

## 경상분지내 열수광상의 광화작용과 백악기 화강암류의 화학적 성분 변화와의 관계

이재영\* · 이진국\*\* · 이인호\* · 김상욱\*\*

### Mineralization of Hydrothermal Ore Deposits in Relation to Chemical Variation of the Cretaceous Granitoids in the Gyeongsang Basin.

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

**ABSTRACT** : The Cretaceous granitic rocks show differences in rock types and chemical compositions according to metallogenic provinces of copper, lead-zinc and molybdenum in the Gyeongsang basin. Jindong granites are of granodiorite~quartz diorite~diorite in Cu-province; Makeunsan/Yucheon-Eonyang granites, granodiorite~granite in Pb-Zn province; Onjeongri-Yeonghae granites, granodiorite~quartz diorite in Mo-province, and there is a trend that productive masses are less differentiated than barren masses in Cu and Pb-Zn provinces whereas productive masses are more differentiated than barren masses in Mo province. Metallogenic provinces are distinguishable by variations of major and trace elements. The Cretaceous granitic rocks are highest in the content of Ca, Mg and other basic major elements and lowest in the content of K and Na in Cu province; the variation trends are vice versa in Pb-Zn province. Trace elements such as Rb and Sr show variations related to K and Ca, and metallogenic provinces are also distinguishable by their ratios. The granitic rocks of Mo province have intermediate content of major and trace elements, but are clearly distinguishable from Jindong granites and partly overlapped by Yucheon-Eonyang granites. Chlorine content in biotites is higher in a productive mass than in a barren mass in Cu province. Therefore, the mineralogical and chemical compositions are applicable as geochemical index to distinguish the types of mineralization, and productive and barren masses of the Cretaceous granitic rocks in the Gyeongsang basin.

## 서 언

경상분지내에는 경상계의 화산암류와 퇴적암류를 모암으로 하는 맥상 내지는 각력충전형 열수금속광상이 많이 발달하고 있으며 드물기는 하나 기성광상도 분포한다. 이들 광상은 백악기~제삼기 초의 화강암류를 관련암으로 하여 형성되었으며 대체로 분지내 동남단에서 북서 내륙방향으로 동, 연·아연 및 중석·황수연 광상의 대상분포를 보인다. 광종별로 국내 총 광상수에 대한 본 화강암류와 관련된 광상수의 백분율은 동광상은 90%, 연·아연광상은 70%이상, 그리고 중석·황수연광상은 30% 이상을 점한다. 이들 동, 연·아연광상의 대부분은 경상분지내에 맥상의 황화광상으로서 산출되며 동광상은 국내 가행광상의 70%가 본 분지내에 소재한다 (이상만, 1972). 광상들의 주광종(Cu, Pb·Zn, Mo)은 관련 화강암류의 광물 및 화학조성과 밀접한

관계를 가지며 암석중 주/미량원소의 함량변화에 잘 반영되어 나타난다(이재영, 1981, 1989; Lee, 1984). 따라서 본 연구에서는 경상분지내 열수광상의 생성환경과 메카니즘에 대한 연구의 일환으로 경상분지내 열수금속광상의 광화작용에 대하여 검토하고 광상구의 광종과 화강암류의 화학조성과의 관계를 연구하였다. 그리고 광상구별로 생산성 암체와 불모성 암체를 구별할 수 있는 차이점을 규명코저 하였다.

## 광화작용

열수광상의 형성에는 광화용액의 공급원과 통로, 특히 금속광상의 경우는 광물질이 침전될 수 있는 공간이 있어야 하며, 또한 광화용액이 모암과 반응하여 농집되어야 된다. 경상분지내 광화용액의 공급원은 백악기~제삼기초의 화강암류와 관련되며 분지내에 많이 발달하는 단층, 절리, 열하, 전단 등의 구조선은 광화용액의 통로와 침전 장소가 된다. 모암은 대부분이 세일, 사암, 점토암으로 구성된 경상계 퇴적암류 및 안산암질 화산암류로 되어 있기때문에 열수교대광상이나 접촉교대광상의 발달은

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

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

거의 없고 암류내의 구조선을 따라 형성된 열화 및 각력 충전형 광상과 파이프상 광상이 주로 발달한다. 그러나 드물게 관입암 자체내에 형성된 광상도 있다.

### 광상의 산상과 광물조성

경상분지내에는 주요 금속광상으로서 금·은, 동, 연·아연, 휘수연·중석, 철 등의 광상이 발달한다. 동광상은 대부분이 망상 또는 파이프상의 열화 또는 각력 충전광상으로 산출되며 함안·군북지역의 동광상(박희인 등 1985; 최석원, 1986)은 함 Co·As·W의 심열수광상에 속하고 마산지역의 동광상은 함 Pb·Zn·Au·Ag의 중열수광상 내지 천열수광상에 속한다(이상만, 1972). 연·아연광상은 경상계의 퇴적암과 안산암질암을 모암으로 하여 대부분이 중심열수~천열수의 열화충전광상으로서 산출되며 보통 동광물을 수반하고 Au·Ag를 함유하며 중석광물이 공생되는 경우도 있다. 금·은광상은 불국사 화강암류의 화강반암에 수반이 잘 되며, 중심열수~천열수의 함 Au 석영맥 광상으로서 산출된다. 금·은은 대부분이 이들 석영맥의 석영입자간 또는 황철석 결정의 구멍에 충전된 상태로 산출된다. 그러나 금·은은 보통 동광석 또는 연·아연광석의 부산물로서 산출된다. 중석·휘수연 광상은 대부분이 강원·경북·충북 도계 부근지역에 밀집 분포하나 각력파이프형 및 광염~망상형 광상은 주로 경상분지내에 분포하며 열수광상은 광맥형, 각력파이프형 및 광염-망상형등으로 산출된다(박희인, 1982). 광석광물은 회중석과 흑중석이 공생하나 흑중석이 양적으로 우세하다. 우리나라에서는 중석과 휘수연이 공생하는 경우가 많고 동광상, 연·아연광상 또는 철광상(우연균, 1988)에 중석이 수반되기도 한다. 모암은 화강암, 편마암, 안산암등이 많으며 달성광상은 안산암, 일광광상 및 삼울소 보는 화강암이다. 본 역 금속광상의 광물조성을 보면 지역에 따라 차이는 있으나 경남지역은 동광물이 우세하고 경북지역은 연·아연광물이 우세한 경향이 있다. 동광물은 황동석, 연·아연광물은 섬아연석과 방연석이 대표적 광물이다. 경남지역의 함안광산, 철마광산, 계이군북광산에서는 광상중에 자철석이 많이 수반되고, 입상안산암을 모암으로 하는 동광상에는 경철석에 동광물이 수반되는 경우도 있다. 일광동·중석광상에는 황동석에 회중석, 흑중석, 휘창연석, 방연석, 섬아연석이 수반되며, 군북동광상에는 황동석에 회중석이 수반된다. 경북 군위광산과 전흥광산에서는 황동석외에 휘동석, 반동석, 적동석, 코벨라이트가 많이 산출되고 황철석, 유비철석, 자유철석이 수반되며 곳에 따라 자철석이 수반된다. 맥상의 광맥은 금·은을 함유한다. 한편 달성 동·중석광상은 창연, 금·은을 수반한다.

