

토공작업시 암반 굴착난이도 판정기준

Estimation of Excavation Difficulty in Rock Mass

유 병 옥¹⁾, Byung-Ok You, 김 경 석²⁾, Kyung-Suk Kim

1) 한국도로공사 도로교통기술원 사면유지관리 연구센터 센터장, 수석석연구원, 공학박사

2) 한국도로공사 도로교통기술원 사면유지관리 연구센터 연구원

요 약 : 토공작업시 굴착난이도(토층, 리핑암, 발파암)를 판정하는 기준으로는 암반의 강도, 풍화정도, 불연속면 간격과 같은 여러 가지 암반의 공학적 특성 및 지반의 탄성과 속도 등이 사용된다. 그러나 실제 토공 작업시의 굴착난이도 평가는 탄성과 탐사와 같은 암석·암반의 정량적인 판단기준에 근거하지 않고 단지 현장 기술자들의 육안관찰에 의존하여 굴착난이도를 구분하고 있는 실정이다.

본 논문은 실내시험 및 현장시험, 현장굴착난이도 평가 및 탄성과탐사 등을 실시하여 여러 암석에 대한 강도특성을 파악한 것을 근거로 현장에서 사용할 수 있는 암반굴착난이도 평가법의 Checklist를 제안하였다.

주요어(Key words) : 암판정, 굴착난이도, 리핑암, 발파암, 토공

1. 서 론

지반의 구성물질을 평가하는 문제는 매우 어려운 일로 주관적이고 정성적인 평가에 의존하게 되는 경우가 많다.

현재 지반을 굴착하는 데 있어 토층, 리핑암, 발파암으로 굴착난이도를 구분하여 사용하는 데 결정하는 기준이 단지 정성적인 방법에 의존하고 정량적인 조사·판정방법이 없어 암반의 굴착난이도 판정시에 시공사와 발주처간의 시비가 발생하는 문제점을 안고 있다.

일반적으로 토공에서 암반의 굴착난이도를 판정하는 데 있어 판정요소로 암석강도, 풍화상태, 절리간격과 같은 여러 가지 암석·암반의 특성을 고려할 수 있다. 그리고 굴착난이도에 대한 국내외 여러 기준을 살펴보면, 일반적으로 탄성과 속도가 가장 많이 적용하는 기준안으로 주 평가요소로 사용되어 왔다. 그러나 실제 현장에서 탄성과 탐사를 실시하지 않고 단지 현장 기술자들이 지질해머 타격에 의한 타격음 판단, 육안적인 판정 및 판정이 어려운 경우, 굴착장비를 동원하여 굴착하는 방법에 의존하고 있는 실정이다.

그러므로 토공을 위한 굴착공사의 합리적인 설계 및 시공이 이루어지기 위해서는 현행의 암반 굴착난이도 판정방법에 대해 검토·분석을 실시하여 암반의 굴착난이도에 따른 정량화된 합리적인 판정방법 정립에 대한 연구가 요구되고 있다. 그래서 본 논문에서는 암반의 굴착공사를 위해 정량적이고 보다 합리적인 굴착난이도 결정 요소인 암석의 강도특성, 즉 일축압축강도, 점하중강도, 슈미트 헤머수치 및 흡수율, 탄성과 속도, 절리간격과 같은 암반의 공학

적인 특성에 대한 굴착난이도 판정기준안을 정립하여 사면설계에 있어서 경제성 및 안정성을 고려한 합리적인 설계를 도모하고자 한다.

2. 토공작업시 암판정 분류

토목공사중 터널, 장대교기초, 지하공동 등의 굴착에 관한 암반분류방법은 국내외로 비교적 많이 알려져 있으나 지표면 굴착(토공)을 위한 암반등급분류 방안은 알려진 것이 극히 적다.

즉, 터널의 분류법으로 초기의 Terzaghi의 터널 암반분류(터널 상재하중 분류), Miller의 풍화도와 틸의 간격을 분류요소로 한 분류법, Deere의 RQD법, Bieniawski의 RMR법과 Barton의 Q-system 등이 있으나 토공만을 목적으로 한 분류법은 적고 대부분이 일반 토목공사에 포괄적으로 적용할 수 있는 분류법이다.

2.1 국내의 토공을 위한 암반분류

지반을 굴착할 때, 일반적인 분류는 인력굴착, 기계굴착 및 발파굴착으로 구분하고 이에 대하여 대상지반을 토층, 리핑암, 발파암으로 대응시키고 있다.

국내에서는 토공을 목적으로 한 분류법으로 건설공사 표준품셈에 제시된 방안이 있다. 이 방법은 토질 및 암반의 분류를 정성적인 방법으로 평가하는 것이고 측정이 가능한 경우, 탄성과 속도와 일축압축강도에 따르도록 제시하고 있다.

다음은 국내의 토공에 적용되는 암반분류기준으로서 토목품셈, 건설부 표준품셈 및 한국도로공사의 토사, 리핑암, 발파암의 분류기준에 대해 조사하였으며 그 세부내용은 각각 다음과 같다.

2.1.1 토목품셈

- 굴착작업은 작업조건, 굴착량에 따라 기계굴착, 인력굴착의 공사비를 검토하여 적절히 선정한다.
- 공사비 비교시 기계굴착이 비경제적인 협소한 지역이나 넓은 지역이라도 굴착기계를 투입할 수 없는 특수한 여건의 지역은 인력으로 설계할 수 있다.
- 인력절취 적용범위 : 보통 토사, 견실 토사, 고사점토, 및 자갈 섞인 점토, 호박돌 섞인 토사(대량일 때는 토질조사에 의하여 분류, 인력 터파기 경우 제외)
- 리핑암의 경우 자연상태의 탄성과 속도가 1,800m/sec 이하의 암은 발파 없이 리핑할 수 있고 탄성과 속도가 1,800m/sec를 초과하는 암은 발파와 리핑작업을 병행하여 시공할 수 있다.
- 리퍼도저 선정에서 암굴착량이 25,000m³ 이상의 경우에는 30t급, 25,000m³ 미만일 때는 20t급을 사용하고 현장여건을 감안하여 결정한다.
- 크로울러 드릴 사용 암석 절취는 동일 장소 내에서 연속적으로 작업이 가능한 경우로서 암석 절취량이 25,000m³ 정도 이상의 경우에 적용한다.
- 현장여건상 특수발파공법을 적용하는 경우, 발파품을 별도 계산할 수 있다.
- 기계사용(화약사용)의 범위 : 풍화암, 연암, 보통암, 경암
- 기계사용(소형 브레커+공기압축기) : 굴착토량은 단위 개소당 10m³미만의 경우 또는 대형

브레이커나 화약사용이 불가능한 경우에 적용한다.

- 건설기계 선정기준

굴착 : 로우더, 굴삭기(유압식 백호우), 불도우저, 리퍼 쇼벨계 굴삭기(파워쇼벨, 백호우, 드래그라인, 크랩셀)

- 불도우저 작업의 표준기계

유압리퍼	중규모 이하 19t(표준규격)
	대규모 32t
굴삭압토(운반)	중규모 이하 19t
	대규모 32t

- 리핑암의 구분 : 리핑암이란 보통 도우저 삽날로서는 절취할 수 없고 리퍼 부착 도우저로만 절취 가능한 토질을 말한다.

그리고 토질 및 암의 분류는 다음을 표준으로 한다.

- 보통토사 : 보통 상태의 실트 및 점토, 모래질 흙 및 이들의 혼합물로서 삽이나 쟁이를 사용할 정도의 토질(삽작업을 위하여 상체를 약간 구부릴 정도)
- 경질 토사 : 견고한 모래 진흙이나 점토로서 쟁이나 곡쟁이를 사용할 정도의 토질(체중을 이용하여 2~3회 동작을 요할 정도)
- 고사점토 및 자갈 섞인 토사 : 자갈 진흙 또는 견고한 실트, 점토 및 이들의 혼합물로서 곡쟁이를 사용하여 파낼 수 있는 단단한 토질
- 호박돌 섞인 토사 : 호박돌 크기의 돌이 섞이고 굴착을 위해 약간의 화약을 사용해야 할 정도로 단단한 토질- 풍화암 : 일부는 곡쟁이를 사용할 수 있으나 암질이 부식되고 균열이 1~100cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 약간의 화약을 사용해야 할 암질
- 연암 : 균열이 10~30cm 정도로서 굴착 또는 절취에는 약간의 화약을 사용해야 하나, 석축용으로는 부적합한 암질
- 보통암 : 풍화상태로 엇볼 수 없으나 굴착 또는 절취에는 화약을 사용해야 하며 균열이 30~50cm 정도의 암질
- 경암 : 화강암, 안산암 등으로서 굴착 또는 절취에 화약을 사용해야 하며 균열상태가 1m 이내로서 석축용으로 쓸 수 있는 암질
- 극경암 : 암질이 아주 밀착된 단단한 암질

2.1.2 건교부 표준품셈의 암분류 기준

암반굴착시 소요되는 인력과 장비 및 단가 등의 산정시 기준이 되는 건설표준품셈에서 리핑암의 결정은 탄성파속도를 기준으로 하여 자연상태의 탄성파속도가 1.8km/sec이하의 암반은 리핑암으로 구분하고 있으며, 국내 암종별 탄성파 속도 및 일축압축강도 기준의 자세한 사항은 다음 표 1과 같다.

표 1 중에서 일축압축강도 측정은 5cm 입방체의 시편을 24시간 노건조 시킨 후 2일간 수중 침윤시켜 측정하는 것이다. 가압방향은 탄성파속도가 가장 느린 방향(결면에 수직인 방향)으로 실시된 것이다. 또한 탄성파 탐사는 두께 15~20cm의 상하면이 평행한 시편을 이용하여 결면에 평행한, 즉 탄성파 속도가 가장 빠른 방향으로 측정하는 결과를 나타낸 것이다.

굴착공법을 적용하기 위해 건교부의 암반분류 기준은 다음 표 2와 같다.

표 1. 암종별 탄성과 속도 및 일축압축강도

암 종	구 분	그룹	자연상태의 탄성과속도 (V, km/sec)	암편 탄성과속도 (V _c , km/sec)	암편일축압축강도 (kg/cm ²)
풍화암		A	0.7~1.2	2.0~2.7	300~700
		B	1.0~1.8	2.5~3.0	100~200
연 암		A	1.2~1.9	2.7~3.7	700~1,000
		B	1.8~2.8	3.0~4.3	200~500
보통암		A	1.9~2.9	3.7~4.7	1,000~1,300
		B	2.8~4.1	4.3~5.7	500~800
경 암		A	2.9~4.2	4.7~5.8	1,300~1,600
		B	4.1이상	5.7이상	800이상
극경암		A	4.2이상	5.8이상	1,600이상
그룹구분		A, B 그룹의 비교			
구 분		A그룹		B그룹	
대표적 암명		편마암, 사질편암, 녹색편암, 각력암, 석회암, 사암, 휘록응회암, 역암, 화강암, 섬록암, 감람암, 사교암, 유교암, 현암, 안산암, 현무암		흑색편암, 녹색편암, 휘록응회암, 혈암, 이암, 응회암, 집괴암	
함유물 등에 의한 시각 판정		사질분, 석영분을 다량 함유하고, 암질이 단단한 것, 결정도가 높은 것		사질분, 석영분이 거의 없고 응회분이 거의 없는 것, 천매상의 것	
500~1,000gr해머의 타격에 의한 판정		타격점의 암은 작은 평평한 암편으로 되어 비산되거나 거의 암분을 남기지 않는 것		타격점의 암 자체가 부서지지 않고, 분상이 되어 남으며 암편이 별로 비산되지 않는 것	

표 2. 건교부 암반 분류 기준표

토공작업구분	토질상태	N-Value	탄성과 속도	코아회수율(NX 기준)	작업기준
토 사	표토층 및 풍화잔류토층	50회/15cm 이하	1,000m/sec 이하	-	-
리핑암	풍화암층	50회/15cm 이상	1,000~1,800m/sec	15~20%	30ton Dozer
발파암	연암 및 경암	-	1,800m/sec 이상	15~25% 이상	-

2.1.3 한국도로공사의 토사, 리핑암, 발파암의 분류

한국도로공사의 토사, 리핑암, 발파암에 대한 분류기준은 다음의 내용을 기준으로 한다.

토사, 리핑암, 발파암은 시공의 난이도에 따라서 구분한다. 이들의 구분은 공사비나 공기에 중대한 영향을 주기 때문에 설계에 있어서는 보링 조사결과를 충분히 검토하고 현지조사나 주변의 공사기록, 탄성과 속도 등을 참고해서 신중히 해야 한다.

가) 토공의 적산 및 시공계획에서는 시공의 난이도에 따라서 토사, 리핑암, 발파암으로 분류한다. 토사, 리핑암, 발파암의 최종적인 구분은 시공시 사용할 불도우저의 가동능률을 기준하여 판정한다. 즉, 토사와 리핑암의 판정은 배토판을 사용한 불도저의 착암능력에 따라 구분하고 리핑암과 발파암에 대해서는 불도저에 장착된 리퍼(Ripper)의 능력에 따라서 구분한다. 다시 말하면, 토사는 불도저가 유효하게 사용될 수 있는 정도의 흙, 모래, 자갈 및 호박돌이

섞인 토질로 정의되며 리핑암은 불도저에 정착된 유압식 리퍼가 유효하게 사용될 수 있을 정도로 풍화가 상당히 진행된 지층, 발파암은 발파를 하는 것이 가장 효과적인 지층으로 정의된다. 그러나 설계단계에서의 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 보링 조사자료 등으로 추정하기 때문에 시공단계에서는 이들의 구분이 변경되기 쉬우므로 설계시에 신중한 검토가 필요하다.

