

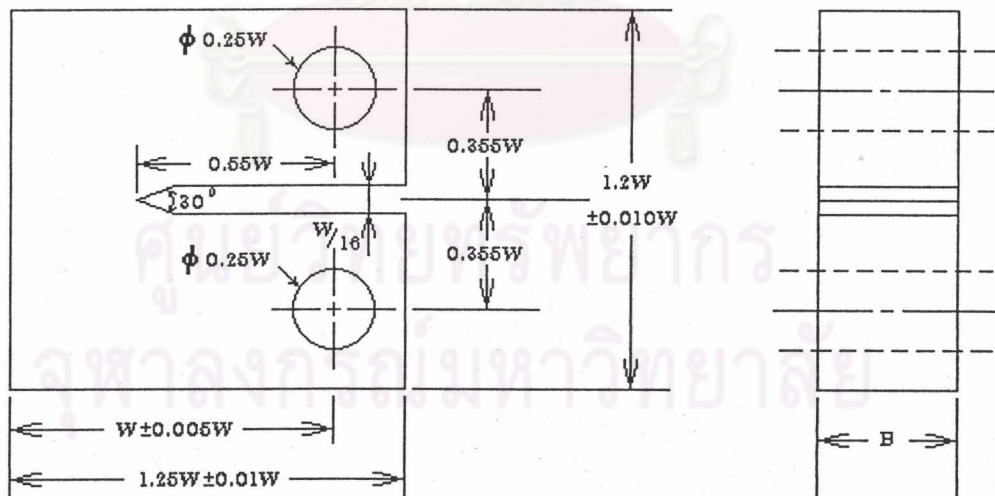
## บทที่ 7

### ผลการทดสอบ J-Integral

การวิเคราะห์ผลของความหนาขึ้นทดสอบต่อการทดสอบความต้านทานในการแตกร้าว ภายใต้สภาวะความเค้นกระหนาบของท่อเหล็ก ASME SA-335 Gr P22 บทนี้ได้กล่าวถึง รูปร่าง และขนาดของขึ้นทดสอบ การทดสอบ J-Integral ผลการทดสอบ J-Integral และผลการแปลง พารามิเตอร์  $J_{IC}$  ไปเป็น  $K_{IC}$  ตามลำดับ

#### รูปร่างและขนาดของขึ้นทดสอบ

เพื่อเป็นการประหยัดวัสดุและค่าใช้จ่ายในการทดสอบ ผู้วิจัยได้เลือกใช้ขึ้นทดสอบแบบ C(T)-specimen จำนวน 10 ชิ้น รายละเอียดต่าง ๆ ของขึ้นทดสอบจะอ้างอิงตามมาตรฐานวิธีการ ทดสอบของ ASTM E813 ดังแสดงในรูปที่ 7.1



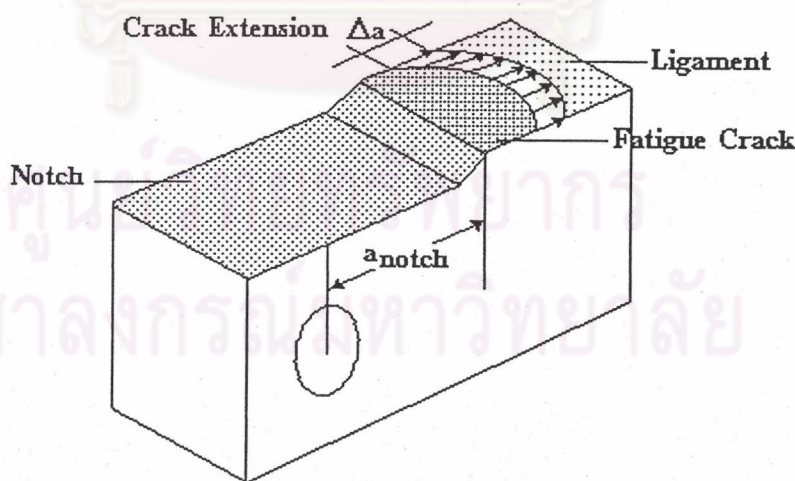
รูปที่ 7.1 แสดงรายละเอียดของขึ้นทดสอบ J-Integral

การกำหนดชื่อที่ใช้เรียกขึ้นทดสอบจะขึ้นต้นด้วยอักษร J และตามด้วยตัวเลข 1 ถึง 10 ดังนี้ J1 , J2 , J3 , J4 , J5 , J6 , J7 , J8 , J9 และ J10

### การทดสอบ J-Integral

การทดสอบ J-Integral ครั้งนี้ ผู้วิจัยได้ทำตามขั้นตอนต่าง ๆ ที่ ASTM E813 ได้กำหนดไว้ และเลือกใช้เทคนิควิธีการทดสอบแบบ multiple specimen technique ซึ่งมีขั้นตอนต่าง ๆ ดังนี้

1. ทำการสร้างรอยแตกร้าวล้าให้กับชิ้นทดสอบทุกชิ้น (fatigue precracking) โดยทำตามขั้นตอนที่ได้กล่าวไว้ในบทที่ 4 ให้ได้อัตราส่วนของ  $a/W = 0.6$
2. ให้ภาระดึงแบบ monotonic tension แก่ชิ้นทดสอบจนรอยแตกร้าวขยายตัวยาวต่อจากรอยแตกร้าวล้าได้ค่าหนึ่ง แล้วจึงทำการปลดภาระออกจากชิ้นทดสอบ (unload)
3. ทำการพ่นสี (penetrant) เข้าไปในระหว่างรอยแยกของชิ้นทดสอบ เพื่อทำเครื่องหมายส่วนหน้าของรอยแตกร้าวที่ยาวขึ้นไว้ แล้วรอนสีที่พ่นไว้แห้งสนิท
4. ดึงชิ้นทดสอบให้แยกออกจากกัน
5. วัดรอยแตกร้าว  $\Delta a$  ที่ยาวขึ้น โดยทำการวัดระหว่างหน้าของรอยแตกร้าวล้ากับหน้าของรอยแตกร้าวที่ได้พ่นสีทำเครื่องหมายไว้ โดยทำการแบ่งวัดเป็น 9 ช่วงเท่า ๆ กัน แล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย ดังแสดงในรูปที่ 7.2



รูปที่ 7.2 แสดงตำแหน่งการวัดของรอยแตกร้าว

6. นำ P -  $\Delta$  record ที่ได้จากขั้นตอนที่ 2 มาคำนวณหาค่า  $J_{(i)}$  ดังนี้

$$J_{(i)} = \frac{(K_{(i)})^2(1-\nu^2)}{E} + J_{PL(i)}$$

เมื่อ

$$K_{(i)} = \frac{P_{(i)}}{B\sqrt{W}} f\left(\frac{a}{W}\right)$$

$$f\left(\frac{a}{W}\right) = \frac{(2 + \frac{a}{W})}{(1 - \frac{a}{W})^{3/2}} \left[ 0.886 + 4.64\left(\frac{a}{W}\right) - 13.32\left(\frac{a}{W}\right)^2 + 14.72\left(\frac{a}{W}\right)^3 - 5.6\left(\frac{a}{W}\right)^4 \right]$$