### 화강암질 모암의 변질

광화 관련 화강암체는 분화과정에서 농집된 자체의 열수광화

용액에 의하여 변질되고 그 결과 분석에 영향을 줄 수 있다. 화강암질암이 모암인 경상분지내 열수광상의 모암변질을 요약하면 다음과 같다. 이는 분석용의 암석시료를 채취할 때 변질된 암석을 피하는데 도움이 된다. 진동화강암체는 광맥을 부존하고 있는 함안·군북지역의 화강섬록암을 보면 광맥에서 모암쪽 방향으로 견운모→녹니석→정장석화되어 있다(박희인 등, 1985). 온정리 화강암체는 삼울소보광산의 각섬석·흑운모화강암에서 보는 바와같이 광맥에서 모암쪽으로 백운모(견운모)→카리장석, 녹렴석→녹니석화되어 있으며, 모암내 사장석은 견운모화, 각섬석과 흑운모는 녹니석화 되어 있다. 변질과정에서 용탈되어 나온 철 성분은 유황과 결합하여 황철석을 형성한다(김수영 등, 1981). 이러한 화강암질암의 열수변질은 일광광산에서도 관찰할 수 있다. 즉, 일광광산은 화강섬록암 내지 석영문조니암체내에 발달한 각력파이프형 광상인데 사장석은 견운모 및 녹니석화되어 있으며 곳에 따라 이차석영과 탄산염으로 치환되어 있다. 그리고 흑운모는 녹니석화 되어 있다(Jin, 1975). 화강암질 모암은 이러한 열수변질과정에서 광화용액에 의하여 오염될 수 있으므로 본 연구에서는 오염된 암석시료의 채취를 피하기 위하여 광산 주변에서는 시료를 채취하지 않았다.

### 광상구 및 지질구조와의 관계

백악기~제삼기초의 화강암류를 관련암으로 하는 경상분지내 금속광상은 대체로 한반도 동남단에서 내륙쪽으로 동, 연·아연, 중석·휘수연의 순으로 대상분포를 하고 있으며, Sillitoe (1977)에 의하면 이는 현재는 한반도의 경상분지와 서남일본으로 분리되어 있는 경상·관문분지의 원광상분포와 관련된다. 그는 경상분지내의 광상이 서남일본에서처럼 대상분포를 하고 있고 경상분지와 서남일본의 지질(Ichikawa et al, 1968)과 화강암류의 광화작용(Shibata and Ishihara, 1974; Shimazaki, 1975)이 서로 유사한 점을 근거로 하여 연양단층은 서남일본지역이 고체사기에 남하할 때(신병우, 1974) 생겼으며 단층동측의 남향이동(Reedman & Um, 1975) 거리는 약 100 km로 추정하였다. 그리고 이동시기는 경상분지와 서남일본의 대상광상분포가 서로 연결되는 것을 고려하여 휘수연광상이 서남일본에서 생성된 중기마이오세이후로 추리하였다. 서남일본의 남하시기에는 아직 이론이 있으나 Sillitoe의 가정을 받아 들인다면은 기설정 광상구(손치무, 1968)에 다소의 수정이 필요하다. 경상분지의 광상구(Kim, 1971; 이상만 등, 1974)에 의하면 본 연구의 대상이 되는 진동 화강암체는 경남동광상구 내지 함안금·은광상구 또는 군북광상구에 속하고 유천·연양화강암체와 마금산화강암체는 마산·밀양 연·아연광상구 또는 밀양 및 유천 연·아연광상구에 속하며 온정리화강암체와 영해화강암체는 평해·영덕 연·아연광상구 또는 영덕 연·아연·중석·휘수연광상구에 속한다. 물론 광상구의 설

정자에 따라 약간의 차이는 있으나 대체로 유사하다. 광상구내 금속광상은 단층, 절리등의 지질구조에 의하여 규제된 분포를 보이며 북동방향의 판 습입 (plate subduction)과 밀접한 관계를 가진다 (Fletcher, 1976). 손치무의 (1968)에 의하면 금속황화물광맥은 주로 NS와 NE방향을 가지나 금·은·아연광맥은 N5-10W방향이 우세하다. 광맥의 발달은 연구자에 따라 조금씩 다르나 Fletcher (1976)에 의하면 광맥은 NS와 EW방향의 것이 많고, 김선억 (1973)에 의하면 함안·군북광화대의 광맥은 대체로 NS, N10-25W, N10-20E방향을 띤다. 태평양판의 습입과 관련된 경상분지내 지질구조선의 방향을 보면 충상단층, 충상단층, 습곡 및 한반이동충상단층은 대체로 NE방향, 공역단구 (conjugate fracture)는 N10-20W 및 N65-75W방향을 띄우며 화강암류에서는 동심 내지 방사상절리가 발달한다. 경상분지내 지질구조선은 한국 전체구조선과 연관성을 보이는데 Fletcher (1976)의 것과 Landsat-I photograph를 이용한 tectonolineament diagram (원종관, 1978)을 비교해 보면 공역단구 (N10-20W, N65-75W)와 충상단층, 습곡(NE)은 각각 NS-20W, N50-80W와 N10-50E (우세군)에 해당하고 인장균열 (N35-50W)은 N20-50W (보통군)에 해당된다 (이재영, 1981).

이재영 (1981)은 이들 광상구를 대상으로 광상구와 화강암류의 화학조성과의 관계를 종합적으로 연구하였으며 광상구의 주광종과 화강암류중 화학조성간에는 밀접한 관계가 있을 뿐만 아니라 화강암류의 주/미량원소의 함량변화를 경상분지내 광상구의 광종구분에 활용할 수 있음을 밝혔다 (이재영, 1989; 이재영 등, 1990; 이재영, 이진국, 1992).

**서남일본 및 동남중국과의 비교**

중기마이오세전까지 경상분지와 연결되어 있으면서 동시기에 광화작용을 받은 것으로 가정 (Sillitoe, 1977)되는 서남일본에 비하면 경상분지는 접촉교대광상 내지 열수교대광상이 드문 것은 분지하부에 석회암이 결여되어 있기 때문으로 생각되고 있다. 경상분지내 연·아연, 동·중석광상의 운광암인 소위 백악기화강암류 (88~65 MA)는 서남일본의 연·아연, 동·중석광상의 운광암 (96~64 MA)과 동질의 화강섬록암 내지 아다멜라이트질암이나 서남일본에는 석회암이 부존되어 있어서 경상분지와는 대조적으로 동·연·아연 등의 접촉교대광상이 발달한다. 한편 서남일본외에 경상분지내 화강암류의 광화작용과 유사한 특징을 가진 지역은 중국동남부인데 (Tsusue, 1982), 이 지역에 분포하는 syntexis granitoid는 우리나라 중생대 화강암류처럼 서태평양판의 침강과 관련되며, 그 관입시기와 광화작용이 대보화강암류와 불국사화강암류에 유사하다 (Xu et al., 1982) 즉, syntexis granitoid의 관입시기는 170~130 MA와 120~80 MA인데 우리나라 대보화강암류와 불국사화강암류의 관입시기와 비슷하다. 광상

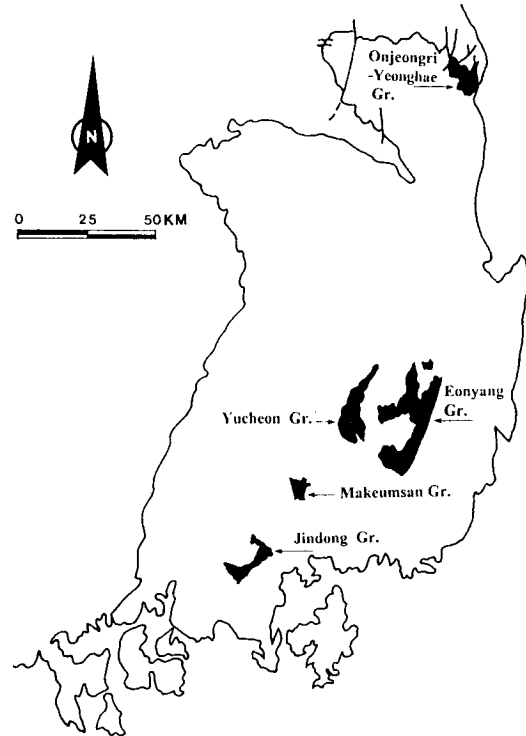


Fig. 1. Distribution map of the studied masses of the Cretaceous granitic rocks in the Gyeongsang Basin.

