

เอกสารอ้างอิง



1. Timoshenko, S. Strength of Materials. Part I New York: D. Van Nostrand Co., 1930.
2. A. Nádai. Plasticity. New York: McGraw-Hill Book Co., 1931.
3. Ernst, G.C. "Ultimate Torsional Properties of Rectangular Reinforced Concrete Beams". ACI Journal, Proceedings. Vol. 54. No18 (October 1957) : 341-356.
4. Lessig, N.N. "Determination of the load-Carrying Capacity of Reinforced Concrete Elements with Rectangular Cross Section Under Simultaneous Action of Flexure and Torsion". Proceedings, Concrete and Reinforced Concrete Institute, 1959.
5. Hsu, Thomas T.C. "Torsion fo Structural Concrete-A Summary on Pure Torsion". In Torsion of Structural Concrete, pp. 165-178. Publication SP-18. Detroit : American Concrete Institute, 1968.
6. Hsu, Thomas T.C. "Ultimate Torque of Reinforced Rectangular Beams". ASCE Journal (February 1968) : 485-510.
7. Hsu, Thomas T.C. "Post-Cracking Torsional Rigidity of Reinforced Concrete Sections". ACI Journal (May 1973): 352-360.

8. Lampert, Paul. "Post Cracking Stiffness of Reinforced Concrete Beams in Torsion and Bending". In Analysis of Structural Systems for Torsion, pp.384-432. Publication SP-35. Detroit: American Concrete Institute, 1972.
9. Below, K.D, Rangan, B.V.and Hall, A.S. "Theory for Concrete Beams in Torsion and Bending". Journal of the Structural Division, ASCE 101 No. ST8 (August 1975): 1645-1660.
10. C.S.Whitney. "Plastic Theory of Reinforced Concrete Design". ASCE Journal (December 1940): 1749-1780.
11. V.P.Jensen. "Ultimate Strength of Reinforced Concrete Beams as Related to the Plasticity ratio of Concrete". University of Illinois Engineering Experiment Station Bulletin No. 345 (June 1943)
12. Ladislav B.Kriz. "Ultimate Strength Criteria For Reinforced Concrete". ACI Journal (1959): 95-110.
13. Alan H.Mattock, Ladislav B.Kriz and Eivind Hognestad. "Rectangular Concrete Stress Distribution in Ultimate Strength Design". ACI Journal (February 1961): 875-932.

14. IB Falk Jorgensen. "Influence of Reinforcement Stress-Strain Curve on a Concrete Flexural Member at Ultimate load". ACI Journal (March 1962) : 453-461.
15. Ping Chun Wang. "Ultimate Strength Design Tables and Curves for Reinforced Concrete Members". ACI Journal (January 1962) : 47-61.
16. Alfred Zweig. "Ultimate Strength Design for Bending by Iteration". ACI Journal (February 1965) : 161-166.
17. Hsu, Thomas T.C. "Torsion of Structural Concrete-Plain Concrete Rectangular Sections". In Torsion of Structural Concrete, pp 203-238. Publication SP-18. Detroit : American Concrete Institute, 1968.
18. McHenry, D., and karni, J. "strength of Concrete Under Combined Tensile and Compressive Stress". ACI Journal (April 1958) : 829-839.
19. Pauw, A. "Static Modulus of Elasticity of Concrete as Affected by Density". ACI Journal, Proceedings 57 No.6 (December 1960) : 679-687
20. B.V. Rangan, R.F. Staley and A.S.Hall. "Theory for Prediction of Behavior and Balanced Failure Condition for Reinforced Concrete Beams in Torsion

and Bending". Uniciv Report. No. R157. Australia:  
University of New South Wales, Kensington N.S.W.  
(June 1976)

21. Hall, A.S. and Archer, F.E. "The Strength of Reinforced Concrete Beams in Torsion, Bending and Shear". Uniciv Report. No.R-60. Australia : University of New South Wales, Kensington (November 1970)
22. Kupfer, H., Hilsdorf, H.K. and Rüş, H. "Behavior of Concrete Under Biaxial Stress". ACI Journal, Proceedings 66 No.85 (August 1969) : 656-666.
23. Mitchell, D and Collins, M.P. "Diagonal Compression Field Theory A Rational Model for Structural Concrete in Pure Torsion". ACI Journal, Proceedings 71 No.8 (August 1974) : 396-408.
24. Collins, Michael P. "The Torque-Twist Characteristics of Reinforced Concrete Beams". In Inelasticity and Nonlinearity in Structural Concrete, pp.211-232. SM Study No.8. Ontario : University of Waterloo Press, Waterloo, 1972.
25. Paul Lampert and M.P.Collins. "Torsion, Bending, and Confusion-An Attempt to Establish the Facts." ACI Journal (August 1972) : 500-504.

ภาคผนวก ก.

สัญลักษณ์ และ นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาษาเทคนิค



## สัญลักษณ์

- a = ความลึกของบล็อครอยแรงรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าเทียบเท่า และมีค่าเท่ากับ  $k_1c$
- $A_o$  = พื้นที่ภายในแรงเฉือนไหล
- $A_s$  = เนื้อที่ของเหล็กเสริมรับแรงดึง
- $A'_s$  = เนื้อที่ของเหล็กเสริมรับแรงอัด
- $A_{st}$  = เนื้อที่ทั้งหมดของเหล็กเสริมคานยาว
- $A_w$  = เนื้อที่หน้าตัดของเหล็กดัด
- $\alpha$  =  $h/b$
- $\alpha_d$  = มุมของแนวแรงอัดขณะแย่งที่กระทำกับแกนของคานคอนกรีต
- $b, h$  = ความกว้าง ความลึก ของรูปตัดของคานคอนกรีต
- $\beta$  = มุมของแนวแกนราวดของคอนกรีตทางด้านรับแรงดึงซึ่งเพิ่มขึ้นจากภาคตัดขวาง
- $c$  = ระยะจากขอบที่มีควมเครียดอัดสูงสุดถึงแกนสะเทินแนวตั้งในทิศทางตั้งฉากกับแกนสะเทิน
- $c$  = แรงอัดทั้งหมดในคอนกรีต
- $d$  = ความลึกประสิทธิภาพ (ระยะจากผิวเหล็กสุดซึ่งรับแรงอัดจนถึงศูนย์กลางของเหล็กเสริมรับแรงดึง)
- $\Delta$  = ระยะโคง
- $\epsilon_o$  = หน่วยการหดตัวของคอนกรีต ณ จุดที่หน่วยแรงของคอนกรีตมีค่าสูงสุด และให้มีค่าเท่ากับ 0.002
- $\epsilon$  = ความเครียด หรือหน่วยการยืดตัวหรือหน่วยการหดตัว
- $\epsilon_c$  = หน่วยการหดตัวของคอนกรีตวัดในแนวตั้งฉากกับระนาบของคอนกรีตที่รับแรงอัด
- $\epsilon'_c$  = หน่วยการยืดตัวของคอนกรีตที่ระยะลึก  $d$

$\epsilon_{cu}$	=	หน่วยการหดตัวของคอนกรีต ณ ค่าดังประลัยให้ค่าเท่ากับ 0.003
$(\epsilon_c)_{ult}$	=	ค่าของ $\epsilon_c$ ณ จุดที่สายคอนกรีตขำรุด
$\epsilon_d, \epsilon_{ds}$	=	หน่วยการหดตัวของคอนกรีต ณ บริเวณที่แรงเฉือนไหลกระทำและที่ ผิวนอกสุดตามลำดับ
$\epsilon_s, \epsilon_w$	=	หน่วยการยืดตัวของเหล็กเสริมตามยาวและของเหล็กดัดตั้งตามลำดับ
$\epsilon_{sy}, \epsilon_{wy}$	=	หน่วยการยืดตัว ณ จุดก้ำดังคดากของเหล็กเสริมตามยาวและของเหล็ก ดัดตั้งตามลำดับ
$\epsilon_{tu}$	=	หน่วยการยืดตัวของคอนกรีต ณ ค่าดังประลัยภายใต้แรงดึงในแนวแกน
$E_c, E_s$	=	โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตและของเหล็กเสริมตามลำดับ
$f'_c$	=	ค่าดังอัดประลัยของคอนกรีตรูปทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. ณ วันทำการทดสอบ
$f_d$	=	หน่วยแรงอัดเฉลี่ยของคอนกรีตในแนวทะแยง
$f_r$	=	โมดูลัสแตกกร้าว
$f_s, f_w$	=	หน่วยแรงในเหล็กเสริมตามยาวและในเหล็กดัดตั้งตามลำดับ
$f_{sy}, f_{wy}$	=	ค่าดังคดากของเหล็กเสริมตามยาวและของเหล็กดัดตั้งตามลำดับ
$F_s$	=	แรงในเหล็กเสริมรับแรงดึง
$F_w$	=	แรงในเหล็กดัดตั้ง
$\delta$	=	ความเคียวขึ้นเนื่องจากแรงเฉือน
$k$	=	$e/d$
$k_1$	=	$a/c$
$k_2$	=	อัตราส่วนของความลึกของแรงอัดค้ำชงกับความลึกของแกนสะเทิน
$k_3$	=	อัตราส่วนของหน่วยแรงสูงสุดที่เกิดในคอนกรีตต่อหน่วยแรงอัดประลัย
$L$	=	ความยาวของช่วงกลาง
$M$	=	โมเมนต์ค้ำ, แรงค้ำ
$M_{cr}$	=	แรงค้ำขณะคอนกรีตเกิดการแตกกร้าว

- $M_u$  = โมเมนต์ต้านประลัย, แรงค้ำต้านประลัย
- $n$  = อัตราส่วนของโมดูลัสยืดหยุ่นของเหล็กเสริมต่อของคอนกรีต  $\frac{E_s}{E_c}$
- $\psi$  =  $T/M$
- $\psi_d$  = มุมบิดต่อหนึ่งหน่วยความยาวของแกนคอนกรีต
- $P_s$  = อัตราส่วนของเนื้อที่เหล็กเสริมรับแรงดึงต่อเนื้อที่ประสิทธิภาพของคอนกรีตในแกนรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้า
- $P_{stb}, P_{wb}$  = อัตราส่วนเหล็กเสริมซึ่งทำให้เกิดภาวะสมดุล ณ กำลังประลัย
- $P_w$  =  $0.9 \frac{A_w}{pd} \frac{x}{s}$  สำหรับทฤษฎีสกิว เบนด์จิง (Skew Bending) และมีค่าเท่ากับ  $\frac{A_w P_w}{A_o S}$  สำหรับทฤษฎีไดอะโกนอล คอมเพรสชั่นฟิลด์ (Diagonal Compression Field Theory)
- $P_o$  = เส้นรอบรูปของแรงเฉือนไหล
- $P$  = น้ำหนักบรรทุก
- $P_w$  = เส้นรอบรูปซึ่งเกิดจากแนวแกนกลางของเหล็กดัดทั้ง
- $q$  = แรงเฉือนไหล
- $r$  =  $\frac{P_w f_w}{P_s f_s}$
- $r_b$  = ค่าของ  $r$  ในภาวะสมดุล
- $s$  = ระยะเรียงของเหล็กดัดทั้งในทิศทางขนานกับเหล็กเสริมตามยาว
- $t_d$  = ความหนาของผนังคอนกรีตที่รับแรงอัด
- $T$  = โมเมนต์บิด, แรงบิด
- $T_{cr}$  = แรงบิดขณะคอนกรีตเกิดการแตกร้าว
- $T_u$  = โมเมนต์บิดต้านประลัย, แรงบิดต้านประลัย
- $\theta$  = มุมของระนาบของคอนกรีตทางคาบรับแรงอัด ซึ่งเทียบจากภาคตัดขวาง
- $x, y$  = ความกว้าง, ความลึกของเหล็กดัดทั้ง
- $\phi$  =  $(\theta - B)$
- $\phi_d$  = มุมเปลี่ยน (Curvature) ของคอนกรีตในแนวทะแยง



นิยามของคำต่าง ๆ ที่ใช้เป็นภาษาเทคนิค

กลไก	Mechanism
การชำรุด	Failure
เกจวัดความเครียด	Strain gage
เกจวัดระยะโก่ง ระยะทาง	Dial gage
กำลังคลาก	Yield strength
ความเครียด หน่วยการยืดหด	Strain
ค่าอัตราส่วนตัวคูณความปลอดภัย	Factor of safety
แตกร้าว	Crack
ทฤษฎีสกิว เบนดิง	Skew Bending Theory
ทฤษฎีโคอะโกนอล คอมเพรสชัน	Diagonal Compression Field Theory
โหลด	
น้ำหนักบรรทุก	Load
น้ำหนักบรรทุกแตกร้าว	Cracking load
น้ำหนักบรรทุกประลัย	Ultimate load
โมดูลัสยืดหยุ่น	Modulus of elasticity
โมดูลัสแตกร้าว	Modulus of rupture
ระยะโก่ง	Deflection
แรงบิด โมเมนต์บิด	Torsion
แรงคัต โมเมนต์คัต	Moment
หน่วยแรง	Stress
หน่วยแรงดึง	Tensile stress
หน่วยแรงอัด	Compressive stress

ภาคผนวก ข.

## ภาคผนวก ข.

การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงคด โดยอาศัยกราฟสำเร็จ

เพื่อให้การคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงคด ใต้สะพานรวดเร็ว ผู้วิจัยจึงได้จัดทำกราฟสำหรับคำนวณออกแบบโดยอาศัยทฤษฎีกำลังประลัย กราฟที่จัดทำขึ้นนี้ใช้ได้กับคานคอนกรีตรูปทศสี่เหลี่ยม ซึ่งมีกำลังอัดประลัยของคอนกรีตและความกว้างคานเท่าใดก็ได้ โดยอาศัยการแปลงโมเมนต์คดให้เข้ากับกราฟ แล้วค่อยแปลงเนื้อที่เหล็กเสริมที่ได้ให้เข้ากับรูปทศจริงอีกครั้งหนึ่ง นอกจากนี้ยังได้จัดทำกราฟสำหรับการคำนวณออกแบบโดยอาศัยทฤษฎีอีลาสติคไว้ด้วย เพื่อเป็นแนวทางในการเปรียบเทียบกับค่าที่ได้จากทฤษฎีกำลังประลัย

กราฟต่าง ๆ ดังกล่าวข้างต้น จัดสร้างขึ้นมาโดยอาศัยพื้นฐานดังนี้คือ

1) กราฟที่จัดสร้างขึ้นนี้สามารถใช้ได้เฉพาะในกรณีที่มีการขำรุดเป็นแบบแรงคดเป็นหลักเท่านั้น เนื่องจากในการออกแบบจริง ผู้ออกแบบมีความต้องการให้คานคอนกรีตมีความเหนียว

2) ค่าต่าง ๆ เช่น  $E_s$ ,  $E_c$  และ  $n$  ให้มีค่าตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ว.ส.ท.

3) กำลังอัดประลัยของคอนกรีตในการจัดสร้างกราฟมี 2 ค่า คือ 100, 150 กก./ซม.<sup>2</sup> ซึ่งแทนด้วยเส้นหนักและเส้นประตามลำดับ

4) กำลังคดากของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ 2,400 กก./ซม.<sup>2</sup> และให้มีค่าเท่ากับทั้งเหล็กเสริมรับแรงคด และรับแรงอัด ส่วนในทฤษฎีอีลาสติคให้หน่วยแรงที่ยอมให้ของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับครึ่งหนึ่งของกำลังคดาก คือ 1,200 กก./ซม.<sup>2</sup>

5) บนกราฟจะครอบคลุมปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุดที่กองเสริมในคานคอนกรีตไว้แล้ว ซึ่งก็คือจุดตั้งต้นของกราฟ

6) บนกราฟ สำหรับการคำนวณออกแบบ โดยอาศัยทฤษฎีกำลังประลัย นอกจากจะครอบคลุมปริมาณเหล็กเสริมที่น้อยที่สุด ที่จะต้องเสริมแล้ว ยังมีจุดตกบาทซึ่งเป็นจุดที่ค่าดัชนีของการเสริมเหล็ก  $q$  มีค่าเท่ากับ 0.18 ดังนั้น หากคานคอนกรีตมีเหล็กเสริมมากกว่าจุดนี้ จำเป็นต้องมีการตรวจสอบระยะโคง ว่าอยู่ในขอบเขตที่ยอมรับหรือไม่

ตัวอย่าง การคำนวณออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กโดยอาศัยกราฟสำเร็จ

จงออกแบบหาปริมาณเหล็กเสริมในคานคอนกรีต ขนาดรูปตัด  $15 \times 40$  ซม. เพื่อต้านทานโมเมนต์ค้ค เนื่องจากน้ำหนักบรรทุก ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4,250 กก-ม โดยวิธี

ก) ทฤษฎีอีลาสติก

ข) ทฤษฎีกำลังประลัย

กำหนดให้ออกแบบตามมาตรฐาน ว.ส.ท. มี  $f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>  $f_y = 2,400$  กก/ซม<sup>2</sup>  
 $f_s = 1,200$  กก/ซม<sup>2</sup>  $a = 35$  ซม. และ  $a' = 5$  ซม.

วิธีทำ ก) ทฤษฎีอีลาสติก

แปลงโมเมนต์ค้คสำหรับคานกว้าง 10 ซม. =  $4,250/1.5 = 2,833$  กก-ม

จากกราฟ  $A_s = 7.80$  ซม.<sup>2</sup>  $A'_s = 5.10$  ซม.<sup>2</sup>

∴ เหล็กเสริมจริง  $A_s = 1.5 \times 7.80 = 11.70$  ซม.<sup>2</sup>

$A'_s = 1.5 \times 5.10 = 7.65$  ซม.<sup>2</sup>

เปรียบเทียบกับ การคำนวณโดยวิธีธรรมดาคะได้

$A_s = 11.70$  ซม.<sup>2</sup>

$A'_s = 7.83$  ซม.<sup>2</sup>

ข) ทฤษฎีกำลังประลัย

โมเมนต์ค้คประลัย  $M_u = 2 \times 4,250 = 8,500$  กก-ม

โมเมนต์ค้คประลัยใช้ออกแบบ  $M'_u = 8,500/0.90$

= 9,444 กก-ม

โมเมนต์ค้คสำหรับคานกว้าง 10 ซม =  $9,444/1.5 = 6,296$  กก-ม

จากกราฟ	$A_s = 9.60 \text{ ซม}^2$	$A'_s = 1.10$	$\text{ซม}^2$
∴ เหล็กเสริมจริง	$A_s = 1.5 \times 9.60$	$= 14.40$	$\text{ซม}^2$
	$A'_s = 1.5 \times 1.10$	$= 1.65$	$\text{ซม}^2$

เปรียบเทียบกับค่าคำนวณโดยวิธีธรรมดา

$A_s$	$= 14.41$	$\text{ซม}^2$
$A'_s$	$= 1.64$	$\text{ซม}^2$

แสดงว่า การออกแบบโดยอาศัยกราฟ อยู่ในวงที่เชื่อถือได้ ส่วนที่แตกต่าง  
เนื่องมาจากความคลาดเคลื่อนในการอ่านค่าจากกราฟ

การคำนวณออกแบบโดยวิธีธรรมดา

ก) ทฤษฎีอัตราตึก

$f_c$	$= 0.45 f'_c$	$= 0.45 \times 150$	$= 67.5$	$\text{กก/ซม}^2$
$f_s$	$= 0.50 f_y$	$= 0.50 \times 2,400$	$= 1,200$	$\text{กก/ซม}^2$
$n$	$= \frac{E_s}{E_c}$	$\frac{2.04 \times 10^6}{15,210 \sqrt{150}}$	$= 11$	
$k$	$\frac{1}{1 + \frac{f_s}{nf_c}}$	$\frac{1}{1 + \frac{1,200}{11 \times 67.5}}$	$= .382$	
$j$	$= 1 - \frac{k}{3}$	$= 1 - \frac{.382}{3}$	$= .872$	
$M_c$	$= \frac{1}{2} k j f_c b d^2$	$= \frac{1}{2} \times .382 \times .872 \times 67.5 \times .15 \times 35^2$	$= 2,069$	$\text{กก-ม}$
$A_{s1}$	$= \frac{M_c}{f_s j d}$	$= \frac{2,069}{12 \times .872 \times 35}$	$= 5.64$	$\text{ซม}^2$
$A_{s2}$	$= \frac{4,250 - 2,069}{12 \times (35 - 5)}$	$= 6.06$	$\text{ซม}^2$	

$$A_s' = \frac{1}{2} A_{s2} \frac{1-k}{k - \frac{d}{d}} = \frac{1}{2} \times 6.06 \frac{1 - .382}{.382 - \frac{5}{35}} = 7.83 \quad \text{ซม}^2$$

$$\therefore A_s = A_{s1} + A_{s2} = 11.70 \quad \text{ซม}^2$$

$$\frac{A_s'}{A_s} = 7.83 \quad \text{ซม}^2$$

ข) ทฤษฎีกำลังประลัย

$$M_u = 2 \times 4,250 = 8,500 \quad \text{กก-ม}$$

$$M_u' = 8,500 / 0.9 = 9,444 \quad \text{กก-ม}$$

$$P_b = 0.85 k_1 \frac{f_c'}{f_y} \frac{6117}{6117 + f_y} = \frac{.85 \times .85 \times 150}{2,400} \times \frac{6117}{6117 + 2,400}$$

$$= .03243$$

$$P_{max} = 0.75 P_b = .02432$$

$$q_{max} = P_{max} \times \frac{f_y}{f_c} = .02432 \times \frac{2,400}{150} = .3892$$

$$M_{balance} = b d^2 f_c' q (1 - 0.59q) = .15 \times 35^2 \times 150 \times .3892 (1 - .59 \times .3892) = 8,264 \quad \text{กก-ม}$$

$$A_s = .02432 \times 15 \times 35 + \frac{(9444 - 8,264)}{24 (35 - 5)} = 14.41 \quad \text{ซม}^2$$

$$\text{ตรวจสอบ } \frac{1}{0.75} P_b k = 0.75 \left( \frac{\epsilon_c}{\epsilon_c + \epsilon_s} \right) = 0.75 \times \frac{.003}{\left( \frac{.003 + 2,400}{2.04 \times 10^6} \right)} = 0.539$$

$$\therefore \epsilon_s' = \epsilon_c \left( \frac{1-d}{kd} \right) = .003 \left( 1 - \frac{5}{.539 \times 35} \right)$$

$$2.205 \times 10^{-3} > \frac{f_y}{E_s}$$

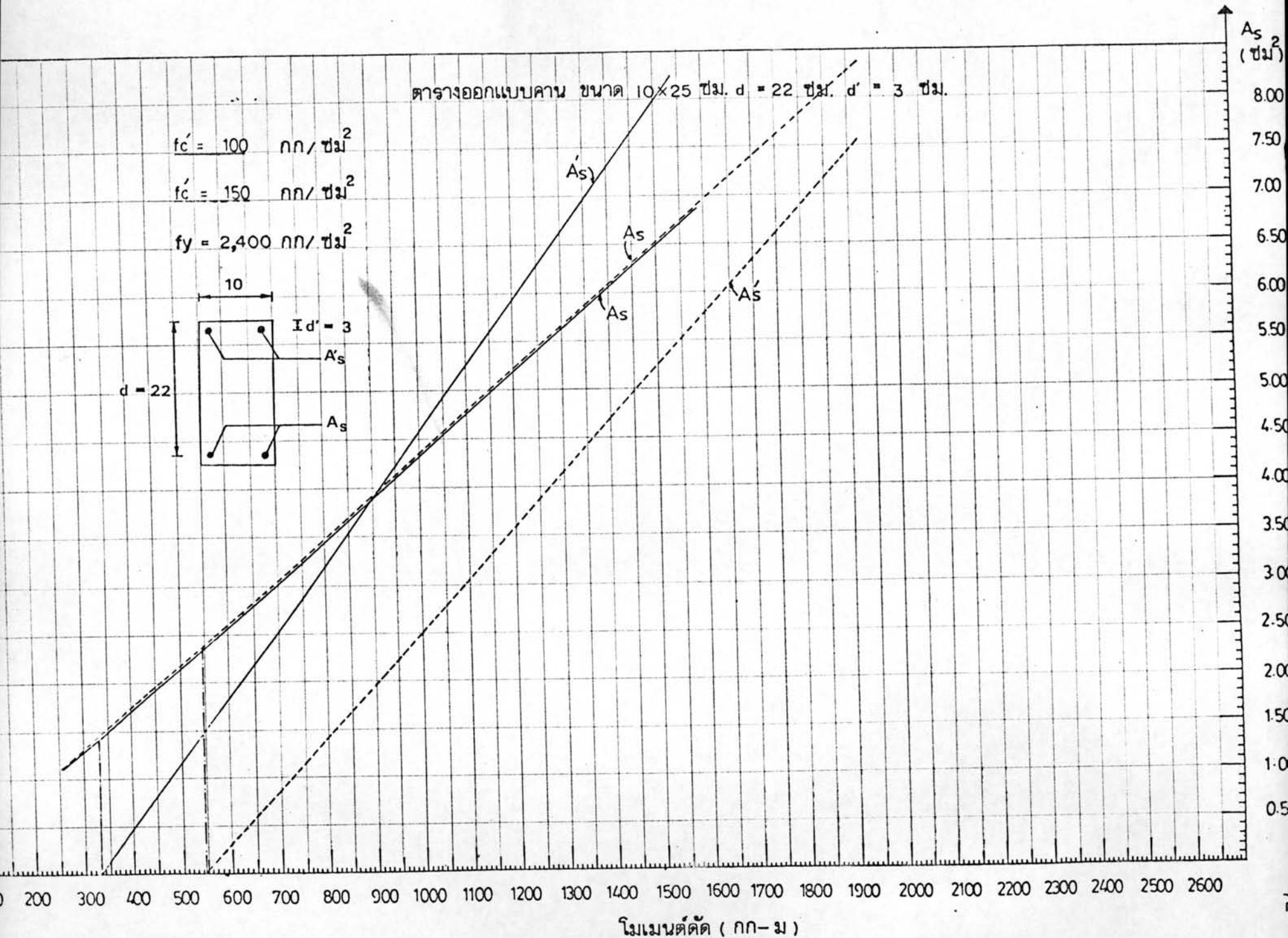
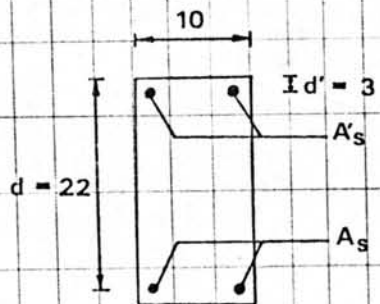
$$I_o' = \frac{(9,444 - 8,264)}{24 (35 - 5)} = 1.64 \quad \text{ซม}^2$$

ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x25 ซม. d = 22 ซม. d' = 3 ซม.

$f'_c = 100$  กก./ซม.<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก./ซม.<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก./ซม.<sup>2</sup>



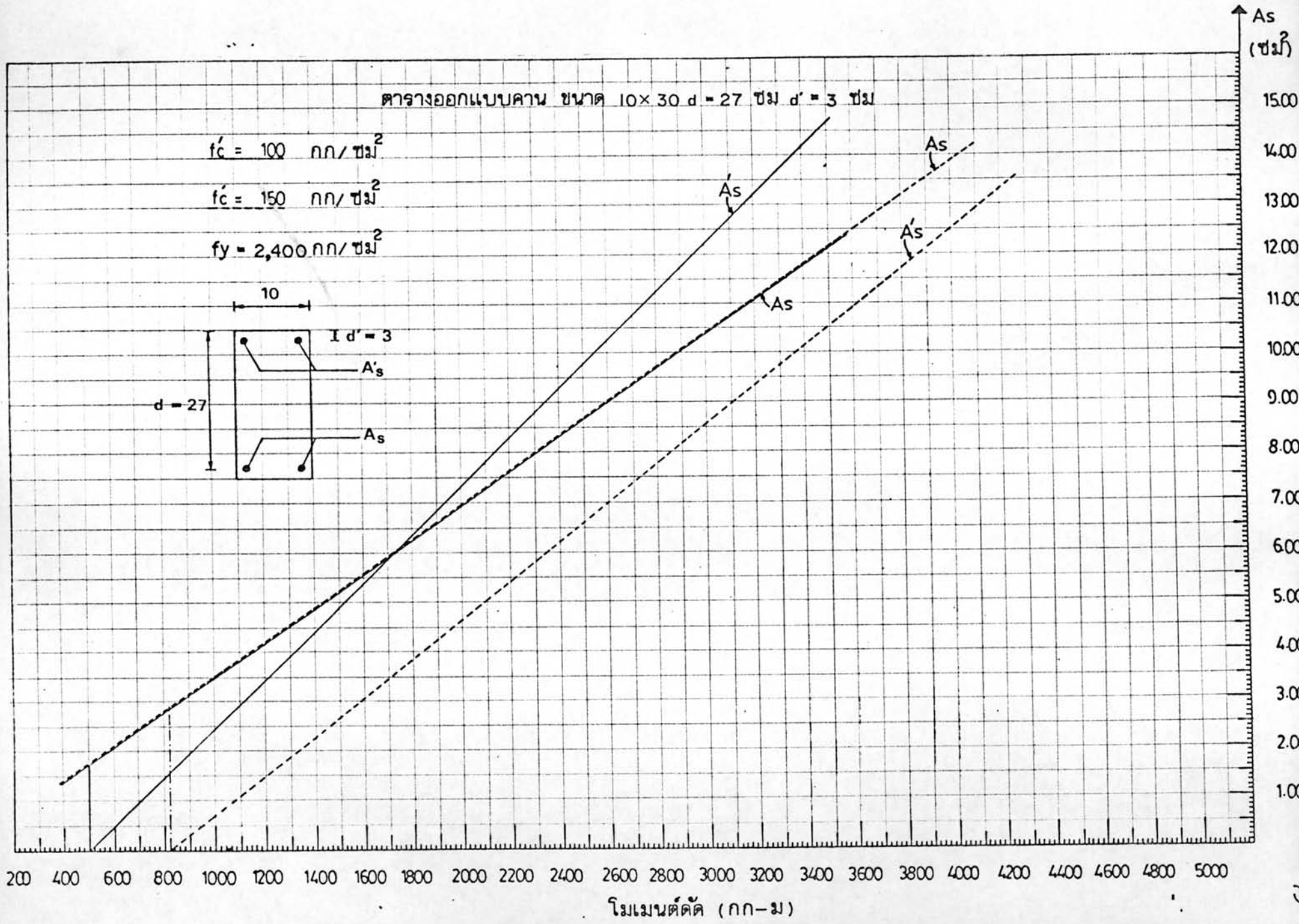
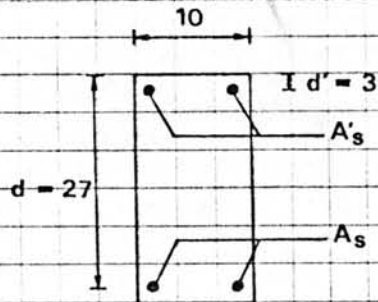
โมเมนต์ดัด ( กก-ม )

ตารางออกแบบคาน ขนาด  $10 \times 30$   $d = 27$  ซม  $d' = 3$  ซม

$f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก/ซม<sup>2</sup>



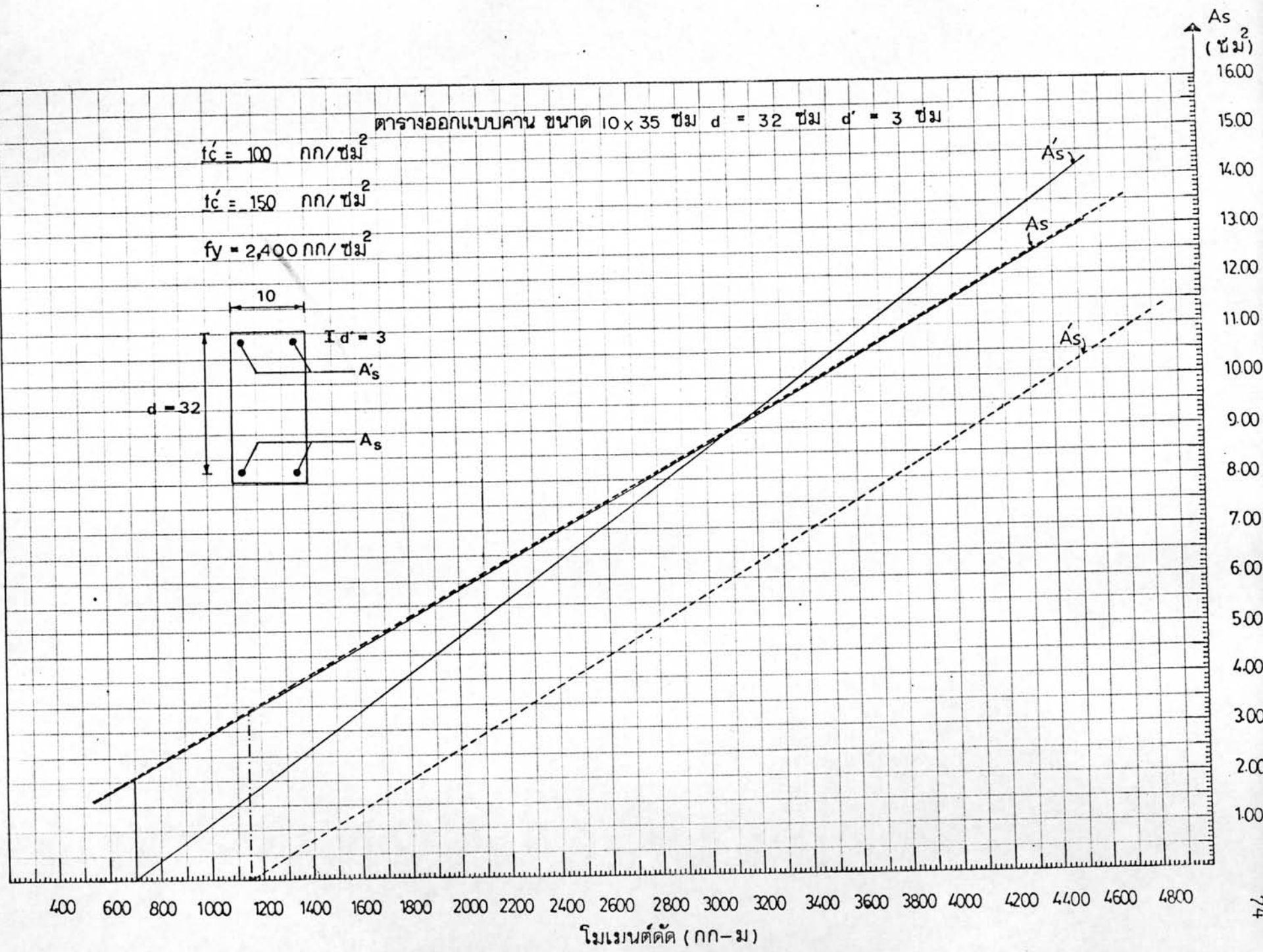
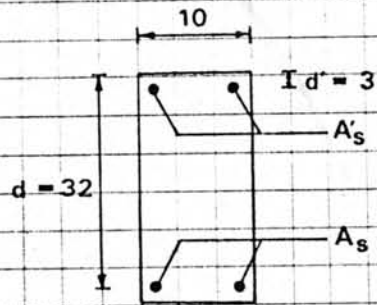


ตารางออกแบบคาน ขนาด 10 x 35 ซม d = 32 ซม d' = 3 ซม

$f'_c = 100 \text{ กก/ซม}^2$

$f'_c = 150 \text{ กก/ซม}^2$

$f_y = 2,400 \text{ กก/ซม}^2$



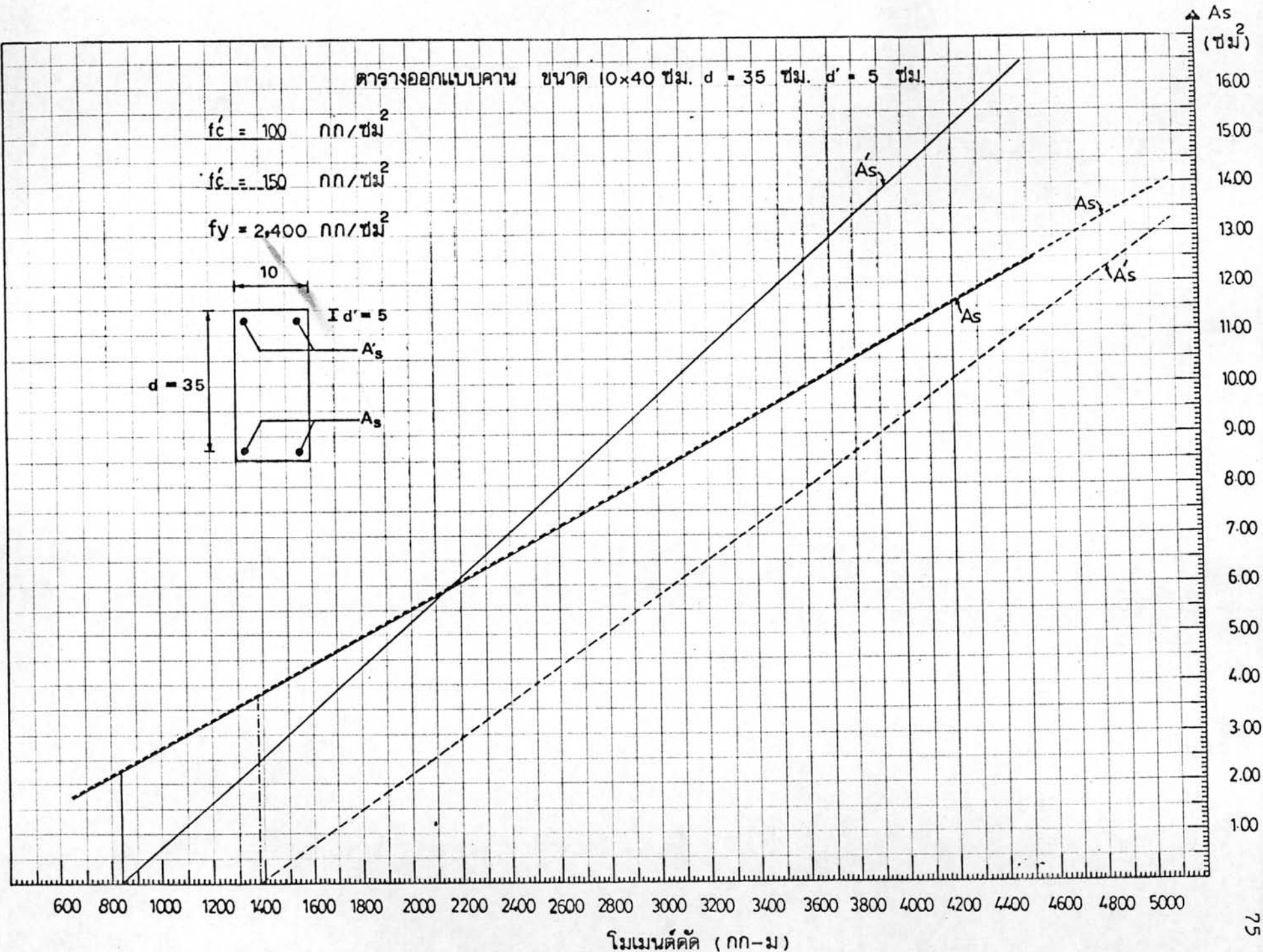
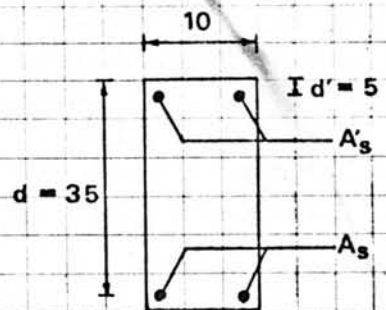
โมเมนต์ดัด (กก-ม)

ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x40 ซม. d = 35 ซม. d' = 5 ซม.

