

경상분지내 철광상 관련 울산화강암에 대한 지화학적 연구

이재영* · 김상욱* · 김영기*

A Geochemical Study on Ulsan Granite in Relation to Iron Ore Deposits in the Gyeongsang Basin.

Jae Yeong Lee*, Sang Wook Kim* and Young Ki Kim*

ABSTRACT: Ulsan granite is plotted mainly in the region of syeno-granite of the Streckeisen diagram, which consists with those of iron related granites in the area of Kimhae-Mulgum, while Chindong granites and Yucheon-Eonyang granites are plotted in the regions of granodiorite-diorite and monzo-granite, respectively.

These granites show a differentiation trend of calc-alkaline magma, and their magmatic evolution from intermediate to acidic rocks is consistent with the general crystallization path of the Cretaceous granitic rocks in the Gyeongsang basin. The difference index (D.I.) is 70~90 for Ulsan granite, which lies between 35~80 of Chindong granites and 85~95 of Yucheon-Eonyang granites.

These granites are distinguishable from each other by variation patterns of chemical elements. For instance, there is clear difference in content of some major and trace elements between Ulsan granite and Cu-related Chindong granites: Ulsan granite has high content of K (2.68%) and Ba (636 ppm), and low content of Ca (1.07%), Mg (0.50%) and Sr (185 ppm), whereas Chindong granites has less content of K (1.62%) and Ba (382 ppm), and higher content of Ca (3.75%), Mg (1.42%) and Sr (405 ppm). However, the content of Ulsan granite overlaps partly those of Yucheon-Eonyang granites, which are apparently dividable from Chindong granites.

There is an usual trend that Cu content is high in Chindong granites of Cu province and Zn content is higher in Yucheon-Eonyang granites of Pb-Zn province.

But it is unusual that Cu and Zn are higher in Ulsan granite (34 ppm, 74 ppm) than in Chindong granites (15 ppm, 22 ppm) and Yucheon-Eonyang granites (14 ppm, 43 ppm). This may be due to the reason that Ulsan granite is productive and Cu-Zn minerals are associated with iron ores. Productive Chindong granites in Haman-Gunbug area and Yuchon-Eonyang granites near ore deposits have higher content of Cu and Zn than Ulsang granite.

Therefore, it is expected that chemical variation patterns of granites are applicable to distinguish mineral commodity of ore deposits (iron, copper, or lead-zinc) related with the granites in the Gyeongsang basin.

서 언

경상분지는 분지내에 분포하는 광상의 광종에 따라 동, 연-아연 및 휘수연광상구로 대별되며 이들 광상구는 화강암류를 관련암으로하여 한반도 동남단에서 북서방향으로 동, 연-아연 및 휘수연광상구로 대상분포를 하고있다 (Kim, 1971; 이상만, 1974; Sillitoe, 1977; 이재영, 1981). 광상의 광종을 보면 화강암류의 암류 및 분화암상과 밀접한 관계를 가지고 있으며(이상만, 1972), 또한 광상구의 광종은 화강암류 중 주/미량원소와 밀접한 관계를 가진다

(이재영, 1981). 그리고 화강암류 중 주/미량원소는 광상구의 광종에 따라 함량이 변화되 일정한 함량범위를 보이며, 이러한 화학조성의 변화양상에 의하여 동, 연-아연 및 휘수연광상구의 구분이 대체로 가능하다(이재영, 1984, 1989). 이러한 연구결과는 경상분지내 화강암류 분포지역을 대상으로 새로운 광체를 탐사코저할 때 대상광종을 결정하고 탐사대상 지역을 한정하는데 매우 중요한 기초 자료가 되며 지화학탐사시에는 지시원소를 선정하는데 도움이된다.

그런데 경상분지 동남단에는 동광상과는 별도로 울산-물금-김해를 잇는 지역에 화강암류를 관련암으로 한 철광상이 많이 발달해 있으므로 기존 지질/암석/광상학적

* 경북대학교 자연대 지질학과(Dept. of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

자료를 기초로 화강암류 중 주/미량원소에 대한 철광상과의 관계 및 경상분지내 타광상구의 화강암류와의 비교 연구를 해 볼 필요가 있다고 생각된다.

따라서 본 연구에서는 이 지역의 대표적 철광상인 울산광산을 선택하여 관련 화강암 중 주/미량원소와 철광상의 관계를 연구하고 본 화강암은 철광화작용외에 울산사문석광상의 성인에도 관련되는 것으로 알려져 있으므로 사문석광상과의 관계도 규명코져 하였다.

지질 및 광상개요

울산철광상

울산철광상은 시대미상의 결정질 석회암과 이를 관입한 제 3기 흑운모·각섬석화강암과의 접촉부 가까이에서 형성된 스키아르데에 배태된 파이프상의 접촉교대광상(박 등, 1980)으로 알려져 있다. 광산부근의 결정질 석회암의 노출면적은 소규모 밖에 되지 않으나 광산의 북서쪽에 분포하는 화산암류 하부에서는 시추결과 두꺼운 회색 세립질 석회암이 확인된 바 있다. 그러나 본 석회암층이 대석회암층의 일부(박양대, 윤희대, 1968)인지 또는 경상계지층의 아직 알려지지 않은 석회암층의 일부인지는 확실치 않다.

광산부근의 주요 지질은 철광상의 모암인 상기 시대미상의 결정질석회암 외에 경상계 울산층, 이를 차례로 관

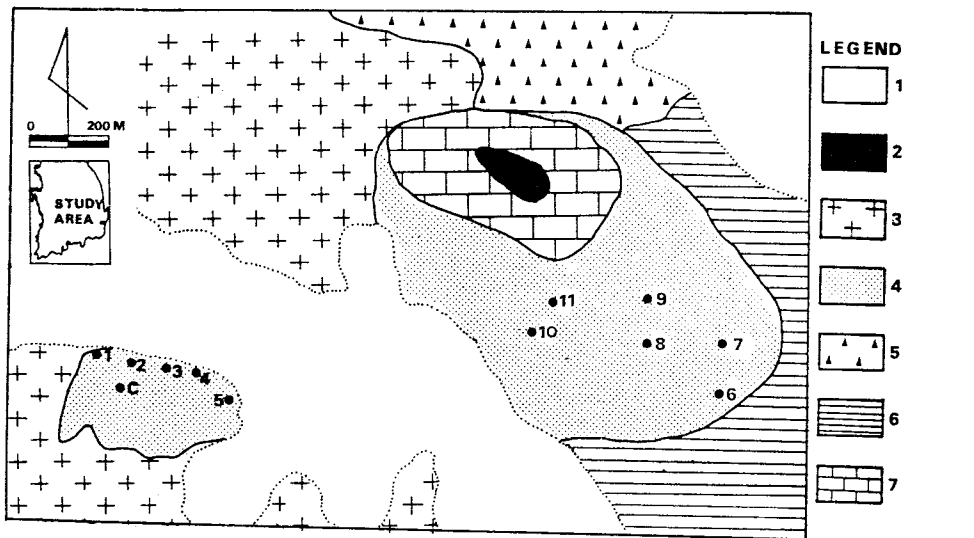
입하고 있는 사문암과 화산암, 그리고 이들 암류를 관입하고 있는 상기 흑운모·각섬석화강암류로 되어 있다(Fig. 1). 화강암류의 암색은 회백 내지 담홍색이며 중·세립질의 석영, 정장석, 사장석, 흑운모 등으로 된 미문상 조직을 보인다(이준동, 1987; 김정진, 1987). 사문암은 남부 사문암체가 화강암과의 접촉부에서 파쇄 및 포획되어 있으며 결정질 석회암은 화강암과의 접촉부에서 스키아르화되어 있는 것이 시추코아에서 잘 관찰된다.

