

韓國의 酸性深成岩類研究의 몇가지 課題

李 大 聲*

Some Problems on Acidic Plutonic Rocks in Korea

Dai Sung Lee

目 次

1. 序 言
2. 酸性岩類의 ortho-origin 과 para-origin의 識別
3. migmatite의 構造
4. 火山-深成作用
5. 花崗岩質 magma의 起源

Abstract

In this paper, the author discussed about following subjects for the studies of acidic plutonic rocks in Korea. (1) The criteria of distinction between ortho-origin and para-origin of acidic plutonic rocks using the statistic chemical treatment of lognormal type distribution of H.L. Arhens (1954, 1957, 1963), the normative Q-Ab-Or triangle of O.F. Tuttle and N.L. Bowen(1958), plagioclase twin type of M. Gorai(1952) and optical measurement of ordering degree of plagioclase of K. Uruno(1963), (2) Macroscopic structural classification of migmatites of K.R. Mehnert(1968), (3) Volcano-plutonism comparing the geological features in the younger orogenic belts in Japan and Cordillera in America and (4) The original sources of granitic magma in the viewpoint of isotope geology.

[1] 序 言

여기에 酸性深成岩이라 함은 주로 花崗岩質의 鑛物組成이나 化學組成을 가진 岩石으로서 그 起源이 火成的이거나 堆積岩이 變成作用을 받아서 된 것을 意味한다. 이같은 岩石은 韓半島面積의 70餘%를 占하는 것으로 韓國地質研究에 있어 그것이 차지하는 比重이 大端히 크다. 그럼에도 不拘하고 韓國에서의 이러한 酸性岩研究은 아직도 初步의 段階를 免치 못하였으며, 一般的方法으로는 到底히 解決할 수 없는 數없이 많은 課題가 우리의 앞에 가로 놓여있는 것이다.

本文에서는 우리가 當面하고 있거나 將次 問題가 될 다음의 몇가지 課題에 對하여 그의 解決方案을 考慮하기 爲하여, 外國에서 遂行되고 있는 研究內容의 概要를 紹介하여 參考에 供與코자 하는 것이다.

[2] 變成岩類의 ortho-origin(火成起源)과 para-

origin(堆積起源)의 識別

韓國에는 廣範하게 變成岩類가 分布하고 있음은 周知의 事實이다. 그러나 이들의 起源에 對하여 明確히 區別이 되지 않은 部分도 많다. 所謂 灰色花崗片麻岩이라 함은 過去相當한 部分이 火成起源으로 認定되어 왔으나 韓國地質學者들에 依해서 이에 대한 分帶가 이루어지면서 火成岩起源보다는 堆積岩의 變成物으로써의 準片麻岩임이 여러 곳에서 밝혀졌다. 그 結果 오히려 이 灰色片麻岩(또는 高句麗花崗岩)에서는 火成起源의 것을 찾기가 어려운 形便에 있다. 鄭昌熙는 韓國地質概要(1956)에서 片麻岩의 多量은 既存 堆積岩 또는 變成岩이 花崗岩의 마그마의 同化를 받아 이루어진 混成岩일 것이라고 했다. 花崗片麻岩類의 一部가 漣川系나 沃川系를 貫入하였으며 그 時代는 美國의 Algoman Granite에 對比되는 것으로 始生代末乃至 原生代初로 본다고 했다. 또한 孫致武 역시 忠南 藍浦熊川西方에 分布하는 花崗片麻岩이 隣接 中生代地層에 貫入되어

*延世大學校 教授 理博 本學會總務委員

있는 것으로 解釋된다는 것을 爲始하여 貫入關係를 가지고 時代를 달리하는 片麻岩類가 過去 灰色花崗片麻岩, 高句麗花崗岩, 咸興片麻岩等으로 一括되어 왔다고 했다(1956). 1969年 1/25萬 縮尺의 大田圖幅에서 李商萬과 鄭昌熙는 小白山脈을 中心으로 하고 그 南北兩麓에 分布하는 尙州變成岩類의 一部는 正片麻岩類와 鹽基性 變質火成岩類로 되어 있다고 하였다. 金玉準은 沃川系 兩側에 露出되어 있는 京畿陸塊와 嶺南陸塊를 沃川系地尙斜의 基底로 보며 이들의 對比를 試圖한 바 있으나 이에서 言及한 公州片麻岩, 遠南統, 栗里統內에 包含되는 片岩類는 大體로 堆積變成岩類로 보는 듯하다.

實際에 있어서 造山帶의 中央部를 占領하는 廣域變成帶에서는 火成活動이나 廣域變成作用이 일어나는 限界가 不明한 것이다. 大概의 경우 길게 伸長되어 있는 變成帶中에서 中心軸 附近의 變成溫度가 가장 높으며 그곳으로부터 兩側으로 向하여 變成溫度가 漸次 낮아져서 再結晶의 程度도 弱해지므로 結局 外部에서는 非變成地域로 漸移한다. 따라서 中心軸 部分은 大小의 여러 花崗岩이나 그 外의 여러 深成岩體가 出現한다. 이러한 部分에서의 花崗岩體는 熔融狀態를 거친 岩石組織을 가진 岩相을 나타낼 것임으로 그의 原岩이 火成岩인지 堆積岩의 變成物인지를 鑑別하기 어려운 것이다. 勿論 隣接岩과의 關係 等の 地質條件의 檢討, 變成鑛物의 組合의 岩石學의 性質, 化學成分上의 特徵等을 根據로 하여 이들의 區別을 試圖한바가 많다.

여기서는 主로 室內試驗結果에 根據한 區別法인 다음의 몇가지를 들어 上述한 試圖의 不充分한 點을 補充하여 보는 것도 意義있을 것으로 믿어진다.

1. 岩石化學分析值의 統計的 處理에 依한 方法
 2. Norm Q-Ab-Or 三角圖表를 利用하는 方法
 3. 斜長石의 雙晶型에 依한 方法
 4. 斜長石의 秩序度測定에 依한 方法
- 各各의 概略을 說明하면 다음과 같다.

1. 岩石化學分析值의 統計的 處理에 依한 方法

이는 Arhens, L.H. (1954, 1957, 1963)에 依해서 考案된 것으로 各 火成岩의 種別로 그의 化學分析資料를 統計的으로 取扱하면 岩種과 成分에 따라 分布型을 얻게 된다. 即 各 火成岩類의 數 많은 試料의 分析結果를 根據로 하여 各岩種에 對하여 여러 化學成分別로 다음式에 依한 正規分布와 對數正規分布를 그려 各各의 分布型을 만드는 것이다.

頻度를 y , 分析值를 x , 여러 分析值의 平均值를 \bar{x} , 分析數를 n , 標準偏差를 $\sigma = \sqrt{\sum(x-\bar{x})^2/(n-1)}$ 라고 하면

$$y = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(x-\bar{x})^2}{2\sigma^2}}$$

에 따르는 分布를 正規分布(normal distribution)이라고

한다. 縱軸에 y 를, 橫軸에 x 를 取하면 \bar{x} 를 中心으로 하여 左右對稱인 鐘狀의 分布를 보인다. 이에 對하여 上式에서 x 와 \bar{x} 代身에 $\log x$ 와 $\log \bar{x}$ 를 使用한 函數에 따르는 分布를 對數正規分布(lognormal distribution)이라고 한다. 이 境遇도 縱軸에 y 를, 橫軸에 $\log x$ 를 取하면 역시 鐘狀分布를 나타낸다.

이 分布는 分析值의 算術平均을 am , 幾何平均을 gm , $\sigma_L = \sqrt{\sum(\log x - \log \bar{x})^2/(n-1)}$ 라고 하면 $\log am/gm = 1.1512\sigma_L^2$ 로 表示된다.

玄武岩이나 流紋岩中의 SiO_2 含量은 正規分布를 보이나 火成岩中의 元素의 大部分은 對數正規分布를 보인다. 이것은 火成岩의 分別結晶作用과 密接한 關係가 있음을 Arhens 은 밝혔다.

上記兩者間의 比較를 그림으로 表示하면 그림 1과 같다. 이는 375個 花崗岩內 Be(ppm 單位)에 對한 正規

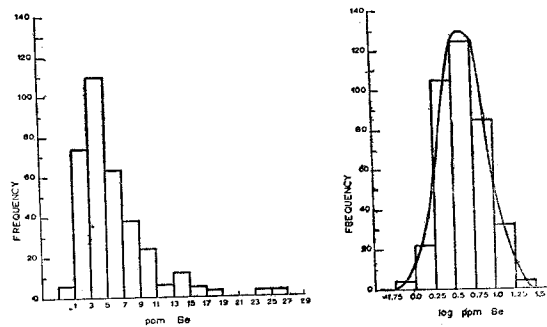


그림 1. The distribution of Be and log Be in 375 granites(after Bens, 1961)

分布와 對數正規分布를 나타낸 것이다. 그림 2는 日本 花崗岩質岩石에 對한 $SiO_2(\%)$ 와 $Al_2O_3(\%)$ 의 正規分布를 보이는 것이다. 그림 3은 玄武岩(bas)와 花崗岩(gr.)

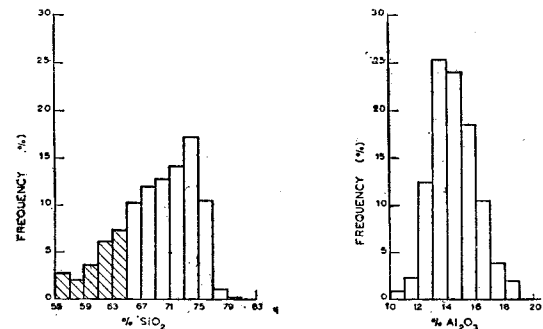


그림 2. The distribution of SiO_2 (decided negative skewness) and Al_2O_3 (slight positive skewness) in Japan granitic rocks(Arhens, 1963)

의 여러種의 元素에 對한 分散分布圖이다.

이러한 統計的 處理法에 依하여 Ortho-origin과 Para-origin을 鑑別하고 그의 基準을 設定한 實例로써 프랑

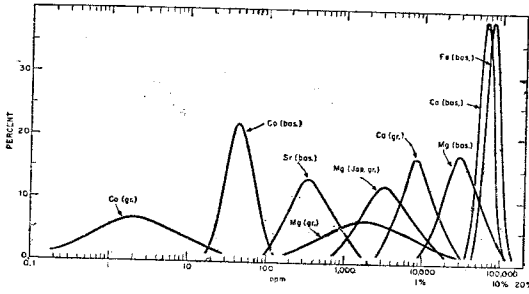


그림 3. Dispersion diagram for several elements in basaltic rocks and granites(Arhens, 1963)

스의 Philippe Davoine(1969)이 leptynite(粗粒白粒岩)에 대하여 實施한 것을 들 수 있다.

Davoine 은 그의 論文에서 火成岩으로써 流紋岩과 石英安山岩, 堆積岩으로 알코우즈砂岩 및 粗粒白粒岩의 化學成分을 統計的으로 處理하므로써 leptynite의 Ortho-와 Para-를 識別하는 基準을 定했다.

流紋岩 33個와 石英安山岩 33個에 對하여 이들의 化學分析值中 主成分元素의 酸化物含有量을 對數正規分布로 그려보면 正常的인 分布型을 보임에 對하여 알코우즈砂岩 32個에 對하여는 이型이 잘 나타나지 않는다. 이것은 알코우즈砂岩이 陸地碎屑物이며 實際에 있어서 流紋岩이나 石英安山岩의 경우와 같이 化學的平衡關係를 따르지 않는 化學組成을 가지고 있기 때문이다. leptynite 46個의 分析值를 基準으로 하여 各主成分元素酸化物의 histogram을 流紋岩, 石英安山岩 및 알코우즈의 histogram들에 重複하여 보면 Al_2O_3 와 SiO_2 , 鐵의 酸化物 및 MgO 는 火成源이거나 堆積源이거나 兩便에 다 접치는 二重의 性質을 가지고 있으나 CaO , Na_2O 및 K_2O 에서는 그렇지 않다. 그러므로 이 성분들에 의해서 Ortho-와 Para-를 區分할 수 있는 基準을 다음과 같이 設定할 수 있는 것이다.

CaO { $>2.5\%$ 石英安山岩質物에 起源한 Ortholeptynite, 더욱 $Na_2O+K_2O < 7\%$ 일 때는 이를 確定
 $<2.5\%$ 이며 Na_2O+K_2O { $>7\%$ 流紋岩質物에 起源한 Ortholeptynite
 $<7\%$ Paraleptynite

以上的 基準에 依하여 判別한 數많은 岩體에 對한 地質的인 關係와 岩石學的 檢討結果는 이 基準의 有効性을 立證했다는 것이다.

