

太白山 鑛化帶 中部地域 페그마타이트에 대한 地化學的 研究

崔成薰* · 池楨蔓*

Geochemical Study on Pegmatites in Central Region of Taebaek Mineralized Area.

Sung-Hoon Choi* and Jeong-Mahn Chi*

Abstract: This study has been carried out on the Pegmatites, Naedeogri Granites, Nonggeori Granites and Metasedimentary rocks in the middle area of Taebaeksan region to investigate the geochemical properties and possibility of productivity.

Pegmatites are characterized by metamorphosed anatetic pegmatite and differentiated magmatic pegmatite, and are mixed type of rare-element pegmatite and mica-bearing pegmatite by the classification of Ginsburg(1979).

The petrological type of the igneous rocks is thought to be calcalkali, subalkaline and peraluminous.

According to chemical variations against D. I., differentiation trends from Naedeogri and Nonggeori Granites through non-mineralized pegmatites to mineralized pegmatites are supposed. From the relationship between oxidized and SiO_2 , pegmatites and Nonggeori Granite have shown similar tendencies and bulk composition of pegmatites and similar to metasedimentary rocks near the intrusives.

By judging the correlations of trace elements, it is elucidated that pegmatites adjacent to Naedeogri and Nonggeori Granites have been originated in magma differentiation from these granites and the others have been differentiated by remelting or partial melting from metasedimentary rocks.

Sp_5 , Sp_8 , and Sp_9 pegmatites are considered as productive rocks, and Sp_4 , Sp_6 , Sp_7 , Sp_{10} , Sp_{11} and Sp_{12} pegmatites and granites are supposed to have a weak productivity, in terms of element ratios related with Sn mineralizations.

Tourmalines in productive pegmatites are formed under the circumstance of Li-poor granitoids and associated with pegmatites, and the others are seemed to be originated in metapelites and metapsammites which are not coexisting with an Al-saturating phase.

Three types of chemical zoning are noticed in tourmalines: (1) apparently homogeneous compositional patterns, (2) a continuous core-to-rim zoning and, (3) a discontinuous core-to-rim zoning.

From results of EPMA of tourmalines, Al, Mg and Ca increase closer to rim, while Fe decreases.

序 論

本研究地域은 太白山 鑛化帶 中部地域 (咸白大斷層 以西地域)으로서 서벽리 도록에 해당하며 先캄브리아時代의 농거리, 내덕리, 홍제사 花崗岩이 先캄브리아 시대의 변성 퇴적암을 貫入하고 있으며 수많은 페그마타이트가 곳곳에 分布하고 있다. 이 중 특히 순경 地域의 페그마타이트는 순경, 성덕, 각회등에 朱錫 鑛山이 開發되는 등 朱錫 鑛化作用과 밀접한 關聯을 맺고 있으며, 그 외에도 서벽리 도

쪽 南東, 南中, 南西 地域에 大規模의 페그마타이트가 발달하고 있다.

既調查研究資料로는 김수영(1988)이 순경 페그마타이트에 대한 成因의 考察 및 朱錫 광화 작용에 대해 發表한 바 있고 이 덕원, 전효택(1988)은 농거리, 내덕리 花崗岩에 대한 多元素 地球化學的研究를 遂行하였으며 이상만, 김형식(1984)은 본 역의 基底岩인 變成堆積岩에 대한 岩石學的研究를 行한 바 있다. 또한 진명식, 김성재(1988)는 순경 朱錫 페그마타이트에 대한 絶對 年齡을 측정한 결과 내덕리, 농거리 花崗岩과 페그마타이트를 同時代로 發表하고 兩 花崗岩과 페그마타이트가 동일한 岩石起源임을 시사한 바 있다.

* 인하대학교 자원공학과(Department of Mining & Mineral Engineering, Inha University, Incheon, 402-751 Korea.)

일반적으로 鑛床과 火成岩 活動과의 成因의 關係를 區分하는 방법은 鑛床이 花崗岩體內 接觸部 및 外側에 존재하는 등의 空間的 分布와 鑛床 構成 鑛物과 花崗岩 構成 鑛物의 年代 測定 結果를 比較하여 時間的 關聯性을 검토함으로서 規範하게 되는데 本 地域의 페그마타이트는 兩 花崗岩 및 變成 티작암과 公간적으로 매우 밀접되어 있고 순경 페그마타이트의 백운모 K-Ar 절대연령은 1546.94 Ma(진명식, 1988)이고 내덕리 화강암의 백운모 K-Ar 절대 연령은 1530 Ma(Ueda, 1969), 1596 Ma(Lee, 1988)로서 순경 페그마타이트와 비슷한 연령을 가지고 있는 등의 자료로 보아 시 간적, 공간적으로 밀접한 關係가 있는 變成 堆積岩 및 兩 花崗岩과 성인적으로 關係가 있다고 보아진다.

본 역의 페그마타이트에 대한 野外 觀察에 의하면 Rambert(1952)의 分類에 의한 metamorphosed anatetic pegmatite와 differentiated magmatic pegmatite의 特徵이 모두 나타나는데 특히 電氣石이 많이 含有된 것일 수록 分化相을 보이며 電氣石이 없거나 미량 含有된 것은 비분화상 페그마타이트로 되어있다.

Ginsburg(1979)는 페그마타이트를 고화 깊이, 광화 작용, 화성 작용, 변성 작용에 의해 分類하였는데 本 研究 地域의 페그마타이트는 稀有元素 페그마타이트(rare-element pegmatite)와 含雲母 페그마타이트(mica-bearing pegmatite)의 혼합형으로 보이며 이 두가지는 모두 變成 作用을 수반하는 것이 특징이다. 즉, 주변암의 變成相과 밀접하게 상호작용을 할뿐 아니라 anatetic pegmatite가 더욱 변성되어 granulite相으로 산출되기도 한다. 含雲母페그마타이트의 變成은 변성작용 진행후의 생성으로서 後退變成의 環境下에서 生成되며, 희유금속 페그마타이트는 花崗岩 貫入의 온도 영향으로 생성된다고 하였다.

Cerny(1982)는 페그마타이트와 花崗岩과의 關係에 대한 研究에서 희유원소 페그마타이트는 花崗岩과의 기원적 關係(genetic link)의 증거로서 선캄브리아 시대에 그들의 火成 根源으로부터 습곡등을 통한 構造的 활동에 의한 貫入으로 分離되며 이에 따라 상부는 페그마타이트이고 하부는 花崗岩인 것이 대부분이고 含雲母 페그마타이트는 화성원 또는 변성원으로서 片麻岩을 둘러싸고 있으며 모암인 花崗岩과는 멀리 떨어져 있는 것이 특징이라 하였다. 또한 희유원소 페그마타이트(rare-element pegmatite)는 모암인 花崗岩과 接하는 片岩과 片麻岩을 우선적으로 貫入하여 形態는 단순한 것부터 복잡한 것까지 다양하고 含雲母 페그마타이트는 그 지방의 變成 過程과 매우 밀접한 關係가 있으며 그 地域의 構造的 진화 마지막 단계의 원소에 의해 조절된다.

다고 하였다.

따라서 본 研究에서는 각 地域 페그마타이트의 主成分 및 微量 成分의 地區 화학적인 特性 研究를 통하여 生產 實績이 있던 地域의 페그마타이트와 그 외 地域의 페그마타이트를 比較하고 周邊에 分布하는 花崗岩 및 變成 堆積岩과의 關係를 추적하여 페그마타이트의 성인을 考察하며, 특히 거의 모든 페그마타이트에 수반되는 電氣石의 鑛物化學的 特性에 따른 성인 및 광화작용의 지시자가 될 수 있는지의 여부를 考察하고자 한다.

이를 위하여 페그마타이트의 產出 地域을 암상과 分布 地域을 고려하여 分類한 후 각 地域別 전체 시료에 대한 분석을 행하였다. 主成分 分析은 動力資源 研究所와 일본 구마모토 대학에서 습식 분석으로 행하였고, 微量 分析은 XPF, ICP, AAS의 방법을 통하여 動力資源 研究所, 일본 구마모토 대학, 鑛業 振興 公社에서 행하였으며 電氣石의 전자 현미 분석(EPMA)은 연세대학과 일본 와세다 대학에서 수행하였다.

地質概要

본 역은 嶺南 陸塊의 北東部에 해당하는 先캄브리아 시대의 태백산소분지에 위치하며 서벽리 도폭의 장산 규암총以南 地域에 해당한다. 선캄브리아 變成堆積岩인 栗里統이 대부분을 占有하고 있고 一部 火成岩이 分布되어 있다 (Fig. 1.).

本 域의 既 調査 資料에 의한 地質 系統表는 다음과 같다.

캄브로-오오도부쓰기	朝鮮系
— 不整合 —	
페그마타이트	
내덕리 花崗岩	
선캠브리아 이언	
농거리 花崗岩	
— 貫入 —	
고선리총	
각하사 총	율리총 군

變成堆積岩類

本 역은 下部에 緑泥石 片岩으로 構成된 각화사총과 上部에 多樣한 變成相의 고선리총으로 區分되며 각화사총과 고선리총의 關係는 整合의이고 境界는 뚜렷치 않으나 고선리 총의 基底로 認定되는 含雲母 및 黑雲母-石英 片岩薄層이 기준이 된다.

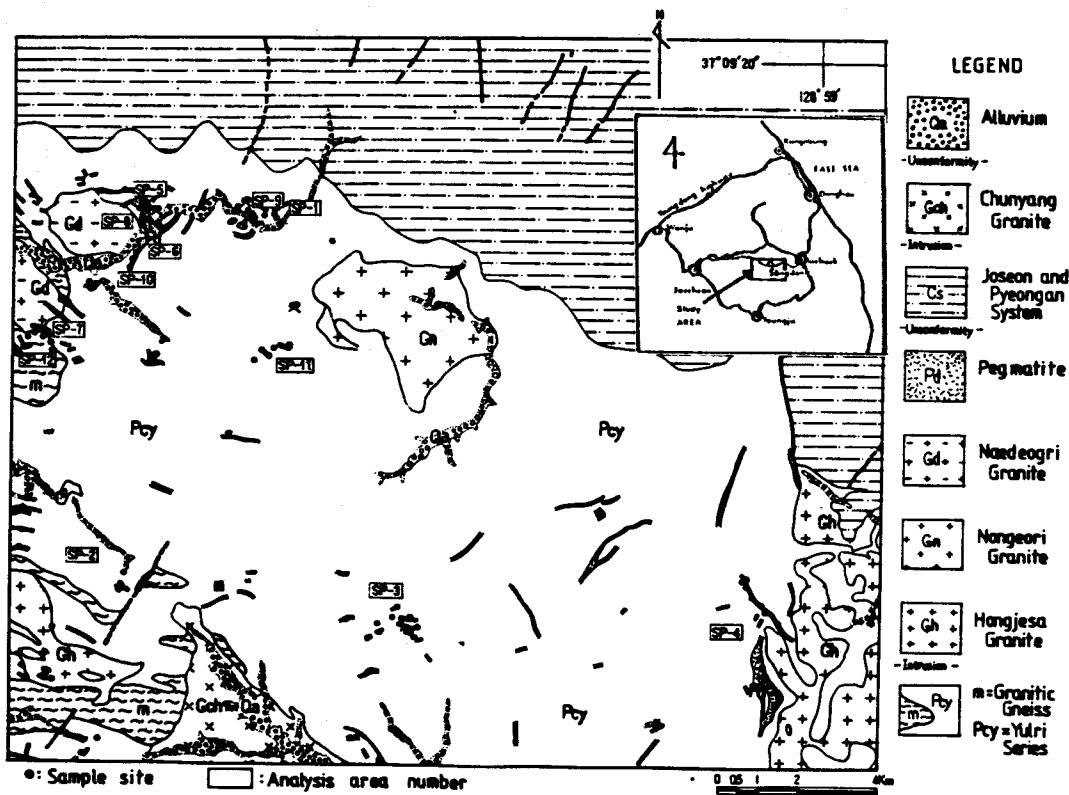


Fig. 1. Geological map and sample site of Taebaeksan area.

각화사총

율리충의 기저암으로서 각화산을 중심으로 分布하며 주로 녹회색, 황녹회색을 띠고 편리가 뚜렷치 않으며 약한 호상 구조를 갖는다. 構成 鑽物은 緑泥石, 絹雲母, 石英, 白雲母, 斜長石등이며 黑雲母는 방향성을 가지고 배열되나 緑泥石은 방향성을 보이지 않으며 斜長石은 石英과 밀폐기 틱 構造를 보이기도 하며 견운모화 되어 있다. 본 층은 研究地域內 대부분을 차지하는 고선리층과 북측으로 접하고 있다.

고선리충

각화사층의 상부에 정합적으로 덮여있는 본층은 장산규 암층에 의해 경사부정합으로 피복되어 있으며 동측은 남북 방향의 대단층에 의해 조선계 누층군과 접촉하고 있다. 본 연구 지역의 양단에서는 홍제사 花崗岩과 접촉하고 있으며, 내더리, 농거리 花崗岩 및 폐그마타이트에 의해貫入되어 있다. 본 층은 泥質源堆積變成岩과 砂質源堆積變成岩으로構成되어 있으며 종적으로는構成成分이 다양하

고 횡적으로는 변성정도가 다양하다

砂質源變成堆積岩은 주로 세립의 雲母 규암 및 黑雲母-石英 편암으로構成되나 부분적으로 黑雲母 변질 사암 및 혼펠스의 암상을 갖는 암석이 介在되기도 한다. 泥質源變成堆積岩은 세립의 黑雲母-石英-紅柱石 片岩, 兩雲母片岩 및 천매암으로構成되어 있으며 석회질암의 薄層이 협재되기도 한다.

花崗岩類

내덕리 花崗岩

본암은 電氣石을 含有하는 등립질로서 石英-雲母 片岩 및 규암등을 포획하기도 하며 岩色은 電氣石, 黑雲母, 희액색의 長石類에 의해 암회색을 띠며 構成礦物로는 石英, 微斜長石, 斜長石, 黑雲母, 電氣石, 組雲母, 綠泥石등이다.

이동우와 김상육(1967)은 본 암체를 黑雲母 片麻岩, 片岩 및 거정질 花崗岩으로構成된 복합체로 구분하여 本岩에 내재되어 있는 黑雲母 片麻岩은 고선리층인 片岩類가變成交代作用을 받아 생성된 것이라고 하였고 김선업과

김수영(1984)은 본암체를 貫入花崗岩으로 해석하였다.

농거리 花崗岩

선캄브리아시대의 變成堆積岩類를 貫入한 본 암체는 암회색, 회록색 및 회색의 색조를 띠고 있다. 본 암체의 암상은 곳에 따라 차이를 보이고 있는데 서측부에는 石英, 白雲母 및 電氣石으로 構成된 반상 組織을 보이는 반면 중심

부로 갈수록 균질한 등립질의 黑雲母, 灰色長石類가 우세한 암상으로 변하고 본 암의 동측부 및 남측부에는 수반광물에 각섬석이 우세하다.

顯微鏡 觀察에 의하면 반정은 石英, 白雲母, 電氣石으로 構成되어 있고 석기에는 미정질의 石英, 網雲母, 長石, 細粒의 白雲母로 構成된 반상 組織을 보인다.

