

베트남 북부 카우록 다중금속 산출지의 특성: 예비연구

허철호^{1*} · 지세정² · 박성원¹ · 이재호¹

¹한국지질자원연구원 광물자원연구본부 해외광물자원연구실

²한국지질자원연구원 광물자원연구본부 국내/북한자원연구실

Characteristics of Polymetallic Occurrence in Kau Loc Area within Northern Vietnam: Preliminary Study

Chul-Ho Heo^{1*}, Se-Jung Chi², Sung-Won Park¹ and Jae-Ho Lee¹

¹Overseas Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

²Domestic/North Korea Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources (KIGAM), Daejeon 305-350, Korea

It was carried out to the survey on the lead-zinc and tungsten occurrences in the Kau Loc mineralized belt within northern Vietnam. The lead-zinc occurrence bear the ore body parallel to the bedding of limestone formation. Assuming the surface grade and geological reserve, Pb+Zn deposit is estimated to the small to medium-sized ore deposit. On the other hand, considering the distribution of small-scale stock intruding the Devonian limestone, it is thought that the tungsten occurrence has the proper geological conditions anticipating the presence of skarn mineralization. However, there is no evidence to recognize economic feasibility in the present situation because of the absence of detailed geology and ore deposit survey on the tungsten occurrence.

Key words : lead-zinc, tungsten, occurrence, Kau Loc mineralized belt, Vietnam

베트남 북부 카우록 광화대의 연-아연, 텅스텐 산출지에 대한 지질광상조사를 실시했다. 연-아연 산출지는 석회암층의 층리에 평행하게 광체를 배태하고 있다. 지표품위와 지질학적 매장량을 고려할 때, 연-아연 산출지는 소-중규모로 판단된다. 반면 데본기 석회암을 관입하고 있는 소규모 암주의 분포를 고려할 때, 텅스텐 산출지는 스킨 광화작용의 부존이 기대되는 적절한 조건을 가지고 있다. 그러나, 정밀지질광상조사가 결여되었기 때문에 현재 상황에서 경제적 타당성을 인지할 만한 증거는 없는 것으로 사료된다.

주요어 : 연-아연, 텅스텐, 산출지, 카우록 광화대, 베트남

1. 서 언

국가 경제에 있어 광물자원의 안정적인 공급은 기반 산업과 관련하여 매우 중요하다. 우리나라는 일부 비철금속을 제외한 에너지 및 금속자원을 전적으로 해외에 의존하고 있어 주요광물자원의 자주 공급기반이 날로 절실해지고 있다. 또한 세계적으로 광물자원시장의 불안정과 가격상승으로, 자원 보유국가의 자원개발 규제 강화와 수요국가의 자원 확보 경쟁이 심화 되고 있

어 이에 따른 해외광물자원 분야의 개발강화 방안 모색이 요구되고 있으며, 정부 및 주요 공공기관/민간 기업을 중심으로 적극적으로 추진 중에 있다. 특히 전략 광물자원 확보의 가장 효과적인 대안으로 평가받고 있는 동남아시아, 중앙아시아, 남미, 아프리카 등 자원부국의 유망정보 수집 및 분석을 통한 안정적인 자원 확보가 초미의 관심사로 대두되고 있다.

그 중 동남아시아의 자원부국으로 미얀마, 베트남, 인도네시아 등이 있으며, 이중 베트남은 국가 기반산

*Corresponding author: chheo@kigam.re.kr

업의 소비 측면과 관련하여 철, 동, 아연, 니켈, 우라늄, 유연탄과 석유와 천연가스 이외에도 보크사이트와 텅스텐, 티탄철석과 인회석과 같은 풍부한 천연 광물자원을 확보하고 있다(Premoli, 1988; Xinh, Le Thac, 1988; Cuulong Invest Inc., 2010). 베트남의 경우 부존 광물자원은 풍부하나 탐사 및 개발이 초기 단계로 대부분이 미개발 상태이고, 개발되는 곳에서도 구식 장비와 낙후된 기술로 생산성이 선진국 수준에 미치지 못하는 실정이다. 그러나, 2006년 베트남 정부의 외국 자본투자와 광물에 관한 최종정부 승인 인가에 따라, 외국 회사들과 민간 기업의 투자에 유리한 조건으로 제시되어 점차 투자 및 탐사 개발이 활발해지고 있다.

본 논문은 베트남 북부 바칸(Bac Kan)주 카우 록(Khau Loc) 다중 금속광화대를 대상으로 베트남지질광물자원연구소(VIGMR)와 공동으로 유망광체를 확보를 위한 탐사적지 적합여부를 판단하기 위한 것이며 그 예비조사 결과를 고찰하고자 한다.

2. 지 질

현지조사의 대상지역은 행정구역상 베트남 북부 바칸(Bac Kan) 주에 속하며, 위경도 좌표 상으로는 북위 22°35'00"~22°45'00" 동경 105°22'00"~105°45'00" 구역에 속한다. 조사지역은 하노이에서 북부 베트남의 바칸을 거쳐 조사지역의 주요 마을인 파크남(Pac Nam)까지 약 450 km에 위치하며, 차량을 이용하여 약 6시간 소요된다. 하노이에서 바칸까지는 버스 이용이 가능하다(Fig. 1).

조사지역은 베트남 북부의 비에트박(Vietbac) 습곡대에 위치한 테본기에 생성된 퇴적분지에 속한다. 주로 테본기 퇴적암류, 트라이아스기 화강암류 및 염기성암, 소규모 압주상의 관입암체로 구성되어 있다(Tran, N. N, 1995). 퇴적암류는 전반적으로 광역 변성작용을 받았으며, 조사지역 최하부의 피아팡(Pia Phuang) 층군으로 구성된다. 피아팡 층군의 하부층은 층후가 230~500 m이고, 주로 석회석, 처트 건운모편암으로 구성되었으며, 후기에 조면암 및 반암류, 산성 암맥 등에 의해 관입작용을 받았다. 상부층은 층후가 1.2 km로써 하부층을 정합적으로 피복하고 있고, 이 석회암층은 국지적으로 칠광체를 배태하고 있다. 피아팡 층군을 정합적으로 피복하고 있는 미아레(Mia Le) 층군은 하부에 점토질 이회암 및 이암질 세일과 처트질 이암으로 구성되어 있으며, 층후는 400~500 m이다. 미아레 층군을 피복하는 상부층은 주로 사암, 석회암, 세

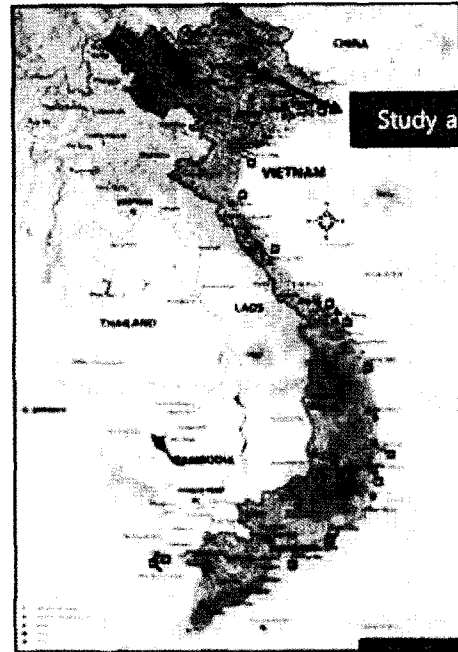


Fig. 1. Location map of the investigation area.

일, 탄산염질 천매암 등으로 구성되며, 층후는 500 m이다. 상기의 퇴적층은 대체로 N45°-60°W의 주향을 보이며, 이 방향의 습곡축을 가지는 대규모 습곡구조를 나타내고 있다. 상기 퇴적암류를 트라이아스기에 관입한 암상들은 주로 석영섬록암, 화강섬록암, 흑운모-감섬석 화강암류이다(Fig. 2).