$f'_c = 100$  กก./ซม<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก./ซม<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก./ซม<sup>2</sup>

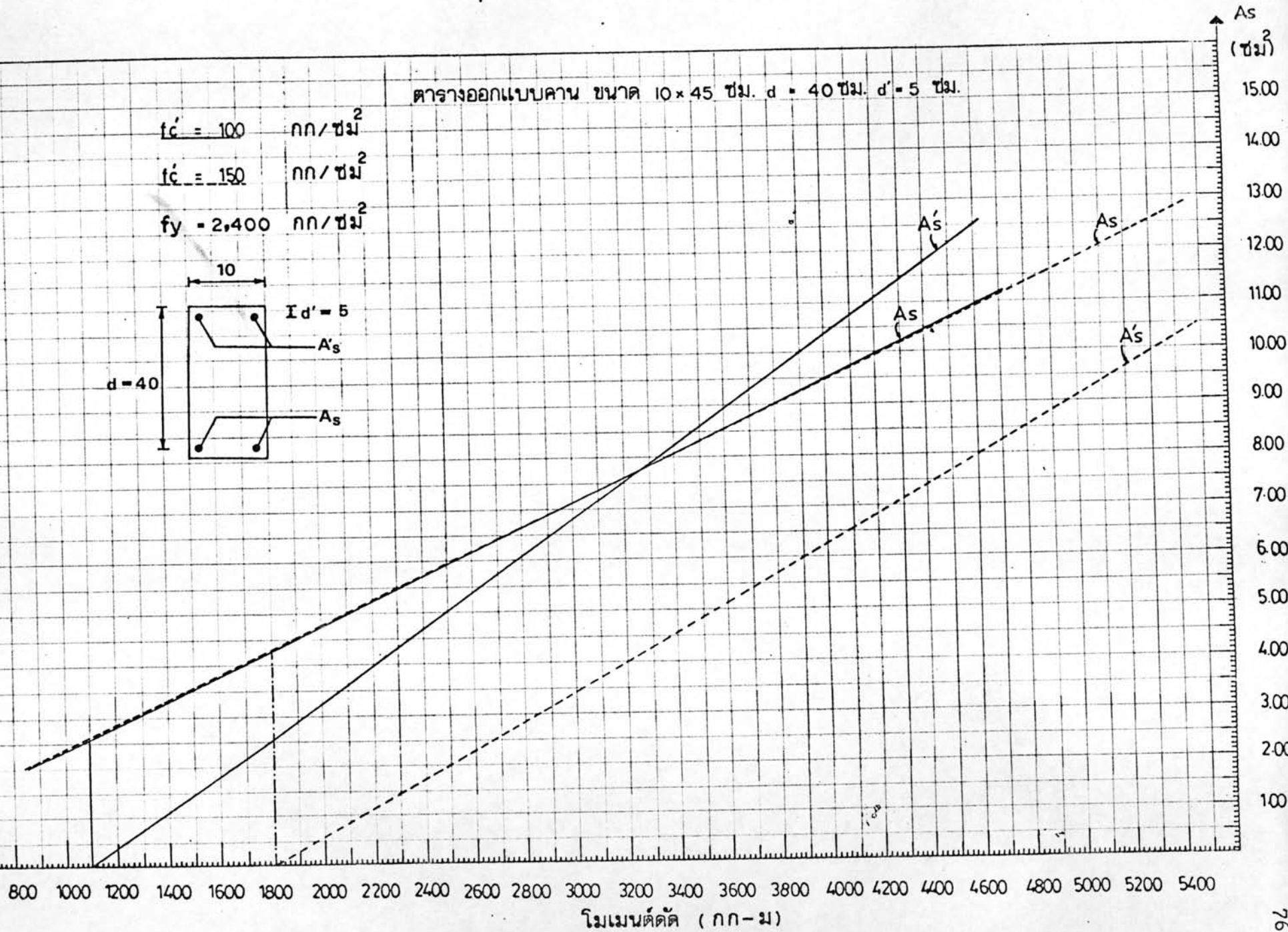
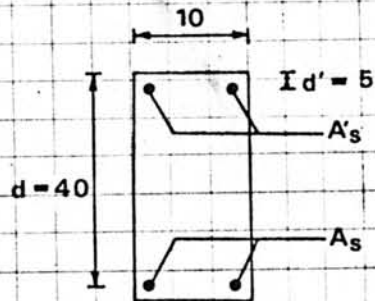


ตารางออกแบบคาน ขนาด 10 x 45 ซม. d = 40 ซม. d' = 5 ซม.

$f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก/ซม<sup>2</sup>



โมเมนต์ดัด (กก-ม)

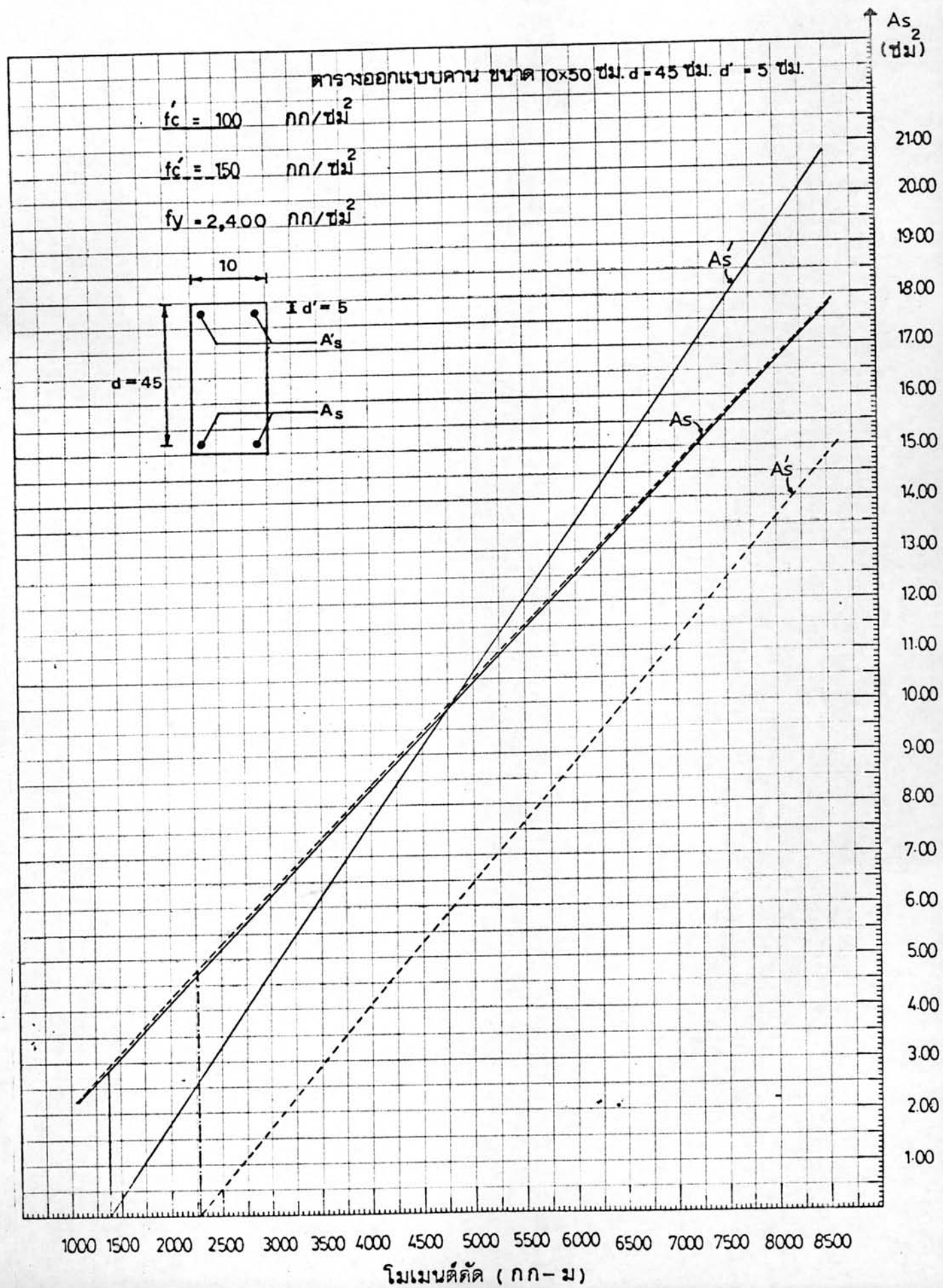
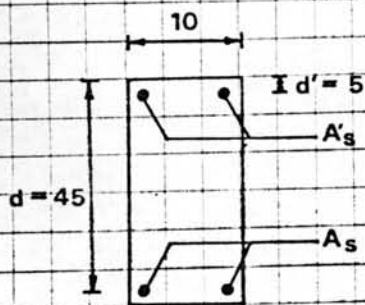
As (ซม<sup>2</sup>)  
15.00  
14.00  
13.00  
12.00  
11.00  
10.00  
9.00  
8.00  
7.00  
6.00  
5.00  
4.00  
3.00  
2.00  
1.00

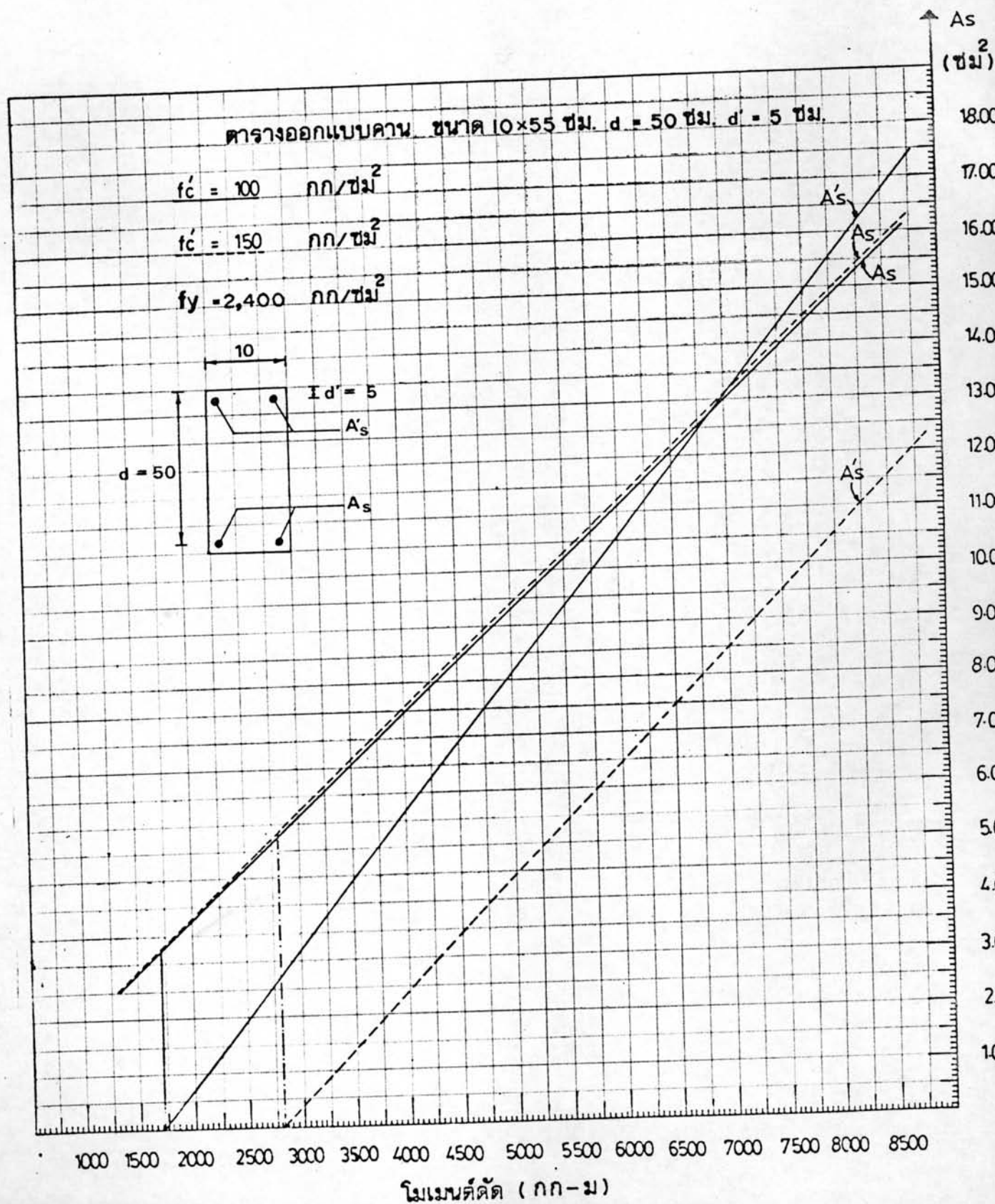
ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x50 ซม.  $d = 45$  ซม.  $d' = 5$  ซม.

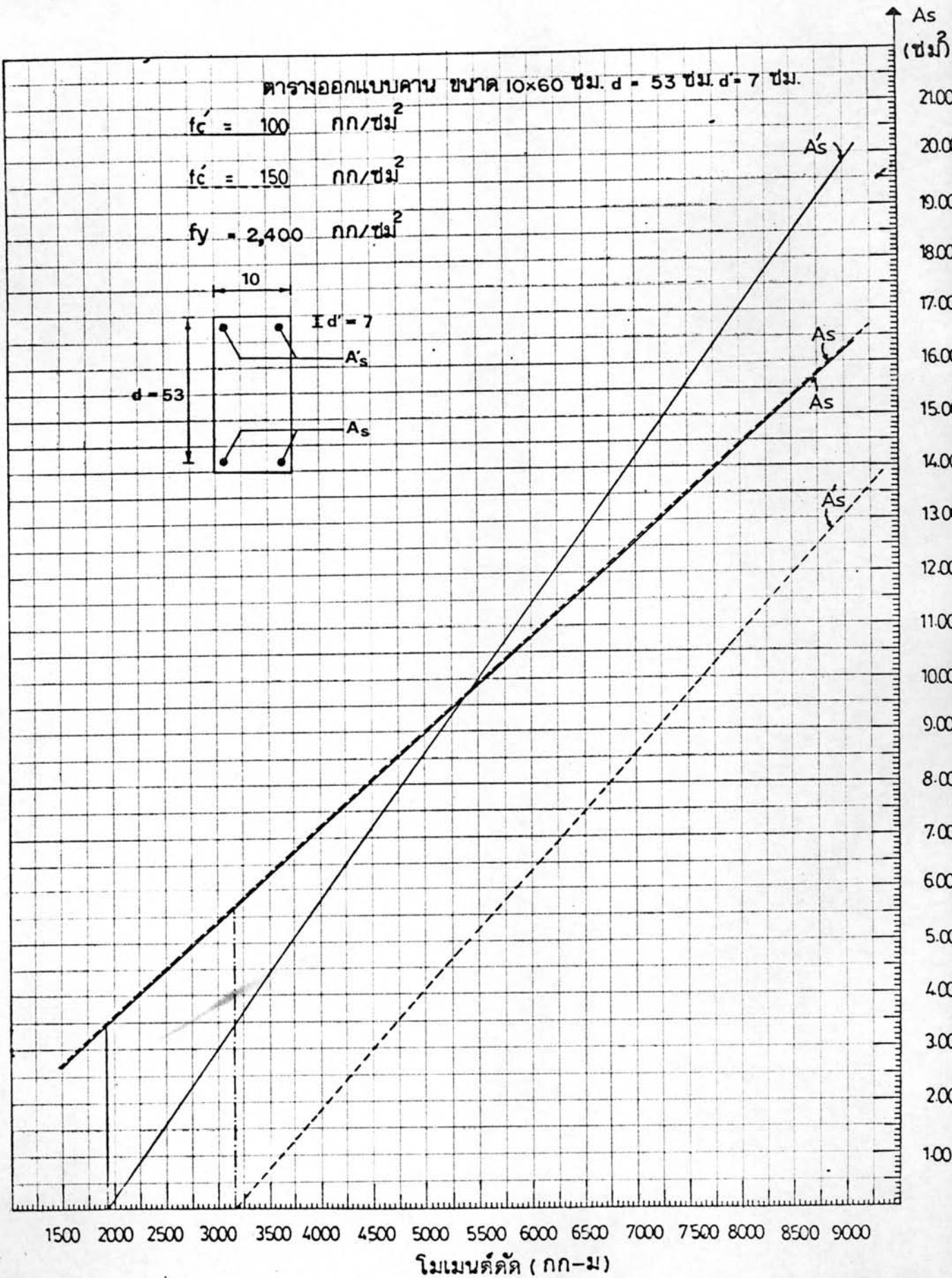
$f_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก/ซม<sup>2</sup>





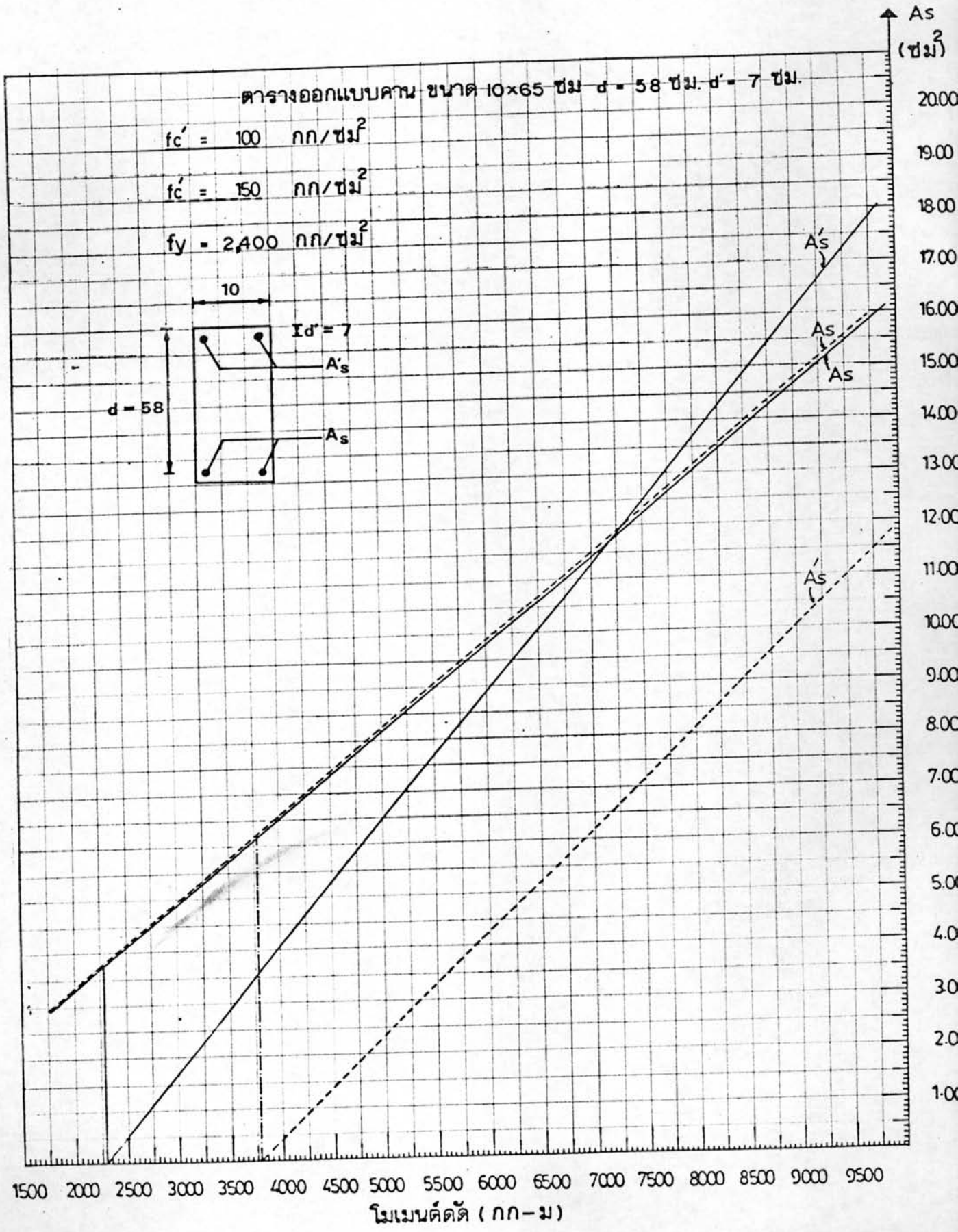
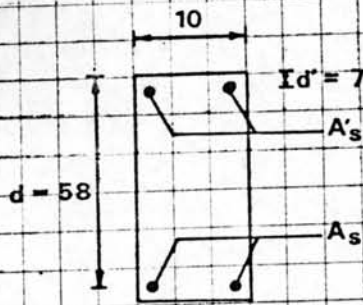


ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x65 ซม.  $d = 58$  ซม.  $d' = 7$  ซม.

$f_c' = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_c' = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก/ซม<sup>2</sup>

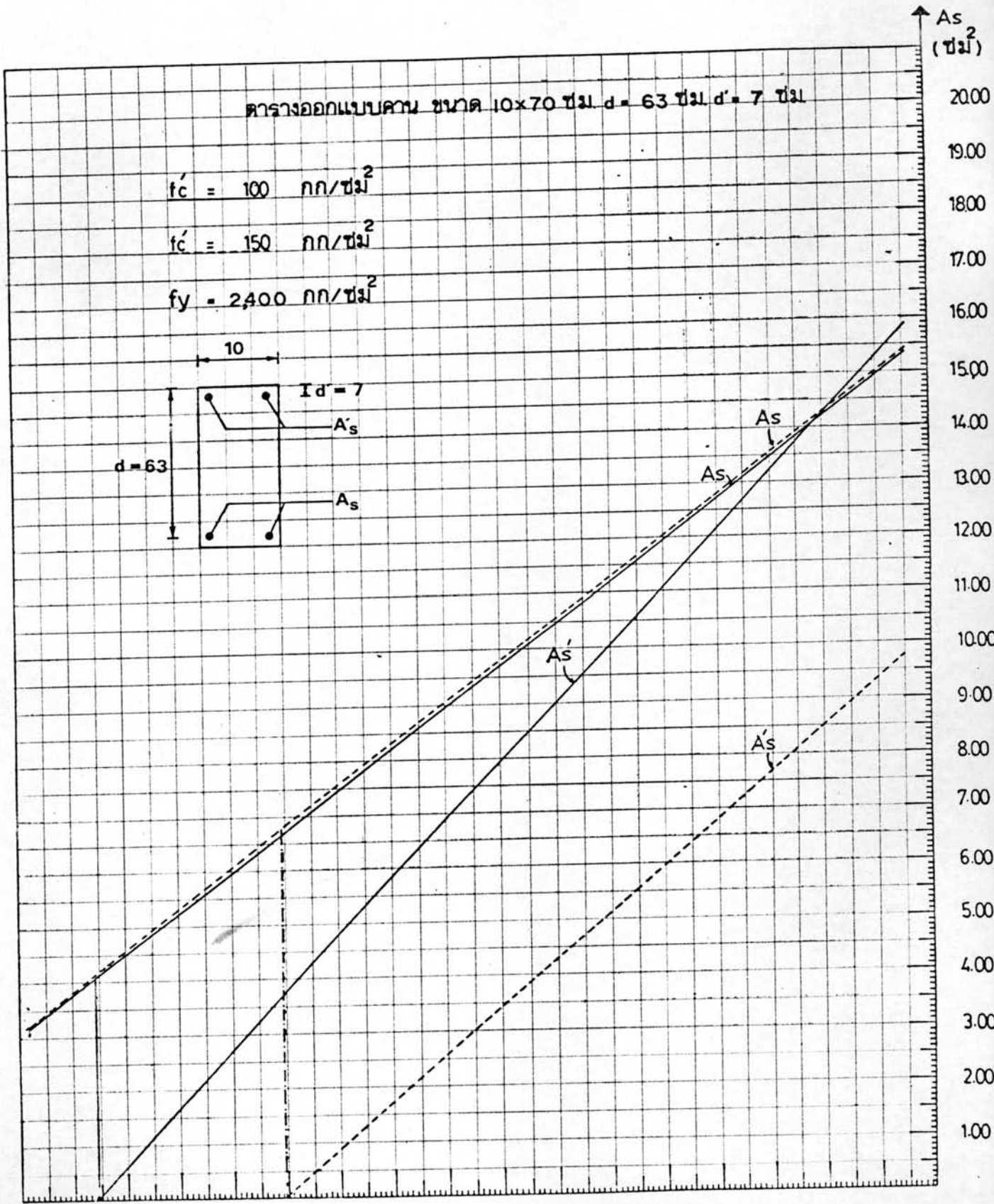
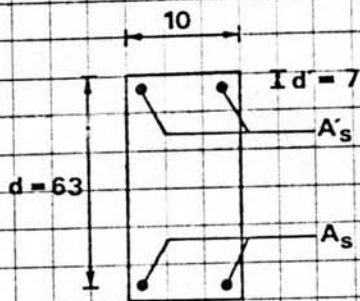


ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x70 ซม.  $d = 63$  ซม.  $d' = 7$  ซม.

$f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

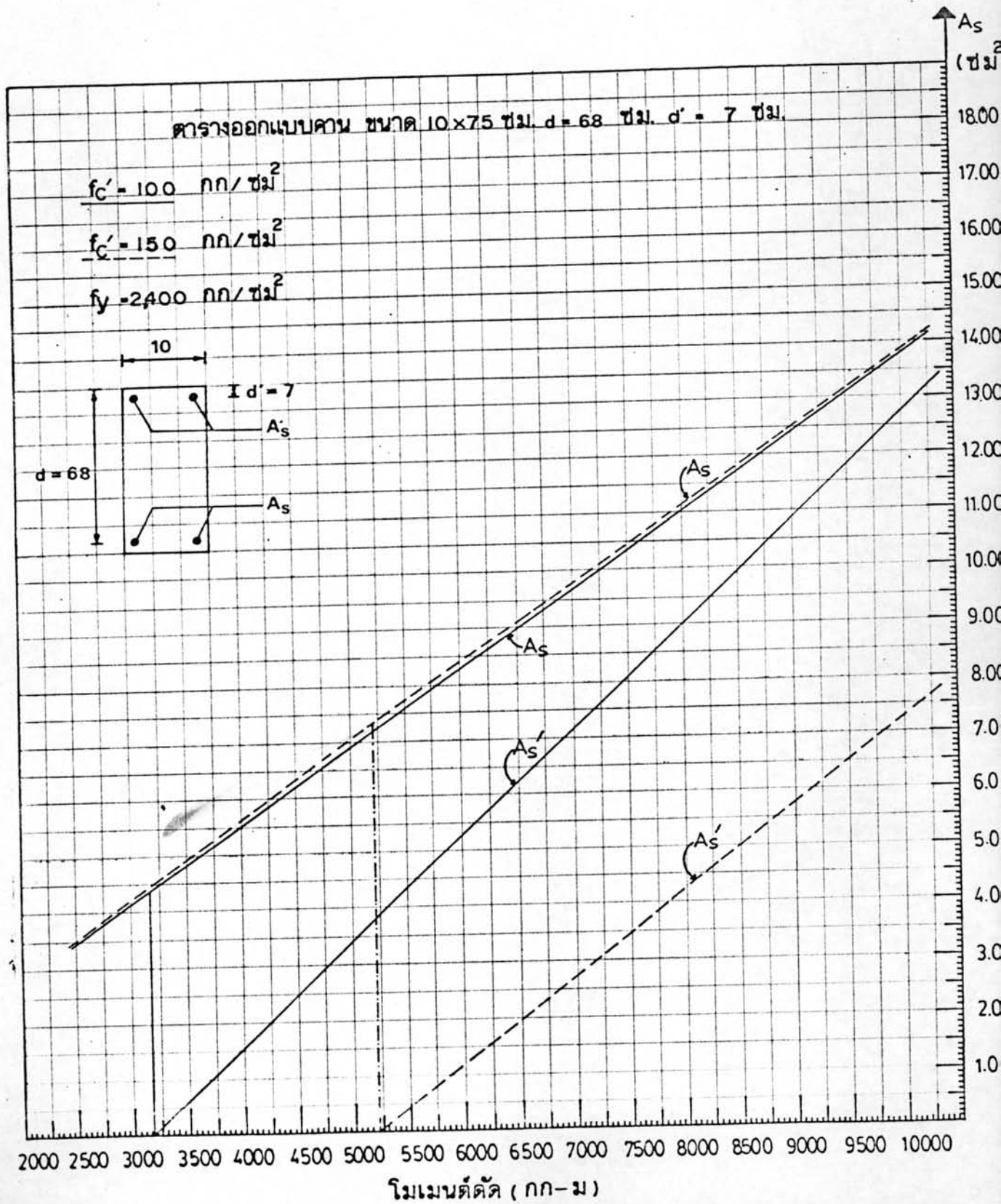
$f_y = 2400$  กก/ซม<sup>2</sup>



2000 2500 3000 3500 4000 4500 5000 5500 6000 6500 7000 7500 8000 8500 9000 9500 10000

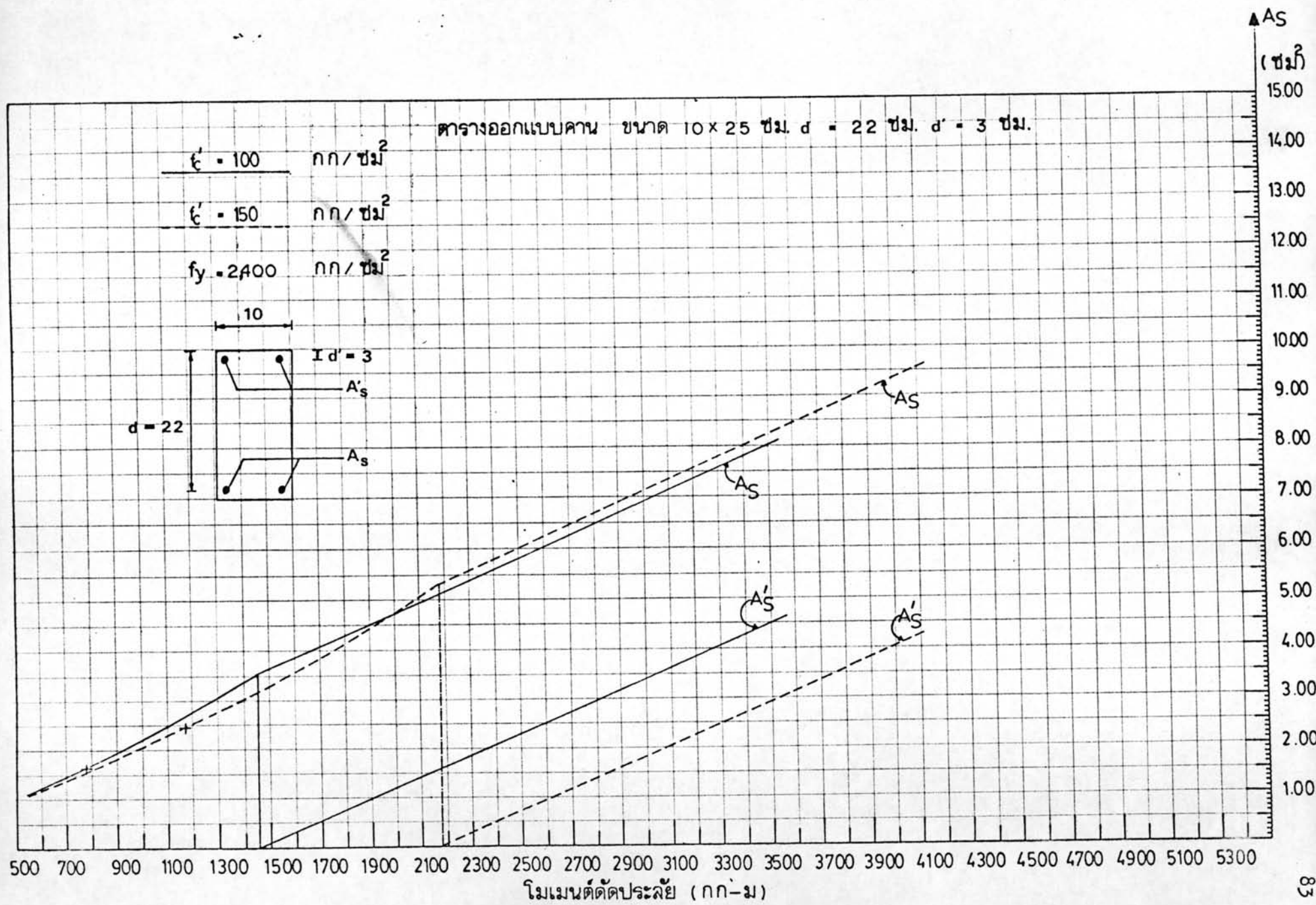
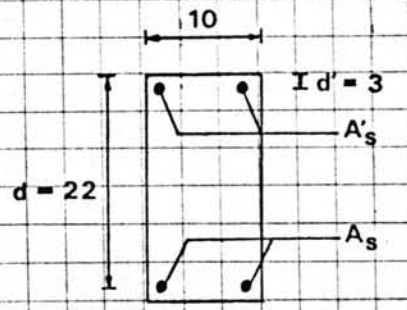
โมเมนต์ดัด (กก-ม)





$\epsilon' = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>  
 $\epsilon' = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>  
 $f_y = 2400$  กก/ซม<sup>2</sup>

ตารางออกแบบคาน ขนาด 10 x 25 ซม.  $d = 22$  ซม.  $d' = 3$  ซม.

