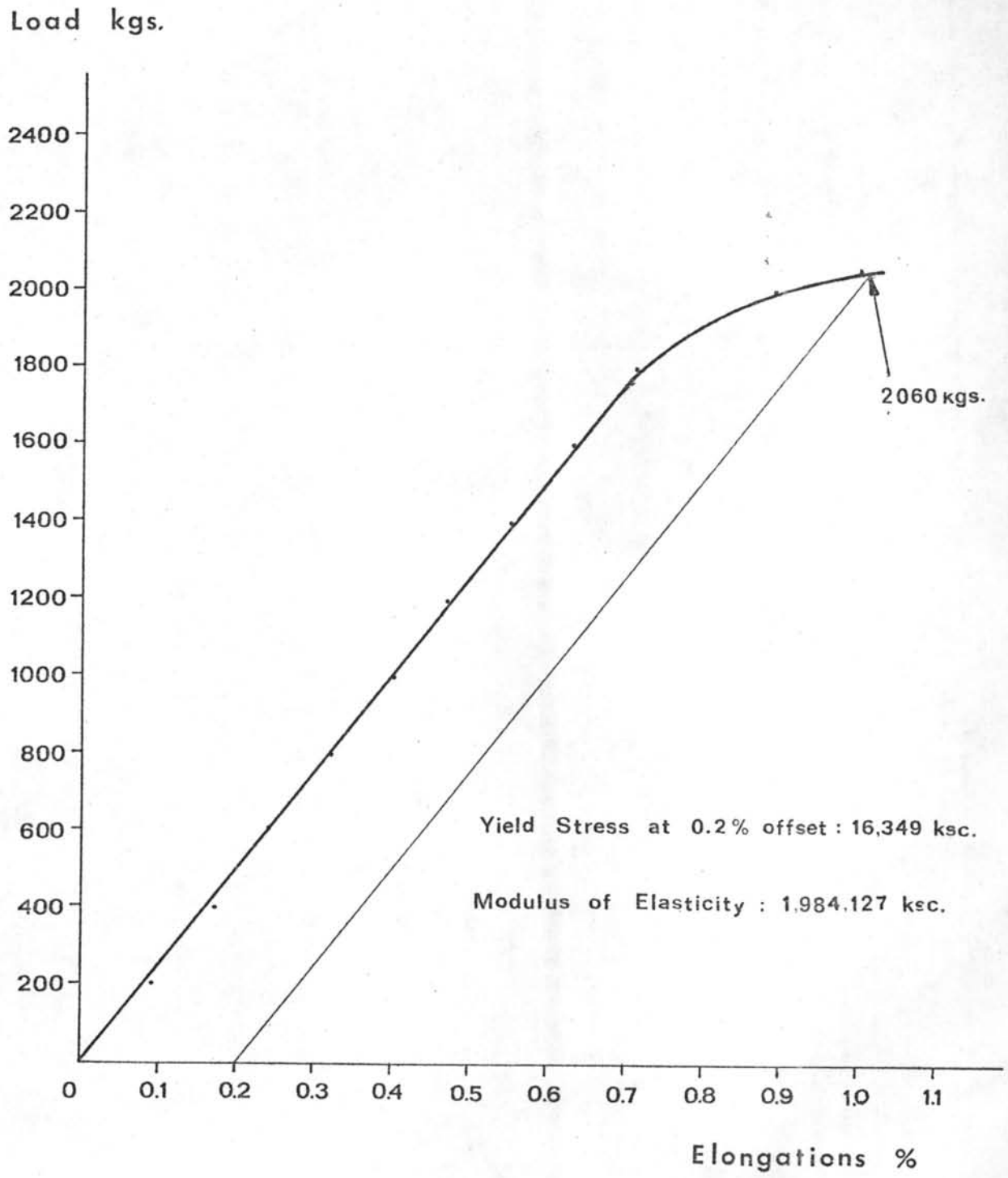
Yield Load 6,100 Kgs.

Uitimate Load 6,550 Kgs.

