

Rockmass Classification

Fundamentals of
Rock Mechanics
Department of Geotechnology
Khon Kaen U.

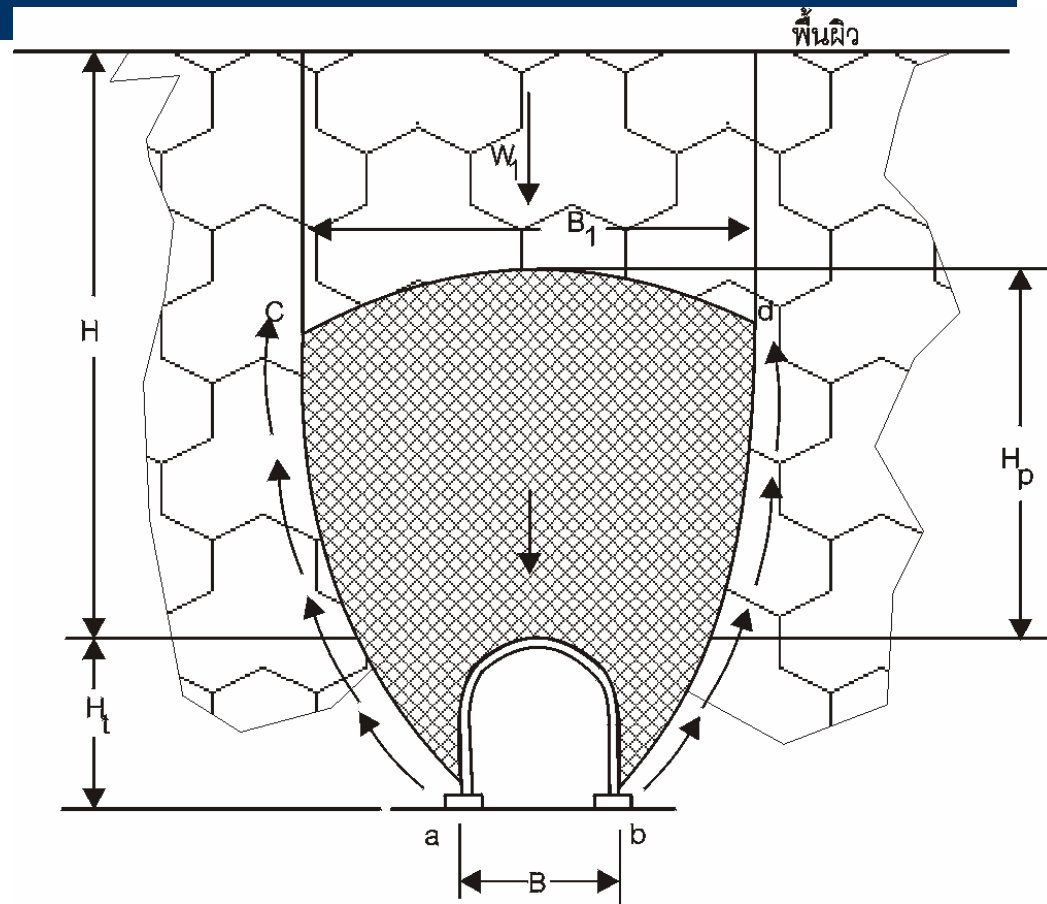
Associate prof. Ladda Wannakao

ระบบการจัดจำแนกขนาดรับแรงของเทอร์ซากี (Terzaghi's Rock Load Classification)

- เทอร์ซากีได้จัดจำแนกมวลของหินออกตามสภาพความไม่ต่อเนื่อง และองค์ประกอบทางแร่ของหินที่สามารถทำปฏิกิริยาหรือผุสลายทางเคมี โดยจัดจำแนกออกเป็น 7 กลุ่ม และประเมินขนาดของแรงที่โครงสร้างเหล็กโค้งค้ำยันจะต้องแบกรับ ข้อจำกัดของการจำแนกนี้คือ จะใช้สำหรับการประเมินขนาดของแรงสำหรับโครงสร้างเหล็กโค้งค้ำยันเท่านั้น

