

## 古南山 舍티탄磁鐵鑛床의 母岩인 알카리斑靄岩質岩의 岩石化學的 研究

張 浩 完\*·廉 炳 又\*·朴 魯 榮\*\*

### Petrochemical Study on the Alkaline Gabbroic Host Rocks of Titaniferous Magnetite Deposits in Gonamsan, Yeoncheon-Gun, South Korea

Ho Wan Chang, Byoung Woo Yum and No Young Park

**Abstract:** The host rocks of titaniferous magnetite deposits in Gonamsan are alkaline gabbros, which are typical of undersaturated alkaline rocks in terms of the lack of normative quartz. According to field occurrences and petrographic features, these alkaline gabbros are divided into 3 rock types: coarse-grained and pegmatitic rock, medium-grained rock with equigranular texture, and layered cumulate rock. All these rocks mainly contain clinopyroxene(salite), plagioclase(An 43-66), pargasite, and ilmenite. The accessory minerals are apatite, sphene, quartz, and sometimes titaniferous magnetite. Pargasite, sphene, and quartz are considered to be secondary minerals formed by the reaction among clinopyroxene, plagioclase and Fe-Ti oxide at deuteric stage. Fe-Ti oxides generally occur as ilmenite in the alkaline rocks, and titaniferous magnetite in the ore deposits. Layered cumulate rocks are characterized by a recurrence of discontinuous thin mesolayer of clinopyroxene-pargasite within leucolayer mainly composed of plagioclase. Clinopyroxene is cumulus mineral whereas plagioclase, ilmenite and apatite occur as intercumulus minerals.

According to the variation diagrams of oxide and trace element contents against the differentiation index, incompatible elements, such as Na, Ba and Sr, show positive correlations whereas compatible elements, such as Mg and Cr, show negative correlations. However some compatible elements, such as Co, Ni and V show irregular variations, reflecting relative cumulate status of cumulus and intercumulus minerals. On the de la Roche multicationic diagram, these alkaline gabbros are distributed along the differentiation curve of undersaturated alkaline series from alkaline basaltic composition through basanitic composition to tephritic composition. Layered cumulate rocks, which are distributed between basanitic composition and tephritic composition, reflect their cumulate character, slightly scattering away from the curve. The medium-grained rock shows higher contents in Ba, Sr and light rare earth elements than the coarse-grained and pegmatitic rock. The former shows two times higher contents of total rare earth elements than the latter, while  $(La/Lu)_{cn}$  ratios maintain fairly constant values of 5.08~5.06 in these two rocks. This means that coarse-grained and pegmatitic rock, as compared with the medium-grained rock, was formed by the earlier differentiated magma but rare-earth element distribution pattern remained almost parallel during differentiation. From the data the above mentioned, these alkaline gabbros are considered to be comagmatic and to be formed by intrusions of differentiated magmas in its reservoir.

\* 서울대학교 地質科學科

\*\* 韓國動力資源研究所

序 論

京畿道 漣川郡 官仁面 三栗里의 古南山 一帶에는 脈狀 또는 렌즈狀으로 産出되는 舍타탄磁鐵鑛床들이 있다. 이 鑛床들은 1930年代부터 日人들에 의해 調査研究된 바 있고 1974년에는 永豐鑛業株式會社에서 地質鑛床調査를 施行한 바 있다(韓甲洙, 1974). 1975년에는 國立地質調査所에서 이 地域에 관한 地表地質調査를 實施하고 概略적인 鑛床發達狀態를 確認하기 위하여 磁力探査를 實施한 바 있다(朴魯榮, 1975; 趙震東 · 房基烈, 1980). 最近의 資料로서는 鑛業振興公社의 試錐調査報告 第5·6號(1982, 1983)가 있다. 以上과 같은 調査研究를 通하여 이 舍타탄磁鐵鑛床는 鑛床을 胚胎하고 있는 母岩인 角閃岩(amphibolite)의 起源마그마로부터 分化되어진 正마그마起源鑛床으로서, 10여개의 脈狀 또는 렌즈狀鑛體들로 構成되어 있는 것으로 報告되었다. 上記의 調査研究는 探鑛에 局限되어 있기 때문에 母岩이나 鑛床에 關한 岩石學의 그리고 物理化學의 特徵에 대해서는 전혀 밝혀진 바 없다. 이 論文은 鑛床을 胚胎하고 있는 母岩의 岩石學의 및 地球化學의 特徵을 研究한 것이다.

地質概要

研究地域은 京畿變成岩複合體의 北쪽에 該當되는 地

域으로 先캠브리아時代의 漣川系에 屬하는 變成堆積岩類와 이를 貫入한 알카리斑礫岩質岩, 花崗岩 및 aplite와 噴出岩인 玄武岩들로 構成되어 있다(Fig. 1).

變成堆積岩類는 雲母片岩, 珪岩, 石灰岩 및 角閃石片岩들로 構成되어 있는데, 主로 雲母片岩으로 되어 있고 기타 變成岩類들은 雲母片岩과 互層을 이루며 發達되어 있다. 雲母片岩은 石英, 斜長石 및 少量의 正長石을 主構成鑛物로 하는 優白色帶와 黑雲母, 白雲母, 角閃石과 柘榴石으로 構成된 有色鑛物帶가 互層을 이루며 發達되어 있다. 이 雲母片岩에는 이따금 紅柱石이 觀察되기도 한다. 珪岩은 雲母片岩 및 石灰岩과 互層을 이루며, 發達되어 있는 데 두계의 變化가 多量한 편으로 石英粒子들 사이에 柘榴石, 白雲母 및 黑雲母들이 充填 發達되어 있다. 石灰岩에서는 再結晶된 方解石과 方解石結晶들 사이를 充填하는 少量의 透角閃石과 黑雲母들이 觀察되며, 珪岩層과의 接觸部에 가까워 짐에 따라 珪灰石이 産出되는 데, 두 岩層이 서로 接하는 部分에서는 珪灰石의 比率이 約 10%에 達하기도 한다. 變成堆積岩類에서 觀察되는 鑛物相 및 鑛物共生群으로 미루어 보아 이 地域의 變成相은, Greenwood (1976)의 分類에 依하면, 低壓 角閃岩相에 屬한다.

알카리斑礫岩質岩은 變成堆積岩類를 貫入한 時代未詳의 貫入岩으로 이 地域의 中央部에 分布하고 있는데, 舍타탄磁鐵鑛床의 母岩인 이 岩은 角閃岩(amphi-

