

새로운 암반분류법의 제안

A Suggestion of a New Rock Mass Classification System

김민권¹ Kim, Min-Guon

이영생² Lee, Yeong-Saeng

Abstract

The rock mass classification systems used in Korea are not standardized. And also the criteria values differ between agencies. So different opinions for rock mass classification can occur among engineers who participate in each design process. In this research, a new rock mass classification system was suggested to correct these problems. For this purpose, the criteria used in the Korean agencies were compared with the criteria used in foreign agencies and standard criteria were selected. Thereafter rational and objective criteria values were suggested quantitatively for the new classification system.

요지

현재 국내에서 사용되고 있는 암반분류법은 발주처인 각 기관별로 표준화되어 있지 않을 뿐만 아니라 그 기준값이 상이하여 각 단계별 참여기술자간에 암반 판정의 불일치가 야기될 수 있다. 따라서 본 연구에서는 국내에서 적용되고 있는 암반분류법의 문제점을 개선하기 위하여 국내 암반분류 기준들과 국제적 기준들을 비교, 검토하여 표준화된 분류요소를 제시하고, 각 요소에 대한 기준값을 합리적이며 객관적으로 정량화함으로써 이를 종합적으로 이용하는 평가 방식의 암반분류안을 제시하였다.

Keywords : Degree of weathering, Rock mass classification system, RQD, Spacing of discontinuities, Unconfined compression strength

1. 서론

토목구조물 시공 시 구조물을 안전하고 경제적으로 설계하고 시공하기 위하여 대상암반의 공학적 특성을 정확히 파악하기 위한 암반분류를 실시하게 된다. 암반 분류 시 암반은 이용목적에 따라 다양하게 분류할 수 있는데 일반적으로 암반의 특성을 설계 목적에 따라 객관화된 정량적 정보로 제공하는데 있으며 또한 토목 기술자간에 효과적인 정보교환 및 의사소통을 가능하게 하는데 있다. 현재 국내의 암반분류법은 건설공사비 산

출을 위한 분류와 설계 및 시공법 결정을 위한 공학적 목적의 분류로 이원화되어 사용되고 있다. 예를 들면 건설공사비 산출을 목적으로 연,경암을 분류한 후, 구조물의 종류에 따라 설계 목적을 달성하기 위하여 암반을 재분류하고 있다. 건설공사비 산출을 목적으로 하는 암반분류법은 국토해양부 제정 건설표준품셈과 한국엔지니어링진흥협회의 지반조사표준품셈 등이 있으며, 설계 및 시공법 결정과 같은 공학적 목적으로 사용되는 암반분류법에는 발주처인 각 기관(예: 한국도로공사, 서울 지하철공사, 농촌공사 등)별로 각각 다른 암반분류법이 사

1 정회원, (주)지오공간 이사 (Member, Director, GeoSpace (GEIS))

2 정회원, 경기대학교 토목환경공학부 교수 (Member, Prof., Kyonggi Univ., yslee@kyonggi.ac.kr, 교신저자)

* 본 논문에 대한 토의를 원하는 회원은 2009년 5월 31일까지 그 내용을 학회로 보내주시기 바랍니다. 저자의 검토 내용과 함께 논문집에 게재하여 드립니다.

용되고 있다.

그러나 이상의 암반분류법은 그 기준이 표준화되어 있지 않고 또한 각 기관별로 분류 기준값이 상이하며, 분류요소중 주관적 판단이 요구되는 정성적 항목이 포함되어 있어 각 단계별로 참여 기술자간에 암반 판정의 괴리가 발생할 개연성이 크며 이로 인하여 효과적인 의사소통 및 정보교환을 저해할 수 있으며, 설계·시공 및 감리 단계에서의 판단기준 혼란 등과 같은 많은 문제점을 내포하고 있다.

따라서 본 연구에서는 국내에서 적용되고 있는 암반 분류법의 문제점을 개선하기 위하여 국내 암반분류 기준들을 국제기준과 비교, 검토하여 요소별로 합리적이고 객관적으로 정량화된 기준값을 제시한 후 각 요소를 종합적으로 이용하는 평가방식의 암반분류안을 제시하고자 한다. 제시한 암반분류안은 시추주상도상에서 직접적으로 쉽게 정보를 얻을 수 있는 요소를 사용함으로써 각 요소별 특성을 간편하고도 객관적으로 정량화 할 수 있어 쉽고 빠르게 암반을 분류 할 수 있다. 또한 암반 분류에 사용된 요소는 현장에서 쉽고 빠르게 그 값을 얻을 수 있고, 건설공사비 산출시와 설계·시공 및 감리 단계에서 유기적으로 연계될 수 있게 공학적 특성을 포함하고 있는 요소를 사용하였다.

2. 국내 암반분류 방법

국내 암반분류 기준으로는 건설공사비 산출을 주목적으로하는 국토해양부의 건설표준품셈과 한국엔지니어링진흥협회의 지질조사표준품셈 암반분류 기준이 있으나, 이는 암반의 공학적 특성을 충분히 반영하지 못하고 있기 때문에 설계 및 시공법 결정 등과 같은 공학적 측면에서 활용하기에는 매우 미흡한 분류방법이다. 다음으로 한국도로공사, 서울지하철공사, 한국고속철도건설공단, 서울특별시, 대한주택공사, 한국토지공사, 농촌공사 등의 암반분류 방법은 각 기관의 사업수행 목적에 따라 다양한 분류기준을 제시하고 있다. 즉 암반의 공학적 특성을 상당부분 반영하고 있어 설계 및 시공법 결정과 같이 공학적으로 활용하기에 매우 적합하지만 건설공사비 산출에는 사용되지 않고 있다.

2.1 각 기관별 암반분류

2.1.1 국토해양부

국토해양부 건설표준품셈의 암반분류 기준은 주로

건설공사비 산출을 위하여 사용되며, 기준요소는 정성적 요소와 정량적 요소로 구분할 수 있다. 정성적 요소는 육안관찰과 현장에서 쉽게 이용할 수 있는 지수시험 등이며, 정량적 요소는 탄성과 속도와 내압강도이다.

