

진동화강암 및 유천-언양화강암의 광화작용에 관한 지화학적 연구

이재영*

A Geochemical Study on the Chindong and Yucheon - Eonyang Granites in Relation to Mineralization

Lee, Jae Yeong

Abstract : Chindong granites are classified into granodiorite, tonalite and quartz-diorite, and Yucheon - Eonyang granites into monzo-granite by the Streckeisen diagram.

These granitic rocks of Cretaceous age show trend of calc-alkaline magma, and the magmatic evolution from basic to acidic rocks is consistent with the general crystallization path of the Cretaceous granitic rocks in the Gyeongsang basin.

On the basis of petrological and petrochemical data, variation of major elements (K, Na, Ca, Mg) and trace elements (Rb, Sr, Ba) including ore metals (Cu, Pb, Zn) in the Cretaceous granitic rocks were studied in detail in order to investigate geochemical difference of the granitic rocks in relation to mineralization between Cu province and Pb-Zn province in the Gyeongsang basin.

There is clear difference in content of the major elements between Chindong granites and Yucheon-Eonyang granites : Chindong granites have low content of K (1.62%) and Na (2.53%), and high content of Ca (3.75%) and Mg (1.42%) whereas Yucheon-Eonyang granites have high content of K (3.56-3.60%), and low content of Ca (0.96-0.26%) and Mg (0.26-0.21%).

There is also clear difference in content of trace lithophile elements between Chindong granites and Yucheon-Eonyang granites : Chindong granites have low content of Rb (86ppm) and Ba (330ppm), and high content of Sr (405ppm) while Yucheon-Eonyang granites have high content of Rb (144-161ppm) and Ba (983-1030ppm), and low content of Sr (157-136ppm).

The lithophile trace elements of Rb and Sr vary with close relationship to major elements of K and Ca, respectively.

Therefore, Chindong granites are much easily distinguished from Yucheon-Eonyang granites by using relationship of K with Rb and Ca with Sr : $K < 3\%$, $Rb < 100\text{ppm}$, $Ca > 2\%$ and $Sr > 200\text{ppm}$ for Chindong granites, and $K > 3\%$, $Rb > 100\text{ppm}$, $Ca < 2\%$, and $Sr < 200\text{ppm}$ for Yucheon-Eonyang granites.

There is not clear difference in content of trace ore metals between Chindong granites and Yucheon-Eonyang granites : Chindong granites of the Cu province have low Cu content

* 경북대학교 지질학과(Dept. of geology, Kyungpook Nat'l. Univ., Daegu 702-701, Korea)

(15ppm) which is nearly equal to 13-14ppm of Yucheon-Eonyang granites of the Pb-Zn province, and Yucheon-Eonyang granites have Pb content (29-27ppm) which is rather lower than 37ppm of Chindong granites. But Cu is anomalously high in the mineralized part of Chindong granites in Gunbuk-Haman area, and Zn is apparently higher in Yucheon-Eonyang granites (51-37ppm) than in Chindong granites (29ppm). K/Pb ratio is also clearly distinguishable between Chindong granites (<850) and Yucheon-Eonyang granites (>850).

Thus, it may be possible to apply geochemical difference of the granites to distinguish whether a Cretaceous granitic body is Cu related rock or Pb-Zn related rock, and whether it belongs to Cu province or Pb-Zn province in the Gyeongsang basin.

서론

경상분지에는 경상계의 화산암류와 퇴적암류를 모았으로 하는 열수충진형 내지는 각력충진형 열수광상이 많이 발달하고 있으며 드물기는 하나 기성광상도 분포한다(이상만, 1972). 이들 광상들의 대부분은 백악기-제삼기 초의 진동화강암류와 불국사화강암류 및 마산암에 의하여 광화작용을 받았으며(이상만, 1972; Jin, *et al.*, 1981; Lee, 1981; Tsusue, 1981) 대체로 분지내 동남단에서 북서방향으로 동, 연-아연 및 중석-황수연광상의 대상분포를 보이고 있다(이상만·윤상규, 1974; Kim, 1971; Sillitoe, 1977). 광종별로 국내 총 광상수에 대한 본 화강암질암과 관련된 광상의 수를 보면 동광상은 약 90%, 연-아연광상은 70% 이상, 그리고 중석-황수연광상은 30% 이상을 점한다. 이들 동, 연-아연광상들의 대부분은 경상분지내에 분포하며 과거 국내의 주요 금속광상으로서 개발되어왔다(김선영, 1973).

따라서 본 연구에서는 이들 금속광상들의 재개발시 탐광에 필요한 지화학적 자료를 마련하기 위하여 분지내 동광상구에서는 진동화강암체를, 연-아연광상구에서는 유천 및 연양화강암체를 각각 선정하여 각 암체의 지구화학적 특징을 연구하고 동광상구와 연-아연광상구의 화강암질암류간에 어떠한 지화학적 특징과 차이가 있는지를 규명하고 이들 특징과 차이가 동광상구와 연-아연광상구로 구분하는데 도움이 될 수 있는 지를 과거의 유사한 조사자료(Lee, 1984; Jin, 1985)와 비교하면서 그 가능성을 연구하였다. 그리고 본 연구에서는 가급적 많은 자료를 기초로 하기 위하여 과거의 본역의 암석학 및 암석화학적 자료들(Jin, 1981; Hong, 1985; 이준동, 1987)을 활용 하였으며 보완에 필요한 시료는 현지 지질답사를 겸하여 진동 14

개, 유천 및 연양 21개로 총 35개를 더 채취하고 경화관찰 및 화학분석을 실시하였다. 화학분석은 동경학에대 오카무라 교수의 협조로 이루어졌다. 과거자료에서 활용된 분석치의 암석시료수는 원소에 따라 불확실한 값을 제거하여 평균치를 계산하였으므로 일정하지는 않으나 대충 진동 25개, 유천 20개, 연양 25개가 된다.

이 논문은 1987년도 문교부 자유공모과제 학술연구비에 의하여 연구되었음을 밝히고 이에 감사드립니다.

지질 및 광상개요

진동지역은 신라층군의 상부에 해당하는 진동층이 발달하며 본 층은 하부로 부터 흑색 내지 암회색 셰일, 회색의 역암과 사암, 회색 내지 자색의 셰일 및 처트이며 총 층후는 1,500m에 달하고 진동화강암체 주변에서는 회색류의 처트와 회백색의 알코오르사암으로 구성된다(박노영·지정만, 1963). 그리고 백악기의 진동화강암체는 본 진동층을 관입하고 있으며 모드조성에 의하면 화강섬록암, 석영섬록암 및 흑운모화강암(마산암류)으로 구분된다(이준동, 1987).

유천 및 연양지역은 신라층군의 하부층과 단층절촉하고 있는 유천층군이 발달하며 본 층은 주사산안산암질암류에 해당하는 안산암류, 응회암류와 운문사유문암질암류에 해당하는 유문암질암류등으로 구성된다(김상욱, 1982). 백악기의 유천 및 연양화강암체는 본 유천층군을 관입하고 있으며 모드조성에 의하면 화강암과 석영몬조니암으로 구분된다(이윤종, 1980; Hong, 1985).

본 역의 일반지질과 위치는 이미 잘 알려진 것이므로 간단히 표시하였다(Fig.1).