2. Norm Q-Ab-Or 三角圖를 利用하는 方法

이 方法은 特別히 花崗岩質變成岩에 關해서 適用이 可能한 것으로 Tuttle과 Bowen (1958) 및 Luth 등 (1964)이 實驗한 石英-알바이트-正長石- H_2O 系를 根

據해서 岩石形成過程에 있어 化學的平衡關係가 維持되었던 것인가를 判別하여 보는 경우이다.

天然의 花崗岩系는 그의 成分數에 關해서 大端히 複雜하다. 그렇기 때문에 이에 對하여는 아직도 定量的인 研究가 遂行되어 있지 않다. 花崗岩質岩石을 物理化學的으로 取扱하기 爲하여 成分數를 限定하여 有色鑛物을 于先 除外하고 石英-알바이트-아놀사이트-正長石- H_2O 의 5成分系로 縮約하는 것이다. 따라서 有色鑛物의 量이 많은 花崗岩類일수록 本系를 適用함에 있어 큰 差跌이 생기며 閃綠岩과 같은 岩石에는 適用할 수 없게 된다.

實際에 있어 上記 5成分系도 平面圖表로써는 表示가 困難하다. 그렇기 때문에 一定한 水蒸壓으로 制約된 石英-알바이트-正長石의 3成分系로써 簡略化한다. 여기서 알바이트는 斜長石을 代表하는 것이며, 正長石은 正長石, 微斜長石等 카리長石을 代表하는 것이다. 이 3成分은 岩石의 構成鑛物(mode로써)의 組合으로 놓을 수 있으나 鑛物相互間에는 連晶關係 또는 固溶體關係 및 變成作用에 의한 鑛物의 變化等으로 各成分의 明白한 區分이 어려운 境遇가 생기므로 이는 化學分析值에 依해서 計算한 Norm 標準鑛物로써 보는 것이다. 그런데 여기서 前述한 有色鑛物의 含量問題가 있으므로 Tuttle과 Bowen은 Norm鑛物로서 $Q+Ab+Or$ 가 80이나 그 이상인 것만을 이 系에 適用하는 것이다.

Thornton C.P.와 Tuttle O.F.(1960)는 마그마의 分化程度의 尺度로서 Norm 標準鑛物, 石英, 正長石, 알바이트, 네펠린(Nepheline, Ne.), 켈실라이트(Kalsilite, Kal.)가 갖는 重量百分率의 和의 크기를 썼다. 그들은 이 和를 differentiation index(分化指數)라고 했다. 이指數는 마그마 殘液의 化學組成이 結晶分化作用의 進行에 따라 漸次 $SiO_2-NaAlSi_3O_8-KAlSi_3O_8$ 의 3成分系로 表示되는 組成으로 가까워져 가기 때문이다. 本項에서 論하는 $Q-Ab-Or$ 三角形은 $SiO_2-NaAlSi_3O_8-KAlSi_3O_8$ 로서 前記 $SiO_2-NaAlSi_3O_8-KAlSi_3O_8$ 系에서 $Q-NaAlSi_3O_8, Q-KAlSi_3O_8$ 邊의 中點들을 連結한 線을 底邊으로 하는 작은 三角形에 該當한다. 花崗岩質岩石은 SiO_2 가 過剩으로 包含되어 있어 實際 Norm으로서 Ne 나 Kal은 나타나지 않으므로 언제나 Q, Ab 및 Or 의 和가 分化指數가 되는 것이다.

그림 4는 Tuttle과 Bowen(1958)에 依한 것으로 石英-알바이트-正長石系에 1 Kbar 水蒸壓에 對한 等壓分結曲線을 그려 넣은 것이다.

화살표를 갖인 曲線들은 結晶이 生成됨에 따라 變하는 熔融體(melt)의 成分을 가르킨다.

그림 4에서 보는 바와 같이 알카리長石區域인 A-B-

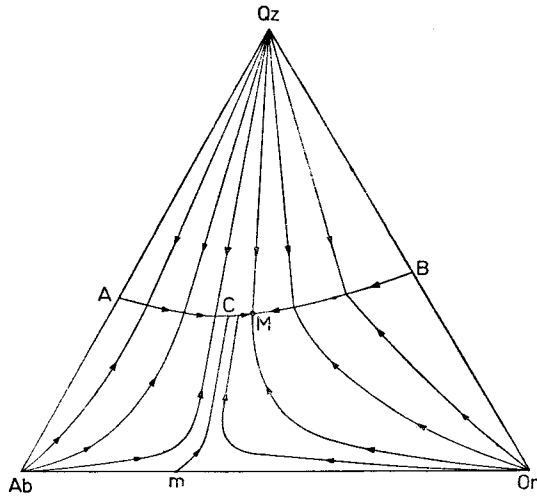


그림 4. System quartz-albite-orthoclase-H₂O projected onto the anhydrous base of the tetrahedron with isobaric fractionation curves for a water vapor pressure of 1 Kbar. (after Tuttle and Bowen 1958)

Or-Ab 內의 部分은 "thermal valley"에 依해서 兩 部分으로 갈라진다. 이 thermal valley 는 Ab-Or 사이에 有

는 binary minimum(m)에서 三成分內로 들어가 石英과 알카리 長石과의 field boundary인 A-B線과 C에서 만난다. ternary minimum(M)은 거의 三角形의 中心에 가깝다. 즉 이點은 거의 1/3 Q, 1/3 Ab 및 1/3 Or의 組成을 갖는다.

그림에서 보는 바와 같이 正常的인 마그마起源의 花崗岩의 norm 點들은 M-C 曲線을 따르는 位置에 떠러 지는 것이며 그의 最終產物은 C와 M 點 附近에 集中 되는 것이다. 이러한 性質이 變成岩의 Ortho-와 Para-를 識別할 수 있는 根據가 된다. 變成岩 특히 花崗岩 質變成岩이 交代變成作用에 依한 것이 아닌 限 그의 化學的 成分은 閉塞系로 보아도 좋을 것이므로 이는 原岩의 化學系를 維持하는 것이다. 따라서 原岩의 化學系가 熔融體의 結晶作用에 依한 것이라면 化學的平衡과 關係되는 型의 分布를 보일 것이다. 그러나 만약 그렇지 않은 堆積起源의 變成岩이라면 規則性이 缺如된 分布나 分散狀을 나타낼 것이다.

그림 5는 여러 水蒸氣壓(Kbar單位)에 따르는 그림 4의 A-B boundary와 thermal valley의 M-C 曲線 및 ternary eutectic을 表示한 것이다.

萬若 水蒸氣壓이 마그마가 받은 壓力과 같다고 본다면

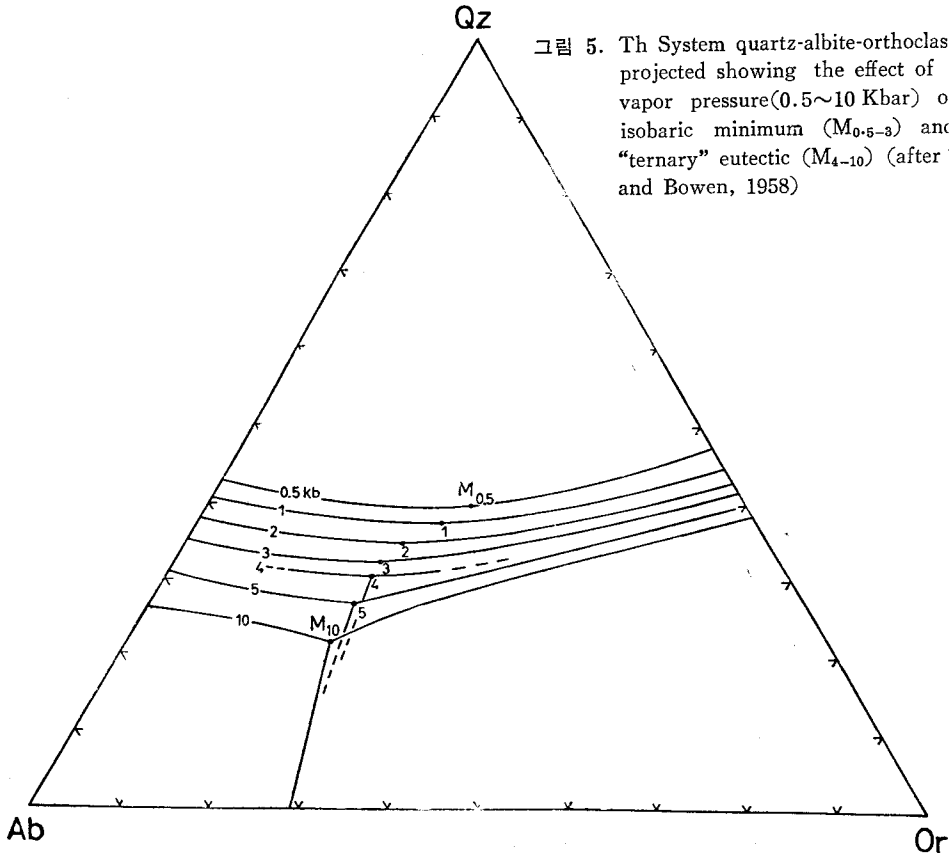


그림 5. Th System quartz-albite-orthoclase-H₂O projected showing the effect of water vapor pressure(0.5~10 Kbar) on the isobaric minimum (M_{0.5-3}) and the "ternary" eutectic (M₄₋₁₀) (after Tuttle and Bowen, 1958)

그림 6. Triangular plot of norms of Ab-Or-Q for the analyzed samples which have 80 per cent or more normative Ab+Or+Q. The boundaries and minima at 0.3~3Kbar water vapor pressure and ternary eutectic at 4~10 K-bar Vapor pressure (Tuttle and Bowen 1958, and Luth et al, 1964) are Superimposed.

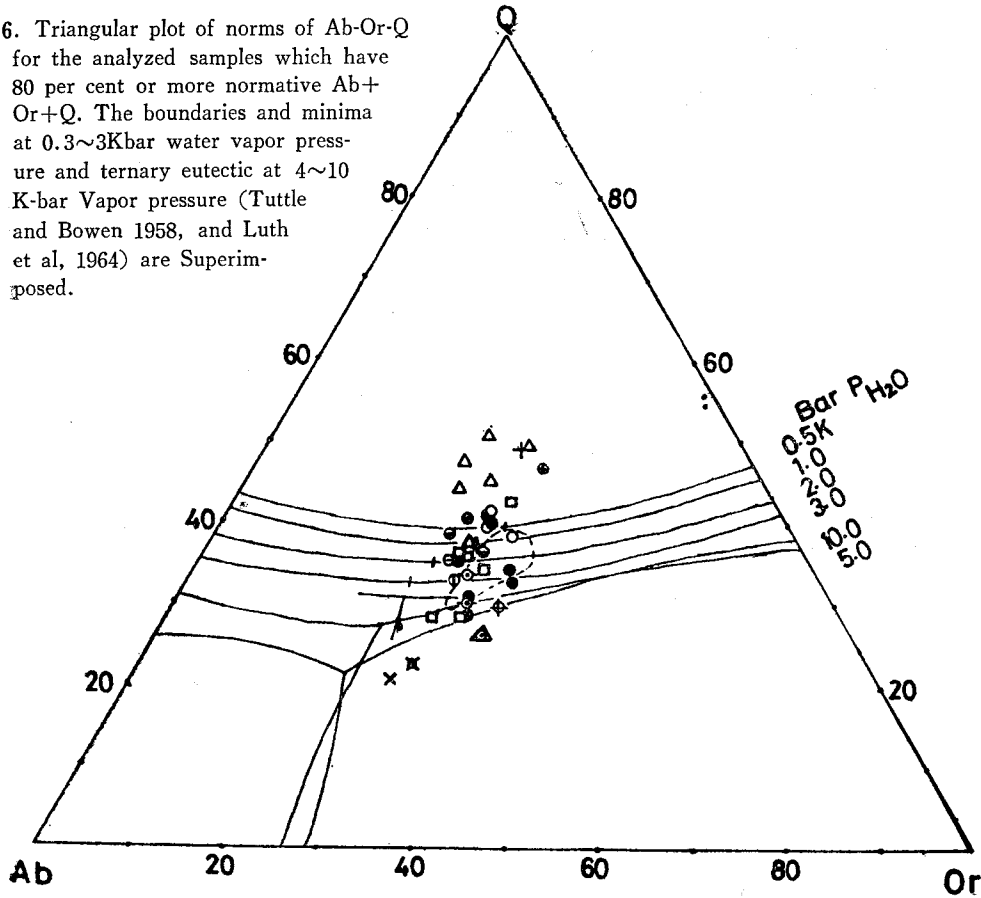


그림 5에 찍은 資料點(data point)은 그 岩石의 形成된 地殼內의 깊이에도 比例할 것이다.

