

## 남극 사우스셰틀란드 킹조지섬 바톤반도 빙하쇄설물의 화학적 풍화작용: 미조직학적 증거

### Chemical Weathering of Glacial Debris of the Barton Peninsula of King George Island, South Shetland Islands, Antarctica: Microtextural Evidences

정 기 영 (Gi Young Jeong)\*

안동대학교 지구환경과학과  
(Department of Earth and Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea)

요약 : 킹조지섬에 분포하는 빙하쇄설물의 화학적 풍화작용의 유무를 탐색한 결과, 다양한 풍화조직들과 이차광물들이 관찰되었다. 지표에 노출된 안산현무암질 용회암 각력에는 방해석이 선택적으로 용해되어 형성된 풍화테들이 형성되어 있다. 풍성화산유리의 가장자리에는 Al, Fe, Ti가 상대적으로 농집된 매우 얇은 용탈층이 존재하며, 엘로페인과 철산화물 등으로 구성되어 있다. 화강섬록암 지역의 흑운모는 질석과 흑운모-질석 혼합층으로 변질되었으며 드물게 아주 미량의 캐올리나이트나 킵사이트가 생성되었다. 열수변질대 지역의 황철석은 산화철로 풍화되었으며, 주변의 녹니석은 부분적으로 팽윤성광물로 풍화되었다. 그러나 사장석과 K장석 등은 거의 변질되지 않았다. 바톤반도의 빙하쇄설물은 미약하나마 화학적 풍화작용을 받아 엘로페인과 산화철 등의 이차광물이 생성되고 있으나, 킹조지섬 주변 해양 퇴적물에 풍부한 스멕타이트의 대량 생성은 관찰되지 않았다.

주요어 : 남극, 빙하쇄설물, 풍화, 조직

**ABSTRACT** : Diverse microtextures and secondary minerals formed by chemical weathering were observed in the glacial debris of King George Island. Weathering rind was observed in the block of basaltic andesite tuff due to dissolution of calcite producing voids. Eolian volcanic glass altered to mixture of allophane-like materials and iron oxyhydroxides at grain edges with relative concentration of Al, Fe, and Ti. Biotite in granodiorite area was transformed to vermiculite and interstratified biotite-vermiculite or very rarely to kaolinite and gibbsite. Pyrite in the hydrothermal alteration zone was replaced by iron oxides, resulting in sulfuric acid which locally accelerated alteration of chlorite to expandable clay minerals. Weathering of plagioclase and K-feldspar was negligible. Although glacial debris of the Barton Peninsula has undergone weak chemical weathering with formation of some secondary minerals, massive formation of smectite, abundant in nearby marine sediments, didn't occur.

**Key words** : Antarctica, glacial debris, weathering, texture

\*교신저자: jearth@andong.ac.kr

## 서언

서남극 킹조지섬 바톤반도의 기반암을 피복하고 있는 빙하쇄설물의 점토광물분포와 성인 연구에 의하면, 일라이트, 녹니석, 캐올리나이트의 대부분은 속성/변성작용을 받은 모암 또는 열수변질암에서 유래되었으며, 스멕타이트는 풍성 화산재에 수반되어 바톤반도에 유입되었거나 열수변질암에서 유래되었다(Jeong and Yoon, 2001). 따라서 바톤반도 빙하쇄설물의 점토광물 조성은 일반적으로 모암과 풍성화산재의 점토광물 조성을 반영하며, 화학적 풍화작용에 의한 점토광물 생성에 관한 확실한 증거들은 발견되지 않았다(Jeong and Yoon, 2001). 그러나 Campbell and Claridge (1987)는 남극 횡단산맥(Transantarctic Mountains)의 드라이밸리(Dry Valleys) 토양에서 소량의 스멕타이트가 매우 낮은 온도와 습도 조건에서 생성되었음을 기재한 바 있다. 킹조지섬은 남극의 다른 지역보다 기온과 습도가 높기 때문에 화학적 풍화작용의 강도가 남극 어느 곳보

다 매우 높을 것으로 예상되며, 풍화산물로서 점토광물의 생성도 기대된다. 또한 육상에서의 화학적 풍화작용에 관한 연구는 남극대륙 주변부의 해양퇴적물내 점토광물을 이용한 기원지의 고환경 복원에 이용될 수 있다. 기존 해양퇴적물의 점토광물학적 연구에 의하면 물리적 풍화작용이 우세한 남극권임에도 사우스셰틀랜드 주변 해양퇴적물 내에는 스멕타이트가 많이 함유되어 있는 것으로 알려져 있다(Petschick *et al.*, 1996). 그 원인은 아직 규명되지 않았으나, 하나의 가능성으로 기원지 육상에서의 풍화작용에 의한 스멕타이트의 생성을 들 수 있으며, 킹조지섬(Fig. 1)처럼 접근 가능한 육상지역에서 검증할 필요가 있다. 다양한 기원의 점토광물이 혼합되어 있는 빙하쇄설물에서 화학적 풍화작용과 풍화기원 점토광물의 생성을 구분하기 위해서는 미세조직 및 미세화학분석이 가장 적합한 연구방법이라 할 수 있다. 본 연구는 바톤 반도 빙하쇄설물의 미세조직과 미세화학분석에서 확인된 화학적 풍화현상과 점토광물의 생성에 관하여 보고한다.

