한국광물학회지 제 19 권 제 2 호 (2006년 6월)
J. Miner. Soc. Korea, 19(2), 63-69 (June, 2006)

운모와 장석의 실내 풍화실험 및 광물학적 특성

Laboratory Weathering Experiment on Mica and Feldspar and Their Mineralogical Characteristics

이 승 엽 (Seung Yeop Lee)[1,*] · 김 수 진 (Soo Jin Kim)[2] · 조 원 진 (Won Jin Cho)[1]

[1]한국원자력연구소
(Korea Atomic Energy Research Institute)
[2]서울대학교
(Seoul National University)

요약 : 암석은 지표환경에 노출되면 오랜 세월동안 여러 요인에 의해 물리적 · 화학적 풍화과정을 겪는다. 암석을 구성하는 광물 중 장석과 운모는 다른 광물들에 비해 가장 먼저 풍화되는 광물들이다. 자연계 풍화 화강암내에 존재하는 풍화 광물과 유사한 풍화 광물을 재현하기 위해 실내에서 신선한 광물과 산성용액과의 반응실험을 실시하였다. 흑운모의 경우, 낮은 pH 조건에서 광물 용해 및 표면구조 파괴 현상이 초기에 시작되어 점차 진행되었고 사장석에서는 표면 침상 용해구조 발달 및 다량의 Al 성분의 침전물 형성이 두드러졌다. 강산조건에서는 모든 광물의 용해가 심화되었고 표면 용해구조가 뚜렷이 나타났다. 야외에서 관찰되는 광물표면의 용식각(etch pit) 및 표면 용해구조가 본 실험에서도 비슷하게 관찰되었고 광물 용해 및 풍화 조직이 광물 고유의 특성에 따라 발달됨을 알 수 있었다.

주요어 : 풍화, 장석, 운모, 화강암, 용해

ABSTRACT : When rocks are exposed to the near surface environment, they are broken down due to several factors such as physical and chemical weathering during the geologic time. The feldspar and mica, which are the main rock-forming minerals, are easily broken down relative to other minerals. In order to reproduce some weathered minerals similar to the ones exist in natural weathered granite, there was an experimental interaction between fresh minerals and acidic solution. In low pH condition, biotite initially dissolved and its surface structure broke down, whereas plagioclase dissolved and had a needle-shaped dissolved morphology with some precipitates composed of Al element. The minerals were deeply dissolved in a strong acid condition, showing the prominent dissolved structure. Some etch pits and dissolved textures developed on the natural mineral surfaces are similarly found in our experiment, suggesting the development of mineral dissolution and weathering texture by the influence of the mineral's intrinsic nature.