3. 광 상

파크남 지역내 방탄(Bang Thanh)-나몬(Nhan Mon)-복보(Boc Bo)-코린(Co Linh) 지역을 연계하는 약 35 km² 지역에 연·아연 광화대, 중석 광화대가 분포하고 있다. 주요 조사지역은 파크남(Pac Nam) 북동쪽의 1개의 연·아연 광화대와 복보 북서부에서 남부 코린까지 발달된 중석 광화대로써 조사의 편의상 3개의 중석 광화대로 구분된다.

3.1. 연·아연 광화대

본 조사지역은 파크남(Pac Nam) 마을에서 약 6 km 북동쪽에 위치한다. 연·아연 광체는 석회암 층에 평행하게 발달되었으며, 광맥의 최대 연장은 1 km 이상으로 알려지고 있으며, 광폭은 최대 10 m 정도로 조사된 바 있다. 주요 광석광물로는 방연석이 가장 우세하

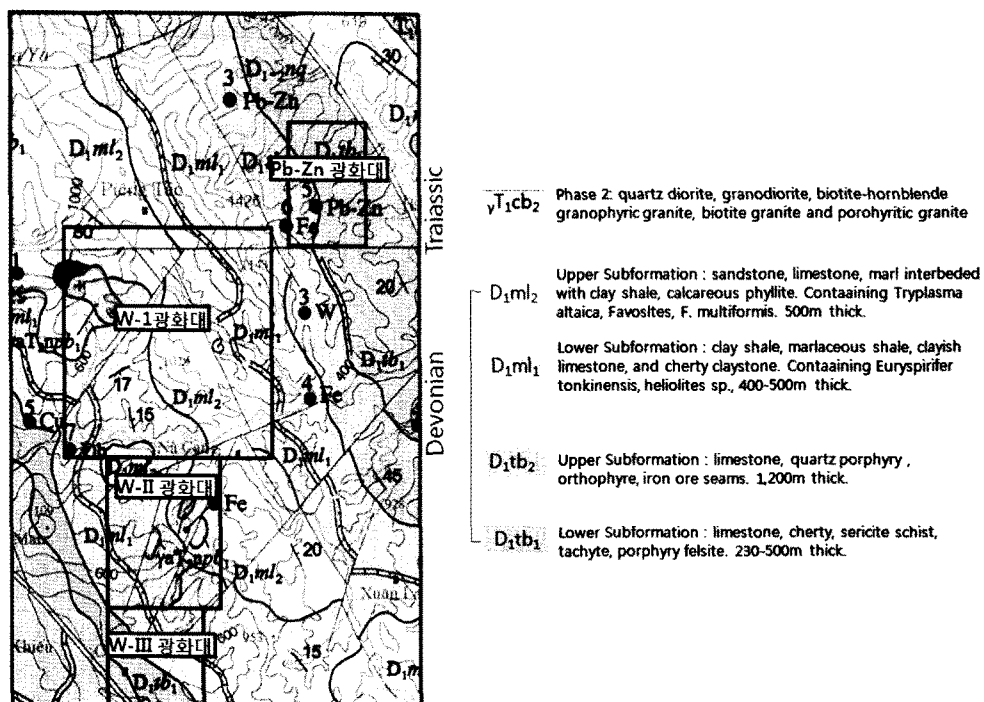


Fig. 2. Geologic map of the investigation area (scale 1:200,000).

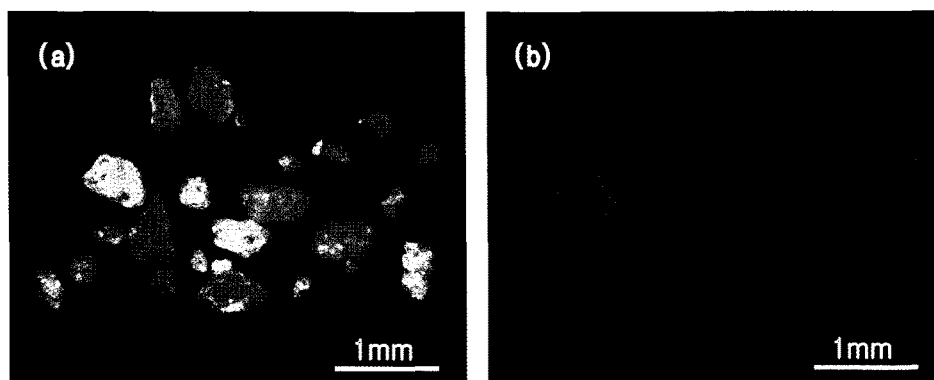


Fig. 3. Photographs of scheelite grain obtained from heavy sands during panning. (a) heavy sand minerals including scheelite obtained from panning (b) scheelite grains showing the specific fluorescence after using the ultraviolet.

며, 섬아연석, 황철석 등의 황화광물이 괴상 혹은 산점상으로 증정석과 수반되고 있다. 광석을 배태하고 있는 석회암은 암회색으로 부분적으로 계결정화 되었으며, 주향은 $N50^{\circ}-60^{\circ}W$ 가 우세하며, 경사는 $10^{\circ}-20^{\circ}S$ 로 완만하게 경사져 있다. 광맥의 방연석+섬아연석의 지표 품위는 5~25 wt.%로 알려지고 있다. 이번 조사지역 외에도 가까운 주변에 연-아연 광화대가 $N50^{\circ}W$ 의 방향성을 가지고 광범위하게 분포되어 있다. 조사지역의 연-아연 광상은 현재까지 고생대 초기에 형성된 퇴

적분지에서 해저분출로 인한 SEDEX 유형 광상으로 알려지고 있다(Nhan, Nguyen van, 1988; Premoli, 1989). 분지 퇴적암류는 광역변성을 받고 있으며, 조사지역 광화대에 분포된 퇴적암 분포대에 NW계의 습곡 구조와 단층대가 잘 발달되어 있다.

3.2. 중석 광화대

중석 광화대는 파크남(Pac Nam) 마을에서 인접한 동측에 3개의 광화대로 구분된다. W-I 광화대는 파크

남 마을에서 북서 방향에 위치하고 있으며, W-II 및 W-III 광화대는 순서대로 W-I 광화대의 남쪽으로 약 13 km에 위치한 코린(Co Lihn) 마을까지 분포되고 있다. 중석 광체는 석회암 혹은 탄산염암질 변성퇴적암 층내에 소규모 암주상으로 관입한 흑운모화강암체 주변에 발달된 스키른 광상으로 배태되는 것으로 알려져 있으나 현재까지 정밀 광체조사가 미비하고, 단지 이 광화대에 분포된 일부 수계에서 채취한 중사 시료에서 회중석이 간혹 발견되고 있다(Fig. 3).

