

## 화강암의 속도 분석과 풍화도 산정에 미치는 영향

이재성 , 김영석

공주대학교 지질환경과학과, gundam0081@kongju.ac.kr

### Velocity analysis of various granite and its impact on determination of weathering

Jaesung Lee , Youngseuk Keehm

Dept. of Geoenvironmental Sciences, Kongju National University

**요약** : 석조문화재의 풍화도의 산정은 문화재의 진단 및 보존에 매우 중요한 부분으로 많은 경우 풍화암의 속도와 신선암의 속도의 차이를 이용한 경험식에 의존하고 있다. 본 연구에서는 국내의 석조문화재를 구성하고 있는 대표적 지역인 익산, 거창, 원주, 괴산, 충주에서 획득한 신선한 화강암을 대상으로 실험실 및 현장측정 장비를 이용해 속도를 측정, 비교하고 이것이 풍화지수산정에 미치는 영향을 알아보려고 한다. PUNDIT을 사용하는 현장측정의 경우 휴대가 간편하나 측정속도의 불확실성이 높을 가능성이 있기 때문에 실험실에서 암삼축 시험기를 이용한 측정과 비교하였다. 이 두 자료를 비교하여 현장 측정의 상대적 정확도를 비교, 분석할 수 있었고 이 차이는 암석의 풍화도 산정에는 크게 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 하지만 일반적으로 풍화도 산정에 쓰이고 있는 신선암의 속도는 5000m/s를 사용하고 있으나, 5개의 지역에서 선정된 신선한 화강암의 속도는 3200에서 4400m/s까지 다양하게 나타났다. 따라서 이러한 차이를 무시하고 풍화도를 산정하는 경우 실제 신선암의 속도를 사용하는 경우에 비하여 그 풍화도가 많게는 2단계 이상 높게 평가되었으며 이는 문화재의 진단 및 보존에 매우 큰 영향을 미칠 것으로 생각된다.

**주요어** : 풍화지수, 현장속도측정, 실험실속도측정, 음파속도

**Abstract** : Determining the coefficient of weathering(CW) for stone heritage plays very important role in investigation and conservation plan. In most case, CW is obtained from the empirical relation, which use the difference between sonic velocities of fresh and weathered rocks. In this paper, we measured sonic velocities for the samples from Iksan, Geochang, Wonju, Goesan and Chungju of which our stone heritages are made. We first investigate the uncertainty of velocity by portable measurement by comparing it to lab measurement. There were small difference, but we conclude that the difference is not major. However, the velocity of fresh rock differs significantly among samples: ranging from 3200 to 4400m/s. This cause a lot of error in CW estimation if we use typical fresh rock velocity as of 5000m/s. Thus accurate measurement of the velocity of fresh rock is crucial to CW estimation.