의 분포형태에는 약간의 차이가 있으나 동·연·아연, 중석, 휘수연 등의 광종은 거의 유사하다. 따라서 우리나라의 중생대 화강암류와 관련된 광화작용은 서남일본을 포함해서 중국 동남부의 중생대 화강암류와 관련된 광화작용과 비교연구되어야 하며 나아가 아세아대륙 동부해안지역의 일부로서 상호 공동연구해 볼 필요가 있을 것으로 생각된다.

**화강암류**

경상분지내 백악기 화강암체의 화학조성과 광화작용과의 관계를 규명하기 위하여 동광상구에서는 진동화강암체, 연·아연광상구에서는 마금산 및 유천-연양화강암체, 휘수연광상구에서는 온정리 및 영해화강암체를 선정하여 (Fig. 1) 화강암체의 주/미량원소를 분석하고 분지내 광상구의 광종 및 관련암체의 생산성/불모성과의 관계를 연구하였다.

본 역 화강암체들은 모드 석영-정장석-사장석도 (Fig. 2)에 의하면 동광상구의 진동화강암체는 주로 화강섬록암, 석영섬록암, 섬록암, 연·아연광상구의 유천-연양화강암체와 마금산화강암체는 각각 화강암과 화강섬록암, 휘수연광상구의 온정리화강암체와 영해화강암체는 화강암과 화강섬록암, 화강섬록암과 석영섬록

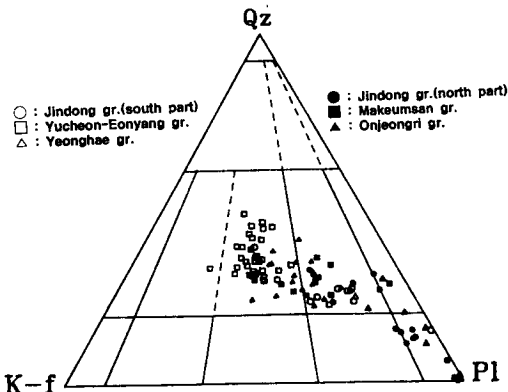


Fig. 2. Modal quartz-alkali feldspar-plagioclase diagram.

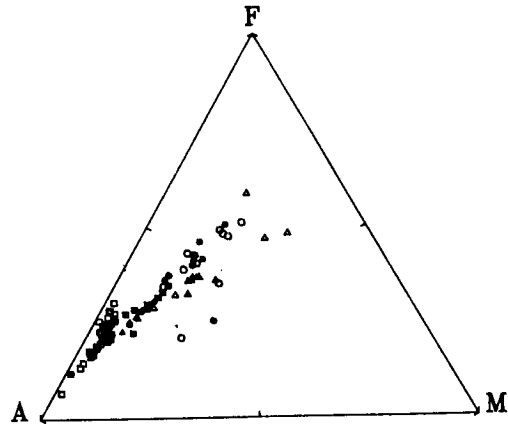


Fig. 4. AFM diagram. Symbols are the same as those in Fig. 2.

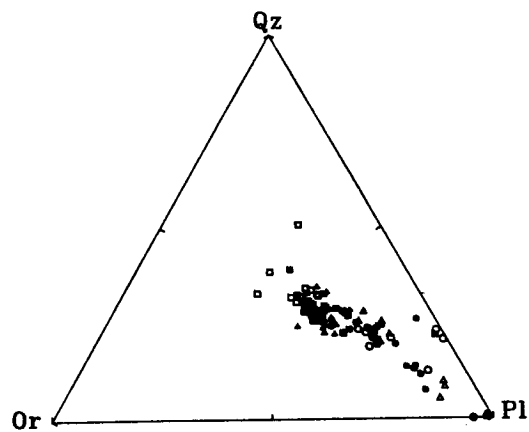


Fig. 3. Normative quartz-orthoclase-plagioclase. Symbols are the same as those in Fig. 2.

암으로 각각 분류된다. 이는 기자료 (이재영, 1989; 이재영 등, 1990; 이재영, 이진국, 1992)와 일치한다.

이들 암류와 광화작용과의 관계를 보면 동광상구의 진동화강암체는 불모대가 주로 화강섬록암인데 반하여 광화대는 반려암, 석영섬록암, 화강섬록암으로 되어 있어 동광화 관련암은 석영섬록암이 될 가능성이 높다. 연·아연광상구에서는 불모성의 유천-연양화강암체가 주로 화강암인데 반하여 생산성의 마금산화강암체는 화강섬록암~화강암으로 되어 있다. 따라서 연·아연 광화작용은 화강암으로 분화가 진행된 마그마보다는 화강섬록암에서 화강암으로 분화가 진행되는 과정의 마그마와 더 밀접히 관련되는 것으로 보인다. 휘수연광상구에서는 생산성의 온정리화강암체가 화강암~화강섬록암인데 반하여 불모성의 영해화강암체는 화강섬록암-석영섬록암으로 되어 있다. 이는 휘수연 광화작용은 석영섬록암질 마그마보다는 분화가 더 진행된 화강섬록암~화강암질 마그마가 더 관련되기 때문이 아닌가 생각된다.

다. 이상을 종합해 보면 동 광화작용은 석영섬록암에, 연·아연 및 휘수연 광화작용은 화강섬록암-화강암에 관련되는 경향이 있는 것으로 나타난다. 단, 휘수연광화작용은 화강섬록암보다 화강암쪽에 더 관련되는 것으로 보인다.

노름 석영-정장석-사장석도 (Fig. 3)에 의하면 본 역 진동화강암체, 유천-연양화강암체와 마금산화강암체 및 온정리화강암체와 영해화강암체는 경상분지내 백악기 화강암류 (Jin, 1981; 이준동, 1987; 이재영, 1989; 이재영 등, 1990; 이재영, 이진국, 1992)와 같은 마그마 분화과정을 보이며, 이들 암체들간의 차이점은 동광상구의 진동화강암체는 염기성암에서 산성암으로의 넓은 영역에 걸쳐 점시되는데 비하여 연·아연광상구의 유천-연양화강암체와 마금산화강암체는 산성암영역에 점시되고, 온정리화강암체와 영해화강암체는 대체로 상기 양 화강암체의 중간 영역에 점시된다. 이들 화강암체들은 광상구의 광종에 따라 분화정도가 다를 뿐만 아니라 같은 광종의 광상구내에서도 화강암체가 생산성인지 불모성인지에 따라 분화정도에 약간의 차이를 보인다. 즉, 연·아연광상구의 생산성 마금산화강암체는 불모성의 유천-연양화강암체보다 분화정도가 낮으며 반대로 휘수연광상구의 생산성의 온정리화강암체는 불모성의 영해화강암체보다 분화정도가 높은 경향을 보인다. 따라서 노름조성도는 광상구의 광종과 암체의 생산성/불모성을 판별하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

AFM도 (Fig. 4)에 의하면 본 역 진동화강암체, 유천-연양화강암체와 마금산화강암체 및 온정리화강암체와 영해화강암체는 경상분지내 백악기 화강암류 (Jin, 1981; 이준동, 1987; 이재영, 1989; 이재영 등, 1990; 이재영, 이진국, 1992)와 같은 칼크-알카리계열의 성분변화를 보이며 이들 암체들간의 큰 차이점은 동광상구의 진동화강암체는 Fe+Mg 함량이 높은 영역에 점시되고 연·아연광상구의 유천-연양화강암체와 마금산화강암체는

