

유천분지내 화강암류와 광상구의 관계에 대한 지화학적 연구

이 재 영*·김 상 욱*·김 영 기*·고 인 석*·장 태 우*

A Geochemical Study on Relationship between Granites and Metallogenic Provinces in the Yucheon Basin

Jae Yeong Lee*, Sang Wook Kim*, Young Ki Kim*,
In Seok Koh* and Tae Woo Chang*

Abstract: There is clear difference in content of the major and trace elements between Masan granites of Cu province and Yucheon-Eonyang granites of Pb-Zn province in the Yucheon Basin: the former has low content in K(2.08%), Na(2.42%) and Rb (127ppm), and high content in Ca(3.75%), Mg(1.42%) and Sr(304ppm) whereas the latter has high content in K(3.56-3.60%), Na(3.05-3.06%) and Rb(144-161ppm), and low content in Ca(0.62-0.96), Mg(0.21-0.26%) and Sr(136-157ppm). Ore metals in granites also show slight difference between two areas: Masan granites have slightly higher Cu content(18ppm) than Yucheon-Eonyang granites(13, 14ppm), whereas Yucheon granite(29ppm) has slightly higher Pb content than Masan granites(25ppm).

Thus, it may be possible to apply geochemical difference of the granites to distinguish whether a Cretaceous granite mass is related to copper or lead-zinc mineralization, and whether it belongs Cu-province or Pb-Zn province in the Yucheon Basin.

서 언

경상분지내에는 후기 백악기~제 3기초의 백악기 화강암류와 밀접한 관계를 가진 열수충진형 광맥광상이 많이 발달하며 이들은 대체로 분지의 동남단에서 북서 내지 북쪽 방향으로 동-연-아연이 주가 되는 광상분포를 보인다. 그리고 분지내 최북단에는 휘수연 광상이 분포한다.

물론 광상에서 산출되는 광석의 광물조성은 동/연-아연/휘수연으로 표시된 광상구처럼 단순하지 않고 주광석 광물외에 다른 광물이 수반된다. 본 역 대부분의 동 및 연-아연 광상은 황동석과 방연석-섬아연석이 상호 수반관계를 보이며 울산 철광상에서는 황동석, 일광 동광상에서는 중석이 수반된다. 그리고 휘수연에는 보통 중석이 수반되어 산출 된다.

이러한 광상의 분포를 기초로 하여 경상분지내에 여러 광상구가 설정되었으며(Kim, 1971; 이상만, 1974; 김영기, 1976; Sillitoe, 1977)광상구와 백악기 화강암류간에 어떠한

성인적 관계가 있는 지를 확인하기 위한 지화학적 연구도 단계적으로 실시되어 경상분지내 화강암류는 광상구에 따라 화학성분에 현저한 변화가 있고(이재영, 1981), 화학성분의 변화는 광상구에 따라 일정한 범위를 보이며(Lee, 1984) 화학성분의 변화에 의하여 광상구의 구별이 가능하다(이재영, 1989)는 사실이 차례로 밝혀 졌다.

그런데 화강암류 중 화학성분에 의하여 광상구의 구별이 가능하다는 결론을 얻은 최종연구(이재영, 1989)를 보면 연구의 대상이 된 암체들은 진동화강암체와 유천-연양화강암체인데 진동화강암체는 함안지역에 풍부한 동광화대를 가진 동 광상구내에서도 가장 대표적인 동관련 화강암류이므로 연-아연 광상구내의 어느 화강암류에 대하여도 당연히 현저히 다른 특징적인 화학조성을 가질 수 있는 문제점이 있다.

따라서 본 연구에서는 대상지역도 경상분지 전부를 대상으로 하지 않고 유천분지로 좁히고 진동화강암체 대신 동광상구에 연-아연광상구가 중첩된 마산지역에서 여러 화강암체(마산화강암체)를 선정하여 그 화학성분의 변화를 검토하고 이것을 유천 및 연양화강암체와 비교하였다.

본 연구의 결과 유천분지내 화강암류의 광상구에 따른

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

화학적변화의 변화는 경상분지내 화강암류가 광상구에 따라 보인 화학적변화의 변화에 대체로 일치되었으나 마산화강암체에서는 경상분지의 동광상구의 화강암체와는 조금 다른 즉 연-아연광상구의 화강암체의 화학적변화에 의하여 영향을 받은 화학조성이 관찰되었다.

유천분지내 화강암류는 광상구에 따르는 화학적변화의 변화와 이를 기초로 한 지화학적 특징에 의하여 본 분지는 물론 경상분지내 동/연-아연광상구 내지는 광상의 광종을 파악하는데 지화학적 기초자료로서 활용될 수 있음이 확인되었으며 지화학탐사에 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

본 연구를 위한 1988년도 문교부 학술진흥재단의 협조에 대하여 감사드린다.

지질 및 광상개요

본 유천분지내 연-아연 광상구의 유천-연양지역과 동광상구의 마산지역의 지질 및 광상개요는 다음과 같다(Fig. 1).

유천-연양지역

유천-연양지역에는 신라층군의 상부층인 유천층군이 발달하며 이를 백악기의 유천 및 연양화강암류가 관입하고 있다. 유천층군은 주산안산암류와 운문사유문암질암으로 되어 있으며 주산안산암류는 안산암류와 응회암류로 구성되어 있다. 그리고 백악기의 유천 및 연양화강암류는 화강암과 석영몬조니암으로 구별된다 (김상욱, 1982; Hong, 1985; 이진국, 1986).

유천-연양지역은 경상분지의 광상구에 의하면 유천 코발트-연-아연-동-철광상역(이상만, 1974)에 해당하나 유천 및 연양화강암체와 관련된 광상으로는 천일동광상과 산내중석광상외에는 알려진 것이 별로 없다. 그리고 이들의 광산들도 현재는 휴광상태에 있다 (대한광업진흥공사, 1968)

천일동광상은 유천화강암체내에 발달한 절리와 열극을 따라 배태된 열수충진형 광맥광상이며 주 광석은 황동석이나 회중석과 기타 황철석, 자유철석, 유비철석 등이 수반되고 방연석과 섬아연석은 갱내에서는 확인되지 않으나 시추코아에서는 관찰된다. 황동석 및 유비철석에는 코발트가 함유되어 있으며 황동석은 곳에 따라 풍화작용을 받아 이차광물인 적동석, 공작석, 남동석으로 되어 있다(서정율, 1986). 맥석은 주로 석영으로 되어 있으나 전기석이 수반된다. 석

영내 유체의 균질화온도는 270°C로 추정되었다.

산내중석광상은 연양화강암체내에 발달한 절리와 열극을 따라 배태된 열수충진형 열수광맥광상으로 본 화강암체의 북부 가장자리에 발달한다. 주 광석광물은 흑중석과 휘수연석으로 되어 있으며 황철석, 자철석, 적철석이 수반된다. 맥석은 주로 석영으로 되어 있으며 주변의 모암은 열수변질작용으로 견운모화되어 있다(Fletcher, 1976).

마산지역

마산지역에도 신라층군의 상부층인 유천층군이 발달하며 이를 백악기의 마산화강암체가 관입하고 있다. 본 유천층군은 진동층과 주산안산암질암 및 팔용산응회암으로 되어 있으며 진동층은 백색-회록색-회갈색의 치-트, 회백색의 알코즈사암 및 세일로 구성되어 있고 팔용산응회암은 회색응회암 및 각력암으로 구성되어 있다. 그리고 마산화강암체는 화강암과 화강섬록암으로 구별된다.

마산지역은 경상분지의 광상구에 의하면 마산-밀양 연-아연광상구 및 경남 동광상구 (Kim, 1971) 또는 밀양 연-아연 광상역 및 선경 금-은 광상구(이상만, 1974)로 표시되는 연-아연 광상구에 해당하며 본 화강암체와 관련된 광상으로 이산, 용흥 및 구룡광상의 동광상이 있다. 이들 광상은 주로 주산안산암질암내에 발달한 절리와 열극을 따라 배태된 열수충진형 광상이며 주광석은 황동석이나 명반석 방연석-섬아연석을 수반한다(대한광업진흥공사, 1968)

이산동광상은 폭이 평균 25m의 광맥이 2조 있으며 맥의 방향은 주향N65°~75°E에 80°N W 내지 80°SE로 거의 직립하고 있다. 주광석광물은 황동석이나 방연석과 섬아연석도 산출되고 기타 황철석, 유비철석 등이 수반된다. 용흥동광상은 폭이 평균 0.6~1.5m이며 맥의 방향은 주향 N30°E에 거의 직립한다. 주광석광물은 황동석이나 섬아연석도 산출되고 황철석과 적철석이 수반된다. 구룡동광상은 맥의 방향은 N82°W에 거의 직립하며 주광석광물은 역시 황동석이나 방연석도 산출되고 황철석이 수반된다 (김중환, 김정택, 1963).