2.1.2 한국엔지니어링진흥협회

한국엔지니어링진흥협회의 지질조사표준품셈의 암반분류 기준은 시추시 굴진상황, 풍화변질상태, 균열상태, 코아상태, 해머상태, 침수시험 등 정성적 요소를 보다 구체적이고 세부적으로 표현하여 분류하였으며, 정량적 요소인 탄성과 속도 및 일축압축강도를 사용하고 있다.

2.1.3 한국도로공사

한국도로공사 분류기준은 정량적 요소로 암질지수(RQD), 탄성과 속도, 일축압축 강도, 코아회수율을 사용하며 부가적으로 육안관찰 사항을 활용하고 있다. 타 기관 분류기준과 다른 대표적인 차이점은 RMR분류 및 Q 분류의 기준값이 제시되어 있으므로 설계 및 시공법 결정 등과 같은 공학적 측면에서 활용하기에는 매우 적합한 분류방법이다.

2.1.4 서울지하철공사

서울지하철공사 암반분류 기준은 암반의 공학적 특성을 상당부분 포함하고 있는 기준을 제시하고 있어 설계 및 시공법 결정 등에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 암반분류의 정량적 판단기준으로 코아회수율(TCR), 암질지수(RQD), 절리간격, 일축압축강도를 사용하고 있으며, 정성적 요소로 육안관찰 및 지수시험 등을 이용한다.

2.1.5 한국고속철도건설공단

한국고속철도건설공단의 지반분류 기준은 한국도로공사 기준과 매우 흡사하여 설계 및 시공법 결정 등에 활용이 용이할 것으로 판단된다. 공학적 특성 평가 요소로는 일축압축강도, 탄성과속도, 변형계수, 지반강도비, 코아회수율(TCR), 암질지수(RQD), 절리간격을 사용하고 있으며, 부가적으로 정성적 요소인 육안관찰 사항을 이용하고 있다.

2.1.6 서울특별시

서울특별시 암반분류 기준은 정량적 요소로 코아회수율(TCR), 암질지수(RQD), 절리면 간격, 일축압축강도, 탄성과속도를 사용하며 국토해양부 및 한국엔지니어링진흥협회의 기준과 유사하다.

어링진흥협회의 암반분류 기준에 비하여 공학적 분류 요소가 상당부분 포함되어 있다. 정성적 요소는 육안 관찰 및 현장에서 쉽게 사용할 수 있는 지수시험이 있다.

2.2 국내 암반분류 기준의 고찰

이상에서 살펴본 바와 같이 국내의 암반분류 기준은 분류목적 및 기관에 따라 다수의 방법이 사용되고 있으며, 암반분류 기준의 적용요소로는 일축압축강도, 탄성파속도, 코아회수율, 암질지수, 절리간격 등의 정량적 요소와, 육안관찰 사항 등의 정성적 요소들로 구성되어 있다.

2.2.1 탄성파 속도

탄성파 속도는 암석의 밀도와 탄성상수에 의해 결정되므로 암석에 대한 풍화도 및 균열상태, 고결도 등에 따라 많은 영향을 받는다. 따라서 암반을 분류하는 기준으로 대부분의 기관에서 사용하고 있는데, 탄성파 속도를 분류요소로 사용하고 있는 기관은 국토해양부, 한국엔지니어링진흥협회, 한국도로공사, 한국고속철도건설공단, 서울특별시, 서울지하철공사 등이다. 분류 기준은 풍화암의 경우 0.7~3.5km/sec, 연암은 1.2~4.0km/sec, 보통암은 1.9~4.5km/sec, 경암은 2.9~4.5km/sec 이상, 극경암은 4.2~4.8km/sec 이상이 적용되고 있다.

2.2.2 일축압축강도

무결암의 강도는 암석의 역학적 특성을 파악하기 위하여 사용되며 현장 암반의 상한 값을 제시해 준다는 점에서 가장 흔히 사용되는 암반분류 요소이다. 일축압축강도를 암반분류에 사용하고 있는 기관은 국토해양부, 한국엔지니어링진흥협회, 한국도로공사, 서울지하철공사, 한국고속철도공단, 서울특별시 등이다.

일축압축강도에 따른 암반분류 기준은 풍화암의 경우 5~70MPa, 연암 5~100MPa, 중경암 25~130MPa, 경암 50~160MPa, 극경암 100~160MPa 이상이 적용되고 있다. 건설표준품셈 및 한국도로공사 분류방법은 타 분류방법에 비하여 기준값이 높은 편이며 상대적으로 한국고속철도공단은 상당히 낮은 값을 사용하고 있다. 이상과 같이 각 기관별로 상이한 기준치를 적용하고 있음을 알 수 있다.

2.2.3 코아회수율(TCR)

코아회수율은 암반의 양호도를 판단하는 기준이 될 수 있다. 암반은 심한 풍화, 절리발달, 단층 파쇄대 분포에 의하여 회수율이 저조하게 나타난다. 이 값은 채취조건 및 채취기술에 따라서도 크게 달라질 수 있는 단점은 있으나 육안관찰을 통하여 보완할 수 있으므로 많은 기관에서 암반분류 요소로 사용하고 있다.