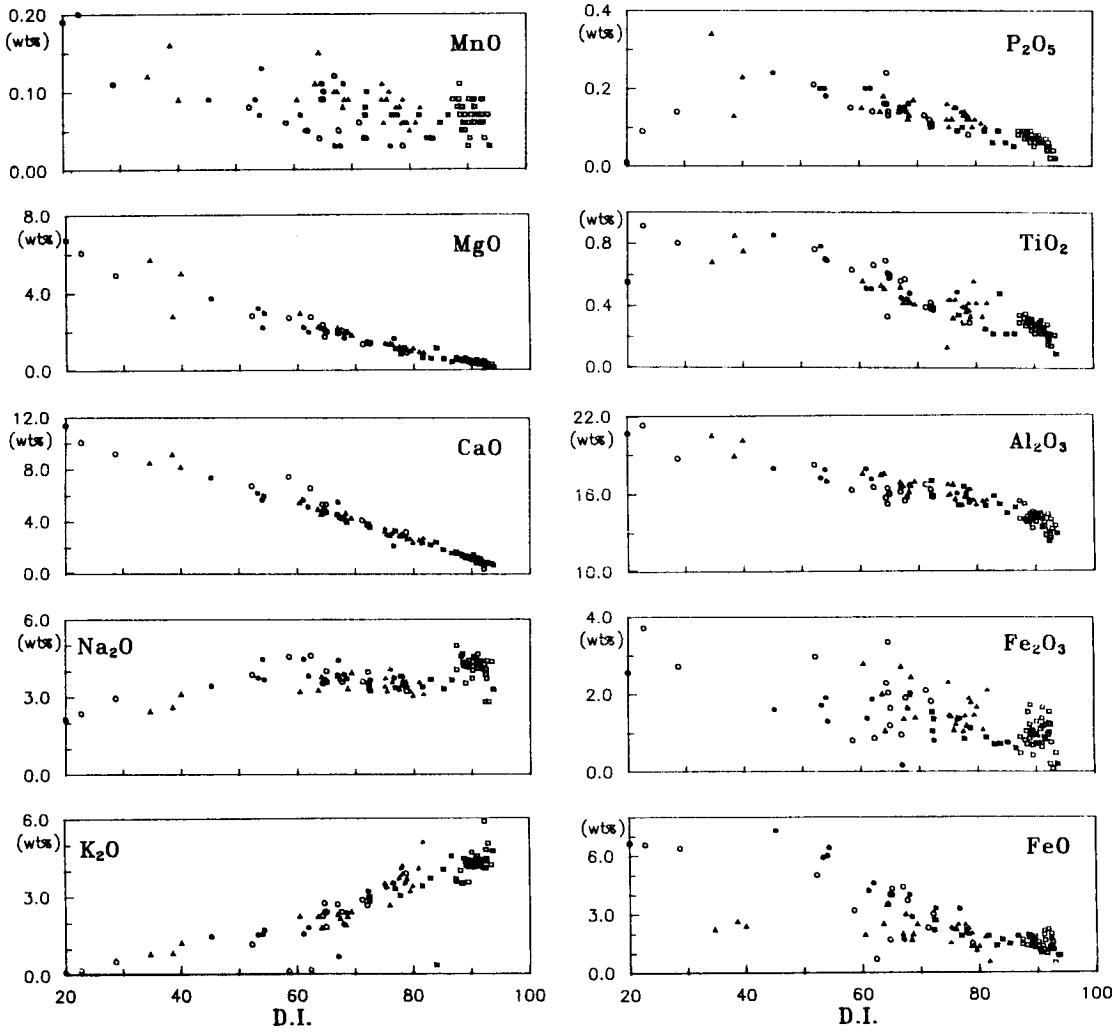


Fig. 5. Variations of major oxides versus D.I.. Symbols are the same as those in Fig. 2.

K+Na 함량이 높은 영역에 점시되며 휘수연광상구의 온정리화강암체와 영해화강암체는 대체로 동광상구와 연·아연광상구의 중간 영역에 점시된다. 그리고 AFM도에서도 암체의 생산성/불모성에 따라 점시영역에 약간의 차이를 보인다. 따라서 AFM도는 노름조성도처럼 광상구의 광종과 암체의 생산성/불모성을 판별하는데 다소의 도움이 될 것으로 사료된다.

**화강암류의 화학성분 및 광화작용과의 관계**

경상분지내 금속광상의 광종은 백악기 화강암류의 암류와 밀접한 관계를 가지고 있으며 (이상만, 1972), 광상구의 광종은 화강암류중 주/미량원소와 밀접한 관계를 가진다 (이재영, 1981).

그리고 화강암류중 주/미량원소는 광상구의 광종에 따라 함량이 변화되 일정한 범위를 보이며, 화학조성의 변화양상에 의하여 동, 연·아연 및 휘수연 광상구의 구분이 대체로 가능하다 (이재영, 1984, 1989). 각 광상구내에서는 생산성 암체가 불모성 암체에 비하여 일반적으로 해당 금속원소의 함량이 높고 (이재영, 1989; 이재영, 이진국, 1992) 전암 및 흑운모 중 염소의 함량이 높은 경향이 있다 (이재영 등, 1994). 따라서 이를 체계적으로 확인하기 위하여 동, 연·아연, 휘수연의 광상구별로 대표적 광화 관련 화강암류체로서 동광상구에서 진동화강암체, 연·아연광상구에서 유천-연양화강암체와 마금산화강암체 그리고 휘수연광상구에서 온정리화강암체와 영해화강암체를 선정하여 화강암체중 주/미량원소와 광석금속원소의 분석 및 흑운모의 ICP 분석과 EPMA

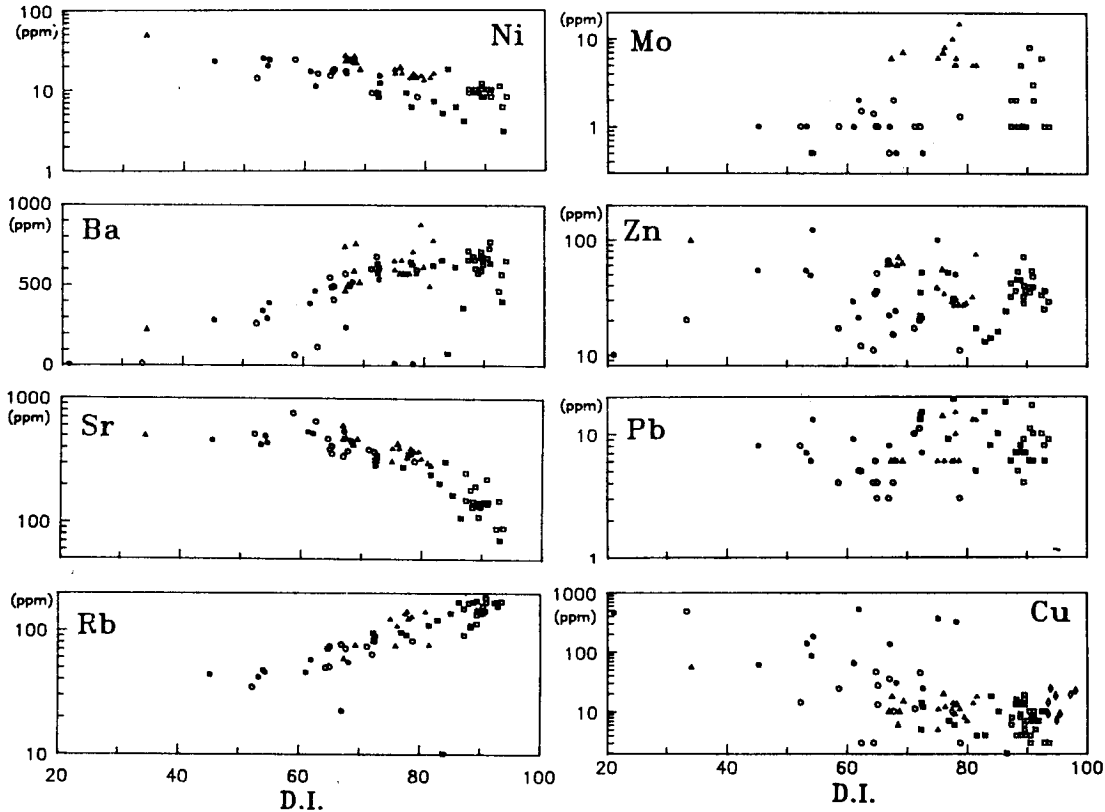


Fig. 6. Variations of trace elements versus D.I.. Symbols are the same as those in Fig. 2.