สภาพมวลหิน	H_p (ฟุต)	หมายเหตุ
1. หินแข็งปราศจากความไม่ต่อเนื่อง	ศูนย์	อาจมีการบุผนังอุโมงค์บางๆ 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. หินย่อยแต่ไม่มีกรเปลี่ยนแปลงทางเคมีหรือผุกร่อน (Completely Crushed, but Chemical Intact)	$1.10 (B+H_t)$	มีความดันด้านข้างพอประมาณมีแรงดันน้ำด้านล่างของอุโมงค์ดังนั้นจึงควรมีโครงสร้างค้ำยันด้านข้างและด้านล่างอย่างต่อเนื่อง
6. ก) หินผุแต่ไม่ขยายตัวมากที่ระดับระดับปานกลาง (Squeezing Rock) ข) หินผุแต่ไม่ขยายตัวมากที่ระดับลึกมากแร่องค์ประกอบจะเป็นพวกไมกาหรือแร่ดินเหนียว	ก) $(1.10-2.10) (B+H_t)$ ข) $(2.10-4.50) (B+H_t)$	มีความดันด้านข้างมากต้องใช้หลักยัน (invert struts) และควรใช้โครงค้ำยันแบบวงกลมรอบ
7. หินผุมีการขยายตัวหรือบวมของแร่ที่ผุกร่อนทางเคมี (Swelling Rock) เช่นแร่ มอนต์มอริลโลไนต์	มีขนาด H_p ถึง 250 ฟุต โดยไม่ขึ้นกับค่า $(B+H_t)$	ต้องใช้โครงค้ำยันแบบวงกลม (circular ribs)

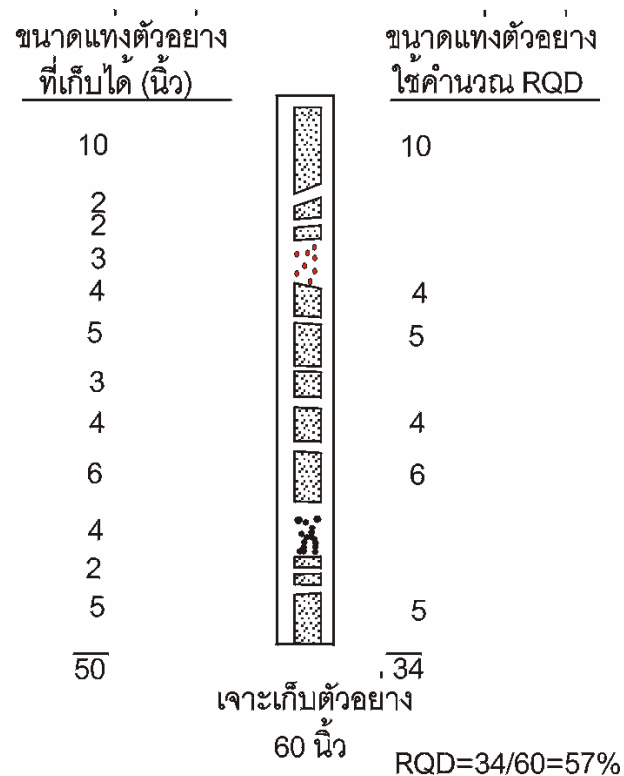
การจัดจำแนกขนาดรับแรงสำหรับโครงสร้างค้ำยันชนิดเหล็กโค้ง ซึ่งพื้นที่ที่เหล็กโค้งต้องรับ
เท่ากับ ความสูง H_p (ฟุต) และความกว้าง B_1
อุโมงค์ที่มีความกว้าง B ฟุต และความสูง H_t (ฟุต) ที่ความลึกมากกว่า 1.5
($B+H_t$)



การจัดจำแนกมลพิษในงานวิศวกรรม

- การจัดจำแนกมลพิษมักจะเป็นการวิเคราะห์คุณภาพของหิน โดยเฉพาะงานการขุด อุโมงค์ เพื่อจะทราบความสามารถในการรับแรงของผนังรอบๆ อุโมงค์ และบริเวณใกล้เคียง ซึ่งได้มีระบบการจัดจำแนกเกิดขึ้นมากมาย โดยแต่ละระบบจะมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการพิจารณาแตกต่างกัน ส่วนใหญ่จะเป็นสมบัติทางกายภาพของมลพิษ สมบัติ ดัชนีและทางวิศวกรรม คุณลักษณะทางธรณีโครงสร้าง โดยเฉพาะอย่างยิ่งรอยแตกหรือ รอยความไม่ต่อเนื่อง และทิศทางการวางตัวของแนวอุโมงค์ การจัดจำแนกมักเกิดจาก ประสบการณ์ในการทำงานของแต่ละท่านในงานอุโมงค์และจะเกี่ยวข้องกับความสมารถ ในการคงสภาพหรือระยะเวลายืนตัวของหิน (stand- up time)

ระบบการกำหนดค่าคุณภาพของหิน (Rock Quality Designation, RQD)