4. 현지조사

4.1. 연-아연 광화대

광체가 모암인 석회암의 층상에 평행하게 발달되어

지표에 노출 연장되어 있어 모암의 지질구조, 암상변화, 변질양상, 광화작용 발달, 암상의 분포 등을 세밀히 조사하여 제반 지질광상 요소를 포함하여 1:5,000 축척으로 아래와 같은 루트맵 지질도를 작성하였다(Fig. 4). 이번 조사지역의 면적은 약 17 km²에 해당되며, 이번 조사에서는 연-아연 광체를 중심으로 연장 부위를 확인하며 광체를 추적, 구획하였다. 조사지역의 연-아연 광체는 모암인 석회암층에 평행하게 발달되어 있으며, 광체를 함유한 석회암 지층은 주향이 N50°-70°W, 경사가 10°-20°SE로 완만하게 경사를 이루고 있다. 본 광체에 대해서는 5개의 지표 트렌치 탐사가 수행되었으며, 지표 광체의 연장성을 확인하기 위하여 광체의 연장 방향에 수직으로 약 10-20 m 길이로 트렌치 탐사가 수행되었다. 현장조사에 의하면 광체의 폭

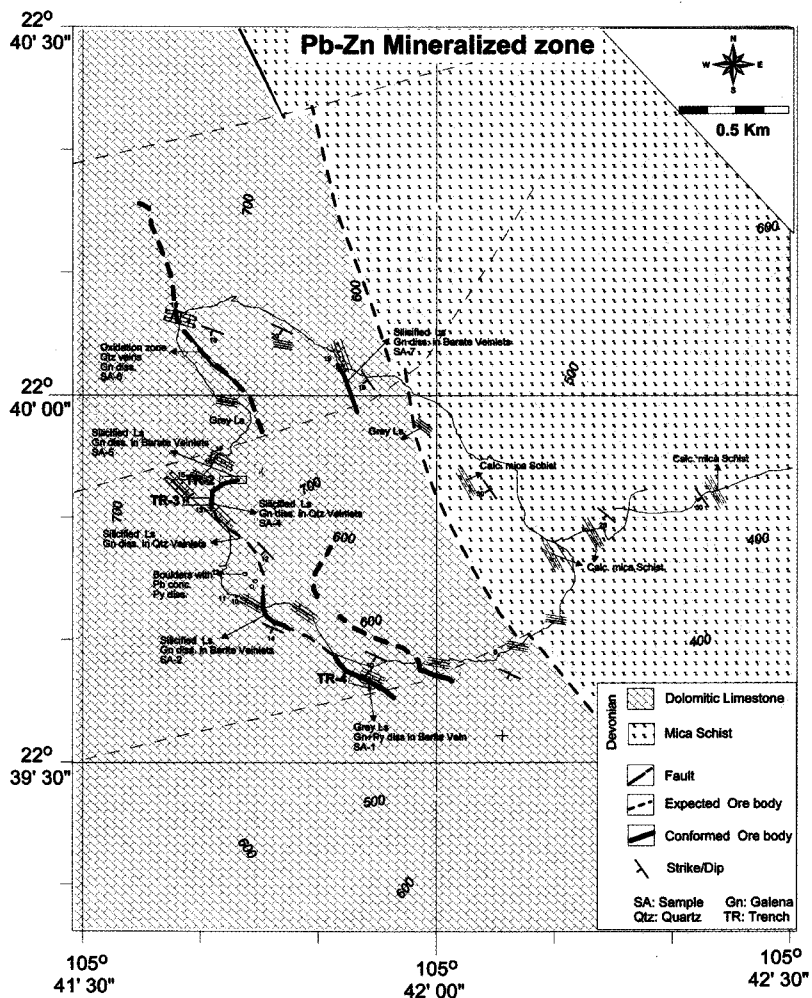


Fig. 4. Route map on the Pb-Zn mineralization area located at Bang Thanh.

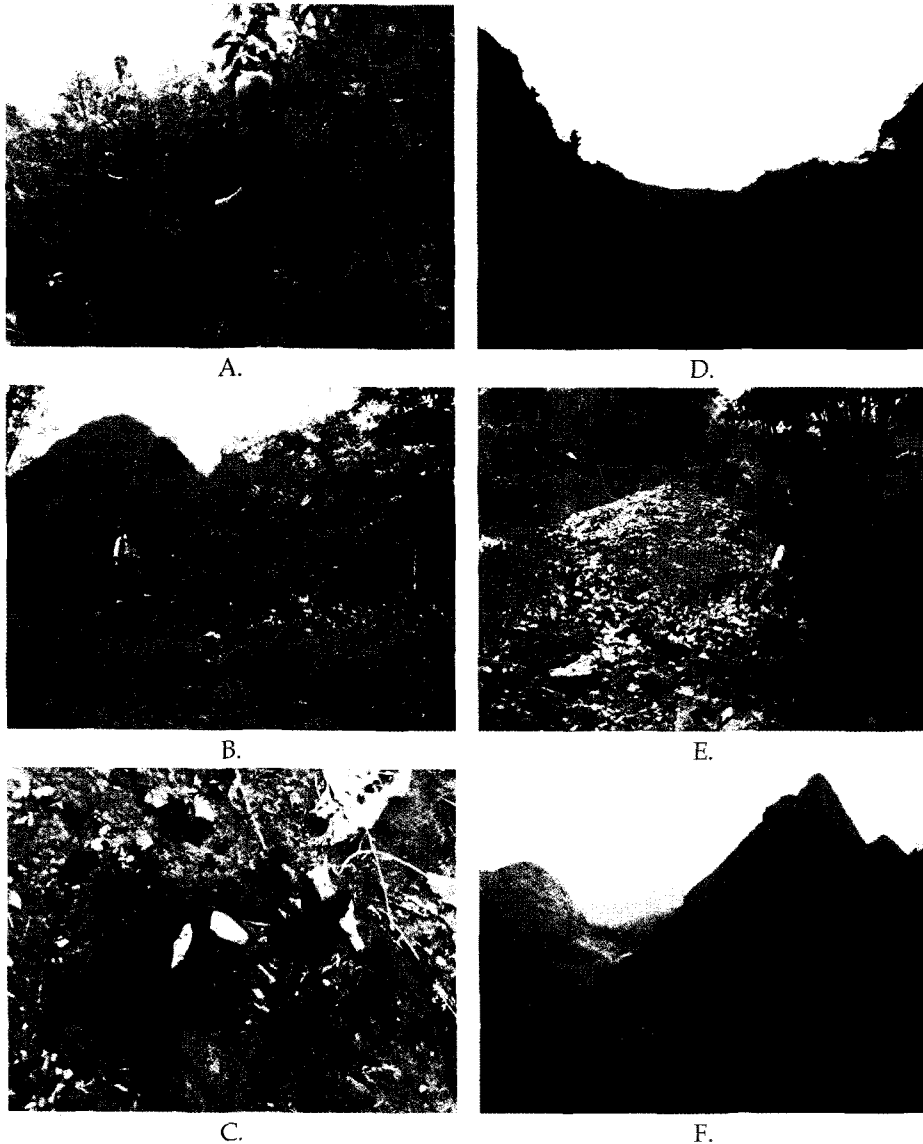


Fig. 5. Photographs from the investigation area at Bang Thanh. A. Iron-bearing outcrop in Bang Thanh Pb-Zn mineralized zone. B. Strongly weathered zone with width of 10m showing lead and zinc anomaly. C. Color of soil showing the anomaly of lead and zinc. D. Slope bearing the iron formation with the width of 6m and the extension of 200m. E. Barite-bearing outcrop showing the trace of small-scale mining by local people. F. Panoramic view of Bang Thanh Pb-Zn mineralized zone.

은 최대 6 m 정도이며, 광맥의 중앙부 약 30-40 cm 폭으로 방연석의 고품위대가 관찰되고 그 외에는 방연석이 산점상으로 산출되는 저중 품위대로 구성된다. 이 고품위대에서 연+아연의 품위가 최고 25 wt.%, 저품위대에서는 약 5 wt.%로 확인되고 있다(Fig. 5).