분석을 실시하여 화강암체의 화학조성과 광상구의 광종과의 관계 및 생산성 암체와 불모성 암체의 차이점을 연구하였다.

#### 주원소 · 미량원소 및 광상구와의 관계

본 역 화강암류의 분화지수 (D.I.)를 보면 동광상구는 연·아연광상구와 휘수연광상구로부터 현저히 구분되며 연·아연광상구와 휘수연광상구는 일부 중첩되나 연·아연광상구가 높은 편이다. 동광상구의 진동화강암체는 함안-군북지역 동광화대의 생산성 암체가 45.15~76.58이고 불모성 암체가 54.45~72.08로 생산성 암체가 분화지수의 폭은 넓으나 대체로 조금 낮은 경향을 띤다. 연·아연광상구의 화강암체는 생산성의 마금산화강암체가 72.15~85.17이고 불모성의 유천-연양화강암체가 85~95로 생산성 암체가 분화지수가 현저히 낮다. 휘수연광상구의 생산성의 온정리화강암체는 74.95~81.68이고 불모성의 영해화강암체가 63.54~71.91로 생산성 암체가 역시 현저히 분화지수가 높다. 분석시료수는 전암분석은 진동화강암체 26개, 연양-유천화강암체 46개, 마금산화강암체 11개, 온정리화강암체 17개, 영해화강

암체 8개이나, ICP분석은 암석 중 흑운모량이 극히 적어 선별하기 어려워 진동화강암체가 8개, 연양-유천화강암체가 9개, 마금산화강암체가 6개, 온정리화강암체가 9개이고 EPMA분석은 경화관찰에서 변질되지 않은 것을 선정하여 시편을 제작하고 진동화강암체는 2개, 마금산화강암체는 4개, 온정리-영해화강암체는 2개를 각각 3점씩 분석하였다. 분화지수에 대한 주원소의 함량변화 (Fig. 5)를 보면 경상분지내 백악기 화강암류와 일치되는 경향을 보이는데 주원소의 함량은 대체로 동광상구의 진동화강암체는 연·아연광상구와 휘수연광상구의 화강암체들에 비하여  $K_2O$ 함량은 일정량 낮고, CaO, MgO, FeO,  $P_2O_5$  등의 함량은 일정량 높으며, 연·아연광상구의 화강암체와 휘수연광상구의 화강암체간에도 주원소 함량에 다소의 차이가 있으므로 광상구의 광종구분에 도움이 될 것으로 생각된다 (Table 1).

분화지수에 대한 미량원소의 함량변화 (Fig. 6)도 대체로 진동화강암체는 온정리 및 유천-연양화강암체에 비하여 Rb 함량은 일정량 낮고, Sc, V, Co 및 Cu는 일정량 높으며 온정리화강암류와 유천-연양화강암류간에도 Ni, Co, Sc 및 V 등 함량에 약간의 차이를 보이므로 광상구의 광종구분에 도움이 될 것으로 생각된다.

Table 1. Mean value and standard deviation of major oxides and trace elements in granitoids.

elements	Cu province						Pb-Zn province						Mo province							
	Jindong gr.(26)			Eonyang-Yucheon gr.(46)			Makemsan gr.(11)			Onjeongri gr.(17)			Yeonghae gr.(8)							
	Min	Max	S.D.	Min	Max	S.D.	Min	Max	S.D.	Min	Max	S.D.	Min	Max	S.D.					
SiO <sub>2</sub>	48.00	70.13	62.12	5.42	70.81	77.20	73.35	1.19	66.24	76.64	70.47	2.70	66.45	70.45	68.44	1.12	50.70	67.79	61.76	5.51
TiO <sub>2</sub>	0.29	0.91	0.58	0.16	0.14	0.35	0.26	0.05	0.09	0.48	0.30	0.10	0.13	0.56	0.39	0.09	0.32	0.85	0.53	0.15
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	15.15	21.29	16.86	1.47	12.26	15.37	13.80	0.70	12.86	16.94	15.28	1.04	15.06	16.68	15.73	0.45	16.07	2.48	17.62	1.38
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.17	3.71	1.76	0.79	0.08	1.72	0.95	0.76	0.20	1.54	0.92	0.37	1.04	2.31	1.50	0.37	1.05	6.16	2.91	1.89
FeO	0.70	7.30	4.09	1.72	0.50	2.24	1.51	0.39	0.90	2.70	1.91	0.51	0.58	2.50	1.81	0.54	1.69	3.49	2.79	0.48
MnO	0.03	0.20	0.08	0.04	0.03	0.11	0.07	0.02	0.03	0.10	0.06	0.02	0.05	0.11	0.08	0.02	0.08	0.16	0.11	0.02
MgO	0.87	6.71	2.52	1.36	0.12	0.62	0.38	0.11	0.10	1.44	0.86	0.42	0.89	1.39	1.14	0.15	1.33	5.70	2.67	1.27
CaO	2.12	11.35	5.61	2.04	0.31	1.67	1.08	0.30	0.63	3.86	2.58	0.97	2.36	3.48	2.90	0.28	2.93	9.14	5.45	1.91
Na <sub>2</sub> O	2.11	4.60	3.70	0.57	2.79	4.97	4.15	0.41	3.22	6.93	3.76	1.02	3.03	3.80	3.42	0.22	2.44	4.08	3.41	0.49
K <sub>2</sub> O	0.10	3.86	1.80	1.01	3.46	5.86	4.25	0.41	0.33	4.71	3.26	1.10	3.18	5.07	3.73	0.45	0.78	2.65	1.87	0.59
P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0.01	0.24	0.15	0.05	0.02	0.09	0.07	0.02	0.02	0.11	0.08	0.03	0.10	0.16	0.12	0.02	0.12	0.34	0.17	0.06
Ba	65	677	415.9	158.4	462	1501	691.0	202.3	73	653	520.6	170.1	491	876	646.3	97.7	224	758	544.6	157.5
Sr	310	757	445.6	101.8	87	252	145.1	37.6	72	354	242.2	88.2	287	396	350.2	36.6	424	604	477.9	53.3
Rb	6	100	50.6	24.1	90	182	144.1	20.6	10	168	104.2	40.5	75	142	122.1	19.4	58	75	69.0	7.7
Li	1	43	18.4	10.3	6	38	18.4	10.1	5	27	13.4	6.7	12	27	19.3	4.4	13	22	19.0	2.0
Zr	10	42	21.3	9.7	14	45	21.7	8.8	17	45	25.5	8.8	8	42	20.0	8.6	8	20	13.7	5.9
Cu	3	522	66.1	110.2	3	19	7.8	4.7	2	18	8.4	4.6	5	18	11.3	3.4	6	56	18.1	14.9
Pb	3	13	6.4	2.7	4	111	7.9	2.7	5	19	12.0	4.4	6	15	9.0	3.5	6	14	8.7	3.7
Zn	2	122	32.8	26.1	25	71	40.1	10.6	13	52	28.4	13.5	27	75	34.8	12.7	55	99	66.7	12.8
Mo	0.5	2	0.9	0.5	0	8	2.0	2.0	-	-	-	-	5	15	7.2	3.1	6	7	6.7	9.4
Ni	8	25	17.2	5.1	6	12	9.3	1.2	3	18	7.9	4.0	13	18	15.1	1.3	18	49	25.9	9.2
Co	1	17	9.1	5.6	0	9	4.9	1.8	2	11	6.9	2.6	8	10	8.8	0.7	10	26	14.6	4.7
Cr	5	28	14.8	5.9	3	56	20.0	13.3	1	35	8.7	8.8	4	13	9.4	2.4	13	20	15.9	2.1