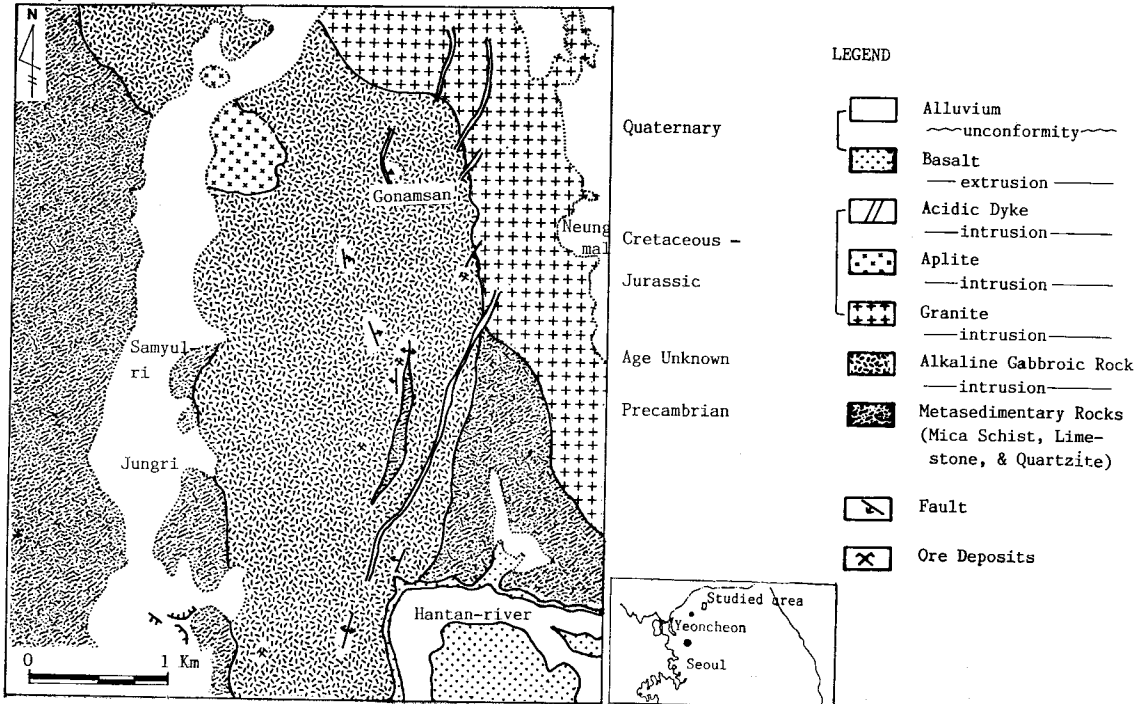


Fig. 1 Geologic map of the studied area.

bolite)으로 불리워져 왔다(朴魯榮, 1975; 趙震東·房基烈, 1980, 周藤和確, 1979). 그러나 岩石學의 研究에 依하면 이 岩石을 알카리斑靄岩質岩으로 分類하는 것이 타당한데 여기에 관해서는 다음 節에 言及되어 있다.

花崗岩은 上記의 變成堆積岩類와 알카리斑靄岩質岩을 貫入하였으며, 研究地域의 北東部에서 底盤을 이루며 넓게 分布하고 있다. 岩相的 特徵으로 보아 大寶花崗岩類에 該當된다. 均質의 粒狀花崗岩으로 主構成鑛物은 石英, 正長石, 斜長石 및 黑雲母로 되어 있으며, 辟사이틱組織을 觀察할 수 있다. 이 花崗岩은 포천—의정부—서울을 잇는 大寶花崗岩 底盤의 延長部에 該當되는 것으로 여겨진다. aplite는 이 地域의 北東部에서 岩株狀으로 分布한다. 前述한 花崗岩과는 鑛物組成에서 큰 差異가 없다. 玄武岩은 이 地域의 東南側 한탄강支流 및 低地帶의 江岸을 따라 露出 分布하고 있는데, 이는 第四紀 추가령지구대를 따라 裂縫噴出한 玄武岩이다. 橄欖石結晶을 斑晶으로 갖고 細粒의 板狀斜長石과 他形의 輝石이 石基를 이루고 있다.

### 알카리斑靄岩의 野外岩相

솔티탄磁鐵鑛床의 母岩인 알카리斑靄岩質岩은 變成堆積岩類들인 雲母片岩, 珪岩 및 石灰岩들을 곳곳에서 貫入 捕獲하고 있는데, 本地域의 中央部에서 露天探掘을 하고 있는 主鑛體에서는 鑛體와 接하여 約 20m 두께의 珪岩과 石灰岩이 捕獲되어 있고 部分的으로는 變質되었거나, 交代作用을 받아 스카른화된 部分도 있다. 이 알카리斑靄岩質岩의 野外岩相은 곳에 따라 多樣하게 나타나는 데 크게 3가지 岩相, 즉 粗粒내지 巨晶質의 粒狀組織을 보여주는 알카리斑靄岩質岩, 中粒質의 粒狀組織을 보여주는 알카리斑靄岩質岩 및 層狀알카리斑靄岩質岩으로 區分되어 진다.

이 岩石들 중에서 粗粒 내지 巨晶質의 알카리斑靄岩質岩들은 주로 溪谷이나 陵線을 따라 小規模로 散在되어 脈狀으로 産出되는 데, 이 岩石과 다른 岩石들과의 關係는 不明이다. 한편 中粒質의 粒狀組織을 보여주는 塊狀의 알카리斑靄岩質岩과 層狀알카리斑靄岩質岩과의 關係는 漸移의이지만, 이들 岩石 역시 小規模로 散在되어 곳곳에서 露出되어 있고 또 風化되어 있기 때문에 野外에서 相互關係를 規明하기는 어렵다.

層狀알카리斑靄岩質岩은 優白帶와 優黑帶가 不規則的인 幅으로 發達되어 層狀構造(layered structure)를 보여주는 岩石이다. 優白帶는 斜長石과 輝石 또는 輝石이 部分的으로 交代되어 形成된 角閃石의 相對的인 量的 變化에 따라 이루어진, 5mm~1cm 두께의 薄層이

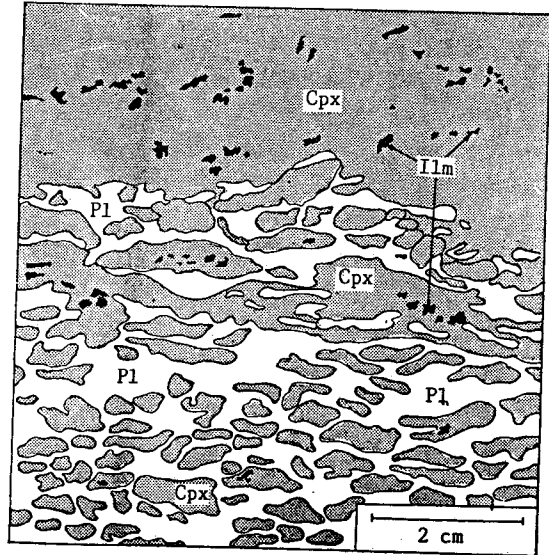


Fig. 2 Layered cumulate texture showing clinopyroxene (cpx)-ilmenite (ilm) cumulate (mesolayer) in sharply contact with plagioclase (pl)-clinopyroxene cumulate (leucolayer).