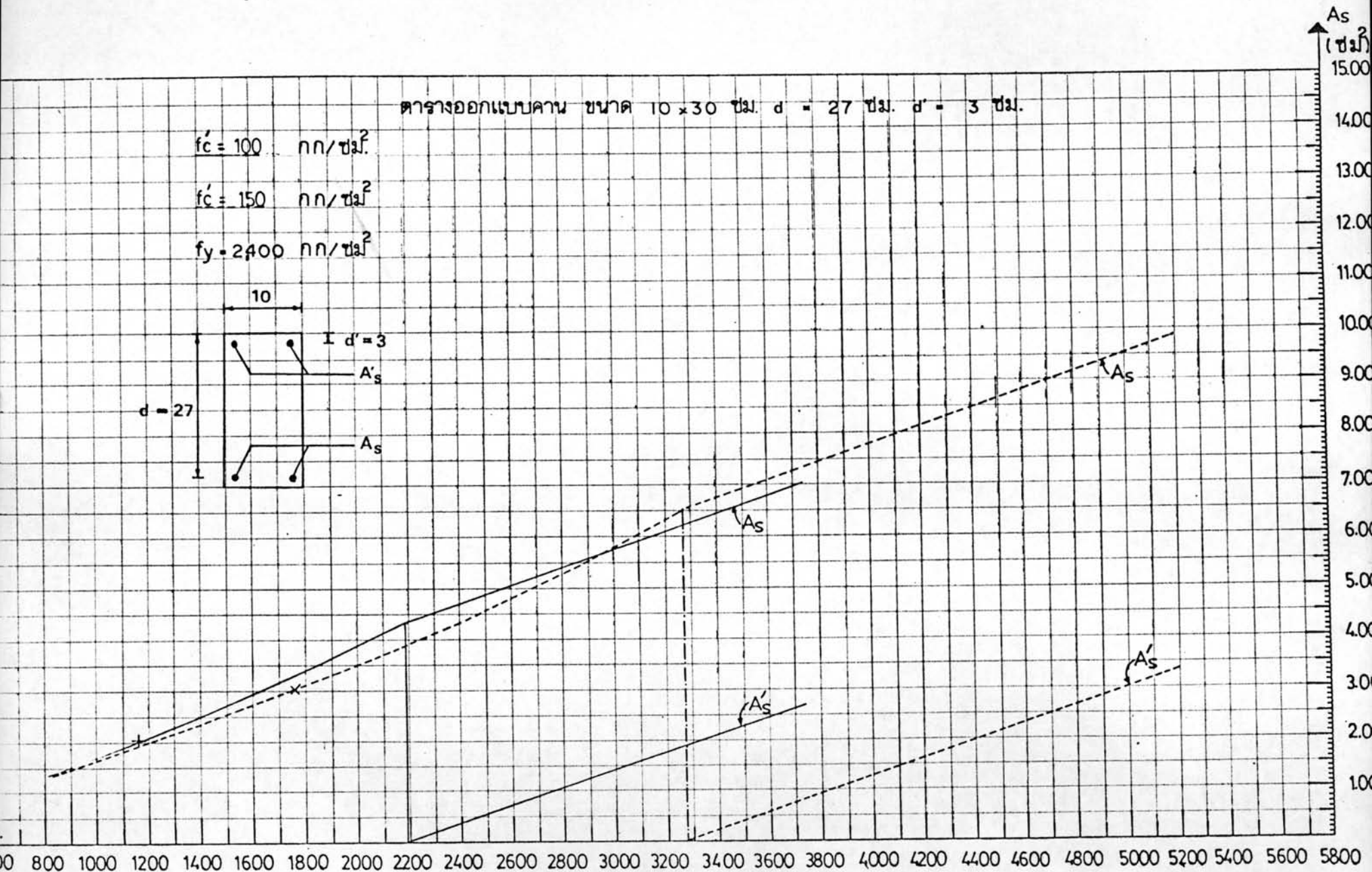
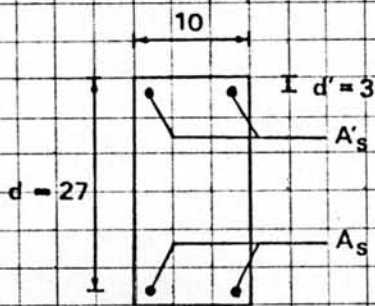


ตารางออกแบบคาน ขนาด  $10 \times 30$  ซม.  $d = 27$  ซม.  $d' = 3$  ซม.

$f'_c = 100$  กก/ซม.<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก/ซม.<sup>2</sup>

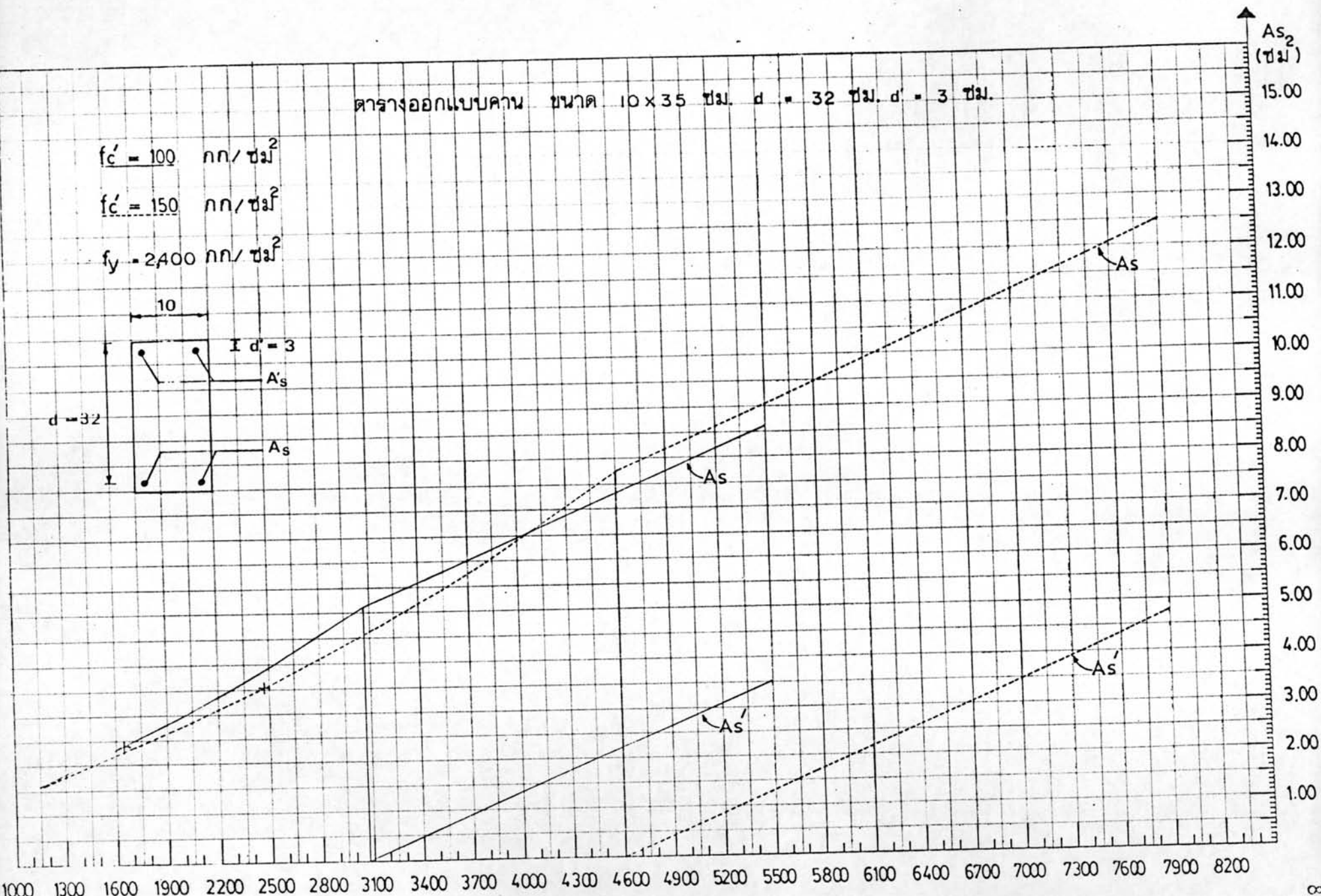
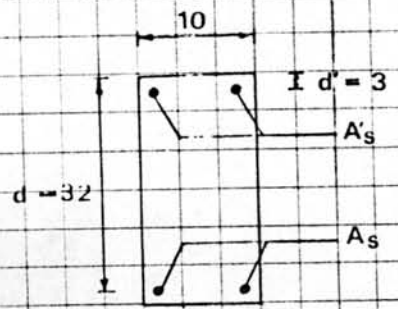
$f_y = 2400$  กก/ซม.<sup>2</sup>



โมเมนต์ดัดประลัย ( กก-ม )

ตารางออกแบบคาน ขนาด 10 x 35 ซม.  $d = 32$  ซม.  $d' = 3$  ซม.

$f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>  
 $f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>  
 $f_y = 2400$  กก/ซม<sup>2</sup>



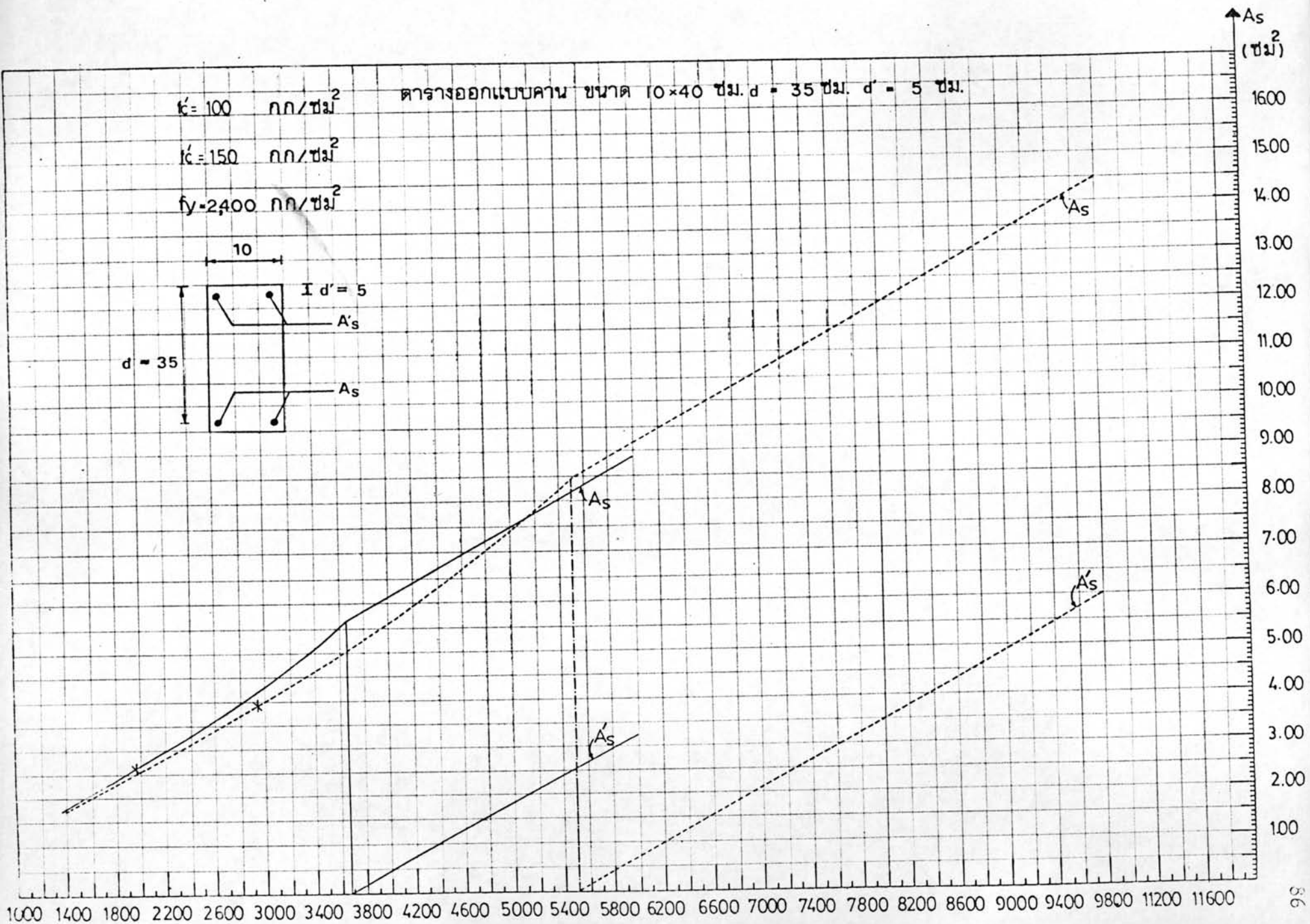
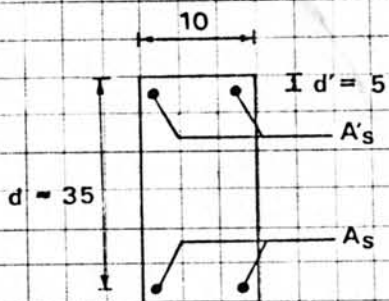
โมเมนต์ดัดประลัย (กก-ม)

$k' = 100 \text{ กก./ซม.}^2$

$k'c = 150 \text{ กก./ซม.}^2$

$f_y = 2,400 \text{ กก./ซม.}^2$

ตารางออกแบบคาน ขนาด  $10 \times 40 \text{ ซม.}$   $d = 35 \text{ ซม.}$   $d' = 5 \text{ ซม.}$

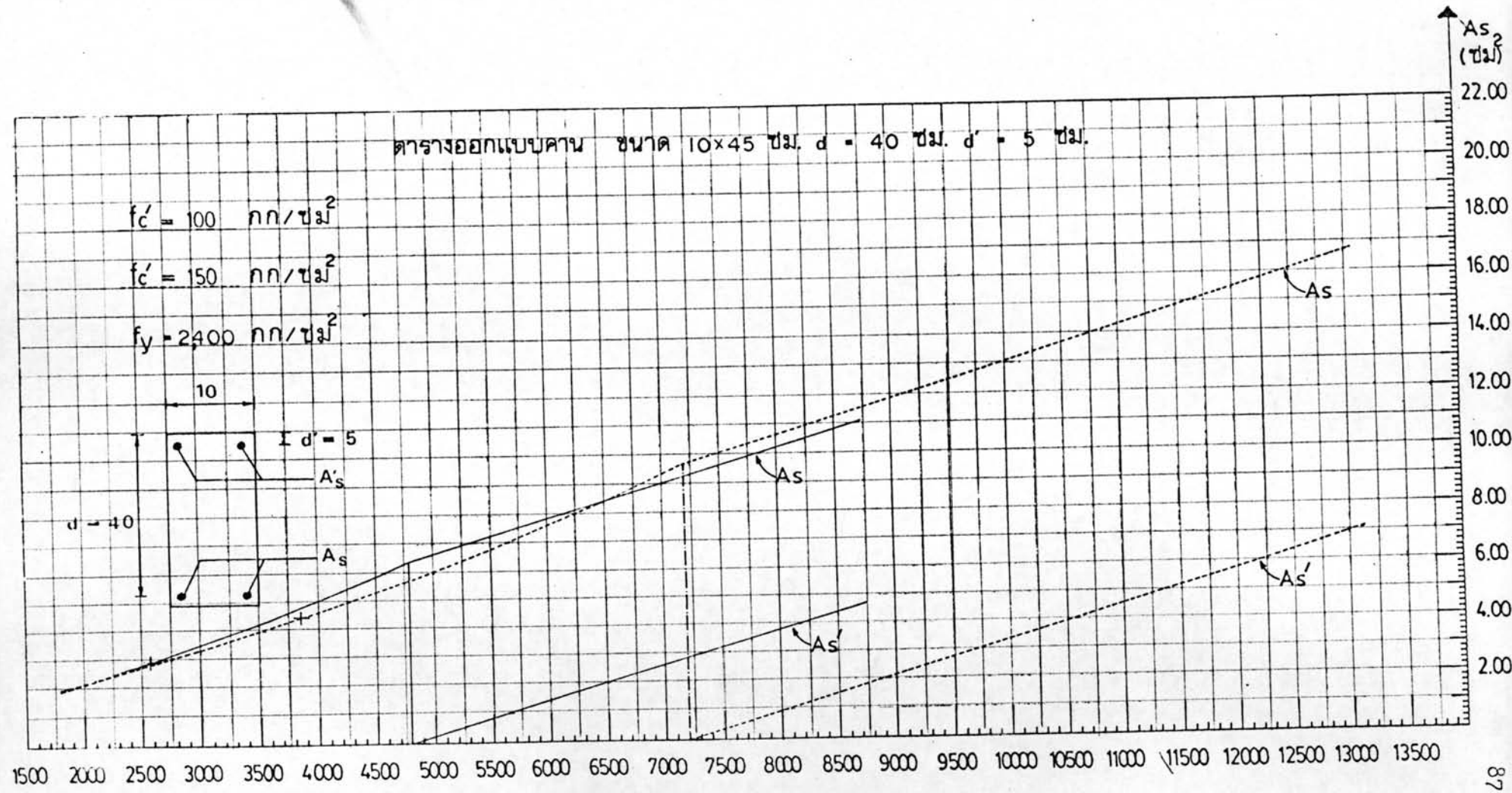
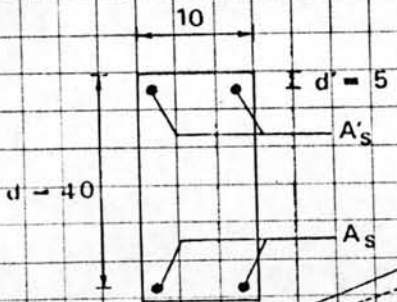


ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x45 ซม.  $d = 40$  ซม.  $d' = 5$  ซม.

$f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_y = 2400$  กก/ซม<sup>2</sup>

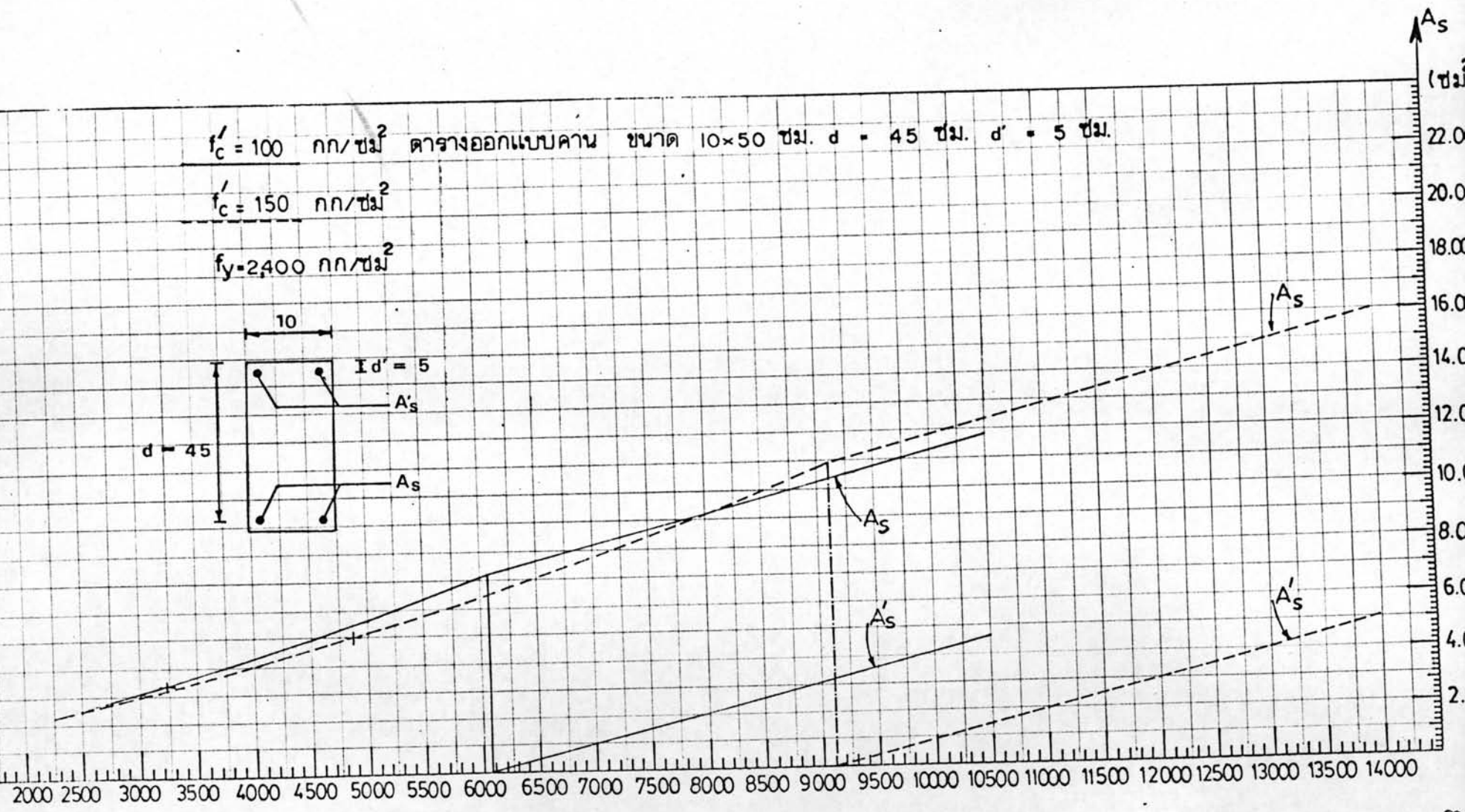
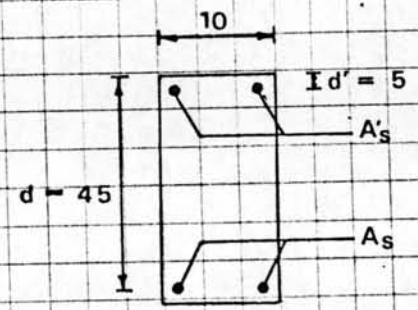


โมเมนต์ดัดประลัย (กก-ม)

$f'_c = 100$  กก./ซม.<sup>2</sup> ตารางออกแบบคาน ขนาด 10×50 ซม.  $d = 45$  ซม.  $d' = 5$  ซม.

$f'_c = 150$  กก./ซม.<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก./ซม.<sup>2</sup>



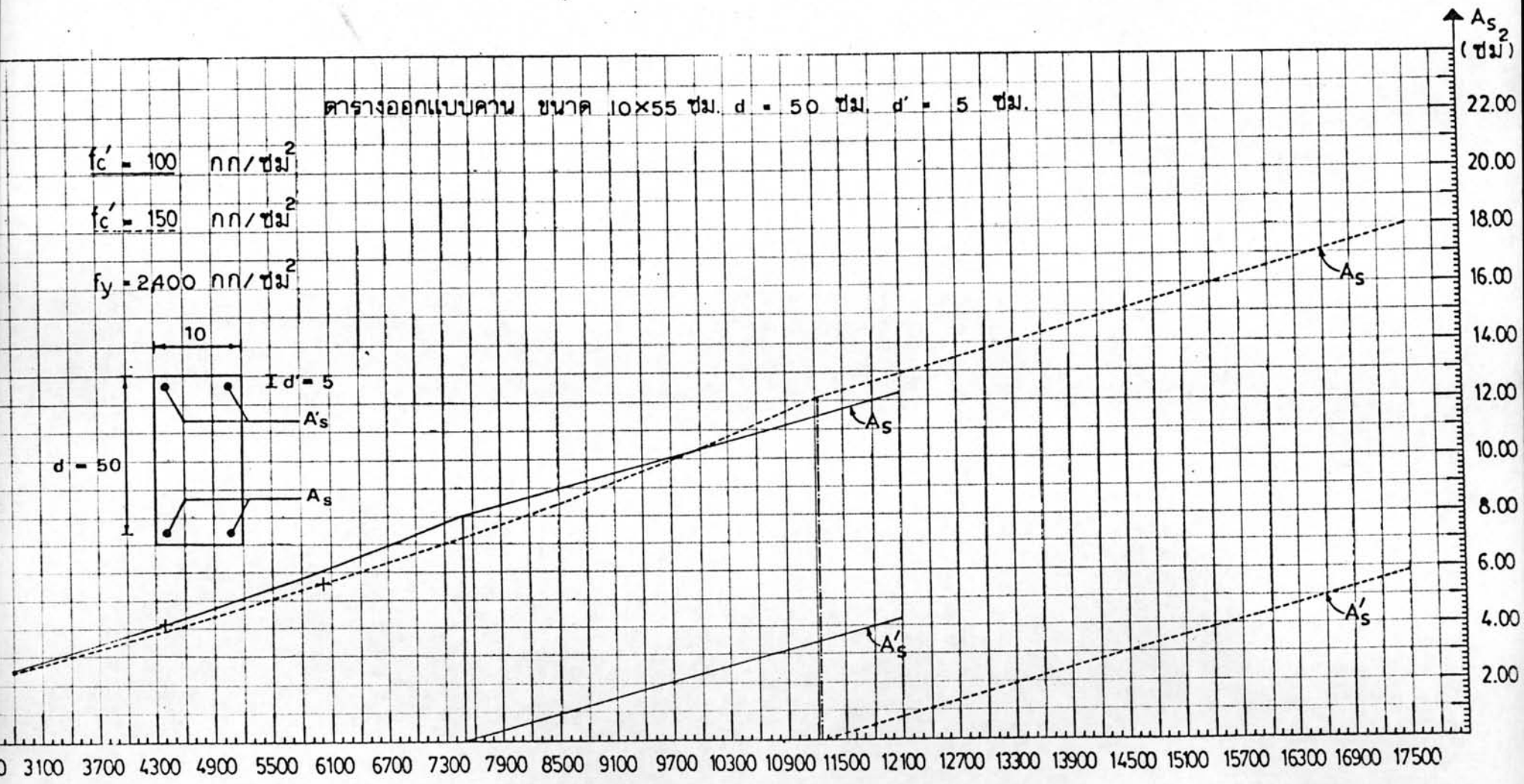
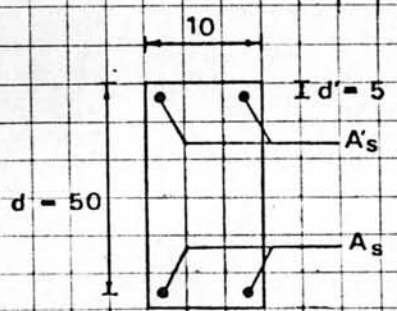
โมเมนต์ดัดประลัย ( กก-ม )

ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x55 ซม.  $d = 50$  ซม.  $d' = 5$  ซม.

$f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f_y = 2400$  กก/ซม<sup>2</sup>

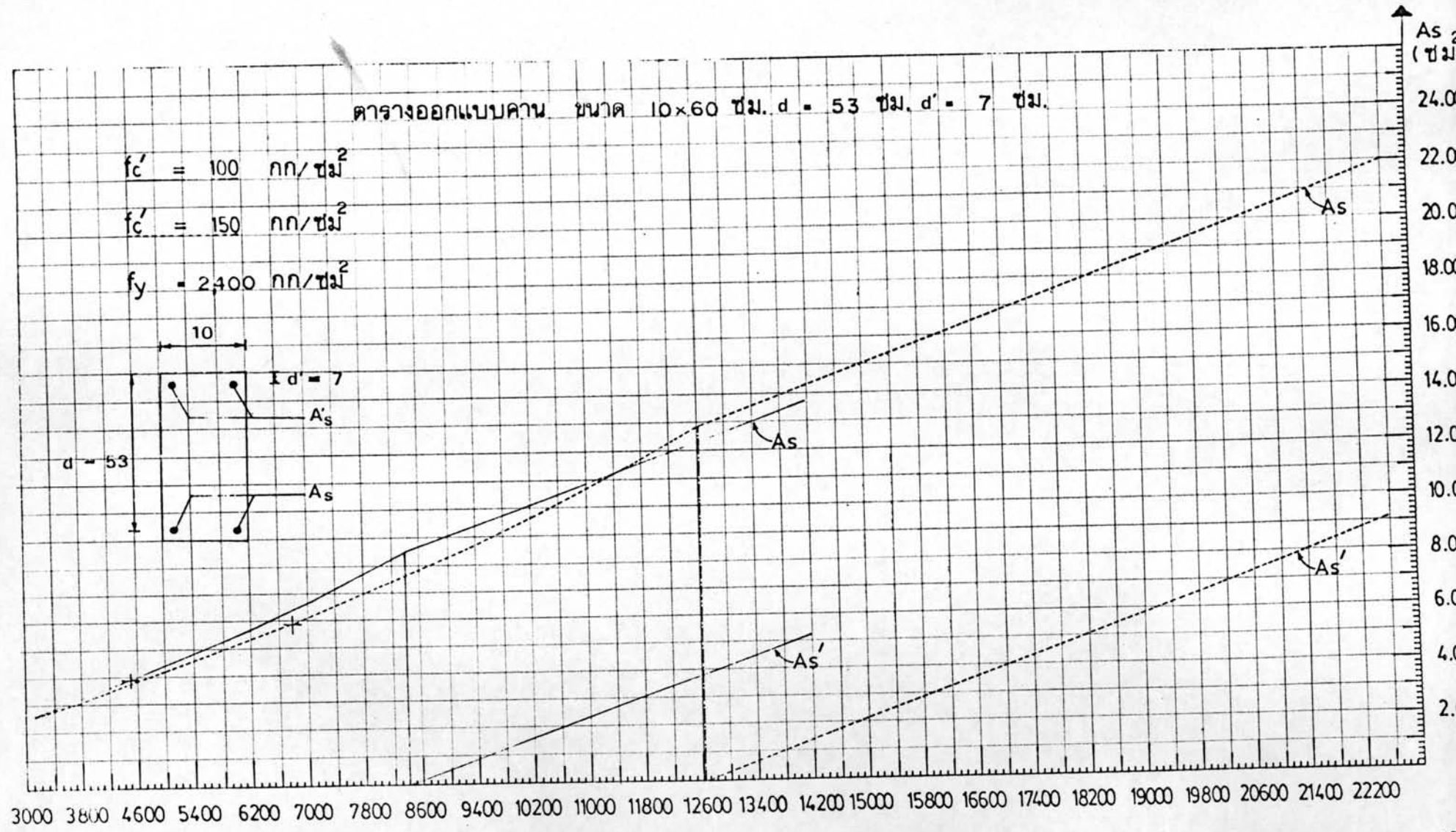
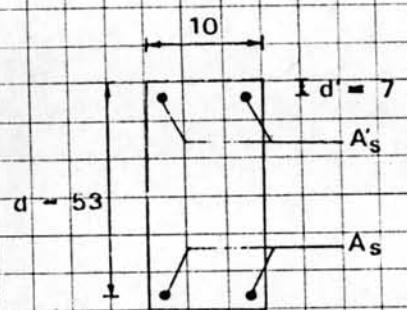


โมเมนต์ดัดประลัย ( กก-ม )



ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x60 ซม. d = 53 ซม. d' = 7 ซม.

$f'_c = 100 \text{ กก/ซม}^2$   
 $f'_c = 150 \text{ กก/ซม}^2$   
 $f_y = 2,400 \text{ กก/ซม}^2$



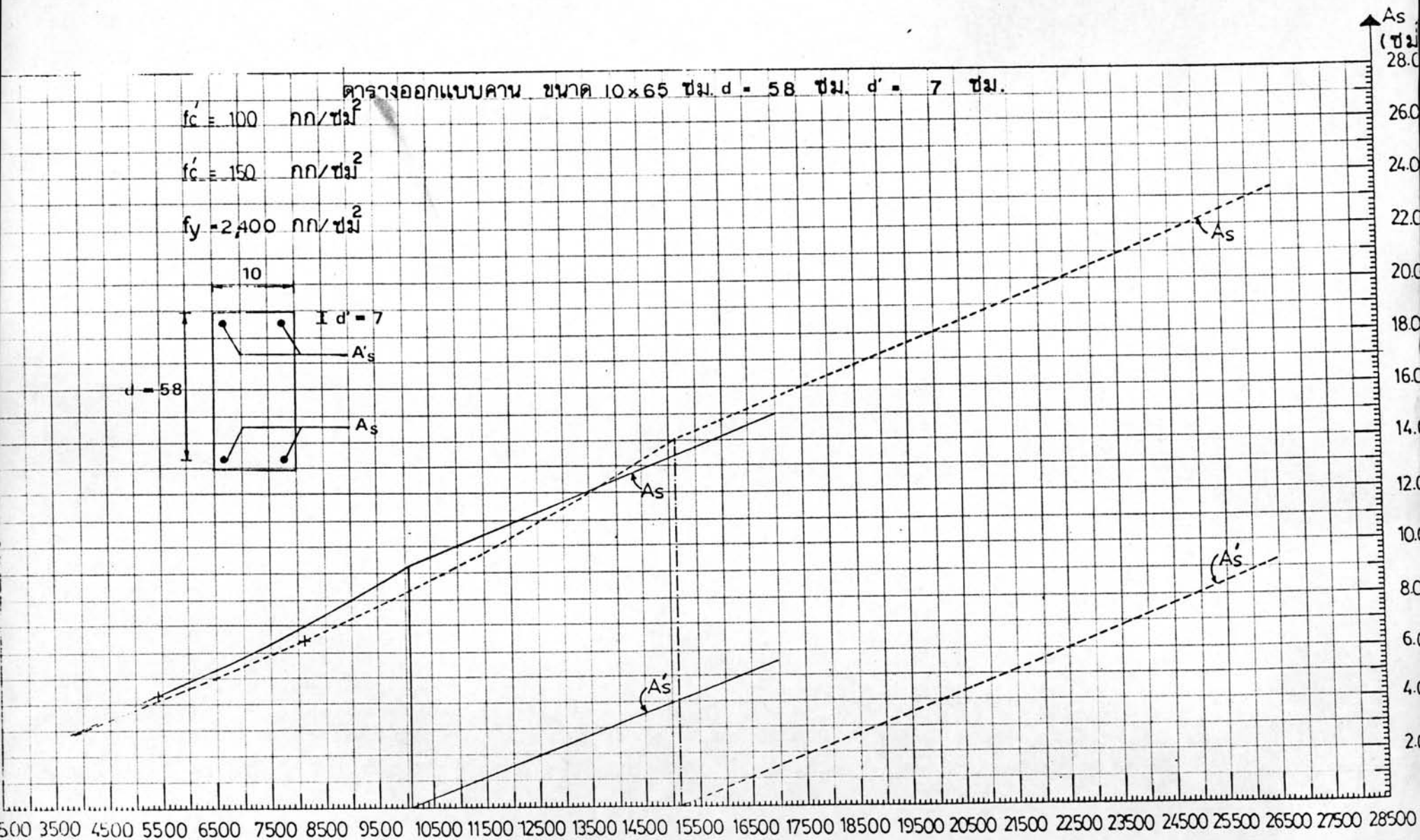
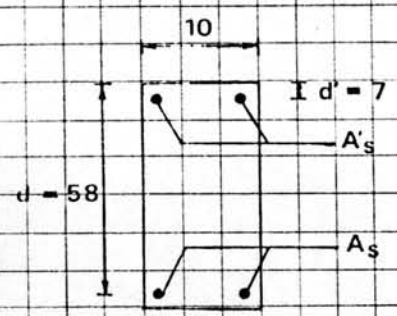
โมเมนต์ดัด (กก-ม)

ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x65 ซม.  $d = 58$  ซม.  $d' = 7$  ซม.

$f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>

$f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>

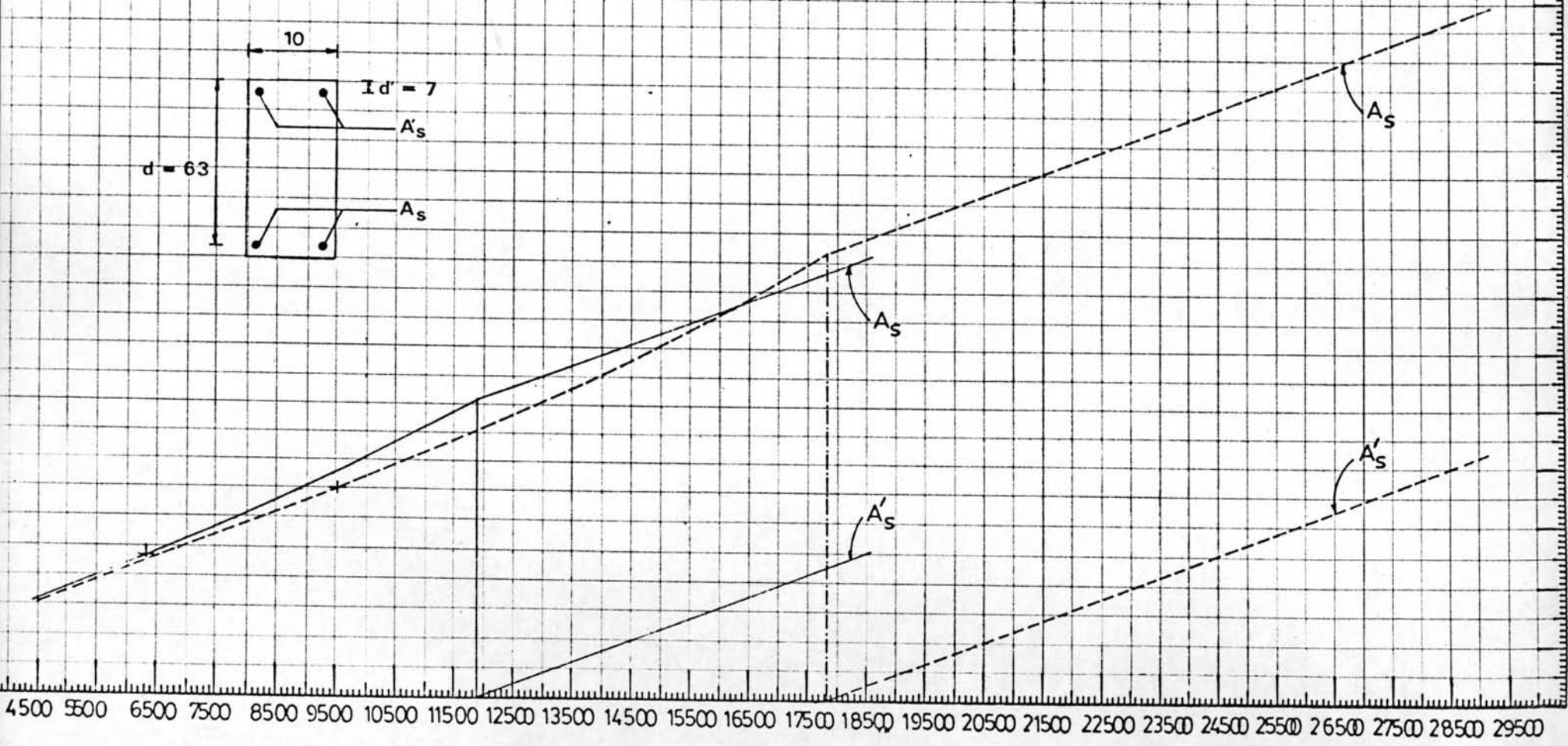
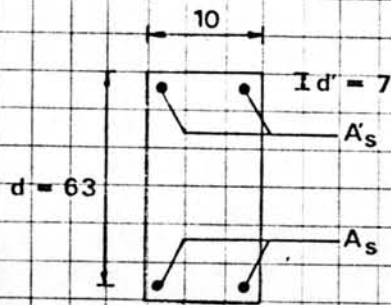
$f_y = 2,400$  กก/ซม<sup>2</sup>



$f'_c = 100$  กก./ซม.<sup>2</sup> ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x70 ซม.  $d = 63$  ซม.  $d' = 7$  ซม.

