

บทที่ 5

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์ผลของความหนาขึ้นทดสอบต่อการทดสอบความต้านทานในการแตกร้าว ภายใต้สภาวะความเค้นกระหนาบของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 ในบทนี้ได้กล่าวถึง สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล และผลการวิเคราะห์ข้อมูล ตามลำดับ

สัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล

การเสนอผลการวิจัย ผู้วิจัยได้กำหนดสัญลักษณ์เพื่อใช้ในการวิเคราะห์ข้อมูล ดังนี้

- B แทน ความหนาของชิ้นทดสอบ
- W แทน ความกว้างของชิ้นทดสอบ
- a_{notch} แทน ความยาวของรอยบาก
- a_{fatigue} แทน ความยาวของรอยแตกร้าวล้า (fatigue crack)
- a แทน ความยาวรวมของรอยแตกร้าวระหว่าง a_{notch} และ a_{fatigue}
- W-a แทน ความยาวของ ligament
- Δ แทน การเคลื่อนตัว (displacement)
- P_Q แทน ภาระที่จุดตัดระหว่างเส้นโค้ง P- Δ record กับเส้นตรง 5% secant
- P_{max} แทน ภาระสูงสุดบน P- Δ record
- K_Q แทน ค่าตัวประกอบความเข้มของความเค้นที่คำนวณจากภาระ P_Q
- K_{IC} แทน ความต้านทานในการแตกร้าวภายใต้สภาวะความเค้นกระหนาบ (plane strain fracture toughness)
- σ_{ys} แทน ความต้านแรงดึงครากของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22

การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล

การเสนอผลการวิเคราะห์ข้อมูล ผู้วิจัยเสนอเป็นสามขั้นตอน ดังนี้

ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลจาก P- Δ record ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E399 ของจีนทดสอบทุกชิ้น

ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง K_c และความหนา B

ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล



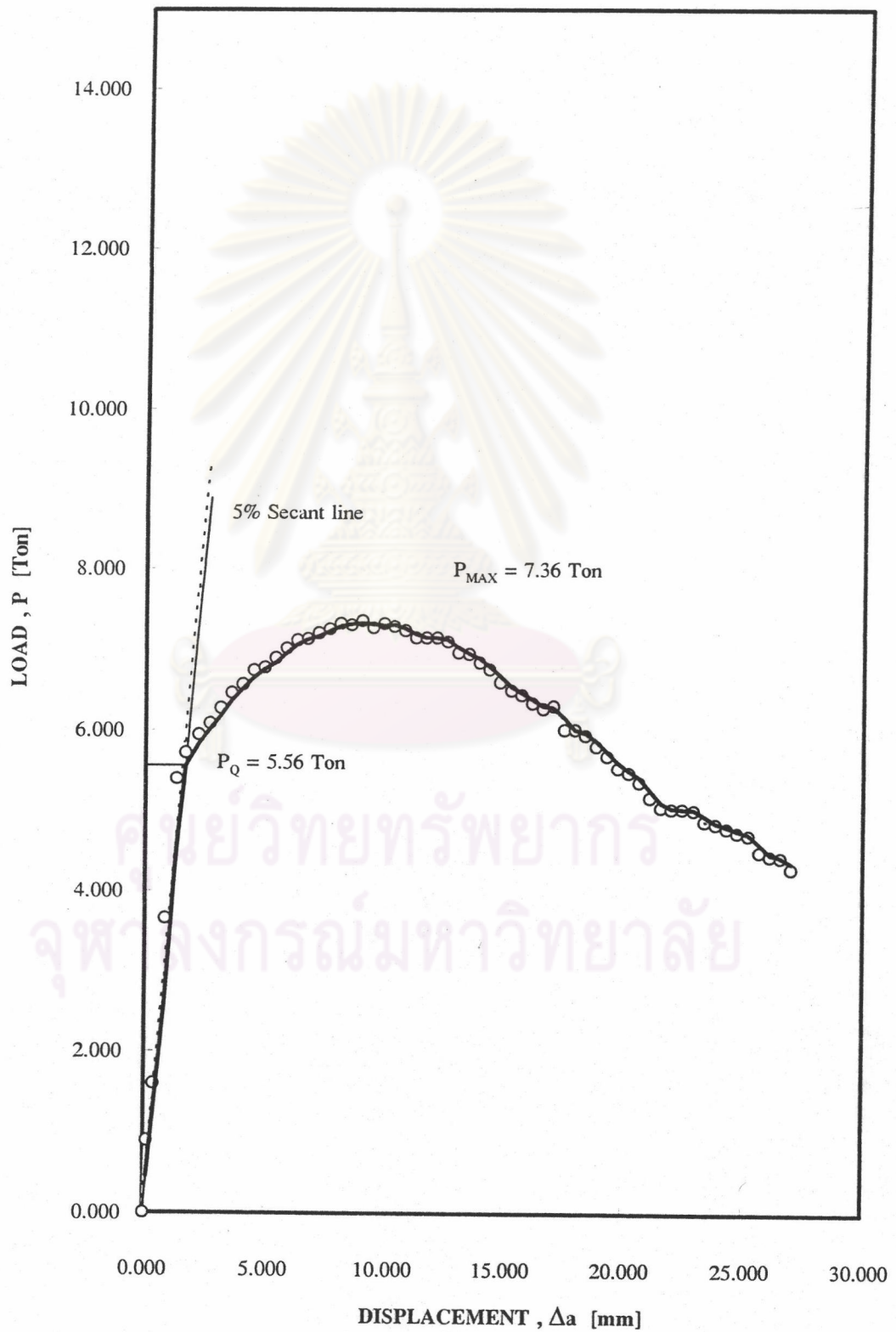
ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

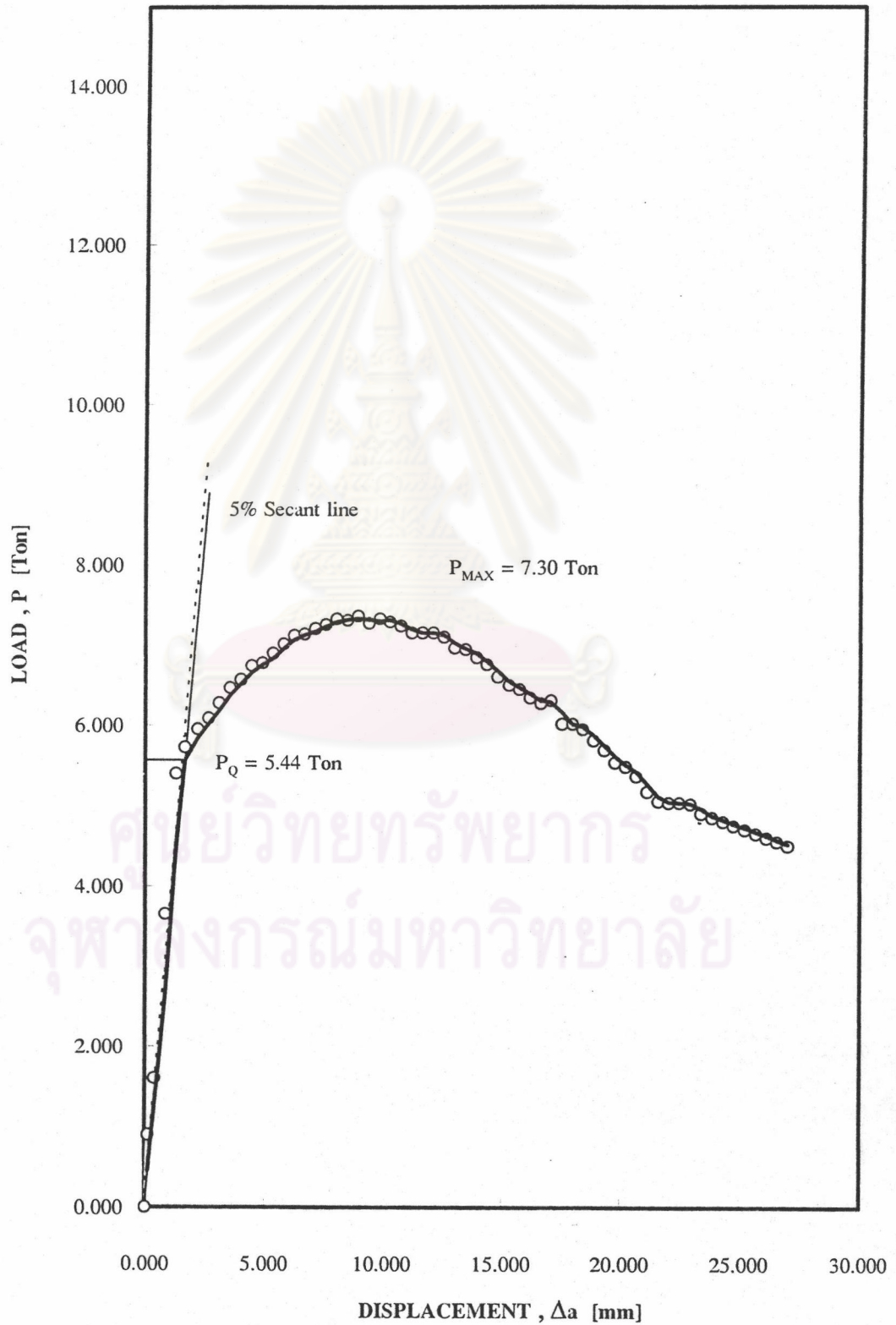
ตอนที่ 1 การวิเคราะห์ข้อมูลจาก P- Δ record ที่ได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM E399 ของชั้นทดสอบทุกชั้น