實例로써 前項에서 紹介한 leptynite의 資料點들을 Q-Ab-Or 圖에 찍어 보면 Ortho-leptynite들은 ternary minimum 附近에 集中하나 para-leptynite들은 Q가 優勢한 區域에 널리 分散되어 있다.

沃川系地向斜帶의 花崗岩質岩石에 對해서 筆者(1971)가 實施한 바는 그림 6과 같다.

大體로 本地向斜帶內의 것은 어느것이나 一段 熔融狀態를 거친것으로 認定되나 特히 正常的인 마그마 分化過程을 暗示하는 것은 所謂 NW 帶花崗岩類→C帶古期花崗岩類→C帶新期花崗岩類→酸性 脈岩類이다. 이에 對하여 SE 帶에 것은 分散되는 傾向이 있으며 靑山區域과 葵樹—丹陽의 片狀構造를 지닌 花崗岩類는 다른 帶의 것에 比較해서 深部에서 形成된 것으로 보여진다. 그에 反하여 脈岩類는 水蒸氣壓 0.5Kbar 未滿 即 1.5 km 깊이 보다도 얕은 곳에서 凝結된 것으로 推測된다.

3. 斜長石의 雙晶型에 依한 方法

이 方法은 1947—1951年 Gorai, M 에 依해서 提案된 것으로써 火成岩과 變成岩에 따라 斜長石雙晶의 型이 다

르다는데 根據한 것이다. 그는 C 雙晶의 出現頻度를 統計的으로 處理함으로써 花崗岩成因論에 對하여 有力한 手段을 提供하였다. 即 複合雙晶이나 칼스발雙晶 등은 溶液에서 固結한 岩石 即 火成岩에 많고 알바이트 雙晶이나 雙晶을 이루지 않는 斜長石은 變成作用을 거쳐서 熔融되지 않은 대로의 再結晶岩石 即 變成岩에 많다는 것이다.

albite 式이나, pericline 式(또는 accline 式)의 雙晶은 火成岩의 斜長石이나 變成岩의 斜長石에서도 出現한다. 그렇지만 Carlsbad 式이다 Carlsbad-albite 式의 雙晶은 火成岩(火山岩과 深成岩)의 斜長石에 많고 變成岩의 斜長石에서는 거의 나타나지 않는다. Manebach 式, Baveno 式, Ala 式 등의 雙晶은 그 出現이 稀少하지만 이들도 火成岩의 斜長石에 限定된다.

이같이 斜長石의 雙晶形成에 있어서 나타나는 差異는 斜長石結晶作用의 메카니즘이 岩石形成條件에 따라 다른데 根據한다고 Gorai 는 說明하였다. 그러나 이의 內因的인 雙晶形成의 理論은 言及되어 있지 않다.

그는 斜長石雙晶型은 반드시 Universal Stage 를 利用하지 않고도 鑑別이 可能하다고(1950) 하였다.

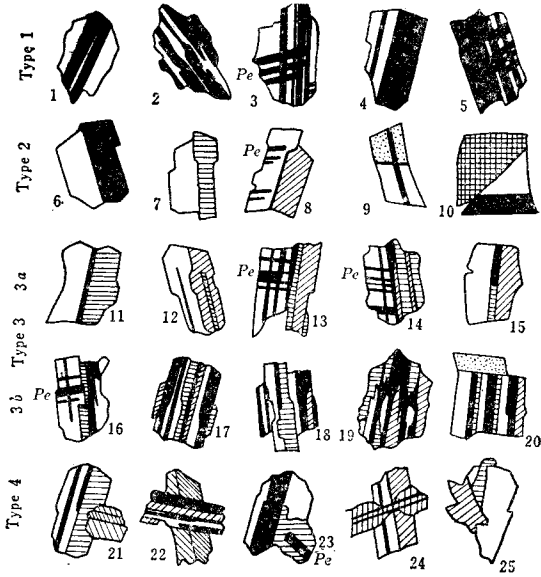


그림 7. 斜長石 雙晶의 A 및 C-型的 간단한 감정법 (Gorai, 1951)

type 1은 A型, type 3, 4는 C型,
type 2는 A, C 어느경우에도 있을 수 있다.
이때는 雙晶이 接合面을 cross hair에 대해서 약
45°의 位置로 回轉했을 때 兩側에서 干涉色이 다르
던가. 石膏檢板을 넣을때 干涉色이 다르던 C雙晶
이다. 그 외의 경우에는 보통의 현미경하에서는
識別이 不可能하다. 그러나 이와 같은 예는 많지
않다(牛來, 1951)

그림 7은 斜長石 雙晶의 A-型和 C-型的 簡單한 認定法
이다. 여기서 type 1을 A型, type 3과 4는 C型이라고
하였다. type 2는 A型, C型 어느 경우에도 있을 수
있는 것으로 兩者가 區別되지 않는 경우가 있다. 그러
나 그 數가 적기 때문에 이法을 適用하는데 그리 支
障은 없다. type 2에서는 雙晶의 接合面을 十字系에 對
하여 約 45°의 位置로 回轉하였을때 兩側에서 干涉色이
다르던가, 石膏板을 끼어서 볼 때 干涉色의 差異가 있
을 때는 C型 雙晶으로 볼 수 있다. 全然 雙晶을 보이지
않는 斜長石은 U(untwinned)型으로 區別한다.

操作은 480mm² 넓이의 薄片에서 縱橫으로 約 1~2
mm 間隙으로 約 200點을 찍어 그 點에서의 斜長石의
雙晶型을 觀察하는 것이다. 이때 斜長石의 結晶이 커
서 同一-型的 雙晶을 數回적더라도 모두 加算한다.

그림 8은 深成岩內 斜長石 雙晶型의 U:A:C 比率를
나타낸 것으로 大體로 두 點線으로 區劃한 範圍內에 들
어간다. C型이 많을수록 鹽基性岩이며 적을수록 酸性
岩이다.

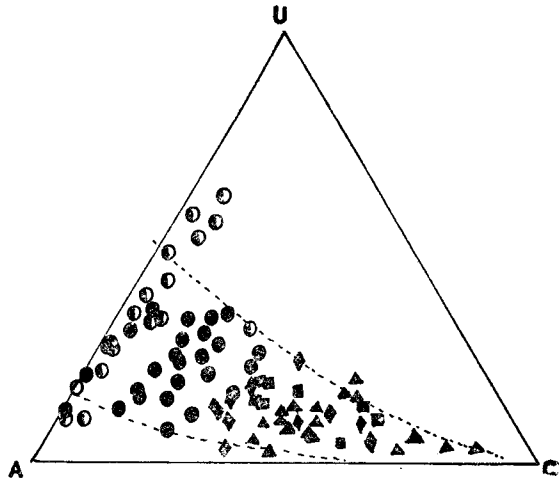


그림 8. U:A:C ratios in the plagioclase of
plutonic rocks(after Gorai, 1965)
Triangle=gabbros
Thomb=diorites
Square=quartz diorities
Circle=granite, granodiorites
Semi-solid circle=aplitcs, pegmatites

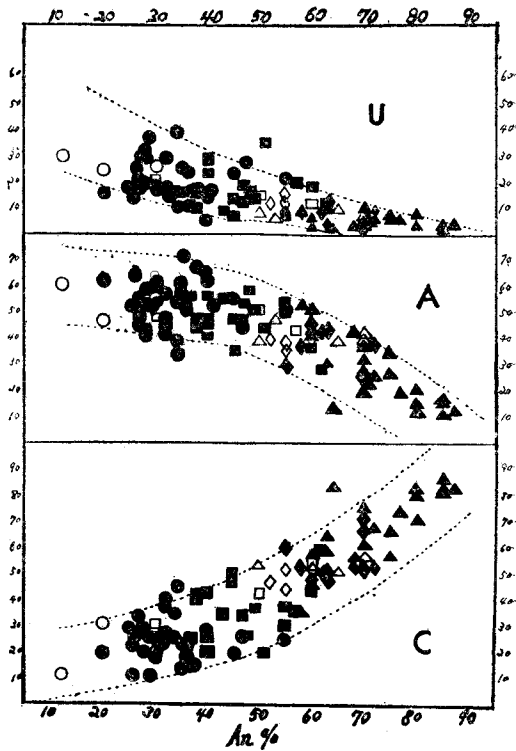


그림 9. Relationship between the average An% of
plagioclase and the frequencies of U, A and C
in volcanic and allied rocks(after Gorai, 1951).

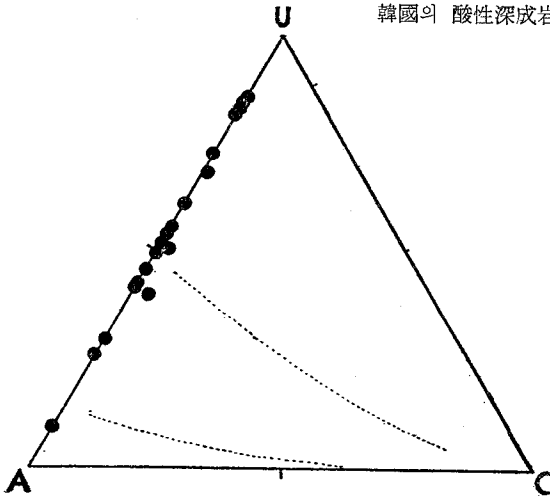


그림 10. U:A:C ratios in the plagioclase of schists and gneisses (after Gorai, 1951)

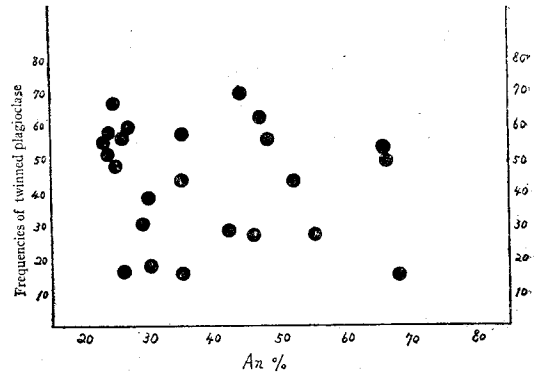


그림 11. Relationship between the average An% of plagioclase and the frequencies of twinned plagioclase in schists and gneisses(after Gorai, 1951)

그림 12. U:A:C ratios in the plagioclase of granites and granitic rocks in the middle Ogcheon Zone. The boundaries of the following rock types were drawn by author from the data of M. Gorai (1951). Gn & Sch: gneiss and schist, Gr: granite and granodiorite, Di: diorite, Gb: gabbro.

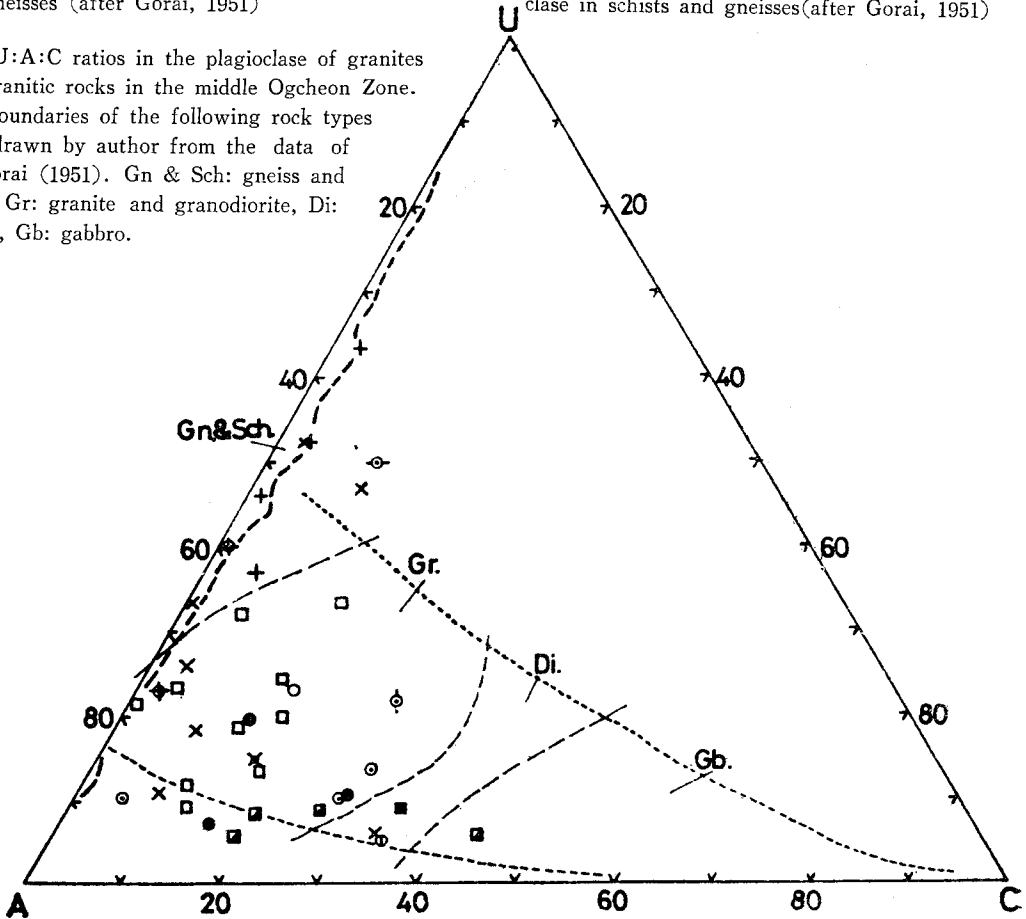


그림 9는 斜長石의 An%와 U, A 및 C 型雙晶의 頻度(%)를 나타낸 것이다.