코아회수율을 사용하는 기관은 국토해양부, 한국도로공사, 서울지하철, 한국고속철도건설공단, 서울특별시

표 2.1 각 기관별 탄성파속도에 따른 암반분류 기준

기관 \ 암반분류	풍화암 (km/sec)	연암 (km/sec)	중경암 (km/sec)	경암 (km/sec)	극경암 (km/sec)
건설표준품셈	0.7~1.2	1.2~1.9	1.9~2.9	2.9~4.2	4.2 이상
지질조사표준품셈	1.2 이하	1.2~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5 이상
한국도로공사	3.5 이하	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5 이상	
서울지하철공사	3.5 이하	3.5~4.0	4.0~4.5	4.5 이상	
한국고속철도건설공단	1.2 이하	1.2~2.5	2.5~3.5	3.5~4.5	4.5 이상
서울특별시	1.2 이하	2.0~3.2	3.0~4.2	4.0~5.0	4.8 이상

표 2.2 각 기관별 일축압축강도에 따른 암반분류 기준

기관 \ 암반분류	풍화암 (MPa)	연암 (MPa)	중경암 (MPa)	경암 (MPa)	극경암 (MPa)
건설표준품셈	30~70	70~100	100~130	130~160	160 이상
지질조사표준품셈	5 이하	5~30	30~80	80~150	150 이상
한국도로공사	60 이하	60~80	80~100	100 이상	
서울지하철공사	10 이하	10~25	25~50	50~100	100 이상
한국고속철도건설공단	5 이하	5~25	25~50	50~100	100 이상
서울특별시	10 이하	10~25	25~50	50~100	100 이상

등이며 암반분류 기준은 풍화암의 경우 20 이하~40%, 연암 20~70%, 보통암 40~90%, 경암 70~100%, 극경암 80~100%가 적용되고 있다. 한국도로공사의 분류 기준은 타 기관의 분류기준에 비하여 상당히 높은 기준값을 제시하고 있으며, 한국고속철도건설공단의 경우에는 풍화암과 연암의 경계를 불분명하게 분류하여 놓았다.

2.2.4 암질지수(RQD)

암질지수 또한 코아회수율과 같이 암반의 양호도를 판단하는 기준으로 사용된다. 암질지수를 암반분류의 요소로 사용하고 있는 기관은 국토해양부, 한국도로공사, 서울지하철공사, 한국고속철도건설공단, 서울특별시 등이다. 암반분류 기준은 풍화암 10 이하~20%, 연암 10~40%, 보통암 10~70%, 경암 50~90%, 극경암 75~90% 이상이 적용되고 있다.

국토해양부 제정 건설표준품셈 및 한국고속철도건설공단의 분류는 풍화암과 연암의 분류기준이 모호하며, 건설표준품셈 및 한국도로공사 분류는 경암 및 극경암의 분류기준이 제시되어 있지 않는 것이 특징이다. 또한

한국고속철도건설공단의 중경암 분류기준은 그 기준값의 폭이 10~70%로 상당히 크게 제시되어 있다. 이상의 결과로부터 암질지수 값의 경우 각 기관별로 상이한 기준치를 적용하고 있음을 알 수 있다.

2.2.5 절리간격

절리간격은 암괴의 크기를 판단하는 기준이 되며, 암괴의 크기는 암반거동의 매우 중요한 척도가 된다. 또한 암반의 풍화진행 속도에도 영향을 준다. 절리간격은 국토해양부, 한국엔지니어링진흥협회, 서울지하철공사, 한국고속철도건설공단, 서울특별시 등에서 암반분류 요소로 사용하고 있다.

절리간격에 따른 암반분류 기준은 풍화암 6cm 이하, 연암 5~100cm, 중경암 5~200cm, 경암 5~300cm, 극경암 20~300cm 이상이 적용되고 있다. 표 2.5의 분류기준을 보면 건설표준품셈 분류방법 이외에서는 풍화암과 연암의 분류기준이 명확하게 제시되어 있지 않으며, 또한 서울지하철공사의 경우 타 분류방법에 비하여 기준값이 상당히 크게 제시되어 있다. 이는 시추조사시 채취되

표 2.3 각 기관별 코아회수율에 따른 암반분류 기준

기관	암반분류	풍 화 암 (%)	연 암 (%)	중 경 암 (%)	경 암 (%)	극 경 암 (%)
건설표준품셈		20 이하	20~40	40~70	70~100	100
한국도로공사		40 이하	40~70	70~90	90~100	100
서울지하철공사		30 이하	30~60	60~80	80~100	100
한국고속철도건설공단			40 이하	40~70	70~90	90 이상
서울특별시		30 이하	30~60	60~80	80~100	80 이상

표 2.4 각 기관별 암질지수에 따른 암반분류 기준

기관	암반분류	풍 화 암 (%)	연 암 (%)	중 경 암 (%)	경 암 (%)	극 경 암 (%)
건설표준품셈			25 이하	25~50	50 이상	
한국도로공사		20 이하	20~40	40~70	70 이상	
서울지하철공사		10 이하	10~25	25~50	50~75	75 이상
한국고속철도건설공단			10 이하	10~70	70~90	90 이상
서울특별시		10 이하	10~25	25~50	50~75	75 이상

표 2.5 각 기관별 절리간격에 따른 암반분류 기준

기관	암반분류	풍 화 암 (cm)	연 암 (cm)	중 경 암 (cm)	경 암 (cm)	극 경 암 (cm)
건설표준품셈		6 이하	2~20	15~30	20~50	50 이상
지질조사표준품셈			5 이하	5~10	5~15	20~50
서울지하철공사			100 이하	100~200	200~300	300 이상
한국고속철도건설공단			5 이하	5~10	10~20	20 이상
서울특별시			20~60	60~200	200~300	300 이상

는 코아시료의 자료를 이용한 것이 아니고 현장 노두조사에서 측정된 값을 사용하기 때문이라 판단된다.

2.2.6 굴착 난이도에 따른 분류

지반 굴착시 토층, 리핑암, 발파암 등과 같이 굴착난이도를 기준으로 구분하는 것은 정성적 판단에 기초하는 것이므로 주관적일 경우가 많다. 따라서 유병옥 등(1999)은 현장암반에 대한 탄성과 속도, 암석강도, 암석의 풍화도, 암괴블럭 크기의 4가지 요소로 굴착 난이도를 평가할 수 있는 방안을 제시하였다.

각각의 요소에 기준값(표 2.6 참조)을 정한 후 일정한 기준값을 모두 만족하면 발파암으로, 만족하지 않으면 리핑암으로 분류하게 된다.

2.2.7 각 기관별 암반분류법의 문제점

암반분류의 목적은 공학적 활용에 있어서 암반을 유사한 거동을 보이는 그룹으로 분류하고, 각 그룹의 공학적 특성을 이해하는 기준 및 공학적 설계를 위한 정량적인 자료, 공통적인 기준 등을 제시하는데 있다. 이러한 목적을 충족하기 위한 분류체계는 간편하고, 사용되는 용어가 관련 기술자들에게 널리 통용될 수 있어야 한다. 또한 암반의 중요한 공학적 특성을 포함해야 하며 현장에서 관련된 시험을 빠르고 경제적으로 측정할 수 있는 변수들을 이용하여야 한다(기정철 등 2000).

