

บทที่ 8

การจัดจำแนกมวลหิน (Rock Mass Classification)

การจัดจำแนกมวลหินมักจะเป็นการวิเคราะห์คุณภาพของหิน โดยเฉพาะงานการขุดอุโมงค์ เพื่อจะทราบความสามารถในการรับแรงของผนังรอบๆ อุโมงค์ และบริเวณใกล้เคียง ซึ่งได้มีระบบการจัดจำแนกเกิดขึ้นมากมาย โดยแต่ละระบบจะมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาแตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะเป็นสมบัติทางกายภาพของมวลหิน สมบัติดัชนีและทางวิศวกรรม คุณลักษณะทางธรณีโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยแตกหรือรอยความไม่ต่อเนื่อง และทิศทางการวางตัวของแนวอุโมงค์ การจัดจำแนกมักเกิดจากประสบการณ์ในการทำงานของแต่ละท่านในงานอุโมงค์และจะเกี่ยวข้องกับความสามารถในการคงสภาพหรือระยะเวลายืนตัวของหิน (stand-up time) ก่อนที่จะสร้างระบบค้ำยัน นอกจากนี้ยังใช้เป็นค่าตรวจสอบเบื้องต้นของผู้ออกแบบในการเปรียบเทียบงานออกแบบอุโมงค์กับคุณภาพหินในพื้นที่ของผู้ออกแบบกับงานอุโมงค์จากพื้นที่อื่นๆ ตลอดจนการพิจารณาชนิดของการค้ำยัน เช่น การใช้เหล็กโค้ง (steel arch) ปูนพ่น (shotcrete, gunite) หรือ หมุดตริง (rock bolt) ดังนั้นผู้ออกแบบจะต้องใช้วิจารณญาณในการเลือกระบบการจัดจำแนกให้เหมาะสมกับงานของตนเอง

8.1 ระบบการจัดจำแนกขนาดรับแรงของเทอร์ซากิ (Terzaghi's Rock Load Classification)

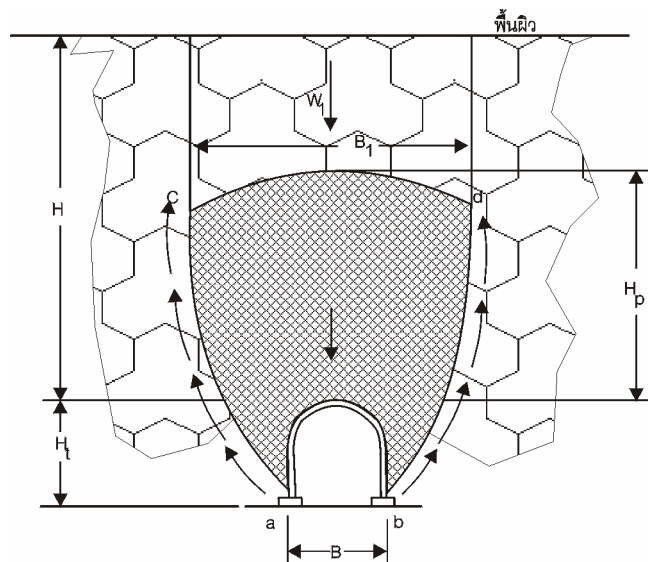
เทอร์ซากิได้จัดจำแนกมวลของหินออกตามสภาพความไม่ต่อเนื่องและองค์ประกอบทางแร่ของหินที่สามารถทำปฏิกิริยาหรือผุสลายทางเคมี โดยจัดจำแนกออกเป็น 7 กลุ่ม และประเมินขนาดของแรงที่โครงสร้างเหล็กโค้งค้ำยันจะต้องแบกรับ ข้อจำกัดของการจำแนกนี้คือ จะใช้สำหรับการประเมินขนาดของแรงสำหรับโครงสร้างเหล็กโค้งค้ำยันเท่านั้น จากรูปที่ 8.1 แสดงพื้นที่ของมวลหินเหนืออุโมงค์และผนังด้านข้างที่มีแนวโน้มจะเคลื่อนเข้าสู่อุโมงค์ ซึ่งจะเป็นพื้นที่ที่โครงสร้างเหล็กโค้งค้ำยันจะต้องแบกรับ ซึ่งจะเปรียบเทียบได้เท่ากับความสูง H_p และความกว้างของพื้นที่ B_1 จะขึ้นกับขนาดของอุโมงค์ H_i และ B ส่วนน้ำหนัก W เหนือพื้นที่ดังกล่าวจะถูกถ่ายไปด้านข้างของผนังทั้งสองด้านของอุโมงค์ ขนาดของ H_p จะขึ้นกับสภาพการจำแนกของมวลหินตามตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 การจัดจำแนกขนาดรับแรงสำหรับโครงสร้างค้ำยันชนิดเหล็กโค้ง

ขนาดแรง H_p (ฟุต) ของอุโมงค์ที่มีความกว้าง B ฟุต

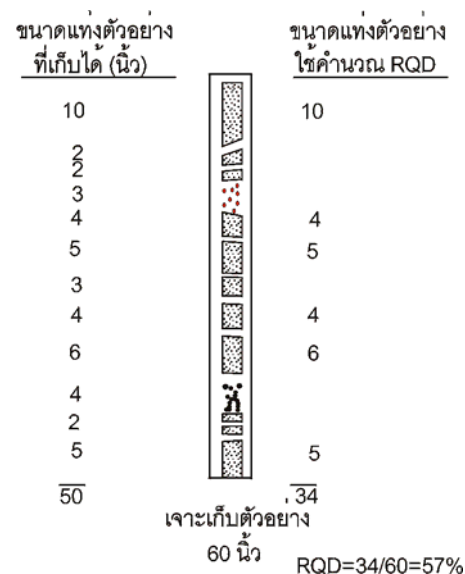
และความสูง H_t (ฟุต) ทดความลึกมากกว่า $1.5 (B+H_t)$

