Jour. Korean Inst. Mining Geol.
V. 19, Spec. Iss., p. 43-52, 1986

韓半島 南部地域의 고령토—납석鑛床 生成機構

尙 基 南*

Some Aspects of Kaoline-Pyrophyllite Deposits in Southern Korea

Ki Nam Sang

Abstract: Kaolin-pyrophyllite are locally abundant in the three hydrothermal areas at Yangsan-Tongnae area, Hadong-Sancheong area and Haenam area, deposits are originally composed of acidic volcanic rocks and anorthositic rocks in Hadong-Sancheong area. The clay deposits are formed in the near shallow depths environment through acid hydrothermal alteration. Hadong-Sancheong halloysite deposits are formed by alteration of anorthosite. These differences are mainly on the various country rocks, geological structure and properties of hydrothermal solutions.

Country rock is mostly underlain by rhyolitic tuffaceous and anorthositic rocks and a large number of clay deposits were formed during volcanic activity through upper Cretaceous-lower Tertiary. Intrusive rocks is broadly distributed in this area and clay deposits are variable in shape-layer and funnel typed. Zonal pattern of mineral assemblage is as follows, Yangsan-Tongnae deposits-kaolinite, pyrophyllite, dumortierite, andalusite and sericite, Hadong-Sancheong-mostly halloysite, and Haenam-dickite, pyrophyllite, alunite and diaspore. The difference in the zonal pattern of altered rock is considered to depend on differences in the initial acidity of related hydrothermal solution, initial acidity was controlled by the oxygen fugacity.

序 言

粘土鑛床生成機構에 對한 硏究는 한 鑛床의 特定條件下에서 地質環境, 鑛物組成, 地球化學的 特性, 同位元素, 合成實驗方法 等으로 추구할 수 있으며 粘土鑛物에 대하여서는 層狀構造, 化學組成, X-線回折, 透過 走査 전자현미경, 熱力學的 實驗으로 母岩의 變質作用에 따른 論議가 可能하다.

韓半島 南部地域의 고령토·납석광상 賦存地域은 1) 河東, 山淸, 星州地域의 할로이사이트 광상(7~10Å halloysite), 2) 海南, 和順, 東萊, 梁山, 密陽地域과 南海岸 도서지역의 고령토·납석광상, 3) 靑松, 有光(梁山)地域의 견운모·석영·고령토광상으로 賦存地域이 區分되며 그외 光道, 金海, 月城, 淸道, 丹陽, 咸白, 康津等 地域에서도 粘土鑛床이 胚胎된다.

本 地域의 地質은 백악기로 사료되는 火山碎屑岩, 安山岩質岩, 凝灰岩質岩으로 構成되며 東萊 梁山地域의 地質構造는 北北東—北北西의 方向으로 密陽 梁山 東萊斷層이 發達되며 응회암층은 N10~30°E 方向으로, 海南 및 부근도서지역의 유문암질응회암 및 응회암층은 北北東—北北西 方向으로 發達된다.

* 釜山大學校 地質學科

粘土鑛床 生成時期는 中生代末부터 第三紀初까지이며 이 時期의 火山活動으로 因한 母岩의 熱水變質作用으로 고령토·납석鑛床을 形成시켰고 鑛體는 地域에 따라 層狀, 漏斗狀(funnel type)을 이루어 一定한 層準에 따라 發達된다.

組成鑛物로 粘土鑛物인 카오리나이트(kaolinite), 딕카이트(dickite), 할로이사이트(halloysite), 납석, 견운모등이 主成分鑛物로서, 명반석은 硅化帶周邊部에 수반되고, 소량내지 미량의 다이아스포아, 홍주석, 듀모티에라이트(dumortierite), 황철석, 백철석등이 수반된다. 生成機構에 관련된 조사연구는 一部地域은 報告가 있으나 主要鑛床周邊部의 地質系統과 母岩의 變質作用에 관하여는 토의된 바 없다.

本 報告는 韓半島 南部地域에 배태되는 고령토·납석鑛床에 對하여 從前資料와 熱水型 粘土鑛床의 生成機構에 대해서 論議코저 한다. 生成機構에 對하여 토의하여 주신 동력자원연구소 박노영 박사 및 연세대학교 문희수 박사께 사의를 표합니다.

粘土鑛床의 硏究

國內 粘土鑛床에 對한 調査硏究는 日人地質學者에 의한 探査와 (1945. 8月 以前) 정부수립 후 國內人만으

로(1945.8月 以後) 이루어진 調査 등 二段階로 旣分할 수 있다. 一次的으로는 日人에 의한(1906~1945) 旣知의 고령토·납석鑛床을 探査한 結果에 의해 玉埋 聲山 黃山 加沙島 院洞 光道 等의 납석광산과 河東고령토광산이 開發되었다. 1917年 初에는 玉埋鑛山이 本格的으로 開發되었으며, 이어 1921年에는 河東고령토가 日本 나고야 도자기 회사에 530屯이 수출되었다. 1936年에는 年産 9,325屯이 전국에서 채굴된 바 있다. 主要 粘土鑛床 賦存地域의 地質調査는 山成에 의해 密陽(1922), 楡川(1924), 木野崎에 의해 海南 右水營(1929)등 五萬分之一 地質圖가 發刊되었다.

韓半島 南部地域인 慶南 東萊, 梁山, 密陽附近과 全南 海南附近 및 附近島嶼地域의 고령토·납석광상 生成時期를 白堊紀 末부터 第三紀 初에까지 걸쳐서 火山活動에 의한 熱水變質作用으로 되었다고 木野崎(1934)는 지적하고 平壤 寺洞 및 三神耐火 粘土鑛床의 成因을 中國撫順炭田의 반토세일(Al. shale)과 同一時期로 추정하였다(土田, 1944). 白石(1976)에 依하면, 河東고령토鑛床의 成因은 灰長岩中에 貫入된 반려암으로 因한 熱水作用과 後風化作用으로 形成되었다.

國立地質調査所 발족과 더불어 國土全域의 非金屬鑛床의 한 分野로 粘土鑛床 探査가 實施되었으며 많은 鑛量의 確保와 鑛山開發에 기여하기에 이르렀다. 이와 併行하여 圖幅調査도 鑛床 賦存地域인 東萊, 彦陽, 梁山, 莞島, 智山等의 地質圖가 完成되었다.

조한익, 문희수(1977)는 海南 加沙島 地域의 납석·명반석鑛床의 母岩은 凝灰岩質岩과 流紋岩質凝灰岩으로 構成되어 鑛體는 NE-NS方向으로 發達되었다고 했으며 박홍범외(1982)는 莞島 加沙島地域의 鑛床形成은 凝灰岩層에 一部 石英斑岩의 貫入을 받았으며 和順郡 南面 및 梨陽面附近의 松石 납석광상은 天雲山層 上部에 피복된 凝灰岩層이 熱水變質과 접촉교대작용으로 形成되었다고 報告하였다. 東萊, 梁山, 密陽地域의 고령토·납석鑛床母岩은 長石斑岩, 玢岩, 安山岩質岩으로도 報告된 바 있다(山成, 1924).

韓半島 南部地域에 廣範圍하게 賦存된 고령토·납석鑛床에 대한 成因은 單純한 淺熱水型으로 大部分의 現地調査者의 成因에 관하여서는 意見의 一致를 보고 있다. 그러나 粘土鑛床附近의 地質系統에 對해서는 調査者에 따라 意見을 달리하고 있다.

