

시험발파에 의한 연약암반 평가에 대한 연구

선우 춘¹⁾, 전 양수¹⁾, 천 대성¹⁾, 한 공창¹⁾

Study on the Classification of Weak Rock by Test Blast

Choon Sunwoo, Yang-Soo Jeon, Dae-Sung Cheon, Kong-Chang Han

ABSTRACT. The classification of weak rocks is normally connected with the rippability classifications. The excavation of rock is frequently carried out by blasting. A classification of the weak rocks by test blasting with small quantity of explosives was attempted in the present study.

The crater ratio and blasting constant that resulted from test blasting were used as a parameter of the classification. The seismic velocity of rock mass and Protodyakonov's index were also applied for the weak rock classification.

Key words : weak rock, crater, Protodyakonov index, blasting constant, seismic velocity

초 록. 연암평가는 굴착난이도 평가와 관계가 많은 것을 고려할 때 굴착과 관련되는 발파와 연관 지을 수 있다. 따라서 현장에서 소량의 화약을 사용하여 누두공시험에 의해 구해진 누두지수와 발파계수를 연암의 분류요소로 사용하기 위한 시도가 이루어 졌다. 또한 현지 지반의 탄성파속도와 암석의 파쇄에 대한 저항성 나타내는 Protodyakonov의 계수도 분류요소로 사용하여 연암의 분류를 실시하였다.

핵심어 : 연약암반, 누두공, Protodyakonov 계수, 발파계수, 탄성파속도

1. 서 론

1.1 기존 암반평가법의 문제분석

연암은 흙과 같이 완전한 고결상태가 아니며 구성입자들은 약간의 외력에 의해서 잘 부서지지 않지만 경암처럼 견고하지도 않은 반고결 상태의 암석이다. 연암은 지반 및 암반의 장기적인 변화의 과정에서 형성된다. 예를 들면 단층, 파쇄대나 일부의 변성암(연약한 광물을 포함하는 편리가 발달한 결정편암), 지하의 열수에 의한 변질작용으로 점토화되는 과정에 있는 변질 암석 등도 넓은 의미로 연암에 속한다. 광의로 연암은 경암의 반대적인 의미를 지니며, 터널굴착시에는 즉각적인 지보대책이 요구되며 사면에서도 절취와 함께 즉각적인 안전대책이 요구되는 암반이다. 여러 공학분류 방법에 있어서 연암의 성질을 표시하는 부분에서는 연암은 암반이 불량이나 아주 불량(예를 들면

RMR의 4나 5 등급, Bieniawski Z.T., 1973, 1974)의 동의어처럼 표시되고 있다. 연암은 높은 투수율을 가질 수도 있고, 위험한 함수충일 수 있으며, 수분의 주기적인 변화로 팽창과 slaking이 되기 쉬운 팽창성 점토를 내포할 수 있다. 또한 구조적으로 견고한 암반사이에서 연약대로 작용하여 암반을 이완시킬 수 있는 하나의 약선으로 작용할 수도 있다. 함수량의 변화에 따라 물리적 성질이 크게 변하거나 전단강도가 간극수압에 의해 좌우되는 점에서는 흙에 가까운 성질을 나타내지만, 강도와 변형계수 등의 절대치는 흙의 경우보다 크다. 또 팽윤성의 점토를 포함하는 이질 연암이나 변질암에서는 함수팽창에 의한 열화현상이 촉진된다. 한편 암석측면에서 보면 고결도가 낮기 때문에 터널이나 지하공동, 사면 등의 암반굴착으로 인공적인 교란이 이루어지면 응력이나 함수상태가 급격히 변화하여 구성입자의 결합조직이 파괴되고, 소성유동이 일어나며, 함수팽창이나 슬래킹 등에 의해 단시간에 풍화가 촉진될 수 있다. 또 한랭지에

1) 한국지질자원연구원

서는 동결융해작용에 의해서도 연암 본래의 고결도가 크게 저하하여 급속한 풍화나 열화가 진행된다.

건설공사의 설계, 시공 등에 있어서 연암은 흙과 암석의 각 양단에서 물성에 있어서는 상당한 차이를 나타낸다. 흙과 암석중 어느 쪽에서 연암으로 접근하는 지에 따라 연암의 취급방법과 평가가 달라질 수 있다는 것이다. 예를 들어 흙의 측면에서는 도시토목공사 등의 기초암반으로서는 충분한 지지력을 가지지만, 암석측면에서는 터널, 댐의 기초의 안정성의 문제에 있어서는 연암은 강도가 부족하다. 터널굴착에서는 특히 도시지하철이나 하수도 공사 등 흙의 입장에서는 shield공법으로 접근하게 되지만, 암석의 입장에서는 NATM공법이 연암의 접근방법이 되게 된다. 심부지하의 대단면 터널, 댐이나 교량의 기초지반, 대규모 절취사면에서 지반 및 암반의 물성면에서도 자주 문제가 되고, 장기간의 변형성이나 급속한 풍화 등 흙과 암석 양자의 중간영역에서 연암특유의 문제로 부각되고 있다. 사면의 절취나 지하공동의 굴착 등 인위적으로 노출되게 되면 급속하게 연암의 풍화나 열화는 진행되기 때문에 건설공사에 있어서는 사전대책이 매우 중요하다.