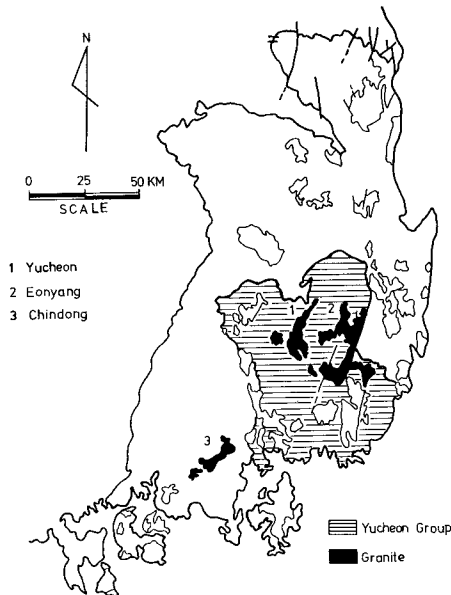


Fig. 1. Map showing general geology and location of studied area.

광상개요

경상분지의 광상구(Kim, 1971; 이상만·윤상규, 1974)에 의하면 진동화강암체는 동광상구에 소재하고 유천 및 언양화강암체는 연-아연 광상구에 소재한다. 그러나 후자는 일부가 동광상구와도 중첩한다.

진동화강암체와 관련된 광상은 주로 열수충진형의 광맥 광상이며 군북-함안지역에 소재하는 군북광산, 제일군북광산, 함안광산등이 대표적 광산이다(김선억, 1973; 박희인의, 1985; 최원석, 1986). 그리고 유천 및 언양화강암체와 관련된 광상도 열수충진형의 광맥광상이나 기존 광산은 매우 드물다. 대표적 광산으로는 천일광산과 산내광산등이 있다.

1) 군북-함안지역 광상

진동화강암체와 관련된 광상으로는 금-은, 동, 연-아연 및 철등의 광구가 등록된 기록이 있고, 동광은 생산 실적도 있으나(박노영·지정만, 1963) 현재는 모두 휴광중에 있으며 대부분의 광산은 붕괴 또는 침수로 조사가 될 수 없는 상태에 있다. 그러나 본 역의 전광상조사자료(김선억, 1973; 박희인의, 1985; 최원석, 1986)에 의하면 군북-함안지역의 동광상은 진동층의 처-트질암과 안산반암내에 발달한 주향이 N15~20°E와 N15~20°W 또는 드물기는

하나 N20~50°E와 N20~50°W에 거의 직립하는 단열이나 파쇄대에 배태된 열수충진형 광맥광산이다.

광석은 경상분지내 열수광맥광상에서 가장 흔히 관찰할 수 있는 황동석-황철석-자류철석의 광물조성(이재영, 1981)을 주로 보이나 광산에 따라 회중석(군북 및 제일군북)함Co유비철석(군북, 함안)등을 수반하며 군북광산의 유화물에는 금-은이 소량 함유되어 있다(박희인의, 1985; 최원석, 1986).

맥석광물로는 석영, 방해석, 녹리석이 주로 산출되나 일부 광산에서는 각섬석(제일군북), 전기석(함안)도 수반된다.

박희인의(1985)에 의하면 본역 전체를 통하여 상기한 광석광물외에도 방연석과 섬아연석이 수반되며 맥석광물로는 양기석, 스키펴라이트, 녹염석등도 수반된다.

2) 유천-언양지역 광상

유천 및 언양화강암체와 관련된 광상으로는 천일동광상과 산내중석광상외에는 알려진 것이 거의 없고 이들의 광산도 현재는 휴업상태에 있다. 그러나 전자료에 의하면 천일동광상(서정울, 1986)은 유천화강암체내에 발달한 절리와 열극을 따라 배태된 열수충진형광맥광상이며 절리방향은 주향 NS~N60°W에 거의 직립한 것과 주향 EW~N20°E에 약 60~70°로 남북 양방향으로 경사진 것등 다양하다.

광석은 군북-함안지역의 광상과 마찬가지로 경상분지내 열수광맥광상에서 흔히 관찰할 수 있는 황동석-황철석-자류철석의 광물조성을 주로 보이나 황동석은 곳에 따라 풍화작용을 받아 적동석, 공작석 및 남동석화 되어있고 Ag을 함유하는 유동석과 회중석도 수반되며 기타 유비철석, 자철석등이 수반된다. 방연석과 섬아연석은 항내에서는 확인되지 않으나 시추코아에서는 관찰되고 휘수연석은 방연석과 공존하여 산출된다.

코발트는 유비철석외에 황동석, 자류철석 및 산화동에 포함되어 있다. 맥석광물은 주로 석영으로 되어 있으나 전기석도 수반되며 전기석에 수반된 회중석은 결정성장이 좋다. 광상의 생성온도와 관련된 석영의 균질화 온도는 약 276°C로 측정되었다. 산내중석광상(Fletcher, 1976)은 주향이 N65°W, 85°SW의 열극을 따라 배태된 열수충진형 열수광맥광상이다. 주광석광물은 주로 흑중석과 휘수연석으로 구성되며 흑중석은 일부 회중석으로 교대되어 있다. 기타 황철석, 자철석, 경철석이 수반된다. 맥석광물은 주로 석영으로 이루어져 있으며 주변의 모암은 열

수변질되어 견운모화 되어 있다.

화강암질암류의 광물 및 화학조성

모드조성

모드조성도(Streckeisen, 1967)에 의하면 진동화강암체는 주로 화강섬록암으로 구성되나 토나라이트와 석영섬록암 외에도 화강암(마산암류)의 암상도 가지고 있으며(이준동, 1987) 유천 및 언양화강암체는 화강암의 암상을 가지는 것(Hong, 1985)으로 알려져 있다.

본 연구에서는 화강암류의 화학조성과 광화작용과의 관계를 구명하는데 그 목적이 있으므로 상기 암석학적 자료를 보완하기 위하여 광산부근의 화강암체에서도 시료를 더 채취하여 모드조성을 분석하고 종합적인 모드조성도(Fig.2)를 작성하였다. 본 조성도에 의하면 진동화강암체는 화강섬록암-토나라이트-석영섬록암-섬록암 영역에 점시되고 유천 및 언양화강암체는 몬조화강암에 점시된다.

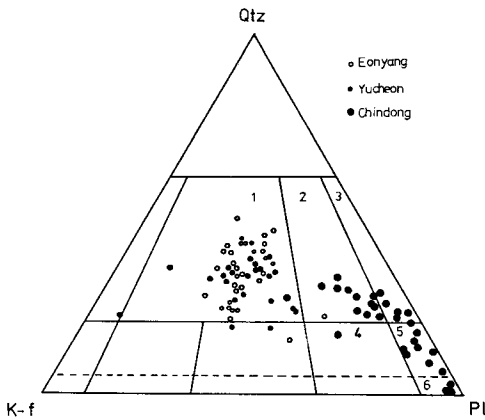


Fig. 2. Triangular diagram of modal quartz-plagioclase-orthoclase for Chindong and Yucheon-Eonyang granites.