4.2. 중석 광화대

조사 대상인 중석 광화대는 3개의 지역으로 구분되

어 있으며, 이 지역에 대한 지질조사는 1: 50,000 축척으로 조사가 되어 있고, 수계의 중사 시료에서 회중석이 미량 확인되고 있다. 그러나, 지표에서 W 스카른대에 대한 정밀한 분포사항 및 광체 조사가 아직 수행되고 있지 못한 상태이다. 3개의 W 광화대 중 파크남 북서부의 W-I 광화대지역이 비교적 면적이 넓고 접근성이 양호하여, 지역을 가로지르면서 1:5,000 축척의 지표지질광상 조사 및 1차 수계에서 중사 시료 채취를

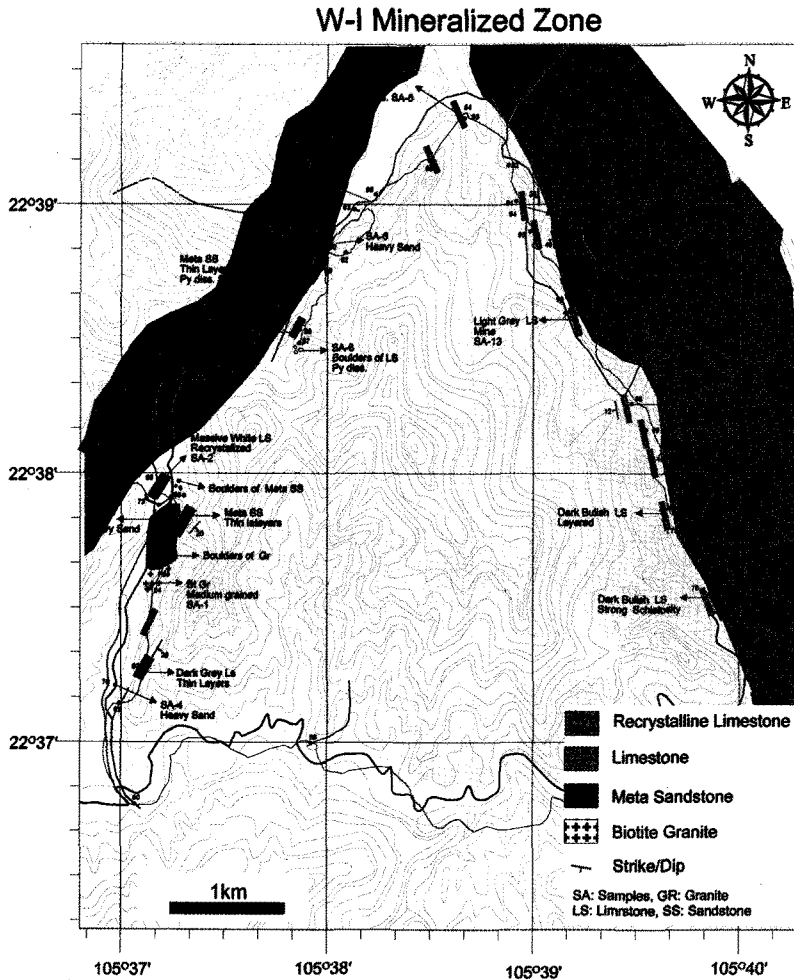


Fig. 6. Route map on the investigation of geology and ore deposit within W-I mineralized zone scaled as 1:5,000.

수행하였다(Fig. 6). W-II 및 W-III 광화대에서는 접근성이 떨어져 접근이 가능한 일부 지역에서 1:5,000 축척의 지표지질조사 및 1차 수계 중사시료 채취를 수행하였다. 조사결과 W-I 광화대는 고생대 데본기 석회암과 변성사암(주향 N5°W, 경사 5°-10°N)을 기반암으로 하여 중앙부에 흑운모 화강암체가 관입하고 있다. 기반암과 화강암류의 접촉부에서는 스키타르대가 발달하지 못하였으며, 재결정 작용으로 거정질의 우백색 석회암대만 발달되었다. 광화대에 분포하는 수계에서 산출되는 중사를 확인한 결과 함중석 광물은 관찰되지 않는다. W-II 광화대 지역에서는 주로 석회암과 변성사암의 접촉부에 후기 흑운모 화강암이 관입하였다(Fig. 7). 화강암 관입암체 주변에는 석회암이 주로 재결정화 되었으며, 간혹 사질 석회암층에서 회중석 및 형석이 함유

된 스키타르대가 확인되고 있다. 이 지역 1차 수계에서 채취된 중사 시료에서는 수 개의 회중석 입자가 관찰되었다. 따라서 이 지역에서는 향후 정밀 지표노두조사 수행이 요구된다. W-III 광화대에 분포하는 노두에서는 드물게 스키타르대가 관찰되며 화강암체 주변부에 전기석이 수반되는 그라이젠 변질작용이 확인된다. 또한, 회중석과 형석이 미량 산출되는 스키타르대와 변성사암이 관찰되기도 한다(Fig. 8A to 8D).

5. 지구화학분석

5.1. 연-아연 광화대

방탄 연-아연 광화대에서 산출하는 광석은 대부분 재결정된 석회암층의 열극을 따라 충전된 중정석맥 내에

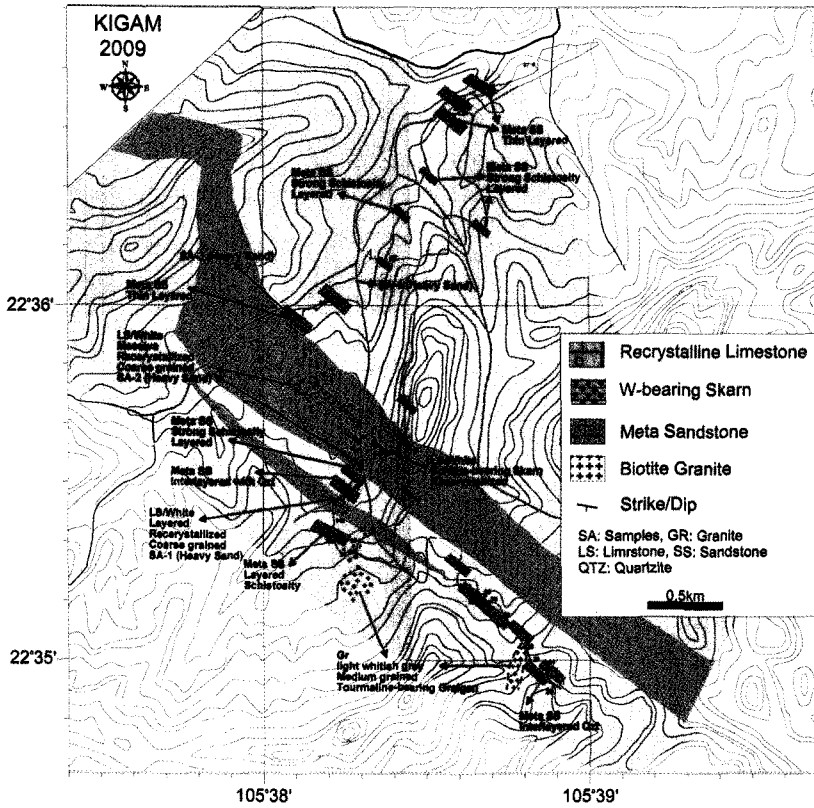


Fig. 7. Route map on the investigation of geology and ore deposit within W-II mineralized zone scaled as 1:5,000.