지반에서 연암은 전체적으로 강도의 분포가 불규칙하며 불균질한 물체로서 물성의 파악이 곤란하고, 조사 설계단계에서도 암체로서의 역학적 성질을 판정하기가 어렵기 때문에 암반분류나 평가에도 독특한 판정방법이 이용되는 경우가 많다.

가장 많이 사용되고 있는 암반분류법인 RMR의 경우는 IV 등급이하의 암반분류에서 세밀성이 떨어져 연암분야에 적용에 문제가 있다. 따라서 CSI(Hoek, 1994)와 같은 분류법이 연암적용을 위해 제안되기도 했지만, 이 분류법은 신속하게 적용할 수 있는 장점이 있지만 정성적인 부분이 많아 사용자의 주관에 따라 많은 차이를 보일 수 있기 때문에 적용에 있어 신중해야 한다. 또한 Q(Barton 외, 1974)는 연암에 대해서 RMR보다는 나은 적용성을 갖지만 많은 부분이 정성적이기 때문에 적용에 있어 많은 경험이 요구되어 많은 부분이 조사

자의 주관에 적용할 수 있다. 국내에서 적용되는 표준적인 연암에 대한 분류방법은 전무한 상태이며, 발주처마다 적용이 다르다. 국내의 건설표준품셈에서의 암반분류는 외국의 분류기준안에 비하여 암석 시험편의 일축압축강도가 높은 경향을 보이며, 탄성파속도의 구분과도 잘 맞지 않는다. 실제 토사와 일축압축강도 300 kg/cm²의 풍화암 사이에 분류되는 풍화토나 풍화암이 분류에서 제외되어 실제 도심 굴착에서 가장 빈번히 나타나는 지반이 제외되어 있고 일축압축강도의 시험편은 풍화암, 연암에서는 제작하기 어렵기 때문에 일축압축강도 수치는 가공의 수치로 판단될 수 있다. 일본의 경우도 각 기관마다 서로 다른 분류방법을 시공대상에 따라 다른 분류방법을 제시하여 다양한 분류법을 제시하고 있지만, 범용적인 사용할 수 있는 표준적인 분류방법이 없기 때문에 적용에 있어 혼란을 초래할 수 있다(今井 & 吉村, 1970).

일반적으로 많은 암반분류법에서 암석의 강도, 불연속면의 형태나 조건, 지하수 조건 등이 암반분류에서 중요한 평가요소로 사용되고 있으며, 연암은 대부분 암반분류 등급상 각 분류법의 최하등급으로 취급되고 있고 다음과 같은 제한들을 가진다. 첫째 굴착 등으로 암반이 노출되었을 때 일어날 수 있는 암석상태의 변화에 대한 잠재력은 분류요소에 포함되어 있지 않기 때문에 차후의 변질이나 풍화에 대한 대책이 없다. 그러나 실제 이러한 요소들을 고려한다는 것은 매우 어려운 작업이다. 둘째, 실제적으로 연암에서 많은 시공들이 이루어지고 있지만, 등급의 아랫부분 즉 연암에서 지보와 시공에 대해서 세밀하고 더 넓은 범위의 대책이 요구되는 데에 반하여 대부분의 분류법들이 좁은 의미의 정의만을 표시하고 있다. 또한 그 대책들이 일반적으로 비슷하기 때문에 더 세밀한 등급간격과 보다 세밀한 대책이 필요하다. 셋째, 대부분의 분류시스템들은 연암이나 특수한 상황에 대한 경험의 부족과 그들이 분류법 개발에 사용된 data에 국한되기 때문에 국부적인 적용에는 잘 맞을 수 있지만, 범용적으로 적용할 수 있는 일반성을 갖기에는 문제가 있다.

연암의 굴착과 관련된 굴착난이도 판정을 위해 탄성파속도를 많이 사용하지만, 탄성파속도를 분류 요소로 사용한 굴착에 관한 연구가 적고, 아직 표준화에 이르지 못하고 있다. 탄성파속도라는 물리량 하나의 요소에 의한 분류는 하나의 요소로 단순화시킴으로서 작업의 간편성이라는 장점도 있지만 지질상황에 따라 많은 오차가 생길 수 있다.

연암에 적용하여 널리 사용되고 있는 공학적 분류방법은 국부적으로 적용된 연구가 있을 뿐이다. 따라서 연암의 분류요소를 찾기 위해서는 많은 연구가 필요하다.