สภาพมวลหิน	H_p (ฟุต)	หมายเหตุ
1. หินแข็งปราศจากความไม่ต่อเนื่อง	ศูนย์	อาจมีการบุผนังอุโมงค์บ้างๆ เมื่อมีการแตก (spalling popping)
2. หินแข็งวางตัวเป็นชั้น	$0-0.5 B$	ต้องการวัสดุค้ำยันเพื่อป้องกันการแตกหรือแยกของผนัง
3. หินมีรอยแตกปานกลาง (Moderately Jointed)	$0-0.25$	แต่แรงที่กระทำอาจมีค่าเปลี่ยนในแต่ละจุด
4. ก) หินแยกเป็นบล็อกปานกลาง (Moderately Blocky & Seamy) ข) หินแยกเป็นบล็อกมาก (Very Blocky & Seamy)	ก) $0.25 B - 0.35 (B+H_t)$	ก) ไม่มีความดันด้านข้าง ข) มีความดันด้านข้างเล็กน้อยหรืออาจไม่มีความดันด้านข้าง
5. หินย่อยแต่ไม่มีกรเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือสุกร้อน (Completely Crushed, but Chemical Intact)	$1.10 (B+H_t)$	มีความดันด้านข้างพอประมาณมีแรงดันน้ำด้านล่างของอุโมงค์ดังนั้นจึงควรมีโครงสร้างค้ำยันด้านข้างและด้านล่างอย่างต่อเนื่อง
6. ก) หินยุแต่ไม่ขยายตัวมากที่ระดับระดับปานกลาง (Squeezing Rock) ข) หินยุแต่ไม่ขยายตัวมากที่ระดับลึกมากแรงค้ำประกอบจะเป็นพวกไมกาหรือแร่ดินเหนียว	ก) $(1.10-2.10) (B+H_t)$ ข) $(2.10-4.50) (B+H_t)$	มีความดันด้านข้างมากต้องใช้เหล็กยัน (invert struts) และควรใช้โครงค้ำยันแบบวงกลมรอบ
7. หินที่มีการขยายตัวหรือบวมของแร่ที่สุกร้อนทางเคมี (Swelling Rock) เช่น แร่ มอนต์มอริลโลไนต์	มีขนาด H_p ถึง 250 ฟุต โดยไม่ขึ้นกับค่า $(B+H_t)$	ต้องใช้โครงค้ำยันแบบวงกลม (circular ribs)



8.2 ระบบการกำหนดค่าคุณภาพของหิน (Rock Quality Designation, RQD)

เดียร์ (Deere, 1968) ได้กำหนดค่าดัชนีของมวลหินจากการเก็บแท่งตัวอย่างในหลุมเจาะ ขนาดของแท่งตัวอย่างที่สามารถเก็บได้และการสูญเสียของตัวอย่างขึ้นกับรอยแตกในมวลหิน เขาได้ทำการคำนวณเปอร์เซ็นต์ของตัวอย่างที่เก็บได้เทียบกับระยะลึกของการเจาะเก็บตัวอย่างโดยแท่งตัวอย่างที่มีขนาดต่ำกว่า 10 ซม. (4 นิ้ว) จะไม่นำมาคิดคำนวณ (รูปที่ 8.2) ซึ่งเปอร์เซ็นต์ขนาดตัวอย่างที่เก็บได้นี้เรียกดัชนีคุณภาพ (RQD) และสามารถจัดจำแนกได้ดังตารางที่ 8.2 การวิเคราะห์หาเสถียรภาพของอุโมงค์ที่มีการขุดลอกเสร็จใหม่ๆ นั้น จะใช้วิธีหาคุณภาพของหินรอบ ๆ อุโมงค์ โดยใช้ค่า RQD ซึ่งเขาได้บรรยายถึงความสัมพันธ์การคำนวณกับค่า RQD ไว้ในตารางที่ 8.3



ตารางที่ 8.2 การจำแนกโดยกำหนดคุณภาพมวลหิน (RQD)
(จาก Deere et al,1966)

คุณภาพหิน	
RQD%	
0-25	ต่ำมาก
25-50	ต่ำ
50-75	พอใช้
75-90	ดี
90-100	ดีเยี่ยม

ตารางที่ 8.3 คุณภาพหินกับการค้ำยันในอุโมงค์ (จาก Deere et al., 1966)

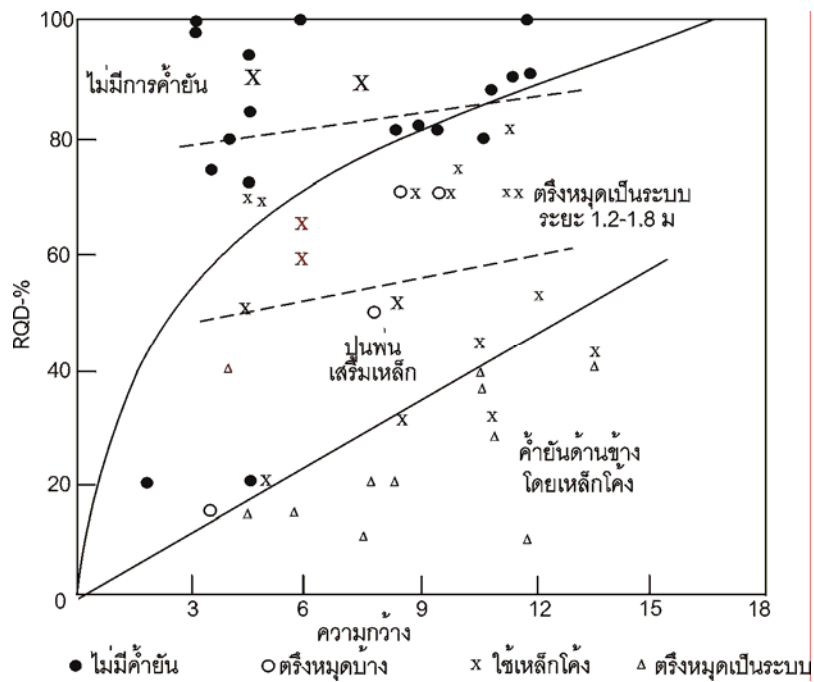
RQD%	คุณภาพและการค้ำยัน
0-25	ลักษณะหินนั้นเลวมาก มักจะหลุดร่วงเสมอ (squeezing & ravelling) จึงต้องการสิ่งค้ำยันอย่างดี
25-50	มวลหินลักษณะเลวต้องการสิ่งค้ำยันมาก
50-75	มวลหินบริเวณนั้นพอใช้ได้ (fair ground) แต่รูปแบบการแตกอาจทำให้เกิดการเคลื่อนหรือเลื่อนไถลของ block หรือ slab
75-100	ลักษณะหินดีมาก (good ground) อาจต้องการสิ่งค้ำยันบ้าง

