

해남 모이산 천열수 금은광상의 지구화학적 특성

문동혁 · 고상모* · 이길재

한국지질자원연구원 광물자원연구본부 해외광물자원연구실

Geochemistry of the Moisan Epithermal Gold-silver Deposit in Haenam Area

Dong Hyeok Moon, Sang Mo Koh* and Gill Jae Lee

Overseas Mineral Resources Department, Mineral Resources Research Division, Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources

Geochemical characteristics of the Moisan epithermal gold-silver deposit with total 140 samples in Haenam area, Jeollanamdo were studied by using multivariate statistical analysis (correlation analysis, factor analysis and cluster analysis). The correlation analysis reveals that Ag, Cu, Bi, Te are highly correlated with Au in the both non-mineralized and mineralized zone. It is resulted from the presence of Au-Ag bearing minerals (electrum, sylvanite, calaverite and stuezelite) and non Au-Ag containing minerals (chalcocopyrite, tellurobismuthite and bismuthinite). Mo shows relatively much higher correlation at the mineralized zone (0.615) than non-mineralized zone (0.269) which implies Mo content is strongly affected by Au-mineralization. While Mn, Cs, Fe, Se correlated with Au at the non-mineralized zone, they have negative correlation at the mineralized zone. Therefore, they seem to be eluviated elements from the host rock during gold mineralization. Sb is enriched during the gold mineralization showing high correlation at the mineralized zone and negative correlation at the non-mineralized zone. According to the factor analysis, Se, Ag, Cs, Te are the indicators of gold mineralization presence due to the strong affection of gold content in the non-mineralized zone. In the mineralized zone, on the other hand, Mo, Te and Sb, Cu are the indicators of gold and silver mineralization, respectively. While the cluster analysis reveals that Cd-Zn-Pb-S, Bi-Fe-Cu-Mn, Se-Te-Au-Cs-Ag, As-Sb-Ba are the similar behavior elements groups in the non-mineralized zone, Cd-Zn-Mn-Pb, Fe-S-Se, As-Bi-Cs, Ag-Sb-Cu, Au-Te-Mo are the similar behavior elements groups in the mineralized zone. Using multivariate statistical analysis as mentioned above makes it possible to compare the behavior of presented minerals and difference of geochemical characteristics between mineralized and non-mineralized zone. Therefore, it will be expected a useful tool on the similar type of mining exploration.

Keywords : Moisan gold deposits, multivariate statistical analysis, correlation analysis, factor analysis, cluster analysis

전남 해남군 모이산 금광상에서 지구화학적 특성에 대한 연구를 수행하기 위하여 모이산 지표 및 갭내, 대산 지표에서 채취한 총 140개 시료에 대한 지구화학적분석결과를 상관분석, 요인분석 그리고 군집분석 등 다변수 통계처리 하였다. 상관분석 결과, 금의 함량이 100 ppb 미만인 비광화대와 100 ppb 이상인 광화대에서 동시에 금과 높은 상관관계를 가지는 원소는 Ag, Cu, Bi, Te 등이며, 이는 연구지역에서 수반되는 함금·은 광석광물들(엘렉트럼, 실바나이트, 칼라베라이트 및 스투젤라이트)과 기타광석광물들(황동석, 텔루로비스무타이트 및 비스무시나이트)의 산출과 일치된 결과로 인지된다. Mo은 비광화대(0.269)에서 보다 광화대(0.615)에서 상대적으로 높은 상관계수를 가지므로 금광화작용에 의해 그 함량이 강하게 지배되고 있는 것으로 해석된다. Mn, Cs, Fe, Se 등은 비광화대에서는 금과 정의 상관관계를 가지지만 광화대에서는 음의 상관관계를 가지므로 금광화작용 시 모암으로부터 용탈되는 원소군으로 해석된다. Sb은 광화대에서 금과 높은 상관성을 보이지만 비광화대에서는 음의 상관관계를 가지므로 금광화작용 시 부화되는 원소로 지시될 수 있다. 요인분석결과, 비광화대에서 금의 함량에 영향을 받는 요인군에 속하는 원소는 Se, Ag, Cs, Te 등이며 이들은 연구지역 내 비광화대에서 금의 존재 여부를 알려줄 수 있는 원소로 해석될 수 있다. 반면 광화대에서는 Mo과 Te 등이 강하게 금광화작용의 여부를 지시해 주며, 금과 함께 수반되는 은광화작용의 여부를 지시해 줄 수

*Corresponding author: kohsm@kigam.re.kr

있는 원소는 Sb와 Cu 등으로 해석된다. 군집분석 결과 비광화대에서 Cd-Zn-Pb-S, Bi-Fe-Cu-Mn, Se-Te-Au-Cs-Ag, As-Sb-Ba 등이 유사한 거동을 보이는 원소군으로 나타나는 반면, 광화대에서는 Cd-Zn-Mn-Pb, Fe-S-Se, As-Bi-Cs, Ag-Sb-Cu, Au-Te-Mo 등이 유사한 거동을 보여주는 원소군으로 나타난다. 이상과 같은 지구화학분석 자료의 다변수 통계처리를 이용하여 금광화대와 비광화대의 산출광물의 거동 및 지구화학적 특성 차이의 비교가 가능하므로 추후 이러한 방법이 이와 유사한 유형의 광상탐사에 유용한 방법으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

주요어 : 모이산 금광상, 다변수 통계처리, 상관분석, 요인분석, 군집분석

1. 서 론

연구지역은 전남 해남군 황산면 부곡리 일대 금광상이 분포하는 지역(Fig. 1)이다. 1995년 캐나다 Ivanhoe Co. Ltd. 자회사인 Korea Exploration Co. Ltd.에 의해 탐사되어 은산광체를 대상으로 개발이 시작되었다. 2002년 순신개발(주)에서 인수하여 은산광체를 개발하다가 채진되고, 2006년부터 모이산 광체가 개발되었다. 2010년 부터 대우조선개발(주)에서 모이산 광체개발이 지속되고 있다.

이 지역에 대한 연구는 지질(Kinosaki, 1929; Lee and Lee, 1976; Son *et al.*, 1980, 1992; Kim *et al.*, 1993), 열수변질작용과 점토광상의 생성(Kim, 1991; Moon *et al.*, 1990; Moon and Song, 1992), 암석지구화학적 연구(Eun, 1993; Koh, 1996), 퇴적학적 연구(Chun, 1987, 1989), 화산학적 연구(Cha *et al.*, 1987; Park *et al.*, 1994), 열수변질과 관련된 천열수 금광화작용(Kim *et al.*, 1993; Koh and Chang, 1996) 및 유리포유물 연구(Lee *et al.*, 2009) 등 다양한 분야에서 이루어져 왔다. 하지만 최근 탐광지구화

학 분야에서 흔하게 이루어지고 있는 다변수 통계처리 방법인 상관분석(correlation analysis), 요인분석(factor analysis) 및 군집분석(cluster analysis) 등을 이용하여 원래의 자료들 (raw variables) 대신 자료를 변형 혹은 축소해서 광화암이나 변질암의 지구화학적특성 해석을 시도한 사례는 보고된 바 없다.

따라서 본 연구에서는 모이산 광체와 서편 연장부 및 남서편에 위치한 대산 변질대에 대한 지질-광상조사를 실시하고, 금 광화암과 변질암의 체계적인 시료 채취를 통하여 지구화학분석을 수행하였다. 분석된 자료는 SPSS프로그램을 이용한 다변수 통계처리방법을 통하여 금광화대와 비광화대의 지구화학적 특성 차이를 비교함으로써 향후 이와 유사한 광상탐사에 대한 탐사지침으로 활용될 가능성을 제시하였다.

2. 연구방법

2.1. 시료채취

연구지역에 대한 지질-광상조사를 위하여 대산 변질대 지표시료 40개(Appendix I (a)), 모이산광상 지표시

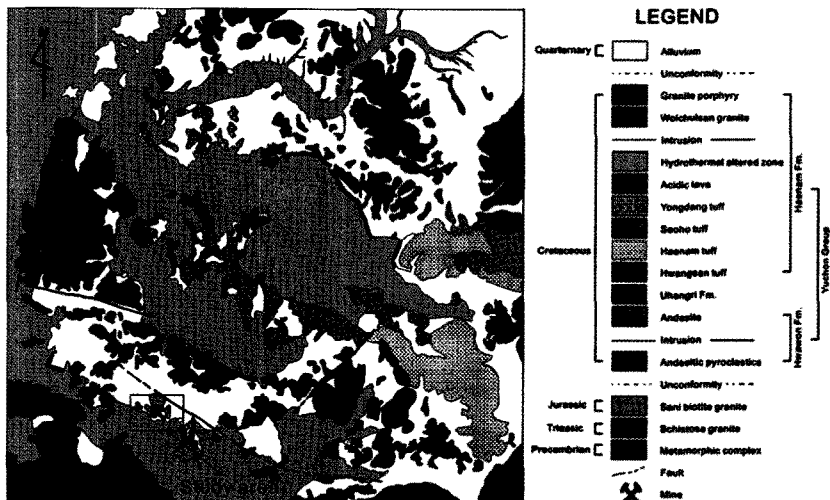


Fig. 1. Regional geologic map of the Haenam area (Koh, 1997).

