

기존의 암반분류법의 조합에 의한 새로운 암반평가법의 제안

선우춘^{1)*}, 정용복¹⁾

Suggestion of New Rock Classification Method Using the Existing Classification Method

Choon Sunwoo and Yong-Bok Jung

Abstract : Rock mass classification systems such as RMR and Q system have been widely served as a simple empirical approach for the design of various rock mass structures in the stage of site survey as well as under the construction. For the RQD determination, the boring is partially carried out and what is more, the survey boring is not normally carried out under construction. Therefore RQD is frequently determined by empirical method or indirect method. Since it is difficult to determine the discontinuity characteristics such as RQD, spacing, persistence, filling and so on, it is essential to develop suitable and simple systems without drilled core and a certain number of representative parameters. One of the primary objectives of the classification systems for a practicing engineer has been to make it simple to use as a preliminary design tool for the structures in rock mass. In the present study, the modifications for both the RMR and GSI system are suggested by authors to introduce new classification system as well as to improve the scope of some of the existing classification systems for a practicing engineer.

Key words : rock mass classification, Rock Mass Rating, Geological Strength Index, Rock Quality Designation

초 록 : 현재 가장 많이 사용되고 있는 암반분류법인 RMR 이나 Q 분류법을 이용하여 조사단계에서 암반평가를 할 때, 평가요소의 하나인 RQD값을 구하기 위한 시추작업이 제한적으로 이루어지고 있고, 또한 시공단계에서도 시추작업은 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 실제 현장조사에서는 RQD값은 일반적으로 유추되거나 간접적인 방법을 통해서 이루어지고 있는 실정이다. 또한 암반내의 절리간격조사도 여러 군의 절리가 존재할 경우 그룹별 간격의 측정이 용이하지 않으며 불연속면의 연속성 등 불연속면의 특성에 관한 측정이 쉽지 않다는 것이다. 절리간격 요소도 실제로는 RQD와 중복되는 요소로서 시추 코아에 의존하지 않고 보다 쉽게 암반평가를 실시할 수 있는 새로운 암반분류법의 개발이 필요하다. 이를 위해서 요구되는 요소들을 측정하지 않고도 암반의 구조적인 형태와 절리의 거칠기와 변형정도로 표시되는 불연속면의 표면적인 조건만을 관찰함으로써 암반평가를 실시할 수 있는 방법인 GSI의 요소들을 RMR방법과 결합하여 새로운 암반분류법을 제시하고자 하는 것이다.

핵심어 : 암반분류법, RMR, GSI, RQD

1. 서 론

가장 많이 사용되고 있는 암반분류법인 RMR (Bieniawski, 1973) 이나 Q(Barton et al., 1974) 시스템을 이용한 암반평가에서 조사단계에서 RQD

값을 구하기 위한 시추작업이 이루어져야 하지만 많은 경우 시추가 제한될 수밖에 없다. 또한 시공 단계에서도 조사를 위한 시추작업이 이루어지지 않기 때문에 RQD값은 일반적으로 유추되거나 간접적인 방법을 통해서 이루어지고 있는 실정이다. 암반내의 불연속면의 간격조사도 여러 군의 불연속면이 존재할 경우 각 불연속면군별 간격의 측정이 용이하지 않으며 불연속면의 연속성 등 불연속면의 특성에 관한 측정들이 쉽지 않다는 것이다. 불연속면의 간격요소도 실제로는 RQD와 중복되

1) 한국지질자원연구원

* Corresponding author : sunwoo@kigam.re.kr

접수일 : 2006년 5월 31일

게재승인일 : 2006년 6월 19일

는 요소로서 시추 코아에 의존하지 않고 보다 쉽게 암반평가를 실시할 수 있는 새로운 암반분류법의 개발이 필요하다. 이 논문에서는 현재 사용중인 암반분류법을 개선하여 새로운 암반분류법을 개발하는 것이 목적이다.

GSI(Hoek, 1994; Hoek & Brown, 1997)분류법의 장점은 보다 쉽게 암반을 관찰함으로써 암반을 평가할 수 있고, 수치해석에 필수적인 암반의 강도와 변형계수를 결정하는 물리적인 값을 쉽게 제공한다는 것이다. GSI 시스템의 경우는 특정한 요소들의 측정없이 암반의 구조적인 형태와 절리의 거칠기와 변형정도로 표시되는 불연속면의 표면적인 조건을 관찰함으로써 암반평가를 실시할 수 있는 방법이다. 따라서 GSI시스템에서 고려되지 않은 RMR 요소들과 결합하여 새로운 암반분류법을 제시하고자 한다.

