

미생물 풍화에 의한 자류철석의 슬레이크 내구성 및 탄성파속도 변화 특성

이찬우, 박영호, 김봉주, 윤지성, 위대웅, 박천영, 강성승 (조선대학교)

1. 서론

풍화는 작용 메커니즘에 따라 물리적, 화학적, 그리고 생물학적 풍화작용으로 구분할 수 있으며 암석의 물성을 좌우하는 중요한 요소 중의 하나이다. 특히 암반 구조물에 있어서 서서히 진행되는 풍화는 장기적으로 구조물의 안정성을 위협하는 인자이기도 하다. 따라서 각 풍화작용의 메커니즘 이해로부터 풍화 정도를 결정하는 것은 암반 구조물의 합리적인 설계반영에 도움을 준다 (Wyllie and Mah, 2004). 물리적 풍화작용은 온도변화, 얼음, 염류의 결정화 등에 의해 암석이 서서히 미세하게 파괴되는 과정으로서 재하작용, 열풍화 또는 일시풍화, 건습풍화, 동결파쇄, 염류풍화 등이 이에 속한다. 화학적 풍화작용은 암석 중의 화학성분과 공기, 강우, 침투수가 화학적으로 반응함으로써 암석의 색 변화, 조암광물의 변질, 또는 화학적 분해와 같은 현상이 일어나는 것으로 탄산염화와 용해, 가수분해, 수화, 산화 등이 이에 포함된다. 박테리아에 의한 유황, 철 등의 산화, 곰팡이류나 지의류 등에 의한 광물의 파쇄, 해초류나 이끼류에 의한 광물의 변질, 나무뿌리의 압력에 의한 암석 깨진 틈의 확대 등이 있다.

암석 풍화에 관한 연구는 오랜 기간 많은 연구자들에 의해 다양한 연구결과가 보고된바 있다. 예를 들면, 암석을 구성하고 있는 조암광물의 조성에 관한 연구(Ruxton and Berry, 1957), 암석의 역학적 성질 변화에 관한 연구(Judd and Haber, 1961; Deere, 1968), 암석의 역학적 성질과 풍화특성 상호관계에 관한 연구(Barton, 1971; Inoue and Ohomi, 1981), 풍화도에 따른 공극률과 흡수율, 그리고 지진파속도와 상호관계에 관한 연구(Hamol, 1961, Duncan, 1969, Iliev, 1970) 등이 있다. 국내의 경우 흡수율 변화에 따른 지진파속도의 변화 특성에 관한 연구(김영화, 1978), 화강암의 풍화에 따른 지질공학적 변화에 관한 연구(이수곤, 1989), 화강암의 풍화현상에 수반되는 물성 변화에 관한 연구(김영화와 홍순호, 1990; 김영화와 장보안, 1992), 암석의 풍화에 따른 강도변화 특성 및 강도추정에 관한 연구(정형식과 유병옥, 1997), 풍화에 따른 세일의 물성 및 슬레이크 내구성에 관한 연구(김혜경 외, 2010) 등을 들 수 있다. 하지만 풍화에 관한 연구는 주로 물리적 및 화학적 풍화에 집중되었으며, 생물학적 풍화에 관한 연구는 미미한 수준이다. 암석의 풍화작용은 개별적으로 이루어지기 보다는 복합적으로 이루어지기 때문에 이에 대한 고려가 필요하다. 이러한 점에 착안하여 이 연구에서는 미생물을 이용하여 미생물이 풍화에 미치는 영향에 대해 자류철석을 대상으로 슬레이크 내구성과 탄성파속도 변화로부터 살펴보았다.