1. granite,
2. granodiorite,
3. tonalite
4. quartz monzodiorite,
5. quartz diorite
6. diorite

노름조성

석영-정장석-사장석의 노름조성도(Fig.3)에 의하면 진

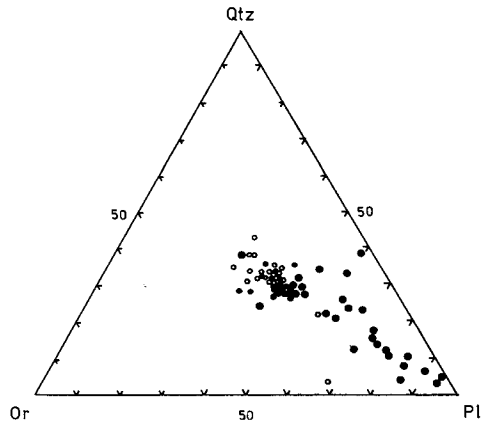


Fig. 3. Normative quartz-plagioclase-orthoclase diagram for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

동화강암체와 유천 및 언양화강암체는 경상분지내 백악기 화강암질암류(Jin, 1981 ; 이준동, 1987)와 같은 마그마 분화 과정을 보이며 진동화강암체와 유천 및 언양화강암체와의 큰 차이점은 전자는 염기성에서 산성암으로의 넓은 영역을 가지는데 비하여 유천 및 언양화강암체는 진동화강암체 보다는 분화가 더 진화된 산성암 영역에 점시된다(Fig.3).

AFM도(Fig.4)에서도 진동화강암체와 유천 및 언양화강암체는 경상분지내 전백악기화강암질암류(Jin, 1981)와 같은 칼크-알카리 계열의 성분 변화를 보인다.

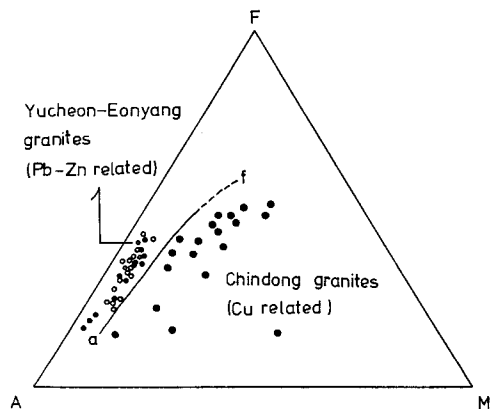


Fig. 4. A-F-M diagram for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

Table 1. Major elements of granitic rocks in the studied area. Unit in % and average in parenthesis.

area	Na	K	Ca	Mg
Chindong	1. 90-2.99(2.53)	0.79-4.13(1.62)	0.69-5.49(3.75)	0.11-2.93(1.42)
Yucheon	2. 60-3.33(3.06)	2.57-4.73(3.56)	0.52-1.27(0.96)	0.15-0.44(0.26)
Eonyang	2. 07-3.69(3.05)	2.61-4.86(3.60)	0.34-2.57(0.62)	0.15-1.07(0.21)

진동화강암체와 유천 및 언양화강암체의 현저한 차이점은 전자는 AF선에서 M정점쪽으로 좀 떨어진 즉 유색 광물이 많은 영역에 접시되고 후자는 유색광물이 극히 희소한 AF선에 거의 연하여 접시되는 것이다(Fig. 4). 그런데 진동화강암체는 동광상구에 속하고 유천 및 언양화강암체는 연-아연 광상구에 속하므로(이상만의, 1974 ; Kim, 1971 ; 이재영, 1981) 상기한 차이점은 본 경상분지내 어느 조사지역의 백악기화강암체가 동관련 화강암체인지 또는 연-아연관련 화강암체인지를 판단하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다. 본도에서는 진동화강암체와 유천 및 언양화강암체는 af곡선에 의하여 현저히 구분될 수 있음을 보여주고 있다.

지구화학

주원소

본역 화강암체의 주원소중 경상분지내 광상구의 주광종과 화강암체의 분화 정도에 따라 함량의 변화가 현저히 나타난 것으로 보고된 원소 K, Na, Ca 및 Mg(Lee, 1984)을 대상으로 하여 동광상구의 진동화강암체와 연-아연 광상구의 유천-언양화강암체중 이들 원소의 함량변화를 비교하였다(Table. 1).

분화 정도에 따른 함량변화는 분화지수(D.I.)에 대한 함량으로서 표시하였다. 각 암체의 대략적인 분화지수의 범위는 진동화강암체가 35~95로 변화폭이 매우 넓고 유천 및 언양화강암체는 각각 85~90 및 90~95로 그 폭이 매우 좁다.

카리움(K)

K함량은 일반적으로 염기성암에서는 낮고 산성암에서는 높아지는데 이러한 경향은 경상분지내 백악기 화강암질암류에서도 관찰된 바(Jin, 1981 ; Lee, 1984)이고 본역 화강암체에서도 확인되었다(Fig. 5).

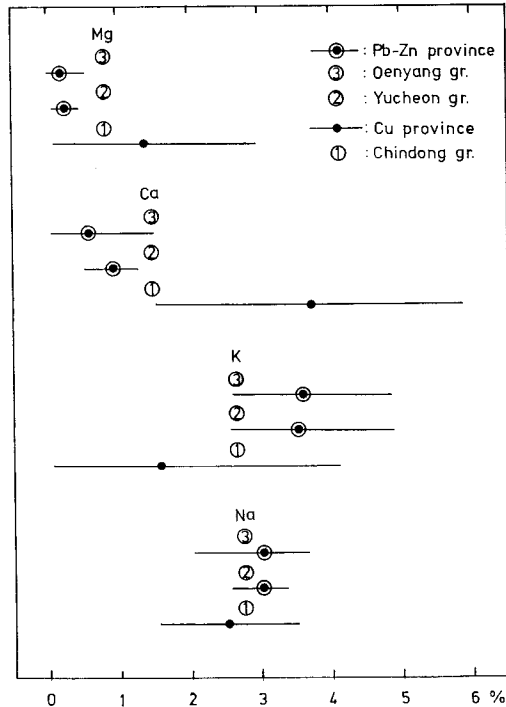


Fig. 5. Content of K, Na, Ca and Mg for Chindong and Yucheon-Eonyang granites.

본역의 K함량을 보면 진동화강암체가 1.62%인데 유천 및 언양화강암체가 각각 3.56% 및 3.60%로 2배 정도로 높으며 분화지수(D.I.)에 대하여도 일반적 경향에서 관찰되는 바와 같이 정비례적인 관계를 보인다. K함량을 평균치로서 비교하면 유천과 언양화강암체 간에 거의 차이가 없으나 D.I.의 증가와 더불어 언양화강암체가 약간 증가되는 경향을 보여준다(Fig. 6-a).

진동화강암체와 유천 및 언양화강암체간의 K함량의 차이는 화강암체를 구성하는 주요성광물과 밀접한 관계를 가지는데 진동화강암체는 K-장석이 적고(이준동, 1987) 유천 및 언양화강암체는 K-장석이 풍부한 사실과(Hong, 1985) 일치한다(Fig. 6-b).

이들 K함량을 경상분지내 광상구의 평균함량과(Lee,

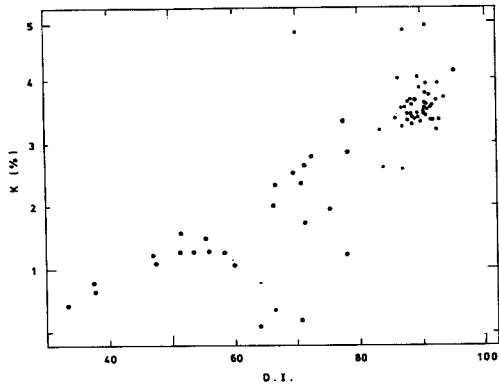


Fig. 6-a. K content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

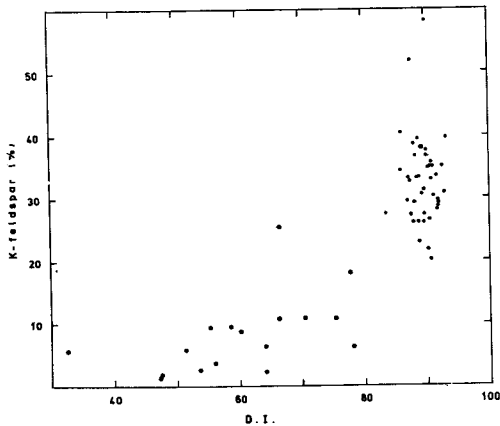


Fig. 6-b. K-feldspar content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

1984) 비교해보면 진동화강암체는 동광상구(2.59%)보다 현저히 낮으나 유천 및 연양화강암체는 연-아연광상구(3.59%)와 거의 같은 정도로 증가하며 같은 광상구내의 대율(3.51%) 및 구산(3.24%)의 화강암체 보다도 높은 경향을 보인다.