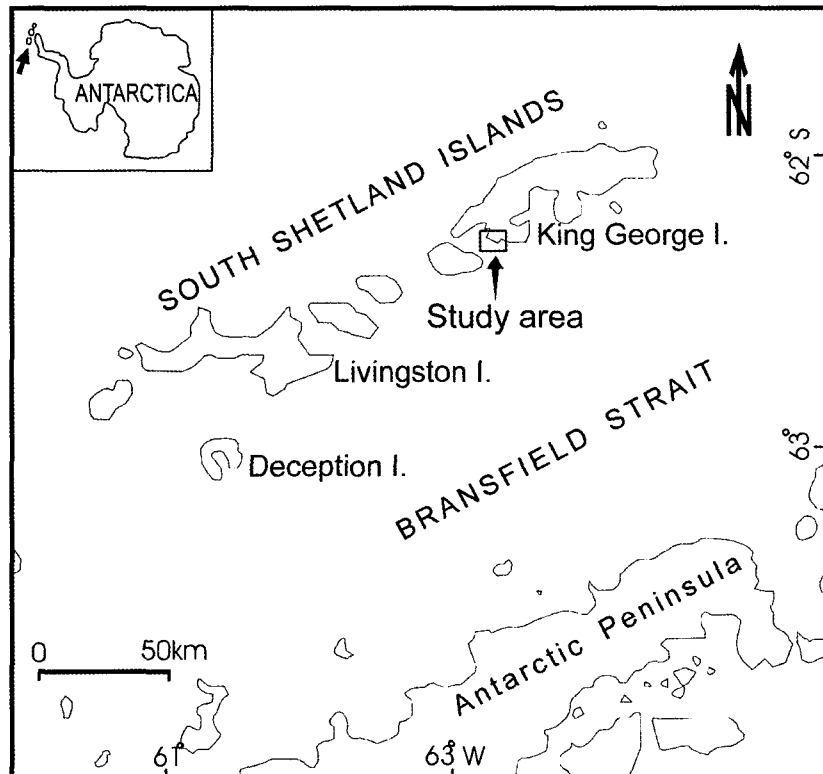


Fig. 1. Location map of Barton Peninsula, King George Island, Antarctica.

## 기후, 지형, 지질

킹조지섬의 대부분은 빙하로 덮여있으며, 기반암은 좁은 해안 지역에 부분적으로 노출되어 있다. 바톤 반도에 위치한 세종과학기지에서 측정된 킹조지 섬의 9년간(1988~1996) 평균 기후자료에 의하면, 기온은 1.8 °C, 상대습도 89%, 강수량 437.6 mm, 풍속 7.9 m/s, 주풍향은 북서와 남서방향이다(Lee *et al.*, 1997). 11월과 3월 사이 약 4달 동안의 여름에는 기온이 영상으로 올라가 눈이 녹고 일시적으로 계류가 형성된다. 킹조지섬의 기후는 남극 다른 지역과 비교하여 따뜻하고 습하다. 예를 들어, 동남극 드라이벨리에 위치한 반다(Vanda) 기지의 평균 기온과 강수량은 각각 -20 °C와 45 mm이다(Campbell and Claridge, 1987). 호수퇴적물 연구에 의하면 사우스 세틀랜드 제도의 빙하는 약 4000년전에 후퇴하여 현재 처럼 육상 일부가 노출된 것으로 알려지고 있다(Björck *et al.*, 1991).

바톤반도에는, 부분적으로 기반암이 노출되어 있으나 대부분 빙하쇄설물로 뒤덮여 있고(Fig. 2), 중앙에 해발 90~180 m 고도에 넓은 평원 지대가 있는 완만한 지형을 이루고 있다. 바톤반도는 너비 4 km 정도의 좁은 지역으로서, 어느 정도 안정한 빙상(ice sheet) 또는 빙모(ice cap)로 덮여 있었기 때문에, 빙하 침식에 의한 쇄설물들이 먼거리를 이동하지는 못한 것으로 보인다(Lee, 1992). 따라서, 지표 빙하쇄설물내 암편들은 Jin *et al.* (1989)이 관찰한 바와 같이 일반적으로 그 지역 기반암의 암상을 잘 반영하고 있다. 영구동토층은 지표하 1 m 정도 깊이 존재하며, 빙하쇄설물의 반복적인 동결과 해동 작용에 의하여 구조토(patterned ground)가 영구동토층 위에 생성되어 있다(Fig. 2).

대체로 안산암질 및 안산현무암질 응회암과 용암류가 바톤반도 중앙에 넓게 분포하고 있으며 이들은 화강섬록암에 관입되었다(Jin *et al.*, 1989; Park, 1990; Kim *et al.*, 1995). 화산암은 고기 열수변질 작용에 의해 부분적으로 심하게 변질되어 반도의 북동쪽에는 이질/견운모질 열수변질대가 분포한다(Park, 1990; Jeong and Yoon, 2001). 열수변질암은 석영, 황철석, 일라이트, 캐올리나이트, 엽납석 등으로 구성되어 있다. 화산암의 열수변질작용은 화강섬록암의 관입과 관련된 것으로 연구된 바 있다(Hwang *et al.*, 1997).



Fig. 2. Glacial debris sorted to rock circle with fine center by repeated freezing and thawing in the periglacial environment. Length of tool = 35 cm.

