

광포만 집수구역내에 분포하는 점토광물의 성인에 관한 연구

박맹언 · 송용선 · 김희준 · 김대철 · 백인성 · 정상용 · 송시태
부산수산대학 응용지질학과

Genesis of Clay Minerals in the Vicinity of Gwangpo Bay, Southern Coast of Korea

Maeng-Eon PARK, Yong-Sun SONG, Hee-Joon KIM, Dae-Choul KIM, In-Sung PAIK,
Sang-Yong CHUNG, and Shi-Tae SONG

Department of Applied Geology, National Fisheries University of Pusan,
Pusan 608-737, Korea

Clay deposits in the vicinity of the Gwangpo Bay, southern coast of Korea, occur restrictively in anorthositic masses. Laumontite and meta-halloysite are the predominant clay minerals with iron oxides at the uppermost surface. Chlorite and halloysite occur in deeper zone. Beneath the main clay horizon, but not above, some anorthositic rocks are pervasively altered to quartz, sericite, chlorite, pyrite and montmorillonite along the hydrothermal channels. The hypotheses of hydrothermal and weathering origins of the clay minerals are tested by multi-component equilibrium calculations of the reactions of modified hydrothermal water and rain water with anorthositic rocks at 100°C and 25°C, respectively. The calculated mineralogy from the reaction with rain water resembles natural mineral assemblage except for abundance in laumontite. The result implies that the weathering process is the main mechanism of the formation of clay deposits in the area.

서 언

하동지역에 분포하는 점토광상의 모암인 회장암질 암석은 손·정 (1972), 정 (1982) 및 정·이 (1986) 등에 의해 암석학적으로 연구된 바 있으며, 점토광상에 대해서는 김·김 (1964), 상·신 (1981) 등에 의하여 광상 및 광물학적 연구가 수행된 바 있다. 본역 고령토 광상의 성인에 대해서는 화학적 풍화잔류광상 (김·김, 1964)과 열수변질광상 (상·신, 1981)으로 각각 연구된 바 있으나, 광상 형성요인등 모암인 회장암질암의 열수 및 풍화 변질작용에 따른 구체적인 지구화학적 연구는 충분하지 못한 실정이다.

일반적으로 해양에서의 세립질퇴적물중 점토광물의 함량비는 퇴적물의 기원을 연구하는데 중요한 수단으로 이용된다 (Griffin and Goldberg, 1963; Weaver, 1967). 광포만 집수구역내에 분포하는 기원암의 점토화 특성과 성인에 관한 연구결과는 점토

가 유입되는 광포만 해역과 확산이 예상되는 대륙붕지역에 분포하는 점토광물의 성분비에 대한 연구 및 육상에서 생성된 고령토 광물종이 해양으로 확산됨에 따라 새로운 고령토종으로 전이되는 현상에 대한 연구를 가능케 한다.

본 연구에서는 광포만 집수구역내 점토광물종의 성인구명을 위하여 모암과 열수맥 주변의 변질특성, 점토광물의 조성 및 생성환경을 밝히고, 한반도 남해안 연안 세립질 퇴적물의 기원과 해수에서의 고령토종 전이에 대한 특성을 파악하는데 필요한 기초자료를 제공함을 목적으로 한다. 또한 광범위하게 분포하는 회장암을 모암으로 하는 고령토광상에서 산출되는 고령토광물종의 열수변질 및 풍화변질에 따른 반응특성을 비교하고, 타 암석종의 풍화작용에 의해 형성된 광물종의 종류와 성인적 특성 및 변질작용의 특성을 비교함으로써 광포만으로 유입되는 점토광물의 근원을 밝히는데 그 목적이 있다. 이러