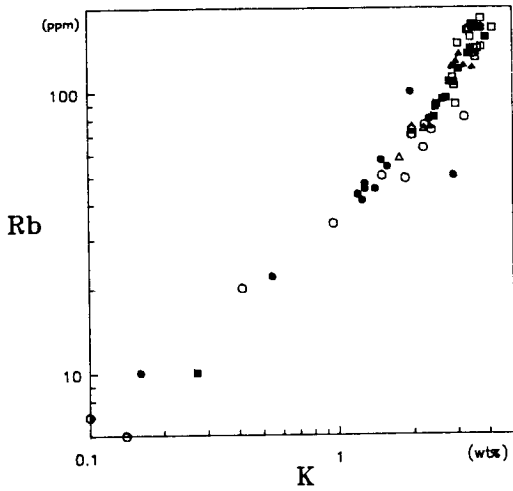


Fig. 7. Rb-K diagram. Symbols are the same as those in Fig. 2.

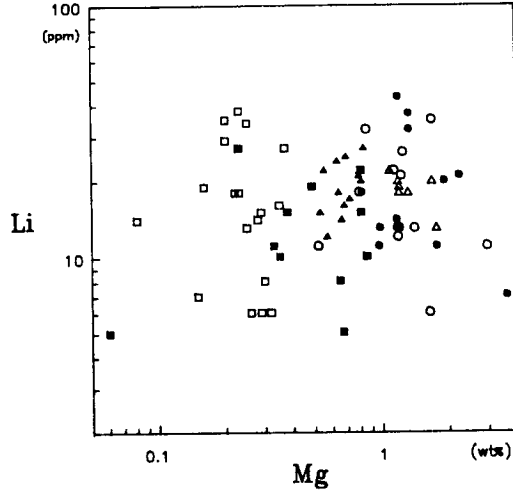


Fig. 9. Li-Mg diagram. Symbols are the same as those in Fig. 2.

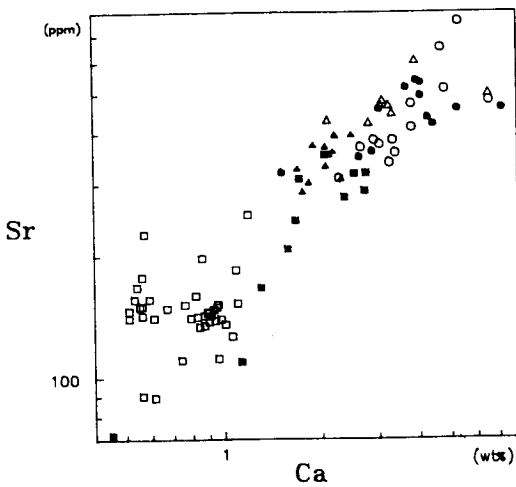


Fig. 8. Sr-Ca diagram. Symbols are the same as those in Fig. 2.

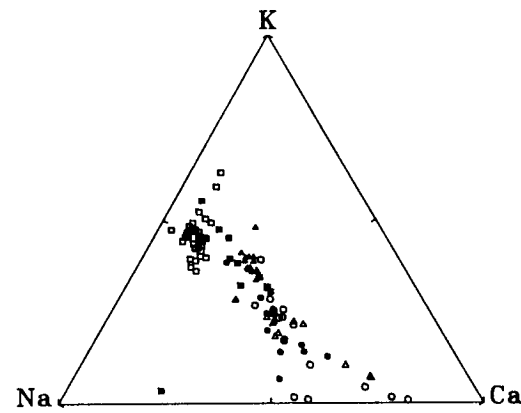


Fig. 10. K-Na-Ca ternary diagram. Symbols are the same as those in Fig. 2.

단, 여기에 언급된 주/미량원소 함량의 일정량은 절대적인 것이 아니고, 조사 대상지역과 범위에 따라 조금씩 다를 수 있는 상대적인 량에 지나지 않고, 다만 어떤 일정 함량에 의하여 광상구의 광종이 구분될 수 있는 가능성을 시사하는 것으로 받아들여야 될 것이다 (이재영 등, 1994). Table 1은 본 역 화강암체중 주/미량원소의 함량을 통계처리한 것이다.

분화지수에 대한 함량변화에서 광상구의 광종 구분에 지시성이 높은 원소는 서로의 함량을 비교함으로써 지시성을 더 높일 수 있다. 그리고 두 원소보다 세 원소의 상관관계가 지시성이 높다. 예로 철과 또는 마그네슘은 분화지수에 대한 상관도에서도 광상구가 구분되나 Fe-Mg도에서는 세 광상구가 더 잘 구분된

다 (이진국, 1993; 이인호, 1993). Rb-K도 (Fig. 7)에서는 세 광상구가 구분되고 Sr-Ca도 (Fig. 8)에서는 동광상구가 타 광상구에 대하여 현저히 구분되며, 연·연광상구와 휘수연광상구간에도 구분이 가능하다. 뿐만아니라 Rb-Sr도 및 Mg-Li (Fig. 9)도에서는 동광상구가 연·아연광상구에 대하여 현저히 구분되며, 연·아연광상구와 휘수연광상구도 구분된다. 그리고 세 원소의 K-Na-Ca도에서는 광상구가 현저히 구분된다. 그러나 K/Rb에 대한 Ca/Sr도 또는 K/Rb에 대한 Rb/Sr도 (Fig. 10)에서처럼 함량비간의 관계도에서는 광상구간의 구분이 어려워지는 경향이 있다 (이인호, 1993).

광석금속원소 Cu, Pb, Zn, Mo의 함량도 관련 광상구의 광종과 밀접한 관계를 보이는데 진동화강암체는 광화대에서 Cu 함량이 현저히 높고, 마금산화강암체와 유천-연양화강암체는 Pb 및 Zn



Table 2. Content of Cu, Pb and Zn in biotite fractions of granitic rocks<sup>a)</sup>  
unit : ppm, ( ): average

rock type	No.	Cu	Pb	Zn	zone	province
Jincond granites (8)	Gd. J-3	131	16	219	mineralized (Haman- Kunbuk)	Cu
	J-6	215	4	102		
	Qd. J-1	69	34	185		
	J-2	67	4	108		
	J-4	142	6	178		
	Gb. J-5	70	4	231		
	Gd. J-7	141	3	81	barren	
	J-8	71	10	173	(Pyonamri)	
Makeumsan gr. (6)	24-90 av.	42	9	269	mineralized	
Yucheon gr.	8-14	20-57	258-363			
Eonyang gr. (9)	11-39 av.	18	30	396	barren	Pb-Zn
Onjeongri gr. (9)	8-13 av.	11	12	279	198-411 mineralized	Mo

a) Data from Lee *et al.* (1994). Gd.; granodiorite, Qd; quartz diorite, gr.; granite, av.; average, ( ); numbers of sample.