## 시료 및 방법

지표하 10 cm 이내에서 채취한 빙하쇄설물 시료는 원조직이 파괴되지 않도록 폴리에틸렌 병에 밀봉하여 보관하였다. 시료의 일부는 X-선 회절분석(X-ray diffraction, XRD)으로 광물조성을 감정하였고, 일부는 에폭시 수지로 굳힌 후, 연마박편을 제작하였다. 연마박편은 광학현미경과 주사전자현미경의 후방산란전자(back-scattered electron, BSE)상을 이용하여 관찰하였으며, 모광물 및 변질물의 원소조성은 에너지분산X선분광기(energy dispersive X-ray spectrometer, EDS)로 분석하였다. 이용된 주사전자현미경은 Oxford EDS가 부착된 JEOL JSM 6300 장비였다. 연마박편의 일부는 팽윤성 점토광물의 존재유무를 밝히기 위해서 1 M CsCl 용액에 담구어 팽윤성 점토광물의 Cs 이온교환을 유도하였다. 연마박편의 광물정량화학분석은 기초과학지원연구소의 Cameca SX51 전자현미분석기(electron probe microanalyser, EPMA)의 파장분산X선분광기로 가속전압 15 kV, 빔전류 10 nA, 빔직경 5 μm, 계수시간 10 s의 조건에서 시행하였다. 일부 토양시료는 중류수에 분산 시킨 후, Formvar-carbon 그리드(grid)에 얹어서 Oxford EDS가 부착된 JEOL 2010 투과전자현미경으로 점토광물의 감정을 실시하였다.

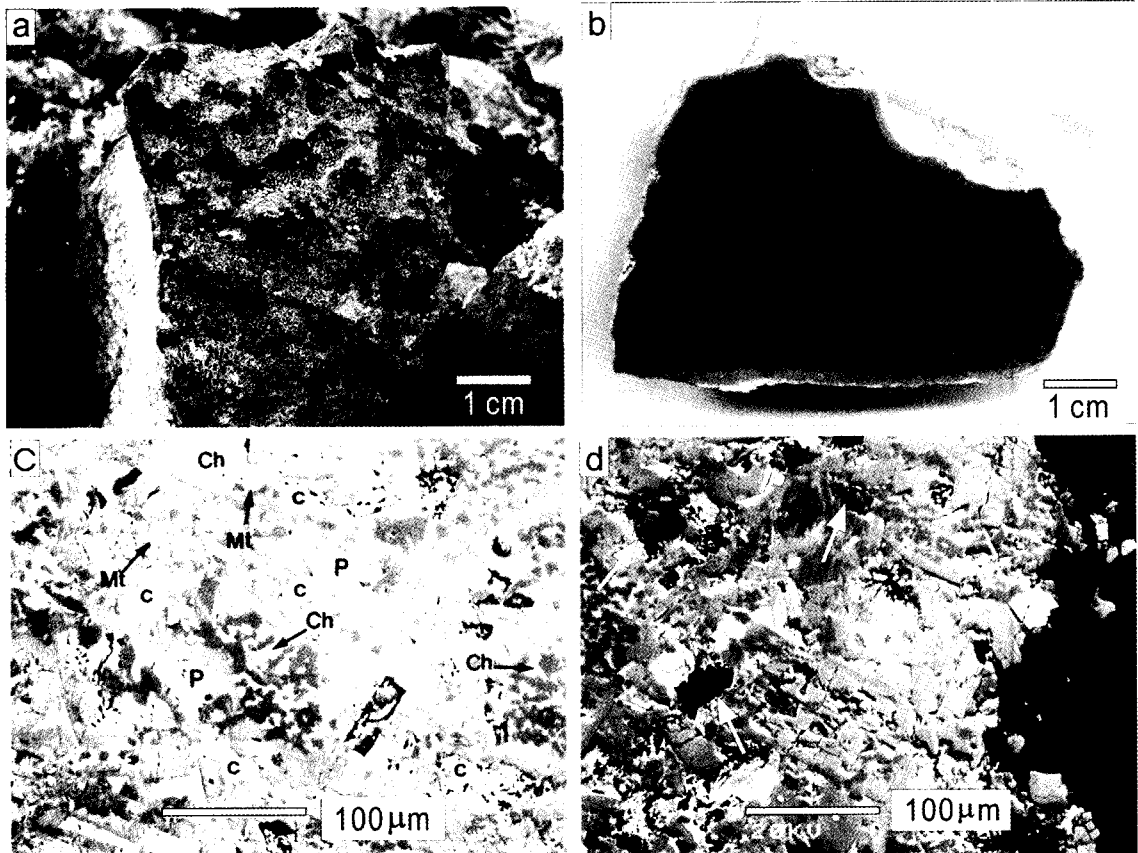


Fig. 3. Weathering of basaltic-andesite block exposed in the surface. (a) Field photograph of the block with surface pits due to weathering. (b) Slab of the block showing weathering rinds of several mm thickness. (c) BSE image of thin section of the inner fresh part. A = albite, C = calcite, Ch = chlorite, Mt = magnetite, P = plagioclase, Q = quartz. (d) BSE image of thin section of the outer weathered part (weathering rind) showing pores formed by dissolution of calcite (arrows).

## 결과 및 토의

### 방해석 풍화작용과 풍화테

지표에 오랫동안 노출되어 있는 안산암질 응회암의 각력암편은 표면에 흔히 깊고 오목한 용식홈들이 생성되어 있는데(Fig. 3a), 암편의 단면을 절단하여 보면 표면하 수 mm 정도의 부분이 회색 또는 연황색으로 탈색되어 풍화테(weathering rind)가 형성되어 있다(Fig. 3b). 암편 내부의 신선한 부분에서는 Ca사장석의 알바이트화<sup>1)</sup> 작용(albitization), 유리질의 녹니석, 석영, 자철석으로의 탈유리화 작용의 산물인 방해석을 관찰할 수 있다(Fig. 3c).