2. 시험방법

대상 암석시료는 강원도 삼척시 풍곡리 280번지 제2연화광산 주변에 있는 자류철석으로서 시험편은 미생물 배양용 시료 크기를 고려하여 직경 25 mm, 길이 약 50 mm인 코아 시료로서 슬레이크 내구성 시험, 속도 측정, 일축압축시험을 적절하게 수행할 수 있도록 제작되었다. 실험 방법은 미생물이 생존할 수 있는 환경을 인위적으로 만들었다. 즉, 호산성박테리아가 생존할 수 있는 풍화유도-배양액을 무기영양원과 산화에너지원으로 구성하였다. 무기영양성분은 $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ 0.2 g/l, $\text{MgSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ 0.5 g/l, CaCl_2 0.25 g/l 및 KH_2PO_4 3.0 g/l을 용해시켜 8 리터로 하였다. 산화에너지원은 자류철석 코아 시료 1337.898 g으로 하였다. 호산성박테리아가 포함된 배양액은 2리터로 하였다(생물학적 풍화 1과 생물학적 풍화 2). 무기영양원 8리터+호산성박테리아 2리터+ 코아 시료 1337.898 g이 포함된 수조에 진한 황산(H_2SO_4)을 첨가하여 pH 2.5로 조정하였다. 박테리아가 생존할 수 있도록 수조에 공기를 2리터/10초로 주입하였고, 상온에서 미생물풍화가 일어나도록 하였다. 미생물의 배양기간은 0, 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90일 등 10단계로 나누었으며, 각 단계별로 슬레이크 내구성 시험과 탄성파속도 시험 3회를 실시하였다. 이 연구에서 활용된 미생물들은 pH가 2.0 ~ 3.0의 낮은 환경에 잘 적응하는 호산성 화학무기자가영양체이다.

3. 결 과

3.1 슬레이크 내구성

슬레이크 내구성 시험의 결과에서 미생물의 배양기간과 슬레이크 내구성 시험 횟수에 따라 측정된 자류철석의 중량변화를 나타내면 그림 1(a)와 같다. 미생물의 영향을 전혀 받지 않은 시료의 경우 자류철석에 대한 중량변화의 차이가 거의 없는 것으로 관찰되었다. 반면, 미생물 배양을 한 시료의 경우 슬레이크 내구성 시험 횟수가 증가할수록 중량이 감소하는 변화특성을 보였다. 특히 배양기간이 20일 ~ 40일과 80일에서 중량 변화가 가장 크게 나타났다. 슬레이크 내구성 시험 횟수에 따른 평균 중량변화를 나타내면 그림 1(b)와 같다.

배양기간에 따른 자류철석의 슬레이크 내구성 지수를 나타내면 그림 2와 같다. 슬레이크 내구성 지수는 시험 횟수에 따라 변화 크기는 다르지만, 그 양상은 비슷하게 나타났다. 그림에서 알 수 있듯이 배양기간이 0일 ~ 30일까지는 감소하는 1단계, 30일 ~ 60일까지는 증가하는 2단계, 60일 ~ 80일까지는 감소하는 3단계, 마지막으로 80일 ~ 90일까지는 증가하는 4단계의 형태를 보였다. 이들 중 배양기간이 30일에서 가장 낮은 슬레이크 내구성 지수를 가졌다.

3.2 탄성파속도

미생물의 배양기간과 슬레이크 내구성 시험 횟수에 따라 측정된 자류철석의 탄성파속도 변화를 나타내면 그림 3과 같다. 자류철석의 경우 슬레이크 내구성 시험을 하지 않은 경우 배양기간에 따라 최대속도 3937 m/s(Incubation period-0), 최소속도 1253 m/s(Incubation period-90)의 큰 차이를 보였다. 탄성파속도는 슬레이크 내구성 시험 실시 전 ~ 슬레이크 내구성 시험 1회 실시 구간

에서는 감소하다가 슬레이크 내구성 시험 1회 ~ 슬레이크 내구성 시험 3회 실시 구간에서는 변화 폭의 차이는 있지만 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 하지만, 미생물 배양기간이 증가할수록 탄성파속도는 뚜렷하게 감소하는 양상을 보였다. 이것은 미생물이 자류철석의 종파속도 변화에 어느 정도 영향을 주었음을 의미한다.