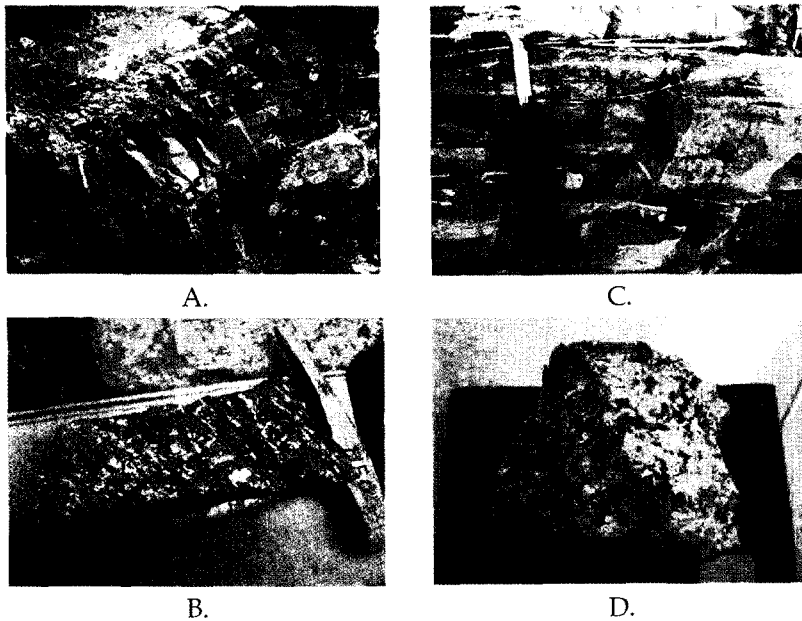


Fig. 8. Photographs of outcrop and rock specimens. A. Limestone interbedded with mica schist within W-III mineralized belt, B. Copper bearing skarn sample within W-III mineralized belt, C. Metasandstone outcrop within W-III mineralized belt, D. Recrystallized limestone bearing tourmaline within W-III mineralized belt.

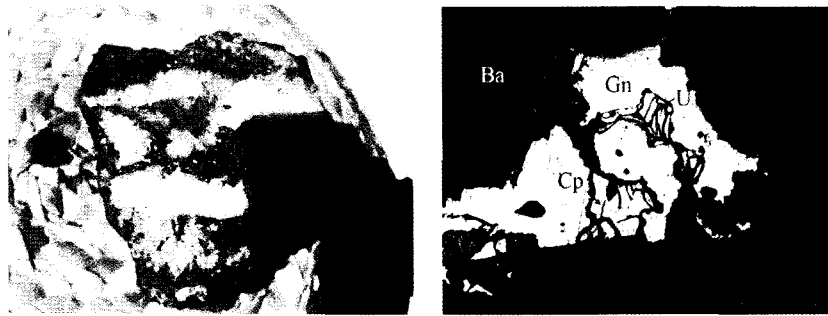


Fig. 9. Barite vein with lead-zinc ore (A) and its reflected photomicrograph (B) (Sample No. A-1). Galena, Chalcopyrite and Unknown mineral (Sb-Pb-Cu-Fe-O) assemblage infilling the fracture of barite vein. scale bar=100µm. Abbreviations: Ba=barite, Cp=Chalcopyrite, Gn=Galena, U=unknown.

Table 1. Content of common metallic and industrial mineral on ore-bearing specimens obtained from the Pb-Zn and W mineralized zone in the northern part of Vietnam

Element	Fe	Pb	Zn	Cu	Ga	Ge	Se	Y	Mo	Ag	In	Te	Sm	Eu	W	Re	Au	U
Grade	%	%	%	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg
Pb-Zn mineralized zone																		
A-1	1.25	1.072	0.38	229.1	6.3	0.6	0.0	2.4	1.7	4.92	0.0	0.0	0.6	0.2	162.0	0.0	0.26	1.04
A-2	0.74	4.643	2.69	16.1	5.2	0.5	0.0	2.2	1.9	5.70	0.0	0.0	0.8	1.3	560.2	0.0	0.21	1.14
A-3	0.19	1.430	3.30	38.6	13.2	0.1	0.0	0.4	0.9	2.67	0.0	0.0	0.1	0.1	615.0	0.0	0.23	1.14
A-4	0.80	2.743	20.01	391.3	28.2	0.4	4.5	0.9	3.1	9.67	0.4	0.0	0.3	0.2	3354.1	0.0	0.22	2.67
A-5	2.15	0.771	5.74	19.1	8.5	0.8	0.0	1.6	1.9	6.19	0.0	0.0	0.4	0.6	872.9	0.0	0.42	0.88
A-6	0.97	0.084	0.054	4.1	64.2	1.1	0.0	9.2	1.5	0.88	0.0	0.0	2.4	0.5	104.6	0.0	0.22	0.79
Avg.	1.02	1.79	5.36	116.4	20.9	0.58	0.75	2.78	1.83	5.0	0.06	0.0	0.77	0.48	944.8	0.0	0.26	1.28
Cut-off	33	0.58	2.0	7000	50	5000	300	33	200	188.4	100	0.5	0.1	0.1	5000	0.1	10	350
W mineralized zone																		
D-1-2	1.03	0.002	0.008	11.7	125.8	1.7	0.0	0.4	1.0	0.13	0.0	0.0	0.0	0.0	335.7	0.0	0.45	1.50
D-2-1	3.81	0.007	0.016	127.0	10.2	2.4	0.0	8.1	1.9	0.15	0.0	0.0	1.0	0.4	93.4	0.0	0.28	0.73
D-4-1	6.22	0.002	0.014	0.8	16.2	2.6	0.0	3.3	0.6	0.07	0.0	0.0	0.5	0.2	161.0	0.0	0.29	0.40
D-4-2	5.31	0.003	0.013	3.5	13.3	2.9	0.0	3.1	11.6	0.08	0.0	0.0	0.4	0.1	203.3	0.0	0.12	0.60
D-5	1.11	0.001	0.003	15.0	136.8	1.0	0.0	3.1	3.8	0.11	0.0	0.0	0.4	0.1	595.2	0.0	0.31	1.74
D-6	6.54	0.005	0.008	8974.7	128.5	3.0	7.7	6.3	28.5	1.03	0.0	2.4	1.4	0.3	436.5	0.0	0.18	4.65
D-7-1	10.17	0.001	0.004	4426.4	91.9	4.6	6.1	5.4	27.7	0.76	0.0	2.8	0.8	0.2	567.2	0.0	0.25	2.34
D-7-2	7.31	0.002	0.007	6033.0	87.3	3.1	3.5	6.2	23.2	0.65	0.0	0.9	1.1	0.2	491.0	0.0	0.27	2.33
E-1	9.02	0.001	0.018	14.9	48.5	4.3	0.0	4.0	0.8	0.08	0.0	0.0	1.8	0.2	241.7	0.0	0.21	1.19
Avg.	5.61	0.003	0.01	2179	73.2	4.35	1.92	4.34	11	0.34	0.0	0.68	1.02	0.26	347.2	0.0	0.26	2.12
Cut-off	33	0.58	2.0	7000	50	5000	300	33	200	188.4	100	0.5	0.1	0.1	5000	0.1	10	350

연-아연 광석광물이 배태되어 있는 산출상태를 보여주고 있다. 광석광물을 현미경으로 관찰한 결과, 중정석의 열극을 따라 방연석, 황동석 및 Sb-Pb-Cu-Fe-O 광물 등이 충전하고 있으며(Fig. 9), 해당 시료분석결과는 연 1.072%, 아연 0.38%이다(Table 1). 또한, 재결정된 석회암층의 열극을 따라 고품위 방연석을 함유한 세맥이 충전하는 경우도 관찰된다. 본 광석광물을 현미경

으로 관찰한 결과, 방연석외에 섬아연석과 황동석이 용리구조를 보이며 산출하고 있다(Fig. 10). 섬아연석의 전자현미분석결과, 섬아연석 입자의 중심부(35.29 wt.% Fe)에서 연변부(8.16 wt.% Fe)로 가면서 철의 함량이 급격히 감소함을 알 수 있으며(Table 2), 해당 시료분석결과는 연 2.74%, 아연 20.01%이다(Table 1). 방탄 지역 석회암층의 열극을 따라 충전된 연-아연 광체는

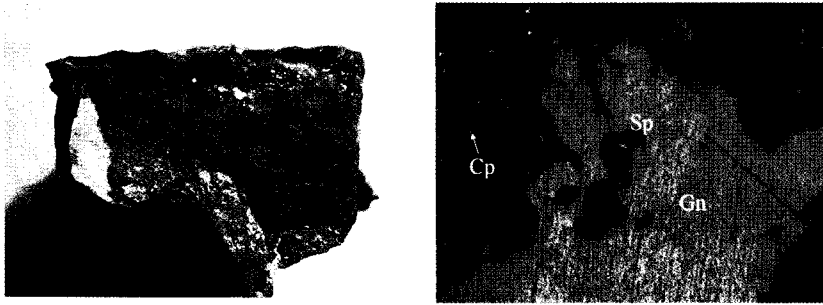


Fig. 10. Lead-bearing ore (A) (Sample No. A-4). Galena, chalcopyrite and sphalerite assemblage infilling the fracture of recrystallized limestone (B). Scale bar=100 μ m. Abbreviations: Sp=Sphalerite, Cp=Chalcopyrite, Gn=Galena.

