

# 함황철석 편마암의 화학적 풍화에 의한 물성 변화

우익<sup>1)</sup> · 김재곤<sup>2)</sup> · 이규호<sup>2)</sup> · 박혁진<sup>1)</sup> · 김택현<sup>2)</sup>

## 1. 서론

황철석을 함유하고 있는 암석은 황철석의 풍화특성으로 인하여 사면의 안정성 및 산성 배수로 인한 환경 문제가 대두되고 있다. 본 연구에서는 실내 풍화가속 실험을 통하여 화학적 풍화가 황철석을 함유한 편마암에 미치는 영향을, 특히, 공학적 특성을 통하여 알아보았다. 황철석 함유량을 서로 달리한 3 종류의 편마암에 대하여 실험을 실시하여 이들의 화학적 풍화에 대한 영향을 상호 비교하였다.

## 2. 연구 방법

본 연구에서는 황철석 함유량이 서로 다른 3 종류의 호상흑운모편마암에 대하여 double soxhlet extractor를 사용하여 leaching test를 실시하였다. 지름 32mm 실린더형 암석 공시체를 주기적으로 70도의 증류수에 주기적으로 30일간 노출시킨 후, 암석공시체의 물리적, 공학적 특성을 leaching test 이전과 이후에 측정하여 이를 비교하여 leaching test에 의한 암석의 특성변화를 고찰한다.

### 2-1. 시료 특성 및 분류

대상 암석은 호상흑운모편마암으로 인천 굴포천방수로 공사현장에서 시료를 채취하였다. 시료를 채취하여 실린더형 공시체로 성형할 때, 편리의 방향에 따른 암석의 물리적, 공학적 특성의 이방성을 최소화시키기 위하여, 편리의 방향이 일정하게 되도록 시료를 성형하였다. 공시체의 장축에 대하여 편리의 방향이 수직이 되면 편리에 의한 암석 강도에 미치는 영향이 최소가 되므로, 편리의 방향과 공시체 장축이 서로 수직이 되도록 하였다. 그러나, 암석 형성시의 구조적 문제 혹은 다른 영향으로 인하여 동일한 시료에서도 일정한 편리 방향을 산정하기에는 어려움이 따른다. 또한, 황철석을 다량 함유한 시료들은 시료 내에 소규모의 절리들이 발달하여, 일축압축강도에 이들 절리들이 미치는 영향을 배제할 수는 없었다.

본 연구에서는 신선한 암석을 채취하여, 황철석(pyrite) 함유량에 따라 3 종류로 구분하였다. 또한, leaching test 이후의 암석 시료들에 대한 일축압축강도를 측정한 후, 시험을 거치지 않는 시료들의 강도와 서로 비교하였다. 물리적 특성이 유사한 암석시료는 유사한 공학적 특성을 지닌다는 가정아래에서, leaching test 이전에 모든 시료들에 대하여 흡수율 및 탄성과 속도를 측정하여 동일한 물성을 갖는 시료들을 선택한 후, 이들 중 일부는

**주요어** : leaching test, 풍화, 황철석, 편마암, 일축압축강도, 탄성과속도, 흡수율, soxhlet extractor

1) 세종대학교 국가지정 지질재해정보연구실

2) 한국지질자원연구원

leaching test를 실시하였고, 나머지 부분은 실험을 거치지 않고 일축압축강도실험을 실시하였다. 표 1은 이런 식으로 분류된 각 그룹의 황철석 함유량 및 암석 공시체의 표면과 편리가 이루는 각도, 흡수율, 탄성파속도를 보여주고 있다.

표 1. leaching test를 실시한 함황철석 편마암 분류 및 특성

Group	Pyrite contain (%)	Foliation angle (°)	Qa (%)	Vp (m/sec)	Vs (m/sec)
I	0	15-20	≈0.15	≈4500	≈2890
II	3.3	20-25	≈0.10	≈4970	≈3010
III	5.5	35-40	≈0.40	≈4630	≈2910

### 3. 실험 결과

30일간의 leaching test를 거친 시료들의 흡수율 및 탄성파속도의 변화를 살펴본다. 탄성파속도와 흡수율은 동일한 시료에 대하여 leaching test 전과 후를 비교할 수 있는 장점을 지니고 있어, 각 시료마다 leaching test에 반응하는 경향을 관찰 할 수 있고, 이들 물리적 특성의 변화가 시료의 강도에 미치는 영향을 간접적으로 평가할 수 있게 해 준다. 그리고, leaching test를 거친 시료들의 일축압축강도와 실험을 거치지 않은 시료들의 일축압축강도를 서로 비교한다. 측정된 물리적 특성의 변화와 일축압축강도의 변화의 관계를 통하여 leaching test에 의한 전반적인 물성변화를 살펴본다.