연암에서는 불연속면의 분포빈도가 높고 이와 관련된 풍화변질이 발달되어 있어, 현지 연암암반에서 불연속면에 대한 특성들을 직접 측정하기는 매우 어렵다. 따라서 GSI 분류법과 같은 도식적이며, 정성적인 분류 방법으로 쉽게 연암을 평가할 수 있는 분류법이나 불연속면분포 빈도와 탄성파속도와 관련되는 균열계수와 같은 새로운 계수를 모색해야 할 것이다.

2. 연암평가를 위한 시험

연암평가는 굴착난이도를 평가하는 분류법과 관계가 많은 것을 고려할 때 굴착과 관련되는 발파와 연관 지을 수 있다. 따라서 발파와 관련된 요소들을 분류요소로 채택하여 연암분류를 시도하기 위해 현장에서 소량의 일정한 화약을 사용하여 누두공시험을 실시하였다. 누두공 시험발파에 의해 구해진 누두지수와 발파계수를 연암의 분류요소로 사용하기 위한 시도와 함께 현지 지반의 탄성파속도를 측정하였다. 이런 경우는 노두가 노출되어 있거나 절토가 된 암반에서는 사용이 가능하지만, 조사 및 설계단계에서 노두가 없는 경우는 제한을 받을 수 있는 방법이다. 소량의 화약만을 사용하기 때문에 발파에 따른 안전문제는 크게 문제가 되지 않을 것이다.

더불어 암석파쇄에 대한 저항성 나타내는 Protodyakonov의 계수를 구하기 위한 drop

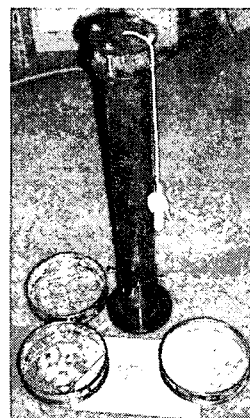
hammer 시험도 실시하였다. 이 시험은 일반적으로 친공능력을 결정하기 위한 시험으로 많이 사용되기 때문에 발파와도 깊은 관계가 있는 시험방법이다.

2.1 drop hammer 시험

이 시험 방법은 Protodyakonov에 의해 고안된 매우 간단한 시험방법으로 암석의 파쇄에 대한 저항성을 결정하는 것이다. 충격에 의해 파쇄된 암석의 분체량으로써 암석의 파쇄강도를 표현하는 계수(Protodyakonov 계수 또는 충격강도지수)는 다음과 같은 방법으로 구한다(Lama & Vutukuri, 1974).

현장에서 채취한 암석을 적당한 크기로 파쇄하여 크기가 직경 20-40mm이고, 체적이 10-20cm³인 시료를 5개 선택한다. 그리고 시험의 수는 암석의 경도의 변화상수(coefficient of variation, V%)에 따르지만, 본시험에서는 5개 그룹의 시험시료를 만들었고, 각 그룹마다 무게가 150-170g이 되도록 시료를 선택하였다.

시료를 그림 1과 같이 관의 내경이 76mm인 시험장비 바닥에 칸 뒤에, 중량이 2.4kg인 추를 60cm의 높이에서 n회 자유낙하시켜 타격함으로써 시료를 파쇄한다. 타격수 n은 시료의 강도에 따라 결정되며 일반적으로 5회에서 15회 사이에서 타격한다.



(a)

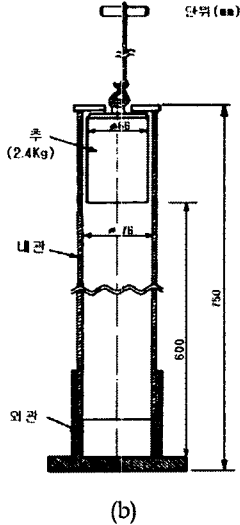


그림 1 시험장비; (a) 사진, (b) 개요도

파쇄된 시료는 0.5mm의 체(sieve)로 분급하여 0.5mm undersize의 분체를 23mm 직경의 volumeter에 넣어서 시료의 높이를 mm로 읽어서 l 을 결정한다. 본 시험에서는 volumeter에 의한 높이측정은 분체의 압밀상태에 따라 높이가 달라질 수 있기 때문에 5mm undersize의 분체의 무게와 시료의 비중을 구하여 계산에 의하여 높이 l 을 결정하였다.

Protodyakonov 계수 f 는 다음의 식으로 구한다.

$$f = \frac{20n}{l}$$

여기서, n 은 타격수, l 은 0.5mm undersize의 분체의 높이를 나타낸다.