Merritt (1972) ได้เสริมความสัมพันธ์ของ RQD ขนาดของอุโมงค์และชนิดการใช้สิ่งค้ำยัน (รูปที่ 8.3) แต่เนื่องจากการใช้ RQD มิได้คำนึงถึงสมบัติการรับแรงของมวลหินจึงไม่เป็นที่ยอมรับแพร่หลายในงานการออกแบบค้ำยันในอุโมงค์

8.3 การจัดจำแนกโดย Salzburg School

การจัดจำแนกมวลหินโดยวิธีนี้นับเป็นครั้งแรกที่มีการวัด ทดสอบสมบัติต่างๆของมวลหิน รวมทั้งวิเคราะห์คุณลักษณะของมวลหินดังต่อไปนี้

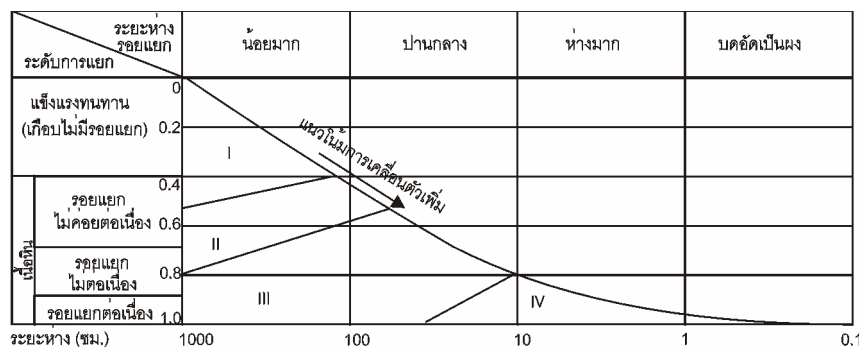
1. กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง
2. รอยแตกรอยแยก ทิศการวางตัว และระยะห่างของรอยความไม่ต่อเนื่อง
3. น้ำในมวลหิน
4. ขนาดของอุโมงค์ และขนาดของช่วงเปิดอิสระ โดยไม่มีการค้ำยัน (unsupported length)



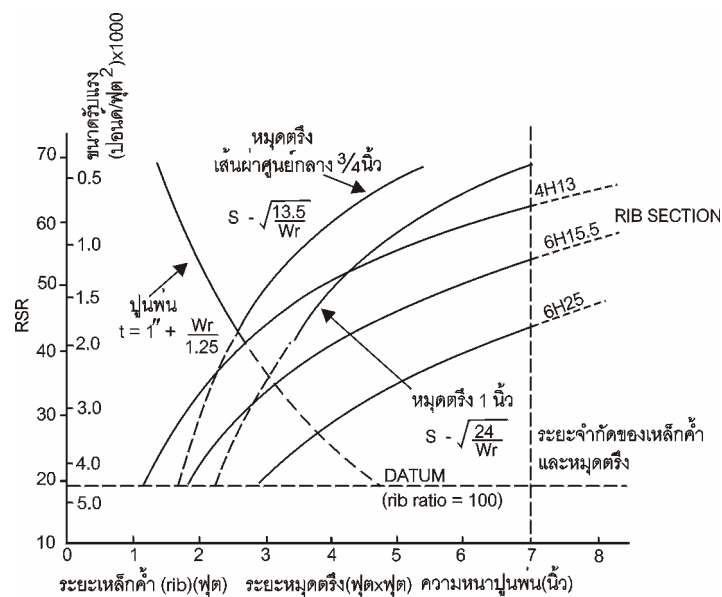
จากข้อมูลดังกล่าวสามารถจัดกลุ่มหินออกเป็น 4 กลุ่มคือ I คือกลุ่มหินที่เป็นเนื้อเดียวปราศจากความไม่ต่อเนื่อง (quasimonolith), II กลุ่มมีรอยแตก (jointed rock), III กลุ่มมีรอยแยกหรือรอยแตกกว้างในมวลหิน (cracked rock), และ IV พวกที่มีรอยแตกถี่ (shattered rock) ดังแสดงในรูปที่ 8.4 และสามารถจัดกลุ่มตามกำลังอัดและขนาดระยะรอยแตกได้ 4 กลุ่มเช่นกันคือ (รูปที่ 8.5)

- A หินแข็งมาก
- B หินกำลังปานกลาง
- C หินกำลังน้อย (weak)
- D หินมีกำลังน้อยมาก (very weak)

วิธีการจัดจำแนกนี้ไม่ค่อยแพร่หลายมากนัก แต่จะนิยมใช้ในเขตประเทศยุโรปตอนกลาง



ระยะห่าง รอยแยก กำลังอัด(บาร์)	น้อยมาก	ปานกลาง	ห่างมาก	บดอัดเป็นผง	
	1000	100	20	4	
แข็งมาก	100	A	B		
แข็ง(ผุเล็กน้อย)	10				
แข็งปานกลาง (ผุ)	1	C	D		
ผุสลายไม่แข็ง	0.1				
ระยะห่าง (ซม.)	1000	100	10	1	0.1