2. 암반분류

2.1 암반분류의 목적

암반이라는 물체는 암반내의 단층, 절리, 습곡, 편리 등 여러 종류의 불연속면을 가지는 불연속성 물체로서 불균질성, 불연속성의 성질을 가지며, 이러한 성질들이 암반의 강도나 변형성, 투수성 등의 물성을 좌우한다. 따라서 암반을 대상으로 하는 모든 작업에서는 작업의 안전성과 합리적인 진행을 위하여 암반의 성질이나 상태를 정확하게 파악해야 하며, 암반평가를 실시하는 이유는 여러 가지의 암석시험을 실시하여도 그 결과를 암반이라는 물체의 역학적 성질과 직접 연결시키기 어렵기 때문이다. 암반의 성질을 관찰하고, 또 시추나 여러 가지의 현장시험을 실시함으로써 복잡한 암반을 비슷한 거동의 집단으로 그룹화하거나 평점화하여 각 그룹의 특성을 이해할 수 있는 기준을 마련하는 것이다. 따라서 암반분류는 복잡한 양상을 나타내는 암반의 성질이나 조건을 간결하게 표현하여 암반의 해석, 설계 그리고 시공을 효율적으로 진행시키는 역할을 하며, 공사와 관련된 일련의 기술자들이 대상의 암반에 대해 이해할 수 있도록 도와주는 수단으로 사용된다. 그리고 암반평가의 결과를 기본으로 하여 설계에 필요한 정량적인 자료를 제공하여 암반의 역학적인 값이나 문제점을 추정하여 시공계획을 수립하거나 필요한 정보를 전달하는 근거를 마련하는 것이 그 목적이다.

암반분류의 방법에는 암반을 등급으로 분류하는 간편한 방법과 암반물성을 좌우하는 여러 가지 인자를 지수화하여 평점을 부여하고, 그 평점에 따라 구체적인 시공방법을 제시하는 방법이나 또한 다소 복잡한 정량적인 분류평가 방법들이 있다. 암반분류는 초기에 신선암의 간단한 분류로 시작하였지만 설계나 시공과 관련된 지표분류로 발전하였으며, 현재는 여러 가지 요소를 망라하여 사용목적에 따라 서로 다른 가중치를 부여하는 종합적인 분류방법이 이루어지고 있다.

2.2 RMR과 GSI 분류법의 개요

RMR 분류법

Bieniawski(1973)에 의해 제안된 RMR분류법은 여러 번의 수정을 통해 현재에 이르고 있다. 이 분류법의 장점은 각 요소들에 대한 평가가 비교적 쉬우며, 터널의 유지시간, 최대 무지보구간 등의 예측이 가능하고, 현지암반의 물리적 성질의 예측이나, 터널과 불연속면의 방향성을 고려할 수 있으며, 여러 분야에서 적용된 사례들에 의해(Bieniawski, 1989) 검증이 가능하다는 것이다.

반면에 RMR의 단점은 지보량의 결정에 있어서 개별요소의 영향이 Q시스템처럼 세밀하지 않고, 불연속면의 군이 3개 이하인 경우는 불연속면의 간격은 보수적인 평가가 이루어지며, 등급에 따른 터널의 폭에 대한 연구가 충분하지 못하고, 터널에 대한 지보량을 결정하는 데 있어 상당히 제한적으로 적용될 수 있다는 점과 5개의 암반등급으로 분류하고 있지만 실제로는 영역간에 뚜렷한 경계가 없다는 것이다. RMR분류법은 암석의 일축 압축 강도, RQD, 불연속면의 간격, 불연속면의 상태, 지하수의 상태 등 5개의 요소로 구성된다. 5개 요소들의 중요성은 동일하지 않으므로 각 요소의 중요도에 따라 가중치가 부여되고, 이 요소들의 합산한 값이 기본 RMR(basic RMR)값이 되고 0-100까지 범위의 값을 가지게 된다. 불연속면의 방향성이 시공대상인 터널, 사면, 댐 기초, 광산개발 등과 같은 공학적 구조물에 따라 달라지기 때문에 불연속면의 방향성과 구조물의 방향에 따른 값을 보정하여 최종 RMR(total RMR)값을 구하게 된다.

RMR 시스템은 터널과 광산용으로 개발되었지만 현재에 이르면서 다양한 응용을 거쳐 개념의 변화없이 사면의 안정(Romana, 1985), 댐의 기초(Serafim & Pereira, 1983), 경암의 광산(Kendorski et al., 1983),

석탄광(Unal, 1983), rippability(Weaver, 1975) 등에 까지 적용범위가 넓어졌다. RMR 시스템으로써 조사 암반에 대한 암반의 등급뿐만 아니라 터널의 유지 시간, 반압, 터널 최대 폭, 암반의 변형계수, 암반의 점착력과 내부마찰각 등 암반의 물리적 성질의 값도 경험식에 의해 유도될 수 있으며 다른 암반 분류법과도 대비할 수 있다.