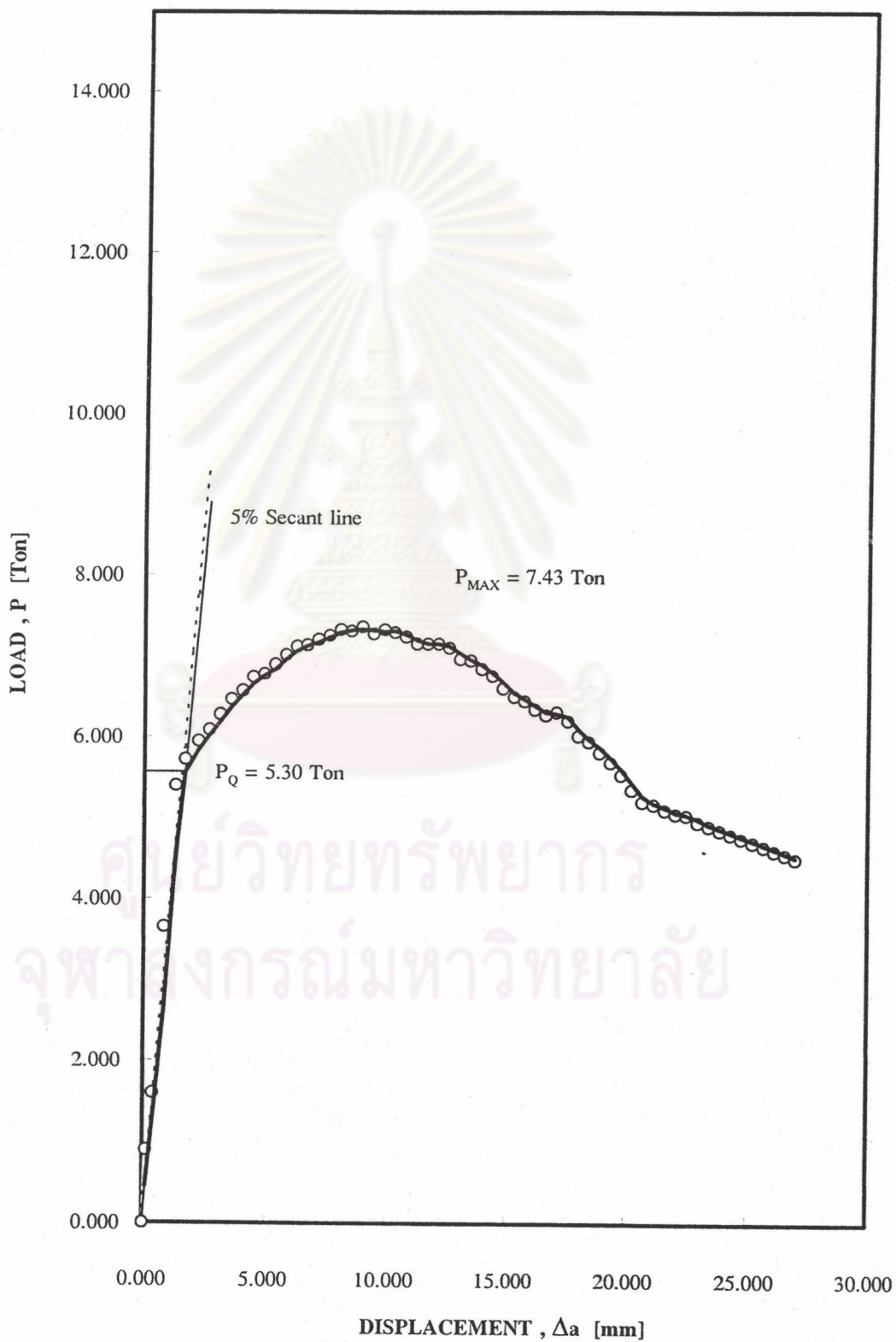
ในตอนที่ 1 นี้ผู้วิจัยได้พล็อตข้อมูลของ load และ displacement ที่ได้บันทึกไว้ขณะทำการทดสอบการแตกร้าวของชั้นทดสอบทุกชั้น พร้อมทั้งทำการลากเส้นตรง 5% secant ไปตัดกับเส้นโค้งของ P- Δ Curve ที่จุดตัดของสองเส้นนี้จะเป็นจุดของภาระ $P_5 = P_Q$