交互로 發達되어 있다. 優白帶에서의 斜長石 薄層과 交互로 發達된 輝石—角閃石 薄層에서는 輝石이 斑晶으로 産出되고 斑晶의 長軸方向이 거의 平行하게 排列되어 있다. 이러한 斑晶들이 일련의 不連續的인 層狀으로 發達되어 層狀 集積組織(layered cumulate texture)을 보여 주기 때문에 優白帶를 斜長石—輝石—集積岩帶라고 할 수 있다(Fig. 2). 이와 같은 集積岩帶는 同一露頭에서 反復되는 境遇도 흔히 있다. 優黑帶는 주로 有色鑛物, 즉 輝石과 輝石의 交代産物인 角閃石만으로 構成되어 있는데 이들의 長軸方向은 서로 類似하다. 이 優黑帶는 輝石 集積岩帶라고 할 수 있다. 斜長石—輝石—集積岩帶와 輝石 集積岩帶의 境界는 뚜렷하게 區分되며, 各帶의 幅은 곳에 따라 變化가 심한 便으로 2cm~1m까지 多樣한 便이며, 單一帶만이 産出되는 境遇도 있다. 層狀構造를 보여주는 이 岩은 後에 構造的 變形을 받아 이따금 소세지構造(boudinage structure)를 보여 주기도 하며, 中粒質 알카리斑靄岩質岩의 斜長石에서도 이따금 變形된 모양을 觀察할 수 있다. 이 地域의 알카리斑靄岩質岩은 角閃石岩(amphibolite)이라고 불리워져 왔는데, 이는 이 岩石이 보여주는 層狀集積組織이 變成堆積岩類의 葉理組織과 類似하고 또 地域에 따라서는 角閃石만이 有色鑛物로 産出되는 境遇가 있기 때문인 것으로 여겨진다. 그러나 다음 節에서 言及되겠지만 이 角閃石은 變成

起源의 鑛物이 아니라 먼저 晶出된 輝石이 初生變質現象(deuteric phenomenon)에 의해 形成된 角閃石이다. 鑛物 結晶의 變形이 部分的으로 觀察되기는 하지만 여전히 初生組織(primary texture)을 保存하고 있고 變成作用에 의한 새로운 鑛物의 形成이 觀察되지 않는다. 따라서 構成鑛物과 組織 및 化學組成의 特徵에 따라 이 岩石을 層狀알카리斑靄岩質岩이라고 하는 것이 타당할 것으로 여겨진다.

숨티탄磁鐵鑛床은 細粒質의 숨티탄磁鐵石으로 主構成된 脈狀, 렌즈狀 및 塊狀의 鑛體로서 이들의 細脈이 위에 言及한 알카리斑靄岩質岩을 貫入 切斷하는 境遇를 흔히 觀察할 수 있다. 露天採掘中에 있는 主鑛體는 捕獲된 石灰岩과 珪岩의 變成堆積岩類와 層狀알카리斑靄岩質岩 또는 中粒質 알카리斑靄岩質岩 사이에 發達되어 있다. 이는 숨티탄磁鐵鑛床이 物性이 다른 岩體 사이의 틈이나 裂隙을 따라 상승한 Fe-Ti oxide liquid에 의해 形成되었음을 뜻한다.

### 岩石學의 研究

#### 粗粒—巨晶質알카리斑靄岩質岩

主構成鑛物은 輝石, 角閃石 및 斜長石이며, 副隨鑛物로서 磷灰石, 스피넬 및 일메나이트가 함께 隨伴된다. 輝石은 0.5cm~1cm 內외의 크기를 갖는 半自形의 結晶으로 產出되며, 透輝石—헤넬버자이트系列의 세라이트(salite)와 실러組織(schiller texture)을 보여주는 브론자이트(bronzite)로 產出된다. 角閃石은 輝石과 斜長石 또는 輝石과 일메나이트 사이에서 反應緣(reaction rim)의 형태로 輝石結晶의 주변부에 發達되어 있다(Fig. 3). 斜長石은 輝石結晶 사이의 空間을 充填하며, 發達

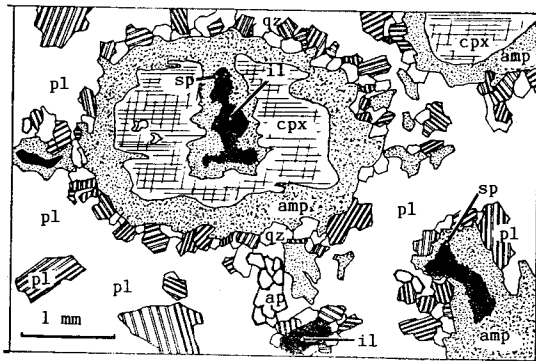


Fig. 3 Pyroxene phenocrysts (cpx) replaced by amphibole (amp) in a matrix of plagioclase (pl). Amphibole, sphene (sp) and quartz (qz) have formed as reaction products of pyroxene with plagioclase and ilmenite (il) mineralizing fluid.

되어 있는데 0.5cm 程度の 他形 結晶으로 產出된다. 일메나이트는 흔히 磷灰石과 함께 斜長石結晶 사이 또는 角閃石과 함께 產出된다. 스피넬은 일메나이트와 角閃石 또는 드물기는 하지만 일메나이트와 斜長石과의 反應의 產物로 形成되어 일메나이트 結晶 주변부를 감싸며, 發達되어 있다(Fig. 3).

#### 中粒質알카리斑靄岩質岩

構成鑛物들과 그 產出狀態는 粗粒—巨晶質알카리斑靄岩質岩과 類似하다. 그러나 브론자이트輝石은 더 이상 產出되지 않고 세라이트輝石만 觀察된다. 粗粒—巨晶質알카리斑靄岩質岩에 비해 輝石의 角閃石化作用(amphibolitization)이 보다 심하며, 일메나이트의 量이 보다 많아 졌고, 따라서 스피넬의 量도 많은 便이다.

#### 層狀알카리斑靄岩質岩

優白帶인 斜長石—輝石 集積岩帶에서는 他形の 세라이트 輝石이 2mm~5mm 內외의 크기를 갖는 斑晶으로 產出되고 이들 斑晶의 長軸方向은 서로 類似하다. 斜長石이 斑晶으로 產出되는 境遇는 드물기는 하지만 觀察된다. 거의 大部分의 斜長石은 0.5mm 以下の 半自形의 結晶으로 石基를 이루고 있다. 集積組織을 보여 주는 輝石斑晶과는 달리, 石基를 이루는 細粒의 斜長石은 粒狀組織을 보여준다. 角閃石은 輝石의 주변부에 發達된 反應緣의 形態로 또는 輝石이 完全히 交代된 假像의 形態로 產出된다. 때로는 角閃石이 斜長石 사이의 空間을 充填하며, 發達되어 있기도 한다. 일메나이트와 스피넬 및 磷灰石은 輝石과 角閃石에 隨伴되어 產出한다.

優黑帶인 輝石 集積岩帶는 주로 半自形의 輝石으로 構成되었고, 角閃石은 反應緣 形態로 나타난다. 때로는 輝石이 잔유물로 角閃石結晶內에 흔적만 남아 있는 境遇도 있다. 이 경우에는 角閃石 주변부에 石英이 함께 產出된다(Fig. 3). 斜長石은 輝石結晶 사이의 空間을 充填하는 intercumulus mineral로 產出된다. 일메나이트, 磷灰石 및 스피넬은 함께 產出되며, 일메나이트와 接하는 輝石의 연변부는 흔히 角閃石化되어 있다.

