

## 한국 경상분지 백악기 비철금속 광화작용과 그 성인적 의의: 함안-군북-고성(-창원) 및 의성 광상구를 중심으로

이상렬<sup>1</sup> · 최선규<sup>1\*</sup> · 소칠섭<sup>1</sup> · 유인창<sup>1</sup> · 위수민<sup>2</sup> · 허철호<sup>1</sup>

<sup>1</sup>고려대학교 지구환경과학과, <sup>2</sup>한국교원대학교 지구과학교육과

### Base-metal Mineralization in the Cretaceous Gyeongsang Basin and Its Genetic Implications, Korea: the Haman-Gunbug-Goseong(-Changwon) and the Euiseong Metallogenic Provinces

Sang Yeol Lee<sup>1</sup>, Seon-Gyu Choi<sup>1\*</sup>, Chil-Sup So<sup>1</sup>, In-Chang Ryu<sup>1</sup>, Soo-Meen Wee<sup>2</sup> and Chul-Ho Heo<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Department of Earth and Environment Science, Korea University, Seoul 136-701, Korea

<sup>2</sup>Department of Earth and Environment Science, Korea National University Education, Cheangwon 363-791, Korea

The Cretaceous magmatism in the Gyeongsang Basin, Korea, led to the formation of two contrasting metallogenic provinces: the Haman-Gunbug-Goseong(-Changwon) (HGGC) and the Euiseong (EU). The mineralization in the HGGC metallogenic province represents copper, gold and iron of porphyry-related deposits that display close relationships in time and space with subvolcanic granitoids. Much of copper-gold-forming events in this province are consistently constrained to the period between ca. 89 and 81 Ma. The hydrothermal systems of copper-gold vein deposits in the HGGC province are associated with ore-forming fluids of high to intermediate temperature (300~500°C) with high salinity (20~55 equiv. wt.% NaCl). The ore-forming fluids become progressively more diluted by the incorporation of decreased quantities of magmatic water further from the nearby intrusion, suggesting significant input and fluid mixing of a meteoric water component to the magmatic fluids during the late stage of geothermal systems. In contrast, the EU metallogenic province is characterized by polymetallic vein deposits that are consistently constrained to a period of 78~60 Ma. The geothermal systems of polymetallic vein deposits in the EU province are derived from a narrow range of intermediate temperature (200~400°C) with relatively low salinity (1~7 equiv. wt.% NaCl). It may represent a mixed fluid of magmatic and meteoric waters. The base-metal mineralization in the Gyeongsang Basin shows a close spatial and temporal distinction between the proximal environment derived from shallow-level granitoids in the southwestern HGGC province and the distal condition derived from volcanic environments in the northwestern EU province.

**Key words :** metallogenic province, Haman-Gunbug-Goseong(-Changwon), Euiseong, proximal type, transitional type, distal type

한반도 경상분지의 백악기 화성활동은 지체구조의 변화에 기인하여 광화시기를 달리하는 두 가지 유형의 특징적인 비철금속 광상구인 함안-군북-고성(-창원) 및 의성 광상구를 형성하였다. 함안-군북-고성(-창원) 광상구에서 동-철(-금) 광화작용의 광화시기는 89~81 Ma이고, 이와 관련된 열수계는 광화초기 고염농도(20~55 equiv. wt. % NaCl)의 고온성(300~500°C) 광화유체의 특징을 보이고 있으며, 광화초기에 정출된 석영의 산소 동위원소비( $\delta^{18}\text{O}$ )는 마그마수의 영역에 해당하지만, 광화 후기에는 마그마수 유입량의 감소와 함께 점차 천수의 유입량 증가에 의한 희석 및 혼합양상에 기인하여 상대적으로 낮은 동위원소값을 보이고 있다. 이러한 열수계는 반암형 동광상에서 특징적으로 나타나는 광화유체의 진화과정과 매우 유사한 경향을 보이고 있다. 반면, 의성 광상구에서의 다금속 광화작용의 광화시기는 78~60 Ma(주광화기 약 70~65 Ma)이고, 이와 관련된 지열수계는 전반적으로 저염농도(1~7 equiv. wt. % NaCl)의

\*Corresponding author: seongyu@korea.ac.kr

중·저온성 광화유체( $200\sim400^{\circ}\text{C}$ )에서 형성되었으며, 맥상 석영에서 나타나는  $\delta^{18}\text{O}$ 값은 동위원소적으로 마그마수에 비하여 상대적으로 낮은 값을 지시하여 광액 형성시 마그마수의 기여도가 극히 미약하였음을 지시한다. 경상분지에서 비철금속 광상의 성인은 남서부 함안-군북-고성(-창원) 광상구에서 천부 관입 화강암체와 관련된 근지성 환경의 동-철(-금) 광화작용과 북서부 의성 광상구에서 화산활동이 우세한 원지성 환경의 다금속 광화작용으로 구분할 수 있으며, 이러한 광화작용의 차이는 광화시기를 달리하는 관계화성암의 시·공간적 차이에 기인한다.

**주요어 :** 광상구, 함안-군북-고성(-창원), 의성, 근지성 유형, 점이성 유형, 원지성 유형

## 1. 서 론

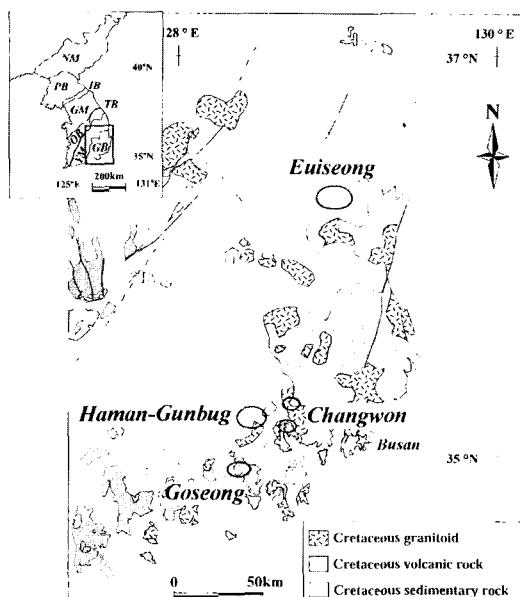
한반도 경상분지는 후기 백악기 화성활동과 관련된 다양한 비철금속 및 귀금속 광상이 다수 분포하고 있으며(Jin *et al.*, 1982), 열수광맥형 광상 이외에 스카른형 광상, 열수교대형 광상, 각력 파이프형 광상, 반암형 광상 등 다양한 유형의 광상이 부존하고 있다. 또한, 경상분지의 광맥형 동광상은 중생대 말에서 제3기에 걸친 태평양판의 섭입에 관계된 동일한 칼크-알칼리 화성활동에 기인한 광화작용으로 태평양 동쪽연안 안데스 반암형 동광상과 시공간적 연관성이 보고된 바 있다(Min *et al.*, 1982). 이러한 비철금속 광상은 약 90~60 Ma의 광화시기를 보이는 열수광맥형 광상으로 백악기 하성-호소성 퇴적암, 화산암 및 화강암 등을 모암으로 하여 배태되고 있다. 특히 경상분지에서 비철금속 광화작용은 남서부 함안-군북-고성(-창원) 지역 및 북서부 의성 지역을 중심으로 밀집 분포하는 경향을 보이고 있다(Park *et al.*, 1983; Park *et al.*, 1985; Koh *et al.*, 2002). 지금까지 경상분지 내 금속 광화작용에 대한 기존 연구는 주로 광산별 또는 인접 광산 단위로 수행되었으며(Seo *et al.*, 1985; Choi *et al.*, 1994), 서남부에서 동북부 방향으로 Cu, W-Mo, Pb-Zn의 광종에 따른 대상분포로 언급된 바 있다(Sillitoe, 1980; Min *et al.*, 1982; Park, 1994; Koh *et al.*, 2002). 그러나, 이러한 경상분지 광상구의 분포특성에 대한 지체구조운동 변화와 연관된 성인적 연구는 아직 까지 미미한 실정이며, 지구동력학적 관점에서 광상의 분포특성을 재정립할 필요가 있다.