GEOLOGICAL STRENGTH INDEX FOR JOINTED ROCKS (Hoek and Marinos, 2000)

From the lithology, structure and surface conditions of the discontinuities, estimate the average value of GSI. Do not try to be too precise. Quoting a range from 33 to 37 is more realistic, stating that GSI = 35. Note that the table does not apply to structurally controlled failures. Where weak planar structural planes are present in an unfavourable orientation with respect to the excavation face, these will dominate the rock mass behaviour. The shear strength of surfaces in rocks that are prone to deterioration as a result of changes in moisture content will be reduced if water is present. When working with rocks in the fair to very poor categories, a shift to the right may be made for wet conditions. Water pressure is dealt with by effective stress analysis.

STRUCTURE	SURFACE CONDITIONS				
	VERY GOOD Very rough, fresh unweathered surfaces	GOOD Rough, slightly weathered, iron stained surfaces	FAIR Smooth, moderately weathered and altered surfaces	POOR Pitted, highly weathered surfaces with compact coatings or flings or angular fragments	VERY POOR Stickensided, highly weathered surfaces with soft clay coatings or flings
INTACT OR MASSIVE - intact rock specimens or massive in situ rock with low widely spaced discontinuities	90			N/A	N/A
BLOCKY - well interlocked undisturbed rock mass consisting of cubical blocks formed by three intersecting discontinuity sets	80	70			
VERY BLOCKY - interlocked, partially disturbed mass with multi-faceted angular blocks formed by 4 or more joint sets		60			
BLOCKY/DISTURBED/SEAMY - faceted with angular blocks formed by many intersecting discontinuity sets. Persistence of bedding planes or schistosity			40		
DISINTEGRATED - poorly interlocked, heavily broken rock mass with mixture of angular and rounded rock pieces				30	
LAMINATED/SHEARED - Lack of blockiness due to close spacing of weak schistosity or shear planes	N/A	N/A			10

DECREASING INTERLOCKING OF ROCK PIECES (downward arrow)
DECREASING SURFACE QUALITY (rightward arrow)

Fig. 1. GSI(Geological Strength Index) based on geological description.

GIS

GSI(Geological Strength Index)는 Hoek(1994), Hoek & Brown(1997) 그리고 Hoek et al(1998)에 의해 제안되었다. GSI는 현장에서 육안관측만으로 쉽게 사용할 수 있는 실용적인 시스템으로 크게 두 가지 요소로 구성된다. 이 두 요소는 Fig. 1에서와 같이 암반의 강도를 추정할 수 있는 암반의 구조적인 형태와 절리의 거칠기와 변형정도로 표시되는 불연속면의 표면적인 조건으로 구성된다. GSI에 의한 암반평가법이 관찰적인 방법이지만 현지암반의 강도(σ_{cm})와 Hoek-Brown 상수 m_b

와 s 뿐만 아니라 절리암반의 탄성계수 E_m 과 같은 암반의 역학적 성질을 추정할 수 있는 시스템을 제공한다. 이와 같은 두 요소의 조합으로 매우 견고하게 결합된 암체에서부터 매우 파쇄되어 있는 암반까지 다양한 구조의 암반형태에 대해 묘사할 수 있다. Fig. 2는 지질조건이 다른 암반의 구조적인 형태를 나타내는 것으로 암반이 견고하게 결합된 괴상의 암반(Fig. 2(a))에서부터, 작은 블록으로 파쇄되어 있는 절리암반(Fig. 2(b)), 습곡이나 단층 작용이 있는 암반(Fig. 2(c)) 그리고 전단대가 발달하고 있는 암반(Fig. 2(d))을 나타내고 있다. 이와 같이 암반의 구조적 형태와 절리의 거칠기와 변형 정도에 따라서 GSI 값은 Fig. 1에서와 같이 0에서 100까지의 값을 가질 수 있다. GSI의 범위를 결정하기 위해 일반적으로 조사표(Fig. 1 참조)에 하나의 타원 형태로 표시하며, 최종 GSI 값은 평균값에서 $\pm 10\%$ 정도의 범위를 가지게 된다.