나) 설계에서 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 아래의 항목을 종합적으로 검토한 후 결정할 필요가 있다.

① 현지답사

현지 답사에서는 굴착 예정지점의 노두를 조사하고 지질, 암질, 균열의 크기 및 간극, 풍화의 정도 및 굴착작업의 난이도 등을 판정한다. 풍화가 진행되기 쉬운 지반은 주변 도로 등의 절토 사면의 상태 및 사면 끝에 모아진 암석의 풍화상태에 유념하여 조사하는 것이 좋다.

② 시추조사

시추 조사 결과는 토사, 리핑암, 발파암의 구분상 큰 지표가 된다. 그러나 시추 정도나 조사 결과의 검토 부족, 토질의 복잡성 등으로 인해 시공시에 굴착난이도 구분의 변경이 생기기 쉽기 때문에 아래 사항에 충분히 유의할 필요가 있다.

(a) 위치 및 빈도

시추조사의 위치 및 빈도는 신중히 결정해야 하며, 최소한 땅깍기 구간에서 1~2개소는 실시할 필요가 있다. 땅깍기가 긴 구간이 연결되는 경우나 지형, 지질이 난이한 곳에서는 조사 위치를 충분히 검토하여 유효한 위치를 선정한다. 또한 상황에 따라서 시추할 개소를 증가시키거나 탄성과 탐사 등을 실시하여 조사의 신뢰성을 높일 필요가 있다. 특히, 퇴적암이나 풍화암 등은 지층이나 지질의 변화가 심하기 때문에 설계시 주의해야 한다.

(b) 코아 시료의 관찰

코아 시료의 관찰은 판별에서 특히, 중요하기 때문에 길이나 경도, 풍화 정도 등에 대해 유념하여 실시할 필요가 있다.

예를 들면, 연한 응회암은 긴 봉모양의 코아가 얻어지지만 균열이 발달한 것은 암질이 경질이라도 봉모양의 코아로 되지 않는 경우가 있다. 또한 일반적으로 강한 암석 등은 해머로 타격하여 금속음을 내는 것이 많다.

(c) 코아 회수율 및 R.Q.D

암반의 풍화상태와 불연속면의 발달 정도는 코아회수율(T.C.R) 및 R.Q.D로 표시되며 단층, 균열이 많은 것, 풍화변질이 심한 것, 퇴적암 등에서 얇은 층으로 되어 있는 것은 일반적으로 값이 적다. 또한, 반대로 균열이나 풍화변질이 작은 암질의 암은 값이 크다.

그밖에 이러한 값들은 기계기구의 양부, 작업원의 능력이나 숙련정도, 암질의 차이에 따라서도 변화하기 때문에 주의를 요한다.

(d) 굴진속도

굴진속도는 암질에 따라 다르고 일반적으로 경암은 느리다. 그러나 굴진속도는 사용되는 보링 비트의 종류나 작업원의 기능정도, 전도유무 등에 따라서도 다르기 때문에 주의를 요한다.

(e) 표준관입시험(N치)

토사와 풍화암의 구분의 지표로서는 N치가 자주 사용된다. 풍화암으로 인정되는 것은 일반

적으로 관입불능으로 되는 것이 많지만 일부의 암석(풍화된 암석이나 역암 등)에는 관입가능한 것도 있다. 또한, N치가 50~70 정도에서 설계시에 토사로 판정되었더라도 시공에서는 작업능률이 나쁜 풍화암으로 판정(잘 다져진 토사)될 수 있기 때문에 주의해야 한다.

(f) 암석의 일축압축강도

암석의 압축강도는 퇴적암이나 변성암과 같이 이방성이 강한 암석에서 층리면이나 편리면에 직각인가 또는 수평인가에 따라 다르고, 일반적으로 이들의 면에 직각 방향인 것이 강하다. 또한 압축강도는 함수량에 따라 영향을 받고 함수량이 많을 수록 강도가 작아지는 경향이 있다.

③ 공사기록의 조사

주변의 도로, 철도 등의 시공기록이 있으면 암질, 풍화변질의 정도, 굴착방법 등을 조사한다. 또한, 동일한 지질조건을 가진 장소의 시공기록 등도 참조가 된다.

④ 탄성과 탐사

터널 및 대규모 절토구간 등의 탐사에서 탄성과 탐사를 하는 경우에는 탄성과 속도에 의한 굴착난이도를 대체로 추정할 수 있으며 그림 1에 참고 값을 제시한다.

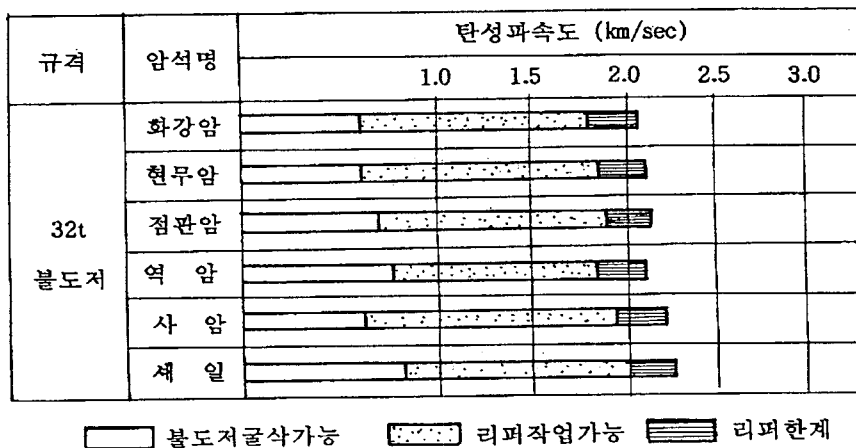


그림 1. 탄성파속도와 32t 불도저의 작업범위

탄성파는 일반적으로 고결도가 높은 암석 등에서는 전달속도가 빠르지만 균열이 많은 암석이나 풍화가 진행된 암은 그 속도가 늦기 때문에 탄성파 속도가 같더라도 암질적으로 다르게 되는 경우가 있어서 탄성파 속도와 암종, 암질을 종합하여 검토할 필요가 있다.

다) 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 나)의 내용과 시공성을 충분히 검토한 후에 다음과 같이 분류한다.

① 토사와 리핑암은 표준관입시험(N치) 50타/15cm를 기준으로 구분한다.

② 리핑암과 발파암은 암반의 굴착특성을 결정하는 불연속면의 발달빈도(T.C.R, R.Q.D)와 탄성파 속도를 기준으로 표 3 및 4에 따라 구분한다.

표 3. 불연속면의 발달빈도에 따른 리핑암과 발파암의 분류

구 분	리 핑 암		발 파 암	
	약한 암석인 풍화암, 연암, 보통암 중에서		강한 암석인 보통암, 경암, 극경암 중에서	
불연속면의 발달빈도	BX 크기	T.C.R=5% 이하이고 R.Q.D=0% 정도	BX 크기	T.C.R=5~10% 이상이고 R.Q.D=0~5%
	NX 크기	T.C.R=20% 이하이고 R.Q.D=0% 정도	NX 크기	T.C.R=20% 이상이고 R.Q.D=0~10% 이상
강도구분	풍화암		연암, 경암	

표 4. 탄성과 속도에 따른 리핑암과 발파암의 분류

암종그룹	탄성과 속도	
	리핑암	발파암
A 그룹	700~1,200m/sec	1,200m/sec 이상
B 그룹	1,000~1,800m/sec	1,800m/sec 이상

라) 설계시의 토사, 리핑암, 발파암의 구분은 나), 다)의 각 사항을 종합적으로 고려하여야
되지만 구분상 특히, 주의하여야 할 지질은 표 5와 같다.

표 5. 구분상 주의를 요하는 지질(일본자료를 번역한 것임.)

암석명	토질의 성상과 설계시 유의점
전석 섞인 흙	N값에서는 관입불능으로 되는 것이 많다. 전석의 혼입율이 20%를 넘으면 가동률이 나 빠져 풍화암이라 판단된다.
화강암류	풍화토로 된 것은 설계상 토사로 구분되나, 풍화부와 신선부의 경계부근의 것은 판별 이 힘들어 시공시에 토사, 풍화암의 추정선이 변경될 때가 많다. 또 이 경계부근에서 는 전석을 많이 포함하여 풍화암이라고 판정될 때가 있으므로 설계에 있어서 주의해 야 하고 신선한 것은 대단히 굳다.
안산암 현무암	신선한 것은 설계상 경암이라 판정되나, 질리에 의한 균열이 발달한 것이나 풍화가 진 행된 것은 시공시 굴삭능력에 의해 연암이라 판정될 때도 있으므로 주의한다.
응회암	암질이 연한 것이 많고 보링의 굴진능력이 좋고, 설계시에는 풍화암이라고 판정될 때 가 많다. 그러나 신선하고 균열이 없는 것은 리퍼의 날이 듣지 않아 발파가 필요하며 경암으로 변경되는 것도 있으므로 설계에 있어서 충분한 검토가 필요하다. 풍화가 진행된 것은 굴삭시에 암의 상태를 띄는 것, 포설 및 전암으로 쉽게 토사화되 는 것이 있으므로 풍화암의 자세한 구분에 있어서는 주의를 요한다.
역암	역암은 함유되는 자갈의 크기나 양, 고결의 정도에 따라 경도가 크게 변화된다. 일반 적으로 풍화의 영향을 받기 쉽고 풍화가 진행된 것은 설계상 토사로 판정된다. 또 신 생대 제3기 이후의 것은 반고결상태로 되어 있는 것이 있어 굴삭도 용이하다. 분포상태는 세로방향의 연속성이 희박하고, 좁은 범위로만 퇴적되어 있을 때 로 조사에서 주의해야 한다.
이 암 점판암	이암은 풍화의 영향을 받기 쉬운 것이 많다. 신선한 것은 설계시에 경암이라 판정되는 것도 시공시에 공기나 햇빛에 급속으로 풍화가 진행되어 시공능률이 좋아 풍화암이라 판정되는 것도 있으므로 주의한다. 점판암은 일반적으로 굳지만, 층리방향으로 얇게 벗겨지는 성질이 있어 시공능률이 좋아 풍화암이라 판정되는 것도 있다.

2.2 외국의 굴착난이도(Rippability) 평가 관련 연구

일반적으로 Ripper에 의해서 작업이 가능한 정도를 Rippability라 하고 Rippability의 한계
등에 대해서는 여러 문헌에 발표되어 있다. Ripper 작업은 화약을 이용한 발파에 대한 대안으
로 보다 많이 사용되고 있다.

최초의 Ripper 작업은 로마제국시대까지 그 유래가 거슬러 올라간다. 로마인들이 그들의 아
피안 대로를 건설할 당시 리퍼가 장착된 바퀴를 소에 의해 끌게 하였다는 기록이 있으며,

1860년~1880년 동안 미국에서는 철도를 건설하면서 많이 사용되었다. 오늘날 우리가 알고 있는 Ripper는 1930년도에 출현하였다. 트랙터에 의해서 작동되는 Ripper는 R. G. Letourneau에 의해서 1931년 발전하였으며 후버댐 프로젝트에 사용되었다.

하지만 Ripper 작업의 효율성이 인정되는 데도 모든 사람들이 이를 수용하지 않는 가장 근본적인 이유는 현재의 기술로는 모든 종류의 지반이 경제적으로 Ripper 작업이 가능한 것은 아니기 때문이다. 대상 지반에 대해서 Ripper 작업의 정도를 반복법을 사용하여 확인할 수는 있으나 모든 지반에 대해서 이와 같은 반복법을 사용하는 것은 경제성을 고려할 때 바람직하지 않다. 따라서 각각의 구성 특징을 분석하는 절차가 필요하다.

일반적으로 Ripper 작업이 잘되는 지반조건으로는 약한 층이 있는 단층 파쇄대, 풍화가 심한 암반, 물의 흡수가 잘되는 지반, 여러 층으로 구성된 지반, 지진파 속도가 낮은 지반 등이 있으며 반대로 Ripper 작업이 잘 되지 않는 지반으로는 암반의 균열이 거의 없고 연약 면이 없으며 높은 압축강도와 지진파 속도가 높은 지반 등을 들 수 있다. 암종별로 Rippability를 판단해 보면, 퇴적암이 가장 Rippability가 좋으며 화성암, 변성암의 순으로 나타난다.

과거에는 Rippability를 확인하는 유일한 방법이 육안관찰 뿐이었다. 약선대, 단층, 파쇄대 등은 육안으로 관찰되나 굴착난이도를 평가하는 데는 관찰되지 않은 부분의 영향도 무시할 수 없을 정도로 크다. 왜냐 하면 단지 암반 노두에서 확인한 결과는 지반 전체 지층 분포 중에 일부분만을 나타내기 때문이다.

따라서 이에 대한 대안으로 탄성과 탐사에 의해 측정된 탄성과 속도 및 Ripper와 불도우저의 능력이 Ripping 정도를 구분하는 기준이 되어 왔다. Ripper 작업의 경우, 기본적으로는 Shank 관입의 가부가 그것을 결정하므로 먼저 Shank의 관입저항을 좌우하는 암의 강도가 문제가 된다. 예를 들어, 암이 상당히 단단해도 Shank가 관입하기 쉽게 균열이 많이 존재하면 Ripper에 의한 작업이 가능할 경우가 많다. 따라서 암 자체의 강도와 균열이 많고 적음을 종합적으로 포함한 것으로서, 원지반의 탄성과속도에 주목한 일은 당연한 결과인 것으로 생각되고, 이 때문에 탄성과 속도 측정용의 간이탐사장치를 Ripper Meter라고 부르는 경우도 있다.

원지반의 탄성과속도와 Rippability 한계와의 관계는 여러 기관에 의해 단편적으로 소개되어지고 있지만, 불도우저의 대형화와 Ripper의 개량에 의해 유동적으로 변하고 있는 실정이다.

