บทที่ 2
การทบทวนวรรณกรรมวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การใช้วิธีทดสอบจุดกด (Point Load Testing) เป็นการทดสอบโดยใช้แรงกดแบบจุดสองข้างของตัวอย่างหิน ซึ่งการทดสอบแบบนี้จะสามารถทำได้ในภาคสนาม เพราะเป็นเครื่องมือขนาดเล็กและง่ายต่อการทดสอบ อีกประการหนึ่งคือการทดสอบแบบที่เสนอนี้จะสามารถทำได้ไม่ว่าตัวอย่างหินจะมีรูปแบบอย่างไรก็ตาม นั่นคือไม่จำเป็นที่จะต้องกำหนดรูปร่างตัวอย่างหินให้เป็นทรงเรขาคณิต (Fixed Geometry) จึงทำให้การทดสอบแบบนี้มีราคาถูก แต่ผลการทดสอบจะไม่แน่นอน และไม่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างได้โดยตรง ผลที่ได้จะเป็นแค่ดัชนีเท่านั้น (Point Load Index) ได้มีคณะผู้วิจัยหลายกลุ่มในต่างประเทศ เช่น Broch and Franklin (1972), Brook (1993), Reichmuth (1968) Turk and Dearman (1986) and Miller (1965) ได้พยายามกำหนดความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีจุดกดแบบ Point Load Index กับค่ารับแรงกดสูงสุดในแกนเดียว (Uniaxial Compression Strength) ของหิน แต่ความสัมพันธ์นี้มีความไม่แน่นอนและมีความเบี่ยงเบนรวมทั้งความผิดพลาดของค่า Strength มาก ดังนั้น ดัชนี (Index) นี้จึงยังไม่สามารถนำมาใช้ในการออกแบบได้โดยตรง

การทดสอบจุดกด (Point Load Testing) มีวัตถุประสงค์หลักเบื้องต้น เพื่อหาดัชนีของหิน ได้มีวิวัฒนาการมาอย่างต่อเนื่องเกือบ 30 ปี เริ่มต้นจาก Broch and Franklin (1972), Brook (1985), Brook (1993) จนมาถึงการตั้งกฎเกณฑ์การทดสอบที่เป็นมาตรฐานอย่างในอเมริกาตาม ASTM D5731 ในปี 1995 โดยความสัมพันธ์ระหว่าง Point Load Index กับความต้านแรงกด (Compressive Strength) ได้ถูกตั้งขึ้นโดยผู้วิจัยข้างต้นนี้ อาศัยเพียงข้อมูลทางสถิติของการทดสอบหินหลายชนิดเท่านั้น

D'Andrea et al. (1964) ได้ทำการทดสอบแรงกดสูงสุดในแกนเดียว และการทดสอบแบบจุดกด โดยใช้การเชื่อมความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงของทั้งสองการทดสอบ ต่อมา Broch and Franklin (1972) ได้กำหนด σ_c ให้มีค่าประมาณ 24 เท่าของดัชนีจุดกด (I_S) โดยมีขนาดของตัวอย่างหินเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และได้ทำการพัฒนาแผนภูมิสำหรับปรับแก้ค่าเมื่อขนาดของตัวอย่างหินมีค่าผันแปรไปจากที่กำหนดไว้ Bieniawski (1975) ได้ทำการทดสอบจุดกดและได้ผลลัพธ์คือ σ_c มีค่าประมาณ 23 เท่าของค่าดัชนีจุดกด

Pells (1975) แนะนำว่าเมื่อค่าอัตราส่วนของดัชนีจุดกดต่อค่าแรงกดสูงสุดในแกนเดียว (conversion factor) ที่เท่ากับ 24 จะส่งผลให้ค่า σ_c ของตัวอย่างหินที่คาดคะเนได้มีความผิดพลาดสูงถึง 20% Greminger (1982) และ Forster (1983) พบว่าค่าตัวคูณ (Conversion factor) เท่ากับ 24 นี้ไม่สามารถใช้ได้กับหินที่มีคุณสมบัติในแต่ละทิศทางที่ต่างกัน (Anisotropic rocks)

Hassani et al. (1980) ทำการศึกษาการทดสอบแบบจุดกด โดยใช้ข้อมูลจากผู้ที่เคยทดสอบตัวอย่างหินที่มีขนาดใหญ่ และทำการปรับแก้แผนภูมิสำหรับตัวคูณที่ใช้อ้างอิงกับตัวอย่างหินที่มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเท่ากับ 50 มิลลิเมตร โดยการปรับแก้ความสัมพันธ์ใหม่นี้พบว่าให้ค่าอัตราส่วนของ σ_c ต่อดัชนีจุดกดประมาณ 29