3. 새로운 암반분류법의 제안

3.1 개요

새로운 암반분류법의 개발의 필요성은 앞의 서론에서 언급된 것과 같이 RQD 값을 구할 수 있는 시추작업이 거의 이루어지지 않기 때문에 RQD 값은 일반적으로 유추되거나 간접적인 방법을 통해서 이루어지고 있는 실정이다. 실제로 RQD는 절리간격과 중복되는 요소로 생각할 수 있다. 시추장비의 성능이 좋아지면서 연약암반에서도 RQD 값이 높게 나타나는 등 RQD 값의 결정에 있어서도 주의가 필요한 경우가 많이 발생되고 있다. 불연속면의 연속성의 측정에 있어서 일반적으로 작은 노두나 터널과 같이 조사지역이 제한되는 경우가 많고, 시추 코어만으로는 연속성을 측정하는 것이 불가능하다.

RQD 값의 측정없이 그리고 시추코어에 의존하지 않고 또한 여러 불연속면의 요소들에 제한받지 않으면서 암반평가를 실시할 수 있는 암반분류법을 개발하는 것이 목적이다. RQD 값을 구할 수 없는 경우 RQD와 체적절리계수 J_v 사이의 식 (1)과 같은 상관관계식을 이용하여 RQD 값을 유추하고 있지만, 체적절리계수는 터널의 경우나 자유면이 하나 내지 두 개로 나타나는 암반 등에서는 실제로 구하기 힘들며 (1)식(Palmstrom, 1982)의 이용가치는 높지 못하다.

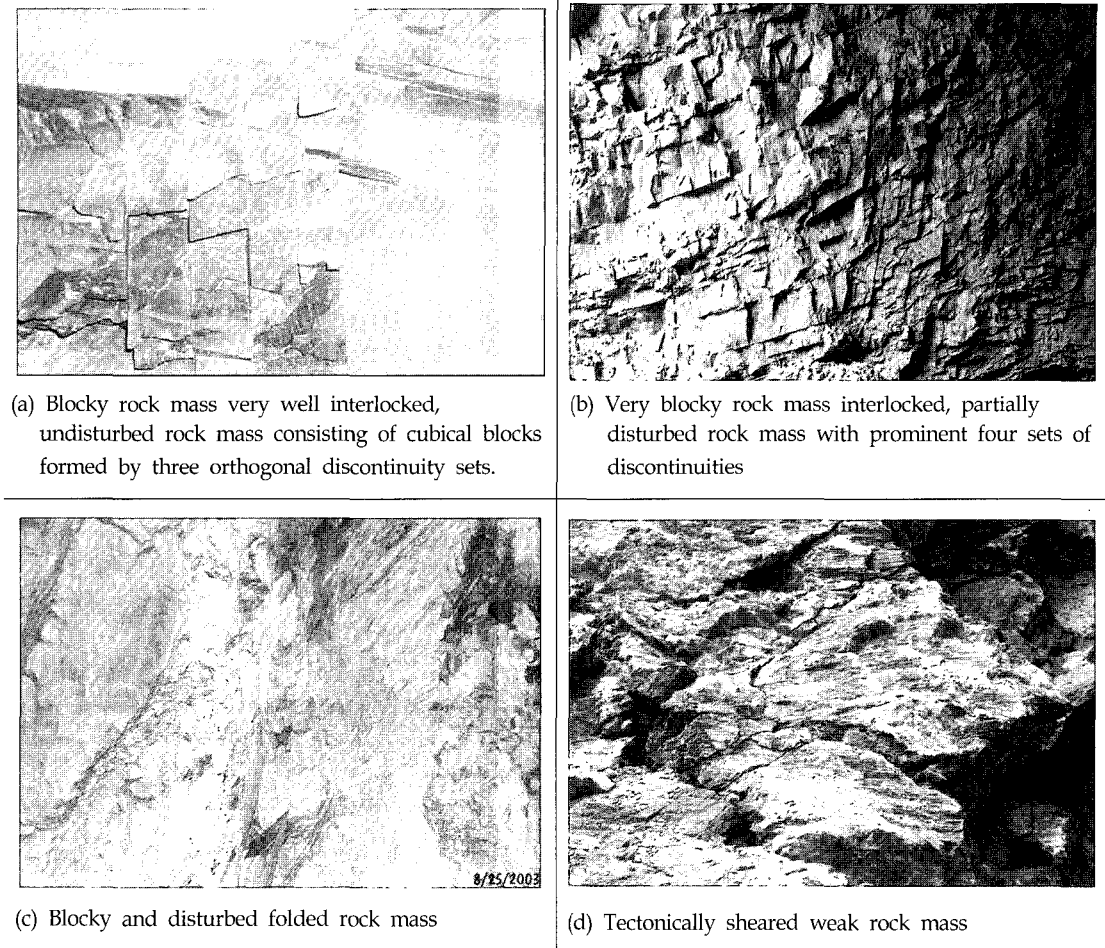


Fig. 2. Different structures in rockmass.