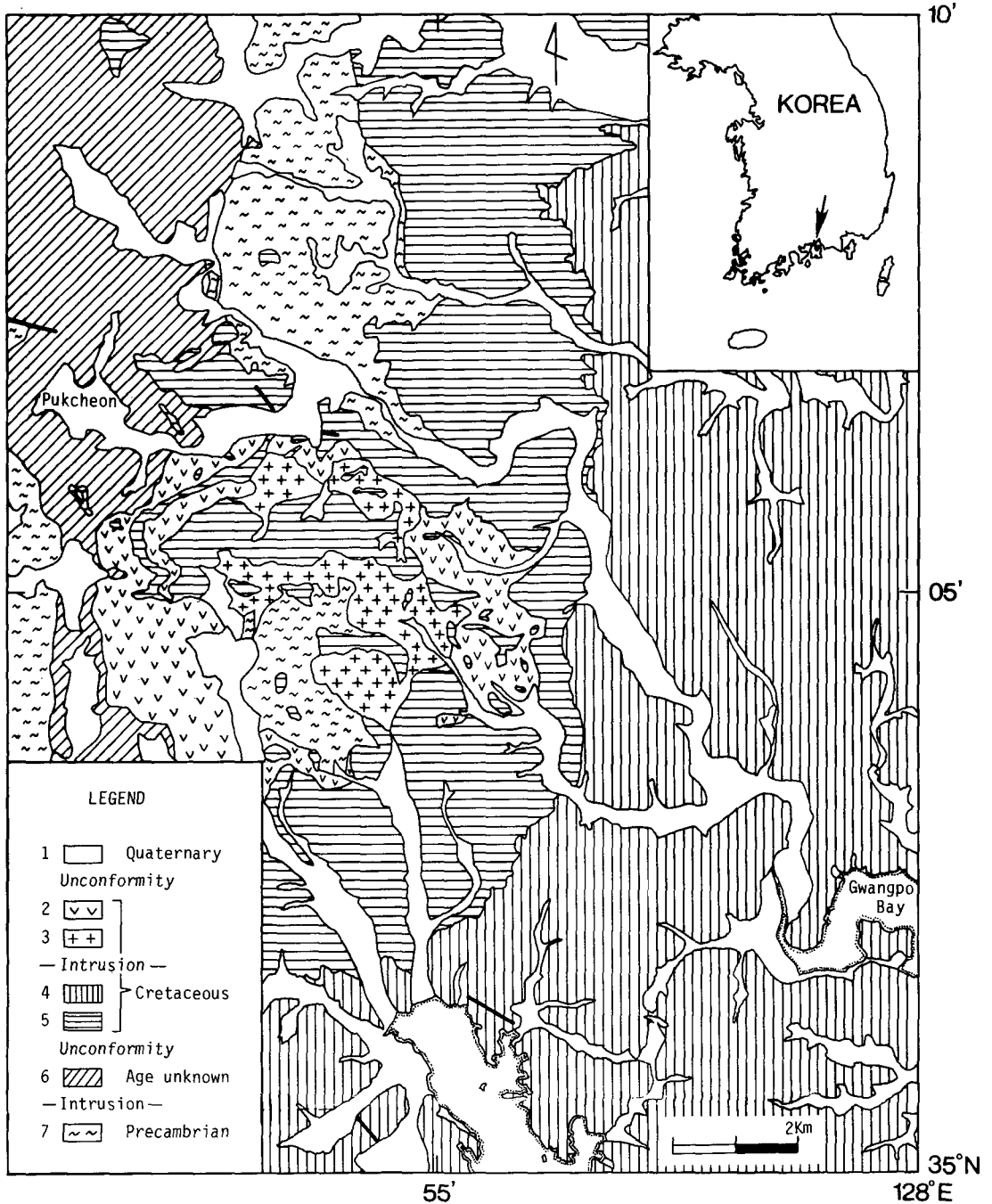


Fig. 1. Geologic map of the Hadong area (after Kim and Kang, 1965).

한 연구 결과는 부근 해양퇴적물의 기원과 이동경로를 추적하는데 유용한 기초자료가 될 것이다.

지질 개관

하동지역 지질은 기저를 이루는 선캠브리아기의 소백산 편마암 복합체와 이를 관입한 시대미상의 회장암질암 및 섬록암과 상기 암석류를 부정합으로 피복한 경상계 퇴적암류 및 후기의 백악기 심성암

류로 구성되어 있다 (Fig. 1).

소백산 편마암 복합체는 정편마암으로 분류되며 주로 화강암질 편마암과 섬록암질 편마암으로서 변성암내에 발달된 엽리의 방향은 NS-N10°E로 회장암질암의 분포와 대략적으로 일치한다. 회장암질암의 접촉부에서는 엽리의 발달이 차단되고 소규모의 회장암이 주입되어 소위 주입 편마암상을 이루고 있다 (정·이, 1986).

회장암질암은 남북방향의 대상으로 분포하며 사장석과 유색광물의 함량비에 따라 회장암, 우백질 반려암 및 반려암으로 분류되며, 회장암질암은 석리에 따라 괴상 회장암과 엽리구조를 갖는 회장암으로 구분된다. 엽리구조를 보이는 회장암질암의 엽리의 주향은 NE-N50°E로 대체적으로 주변 편마암류의 주향과 일치한다 (박, 1986). 회장암질암은 본역에 광범위하게 분포하는 고령토광상의 모암을 이루고 있다.

퇴적암류는 경상계 최하부층인 신동층군에 해당되며, 하부로 부터 정합적인 관계를 갖는 원지층, 마동층, 구랑리층으로 구분된다. 본 퇴적암층은 N 10~40°E의 주향과 10°SE의 경사를 가지며 역암, 함력 조립사암, 사암, 세일 및 박층의 석회암 등으로 구성된다 (김·강, 1965).

후기의 백악기 화성암류는 섬록암, 화강섬록암 및 화강반암으로 주로 구성되나 광물조성, 조직 및 관입시기에 있어 다소의 차이를 보이는 여러 층으로 구분된다.

광포만 연안에 분포하는 세립질 퇴적물의 기원을 규명하기 위해서는 광포만 집수유역내에 분포하는 각종 고령토의 기원암의 종류와 그 암석학적 특성의 파악이 중요하다. 광포만 상류 집수유역내에 분포하는 점토광상들이 배태된 모암은 주로 회장암질암으로, 주 구성광물은 사장석, 각섬석, 휘석, 녹니석, 녹립석 등이며, 기강석 (An-60-90)의 구성함량은 40-95%이다. 그밖에 편마암류는 메타데틱 편마암, 우백질 화강편마암류로 분류되며, 주 구성광물은 석영, 정장석, 미사장석, 사장석 (oligoclase-andesine), 흑운모 및 각섬석 등이다. 원지층은 중생대 지층으로서 기저역암 및 함력 조립사암으로 된 하부층과 녹회색 니질사암으로 이루어진 상부층으로 구성된다. 마동층은 사질세일로 된 하부층과 녹회색 사암 및 세일로 구성된 상부층으로 구분되며, 풍화에 약하여 대체적으로 이토화되어 있다. 화강암질암은 대체적으로 본역 중부에 분포하는 화강섬록암을 중심으로 섬록암, 화강반암들이 주변상으로 나타나며 그 관계는 점이적이다. 구성광물은 석영, 정장석, 사장석 (albite-oligoclase), 각섬석, 흑운모 등이다.

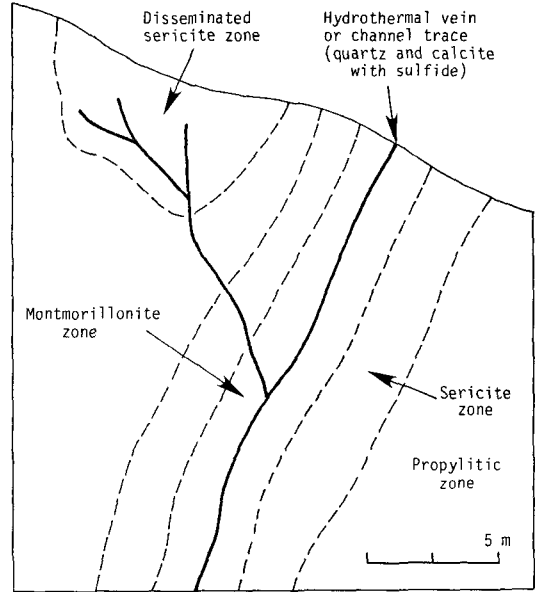


Fig. 2. Schematic cross section of hydrothermally altered zone in the pukcheon area.