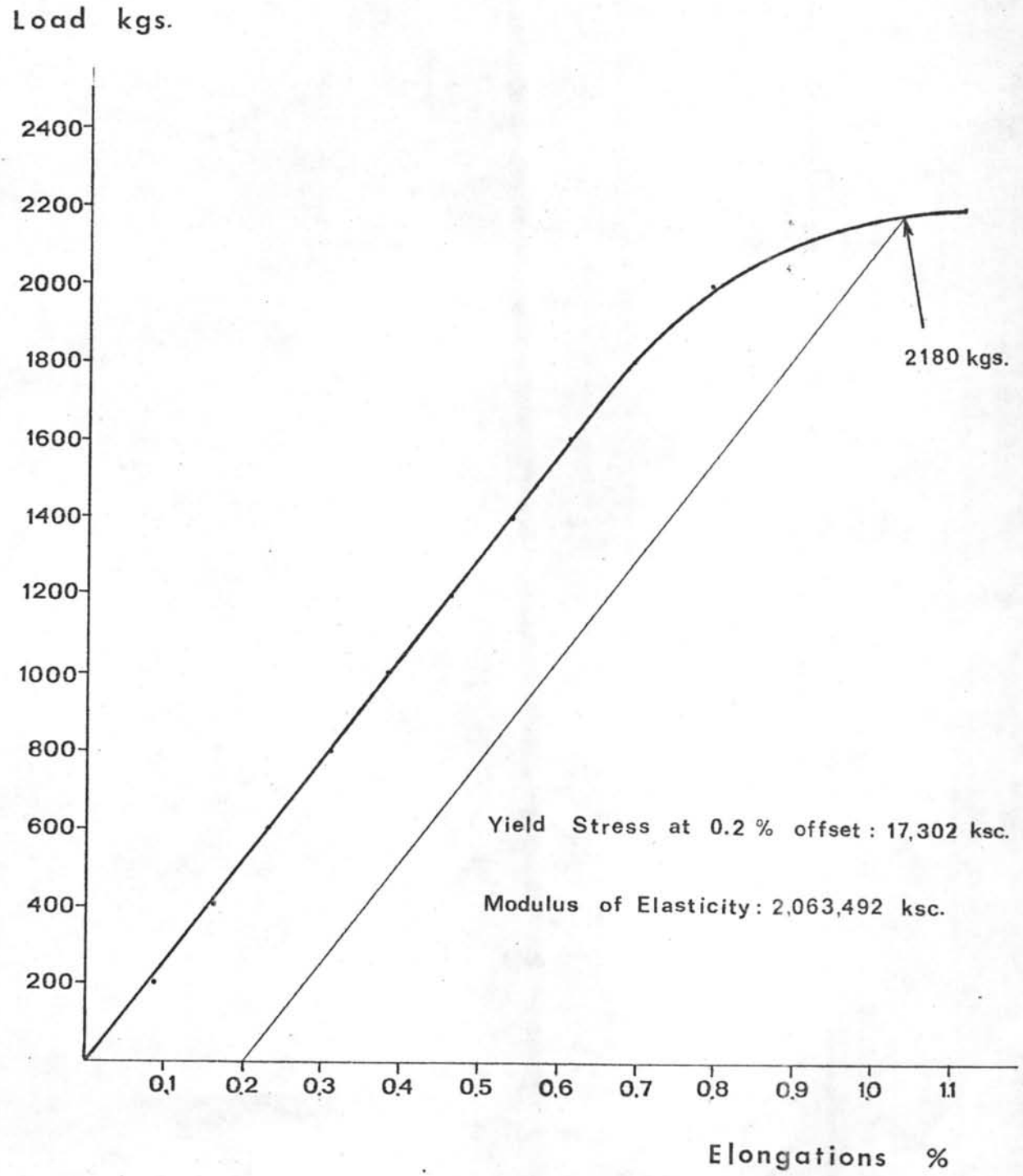
ขาดนอก Gage Length.



