

## 경상분지내 동광상 관련 진동화강암류에 대한 지화학적 연구

이재영\* · 이진국\*\* · 박법정\* · 이인호\* · 김상욱\*

### A Geochemical Study on Jindong Granites in Relation to Copper Ore Deposits in Gyeongsang Basin

Jae Yeong Lee\*, Jin Kook Lee\*\*, Beob Jeong Park\*,  
In Ho Lee\* and Sang Wook Kim\*

**ABSTRACT:** Jindong Granites are plotted mainly in the region of granodiorite~diorite of the Streckeisen's diagram, while Yucheon-Eonyang Granites and Onjongri Granites in the region of monzo-granite and monzo-granite~granodiorite, respectively. Jindong Granites show a differentiation trend of calc-alkaline magma, and its magmatic evolution from intermediate to acidic rocks, which might form mineralizing solution, is consistent with the general path of the Cretaceous granitic rocks including Yucheon-Eonyang Granites and Onjongri Granites. The differentiation index (D.I.) is 35~80 for Jindong Granites, which is lower than 85~95 of Yucheon-Eonyang Granites and is partly overlapped by 67~84 of Onjongri Granites. There is clear difference in content of some major and trace elements between Jindong Granites of Cu province and the other granitic rocks of Pb-Zn and Mo provinces. Between these metallogenic provinces, Cu content is high in Jindong Granites near Haman-Gunbuk mineralized zone, while Pb and Zn are relatively abundant in Yucheon-Eonyang Granites and Mo in Onjongri Granites. Therefore, Jindong Granites of the Cu province are distinguishable by chemical compositions and their related geochemical characteristics from the other Cretaceous granitic rocks of Pb-Zn and Mo provinces. However, the content of Cu and Cl in biotite is applicable to distinguish a productive phase from a barren phase of Jindong Granites, because Cu and Cl show a trend to be concentrated in biotite of Jindong Granites in the Haman-Gunbuk mineralized zone.

## 서 언

경상분지내에는 경상계의 화산암류와 퇴적암류를 모암으로 하여 후기 백악기-제3기초의 화강암류와 밀접한 관계를 가진 열수충전형 맥상의 금속광상이 많이 발달하고 있으며 드물기는 하나 기성광상도 분포한다. 이들 광상들은 대체로 분지의 동남단에서 북서 내지 북쪽의 내륙방향으로 동, 연-아연, 휘수연이 주 광종이 되는 광상분포를 보이며, 이러한 광상의 분포를 기초로 경상분지내에는 여러 금속 광상구가 설정되었다 (Kim, 1971; 이상만, 윤상규, 1974; 김영기 외, 1976; Sillitoe, 1977). 그리고 광상구와 화강암류간의 성인적 관계를 규명하기 위한 지화학적 연구도 단계적으로 실시되어 화강암류는 광상구의 광종에 따라 화학성분에 현저한 변화가 있음이 알려졌고 (이재영, 1981) 그 후 화학성분의 변화는 광상구에 따라 일정한

함량범위를 보이며, 동 광상구와 연-아연 광상구가 구분될뿐 아니라 (Lee, 1984; 이재영, 1989), 철 광상구 (이재영 외, 1992)와 휘수연 광상구 (이재영, 이진국, 1992)도 타 광종의 광상구로부터 대체로 구분이 가능한 것으로 보고되었다.

그런데 경제성 있는 열수광상이 형성될려면 관련 화강암류에는 광화용액이 풍부히 농집되고 모암에는 이들 광화용액을 충분히 수용할 수 있는 조건이 전제되어야 하므로 앞으로의 연구에서는 상기 지화학적 연구결과를 기초로 생산성 화강암류는 어떠한 특징을 가지며 비생산성 암류로부터의 구분이 가능한 지에 대한 검토가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 광화대와 비광화대를 다 가지고 있는 진동 화강암체를 연구대상으로 선정하여 함안-군북 지역과 동 광상의 발달이 없는 타 지역의 화강암체간에 어떤 지화학적 특징의 차이가 있으며 생산성 화강암체와 비생산성 화강암체의 구분에 어느 원소가 가장 지시적인 지를 비교 검토하였다. 본 연구를 위하여 광화대와 비광화대의 양 지역에서 암석시료를 각각 채취하여 전암분석,

\* 경북대학교 지질학과 (Dept. Geology, Kyungpook Nat. Univ., Taegu 702-701, Korea)

\*\* 경북대학교 환경과학연구소 (Environmental Science Inst. Kyungpook Nat. Univ., Taegu 702-701, Korea)

전후속분석 및 흑운모의 EPMA분석을 실시하였다. 그 결과 전암분석 자료중 주원소와 미량원소의 함량변화는 광상구의 광종 구분에는 매우 효과적이었으나 관련 화강암체가 생산성인지 비생산성인지를 판별하는데는 효과적이지 못한 것으로 확인되었다. 그러나 주원소에 대한 미량원소의 함량비는 다소 지시성이 있으며 흑운모의 ICP분석과 EPMA분석 결과는 진동 화강암류의 어느 부분이 생산성 암상인지를 판별하는데 도움이 되는 것으로 나타났다.

**지질 및 광상개요**

진동지역은 신라층군의 상부에 해당하는 진동층이 발달하며 본 층은 하부로부터 흑색 내지 암회색 세일, 회색색의 역암과 사암, 회색 내지 자색의 세일 및 처트이며 총 층후는 1,500m에 달하고 진동 화강암체 주변에서는 회색류의 처트와 회백색의 알코오즈 사암으로 구성된다(박노영, 지정만, 1963). 그리고 백악기의 진동 화강암체는 진동층을 관입하고 기 자료(최석원, 1986; 이준동, 1987)에 의하면 화강섬록암, 석영 섬록암, 반려암 및 토나라이트로 구분된다.

본 경상분지의 광상구(Kim, 1971; 이상만, 윤상류, 1974)에 의하면 진동 화강암체는 동 광상구내에 소재하고 진동 화강암체와 관련된 광상은 주로 열수충전형의 광맥 광상이며 군북-함안지역에 소재하는 군북광산, 제일군북광산, 함안광산등이 대표적 광산이다(김선억, 1973; 박희인 외, 1985; 최석원, 1986). 본 역의 지질 및 광산 분포는 Fig. 1에 있다.

진동 화강암체와 관련된 광상으로는 금·은, 동, 연·아연 및 철 등의 광구가 등록된 기록이 있고 동 광산들은 많은 생산실적도 있으나(박노영, 지정만, 1963) 현재는 모두 휴폐광 상태에 있으며 대부분의 광산은 붕괴 또는 침수되어 조사가 불가능한 실정이다. 그러나 본 역의 기 광상조사 자료(김선억, 1973; 박희인 외, 1985; 최석원, 1986)에 의하면 군북-함안지역의 동 광상은 진동층의 처트질암과 안산반암내에 발달한 주향이 N15-20E와 N15-20W 또는 드물기는 하나 N20-50E와 N20-50W에 거의 직립하는 단열이나 파쇄대에 배태된 열수충전형 광맥광상이다.