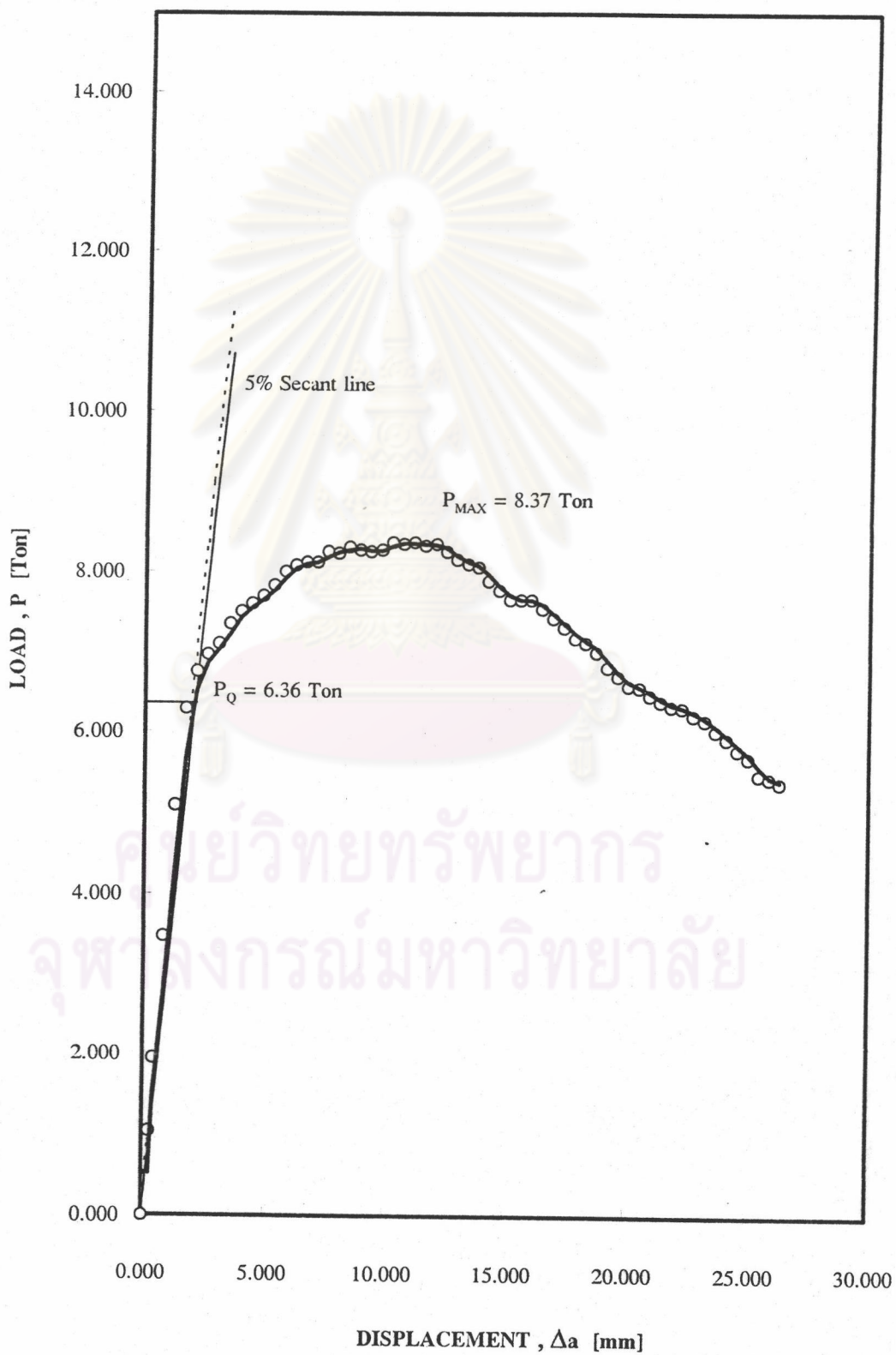


ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

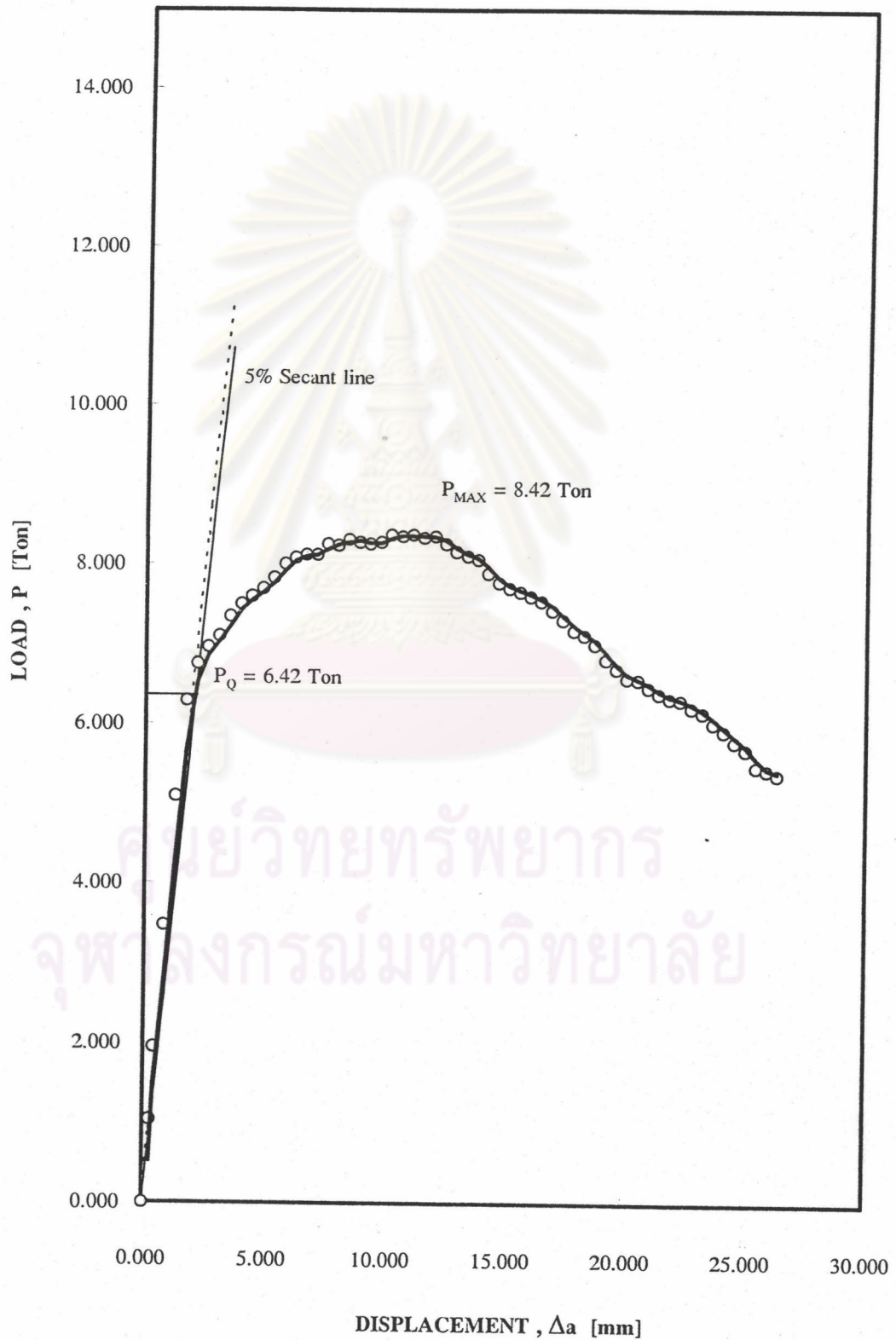
รูปที่ 5.1 แสดง P- Δ record ของชั้นทดสอบ A1 (B = 15.00 mm)

รูปที่ 5.2 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ A2 (B = 15.00 mm)

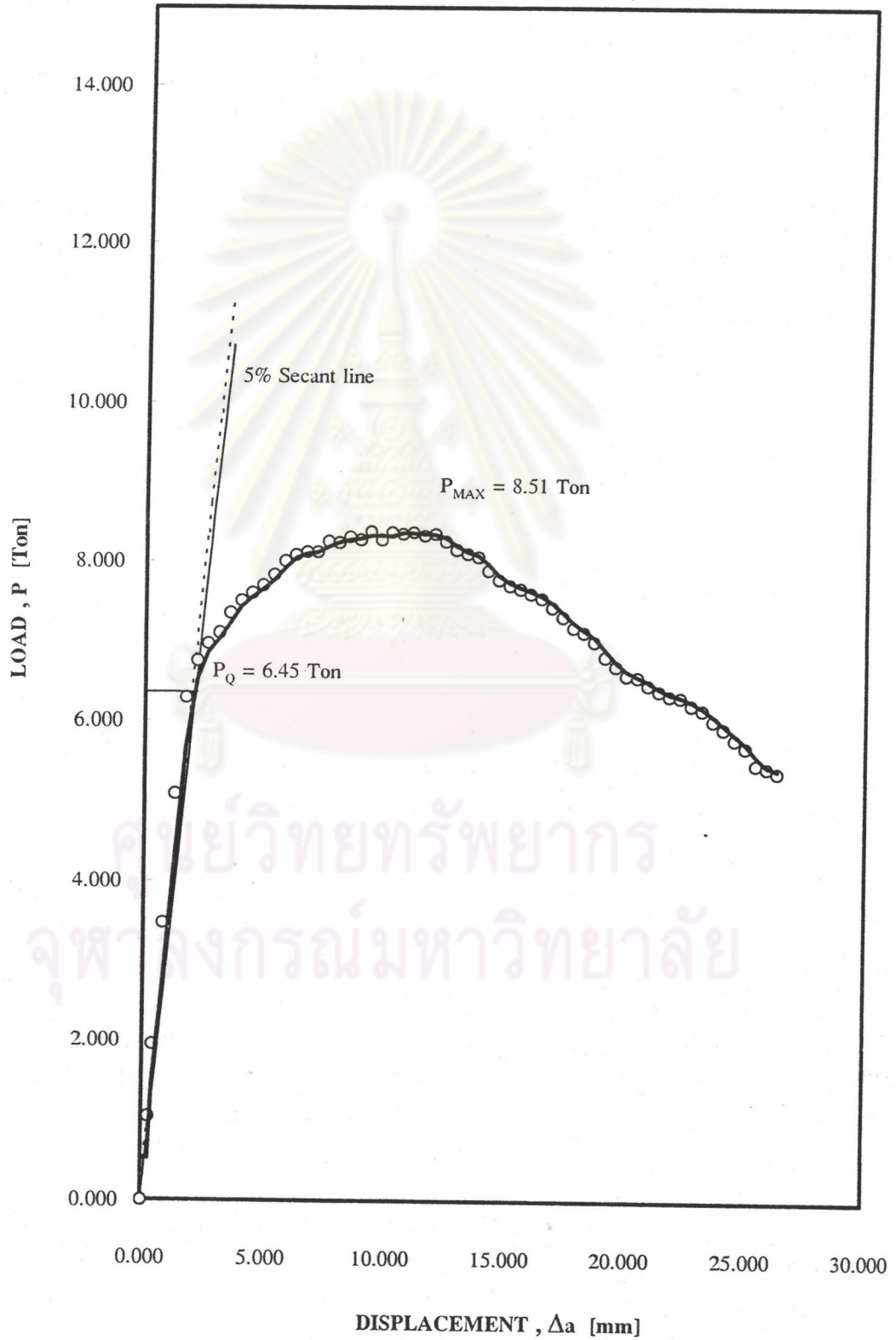
รูปที่ 5.3 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ A3 (B = 15.00 mm)

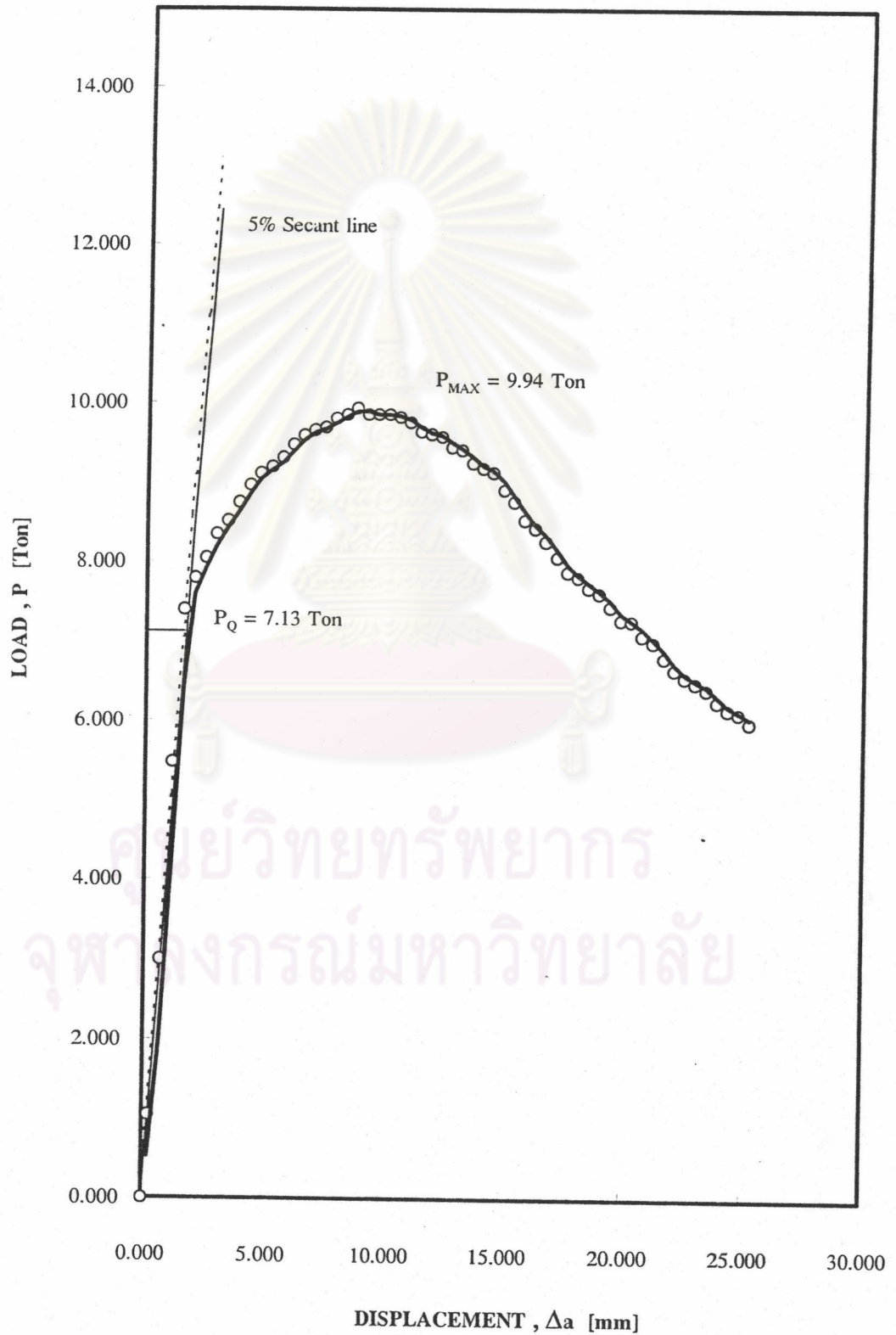
รูปที่ 5.4 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ B1 (B = 17.50 mm)