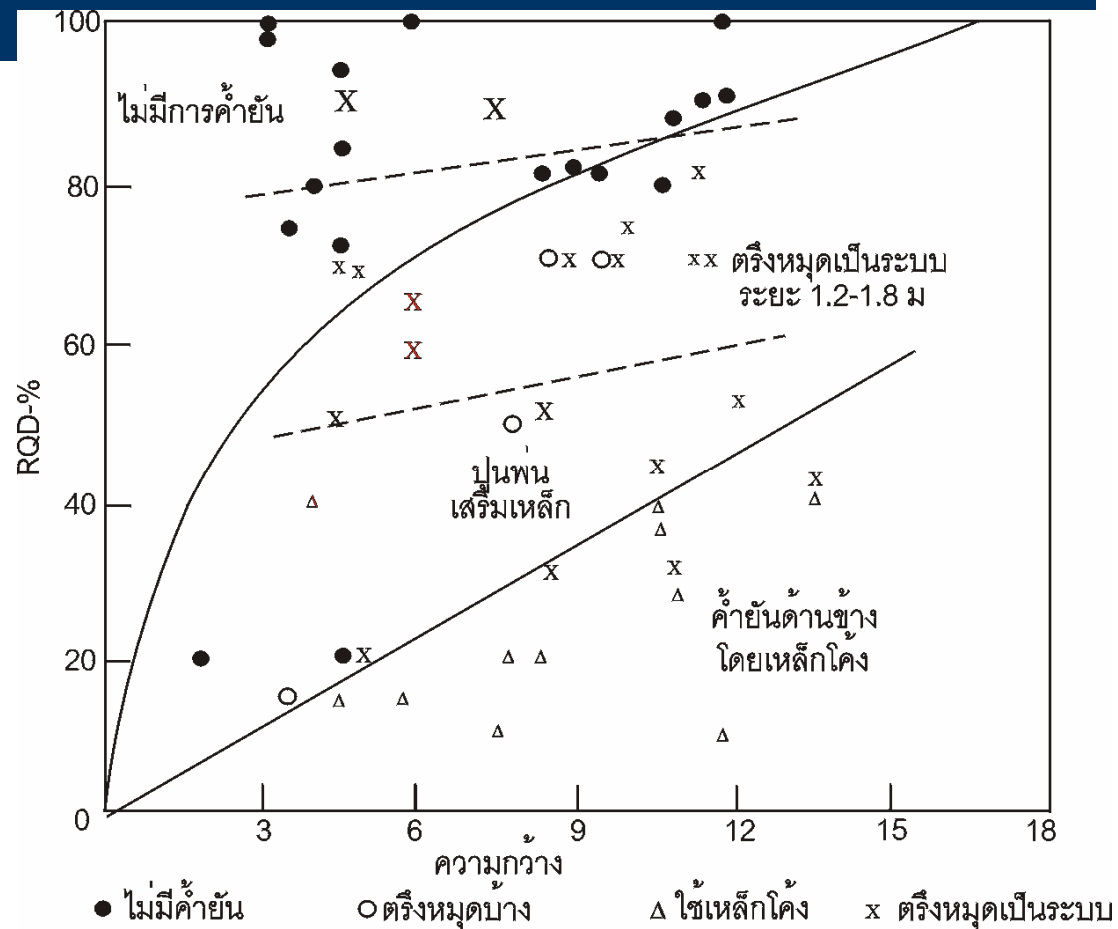
การจำแนกโดยกำหนดคุณภาพมวลหิน (RQD) (จาก Deere et al,1966)

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

คุณภาพหินกับการค้ำยันในอุโมงค์ (จาก Deere et al., 1966)

RQD%	คุณภาพและการค้ำยัน
0-25	ลักษณะหินนั้นแหลมมาก มักจะหลุดร่วง เสมอ (squeezing & ravelling) จึงต้องการ สิ่งค้ำยันอย่างดี
25-50	มวลหินลักษณะเลวต้องการสิ่งค้ำยันมาก
50-75	มวลหินบริเวณนั้นพอใช้ได้ (fair ground) แต่รูปแบบการแตก อาจทำให้เกิดการ เคลื่อนหรือเลื่อนไถลของ block หรือ slab
75-100	ลักษณะหินดีมาก (good ground) อาจ ต้องการสิ่งค้ำยันบ้าง