이처럼 K함량이 진동화강암체에서는 현저히 낮고 유천 및 연양화강암체에서 높은 것은 경상분지내 동광상구는 K함량이 낮고 연-아연광상구는 높은 사실과 일치하며 K함량의 증감은 D.I.에 정비례적이며 K-장석의 양적비와 밀접한 관계를 가지므로 K함량은 경상분지내 동광상구와

연-아연광상구를 구분하는데 매우 유용한 지시원소가 될 수 있을 것으로 생각된다.

나트륨(Na)

Na함량도 일반적으로 염기성암에서는 낮고 산성암일수록 증가하는데 경상분지내 백악기 화강암질암에서는 이러한 경향이 현저하게 나타나지 않는 것(Jin, 1981; Lee, 1984)으로 알려져 있으며 본역의 화강암체에서도 다소 불규칙한 경향이 있음이 확인되었다(Fig. 5).

본역의 Na함량을 보면 진동화강암체가 2.53%인데 유천 및 연양화강암체는 각각 약간 높은 3.06%와 3.05%밖에 되지 않으며 분화지수에 대한 변화도 K만큼의 현저한 정비례적 관계는 보이지 않는다. 그러나 유천과 연양화강암체 간에 거의 함량의 차이가 없는 것은 K의 경우와 일치된다.

이들 Na함량을 K함량과 대조 해보기 위해서 편의상 경상분지내 광상구의 평균함량과 비교해보면 진동화강암체는 동광상구(2.40%)와 그리고 유천 및 연양화강암체는 연-아연 광상구(2.97%)와 거의 같다.

이처럼 Na함량은 K함량처럼 현저한 증감을 보이지는 않으나 진동화강암체보다 유천 및 연양화강암체가 약간 높으며 이것은 동광상구 보다 연-아연광상구가 약간 보다 높은 사실과 일치하고 D.I.에 대하여도 다소 정비례적 관계를 보이고 있으므로 Na함량도 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구를 구분하는데 활용될 수 있는 것으로 생각된다(Fig. 7).

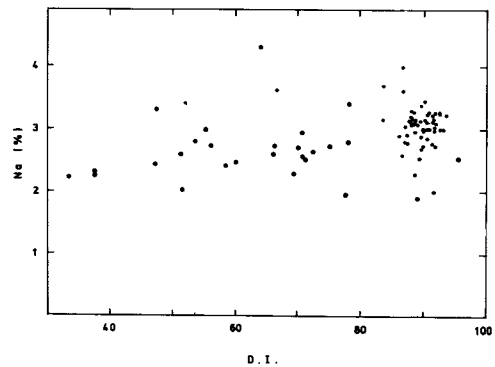


Fig. 7. Na content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

칼슘(Ca)

Ca함량은 염기성암에서는 높고 산성암 일수록 낮아지는데 Ca함량이 암석의 분화정도에 따라 이처럼 증감하는 현상은 경상분지내 백악기 화강암질암에서도 매우 현저히 나타나는 것으로 이미 보고(Lee, 1984)된 바 있고 본역 화강암체에서는 이러한 경향이 더욱 현저한 것으로 확인되었다(Fig. 5).

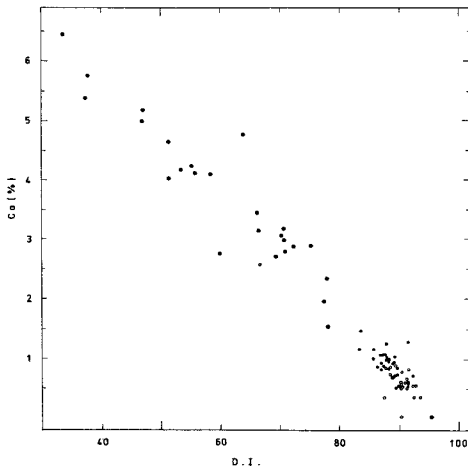


Fig. 8-a. Ca content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

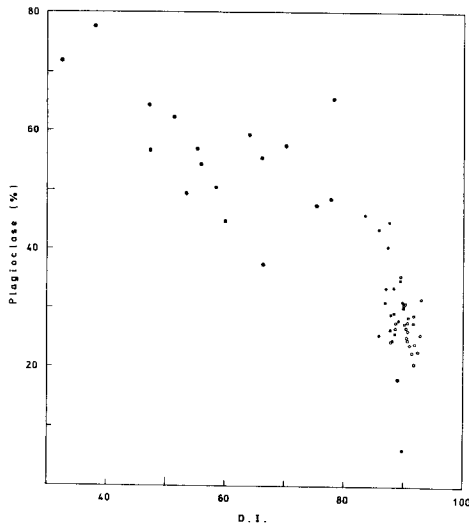


Fig. 8-b. Plagioclase content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

Ca함량을 보면 진동화강암체는 3.75%나 되는데 유천 및 언양화강암체는 각각 0.96% 및 0.62%로 진동화강암체가 무려 4~6배나 높으며 분화지수에 대한 함량변화도 매우 현저한 역비례적 관계를 보인다. 그리고 유천과 언양화강암체간에도 언양이 유천화강암체 보다 현저히 감소된 Ca함량의 분포를 보여준다(Fig. 8-a).

진동화강암체와 유천 및 언양화강암체간의 현저한 Ca함량의 차이는 K함량의 경우처럼 화강암체를 구성하는 주조성광물과 밀접한 관계를 가지는데 진동화강암체는 사장석이 풍부하고 반대로 K-장석이 적으며 유천 및 언양화강암체는 사장석이 적고 K-장석이 풍부한 사실과 일치한다(Fig. 8-b).

이들 Ca함량을 경상분지내 광상구의 평균함량과 비교해보면 진동화강암체는 동광상구의 2.93% 보다 높으나 유천 및 언양화강암체는 연-아연광상구의 1.03%보다도 낮다.

이처럼 Ca함량이 진동화강암체에서는 현저히 높고 유천 및 언양화강암체는 낮은 것은 K함량과는 반대로 경상분지내 동광상구는 Ca함량이 높고 연-아연광상구는 낮은 사실과 일치하며 Ca함량의 증감은 D.I.에 대하여 역비례적이고 사장석의 양적비와 밀접한 관계를 가지므로 Ca함량은 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구를 구분하는데 K와 더불어 매우 유용한 지시원소가 될 것으로 생각된다.

마그네슘(Mg)

Mg함량은 일반적으로 염기성암에서는 높고 산성암 일수록 낮아지는데 이러한 경향은 본역에서도 관찰되며 (Fig. 5) 경상분지내 백악기 화강암류의 경우와도 일치된다(Jin, 1981 ; Lee, 1984).