이와 비교하여 풍화테에서는 방해석이 선택적으로 용해되어 공극들이 생성되어 있다(Fig. 3d). 풍화테의 회색으로의 탈색 현상은 방해석의 용탈로 생성된 공극들에 의한 빛의 산란현상으로 해석할 수 있으며, 연황색의 경우는 약간의 산화철의 침전에 기인한다. 암편 표면의 용식홈들은 방해석의 용해로 공극들이 생기면서 결합력이 약해진 광물 입자들이 쉽게 박리되어 형성된 것으로 보인다(Fig. 3a). XRD 분석에 의하면 신선한 부분과 풍화테 사이에 점토광물 조성의 차이는 거의 없다. 따라서 지표에 드러난 암편들이 방해석의 용해작용으로 대표되는 풍화작용을 받고는 있으나, 이 과정에서 새로운 점토광물의 생성은 미약한 것으로 판단된다.

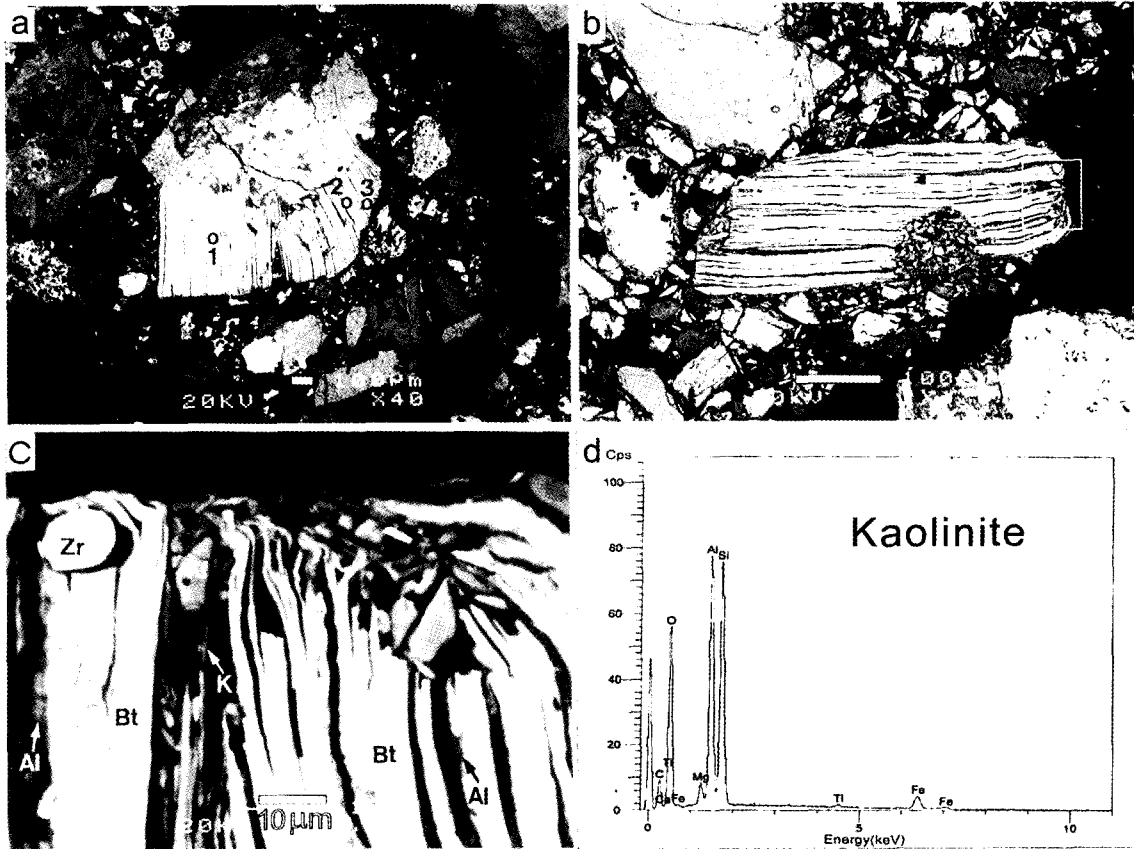


Fig. 4. Weathering of biotite in the glacial debris on granodiorite. BSE images of thin section. (a) Biotite gradually weathered to vermiculite and interstratified biotite-vermiculite. EPMA analysis data of the spots (1, 2, 3) are given in Table 1. (b) Weathered biotite flake in the glacial debris. (c) The image magnified from the box in (b). (d) EDS pattern of kaolinite in (c). Al = gibbsite, Bt = biotite, K = kaolinite, Kf = K-feldspar, Zr = zircon.