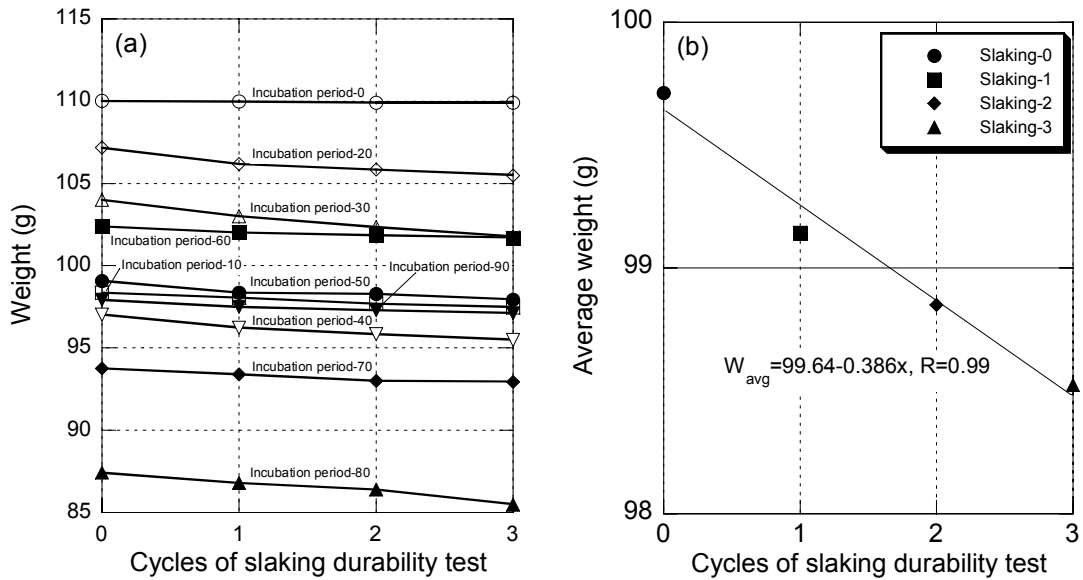


그림 1 슬레이크 내구성 시험, (a) 중량 변화, (b) 평균 중량 변화

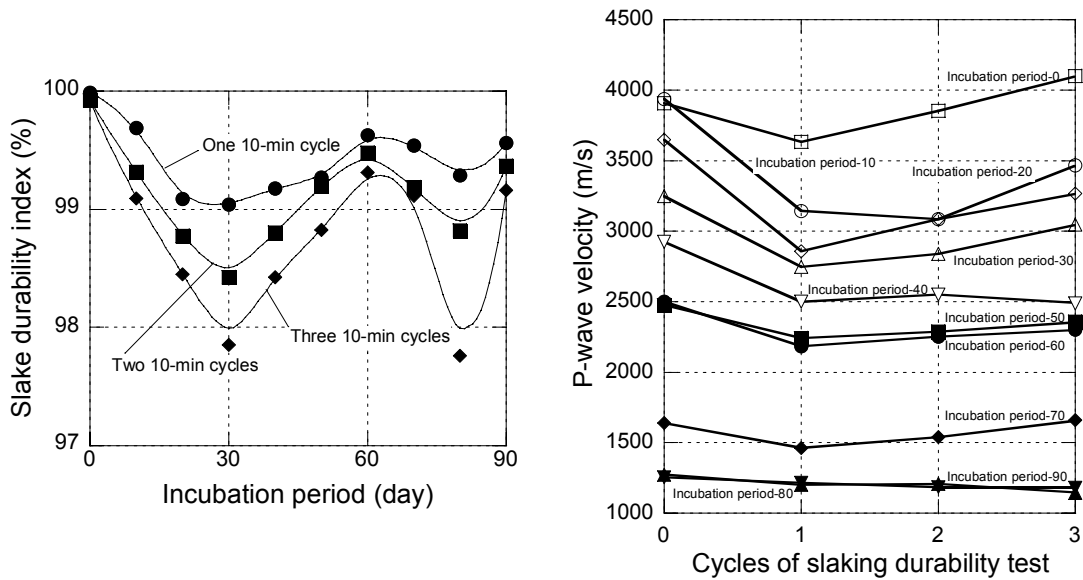


그림 2 슬레이크 내구성 지수 변화

그림 3 탄성파속도 변화

4. 결 론

미생물 풍화에 의한 자류철석의 슬레이크 내구성 및 탄성파속도 변화 특성에 대한 연구결과를 정리하면 다음과 같다. 미생물의 배양기간과 슬레이크 내구성 시험 횟수에 따른 자류철석의 중량 변화에서는 미생물을 배양하지 않은 경우 중량 변화는 거의 관찰되지 않은 반면, 미생물을 배양한 경우 슬레이크 내구성 시험 횟수가 증가할수록 중량이 감소하는 경향을 보였다. 슬레이크 내구성 지수에서는 슬레이크 내구성 시험 횟수가 증가할수록 슬레이크 내구성 지수 변화도 크게 나타났다. 탄성파속도 변화에서는 슬레이크 내구성 시험 실시 전 ~ 슬레이크 내구성 시험 1회 실시 구간에서는 감소하다가 슬레이크 내구성 시험 1회 ~ 슬레이크 내구성 시험 3회 실시 구간에서는 변화 폭의 차이는 있지만 대체적으로 증가하는 경향을 보였다. 하지만, 미생물 배양기간이 증가할수록 탄성파속도는 뚜렷하게 감소하였다.

참 고 문 헌

1. 김영화, 1978, 함수률의 변화에 따른 지진파 속도의 변화 특성에 관하여, 서울대학교 이학석사 학위논문
2. 김영화, 홍순호, 1990, 풍화현상에 수반되는 화강암의 물성변화에 관한 연구, 대한광산학회지, Vol. 23, No. 2, pp. 221-232
3. 김영화, 장보안, 1992, 화강암의 풍화현상에 수반되는 물성변화의 특성, 지질공학회지, Vol. 2, No. 1, pp. 36-46
4. 김해경, 김태국, 오강호, 2010, 풍화에 따른 백악기 세일이 물성 및 슬레이크 내구성에 관한 연구, 대한지질공학회지, Vol. 20, No. 3, pp. 311-318
5. 이수근, 1989, 서울화강암의 지질공학적 특성, 대한광산지질학회 제22차 학술발표회
6. 정형식, 유병옥, 1997, 암석의 풍화에 따른 강도변화 특성 및 강도추정에 관한 연구, 한국지반공학회지, Vol. 13, No. 6, pp. 71-93
7. Barton, N. R., 1971, A relationship between joint roughness and joint shear strength, Proc. of Int. Symp. on Rock Mech., Nancy, France, pp. 1-8