熱水性 고령토·납석鑛床의 生成機構가 韓國과 類似한 日本의 고령토 납석鑛床을, 特히 熱水型에 대해 片山(1969)은 1) 高溫型, 2) Telescope型, 3) 납석型, 4) 淺熱水型으로 分類하였다. 鑛床形成은 中生代末부터 第三紀初까지 걸친 熱水作用을 成因으로 보았으며, 木野崎(1963)는 海南地域 납석鑛床을 日本 오까야마 三石 납석鑛床과 同一成因으로 凝灰岩層이 堆積後 淺熱水作用과 일부 분출가스등이 母岩을 變質시켰다고 하였다. 藤井(1979)은 三石 납석鑛床成因을 凝灰岩層이 上下 두 層으로 構成되어 납석鑛床은 下部層에만 隨伴되어 强酸性 溶液과 분출가스가 NE-NS方向의 단열대(fracture)를 따라 침투하여 母岩을 變質시켰다고 反論을 提起하였다.

木野崎(1969)는 韓半島 南部地域의 粘土鑛床을 鑛物組成別로 地質時代를 두 時代로 나누어, 流紋岩質凝灰岩을 母岩으로한 딕카이트—납석—명반석帶를 上部白堊紀로, 東萊·梁山地域의 流紋岩質岩을 母岩으로 한 고령석—납석—듀모티에라이트帶를 下部白堊紀로 추정하여 日本 고령토—납석鑛床과 鑛物組成上 유사함을 지적한 바 있다.

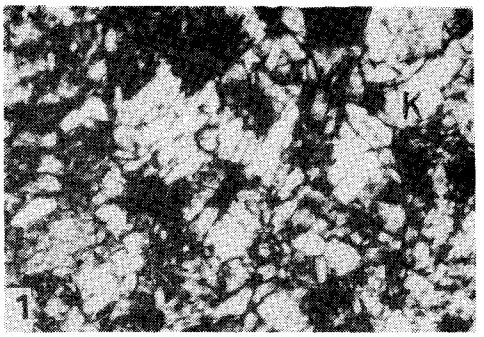
日本의 납석鑛床에 대해서는 많은 論議가 되었으나 國內 熱水性 粘土鑛床의 母岩 生成機構에 대한 論議는 없었다. 從前까지 本 地域의 地質은 酸性火山岩類와 火山碎屑岩으로 構成되었고, 地質系統은 新羅統에 屬하는 下部로부터 八公山凝灰岩, 朱砂山安山岩, 雲門山酸性岩으로 分類되며, 장기홍(1977)은 慶尙盆地內의 火山岩類와 一部 堆積岩類의 楡川層群으로의 통합을 시도한 바도 있다. 고령토·납석鑛床 附近 地質은 陸成火山碎屑岩과 酸性岩으로 構成되며 粘土鑛床의 地質系統과 岩石記載에 있어서 調査者에 따라 많은 意見差異를 나타냈다.

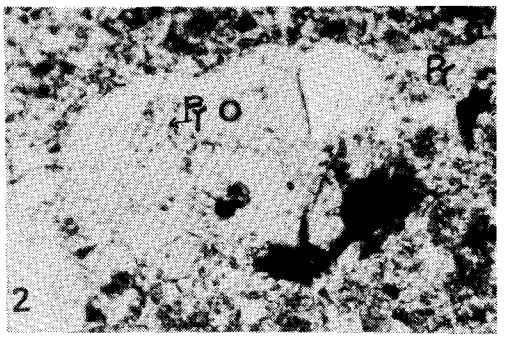
粘土鑛床의 生成機構

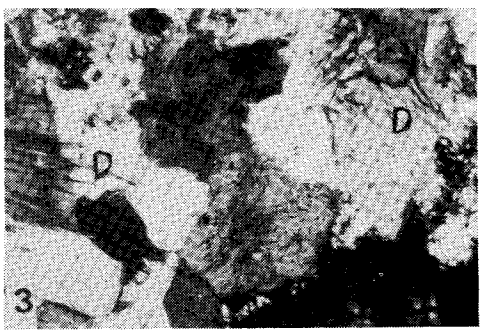
熱水型 粘土鑛床의 生成機構에 對한 검토는 鑛床發達狀況과 地球化學的 硏究가 이루어진 후에라야 論議가 可能하다. 從來의 生成機構에 관한 硏究를 고찰코저 한다.

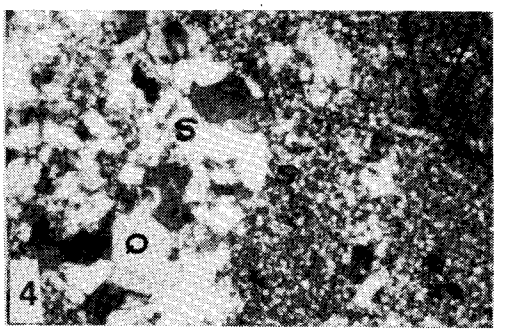
粘土鑛物 生成溫度

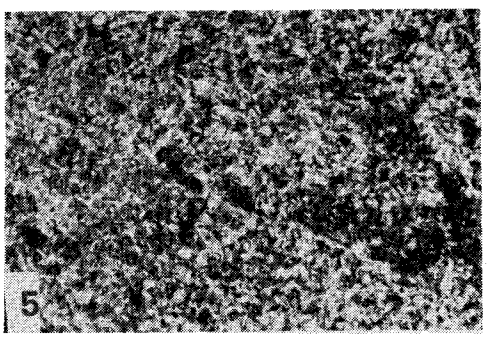
熱水型 粘土鑛床은 一般的으로 地表 또는 地表下 淺部에 生成되는 例가 많으며 SiO_2-Al_2O_3系에 있어서는 多量의 水分을 含有한 含水硅酸鹽鑛物을 生成시킨다. 硅化帶 주변부에서 形成되는 粘土鑛物과 명반석은 酸性粘土化變質(advanced argillic alteration)의 용탈컵(leached cup)으로 인하여 形成되는 경우도 있다. 카오린鑛物合成은 Al-Si gel을 出發物質로 하여 Noll (1935), Ewell 및 Insely(1935)등이 400°C~200氣壓 下에서 보어마이트(boehmite), 카오리나이트, 딕카이트 및 납석등을 合成하였으며 Noll(1944)은 20~500°C, 8~20氣壓 下의 條件下에서도 보어마이트, 카오리나이트, 납석등을 合成하였다. Ewell and Insely 方法으로











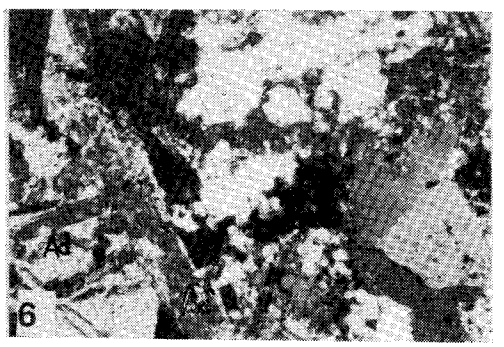


Fig. 1-1 하동 Kaolinite(Cross×63)
변질대에서 질석형 산상의 Kaolinite(K)

Fig. 1-2 천불산 납석(Cross×63)
소인편상의 납석(P)

Fig. 1-3 동래 Dumortierite(Cross×63)
섬유상 또는 침상의 Dumortierite(D)

Fig. 1-4 유광견운모(Cross ×63)
미립결정의 석영이 견운모를 둘러싸고 있다.

Fig. 1-5 원동납석(P) (Cross ×63)
납석이 미립집합체를 형성한다.