본 연구에서는 경상분지 내 백악기 광화작용에 관한 시·공간적 특성을 규명하기 위하여 개별 광상의 부존 특성과 함께 광화대별 광상형성과 관련된 화성활동 시기 및 광상의 생성연대를 전반적으로 재정립하고, 함안-군북-고성(-창원) 지역과 의성 지역에 밀집한 비철금속 광상을 대상으로 각 광산별 광석광물의 유형, 광맥의 산출상태, 광물공생관계 및 화학조성, 유체포유물, 안정동위원소 연구결과 등을 체계적으로 비교 분석하여,

광화대별 광화유체의 물리·화학적 진화양상 및 광상 생성환경의 규명과 함께 백악기 지체구조의 변화에 따른 연계성을 검토하고자 한다.

## 2. 지질개요

한반도 동남부에 위치한 경상분지의 지질은 전기 백악기의 퇴적암류(신동/하양충군), 후기 백악기-고제3기의 화산암류(유천충군) 및 이를 관입한 화강암류(불국사화강암) 및 신제3기의 퇴적암으로 구성된다(Fig. 1). 하부의 신동/하양충군은 경상분지 내 주 화산활동 이전에 퇴적된 지층으로 육성 퇴적암인 이암, 사암, 역암으로 구성되며, 하양충군 상부에 국부적으로 화산활동에 기인한 화산쇄설물이 협재한다. 하양충군을 부정합으로 괴복하는 유천충군은 중성 및 산성 화산암류로서



**Fig. 1.** General geological map showing the location of the Haman-Gunbug-Goseong-Changwon (HGGC) and the Euisseong (EU) metallogenic provinces in the Gyeongsang Basin.

주로 안산암, 데사이트, 유문암, 응회암 및 용결응회암으로 구성되어 있으며, 응회질 사암, 역암, 흑색 세일도 일부 협재하고 있다(Chang, 1975). 유천층군은 하양층군과 비교할 때 화산암의 우세한 산출빈도와 함께 지역에 따라 성분 차이를 보이고 있으며, 전반적으로 하부 안산암질 화산암류로부터 상부 유문암질 화산암류로 변화하는 양상을 보이고 있다(Hwang *et al.*, 1996; Kim, *et al.*, 1998). 경상분지의 퇴적층들을 관입한 불규사 화강암체는 섬록암에서 석영 섬록암, 화강암, 알칼리장석 화강암에 이르는 조성과 함께 반상, 미문상 조직 및 마이아롤리티 구조를 갖는 천부 반심성암체의 전형적인 조직을 보인다.

경상분지는 백악기 동안 좌수향 주향이동 단층에 의해서 형성된 인리형 분지로서 분지형성기인 전기 백악기에는 지각의 열개현상에 의하여 분지가 형성되어 퇴적작용이 우세한 특징을 보이는 반면(Chough *et al.*, 2000), 분지 변형기인 후기 백악기에는 천부 화성활동에 의한 반심성암체와 화산암류가 우세한 경향을 보인다. 이러한 경상분지를 포함하는 한반도와 인접한 동아시아 지역은 지체구조적 측면에서 백악기 아시아판과 이자나기-태평양 판의 경계부에 위치한 전형적인 대륙 주변부로서 이자나기-태평양 판의 섭입에 의한 자철석계 칼크-알카리형 마그마 활동과 이와 연관된 금속광화작용이 광범위하게 수반되고 있다.

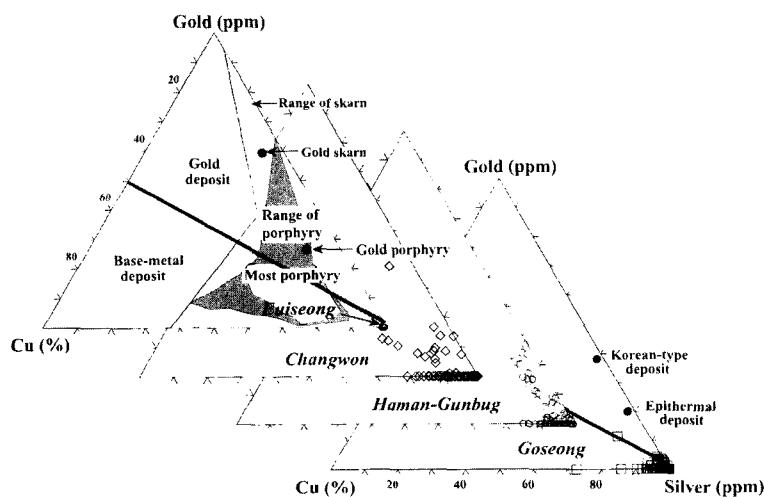
### 3. 광상구의 개요

백악기 동안에 형성된 경상분지는 이자나기-태평양

판의 섭입방향 및 섭입양태의 순차적인 변화에 따라 주향이동성 구조운동, 분지형성, 분지변형 및 화성활동 등이 집중된 지역이며, 후기 백악기 화성활동과 관련된 천부 지질환경에서 다양한 열수계의 형성 및 진화 과정을 통하여 다양한 광종의 광상뿐만 아니라 광상형성 당시의 심도 및 기원암과의 공간적 근접성에 기인하여 다양한 유형의 광상이 배태되고 있다.

#### 3.1. 광석의 지화학적 특성

경상분지는 백악기 비철금속 광화작용과 관련된 대표적인 광상구로서 동광화대인 함안-군북-고성(-창원) 지역과 다금속 광화대인 의성지역이 보고된 바 있다(Park *et al.*, 1983; Park *et al.*, 1985; So *et al.*, 1985). 비철금속 광상에서 광석의 금속비의 차이는 광상의 생성환경 또는 기원 물질인 관계화성암의 특성과도 밀접한 연관성을 보이는 것으로 보고된 바 있으며(Corbett and Leach, 1998), 동일 기원 물질에서 유래한 동일 광화대의 금속비 차이는 주로 광석광물의 물리화학적 정출환경의 변화에 기인하고 있다. 이러한 광석 금속비의 상관관계를 규명하기 위하여 함안-군북, 고성, 창원 및 의성 지역 광상에 대한 비철금속과 귀금속 간의 지화학적 특성을 비교하였다. 기 보고된 광석품위 자료 중 Zn, Pb 분석치는 극히 일부 광상에서만 제시되었으므로, 비교 대상원소에서 Cu, Au, Ag를 중심으로 검토하였다. 함안-군북, 고성, 창원 및 의성 지역 광상의 광석 중 상대적 금속비는 전반적으로 Ag축으로 치우쳐 있으나(Fig. 2), 일부 지역에서 Cu-Au의 합량변화를 인지할 수 있다. 의성 지역에서는 특히 Ag축에



**Fig. 2.** Cu-Au-Ag ternary diagrams showing regional variations of metallic ratio between the Euiseong, Changwon, Haman-Gunbug and Goseong metallogenic provinces.

집중되어 있으나, 함안-군북, 고성 및 창원 지역 광상에서는 의성지역 광상에 비하여 Cu-Au간의 함량 변화에 기인하여 미약하게 분산되는 경향을 보인다. 이러한 사실은 경상분지의 백악기 비철금속 광화작용이 광화대에 따라 차이는 있지만, 전반적으로 동횡회광물 또는 애렉트럼에 비하여 흰황염광물의 침전이 유리한 정출환경으로 유도되었음을 시사하고 있다. 특히, 함안-군북-고성(-창원) 지역에서 각 지역간의 변화양상은 고성, 창원 지역에 비하여 함안-군북 지역이 상대적으로 높은 금 함량을 나타낸다. 또한, 세계 광상 성인별 금속비의 특성을 비교한 결과에 의하면(Poulsen *et al.*, 2000), 함안-군북 및 창원 지역 광상이 반암형 함금동광상과 인접한 영역에 도시되지만, 고성지역 및 의성지역은 대부분 Ag 측에 근접하여 반암형 함금동광상과는 상이한 영역을 보인다(Fig. 2). 이는 경상분지의 백악기 비철금속 광화작용이 인접한 광화대일지라도 다양한 물리-화학적 정출환경이 유도되었음을 시사하고 있으며, 특히 함안-군북 광화대가 성인적 관점에서 반암형 동광화작용과 밀접한 관련성을 보이고 있다.