본 철광상의 광체는 석회암과 화산암류에 걸쳐 배태되어 있으나 주광체는 오히려 화산암류 내에 배태되어 있다. 광체는 북서쪽으로 80° 경사된 타원형이며 지표에서의 규모는 170 m×70 m이나 하부로 갈수록 작아지면서 심도 -225 m에서는 60 m×25 m로 축소된다. 광석광물은 자철석을 주광물로하고 회중석, 유비철석 외에 황동석, 자유철석, 섬아연석, 방연석 등이 소량 수반된다.

그리고 스키아르데는 석회암과 화산암류와의 접촉부에 따라 양쪽으로 발달하며 석회암원 스키아르데는 접촉부에서 석회암쪽으로 석류석, 석류석/사라이트, 사라이트의 대상분포를 보이고 화산암원 스키아르데는 접촉부에서 화산암쪽으로 석류석, 석류석/녹렴석, 녹렴석의 대상분포를 보인다(박기화, 박희인, 1980; 김정진, 1987).

울산사문석광상

울산사문석광상의 성인에 대하여 몇 가지의 다른 설이



1:Alluvium, 2:Ulsan ore deposit, 3:Cretaceous granitic rocks, 4:Serpentinite, 5:Volcanic rocks, 6:Ulsan formation, 7:Crystalline limestone

Fig. 1. Map showing geology and sampling points near Ulsan iron mine.

있는데 최수용(1988)은 사문암의 원암인 초염기성 내지 염기성암이 관입될 때 자변성작용에 의하여 형성된 것으로 보고 있고 자변성작용 외에도 후기에 관입한 흑운모, 각섬석화강암의 열수변질작용으로 사문석화 작용이 일어났다(박법정, 1991). 김규한, 김규한, 박재경, 양종만, 吉田尚弘(1990)에 의하면 페리도타이트로 추정되는 원암이 열수작용에 의해 사문화되었으며 열수의 온도는 488°C 인 고순환수기원으로 해석된다(김규한, 이진수, 박경재, 1992).

울산사문암은 암체의 연변부에서 울산철광상쪽으로 두나이트, 휘석-감람암으로 변하는 점이적 분화상을 보이며(최수용, 1988) 타원상의 북부사문암체와 남부사문암체로 분리되어 있다. 사문암의 변질, 암상 및 광물조성은 다양하며 주광물인 사문석은 리저르다이트 외에 소량의 크리소타일로 되어 있다.

사문암은 주로 암녹색, 암갈색, 암흑색을 띠며 화강암과의 접촉부에서는 석면이 관찰되고 광상개발 초기에는 고품위의 석면이 다량 산출되었다는 보고도 있다. 남부사문암체에서는 이를 관입한 흑운모, 각섬석화강암의 노두를 관찰할 수 있다(박법정, 1991).

화강암류

모드조성

울산철광상의 관련 화강암(이하 울산화강암이라 칭함)은 마산암류의 흑운모 화강암에 해당되며 미문상조적을 보이는데(이준동, 1987; 김정진, 1987), Streckeisen(1976)의 모드조성삼각도(Fig. 2)에 의하면 본 암은 석영섬장암과 접하는 화강암의 영역에 주로 점시되며 일부는 석영섬장암의 영역에도 점시된다(박기화 등, 1980). 본 암은 경상분지내 철광상의 주 분포지인 김해-물금지역의 철광상과 관련된 화강암류와 그 점시영역이 대체로 일치한다. 김해-물금지역의 철광상과 관련되는 화강암류는 주로 미문상 및 반상화강암이다(이창진 등, 1976; 우영균, 1988). 그리고 본 모드조성도에 의하면 울산화강암은 유천-연양화강암 및 진동화강암류로부터 각각 현저히 구분되는 영역에 점시된다.

노름조성 및 AFM도

노름 석영-정장석-사장석도(Fig. 3) 및 AFM도(Fig. 4)에 의하면 울산화강암은 경상분지내 백악기 화강암류의 분

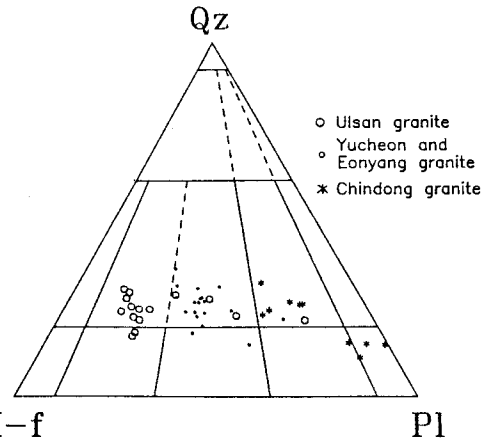


Fig. 2. Classification of the granitic rocks from the study area.

화과정(Jin, 1981; 이준동, 1987)과 대체로 일치되는 영역에 점시된다. 분화정도는 진동화강암류보다도 현저히 더 진행된 영역에 점시되나 유천-연양화강암류(이재영, 1989; 이재영 등, 1990)보다는 덜 분화된 영역에 점시되며 일부는 중복된다. 울산화강암의 분화지수(D.I.) 범위는 약 75~90으로 진동화강암류(D.I.=35~80)보다 현저히 높고 유천-연양화강암류(D.I.=85~95)와는 일부 중첩된다. 본 암은 마산암류에 해당하나 마산지역의 화강암류(65~80)보다는 조금 더 높은 분화지수를 보인다.

상기 석영-정장석-사장석도에서는 울산화강암은 유천-연양화강암과 진동화강암류 양 암체에 일부 중첩되어 점시되나 AFM도에서는 울산화강암은 진동화강암류로부터만 구분 점시된다. 그러나 유천-연양화강암과 진동화강암은 양도에서 모두 구분이 잘 된다.

광상 및 광상구와의 관계

경상분지내 화강암류와 금속광상과의 관계를 보면 불국사 화강암류에는 동, 연-아연, 금-은, 중석-휘수연, 창연, 코발트, 철 등의 광종이 관련되고 특히 흑운모 화강암에 이들 광상이 많이 발달하며 마산암류는 동, 연-아연, 금-은, 철 등의 광종이 관련되고 철(자철석)광상은 주로 미문상 화강암에 발달한다(Kim, 1971; 이상만, 1972).