시료채취 및 연구방법

본 연구에서는 성인에 따른 고령토광물종의 공생 특성을 규명하기 위하여 점토광물의 기원암종과 생성기원에 따른 특성을 파악한 후, 수직·수평적 변화를 감안하여 시료를 채취하였으며, 고령토광물종의 감정 및 상대적 함량비를 파악하기 위하여 분말법, 퇴적법 (Oriented), 에틸렌글리콜 처리, 가열 및 포마마이드 처리를 통한 X-선 회절분석을 실시하고, 그 결과로부터 열수변질산물, 풍화변질산물 및 회장암질암과 열수 및 강우와의 반응등에 대하여 검토하였다.

결 과

1. 열수변질산물

열수변질작용의 보편적 현상은 모암의 구성광물과 열수용액과의 반응에 의한 재결정작용을 수반하는 화학적변화와 softening 및 bleaching과 같은 물리적 변화이다. 본 지역 회장암질암의 경우 열수변질작용에 의해 생성된 주요 광물종은 견운모, 본모릴로나이트, 석영, 장석, 방해석, 백운석, 녹니석 및 황철석 등이며, 이들 변질산물들의 상대적 함량비는 변질작용의 종류에 따라 점이적으로 변한다. 또한, 열수경로를 따라 열수 석영맥이 발달되며, 석영맥에

Table 1. Diagrammatic zonation of mineral assemblages by alteration around the hydrothermal channel

| Lodes | Montmorillonite zone | Sericite zone | Propylitic zone | Unaltered anorthosite |
|-------------------------|---------------------------|---------------|-----------------|-----------------------|
| Quartz | Montmorillonite | Sericite | Chlorite | Plagioclase |
| Calcite | Quartz | Calcite | Quartz | (An = 60-90) |
| | Sericite | Dolomite | illite | Quartz |
| | Kaolinite | Quartz | Kaolinite | K-feldspar |
| | Mixed-layer clay minerals | Feldspar | | Pyroxene |
| | | | | Amphibole |
| Pyrite | Pyrite | | Rutile | Sphene |
| Arsenopyrite | Rutile | | Sphene | Ilmenite |
| Cu, Zn, and Pb Sulfides | Goethite | | | Magnetite |

연하여 변질산물이 대상으로 분포되기도 한다 (Fig. 2).

열수변질작용의 결과로 생성된 변질산물의 상대적 함량비에 따라 대상분포의 특징을 분류하면 몬모릴로나이트가 우세한 몬모릴로나이트대, 석영과 혼합층상 점토광물이 우세한 혼합층상 점토광물대, 석영, 녹니석, 견운모 등이 우세한 견운모대 및 녹니석, 견운모, 녹렴석 등이 우세한 프로피리틱 변질대로 구분된다 (Table 1).

열수변질대는 풍화변질에 의한 고령토작용이 촉진되고 그 심도를 깊게하는 요인이 되며, 풍화작용에 의한 화학반응과 중복되어 복잡한 변질양상을 띠기도 한다. 열수변질부는 풍화작용으로 인해 석영맥→몬모릴로나이트→할로이사이트→카오리나이트대로 전이되는 경향을 나타내기도 한다. 열수맥이나 열수용액의 통로를 연하여 발달된 열수변질작용의 누대특성을 분류하면 다음과 같다.

1) 몬모릴로나이트대 : 열수석영맥에 연하여 형성된 강점토대로서 석영, 몬모릴로나이트, 카오리나이트 등으로 구성되며, 회장암질 모암을 구성하는 사장석류가 분해되어 형성되었다.

2) 혼합층상 점토광물대 : 몬모릴로나이트와 일라이트, 녹니석간의 입의의 양적인 비를 갖는 혼합층상광물대가 형성되어 있으며, 석영과 운모-몬모릴로나이트 혼합층상광물이 수반된다.

3) 견운모대 : 상기 점토대의 외측부에 발달되며, 다량의 견운모를 비롯하여 녹니석, 방해석, 백운석, 석영, 황철석으로 구성된다.

4) 프로피리틱 변질대 : 회장암질암은 광범위하게 열수변질작용을 받아 열수맥의 외측부를 따라 분포하며 모암의 결정간극이나 미세한 균열을 따라 프로피리틱 변질대를 형성한다. 주요 변질산물은 녹니

Table 2. Compositions of secondary minerals by hydrothermal and weathering alteration

| Primary mineral | Hydrothermal | Weathering |
|---------------------------------------|------------------------------------|-----------------|
| Ferromagnesian (Hornblende, Pyroxene) | Chlorite | Halloysite |
| | Sericite | Montmorillonite |
| | Quartz | Illite |
| | Kaolinite | Gibbsite |
| | Montmorillonite | Kaolinite |
| Plagioclase (An = 60-90) | Mica-montmorillonite (mixed-layer) | |
| | Calcite, Dolomite | |
| | Pyrite | |
| | Feldspar | |
| | Chlorite | Halloysite |
| Opaque (Ilmenite, Magnetite) | Calcite | Kaolinite |
| | Kaolinite | Vermiculite |
| | Dolomite | |
| | Quartz | |
| | Pyrite | Goethite |
| Magnetite) | Sphene, Rutile | Todorokite |
| | Goethite | Lithiophorite |
| | Todorokite | |

석과 견운모이며, 석영, 카오리나이트 및 녹렴석이 수반된다. 사장석류의 분해에 의해 견운모가 형성되었고 각섬석은 녹니석으로 변질되었다.

열수변질작용은 (알카리 이온+알카리토류 이온 활동도)/(수소 이온 활동도)와 같은 화학적 특성에 따라 좌우되며, 회장암질암을 모암으로 하는 열수변질의 산물을 기원 광물종에 따라 분류하면 Table 2와 같다. 열수활동의 시기에 관해서는 아직 밝혀져

Table 3. Compositions of clay minerals derived from different parent rocks in the Hadong area

| Parent rock | Clay minerals |
|--------------------|-----------------|
| Anorthositic rocks | H, K, I, M, (G) |
| Diorite | H, I |
| Granodiorite | H, M, I, G |
| Granite | I, H, M |
| Quartz porphyry | H, I, M, G |
| Intermediate dyke | H, M |
| Gneiss | G, I |
| Granitic gneiss | H, G, M, I |
| Arkose sandstone | I, H, M, G |
| Shale | M, H, G, I |
| Stream sediments | H, M, I, G |

Note : H, halloysite ; K, kaolinite ; I, illite ; M, montmorillonite ; and G, gibbsite.