$f'_c = 150$  กก./ซม.<sup>2</sup>

$f_y = 2,400$  กก./ซม.<sup>2</sup>



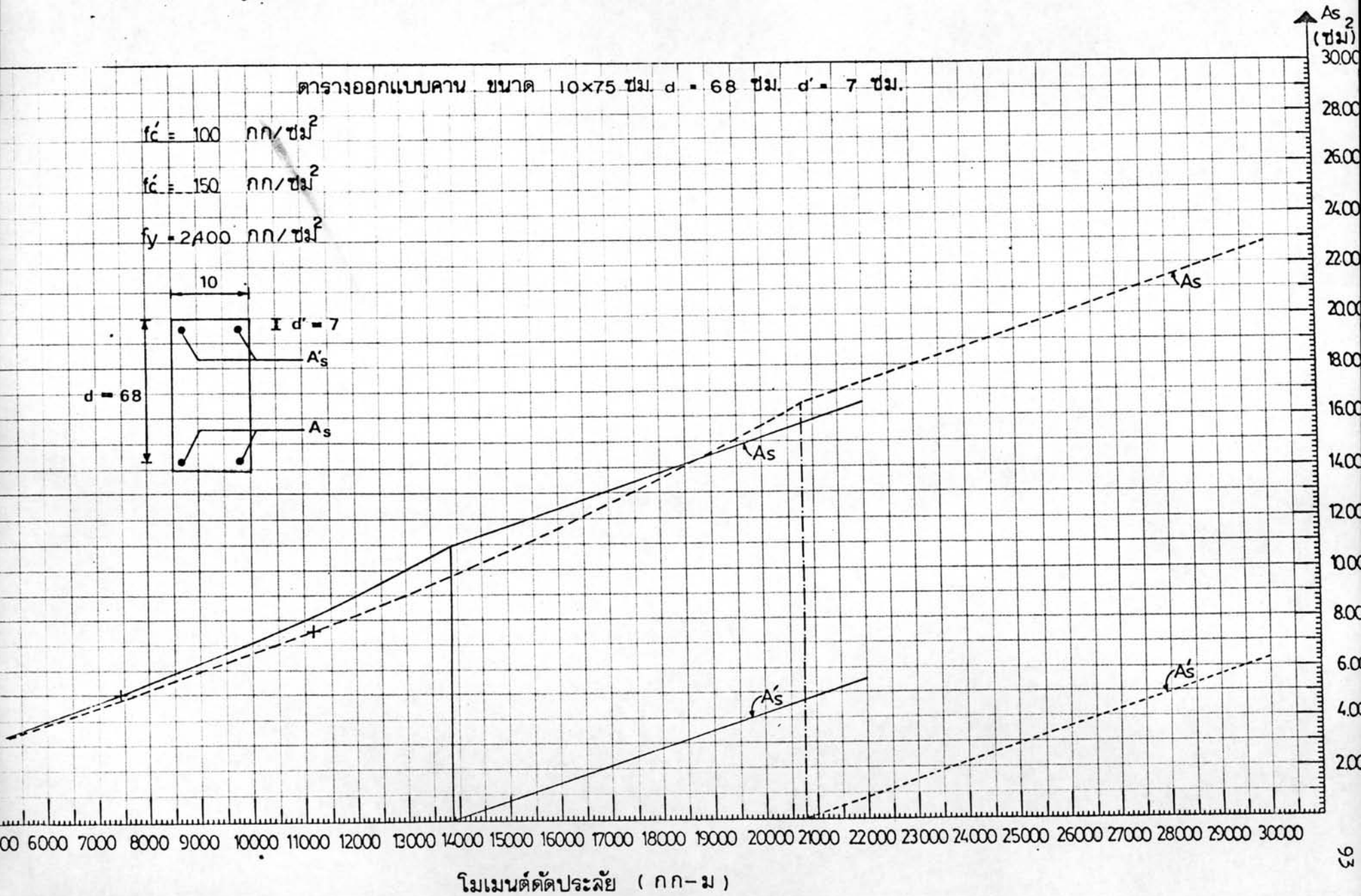
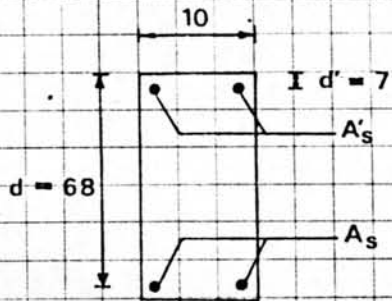
โมเมนต์ดัด/ระยะ ( กก-ม )

ตารางออกแบบคาน ขนาด 10x75 ซม.  $d = 68$  ซม.  $d' = 7$  ซม.

$$f'_c = 100 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f'_c = 150 \text{ กก./ซม.}^2$$

$$f_y = 2400 \text{ กก./ซม.}^2$$



การคำนวณ ค.



## ภาคผนวก ค.

## การออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงมิกประลัยโดยอาศัยกราฟสำเร็จ

เพื่อให้ผู้ออกแบบสามารถออกแบบคานคอนกรีตเสริมเหล็กรับแรงมิกได้สะดวก รวดเร็ว และถูกต้องตามสภาพที่เกิดขึ้นจริง จึงได้จัดสร้างกราฟสำหรับการออกแบบขึ้น เพื่อใช้ในการคำนวณหาปริมาณเหล็กเสริมทั้งสองทิศทางในคานคอนกรีตภายใต้แรงมิก แต่ละกราฟที่จัดสร้างขึ้นสามารถใช้คำนวณหาความต้านทานแรงมิกในภาวะสมมูลย์ หา ปริมาณเหล็กเสริมตามยาว (แสดงด้วยเส้นหนักร) และปริมาณเหล็กดัดที่ต่องการ (แสดงด้วยเส้นประ)

กราฟต่าง ๆ ดังกล่าวจัดสร้างขึ้นโดยอาศัยพื้นฐานดังนี้

- 1) จากพื้นฐานทางทฤษฎีโคะโกนอด คอมเพรชัน พีล
- 2) กราฟที่จัดสร้างขึ้นสามารถใช้คำนวณออกแบบเฉพาะเมื่อปริมาณเหล็กเสริม ทั้งสองทิศทางมีค่าเท่ากับหรือต่ำกว่าเหล็กเสริมในภาวะสมมูลย์
- 3) ปริมาณร้อยละของทั้งเหล็กเสริมตามยาวและเหล็กดัดตั้งใหม่มีค่าเท่ากัน
- 4) ค่าของ  $x, y$  คือระยะห่างระหว่างจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาว ที่มุมทั้ง 4 ของเหล็กดัดตั้งของคานคอนกรีตในทางคานกว้างและคานลึก ตามลำดับ
- 5) กราฟที่จัดสร้างขึ้นใช้ได้กับกำลังคานของเหล็กเสริมมีค่าเท่ากับ 2,000 2,400 และ 2,800 กก/ซม<sup>2</sup> และให้มีค่าเท่ากันทั้งในเหล็กเสริมตาม ยาวและเหล็กดัดตั้ง
- 6) ความต้านทานแรงอัดประลัยของคอนกรีตที่ใช้ในการจัดสร้างกราฟมีค่าเท่ากับ 100 กก/ซม<sup>2</sup> ส่วนค่าความคานทานแรงอัดประลัยอื่น ๆ ของคอนกรีต สามารถคิดแปลงให้ใช้ได้โดยแปลงแรงมิกประลัยให้เข้ากับกราฟ จากนั้น จึงถอยแปลงเนื้อที่เหล็กเสริมที่ได้ให้สัมพันธ์กับค่าจริงอีกครั้งหนึ่ง แต่ทั้งนี้ ค่าความคานทานแรงอัดประลัยของคอนกรีตต้องมีค่าไม่เกิน 280 กก/ซม<sup>2</sup>
- 7) สำหรับค่าอัตราส่วนของ  $y$  ต่อ  $x$  ที่ไม่สัมพันธ์กับกราฟที่จัดสร้างขึ้น ก็ให้ใช้วิธี Interpolate หากได้จากกราฟที่มีอยู่

### การวิเคราะห์

เหล็กเสริมในทั้งสองทิศทางในภาวะสมดุขยเมื่อวิเคราะห์โดยอาศัย ทฤษฎี  
โคอะโกนอล คอมเพรสชัน ฟีด (23) จะได้

ปริมาณเหล็กเสริมตามยาวที่สภาวะสมดุขย

$$P_{stb} = \frac{0.85f'_c k_1 / 2}{f_{sy}} \cdot \frac{6,120}{f_{sy} + 6,120(1-k_1/2)} \quad \dots \text{ค.1}$$

ปริมาณเหล็กดกทั้งที่สภาวะสมดุขย

$$P_{wb} = \frac{0.85f'_c k_1 / 2}{f_{wy}} \cdot \frac{6,120}{f_{wy} + 6,120(1-k_1/2)} \frac{P_o}{P_w} \quad \dots \text{ค.2}$$

ถ้าให้  $P_o = P_w$  และ  $f_{sy} = f_{wy} = f_y$

$$\text{ดังนั้น } P_{stb} = P_{wb} = \frac{0.85f'_c k_1 / 2}{f_y} \cdot \frac{6,120}{f_y + 6,120(1-k_1/2)} \quad \dots \text{ค.3}$$

ถ้ากำลังต้านทานแรงอัดประลัยของ คอนกรีตมีค่าน้อยกว่า 280 กก/ซม<sup>2</sup>  
ค่าของ  $k_1$  จะมีค่าเท่ากับ 0.85<sup>(13)</sup> ดังนั้นเมื่อแทนค่า  $k_1 = 0.85$  ลงใน  
สมการ ค.3 จะได้

$$P_{stb} = P_{wb} = \frac{2,211f'_c}{(f_y + 3,519)f_y} \quad \dots \text{ค.4}$$

$$\text{แต่ปริมาณเหล็กเสริมตามยาว } p_s^{(23)} = \frac{A_{st}}{xy} \text{ หรือ } A_{st} = p_s xy \quad \dots \text{ค.5}$$

$$\text{และปริมาณเหล็กดกทั้ง } p_w = \frac{2(x+y)A_w}{xys} \text{ หรือ } A_w = \frac{p_w xys}{2(x+y)} \quad \dots \text{ค.6}$$

อาศัยสมการ ค.10, ค.12, ค.5 และ ค.6 จะได้สมการใช้คำนวณหาค่า  
ความต้านทานแรงบิดประลัยดังสมการ

$$T_u = 2xy \sqrt{\left[ \frac{A_{st} f_s}{2(x+y)} \right] \left[ \frac{A_w f_w}{s} \right]} \quad \dots \text{ค.7}$$

ในที่นี้  $x, y$  (25) เป็นความยาวของเส้นที่ไต่จากการต่อแนวจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่ทรงมุมของเหล็กดัดทั้งในคานคองกรีตทางตามสันและความยาวตามลำค้ำ และเมื่อปริมาณรอยละของเหล็กเสริมตามยาวเท่ากับปริมาณรอยละของเหล็กดัดหรือ  $p_{st} = p_w$  ดังนั้น แรงบิดคานตามระดับจะมีค่าเท่ากับ

$$T_u = \frac{xy A_{st} f_y}{(x+y)} = \frac{2xy A_w f_y}{s} \quad \dots \text{ค.8}$$

แทนค่าสมการ ค.5 หรือสมการ ค.6 ลงในสมการ ค.8 จะได้แรงบิดคานตามแรงบิดระดับในสภาวะสมดุล  $T_{ub} = \frac{2,211x^2 y f'_c}{(x+y)} \cdot \frac{f'_c}{(3,519 + f_y)}$  ...ค.9

สมการ ค.8 และสมการ ค.9 เป็นสมการที่ใช้ในการจัดสร้างกราฟสำหรับการออกแบบ

ตัวอย่างการคำนวณ จงออกแบบคานคองกรีตขนาดรูปตัด  $20 \times 45$  ซม. รับแรงบิดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุกทุกองที่มีค่าเท่ากับ 850 กก-ม โดยทฤษฎีกำลังระดับกำหนดให้  $f'_c = 150$  กก/ซม<sup>2</sup>  $f_y = 2,400$  กก/ซม<sup>2</sup>

วิธีทำ	$T_u$ ระดับ = $850 \times 2$	=	1,700	กก-ม
	$T_u$ ออกแบบ = $1,700 / 0.85$	=	2,000	กก-ม

ให้เส้นเชื่อมจุดศูนย์กลางของเหล็กเสริมตามยาวที่มุมทั้ง 4 ของเหล็กดัดทั้งมีขนาด  $x, y$  เท่ากับ  $12.50 \times 37.50$  ซม. หรือ  $y = 3x$  และตามข้อกำหนด ACI 318-71 ข้อกำหนดที่ 11.8.3 ให้ระยะเรียงของเหล็กดัดต้องไม่เกิน 30 ซม หรือ  $(x+y)/4 = (12.50 + 37.50)/4 = 12.50$  ซม. ∴ ใช้  $s = 12.50$  ซม

แปลง  $T_u$  ออกแบบให้เข้ากับกราฟ

$T_u (f'_c = 100)$	=	$2,000 / 1.50$	กก-ม
	=	1,333.30	กก-ม

หาแรงบิดคานตามระดับในสภาวะสมดุลจากกราฟคานชาย

$T_{ub} (f'_c = 100)$	=	$1,660 > 1,333.30$	กก-ม
-----------------------	---	--------------------	------



และจากกราฟคานขามือจะได้

$$A_{st} x = 74 \quad \text{ม}^3$$

$$\frac{A_w x^2}{s} = 9.30 \quad \text{ม}^3$$

แต่ในการออกแบบจริง  $f'_c$  มีค่าเท่ากับ 150 กก/ม<sup>2</sup>

$$\therefore A_{st} x = 74 \times 1.5 \text{ หรือ } A_{st} = \frac{74 \times 1.5}{12.50} \quad \text{ม}^2$$

$$= 8.80 \quad \text{ม}^2$$

$$\frac{A_w x^2}{s} = 9.30 \times 1.5 \text{ หรือ } A_w = \frac{9.30 \times 1.5 \times 12.50}{12.50^2} \quad \text{ม}^2$$

$$= 1.12 \quad \text{ม}^2$$

ตรวจสอบกับวิธีของ ACI 318-71

หิมิตีของเส้นแกนกลางของเหล็กทุกตัวมีขนาด  $x_1 \cdot y_1$  เท่ากับ 15 x 40 มม

$$\therefore \alpha_t = 0.66 + 0.33 \left( \frac{y_1}{x_1} \right) = 0.66 + 0.33 \left( \frac{40}{15} \right)$$

$$= 1.54 > 1.50$$

$$v_{tu} = \frac{3T_u}{\phi b^2 h} = \frac{3 \times 1,700 \times 100}{0.85 \times 20^2 \times 45} \quad \text{กก/ม}^2$$

$$= 33.33 < (3.18/\sqrt{150} = 38.95)$$

$$\therefore A_w = \frac{(v_{tu} - v_{tc}) s b^2 h}{3 \alpha_t x_1 y_1 f_y}$$

$$\text{ใช้ } \alpha_t = 1.50 \text{ และ } v_{tc} = 0.636/\sqrt{150} = 7.79$$

$$\therefore s > (x_1 + y_1)/4 = (15 + 40)/4 = 13.75 \text{ ใช้ } s = 12.50 \text{ มม}$$

$$\therefore A_w = \frac{(33.33 - 7.79) \times 12.50 \times 20^2 \times 45}{3 \times 1.50 \times 15 \times 40 \times 2,400} \quad \text{ม}^2$$

$$= 0.89 \quad \text{ม}^2$$

$$A_{st} = \frac{2A_w(x_1+y_1)}{s} = 2 \times 0.89 \left( \frac{15+40}{12.50} \right) \text{ ซม}^2$$

$$= 7.83 \text{ ซม}^2$$

ตรวจสอบ

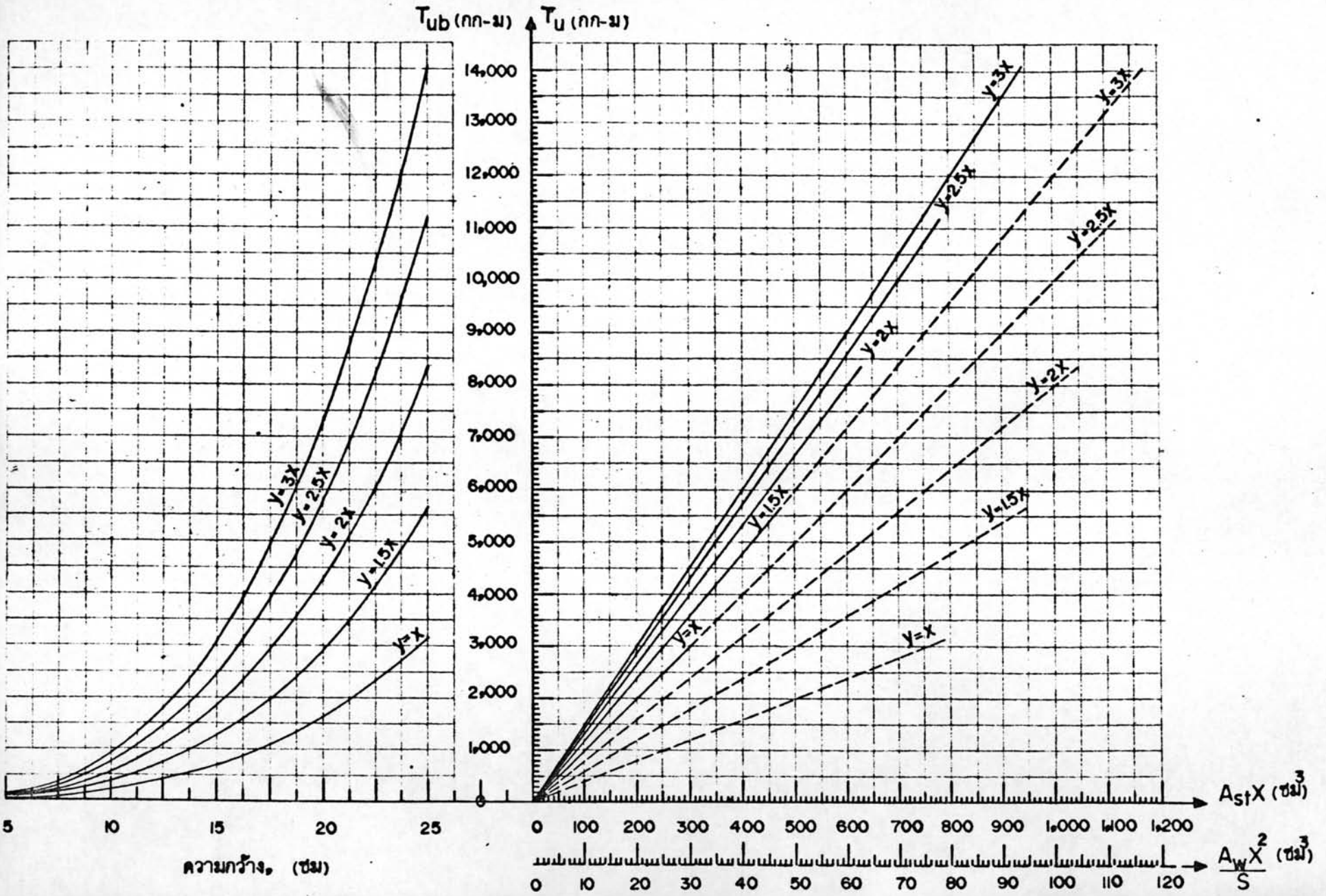
$$A_{st} = \left[ \frac{28.12 \text{ bs}}{f} - 2A_w \right] \frac{x_1+y_1}{s}$$

$$= \left[ \frac{28.12 \times 20 \times 12.50}{2,400} - 2 \times 0.89 \right] \frac{15+40}{12.50} < 7.83$$

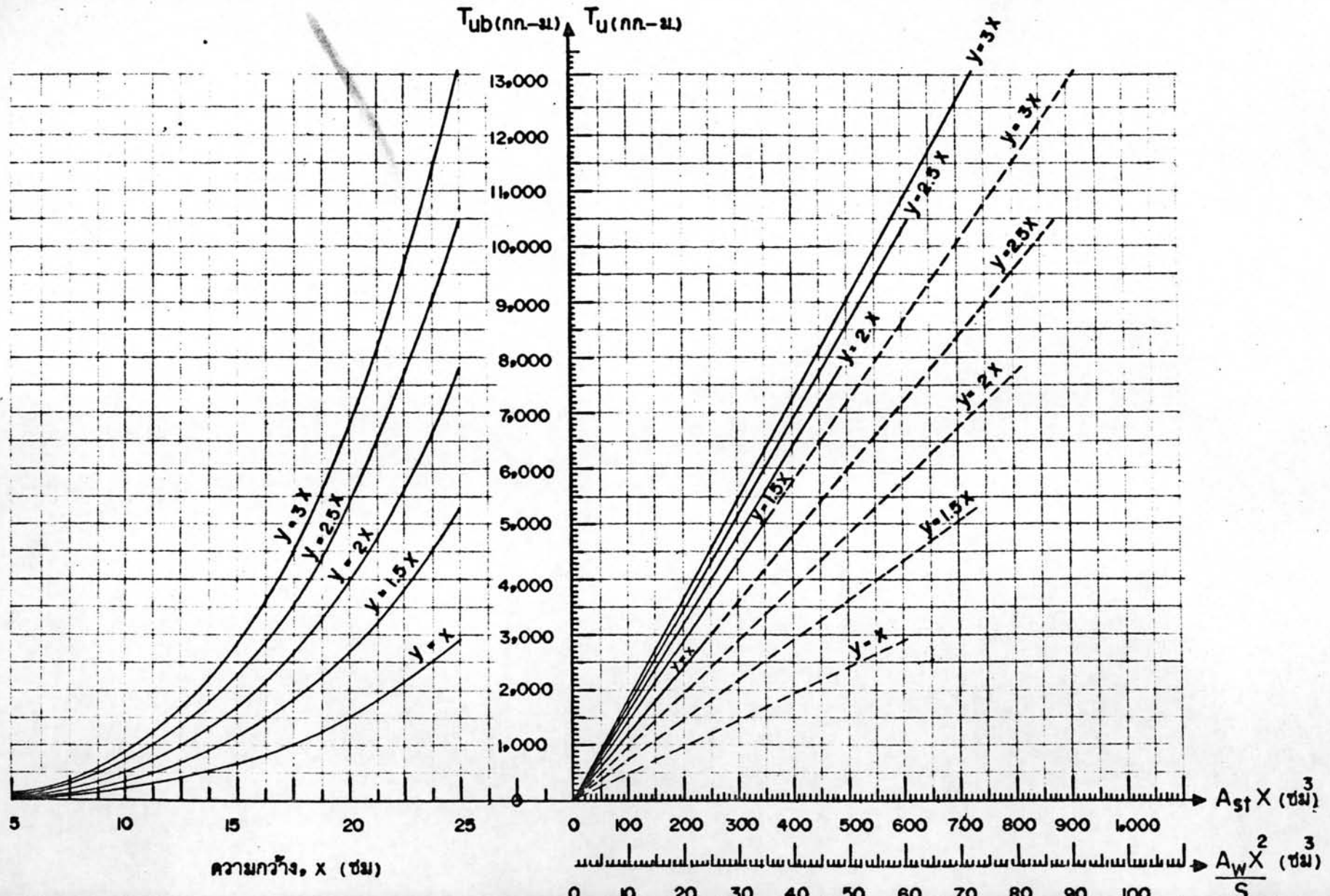
สรุปเหล็กเสริมในคานคอนกรีตใต้อเหล็กดัด  $\phi 12$  มม @ .125 c/c เหล็กเสริมตามยาว  $4\phi 15$  มม ที่มุมทั้งสี่ของเหล็กดัด และ  $2\phi 9$  มม ที่กึ่งกลางความลึกของเหล็กดัด เนื่องจากตามข้อกำหนด ACI 318-71 ข้อที่ 11.8.5 กำหนดให้ระยะห่างของเหล็กเสริมตามยาวต้องไม่เกิน 30 ซม.

จากการคำนวณด้วยวิธีการดังกล่าวจะเห็นได้ว่าการออกแบบโดยวิธีทางกราฟเมื่อเทียบกับวิธีของ ACI 318-71 อยู่ในชั้นปลอดภัย และเชื่อถือได้ ข้อสังเกตทำให้  $x = x_1$ ,  $y = y_1$  ปริมาณเหล็กเสริมที่คำนวณจากทั้ง 2 วิธี มีค่าใกล้เคียงกันมาก

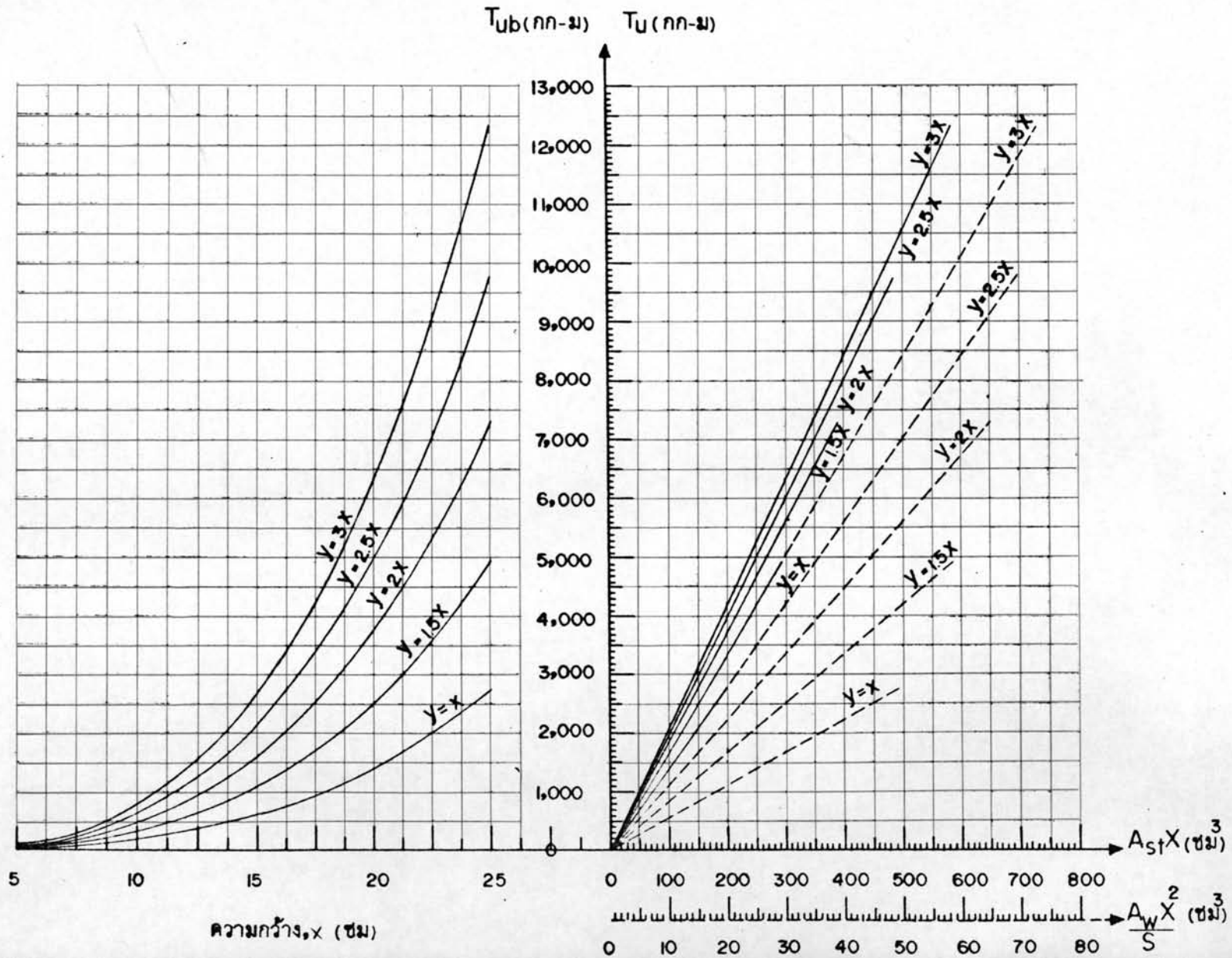
ตารางสำหรับออกแบบคานคอนกรีตรับแรงบิดประลัย  $f'_c = 100 \text{ กก./ซม}^2$   $f_y = 2,000 \text{ กก./ซม}^2$



ตารางสำหรับออกแบบคานคอนกรีตรับแรงบิดประลัย  $f'_c = 100 \text{ กก./ซม}^2$   $f_y = 2,400 \text{ กก./ซม}^2$



ตารางสำหรับออกแบบคานคอนกรีตรับแรงบิดประลัย  $f'_c = 100$  กก/ซม<sup>2</sup>  $f_y = 2,800$  กก/ซม<sup>2</sup>



ตารางที่ 2.1 คุณสมบัติของเหล็กเสริม

เหล็ก $\phi$ ( มม )	เส้นที่	พื้นที่ หน้าตัด ( ซม <sup>2</sup> )	แรงดึง คลาก ( กก )	แรงดึง ประลัย ( กก )	กำลังคลาก ( กก/ซม <sup>2</sup> )		กำลังดึงประลัย ( กก/ซม <sup>2</sup> )	
					แต่ละเส้น	เฉลี่ย	แต่ละเส้น	เฉลี่ย
6	1	0.244	945	1,320	3,873		5,410	
	2	0.264	990	1,370	3,750	3,788	5,189	5,253
	3	0.251	940	1,295	3,745		5,159	
9	1	0.564	2,000	3,050	3,546		5,408	
	2	0.564	2,100	3,100	3,723	3,528	5,496	5,346
	3	0.594	1,970	3,050	3,316		5,135	
12	1	1.126	3,450	4,850	3,064		4,307	
	2	1.126	3,500	4,800	3,108	3,044	4,263	4,284
	3	1.098	3,250	4,700	2,960		4,281	
15	1	1.788	4,700	6,900	2,629		3,859	
	2	1.781	4,500	6,850	2,527	2,621	3,846	3,842
	3	1.793	4,850	6,850	2,705		3,820	

ตารางที่ 2.2 กำลังต้านทานแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปทรงกระบอก

ลำดับที่	อายุ (วัน)	น้ำหนัก (กก)	แรงอัด ประลัย (กก)	พื้นที่ หน้าตัด (ซม <sup>2</sup> )	กำลังอัดประลัย (กก/ซม <sup>2</sup> )		คานที่ใช้
					แต่ละแท่ง	เฉลี่ย	
1	14	13.60	35,100	188.69	186.00		B <sub>0</sub> B <sub>1</sub>
2	14	13.75	33,500	188.69	177.50	170.60	
3	14	13.50	28,000	188.69	148.40		
1	14	13.80	37,300	188.69	197.70		B <sub>2</sub> B <sub>3</sub> B <sub>4</sub>
2	14	13.90	33,300	188.69	176.50	186.00	
3	14	13.70	34,700	188.69	183.90		
1	14	13.65	34,400	188.69	182.30		B <sub>6</sub> B <sub>7</sub> B <sub>8</sub>
2	14	13.80	39,100	188.69	207.20	212.70	
3	14	13.95	46,900	188.69	248.60		
1	14	13.58	47,000	188.69	249.10		B <sub>10</sub> B <sub>11</sub>
2	14	8.31	52,100	225.00	204.90*	223.90	B <sub>12</sub> B <sub>13</sub>
3	14	13.97	41,100	188.69	217.80		
1	14	13.46	43,500	188.69	230.50		B <sub>14</sub> B <sub>15</sub>
2	14	13.76	37,700	188.69	199.80	219.40	B <sub>16</sub> B <sub>17</sub>
3	14	13.49	43,000	188.69	227.90		

\* ได้จากการคูณความต้านทานแรงอัดประลัยของแท่งคอนกรีตรูปกลมมาตรฐานด้วยค่า

0.885

ตารางที่ 3.1 ขนาดรูปตัด กำลังอัดประลัยของคานคอนกรีตล้วนภายใต้แรงบิด

คาน	ขนาดรูปตัด b x h (ซม x ซม)	ความยาว (ซม)	กำลังอัด ประลัย (กก/ซม <sup>2</sup> )
B <sub>0</sub>	10 x 15	145	170.60
B <sub>4</sub>	10 x 15	145	186.00
B <sub>9</sub>	10 x 15	145	150.50
B <sub>11</sub>	10 x 15	145	223.90

ตารางที่ 3.2 ขนาดรูปตัดการเสริมเหล็ก และกำลังอัดประลัยของคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงบิด

คาน	ขนาดรูปตัด b x h (ซม x ซม)	ขนาดเหล็ก ลูกตั้ง x y (ซม x ซม)	เหล็กเสริม ตามยาว	เหล็กลูกตั้ง φ 6 มม	เนื้อที่หน้าตัด		กำลังอัด ประลัย (กก/ซม <sup>2</sup> )
					เหล็กเสริมตาม ยาว 1 เส้น (ซม <sup>2</sup> )	เหล็กลูกตั้ง 1 ซา (ซม <sup>2</sup> )	
B <sub>1</sub>	10 x 15	7.08 x 12.11	4 φ 9 มม	@ .10 c/c	0.587	0.269	170.60
B <sub>2</sub>	10 x 15	7.08 x 12.11	4 φ 12 มม	@ .10 c/c	1.110	0.269	186.00
B <sub>3</sub>	10 x 15	7.08 x 12.11	4 φ 6 มม	@ .10 c/c	0.269	0.269	186.00
B <sub>6</sub>	10 x 15	6.98 x 12.04	4 φ 6 มม	@ 075 c/c	0.285	0.285	212.70
B <sub>7</sub>	10 x 15	7.09 x 12.07	4 φ 12 มม	@ .075 c/c	1.130	0.289	212.70
B <sub>8</sub>	10 x 15	6.98 x 12.04	4 φ 9 มม	@ .075 c/c	0.652	0.291	212.70
B <sub>10</sub>	10 x 15	6.98 x 12.13	4 φ 12 มม	@ .05 c/c	1.130	0.287	223.90
B <sub>12</sub>	10 x 15	6.98 x 12.13	4 φ 9 มม	@ .05 c/c	0.643	0.282	223.90
B <sub>13</sub>	10 x 15	6.98 x 12.13	4 φ 6 มม	@ .05 c/c	0.286	0.288	223.90

หมายเหตุ ขนาดของเหล็กลูกตั้งจะวัดจากศูนย์กลางของเหล็กลูกตั้งด้านหนึ่งไปยังจุดศูนย์กลางของเหล็กลูกตั้งด้านตรงข้ามในทิศทางที่สั้นที่สุด



ตารางที่ 3.3 ขนาดรูปตัด การเสริมเหล็ก และกำลังอัดประลัยของคาน  
คอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงบิด ซึ่งทดลองโดย Thomas Hsu

คาน	ขนาดรูปตัด $b \times h$ (นิ้ว $\times$ นิ้ว)	ขนาดเหล็กดัด $x \times y$ (นิ้ว $\times$ นิ้ว)	เหล็กเสริม ตามยาว	เหล็กดัด (ระยะเรียง) (นิ้ว)	กำลังอัด ประลัย ปอนด์/นิ้ว <sup>2</sup>
N <sub>2</sub>	6 x 12	5.13 x 11.13	4 - 4#	2# @ 2.000	4,410
C <sub>4</sub>	10 x 10	8.50 x 8.50	4 - 6#	4# @ 3.875	3,940
K <sub>3</sub>	6 x 19.50	4.50 x 18.00	6 - 5#	4# @ 4.875	4,210
G <sub>5</sub>	10 x 20	8.50 x 18.50	4 - 8#	4# @ 3.375	3,900
B <sub>1</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 4#	3# @ 6.000	4,000
B <sub>2</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 5#	4# @ 7.125	4,150
B <sub>3</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 6#	4# @ 5.000	4,070
B <sub>4</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 7#	4# @ 3.625	4,430
B <sub>5</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 8#	4# @ 2.750	4,210
B <sub>6</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 9#	4# @ 2.250	4,180
M <sub>1</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 5#	3# @ 5.875	4,330
M <sub>2</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 6#	3# @ 4.125	4,430
M <sub>3</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 7#	4# @ 5.500	3,880
M <sub>4</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 8#	4# @ 4.125	3,850
M <sub>5</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	4 - 9#	4# @ 3.250	4,060
M <sub>6</sub>	10 x 15	8.50 x 13.50	6 - 8#	4# @ 2.750	4,260

หมายเหตุ ขนาดของเหล็กดัด  $x \times y$  จะวัดจากจุดศูนย์กลางของเหล็กดัดคานหนึ่ง  
ไปยังจุดศูนย์กลางของเหล็กดัดคานตรงข้ามในทิศทางที่สั้นที่สุด

ตารางที่ 3.4 ขนาดรูปตัด การเสริมเหล็ก และกำลังอัดประลัยของกาน  
คอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงค้ำ