รูปที่ 5.5 แสดง P- Δ record ของชั้นทดสอบ B2 (B = 17.50 mm)

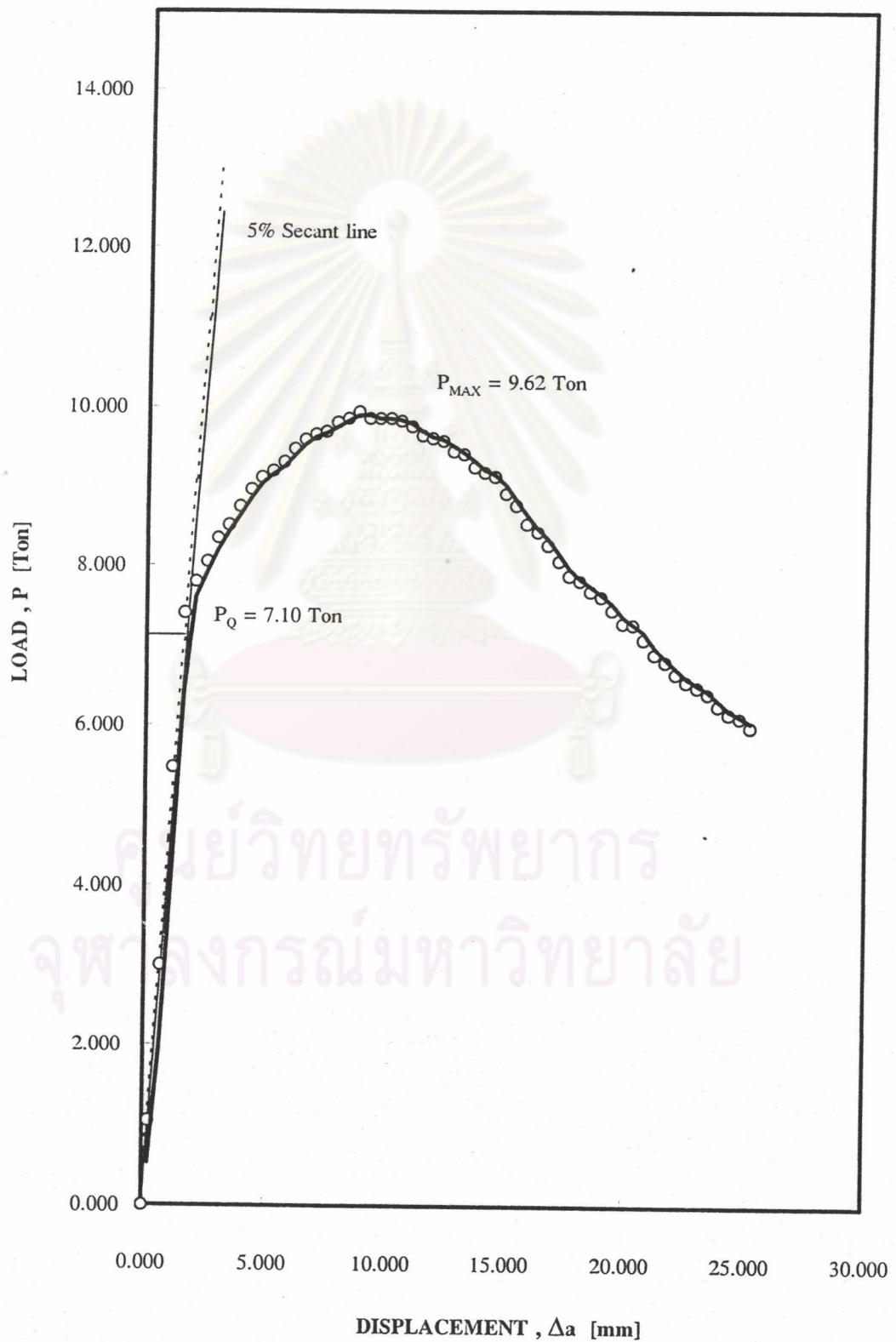


รูปที่ 5.6 แสดง P- Δ record ของชั้นทดสอบ B3 (B = 17.50 mm)

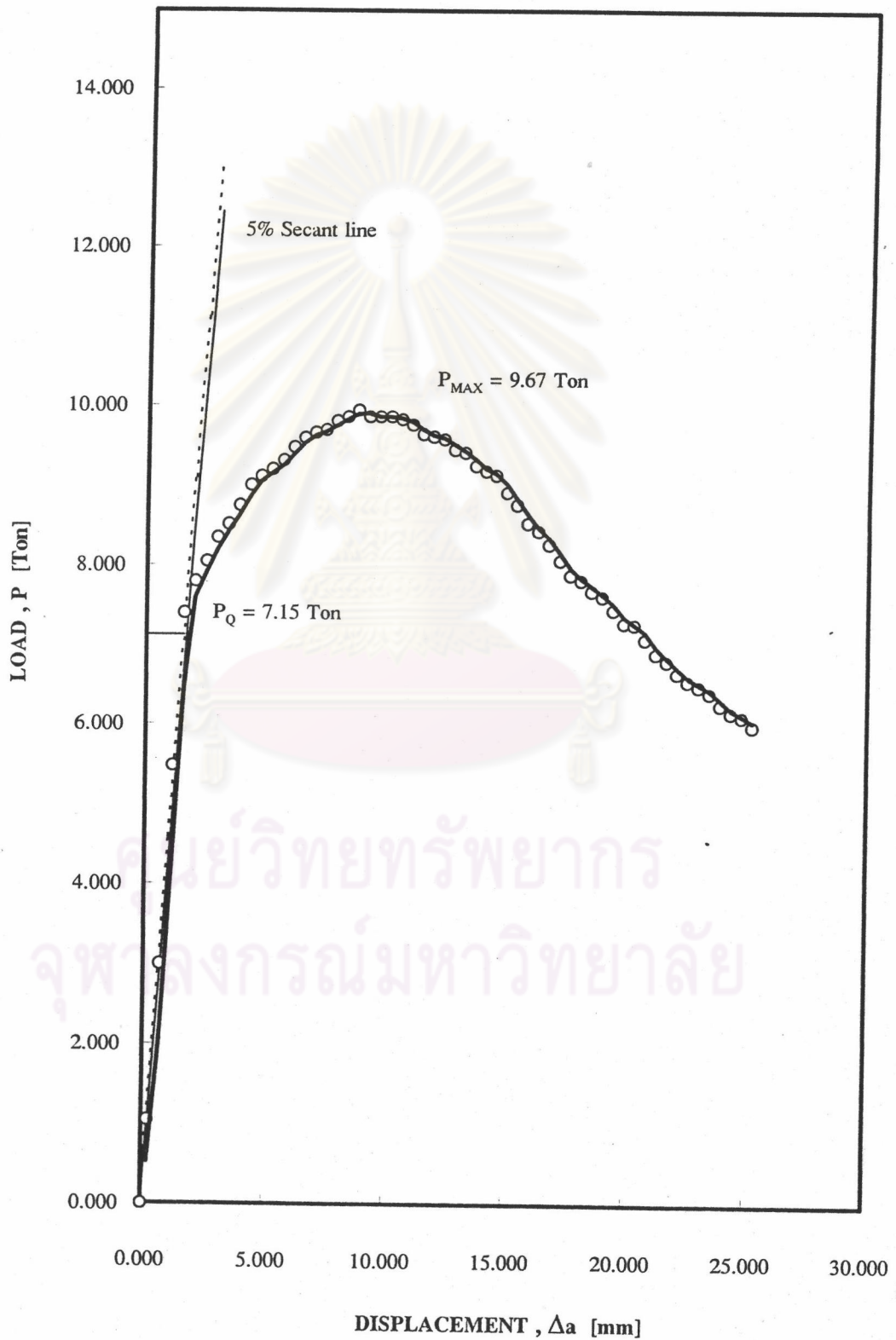


รูปที่ 5.7 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ C1 (B = 20.00 mm)