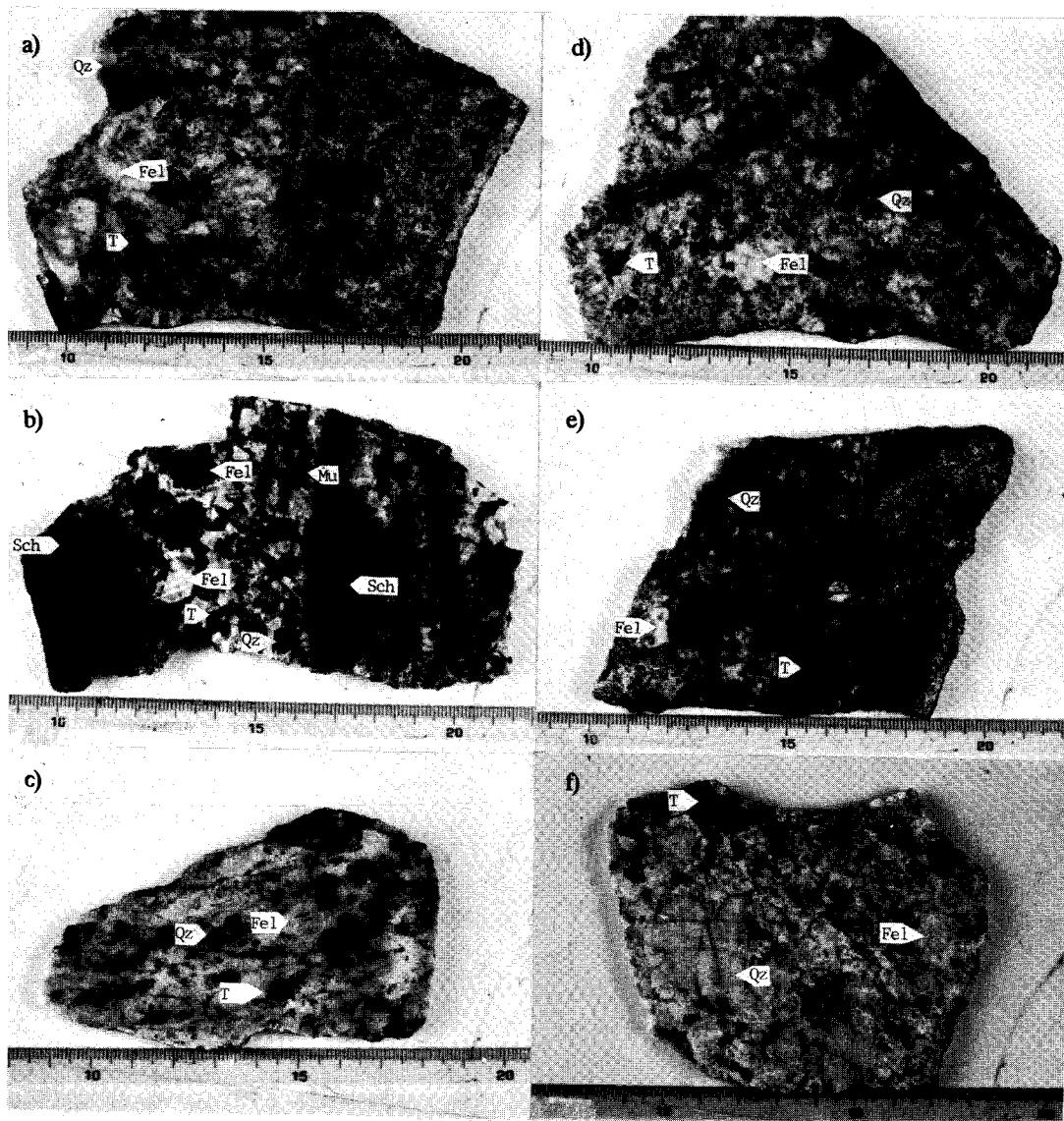


Fig. 2. (a) Pegmatite facies gradually changed to granite. (b) Injection gneissic pegmatite. (c) Foliation structure in pegmatite. (d), (e) Zonning structure in pegmatite. (f) Metamorphic recrystallized pegmatite. (Qz : Quartz, Fel : Feldspar, T : Tourmaline, Mu : Muscovite, Sch : Schist)

(3) 페그마타이트

본 역의 變成堆積岩에는 수 많은 페그마타이트가 발달하고 있으며 그 폭은 수 센티미터에서 수십미터에 이르며 연장은 수백미터에 이르는 것도 있다. 本 페그마타이트는 암상에 따라 광입암과 페그마타이트의 경계가 점이적인 것 (Fig.2-(a))과 주입 片麻岩의 양상을 띤 것 (Fig.2-(b))으로 分類되며 전체적으로 엽리구조가 나타난다 (Fig. 2-(c)).

또한 폭이 큰 페그마타이트에서는 어느 정도 분화대를 이루는 곳도 있으나 (Fig. 2-(d), (e)) 전혀 분화의 양상이 없이 변성 작용에 의한 재결정 또는 거정질화된 산상을 보이는 것도 있다 (Fig. 7-(f)). 분화의 양상은 대체적으로 電氣石의 집중대가 중심부에 나타나고 주변부는 白雲母가 우세하며 중심부에 비해 세립인 傾向이 있다.

본 研究에서는 페그마타이트를 分布 地域별로 分類하였는데 각 분포 地域별 페그마타이트에 대한 野外 觀察 및 顯微鏡 觀察 결과는 다음과 같다 (Fig. 1 참조).

(1) Sp-1, Sp-9 페그마타이트 : 순경석광산 주변부로서 거정의 長石과 石英이 主構成礦物이 되며 중립 및 세립의 침상 電氣石이 산재하고 있고 白雲母는 소량 존재하나 黑雲母는 거의 보이지 않는다. 맥폭은 수십 cm에서 수 m에 이르며 기존의 變成 堆積岩을 貫入하고 있으며 變成 堆積岩에서 페그마타이트로의 점이적인 變化도 觀察된다. 分帶組織은 觀察되지 않으며 대체적인 주향은 N70-80E이다.

顯微鏡 觀察에 의하면 石英, 正長石, 斜長石, 百雲母, 電氣岩등이 보이며 斜長石의 암쇄현상에 의한 변형형태가 觀察되는 것으로 보아 오랜 기간에 걸친 암쇄현상이 있었음을 알 수 있다.

(2) Sp-5, Sp-8 페그마타이트 : 성덕광산 주변부로서 主構成礦物은 Sp-1과 비슷하나 조립, 거정의 電氣石이 주상과 침상으로 존재하며 흑색 및 암녹색의 電氣石이 공존하고 長石의 암쇄에 의한 眼球構造가 觀察된다. 역시 分帶組織은 觀察되지 않으며 주변의 내덕리 花崗岩과 점이적인 경계를 이루고 있다.

顯微鏡 觀察에 의하면 電氣石의 累帶構造는 觀察되지 않으며 電氣石이 주위의 다른 광물을 절단하는 것이 觀察되며 長石은 심하게 오염되어 있다.

(4) Sp-7, Sp-12 페그마타이트 : 내덕리 花崗岩 남쪽에 위치하며 폭 10m에서 120m의 대규모 암체가 존재하는 곳으로서 거정의 電氣石이 특징적이며 중심부(core)와 외곽(rim)의 構成 矿物 變化는 별로 보이지 않으며 암회색과 회백색의 長石이 공존하고 白雲母는 산점되어 있다. 顯微

鏡下에서 電氣石의 累帶構造가 觀察된다.

(5) Sp-11 페그마타이트 : 농거리 花崗岩 서쪽에 위치하며 외곽에는 거정의 電氣石과 白雲母가 우세하나 중심부로 갈수록 電氣石의 양은 줄어들고 長石 및 白雲母가 우세한 分帶構造가 觀察된다. 顯微鏡下에서의 觀察에 의하면 電氣石과 斜長石이 白雲母에 의한 交代를 받아 長石과 石英의 myrmekitic構造가 觀察되기도 하며 石英, 正長石, 斜長石, 페어사이트, 白雲母, 電氣石등으로 構成되어 있다.

(6) Sp-2 페그마타이트 : 서벽리도폭 서남단에 위치하는 홍제사 花崗岩 주변부로서 長石(회백색, 암흑색, pink빛)이 거정으로 다량 含有되어 있으며 비교적 대규모 암체로서 電氣石은 미립으로 산재되어 있거나 육안으로 觀察되지 않는 정도이며 分帶組織은 觀察되지 않는다.

顯微鏡 觀察에서도 주로 石英과 長石을 含有하고 있으며 소량의 白雲母와 電氣石이 간혹 출현하고 있다.

(7) Sp-3 페그마타이트 : 올리충군을 貫入한 페그마타이트로서 연회색의 長石과 石英, 電氣石이 거정으로 존재하고 있으며 電氣石의 재배열 형태를 보여주어 後變成作用이 있었음을 추측할 수 있으며 分帶構造는 보이지 않는다.

顯微鏡下에서는 石英, 正長石, 斜長石, 微斜長石, 페어사이트, 電氣石등이 觀察되며 長石과 石英의 myrmekitic構造가 觀察되고 長石類, 石英이 심하게 絡雲母化 되어 있고 電氣石은 累帶構造가 观察된다.

(8) Sp-4 페그마타이트 : 서벽리 도폭 우남단에 위치하는 홍제사 花崗岩의 인접地域으로서 폭 1-7m의 암체가 발달하고 있으며 거정의 電氣石, 石英, 長石으로 構成되어 있다. 顯微鏡 观察에서는 주로 石英, 正長石, 斜長石, 微斜長石, 電氣石이 观察되며 白雲母도 소량 观察된다. EPMA 결과에 의하면 斜長石은 Na성분이 Ca 성분보다 우세한 것으로 나타난다.

페그마타이트의 分帶構造가 나타나는 원인에 대해 Fersman(1940)은 동시에 주입되는 페그마타이트에 分布하는 分帶構造는 국부적인 광입체 주위의 온도 등급에 의해 형성되고 낮은 온도일수록, 근원에서 멀수록 분계가 진행된 페그마타이트가 생성된다고 하였고 Varlamoff et al (1972, 1975)는 다른 형태의 페그마타이트, 혹은 後期 變成流體에 의해 分帶構造가 나타난다고 하였으며 Nedmov (1964)는 혼합되지 않은 용액이 migration됨으로서 分帶構造가 생길 가능성을 발표한 바 있다.

本 研究地域의 페그마타이트는 分帶組織이 观察되는 것

과 그렇지 않은것이 같이 산출되는데 이것은 광역적으로分布하고 있는 본 地域의 페그마タイト가 동일 생성 기구에 의해 생성된 것이 아닐 가능성은 암시해준다.

地球化學

概要

本 역에 分布하는 火成岩類 및 變成堆積岩에 대한 主成分과 노름礦物 및 微量元素에 대한 分析結果는 Table 1과 같다.

本研究를 위하여 研究 대상인 페그마タイト를 岩狀, 周邊岩과의 關係, 分布 地域을 고려하여 12地域으로 分類하고 巨晶의 따른 特殊성을 없애기 위해 박편 및 연마편을

위한 試料를 제외한 全量을 파쇄하여 그 地域을 代表하여 分析하였고 농거리 花崗岩, 내덕리 花崗岩, 율리충군에 대한 화학분석치는 김수영(1988), 이상만, 김형식(1984)의 자료를 인용하였다.

Goldschmit(1954)는 일반적으로 마그마가 分化될수록 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO}$ 는 0.2에서 20까지 增加하며 $\text{Na}_2\text{O} / \text{CaO}$ 는 0.1에서 20까지 增加하고 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} / \text{CaO} + \text{MgO}$, $\text{Ga}_2\text{O}_3 / \text{Al}_2\text{O}_3$, MgO / NiO , $\text{Li}_2\text{O} / \text{MgO}$, $\text{K}_2\text{O} / \text{BaO}$ 는 增加하며 $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{FeO} / \text{TiO}_2$ 는 감소한다고 하였다. 그는 특히 Na/Ca , Fe/Mg 비는 다른 결합력을 갖는 成分을 함유하는 혼용체의 평형에 의존하는 온도에 의해 지배된다고 하였다.

Arthur H. Brounlow(1979)는 마그마내의 미량 원소를 마

Table 1. Major elements and normative minerals of pegmatites, granites and metasedimentary rocks.

	Sp1*	Sp2*	Sp3*	Sp4*	Sp5*	Sp6*	Sp7*	Sp8#	Sp9#	Sp10#	Sp11#	Sp12#	Naegeori Granite**	Nonggeori Granite**	Metasedimentary Rock									
SiO_2	64.34	69.14	70.22	70.29	70.34	70.71	70.252						74.58	72.22	73.53	71.54	71.57	71.48	72.81	75.92	62.34	67.10	97.6.66	57.6.164
Al_2O_3	18.98	18.17	17.22	17.24	17.04	17.28	17.543						14.19	17.17	14.65	17.84	13.68	16.71	16.03	13.83	16.40	21.4.44	21.0.47	810.853
Fe_2O_3	0.71	0.70	0.39	0.60																				
FeO	0.31	1.303	0.35	0.71																				
FeO^*	1.945	1.659	0.701	1.250	1.046	0.900	1.341						1.76	1.13	1.67	0.81	1.58	1.94	1.56	1.232	5.991	5.923	3.170	3.483
CaO	2.13	Tr.	Tr.	0.597	0.586	0.546	0.357	0.501	0.384	0.324	0.349	0.59	0.63	0.63	0.63	0.79	0.75	0.58	0.38	1.148	1.231	1.517	1.514	
MgO	0.21	0.38	Tr.	0.16	0.097	0.101	0.086	0.049	0.062	0.051	0.099	0.055	0.29	0.21	0.32	0.08	0.27	0.34	0.229	0.16	3.015	3.139	1.159	0.820
Na_2O	4.93	3.61	3.29	4.00	5.585	4.900	3.927	3.99	3.50	4.15	2.44	3.32	5.36	4.60	5.14	4.60	5.36	5.30	5.10	4.97	4.543	2.528	1.269	1.234
MnO	0.11	0.09	0.09	0.11	0.074	0.070	0.158						2.60	3.37	3.30	3.90	2.87	2.70	2.95	2.88	2.147	0.073	2.926	3.127
TiO_2	0.04	0.12	0.15	0.12	0.040	0.047	0.047						0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.080	0.0526	0.038	0.186
P_2O_5	1.88	0.12	0.19	0.26	0.561	0.470	0.261						0.13	0.08	0.14	0.03	0.12	0.16	0.12	0.10	0.629	0.154	0.375	0.264
Total	98.59	98.83	98.59	98.11	100.4599	97.3699	91.91						0.22	0.31	0.26	0.32	0.25	0.24	0.23	0.23	0.141	0.080	0.085	
Q	20.06	26.26	25.74	24.17	18.50	22.04	25.17						33.06	34.03	35.11	39.70	37.86	34.23	33.57	30.72	21.97	30.69	47.40	45.68
C	7.22	6.59	5.01	4.90	3.40	3.82	3.49						2.53	5.74	5.15	3.55	3.56	6.25	3.13	6.10	6.18	4.96	1.70	1.62
Or	23.33	32.34	39.53	34.79	28.45	29.78	33.96						31.68	31.34	30.12	29.39	31.68	27.17	30.40	27.17	26.82	18.53	7.51	7.29
Ab	41.70	30.52	27.85	33.83	49.77	41.49	33.25						24.18	22.87	24.97	24.39	21.98	28.53	27.90	32.99	18.14	21.33	25.54	26.42
An	-1.67	-0.75	-1.20	-1.67	-3.39	-0.17	1.00						2.25	2.14	1.39	0.42	1.53	1.09	1.45	0.97	4.87	5.25	7.09	7.51
Hyen	0.52	-0.94	0.58	0.40	0.24	0.25	0.21						0.67	0.84	0.72	0.40	0.72	0.52	0.79	0.20	16.08	14.40	7.20	7.59
Hyfs	1.99	1.54	0.58	1.20	1.06	0.91	1.48																	
Mt	0.95	0.81	0.35	0.60	0.51	0.44	0.65																	
Il	0.08	0.23	0.29	0.23	0.08	0.09	0.09						0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	1.20	0.98	0.71	0.50
Ap	4.44	0.27	0.44	0.60	1.34	1.11	0.60						0.50	0.57	0.54	0.54	0.50	0.74	0.61	0.77	0.34	0.33	0.20	0.20
D.I.	85.09	89.12	93.12	92.79	96.72	93.31	92.38						88.92	88.24	90.20	93.48	91.52	89.93	91.87	90.88	66.93	70.55	80.45	79.39
Rb	118	292	265	526	430	350	220	500	650	350	350	250	295	323	273	279	345	373	267	312	217	213	113	67
Sr	300	100	100	30	60	80	30	35	72	47	80	45	95	70	86	45	82	86	74	60	224	163	181	202
Ba	400	600	300	100	120	110	150						288	203	266	133	232	235	224	194	987	511	289	198
Li	105	10	5	45				26	22	10	16	20	40	54	73	7	133	129	91	49				
Nb	1.2	6.3	0.3	7.2	9	5	6						9	9	13	6	9	10	8	12				
Zr	73	90	23	12									48	30	47	9	50	55	45	43				
Y	38	69	38	73									6	4	6	1	10	11	9	6	21	20	23	34
Sn	6.4	20	5.6	1				270	350	270	390	110	18	2	15	3	12	15	10	12				

* Analysed in KIER.

^ Analysed in Kumamoto Univ. Japan.

Analysed in KMPC.

** Source : Kim(1988) and Lee et al(1984)

그마로부터 鎌物이 晶出時 흡수되는 傾向이 있는 것과 結晶過程中에 잔류마그마에 놓집되는 傾向이 있는 것으로 분류하였는데 후자에 속하는 B, W, Be, Nb, Ta, Sn, Th, U, Li, Rb, Sr, REE등이 폐그마타이트내에 풍부한 元素들이다.