$$RQD = 115 - 3.3J_v \quad (J_v < 4.5 \text{ 이면 } RQD = 100) \quad (1)$$

이와 같은 문제점들을 해소하기 위해 앞에서 언급된 GSI 시스템을 이용하면 많은 불연속면 요소들의 측정없이도 암반의 구조적인 형태와 절리의 거칠기와 변형정도에 대한 불연속면의 표면적인 조건을 관찰함으로써 암반평가를 실시할 수 있다. 따라서 GSI의 요소들을 RMR방법과 결합하여 새로운 암반분류법을 제시하고자 하는 것이다. 여러 학자들에 의하면 RMR값과 GSI의 상관관계가 좋은 결과를 나타내고 있음을 볼 수 있고, GSI의 값과 RMR 값이 거의 같은 값을 나타내고 있으며 다음의 식들과 같이 표시되고 있다(Fig. 3).

$$GSI = RMR - 5 \quad RMR > 23 \quad (\text{Hoek, 1999}) \quad (2)$$

$$GSI = 1.08 \times RMR \quad (\text{선우춘 외, 2004}) \quad (3)$$

새로운 암반분류법을 위해서 현장에서 관측이 보다 용이한 GSI의 암반구조 부분만을 RMR 분류법에 적용시키는 방법을 이용하였으며, 그 제안 방법은 다음과 같다.

- 제안 1(Case_1, Fig. 4(a) 경우):

RMR의 요소중에서 RQD요소만 취하여 RQD의 5등급을 GSI 암반구조의 6등급으로 대체하는 방법이다.

- 제안 2:

RMR의 요소중에서 RQD와 간격요소의 평점의

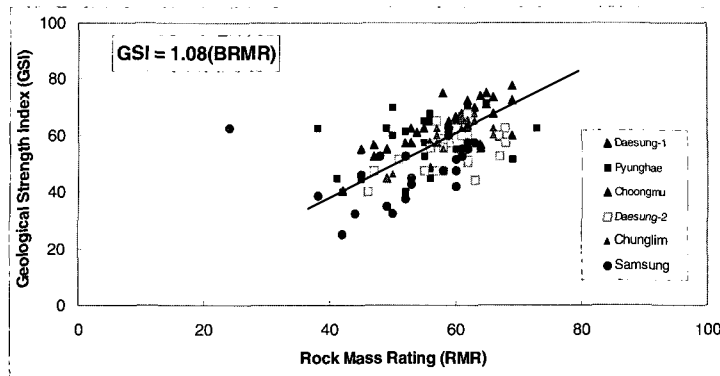


Fig. 3. Correlation between RMR and GSI(선우훈 외, 2004).

RQD		간격 + RQD			
a) Case_1		b) Case_2		c) Case_3	
	평점	RMD	평점1	평점2	암반상태 (RMD1)
90~100%	20		40	40	괴상 또는 신선암(MS) 신선암 또는 매우 견고하게 맞물려 있고, 교란되지 않은 암반. 간격이 매우 넓은 불연속면군을 내포하는 암반
				36	블록상(BL) 직교하는 3개의 불연속면군에 의해 형성된 입방체 형태의 블록들이 치밀하게 맞물려 있고, 교란되지 않은 암반
75~90%	17		32	32	심한블록상(VB) 4개 이상의 불연속면군에 의해 형성된 각진 다면체 블록들이 맞물려 있고, 부분적으로 교란되어 있는 암반
				28	블록상/교란(BD) 많은 불연속면군에 의해 형성된 각진 블록들로 구성되어 있고, 단층이나 습곡의 영향을 받은 암반
50~75%	13		24	24	파쇄(D) 각진 암편과 둥근 암편이 혼합되어 있으며, 심하게 파쇄되어 있고, 맞물림이 불량한 암반
				20	
25~50%	8		16	16	파쇄(D) 각진 암편과 둥근 암편이 혼합되어 있으며, 심하게 파쇄되어 있고, 맞물림이 불량한 암반
				12	
< 25%	3		8	8	파쇄(D) 각진 암편과 둥근 암편이 혼합되어 있으며, 심하게 파쇄되어 있고, 맞물림이 불량한 암반
				6	
< 25%	3		4	4	열리/층리/전단대가 발달(FS) 많은 층상이거나 열리가 발달하고, 구조적으로 전단작용을 받은 연약한 암석. 다른 불연속면위에 조밀한 편리가 지배적이고, 블록성이 완전히 상실된 암반
				4	열리/층리/전단대가 발달(FS) 많은 층상이거나 열리가 발달하고, 구조적으로 전단작용을 받은 연약한 암석. 다른 불연속면위에 조밀한 편리가 지배적이고, 블록성이 완전히 상실된 암반

Fig. 4. The rating of parameters in newly suggested rock classification method.