Fig. 1-6 천불산 홍주석(Ad) (Cross×63)
홍주석이 납석에서 교대되어 단주상으로 산출된다.

Fig. 1-7 전기석 및 홍주석(Cross×63)
단주상의 전기석(T)과 홍주석(Ad)이 납성중에 교대 공생한다.

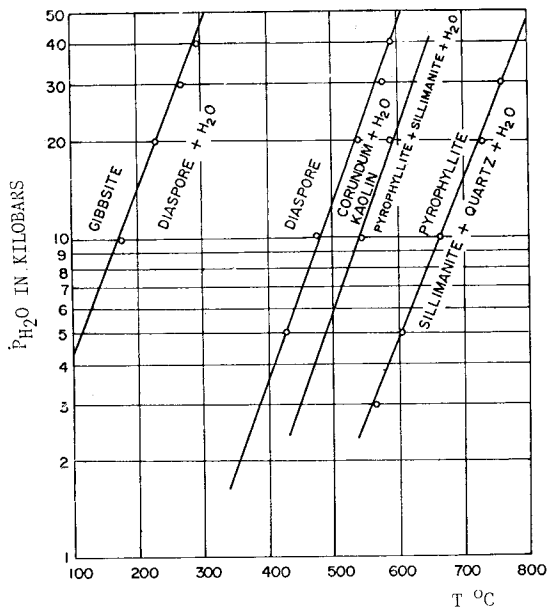


Fig. 2 Vapor pressures of some relation in the system Al_2O_3-SiO_2-H_2O(After Kennedy, 1959).

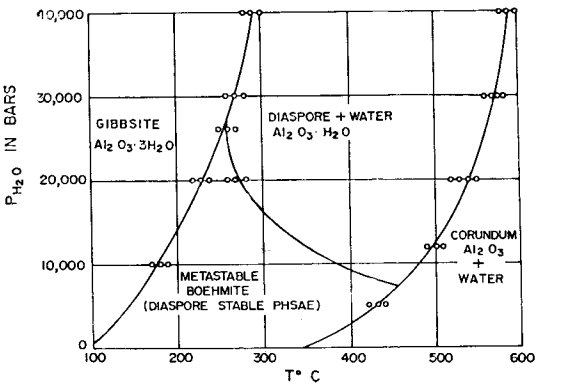


Fig. 3 Phase relations at high H_2O pressures in the system Al_2O_3-H_2O(After Kennedy, 1959).

Ray(1962)는 600°C, 350氣壓 下에서 카오리나이트, 납석, Al-몬모릴로나이트를 合成하였고, 한편 Rodrique et al. (1972)은 Leonard(1964) 合成法인 Al-Si gel을 出發物質로 175~250°C, 8.8~39.2氣壓 下에서 보어마이트, 카오리나이트등을 合成하였다. 이 結果들은 카오리나이트의 生成溫度가 壓力에 의하여 變化되고, Noll은 結晶形도 低溫에서 2:1 및 1:1 層構造를 形成하여 溫度上昇에 따라 生成되는 것이 아닌 것으로 지적하였다.

Laubergayes and Weitz(1943)는 150°C 內外에서 50~150時間 사이에서 깁사이트—보어마이트가 生成되었다고 하였고 Ervin과 Osborn(1951)은 400°C, 65~650氣壓 下에서는 다이아스포아는 脫水(dehydration)되면서 轉移相을 띤다는 것을 究明하였다(Fig. 2). Kennedy(1959)는 Al_2O_3系에서 100~600°C, 5,000~40,000氣壓 條件下에서 트리디마이트가 安定하며, 깁사이트는 295°C에서 安定되고 다이아스포아—보어마이트는 590°C, 40,000氣壓에서는 不安定하다는 것을 立證하였다(Fig. 3). 母岩과 溶液反應은 溶液中 HCl, NaCl, KCl의 濃度比에 따라 납석, K-雲母, Na-雲母, K-長石, 알바이트등이 生成되며 溫度와 pH, S, O_2의 濃度와 fugacity등이 粘土鑛物 生成機構에 重要한 役割을 한다고 Hemley(1964, 1971)는 지적하였다. 카오리나이트 合成 可能 溫度는 250~400°C로서 그 이상의 경우는 납석鑛物 生成이 可能하다고 하였다.

母岩의 變質作用

母岩의 變質作用은 母岩의 단열대에 따라 熱水溶液과 분출가스가 熱水通路의 中心部에서 外側으로 酸化, 硅酸鹽, 黃化鑛物등의 累帶構造를 形成시켜 鑛體中心部에서 變質作用過程은 强變質帶—弱變質帶—母岩順으로 粘土鑛床을 形成시킨다(Fig. 4: Iwao, 1970).

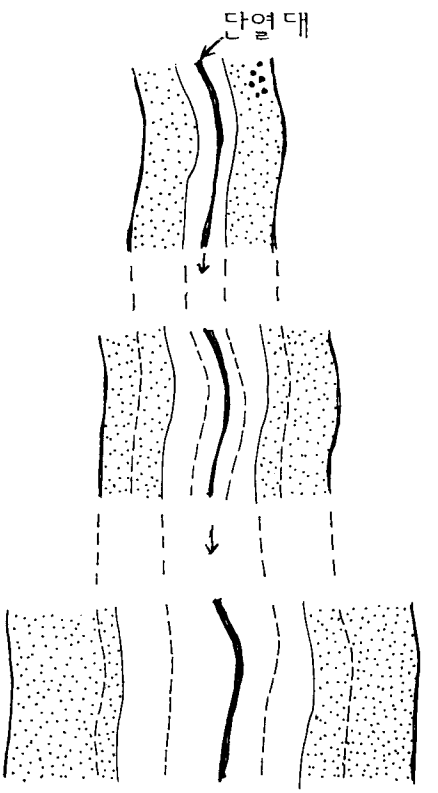


Fig. 4 단열대에 따라 열수통로의 중심부에서 외측으로 점토광물의 변질누대를 형성한다(Iwao, 1972).

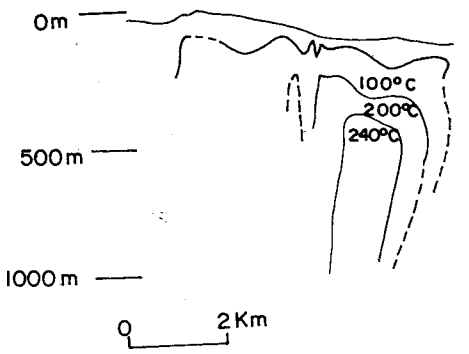


Fig. 5-1 뉴지랜드 Wairakei지역의 지열등고선 (After Grindley, 1965).

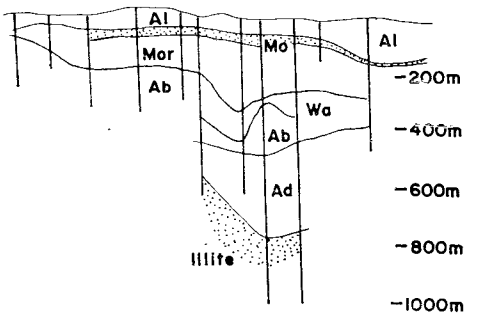


Fig. 5-2 뉴질랜드 Wairakei 지열지대변질누대. Al: 명반석대, Mo : 몬모리로나이트대, Mor : 모우더나이트대, Ab : 알바이트, Ad: 빙장석대, Na: 와이라카, Illite: 이일라이트대 (After Grindley, 1965)

A) 뉴질랜드 와이라카이트(wairakite) 地熱地帶의 累帶構造는 熱水가 地表로 上昇하여 암장수와 反應하여 生成되고 地表附近에서는 명반석, 모데나이트(mordenite), 일라이트, 와이라카이트, 빙장석등이 地熱等高線에 따라 鑛物의 生成을 달리하고 있다(Fig. 5).