**Keywords** : coefficient of weathering, portable and lab measurements, velocity

## 1. 서론

국내의 석조문화재는 대부분 풍화에 강한 화강암으로 이루어져있으나 야외에 위치하기 때문에 풍화가 진행 중이며, 상당수는 풍화정도가 심한 상태에 있다. 이러한 풍화정도를 정량화 할 경우, 석조 문화재의 보존 및 보수에 큰 도움이 된다. 하지만 석조문화재는 시료의 획득이나 가공이 불가능하기 때문에 현장에서 비교적 간단하고 손쉽게 석조문화재에 대한 풍화 훼손도를 평가하는 방법이 필요하다. 따라서 비파괴로 이루어져야 하는 문화재 특성을 잘 고려한 PUNDIT을 사용하여 초음파 속도를 측정 후, 풍화지수 경험식 (Iliev, 1967)에 적용하여 나온 값으로 풍화등급을 산정한다. 이 때 사용하는 PUNDIT은 휴대가 용이하고 측정이 편리하나, 석조문화재의 표면 거칠기가 크고 단일 장비로는 초음파의 파형 획득이 어렵기 때문에 자료의 불확실성이 크다. 또한 실험식은 신선암과 풍화암의 속도의 차에 의해 풍화지수를 계산하게 되는데, 이때 암종이나 지역에 관계없이 5000m/s의 속도를 신선암의 속도로 가정하고 계산하는 것이 일반적이다. 따라서 실제 신선암의 속도가 5000m/s보다 낮거나 높으면, 산정되는 풍화등급이 낮아지거나 높아져 신뢰도가 낮아지게 된다. 이러한 한계점들은 현재까지 수행되고 있는 초음파 속도측정을 이용하여 석조문화재의 풍화훼손도를 평가하는 연구들에서 나타나고 있다(서만철 외, 2002; 이선명 외, 2007; 조영훈 외, 2007). 따라서 이러한 문제들에 대한 정량적인 분석이 석조문화재의 풍화도 산정에 매우 중요한 문제로 부각되고 있으며, 본 연구에서는 국내의 석조문화재에 대표적으로 사용되는 익산, 거창, 원주등의 신선한 화강암의 코어 시료를 획득하여 신선암 속도의 불확실성을 검증하고, PUNDIT으로 측정된 속도와 비교 분석하여 신선한 화강암의 속도가 풍화지수에 미치는 영향을 알아보고자 한다.

## 2. 실험방법

시료성형 및 연마를 마친 코어 시료에서 PUNDIT을 이용하여 실제 현장 측정치인 초음파 속도를 지역별(암종별)로 측정하였다. 그리고 암삼축 시험기를 이용하여 유효압력을 변화시키며 탄성과속도, 즉 P파(초음파속도)와 S파 속도를 측정하였다. PUNDIT은 탐촉자 사이에 시료를 넣고 각 탐촉자를 사람이 일정한 힘을 주며 표시되는 탄성과 속도의 주시시간을 측정하므로 데이터의 정확도가 떨어진다. 때문에 시료의 정확한 속도 측정을 위해 실험실에서 암삼축 시험기를 이용해 속도를 측정, 비교하여 그 신뢰도를 평가하였다.