Ishihara는 花崗岩 계열과 鎌床의 關係에 대해서 일반적으로 터탄철석계 花崗岩이 親石元素(lithophile element)인 Sn, Be, Pb, Li, Rb, F를 다량 함유하고 있으며 分化指數의增加와 함께 함유량도 增加한다고 하였다. 특히 Sn은 터탄철석계 마그마에서 $\text{Sn}^{2+}(0.93\text{\AA})$ 으로 존재하고 이 경우 조암 광물중에 들어있을 장소가 없어서 잔류마그마에서 濃集되고 最末期에 운모류 또는 독립광물(석석등)로 고결된다고 하였다.

김수영(1988)은 본역에 分布하고 있는 선캄브리아 시대의 내덕리, 농거리 花崗岩을 S형과 터탄철석계로 규정하고 내덕리 花崗岩, 농거리 花崗岩, 순경地域 폐그마타이트로의 연속적인 分化를 밝히면서 鎌化作用의 기원이 양 화강암에서 유래되었다고 하였으며 전효택(1987)은 농거리 花崗岩이 朱錫 鎌化作用과 관련되었다고 하였다.

本研究에서는 서벽리 도록 全般에 걸쳐 分布하고 있는 각 폐그마타이트에 대한 岩石 分結作用과 鎌化作用과의 관계를 밝히고 주변암과의 성인적 관계를 고찰하기 위해 주변 화강암 및 變成堆積岩, 각 地域 폐그마타이트의 분석치를 이용하여 分化指數에 대한 主成分 및 微量成分의 變化關係, SiO_2 에 대한 酸化物의 變化, 地球化學的으로 分化에 關係하는 成分들의 相關關係, 生產性 岩體로서의 可能性 및 各 元素의 相關係數를 研究하였다.

主成分 地球化學

Fig. 3과 Fig. 4는 화성암의 암석학적 분류에 이용되는 도표이다. 이에 따르면 본 역의 火成岩類는 Al_2O_3 가 포함된 calc-alkaline, 규소가 높고 알카리가 낮은 subalkaline 영역에 도시되고 있으며 Shand(1951)의 Al_2O_3 포함에 따른 암석의 분류에 의하면 본 역의 화성암은 모두 Al_2O_3 가 포함된 peraluminous($\text{Al}_2\text{O}_3 > \text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O} + \text{CaO}$ mol%)영역에 속하며 이는 Table. 1의 CIPW분류에서 corundum이 다량 함유된 것으로도 알 수 있다.

본 역의 화성암에 대한 분석 결과를 Nockolds(1954)에 의한 calc-alkaline 花崗岩의 平均 含量과 비교하여 보면 본 역의 폐그마타이트는 calc-alkaline 花崗岩의 平均 含量보다 특히 Al_2O_3 의 含量이 calc-alkali 화강암의 평균함량이 13.86%인데 비하여 매우 높고 Na_2O 와 P_2O_5 의 含量은 평균함량이

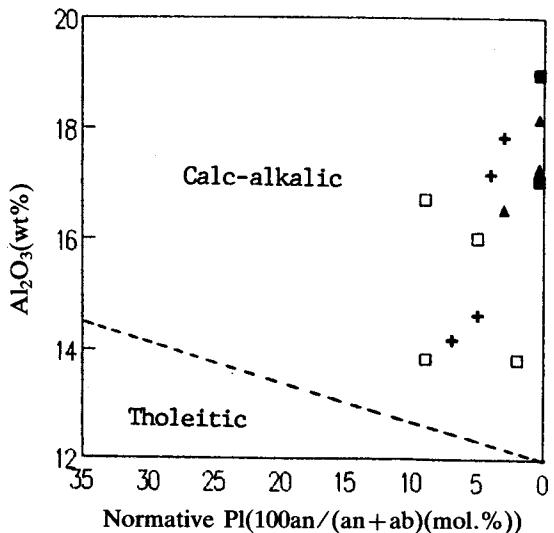


Fig. 3. Plots of Al_2O_3 (wt. %) vs. normative Pl for pegmatites and granites, after Irvine and Barager(1971). (■ : mineralized pegmatites. ▲ : non-mineralized pegmatites, + : Naedeogri granite, □ : Nonggeori granites.)

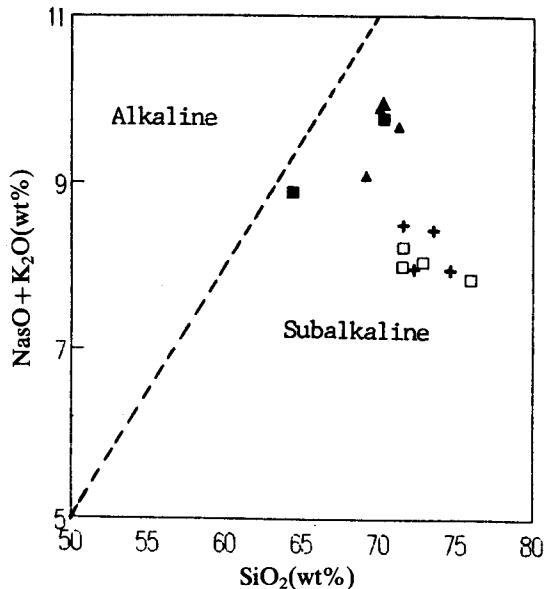


Fig. 4. Plots of $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ (wt. %) vs. SiO_2 (wt. %) for pegmatites and granites. symbols are the same as those of Fig. 3.

각각 3.08%, 0.18%로서 calc-alkaline 화강암의 평균함량보다 약간 높은 반면 SiO_2 , TiO_2 , K_2O 의 含量은 평균함량이 각각 72.08%, 0.37%, 5.46%으로서 본역의 폐그마타이트

가 약간 낮은 것으로 나타난다. 兩 花崗岩의 경우는 대체적으로 calc-alkalic 花崗岩의 평균 含量과 유사한 傾向을 보여 주고 있다.

Fig. 5는 각 암석에 대한 SiO_2 의 변화에 따른 산화물의 변화도이다. Harker(1909)는 SiO_2 에 대한 酸化物의 變化에 대한 研究에서 일반적으로 SiO_2 가 增加할수록 K_2O 와

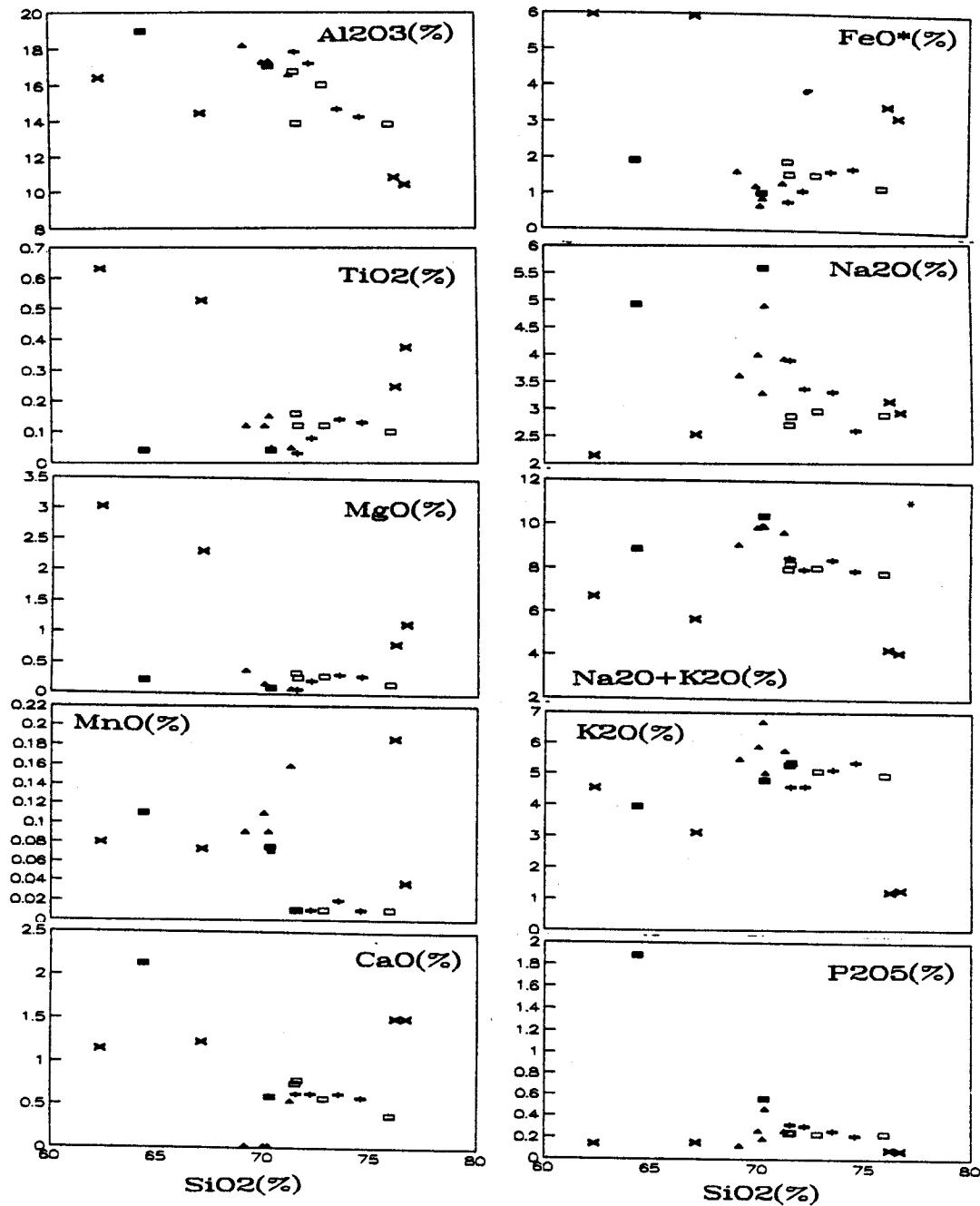


Fig. 5. Chemical variation against SiO_2 of pegmatites, granites and metasedimentary rocks.
 (■ : mineralized pegmatites, ▲ : non-mineralized pegmatites, + : Naedeogri granite, □ : Nonggeori granites, × : metasedimentary rocks.)

Na_2O 는 增加하고 TiO_2 , FeO , MgO , CaO 는 減少하며 Al_2O_3 는 다른 酸化物처럼 큰 變化를 보이지는 않지만 약간 增加한다고 하였다.

本 研究地域의 페그마타이트는 花崗岩類의 정상적인 傾向을 보이는데 반하여 내덕리 花崗岩은 TiO_2 , MgO , MnO , FeO^* (total Fe), Na_2O 의 成分變化가 정상적인 傾向과는 상이한 결과를 보인다. 특히 농거리 花崗岩과 변성퇴적암에 있어서 Na_2O 의 增加에 대한 K_2O 의 감소는 뒤에 나오는 分化指數에 대한 변화와 같은 결과를 보여주며 변성퇴적암에서 SiO_2 의 增加에 대하여 CaO 가 增加하는 傾向을 보여주는 것이 특징적이다.

SiO_2 의 增加에 대한 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 의 변화는 페그마타이트가 兩 花崗岩 및 變成堆積岩과는 상이한 結果를 보여준다. 즉 페그마타이트에서는 SiO_2 의 增加에 대하여 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 가 增加하나 兩 花崗岩 및 变성 퇴적암에서는 감소하는 傾向을 보여준다. Kuno(1966)는 해양지각에서 유래된 变성암에서 $\text{Na}_2\text{O} + \text{K}_2\text{O}$ 와 SiO_2 가 정비례한다고 하였다.

本 地域의 SiO_2 에 대한 酸化物의 변화도에 대한 고찰에서는 變成堆積岩과 농거리 花崗岩이 페그마타이트의 分化에 관계되어 있음을 보여주고 있으며 내덕리 花崗岩은 이들과 상이한 성분 변화의 傾向性을 보여주고 있다. Fig. 6은 CaO 에 대한 酸化物의 변화를 도시한 것이다. FeO , MgO , Na_2O 는 兩 花崗岩에서 페그마타이트로의 정상적인 分化 傾向을 보여주나 SiO_2 및 P_2O_5 에서는 반대의 傾向을 보여준다. 즉 페그마타이트가 兩 花崗岩에 비하여 SiO_2 의 含量은 낮은데 반하여 P_2O_5 의 含量은 높게 나타나고 있다. SP1地域(순경석광산)의 페그마타이트의 경우 CaO 와 P_2O_5 의 含量이 매우 낮은 특징을 보여주고 있으며 이 地域에서의 CaO 와 P_2O_5 의 增加는 전형적인 인회석의 분결작용을 나타내는 것으로 인회석의 분결작용이 朱錫 鎌化作用을 수반함을 암시해주고 있다.

微量成分 地球化學

Moses, A. Olade(1980)는 鎌化作用이 모암이 되는 貫入岩의 分化 과정중에 발달되는 Ore-forming fluid(광상형체 유체)의 產物이라면 암석중의 微分成分의 含量과 分布 양상이 Tin 鎌化作用을 반영할 可能성이 매우 높다고 하였다. 일반적으로 Sn의 지시 원소(path-finder)에는 Nb, Th, Rb, Li, REE, Zr, Ba, Sr, Cs등이 있는데 Nb, Rb, Li등은 Sn의 含量과 정비례하고 Zr, Ba, Sr은 Sn의 含量과 반비례한다.

Bowen(1966)은 Zr의 고갈은 마그마과정후(post magmatic process)에 관계하는 metasomatic imprint에 영향을 받는다고

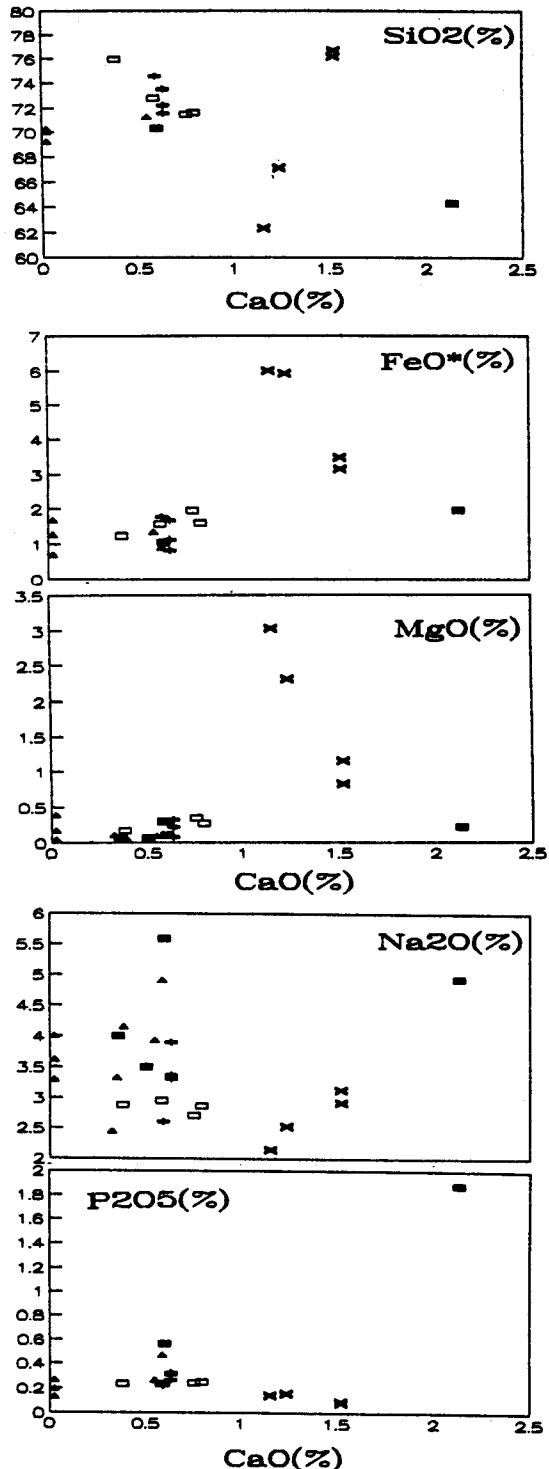


Fig. 6. Chemical variations against CaO of pegmatites, granites, and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 5.

하였다. Moses(1980)은 Northern Nigeria의 tin-bearing granite에 대한研究에서 barren granite는 stanniferous granite에 비해 비교적 높은 Zr含量을 갖고 있다고 하였다. 본 역에 서는 Sp-1, Sp-2 폐그마타이트의 Zr含量이 내덕花崗岩 및 Sp-3, Sp-4 폐그마타이트의 Zr含量에 비해 우세한 것으로 나타났다.