화강암류

화강암류의 분류

유천분지내 화강암류는 불국사 화강암류와 마산암류로 분류되는데 유천 및 연양화강암체는 불국사 화강암류에 속하고 마산화강암류 및 일부가 불국사 화강암류에 속한

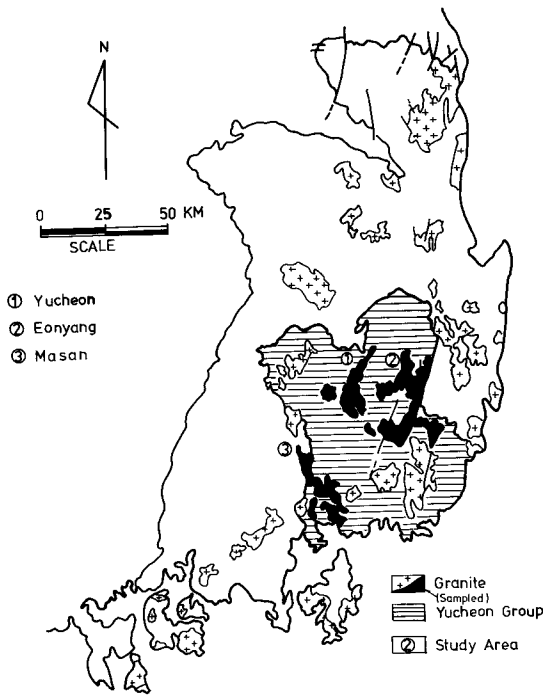


Fig. 1. Distribution of the Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin and surrounding areas.

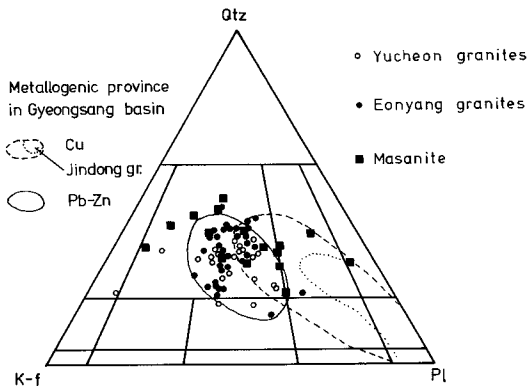


Fig. 2. Quartz-K-feldspar-plasioclase diagram for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

다. 광물조성에 의하면 유천 및 언양화강암체는 흑운모 화강암으로 분류되고(Hong, 1985) 마산화강암체는 마산암류에 해당하는 것은 흑운모 마산암과 각섬석 마산암으로 분류되고 불국사 화강암류에 해당하는 것은 흑운모 화강암, 각섬

석 화강암 및 반상화강암으로 분류된다(이준동, 1987).

모달 Qtz-K-f-Pl 삼각도(Fig. 2)에 의하면 유천 및 언양화강암체는 화강암(몬조)에 해당되고 여기에 석영몬조니암이 일부 포함되며 (Hong, 1985; 이진국, 1986) 마산화강암체는 주로 화강암에 해당되 화강섬록암이 일부 포함된다(이준동, 1987)

노음 Qtz-Or-Pl 삼각도(Fig. 3) 및 AFM 삼각도(Fig. 4)에 의하면 양 지역 화강암체의 분화과정은 경상분지내 백악기 화강암류와 대체로 일치되며(Jin, 1981; 이준동, 1987) 동원암장에서 분화된 경향을 보인다. 분화정도는 마산화강암체는 염기성암 영역에서 부터 산성암 영역까지의 넓은 분화영역을 보이고 유천 및 언양화강암체는 주로 산성암 영역에 점사된다. 분화지수(D.I.)도 전자는 65~80, 후자는 85~95로 후자가 현저히 높다.

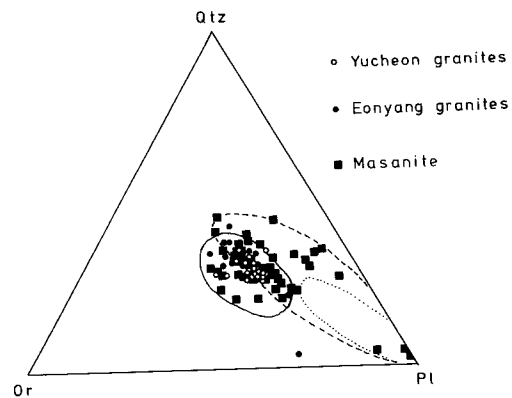


Fig. 3. Quartz-orthoclase-plagioclase diagram for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

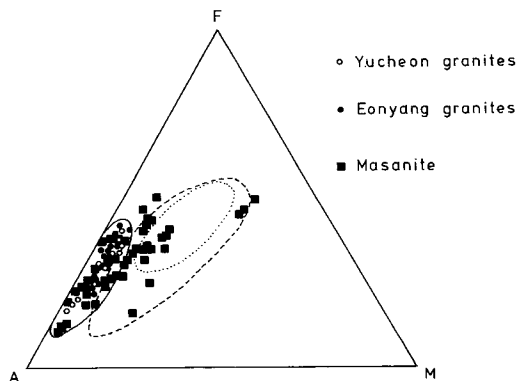


Fig. 4. A-F-M diagram for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

화강암류와 광상 및 광상구

경상분지내 화강암류와 광화작용과의 관계를 보면(Kim, 1971; 이상만, 1972; 이재영, 1981)불국사(진동포함)화강암류에는 동, 연-아연, 금-은, 중석-휘수연, 창연, 코발트, 자철석 등 많은 광종의 광상이 관련되는데 광화작용은 주로 흑운모화강암에 많이 관련되어 있다. 화강반암에는 금-은 광상이 발달되며 화강섬록암에는 고온성의 동광상(함 Co. As. W)이 발달한다. 마산암류에는 동, 연-아연, 금-은, 자철석 광상이 관련되는데 미문상 화강암에는 자철석 광상이 발달한다(대한광업진흥공사, 1968, 1972).

광상구별로 광화작용과 관련있는 화강암류의 암류를 보면(Lee, 1984; 이재영, 1989) 동광상구에서는 화강섬록암-석영섬록암이 주로 관련되고 기타 토나라이트-석영몬조섬록암도 포함되며 연-아연광상구에서는 화강암이 주로 관련되고 알카리장석 화강암도 약간 포함된다. 휘수연광상구에서는 동 및 연-아연광상구의 관련암인 화강암과 화강섬록암이 관련된다. 유천분지내 화강암류와 광상구와의 관계를 요약하면 다음과 같다 :

- (1) 모달 Qtz-K-f-Pl 삼각도(Fig. 2)에 의하면 유천분지내 동광상구는 화강암 내지는 화강섬록암과 밀접한 관계를 보이며 연-아연광상구는 화강암과 밀접한 관계를 보인다.
- (2) 노움 Qtz-Or-Pl 삼각도(Fig. 3) 및 AFM 삼각도(Fig. 4)에 의하면 유천 및 연양화강암체는 경상분지내 연-아연광상구의 화강암류와 같은 영역에 점시되고 마산화강암체도 대부분이 경상분지 동광상구의 화강암류와 같은 영역에 점시되나 상당부분 연-아연광상구의 화강암의 영역에도 산점된다. 이는 마산지역은 동광상구에 연-아연광상구가 중첩되어 있기 때문인 것으로 생각된다.
- (3) 유천분지내 광상구별 화강암류의 분화지수를 보면 동광상구의 마산화강암체가 65~80 이고 연-아연광상구의 유천 및 연양화강암체가 85~95로 현저히 구별된다. 마산화강암체가 진동화강암체(35~80)에 비하여 높은 DI. 범위를 가지는 것은 진동화강암체는 경상분지내 동광상구의 대표적인 동 관련 화강암류에 속하고 마산화강암체는 동광상구에 연-아연광상구가 일부 중첩되어 있는 지역에 분포하기 때문인 것으로 생각된다.

화강암류중 화학원소와 광상구

경상분지내 동광상구와 연-아연광상구사이에서 현저한 함량차이를 보인 화강암류의 화학원소중(Lee, 1984)에서 주원소는 칼륨, 나트륨, 칼슘 및 마그네슘을 선택하고 미량 원소는 칼륨과 칼슘에 각각 치환이 잘 되는 루비듐과 스트론튬 그리고 양 광상구의 주 광석원소인 동, 연 및 아연을 선택하여 유천분지내 유천 및 연양화강암체와 마산화강암체간에 어떠한 함량차이가 있으며 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구의 화강암류의 원소함량과 어떠한 공통점과 차이점이 있는 지를 검토하였다. 본 검토에서 각 원소의 함량변화는 분화지수 DI에 대하여 비교하였다.

주원소중 칼륨과 칼슘은 각각 K-장석과 사장석의 주요 구성원소이므로 본역 장석류에 대한 칼륨과 칼슘의 함량 관계를 구체적으로 알기위하여 K-장석과 사장석도 DI에 대하여 그 함량의 변화를 비교한 결과 카리장석은 분화가 진행될 수록 증가하고 사장석은 분화가 진행될 수록 감소하는 경향이 현저하였다.