B) 變質帶 形成은 熱水通路의 中心部에서 外側 變質帶의 幅을 넓히고 部分的인 風化作用으로 變質幅을 넓히고 粘土化를 促進시키는 要因도 된다. 地表附近에서는 變質作用과 風化作用이 함께 이루어진다. 粘土型은 層狀, 파이프狀, 불규칙괴상, 누두상으로 胚胎되나 SO_4, FeS, B, H_2S, K_2O, Na_2O 등의 가스와 溶液의 反應으로 명반석, 전기석, 듀모티에라이트, 황동석, 백철석등이 고령토—납석鑛物과 共生된다. 金銀鑛脈, 黑鑛(Kuroko)등 地帶에서도 變質帶에 따라 硅化帶—고령토帶—몬모릴로나이트帶의 累帶構造로 K, Na, S, Mg, Ca등의 溶液成分에 따라 鑛物組成(mineralogical assemblage)을 달리한다.

강옥(corundum, Al_2O_3), hexagonal-보어마이트(boehmite, $\gamma Al_2O_3 \cdot H_2O$), orthorhombic-다이아스포아(diaspore, α Al_2O_3)등은 가상을 이루고 있다.

粘土鑛物의 生成時期

Al, SiO_2 gel 狀에서 熱水合成의 生成時間은 出發物質의 種類, 溶液의 特性, 溫度, 壓力에 따라 10시간 內外에서 粘土鑛物의 生成을 可能케 하며 出發物質이 미립자인 경우는 溶液의 侵透에 單時間이 소요되나 自然環境下에서 岩石內에 侵透하는 경우는 長久한 時日이 소요된다.

미국 Katmai, Ten thousand Somoke 鑛山의 熱水作用 持續時間은 約 50年間이 소요되었으며(Lovering, 1957b) 뉴질랜드 Broad lands의 地熱地帶는 約 $2\sim5\times10^5$ Yrs.가 계속된다고 推定하였다(Browne, 1970).

(1) 粘土化 形成過程 :

粘土化 形成過程은 初期의 岩珠中에 初生熱水供給, 熱水通路, 地質構造 擴散場所등의 條件을 形成시키며 岩珠 下盤部에서 熱水通路의 發達로 形成된 미국 斑銅鑛床, 영국 Cornwall 고령토鑛床등을 열거할 수 있으며 이와 反對로 熱水通路의 發達이 현저하지 못한 곳은 岩脈이나 角礫岩帶에 따라 小規模로 形成되는 例가 있다.

2) 大規模의 熱水性 粘土鑛床은 母岩密度, 透水率, 피복암(cap rock)등에 의해 決定되는데 流紋岩類, 凝灰岩類는 熱水擴散이 容易하여 이들 岩層의 上部層에는 透水性이 낮은 세일층이 피복되어서 熱水擴散을 防止하여 下部層에 大規模 鑛床形成에 要因을 주고 있다. 이와 같은 양상을 Tsusuki et al (1971)은 粘土鑛物 形成時間이 熱水成分, P.T와 熱水 流出量의 速度에 의해 決定된다고 하였다.

고령토—납석鑛床

韓半島의 고령토및 납석鑛床은 大部分 南部地域에 賦存되어 東萊, 梁山, 密陽地域의 小規模鑛床, 河東, 山淸, 星州地域에서는 大規模의 고령토鑛山, 海南 및 부근도서에서는 납석—고령토의 大小規模鑛床等으로 分類할 수 있다.

東萊, 梁山附近의 地質은 白堊紀로 사료되는 酸性火成岩類로 構成되어 下部로부터 安山岩類와 流紋岩質凝灰岩이 噴出된 樣相을 나타내고 粘土鑛床 周邊部에서는 石英閃綠岩과 黑雲母花崗岩類가 貫入되어 있다. 고령토—납석鑛床의 母岩은 流紋岩質凝灰岩層으로 東萊斷層에 의해 北東方向으로 잘려져 있으며 鑛體는 N30W ~N30E로 發達되어 있다. 流紋岩質凝灰岩의 層厚는 100~350m程度이다.

河東, 山淸, 星州地域에서 灰長岩이 母岩인 고령토 鑛床은 石英閃綠岩에 의해서 一部 貫入되어 있다.

고령토—납석鑛床에 있어서 鑛物組成은 鑛體 中心部에서 Al系 鑛物類가 多量 隨伴되어, alumina의 熱水作用에 의해서 침전농축현상을 生覺할 수 있다.

各 鑛床에서 産出되는 主要鑛物의 特性을 略述하면 다음과 같다(Table 1).

강옥(Corundum)

육안적으로 보라색 미립의 小結晶으로 鏡下에서 乳白色의 고령토—납석鑛物 中心部에 배태되어 C축에 直角으로 parting되고 多色性 高低의 굴절율로서 一軸性結晶을 이루고 있다. 一部는 납석으로 交代되어(千佛山, 林基鑛山)있다.

다이아스포어(Diaspore)

직경 3~7cm내외의 (1) 球形 내지는 타원형, (2) 다이아스포어·클레이(미국, 구라파지역에 주로 生産), (3) 산점상으로 分布된 세가지 형태가 있는데 光道, 松石 및 丹陽産 다이아스포어의 産出狀은 (1)型에 해당되며 화순, 東萊, 光道, 千佛山鑛山에서는 (3)型의 産出狀을 보인다. 鏡下에서 관찰되는 다이아스포어는 2V가 84°내외이다.

카오리나이트(Kaolinite), **딕카이트**(Dickite), **7Å~10Å할로이사이트**(Halloysite).

鏡下에서 카오리나이트와 딕카이트는 六角板狀을 呈하여 두鑛物이 유사하나 딕카이트는 카오리나이트보다 結晶形이 發達되고 自形을 이루며 全南, 聲山, 玉埋, 黃山鑛山等에서는 六角板狀으로서 一部는 납석으로 交代되어 있다. 密陽鑛山에서는 小鱗片狀 혹은 질석형으로 半自形을 이루고 있으며 한편 XRD下에서 쉽게 區分된다. 550°C에서 1時間 熱處理 後 回折하면 d(001)은 7.2Å, (002)는 3.6Å봉우리가 소멸되므로 카오리나이트인 것이 확인되나 딕카이트는 550°C, 1時間 처리 후의 回折圖에서는 소멸이 안된다. 河東, 山淸, 星州地域의 고령토류는 7~10Å할로이사이트鑛物에 屬한다(Fig. 1-1, 카오리나이트).