료 43개(Appendix I (b)), 모이산광상 갱내시료 57개(Appendix I (c)) 등 총 140개의 모암을 포함하는 석영맥과 석영맥 주변 변질대 시료를 체계적으로 채취하였다. 대산 변질대에서는 각 변질암 별로 대표시료를 채취하였다. 모이산광상의 시료는 맥을 포함하는 복합 시료와 주변 규화변질암 시료를 구분하여 채취하였다.

2.2. 화학분석

채취한 141개 시료의 지구화학적분석은 캐나다 Activation Lab.에서 실시하였다. 전암분석을 통하여 주원소의 함량을 유도결합 플라즈마 질량분석기(ICP-MS)와 INAA (instrumental neutron activation analysis; As, Au, Se)를 이용하여 분석하였다.

2.3. 다변량통계분석

연구지역 내 화학적 성분들의 특성과 상관성을 평가하기 위하여 화학분석 결과를 이용한 다변량 통계분석(상관분석, 요인분석 및 군집분석)을 수행하였으며, 이에는 통계프로그램인 SPSS ver. 12를 사용하였다.

3. 연구목적

이 연구는 소위 화산호 천열수성 금 세맥군 광상으로 보고된(Koh *et al.*, 2009), 모이산광상의 금광석에 대한 지구화학적 특성 규명 및 해석을 위하여 인근에 위치한 금광화작용이 초래되지 않은 대산변질대의 변질암들과의 지구화학적 자료를 이용하여 금광화암과 비광화암

을 구별하는 지구화학적 지시자를 파악하여, 금광상탐사를 위한 지구화학적 지침을 마련하고자 시도되었다.

4. 지질 및 광상

4.1. 지질

4.1.1. 광역지질

해남 지역은 중생대 백악기말의 격렬한 화산활동으로 인해 형성된 화산지대로서 영동-광주 함몰대의 남서단에 위치한다. 이 지역은 기반암인 선캄브리아기 편암 및 편마암과 이를 관입하는 쥐라기 화강암과 기반암을 피복하는 백악기말 화산암 및 쇄설성 관련퇴적암으로 주로 구성된다(Fig. 1). 백악기 화산암류는 화원층과 해남층으로 구분된다. 화원층은 중성화산암, 해남층은 산성화산암으로 주로 구성된다. 화원층은 안산암과 안산암질 응회암으로 주로 구성되고 적갈색 실트암이 협재되는데 반해 상위의 해남층은 유문암-유문석영안산암-석영안산암 및 관련 응회암으로 주로 구성되며 하부에 호성퇴적층인 우항리 퇴적층으로 구성된다(Fig. 1). 연구지역인 황산면 부곡리 일대는 해남층에 해당하는 응회암류와 응회질 퇴적암류가 열수변질작용을 받은 열수변질대가 발달하며(Fig. 1), 이 지역 금광상은 열수변질대 내 특징적으로 배태된다(Koh, 1996).

4.1.2. 정밀지질

조사지역은 백악기 화산암층인 황산 응회암층으로 주로 구성된다. 황산응회암층은 용결응회암, 라필리 응

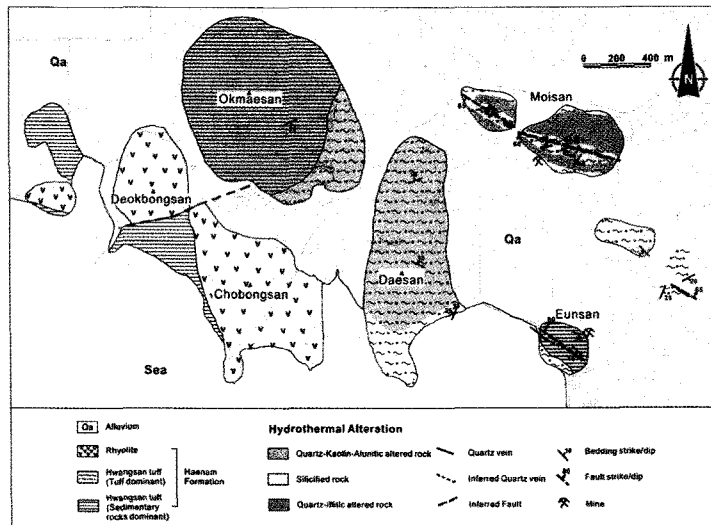


Fig. 2. Geologic map of the Eunsan, Moisan and Daesan alteration zones.

회암 및 화산각력암으로 구성되는 화산쇄설암이다(Koh, 1996). 금 광상이 분포하는 연구지역에는 황산 응회암층이 열수변질되어 형성된 여러 열수변질대가 분포한다. 이 지역은 금광상으로 개발되었던 은산 변질대, 현재 금광산으로 개발 중인 모이산 변질대와 금광상 부존 확인을 위해 탐사가 수행된 대산 변질대가 분포한다(Fig. 2). 세 변질대는 모암이 동일한 황산응회암층이지만 변질작용에서 다소 차별성을 나타낸다(Fig. 2).

모이산, 대산 및 은산 변질대에서 확인 한 바에 의하면 황산 응회암층에 속하는 용결 응회암과 라필리 응회암 내에 응회질 퇴적암류가 여러 매 협재되고 있음이 모이산 지역에서의 시추코어 및 야외 노두에서 확인되었다(Koh *et al.*, 2009). 황산응회암층은 산성암질 용결응회암 화산쇄설물과 호성 퇴적작용에 의해 형성된 응회질 퇴적암류가 교호한다. 이는 화산활동의 휴지기에 수차례의 퇴적작용이 동반됨을 의미한다. 세 변질대에서의 응회질 퇴적암류는 응회암과 함께 모두 열수변질되어 모암의 구성광물이나 조직이 변하였으나 일부 구간에서는 용결조직이나 층리가 잘 보이고 라필리 응회암의 조직이 잔존되어 있기도 하다.

4.2. 광상

4.2.1. 모이산광상

모이산광상은 서북서 방향의 대상으로 발달하는 규화변질대와 석영-일라이트 변질대로 구성된다. 규화변질대는 모이산 능선을 따라 평행하게 발달하며, 석영-일라이트 변질대는 규화 변질대 외곽부에서 이를 에워싸고 있다(Appendix I (b)). 규화변질대 내에는 합금·은 석영 세맥군이 배태한다(Appendix I (b)).

규화변질암은 다소 조립의 석영편들이 산재되어 분포하거나, 다결정질 집합체로 산출하고, 석영-세맥군이 특징적으로 발달하여 합금맥군을 형성시킨다(Koh *et al.*, 2009). 조립 석영보다 미세한 석영들이 압도적으로 우세하여 기질부를 이루며, 일부 규질암들은 소량의 일라이트가 집합체상으로 기질부를 형성한다.

모이산 광상의 변질작용은 석영-일라이트 변질 작용이 주되며, 이는 규화변질작용과 중성의 열수유체에 의한 변질작용의 결과이다.

일부 구간에서는 산성용액에 의해 초래된 산용탈(acid leaching)된 조직이나 다단계의 규화작용에 의해 형성된 규화각력암의 산출이 확인되기도 한다. 일부지역에서는 약한 변질에 의해 응회질 퇴적암의 조직이 잔존해 있기도 하다.

모이산 지표에서는 서북서 주향(N50-70°W)과 고각

(60-90°)의 남서 경사를 보이는 합금·은 석영맥이 여러 조 발달하며, 이에 사교하는 남북, 북서 및 동서 주향의 세맥들이 복합적으로 형성된 합금·은 석영 세맥군이 산상으로 특징된다(Koh *et al.*, 2009). 가장 우세한 방향이 서북서 방향으로서 모이산체의 발달양상과 동일한 패턴이다.

모이산 지표와 항내에서 관찰되는 합금·은 석영맥들은 단일맥, 평행세맥군, 방사세맥형, 사교형, 분기형 등 매우 다양한 산상으로 산출한다(Koh *et al.*, 2009).

합금·은 광물이나 황화광물은 석영맥을 따라 밴드형으로 침전이 초래되거나 맥 주변부에 농집되어 산출함이 일반적이나 공동을 충전하는 석영과 함께 침전되기도 한다. 특히 방연석은 열극을 충전하여 형성되기도 한다.