광석은 경상분지내 열수 광맥광상에서 가장 흔히 관찰할 수 있는 황동석-황철석-자유철석의 광물조성(이재영, 1981)을 주로 보이나 광상에 따라 회중석(군북 및 제일군북), 함코발트 유비철석(군북, 함안) 등을 수반하며 군북광산의 유화물에는 금·은이 소량 함유되어 있다(박희인 외,

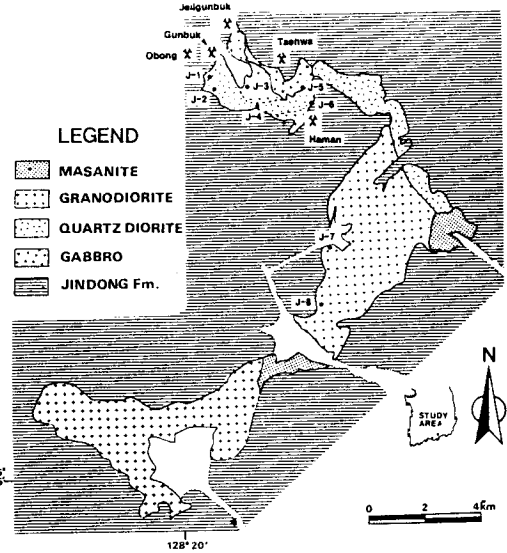


Fig. 1. Map showing geology and sampling points around Jindong granitic rocks of the Jindong area.

1985; 최석원, 1986). 맥석광물로는 석영, 방해석, 녹니석이 주로 산출되나 일부 광산에서는 각섬석(제일군북), 전기석(함안)도 수반된다. 이외에도 본 역에는 광석광물로는 방연석과 섬아연석, 맥석광물로는 양기석, 스캐플라이트, 녹염석 등이 수반된다(박희인 외, 1985).

**진동 화강암류**

**분류 및 모드조성**

진동 화강암체중 의령도폭내 군북-함안지역에 분포하는 소규모의 암체는 최석원(1986)에 의하여 화강섬록암, 석영 섬록암 및 반려암으로 암상이 구분되었으며, 진동 도폭에 분포하는 암체는 이준동(1987)에 의하여 화강섬록암, 석영 섬록암으로 암상이 구분되고 일부는 마산암류로 분류되었다. 그리고 이재영(1989)에 의하면 진동 화강암체는 전체적으로 볼 때 주로 화강섬록암으로 구성되나 석영섬록암과 토나라이트 외에도 화강암의 암상도 가지고 있다.

그런데 본 연구는 진동 화강암체의 생산성 암상과 비생산성 암상을 구분하고 그 지화학적 특징을 규명하는데 주 목적이 있으므로 상기 자료(최석원, 1986; 최석원, 1986; 이준동, 1987)를 비교검토해 본 결과 함안-군북 광산지대(이하 함안-군북지역이라 함)의 생산성 암체는 석영섬록암-화강섬록암에, 그리고 진동지역의 비생산적 암체는 화강섬록암-화강암에 해당한다. 따라서 광화작용은

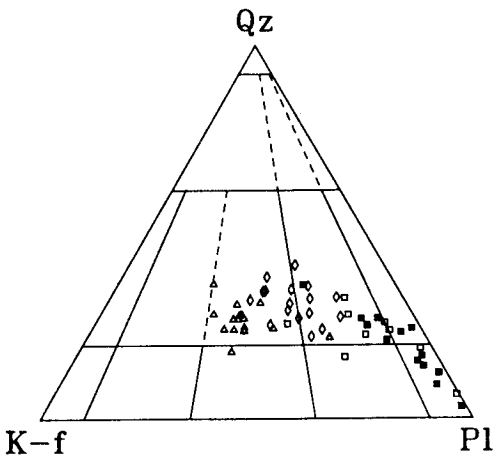


Fig. 2. Classification of the granitic rocks from the study area.

Symbols; solid cubic is Jindong granitic rocks (data from Sin, 1986; Choi, 1986), open cubic is Jindong granitic rocks (data from Lee, 1987; Jin, 1981; Tsusue, 1984), open triangle is Yucheon-Eonyang granite and open diamond is Onjong granites.

진동 화강암체중 석영 섬록암 및 화강섬록암에 관련되는 것으로 생각된다. Fig. 2에는 진동 화강암류의 암상영역을 유천-언양 및 온정리 화강암류와 비교하여 점시하였다.

**노름조성 및 AFM도**

진동 화강암체와 유천-언양 화강암체 및 온정리 화강암체는 경상분지내 백악기 화강암질 암류 (Jin, 1981; 이준동, 1987)와 같은 마그마 분화과정을 보인다. 이들 화강암체들간의 차이점은 진동 화강암체는 주로 반려암에서 섬록암, 화강섬록암 및 화강암까지의 다양한 암상을 가지고 있기 때문에 석영-정장석-사장석의 노름조성도에서도 염기성에서 산성암쪽으로의 넓은 영역을 보이는데 반하여 연-아연 관련 유천-언양 화강암체 (이재영 외, 1990) 및 휘수연 관련 온정리 화강암체 (김수영 외, 1981; 김중욱, 1988; 이재영, 이진국, 1992)는 분화가 더 진행된 산성암 영역쪽에 점시된다 (이인호, 1993). 노름조성도상으로는 함안-군북 광산지대 화대의 생산적 진동화강암체와 타지역의 비생산적 진동 화강암체간에 특징적인 차이점은 없으나 생산성 화강암체는 대체로 분화가 덜 진행되고 장석 함량이 비교적 많은 영역에 점시된다.

AFM도 (Fig. 3)에서 진동 화강암체는 경상분지내 백악기 화강암질 암류와 같은 칼크-알카리 계열의 성분변화를 보이나 알카리 금속의 함량은 연-아연 광상구의 언양-유천

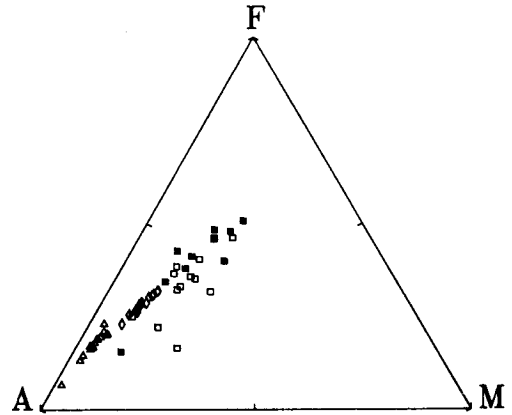


Fig. 3. Variation of A-F-M oxides in relation to types of ore deposits. Symbols are the same as in Fig. 2.