Key words : weathering, feldspar, mica, granite, dissolution

*교신저자: seungylee@kaeri.re.kr

서 론

암석의 풍화는 기후, 지형, 배수조건, 식생 및 시간과 같은 요인들에 의해 영향을 받으며 모암을 구성하는 광물들의 종류 및 특성에 따라 풍화, 변질 및 새로운 2차 광물의 생성 등 다양하고 복잡한 변화를 보여준다. 광물은 생물체처럼 온도, 압력, 주변 환경 등의 조건 여하에 따라 안정하게 존재할 수 있는 영역이 있다. 따라서 고온, 고압 환경에서 생성된 화성암 또는 변성암의 조암광물들이 지표 환경에 노출되면, 극히 느린 속도지만 암석의 분해와 파괴 때문에 서서히 새로운 광물로 변해간다(원종관 외, 1995; 이석훈과 김수진, 2000). 화강암의 경우, 화강암 풍화단면에서 화강암을 구성하는 석영과 K-장석과 같은 광물은 풍화의 속도가 매우 느린 반면에, 사장석과 흑운모 등은 풍화 및 변질의 정도가 빠르다(정기영, 1998). 광물이 풍화되면 새로운 이차 광물들이 형성되는데, 예를 들면 장석의 경우, 풍화산물로는 비정질 상(Eswaran and Bin, 1978), 캐올리나이트(Anad *et al.*, 1985), 바이델라이트(Proust and Velde, 1978), 스멕타이트(Banfield and Eggleton, 1990), 할로이사이트(Jeong and Kim, 1993; 정기영과 이병윤, 1998) 등이 있으며, 흑운모의 경우, B/V (Wilson, 1970; 정기영, 1998), 질석(Pavich, 1986; Banfield and Eggleton, 1988; Moon *et al.*, 1994), 캐올리나이트(Harris *et al.*, 1985; Rebertus *et al.*, 1986; Churchman and Gilkes, 1989; Jeong, 1998), 할로이사이트(Samotoin *et al.*, 1987), 깁사이트(Gilks and Suddhiprakarn, 1979) 등의 다양한 변질 2차 광물들이 풍화산물로 형성된다. 광물의 풍화는 여러 요인에 의해 다양한 종류의 새로운 2차 광물로 변화 및 전이됨을 알 수 있다. 하지만, 광물의 용해 및 파괴의 시작은 물속에 있는 수소이온의 활동도에 의해 영향을 받으며, 광물 구성성분 용출 및 표면구조 등의 변화가 일어난다. 물속에 녹아있는 수소이온은 조암광물 성분중 양이온을 선택적으로 수화 및 치환시키는 화학반응을 통해 원광물의 결정을 non-stoichiometry하게 용해시켜 나간다. 이러한 광물용해 작용에 의해 광물 전체의 내부구조와는 다른 얇은 두께(μm)의 표면구조가 광물 표면에 형성되며, 광물의 종류에 따라 각기 다른 표면구조가 나타난다. 본 실험에서는 산성조건에서 물과 반응한 광물의 표면용해 및 그에 따른 용해구조의 특징을 살펴보고 광물간의 차이점을 알아보고자 한다. 한 달 이상의 반응기간 동안에 용해된 광물의 표면조직을 광물화학적 관점에서 관찰함으로써 야외 암석의 풍화 특성 및 메카니즘을 보다 구체적으로 이해하려고 하였다.

실험방법

광물의 용해실험을 위해 장석(사장석), 흑운모, 그리고 백운모 광물을 대상으로 실내에서 풍화실험을 실시하였다. 이 광물들은 화강암을 구성하는 주요 광물들로써 야외 풍화 화강암 관찰시 다른 광물들에 비해 두드러진 풍화 및 변질을 보여 주는 광물들이다. 실험에 사용된 광물들은 경남 하동 산청지역의 장석과 일반 광석내에 포함된 운모류로써, hand-picking하여 순수하게 채집하여 사용하였다. 광물용해 실험을 위해 수 g의 시료와 1,000 mL의 증류수를 polyethylene bottle(1,000 mL)에 넣고 pH를 조절하여 실험하였다. 본 실험에서 각각의 광물시료에 대해 2, 7, 그리고 12의 pH 조건을 맞추어 한 달 이상 실험하였다. pH는 초기에 측정한 값이며 최종 pH는 측정하지 않았다. 광물-물 반응용액의 pH는 HCl과 NaOH를 이용하여 조절하였다. pH 측정은 Orion 920A 모델을 이용하였고 combination-type glass 전극을 사용하여 디지털 신호가 안정화 될 때까지 기다려 측정하였다.

pH 조절에 의한 광물-물 반응실험과는 달리, 강산성 용액에 의한 풍화실험은 신선한 광물을 대상으로 5% HF와 12% HCl 용액(Berner *et al.*, 1980)으로 1~48 시간의 짧은 반응으로 실험하였다. 반응 도중 용액으로부터 가스 기포가 빈번하게 발생되었으며, 광물 용해가 지속적으로 이뤄졌다.

반응실험이 끝난 후, 25℃에서 건조시킨 광물시료들을 금으로 코팅하여 주사전자현미경(SEM)으로 표면 조직과 특징을 관찰하였다. 또한, 표면 화학분석을 목적으로 JEOL JCXA 733 super-probe 장치를 이용하여 15 kV 가속전압에서 파장분산분광분석기(WDX)에 의한 화학분석을 실시하였다.