#### 숨티탄磁鐵鑛床

鑛床은 거의 大部分이 粒狀의 숨티탄磁鐵石으로 構成되었고 일메나이트의 量은 劣比比率 5% 程度로 少量 產出된다. 이 일메나이트는 粒狀으로 1~3mm 內외의 크기를 갖는 初生일메나이트(primary ilmenite)와 숨티탄磁鐵石의 酸化溶離(oxidation exsolution)에 의해 形成된 微粒의 二次일메나이트(secondary ilmenite)가 있다. 규산염 鑛物로서는 角閃石, 磷灰石 및 綠泥石이 觀察되며, 스피넬이 흔히 隨伴된다. 周圍 母岩과 接하는

**Table 1** Chemical compositions and calculated norms of Gonamsan alkaline gabbroic rocks.

No.	122-7	502-2	502	Gn 13	Gn 19	Gn 27
SiO <sub>2</sub>	43.94	48.16	40.91	39.22	39.74	39.76
TiO <sub>2</sub>	3.92	1.70	6.95	5.50	5.00	6.25
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	11.56	20.43	14.19	13.37	14.16	17.02
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.63	1.06	3.11	5.37	3.43	2.61
FeO	10.17	5.40	10.26	13.01	15.06	9.27
MnO	0.20	0.09	0.16	0.28	0.34	0.12
MgO	7.68	3.00	5.24	5.91	4.38	8.40
CaO	12.34	12.33	12.31	9.53	10.06	10.21
Na <sub>2</sub> O	3.21	5.26	3.75	4.04	4.56	4.30
K <sub>2</sub> O	0.78	1.05	1.02	0.69	0.69	0.56
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.61	0.80	0.60	0.96	0.35	0.06
H <sub>2</sub> O <sup>+</sup>	0.07	0.08	0.07	1.20	0.66	0.65
H <sub>2</sub> O <sup>-</sup>	0.92	0.78	0.80	0.07	0.08	0.06
Total	99.03	100.14	99.37	99.15	98.51	99.27
D.I.	26.02	39.70	27.31	29.34	28.77	25.78
mg*	0.51	0.46	0.42	0.37	0.30	0.56
or	4.62	6.79	6.01	4.06	4.06	3.28
ab	14.58	19.19	8.97	14.68	8.29	6.08
an	14.83	28.74	18.89	16.30	16.14	25.48
ne	6.82	13.72	12.33	10.60	16.42	16.42
lc	—	—	—	—	—	—
di	34.33	21.99	30.79	20.51	26.90	20.02
ol	8.74	2.22	2.40	11.40	10.86	11.57
mt	5.26	1.53	4.52	7.78	4.98	3.77
il	7.45	3.23	13.20	10.44	9.50	11.87
ap	1.45	1.88	1.41	2.29	0.84	0.13
Total	98.08	99.29	98.52	98.06	97.99	98.62

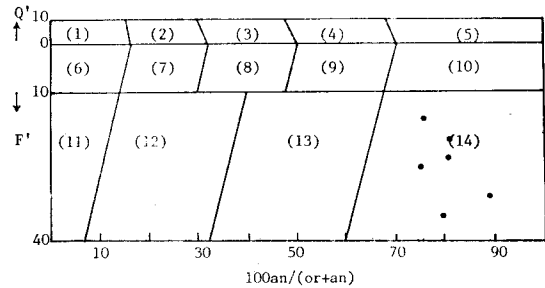
\* mg=Mg/Fe+Mg

鑛體部分에서는 母岩과의 境界面에 따라 平行하게 發達된 微弱한 流動構造를 觀察할 수 있다.

**알카리斑靄岩의 化學組成**

위에 言及된 알카리斑靄岩質岩類 중에서 粗粒-巨晶質 알카리斑靄岩質岩을 除外한 7個의 試料를 全岩分析한 結果는 Table 1과 같다. 分析은 韓國動力資源研究所에 의뢰하였으며, X線螢光分析方法에 依해 施行되었다.

試料 122-7은 中粒質알카리斑靄岩質岩의 試料이고, 試料 502-2는 層狀알카리斑靄岩質岩의 優白帶에 該當되는 斜長石-輝石-角閃石 集積岩帶의 試料이다. 한편 試料 502는 優白帶와 優黑帶의 分析結果를 나타낸



**Fig. 4** Normative classification of igneous rocks (after Streckeisen & LeMaitre, 1979); numbered fields are as followed: 1, alkali-feldspar syenite; 2, syenite; 3, monzonite; 4, monzogabbro (An 50); 5, gabbro (An 50); 6, FB alkali-feldspar syenite; 7, FB syenite; 8, FB monzonite; 9, FB monzogabbro (An 50); 10, FB gabbro (An 50); 11, F syenite; 12, F monzosyenite; 13, F monzogabbro(An 50); 14, F gabbro (An 50). (F, foid; FB, foid-bearing).

다. 試料 Gn 13, Gn 19, 및 Gn 27은 鑛體 주변부에서 採取한 試料들인데, 이들은 層狀알카리斑靄岩質岩으로 鑛體와 바로 接하여 있다. 이들 試料에서는 大部分의 輝石이 角閃石化되어 있고 角閃石은 石英과 함께 產出되며, 일메나이트와 磷灰石이 多量 包含되어 있다. 斜長石은 거의 葡萄石(prehnite)으로 變質되었다.

이 試料들의 分析結果를 Streckeisen and Le Maitre (1979)의 火成岩 分類圖에 圖示하면 Fig. 4와 같다. 이 그림에서 Q'와 F'의 값은 各各  $Q'=100 \times q / (q + Or + ab + an)$ 와  $F'=100 \times (ne + lc + Kp) / (ne + lc + Kp + Or + ab + an)$ 이다. 大部分의 試料들은 Foid gabbro에 屬한다. 즉 古南山 습타탄磁鐵鑛床의 母岩은 SiO<sub>2</sub>가 不飽和된 알카리斑靄岩質岩으로 分類됨을 뜻한다.

**構成鑛物의 化學組成**

알카리斑靄岩質岩을 構成하는 鑛物들 중에서 그 一部를 AMST 地球科學分析센터에서 分析한 結果는 Table 2와 같다. 試料 402-7은 層狀알카리斑靄岩質岩의 優黑帶에 該當되는 試料이고, 試料 403-16은 中粒質알카리斑靄岩質岩이며, 試料 502 및 502-2는 層狀알카리斑靄岩質岩의 優白帶, 즉 斜長石-輝石-角閃石 集積岩의 試料이다. 한편 試料 402-2와 502-2a 및 502-2b는 습타탄磁鐵鑛床의 試料로서 磁鐵石과 더불어 角閃石과 磷灰石이 함께 隨伴되어 있다. 試料番號 아래 숫자는 分析된 鑛物의 位置를 나타내는 番號이다.

Table 2 Selected microprobe analyses of minerals from Gonamsan alkaline gabbroic rocks.

