

풍화가속실험에 의한 암석의 미세균열 발현특성

신미경^{1)*} · 엄정기²⁾ · 우익³⁾ · 박혁진⁴⁾

1. 서론

우리나라는 계절의 변화가 뚜렷하여 동결·융해과정에 따른 암반의 풍화가 상대적으로 많이 나타나고 있으므로 동결·융해과정에 따른 암석의 풍화 메커니즘과 풍화양상을 예측하는 것은 지질공학적으로 매우 중요하다. 도로나 철도 등 사회기반시설 건설과 관련된 절취사면에서 노출암반의 풍화는 암반의 지질공학적 특성과 안정성에 주된 영향을 미친다. 또한 굴착지반의 풍화상태 역시 대상 암반의 지질공학적 특성과 안정성에 지대한 영향을 미친다. 이와 같은 지반구조물의 연령은 통상 수십 년의 시간이 고려되는데, 이때 문제가 되는 것은 국내의 극한 기후조건 - 여름의 아열대성 기후와 겨울의 대륙성 기후 - 에 의한 암반 풍화가 암반의 물리·역학적 특성 또는 수리지질학적 특성을 변화시킬 수 있다는 것이다. 현재까지의 연구는 현재의 지질 조건이나 수리적 조건에 의존한 암반의 안정성 분석이 주를 이루고 있는 반면 풍화와 관련된 장기적 안정성 해석에 관하여서는 구체적인 해석방법의 제시나 관련연구의 수행이 미흡한 실정이다. 이러한 문제는 풍화에 대한 지질학적인 기술을 바탕으로 지질공학적으로 정량화된 척도의 제시가 부족했던 것이 가장 큰 원인으로 지적된다. 본 연구에서는 백악기 퇴적암류에 대한 동결·융해실험을 통하여 동결·융해 사이클의 증가에 따른 암석의 물리·역학적 특성변화를 고찰하고 미세균열의 발현양상을 정량화할 수 있는 방법을 연구하였다.

2. 연구방법

본 연구지역은 경상남도 의령군과 함안군 일대에 분포하는 백악기 함안층 지역이다. 동결·융해실험을 위한 암석시료는 자색 셰일 및 회색 셰일이며, 층리가 잘 발달되어 있는 암석을 채취하였다. 현장에서 채취된 괴상암석을 암상 및 풍화상태에 따라 5개 Group으로 분류하고 실내 시추기를 이용하여 코어시료를 획득한 후, 동결·융해 사이클에 따른 물성 측정용으로 Group 당 6개 이상씩의 시험편을 제작하였다. 또한, 미세균열 발현양상을 관찰하기 위해서는 각 Group 당 층리면의 수평 및 수직으로 두께를 달리하여(5mm, 10mm, 15mm, 20mm) 총 48개의 4×4cm의 슬랩 시험편을 제작하였다. 제작된 슬랩 시험편은 표면을 연마한 후 3×3cm의 프레임을 표시하여 동결·융해 사이클에 따른 미세균열의 발현양상을 고해상도로 촬영하기 위한 기준으로 설정하였다. 5개의 암석 Group 중 Group 1과 Group 2는 각각 물과 산에 의한 동결·융해실험을 실시하여 물과 산에 따른 지질공학적 특성변화를 고찰하였으며, 나머지 3개의 Group은 산을 이용한 동결·융해실험을 수행하였다.

주요어 : 풍화가속실험, 동결-융해, 물리·역학적 특성변화, 미세균열 발현특성

1) 부경대학교 환경탐사공학과 (shinmi83@nate.com)

2) 부경대학교 환경탐사공학과 (jum@pknu.ac.kr)

3) 군산대학교 해양시스템공학과 (woo@kunsan.ac.kr)

4) 세종대학교 지구정보공학과 (hjpark@sejong.ac.kr)