ตัวอย่างการใส่ค่าขึ้นโดยใช้ระบบการจำแนก RQD



การจัดจำแนกโดย Salzburg School

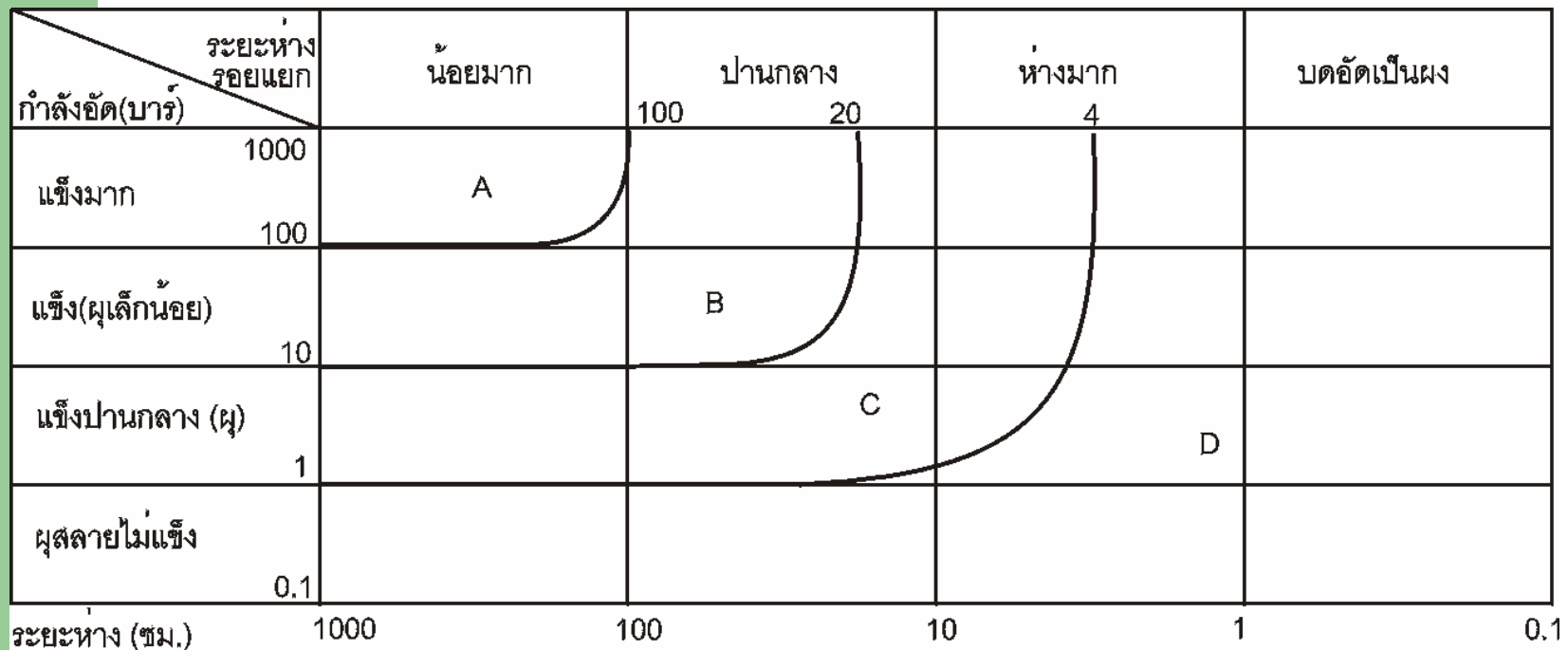
การจัดจำแนกมวลหีนโดยวิธีนี้นับเป็นครั้งแรกที่มีการวัด ทดสอบสมบัติต่างๆ
ของมวลหีน รวมทั้งวิเคราะห์คุณลักษณะของมวลหีนดังต่อไปนี้

- กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง
- รอยแตกรอยแยก ทิศการวางตัว และระยะห่างของรอยความไม่ต่อเนื่อง
- น้ำในมวลหีน
- ขนาดของอุโมงค์และขนาดช่วงเปิดอิสระโดยไม่มีค้ำยัน

