

절리빈도를 고려한 규암 암반에서의 합리적인 암판정 연구

이수곤^{1)*}, 김민성²⁾, 이경수³⁾, 이치홍³⁾

A Study on Rock Mass Classification in Quartzite Rock Bed with Consideration of Joint Frequency

Su-Gon Lee, Min-Sung Kim, Kyung-Soo Lee and Chi-Hong Lee

Abstract Generally, the method used most widely for rock mass classification is considering the rock strength and development of joint frequency. However, if rock bed has micro-crack and long joint, this method is not rational. Therefore, the difficulties of excavation in the rock bed with complicated geological condition are decided by combining joint frequency, indoor tests (uniaxial compressive strength, point load test, indoor elastic wave velocity, etc.) and field seismic refraction survey, and the rock mass classification should be implemented by considering their interrelationship.

Key words Rock mass classification, Micro-crack, Uniaxial compressive strength, Schmidt hammer strength, Point load test, Seismic refraction survey.

초 록 일반적으로 암판정을 수행하기 위해 가장 널리 사용되는 방법은 암석의 강도와 절리의 발달빈도를 고려하는 것이다. 하지만 미세균열과 연장성이 긴 절리들이 암반에 존재하고 있는 경우에는 이러한 방법이 합리적이지 않다. 그러므로 복잡한 지질조건을 가지고 있는 암반에서의 굴착난이도 결정은 절리빈도와 실내시험(일축압축강도, 점하중강도, 실내탄성파속도 등)과 현장탄성파속도와의 상관관계를 종합하여 암판정을 수행하는 것이 더욱 더 합리적이라고 판단된다.

핵심어 암판정, 미세균열, 일축압축강도, 슈미트해머강도, 탄성파탐사

1. 서 론

본 연구지역인 경기도 부천시 OO지역은 규암(Quartzite) 암반이 주를 이루고 불연속면이 발달해 있으며 암반이 지표면에 노출되어 있어 풍화가 빠른 속도로 진행 중에 있다. 일반적으로 규암은 퇴적암의 일종인 사암(Sandstone)이 변질되어 형성되기 때문에 모래의 주성분인 석영 질이 90% 이상이며 풍화를 비교적 적게 받는 특성에 지표면에서부터 풍화심도도 비교적 적고, 또한 지형적으로 산봉우리를 형성하는 경우가 많다(Richard E. Goodman, 1992).

하지만 본 연구지역의 규암 암반의 특징은 노두표면에 미세균열이 발달해 있고 절리면의 표면에 산화철 피

복이 되어 있기 때문에 풍화가 많이 진행 중인 것으로 오판할 소지가 있으며 특히 굴착난이도 평가 시 리핑암(ripping rock)과 발파암(blasting rock)을 판단하기가 매우 어렵다. 따라서 토목 공사시 분쟁의 소지가 발생할 수 있으므로(이수곤, 이송, 1995) 본 연구지역과 같이 미세균열과 연장성이 긴 절리가 동시에 발달해 있는 암반에서의 객관적이고 합리적인 암판정 방법을 실내 시험과 현장시험을 통하여 검토하고자 하였다.

2. 암반의 특성

2.1 연구지역의 지질

본 연구지역의 지질은 경기 편마암 복합체(Kyeonggi gneiss complex)의 일부로서 주로 편마암류, 그 후기에 관입한 화성암류, 층적층 등으로 구성된다(Fig. 1). 이 지역 일대에 주로 분포하고 있는 암석은 호상 흑운모 편마암(Banded biotite gneiss)이며 지금까지로부터 약 25 억 년 전에 생성된 선캄브리아기의 암석이다. 이후 이