Table 2. EPMA analyses of sphalerite from Bang Thanh Pb-Zn mineralized area in the northern part of Vietnam

Sample No.	Wt.%			Total	Atomic. %		
	Zn	Fe	S		Zn	Fe	S
A-3-1	67.75	-	32.91	100.66	50.24	-	49.76
A-3-1	68.25	-	32.62	100.87	50.64	-	49.36
A-4-1(C)	17.49	35.29	47.18	99.96	11.29	26.65	62.06
A-4-1(R)	55.51	8.16	34.85	98.52	40.78	7.01	52.21
VN-4-1-1(C)	67.39	1.53	31.67	100.59	50.38	1.34	48.28
VN-4-1-1(M)	67.16	1.51	31.10	99.77	50.06	1.31	48.63
VN-4-1-1(R)	67.32	1.22	31.91	100.45	50.31	1.07	48.62
VN-4-3-1(R)	67.27	1.07	32.22	100.56	50.12	0.94	48.95
VN-8-1(C)	66.53	2.25	32.07	100.85	49.45	1.96	48.60
VN-8-1(R)	66.30	2.10	31.91	100.31	49.55	1.84	48.62
VN-9-2(R)	67.98	0.98	31.96	100.92	50.62	0.85	48.53

Abbreviations: C=core part of grain, M=middle part of grain, R=rims part of grain

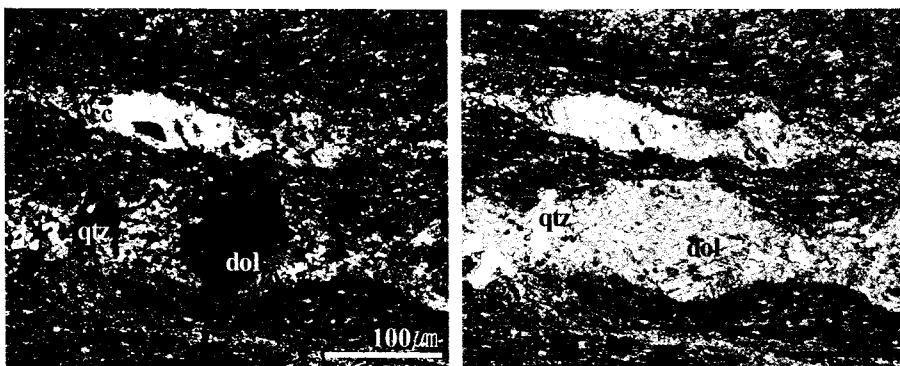


Fig. 11. Photomicrographs of limestone bearing lead-zinc ore within Bang Thanh Pb-Zn mineralized area.

육안으로 방연석 및 세립질의 황철석이 부화되어 있었으며, 현미경 관찰결과 광석을 배태하고 있는 모양은 석영, 방해석, 이질성분으로 구성되어 있다. 일부 돌로마이트가 관찰되며 방해석+돌로마이트 부분과 석영+이질 성분 부분이 교호하는 양상을 보인다. 입자의 크

기는 대체로 세립질에 속하며(Fig. 11), 해당 시료분석 결과는 연 0.084%, 아연 0.054%이다(Table 1). 방탄 지역 연-아연 광화대에서 산출하는 섬아연석은 전 광화시기에 걸쳐 산출되며 공존하는 광물에 따라 다양한 조직을 나타낸다. 황철석보다 후기에 산출되는 섬아연

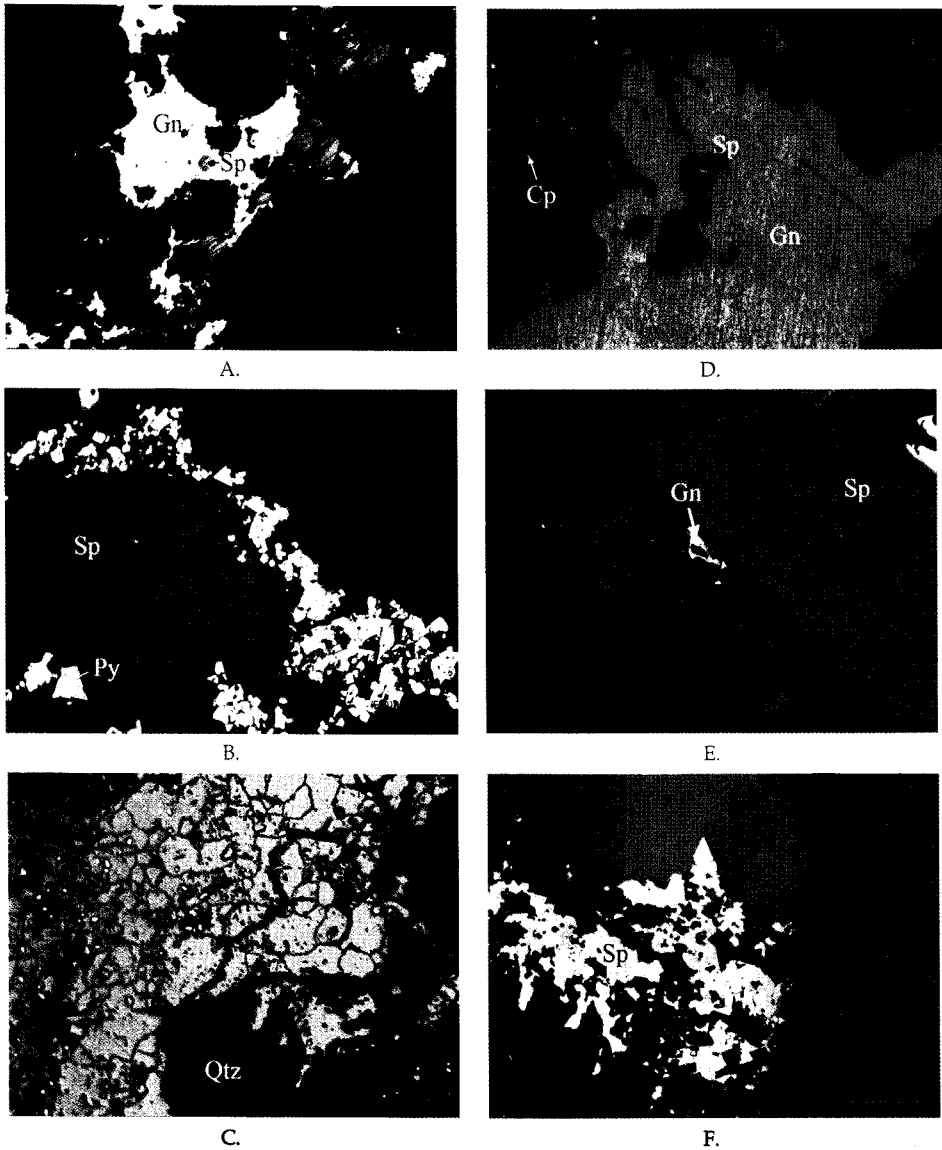


Fig. 12. Photomicrographs of polished ore section within Bang Thanh Pb-Zn mineralized area. A. Galena (Gn) coexisting with sphalerite (Sp). Scale bar=100 μ m. Sample No.=A-3, B. Sphalerite (Sp) coexisting with pyrite (Py). Scale bar=100 μ m. Sample No.=VN-4, C. Sphalerite (Sp) infilling the microfractures of quartz (Qtz). Scale bar=100 μ m. Sample No.=VN-8, D. Galena (Gn) coexisting with sphalerite (Sp) in chalcopyrite disease (Cp). Scale bar=100 μ m. Sample No.=A-4, E. Sphalerite (Sp) coexisting with galena (Gn). Scale bar=100 μ m. Sample No.=VN-4, F. Sphalerite (Sp) infilling the fractures of barite vein. Scale bar=100 μ m. Sample No.=VN-9.

