บทที่ ๔

ผลการทดลอง

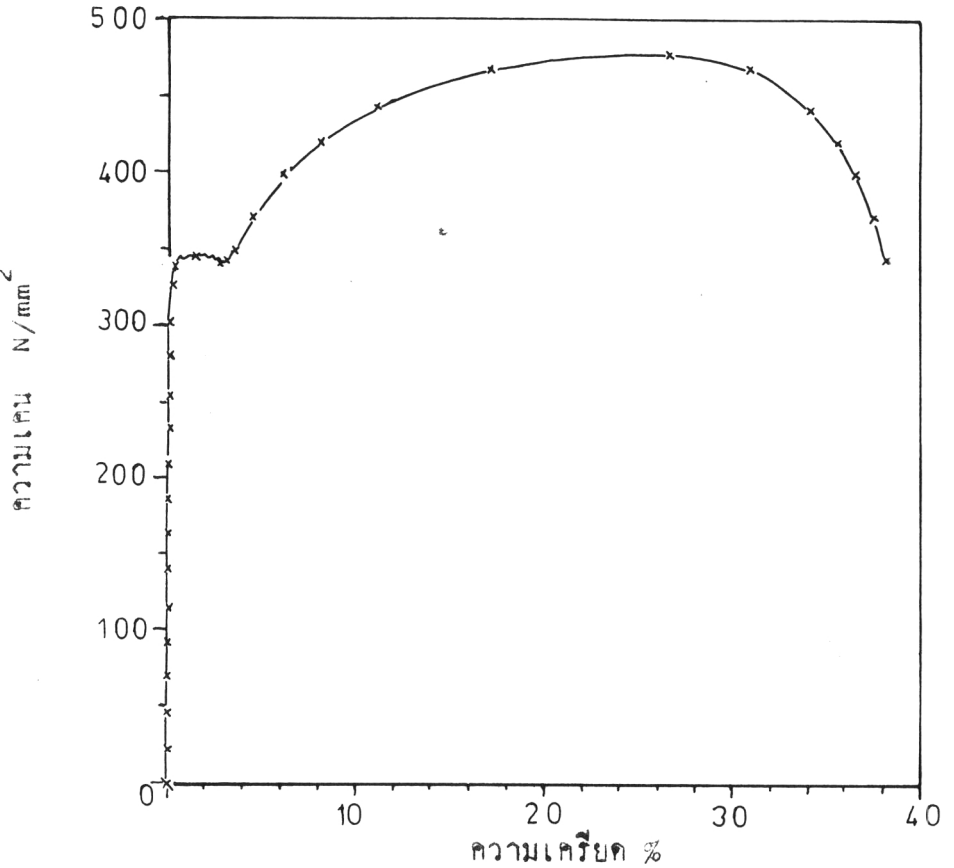
คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่ใช้ในการทดสอง

การทดสอบการดึงได้ **nominal stress-strain diagram** ตามรูปที่ ๒๗ และได้คุณสมบัติเชิงกลของวัสดุตามตารางที่ ๑ รายละเอียดของผลการทดลองจะดูได้จากตาราง ก-๑ ซึ่งอยู่ในภาคผนวก ก

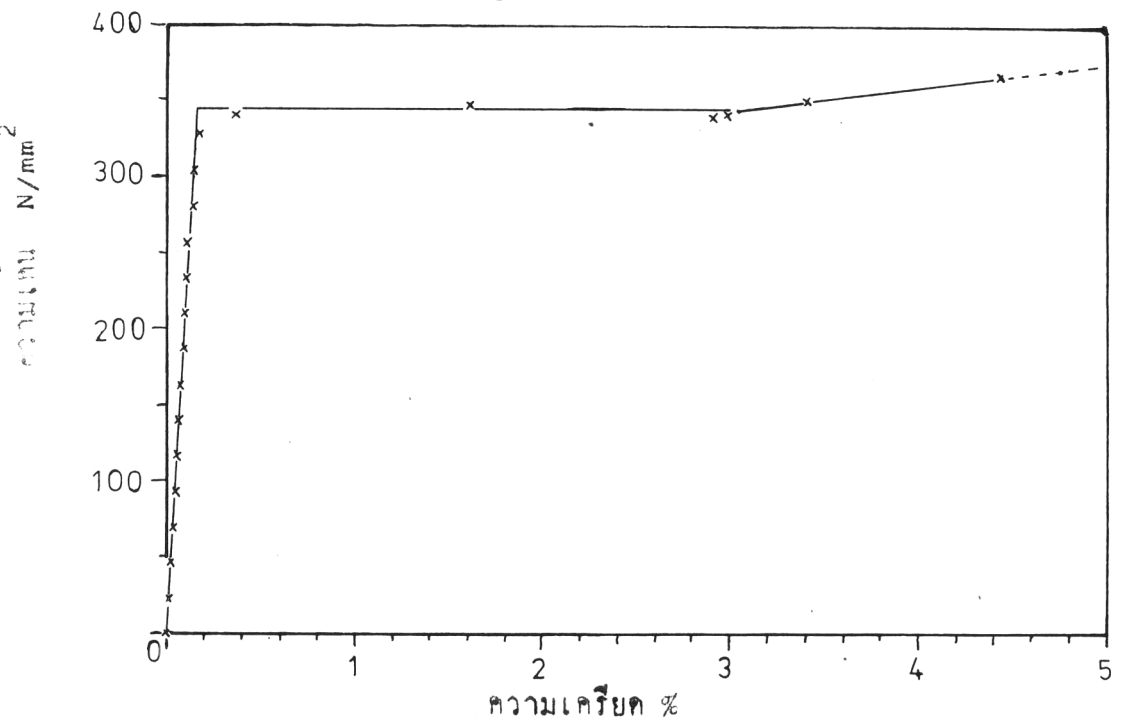
ตารางที่ ๑ คุณสมบัติเชิงกลของเหล็กเหนียวที่ใช้ในการทดลอง

ขอบเขตความยืดหยุ่น	285.0	N/mm^2
จุดคลาก	345.0	N/mm^2
ความแข็งแรงสูงสุด	477.4	N/mm^2
ความแข็งแรงจุดขาด	345.7	N/mm^2
โมดูลัสความยืดหยุ่น	213.4 k	N/mm^2
การยืดตัวเป็นร้อยละ	38.0	%
การลดลงของพื้นที่หน้าตัดเป็นร้อยละ	63.3	%

รูปที่ ๒๘ เป็นแผนภาพความเค้นกับความเครียดของวัสดุที่ดัดแปลงมาจากแผนภาพความเค้นกับความเครียดในรูปที่ ๒๗ ให้เป็น **ideal stress-strain diagram** ของวัสดุแบบ **elastic-perfectly plastic-linear strain hardening** เพื่อเป็นข้อตัดสินว่าจะสามารถใช้ **simple plastic theory** ได้หรือไม่ จาก **ideal stress-strain diagram** ได้ความเครียดตรงจุดคลาก $\varepsilon_y = 0.162\%$ และความเครียดตรงจุดที่เริ่มเกิด **strain hardening** $\varepsilon_p = 2.98\%$ ทำให้ได้ $\lambda = 18.4$ ซึ่งมีค่ามากกว่า 8 ดังนั้น จึงสามารถใช้ **simple plastic theory** ได้ (5)



รูปที่ ๒๗ Nominal stress-strain diagram ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง (ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๑)



รูปที่ ๒๘ Ideal stress-strain diagram ของวัสดุที่ใช้ในการทดลอง (ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๑)

I16005077

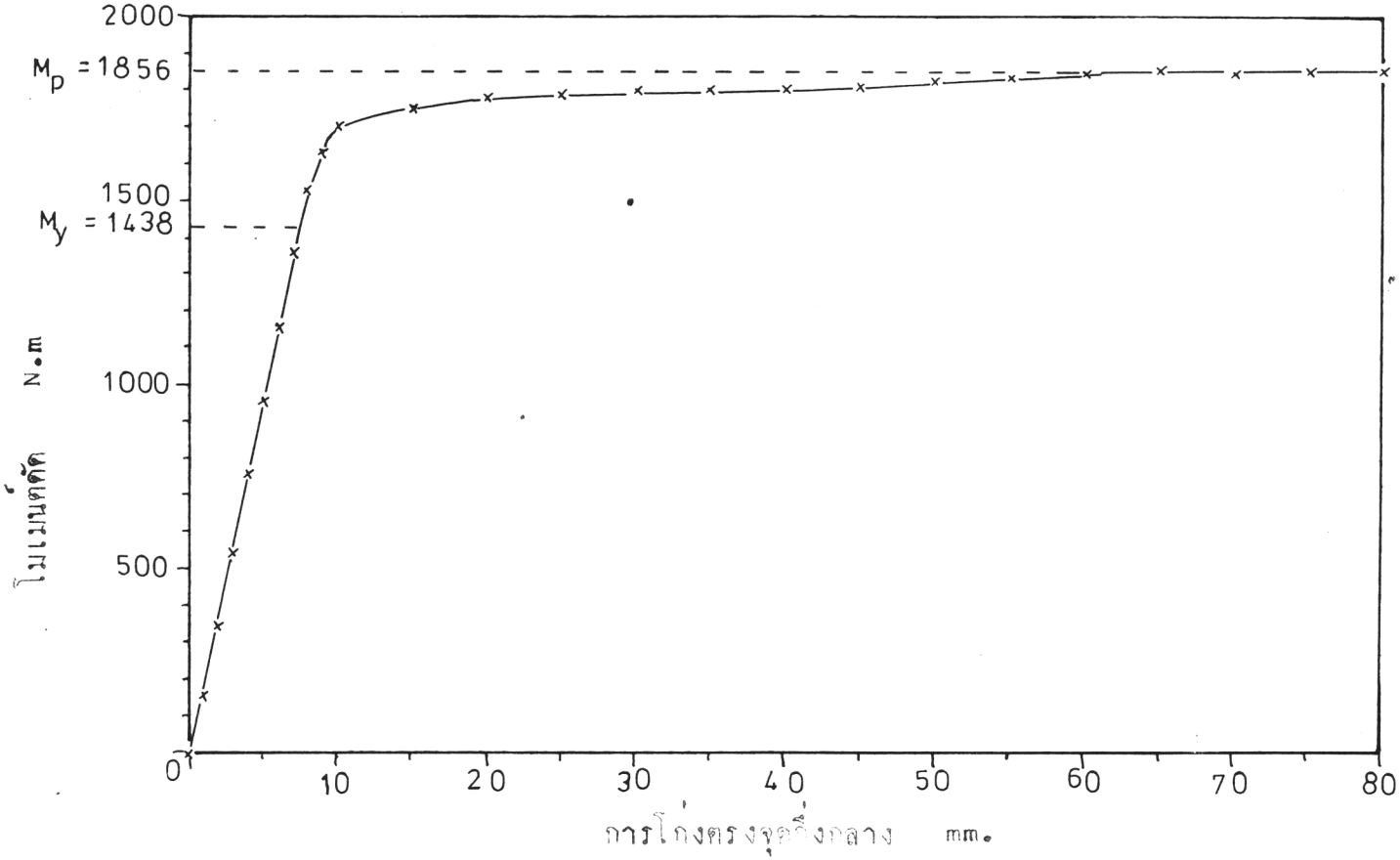
โมเมนต์ดัดและการโก่งของคาน

รูปที่ ๒๘ ถึงรูปที่ ๓๖ เป็นแผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งของคานที่ได้จากการทดลอง รูปที่ ๒๘ และรูปที่ ๓๐ เป็นแผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงจุดกึ่งกลางของคานที่ไม่มีรอยบากหน้าตัด ๘.๘ ม.ม. $\times$ ๕๐ ม.ม. และ ๘.๘ ม.ม. $\times$ ๔๐ ม.ม. ตามลำดับ รูปที่ ๓๑ ถึงรูปที่ ๓๕ เป็นแผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว และรูปที่ ๓๖ เป็นแผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากสองข้างซึ่งมีมุมบาก ๖๐° รัศมีตรงรากของรอยบาก ๒.๕ ม.ม.

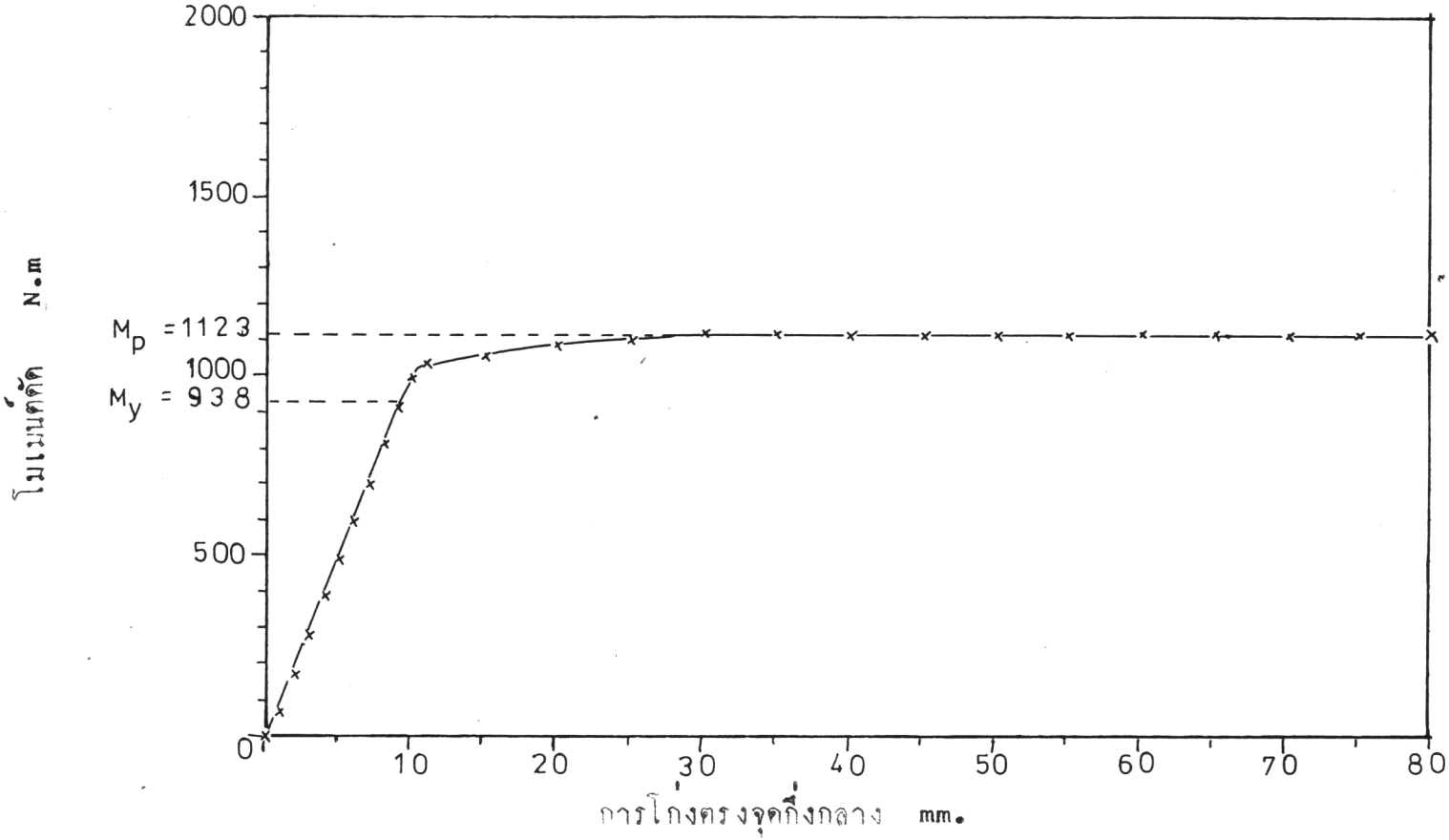
เส้นกราฟในรูปเหล่านี้มีคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกันคือในช่วงแรกเส้นกราฟจะเป็นเส้นตรงจนกระทั่งถึงจุดที่โมเมนต์ดัดมีค่าเท่ากับโมเมนต์จุดคลาก M_y เส้นกราฟจึงจะเริ่มเป็นเส้นโค้ง และเมื่อเกิดการโก่งมากถึงค่าหนึ่ง โมเมนต์ดัดก็จะมีค่าคงที่ ค่าของโมเมนต์ดัดที่มีค่ามากที่สุดนี้ถือได้ว่าเป็นโมเมนต์พลาสติกสูงสุด

