

## 금-은 고용체의 광물학적 특성연구

### Characterization of Some Mineralogical Parameters of the Au-Ag Alloys

김원사(Won-Sa Kim)\* · 조항선(Hang-Sun Cho)\* · 김수진(Soo Jin Kim)\*\*

충남대학교 지질학과

(\*Department of Geology, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

서울대학교 지질학과

(\*\*Department of Geological Sciences, Seoul National University, Seoul 151-742, Korea)

**요약** : 전자현미분석외에 금-은고용체의 금 또는 은 성분을 결정할 수 있는 간편하고도 신뢰성 높은 측정법 개발은 응용 광물학자들에게 오랜 연구과제가 되어 왔다. 이를 달성하기 위한 방법으로 정량적으로 측정할 수 있는 단위포 상수, 반사도, 비중, 미경도 측정연구를 실시하였다. 이 실험을 위해 순수한 원소 금과 은을 5 at.%간격으로 혼합하여 시료를 제작한 후 석영관을 사용하여 진공하에서 밀봉하였다. 고온에서 가열하여 용융시킨 후 서냉하여 얻어진 반응물을 각종 현미경, X선 회절분석기, 전자현미분석기, 반사도측정기, 비중저울, 미경도측정기를 사용하여 분석하였다.

직경이 114.6 nm인 Debye-Scherrer 카메라를 사용해 얻은 X선분말회절자료로 계산한 단위포 상수의 크기는 은함량이 증가함에 따라 일정하게 증가한다. 반사도 측정에는 480nm와 546nm 두 파장을 사용하였는데 두 파장 모두에 대해 은 함량이 증가할 수록 반사도가 증가한다. 또한 480nm를 사용했을 때의 반사도 변화가 현저하므로 유용하다. 비중은 은 함량이 증가할 수록 오히려 일정하게 감소한다. 한편, 25g과 50g추를 사용하여 측정한 미경도 값은 금-은고용체내의 성분변화에 관계없이 불규칙하게 변하며 어떤 경향을 나타내지 않는다.

**ABSTRACT** : Development of simple but reliable methods, besides electron-probe microanalysis, by which the Ag-content of Au-Ag alloys can be determined has been of interest among the applied mineralogists. As a first step to meet this goal, quantitative mineralogical parameters such as cell constant, reflectivity, specific gravity and micro-indentation hardness have been measured for the synthetic Au-Ag alloys prepared at appr. 5 at.% intervals, using the conventional sealed-capsule technique.

Chemical composition of the reactants, determined by electron microprobe analyser, reveals that they are the same as those of mixtures and suggest homogeneous solid solutions may result free from probable exsolution. The unit-cell parameter for each alloy has been refined by a least-squares method, using X-ray powder diffraction data taken with a 114.6mm Debye-Scherrer camera. The cell constants gradually become larger as Ag-content increases. The reflectivities of the Au-Ag alloys have been measured for two wavelengths 480 and 546nm, using spec. pure platinum as a standard. The range and mean values have been determined after 20 measurements for each specimen. It is suggested that use of 480nm is preferable for the reasons that the range between R values for silver and gold at this wavelength is more than twice that at 546nm and that R values are more sensitive to the composition of alloys. Specific gravity measurements also illustrate gradual changes with Ag-content. However, Vickers hardness numbers determined using 25 and 50gf are so variable regardless of the composition that no apparent trend is seen

서 언

금과 은은 우리나라의 대표적인 주요 금속자원중의 하나이며 이들 금속광물자원 확보를 위한 탐광 노력은 과거 어느 때보다 높다. 이와 같은 지질·광업계 추이는 비단 우리나라에서 뿐만 아니라 선진외국을 포함한 전세계적인 현상이라 할 수 있다.