การจัดกลุ่มหินได้ 4 กลุ่ม ตามกำลังอัด

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

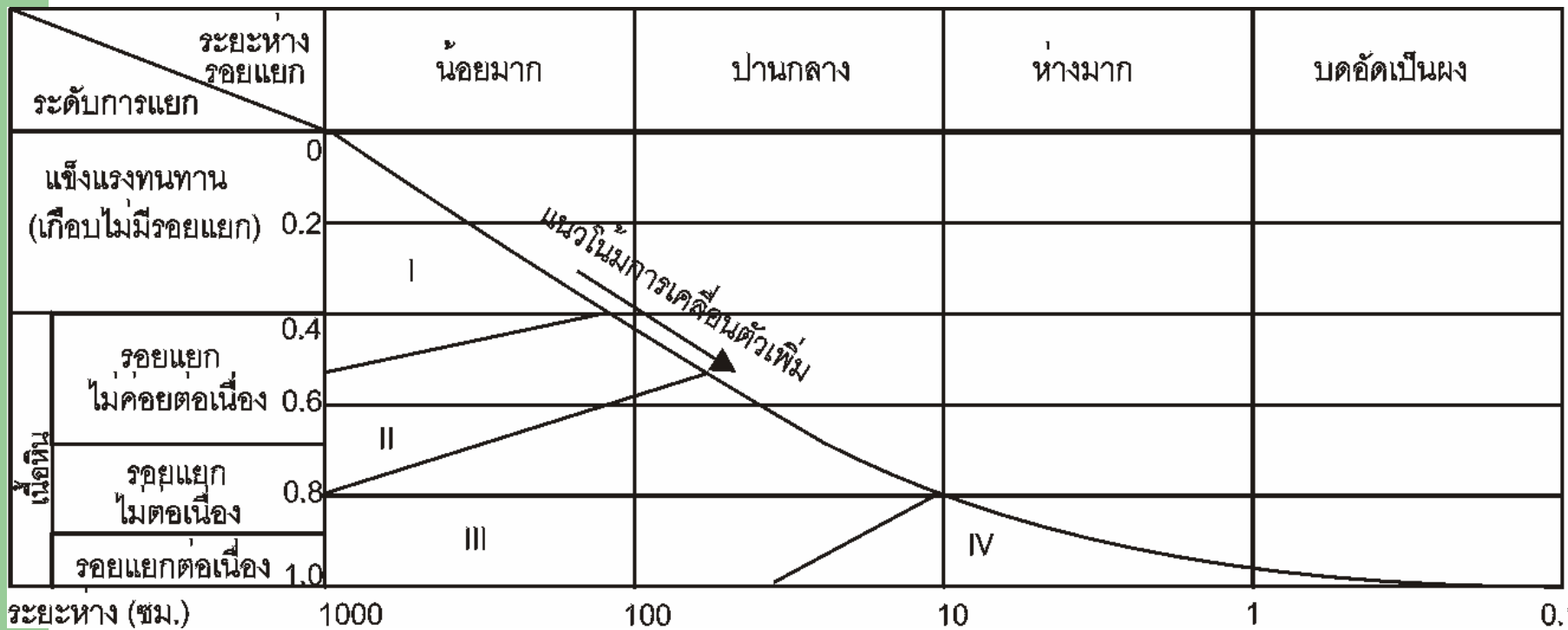
จัดกลุ่มตามกำลังอัดและระยะห่างรอยแตก



จัดกลุ่มหินออกเป็น 4 กลุ่มตามรอยแตกคือ

- I คือกลุ่มหินที่เป็นเนื้อเดียวปราศความไม่ต่อเนื่อง (quasimonolith)
- II กลุ่มมีรอยแตก (jointed rock),
- III กลุ่มมีรอยแยกหรือรอยแตกร้าวในมวลหิน (cracked rock), และ
- IV พวกที่มีรอยแตกถี่ (shattered rock)

จัดตามการเปิดรอยแยกหรือการเปิดออกของรอยแตก และ ระยะห่างรอยความไม่ต่อเนื่อง



Rock Structure Rating

- วิธีการจัดจำแนกแบบให้คะแนนโครงสร้างในมวลหิน พัฒนาโดย Wickham และ Tiedemann (1972, 1974) ซึ่งได้ จากงานอุโมงค์อย่างน้อย 53 โครงการ ในการจัดจำแนกจะใช้พารามิเตอร์ทั้งหมด 3 กลุ่มคือ

พารามิเตอร์ RSR

- A จะใช้ชนิด หิน และค่าโครงสร้างของหินที่อุโมงค์จะเจาะผ่าน เช่น โครงสร้างโค้งงอ หรือรอยแตก รอยความไม่ต่อเนื่อง
- B จะเป็นค่าของรูปแบบของระนาบแตก (Joint pattern) กับทิศทางการเจาะอุโมงค์ (direction of drive) และ ระยะห่างระหว่างรอยแตก
- C เป็นค่าของน้ำใต้ดินที่ไหลเข้าสู่อุโมงค์ และคุณลักษณะของ รอยแตกเปิด

ตาราง ระดับคะแนนของพารามิเตอร์ A แสดงชนิดหินและโครงสร้างธรณีระดับคะแนน สูงสุด
คือ 30 (จาก Wickham & Tiedemann, 1974)

	ชนิดหิน				โครงสร้างทางธรณี			
	แข็ง	ปานกลาง	อ่อน	ฟู	มวลแน่น	มีรอยเลื่อนหรือ โครงสร้างโค้งงอ เล็กน้อย	มีรอยเลื่อน หรือ โครงสร้างโค้งงอ ปานกลาง	มีระนาบเลื่อน หรือโครงสร้าง โค้งงอมาก
อัคนี	1	2	3	4				
แปร	1	2	3	4				
ตะกอน	2	3	4	4				
ชนิด 1					30	22	15	9
ชนิด 2					27	20	13	8
ชนิด 3					24	18	12	7
ชนิด 4					19	15	10	6