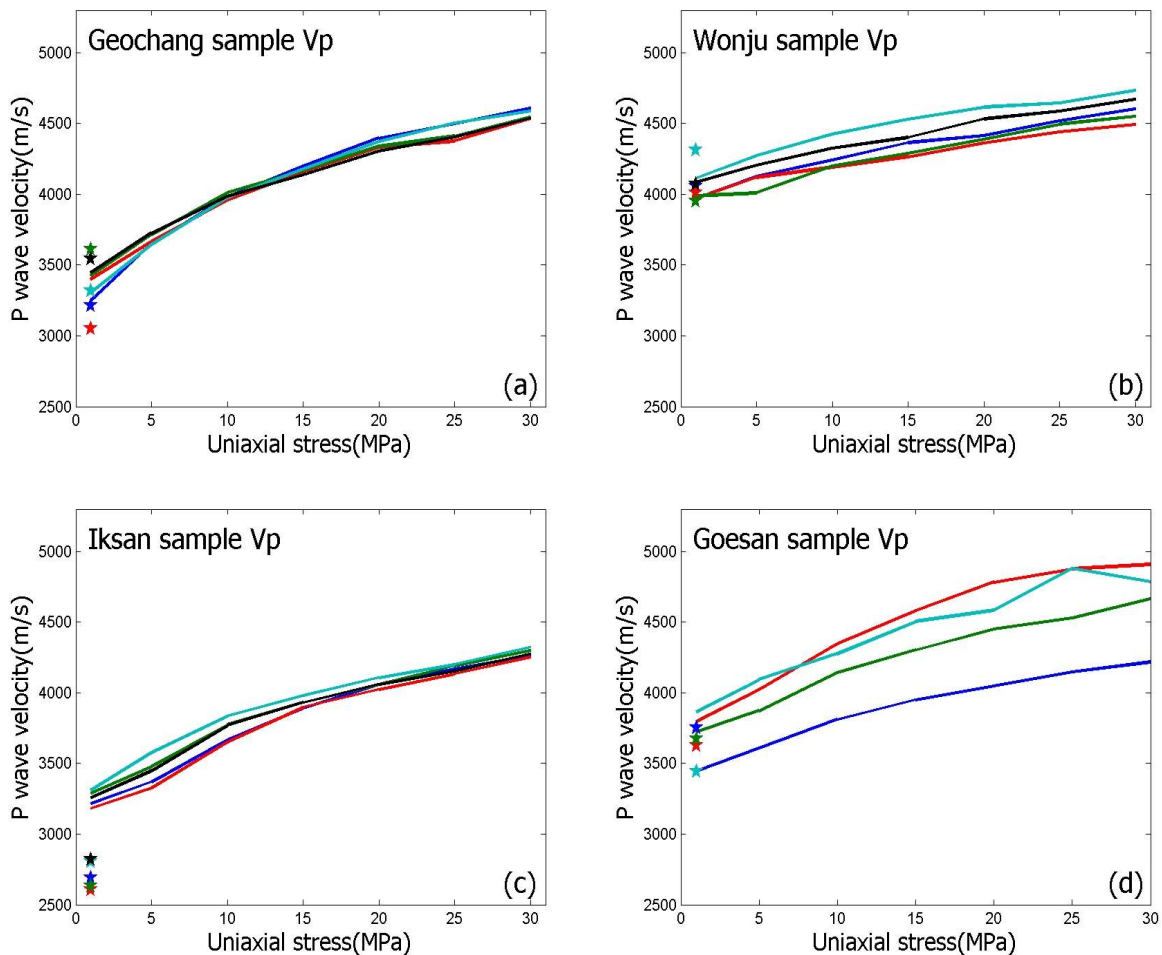


Fig. 1. 속도측정에 사용한 현장장비인 PUNDIT (left) 과 실내장비인 암삼축시험기 (right).

암삼축 시험기로 시료의 속도를 측정하기 위해서는 암삼축 시험기의 셀안에 시료를 넣고 속도 측정에 필요한 센서를 설치한다. 실험은 축압력을 1~30MPa까지 증가시키면서 5MPa 간격으로 P파와 S파속도와 파형을 획득하였다. 속도 측정은 코어샘플 없이 센서와 센서 사이의 주시시간을 먼저 측정하고 코어샘플을 통과하여 진행한 초음파의 주시시간의 시간차를 구한 후, 코어샘플의 길이를 이 값으로 나누어 구하였다.

### 3. 결과

PUNDIT은 현장시험이 주목적이기 때문에 일정한 축응력을 주기 힘든 반면 암삼축 시험기를 이용한 실험은 축응력 상태에서의 속도측정을 할 수 있었으며 이를 이용하여 저압력 상태에서의 속도의 신뢰도 또한 검증할 수 있었다. 각 시료별로 압력에 따른 속도변화는 Fig. 2(a)~(e)에 나타나 있다. 여기에서 각 색깔은 서로 다른 샘플을 의미하며, 한 지역에서 평균적으로 5개의 샘플을 채취해서 실험하였다. 각 지역별 평균값은 Fig. 2(f)에 잘 나타나 있다.