납석(Pyrophyllite)

납석의 육안적 産狀은 乳白色, 淡綠色, 靑淡色을 띠고 굳기는 납석中에 含有된 명반석, 石英, 카오리나이트, 絹雲母等의 含量比에 따라 달라진다. 鏡下에서는 無色鱗片狀으로 나타나고 復屈折率이 雲母類나 滑石보다 높으며 2V는 57~58°로 粒子는 방사형으로 組成되어 고령토가 납석으로 交代되어 있다(Figs. 1, 2, 5). 불투명鑛物인 黃鐵石, 白鐵石(직경 0.1~0.3mm)의 自形粒子가 납석과 石英粒子 주변부에 혼재되어 있으며 이들의 一部가 母岩에 배태되어 酸化된 部分은 靑綠色의

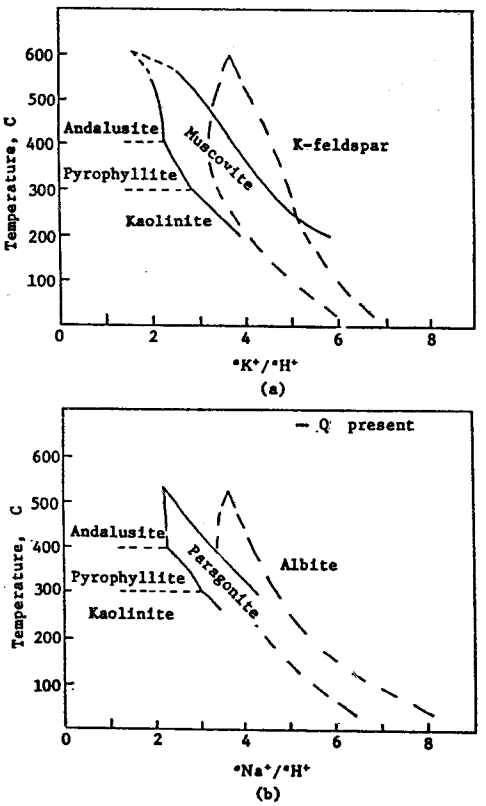


Fig. 6 Reaction curves for the system K_2O/Na_2O-Al_2O_3-SiO_2-H_2O(after Hemley, 1964, 1971).

鑛染狀斑點을 이루고 있다.

絹雲母(Sericite)

絹雲母는 육안적으로 乳白色의 미립鱗片狀의 集合體를 띠우고 復屈折이 납석보다는 낮으며, 石英粒子(직경 0.1~0.2mm) 사이에 充填하여 葉狀結晶으로 散在한다. 有光鑛山에서는 弱變質帶에서 미립의 황철석自形이 共生한다(Fig. 4).

홍주석(Andalusite)

鏡下에서 홍주석은 長柱狀의 集合體로 나타나며 一部에서 납석이 交代되어 東萊, 林基, 千佛山鑛山에서 고령토 및 납석鑛物中에 隨伴된다(Fig. 3).

듀모티에라이트(Dumortierite)

듀모티에라이트는 외관상 淡靑色을 呈하고 고령토·납석鑛物의 集合體 表面에 엷은 層을 이루고 斑狀을 呈한다. 鏡下에서는 미립의 침상 또는 섬유상으로 불규칙한 아메바狀을 이루고 있다(Fig. 6, 7, 東萊, 千佛山). 主要 粘土鑛床의 鑛物組成은 카오리나이트, 딕카이트, 납석等이 主成分 鑛物을 이루고 東萊—梁山 地域에서는 카오리나이트, 납석, 듀모티에라이트, 홍주석等이 隨伴되고, 海南附近에서는 딕카이트, 납석, 명

Table 1 粘土鑛床의 母岩과 鑛物組成.

광산명	군 면	모 암	산 상	조성광물																		
				G	D	C	K	Ko	D	H	P	Ch	Se	A	Ad	Du	T	Fe	Mont	Py	Z	J	Cu
玉 埋	해남 황산	① 응 회 암 ② 유문암질응회암	층 상	△	△	△			◎		◎			◎				△		△			
聲 山	해남 황산	① 응 회 암 ② 암유문암질각력암 ③ 응 회 암	층 상	△	△	△			◎		◎			◎				△		△			
黃 山	해남 황산	응 회 암	층 상	△	△	△			◎		◎			◎				△		△			
長山島	무안 장산도	① 응 회 암 ② 응 회 암 ③ 응 회 암	층 상	△	△	△			◎		◎			◎				△		△			
加沙島	진도 조도	① 응 회 암 ② 유문암질응회암	층 상	△	△	△			◎		◎		△	◎				△		△			
光 道	통영 광도	① 휘석반암 ② 응 회 암	층 상	△	△	△	○		△		◎			◎				△		△		△	△
明 鶴	김해 이북	응 회 암	층 상	△	△	△	○				◎			◎				△		△			
東 萊	동래 철마	유 문 암	누두상 (Funnel Type)	△	△	△	◎				◎		◎		△	△	△	△		△			
林 基	동래 철마	유 문 암	〃	△	△	△	◎				◎		◎		△	△	△	△		△			
院 洞	양산 원동	• 유 문 암	〃	△	△	△		○			◎							△		△			
密 陽	밀양읍	유 문 암	〃	△	△	△		○			◎							△		△			
千佛山	양산 웅상	• 유문암질 응회암	〃	△	△	△	○				◎		○		△	△		△		△			
有 光	양산 웅상	• 유문암질 응회암	〃	△	△	△	○						◎	△				△		△			
慶 州	월성	유 문 암	〃	△	△	△	○				◎							△		△			
九 岩	연일 축장	유 문 암	층 상	△	△	△	○				◎		◎					△		△			
			누두상 (Funnel Type)	△	△	△	○				◎		○		△	△		△		△			
河 東	하동 진교	회 장 암	층 상	△				△		◎			△					△	△	△	△		
山 淸	산청 생초	회 장 암	층 상	△				△		◎			△					△	△	△	△		
星 州	성주 수륜	회 장 암	층 상	△				△		◎			△					△	△	△	△		
松 石	화순 이양	천 운 산 층	층 상	△	△	△	○	△			◎	○		○				△		△			

※ : ◎ : 주성분광물　○ : 부성분광물　△ : 소량

비고 : ① David Gallagher(1963). ② 조한익, 문희수(1978). ③ 박홍법, 권숙문, 박배영, 신상권(1982). ④ 이창섭(1985). ⑤ 김용훈(1986).

1. G : 깁사이트(Gibbsite)
2. D : 다이아스포어(Diaspore)
3. 강옥(Corundum)
4. K : 고령토(Kaolin Group)
5. Ko : 카오리나이트(Kaolinite)
6. D : 딕카이트(Dickite)
7. H : 할로이사이트(Halloysite)
8. P : 납석(Pyrophyllite)
9. Ch : 녹니석(Chlorite)
10. Se : 견운모(Sericite)
11. A : 명반석(Alunite)
12. Ad : 홍주석(Andalusite)
13. D : 듀모티에라이트(Dumortierite)
14. T : 전기석(Tourmaline)
15. Fe : 갈철석(Hematite)
16. Mont : 몬모릴로나이트(Montmorillonite)
17. Py : 황철석(Pyrite)
18. J : 자로사이트(Jarosite)
19. Z : 불석(Zeolite)
20. Cu : 황동석(Chalcopyrite)

반석이 隨伴되는 特徵을 나타내고 鑛物組成은 累帶構造를 이루고 있다.

累帶構造：고령토 및 납석鑛床의 變質帶는 鑛體中心部로부터 外側으로 고령토-납석帶—硅化帶—强變質帶—弱變質帶順으로 累帶構造를 形成하고 있다.

硅化帶—黃化帶：鑛體를 中心으로 地表附近 露頭 또는 淺處에 發達된 硅化帶는 白色 乃至 灰色으로 치밀, 堅固한 石英으로 構成되어 있다. 硅化帶 附近에는 黃鐵石 및 白鐵石等이 미립의 自形을 이루며 一部 酸化된 部分은 적갈색을 띠우고 있다. 특히 海南地域에서는 명반석이 硅化帶 附近에서 隨伴된다.