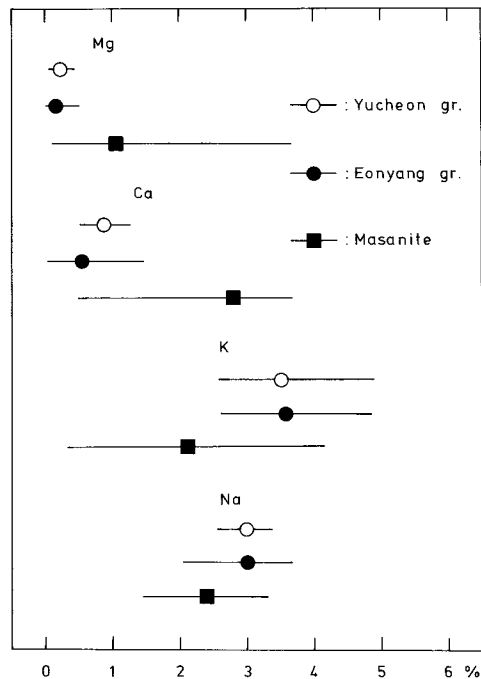


Fig. 5. Ranges and averages of major elements for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin. Symbols are the same as those in Fig. 2.

Table 1. Content of major elements of granitic rocks in the Yucheon Basin(%). Mean content in parenthesis.

Areas	K	Na	Ca	Mg
Yucheon	2.57~4.73(3.56)	2.60~3.33(3.06)	0.52~1.27(0.96)	0.15~0.44(0.26)
Oenyang	2.61~4.86(3.60)	2.07~3.67(3.05)	0.34~2.57(0.62)	0.15~1.07(0.21)
Masan	0.30~4.08(2.08)	1.46~3.29(2.42)	1.08~7.62(2.78)	0.13~3.67(1.07)

화강암류와 주원소 함량과의 관계를 보면 칼륨과 나트륨 함량은 화강암에서 높고 화강섬록암, 석영섬록암쪽으로 갈수록 낮아지며 칼슘과 마그네슘함량은 그 반대의 경향을 보이는데 이는 화강암류의 일반적 함량변화의 경향과 일치한다. 칼륨과 칼슘은 나트륨과 마그네슘보다 분화지수에 대한 함량변화가 더 규칙적이며 현저하다.

주원소

유천분지내 화강암류중 주 원소인 칼륨, 나트륨, 칼슘, 마그네슘은 동광상구와 연-아연광상구간에 현저한 함량차이를 보이며 원소별 지화학적 검토결과는 다음과 같다(Table 1, Fig.5).

칼륨

칼륨함량은 연-아연 광상구의 유천화강암체(3.56%) 및 연양화강암체(3.60%)가 동광상구의 마산화강암체(2.08%)보다 1.5%정도 높으며 DI가 상승함에 따라 현저히 증가하여 양 화강암체는 K_2O/DI 도에 의하여 잘 구분된다(Fig. 6-1a).

카리장석의 함량은 칼륨함량이 높은 유천 및 연양화강암체(20~40%)가 마산화강암체(15~40%)보다 높은 경향을 보인다(Fig. 6-1b). 그런데 유천 및 연양화강암체의 칼륨함량이 카리장석의 함량에서 기대될 수 있는 것보다도 조금 높은 경향이 있는데 이것은 유천 및 연양화강암체의 장석의 양이 30%나 되며 카리장석은 나트륨보다도 칼륨함량이 높은 Microperthite(Hong, 1985)가 우세하기 때문인 것으로 생각된다.

흑운모 $[K(Mg, Fe^{2+})_3 (Al, Fe^{3+}) Si_3O_{10} (OH)_2]$ 는 후기 정출광물이고 그의 구성원소인 칼륨은 분화가 진행될 수록 증가하므로 흑운모도 분화지수에 대하여 증가할 것으로 기대될 수 있으나 칼륨은 철, 마그네슘에 비하여 흑운모의 구성원소로서의 기여도가 낮아 본 화강암류중 흑운모량은 DI가 상승할 수록 감소하고 칼륨과는 역비례적 함량관계를 보이게 된다.

본 유천분지내 광상구와 경상분지내 광상구간의 화강암

류중 칼륨함량을 비교해 보면 유천 및 연양화강암체의 3.56%와 3.60%는 경상분지의 연-아연광상구내 화강암류의 3.59%에 거의 같고 마산화강암체의 2.08%는 경상분지의 동광상구내 화강암류의 2.59%쪽에 가깝다(Lee, 1984). 이처럼 유천분지내 양 화강암체가 경상분지내 해당 광상구의 화강암류와 유사한 칼륨함량을 보이는 것은 광상구의 광종이 서로 같고 화강암류가 동원암장에서 분화되었기 때문으로 생각된다. 그러나 마산화강암체는 동광상구에 연-아연광상구가 중첩되어 있기때문에 칼륨함량의 일부는 연-아연 광상구의 것에 접근된 약간 높은 값을 보인다. 이처럼 칼륨함량은 유천분지내 연-아연광상구와 동광상구간에 현저히 다른 변화양상을 보이므로 본 분지와 경상분지내 광상구 내지는 광상의 광종을 구분하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

나트륨

본역 화강암류의 나트륨함량은 유천화강암체(3.6%) 및 연양화강암체(3.05%)는 마산화강암체(2.42%)보다 약 0.6%밖에 높지 않으나 Na_2O/DI 도에서 보면 DI가 상승함에 따라 유천 및 연양화강암체는 마산화강암체에 대하여 점진적인 증가를 보인다(Fig. 6-2).

본 역 광상구와 경상분지내 광상구간의 화강암류중 나트륨함량을 비교해 보면 유천 및 연양화강암체의 2.42%는 경상분지내 연-아연광상구의 2.97%에 가깝고 마산화강암체의 2.42%는 경상분지내 동광상구의 2.40%에 거의 일치되는 값이다. 이처럼 본 역내 양 지역의 화강암체가 각각 경상분지내 연-아연광상구와 동광상구에 유사한 나트륨함량을 보이는 것은 유천-연양지역은 연-아연광상구에 해당하고 마산지역에서는 동광상구에 해당하기 때문이다.

마산화강암체중 나트륨함량은 마산지역이 동광상구에 연-아연광상구가 일부 중첩되어 있음에도 경상분지내 동광상구의 것에 가까운 낮은 함량을 보이는 것은 나트륨함량은 광상구가 다르다고 해도 광상구간에 매우 근소한 차이 밖에 없는사실(Lee, 1984)과 관계되는 것으로 생각된다.

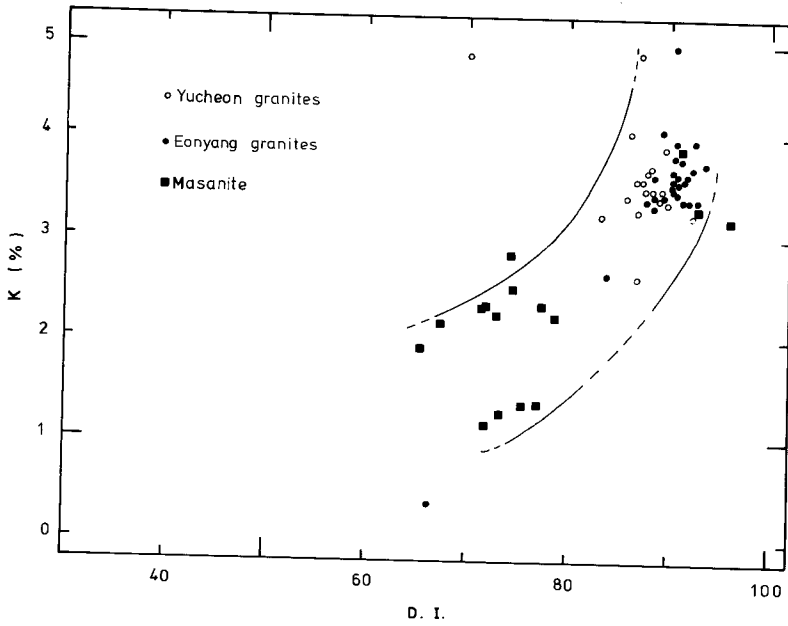


Fig. 6-1a. Variation of K against D.I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

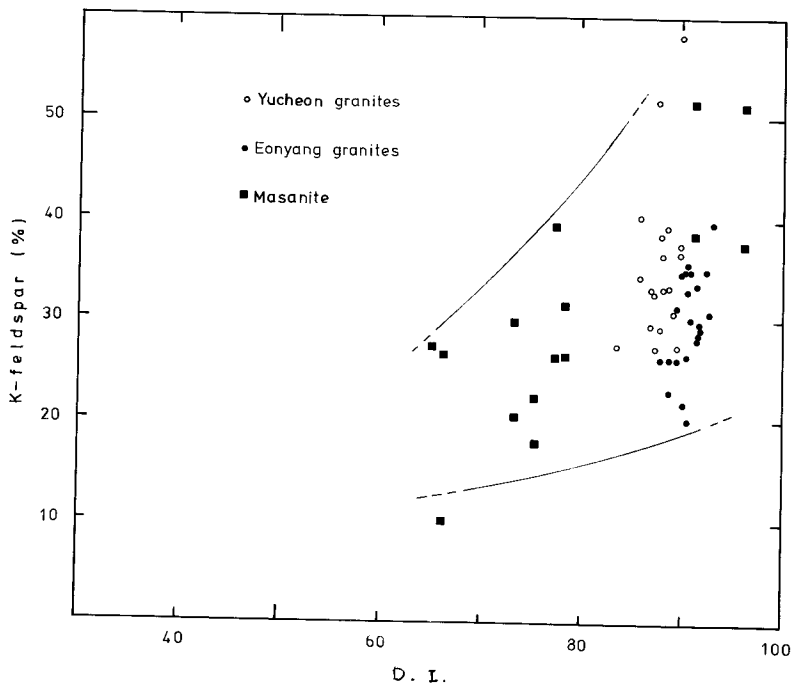


Fig. 6-1b. Variation of Na against D.I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