หรือสามารถหาได้จากตารางที่ 4.4

และ

$$J_{PL(i)} = \frac{\eta A_{PL(i)}}{Bb_o}$$

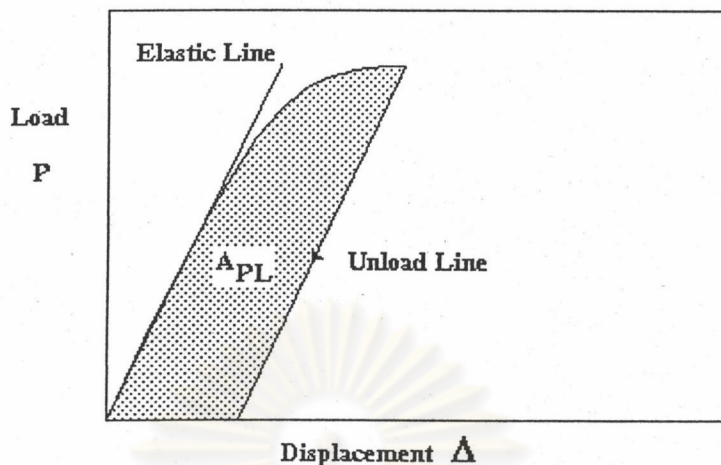
เมื่อ

$A_{PL}$  แทน พื้นที่ใต้ P- $\Delta$  curve (ดังแสดงในรูปที่ 7.3)

B แทน ความหนาของชั้นทดสอบ

$b_o$  แทน ความยาวของ ligament

$\eta$  แทน  $2 + 0.522b_o/W$



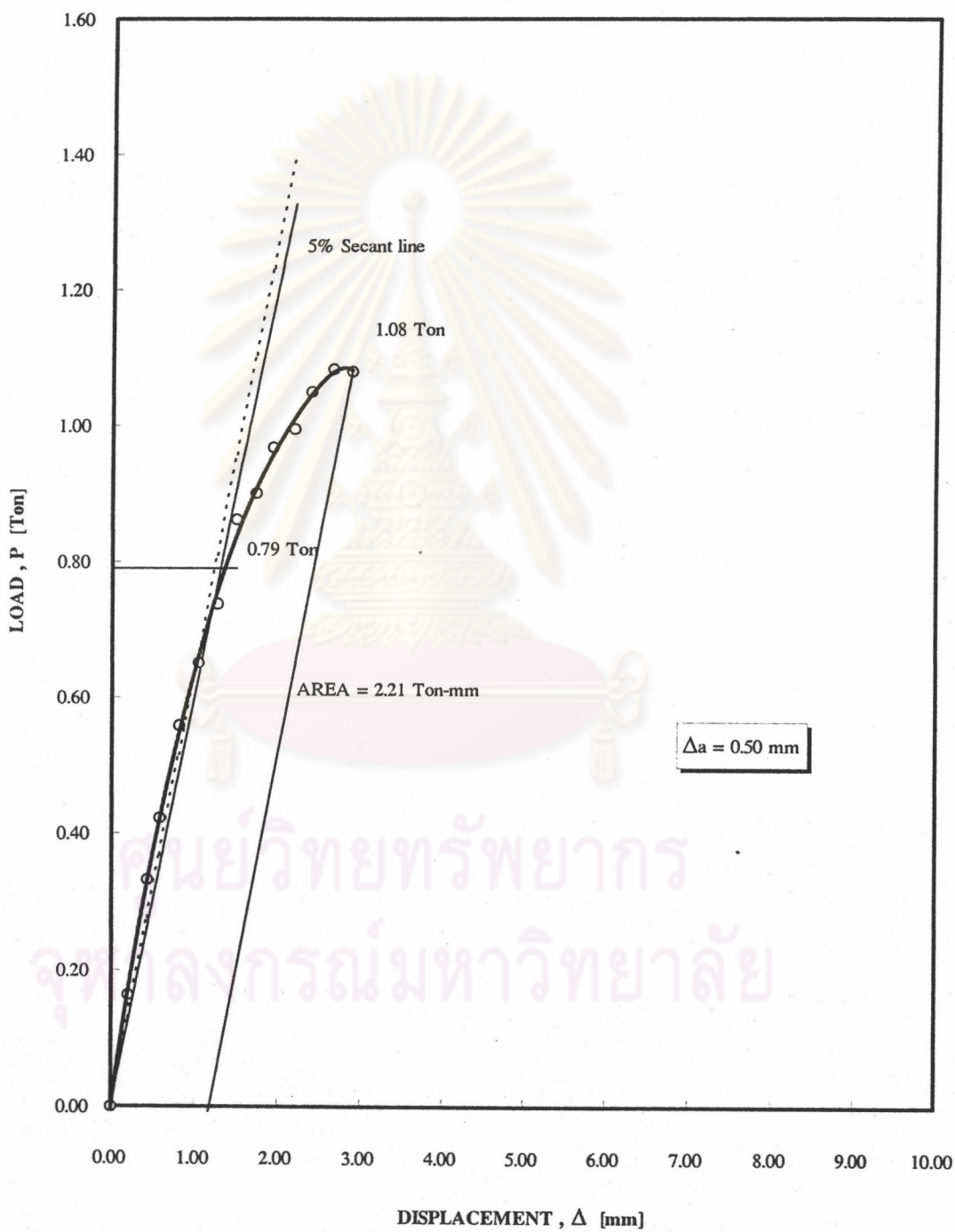
รูปที่ 7.3 แสดงพื้นที่ใต้ P- $\Delta$  curve ที่ใช้ในการคำนวณ  $J_{PL}$

7. เมื่อถึงขั้นตอนนี้เราจะได้ข้อมูลของ  $J_{(i)}$  และ  $\Delta a_{(i)}$  ของชั้นทดสอบที่ 1 ส่วนชั้นทดสอบอีก 9 ชั้น ก็ทำนองเดียวกันคือ ตามชั้นตอนที่ 1 ถึง 5 จนครบทุกชั้น โดยในแต่ละชั้นจะต้องเลือกกำหนดให้  $\Delta a$  เพิ่มขึ้นเรื่อย ๆ