เส้นกราฟของคานที่มีรอยบากข้างเดียวมุมบาก $\theta = ๖๐°$ รัศมีตรงรากของรอยบาก $r = 0$ ในช่วงหลังตกลง ซึ่งมีผลทำให้โมเมนต์ดัดมีค่าน้อยลงนั้นเกิดขึ้นเนื่องจากชิ้นทดสอบเกิดการฉีกตรงรากของรอยบากดังแสดงไว้ในรูปที่ ๓๗ บริเวณตรงรากของรอยบากซึ่งเป็นส่วนที่เกิดการดึงของคานที่มีรอยบากแบบอื่นไม่เกิดการฉีกตรงรากของรอยบาก แต่จะเกิดรอยบุ่มขึ้นตรงรากของรอยบาก การเกิดรอยบุ่มตรงรากของรอยบากนี้จะเริ่มเกิดขึ้นหลังจากที่โมเมนต์ดัดมีค่ามากกว่าโมเมนต์จุดคลากและจะเห็นได้ชัดเจนเมื่อโมเมนต์ดัดมีค่าใกล้เคียงกับโมเมนต์พลาสติกสูงสุด ลักษณะของรอยบุ่มตรงรากของรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = ๖๐°$, $r = ๒.๕$ ม.ม. ได้แสดงไว้ในรูปที่ ๓๘ ส่วนบริเวณสันคานซึ่งอยู่ตรงข้ามกับรอยบากจะเกิดการขึ้นเล็กน้อยพอจะสังเกตด้วยตาเปล่าได้ สำหรับคานที่มีรอยบากสองข้างนั้นบริเวณรอยบากที่เกิดการดึงจะหักรอยบุ่มและบริเวณรอยบากที่เกิดการอัดจะเกิดการบวมขึ้นมาดังแสดงไว้ในรูปที่ ๓๙

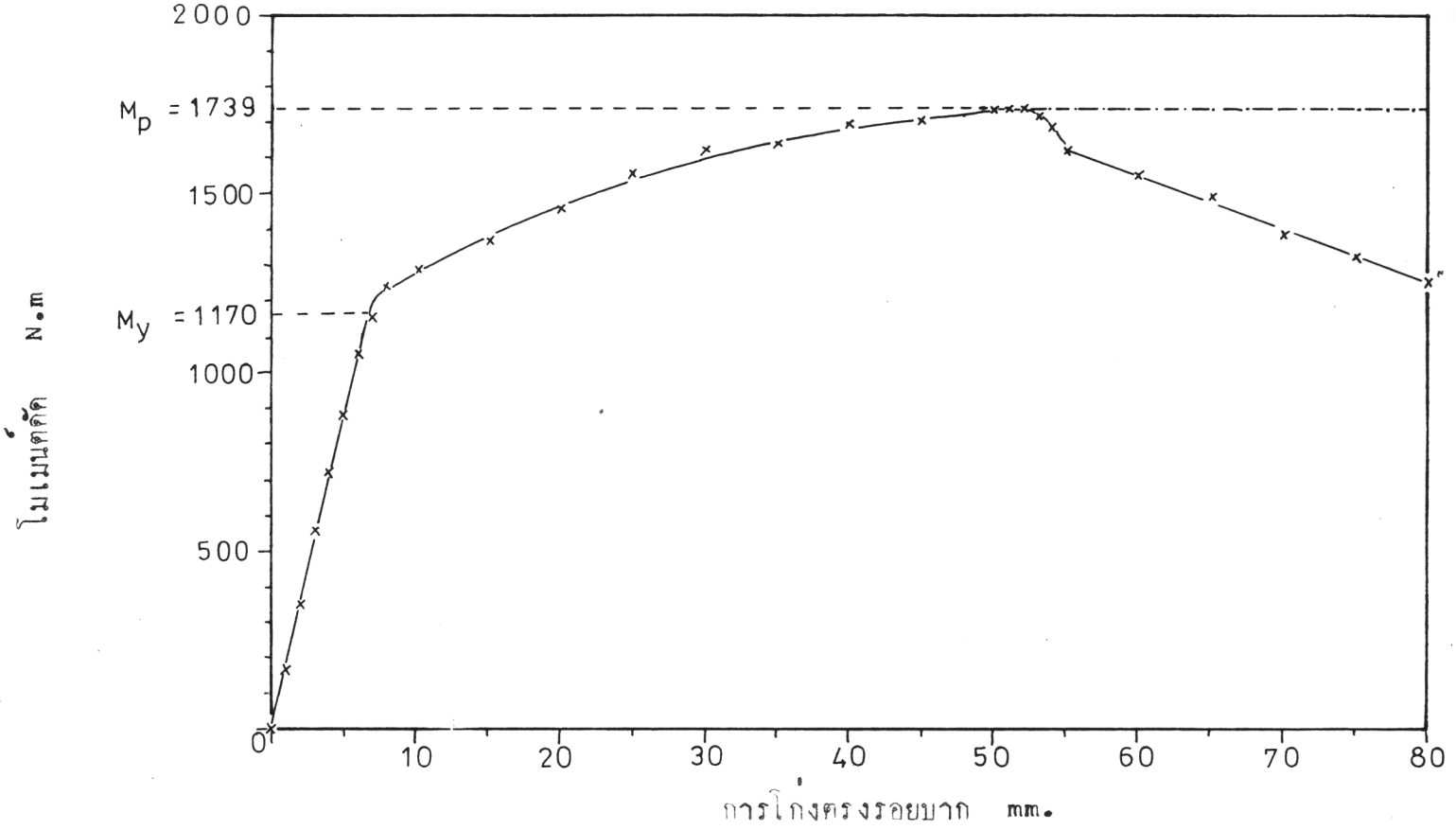
ค่าของโมเมนต์จุดคลากและโมเมนต์พลาสติกสูงสุดได้แสดงไว้ในแผนภาพของคานแต่ละอัน แผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งของคานในรูปที่ ๒๙ ถึงรูปที่ ๓๐ นี้ ใช้ข้อมูลที่ได้จากการทดลองในตาราง ก-๒ ถึงตาราง ก-๕ ซึ่งอยู่ในภาคผนวก ก.



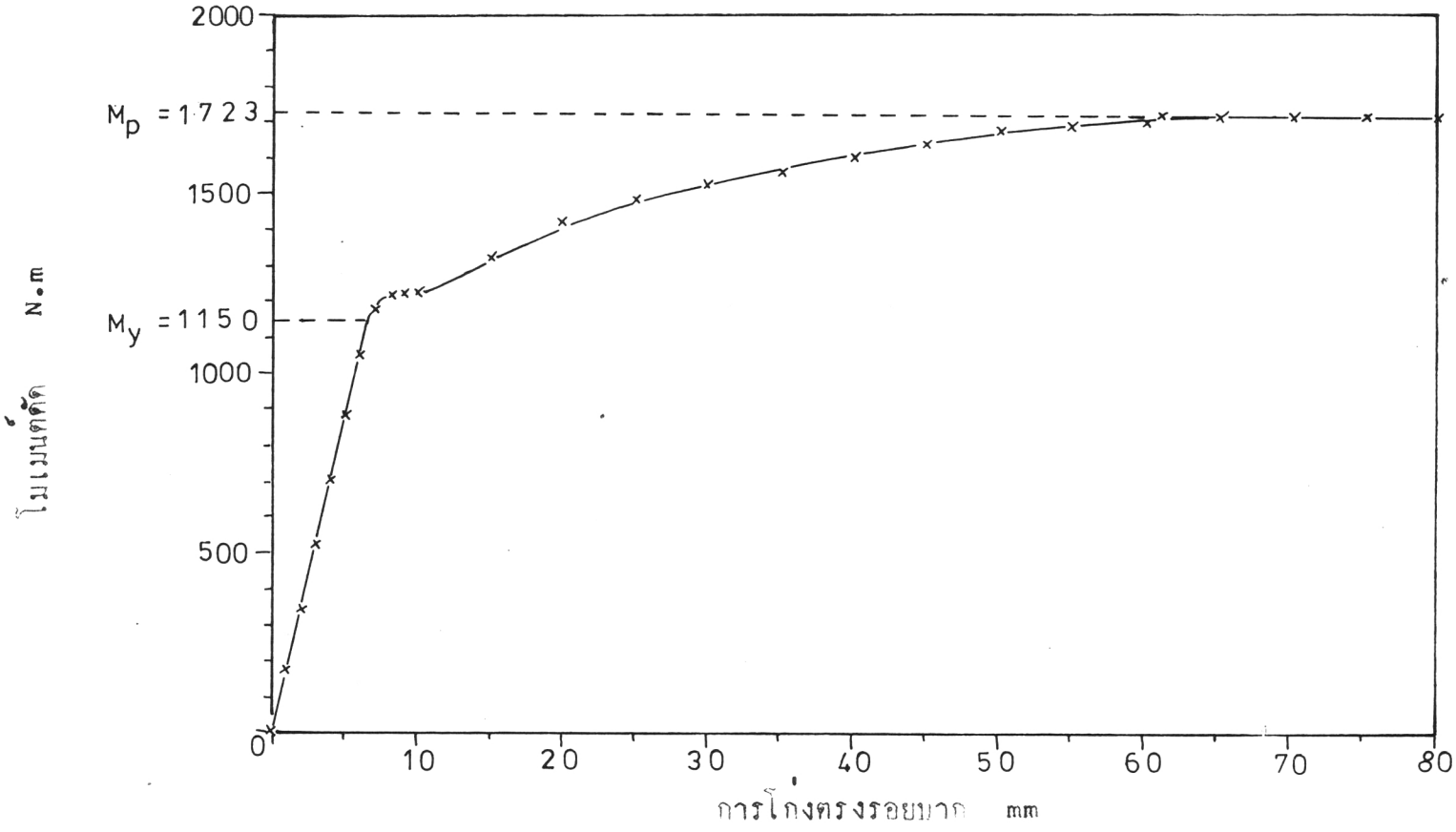
รูปที่ ๔๘ แผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงจุดกึ่งกลางของคานที่ไม่มีรอยบาก หน้าตัด ๔.๔ มม. $\times$ ๕๐ มม.
(ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๒)



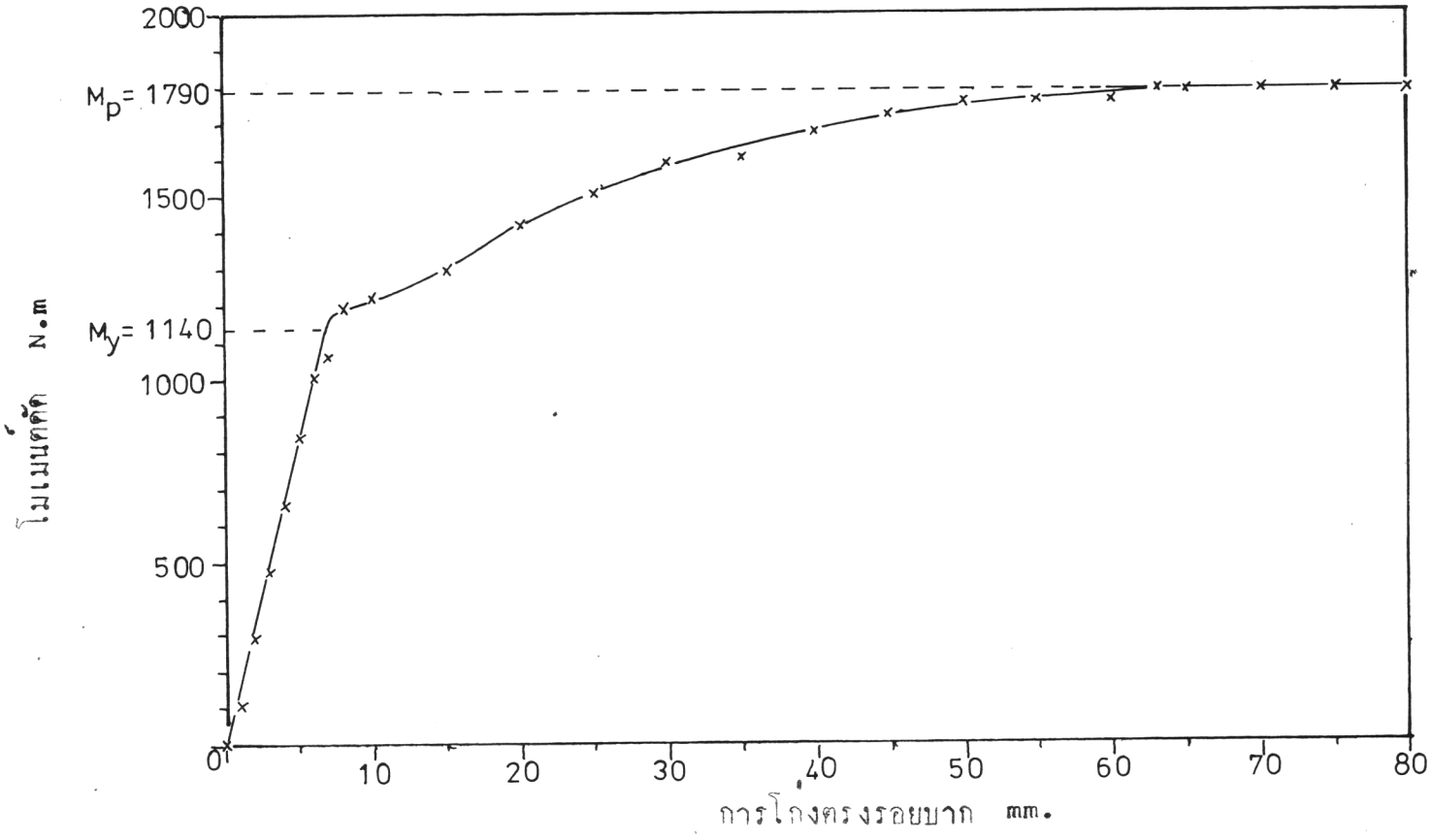
รูปที่ ๓๐ แผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงจุดกึ่งกลางของคานที่ไม่มีรอยบาก หน้าตัด ๘.๘ มม.ŧ ๔๐ มม.
(ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๒)