2.2 탄성과 속도측정

연암의 분류를 위하여 앞에서 언급된 Protodyakonov 계수와 현장의 시험발파에 의한 누두지수 및 발파계수와의 상관관계를 알아보기 위해 탄성과 속도를 측정하였다. 탄성과 속도는 지반중에 전파되는 인공지진파의 전파속도에 의해 지반의 성상을 조사하는 방법이다. 관측하는 탄성과

로는 종파(P파)와 횡파(S파)가 있다. 현지암반의 탄성과 전파속도는 암석강도와 관련되는 암석의 자체속도뿐 만아니라 불연속면의 빈도에 영향을 받고 있으므로 현장암반을 대상으로 하는 탄성과 전파속도의 측정은 연암을 규명하는 효과적인 방법이 될 수 있다. 암반의 경우에는 암석의 구성물질, 강도, 균열상태 등에 따라 전파속도가 변한다. 이러한 특성들로 인하여 탄성과의 전파속도는 토공작업시 리퍼의 작업능력을 판단하는 기준이 되기도 한다. 탄성과 속도에 의한 암반평가지는 다음과 같은 것에 유의해야 한다.

탄성과 속도층의 구분과 지질구분과는 일치하지 않는다. 예를 들면 암석편의 강도는 크지만 불연속면이 발달하고 있는 암반과 비교적 연질로 괴상을 이루고 있는 암반과는 공학적 성질은 확실히 다르지만 속도값은 가끔 같은 경우가 있다. P파 속도는 함수상태에 따라 변한다. 수층의 전파속도가 약 1,400m/s이기 때문에 이것보다 느린 속도를 나타내는 연암(충적층, 봉적층, 3기층의 일부) 등에서는 포화 함수되어 있으면(1,000m/s 정도의 암반에서도) 1,400m/s에 가까운 값을 나타낸다. 이방성을 가지는 지층에서는 축선의 방향과 층리 또는 편리면의 주향과의 관계에서 속도가 달라진다.

시험에 사용한 탄성과속도 측정기(그림 2)는 지하구조물의 소규모 탐사, 암반의 용이성의 판단, 댐과 터널의 상시조사 등에 이용되는 장치로 측정 방법은 geophone을 일직선으로 배열하여 측정하고자 하는 지반에 고정시킨 후 본체에 연결하고, 햄머를 본체의 trigger에 연결한다. 그리고 geophone과 타격지점사이의 거리를 구한다. 측정장치에 각 항목에 대해 trigger를 설정하고 햄머를 이용하여 측정하고자 하는 지반을 타격하여 포착한 파형을 저장시킨다.

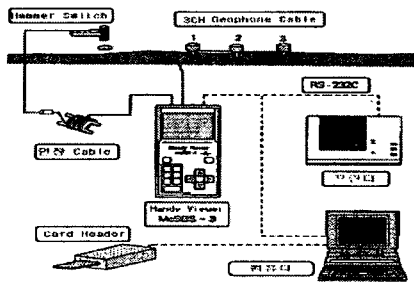
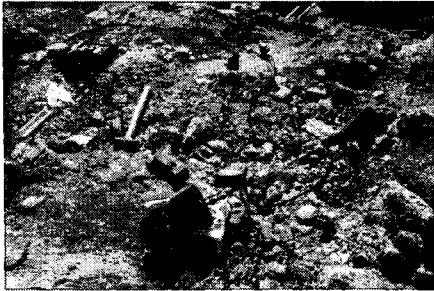


그림 2 탄성파측정시험장비(Handy Viewer, Mcseis-3) 및 연결형태

2.3 누두공 시험

누두공 시험에 의해 구해진 누두지수와 발파계수를 연암의 분류요소로 사용하기 위해 현장에서 소량의 일정한 화약(에멀전계화약 125g)을 사용하여 누두공시험을 실시하였다. 균질한 암반에 폭약을 적당한 깊이에 장전하여 발파하면 원뿔 모양의 파쇄공이 생기는데, 이것을 누두공이라고 한다(그림 3).

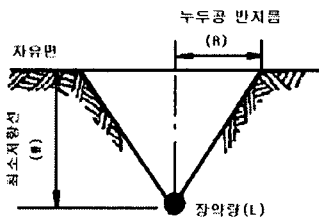


그림 3 누두공 시험과 누두공의 정의

누두공의 모양과 크기는 암반의 종류, 폭약의 위력, 전색의 정도에 따라 달라지며 약실의 위치와 자유면의 거리에 따라라도 달라진다.