각 기관별 암반분류법을 고찰하여 보면 공학적 판단을 할 수 있는 기본적인 요소에 대하여 객관화된 정량적 정보를 이용하여 암반을 분류하고 있다고 판단되나 각 기관별 요소 기준값이 서로 상이하여 실무기술자들이 많은 혼란을 일으킬 수 있고, 이는 기술자간의 효과적인 의사소통에 장애요인으로 작용하게 될 것이다. 또한 각 요소를 종합적으로 판단하여 암반분류를 하여야 하나 이 또한 지질기술자의 주관적 판단에 따른 정성적 방법

으로 분류되는 것이 현실이다. 따라서 이상의 문제점을 개선하고 각 요소의 종합적 판단을 보다 정량화하기 위한 암반분류 기법이 필요할 것으로 판단된다.

3. 수정 분류법의 제안

암반의 정의는 어느 공간적 넓이를 가진 자연의 암석 집합체로 공간적 넓이란 토목공사의 대상이 되는 정도의 넓이를 가리키며, 이는 일반적으로 지질학적 분리면과 암반의 불연속면을 포함하고 있다. 따라서 암반의 분류기준으로 크게 두가지 기준 즉 암반의 규모와 대상 암반에 대한 물리·역학적 특성을 고려할 수 있다.

암반의 규모는 다시 암질지수(RQD)와 절리면 간격요소를 사용하여 평가하고, 암반의 물리·역학적 특성은 일축압축강도, 풍화도 요소를 사용하여 평가할 수 있다. 절리면 간격의 경우, 암반의 투수율은 암반을 구성하고 있는 불연속면의 분포 특성과 빈도에 좌우되므로(Terzaghi & Peck(1967)) 지하수 영향을 포함하여 평가할 수 있다. Bieniawski(1989)에 의해서 개발된 RMR 분류법에서와 같이 암반분류에 이용되는 각 요소의 정량화를 위하여 암반분류에 사용될 요소를 선정한 후 각 요소별로 배점을 할당하였으며 이와 같은 배점 값을 이용하여 암반을 분류하였다.

본 연구에서 제안한 암반분류법은 편의상 RMC(Rock Mass Classification)라 명칭하며, 일축압축강도, 암질지수(RQD), 절리간격, 암반의 풍화상태와 같이 시추주상도 상에서 직접적으로 쉽게 획득할 수 있는 4가지 요소를 사용하였다. 각 요소별 배점 기준은 일축압축강도의 경우 ISRM 분류기준과, Venkateswarlu(1986)가 제시한 분류등급을, 암질지수(RQD)는 Deere 등(1966)의 분류등급을, 풍화도 및 절리간격은 ISRM의 분류방법을 참조하였고(노병돈 2002) 또한 국내의 각 기관별 분류기

표 2.6 암반의 굴착 난이도 평가를 위한 체크리스트

항목구분	구분		기준값	비고
기본항목	암석강도 (30%)	슈미트햄머 반발강도	20 이상	· 기본항목은 항상 실시하여야 하는 항목이며, 보완항목은 현장의 상황에 따라 실시. · 단위체적당 절리수는 현장의 RQD를 대신할 수 있는 지수로서 절리수가 30개 이면 시추코아에 의한 RQD는 약 15% 정도임.
		점하중강도	1 MPa 이상	
	풍화도 (30%)	육안관찰	HW 이하	
		흡수율	3.4% 이하	
보완항목	암괴크기 (40%)	단위체적당 절리수	30개 이하	
		절리면 풍화정도	HW 이하	
	탄성파속도	탄성과 속도	1,700m/sec이상	
	암괴크기	코아회수율	20% 이상	

준과 비교, 검토하여 다음 표 3.1과 같이 제안하였다.

배점 기준은 먼저 암반의 규모와 대상 암반의 물리·역학적 특성으로 분류한 후 각각 50%의 배점을 할당하였다. 그리고 이를 4개의 요소로 세분하여, 암반 규모의 경우 암질지수(RQD) 20%와 절리면 간격 30%로, 대상 암반의 물리·역학적 특성은 일축압축강도 20%, 풍화도 30%의 배점을 할당하였다. 이때 기존의 국내 암반분류법에는 적용된 사례가 없어 국내에서 많이 사용되고 있는 RMR 분류방법 등 외국 기준을 검토하여 배점 할당 기준을 적용하였다. RMR 분류방법의 경우 일축압축강도 15%, 암질지수(RQD) 20%, 절리간격 20%, 절리상태 30%, 지하수 15%의 배점을 할당하고 있다. 이는 본 연구에서 제안한 요소별 배점의 할당치와 큰 차이를 보이지 않는다(표 3.1 참조).

이상의 본 연구제안 암반분류법의 체계를 정리하면 다음 그림 3.1과 같다.

3.1 일축압축강도

일축압축강도는 거의 대부분의 암반분류에서 채택하고 있는 암반분류 요소로 무결암의 강도를 기준으로 하는데 ISRM(1978)을 비롯한 수많은 연구가에 의해 검토되어 왔다. ISRM(1978)에 의하면 강도의 상한은 120 MPa, 하한은 1 MPa로 간주하고 있다.

우리나라의 각 기관별 기준 평균값과 ISRM의 분류기준, Venkateswarlu(1986)가 제시한 분류등급을 종합적으로 검토하여 다음 표 3.2와 같이 재분류하였으며 일축압축강도에 대하여 20점을 배정하였다.