합인 40점을 GSI의 암반구조로 대체하는 것으로 아래와 같이 2가지 경우에 대해 검토하였다.

▶ Case_2 : RQD 요소의 평점+간격요소의 평점의 합인 평점을 GSI의 암반구조와 대비하여 Fig. 4(b)와 같이 6등급으로 배분하는 경우

▶ Case_3 : RQD요소의 평점+간격요소의 평점 40점을 GSI의 등급의 수를 늘려 Fig. 4(c)와 같이 11등급으로 배분하는 경우

따라서 여러 장소에서 측정된 자료를 상기의 3가지 경우에 대해 분석하면 Fig. 5와 같다.

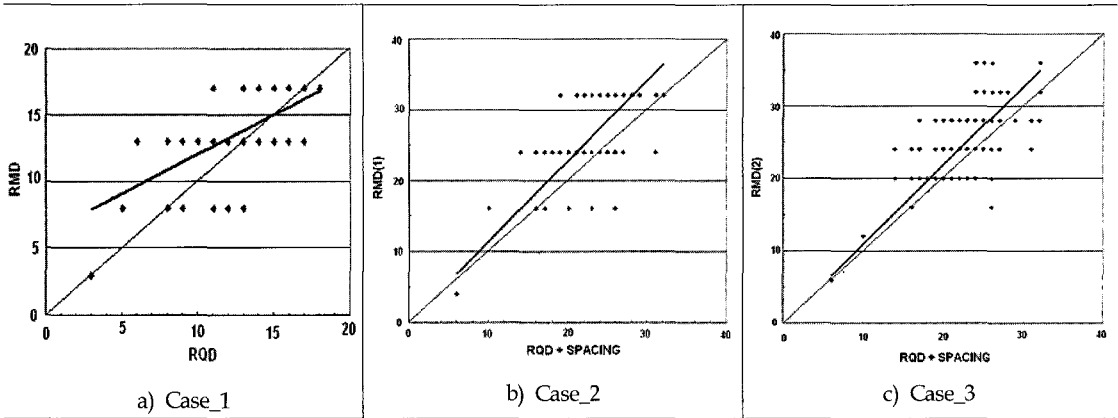


Fig. 5. Correlation between parameters in case of Fig. 4.

- 제안 3(Case_4):

GSI의 100점에 대하여 평가된 점수를 RMR 분류법의 요소들 중 RQD요소(평점 20점), 간격요소(평점 20점) 그리고 불연속면의 조건 요소(평점 30점)들의 총합계 평점을 70점으로 환산한 값을 GSI₇₀이라 표시한다.

이것은 GSI를 구성하는 요소가 암반의 구조적인 형태와 절리의 거칠기와 변형정도로 표시되는 불연속면의 표면적인 조건으로 구성되기 때문에 결국은 RMR의 불연속면과 관련된 RQD, 불연속면의 간격요소 그리고 불연속면조건들의 요소를 대체할 수 있다.

- 새로운 분류법의 제안 (Case_5):

GSI에서는 암석의 강도문제나 지하수 문제 등이 고려되지 않고 있다. 따라서 GSI의 관찰의 용이함을 이용하고, RMR 요소들 중에서 고려되고 있지 않는 이 두요소를 합쳐 새로운 암반 분류법 KRG(KIGAM+RMR+GSI)를 제안하고자 한다. 즉 앞에서 언급한 Case_4에서 구한 GSI₇₀의 값에 RMR의 암석의 강도(평점 15)와 지하수 요소(평점 15)의 두 요소의 평점값을 합쳐 새로운 암반분류법인 KRG의 평점으로 한다.