Mg함량을 보면 진동화강암체는 1.42%로 유천 및 언양화강암체의 0.26% 및 0.21% 보다 현저히 높으며 분화지수에 대하여도 Ca처럼 현저한 역비례적 관계를 보인다(Fig. 9).

이들 Mg함량을 경상분지내 광상구의 평균함량과 비교해 보면 진동화강암체는 동광상구의 평균함량(1.01%)은 물론 분지내 최동남단인 동래지역(1.26%)보다도 조금 더 높으나 유천 및 언양화강암체는 반대로 연-아연광상구(0.77%)보다도 약간 낮은 함량을 보인다.

이처럼 Mg함량도 Ca함량처럼 진동화강암체에서는 현저히 높고 유천 및 언양화강암체에서 낮은 것은 경상분지

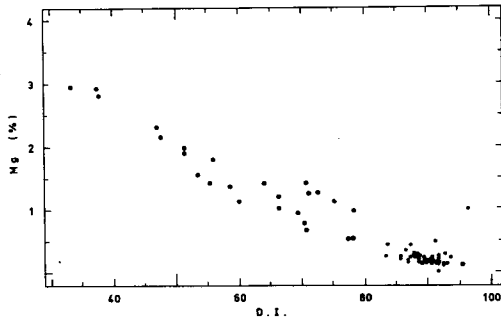


Fig. 9. Mg content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

내 동광상구는 Mg함량이 높고 연-아연 광상구에서는 낮은 사실과 일치하며 분화지수에 대하여도 역비례적 관계를 잘 보이고 있으므로 경상분지내 동광상구와 연-아연 광상구를 구분하는데 Ca과 같이 활용 가능한 지시원소가 될 것으로 생각된다.

미량원소

경상분지내 백악기 화강암류와 광상구와의 관계를 규명하는데 효과적인 것으로 확인된 미량원소(Lee, 1984)중에서 주원소와의 교환성 내지는 광상구의 종류를 고려하여 친석원소인 Rb, Sr, Ba와 친동원소인 Cu, Pb, Zn을 검토대상원소로서 선정하여 함량변화를 비교하였다(Table. 2).

루비듐(Rb)

루비듐은 K-광물에 허용이 잘 되므로 K함량이 낮은 진동화강암체(86ppm)에서는 낮은 함량을 보이나 K함량이 높은 유천(144ppm) 및 연양화강암체(161ppm)에서는 약2배 정도로 증가하며 분화지수에 대하여도 K와 비례적으로 증가한다(Fig. 10-a).

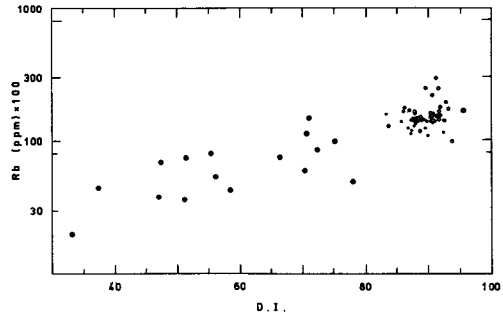


Fig. 10-a. Rb content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites.

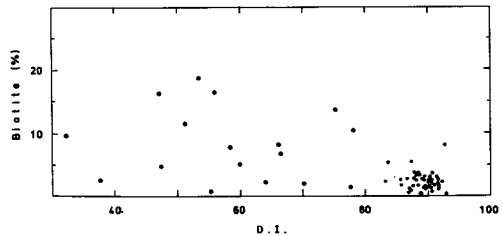


Fig. 10-b. Biotite content for D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

경상분지내 광상구의 평균함량과 비교하여 보면 진동화강암체는 동광상구(114ppm)보다도 낮으나 유천 및 연양화강암체는 연-아연광상구(149ppm)와는 약간의 차이 밖에 없고 흥미있는 것은 K의 함량도 연-아연광상구가 3.59%로 서로 거의 비슷하다. 이로 보아 Rb함량은 K와 밀접한 관계를 가지고 있음을 알 수 있다. 그러나 K와 Rb가 반드시 비례적인 것은 아니다. 연-아연광상구(Lee, 1984)의 구산지역화강암체는 K함량은 3.24%로 보다 낮은데도 Rb는 170ppm로 약간 더 높고 대울지역화강암체는 K함량이 3.51%로 거의 비슷한데도 Rb는 180ppm으로 더 높게 나타난다.

Table 2. Trace elements of granitic rocks in the studied area. Unit in ppm and average in parenthesis.

area	Rb	Sr	Ba	Cu	Pb	Zn
Chindong	44-177(86)	145-465(405)	180-702(862)	4-40(15)	26-38(37)	20-50(22)
Yucheon	115-180(144)	85-180(157)	606-857(782)	5-40(13)	12-47(29)	23-80(48)
Eonyang	115-296(161)	81-415(106)	448-1405(688)	5-34(14)	12-30(26)	21-90(37)

진동화강암체 보다 유천 및 연양화강암체가 높은 Rb함량을 보이는 것은 K-장석의 함량과 관계된다. Rb는 흑운모에도 허용될 수 있으나 흑운모는 오히려 진동화강암체 쪽이 약간 높은 경향을 보인다(Fig. 10-b). 따라서 Rb함량과 조암광물과의 관계는 K-장석 쪽이 더 밀접한 것으로 확인된다.

이처럼 Rb는 K와 밀접한 관계를 가지고 정비례적 함량변화를 보여줌으로 Rb함량은 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구를 구분하는데 매우 유용한 지시원소가 될 수 있을 것으로 생각된다.

스트론튬(Sr)

스트론튬은 Ca-광물에 허용이 잘 되므로 Ca함량이 높은 진동화강암체(405ppm)에서는 높은 함량을 보이고 Ca함량이 낮은 유천(157ppm) 및 연양화강암체(136ppm)에서는 약1/3정도로 감소하며 분화지수에 대하여서도 Ca함량처럼 역비례적으로 감소한다(Fig. 11).

경상분지내 광상구의 평균함량과 비교하여 보면 진동화강암체는 동광상구(ppm)보다 높으나 유천 및 연양화강암체는 연-아연광상구(185ppm)보다 낮다. 이는 Ca함량이 진동화강암체는 동광상구 보다 높으나 유천 및 연양화강암체는 연-아연광상구 보다 낮은 사실과 일치하며 Rb이 K에 대하여 보이는 함량변화와 대체로 유사한 경향을 가진다. 이처럼 진동화강암체가 유천 및 연양화강암체 보다 현저히 높은 Sr함량을 보이는 것은 사장석의 함량이 현저히 높은 진동화강암의 광물조성에 관계된다. 그리고 유천화강암체가 연양화강암체 보다 더 높은 함량을 보이는 것은 연양화강암체 보다 유천화강암체에서 더 많은 사장석

이 관찰되는 사실과도 일치한다.

이처럼 Sr은 Ca과 밀접한 관계를 가지고 정비례적 함량변화를 보여줌으로 Sr함량은 Rb의 경우처럼 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구를 구분하는데 매우 유용한 지시원소가 될 수 있을 것으로 생각된다.