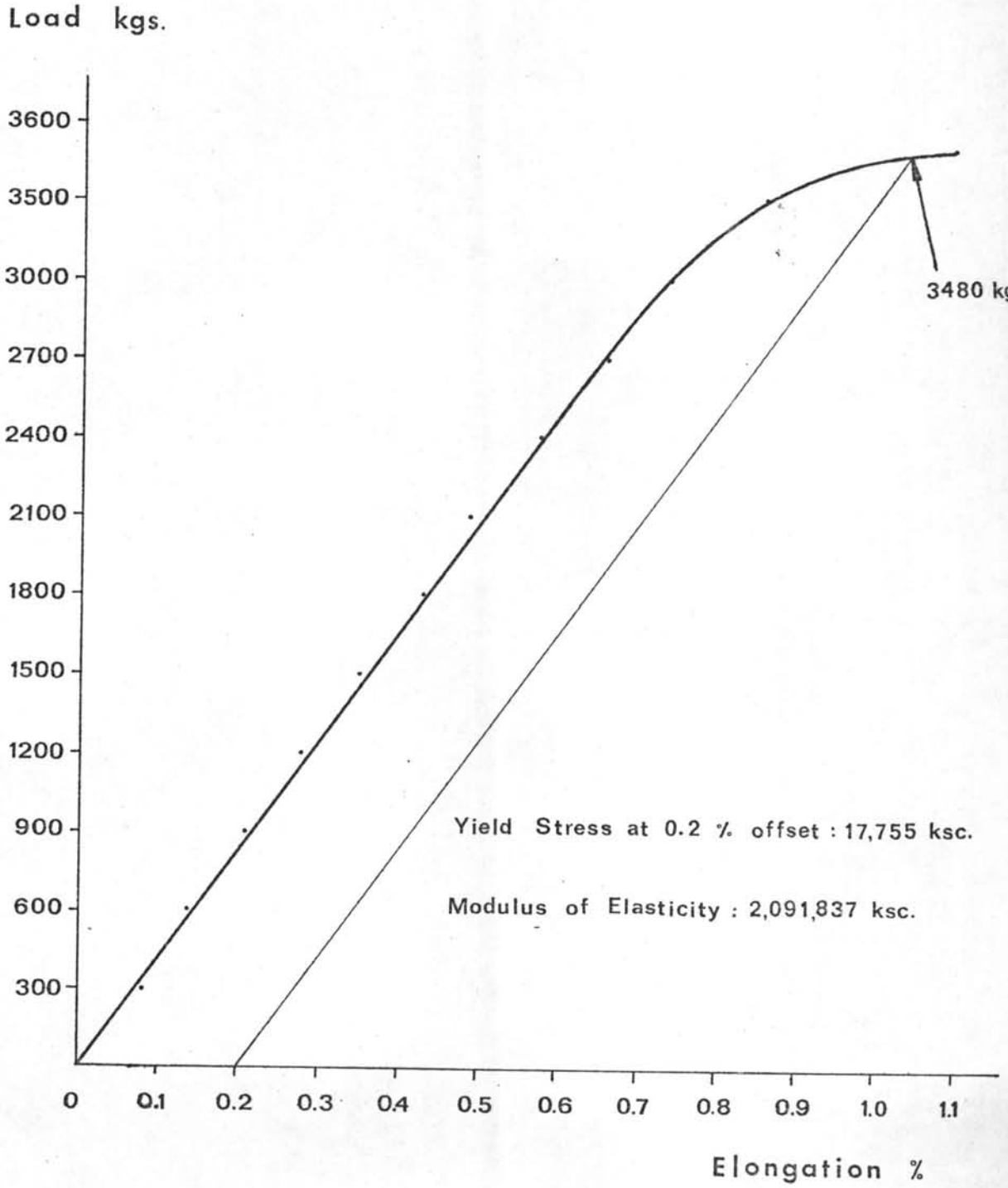
รูปที่ 16 Stress - Strain Curve of P.C. Wire 4 m.m. (No.1)



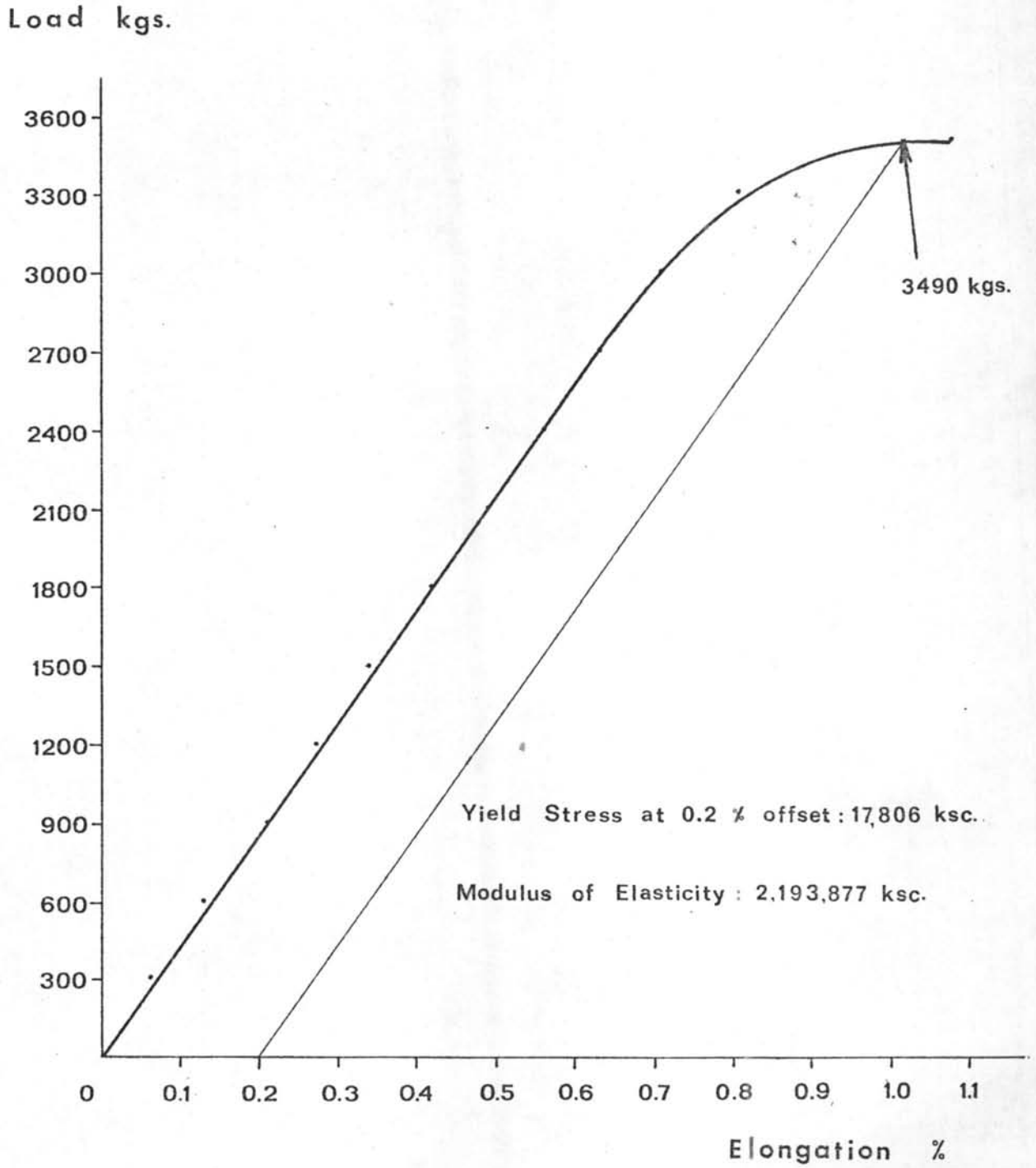