火成岩과 달리 片岩과 片麻岩類內 斜長石의 U:A:C 比率은 그림 10과 같으며 An%에 對한 雙晶形成의 頻

度間의 關係는 그림 11과 같다.

沃川地向斜帶에 있어서도 37個試料에 對하여 雙晶法을 適用하였다. 그 結果는 그림 12와 같다. 여기에서도 Tonalite는 C型이 많은데 대하여 花崗岩類는 적고 片

狀을 띠는 花崗岩質岩石을 A-U邊에 가까운 位置에 分布한다.

그러나 여기서 U型的 鑑別이 잘못되기 쉬운 경우가 많다. 그것은 薄片의 切斷이 雙晶의 接合面에 平行하거나 거의 平行일 때는 雙晶은 이루고 있는 結晶도 顯微鏡觀察에서 雙晶이 없는 것으로 誤認하는 경우도 생기므로 Gorai의 結論을 再檢討하여 다른 形式의 雙晶의 三角圖가 提案된 바 있다. 荷蘭의 Tabi(1962)는 變成岩의 斜長石의 雙晶을 多數觀察한 後 綠色片岩相의 것에서도 Gorai의 C雙晶과 A雙晶이 보이며 雙晶의 接合面은 모두 (010)面이며 雙晶은 적은 雙晶片으로된 simple雙晶이 많다는 異論을 提起하였다. 此外에도 An 30 附近에서는 所謂 optical ambiguity 領域이 있어 雙晶의 識別이 不可能한 區域이 있다는 등 이 方法에도 깊이 檢討하여야 할 點이 아직도 많다. 그러므로 이 方法에 對한 信賴度가 減退되고 있다.

4. 斜長石의 秩序度測定에 依한 方法

NaAlSi₃O₈인 알바이트는 950°C以上에서 安定한 單斜 알바이트, 950°C와 700°C 附近과의 사이에서 安定한 高溫型 알바이트, 또한 700°C 以下에서 安定한 低溫型 알

바이트도 있다. 後의 두 알바이트는 어느것이냐 三斜晶系의 結晶이다. 그런데 單斜알바이트를 冷却하면 반드시 高溫型 또는 低溫型 알바이트로 轉移한다. 이 轉移는 Si와 Al과의 配列이 置換秩序—無秩序關係에 있으며 相互連結性이 있는 中間狀態를 가지고 있다.

이와 마찬가지로 아놀다이트 成分을 連續的인 固溶體系列로 包含하는 斜長石에도 高溫型和 低溫型이 있으며 이것역시 Si와 Al의 配列에 있어 置換秩序—無秩序型轉移에 依해서 서로 連結되어 있다. 이 高溫型和 低溫型과의 사이는 連續的이며 高溫型的 完全無秩序와 低溫型的 完全秩序와의 사이는 秩序度(degree of ordering)에 따라 0.0~1.0의 數值로 表示할 수 있다.

一般的으로 斜長石의 秩序度は 火山岩에서 낮고 深成岩과 變成岩에서 높다는 것이 Köhler(1941)에 依해서 發見되었다.

日本의 Uruno, K(1963)는 그의 斜長石의 秩序度에 關한 光學的 研究에서 universal stage를 使用하여 光學的 資料로서 化學組成과 秩序度간의 關係를 밝히나 있다.

그림 13은 Uruno가 創案한 그림으로써 우선 알바이트 雙晶을 보이는 兩片의 各各에 對하여 接合面(010),

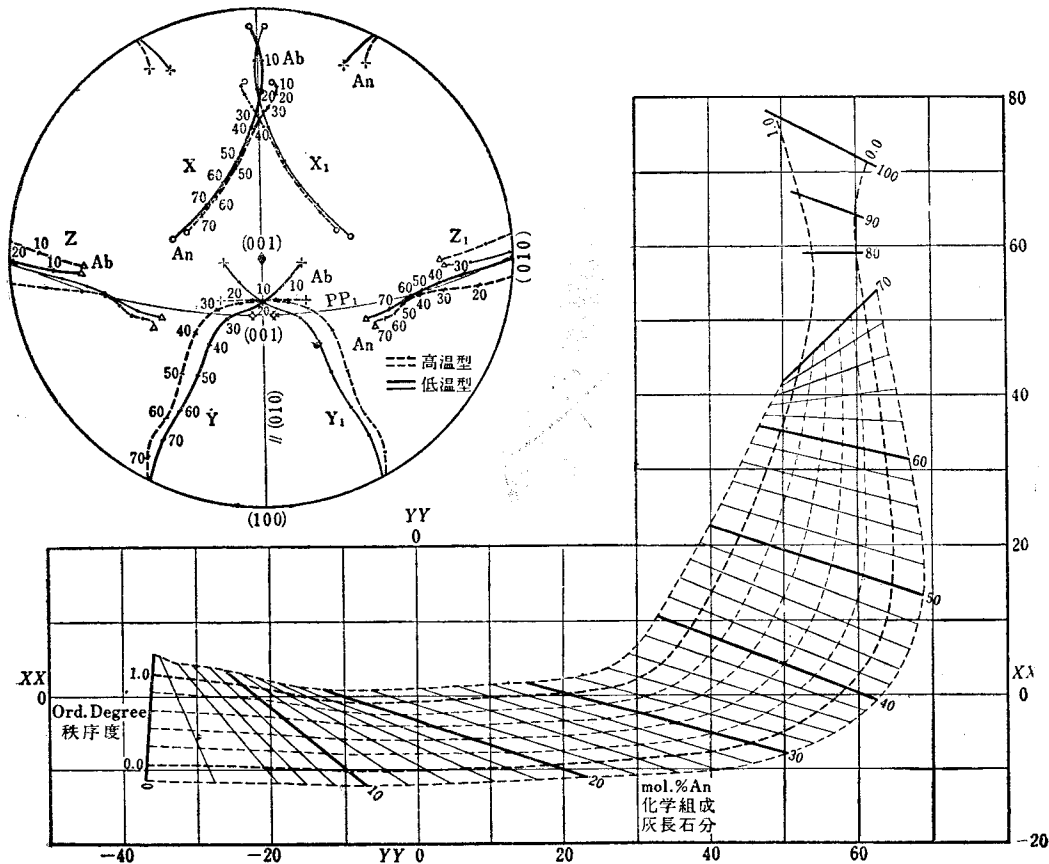


그림 13. 斜長石의 알바이트雙晶의 兩片 XX, YY의 角의 秩序와 組成과 關係(Uruno, 1963)

劈開(001) 및 X, Y, Z軸을 測定하고 이들을 스테레오 投影圖上에 투영시킨다. 그後 兩片의 X軸과 X軸, Y軸과 Y軸의 角(Köhler 角, XX와 YY)을 投影圖內에서 (010)에 平行한 大圓을 넘어서 測定한다. 여기서 XX角과 YY角의 符號는(b)圖上에서와 같이 (010)에 平行한 大圓에 關하여 (001)과 같은 쪽에 있으면-, 反對쪽에 있으면 +로 한다. (a)圖上에서 XX, YY의 交點에서 秩序도와 組成을 읽는 것이다.

Uruno는 그의 測定法에 依해서 여러가지 岩石에 對하여 斜長石의 秩序도를 測定하였다. 그를 要約하면 다음과 같다.

1. 深成岩의 境遇

日本東北地方에 있는 白堊紀의 岩溜狀의 Tabashine(東箱) adamellite 岩體內 斜長石은 秩序도와 化學組成에 있어 相當히 넓은 範圍의 變化를 보인다. 斜長石結晶의 大部分은 여러 秩序도를 가진 core를 가지며 外廓으로는 높은 秩序도를 가진(即 低溫型의) 酸性 rim을 가지고 있다.

第三紀의 花崗岩들은 火山岩類의 것들과 비슷하게 僻 낮은 秩序도를 보이는 斜長石을 含有한다. 그러나 An_{35} 보다도 더욱 酸性인 斜長石은 Tabashine 岩體의 斜長石들과 같은 傾向을 보인다.

測定資料는 充分히 많지 않으나 試驗한 花崗岩類에 包含된 斜長石類는 上述한 것들보다 若干 높은 秩序도를 보인다. 그러나 貫入型의 花崗岩類들은 原則적으로 最小 An_{35-70} 의 範圍內에서는 變成岩內의 斜長石에서와 보이는 完全秩序를 갖지 못한다.

2. 火山岩類의 境遇

火山岩類와 脈岩類內의 斜長石斑晶은 典型的인 低秩序도를 보인다. 그러나 어떤 部分에서는 多少 높은 秩序도의 部分이 斜長石斑晶에서 發見되는데 이는 注目할만한 것이다.

火山岩類로써 熱水의 作用에 의해서 prophyrite화나 珪化 또는 綠泥石化 등을 받은 것은 그 속에 들어 있는 斜長石의 大部分이 알바이트化되었고 累帶構造도 없애지고 低溫型알바이트로 되어 秩序도가 높아진다.

3. 變成岩類의 境遇

比較의 낮은 溫도와 높은 水蒸氣壓下에서 形成된 變成岩類에 包含된 斜長石은 An_{0-70} 의 全範圍에 걸쳐서 가장 높은 秩序도를 보인다.

所謂 接觸變成岩內의 斜長石은 거의 上記 變成岩內의 것과 같으나 若干 높은 秩序도를 보인다. 이것은 變成過程에 있어서 높은 溫도의 影響을 받는데 基因한 것 같다.

4. 火山岩內 捕獲岩의 境遇

深成源捕獲岩內의 斜長石은 An_{0-35} 의 範圍에서는 높은 秩序도를 보이나 An_{35-70} 의 範圍에서는 比較의 낮은 程度의 秩序도를 보인다. 이것은 酸性斜長石이 無秩序化하기 어렵다는 것을 暗示한다.

[3] Migmatite의 構造

韓國의 變成岩帶에는 넓은 範圍에 걸쳐서 超變成酸性岩이 分布한다. 이는 特別히 嶺南陸塊와 京畿陸塊에서 흔히 볼 수 있으며 이에 對하여 이제까지 migmatite, pegmatitic migmatite, metatectic gneiss, leucocratic migmatite, porphyroblastic migmatitic gneiss, banded gneiss 등의 여러가지 이름으로 불리워 왔다. 이제까지 migmatite와 gneiss의 分명한 區分이 이루어지지 않고 混用한 境遇도 있다. 勿論 觀察하는 사람에 따라 基準이 다르고 注目하는 面이 다르기 때문에 所謂「見解의 問題」가 생긴다. 따라서 한 岩石에 對하여 片麻岩으로 命名하는 이도 있으나 미그마타이트로 부르는 이도 있다. 또한 migmatite에도 여러 構造의 變化가 있음으로 이들에 對한 區分에도 적지 않은 混同이 있을 것이다.

따라서 筆者는 이러한 混同을 避하는 길의 하나로 1960年 Copenhagen에서 開催된 第21次 世界地質學總會에 R.V. Dietrich와 K.R. Mehnert가 提案한 migmatite用語를 韓國內에서 使用함이 어떠할까 한다.

이 資料는 K.R. Mehnert의 著書 "Migmatites and the origin of granitic rocks." (1968)에서 引用하였다.