이러한 누두공의 크기와 모양을 관측하여 폭약량을 결정하는 자료를 얻기 위한 시험을 누두공 시험이라고 하며, 누두공의 반지름을 R, 장약중심과 자유면 사이의 거리를 최소저항선 W 라고 하면, 누두공의 형상은 R와 W의 비인 누두지수 n으로 표시한다.

$$n = \frac{R}{W}$$

많은 실험결과 “자유면 발파에서 표준발파의 장약량은 최소 저항선의 세제곱에 비례” 함이 인정되고 있으며, 장약량을 L, 최소 저항선의 길이를 W 라 할 때,

$$L = CW^3 \quad \text{이 된다.}$$

여기서 C는 비례상수로서 암석의 성질, 폭약의 성능과 전색 상태 등에 의해서 결정되는 것으로 발파계수라 한다. 한편 원뿔 모양인 누두공의 부피 V는 R=W의 관계로부터

$$V = \frac{1}{3} R^2 \pi W \approx W^3$$

따라서, $L = CV$ 가 된다.

이 식은 표준장약에 의한 표준발파식 (n=1)의 경우에만 적용되므로, 과장약 또는 약장약일 때는 이대로 적용할 수 없다. 이 경우에는 적절한 보정을 위해 누두지수함수 $f(n)$ 을 고려하고, n 값의 변화에 따른 장약량을 구한다. 이때의 장약량의 보정은 아래식과 같다.

$$L = f(n)CW^3$$

여기서는 함수 $f(n)$ 은 Dambrun의 $f(n) = (\sqrt{1+n^2} - 0.41)^3$ 실험식을 사용하였다. 어떤 체적의 암석을 발파할 때 필요한 폭약량은 발파대상 암석의 발파에 대한 저항성, 폭약에 따라 고유한 발파효력의 정도와 전색상태에 따라 달라진다. 이러한 발파 효과를 좌우하는 발파계수는 일

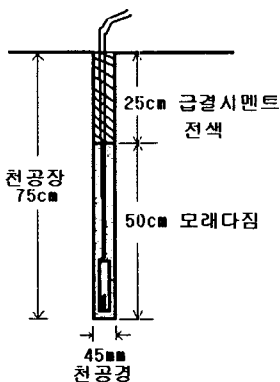
반적으로 이들 계수를 곱한 값으로 나타낸다. 즉 암석의 저항성을 나타내는 계수를 g , 폭약의 효력 계수를 e , 전색계수를 d 로 할 때, 발파계수 C 는 아래 식으로 표시된다.

$$C = g \cdot e \cdot d$$

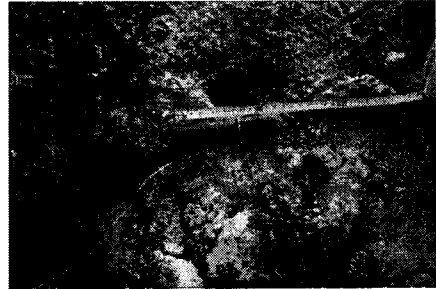
누두공 시험을 위한 발파조건은 아래와 같이 실시하였다(그림 4).

- ① 천공심도는 75cm
- ② 발파공은 구경 $\phi 45$ mm로 천공
- ③ 전색은 발파공 하부는 50cm 깊이의 모래다짐에 의한 전색과 급결시멘트로 상부 25cm를 완전 전색을 실시
- ④ 사용화약량은 에멀전 계통의 폭약($\phi 32$ mm) 125g을 표준으로 사용
- ⑤ 뇌관은 전기식 순발뇌관을 사용하였고, 접화하는 역기폭을 실시

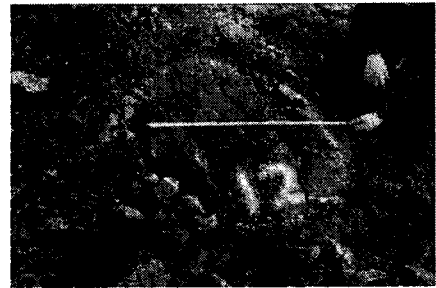
이와 같이 전색이 끝난 후 발파를 실시하고, 발파에 의해 생긴 누두공을 그림 3과 같은 방법으로 누두공의 한계를 결정하고, 누두공의 크기를 여러 방향에서 측정하여 평균값을 구하였다.



(a) 전색방법



(b) 에멀전계 폭약(125g)과 순발뇌관



(c) 누두공 크기 측정

그림 4 누두공 시험

3. 시험결과 및 고찰

각 조사 현장에서는 지반의 상황에 따라 6개 전후의 발파공에 대한 누두공 시험이 이루어 졌다. 우선 각 발파공이 속하는 암반에 대한 탄성파속도를 측정하였고, 발파후에는 누두공에 형성된 시료를 채취하여 drop hammer 시험과 현지암반의 강도 측정을 위해 점하중강도(point load test)시험을 실시하였다. 또한 균열계수나 풍화도를 측정하기 위해 신선암의 시료를 채취하여 실험실 시험을 통하여 탄성파속도 및 강도와 관련된 시험들을 실시하였다.