弱變質帶：母岩의 變質度가 낮으며 母岩組成에 가까운 것으로 一部 長石類 및 雲母類는 고령토—絹雲母化作用을 약하게 받은 것으로, 石英, 長石, 雲母類等은 風化作用을 받은 樣相을 나타내기도 한다. 弱變質된 母岩의 規模는 一定하지 않고 院洞에서는 約 10m이상을 나타내고 있다. 이와같이 母岩의 變質樣相은 熱水性粘土鑛床 究明에 요소를 주고있다.

强變質帶：鑛體와 弱變質帶의 中間에 存在하는 變質帶로서 母岩의 組成鑛物中 石英 및 高溫鑛物만 남기고 長石類 雲母類等이 變質된 母岩을 칭하며 一部는 고령토, 납석, 絹雲母系 鑛物이 生成된 것으로 黃鐵石과 白鐵石은 곳에 따라 散點狀으로 自形을 이루고 있다. 一部 變質帶中에 含有된 黃鐵石은 酸化作用을 받아 褐色을 나타내기도 한다. 石英粒子주위에는 中粒 及至 粗粒의 粘土鑛物로 둘러싸여 있다.

東萊—梁山地域의 粘土鑛床은 小規模鑛床으로서 强變質帶에서 黃化鑛物(黃鐵石, 白鐵石)이 散點狀으로 隨伴되어 선광으로 粘土鑛物의 회수가 어려우므로 廢鑛되는 事例가 많다.

고령토—납석帶：經濟的으로 稼行대상鑛體를 칭하며 고령토—납석—絹雲母를 主成分으로 하는 含Al系 鑛物로 이루어져 있다. 酸化鑛物인 다이아스포어, 강옥, 깁사이트와 규산염광물인 카오리나이트, 할로이사이트(7Å～10Å), 납석, 홍주석, 전기석, 듀모티에라이트로 組成되어 있다. 할로이사이트鑛物은 분말상으로서 産出되고 납석, 고령토는 괴상으로 産出된다. 鑛體는 層狀, 漏斗狀(funnel type)으로 배태되나 東萊, 千佛山, 院洞鑛山에서 漏斗狀을 小規模 보이고, 海南, 聲山鑛山에서는 層狀으로 大小規模 發達된다.

高溫鑛物에 해당되는 홍주석, 듀모티에라이트, 전기석等은 東萊, 梁山地域에서 隨伴되며 高溫高壓下에서 生成된 것으로 火山性 gas 噴出에 의한 H_2S, B의 成分에 인한 것으로 사료된다.

단위 鑛山別 鑛物組成은 다음과 같이 分類된다.

1. 견운모—석영—카오리나이트—황철석(유광, 청송광산)
2. 카오리나이트—납석—명반석—황철석(김해, 구암광산)
3. 딕카이트—납석—명반석—황철석(옥매, 성산, 황산광산)
4. 카오리나이트—납석—홍주석—듀모티에라이트(동래, 천불산광산)
5. 납석—카오리나이트(밀양, 용천광산)
6. 할로이사이트(7Å～10Å halloysite) (하동, 산청, 성주지역)

地域的으로 요약한다면

1) 경남 동래, 양산지역

깁사이트—다이아스포어—강옥—〈카오리나이트 / 견운모〉—(홍주석 / 전기석 / 듀모티에라이트)—황철석 / 백철석

2) 전남 해남 및 부근도서지역

깁사이트—다이아스포어—강옥—딕카이트—명반석—(황철석 / 백철석)

3) 하동, 산청, 성주지역

깁사이트—보에마이트—할로이사이트—황철석—불석

鑛床形成過程

韓半島 南部地域에 있어서 고령토—납석鑛床 形成은 流紋岩質凝灰岩과 凝灰岩을 母岩으로 白堊紀末에 石英閃綠岩, 花崗岩等의 貫入으로 因한 熱水作用으로 粘土鑛床을 形成시켰다고 사료된다.

고령토—납석의 鑛化作用은 流紋岩質凝灰岩과 凝灰岩에 NE-NW方向으로 發達된 단열대와 東萊斷層과 사교하는 小斷層에 따라 熱水溶液과 一部 噴出된 가스가 침투하여 硅化帶—고령토·납석帶—强變質帶—弱變質帶로 帶狀構造를 形成하였으며 鑛物組成은 깁사이트—다이아스포어—고령토(카오리나이트—딕카이트)—납석—견운모 順으로 共生한다.

고령토—납석화작용은 熱水溶液 通路의 中心部에서 현저히 鹽基의 용탈을 發生시켜 硅化帶, 鑛化帶를 形成시켰고, 한편 母岩中에서 鹽基를 溶出한 熱水溶液은 점차 酸性度를 감소시키면서 熱水溶液 通路의 外側 母岩에 침투하여 弱變質帶를 形成시킨 것으로 사료된다.

東萊, 梁山地域에서 고령토—납석帶中에 少量 産出되는 紅柱石, 듀모티에라이트, 전기석等은 高溫鑛物로서 이들中 전기석, 듀모티에라이트는 함붕소광물로서 火山噴出가스 중에서 일부 붕소성분이 도입된 것으로 사료된다. 납석과 고령토광상의 生成溫度는 납석이 약

570°C, 카오리나이트가 약 410°C이며, 이들은 廣範圍한 壓力範圍下에서 安定하다고 보고된 바 있다(片山, 1969).

고령토—납석광상은 통상 淺熱水鑛床으로 區分되나 東萊, 梁山地域에서는 高溫鑛物의 수반상을 고려할때 최소한 600°C내외에서 形成된 것으로 사료되며, 海南地域에서는 高溫鑛物의 수반이 미확인되었지만 납석광상 최고온도인 570°C이하에서 生成되었다고 추정된다.

金海, 九岩, 聲山, 玉埋鑛山의 硅化帶附近에서 명반석이 地表附近에서 發達되는 것은 上昇熱水溶液이 地表附近에 H_2S가스의 酸化 potential이 높은 것으로 사료되며 H_2S의 酸化는 地表 얕은 環境에 發生되며 산소의 fugacity의 增加는 强酸性溶液의 形成에 重要한 역할을 하였다.

母岩의 層厚는 100~300m 內外로서 基底層은 安山岩類로 構成되어있고 東萊, 梁山地域에서의 鑛體는 小規模 漏斗狀으로 NE-NW方向으로 發達된다. 鑛體 一部는 小斷層으로 NS方向으로 잘려져 있다. 海南 및 부근도서地域에서의 鑛體는 비교적 規模가 크며 層狀으로 發達된다. 聲山鑛山附近에서는 凝灰岩層中에 세일층이 20m내외로 挾在된다고 보고된 바 있다(손진담 외, 1980). 海南地域에서 鑛體의 規模가 큰 것은 母岩上部에 不透性 被覆岩인 세일층이 熱水溶液의 擴散을 防止함으로서 母岩의 變質作用을 廣範圍하게 促進시켰다고 思料되며 피복암인 세일층의 一部는 침식당하였다고 추정된다.

유광도석광산에서 견운모화작용은 열수용액중 알카리이온/H^+比가 母岩인 유문암질응회암중에 알카리장석이 잔존하기에는 너무 낮아 장석이 변질작용을 받아 견운모, 카오리나이트를 生成시켰으며 母岩의 殘存物로서 石英이 隨伴되어 鑛體를 形成하였다.

