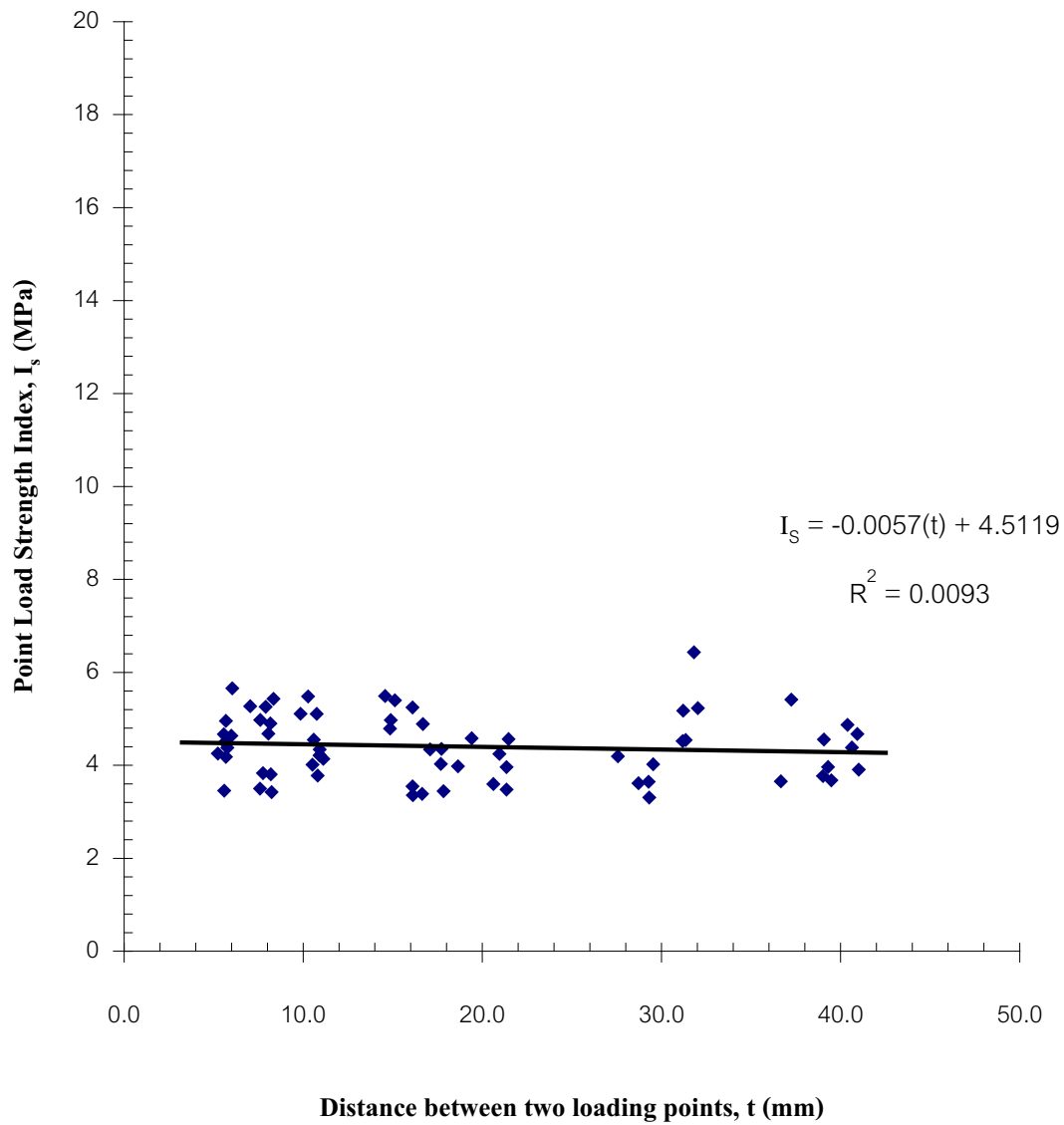


Point Load Strength Index of Saraburi Marble

$D = 67.4 \text{ mm}$, $t = 5.0, 7.5, 10.0, 15.0, 20.0, 30.0, 40.0 \text{ mm}$

$$I_s = P/Dt$$



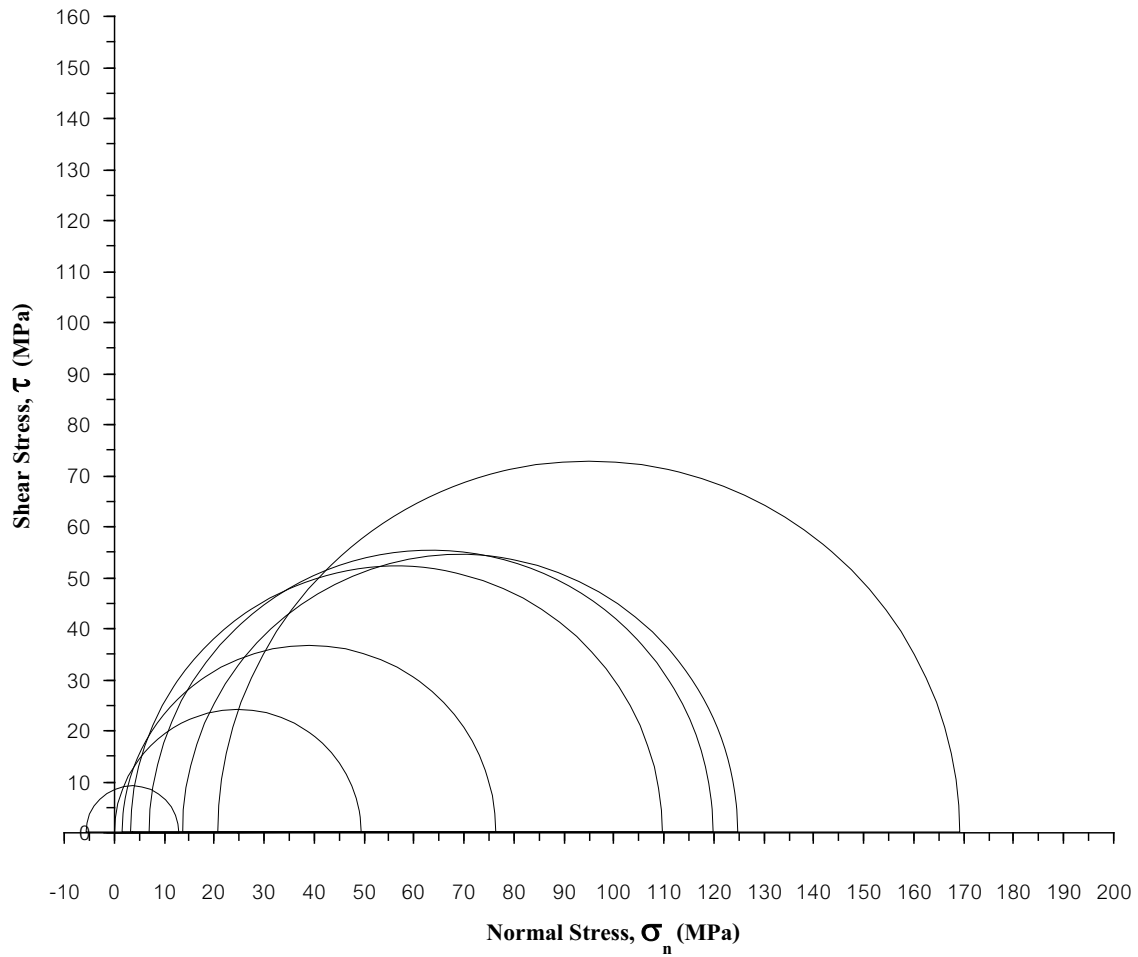
รูปที่ 4.29 ผลจากการทดสอบจุดกดแบบดั้งเดิม ค่าดัชนีจุดกดถูกคำนวณโดยใช้สมการ $I_s = P/(D.t)$

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบแรงกดในสามแกน

Sample No.	Diameter (mm)	Length (mm)	Load at Failure (kN)	Confining Pressure, σ_3 (MPa)	Axial Stress at Failure, σ_1 (MPa)
MB-25-8-TR-6	53.9	100.7	174	1.7	76.2
MB-26-11-TR-1	53.9	100.8	250	3.4	109.5
MB-26-7-TR-4	54.1	100.1	274	6.9	119.8
MB-25-10-TR-5	54.0	102.8	284	13.8	124.4
MB-26-12-TR-3	54.0	100.3	386	20.7	169.1