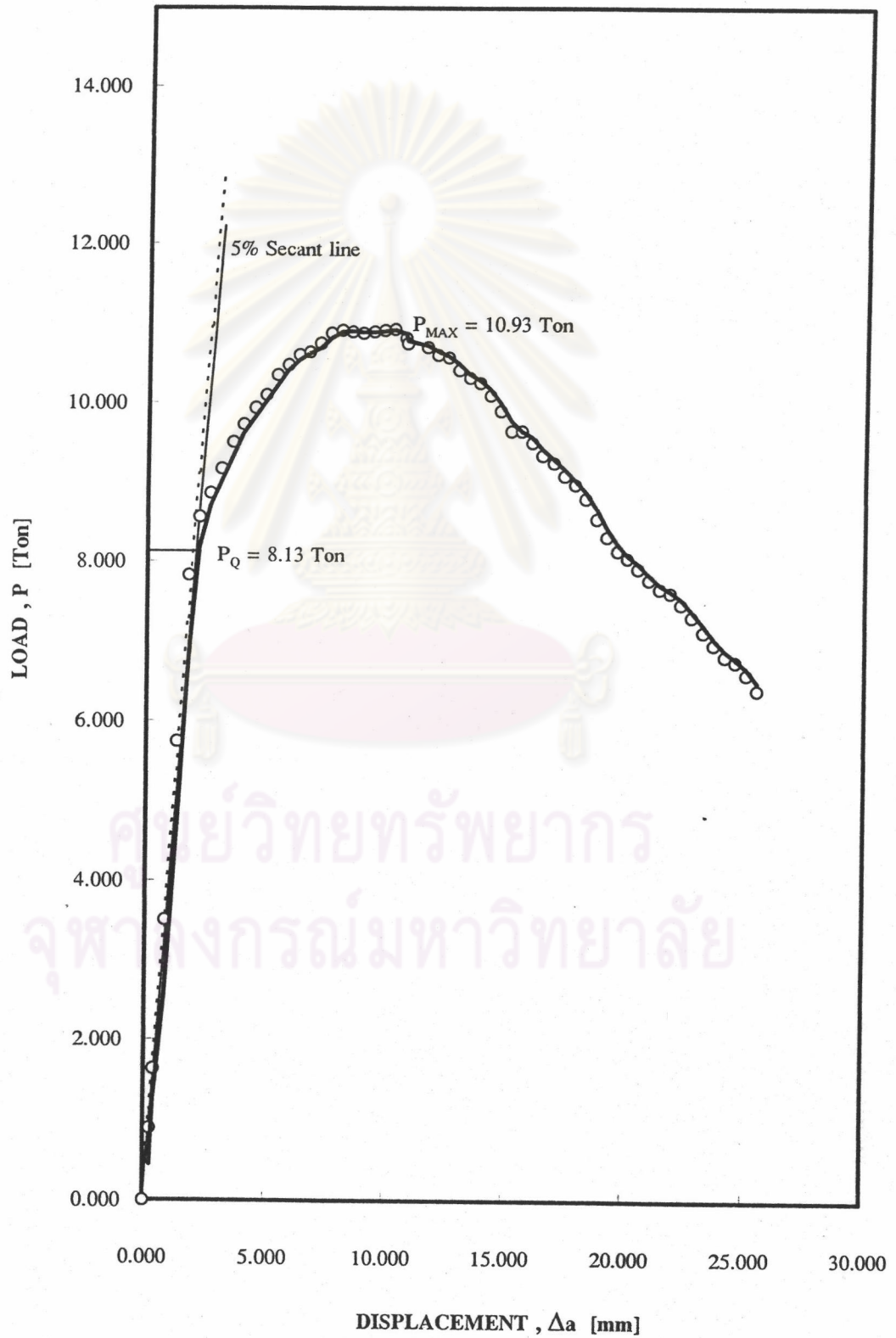
รูปที่ 5.8 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ C2 (B = 20.00 mm)



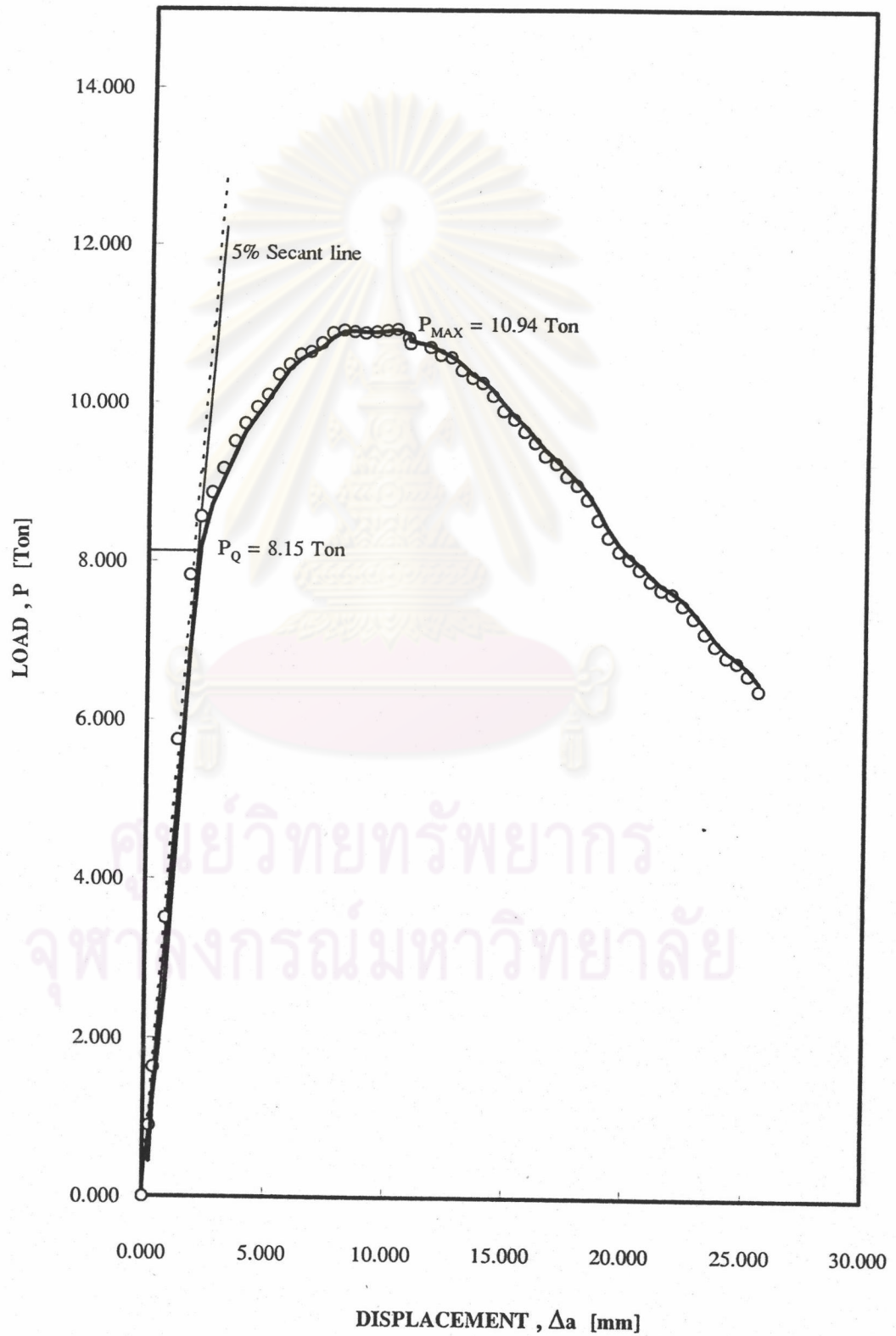
รูปที่ 5.9 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ C3 (B = 20.00 mm)