바리움(Ba)

바리움은 K-광물에 포착이 되므로 K-광물에 허용이 되는 Rb과의 비교를 위하여 K에 대한 Ba의 함량변화를 검토하였다. Ba은 Rb과 마찬가지로 K함량이 낮은 진동화강암체(382ppm)에서는 낮은 함량을 보이나 K함량이 높은 유천(782ppm) 및 연양화강암체(688ppm)는 진동화강암체의 약 2배 정도의 증가를 보이며 분화지수에 대하여도 Rb처럼 비례적인 증가를 보이나 70~80사이에서는 함량이 매우 낮은 것도 일부 진동화강암체에서 관찰된다(Fig. 12). Ba은 Ca 및 Sr과 같은 족에 속하면서도 전체적인 함량분포경향을 보면 이들과는 역비례적 관계에 있으므로 Ba함량증가는 주로 K-광물에 의한 포착과 관계된다고 생각된다.

경상분지내 각 광상구의 평균 Ba함량은 아직 조사된 것이 없으므로 본역과 비교될 수는 없으나 Rb의 경우처럼 경상분지내 광상구를 구분하는데 활용이 가능할 것으로 생각된다.

Ba의 Rb에 대한 양적비는 대충 진동화강암체가 4배, 유천 및 연양화강암체가 6.5배로 세계평균화강암치 약 $\frac{Ba}{Rb} = \frac{840ppm}{276ppm} \approx 3$ (Rose *et al*, 1979)보다도 높다. 따라서 Ba/Rb비도 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구를 구분하는데 도움이 될 수 있을 것으로 생각되며 광상구 밖

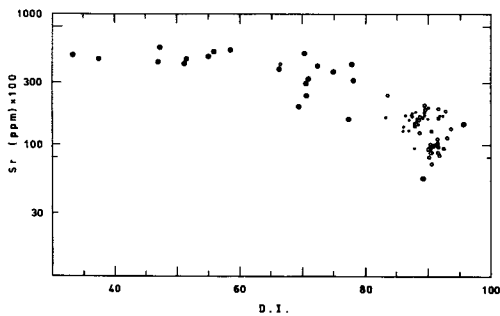


Fig. 11. Sr content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites.

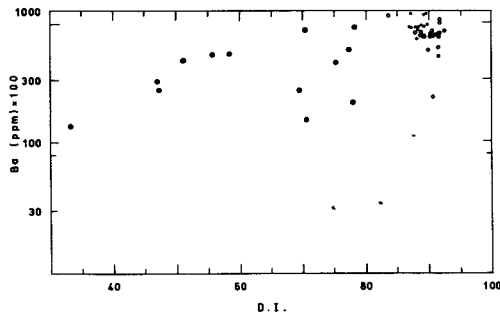


Fig. 12. Ba content versus D.I. for Chindong and Yucheon-Eonyang granites.

의 화강암류와는 어떤 차이가 있는지를 차후 검토해 볼 필요가 있다고 생각된다.

동(Cu)

진동화강암체(15ppm)는 동광상구내 화강암체인데도 Cu 함량은 연-아연광상구의 유천(13ppm) 및 언양화강암체(14ppm)에 비하여 큰 차이를 보이지 않는다. 이것은 어떤 광화작용에 관련된 화강암체에는 관련원소가 대체로 높게 나타나는 일반적 경향과 일치되지 않으나 경상분지내 백악기 화강암체의 Cu 함량을 보면 동광상구(17ppm)가 반드시 연-아연광상구(13ppm)보다 현저히 높지는 않다는 보고(Lee, 1984)가 있으며 비록 진동화강암체의 전체적인 동배경치는 크게 높지는 않으나 경상분지내의 대표적 동광상들이 많이 분포하는 군북-함안지역은 최대 450ppm의 이상치를 보이며 60ppm 이상의 함량은 유천 및 언양화강암체에 비하여 진동화강암체에 그 분포밀도가 높다(Fig. 13).

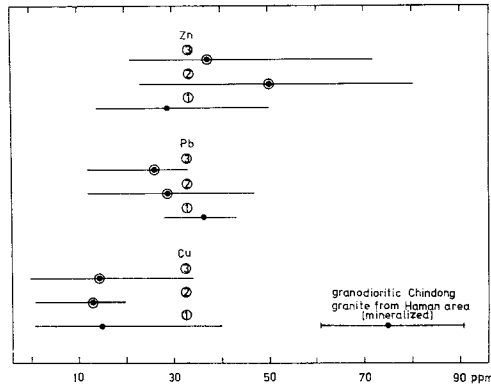


Fig. 13. Content of Cu, and Zn for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 5.

이들 Cu 함량을 경상분지내 광상구의 평균함량과 비교해 보면 진동화강암체는 미약한 차이나마 유천 및 언양화강암체 보다는 높은 함량을 보이고 이것은 경상분지내 동광상구는 연-아연광상구 보다는 높은 Cu 함량을 보이는 사실(Lee, 1984)과 일치한다.

이처럼 Cu 함량은 현저하지는 않으나 동광상구내 화강암체가 연-아연광상구내 화강암체 보다는 약간 높은 경향을 보이며 진동화강암체의 경우 군북-함안의 광화대에서는 현저히 높은 함량과 이상치를 보여줌으로 동광상구의

연-아연광상구를 구분하는데 중요한 금속원소가 될 수 있다. 그리고 본 연구에서는 동광상구내 화강암체와 연-아연광상구내 화강암체의 암석지구화학적 특징과 차이점을 검토하는데 목적을 두었으나 앞으로 진동화강암체는 동광상과 관련없는 화강암류와 광화작용을 가져온 화강암류를 구분할 때 활용될 수 있는 방향으로 더 연구를 계속해 볼 필요가 있다.

연(Pb)

진동화강암체(37ppm)는 동광상구인데도 연-아연광상구의 유천(29ppm) 및 언양화강암체(26ppm)보다 오히려 더 높은 Pb 함량을 보인다.

이러한 이상(異狀)현상에 대하여 고려될 수 있는 이유로 비록 연-아연광상구에 소재한다고 하더라도 유천화강암체에는 관련된 광상이라고는 천일광산밖에 없으며 천일광산도 연-아연을 수반하나 주광석은 황동석이다. 그리고 언양화강암체의 경우도 관련된 광상은 산내 광산밖에 없으며 산내광산도 흑중석과 휘수연석이 주광석이다. 이처럼 유천 및 언양화강암체는 연-아연광상구에 속하고 있으나 연의 광화작용과는 관련이 없는 화강암체이며 경상분지는 동광상구내 일지라도 어떤 화강암체는 연-아연광상구의 화강암체 보다 높다는 보고(Lee, 1984)가 있고 경상분지내 화강암류에서는 산성암상이나 염기성암상에서나 Pb 함량은 비교적 일정하다는 보고(Jin, 1981)도 있다.

경상분지내 광상구와 비교해 보면 진동화강암체는 동광상구(34ppm)보다 약간 높은 편이며 유천 및 언양화강암체는 연-아연광상구(27ppm)와 거의 일치된다.

이처럼 Pb 함량은 진동화강암체가 유천 및 언양화강암체 보다 그리고 동광상구는 연-아연광상구 보다 오히려 높은 이상현상을 보이므로(Fig. 13) Pb 함량 단독으로는 연-아연광상구를 동광상구와 구분하는데는 어려움이 있으며 현재의 광상구는 광구의 주광종의 원소와 암석지구화학적 자료로서 보완되어야 될 필요성이 있음을 암시하여 준다.