화강암체가 높고 휘수연 광상구의 온정리 화강암체는 이보다 조금 낮으며 본 진동 화강암체는 철, 마그네슘의 함량이 증가된 영역에 점시된다 (이재영, 1989; 이재영 외, 1992). AFM도상에서는 생산성 진동 화강암체와 비생산성 진동 화강암체간에 현저한 차이점은 보이지 않으나 생산성 화강암체는 철, 마그네슘이 많은 영역에 점시되는 경향이 있다.

**암류와 광종과의 관계**

우리나라의 광상생성기와 광상구는 Kim (1971) 및 이상만 (1972)에 의하여 처음으로 설정되었으며, Sillitoe (1977)는 경상분지를 동남단에서 내륙쪽으로 Cu-W 또는 Fe, Pb-Zn, W-Mo의 광상구로 구분하였다. 이재영 (1989) 및 이재영등 (1990, 1992)은 이들 경상분지내 광상구의 백악기 화강암류를 관련암으로 하는 광상을 대상으로 광종과 암류와의 관계를 비교하여 동광상구는 화강암, 화강섬록암 및 석영섬록암에, 연-아연광상은 화강암에, 휘수연 광상구는 화강암 및 화강섬록암에, 그리고 철 광상구는 화강암에 관련되는 경향이 있음을 밝혔다. 본 동광상 관련 진동 화강암체도 주 암상은 화강섬록암 및 석영섬록암에 해당하며 동광상에는 코발트-비소-텅스텐이 수반된다.

**지구화학**

경상분지내 광상구의 주 광종은 전술한 바와 같이 관련 화강암류의 암류 및 화학조성과 밀접한 관계를 가지며 분화지수 (D.I.)는 광종에 따라 일정한 범위를 보이므로 광상구의 광종은 암류만에 연관시키는 것보다는 화학조

성의 변화 및 분화지수에 연관시켜 화강암류와 광종과의 관계를 규명하는 것이 효과적이다. 그리고 이것은 광상구에는 주 광석광물외에 부광물이 수반되고 있으므로 이들과의 관계를 검토하는데도 도움이 될 것으로 생각된다. 암류와의 관계에 있어서도 광종을 단순히 암류만에 비교하기 보다는 조암광물의 량도 고려하여 비교검토하는 것이 훨씬 정량적인 의미를 가지게 된다. 뿐만아니라 단순한 함량변화보다는 함량비 (주원소/주원소, 주원소/미량원소, 미량원소/미량원소)가 훨씬 암류와 광종과의 복잡한 관계를 규명하는데 구체성을 떨 수 있다. 그러나 광상의 광종은 심도에 따른 대상분포의 차이에 의하여도 영향을 받게 되고 광상의 규모나 산상은 모암에 발달한 지질구조와 모암의 물리 및 화학적 성질에 의하여 규제되는 등 여러 가지 복잡한 요인에 의하여 영향을 받게 되므로 이러한 작업은 쉬운 일이 아니다.

광화 관련 화강암류의 생산성/비생산성 여부는 마그마가 분화되고 광화유체가 농집될수록 광화가스와 광화금속이 증가하며 이들 가스와 금속은 마그마분화 말기 (Tauson, 1967)에는 조암광물에도 수용되지만 유체중에 농집됨으로써 광화용액중에 포함되며 광상을 형성한다. 또한 조암광물의 입자간에도 충전되므로써 암석내 함량이 증가한다 (Putman, Burnham, 1963; Garret, 1973). 따라서 광화 관련 심성암의 생산성 여부는 주원소 및 미량원소보다는 광화가스인 불소, 염소 또는 황 등이 복이온 또는 착이온을 형성함으로써 더 지시성을 떨 수 있으며 중국적으로는 해당 광석금속이 직접적인 지시성을 띠게 된다.

## 전암 분석

### 주원소

진동화강암류의 분화지수에 대한 주원소 산화물 함량의 변화는 유천-연양 및 온정리 화강암류와 마찬가지로 경상분지내 백악기-제3기초 화강암류에 유사한 상관관계를 보이는데, 그 양상을 보면  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ 는 정비례,  $\text{CaO}$ ,  $\text{MgO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  및  $\text{P}_2\text{O}_5$ 는 반비례하는 경향이 있다. 한편,  $\text{Na}_2\text{O}$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  및  $\text{FeO}$ 는 진동 화강암류에서 그 함량변화가 불규칙하여 전체적으로는 비례 또는 반비례의 변화양상이 현저하지 않다 (Fig. 4). Fig. 5는 본 연구자들이 최근에 연구 발표한 자료 (이재영, 1989; 이재영, 이진국, 1992; 이인호, 1993)와 기 자료 (Jin, 1981; Tsusue, 1984; 신영식, 1986; 최석원, 1986; 이준동, 1987; 이인호, 1993)를 기초로하여 작도한 것이다.

상기 분화지수와 주원소 함량은 광상구의 광종에 따라 그 범위가 다르며 대체로 일정한 영역을 보인다. 분화지

Table 1. Content<sup>1)</sup> of major oxides. (unit: %)

|                         | Jindong gr.         | Onjeongri gr. | Yucheon gr. |
|-------------------------|---------------------|---------------|-------------|
| $\text{K}_2\text{O}$    | <3                  | >3            | >3.5        |
| $\text{CaO}$            | >3                  | <3            | <2          |
| $\text{MgO}$            | >1.3                | <1.3          | <1          |
| $\text{FeO}$            | >2.5                | <2.5          | <2          |
| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | >15                 | <16           | <14.5       |
| $\text{TiO}_2$          | >0.4                | <0.45         | <0.3        |
| $\text{P}_2\text{O}_5$  | >0.15               | <0.15         | <0.1        |
| DI                      | 45-70 <sup>2)</sup> | 67-84         | 85-95       |

<sup>1)</sup>metallogenic provinces are distinguishable by the content.

<sup>2)</sup>main range of Jindong Granites(35-80).