3.2 암질지수

암질지수 또한 거의 모든 암반분류 방법에서 채택하고 있는 요소이나 기관별 분류기준이 서로 상이하므로

표 3.1 암반분류 방법의 요소별 배점(노병돈 2002)

분류 방법	암종/구조	일축압축강도	RQD	절리간격	절리상태	지하수	절리방향성	비고
RMR (Rock Mass Rating)		15	20	20	30	15	-12	Bieniawski (1989)
MRMR (Mining Rock Mass Rating)		10	20	30	30	10		Laubscher (1977)
SMR (Slope Mass Rating System)		15	20	20	30	15	-60	Romana (1985)
CMRS (Coal Measure Rock Support)	25	15		30	20	10		Venkateswarlu (1986)
MBR (Modified Basic RMR)		15		40	30	15		Kendorski 등 (1983)
제안 암반분류안 (RMC)*		20	20	20+(10)	30	(10)		

* RMC의 경우 암반분류 요소에 지하수 항목을 별도로 두지 않고 절리간격 요소에 포함하여 평가함.

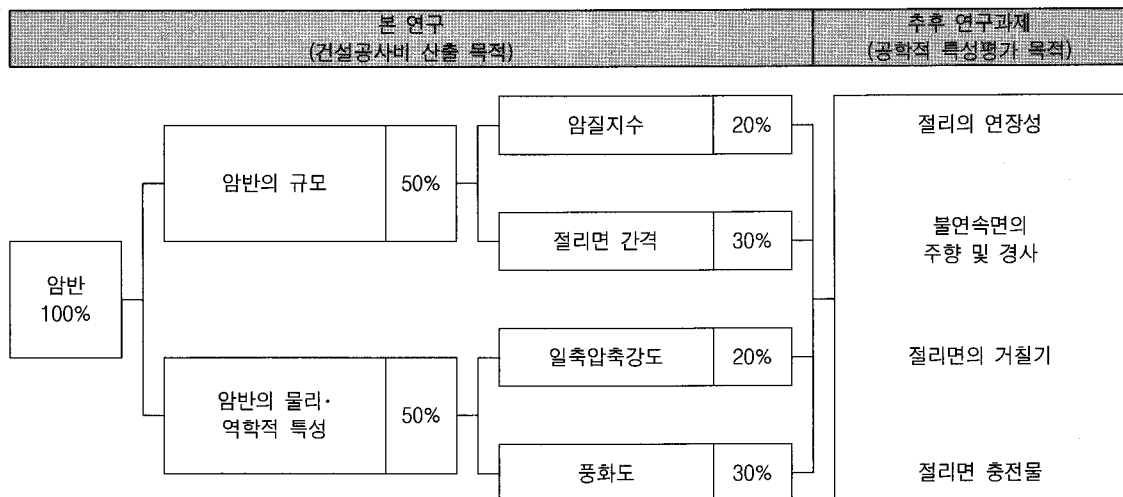


그림 3.1 본 연구제안 수정 암반분류법 체계

본 연구에서는 각 기관별 기준범위의 평균치와 Deere 등(1966)의 분류기준을 검토하여 기준범위를 제안하였으며, 그 배점은 일축압축강도의 배점과 동일한 20점을 배정하였다.

3.3 절리면 간격

절리면 간격 분류기준은 ISRM의 분류방법 및 American Institute of Professional Geologist(1977)에서 제시한 시추상도 작성방법을 이용하였으며 30점을 배정하였다. Terzaghi & Peck(1967)은 암반의 투수율은 암반을 구성하고 있는 불연속면의 분포특성과 빈도에 좌우된다는 가정하에 불연속면의 간격으로부터 암반의 투수율을

예측하는 기준을 제안하였다(표 3.4 참조). 따라서 절리면 간격 요소 평가시 지하수의 영향을 고려할 수 있을 것으로 판단되어 본 연구의 경우 30점으로 다소 큰 배점 값을 배정하였다.

3.4 풍화정도

풍화정도는 정성적인 분류 방법으로서 국내에서도 ISRM의 분류방법 및 American Institute of Professional Geologist(1977)에서 제시한 시추상도 작성방법을 사용하고 있으므로 본 제안에서도 이를 적용하였으며 30점을 배정하였다.

표 3.2 강도(Strength)에 의한 분류

분류기호	용어	국외기준(ISRM) (MPa)	국내기준(평균) (MPa)	제안(MPa)	
				일축압축강도	배점
S-1	Very Strong	120 이상	120 이상	120 이상	20
S-2	Strong	90~120	76.9~120	80~120	15
S-3	Moderate	60~90	49.2~76.7	50~80	12
S-4	Weak	30~60	27.9~49.2	30~50	6
S-5	Very Weak	30 이하	27.9 이하	30 이하	3

표 3.3 암질지수(RQD)에 의한 분류

분류기호	용어	국외기준(Deere 등) (%)	국내기준(평균) (%)	제안	
				암질지수	배점
I	Excellent	90 이상	80 이상	90 이상	20
II	Good	75~90	60~80	60~90	15
III	Fair	50~75	30~60	30~60	10
IV	Poor	25~50	16~30	10~30	8
V	Very Poor	25 이하	16 이하	10 이하	2

표 3.4 암반의 불연속면 간격으로 추정된 투수율(Terzaghi & Peck (1967))

암반의 불연속면 간격	용어	투수계수(m/sec)
극히~매우 좁은 간격	높음	$10^{-2} \sim 1$
보통~좁은 간격	보통	$10^{-5} \sim 10^{-2}$
넓음~매우 넓은 간격	낮음	$10^{-9} \sim 10^{-5}$
무결암	불투수성	$< 10^{-9}$

표 3.5 절리면 간격에 의한 분류

분류기호	용어	국외기준(ISRM) (cm)	국내기준(평균) (cm)	제안(cm)	
				절리면 간격	배점
F-1	Solid	200 이상	132 이상	130 이상	30
F-2	Slightly Fractured	60~200	81~132	80~130	25
F-3	Moderately Fractured	20~60	35~81	40~80	12
F-4	Fractured	6~20	13~35	10~40	6
F-5	Highly Fractured	6 이하	13 이하	10 이하	2