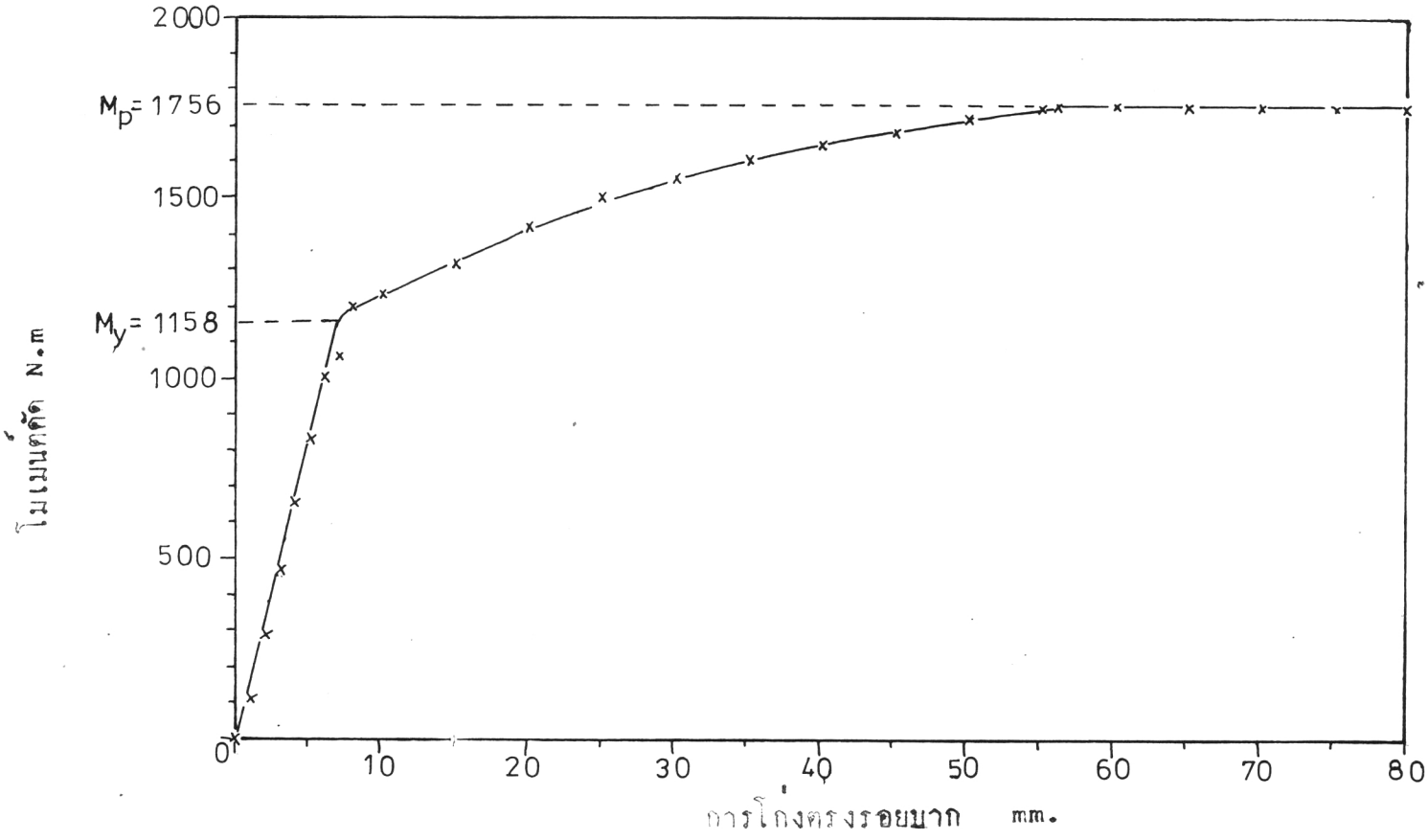
รูปที่ ๓๑ แสดงภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^{\circ}$, $r = 0$
(ข้อมูลจากตาราง ก-๓)



รูปที่ ๓๒ แผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^{\circ}$, r= 2.5 mm.
(ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๓)

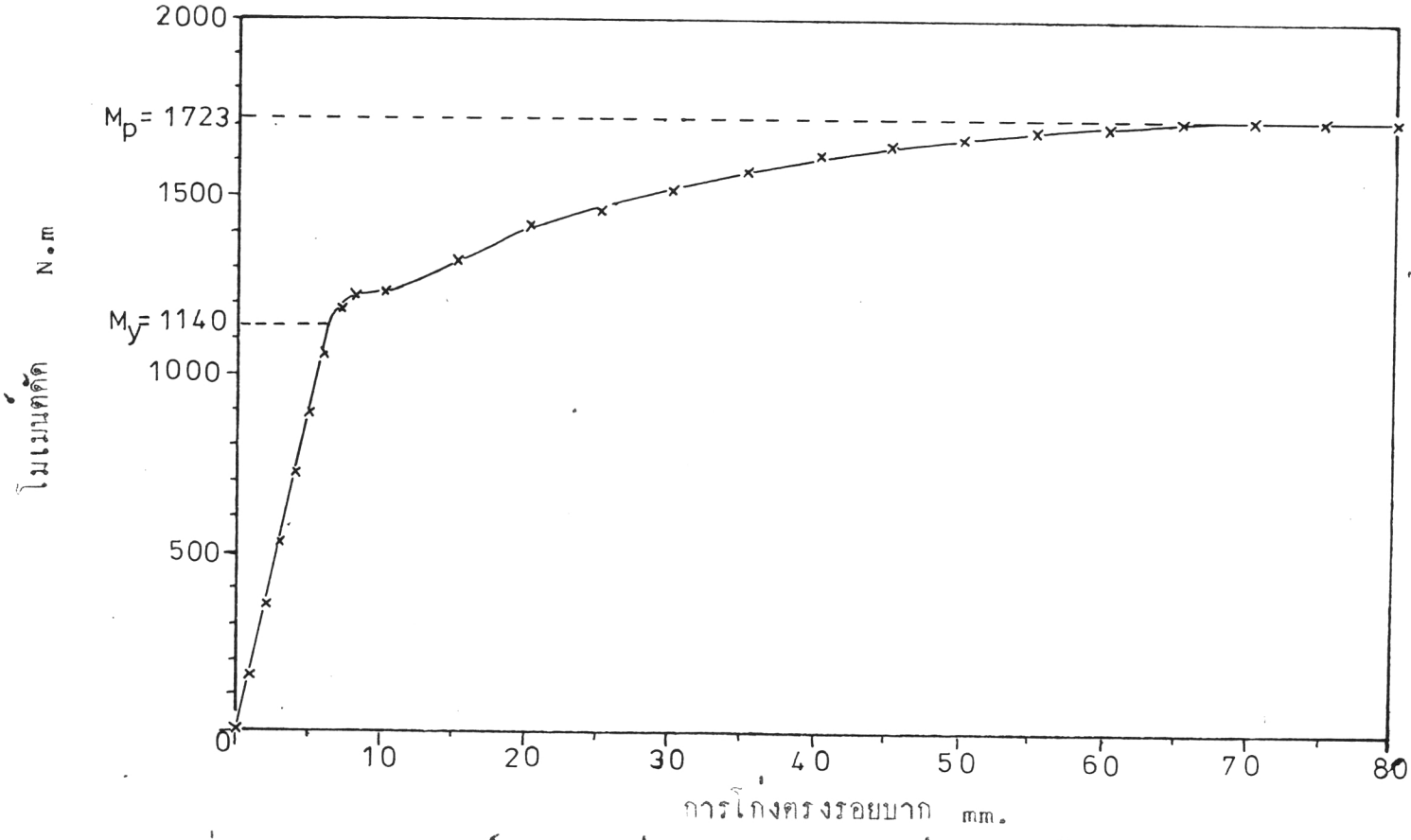


รูปที่ ๓๓ แผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^{\circ}$, r = 5 mm.
(ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๓)

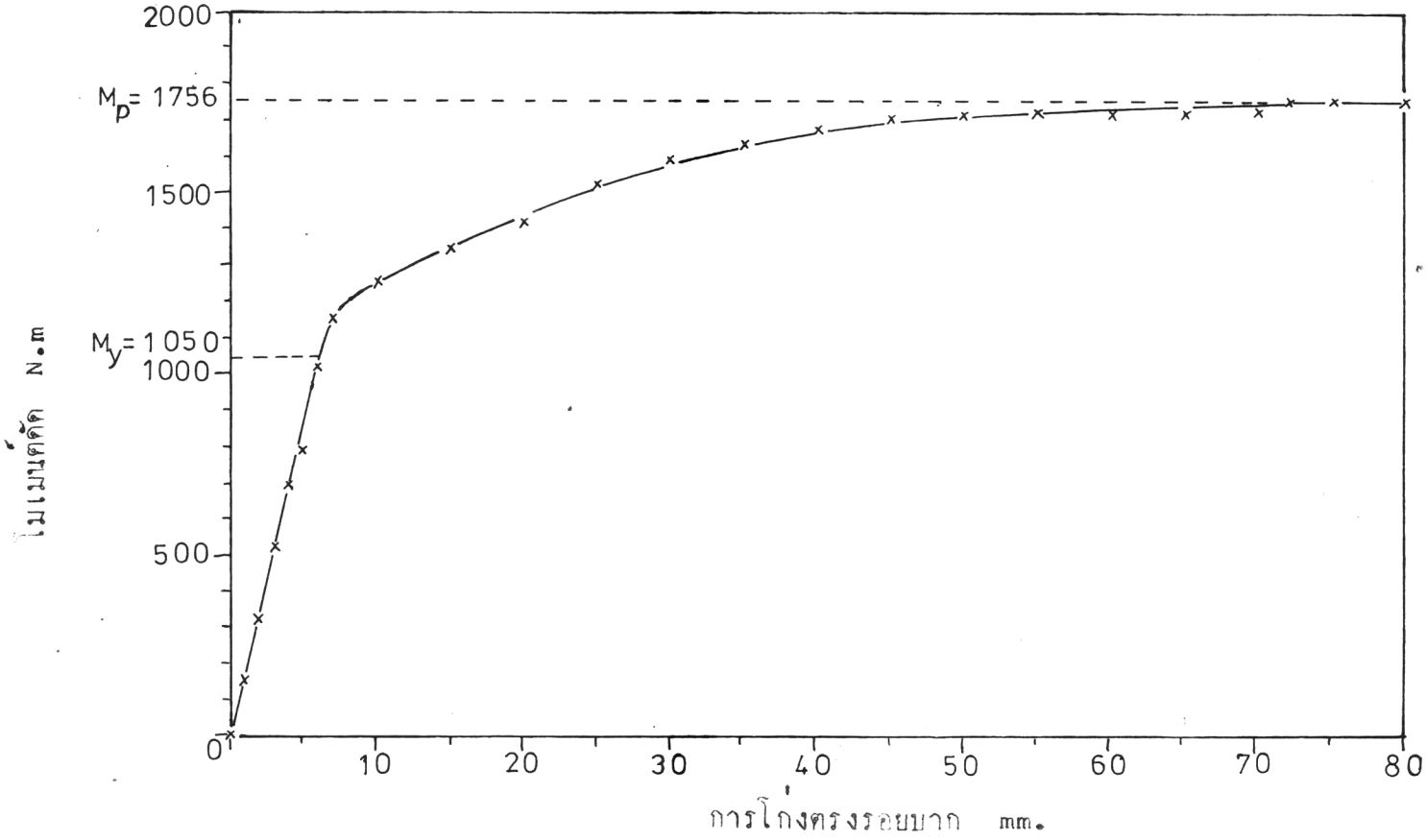


หอสมุดกลาง จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

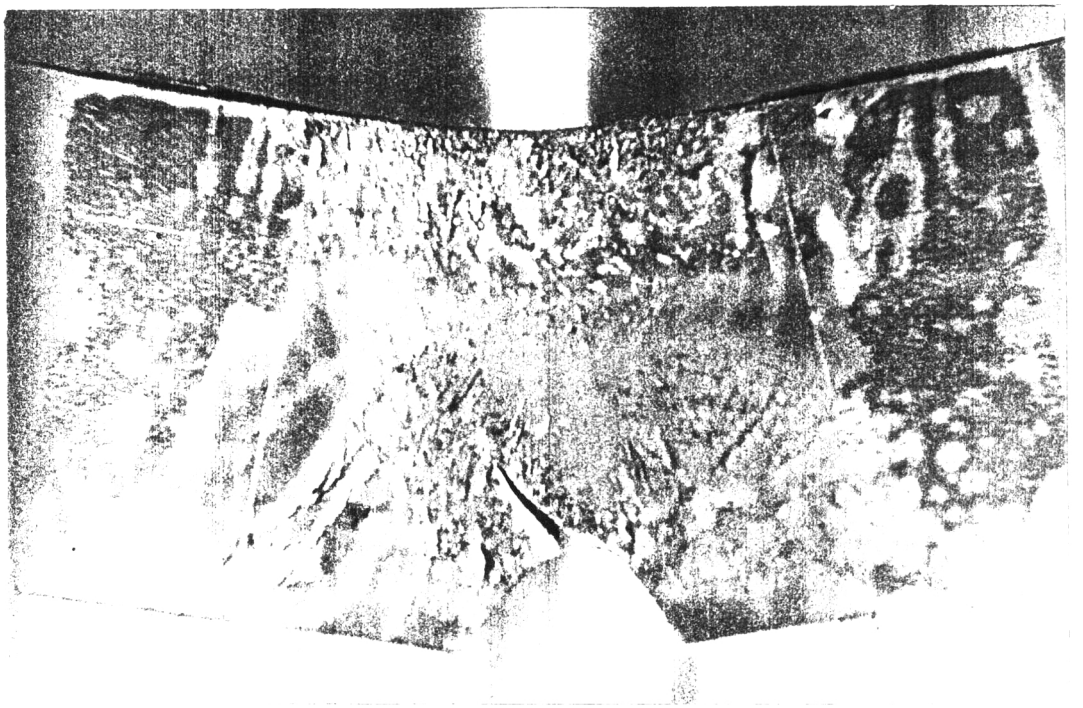
รูปที่ ๓๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว r = 2.5 mm., θ = 0 (ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๔)