Brook (1985) ได้ชี้ให้เห็นถึงผลกระทบของขนาดและรูปร่างต่อผลที่ได้จากการทดสอบแบบจุดกดและได้เสนอว่า เพื่อเป็นการเปรียบเทียบอย่างมาตรฐานของดัชนีจุดกดไม่ว่าจะได้มาจากตัวอย่างหินที่มีรูปร่างแบบใดควรจะถูกปรับเปลี่ยนและแสดงให้อยู่ในระบบที่เทียบเท่ากับตัวอย่างหินที่มีพื้นที่ตามแนวจุดกดที่เท่ากับ 50 มิลลิเมตร หรือเทียบเท่ากับหินทรงกระบอกที่มีเส้นผ่าศูนย์กลางประมาณ 2 นิ้ว ทั้งนี้เพื่อที่ให้ค่าที่ได้จากหินชนิดที่ต่างกันสามารถนำมาเปรียบเทียบกันได้ โดยที่ผลกระทบของขนาดและรูปร่างจะถูกลดลงให้เหลือน้อยที่สุด เพื่อให้เป็นแนวทางในการปรับเปลี่ยนค่าดัชนีจุดกดดังกล่าว Brook (1985) ได้เสนอสมการในรูปยกกำลังอย่างง่ายโดยให้ค่าดัชนีจุดกดอยู่ในรูปของสมการยกกำลังด้วยเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนา (ระยะห่างระหว่างจุดกด) ของตัวอย่างหินให้มีค่าคงที่ ซึ่งเป็นสัมประสิทธิ์ของเส้นผ่าศูนย์กลางและความหนา Brook ยังเล็งเห็นถึงผลกระทบของความอ่อนและความแข็งของตัวอย่างหินต่อการทดสอบแบบจุดกด ดังนั้นจึงได้เสนอสมการที่ต่างกันเพื่อใช้กับวัสดุหรือตัวอย่างหินที่เหมาะสม อย่างไรก็ตามค่าสัมประสิทธิ์ที่นำมาใช้ในแต่ละสมการหรือในแต่ละชนิดของหินก็จะต้องนำมาจากผลการทดสอบ

ISRM (1985) ได้เสนอให้ใช้ค่าเฉลี่ยของ σ_c ซึ่งอยู่ระหว่าง 20-25 เท่าของดัชนีจุดกด อย่างไรก็ตามจากรายงานผลการทดสอบมากมายในหินต่างชนิดกันก็ยังให้ค่าที่แปรปรวนอยู่ระหว่าง 15-50 โดยเฉพาะอย่างยิ่งหินที่เป็น Anisotropic ดังนั้นผลการคาดคะเนค่า σ_c จะมีความผิดพลาดสูงถึงเท่าตัว Turk and Dearman (1985, 1986) เสนอการปรับค่าดัชนีจุดกดโดยเสนอวิธีการกำหนดค่าดัชนีจุดกดที่ $I_{s(50)}$ จากแผนภูมิเชิงเส้นตรงของค่าดัชนีจุดกด และเส้นผ่าศูนย์กลางของตัวอย่างหินขนาดต่างๆ

ในปี 1995 คณะกรรมการของ ASTM ได้เสนอขั้นตอนและวิธีการของการทดสอบแบบจุดกดให้เป็นมาตรฐานในประเทศสหรัฐอเมริกา เพื่อใช้ในอุตสาหกรรมที่เกี่ยวข้องกับการใช้และการทดสอบคุณสมบัติของหิน รหัสของเอกสารอ้างอิงสำหรับมาตรฐานนี้คือ ASTM D5731 ซึ่งได้กำหนดขนาดและรูปร่างของตัวอย่างหินที่จะนำมาใช้ คุณลักษณะโดยละเอียดของอุปกรณ์ที่ใช้ วิธีการทดสอบ การคำนวณผลที่ได้ และการปรับผลการคำนวณเพื่อใช้ในการอ้างอิงหรือเปรียบเทียบรวมไปถึงขนาดและรูปร่างของตัวอย่างหินที่ใช้เป็นมาตรฐาน (Size and shape corrections) โดยสรุปแล้วตัวอย่างหินที่เป็นมาตรฐานจะต้องมีเส้นผ่าศูนย์กลาง 50 มิลลิเมตร นอกจากนั้นแล้ว ASTM D5731 ยังได้แนะนำค่าสัมประสิทธิ์คงที่หลายค่าที่จะนำมาใช้เพื่อ