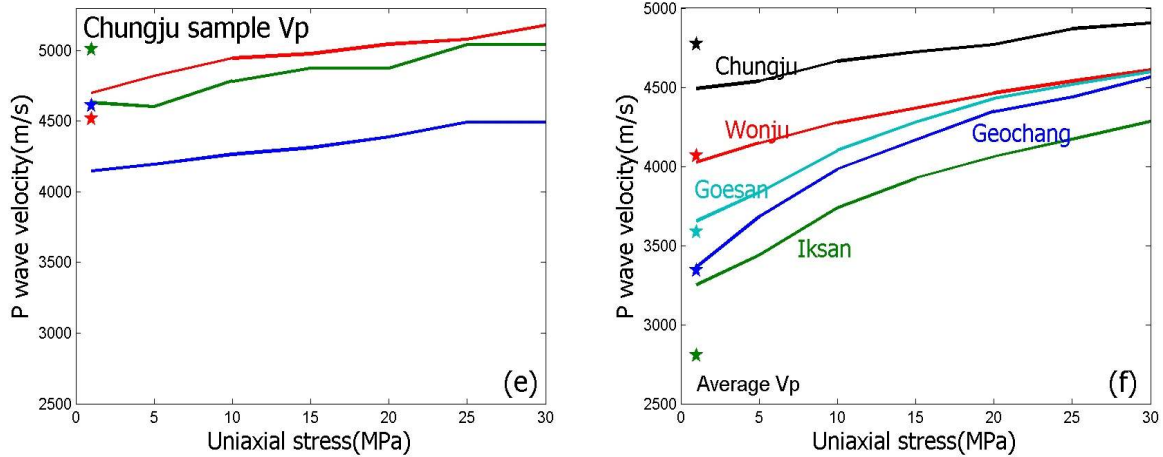


Fig. 2. (a)거창지역 Vp. (b)원주지역 Vp. (c)익산지역 Vp. (d)괴산지역 Vp. (e) 충주지역 Vp. (f) 각지역 평균 Vp 비교

실험결과를 요약하면 국내의 대표적인 화강암 지역에서 채취해 온 신선암의 1MPa 축압 하의 속도는 약 3200~4400m/s로 다양하게 나타났다. 개별적인 경향을 살펴보면 충주 지역의 샘플이 가장 높은 속도값을 익산의 경우가 가장 낮은 값을 보여주고 있다. 그림에서 표시된 별모양의 기호는 동일샘플을 PUNDIT으로 측정하여 얻어진 속도이다. 전체적으로 약간의 오차를 가지고 있지만 실험실 결과와 잘 일치하고 있는 것으로 나타났다. 하지만 이 실험은 실제 현장상태의 거친 암석면에서 측정된 것이 아닌 연마면에서 측정된 값이기 때문에, 실제 현장상태에서의 속도측정을 통한 비교 또한 요구된다고 하겠다. Table 1에 이러한 결과가 요약되어 있다.

Table 1. PUNDIT과 암삼축시험기로 측정한 각 지역의 P파속도 결과

실험지역 사용장비	거창	원주	익산	괴산	충주
암삼축시험기 (m/s)	3300	4000	3200	3600	4400
PUNDIT (m/s)	3300	4000	2800	3500	4700

다음으로는 이렇게 구해진 신선암의 속도가 풍화지수의 산정에 얼마나 영향을 미치는 지 살펴보았다. 암석의 풍화지수(coefficient of weathering)를 구하는 실험식은 식 (1)과 같으며  $k$  값에 따른 풍화도 분류 기준은 Table 2에 나타나있다.

$$k = \frac{V_u - V_w}{V_u} \quad (1)$$

식(1)에서  $k$ 는 풍화지수,  $V_u$ 는 신선한 화강암의 속도,  $V_w$ 는 풍화된 화강암의 속도이다. 신선암의 속도에 따른 풍화지수 산정의 불확실성을 평가하기 위해 어떤 풍화된 석조문화재의 초음파 속도가 모두 2500m/s로 나왔다고 가정하였다. 그리고 신선암의 속도를 5000m/s로 하였을 때 나오는 풍화지수와 각 지역별로 실험에서 얻은 신선암의 속도를 사용해 풍화지수를 측정해 보았다 (Table 3). 신선암의 속도를 5000m/s로 하였을 때

지역에 관계없이 풍화지수는 0.5로 “상당히 풍화” 등급을 보이거나, 이 문화재가 각각 다른 화강암을 재료로 만들어졌다고 가정할 경우, 대부분 지역의 경우 그 등급이 “중간정도로 풍화” 등급으로 낮아지고, 익산의 경우는 “약간 풍화” 로 2등급이나 낮아지는 결과를 보였다. 따라서 우리나라 대표적인 화강암의 신선암 속도의 정확한 파악이 선행되어야만 풍화도의 산정이 가능하며, 신선암 속도의 자료수집이 선행되어야 할 것으로 생각된다.