모이산 광상에서 산출되는 주요광석광물은 유백색 내지 회색 석영에 수반되는 황철석, 황동석, 섬아연석, 방연석, 반동석, 사면동석, 휘창연석, 텔루라이드광물(Telluride minerals)로 구성되며, 이차광물(Supergene)로는 코벨라이트(covellite), 적철석, 침철석(goethite)이 산출한다(Koh *et al.*, 2009). 합금·은 광석광물은 엘렉트럼(electrum; Ag, Au), 실바나이트(sylvanite; AuAgTe₄), 칼라버라이트(calaverite; AuTe₂) 및 스투트자이트(stuetzite; Ag₅xTe₃)등으로 다양하게 산출한다.

이 광상유형은 화산호 천열수성 석영맥군(Quartz vein swarm)광상에 속하는 것으로 해석되었으며, Sillitoe and Hedenquist (2003)에 의해 분류된 천열수광상 유형 중 중간형 (Intermediate type)과 유사한 것으로 보고되었다(Koh *et al.*, 2009).

4.2.2. 대산변질대

대산변질대는 남북 방향의 길다란 산체가 형성되어 있어, 서북서 방향의 모이산과는 지형적 형태에서 차별성을 나타낸다. 모암변질은 석영-명반석(-카올린대)과 석영-카올린대로 크게 분대된다(Appendix I (a)).

명반석은 작은 크기의 주상 내지는 엽편상 결정으로 산출하며 기질부에 산재되거나 공동을 채워 산출하며 고령토 역시 주로 기질부에 산재되고 공동을 채운다(Koh *et al.*, 2009). 부분적으로 산성용액에 의해 용해된 산용탈(acid-leaching)된 규화 변질암들이 흔히 관찰되며, 산용탈된 규화 변질암의 산출과 명반석, 카올린 등의 변질광물산출을 초래시킨 열수유체는 산성 열수유체에 의해 초래된 산성 열수변질작용의 결과로 해석된다. 이는 모이산의 중성 열수 변질 작용의 결과로 형성된 석영-일라이트 변질양상과는 명백한 차별성

을 나타낸다.

주로 모암은 퇴적암류인 엽편상 실트스톤이나 응회질 사암의 층리 조직이 잔존되어 관찰되며 라필리 응회암의 조직도 관찰된다. 대산의 정상부 남단과 동편 측면에는 망상세맥형의 황화변질대를 형성시키며, 황철석은 세맥으로 network을 형성하거나, 공동에 농집되어 산출한다. 그러나 이러한 황화대 내에 금광화작용은 흔재되어 있지 않음이 확인되었다(Koh *et al.*, 2009).

석결과를 Appendix II에 제시하였다.

연구지역 내 광화대와 비광화대의 지구화학적 구분을 위하여 금 함량이 100 ppb 미만인 시료는 비광화대에 속하는 것으로, 그 이상인 시료를 광화대에 속하는 것으로 임의로 구분하여 그들의 원소 함량분포를 규명하였다. 그리고 그러한 자료를 다변수 통계처리방법인 상관분석, 요인분석 및 군집분석 등을 이용하여 각 광화대 별 지구화학적 특성을 도출하였다.

5. 연구결과 및 토의

연구지역 금광화대에서 채취된 시료의 미량성분 분

5.1. 상관분석

비광화대와 광화대의 지구화학적 특성을 평가하기 위하여 수행된 상관분석은 Pearson's correlation matrices

Table 1. Correlation coefficient matrix of 17 elements in non-mineralized rocks in the Sunshin mine area.

	Au	Ag	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn	Ba	Bi	Cs	Fe	Sb	S	Se	Te
Au	1.000																
Ag	0.442	1.000															
As	0.012	-0.073	1.000														
Cd	0.029	0.009	-0.042	1.000													
Cu	0.419	0.010	0.182	0.322	1.000												
Mn	0.242	0.001	0.160	0.067	0.302	1.000											
Mo	0.269	0.059	0.099	-0.027	0.096	0.536	1.000										
Pb	0.089	0.037	0.046	0.981	0.380	0.117	0.022	1.000									
Zn	0.033	0.008	-0.046	0.996	0.321	0.072	-0.033	0.982	1.000								
Ba	0.091	0.009	-0.019	-0.035	-0.065	-0.029	0.200	-0.042	-0.037	1.000							
Bi	0.363	0.086	0.369	-0.038	0.411	0.348	0.245	0.066	-0.036	-0.071	1.000						
Cs	0.304	0.270	-0.148	0.213	0.304	0.136	0.146	0.228	0.237	0.003	0.098	1.000					
Fe	0.448	-0.014	0.457	0.024	0.571	0.410	0.314	0.126	0.031	0.104	0.712	0.184	1.000				
Sb	-0.393	-0.106	0.395	-0.113	-0.128	-0.101	-0.076	-0.102	-0.124	0.167	0.031	-0.385	0.116	1.000			
S	-0.220	-0.157	0.114	0.142	0.256	-0.180	-0.193	0.134	0.159	-0.169	-0.186	-0.097	-0.088	0.085	1.000		
Se	0.602	0.440	-0.143	0.056	0.492	0.150	0.160	0.072	0.064	-0.070	0.287	0.532	0.275	-0.410	-0.072	1.000	
Te	0.486	0.254	0.027	-0.032	0.224	0.321	0.390	0.043	-0.033	-0.059	0.361	0.401	0.341	-0.371	-0.362	0.611	1.000

Table 2. Correlation coefficient matrix of 17 elements in mineralized rocks in the Sunshin mine area.

	Au	Ag	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn	Ba	Bi	Cs	Fe	Sb	S	Se	Te
Au	1.000																
Ag	0.402	1.000															
As	0.047	0.251	1.000														
Cd	-0.053	0.008	0.018	1.000													
Cu	0.361	0.614	0.223	0.150	1.000												
Mn	-0.035	0.137	0.108	0.645	0.324	1.000											
Mo	0.615	0.176	-0.029	-0.065	0.254	-0.027	1.000										
Pb	0.190	0.014	0.171	0.592	0.159	0.535	0.197	1.000									
Zn	-0.078	0.012	-0.017	0.935	0.217	0.798	-0.052	0.622	1.000								
Ba	-0.016	-0.047	-0.080	-0.101	-0.134	-0.217	-0.003	-0.013	-0.102	1.000							
Bi	0.462	0.359	0.753	0.003	0.299	0.055	0.204	0.176	-0.024	-0.038	1.000						
Cs	-0.029	0.041	0.536	-0.043	0.031	0.197	-0.102	0.050	-0.084	-0.161	0.440	1.000					
Fe	-0.063	0.084	0.598	0.063	0.034	0.349	0.094	0.418	0.092	-0.120	0.364	0.466	1.000				
Sb	0.482	0.796	0.303	-0.026	0.687	0.076	0.237	-0.003	-0.037	0.003	0.462	0.074	0.020	1.000			
S	-0.033	0.103	0.511	0.440	0.216	0.665	0.032	0.465	0.487	-0.225	0.362	0.458	0.750	0.050	1.000		
Se	-0.065	0.174	0.289	0.214	0.349	0.466	0.089	0.547	0.345	-0.071	0.187	0.181	0.600	0.070	0.603	1.000	
Te	0.696	0.353	0.164	-0.019	0.536	-0.028	0.434	0.304	-0.057	0.001	0.352	0.024	0.065	0.529	0.029	0.191	1.000

를 적용하였으며 인자들 간의 선형 상관관계를 분석하였다(Kim *et al.*, 2007). 본 연구에서는 17개의 원소들 간의 상관계수를 비광화대와 광화대로 나누어 각각 Table 1과 Table 2에 나타내었다.

광화대와 비광화대의 상관분석 결과는 대체로 상이한 결과를 보이지만 공통적으로 Ag (비광화대 0.442, 광화대 0.402), Cu (비광화대 0.419, 광화대 0.361), Bi (비광화대 0.363, 광화대 0.462), Te (비광화대 0.486, 광화대 0.696) 등이 금과 높은 상관성을 보였다. 이러한 상관분석의 결과는 연구지역에서 수반되는 합금·은 광석광물인 엘렉트럼(Au,Ag), 실바나이트(AuAgTe₄), 칼라버라이트(AuTe₂) 및 스펀자이트(Ag_{5-x}Te₃) 등과 기타광석 광물인 황동석(CuFeS₂), 텔루로비스무타이트(Bi₂Te₃), 비스무시나이트(Bi₂S₃) 등의 산출과 잘 일치된 결과로 해석된다.

비광화대와 광화대에서 공통적으로 상관성을 가지는 원소 중 Mo은 비광화대에서는 0.269로 상대적으로 낮은 상관계수를 보이는 반면 광화대에서는 0.615로 비광화대의 그것에 비해 상대적으로 높은 상관계수를 보이는 것이 특징이다. 이러한 상관분석결과를 통하여 연구지역 내 Mo의 함량은 금광화작용에 의해 크게 지배되는 것으로 해석된다.