동결·융해실험에 있어서 온도범위는 연구지역의 최근 10년간 동절기 기온의 약 3배에 해당하는 $-15^{\circ}\text{C} \sim -17^{\circ}\text{C}$ 로 설정하여 풍화가 가속될 수 있는 조건을 부여하였다. 실험의 절차는 포화-동결-융해 순서로 하였다. 완전 포화를 위해서는 진공 하에서 2시간동안 수침을 실시하였고, 동결 시에는 물의 증발을 막기 위해 시료를 플라스틱 랩으로 밀봉한 후 8시간동안 냉동기에 보관하였으며, 상온에서 14시간 동안 융해하였다. 이와 같이 포화-동결-융해 과정을 24시간동안 수행하여 한 사이클로 하였다. 산을 이용한 침수 시에는 황산용액(95%)을 희석하여 $\text{pH} \approx 2$ 로 하여 실험하였다. 실험을 실시하기 전 각 Group의 코어시료에 대하여 포화중량, 건조중량, 물속무게 및 탄성과 속도 등의 비파괴 물성을 측정 하였다. 실험실시 후 10 사이클까지는 매 2 사이클마다 물성을 측정하였으며, 10 사이클 이후에는 매 5 사이클마다 측정하는 방식으로 총 55 사이클에 대한 실험을 수행하였다. 물성치 측정과 동시에 각각의 암석슬랩 시편에 대해서는 50mm 마크로 렌즈의 DSLR 카메라와 접사대를 사용하여 앞·뒷면을 약 6백만 화소로 촬영 하였으며, 화상분석을 수행하여 동결·융해 사이클에 따른 미세균열의 평면좌표를 취득하였다(그림 1). 화상분석을 통하여 얻어진 미세균열의 패턴에 대한 기하학적 특성(빈도수, 크기)의 통계적 모수와 동결·융해 사이클 간의 상관관계를 고찰하기 위해서는 미세균열의 평면빈도수와 크기를 동시에 고려할 수 있는 박스 프랙탈 차원(D_b)을 이용하여 미세균열의 발현 특성에 대한 정량화를 시도하였다.

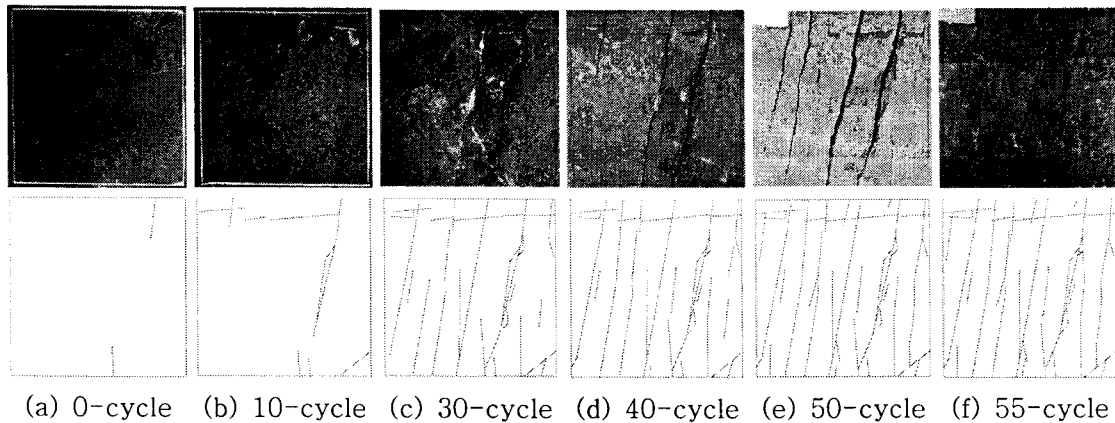


그림 1. 동결·융해 사이클에 따른 미세균열의 변화 (Group 4)

3. 연구결과

동결·융해 사이클에 따른 비중의 변화는 일정하게 감소되어 나타나지만 시료 Group에 따라 변화폭의 차이가 최소 1.0%에서 최대 3.5%로 확인되었다. 특히 시험 전 초기 비중이 낮을수록(Group 4, Group 5) 풍화 사이클에 따른 변화의 폭이 큰 경향을 나타냈다. 또한 Group 1과 Group 2에서 산과 물에 의한 차이는 미소하였다.

흡수율의 경우에는 초기 5 사이클 이내에서 급격한 증가를 관찰할 수 있으며 이 후 일정하게 증가하는 양상은 보였다. 50 사이클 동안 비중의 변화폭이 큰 Group 4와 Group 5는 흡수율을 역시 1% 이상 비교적 높게 증가되었으며, 반면에 비중의 변화가 적은 Group 1과 Group 2는 0.2% 이하로 낮은 증가를 나타냈다. 이러한 흡수율의 변화는 미세균열의 증가에 기인하는 것으로 해석되며, 실험 초기 시료의 풍화상태 및 물성에 따라 동결·융해 사이클에 의해 반응하는 정도도 다를 수 있다고 사료된다.