Fig. 12은 생성 마그마分化 과정의 fraction index로 많이 이용되는 Zr(Weaver et al, 1979)대한成分 변화도이다. 여기에서는 특징적인倾向性은 없으나 TiO_2 , P_2O_5 에서는 鎌化帶 폐그마타이트만이 특히 상이한 변화를 보이며, Rb, Y에서는 變成堆積岩에서 兩花崗岩으로의分化倾向을 볼 수 있으나 鎌化帶 및 非鎌化帶 폐그마타이트와는 특정의倾向

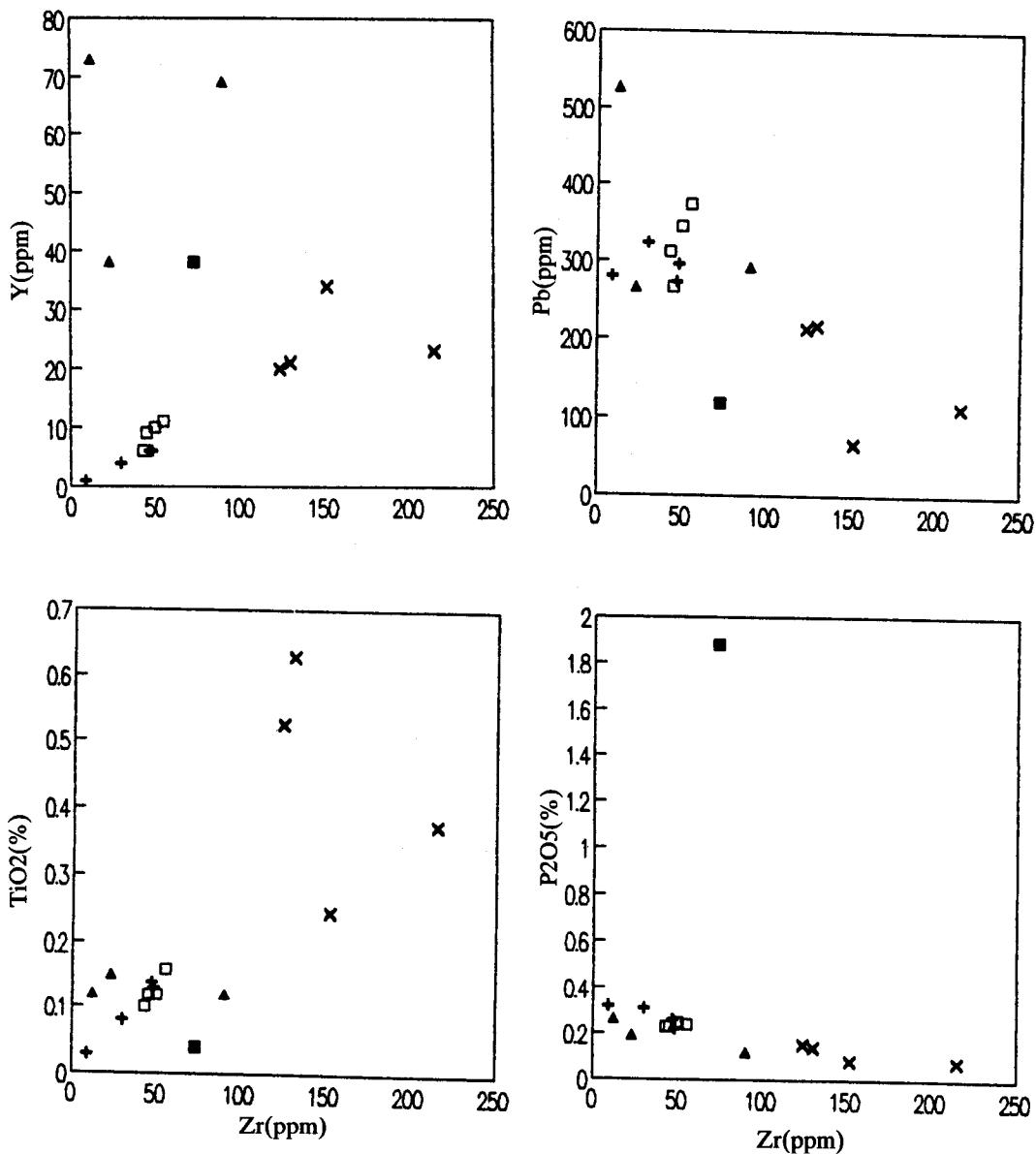


Fig. 7. Chemical variations against Zr of pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 5.

性이 보이지 않는다.

Fig. 8은 Bouseily이 제안한 Rb-Ba-Sr의 삼각다이어그램으로서 화살표는 分化 傾向을 나타낸다. 이 도표에서 내덕리, 농거리 花崗岩은 밀집되어 나타나는 반면 페그마타이트는 分散되어 나타남을 알 수 있다. 즉 일부 페그마타이트의 경우 兩 花崗岩보다 낮은 分化 정도를 나타내고 있다. 이는 本 研究 地域의 페그마타이트중의 일부는 兩 花崗岩과 별개의 分化 과정을 통해 형성되었음을 암시하여 주는 것으로서 변성 퇴적암으로부터의 재용융 또는 부분용융에 의한 형성을 추측케 한다. 특히 Sp₄, Sp₅, Sp₆, Sp₇ 페그마타이트 및 농거리 화강암, 내덕리 화강암중의 일부는 朱錫 광상에 수반되는 화강암영역에 도시되어 나타난다.

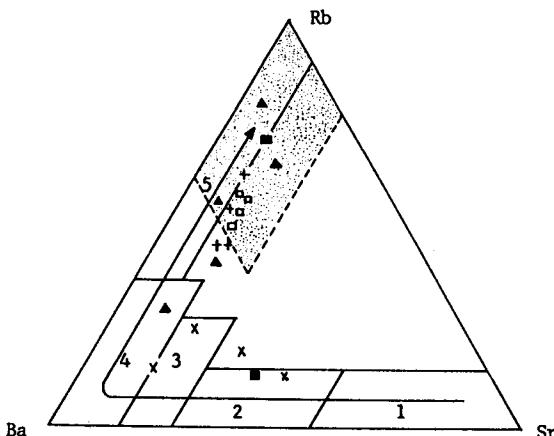


Fig. 8. Ternary diagram for Rb-Ba-Sr of pegmatites, granites and metasedimentary rocks. The arrow represents the differentiation trend. (1 : diorite, 2 : granodiorite and quartz diorite, 3 : anomalous granite, 4 : normal granite, 5 : strongly differentiated granite.) The dotted area is granites associated with deposits of Sn, W, and Mo. (Biste, 1982) Symbols are the same as those of Fig. 5.

Fig. 9는 Ba-Sr의 관계를 도시한 것으로서 花崗岩類의 分化 關係를 나타내고 있다. 이 도표에서도 兩 花崗岩 周邊部의 페그마타이트는 兩 花崗岩에서 페그마타이트로 Ba 와 Sr이 점차적으로 감소하는 分化 傾向을 보여주나 그외 地域의 페그마타이트는 分化 정도가 더욱 낮은 변성 퇴적암에서 부터의 分化傾向을 보여준다. 또한 Sp₁ 페그마타이트(순경광산 지역)는 Sr이 월등히 부화되어 있음을 알 수 있다.

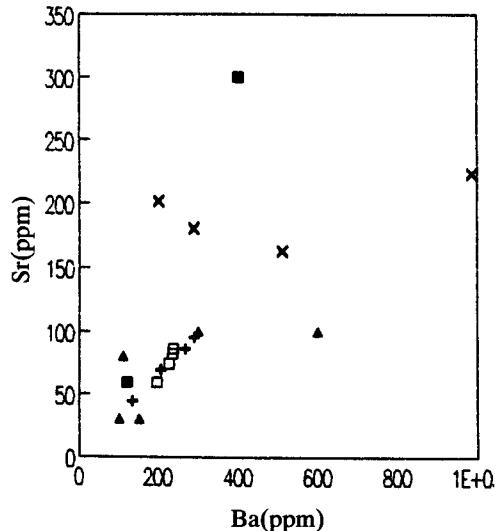


Fig. 9. Sr-Ba diagrams for pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 3.

分化指數에 對한 主成分 및 微量成分 變化

本 研究 地域에 分布하는 火成岩 및 變成岩의 normative의 鎌物에 의한 分化指數는 페그마타이트가 85-96, 兩 花崗岩이 88-93, 变성 퇴적암이 58-76의 범위로 나타나고 있다.

김수영(1988)은 순경 페그마타이트에 대한 研究에서 含錫石 페그마타이트가 barren 페그마타이트보다 分化指數가 낮은 값을 나타낸다고 하고 내덕리 花崗岩과 농거리 花崗岩 및 barren 페그마타이트에 이르는 암체의 分化 傾向은 calc-alkali 계열의 花崗岩 分化에 따른 主成分의 增減 現象과 일치하나 含錫石 페그마타이트는 상위한 成分 變化 傾向을 나타내고 있어 含錫石 페그마타이트의 朱錫 광화 작용이 상호 직접적인 分化 關係로 연관 되지 않았다고 발표한 바 있다.

Sheraton and Black(1974), Jokes et al. (1977)은 Sn 鎌化帶의 관입암은 SiO_2 의 含量이 70-77%로 分化度가 높은 전형적인 alkali-rich rock이며 MgO 와 CaO 가 낮고 흑운모같은 Fe-rich mafic mineral이 적다고 하였다.

Sherement et al(1973), Kozlov et al(1975), Gloves(1972), Sheraton and Black(1973)은 Sn 광화 작용을 수반하는 관입암은 花崗岩의 Sn 평균값인 3ppm보다 높으며 대부분이 plumbasitic하며 잔류 花崗岩質 마그마에 놓침된 다른 원소,

즉 Rb, F, Be, Li, B가 부화되어 있다고 하였다.

Ishihara는 티탄철석계 花崗岩에서 Sn의 함유량과 分化指數는 비례한다고 하였고, Flintner et al(1972)은 Sn광상은 SiO_2 가 72%이상, 分化指數가 85%이상, 岩石指數가 4以下인 傾向이 있다고 발표하였다.

本研究 地域의 鎌化帶 페그마타이트(Sp1, 5, 8, 9)의 分化指數는 85-96, SiO_2 의 含量은 64.34-70.293이고 非鎌化帶 페그마타이트는 分化指數가 89-93, SiO_2 의 含量은 69-71로서 비교적 鎌化帶 페그마타이트의 値보다 좁은 범위를 보여주고 있으며 分化指數는 모두 85이상이고 SiO_2

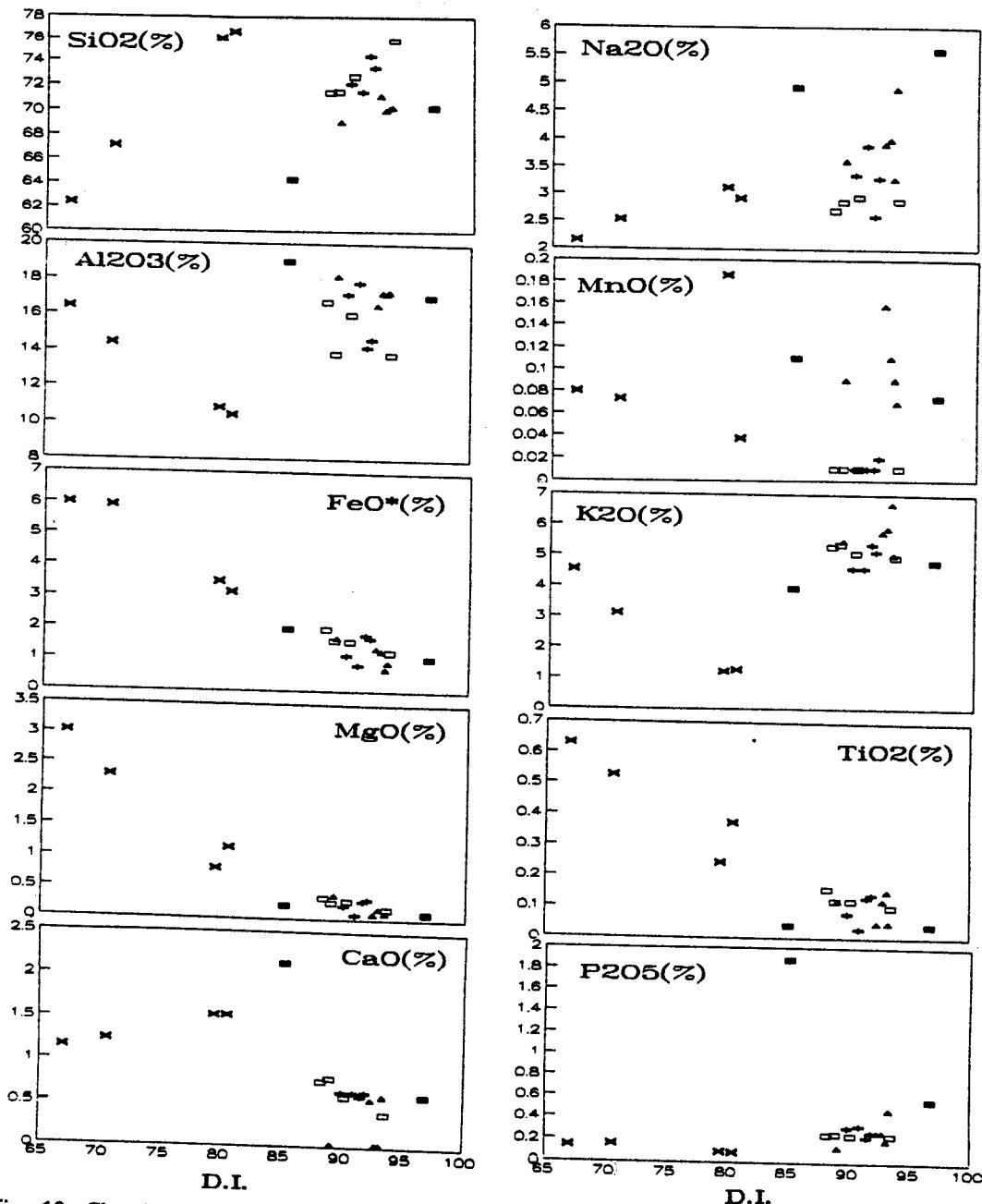


Fig. 10. Chemical variations against D. I. of pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 5.

의 含量은 모두 72%이하로 나타나고 있다. 또한 내덕리 花崗岩과 농거리 花崗岩의 分化 指數는 각각 88-91, 88-93으로서 兩 花崗岩에서 非鎌化帶 페그마타이트, 鎌化帶 페그마타이트로의 점진적인 分化指數의 增加는 花崗岩에서 페그마타이트로의 分化傾向을 지시한다고 볼 수 있다.

Fig. 10은 分化指數에 대한 主成分의 변화를 보여주는 그림으로서 分化指數의 增加에 따라 SiO_2 는 增加하고 Al_2O_3 , FeO , MgO , TiO_2 및 CaO 는 감소하는 傾向을 보여주는 calcalkali 계열의 花崗岩 分化 傾向을 보여준다.

농거리 花崗岩 및 변성퇴적암에서의 K_2O 와 Na_2O 의 상대적인 變化는 Subsolidus 再平衡에 의한 칼리交代作用을 의미한다. Al_2O_3 는 兩 花崗岩과 페그마타이트의 變化 傾向이 상이하며 오히려 페그마타이트의 變化 傾向은 變成堆積岩의 그것과 유사하다. CaO 는 變成堆積岩과 非鎌化帶 페그마타이트에서는 SiO_2 가 增加함에 따라 增加하고, 鎌化帶 페그마타이트와 농거리 花崗岩에서는 감소하며, 내덕리 花

崗岩은 成分의 변화가 거의 없다. 특히 非鎌化帶에서는 페그마타이트만이 SiO_2 의 增加에 따라 P_2O_5 가 增加됨이 특징적이다.

Fig. 11은 分化指數에 대한 微量成分의 변화도이다. 分化指數가 增加함에 따라 페그마타이트는 Rb이 增加하나 변성퇴적암 및 兩 花崗岩은 감소하는 傾向을 보이며 Sr의 경우에는 농거리 花崗岩만이 分化指數가 增加함에 따라 增加되고 Ba의 경우에는 내덕리 花崗岩만이 增加함을 알 수 있다. 또한 Nb의 경우 모든 암석이 分化指數 增加에 따라 增加된다.