Mn (0.242), Cs (0.304), Fe (0.448), Se (0.602) 등의 원소들은 비광화대에서만 금과 정의 상관관계를 가지는 반면(Table 1), 광화대에서는 각각 Mn (-0.035), Cs (-0.029), Fe (-0.063), Se (-0.065) 등으로 금과 음의 상관관계를 보인다(Table 2). 반면 Sb은 광화대에서만 금과 높은 상관성을 보이며(0.482) (Table 2), 비광화대에서는 음의 상관성(-0.393)을 가진다(Table 1). 이러한 결과를 통하여 연구지역 내 Mn, Cs, Fe, Se 등의 원소들은 금광화작용 시 모암으로부터 용탈되는 원소로, Sb은 광화작용에 의해 금과 함께 부화되는 원소로 지시될 수 있다.

5.2. 요인분석

요인분석은 다변수로 구성된 자료에서 변수들의 상관계수를 이용하여 상관관계가 높은 일련의 요인군(factor)으로 묶어 자료를 단순화 할 수 있고, 자료 내 숨겨진 구조를 파악하는데 매우 유용한 통계방법이다(Joreskog *et al.*, 1976; Trilathi, 1979; Davis, 1986). 본 연구에서 요인추출 방법으로 주성분분석(principal component analysis)을 사용하여 요인분석을 실시하였다. Table 3과 Table 4에 요인들에 대한 요인 적재(factor loading)를 비광화대와 광화대로 각각 구분하여

Table 3. Factor loading for the five factors after rotation in non-mineralized rocks in the Sunshin mine area.

non-mineralized rock					
Sample No	1	2	3	4	5
Se	0.8756	0.0152	0.1312	0.0434	-0.1284
Au	0.7526	0.0042	0.2700	0.1663	0.1311
Ag	0.6428	-0.0284	-0.0210	-0.2101	0.3728
Cs	0.6394	0.2354	-0.0649	0.1308	-0.0626
Te	0.6328	-0.0752	0.1085	0.4899	-0.0342
Zn	0.0495	0.9912	-0.0239	-0.0131	-0.0270
Cd	0.0401	0.9899	-0.0238	-0.0099	-0.0145
Pb	0.0714	0.9790	0.0837	0.0294	-0.0119
Fe	0.2242	0.0445	0.8261	0.2913	0.0356
As	-0.2447	-0.0277	0.7480	-0.0100	0.0571
Bi	0.2508	-0.0587	0.7142	0.2815	-0.0394
Cu	0.3926	0.3531	0.5865	0.0099	-0.3257
Mo	0.0959	-0.0007	0.1474	0.7625	0.1794
Mn	0.0558	0.0950	0.2839	0.7619	-0.1216
Ba	-0.0380	0.0314	0.0314	0.0694	0.7708
S	-0.1957	0.1886	0.1688	-0.4819	-0.4761
Sb	-0.5614	-0.0852	0.4193	-0.2547	0.3822
variance%	25.1962	18.0901	13.4517	8.3771	6.7036
Eigenvalue	4.2834	3.0753	2.2868	1.4241	1.1396

Table 4. Factor loading for the five factors after rotation in mineralized rocks in the Sunshin mine area.

mineralized rocks					
Sample No	I	II	III	IV	V
Zn	0.9535	-0.0841	0.0558	-0.0907	-0.0441
Cd	0.8776	-0.0876	0.0514	-0.0789	-0.0450
Mn	0.8393	0.1877	0.1337	-0.0930	-0.2070
Pb	0.7496	0.2373	-0.1076	0.3723	0.1770
Se	0.5255	0.4941	0.0459	0.1137	0.1345
Fe	0.2497	0.8430	-0.1317	0.0823	0.0192
As	-0.0268	0.8406	0.2734	-0.0385	0.0439
Cs	-0.0767	0.7408	0.0281	-0.1205	-0.2271
S	0.5803	0.6896	0.0102	-0.0157	-0.1551
Bi	-0.0742	0.6588	0.3993	0.2809	0.0373
Sb	-0.0517	0.1046	0.9036	0.2210	0.0356
Ag	0.0222	0.1016	0.8640	0.1096	0.0032
Cu	0.2562	0.0586	0.7815	0.2337	-0.0931
Mo	0.0046	-0.0066	0.0273	0.8420	-0.0381
Au	-0.0711	-0.0205	0.3616	0.8225	-0.0458
Te	0.0198	0.0853	0.4145	0.7267	0.0785
Ba	-0.0981	-0.1013	-0.0151	-0.0319	0.9417
variance%	28.8154	20.3166	13.9499	8.1999	6.0211
Eigenvalue	4.8986	3.4538	2.3715	1.3940	1.0236

나타내었다. 이 때 요인 적재값은 고유값(eigenvalue)이 1 이상인 요인만을 대상으로 베리랙스 회전(varimax rotation)을 사용하여 회전시킨 후 나타내었다.

비광화대의 경우(Table 3), 요인1에서는 Se (0.8756), Au (0.7526), Ag (0.6428), Cs (0.6394), Te (0.6328) 등에 대하여 높은 양의 적재값을 보이고 총 분산의 25.1962%를 설명한다. 요인1에 대해서 높은 양의 적재값을 보이는 원소들은 Table 1에 제시된 것처럼 모두 금과 높은 관련성을 나타내는 원소들이다. 이러한 요인분석결과는 요인1이 금광화작용에 의하여 영향을 받고 있음을 지시하며, 결과적으로 Se, Ag, Cs, Te 등은 연구지역 내 금광화작용의 지시자로 활용될 수 있는 원소군으로 해석된다.

광화대의 경우(Table 4), 요인 IV에서 Mo (0.8420), Au (0.8225), Te (0.7267)등이 높은 양의 적재값을 보이며 이는 총 분산의 8.1999%를 설명한다. 요인 IV에 대해서 높은 양의 적재값을 보이는 원소들은 Table 2에 제시된 금과 관련성을 가지는 원소들 중 0.6이상의 상대적으로 높은 상관계수를 가지는 원소들임을 알 수 있다. 그 이하의 상관계수를 가지는 원소들 중 Sb (0.9036), Ag (0.8640), Cu (0.7815) 등은 총 분산의 13.9499%를 설명하는 요인III에 대하여 높은 양의 적재값을 보인다. 그러므로 요인분석 결과를 통하여 연구지역 내 광화대에서 금광화작용의 여부를 가장 강하게 지시해줄 수 있는 원소는 Mo과 Te 이며, 금과 함께 수반되는 은광화작용의 여부를 지시해줄 수 있는 원소는 Sb과 Cu 로 해석된다.

5.3. 군집분석

군집분석은 어떤 개체나 대상을 밀접한 상관관계 혹은 유사성(similarity) 그리고 거리(distance)에 의하여 비슷한 특성을 지닌 개체들을 군집(cluster)으로 집단화하는 다변수 통계처리방법이다(Hamm *et al.*, 2006). 군집분석은 복잡한 자료를 몇 개의 군집으로 묶을 수 있어서 자료의 해석에 매우 유익한 방법이다(Davis, 1986).

Fig. 3과 Fig. 4는 연구지역 내 원소의 거동을 확인하기 위하여 각각 비광화대와 광화대 별로 군집분석을 실시한 결과이다.

비광화대의 군집분석 결과 Cd-Zn-Pb-S, Bi-Fe-Cu-Mn, Se-Te-Au-Cs-Ag, As-Sb-Ba 등이 유사한 거동을 보여주는 원소군으로 나타나며(Fig. 3), 이러한 원소군은 비광화대 원소들에 대한 상관분석(Table 1)결과에서 높은 상관관계를 보임과 동시에 요인분석(Table 3) 결

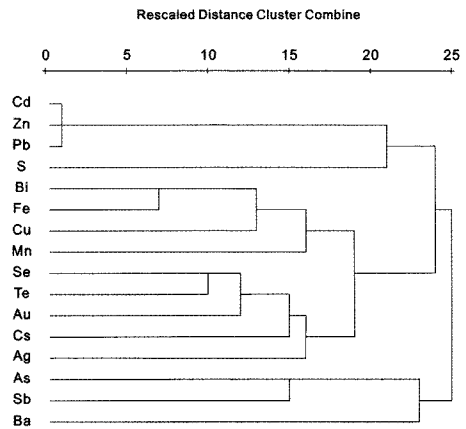


Fig. 3. Clustering elements using the absolute value of elements correlation coefficient in non-mineralized rocks in the Sunshin mine area.