아연(Zn)

Zn 함량은 Pb 함량과는 달리 동광상구의 진동화강암체(29ppm)는 낮고 연-아연광상구의 유천(51ppm) 및 언양화강암체(37ppm)는 높은 정상적인 함량관계를 보이며(Fig. 13) 경상분지내 평균 Zn 함량도 동광상구(47ppm)가 연-아연광상구(45ppm)보다는 약간 높은 경향을 보이고 있으며

로 현저한 차이는 없으나 동광상구와 연-아연광상구를 구분하는데 유용한 금속원소로서 이용될 수 있다고 생각된다. 그러나 문제가 되는 것은 동광상구와 연-아연광상구간의 평균Zn함량에는 근소한 차이 밖에 없으며 동래지역 화강암체(64ppm)는 동광상구에 속하는데도 오히려 더 높은 Zn함량을 보이는 것이다. 그러므로 경상분지내 화강암체가 연-아연광상구내에 있다고 해서 반드시 Pb 및 Zn 함량이 높다고는 볼 수 없으며 동광상구내 화강암체를 할 지라도 지역에 따라 더 높은 Zn함량을 가질 수도 있다 (Lee, 1984). 따라서 경상분지내 광상구는 광구의 주광종의 원소는 물론 성인적 관련이 있는 금속원소도 분석하고 암석지구화학적 자료와 더불어 검토연구해서 체계적으로 기광상구를 보완할 필요가 있다.

주원소와 미량원소의 관계

카리움-루비듐 (K-Rb)

K-Rb관계는 진동화강암체와 유천 및 언양화강암체 간에 현저한 차이를 보인다(Fig. 14).

즉 K/Rb비를 보면 진동화강암체(150~400)와 유천(150~400) 및 언양화강암체(120~400)는 모두 K/Rb=120~400범위내에 점시되나 전자는 K<3%에 그리고 후자는 K>3%에 한정되어 분포되므로서 진동화강암체와 유천 및 언양화강암체는 K/Rb분포도에서 현저히 구분된다.

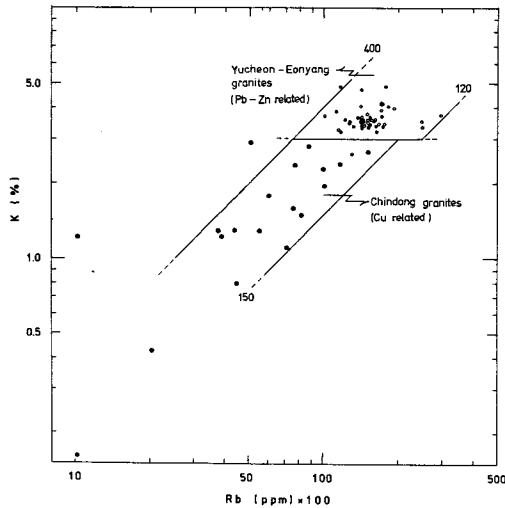


Fig. 14. K/Rb ratio for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symblos are the same as Fig. 2.

진동화강암체는 유천 및 언양화강암체 보다 다양한 암상으로 구성되어 있으므로 분포의 폭이 넓게 나타나며 광화대는 같은 K/Rb범위내에서도 K와 Rb값이 낮은쪽에 더 많이 점시되므로 비광화대와의 구분에 가능한 지 연구해 볼 필요가 있다.

진동화강암체와 유천 및 언양화강암체의 K/Rb범위 및 언양화강암체를 구분지을 수 있게 하는 K값은 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구의 것(K/Rb=400~100, K=2.9%)과 대체로 일치된다(Lee, 1984).

칼슘-스트론튬 (Ca-Sr)

Ca-Sr관계도 진동화강암체와 유천 및 언양화강암류 간에 현저한 차이를 보인다(Fig. 15).

즉, Ca/Sr비를 보면 진동화강암체는 대부분이 40~150 사이에 그리고 유천 및 언양화강암체는 각각 40~150과 40~100사이에 점시되므로서 Ca/Sr비에는 큰 차이가 없으나 전자는 Ca>2%에, 후자는 Ca<2%에 한정되어 점시되므로서 진동화강암체와 유천 및 언양화강암체 간에 현저한 차이를 보인다.

진동화강암체는 유천 및 언양화강암체 보다 많은 암상으로 구성되어 있으므로 분포의 폭이 넓으며 광화대는 같은 Ca/Sr범위내에서도 Ca와 Sr의 함량이 높은 쪽에 비광화대와 구분되어 점시된다. 유천과 언양화강암체간에는 큰 차이가 없으나 Ca/Sr은 전자(40~100)가 후자(40~

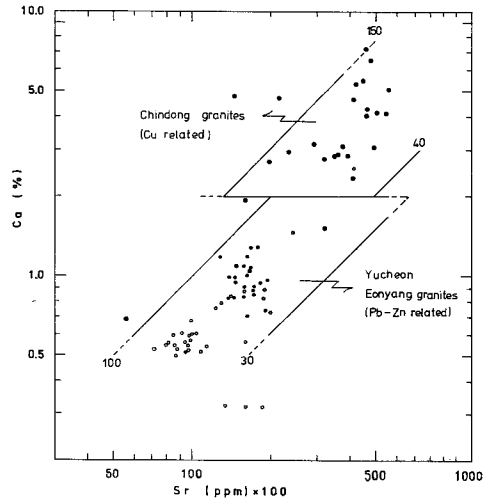


Fig. 15. Ca/Sr ratio for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symblos are the same as Fig. 2.

80)보다 조금 넓으며 Ca함량의 상한도 전자는 1.5% 후자는 1%로 전자가 약간 높다.

진동화강암체와 유천 및 언양화강암체의 Ca/Sr범위 및 양화강암체를 구분지을수 있게 하고 Ca값은 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구의 것(Ca/Sr=40~150, Ca=2%)에 대체로 일치한다(Lee, 1984).

카리움-연

진동화강암체는 $K/Pb=850, K>3\%$ 에 그리고 유천 및 언양화강암체는 $K/Pb<850, K<3\%$ 에 주로 점시되는 경향이 현저하므로(Fig. 16) 동광구의 진동화강암체와 연-아

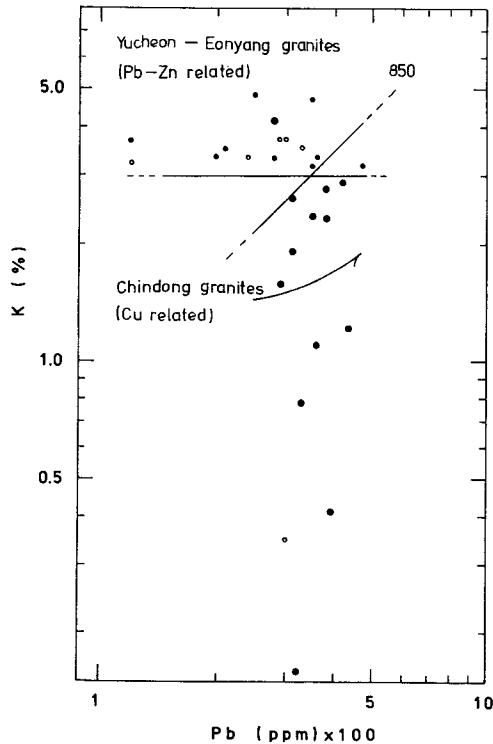


Fig. 16. K/Pb ratio for Chindong and Yucheon-Eonyang granites. Symbols are the same as Fig. 2.

연광상구의 유천 및 언양화강암체의 구분이 가능하다. 그리고 이 구분관계선은 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구의 구분관계선($K/Pb=900, K=3\%$)과 유사하다.

K/Pb 는 화강암체가 연 관련 암인지 아닌 지를 식별하는데 있어서 K/Pb 이나 Ca/Sr 보다 훨씬 효과적이다.