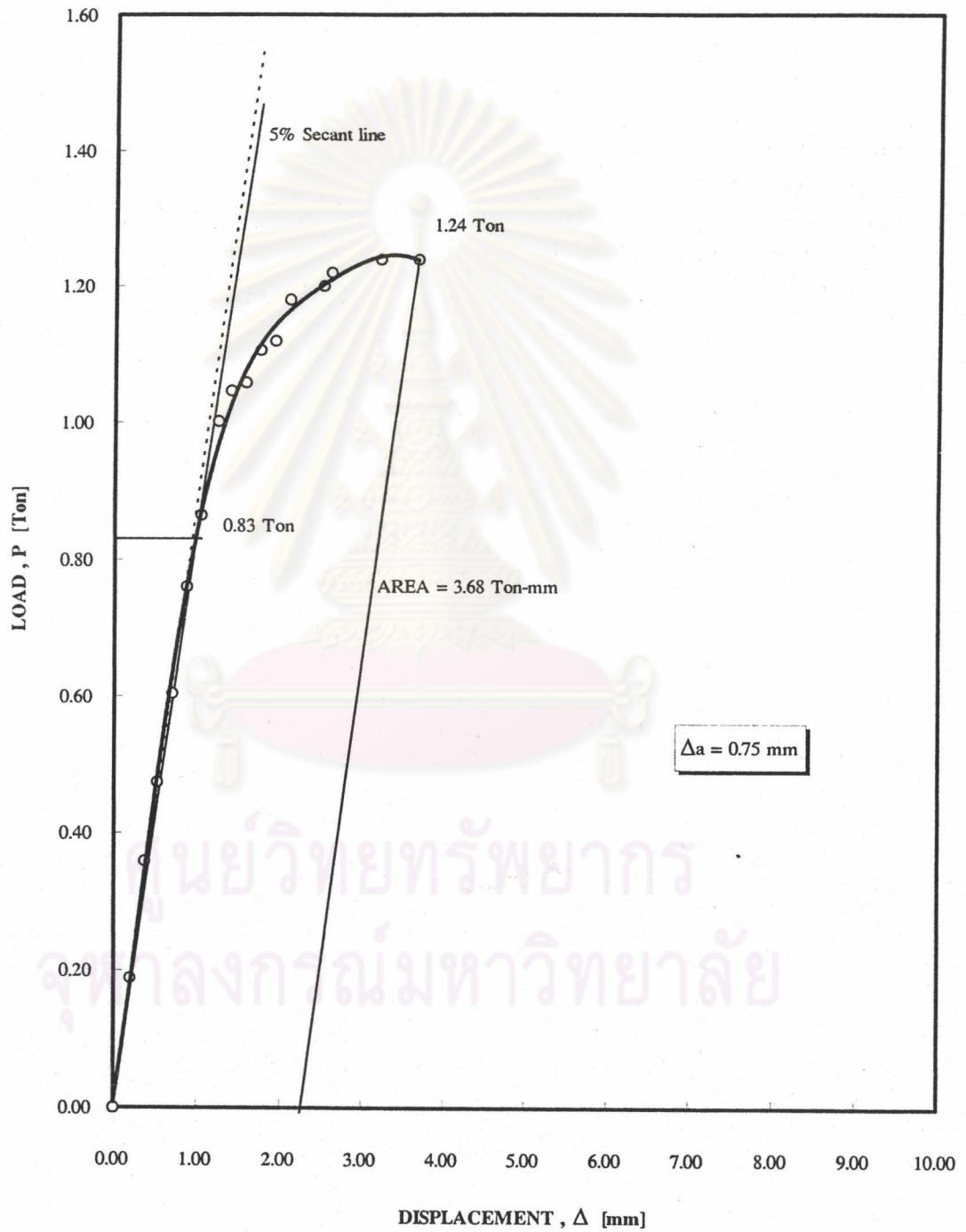
8. เมื่อทำการทดสอบครบทั้ง 10 ชั้นแล้ว นำ  $J_{(1)}$  ถึง  $J_{(10)}$  มาพล็อตแสดงความสัมพันธ์ของ  $J$  และ  $\Delta a$  เพื่อหาค่า  $J_{IC}$

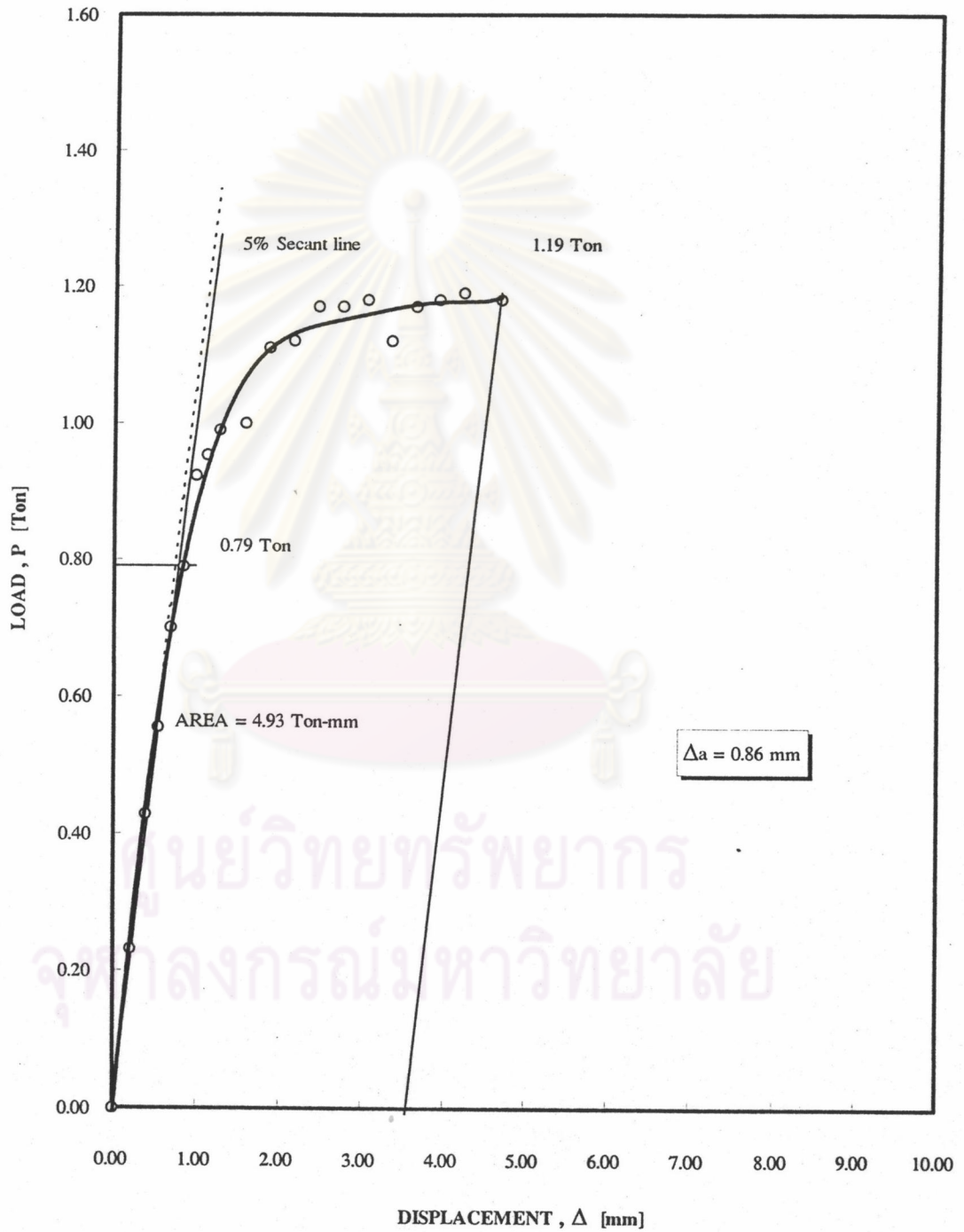
#### ผลการทดสอบ J-Integral

ผู้วิจัยได้นำข้อมูลของ load และ displacement ที่ได้บันทึกไว้ของชั้นทดสอบทุกชั้น มาพล็อตเป็น P -  $\Delta$  curve พร้อมกับลากเส้น 5% secant และหาพื้นที่ภายใต้ curve ด้วยวิธีอินทิเกรตทางเชิงเลข (numerical integration)