천연에서 금과 은 산출형태는 크게 3가지로 구분될 수 있다. 즉, (1) 원소광물(자연 금, 자연 은) 또는 금-은 고용체(소위 electrum), (2) Te, Bi, Sb, Hg, S 등 과의 화합물(예: calaverite, aramayoite, acanthite 등), (3) 타 광물내에 미량으로 존재(예: 황철석, 황동석, 방연석등)하는 것 등이다. 이 중 우리나라에서 산출되는 가장 일반적인 금, 은 산출형태는 자연금, 자연은, 또는 일렉트럼으로 주로 열수충진 석명맥내에 산출한다.

금-은 고용체에 관한 광물학적, 결정학적, 금속학적 연구자료는 합성 금-은 고용체를 많이 사용하는 의료, 전자, 화학 산업분야에 유용하게 쓰일 뿐만 아니라 광상성인 연구 및 선광과정에도 긴요히 사용되고 있다(Shikazono, 1986; Kaneda et al., 1984)

금과 은의 일부 물리·화학적 성질은 Table 1과 같다. 금-은 이성분계 상변태도 (Fig. 1)로부터 금과 은은 모든 성분비에 대해 완전고용체를 형성함을 알 수 있으나 45-55 at.% Au 영역에서 고온의 완전고용체가 약 50°C 이하에서 용리가 일어날 수 있음을 제시한다(Hansen and Anderko, 1958). 지금까지의 금-은 고용체에 대한 광물학적 연구로는, 100-50 at.% Au 범위에서의

금(또는 은) 성분비에 따른 금-은 고용체의 반사도 변화 연구(Eales, 1967)와 500°C 온도범위내에서의 원소 금에 대한 반사도 변화에 관한 연구(Beran, 1985)가 있다.

본 연구에서는 금-은고용체를 실험적으로 합성하여 이를 대상으로 정량적으로 측정가능한 광물학적 특성을 규명하는 것을 연구목적으로 하였다.

연구 방법

시료준비 및 가열실험

고순도(99.9%)의 원소 금과 은을 원료물질로 사용하여 이들을 0.01mg까지 측정가능한 정밀 전자화학저울을 이용하여 5 at.% 간격으로 원료물질을 측정하여 고순도 석영관내에 넣고 진공하에서 밀봉하였다. 원료물질이 고가인 점을 고려하여 시료의 전체무게가 약 100-150mg이 되도록 하였다.

시료를 담은 석영유리관을 전기고온로에 넣고 1100°C에서 약 1시간동안 가열한 후 45-55 at.% Au(Fig. 1) 영역에 표시된 용리가능성을 확인하고자 하루에 걸쳐 서냉시켰다. 또한, 서냉한 금-은 고용체와 어떤 차이가 있는지를 확인하기 위해 일부 성분시료 반응물을 추가로 제작하여 동일한온도에서 가열한 후 급냉시켰다.

Table 1. Properties of pure gold and silver(Mason and Berry, 1968).

	Gold(Au)	Silver(Ag)
Color	Yellow	White
Birefractance	Not observed	Not observed
Micro-indentation hardness	VHN=41-94	VHN=46-118
Symmetry, Point groups	Isometric, 4/m $\bar{3}$ 2/m	Isometric, 4/m $\bar{3}$ 2/m
Space group	Fm3m	Fm3m
Cell parameter(A)	a=4.0789	a=4.0862
Density	19.3	10.5
Melting temperature(°C)	1063	960
Reflectance(%)	66(at 550 nm) 35(at 470 nm)	90-95

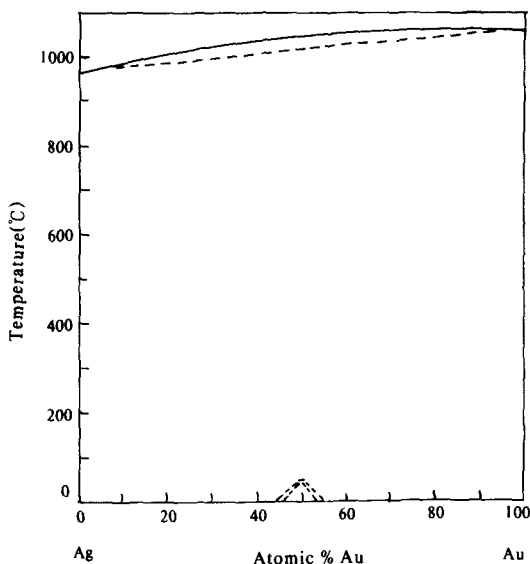


Fig. 1. The binary system Au-Ag(Hansen and Anderko, 1958).