그리고 이들 광상의 분포를 기초로 경상분지내 백악기 화강암류의 암상과 광상구와의 관계를 보면 동광상구는 화강암과 화강섬록암, 연-아연광상구는 화강암, 휘수연광상구는 화강암과 화강섬록암상에 관련되는데(이재영, 19

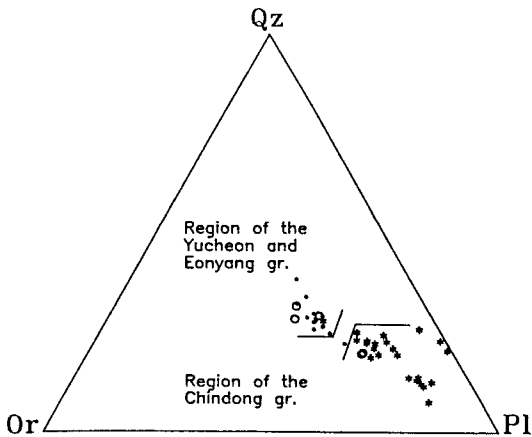


Fig. 3. Variation of normative composition in relation to types of ore deposits. Symbols are the same as Fig. 2.

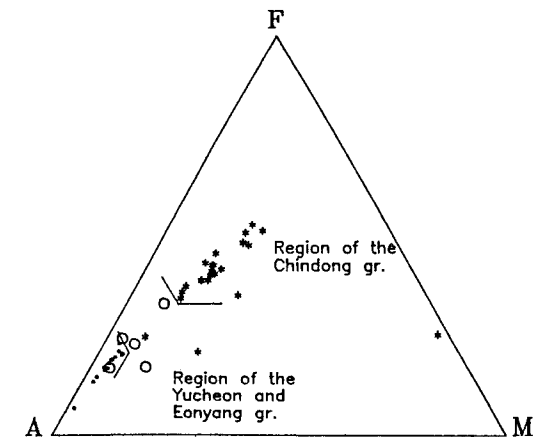


Fig. 4. Variation of AFM oxides in relation to types of ore deposits. Symbols are the same as Fig. 2.

90), 철광상구는 본 연구의 결과 화강암상과 주로 관련된다. 그러나 철광상구와 연-아연광상구의 관련 화강암류간에는 약간의 차이가 있다. 즉 전자는 섬장암쪽에 인접해 점시되는데 반하여 후자는 주로 몬조니암에 인접해 점시된다(Fig.2 참조). 울산화강암은 태백산분지내 철관련 화강암류에 비하면 분화가 더 진행된 영역에 해당한다(Lee, 1987).

지구화학

화강암

주원소

경상분지내 화강암류는 해당 광상구의 광종에 따라 암류뿐만아니라 원소의 함량에도 현저한 차이가 있으며 경상분지내 열수광상의 광종은 화강암류의 분화도와 밀접한 관계를 가지고 발달하고 있으므로(Lee, 1984; 이재영, 1989) 본 연구에서는 암석화학적 방법을 활용하여 철 관련 울산화강암을 동 관련 진동화강암류 및 연-아연 관련 유천-연양화강암에 대하여 주원소의 함량변화를 원소(Table 1) 및 산화물(Fig. 5, 6)로서 분화지수에 대하여 비교 검토하였다. 그리고 함량변화의 경향을 좀 더 체계적으로 파악하기 위하여 분포선을 작도하고 수식으로 표시하였다(Table 2). 분포선은 일련번호로서 해당 화강암체를 구별하였는데 1은 울산화강암체, 2는 유천 및 연양화강암체, 3은 진동화강암체를 표시한다.

칼륨 : 칼륨함량은 일반적으로 염기성암에서 낮고 산성암에서 높으며 분화가 많이 진행 될수록 증가하는데 본

연구에서도 화강암류의 칼륨함량은 분화가 진행 될수록 현저히 증가하는 현상을 관찰할 수 있다. 이는 경상분지내 백악기 화강암류는 화강섬록암에서보다 분화가 더 진행된 화강암에서 칼륨함량이 높은 경향과 일치한다.

울산화강암의 칼륨함량은 최저 2.07%에서 분화가 진행 될수록 최고 3.40%로 증가하고 경상분지내 동 및 연-아연광상구와는 다소 다른 영역에 점시된다. 즉 동광상구의 진동화강암류는 D.I.=35~95, K함량=1.62%이고 연-아연광상구의 유천-연양화강암은 D.I.=85~95, K함량=3.58%로 울산화강암은 진동화강암류와는 구분되고 유천-연양화강암과는 일부 중첩된다. 그리고 진동화강암류와 유천-연양화강암은 현저히 구분된다(Fig. 5)

칼륨함량은 정장석과 비례적 관계를 보이는데 칼륨함량이 낮은 진동화강암류는 정장석량이 낮고 칼륨함량이 높은 유천-연양화강암은 정장석량도 보다 높은 경향을 보인다(Fig. 5).

나트륨 : 나트륨함량은 일반적으로 염기성암에서는 낮고 산성암에서 높으며 분화가 많이 진행 될수록 증가하는데 본 연구에서도 전체적 경향은 나트륨함량은 분화가 진행 될수록 다소 증가하는 경향을 보인다(Fig. 5). 그러나 나트륨함량의 변화는 칼륨의 경우처럼 현저하지 않고(Jin, 1981; Lee, 1984) 특히 암체별로 볼 때는 분화지수에 대하여 오히려 반비례적이며 다소 불규칙한 경향을 보인다(이재영, 1989)

울산화강암의 나트륨함량은 2.91%에서 분화지수가 높아지면 최저 2.41%로 감소하며 진동화강암류와 유천-연양화강암과는 다소 다른 영역에 점시된다. 즉 동광상구의 진동화강암류는 Na함량=2.53%이고 유천-연양화강암은

Table 1. Content of major and trace elements in granitic rocks. () = average, unit = %(major), ppm(trace)

	Ulsan ^{a)}	Yucheon-Eonyang	Chindong	Provinces ^{b)}	
				Cu	Pb-Zn
K	2.07~3.40 (2.68)	2.57~4.86 (3.58)	0.79~4.13 (1.62)	1.43~4.31 (2.59)	2.90~4.7 (3.59)
Na	2.41~2.90 (2.65)	2.07~3.69 (3.06)	1.90~2.99 (2.53)	2.09~2.98 (2.40)	2.42~3.60 (2.97)
Ca	0.26~2.02 (1.07)	0.34~2.57 (0.79)	0.69~5.49 (3.75)	1.63~5.49 (2.93)	0.33~2.55 (1.03)
Mg	0.24~0.81 (0.50)	0.15~1.07 (0.24)	0.11~2.93 (1.42)	—	—
Sr	70~341 (185)	81~415 (132)	145~465 (405)	50~465 (294)	95~320 (185)
Ba	526~728 (636)	448~1405 (735)	180~702 (382)	—	—
Cu	23~44 (34)	5~40	4~40	5~50 (17)	5~40 (13)
Zn	55~122 (74)	21~90 (41)	20~50 (22)	20~110 (47)	23~86 (45)

^{a)} data from Kim (1987), ^{b)} data from Lee (1989).