รูปที่ 17 Stress - Strain Curve of P.C. Wire 4 m.m. (No. 2)



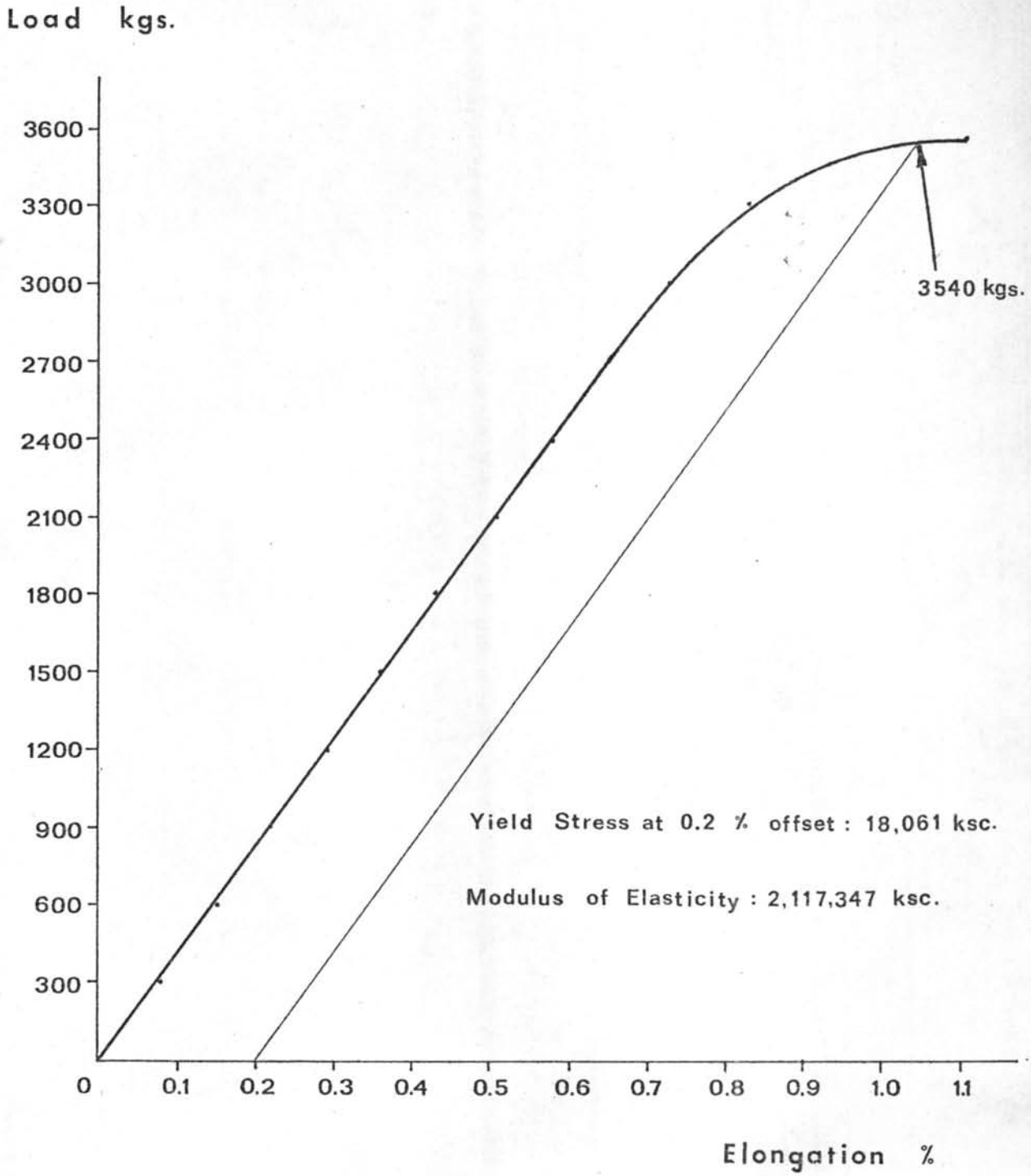