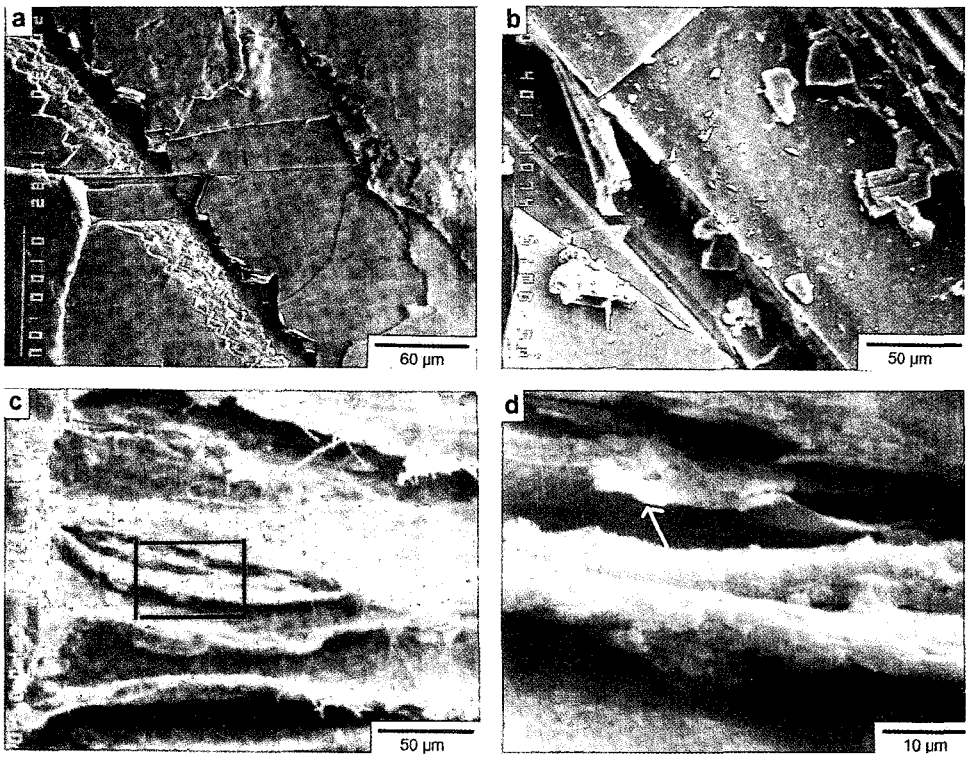

Fig. 1. Scanning electron micrographs showing some weathered biotites in a laboratory experiment. (a) Secondary electron image of the fresh biotite treated with ultrasonic. (b) Almost non-weathered biotite surfaces under pH 7.0 during 90 days. It was not treated with ultrasonic. (c) The biotite with ruptured surfaces under pH 2.0 condition during 90 days. (d) Enlarged view of the square area in (c). Arrow indicates an precipitated iron oxide.

결과 및 토의

pH에 따른 광물풍화 실험

pH 조건에 따른 광물풍화 실험에서 pH가 낮아질수록, 즉 H^+ 이온 농도가 증가할수록 광물의 용해 및 표면 파괴가 두드러졌고, 광물 표면의 조직에 변화가 뚜렷하게 나타났다. 흑운모의 경우, pH 7.0 혹은 12.0의 조건에서는 흑운모의 용해 및 변질이 거의 일어나지 않았다(그림 1b). 하지만, pH 2.0의 높은 수소이온 활동도 조건에서는 흑운모의 일부 층간구조가 팽창되면서 미세한 파괴 현상이 관찰되었고 Fe 성분의 용출 및 철의 산화, 침전이 발생하였다(그림 1c, d). Muir and Nesbitt (1992)에 의하면, 수소 이온에 의해 광물내에 있는 양이온이 치환될 때 운모류의 층간 팽창이 일어날 수 있고 광물격자 내부의 광물-산소 결합에 상당한 영향을 끼친다고 보고 하였다. 또한, 수소이온은 물분자 형태로 구성되어 있어서 광물 구조내로 침투하여 그곳에 있던 양이온을 치환하게 되면 광물 구조 약화 및 부분적 파괴를 초래할 수 있다고 주장하였다(Aagaard and Helgeson, 1982; Petit *et al.*, 1987). 본 실험에서 흑운모는 층간 팽창을 포함하여 국부적인 구조 파괴가 수반되었고 광물의 일부가 변질된 흔적이 관찰되었다(그림 1). 전자현미경 관찰을 통해 살펴본 바로는, 국부적인 광물구조 파괴로 인해 광물 내부가 외부로 노출되면서 광물의 용해 및 파괴가 더욱 가속화되는 것으로 나타났다.