8.4 การจัดจำแนกโดยการให้คะแนนโครงสร้างในมวลหิน (Rock Structure Rating, RSR)

วิธีการจัดจำแนกแบบให้คะแนนโครงสร้างในมวลหินได้พัฒนาโดย Wickham และ Tiedemann (1972, 1974) ซึ่งได้จากงานอุโมงค์อย่างน้อย 53 โครงการ ในการจัดจำแนกจะใช้พารามิเตอร์ทั้งหมด 3 กลุ่มคือ

พารามิเตอร์ A จะใช้ชนิด หิน และค่าโครงสร้างของหินที่อุโมงค์จะเจาะผ่านเช่น โครงสร้างโค้งงอ หรือรอยแตก รอยความไม่ต่อเนื่อง ระดับคะแนนได้แสดงไว้ในตารางที่ 8.4

พารามิเตอร์ B จะเป็นค่าของรูปแบบของระนาบแตก (Joint pattern) กับทิศทางการเจาะอุโมงค์ (direction of drive) และ ระยะห่างระหว่างรอยแตก ดังตารางที่ 8.5

พารามิเตอร์ C เป็นค่าของน้ำใต้ดินที่ไหลเข้าสู่อุโมงค์ และคุณลักษณะของรอยแตกเปิด ดังตารางที่ 8.6

ซึ่งการคิดค่าคะแนนของระบบการจัดจำแนกนี้คือ

$$RSR = A+B+C$$

ตารางที่ 8.4 ระดับคะแนนของพารามิเตอร์ A แสดงชนิดหินและโครงสร้างธรณีระดับคะแนนสูงสุด คือ 30 (จาก Wickham & Tiedemann, 1974)

	ชนิดหิน				โครงสร้างทางธรณี		
	แข็ง	ปานกลาง	อ่อน	酥	มวลแน่น	มีรอยเลื่อนหรือโครงสร้างโค้งงอเล็กน้อย	มีรอยเลื่อนหรือมีระนาบเลื่อนหรือโครงสร้างโค้งงอมาก
อัคนี	1	2	3	4		โครงสร้างโค้งงอ	โครงสร้างโค้งงอ
แปร	1	2	3	4		เล็กน้อย	ปานกลาง
ตะกอน	2	3	4	4			โค้งงอมาก
ชนิด 1					30	22	15
ชนิด 2					27	20	13
ชนิด 3					24	18	12
ชนิด 4					19	15	10

ตารางที่ 8.5 ระดับคะแนนของพารามิเตอร์ B แสดงรูปแบบรอยแยก และทิศทางการเจาะอุโมงค์ ระดับคะแนนสูงสุด คือ 45 (จาก Wickham & Tiedemann, 1974)

ระยะห่างรอยแยก	โครงสร้าง ⊥ แกนของอุโมงค์					โครงสร้าง // แกนของอุโมงค์		
	ทิศการเจาะอุโมงค์					ทิศการเจาะอุโมงค์		
	ทั้งสอง	ทาง	ย้อนมุมเท			ทั้งสอง		
		เดียวกับมุม						
		เท						
		มุมเทของรอยแยกหลัก					มุมเทของรอยแยกหลัก	
ราบ	เท	ตั้ง	เท	ตั้ง	ราบ	เท	ตั้ง	
1. รอยแยกชิดมาก (< 2 นิ้ว)	9	11	13	10	12	9	9	7
2. รอยแยกชิด (2-6 นิ้ว)	13	16	19	15	17	14	14	11
3. ห่างปานกลาง (6 นิ้ว-1 ฟุต)	23	24	28	19	22	23	23	19
4. ปานกลาง-บล็อก(1-2ฟุต)	30	32	36	25	28	30	28	24
5. บล็อก-มวล (2-4 ฟุต)	36	38	40	33	35	36	34	28
6. มวล (> 4 ฟุต)	40	43	45	37	40	40	38	34

หมายเหตุ ราบ = 0-20°, เท = 20-50°, ตั้ง = 50-90°

ตารางที่ 8.6 ระดับคะแนนของพารามิเตอร์ C ลักษณะรอยแยก และการไหลน้ำบาดาล ระดับคะแนนสูงสุด คือ 25 (จาก Wickham & Tiedemann, 1974)

อัตราการไหลของน้ำ แกลลอน/นาที่/ระยะ 1000 ฟุต	ผลรวมคะแนนจากพารามิเตอร์ A+B					
	13-44			45-75		
	คุณลักษณะรอยแยก			คุณลักษณะรอยแยก		
	ดี	ปานกลาง	เลว	ดี	ปานกลาง	เลว
ไม่มีการไหล	22	18	12	25	22	18
ไหลน้อย (< 200 แกลลอน/นาที่)	19	15	9	23	19	14
ปานกลาง (200-1000 แกลลอน/นาที่)	15	11	7	21	16	12
ไหลมาก (> 1000 แกลลอน/นาที่)	10	8	6	18	14	10

หมายเหตุ ดี = แน่นหรือมีการเชื่อมประสาน , ปานกลาง = มีการผุเล็กน้อย , เลว = มีการผุกรุนหรือรอยแยกเปิด

ค่าคะแนนของ RSR จะมีค่าอยู่ในช่วง 25-100 โดยไม่ขึ้นกับขนาดและเทคนิคที่ใช้ในการเจาะอุโมงค์ นอกจากนี้ยังได้หาความสัมพันธ์ระหว่างค่า RSR กับ ขนาดรับแรงของเทอร์ชากี และระบบการค้ำยันสำหรับอุโมงค์ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางขนาด 4.2 เมตร โดยวิธีเจาะและใช้ระเบิด ดังรูปที่ 8.6 อย่างไรก็ตามวิธีการจัดจำแนกแบบ RSR ยังมีได้คำนึงถึงสมบัติด้านกำลังของมวลหิน

8.5 การจำแนกตามธรณีเมคคานิกของอัฟริกาใต้ (South African Geomechanics Classification)