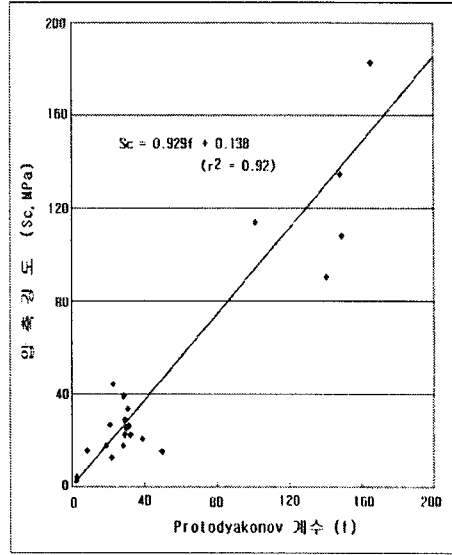
그림 5.(a)는 압축강도와 Protodyakonov 계수와 의 관계를 나타낸 것으로 낮은 값의 영역은 현지의 연약암반을 대상으로 한 것이고, 높은 값들은 시료를 채취해온 신선암에 대한 값들로 전체적으로 두 요소가 비례하고 있음을 볼 수 있다. ISRM이나 RMR의 연암 기준인 압축강도 25MPa을 따를

경우 Protodyakonov 계수 f 값 27전후가 연암의 경계가 된다(표 2). 표 1에서와 같이 Protodyakonov 계수 f 값이 27이상인 지역에서는 굴착형태가 일반적으로 발파에 의한 주 굴착작업 이루어 지고 있으며 리핑이 혼용되고 있거나 발파에 의한 암반을 이완시킨 후 리핑작업이 이루어지고 있다. 이 값보다 낮은 지역에서는 주로 리핑에 의한 굴착작업이 이루어지고 있다. 따라서 f 27 값이 연암의 경계값이 될 수 있으리라 예측할 수 있다.

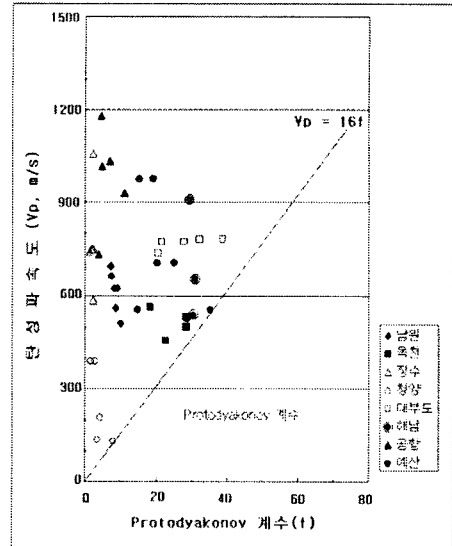
그림 5.(b)는 탄성파속도와 Protodyakonov 계수와의 관계를 나타낸 것으로 같은 계수값에서 탄성파속도의 변화가 많은 것을 볼 수 있다. 이것은 Protodyakonov 계수는 암석의 파괴에 대한 저항성을 나타내는 것으로 불연속면의 영향과는 무관한 성질을 가지며 오히려 암석의 풍화정도에 영향을 받을 수 있다. 반면에 탄성파속도는 현지암반에 나타나는 불연속면의 분포상황과 수분상태 등에 의해 많은 영향을 받기 때문으로 해석할 수 있다.

특히 연암의 경우는 불연속면의 상태를 파악하기 힘들 정도로 복잡한 양상을 나타낸다. 그림 5.(b)와 같이 탄성파속도가 어느 한계치 이하를 나타내지 않고 있음을 볼 수 있다. 따라서 그 한계치의 탄성파속도를 기준으로 암반분류에 적용하였다.

이 하한치를 현장에서 Protodyakonov 계수에 따른 하한치의 탄성파속도로 간주하여, Protodyakonov 계수 27일 때의 탄성파속도는 대략 430m/sec 전후의 값이 된다(표 2). 이 탄성파속도를 연암의 경계로 본다면 이 값은 건설부 표준품세의 풍화암에 속하지만 이 경계값은 하한치를 나타내는 것이기 때문에 크게 문제가 되지 않을 것이다.



(a)



(b)

그림 5 Protodyakonov 계수와 압축강도 및 탄성파속도와의 상관관계

표 1 각 지역별 누두공시험 결과

조사지역	암 종	기호	굴착방법	f 값	발파계수 (kg/m^3)	누두지수
남원	화강암(화성암)	◆	리핑	8.5	0.77	0.77
대부도	퇴적암	□	발파/리핑	30.8	0.36	0.90
옥천	천매암(변성암)	■	리핑/발파	32.0	0.48	0.84
청양	옹회암(화산퇴적암)	○	리핑	5.3	0.39	0.87
해남	옹회암(화산퇴적암)	●	발파/리핑	29.9	0.75	0.53
장수	변성암	△	리핑	2.1	0.41	0.84
공항	화강암	▲	발파/리핑	12.4	0.30	1.00
예산	변성암	●	발파/리핑	21.6	0.30	0.99