있지 않으며, 열수변질의 정확한 환경을 규명하기 위해서는 온도, 압력, 특정원소의 활동도 및 열원의 이동경로 등에 대한 연구가 진행되어야 한다.

2. 풍화변질산물

본 연구에서는 풍화변질작용에 의해 생성된 점토광물종의 기원 및 생성방식을 확인하기 위하여 모암의 광물학적 및 지화학적 특성과 변질산물의 특성을 비교 검토하였다. 열수맥의 발달이 없는 지역에서 산출되는 주 고령토광물종은 할로이사이트이며 소량의 일라이트, 수산화철, 카오리나이트, 녹니석, 깃사이트, 로몬타이트 등이 수반된다. 깃사이트는 지표면에서 높은 성분비를 가지며, 소량의 카오리나이트가 수반된다. 로몬타이트는 지표면과 고령토광상내에 발달하는 열극면에 연하여 주로 발달된다.

회장암 및 우백질 반력암을 구성하는 사장석류는 높은 Ca 함량을 갖는 사장석류(An=60-90)로, 높은 온도와 압력조건 하에서 형성되었기 때문에 지표환경하에서 불안정하므로 풍화작용에 의하여 분해, 변질되기 쉽다. 사장석의 풍화작용에 의한 변질은 흡착수와 가수분해가 중요한 요인이며, 이 과정에서 Ca 및 SiO₂가 용해되어 제거된다.

박(1986)에 의하면 본 지역에 발달된 하천수 및 광채수의 pH는 6.9~7.8의 범위에 속하고, Eh는 0.35~0.43V, Al의 함량은 극히 미량(trace)인데 비해 SiO₂는 2.9~15.3ppm이다. 따라서 Al은 Ca 및 SiO₂에 비해 매우 적은 양이 용출(leaching out)되는 환경으로 풍화작용에 의한 특정 성분의 용출현상은 Na, K 및 Mg가 가장 빠르고 다음으로 Ca, Si이며 Al 및

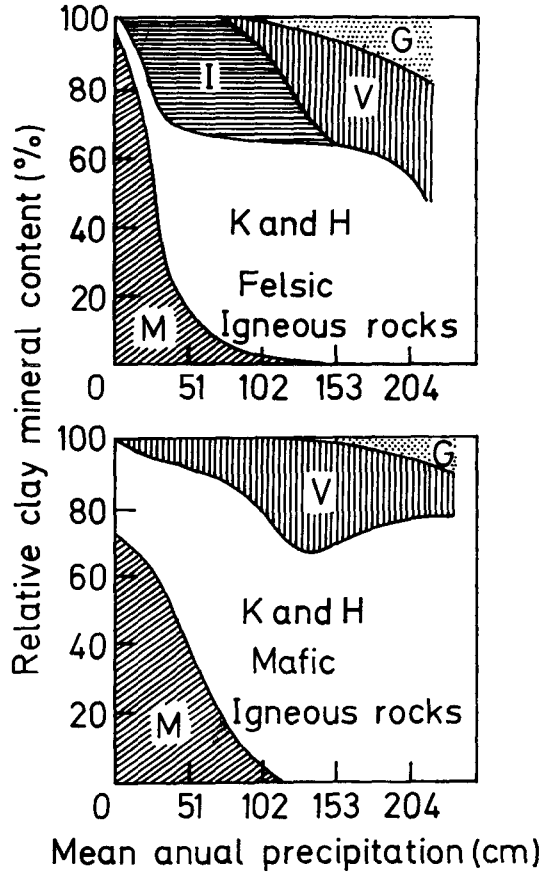


Fig. 3. Relative clay mineral contents as a function of precipitation for surface soil samples, California. Mean annual temperature is 10-15°C. M, montmorillonite ; H, halloysite ; I, illite ; V, vermiculite, G, gibbsite (After Barshad, 1966).

Fe는 가장 느린 것을 알 수 있다.

Table 3은 모암별 풍화도의 점토광물 조성을 표시한 것이다. 회장암질암의 풍화산물중 점토광물은 주로 할로이사이트, 일라이트, 몬모릴로나이트 및 깃사이트 등이다. 화강암질암의 풍화토양은 할로이사이트가 주된 점토광물이며 일라이트, 몬모릴로나이트, 깃사이트가 선택적으로 수반된다. 편마암질암석에서는 할로이사이트와 깃사이트가 우세하며 몬모릴로나이트, 일라이트 등이 수반된다. 원지층을 구성하는 퇴적암의 경우 셰일에서는 몬모릴로나이트와 할로이사이트가 우세하고 깃사이트와 일라이트가 수반되는 반면, 사암에서는 일라이트와 할로이사이트가 우세하며 몬모릴로나이트와 깃사이트가

소량 수반된다. 주변 하천에서 채취된 세립질 퇴적물중에 포함된 점토광물은 전반적으로 할로이사이트, 몬모릴로나이트, 일라이트, 깁사이트 순으로 그 양이 변화한다.

이러한 분석결과는 모암에 따른 점토광물과 강수량(본역의 연평균 강수량은 1160~1350mm)의 관계에 대한 기존의 연구결과(Barshad, 1966)와 잘 일치된다(Fig. 3). 야외 노두상에서 관찰되는 풍화정도는 심도에 따라 점이적으로 감소되며, 불규칙한 풍화형태는 소규모 단층, 암맥류 및 열수변질 작용과

밀접하게 관계되어 있다.