รูปที่ ๗๔ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว r = 2.5 mm., θ = 120° (ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๔)

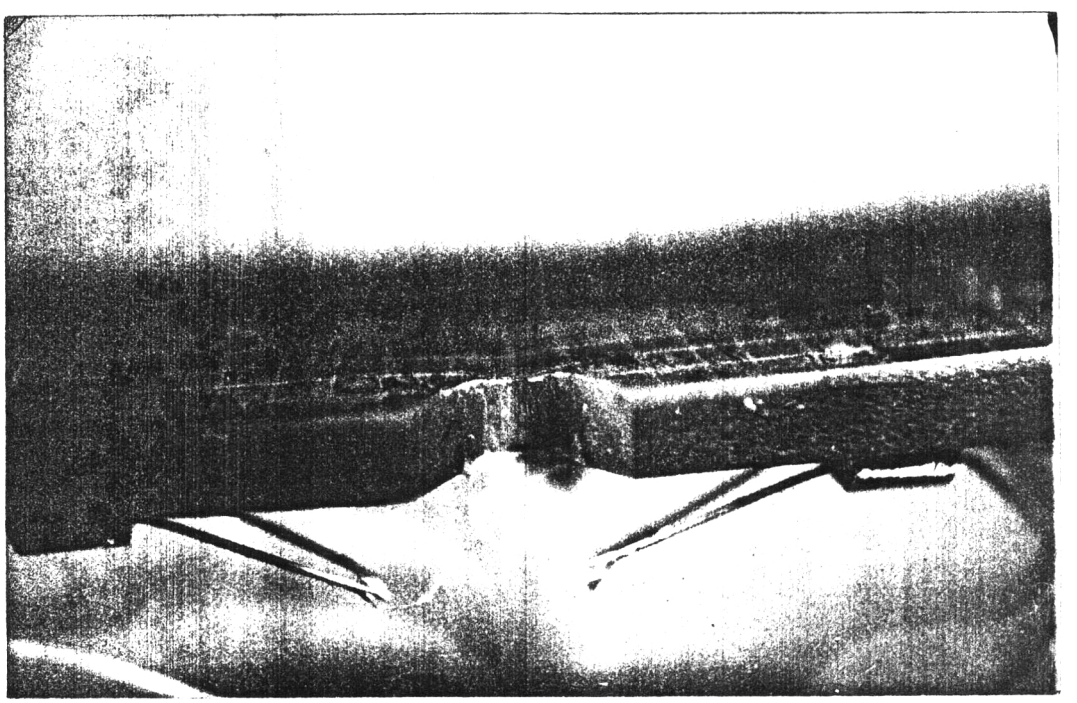


รูปที่ ๓๖ แผนภาพโมเมนต์ดัดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากสองข้าง $\theta = 60^{\circ}$, $r = 2.5$ mm. (ใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๕)



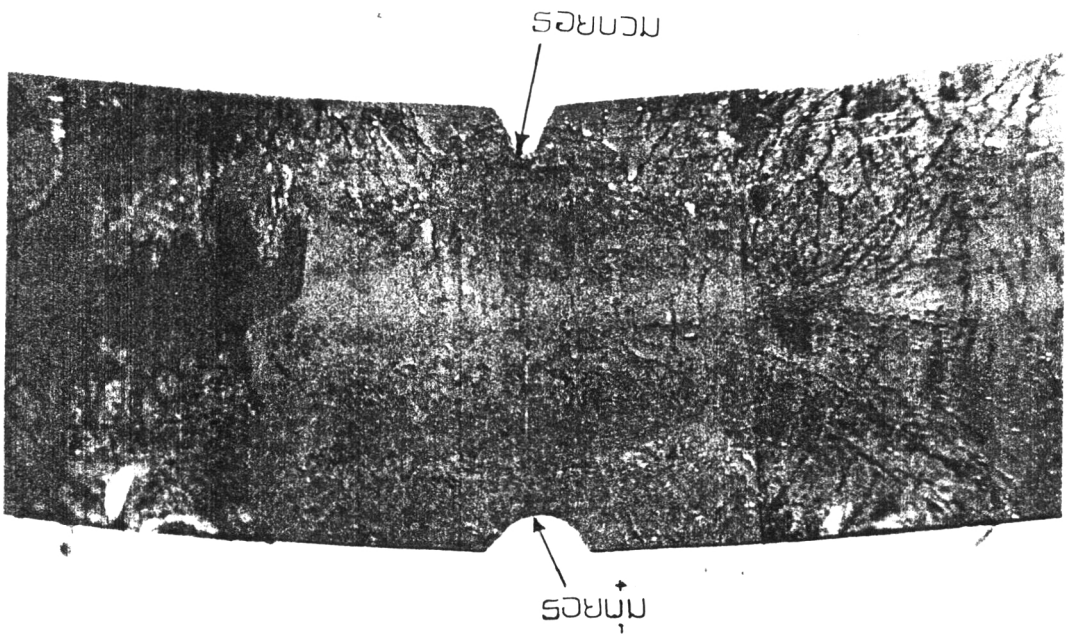
รูปที่ ๓๗. รอยฉีกตรงรากของรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว

$\theta = 60^{\circ}$, $r = 0$



รูปที่ ๓๘. รอยบุ๋มที่เกิดขึ้นตรงรากของรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว

$\theta = 60^{\circ}$, $r = 2.5$ ม.ม.



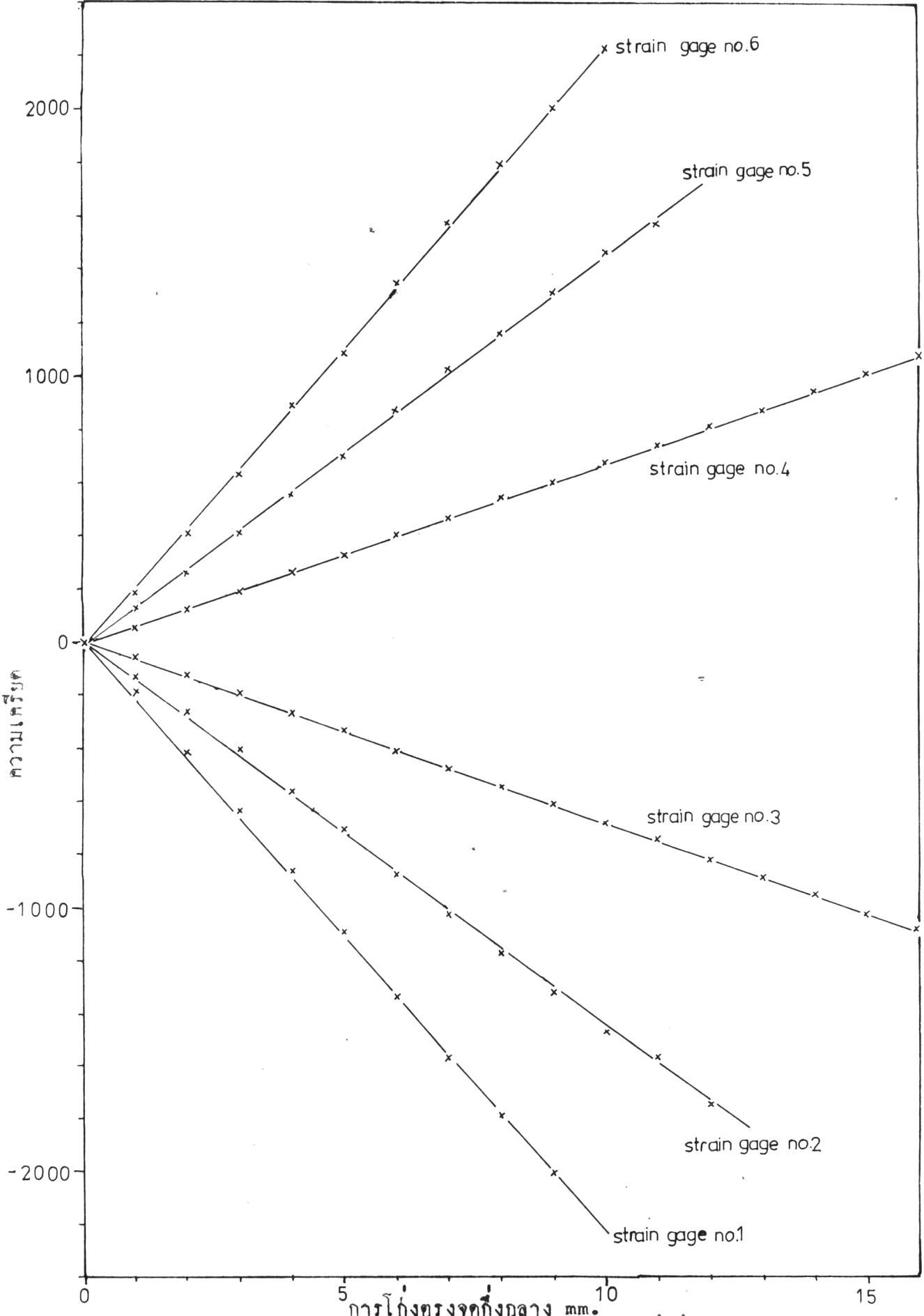
รูปที่ ๓๓. การเปลี่ยนแปลงรูปร่างครึ่งรอยบากของคานที่มีระยะบากสองข้าง

θ = ๖๐°, r = ๒.๕ ม.ม.

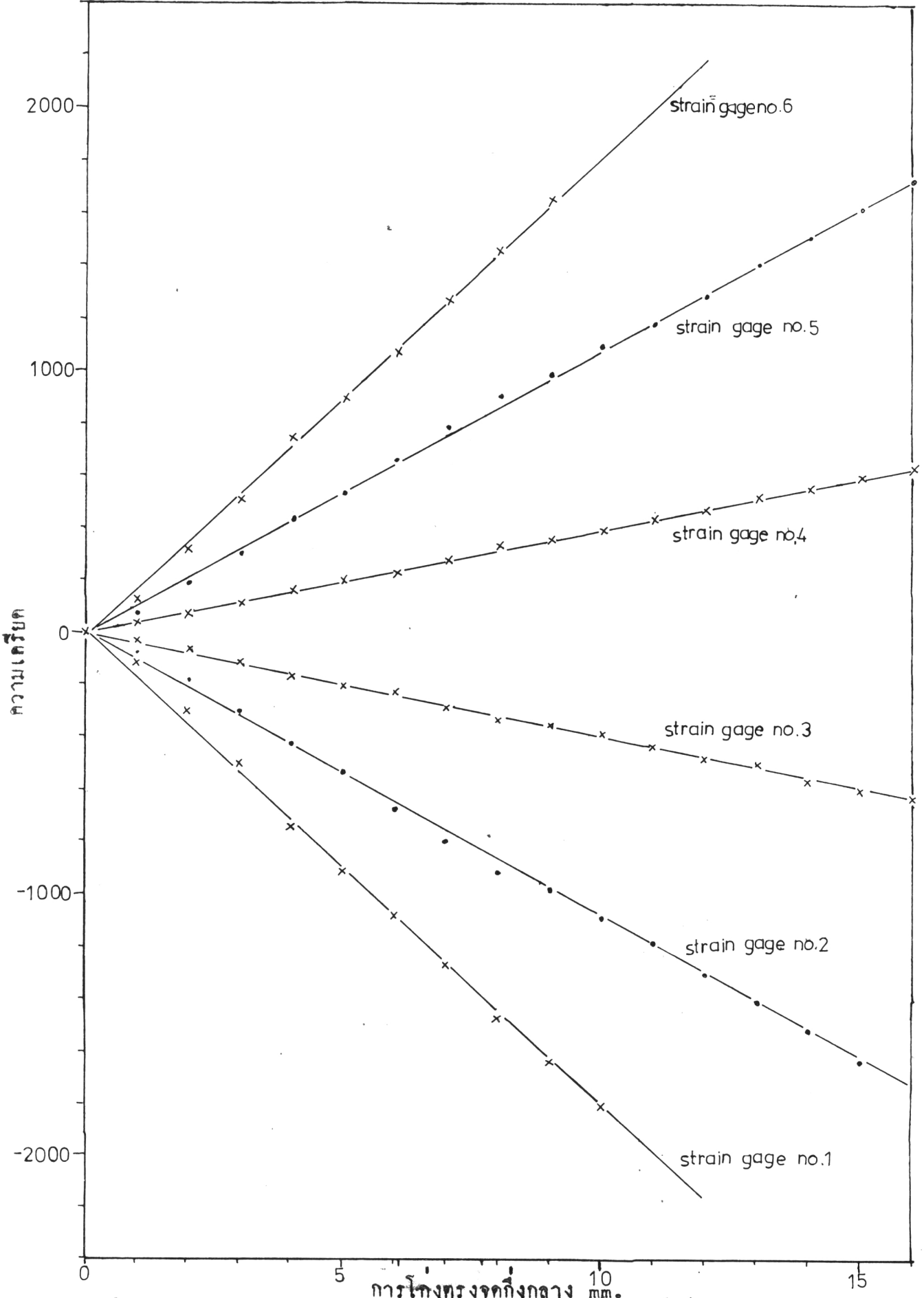
ความเครียดที่เกิดขึ้นตามความลึกของคาน

รูปที่ ๔๐ ถึงรูปที่ ๔๗ เป็นเส้นกราฟที่แสดงความสัมพันธ์ระหว่างการโก่งกับความเครียดที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานตรงตำแหน่งที่ติด **strain gage** รูปที่ ๔๐ และรูปที่ ๔๑ ได้จากการทดลองคานที่ไม่มีรอยบาก ส่วนรูปที่ ๔๒ ถึงรูปที่ ๔๗ ได้จากการทดลองคานที่มีรอยบาก เส้นกราฟในรูปเหล่านี้มีคุณลักษณะที่คล้ายกันคือตรงตำแหน่งที่ใกล้กับรอยบากหรือสันคานและท้องคานจะเกิดความเครียดสูงกว่าตำแหน่งที่อยู่ห่างไกลจากรอยบากหรือสันคานและท้องคานออกไป