กาน	ขนาดรูปตัด b x h (ซม x ซม)	เหล็กเสริม ตามยาว	เนื้อที่เหล็กเสริม ตามยาว (ซม <sup>2</sup> )	ความลึกประ สิทธิผล (ซม)	กำลังอัด ประลัย (กก/ซม <sup>2</sup> )
B <sub>14</sub>	10.20 x 15.25	2 $\phi$ 6 มม	0.578	12.95	219.40
B <sub>15</sub>	10.30 x 15.20	2 $\phi$ 9 มม	1.264	12.75	219.40
B <sub>16</sub>	9.80 x 15.60	2 $\phi$ 12 มม	2.266	13.00	219.40
B <sub>17</sub>	10.00 x 15.00	2 $\phi$ 15 มม	3.520	12.25	219.40

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดสอบของคานคอนกรีตล้วน

คาน	$T_u$ (กก-ซม)	$T_u^{(1)}$ (กก-ซม)	$T_u^{(2)}$ (กก-ซม)	$T_u^{(3)}$ (กก-ซม)	$T_u/T_u^{(1)}$	$T_u/T_u^{(2)}$	$T_u/T_u^{(3)}$	$e_u$ เรเดียน/ซม	$e_u^{(1)}$ เรเดียน/ซม	$e_u/e_u^{(1)}$
B <sub>0</sub>	13,297	13,727	9,006	15,162	0.97	1.48	0.88	$57.25 \times 10^{-6}$	$53.90 \times 10^{-6}$	1.06
B <sub>4</sub>	14,353	14,128	9,404	15,832	1.02	1.53	0.91	$62.00 \times 10^{-6}$	$53.90 \times 10^{-6}$	1.15
B <sub>9</sub>	12,304	13,165	8,459	14,241	0.93	1.45	0.86	$45.00 \times 10^{-6}$	$53.90 \times 10^{-6}$	0.83
B <sub>11</sub>	15,053	15,029	10,318	17,370	1.00	1.46	0.87	$57.00 \times 10^{-6}$	$53.90 \times 10^{-6}$	1.06

- หมายเหตุ 1)  $T_u, e_u$  เป็นค่าที่ได้จากการทดลอง  
 2)  $T_u^{(1)}, e_u^{(1)}$  คำนวณจากทฤษฎีสี่เหลี่ยมคางหมู  
 3)  $T_u^{(2)}$  คำนวณจากทฤษฎีสี่เหลี่ยมคางหมู  
 4)  $T_u^{(3)}$  คำนวณจากทฤษฎีสี่เหลี่ยมคางหมู

ตารางที่ 5.2 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์จากทฤษฎี  
สลิว เบนดิง

คาบ	$A_w$ (ซม <sup>2</sup> )	$A_s$ (ซม <sup>2</sup> )	$T_u$ ทดลอง (กก-ซม)	$T_u$ คำนวณ (กก-ซม)	$\frac{T_u \text{ ทดลอง}}{T_u \text{ คำนวณ}}$	$\frac{p_s}{p_{sb}}$	$\frac{p_w}{p_{wb}}$	ลักษณะการชำรุด	
								เหล็กแกน	เหล็กดัด
B <sub>1</sub>	0.269	1.174	15,789	14,330	1.10	1.66	1.04	o	u
B <sub>2</sub>	0.269	2.220	17,984	14,789	1.22	2.42	1.07	o	o
B <sub>3</sub>	0.269	0.538	13,704	13,261	1.03	0.72	0.85	o	o
B <sub>6</sub>	0.285	0.570	15,259	15,457	0.99	0.69	1.07	o	o
B <sub>7</sub>	0.289	2.260	19,493	17,464	1.12	2.09	1.30	o	o
B <sub>8</sub>	0.291	1.304	17,106	16,608	1.03	1.58	1.27	o	o
B <sub>10</sub>	0.287	2.260	22,544	17,181	1.31	2.11	1.94	o	o
B <sub>12</sub>	0.282	1.286	20,344	17,914	1.14	1.45	1.72	o	o
B <sub>13</sub>	0.288	0.572	17,997	16,013	1.12	0.64	1.53	o	o

หมายเหตุ u = เหล็กเสริมถึงกำลังคดง o = เหล็กเสริมไม่ถึงกำลังคดง

ตารางที่ 5.3 การเปรียบเทียบผลการทดลองกับผลการวิเคราะห์จากทฤษฎี  
โคอะโกนอด คอมเพรสชัน ฟील

การ	$A_w$ (ซม <sup>2</sup> )	$A_{st}$ (ซม <sup>2</sup> )	$T_u$ ทดลอง (กก-ซม)	$T_u$ คำนวณ (กก-ซม)	$\frac{T_u \text{ ทดลอง}}{T_u \text{ คำนวณ}}$	$\frac{p_{st}}{p_{stb}}$	$\frac{p_w}{p_{wb}}$	ลักษณะการชำรุด	
								เหล็กแกน	เหล็กลูกตั้ง
B <sub>1</sub>	0.269	2.348	15,789	13,247	1.19	1.30	0.66	o	U
B <sub>2</sub>	0.269	4.440	17,984	14,449	1.24	1.69	0.61	o	o
B <sub>3</sub>	0.269	1.076	13,704	13,609	1.01	0.60	0.58	o	o
B <sub>6</sub>	0.285	1.140	15,259	15,952	0.96	0.59	0.75	o	o
B <sub>7</sub>	0.289	4.520	19,493	17,430	1.12	1.58	0.80	o	o
B <sub>8</sub>	0.291	2.608	17,106	16,575	1.03	1.21	0.79	o	o
B <sub>10</sub>	0.287	4.520	22,544	17,515	1.29	1.48	1.11	o	o
B <sub>12</sub>	0.282	2.572	20,344	17,092	1.19	1.10	1.06	o	o
B <sub>13</sub>	0.288	1.144	17,997	16,289	1.10	0.54	1.04	o	o

หมายเหตุ U = เหล็กเสริมถึงกำลังคลาก o = เหล็กเสริมไม่ถึงกำลังคลาก

ตารางที่ 5.4 การเปรียบเทียบผลการทดลองของ Hsu กับผลการวิเคราะห์จาก  
ทฤษฎีสถิตย เบนคิง

คาบ	$A_w$ (นิ้ว <sup>2</sup> )	$A_s$ (นิ้ว <sup>2</sup> )	$T_u$ ทดลอง (kip-in)	$T_u$ คำนวณ (kip-in)	$T_u$ ทดลอง $T_u$ คำนวณ	$\frac{p_s}{P_{sb}}$	$\frac{P_w}{P_{wb}}$	ลักษณะการร้าว	
								เหล็กแกน	เหล็กปลอกตั้ง
N <sub>2</sub>	.05	0.48	128	132*	0.97	0.33	0.42	U	U
C <sub>4</sub>	.20	0.88	224	192	1.17	1.22	1.52	O	O
K <sub>3</sub>	.20	0.93	252	228	1.11	0.53	0.58	U	U
G <sub>5</sub>	.20	1.58	637	658	0.97	0.61	0.71	O	O
B <sub>1</sub>	.11	0.40	197	210*	0.94	0.16	0.25	U	U
B <sub>2</sub>	.20	0.61	259	284*	0.91	0.29	0.36	U	U
B <sub>3</sub>	.20	0.88	322	315	1.02	0.49	0.57	U	U
B <sub>4</sub>	.20	1.20	419	433	0.97	0.61	0.71	U	U
B <sub>5</sub>	.20	1.58	497	535	0.93	0.99	1.15	U	O
B <sub>6</sub>	.20	2.00	546	544	1.00	1.34	1.52	O	O
M <sub>1</sub>	.11	0.62	269	244*	1.10	0.26	0.26	U	U
M <sub>2</sub>	.11	0.88	359	342*	1.05	0.40	0.39	U	U
M <sub>3</sub>	.20	1.20	388	354	1.10	0.70	0.58	O	U
M <sub>4</sub>	.20	1.58	439	462	0.95	0.95	0.83	O	U
M <sub>5</sub>	.20	2.00	493	485	1.02	1.38	1.12	O	U
M <sub>6</sub>	.20	2.37	532	584	0.91	1.24	1.18	O	O

หมายเหตุ U = เหล็กถึงกำลังคดาก O = เหล็กไม่ถึงกำลังคดาก

\* = คีตคอนกรีตช่วยในการรับแรงบิด

ตารางที่ 5.5 การเปรียบเทียบผลการทดลองของ Hsu กับผลการวิเคราะห์จาก  
ทฤษฎีโคะโกนอล คอมเพรสชัน พิล

คาบ	$A_w$ (นิ้ว <sup>2</sup> )	$A_{st}$ (นิ้ว <sup>2</sup> )	$T_u$ ทดลอง (kip-in)	$T_u$ คำนวณ (kip-in)	$T_u$ ทดลอง $T_u$ คำนวณ	$\frac{P_{st}}{P_{stb}}$	$\frac{P_w}{P_{wb}}$	ลักษณะการชำรุด	
								เหล็กแกน	เหล็กลวดดึง
N <sub>2</sub>	.05	0.80	128	118	1.09	0.60	0.63	U	U
C <sub>4</sub>	.02	1.76	224	235	0.96	1.35	1.30	O	O
K <sub>3</sub>	.20	1.86	252	223	1.13	1.08	1.10	U	U
G <sub>5</sub>	.20	3.16	637	661	0.96	1.08	1.08	O	O
B <sub>1</sub>	.11	0.80	197	184	1.07	0.27	0.31	U	U
B <sub>2</sub>	.20	1.24	259	266	0.97	0.43	0.43	U	U
B <sub>3</sub>	.20	1.76	322	359	0.90	0.71	0.68	U	U
B <sub>4</sub>	.20	2.40	419	466	0.90	0.94	0.97	U	U
B <sub>5</sub>	.20	3.16	497	488	1.02	1.43	1.38	U	O
B <sub>6</sub>	.20	4.00	546	502	1.09	1.86	1.75	O	O
M <sub>1</sub>	.11	1.24	269	236	1.14	0.43	0.32	U	U
M <sub>2</sub>	.11	1.76	359	324	1.10	0.64	0.48	U	U
M <sub>3</sub>	.20	2.40	388	381	1.02	1.03	0.70	O	U
M <sub>4</sub>	.20	3.16	439	431	1.02	1.43	1.00	O	U
M <sub>5</sub>	.20	4.00	493	476	1.04	1.90	1.26	O	U
M <sub>6</sub>	.20	4.74	532	506	1.05	2.03	1.52	O	O

หมายเหตุ U = เหล็กถึงกำลังคลาก O = เหล็กไม่ถึงกำลังคลาก

ตารางที่ 5.6 การเปรียบเทียบแรงบิดแตกร้าจากผลการทดสอบกับผลการวิเคราะห์

ระยะเวียงของเหล็ก ดุกตั้ง (ซม)	เหล็กเสริมตามยาว	คาน	$T_{cr}$ ทดสอบ	$T_{cr}^*$ คำนวณ	$\frac{T_{cr} \text{ ทดสอบ}}{T_{cr} \text{ คำนวณ}}$
10.00	4 $\emptyset$ 6 มม.	B <sub>3</sub>	13,704	6,285	2.18
	4 $\emptyset$ 9 มม.	B <sub>1</sub>	11,699	6,019	1.94
	4 $\emptyset$ 12 มม.	B <sub>2</sub>	14,718	6,285	2.34
7.50	4 $\emptyset$ 6 มม.	B <sub>6</sub>	13,701	6,721	2.04
	4 $\emptyset$ 9 มม.	B <sub>8</sub>	14,043	6,721	2.09
	4 $\emptyset$ 12 มม.	B <sub>7</sub>	14,382	6,721	2.14
5.00	4 $\emptyset$ 6 มม.	B <sub>13</sub>	15,053	6,896	2.18
	4 $\emptyset$ 9 มม.	B <sub>12</sub>	16,068	6,896	2.33
	4 $\emptyset$ 12 มม.	B <sub>10</sub>	16,401	6,896	2.38

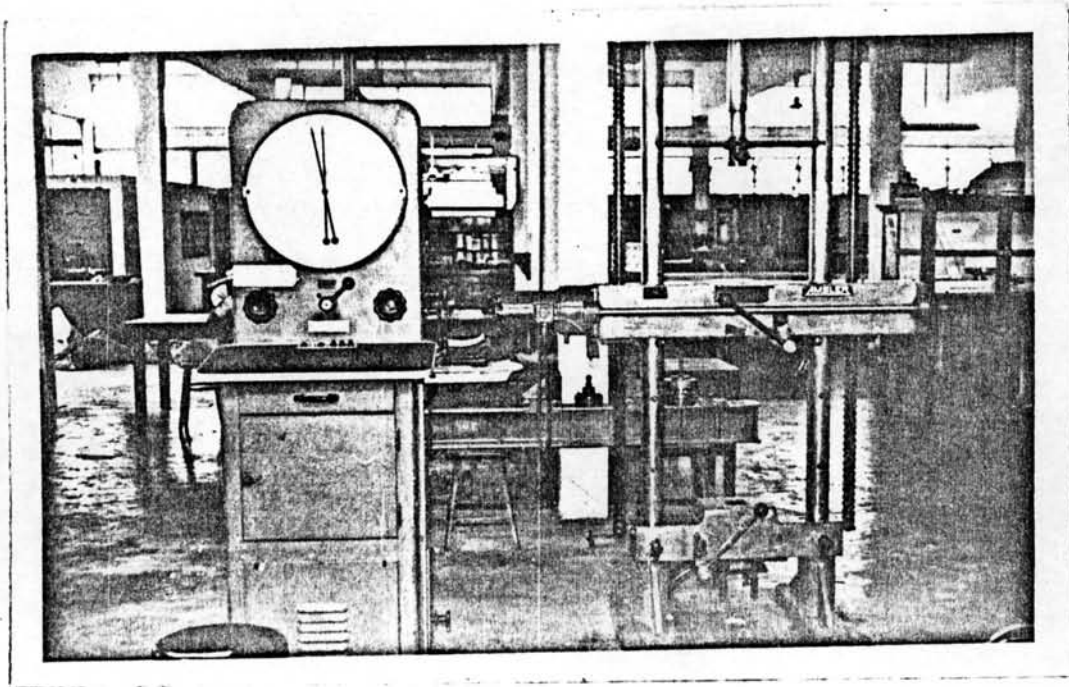
\* วิเคราะห์มาจากทฤษฎีอีลาสติก (2) โดยให้ค่าของ  $f_t = 1.33\sqrt{f_c'}$



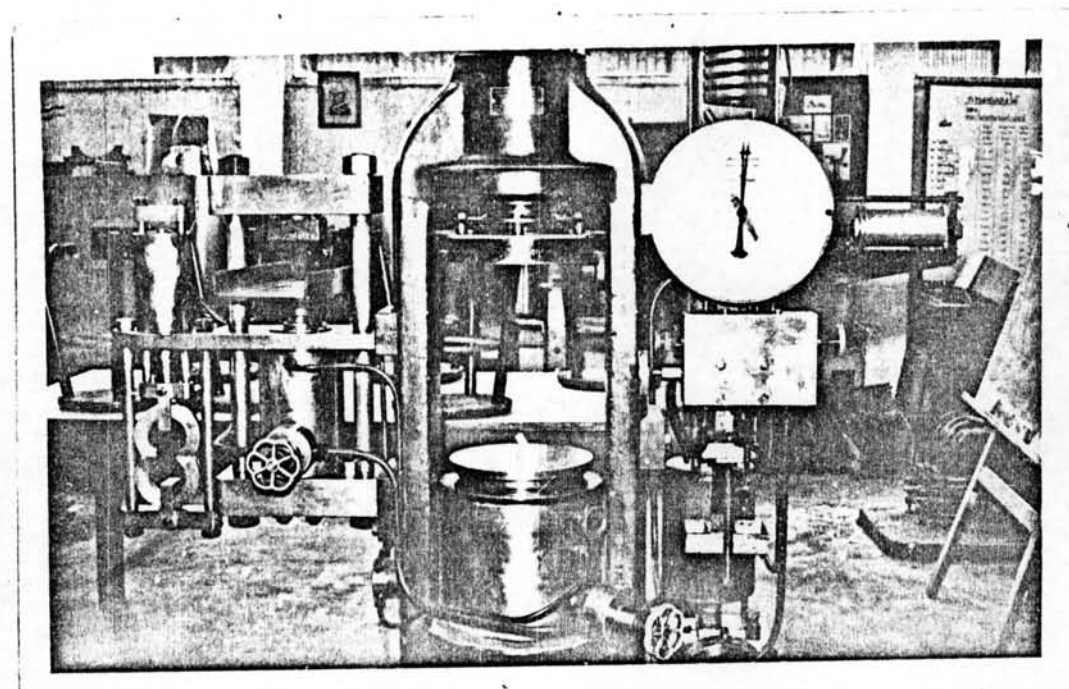
ตารางที่ 5.7 การเปรียบเทียบผลการทดลองคานคอนกรีตเสริมเหล็กภายใต้แรงค้ำกับผลการวิเคราะห์จากทฤษฎีกำลังประลัย

คาน	เหล็กเสริมตามยาว (ซม <sup>2</sup> )	$M_u$ ทดลอง (กก-ม)	$M_u$ คำนวณ (กก-ม)	$\frac{M_u \text{ ทดลอง}}{M_u \text{ คำนวณ}}$	$\frac{P_s}{P_{sb}}$	ผลการทดลอง
B <sub>14</sub>	0.578	350.00	272.40	1.28	0.17	U
B <sub>15</sub>	1.264	651.00	517.30	1.26	0.33	U
B <sub>16</sub>	2.266	921.80	766.70	1.20	0.51	U
B <sub>17</sub>	3.520	770.00	900.80	0.85	0.67	U

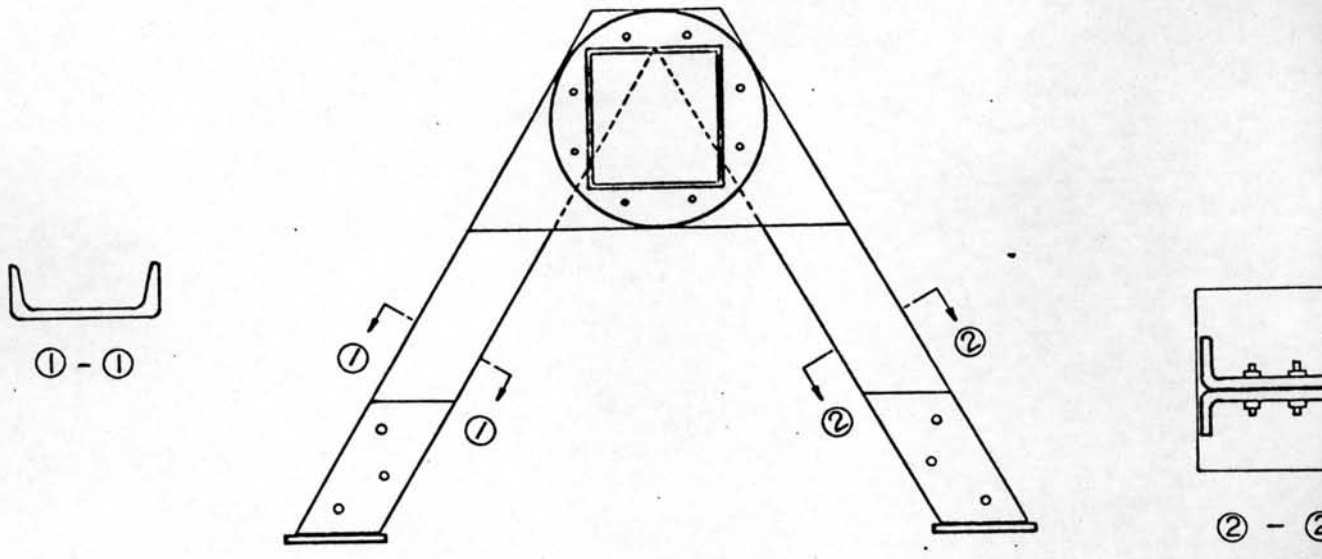
หมายเหตุ U = เหล็กเสริมถึงกำลังคลาก



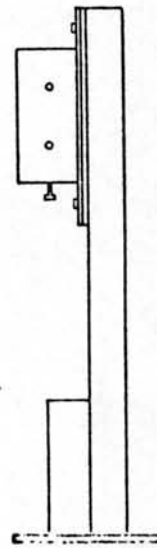
รูปที่ 2.1 เครื่องทดสอบหากำลังต้านทานแรงดึงของเหล็กเสริม (Amsler ขนาด 20 ตัน)



รูปที่ 2.2 เครื่องทดสอบหากำลังต้านทานแรงอัดระดับของคอนกรีต (Amsler ขนาด 100 ตัน)

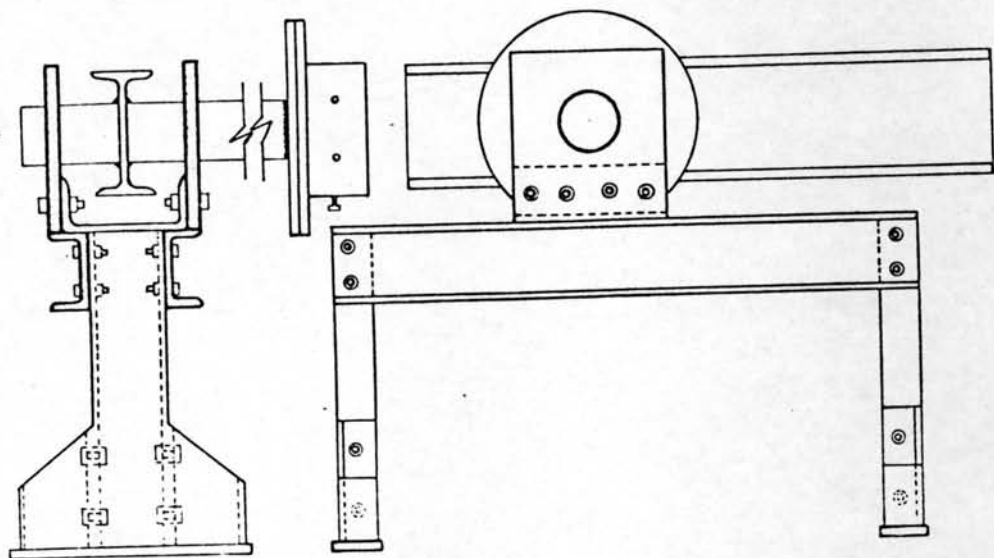


รูปด้านหน้า

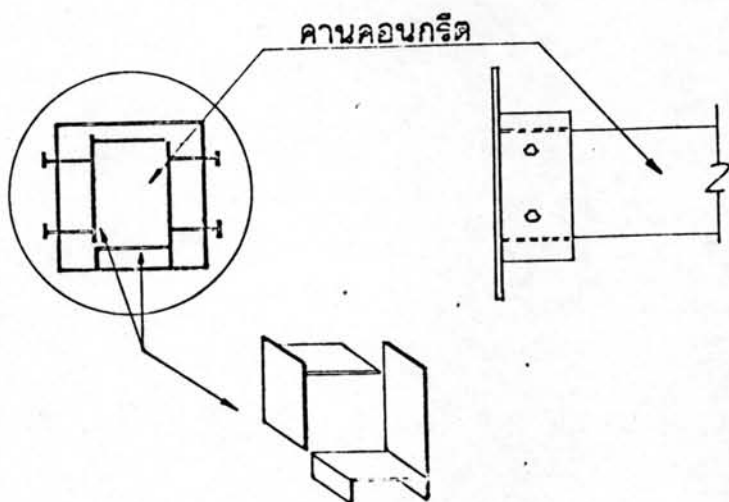


รูปด้านข้าง

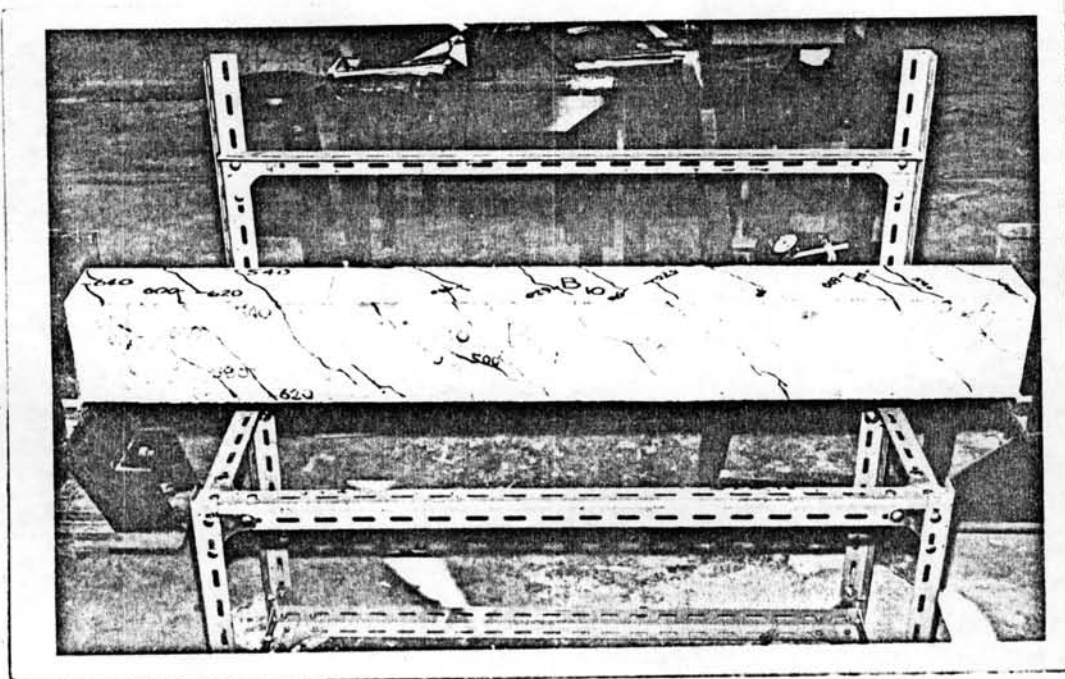
รูปที่ 2.3 เครื่องทดสอบหาความต้านทานแรงบิดของก้านคอนกรีตด้านที่ยึดแน่นอยู่กับที่



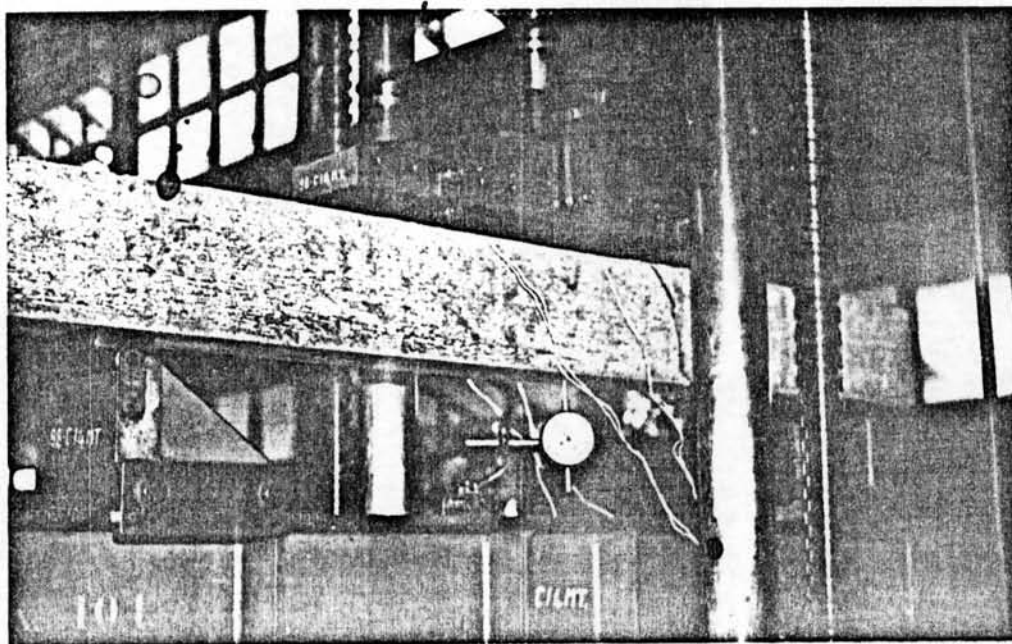
รูปที่ 2.4 เครื่องทดสอบหาความต้านทานแรงบิดของคานคอนกรีต ด้านที่มีแรงจากแม่แรง



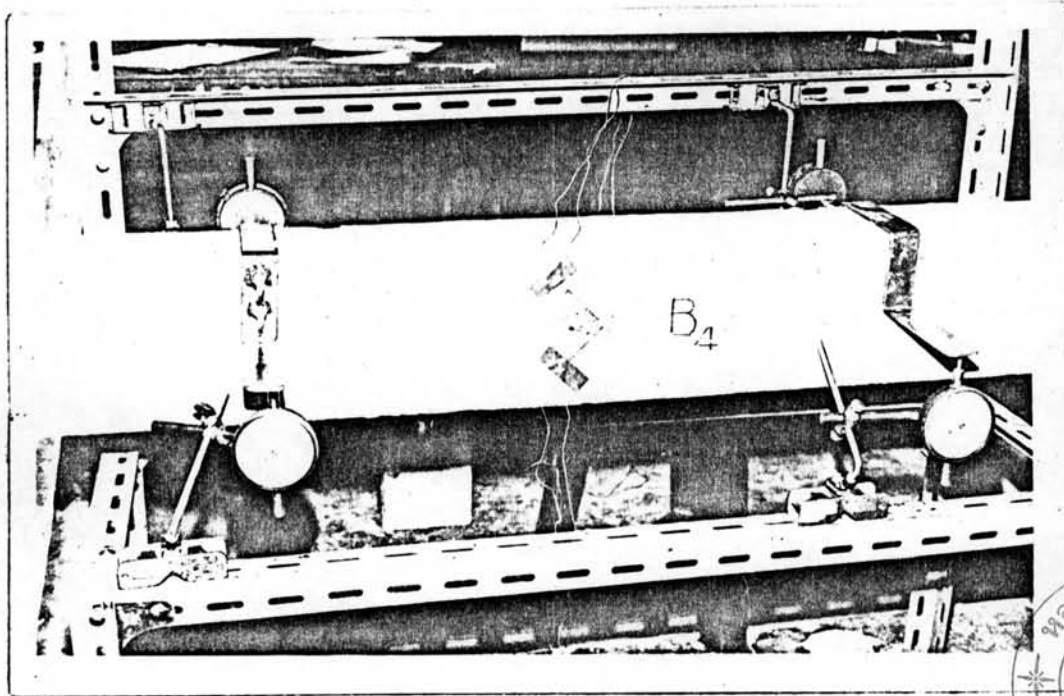
รูปที่ 2.5 เครื่องทดสอบหาความต้านทานแรงบิดของคานคอนกรีต (ส่วนประกอบปลายคาน)



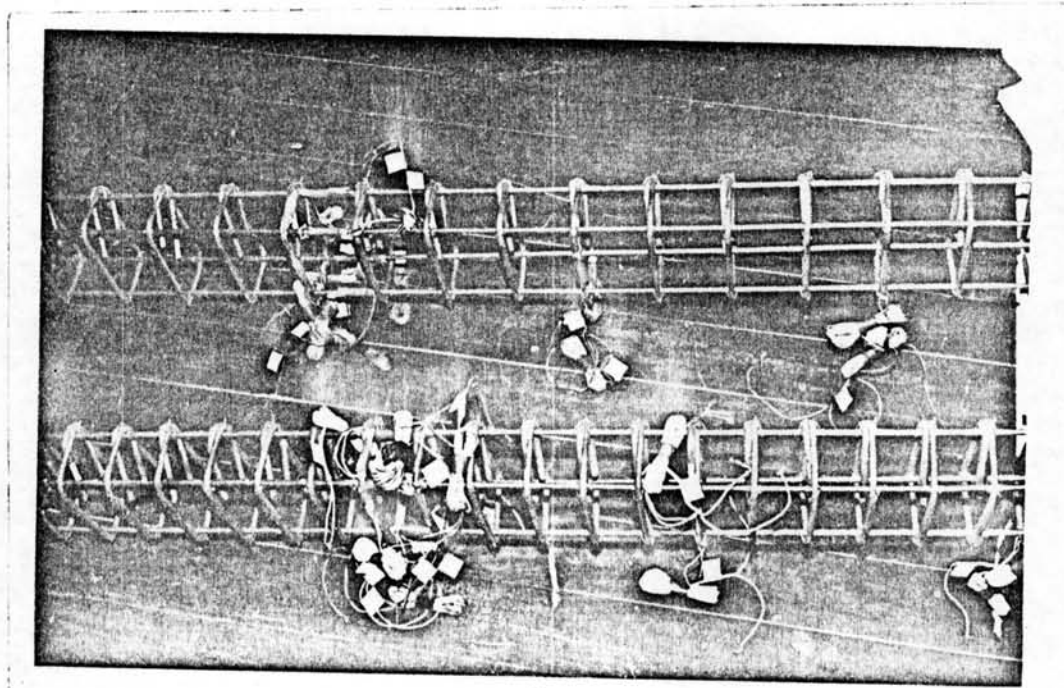
รูปที่ 2.6 โครงฉากเบา



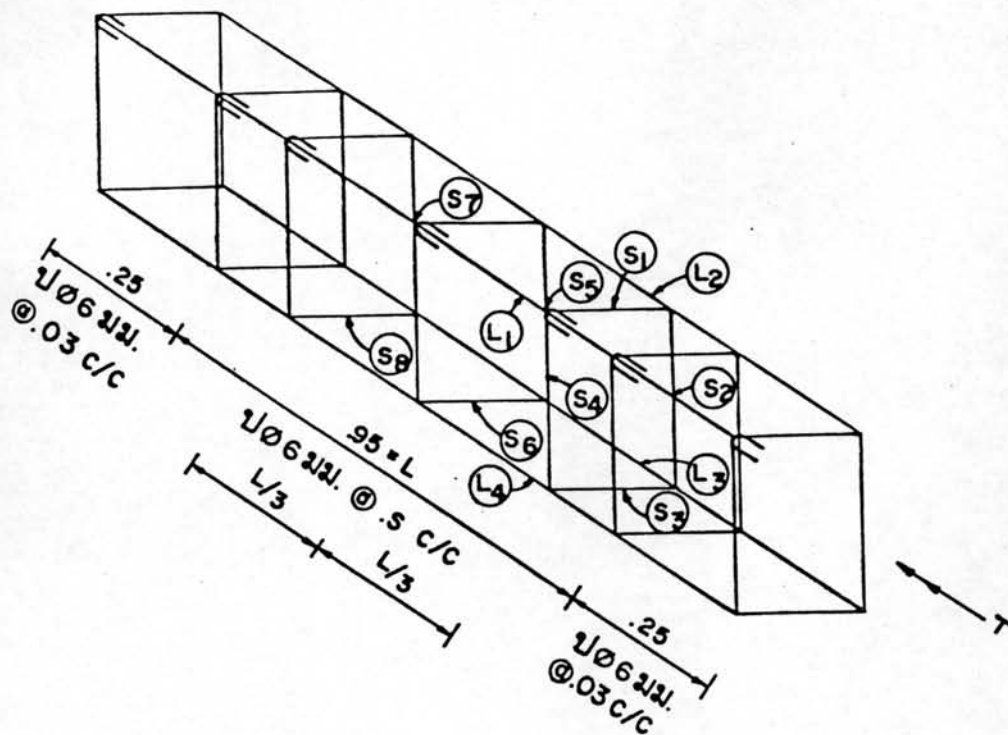
รูปที่ 2.7 เครื่องทดสอบคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงกด



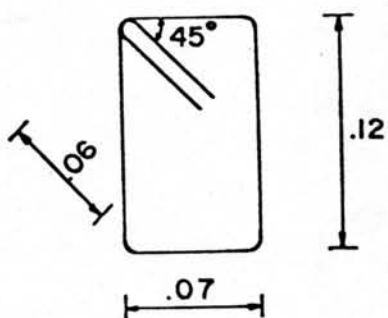
รูปที่ 3.1 การติดเกจวัดความเครียด บนผิวของคานคอนกรีตด้วยไฟแรงบิค



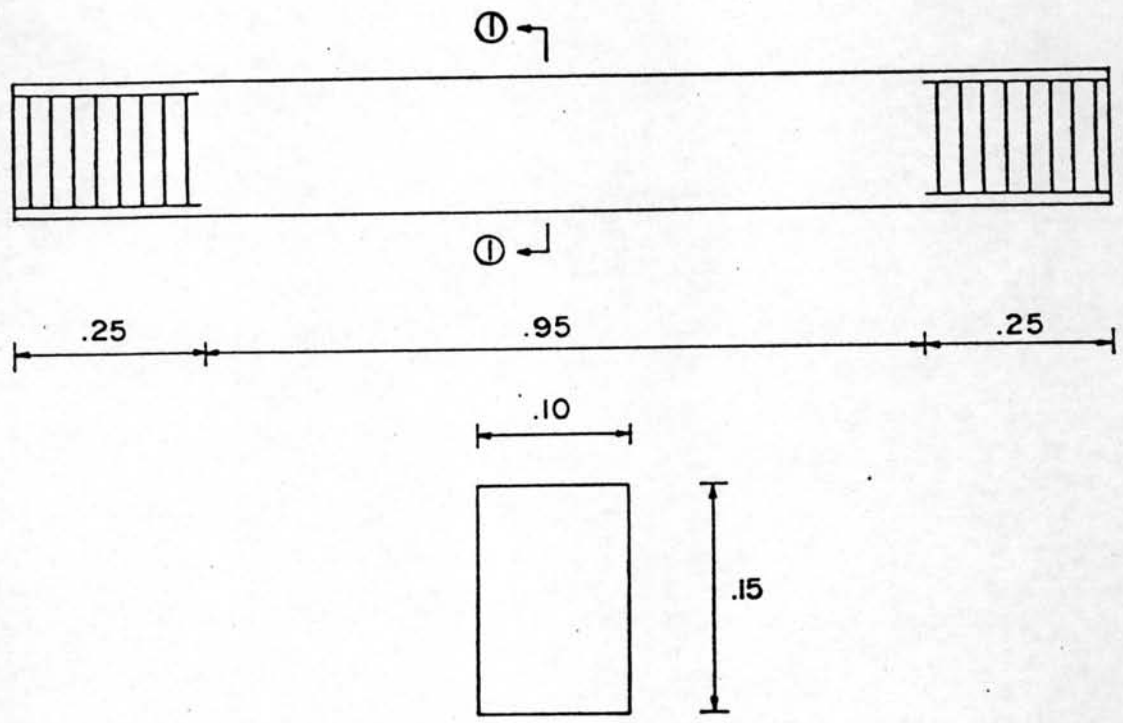
รูปที่ 3.2(ก) ตำแหน่งการติดเกจวัดความเครียดบนเหล็กเสริม ของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก  
ภายใต้แรงบิค