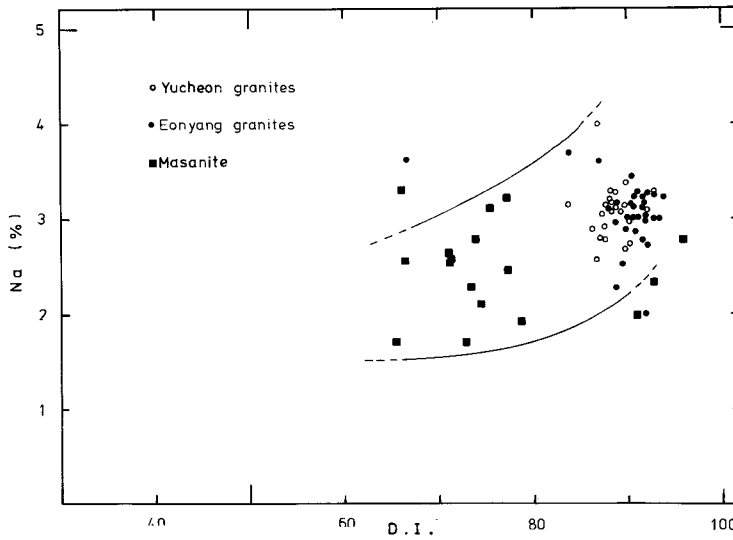


Fig. 6-2. Variation of Na against D.I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

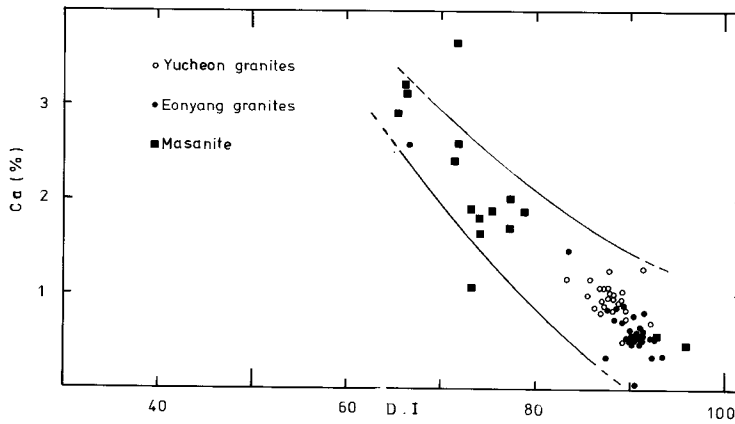


Fig. 6-3a. Variation of Ca against D.I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

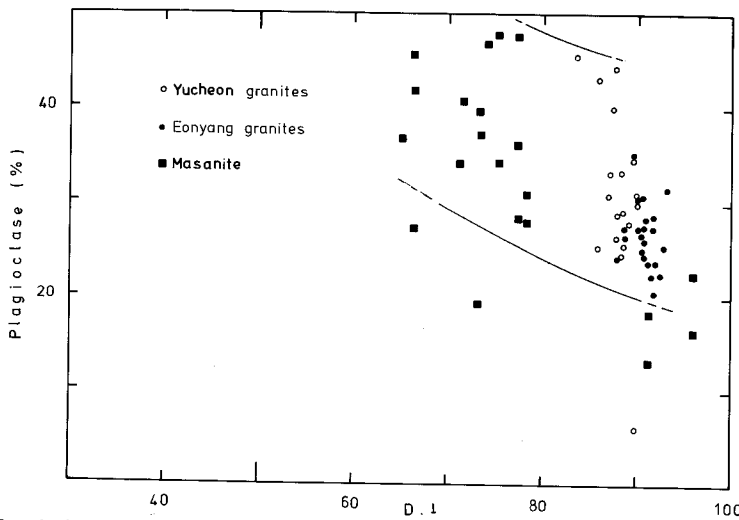


Fig. 6-3b. Variation of plagioclase against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

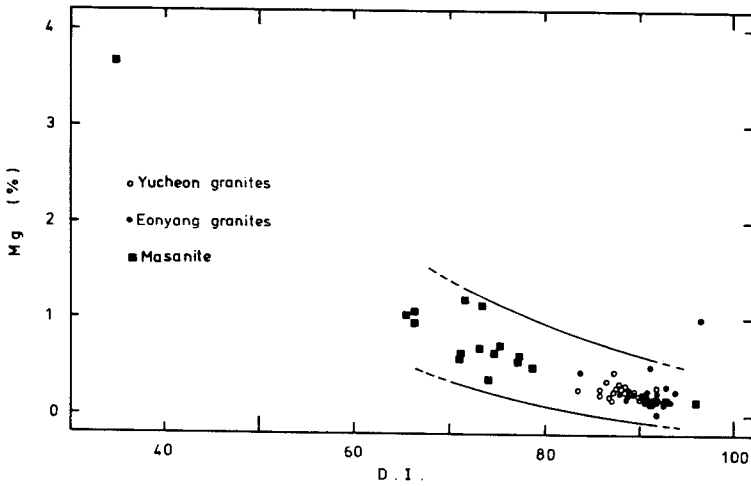


Fig. 6-4a. Variation of Mg against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

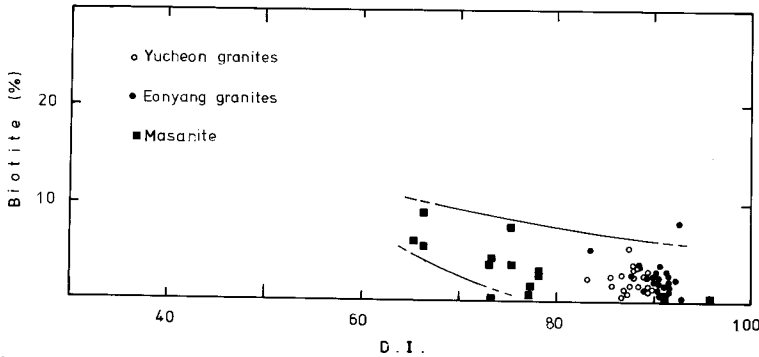


Fig. 6-4b. Variation of biotite against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

이처럼 나트륨함량은 칼륨만큼 유력하지는 않으나 유천 분지내 연-아연광상구와 동광상구간에 다소 다른 변화양상을 보이므로 본 분지와 경상분지 광상구 내지는 광상의 광종을 구분하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

칼슘

본 역 화강암류의 칼슘함량은 마산화강암체(2.78%)가 유천화강암체(0.98%) 및 언양화강암체(0.62%)보다 약 3 배 이상이나 높으며 DI와의 관계를 보면 마산화강암체가 유천 및 언양화강암체에 대하여 현저히 감소하는 현상을 보인다(Fig. 6-3a).

칼슘과 사장석과의 함량관계를 보면 칼슘의 함량이 낮은 유천 및 언양화강암체(20~35%)가 마산화강암체(25~50%)보다 낮은 경향을 보인다(Fig. 6-3b). 유천 및 언양화

강암체의 칼슘함량이 사장석의 함량차이에서 기대될 수 있는 양 보다도 낮은 경향을 보이는 것은 유천 및 언양화강암체의 사장석은 칼슘함량이 낮은 사장석이기 때문에 아닌가 생각된다. 유천 및 언양 화강암체의 사장석의 함량은 25~30%나 되며 이 사장석은 주로 칼슘함량이 낮은 Oligoclase(An 12~22)로 되어 있는 사실(Hong, 1985)과 일치된다. 그리고 유천과 언양 화강암체간에도 칼슘함량과 사장석의 함량에 비례적 관계가 성립되는데 칼슘함량이 높은 유천화강암체(30%)가 칼슘함량이 낮은 언양화강암체(25%)보다도 사장석의 양이 높다.

본 유천분지내 광상구와 경상분지내 광상구간의 화강암류중 칼슘함량을 비교해 보면 유천화강암체의 0.98%는 경상분지의 연-아연광상구내 화강암류의 1.03%에 거의 같고 마산화강암체의 2.78%는 경상분지의 동광상구내 화강

암류의 2.93%에 매우 가까운 값이다. 이처럼 본 분지내 화강암체가 경상분지내 해당 광상구의 화강암류와 유사한 칼슘함량을 보이는 것은 광상구가 서로 같기 때문으로 생각된다. 언양화강암체가 유천화강암체보다도 칼슘함량이 조금 낮은 것은 분화지수에서 나타난 바와 같이 분화가 더 진행되었기 때문인 것으로 사료된다.

이처럼 칼슘함량도 칼륨과 나트륨의 경우처럼 유천분지내 연-아연광상구와 동광상구간에 현저히 다른 변화양상을 보이므로 본 분지와 경상분지내 광상구 내지는 광종의 광종을 구분하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

마그네슘

본 역 화강암류의 마그네슘함량은 동광상구의 마산화강암체(1.07%)가 연-아연광상구의 유천화강암체(0.26%) 및 언양화강암체(0.21%)보다 4~5배나 높으며 MgO/D.I도에서 보면 D.I의 상승에 대하여 마산화강암체가 유천 및 언양화강암체에 대하여 점진적으로 감소하는 경향을 볼 수 있다(Fig. 6-4a).