흑운모 풍화작용

흑운모는 기반암중에서는 화강섬록암에 한하여 함유되어 있다. Fig. 4a는 화강섬록암 지대 빙하퇴적물내 흑운모가 포함된 작은 암편의 BSE상인데, 흑운모 입자의 신선한 부분은 치밀한 적층상태와 직선상의 벽개를 보여 주고 있으나, 다른 변질된 부분은 느슨한 적층상태와 휘어진 벽개를 보여주고 있다. EPMA 분석에 의하면 신선한 흑운모의 K<sub>2</sub>O 함량은 8.8 wt.%이나 변질된 흑운모에서는 5.1 wt.%로 감소하였다(Table 1). 흑운모의 K<sub>2</sub>O 함량 감소는 층간이온인 K가 부분적으로 용탈되었음을 의미한다. 이 과정에서 Fe와 Mg가 부분적으로 용탈되었으며 Fe는 산화철로

Table 1. Eletron microprobe analysis of weathered biotite (Fig. 3a)

	1	2	3
SiO <sub>2</sub>	38.87	38.62	36.21
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	12.70	13.71	13.85
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	13.44	11.16	15.38
MgO	17.46	17.40	16.55
TiO <sub>2</sub>	4.65	4.33	4.20
MnO	0.05	0.19	0.15
CaO	0.07	0.35	0.29
Na <sub>2</sub> O	0.28	0.19	0.18
K <sub>2</sub> O	8.84	6.00	5.09
Total	96.41	91.97	91.97

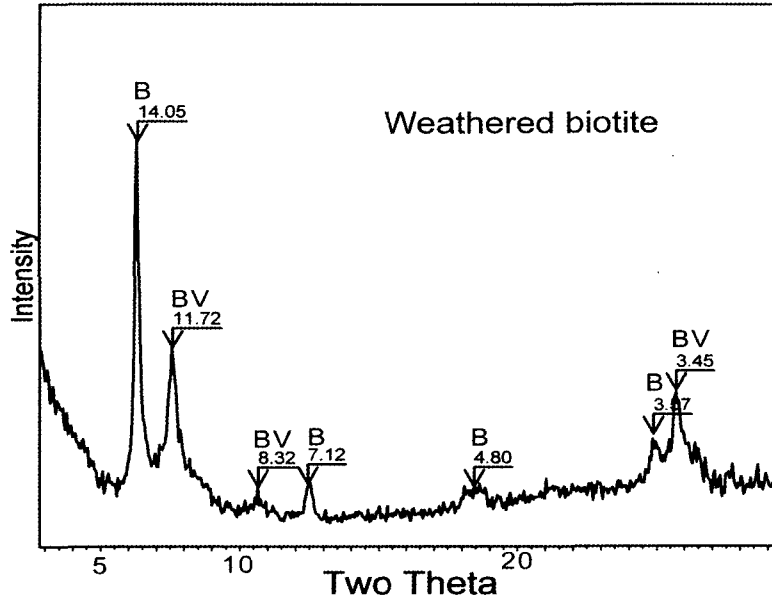


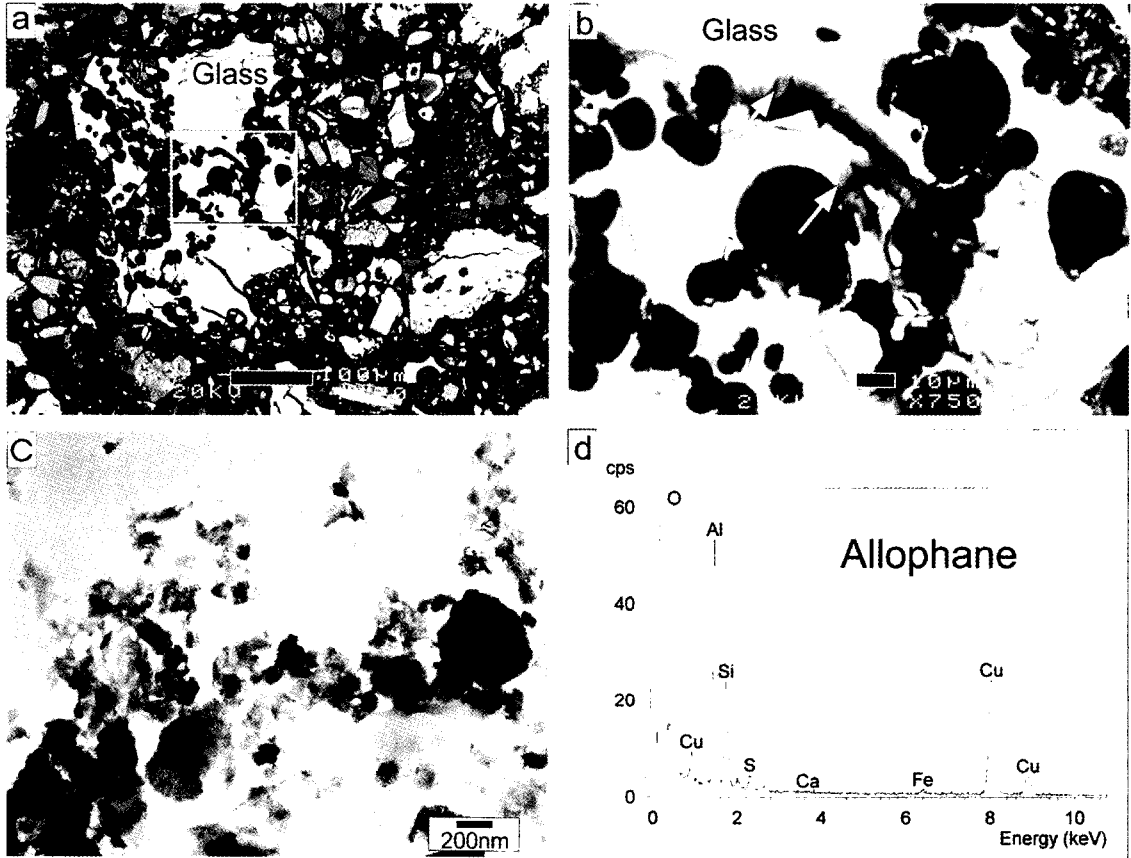
Fig. 5. XRD pattern of weathered biotite separated from the glacial debris on granodiorite. B = biotite, BV = interstratified biotite-vermiculite.