여기에서 使用하는 岩石의 名稱이나 岩石의 樣相을 形容하는 用語는 어디까지나 巨視的인 外見上의 모양을 나타낸 것이며, 그 起源의 의미를 갖지는 않는다.

片麻岩과 미그마타이트의 定義를 各各 要結하면 다음과 같다.

片麻岩은 長石을 20%以上 包含하고 lineation, foliation, schistosity와 같은 平行構造를 나타내는 變成岩을 말한다. 미그마타이트는 岩質에 있어 둘이나 그 以上の 서로 다른 部分을 肉眼으로 區別할 수 있는 複合岩(composite rock)이다. 그 한 部分은 아직도 多少間 變成過程에 있는 母岩(country rock)의 部分이고 다른 部分은 페그마타이트質, 에플라이트質, 花崗岩質이거나 또는 一般的으로 深成岩의 外觀을 갖는다.

上述한 바에서 알 수 있음과 같이 片麻岩과 미그마타이트와의 再者의 差異는 前者보다 後者に 있어서 顯著히 岩質이 다른 몇 部分으로 갈라진 岩相을 나타낸다는 點이다.

미그마타이트에서 區分되는 各 部分에 對해서는 다음 같이 부른다.

(1) paleosome, 變質을 받지 않았거나 極히 弱하게

變化된 母岩의 部分

(2) neosome, 새로이 形成된 部分, 이것은 다시 다음과 같이 두가지로 區別되는 것이 普通이다.

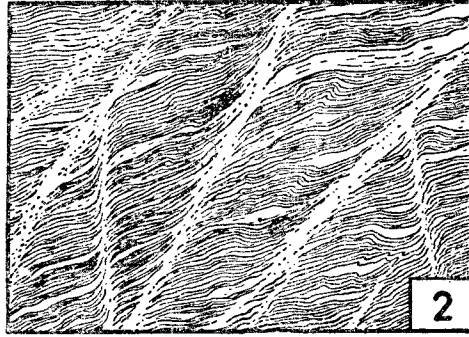
(a) leucosome, paleosome에 比해서 밝은 광물을 더욱 많이 包含하는 部分(밝은 鑛物이란 石英과 長石 또는 石英이나 長石을 말한다)

(b) melanosome, 주로 里雲母, 角閃石, 董靑石 等 같은 有色鑛物을 包含하는 部分.

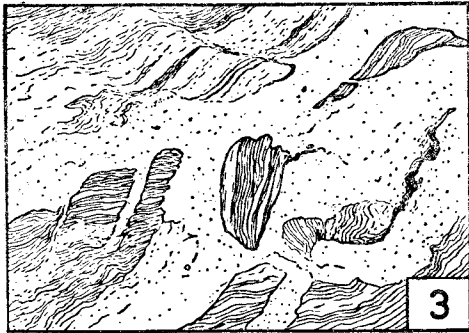
그 外에도 用語로서 K.H. Scheumann 이 提案한 arterite(마그마로 부터 온 脈狀部分), venite(母岩으로 부터 分離된 脈狀部分), phlebite(arterite와 venite를 統合한 말), metatect(미그마타이트에서 마그마로 부터 온 모양



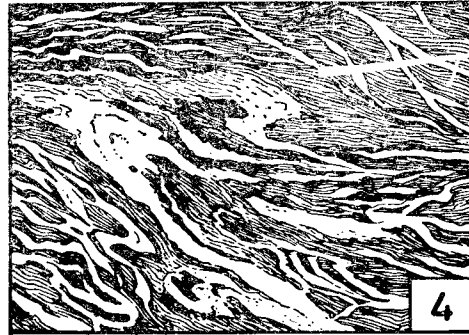
1. Agmatic(breccia) structure



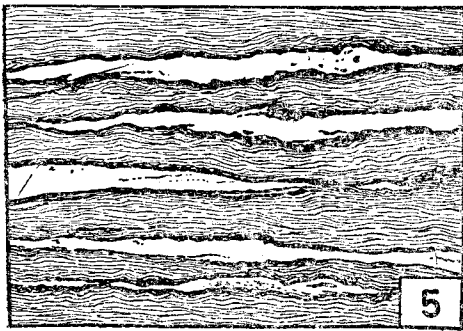
2. Diktyonitic structure



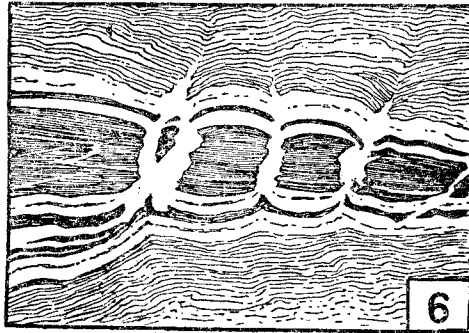
3. Schollen(raft) structure



4. Phlebitic(vein) structure

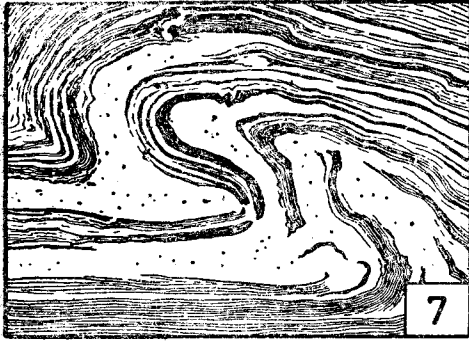


5. Stromatic(layered) structure

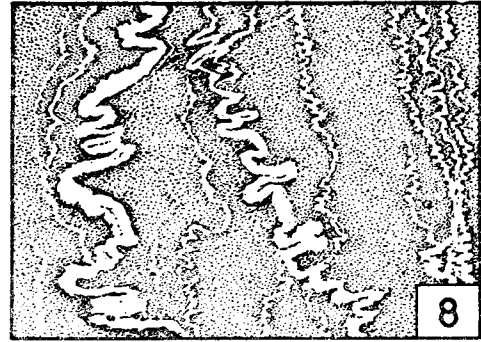


6. Surreitic(dilatation) structure

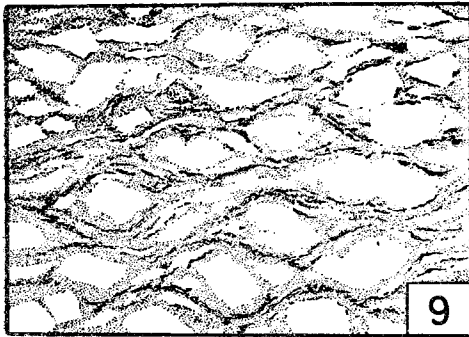
그림 14. 전형적인 미그마타이트 構造 (其一)



7. Folded structure



8. Ptygmatic structure



9. Ophthalmic(augen) structure



10. Stictolithic(fleck) structure



11. Schlieren structure



12. Nebulitic structure

그림 15. 전형적인 미그마타이트 構造 (其二)

의 部分), ectect(母岩의 純粹한 分沁에 의한 metatectic series의 緣邊部에 對하여) entect(外來溶融體의 直接的인 注入의 경우에 있어서의 metatectie Seris의 緣邊部에 對하여), metasome(paleosome에 對比되는 用語로 metatect와 같은 의미로 쓰인다) 等도 있다.

미그마타이트의 構造는 典型的인 것으로 12種類를 區分하였다. 이들의 特徵을 模式圖로 표시한 것은 그림 14와 15와 같다.

이들 各各의 特徵과 成因의인 說明을 略述하면 다음과 같다.

1) Agmatic structure(agma=fregment)

이 構造는 breccia structure 라고도 한다. 이것은 paleosome의 破裂片들이 比較的 가는 다란 neosome의 "vein"으로 둘러 쌓여진다. 대부분의 裂片들이 銳敏한 모서리를 갖는데 그것은 paleosome의 部分이 單純한 破裂로 因해서 만들어진 것이다. 그러나 경우에 따라서는

이같은單純한 破裂로도 보이지 않는다. 그것은 各 裂片들이 잘 맞아 들어가지 않는 部分이 있기 때문이다. 그러나 이것은 露頭面에 垂直이거나 얼마간의 角度를 가진 破裂面을 따라 兩片이 서로 反對方向으로 滑動하면 그 같은 모양으로 보여질 수 있다. 이 構造에 對하여 E. Niggli(1952, 1953), Taubeneck(1964), Piccoli(1962)가 說明을 加했고 實例도 들었다. 그러나 이러한 單純한 說明에 對한 反論도 있다. Goodspeed(1940, 1952, 1953), King(1948) 및 Perrin and Roubault(1949 b, 1952a, b, 1955) 등에 依하여 널리 研究되었는데 가장 顯著한 反論은 根本적으로 岩片의 移動은 일어나지 않으며 따라서 脈狀의 neosome은 母岩의 裂隙를 따라 交對變成的으로 이루어진 것이라고 했다.

그러므로 確實히 上述한 두가지가 모두 可能하다. 즉 (a) 單純한 破裂作用과 同時에 페그마타이트質, 애플라이트質의 마그마起源의 分化物의 “forceful intrusion” 이거나 “injection”으로 裂隙을 充塡하는 岩脈을 이루는 경우와 (b) 岩體內에 생긴 가는 節理와 裂隙을 始點으로 하여 壁岩의 部分的再熔融이나 交代作用이 일어나서 neosome을 만드는 경우이다. 이 構造의 migmatite를 agmatite라고도 부른다.

2) Diktyonitic structure(diktyon=net)

이 構造를 Net-like structure라고도 부를 수 있다. 이는 paleosome이 neosome의 細脈에 依해서 網狀으로 짜여지는 構造이다. agmatic 構造와 달리 이 構造는 母岩內에 剪斷運動이 일어났음을 가르킨다. 그것은 paleosome의 平行構造에 의해서 알 수 있는데 이는 neosome 脈에 接한 部分에서는 꾸부러진 것으로 보아 알 수 있다.

neosome의 鑛物組合은 普通 花崗岩質이거나 애플라이트質이지만 드물게는 페그마타이트質인 경우도 있다. 이는 後-結晶變成作用(post-crystalline deformation)이 일어났더라도 이 微構造는 破碎作用에 依한 것이 아니며 正常的인 深成岩에서와 같이 完晶質組織을 보여준다. 또한 때로는 深成岩內의 schlieren과 마찬가지로 確實히 結晶作用 보다 앞서서 만들어진 平行構造를 볼 수도 있다. 그러나 이것은 paleosome의 片理形成과는 成因적으로 關係가 없는 것이다. neosome의 深成岩狀構造는 網狀의 屈曲部가 部分的으로 넓어져서 星雲狀의 (nebulitic) 花崗岩으로 되거나 花崗閃綠岩의 암편으로 된 岩石에서 特別히 잘 보인다.

그 反面에 neosome은 끝에 가서는 單調로운 屈曲을 이루면서 점점 없어지고만다. 이러한 경우에도 外部로부터 이를 잇는 脈狀充塡物은 볼 수 없다. 그렇기 때문에 그 neosome의 網狀脈은 그 岩石內에서 생겼을 것이라는 것을 암시한다.

아직도 이 構造를 形成하게 된 過程에 對하여 普遍的으로 首肯이 가는 說明은 없다. Wegmann에 依하면 剪斷帶가 이루어진 構造形成은 脈狀物質의 結晶作用과는 別途로 보고 있다. 즉 우선 若干 低溫에서 剪斷帶가 이루어진다. 그리하면 石英은 破碎構造와 影狀消光現象을 나타낼 것이며 有色鑛物은 綠泥石과 絹雲母로 되어야 할 것이다. 그러나 現在의 花崗岩構造와 鑛物은 그후에 바로 일어난 高溫에서의 花崗岩化作用에 依해서 變形된 것이다.

그러나 大概의 境過 剪斷帶가 만들어진 時期와 細脈이 充塡된 時期가 같다는 說明이 더욱 妥當할 것이라고 Mehnert는 말하고 있다. 이 構造를 가진 migmatite를 Diktyonite라고 부른다.

3) Schollen structure(Schollen=rafts)

paleosome의 조각은 前述한 型의 構造에서 보다 작고 다소 둥근모양을 가지며 均質이거나 거의 均質에 가까운 neosome 속에 떠있는 뗏목같이 보이는 構造이다. 이 paleosome의 조각들은 shearing이나 回轉運動에 依해서 變形된 構造를 보인다. 또한 paleosome 조각은 一部 그 연변부에서 neosome內로 녹아 들어가서 그 境界가 분명하지 않는 것도 있다. 이 構造는 1型和 2型에 比해서 더욱 發展된 것이다. 이 構造는 均質하지 않은 花崗岩體의 周緣帶에 典型的으로 잘 나타난다.