#### 흡수율(Quick absorption ratio)

leaching test를 거친 Group I과 Group II의 시료들은 흡수율이 변하지 않거나, 소량의 변화를 기록하고 있는 시료가 있고, 아니면 실험이후에 오히려 흡수율이 감소한 경우를 볼 수 있다. 모두 흡수율의 변화폭이 측정오차범위에서 측정된 것으로 이는 30일간의 leaching test로 인한 흡수율의 변화는 없다고 볼 수 있다.

Group III 시료들의 흡수율의 변화는 Group I, II의 시료들의 경우와는 달리, leaching test 이후에 흡수율의 증가가 대략 10%정도 발생하였다. 화학적 풍화에 민감한 반응을 보이는 황철석을 많이 함유한 Group III은 leaching test를 통하여 황철석의 산화 및 풍화로 인하여 발생한 결과로 볼 수 있다.

#### 탄성파 속도

leaching test 이후의 탄성파속도는 시료마다의 차이는 있었지만 전반적으로 감소한 경향을 보였다. 특히, S-파의 경우는 Group에 상관없이 대략 7 ~ 10 % 내외의 감소율을 보였다. P-파의 경우는 Group I과 Group III이 3 ~ 7 %의 감소율을 보였으며, Group II는 이보다 약한 감소율인 1 ~ 3 %정도를 보였다. 각 암석 Group별 탄성파속도의 감소율을 고려하여보면, Group I과 Group III의 물성 감소율이 Group II보다 더 클 것으로 예상된다.

#### 일축압축강도

다른 물리적 물성을 측정하는 것과는 틀린 파괴실험에 의해 강도를 구하므로, 동일 시료의 실험전과 실험후의 강도를 비교할 수 없다. 본 실험에서는 유사한 물리적 특성을 지닌

암석시료들을 한데 묶어 이들의 공학적 특성 또한 유사하다는 가정 하에 일축압축강도를 측정하여 비교하였다(Figure 1). 그러나 동일한 암석에서의 일축압축강도의 심한 편차는 간혹 예상이외의 값을 주곤 한다. 따라서 파괴이후의 파괴형태를 비교하고, 또한 아주 큰 편차를 지닌 일축압축강도의 값을 제외한 나머지에 대하여 분석을 하였다.

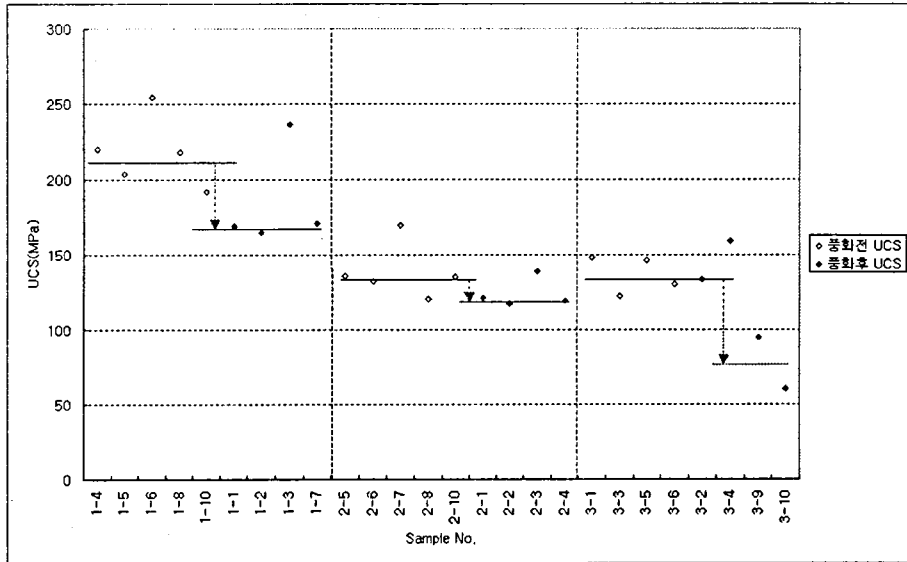


Figure 1. Change of Uniaxial Compressive Strength(UCS) after and before 30 days' leaching test