### 3.2. 광맥의 방향

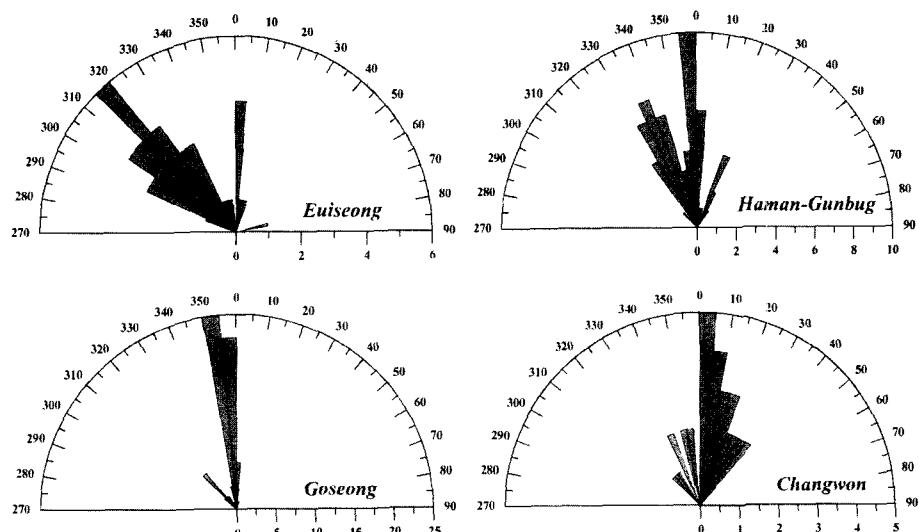
경상분지 내 비철금속 광화작용과 관련된 광맥의 분포 경향이 동광화대인 함안-군북-고성(-창원) 지역과 다금속 광화대인 의성지역에서 서로 상이하다. 함안-군북 지역에서 광맥의 주향은 NS방향과 N20W방향으로 나타나지만, 주구조선 방향은 NS~N5W이며, 인접지역인

고성지역에서는 NS~N10W로서 함안-군북 지역 광맥의 주구조선 방향과 서로 일치하는 경향을 보인다(Fig. 3). 창원지역에서는 N45W~N40E방향으로 주구조선 방향은 NS~N10E이다. 그러나, 의성지역에서 광맥의 주향은 N30~60W와 NS방향으로 주구조선은 N45W방향이다. 이와 같이 경상분지의 북서부 의성 지역과 남서부 함안-군북-고성(-창원) 지역 광맥의 주구조선은 각각 N45W방향과 NS방향으로 서로 상이한 주향 방향을 따라 배태되는 경향을 보이며, 이러한 광맥의 구조선 발달양상은 광화시기를 달리하는 지체구조운동과 밀접한 관련성이 있을 것으로 추정할 수 있다.

### 4. 의성 지역의 광화작용

경상분지의 북서부 의성 지역의 지질환경은 전형적인 환상의 화산 함몰체인 칼데라 구조(화산 칼데라, 금성산 칼데라 등)가 여러 곳에 발달되어 있다. 의성 지역의 대표적인 광상으로 감계, 금동도, 오토, 토현, 청송, 금학, 지소 광산 등이 있으며(Chi *et al.*, 1989; Choi *et al.*, 1989; Lee and Kim, 1995; Lee and Kim, 1997; Lee *et al.*, 1998), 이를 광상에서 산출된 광석의 금은비는 전반적으로 Pb-Zn>Cu와 Ag>Au 금속비의 특징을 갖는 다금속 광화작용의 경향을 보이고 있다.

의성지역에 분포하는 광상은 육성 퇴적층인 하양층군 및 유천층군을 모암으로 하여 배태되며, 석영맥 주



**Fig. 3.** Rose diagrams of vein lineaments in the Euisseong, Haman-Gunbug, Goseong and Changwon metallogenic provinces. Note the major lineament of the Haman-Gunbug, Goseong and Changwon metallogenic provinces represent N-S direction, whereas the Euisseong metallogenic province show N40W direction.

**Table 1.** Characteristics of gangue minerals from the representative base-metal deposits in the Euisisong, Changwon, Haman-Gunbug and Goseong metallogenic provinces.

\*Frequency of occurrence (abundance); ● > ○ > ○ > ●  
 Abbreviations: act=actinolite, amby=amethyst, ank=ankertite, cal=calcite, chl=chlorite, ep=epidote, fl=fluorite, kln=kaolinite, qtz=quartz, rds=rhodochrosite, sd=siderite, ser=sercite, scn=scapolite, tur=tourmaline.

Table 2 Oxygen and hydrogen isotope composition of quartz and inclusion fluids from the Haman-Cimbis-Goseong-Chanwon and the Fujiseong metathorogenic provinces in southern Korea

Metallogenic provinces	$\delta^{18}\text{O}(\text{‰})$ in vein quartz						$\delta\text{D}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})$ in fluid inclusion						Calculated $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}(\text{‰})^{**}$						$T_{\text{h}}(\text{°C})$	References
	Average	S.D.*	Range	N*	Average	S.D.*	Range	N*	Average	S.D.*	Range	N*	Average	S.D.*	Range	N*				
Northwestern Euneung	6.1	1.3	4.4~7.9	13	-75	10.1	-97~62	9	-1.3	1.9	-4.5~1.1	13	247~380		Lee and Kim, 1997; Lee <i>et al.</i> , 1998					
Southwestern Haman-Gunbug	11.8	1.9	9.3~15.9	18	-78	6.0	-88~68	18	5.5	3.1	0.0~11.1	18	190~480	Choi, 1998; Heo <i>et al.</i> , 2003						
Goseong	6.9	1.9	2.5~10.9	16	-76	8.2	-91~59	16	0.1	2.7	-5.9~5.0	16	235~370	Choi <i>et al.</i> , 1993						
Changwon	5.6	2.6	-0.3~8.9	12	-76	6.9	-83~62	12	-2.1	3.6	-9.9~2.7	12	230~370	So <i>et al.</i> , 1995; Choi <i>et al.</i> , 1998						

\*S.D.=standard deviation; N=number of analyses. \*\* $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$  calculated from homogenization temperature of fluid inclusion data

면에 발달한 열수변질대의 분포양상은 석영맥→견운모대→프로필리티대의 순서로 배열되는 견운모화작용, 녹니석화작용, 프로필리티 변질작용이 전반적으로 우세한 경향을 보이고 있다. 의성지역 광상의 광석광물은 공통적으로 황철석, 섬아연석, 방연석, 유비철석, 황동석 등이 주로 산출되며, 에렉트럼, 회운석 이외에도 다양한 Cu-Ag-Sb-S계, Ag-Sb-S계, Cu-Pb-Sb-S계 황염광물이 다량 산출되고 있다. 이를 지역의 광상은 각 광상들 간의 매우 유사한 광물조합을 보이고 있으며, 비철금속 광물이 다량 산출되고 있다. 광화초기에는 적철석의 철산화광물과 섬아연석, 방연석, 유비철석, 황동석 등의 황화광물과 함께 석영, 녹니석, 견운모, 탄산염광물, 형석 등의 맥석광물이 주로 수반되고 있으며(Table 1), 광화후기에는 저온성 광물인 다양한 함은안티몬계 황염광물이 다량 산출되고 있다.

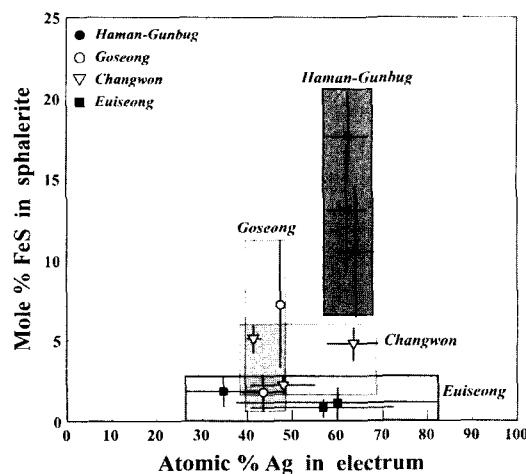
의성지역의 기 보고된 광상에 대한 섬아연석의 철함량은 광산 또는 광화기에 따라 현저한 조성 변화(0.1~24.0 mole % FeS)를 보이고 있으나, 전반적으로 낮은 철 함량(<5mole % FeS)을 보이고 있다(Fig. 4). 광화초기 비철금속 광화기의 섬아연석 중 FeS 함량은 비교적 높은 철함량(오토광산 최대 24.0 mole % FeS)을 나타내며, 광화후기 섬아연석 중 FeS 함량은 주로 황염황화광물과 함께 비교적 낮은 철함량(<2.5 mole % FeS)을 보이고 있다. 에렉트럼은 일부 광상에서만 보고된 바 있으나, 전반적으로 미약한 산출 빈도를 보이

며, 에렉트럼의 은함량은 26.5~82.4 atomic % Ag로 현저한 조성 변화를 보이고 있다(Fig. 4). 회동-금동도 광산과 감계광산에서 에렉트럼과 공존하는 섬아연석의 FeS 함량(mole %)은 0.1~2.1와 0.3~2.8이다.