마그네슘과 흑운모의 함량관계를 보면 흑운모는 후기 정출광물이므로 D.I가 증가할 수록 화강암류중 그 양이 증가될 것으로 기대될 수 있으나 분화가 더 진행된 유천 및 언양화강암체가 마산화강암체보다 오히려 더 낮은 값을 보이는 것은 흑운모의 주요 구성요소는 마그네슘이기 때문에 D.I가 증가할 수록 같이 감소하는 것으로 생각된다(Fig. 6-4b).

본 분지내 광상구와 경상분지내 광상구간의 화강암류중 마그네슘함량을 비교해 보면 유천 및 언양화강암체의 0.26%와 0.21%는 경상분지의 연-아연광상구내 화강암류의 0.55%의 1/2밖에 되지 않으나 동광상구보다 연-아연광상구쪽의 값에 가깝고 마산화강암체의 1.07%는 경상분지의 동광상구내 화강암류의 1.03%에 매우 가까운 값이다. 이처럼 유천분지내 양 화강암체가 경상분지내 해당 광상구의 화강암류에 가까운 또는 유사한 마그네슘함량을 보이는 것은 광상구가 서로 같기 때문으로 생각된다.

유천 및 언양화강암체가 경상분지의 연-아연광상구의 화강암류보다도 마그네슘 함량이 낮은데 이것은 유천 및 언양화강암체가 경상분지의 연-아연광상구내 화강암류의 평균분화정도보다 높기 때문이 아닌가 생각된다.

이처럼 마그네슘함량은 칼슘만큼 유력하지는 않으나 유천분지내 연-아연광상구와 동광상구간에 다소 다른 변화양상을 보이므로 본 분지와 경상분지내 광상구 내지는 광종의 광종을 구분하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

미량원소

유천분지내 화강암류의 미량원소는 주원소 및 광상구의 광종과 밀접한 관계를 가지고 광상구간에 현저한 함량차이를 보이며 검토결과는 다음과 같다(Table 2).

친석원소

루비듐

본 역 화강암류의 루비듐함량은 연-아연광상구의 유천화강암체(144ppm) 및 언양화강암체(161ppm)가 동 광상구의 마산화강암체(127ppm)보다는 15~30ppm 정도 높은데 값은 현저한 차이는 아니나 D.I에 대하여 점진적 내지는 현저한 증가를 보이고 있으므로(Fig. 7-1) 루비듐이 허용될 수 있는 카리움과 같이 비교검토할 때 본 역 광상구의 구분에도움이 될 수 있다고 생각된다. 본 역 화강암류중 루비듐의 지화학적 검토결과를 요약하면 다음과 같다:

- (1) 본 역 화강암류중 루비듐함량은 유천 및 언양화강암체가 마산화강암체보다도 약 15~30 ppm정도 높은데 본 역의 칼슘함량도 연-아연광상구의 유천화강암체(3.56%) 및 언양화강암체(3.60%)가 동광상구의 마산화강암체(2.08%)보다도 약간 높은 (약 1.5배)사실과 일치한다.
- (2) 루비듐함량은 카리-장석의 함량과도 비례적 관계를 보이는데 카리장석의 함량은 유천 및 언양화강암체(25~40%)가 마산화강암체(15~30%)보다도 높다.
- (3) 루비듐함량은 흑운모의 함량과는 역비례적 관계를 보

Table 2. Content of minor elements of granitic rocks in Yucheon Basin(ppm). Mean content in parenthesis.

Areas	Rb	Sr	Rb/Sr	K/Rb	Ca/Sr	Cu	Pb	Zn
Yucheon	115~180(144)	95~180(157)	0.2~0.6	150~450	40~150	5~40(13)	12~47(29)	23~80(50)
Oenyang	115~296(161)	81~415(136)	0.7~1.5	120~400	40~100	5~34(14)	12~33(26)	21~90(38)
Masan	74~292(127)	230~450(304)	0.5~1.8	120~240	35~135	8~50(18)	10~50(25)	22~92(19)

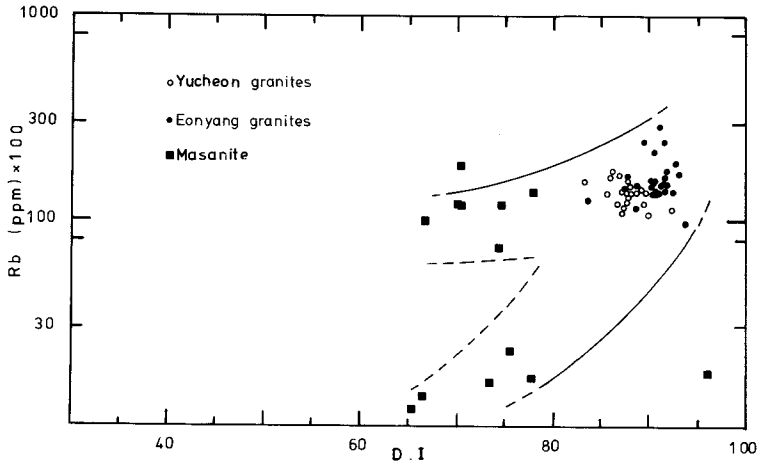


Fig. 7-1. Variation of Rb against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

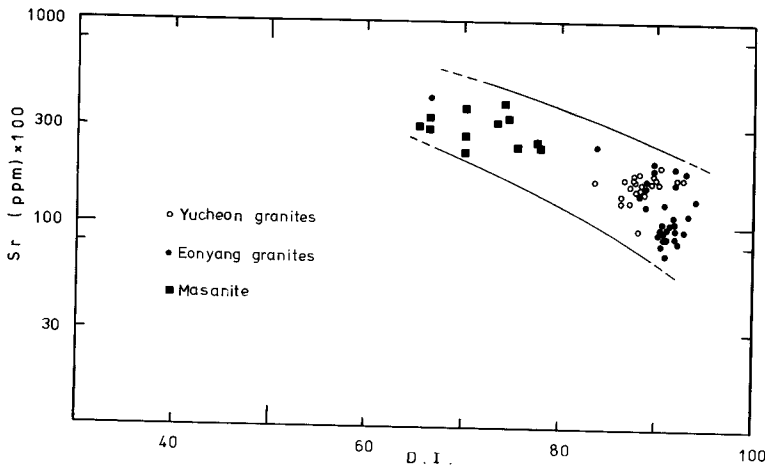


Fig. 7-2. Variation of Sr against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

이는데 흑운모의 함량은 마산화강암체(약 10%)가 유천-연양화강암체(약 6%)보다도 약간 높다. 이것은 마산화강암체의 루비듐함량을 증가시키고 양 암체의 루비듐 함량의 차이를 줄이는 한 요인이 될 것으로 생각된다.

(4) 유천분지내 화강암류중 루비듐함량은 연-아연광상구가 동광상구보다도 높은 것은 경상분지내 화강암류중 루비듐함량도 연-아연광상구(149ppm)가 동광상구(114ppm)보다도 높은 사실(Lee, 1984)과 일치한다.

따라서 루비듐함량의 변화양상은 본 분지와 경상분지내 광상구 내지는 광상의 광종을 구분하는데 지시적 미량원소로서 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

스트론튬

본 역 화강암류의 스트론튬함량은 동광상구의 마산화강암체(304ppm)가 연-아연광상구의 유천화강암체(157ppm) 및 연양화강암체(136ppm) 보다도 2배정도 높고 D.I.에 대하여 점진적 감소를 보이고 있으므로(Fig. 7-2) 스트론튬이 허용될 수 있는 칼슘과 같이 비교검토할 때 본 역 광상구의 구분에 매우 효과적일 수 있다. 본 역 화강암류중 스트론튬의 지화학적 검토결과를 요약하면 다음과 같다 :

(1) 본 역 화강암류중 스트론튬함량은 동광상구의 마산화강암체가 연-아연광상구의 유천 및 연양화강암체보다도 2배정도 높는데 칼슘함량도 마산화강암체(2.7%)가 유천화

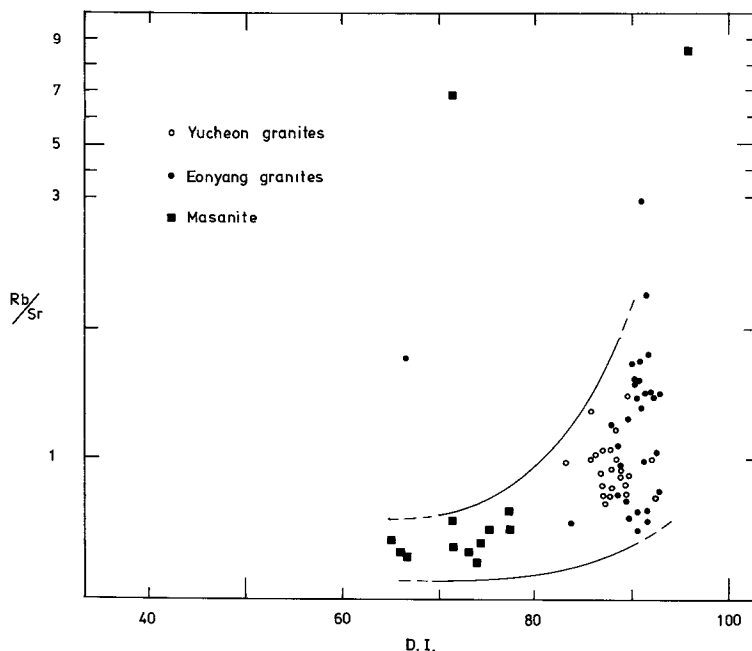


Fig. 7-3. Variation of Rb/Sr ratio against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

강암체(0.98%) 및 언양화강암체(0.62%)보다도 높은 (약3배)사실과 일치한다.