รูปที่ 18 Stress-Strain Curve of P.C. Wire 4 m.m. (No.3)



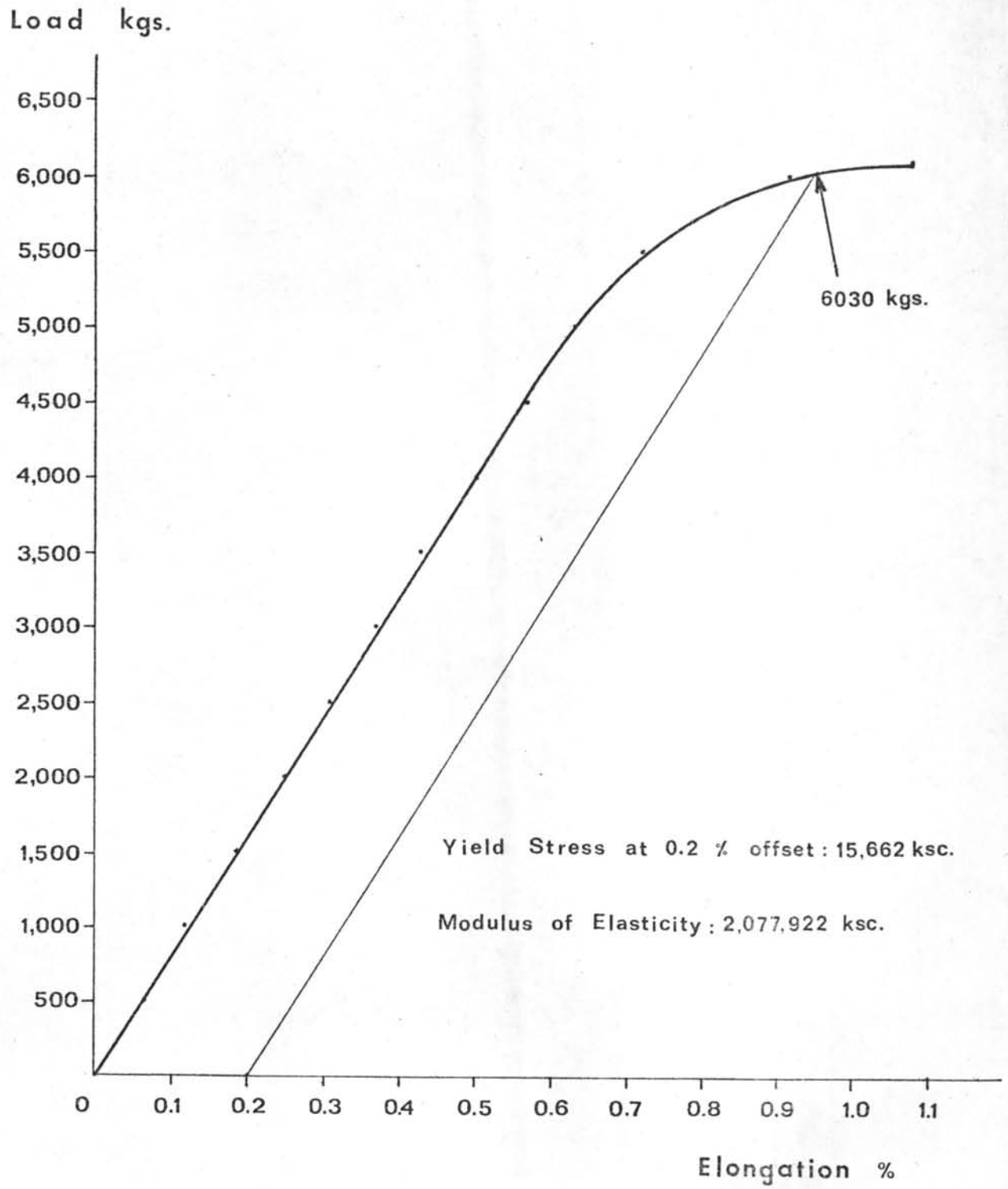
รูปที่ 19 Stress - Strain Curve of P.C. Wire 5 m.m. (No. 1)