또 원지반의 탄성과속도의 측정치는 원지형의 상태에서 지진 탐사법 등에 의해 추정된 값과 시공면 상부가 이미 굴착된 상태에서 직접 측정된 수치의 경우, 후자는 전자에 비해 대체로 20~30% 정도, 때로는 50% 정도 낮게 측정되는 것이 보통이다. 이것은 절취에 따른 응력 제거와 시공시의 지반이완 때문으로 생각된다.

그림 1의 탄성과 속도는 원지형에서의 측정에 의한 추정치를 기준으로 한 것이다. 또, 현장 조건에 따라서는 굴착 폭에 제한이 있으며 지층과 균열의 방향에 대해 자유로운 방향에서 굴착하는 것이 불가능한 경우가 있게 된다. 이런 경우 Ripper 작업성은 상당히 떨어진다.

이와 관련하여 국외에서는 암반의 굴착난이도를 평가함에 있어 암반의 Rippability에 대한 많은 연구가 수행되었으며, 그 내용은 다음과 같다.

리핑은 풍화암 또는 불연속면을 많이 가진 암반을 불도우저 등을 이용하여 굴착하는 경제적인 굴착방법이다. Rippability는 암반분류법의 접근 방법에 의한 첫 번째 굴착지수로서, 이는 Geomechanics 분류에 토대를 두고 있으며, 암반의 Rippability에 영향을 미치는 지질학적 요소는 암석 종류, 암석 구조, 일축압축강도, 암석 경도와 마모도 등이 있고 암질의 특성에 영향을 미치는 요소에는 불연속면의 기하학적 구조 등이 있다(표 6. 참조).

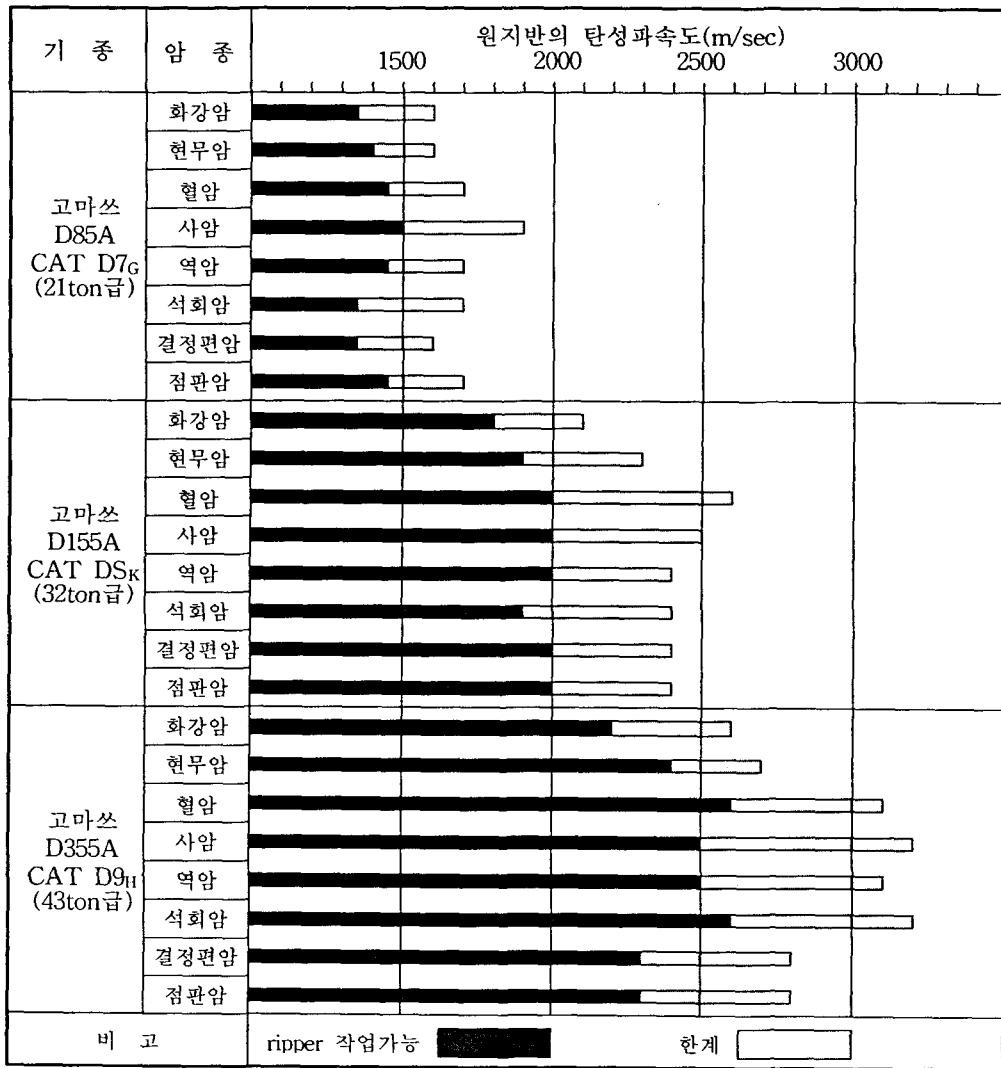


그림 1. 장비종류와 암종의 탄성파속도에 따른 리핑작업가능 영역

표 6. 암종별 굴착특성

(a) 경도 및 강도와의 관계

Rock hardness description	Identification criteria	Unconfined compression strength (Mpa)	Seismic wave velocity (m/s)	Excavation characteristics
Very soft rock	Material crumbles under firm blows with sharp end of geological pick ; can be peeled with a knife ; too hard to cut a triaxial sample by hand. SPT will refuse. Pieces up to 3cm thick can be broken by finger pressure	1.7~3.0	450~1,200	Easy ripping
Soft rock	Can just be scraped with a knife ; indentations 1mm to 3mm show in the specimen with firm blows of the pick point ; has dull sound under hammer	3.0~10.0	1,200 ~1,500	Hard ripping
Hard rock	Cannot be scraped with a knife ; hand specimen can be broken with pick with a single firm blow ; rock rings under hammer	10.0~20.0	1,500 ~1,850	Very hard ripping
Very hard rock	hand specimen breaks with pick after more than one blow ; rock rings under hammer	20.0-70.0	1,850 ~2,150	Extremely hard ripping or blasting
Extremely hard rock	Specimen requires many blows with geological pick to break through intact material ; rock rings under hammer	>70.0	>2,150	Blasting

(b) 절리간격과의 관계

Joint spacing description	Spacing of joint(mm)	Rock mass grading	Excavation characteristic
Very close	<50	Crushed/shattered	Easy ripping
Close	50~300	Fractured	Hard ripping
Moderately close	300~1,000	Block/seamy	Very hard ripping
Wide	1,000~3,000	Massive	Extremely hard ripping and blasting
Very wide	>3,000	Solid/sound	Blasting

Weaver(1975)는 무한궤도 형태의 리퍼에 의한 굴착지침으로서 Rippability 차트를 제안하였다. 이 차트에서 암반의 RMR 분류법에서 고려하는 기본요소 가운데 암석(Intact Rock)의 강도와 RQD값을 탄성과 속도로 대체하였다. 그 후 Smith는 Weaver의 차트에서 탄성과 속도의 고려 사항을 제외하였으며, Singh et al.(1986)은 노천탄광에서 지반의 Rippability에 대하여 탄성과 속도만을 이용한 Rippability의 평가는 잘못된 결과를 야기할 수 있다고 지적하였다.

Weaver의 차트와 Smith가 수정한 차트는 많은 인자를 고려하고 있으나, 설계초기 단계에서 그 평가가 용이하지 않은 몇 가지 인자들로 인하여 그 활용에 제약이 있다. 따라서 Singh et al.은 그 대안으로 Rippability 차트를 제안하였으며 터키와 영국에서 많은 조건에 대한 시험을 수행하였다(표 7. 참조).

표 7. Rippability Chart(Singh et al., 1986)

Parameters	Class 1	Class 2	Class 3	Class 4	Class 5
Uniaxial tensile strength(Mpa)	<2	2~6	6~10	10~15	>15
Rating	0~3	3~7	7~11	11~14	14~17
Weathering	Complete	Highly	Moderate	Slight	None
Rating	0~2	2~6	6~10	10~14	14~18
Sound velocity(m/s)	400~1,100	1,100~1,600	1,600~1,900	1,900~2,500	>2,500
Rating	0~6	6~10	10~14	14~18	18~25
Abrasiveness	Very low	Low	Moderate	High	Extreme
Rating	0~5	5~9	9~13	13~18	18~22
Discontinuity spacing(m)	<0.06	0.06~0.3	0.3~1	1~2	>2
Rating	0~7	7~15	15~22	22~28	28~33
Total Rating	<30	30~50	50~70	70~90	>90
Ripping Assessment	Easy	Moderate	Difficult	Marginal	Blast
Recommended Dozer	Light duty	Medium duty	Heavy duty	Very heavy duty	

불연속면의 기하학적 구조 영향에 의해 암반의 전반적인 강도는 저하되고, 불연속면의 간격에 의해 강도의 저하정도가 결정된다. 암반내 불연속면의 연속성은 암반의 공학적 특성에 상당한 영향을 미친다.

불연속면내의 충전물 또는 결함부가 많을수록 암반의 투수성과 Rippability가 증대한다. 즉, 단단하고 내마모성이 큰 암반의 경우, Rippability는 감소한다. 다른 한편으로 사암 또는 석회암과 같은 퇴적암층에 층리 또는 절리가 발달하였거나 또는 화강암이 얇은 층으로 관입하였다면 발파보다 리핑에 의해 보다 효율적으로 굴착될 수 있을 것이다(그림 2. 참조). 실제

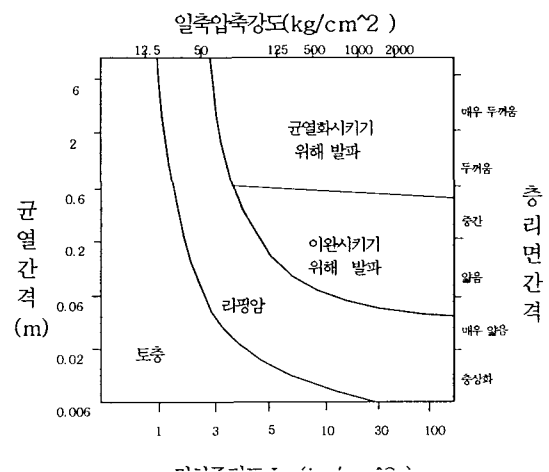


그림 2. 굴착관련 점하중강도와 절리간격에 의한 암질판정기준(after Franklin et al., 1971)

로 이암과 같이 약한 퇴적암은(압축강도 150kg/cm² 이하 또는 인장강도 10kg/cm² 이하) 발파시 가스압력이 분산될 때 충리면으로 파쇄된다. 따라서 절리가 발달한 암반에서는 리핑이 보다 효율적인 굴착방법이다.

Atkinson(1970)은 암반의 rippability를 결정하는 가장 일반적인 방법은 탄성과 굴절탐사라고 제안하였다. 다양한 종류의 암질로 구성된 여러 현장에서 리핑작업을 실시하여 Rippability와 탄성과 속도를 비교하였다(그림 3. 참조).

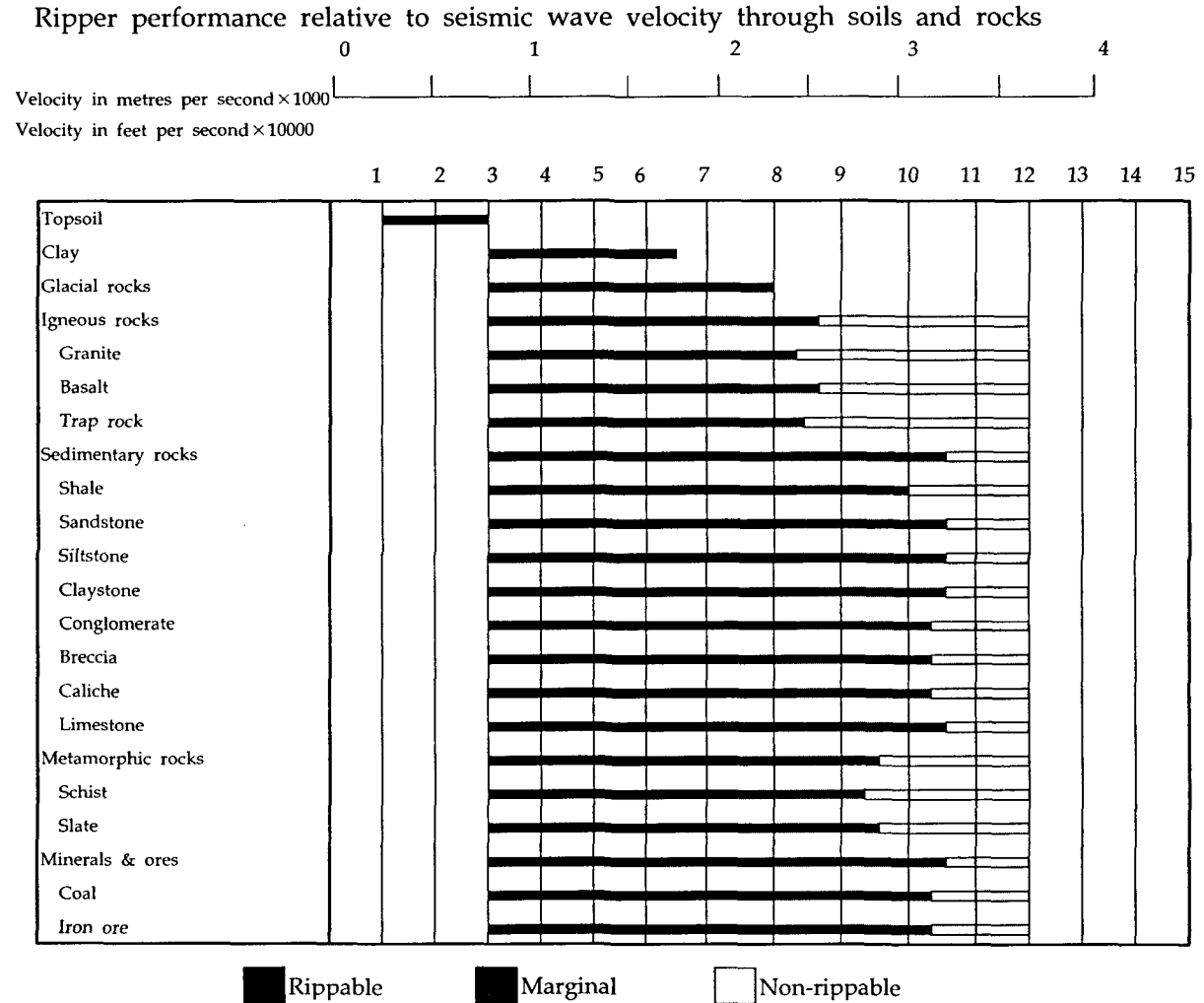


그림 3. 탄성과 속도와 Rippability와의 관계

실제로 리핑작업의 한계는 탄성과(Vp)속도로 볼 때, 2,000m/sec 정도로 판단된다. 암반에서 Pre-Blasting은 리핑작업을 보다 수월하게 할 수 있게 하고, 할렬파괴는 리핑작업 이전에 암반표면을 이완시키는 데 이용할 수 있다.