รูปที่ 4.30 การแตกร้าวของตัวอย่างหินอ่อนที่ความดันล้อมรอบ (σ_3) เท่ากับ 3000 psi ของ Sample No. MB-26-12-TR-3

Morh's Diagram

รูปที่ 4.31 แผนภูมิแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความดันแรงกดในแนวตั้งและค่าความดันแรงเฉือน

จากความสัมพันธ์ข้างต้นสามารถคำนวณหาค่ามุมความเสียดทาน (ϕ) และค่าความเค้นยึดติด (c) ได้เท่ากับ 40 องศา และ 14 MPa ตามลำดับ

4.2 การทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน

งานวิจัยนี้ได้มีการประดิษฐ์หัวกดแบบปรับเปลี่ยนเพื่อนำมาใช้ในการทดสอบในห้องปฏิบัติการ ตามแนวคิดหลักของงานวิจัยต้องการให้มีพื้นที่สัมผัสระหว่างหัวกดและเนื้อหินที่คงที่ ไม่ว่าเนื้อหินจะมีความอ่อนหรือแข็งเพียงใด หรือหัวกดอยู่ภายใต้แรงกดมากน้อยเพียงใด ดังนั้น หัวกดที่ถูกปรับเปลี่ยนจะเป็นหัวตัดเรียบและมีพื้นที่หน้าตัดเป็นรูปวงกลม เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกดแบบปรับเปลี่ยนได้สั่งทำขึ้นมา 7 ขนาด คือ 5 mm, 7.5 mm, 10 mm, 15 mm, 20 mm, 25 mm และ 30 mm วัสดุที่ใช้จะเป็นเหล็กแข็งซึ่งทนทานต่อการกดภายใต้ความดันสูง การสั่งทำจะเป็นคู่ซึ่งมีทั้งหมด 7 คู่ โดยรูปที่ 4.32 ได้เปรียบเทียบหัวกดแบบปรับเปลี่ยน (Modified) ที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 5 mm และ 10 mm กับหัวกดแบบดั้งเดิม (Conventional) ที่ใช้กันอยู่ทั่วไป และรูปที่ 4.33 แสดงหัวกดแบบปรับเปลี่ยนทั้งหมดที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผันแปรจาก 5 mm ไปจนถึง 30 mm

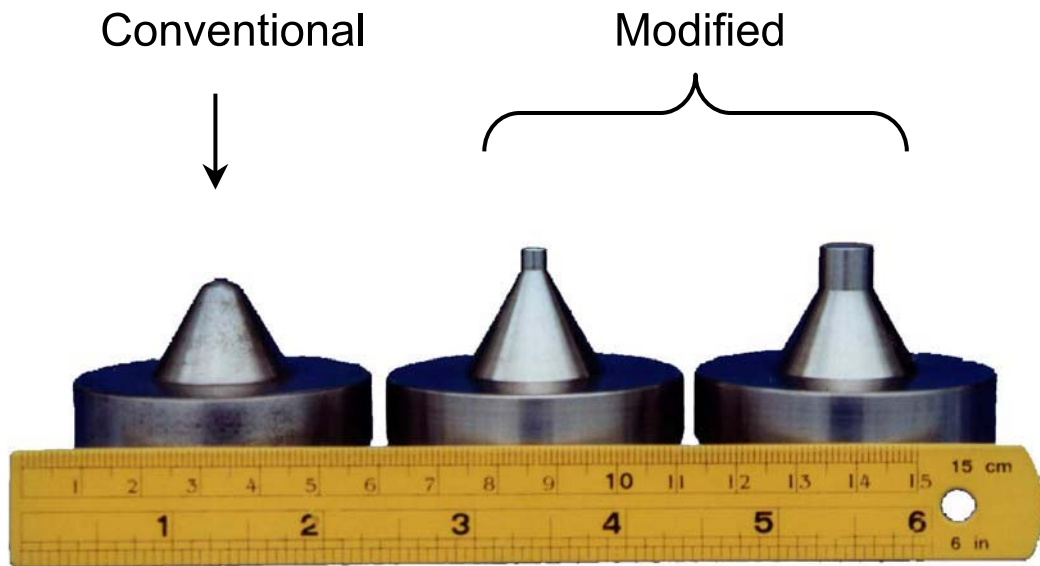
การทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน หรือเรียกสั้น ๆ ว่า MPL สามารถแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มใหญ่ตามลักษณะทางเรขาคณิตของตัวอย่างหินอ่อน กลุ่มแรกจะใช้หินตัวอย่างเป็นรูปแผ่นกลม ส่วนกลุ่มที่สองจะใช้หินตัวอย่างเป็นรูปแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส

ตัวอย่างหินแผ่นกลมจะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (D) คงที่ เท่ากับ 67.4 mm แต่มีความหนา (t) ผันแปรจาก 0.5 cm, 0.75 cm, 1.0 cm, 1.5 cm, 2.0 cm, 3.0 cm ไปจนถึง 4.0 cm โดยหัวกดที่ใช้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) ผันแปรจาก 0.5 cm, 1.0 cm, 1.5 cm, 2.0 cm, 2.5 cm ไปจนถึง 3.0 cm

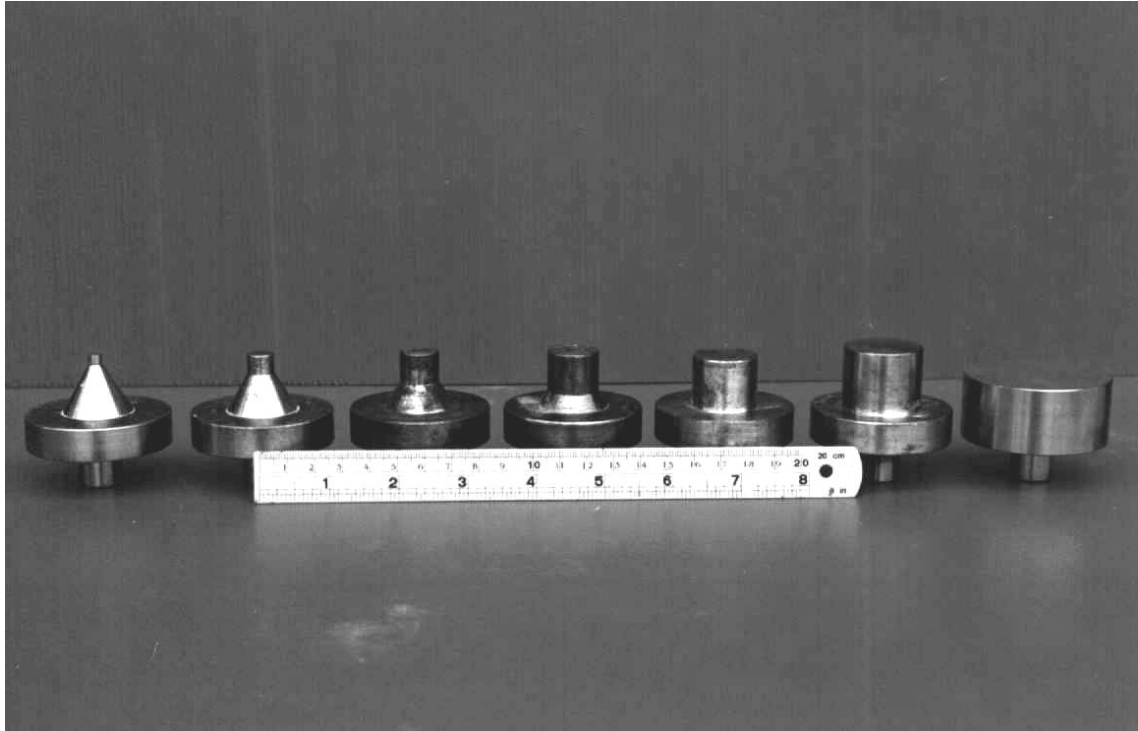
ตัวอย่างหินแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสจะมีความหนา (t) คงที่เท่ากับ 18 mm แต่จะมีความกว้าง (ยาว) ผันแปรจาก 24 mm, 48 mm, 73 mm, 98 mm, 124 mm ไปจนถึง 150 mm โดยหัวกดที่ใช้จะมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) ผันแปรจาก 5 mm, 10 mm ไปจนถึง 20 mm