흑운모와 동일한 층상구조를 갖지만 화학조성이 다른 백운모는 동일한 풍화실험 조건에서 용해 및 변질의 정도가 흑운모에 비해 상대적으로 미미하였다. 백운모의 경우, pH 2.0의 높

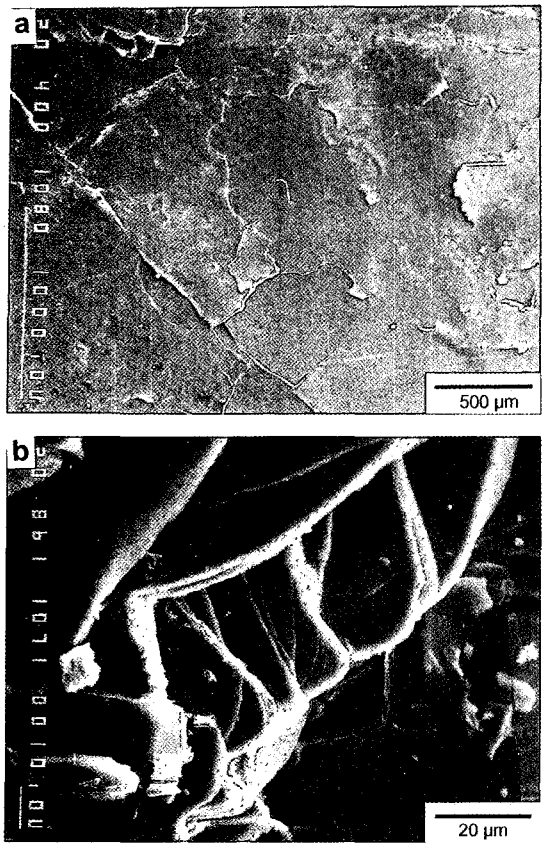

Fig. 2. (a) Secondary electron image of the fresh muscovite. (b) The slightly dissolved muscovite with some rounded edges under pH 2.0 during 90 days.

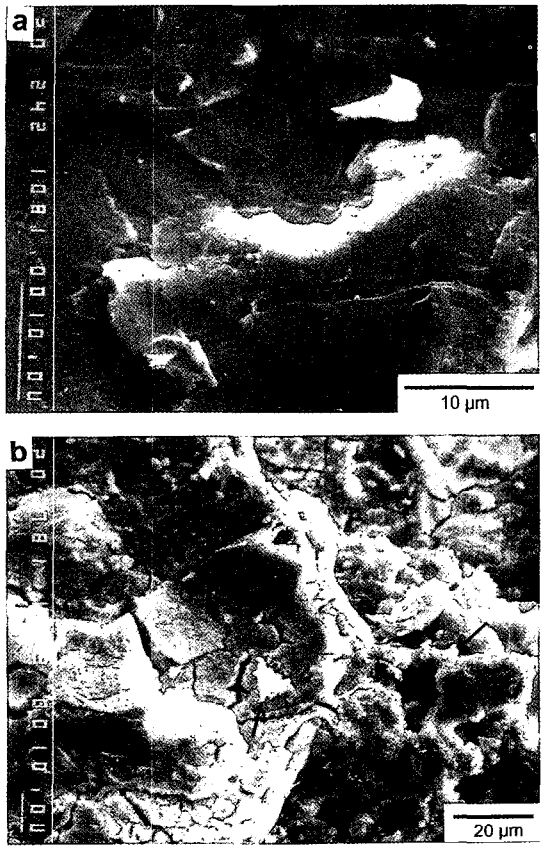

Fig. 3. (a) Secondary electron image of the fresh plagioclase. (b) The moderately dissolved plagioclase with some microcracks and small particles precipitated on its surface under pH 2.0 during 90 days. Arrows indicate precipitated Al-oxyhydroxides.

은 H^+ 활동도에서 90 일간 반응했을 때, 단지 백운모 광물의 가장자리 부근이 round하게 용해되는 현상만을 보여주었다(그림 2). 백운모는 흑운모와는 달리 표면 조직 파괴가 거의 없었고 상대적으로 에너지가 높은 부분인 edge-sites 부근의 부분적인 용해만 관찰되는 정도였다. 이와같은 이유는 백운모는 흑운모와는 달리 Fe 성분이 적어 철산화에 의한 광물구조 파괴가 미미하고 층간 이온교환이 활발하지 못하여 광물용해가 두드러지지 못했기 때문인 것으로 판단된다.