수의 경우는 진동 화강암류는 35-80 (주범위는 45-70), 온정리 화강암류는 67-84, 유천-연양 화강암류는 85-95로 암류가 대표하는 광상구의 광종에 따라 구분이 가능하다. 그리고 주원소 함량도 광종에 따라 암류간에 서로 현저히 또는 적어도 약간의 차이를 보이기 때문에 구분에 이용될 수 있다. 즉, 진동 화강암류는 온정리 화강암류와 유천-연양 화강암류에 비하여  $\text{K}_2\text{O}$  (<3%)함량은 일정량 낮고  $\text{CaO}$  (>1.3%),  $\text{MgO}$  (>1.3%),  $\text{FeO}$  (<2.5%),  $\text{P}_2\text{O}_5$  (>0.15%) 등의 함량은 일정량 높아 현저히 구분될 수 있으며 온정리 화강암류와 유천-연양 화강암류간에도 주원소 함량에 약간의 차이가 있으므로 구분에 도움이 될 것으로 생각된다 (Table 1). 단, 여기에 언급된 수치는 절대적인 것이 아니고 조사 대상지역과 범위에 따라 조금씩 다를 수 있는 상대적인 량에 지나지 않고 다만 어떤 일정한 함량에 의하여 광상구의 광종이 구분될 수 있는 가능성을 시사하는 것으로 받아 드려야 될 것이다.

### 미량원소

진동, 유천-연양 및 온정리 화강암류는 주원소의 경우와 마찬가지로 미량원소의 함량도 분화지수에 대하여 칼크-알카리 계열의 마그마에서 일반적으로 볼 수 있는 상관관계를 보인다. 즉, Rb는 정비례, Sr, V, Co 및 Sc은 반비례, 그리고 Li, Cr 및 Ni은 그 함량이 불규칙하여 부분적으로 비례하는 양상만을 보인다 (Fig. 5). 이들 미량원소의 함량변화는 관련 주원소 및 조암광물의 함량변화와도 일치되는데, Rb는 K와 K-장석, 그리고 Sr는 Ca와 사장석에 정비례적 관계를 보인다. Fig. 5도 주원소와 같은 기존 미량원소 분석자료를 기초로하여 작도한 것이다.

상기 분화지수에 대한 미량원소 함량은 주원소의 경우처럼 광상구의 광종에 따라 그 범위가 다르며 대체로 일정한 영역을 보이므로 미량원소 함량도 광상구의 광종

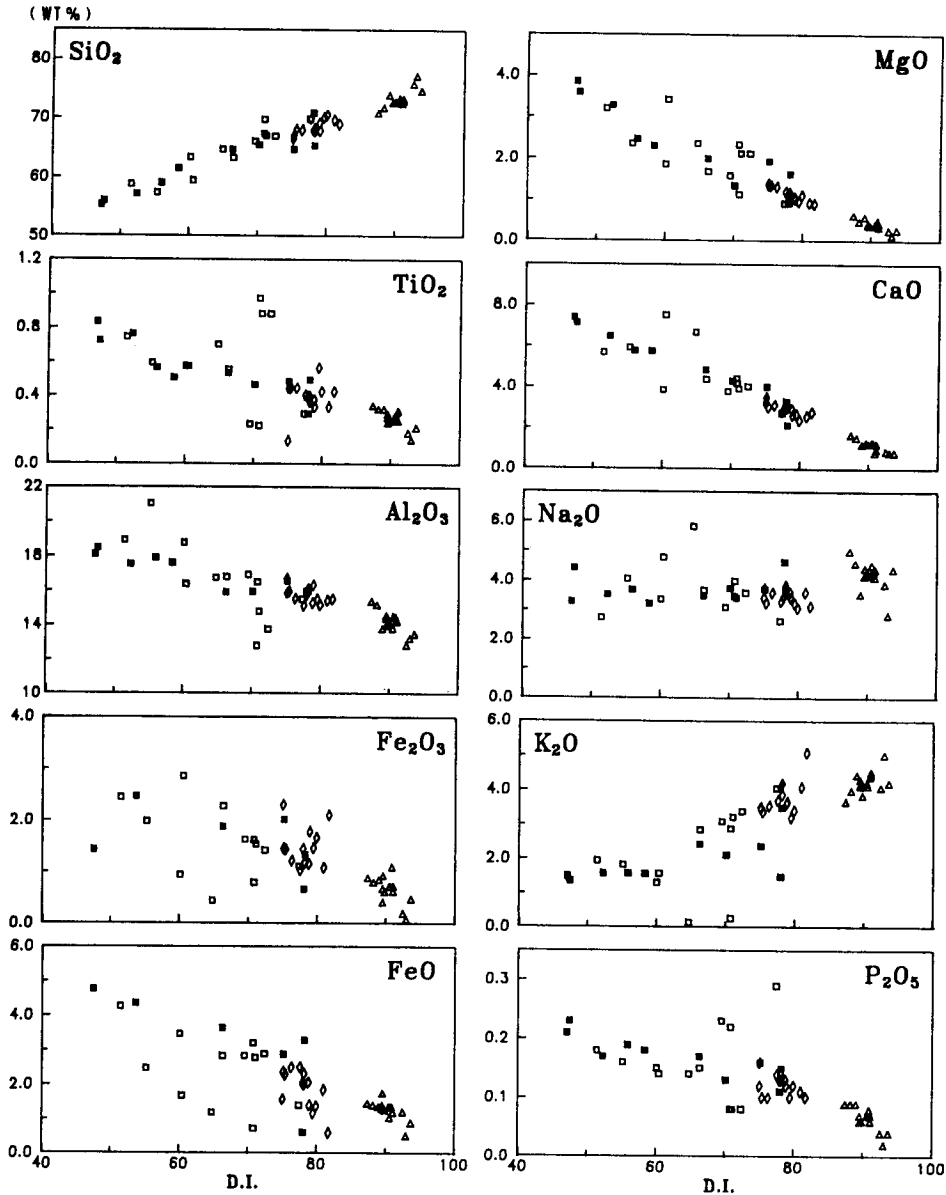


Fig. 4. Variation of major oxides content against D.I. Symbols are the same as in Fig. 2.

구분에 기초자료로서 이용될 수 있다. 즉, 진동 화강암류는 온정리 화강암류 또는 유천-연양 화강암류에 비하여 Rb (<100 ppm) 함량은 일정량 낮고 Sc (>8 ppm), V (>13 ppm), Co (>7 ppm) 및 Cu (>10 ppm)는 일정량 높아 현저히 구분될 수 있다. 그리고 온정리 화강암류와 유천-연양 화강암류간에도 Ni, Co, Sc 및 V 등 미량원소는 함량에 약간의 차이를 보이므로 구분에 도움이 될 것으로 생각된다 (Table 2). 단, 여기에 언급된 수치는 주원소의

경우와 마찬가지로 절대적인 것이 아니고 조사 대상지역과 범위에 따라 조금씩 다를 수 있는 상대적인 양으로 받아 드려야 될 것이다.

미량원소의 함량으로 화강암체의 생산성/비생산성의 구분이 잘 되지는 않으나 생산성 화강암체는 Rb, Ba 및 Li의 함량은 다소 낮고 Sr 등의 함량이 높은 경향을 보인다. 이는 주원소에 대한 치환의 난이정도와 관계되는 것으로 생각된다.