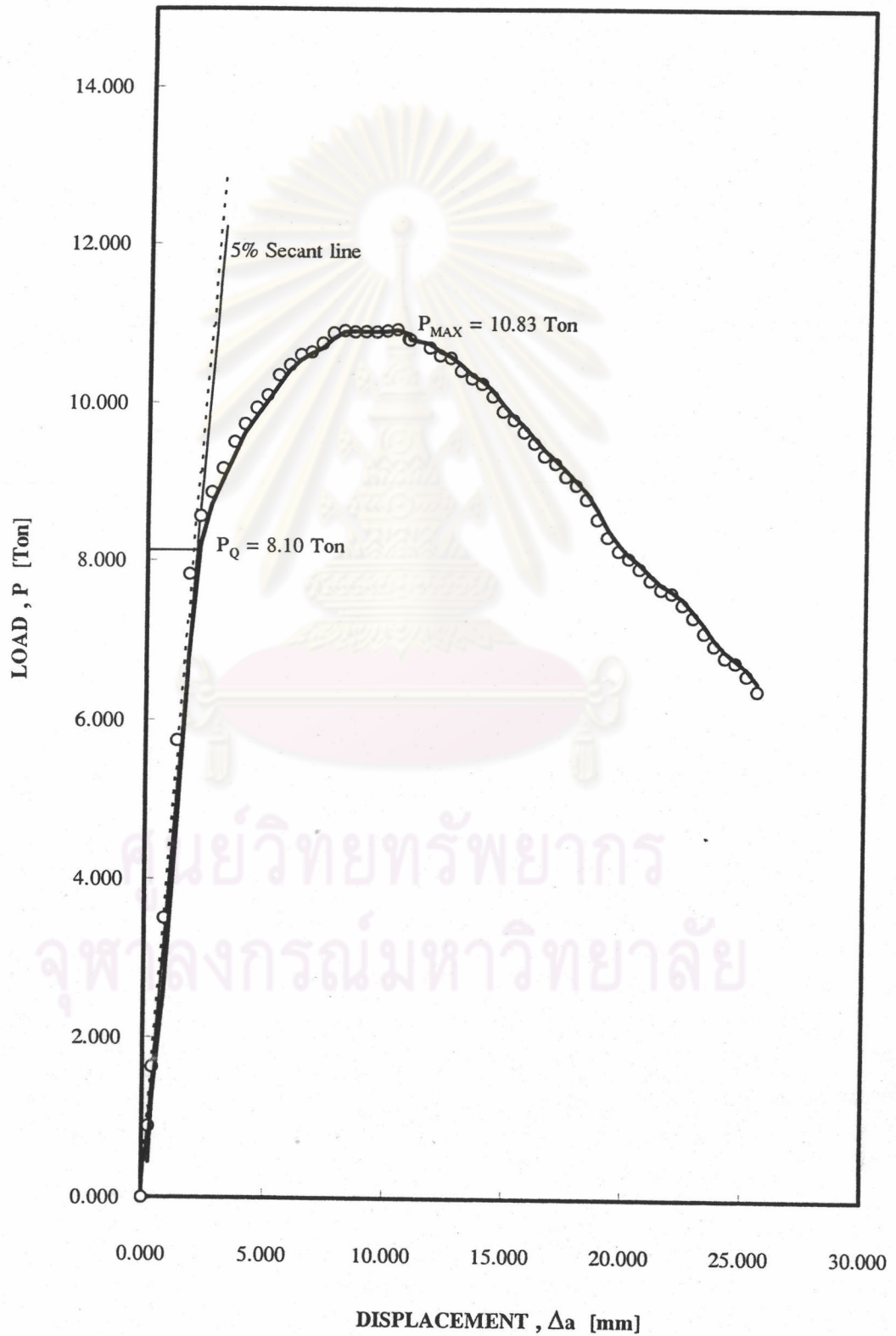


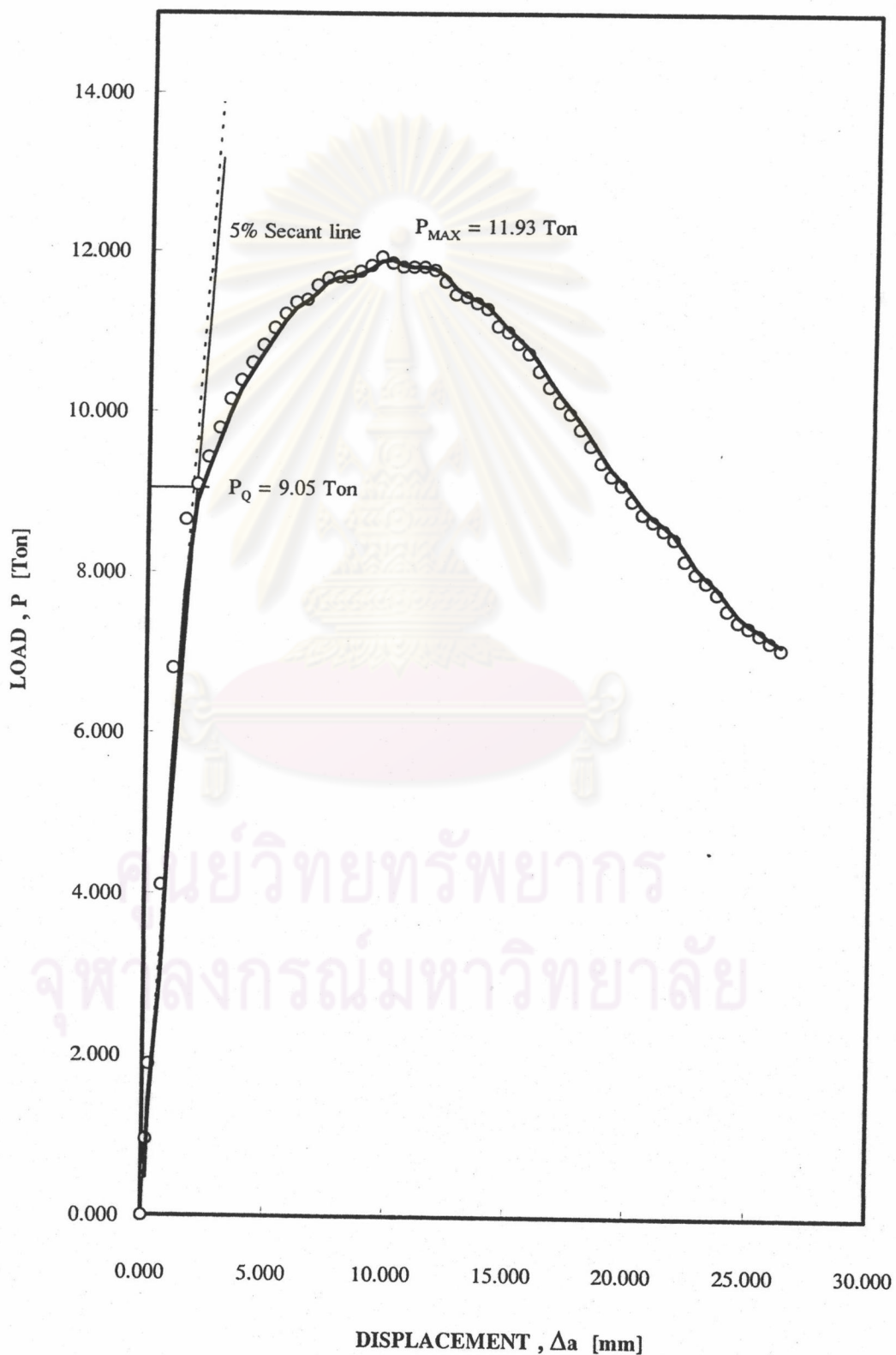
รูปที่ 5.10 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ D1 (B = 23.00 mm)



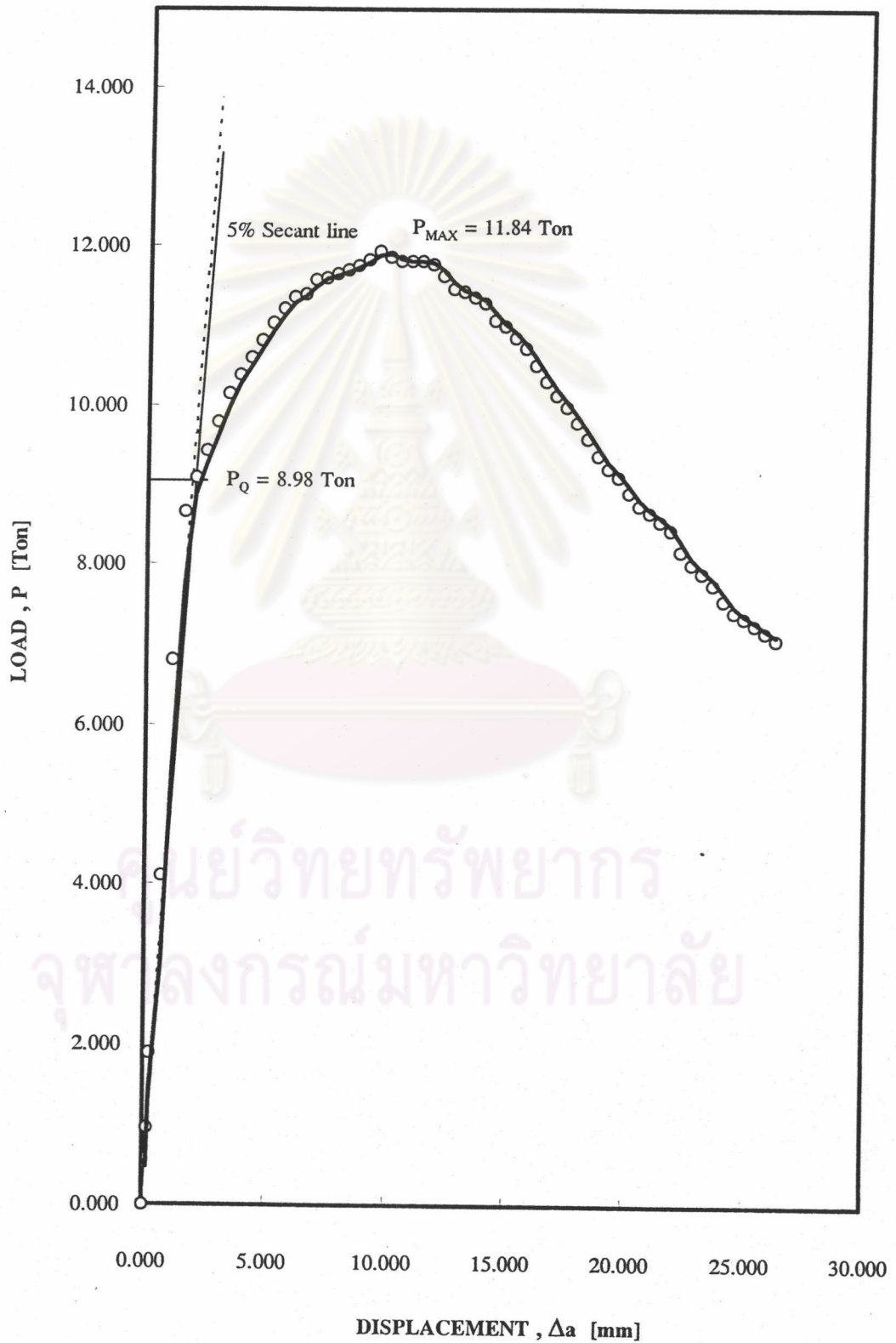
รูปที่ 5.11 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ D2 (B = 23.00 mm)