## 5. 함안-군북-고성(-창원) 지역의 광화작용

경상분지의 서남부에 위치한 함안-군북-고성(-창원) 지역에 분포하는 광상은 주로 호소성 퇴적층인 하양층, 진동층(흔펠스화된 세일 및 사암)을 모암으로 하여 열곡충진형 함동석영맥으로 산출되며, 일부지역에서 국지적으로 불국사 천부화강암류 및 안산암질 화산체설 성암에 배태되고 있다. 이 지역의 대표적인 광산으로 함안-군북 지역의 군북, 제일군북, 함안, 남선, 대장, 태화 광산(Park *et al.*, 1983; Choi, 1998; Heo *et al.*, 2003)과 고성지역의 고성, 삼봉, 삼산, 대둔, 성지 광산(Park *et al.*, 1985; Choi *et al.*, 1993) 및 창원지역의 대원, 청룡, 화천, 구룡, 웅남, 마진광산(So *et al.*, 1995; Choi *et al.*, 1998) 등이 있으며, 이들 광상의 광석은 전반적으로 Cu(-Fe) > Pb-Zn > Au > Ag 금속비를 갖는 동(-금) 광화작용의 특징을 보이고 있다. 석영 맥 주변 열수변질대의 분포양상은 석영맥→(이차혹은 모대)→견운모대→프로필리티대의 순서로 배열되는 K-변질작용, 견운모화작용, 프로필리티 변질작용이 전반적으로 우세한 경향을 보이고 있다. 함안-군북-고성 지역의 광화작용은 공통적으로 광화 초기에는 자철석, 자류철석, 황철석, Cu-Fe-S계 황화광물과 함께 고온성 광물인 전기석, 양기석, 석영의 맥석광물이 주로 수반되고 있으며(Table 1), 이러한 광물조합은 반암형 동광상에서 나타나는 광물군과 일치하고 있다. 또한, 함안-군북 지역의 대장, 남선 광산과 고성 지역의 동광상 및 금-은광상에서 광화 후기에 탄산염광물과 함께 저온성 광물인 Ag-Sb-S계, Cu-Ag-Sb-S계, Cu-Pb-Sb-S계, Sb-S계 함은안티몬계 황염광물이 다량 산출되고 있으며, 이는 전형적인 저유황형 광상에서 나타나는 광물군의 특징을 보이고 있다(Choi *et al.*, 1994).

함안-군북-고성(-창원) 지역의 동-철 광상에서 산출되는 섬아연석의 철함량은 광산 또는 광화기에 따라 미약한 차이를 보이며 의성지역에 비하여 미약한 조성 변화(4.7~20.4 mole % FeS)를 보이고 있으나 전반적으로 높은 철 함량을 보이고 있다. 광화초기인 동-철 광화기 섬아연석은 비교적 높은 철함량(함안광산에서 최대 20.4 mole % FeS)을 나타내며, 광화후기 황염황화광물과 함께 산출되는 섬아연석은 비교적 낮은 철



**Fig. 4.** Atomic % Ag in electrum versus mole % FeS in sphalerite from the selected base-metal deposits in the Eulseong, Changwon, Haman-Gunbug and Goseong metallogenic provinces. Note the polymetallic deposits in the Eulseong province are characterized by low contents of FeS (mole %) in sphalerite as well as wide variations of Ag (atomic %) in electrum.

함량을 보이고 있다. 특히, 함안-군북 지역 중 동 광화 작용이 우세한 함안광산 섬아연석의 철함량은 14.8~20.4 mole % FeS로 매우 좁은 영역의 조성변화를 보이지만, 동 이외에 연-아연 광화작용이 수반되는 대장광산과 남선광산 섬아연석 중 철함량은 각각 4.7~18.0과 5.4~19.0 mole % FeS로 현저한 조성 변화를 보이고 있다. 고성지역 및 창원지역의 섬아연석 중 철함량은 함안-군북지역과 의성지역의 중간 값을 보인다(Fig. 4). 고성지역 삼산, 삼봉 광산의 섬아연석의 철함량은 0.7~11.0 mole % FeS이고, 창원지역의 화천리, 마진, 웅남 광산의 섬아연석의 철함량은 0.9~11.0 mole % FeS이다. 함안-군북-고성(창원) 지역 광상에서 에렉트럼 중 은함량은 지역에 따라 미약한 차이를 보이고 있으며, 의성지역에 비하여 23.6~68.0 atomic % Ag로 비교적 좁은 조성 변화와 함께 비교적 낮은 은함량을 보이고 있다.

## 6. 유체포유물 및 안정동위원소

유체포유물 및 수소-산소 동위원소는 지열수계의 다양한 특성을 반영하고 있어 광화작용과 관련된 열수유체의 기원 및 진화과정을 규명하기 위하여 광맥 중 석영, 및 탄산염 광물에 대한 산소, 수소 안정동위원소 값을 체계적으로 검토하고 비철금속 광화작용의 성인적 특성을 고찰하였다.

의성 열수계에서 기존의 유체포유물 연구결과에 의하면 전반적으로 저염농도(2~8 equiv. wt. % NaCl)를 갖는 중-저온성 광화유체( $150\sim350^{\circ}\text{C}$ ) 특징을 보이고 있으며(Choi *et al.*, 1989; Choi *et al.*, 1992; Choi and So, 1992; Lee and Kim, 1995; Lee and Kim, 1997; Lee *et al.*, 1998), 마그마수 유입량에 비하여 지표수의 상대적 유입량 증가에 따른 혼합작용과 이에 기인한 냉각-희석작용에 의하여 다급속 광화작용이 유도된 것으로 추정된다(Fig. 5). 의성지역에 위치한 다급속 광상에서 산출된 맥상 석영에 대한 수소(SD) 및 산소( $\delta^{18}\text{O}$ ) 동위원소비는 각각 -97~ -62‰(평균치 -75‰)과 4.4~7.9‰(평균치 6.1‰)이며(Table 2), 유체포유물의 균질화 온도로 가정한 열수와 평형상태의 석영에서 유도된 광화유체의 산소 동위원소비( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ )는 -4.5~1.1‰(평균치 -1.3‰)로서 마그마수에 비하여 상대적으로 낮은 값을 보여주고 있다. 이러한 동위원소적 특성은 광화유체의 기원이 마그마 기원에서 유래된 것으로 해석하기보다는 미약한 진화과정을 거친 순환수(less-evolved meteoric water) 또는 지표수 기원으

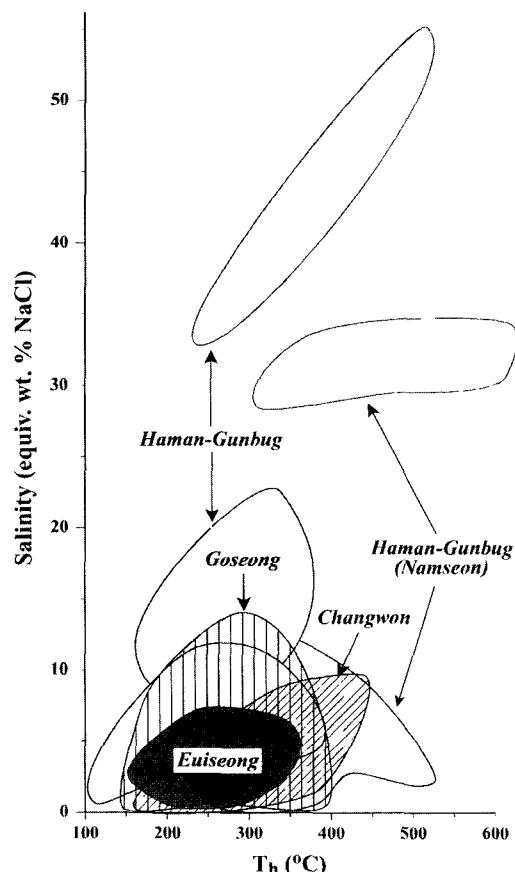


Fig. 5. Homogenization temperature ( $T_h$ ) versus salinity diagram showing regional variations of hydrothermal fluids showing an differently evolutionary trend of hydrothermal fluids between the Euiseong, Changwon, Haman-Gunbug and Goseong metallogenic provinces.