Group I 시료들의 실험 전-후의 일축압축강도는 전체적으로 감소하는 경향을 볼 수 있다. 시료 1-6과 1-3의 일축압축강도는 다른 시료의 강도보다 그 편차가 크므로 분석에서 제외한 나머지에 대하여 비교를 하여보면, 30일간의 leaching test에 의한 일축압축강도의 변화는 대략 21%이다. Group II 시료들은 leaching test에 의한 일축압축강도의 변화가 거의 발생하지 않았음을 볼 수 있다. 그러나, 시료 2-7과 2-3의 강도를 제외하면, 아주 미세한 전체적인 변화가 발생했음을 관찰할 수 있으며, 이는 대략 11%의 감소가 있었음을 알 수 있다. Group III 시료의 leaching test 이후의 일축압축강도는 두 그룹으로 나눈다. 일축압축강도가 150MPa 정도를 지닌 시료 3-2와 3-4, 그리고 100MPa이하의 일축압축강도를 지니 3-9와 3-10으로 구분될 수 있다. 시료 3-2와 3-4의 일축압축강도는 leaching test를 거치지 않은 시료들의 강도와 유사함을 볼 수 있다. 그런데, leaching test를 거치지 않은 시료들의 일축압축실험의 파괴형태를 살펴보면, 암석시료내에 이미 발달된 절리들을 따라서 파괴가 발생하였음을 관찰할 수 있다. 또한 leaching test를 거친 암석시료의 파괴형태는 시료 3-9와 3-10의 경우만 leaching test를 거치지 않은 시료의 파괴형태와 유사하며, 시료 3-2와 3-4는 절리에 의한 파괴가 아닌 무결암에서 나타나는 파괴형태를 보여주고 있다. 이러한 파괴형태의 비교를 통하여 시료 3-9와 3-10의 일축압축강도만 실험을 거치지 않은 시료들의 일축압축강도와 비교되어야 한다. 즉, Figure 1에서 나타난 바와 같이 대략 45%의 일축압축강도의 감소가 30일간의 leaching test에 의하여 발생되었음을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

황철석을 함유한 Group III의 암석시료는 leaching test 이후에는 흡수율의 현저한 증가, 탄성과 속도의 감소를 보여주고 있으며, 황철석을 함유하지 않은 Group I과 미량의 황철석을 함유한 Group II는 흡수율의 미세한 증가와 탄성과 속도의 감소, 특히 S-파 속도의 감소를 관찰할 수 있다. 그러나, 실험을 거치지 않은 시료와 실험을 거친 시료의 일축압축강도를 서로 비교하여 볼 때, 황철석을 함유하지 않은 Group I의 시료들의 일축압축강도는 leaching test를 거친 암석 시료의 강도가 실험이전의 값에 비하여 대략 20% 정도 감소되었으나, 황철석을 함유한 Group II은 일축압축강도의 변화가 거의 없었다. 이는 이들 암석 시료의 근본적인 물성차이에 기인하는 것으로 사료된다. 즉, Group I 시료는 조밀하게 발달된 편리구조는 leaching test에 의한 영향을 많이 받는 구조를 가지고 있어 강도의 저하가 많이 발생하였고, 황철석을 함유한 Group II의 시료들은 편리구조가 Group I에 비하여 발달이 잘 되어 있지 않은 구조를 지니고 있어 30일간의 leaching test로는 전체적인 암석 시료의 강도저하를 유발하기엔 충분하지 않은 것으로 사료된다. 또한, 자연상태의 황철석의 풍화는 산성침투수에 의한 강한 산성용액에 의하여 황철석의 산화가 아주 빠르게 이루어지지만, 실내실험에서는 항상 증류수를 사용하므로 자연상태보다는 풍화조건이 가혹한 것이 아니므로, 실제 자연상태의 황철석 풍화조건을 재현하기 위해서는 다른 실험조건에서 실험을 실시하여야 할 것이다. Group III의 시료들이 절리면을 따라 파괴된 것을 관찰하여 보면, 절리면의 황철석이 풍화실험에 의하여 심하게 산화된 양상을 보이고 있으며, 이를 따라 암석의 파괴가 발생하여 유사한 조건의 시료를 비교하였을 경우 45%의 강도저하가 발생함을 볼 수 있다. 즉, 이로써 황철석을 함유한 암석은 황철석의 산화가 진행되면 급격한 강도저하가 발생할 것이라는 것을 예상할 수 있다.