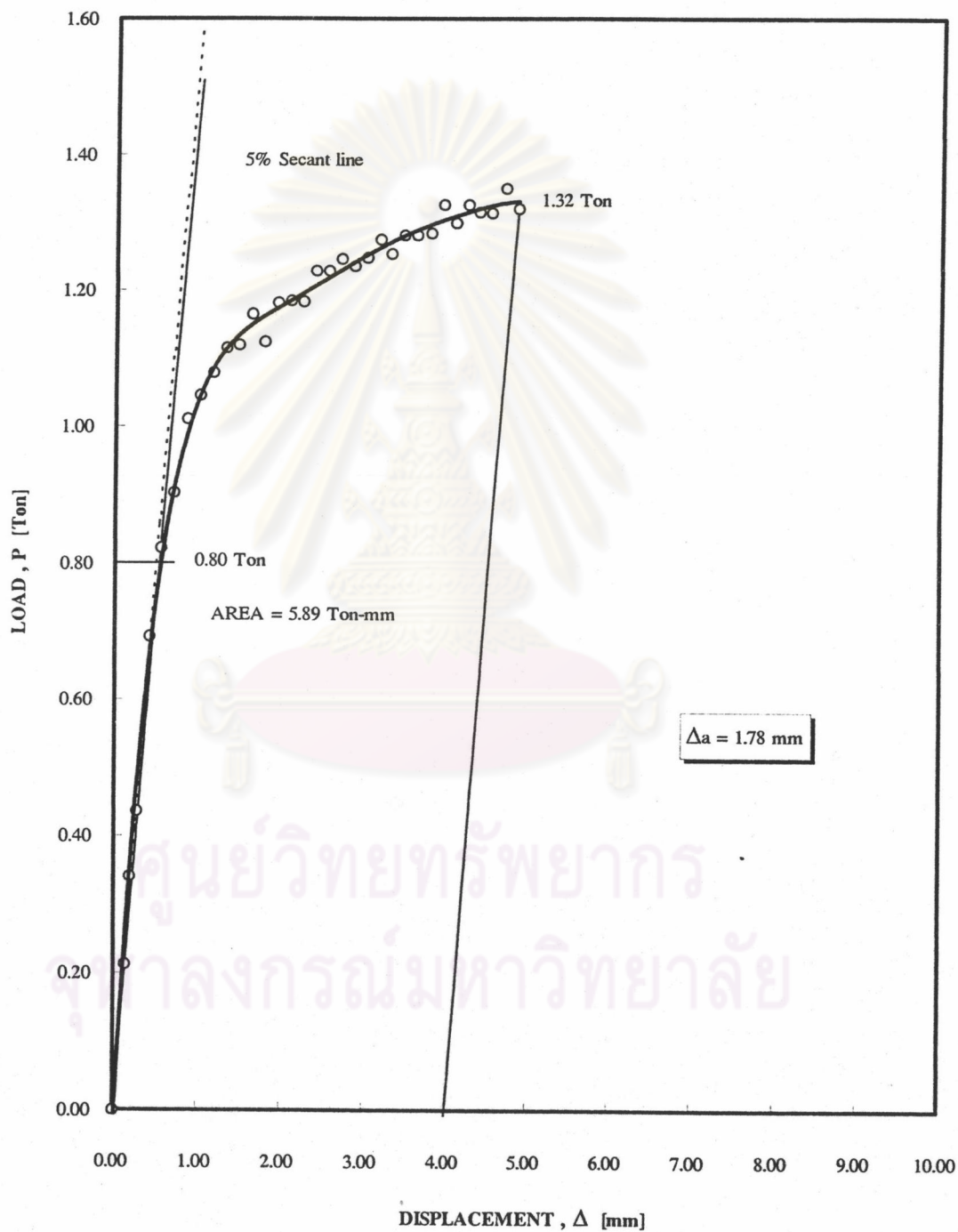
รูปที่ 7.4 แสดง P- $\Delta$  record ของชั้นทดสอบ J1

รูปที่ 7.5 แสดง P- $\Delta$  record ของชั้นทดสอบ J2



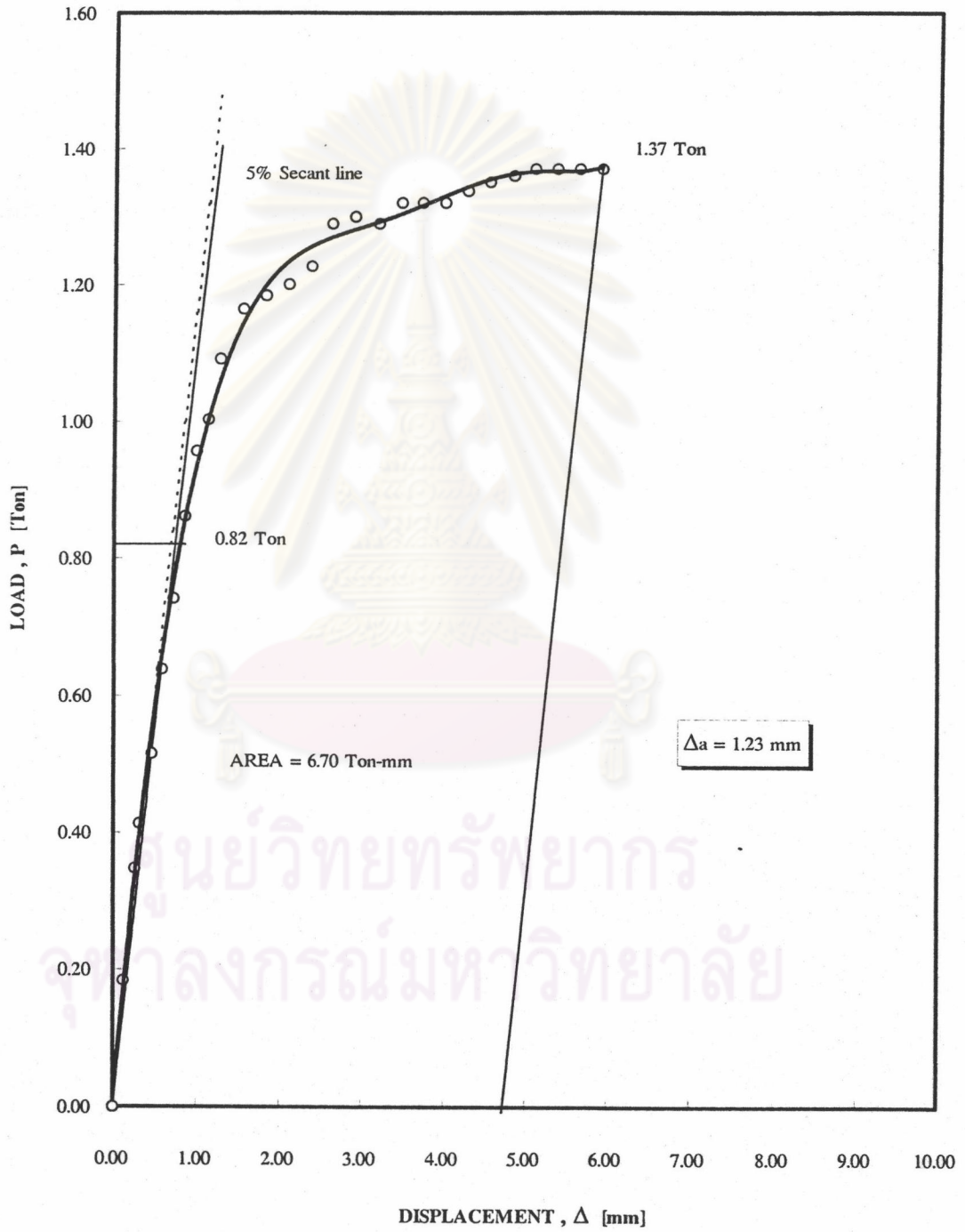
รูปที่ 7.8 แสดง P- $\Delta$  record ของชั้นทดสอบ J3