장석의 경우, 물과 반응하는 동안에 광물 표면에 많은 용식각(etch pit) 및 미세 균열들이 형성되었다. 그림 3은 낮은 pH 조건에서 물과 반응하여 변질된 장석광물의 표면과 건조 과정 중 탈수반응에 의해 2차적으로 형성된 것으로 보이는 많은 미세 균열들을 보여주고 있다. 장석은 운모류 광물과는 다르게 표면 부식 혹은 풍화의 정도가 두드러졌고 용출된 Al 성분들이 2차적으로 침전하여 광물표면을 부분적으로 덮고 있었다. Casey *et al.* (1989)에 의하면 수소이온의 공격에 의해 광물구조 성분중 양이온이 치환되면서 광물표면이 용해되고 실라놀(>Si-OH) 구조가 형성되며 추후에 실록산(>Si-O-Si<) 형태로 발전하면서 광물이 수축된다고 하였다. 풍화된 광물 표면에서 H_2O 성분이 빠져나가는 탈수 현상에 의해 표면 수축이 일어나고 이것은 풍화표면의 미세 공극을 증가시키는 요인이 된다. 본 실험에서 확인된 장석 표면의 풍화조직도 수소이온의 영향을 받아 양이온 치환 및 용해가 상당히 진행되었고 풍화조직이 공기중에 노출 및 건조되면서 미세균열이 다수 발생된

것으로 보인다. 뿐만아니라, 이러한 풍화조직은 원광물과는 달리 구조적으로 약하여 쉽게 파괴되는 특징을 보여 주었다. 특히 pH가 낮은 조건에서 용해된 장석일수록 이러한 현상이 두드러지게 나타났다. 장석 광물 표면에 존재하는 작은 입자들(그림 3b)은 물속에 용존되어 있던 Al 성분들이 침전되면서 만들어진 것으로 확인되었다. Knauss and Wolery (1989)의 실험에 의하면, aluminosilicate 광물이 물과 반응할 때, 반응용액은 수 시간만에 깁사이트(gibbsite)로 포화되고 용액상의 Al 농도는 pH와 깁사이트 용해도에 의해서 조절된다는 내용을 보고하였다.

강산조건에서의 광물풍화 실험

토양을 구성하는 광물입자 표면에서 관찰되는 풍화조직을 실내 실험을 통해 유사한 형태로 재현하기 위해 신선한 광물에 강산을 이용하여 짧은 시간동안(수~수십 시간 반응) 처리하였다. 오랜기간 동안 토양수와의 반응에 의해 형성된 토양 표면의 풍화조직과는 달리, 실내에서는 환경적, 시간적 제약이 따르므로 반응용액의 산성도를 높여서 제한된 시간내에 신선한 광물의 표면을 용해시키고자 하였다. 본 실험을 위해, 풍화되지 않은 신선한 광물을 5% HF + 12% HCl의 강산 혼합용액에 넣고 한 시간에서 48 시간까지 batch type으로 용해반응 실험을 하였다. 강산용액에는 염산이 포함되어 있는데, 염산 용액 첨가는 불용성 불소가 실험 동안에 광물 표면에 흡착, 침전되는 것을 방지할 목적으로 사용되었으며(Berner *et al.*, 1980), 전자현미경에서 보다 깨끗하고 분명한 광물표면을 관찰할 수 있었다.

광물-강산성용액 반응이 시작되었을 때, 광물 표면에 점(point) 형태로 미약하게 용해되는 부분이 나타났고 시간이 지나면서 크고 깊게 확대되었으며 상대적으로 용해가 심하지 않은 부분은 남아서 송곳 혹은 바늘과 같은 침상구조 형태를 이루었다(그림 4). 특히, 사장석 광물의 경우, 쌍정면의 경계를 따라 용해된 침상구조가 서로 나란히 배열되면서 발달하였다. 그림 4에서 보는바와 같이, 장석 광물의 경우 깊게 패인 용식구조가 수~수십 μm까지 발달되어 있으며, 수소이온에 의해 쉽게 용출되는 Al 성분이 광물 구조에서 빠져나오면서 장석 광물만의 특징적