รูปที่ 3.2 (ข) ตำแหน่งการติดगेจวัดความเครียด บนเหล็กลูกตั้ง (s) และเหล็กเล็ริมตามยาว (L) ของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงบีบ



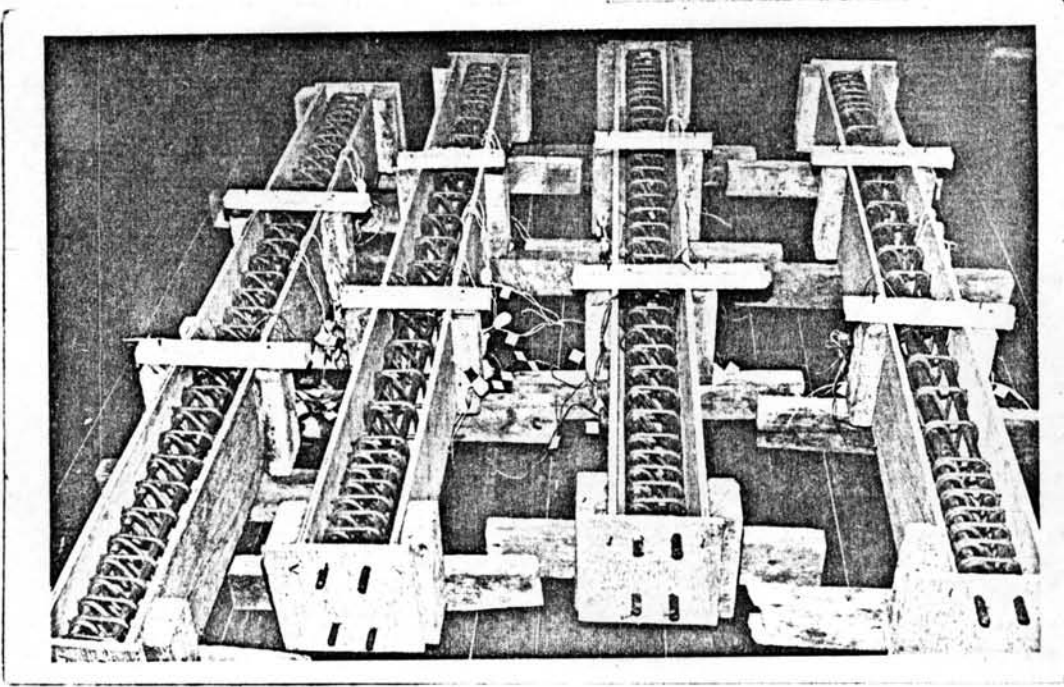
รูปที่ 3.3 มิติของเหล็กลูกตั้งในคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงบีบ



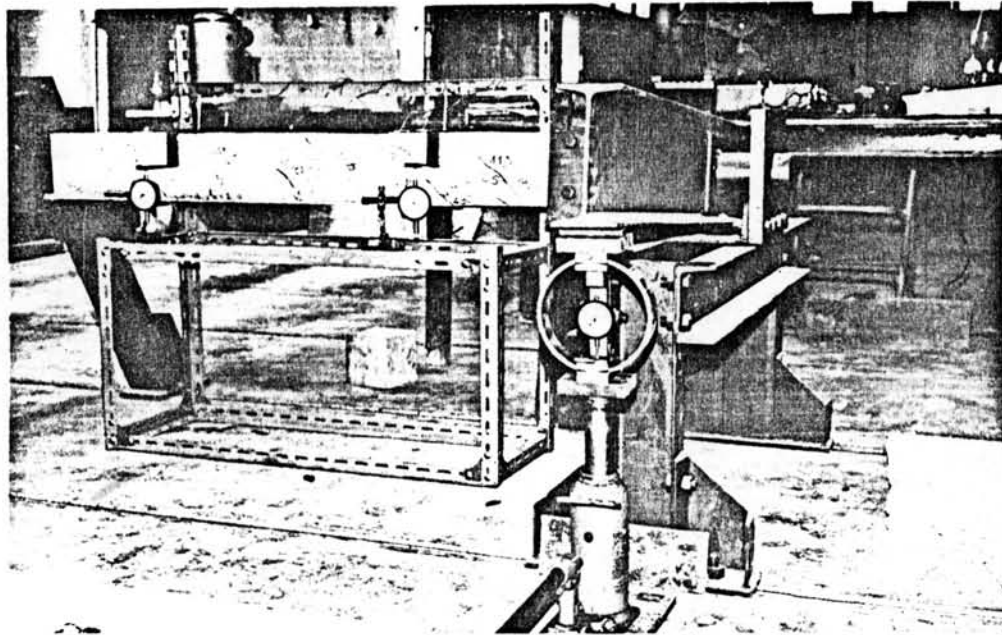
รูปตัด 1-1

รูปที่ 3.4 ขนาดรูปตัดและความยาวของคานคอนกรีตฉนวน ภายใต้แรงบิด

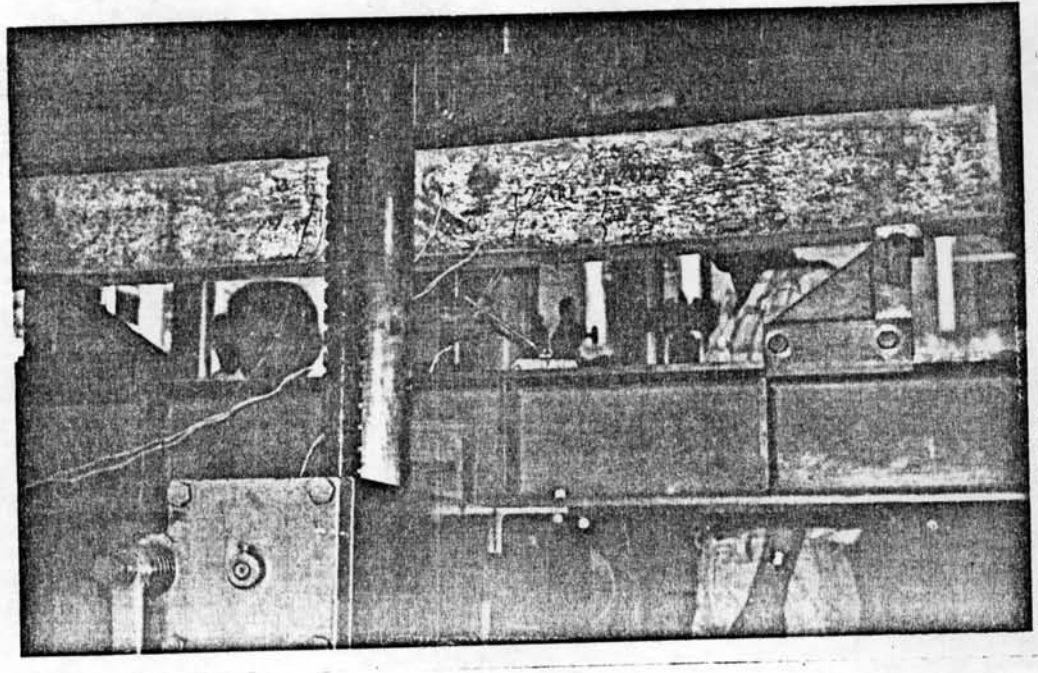




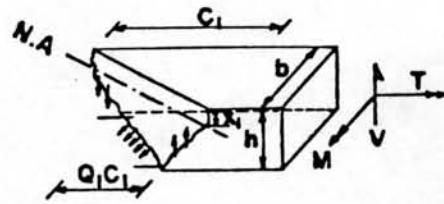
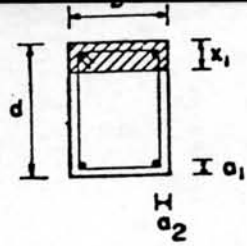
รูปที่ 3.5 การวางเหล็กเสริมลงในแบบไม้



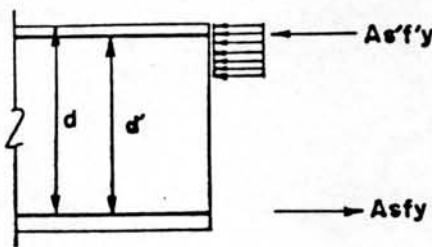
รูปที่ 3.6 เครื่องทดสอบหาคุณสมบัติทางต้านรับแรงบิด ของคานท่อนกรีด



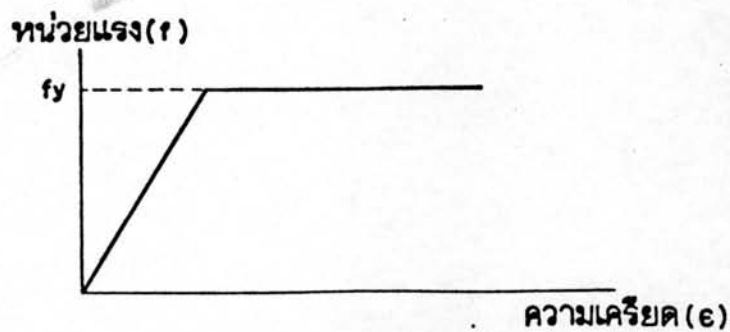
รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบและลักษณะแทกร้าวของคานคอนกรีตเสริมเหล็ก ภายใต้แรงค้ำ



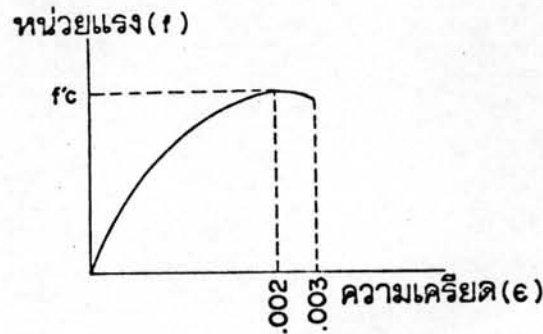
รูปที่ 4.1 ลักษณะแตกร้าวและแรงต่างๆบนระนาบของการชำรุด



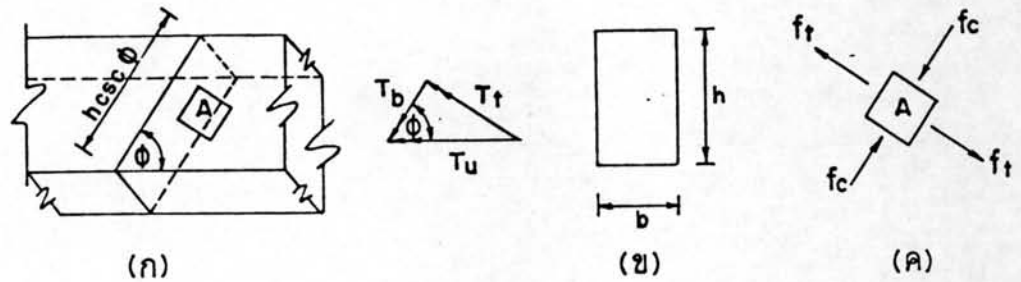
รูปที่ 4.2 แรงต่างๆบนรูปตัดของคานคอนกรีต



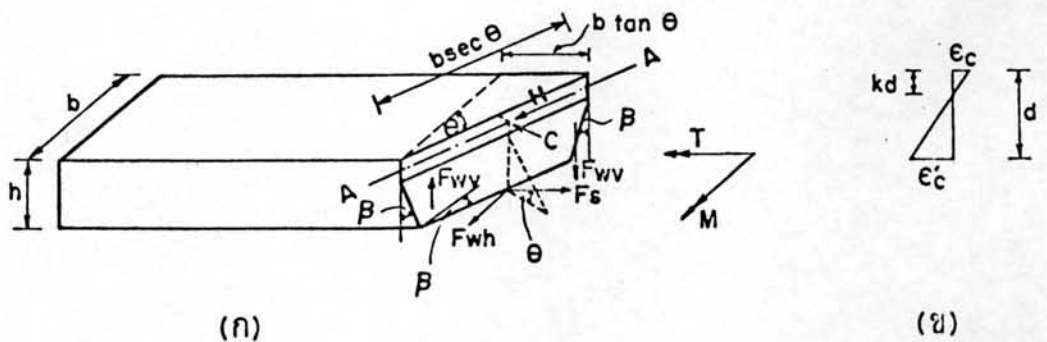
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง และ หน่วยการยึดตัวของเหล็กเสริม



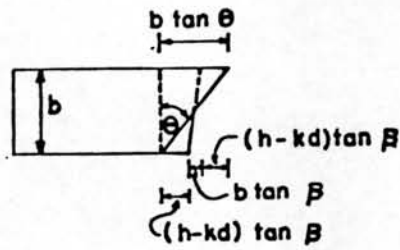
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรง และ ความเครียดของคอนกรีต



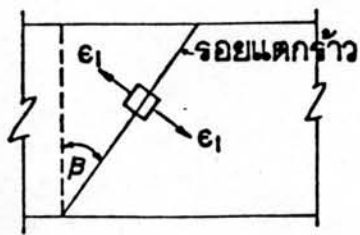
รูปที่ 4.5 แสดง (ก) ลักษณะการแตกกร้าว (ข) รูปตัด (ค) หน่วยแรงที่กระทำต่อชิ้นส่วน A



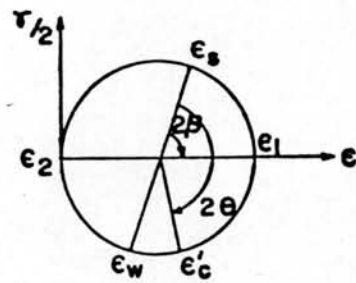
รูปที่ 4.6 แสดง (ก) แรงต่างๆ บนระนาบของการกร้าว (ข) ความเครียดของคอนกรีต



รูปที่ 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างมุม  $\beta$  กับ  $\theta$

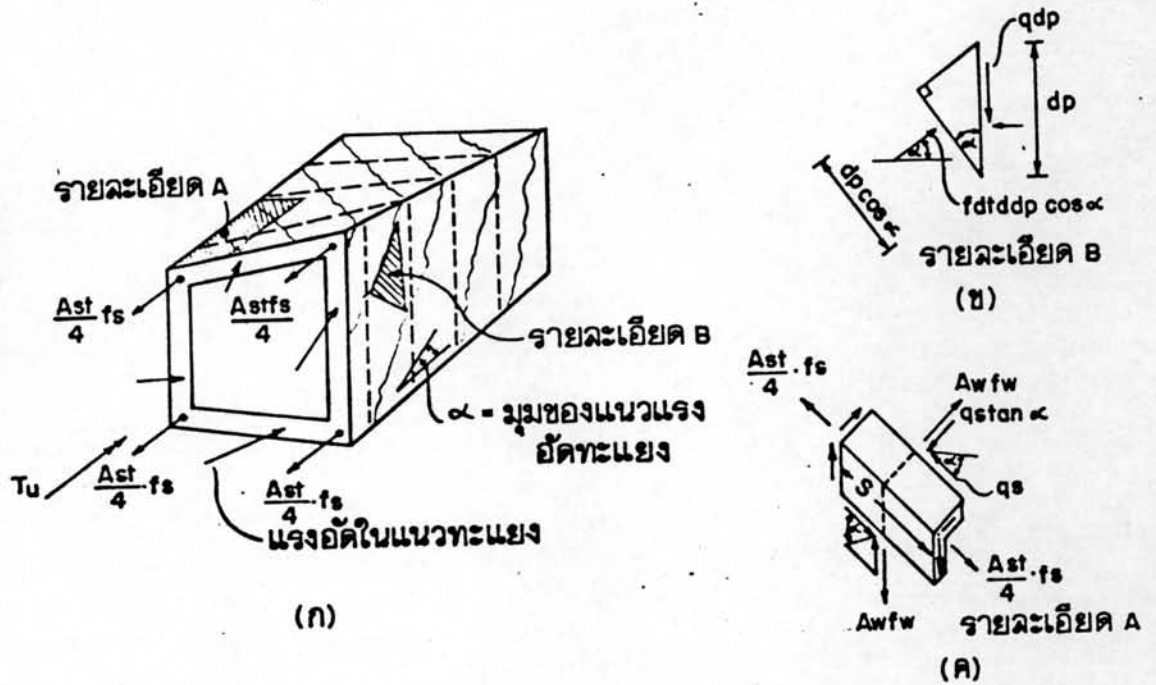


(ก)

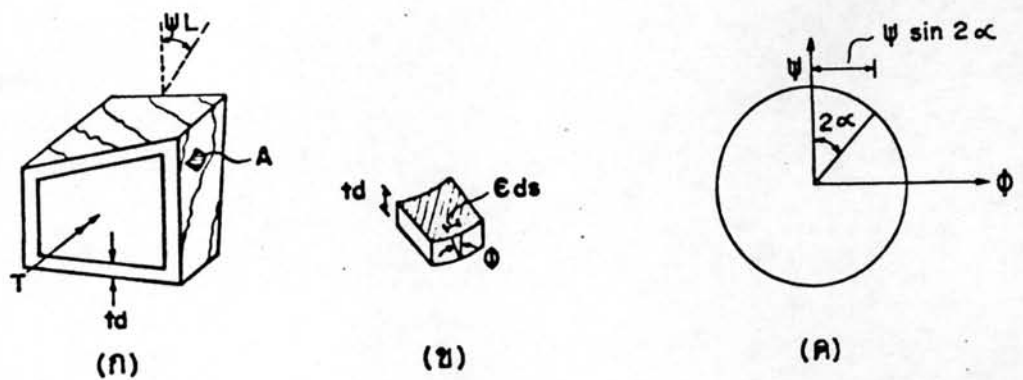


(ข)

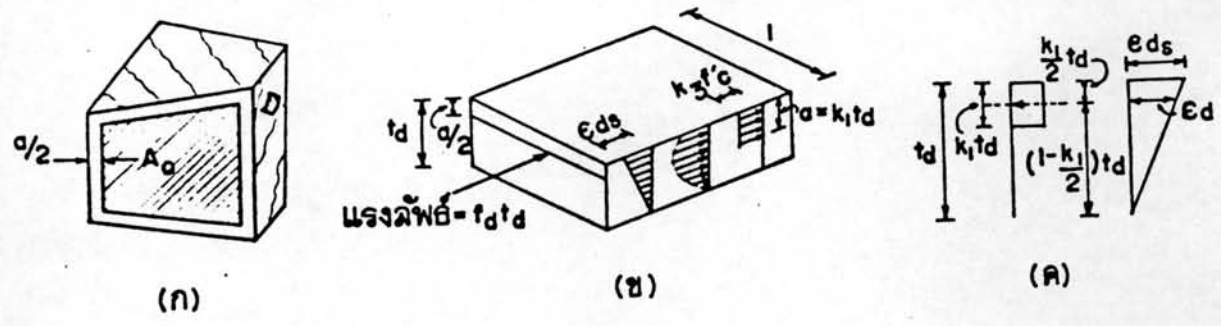
รูปที่ 4.8 แลตง(ก) ลักษณะการแตกกว้างที่ความลึก d (ข) Mohr's Circle



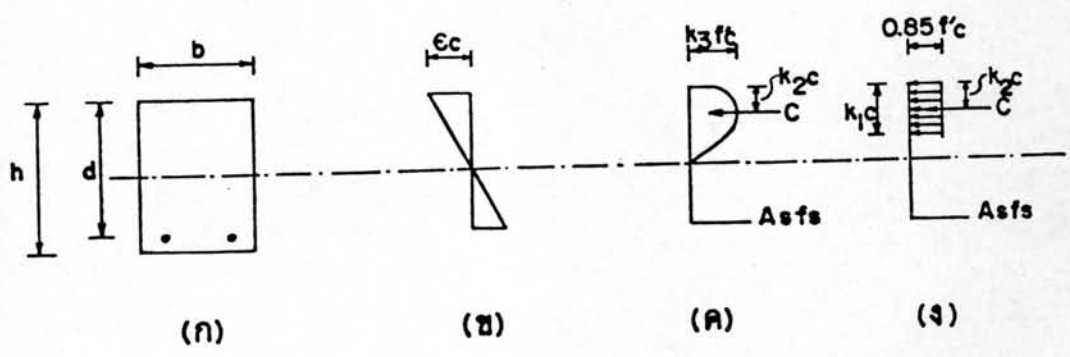
รูปที่ 4.9 แสดง (ก) ลักษณะการแตกจ้าวและแรงต่างๆ ที่กระทำ (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงอัดในแนวทะแยงกับแรงเฉือนไหล (ค) รอยละเอียดที่มุมของคานคอนกรีต



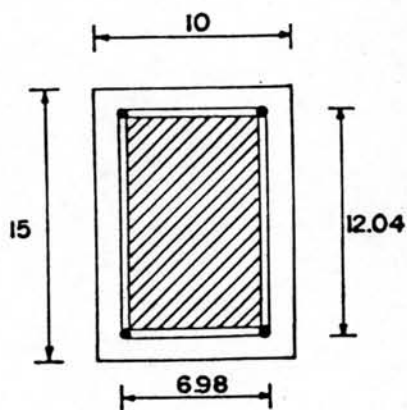
รูปที่ 4.10 แสดง (ก) ลักษณะคานคอนกรีตเมื่อรับแรงบิด (ข) ชั้นฉนวนผนังของคอนกรีต (ค) Mohr's Circle



รูปที่ 4.11 แสดง (ก) เส้นทางของแรงเฉือน (ข) หน่วยแรง หน่วยการหดตัว (ค) ความฉีกพื้นผิวของ  $e_{ds}$  และ  $e_d$

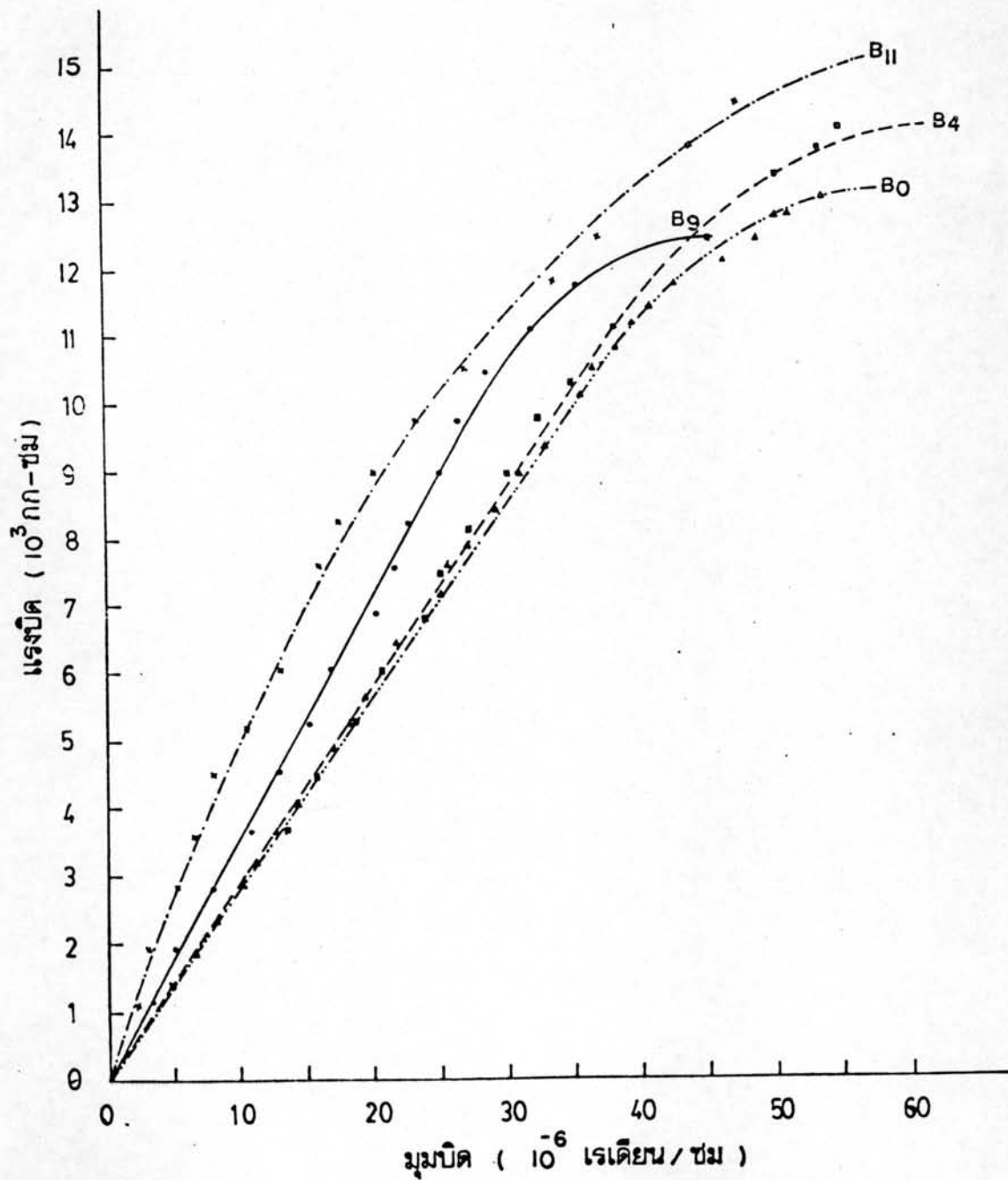


รูปที่ 4.12 แสดง (ก) รูปตัด (ข) ความเครียด (ค) หน่วยแรงอัดที่เกิดขึ้นจริง (ง) มีเหลี่ยมแทนหน่วยแรงที่เกิดขึ้น

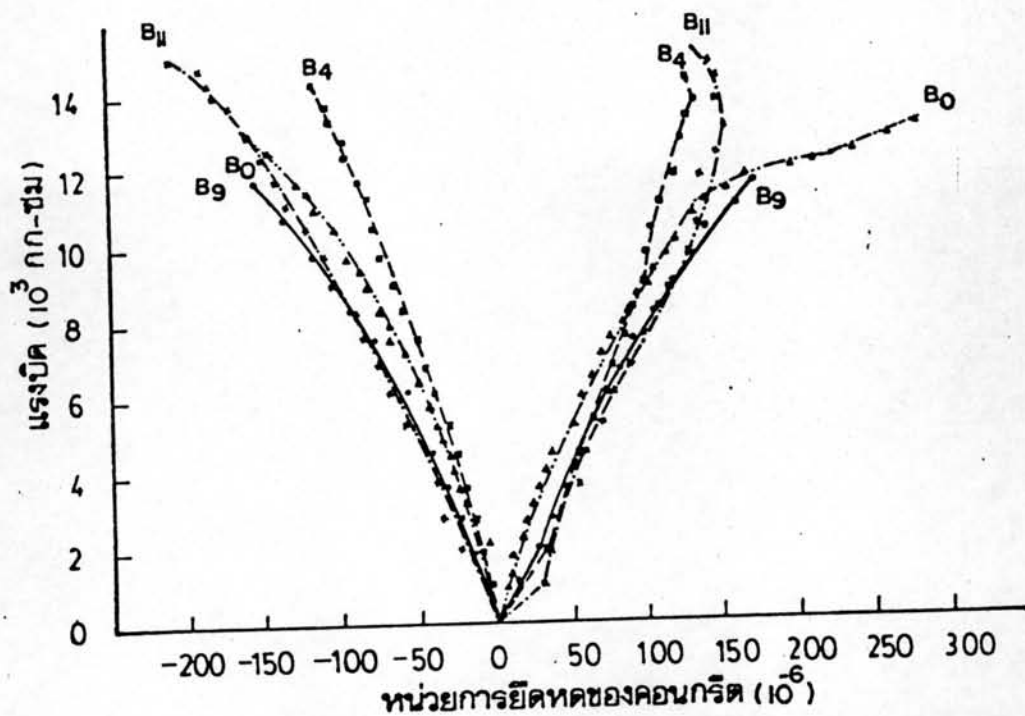


รูปที่ 5d รูปภาคตัดขวางของคาน  $B_8$

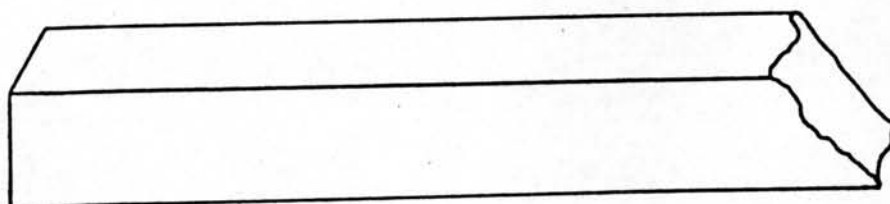




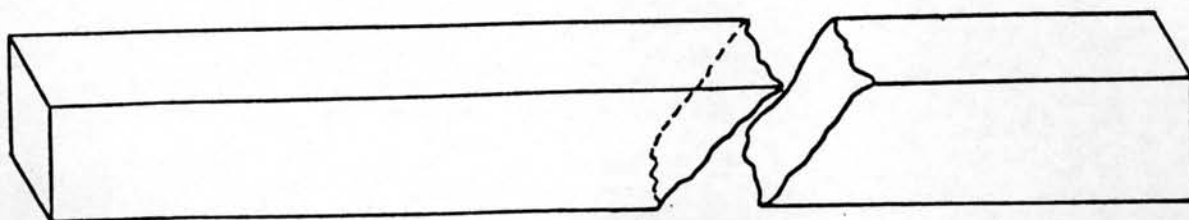
รูปที่ 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของคาน  $B_0, B_4, B_9, B_{11}$



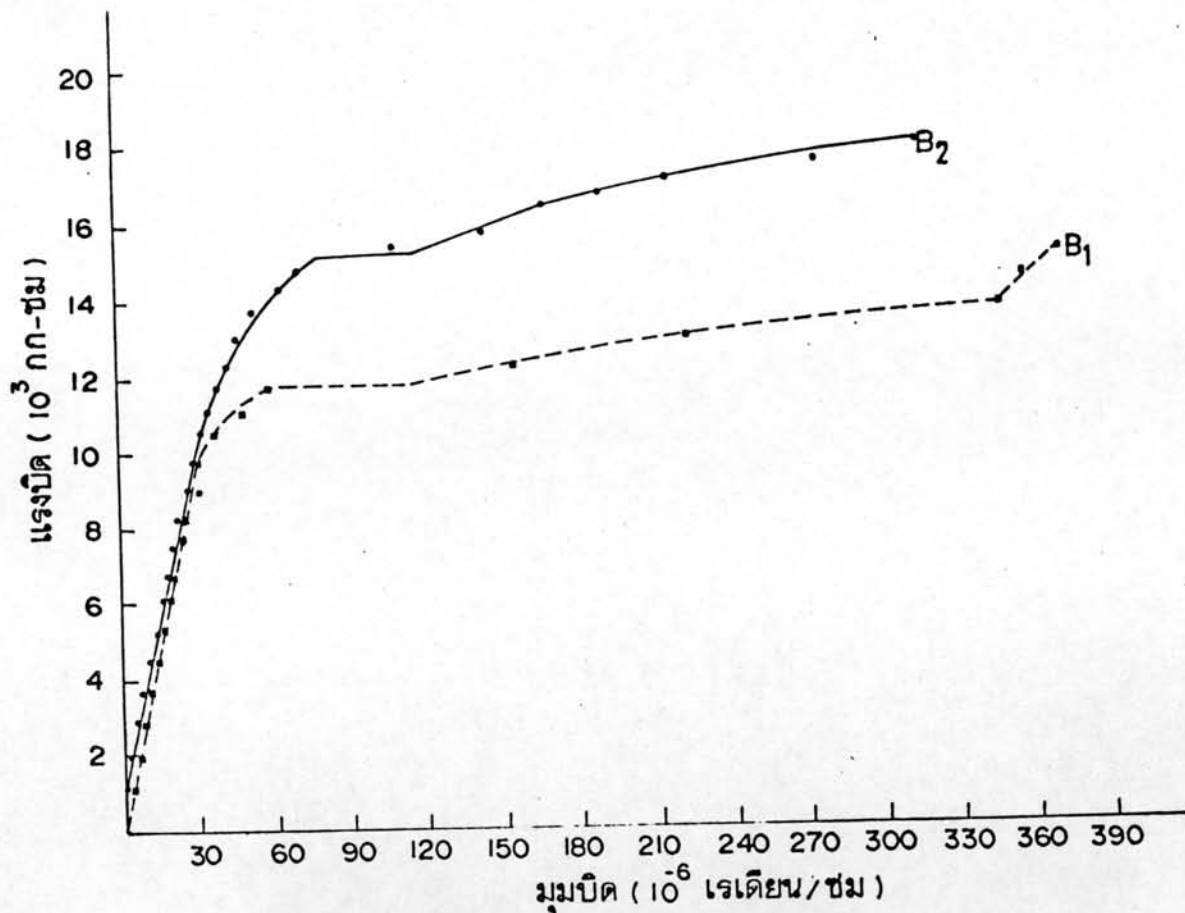
รูปที่ 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยัดหัดของคอนกรีต ของคาน B<sub>0</sub>, B<sub>4</sub>, B<sub>9</sub>, B<sub>11</sub>



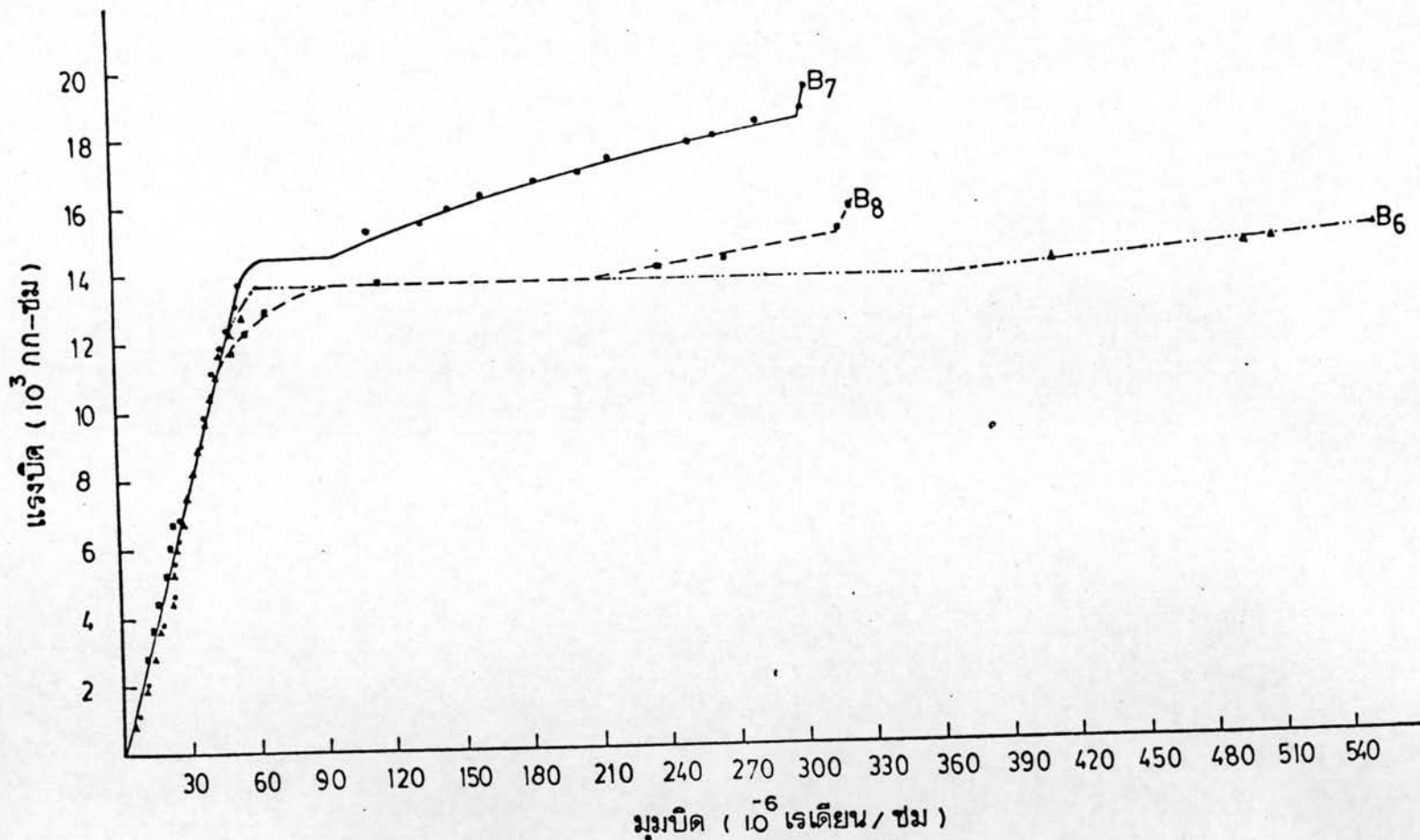
รูปที่ 5.3 (ก) แสดงลักษณะการชำรุดของคาน B<sub>4</sub>