내덕리 및 농거리 花崗岩에서부터 非鎌化帶 페그마타이트, 鎌化帶 페그마타이트로 향하는 分化指數의 增加는 상기 兩 花崗岩에서 非鎌化帶 페그마타이트 및 鎌化帶 페그마타이트로의 分化 傾向으로 해석할 수 있으며 이는 分化指數에 대한 主成分 및 微量成分에서의 상관도에서도 나타난다.

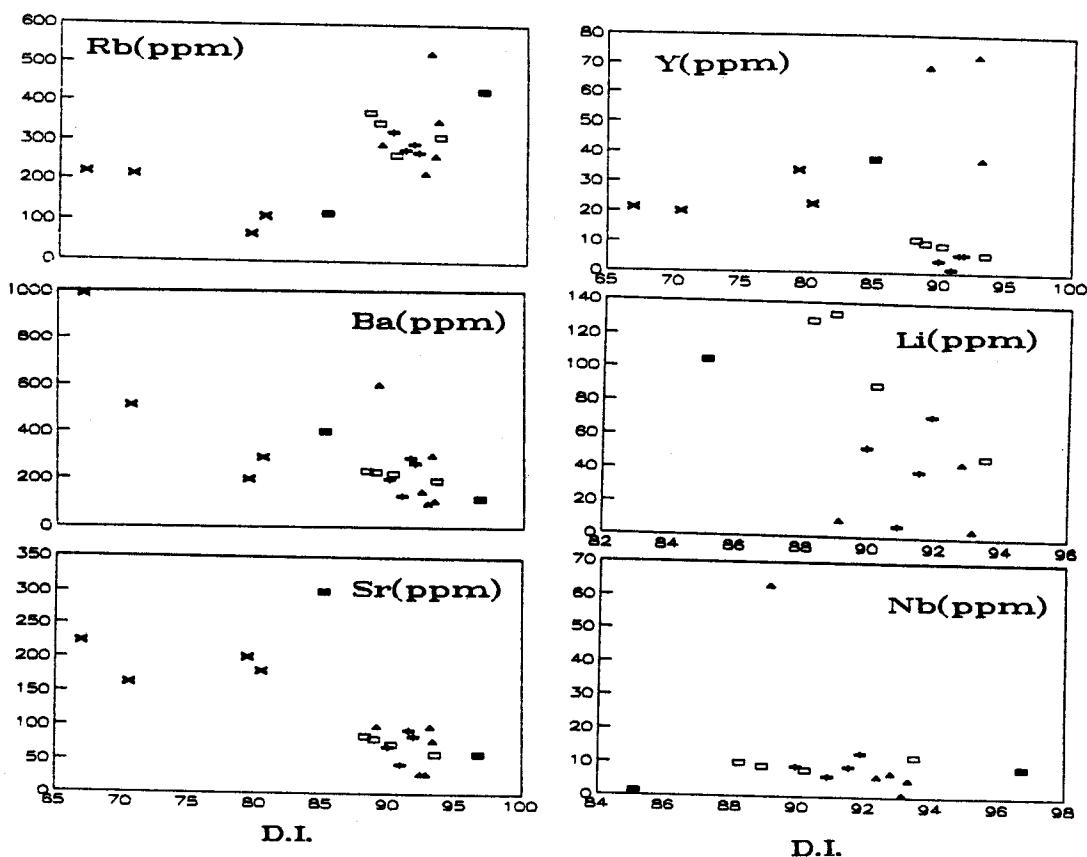


Fig. 11. Chemical variations against D. I. of pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 3.

生産性 岩體로서의 가능성

Fig. 12부터 Fig. 17은 朱錫 鎌化 작용과 關係 있는 성분들의 相關圖이다. Gove(1972)는 Sn鎌化 작용에 대한 지구화학적 研究에서 Rb/Sr 값이 높을수록, K/Rb, Mg/Li, Ba/Rb 값이 낮을수록 productive 하다고 하였다.

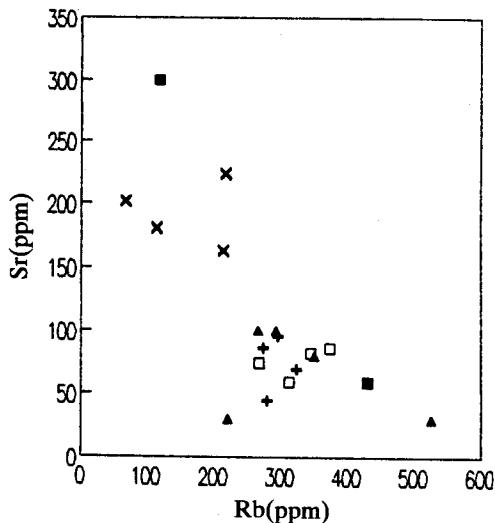


Fig. 12. Rb-Sr diagrams for pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 3.

Rb과 Sr은 오랫동안 마그마의 분결에 대한 측정에 사용되어 왔다. 또한 Rb과 지구화학적으로 밀착된 關係를 갖는 K는 분결이 진행될수록 증가하는 傾向이 있다. Rb는 이온 반경이 K보다 약간 크기 때문에 모암보다는 페그마タイト 중의 장석 및 운모류 중에 Rb의 큰 농집이 기대된다.

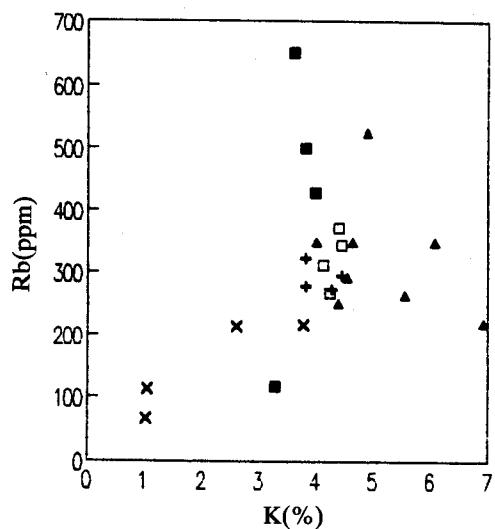


Fig. 14. K-Rb diagrams for pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 3.

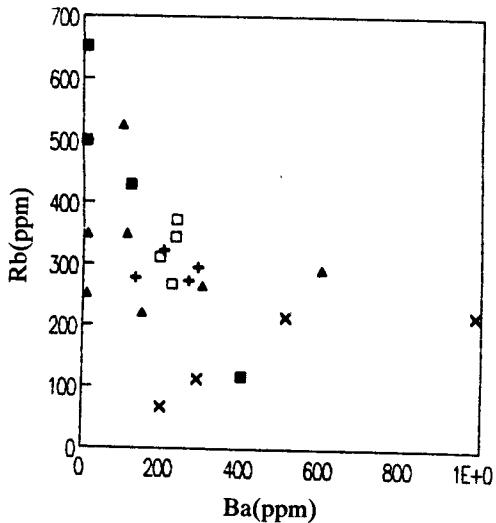


Fig. 13. Ba-Rb diagrams for pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 3

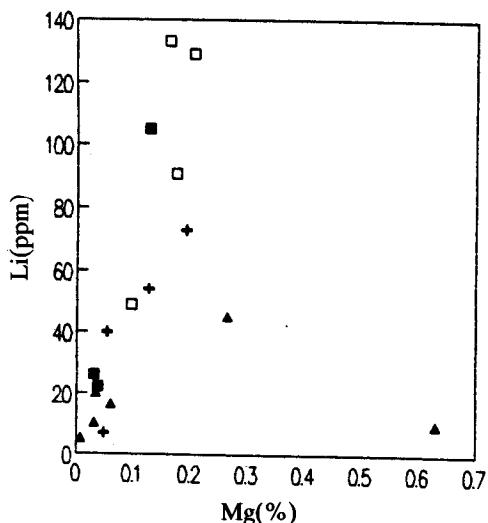


Fig. 15. Mg-Li diagrams for pegmatites granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as those of Fig. 3

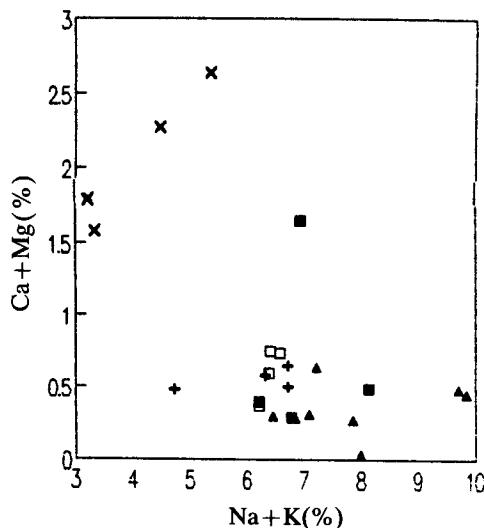


Fig. 16. ($\text{Na} + \text{K}$)–($\text{Ca} + \text{Mg}$) diagrams for pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as used in Fig. 3.

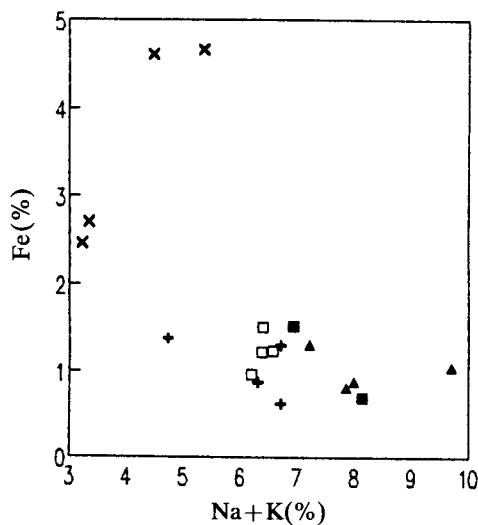


Fig. 17. ($\text{Na} + \text{K}$)–Fe diagrams for pegmatites, granites and metasedimentary rocks. Symbols are the same as used in Fig. 3.

마그마질 장석 및 운모류중의 Rb은 약한 정전기력(electrostatic force)에 의해 장석 및 운모류의 후기 결정과정에서 농집되므로 결과적으로 암석권 상부에 농집된다(V. M. Goldsmith). Li은 다른 알칼리 금속과는 수반되지 않으나 Mg, Fe와는 수반되며 따라서 magma가 分化함에 따라서 Mg/Li 은 감소한다.

Goldschmidt는 花崗岩質 페그마타이트(granitic pegmatite)

에서 Na 장석은 0.5ppm의 Li_2O 를 함유하나 K-장석에는 거의 함유되지 않는다고 하고 검은 電氣石에는 Fe, Mg가 부화되어 있고 130ppm의 Li_2O 가 함유된다고 하였다.

일반적으로 마그마질 잔류용액에서 Li 鎌物의 형성은 페그마타이트내에서 이루어지거나 석석의 기성 광상을 형성하는 잔류용액이나 가스와 關係되는 분리된 鎌物로서 농집된다. 이 광상은 화강암질 마그마를 수반하여 주변부의 花崗岩 및 關係 火成岩이 greisen 되기도 한다.

Sr은 K와 Ca의 중간 크기이므로 분결초기에는 K鎌物에 포함될 수도 있으나 주로 사장석에 포함된다.

Oyarzun(1975)은 낮은 정도의 변성을 수반한 열수 변질 岩石에서 Ca의 고갈에 의해 Sr도 고갈되나 Rb는 비교적 부화된다고 하였다. 이는 K가 변질시 도입되어 2차 운모(secondary mica)와 점토鎌物에 강하게 흡착되어 쉽게 움직이지 않기 때문이며 따라서 Rb/Sr 비는 열수 변질을 받은 岩石內에서 특히 증가한다고 하였다.

또한 Juniper and Kleeman (1979)은 朱錫을 함유한 火成岩은 그렇지 않는 火成岩에 비해 Al_2O_3 에 대하여 SiO_2 가 부화되어 있고 Fe, Mg, Ca에 대해 $\text{Na} + \text{K}$ 가 부화되어 있다고 하면서 $(\text{Na} + \text{K})/(\text{Ca} + \text{Mg})$, $(\text{Na} + \text{K})/\text{Fe}$ 값에 의한 구분을 제시한 바 있다.

$\text{Rb}-\text{Sr}$ (Fig. 12), $\text{Ba}-\text{Rb}$ (Fig. 13), $\text{K}-\text{Rb}$ (Fig. 14)의 상관도에서는 본지역의 페그마타이트가 生產性과 非生產性의 구역으로 나뉘어지는 것을 볼 수 있으나 $\text{Mg}-\text{Li}$ (Fig. 20), $(\text{Na} + \text{K})(\text{Ca} + \text{Mg})$ (Fig. 21), $(\text{Na} + \text{K})\text{Fe}$ (Fig. 22)의 상관도에서는 거의 모든 페그마타이트가 生產性 심성암으로 확인된다.

Table-2는 각 페그마타이트 및 花崗岩에 대한 원소함량에 따른 Sn광상으로서의 生產性과 非生產性 火成岩의 비교를 나타낸 도표이다.

이 도표에의 결과에 의하면 Sp5, Sp8, Sp9 페그마타이트 등 기 개발지역의 페그마타이트가 productive하며 그 외 지역의 페그마타이트(Sp4, 6, 7, 10, 11, 12)도 生產性 岩體로서의 가능성을 배제할 수는 없으며, 내덕리, 농거리 花崗岩도 生產性 岩體로서의 가능성을 충분히 갖고 있음을 알 수 있다.

상관 계수 고찰

Table-3은 페그마타이트와 兩 花崗岩 및 變成堆積岩의 각 성분에 대한 상관 계수(correlation coefficient)을 나타낸 것이다.

페그마타이트에서 SiO_2 와 陽의 相關關係를 보이는 것은 K_2O 이며 Al_2O_3 , FeO^* , CaO , P_2O_5 , Sr 은 陰의 相關關係를

Table. 2. Comparison of the productive(+) and non-productive(-) igneous rocks in terms of element ratios.

	K/Rb	Ba/Rb	Mg/Li	Rb/Sr
Tin-bearing igneous rocks	<150	<0.8	<30	>4
Sp1	—	—	+	—
Sp2	—	—	—	—
Sp3	—	—	+	+
Sp4	+	+	—	+
Sp5	+	+	—	+
Sp6	—	+	—	+
Sp7	+	—	—	+
Sp8	+	—	+	+
Sp9	+	—	+	+
Sp10	+	—	—	+
Sp11	+	—	—	+
Sp12	—	—	+	+
Naedeogra n granite	—	+	+	+
	+	+	+	—
	—	—	+	+
	+	—	—	—
Nonggeori granite	+	+	+	+
	+	+	+	+
	—	—	+	—
	+	—	—	+

보이고 있다. 내녁리 花崗岩에서는 SiO_2 에 대하여 TiO_2 , MgO , FeO , K_2O , Rb , Sr , Zr , Y , Sn 이 높은 陽의 相關關係를 보이는 반면 Al_2O_3 , CaO , Na_2O , P_2O_5 는 높은 陰의 相關關係를 보이고 있다. 농거리 花崗岩에서는 SiO_2 에 대하여 Sr , Ba , Li , Nb , Zr , Y 이 陰의 相關關係를 보이는 것이 특징적이며 變成堆積岩에서는 SiO_2 와 Rb 이 높은 陰의 相關關係를 보이는 것이 특징적이다.

특히 Na_2O 와 K_2O 가 큰 陰의 相關關係을 보이는 것이 특징적인데 이 현상은 本 研究地域의 4개 岩體에서 모두 나타나는 것으로 앞에서 기술한 分化指數에 대한 Na_2O 와 K_2O 의 상대적인 變化傾向과 일치하고 있다. 한편 페그마タイト와 내덕리 花崗岩에서는 SiO_2 에 대하여 Na_2O 가 陰의 相關關係를 보여주고 있다. 이것은 본 지역의 페그마タイト가 내덕리 花崗岩과 유사한 형성조건을 지녔음을 추측케 한다.

페그마타이트에서는 Rb과 Sr이 높은 險의 相關關係를 보이나 내덕리 花崗岩과 變成堆積岩은 미미한 相關關係를 보이는 반면에 농거리 花崗岩은 높은 양의 相關關係를 보이고 있다. Sn에 대해서는 내덕리 花崗岩에서는 TiO_2 , MgO , FeO , K_2O , Sr, Ba이 높은 양의 相關關係를 보이며 농거리 花崗岩에서는 TiO_2 , Rb, Zr이 높은 陽의 相關關係를 보이는 반면 Na_2O 가 兩 花崗岩에서 Sn과 음의 相關關係를 보이는 것이 특징적이다.