Minerals	Pyroxene		Amphibole						Plagioclase						
	Sample No.	502-2	502-2	403-16	402-2	502-2b	502-2a	502-2a	502	502	402-7	402-7	403-16	502-2	502-2
Elements	-124	-125	-11	-147	-126	-130	-131	-137	-138	-1	-2	-12	-127	-128	-129
SiO <sub>2</sub>	46.60	51.60	44.06	41.49	40.34	40.34	40.21	41.19	43.10	52.57	50.87	52.91	55.22	55.36	55.03
TiO <sub>2</sub>	4.69	0.53	0.80	1.21	2.08	2.06	1.57	0.92	0.99	0.06	0.01	—	0.02	0.03	—
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.02	1.63	12.82	12.41	13.80	13.98	12.82	12.56	10.46	30.00	31.11	29.96	28.30	28.57	28.29
FeO <sup>tot.</sup>	15.18	11.47	16.23	20.28	19.16	18.86	19.46	19.87	19.58	0.16	0.13	0.17	0.12	0.09	0.06
MnO	0.49	0.34	0.12	0.30	0.22	0.19	0.17	0.18	0.22	0.01	0.03	0.02	—	0.02	—
MgO	9.98	10.68	9.17	7.71	6.80	6.86	7.01	8.36	8.95	0.01	—	—	—	—	0.02
CaO	20.22	22.69	12.06	11.18	11.50	11.46	11.61	11.54	11.73	11.96	13.51	11.74	10.15	10.16	8.40
Na <sub>2</sub> O	0.41	0.35	1.43	2.02	1.98	1.79	1.68	2.33	1.98	4.72	3.76	4.58	5.64	5.62	5.45
K <sub>2</sub> O	0.07	0.03	0.46	0.96	1.70	1.73	1.73	0.97	0.68	0.10	0.04	0.07	0.15	0.12	0.96
H <sub>2</sub> O	—	—	1.88	1.82	1.81	1.81	1.79	1.83	1.86	—	—	—	—	—	—
Total	99.66	99.32	99.03	99.38	99.39	99.08	98.05	99.75	99.55	99.59	99.46	99.45	99.60	99.97	98.21
Si	1.816	1.968	6.584	6.361	6.189	6.195	6.270	6.297	6.363	2.391	2.325	2.405	2.495	2.490	2.513
Al <sup>IV</sup>	0.093	0.032	1.416	1.639	1.811	1.805	1.730	1.703	1.637	1.608	1.675	1.595	1.505	1.510	1.487
Al <sup>VI</sup>	—	0.041	0.841	0.604	0.685	0.725	0.627	0.559	0.240	—	0.001	0.010	0.002	0.004	0.036
Ti	0.138	0.015	0.089	0.139	0.240	0.238	0.184	0.106	0.113	0.002	—	—	0.001	0.001	—
Mn	0.016	0.011	0.015	0.038	0.029	0.025	0.022	0.023	0.029	—	0.001	0.001	—	0.001	—
Mg	0.579	0.607	2.043	1.762	1.556	1.570	1.629	1.905	2.031	0.001	—	—	—	—	0.002
Ca	0.844	0.927	1.930	1.837	1.891	1.886	1.940	1.890	1.913	0.583	0.662	0.572	0.491	0.490	0.411
Na	0.031	0.026	0.414	0.601	0.590	0.533	0.509	0.691	0.586	0.416	0.333	0.404	0.494	0.490	0.483
K	0.004	0.001	0.087	0.189	0.333	0.339	0.343	0.188	0.131	0.006	0.002	0.004	0.009	0.007	0.056
OH	—	—	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	2.000	—	—	—	—	—	—
Mg	47.1	47.7	50.0	40.1	38.5	39.1	38.9	42.7	44.6	or	0.6	0.3	0.4	0.9	0.7
Fe	52.9	52.3	50.0	59.9	61.5	60.9	61.1	57.3	55.4	ab	41.4	33.4	41.2	49.7	49.7
	—	—	—	—	—	—	—	—	—	an	58.0	66.3	58.4	49.4	49.6

\* Structural formula are on the basis of 6 oxygens for pyroxenes, 22 oxygens for amphiboles and 8 oxygens for plagioclases.

輝石

層狀알카리斑輝岩質岩의 優白帶에 産出되는 輝石은 透輝石—헤멘버자이트系列에 屬하는 새라이트로서, 組成의 變化가 뚜렷이 觀察된다. 結晶의 中央部(502-2-125)에서 緣部(502-2-124)로 갈수록 헤멘버자이트成分이 많아 진다. 中央部の 輝石이 일메나이트 結晶과 隣接해 있는 데도 불구하고 헤멘버자이트成分이 적다는 것은 結晶의 成長과 더불어 殘留마그마內的 Fe/Mg + Fe 比가 增加함을 뜻한다.

角閃石

角閃石의 分析結果를 Zussman (1965)의 Al<sup>IV</sup>/(Na+K) 圖(Fig. 5)에 圖示하면 거의 大部分의 角閃石이 파게사이트(pargasite)領域에 屬한다. 前述한 바 처럼 알

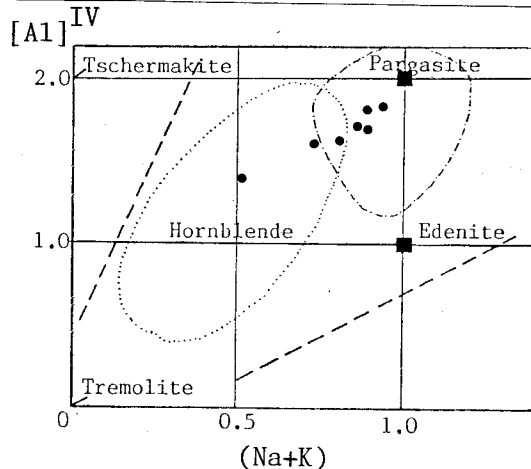
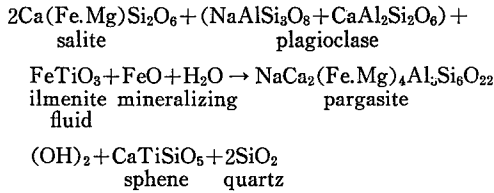


Fig. 5 The chemical variation of the calcium-rich amphiboles expressed as the numbers of (Na+K) and [Al]<sup>IV</sup> atoms per formula unit (after Zussman, 1965).

카리斑礫岩質岩의 集積鑛物인 輝石과 이를 充填한 斜長石 및 殘留마그마인 일메나이트 成分이 豊富한 液相과의 反應을 通해 角閃石이 形成되었는데, 形成反應式은 다음과 같다.



SiO<sub>2</sub>가 不飽和된 알카리岩類에서 파게사이트와 함께 흔히 隨伴되는 石英과 스펀(Fig. 3)은 이와 같은 反應에 依해 形成된 後期 產物로 여겨진다. 鑛體內에서 鑛石鑛物에 隨伴되어 產出되는 角閃石(502-2a, 2b)의 Fe/Mg+Fe 比가 斑礫岩內 輝石의 交代產物인 角閃石(403-16, 502)의 Fe/Mg+Fe 比보다 높다.

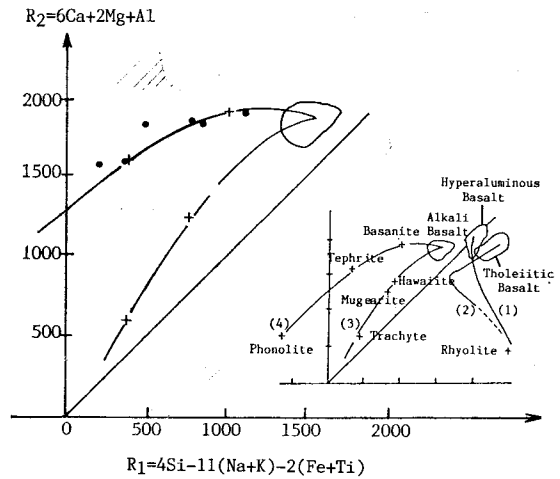
**斜長石**

大部分의 斜長石들은 andesine-labradorite의 組成을 갖는다. 同一試料內에서도 組成이 다른 斜長石, 즉 402-7-1과 402-7-2 또는 502-2-128과 502-2-129들이 있다. 알바이트成分이 보다 豊富한 402-7-2와 502-2-129는 細粒質이며, 角閃石 주변부에 發達되어 있고 흔히 石英과 함께 產出된다. 이와 같은 鑛物群들의 特徵을 고려할 때, 角閃石 形成反應에 參與한 殘留溶液內에 알카리成分이 富化되어 있었기 때문에 이 溶液과 既存의 斜長石과의 反應을 通해 알바이트成分이 보다 豊富한 斜長石이 形成된 것으로 여겨진다.