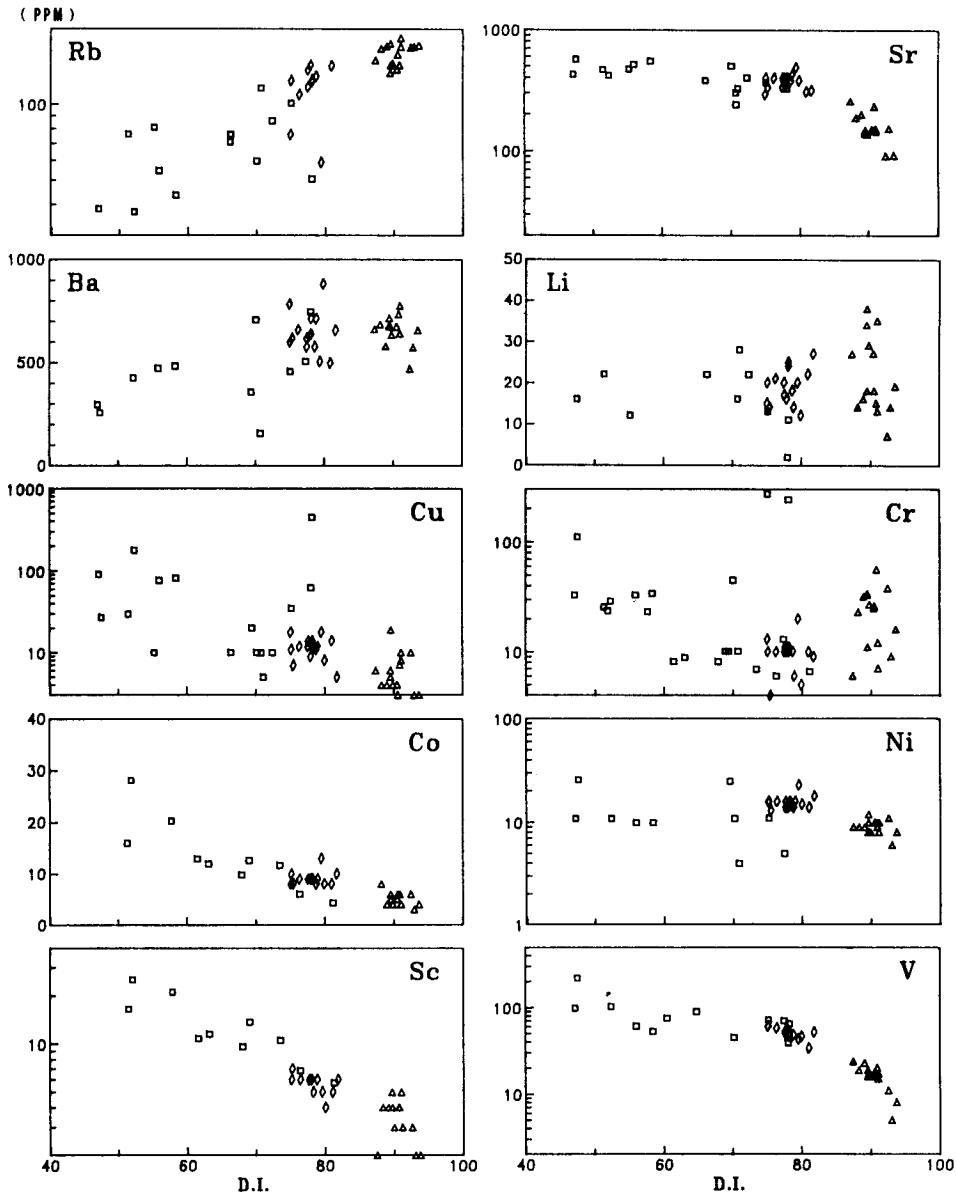


Fig. 5. Variation of trace elements content against D.I. Symbols; open cubic is Jindong granitic rocks, open triangle is Yucheon-Eonyang granite and open diamond is Onjeong granites.

#### 원소간의 관계 및 함량비

상기 분화지수에 대한 주원소 및 미량원소의 함량변화도에서 광종별로 광상구가 현저히 구분되는 원소는 그들 원소간의 함량 및 함량비를 비교검토함으로써 구분이 어려웠던 광상구가 좀 더 현저하게 구분될 수 있다. 그리고 두 원소만의 상관관계보다는 지시성이 강한 세 원소를 상관시키므로써 지시성을 높일 수 있다.

예로 Mg/D.I.도에서는 세 광상구가 구분되고 FeO/D.I. 및  $Fe_2O_3/D.I.$ 도에서는 두 광상구가 구분되었으나 이들 상관관계도에서는 광상구가 현저히 구분되지는 않았다. 그러나 철과 마그네슘 두 원소의 상관관계도인 Fe-Mg도에서는 세 광상구가 구분되며 세원소의 상관관계도인 K-Na-Ca도에서는 세 광상구가 현저히 구분된다 (이인호, 1993). 그리고 Rb-K도에서 세 광상구가 구분되고 Sr-Ca

Table 2. Content<sup>1)</sup> of trace elements in granites. (ppm)

|    | Jindong gr. | Onjeongri gr. | Yucheon gr. |
|----|-------------|---------------|-------------|
| Rb | <100        | >100          | >100        |
| Sr | >200        | >250          | <250        |
| Sc | >8          | <8, >5        | <5          |
| V  | >13         | >12           | <11         |
| Cu | >10         | -             | <10         |
| Co | >7          | >7            | <7          |
| Ni | -           | >10           | <10         |

<sup>1)</sup> metallogenic provinces are distinguishable by the content

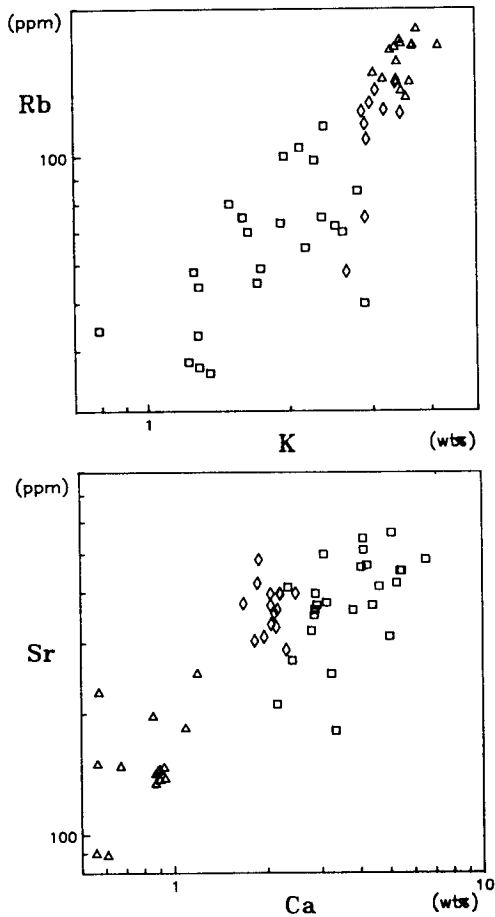


Fig. 6. Variation of Rb against K content and Sr against Ca content. Symbols are the same as in Fig. 5.