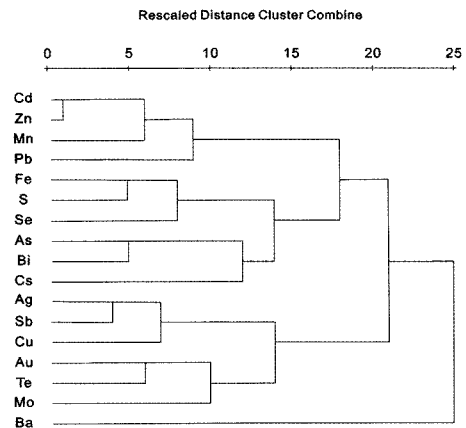


Fig. 4. Clustering elements using the absolute value of elements correlation coefficient in mineralized rocks in the Sunshin mine area.

과에서 같은 요인에 속하는 원소들끼리 군집을 이루고 있음을 알 수 있다.

한편 광화대의 군집분석 결과에서는 Cd-Zn-Mn-Pb, Fe-S-Se, As-Bi-Cs, Ag-Sb-Cu, Au-Te-Mo 등이 유사한 거동을 보여주는 것으로 나타났다(Fig. 4). 광화대 역시 비광화대의 경우와 마찬가지로 상관분석(Table 2)과 요인분석(Table 4)의 결과와 높은 유사성을 가지는 원소들끼리 유사한 거동을 보임을 알 수 있다.

이상과 같이 원소의 군집분석을 실시함으로써 연구지역 내 비광화대와 광화대에서 유사성을 가지는 원소들에 대한 정보를 획득할 수 있을 뿐만 아니라, 상관분석과 요인분석 등 다른 통계분석방법에 대한 검증 역시 가능할 것으로 판단된다.

6. 결 론

본 연구에서는 전남 해남군 모이산 금광상에서 지구 화학적 특성에 대한 연구를 통하여 비광화대와 광화대의 암석지구화학적 특징과 차이가 파악되었다.

본 연구결과를 종합하면 다음과 같다.

1. 비광화대와 광화대에서 동시에 금과 높은 상관관계를 가지는 원소는 Ag, Cu, Bi, Te 등이며, 이는 연구 지역에서 수반되는 함 금·은 광석광물들(엘렉트럼, 실바나이트, 칼라버라이트 및 스테자이트)과 기타광석광물들(황동석, 텔로로비스무타이트 및 비스무시나이트)의 산출과 일치된 결과로 인정된다. Mo은 비광화대(0.269)와 광화대(0.615)에서 모두 상관성을 보이지만 광화대에서 상대적으로 높은 상관계수를 가지므로 금광화작용에 의해 그 함량이 강하게 지배되고 있는 것으로 해석된다. Mn, Cs, Fe, Se 등은 비광화대에서는 금과 정의 상관관계를 가지지만 광화대에서는 음의 상관관계를 보이는 반면, Sb은 광화대에서 금과 높은 상관성을 보이지만 비광화대에서는 음의 상관관계를 가진다. 이를 통하여 Mn, Cs, Fe, Se 등의 원소들은 금광화작용 시 모암으로부터 용탈되는 원소군으로, Sb은 금과 함께 부화되는 원소로 지시될 수 있다.

2. 요인분석결과, 비광화대에서 금의 함량에 영향을 받는 요인군에 속하는 원소는 Se, Ag, Cs, Te 등으로 나타나며 이들은 연구지역 내 비광화대에서 금의 존재 여부를 알려줄 수 있는 원소로 해석될 수 있다. 반면 광화대에서는 Mo과 Te 등이 강하게 금광화작용의 여부를 지시해 주며, 금과 함께 수반되는 은광화작용의 여부를 지시해 줄 수 있는 원소는 Sb과 Cu 등으로 해석된다.

3. 군집분석 결과 비광화대에서 Cd-Zn-Pb-S, Bi-Fe-Cu-Mn, Se-Te-Au-Cs-Ag, As-Sb-Ba 등이 유사한 거동을 보이는 원소군으로 나타나는 반면, 광화대에서는 Cd-Zn-Mn-Pb, Fe-S-Se, As-Bi-Cs, Ag-Sb-Cu, Au-Te-Mo 등이 유사한 거동을 보여주는 원소군으로 나타난다. 또한 이러한 군집을 이루는 원소들은 상관분석과 요인분석에서도 높은 관련성을 보이므로 다른 통계 분석방법에 대한 검증에도 이용가능성이 있다.

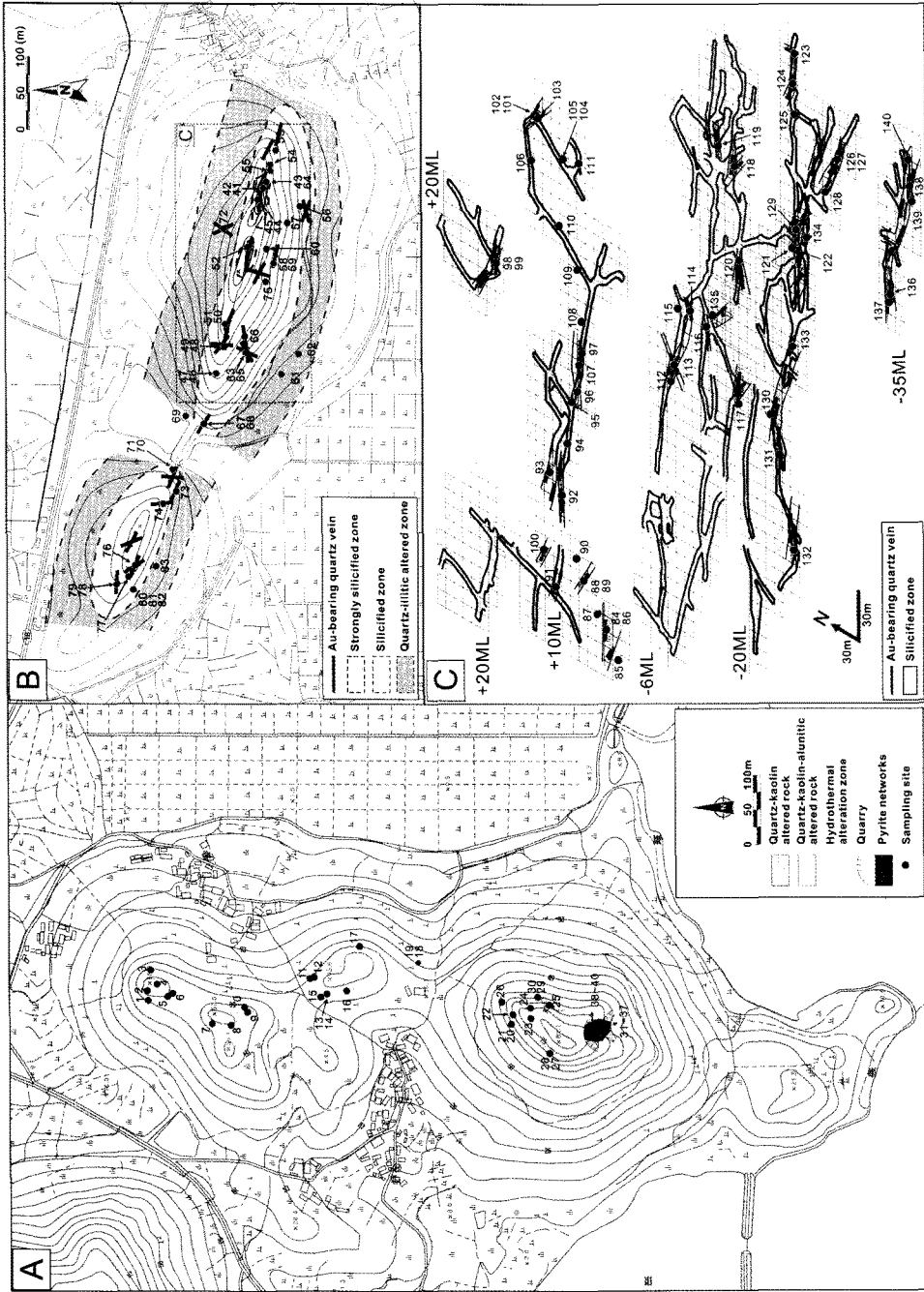
4. 이상과 같은 지구화학분석 자료의 다변수 통계처리(상관분석, 요인분석, 군집분석)를 통하여 금광화대와 비광화대의 산출광물의 거동 및 지구화학적 특성 차이의 비교가 가능하므로 추후 이러한 방법이 이와 유사한 유형의 광상탐사에 유용한 방법으로 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

사 사

본 연구는 한국지질자원연구원의 정부출연사업인 “해남 천열수 금광화대 및 열수변질 점토광화대 확보를 위한 전주기 기술개발(10-3216)” 과제의 일환으로 수행되었습니다.