8. Deer, D. U., 1968, Geological consideration, Rock mechanics in engineering practice, John Wiley.
9. Duncan, N., 1969, Microcracks in crustal igneous rocks: Physical properties, in the Earth's Crust, Geophys. Monogr. Ser., Vol. 20, pp. 95-117
10. Hamrol, N., 1969, A quantitative classification of weathering and weatherability of rocks, Proc. Int. Conf. Soil Mech. Found. En., Vol. 5, pp. 771-774
11. Iliev, I. G., 1970, An attempt to estimate the degree of weathering of intrusive rocks from their physicochemical properties, Int. Congr. Int. Soc. Rock Mech., Vol. 2, pp. 109-114
12. Inoue, M, Ohomi, M., 1981, Relation uniaxial compressive strength and elastic wave velocity of soft rock, Proc. Int. Symp. of Weak Rock, Vol. 1, pp. 9-14

13. Judd, W., Huber, C., 1961, Correlation of rock properties by statistical method, Int. Symp. Min. Res., Missouri Sch. Mines, Rolla, Mo
14. Ruxton, B. P., Berry, L., 1957, Weathering of granite and associated erosional features in Hong Kong, *Bull. of the Geol. Soc. of America*, Vol. 68, pp. 1263-1292
15. Wyllie, D. C., Mah, C. W., 2004, Rock Slope Engineering: Civil and Mining, Spoon Press