4) Phlebitic structure(Phlebitic=veined)

Paleosome은 neosome의 脈들에 依해서 不規則하게 잘리기 때문에 마치 人體의 循環系와 같이 複雜한 모양을 갖는다. 그렇기 때문에 이 岩石型을 脈狀片麻岩(veined gneiss)이라고도 불러 왔다. 그런데 果然 이러한 岩石에 對해서 脈狀片麻岩이라는 명칭이 適合할 것인가 하는 疑問이 있다. 여기에 言及해야 할 點은 脈이 形成됨에 따라 그 岩石은 漸次 片麻岩으로써의 岩相을 잃어가는 것이다. 그 典型的 片麻岩狀의 平行構造는 片麻岩의 하나의 殘留가 되는데 不過하다.

Sederholm(1913) 등은 이 “veined gneiss”를 起源의 觀點에서 “arterite”와 “venite”로 代置해서 使用할것을 提議한바 있다.

그러나 phlebite(phlebitic structure를 가진 migmatite)는 成因의인 意味가 없이 純全히 岩石의 性質만을 意味하는 것이다.

여기에서 가장 간단한 脈(vein)은 수 cm의 두께와 20-30cm의 길이를 가지고 Paleosome의 구조를 따라 들어가 있다. 어떤 경우에는 二次의인 方向의 脈도 發達한다.

이 型의 構造는 Shear fracture에서 일어난 主로 shearing stress 系列에 依해서 造成되는 것 같이 보인다

다. 그것은 neosome의 曳引末端(dragged ends)의 모양과 剪斷帶中の 汗系에 對해서 平行하게 配列되어 있는 點으로 보아 알 수 있다. 이 構造는 附隨的으로 後述할 surreitic structure로 變移한다.

그러나 大概의 境遇에 어떤 一定한 構造方向만을 繼續的으로 따르는 것은 아니다. neosome은 優勢한 片理와 普通 關連된 작은 裂隙을 따라 이를 넓혀가면서 不規則하게 만들어진다. 이 meosome 質部分은 nodule이나 lens 또는 不規則한 모양을 이루는데 그것을 供給한 뿌리가 없는 것으로 보아 그 岩體內에서 發生한 것으로 믿어진다. 이 構造는 後期의 地殼運動에 依해서 變形되는 수가 있는데 이러한 때는 원래의 性質을 알기가 어렵다.

5) Stromatic structure(Stroma=layer)

neosome은 普通 片理面에 平行하게 paleosome과 함께 밝은 層과 어두운層이 交互하는 構造이다. 原則的으로 neosome 質層은 完全히 均等한 것은 아니며 不規則하게 그 幅이 膨縮하며 部分에 따라서는 屈曲하기도 하고 비틀어지기도 한다.

이 縞狀構造의 起源에 對하여 오래동안 論議되었다. Michel-Lévy은 이 層은 paleosome의 片理面을 ぞ개고 다른 곳의 마그마가 注入함으로써 만들어진다고 생각한 "lit-par-lit"-injection으로 說明했다.

그後 Holmquist, 等에 依해서 이형의 形成機構는 物理條件에 따라 그 範圍가 限定된다는 것을 指摘한바 있다. 또한 觀察로써는 貫入通路를 볼 수 없는 그 가는 neosome 層이 全體的으로 보아 고르게 分布하는것은 이 neosome이 paleosome의 片理面에 對해서 直角方向으로 나오는 滲出作用에 依해서 만들어졌을 것으로 보았다.

밝은 層과 어두운層이 交互되는 縞狀片麻岩은 地殼의 深部變成帶內에서 잘 發達되어 있다. 이같은 交互層은 심하게 변성을 받은 原岩이 不均一하게 는데 基因한 것으로 볼 수 있으며 또 便 選別再結晶作用으로 變成分化에 依하여 이같은 縞狀構造를 더욱 促進시켰을 것으로 본다.

縞狀片麻岩은 그 層들이 페그마타이트質이나 花崗岩質로 되어감에 따라 漸次 Stromatic migmatite로 轉移될 것이다. 實히 尙殘存파암은 다른 부분이 아직 岩의 特징을 가지고 있을 동안에도 우선적으로 靑島성분이 分化되어 neosome이 어져 가고 paleosome은 繼續 neosome으로 交代되어 나감에 따라 마침내는 neosome내에 좁은 유색광물층 소위 ribbon structure가 만들어지는데 이른다. 이 層狀構造를 가진 migmatite를 stromatite라고도 부른다.

6) Surreitic structure(surrein=to flow together)

이 構造는 몇가지 起源이 結合해서 만들어진다. 이는 돌이나 그 이상의 部分으로 된 複合岩에서 일어난다. 即 力學的인 세기가 서로 다른 층들이 있어 이들이 構造的인 힘에 對해서 抵抗하는 部分과 抵抗하지 않는 部分이 있을 때 前者는 普通 緻密 塊狀의 角閃岩, 石灰 珪酸鹽호른펠스, 珪岩 등이 이에 當하며 이들은 劈開와 裂隙을 따라 變形이 일어난다. 이에 對하여 片麻狀이나 片狀의 岩類는 構造的인 힘(stress)이 對하여 抵抗하기 보다는 오히려 流動(flow)한다.

그러므로 抵抗層의 조각들 사이에 있는 非抵抗層이나 neosome 質 部分은 絞出되어 나와서 裂隙이나 壓力이 낮은 다른 空間을 채우는 것이다. 이같이 해서 된 neosome의 migmatite 構造를 Holmquist(1920)는 surreitic이라고 불렀던 것이다.

이런 作用에서 가장 弱한 경우로써는 周圍에 있는 片麻岩의 構造에는 別로 變함이 없고 抵抗層의 性質이 더욱 뚜렷한 部分에서의 neosome은 그모양이 大端히 不規則하게 된다.

7) Folded structure

數많은 種類의 岩石構造가 壓縮作用에 依해서 만들어진다. 이러한 岩石構造는 堆積岩이나 變成岩에서도 잘 볼 수 있으나 特히 流動性이 弱한 岩層이 있을때는 migmatite內에서도 볼 수 있다.

流動하기 어려운 層이 褶曲을 받으면 그層들 사이에 있는 層은 쉽게 流動한다. 이 部分은 다른部分보다 더욱 되고 구분다. 比較的 强하게 珪瑪타이트化한 岩石에서는 paleosome과 neosome이 기계적으로는 範疇이 된 模樣을 보인다.

高度로 變成된 migmatite는 大端히 流動性이 높은 物質로 되어 있으며 甚하게 비틀려져 있다. 결국에 가서는 여러번의 複合褶曲으로 因해서 各 構造는 稀微하게 된다. 이같은 渦狀의 複合褶曲은 migmatite의 特徵이며 때로는 內臟과 같은 모양("gut-like")의 構造를 보이는 수가 있다.

그런데, 여기에서 言及하여야 할 것은 이러한 運動은 全然 任意의 것이 아니라는 것이다. 즉 構造解析(tectonic fabric)의 綿密한 調查에 依하면 褶曲의 B-軸이 比較的 一定하다는 것을 觀察할 수 있다. 그렇기 때문에 甚하게 褶曲된 migmatite에서라도 가장 主導的인 變形型의 方位를 詳細히 研究하는 일은 重要하다. 이것은 B-軸에 對하여 正確히 垂直으로 른 cross-section에서는 그 figure을 쉽게 說明할 수 있다. 그러나 어떤 銳角으로 진 面에서는 複雜한 figure를 나타내어 說明이 困難하다.

migmatite에서 볼 수 있는 大部分의 褶曲은 shear 運動에 依해서 단순하게 만들어진 構造와 bending 과 buckling에 依해서 된 여러가지 褶曲의 組合이다. 試料를 잘 選擇하여 microfabric analysis를 實施하면 褶曲構造의 物理的 狀態와 變成的 過程을 測定하는데 도움을 준다. 地質學的으로 褶曲의 形態 即 單純褶曲이나 複合褶曲이나에 따라서 미그마타이트가 形成될 때에 岩石內에 일어났던 流動作用(mobilization)의 程度를 아는데 重要한 端緒를 얻게된다. 그러나 이같이 해서 얻은 結論은 流動作用과 變形作用이 同時에 일어났다는 것을 確認하는데에서 비로소 效用이 있는 것이다.

8) Ptygmatic structure(ptygma=folded matter)

"ptygmatic" fold라는 用語는 ptygmatic structure라는 말로 더욱 廣範하게 사용되고 있는데 이것은 Sederholm에 의해서 最初로 紹介되었다.

典型的인 ptygmatic fold의 鑛物組合(mineral assemblage)는 거의 pegmatite 質이다. 즉 正常的인 花崗岩 構成鑛物로 되어 있는데 主로 石英, K-長石(微斜長石), 斜長石, 黑雲母 및 其他 副成分鑛物이다. microfabric은 언제나 深成岩質의 粒狀組織을 가졌으며 母岩(host rock)보다 是 一般的으로 더욱 粗粒質이다. 그러나 鑛物組成에도 變化가 있어 純粹한 石英脈일 때도 있고 極端의 경우는 方解石脈으로 된 때도 있다.

ptygmatic fold를 이루는 母岩은 一般的으로 미그마타이트質인 片麻岩으로 되어 있다. 그러나 미그마타이트質 岩相으로는 볼 수 없는 細粒質 片麻岩인 경우도 있다. 더욱이 ptygmatic form이 雲母片岩內에 생길때도 있고 또는 슬레이트, 泥灰岩이나 심지어는 續成作用(diagenesis)에 依해서 變質된 젊은 堆積物內에도 비슷한 構造가 보인다.

ptygmatic form에는 여러가지 特異한 形이 있으며 그의 成因에 關해서도 數多한 假說이 있다.

그러나 그 假說들을 크게 나누면 두가지가 된다.

(a) ptygmatic form의 蛇曲構造는 一次的이라는 것이다. 즉 脈이 生成될때 同時에 이루어졌다는 생각이다.

(b) ptygmatic form의 蛇曲構造는 二次的이라는 것이다. 즉 脈의 生成과 그 構造의 形成과는 別다른 作用으로 보는 생각이다.

9) Ophthalmic structure(ophthalmos=eye)

이 構造에서 neosome은 paleosome內에서 "augen"의 모양으로 여기 저기 散在한다. 이 構造의 이름을 ophthalmic이라고 한 사람은 P.Niggli와 Huber(1943)이다. neosome은 普通 長石斑晶으로 된다. 이 斑晶들은 때때로 片理面에 一致하는 樣相으로 有色鑛物의 條

線(마치 눈섭과 같이)에 의해서 둘러 쌓인다. 이러한 構造는 眼球狀片麻岩과 같은 變成岩에서도 볼 수 있다. 또한 이들은 마그마起源의 岩石이 變成된 경우에도 形成되는데 이들을 "augen granite" 또는 crystal granite(특히 獨逸에서)이라고도 記載되어 있다.

그러나 이 構造는 특히 미그마타이트에서 잘 볼 수 있는데 거의 大部分의 미그마타이트는 ophthalmic(眼球狀) 構造를 微少하게라도 가지고 있다. 長石의 큰 結晶은 대개 K-長石이지만 酸性斜長石인 경우도 있다. augen의 모양은 때때로 圓形일 때도 있는데 特別 變成度가 높은 岩石에서는 自形의 晶癖을 가지려는 傾向이 있다.

"augen"의 起源에 對하여는 數 많은 論議가 있다. 또한 그의 形成狀態에도 여러가지가 있음을 King(1950)은 暗示하였다.

여러곳에서의 "augen"의 產狀을 觀察하여 보면 augen은 變成岩의 早期構造內에서 이미 發生되었으며 그의 成長이 隣接鑛物들을 左右로 밀어내므로써 岩石全體에 一般의인 變形을 가져왔다고는 볼 수 없다. 이 作用을 "blastesis"라고 부른다. 그에 對해서 이러한 長石의 變晶들이 交代作用에 依해서 되었다고 說明하는 "feldspathization"이 있다.

岩石의 平行構造는 結晶作用 보다 是 앞선 것이며 이것은 paleosome의 殘留構造에 나타나 있다.

즉 이는 미그마타이트와 花崗岩化를 받은 岩石에 있어 純粹한 眼球狀構造이며 이를 para-crystalline 또는 post-crystalline 등으로 區別하는데 그것은 岩石에 미친 變形의 主要時期를 알려주는 것이다. 이러한때의 "augen"의 長石 結晶은 porphyroblast라고 부르지 않고 porphyroclast라고 부른다. 粗粒質인 porphyroblastic migmatite일수록 paleosome과 neosome과 사이의 區別이 分明치 않게 되어 結局에는 均質인 岩石이 되고 만다.