ตารางระดับคะแนนของพารามิเตอร์ B แสดงรูปแบบรอยแยก และทิศทางการเจาะอุโมงค์
ระดับคะแนนสูงสุด คือ 45 (จาก Wickham & Tiedemann, 1974)

ระยะห่างรอยแยก	โครงสร้าง $\perp$ แกนของอุโมงค์					โครงสร้าง $//$ แกนของอุโมงค์		
	ทิศการเจาะอุโมงค์					ทิศการเจาะอุโมงค์		
	ทั้งสอง	ทาง เดียวกับมุม เท	ย้อนมุมเท			ทั้งสอง		
มุมเทของรอยแยกหลัก					มุมเทของ รอยแยกหลัก			
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 = $0-20^{\circ}$, เท = $20-50^{\circ}$, ตั้ง = $50-90^{\circ}$

ตาราง ระดับคะแนนของพารามิเตอร์ C ลักษณะรอยแยก และการไหลน้ำบาดาล ระดับ
คะแนนสูงสุด คือ 25 (จาก Wickham & Tiedemann, 1974)

อัตราการไหลของน้ำ แกลลอน/นาฬิกา/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/นาฬิกา)	19	15	9	23	19	14
ปานกลาง (200-1000 แกลลอน/นาฬิกา)	15	11	7	21	16	12
ไหลมาก (> 1000 แกลลอน/นาฬิกา)	10	8	6	18	14	10

หมายเหตุ ดี = แน่นหรือมีการเชื่อมประสาน , ปานกลาง = มีการคุดเล็กน้อย , เลว = มีการคุดมากหรือรอยแยกเปิด

การจำแนกตามธรณีเมคคานิกของอัฟริกาใต้ Rock Mass Rating,RMR (South African Geomechanics Classification)

- การจำแนกมวลหิน โดยระบบนี้ได้ศึกษาโดย Bieniaski (1973) โดยอาศัยสมบัติด้านวิศวกรรม เช่นกำลังรับแรงอัด และใช้คุณลักษณะของมวลหิน เช่นรูปแบบของรอยแยก รอยแตกตลอดจนการไหลของน้ำในมวล และทิศการวางตัวของอุโมงค์ต่อโครงสร้างไม่ต่อเนื่องซึ่งสามารถแบ่งกลุ่มของพารามิเตอร์ได้ 5 กลุ่ม และได้จัดระดับคะแนนของแต่ละกลุ่ม

ตารางที่ 8.7 กลุ่มของพารามิเตอร์ และการให้ระดับคะแนนตามค่าของแต่ละพารามิเตอร์
(จาก Bieniawski, 1976)

กลุ่มพารามิเตอร์	ช่วงค่าของพารามิเตอร์		ระดับคะแนน
	กำลังกดจุด	กำลังอัดแกนเดียว	
1. กำลังอัดของหินปราศความไม่ต่อเนื่อง (MN/m^2)	>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. สภาพของ รอยแยก	ผิวขรุขระไม่ต่อเนื่อง ไม่แยกผนังแข็งแรง	25		
	ผิวขรุขระเล็กน้อย แยกจากกัน<1มม ผนังแข็งแรง	20		
	ผิวขรุขระเล็กน้อย แยกจากกัน<1มม ผนัง ไม่แข็งแรง	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 หรือ	u_j/σ_j หรือ	สภาพทั่วไป	
	ไม่มีการไหล	0	แห้ง	10
	< 20 ลิตร/นาทึ	0.0-0.5	ชื้น	7
	25-125 ลิตร/นาทึ	0.2-0.5	มีแรงดันน้ำปานกลาง	4
	> 125 ลิตร/นาทึ	> 0.5	มีปัญหา น้ำรุนแรง	0

หมายเหตุ u_j = ความดันน้ำในรอยแยก

ตารางที่ 8.8 การปรับค่าระดับคะแนนตามทิศการวางตัวของรอยแยกและชนิดงาน

(จาก Bieniawski, 1976)

ทิศวางตัวรอยแยก		เหมาะสมมาก	เหมาะสม	พอใช้	ไม่เหมาะสม	ไม่เหมาะสมมาก
งาน	อุโมงค์	0	-2	-5	-10	-12
	ฐานราก	0	-2	-7	-15	-25
	ลาดเอียง	0	-5	-25	-50	-60

ตารางที่ 8.9 การจัดจำแนกตามระดับคะแนน (จาก Bieniawski, 1976)