¹⁾ 서울시립대학교 토목공학과 부교수

²⁾ 서울시립대학교 토목공학과 박사과정

³⁾ 서울시립대학교 토목공학과 석사과정

* 교신저자 : sglee@uoscc.uos.ac.kr

접수일 : 2007년 3월 2일

심사 완료일 : 2007년 4월 13일

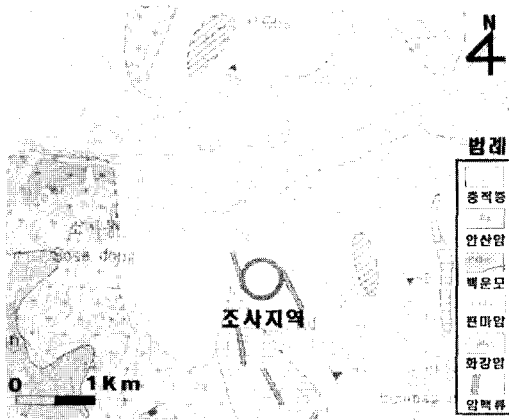


Fig. 1. 본 연구지역의 지질도

들은 중생대 쥐라기의 화성암류(대보 화강암, 안산암, 규장암 등)에 의하여 관입되었으며, 이들 모든 암체는 제4기 충적층에 의해 부정합으로 덮혀 있고 호상 혹은 모 편마암내에 소규모로 협제하여 분포하고 있는 규암으로 이루어져 있다. 특히, 본 연구지역에 분포하는 암석인 규암(Quartzite)은 주로 석영으로 이루어진 등립상의 변성암으로서 일반적으로 사암이나 처트(Chert)가 광역 변성작용으로 인하여 열수변성을 받아 재정출되어 형성되었다.

2.2 풍화 발달상태

현장에서 채취한 암괴와 현장의 암반을 육안 관찰해 보면 현장 암반(Fig 2.(a))의 경우 절리면의 표면이 산화철 피복작용을 받아 붉게 보이며 암반의 표면에 미세 균열이 발달해 있어 풍화를 심하게 받은 것처럼 보여진다. 하지만 현장에서 채취한 암괴(Fig 2. (b))를 조금만 깨어 내부를 살펴보면 풍화 작용을 거의 받지 않은 신선한 회색빛이 나타나고 있어 암판정 시 오판의 우려가 있다.

2.3 불연속면 발달상태

본 연구지역의 불연속면의 특징은 상대적으로 연장성이 긴 절리와 지표면에 발달해 있는 짧고 치밀한 미세균열이 동시에 발달해 있다. 상대적으로 연장성이 긴 절리의 방향성은 규칙적인 편이며, 절리발달간격은 0.1~0.3 m, 절리 연장성은 0.4~2.0 m, 절리 틈새는 대체로 닫힌 상태이나 간혹 수 mm 정도로 약간 벌어진 경우도 있다. 또한 짧고 치밀한 미세균열의 방향성은 불규칙하며 발달간격이 0.03~0.1 m, 연장성이 0.1~0.2 m이며 틈새는 대체로 닫힌 상태이다(Fig. 3).