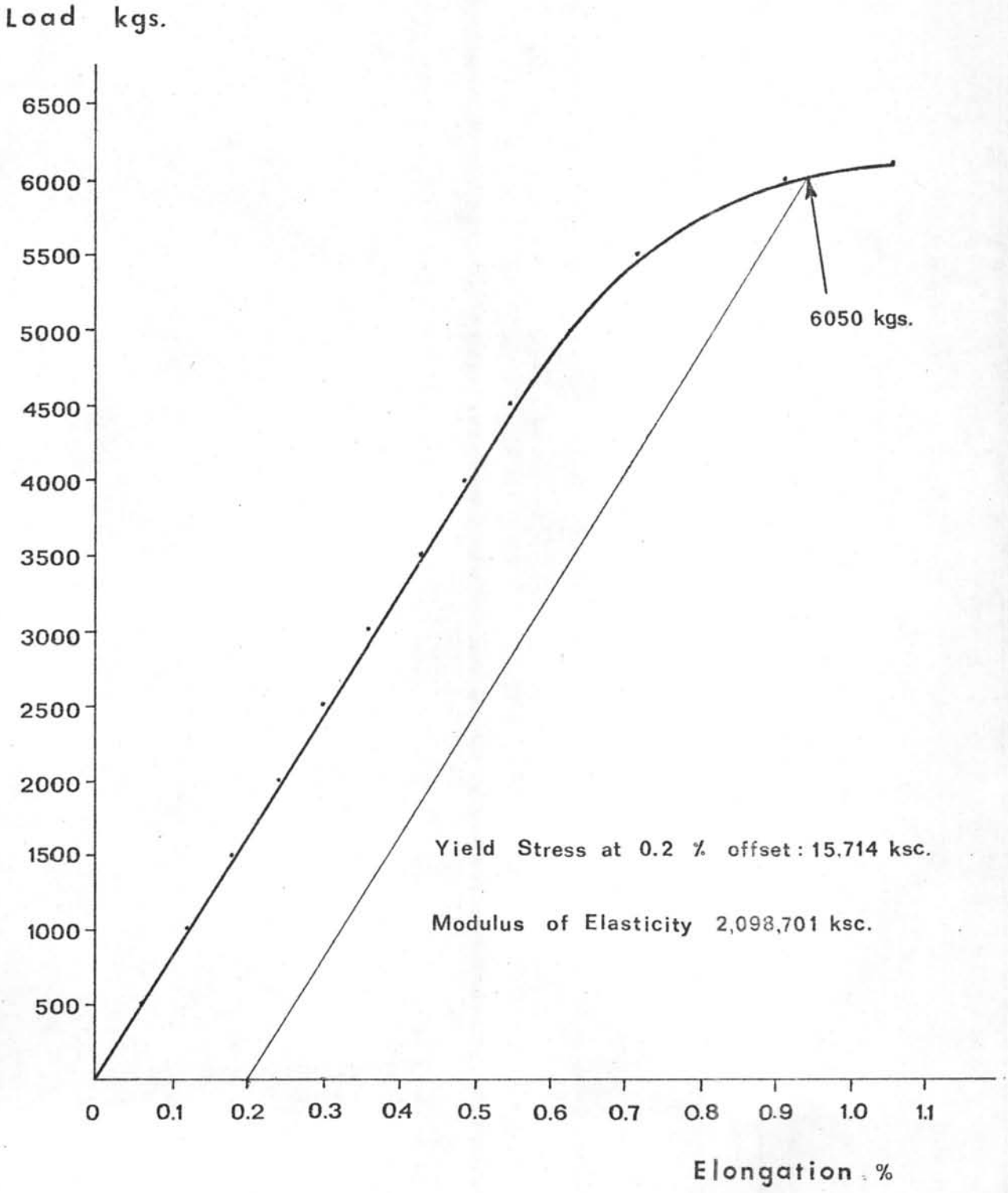
รูปที่ 20 Stress - Strain Curve of P.C. Wire 5 m.m. (No.2)