침전되었다. Fig. 4b의 풍화된 흑운모 단체입자는 전체적으로 느슨한 적층 상태를 보여 주고 있는데, 확대 BSE상(Fig. 4c)에서 입자 가장자리에 미량이지만 캐올리나이트와 깃사이트가 흑운모의 풍화산물로 형성되어 있다(Fig. 4d). 빙하쇄설물로부터 분리한 흑운모의 XRD 패턴에서 흑운모가 부분적으로 질석 및 질석-흑운모 혼합층으로 풍화되었음을 알 수 있다(Fig. 5). 질석과 흑운모-질석 혼합층은 화학적 풍화가 활발한 지역에서 흑운모의 풍화산물로 잘 알려져 있다. 질석으로 풍화된 흑운모는 다시 캐올리나이트로 풍화되면서 입자가 부채꼴로 펼쳐지고 체적이 증가한다(Jeong, 1998, 2000). 온난한 기후의 한국에서 흑운모의 풍화작용 연구에 의하면 흑운모가 질석 또는 흑운모-질석 혼합층을 거쳐 캐올리나이트로 풍화되는 과정에서 입자의 체적이 크게 팽창하여 긴 캐올리나이트 가상이 형성된다(Jeong, 1998). 이에 비하면 바톤반도의 흑운모는 질석 또는 질석-흑운모로 풍화되었으나 극미량의 캐올리나이트와 깃사이트만이 생성되었으며, 부피팽창도 입자 가장자리에서 매우 미약하게 일어났다. 그러나 질석, 질석-흑운모 혼합층, 그리고 미량의 캐올리나이트의 생성은 바톤반도에서 흑운모의 화학적 풍화작용을 증명한다.

#### 화산유리 풍화작용

화산재는 풍성기원으로서 바톤반도 빙하쇄설물내에 흔히 혼재되어 있다(Jeong and Yoon, 2001). 화산재 입자는 대부분 유리질 미부석(glassy micropumices) 또는 파편(shards)으로서 긴 사장석 입자들이 산포되어 있다(Fig. 6a). 화산유리의 평균 화학조성은  $\text{SiO}_2$  53.11 wt.%,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  15.49 wt.%,  $\text{FeO}$  9.46 wt.%,  $\text{MgO}$  3.84 wt.%,  $\text{TiO}_2$  2.28 wt.%,  $\text{CaO}$  8.30 wt.%,  $\text{Na}_2\text{O}$  3.86 wt.%,  $\text{K}_2\text{O}$  0.64 wt.%이다. 화산유리는 풍화작용으로 용탈된 가장자리에 변질산물들이 수  $\mu\text{m}$  두께의 테를 이루고 잔류한다(Fig. 6b). 변질대의 폭이 너무 작아서 EPMA에 의한 정량화학 분석은 불가능하여 EDS 분석만을 실시하였다(Figs. 7a, 7b). 유리와 그 변질 산물의 EDS 패턴의 비교에서, 화산유리는 변질되는 동안 풍화환경에서 이동성이 큰 알칼리토류 양이온들인 Mg와 Ca, 그리고 Si는 상대적으로 용탈되어 감소하였고, 이동성이 작은 원소들로 알려져 있는 Al, Ti, Fe은 증가하였음을 알 수 있다.

화산유리가 풍부한 빙하쇄설물에서 분리한 점토의 투과전자현미경 관찰에서 비정형의 점토입자들이 풍부하게 관찰된다(Fig. 6c). 이들 입자의



**Fig. 6.** Weathering of volcanic glass in the glacial debris. (a) Basaltic-andesite volcanic glass with many bubbles (BSE image of thin section). (b) Image magnified from the box in (a) showing thin leached layers of several  $\mu\text{m}$  thickness (BSE image of thin section). (c) TEM image of gel-like materials from the clay fraction of glass-rich glacial debris. (d) EDS of the gel-like material showing the elemental composition of allophane.

형태는 Jeong *et al.* (2002)이 관찰한 엘로페인의 형태와 아주 유사하다. EDS 패턴에서 Al:Si의 비율은 약 2:1로서(Fig. 6d) 엘로페인의 전형적인 화학조성과 잘 일치하고 있다(Jeong *et al.*, 2002). 시료의 충분한 분리가 어려워 XRD 분석은 시행하지 못하였으나, 조성과 형태, 그리고 화산유리와 관련성으로 보아 비정형 입자들은 엘로페인으로 판단된다. 그외 TEM 관찰에서 산화철과 산화티타늄이 확인되었다.

#### 황철석 풍화작용

열수변질대에 인접한 빙하쇄설물내 화산암편의 BSE상에 의하면 황철석 입자들이 심하게 변

질되어 산화철 가상으로 변질되고 있음을 볼 수 있다(Fig. 8a). 황화광물은 풍화환경에서의 반응성이 매우 높기 때문에 쉽게 풍화되며, 그 과정에서 산이 발생한다:  $\text{FeS}_2 + 3.75\text{O}_2 + 2.5\text{H}_2\text{O} = \text{Fe}(\text{OH})_3 + 2\text{SO}_4^{2-} + 4\text{H}^+$ . 이 산은 황철석 주변 규산염 광물들의 풍화 작용을 극적으로 촉진시킬 수 있다. 산화중인 황철석 주변 녹니석을 CsCl용액으로 처리한 후, EDS 분석을 실시한 결과, 약간의 Cs이 흡착되었음을 알 수 있는데(Fig. 8b), 녹니석이 일부가 팽윤성 점토광물로 변질된 것으로 보인다.