로 추정되며, 광액형성시 마그마수의 기여 정도가 미약함을 지시하고 있다(Fig. 6). 이는 광화유체의 형성시 다량 지표수 유입이 가능한 최천부의 지질환경에서 형성된 지열수계로 광상이 배태된 주변모임의 관계와도 일치하고 있다.

함안-군북-고성 지역 열수계에서는 각 지역간에 서로 상이한 광화유체의 진화양상을 보이고 있다(Park *et al.*, 1983; Choi *et al.*, 1994; Yun *et al.*, 1996; Choi, 1998; Heo *et al.*, 2003). 함안-군북 지역에서는 초기 고염농도(30~55 equiv. wt. % NaCl)-고온성( $300\sim500^{\circ}\text{C}$ ) 광화유체로부터 중염농도(10~20 equiv. wt. % NaCl)의 중-저온성( $200\sim350^{\circ}\text{C}$ ) 열수로 변화하는 경향을 보이고 있으나, 고성지역은 중염농도(10~14 equiv. wt. % NaCl)-중온성( $300\sim400^{\circ}\text{C}$ ) 광화유체로부터 저염농도

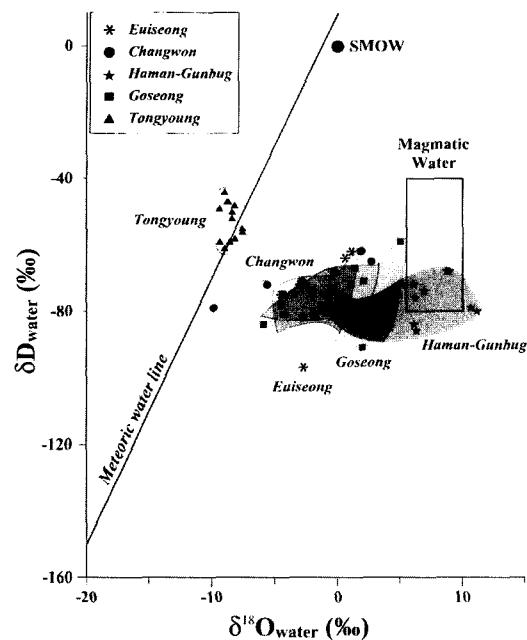
(0.1~5.0 equiv. wt. % NaCl)-저온성(150~200°C) 유체로 진화된 양상을 보이고 있다(Fig. 5). 이러한 열수계에서 침전 메카니즘은 초기 마그마수가 우세한 광화유체로부터 비등작용에 의하여 동-철(-금)이 주로 침전되었으나, 지역에 따라 후기 열수계에서 지표수의 유입량 증가에 따른 혼합작용과 이에 기인한 냉각 및 희석작용에 의하여 국지적으로 다급속 광화작용이 진행되었음을 시사하고 있다.

함안-군북-고성 지역에 위치한 광상의 맥상 석영에 대한 수소( $\delta D$ ) 및 산소( $\delta^{18}\text{O}$ ) 동위원소비는 각각 -88~-68‰(함안-군북 지역의 평균치, -78‰; 고성지역의 평균치, -76‰)과 2.5~15.9‰(함안-군북 지역의 평균치, 11.8‰; 고성지역의 평균치, 6.9‰)이다(Table 2). 유체 포유물의 규질화 온도로 가정한 열수와 평형상태의 석영에서 유도된 광화유체의 산소 동위원소비( $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ )는 -5.9~11.1‰(함안-군북 지역의 평균치, 5.5‰; 고성지역의 평균치, 0.1‰)이다. 특히, 고성지역 광상의 산소 동위원소비는 함안-군북 지역 광상에 비하여 광화유체

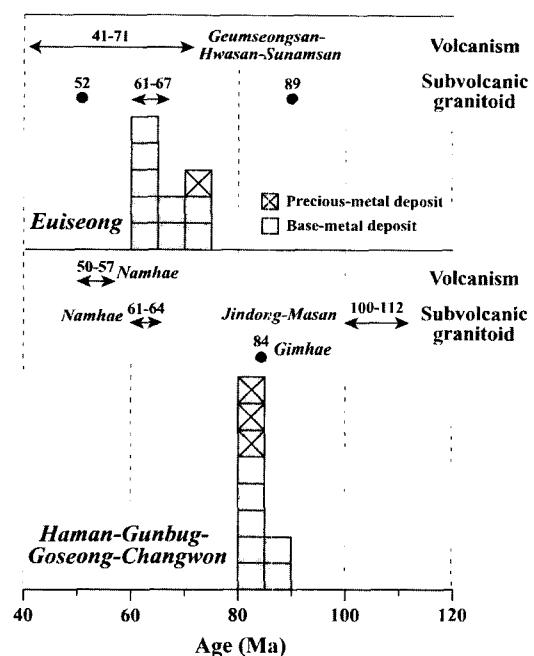
의  $\delta^{18}\text{O}_{\text{H}_2\text{O}}$ 가 현저하게 결핍된 경향을 나타내고 있다. 이러한 사실을 통하여 함안-군북 지역의 열수계는 마그마수가 우세한 열수환경에서 광화작용이 진행되었으며 (Fig. 6), 광화대의 남단에 위치한 고성지역의 광상은 열적 중심에서 외각에 위치함으로써 상대적으로 낮은 지온구배가 유지되어 지표수의 유입이 용이한 열수계가 유도되었던 것으로 해석된다.

## 7. 화성활동 및 광화작용의 시기

경상분지 내에서 광화시기를 달리하는 열수 광상이 광범위하게 분포하고 있으며, 이들의 광화시기는 전반적으로 후기 백악기의 광화작용으로 보고된 바 있다 (Park, 1994). 함안-군북-고성(-창원) 지역에 분포하는 천부 비침성암체와 관련된 생성연대는 두 시기로 구분된다. 함안-군북-창원 지역의 광상과 인접한 진동 화강암체와 마산 및 화왕산 화강암체은 불국사 화성활동의 초기에 해당하는 일련의 화성활동으로 약 112~100 Ma동안에 걸쳐 일어났으며, 고성지역의 남측에 위치한 남해 및 진해 화강암체는 약 71~70 Ma로 각각



**Fig. 6.**  $\delta^{18}\text{D}$  and  $\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$  of fluids derived from analyses of fluid inclusions in quartz. Note the lower  $\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$  values and scattered ranges of ore fluids from the metallic deposits of Euisong and Changwon provinces in contrast to the higher  $\delta^{18}\text{O}_{\text{water}}$  values and clustering trend in the Cu deposits of the Haman-Gunbug and Goseong provinces, indicating that the evolution of hydrothermal fluids in the base-metal metallogenetic provinces were progressively diluted by meteoric and less-evolved waters from the early stage to the late stage.



**Fig. 7.** Age of base-metal and precious-metal mineralization with volcanic and subvolcanic activities in the Euisong, Changwon, Haman-Gunbug and Goseong metallogenetic provinces, the Gyeongsang Basin. Note the close spatial relationship between the Mesozoic granitoid and principal gold-silver deposits.