표 3.6 풍화정도에 의한 분류

분류기호	용어	서술	배점
D-1	Fresh	<ul style="list-style-type: none"> 모암의 색이 변하지 않고 결정이 광택을 보임. Joint 면이 부분적으로 얼룩. 타격시 맑은 소리가 남 	30
D-2	Slightly Weathered	<ul style="list-style-type: none"> 일반적으로 Fresh한 상태 절리면의 주변부가 다소 변색됨. Open Joint의 경우는 점토 등이 협재 	20
D-3	Moderately Weathered	<ul style="list-style-type: none"> 상당히 많은 부분이 변색됨. Open Joint로서 절리면 안쪽까지 변질. 대부분의 장석이 변질되어 있으며 일부는 점토화 	16
D-4	Highly Weathered	<ul style="list-style-type: none"> 석영을 제외한 대부분의 입자들이 변색. 절리는 거의 Open Joint. 절리면으로 부터 상당히 깊은 곳까지 변질. 	10
D-5	Completely Weathered	<ul style="list-style-type: none"> 입자들이 부분적으로 존재. 완전히 변질을 받은 상태. 이 단계에서 부터는 토질로 분류 	3

3.5 수정 암반분류안(RMC)

이상에서 논의된 수정 암반분류 안을 요약하면 다음 표 3.7과 같다.

본 연구제안 RMC 분류법은 국내 각 기관에서 사용하고 있는 요소별로 상이한 기준값을 표준화하였고 또한 주관적 판단이 개입될 소지가 많은 정성적 분류기준을 정량적 분류기준으로 구체화하여 제시함으로써, 기존의 국내 각 기관 분류안에 따를 경우 야기될 수도 있는 기술자간의 판정 불일치를 상당부분 상쇄할 수 있을 것으로 기대된다. 따라서 기술자간의 효과적인 의사소

통에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

3.6 RMC의 적용사례

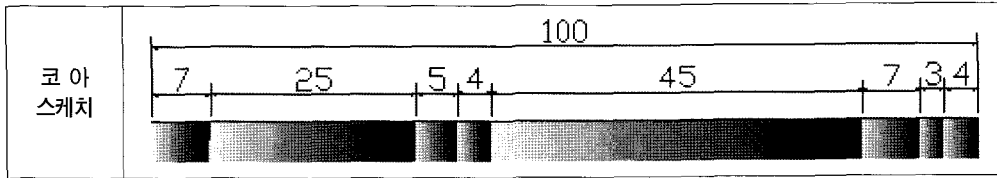
국내 현장의 암반 시추자료에 대하여 현재 실무에서 이용하고 있는 기존 암반분류 방법과 본 연구에서 제시한 RMC 분류법으로 암반을 분류함으로써 기존 분류법과 본 연구제안 RMC분류법의 차이를 비교, 검토하였다. 현장에서 얻은 시추자료 중 연, 경암 분류시 기술자의 성향에 따라 큰 차이를 보일 수 있는 다음의 3가지 사례를 선정하였다(한국도로공사 2006).

표 3.7 RMC 분류 평가항목별 평점

평가항목		평가기준					
1	무결암 강도	분류기호	S-1	S-2	S-3	S-4	S-5
		일축압축 강도(MPa)	> 120	80~120	50~80	30~50	30 이하
	평 점	20	15	12	6	3	
2	암질지수	분류기호	I	II	III	IV	V
		RQD(%)	90 이상	60~90	30~60	10~30	10 이하
	평 점	20	15	10	8	2	
3	불연속 간격	분류기호	F-1	F-2	F-3	F-4	F-5
		간격(cm)	130 이상	80~130	40~80	10~40	10 이하
	평 점	30	20	12	6	2	
4	풍화상태	분류기호	D-1	D-2	D-3	D-4	D-5
		풍화상태	신선	약간풍화	보통	심한풍화	완전풍화
	평 점	30	20	16	10	3	
RMC		RMC = ① + ② + ③ + ④					
점 수		100~81	80~61	60~41	40~21	20~0	
암 반 분 류		극경암	경암	중경암	연암	풍화암	
		발 파 암				리평암	

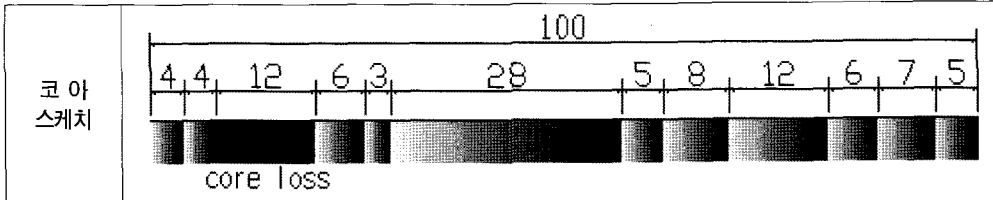
*요소별 평점 그래프를 작성하여 분석하면 더욱 정밀한 분석이 가능함.

TCR/RQD(%) = 100/70, 일축압축강도(MPa) = 50
 절리간격(cm) : 12.5, 풍화도 : Moderately Weathered(D-3)



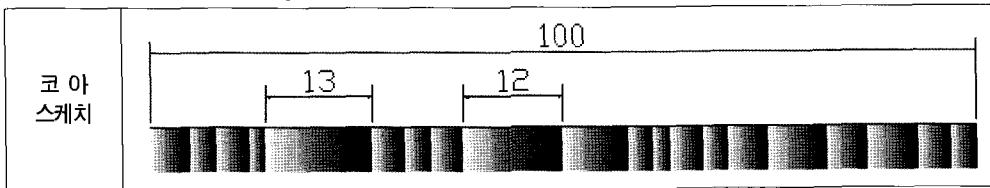
(a) case-1

TCR/RQD(%) = 88/40, 일축압축강도(MPa) = 80
 절리간격(cm) : 10, 풍화도 : Slightly Weathered(D-2)



(b) case-2

TCR/RQD(%) = 100/25, 일축압축강도(MPa) = 110
 절리간격(cm) : 5, 풍화도 : Slightly Weathered(D-2)