Hemley(1964)는 $Na^+, K^+/H^+$比가 증가되어 固相의 용적감소에 따라 岩石 공극율이 증가된다고 하였다. 열수용액중 $Na^+, K^+/H^+$比가 鑛化帶中心部에서 증가되고 용액이 外側으로 이동됨에 따라 감소되어 一部長石이 變質되지 않고 弱變質帶를 形成하며 미립 黃鐵石이 隨伴되는 樣相을 나타내고 있다.

結 論

韓半島 南部地域에 賦存되는 고령토—납석鑛床은 熱水型으로서 變質帶는 累帶構造를 이루고 鑛體는 地表附近 얕은 곳에서 發達되고 深部에는 發達되어 있지않다. 鑛物組成은 地域的으로 두 型으로 요약된다.

東萊—梁山地域

보에마이트—깁사이트—다이아스포어—강옥—카오리나이트—납석—견운모—듀모티에라이트—홍주석·전기석.

海南 및 부근도서지역

보에마이트—깁사이트—다이아스포어—강옥—딕카이트—납석—명반석.

河東, 山淸, 星州地域

할로이사이트(7Å~10Å halloysite).

河東, 東萊, 梁山地域에서 粘土鑛床의 母岩은 白堊紀末로 사료되는 石英閃綠岩, 黑雲母花崗岩 貫入으로 母岩變質을 일으킨 것으로 사료되며 鑛石鑛物의 特徵은 東萊, 梁山地域에서 高溫性 鑛物인 전기석, 홍주석, 듀모티에라이트等이 수반되고, 海南地域에서는 명반석이 수반된다. 鑛物組成의 차이는 熱水溶液과 SO_4, FeS, B, H_2S等 화산성 분출가스의 成分差에 의해 이루어진 것으로 사료된다.

고령토—남석광상 母岩은 화산쇄설암류로 구성되며, 할로이사이트의 母岩은 회장암으로 구성되어 있으나 이에 관한 地質時代 대비가 이루어지지 못하였으며, 火成酸性岩類인 貫入岩은 石英閃綠岩과 黑雲母花崗岩으로 되어 있으나 時代규정은 확정된 바 없고 백악기말에 火成作用에 의해서 生成되었다고 추정된다.

鑛物隨伴關係를 고려할때 딕카이트, 명반석을 主成分으로 하는 고령토—납석광상은 白堊紀 上部層인 火成酸性岩類에 해당시키고 백악기 하부층에서는 납석과 高溫鑛物인 홍주석, 듀모티에라이트의 隨伴을 보아 백악기 하부로 추정되나 火成酸性岩類의 지층대비와 火成酸性岩類의 分類方案이 선행되어야만 鑛床生成機構 논의에 接近할 수 있다.

參 考 文 獻

김옥준 (1982) 韓國의 地質과 鑛物資源. 김옥준교수정년퇴임기념. 연세대학교 지질학과 동문회, p. 1-308.

김용훈 (1986) 천불산 납석광상에 대하여. 부산대학교 석사논문.

민경덕·김옥준·윤석규·이대성·주승환 (1982) 韓國南部의 白堊紀末 이후의 火成活動과 鑛化作用에 대한 관구조 적용성 연구. 광산지질, 15권 3호, p. 123-154.

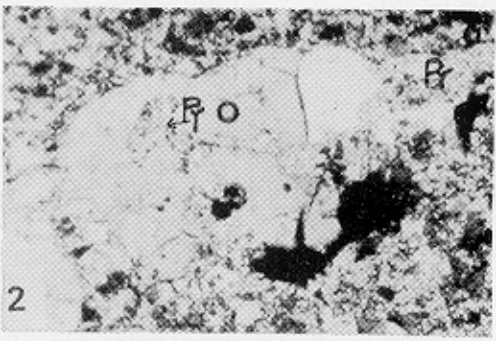
박홍범·권숙문·박배영·신상권 (1983) 高耐火度鑛石鑛物의 分布·成因에 關한 硏究. 광산지질, 15권 2호, p. 89-102.

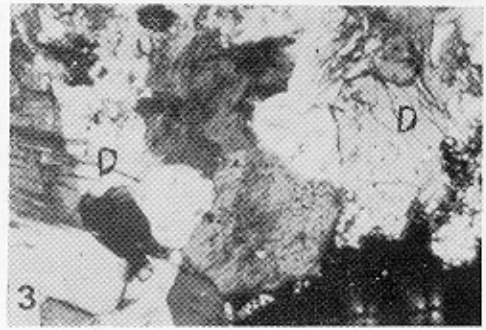
손진담·윤현수·김홍열·고민자·조동행·구자학·김상길 (1980) 海南 목포지역 白堊紀 함유질 세일층에 대한 硏究. KIGAM, Bulletin 21, 자원개발연구소.