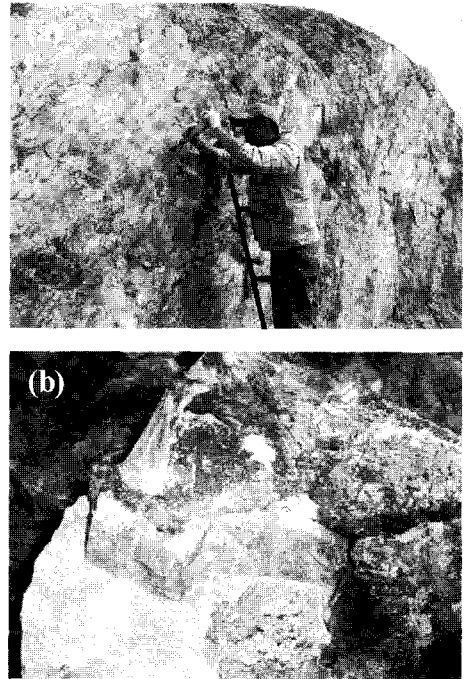


Fig. 2. 연구 구간 암반의 풍화특징

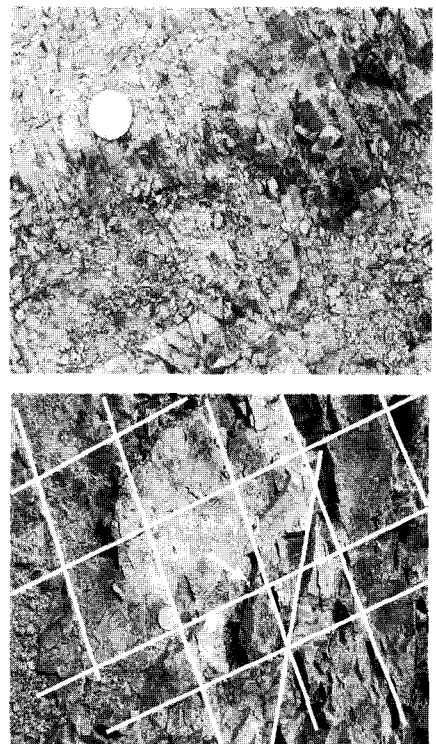


Fig. 3. 연구 구간 암반의 불연속면의 특징

3. 암반의 공학적 특징

연구지역의 암석강도를 객관적이고 정량적으로 측정하기 위하여 슈미트 해머 타격시험과 점하중강도 및 현장에서 채취한 암석시료(NX 규격) 8개를 통해 암석 기본 물성 시험, 일축압축강도 시험과 실내 탄성과 시험을 실시하였다.

결과를 종합적으로 관찰해 보면 비중은 2.67~2.72를 보이며, 흡수율은 0.11~0.23%의 범위를 보이고 있다(이수곤 & 이송, 1995). 또한 8개 코아시료에 대한 습윤 상태에서의 일축압축강도결과는 59~1,303 kgf/cm²의 넓은 범위를 보이는데, 낮은 강도를 보이는 암석시료는 육안으로 예측할 때에는 연암정도의 높은 강도로 추정되었으나 실제로는 예상한 것보다 훨씬 낮은 강도를 보이고 있었다. 이는 최대 암석의 강도는 1,303 kgf/cm²

으로 암석의 이방성의 영향보다는 암석 시료 내에 존재하고 있는 미세균열의 영향 때문이라고 판단된다. 그러나 일반적으로 일축압축강도는 점하중 강도의 20~25배에 해당하는 상관관계를 보이는 것으로 알려져 있으나(ISRM, 1976~1987) 시험결과를 보면 점하중 강도에 비하여 일축압축강도가 상당히 낮게 나오는 것을 볼 수가 있다(Fig. 5, Table 1).

실내 탄성과 속도(P파, S파)를 습윤 상태와 건조 상태로 구분하여 측정한 결과, P파 속도는 건조 상태에서 3.98~5.06 km/sec이며, 습윤 상태에서는 4.16~5.20 km/sec를 보이고, S파 속도는 건조 상태에서 2.34~2.98 km/sec, 습윤 상태에서는 2.45~3.06 km/sec로 측정되어 보통암~경암 정도의 속도를 보이는 것으로 나타났다(Fig. 6, Table 1).