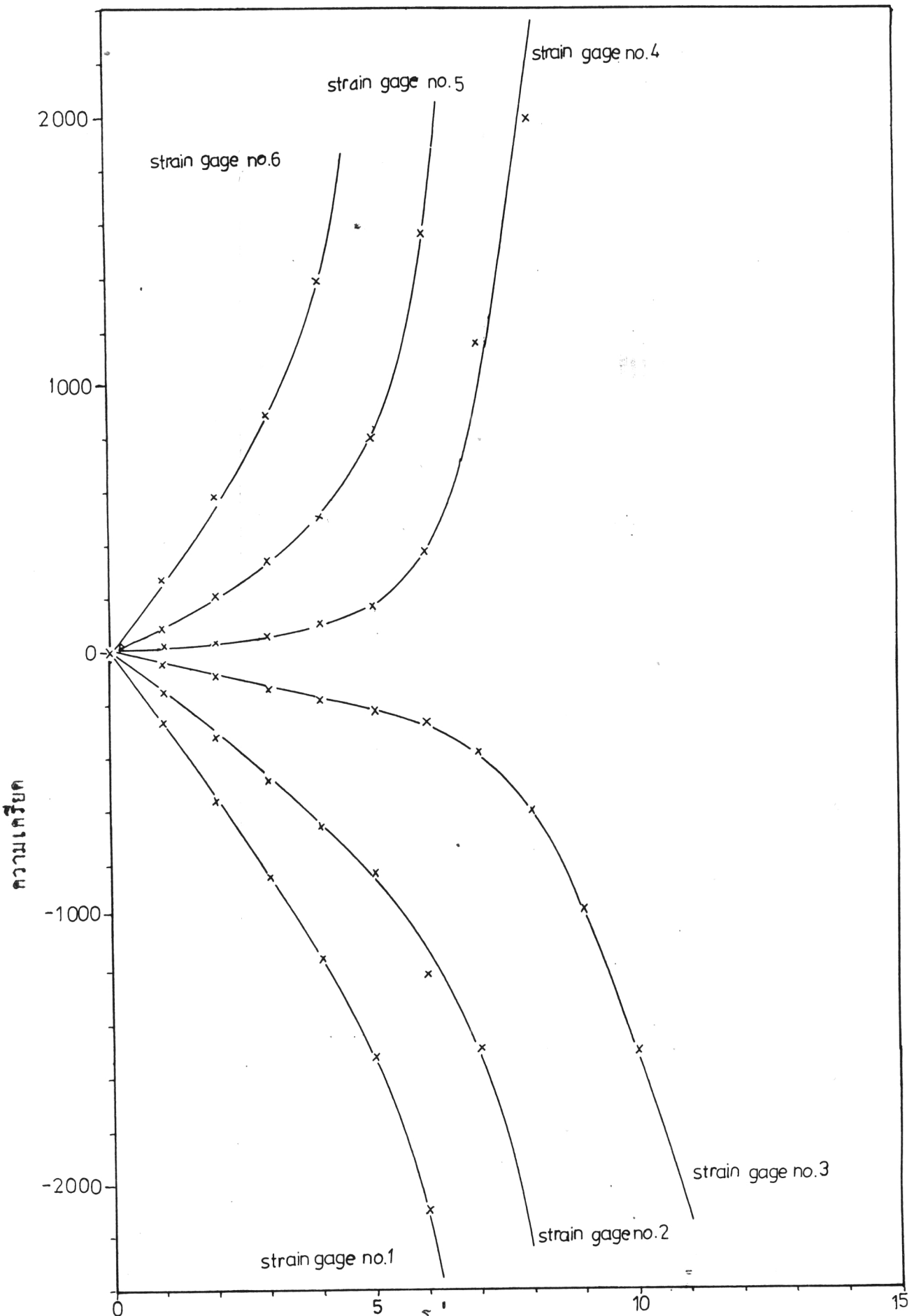
จากเส้นกราฟในรูปต่าง ๆ เหล่านี้ จะสังเกตได้ว่าคุณลักษณะของเส้นกราฟของคานที่ไม่มีรอยบาก (รูปที่ ๔๐ และรูปที่ ๔๑) และคานที่มีรอยบากสองข้าง (รูปที่ ๔๗) สำหรับด้านที่เกิดการดึงและด้านที่เกิดการอัดนั้นค่อนข้างจะเหมือนกัน ซึ่งหมายความว่าด้านที่เกิดการดึงและด้านที่เกิดการอัดตรงตำแหน่งที่ห่างจากแนวแกนของคานเป็นระยะทางเท่ากันจะเกิดความเครียดขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน ส่วนคานที่มีรอยบากข้างเดียวนั้น เส้นกราฟของความเครียดที่เกิดขึ้นในด้านที่มีรอยบากกับด้านที่ไม่มีรอยบากจะมีคุณลักษณะที่แตกต่างกัน และด้านที่มีรอยบากจะเกิดความเครียดในอัตราที่สูงกว่าด้านที่ไม่มีรอยบาก เส้นกราฟเหล่านี้จะมีลักษณะแตกต่างกันขึ้นอยู่กับรูปร่างของรอยบาก เส้นกราฟในรูปที่ ๔๐ ถึงรูปที่ ๔๗ เขียนขึ้นมาโดยใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๖ ถึงตาราง ก-๑๓ ซึ่งอยู่ในภาคผนวก ก.



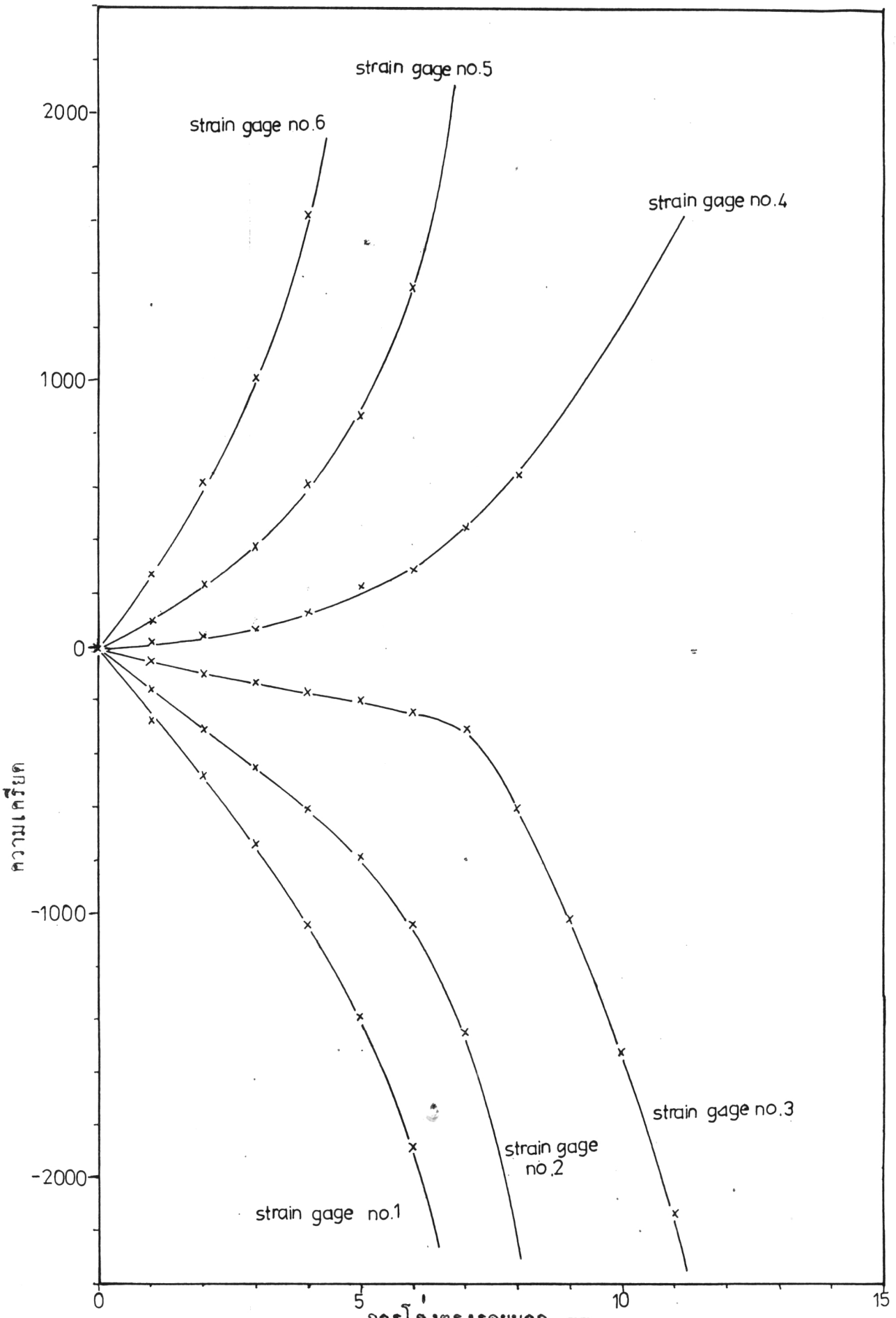
รูปที่ ๔๐ แผนภูมิความเครียดกับการโก่งตรงจุดกึ่งกลางของคานที่ไม่มีรอยบาก หน้าตัด ๘.๘ * ๕๐ มม. (ข้อมูลได้จากตาราง ก -๖)



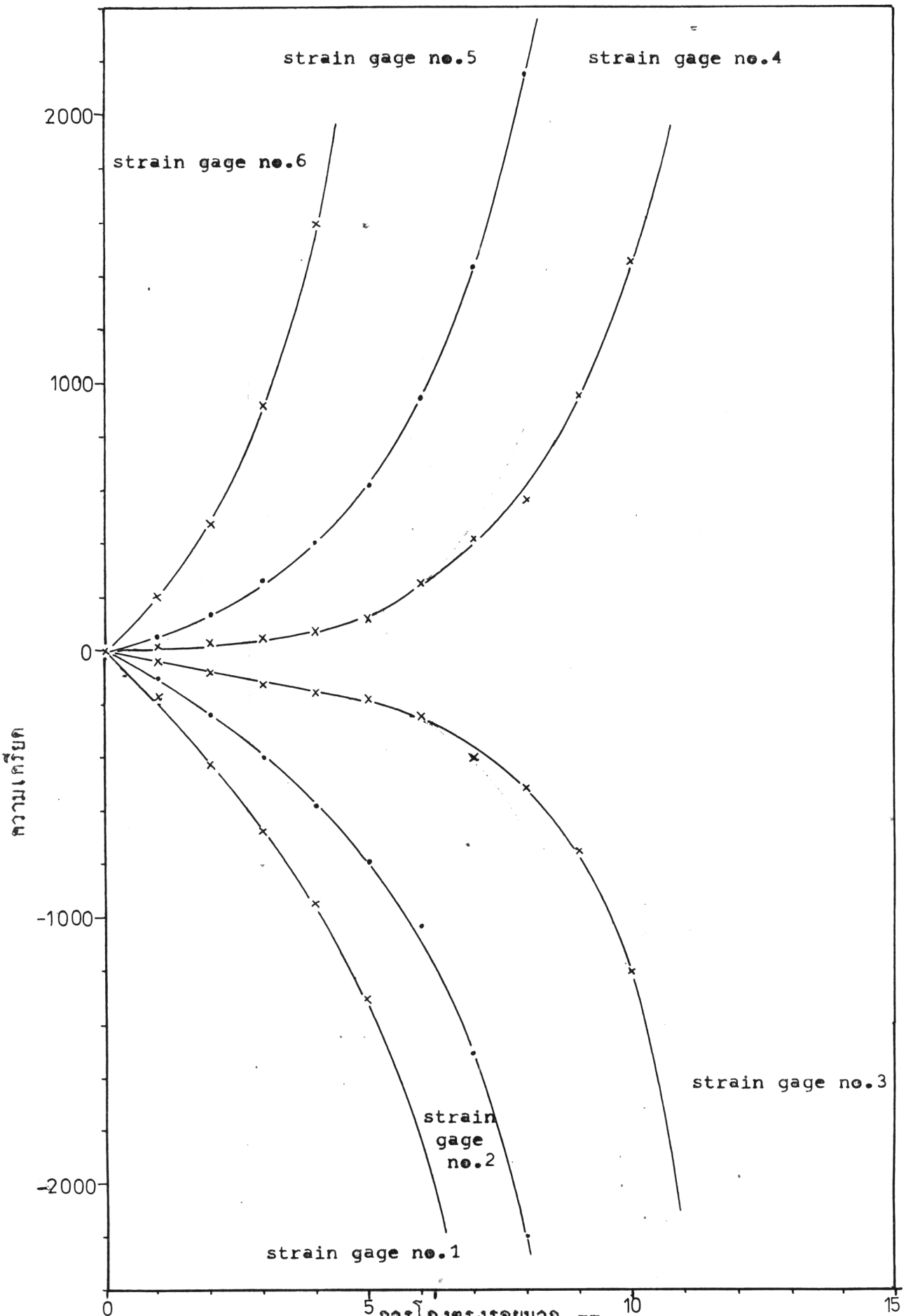
รูปที่ ๔๑ แผนภาพความเครียดกับการโก่งตรงจุดกึ่งกลางของคานที่ไม่มีรอยบาก หน้าตัด ๘.๘ x ๔๐ มม. (ข้อมูลได้จากตาราง ก-๗)



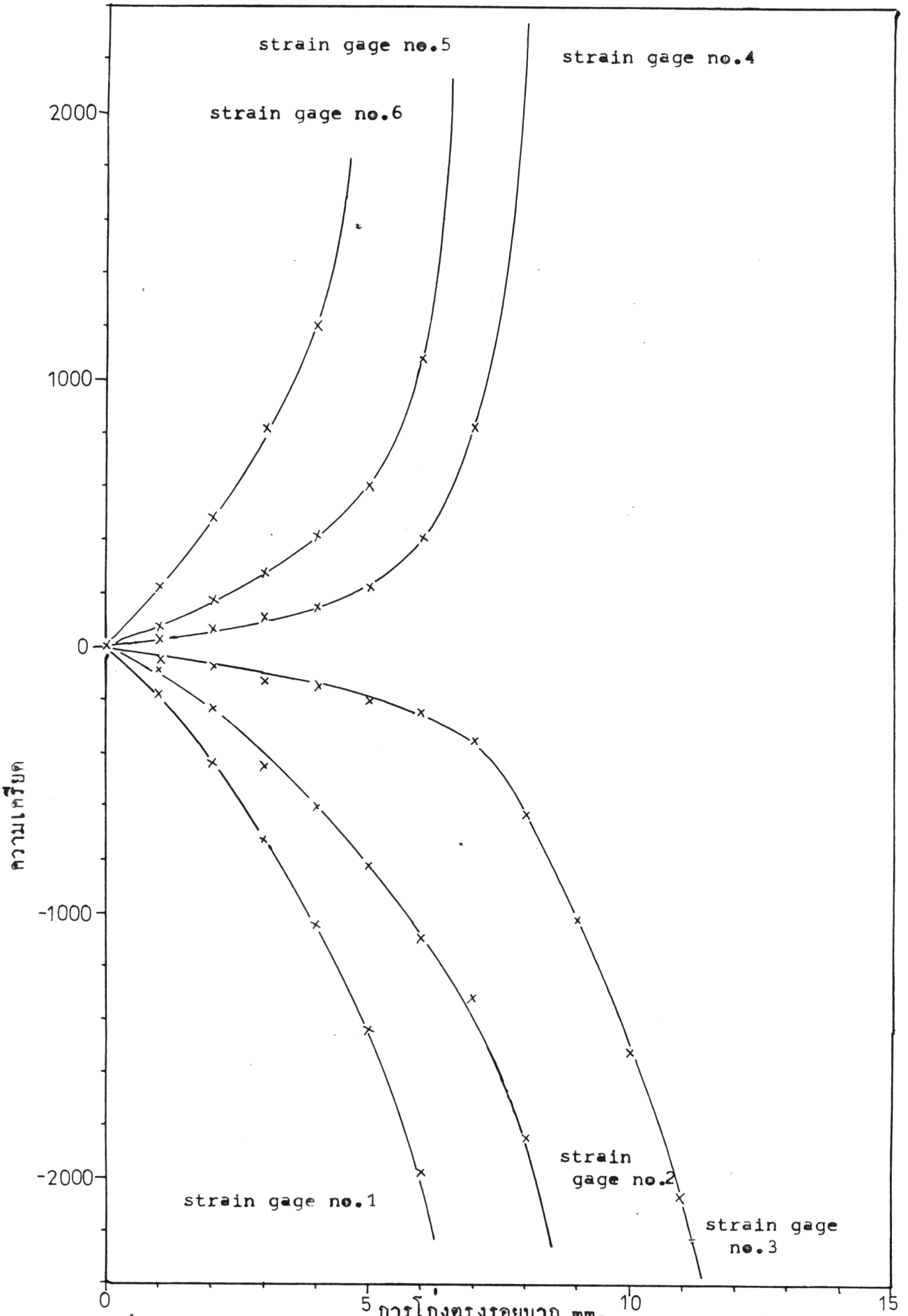
รูปที่ ๔๒ แผนภาพความเครียดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^{\circ}$, $r = 0$ (ข้อมูลได้จากตาราง ก-๘)