(2) 스트론튬함량은 사장석의 함량과도 비례적 관계를 보이는데 사장석의 함량은 마산화강암체(25~50%)가 유천 및 언양화강암체(20~35%)보다도 높다.

(3) 유천분지내 화강암류중 스트론튬함량도 동광상구(294ppm)가 연-아연광상구(185ppm)보다도 현저히 높은 사실(Lee, 1984)과 일치한다.

따라서 스트론튬함량의 변화양상은 루비듐의 경우와 같이 본 분지와 경상분지내 광상구 내지는 광상의 광종을 구분하는데 지시적 미량원소로서 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

루비듐/스트론튬 비

본 역 화강암류의 Rb/Sr비도 연-아연광상구의 유천(0.7~1.5) 및 언양 (0.5~1.8)화강암체가 동광상구의 마산(0.2~0.6)화강암체보다도 현저히 높으며, D. I. 에 대하여 현저한 증가를 보인다. 따라서 Rb/Sr비의 D. I. 에 대한 변화양상도 Rb/D. I. 와 Sr/D. I. 의 경우와 같이 본 분지와 경상분지내 광상구 내지는 광종을 구분하는데 지시적 요소로서 활용될 수 있을 것으로 생각된다 (Fig. 7-3).

주원소와 미량원소의 관계

칼륨/루비듐

루비듐(1.48Å)은 칼륨(1.33Å)과 같은 전하(+1)와 조금 큰 반경을 가지고 있으므로 칼륨광물에 허용이 잘 되며 보통 카리장석(KAlSi₃O₈)과 흑운모등에 포함된다. 본 역 화강암류중 칼륨/루비듐의 지화학적 검토결과를 요약하면 다음과 같다:

(1) 화성암류에서는 루비듐은 칼륨과 일반적으로 정비례적 함량관계를 가지고 분화가 진행될 수록 증가하는 경향이 있는데 본 역의 화강암류에서도 루비듐은 칼륨과 정비례적 함량관계를 가지고 분화지수가 높을 수록 증가하는 경향이 현저하다. 그러나 마산화강암체에서 일부 낮은 루비듐함량이 흑운모화강암과 반상화강암에서 발견된다.

(2) 본 역 화강암류의 K/Rb 비는 235~120인데 이 범위는 경상분지내 화강암류의 K/Rb비가 보이는 범위 300~150 내지 400~120(Lee, 1984; 이재영, 1989)내에 포함된다(Fig. 8-1).

(3) 마산화강암체와 유천 및 언양화강암체가 동원암장에서 분화된 것이면 분화가 더 진행된 유천 및 언양화강암체(120~400)에서 마산화강암체(120~235)보다 낮은 범위의

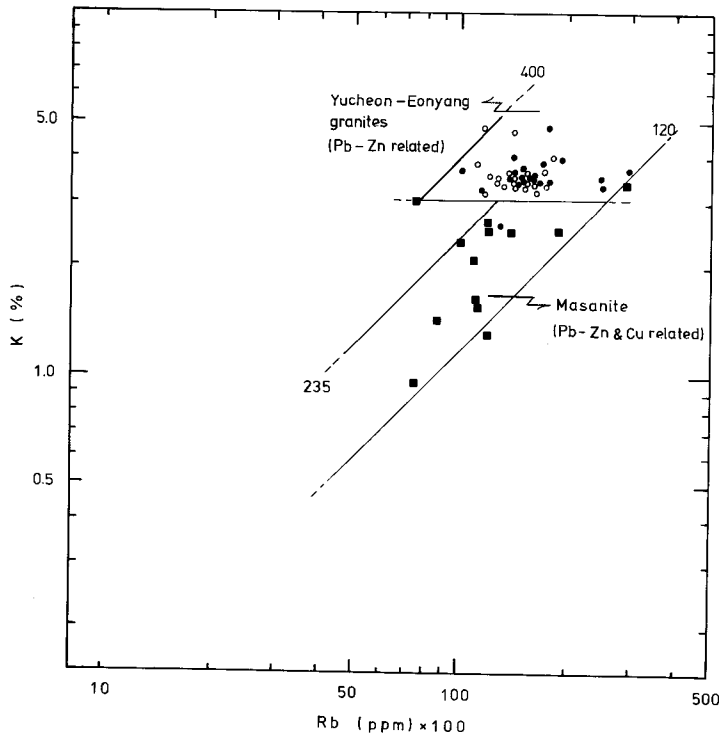


Fig. 8-1. K/Rb relation for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

K/Rb값이 기대되는데 일부가 높은 값을 보이는 것은 광역적으로는 양 암체가 동원암장에서 분화된 것이라 할지라도 국지적으로는 광상구에 따른 분화과정의 차이에 기인되는 것이 아닌가 생각된다.

(4) 유천 및 언양화강암체의 K/Rb비를 보면 분화지수가 더 높은 언양화강암체가 유천화강암체보다 낮은 경향을 보이고 있으므로 이는 유천과 언양화강암체는 동원암장에서 분화되었음을 알 수 있다.

(5) 흥미 있는 것은 경상분지내 화강암류는 대체로 북서방향으로 그 지질년대가 젊어지는데 본 유천과 언양의 화강암체는 이에 반대되는 방향으로 놓여 있고 지질년대 측정 결과도 유천화강암체(75my)보다 언양화강암체(63my, 74my)가 후기이다(李倫鍾, 植田良夫, 1977; 李倫鍾, 1980)

(6) 동광상구의 마산화강암체와 연-아연광상구의 유천 및 언양화강암체는 칼륨함량 및 K/Rb비에 의하여 구분이 가능하다. 즉 마산화강암체는 칼륨함량(3%, K/Rb=120~

235이고 유천 및 언양화강암체는 칼륨함량 >3%, K/Rb=120~400이다.

따라서 본 역 화강암류중 K/Rb비의 변화는 본 분지와 경상분지내 동광상구와 연-아연광상구의 구분 내지는 광상의 광종을 구분하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

칼슘/스트론튬

스트론튬(1.13\AA)은 칼슘(0.99\AA)과는 전하(+2)는 같으나 조금 큰 반경을 가지므로 칼슘-광물에는 허용이 되고 칼륨과는 반경은 비슷하나 큰 전하를 가지므로 칼륨광물에는 포착이 될 수 있다. 따라서 스트론튬은 사장석 및 카리장석등에 포함된다. 본 역 화강암류중 칼슘/스트론튬의 지화학적 검토결과를 요약하면 다음과 같다:

(1) 화성암류에서는 스트론튬은 칼슘과 일반적으로 정량적

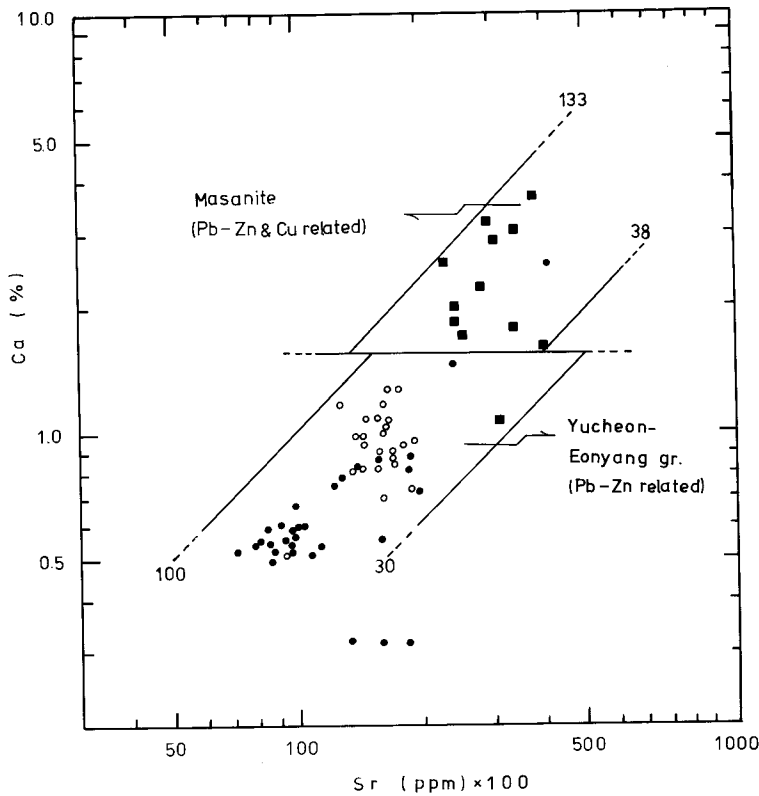


Fig. 8-2. Ca/Sr relation for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

함량관계를 가지고 분화가 진행될 수록 감소하는 경향이 있는데 본 역의 화강암류에서도 스트론튬은 칼슘과 정비례적 함량관계를 가지고 분화지수가 높을 수록 감소하는 경향이 현저하다.