일반적으로 일축압축강도와 탄성과 속도와의 관계는

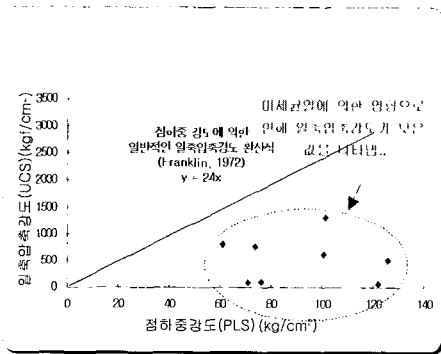


Fig. 5. 일축압축강도와 점하중 강도와의 상관관계

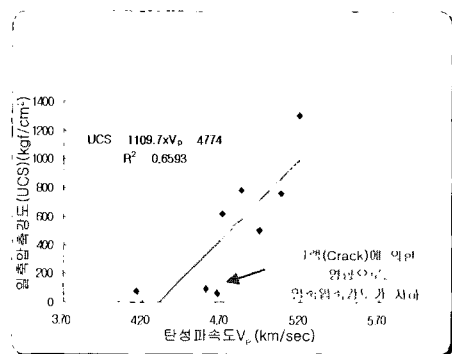


Fig. 6. 일축압축강도와 실내 탄성과 속도와의 상관관계 (습윤 상태)

Table 1. 본 연구지역의 규암의 공학적인 특징

Sample Number	슈미트 해머 반발 수치 (SHV)	점하중 강도		일축압축강도 (kgf/cm ²)	실내탄성과 속도 (V _p : km/sec)	
		Log-Log 그래프에 의하여 추정된 I _{s(50)}	점하중 시험에 의해 추정된 일축압축강도 (kgf/cm ²)		건조상태	습윤상태
1	34	71.2	1709.3	79	건조상태 3.98	습윤상태 4.16
2	34	76.2	1829.2	92	건조상태 4.48	습윤상태 4.61
3	36	73.7	1770.3	764	건조상태 4.87	습윤상태 5.08
4	38	61.0	1466.1	787	건조상태 4.71	습윤상태 4.83
5	34	100.52	2412.6	620	건조상태 4.51	습윤상태 4.71
6	34	121.9	2926.9	59	건조상태 4.50	습윤상태 4.68
7	38	101.3	2433.1	1303	건조상태 5.06	습윤상태 5.20
8	34	125.8	3021.3	504	건조상태 4.71	습윤상태 4.94

직선상의 상관관계를 보이는데 연구지역에서 채취한 시료를 통한 일축압축강도와 탄성파 속도와와의 관계는 미세균열들의 영향으로 분산치가 크게 나타나는 것을 볼 수 있었다. 암석 표면에서의 슈미트해머 반발지수가 25 이상이 될 경우, 절리의 발달정도에 관계없이 연암으로 분류하는 기준(이수근, 이송, 1995)을 적용한다면, 대상지역은 반발지수가 34~38로 나타나 연암 이상의 강도를 갖는 양호한 암석으로 구성되어 있는 것으로 판단된다. 전체적인 슈미트해머반발수치는 Fig. 4에 나타나 있다. 본 지역의 절리면 표면이 주로 열수변질작용에 의하여 붉게 보일뿐이지 그 암석의 내부는 밝은 회색빛의 비교적 신선한 편으로서, 현장 암반에 대한 슈미트해머타격 시험결과는 지표면에서 40%정도만 얇은 두께의 풍화암으로 피복되어 있으며, 60%정도는 대부분은 연암으로 그대로 노출되어 있다.

4. 탄성파탐사 결과

복잡한 지질구조를 가지고 있는 본 연구구간은 합리적이며 객관적인 암반정 연구를 위해 비교적 간단한 탄성파굴절탐사를 시행하였다(일본OYO, Model-1216A). 현장탄성파 탐사의 P파 속도가 2.15 km/sec보다 빠르면 발파암, 1.85 km/sec 이하이면 리핑암으로 해석하였다(Table 2). 연구구간은 약 400 m² 면적에 해당되는 정사각형 형태로 정밀한 연구를 위해서는 가로, 세로