참고문헌

- Eun, J.S. (1993) Geochemical study of the Cretaceous volcanic rocks in the Haenam area, Korea, M.Sc. Thesis, Seoul Nat'l Univ.
- Kim, I.J. (1991) Geochemistry of Hydrothermal alteration and clay deposits in the Haenam area, southwest Korea, Ph. D. Thesis, Univ. Tokyo, 169-219.
- Kim, J.H., Koh, S.M., Lee, D.J., Park, J.K., Hong, S.S., Chae, S.C., Lee, H.J., An, G.H. and Seo, H.J. (1993) Studies of volcanogenic epithermal mineralization and modeling (III), KR-92 (T), MOST, 25-49 (in Korean).
- Kinosaki, Y. (1929) Joseon geological map, Haenam and Usuyong 1:50,000 sheet, Geological survey of Jeonnam.
- Koh, S.M. (1996) Geochemical characteristics of the Cretaceous volcanic rocks and Bukok hydrothermal deposit in the Haenam volcanic field, Chollanamdo, Korea, M.Sc. Thesis, Seoul Nat'l Univ.
- Koh, S.M. and Chang, H.W. (1997) Geological and geochemical characteristics of the Bukok hydrothermal caly deposits in the Haenam area Korea. Resource Geology, 47, 29-40.
- Koh, S.M. and the others (2009) Technical development on the life cycle of the Haenam epithermal gold mineralized area and hydrothermal clay resources, KIGAM Research Report, GP2009-003-2009(1), 182p. (in Korean).
- Lee, D.S. and Lee, H.Y. (1976) Geological and geochemical study on the rock sequences containing oily materials in southwestern coast area of Korea, Jour. Korean Inst. Mining Geol., 9, 45-74 (in Korean).
- Lee, S.Y., Yang, K.H., Jeon, B.G., Bak, G., Koh, S.M. and Seo, J.R. (2009) Glass Inclusions in Quartz Phenocrysts of Tuff from Sunshin Au Mining Area, Hanam, Jeonnam, Jour. Petrol. Soc. Korea v.18, n.4, p.337-348 (in Korean).
- Moon, H.S., Kim, Y.H., Kim, J.H. and Yoo, J.H. (1990) K-Ar ages of alunite and sericite in altered rocks and volcanic rocks around the Haenam area, southwest Korea, Jour. Korean Inst. Mining Geol., 23, 131-145 (in Korean).
- Moon, H.S. and Song, Y.G. (1992) Mineralogy, distribution and origin of some pyrophyllite-dickite-alunite deposits in the Haenam area, southwest Korea, Jour. Korean Inst. Mining Geol., 25, 1, 41-50 (in Korean).
- Park, K.H., Choi, H.I., and A.J. Reedman (1994) Late Cretaceous volcanogenic breccias in the Haenam and Mokpo areas of southwest Korea; peperites in the Haenam and Mokpo areas, MOST, KR-94(B)-2, 1-35 (in Korean).
- Sillitoe, R.H. and Hedenquist, J.W. (2003) Linkage between volcanotectonic settings, ore-fluid compositions, and epithermal precious metal deposits. Society of Economic Geologists special publication 10, 315-343.



Appendix I. Location map of samples in the study area. (A) Sampled from Daesan alteration zone, (B) Sampled from Moisan surface Au-mineralized area, (C) Sampled from Moisan underground Au-mineralized area.

Appendix II. Chemical compositions of the analysed samples in the Sunshin mine areas.

#	element	Au	Ag	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn	Ba	Bi	Cs	Fe	Sb	S	Se	Te
	units	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm
1	09Daesan-8	2.5	0.1	13	0.25	7	45	3	18	4	79	0.26	0.025	1.6	11.2	0.504	0.05	0.05
2	09Daesan-9-2	2.5	0.2	26	0.25	2	3	4	262	3	33	0.32	0.025	0.33	11.5	1.435	0.05	0.05
3	09Daesan-10	2.5	0.4	45	0.25	0.5	1.5	3	103	2	1600	0.33	0.025	1.09	18.1	0.127	0.1	0.05
4	09Daesan-12	2.5	0.1	28	0.25	1	1.5	3	79	1	188	0.24	0.06	0.27	9.5	0.016	0.05	0.05
5	09Daesan-13	2.5	0.1	8	0.25	2	14	1	13	2	33	0.23	0.025	0.69	7.8	1.146	0.05	0.05
6	09Daesan-14	2.5	0.1	39	0.25	2	5	3	20	2	65	0.36	0.025	1.52	13.9	0.186	0.1	0.05
7	09Daesan-15	2.5	0.1	125	0.25	3	13	6	55	2	85	0.26	0.025	0.64	28.7	1.003	0.05	0.05
8	09Daesan-18	2.5	0.1	147	0.25	10	36	5	62	2	67	0.31	0.025	1.28	27	0.014	0.2	0.05
9	09Daesan-19	2.5	0.1	48	0.25	1	13	1	14	3	122	0.26	0.3	0.77	17.4	0.007	0.2	0.05
10	09Daesan-20	2.5	0.1	73	0.25	2	12	4	69	2	94	0.2	0.025	0.51	23.3	0.747	0.05	0.05
11	09Daesan-21	2.5	0.1	209	0.25	3	8	1	85	2	760	0.35	0.025	1.09	28.5	0.019	0.2	0.05
12	09Daesan-22	2.5	0.1	46	0.25	3	3	1	105	1	18	0.27	0.025	0.41	7.3	0.01	0.05	0.05
13	09Daesan-25-1	2.5	0.1	58	0.25	2	4	3	46	2	36	0.32	0.025	1.24	16.6	0.009	0.3	0.05
14	09Daesan-25-2	2.5	0.1	16	0.25	2	19	1	37	4	92	0.25	0.12	0.6	15.3	0.006	0.05	0.05
15	09Daesan-26	2.5	0.1	12	0.25	1	10	1	13	2	166	0.2	0.025	0.29	14.9	0.007	0.05	0.05
16	09Daesan-27	2.5	0.1	15	0.25	1	132	1	62	3	43	0.23	0.07	0.4	14.9	0.014	0.2	0.05
17	09Daesan-29	2.5	0.1	31	0.25	1	10	5	18	2	96	0.47	0.025	0.22	15.4	0.006	0.05	0.05
18	09Daesan-30-1	2.5	0.1	120	0.25	23	5	5	66	2	2000	0.75	0.025	1.77	48.3	0.043	0.6	0.05
19	09Daesan-30-2	2.5	0.1	19	0.25	3	13	4	2	2	25	0.46	0.1	0.33	14.9	0.003	0.05	0.05
20	09Daesan-31	2.5	0.1	19	0.25	1	7	2	17	0.5	46	0.36	0.025	0.31	5.6	1.707	0.05	0.05
21	09Daesan-32	2.5	0.1	23	0.25	5	21	7	20	1	51	0.32	0.06	0.7	11.3	1.302	0.3	0.1
22	09Daesan-33	2.5	0.1	20	0.25	2	1.5	4	30	3	56	0.7	0.025	1.08	10.4	1.628	0.3	0.05
23	09Daesan-34-2	2.5	0.1	11	0.25	0.5	9	1	23	0.5	60	0.74	0.025	0.92	8.6	1.459	0.05	0.05
24	09Daesan-35	2.5	0.1	12	0.25	7	60	13	22	0.5	75	0.25	0.025	1.05	8.8	0.92	0.3	0.05
25	09Daesan-36	2.5	0.1	25	0.25	5	55	1	15	0.5	68	0.3	0.025	1.07	7.9	0.775	0.1	0.05
26	09Daesan-37-2	2.5	0.1	35	0.25	1	7	1	15	0.5	74	0.36	0.025	0.72	10.5	0.7	0.05	0.05
27	09Daesan-39	2.5	0.1	26	0.25	0.5	6	1	63	5	148	0.27	0.07	0.35	8.8	0.012	0.1	0.05
28	09Daesan-39-1	2.5	0.1	10	0.25	0.5	4	4	49	2	99	0.24	0.025	0.23	4	0.134	0.05	0.05
29	09Daesan-41	2.5	0.1	34	0.25	2	6	8	27	6	60	0.44	0.025	0.81	12.4	1.131	0.05	0.05
30	09Daesan-42	2.5	0.3	209	0.25	3	1.5	4	70	0.5	62	1.12	0.025	2.08	45.5	0.984	0.2	0.05
31	09Daesan-44	7	0.1	318	0.25	4	7	9	122	7	69	0.28	0.06	1.48	27	1.341	0.3	0.05
32	09Daesan-45	2.5	0.1	156	0.25	2	9	8	212	5	36	0.36	0.07	0.93	15.1	1.565	0.4	0.1
33	09Daesan-47	2.5	0.1	197	0.25	3	19	5	123	8	44	0.28	0.025	0.37	17.1	1.187	0.3	0.05
34	09Daesan-48	2.5	0.1	952	0.25	3	17	3	78	4	45	0.33	0.07	1.27	13.8	1.11	0.3	0.05
35	09Daesan-49	95	2.1	93	0.25	56	22	8	124	5	36	6.55	0.47	2.03	5	0.131	7.9	8.2
36	09Daesan-51	2.5	0.1	20	0.25	1	10	4	110	5	51	0.35	0.025	0.21	6.3	1.133	0.3	0.2