(2) 본 역 화강암류의 Sr/Ca비는 133~38인데 이 범위는 경상분지내 화강암류의 Ca/Sr비 150~40 내지 100~30 (Lee, 1984; 이재영, 1989)내에 포함된다(Fig. 8-2).

(3) 스트론튬은 칼슘에 허용이 잘 되므로 분화가 진행될 수록 칼슘과 같이 감소하나 분화가 진행될 수록 증가하는 칼륨에도 포착이 잘 되므로 Ca/Sr 비는 분화가 진행될 수록 감소하는 경향이 있는데 본 역 화강암류의 Ca/Sr 비도 마산화강암체 보다도 높은 유천 및 언양화강암체가 낮은 값을 보인다.

(4) 유천화강암체와 언양화강암체간에도 Ca/Sr비는 분화지수가 더 높은 언양화강암체가 낮은 값을 보인다. 양화강암체는 동원암장에서 분화된 것이므로 본 역의 화강암

류의 Ca/Sr비는 분화가 진행될 수록 감소하는 경향이 있다고 생각한다.

(5) 유천 및 언양화강암체도 Ca/Sr비는 분화지수가 높은 언양화강암체쪽이 낮은 값을 보이는데 이는 언양화강암체 (63my, 74my)가 유천화강암체(75my)보다 후기인 사실과 일치한다.

(6) 동광상구의 마산화강암체와 연-아연광상구의 유천 및 언양화강암체는 칼슘함량 및 Ca/Sr비에 의하여 루비듐의 경우와 마찬가지로 구분될 수 있다. 즉 마산화강암체는 칼슘함량 > 1.5%, Ca/Sr = 38~133; 유천 및 언양화강암체는 칼슘함량 < 1.5%, Ca/Sr = 30~100이다.

따라서 본 역의 화강암질암중 칼슘과 스트론튬의 함량 및 Ca/Sr비의 변화는 동광상구와 연-아연광상구의 구분 내지는 관련 광화작용의 광종을 구분하는데 도움이 될 것으로 생각된다.

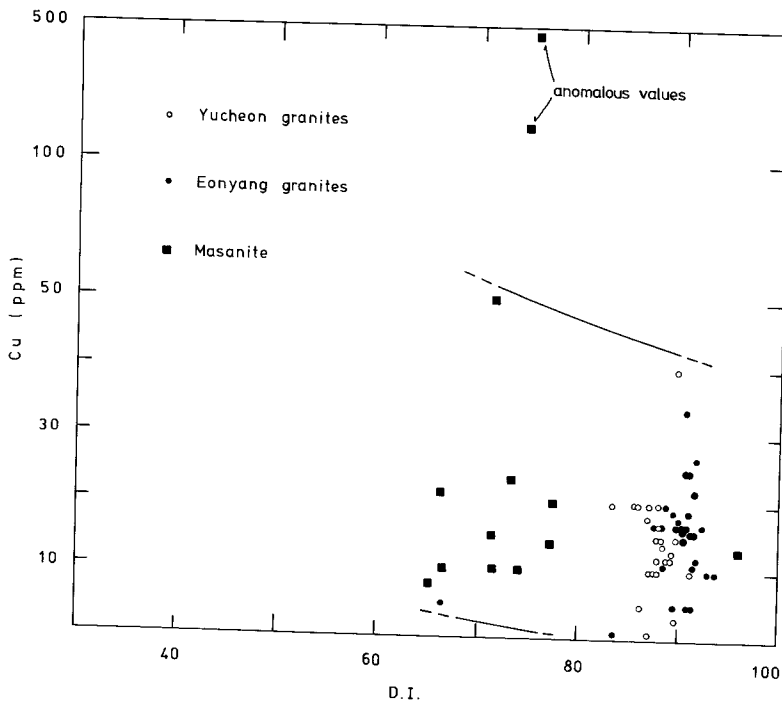


Fig. 9-1. Variation of Cu against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

광석금속

동

본 역 화강암류의 평균동합량은 동광상구의 마산화강암체(18ppm)가 연-아연광상구의 유천-언양화강암체(13-14ppm)보다는 높으나 매우 근소한 차이(4 ppm)를 보인다(Fig. 9-1). 이 함량차이는 동광상구와 연-아연광상구를 구분할 수 있는 값으로서 매우 낮으나 경상분지내 화강암류의 평균 동합량도 대체로 동광상구(17 ppm)와 연-아연광상구(13 ppm)간에 매우 낮은 차이(4 ppm)를 보이는 사실과 일치한다(Lee, 1984).

경상분지내 진동화강암체는 동광상구의 대표적 화강암류인데도 동광화대인 군북-함안 지역을 제외한 비광화대에서는 평균 15 ppm의 낮은 동합량을 보이고(이준동, 1987; 이재영, 1989) 군북-함안지역의 생산적인 화강암체에서만 60 ppm이상의 높은 평균치와 최대 450ppm의 이상치를 보인다.

본 역 화강암류의 동합량은 동광상구가 연-아연광상구

보다 약간 높은 경향을 보이며 본 역을 포함하는 경상분지내 화강암류중 생산적인 것은 높은 동평균치와 이상치를 보이므로 동합량도 본 역과 경상분지내 화강암류의 지화학적 특징과 주원소 내지는 수반원소와 함께 종합적으로 검토할 때 동광상구와 연-아연광상구를 구분하는데 활용될 수 있을 것으로 생각된다.

연 및 아연

본 역 화강암류의 평균 연합량은 연-아연광상구의 유천 및 언양화강암체(29-26 ppm)가 동광상구의 마산화강암체(25 ppm)보다 높으나 무시될 정도의 낮은 함량차이(4 ppm)를 보이고 50 ppm이상의 고품량치도 마산화강암체에서 발견된다(Fig. 9-2).

경상분지내 화강암류의 특징은 연-아연광상구에 분포한다고 해서 연합량이 반드시 동광상구 보다 높지않고 동광상구의 것일지라도 생산적 화강암류는 연-아연광상구의 비생산적인 화강암류보다 높은 연합량을 보이는 경향(Lee, 1984)이 있는데 진동화강암체(37 ppm)도 유천-언양

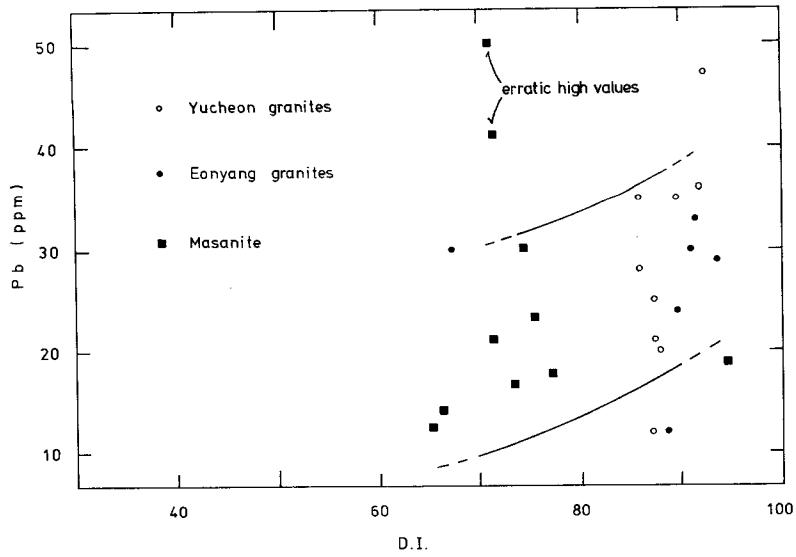


Fig. 9-2. Variation of Pb against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

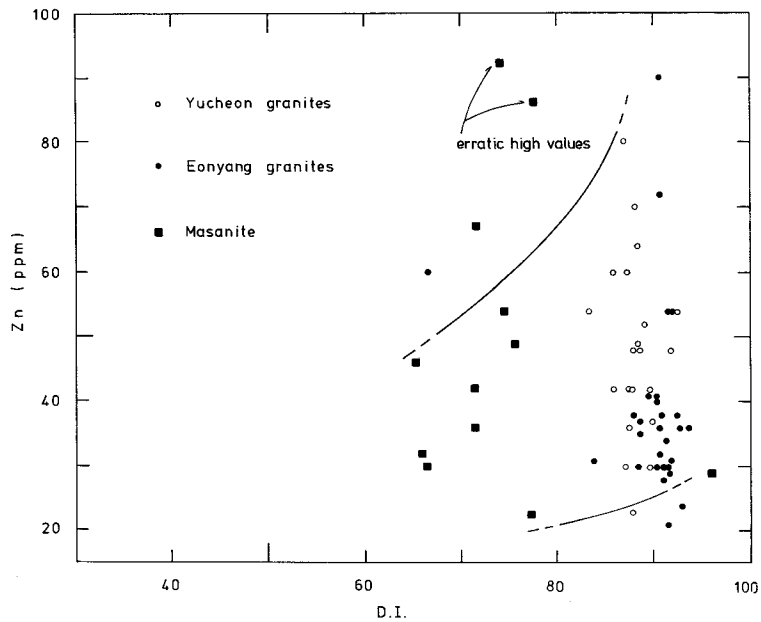


Fig. 9-3. Variation of Zn against D. I. for Cretaceous granitic rocks in the Yucheon Basin.