도에서 타 광상구에 대하여 동 광상구가 현저히 구분되고 연-아연과 휘수연 광상구도 서로 구분된다 (Fig. 6). 뿐만 아니라 K/Rb도에서는 광종별 광상구가 잘 구분되지 않았으나 Ca/Sr도, Rb/Sr도 및 Mg/Li도에서는 동 광상구가

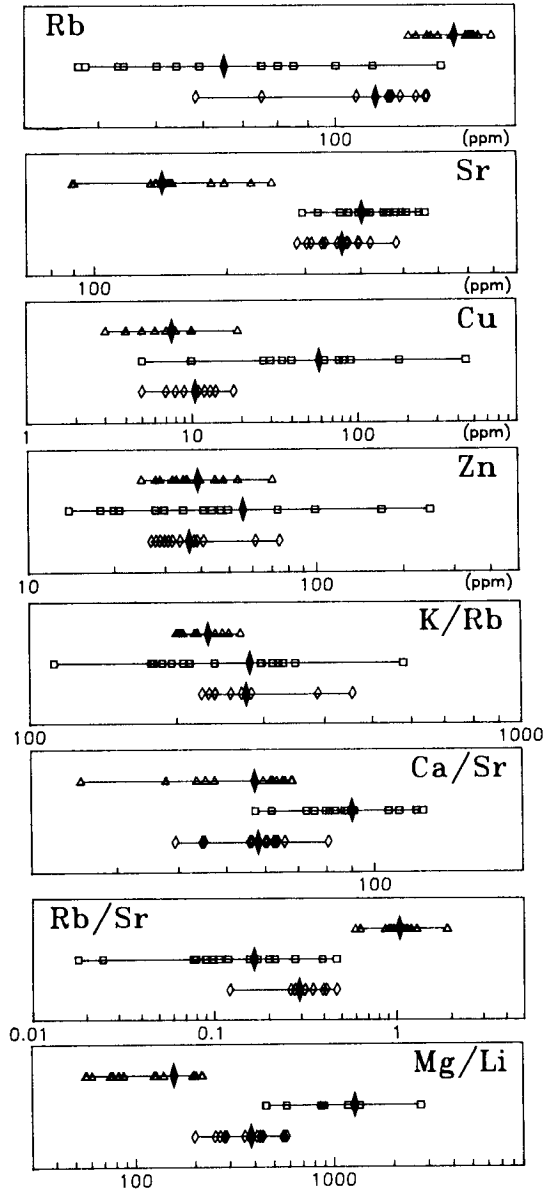


Fig. 7. Rb, Sr, Cu, Zn, K/Rb, Ca/Sr, Rb/Sr and Mg/Li contents for the granitic rocks in the study area. Symbols are the same as those used in Fig. 5., and solid diamond is average contents of each element.

연-아연 광상구에 대하여 현저히 구분되며 연-아연 광상구와 휘수연 광상구도 상기 Rb/Sr도와 Mg/Li도에서 구분된다 (Fig. 7).

그러나 함량비간의 관계는 상기 상관관계도에서 보다 오히려 광상구간의 구분이 어려워지는 경향이 있다. 예로 Rb-K도와 Sr-Ca도에서는 광상구간 구분이 잘 되었으나

Table 3. Content of Cu, Pb and Zn in biotite fractions of granitic rocks.

(unit: ppm, (:): av.)

| rock type           | No.    | Cu      | Pb     | Zn      | zone                               | province |
|---------------------|--------|---------|--------|---------|------------------------------------|----------|
| Jindong<br>Granites | Gd.    | 131-215 | 4-16   | 102-219 | mineralized zone<br>(Haman-Gunbuk) | Cu       |
|                     | av.    | (173)   | (10)   | (161)   |                                    |          |
|                     | Qd.    | 67-142  | 4-34   | 108-185 | barren zone<br>Pyonamri-Bongogri)  |          |
|                     | av.    | (93)    | (15)   | (157)   |                                    |          |
| Gd.                 | 71-141 | 3-10    | 81-173 |         |                                    |          |
| av.                 | (107)  | (7)     | (127)  |         |                                    |          |
| Yucheon-<br>Eonyang | Gr.    | 8-39    | 17-57  | 258-561 | barren zone                        | Pb-Zn    |
| Onjeongri           | Gr.    | 8-13    | 4-20   | 198-411 | mineralized zone                   | Mo       |
|                     | av.    | (11)    | (12)   | (279)   |                                    |          |

K/Rb에 대한 Ca/Sr도 또는 K/Rb에 대한 Rb/Sr도에서는 광상구간의 구분이 잘 되지않는 경향이 있다 (이인호, 1993). 함량비에 의한 광상구의 구분은 각 원소의 지시성과 밀접한 관계가 있다.

이상 분화지수와 주원소 및 미량원소의 함량변화의 양상은 경상분지내 광상구의 광종을 구분하는데는 유용한 지시원소가 될 수 있으나 각 광상구내 암류들의 생산성/비생산성을 구분하는데는 효과적이지 못하므로 다른 방법에 의한 접근이 검토되어야 한다.

#### 흑운모 분석

일반적으로 광화 관련 화강암체는 분화가 많이 진행될수록 광화가스과 광화용액이 농집되고 이것이 분화과정에서 조암광물중에도 많이 수용되므로 (Slawson, Nackowski, 1959; Bradshaw, 1967) 본 연구에서는 광산이 많이 분포하는 함안-군북 광산지대 (생산성)와 광산이 없는 불모대 (비생산성)의 진동 화강암체를 대상으로 암석시료를 채취하고 (Fig. 1 참조) 흑운모중 동, 연, 아연 및 염소를 ICP 및 EPMA로 분석하고 비교검토했다. 전암은 후생적인 광화용액에 의하여 입간 공간이 급속으로 충전되고 오염될 수 있으므로 암석중 지시원소에 의한 지화학 탐사에서는 전암대신에 조암광물이 많이 이용된다.

#### ICP 분석

일반적으로 동, 연 및 아연의 함량은 전암에서 보다 흑운모에서 높는데 (Tauson, Kravchenko, 1956; Parry, Nackowski, 1963) 본 연구에서도 흑운모중 이들 원소의 함량은 전암보다 현저히 높다. 예로 동은 동 광상구의 진동 화강암체의 화강섬록암 (173 ppm)에서 가장 높고 반면 휘수연 광상구의 온정리 화강암체 (11 ppm)에서 가장 낮으며 연과 아연은 유천-연양 화강암체 (30 ppm, 396 ppm)

Table 4. Content of Cl and Mg in biotite of Jindong Granites.