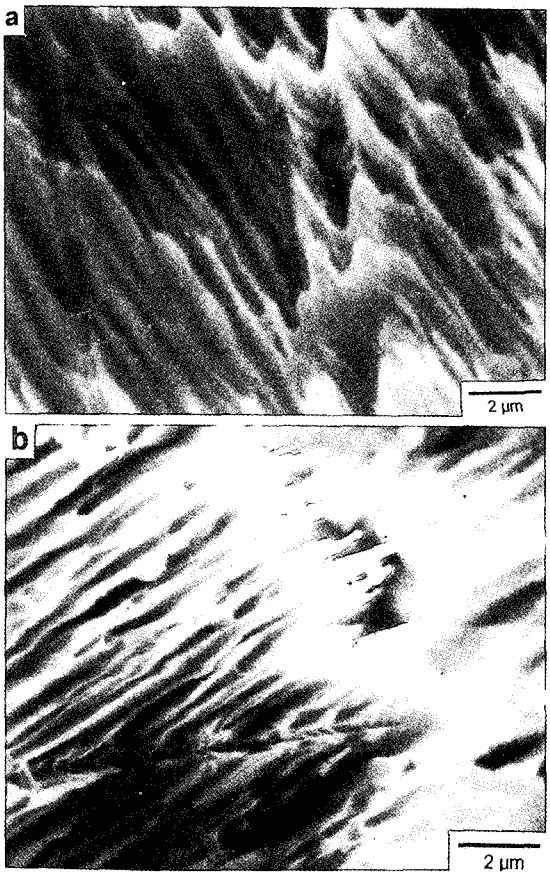

Fig. 4. (a) Secondary electron image showing some circular or linear holes formed by the strong acid for 20 hours. (b) The characteristic dissolution pattern of the plagioclase under the strong acid condition for 20 hours.

인 풍화구조를 만들었다. 이와같은 용해구조는 지금까지 보고된 토양광물 표면에 발달한 풍화조직과 매우 유사하다. 가수분해 반응은 광물 가장자리, 균열면, 쌍정면, 그리고 구조결함 부근과 같은 높은 에너지를 갖는 sites에서 활발히 일어난다(Schott *et al.*, 1981; Berner and Shott, 1982). 장석의 경우, 광물의 용식각 형성 및 부분 파괴가 쌍정면 부근 경계면에서 주로 발생되었고 시간이 지나면서 점차 골을 형성하고 침상구조와 같은 풍화조직을 만드는 것으로 보인다(그림 4). 동일 광물에서도 다른 결정격자 구조를 갖는 특정 site는 높은 에너지를 갖는 반응자리이며, 이 곳에서 발달한 초기의 용식각들이 상호 결합하면서 최종적으로 용해구조를 형성

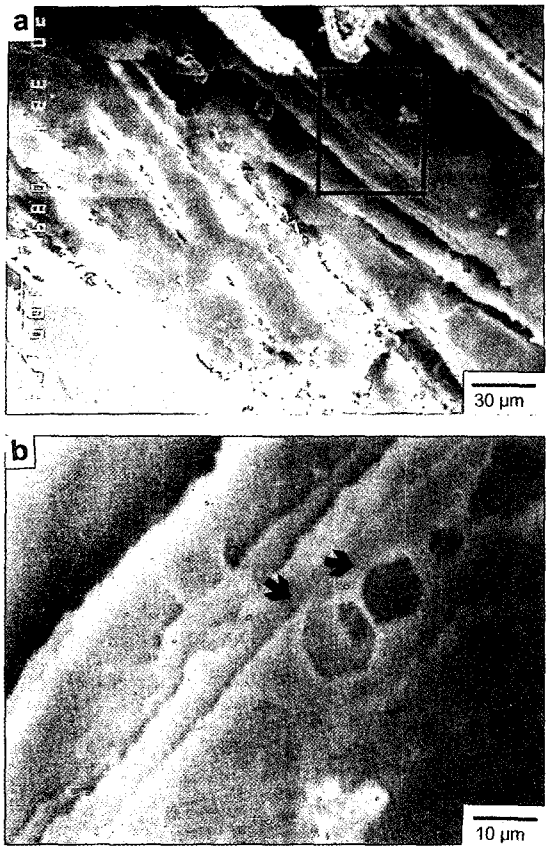

Fig. 5. (a) Secondary electron image of the biotite surface affected by the strong acid for 10 hours. (b) Enlarged view of the square area in (a). Note some hexagonal etch pits and rugged edges.

하는 것으로 보인다.