การจำแนกมวลหินโดยระบบนี้ได้ศึกษาโดย Bieniaski (1973) โดยอาศัยสมบัติด้านวิศวกรรม เช่นกำลังรับแรงอัด และใช้คุณลักษณะของมวลหิน เช่นรูปแบบของรอยแยก รอยแตก ตลอดจนการไหลของน้ำในมวล และทิศการวางตัวของอุโมงค์ต่อโครงสร้างไม่ต่อเนื่องซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของพารามิเตอร์ได้ 5 กลุ่ม และได้จัดระดับคะแนนของแต่ละกลุ่ม ดังตารางที่ 8.7 โดยระดับคะแนนของมวลหิน (Rock Mass Rating, RMR) จะเป็นผลรวมของแต่ละกลุ่ม หักด้วยค่าการปรับระดับตามการวางตัวของรอยแยก (ตารางที่ 8.8) แล้วนำมาจัดจำแนกตามระดับคะแนน ซึ่งจะแสดงสมบัติของมวลหิน (ตารางที่ 8.9) และการจำแนกนี้จะมีความสัมพันธ์กับระยะเวลาการยืนตัวของอุโมงค์ (ตารางที่ 8.10 และรูปที่ 8.7) การจัดจำแนกในระบบนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้ในงาน ฐานราก และงานวิเคราะห์ลาดเอียง

ตารางที่ 8.7 กลุ่มของพารามิเตอร์ และการให้ระดับคะแนนตามค่าของแต่ละพารามิเตอร์
(จาก Bieniawski, 1976)

กลุ่มพารามิเตอร์		ช่วงค่าของพารามิเตอร์		ระดับคะแนน	
1. กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง (MN /m ²)		กำลังกดจุด	กำลังอัดแกนเดียว		
			>8	>200	15
			4-8	100-200	12
			2-4	50-100	7
			1-5	25-50	4
				10-25	2
				3-10	1
				1-3	0
2. RQD (%)			90-100	20	
			75-90	17	
			50-75	13	
			25-50	8	
			< 25	3	
3.ระยะห่างรอยแตก รอยแยก (เมตร)			> 3	30	
			1-3	25	
			0.3-1	20	
			50-300 มม	10	
			< 50 มม	5	
4. สภาพของรอยแยก	ผิวขรุขระไม่ต่อเนื่อง ไม่แยกผนังแข็งแรง			25	
		ผิวขรุขระเล็กน้อย แยกจากกัน<1มม ผนังแข็งแรง		20	
		ผิวขรุขระเล็กน้อย แยกจากกัน<1มม ผนังไม่แข็งแรง		12	
		ผิวมีรอยเลื่อนไถล หรือมี gouge หนา <5มม			
		หรือรอยแยกต่อเนื่องและเปิดออก 1-5 มม		6	
		มี gouge หนา > 5 มม หรือรอยแยกต่อเนื่องและเปิดออก > 5 มม		0	
5. สภาพการไหลของน้ำ	น้ำไหลเข้าในระยะ 10 ม หรือไม่มีกรไหล	u _f /σ ₁ หรือ	สภาพทั่วไป		
			แห้ง	10	
			ชื้น	7	
			มีแรงดันน้ำปานกลาง	4	
			มีปัญหา น้ำรุนแรง	0	
	< 20 ลิตร/นาที่	0.0-0.5			
	25-125 ลิตร/นาที่	0.2-0.5			
	> 125 ลิตร/นาที่	> 0.5			

หมายเหตุ u_f = ความดันน้ำในรอยแยก

ตารางที่ 8.8 การปรับค่าระดับคะแนนตามทิศการวางตัวของรอยแยกและชนิดงาน
(จาก Bieniawski, 1976)

ทิศวางตัวของรอยแยก	เหมาะสมมาก	เหมาะสม	พอใช้	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสมมาก
อุโมงค์	0	-2	-5	-10	-12
งานฐานราก	0	-2	-7	-15	-25
ลาดเอียง	0	-5	-25	-50	-60

ตารางที่ 8.9 การจัดจำแนกตามระดับคะแนน (จาก Bieniawski, 1976)

ระดับคะแนน	ชั้นการจำแนก	คุณภาพหิน
100-81	I	ดีมาก
80-61	II	ดี
60-41	III	พอใช้
40-21	IV	เลว
<20	V	เลวมาก

ตารางที่ 8.10 แสดงการประเมินสมบัติมวลหินและเวลาในการยืนตัวก่อนการค้ำยัน
(จาก Bieniawski, 1976)

ระดับชั้น	ระยะยืนตัวเฉลี่ย	ความเชื่อมั่น, C(kPa)	ϕ
I	10 ปี สำหรับช่วง 5 ม	>300	> 45
II	6 เดือน สำหรับช่วง 4 ม	200-300	40-45
III	1 สัปดาห์ ช่วง 3 ม	150-200	35-40
IV	5 ชั่วโมง ช่วง 1.5 ม	100-150	30-35
V	นาที ช่วง 0.5 ม	< 100	< 30

8.6 การจำแนกตามคุณภาพของมวลหิน (Rock Mass Quality, Q)

ระบบการจำแนกตามคุณภาพของมวลหินได้พัฒนาขึ้นจากการทำค้ำยันในอุโมงค์แถบประเทศสแกนดิเนเวีย โดย Barton, Lien และ Lundberg ปี ค.ศ. 1974 บางครั้งเรียกการจำแนกนี้ว่า

ระบบ NGI หรือระบบสแกนดินเวีย ซึ่งจะอาศัยพารามิเตอร์ด้านสมบัติทางวิศวกรรมของมวลหินเพิ่มมากกว่าระบบการจำแนกที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น แต่ยังคงใช้ระดับคะแนนในการคำนวณหา Q พารามิเตอร์ทั้งสิ้น 6 กลุ่มมีดังนี้