Kirsten(1982)은 암반굴착시 탄성과 속도는 굴착방법의 잠정적인 지표일 뿐이라고 제안하였고, 전반적으로 탄성과 속도의 정확성은 약 20% 정도라고 주장하였다. 더욱이 탄성과 속도는 표준시편에서도 1,000m/sec 이상의 변화를 나타낼 수도 있다. 따라서 굴착과 관련된 분류법은 암반의 기본물성치를 토대로 하여야 하고, 그 분류법에 필요한 인자들을 얻기 위한 코아 또는 현장시험 등의 활용 간편성이 있어야 한다.

또한, Caterpillar사에서는 탄성파의 굴절원리를 이용하여 리핑정도를 판단하는 법을 1958년에 개발하였다. 이러한 방법은 탄성파의 굴절되어 돌아오는 속도를 기본 자료로 지반의 구성을 확인하는 방법이다. 표 8~표 10에 Caterpillar사에서 제작한 각 Ripper 기계종류(D9N, D10N, D11N)별로 여러 종류의 지층에 대한 굴착난이도에 대한 탄성파 속도를 나타내었다.

표 8. D9N Ripper 효율(대략적인 수치임)
(Multi or Single Shank Ripper, Estimated by Seismic Wave Velocities)

(D9N)	RIPPLE(m/sec)	MARGINAL(m/sec)	NON-RIPPABLE(m/sec)
TOPSOIL	0~915		
CRAY	0~1,860		
GLACIAL TILL	0~1,828	1,828~2,133	2,133 이상
IGNEOUS ROCKS			
GRANITE	0~2,072	2,072~2,438	2,438 이상
BASALT	0~2,286	2,286~2,591	2,591 이상
TRAP ROCKS	0~2,134	2,134~2,500	2,500 이상
SEDIMENTARY ROCKS			
SHALE	0~2,255	2,255~2,895	2,895 이상
SANDSTONE	0~2,225	2,225~2,925	2,925 이상
SILTSTONE	0~2,377	2,377~3,077	3,077 이상
CLARYSTONE	0~2,377	2,377~2,957	2,957 이상
CONGLOMERATE	0~2,317	2,317~2,866	2,866 이상
BRECCIA	0~2,195	2,195~2,865	2,865 이상
CALICHE	0~1,920	1,920~2,651	2,651 이상
LIMESTONE	0~2,377	2,377~2,803	2,803 이상
METAMORPHIC ROCKS			
SCHIST	0~2,195	2,195~2,644	2,644 이상
SLATE	0~2,195	2,195~2,805	2,805 이상
MINERALS & ORES			
COAL	0~2,316	2,316~2,896	2,896 이상
IRON ORE	0~2,470	2,470~2,988	2,988 이상

표 9. D10N Ripper 효율(대략적인 수치임)
(Multi or Single Shank Ripper, Estimated by Seismic Wave Velocities)

(D10N)	RIPPLE(m/sec)	MARGINAL(m/sec)	NON-RIPPABLE(m/sec)
TOPSOIL	0~914		
CRAY	0~2,072		
GLACIAL TILL	0~2,042	2,042~2,530	2,530 이상
IGNEOUS ROCKS			
GRANITE	0~2,225	2,225~2,560	2,560 이상
BASALT	0~2,438	2,438~2,712	2,712 이상
TRAP ROCKS	0~2,316	2,316~2,620	2,620 이상
SEDIMENTARY ROCKS			
SHALE	0~2,713	2,713~3,260	3,260 이상
SANDSTONE	0~2,591	2,591~3,260	3,260 이상
SILTSTONE	0~2,743	2,742~3,323	3,323 이상
CLARYSTONE	0~2,743	2,743~3,292	3,292 이상
CONGLOMERATE	0~2,560	2,560~3,170	3,170 이상
BRECCIA	0~2,530	2,530~3,140	3,140 이상
CALICHE	0~2,195	2,195~3,140	3,140 이상
LIMESTONE	0~2,621	2,621~3,352	3,352 이상
METAMORPHIC ROCKS			
SCHIST	0~2,347	2,347~2,896	2,896 이상
SLATE	0~2,408	2,408~2,957	2,957 이상
MINERALS & ORES			
COAL	0~2,408	2,408~3,139	3,139 이상
IRON ORE	0~2,743	2,743~3,353	3,353 이상

표 10. D11N Ripper 효율(대략적인 수치임)
(Multi or Single Shank Ripper, Estimated by Seismic Wave Velocities)

(D11N)	RIPPLE(m/sec)	MARGINAL(m/sec)	NON-RIPPABLE(m/sec)
GLACIAL TILL	0~2,195	2,195~2,805	2,805 이상
IGNEOUS			
GRANITE	0~2,469	2,469~2,496	2,496 이상
BASALT	0~2,652	2,957	2,957 이상
TRAP ROCKS	0~2,530	2,987	2,987 이상
SEDIMENTARY			
SHALE	0~3,140	3,140~3,811	3,811 이상
SANDSTONE	0~2,987	2,987~3,688	3,688 이상
SILTSTONE	0~3,017	3,017~3,688	3,688 이상
CLAYSTONE	0~3,017	3,017~3,688	3,688 이상
CONGLOMERATE	0~2,834	2,834~3,504	3,504 이상
BRECCIA	0~2,743	2,743~3,505	3,505 이상
CALICHE	0~2,316	2,316~3,352	3,352 이상
LIMESTONE	0~3,017	3,017~3,839	3,839 이상
METAMORPHIC			
SCHIST	0~2,499	2,499~3,109	3,109 이상
SLATE	0~2,621	2,621~3,231	3,231 이상
MINERALS & ORES			
COAL	0~2,621	2,621~3,474	3,474 이상
IRON ORE	0~2,987	2,987~3,597	3,597 이상

Weaver는 Rippability 평가를 위한 구분으로서 암반의 수정된 형태의 Geomechanics Classification을 제안하였으며 그 내용은 다음 표 11과 같다.

표 11. Rippability 구분등급(after Weaver 1975)

Rock Class	I	II	III	IV	V
Description	Very good rock	Good rock	Fair rock	Poor rock	Very poor rock
Seismic velocity(m/s)	≥2,150	2,150~1,850	1,850~1,500	1,500~1,200	1,200~450
Rating	26	24	20	12	5
Rock hardness	Extremely hard rock	Very hard rock	Hard rock	Soft rock	Very soft rock
Rating	10	5	2	1	0
Rock weathering	Unweathered	Slightly weathered	Weathered	Highly weathered	Completely weathered
Rating	9	7	5	3	1
Joint spacing(mm)	>3,000	3,000~1,000	1,000~300	300~50	<50
Rating	30	25	20	10	5
Joint continuity	Non-continuous	Slightly continuous	continuous-no gouge	continuous-some gouge	continuous-with gouge
Rating	5	5	3	0	0
Joint gouge	No separation	Slightly separation	Separation <1mm	Gouge<5mm	Gouge>5mm
Rating	5	5	4	3	1
Strike and dip orientation	Very unfavourable	Unfavourable	Slightly unfavourable	Favourable	Very favourable
Rating	15	13	10	5	3
Total rating	10090	90~70 [†]	70~50	50~25	<25
Rippability assessment	Blasting	Extremely hard ripping and blasting	Very hard ripping	Hard ripping	Easy ripping
Tractor selection	-	DD9G/D9G	D9/D8	D8/D7	D7
Horsepower	-	770/385	385/270	270/180	180
Kilowatts	-	575/290	290/200	200/135	135

* Original strike and dip orientation now revised for rippability assessment

† Rating in excess of 75 should be regarded as unrippable without pre-blasting

Kirsten(1982)은 굴착지수(N)를 결정하기 위하여 Q-system을 인용하였는데 여기에서 굴착지수(N)는 다음 식 1에서 산정된다.

$$N = M_s \cdot \frac{RQD}{J_n} J_s \cdot \frac{J_r}{J_a}$$

여기서 : M_s : 일축압축강도
 RQD : Rock Quality Designation
 J_n, J_r, J_a : Q system에서의 조인트갯수, 거칠기, 변질지수
 J_s : *actmaterial*
 N : 굴착지수

(1)

상기 식에서, M_s (mass strength number)는 불연속면이 없는 건조하고 균질한 재료를 굴착하는데 필요한 힘이고, 절리를 포함한 암반의 밀도를 평가하기 위한 RQD값과 암반의 자유도를 평가하기 위한 절리군수(J_n)를 고려하였다. 또한 J_s 는 굴착시 블록의 형상과 절리면의 주향 등에 의한 굴착난이도 감소효과를 고려하기 위한 항목이다.

마지막 항에서 절리면의 거칠기와 절리면 사이의 충전물 또는 풍화정도 등을 고려하였는데, 이는 암반의 개략적인 전단강도를 제공하기도 한다. 이러한 방법은 무결함 암반의 굴착에 필요한 에너지를 예측하고 여기에다 절리면의 변형정도와 결합정도를 고려하여 감소시키는 방법이다.

Mass strength number(M_s)는 다섯 가지 항목으로 구성되어 있으며 표 12(a)과 같다. RQD는 현장 코아로부터 계산하거나 단위 체적당 절리수(J_c)를 이용하여 계산할 수 있는데 단위 체적당 절리수와 RQD와의 관계식은 다음 식 2와 같다.

$$RQD = 115 - 3.3J_v$$
(2)

RQD와 관련된 J_v 값은 표 12(b), 절리군의 수(J_n)는 표 12(c)와 같다.

불연속면의 간격과 주향은 지반굴착과 암반의 각각의 블록을 제거하는데 필요한 에너지에 영향을 미치며 리핑작업의 방향은 불연속면의 주향과 반대방향일 때보다는 동일한 방향으로 이루어질 때 보다 수월하다. 리퍼의 암반관입 가능성은 불연속면의 경사와 직접적인 관계가 있다. 일반적으로 암반에는 1개 이상의 절리군이 존재하고 리퍼의 암반관입 가능성은 단위 체적당 불연속면의 수를 고려한 불연속면의 평균 경사로 나타내어 질 수 있다.

불연속면의 주향과 경사의 변화에 대한 J_v 값은 표 12(d)와 같으며 다양한 절리조건에 대한 절리의 거칠기와 절리면의 풍화정도는 표 12(e), (f)와 같다.

그러나, 이러한 요소들을 정확하고 충분하게 결정할 수 있는 시험방법은 아직까지 존재하지 않으므로 Kirsten(1982)은 절리면의 강도를 식 3과 같이 결정할 수 있다고 제안하였다.

$$\frac{J_r}{J_a} = \arctan\left(\frac{\tau_p}{\sigma_n}\right)$$
(3)

이는 Bandis et al.이 정의한 총마찰각(total friction angle)을 의미한다. 암반내에 강성이 다

른 몇 개의 절리군이 있다면 각각의 절리군에 대하여 Jr/Ja값을 결정하여야 하는데, 암반에 대한 등가 절리강성은 단위 체적당 각 절리군의 절리수를 고려하여 각 절리군별 Jr/Ja값의 평균값으로 결정할 수 있다.