การที่ใช้ขนาดและรูปร่างของตัวอย่างหินและของหัวกดหลากหลายเช่นนี้ก็เพื่อให้ได้มาซึ่งความสัมพันธ์ของขนาดและรูปร่างต่อค่าความต้านแรงกดและความต้านแรงดึงของตัวอย่างหิน

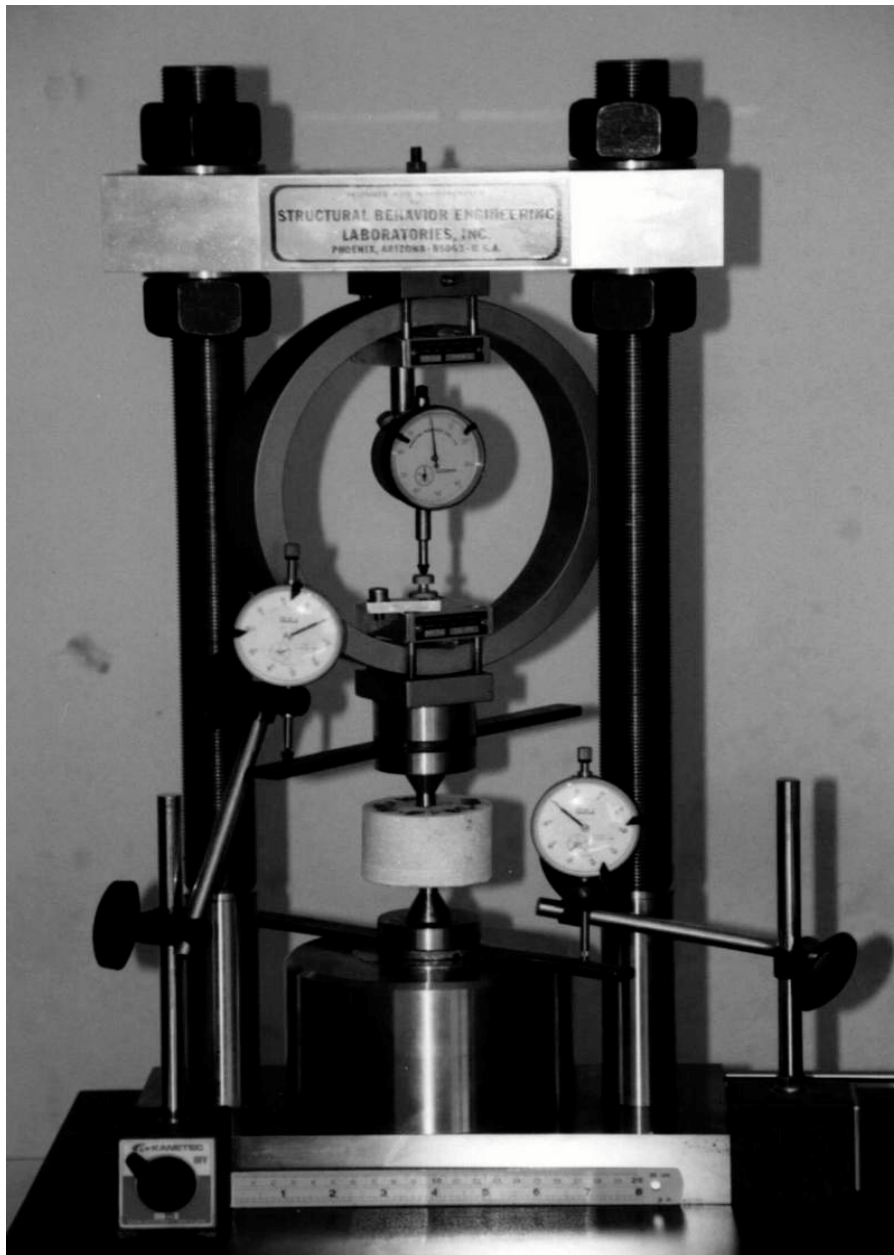
รูปที่ 4.34 แสดงเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบแบบ MPL ตัวอย่างหินรูปแผ่นกลมจะถูกกดตามแนวแกนกลางจนแตก โดยใช้เครื่อง SBEL PLT-75 ซึ่งมีความสามารถในการกดสูงสุดเท่ากับ 75,000 ปอนด์ แรงกดที่ทำให้หินแตกจะมีการบันทึกเพื่อใช้ในการคำนวณ และบันทึกภาพลักษณะรอยแตกเพื่อนำไปใช้ในการวิเคราะห์ต่อไป รูปที่ 4.35 แสดงการทดสอบแบบ MPL ซึ่งใช้หินรูปแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส โดยจะกดตัวอย่างหินที่จุดกึ่งกลางของแผ่น รูปที่ 4.36 ถึง 4.38 แสดงลักษณะการแตกของหินตัวอย่างบางส่วน ตัวอย่างหินส่วนใหญ่จะมีรอยแตกมากกว่าหนึ่งรอย แต่ทุกรอยแตกจะมีแนวขนานกับทิศทางการกด ซึ่งบ่งบอกว่าเป็นรอยแตกแบบดึง (Tension) ในบริเวณใต้หัวกดหินจะแตกเป็นรูปกรวย ซึ่งเป็น Compressive shear zone ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางใหญ่ที่สุดเท่ากับเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกดนั้น ๆ (ดังรูปที่ 4.37)



รูปที่ 4.32 เปรียบเทียบหัวกดแบบดั้งเดิม (Conventional) กับหัวกดแบบปรับเปลี่ยน (Modified) ที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 5 mm และ 10 mm หัวของตัวกดแบบปรับเปลี่ยนจะเป็นหัวตัดเรียบ



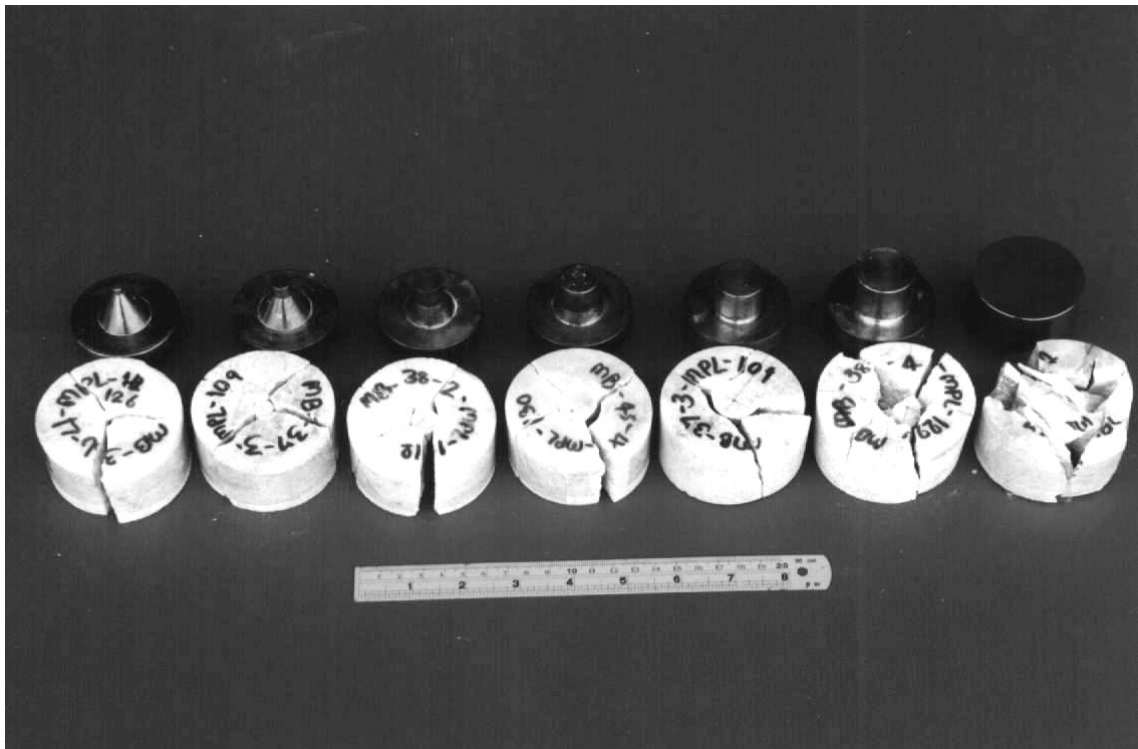
รูปที่ 4.33 หัวกดแบบปรับเปลี่ยนที่สร้างขึ้นมีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางผันแปรจาก 5 mm ไปจนถึง 30 mm