보고된 바 있다(Fig. 7). 또한, 함안-군북-고성 지역의 동-철(-금) 광화작용과 관련된 광화시기는 약 89~81 Ma로 동일한 생성연대를 보이고 있으며, 진동 화강암체의 정치시기인 106 Ma에 비하여 약 15 m.y.의 시간 차이를 보이고 있다. 반암형 동광상은 일련의 마그마 고결과정 중 최후단계에 형성되는 것으로 알려져 있으며, 반암형 동광상에서 최후기 화성암체와 광화작용간의 최대 기간차를 1 m.y. 미만으로 보고된 바 있다 (Hedenquist and Richards, 1998). 이러한 경상분지 서남부 지역에서의 화강암체와 광화작용간의 상당한 시간차는 광화작용 이후 후기 화성활동의 열 공급에 기인한 Ar유실로 추정할 수 있다. 그러나, 함안-군북 지역의 동광화작용은 광상학적 측면에서 반암형 동광상과 매우 유사한 성인적 특성과 함께 근지성 유형의 광상이라는 점을 고려할 경우, 남측에 분포하는 남해, 전해 화강암체보다는 진동 화강암체를 관계 화성암으로 고려하는 것이 타당할 것으로 사료된다.

경상분지의 서북부에 위치한 의성지역은 금성산, 화산 및 수남산 칼데라와 같은 환상의 화산 힘물체가 여러 곳에 발달되어 있다. 이 지역에서 화성활동은 71~41 Ma(주활동기 70~60 Ma)이고(Lee *et al.*, 1993), 금속 광상의 광화작용과 관련된 광화시기는 73~60 Ma(주광화기 66~60 Ma)이다. 이러한 의성지역 다금속 광화작용의 생성연대는 화산활동기와 거의 동일한 시기를 보이고 있다(Fig. 7).

동북아시아의 대륙 주변부에 위치한 경상분지의 발달과정은 전기 백악기 동안의 인리형 분지 형성기와 후기 백악기 동안의 천부 화성활동과 관련된 분지변형 기로 구분할 수 있다. 이러한 분지발달과 관련된 지체 구조운동의 특성은 전기 백악기 이자나기 판의 섭입방향이 동북아시아를 향하여 북서방향에서 북향으로 변화함에 따라 한반도에서 섭입양태는 직각방향에서 사각방향으로 변화하게 된다. 이러한 전기 백악기 섭입환경의 변화는 한반도에서 좌수향 주향이동 단층에 의한 인리형 분지를 형성하게 되며(Otoh and Yanai, 1996), 사각의 두께가 얇아지는 열개현상을 동반함으로써 분지내에 하성 및 호소성 퇴적작용이 우세한 양상을 보이게 된다. 분지의 형성 이후인 후기 백악기로 들어와 이자나기 판의 섭입양태는 사각방향에서 직각방향으로 변화됨에 따라 횡압력의 증가에 의한 마그마 발생을 유도하고 열개현상 이후 이동통로를 용이하게 제공함으로써 지속적인 천부 화성활동을 수반한 것으로 해석할 수 있다(Choi, 2002). 이러한 사실은 경상분지의 충서에서 전기 백악기의 하성 및 호소성 신동

충군과 하양충군의 퇴적암 분포로부터 후기 백악기의 유천충군의 화산암 산출빈도의 증가를 통하여 입증되며, 금속 광화작용도 전기 백악기 퇴적작용이 우세한 기간(>100 Ma)보다 후기 백악기 화성활동이 활발하였던 100 Ma이후 분지변형기에 집중되는 양상과 일치하고 있다. 즉, 경상분지의 서남부에 위치한 함안-군북-고성(-창원) 지역에서는 분지형성기에서 분지변형기로 변환되는 화성활동 초기에 지온구배가 높은 상태에서 동광화작용이 수반되는 경향을 보이는 반면, 서북부인 의성지역에서는 분지변형기의 최후기 단계에서 화성활동이 약화되는 시기에 다금속 광화작용이 진행되는 양상을 보이고 있다.

## 8. 토 의

경상분지 중 남서부 지역 함안-군북-고성(-창원) 광화대와 북서부 지역 의성 광화대의 열수광맥형 광상을 대상으로 백악기 지체구조운동과 관련된 분지 발달과정, 화성암의 기원, 생성과정 및 광화작용과의 상호연관성 등에 대한 원인을 종합적으로 비교한 결과는 다음과 같다. 함안-군북-고성 지역의 금속광상은 하양충군 최상부에 위치하는 진동층을 모암으로 하여 배태되고 있으며, 상대적으로 깊은 심도에서 정치된 반암성 암체인 진동화강암의 관입에 의하여 고온성 지온구배가 유도됨에 따라 진동층(세일, 사암)이 열변성작용을 받아 불투수성 모암인 혼펠스화된 것으로 사료된다. 이러한 충서적 규제를 통하여 천수 유입이 불가능한 환경에서 상대적으로 깊은 심도에서 정치된 진동화강암의 최후기 정출단계에서 고온-고염농도의 열수계가 형성되었던 것으로 추정된다. 진동 화강암체와 근거리에 위치한 함안-군북 광산을 중심으로 광화초기 마그마수기원의 고온-고염농도의 광화유체로부터 비등작용에 의하여 Cu-Fe(Au) 광화작용이 시작되었으며, 광화대 남단의 외각에 위치한 고성지역은 관입암체의 열적 중심에서 상대적으로 먼 곳에 위치함으로써 마그마수 유입량보다는 지표수의 유입량이 상대적으로 증가하여 중온-중염농도의 광화유체로부터 광화작용이 진행되었다고 사료된다. 또한, 함안-군북 지역의 서측에 위치한 대장-남선광산에서는 광화후기 동안 지온구배가 낮아짐에 따라 마그마수 유입량의 감소와 함께 지표수의 상대적 유입량이 증가됨에 따라 중온-저염농도의 광화유체로 진화되어 다금속 광화작용이 유도된 것으로 추정된다. 또한, 이와 같은 현상은 반암형 동광상에서 나타나는 공통적 현상으로 광상학적 특성과 함께 관계화

성암체의 공간적 상관관계를 통하여 함안-군북지역은 근지성 유형의 광상으로, 고성지역은 점이성 유형의 광상으로 구분할 수 있다. 또한, 함안-군북-고성(-창원) 광상구에서 동광상은 주로 근지성-점이성 맥상 광상으로 배태되지만, 원지성 유형인 저온성 천열수 금-은광상은 동일 광화대 내에 함께 존재하지 않고 있다. 이러한 천열수 금-은광상의 부재는 약 100 Ma 이후 북서 또는 북쪽방향의 압축력에 의한 급격한 융기현상에 기인하여 최상부 화산암류의 삭박과 함께 천부 관입암체인 진동 화강암체의 노출이 이를 입증하고 있다. 이러한 광상의 공간적 분포는 직접적으로 천부 화성암체의 공간적 근접성과 정치심도에 기인한 지열수계의 다양한 진화과정을 반영한 결과이며, 생성환경의 차이에 따른 상이한 광물군의 정출을 유도한 것으로 사료된다.

의성지역의 금속광상은 전형적인 환상의 화산 함체 주변에 발달된 다금속 광화작용의 특징을 보이고 있다. 의성 지열수계는 전반적으로 저염농도의 중-저온성 열수로부터 혼합작용과 이에 기인한 냉각-희석작용에 의하여 다금속 광화작용이 진행된 양상을 보이고 있으며, 광화유체의 기원이 동위원소적으로 마그마 기원보다는 진화가 미약하게 진행된 순환수 또는 지표수 기원으로 추정된다. 이러한 사실은 의성지역의 금속광화작용이 약 70~60 Ma 동안의 화산활동과 관련된 지질환경에서 유래되었음을 알 수 있으며, 성인적 축면에서 천열수 광상과 유사한 원지성 유형의 다금속 광상으로 해석된다.