표 2 풍화암과 연암의 경계기준

압축강도 (S_c)	< 25MPa	25 - 50 MPa
	풍화암 (RMR, V등급)	연암 (RMR, IV등급)
Protodyakonov 계수(f)	27	54
탄성파속도 (V_p , m/sec)	430	860
발파계수 (C , Kg/m^3)	0.55	1.25
누두지수 (n)	0.85	0.55

또한 그림 6과 같이 탄성파속도와 누두지수의 상관관계로 누두지수에 따른 탄성파속도를 하한치를 경계로 하여($V_p = 3000e^{-2.3n}$) 탄성파속도 430m/sec(표 2)를 기준하는 누두지수값에 따라 연암과 풍화암을 구분하였다.

여기서 누두지수 n 이 0.85이상인 경우는 풍화암, n 이 0.85이하 0.55이상인 경우는 연암으로 규정하였다. 예를 들어 탄성파속도가 높을지라도 누두지수 n 이 0.85이상인 경우는 풍화암으로 분류된다.

또한 그림 7은 탄성파속도와 발파계수의 상관관계를 나타내는 것이며, 발파계수의 변화에 따른 탄성파속도를 하한치를 경계로 하여($V_p = 519.6 \ln(C) + 746.6$) 탄성파속도 430m/sec(표 2)를 기준하는 발파계수값에 따라 연암과 풍화암을 구분하였다.

여기서 발파계수가 C 가 0.55 이하인 경우는 풍화암, C 가 1.25이하 0.55이상인 경우는 연암으로 규정하였다. 여기서도 탄성파속도가 빠를지라도 누

두지수 n 이 0.55이하인 경우는 풍화암으로 분류된다.

이와 같이 누두지수나 발파계수로 연암과 풍화암의 분류를 구분하는 지수로 사용하는 이유는 실제 현장에서 탄성파속도를 측정할 수 있는 장비를 보유하기도 쉽지 않고, 앞에서 언급된 Protodyakonov 계수를 구하기 위한 시험을 수행하기도 쉽지 않다. 그렇지만 누두시험을 위한 발파의 경우는 현장에서 쉽게 수행될 수 있기 때문에 두 요소를 암반분류를 위한 지수로서 쉽게 사용할 수 있는 장점이 있다.

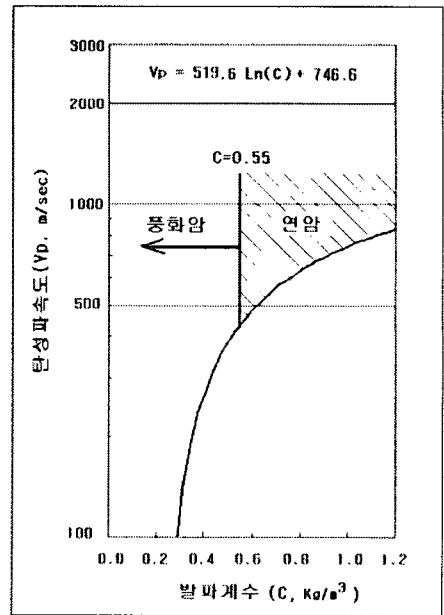
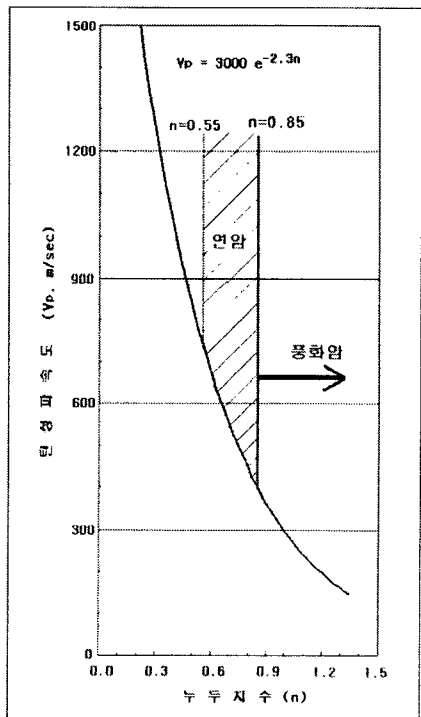
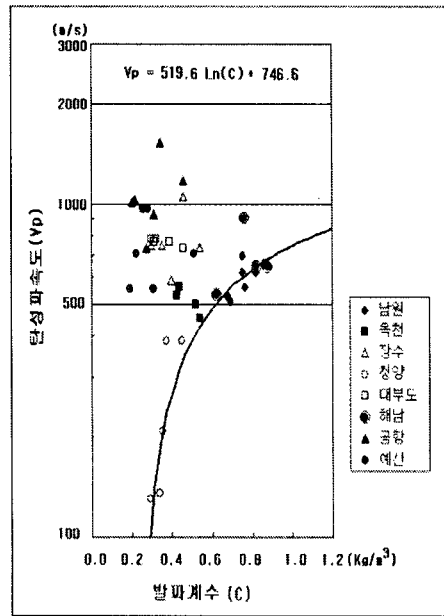
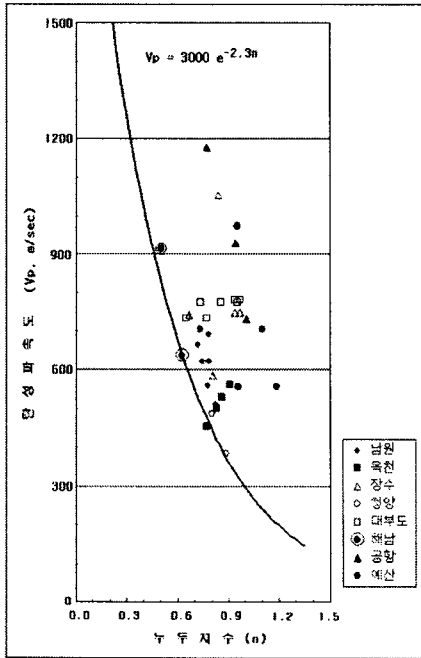