장석처럼 흑운모 광물도 용해반응에 의해 표면에 용식각을 형성하였고 주로 광물 가장자리 부근에 분포하였다(그림 5). 전자현미경 사진에서 보는 바와 같이, 흑운모 용해의 경우, 육각형 모양의 용식각이 형성, 발달되고 10 μm 이상의 큰 용해구조로 발전해 갔다. 구조적, 결정학적 결함이 있는 sites가 선택적으로 수소이온에 의해 먼저 이온 용출 및 광물 용해가 시작되고 주변으로 점차 확대된 것으로 보인다. 즉, 불산에 의해 광물 표면의 특정 부분의 용해가 시작되었고 점차 수 많은 용식구조가 주변에 형성되면서 광물 풍화가 진행되었음을 예측할 수 있다. 또한, 광물의 용해는 그 광물의 기본격자 구조를 따라 발달된다는 사실도 알 수 있다. 흑운모 광물 표면에 발달된 용해구조는 다이아몬드 혹은 육각형 모양의 구조를 띠고 있으며, 대략 60°와 120°의 각을 이루며 발달하고 있다(그림 5b). 운모류 광물의 표면 용해구조는 다른 조암광물과는 다른 형태이며 동일한 풍화조건에서도 광물의 독특한 결정구조에 따라 표면 풍화조직이 형성됨을 알 수 있다. 광물의 풍화는 접촉하는 물의 수소이온 농도 뿐만아니라 반응시간에 따라 풍화 구조와 형태가 다르고 이차 생성물 및 침전물의 종류에도 영향을 끼치는 것으로 보인다.

결 론

암석은 물과 반응하면서 풍화가 시작되고 산성비와 같은 산성조건에서는 풍화속도가 증가한다. 암석이 풍화되는 현상은 암석을 구성하는 광물들의 파괴 및 변질에 의해 영향을 받으며, 따라서 암석풍화를 이해하기 위해서는 광물 용해 특성을 알아야 한다. 본 실험 결과로부터 우리는 산성용액 조건에서 광물의 구조 및 화학조성에 따라 각 광물의 용해 특성이 달라진다는 사실을 알았다. 조암광물 중에서 장석은 풍화의 영향을 크게 받으며 선택적인 이온용출에 의해 침상구조가 발달함을 알 수 있었다. 흑운모와 백운모는 동일한 2:1 층상구조를 갖는 운모류임에도 불구하고 산성용액 조건에서 풍화의 정도가 다르게 나왔다. 같은 광물구조를 가지고 있지만 화학조성이 다르기 때문에 접촉하는 용액의 산성도에 따라 광물용해 특성이 달랐고, 이는 광물 화학조성이 풍화에 미치는 중요성을 의미한다. 그리고, 본 실험에서 관찰된 원광물의 이차 생성물 및 침전물에 대한 화학조성, 분광학적 특성 및 광물구조 자료는 추가 연구를 통해서 보다 구체적으로 밝히고자 한다.

감사의 글

본 논문심사 과정에서 논문 내용 개선에 좋은 조언을 해주신 한국기초과학지원연구원의 이석훈 박사님과 익명의 심사위원에게 깊은 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

원종관, 이하영, 지정만, 박용안, 김정환, 김정식 (1995) 지질학원론. 우성, 서울, 662p.

이석훈, 김수진 (2000) 유구지역 화강암질 편마암의 풍화작용에 의한 광물 조성의 변화. 한국광물학회지, 13, 121-137.

정기영 (1998) 팔공산 화강암내 흑운모의 풍화과정에서 생성되는 고령토광물들의 광물학적 특성 및 생성환경. 한국광물학회지, 11, 97- 105.

정기영, 이병윤 (1998) 팔공산 화강암내 사장석의 풍화. 지질학회지, 34, 44-57.

Aagaard, P. and Helgeson, H.C. (1982) Thermodynamic and kinetic constraints on reaction rates among minerals and aqueous solutions. I. Theoretical considerations. Am. J. Sci., 282, 237-285.

Anand, R.R., Gilkes, R.J., Armitage, T. and Hillyer, J. (1985) The influence of microenvironment on feldspar weathering in lateritic saprolite. Clays Clay Miner., 33, 31-46.

Banfield, J.F. and Eggleton, R.A. (1988) Transmission electron microscope study of biotite weathering. Clays Clay Miner., 36, 47-60.