각각에 3측선 총 6개의 측선 사용하였다. 또한 지오폰(Geophone)을 1 m 간격으로 24채널(측선 길이 23 m)을 사용하였다. 육안 관찰시 암반에 붉은색 산화철과 미세균열로 인해 매우 풍화가 심하게 진행 중인 것으로 판단되었으나 현장 탄성파속도는 생각했던 것보다도 높아서 연암이상의 강도를 보이는 암반층은 대부분 발파암으로 파악되었다. Fig. 7은 평면도상에서 풍화심도를 쉽게 나타내기 위하여 작성한 단면도이다. 지표면에 서부터 연암(현장 탄성파 속도: 1.2~1.9 km/sec)까지의 심도를 3 등급으로 구분하였는데, ① 지표면으로 부터 심도 0~-0.1 m, ② 심도 -0.1~-0.5 m, 그리고 ③ 심도 -0.5~-1.0 m까지의 3개의 영역을 설정하여 풍화심도 및 연암의 분포도를 보여준다. 결과를 종합해 보면 풍화의 심도가 지표면~-0.1 m까지가 약 45%, -0.1~-0.5 m까지가 약 40%, -0.5~-1 m까지가 약 15%정도를 차지하여 대부분의 풍화가 지표면내에서만 이루어지는 것으로 나타나고 있다.

Table 2. 본 연구지역 적용한 각 암반 강도별 탄성파속도 (건설표준품셈, 2000)

리핑암 (Ripping Rocks)		발파암 (Blasting Rocks)		
풍화토	풍화암	연 암	보통암	경 암
0.7 km/sec 이하	0.7~1.2 km/sec	1.2~1.9 km/sec	1.9~4.2 km/sec	4.2 km/sec 이상