รูปที่ 4.34 องค์ประกอบของเครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน หินตัวอย่าง
รูปแผ่นกลมถูกกดตามแนวแกน



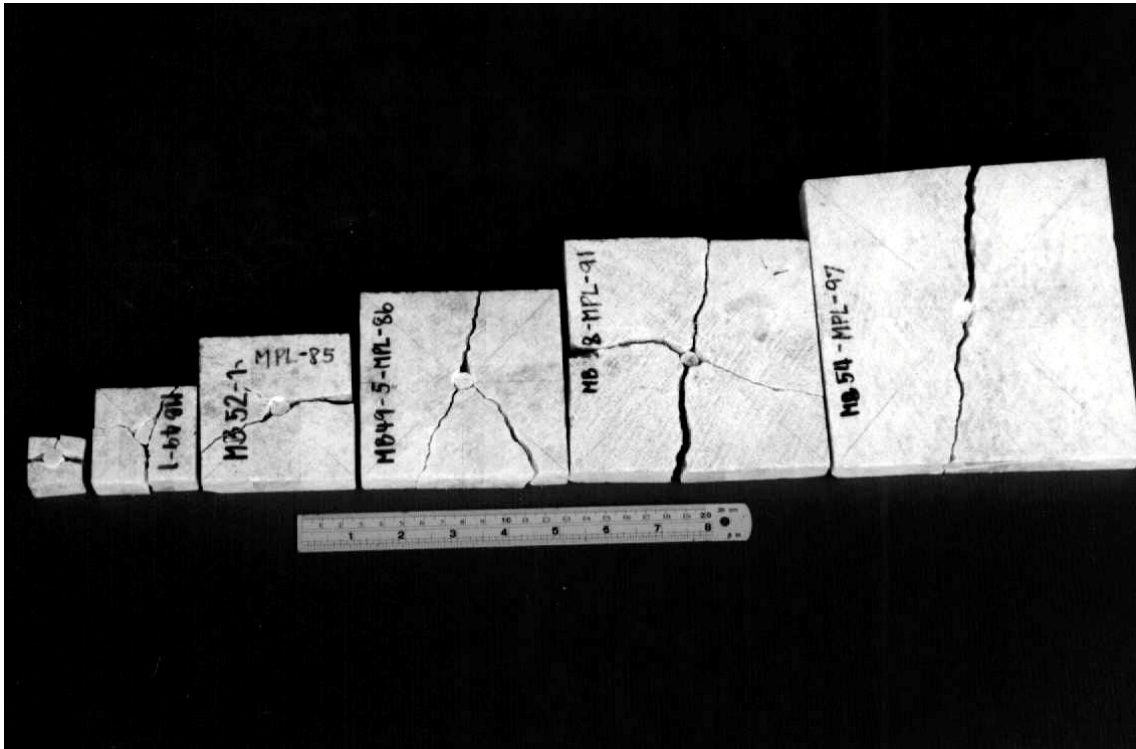
รูปที่ 4.35 ตัวอย่างของหินอ่อนรูปแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัสถูกกดที่จุดกึ่งกลางของแผ่นในการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน



รูปที่ 4.36 ตัวอย่างหินรูปแผ่นกลมหลังจากถูกทดสอบด้วยหัวกดขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางที่ต่างกัน



รูปที่ 4.37 ตัวอย่างหินรูปแผ่นกลมถูกกดแตกโดยมีการแตกเป็นรูปกรวยที่บริเวณภายใต้หัวกด ซึ่งแสดงให้เห็นว่าหินแตกแบบความกดเฉือน (Compressive shear failure) ในบริเวณนี้



รูปที่ 4.38 ตัวอย่างหินอ่อนรูปแผ่นสี่เหลี่ยมขนาดต่าง ๆ กัน หลังจากทดสอบด้วยจุดกดแบบปรับเปลี่ยน

ตารางที่ 4.7 และ 4.8 แสดงรูปร่างของตัวอย่างหินและผลการคำนวณที่ได้จากการทดสอบแบบ MPL ในที่นี้ค่าความเค้นแตก (P) สามารถคำนวณได้จากการนำค่าแรงกดแตก (F)หารด้วยพื้นที่หน้าตัดของหัวกด ดังสมการข้างล่างนี้

$$P = F/(\pi d^2/4) \quad (4.7)$$

โดยที่ P คือความเค้นกดสูงสุดที่เกิดการวิบัติ F คือ แรงกดสูงสุดที่จุดวิบัติ และ d คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของหัวที่ใช้กด

รูปที่ 4.39 และ 4.40 แสดงผลของการทดสอบแบบ MPL ในรูปของกราฟ โดยที่ค่า P จะนำเสนอในฟังก์ชันของอัตราส่วน t/d สำหรับตัวอย่างหินรูปแผ่นกลม (รูปที่ 4.39) และค่า P จะนำเสนอในฟังก์ชันของอัตราส่วน D/d สำหรับตัวอย่างหินรูปแผ่นสี่เหลี่ยมจัตุรัส (รูปที่ 4.40) การนำค่าเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกด (d) มาเป็นตัวหารก็เพื่อพิจารณาถึงผลกระทบของความหนาและความกว้างของหินโดยไม่มีขนาดของหัวกดเข้ามาเกี่ยวข้อง

ในการพิจารณาโดยทั่วไปแล้วผลที่ได้จากการทดสอบระบุว่าค่า P จะสูงขึ้น ถ้าอัตราส่วน t/d หรือ D/d มีค่าสูงขึ้น เพื่อที่จะสร้างความสัมพันธ์ในรูปคณิตศาสตร์ สมการในรูปของ Logarithmic ได้นำมาใช้ในการอธิบายการเปลี่ยนแปลงของ P ในรูปของอัตราส่วน D/d คือ

$$P = A \ln (D/d) + B \quad (4.8)$$

โดยที่ A และ B เป็นค่าคงที่ของแต่ละอัตรา t/d ดังแสดงในรูปที่ 4.40 ผลที่ได้นี้จะถูกนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการศึกษาทางด้านทฤษฎีในบทต่อไป

4.3 การทดสอบแรงดึงแบบต่าง ๆ

ค่าแรงดึงสูงสุดของตัวอย่างหินอ่อนที่ได้จากการทดสอบในรูปแบบต่าง ๆ กันจะมีประโยชน์ในการนำมาเปรียบเทียบกับค่าแรงดึงสูงสุดที่ทดสอบได้จากการทดสอบแบบบราซิล และนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน ซึ่งจะเป็นแนวทางในการนำไปประยุกต์ใช้ในรูปแบบของทฤษฎีใหม่ ซึ่งจะอธิบายละเอียดในบทต่อไป

4.3.1 การทดสอบแรงดึงแบบวงแหวน

การทดสอบแรงดึงแบบวงแหวน (Ring tensile strength test) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาแรงดึงสูงสุดของหินอ่อนสระบุรี และเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน โดยเตรียมตัวอย่างหินเป็นรูปวงแหวนทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายนอกเท่ากับ 92.4 mm ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางภายในเท่ากับ 30.5 mm และมีความหนาเท่ากับ 46.4 mm จำนวนทั้งสิ้น 5 ตัวอย่าง

ตารางที่ 4.7 คุณลักษณะของตัวอย่างหินแบบแผ่นสี่เหลี่ยมและผลที่ได้จากการทดสอบจุดกด
แบบปรับเปลี่ยน