(c) case-3

그림 3.2 각 사례별 시추결과

다음 표 3.8 ~ 표 3.10에 각 기관별 분류법, RMR분류법과 비교를 위한 Basic RMR(1989) 및 본 연구제안 RMC분류법에 따른 분류결과를 나타내었다. 각각의 사례 분석결과를 보면 각 기관별로 암반 분류가 다르게 나타나며, 또한 동일 기관의 경우에도 각각의 분류요소에 따라 암반분류 결과가 다르게 나타났다. 설계 및 시공법 결정을 위한 공학적 목적의 분류방법 중 하나인 Basic RMR(1989) 분류법의 경우 시추주상도상에서 직

접 구할 수 있는 일축압축강도, RQD, 절리간격은 요소별 배점 그래프를 이용하여 배점을 산정하였다. 그리고 절리상태 및 지하수 상태의 경우 지표지질조사, 공내영상촬영(Bips) 등의 조사결과를 이용하여야 정확하게 분석할 수 있으나 본 연구제안 RMC법은 시추주상도 상의 자료만을 이용하여 분석하게 되므로 시추주상도 상의 여러 요소들을 종합적으로 검토한 후 각각의 상태를 가정하여 배점을 산정하였다. 절리상태 중 불연속면의 연

표 3.8 case-1의 암반분류 결과

기관	분류요소	TCR 100%	RQD 70%	일축강도 50MPa	절리간격 12.5cm	풍화도 D-3
건설표준품셈		극경암	극경암	풍화암	연 암	중경암
지질조사표준품셈		-	-	중경암	경 암	중경암
한국도로공사		극경암	중경암	풍화암	-	중경암
서울지하철공사		극경암	경 암	중경암	연 암	중경암
한국고속철도건설공단		극경암	중경암	중경암	경 암	중경암
서울특별시		극경암	경 암	중경암	풍화암	중경암
Basic RMR(1989)		일축강도 + RQD + 절리간격 + 절리상태 + 지하수상태 5.5+13.7+6.6+15(=2+5+3+2+3)+10=50.8, III 등급(보통의 암반)				
RMC		6+15+6+26=43, 중경암(발파암)				

표 3.9 case-2의 암반분류 결과

기관	분류요소	TCR 88%	RQD 40%	일축강도 80 MPa	절리간격 10cm	풍화도 D-2
건설표준품셈		중경암	중경암	연 암	연 암	경 암
지질조사표준품셈		-	-	중경암	경 암	경 암
한국도로공사		중경암	연 암	연 암	-	경 암
서울지하철공사		중경암	중경암	경 암	연 암	경 암
한국고속철도건설공단		중경암	중경암	경 암	중경암	경 암
서울특별시		중경암	중경암	경 암	풍화암	경 암
Basic RMR(1989)	일축강도 + RQD + 절리간격 + 절리상태 + 지하수상태 7.8+8.3+6.2+18(=2+4+3+4+5)+10=50.3, III 등급(보통의 암반)					
RMC	12+10+6+20=48, 중경암(발파암)					

표 3.10 case-3의 암반분류 결과

기관	분류요소	TCR 100%	RQD 25%	일축강도 110MPa	절리간격 5cm	풍화도 D-2
건설표준품셈		극경암	연 암	중경암	풍화암	경 암
지질조사표준품셈		-	-	경 암	연 암	경 암
한국도로공사		극경암	연 암	경 암	-	경 암
서울지하철공사		극경암	연 암	경 암	풍화암	경 암
한국고속철도건설공단		극경암	중경암	경 암	연 암	경 암
서울특별시		극경암	연 암	경 암	풍화암	경 암
Basic RMR(1989)	일축강도 + RQD + 절리간격 + 절리상태 + 지하수상태 9.9+6.0+4.9+18(=2+4+3+4+5)+4=42.8, III 등급(보통의 암반)					
RMC	15+8+2+20=45, 중경암(발파암)					

장성은 불연속면의 종류 및 거칠기 등을, 틈새 및 충전물은 시추주상도상의 기술내용 및 풍화도를 참조하였으며, 지하수 상태는 RQD, 절리면 간격, 충전물, 공내 지하수위 등을 참조하였다. Basic RMR(1989)로 분석한 결과 각 case 모두 III 등급의 보통의 암반으로 분류되었으나, 이는 본 연구제안 RMC법과의 인위적 비교를 위하여 절리상태 및 지하수 상태의 항목을 가정한 후 분석하였기 때문에 각각의 분석자 마다 다른 결과 값이 도출될 개연성도 배제할 수 없다.

이와 같이 각 기관별로 판정결과가 다른 이유는 암반 분류 시 주로 기술자의 종합적 판단하에 암반을 분류하게 되고, 이때 기술자의 성향 즉 어떤 요소를 가장 중요하게 생각하느냐에 따라 암반 분류결과가 달라지기 때문이다. 즉 기술자의 주관적 판단에 의한 경험적 방법에 의존함으로써 개개 기술자간에 큰 차이가 나타날 수 있다. 일반적으로 지질기술자의 경우 사례 1번은 경암, 사례 2번은 중경암, 사례 3번은 연암으로 분류하기 쉽다. 이는 실무 기술자들이 암질지수(RQD)를 암반분류 요소 중에서 가장 비중있게 고려하고 있기 때문이다. 물론 암질지수의 경우 현장에서 쉽고 빠르게 얻을 수 있는 요소

이며 또한 정량적으로 표현할 수 있기 때문에 많이 사용한다. 하지만 감리기술자의 경우에는 암질지수 보다는 일축압축강도 값을 더욱 중요하게 고려하기 때문에 이때에는 연, 경암의 분류가 정반대의 결과로 나타날 수도 있다. 따라서 두 기술자간의 효과적인 의사소통이 이루어질 수 없게 되며, 또한 현장조사 자료의 정보공유에도 문제가 발생할 수 있다. 본 연구에서 제시한 암반분류법(RMC)에 의하여 본 연구사례 암반을 분류하여 보면 각각의 경우 모두 중경암으로 분류된다. 이는 각각의 요소를 정량적으로 분석하여 사용함으로써 보다 객관화된 정보를 제공하게 되므로 RMC분류법을 사용하는 모든 기술자들은 동일한 암반분류 결과를 얻을 수 있게 된다. 따라서 기술자간의 의견차를 상당부분 줄일 수 있어 기술자간의 정보공유 및 의사소통에 크게 기여할 것으로 기대된다.