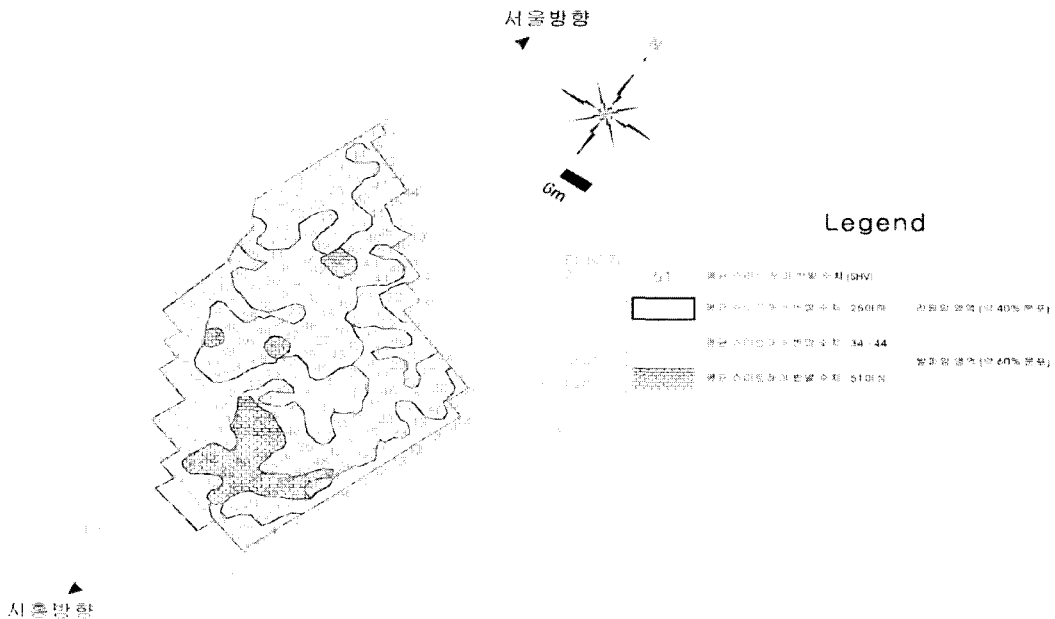


Fig. 4. 연구지역의 현장 슈미트해머 반발강도를 표시한 그림

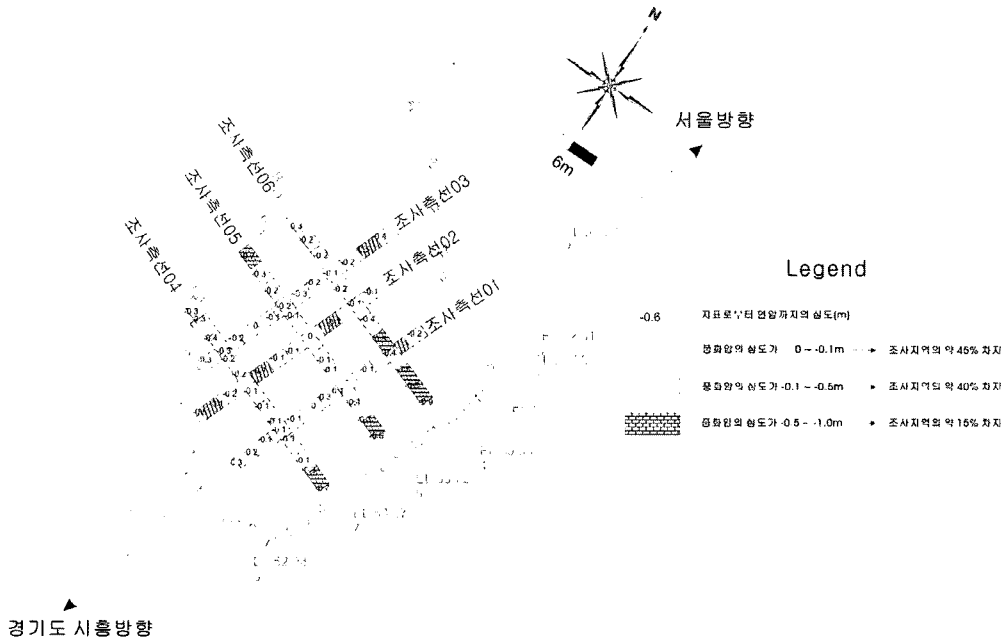


Fig. 7. 현장 탄성과 탐사 시험 결과에 의한 지표면에서부터 연암까지의 깊이 (즉, 풍화암의 두께)

5. 합리적인 굴착난이도 결정법

연구구간의 규암 암반은 미세균열이 발달해 있으며 긴 연장성을 가지는 절리 뿐만 아니라 암반의 표층에 붉은색 산화철 피복을 받아 육안으로 관찰할 경우 풍화가 진행 중인 것으로 오판할 수가 있다. 그러므로 일반적인 암판정 방법을 본 연구지역에 적용하는 경우 일축 압축강도가 매우 낮게 나오며 강도의 분산치 또한 크기 때문에 암반의 강도를 오판할 수가 있으며 굴착난이도 평가시 낮은 일축압축강도와 미세균열 그리고 연장성이 긴 절리를 동시에 고려하면 본 연구지역의 암반은 리핑영역에 해당된다. 하지만 일축압축강도시험을 수행한 시료 8개를 통해 나타나는 점하중강도와 실내탄성파 속도 및 기본 물성시험 결과를 종합해보면 대부분 보통 압~경암의 강도를 보이고 있다. 또한 브레이커로 암반에 타격을 줄 때에도 적당한 크기 이상의 암괴가 암반에서 떨어져 나가는 것을 관찰 할 수가 있으며(Fig. 8) 이는 암반 내에 존재하는 미세균열이 닫혀있기 때문에 파쇄에 영향을 크게 주지 못하는 것이라고 판단된다.

굴착난이도를 결정할 시에 가장 널리 사용되는 현장 탄성파탐사 시험결과 또한 본 연구지역의 암반은 대부분이 연암이상의 높은 현장 속도를 보이고 있으며 굴착난이도 적용시에도 발파암 영역에 해당된다. 또한 Young은 미세균열은 암반의 탄성과 속도에 거의 영향을 끼치

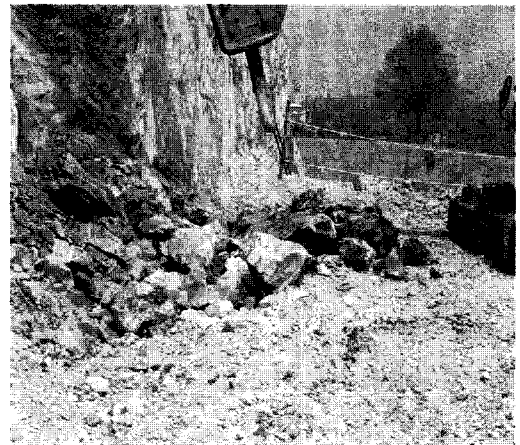


Fig. 8. 조사지역 측면에서 브레이커 (Breaker)로 굴착하는 모습

지 않는다고 기술하였다(Young, R.P., 2001).