電氣石의 鑄物化學

摘要

電氣石은 borosilicate 鐵物로서 가장 흔한 Boron rich 鐵物로 알려져 있다. 電氣石의 일반식은 $XY_3Z_6(BO_3)_3Si_6O_{18}$ 로 알려져 있으며 X 자리에는 Na가 主이나 Ca, K의 양이 불규칙하며 Y자는 1가에서 4가의 다양한 성분으로 치환되고 Z자는 Al혹은 Fe^{2+} , Fe^{3+} , Ti, Mg, Cr, V^{3+} 등으로 교대되기도 한다.

대부분 자연상의 電氣石은 Schorl-Dravite 혹은 Schorl-El-

Table. 3. Correlation coefficients of pegmatites, granites and metasedimentary rocks

Al_2O_3	-0.930													
TiO_2	0.224	-0.024												
MgO	0.413	0.640	0.074											
MnO	0.013	-0.199	-0.116	-0.044										
FeO^*	-0.738	0.730	-0.270	0.763	0.380									
CaO	-0.823	0.611	-0.694	0.075	0.139	0.589								
Na_2O	-0.261	0.118	-0.824	-0.076	-0.355	0.094	0.581							
K_2O	0.698	-0.604	0.782	-0.366	0.149	-0.618	-0.846	-0.805						
P_2O_5	-0.908	0.718	-0.547	0.120	0.034	0.595	0.972	0.544	-0.821					
Rb	0.563	-0.480	0.241	-0.094	-0.358	-0.465	-0.621	0.124	0.294	-0.541				
Sr	-0.965	0.892	-0.236	0.279	-0.067	0.613	0.838	0.237	-0.651	0.900	-0.700			
Ba	0.508	0.720	0.345	0.728	-0.066	0.580	0.103	-0.388	-0.109	0.163	-0.532	0.524		
Cr	-0.485	0.403	-0.383	0.219	0.543	0.585	0.610	-0.100	-0.361	0.491	-0.871	0.555	0.366	
Nb	0.028	0.290	0.317	0.846	-0.154	0.385	-0.362	-0.314	0.036	-0.346	0.028	-0.092	0.723	-0.005
SiO_2		Al_2O_3	TiO_2	MgO	MnO	FeO	CaO	Na_2O	K_2O	P_2O_5	Rb	Sr	Ba	Cr

(a) pegmatites

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	FeO*	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Ba	Li	Nb	Zr	Y
Al ₂ O ₃	-0.868															
TiO ₂	0.916	-0.913														
MgO	0.863	0.554	0.799													
MnO	0.277	0.236	0.000	0.591												
FeO*	0.968	-0.725	0.860	0.956	0.484											
CaO	0.793	0.981	-0.816	-0.404	0.333	-0.617										
Na ₂ O	-0.939	0.945	0.994	-0.778	0.009	-0.868	0.865									
K ₂ O	-0.939	0.945	-0.994	-0.778	0.009	-0.868	0.865									
K ₂ O	0.974	-0.801	0.804	0.811	0.371	0.946	-0.752	-0.845								
P ₂ O ₅	-0.993	0.878	-0.879	-0.806	-0.251	-0.943	0.825	0.914	-0.988							
Rb	-0.115	-0.151	0.292	-0.026	-0.582	-0.153	-0.075	-0.216	-0.334	0.197						
Sr	0.953	-0.764	0.931	0.960	0.960	0.365	0.977	-0.639	-0.922	0.884	-0.910	0.060				
Ba	0.961	-0.748	0.908	0.966	0.416	0.990	-0.627	-0.904	0.908	-0.923	-0.015	0.997				
Li	0.488	-0.103	0.484	0.861	0.706	0.674	0.084	-0.420	0.412	-0.393	0.123	0.708	0.707			
Nb	0.559	-0.102	0.426	0.882	0.870	0.748	0.058	-0.390	0.552	-0.493	-0.195	0.715	0.737	0.948		
Zr	0.921	-0.665	0.870	0.990	0.492	0.980	-0.528	-0.856	0.864	-0.872	-0.002	0.989	0.992	0.788	0.808	
Y	0.898	-0.639	0.864	0.993	0.494	0.966	-0.494	-0.844	0.832	0.843	0.041	0.984	0.985	0.818	0.823	0.998
Sn	0.952	-0.740	0.748	0.809	0.448	0.939	-0.692	-0.792	0.995	0.969	-0.414	0.860	0.890	0.426	0.588	0.852
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	FeO*	CaO	Ma ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Ba	Li	Nb	Zr	Y

(b) Naedeogri granites

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	FeO*	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Ba	Li	Nb	Zr	Y
Al ₂ O ₃	-0.494															
TiO ₂	-0.754	0.800														
MgO	-0.915	0.802	0.890													
FeO*	-0.867	0.779	0.980	0.956												
CaO	-0.974	0.319	0.701	0.817	0.808											
Ka ₂ O	0.406	-0.447	-0.824	-0.488	-0.721	-0.458										
K ₂ O	-0.926	0.202	0.658	0.730	0.754	0.987	-0.501									
P ₂ O ₅	-0.708	-0.209	0.346	0.390	0.440	0.847	-0.361	0.914								
Rb	0.454	0.074	0.638	0.348	0.580	0.590	-0.895	0.680	0.689							
Sr	-0.949	0.493	0.866	0.881	0.926	0.961	-0.666	0.945	0.746	0.700						
Ba	-0.997	0.551	0.774	0.940	0.884	0.955	-0.400	0.897	0.655	0.417	0.940					
Li	-0.977	0.356	0.733	0.836	0.834	0.999	-0.490	0.984	0.830	0.604	0.972	0.961				
Nb	0.715	-0.415	-0.271	-0.681	-0.444	-0.590	-0.294	-0.474	-0.255	0.296	-0.462	-0.736	0.580			
Zr	-0.821	0.516	0.924	0.804	0.926	0.850	-0.853	0.856	0.664	0.837	0.957	0.812	0.870	-0.209		
Y	-0.984	0.602	0.858	0.955	0.941	0.949	-0.538	0.900	0.645	0.525	0.974	0.988	0.960	-0.632	0.890	
Sn	-0.322	0.323	0.739	0.373	0.627	0.402	-0.990	0.465	0.380	0.925	0.602	0.308	0.431	0.402	0.804	0.449
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	FeO*	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Ba	Li	Nb	Zr	Y	

(c) Nonggeori granites

	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	FeO*	CaO	Na ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Ba	Li	Nb	Zr	Y
Al ₂ O ₃	-1.000															
TiO ₂	-0.951	0.943														
MgO	-0.986	0.982	0.989													
MnO	0.268	-0.245	-0.551	-0.421												
FeO*	-0.964	0.965	0.901	0.940	-0.240											
CaO	0.994	-0.993	-0.953	-0.984	0.302	-0.984										
Na ₂ O	0.972	-0.967	-0.991	-0.995	0.456	-0.902	0.962									
K ₂ O	-0.996	0.995	0.958	0.989	-0.292	0.936	-0.982	-0.984								
P ₂ O ₅	-0.912	0.912	0.862	0.892	-0.273	0.987	-0.949	-0.844	0.873							
Rb	-0.928	0.920	0.970	0.959	-0.548	0.943	-0.954	0.940	0.913	0.940						
Sr	-0.313	0.323	0.195	0.264	0.336	0.088	-0.213	-0.371	0.376	-0.071	-0.019					
Ba	-0.945	0.942	0.938	0.956	-0.341	0.826	-0.912	0.974	0.971	0.736	0.839	0.523				
Zr	0.755	-0.768	-0.535	-0.644	-0.331	-0.832	-0.765	0.579	-0.705	-0.817	-0.602	-0.180	-0.551			
Y	0.649	-0.631	-0.840	-0.756	0.891	-0.653	0.689	0.763	-0.652	-0.679	-0.866	0.255	-0.631	0.135		
SiO ₂	Al ₂ O ₃	TiO ₂	MgO	MnO	FeO*	CaO	Ma ₂ O	K ₂ O	P ₂ O ₅	Rb	Sr	Ba	Zr			

(d) metasedimentary rocks

baite의 완전 고용체 상태로 존재하나 dravite와 elbaite 사이에는 고용체가 존재하지 않는다(Deer et al, 1962). Henry (1985)는 電氣石의 대부분이 후마그마단계(Post magmatic stage)에서 결정화되지만 마그마의 分化 및 용융체의 조성과 휘발성분에 대한 정보를 제공한다고 하였다. Benard et al(1985)에 의하면 특별히 Fe-Mg 電氣石(Schorl-Dravite)은 전형적인 peraluminous granitic rocks를 특징진다고 하였다. Chorlton and Martin(1978), Pichavant(1981, 1984)은 마그마단계에서의 Boron은 felsic magma의 相關關係에 영향을 끼치고 고화온도 및 용융체내에서의 H₂O의 용해도에 영향을 끼친다고 하였다. Frondel and Colette(1957)는 電氣石의 합성에 대한 研究에서 큰 범위의 P-T condition과 다

양한 화학조성을 발표한 바 있으며 Robbins and Yoder(1962)는 H₂O가 포함된 환경하에서 865°C, 275Kbar의 조건에서 dravite를 합성한 바 있다. Darrel J. Henry(1985)는 電氣石이 기계적, 화학적으로 안정하므로 각각의 電氣石은 그 지역의 岩石의 역사에 상당히 중요한 정보를 제공하여 줄 수가 있다고 하였다. 즉 電氣石의 화학적 다양성과 상호關係에 의해 그것이 형성된 지역의 환경(local environment)에 대한 지시자로 사용할 수 있게 된다고 하였다.

따라서 본 研究에서는 電氣石의 화학적 분대 양상과 성분의 다양성 및 전기석을 함유한 페그마타이트의 구조와 화학성분을 電氣石의 그것과 비교하여 각 지역 페그마타이

Table. 4. Distribution coefficient of pegmatites and tourmalines.

	SiO ₂	TiO ₂	Al ₂ O ₃	FeO	MnO	MgO	CaO	Na ₂ O	K ₂ O
TM1-1	36.340	0.310	35.103	8.545	0.213	6.290	0.070	2.085	0.030
TM1-2	37.543	0.330	34.617	8.697	0.230	1.420	0.083	6.600	0.020
TM 1A	36.942	0.320	34.855	8.621	0.222	3.855	0.077	4.343	0.025
SP 1	64.34	0.04	18.98	1.945	0.11	0.21	2.13	4.93	3.95
D. C.*	0.574	8.000	1.836	4.432	2.018	18.357	0.036	0.881	0.006
TM2-1	36.227	0.200	33.607	10.210	0.080	3.460	0.150	2.153	0.047
TM2-2	36.227	0.07	33.840	32.210	0.077	2.640	0.080	2.060	0.013
TM 2A	36.462	0.135	33.724	21.210	0.079	3.050	0.115	2.107	0.030
SP 2	69.14	0.12	18.17	1.659	0.09	0.38		3.61	5.47
D.C.*	0.527	1.125	1.856	12.785	0.878	3.430		0.584	0.005
TM3-1	37.404	0.513	34.933	7.768	0.017	4.008	0.353	1.532	0.058
TM3-2	37.480	0.595	35.423	8.045	0	4.305	0.510	1.895	0.030
TM 3A	37.404	0.554	35.178	7.907	0.009	4.157	0.432	1.714	0.044
SP 3	71.22	0.15	17.22	0.701	0.09			3.29	6.69
D.C.*	0.533	3.693	2.043	11.28	0.1			0.521	0.007
TM4-1	37.465	0.390	34.948	8.033	0.025	3.733	0.518	1.490	0.048
TM 4A	37.465	0.390	34.948	8.033	0.025	3.733	0.518	1.490	0.048
SP 4	70.02	0.12	17.24	1.250	0.11	0.16		4.00	5.89
D.C.*	0.535	3.250	2.027	6.426	0.227	23.331		0.373	0.008
TM5-1	37.020	0.346	34.380	10.168	0.064	14.150	0.096	1.796	0.036
TM5-2	36.233	0.390	33.077	28.740	0	2.227	0.157	1.077	0.036
TM 5A	36.627	0.368	33.729	19.404	0.032	8.189	0.587	1.437	0.050
SP 5	70.293	0.040	17.047	1.046	0.074	0.97	0.597	5.585	4.810
D. C.*	0.521	9.2	2.190	18.551	0.432	84.423	0.983	0.257	0.01
TM6-1	36.610	0.342	33.970	9.998	0	2.874	0.154	1.782	0.016
TM6-2	37.383	0.380	34.623	10.740	0.113	2.460	0.080	1.673	0.023
TM 6A	36.997	0.361	34.297	10.369	0.057	2.667	0.117	1.728	0.020
SP 6	70.340	0.040	17.285	0.900	0.074	0.097	0.597	5.585	4.810
D.C.*	0.526	9.025	1.984	11.521	0.770	27.495	0.196	0.309	0.004
TM7-1	37.003	0.388	32.828	9.665	0.127	3.247	0.153	1.498	0.037
TM7-2	36.678	0.448	33.606	7.964	0.080	3.520	0.178	1.210	0.042
TM7-3	37.615	0.448	34.790	8.600	0.085	0.543	0.155	1.488	0
TM 7A	37.099	0.428	33.741	8.743	0.097	3.437	0.162	1.399	0.026
SP 7	71.252	0.047	16.543	1.341	0.158	0.086	0.546	3.927	5.749
D.C.*	0.521	9.106	2.04	6.52	0.614	39.965	0.297	0.356	0.005

*D.C. : distribution coefficients.

*TM A : average chemical composition of tourmaline.

트와 電氣石과의 關係를 규명하고자 한다. 거정질 鎌物에 대한 전암 분석에 유래되는 성분의 편재성과 다양한 페그마타이트에서 오는 오류를 피하기 위해 많은 성분의 치환을 허용하는 電氣石에 대한 研究의 병행은 電氣石을 함유하고 있는 岩石의 分化過程研究에 매우 유용할 것이다.

페그마타이트와 電氣石의 化學組成研究

Table 4는 本研究 지역별 電氣石과 페그마타이트의 化學分석치를 비교하여 분배계수를 알아보기 위한 도표이다. 분배계수란 電氣石의 성분과 모암인 페그마타이트의 성분비교수치로서 예를 들면 SiO_2 가 페그마타이트에서 60%, 電氣石에서 30%라면 분배계수는 0.5가 되는 것이다. 각 지역별 페그마타이트와 그 페그마타이트의 배태되는 電氣石간의 분배계수에 대한 연구는 각 지역별 電氣石의 생성과정의 이해에 도움을 줄 것이다.

이 도표에 의하면 SiO_2 , CaO , Na_2O , K_2O 는 분배계수가 1 이하이며 TiO_2 , Al_2O_3 , FeO , MnO , MgO 등 Y자리의 원소는 분배 계수가 1이상인 특징을 보이고 있으며 K_2O 는 0.004~0.1의 극히 낮은 분배계수를 보이고 있다.

이중 각 지역별 고른 분포를 보이는 원소는 SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , Na_2O , K_2O 이며 그 외 원소는 지역별 차이가 심하게 나타난다. TiO_2 의 경우 순경, 성덕 광산 지역(Sp1, Sp5)의 분배 계수가 높은 것으로 나타나며 그 주변부에 위치한 Sp6, Sp7 지역도 같은 편향을 보이는 데 반하여 본研究地域 남측의 Sp2, Sp3, Sp4 지역은 다른 지역과 상이한 결과를 보이고 있다.

Y자리에 치환되는 대표적인 성분으로서 Al, Fe, Mg 성분에 대한 분배 계수는 매우 흥미있는 자료를 제공하여 준다. Al_2O_3 은 모든 지역에서 1.836~2.403의 고른 분포를 보여 주는데 반하여 FeO 및 MgO 는 지역별 차이가 매우 심하게 나타난다.

FeO 는 Sp1, Sp4, Sp7 페그마타이트의 경우 4.432~6.52의 분포를 보이는 반면 Sp2, Sp3, Sp5, Sp6 페그마타이트는 11.28~18.551의 높은 수치를 나타내는데 이는 이地域의 電氣石에서 Fe 함량이 높은 것과 일치한다. 또한 MgO 의 경우 Sp2 페그마타이트만이 分配係數가 3.430으로 낮은 데 반해 그 외 地域은 18.357~84.423으로 매우 높은 分配係數를 나타내고 있어 특히 Sp2 페그마타이트의 電氣石 정출 환경이 他地域과 상이했음을 알 수 있다.