(unit: Cl (ppm), MgO (wt.%))

| sample Nos. | pt. Nos. | Cl     | MgO     | remarks          |
|-------------|----------|--------|---------|------------------|
| Qd-1        | 1        | 0.75   | 10.28   | mineralized zone |
|             | 2        | 0.75   | 10.23   |                  |
|             | 3        | 0.64   | 10.08   |                  |
| Qd-2        | 1        | 0.48   | 11.68   | barren zone      |
|             | 2        | 0.98   | 11.10   |                  |
|             | 3        | 0.64   | 11.70   |                  |
|             | (av.)    | (0.68) | (10.85) |                  |
| Gd-3        | 1        | 0.39   | 12.25   | barren zone      |
|             | 2        | 0.39   | 12.47   |                  |
|             | 3        | 0.37   | 12.18   |                  |
| Gd-4        | 1        | 0.47   | 11.95   | barren zone      |
|             | 2        | 0.47   | 11.82   |                  |
|             | (av.)    | (0.43) | (12.85) |                  |

Qd; quartz diorite and Gd; granodiorite.

에서 가장 높고 반면 진동 화강암체 (10 ppm, 160 ppm)에서 가장 낮다 (Table 3). 이는 광물은 다르나 연 광상지역 화성암의 장석중 연의 함량은 동 광상구의 지역에서 보다 높고 (Cuturic et al., 1968), 연 광산지역에 있는 석영 문지니암은 카리장석중 연의 함량이 높다 (Slawson and Nackowski, 1959)는 사실과 일치한다. 따라서 전흑운모의 동, 연 및 아연의 함량은 전암보다 지시성이 높은 것으로 판단된다.

진동화강암체는 지질도상에서 보면 화강섬록암과 석영섬록암의 두 암상이 광화 관련 암상으로 보이나 석영섬록암은 군북-함안광산지대에만 국한하여 분포하고 화강섬록암은 진동화강암체의 대표적 암상으로 광화대인 군북-함안지역 밖에도 넓게 분포하고 있으므로 화강섬록암을 대상으로 조사하였다. 광화대에는 화강섬록암의 연변부 암상으로 보이는 반려암도 분포하나 동 함량은 70 ppm 밖에 되지 않고 화성암류의 일반 동 함량은 화강암은 12



ppm, 염기성암은 72 ppm인 것을 감안하면 반려암은 동광화작용과는 무관한 암상으로 사려되므로 검토대상에서 제외하였다. 화강섬록암의 동 함량은 광화대에서 173 ppm, 불모대에서 107 ppm으로 광화대가 현저히 높다 (Table 3 참조). 편이상 함안-군북광산지대의 지역을 불모대로 구분하였으나 본 역의 동 함량 (107 ppm)도 타 광상구의 유천-언양 화강암체 (18 ppm)와 온정리화강암체 (11 ppm)에 비하면 월등 높다.

흑운모중 금속 원소 함량이 생산성/비생산성의 구분에 얼마나 지시성이 있는 지를 확인하기 위하여 연 및 아연의 함량을 비교하여 보면 연-아연 광상구의 유천-언양 화강암체 (30 ppm, 396 ppm)가 타 광상구의 화강암체보다 연은 3배, 아연은 1.5~2.5배 정도로 높게 나타나는 것으로 보아 지시성이 있는 것으로 판단된다.

### 전자현미분석 (EPMA)

진동 화강암류의 흑운모중 염소 함량은 함안-군북광산 지대의 석영섬록암 (0.68 ppm)이 불모대의 화강섬록암 (0.43 ppm)보다 높고 (Table 4), 일반적으로 화강섬록암이 석영섬록암보다 분화가 더 진행된 암상이기때문에 염소가 많이 농축 되었을 가능성이 높음에도 불구하고 오히려 광화대쪽의 석영 섬록암이 염소 함량이 높다. 이는 흑운모중 염소함량은 진동 화강암체의 어느 암상이 생산성/비생산성인 지를 판단하는데 지시성이 있음을 시사한다. 그러나 염소의 이러한 역할에 대하여 아직도 많은 찬반의 논란 (Johns, Huang, 1967; Kesler et al., 1975c)이 있는 것은 사실이다. 한편, 경상분지내 타 광상구의 화강암류인 유천-언양화강암체 (0.29 ppm) 및 온정리화강암체 (0.19 ppm)에 비하여 동 광상구의 진동 화강암체가 흑운모중 염소 함량이 높은 것을 고려할 때 흑운모중 염소의 함량은 화강암체의 생산성/비생산성의 구분에 다소 도움이 될 것으로 생각된다.

그리고 흑운모의 주 구성 성분중 MgO 함량은 불모대의 화강섬록암에서보다 광화대의 석영섬록암 (시료번호 Qd-1)에서 현저히 낮는데 이는 전암의 일반적 함량변화와 현저히 반대되며 광화작용을 받을 때 감소되었을 가능성도 있으므로 흑운모중 염소함량으로서 생산성/비생산성을 검토할 때는 염소와 마그네슘의 관계에도 유의해 볼 필요가 있다.

### 결 언

화강암류중 주/미량원소의 함량은 동 광상구의 진동

화강암체를 연-아연 광상구의 유천-언양 화강암체, 휘수연 광상구의 온정리 화강암체로부터 구분하는데 도움이 되며 주원소 및 미량원소만의 함량변화보다는 주원소-주원소, 주원소-미량원소, 미량원소-미량원소의 관계 및 원소간의 함량비를 활용함으로써 광상구의 광종 구분에 지시성을 높일 수 있다.

분화지수도 지시성이 높으며, 주원소에서는 K, Ca, Mg 등 미량원소에서는 Rb, Sr 등 원소간 관계에서는 K-Rb, Ca-Sr 등 원소의 함량비에서는 역시 K/Rb, Ca/Sr 등이 지시성이 높고 금속 원소로는 광상구의 주광종인 Cu, Pb, Zn, Mo가 전암 및 전흑운모 분석에서 그 함량이 높아 종국적인 지시원소가 된다. 그리고 함안-군북지역 진동화강암체의 생산성/비생산성 암상의 구분에는 흑운모중 염소 함량이 도움이 될 것으로 사료된다.