ระดับคะแนน	ขั้นการจำแนก	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	ความเชื่อมั่นแน่น, 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

ระบบการจำแนกตามคุณภาพมวลหิน (Rock Mass Quality, Q)

ระบบการจำแนกตามคุณภาพของมวลหินได้พัฒนาขึ้นจากการทำค้ำยันในอุโมงค์
แถบประเทศสแกนดิเนเวีย โดย Barton, Lien และ Lunde ปี ค.ศ. 1974

- RQD
- จำนวนชุดรอยแยก (Joint Set Number, Jn)
- ค่าความขรุขระผิวรอยแยก (Joint Roughness Number, Jr)
- ค่าการผุสลายของรอยแยก (Joint Alteration Number, Ja)
- ปัจจัยค่าลดเนื่องจากน้ำ (Joint Water Reduction Factor, Jw)
- ปัจจัยค่าลดเนื่องจากความเค้น (Stress Reduction Factor, SRF)

ระบบการจำแนกตามคุณภาพมวลหิน (Rock Mass Quality, Q)

- จากค่าระดับคะแนนของพารามิเตอร์ทั้งหมดนำมาคำนวณหาคุณภาพมวลหิน Q ได้ดังนี้

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

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_u)	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 $3.0 \times J_u$

2. สำหรับ portal ใช้ค่า $2.0 \times J_u$

3. ค่าความขรุขระผิวรอยแยก (J_r)

ก) ผนังสัมผัส

ระดับคะแนน

ข) ผนังสัมผัสก่อนเกิดการเลื่อน 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 ผิวขรุขระไม่สม่ำเสมอ เป็นระนาบ	1.5
3.6 ผิวเรียบ เป็นระนาบ	1.0
3.7 ผิวรอยเลื่อนไถล เป็นระนาบ	0.5
ค) ผนังไม่สัมผัสเมื่อเกิดการเลื่อน	
3.8 โซนที่มีแรงดินเหนียวหนามากทำให้ผิวรอยแยกไม่สัมผัส	1.0
3.9 โซนการบดหรือมีกรวดทรายหนาทำให้ผิวไม่สัมผัส	1.0

หมายเหตุ 1. เพิ่ม 1.0 ถ้าระยะห่างของรอยแยกมากกว่า 3 ม

2. ค่า $J_r = 0.5$ สามารถใช้ได้กับรอยแยกเป็นระนาบมีรอยเลื่อนไถลและลายเส้นถ้าลายเส้นนั้นวางตัวอยู่ในแนวที่มีกำลังน้อยที่สุด

4. ค่าการผุสลายผิวรอยแยก (J _v)	ระดับ	φ
ก) ผนังสัมผัส	คะแนน	
4.1 รอยแยกมีการประสานแน่น แข็ง มีวัสดุแทรกทับ เช่น ควอร์ตซ์	0.75	-
4.2 ผนังรอยแยกไม่ผุ มีเพียงรอยต่าง	1.0	25-35
4.3 ผนังมีการผุเล็กน้อย มีแร่ไม่อ่อนเคลือบตามผนัง มีอนุภาคทราย ปราศการผุของแร่ดิน	2.0	25-35
4.4 มีการเคลือบผนังด้วยทรายปนดินเหนียว ทรายแป้ง มีปริมาณดิน เหนียวน้อย	3.0	20-25
4.5 เคลือบด้วยแร่อ่อนหรือดินเหนียว และอาจมีแร่ดินเหนียวพองตัว (การเคลือบค่อนข้างไม่ต่อเนื่อง มีความหนาประมาณ 1-2 มม)	4.0	8-16
ข) ผนังสัมผัสเมื่อเกิดการเฉือน ก่อนการเฉือน 10 ซม		
4.6 หินผุแต่ปราศแร่ดินเหนียว มีอนุภาคทราย	4.0	25-30
4.7 ดินเหนียวแข็งเป็นวัสดุแทรก (ต่อเนื่อง และหนา < 5 มม)	6.0	16-24
4.8 ดินเหนียวอ่อน ถึงแข็งปานกลาง แร่ดินเหนียวเป็นวัสดุแทรก (ต่อ เนื่อง และหนา < 5 มม)	8.0	12-16
4.9 ดินเหนียวพองตัวเป็นวัสดุแทรก(ต่อเนื่อง หนา < 5 มม. ระดับ คะแนนขึ้นกับเปอร์เซ็นต์แร่ดินเหนียวพองตัวและการเข้าถึงของน้ำ	8.0-12.0	6-12
ค) ผนังไม่สัมผัสเมื่อผ่านการเฉือน		
4.10 -4.12 มีโซนของการผุ หรือหินบดละเอียด และดินเหนียวแทรก (คุนียามของดินเหนียวแทรกจาก 4.7-4.9)	6.0, 8.0 8.0-12.0	6-24
4.13-4.15 มี โซนของดินเหนียวหนาแทรกต่อเนื่อง (คุนียามของดิน เหนียวแทรกจาก 4.7-4.9)	10.0,13.0 13.0-20.0	6-24