경상 퇴적분지에 분포하는 비철금속 및 귀금속 광상의 생성환경은 천부지질 환경조건에서 형성된 열수계로서 생성시기에 따라 백악기 동안의 지체구조운동의 변화를 반영하며, 관계화성암의 정치심도 및 온도의 차이에 기인한 광액 형성당시 마그마수와 지표수간의 상대적 기여도와 함께 관계화성암체의 공간적 거리에 좌우되어 광상의 유형별 차이를 보이는 것으로 해석할 수 있다. 함안-군북-고성(-창원) 지역의 동광화작용은 분지형성기에서 분지변형기로 변환되는 시기에 수반되는 경향을 보이지만, 의성지역의 다금속 광화작용은 분지변형기의 최후기 단계에 형성되는 양상을 보이고 있다. 즉, 분지변형기의 초기단계에는 화성활동이 활발하여 지온구배가 높은 상태를 유지함으로써 지표수 또는 순환수의 유입량은 제한적인 상태를 유지하여 마그마수가 우세한 환경에서 함안-군북 지역에서와 같이 고염농도 유체로부터 동광화작용이 진행된 것으로 사료된다. 또한, 분지변형기의 최후기 단계에서 화성활동이 약화됨에 따라 지표수 또는 순환수의 유입량의 증가하

여 의성지역에서와 같이 저염농도 유체로부터 다금속 광화작용이 수반된 것으로 사료된다. 또한, 이러한 광상의 성인적 특성은 지역에 따라 광화유체들 간의 비등작용과 혼입작용의 정도에 따라 복합적인 진화과정(압력-온도-산소-황 분압의 변화)을 유도하여 상이한 광물 종들이 정출과 함께 광석 금속비의 변화에 영향을 준 것으로 추정된다.

## 9. 결 론

한반도 동남부에 분포하는 경상분지는 백악기 동안에 형성된 퇴적분지로서 지체구조적 축면에서 아시아판과 이자나기-태평양 판의 경계부에 위치한 전형적인 대륙 주변부에 발달한 인리형 분지이며, 자철석계 칼크-암카리형 화성활동과 연관된 화산암대가 광범위하게 분포하고 있다. 이러한 경상분지에서 광화작용은 전반적으로 후기 백악기(<100 Ma)로 보고된 바 있으며, 열수광백형 광상 이외에도 스카른형 광상, 열수교대형 광상, 각력 파이프형 광상, 반암형 광상 등 천부 지질환경과 관련된 광상유형이 광범위하게 밀집 분포하고 있다.

의성지역에서 금속광상은 후기 백악기 동안 화산활동(주활동기; 약 70~60 Ma)과 광상형성기(73~60 Ma)가 거의 일치하는 경향을 보이며, 원지성 환경에서 지표수의 다양 유입에 의한 저염-중온성 유체로부터 연-아연-동-은 황화광물 및 황염광물 등의 정출에 따른 다금속 광화작용의 특성을 보이지만, 함안-군북-고성(-창원) 지역은 진동 화강암체를 중심으로 열변성작용에 기인한 투수성이 낮은 혼펠스를 모암으로 하여 비교적 깊은 심도에서 마그마수가 우세한 고염-고온성 유체로부터 동-철(금) 광화작용(주활동기; 89~81 Ma)이 진행된 것으로 추정된다. 또한, 함안-군북 광화대에서는 관계화성암체와 상대적으로 근거리에 위치하여 반암형 동광상과 유사한 생성환경에서 근지성 동-철(-금) 광화작용이 우세하게 진행되었으나, 고성-창원 광화대는 관계화성암체와 상대적으로 원거리에 위치한 점이성 환경에서 동 이외에 연-아연-은 광화작용이 진행된 것으로 사료된다. 이러한 동일 광상구에서 지역별 광상 유형의 차이는 천부조건의 지질환경과 관련된 근원암인 관계화성암체의 공간적 근접성에 따라 광상의 유형별 차이를 보이는 것으로 해석된다.

경상분지 내의 광화대는 광화시기를 달리하는 함안-군북-고성(-창원) 동-철(-금) 광화대와 의성 다금속 광화대로 구분되며, 각 광화대 광산별 광석광물의 유형,

광백의 산출상태, 광석 및 맥석광물의 공생관계 및 화학조성, 유체포유물, 안정동위원소 연구자료 등을 종합적으로 검토한 결과, 상기 두 광화대는 후기 백악기에 집중된 화성암체와 공간적 근접성 및 정치심도와 관련된 지온구배의 차이에 기인한 지열수계 물리화학적 생성환경의 차이를 반영한 결과로 광화유체의 진화과정 시 마그마수와 지표수-순환수간의 기여도뿐만 아니라 서로 상이한 광물군의 정출을 유도하였다고 사료된다.

이와 같은 경상분지 내에 분포하는 광상의 유형별 분포양상은 백악기 환태평양 지역의 지체구조운동과 관련된 분지형성, 화성활동 및 분지변형운동 등 일련의 지질현상과 밀접한 연관성을 보이고 있다. 즉, 경상분지를 포함한 동아시아 지역은 고태평양인 이자나기 판의 섭입방향(북-북서) 및 섭입양태(사각-직각)의 순차적인 변화와 밀접한 관계를 가지고 있으며, 광화작용의 시기 및 성인적 유형도 이와 일치하는 경향을 보이고 있다. 한반도에서는 전기 백악기 동안 이자나기 판의 섭입방향이 북쪽으로 위치하여 사각의 섭입양태에 의해 좌수향의 단층이 발달하게 됨에 따라, 인리형 분지가 동서방향의 인장력에 의해 형성되어 퇴적작용이 우세한 양상을 보이지만, 후기 백악기에는 이자나기 판이 북서쪽으로 섭입방향이 변환됨에 따라 섭입양태가 직각으로 위치함으로서 퇴적작용보다는 마그마 발생을 용이하게 유도하였고 100 Ma이후의 천부 화성활동과 함께 광화작용을 수반한 것으로 사료된다. 또한, 함안-군북-고성(-창원) 지역의 동광화작용은 분지형성기에서 분지변형기로 변환되는 천부 관입암체의 정치시기에 수반되는 경향을 보이지만, 의성 지역의 다금속 광화작용은 분지변형기의 최후기 단계에서 화산활동이 약화되는 시기와 관련된 양상을 보이고 있다.

## 사    사

본 연구는 과학기술부 과학재단 목적기초연구사업(특정기초연구사업) 중 R01-2002-000-00407-0(2002)지원에 의해 수행되어 이에 깊은 감사를 드린다. 아울러 이 논문에 대하여 건설적인 지적을 해주신 충남대 이현구 교수님과 한국지질자원연구원의 진명식 박사님께 감사 드립니다.

## 참고문헌

Chang, K.H. (1975) Cretaceous stratigraphy of southeast Korea. Journal of Geological Society of Korea. v. 11, p.

- 1-23  
 Chi, S.J., Choi, S.-G., Doh, S.J. and Koh, Y.K. (1991) Gold-silver mineralization of the Euiseong area. Journal of Korean Institute of Mining Geology, v. 24, p. 151-165.  
 Chi, S.J., Doh, S.J., Choi, S.-G. and Lee, J.H. (1989) Geochemistry of Cu-Pb-Zn-Ag deposits from the Euiseong mineralized area. Journal of Korean Institute of Mining Geology, v. 22, p. 253-266.  
 Choi, S.-G. (2002) The genetic implications of Mesozoic gold-silver mineralization, Korea. In: Jin et al.,(eds.), Mesozoic Sedimentation, Igneous Activity and Mineralization in South Korea. KIGAM, Daejeon, Spec. Pub. no. 1, p. 216-226.  
 Choi, S.-G., Chi, S.J., Yun, S.T., Koh, Y.K. and Yu, J.S. (1989) Gold-silver mineralization of the Geojae Area. Journal of Korean Institute of Mining Geology, v. 22, p. 303-314.  
 Choi, S.-G., Lee, J.H., Yun, S.T. and So, C.S. (1992) Mineralogy and geochemistry of the Jeonheung and Oksan Pb-Zn-Cu deposits, Euiseong area. Journal of Korean Institute of Mining Geology, v. 25, p. 417-433.  
 Choi, S.-G., Park, M.E. and Choi, S.H. (1994) Chemical variations of electrum from gold and/or silver deposits in the southeastern Korea. Economic and Environmental Geology, v. 27, p. 325-333  
 Choi, S.H. (1998) Geochemical evolution of hydrothermal fluids at the Daejang Cu-Zn-Pb vein deposits, Korea. Resource Geology, v. 48, p. 171-182  
 Choi, S.H., and So, C.S. (1992) Mineralogy and geochemistry of the Keumhak Cu vein deposit, Korea. Journal of the Japanese Association of Mineralogists, Petrologists and Economic Geologists, v. 87, p. 69-85.  
 Choi, S.H., So, C.S. and Lee, J.H. (1993) Mineralogical, stable isotope and fluid inclusion studies of copper-bearing hydrothermal vein deposits in Goseong mining district, Gyeongsang basin, Korea. Journal of the Institution of Mining and Metallurgy, v. 102, p. 123-133.  
 Choi, S.H., So, C.S., Yeom, S.J. and Kevin, L.S. (1998) Geochemistry and genesis of hydrothermal Cu deposits in the Gyeongsang Basin, Korea: Masan mineralized area. Neues Jahrbuch für Mineralogie Monatshefte and Abhandlungen, v. 173, p. 189-206.  
 Choi, S.H., So, C.S., Kweon, S.H. and Choi, K.J. (1994) The geochemistry of copper-bearing hydrothermal vein deposits in Goseong mining district (Samsan area), Gyeongsang Basin, Korea. Economic and Environmental Geology, v. 27, p. 147-160.  
 Chough, S.K., Kwon, S.-T., Ree, J.-H. and Choi, D.K. (2000) Tectonic and sedimentary evolution of the Korean Peninsula: A review and new view. Earth Science Reviews, v. 52, p. 175-235.  
 Corbett, G.J. and Leach, T.M. (1998) Gold-copper systems in porphyry environments. In: Corbett and Leach (eds), Southwest Pacific Rim Gold-Copper Systems: Structure, Alteration, and Mineralization. Economic Geology Spec. Pub. no. 6, p. 83-100.  
 Heddenquist, J.W and Richards, J. (1997) The influence of geochemical techniques on the development of genetic models for porphyry copper deposit. In: Richard et al. (eds), Techniques in Hydrothermal Ore Deposits Geology. Reviews in Economic Geology, v.