황철석은 또한 이질/균운모질 열수변질대 암석에 광범하게 함유되어 있다. 열수변질대 빙하쇄설물은 황철석의 풍화로 흔히 황갈색 침전물로

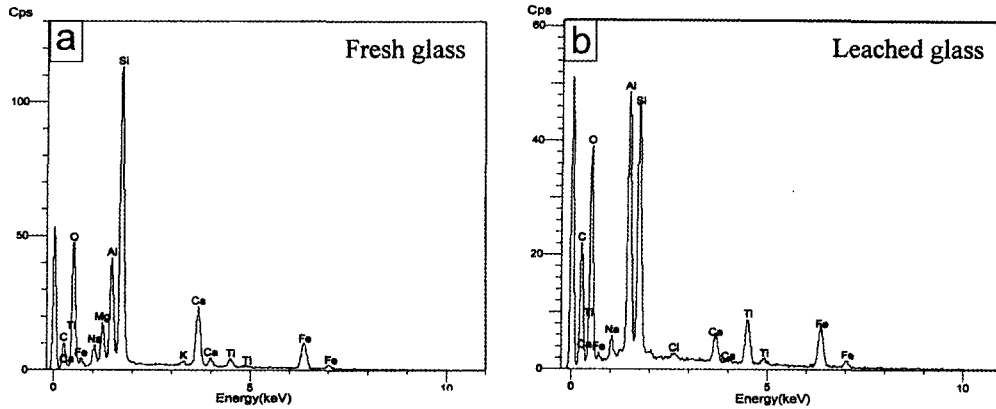


Fig. 7. EDS spectra of fresh (a) and leached glass (b) in Fig. 6b.

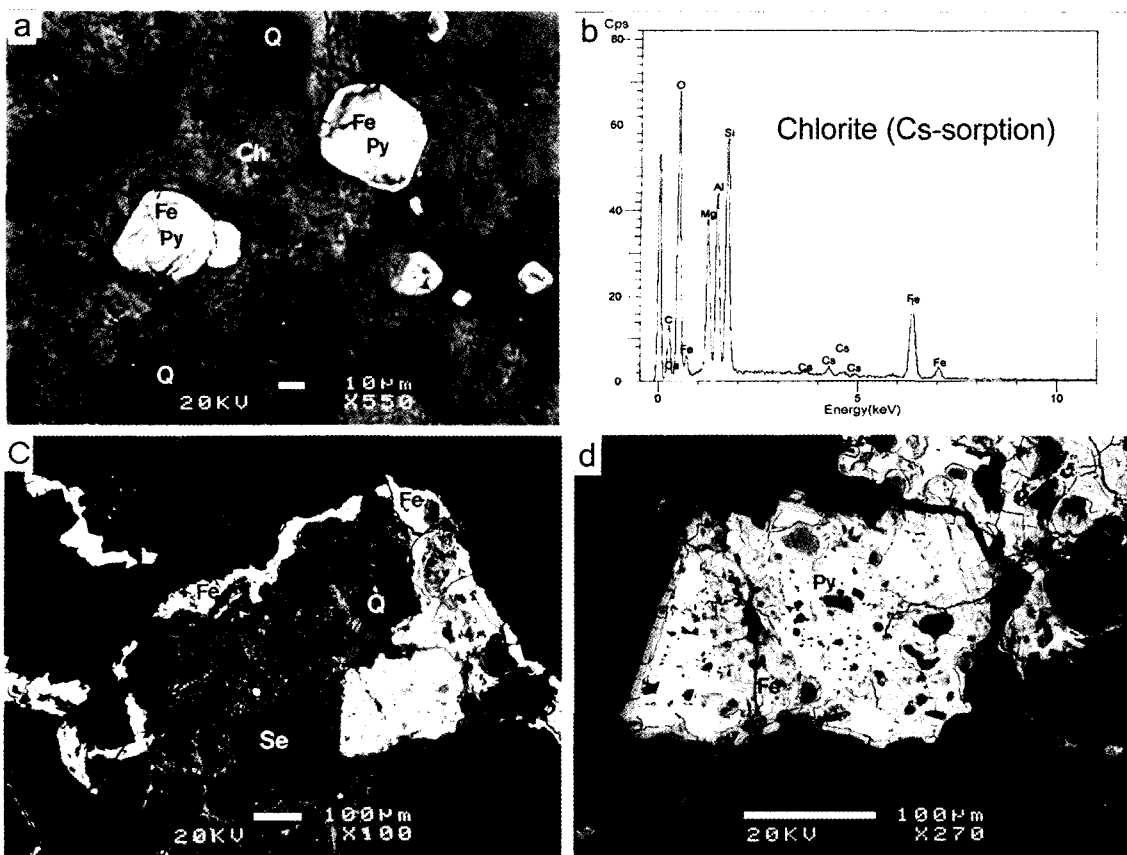


Fig. 8. Weathering of pyrite. BSE images of thin section. (a) Weathering of pyrite to iron oxyhydroxides in the block of volcanic rock undergone slight hydrothermal alteration. (b) EDS of chlorite around weathered pyrite after CsCl treatment of thin section. (c) Weathering of pyrite to iron oxyhydroxides in the quartz-sericite rock. Mobilized iron precipitated coating the whole surface of the rock fragment. (d) Image magnified from the lower right part in (c). Ch = chlorite, Fe = iron oxyhydroxides, Py = pyrite, Q = quartz. Se = sericite.