표 12. 굴착지수 결정을 위한 변수(after Kirsten, 1982)

(a) Mass strength number for rock(Ms)

Hardness	Identification in profile	Unconfined compressive strength(Mpa)	Mass strength number(Ms)
Very soft rock	Material crumbles under firm(moderate) blows with sharp end of geological pick and can be peeled off with a knife. It is too hard to cut a triaxial sample by hand	1.7	0.87
		1.7~3.3	1.86
Soft rock	Can just be scraped and peeled with knife ; indentations 1-3mm show in the specimen with firm(moderate) blows of the pick point	3.3~6.6	3.95
		6.6~13.2	8.39
Hard rock	Cannot be scraped or peeled with a knife ; hand-held specimen can be broken with hammer end of a geological pick with a single firm(moderate) blow	13.2~26.4	17.7
Very hard rock	Hand-held specimen breaks with hammer end of pick under more than one blow	26.4~53.0	35.0
		53.0~106.0	70.0
Extremely hard rock(very, very hard rock)	Specimen requires many blows with geological pick to break through intact material	106.0~212.0	140.0
		212.0	280.0

(b) Joint count number(Jc)

Number of joints per cubic metre(Jc)	Rock quality designation(RQD)	Number of joints per cubic metre(Jc)	Rock quality designation(RQD)
33	5	18	55
32	10	17	60
30	15	15	65
29	20	14	70
27	25	12	75
26	30	11	80
24	35	9	85
23	40	8	90
21	45	6	95
20	50	5	100

(c) Joint set number(Jn)

Number of joint sets	Joint set number(Jn)
Intact, no or few joint/fissures	1.00
One joint/fissure set	1.22
One joint/fissure set plus random	1.50
Two joint/fissure sets	1.83
Two joint/fissure sets plus random	2.24
Three joint/fissure sets	2.73
Three joint/fissure sets plus random	3.34
Four joint/fissure sets	4.09
Multiple joint/fissure set	5.00

Note : For intact granular materials take Jn=5.00

(d) Relative ground structure number(Js)

Dip direction of closer spaced joint set(degrees)	Dip angle [†] of closer spaced joints set(degrees)	Ratio of joint spacing, r			
		1:1	1:2	1:4	1:8
180/0	90	1.0	1.00	1.00	1.00
0	85	0.72	0.67	0.62	0.56
0	80	0.63	0.57	0.50	0.45
0	70	0.52	0.45	0.41	0.38
0	60	0.49	0.44	0.41	0.37
0	50	0.49	0.46	0.43	0.40
0	40	0.53	0.49	0.46	0.44
0	30	0.63	0.59	0.55	0.53
0	20	0.84	0.77	0.71	0.68
0	10	1.22	1.10	0.99	0.93
0	5	1.33	1.20	1.09	1.03
0/180	0	1.00	1.00	1.00	1.00
180	5	0.72	0.81	0.86	0.90
180	10	0.63	0.70	0.76	0.81
180	20	0.52	0.57	0.63	0.67
180	30	0.49	0.53	0.57	0.59
180	40	0.49	0.52	0.54	0.56
180	50	0.53	0.56	0.58	0.60
180	60	0.63	0.67	0.71	0.73
180	70	0.84	0.91	0.97	1.01
180	80	1.22	1.32	1.40	1.46
180	85	1.33	1.39	1.45	1.50
180/0	90	1.00	1.00	1.00	1.00

* Dip-direction of closer spaced joint set relative to direction of rip

† Apparent dip angle of closer spaced joint set in vertical plane containing direction of ripping

(e) Joint roughness number(Jr)

Joint separation	Condition of joint	Joint roughness number(Jr)
Joint tight or closing during excavation	Discontinuous joint	4.0
	Rough or irregular, undulating	3.0
	Smooth undulating	2.0
	Slickensided undulating	1.5
	Rough or irregular, planar	1.5
	Smooth planar	1.0
Joints open and remain open during excavation	Slickensided planar	0.5
	Joints either open or containing relatively soft gouge of sufficient thickness to prevent joint wall contact upon excavation	1.0

(f) Joint alteration number(Ja)

Description of gouge	Joint alteration number(Ja) for joint separation(mm)		
	<1.0 [†]	1.0-5.0 [†]	>5.0 [†]
Tightly healed, hard, non-softening impermeable filling	0.75	-	-
Unaltered joint walls, surface staining only	1.0	-	-
Slightly altered, non-softening, non-cohesive rock mineral or crushed rock filling	2.0	4.0	6.0
Non-softening, slightly clayey non-cohesive filling	3.0	6.0	10.0
Non-softening strongly over-consolidated clay mineral filling, with or without crushed rock	3.0 [§]	6.0 [§]	10.0 [§]
Softening or low-friction clay mineral coatings and small quantities of swelling clays	4.0	8.0	13.0
Softening moderately over-consolidated clay mineral filling, with or without crushed rock	4.0 [§]	8.0 [§]	13.0 [§]
Shattered or micro-shattered(swelling) clay gouge, with or without crushed rock	5.0	10.0	18.0

* Joint walls effectively in contact

† Joint walls come into contact after approximately 100mm shear

‡ Joint walls do not come into contact at all shear

§ Values added to Barton's data

굴착난이도에 따른 등급별 범위는 다음 표 13과 같다.

Atkinson(1970)은 가장 효율이 좋은 리핑작업 길이는 70~90m라고 제안하였으며, 진행작업 속도는 3km/h를 유지하는 것이 타당하다고 제안하였다. 적절한 암반의 파쇄는 리퍼의 작업 간격에 따라 달라지며, 리핑 작업량은 불도저의 크기와의 관련이 있는데 일반적으로 작업량은 40~230m³/h이다.

표 13. 암반의 굴착방법 구분

Material Type	Class	Excavation class boundaries(N)	Description excavatability
Rock	1	1.0~9.99	Easy ripping
	2	10.0~99.9	Hard ripping
	3	100~999	Very hard ripping
	4	1,000~9,999	Extremely hard ripping / blasting
	5	Larger than 10,000	Blasting

Quoted in Caterpillar Performance Handbook

2.3 각종 발파 및 굴착공법의 시공성 및 경제성 분석

암석파쇄를 목적으로 하는 토공이나 터널굴착 방법으로는 크게 화약에 의한 발파공법, 기계에 의한 굴착공법 그리고 팽창성 파쇄재나 C.C.R과 같은 미진동 파쇄공법을 들 수 있다. 위의 여러 가지 방법 중 어떤 방법을 채택할 것인가는 주변 환경조건, 시공성, 안정성 및 경제성을 종합하여 검토되어야 한다.

발파작업의 경우, 암반의 등급(풍화암, 연암, 보통암, 경암)과 작업방법(인력, 기계력), 작업장의 형태(편질형, 양면 질취형), 작업량의 정도 그리고 발파에 제한을 미치는 각종 시설물의 존재여부에 따라 작업능률 및 경제성에 큰 차이를 나타내게 된다(표 14. 참조).

표 14. 토공 굴착공법의 특성비교(토지공사, 1993)

굴착공법	세분내역	조업특성	경제성 (단가, 원/m ³)	시공성 (굴착량, m ³ /일)
발파공법	대상암반 : 일부 연암, 보통암, 경암 대규모 발파공법	- 작업장 주변에 시설물이 없어 폭약사용에 제한이 없는 경우 - 진동, 소음, 비산이 발생 - 크롤러 드릴에 의한 대규모 작업기준	2 (5,419)	2 (47.6)
	제어발파공법	- 주변에 시설물이 있어 소음, 비산을 제어해야 함 - 대규모 발파법에 비하여 능률이 떨어짐 - 소규모 hand drill에 의한 작업	3 (13,027)	3 (12.5)
	선행이완발파	- 주변 시설물에 인접되어 제어발파의 경우보다 더욱 약장약으로 발파하여 암반에 인공균열을 형성 - 립퍼 또는 브레이크로 제거함 - 팽창성 파쇄재, C.C.R. 대신 사용	4 (15,300)	5 (9)
기계굴착공법	Ripping 공법	- 풍화암 또는 일부 연암에 효과적	1 (467)	1 (약 500)
	브레이커 공법	- 리핑 및 발파작업이 어려운 조건에서 채택 - 비교적 경암에도 적용가능 - 소음이 발생	5 (15,484)	4 (11.0)
특수공법	미진동, 미소음 파쇄공법	- C.C.R이라는 특수 화약류를 사용하여 암반에 균열을 형성 - Backhoe나 리퍼로 끊어내어 제거 - 진동, 소음이 적으나 2차파쇄가 요구됨	6 (32,426)	6 (8)
	팽창성 파쇄재 공법	- 굴착대상 암반에 천공후 팽창성 파쇄재를 주입하여 인공균열 형성 - 장약후 암이 파쇄될 때까지 상당한 시간이 요구됨 - Backhoe나 리퍼로 끊어냄 - 진동, 소음이 없음	7 (78,179)	7 (4.6)

3. 고속도로공사의 암반 굴착난이도 평가

3.1 암반의 굴착난이도 평가

고속도로 현장에서 암반의 굴착난이도 판정방법은 아직까지 통합된 기준안을 가지고 있지 않으며 사업소 및 현장에 따라 다소 다른 기준안을 가지고 있다.

일반적으로 현장에서 실시하는 암판정의 목적은 공사 설계시 물리탐사, 시추조사 및 실내시험 성과에 의하여 암을 분류하고 경계성을 추정하였으나 암판정 위원을 구성하여 현장 터파기 및 굴착시 직접 육안으로 확인하고 필요시 시험을 실시하므로써 토공작업의 원활한 공사추진과 굴착비용 산정을 위함이다.

3.1.1 암판정 준비

현장에서의 암판정 준비는 토사, 리핑암, 발파암의 경계부가 확인될 수 있도록 토공면을 청소하여야 하며 토사와 리핑암 경계부는 흰색 또는 파란천(20cm×5cm), 리핑암과 발파암의 경계부는 적색천(20cm×5cm)로 각 경계부를 표시한다. 그리고 기타 준비물로는 대삼각자 2개, Scale 1개, 지우개, 50m 줄자, 쇠파지, 정, 측량기, 계산기, 설계도, 야장, 수준점(B.M)현황, 카메라(근경, 원경, 검측광경 촬영), 검측용 도면, 깃발 또는 스프레이(적색), 시험서류 및 시험에 필요한 장비, 기기, 슈미트 해머(강도 측정용 기기), 발생암 시편제작(규격 $L \times B \times H = 5cm \times 5cm \times 5cm$; 4개, 시험실에 계속 보관) 등을 암판정을 위해 준비한다.

감리원은 설계시 추정된 암반선에 대하여 시공중 실제 암반선 노출시에 현장에서 사진 및 측량을 실시하여 확인하고 필요시 시험을 실시하여 암반선을 판정하여야 한다. 그리고 설계시에는 물리탐사, 시추조사 및 실내시험 성과에 의해서 암반을 분류하고 지층 경계선을 추정하나 현장 작업시에는 직접 육안으로 확인하고 필요한 시험을 실시하여 더욱 정확한 판정을 하여야 한다.

3.1.2 암판정 방법

시공회사는 그림 4와 같은 절차에 의해 감독원에게 암판정을 의뢰하고 감독원은 사업소 품질관리부에 보고한다. 사업소에서는 암판정을 위한 암판정 위원회를 구성하는 데 이 때 구성되는 암판정 위원회는 위원장이 건설사업소장, 위원으로 품질관리부장, 품질관리과장, 담당 공사부장, 담당 설계과장, 주감독, 자문감리단 토질담당, 지반공학분야 전문가 등의 7~8명 정도로 구성된다.

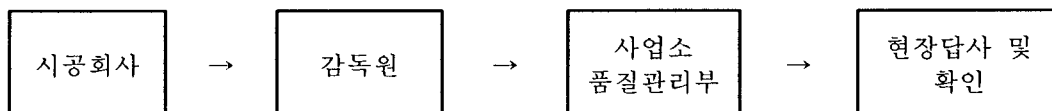


그림 4. 사업소의 암판정을 위한 절차

암판정방법은 현지 육안확인이 주를 이루는 데 필요시 현장시험(일축압축강도, 슈미트 해머 확인, 필요시 탄성과 탐사)등을 병행한다. 그리고 판단이 애매한 경우는 그림 5와 같이 굴착장비를 이용하여 굴착 가능여부를 판단한다.

일반적으로 암판정 시행은 절토부 암검측일 경우, 최초 및 중간 암이 발생하는 구간에 대해 시행하며 주감독이 자체 조사 후 서류를 작성 비치하여 최종 암판정시 참고자료로 활용한다. 그리고 횡단도에 암판정 구분선을 표시하며 측량성과표, 사진(최초 및 중간암 전단면 노출상태), 일축압축강도 시험결과치를 첨부한다. 그리고 최종 절취 완료 후에도 암판정은 암판정 위원회에 의해 현장에서 시행된다.



그림 5. 암판정이 애매한 경우 굴삭기에 의한 리핑 가능여부 확인 작업

3.1.3 암판정후 결과정리

암판정이 완료되면 암판정한 횡단면도는 별도 보관하고 새로운 횡단면도에 결과를 정리한다. 결과를 정리한 횡단면도의 적당한 여백에 암판정 고무인을 적색으로 직인하며 암판정한 횡단면도와 결과를 정리한 횡단면도 및 공사비 증감 내역서를 설계과장에게 제출하여 암판정 임원들의 확인을 득한 후 여건 보고한다.

3.1.4 매몰부분의 검사

감리원 또는 감독원은 시공 후 매몰되거나 사후 검사가 곤란한 암반선은 반드시 현장 검측한 후 시공 상태를 증빙할 수 있는 사진 또는 비디오로 촬영(기초암반은 천연색 사진촬영) 테이프와 상세한 시공기록을 작성 비치하여야 하며 발주기관 등의 요구가 있을 때에는 이를 제시하여야 한다. 매몰부분 검사기록 사진 또는 비디오테이프는 촬영일자, 촬영내용을 기록하고 공종별로 구분하여 작업 순서대로 정리하여야 한다.

3.2 암반의 굴착난이도 평가방법의 문제점

3.2.1 굴착장비에 대한 문제

외국의 암판정 기준이 주로 D8N, D9N, D10N 등과 같은 불도우저를 기준으로 하고 있으며 국내의 암판정을 위한 기준들도 그림 6과 같이 굴착장비 30~32ton급 불도우저로 리핑이 가능한지 불가능한지의 여부를 탄성과 속도에 따라 구분하고 있다. 그러나 실제 건설현장에는 30~32ton급 불도우저를 사용하기 보다는 그림 7과 같이 주로 굴삭기를 이용하여 굴착을 하고 있으며 굴삭기에 의해 굴착이 불가능 한 경우에는 그림 8과 같이 브레이크(Braker)를 굴삭기

설치하여 리핑암 및 발파암을 굴착하거나 폭약을 사용하여 발파하여 암반을 굴착하게 된다.