석은 자형내지 반자형의 암갈색을 띠며 맥석광물내에 주로 공존한다. 또한, 황철석 입자사이에 간헐적으로 타형 및 괴상 형태로 존재하기도 한다. 후기로 가면서 자형의 황철석 포유물을 갖는 연속적인 석기로 산출되기도 하며, 황동석의 spots 또는 blebs를 포획하는 용리조직을 흔히 보이기도 한다(Fig. 12). 이는 고온에서

황동석이 냉각되는 동안 아연 황화물의 불혼화작용의 결과라고 보고된 바 있다(Eldridge *et al.*, 1988). 전자 현미분석 결과 이와 같은 섬아연석은 입자 중심부에서 연변부로 갈수록 철의 함량이 감소하는 것을 관찰할 수 있다(Table 2).

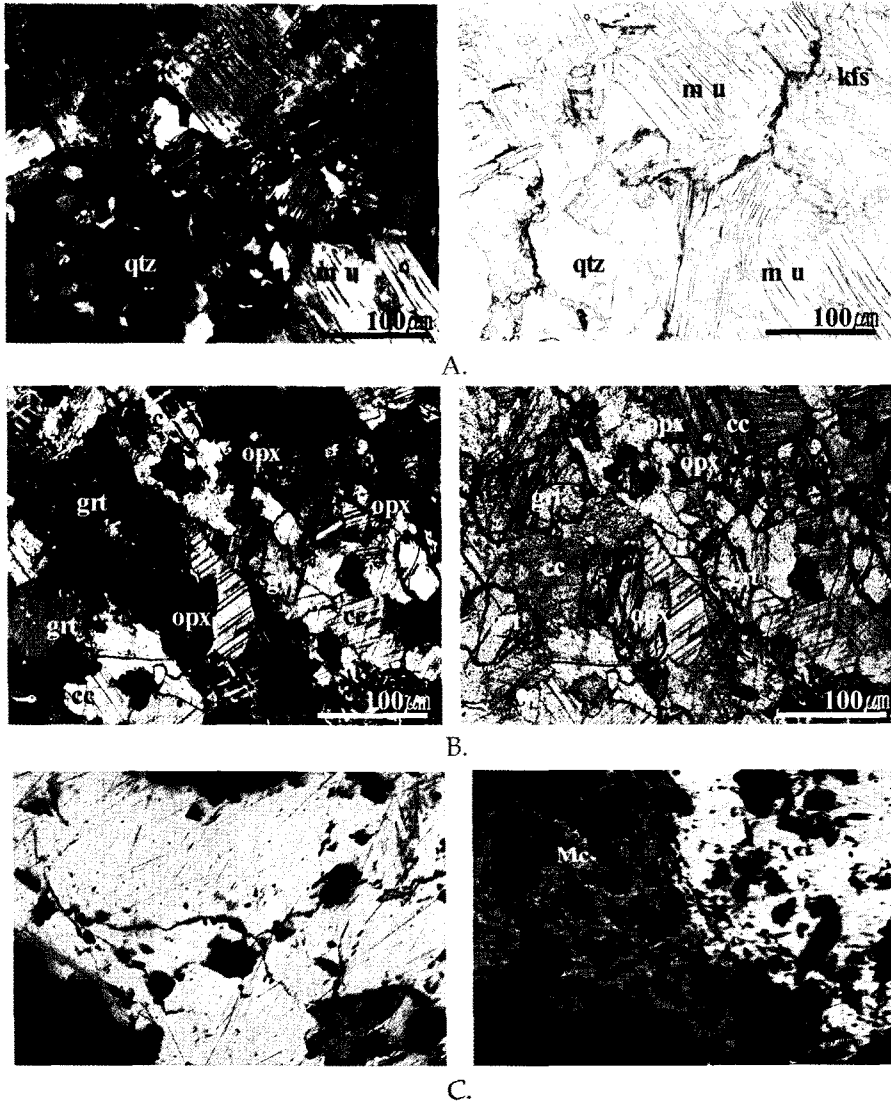


Fig. 13. Photomicrographs of polished ore section and thin section within W-III mineralized area. A. Photomicrographs of greisen within W-III mineralized area. Sample No.=D-1-2. Abbreviations: kfs=k-feldspar, mu=muscovite, qtz=quartz, B. Photomicrographs of skarn within W-III mineralized area. Sample No.=D-2-1. Abbreviations: cc=calcite, grt=garnet, opx=orthopyroxene, C. Ore vein sample showing copper-bearing skarn (Sample No. D-6). Chalcopyrite (Cp) with pyrrhotite (Po) inclusion and marcasite (Mc) coexisting with chalcopyrite (Cp) assemblage infilling the bedding of recrystallized limestone. scale bar=100 μm.

5.2. 중석 광화대

코린 지역 중석 광화대에서 지표노두를 중심으로 스카른대 분포대 확인 조사를 수행하였다. 지표 노두 시료에서 드물게 스카른대가 관찰되었고, 화강암체 주변부에는 전기석이 수반되는 그라이젠 변질작용을 받은 화강암과 회중석과 형석이 미량 산출되는 스카른대와 변성사암이 부존하고 있다. 본 역에서 산출되는 그라

이젠의 경우, 주로 석영, 백운모, 정장석, 형석, 견운모, 일부 방해석으로 이루어져 있다. 석영은 대개 파동소광을 보이고 조립 혹은 세립으로 백운모 결정내에 포유물로 관찰된다. 견운모의 다색성은 거의 무색에 가깝거나 분홍빛으로 관찰된다. 일부 정장석에서 견운모화가 관찰된다(Fig. 13A). 스카른 내에서는 석류석, 사방회석, 방해석 및 석영이 산출된다. 사방회석의 다색

Table 3. Content of common metallic and industrial mineral of heavy sand obtained from panning with stream sediment within W-mineralized zone in the northern part of Vietnam