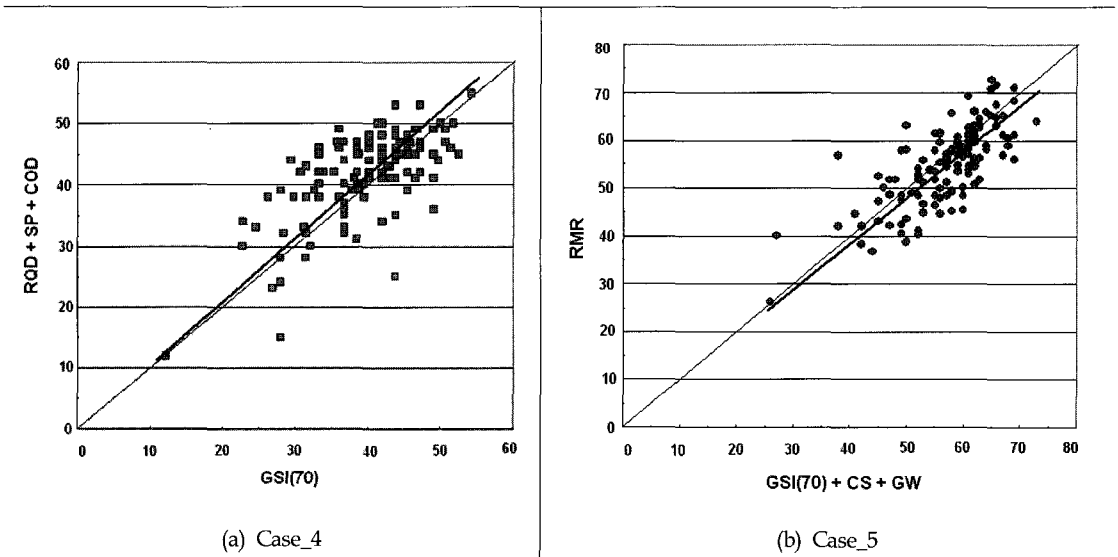


Fig. 6. Correlation between parameters in newly suggested method.

3.2 결과검토

Fig. 5에서와 같이 세 경우 모두 RQD나 불연속면 간격의 평점들이 원래의 암반평가에서도 평점의 값들이 연속적이지 못하고 등급마다 값들이 계단을 형성하고 있기 때문에 비곳값들 또한 계단을 형성하고 있음을 볼 수 있다. Fig. 4(a)의 RQD 요소만을 적용하는 것보다 현장에서 Fig. 4(b)의 RQD나 간격요소가 모두 불연속면의 간격과 관련되는 중복요소로서 RMR의 RQD와 불연속면 간격 두 요소를 동시에 고려하는 것이 타당하다고 볼 수 있다. Fig. 그림 4(c)와 같이 Case_2의 6등급으로 단순화시키기 보다는 Case_3처럼 GSI의 등급과 조화시키는 것이 상관관계에서 유리함을 관찰할 수 있다.

특히 Case_1의 경우는 상관성이 많이 떨어지며, Case_2는 보다 상관성이 좋아지지만 값들이 계단을 형성하여 나타난다. Case_2와 Case_3의 경우는 Case_1의 RQD 요소만을 적용하는 것보다는 RQD와 불연속면 간격요소가 GSI에서의 세로축으로 표시되고 있는 암반의 구조요소와 유사하여 상관성이 좋아지고 있다. Case_3의 경우는 등급의 단계를 더욱 세분화함으로써 상관관계성과 값의 연속성에서 Case_2보다 개선되고 있다. 이것은 GSI를 구성하는 요소가 암반의 구조적인 형태와 절리의 거칠기와 변형정도로 표시되는 불연속면의 표면적인 조건으로 구성되기 때문에 결국은 RMR의 불연속면과 관련된 RQD, 불연속면의 간격요소들은 GSI의 암반의 구조요소와 유사하고 RMR의 불연속면조건들의 요소들(틈새, 연속성, 거칠기, 충전물 및 풍화정도)은 GSI의 절리 거칠기와 변형정도와 동일하게 고려될 수 있다.

Case_4(Fig. 6(a))는 현장에서 측정한 GSI의 값을 70점 만점으로 환산한 값에 RMR의 지하수요소와 압축강도요소를 제외한 값과의 상관관계를 표시한 것으로 좋은 상관관계를 나타내고 있다. Fig. 6(b)는 현장에서 측정한 GSI의 값을 70점 만점으로 환산한 값에 RMR의 지하수요소와 압축강도요소를 합한 값인 KRG 값과 측정된 RMR 값과의 상관관계를 표시한 것으로 좋은 상관관계를 나타내고 있음을 볼 수 있으며 상관식은 다음 식 (4)와 같다.

$$RMR = 0.96 KRG \quad (R^2 = 0.6) \quad (4)$$

따라서 암반평가를 위해 필요한 요소는 RMR의 요소중 압축강도와 지하수요소를 평가하고 GSI 도표를 작성함으로써 기존의 RMR 보다 쉽게 암반평가를 실시할 수 있을 것이다.