1. RQD
2. จำนวนชุดรอยแยก (Joint Set Number, J_n)
3. ค่าความขรุขระผิวรอยแยก (Joint Roughness Number, J_r)
4. ค่าการผุสลายของรอยแยก (Joint Alteration Number, J_a)
5. ปัจจัยค่าลดเนื่องจากน้ำ (Joint Water Reduction Factor, J_w)
6. ปัจจัยค่าลดเนื่องจากความเค้น (Stress Reduction Factor, SRF)

จากค่าระดับคะแนนของพารามิเตอร์ทั้งหมดนำมาคำนวณหาคุณภาพมวลหิน Q ได้ดังนี้

$$Q = \left(\frac{RQD}{J_n} \right) \times \left(\frac{J_r}{J_a} \right) \times \left(\frac{J_w}{SRF} \right)$$

ค่าระดับคะแนนและรายละเอียดของแต่ละค่าพารามิเตอร์ได้แสดงไว้ในตารางที่ 8.11

ตารางที่ 8.11 ระดับคะแนนของกลุ่มพารามิเตอร์ที่ใช้ในระบบการจำแนกคุณภาพมวลหิน (จาก Barton et al. 1974)

1. ค่ากำหนดคุณภาพหิน (RQD)	ระดับคะแนน
1.1 คุณภาพดีมาก	0-25
1.2 คุณภาพเลว	25-50
1.3 คุณภาพพอใช้	50-75
1.4 คุณภาพดี	75-90
1.5 คุณภาพยอดเยี่ยม	90-100

หมายเหตุ 1. ถ้า $RQD \leq 10$ ในการคำนวณจะใช้ระดับคะแนน 10

2. การพิจารณาช่วงคุณภาพหินในช่วง 5 คะแนน เช่น 100, 95, 90 ฯลฯ ถือว่าเหมาะสม

2. จำนวนชุดของรอยแยก (J_n)	ระดับคะแนน
2.1 มวลแน่น มีรอยแยกน้อยถึงไม่มี	0.5-1.0
2.2 รอยแยก 1 ชุด	2
2.3 รอยแยก 1 ชุด + รอยแยกไม่เป็นระบบ	3
2.4 รอยแยก 2 ชุด	4
2.5 รอยแยก 2 ชุด + รอยแยกไม่เป็นระบบ	6
2.6 รอยแยก 3 ชุด	9
2.7 รอยแยก 3 ชุด + รอยแยกไม่เป็นระบบ	12
2.8 รอยแยก 4 ชุดหรือมากกว่าและมีรอยแตกมาเป็นก้อนลูกเต๋า	15
2.9 หินมีการบดละเอียด เหมือนดิน	20

หมายเหตุ 1. สำหรับรอยแยกตัดกันใช้ค่า $3.0 \times J_n$

2. สำหรับ portal ใช้ค่า $2.0 \times J_n$

ตาราง 8.11 (ต่อ)

3. ค่าความขรุขระผิวรอยแยก (J_r)		
ก) ถนนสัมผัสด	ระดับคะแนน	
ข) ถนนสัมผัสดก่อนเกิดการเฉือน 10 ซม		
3.1 รอยแยกไม่ต่อเนื่อง	4	
3.2 ผิวรอยแยกขรุขระ หรือเป็นลอนคลื่น	3	
3.3 ผิวเป็นลอนคลื่น ถึง เรียบ	2	
3.4 ผิวเป็นรอยเลื่อนไถล ถึงลอนคลื่น	1.5	
3.5 ผิวขรุขระ ไม่สม่ำเสมอ เป็นระนาบ	1.5	
3.6 ผิวเรียบ เป็นระนาบ	1.0	
3.7 ผิวรอยเลื่อนไถล เป็นระนาบ	0.5	
ค) ถนนไม่สัมผัสดเมื่อเกิดการเฉือน		
3.8 โชนที่มีแบริดจ์ดินเหนียวหนาทำให้ผิวรอยแยกไม่สัมผัสด	1.0	
3.9 โชนการบดหรือมีกรวดทรายหนาทำให้ผิวไม่สัมผัสด	1.0	
หมายเหตุ 1. เพิ่ม 1.0 ถ้าระยะห่างของรอยแยกมากกว่า 3 ม		
2. ถ้า $J_r = 0.5$ สามารถใช้ได้กับรอยแยกเป็นระนาบมีรอยเลื่อนไถลและลายเส้นถ้าลายเส้นนั้นวางตัวอยู่ในแนวที่มีกำลังน้อยที่สุด		
4. ค่าการผุสลายผิวรอยแยก (J_a)	ระดับ	ϕ
ก) ถนนสัมผัสด	คะแนน	
4.1 รอยแยกมีการประสานแน่น แข็ง มีวัสดุแทรกทึบ เช่น คิวทซ์	0.75	-
4.2 ถนนรอยแยกไม่ผุ มีเพียงรอยต่าง	1.0	25-35
4.3 ถนนมีการผุเล็กน้อย มีแบริไม่อ่อนเคลือบตามถนน มีอนุภาคทรายปราศการผุของแบริดจ์	2.0	25-35
4.4 มีการเคลือบถนนด้วยทรายปนดินเหนียว ทรายแป้ง มีปริมาณดินเหนียวน้อย	3.0	20-25
4.5 เคลือบด้วยแบริอ่อนหรือดินเหนียว และอาจมีแบริดจ์ดินเหนียวพองตัว (การเคลือบค่อนข้างไม่ต่อเนื่อง มีความหนาประมาณ 1-2 มม)	4.0	8-16
ข) ถนนสัมผัสดเมื่อเกิดการเฉือน ก่อนการเฉือน 10 ซม		
4.6 หินผุแต่ปราศแบริดจ์ดินเหนียว มีอนุภาคทราย	4.0	25-30
4.7 ดินเหนียวแข็งเป็นวัสดุแทรก (ต่อเนื่อง และหนา < 5 มม)	6.0	16-24
4.8 ดินเหนียวอ่อน ถึงแข็งปานกลาง แบริดจ์ดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก (ต่อเนื่อง และหนา < 5 มม)	8.0	12-16
4.9 ดินเหนียวพองตัวเป็นวัสดุแทรก(ต่อเนื่อง หนา < 5 มม. ระดับคะแนนขึ้นกับเปอร์เซ็นต์แบริดจ์ดินเหนียวพองตัวและการเข้าถึงของน้ำ	8.0-12.0	6-12
ค) ถนนไม่สัมผัสดเมื่อผ่านการเฉือน		
4.10 -4.12 มีโชนของการผุ หรือหินบดละเอียด และดินเหนียวแทรก (ดุนิยมของดินเหนียวแทรกจาก 4.7-4.9)	6.0, 8.0 8.0-12.0	6-24
4.13-4.15 มีโชนของดินเหนียวหนาแทรกต่อเนื่อง (ดุนิยมของดินเหนียวแทรกจาก 4.7-4.9)	10.0,13.0 13.0-20.0	6-24