4. 결론

국내 각 기관별 암반분류 기준을 고찰하여 보면 대부분 객관화된 정량적 정보를 이용하여 암반분류에 사용

하고 있으나, 각 기관별 요소 기준치가 서로 상이하어 실무기술자들이 많은 혼란을 일으킬 수 있으며 따라서 기술자간 효과적인 의사소통을 저해할 수 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 각 기관별로 다른 분류기준 값에 대하여 그 평균치와 외국의 암반분류 기준값을 상호 비교함으로써 새로운 기준치를 설정하였다. 즉 본 연구에서 제안한 RMC 체계는 현장 시추자료로부터 직접 획득할 수 있는 일축압축강도(20점), 암질지수(20점), 절리간격(30점), 풍화정도(30점)의 4가지 요소를 이용하였는데, 각 요소들은 5개의 범위로 세분하고 각각의 범위에 점수를 할당한 후 합산점수를 이용하여 암반을 분류할 수 있도록 하였다. 그 결과 일축압축강도의 경우 S-1 120MPa 이상, S-2 80~120MPa, S-3 50~80MPa, S-4 30~50MPa, S-5 1~30MPa로 설정하였으며, 암질지수(RQD)는 I 등급 90% 이상, II 등급 60~90%, III 등급 30~60%, IV 등급 10~30%, V 등급 10% 이하를, 절리간격의 경우 F-1 130cm 이상, F-2 80~130cm, F-3 40~80cm, F-4 10~40cm, F-5 10cm 이하로 설정하였다. 풍화정도는 정성적인 분류방법으로서 ISRM 기준을 적용하였다.

실제 현장의 시추조사 자료를 이용하여 기존의 분류방법과 RMC 체계에 따라 암반을 분류한 결과 기존의 분류방법을 이용할 경우 기술자의 성향에 따라 각기 다른 분류결과가 나타났지만, RMC 분류법의 경우 각각의 요소를 정량적으로 분석하여 사용함으로써 개별 기술자에 상관없는 동일한 암반분류 결과가 나타났다. 따라서 기술자간의 의견차를 상당 부분 줄일 수 있어 기술자간의 정보공유 및 의사소통에도 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

향후 계속된 연구를 통하여 구조물의 종류에 따라 불연속면의 공학적 특성 등을 고려 요소로 추가할 경우 암반의 연·경암 분류와 더불어 설계 및 시공법 결정 등 공학적 측면에서 활용할 수 있는 수정 암반분류방법(Modified RMC)을 제시할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

1. 강병무, 박인식, 오대열, 이수곤 (2003), *암반의 조사와 적용*(암반분류에 대한 토의), (사)대한지질공학회, 부록 1, pp.1-16.
2. 기경철, 김일중 (2000), *산·학인을 위한 지반공학특론*, 성안당, pp.333-378.
3. 김원영 (2003), *암반의 조사와 적용*(공학지질도 작성), (사)대한지질공학회, 1.3, pp.1-21.
4. 노병돈 (2002), “공학적 지질조사의 정량화와 암반분류”, *2002 지질공학 단기 실무강좌*, (사)대한지질공학회, pp.5-41.
5. 박인식 (2003), *암반의 조사와 적용*(시추조사), (사)대한지질공학회, 1.4, pp.1-35.
6. 유병욱, 황영철, 조성호 (1999), “암반의 굴착난이도 평가를 위한 제안”, *1999년 지반조사 학술발표회논문집*, 한국지반공학회, pp.1-8.
7. 윤운상, 김정환, 김학수 (1998), *암반 시공을 위한 공학적 지질조사 및 암반평가 시스템*, 지질공학연구회, pp.122-156.
8. 이인모 (2001), *암반역학의 원리*, 새문출판사, pp.222-226.
9. (사)한국지반공학회 (1998), *지반공학 시리즈 7 터널*, 구미서관, pp.55-98.
10. 한국도로공사 (1992), *도로설계요령 제 4권 터널편*.
11. 국토해양부 (1997), *구조물 기초 설계기준*.
12. 한국엔지니어링진흥협회 (2004), *지반조사 표준품셈*.
13. 서울특별시 (1996), *지반조사편람*.
14. 서울특별시 지하철건설본부 (2001), *지하철 9호선 910공사 건설공사 지반조사 보고서*.
15. 한국도로공사 (2006), *음성 충주간 고속도로 건설공사 제 6공사 지반조사 보고서*.
16. American Institute of Professional Geologists (1977), *Geologic Logging and Sampling of Rock Core for Engineering Purposes*.
17. Bieniawski, Z. T. (1989), *Engineering Rock Mass Classification*, John Wiley & Sons, New York.
18. Deere, D. U. and Muller, R. P. (1966), Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock, *Tech. Report, No. AFNLTR-65-116*, Air Force Weapons Lab.
19. International Society for Rock Mechanics (1981), Suggested Methods for the Quantitative Description of Discontinuities in Rock Mass, *ISRM Suggested Methods*, Pergamon Press.
20. Kendorski, F., Cummings, R., Bieniawski, Z. T. and Skinner, E. (1983), “Rock Mass Classification for Block Caving Mine Drift Support”, *Engineering Rock Mass Classification* (ed. Bieniawski, Z. T.), John Wiley & Sons, New York.
21. Romana, M. (1985), “New Adjustment Ratings for Application of Bieniawski Classification to Slopes”, *Int. Sym. on the Role of Rock Mechanics*, Zacatecas, pp.49-53.
22. Terzaghi, K. & Peck, R. B. (1967), *Soil Mechanics in Engineering Practice*, John Wiley & Sons, New York, 2nd ed.
23. Venkateswarlu, V. (1986), Geomechanics Classification of Coal Measure Rocks Vis-A-Vis Roof Supports, *Engineering Rock Mass Classification* (ed. Bieniawski, Z. T.), John Wiley & Sons, New York.

(접수일자 2008. 4. 30, 심사완료일 2008. 11. 6)