탄성과 속도는 P파, S파를 모두 측정하였고, 시료가 파괴되어 측정이 불가능하게 된 샘플은 측정가능 사이클까지의 측정값만을 고려하였다. 전체적으로 P파 속도는 동결·융해 사이클이 진행됨에 따라 크게 감소하는 것으로 나타났다. Group 3과 Group 4의 경우에는 30 사이클 동안 초기 값보다 약 3000m/sec이상 급격히 감소하였으며, 이 후 사이클에서는 시료가 파괴되어 더 이상 속도측정이 어려웠다. Group 1과 Group 2의 경우에는 30 사이클 까지 초기 값보다 약 1000m/sec 정도 감소하여 비교적 완만한 감소를 나타냈으나 이 후 급격히 감소하는 양상을 보였다.

동결·융해 사이클이 증가함에 따라 슬랩 시편 표면에 발달하는 미세균열의 크기와 평면밀도의 변화를 정량화하기 위해서는 그림 1에서와 같이 취득한 미세균열 트레이스에 대하여 박스 집계법을 적용하여 박스프랙털차원(D_B)을 산정하였다. 각각의 슬랩에서 D_B 를 산정하기 위한 초기 박스 크기는 30mm X 30mm를 1/4로 분할한 4개의 15mm X 15mm 박스이며, 다음 단계에서는 각각의 박스를 다시 1/4로 분할하여 16개의 7.5mm X 7.5mm 박스 크기를 고려하였다. 이와 같은 방법으로 최종 7단계까지 단계별로 미세균열 트레이스를 포함하는 박스 개수를 산정한 후 $\ln(N(r))$ vs. $\ln(1/r)$ 의 선형성을 확인하고 D_B 를 산정한 결과 그림 2에서와 같이 동결·융해 사이클이 증가함에 따라 산정된 D_B 가 증가하는 양상을 나타냈다.

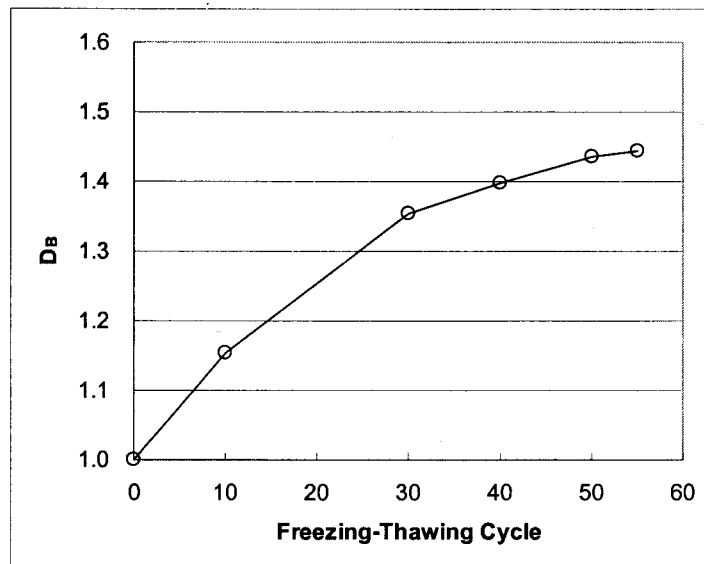


그림 2. 동결·융해 사이클에 따른 박스 프랙털차원의 변화 (Group 4)

3. 결 론

경상남도에 분포하는 함안층 세일에 대하여 동결·융해에 의한 풍화가속실험을 실시한 결과 기계적 풍화가 진행됨에 따라 비중, 흡수율, 공극율 및 탄성과 속도 등의 물성이 뚜렷하게 변화하는 것을 확인하였다. 이는 풍화 진행에 따른 미세균열의 증가에 기인한 것으로 판단된다. 기계적 풍화 진행에 따른 미세균열의 발현양상을 정량화하기위하여 박스프랙털 알고리즘을 적용한 결과 박스프랙털 차원이 미세균열의 발달을 효과적으로 반영하는 것으로 해석되었다. 본 연구의 박스프랙털 차원은 기존의 물성치와 더불어 유용한 풍화지수로 활용될 가능성이 높은 것으로 사료되며, 이에 대한 후속 연구 결과가 기대된다.