รูปที่ 7.7 แสดง P- $\Delta$  record ของชั้นทดสอบ J4

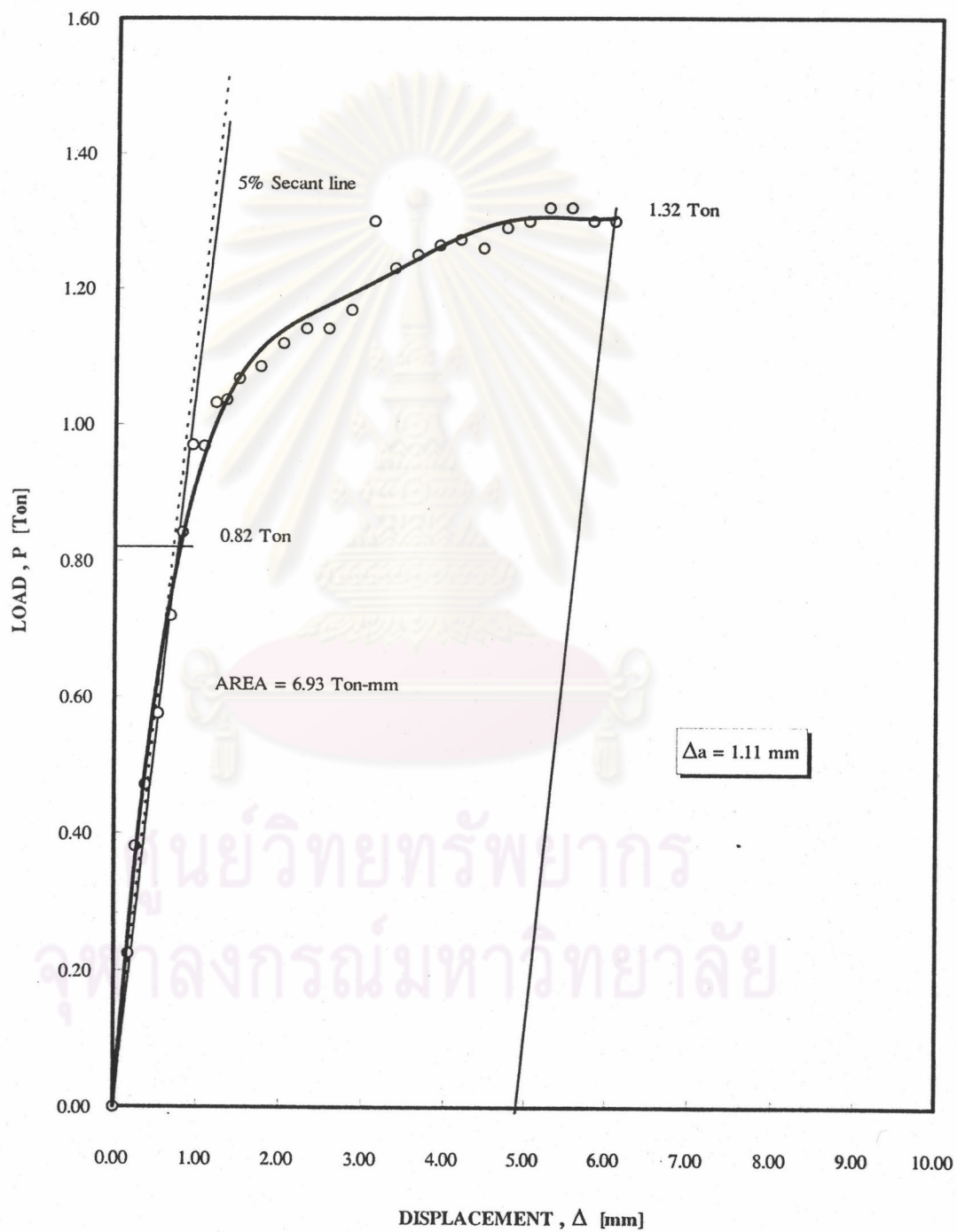




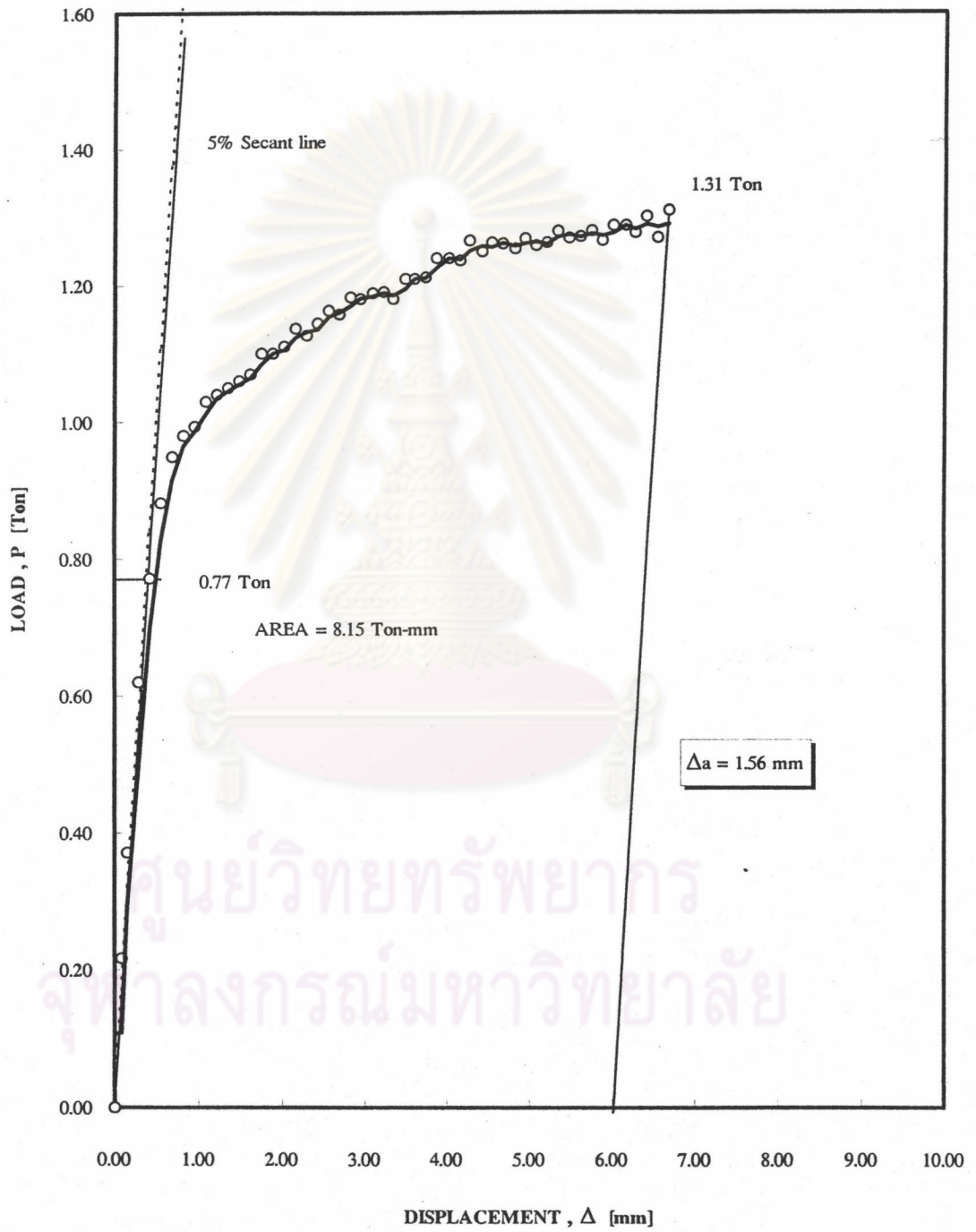