Banfield, J.F. and Eggleton, R.A. (1990) Analytical transmission electron microscope studies of plagioclase, muscovite, and K-feldspar weathering. Clays Clay Miner., 38, 77-89.

Berner, R.A., Sjoberg, E.L., Velbel, M.A. and Krom, M.D. (1980) Dissolution of pyroxenes and amphiboles during weathering. Science, 207, 1205-1206.

Berner, R.A. and Schott, J. (1982) Mechanism of pyroxene and amphibole weathering: II. Observations of soil grains. Am. J. Sci., 282, 1214-1241.

Casey, W.H., Westrich, H.R., Massis, T., Banfield, J.F. and Arnold, G.W. (1989) The surface of labradorite feldspar after acid hydrolysis. Chem. Geology, 78, 205-218.

Churchman, G.J. and Gilkes, R.J. (1989) Recognition of intermediates in the possible transformation of halloysite to kaolinite in weathering profiles. Clay Miner., 24, 579-590.

Eswaran, H. and Bin, W.C. (1978) A study of a deep weathering profile on granite in peninsula Malaysia: III. Alteration of feldspars. Soil Sci. Soc. Amer. J., 42, 154-158.

Gilkes, R.J. and Suddhiprakarn, A. (1979) Biotite alteration in deeply weathered granite. I. Morphological, mineralogical, and chemical properties. Clays Clay Miner., 27, 349-360.

Harris, W.G., Zelazny, L.W., Baker, J.C. and Martens, D.C. (1985) Biotite kaolinization in Virginia Piedmont soils: I. Extent, profile trends, and grain morphological effect. Soil Sci. Soc. Am. J., 49, 1290-1297.

Jeong, G.Y. and Kim, S.J. (1993) Boxwork fabric of halloysite-rich kaolin formed by weathering of anorthosite in the Sancheong area, Korea. Clays Clay Miner., 41, 56-65.

Jeong, G.Y. (1998) Vermicular kaolinite epitactic on primary phyllosilicates in the weathering profiles of anorthosite. Clays Clay Miner., 46, 509-520.

Knauss, K.G. and Wolery, T. (1989) Muscovite dissolution kinetics as a function of pH and time at 70℃. Geochim. Cosmochim. Acta, 53, 1493-1501.

Moon, H.S., Song, Y.G. and Lee, S.Y. (1994) Supergene vermiculitization of phlogopite and biotite in ultramafic and mafic rocks, central Korea. Clays Clay Miner., 42, 259-268.

Muir, I.J. and Nesbitt, H.W. (1992) Controls on differential leaching of calcium and aluminum from labradorite in dilute electrolyte solutions. Geochim. Cosmochim. Acta, 56, 3979-3985.

Pavich, M.J. (1986) Process and rates of saprolite production and erosion on a foliated granitic rock of the Virginia Piedmont. In: Coleman, S.M., and Dethier, D.P., (Eds.) *Rates of Chemical Weathering of Rocks and Minerals*. Academic Press Inc., 551-590.

Petit, J.C., Mea, G.D., Dran, J.C., Schott, J. and Berner, R.A. (1987) Mechanism of diopside dissolution from hydrogen depth profiling. Nature, 325, 705-707.

Proust, D. and Veld, B. (1978) Beidellite crystallization from plagioclase and amphibole precursors. Local and long-range equilibrium during weathering. Clay Miner., 13, 199-209.

Rebertus, R.A., Weed, S.B. and Buol, S.W. (1986) Transmission of biotite to kaolinite during saprolite-soil weathering. Soil Sci. Soc. Am. J., 50, 810-819.

Samotoin, N.D., Norikov, V.M. and Magazina, L.O. (1987) Paragenesis of secondary clays in a bauxite-bearing granite weathering zone. Inter. Geol. Rev. V. H. Winston & Sons, 1215-1227.

Schott, J., Berner, R.A., and Sjoberg, E.L. (1981) Mechanism of pyroxene and amphibole weathering - I. Experimental studies of iron-free minerals. Geochim. Cosmochim. Acta, 45, 2123-2135.

Wilson, M.J. (1970) A study of weathering in a soil derived from a biotite-hornblende rock. I. Weathering of biotite. Clay Miner., 8, 291-303.

2006년 5월 12일 원고접수, 2006년 6월 15일 게재승인.