Table 2. Formular of the approximate distribution lines of each oxide. unit of oxide = %

Oxides	Ulsan ⁽¹⁾	Yucheon-Eonyang ⁽²⁾	Chindong ⁽³⁾
K ₂ O	$10.7 \times 10^{-2} \times D.I. - 5.2$	$10.4 \times 10^{-2} \times D.I. - 5.1$	$6.9 \times 10^{-2} \times D.I. - 2.5$
Na ₂ O	$-5.0 \times 10^{-2} \times D.I. + 8.7$	$-14.3 \times 10^{-2} \times D.I. + 17.1$	$-0.6 \times 10^{-2} \times D.I. + 4.3$
CaO	$-16.3 \times 10^{-2} \times D.I. + 15.2$	$-14.0 \times 10^{-2} \times D.I. + 13.8$	$-13.2 \times 10^{-2} \times D.I. + 13.6$
TiO ₂	$-18.2 \times 10^{-2} \times D.I. + 2.0$	$-2.5 \times 10^{-2} \times D.I. + 2.6$	$-1.6 \times 10^{-2} \times D.I. + 1.6$
Al ₂ O ₃	$-16.2 \times 10^{-2} \times D.I. + 29.5$	$-10.4 \times 10^{-2} \times D.I. + 23.4$	$-8.6 \times 10^{-2} \times D.I. + 21.9$
Fe ₂ O ₃	$-4.3 \times 10^{-2} \times D.I. + 5.9$	$-9.9 \times 10^{-2} \times D.I. + 9.6$	$-2.1 \times 10^{-2} \times D.I. + 2.9$
FeO	$-11.3 \times 10^{-2} \times D.I. + 10.5$	$-12.0 \times 10^{-2} \times D.I. + 12.0$	$-15.7 \times 10^{-2} \times D.I. + 13.9$
MnO	$-0.2 \times 10^{-2} \times D.I. + 0.2$	$-0.3 \times 10^{-2} \times D.I. + 0.3$	$-0.2 \times 10^{-2} \times D.I. + 0.2$
MgO	$-5.3 \times 10^{-2} \times D.I. + 5.3$	$-6.1 \times 10^{-2} \times D.I. + 5.9$	$-8.2 \times 10^{-2} \times D.I. + 7.4$
P ₂ O ₅	$-1.2 \times 10^{-2} \times D.I. + 1.2$	$-1.0 \times 10^{-2} \times D.I. + 0.9$	$-0.4 \times 10^{-2} \times D.I. + 0.4$

(1): Ulsan granite, (2): Yucheon and Eonyang granites, and (3): Chindong granite. Numbers of the granitic rocks are shown on the distribution lines in Fig. 5 and Fig. 6.

Na함량=3.06%로 울산화강암은 진동화강암류와는 구분되고 유천-연양화강암과는 일부가 중첩된다.

칼슘: 칼슘함량은 일반적으로 산성암에서는 낮고 염기성암에서 높으며 분화가 진행 될수록 감소하는데 본 연구에서도 칼슘함량은 분화가 진행될수록 현저히 감소하는 경향을 보인다(Fig. 5). 경상분지내 백악기 화강암류의 칼슘함량도 화강섬록암에서보다 분화가 더 진행된 화강암에서 현저히 낮은 경향이 있다.

울산화강암의 칼슘함량은 최고 2.02%에서 분화지수가 높을수록 최저 0.26%로 감소하고 경상분지내 동 및 연-아연광상구와는 다소 다른 영역에 점사된다. 즉 진동화강암류는 Ca함량=0.69~5.49% (3.75%)이고 유천-연양화강암은 Ca함량=0.34~2.57% (0.79%)로 울산화강암은 진동

화강암류와는 구분되고 유천-연양화강암과는 일부 중첩된다. 그리고 진동화강암류와 유천-연양화강암은 현저히 구분된다.

칼슘함량은 사장석과는 비례적 관계를 보이는데 칼슘함량이 높은 진동화강암류는 사장석량도 많고 칼슘함량이 낮은 유천-연양화강암은 사장석량이 낮은 경향을 보인다(Fig. 5).

마그네슘: 마그네슘함량은 일반적으로 염기성암에서 높고 산성암에서 낮으며 분화가 진행 될수록 감소하는데 본 연구에서도 같은 현상을 관찰할 수 있다(Fig. 5). 경상분지내 백악기 화강암류의 마그네슘함량도 화강섬록암에서 보다 분화가 더 진행된 화강암에서 현저히 감소하는 경향이 있다.

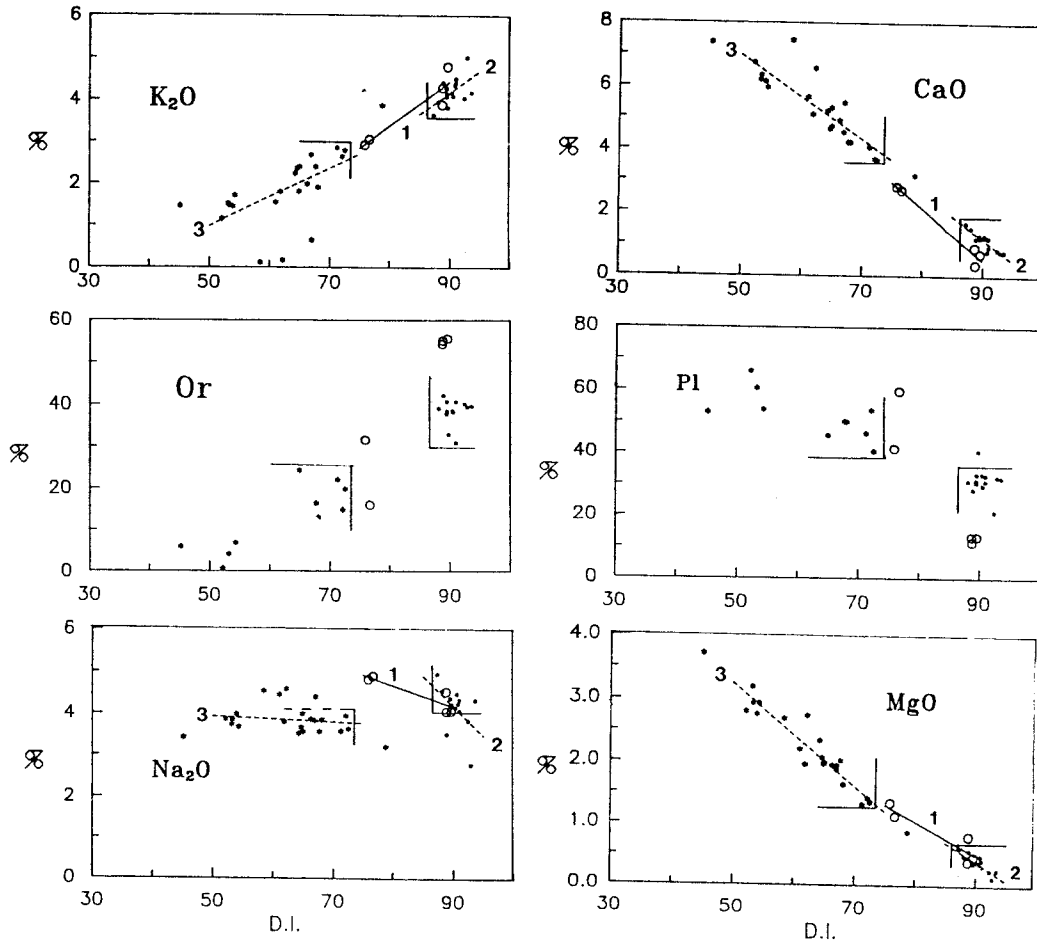


Fig. 5. Variation of oxides and feldspars content against D.I.. Symbols are the same as Fig. 2.