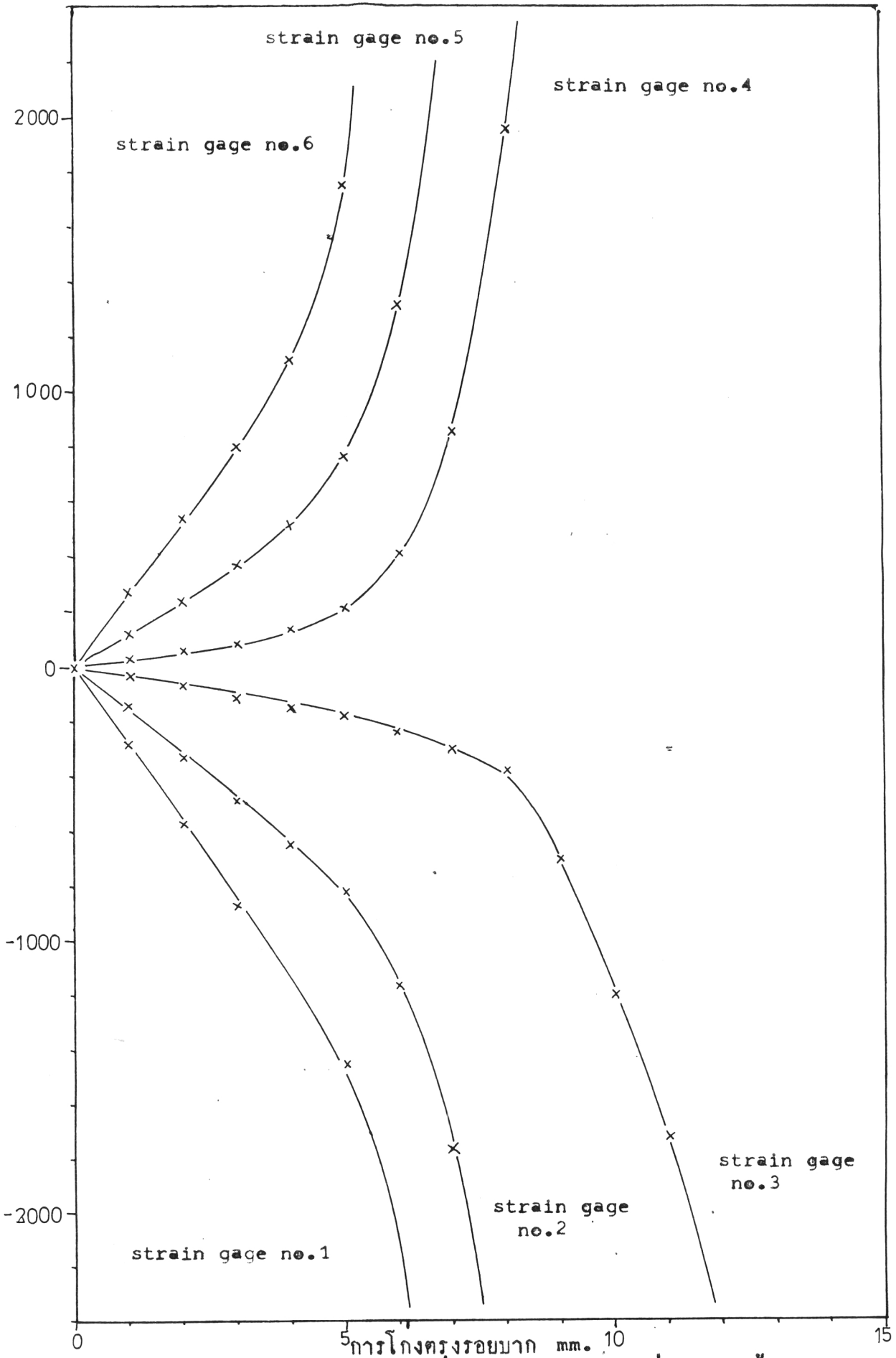
รูปที่ ๔๓ แผนภาพความเครียดกับการโก่งตรงรูอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^{\circ}$, r = 2.5 mm.(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๔)



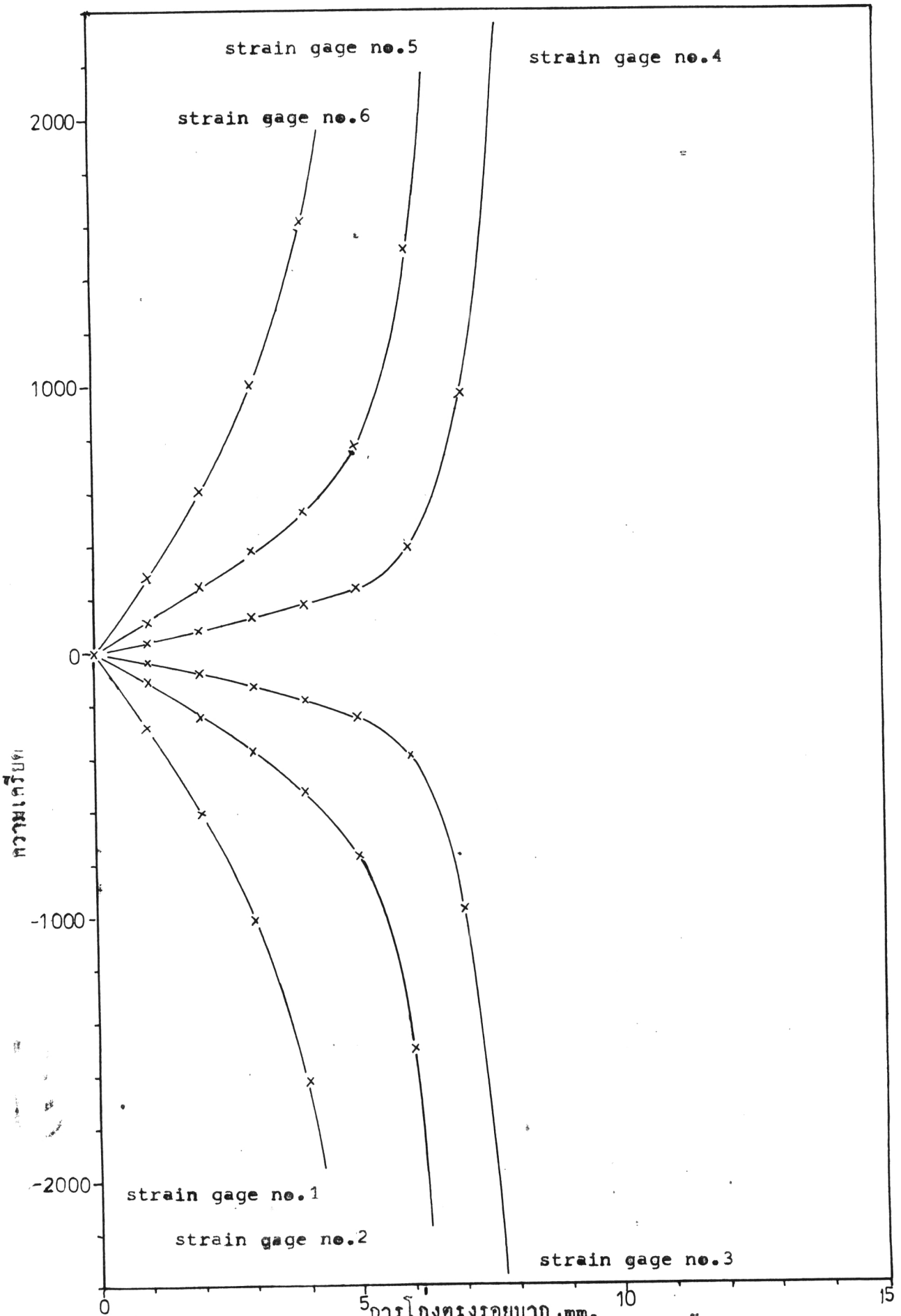
รูปที่ ๔๔ แผนภาพความเครียดกับการโก่งตรงรูอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว
$\theta = 60^{\circ}$, r = 5 mm. (ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๐)



รูปที่ ๔๕ แผนภาพความเครียดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว r = 2.5 mm., θ = 0 (ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๑)



รูปที่ ๔๖ แผนภาพความเครียดกับการโก่งตรงรอยบากของคานที่มีรอยบากข้างเดียว
r = 2.5 mm., θ = 120° (ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๒)

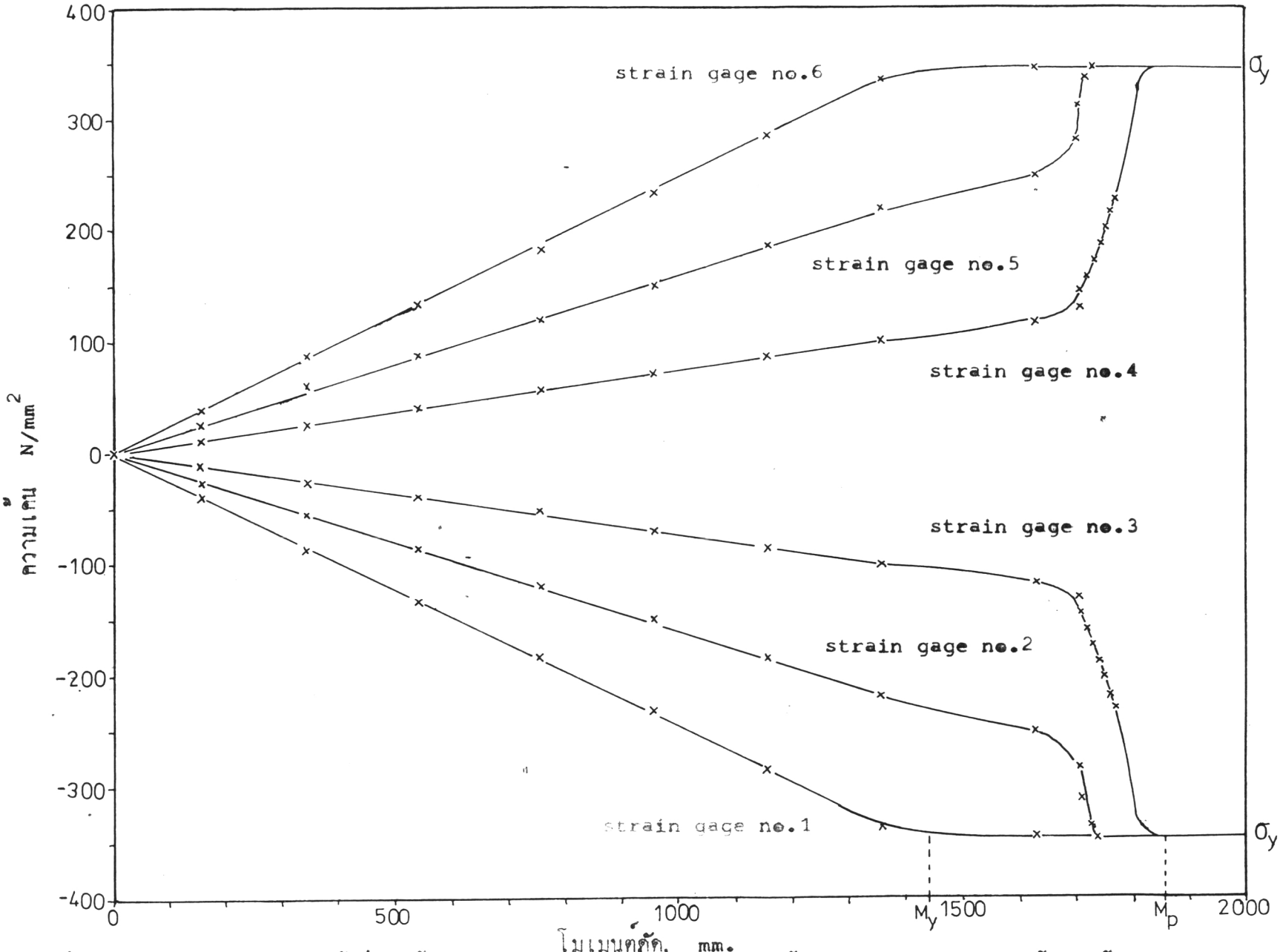


รูปที่ ๔๗ แผนภาพความเครียดกับการโก่งของฐานที่มีรอยบาก ๒ ข้าง
$\theta = 60^{\circ}$, $r = 2.5$ mm. (ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๓)