그림 6 탄성파속도와 누두지수와의 관계

그림 7 탄성파속도와 발파계수와의 관계

4. 결과요약

현장에서 연암의 경우는 불연속면분포 양상이 매우 복잡하기 때문에 불연속면이 미치는 영향을 파악하기 위한 정량적인 분석은 매우 어렵다. 실제 현장에서 탄성파속도를 측정할 수 있는 장비를 보유하기도 쉽지 않고 앞에서 언급된 Protodyakonov 계수를 구하기 위한 시험을 수행하기도 쉽지 않다.

연암평가는 굴착난이도를 평가하는 분류법과 관계가 많은 것을 고려할 때 굴착과 관련되는 발파와 연관 지을 수 있다. 따라서 발파를 통하여 모든 암반의 특성이 포함될 수 요소들을 분류요소로 채택하여 연암분류를 시도하기 위해 현장에서 소량의 일정한 화약을 사용하여 누두공시험을 위한 발파는 현장에서 쉽게 수행될 수 있기 때문에 발파를 통하여 얻을 수 있는 누두지수나 발파계수로 연암과 풍화암의 분류를 구분하는 지수로 사용하였다.

누두지수에 따른 탄성파속도를 하한치를 경계로 하여 탄성파속도 430m/sec를 기준하는 누두지수 값에 따라 연암과 풍화암을 구분하였다. 즉 누두지수 n 이 0.85이상인 경우는 풍화암, n 이 0.85이하 0.55이상인 경우는 연암으로 규정하였다.

또한 탄성파속도와 발파계수의 상관관계로 발파계수의 변화에 따른 탄성파속도를 하한치를 경계로 하여 탄성파속도 430m/sec를 기준하는 발파계수 값에 따라 연암과 풍화암을 구분하였다. 여기서 발파계수 C 가 0.55 이하인 경우는 풍화암, C 가 1.25이하 0.55이상인 경우는 연암으로 규정한다.

이와 같이 연암의 분류는 탄성파속도나 점하중 시험, Protodyakonov 계수와 같은 강도적인 요소와 같은 하나의 요소만을 사용하여 암반분류를 한다는 것이 매우 어렵다. 또한 암반내의 불연속면의 분포나 풍화정도를 파악하기 위한 균열계수와 같은 요소를 첨가하는 것도 많은 문제점이 있다. 현장암반의 탄성파속도는 그 위치에서 측정할 수 있지만 실험실 시험을 위한 시편의 선택에 따라 이 값은 상당한 차이를 보일 수 있기 때문에 시료선정에 대한 규정이 또한 필요하다.

참고 문헌

1. 今井 & 吉村, 1970, 軟弱地盤における 彈性波速度と力學特性, 土と基礎, 1, 8-1.
2. Barton N., Lien R., Lunde J., 1974, Engineering classification of rock masses for the design of tunnel support, Rock Mech., vol.6, no.4, pp185-216.
3. Bieniawski Z.T., 1973, Engineering classification of jointed rock masses. Trans S Afr. Inst. Civ. Eng. vol. 15 , pp335~344.
4. Bieniawski Z.T., 1974, Estimating the strength of rock materials. J. S. Africa Inst. Min. Metall. vol. 74, 312~320.
5. Lama R.D and Vutukuri V.S., 1974, Hand book on mechanical properties of rocks, Vol. I, Trans Tech Publication, pp73-77.
6. ISRM, 1981, Brown E.T.(ed), Suggested methods for rock characterization, testing and monitoring, Pergamon Press.