그러므로 현재 국내 굴착공사에서 주로 사용하고 있는 장비를 기준으로 굴착난이도 평가 기준을 작성 할 필요가 있다.

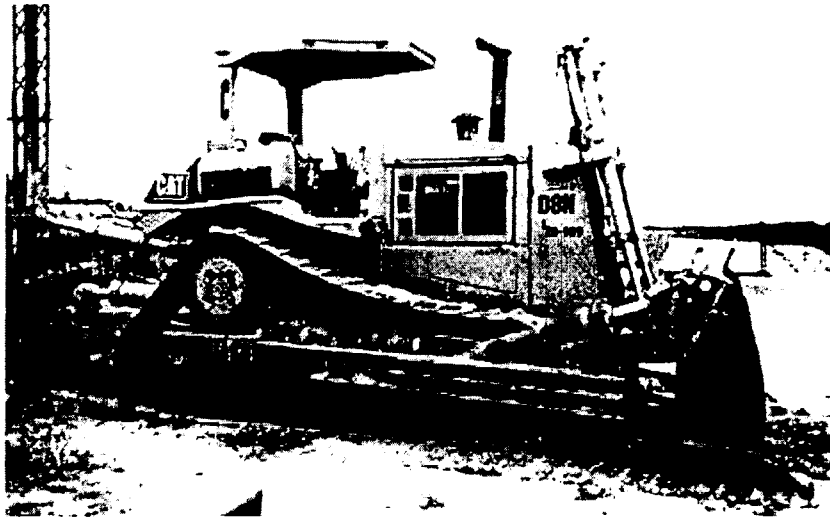


그림 6. 32ton급 불도우저

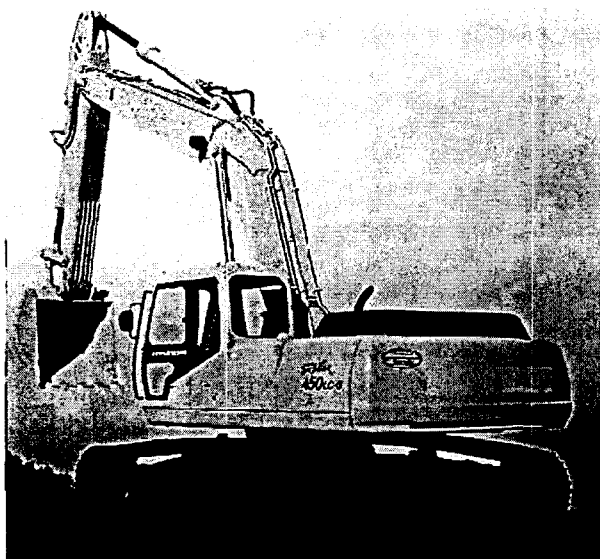


그림 7. 건설현장에서 토공작업시 주로 사용되고 굴삭기

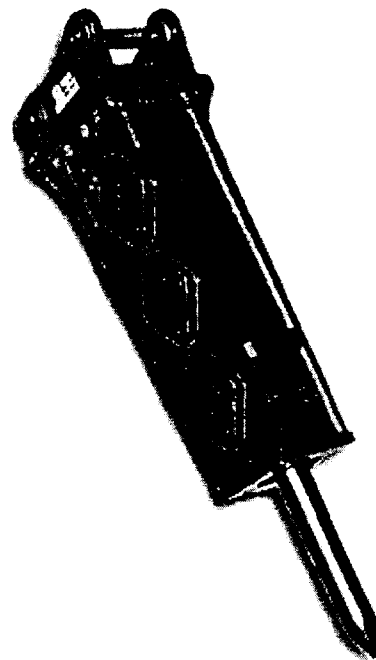


그림 8(a). 브레커

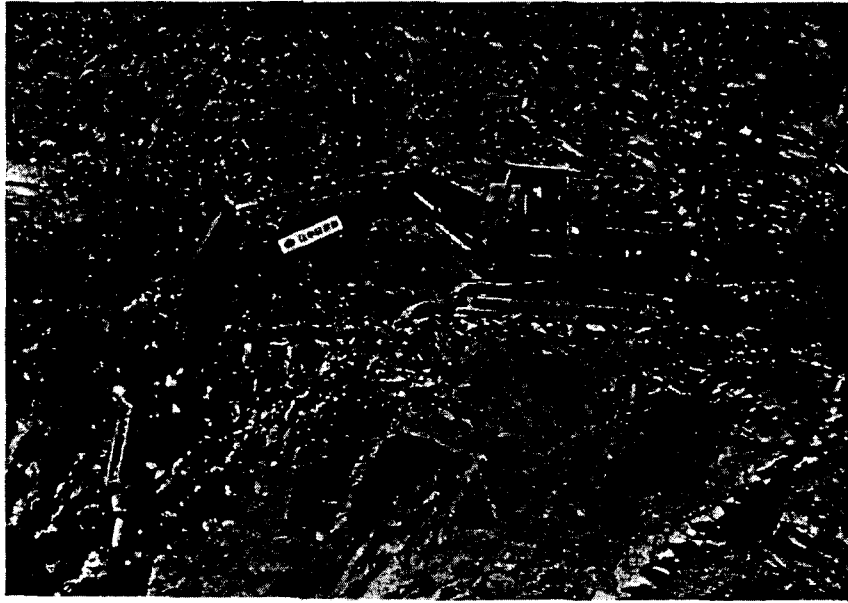


그림 8(b). 브레커에 의한 암반 굴착작업광경

3.2.2 지반구성물질 평가에 대한 모호성

지반구성물질은 단단한 암석이 자연적인 물리적, 화학적인 풍화로 약화되어 형성된 것으로 풍화과정이 매우 복잡할 수 있으며 구성 지반내에 발달하는 지질구조에 따라 매우 복잡한 풍화단면을 보이는 경우가 많다. 특히, 국내의 변성암에서는 단층 및 파쇄대와 같은 지질구조선이 많은 발달하고 있어 그림 9와 같이 단단한 암반층 사이에 지질해머로 굴착이 가능한 정도의 강도를 갖는 토층이 대규모로 존재하기도 한다. 그리고 원거리상에서의 암색은 붉은 색으로 산화작용을 받아 풍화암정도의 리핑이 가능한 암으로 보이나 실제 근거리에서는 매우 강한 암석강도를 보이기도 하므로 판단의 오류소지를 가지고 있는 경우가 많다.

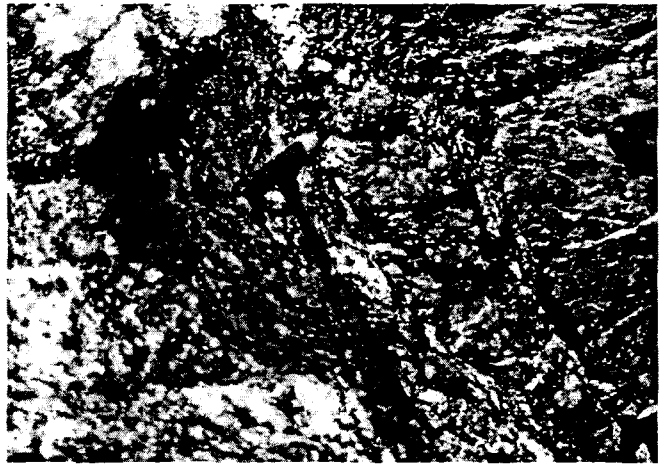


그림 9. 단단한 암반 사이에 존재하는 연약대

주로 암판정시 20m의 횡단면도에 표시하기 때문에 종단방향으로 풍화단면이 불규칙한 경우, 중간 부분에서 리핑암과 발파암을 구분하기가 어려운 경우가 발생하게 된다. 그리고 그림 10과 같이 도로의 횡단면상에서의 암판정 문제는 굴착 후에 암판정을 실시하게 되면, 횡단상의 암반이 굴착되어 제거되므로 그 경계면을 찾기 매우 어려우므로 굴착당시에 이를 증빙할 수 있는 사진, 측량도면, 비디오 테이프와 같은 정확한 자료를 수집하여야 한다. 이에 대한 판단이 어려운 경우, 암반선이 지형과 평행하다고 판단한다.

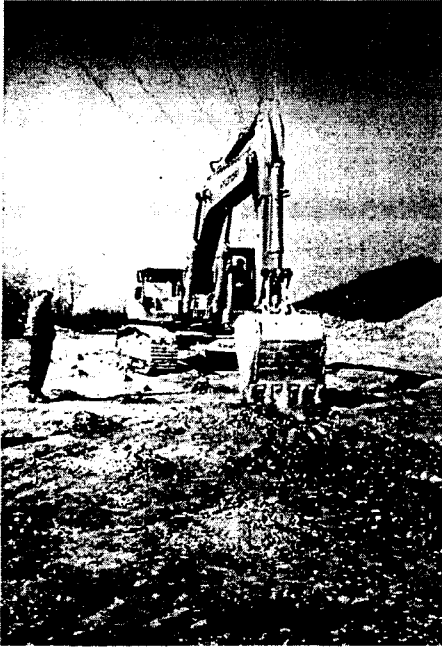


그림 10(a). 횡단상 리핑암과 발파암의 경계 확인작업



그림 10(b). 횡단상 리핑암과 발파암의 경계 확인작업

3.3 토층, 리핑암, 발파암의 단가

토공작업시 굴착난이도에 따라 건설부 표준품셈에 의해 토층, 리핑암, 발파암으로 구분하고 있으며 이에 따라 각기 다른 가격기준을 적용하고 있다.

토층, 리핑암, 발파암의 굴착비용을 비교하여 보면, 표 15와 같이 신설구간인 경우, 토층과 리핑암과의 단가차이는 2배 정도로 크지 않으나 리핑암과 발파암은 단가 차이가 무려 8배 정도 차이를 보인다. 그리고 확장구간에서는 브레커작업(90%)과 발파작업(10%)의 비율로 실시하는 경우 리핑암의 발파암은 15배 정도를 차이를 보인다. 그러나 건설현장에서 리핑암과 발파암을 확연하게 구분되지 않는 애매함을 가지고 있으나 굴착비용의 차이가 너무나 크게 나고 있다.

그러므로 리핑과 발파의 판단이 어려운 암반에 대한 리핑암과 발파암의 중간단계, 어려운 리핑암 또는 준발파암과 같은 등급의 굴착단가 산출이 요구된다.

표 15. 토층, 리핑암, 발파암의 단가예(1998년도 기준 ; 원/㎡)

구 분		단 가(원)
토 사		564
리 핑 암		1,044
발 파 암	신설발파(100%)	8,252
	확장(발파 10%, 브레카 90%)	15,945
	미진동 발파	20,402

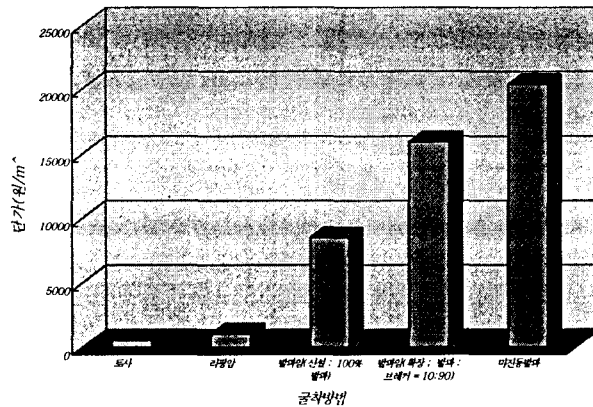


그림 11. 토층, 리핑암, 발파암의 굴착단가 비교

4. 토층, 리핑암, 발파암의 강도 및 탄성과 속도기준

암반의 굴착난이도에 대한 판정은 굴착장비의 성능 및 암반의 강도, 풍화정도, 절리간격 등의 여러 가지 요소에 의해 좌우된다.

일반적으로 국내에 사용되고 있는 굴착난이도 판정을 위한 기본적인 기준이 없으므로 시험 자료를 이용하여 리핑암과 발파암에 대한 기준을 수립하고자 한다.

4.1 굴착난이도별 암석의 강도기준

암반의 굴착난이도를 결정하기 위하여 암반의 풍화등급별로 암편을 선택하여 점하중강도, 슈미트 해머수치, 일축압축강도, 흡수율 등의 시험을 실시하였다. 그런데 암반의 풍화정도를 5 종류의 등급(CW, HW, MW, SW, F)으로 구분하여 결정하는 방법 자체에서도 주관적인 판단이 도입된다. 각 풍화등급 별로 집단을 이루어 공통적인 경향을 가진다 할지라도 이러한 풍화등급에 따른 암반의 굴착 난이도 평가는 객관성이 떨어진다. 몇몇 특수한 경우는 이런 풍화등급별로 암반의 굴착난이도를 평가하는 것이 가능하다. 그러나 일반적인 경우 주관적인 판단에 대한 현실적인 접근을 위하여 확률론적 해석이 요구된다.

일축압축강도 시험에 대한 통계처리결과는 표 16 및 그림 12와 같이 F 등급에서 평균(μ) 1,152.34kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 420.49로 다소 큰 편차값을 보인다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 614.11~1690.57kg/cm², 90%의 경우 460.63~1844.05kg/cm², 95%의 경우 328.18~1976.50kg/cm²의 범위값 분포를 보인다. 그리고 SW 등급에서 평균(μ) 664.77kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 296.83로 일축압축강도가 다소 작은 값을 보인다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 284.83~1044.71kg/cm², 90%의 경우 176.48~1153.06kg/cm², 95%의 경우 82.98~1246.56kg/cm²의 범위값 분포를 보인다.