결언 및 종합

본 역의 화강암류는 그 암상에 따라 진동화강암체는 화강섬록암-토나라이트-석영섬록암-섬록암, 유천 및 언양화강암체는 몬조화강암으로 구분된다.

노름조성도에 의하면 진동화강암체는 염기성암 영역에서 산성암 영역으로의 넓은 분화폭을 보이는데 반하여 유천 및 언양화강암체는 진동화강암체 보다 산성암 영역으로 더 분화가 진행된 암상을 보이며 진동화강암체는 경상분지내 동광상구의 화강암류에 그리고 유천 및 언양화강암체는 연-아연광상구의 화강암류에 유사한 조성을 보인다.

AFM도에 의하면 경상분지내 백악기 화강암류가 보이는 칼크-알카리계열의 성분 변화경향과 일치할 뿐 아니라 노름조성도에서와 마찬가지로 진동화강암체는 경상분지내 동광상구의 화강암류에 그리고 유천 및 언양화강암체는 연-아연광상구의 화강암류에 유사한 조성을 보인다. 그러나 약간의 차이점이 관찰된다. 즉 경상분지내 백악기화강암류는 동광상구와 연-아연광상구가 일부 중첩되어 있으나 진동화강암체는 유천 및 언양화강암체와 현저히 구분 점시된다. 이는 진동화강암체처럼 동생산적일 때는 연-아연광상구의 화강암체로 부터 현저히 구분될 수 있음을 시사하는 것으로 생각된다.

본 역의 화강암류는 분화지수(D.I.)에 대하여 K와 Na는 정비례적 그리고 Ca와 Mg는 반비례적 함량 변화를 보인다. D.I.의 범위는 진동화강암체는 35~95로 매우 넓고 유천 및 언양은 85~95로 매우 좁은 폭을 보인다. 유천 및 언양화강암체의 차이는 전자는 주로 >90쪽에 점시되는 것이다.

진동화강암체는 K와 Na함량이 낮고 Ca와 Mg함량이 높으며 유천 및 언양화강암체는 K와 Na함량은 높고 Ca와 Mg함량은 낮는데 이는 경상분지 동광상구는 K와 Na함량이 낮고 Ca와 Mg함량이 높으며 연-아연광상구는 그 반대의 양상을 보이는 것과 일치한다.

미량원소(Rb, Sr, Ba)도 주원소(K, Ca)와 밀접한 관계를 가지고 진동화강암체는 Rb와 Ba함량이 낮고 Sr함량은 높으며 유천 및 언양화강암체는 Rb와 Ba함량이 높고 Sr함량이 낮는데 이는 경상분지내 동광상구는 Rb와 Ba함량이 낮고 Sr함량은 높으며 연-아연광상구는 그 반대의 양상을 보이는 것과 일치한다.

K/Rb , Ca/Sr 도에 의하면 진동화강암체와 유천 및

연양화강암체간에는 현저하게 구분되며 진동화강암체는 경상분지의 동광상구에, 그리고 유천 및 연양화강암체는 연-아연광상구에 해당된다. 그리고 K/Pb도에 의하면 동광상구의 진동화강암체로 부터 연-아연광상구의 유천 및 연양 화강암체가 현저히 구분된다.

경상분지내 동, 연-아연광상구를 대표하는 금속원소 Cu, Pb 및 Zn는 광상의 광물조성과 밀접한 관계를 가지고 진동화강암체는 광화대에서 Cu가 이상적으로 높아지고 유천 및 연양화강암체는 높은 Zn함량을 보임으로써 양 암체는 현저히 구분되나 Pb함량이 유천 및 연양화강암체에서 오히려 낮아지는 비정상적인 양상을 보인다. 이는 유천 및 연양화강암체가 광상구의 구분상 연-아연광상구에 속하나 양 암체에는 아직 연광상이 발견된 것이 없기 때문인 것으로 생각된다.

이상에서 언급된 바와 같이 진동화강암체와 유천 및 연양화강암체는 주성분원소 및 미량원소의 함량과 비값으로 구분이 가능하다. 따라서 화강암중 주·미량원소의 지구화학적 특성에 의하여 경상분지내 어느 백악기화강암체가 동관련임인지 또는 연-아연 관련임인지를 판단하고 이것을 광상구의 설정에 이용할 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

- 김상욱(1982) 북부 유천분지내에 분포하는 후기 백악기 화강암류의 암석학적 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 김선익(1973) 경남지구 동광상의 종합개발에 관한 조사연구. 광산지질 6권 3호. p.133-170.
- 박노영, 이정만(1963) 진동도폭 및 설명서. 국립지질조사소.
- 박희인의 3(1985) 경남함안·군북지역의 동광화작용에 관한 연구. 광산지질 8권 2호. p.107-124.
- 서정울(1986) 유천도폭 125호 금·은·동광화대 시추탐사연구. 금속광상조사연구. p.227-318.
- 이상만(1972) 경상분지내의 화강암류와 광화작용. 손치무교수 송수기념논문집. p.195-219.
- 이상만, 윤상규(1974) 우리나라의 화성활동과 광화작용에 관한 관련성연구. 과기처. R-74-48. p.47.
- 이종윤(1980) 연양 및 울산지역 화강암류의 암석화학적 연구. 광산지질 13권 2호. p.69-79.
- 이재영(1981) 경상분지내 유화물광상의 지화학적 연구. -화강암류와 광화작용-. 경북대논문집 32권. p.289-313.
- 이준동(1987) 경남 진동-마산일대에 분포하는 화강암류와 접촉변성작용에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 최원석(1986) 함안지역 동광상의 성인에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- Fletcher, C.J.N.(1976) Mineralization within the Gyeongsang Cretaceous Basin, Republic of Korea. Anglo-Korean Mineral Exploration Group.
- Hong, Y.K.(1985) Geochemistry of the Cretaceous Eonyang and Yoocheon granites in the southeastern Korea, Jour. Geol. Soc. Kor., V.21, No.2, p.90-108.
- Jin, M.S.(1981) Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in Southeastern Korea, Seoul Nat. Univ. Ph.D. thesis
- Jin, M.S.(1985) Geochemistry of the Cretaceous to early Tertiary granitic rocks in Southern Korea, pt.1. Major elements geochemistry. Jour. Geol. Soc. Kor., v.21, No.4, p.297-316.
- Jin, M.S., et al.(1981) Granitic magmatism and associated mineralization in the Gyeongsang Basin, Korea. Mining Geol., v.31, p.245-260.
- Kim, O.J.(1971) Metallogenic epochs and provinces of South Korea, Jour. Geol. Soc. Kor., v.7, No.1, 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. Jour. Geol. Soc. Kor., v.20, NO.4.
- Lee, M.S.(1981) Geology and metallic mineralization associated with Mesozoic granitic magmatism in South Korea. Jour. Soc. Mining Geologists Japan, v.31, No.4, p.235-244.
- Rose, A.W., et al.(1979) Geochemical characteristics of elements. In "Geochemistry in Mineral Exploration." Academic Press, London, p.449-581.
- Sillitoe, R.H.(1977) Metallogeny of 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.

Streckeisen, A.L. (1967) Classification and nomenclature of igneous rocks. *Neues Jahrb. Mineral Abhandl.*, v.107, p.144-240.

Tsuse, A. (ed. 1981) Petrographic provinces of granitoids

and associated metallic ore deposits in South Korea peninsula. Report of an overseas field research project sponsored by a Grant-in-Aid from the Ministry of Education in Japan, 161p.