成因의으로 興味있는 것은 이같이 ophthalmic(ophthalmic structure를 가진 migmatite를 말함)에 있어서는 長石의 augen은 相當히 큰 結晶을 이루는데 決코 12~15cm直徑의 크기를 넘지는 않는다. 그런데 페그마타이트內의 長石 augen은 상당히 큰 結晶으로 成長을 한다. 그러면 왜 이 長石結晶이 粗粒質 ophthalmic에서는 더 클 수가 없는가? 이는 變成岩에 있어서 地球化學的으로 可動性成分의 移動의 能力에 있어 어떤 限界가 있는데 起因한것 같다. King은 各 長石의 augen이 獨立되어 있는 것은 交代作用에 의해서 各結晶이 成長한다는 主要한 證據가 된다고 풀이 했다. 典型的 augen의 構成外에도 成因의 解釋으로는 아직 確實하지 않은 이와 비슷한 樣相들이 있는데 그중에 하

나는 "augen"이 單一長石鑛物이 아니고 몇가지 鑛物의 集合體로서 흔히 長石과 石英으로 되어있다는 것이다. 그러므로 이러한 augen은 aplo-granitic 이거나 페그마타이트質構造를 나타내며 이곳에 생긴 페그마타이트質 neosome의 細脈이나 schlieren과는 密接히 關係되어 있다. 確實히 이러한 augen構造는 長石만의 斑點을 가진 純粹한 augen構造와 區別해야 한다.

이러한 두 型의 migmatite構造는 이들이 空間과 時間에 따라 相互變移한다는 것을 否認할 수는 없지만 花崗岩化作用에 있어 2가지 다른 過程을 代表하는 것이다.

10) Stictolithic structure(stictos=flecky, spotted, dotted)

이 特異한 種類의 構造는 migmatite에는 그리 흔한 것은 아니다. 그러나 野外에서는 현저히 눈에 띄는 것이다. 有色鑛物들이 優白質인 部分에 集中되어 있는 構造이다. 이때 有色鑛物周邊에 優白質暈(halo)이 생겨 있다.

paleosome은 普通 細粒質, 塊狀 또는 片麻岩狀이며 斑點은 確實히 形成過程에서 影響을 받지 않는다. 優白質暈內에서는 斑點으로 부터의 距離가 같으면 paleosome의 岩石學의 性質도 正確히 같다.

Loberg(1963)는 스웨덴의 東南部에 있는 Västervik의 岩石을 研究하고 詳細한 說明을 記述한바 있다. 그 에 依하면 黑色 斑點의 核은 主로 黑雲母, 紅柱石, 또는 堇青石으로 되어 있다. 이들은 얼마간의 石英과 斜長石이 連合되어 있다. 優白質暈(또는 "mantle"이라고도 함)에는 石英, 카리長石 및 斜長石 등으로 된 밝은 鑛物이 많다.

paleosome이 普通의 paleosome보다 Ca이 豊富할 때는 다른 型의 暗色斑點이 角閃石 심지어는 輝石이나 조 이사이트를 그 核으로 가지는 경우도 있다.

斑點에 對한 定量的分析에 依하면 이들은 中間性質의 原岩으로부터 黑色成分이 分離하여 나오고 거기에 優白質成分이 主가되는 暈을 뒤에 남겨 놓았다는 것을 알 수 있다.

좀더 變成도가 進展된 岩石에서의 stictolithic structure는 페그마타이트質 細脈이나 schlieren內에 黑色鑛物의 조각이나 덩어리가 들어있게 된다. 이때의 黑色鑛物은 普通 自形結晶을 이룬 堇青石으로 된다.

普遍的인 意味로써 stictolithic structure의 成因을 說明하기는 어렵다. 그것은 地質學의 으로 보아 特異한 種類의 岩石類가 여기에 包含되기 때문이다. 이 構造를 보이는 岩石은 細粒質 準片麻岩에서 마그마起源의 閃綠岩에까지 이른다. 더욱이 優白質鑛物인 石英과 長石이

미그마타이트의 neosome을 構成하여 이것들이 岩石에서 mobilization이 이러나는 동안에 생긴 可動成分들을 代表한다는 것이 正常的인 解釋이다. 그에 對해서 stictolite(stectolithic structure를 가진 migmatite)에 있어서는 黑色鑛物이 確實히 neosome을 形成하며 따라서 이 鑛物의 成分이 可動成分의 產物로써 빠져 나오 고 石英과 長石은 非可動成分으로 殘留한다고 생각해야 할 것이다.

이러한 可動性的 關係를 이 構造解釋에서는 特히 考慮해야 할 것이다.

11) Schlieren structure

이 構造는 前述한 構造들에 多少 뚜렷한 流動構造가 더욱 發達하므로써 만들어지는 것이다. 미그마타이트에서 schlieren構造가 보일때 그 미그마타이트의 機械的 可動性은 確實히 agmatite나 diktyonite 등과 같이 單純히 貫入構造만을 보이는 岩石들보다는 높다.

여기에서 보는 不均質部分은 밝고 검은 條線이 交互하는 schlieren에서 볼 수 있다. 이 條線은 不規則하고 넓으며 또한 끝에서는 점점 가느라져서 없어진다. 이러한 點이 條線이 좁고 直線的인 banded gneiss(縞狀片麻岩)와 區別된다.

Schlieren은 不均質이며 外壓에 대해서 잘 流動하지 않는 包有體 때문에 꾸부러진다. 이러한 事實은 Schlieric migmatite가 高度의 機械的 可動性을 가지고 있다는 證據로서 適用할 수 있다. 野外에서는 이같은 migmatite를 單純히 堆積起源의 片麻岩으로 잘 못보기 쉬운데 이때는 堆積物의 第1次的 不均質體를 Schlieren으로 보기 때문이다. Schlieren構造의 migmatite의 變形이 甚할 수록 그의 成因의 說明은 더욱 어려워진다. 角閃岩類, 石灰質硅酸鹽호은펠스 등과 같이 機械的으로 다소 抵抗性이 있는 包有物들은 잘 반죽이 되고, 끝이 가느라지고 또는 비틀러진다. 이러한 包有物들의 弱한 部分은 確實히 가늘어지고 느러나기도 한다. Schlieren의 回轉과 비틀러짐도 역시 생기는데 이러한 構造를 "turbulent"이라고 하고 또한 Berthelsen(1962) 등이 提案한 "Wildmigmatites"이라고 불을 수 있다. 이러한 構造는 變成이 더욱 進展된 段階에서 즉 높은 PT 狀態下에서 migmatite가 形成됨에 따라 機械的 流動性이 높았음을 가르킨다. 이같이 해서 turbulent나 wildmigmatite의 產出은 그 岩石이 거의 magma에 가까운 狀態에서 形成되었다는 것을 가르킨다.

12) Nebulitic Structure

paleosome과 neosome을 여기에서는 더이상 識別할 수가 없다. 이 構造에서는 鑛物成分의 若干의 差異를 보이는 分散狀의 部分이 認識될 程度이다.

標本으로 보아서는 이 岩石은 오히려 "magmatic"으로 보인다. 그러나 넓은 範圍에서 全體적으로 본 때는 雲狀의 不均等性을 感知할 程度이다. 確實히 이 構造에서는 paleosome의 吸收現象이 相當한 段階에까지 進陞되었다. 그러므로 nebulitic structure는 migmatic origin으로 써는 가장 高度의 岩相을 보여준다. Nebulite(nebulitic structure를 가진 migmatite를 말함)는 migmatite massif의 核에서 普通 볼 수 있으며 이것은 純粹한 마그마起源의 貫入體로 들어가기 直前의 進化 段階에서 이루어진다. 反對로 이 岩은 magma性岩體의 周緣에서도 볼 수 있다.

어느 境遇이거나 nebulite에서는 高度로 流動性을 가진 媒質을 가리키는 分散平行構造가 보인다. 그러나 이것은 migmatite 形成의 初期段階에서 볼수있는 바와 같이 paleosome의 原來의 平行構造는 아니다.

[4] 火山—深成作用

韓國內에 分布하는 酸性深成岩 特히 花崗岩質岩石에 對한 研究는 크게 두가지 方向으로 이루어졌다. 即 그 하나는 變成作用과 成因의 關係하는 花崗岩質岩石의 生成이고 다른 하나는 마그마作用과 關係한 花崗岩의 生成이다.

前者는 大體로 미그마타이트나 花崗岩質片麻岩等과 함께 廣域變成帶內에서 構造의 調和되고 있는 外觀을 나타낸다. 이러한 花崗岩은 그에 隨伴되는 變成岩과 그 分布狀態, 漸移狀態나 面構造, 線構造等的 要素가 一致하고 있어 造構造運動을 받음에 있어 時空間에 一致性을 가지고 있다. 이같이 하여 鑛物組合 등으로 보아도 이들의 形成時의 溫度나 壓力條件이 같음을 가르킨다. 韓國內에서 이 種類의 花崗岩으로 認定되는 것은 大體로 嶺南地塊 變成岩帶에서 볼 수 있다. 筆者에 의한 沃川地向斜帶의 東南緣部 所謂 SE帶內의 花崗岩質岩體는 이에 該當하는 것으로 例示된다. 이들은 大部分이 深處에서 形成되므로 深處型이라고도 부른다. 이에 對하여 慶尙系堆積盆地 沃川地向斜帶의 中部와 西北帶의 花崗岩類와 嶺南地塊 및 京畿地塊內 花崗岩體의 一部는 造構造運動以後의 마그마源貫入體로 보고 있다.

이들은 그 形態가 母岩의 構造와도 無關係하며 母岩은 切斷하고 接觸變成作用을 주는 樣相을 보여 所謂 非調和性을 나타낸다. 이는 比較的 地下淺處에서 形成되는 것으로 淺處型이라고도 한다.

여기에서 言及하고자 하는 것은 特히 後者의 境遇로써 花崗岩質마그마의 固結에 앞서 中性乃至 酸性마그마에 의한 火山活動이 일어날 수 있다는 點이다. 이미 元鍾寬(1968)에 의하여 그의 論文「慶尙盆地內에서의

白堊紀 火成活動에 關한 研究(1)」에서 白堊紀 火成輪廻라는 概念을 導入하여 慶尙盆地內에서의 火成活動相을 (1) 火山活動相→(2) 安山岩質半深成岩貫入相→(3) 深成岩貫入相→(4) 岩脈相의 4個相으로 區分하여 이들이 一連의 輪廻關係를 보이면서 相互間斷의이고 漸移的 關係가 있음을 示唆한 바가 있다. 또한 孫致式(1969)에 의해서도 그의 論文「우리나라에서의 백악기의 火成활동에 關하여」에서 中性火山岩→酸性火山岩→花崗岩의 火成輪廻가 白堊紀에서 區分한 各期內에서 各 各 일어났을 것으로 보았다.

上述한 바와 같이 火山活動과 深成作用은 一連의 連續性과 親緣關係를 가진 境遇 이를 火山—深成作用(Volcano-plutonism)이라고 부르고 있다.

이같은 火山—深成作用은 前期 慶尙盆地에서만이 아니라, 沃川系地向斜帶內에서도 認定될 것으로 믿어진다. 그것은 特히 筆者(1971)의 中央帶(C-Zone)의 新期 花崗岩에서 豫想된다. 即 俗離山花崗岩體와 그의 西南緣을 두르는 弧狀의 深成岩—火山碎屑岩體, 全北 龍潭附近에서의 大佛里紅色花崗岩體와 이에 의해서 貫入을 當한(?) 西大山凝灰岩體이다. 特히 後者는 더욱 火山碎屑岩體의 크기와 모양이 火山體의 形狀을 어느 程度 保存하고 있는 것 같다.

이같은 關係는 中央帶古期花崗岩體에서도 있었을 것으로 推理된다. 即 報恩花崗岩體 沃川花崗岩體 등은 그 岩體의 分布狀으로 보아 火山體의 基底部가 剝剩殘留된 것이 아닌가 한다. 이러한 關係는 中央帶의 西南部로 延長한 葛潭, 淳昌地域으로 감에 따라 더욱 繁頻히 나타날 것으로 보인다. 그 反面 中央帶의 東北方으로 감에 따라 火成活動의 樣相은 稀少하여 진다.

이같은 觀點에서 沃川地向斜帶中央帶는 中生代中期에 있어서의 하나의 火山帶의 役割을 한 것으로 볼 수 없겠는가?