MW 등급에서 평균(μ) 473.7kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 170.30으로 일축압축강도가 다소 작은 값을 보인다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 255.72~691.68kg/cm², 90%의 경우 193.56~753.84kg/cm², 95%의 경우 139.91~807.49kg/cm²의 범위값 분포를 보인다.

점하중강도 시험에 대한 통계처리결과는 표 17 및 그림 13과 같이 F 등급에서 평균(μ) 57.99kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 19.42의 값을 갖는다. 이에 대한 80%의 분포영역

역인 경우 33.13~82.85kg/cm², 90%의 경우 26.04~89.94kg/cm², 95%의 경우 19.93~96.05kg/cm²의 범위값 분포를 보인다. 그리고 SW 등급에서 평균(μ) 31.5kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 8.54의 값을 갖는다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 20.57~42.43kg/cm², 90%의 경우 17.45~45.55kg/cm², 95%의 경우 14.76~48.14kg/cm²의 범위값 분포를 보인다.

MW 등급에서 평균(μ) 16.25kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 7.60의 값을 갖는다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 6.52~25.98kg/cm², 90%의 경우 3.75~28.75kg/cm², 95%의 경우 1.35~31.15kg/cm²의 범위값 분포를 보인다.

HW 등급에서 평균(μ) 5.28kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 3.47의 값을 갖는다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 0.84~9.72kg/cm², 90%의 경우 0~10.99kg/cm², 95%의 경우 0~12.08kg/cm²의 범위값 분포를 보인다.

슈미트해머 시험에 대한 통계처리결과는 표 18 및 그림 14와 같이 F 등급에서 평균(μ) 46.92 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 7.74의 값을 나타낸다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 36.88~56.96, 90%의 경우 34.02~59.82, 95%의 경우 31.55~62.29의 범위값 분포를 보인다. 그리고 SW 등급에서 평균(μ) 34.82 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 4.46의 값을 얻었다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 29.11~40.53, 90%의 경우 27.48~42.16, 95%의 경우 26.08~43.56의 범위값 분포를 보인다.

MW 등급에서 평균(μ) 25.26 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 5.51의 값을 얻었다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 18.21~32.31, 90%의 경우 16.20~34.32, 95%의 경우 14.46~36.06의 범위값 분포를 보인다.

HW 등급에서 평균(μ) 14.4 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 3.87의 값을 얻었다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 9.45~19.35, 90%의 경우 8.03~20.77, 95%의 경우 6.81~21.99의 범위값 분포를 보인다.

표 16. 풍화등급별 일축압축강도 시험의 통계처리 결과

구 분	HW		MW		SW		F	
	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)
분포영역	-	-	473.7	170.30	664.77	296.83	1152.34	420.49
80%구간	-	-	255.72~691.68		284.83~1044.71		614.11~1690.57	
90%구간	-	-	193.56~753.84		176.48~1153.06		460.63~1844.05	
95%구간	-	-	139.91~807.49		82.98~1246.56		328.18~1976.50	

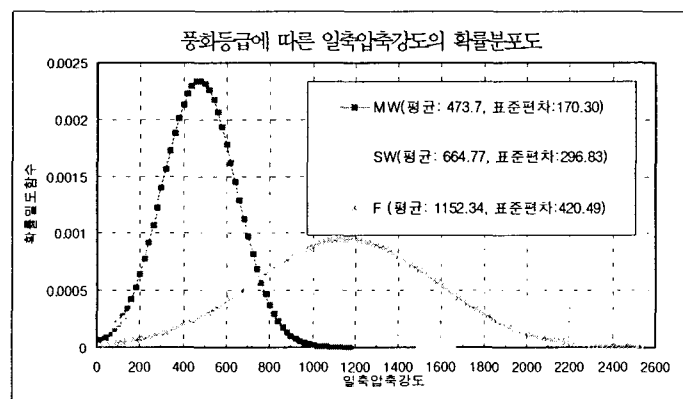


그림 12. 풍화등급별 일축압축강도에 대한 확률밀도함수

표 17. 풍화등급별 점하중강도 시험의 통계처리 결과

구 분	HW		MW		SW		F	
	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)	평균 (kg/cm ² ; μ)	표준편차 (σ)
	분포영역	5.28	3.47	16.25	7.60	31.5	8.54	57.99
80%구간	0.84~9.72		6.52~25.98		20.57~42.43		33.13~82.85	
90%구간	0~10.99		3.75~28.75		17.45~45.55		26.04~89.94	
95%구간	0~12.08		1.35~31.15		14.76~48.14		19.93~96.05	

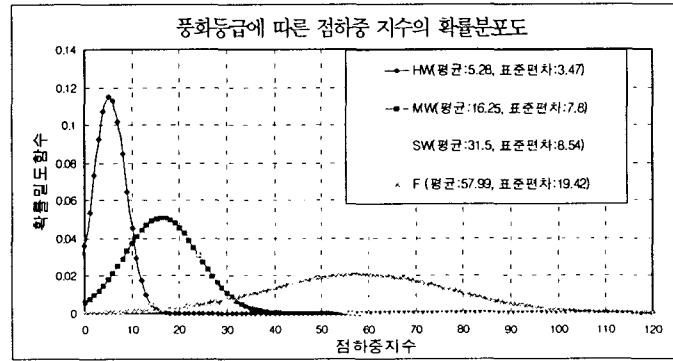


그림 13. 풍화등급별 점하중강도에 대한 확률밀도함수

표 18. 풍화등급별 슈미트 해머 시험의 통계처리 결과

구 분	HW		MW		SW		F	
	평균	표준편차 (σ)	평균	표준편차 (σ)	평균	표준편차 (σ)	평균	표준편차 (σ)
	분포영역	14.4	3.87	25.26	5.51	34.82	4.46	46.92
80%구간	9.45~19.35		18.21~32.31		29.11~40.53		36.88~56.96	
90%구간	8.03~20.77		16.20~34.32		27.48~42.16		34.02~59.82	
95%구간	6.81~21.99		14.46~36.06		26.08~43.56		31.55~62.29	

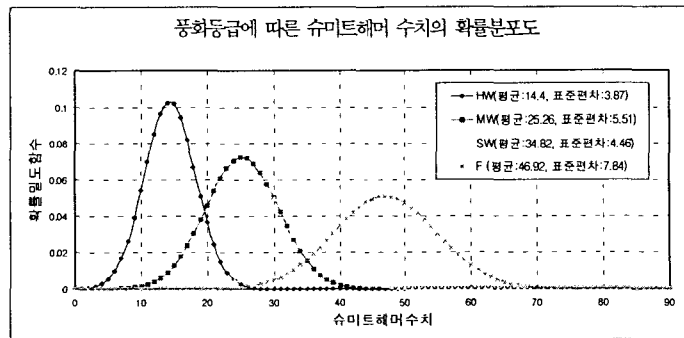


그림 14. 풍화등급별 슈미트해머 수치에 대한 확률밀도함수

4.2 굴착난이도별 암석의 흡수율

흡수율에 대한 통계처리결과는 표 19 및 그림 15와 같이 SW 등급에서 평균(μ) 1.03% 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 0.60의 값을 보인다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 0~

9.31%, 90%의 경우 0~4.16%, 95%의 경우 0~2.21%의 범위값 분포를 보인다.

MW 등급에서 평균(μ) 1.93kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 1.14의 값을 보인다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 0.66~8.56%, 90%의 경우 0.05~3.80%, 95%의 경우 0.04~2.02%의 범위값 분포를 보인다.

HW 등급에서 평균(μ) 4.61kg/cm² 정도의 값을 갖으며 표준편차(σ) 2.40의 값을 갖는다. 이에 대한 80%의 분포영역인 경우 1.54~7.68%, 90%의 경우 0.47~3.39%, 95%의 경우 0.26~1.80%의 범위값 분포를 보인다.

표 19. 풍화등급별 흡수율 시험의 통계처리 결과

구 분	HW		MW		SW		F	
	평균 (%; μ)	표준편차 (σ)	평균 (%; μ)	표준편차 (σ)	평균 (%; μ)	표준편차 (σ)	평균 (%; μ)	표준편차 (σ)
분포영역	4.61	2.40	1.93	1.14	1.03	0.60	-	-
80%구간	1.54 ~ 7.68		0.66 ~ 8.56		0 ~ 9.31		-	
90%구간	0.47 ~ 3.39		0.05 ~ 3.80		0 ~ 4.16		-	
95%구간	0.26 ~ 1.80		0.04 ~ 2.02		0 ~ 2.21		-	

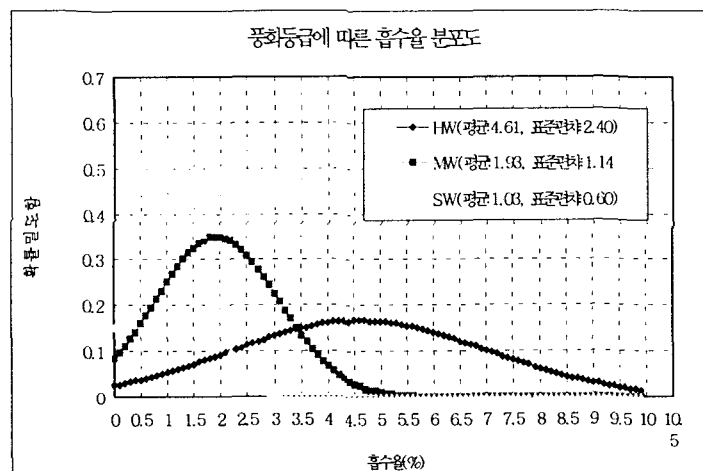


그림 15. 풍화등급별 흡수율에 대한 확률밀도함수

4.3 암종별 굴착난이도에 따른 강도 및 흡수율기준

현재 지반을 굴착하는 데 있어 토층, 리핑암, 발파암으로 굴착난이도를 구분하여 사용하는 데 굴착난이도를 결정하는 기준이 정성적인 방법에 의해 결정하고 정량적인 조사·판정방법이 없어 암판정시에 현장에서 많은 시비가 발생되는 문제점을 안고 있다.

그러므로 토공을 위한 굴착에 대한 합리적인 설계·시공이 이루어지기 위해서 앞에서 분석된 시험결과를 이용하여 토층 및 리핑암, 발파암에 대한 일축압축강도, 점하중강도, 슈미트해머 수치와 흡수율에 대한 판정 기준안을 만들고자 한다.

먼저, 리핑암과 발파암에서의 분류 기준은 확률밀도 함수 그래프에 의해 리핑암과 발파암의 상호 겹치는 구간을 기준으로 구분하였으나 경우에 따라 화성암의 경우, 실시된 시험에서 시료채취의 대표성 및 시험 오차성을 다소 감안하여 조정점을 두었다. 특히, 일축압축강도는 시험한 결과 값들이 일반적으로 문헌에서 언급된 암석강도보다 낮은 범위에 존재하였다.

위에서 시험한 결과로 리핑암과 발파암에 대한 경계 기준을 선정하면, 다음 표 20과 같이 일축압축강도, 점하중강도, 슈미트해머 수치, 흡수율 기준을 정하였다.

표 20. 암반굴착난이도별 일축압축강도, 점하중강도, 슈미트 해머수치, 흡수율 기준

암 종		굴착난이도			
		리핑암	발 파 암		
		HW	MW	SW	F
화성암	일축압축강도(kg/cm ²)	0~300	300~420	420~610	610 이상
	점하중강도(kg/cm ²)	0~7	7~16	16~32	32 이상
	슈미트 해머수치	0~20	20~28	28~38	38 이상
	흡수율(%)	3.4이상	1.5~3.4	0~1.5	-
퇴적암	일축압축강도(kg/cm ²)	0~250	250~780	780~1100	1100 이상
	점하중강도(kg/cm ²)	0~12	12~25	25~41	41 이상
	슈미트 해머수치	0~20	20~30	30~39	39 이상
	흡수율(%)	3.4이상	1.5~3.4	0~1.5	-
변성암	일축압축강도(kg/cm ²)	0~240	240~500	500~810	810 이상
	점하중강도(kg/cm ²)	0~10	10~27	27~48	48 이상
	슈미트 해머수치	0~17	17~22	22~45	45 이상
	흡수율(%)	3.4이상	1.5~3.4	0~1.5	-

4.4 토층, 리핑암 및 발파암의 탄성과 속도 기준

그림 16과 같이 암판정이 완료된 굴착사면에 대해 탄성과 탐사를 실시하여 토층, 리핑암, 발파암의 절리간격 및 탄성과속도 범위를 구하여 보았다.

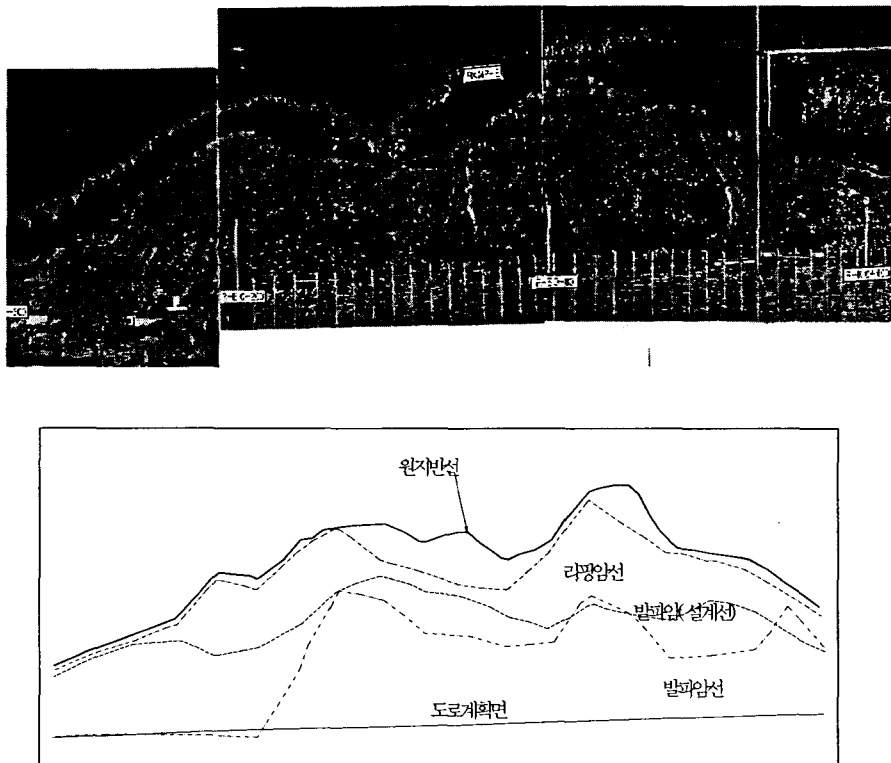


그림 16. 현장에서의 암반 굴착난이도 평가 예

토층, 리핑암, 발파암으로 이루어진 사면의 각 구성 암층에서 Scanline Method를 이용하여 다섯 차례 정도 시도하여 절리면의 평균간격을 구하여 보았다.