화강암체보다 높은 연합량을 보인다(이재영, 1989). 뿐만 아니라 경상분지내 화강암류는 산성암상이나 염기성암상 구분없이 연합량은 비교적 일정하다는 보고 (Jin, 1981)도 있다.

따라서 유천 및 언양화강암체와 마산화강암체간의 연합량 차이가 근소한 것은 상기한 경상분지내 화강암류의 지화학적 특징과 광상의 조건에 관계되는 것으로 생각된다. 유천 및 언양화강암체와 관련된 광상으로는 천일광산이 알려져 있는데 본 광상은 연-아연을 수반하나 주광석은 황동석이며 언양화강암체와 관련된 광상으로는 산내광산이 있는데 이 광상도 주광석은 흑증석과 휘수연석이다. 즉 유천 및 언양화강암체는 연-아연광상구에 속하나 주목할 만한 연-아연의 광화작용이 없는 비생산적인 화강암체이다.

본 역 화강암류의 아연함량은 연-아연광상구의 유천화강암체(50 ppm)는 동광상구의 마산화강암체(49 ppm)와 거의 같으며 언양화강암체(38 ppm)는 마산화강암체보다도 오히려 11 ppm이나 낮은 값을 보인다(Fig. 9.3). 이처럼 연-아연 광상구의 화강암체가 동광상구의 화강암체보다도 오히려 낮은 아연함량을 보이는 것은 일반적 경향에 맞지 않으나 경상분지내 화강암류에서도 아연함량은 연-아연광상구(45 ppm)가 동광상구(17 ppm)보다도 낮은 경향도 있다 (Lee, 1984).

본 역 화강암류의 연 및 아연함량은 동광상구와 연-아연광상구간에 대단히 근소한 차이를 보이므로 연합량만으로 광상구를 구분하는 것은 어렵고 광상구의 지화학적 특징과 광상구와 관련된 다른 원소에 의한 보완이 필요하다고 생각된다

종합 및 결론

유천분지내 화강암류는 모드 Qtz-Kf-Pl도에 의하면 동광상구의 마산화강암체는 화강암-화강섬록암으로 구분되고 연-아연광상구의 유천 및 언양화강암체는 화강암-석영문조니암으로 구분된다.

그리고 노음 Qtz-Or-Pl도에 의하면 마산화강암체는 염기성 영역에서 산성암 영역으로의 넓은 분화폭을 보이는데 반하여 유천 및 언양화강암체는 산성암 영역에만 점시된다. 그리고 이들 화강암류의 점시영역을 경상분지내 화강암류와 비교해 보면 유천 및 언양화강암체는 경상분지내 연-아연광상구의 점시영역과 대체로 일치하나 마산화강암

체는 경상분지내 동 및 연-아연의 두 광상구의 점시영역에 걸쳐 있다. 이것은 마산화강암체는 동광상구에 연-아연광상구가 일부 중복되어 있기 때문인 것으로 생각된다.

AFM도에 의하면 본 역 화강암류는 경상분지내 화강암류와 대체로 같은 Calc alkaline trend를 보이며 그 분포양상은 유천 및 언양화강암체는 경상분지내 연-아연광상구의 영역과 대체로 일치하나 마산화강암체는 경상분지내 동 및 연-아연의 두 광상구의 점시영역에 걸쳐 있다.

본 역 화강암류의 D.I.는 마산화강암체는 65~80이고 유천 및 언양화강암체는 85~95이다. 칼륨과 나트륨은 D.I.에 대하여 정비례적 함량관계를 보이고 칼슘과 마그네슘은 역비례적 함량관계를 보인다. D.I.에 대한 칼륨의 정비례적 관계와 칼슘의 역비례적 관계는 각각 나트륨과 마그네슘에 비하여 규칙적이고 현저하다. D.I.에 대한 함량변화는 나트륨이 가장 빈약하다.

마산화강암체는 칼륨과 나트륨의 함량은 낮고 칼슘과 마그네슘의 함량은 높으며 유천 및 언양화강암체는 그 반대의 경향을 보인다. 이러한 경향은 경상분지 동광상구는 칼륨과 나트륨의 함량은 낮고 칼슘과 마그네슘의 함량은 높으며 연-아연광상구는 그 반대의 경향을 보이는 것과 일치한다.

미량원소(루비듐, 스트론튬)도 주원소(칼륨, 칼슘)와 밀접한 관계를 가지고 마산화강암체는 루비듐함량이 낮고 스트론튬함량은 높으며 유천 및 언양화강암체는 그 반대의 경향을 보인다. 이러한 경향은 경상분지 동광상구는 루비듐함량은 낮고 스트론튬함량은 높으며 연-아연광상구는 그 반대의 경향을 보이는 것과 일치한다.

K/Rb도에 의하면 마산화강암체는 K/Rb비=120~235, 칼륨함량(3%내)에 점시되고 유천 및 언양화강암체는 K/Rb비=120~400, 칼륨함량<3%내에 점시되며 칼슘함량/Sr도에 의하면 마산화강암체는 칼슘함량(1.5%, Ca/Sr=38~133내)에 점시되고 유천 및 언양화강암체는 칼슘함량(1.5%, Ca/Sr=30~100내)에 점시되므로 유천분지내 동광상구의 화강암체와 연-아연광상구의 화강암체는 현저히 구분된다.

동은 마산화강암체나 유천 및 언양화강암체가 다 약 30ppm이하의 저함량이 많으나 30 ppm 이상의 것은 마산화강암체는 50~500 ppm의 높은 이상치를 보이고 유천 및 언양화강암체는 40 ppm이하의 저함량을 보이므로 본 유천분지내 동광상구와 연-아연광상구의 구분이 가능하다.

그러나 연 및 아연은 양 지역 화강암체간에 불규칙한 함량차이를 보이므로 연 및 아연에 의한 광상구의 구분은 쉽지 않다. 그러나 유천분지를 포함하는 경상분지내 화강암류는 전체적으로 볼 때 동광상구와 연-아연광상구간에 구분이 되고 광화작용을 가져온 생산적인 화강암류간에는 현저히 구분되므로 유천분지내 광상구의 구분에 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

따라서 본 연구의 결과 화강암류중 주·미량원소의 함량 및 함량비, 지구화학적 특징에 의하여 유천분지내의 광상구의 설정과 화강암류가 동 또는 연-아연광상중 어느 광화작용과 관계되는 지를 파악하는데 이용될 수 있을 것으로 생각된다.

참고문헌

김상욱(1982) 북부 유천분지내에 분포하는 후기 백악기 화강암류의 암석학적 연구. 서울대학교 박사학위논문.
 김영기(1976) 경상북도 일원에 분포하는 금속지하자원의 지질광상학적 연구. 광산지질, 9권, p. 143-156.
 김종환, 김정택(1963) 마산도폭 설명서, 국립지질조사소.
 대한광업진흥공사(1968) 한국의 광상, 총론 및 동, 연, 아연 편. 1호.
 대한광업진흥공사(1972) 한국의 광상, 철, 증석편. 4호.
 서정율(1986) 유천도폭 125호 금-은-동광화대 시추탐사연구. 동력자원연구소, 금속광상조사연구, p. 227-318.
 이상만(1972) 경상분지내의 화강암류와 광화작용. 손치무교수 송수기념논문, p. 195-219.
 이상만(1974) 우리나라의 화산활동과 광화작용에 관한 연관성 연구. 과기처, 과기처 R-74-48.
 李倫鍾, 植田良夫(1977) 韓國, 彦陽及び 蔚山地域花崗岩類の K-Ar 年代. 日本岩石鑛物鑛床學會誌, 72권, p. 367-372

李倫鍾(1980) 韓國東南部, 慶尙盆地南部地域の花崗岩類, その 1. 一般地質と花崗岩類の K-Ar 年代. 日本岩石鑛物學會誌, 75권, p. 105-116.
 이재영(1981) 경상분지내 유화광상의 지화학적 연구, 화강암류와 광화작용. 경북대학교 논문집, 제 32집, p. 289-313.
 이재영(1989) 진동화강암 및 유천-언양화강암의 광화작용에 관한 지화학적연구. 광산지질 22권, p.21-34.
 이준동(1975) 경남 울산시 일원에 분포한 화강암질 암체의 미량원소 성분에 관하여. 부산대학교 문리대 논문집, 제 41권, 자연과학편, p.151-157.
 이준동(1987) 경남 진동-마산일대에 분포하는 화강암류와 접촉변성작용에 관한 연구. 서울대학교 박사학위 논문.
 이진국(1986) 언양-유천지역 백악기 화강암의 화학원소와 광화작용의 관계. 경북대학교 대학원 석사논문.
 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, J. Geol. Soc. Korea, 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. Korea, 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. Korea, v. 20, p. 326-344.
 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.