3. 회장암질암과 열수 및 강우와의 반응

회장암질암 기원의 고령토광물종의 성인을 파악하기 위하여 임의의 강우와 열수를 설정하여 각각의 반응을 프로그램 MINSOLV(Reed, 1982)를 이용하여 계산하였다. 이는 일정량의 회장암질암을 강우와 열수에 각각 단계적으로 반응(컴퓨터에 입력된 열역학적 데이터를 이용한 가상반응)시킨 결과로서, 각각의 단계가 완전한 화학적 평형상태에 도달하도록 연속적으로 실행하였다. 각 반응광물의 적정(titration) 단계에서, 하나의 반응광물이 용액내에서 포화될 때 그 광물의 적정은 중지되거나 다른 광물종의 적정은 지속되는 조건으로 실행하였다. 예를 들어, 고령토가 일단 생성되기 시작하면 더이상 고령토의 적정이 수반되지 않고, 고령토가 포화된 용액내에서는 고령토가 용해되지 않는다. 따라서 고령토의 계산된 함량은 회장암질암의 변질작용에 의한 것이다.

본 반응계산에 이용된 회장암질암의 평균 광물조성비와 화학성분은 Table 4와 같으며, 초기 및 반응종결후의 열수와 강우의 화학조성은 Table 5와 같다.

1) 열수와 회장암질암과의 반응

열수작용에 의한 고령토광물종의 생성 가능성을 검토하기 위하여, 본역에서 흔히 산출되는 열수맥중에 수반되는 석영의 유체포유물 분석을 통해 측

Table 4. Modal and chemical compositions of reactant rock

| Modal (vol. %) | | Chemical (wt. %) | |
|---------------------------|------|--------------------------------|-------|
| Quartz | 0.2 | SiO ₂ | 49.92 |
| Plagioclase ¹⁾ | 95.0 | Al ₂ O ₃ | 29.72 |
| Hornblende | 2.3 | Fe ₂ O ₃ | 1.21 |
| Chlorite | 1.2 | FeO | 1.12 |
| Biotite | 0.3 | CaO | 12.61 |
| Epidote | 0.2 | MgO | 1.28 |
| Clinopyroxene | 0.2 | K ₂ O | 0.56 |
| Zoisite | 0.3 | Na ₂ O | 3.52 |
| Calcite | 0.1 | MnO | 0.04 |
| Opagues ²⁾ | 0.1 | TiO ₂ | 0.10 |

1) An=60-90

2) Magnetite and ilmenite

Table 5. Compositions of initial and final reacted water (total moles)

| | Hydrothermal reactant ¹⁾ | | Rain reactant ²⁾ | |
|-------------------------------|-------------------------------------|-----------|-----------------------------|-----------|
| | initial | final | initial | final |
| Cl | .1187E-10 | .1187E-10 | .9765E-04 | .9765E-04 |
| SO ₄ ²⁻ | .8018E-02 | .8018E-02 | .1562E-04 | .1562E-04 |
| HCO ₃ ⁻ | .2153E-02 | .2153E-02 | .1562E-04 | .1562E-04 |
| SiO ₂ | .1000E-12 | .5027E-01 | .1000E-09 | .1301E-03 |
| Al ³⁺ | .1000E-12 | .3475E-01 | .1000E-09 | .2441E-04 |
| Ca ²⁺ | .1000E-12 | .1361E-01 | .2420E-04 | .8551E-04 |
| Mg ²⁺ | .1000E-12 | .1918E-02 | .1481E-04 | .3192E-06 |
| Fe ²⁺ | .1000E-12 | .9390E-03 | .1000E-09 | .3067E-06 |
| K ⁺ | .1000E-12 | .7180E-03 | .6650E-05 | .9913E-05 |
| Na ⁺ | .1000E-12 | .6873E-02 | .4785E-04 | .7908E-04 |
| Mn ²⁺ | .1000E-12 | .3241E-02 | .1000E-09 | .1480E-06 |
| O ₂ | | | .2419E-03 | .2409E-03 |
| pH | 2.1 | 7.4 | 6.0 | 9.5 |

1) Anorthosite reaction with acid sulfate-carbonate water from oxidized boiled gas (100°C).

2) Titration of anorthosite into "Sugawara" rain water (25°C).

Table 6. Distribution of alteration minerals (wt. %) at various ratios of hydrothermal water to anorthosite

| Water/Rock | 7692 | 3019 | 2210 | 1618 | 867 | 406 | 378 | 328 | 280 | 204 | 174 |
|-------------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|------|
| Quartz | 100 | 91.5 | 88.0 | 49.5 | 23.6 | 14.9 | 13.7 | 12.7 | 12.0 | 3.2 | |
| Alunite | | 8.5 | 11.0 | 8.0 | 6.0 | | | | | | |
| Kaolinite | | | 1.0 | 42.4 | 70.4 | 83.0 | 79.6 | 73.9 | 67.8 | 46.4 | 38.4 |
| Anhydrite | | | | | | 1.8 | 3.6 | 5.6 | 3.5 | 0.9 | |
| Minesotaite | | | | | | 0.4 | 1.7 | 2.5 | 2.5 | 2.4 | 2.3 |
| Chlorite | | | | | | | 1.5 | 3.5 | 3.5 | 3.4 | 3.4 |
| Calcite | | | | | | | | 0.6 | 5.0 | 3.5 | 3.0 |
| Muscovite | | | | | | | | 1.2 | 4.0 | 4.1 | 4.1 |
| Laumontite | | | | | | | | | 1.8 | 36.2 | 48.7 |

Table 7. Distribution of alteration minerals (wt. %) at various ratios of rain water to anorthosite

| Water/Rock | 100,000 | 50,000 | 10,000 | 1,000 | 500 | 285 | 133 | 105 | 42.55 | 36.36 |
|------------|---------|--------|--------|-------|-----|-----|-----|-----|-------|-------|
| Hematite | 100 | 6.9 | 5.3 | 5.2 | 4.8 | 3.4 | 3.9 | 5.6 | 3.6 | 3.0 |
| Gibbsite | | 93 | 94 | 94 | 68 | 48 | 55 | 80 | | |
| Chlorite | | | | | 26 | 48 | 40 | 13 | 5.2 | 4.3 |
| Kaolinite | | | | | | | | | 91 | 59 |
| Laumontite | | | | | | | | | | 33 |

정된 염농도와 가정된 화학조성의 열수용액을 이용하여 회장암질암과의 반응과정을 계산하였다. 각 계산은 열수와 회장암질암과의 비에 따라 단계적으로 실시하였으며, 그 결과는 Table 6과 같다.

반응은 pH가 2.1, 압력이 2 기압, 온도가 100°C에서 비등현상을 수반하는 환경을 설정하였다(이용된 프로그램은 냉각, 가열, 산화 및 비등현상 등에 따라 수반되는 모든 반응방식을 수리적으로 계산할 수 있음). Fig. 4-A는 생성광물의 상대적 함량비를 반응시의 열수와 회장암질암과의 상대적 비율과 함량을 비교한 것이며, Fig. 4-B는 각 열역학적 성분종의 전체 몰 함량(Total Molarity)으로 표시한 것이다. 각각의 성분은 반응에 소모된 회장암질암과 열수의 상대적 함량에 따라 변화를 가지며, 또한 그 결과는 특정 광물종의 생성과 밀접한 관계를 보여준다.

석영은 100°C에서 열수와 회장암질암이 반응할 때 가장 먼저 생성되는 광물이며, 충분한 양의 타 원소 종이 모암인 회장암질암으로부터 해리되어 부가됨에 따라 알부나이트, 카오리나이트, 녹니석, 방해석, 백운모 등이 계속하여 침전된다. 로몬타이트는 후기에 카오리나이트를 치환하여 형성되며, 최종적으로 열수와 반응한 회장암질암은 주로 카오리나이트와 로몬타이트로 변질되고 소량의 녹니석, 방해석, 백운모 및 미네소타아이트를 수반하는 결과를 보여준다(Table 6).

2) 강우와 회장암질암과의 반응

회장암질암 기원의 고령토광물종은 강우에 의한 풍화변질작용의 결과에 의해서도 생성될 수 있기 때문에, 그 가능성을 검토하기 위하여 강우성분(Sugawara, 1967)을 수정한 값(Table 7)과 앞서 언급한 방식에 따라 25°C에서 수리적으로 계산하였다. 본 반응계산에는 프로그램 CHILLER(Reed, 1982)를 이용하였다.

강우와 회장암질암과의 반응에 의해 적철석이 먼저 침전되고, 용액의 성분변화에 따라 깃사이트, 녹니석, 카오리나이트, 로몬타이트 등이 형성된다. 초기에 형성된 깃사이트는 회장암질암과 물(강우)의 비가 0.235 이상에서 카오리나이트로 치환되며, 이들 카오리나이트는 후기에 다시 로몬타이트로 치환되는 결과를 보여준다(Fig. 5-A). 본 반응의 결과 초기강우(pH=6.0)는 반응이 진행됨에 따라 점차로 알칼리성 용액으로 변하며 pH=9.2인 환경에서 평형상태에 도달한다(Fig. 5-B).

고찰

열수맥에 연하여 분포하는 회장암질암의 유색광물종은 주로 각섬석과 휘석으로 구성되며, K⁺, HS⁻ 성분이 도입된 산성 열수계에서 반응함으로써 녹니석, 견운모, 석영, 비롯하여 카오리나이트, 몬모릴로나이트, 방해석, 백운석 및 황철석 등이 변질 산물로서 생성되었다. 주 부색광물인 Ca가 풍부한 사

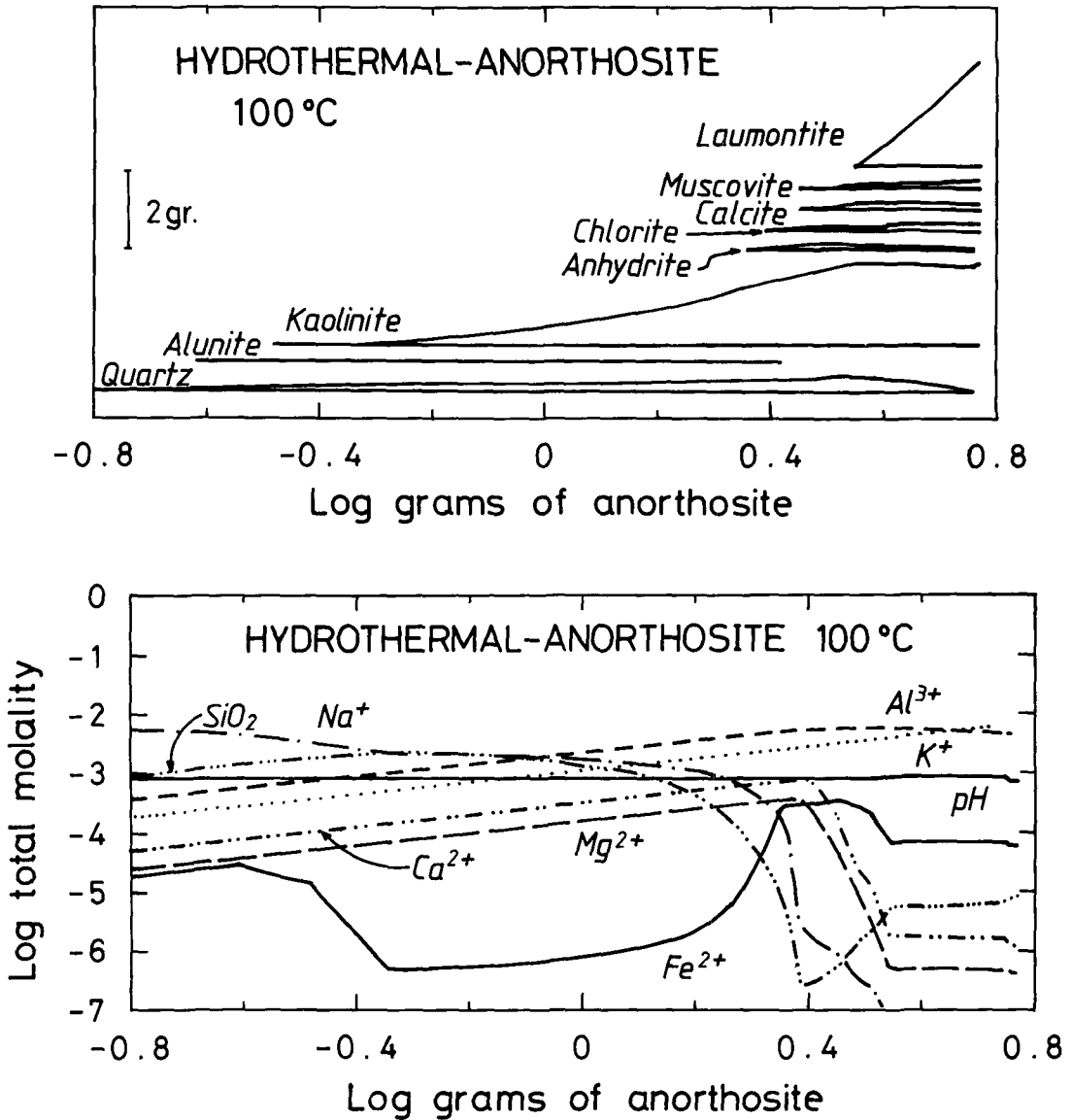


Fig. 4. Calculated abundances of mixing of hydrothermal water (100°C) and anorthosite. (a) mineral abundance in grams, and (b) molality of aqueous component species.

장석은 HS^- , CO_2 를 수반하는 높은 산성 열수와의 반응에 의해 녹니석, 카올리나이트, 백운석, 방해석 및 석영 등으로 재결정되었다. 불투명광물종인 티탄 철석과 자철석 등도 열수변질작용의 결과 황철석, 스피넬, 금홍석 및 철 또는 망간 산화광물로 치환되었다.

그러나 상기와 같은 변질산물은 열수맥에 연하여 한정적으로 분포하기 때문에 본역에 분포하는 고령토광물종의 일반적 성인을 설명하기 위하여 열수맥

의 생성온도(평균 260°C) 보다 낮은 100°C 정도의 온도환경에서의 변질특성과 대비되어야 한다. 계산된 결과에 의하면 CO_2 를 수반하는 100°C의 산성 열수는 모암인 회장암질암과의 반응을 통해 카올리나이트를 비롯하여 로몬타이트, 녹니석, 방해석, 백운도가 형성됨을 알 수 있다. 이는 본역에 광범위하게 분포하는 고령토광상에서 수반되는 광물종의 종류와 함량의 특성과는 다소의 상이한 결과를 보여줌을 알 수 있다. 특히 방해석은 주 고령토광체내에

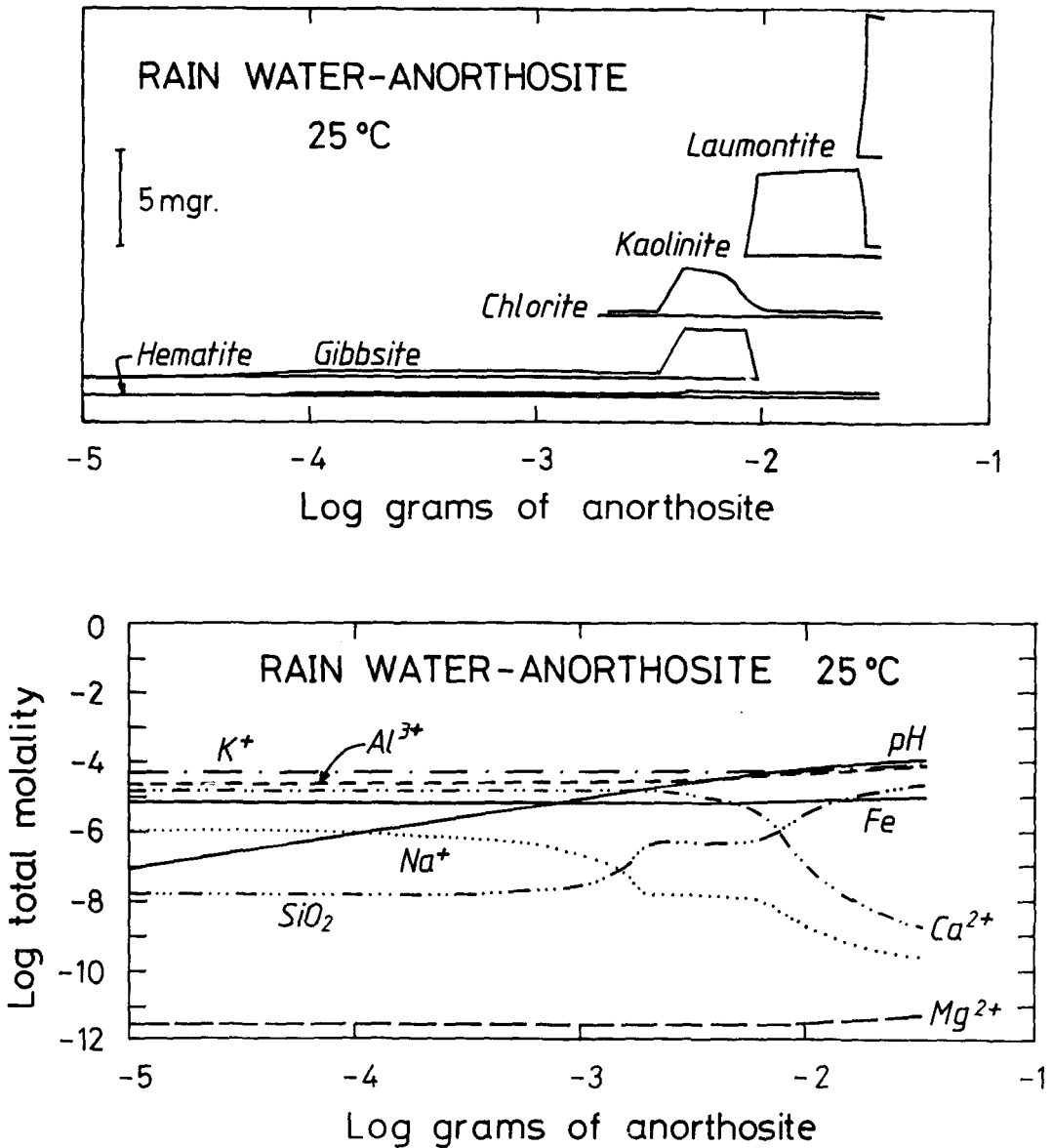


Fig. 5. Calculated abundances of mixing of rain water (25°C) and anorthosite. (a) mineral abundance in grams and (b) molality of aqueous component species.

서는 수반되고 있지 않으며, 낮은 W/R값(모암과 열수의 비)에서 형성되는 석영과 알루미나이트 역시 수반되지 않는 상이한 결과를 보여준다.

회장암질암을 구성하는 광물종의 풍화작용에서 유색광물은 주로 녹니석으로 변질되고, 몬모릴로나이트, 버미큘라이트 및 카오리나이트를 소량 수반한다. 무색광물종인 사장석 역시 주로 할로이사이트로

변질되나 김사이트가 수반된다. 불투명광물종은 열수변질에서와 유사하게 철이나 망간 산화물을 형성한다. 이러한 풍화변질의 특성은 열수변질을 1차적으로 받은 모암에서도 유사한 결과를 보인다.

하동지역 회장암질모암의 풍화계열은 심도에 따른 수반광물종의 상대적 함량을 비교하여 볼 때 Ca사장석→할로이사이트→로몬타이트로 추정되며,

광물종의 변화는 용탈원소의 상대적 함량에서의 변화를 지시하고 있다. 그러나 광물에 따라 성분이 각기 다르고 기원암이 여러 광물종들로 혼합되어 있기 때문에 해석상에 어려움이 있다.

본역의 연평균 강우량은 1200mm 정도 (1160~1350mm)로 연평균 강우량과 점토광물의 생성에 관한 연구 (Barshad, 1966)에 의하면 카오리나이트, 할로이사이트, 일라이트, 비미큐라이트, 깁사이트의 생성 환경과 대비되며 (Fig. 6), 이는 본역에서 풍화변질작용에 의해 생성된 점토광물종과 일치한다. 본 연구에서 수행된 강우와 회장암질암의 반응결과는 본역에 분포하는 고령토광상의 주요 구성광물종과 대체적으로 일치하는 결과를 갖지만, 과량의 로몬타이트가 후기에 카오리나이트를 치환하는 야외적 특성과는 다소 상이한 관계를 보이기도 한다.

따라서 본역에 분포하는 고령토광상의 성인은 열수변질작용에 의한 특성보다는 강우에 의한 풍화변질작용의 산물과 밀접하게 대비된다. 그러나 완전한 성인적 특성을 파악하기 위해서는 앞으로 소택지의 물 (일반적으로 높은 산성 용액) 등과의 반응 계산과 열수변질부의 2차적 풍화작용에 의한 고령토광상의 생성 가능성에 대하여도 연구가 진행되어야 한다.

요 약

광포만 집수구역에 분포된 점토광상들은 회장암질 암체에 제한되어 산출된다. 광체의 최상부에서는 로몬타이트와 메타-할로이사이트가 가장 우세하게 발달되고 칠산화물이 수반되며, 하부에서는 녹니석과 할로이사이트가 우세하게 산출된다. 주점토층 아래에 놓인 일부 회장암질 암류는 열수맥을 따라 석영, 견운모, 녹니석, 황철석 및 몬모릴로나이트 등으로 심하게 변질되어 있다. 열수와 강우를 각각 100°C와 25°C에서 회장암질암과 반응시킨 다성분 평형 반응계산에 의해 열수변질과 풍화변질 기원의 가설들을 시험해본 결과 강우와의 반응결과가 야외에서 산출되는 점토광물군과 보다 유사함을 보인다. 이는 본역 점토광상의 주성인이 풍화변질작용임을 나타낸다.

사 사

본 연구는 1987년 문교부 자유공모과제 학술연구 조성비에 의하여 수행되었다. 내용중 열수 및 강우와 회장암질암과의 반응계산은 저자중 박맹언이 오래근대학 체류중 오래근대학 전자계산소의 지원에 의하여 수행하였으며, 이용된 프로그램은 Mark M.

Reed 교수에 의하여 제공되었다. 고령토광물종의 X-선 회절분석은 동력자원연구소 광물연구실에서 실시되었다. 해양과학연구소 업적번호 211.

문 헌

- Barshad, I. 1966. The effect of a variation in precipitation on the nature of clay mineral formation in soils from acid basic igneous rocks. Proc. 6th Int. Clay Conf. 1, 167~173. In Rose, A. W., Hawkes, H. E., and Webb, J. S., *Geochemistry in Mineral Exploration*, 2nd ed. Academic Press, 1979, 657p.
- Griffin, J. J. and Goldberg, E. D. 1963. Clay mineral distribution in the Pacific Ocean. In Hill, M. N., ed., *The Sea*, 3, 728~741.
- Reed, M. 1982. Calculation of multicomponent chemical equilibria and reaction process in systems involving minerals, gases and an aqueous phase. *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 46, 513~528.
- Sugawara, K. 1967. Migration of elements through phases of the hydrosphere and atmosphere : *Chemistry of the Earth's Crust.* 2, 501~510.
- Weaver, C. E. 1967. Potassium, illite and the ocean : *Geochim. et Cosmochim. Acta.* 31, 2181~2196.
- 김장남 · 강필중. 1965. 국립지질조사소. 진교 지질도폭 설명서.
- 김종환 · 김동학. 1964. 산청 단성 할로이사이트광상 조사보고. 국립지질조사소. 지질광상조사 연구보고 제7호, 67~96.
- 박용순. 1986. 하동 점토광상의 광물 및 성인. 인하대학교 대학원 석사학위논문. 57p.
- 상기남 · 신흥자. 1981. 하동 산청 지역에 분포된 사장암의 광물학적연구 (I). 자원개발연구소 조사연구보고 11, 185~214.
- 손치무 · 정지곤. 1972. 하동-산청지역 아노르도사이트의 기원. *광산지질* 5(1), 1~20.
- 정지곤. 1982. 한국의 하동-산청지역에 분포한 아노르도사이트에 관한 암석학적연구. *대한지질학회지* 18(2), 83~108.
- 정지곤 · 이상만. 1986. 하동-산청지역 회장암질암의 변성작용에 관한 연구. 이상만교수 송수기념논문집, 87~106.

1988년 8월 1일 접수
1988년 9월 22일 수리