電氣石의組成과岩狀과의 관계

Henry(1985)는 電氣石의 결정화작용이 일어나는 동안 상

당한 양의 치환이 이루어지는데도 불구하고 電氣石의 化學組成과 母岩의 암상과의 관계에는 어떤 법칙이 존재한다고 하였고 특히 Al, Ca, Fe, Mg가 가장 중요한 치환 성분이라고 하였다. 그리고 두 삼각 다이어그램을 이용하여 몇개의 특징적인 地域을 기준으로 電氣石의組成과 岩狀과의 관계를 표시하였다.

Fig. 18은 Al-Fe-Mg의 삼각 다이어그램이다. 이 도표에서는 생산설적이 있는 Sp1 페그마타이트의 電氣石만이 Li이 고갈된 granitoid나 그에 수반된 페그마타이트 및 半花崗岩 영역에 도시되고 다른 地域의 電氣石은 모두 Al이 포화되지 않은 metapelite나 metapsammite 영역에 도시됨을 볼 수 있다.

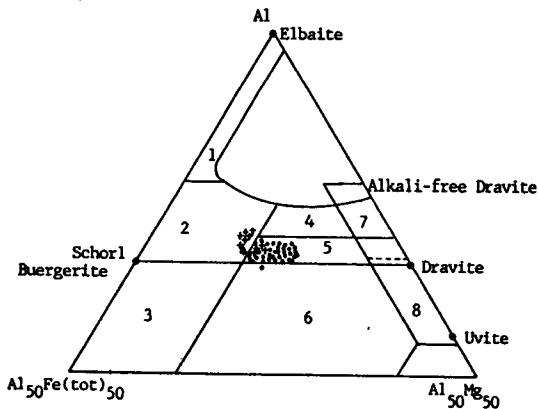


Fig. 18. Al-Fe(tot)-Mg diagram(mol%) for tourmalines from various rock types. (1) : Li-rich granitoid pegmatites and aplites, (2) : Li-poor granitoids and their associated pegmatites and aplites, (3) : Fe^{3+} -rich quartz-tourmaline rocks(hydrothermally altered granites), (4) : Metapelites and metapsammites coexisting with an Al-saturating phase, (5) : Metapelites and metapsammites not coexisting with an Al-saturating phase, (6) : Fe^{3+} -rich quartz-tourmaline rocks, calc-silicate rocks, and metapelites, (7) : Low-Ca metaultramafics and Cr, V-rich metasediments, and (8) : Metacarbonates and meta-pyroxenites. (+ : tourmalines in mineralized area, · : tourmalines in nonmineralized area.)

Fig. 19는 Ca-Fe-Mg의 삼각 다이어그램이다. 이 도표에서도 각 地域별 차이를 보이고 있는데 생산 실적이 있는 Sp1, Sp5 페그마타이트와 Sp2, Sp6, Sp7 페그마타이트의 電氣石은 Li이 고갈된 granitoid나 그에 수반된 페그마타이트 및 半花崗岩 영역에 도시되는 반면 Sp3, Sp4, Sp11 페그마타이트의 電氣石은 Ca가 고갈된 metapelite 및 metapsammite 영역에 도시됨을 보여준다. 이는 本地域의 페그

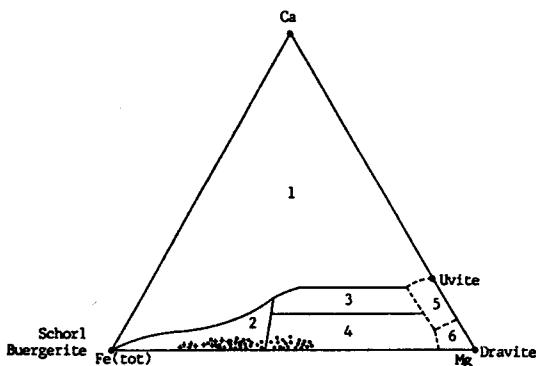


Fig. 19. Ca-Fe(tot)-Mg diagram for tourmalines from various rock types. (1) : Li-rich granitoid pegmatites and aplites, (2) : Li-poor granitoids and associated pegmatites and aplites, (3) : Ca-rich metapelites, metapsammites, calc-silicate rocks, (4) : Ca-poor metapelites, metapsammites, and quartz-tourmaline rocks, (5) : metacarbonates, and (6) : Metaultramafics. Symbols are the same as used in Fig. 18.

마타이트가 동일 근원 마그마의 分化에 따른 생성이 아니고 地域에 따라 각기 다른 생성 환경이었음을 의미하는 것으로서 생산 실적이 있던 地域의 페그마타이트와 내덕리 花崗岩 주변부의 페그마타이트는 내덕리 花崗岩의 근원 마그마에서부터 연속된 분화상으로 인정되나 기타 地域의 페그마타이트는 泥質 堆積變成岩의 재용융 또는 부분 용융에 의한 생성으로 추정된다.

累帶構造와 鑽物 化學

현미경 관찰과 EPMA 결과에 의하면 本研究地域의 電氣石은 3가지로 분류될 수 있다. (1) 中心部와 外郭의 성분 변화가 없이 균질한 組成을 갖는것(Fig.20-(a)). (2) 中心部에서 外郭으로의 累帶構造가 불연속적인 것으로서 아무런 傾向性도 나타내지 않는것(Fig. 20(b)). (3) 中心部에서 外郭으로의 累帶構造가 연속적인 것으로 Al, Mg, Ca 성분은 증가하고 Fe 성분은 감소하는것(Fig. 20-(c)).

電氣石에서의 累帶構造는 현미경관찰에 의하면 中心部에서 外郭으로 갈수록 dark color를 띠고 있으며 中心部와 外郭의 경계가 확실하다.

Zoltan and Shout(1984)는 電氣石의 累帶構造의 원인에 대해서 급속한 결정의 성장하에서 특정성분의 확산 속도가 결정화 속도에 맞추지 못하기 때문이라고 했으며 Lofgen(1980)은 花崗岩質 용융액에서 휘발성 물질의 빠른 감소와 온도의 변화가 일어날 경우에 누대조직이 반복된다

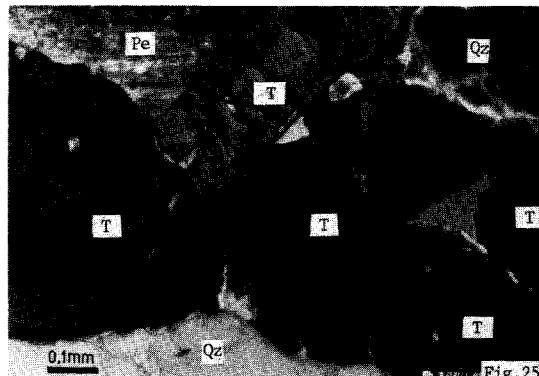


Fig. 25

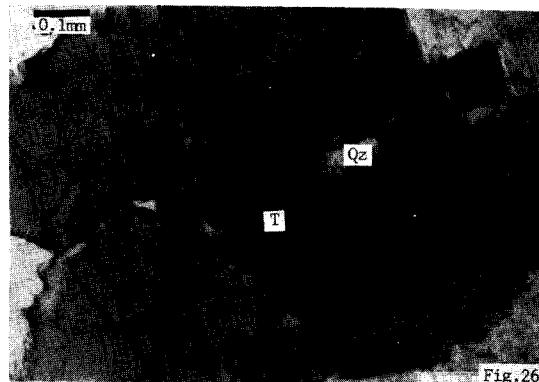


Fig. 26

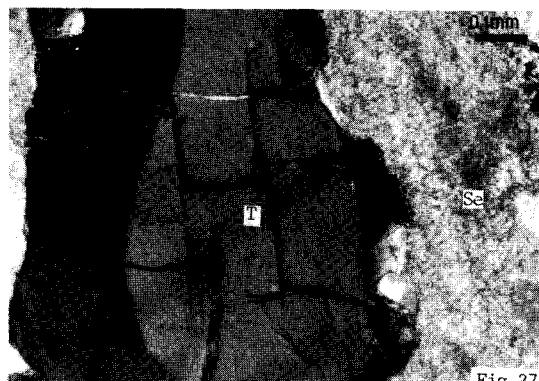


Fig. 27

Fig. 20. Photomicrographs of homogeneous compositional pattern in tourmaline. (b) Photomicrographs of discontinuous core-to-rim zoning in tourmaline. (c) Photomicrographs of continuous core-to-rim zoning in tour maline. (Qa : Quartz, T : Tourmaline, Se : Sericite, Pe : Perthite)

고 하였다. 즉 累帶構造는 페그마타이트를 형성하는 용액의 화학적 성분의 빠른 변화와 결정화 작용의 매개체인 온도, 압력의 변화에 기인된다고 볼 수 있다.

Table-6은 電氣石의 中心部와 外郭에서의 組成 變化를

Table. 5. Chemical Compositions of core and rim in tourmalines.

Si									
Tourmaline	Core		Rim		Core		Σx		
	range	mean	range	mean	range	mean	range	mean	range
TM 1	6.651–6.794	6.726	6.668–6.710	6.695	0.800–0.875	0.834	0.643–0.779	0.708	
TM 2	6.691–6.642	6.617	6.639–6.696	6.658	0.727–0.786	0.757	0.755–0.833	0.785	
TM 3	6.516–6.737	6.627	6.489–6.613	6.565	0.439–0.822	0.650	0.555–0.782	0.693	
TM 4	6.697–6.707	6.702	6.633–6.646	6.640	0.436–0.576	0.506	0.612–0.615	0.614	
TM 5	6.623–6.820	6.697	6.631–6.782	6.697	0.319–0.727	0.577	0.436–0.683	0.557	
TM 6	6.611–6.687	6.647	6.599–6.676	6.642	0.582–0.704	0.648	0.566–0.690	0.632	
TM 7	6.691–6.854	6.756	6.572–6.835	6.722	0.305–0.785	0.518	0.382–0.704	0.540	
TM 11	6.561–6.611	6.591	6.661–6.634	6.594	6.634–6.672	0.658	0.651–0.799	0.685	
Σy									
Tourmaline	Core		Rim		Core		Mg/Fe		
	range	mean	range	mean	range	mean	range	mean	range
TM 1	3.107–3.355	3.237	3.297–3.688	3.523	0.264–0.298	0.281	0.302–0.415	0.339	
TM 2	3.689–3.748	3.719	3.663–3.684	3.523	0.430–0.525	0.492	0.442–0.782	0.556	
TM 3	3.453–3.774	3.599	3.656–3.739	3.691	0.799–1.097	0.936	0.848–1.048	0.931	
TM 4	3.509–3.595	3.552	3.598–3.610	3.599	0.769–0.775	0.772	0.867–0.986	0.927	
TM 5	3.396–3.658	3.577	3.452–3.602	3.544	0.356–0.530	0.453	0.426–0.503	0.490	
TM 6	3.560–3.658	3.619	3.578–3.660	3.630	0.386–0.433	0.399	0.454–0.627	0.555	
TM 7	3.363–3.599	3.428	3.471–3.771	3.575	0.468–0.782	0.629	0.695–1.212	0.861	
TM 11	3.736–3.809	3.765	3.621–3.897	3.743	1.501–1.084	1.071	1.065–1.220	1.146	
Aly/Fe									
Tourmaline	Core		Rim		Core		Aly/Mg		
	range	mean	range	mean	range	mean	range	mean	range
TM 1	1.344–1.510	1.432	0.723–1.383	0.592	4.891–5.375	5.101	1.808–4.589	2.927	
TM 2	0.780–0.800	0.787	0.703–0.794	0.762	1.487–1.858	1.614	0.899–1.794	1.489	
TM 3	0.039–1.212	1.137	1.063–1.147	1.108	0.947–1.516	1.246	1.095–1.153	1.196	
TM 4	1.132–1.191	1.162	1.042–1.094	1.068	1.461–1.549	1.505	1.202–1.208	1.205	
TM 5	0.804–0.883	0.851	0.759–0.894	0.835	1.603–2.438	1.921	1.505–2.100	1.727	
TM 6	0.765–0.830	0.788	0.843–0.916	0.891	1.917–2.002	1.795	1.392–1.988	1.632	
TM 7	0.673–1.095	0.960	0.937–1.027	0.990	1.390–1.664	1.476	0.843–1.478	1.199	
TM 11	1.063–1.128	1.094	0.938–1.064	1.002		1.002	0.938–1.064	1.002	
Ca/Na									
Tourmaline	Core		Rim						
	range	mean	range	mean					
TM 1	0.015–0.028	0.021	0.015–0.022	0.010					
TM 2	0.024–0.029	0.027	0.018–0.046	0.028					
TM 3	0.068–0.183	0.118	0.076–0.217	0.157					
TM 4	0.049–0.061	0.055	0.069–0.074	0.072					
TM 5	0 –0.073	0.039	0.031–0.118	0.059					
TM 6	0.019–0.064	0.038	0 –0.085	0.044					
TM 7	0.029–0.078	0.049	0.019–0.137	0.090					
TM 11	0.089–0.110	0.098	0.090–0.176	0.109					

나타낸 것이다.

Σx 는 Ca, Na, K Σy 는 Mg, Ti, Fe, Aly의 총합을 나타낸다. Σx 값의 변화는 생산실적이 있는 地域의 電氣石의 中心部에서 外郭으로 갈수록 감소하고 생산실적이 없는 地域의 電氣石은 증가하는 傾向을 보여주나 Σy 값의 변화는 일정한 傾向性을 보이지 않는다.

Si의 값은 中心部와 外郭의 차이가 보이지 않는다. Y자리의 주성분인 Mg, Al, Fe의 상호비에 대한 비교에서는 中心部에서 外郭으로 갈수록 Mg/Fe값은 증가하고 Aly/Mg, Aly/Fe값은 감소하는 傾向을 보여준다. 특히 순경광산 주변의 페그마타이트중의 電氣石(TM1)이 他地域에 비해 낮은 Mg/Fe와 높은 Aly/Mg, Aly/Fe를 보여줌으로서 광화작용을 받은 地域의 특징을 보여준다. 즉, 本研究地域에서 광화작용을 받는 페그마타이트중의 電氣石은 Al-rich한 환경하였음을 추측케 한다. Ca/Na값의 변화는 거의 없으나 대체로 中心部에서 外郭으로 갈수록 미미한 증가를 보이고 있다.

結論

(1) 本研究地域의 페그마타이트는 희유 금속 페그마타이

트와 함운모 페그마타이트의 혼합형으로 나타나며 단성과 복성 페그마타이트가 모두 산출되고 地域의으로 변성작용에 의한 압쇄 현상이 특징적이다.

(2) 페그마타이트 및 내덕리-농거리 花崗岩은 칼크-알칼리, 서브알칼리, 퍼알루미너스 화성암의 특징을 보여준다.

(3) 기연대 측정 자료 및 地域의인 분포로 보아 본 역의 페그마타이트는 兩花崗岩 및 變成堆積岩類와 성인적으로 밀접한 관계가 있음을 추측할 수 있다.

(4) 岩石의 分化指數 및 화학성분의 조성 변화에 의하면 본 역의 페그마타이트는 地域의으로 兩花崗岩으로부터 분화된 것과 變成堆積岩의 재용융 또는 부분용융에 의해 생성된 것으로 나뉘어진다.

(5) 朱錫 鑛化作用과 관계하는 원소함량비에 따른 Sn 광상으로서의 가능성은 Sp5, Sp8, Sp9 페그마타이트가 높게 나타나고 Sp4, Sp6, Sp7, Sp10, Sp11, Sp12 페그마타이트 및 兩花崗岩도 生產性 岩體로서의 가능성을 내포하고 있으나 가능성은 미약하다.

(6) 電氣石의 조성에 의한 성인적 분류에 의하면 생산 실적이 있던 地域과 내덕리 花崗岩 주변부에서는 Li이 고갈된 花崗岩 및 페그마타이트영역에 도시되는 반면 그외 地域은 變成泥質岩의 地域에 분포되어 각 地域별로 성인의 차이가 있음을 알 수 있다.

(7) 생산실적이 있던 地域에서 산출되는 電氣石은 다른 地域에 비해 특히 낮은 Mg / Fe비, 높은 Aly / Mg비, Aly / Fe비의 특징을 보여주고 있으며 전 地域에 걸쳐 中深部에서 外郭으로 갈수록 Al, Mg, Ca성분은 증가하고 Fe성분은 감소한다.