	Fe	Cu	Pb	Zn	W	Ge	Se	Y	Mo	Ag	In	Te	Sm	Eu	Re	Au	U
	%	mg/ kg	mg/ kg	mg /kg	mg /kg	mg /kg	mg/ kg	mg/ kg	mg /kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg/ kg	mg /kg	mg/ kg	mg/ kg	mg /kg
VNP-1	2.59	10.9	13.8	552	8598	3.25	5.61	133.68	3.76	0.85	0.00	0.00	47.71	3.19	0.00	0.20	22.10
VNP-2	3.68	15.4	16.7	635	2901	3.16	7.03	145.80	3.28	0.21	0.00	0.00	45.37	2.87	0.00	0.00	15.91
VNP-3	4.93	58.8	69.5	1800	1708	1.93	7.47	98.17	6.78	1.91	0.00	0.00	18.13	2.26	0.00	0.00	21.63
VNP-4	4.19	14.2	14.1	629	346	2.40	3.87	108.52	1.65	0.99	0.00	0.00	21.17	2.79	0.00	0.00	18.04
VNP-5	5.06	24.3	19.6	754	118	4.12	8.61	207.62	3.43	2.16	0.00	0.00	39.95	4.21	0.00	0.00	37.06
VNP-6	5.56	69.8	142.1	1540	4118	4.55	17.17	252.59	9.04	6.19	0.00	0.77	39.45	3.98	0.00	0.22	65.80
VNP-7	6.35	106.8	145.6	2734	1083	5.77	12.93	192.35	19.78	8.32	0.00	0.00	34.80	3.45	0.00	0.20	50.97
VNP-8	7.10	64.5	22.6	420	429	6.75	1.82	18.26	4.54	0.40	0.00	0.00	7.41	1.31	0.00	0.00	4.58
VNP-9	6.03	75.8	88.1	2057	566	4.88	14.68	279.11	10.58	5.30	0.00	1.01	37.94	4.54	0.00	0.00	81.63
VNP-10	6.17	74.2	128.6	1973	536	2.23	6.16	37.41	15.58	0.70	0.00	0.38	10.55	1.96	0.00	0.00	8.96
VNP-11	5.12	47.0	32.1	580	1154	1.97	3.06	48.06	43.05	0.79	0.00	0.00	8.68	1.68	0.00	0.00	9.96
VNP-12	5.04	209.9	16.8	1332	499	2.93	11.95	231.27	4.97	3.17	0.00	0.00	31.11	3.92	0.00	0.00	60.18
VNP-13	4.52	36.9	25.0	811	820	1.43	2.26	28.43	0.95	0.38	0.00	0.00	7.69	1.47	0.00	0.00	3.81
VNP-14	3.62	11.3	24.9	388	8213	2.50	7.41	201.72	7.58	3.65	0.00	0.00	46.73	2.85	0.00	0.37	25.48
VNP-15	4.70	29.1	21.5	605	7011	5.37	12.98	364.06	3.90	0.70	0.00	0.00	80.57	4.52	0.00	0.00	34.78
VNP-16	4.48	9.0	72.1	237	402	1.21	0.39	28.42	0.56	0.25	0.00	0.00	6.57	0.95	0.00	0.00	3.63
VNP-17	4.48	8.2	37.8	203	210	1.40	0.62	40.11	0.60	0.61	0.00	0.00	7.30	1.42	0.00	0.00	5.89
VNP-18	5.17	50.7	46.7	454	2860	1.89	3.47	105.16	3.60	0.97	0.00	0.00	17.01	1.72	0.00	0.00	17.02

성은 분홍빛이며 입자는 중립질의 타형으로 관찰된다 (Fig. 13B). 육안 관찰결과 재결정된 석회암의 층리를 촉진하고 있는 황동석이 관찰되며, 황동석이 자유철석 포유물을 함유하고 있거나 백철석과 공생하는 것을 관찰할 수 있었다(Fig. 13C). 해당 시료분석 결과는 동이 4,426~8,974 ppm (N=3, Avg.=6,478 ppm)으로 동의 가행한계품위를 고려할 때 주변지역에 경제적으로 개발할 가치를 확인하기 위한 정밀탐사가 요망된다 (Table 1). 코린지역 중석광화대 광석시료를 대상으로 한 시료분석결과는 중석의 경우 93.4~595.2 ppm (N=9, Avg.=347.2 ppm)이다 (Table 1). 본 역에서 산출되는 중석의 경우, 현재까지의 예비조사 결과로는 가행한계품위 0.5% (5,000 ppm)에 미치지 못하나 정밀한 지표 지질광상 조사의 부재로 지질·광상조사가 필요한 단계 이고, 아직 경제성을 판단할만한 근거는 없는 것으로 사료된다. 나몬-북보-코린 중석 광화대에서 채취한 18개 중사시료를 대상으로 실체현미경과 UV램프 관찰을 실시한 결과, 대상시료 대부분에서 회중석 입자가 확인된다. 회중석 입자의 모양은 대체적으로 불규칙하며 원마도는 불량한 편으로 회중석을 배태하고 있는 원암에서의 이동거리가 비교적 짧을 것으로 예상된다. 중사시료 분석결과 3개(VNP-1, VNP-14, VNP-15) 시료에서 텅스텐의 가행한계품위(0.5%) 이상으로

텅스텐이 확인되었다(Table 3). VNP-1은 코린 W-III 광화대이며, VNP-14 및 VNP-15는 북보 W-II 광화대에 해당한다.

6. 결론 및 제언

금번 현지 조사는 행정구역 상으로 베트남 북부 바칸 주에 속하는 파크남 지역 내 약 35 km²에 속하는 연·아연 및 중석 광화대를 대상으로 수행되었다. 연·아연 광화대는 파크남 마을의 북동지역에 위치하며, 데본기에 형성된 퇴적분지내 해저분출에 의해 석회암 층내에 평행하게 광체가 배태된 SEDEX 유형의 광상으로 사료된다. 광맥의 최대 맥폭은 약 6 m이며, 이 중에 Pb+Zn 고품위대(~20 wt.%)는 맥의 중앙부에 30~40 cm 두께로 발달되었으나, 고품위대의 연장성은 확인하지 못하였다. 광맥의 Pb+Zn의 최저 품위는 약 5 wt.%이며 현지조사에서는 지표 광맥이 약 800 m까지 연장이 확인되었으나, 적어도 1 km 이상 연장될 것으로 예상된다. 지표품위와 지질학적 매장량을 추정하면 이번 조사된 Pb+Zn 광상은 소·중 규모로 평가된다. 향후 정밀한 지표 지질구조, 광상조사(1:2,000축척)를 통한 시험 시추탐사가 수행되면 광체 연장부와 심부광체의 추가 확보가 가능할 것으로 판단된다. Pb-

Zn 광화대의 경우 지표 정밀광상조사, 트렌치 탐사, 정밀시추탐사가 필요한 단계로 사료된다. W 광화대는 데본기 석회암을 관입한 소규모 암주들의 분포로 보아 W 스카른 광화작용을 기대할 수 있는 지질여건을 갖추고 있으나, 수계의 중사 시료에서 회중석이 관찰되었을 뿐, 정밀한 지표 지질광상 조사의 부재로 현재는 기초 지질·광상조사가 필요한 단계이고, 아직 경제성이 인지될 만한 근거가 없는 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원이 수행하고 있는 지식경제부 부처임무형 사업인 “해외광물자원탐사 및 부존잠재성평가(11-1121)”과제에서 지원되었습니다. 그리고, 본 논문을 심사해주시고 유익한 조언을 해주신 (주)넥스지오의 김창성 박사와 익명의 심사위원께 감사를 드립니다.

참고문헌

- Cuulong Invest Inc. (2010) Vietnam mineral resources overview, 51p.
- Eldridge, C.S., Bourcier, W.L., Ohmoto, H. and Barnes, H.L. (1988) Hydrothermal inoculation and incubation of the chalcopyrite disease in sphalerite. *Econ. Geol.*, 83, p.978-989.
- Nhan, Nguyen van (1988) Types of the endogenic metallic deposits and occurrences of Vietnam (in polish). *Geologia, Zeszyt 38, Academia Gorn. - Hutn., Kralow(Poland)*, 133p.
- Premoli, C. (1989) Mineral resources of Vietnam: problems, but potential. *Mining Magazine*, Sept. p.208-211.
- Premoli, C. (1990) Industrial minerals of Vietnam. *Industrial Min.*, July p.58-71.
- Tran N. N. (1995) The geology of Vietnam: A brief summary and problems, *Geosci. Repts. Shizuoka Univ.*, 22, p.1-10.
- Xinh, Le Thac (1988) Geology and mineral resources of Vietnam. *Gen. Dept. Geol. Min. (GDGM) Vietnam, Hanoi*, 217p.

2011년 6월 29일 원고접수, 2011년 9월 28일 게재승인