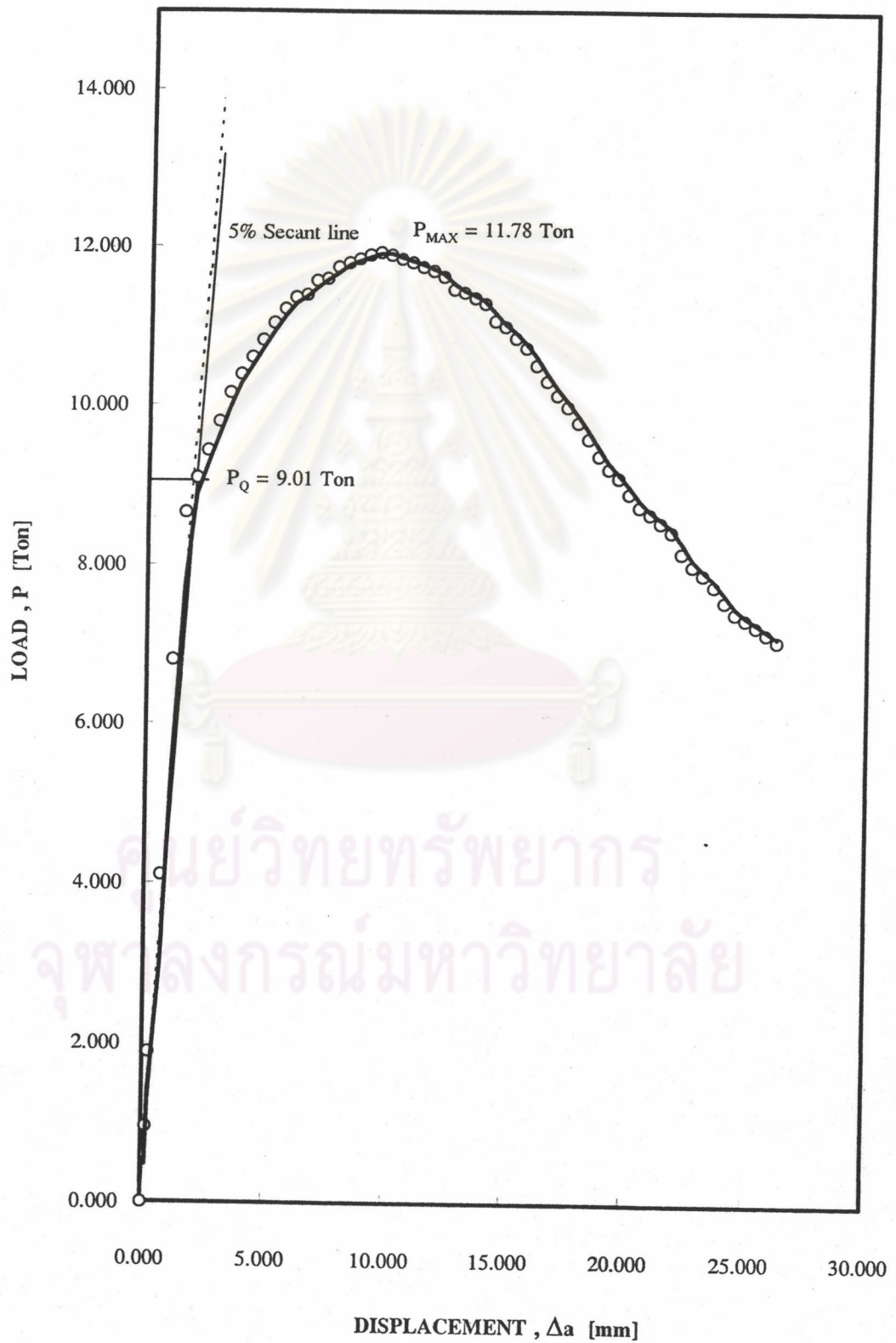
รูปที่ 5.12 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ D3 (B = 23.00 mm)

รูปที่ 5.13 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ E1 (B = 25.40 mm)

รูปที่ 5.14 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ E2 (B = 25.40 mm)



รูปที่ 5.15 แสดง P- Δ record ของชิ้นทดสอบ E3 (B = 25.40 mm)



ตารางที่ 5.1 แสดงข้อมูลของ P_Q , P_{max} , K_Q และ K_{max} ของชั้นทดสอบทุกชั้น

ชั้นทดสอบ	ความหนา B (mm)	P_Q (Ton)	P_{max} (Ton)	K_Q (MPa m ^{1/2})	K_{max} (MPa m ^{1/2})
A1	15.00	5.56	7.36	155.85	206.30
A2	15.00	5.44	7.30	152.48	204.62
A3	15.00	5.30	7.43	148.56	208.26
B1	17.50	6.36	8.37	152.80	201.10
B2	17.50	6.42	8.42	154.25	202.30
B3	17.50	6.45	8.51	154.97	204.46
C1	20.00	7.13	9.94	149.89	208.96
C2	20.00	7.10	9.62	149.26	202.24
C3	20.00	7.15	9.67	150.31	203.29
D1	23.00	8.13	10.93	148.62	199.81
D2	23.00	8.15	10.94	148.99	199.99
D3	23.00	8.10	10.83	148.07	197.98
E1	25.40	9.05	11.93	149.81	197.48
E2	25.40	8.98	11.84	148.65	195.99
E3	25.40	9.01	11.78	149.14	195.00

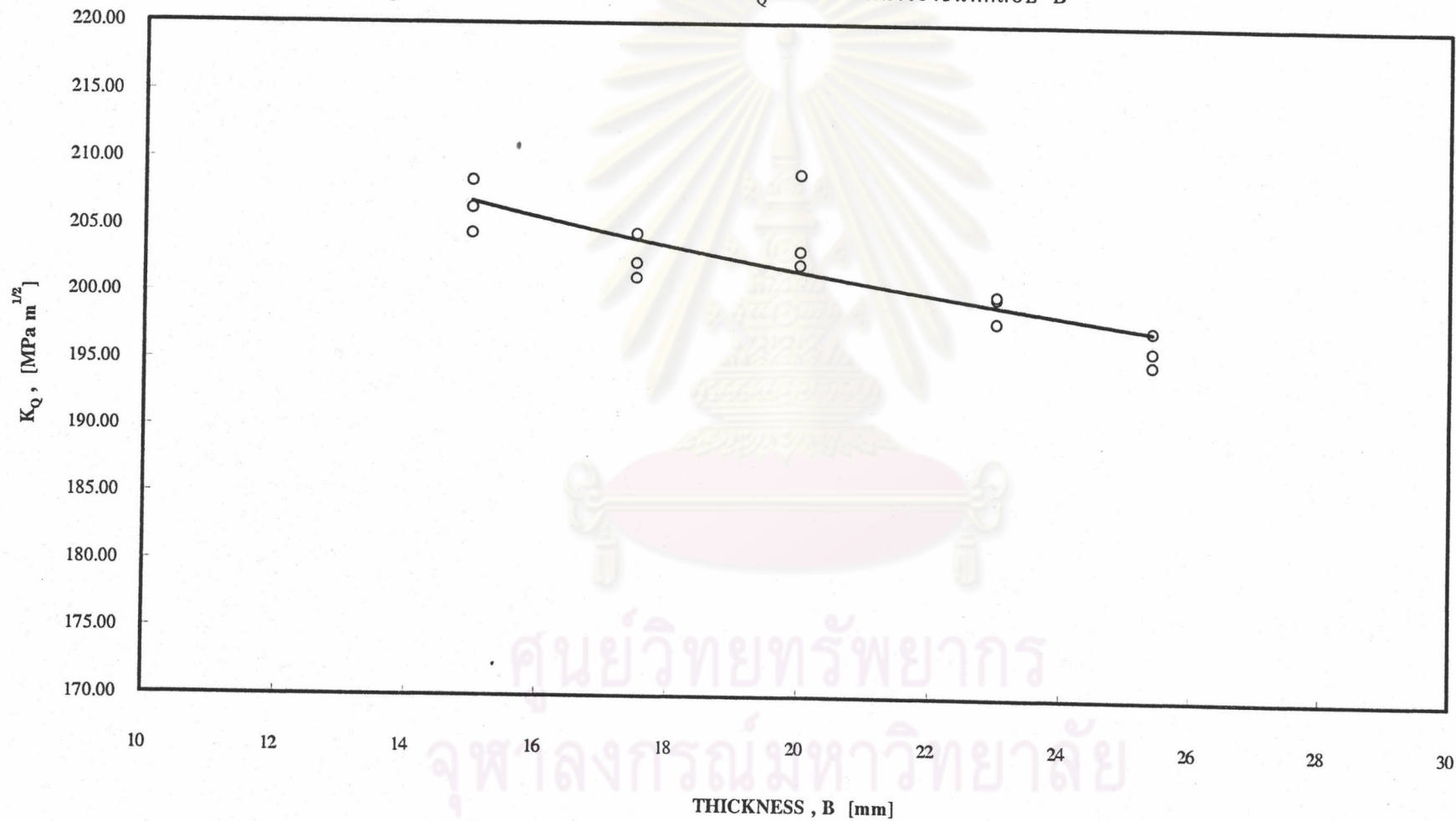
ตอนที่ 2 การวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่าง K_0 และความหนา B