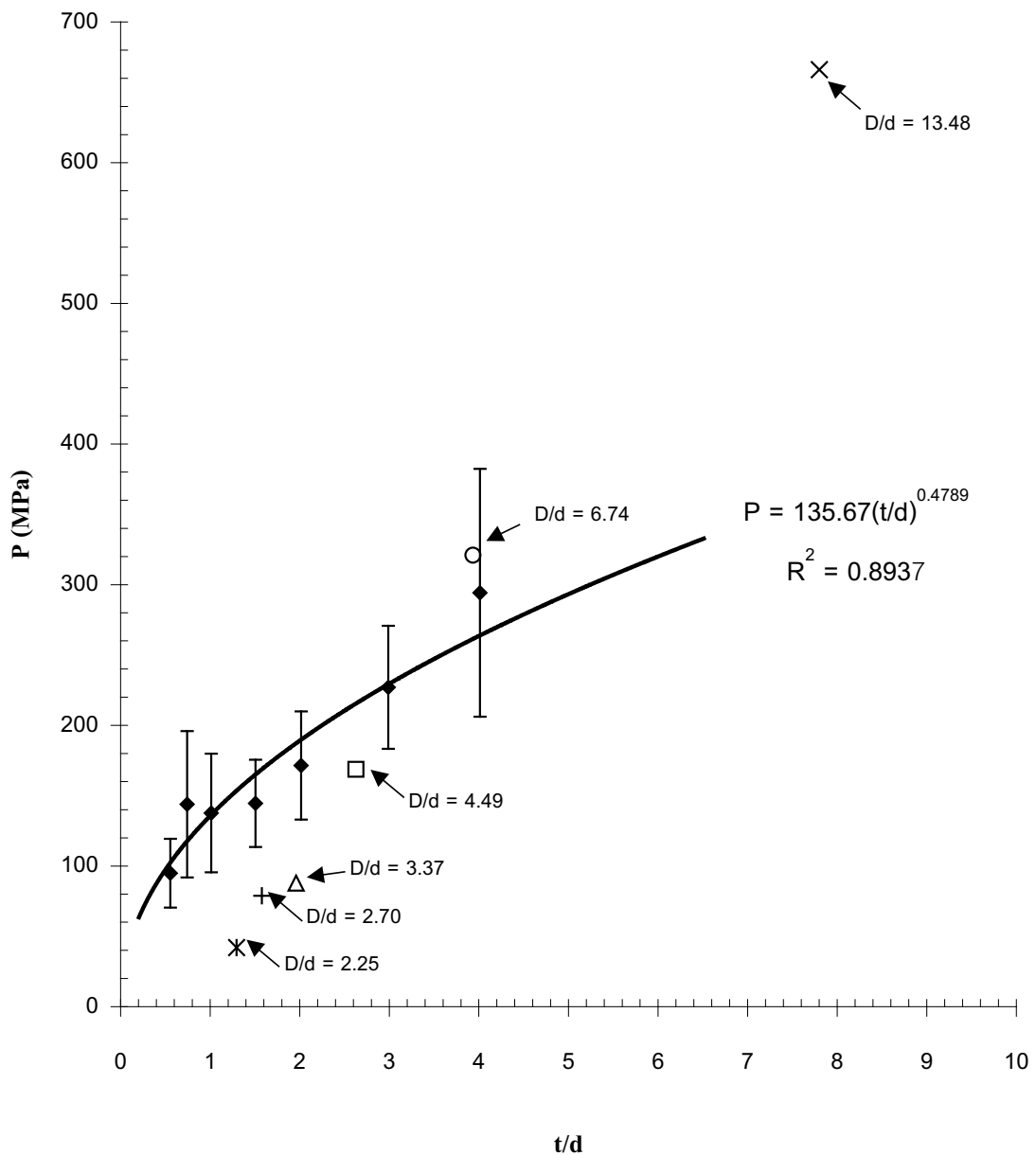
Average Diameter (mm)	Average Thickness (mm)	t/d	D/d	MPL Diameter (mm)	Number of Samples	Average Density (g/cc)	Mean MPL Strength, σ_{MPL} (MPa)	Standard Deviation (%)
23.20	18.19	3.64	4.64	5	5	2.82	348.36	±8.44
48.00	18.19	3.64	9.60	5	5	2.77	394.20	±8.74
74.40	18.19	3.64	14.88	5	5	2.27	556.15	±2.37
99.20	18.19	3.64	19.84	5	5	2.75	591.80	±7.61
135.00	18.19	3.64	27.00	5	5	2.65	675.33	±26.60
150.00	18.19	3.64	30.00	5	5	2.57	653.94	±14.07
16.23	17.94	2.46	2.23	7.28	5	2.51	127.81	±12.85
22.70	18.15	2.49	3.12	7.28	5	2.85	213.81	±17.19
36.04	17.87	2.45	4.95	7.28	5	2.62	283.48	±3.11
50.51	18.08	2.48	6.94	7.28	10	2.64	309.26	±20.11
70.90	18.23	2.50	9.74	7.28	5	2.74	310.87	±22.97
99.10	18.10	2.49	13.61	7.28	5	2.61	360.84	±16.77
151.80	18.16	2.49	20.85	7.28	5	2.57	428.11	±15.26
23.80	18.19	1.82	2.38	10	5	2.84	106.18	±9.06
48.20	18.19	1.82	4.82	10	5	2.71	202.94	±11.28
73.40	18.19	1.82	7.34	10	5	2.71	236.58	±11.97
98.20	18.19	1.82	9.82	10	5	2.76	281.38	±9.32
124.40	18.19	1.82	12.44	10	5	2.72	233.50	±10.69
150.40	18.19	1.82	15.04	10	5	2.80	267.12	±13.94
22.40	18.19	0.91	1.12	20	5	2.90	86.01	±20.67
48.00	18.19	0.91	2.40	20	5	2.72	93.46	±26.57
73.00	18.19	0.91	3.65	20	5	2.71	114.59	±18.64
99.00	18.19	0.91	4.95	20	5	2.71	87.22	±27.07
127.80	18.19	0.91	6.39	20	5	2.95	96.89	±24.10
150.40	18.19	0.91	7.52	20	5	2.65	136.56	±33.27

ตารางที่ 4.8 คุณสมบัติของตัวอย่างหินแบบแผ่นกลมและผลที่ได้จากการทดสอบจุดกด
แบบปรับเปลี่ยน

Average Diameter (mm)	Average Thickness (mm)	t/d	D/d	MPL Diameter (mm)	Number of Samples	Average Density (g/cc)	Mean MPL Strength, σ_{MPL} (MPa)	Standard Deviation (%)
67.44	40.12	4.01	6.74	10	10	2.46	294.24	± 29.93
67.39	29.88	2.99	6.74	10	10	2.67	227.02	± 19.25
67.45	20.16	2.02	6.74	10	10	2.65	171.50	± 22.41
67.47	15.06	1.51	6.75	10	10	2.65	144.51	± 21.49
67.42	10.11	1.01	6.74	10	10	2.64	137.64	± 30.63
67.44	7.42	0.74	6.74	10	10	2.62	143.88	± 36.14
67.36	5.55	0.56	6.74	10	10	2.70	94.86	± 25.79
67.42	39.01	7.80	13.48	5	7	2.69	666.06	± 7.90
67.39	39.34	3.93	6.74	10	9	2.71	320.88	± 19.95
67.40	39.43	2.63	4.49	15	10	2.68	168.72	± 17.48
67.40	39.18	1.96	3.37	20	8	2.69	87.78	± 45.78
67.38	39.44	1.58	2.70	25	6	2.69	78.88	± 29.05
67.38	38.84	1.29	2.25	30	6	2.68	41.99	± 13.76