함량이 높으며 온정화강암체는 Mo 함량이 높다. 단, Pb 함량은 유천-연양화강암체는 연·아연광상구에 있음에도 오히려 낮은 함량을 보이는데, 이는 광상구의 구분상 유천-연양화강암체는 연·아연 광상구에 속하나 본 광상구내에는 알려진 기존 연·아연 광상이 없기 때문으로 해석된다.

이상 분화지수와 주원소 및 미량원소의 함량변화는 경상분지내 광상구의 광종을 구분하는데는 유용한 지시원소가 될 수 있으나, 각 광상구내 암류들의 생산성/비생산성을 구분하는데는 빈약한 것으로 나타나므로 흑운모 중 염소함량 (이재영 등, 1994)에 의한 연구를 실시하였다.

**흑운모 중 염소와 화강암류의 생산성과의 관계**

일반적으로 광화 관련 화강암체는 분화가 많이 진행될수록 광화가스과 광화용액이 농집되고, 이것이 분화과정에서 조암광물중에 수용되므로 (Slawson and Nackowski, 1959; Bradshaw, 1967), 본 역 화강암체들의 흑운모 중 동, 연, 아연과 염소를 ICP 및 EPMA로 분석하고 생산성 암체와 불모성 암체간의 차이점을 검토하였다.

**전흑운모 분석**

일반적으로 광화 관련 암체들의 광석금속 함량은 전암보다 흑운모 (Tauson and Kravchenko, 1956; Parry and Nackowski, 1963)나 장석 (Cuturic *et al.*, 1968; Slawson and Nackowski, 1959) 등의 조암광물에서 높게 나타남으로 본 역의 흑운모 중 동, 연·아연의 함량도 지시성이 높을 것으로 기대된다 (이재영 등, 1994). 본 역의 흑운모 중 금속 함량을 보면 동은 동광상구의

Table 3. Content of Cl in biotite of granitic rocks.

rock type	productive		barren		province
	point No.	Cl	point No.	Cl	
Jindong granites	north Jindong gr.		south Jindong gr.		Cu
	Qd-1	1 0.75	Gd-3	1 0.39	
		2 0.57		2 0.39	
		3 0.64		3 0.37	
		av. 0.65		av. 0.38	
	Qd-2	1 0.48	Gd-4	1 0.47	
		2 0.98		2 0.47	
		3 0.64			
		av. 0.70		av. 0.47	
		av. of Qd 0.68		av. of Gd 0.43	
Makeumsan Yucheon- Eonyang granites	Makeumsan gr.		Yucheon-Eonyang gr.		Pb-Zn
	Gr-1	1 0.11	Gr-1	1 0.45	
		2 0.01		2 0.44	
		3 0.05		3 0.46	
		av. 0.05		av. 0.45	
	Gr-2	1 0.35	Gr-2	1 0.46	
		2 0.33		2 0.48	
		3 0.26		3 0.45	
		av. 0.31		av. 0.46	
	Gr-3	1 0.27	Gr-3	1 0.02	
	2 0.28		2 0.24		
	3 0.30		3 0.21		
	av. 0.28		av. 0.16		
	Gr-4	1 0.21	Gr-4	1 0.22	
	2 0.23		2 0.22		
	3 0.25		3 0.23		
	av. 0.23		av. 0.22		
	av. of Gr 0.22		av. of Gr 0.32		
Onjeongri- Yeonghae granites	Onjeongri gr.				Mo
	Gr-1	1 0.25			
		2 0.25			
		3 0.22			
		av. 0.24			
	Gr-2	1 0.12			
		2 0.15			
		3 0.19			
		av. 0.15			
		av. of Gr 0.19			

생산성 진동화강암체에서 화강섬록암이 173 ppm, 석영섬록암이 115 ppm으로 가장 높고 불모성 진동화강암체도 화강섬록암이 107 ppm으로 타 광상구의 생산성 화강암체보다도 높다. 그리고 아연도 연·아연광상구의 마금산화강암체 (269 ppm)와 유천-연양화강암체 (396 ppm)에서 가장 높다 (Table 2).

따라서 본 역에서도 흑운모 중 광석금속 함량이 전암의 것보다 지시성이 높다고 볼 수 있다. 그런데 연·아연광상구에서는 불모성의 유천-연양화강암체가 오히려 생산성 마금산화강암체보다 흑운모중 연과 아연의 함량이 높게 나타나므로 유천-연양화강암체는 생산성 암체로서의 가능성을 재검토해볼 필요가 있다. 본 역 흑운모 중 동 함량은 생산성 진동화강암체와 불모성 진동화

강암체간에 현저한 차이를 보이므로 광화 관련 암체의 생산성/불모성을 판별하는데 도움이 될 것으로 사료된다.

### 흑운모 분석

일반적으로 화강섬록암이 석영섬록암보다 분화가 더 진행된 암상이기 때문에 염소가 더 많이 농축되었을 것으로 기대되나, 본 역 동광상구의 진동화강암체를 보면 흑운모 중 염소 함량은 광화대인 함안-군북지역의 석영섬록암 (0.68 ppm)이 불모성의 화강섬록암 (0.43 ppm)보다 높다. 따라서 흑운모 중 염소의 함량은 광화 관련 화강암체의 생산성/불모성 암체를 구분하는데 도움이 될 것으로 사료된다. 그러나 염소의 이러한 역할에 대하여 아직도 많은 찬반의 논란 (Johns and Huang, 1967; Kesler *et al.*, 1975)이 있고, 본 역 연·아연광상구에서도 생산성 마금산화강암체 (0.22 ppm)가 불모성의 유천-연양화강암체 (0.32 ppm)보다 낮다 (Table 3). 그러나 이 경우 마금산화강암체와 유천-연양화강암체는 동일 암체가 아니므로 흑운모 중 염소함량과 생산성/불모성의 관계는 암체별로 차후 연구되어야 한다.

본 역 흑운모 중 염소 함량을 광상구간에 비교해 보면 생산성 화강암체는 동광상구 (0.68 ppm) > 연·아연광상구 (0.22 ppm) > 휘수연광상구 (0.19 ppm)의 순위를 보이고 불모성 화강암체에서도 동광상구 (0.43 ppm) > 연·아연광상구 (0.32 ppm)로 같은 순위를 보인다. 따라서 흑운모중 염소의 함량은 화강암체의 생산성/비생산성의 구분과 광상구의 광종 구분에도 도움이 될 것으로 생각된다.

## 결 론

경상분지내 열수금속광상은 백악기~제삼기초의 화강암류를 관련암으로 하여 경상계의 화산암류와 퇴적암류내에 주로 맥상 및 각력충진형의 광상으로 많이 발달한다.

이들 광상은 한반도 동남단에서 북서방향으로 동, 연·아연 및 중석·휘수연광상의 순으로 대상분포를 하고 있으며 광상구의 광종은 화강암류의 광물, 특히 화학조성과 밀접한 관계를 가진다. 모드광물조성도에 의하면 동광상구의 진동화강암체는 주로 화강섬록암~석영섬록암-화강암, 연·아연광상구의 마금산화강암체와 유천-연양화강암체는 각각 화강섬록암~화강암과 화강암, 휘수연광상구의 온정리화강암체와 영해화강암체는 각각 화강암~화강섬록암과 화강섬록암~석영섬록암으로 분류된다. 노름광물조성도에 의하면 본 역 화강암체는 경상분지내의 백악기~제삼기초의 화강암류와 같은 마그마분화 과정을 보이며 암체간의 차이점은 진동화강암체는 열기성에서 산성암으로의 넓은 영역을 보이는데 반하여 마금산화강암체와 유천-연양화강암체는 분화가 더 진행된 산성암 영역에만 점시되고 온정리화강암체와 영해화강암체는 그 중간 영역에 부분적으로 중첩되어 점시된다.