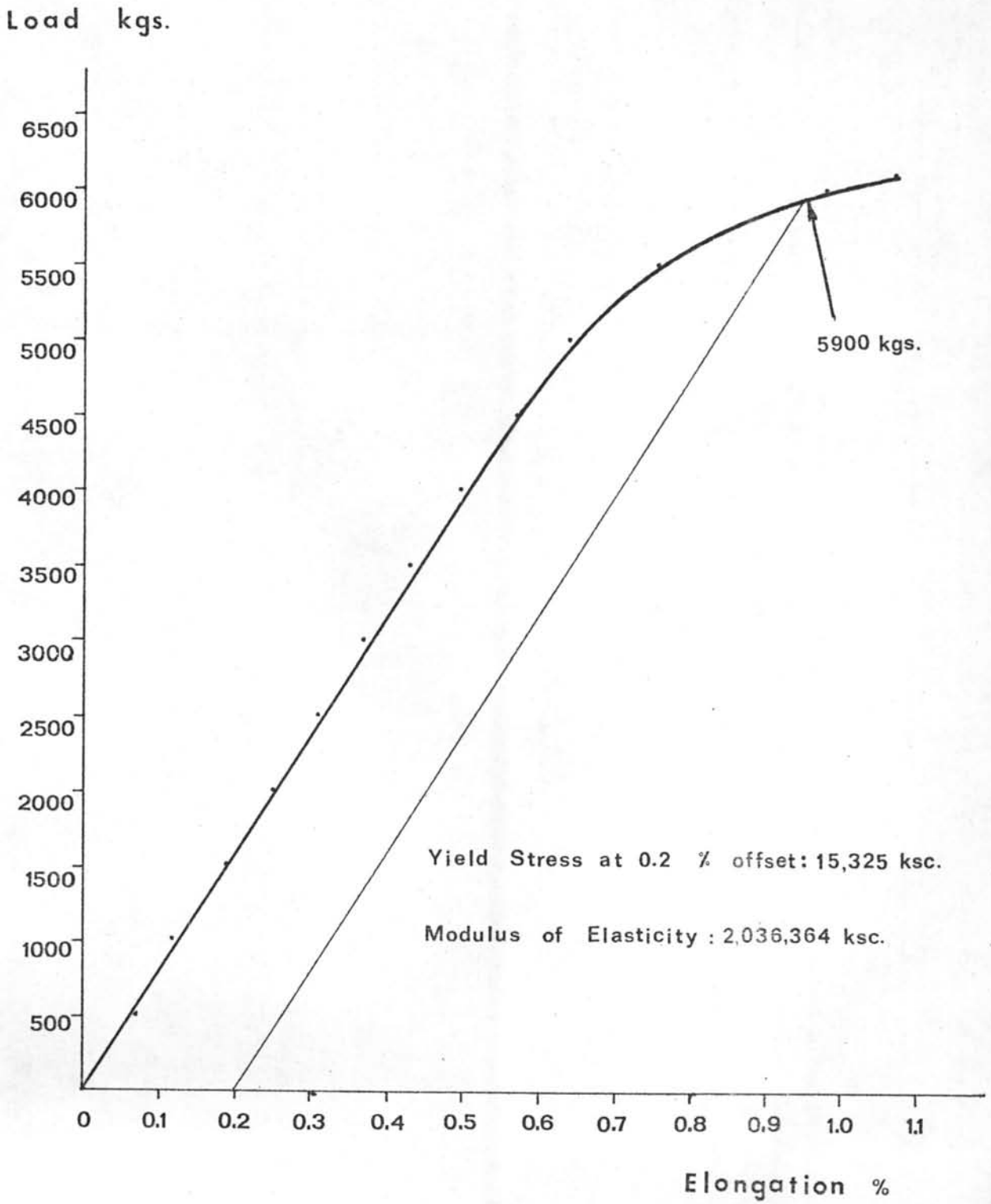
รูปที่ 21 Stress - Strain Curve of P.C. Wire 5 m.m. (No.3)



รูปที่ 22 Stress - Strain Curve of P. C. Wire 7 m.m. (No. 1)



รูปที่ 23 Stress - Strain Curve of P.C. Wire 7 m.m.(No.2)



รูปที่ 24 Stress - Strain Curve of P.C.Wire 7 m.m. (No.3)