Table 2. k값에 따른 풍화도 분류 기준.

풍화 및 변질의 정도	풍화도 (k)	P파 속도
신선	0	> 5,000
약간 풍화	0~0.2	5,000 ~ 4,000
중간정도로 풍화	0.2~0.4	4,000 ~ 3,000
상당히 풍화	0.4~0.6	3,000 ~ 2,000
현저히 풍화	0.6~10	< 2,000

Table 3. 각 지역 풍화암의 속도가 2500m/s라고 가정하고 신선암의 속도를 5000m/s를 사용했을 때와 실험측정치를 사용했을 때의 풍화지수.

실험지역 신선암속도	실험지역				
	거창	원주	익산	괴산	충주
5000m/s 사용	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
실험결과사용	0.25	0.37	0.2	0.3	0.4

#### 4. 결론

본 연구에서는 석조문화재로 많이 사용되는 국내 5개 지역의 화강암에 대한 속도를 보고하고, 풍화도 산정에서 현장측정의 신뢰도 및 신선암 속도의 중요성을 정량적으로 분석하였다. 연구의 결과 현장측정 속도자료의 경우 그 오차가 연구 전에 예측했던 것 보다는 그리 크지 않아 이 오차가 풍화도 산정에 미치는 영향은 그리 크지 않은 것으로 나타났다. 다만 실험측정은 연마면에서 수행되었기 때문에 보다 정확한 불확실성의 정량적 평가를 위해서는 현장상태에서의 측정이 추가되어야 할 것으로 생각된다. 하지만 신선암의 속도는 같은 화강암의 경우에도 지역 별로 상당한 차이를 보이며, 그 값이 풍화도 산정에 사용되는 신선암의 속도인 5000m/s와 상당한 차이를 보이는 것으로 나타났다. 실제로 풍화암의 속도가 2500m/s인 샘플의 풍화도는 일반적인 신선암 속도를 사용할 경우 “상당히 풍화” 로 나타났지만, 실험측정치를 이용한 경우 그 등급이 대부분의 경우 한등급씩, 익산화강암의 경우는 2등급이 낮아지는 것으로 나타나 풍화등급 산정에 정확한 신선암 속도산정이 얼마나 중요한지를 명백히 보여주었다. 따라서 정확한 풍화도의 산정에는 그 암석의 신선암의 속도를 정확히 산정이 매우 중요하다.

## 참고문헌

- 서만철, 송인선, 최희수, 2001, 암석의 파괴 확률 분석을 통한 불국사 삼층석탑 구조 안전 진단, 지구물리학회지, **4**, p.57-69.
- 서만철, 송인선, 최희수, 2002, 초음파 속도 분석을 통한 불국사 다보탑 구조 안전진단, 지구물리학회지, **5**, p. 199-209.
- 이선명, 이명성, 조영훈, 이찬희, 전성원, 2007, 안성 청룡사 삼층석탑의 풍화훼손도 진단과 보존처리, **40**, p. 661-673.
- 조기만, 좌용주, 2005, 석조문화재의 석재공급지에 관한 연구; 익산 지역에 대한 지형학적 및 암석학적 접근, **14**, p. 24-37.
- 조영훈, 이찬희, 전성원, 2007, 중평 남하리사지 마애불상군의 재질특성과 훼손도 평가, 대한지질학회지, **43**, p. 501-515.
- Iliev, I.G., 1967, An attempt to measure degree of weathering of intrusive rocks from their physico-mechanical properties, Proceedings of the First International Congress, *International Society of Rock Mechanics*, Lisbon, **1**, p. 109-114.