**地球化學的 研究**

**主成分元素**

이 岩石들을 構成하는 主成分元素中 알카리元素들의 相對的 量은 Na<sub>2</sub>O > K<sub>2</sub>O, K<sub>2</sub>O/Na<sub>2</sub>O = av. 0.2 및 Na<sub>2</sub>O + K<sub>2</sub>O = 3~6.3wt. %이다(Table 1). 이는 이 岩石들이 SiO<sub>2</sub>가 不飽和된 알카리玄武岩質組成을 갖는 岩類(alkali basaltic composition group)에 屬함을 뜻하며(Cullers and Graf, 1984), Streckeisen and LeMaitre에 依한 分類(Fig. 4)와도 一致한다. 多樣하게 產出되는 古南山알카리斑礫岩類들의 分化傾向을 알기 위해 分析된 資料들을 de la Roche and Leterrier(1973)의 multicationic diagram에 圖示하였다(Fig. 6). 陽이온들을 oxide wt. %로 表示하여 化學組成의 變化를 나타내는 그림들은 一般적으로 陽이온들의 相對的 量的 變化를 精確히 나타내지 못하는 傾向이 있기 때문에, 이를 보완하기 위해 마그마分化에 따라 민감한 變化를 보여주는 特徵的 陽이온들의 數(number of cations)의 變化



**Fig. 6** de la Roche multicationic diagram showing the trend of alkaline gabbroic rocks of Gonamsan area. The trends of calc alkaline series (1), tholeiitic series (2), saturated alkaline series (3), and undersaturated alkaline series (4) are shown for comparison (after de la Roche and Leterrier, 1973).

로부터 직접 分化樣相을 나타낸 것이 Fig. 6이다. 이 그림에서 45°直線은 Yoder and Tilley(1962)의 노름 四面體圖(normatif tetraedre)에서 SiO<sub>2</sub>의 飽和如否에 따라 알카리玄武岩質岩과 準알카리玄武岩質岩을 區分하는 境界面에 該當된다.

숨티탄磁鐵鑛床의 母岩인 알카리斑礫岩質岩들은 Fig. 6에서 SiO<sub>2</sub>가 不飽和된 分化曲線(4)를 따라 分布하고 있다. 中粒質 粒狀組織을 갖는 알카리斑礫岩(R<sub>1</sub>=1120, R<sub>2</sub>=1930)은 層狀알카리斑礫岩質岩類(R<sub>1</sub>=210~870, R<sub>2</sub>=1570~1870)들 보다 早期에 分化된 마그마에 依해 生成된 岩으로 basanite의 組成을 갖고 있음을 나타내고 있다. 分化가 보다 進行됨에 따라 마그마의 組成은 SiO<sub>2</sub>가 보다 더 不飽和된 方向으로 變하여, tephrite의 組成을 갖는 層狀알카리斑礫岩들이 形成케 되었다. 모든 알카리斑礫岩質岩들이 分化曲線(4)를 크게 벗어나지 않고 네펠린 노름값이 증가되어지는(Table 1) 일정한 方向으로 分化된 樣相을 보여 주는 것은 이 岩들이 同一起源마그마의 分化產物임을 뜻한다. 또한 일부 層狀알카리斑礫岩質岩들이 分化曲線(4)로부터 어느 程度 벗어나 있는데 이는 集積된 構成鑛物들의 相對的 量에 따른 組成變化를 反映한 것으로서 바로 層狀集積岩의 特徵을 나타낸 것이라고 할 수 있다.

分化指數(differentiation index)는 20~40으로 分化의 범위가 그리 크지 않지만 分化가 進行됨에 따라

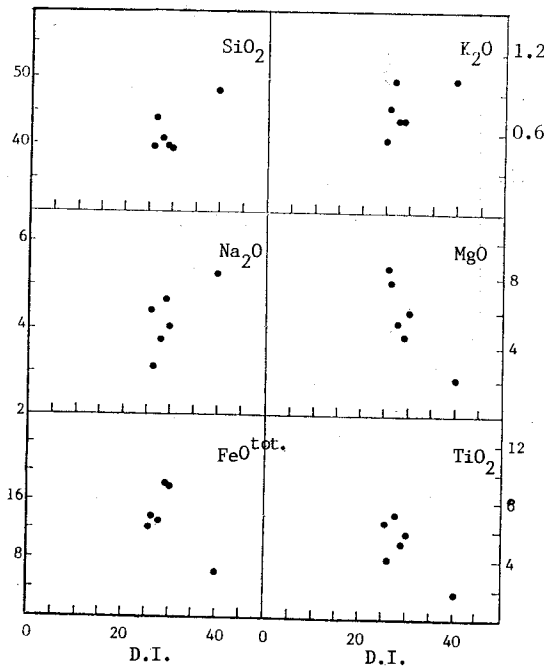


Fig. 7 Variation diagrams of major elements (wt. %) vs. differentiation index (D.I.).

SiO<sub>2</sub>와 Na<sub>2</sub>O는 增加하고 FeO<sup>tot</sup>, MgO 및 TiO<sub>2</sub>는 減少하는 一般的 傾向을 보여 주고 있다(Fig. 7). 分化指數 D.I.=25~30 사이의 범위내에서 oxides의 量的 變化가 뚜렷한 것은(Fig. 7) 集積되어진 輝石의 相對的 量과 이에 따라 이 集積鑛物들 사이를 充填하는 殘留마그마(intercumulus residual magma)의 組成變化가 크다는 것을 意味한다. K<sub>2</sub>O는 分化에 따른 量的 變化가 없는 데 이는 마그마내에 포함된 K<sub>2</sub>O의 元來量이 微量이었기 때문에 分化의 좁은 범위내에서는 K<sub>2</sub>O의 量的 變化가 일어나지 않았던 것으로 여겨진다.

Table 3 Trace element data for Gonamsan alkaline gabbroic rocks.

Sample No.	122-7	502-2	502 Gn 13	Gn 19	Gn 27	
Zr	90	30	45	60	10	20
Ni	52	—	15	5	5	12
Co	117	89	154	119	108	160
V	100	75	138	70	75	100
Cr	43	7	20	15	15	31
Y	15	15	13	10	10	10
Ba	247	652	379	596	746	198
Sr	567	1,641	854	992	1,333	999

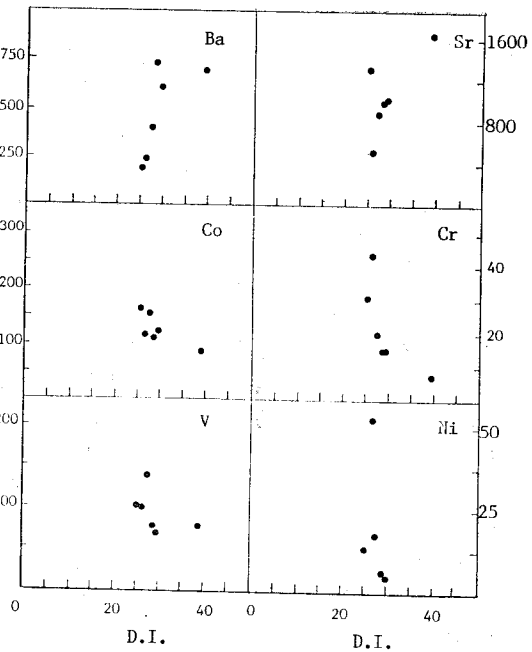


Fig. 8 Variation diagrams of trace elements (ppm) vs. differentiation index (D.I.).