그러므로 본 연구구간처럼 미세균열이 발달해 있으면서 동시에 상대적으로 긴 절리들이 발달해 있을 경우에 연장성이 긴 절리간격만을 고려하여서 “절리의 발달빈도와 암석의 강도”(Atkinson, T., 1970~1971, Franklin et al., 1971)를 이용한 굴착난이도 판정을 수행하는 것이 보다 합리적이라고 판단된다(Fig. 9).

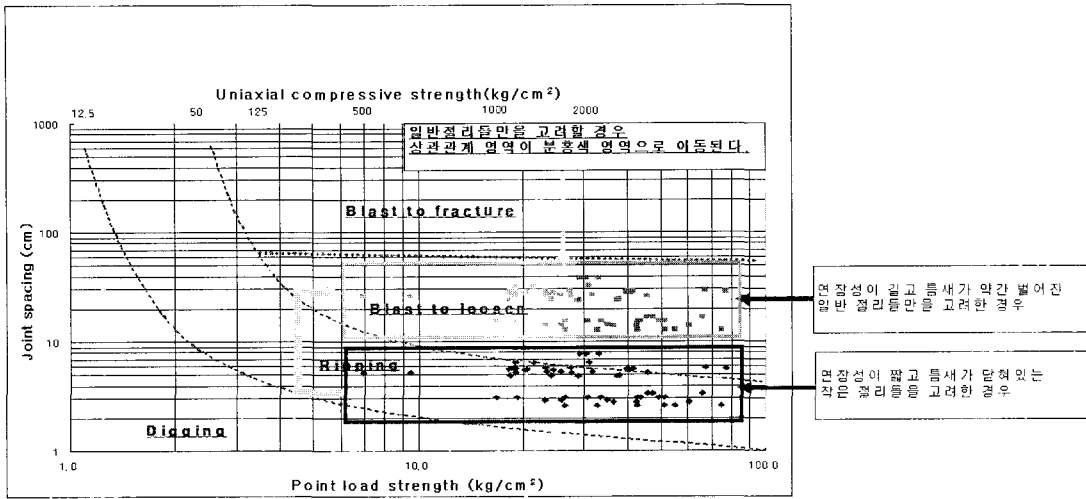


Fig. 9. 절리의 발달 빈도와 암석의 강도 (점하중 강도 시험)에 의한 굴착난이도 결정 (Franklin et al., 1971, 한국지반공학회, 2000)