토층은 풍화로 인한 절리간격을 측정할 수 없었으나 리핑암 및 발파암에서는 절리간격을 측정하였다. 현장에서 조사된 이들 절리간격과 탄성과 속도와의 관계는 그림 17과 같이 나타난다. 리핑암에서의 절리간격은 약 20cm 이내에서 많이 분포하는 것으로 나타났고 발파암은 20cm 이상에서 많이 분포하고 있음을 알 수 있다.

암반의 굴착난이도에 따른 탄성과 속도 기준을 정립하기 위해 현장에서 실시된 탄성과 탐사결과에 의하면, 그림 18과 같이 토층은 주로 750m/sec 이내에서 주로 분포하는 것으로 나타났으며, 리핑암은 750~1,700m/sec 범위에서 주로 분포한다. 그리고 발파암은 1,700m/sec 이상에서 분포하는 것으로 나타났다.

탄성과 속도는 암종별로 표 21에 표시된 바와 같이 다소 차이를 보이지만 본 기준에 작성에서는 기준의 단순화를 위한 암종 구분없이 토층과 리핑암, 발파암에 대한 탄성과 속도기준안을 표 22와 같이 작성하였다.

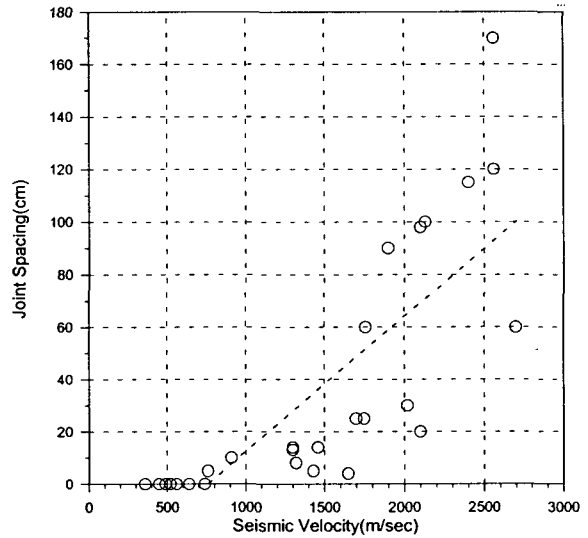


그림 17. 탄성과속도와 절리간격과의 관계

표 21. 암반 굴착난이도별 탄성과 속도 기준 설정을 위한 참고자료(단위 m/sec)

암 종	토 층	리핑암	발파암
화강암	0~600	600~1,800	1,800이상
현무암	0~600	600~1,840	1,840이상
점판암	0~700	700~1,850	1,850이상
역암	0~770	770~1,840	1,840이상
사암	0~600	600~1,900	1,900이상
세일	0~800	800~2,000	2,000이상

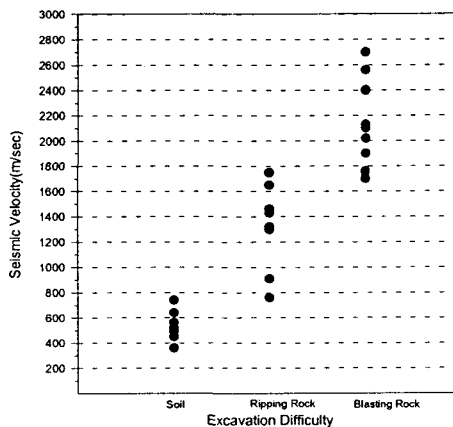


그림 18. 암반의 굴착난이도별 탄성과 속도 시험결과

표 22. 암반의 굴착난이도별 탄성파속도 기준

구 분	탄성파 속도(m/sec)	절리간격	비 고
토 층	750 이하	풍화로 측정 곤란	
리핑암	750~1,700	0~20cm	
발파암	1,700이상	20cm 이상	

5. 굴착난이도 평가를 위한 체크리스트 제안

암반의 굴착난이도에 영향을 미치는 요소들을 파악하고 그 요소들이 평가에 미치는 중요도를 분석하여 각 항목에 따라 판단에 미치는 비율을 적용하여 굴착난이도 평가법을 제안하고자 한다(표 23. 참조).

표 23. 암반굴착 난이도 평가를 위한 체크리스트

(a) 기본항목

항목구분	구 분		기준값	점수
기본항목	암석강도 (30%)	SHV	20이상	15
		점하중강도	10kg/cm ² 이상	15
	풍화도 (30%)	육안관찰	HW이하	18
		흡수율	3.4%이하	12
	암피크기 (40%)	단위체적당 절리수*	30개 이하	30
		절리면 풍화정도	HW이하	10
100	합 계			100

* 단위체적당 절리수는 현장 RQD를 대신할 수 있는 지수로서 단위체적당 절리수가 30개정도면 시추코아에 의한 RQD는 약 15%정도이다(식 2.2참조).

(b) 보완항목

항목구분	구 분		기준값	점수
보완항목	탄성파속도	탄성파속도	1700m/sec이상	+15
			1700m/sec이하	-15
	암피크기	코아 T.C.R	20%이하	+3
			20%이상	-3

제안된 암반굴착난이도 평가법의 적용은 다음의 방법으로 현장에 적용할 수 있을 것이다.

(1) 기본항목을 이용한 평가방법

- 기본항목으로 선정된 항목에 대해서는 6개 항목 모두에 대해 평가하는 것을 기본으로 한다.
- 제안된 6개 항목에 대하여 판단 기준값을 만족할 경우 그 항목에 해당하는 점수를 합산하고 기준값을 만족하지 못할 경우는 합산점수가 없이 '0'점 처리한다.
- 이렇게 해서 각 항목에 대하여 평가된 점수의 합이 '50'점을 넘을 경우 대상지반은 발파대상 암반으로 구분하고 평가점수의 합이 '50'점이 안될 경우는 리핑대상 암반으로 구분한다. 즉,

기본항목 평가점수의 합 > 50 : 발파암 < 50 : 리핑암 = 50 : 점수배분상 나올 수 없음

- 평가표에 의해서는 점수의 합이 발파암과 리핑암의 경계점인 50점이 나올 수는 없도록 하였다.

(2) 보완항목의 적용방법

- 보완항목은 굴착난이도 평가시 반드시 실시해야 하는 항목은 아니다.
- 보완항목에 의해 평가된 점수는 기본항목에 의해 합산된 점수에 가하거나 감하여 최종적으로 암의 굴착난이도를 평가하도록 한다.
- 보완항목에 대해서는 제안된 기준에 해당하는 평점을 판단한 후 기본항목에 의해 평가된 점수에 더함으로써 전체적인 평점을 산정한다.
- 보완항목에 대한 평점을 적용하므로써 기본항목에 의한 점수가 더 높아질 수도 낮아질 수도 있고 굴착난이도가 달라질 수도 있다.
- 기본항목 평점에다 보완항목에 의해 평가된 평점을 더하여 최종적인 점수의 합이 '50'점을 초과하면 발파암으로, '50'점 미만이면 리핑암으로 구분한다. 즉,

(기본항목평점+보완항목평점) > 50 : 발파암 < 50 : 리핑암 = 50 : 점수배분상 나올 수 없음
--

(3) 보완항목배점이 평가결과에 미치는 영향

기본항목에 대한 총점을 100점으로 하고 조사된 암반이 모두 제안된 기준을 만족할 경우 총점이 100점이 되도록 하였으며 항목에 대한 평가결과 총점이 50점을 기준으로 하여 50점 이상이면 발파암, 50점 미만이면 리핑암으로 구분하도록 하였다. 그러나 기본항목 이외에 추가적으로 보완항목에 대한 시험을 실시하거나 시험자료가 있을 경우, 기본항목에 의한 평점에 보완항목에 의한 값을 합산하여 최종평가를 할 수 있도록 하였다.

기본항목에 의한 평점으로 부터의 최종 판정이 보완항목에 의해 변경될 수 있는 경우는 리핑암과 발파암의 경계점수인 50점에서 최저 ±12점에서 최고 ±18점의 범위에 있을 경우, 평가된 판정이 바뀌어 질 수 있다.

이러한 경우는 기본항목에 의한 총 64가지의 경우 중 30가지의 경우로서 약 1/2 정도를 차지한다. 이는 6개의 기본항목 중 2개의 항목이 다른 기준과 다른 경우는 10가지이고, 3개의 항목이 다른 경우는 20가지로 약 기본항목에 의해 평가된 결과의 총 47% 정도가 보완항목의 결과에 따라 최종 판정결과가 변경될 수 있다는 것을 나타낸다.

6. 결론

- 1) 암반의 굴착난이도 평가를 위해 방법은 설계시에 주로 시추조사의 R.Q.D, T.C.R 및 굴착 후는 노출면 조사에 의해 리핑암과 발파암을 구분하고 있으나 탄성과 속도나 암석강도, 절리간격 등의 요소를 고려하지 않고 단지 육안적인 평가에 의존하는 정성적인 방법에 의해

실시하므로 주관적인 판정이 될 수 있어 현장에서 리핑암과 발파암을 구분할 수 있는 기준이 필요하다.

- 2) 본 논문은 실내시험 결과로 리핑암과 발파암에 대한 경계 기준을 아래와 같이 암종별로 작성하였다.
 - 화성암은 리핑암과 발파암에 대한 일축압축강도의 기준을 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 하였으며 점하중강도 $7\text{kg}/\text{cm}^2$, 슈미트 해머수치 20, 흡수율 3.4%를 기준으로 하였다.
 - 퇴적암은 일축압축강도의 기준을 $250\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 하였으며 점하중강도 $12\text{kg}/\text{cm}^2$, 슈미트 해머수치 20, 흡수율 3.4%를 기준으로 하였다.
 - 변성암은 리핑암과 발파암에 대한 일축압축강도의 기준을 $240\text{kg}/\text{cm}^2$ 으로 하였으며 점하중강도 $10\text{kg}/\text{cm}^2$, 슈미트 해머수치 17, 흡수율 3.4%를 기준으로 하였다.
- 3) 암반의 굴착난이도에 따른 탄성과 속도 기준을 정립하기 위해 현장에서 실시된 탄성과 탐사결과에 의하여 토층은 주로 $750\text{m}/\text{sec}$ 이내, 리핑암은 $750\sim 1,700\text{m}/\text{sec}$, 발파암은 $1,700\text{m}/\text{sec}$ 이상의 탄성과 속도 기준을 작성하였다.
- 4) 굴착에 영향을 미치는 인자를 조사하여 굴착난이도 평가를 위한 각 항목을 선정하고, 선정된 각 인자들이 미치는 영향정도를 분석하여 항목마다 각각을 평가할 수 있는 배점을 부여하였다. 또한 각 항목에 대하여 현장실험 및 실내시험, 문헌조사 결과를 토대로 판단할 수 있는 기준값을 제시함으로써 전체적으로 대상암반에 대한 굴착난이도를 평가할 수 있는 체크리스트를 제안하였다.
- 5) 암반의 굴착난이도 평가를 위한 체크리스트는 평가시 항상 실시해야 하는 기본항목과 필요시 실시하여 기본항목에 의한 평가를 보완할 수 있는 보완항목으로 구분하여 평가하도록 하였으며 기본항목에는 암석강도, 풍화도, 크기를 고려할 수 있도록 항목을 설정하였고 보완항목에는 탄성과속도와 TCR을 이용하여 평가할 수 있도록 하였다

참고문헌

1. 전인식, (1997), "建設標準 품셈", 건설연구사, pp95~101.
2. 한국도로공사(1992), "도로설계요령(토공 및 배수)", pp.46~51
3. 한국토지개발공사(1993), "암발파 설계 기법에 관한 연구", pp.81~90, pp.100~106, pp.166~167 p.240.
4. Atkinson, T., (1970), "Ground preparation by ripping in open pit mining", Min Mag, pp458~469.
5. Church, H. K.(1981), "Excavation Handbook", McGraw-Hill Inc.
6. Saito T. and Abe M.(1979), "Study on Variation of Longitudinal Wave Velocity with Saturation in Various Rock Types", Rock Mechanics in Japan, p.44.
7. Singh, R. N., B. Denby, I. Egretli, and A. G. Pathon. "Assessment of Ground Rippability in Opencast Mining Operations." Min. Dept. Mag. Univ. Nottingham 38, 1986, pp.21-34.
8. Smith, H. J., "Estimating Rippability by Rock Mass Classification." Proc. 27th U.S.Symp. Rock Mech., AIME, New York, 1986, pp.443-448
9. 安達徑治 : 土砂・軟岩・硬岩の區分判定方法, 第 13回 日本道路會議一般課題論文集, 日本道路協會, pp.55-56, 1979.