เชื่อมโยงค่าดัชนีจุดกดกับค่าความต้านแรงกดสูงสุดในแกนเดียวของตัวอย่างหินที่มีขนาดต่างๆ กันได้ ค่าสัมประสิทธิ์นี้ได้มาจากการทดสอบหินหลายชนิด แต่ก็มีความไม่แน่นอนสูง จึงแนะนำให้ใช้เป็นแนวทางอย่างกว้างๆ เท่านั้น

Panek and Fannon (1992) ได้ทำการทดสอบแบบจุดกด การกดในแกนเดียว และการดึงแบบบราซิลเลียนโดยใช้หิน Metadiabase และหินบะซอลต์ เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างผลกระทบของขนาดและรูปร่างของตัวอย่างหินที่ใช้ในการทดสอบแบบจุดกด ตัวอย่างหินที่มีรูปร่างไม่แน่นอน (Irregular shape) มากกว่า 500 ชิ้น ได้นำมาทดสอบในภาคสนาม ความสัมพันธ์แบบ Logarithmic ได้ถูกเสนอขึ้นเพื่อนำมาอธิบายในเชิงคณิตศาสตร์เพื่อสร้างความสัมพันธ์ระหว่างดัชนีจุดกดกับขนาดและรูปร่างของตัวอย่างหิน ผลที่ได้สรุปว่าทั้งขนาดและรูปร่าง (ความกว้าง ความยาว และความสูง) ของอย่างหินจะมีผลกระทบต่อค่าความต้านแรงกดสูงสุดที่วัดและคำนวณได้ ผลกระทบนี้จะมีมากหรือน้อยเพียงใดขึ้นอยู่กับคุณลักษณะของหินแต่ละชนิด ท้ายสุด Panek and Fannon ได้แนะนำว่าการวัดค่าความต้านแรงกดและความต้านแรงดึงสูงสุดควรจะมีการทดสอบหินหลายขนาดและหลายรูปร่าง เพื่อให้รู้ถึงการเปลี่ยนแปลงของค่าคุณสมบัติเหล่านั้น

การทดสอบแบบใหม่เรียกว่า "การทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยน (Modified Point Load Testing หรือเรียกย่อๆ ว่า MPL)" ได้ถูกเสนอขึ้นมาเพื่อนำผลที่ได้มาคาดคะเนความต้านแรงกดและความต้านแรงดึงสูงสุดของหิน เครื่องมือที่ใช้ในการทดสอบจะคล้ายกับการทดสอบดัชนีจุดกด แต่จะต่างกันที่หัวกด ซึ่งจะถูกตัดเรียบเพื่อให้มีหน้าตัดเป็นวงกลมแทนที่จะเป็นรูปครึ่งทรงกลม หัวกดทำด้วยโลหะแข็งและมีเส้นผ่าศูนย์กลาง (d) ผันแปรจาก 5, 10, 15, 20, 25 จนถึง 30 มิลลิเมตร ซึ่งจะทำให้เกิดสภาวะการกดและสภาวะขอบเขตของตัวอย่างหินแบบใหม่โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่บริเวณใกล้กับจุดกด ผลที่ได้จากงานวิจัยนี้สรุปว่าผลที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนสามารถนำมาคาดคะเนแรงกดสูงสุดและแรงดึงสูงสุดของหินได้ดีและแม่นยำกว่าการทดสอบแบบจุดกด (Point Load Index Test) แบบดั้งเดิม (กิตติเทพ เฟื่องขจร, 2544, 2545; Tepnarong, 2001; Fuenkajorn, 2002; Tepnarong, 2002)

ต่อมาการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนได้ถูกนำเสนอเพื่อหาค่ากำลังกดสูงสุดในสามแกนและค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของตัวอย่างหิน (กิตติเทพ เฟื่องขจร, 2548; Tepnarong and Fuenkajorn, 2004; Tepnarong, 2004, 2007) งานวิจัยนี้นำเสนอการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนเพื่อหาค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นและค่ากำลังอัดสูงสุดภายใต้แรงดันของตัวอย่างหิน โดยมีการทดสอบหินรูปแผ่นกลมในเบื้องต้นก่อนที่จะทดสอบหินที่ไม่มีรูปทรงเรขาคณิต การทดสอบตามแนวแกนของตัวอย่างหินจะมีการตรวจวัดการเพิ่มขึ้นของแรงและการเคลื่อนตัวของจุดกดจนกระทั่งถึงจุดวิบัติ มีการวิเคราะห์ด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขเพื่อหาค่า