Modified Point Load Strength of Saraburi Marble

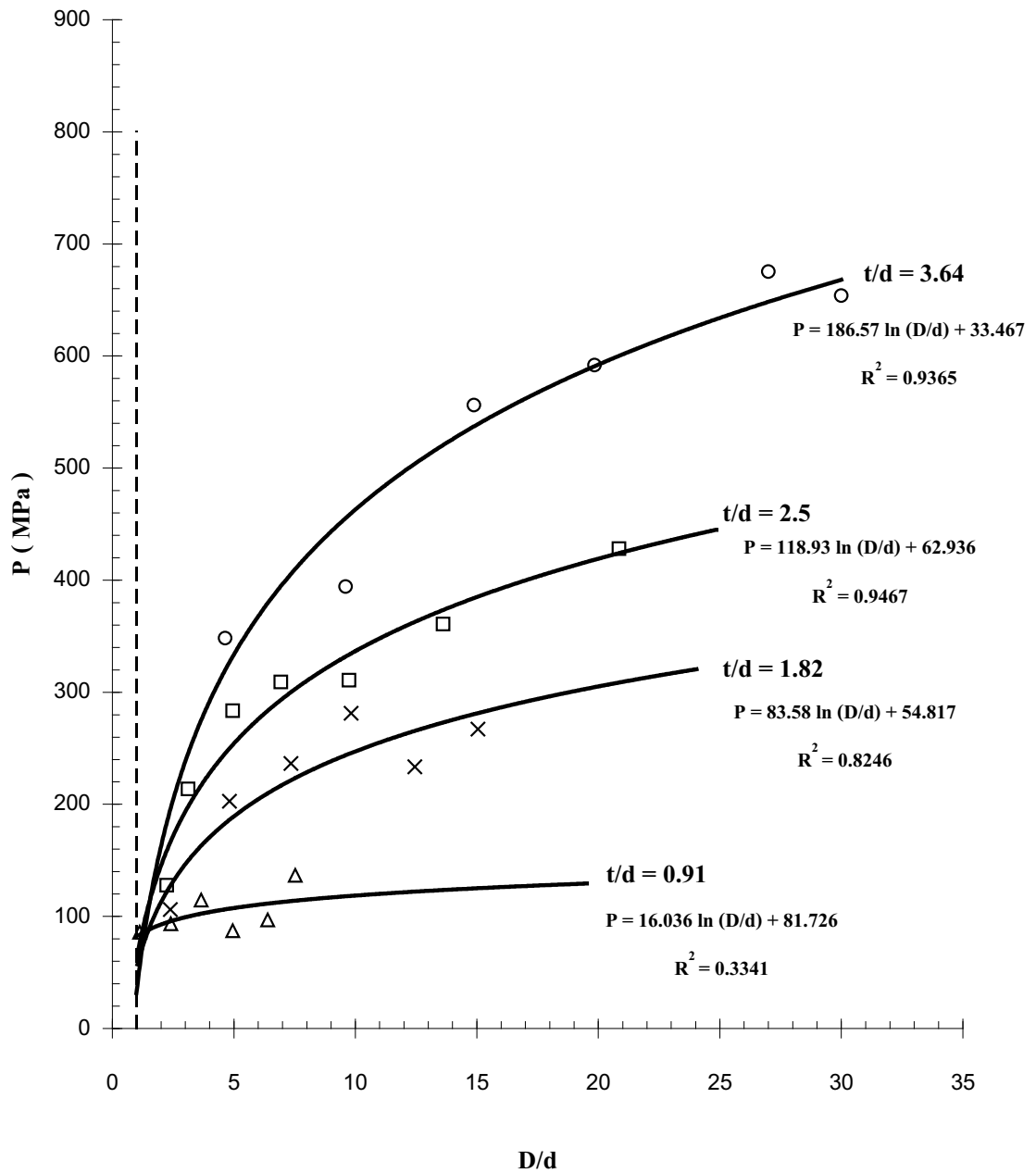
$D/d = 6.74, t/d = 0.5, 0.75, 1.0, 1.5, 2.0, 3.0, 4.0$



รูปที่ 4.39 ผลที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน โดยใช้ตัวอย่างหินอ่อนรูปแผ่นกลมที่มีอัตราส่วนของความหนาต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกดที่ต่างกัน เส้นกราฟแสดงความสัมพันธ์เฉพาะผลที่ได้จากตัวอย่างหินที่มี $D/d = 6.74$

Modified Point Load Strength of Saraburi Marble

$t/d = 0.91, 1.82, 2.5, 3.64$



รูปที่ 4.40 ผลที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน โดยใช้ตัวอย่างหินอ่อนรูปแผ่นสี่เหลี่ยมที่มีอัตราส่วนของความกว้างต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกดที่ต่างกัน แต่ละจุดของข้อมูลจะเป็นตัวแทนค่าเฉลี่ยของหินตัวอย่าง 5 ชิ้น

วิธีการทดสอบนี้หินจะถูกกดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางด้วยแรงกดที่เพิ่มขึ้นอย่างคงที่ 0.5-0.7 MPa/min จนกระทั่งตัวอย่างหินแตกออกตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลาง แรงกดสูงสุดที่วัดได้นำมาคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดในแนวตั้งฉากกับแนวกด

สมการที่นำมาใช้เพื่อคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดแบบวงแหวน (Ripperger and Davids, 1947) คือ

$$\sigma_R = 2PK / \pi Dt \quad (4.9)$$

โดยที่ σ_R = ความต้านแรงดึงแบบวงแหวน
 P = แรงกดสูงสุดที่จุดวัด
 K = สัมประสิทธิ์ความเข้มข้นของความเค้น
 (Stress concentration factor), $K = 6 + 38 (r')^2$
 D = เส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างหิน
 t = ความหนาของตัวอย่างหิน
 r' = อัตราส่วนรัศมีภายในต่อรัศมีภายนอก ($1.0 > r' > 0.1$)

ผลที่ได้จากการทดสอบได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.9 รูปที่ 4.41 แสดงการทดสอบแรงดึงแบบวงแหวนซึ่งตัวอย่างหินอ่อนถูกแรงกดตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางจนกระทั่งหินนั้นแตกออกจากกัน รูปที่ 4.42 แสดงตัวอย่างหินหลังการทดสอบซึ่งเกิดการแตกแบบการดึงตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของการกด

4.3.2 การทดสอบแรงดึงแบบการกดสี่จุด

การทดสอบแรงดึงแบบกดสี่จุด (Four-point bending test) ได้ดำเนินการเพื่อหาความต้านแรงดึงสูงสุดของหินอ่อนสระบุรีในรูปแบบของการโค้งงอ และเพื่อนำมาเปรียบเทียบกับแรงดึงที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน โดยตัวอย่างหินที่นำมาทดสอบมีลักษณะเป็นแผ่น ขนาด $100 \times 350 \times 18 \text{ mm}^3$ จำนวนทั้งสิ้น 10 ตัวอย่าง

วิธีการทดสอบนี้แผ่นตัวอย่างหินจะถูกกดตามแนวจุดกดทั้งสองจุดด้วยแรงกดคงที่ 0.5-0.7 MPa/min โดยให้ระยะห่างระหว่างจุดกดที่ 8 cm (ดังรูปที่ 4.43) กดแผ่นตัวอย่างหินจนกระทั่งตัวอย่างหินหักลง แรงกดสูงสุดที่วัดได้นำมาคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุด

สมการที่นำมาใช้เพื่อคำนวณหาค่าแรงดึงสูงสุดแบบการกดสี่จุด คือ

$$\sigma_{\text{bending}} = 3Fl / 2bh^2 \quad (4.10)$$

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบแรงดึงสูงสุดแบบวงแหวน

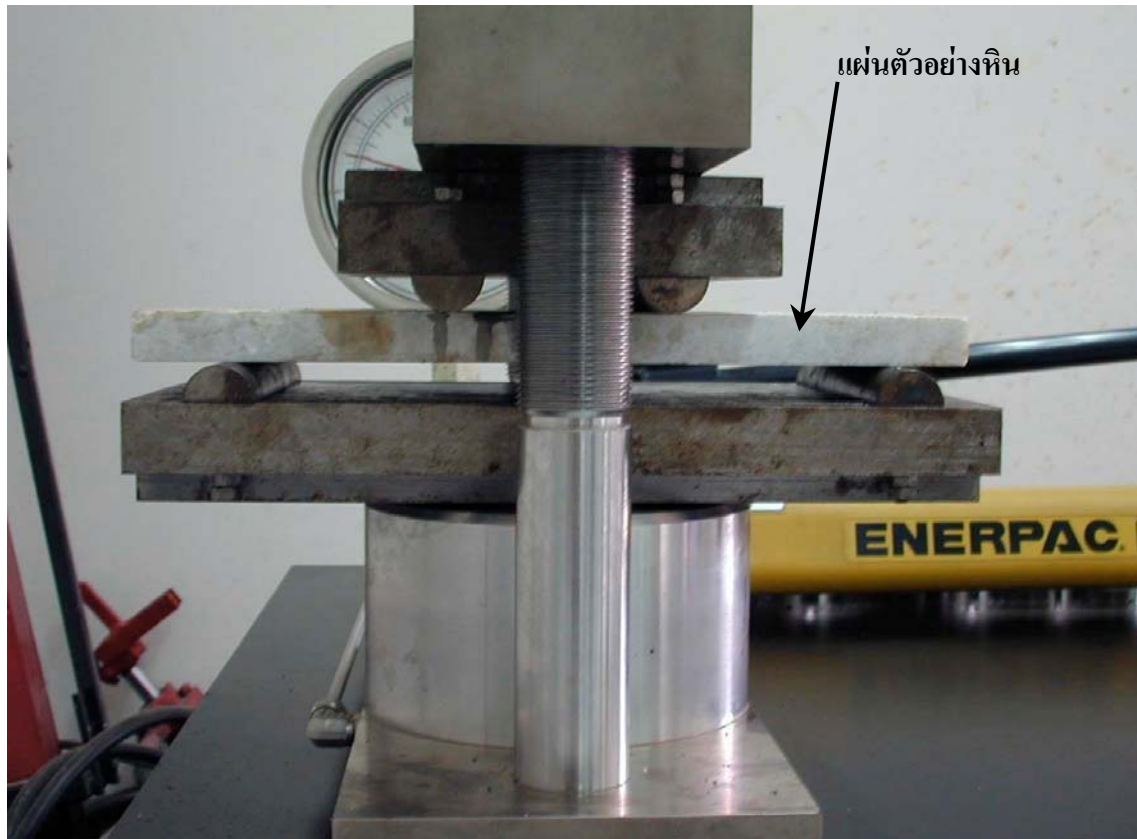
Sample No.	Ex. Diameter, D_1 (mm)	Int. Diameter, D_2 (mm)	Thickness, t (mm)	Load, P (kN)	σ_R (MPa)
MB-39-2-RT-1	92.5	30.9	45.7	9.1	14.1
MB-39-2-RT-2	92.6	30.1	46.4	9.5	14.1
MB-39-1-RT-3	92.4	30.4	45.2	9.8	15.2
MB-39-1-RT-4	92.4	29.9	48.1	11.0	15.8
MB-39-1-RT-5	92.3	30.9	47.9	9.2	13.6
			Average	9.7	14.5
			S.D.	0.77	0.88