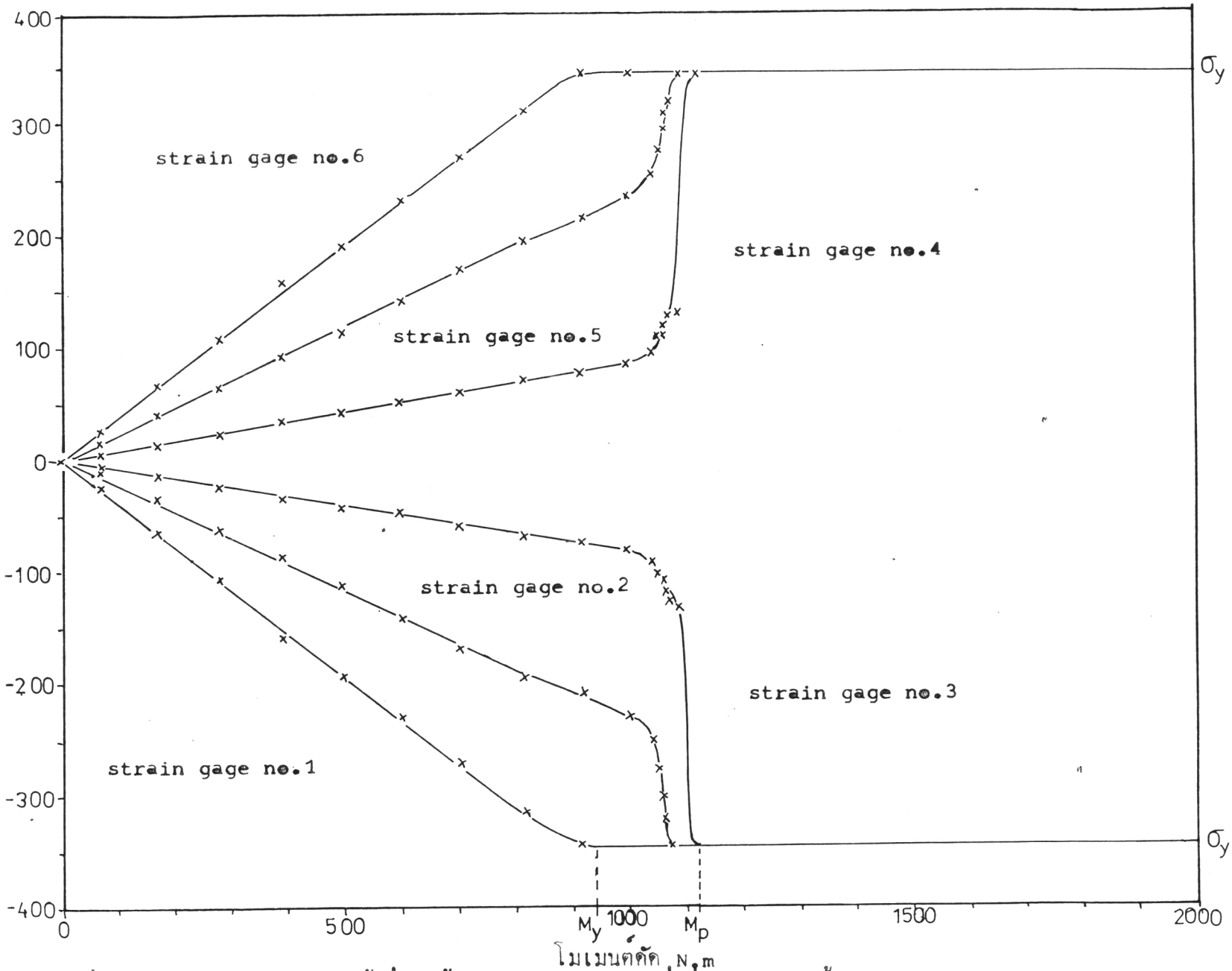
ความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคาน

รูปที่ ๔๘ ถึงรูปที่ ๕๕ เป็นเส้นกราฟซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างโมเมนต์ดัดกับความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานตรงตำแหน่งที่ติด **strain gage** รูปที่ ๔๘ และรูปที่ ๔๙ ได้จากการทดลองคานที่ไม่มีรอยบาก ส่วนรูปที่ ๕๐ ถึงรูปที่ ๕๕ ได้จากการทดลองคานที่มีรอยบาก เส้นกราฟในรูปเหล่านี้มีคุณลักษณะที่คล้ายคลึงกันคือ ตรงตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับรอยบากหรือท้องคานและสันคานมากก็จะเกิดความเค้นสูงกว่าตำแหน่งที่อยู่ไกลจากรอยบากหรือท้องคานและสันคานออกไป และตำแหน่งที่อยู่ใกล้กับรอยบากหรือท้องคานและสันคานจะเกิดความเค้นที่มีค่าเท่ากับจุดคลากของวัสดุก่อนตำแหน่งอื่น ๆ เมื่อโมเมนต์ดัดมีค่าสูงสุดถึงค่าหนึ่งทุกตำแหน่งที่ติด **strain gage** ก็จะมีความเค้นเท่ากับจุดคลากของวัสดุทั้งหมด

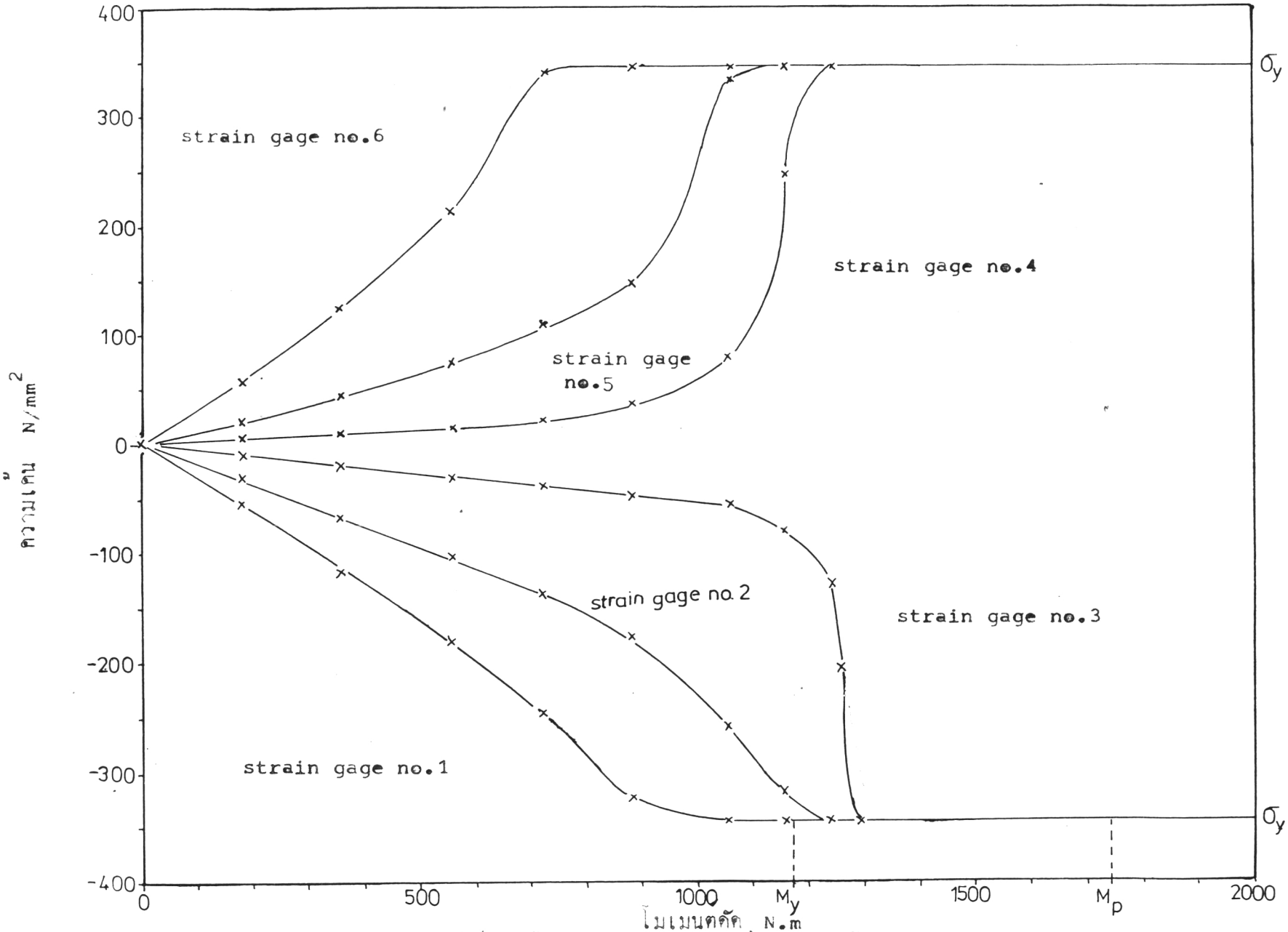
จะสังเกตได้ว่าคุณลักษณะของเส้นกราฟของคานที่ไม่มีรอยบาก (รูปที่ ๔๘ และรูปที่ ๔๙) และคานที่มีรอยบากสองข้าง (รูปที่ ๕๕) สำหรับด้านที่เกิดการดึงและด้านที่เกิดการอัดนั้นค่อนข้างจะเหมือนกัน ซึ่งหมายความว่าด้านที่เกิดการดึงและด้านที่เกิดการอัดตรงตำแหน่งที่ห่างจากแนวแกนของคานเป็นระยะทางเท่ากันจะเกิดความเค้นขึ้นมีขนาดใกล้เคียงกัน ส่วนคานที่มีรอยบากข้างเดียว เส้นกราฟของความเค้นที่เกิดขึ้นในด้านที่มีรอยบาก จะเกิดความเค้นในอัตราที่สูงกว่าด้านที่ไม่มีรอยบาก เส้นกราฟในรูปที่ ๔๘ ถึงรูปที่ ๕๕ เขียนขึ้นมาโดยใช้ข้อมูลจากตาราง ก-๑๔ ถึงตารางที่ ก-๒๑ ซึ่งอยู่ในภาคผนวก ก.



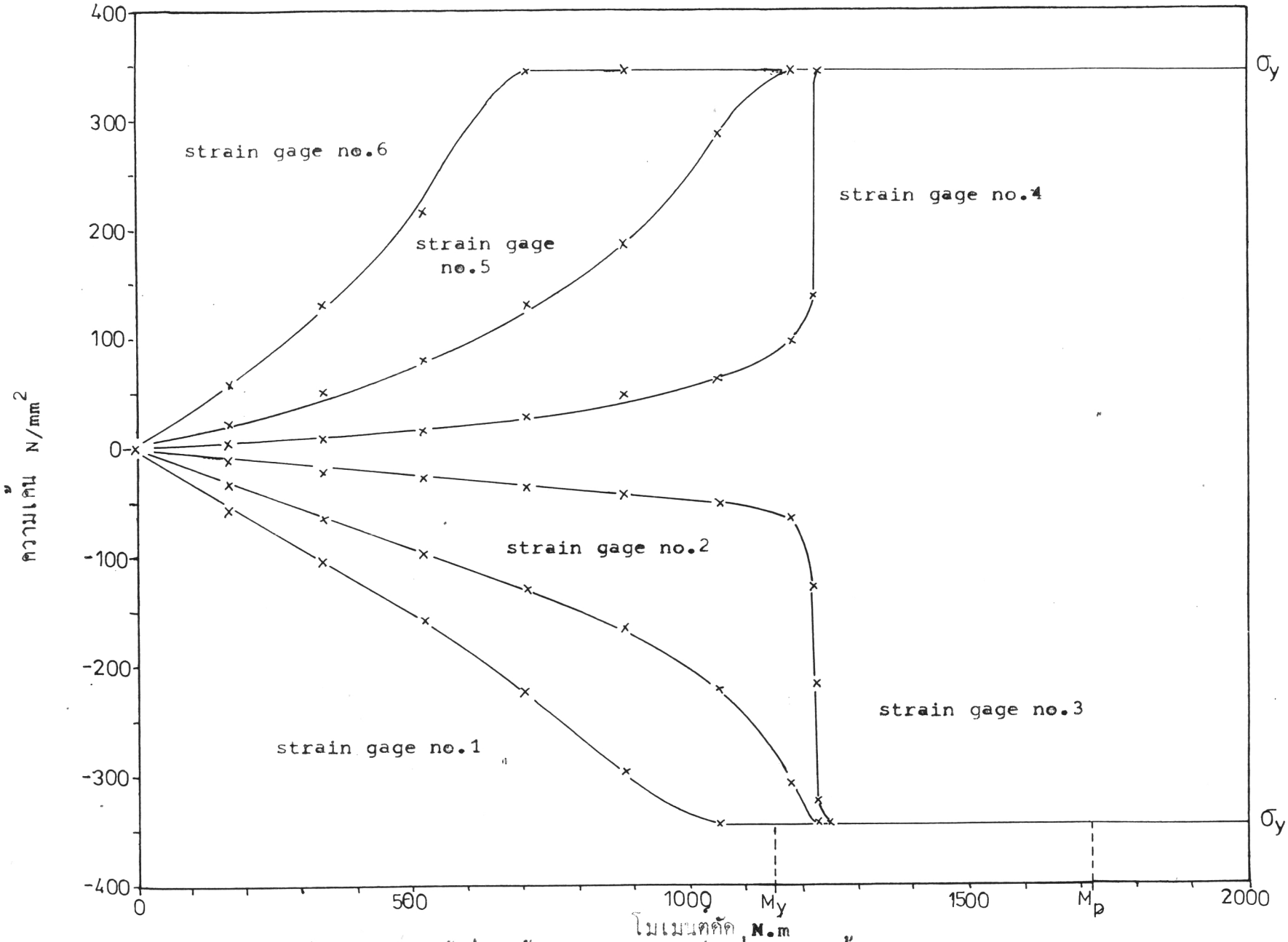
รูปที่ ๔๘ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่ไม่มีรอยบาก หน้าตัด 8.8mm.x50mm. (ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๔)