รูปที่ 7.8 แสดง J- $\Delta$  record ของชั้นทดสอบ J5



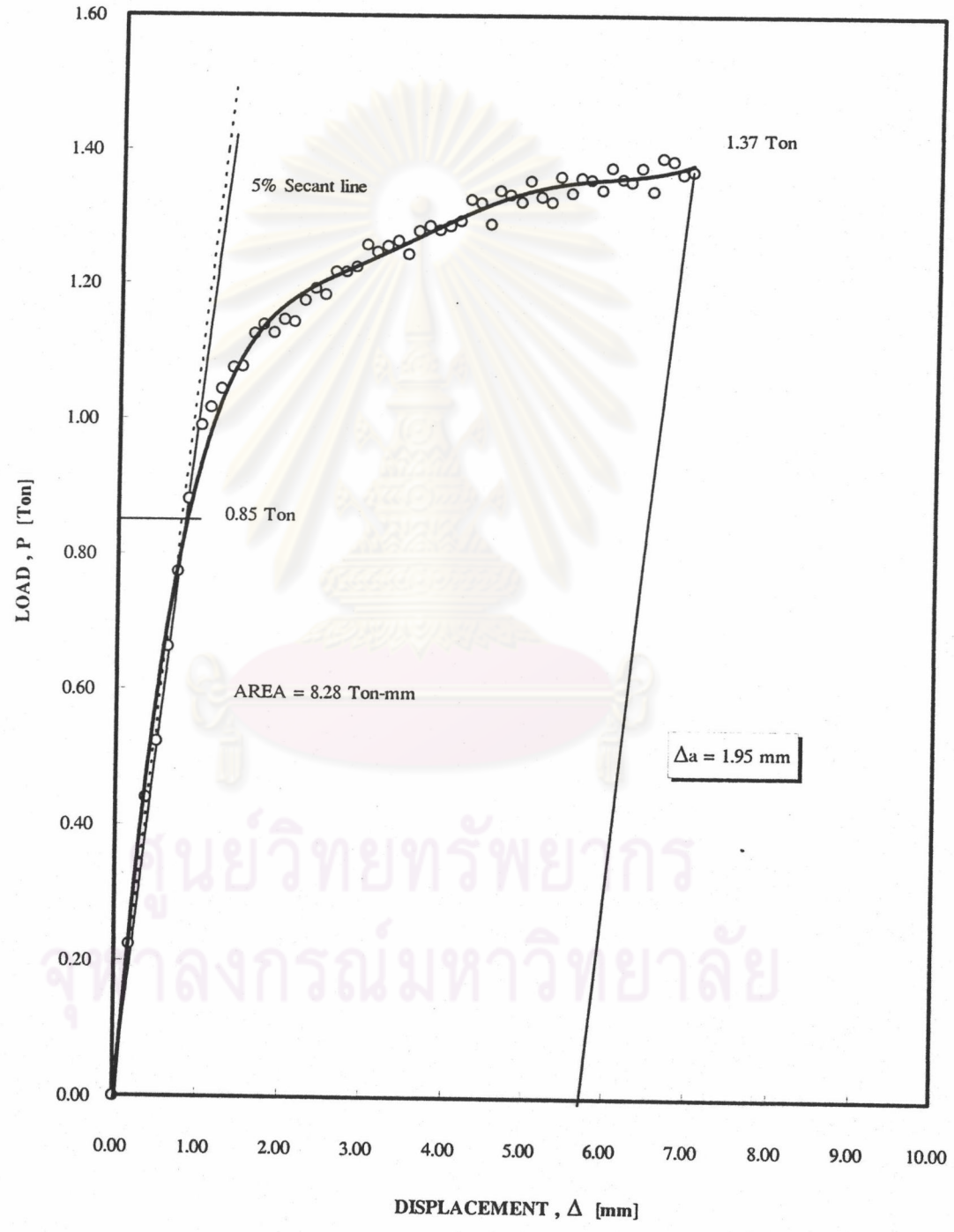
รูปที่ 7.9 แสดง P- $\Delta$  record ของชั้นทดสอบ J6