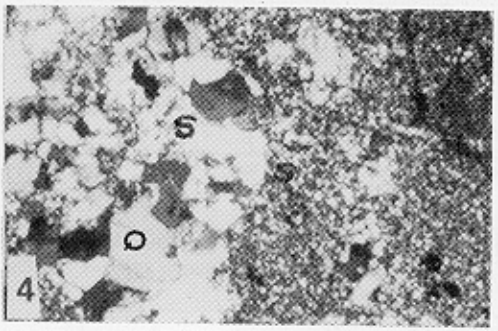
이정환 (1967) 항공사진에 의한 지질구조해석 및 광화

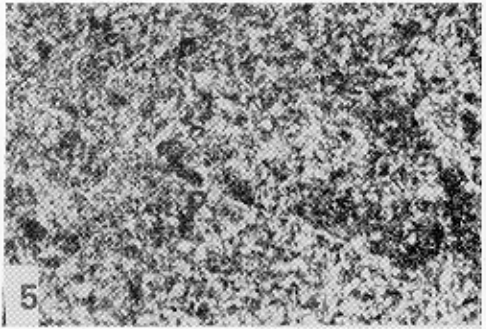
작용의 관계. 과기처, E67.
이창섭 (1985) 유광도석광상의 성인에 대하여. 부산대학교 석사논문.
장기홍 (1977) 경상분지내 상부중생계의 층서퇴적 및 지구조. 지질학회지, 13권 2호. p. 76-90.
조한익·문희수 (1978) 한국 명반석 광상조사보고. 조사특보 02, 자원개발연구소.
木野崎吉郎 (1929) 海南·右水營地質圖. 지질조사소.
木野崎吉郎 (1934) 경남 김해군·전남 해남·진도·무안군 명반석지질광상조사보고 8권, 지질조사소.
木野崎吉郎 (1963) 日本中國地方의 납석광상개요. 廣島大學 地學研究報告 4권, p. 173-183(日文).
久野 久 (1976) 火山 및 火山岩. 2nd ed. 岩波全書. p. 1-283(日文).
土田定次郎 (1943) 朝鮮鑛床論. p. 218(日文).
片山信夫 (1969) 납석광상의 생성기구와 탐광방법. 일본광산지질, 19권 9호, p. 31-41(日文).
藤井紀久·平野英雄·須藤定久·神谷雅晴·富樫幸雄 (1979) 岡山縣 三石地域납석鑛床 形成場에 대하여. 일본광산지질, 29권 2호, p. 83-95(日文).
白石清吾 (1972) 第21回 粘土原料委員會資料. 24-333, 34-41(日文).
山成不仁磨 (1924) 輸川 密陽地質圖. 지질조사소.
Browne P. R. L. (1970) Minerlization Broad Lands Geothermal Field, Joupo Volcanic Zone, N.Z. IMA-IAGOD '70, p. 64-75.
Ervin, G. Jr and Osborn E.F. (1951) The System Al_2O_3—H_2O. Jour. of Geology, v. 59, p. 381-394.
Ewell, R.H. and Insley, H.V. (1935) Jour. Res. Nat. Bur Standard, v. 15, No. 173.
Fisher, R.V. and Schmincke (1982) Pyroclastic Rock. Springer Verlag, N.Y.
Gallagher, D. (1963) Mineral Resources of Korea. USOM-ROKGS.
Hemely, J.J. and W.R. Jones (1964) Chemical aspects of hydrothermal alteration with emphasis on hydrogen metasomatism. Econ. Geol., v. 159, p. 538-569.
Hemely, J.J. and W.R. Jones, J.W. Monotoga, A. Nigrina and H.A. Vincent (1971) Some alteration Reaction in the System CaO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O. S.C. Min. Geol. Sp.2.
Iwao, S. (1954) Wallrock alteration of Kosaka Mine Akita Prefecture, Japan. Rept. Geol. Sur. Japan, N. 162.
Iwao, S. (1972) Genesis of Clay. Jour. Clay Soc. Japan, v. 12 (Abstract).
Kennedy, G.C. (1919) Phase relation in the System Al_2O_3-H_2O at high temperature and pressure. Am. Jour. Sc., v. 257, p. 563-573.
Leonard A., Suzuki S., Fripiat, J.J. and De Kinge C (1964) Jour Phys. Chem., v. 68, p. 2608.
Laubengayer, A.W. and Weitz, R.S. (1943) A hydrothermal study of equilibria in the system Alumina-Water. Am. Chem. Soc. Jour., v. 65, p. 247-250.
Lovering, T.S.(1957a) Rock alteration as a guide to ore east tinct district, Utah. Econ. Geol. Mono. 1.
Lovering, T.S. (1957b) Halogen acid alteration of ash at fumarole No. 1 Valley of ten thousand Smoker Alaska. Bull Geol. So Am., v. 68, p. 1588-1604.
Macdon, G.A. (1972) Volcanoes. Printice Hall Inc. N.J. USA., p. 1-510.
Meyer, C. and Homley J (1967) Wallrock alteration in Geochemistry and hydrothermal ore deposits. In: Barnes., H.L., p. 166-235.
Noll, W. (1935) Neues Jahrb. Miner. Geol. Paleontol. Abh. Abt, A**70**, 67.
Noll, W. (1944) Kolloid Zeit. v. 107, p. 181.
Rodrique L., Pencelet, F. and Heribillons (1972) Proc. Intern. Clay Conf. Madrid, p. 187.
Roy, D.M. and Roy, R. (1955) Synthesis and Stability of Minerals in the System MgO-Al_2O_3-SiO_2-H_2O. Am Miner., v. 40, No. 3-4, p. 147-178.
Roy, R. and Osborn, E.F. (1954) Am. Miner., v. 52, p. 1161.
Roy, R. and Osborn, E.F. (1962) C.N.R.S. v. 105, p. 83.
Sang, K.N. (1983) Pyrophyllite Clay deposits in the Republic of Korea. Industrial Minerals, No. 194, p. 30-31.
Steiner, A (1953) Hydrothermal rock alteration at Wairakei, N.J. Econ. Geol., v. 48, N1.
Tsuzuki, Y. and Mizutani, S. (1971) A Study of Rock Alteration process based on kinetics of hydrothermal Experiment. Contr. Miner. Petrology, v. 30, p. 15-33.
Yoder, H.S. (1952) The MgO-SiO-H_2O System and related metamorphic faces. Am. Jour. Sc., Bowen Volum, p. 569-627.

K
1

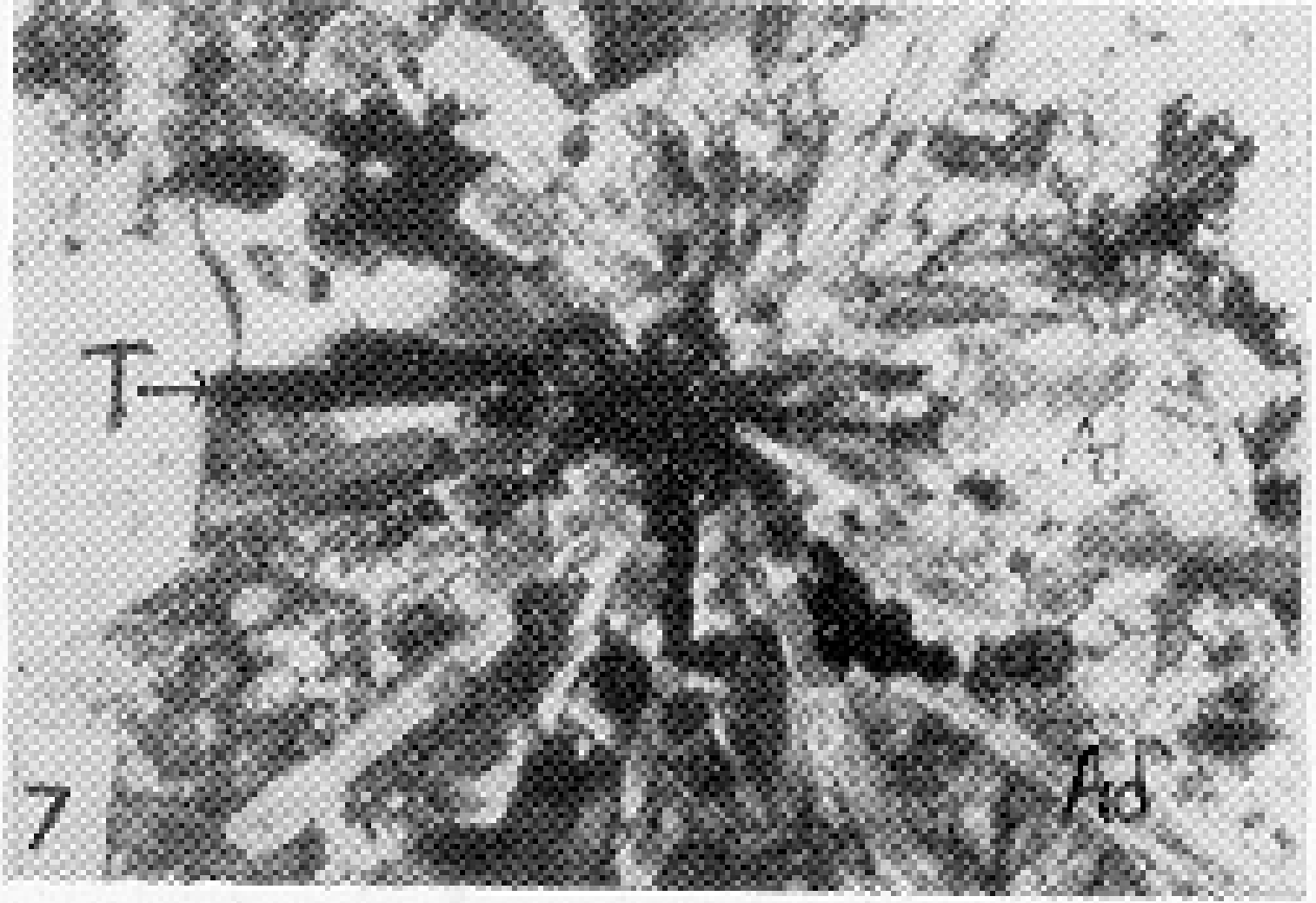

Pr
Pr
O
2


D
D
3


S
S
O
4


5

Al
Al
6


T
7
Ad