그런데 동 광상구내 동 광상들은 광상마다 수반광물이 다르고 수반광물에 따라 화강암류의 지화학적 특징에 차이가 있을 것으로 기대되므로 이에 대한 연구가 필요하다. 즉, 현재까지의 연구는 주로 화강암류의 지화학적 특징에 의하여 동, 연-아연, 휘수연 및 철의 광상구 및 광상을 구분하는데 주력하였고 수반광물에 관련된 화강암류의 지화학적 특징은 연구되지 않았다. 따라서 앞으로의 연구에서는 경상분지내 동 광상이 수반하는 광물에 따라 관련 화강암류의 지화학적 특징에 어떠한 변화가 있는 지를 밝혀 볼 필요가 있다.

### 사 사

본 연구는 전략광물자원 연구센터 및 경북대학교 기초과학연구소의 교육부 학술조성연구비 (BSRI-92)로 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

### 참고문헌

- 김선억 (1973) 경남지구 동 광상의 종합개발에 관한 조사연구. 광산지질, 6권, p. 133-170.  
 김수영 (1981) 울진군 평해면 소보광산 및 부근 화강섬록암의 열수변질 및 휘수연광화. 연세대학교 석사학위논문, p. 61.  
 김영기, 이재영, 김상욱, 고인석 (1976) 경상북도 일원에 부존하는 금속지하자원의 지질광상학적 연구. 광산지질, 9권, p. 143-156.  
 김중욱 (1988) 경상분지 북동부 영덕-온정지역 화강암질암류의 암석학 및 Fission Tracks년대. 경북대학교 박사학위논문, p. 137.  
 박노영, 지정만 (1963) 진동도폭 및 설명서. 국립지질조사소.  
 박희인, 최석원, 장호완, 채동현 (1985) 경남 함안-군북지역의 동 광화작용에 관한 연구. 광산지질, 8권, p. 107-124.  
 신영식 (1986) 군북지역 진동 화강암류의 화학원소와 광화작용과의 관계, 경북대학교 석사학위논문, p. 39.

- 이상만 (1972) 경상분지내의 화강암류와 광화작용. 순치무교수 송수기념 논문, p. 195-219.
- 이상만, 윤상규 (1974) 우리나라의 화성활동과 광화작용에 관한 연관성 연구. 과학기술처, R-74-48.
- 이인호 (1993) 울산 화강암류중 주/미량 원소와 광화작용의 관계에 대한 지화학적 연구. 경북대학교 석사학위논문, p. 82.
- 이재영 (1981) 경상분지내 유화광상의 지화학적 연구-화강암류와 광화작용-. 경북대학교 논문집 32권, p. 289-313.
- 이재영 (1989) 진동 화강암 및 유천-연양 화강암의 광화작용에 관한 지화학적 연구. 광산지질, 22권, p. 21-34.
- 이재영, 김상욱, 김영기, 고인석, 장태우 (1990) 유천분지내 화강암류와 광상구의 관계에 대한 지화학적 연구. 광산지질, 23권, p. 143-159.
- 이재영, 김상욱, 김영기 (1992) 경상분지내 철광상 관련 울산 화강암에 대한 지화학적 연구. 광산지질, 25권, p. 133-143.
- 이재영, 이진국 (1992) 평해지역 온정화강암 중 미량원소와 광화작용의 관계에 대한 지화학적 연구. 광산지질, 25권, p. 245-258.
- 이준동 (1987) 경남 진동-마산일대에 분포하는 화강암류와 접촉변성작용에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문, p. 115.
- 이진국 (1993) 경상분지 백악기 화강암류의 광화작용 및 관련된 폐금속광산에 대한 환경지화학적 연구. 경북대학교 박사학위논문, p. 200.
- 최석원 (1986) 함안지역 동 광상의 성인에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문, p. 116.
- Bradshaw, P. M. D. (1967) Distribution of selected elements in feldspar, biotite and muscovite from British granites in relation to mineralization. *Inst. Min. Metall., Trans. Sect. B*, v. 76, p. 137-148.
- Cuturic, N., Kafol, N. and Karamata, S (1968) Lead contents in K feldspars of young igneous rocks of the Dinarides and neighboring areas. In: L. H. Ahrens (Ed.), *Origin and distribution of the elements*. Pergamon Press, London, p. 739-747.
- Garret, R. G. (1973) Regional geochemical study of Cretaceous acidic rocks in the Northern Canadian Cordillera as a tool for broad mineral exploration. In: M. J. Jones (Ed.), *Geochemical Exploraion 1972*. *Inst. Min. Metall.*, London, p. 203-219.
- Jin, M. S. (1981) Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in South Korea. Seoul Nat. Univ., Ph.D. thesis.
- Johns, W. D. and Huang, W. H. (1967) Distribution of chlorine in terrestrial rocks. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 31, p. 35-49.
- Kesler, S. E., Issigonis, M. J., Brownlow, A. H., et al. (1975) Geochemistry of biotites from mineralized and barren intrusive system. *Econ. Geol.*, v. 70, p. 559-567.
- Kim, O. J. (1971) Metallogenic epochs and provinces of South Korea. *J. Geol. Soc. Kor.*, v. 7, p. 37-59.
- Lee, J. Y. (1984) Geochemistry on major and trace elements in the granitic rocks from the Gyeongsang basin in relation to mineralization. *J. Geol. Soc. Kor.*, v. 20, p. 326-344.
- Lee, J. Y. (1987) A geochemical study on trace elements in the granitic rocks in relation to mineralization in the limestone area of the Taebaegsan basin. *J. Kor. Inst. Min. Geol.*, v. 20, p. 179-196.
- Parry, W. T. and Nackowski, M. P. (1963) Copper, lead, and zinc in biotites from Basin and Range quartz monzonites. *Econ. Geol.*, v. 58, p. 1126-1144.
- Putman, G. W. and Burnham, C. W. (1963) Trace elements in igneous rocks, northwestern and central Arozona. *Geochim. Cosmochim. Acta*, v. 27, p. 53-106.
- Sillitoe, R. H. (1977) Metallogeny on an Andean type continental margin in South Korea. Implications for opening of the Japan Sea. Maurice Ewing Series 1. *Am. Geophys. Union*, p. 303-310.
- Slawson, W. F. and Nackowski, M. P. (1959) Trace lead in potash feldspars associated with ore deposits. *Econ. Geol.*, v. 54, p. 1543-1555.
- Stollery, G., Borcsik, M. and Holland, H. D. (1971) Chlorine in intrusives: a possible prospecting tool. *Econ. Geol.*, v. 66, p. 361-367.
- Tauson, L. V. (1967) Geochemistry of rare elements in igneous rocks and metallogenic specialization of magma. In: A. P. Vinogradov (Ed.), *Chemistry of Earth's crust*, v. 2. Israel Program for Scientific Translation, Jerusalem, p. 248-259.
- Tauson, L. V. and Kravchenko, L. A. (1956) Characteristics of lead and zinc distribution in minerals of the Caledonian granitoids of the Susamyr batholith in the central Tian-Shan. *Geochemistry*, v. 1, p. 78-88.