그외에도 慶尙系內에 包含되어 있는 火山岩類와 그 後期의 貫入한 深成岩類, 또는 深成岩貫入以後의 脈岩類와의 關係等도 考慮해야 할 것 같다. 如何間 火成岩類研究의 處理는 單一岩類로써 보기도하는 이와 時代的으로나 岩質上으로 또는 構造上으로 關連을 가진 다른 火成岩類와도 함께 볼 必要가 있다. 이러한 意味에서 慶尙盆地이건 沃川地向斜帶이건 이 火山—深成作用이 豫想되는 곳에서는 岩石相互間의 關係, 化學成分間의 變移性, 構成鑛物의 成分上의 漸移性, 火成岩體의 構造를 把握하여야 할 것으로 思料된다.

火山—深成作用의 關係는 隣邦 日本의 西南地方 中國 및 中部地方에서도 所謂 濃飛(노히) 流紋岩(88—98 m.y.)과 이를 뚫은 新期領家花崗岩類(50~90m.y.)와의

關係에서도 證明되었으며, 第3期 花崗岩體와 이에 앞선 火山岩과의 關係에서도 볼 수 있다.

또한 北美코-틸레라 造山帶에서 中生代前期(트라이아스紀-จู라紀)에 屬하는 Klamath 山地 酸性火成活動의 先驅로써 老대한 酸性火山岩類의 活動이 있었다는 것이 알려졌다.

上述한 觀點에서 볼 때 比較的 淺處形成의 花崗岩類는 그의 先驅로써 中性乃至 酸性火山活動을 隨伴할 수 있다고 볼 수 있다. 그러므로 몇 차례의 酸性深成作用이 있으면 이들사이에 火山活動이 間在할 수 있을 것이다. 이같은 關係는 日本의 西南地方과 東北脊梁地域의 第三紀 花崗岩地域에서 널리 認識되고 있다.

[5] 花崗岩質 magma 의 起源

火成岩의 magma 에 關한 組織的인 論議는 美國의 有明한 N.L. Bowen(1887~1956)을 中心으로 提唱한 近代 火成岩成因論이 造岩物質에 對하여 物理化學的으로 實驗研究함으로써 支持되어 漸次 發展되어 왔었음은 周知의 事實이다. 그러나 花崗岩質마그마에 對하여 이와같은 成因論이 반드시 適合한 것이 아님은 여러 地質學者에게 그대로 받아들여지지 않았으며 Bowen 自身도 各 花崗岩體의 根源이 되는 酸性마그마는 玄武岩質마그마의 結晶分化作用에 依하여 直接 이루어진 것이 아니고 地球創成當時의 原始地球表層部에서 일어났던 鹽基性마그마의 分化物인 sial 殼이 再溶融해서 된 것이라고 說明하였었다.

그러나 1930年代에 들어서서 부터 花崗岩(특히 칼크알카리花崗岩)의 變成論이 擡頭되기 시작하여 花崗, 岩은 마그마의 固結物이 아니고 地向斜에 堆積한 砂岩泥岩 등이 地下深部에서 變化된 것이라는 說明을 하게 되었다. 이 說은 유럽의 地質學者間에 널리 퍼지게 되고 그後 美國과 朝鮮의 學界에도 波及되어 花崗岩의 火成論과 變成論은 이때부터 甚한 論爭이 벌어져서 오래동안 各己主張을 立證하기 爲한 實證的 研究가 繼續되어 50年代에 들어와서는 花崗岩은 火成的인 것과 變成的

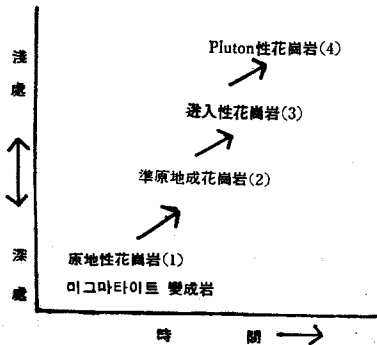


그림 16 花崗岩系列(H. H. Read 에 의한)

인 것이 있음을 많은 學者들에 依해서 認定됨에 이르렀다. 그리하여 이같이 形成機構를 달리하는 花崗岩의 成因을 變成論的 立場에서 統一시키기 爲하여 H.H. Read는 그림 16.에서와 같은 概念의 「花崗岩系列」을 세운바 있다. 그러나 Finland의 P. Eskala는 地向斜堆積岩이나 그 下部의 sial 質 basement의 再溶融에 依한 花崗岩質 마그마의 存在를 是認하면서도 地殼 밑에 있는 鹽基性物質(上部맨틀의 物質)로 부터 온 花崗岩質 마그마도 있을 것이라는 基本的으로 火成論的인 立場도 主張하였다.

이리하여 1950年代 後半부터 火成論者의 一部는 花崗岩質마그마의 上部맨틀起源의 方向으로 注視하기 始作하였다.

이러한 課題에 對한 解決方案으로 花崗岩의 構成鑛物의 結晶學的 性質이나 物理學的性質를 利用할수는 없다. 또한 化學分析에 依한 主化學成分이나 微量成分에 依한 方法에도 納得이 갈만한 解答을 얻지 못하였다.

여기에서 登場한 것이 花崗岩構成物質을 化合物이나 元素段階가 아니고 同位元素의 레벨에서 檢討하자는 것이었다. 即 isochron 法에 의한 많은 第三紀의 花崗岩中の Pb 나 Sr의 同位元素의 初生組成值가 源物質(超鹽基性岩이나 玄武岩質岩石과 거의 같은 값을 보인다. Sr의 境遇를 例示하면 그림 17와 같이 0.700~0.715정도

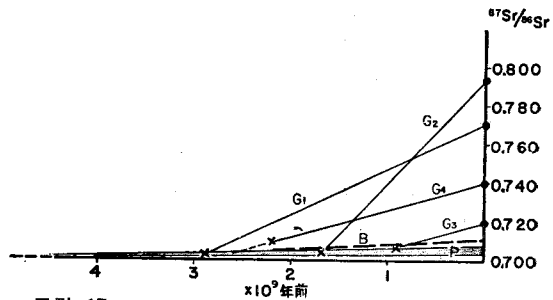


그림 17

- P : 玄武岩마그마 根源物質(上部맨틀物質)에서의 Sr의 進化線(帶)
- B : 어떤 玄武岩에서의 Sr의 進化線
- G₁~G₄ : 몇개의 花崗岩中에서의 Sr의 進化線
- X : 初生值 ● : 現在值

이다. Gorai, M 등은 이러한 檢討에 依해서 花崗岩質 마그마는 玄武岩質(鹽基性)乃至 橄欖岩質(超鹽基性)의 源物質로부터 直接 由來할 수 있다는 것을 밝힌바 있다. 이와같은 檢討은 1960年代後半에 드러와서 漸次 高潮되어 急進的인 發展을 가져오고 있다.

따라서 現今의 火成岩成因論은 過去의 그것과는 다른 基礎에 立脚하고 있다. 그것은 玄武岩質마그마가 土部맨틀을 構成하고 있는(?) 橄欖岩質 物質의 partial

melting에 의해서 생성된다고 생각하고 있는 것이다. 이것은玄武岩, 橄欖岩 또는 stony meteorite에 대한 Pb, Sr의 同位元素組成的의 研究와 玄武岩-橄欖岩質物質의 高溫 高壓下에서의 相의 平衡에 關한 實驗的 研究等에 의해서 強力하게 支持되고 있는 것이다.

세계의 數 많은 花崗岩에 對하여 그의 Pb, Sr 同位元素組成을 根據로 檢討하여 보면 花崗岩(火成論的인 花崗岩)의 많은 數가 上部맨틀의 構成物質과 깊이 關聯되어 있는 要素가 있음을 알 수 있는 것이다.

여기에 問題가 되는 것은 橄欖岩質物質로 된 上部맨틀에서 珪酸分이 豊富한 마그마가 生成되는 메카니즘인 것이다. 이의 可能性에 關해서 松本隆에 依한 理論的 研究와 久城育夫에 依한 若干의 H₂O를 包含하는 鹽基性岩이나 起鹽基性物質의 高溫 高壓下에서의 平衡關係에 關한 實驗的 研究가 있다. 또한 Australia의 Ringwood A.E. 등에 依하여 上部맨틀에서의 花崗岩質마그마의 形成機構에 關한 特有의 提案도 있는 것이다.

그러나 上述한바에 反하여 西北 Scotland, Skye, Isle 產 第三紀 花崗岩質마그마는 同位元素組成으로 보아도 (⁸⁷Sr/⁸⁶Sr은 0.721로써 前述한 것 보다 높다) 酸性地殼의 再溶融產物이라는 證明을 提示하는 Moor bath, S. 와 Bell J.D. 등의 研究도 있는 것이다.

以上과 같이 今日的 花崗岩成因論은 同位元素岩石學이나 地球化學의 方法에 依해서 新局面이 展開되고 있는 段階에 到達하였다.

韓國에서는 全國土의 30% 以上이나 되는 面積을 占하여 花崗岩類가 分布한다. 이들에 對한 起源物質의 源泉은 果然 무엇인가?에 對하여 아직도 아무 解答도 없으며 資料도 없다. 이러한 狀態에서 우리는 于先 慶尙盆地를 鑿은 花崗岩類, 特히 輝石이나 多量의 角閃石을 包含하는 花崗岩에 對하여 同位元素組成에 關한 研究가 必要할 것으로 생각된다.

그러나 여기에 考慮하여야 할 點은 韓國半島가 역시 Angala 大陸地塊의 一部인 만큼 비록 上部맨틀源마그마일지라도 두꺼운 大陸地塊를 通過함에 있어 大洋地殼에서와는 달리 大陸物質의 同化와 交代가 있을 수 있음이 豫想된다. 特히 Al₂O₃의 富化가 있을 것임은 筆者(1971)에 依해서 考察된 바 있다. 即 日本 外帶에서 韓國半島南部 沃川造山帶로 轉移함에 따라 Al₂O₃가 增加하는 傾向이 있는 것도 이러한 問題에 關聯된 하나의 事實로 볼 수 있을 것으로 믿어 진다.

參 考 文 獻

1. Arhens L.H.(1954, 1957, 1963); Lognormal-type distribution I, -II, -III, -IV, -V, Geochim

- Cosmochim Acta, G.B., 5, 49 and Vol. 6 p.121 II, 205 Vol.27, p.333 and Vol. 27. p.877
2. Davoine. P.(1969): La distinction géochimique ortho-para de leptynites, Bull. Soc. fr. Minéral cristallographie 92, 59-75
3. Gorai M.(1950); Method of distinguishing C-twin and A-twin of plagioclase under ordinary polarization microscope (in Japanese with English summary) Jour. Geol. Soc. Japan, 56, No. 660 pp. 441-443.
4. —, (1951); Petrological studies on Plagioclase twins, Amer Mineral Vol. 36. pp.884-901.
5. —, (1967): Origin of Granitic magmas, kasan (火山) ser.2 vol.12 No.2. pp. 70-79
6. —, (1970); Some problems in the mantle origin hypothesis of calc-alkaline magma Jour. of Geol. Soc. of Japan Vol. 76, No.11
7. 地團研(1971); 地學事典, 平凡社 p.562
8. Lee. D.S (1971); Study on the igneous activity in the Middle Og-cheon Geosyncinal Zone. Korea. Bullentin of Geol. Soc. of Korea. Vol.7, No.3
9. Mehnet. K.R. (1968); Migmatites and the origin of granitic rocks. Elsevier publishing company. page. 83-86
10. 都城秋穗 (1965); 變成岩と 變成帶
11. Moor bath, S of Bell, J.D. (1965); Strontium abundance studies and rubidium-strontium age determination on Tertiary igneous rocks from The Isle of skye, North-West Scotland, Jour, Petrol., 6. pp.37-66
12. 孫致武(1965); 우리나라에서의 백악기의 화성활동에 관하여, 지질학회지 Vol.5, No.4
13. Thornton et, al, (1960); Chemistry of igneous rocks I. Differentiation index, Am. Jour. of Sci. Vol. 258. Nov. p.664-684
14. Tuttle O.F. and Bowen N.L. (1958); Origin of granite in the light of experimental studies in the system NaAlSi₃O₈-KAlSi₃O₈-SiO₂-H₂O. Memoir 74, G.S.Am.
15. Uruno. K.(1963); Optical Study on the ordering degree of plagioclases, Sci, Rep. of the Tohoku University Ser. III, Vol. VII, No.2. pp. 171-220
16. 元鍾寬(1968); 경상분지내에서의 백악기 화성활동에 관한 연구(I) 지질학회지 Vol. 4 No.4