울산화강암의 마그슘함량은 최고 0.81에서 분화지수가 높을수록 최저 0.24%로 감소하고 경상분지내 동 및 연-아연광상구와 다른 영역에 점사된다. 즉 진동화강암류는 Mg함량=0.11~2.93% (1.42%)이고 유천-연양화강암은 Mg함량=0.15~1.07% (0.24%)로 울산화강암은 진동화강암류와 구분되고 유천-연양화강암과는 일부 중첩된다. 진동화강암류와 유천-연양화강암은 칼륨, 칼슘의 경우처럼 현저히 구분된다.

기타 주원소 : 울산화강암을 진동화강암류 및 유천-연양화강암과 구분하는데 도움이 되는 기타 원소(산화물)로는 FeO, Al₂O₃, TiO₂, P₂O₅ 등이 있으며 이들 원소는 Ca, Mg처럼 D.I.에 대하여 역비례적 관계를 보인다(Fig. 6).

미량원소

경상분지내 백악기 화강암류와 광상구의 관계를 연

구하는데 효과적인 것으로 확인된 미량원소(이재영, 1984) 중 주원소와의 치환성 및 광상구의 광종을 고려하여 친석원소에서는 스트론튬과 바륨(Fig. 7, 8), 친동원소에서는 동과 아연(Fig. 9, 10)를 선택하여(Table 1 참조) 비교 검토하였다.

스트론튬 : 스트론튬은 Ca-장석에 허용이 잘 되는데 본 연구에서도 스트론튬함량은 칼슘함량에 비례적 관계를 보인다. 울산화강암의 스트론튬함량은 최고 341 ppm에서 최저 70 ppm로 분화지수가 높을수록 감소하고 칼슘함량에 대하여 비례적 관계를 보이며 진동화강암류와 유천-연양화강암의 영역과 구분된다. 즉, 칼슘함량은 울산화강암(1.07%)이 진동화강암(3.75%)보다 1/3정도로 낮고 유천-연양화강암(0.79%)보다는 약간 높는데 스트론튬함량도 이와 비례적으로 울산화강암(185 ppm)이 진동화강암(405 ppm)보다는 1/2이상 낮고 유천-연양화강암(153 ppm)보다는 약

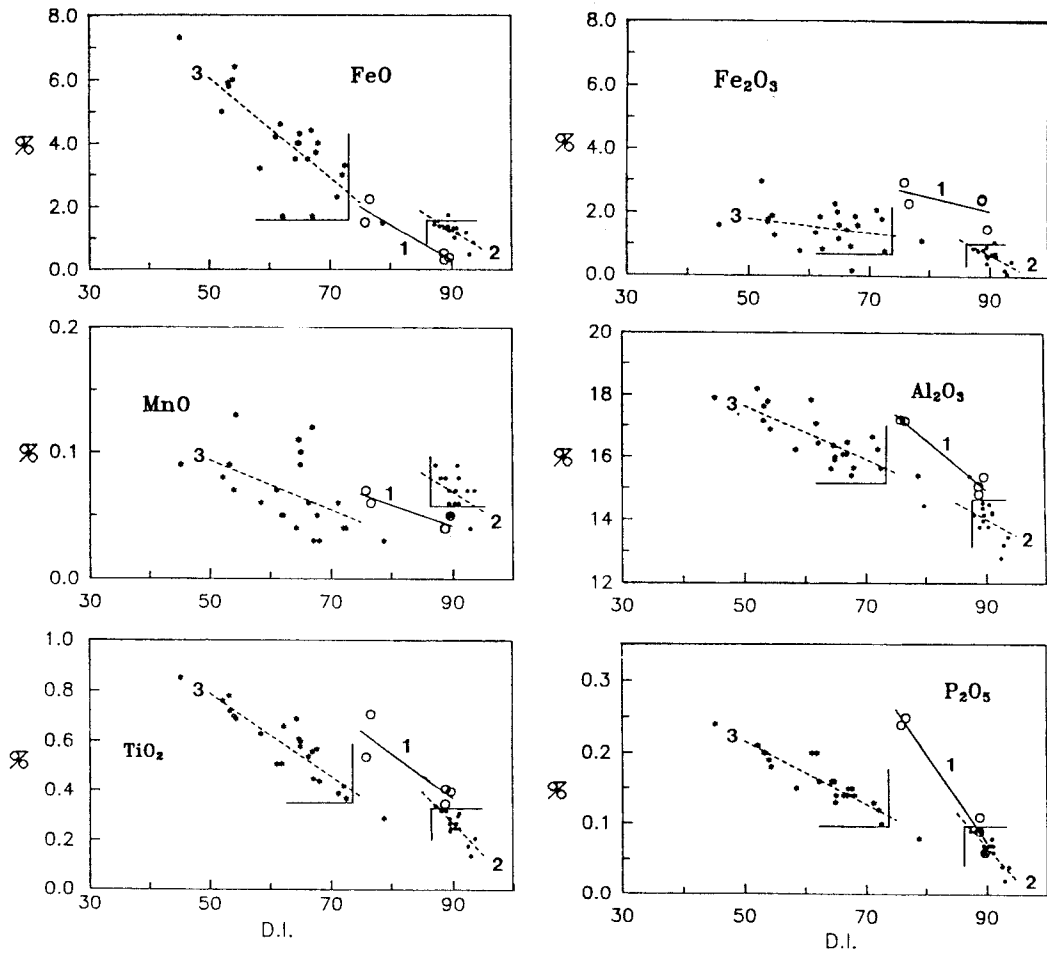


Fig. 6. Variation of oxides content against D.I.. Symbols are the same as Fig. 2.

간 높다.

경상분지내 동 및 연-아연광상구의 스트론튬함량도 동광상구(294 ppm)가 연-아연광상(185 ppm)보다 현저히 높다.

바륨 : 바륨은 K-광물에 포획이 되므로 그 함량은 일반적으로 카리움함량과 비례적 관계를 가지나 K-광물에는 정장석, 미사장석 외에도 흑운모가 있고 바륨은 칼슘과도 교대되므로 사장석량에도 영향을 받게 된다. 그런데 K-장석과 Ca-장석은 역비례적 관계에 있기 때문에 바륨함량은 다소 불규칙한 변화를 보인다.