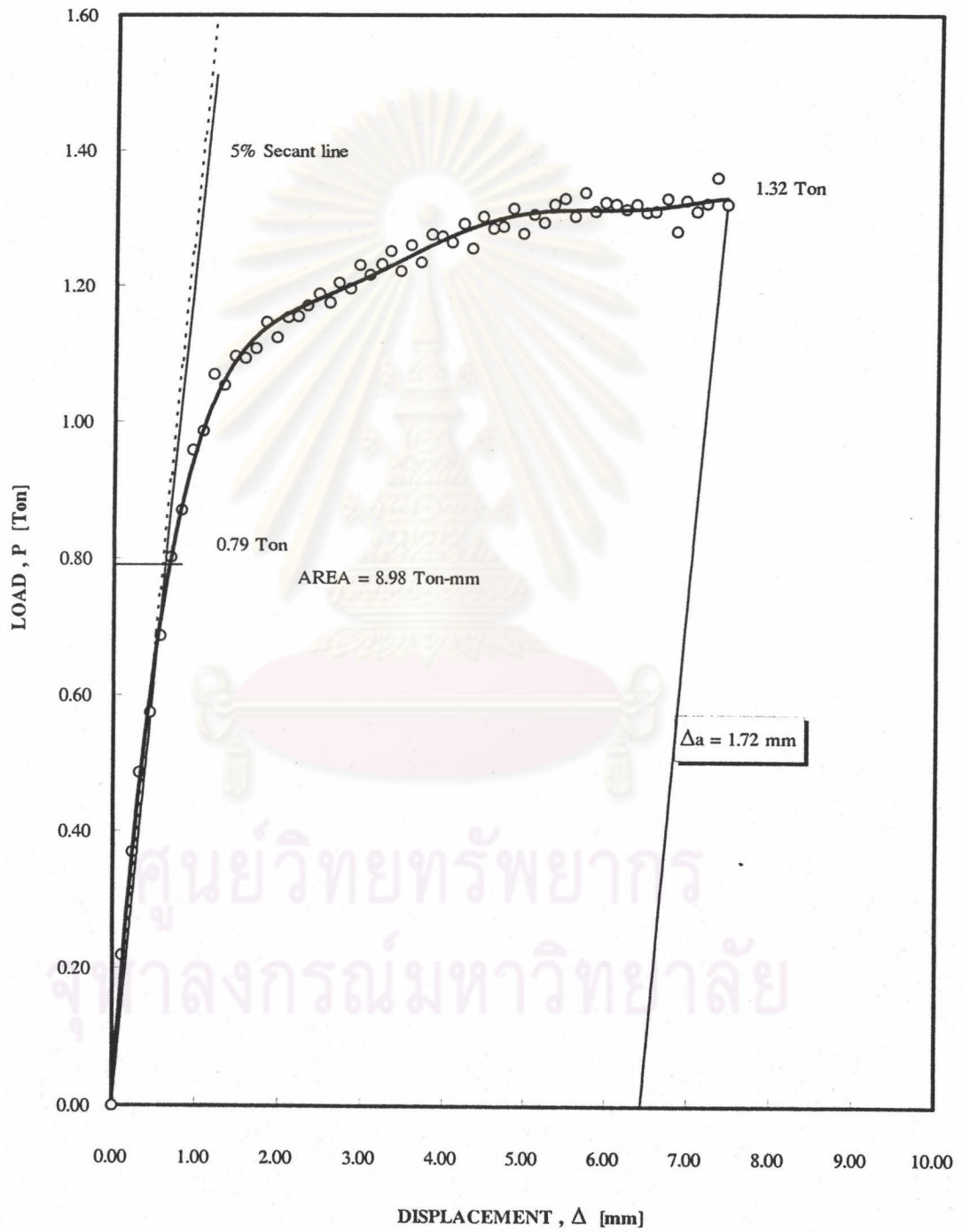
รูปที่ 7.10 แสดง P- $\Delta$  record ของชิ้นทดสอบ J7