본 역 광상구별 화강암체들의 분화지수는 진동화강암체는 45~73, 마금산 및 유천-연양화강암체는 72~95, 온정리 및 영해화강암체는 63~82로 동광상구와 연·아연광상구의 화강암체는 현저히 구분되나 연·아연광상구와 휘수연광상구의 화강암체는 일부 중첩된다. 생산성암체와 불모성암체의 차이점은 생산성 암체쪽이 분화지수가 현저히 또는 대체로 낮다. 주원소의 함량은 광상구의 광종에 따라 대체로 높고 낮은 경향이 현저하다. 동광상구의 진동화강암체는 K와 Na 함량은 낮고 Ca, Mg 및 Fe 함량은 높으며, 연·아연광상구와 휘수연광상구의 화강암체간에도 부분적으로는 중첩되나 주원소의 함량에 차이가 있다. 즉, Mg, Ca, Fe 함량은 유천-연양화강암체보다 온정리화강암체가 높고, K, Na 함량은 온정리화강암체보다 유천-연양화강암체가 높은 경향을 보인다. 미량원소는 주원소와 밀접한 관계를 가지고 광상구간에 함량차이를 보인다. 진동화강암체는 타 광상구의 화강암체에 비하여 Sr 함량은 현저히 높고, Rb 함량은 낮으며 유천-연양화강암체와 온정리화강암체간에도 차이를 보인다. 즉, Sr 함량은 온정리화강암체가 높고 Rb함량은 유천-연양화강암체가 높다. Li와 Ba 함량도 유천-연양화강암체쪽이 다소 높다. 주원소 및 미량원소의 함량변화에 의한 광상구의 광종구분은 두 원소보다 세 원소의 관계를 통해 더욱 잘 구분될 수 있다. 그러나 주/미량원소의 함량은 화강암체의 생산성/불모성을 구분하는데 지시성이 약하고 흑운모 중 염소함량이 지시성이 높은 경향이 있다. 따라서 화강암 중 주/미량원소와 흑운모 중 염소의 지화학적 특징에 의하여 경상분지내 광상구의 광종구분과 화강암체의 생산성/불모성의 판별이 가능하며, 이를 자원개발에 필요한 기초자료는 물론 지하화학탐사에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 사 사

본 논문은 고려대학교 전략광물자원 연구센터의 지원으로 이루어 졌으며, 경북대학교 기초과학연구소의 지원 (BSRI-93-502)에도 감사드린다.

## 참고문헌

- 김선익 (1973) 경남지구 동광상의 종합개발에 관한 조사연구. 광산지질, v. 6, p. 133-170.  
 박희인(1982) 중석·수연광상: 한국의 지질과 광물자원. 김옥준교수 정년퇴임기념논문, p. 229-309.  
 박희인, 최석원, 장호완, 채동현 (1985) 경남 함안 군북지역의 동광화 작용에 관한 연구. 광산지질, v. 18, p. 107-124.  
 손치무 (1968) 광상 부존지역 구분에 관하여. 광산지질, 창간호, p. 47-53.  
 신병우 (1974) 남한의 지구조운동과 금속광상. 광산지질, v. 7, p. 1-21.  
 우영균 (1988) 경남동남부지역 철광상의 성인에 관한 연구. 광산지질, v. 21, p. 45-56.  
 원종관, 강필중, 이상현 (1978) 경상분지의 구조해석과 Igneous Plu-

- ton에 관한 연구. 지질학회지, v. 14, p. 79-92.
- 이상만 (1972) 경상분지내의 화강암류와 광화작용. 손치무교수 송수 기념논문, p. 195-219.
- 이상만, 윤상규 (1974) 우리나라의 화성활동과 광화작용에 관한 연구. 과학기술저, R-74-48.
- 이인호 (1993) 울산화강암 중 주/미량원소와 광화작용과의 관계에 대한 지화학적 연구. 경북 대학교 이학석사학위논문, 82p.
- 이재영 (1981) 경상분지내 유화광상의 지화학적 연구-화강암류와 광화작용-. 경북대학교 논문집 v. 32, p. 289-313.
- 이재영 (1989) 진동화강암 및 유천-연양화강암의 광화작용에 관한 지화학적 연구. 광산지질, v. 22, p. 21-34.
- 이재영, 김상욱, 김영기, 고인석, 장태우 (1990) 유천분지내 화강암류와 광상구의 관계에 대한 지화학적 연구. 광산지질, v. 23, p. 143-159.
- 이재영, 이진국 (1992) 평해지역 은정화강암 중 미량원소와 광화작용의 관계에 대한 지화학 연구. 광산지질, v. 25, p. 245-258.
- 이재영, 이진국, 박법정, 이인호, 김상욱 (1994) 경상분지내 동관련 진동화강암류에 대한 지화학적 연구. 자원환경지질, v. 27, p. 161-170.
- 이준동 (1987) 경남 진동-마산일대에 분포하는 화강암류와 접촉변성작용에 관한 연구. 서울 대학교 이학박사학위논문, 115p.
- 이진국 (1993) 경상분지 백악기 화강암류의 광화작용 및 관련된 폐금속광상에 대한 환경지화학적 연구. 경북대학교 이학박사학위논문, 200p.
- 최석원 (1986) 함안지역 동광상의 성인에 관한 연구. 서울대학교 이학박사학위논문, 116p.
- Bradshaw, P.M.D. (1969) 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 "Origin and Distribution of the Elements" (L.H. Ahrens, ed.), Pergamon Press, London, p. 739-747.
- Fletcher, C.J.N. (1971), Mineralization within the Gyeongsang Cretaceous basin, Republic of Korea. Anglo-Korean Mineral Exploration Group.
- Hong, Y.K. (1985) Geochemistry of the Cretaceous Eonyang and Yucheon granites in the southeastern Korea. J. Geol. Soc. Kor., v. 21, p. 90-108.
- Ichikawa, K., (1968) Late Mesozoic igneous activity in the inner side of southwest Japan. Pacific Geol., v. 1, p. 97-118.
- Jin, M.S. (1975) Geochemistry of the granodiorite at Ilkwang Mine, Gyeongsang Namdo, Korea. Seoul Nat. Univ., M.S. thesis.
- 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.I. and Brownlow, A.H. (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.
- 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
- Reedman, A.J., and Um, S.H. (1975) Geology of Korea. Geol. Miner. Inst. Kor.
- Shibata, K., and Ishihara, S. (1974) K-Ar ages of the tungsten and molybdenum deposits in Japan. Econ. Geol., v. 69, p. 1207-1214.
- Shimazaki, H. (1975) The ratios of Cu/Zn-Pb of pyrometamorphic deposits in Japan and their genetical implications. Econ. Geol., v. 69, p. 1207-1214.
- 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. 66, p. 361-367.
- Tauson, L.V. and Kravchenko, L.A. (1956) Characteristics of lead and zinc distribution in minerals of the Cretaceous granitoids of the Susamyr batholith in the central Tian-Shan. Geochemistry, v. 1, p. 78-88.
- Tsue, A (1982) Granitic rocks in South Korea. In "Geology of granites and their metallogenetic relations". Proceedings of the International Symposium, Nanjing, China, p. 211-222.
- Xu Keqin, Sun Nai, Wang Dezi, Hu Shouxi, Liu Yingjun and Jin Shouyan (1982) Petrogenesis of the granitoids and their metallogenetic relations in South China. In "Geology of granites and their metallogenetic relations". Proceedings of the International Symposium, Nanjing, China, p. 1-32.