Appendix II. Continued

#	element	Au	Ag	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn	Ba	Bi	Cs	Fe	Sb	S	Se	Te
	units	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm
37	09Daesan-52	2.5	0.1	29	0.25	1	10	3	29	3	52	0.3	0.05	0.51	8.3	1.052	0.05	0.05
38	09Daesan-54	2.5	0.1	100	0.25	1	14	2	122	4	39	0.43	0.06	0.5	13.8	1.37	0.3	0.05
39	09Daesan-55	2.5	0.1	41	0.25	1	1.5	3	177	5	48	0.41	0.025	0.34	12.1	0.986	0.05	0.05
40	09Daesan-58	2.5	0.1	37	0.25	2	5	4	160	1	53	0.52	0.025	0.25	8.9	0.948	0.2	0.05
41	09MOISAN-2	9050	81.8	15	0.25	11	34	21	1370	36	157	0.64	1.23	0.65	6.3	0.028	8.7	64.1
42	09MOISAN-3	36	3.9	21	0.25	5	21	7	158	0.5	25	0.38	0.84	0.75	4.4	0.008	2.3	25.1
43	09MOISAN-4	18	0.7	17	0.25	11	41	15	288	2	94	0.05	0.29	1.14	3	0.014	0.7	24.1
44	09MOISAN-6	106	41.4	7	0.25	4	22	1	101	1	1800	0.51	0.45	0.7	2.4	0.035	2.7	6.5
45	09MOISAN-7	2930	7.7	15	0.25	11	33	8	725	5	204	2	1.38	0.61	49.7	0.015	1.7	61.4
46	09MOISAN-9	16600	227	22	0.25	44	36	6	691	6	130	75.5	0.25	1.13	50.7	0.016	0.05	478
47	09MOISAN-10	36	5.3	34	0.25	13	22	6	189	1	29	1.37	1.24	0.71	6.1	0.005	5	27.3
48	09MOISAN-12	387	2.2	41	0.25	33	29	12	1150	10	262	3.9	0.37	1.17	36.5	0.038	3.6	>1000
49	09MOISAN-13	94	66.8	12	0.25	5	23	4	201	1	90	0.54	1.26	0.55	10.1	0.007	4.4	7.4
50	09MOISAN-15	4350	41.7	110	0.25	90	23	27	1040	9	760	3.3	0.29	1.86	228	0.032	22	161
51	09MOISAN-16	194	2.8	11	0.25	12	23	2	131	0.5	141	1.64	0.4	0.61	5.7	0.007	2.7	14.6
52	09MOISAN-18	27	0.3	19	0.25	3	36	6	232	6	35	0.17	0.23	0.56	1.8	0.006	0.5	3.9
53	09MOISAN-20	2.5	0.7	10	0.25	11	47	1	169	4	46	1.16	0.41	1.54	2.8	0.007	3.2	9.3
54	09MOISAN-21-1	55	1.4	26	0.25	12	24	8	232	2	83	0.89	0.75	1.29	2.5	0.007	2.2	13.9
55	09MOISAN-22	721	6.5	51	0.25	30	126	1	283	10	104	6.28	0.92	2.11	54.5	0.015	19	344
56	09MOISAN-28	10	0.6	6	0.25	17	59	1	40	4	35	0.29	0.59	1.36	0.6	0.006	2.1	5.4
57	09MOISAN-30	99	5.2	11	0.25	4	22	5	97	0.5	18	0.39	0.3	0.86	1.5	0.004	1.4	7.6
58	09MOISAN-31	36	0.6	5	0.25	2	20	1	18	1	35	0.19	0.32	0.76	0.9	0.003	1	8.6
59	09MOISAN-32	46	1	15	0.25	6	21	2	28	2	483	0.28	0.27	1.04	1	0.017	0.7	10.5
60	09MOISAN-33	707	1	8	0.25	4	8	1	103	2	56	7.83	0.4	0.75	1.1	0.005	1.6	23
61	09MOISAN-36	66	0.4	17	0.25	5	66	20	47	7	4180	0.16	0.67	1.57	2.5	0.044	0.3	2.4
62	09MOISAN-37	27	3	12	144	117	74	4	>5000	2900	24	0.21	1.53	1.15	0.9	1.208	2.1	2.9
63	09MOISAN-41	278	3.1	106	0.25	45	43	4	2750	20	173	5.46	0.44	3.07	84.4	0.056	3.3	420
64	09MOISAN-4-1	53	3.1	6	0.25	7	40	5	78	0.5	122	0.05	0.27	0.8	3.6	0.007	1.3	8.5
65	09MOISAN-42	133	4	29	0.25	13	21	29	235	2	41	0.23	0.58	0.85	13.3	0.005	4.2	292
66	09MOISAN-44	96	1.1	16	0.25	8	37	1	37	1	14	0.15	0.31	0.88	1.2	0.004	1.4	7.9
67	09MOISAN-46	167	29.4	42	0.25	39	45	4	55	2	18	0.16	0.51	1.3	2.9	0.005	0.05	7.7
68	09MOISAN-47	2.5	1.3	25	0.25	23	37	7	37	4	133	0.17	4.35	1.32	4.1	0.009	2.8	15.7
69	09MOISAN-48	140	0.7	19	0.25	9	24	2	60	2	21	0.1	0.26	1.17	1.8	0.005	5.1	11
70	09MOISAN-50	59	0.8	51	0.25	58	42	4	47	5	22	6.62	0.61	3.2	2.8	0.013	3.7	8.1
71	09MOISAN-51	310	0.6	49	0.25	17	39	6	60	9	13	0.16	0.54	1.67	3.2	0.007	1.3	9.5
72	09MOISAN-53	24	0.4	18	0.25	16	51	36	162	4	32	0.2	0.63	1.43	4.1	0.008	1.7	10.7