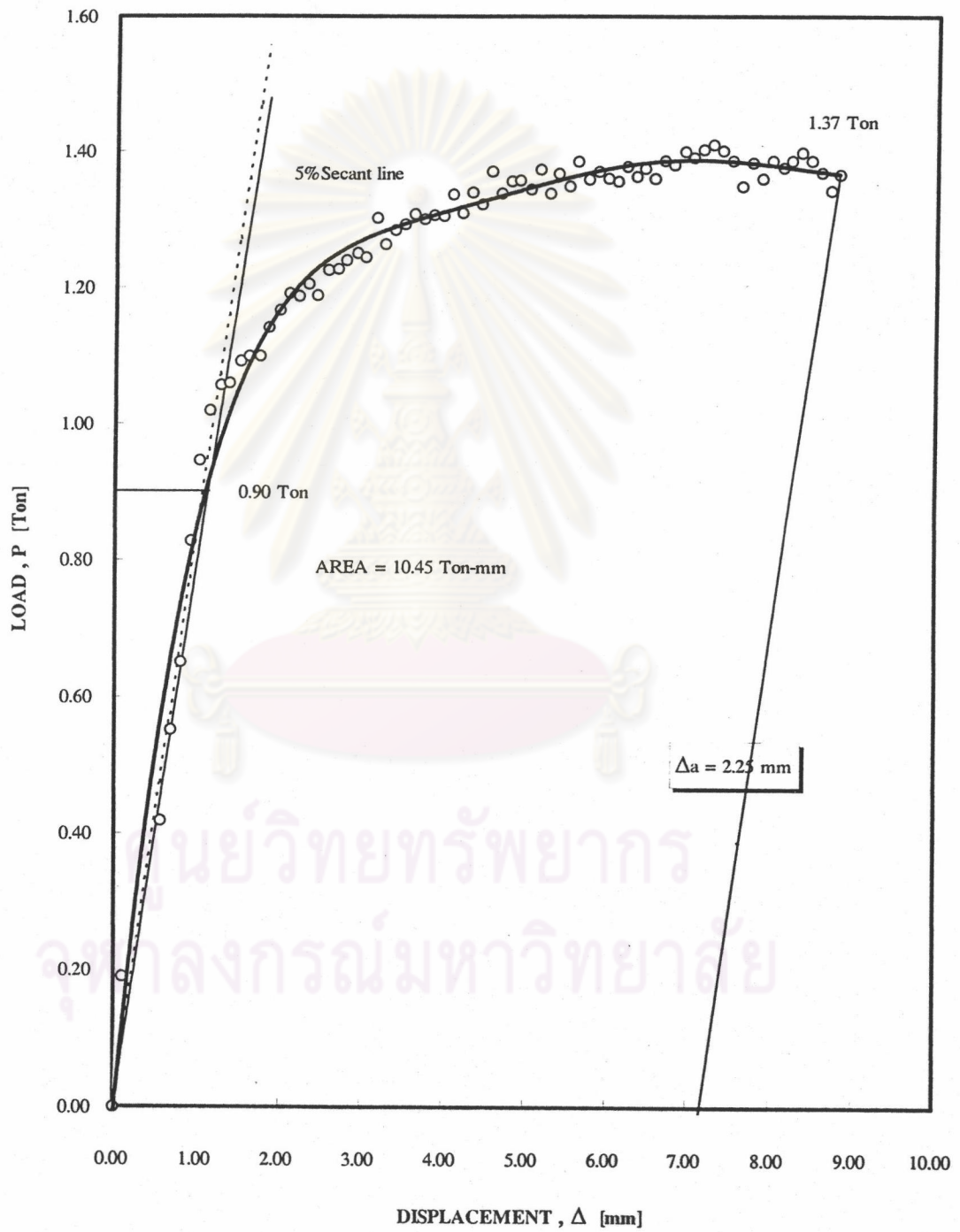


รูปที่ 7.11 แสดง P- $\Delta$  record ของชิ้นทดสอบ JS



รูปที่ 7.12 แสดง P- $\Delta$  record ของชั้นทดสอบ J9

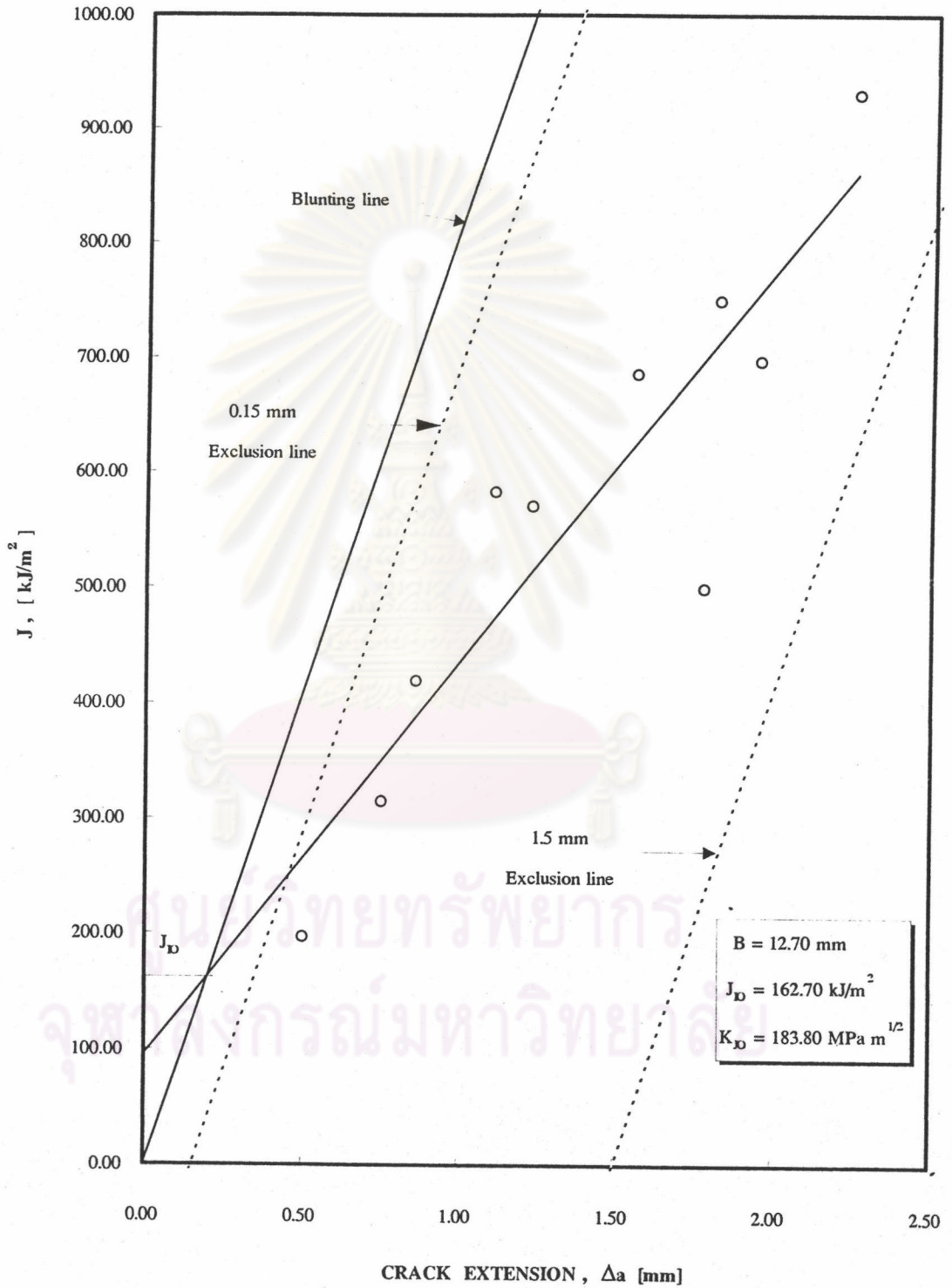


รูปที่ 7.13 แสดง P- $\Delta$  record ของชิ้นทดสอบ J10

ตารางที่ 7.1 แสดงข้อมูลที่ได้จากการทดสอบ J-Integral ความหนา B = 12.70 mm ความกว้าง W = 25.40 mm

ชั้น ทดสอบ	$a_A$ (mm)	$a_B$ (mm)	$a_{AVG}$ (mm)	$a/W$	$f(a/W)$	$b_0$ (mm)	$A_{PL}$ (Ton-mm)	$P_Q$ (Ton)	$K_Q$ (MPa mm <sup>1/2</sup> )	$\Delta a$ (mm)	$J_{PL}$ (kJ/m <sup>2</sup> )	$J_{EL}$ (kJ/m <sup>2</sup> )	$J$ (kJ/m <sup>2</sup> )
J1	3.05	3.25	3.15	0.60	13.47	10.25	2.21	0.79	1630.56	0.50	184.12	12.81	196.93
J2	2.84	3.10	2.97	0.59	13.11	10.43	3.68	0.83	1667.07	0.75	301.39	13.39	314.78
J3	3.17	2.94	3.06	0.59	13.27	10.35	4.93	0.79	1607.17	0.86	406.91	12.44	419.35
J4	2.92	3.18	3.05	0.59	13.26	10.35	5.89	0.80	1626.29	1.78	486.70	12.74	499.44
J5	2.98	3.25	3.12	0.60	13.40	10.29	6.70	0.82	1683.47	1.23	556.67	13.65	570.32
J6	2.95	3.04	3.00	0.59	13.15	10.41	6.93	0.82	1653.18	1.11	569.58	13.16	582.75
J7	3.20	2.94	3.07	0.59	13.30	10.33	8.15	0.77	1570.05	1.56	674.17	11.87	686.04
J8	3.04	3.05	3.05	0.59	13.25	10.36	8.28	0.85	1726.62	1.95	683.04	14.36	697.40
J9	3.00	2.98	2.99	0.59	13.14	10.41	8.98	0.79	1591.50	1.82	737.68	12.20	749.88
J10	3.00	4.30	3.65	0.62	14.57	9.75	10.45	0.90	2009.40	2.25	910.60	19.45	950.05

รูปที่ 7.14 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง J กับ  $\Delta a$





ผลการแปลงพารามิเตอร์  $J_{IC}$  ไปเป็น  $K_{IC}$

จากรูปที่ 7.11 เราได้ค่า  $J_{IC}$  เท่ากับ  $162.70 \text{ kJ/m}^2$  ใช้ความสัมพันธ์ของ LEFM แปลงไปเป็นค่า  $K_{IC}$  ได้ดังนี้

$$\begin{aligned}
 K_{IC} &= \sqrt{\frac{E J_{IC}}{(1-\nu^2)}} \\
 &= \sqrt{\frac{185(\text{N/mm}^2) \cdot 162.70(\text{N/mm}^2)}{(1-0.33^2)}} \\
 K_{IC} &= 183.30 \text{ MPa}\sqrt{\text{m}} \quad \triangleleft
 \end{aligned}$$

ศูนย์วิทยทรัพยากร  
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย