

영남지역 고령토-납석 광상의 성인 연구

상 기 남*

Genesis of Kaolin-Pyrophyllite Deposits in the Youngnam Area

Ki-Nam Sang*

ABSTRACT: Occurrences of many kaolin-pyrophyllite deposits in the Youngnam area is related to the Late Cretaceous volcanic rocks, which are widely distributed through southern part from Tongnae-Yangsan to Miryang-Wolsung. The mode of occurrence and genesis of the kaolin-pyrophyllite deposits related to the volcanism was studied. This area is covered by andesitic rocks, rhyolite and rhyolitic welded tuff in ascending order. Lower most andesitic part is almost fresh. The altered rocks in the rhyolitic welded tuff can be classified into the following zones: silicified, pyrophyllite-kaolin, and argillic zone from the center part of ore deposit.

The clay deposits occur as irregular massive, layer and funnel type about 5~20 m in width and is accompanied by thin diaspore bed outside of ore shoot. The clays chiefly consist of kaolinite, sericite, pyrophyllite, a little amount of diaspore, alunite, dumortierite, corundum and pyrite. The process of kaolinization-pyrophyllitization has a close relation to a local acidic hydrothermal solution originated from granitic rocks. Acidic hydrothermal alteration occurs mainly in the rhyolitic welded tuff. Initial solution containing H₂S and others was oxidized near the surface and formed hydrothermal sulfuric acid solution.

서 언

한국의 고령토-납석광상의 주요 부존 지역은 전남 해남 및 남부 해안 도서 지역과 영남지역의 동래, 밀양, 양산, 김해, 유천, 월성 지역에 부존되어 국내 부존 자원중 납석 광석은 내수에 전량을 충당하고 고령토 광석은 83.3%의 공급율을 차지하고 있다. 연간 광석 수요증가율도 연평균 ('81~'88) 납석 9.9%, 고령토 2.6%의 증가 추세를 보여 주고 있다(동자부, 1989).

한국의 고령토-납석 광상 성인은 백악기 말부터 제3기 초까지 산성 화성 활동과 관련된 것으로 보고되어 왔다. 이같은 화성활동과 관련하여 경상 분지내에는 금속 광상, 비금속광상이 광범위하게 부존되어 있으며, 영남지역의 고령토-납석 광상은 남북 방향으로 발달되어 있으며 하동, 산청, 함천, 성주지역의 할로이사이트(halloysite)와 양산, 동래, 김해, 밀양, 월성 지역의 납석 광상이 부존하며 본 조사지역 부근에는 약 450여 광구가 등록되어 있다(동자부, 1985).

본 연구의 목적은 본역의 고령토-납석광상을 대상으로 광물학적 특성과 모암 변질작용을 연구하여 성인을 규명 하는데 있다.

본 연구는 1987년도 문교부 자유공모과제 학술연구조성비에 의하여 연구되었으며 본 연구를 가능하게 하여주신 한국 학술 진흥 재단에 감사를 드리며 한국 동력자원연구소, 일본 규슈대학 지구행성과학고실 관계자 여러분과 시설을 제공하여 주신데 대해 감사를 드립니다.

지질개요

본 지역에 광범위하게 부존된 고령토-납석 광상 부근의 지질은 후기 백악기 화산암류로 분포되어 있으며 조사 대상 지역은 동래, 양산, 김해, 밀양, 유천, 월성 등 지역이다. 구성암은 하위층으로부터 안산암질류와 유문암질류로 후기에 관련된 불국사 산성 화강암류로 이루어져 있다. 본역에 있어서 백악기의 화성활동은 분출로부터 (Tateiwa, 1929) 건천리층, 주사산 분암으로 명명한 바 있다. 장기홍 (1977)은 채약산 안산암질 암류를 하양층군에 포함시키고 건천리층 상위에 놓이는 중성 내지 산성 화성암류를 유

* 부산대학교 자연과학대학 지질학과 (Department of Geology, Pusan National University, Pusan, 609-735, Korea)

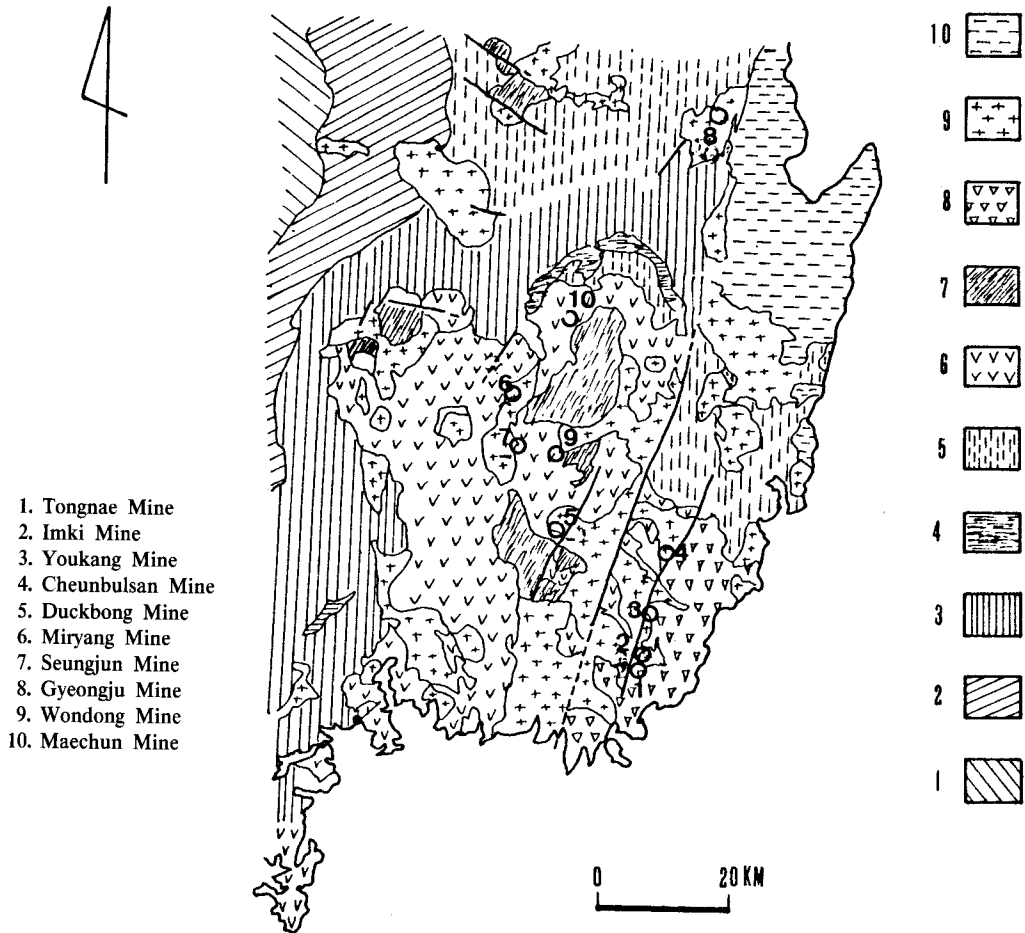


Fig. 1. Geologic map of the Gyeongsang Basin (Kim, 1984). 1. Pre-cambrian rocks, 2. Nakdong Group, 3. Silla Group, 4. Chaeyaksan andesitic rocks, 5. Gyeongsang Super Group, 6. Jusasan Andesite, 7. Unmunsa rhyolitic rocks, 8. Yucheon Group, 9. Cretaceous intrusive rocks, 10. Tertiary sediments and volcanics, and O: Clay deposits.

천층군으로 분류한 바 있다. 밀양-유천지역에 부존된 고령토-납석광상 부근의 지질은 하위로부터 안산암류는 주사산 안산암질 암류로 유문암질 암류는 운문사 유문암질로 유천층군에 대비하였다(김상욱 외, 1982, 1986; 김규봉 외, 1988; 홍성호 외, 1988). 김해, 양산 지역에서는 하위층으로부터 팔용산 응회암, 주사산 안산반암, 도대동 안산 반암, 함각력 안산암, 규장반암으로 구분한 바 있다. 동래, 월래 지역은 하위층부터 안산암, 질암, 유문암, 유문암질응회암, 유문반암 등으로 구성된다고 보고된 바 있다(야마나리, 1924). 한편 본 지역은 도처에 발달된 화산 활동과 관계된 산성 화산암체의 관입으로 환상 단층 및 전역에 발달하는 북북동-남북의 단층과 밀접한 관계를 가지고 있다. 이와 같이 환상구조를 환상합몰대라고 발표하였다(차문성, 19

85). 광상 부근의 지질은 하부층부터 안산암질암과 상위층은 유문암질암의 관입 후 광상 주변부에는 화강암류에 의하여 관입되고 있다. 전술한 바와 같이 유천층군의 화산암체에 대한 지층 대비, 화산 활동 시기에 대한 논의가 활발하게 진행되고 있다(Fig. 1).

안산암질암류

안산암질암은 본 지역에서 가장 넓은 분포면적을 차지하고 곳에 따라서는 불규칙 괴상으로 분포되고 있으며, 일부는 고령토-납석 광상의 최하위부에 놓여 있다. 밀양-유천지역의 안산암질암류를 야마나리(1924)는 밀질 휘석 분암 및 적갈색 응회암으로 칭하였으며 김상욱(1984)은

Table 1. Stratigraphy in the Gyeongsang Basin (Kimhae, Yangsan, Tongnae, Yucheon, and Miryang area).

Yangsan(1964)	Kimhae(1964)	Eonyang(1968)	Tongnae-Wolhae(1978)	Kim.S.W.(1982)	Yuchon(1988)
Alluvium ~Unconformity~ Acidic dike Basic dike Aplite Granite porphyry Granodiorite Biotite granite -Intrusion -	Alluvium ~Unconformity~ -Intrusion -	Alluvium ~Unconformity~ Acidic dike Intermediate dike rock -Intrusion - Felsite Diorite Aplite Granite porphyry Granodiorite Biotite granite Eonyang granite -Intrusion - Feldspar porphyry Rhyodacite Dacite porphyry Jusasan Andesite	Alluvium ~Unconformity~ Acidic dike -Intrusion - Felsite Micrographic granite Adamellite Tonallite -Intrusion - Biotite granite Hornblende granite Granodiorite Diorite porphyry -Intrusion - Rhyolite porphyry Rhyolitic lapilli tuff Rhyolitic tuff Rhyolite Andesitic rock -Intrusion and extrusion - Icheonri Formation	Alluvium ~Unconformity~ Acidic dike -Intrusion -	Alluvium ~Unconformity~ Acidic dike Felsite Qtz. porphyry -Intrusion - Onyang granite -Intrusive rocks - -Intrusion - Granodiorite Rhyolitic -Intrusion - Rhyolitic welded tuff Unmunsa Rhyolitic Rocks Dacite Agglomerate -Intrusion and - extrusion - ~Partly unconformity~ Chusasan Andesitic Rocks Pomdori Andesite -Intrusion and extrusion - Choggaksa Formation Crystal Tuff Tufts Vitric Tuff Miryang Andesite Aphanitic Andesite Andesitic Tuff Agglomerate
Andesite altered Wonhyosan brecciated - Andesite porphyry Dateadong Andesite porphyry Chusasan Andesitic Rock -Intrusion and extrusion -	Dateadong Andesite porphyry Chusasan Andesitic rocks Green Breccia Pallyongsan Tufts Tuffaceous sandstone Formation Brecciated tuff Formation Chindong Formation	-Intrusion and extrusion - Taegu Formation	-Intrusion and extrusion - Icheonri Formation	Unmunsa Rhyolitic Rocks Rhyolitic rocks Dacite Chusasan Andesitic Rocks Dacite and tuff Tuff Andesite Tuff Andesite Tufts Andesite Tufts Andesite and Breccia	Unmunsa Rhyolitic Rocks Dacite Agglomerate -Intrusion and - extrusion - ~Partly unconformity~ Chusasan Andesitic Rocks Pomdori Andesite -Intrusion and extrusion - Choggaksa Formation Crystal Tuff Tufts Vitric Tuff Miryang Andesite Aphanitic Andesite Andesitic Tuff Agglomerate
Palyongsan Formation -Relation unknown -	Palyongsan Tufts Tuffaceous sandstone Formation Brecciated tuff Formation Chindong Formation	Taegu Formation	Icheonri Formation	Chusasan Andesitic Rocks Dacite and tuff Tuff Andesite Tuff Andesite Tufts Andesite Tufts Andesite and Breccia	Chusasan Andesitic Rocks Pomdori Andesite -Intrusion and extrusion - Choggaksa Formation Crystal Tuff Tufts Vitric Tuff Miryang Andesite Aphanitic Andesite Andesitic Tuff Agglomerate
Chert -Relation unknown - Daeyangdong Formation	Brecciated tuff Formation Chindong Formation	Taegu Formation	Icheonri Formation	Chusasan Andesitic Rocks Dacite and tuff Tuff Andesite Tuff Andesite Tufts Andesite Tufts Andesite and Breccia	Chusasan Andesitic Rocks Pomdori Andesite -Intrusion and extrusion - Choggaksa Formation Crystal Tuff Tufts Vitric Tuff Miryang Andesite Aphanitic Andesite Andesitic Tuff Agglomerate

본 지역의 화성암체를 주사산 안산암질 암류에 대비하여 세분한 바 있다. 동래-양산지역의 안산암 및 유문암류는 주사산 안산암질암 및 팔용산 응회암으로 대비시키고 있다 (Table 1).

본 지역에 분포된 안산암류는 암갈색 내지 암회색을 저하고 조직은 세립질, 반상조직 및 비현정질로 분포된다. 본 지역에서 안산암류를 안산암질 응회암, 응회암류(라필리응회암, 결정질응회암, 유리질응회암), 응회 각력암, 층회암, 집괴암 등 다양하게 분류되고 있으나, 광상 최하부에 분포된 안산암내에는 비현정질 안산암이 주로 광상부존 지역인 임기, 천불산, 밀양, 매전 부근에 소규모로 분포하며 유문암질 용결 응회암에 의해 관입 또는 피복되어 있다. 현미경하에서 구성 광물은 사장석, 휘석, 각섬석, 녹니석, 유리질 석영과 소량의 티탄 철석과 불투명 광물이 수반된다. 사장석의 반정이 0.2~0.5 mm 내외로 사장석의 함량이 35~40% 내외이다. 사장석은 알바이트 쌍정, 칼스베드 쌍정을 나타내고 화강암류의 접촉 부근에서 일부는 녹니석화 작용, 전운모화 작용을 받고, 한편으로 화강암의 관입에 의해 호른펠스화 되어 있다.

유문암질 암류

유문암질암은 주사산 안산암질 암류의 상위층에 관입 및 피복되어 동래 지역에서는 유문암, 라필리 응회암, 유문암질 응회암류, 유문반암 등으로 세분되고 (손치무 외, 1978) 유천지역에서는 주사산 안산암류를 하위층부터 석영 안산암류와 유문암질암으로 구분하며(김상욱, 1984), 밀양지역에서는 하부로부터 응회 각력암, 석영 안산암질 회류응회암, 유문암질 강하 응회암, 화제리층, 유문석영안산암질폐류응회암 및 유문암 등으로 세분한 바 있다(김규봉, 1988). 한편 각력 안산암(박양대 외, 1969)을 용결 응회암 및 집괴암 등을 운문사 유문암질암류로 대비하고 있으나 이의 관계는 불명하고 이를 용결 응회암으로 구분하고 있다. 유문암질 용결응회암은 안산암질 암류의 상위층에 피복되어 동래, 임기, 철마, 유광, 천불산, 김해 광상 등에 분포한다.

유문암질 용결 응회암

운문사 유문암질 암류에 속하는 유문암질 용결 응회암이 광상 주변부에 발달되어 광상 모암을 형성하여 층상 구조와 유상구조로 발달한다. 각 지역의 광상을 중심으로

N10°~25°E 방향으로 수 개의 단층이 발달되어 북서 방향에서 남동 방향으로 밀양 단층, 모량 단층, 양산 단층, 동래 단층이 발달된다.

본 암은 담홍색을 띠고 신선한 곳에서 회색을 띠고 일부 암갈색의 유문암편과 녹회색의 안산암편을 소량 함유한다. 반정으로서 사장석, 석영, 정장석이 주 구성 광물로서 각섬석, 흑운모 및 자철석이 소량 함유되는데 기질은 석영-장석질, 유리질이 용결되어 석영질부와 석영-장석질부가 분리되어 칼리 장석을 박편상 정색 실험한 결과 현미경하에서 사장석 입자는 반자형으로 누대 구조로 나타나며 각섬석은 일부 녹니석으로 변질되어 있다. 이런 현상은 용결 응회암류 및 응암류에 흔히 나타나는 특징이다.

석기는 유리질 혹은 미정질의 석영-장석으로 유리 구조가 발달되고 구과상 조직(Spherulitic Texture)로 발달된다(Fig. 2-2). 본 암층은 일부 라필리 응회암과 교호되어 층리가 발달되며 층리는 N30°E-N80°W의 주향과 12°~30°N로 경사한다. 하위부에 놓여있는 안산암과 접촉부에는 일부 각력화되어 상위부에는 응회암으로서 광상 시추 결과에 의하면 안산암 관입과 함께 일부 분출작용으로 인하여 두 이층 사이에 협재되는 양상을 나타내고 있다. 이와 함께 세립질 응회암층에는 20~30 cm 내외 흑갈색의 진주암은 밀양, 양산에서 협재하고 있다.

불국사 화강암류

본 암류는 남석-고령토 광상 부근의 유문암질 용결 응회암에 관입되며 각섬석 흑운모화강암, 흑운모화강암, 섬록암 등으로 구분된다.

화강섬록암: 밀양, 승진, 임기, 매전, 원동광상지역의 주변부에 분포되어 본 암은 녹회색을 띠며 무반정의 세립질로서 균질하며 피상으로 흑운모 화강암체 부근에서는 중립질로 되는 경향을 나타내고 있다.

현미경하에서 사장석, 각섬석, 칼리 장석, 흑운모 등으로 구성되며 사장석은 자형을 지니고 알바이트, 칼스베드 쌍정을 이루며 누대 현상을 보이고 각섬석은 자형 또는 반자형이며 흑운모는 녹니석화로 변질되어 있다.

각섬석 흑운모 화강암, 각섬석 화강암은 김해 덕봉 광상 지역에 소규모로 분포하며 본 암은 유천층군에 관입하여 일반적으로 회백색을 띠고 풍화된 암석은 담황갈색을 띠며 각섬석, 흑운모 등의 유색 광물이 관찰되고 세립상이다. 현미경하에서 사장석, 칼리장석, 석영, 흑운모, 각섬석, 자철석, 인회석 등으로 조성되며 일부는 누대 현상과 미분상

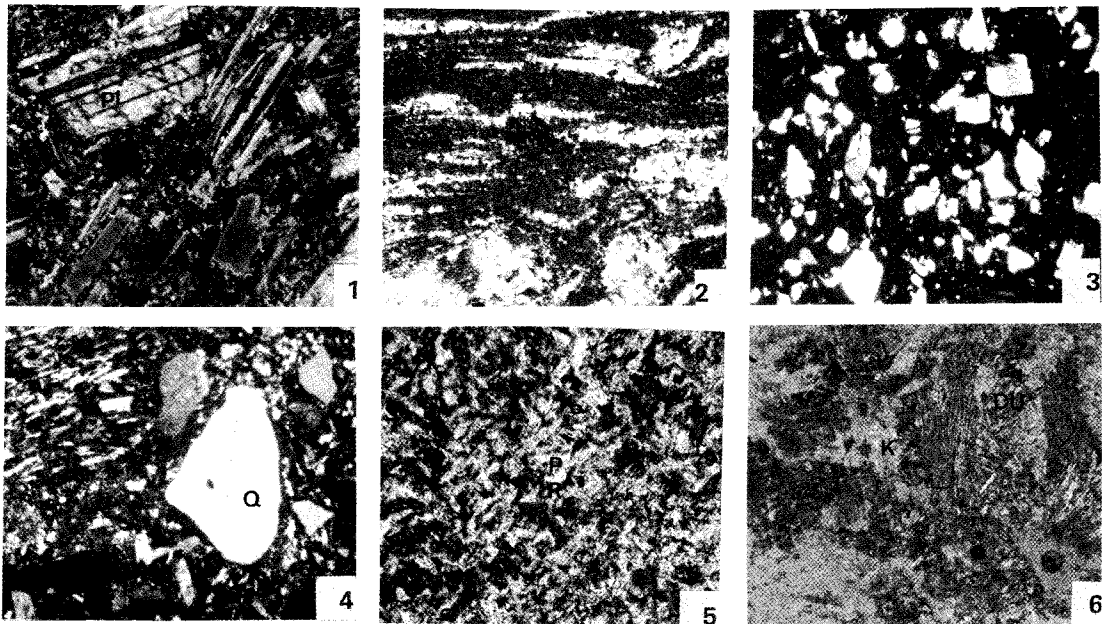


Fig. 2. (1) Andesite containing abundant phenocrysts of strongly zoned plagioclase from Imki mine(pl), X40. (2) Rhyolite, Cheunbulsan Mine, showing flow layering X33. (3) Rhyolitic welded tuff, Miryang Mine showing fragments of plagioclase and chips of quartz, X33. (5) Pyrophyllite, Wondong Mine showing fibrous pyrophyllite, X40. (6) Dumortierite (DU), Miryang Mine. Dumortierite, bladed crystal, elongate to (001), X40.

조직을 보여준다.

본 지역의 관입 시기를 1) 115-90 M.Y. 2) 90-70 M.Y. 3) 68-41 M.Y.로 K-Ar법에 의해 3시대로 나눈 바 있다(이운중, 1980). 한국과 관입시기가 비슷한 일본·중국지역의 흑운모 화강암의 관입시기를 76-77 M.Y. 견운모질 납석 광상은 77.5 M.Y., 고령토 광상은 79.5-55.6 M.Y.,로 보고된 바 있다(Kitagawa, 1988).

흑운모 화강암: 본 암은 화강 섬록암, 각섬석 흑운모 화강암체가 광상의 주변부에 관입되어 불국사 화강암의 최종 분화체인 것이 짐작된다. 각섬석 흑운모 화강암과 흑운모 화강암간에는 점이적 현상으로 입도는 세립화되며 각섬석 함량이 감소됨에 따라 흑운모가 증가되는 양상을 띤다. 본 암은 중립질 조직으로 석영, 장석, 흑운모 등은 육안적으로 식별이 가능하며 안산암 또는 호온펠스의 포획균을 가지는 경우도 있다. 현미경하에서 석영, 정장석, 미사장석, 사장석, 흑운모 등으로 일부 변질된 녹니석, 견운모와 미량의 석석, 저어콘, 인회석 등이 수반된다.

고령토-납석광상

본 지역의 광상 부존 지역은 동래, 양산 지역과 북부

지역인 밀양, 매전, 월성지역까지 연장되어 주변부에는 소규모의 광상이 산재하며 종전까지 본역의 지질 광상 성인에 대한 연구 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 동래 부근의 납석 광상은 안산암질암을 모암으로 안산암 중에 관입한 화성암의 열수작용에 의하여 생성되었다(지정단, 1962; 박기화 외, 1989).

2) 유천지역에서는 안산암질암 중에 협재된 회질 응회암 혹은 유문암질 용결 응회암 중에 수반된다(홍승호 외, 1988).

3) 밀양 광산에서는 밀양 안산암 중에 납석 광상이 발달하며 일부 납석 광상에서는 유문암질 응회암내에 배태된다(김규봉, 1988; 한국의 광상, 1988).

이와 같은 문제점을 규명하기 위하여 광상의 산출상태, 모암 변질, 광물 조성 등을 검토하였다.

암녹색의 안산암류는 동래, 양산, 김해, 밀양, 매전 등 지역의 납석 광상 부존대의 하위부에 넓게 분포하며 동래 동북부에서는 층후가 500 m 이상에 이르고 있다.

동래 양산 지역의 광상

광상의 산상을 규명하기 위하여 변질 작용으로 생성된

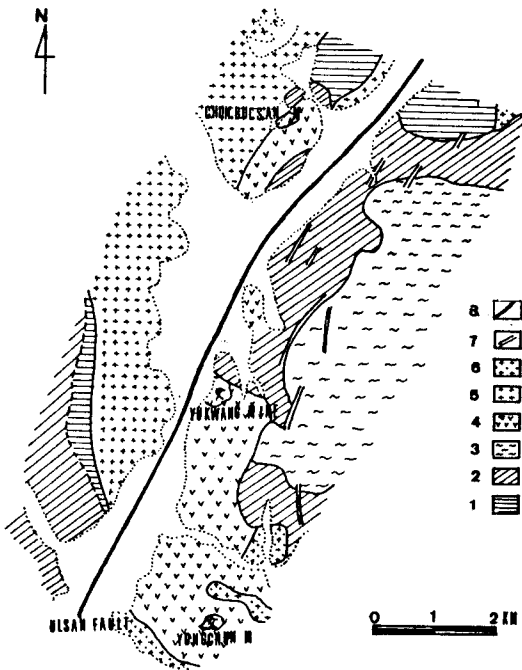


Fig. 3. Geologic map of the Tongnae-Yangsan area. 1. Daeyangdong formation, 2. Andesite rock, 3. Welded tuff, 4. Rhyolitic tuff, 5. Hornblende biotite granite, 6. Granite porphyry, 7. Acidic dyke, and 8. Fault.

원암의 조직, 광석 광물 변질작용의 관계를 광체 중심에서 외측으로 납석-고령토가 수반되는 곳을 부광대, 석영-고령토-납석이 수반되는 곳을 강변질대, 원암조직이 반이상 차지하는 곳을 변질대로 야외에서 구분하였다.

본 역은 부산-울산간의 국도를 중심으로 한 임기-서생간의 동쪽에는 용천, 유광, 임기, 동래, 서쪽에는 천불산 광상 등이 있다. 1990년 6월 현재 2개 광산만 가행되고 그의 광산은 휴광 또는 채진되었다. 본 역의 광상분포는 표고 30~200 m 내외에 부존하여 노천 채굴로서 유광, 용천 광산에서는 항내 채굴을 하고 있다. 본 지역의 광상 모암은 중전까지는 주사산 안산암이 변질 작용을 받은 변질 안산암이 발달한다고 보고한 바 있으나 대부분 유문암질 용결 응회암으로 구성되어 N30°~40°E의 주향으로 발달되어 광상은 소단층과 절리가 발달된 곳에서 불규칙적으로 부존된다. 주 채굴적의 광상은 북서 방향으로 발달되며 광석은 납석이 주성분 광물로서 견운모, 고령석을 함유하고 임기, 천불산광상에서는 듀머티어라이트(dumortierite)가 광염상으로 광석의 열극절리면에 따라 반상 또는 방사상으로 나타나고 있다(Fig. 7-2). 납석은

지방감으로 연결감을 띠고 있다. 광석내에는 미립 황철석의 자형 내지 타형의 세립 집합체가 납석 광화대의 약선대에 따라 발달되고 있다. 광석의 일부가 갈색-적갈색을 띠는 부분은 황철석의 산화에 의한 것으로 사료된다. 수반 광물로서는 납석을 위시하여 견운모, 고령석, 석영, 사장석 등이며 일부 다이아스포아, 명반석, 강옥, 녹니석 등이 소량 수반되며 임기 광산의 폐석 중에 0.5~10 mm 내외의 휘수연석이 수반된다.

김해 덕봉 광산 지역에서 소위 팔용산 응회암 중에 광상이 배태되며 층리와 경사는 N40°~70°W, 25°~40° NE로 나타나고 구 작업장 폭 30 m 연장 50 m로서 (기 채굴) 작업장 동부는 N30°W-75°SW 단층이 발달되어 단층에 따라 일부 홍주석, 황철석 등의 미립 집합체 광물이 수반된다. 모암 변질 과정은 납석-고령토대, 강변질대, 약 변질대로 이화되고 있다.

납석대는 황갈색의 납석-견운모 광물로서 연결감을 지니고 폭은 100~350 cm 내외로 40~50 m로 연장되나 곳에 따라 소단층 또는 절리에 의해 절단되어(10~30 cm 내외) 단층점토가 형성되어 있으며 수반 광물은 납석, 견운모, 석영 등이 주성분 광물로 수반된다. 부광대 중심에서 외측 상부에는 명반석, 하부에는 다이아스포아, 듀머티어라이트 등이 수반된다(Fig. 3).

강변질대는 5~10 m 폭으로 형성되어 회색 내지 회백색을 띠며 납석, 견운모, 고령토가 함유되고 황철석은 0.1~2 cm의 자형으로 수반되며 일부 비변질된 사장석, 석영 등의 입상 조직을 보여준다. 약변질대는 강변질대의 외곽부에 분포하여 약변질 작용을 받아 현미경하에서는 유문암질 용결응회암의 유상 구조를 보여 주고 있다. 본 지역의 광상모암은 유문암질 용결 응회암 중에 관입된 흑운모 화강암에 의한 열수 변질 작용에 의해서 생성된 것으로 사료된다.

유광, 임기 광산의 모암은 유문암질 용결 응회암으로 구성되며 주향과 경사는 N40°~50°E, 70°~80°SW로서 층후는 10 m 내외로서 각섬석 화강암은 광산 서남방향에 암상으로 관입되어 있다. 납석 광석의 변질대는 유문암질 용결 응회암층에 배태되며 일부 광상은 단층 열극 방향인 N45°~60°W로 발달된다. 부광대는 견운모, 고령토로 조성되어 청회색을 띠고 듀머티어라이트가 광석의 열극 혹은 절리면에 따라 광염상으로 배태된다.

광화대에서 규화대로 이화되면 백색의 자형 석영은 외측으로 가면서 타형의 석영 교질체로 형성되어 일부 황

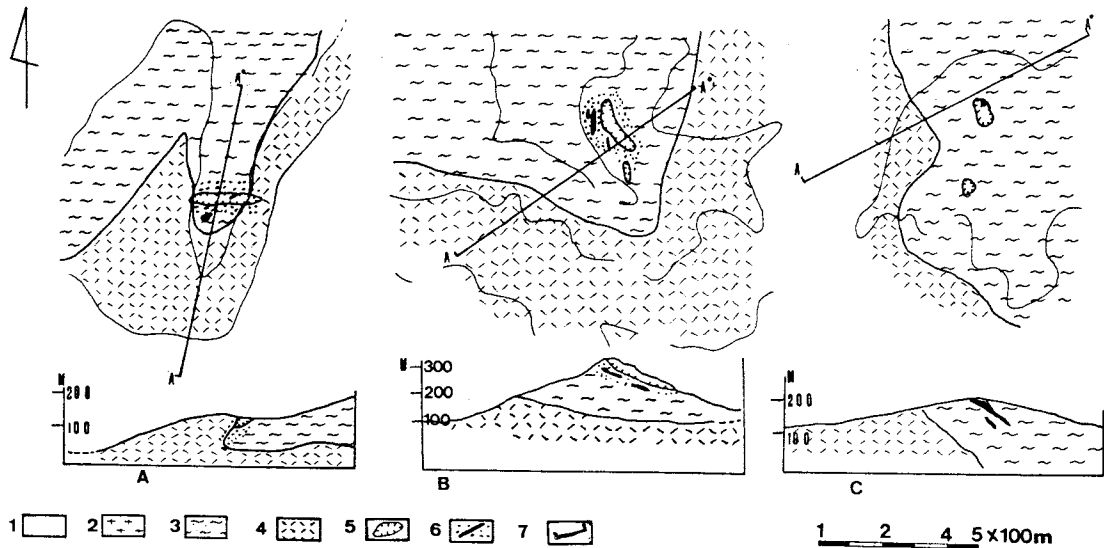


Fig. 4. Geologic maps of Wondong (A), Miryang (B), and Gyeongju mine(C). 1. Alluvium, 2. Granite Porphyry, 3. Rhyolitic welded tuff, 4. Andesite rock, 5. Mining area, 6. Clay pits, and 7. Cross section.

철석이 석영에 광염되어 적갈색의 규화대를 4~5m의 폭으로 형성하고 있다(Fig. 4-A~B).

밀양 지역의 광상

본 지역의 광상 부존대는 표고 200~325m로 북쪽으로 점차 광상위치가 높아지고 있다. 본 역의 광상 부존대는 김해 생림에서 남북 방향으로 표고 100M/L에서 북쪽인 밀양에서는 200~320 M/L, 청도 매전지역에서는 300~350 m로 점차 광상 부존대가 높아지는 경향을 보여주고 있다.

부근 지질에 대해서는 야마나리(1924), 김상욱(1982), 김규봉 외(1988), 홍승호 외(1988)에 의해서 하위층부터 유천층군(안산암질암류와 유문암질암류)과 후기에 관입된 산성 화강암으로 구성된다고 하였다. 광상 부존 지역에서는 안산암류가 최하위층을 이루고 현미경하에서는 사장석, 각섬석, 휘석, 석영 등과 미량의 불투명 광물로 구성되어 있다. 사장석과 휘석은 미분반상의 석리를 이루고 반정은 1mm 내외로서 사장석은 단주상의 결정이 산포된다. 모암은 유문암류에 속하는 유문암질 응회암 내지 유문암질 용결 응회암으로 구성되며 김해 밀양 등 지역에서는 하부에 일부 1~2mm의 안산암질 각력을 함유하고 흑운모 화강암, 각섬석 화강암이 광상 주변부에 관입되어 있다 (Fig. 4-B).

밀양 광상의 모암은 유문암질 용결 응회암으로 갈색 내지 담회색을 띠며 주향은 N39°~50°E 경사 20°~40° S로 발달한다. 광상은 층리에 따라 렌즈상 또는 층상으로 배태되며 부광체 폭은 10~20 m 내외로 불규칙적으로 배태된다. 부광대 하반에는 불규칙적으로 층후 20~30 cm 내외의 합다이아스포아대가 발달하고 직경은 3~5cm 정도이며 구상이 큰것은 7~8 cm 내외의 것도 간혹 수반되고 있다. 일부 열극 소단층대에는 미립의 점토가 충전되기도 한다. 부광대의 광물 조성은 납석, 고령토, 듀머티어라이트, 다이아스포아 등으로 구성되어 있으며 담청색의 듀머티어라이트는 미립의 집합체로 2~3mm내외로 반상, 층상 또는 선상으로 배열되어 부존된다. 일부는 타원상으로 부존하기도 한다. 부광대의 광물 조성은 납석-고령토를 주 성분으로 하여 하부에 다이아스포아와 소량의 듀모오르티어라이트가 수반된다(Fig. 2-6).

월성 지역의 광상

본 역에서는 고령토(도석) 광상과 납석 광상으로 구성 되어 고령토 광상은 경주시 광명동에 위치하며 광상 부근의 지질은 안산암, 응회암과 후기에 이들을 관입한 유문암질암으로 구성된다. 유문암질암은 각섬석 안산암내에 N60°~80°W의 단층선을 따라 관입된 것으로 렌즈상을 이루고 백색, 담회색을 띠며 석영 반정이 되어 외관상

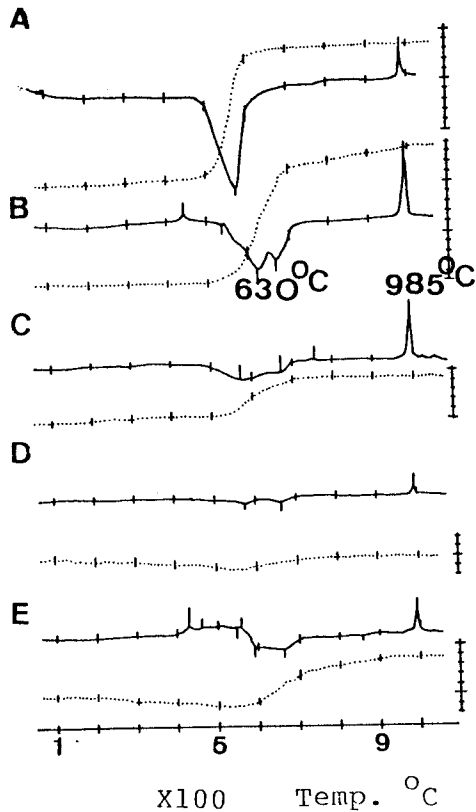


Fig. 5. DTA and TG curves of clay minerals. A, Miryang mine. B, Tongnae mine, C, Duckbong mine. D, Wondong mine. and E, Cheunbulsan mine.

유상구조가 발달되고 있다. 현미경하의 관찰에 의하면 자형 내지 반자형의 석기를 형성하고 타형의 석영 및 장석류가 주성분 광물로서 일부 사장석은 고령토화 작용을 받았다. 광상은 각섬석 안산암내에 발달된 구조선에 따라 관입된 유문암이 열수 변질 작용을 받아 생성된 광상이다. 유문암의 변질대는 광구번호 경주 70, 60호 내에 부존되어 폭 30~120 m 내외로 연장이 약 1,000 m 정도가 된다. 부근에 발달된 단층선에 따라 폭 1~2 m 열극대에 담홍색의 점토대와 일부 진주암이 부존된다. 그러나 부광체의 폭은 7~14 m 내외로 수 조의 광체가 시추 결과 확인된 바 있다(광업진흥공사, 1987). 납석 광상은 월성군 산내면 북내면 산내광상의 유문암질 응회암 중에 배태되며 유문암이 변질 작용으로 생성된 것으로 생각된다. 광체는 담회색-황갈색으로 연질로서 일부 부광체의 열극에 따라 20~30 m 내외 점토대가 형성되고 있다. 변질대의 발달은 폭 50~100 m 내외 200~250 m 연장으로 발달되나 부광체 폭은 3~6 m 내외로 층상으로 발달되고 주구성 광물로

납석, 고령석, 석영, 사장석 등이 수반된다(Fig. 4-C).

광석광물

야외에서 채취된 시료에 대하여 현미경 관찰, X-선회절, 시차 열중량분석, 주사현미경, 화학 분석 등의 실험을 통하여 광물 조성에 대하여 검토하였다.

다이아스포아 부존대

다이아스포아 광물은 밀양, 대전 광산의 부광체 중심부의 하반에 30 cm 내외의 박층을 형성하여 타원형의 역으로서 미립 및 세립질은 내경이 3~4 cm에서 10 cm 내외의 것도 수반된다. 다이아스포아의 절단면 내에는 2~5 cm의 공동을 이루고 주변부에는 미정질의 황철석과 적철석의 집합체로서 다이아스포아 광물은 조립질 또는 원력상으로, 박층에 배태되는 양상은 광상 하부층에 부존되는 화산각력암의 암상과 유사하다. 이 암상은 회백색 내지 담홍색으로 경하에서는 은미정질로 직경 0.1~0.3 mm의 자형 결정으로 단주상을 나타내고 일부 고령석을 함유하고 있다.

시차열 분석에 의하면 다이아스포아는 500~600°C에서 흡열반응으로 대부분은 α -알루미나(Al_2O_3)와 결정수(H_2O)의 반응에 의한 것이다.

다이아스포아중 일부는 고령석으로 교대된 것으로 사료되며 광석 품위는 SiO_2 10.82%, Al_2O_3 60.56%, Fe_2O_3 1.51~12.87%의 분석치를 보여준다. 광물 분석표에 나타난 수치는 단일 광물이 아닌 광석 분석치로서 주요 광산별의 분석치이다. 그러나 시료채취점과 광물 조성비에 따라 성분치가 상이하며 이용도에 따른 물리적 특성도 상이하여 제품 관리에도 영향을 준다. 이와 같은 사례는 광상 규모에 따라 품위의 변화도 극심하여 함량과 황화물의 함량비에 따라 광석의 품위에 많은 영향을 주고 있다.

명반석 부존대

명반석은 광상 노두의 규화대에서 수반되어 치밀 견고하며 대부분은 채진되어 김해 덕봉 광산, 밀양 광산의 노두에서 확인되며 X-선 회절분석 결과 일부 석영이 수반되고 있다. 명반석은 담홍색을 띄고 현미경하에서 무색의 타형을 나타내고 규화대 부근에서 수반된다. 노두 부근에서 명반석이 형성되는 것은 지하수면 상부에서 열수

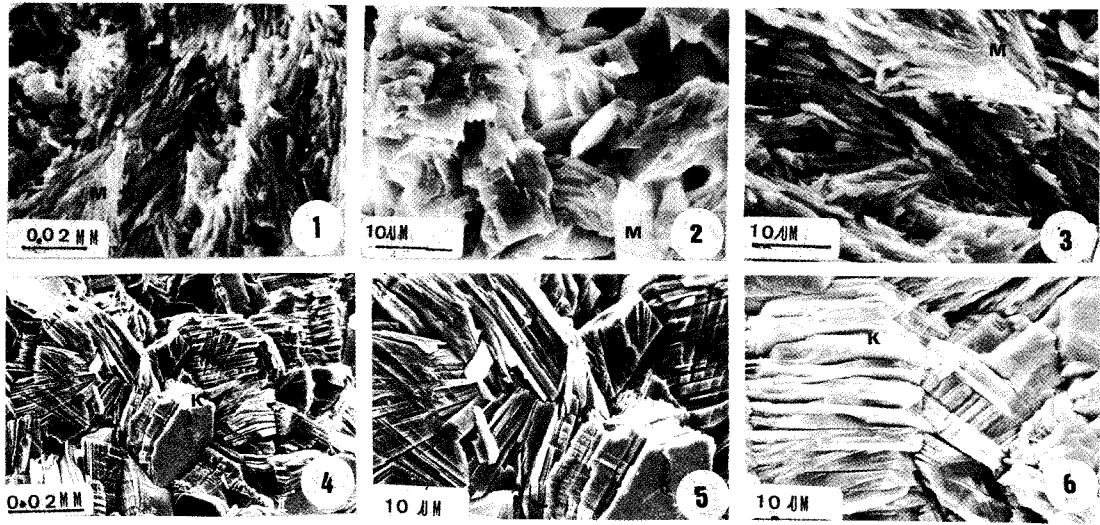


Fig. 6. Scanning electron micrographs of kaolinite (K) and dumortierite (D). Dumortierite from Imki mine (1), Cheunbulsan mine (2), and Miryang mine (3). Kaolinite from Miryang mine (4), Tongnae mine (5), and Maejun mine (6).

용액으로 인한 H₂S 생성에 기인된 것으로 생각된다.

납석 고령토 부존대

광물조성을 규명하기 위하여 XRD로 -2μm (Untreatment), Egthylene Glycol로 100°C/2 hr~600°C/2 hr로 처리하였다.

납석 고령토 광물은 본 지역의 주요 광석으로 외관상 회백색, 담청색 등 다양한 색깔을 지니고 있다. 조성 광물 순서로 분류한다면 납석-고령토, 견운모-납석, 고령토-견운모 등으로 구분된다.

대부분의 광석은 부광대를 중심으로 납석대-다이아스포아, 강옥(미립), 고령토, 견운모, 규화대(일부 명반석이 수반) 광물이 배태되는 것이 특징이다. 주사 전자현미경(Fig. 6) 관찰에 의하면 고령석은 육각판상의 자형을 이루고 입경 1.5~2 μm 내외이다. 이와 같은 결정이 발달된 것은 밀양 광산에서 관찰된다. 유광 광산에서는 운모류 광물에 속한 견운모가 함유되어 X-선 회절상에서 다형으로 나타난다(Fig. 8).

Brindley et al. (1970)은 납석 광물의 다형(polytype)에 대하여 납석 중에 고령토가 공생하는 경우는 단사정계, 고령토 광물이 최소한 경우는 삼사정계로 나누고 있다. 자연상태에 있어서 안정 관계는 확실치 않고 합성 실험 결과 삼사 정계가 고온에서 안정하다고 Ehenl(1979)가 보고하였다.

고령석의 결정도가 높은 것은 7.2~3Å, 3.6Å에서 높은 봉우리로 회절된다. DTA/TG 결과 610~665°C 에 흡열반응이 일어나고 11% 내외로 중량 감소하며 본 지역에 산출되는 작열 감량은 4.00~6.00%의 내외 함량이다(이론치 Al₂O₃ 28.3%, SiO₂ 66.7%, H₂O 5.0%). 알루미늄 함량은 납석 이론치보다 30% 이상 함유된 것은 다량의 고령석이 된 것에 기인된다. 단사 정계에 속한 납석은 4.46Å에서 봉우리가 높으며 20 35°이상의 고각도 회절에서는 대단히 넓은 봉우리의 특징을 나타낸다. 납석/스멕타이트의 불규칙한 혼합층상을 형성하는 가능성을 보여 주고있다. 고령석, 덕카이트와 나크라이트는 다형으로 납석과 공존하는 고령석과 덕카이트가 수반된다. 이와같은 양상은 열처리 결과 550°C 에서 7.2~7.3Å에서 봉우리가 소멸되고 일부 시료는 570°에서 약한 흔적을 나타내고 있다(Fig. 9). Brindley(1980)는 고령석과 덕카이트의 구분은 다형에 속하는 고령석을 550°C 열처리로 소멸되고 잔존하는 것은 덕카이트로 구분한 바 있다.

광석중 일부 시료를 절단 연마후 단면중 ABC 지점을 채취한 시료를 X-선 회절 결과 녹니석, 고령토, 덕카이트, 견운모, 납석 등이 공생하고 듀모르티어라이트가 절리 내지 폐각상 단면에 광염상으로 수반되고 있다(Fig. 7-2). 종전까지 이들 광물의 대부분을 천연수형으로 구분된 바 있다. Reyes(1970)는 필리핀 지열 지대에 산출되는 덕카이트는 고령석보다 고온 생성물이라고 발표한 바 있다.

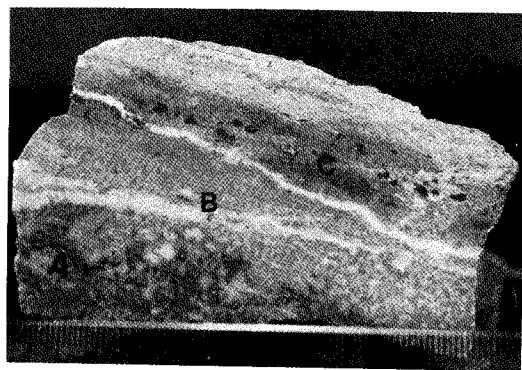
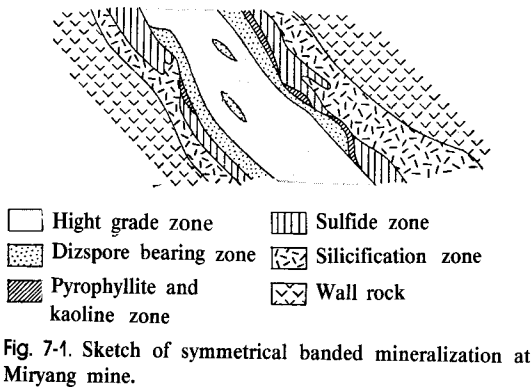


Fig. 7-2. Polished ore slab of clay mineral at Miryang mine. White bands are kaolinite, partly altered to chlorite (B). A and C are dumortieite.

규화대

규화대는 남석대의 상하부에 회백색을 띠고 매우 단단하다. 현미경하에서 석영의 자형과 일부 원암 조직을 가진다. 이는 강변질대와 유사하여 석영 입자 주변부에 음미정질의 고령석이 수반된다. 황철석의 미립 결정은 변질대를 중심으로 광염상을 나타낸다.

듀머티어라이트

듀머티어라이트 산상은 고령토-남석 광석의 절리면에 따라 광염상과 입상 또는 방사상으로 음미정질의 집합체로 수반된다. 단결정은 주로 페그마타이트, 변성암과 Pneumatolytic-용액의 최종으로 생성된다(Grametal Bare, 1959). 본 광물은 동래 임기광산에서 광염상으로 광석 중에 배태되거나 방사성을 띠는 듀모오르티어라이트는 매질 밀양

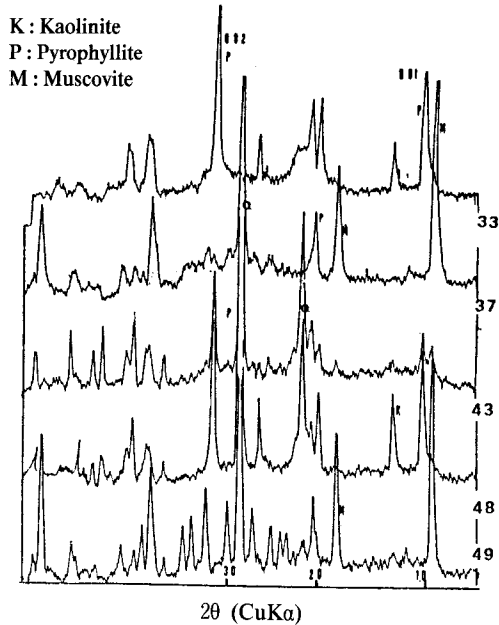


Fig. 8. X-ray powder diffraction patterns of representative samples from the Tongnae-Yangsan area (Untreatment). 33. Imki mine, 37. Imki mine, 43. Chunbulsan mine, 48. Yukwang mine, and 49. Tongnae mine.

광산의 부광대에 수반된다(Fig. 2-6과 Fig. 6-1~3).

X-선회절 분석

본 조사지역의 18개 중요 광산에서 채취된 시료를 대상으로 X-선회절 분석을 실시하였다. 주성분 광물은 남석에서 (dÅ 9.21, 4.51, 4.40)으로 일부 밀양광산에서는 고령석, 디카이트로 (dÅ 9.75, 3.37, 2.26, 2.45, 2.18) 확인되었다.

각 변질대별로 산출되는 광물은 누대구조로 남석-다이아스포아 규질남석대(강변질대) 약변질대(석영, K-장석, 고령석)순으로 광물조성을 확인할 수 있다(Fig. 3-2).

시차 열분석에서 110°C 에서 흡착 수분의 감량과 570~630°C 내외에 흡열 반응, 988°C 에서는 강한 발열반응을 나타내고 있다(Fig. 5).

광상 형성 과정

점토 광상의 부존대는 남쪽에서 동래, 양산 지역은 표고 30~150 m 내외의 낮은 구릉지역에서 산출되며 한편 밀양,

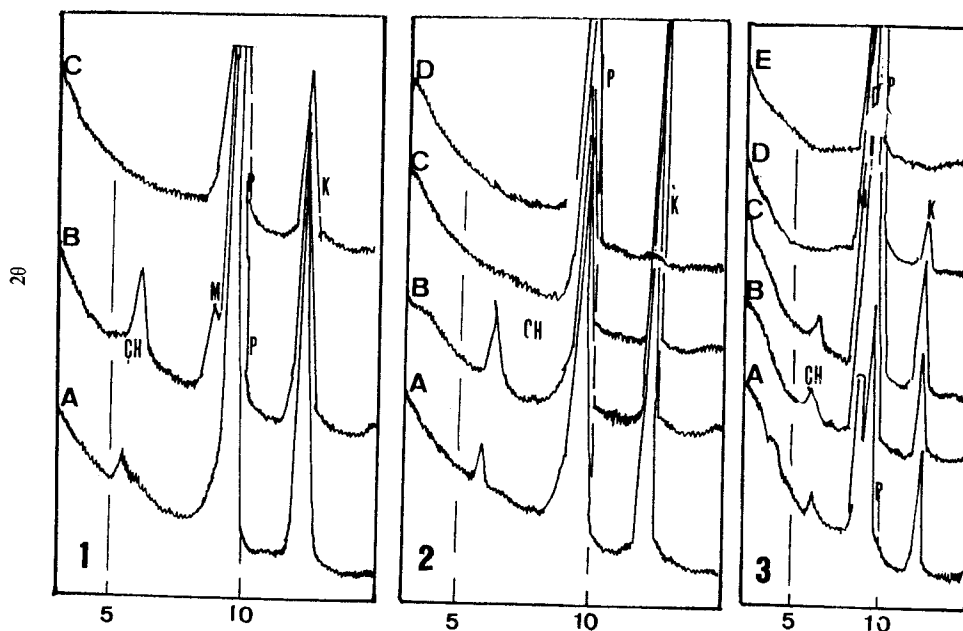


Fig. 9. Left) X-ray powder diffraction patterns of polished slabs as shown in Fig. 7-2 from Miryang mine (Cu α radiation). A: lower part, B: middle part, and C: upper part of the specimen. Middle) XRD patterns of sample B in the left with various treatment. A: untreated, B: ethylene glycoled, C: 500°C/2 hr, and D: 550°C/2 hr. Right) XRD patterns of other proportion of sample B. A: untreated, B: ethylene glycoled, C: 550°C/2 hr., D: 570°C/2 hr., and E: 600°C/2 hr. Keys: D; dickite, K; kaolinite, P; pyrophyllite, Ch; chlorite, and M; muscovite.

매진지역에서는 200~370 m 내외에서 층상 또는 불규칙 괴상으로 부존된다. 부존상이 남쪽에서 북쪽으로 갈수록 높아지는 경향을 보여준다.

납석 광상의 형성 과정은 지질학적 여건, 열수의 물리 화학적 특성에 따라 광상의 규모, 산출 상태, 광물조성 등이 현저한 차이를 나타낸다고 Iwao(1972)가 보고한 바 있으며 Lindgren(1972)은 천연수 광상의 생성온도를 50~200°C 정도로 보고, 심열수 광상도 반드시 심도에 비례하지는 않는다고 하여 화산 활동과 연관시켜서 천연수 광상은 심부(지하 2~3 Km)의 환원 조건하에 존재하던 열수가 얇은 부근에 상승함에 따라 여러 양상의 변화 과정을 밟게된다.

광역 변질대는 녹염석, 스�멕타이트, 불석이 수반되며 광화대 주변부에서는 견운모대, 녹니석, 프로피라이트, 저온 스�멕타이트의 변화 과정이 일어난다(Eiji, 1990). Yellow Stone Park의 지열대에 생성되는 온도를 Na-mont. 185°C, K-운모 243°C, 백운모 295°C, 흑운모 325°C, Fe-Mg 녹니석 220~325°C 등으로 지열대의 점토 광물의 산상 온도로 보고된 바 있다(Hayashi, 1986).

Leonard et al (1964)는 Al, Si Gel로 400°C 500 Psi에서

고령토와 합성 실험을 하였으며 Ehert Hower(1955)는 Al, Si Gel로 250~343°C 조건하에서 고령토, 납석을 합성하였으며 Brindley and Windle(1970)는 자연에서 산출되는 납석 광물은 삼사, 단사정계의 두형이 존재하여 고령토가 수반되는 것은 단사정계에 속하고 dÅ 4.07Å, 3.18Å는 삼사정계에 속한다고 보고한 바 있다. 본 역 부근의 납석 광상의 산상 및 규모는 소규모로 불규칙괴상이다. 종전까지 규모가 크다고 알려진 천불산, 임기, 용릉 광산은 채진되어 휴광상태이다. 유광, 용천 광산을 제외하고 노천굴로 채광하였다. 변질대의 폭은 50 m 내외로 연장은 500 m 이내이다. 대체로 광산의 산상을 요약하면 누대 구조로 대칭적으로 형성되어 있다(Fig. 7-1).

본 역의 고령토-납석 광상의 형태는 누대구조로 발달되며 특히 밀양 광산에서 관찰된다(Fig. 7-1). 고품위대(고령석-납석)를 중심으로 상하반이 대칭적으로 광물이 배열된다. 정출 순서는 고온에서 저온으로 초기에는 강옥-다이아스포아-납석-견운모-명반석-딕카이트-고령석-석영-황철석-적철석-녹니석-스멕타이트 순으로 생성된 것으로 사료된다.

부광대에서 약변질대로 이화되면서 광석광물 수반상태

Table 2. Occurrence of kaoline-pyrophyllite deposits.

Area	Tongnae & Yangsan	Miryang	Wolsung
Country rock	Rhyolitic welded tuff.	Rhyolitic welded tuff	Rhyolitic tuff.
Mineralization	Fissure zone, Intrusion rock.	Fissure zone, Intrusion rock.	alteration of country rock and fissure zone.
Occurrence	Irregular massive, Lenze type, and funnel type	Irregular massive and layer type	Irregular massive and layer type
Ore Body	N40~55E 100×50×50 m small mass	N30~55E 200×100×10 m small mass	N20~50E 200×30×500 m small mass
Alteration zone	pyrophyllite-kaoline altered zone. sericite, high altered zone.	pyrophyllite-kaoline altered zone.	pyrophyllite-kaoline altered zone. pyrophyllite-quartz altered zone.
Mineral Assemblage	pyrophyllite-kaolinite. sericite	pyrophyllite-kaolinite. sericite	pyrophyllite-kaolinite. quartz-kaolinit
Associated Minerals	diaspore, alunite, and dumortierite	diaspore, alunite, and dumortierite	alunite and sericite(mica)

Table 3. Chemical analyses of kaoline-pyrophyllite ore in the Yeoungnam area.

Elements % Sample. No.	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	K ₂ O	Na ₂ O	SK
Cheunbulsan 037	57.71	32.10	1.41	0.11	0.09	0.04	0.15	34
046	58.67	33.35	0.96	0.03	0.08	0.12	0.46	34
Yeoungchun 053	74.81	20.25	1.25	0.05	0.02	0.19	0.27	26
054	68.56	26.23	1.45	0.03	0.05	0.17	0.36	27
Imki 061	45.10	36.90	0.11	0.07	0.06	0.14	0.39	35
062	56.30	32.40	0.12	0.08	0.07	0.74	0.32	30
Yeukuang 065	68.52	26.12	1.45	0.03	0.02	0.13	0.25	27
Duckbong 071	62.31	25.40	1.69	0.09	0.37	2.31	0.38	26
075	66.40	22.91	1.04	0.08	0.41	2.64	0.31	28
Miryang 101	54.89	35.81	0.18	0.07	0.02	0.07	0.27	35
102	56.80	35.61	0.25	0.09	0.05	0.01	0.08	35
103	10.82	60.56	3.50	n.a	n.a	n.a	n.a	37
Maejun 105	55.61	37.72	0.37	0.20	0.02	0.16	0.47	36
106	56.01	34.01	0.25	0.19	0.03	3.32	0.41	34
Kyongju 107	55.20	33.04	0.14	1.15	0.26	1.01	2.18	34
108	56.08	32.91	0.18	0.93	0.25	1.12	2.07	33

n. a; not analyzed.

도 달라지며 녹니석의 함량도 점차 증가되는 양상을 보이고 경하에서 유상조직을 나타내어 미변질된 유문암질 응회암의 조성이 명확하게 나타나고 있다. 조성광물도 미립에서 중립-조립으로 이화되고 있다. 광석 중에 함유된 불투명 광물의 황철석은 일부 산화되어 갈철석으로 광염되어 적갈색으로 나타나고 있다. 한편 광석 중에는 열수 작용에 의하여 황성분이 농집된 것으로 미립의 황철석, 백철석이 광석내에 자형으로 집합상을 이루고 있다.

본 지역의 광산의 광물조성은 검토해 보면 세 유형의 광물조성으로 나타난다. 이들 광물조성에 해당되는 대표적인 시료의 X-선 회절도에 의하면 A형은 납석을 주성분으로 하는 견운모, 고령석으로 구성되고, B형은 납석을 주성분으로 하는 녹니석과 듀머티어라이트로 구성되는

광물조합이며, C형은 납석과 고령석을 주로하는 다이아스포아로 구성되어 있다(Fig. 9).

모암은 백악기 후기 운문산 유문암질로 사료되는 유문암질 용결 응회암 중에 납석-고령토 광상이 부존되며 곳에 따라서 하위층의 화산 각력층, 용결 응회암층이 일부 변질작용을 받고 있다. 김해, 생림 광산 등에서는 N30°~70°W 주향에 25~40°E로 경사하여 모암 하위부에는 라필리 응회암 및 화산 각력암이 분포되며 김해 광산에서는 N60°E, 40°E 덕봉 광산 N40°~70°W, 25°~40°E 밀양 광산 N30°~45°W, 20°~30°S 용천 광산 N40°W, 28°NW로 N60°E에서 N70°W로 모암의 주행선을 나타내고 있다. 모암의 층후 50~250 m 내외로서 일반적으로 암녹색의 안산암질 상위부에 부존된다.

종전까지는 안산암질이 산성 화성암의 관입으로 안산암이 열수 변질물로 고령토-납석광상이 형성되었다고 보고된 바 있으나 금번 조사로 유문암질 용결 응회암층에 배태되는 것을 확인했다(Table. 2).

광상 주변부에는 산성 화성암 등이 관입되어 있으며 열수 작용은 단층 및 약선대에 따라 광화용액이 침투. 유입되므로 광상은 일부 층상(천불산, 밀양광상) 불규칙 괴상 및 누두상(임기, 김해, 원동, 매전광산)으로 부존된다.

임기, 철마 부근의 각섬석 화강암의 관입시기를 81 ± 3 M.Y.로 견운모 65 ± 3 M.Y.로서 최소한 각섬석화강암 이후인 것으로 추정할 수 있다.

한편 일본, 중국지방의 납석광상의 부근에 관입된 혹은 운모화강암 연대는 86-76 M.Y.로 유문암과 안산암질 응회암은 77-79 M.Y.로 최근 보고된 바 있다(Kitagawa, 1988).

이와 같은 견운모 65 ± 3 M.Y.이므로 최소한 산성 화성암 초기의 관입 이후 생성된 것으로 생각된다. 이 부근 관입 및 분출 순서를 용약하면 안산암 관입-화산쇄설암 퇴적-유문암질 암석 분출-화강암 순으로 들 수 있다.

결론

본 역의 고령토-납석 광상은 열수 광상으로서 백악기 말에서 제3기 초에 형성된 것이며 광상형으로 고령토-납석광상과 도석 광상으로 형성되어 있다.

광상의 주요 광물은 납석, 고령토, 견운모 등으로 구성 되어 있고, 수반광물로서는 봉산염광물인 전기석, 듀모오르티어라트, 알루미늄질 점토광물로서는 덕카이트, 다이아스포아, 스토라이트, 홍주석, 강옥 등과 금속 광물, 방연석, 휘수연석 등 고온성 광물로 구성되어 있다. 종전까지 본 역의 광상은 천연수 광상으로 인지되어 왔으나 종전의 개념을 유의하여야 될 것으로 사료된다.

광상 모양은 운문사 유문암질 응회암으로 구성되어 있다. 본 암의 층준에는 용열응회암류가 박층으로 협재된다.

유문암질 응회암류 중에 그 후 관입된 산성 화성암류가 NE-NS 방향의 약선대를 따라 상승된 열수가 지표 부근까지 상승된 강산성의 열수 용액이 유문암류를 고령토-납석화 시켰다.

열수 변질 작용은 각 변질대의 누대 구조로 규화대를 중심으로 고령토 견운모 납석대(부광체)-강변질대-약변질대-규화대 순으로 배열되는 것은 강산성의 열수 용액이 모암의 변질이 진행됨에 따라 용액은 약산성으로 되어

현재와 같은 누대 배열을 형성시켰다. 변질작용이 종료된 후에도 화성 활동이 계속하여 부근에 발달된 양산 단층으로 단층운동이 계속된 것으로 생각된다. 본 지역의 광상의 규모는 50~300 m 이내로서 변질작용이 한정되어 불규칙 층상, 괴상, 누두상으로 배태되는 것이 특징이다.

중요 광물로서 납석, 고령토를 주성분으로 견운모, 듀머티어라이트(밀양, 임기, 매전) 다이아스포아(밀양), 브오마이트, 홍주석, 휘수연석(임기) 등이 소량 내지 미량으로 수반된다. 알루미늄계통인 다이아스포아-고령토 등은 수화물 상태에서는 안정되나 일반적으로 홍주석은 다이아스포아, 듀머티어라이트 등은 물과 압력이 화학 평형 상태가 높은 조건하에서 생성된다. 본 지역에서 소량의 전기석, 듀머티어라이트, 휘수연석이 덕카이트 등은 고온성 광물로 수반되는 것은 고온성 마그마에 기인한 것으로 사료된다.

한편 Gibbsite, Boehmite, 다이아스포아는 충분한 시간과 화학적 조건이 구비된다면 한정된 압력조건에 의해서 생성되며 $Al_2O_3-SiO_2-H_2O$ 계의 합성 실험 결과 고령석이 물과 반응하여 납석, 다이아스포아로 전이 된다고 한다(Hemly et al. 1980).

Henley(1984), Browne(1987)는 Al계 규산염 변질광물의 안정 영역은 대부분 온도에 의존된다고 하였다. 다이아스포아는 충분한 시간과 화학적 환경이 구비되면 생성된다는 것을 증명해 주고 있다.

화성활동과 관련하여 심부의 환원적 여건의 고온 열수가 지상의 얇은 곳으로 상승하여 유문암질응회암에 변질 작용을 촉진시켰다.

참고문헌

- 김규봉, 황상구 (1988) 밀양도폭. 한국동력자원연구소, p. 1-25.
 김기원, 박용안 (1964) 청도도폭. 국립지질조사소, p. 1-18.
 김남장, 진명식 (1971) 모량도폭. 국립지질조사소, p. 1-19.
 김상욱 (1982) 북부유천지역내에 분포하는 후기 백악기 화산암류의 암석학적 연구. 서울대학교 대학원 박사학위논문, p. 30-60.
 김용훈 (1987) 경남 양산 천불산 납석광산의 성인연구. 부산대학교 대학원 석사학위 논문, p. 30.
 김종환, 김정택 (1963) 마산도폭. 국립지질조사소, p. 1-25.
 광업진흥공사 (1987) 광산시추조사보고 제10호, p. 483-515.
 박기화, 오민수, 박노영 (1989) 창기 납석 광상에서의 금속광화작용에 대한 연구. KR 89-2A-1 p. 315-341.
 박양대, 윤형대 (1968) 울산도폭. 국립지질조사소, p. 1-20.
 상기남 (1986) 한반도 남부지역의 고령토-납석광상 생성기구. 광산 지질 특별호, 19권, p. 43-52.

- 손치무, 이상만, 김영기, 김상욱, 김형식 (1978) 동해·월래도폭. 자원개발연구소, p. 1-27.
- 이동진, 이성록, 김대엽 (1988) 비금속광물 특성연구. KR-88-2 B-2, p. 1-88.
- 이민성, 강필중 (1964) 양산도폭. 국립지질조사소, p. 1-24.
- 이윤중, 이인기 (1972) 연양도폭. 국립지질조사소, p. 1-22.
- 이윤중 (1980) 한국 동남부 경상분지 남부지역 화강암류 (1) (일문). 암석, 광상 광물 학회지, 75-1권, p. 105-106.
- 이창석 (1986) 경남 양산 유광 납석광상의 성인에 관한 연구. 부산대학교 대학원 석사 학위논문, p. 1-50.
- 지정만 (1962) 납석광상의 성인. 서울대학교 대학원 석사학위 논문, p. 1-13.
- 차문성 (1985) 경상분지 동남부의 환상구조. 부산대 사대논문집, 11권, p. 369-386.
- 홍성우, 최민영 (1988) 유천도폭. 한국동력자원연구소, p. 1-15.
- 山城不二磨 (1924) 밀양, 유천도폭 (일). 지질조사소, p. 1-15.
- Brindley, G.W. and Brown, G. (1980) Crystal structure of Clay minerals and Their X-ray identification. Mineralogical society, p. 1-124.
- Brindley, G.W. and Wandle, R. (1970) *Am. Mineral.*, v. 55, p. 1259.
- Day, H.W. (1976) A Working model of some equilibria in the system alumina-silica waters. *Am. J. Sci.*, v. 276, p. 1254-1285.
- Eberl, D. and Hower, J. (1975) Clays and clay mineral, v. 23, p. 203.
- Ellis, A.J. (1967) The Chemistry of some explored geothermal System. Holt, Rinehart and Winston, N.Y., p. 456-514.
- Ernest, G. Ehlere and Harver Blaft (1981) *Petrology, Igneous, Sedimentary and metamorphic rock.* W.H. Freeman and Company.
- Eiji Izawa (1990) Clay mineral in epithermal deposits. *Mineral. Mag.*, v. 17, Spec, 86, p. 17-24.
- Fletcher, C.J.N (1976) Mineralization with in the Gyeong-sang cretaceous basin Republic of Korea. KIGAM, p. 35-45.
- Frank, David (1983) Origin, distribution, and rapid removal of hydrothermally formed clay at Mont baker Washington. USGS. p. 1022E. E-1-13.
- Haruo Shirozu (1985) Formation of clay minerals by hydrothermal action and their mineralogical properties. *Clay Science*, v. 25-3, p. 113-117.
- Hemley, J.J., Montoya, J.W., Marinenko, J.W., and Luce, R.W. (1980) Equilibria in the system Al_2O_3 SiO_2 - H_2O and some general implication for alteration/mineralization processes. *Econ. Geol.*, v. 75, p. 210-228.
- Henley, R.W. (1984) *Review in economic geology.* v. 1, p. 69.
- Iwao, S. (1970) Clay and silicate deposits of volcanic affinity in Japan. *Univ. of Tokyo*, p. 267-283.
- Joel, N. Van Sant (1959) Refractory clay deposits of Colorado. USBM. RI. 5553.
- Jung Ho Ahn and Donald R. Peacor (1987) Kaolinization of Biotite. *Am. Mineral.*, v. 72, p. 353-356.
- Kenzo Ibaraki and Ryoichi Suzuki (1990) Wall rock alteration in the Hish Kari gold mine, Kagoshima prefecture. *Japan Mining Geology*, v. 40(2), p. 97-106.
- Leonard, A., Suzuki, S., Fripiat, J. and De Kimpe, C. (1964) *Jour. phy. chem.*, v. 68, p. 2608.
- Papezik, V.S. and Keats, H.G. (1976) Diaspore in a pyrophyllite deposits on the Avalon Peninsula, New foundland. *Can. Miner.*, v. 14, p. 442-229.
- Reyes, A.G. (1990) Petrology of Phillipine geothermal System and the application of alteration mineralogy to their assessment. *Jour. Volcanol Geotherm Res.*, v. 43, p. 279-309.
- Ryuji Kitagawa, Hirotsugu Nishido, Zuisho Ito and Setsuo Takeno (1988) K-Ar Ages of the sericite and kaolin deposits in the Chugoku district Southwest Japan. *Mining geology*, v. 38-2, p. 279-290.
- Sang, Ki Nam (1983) Pyrophyllite Clay deposits in the Republic of Korea. *Ind. Miner.*, p. 30-31.
- Steiner, A. (1968) Clay minerals in hydrothermal altered rocks at Wairakei. *N.Z., Clay mineral*, v. 16, p. 193-13.
- Weiss, Z. and Wiewiora, A (1986) Polytypism of micas III. *Clay minerals*, v. 34-1, p. 53-68.