울산화강암(K=2.69%, Ba=636 ppm)은 유천-연양화강암(K=3.58%, Ba=735 ppm)에 비하여 카리움과 바륨의 함량이 다 낮으나 진동화강암(K=1.62%, Ba=382 ppm)에 비하면 칼륨과 바륨함량이 모두 높다.

바륨은 대체로 칼륨과 비례적 함량변화를 보이고 진동

화강암류와는 구분되나 유천-연양화강암과는 일부 중첩된다.

동 : 동함량은 울산화강암(34 ppm)이 경상분지내 동광상구의 진동화강암(15 ppm)보다 오히려 2배 이상의 값을 보이는 데 이는 울산화강암은 황동석을 수반하는 철광상의 관련암인데 반하여 진동화강암류의 동함량은 광상과 관계가 없는 비생산적인 암석도 모두 포함된 전체적인 평균치이기 때문으로 생각된다. 그리고 동광상구내 화강암류가 연-아연광상구의 것보다 반드시 높지는 않다는 보고도 있다(Lee, 1984).

따라서 울산화강암의 동함량을 동 및 연-아연광상구의 화강암류의 동함량과 비교하려면 광상과 인접된 화강암이 대상이 되어야 되는데 진동화강암의 경우는 군북-함안지역의 화강암이 비교되어야 한다. 실제 이 지역 진동화강암 중 동함량은 60 ppm 이상의 것이 많이 있으며 최고 450

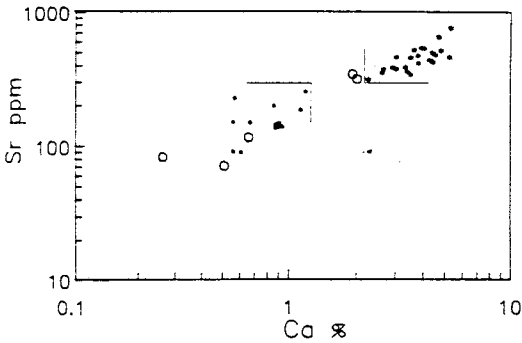


Fig. 7. Variation of Sr against Ca content. Symbols are the same as Fig. 2.

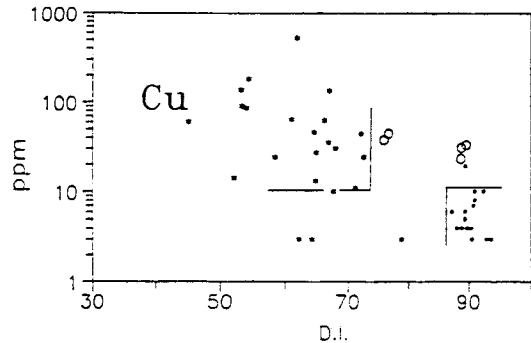


Fig. 9. Variation of Cu content against D.I. Symbols are the same as Fig. 2.

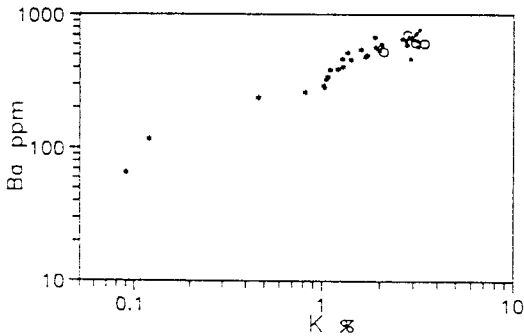


Fig. 8. Variation of Ba against K content. Symbols are the same as Fig. 2.

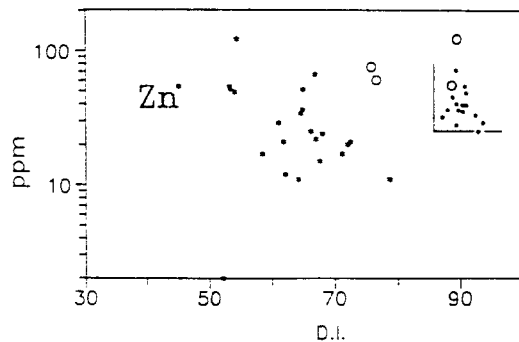


Fig. 10. Variation of Zn content against D.I. Symbols are the same as Fig. 2.

ppm의 것도 있다(이재영, 1989).

김해-물금-울산을 잇는 철광상지역에서도 비생산적인 일반 화강암류는 동 광상구내 평균 화강암류(17 ppm)보다 낮은 동함량을 보인다. 동함량은 일반적으로 화강암의 진암에서보다 각섬석에서 높게 나타나는 경향이 있는데도 김해지역 화강암류의 각섬석 중 동함량은 각섬석화강암에서 15 ppm, 핑크색 각섬석화강암에서 7 ppm 그리고 반상화강암에서 7~8 ppm(이 등, 1976)으로 낮은 경향을 보인다.

울산화강암의 동함량은 군북-함안지역의 동-관련 진동 화강암에 비교하면 현저히 낮고 김해-물금-울산을 잇는 철-관련 지역의 비생산적 일반 화강암류도 진동화강암에 비하여 낮은 동함량을 보이므로 철관련 화강암류를 동관련 화강암류로부터 구분하는데 기초자료가 될 수 있을 것으로 생각된다.

동은 울산화강암을 진동화강암류와 유천-연양화강암으로부터 구분하는데 도움이 되지 않으나 후자 양 화강암류를 구분하는데 중요한 원소가 된다.

아연 : 아연함량은 울산화강암(74 ppm)이 경상분지내 연-아연광상구의 유천-연양화강암(43 ppm)보다 오히려 1.5 배 이상의 값을 보이는데 이는 울산 철광상은 섬아연석을 소량 수반하는데 반하여 유천-연양화강암체의 아연함량은 아연 광상과는 관계가 없는 비생산적인 암석도 모두 포함한 전체적인 평균치이기 때문이며 유천-연양지역은 연-아연광상구에 속하나 실제로는 연-아연 광상의 발달이 드물기 때문이 아닌가 생각된다(서정울, 1986). 이러한 경향은 경상분지내 연-아연광상구의 화강암류 일지라도 생산적인 연-아연 관련 화강암이 아닐 때는 동 광상구의 화강암보다 아연함량이 반드시 높지 않다(Lee, 1984)는 사실과 일치한다.

따라서 울산화강암의 아연함량과 동 및 연-아연광상구내 화강암 중 아연함량과 비교하려면 연-아연 광상과 인접된 화강암이 비교되어야 되며 유천-연양지역에는 비교할만한 연-아연 광상의 발달이 빈약하므로 대신 태백산 분지내 대표적 연-아연 관련 화강암인 이목화강암과 신예미화강암을 비교해 보면 아연함량은 이목화강암(115 ppm)과 신

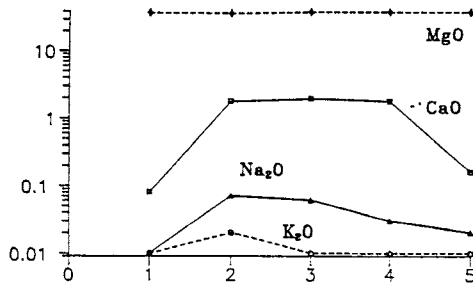


Fig. 11-a. Variation of major oxides content in the southern serpentinite body.