ตารางที่ 8.11 (ต่อ)

5. ปัจจัยค่าลดเนื่องจากน้ำ (J_w)	ระดับ คะแนน	ความดันน้ำ (กก/ตร.ซม)
5.1 แห้ง หรือมีการไหลน้อย < 5 ลิตร/นาที่	1.0	< 1
5.2 มีการไหลเข้าปานกลางหรือมีความดันน้ำชะวัสดุแทรกบ้าง	0.66	1.0-2.5
5.3 มีการไหลมากหรือมีความดันน้ำสูงในหินที่มีความทนทาน และรอยแยกไม่มีวัสดุแทรก	0.5	2.5-10.0
5.4 มีการไหลมาก หรือมีความดันน้ำสูงและมีการชะวัสดุแทรก ออกมามาก	0.33	2.5-10.0
5.5 มีการไหลแรงมากหรือมีความดันสูงมากเหมือนระเบิดแต่ ลดลงตามเวลา	0.2-0.1	>10.0
5.7 มีการไหลแรงมากความดันน้ำต่อเนื่องไม่ลดลงตามเวลา	0.1-0.05	>10.0

หมายเหตุ 1. 5.3-5.5 เป็นการประเมินแบบหยาบ ค่า J_w เพิ่มตามการติดตั้งมาตรวัดความดันน้ำ

2. ปัญหาจากการแข็งตัวของน้ำไม่นำมาพิจารณา

6. ค่าปัจจัยลดเนื่องจากความเค็ม		
ก) โซนที่หินไม่แข็งแรงติดกับส่วนที่มีการขุดลอกอุโมงค์ทำให้เกิด การแยกตัวหรือร่วงของมวลหิน	ระดับคะแนน	
6.1 เมื่อมีโซนหินไม่แข็งแรงมากกว่า 1 โซนที่มีแร่ดินเหนียวแทรก หรือมีการผุสลาย หรือการเกาะกันแบบหลวมของมวลหินที่ทุก ระดับความลึก	10	
6.2 เมื่อมีโซนหินไม่แข็งแรง 1 โซนที่มีแร่ดินเหนียวแทรก หรือมีการ ผุสลาย หรือมีการเกาะกันแบบหลวมของมวลหินที่ระดับความ ลึก ≤ 50 ม.	5	
6.3 เมื่อมีโซนหินไม่แข็งแรง 1 โซนที่มีแร่ดินเหนียวแทรก หรือมีการ ผุสลาย หรือการเกาะกันแบบหลวมของมวลหินที่ระดับความลึก > 50 ม.	2.5	
6.4 โซนการเฉือนมากกว่า 1 โซนในหินแข็งทนทานปราศแร่ดิน เหนียว หินบริเวณใกล้เคียงมีการเกาะกันแบบหลวมๆที่ทุกระดับ ความลึก	7.5	
6.5 โซนการเฉือน 1 โซนในหินแข็งทนทานปราศแร่ดินเหนียว ที่ ระดับความลึก ≤ 50 ม.	5.0	
6.6 โซนการเฉือน 1 โซนในหินแข็งทนทานปราศแร่ดินเหนียว ที่ ระดับความลึก > 50 ม.	2.5	
6.7 รอยแยกเกาะกันหลวมๆ หรือมีรอยแยกมากติดกันเป็นลูกเต๋าหรือ ผลึกน้ำตาลที่ทุกระดับความลึก	5.0	

หมายเหตุ ค่า SRF ลง 25-50% ถ้าในพื้นที่มีโซนการเฉือนที่มีผลกระทบต่อการขุดเจาะแม้ว่าจะไม่ตัดเข้ามาใน
อุโมงค์ที่ขุดลอก

ตารางที่ 8.11 (ต่อ)

ข) หินแข็งทนทานแต่มีปัญหาความเค้นในมวลหิน	σ_{cf}/σ_1	σ_{Tf}/σ_1	SRF
6.8 มีความเค้นต่ำใกล้พื้นผิว	> 200	> 13	2.5
6.9 มีความเค้นปานกลาง	200-10	13-0.66	1.0
6.10 มีความเค้นสูง โครงสร้างค่อนข้างแน่น (ปกติอาจ เหมาะกับเสถียรภาพ หรืออาจไม่เหมาะกับเสถียร ของผนัง)	10-5	0.66-0.33	0.5-2
6.11 มีการระเบิดเนื่องจากความเค้น(rockburst)ใน มวลหินเล็กน้อย	5-2.5	0.33-0.16	5-10
6.12 มีการระเบิดเนื่องจากความเค้น(rockburst)ใน มวลหินมาก	< 2.5	<0.16	10-20

หมายเหตุ 1. σ_{cf} = กำลังอัดแกนเดียว, σ_{Tf} = กำลังดึงแกนเดียว

2. ถ้าทำการวัดภาวะความเค้นเริ่มของหินและ $5 \leq \sigma_1/\sigma_3 \leq 10$ ให้ลดค่า σ_{cf} และ σ_{Tf} เป็น $0.8\sigma_{cf}$