6. 결론

본 연구지역 규암암반은 열수변질작용을 받아 암반의 표면에 미세균열이 발달해 있으며 표층과 절리면에 붉은색 산화철 피복작용을 받아 육안관찰시 풍화가 진행되고 있는 암반으로 오판할 수가 있다. 하지만 암반을 깨어 내부를 관찰해 보면 대부분 회색빛의 신선한 암반색을 보이고 있다. 이러한 현장 조건을 고려하면서 합리적인 암반정 연구를 위해 일축압축강도, 점하중시험, 슈미트해머시험, 암석의 기본 물성시험, 실내 탄성파 시험, 현장탄성파시험을 수행하였으며 그 결과를 종합해 보면 일축압축강도가 예상과 달리 매우 낮고, 편차가 큰 것을 관찰할 수 있다. 이는 암석 시료 내에 존재하고 있는 미세균열에 의한 것으로 판단된다. 하지만 일축강도와 점하중강도와의 관계를 비교해 보면 일반적인 관계와는 달리 점하중강도가 일축강도에 비해 상당히 높게 나오고 있으며, 일축강도와 실내 탄성파 속도와의 상관관계 역시 일반적인 직선의 형태를 보이는 것이 아니라 분산치가 0.6593으로 크게 나타나고 있고, 실내 탄성파속도 또한 보통암~경암의 수준을 보이고 있다. 미세균열과 상대적으로 긴 절리를 동시에 고려하여 굴착난이도를 평가해 보면 대부분이 리핑영역에 해당되지만 Table. 1의 암석시험 결과를 바탕으로 긴 절리만을 고려하여 굴착난이도를 평가해 보면 대부분이 발파영역에 해당된다. 현장탄성파속도 결과 또한 발파 이상의 영역을 나타내며 현장에서 브레이크를 이용하여 암반을 타격해 보아도 일정 크기 이상의 압괴가 형성되

는 것을 볼 수가 있다. 이는 단혀 있는 미세균열이 암반의 파쇄에 큰 영향을 주지 않는 것이라고 판단된다. 그러므로 미세균열과 연장성이 긴 절리가 동시에 존재하고 있는 복잡한 지질을 가지고 있는 암반에서의 암반정시 연장성이 짧고 틈새가 닫혀있는 미세균열들은 굴착난이도 평가시에 고려하지 않는 것이 보다 합리적인 방법이라고 판단된다.

사 사

이 연구는 소방방재청 자연재해저감기술개발사업(사면 붕괴 예측 및 대응 기술 개발) 연구비의 일부지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 손호웅 외, 2000, 지반환경물리탐사, 751p..
2. 이수근, 이승, 1995, 절취공사시의 암반정 방법 연구, 대한토목학회지 정기학술발표회 논문집, 801-804
3. 전인식, 2000, 건설표준포럼, 95-101
4. 한국지반공학회, 2000, 토목기술자를 위한 암반공학, 단행본, 구미서관, 678p..
5. Atkinson, T., 1970, Ground preparation by ripping in open pit mining, Min. Mag., Vol. 122, 458-469
6. Atkinson, T., 1971, Selection of open pit excavation and loading equipment, Trans. Inst. Min. Metall., Vol. 80, Section A-Mining Industry,

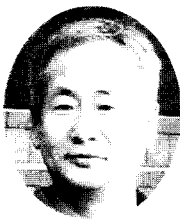
A101-129

7. Franklin et al., 1971, Logging the mechanical character of rock, Trans. Inst. Min. Metall., Vol. 80, Section A-Mining Industry, A1-9

8. ISRM, 1984, Suggested method for determining point load strength, International society of rock mechanics suggested methods, 53-60

9. Richard E. Goodman, 1992, Engineering geology, 412p..

10. Young, R.P., Collins, D.S., 2001, Seismic studies of rock fracture at the Underground Research Laboratory, Canada, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences, 38, 787-799



이수곤

1980년 고려대학교 지질학과 이학사
 1982년 영국 University of leeds 토목지질학 이학석사
 1987년 영국 University of london 토목지질학 이학박사

Tel: 02-2210-2407
 E-mail: sglee@uos.ac.kr
 현재 서울시립대학교 토목공학과 부교수



김민성

2002년 동아대학교 자원공학과 공학사
 2004년 서울시립대학교 토목공학과 공학석사

Tel: 02-2210-2822
 E-mail: kimms@uos.ac.kr
 현재 서울시립대학교 토목공학과 박사과정



이경수

2004년 안동대학교 지질학과 이학사

Tel: 02-2210-2822
 E-mail: lks@uos.ac.kr
 현재 서울시립대학교 토목공학과 석사과정



이치홍

2003년 서울산업대학교 토목공학과 공학사

Tel: 032-320-2429
 E-mail: chi1467@hanmail.net
 현재 서울시립대학교 토목공학과 석사과정