รูปที่ 4.41 การทดสอบแรงดิ่งแบบวงแหวน ตัวอย่างหินอ่อนถูกกดตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง



รูปที่ 4.42 ตัวอย่างหินอ่อนแบบวงแหวนมีการแตกตามแนวเส้นผ่าศูนย์กลาง หรือตามแนวคด



รูปที่ 4.43 การทดสอบแรงดึงแบบการกดสี่จุด (Four-point bending test) ตัวอย่างหินอ่อนแบบแผ่น ถูกทดสอบด้วยเครื่องกดโดยผ่านแรงตามจุดกดทั้งสอง ซึ่งห่างกันประมาณ 8 cm

โดยที่	σ_{bending}	= ความต้านแรงดึงสูงสุดแบบการกดสี่จุด
	F	= แรงกดสูงสุด
	l	= ระยะห่างระหว่างแต่ละจุดกด
	b	= ความกว้างของตัวอย่างหิน
	h	= ความหนาของตัวอย่างหิน

ผลจากการทดสอบแรงดึงแบบการกดสี่จุดทั้งหมดได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.10 รูปที่ 4.43 แสดงตัวอย่างหินอ่อนถูกนำมาใส่ในเครื่องเพื่อทำการทดสอบ โดยหินจะถูกกดผ่านทั้งสี่จุด รูปที่ 4.44 แสดงตัวอย่างหินหลังการทดสอบซึ่งเกิดการหักบริเวณกลางแผ่น

4.4 การทดสอบเพื่อพิสูจน์ทฤษฎีด้วยหินชนิดอื่น

จุดประสงค์ของการทดสอบเพื่อเสนอผลและนำมาใช้พิสูจน์และสอบทานทฤษฎีของการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน โดยการทดสอบตัวอย่างหินชนิดอื่น ๆ ที่นอกเหนือจากตัวอย่างหินอ่อนสระบุรี หินที่นำมาทดสอบประกอบด้วยตัวอย่างหินปูนสระบุรี ตัวอย่างหินปูนเขาสมโภชน์ จังหวัดลพบุรี และตัวอย่างหินทรายโครกกรวด จังหวัดนครราชสีมา โดยจะทำการทดสอบแรงกดในแกนเดียว การทดสอบแรงดึงแบบบราซิล การทดสอบจุดกดแบบดั้งเดิม และการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน เช่นเดียวกับการทดสอบตัวอย่างหินอ่อนสระบุรี โดยผลที่ได้ทั้งหมดจากการทดลองทั้งหมดจะถูกนำมาวิเคราะห์และเปรียบเทียบผลในบทที่ 6

4.4.1 การทดสอบแรงกดในแกนเดียว

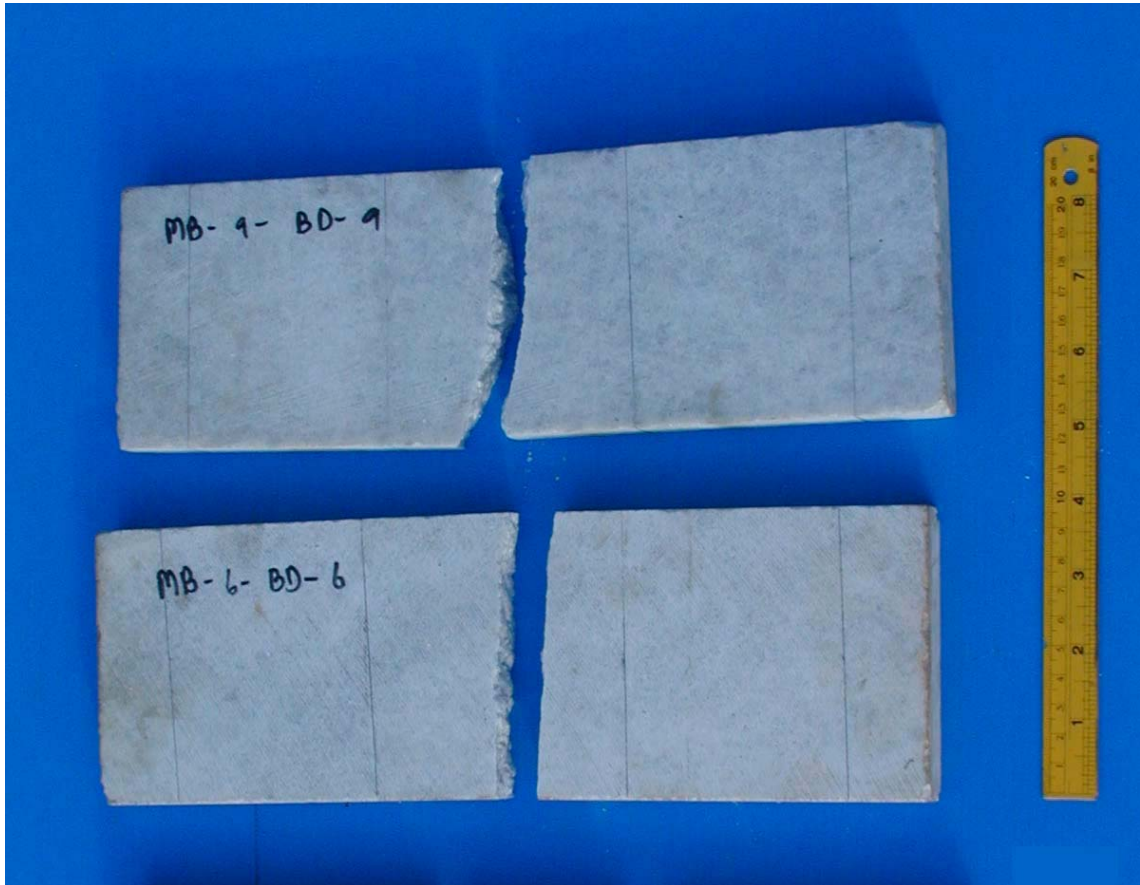
การทดสอบแรงกดในแกนเดียว (Uniaxial Compressive Strength Test) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความต้านแรงกดสูงสุดในแกนเดียวของตัวอย่างหินแต่ละชนิดหิน และเพื่อนำผลการทดสอบมาเปรียบเทียบกับค่าความต้านแรงกดสูงสุดที่หาได้ทั้งจากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนและแบบดั้งเดิม การทดสอบแรงกดในแกนเดียวได้ถูกดำเนินการไปตามมาตรฐาน ASTM D2938 ซึ่งตัวอย่างหินมีขนาด L/D ratio เท่ากับ 2.5 และจำนวนตัวอย่างหินที่ใช้ทดสอบ 7-10 ตัวอย่างในแต่ละชนิดหิน กดทดสอบด้วยเครื่องทดสอบแรงกดที่อัตราความเร็วคงที่ (Constant loading rate) ตามแนวแกนจนกระทั่งเกิดการวิบัติ จำนวนตัวอย่างหิน ขนาด และผลที่ได้จากการทดสอบการกดในแกนเดียวของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิดได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.11

4.4.2 การทดสอบแรงดึงแบบบราซิล

การทดสอบแรงดึงแบบบราซิล (Brazilian Tensile Strength Test) มีวัตถุประสงค์เพื่อหาค่าความต้านสูงสุดของการดึงแบบบราซิลของตัวอย่างหินแต่ละชนิดหิน และเพื่อนำผลการทดสอบมาเทียบเคียงกับค่าความต้านแรงดึงสูงสุดที่หาได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน การทดสอบ