Appendix II. Continued

#	element	Au	Ag	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn	Ba	Bi	Cs	Fe	Sb	S	Se	Tc
	units	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm
73	09MOISAN-56	186	13.4	31	0.25	16	52	6	39	2	20	3.65	1.36	10.8	0.003	4.4	10.1	
74	09MOISAN-57	2.5	0.6	42	0.25	15	233	4	21	3	50	0.14	0.33	1.13	0.005	1.1	2.2	
75	09MOISAN-45	24	0.5	21	0.25	11	18	4	36	2	24	2.17	0.29	0.82	1.3	0.005	4.3	36.5
76	09MOISAN-60	2.5	1.6	79	0.25	15	32		51	3	385	0.19	1.95	1.06	0.014	3	4.8	
77	09MOISAN-63	36	14.4	70	0.25	22	57	6	74	3	15	10.1	0.26	1.9	0.008	3.8	13.7	
78	09MOISAN-64	2330	12.6	84	0.25	11	55	30	307	5	14	5.13	0.7	1.02	0.01	1.3	87.1	
79	09MOISAN-66	16	1.6	42	0.25	13	42	4	28	5	23	0.19	0.25	1.09	0.004	1.8	21.4	
80	09MOISAN-67	30	7.5	49	0.25	19	49	8	26	2	168	1.91	0.55	0.96	0.009	1.5	3.9	
81	09MOISAN-68-2	83	1.7	727	0.6	152	226	15	1060	11	64	14.8	0.18	5.25	0.048	0.05	25.5	
82	09MOISAN-68-3	45	1	108	0.25	42	486	34	71	5	39	3.82	0.54	1.79	0.009	2.9	21	
83	09MOISAN-69	15	0.2	37	0.25	37	25	9	12	12	15	8.99	1.56	1.44	0.006	1.8	4.6	
84	09Mo-Un-1	2500	219	306	0.25	140	62	31	>5000	39	247	15.7	1.33	8.77	0.107	42.7	550	
85	09Mo-Un-2	85	8.2	14	0.25	7	51	11	59	9	25	0.53	0.78	2.07	0.012	1.6	10.8	
86	09Mo-Un-3	169	2	461	19.5	17	126	1	351	157	4	0.36	2.49	5.77	4	6.984	1.2	0.8
87	09Mo-Un-4	17	0.6	5	0.25	10	87	1	122	13	61	0.11	1.1	0.74	0.012	1.1	2.3	
88	09Mo-Un-5	137	1.3	2	0.25	7	84	2	22	12	11	0.17	0.22	0.81	1.4	0.009	0.4	13.7
89	09Mo-Un-6	367	1.5	4	0.25	7	54	2	331	11	59	0.54	0.96	0.75	2.3	0.014	3.1	99.2
90	09Mo-Un-7	52	8.3	5	0.25	6	28	12	117	4	41	0.05	0.64	0.61	1.5	0.006	3.4	11.6
91	09Mo-Un-8	630	1.1	5	0.25	16	32	3	58	5	36	0.5	0.87	0.4	10.7	0.003	0.5	65.3
92	09Mo-Un-9	327	10.9	8	0.25	4	45	3	245	3	70	0.52	0.33	0.8	4.1	0.006	2.5	33.2
93	09Mo-Un-11	366	36.5	6	0.25	5	21	5	203	2	328	0.69	0.65	0.8	4.5	0.013	7.5	19.5
94	09Mo-Un-13	43	28.2	10	0.25	7	27	12	228	3	869	1.82	1.24	0.79	2.6	0.024	7.2	30
95	09Mo-Un-14	69	2.7	9	0.25	249	46	1	63	5	18	0.18	1.15	1.9	1.2	2.401	7.1	4.4
96	09Mo-Un-15	43	0.9	4	0.25	84	28	1	16	7	22	0.05	1	1.26	0.8	1.612	4.5	9.8
97	09Mo-Un-16	137	2.6	16	0.25	304	38	7	60	12	14	0.29	3.42	2.22	1.9	2.635	4.4	13.1
98	09Mo-Un-17	6420	23.3	7	0.25	20	50	22	1990	13	133	3.82	1.25	0.86	14.1	0.026	3.3	296
99	09Mo-Un-18	239	0.5	12	0.25	10	33	6	477	3	128	1.25	1.25	0.84	4.9	0.014	3.4	199
100	09Mo-Un-19	342	3	311	0.25	24	26	9	191	4	24	1.56	1.37	4.93	6	0.027	8.9	12.5
101	09Mo-Un-20	1970	74.5	28	326	5230	360	4	>5000	83500	0.5	0.88	0.46	1.93	13.3	6.989	53	160
102	09Mo-Un-21	1720	107	11	81.7	406	184	51	3670	22200	0.5	39.9	1.27	10.8	6.2	12	54.6	100
103	09Mo-Un-22	31	2.1	1	0.8	10	63	1	443	268	8	1.11	1.79	1.41	0.7	1.516	2.4	4.5
104	09Mo-Un-23	117	32.5	13	0.25	14	40	9	451	42	138	0.94	1.17	0.73	3	0.029	4.1	11.2
105	09Mo-Un-23-1	>30000	2120	377	8.7	9860	100	46	220	1110	60	392	1.16	0.96	0.863	0.05	>1000	
106	09Mo-Un-24	111	0.8	44	0.25	53	109	12	336	15	116	0.49	1.23	2.2	3.4	0.03	3.2	22.3
107	09Mo-Un-25	253	3	13	0.25	12	27	4	283	5	53	0.69	1.19	0.89	4.3	0.012	4.3	40.7

Appendix II. Continued

#	element	Au	Ag	As	Cd	Cu	Mn	Mo	Pb	Zn	Ba	Bi	Cs	Fe	Sb	S	Se	Te
	units	ppb	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	ppm	%	ppm	%	ppm	ppm
108	09Mo-Un-26	279	2.1	15	0.25	16	18	59	79	8	177	1.88	0.57	1.07	3.7	0.018	6.2	56.9
109	09Mo-Un-27	464	10.6	8	0.25	55	42	1	75	8	25	2.63	0.34	1.35	2.1	1.159	3.5	7.2
110	09Mo-Un-28	206	3.5	11	0.25	15	27	8	300	9	131	0.42	0.47	0.63	2.2	0.018	1.4	2.7
111	09Mo-Un-29	241	5.8	5	0.25	9	22	4	180	8	107	1.1	0.51	0.9	2.7	0.009	7.4	10.6
112	09Mo-Un-30	>30000	64.8	13	0.5	1880	42	142	633	29	40	262	0.9	1.07	14.2	1.121	0.05	395
113	09Mo-Un-31	6130	20.7	18	0.25	228	45	18	291	106	12	6.94	3.39	1.4	8.3	1.608	4.2	94.1
114	09Mo-Un-32	>30000	81	45	0.25	59	24	62	>5000	19	377	333	1.53	2.18	67.6	0.217	0.05	>1000
115	09Mo-Un-33	447	2.9	4	0.25	39	48	3	72	7	31	0.6	1.35	1.5	1.8	1.448	2.1	38.8
116	09Mo-Un-34	723	8	13	0.25	230	63	1	85	25	27	1.41	0.56	1.56	2.3	1.601	2.3	22.9
117	09Mo-Un-35	785	7.2	65	0.25	10	31	2	169	7	63	2.09	1.86	2.14	5.5	0.013	8.2	51.3
118	09Mo-Un-36	>30000	64.6	21	8.1	2090	61	25	772	387	32	17.2	0.75	1.03	75.2	0.776	0.05	>1000
119	09Mo-Un-37	513	11.7	86	0.25	144	65	8	100	11	17	1.77	1.84	1.86	3.9	1.576	3.3	56.5
120	09Mo-Un-38	>30000	80.2	48	0.25	17	39	6	1380	22	118	580	0.69	0.47	300	0.02	2.2	506
121	09Mo-Un-40	1940	93.2	7	9.9	9750	58	3	>5000	1850	14	17.6	0.31	1.12	5.7	1.229	7.4	180
122	09Mo-Un-41	202	17	4	1.3	90	40	5	283	324	70	0.97	1.15	0.57	2.4	0.374	1.2	11.6
123	09Mo-Un-42	253	2.6	10	3.3	61	22	4	1090	457	9	2.58	2.38	1.59	4.7	2.065	4.9	11.1
124	09Mo-Un-43	28200	70.1	42	0.5	1260	73	54	1680	46	14	106	0.3	2.46	131	1.909	0.05	577
125	09Mo-Un-44	927	40.4	21	10.4	8650	56	14	1530	1940	30	30.7	0.63	0.89	19.5	0.792	16	444
126	09Mo-Un-45	2960	123	1120	1.2	509	64	6	3190	81	4	61.4	1.77	5.44	53.5	5.049	8.7	133
127	09Mo-Un-46	7050	473	2260	48.3	3190	91	6	2110	4230	1	>1000	6.72	9.68	368	10.49	43	521
128	09Mo-Un-47	5000	77.1	29	1.7	873	55	7	113	317	28	2.24	1.57	1.89	4.7	0.619	6.5	97.9
129	09Mo-Un-48	9430	1260	6	12.4	2060	67	11	275	4000	22	5.68	0.36	1.57	6.2	1.547	37.7	76.9
130	09Mo-Un-49	7780	93.7	239	1.6	5970	49	47	999	509	24	22.8	0.96	1.11	534	1.242	40.2	>1000
131	09Mo-Un-50	1210	80.5	26	2.7	1650	76	8	1010	686	5	19.4	2.69	4.08	26	4.825	37.7	255
132	09Mo-Un-51	20500	89.9	27	71.8	2330	34	16	2590	347	13	17	2.36	2.23	45.9	2.941	34.4	>1000
133	09Mo-Un-52	676	55.7	54	647	596	186	4	>5000	80800	0.5	6.57	0.69	1.26	18	5.692	0.05	71.6
134	09Mo-Un-53	122	0.7	8	0.8	9	45	3	268	27	50	1.15	1.33	0.62	4	0.014	1.7	24.5
135	09Mo-Un-54	351	52.2	16	79.7	263	119	13	>5000	14000	13	26.9	1.39	2.44	9.8	3.751	41	28
136	09Mo-Un-55-1	14800	53.4	7	12.2	368	43	22	479	1100	62	26.2	1.09	0.81	15.4	0.534	6.9	258
137	09Mo-Un-55-2	157	6.7	35	0.8	17	173	1	241	372	18	0.63	6.94	3.35	3.3	3.133	1.3	6.4
138	09Mo-Un-56	5310	191	17	28.2	915	63	13	176	4510	16	12.2	0.73	1.77	11.2	2.083	0.05	213
139	09Mo-Un-57	460	20.6	12	0.25	12	50	1	67	61	66	25.9	0.71	0.74	6.8	0.018	2.3	17.2
140	09Mo-Un-58	2140	39.5	30	6.6	853	67	6	901	1660	6	10.2	0.89	4.49	23	4.652	17.4	133

#1~40; Sampled from the Daesan alteration zone,
 #41~83; Sampled from the Moisan surface Au-mineralized area.
 #84~140; Sampled from the Moisan underground Au-mineralized area.