착색되어 있다. BSE상에서 열수변질암편내 황철석이 입자경계로부터 극미립 산화철의 교질상 집합체로 교대되고 있음을 볼 수 있으며(Fig. 8c), 좀더 연장되어 암편의 외부를 피복하기도 한다. 즉 황철석이 풍화되면서 방출된 Fe가 이동되어 암편을 피복하는 산화철로 침전되었다(Fig. 8d).

### 결 론

킹조지섬 바톤반도 빙하쇄설물의 미조직 및 미화학 분석결과 화학적 풍화작용의 증거들이 발견되었다. 황철석과 방해석이 가장 뚜렷하게 풍화되는 광물로서 각각 산화철 가상과 공극을 형성한다. 황철석의 산화과정에서 발생하는 산은 국지적으로 규산염광물의 화학적 풍화작용을 촉진하며, 방해석의 용해로 생긴 공극은 암석의 물리적 풍화를 촉진하였다. 풍성 화산유리에는 입자가장자리를 따라 Al, Fe, Ti가 부화된 엘로페인과 철산화물로 구성된 얇은 변질대가 형성되어 있다. 흑운모는 층간의 K가 용탈되면서 질석 또는 흑운모-질석 혼합층상 점토광물로 풍화되었으며, 극히 부분적으로 캐올리나이트와 킵사이트가 생성되었다. 바톤반도의 빙하쇄설물은 한랭한 기후 조건하에서도 지면이 노출되고 눈녹은 물이 존재하는 여름 기간동안 미약하나마 화학적 풍화작용을 받고 있다. 그 결과 엘로페인이나 산화철이 풍화산물로 생성되고는 있으나, 양적으로 유의할 만한 정도의 스펙타이트는 생성되고 있지 않다. 따라서 사우스 세틀랜드 제도 근해의 해양퇴적물 내에 흔한 점토광물인 스펙타이트는 육상 풍화기원은 아닌 것으로 사료된다.

### 사 사

원고의 미비점을 지적하고 수정하여 주신 한국 기초과학지원연구원의 이석훈 박사님과 한국원자력연구소의 김건영 박사님, 그리고 늘 수고하시는 최진범 편집위원장님께 감사드립니다. 이 연구는 한국해양연구원 극지연구본부의 지원을 받아 수행되었다.

### 참 고 문 헌

Björck, S., Sandgren, P., and Zale, R. (1991) Late

Holocene tephrochronology of the northern Antarctic Peninsula. *Quart. Res.*, 36, 322-328.  
 Campbell, I.B. and Claridge, G.G.C. (1987) *Antarctica: Soils, Weathering Processes and Environment*. Elsevier, Amsterdam, The Netherlands, 368p.  
 Hwang, J., Lee, J.I., and Rhee, C.W. (1997) Hydrothermal alteration of the granitic and volcanic rocks in the Barton Peninsula, King George Island, Antarctica. *KORDI Report BSPE 97604-00-1020-7*, 127-151.  
 Jeong, G.Y. (1998) Vermicular kaolinite epitactic on primary phyllosilicates in the weathering profiles of anorthosite. *Clays Clay Miner.*, 46, 509-520.  
 Jeong, G.Y. (2000) The dependence of localized crystallization of halloysite and kaolinite on primary minerals in the weathering profile of granite. *Clays Clay Miner.*, 48, 196-203.  
 Jeong, G.Y. and Yoon, H.I. (2001) The origin of clay minerals in soils of King George Island, South Shetland Islands, West Antarctica, and implications for the clay-mineral compositions of marine sediments. *Jour. Sed. Resea.*, 71, 833-842.  
 Jeong, G.Y., Bae, J.H., and Cheong, C.S. (2002) Origin of allophane and retardation of pebble weathering in Quaternary marine terrace deposits. *Clays Clay Miner.*, 50, 145-156.  
 Jin, M.S., Lee, M.S., and Kang, P.C. (1989) Geology and petrology of the Barton and Weaver Peninsulas in King George Island, Antarctica. *KORDI Report BSPG 00081-246-7*, 73-106.  
 Kim, H., Cho, M., and Lee, J.I. (1995) Low pressure thermal metamorphism of volcanic rocks in the Barton Peninsula, King George Island, Antarctica. *KORDI Report BSPN 00258-822-7*, 75-107.  
 Lee, B.Y., Won, Y., and Oh, S.N. (1997) Meteorological characteristics at King Sejong Station, Antarctica (1988-1996). *KORDI Report BSPE 97604-00-1020-7*, 571-599.  
 Lee, D.Y. (1992) Geomorphic features characterized by glacial and periglacial climate at Barton Peninsula. *KORDI Report BSPG 00169-5-485-7*, 159-205.  
 Park, M.-E. (1990) Epithermal alteration and mineralization characteristics of Barton Peninsula, King George Island. *KORDI Rreport BSPG 00111-317-7*, 55-99.  
 Petschick, R., Kuhn, G., and Gingele, F. (1996) Clay mineral distribution in surface sediments of the South Atlantic: sources, transport, and relation to oceanography. *Mar. Geol.*, 130, 203-229.

2003년 6월 2일 원고접수, 2003년 6월 12일 게재승인.