- 10, p. 235-256.
- Heo, C.H., Yun, S.T., Choi, S.H., Choi, S.-G. and So, C.S. (2003) Copper mineralization in the Haman-Gunbuk area, Gyeongsangnamdo province: Fluid inclusion and stable isotope study. *Economic and Environmental Geology*, v. 26, p. 75-87.
- Hwang, J.H., Kim, D.H., Cho, D.R. and Song, K.Y. (1996) Geologic Map of Andong Sheet, 1:250,000. Korea Institute of Geology, Mining and Material.
- Jin, M.S., Lee, S.M., Lee, J.S. and Kim, S.J. (1982) Lithochimistry of the Cretaceous granitoids with relation to the metallic ore deposits in southern Korea. *Journal of Geological Society of Korea*, v. 18, p. 119-131.
- Jin, M.S., Lee, S.R., Choi, H.I., Park, K.H., Koh, S.M. and Cho, D.L. (2002) The study of Mesozoic igneous activity in the southern part of the Korean Peninsula-History, problem and perspectives. *Mesozoic Sedimentation, Igneous Activity and Mineralization in South Korea*. In: Jin et al.,(eds.), *Mesozoic Sedimentation, Igneous Activity and Mineralization in South Korea*. KIGAM, Daejeon, Spec. Pub. no. 1, p. 89-110.
- Kim, C.J. and Park, H.I. (1984) Mineral paragenesis and fluid inclusions of Geoje copper ore deposits. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 17, p. 245-258.
- Kim, D.H., Hwang, J.H., Park, G.H. and Song, K.Y. (1998) Geologic Map of Pusan Sheet, 1:250,000. Korea Institute of Geology, Mining and Material.
- Kim, O.J., and Kim, K.H. (1974) A study on Red Hill copper deposits of the Dongjom mine. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 7, p. 157-174.
- Koh, S. M., Ryoo, C.R. and Song, M.S. (2002) Mineralization characteristics and structural controls of hydrothermal deposits in the Gyeongsang basin, south Korea. In: Jin et al.,(eds.), *Mesozoic Sedimentation, Igneous Activity and Mineralization in South Korea*. KIGAM, Daejeon, Spec. Pub. no. 1, p. 89-110.
- Lee, H.K., and Kim, S.J. (1995) Ore minerals and fluid inclusions study of the Kamkye Cu-Pb-Zn-Au-Ag deposits, Republic of Korea. *Economic and Environmental Geology*, v. 28, p. 9-17.
- Lee, H.K., and Kim, S.J. (1997) Cu-Pb-Zn mineralization of the Cheongsong mine. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 30, p. 197-207.
- Lee, H.K., Kim, S.J., and Kim, M.Y. (1998) Copper mineralization of the Donghwa and Hwanghagsan mine. *Economic and Environmental Geology*, v. 31, p. 1-10.
- Lee, H.K., Kim, S.J., Yun, H., Song, Y.S., and Kim, I.S. (1993) Copper mineralization around the Ohto mountain in the southeastern part of Euiseong, Gyeongsangbuk-Do, Republic of Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 26, p. 311-325.
- Lee, H.K., Kim, S.J., Yun, H., Choi, W.C., Song, Y.S. and Itaya, T. (1993) K-Ar ages of the Keumsongsan volcanic rocks and mineralization in the southeastern part of Euiseong, Gyeongsangbuk-do, Republic of Korea. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 26, p. 445-454.
- Min, K.D., Kim, O.J., Yun, S.K., Lee, D.S. and Joo, S.W. (1982) Applicability of plate tectonics to the post-late Cretaceous igneous activities and mineralization in the southern part of South Korea (1). *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 15, p. 123-154.
- Moon, C.U., Kim, M.W., Lee, J.H. and Choi, C.J. (1970) Geology and ore deposits in the Haman-Kunbuk copper district. *Journal of Korean Institute Mining Geology*, v. 3, p. 55-122.
- Otoh, S. and Yanai, S. (1996) Mesozoic inversive wrench tectonics in Far East Asia. In: Yin, A. et al.,(eds.), *The Tectonic Evolution of Asia*. Cambridge Univ. Press, Cambridge, p. 401-419.
- Park, H.I. (1994) Metallogenic epochs and provinces of the Gyeongsang Basin. In: Park et al.,(eds.), *Processes of Formation of Metallic and Nonmetallic Mineral Deposits in the Gyeongsang Basin*. KOSEF, 91-06-00-03, p. 29-75
- Park, H.I. and Kim, D.L. (1988) The mode of occurrence and depositional conditions of antimony minerals from north ore deposits of the Daejang mine. *Journal of Geological Society of Korea*, v. 24, p. 251-266.
- Park, H.I., Choi, S.W., Chang, H.W. and Chae, D.H. (1985) Copper mineralization at Haman-Gunbuk mining district, Kyongnam area. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 18, p. 107-124.
- Park, H.I., Choi, S.W., Chang, H.W. and Lee, M.S. (1983) Genesis of the copper deposits in Goseong district, Gyeongnam Area. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 16, p. 135-147.
- Poulsen, K.H., Robert, F. and Dube, B. (2000) Geological Classification of Canadian Gold Deposits. *Geological Survey of Canada, Bulletin*, 540, 106 p.
- Shin, H.J., Kim, M.Y. and So, C.S. (1987) Geochemistry and genetic environments for the Daejang vein deposits. *Journal of Korean Institute of Mining Geology*, v. 20, p. 61-75.
- Sillitoe, R.H. (1980) Evidence for porphyry-type mineralization in southern Korea. *Mining Geology Special Issue*, v. 8, p. 205-214.
- So, C.S., Chi, S.J. and Kevin, L.S. (1985) Copper-bearing hydrothermal vein deposits in the Gyeongsang basin, Republic of Korea. *Economic Geology*, v. 80, p. 43-56.
- So, C.S., Choi, S.H. and Kevin, L.S. (1997) Geochemistry and genesis of hydrothermal Cu deposits in the Gyeongsang basin (Andong area), Korea: A link between porphyry and epithermal systems. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte und Abhandlungen*, v. 171, p.281-307.
- So, C.S., Choi, S.H. and Yun, S.T. (1995) Geochemistry and genesis of hydrothermal Cu deposits in the Gyeongsang Basin, Korea: Hwacheon-ri mineralized area. *Economic and Environmental Geology*, v. 28, p. 337-350.
- Yun, S.T., Choi, S.H. and So, C.S. (1996) Complex geochemical evolution of hydrothermal fluids related to polymetallic Cu-Zn-Pb mineralization of the Namseon mine, Gyeongsang sedimentray Basin, Korea. *Neues Jahrbuch fur Mineralogie Monatshefte und Abhandlungen*, v. 170, p. 127-153.