และ $0.8\sigma_{Tf}$ เมื่อ $\sigma_1/\sigma_3 > 10$ ให้ลดค่า σ_{cf} และ σ_{Tf} เป็น $0.6\sigma_{cf}$ และ $0.6\sigma_{Tf}$

3. ถ้าความลึกของพื้นเหนืออุโมงค์น้อยกว่าช่วงระยะความกว้างของอุโมงค์ที่ไม่มีค้ำยัน ให้เพิ่มค่า SRF ในหัวข้อ 6.8 จาก 2.5 เป็น 5

ค) หินที่มีการบีบอัด หินไม่แข็งทนทาน มีการวิรูปแบบพลาสติก ภายใต้ภาวะความดันสูง	ระดับคะแนน
6.13 มีความเค้นบีบอัดเล็กน้อย	5-10
6.14 มีความเค้นบีบอัดอย่างสูง	10-20

ง) หินมีการบวมหรือพอง เนื่องจากน้ำในมวลเกิดปฏิกิริยาเคมี	ระดับคะแนน
6.15 มีความดันในการบวมหรือพองต่ำ	5-10
6.16 มีความดันในการบวมหรือพองสูง	10-15

ในการใช้ตารางที่ 8.11 ควรจะได้มีการพิจารณาโดยละเอียดรอบคอบและในบางกรณีอาจใช้
ข้อแนะนำต่อไปนี้ประกอบคือ

1. กรณีที่ไม่มีค่า RQD จากหลุมเจาะ เราอาจประเมินค่าได้จากจำนวนของรอยแยกต่อ
หน่วยปริมาตรหิน จากจำนวนรอยแยกต่อเมตรของแต่ละชุดรอยแยก ซึ่ง RQD ของ
มวลหินปราศวัสดุแทรกดินเหนียวสามารถประเมินได้ดังนี้

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$

เมื่อ $J_v =$ จำนวนรอยแยกทั้งหมดของมวลหินต่อลูกบาศก์เมตร
 ประเมินค่า $RQD = 100$ สำหรับ $J_v < 4.5$

2. สำหรับพารามิเตอร์จำนวนชุดรอยแยก J_n ในหินแปรที่มีร้าวขนาน ของหินซิสต์ แนวแตกเรียบของหินชนวน หรือ ชั้นของหินตะกอน ทำให้เกิดรอยแยกขนานกับร้าวขนานหรือชั้นหินชัดเจนให้นับเป็นชุดรอยแยกที่สมบูรณ์ แต่ถ้าย่อยแยกเนื่องจากโครงสร้างเหล่านี้ไม่ชัดเจน หรืออาจพบบ้างก็ให้นับเป็นรอยแยกไม่เป็นระบบ
3. สำหรับพารามิเตอร์ J_r และ J_u ควรเลือกจากชุดที่มีความแข็งแรงน้อยสุด หรือในชุดรอยแยกที่มีวัสดุแทรกเป็นแร่ดินเหนียว แต่ถ้าค่า (J_r/J_u) ของชุดรอยแยกนั้นมีการวางตัวที่เหมาะสม ควรเลือกรอยแยกชุดที่มีการวางตัวของรอยแยกไม่เหมาะสมแต่มีค่า (J_r/J_u) น้อยในระดับรองลงมาแทน
4. ถ้าในมวลหินที่มีวัสดุดินเหนียวแทรก ค่าปัจจัย SRF ที่ต้องประเมินค่าแรงลดลง ในกรณีนี้กำลังของหินปราศรอยความไม่ต่อเนื่องไม่มีความสำคัญ อย่างไรก็ตามในหินที่มีรอยแยกน้อยและปราศจากการแทรกของดินเหนียว กำลังของหินปราศรอยไม่ต่อเนื่องก็จะเป็นค่าที่น้อยสุดที่มีผลต่อมวลหิน และการวิเคราะห์เสถียรภาพ จะอาศัยสัดส่วนของความเค้นในหินต่อกำลังอัดของหินดังในหัวข้อ 6.2 ในตารางที่ 8.11(ดูหมายเหตุที่ 2 ตอนท้ายของหัวข้อ 6.0
5. ค่ากำลังอัดแกนเดียวและกำลังดึงแกนเดียวควรประเมินจากทิศทางที่ไม่แข็งแรงที่สุด โดยเฉพาะอย่างยิ่งในหินที่เป็นแอนไอโซโทรปี และตัวอย่างทดสอบควรอยู่ในสภาพอิ่มน้ำเมื่อในพื้นที่ที่มีน้ำเข้ามาเกี่ยวข้อง และค่ากำลังของหินควรเป็นค่าที่ต่ำสุดเมื่อหินนั้นมีแนวโน้มในการผุสลายเมื่ออิ่มน้ำ

ได้มีการใช้ค่า Q ในการประเมินความเค้นหรือความดันที่ใช้ในการคำนวณภายในอุโมงค์ดังนี้

$$\text{สำหรับรอยแยกขนาดกลาง 2 ชุด} \quad W_r = \frac{2.0}{J_r} Q^{-0.33}$$

$$\text{และ รอยแยกขนาดกลาง 3 ชุด} \quad W_r = \frac{2J_n^{0.5}}{3J_r} Q^{-0.33}$$

$$W_r = \text{ความเค้นหรือความดันคำนวณ (kgf/cm}^2\text{)}$$

ซึ่งได้แสดงไว้ในรูปที่ 8.8 นอกจากนี้แล้วยังพบว่าค่า RMR ในการจัดจำแนกแบบธรณีเทคนิค มีความสัมพันธ์กับค่า Q ของระบบการจำแนกคุณภาพหิน (รูปที่ 8.9) ในระบบการจัดจำแนกคุณภาพหินยังใช้ในการประเมินช่วงเวลานับตัวกับระยะไม่คำนวณ (รูปที่ 8.10)

5.