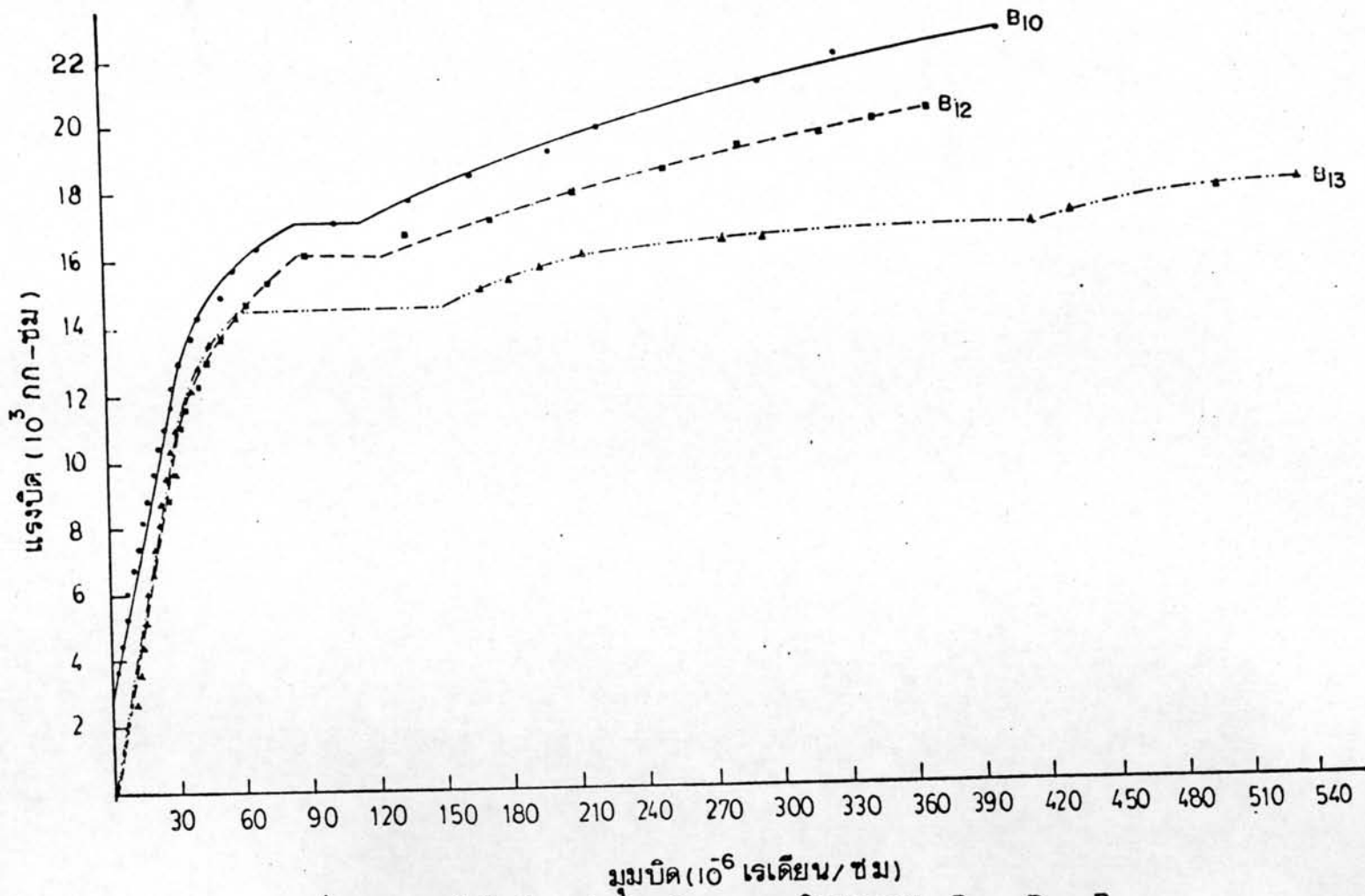
รูปที่ 5.3 (ข) แสดงลักษณะการชำรุดของคาน B<sub>9</sub>



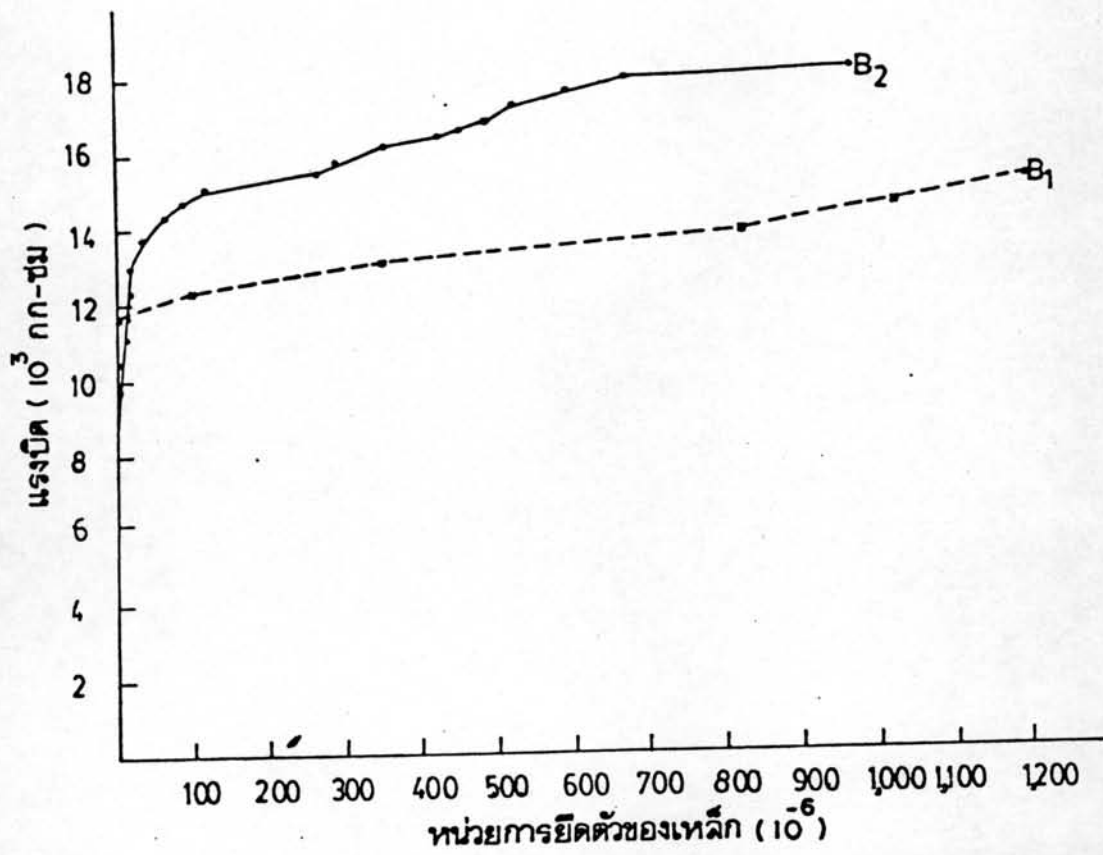
รูปที่ 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมมบิด ของคาน B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>



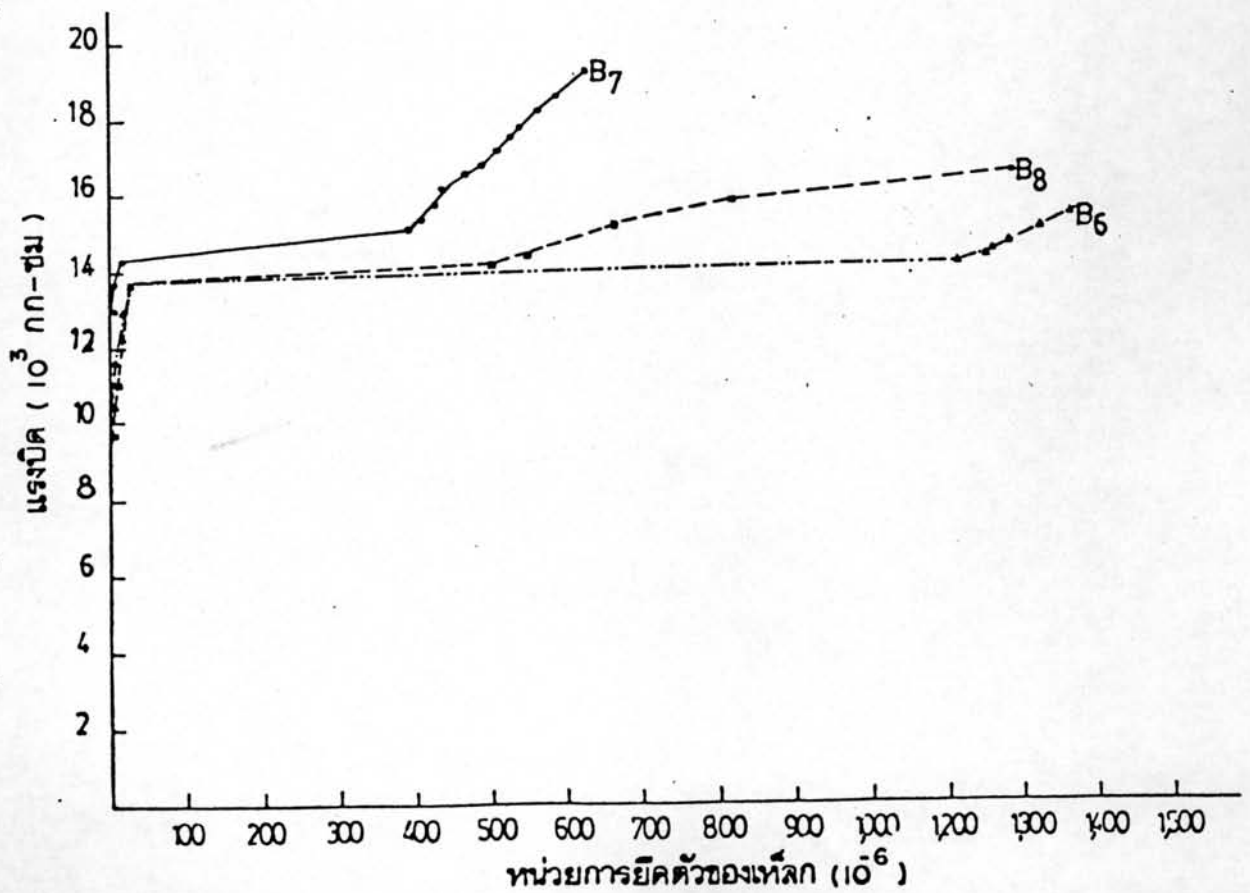
รูปที่ 5.5 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมมบิดของคาน B<sub>6</sub> , B<sub>7</sub> , B<sub>8</sub>



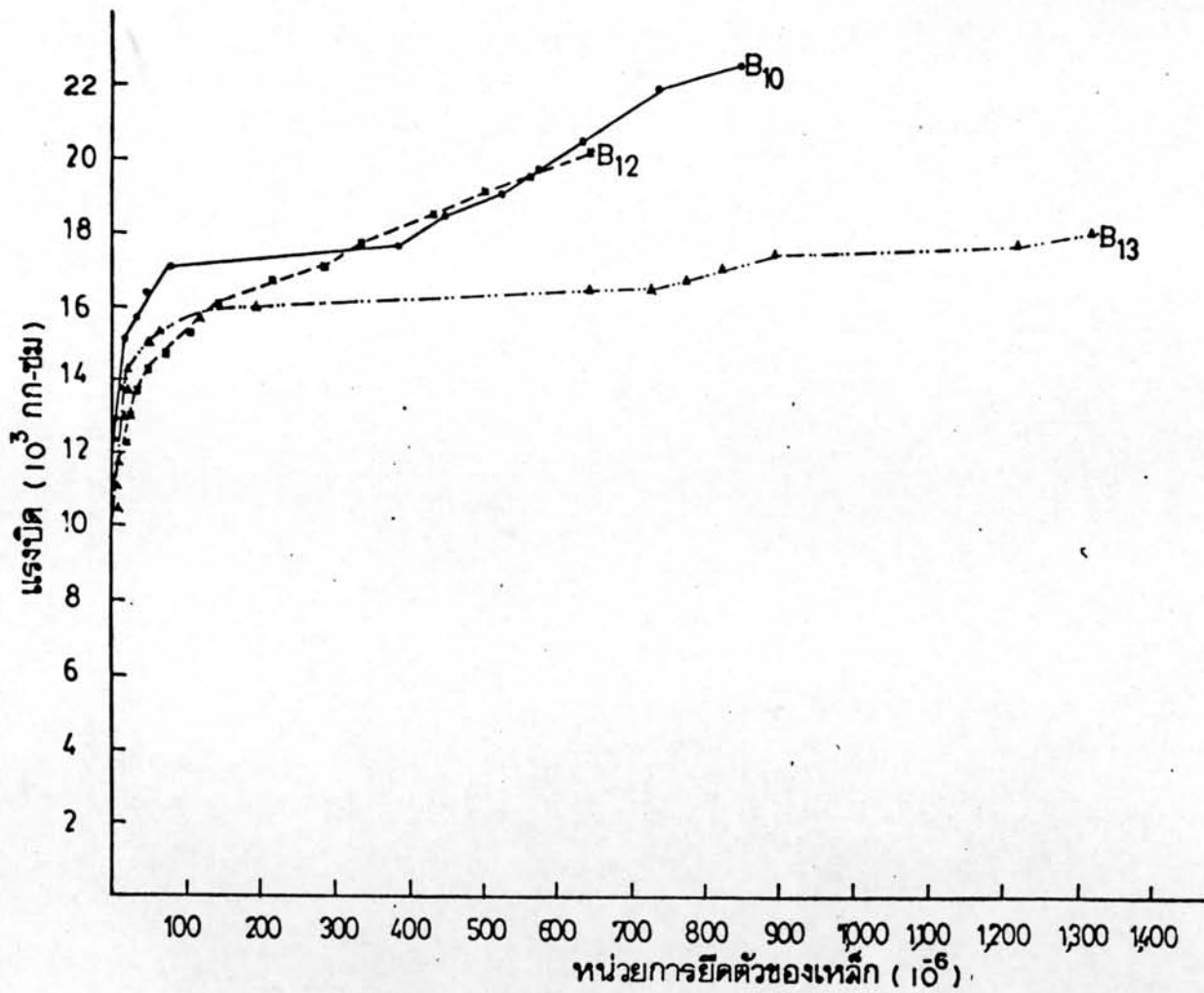
รูปที่ 5.6 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและมุมบิดของคาน B<sub>10</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub>



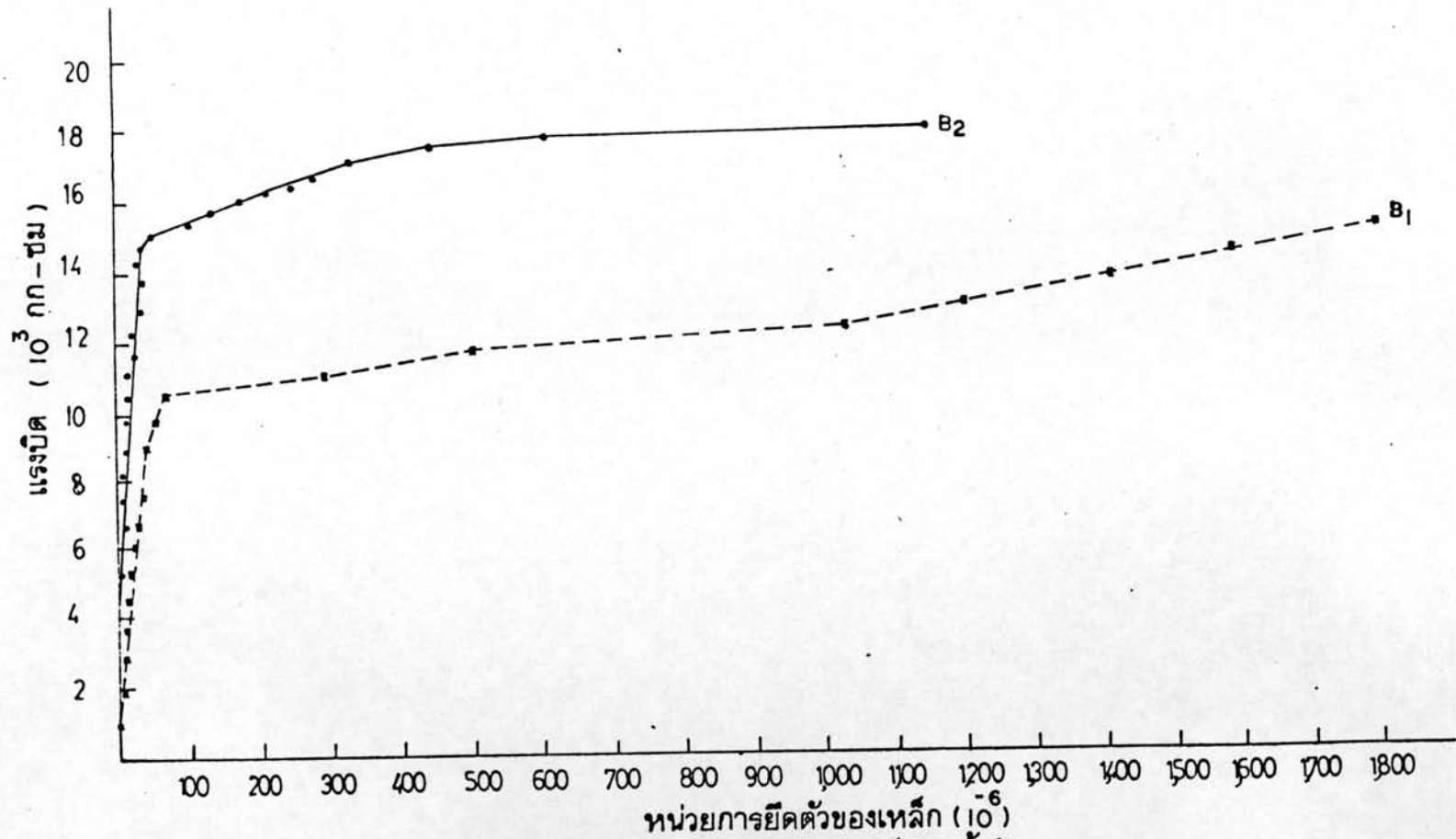
รูปที่ 5.7 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยัดตัวของเหล็กแกน ของคาน B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>



รูปที่ 5.8 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยัดตัวของเหล็กแกน ของคาน B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>

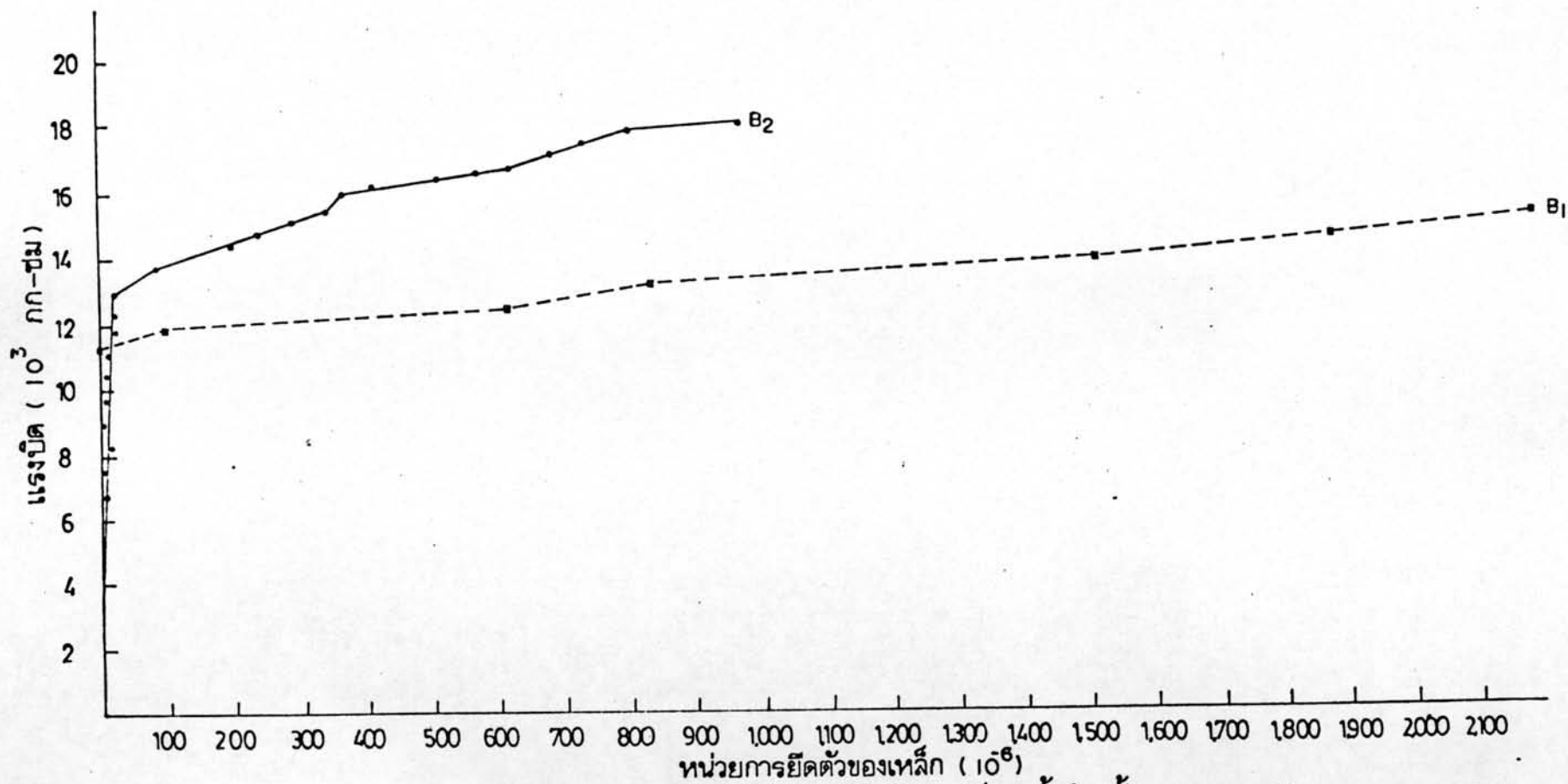


รูปที่ 5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็กแกน ของคาน B<sub>10</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub>

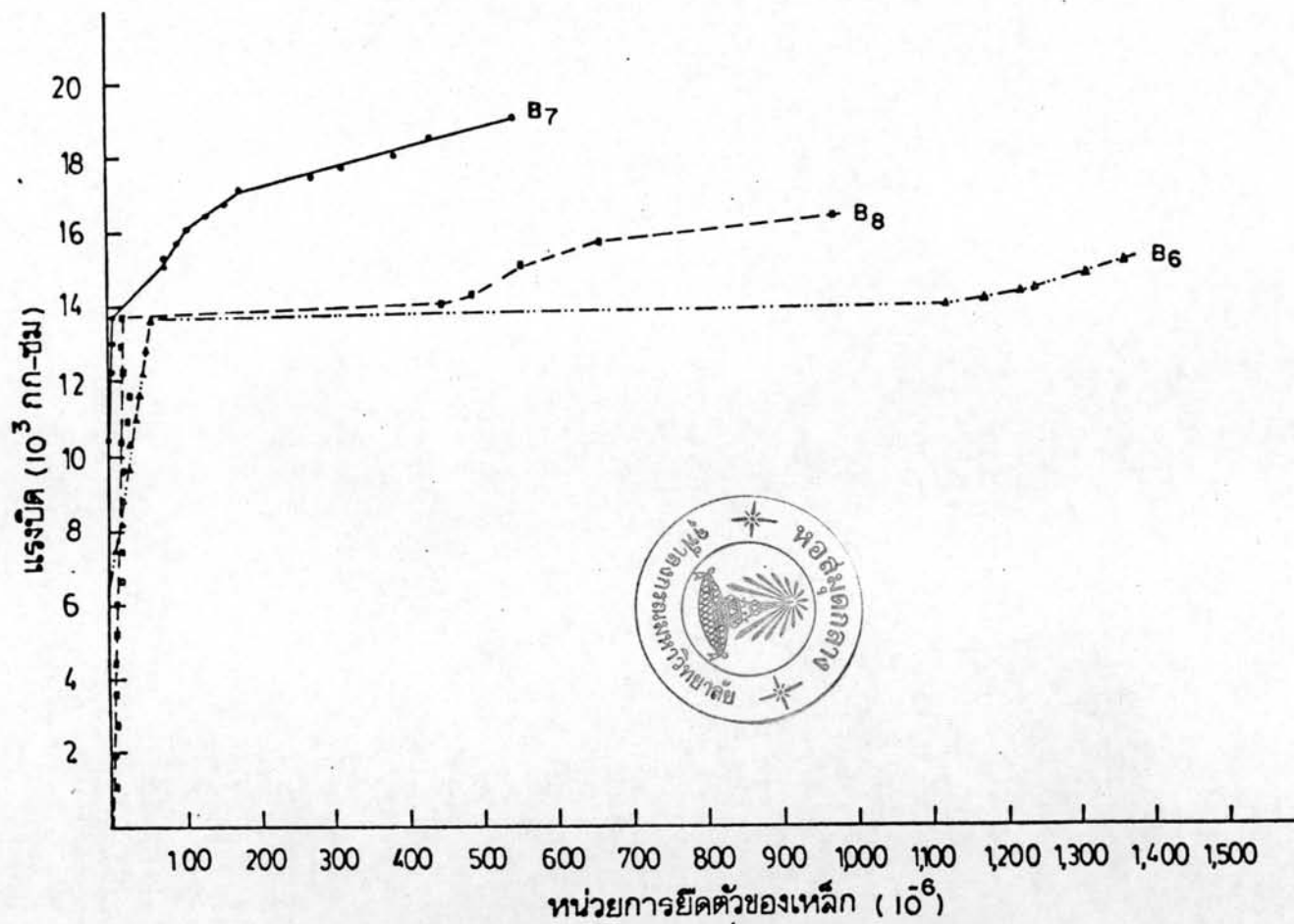


รูปที่ 5.10(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็กลูกตั้งด้านยาวของคาน B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>

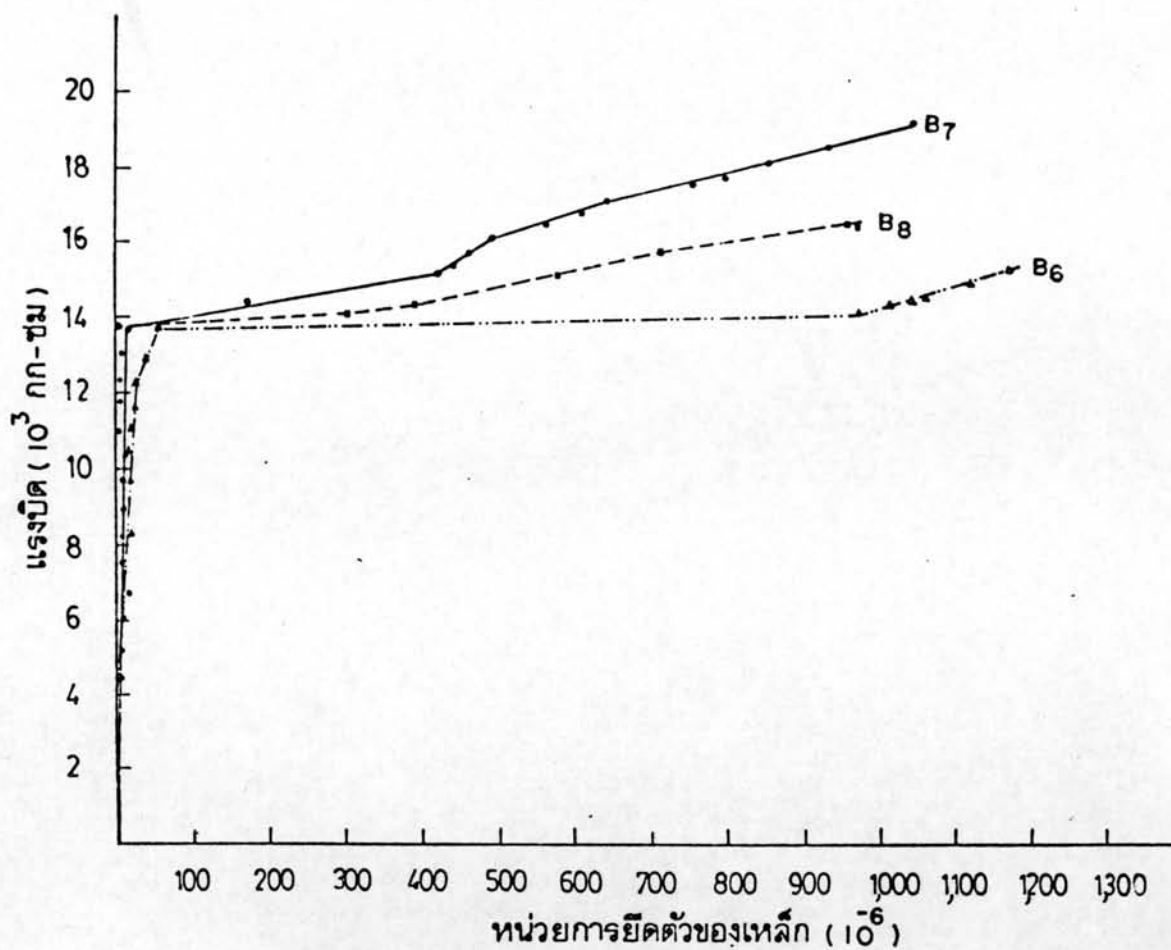




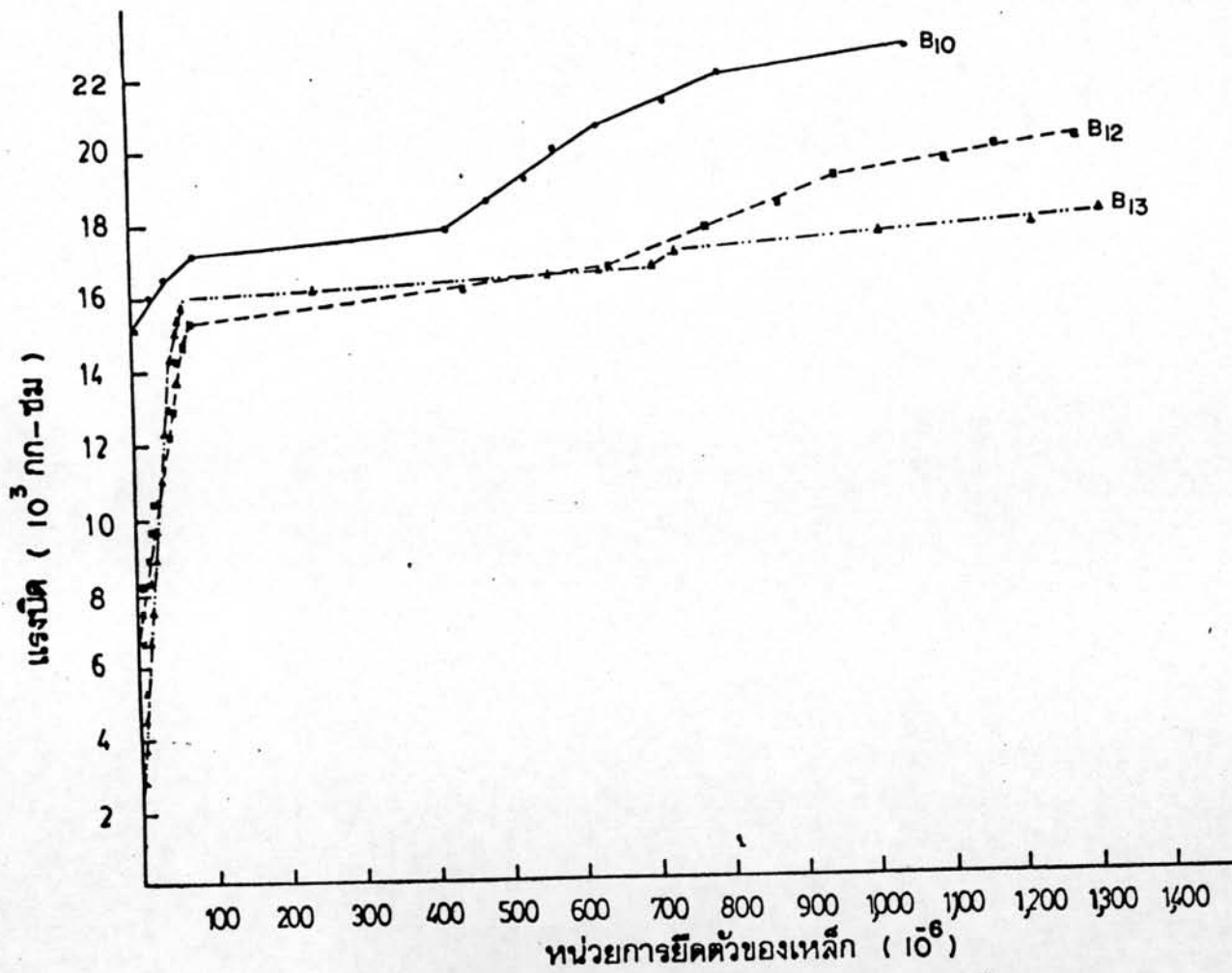
รูปที่ 5.10 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็กติดตั้งด้านซ้ายของคาน B<sub>1</sub>, B<sub>2</sub>



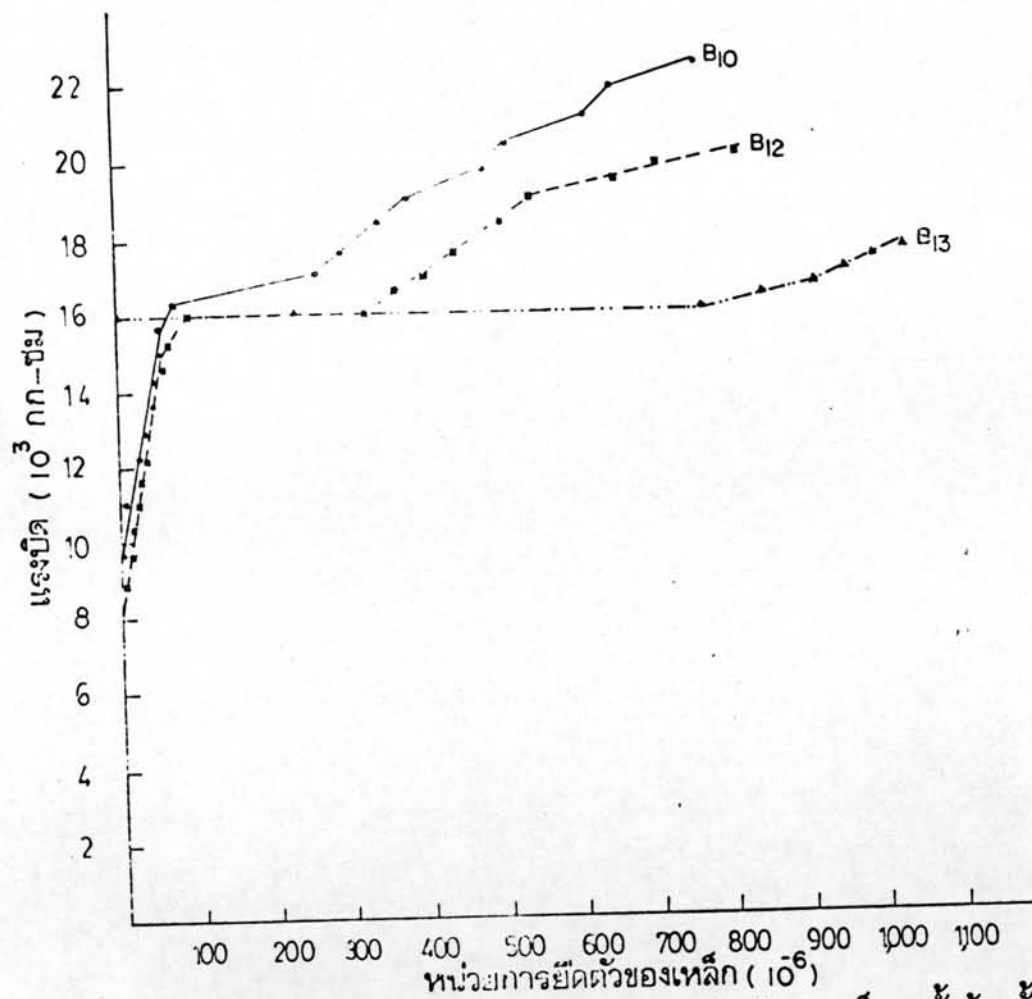
รูปที่ 5.11 (ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็กกล้าตั้งค้ำยาว ของคาน B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>