謝 辭

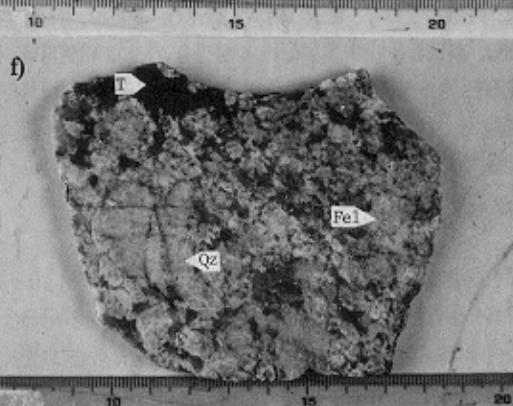
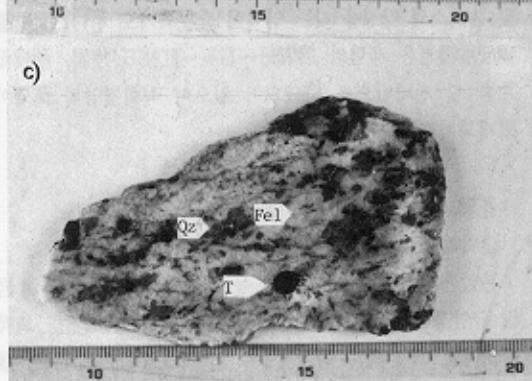
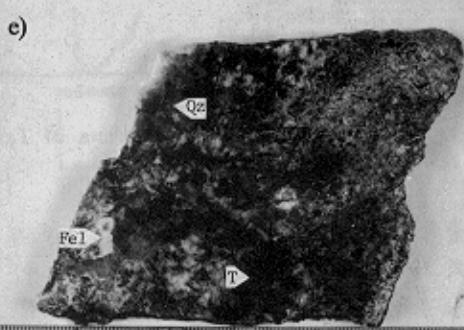
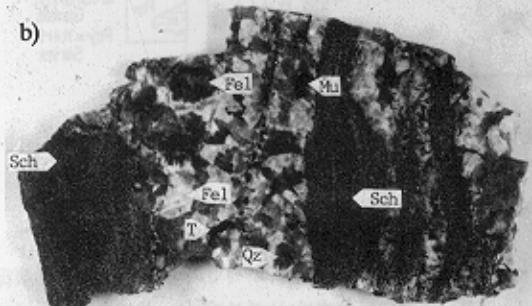
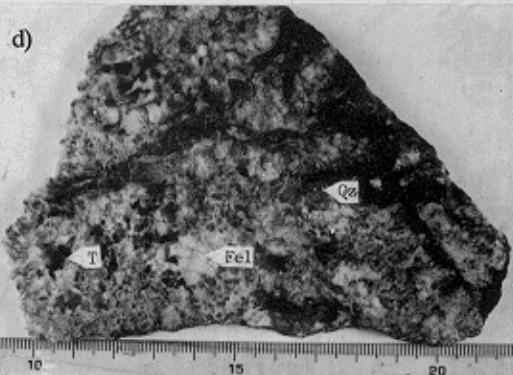
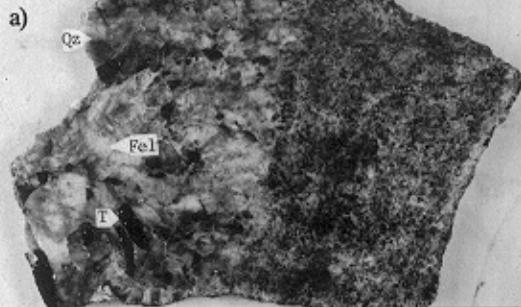
本論文은 1987~1988년도에 수행된 韓國科學財團의 目的基礎研究인 “太白山 地域 鑛化帶內의 페그마타이트 광상의 특징과 탐사를 위한 기초연구”의一部이며 研究費를 支援해준 當財團에 感謝드린다.

참고문헌

김동우, 김상우, 1965, 한국 지질도 서벽리 도록.
김수영, 1988, 순경 페그마타이트와 이에 수반된 주석 광물에 대한 성인적 연구 : 연세 대학교 이학박사 논문, p.163.
김용준, 이대성, 1983, 석포-덕구간에 분포하는 소위 홍제사 화강암의 지질 연대와 그 생성 과정에 대한 연구 : 광산 지

- 질 학회지 16권 3호, p. 163-221.
박노영, 김수영, 1986, 순경 지역의 주석 광화 작용과 시추 조사 연구 : 금속 광상 조사 연구, 동력 자원 연구소, p. 185-230.
박희인, 장호환, 진명식, 1988, 태백산 지역내 광상의 생성 연령 : 광산 지질 학회지 21권 3호, p. 55-67.
이상만, 김형식, 1984, 소위 율리충군 및 원남 충군의 변성 암석학적 연구 : 지질학회지 20권 3호, p. 195-214.
전효택, 이덕원, 1987, 상동 지역 주석 광화 작용과 관련된 선캄브리아시대 화강암류의 암석 지구화학 : 대한 광산 학회지 24권 2호, p. 83-96.
전효택, 홍영국, 김문영, 1989, 석포, 분천, 울진 지역 선캄브리아시대 화강암질암의 암석 지구화학적 특성과 생산성 심성암으로서의 가능성 : 대한 광산 학회지 26권 2호, p. 66-78.
지정만, 1989, 태백산지구 광화대내에 페그마타이트 광상의 특징과 탐광을 위한 기초 연구, 미발표, p. 51.
진명식, 김성재, 1988, 순경암 주석 페그마타이트의 K-Ar 연령 : 광산 지질 학회지 21권 2호, p. 171-174.
한국의 광상, v. 6 : 광업 진흥 공사, p. 53-57, p. 66.
한국의 광상, v. 8 : 광업 진흥 공사, p. 478-480.
Benard, F. (1985). The phase relations of Tourmaline Leucogranites and the significance of tourmaline in silicic magma, J. Geol., v. 93, p. 271-291.
Bousely, A. M. (1975) The relation between Rb, Ba, and Sr in granitic rocks, chemical Geol., v. 16, p. 207-219.
Brownlow, A. H. (1979) Geochemistry, p. 356-413.
Cerny, P. (1982) Petrogenesis of granitic pegmatites, Mineral Assoc. Canada short Course Handbook, v. 8, p. 1-39.
Cox, K. G. (1979) The Interpretation of Igneous Rocks, p. 12-80.
Davieix, B. M. (1985) Journalines from Appalachian-caledonisa massive sulfide deposits: Textural, chemical and isotopic relationships, Econ. Geol., v. 80, p. 2038-2046.
Deer, W. A. (1966) Rock-Forming Minerals, v.1, p. 319-330.
Flinter, B. H. (1972) Selected geochemical, mineralogical and petrological features of granitoids of the New England complex, Austraihia, and their relation to Sn, W, Mo and Cu mineralization, Econ. Geol., v. 67, p. 1241-1262.
Franiel, C. and Colette, R. L. (1957) Synthesis of tourmaline by reaction of mineral grains with NaCl-H₃PO₄ solution and its implications in rock matamorphism, Am. Min., v. 42, p. 754-758.
Ginsburg, A. I. (1979) Principles of geology of the gvanitic Geological application, Contr. Mineral. Petrol., v. 76, p. 430-439.
Ramberg, H. (1952), The origin of metamorphic and metasomatic rocks, Univ. of chicago Press, p.317.
Robbins, C. S. and Yoder, H. S. (1962) Stability relations of

- pegmatites, Nedra Moscow, p. 296.
- Goldschmit, v. M. (1954) Geochemistry, p. 730.
- Govett, G. J. S. (1983) Handbook of Exploration Geochemistry v. 3, Rock geochemistry in mineral exploration, p. 213-334.
- Groves, D. I. (1972) The geochemical evolution of tin-bearing granites in the Blue Tier Batholith, Tasmania, Econ. Geol., v. 67, p. 445-457.
- Harker, A. (1909) The natural history of igneous rocks, New York, Macmillan.
- Henry, D. J. (1985) Tourmaline as a petrogenetic indicator mineral: an example from the staurolite grade metapelites of NW Maine, Am. Min., v. 70, p.1-15.
- Jolliff, B. L. (1986) Tourmaline as a recorder of pegmatite evolution: Bob Ingersoll pegmatite, Black Hills, South Dakota, Am. Min., v. 71, p. 472-500.
- Jones, M. T. (1977) Age of tin mineralization and plutonism, Belitung, Indonesia, Econ. Geol., v.72, p. 745-753.
- K. I. E. R. (1983) Geochemical maps for Seobyeng sheet in the Taebaeksan Mineralized Belt.
- Kozlov, v. D. (1975) Geochemical characterization of the Mesozoic plusmasitic leucocratic granites of the Transbaykalia tintungsten belt, Geochim. Int. aa, p. 997-1008.
- Oyarzun, J. M. (1975) Rb and Sr as guides to Cu mineralization emplaced in some chilean andesitic rocks, In: Elliott, I. L. and Fletcher, W. K. (Editors), Geochem. Exploration 1974, Elsevier, Amsterdam, p. 333-338.
- Pichavant, M. (1981) An experimental study of the effect of born on a water-saturated haplogranite at 1 kbar pressure, dravite, a tourmaline, Carnegie Inst., Washington Yearbook, v. 61, p. 106-108.
- Rose, A. W. (1979) Geochemistry in Mineral Exploration, p. 87-92.
- Sheremet, Ye. M. (1973) Geochemical criteria for the productivity of potential ore-bearing granitoids in the Gudzhir intrusive complex in western Transbaikalia, Geochim. Int., v. 10, p. 1125-1135.
- Shereton, J. M. and Black, L. P. (1974) Geochemistry of mineralized granitic rocks of northeast Queensland, J. Geochem. Explor., v. 2, p. 331-348.
- Vgenopoulos, A. G. (1983) The Permigranitic Tourmaline of Island Naxos, Greece: Trace element in petrogenesis, p. 905-917.



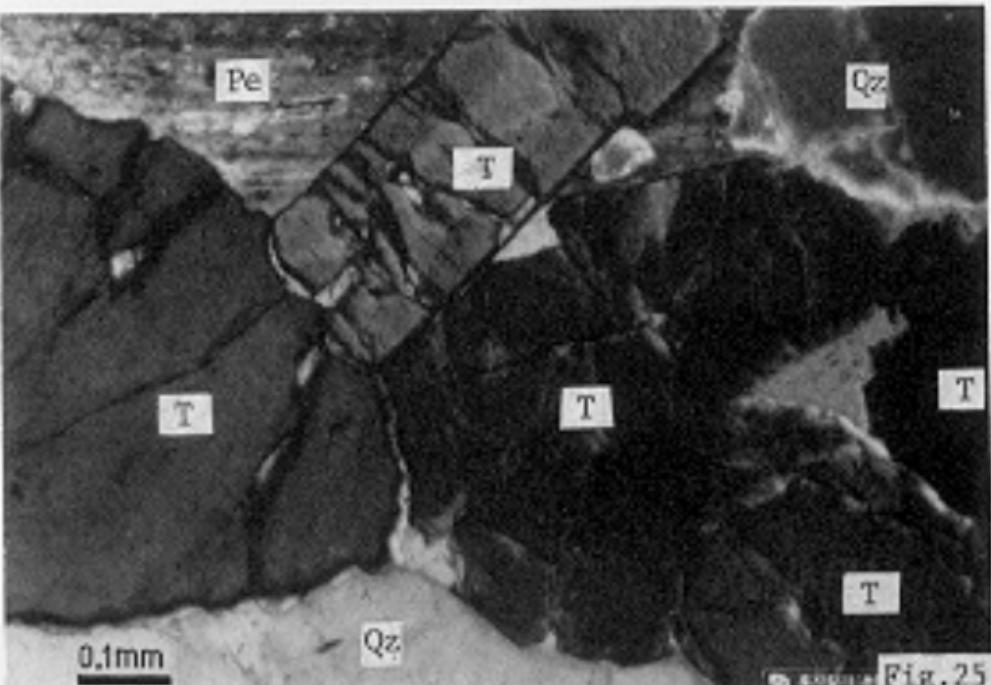


Fig.25

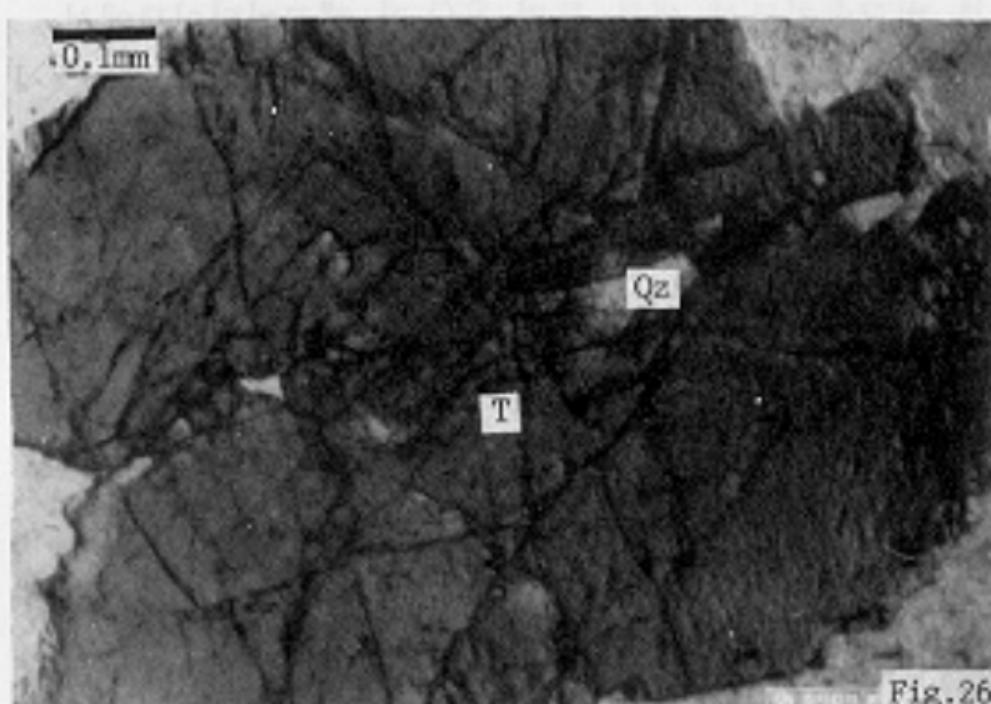


Fig.26

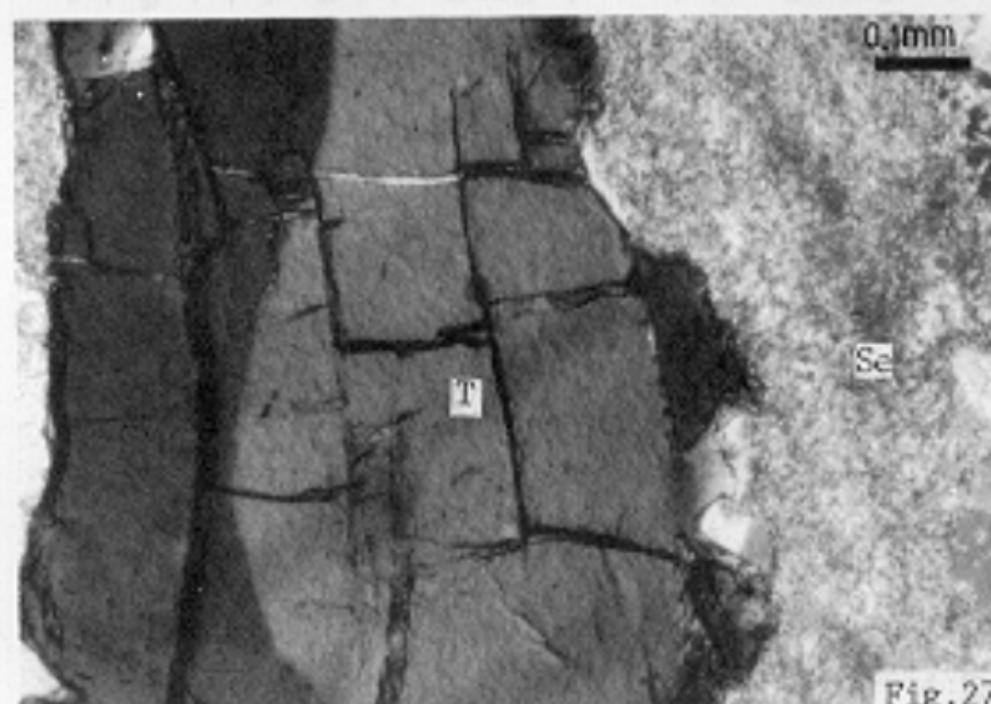


Fig.27