ความเค้นและการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างหินที่มีรูปร่างต่างกัน ผลจากการวิเคราะห์นี้ได้นำมาพัฒนาความสัมพันธ์ระหว่างการเพิ่มขึ้นของแรงกด (ΔP) กับการเปลี่ยนแปลงรูปร่างของตัวอย่างหินที่อยู่ระหว่างหัวกด ($\Delta\delta$) การทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนสามารถคาดคะเนค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นของหินโดยใช้สมการ

$$E_{mpl} = (t/\alpha_E)\bullet(\Delta P/\Delta\delta)$$

โดยที่ t คือความหนาของตัวอย่างหิน และ α_E คือฟังก์ชันของการเคลื่อนตัวที่ได้จากแบบจำลองคอมพิวเตอร์ ผลจากการคาดคะเนระบุว่าค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นที่ได้จากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนสอดคล้องอย่างเป็นเหตุเป็นผลกับค่าที่ได้จากการทดสอบแบบมาตรฐาน

ผลจากการคำนวณด้วยระเบียบวิธีเชิงตัวเลขนำมาใช้ในการคำนวณหาค่าความเค้นหลักต่ำสุด (σ_3) ที่จุดวิบัติที่สัมพันธ์กับค่าความเค้นหลักสูงสุดที่หัวกด (σ_1) โดยสมมุติให้ค่าความเค้นเฉือนบนแนวทรงกระบอกระหว่างหัวกดในหินมีค่าน้อยมาก ดังนั้นค่าความเค้นในแนวรัศมี (σ_{rr}) จึงมีค่าเท่ากับค่าความเค้นหลักต่ำสุด (σ_3) ความสัมพันธ์อย่างง่ายได้ถูกพัฒนาขึ้นในรูปแบบของอัตราส่วนระหว่างค่าความเค้นหลักสูงสุดต่อค่าความเค้นหลักต่ำสุด (σ_1/σ_3) อัตราส่วนของปัวซอง (ν) และอัตราส่วนของเส้นผ่าศูนย์กลาง (D/d) เพื่อใช้ในการคาดคะเนค่ากำลังอัดสูงสุดภายใต้แรงดันของตัวอย่างหิน

$$\sigma_1/\sigma_3 = 2[(\nu/(1-\nu))(1-(d/D)^2)]^{-1}$$

ผลการคาดคะเนกำหนดอัตราส่วนของปัวซองเท่ากับ 0.25 และการแตกเป็นไปตามกฎของ Coulomb ผลที่ได้ระบุว่าค่ากำลังอัดสูงสุดในสามแกนที่คาดคะเนจากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนสอดคล้องเป็นอย่างดีกับค่าที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดสูงสุดในสามแกนแบบมาตรฐานสากล (ASTM) ความคลาดเคลื่อนมีเพียง 2–3% เท่านั้น ซึ่งอาจเกิดจากค่าอัตราส่วนของปัวซองที่สมมติขึ้นอาจจะไม่เป็นไปตามค่าอัตราส่วนของปัวซองที่เป็นจริงของตัวอย่างหินที่นำไปประเมินค่าความเค้นหลักต่ำสุด (σ_3) ถึงแม้ว่าการคาดคะเนคุณสมบัติทั้งค่าสัมประสิทธิ์ความยืดหยุ่นและค่ากำลังแรงกดสูงสุดในสามแกนของตัวอย่างหินจากการทดสอบจุดกดแบบปรับเปลี่ยนมีความคลาดเคลื่อนอยู่บ้าง แต่วิธีนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพที่ดีในการทดสอบคุณสมบัติเชิงกลศาสตร์ของหิน โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อพิจารณาถึงวิธีการที่ง่ายกว่าและราคาถูกกว่าการทดสอบแบบมาตรฐานสากล

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ ห้องสมุดงานวิจัย

ผลที่ได้จากงานวิจัยดังกล่าวข้างต้นให้ข้อสรุปที่สำคัญประการหนึ่งคือ ยังไม่เคยมีการศึกษาผลกระทบของรูปร่างตัวอย่างหินที่ไม่มีรูปทรงเรขาคณิตอย่างครบถ้วนเพื่อความถูกต้องและแม่นยำกับวิธีการทดสอบแบบใหม่นี้ การศึกษาผลกระทบดังกล่าวจะเป็นประโยชน์อย่างยิ่งที่จะพัฒนาการทดสอบแบบใหม่ได้อย่างสมบูรณ์

สำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ
ห้องสมุดงานวิจัย
วันที่ 20 พ.ย. 2555
เลขทะเบียน 250165
เลขเรียกหนังสือ