ตอนที่ 2 นี้ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของ K_{max} ในตารางที่ 5.1 มาพล็อตเทียบกับความหนา B เพื่อคุณลักษณะแนวโน้มของข้อมูล



ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

รูปที่ 5.16 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง K_Q และความหนาของชั้นทดสอบ B



ตอนที่ 3 ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

ผลการวิเคราะห์ข้อมูล

เนื่องจากเราไม่สามารถบอกได้ว่า crack initiation เริ่มเกิดที่ภาระเท่าไรบน P- Δ record เพราะไม่มีอุปกรณ์พิเศษที่จะทำการติดตามการเกิดของรอยแตกร้าวในขณะที่ทดสอบตลอดเวลาได้ แต่เรารู้ว่าจะต้องเกิดขึ้นระหว่างจุดของ P_Q และ P_{max} ซึ่งไม่สอดคล้องกับข้อกำหนดของ ASTM E399 คือ ที่จุดของภาระ P_Q จะต้องเป็นจุดที่รอยแตกร้าวเริ่มขยายตัวและยาวขึ้นอย่างรวดเร็ว (unstable crack extension) ซึ่งแปลความหมายได้ว่า ชั้นทดสอบจะต้องอยู่ในสภาวะของความเครียดระนาบและเกิดบริเวณพลาสติกที่หน้าของรอยแตกร้าวเล็กน้อย และที่จุดนี้ K_Q ที่คำนวณได้จะเป็น K_{IC} ของวัสดุจริง แต่เมื่อชั้นทดสอบมีขนาดเล็กลงหรือมีความหนาแน่นน้อยลงจะเกิดสภาวะของความเค้นระนาบเพิ่มขึ้นทำให้ภาระ P_Q ที่ 5% secant ลดลงตามขนาดของชั้นทดสอบและจะเกิดบริเวณพลาสติกที่มีขนาดใหญ่ขึ้นก่อนที่รอยแตกร้าวจะเริ่มขยายตัว ต้องรอให้ภาระมีค่าสูงขึ้นถึงระดับหนึ่ง รอยแตกร้าวจึงจะสามารถเอาชนะบริเวณพลาสติกนี้และยาวต่อไปได้ ดังนั้นจุดที่รอยแตกร้าวเริ่มขยายตัวยาวขึ้นนี้จะเลื่อนมาเกิดหลังตำแหน่งของภาระ P_Q ทำให้ K_Q ที่คำนวณได้มีค่าสูงกว่า K_{IC} จริง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ Morozov (1979) ที่ได้แนะนำไว้ว่า ในกรณีของชั้นทดสอบที่มีขนาดเล็กและเกิดสภาวะของความเค้นระนาบขึ้น ควรใช้ภาระ P_{max} ไปคำนวณ K_Q จะเป็นการเหมาะสมและใกล้เคียงกับความจริงมากกว่าด้วยเหตุผลสองประการ คือ

1. ที่ตำแหน่งของภาระ P_Q นั้น crack initiation ยังไม่เกิดขึ้น แต่รู้แน่นอนว่าจะต้องเกิดขึ้นระหว่างจุด P_Q และ P_{max} ดังนั้นการใช้ P_{max} จะใกล้เคียงและครอบคลุมความเป็นจริงมากกว่า เพราะ crack initiation ได้เกิดขึ้นแล้วแน่นอน

2. ที่จุดของ P_{max} นั้น เป็นจุดที่วัสดุหมดกำลังต้านแรงแล้ว ถือว่าเป็นจุดวิกฤตจุดหนึ่ง

ดังนั้นเพื่อให้ได้ค่า K_Q ที่ใกล้เคียงกับความเป็นจริงยิ่งขึ้น ผู้วิจัยได้คำนวณ K_Q โดยใช้ภาระ P_{max} แทน P_Q ถึงแม้จะขัดกับข้อกำหนดของ ASTM E399 บ้างก็ตาม แต่ด้วยเหตุผลที่ Morozov (1979) ได้กล่าวไว้ทั้งสองข้อและจากผลการทดสอบของเขาได้ยืนยันว่า การใช้ภาระ P_{max} แทน P_Q นั้นจะมีผลต่อค่า K_{IC} ไม่เกิน 10% ซึ่งสามารถยอมรับได้

จากรูปที่ 5.16 ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความต้านทานในการแตกร้าว K_Q ซึ่งได้จากการทดสอบตามมาตรฐานของ ASTM E399 กับความหนาของชั้นทดสอบ B จะเห็นว่า K_Q มีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาของชั้นทดสอบเพิ่มขึ้น ซึ่งมีความสอดคล้องกับงานวิจัยของหลาย ๆ คนที่ผู้วิจัยได้กล่าวไว้ในบทที่ 3 (เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง) คือ K_Q จะมีแนวโน้มลดลงเมื่อความหนาของชั้นทดสอบเพิ่มขึ้นจนกระทั่งถึงความหนาวิกฤตค่าหนึ่ง K_Q จะไม่ลดลงต่อไปอีกแม้ว่าจะเพิ่มความหนาขึ้น ค่าของ K_Q ที่ระดับคงที่นี้จะถือว่าเป็น K_{IC} (plane strain fracture toughness) ของวัสดุ แต่จากผลการทดสอบในรูปที่ 5.16 เราจะเห็นปัญหาที่น่าสนใจคือ เรารู้เพียงว่า K_Q มีแนวโน้มลดลงจริง แต่ไม่สามารถที่จะบอกได้ว่าแนวโน้มนี้จะลดลงไป asymptote ที่ระดับของ K_{IC} ที่ความหนาเท่าไรแน่นอน เพราะเราไม่สามารถที่จะสร้างชั้นทดสอบให้มีความหนามากกว่า 25.40 mm ได้ (ถูกจำกัดด้วยความหนาและรัศมีความโค้งงอของท่อเหล็กเอง) แต่เราสามารถทำนายว่าควรจะใช้ชั้นทดสอบที่มีความหนาเท่าไรจึงจะให้ K_{IC} ได้จากสมการของ Brown และ Srawley ซึ่งได้กำหนดไว้ในมาตรฐานของ ASTM E399 คือ

$$B \geq 2.5 \left(\frac{K_Q}{\sigma_{ys}} \right)^2$$

โดยการแทนค่าต่าง ๆ ของชั้นทดสอบที่มีความหนา B เท่ากับ 25.40 mm ซึ่งมีขนาดทุกอย่างเป็นไปตามมาตรฐานพบว่า จะต้องใช้ชั้นทดสอบที่มีความหนาตั้งแต่ 620 mm เป็นต้นไป ซึ่งในทางปฏิบัติไม่สามารถทำได้แน่นอนเพราะถูกจำกัดด้วยความหนาเพียงแค่ 25.40 mm เท่านั้น

จากปัญหาจะเห็นว่าถ้าเราทราบค่า K_{IC} จริงของวัสดุเราจะสามารถบอกเป็น qualitative ได้ว่า แนวโน้มของ K_Q ที่ลดลงนี้จะไป asymptote ที่ระดับของ K_{IC} ที่ประมาณความหนา 620 mm จริงตามสมการของ Brown และ Srawley ที่ได้กำหนดไว้หรือไม่ ดังนั้นจึงจำเป็นต้องศึกษาค้นคว้าหาแนวทางเพิ่มเติมในการที่จะทดสอบหาค่า K_{IC} มาให้ได้

จากการศึกษาค้นคว้าเพิ่มเติมผู้วิจัยพบว่า เราสามารถที่จะทดสอบหาค่า K_{IC} ของวัสดุจากชั้นทดสอบที่มีขนาดเล็กซึ่งไม่สามารถที่จะทำสอบตามมาตรฐานของ ASTM E399 ได้ ด้วยการใช้เทคนิควิธีการทดสอบของ J-Integral (ดูรายละเอียดในบทที่ 6) ซึ่งมีข้อดีที่ว่า ค่า J ที่ทดสอบได้จะไม่ขึ้นกับความหนาของชั้นทดสอบ