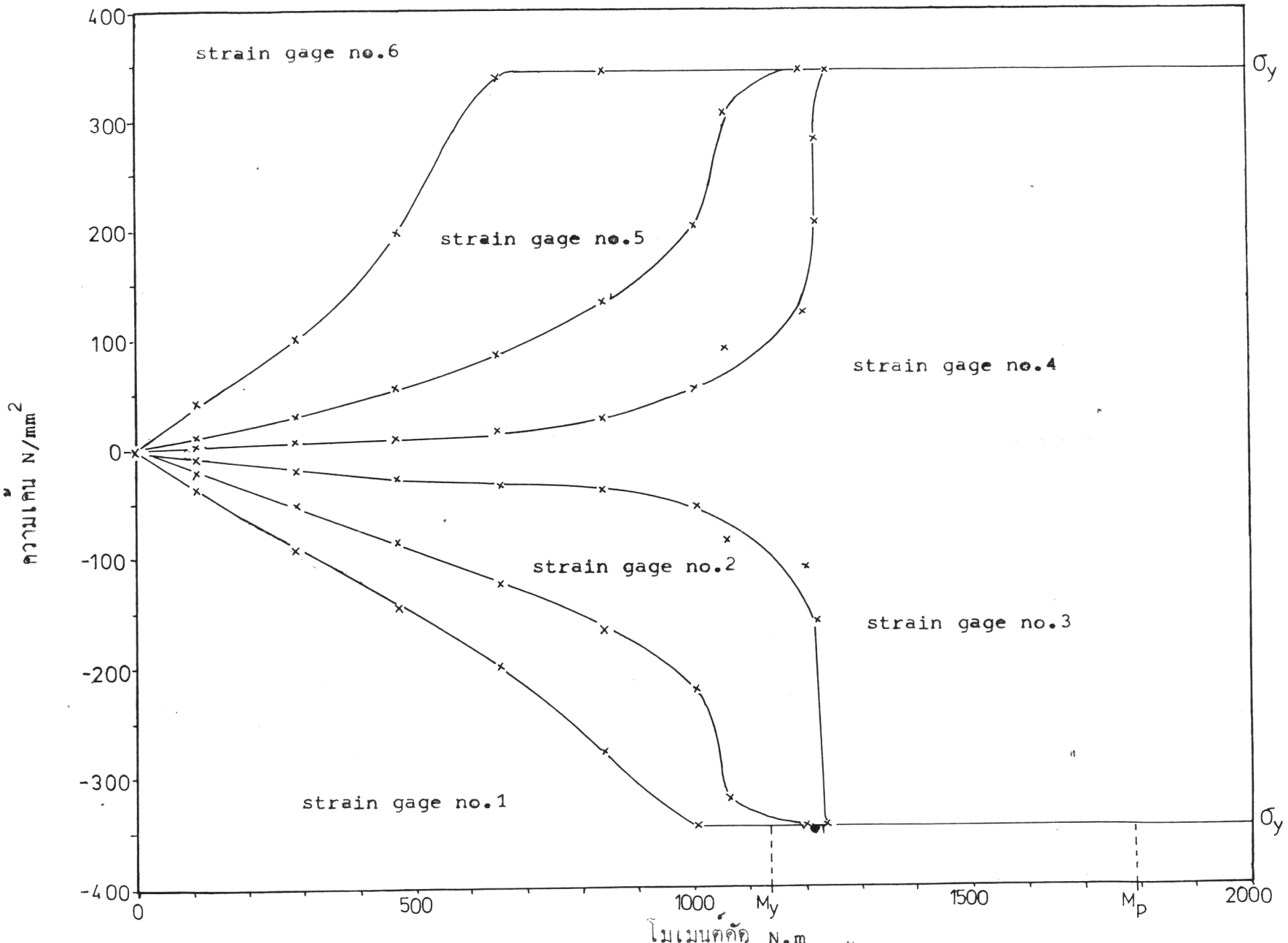
รูปที่ ๔๔ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่ไม่มีรอยบาก หน้าตัด ๘.๘ มม. x ๔๐ มม.
(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๕)



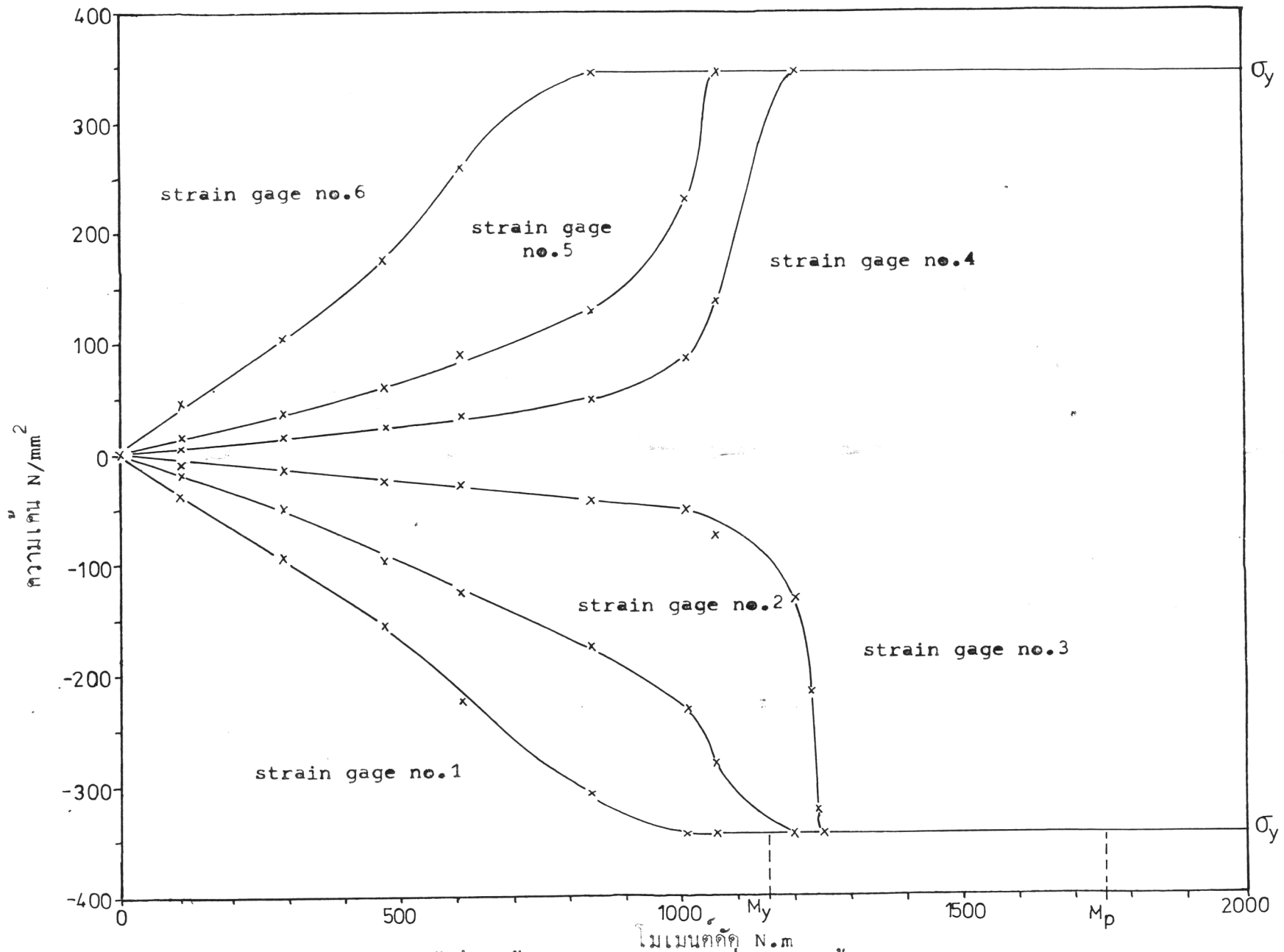
รูปที่ ๕๐ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^\circ$, $r = 0$
(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๖)



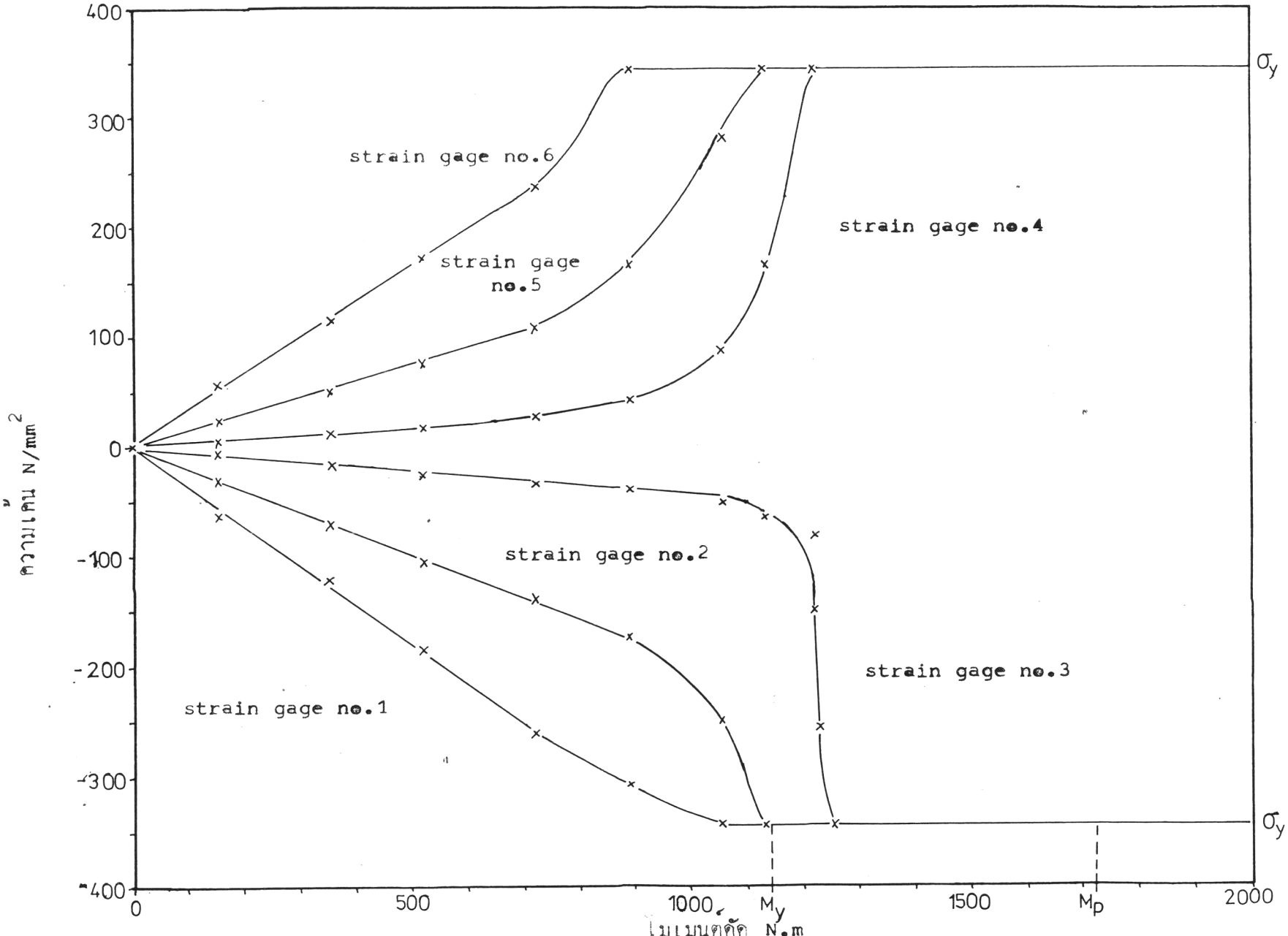
รูปที่ ๔๑ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^\circ$, $r = 2.5$ mm.
(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๙)



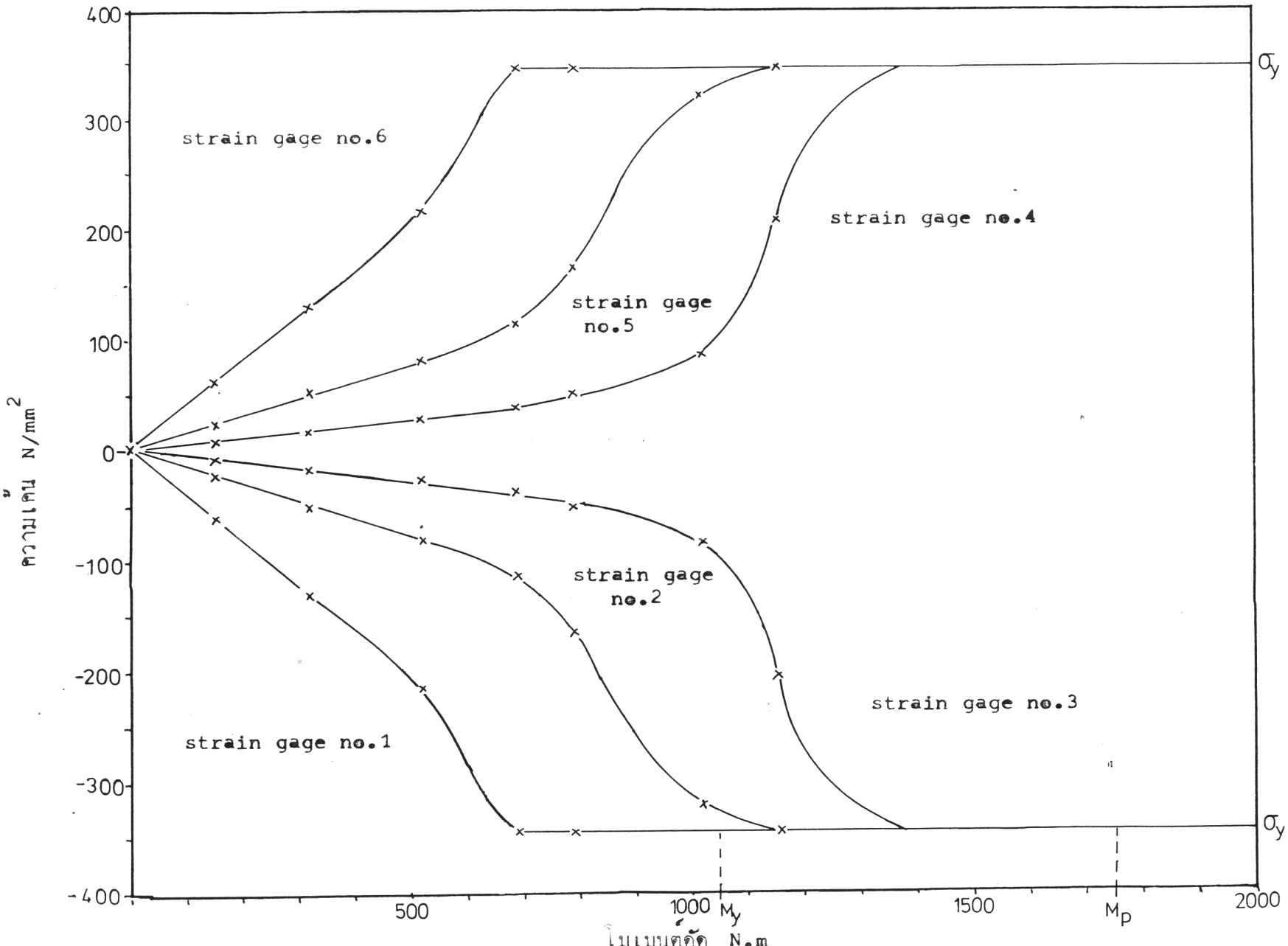
รูปที่-๔๒ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $\theta = 60^{\circ}$, $r = 5$ mm.
(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๘)



รูปที่ ๔๓ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่มีรอยบากข้างเดียว $r = 2.5$ mm., $\theta = 0$
(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๑๔)



รูปที่ ๔๔ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่มีรอยบากข้างเดียว r = 2.5 mm., θ = 120°
(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๒๐)



รูปที่ ๕๕ โมเมนต์ดัดและความเค้นที่เกิดขึ้นตามความลึกของคานที่มีรอยบาก ๒ ข้าง $\theta = 60^\circ$, r = 2.5 mm.
(ข้อมูลได้จากตาราง ก-๒๑)