微量元素

Table 3의 微量元素들은 韓國動力資源研究所에 의뢰하여 分析하였는데 Zr, Ni, Co 및 Cr은 X線螢光分析 方法에 의해, Ba 및 Sr은 發光分光分析 方法에 의해 分析되었다.

이 微量元素들도 分化에 따른 compatible elements (Co, Cr, Ni, V)와 incompatible elements (Ba, Sr)의 增減傾向을 뚜렷이 보여 주고 있다(Fig. 8). 分化指數 D.I.=25~30 사이에서 微量元素들의 量的 變化의 幅이 매우 큰 데 이는 主成分元素와 마찬가지로 輝石과 일메 나이트의 集積程度에 따라 compatible element인 Co, Cr, Ni와 V의 量이 各各 작아지고 이를 充填하는 斜長石의 量的 程度에 따라 incompatible element인 Ba와 Sr의 濃集이 영향을 받기 때문이다. Fig. 9은 알칼리元素(Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O)의 增加에 대해 MgO, TiO<sub>2</sub> 및 Co는 減少하고 Ba와 Sr은 增加하며, 燐灰石의 相對的 量으로 表示될 수 있는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>도 微弱하지만 增加되는 傾向을 보여 준다. 이 그림에서도 Fig. 7과 Fig. 8처럼 構成鑛物의 集積程度에 따른 元素들의 量的 變化를 보여 주고 있다.

稀土類元素

Table 4의 稀土類元素들과 Ba 및 Sr은 韓國動力資源研究所에 의뢰하여 中性子放射化分析 方法에 의해 分析되었다. 試料 122-7은 Table 1에서 分析된 바 있는 中



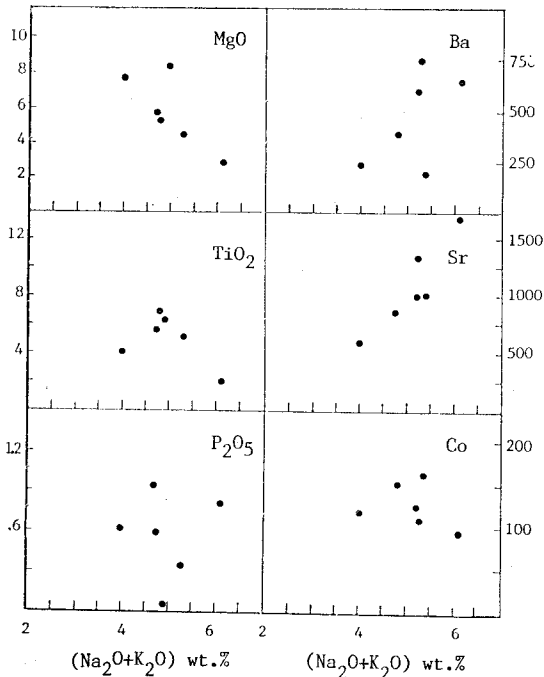


Fig. 9 Variation diagrams of selected major elements (wt.%) and trace elements (ppm) vs. alkalis (Na<sub>2</sub>O+K<sub>2</sub>O, wt.%).

Table 4 Ba, Sr and rare earth elements data for Gonsamsan alkaline gabbroic rocks. (ppm)

Sample No.	122-7	Gn 1006
Ba	247	132
Sr	567	401
La	25.76	10.24
Ce	77.44	31.94
Nd	93.80	60.80
Sm	6.27	2.82
Eu	4.39	2.42
Tb	1.54	1.13
Yb	4.20	2.50
Lu	0.50	2.20
ΣREE	213.90	112.05
(La/Lu) <sub>cn</sub>	5.26	5.08
Eu/Sm	0.70	0.86

粒質알카리斑礫岩質岩과 同一試料이고, 試料 Gn1006은 粗粒내지 巨晶質알카리斑礫岩質岩의 試料이다. 이 岩石들의 稀土類元素들의 總含量 ΣREE는 各各 112ppm과 214ppm으로서 中粒質알카리斑礫岩質岩의 ΣREE가 월등히 많다. 한편 가벼운 稀土類元素(LREE)와 무거운

은 稀土類元素의 比인 (La/Lu)<sub>cn</sub>은 各各 5.08과 5.16으로서 거의 一定한 便이다. 이와 같은 ΣREE 값과 (La/Lu)<sub>cn</sub> 比는 主成分元素에서 파악된 것과 마찬가지로 이들의 組成이 알카리玄武岩質岩類에 屬함을 알려준다(Cullers and Graf, 1984). 그러나 Eu/Sm 比는 0.70~0.86으로 알카리玄武岩質岩의 一般的인 比보다 2배내지 3배 以上으로 높다. 이와 같은 異常인 比값은, 지금까지 言及된 地球化學的 特徵을 고려할 때, Eu과 Sm 元素分析의 不正確性에 起因하는 것으로 여겨진다.

(La/Lu)<sub>cn</sub>가 一定하다는 것은 稀土類元素들의 分別作用(fractionation)이 없었거나 또는 두 岩石에서 稀土類元素들의 分別作用이 가벼운 稀土類元素들로부터 무거운 稀土類元素들에 이르기까지 거의 一定한 比率로 이루어졌을 경우를 뜻한다. 그런데 이 두 岩石에서 ΣREE의 量的 差異가 2배가 될 정도로 크다는 것을 고려할 때, (La/Lu)<sub>cn</sub>이 一定한 것은 後者의 경우로서, 이 두 岩石이 각각 形成될 때 稀土類元素들의 分別이 類似한 樣相으로 일어났음을 말한다. 즉 Table 4의 分析資料를 chondrite에 標準化시켜 보면 거의 同一한 變化樣相을 보여 줄 것이다.

따라서 이 두 岩들은 同源마그마 起源으로, Table 4의 Ba, Sr 및 稀土類元素들의 量的 變化 關係를 고려할 때, 粗粒-巨晶質알카리斑礫岩質岩이 中粒質알카리斑礫岩質岩보다 더 早期에 分化되어진 마그마에 의해 形成되어진 岩으로 여겨진다.

### 討議 및 結論

알카리斑礫岩質岩들은 上部맨틀의 部分熔融에 의해 形成된 液相이, 大陸安定地域(craton)에서 張力에 依한 斷層作用이 일어난 곳의 線構造(lineament)를 따라 貫入되므로서 形成되는 岩으로 알려져 있다(Gast, 1968; Bailey, 1974; Cullers and Graf, 1984). 이러한 알카리斑礫岩의 分別作用의 特徵은 上部맨틀을 構成하는 橄欖岩質岩의 部分熔融 程度에 따른 根源마그마의 化學組成과 同位元素의 特徵 研究에 依해 深度있게 規明되어질 수 있다. 그러나 비록 이와 같은 地球化學的 資料들이 없다 하더라도, 分別作用에 따른 一般的 特徵은 主成分元素와 一部 微量元素 및 稀土類元素들의 分布 傾向에 依해서도 밝혀질 수 있다.

古南山 숨티탄磁鐵鐵床의 母岩인 알카리斑礫岩質岩의 境遇, 野外岩相-一岩石學의 特徵에 依해 細分된 3가지 類型의 岩들은 알카리岩類의 分化樣相(Fig. 6), 集積礦物(輝石)과 充填礦物(斜長石, 일메나이트)의 相對的 量에 따른 元素의 分布(Fig. 7, 8, 9) 및 Ba, Sr과 稀土類元素(Table 4)들의 地球化學的 特徵에 依해서도

뚜렷이 區分되어 진다.