5. ปัจจัยค่าลดเนื่องจากน้ำ (J_w)	ระดับ คะแนน	ความดันน้ำ (กก/ตร.ซม)
5.1 แท้ง หรือมีการไหลน้อย < 5 ลิตร/นาที	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. ค่าปัจจัยลดเนื่องจากความเค้น		
ก) โซนที่หินไม่แข็งแรงตัดกับส่วนที่มีการขุดลอกอุโมงค์ทำให้เกิดการแยกตัวหรือร่วงของมวลหิน		ระดับคะแนน
6.1	เมื่อมีโซนหินไม่แข็งแรงมากกว่า 1 โซนที่มีแร่ดินเหนียวแทรก หรือมีการผุสลาย หรือการเกาะกันแบบหลวมของมวลหินที่ทุกระดับความลึก	10
6.2	เมื่อมีโซนหินไม่แข็งแรง 1 โซนที่มีแร่ดินเหนียวแทรก หรือมีการผุสลาย หรือมีการเกาะกันแบบหลวมของมวลหินที่ระดับความลึก ≤ 50 ม.	5
6.3	เมื่อมีโซนหินไม่แข็งแรง 1 โซนที่มีแร่ดินเหนียวแทรก หรือมีการผุสลาย หรือการเกาะกันแบบหลวมของมวลหินที่ระดับความลึก > 50 ม.	2.5
6.4	โซนการเฉือนมากกว่า 1 โซนในหินแข็งทนทานปราศแร่ดินเหนียว หินบริเวณใกล้เคียงมีการเกาะกันแบบหลวมๆที่ทุกระดับความลึก	7.5
6.5	โซนการเฉือน 1 โซนในหินแข็งทนทานปราศแร่ดินเหนียว ที่ระดับความลึก ≤ 50 ม.	5.0
6.6	โซนการเฉือน 1 โซนในหินแข็งทนทานปราศแร่ดินเหนียว ที่ระดับความลึก > 50 ม.	2.5
6.7	รอยแยกเกาะกันหลวมๆ หรือมีรอยแยกมากัดกันเป็นลูกเต๋าหรือผลึกน้ำตาลที่ทุกระดับความลึก	5.0

หมายเหตุ ค่า SRF ลด 25-50% ถ้าในพื้นที่มีโซนการเฉือนที่มีผลกระทบต่อการขุดเจาะแม้ว่าจะไม่ตัดเข้ามาในอุโมงค์ที่ขุดลอก

3.5 Rock Tunnelling Quality Index, Q

On the basis of an evaluation of a large number of case histories of underground excavations, Barton et al (1974) of the Norwegian Geotechnical Institute proposed a Tunnelling Quality Index (Q) for the determination of rock mass characteristics and tunnel support requirements. The numerical value of the index Q varies on a logarithmic scale from 0.001 to a maximum of 1,000 and is defined by:

$$Q = \frac{RQD}{J_n} \times \frac{J_r}{J_a} \times \frac{J_w}{SRF} \quad (4.2)$$

where

RQD is the Rock Quality Designation

J_n is the joint set number

J_r is the joint roughness number

J_a is the joint alteration number

J_w is the joint water reduction factor

SRF is the stress reduction factor

In relating the value of the index Q to the stability and support requirements of underground excavations, Barton et al (1974) defined an additional parameter which they called the *Equivalent Dimension*, D_e , of the excavation. This dimension is obtained by dividing the span, diameter or wall height of the excavation by a quantity called the *Excavation Support Ratio*, ESR . Hence:

$$D_e = \frac{\text{Excavation span, diameter or height (m)}}{\text{Excavation Support Ratio } ESR}$$

The value of ESR is related to the intended use of the excavation and to the degree of security which is demanded of the support system installed to maintain the stability of the excavation. Barton et al (1974) suggest the following values:

Excavation category	ESR
A Temporary mine openings.	3-5
B Permanent mine openings, water tunnels for hydro power (excluding high pressure penstocks), pilot tunnels, drifts and headings for large excavations.	1.6
C Storage rooms, water treatment plants, minor road and railway tunnels, surge chambers, access tunnels.	1.3
D Power stations, major road and railway tunnels, civil defence chambers, portal intersections.	1.0
E Underground nuclear power stations, railway stations, sports and public facilities, factories.	0.8