ตารางที่ 4.10 ผลการทดสอบแรงดึงสูงสุดแบบการกดสี่จุด

Sample No.	Width, b (mm)	Thickness, h(mm)	Length, L (mm)	Spacing, l (mm)	Load (kN)	σ_{bending} (MPa)
MB-1-BD-1	100.3	18.2	320	80.0	1.97	7.09
MB-2-BD-2	101.4	18.6	310	80.0	2.12	7.24
MB-3-BD-3	102.3	18.4	290	80.0	1.42	4.91
MB-4-BD-4	101.0	17.9	300	80.0	2.27	8.43
MB-5-BD-5	100.5	18.2	305	80.0	2.17	7.80
MB-6-BD-6	102.0	18.4	300	80.0	2.15	7.50
MB-7-BD-7	101.4	17.3	305	80.0	1.97	7.82
MB-8-BD-8	101.6	18.2	300	80.0	2.15	7.71
MB-9-BD-9	99.8	18.1	300	80.0	2.47	9.09
MB-10-BD-10	100.4	18.0	302	80.0	2.17	7.68
				Average	2.01	7.53
				S.D.	0.27	1.09



รูปที่ 4.44 ตัวอย่างหินแบบแผ่นหลังการทดสอบมีการหักตามแนวบริเวณกึ่งกลางแผ่น

ตารางที่ 4.11 ผลการทดสอบแรงกดในแกนเดียวของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด

Rock Type	Average Diameter (mm)	Average Length (mm)	L/D	Number of Samples	Average Density (g/cc)	Mean Compressive Strength, σ_c (MPa)	Standard Deviation (MPa)
Saraburi Limestone	38.23	102.56	2.68	8	2.74	49.31	18.17
Khoa Somphot Limestone	53.41	126.83	2.37	10	2.77	43.23	22.27
Krok Kruat Sanstone	53.80	127.40	2.36	7	2.35	21.80	6.84

แรงดึงแบบบราซิลได้ถูกดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D3967-81 เพื่อหาแรงดึงของหินตัวอย่างโดยจะกำหนดค่า L/D ratio คงที่เท่ากับ 0.5 เส้นผ่าศูนย์กลางของหินตัวอย่างมีค่าเท่ากับ 54 mm และมี ความหนา 27 mm โดยทำการทดสอบ 5-10 ตัวอย่างในแต่ละตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด จำนวนตัวอย่าง หิน ขนาด และผลที่ได้จากการทดสอบแรงดึงแบบบราซิลของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิดได้สรุปไว้ใน ตารางที่ 4.12

4.4.3 การทดสอบจุดกดแบบดั้งเดิม

การทดสอบจุดกดแบบดั้งเดิม (Conventional Point Load Test) ของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด ซึ่งประกอบไปด้วยตัวอย่างหินปูนสระบุรี ตัวอย่างหินปูนเขาสมโภชน์และตัวอย่างหินทราย โครกกรวด โดยมีจุดประสงค์การทดสอบคือ เพื่อหาค่าความต้านแรงกดสูงสุดที่ได้จากค่าดัชนีจุดกด (Point Load Index) และเพื่อนำผลที่ได้มาเปรียบเทียบกับผลที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน รูปร่างตัวอย่างหินที่นำมาทดสอบมี 2 ลักษณะคือ แบบรูปทรงกระบอก (Cylinder) ของตัวอย่างหินทรายโครกกรวด และตัวอย่างที่ไม่มีรูปทรงทางคณิตศาสตร์ (Irregular Shape) ของตัวอย่าง หินปูนสระบุรีและหินปูนเขาสมโภชน์ การทดสอบได้ดำเนินการตามวิธีมาตรฐาน ASTM D5731 ตัวอย่างหินแต่ละชนิดถูกทดสอบที่จุดกึ่งกลางตามแนวของหัวกด จนกระทั่งตัวอย่างหินแตกออกจาก กัน จำนวนและขนาดของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด และผลที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบดั้งเดิมของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิดได้สรุปไว้ในตารางที่ 4.13

4.4.4 การทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน

การทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน (Modified Point Load Test) มีจุดประสงค์เพื่อหาค่า ความต้านแรงกดและแรงดึงสูงสุดจากการทดสอบแบบใหม่นี้ และเพื่อนำค่าไปเปรียบเทียบกับค่า ความต้านแรงกดสูงสุดได้จากทั้งการทดสอบแรงกดในแกนเดียวและที่คาดคะเนได้จากดัชนีจุดกด แบบดั้งเดิม รูปร่างตัวอย่างหินที่นำมาทดสอบมี 2 ลักษณะคือ แบบรูปทรงกระบอก (Cylinder) ของตัวอย่างหินปูนสระบุรีและตัวอย่างหินทรายโครกกรวด และตัวอย่างที่ไม่มีรูปทรงทางคณิตศาสตร์ (Irregular Shape) ของหินปูนเขาสมโภชน์ โดยทำการทดสอบ 20-30 ตัวอย่างในแต่ละชนิดหิน จำนวน ตัวอย่างหิน ขนาด และผลที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิดได้ สรุปไว้ในตารางที่ 4.14 และแสดงค่าผลการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนในฟังก์ชันของอัตราส่วน ของความหนาต่อเส้นผ่าศูนย์กลางของหัวกดที่ต่างกัน ของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิดในรูปที่ 4.45 ถึงรูปที่ 4.47

ตารางที่ 4.12 ผลการทดสอบแรงดึงแบบบราซิลของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด

Rock Type	Average Diameter (mm)	Average Thickness (mm)	L/D	Number of Samples	Average Density (g/cc)	Mean Brazilian Tensile Strength, σ_B (MPa)	Standard Deviation (MPa)
Saraburi Limestone	53.93	25.49	0.47	10	2.66	8.46	2.54
Khoa Somphot Limestone	53.89	25.68	0.48	10	2.68	7.81	1.04
Krok Kruat Sanstone	53.93	25.50	0.47	5	2.31	1.44	0.33

ตารางที่ 4.13 ผลการทดสอบจุดกดแบบดั้งเดิมของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด

Rock Type	Average Diameter (mm)	Average Thickness (mm)	L/D	Number of Samples	Mean Point Load Index, $I_s=P/Dt$ (MPa)	Standard Deviation (MPa)	Prediction of Compressive Strength, $\sigma_c=24I_s$ (MPa)
Saraburi Limestone	61.75	28.28	0.33	30	3.20	1.52	76.8
Khoa Somphot Limestone	70.66	26.48	0.37	30	5.23	2.23	125.5
Krok Kruat Sanstone	53.84	25.13	0.47	5	0.98	0.49	23.5

ตารางที่ 4.14 ผลการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนของตัวอย่างหินทั้ง 3 ชนิด

Rock Type	Average Diameter, D (mm)	Average Thickness, t (mm)	D/d	t/d	Number of Samples	Mean MPL Strength, P (MPa)	Standard Deviation (MPa)
Saraburi Limestone	22.28	57.49	1.11	2.87	4	59.13	12.48
	23.47	24.75	2.35	2.48	5	139.80	27.33
	38.42	26.43	3.84	2.64	5	211.87	42.36
	53.94	25.77	5.39	2.58	5	301.25	105.90
	67.05	25.50	6.71	2.55	4	311.31	114.42
	92.49	27.08	9.25	2.71	4	358.10	71.90
Khoa Somphot Limestone	50.76	52.61	2.54	2.63	2	96.78	31.97
	46.10	39.13	3.63	3.06	2	120.13	6.60
	79.75	45.25	5.38	3.25	2	184.97	95.00
	80.98	41.96	6.11	3.17	3	158.34	38.01
	83.35	37.06	6.71	2.97	2	179.21	137.37
	91.30	35.85	7.26	2.87	2	211.82	42.62
	101.20	34.86	8.05	2.83	2	123.46	86.55
	55.60	12.76	11.12	2.55	2	196.12	61.23
Krok Kruat Sanstone	22.98	25.61	2.30	2.56	5	25.16	7.71
	54.09	27.23	5.41	2.72	5	62.11	7.95
	67.42	25.00	6.74	2.50	5	98.80	15.35
	92.84	26.56	9.28	2.66	5	112.05	10.99