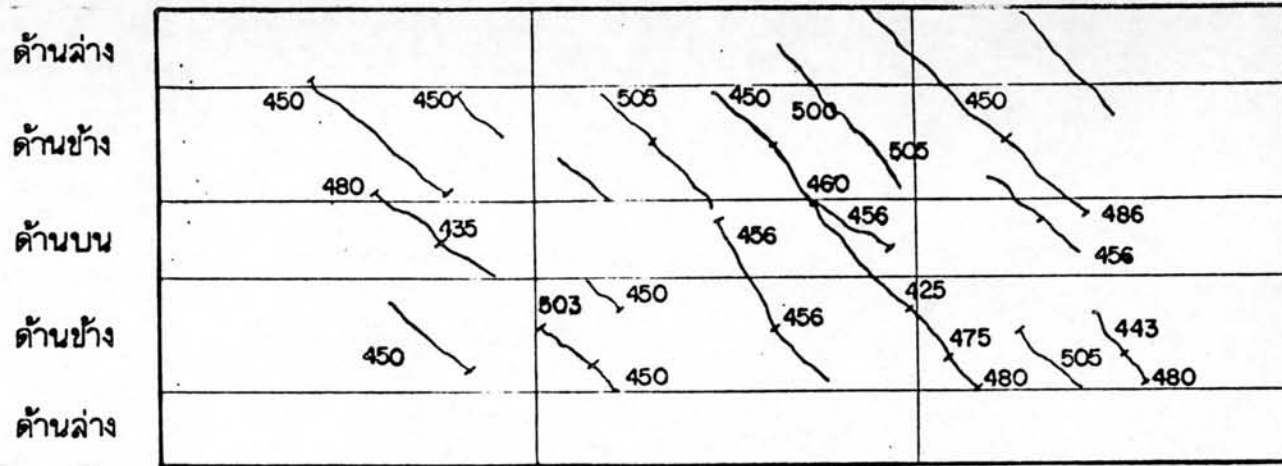
รูปที่ 5.11 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็กลูกตั้งด้านซ้ายของคาน B<sub>6</sub>, B<sub>7</sub>, B<sub>8</sub>



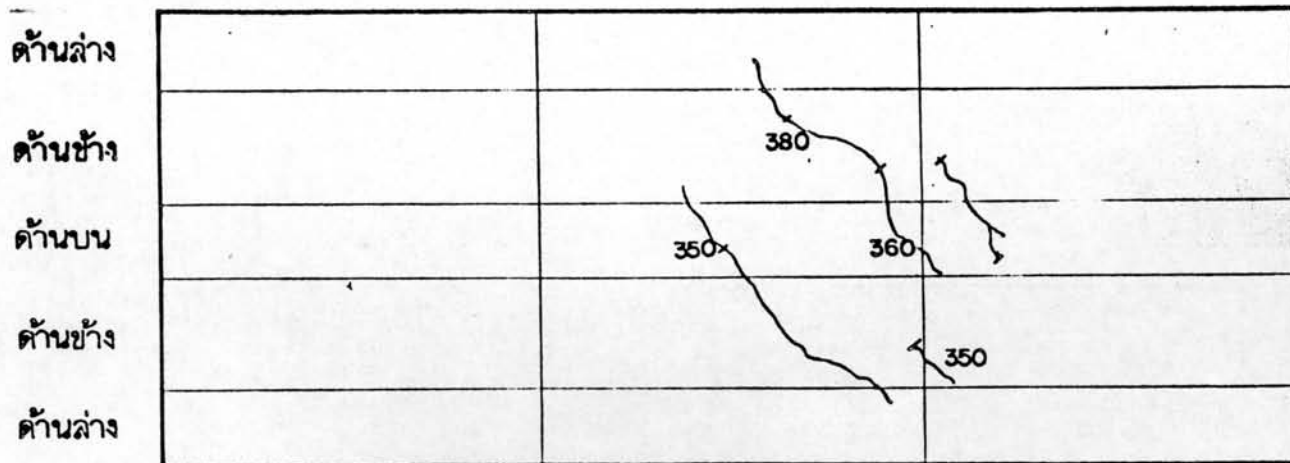
รูปที่ 5.12(ก) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงปิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็กลูกตั้งด้านยาวของคาน B<sub>10</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub>



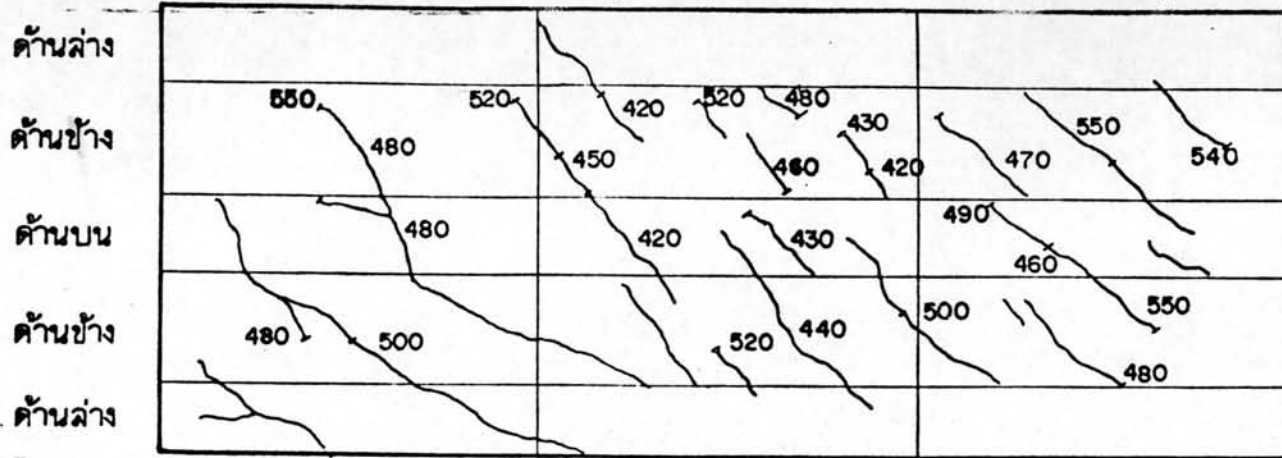
รูปที่ 5.12 (ข) ความสัมพันธ์ระหว่างแรงบิดและหน่วยการยึดตัวของเหล็กลูกตั้งด้านขึ้น ของคาน B<sub>10</sub>, B<sub>12</sub>, B<sub>13</sub>



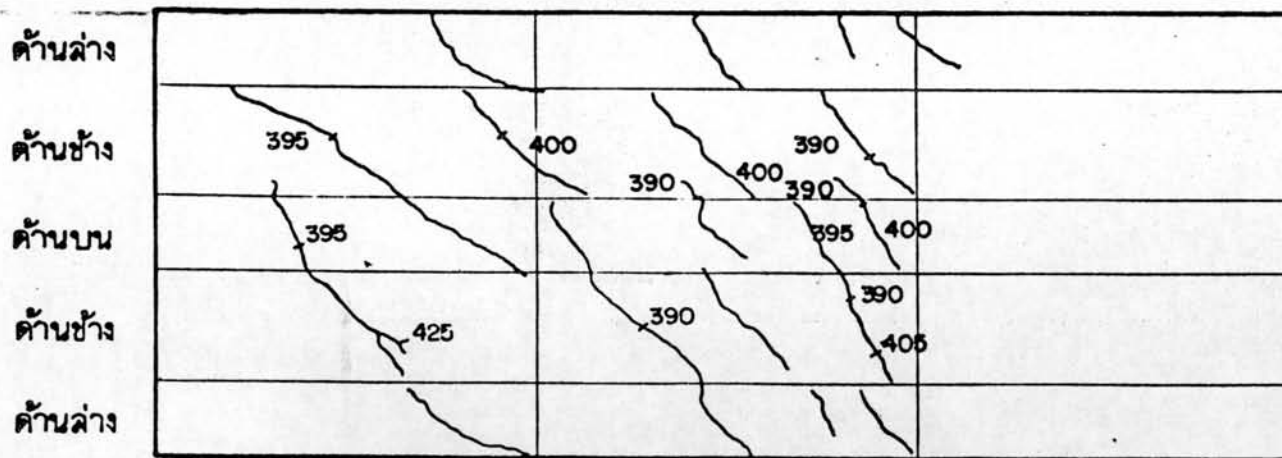
รูปที่ 5.13 แสดงลักษณะการแตกตัวของคาน B<sub>2</sub>



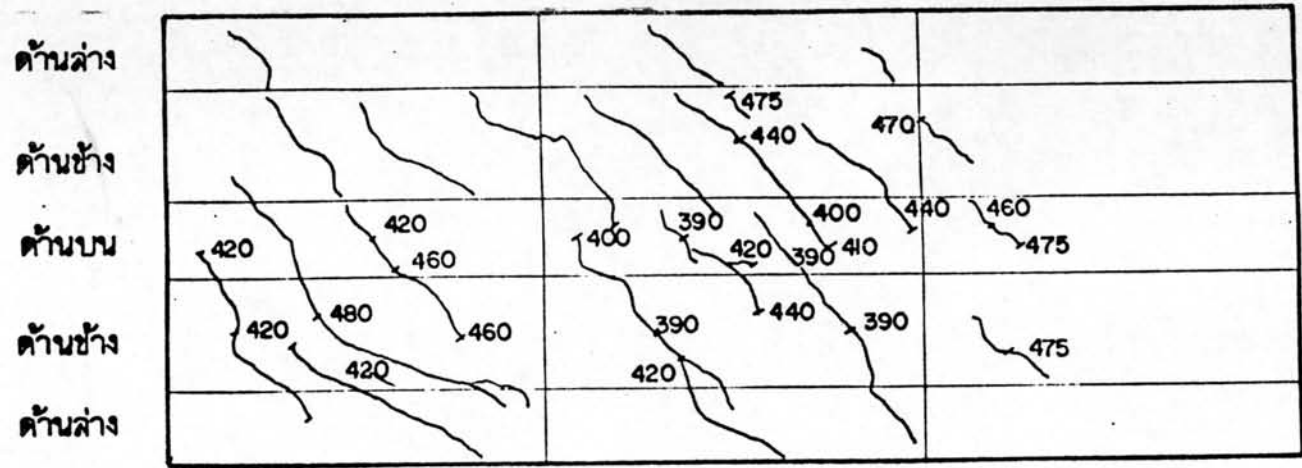
รูปที่ 5.14 แสดงลักษณะการแตกตัวของคาน B<sub>3</sub>



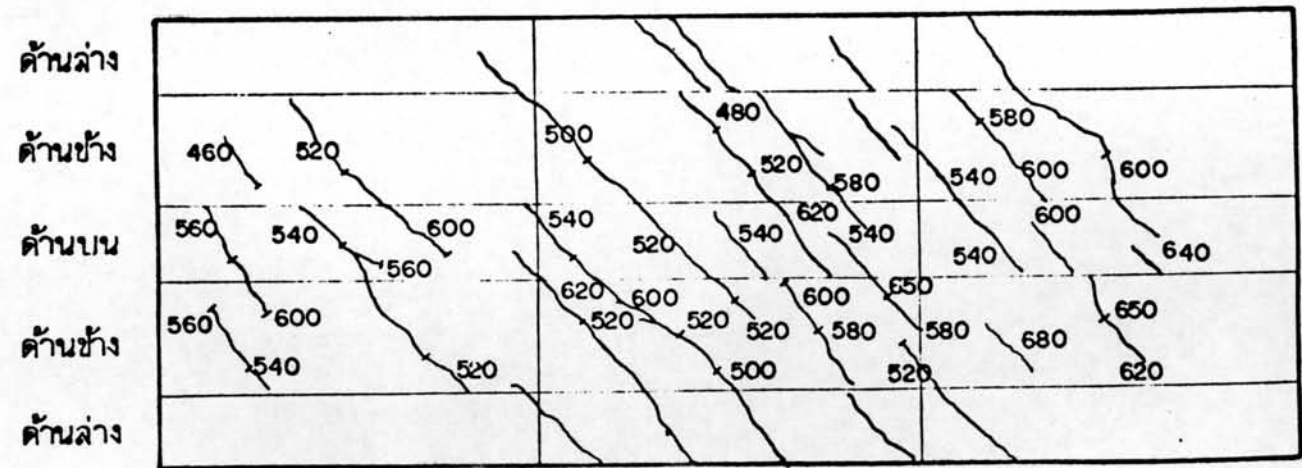
รูปที่ 5.15 แสดงลักษณะการแตกตัวของดินของคาบ B<sub>6</sub>



รูปที่ 5.16 แสดงลักษณะการแตกตัวของดินของคาบ B<sub>7</sub>

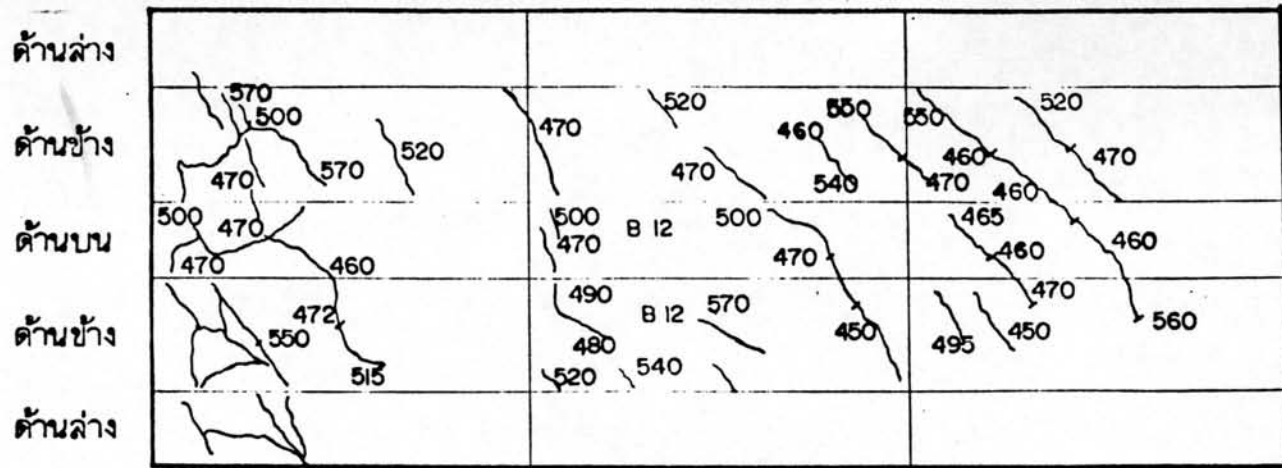


รูปที่ 5.17 แสดงลักษณะการแตกตัวของตาน B 8

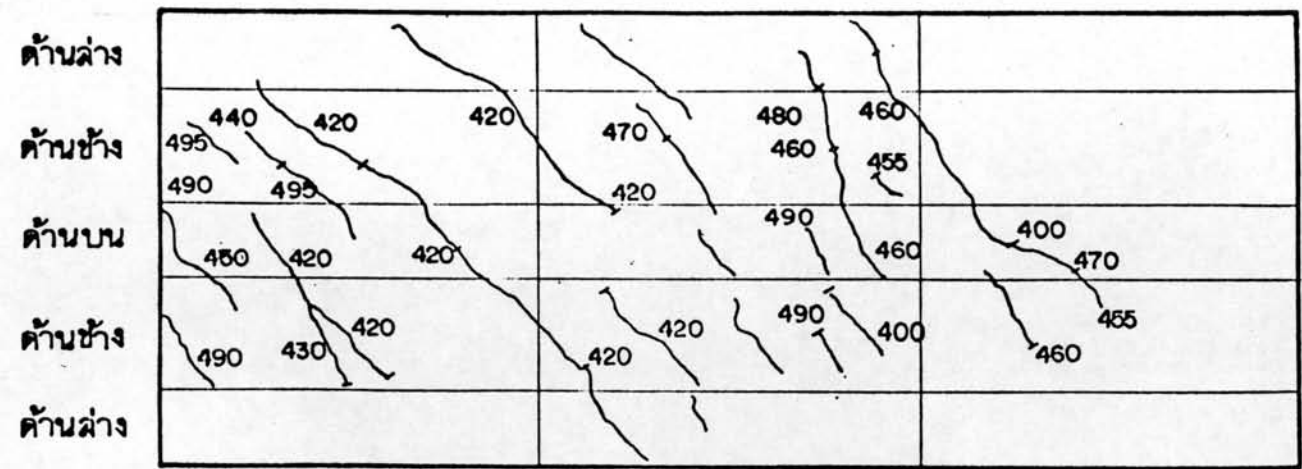


รูปที่ 5.18 แสดงลักษณะการแตกตัวของตาน B<sub>10</sub>

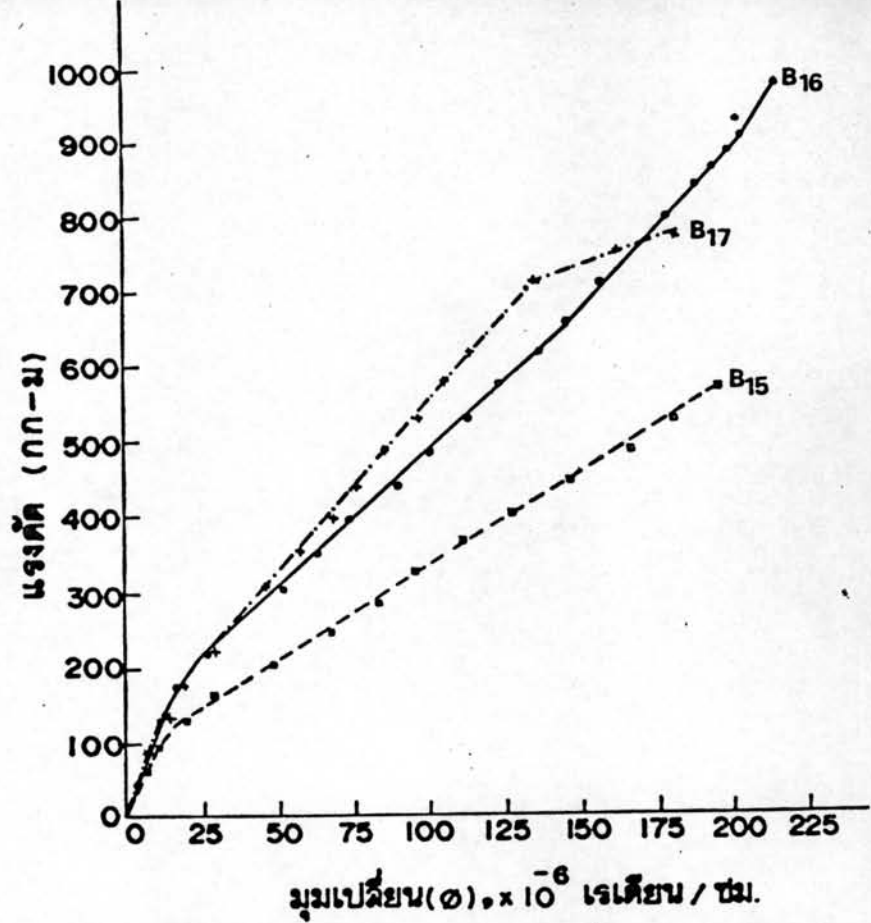




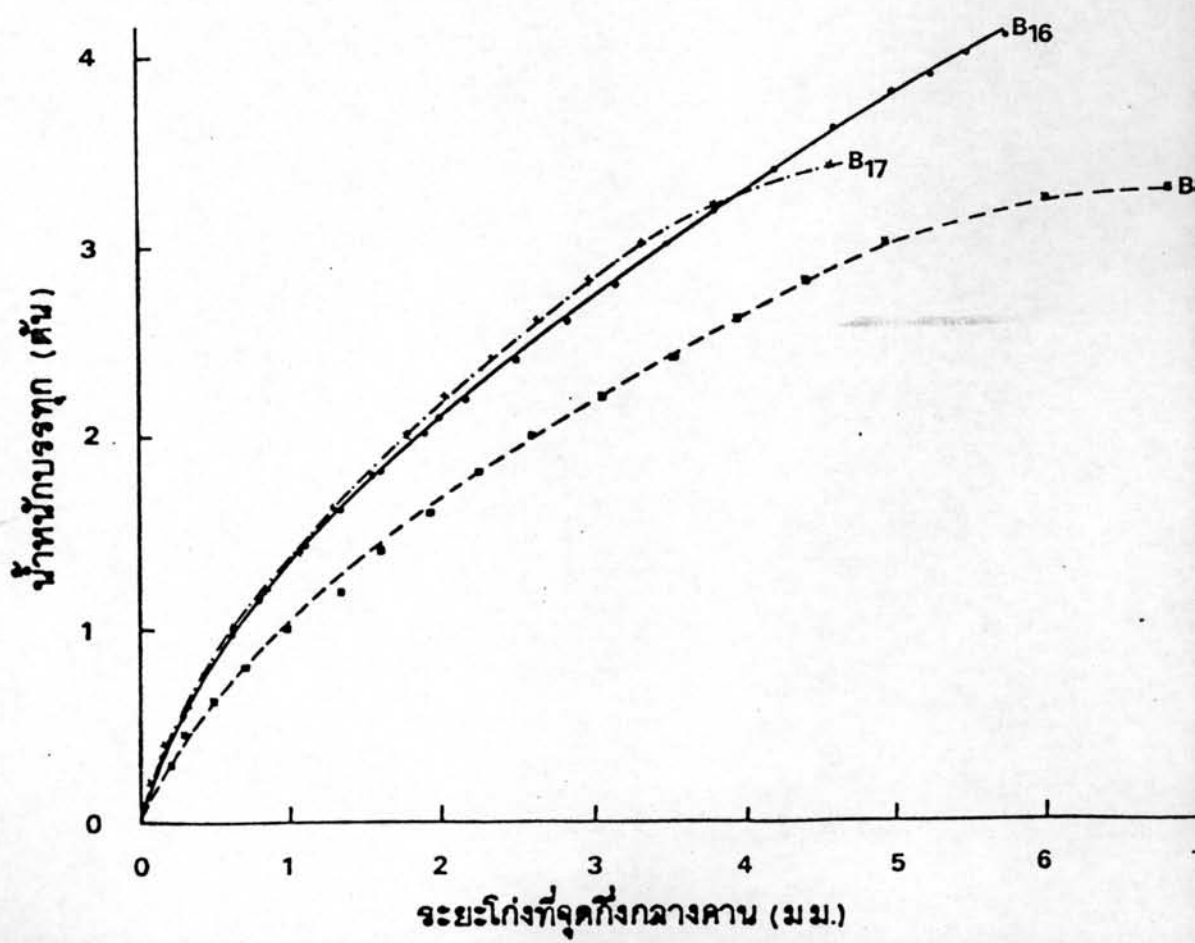
รูปที่ 5.19 แสดงลักษณะการแตกตัวของคาบ B 12

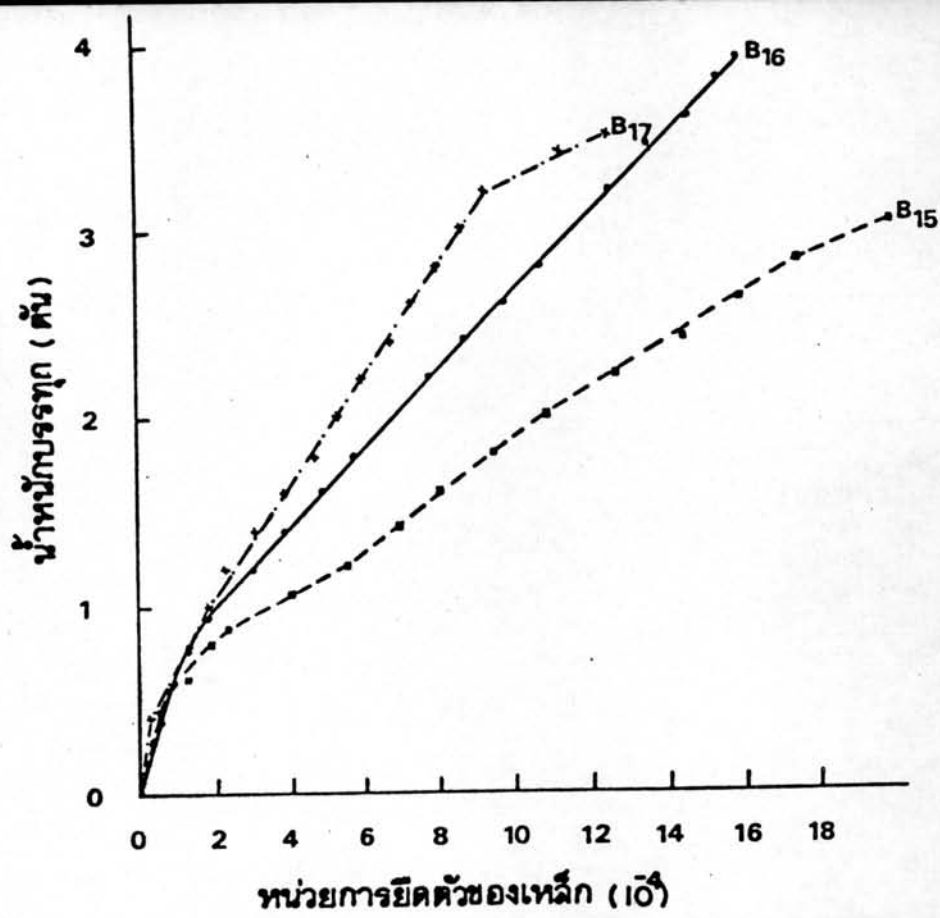


รูปที่ 5.20 แสดงลักษณะการแตกตัวของคาบ B 13

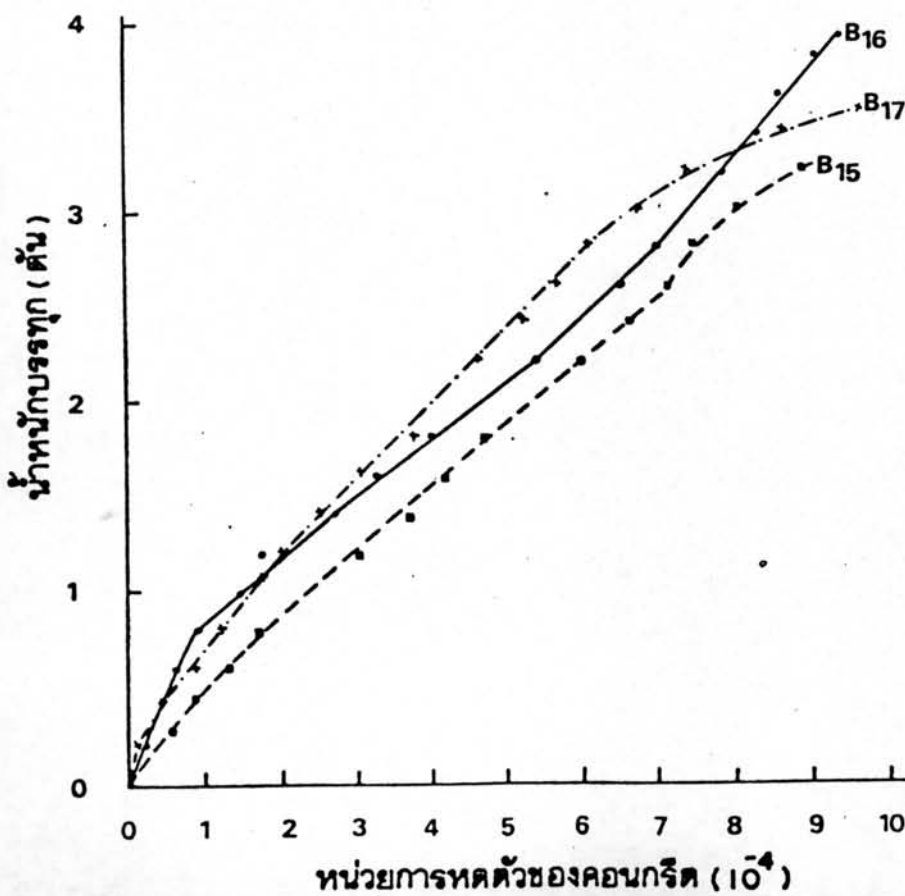


รูปที่ 5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงคัตและมุมเปลี่ยน ของคาน B<sub>15</sub>, B<sub>16</sub>, B<sub>17</sub>

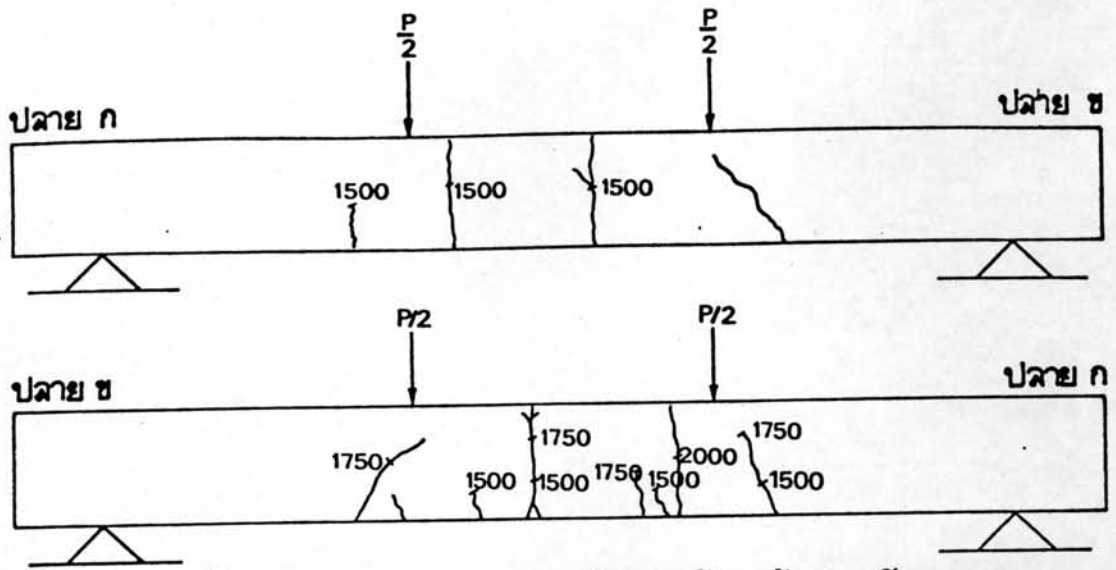




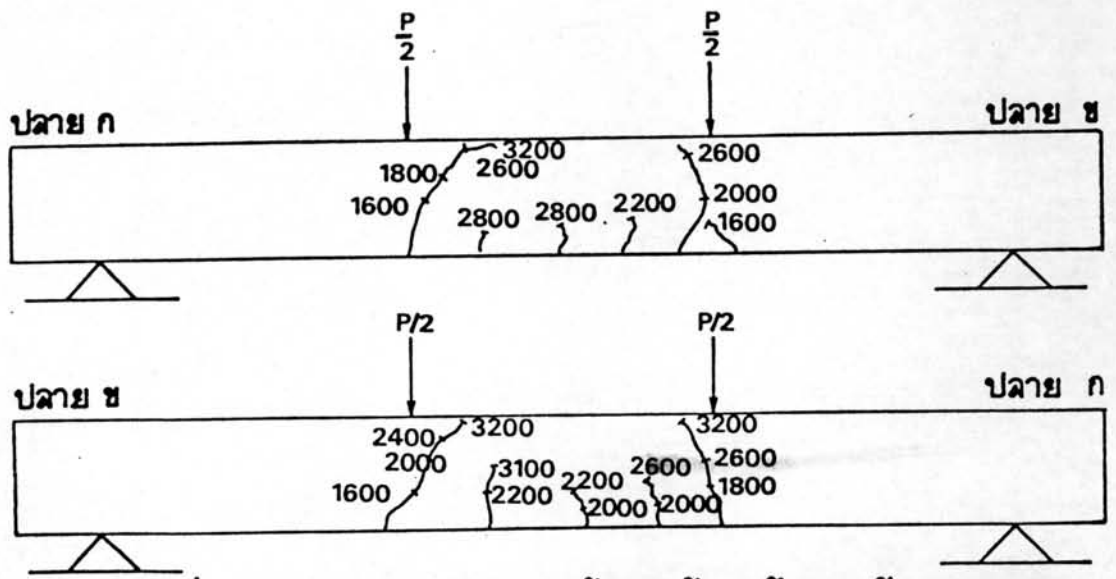
รูปที่ 5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุทุกและหน่วยการยัดตัวของเหล็ก ของคาน B<sub>15</sub>, B<sub>16</sub>, B<sub>17</sub>



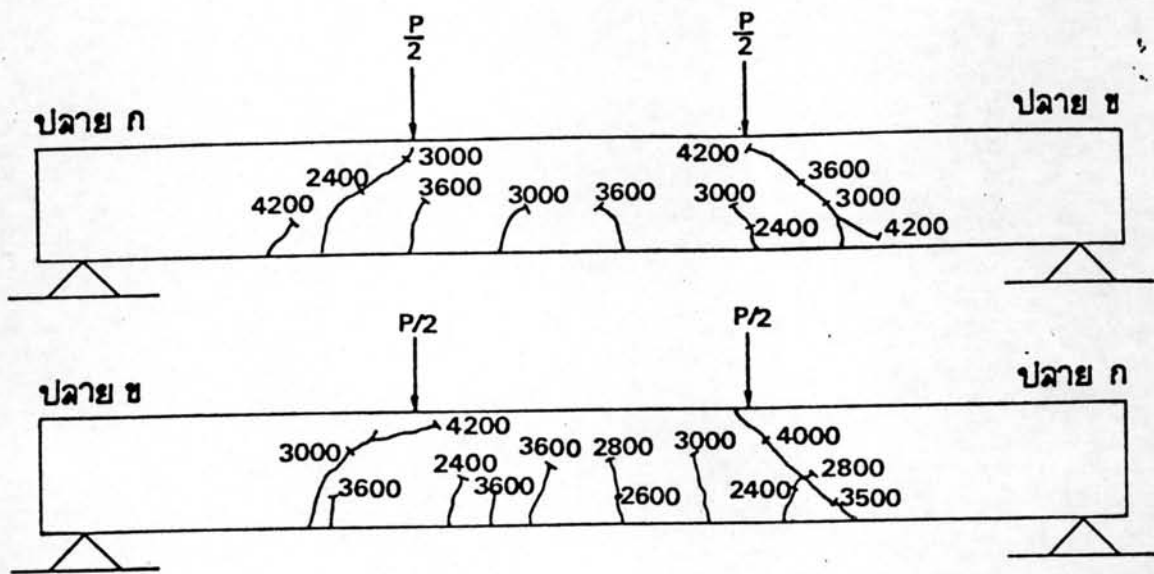
รูปที่ 5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างน้ำหนักบรรจุทุกและหน่วยการหดตัวของคอนกรีต ของคาน B<sub>15</sub>, B<sub>16</sub>, B<sub>17</sub>



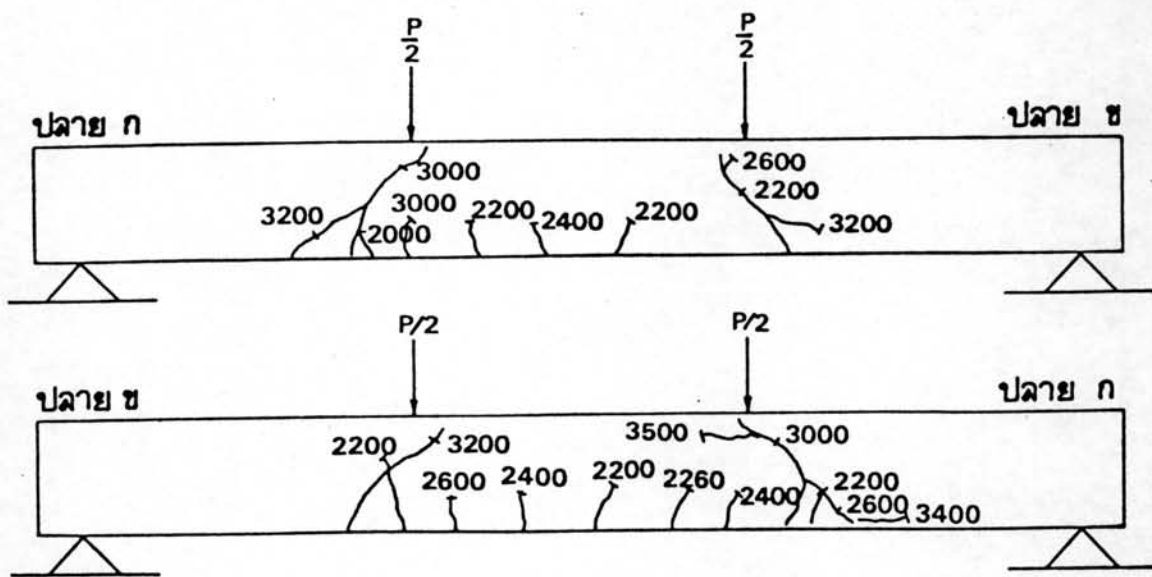
รูปที่ 5.25 แสดงลักษณะการแตกร้าวทางด้านหน้าและหลัง ของคาน B<sub>14</sub>



รูปที่ 5.26 แสดงลักษณะการแตกร้าวทางด้านหน้าและหลัง ของคาน B<sub>15</sub>



รูปที่ 5.27 แสดงลักษณะการแตกร้าวทางด้านหน้าและหลัง ของคาน B<sub>16</sub>



รูปที่ 5.28 แสดงลักษณะการแตกร้าวทางด้านหน้าและหลัง ของคาน B<sub>17</sub>

## ประวัติผู้เขียน

นายเอนก ฉัตรเสถียร เกิดเมื่อวันที่ 6 มิถุนายน พ.ศ. 2496 สำเร็จการศึกษา  
ชั้นปริญญาตรีสาขาวิศวกรรมศาสตร์ (โยธา) เมื่อ พ.ศ. 2518 จากมหาวิทยาลัยเชียงใหม่  
ปัจจุบันเป็นวิศวกรที่ปรึกษาในหน่วยออกแบบก่อสร้างโครงการประชากร