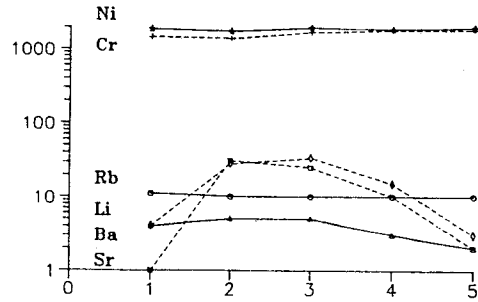


Fig. 11-b. Variation of trace elements content in the southern serpentinite body.

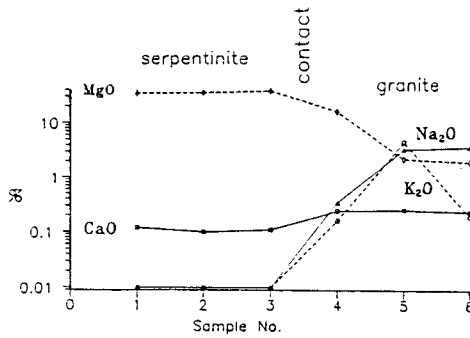


Fig. 12-a. Variation of major oxides content at the contact in the southern serpentinite body.

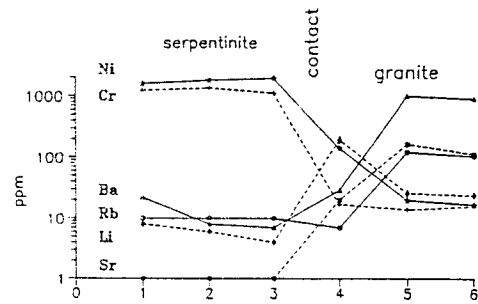


Fig. 12-b. Variation of trace elements content at the contact in the southern serpentinite body.

Table 3. Analytical results of serpentinite.

No.	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Rb	Sr	Ba	Li	Ni	Cr
1	0.01	0.00	0.08	37.54	11	1	4	4	1881	1455
2	0.02	0.07	1.77	36.84	10	31	5	28	1740	1385
3	0.01	0.06	1.93	38.78	10	25	5	34	1967	1699
4	0.00	0.03	1.77	39.11	10	10	3	15	1864	1815
5	0.01	0.02	0.16	38.14	10	2	2	3	1995	1846
6	0.01	0.00	0.08	37.39	10	1	21	6	2819	1150
7	0.02	0.03	0.50	39.96	10	3	2	22	2048	2427
8	0.00	0.03	5.77	26.27	10	45	11	69	1246	1308
9	0.00	0.03	0.83	37.82	10	4	7	28	1766	2286
10	0.00	0.03	12.41	26.83	10	4	13	13	1440	1670
11	1.54	1.34	4.69	14.87	94	402	699	170	82	116

No. 1~5: samples from the northern serpentinite body, No. 7~11: samples from the southern serpentinite body.

예미화강암(111 ppm)이 울산화강암보다 현저히 높게 나타난다.

울산화강암의 아연함량은 연-아연광상구내 유천-연양화강암의 함량보다 높은 분포를 보이거나 이복화강암체와 신예미화강암체에 비하면 현저히 낮은 값을 보이므로 경상분지내에서 적당한 연-아연 광상을 선정하여 연-아연관련 화강암류로부터 철관련 화강암류를 구분하는데 이용될 수

있는지 더 연구해 볼 필요가 있다.

사문암

본 연구에서는 울산화강암과 울산철광상의 관계 외에 울산화강암이 사문암의 형성에 어떤 영향을 주었는지를 확인하기 위하여 사문암체(Table 3) 및 사문암체내 화강

Table 4. Analytical results of the serpentinite and granite at sample No.c. in the southern serpentinite body(Fig. 1).
unit: %(major), ppm(trace)

No.	K ₂ O	Na ₂ O	CaO	MgO	Rb	Sr	Ba	Li	Ni	Cr	rocks
1	0.01	0.01	0.12	34.57	10	1	22	8	1586	1228	serpentinite
2	0.01	0.01	0.10	34.88	10	1	8	6	1823	1349	serpentinit
3	0.01	0.01	0.11	37.39	10	1	7	4	1961	1115	serpentinit
4	0.16	0.34	0.24	15.86	7	20	29	196	143	17	granite
5	4.47	3.25	0.25	2.17	122	166	1000	26	20	14	granit
6	0.19	3.58	0.23	1.90	105	114	906	24	17	16	granit

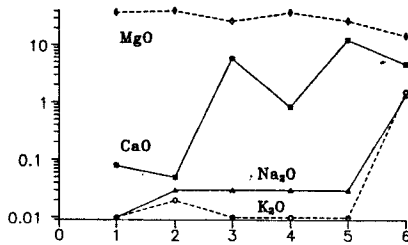


Fig. 13-a. Variation of major oxides content in the northern serpentinite body.

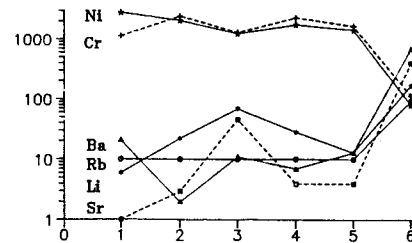


Fig. 13-b. Variation of trace elements content in the northern serpentinite body.

암과의 접촉부의 시료를 채취하여 화학분석하고(Table 4) 그 함량의 변화에 대하여 검토하였다. 접촉부에서는 접촉면에서 사문암쪽과 화강암쪽 양 방향으로 각 15 Cm 마다 각각 3개씩 합쳐 6개의 시료를 채취하였다.

본 사문암은 울산철광산 인접부를 제외하고는 SiO₂(29.08~44.30%), MgO(34.57~39.96%), 및 FeO(6.63~10.25%)를 주성분으로 하고 소량의 Al₂O₃, CaO와 미량의 TiO₂, MnO, 알카리금속, P₂O₅를 함유하며 원암은 초염기성-염기성암에 해당한다(박병정, 1991).

남부사문암체를 보면 원소의 함량에 근소한 변화밖에 없으나(Fig. 11-a,b) 화강암과의 접촉부(Fig. 1의 No. C)의 함량을 보면 현저한 변화를 보인다. 즉 사문암쪽에서 화강암쪽으로 갈수록 화강암에 함량이 높은 K₂O와 Na₂O는 증가하고 반대로 사문암에 함량이 높은 MgO는 감소하며 미량원소도 화강암에 함량이 높은 Li, Rb, Sr, Ba는 증가하고 사문암에 많은 Ni, Cr은 감소한다(Fig. 12-a,b).