4. 결 론

현장에서 측정한 GSI의 값을 70점 만점으로 환산한 값에 RMR의 지하수요소와 압축강도요소를 합한 값인 KRG 값과 측정된 RMR 값이 좋은 상관관계를 나타내고 있음을 볼 수 있다. 따라서 새로운 암반분류법인 KRG의 암반평가방법은 RMR의 요소중 압축강도와 지하수요소를 평가하고, GSI 도표를 작성하는 것이다. 따라서 기존의 RMR 평가방법보다 쉽게 현장에서 조사나 시공단계에서 암반평가를 실시할 수 있다.

조사단계에서의 암반평가뿐만 아니라 암반구조물의 유지나 시공에 따른 암반평가는 암반구조물의 안정성평가를 위한 암반불성값의 추정에도 중요하기 때문에 보다 많은 조사와 꾸준한 자료의 확보를 통하여 암반분류법간의 상관관계의 정밀성을 높이도록 해야 한다.

또한 광산이나 지하비축등과 같이 복합적인 형태의 공동에서는 터널의 경우와 달리 계속적인 굴착에 따른 응력의 재분배는 암석의 안정성에 영향을 주는 공동주변의 기존의 응력-강도비를 변화시킨다. 따라서 공동의 안정성 평가를 위해서는 기존의 암반분류법과 연관시켜 강도의 크기와 형태를 고려하는 수리반경과 같은 요소들과 응력-강도비를 고려할 수 있는 새로운 암반평가법의 개발이 필요하며 이것에 대한 검토를 계속해 나갈 필요가 있다.

사 사

본 연구논문은 한국지질자원연구원의 기본연구사업인 “지하구조물의 안전감시 시스템 연구”과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 선우춘, Karanam UM Rao, 정소길, 전양수, 2004, 석회석 광산에서의 GSI 분류법에 의한 암반특성 연구, 한국암반공학회지, Vol. 14,

- No. 2, pp. 1-11.
2. Barton, N., R. Lien and J. Lunde, 1974, Engineering Classification of Rock Masses for the Design of Rock Support, *Rock Mechanics*, Vol. 6, pp. 189-236.
 3. Bieniawski, Z.T., 1973, Engineering classification of rock masses, *Trans. S. Afr. Inst. Civ. Eng.*, Vol. 15, No. 12, pp. 335-344.
 4. Bieniawski, Z.T., 1989, *Engineering rock mass classification*, John Wiley & Sons, New York, 251p.
 5. Hoek, E., 1994, Strength of rock and rock masses, *ISRM News*, Vol. 2, No. 2, pp. 4-16.
 6. Hoek, E. and E.T. Brown, 1997, Practical estimates of rock mass strength, *Int. J. of Rock Mech. Min. Sci.*, Vol. 34, No. 8, pp. 1165-1186.
 7. Hoek, E., P. Marinos and M. Benissi, 1998, Applicability of the geological strength index(GSI) classification for very weak and sheared rock masses-The case of Athens Schist Formation, *Bull. Eng. Geol. Env.*, Vol. 57, pp. 151-160.
 8. Kendorski, F.S., R.A. Cummings, Z.T. Bieniawski and E.H. Skinner, 1983, Rock mass classification for block caving mine drift support, In: *Proceedings of the Fifth ISRM, Melbourne, Australia*, pp. 51-63.
 9. Palmstrom, A., 1982, The volumetric joint account- A useful and simple measure of the degree of jointing, 4th Int. Congress IAEG, New Delhi, pp. 221-228.
 10. Romana, R.M., 1985, New adjustment ratings for application of Bieniawski classification to slopes, *Proc. Int. Symp. on the role of rock mechanics*, Zactecas, pp. 49-53.
 11. Serafim, J.L. and J.P. Pereira, 1983, Considerations of the Geomechanics classification of Bieniawski, *Proceedings of the International Symp. Eng. Geology and Underground Construction*, LNEC, Lisbon, pp. 1.II-33- II-42.
 12. Unal, E., 1983, Design guidelines and roof control standards for coal mine roofs, Ph.D thesis, The Pennsylvania State University, University Park, 355p.
 13. Weaver, J.M., 1975, Geological factors significant in the assessment of rippability, *Civ. Eng. S. Afr.*, Vol. 17, pp. 313-316.



선 우 춘

1978 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1984 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 1988 프랑스 Paris VI 대학 지구구조학과 이학박사

현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 책임연구원
 (E-mail : sunwoo@kigam.re.kr)



정 용 복

1994 서울대학교 공과대학 자원공학과 공학사
 1996 서울대학교 대학원 자원공학과 공학석사
 2000 서울대학교 대학원 지구환경시스템공학부 공학박사

현재 한국지질자원연구원 지반안전연구부 선임연구원
 (E-mail : ybjung@kigam.re.kr)