이와 같은 地球化學的 特徵은 마그마의 組成이 粗粒—巨晶質알카리斑礫岩質岩, 細粒—中粒質알카리斑礫岩質岩 및 層狀集積알카리斑礫岩質岩으로 順序에 따라 分別(fractionation) 또는 分化(differentiation)되었음을 알려 준다. 이 順序는 이들 岩石들을 形成시킨 마그마의 分別 또는 分化順序를 意味하며, 이들 마그마가 現在의 位置로 貫入定置한 時期와 반드시 一致하는 것은 아니다. 이 岩石들의 時·空間的 相互關係를 밝혀 줄 露頭를 發見할 수 없었는데, 鑛床의 深部發達狀態를 確因하기 위한 試錐와 坑道開設作業이 現在 進行 중이므로 이러한 문제는 곧 해결되리라 여겨진다.

마그마分化鑛床은 分化의 初期, 中期 또는 末期의 어느 時期에도 形成되어질 수 있는 것으로 알려져 있다. 古南山 舍티탄磁鐵鑛床은 分化末期의 殘留마그마에 의해 形成되어진 것으로 判斷되는 데 그 이유는 다음과 같다.

첫째, 分化後期에 形成된 岩질수록 Fe/Mg+Fe 比가 增加하며 (Table 1), 이는 殘留마그마내의 鐵成分이 富化되어 있었음을 나타낸 것이다. 分別 또는 分化가 進行됨에 따라 일어나는 마그마의 組成變化는 晶出鑛物의 化學組成에도 그대로 反映되어 輝石結晶의 연변부로 갈수록 Fe/Mg+Fe가 增加하고, 鑛體에 隣接된 角閃石의 Fe/Mg+Fe 역시 다른 角閃石들의 것에 비해 월등히 높은 便이다 (Table 2). 角閃石(파개사이트) 形成反應式에서 알 수 있는 것처럼, 이와 같은 反應은 分化의 後期에  $a_{H_2O}$  ( $a$ : activity)와  $a_{Fe-Ti}$  oxides가 局部的으로 높아지게 되어 일어난 初生變質作用(deuteric process)에 의해 이루어지게 되었다. 셋째, 前述한 바처럼, 舍티탄磁鐵鑛床에는 母岩에서 흔히 產出되던 일메나이트가 少量으로 나타나고 티탄磁鐵石으로 主構成되어 있다. 이는 母岩의 殘留마그마에 비해 鑛化溶液內의  $f_{O_2}$  ( $f$ : fugacity)가 보다 높았음을 意味하며,  $f_{O_2}$ 의 상승은  $a_{H_2O}$ 가 보다 높아질 때 가능하다. 따라서 鑛石鑛物과 隨伴鑛物들(角閃石, 葡萄石, 綠泥石, 磷灰石)을 形成시킨 마그마는, 局部的으로 初生變質作用을 일으킨 母岩의 殘留마그마에 비해, 보다 높은  $a_{H_2O}$ ,  $f_{O_2}$ ,  $a_{Fe-Ti}$  oxides 및 磷灰石의 組成을 갖고 있는 流動性이 높은 揮發性 液相이었다. 이와 같은 液相은 珪酸鹽液相과는 自然히 分離되어 不混和液相으로 되어 지게 된다. 不混和液相은 마그마 分化鑛床의 形成에 重要한 原因이 될 수도 있다고 여러 學者에 의해 言及된 바 있다 (Philpotts, 1967; Kolker, 1982).

거의 순수한 舍티탄磁鐵石鑛體들이 脈狀으로 產出되는 경우도 흔히 관찰되는 것으로 보아 完全히 分離된 不

混和液相은 現在의 位置로 貫入되기 이전 이미 地殼內部에서 形成되어진 것으로 여겨진다. 母岩인 粗粒質알카리斑礫岩質岩에는 곳에 따라 Fe-Ti oxides를 15 vol. % 이상 포함하고 있는 岩石도 있는데 이는 完全히 分離되어 지지 않은 不混和液相의 일부가 既 晶出한 輝石과 斜長石들의 사이를 充填한 境遇로서, 흔히 自形 또는 半自形의 磷灰石들로 構成된 細脈이 함께 隨伴된다.

## 謝 辭

1985年度 韓國科學財團의 財政의 支援에 의해 이 研究가 이루어지게 되었음을 感謝드립니다. 또한 太進鑛業(株)의 社長任과 現場所長任의 各별한 協助에 深深한 謝意를 表합니다.

## 參 考 文 獻

- 大韓鑛業振興公社(1981) 韓國의 鑛床. 第8號, p. 22-26.  
 朴魯榮(1975) 古南山地域. 地質鑛床調查研究報告書(未發刊), 國立地質鑛物研究所.  
 슈도카제오(1979) 古南山鐵山豫備調查報告書(未發刊).  
 趙震東·房基烈(1980) 京畿連川 古南山地域 티탄鐵鑛에 對한 磁力探查 研究. 資源開發研究所, 調查研究報告, 第8號.  
 韓甲洙(1974) 古南山鐵山 調查報告書(未發刊). 영풍광업주식회사.  
 Cullers, R.L. and Graf, J.L. (1984) Rare earth elements in igneous rocks of the continental crust: Predominantly basic and ultrabasic rocks. p. 237-274 In: Henderson, P. (ed.) Rare Earth Elements Geochemistry.  
 de la Roche, H. and Leterrier, J. (1973) Transposition du tétraèdre minéralogique de Yoder et Tilley dans un diagramme chimique de classification des roches basaltiques. C.R. Acad. Sci. Paris, Ser. D., v. 276, p. 3115-3118.  
 Bailey, D.K. (1974) Continental rifting and alkaline magmatism in The Alkaline Rocks, ed. by H. Sørensen, 148-159, John Wiley & Sons.  
 Frietsch, R., (1978) On the magmatic origin of the iron ores of the Kiruna type. Econ. Geol., v. 73, p. 478-485.  
 Gast, P.W. (1968) Trace element fractionation and the origin of tholeiitic and alkaline magma types. Geochim. Cosmochim. Acta., v. 32, p. 1057-1086.  
 Greenwood, H.J. (1976) Metamorphism at moderate temperatures and pressure, in "The Evolution of

- the Crystalline Rocks" ed. by D.K. Bailey and R. Macdonald, Academic Press., v. p. 187-260.
- Kolker, A. (1982) Mineralogy and geochemistry of Fe-Ti oxide and apatite deposits and evolution of the liquid immiscibility hypothesis. *Econ. Geol.*, v. 77, p. 1146-1158.
- Phipotts, A.A. (1967) Origin of certain iron titanium oxide and apatite rocks. *Econ. Geol.*, v. 62, p. 303-315.
- Streckeisen, A.L. and LeMaitre, R.W. (1979) A chemical approximation to the modal QAPF classification of the igneous rocks. *Neues Jahrbuch für Mineralogie Abhandlungen*, v. 136, p. 169-206.
- Yoder, H.S., and Tilley, C.E. (1962) Origin of basaltic magmas: An experimental study of natural and synthetic rock systems. *J. Petrol.*, v. 3, p. 342-532.
- Zussman, J., Deer, W.A. and Howie, R.A. (1964) *Rock forming minerals Vol. 1. Chain Silicates*, Longmans.