따라서 북부사문암체의 시료 No. 11도 주변 사문암체에 비하여 Na₂O와 K₂O의 함량은 현저히 높고 MgO는 낮으며 미량원소도 남부사문암체의 접촉부에서와 같은 변화를 보이는 것(Fig. 13-a, b)으로 미루어 볼 때 현지의 작용과 불량한 노두조건으로 직접 확인은 되지 않았으나 이는 화강암의 관입으로 인한 것으로 보이며 CaO의 함량이 다소 높은것은 울산철광상의 모암인 석회석의 영향으로

생각된다.

이상의 주원소와 미량원소의 화학조성을 검토해 볼 때 본 역 사문석광상은 초염기성암의 자연성에 의한 사문석 화학작용 외에도 울산화강암의 관입과 관련된 열수용액의 작용을 받은 것으로 생각되며 지질도상에는 나타나 있지 않으나 사문암 하부에는 화강암과의 접촉이 기대된다.

X-선 분석 결과에 의하면 사문암체에서도 하부에서 화강암의 관입을 받은 곳은 lizardite와 chrysotile 등 사문석의 발달이 양호한 편이며 칼륨, 나트륨함량은 현저히 증가하고 마그네슘함량은 감소하는 경향을 관찰할 수 있다.

종합 및 결론

울산화강암은 마산암류의 흑운모화강암에 해당하며 석영-카리장석-사장석모달조성도에 의하면 주로 화강암 영역에 점시되거나 석영선장암 영역에도 일부 점시된다. 이 점시 영역은 김해-물금지역의 철광상 관련 화강암류와 대체로 일치하며 공히 미문상조직을 가진다.

울산화강암은 경상분지내 백악기 화강암류의 분화과정에서 일치되는 영역에 점시되며 그 분화지수(D.I.=70~90)는 진동화강암류(D.I.=35~80)와 유천-연양화강암(D.I.=85~95)의 중간 정도에 해당한다.

분화지수에 대한 주원소(산화물)의 함량변화를 보면 나트륨은 불규칙하나 칼륨은 비례적으로 증가하고 칼슘과 마그네슘은 반비례적으로 감소하는데 증감양상은 칼륨과 칼슘은 나트륨과 마그네슘보다 현저하며 철관련 울산화강암은 동관련 진동화강암류로부터 구분되나 연-아연관련 유천-연양화강암류는 일부 중첩되어 접시된다.

기타 주원소(산화물)는 울산화강암과 진동화강암류의 구분에는 철, 진동화강암류와 유천-연양화강암의 구분에는 철과 인이 각각 효과적인 것으로 나타난다. 조암광물과 미량원소도 관련되는 주원소의 함량변화와 대체로 일치되는 경향을 보인다.

스트론튬과 바륨은 칼슘과 칼륨에 대하여 각각 비례적 관계를 보이고 있으나 울산화강암은 진동화강암류부터만 구분이 가능하다. 그러나 동관련 진동화강암류와 연-아연관련 유천-연양화강암은 현저히 구분된다.

광석급속의 함량은 관련광상구내 화강암이 다른 광상구의 화강암보다 반드시 높지는 않으나 생산적 화강암은 가령, 동광상구의 동관련 화강암이 연-아연광상구의 연-아연관련 화강암보다 현저히 높은 경향을 보이므로 동과 아연도 광상의 광종 및 광상구를 구분하는데 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

화학조성에 의하면 사문석광상의 원암은 염기성내지 초염기성암에 해당하는데 울산화강암의 관입을 받은 부분(노두로 확인되는)은 사문석화가 더 잘 되어 있으며 칼륨, 나트륨과 루비듐, 스트론튬, 바륨, 리튬의 함량이 현저히 증가하고 반대로 마그네슘과 니켈, 코발트의 함량이 현저히 감소하는 경향을 볼 수 있다.

따라서 울산화강암에 대한 본 연구의 결과 경상분지내 철관련 화강암은 주/미량원소의 함량변화에 의하여 동 및 연-아연관련 화강암류로부터의 구분이 가능할 것으로 생각되며 울산화강암은 사문암의 사문석화작용에도 관여된 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 교육부의 1990년도 대학부설 기초과학연구소 학술연구조성비로 실시되었으며 이에 감사드린다. 한편 전략광물자원연구센터의 부분지원에도 감사한다.

참고문헌

김규환, 박재경, 양종만, 吉田尚弘 (1990) 울산철광산의 탄산염암과 사문암의 성인. 지질학회지, 5권, p. 407-417.

- 김규환, 이진수, 박재경 (1992) 울산철광상지역의 사문암의 사문석화 작용에 관한 연구. 고대 전략광물자원 연구센터, 1회 학술발표 요약, 16p.
- 김정진 (1987) 울산광산의 접촉교대광상에 관한 연구. 경북대학교 박사학위논문.
- 박기화, 박희인 (1980) 울산 철 중석광산의 성인. 광산지질, 13권, p. 104-116.
- 박병정 (1989) 울산사문석(석면)광상의 성인에 대한 연구. 경북대학교 석사논문.
- 박양대, 유형대 (1968) 한국지질도 울산도폭. 국립지질조사소.
- 박희인, 최석원, 장호완, 채동현 (1985) 경남 함안 군북지역의 동광화작용에 관한 연구. 광산지질, 8권, p. 107-124.
- 서정율 (1986) 유천도폭 125호 금·은·동광화대 시추탐사연구. 금속광상조사연구, p. 227-318.
- 우영균, 이민성, 박희인 (1982) 경남지구의 스킨형 광상의 성인과 스킨광물에 관한 연구. 광산지질, 15권, p. 1-16.
- 우영균 (1988) 경남동남부지역 철광상의 성인에 관한 연구. 광산지질, 21권, p. 45-56.
- 이상만(1972) 경상분지내의 화강암류와 광화작용. 손치무교수 승수기념논문, p. 195-219.
- 이상만 (1974) 우리나라의 화성활동과 광화작용에 관한 연관성 연구. 과학기술처, R-74-48.
- 이재영 (1981) 경상분지내 유화광상의 지화학적 연구-화강암류와 광화작용. 경북 대학교 논문집, 32권, p. 289-313.
- 이재영 (1989) 진동화강암 및 유천-연양화강암의 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.
- 이준동 (1987) 경남 진동-마산일대에 분포하는 화강암류와 접촉변성작용에 관한 연구. 서울대학교 박사학위논문.
- 이진규 (1986) 연양-유천지역 백악기 화강암의 화학원소와 광화작용의 관계. 경북 대학교 석사학위논문.
- 이창진, 박희인 (1970) 김해부근 산성화성암류에 대한 암석학적 연구. 지질학회지, 12권, p. 227-241.
- 최수용 (1988) 울산광산에서 산출되는 사문암의 성인적 연구. 부산대학교 박사학위 논문.
- 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.
- Jin, M.S. (1981) Petrology and geochemistry of the Cretaceous granitic rocks in South Korea. Seoul Nat. Univ. Ph. D. thesis.
- 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.
- 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.