### 현미경 연구

금-은반응물에 대한 현미경적 연구를 위해 Leitz사 SM-Lux 반사현미경과 Akashi사 Alpha-30A와 JEOL사 JSM-840A 주사전자현미경을 사용하였다.

### 화학성분 분석

반응물의 화학성분은 JEOL Super probe 733과 Cambridge MK5 전자현미분석기를 사용하여 25kV, 50mA 조건하에서 분석하였다. 이때 고순도의 원소 금과 은, 합성 금-은고용체를 표준시편(standard)으로 사용하였다.

### X선 회절분석

금, 은 성분비에 따른 격자면 거리와 단위포 크기의 변화를 규명하기 위해 X선 회절분석을 실시하였다. 금-은고용체는 연성을 나타내므로 줄(file)을 사용하여 분말을 만든 다음 이 중 약 10-30mg을 X선 회절분말촬영용 114.6nm Debye-Scherrer 카메라에 세팅하여 촬영하였다. 이 때 사용한 X선은  $CoK\alpha$ 이며, 분석조건은 30kV, 20mA, 노출시간은 약 5-7시간으로 하였다. 이로 부터 얻은 X선 회절분말자료를 사용하여 최소승법으로 단위포 격자상수를 계산하였다.

### 반사도 측정

반사도측정을 위해 Ernst Leitz Wetzlar MPV2 Microphotometer를 사용하였으며 표준시편으로는 SiC가 갖추어지지 않은 관계로 99.999% 순도를 가지는 원소 백금(R=70.3%)을 표준시편으로 제작하여 사용하였다. 본 실험에 사용한 파장은 546nm와 480nm이며 공기중에서 측정하였다. 반사도는 연마상태나 측정시의 저압차이에 의해서도 상이한 값을 나타내므로 시료당 최소 20여점을 측정한 후 이들 평균값을 반사도로 사용하였다.

### 미경도 측정

미경도는 Akashi사 MVK-E 미경도측정기를 사용하여 Vickers 미경도값을 계산하였다. 측정에 소요된 총 시간은 25초로 하였으며 25g과 50g 하중을 사용하였다.

### 비중 측정

Satorius 정밀화학저울과 비중측정 보조장치를 사용하여 정수법원리로 비중을 측정하였다.

### 실험 결과

#### 현미경적 연구

금-은고용체 반응물 표면에 대한 주사전자현미경 사진은 Fig. 2와 같다. 원소 금과 은은 완전히 용융되었다가 서서히 냉각되어 결정핵을 중심으로 성장한 다결정집합체로 이루어져 있음을 알 수 있다. 결정들 사이에는 미세한 틈이 존재해 있음을 알 수 있는데 이 현상은 금-은 고용체의 연마면을 주사전자 현미경으로 관찰하여도 확인된다(Fig. 3).

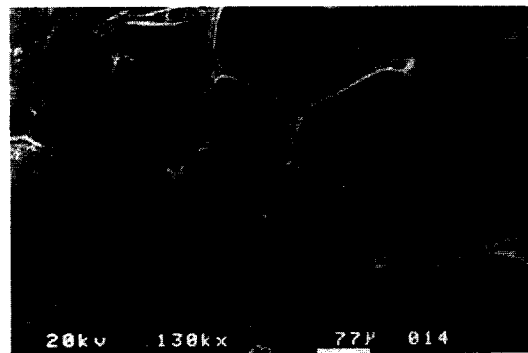


Fig. 2. SEM micrograph showing outer surface of polycrystalline Au-Ag alloy (69.8 at.% Au).

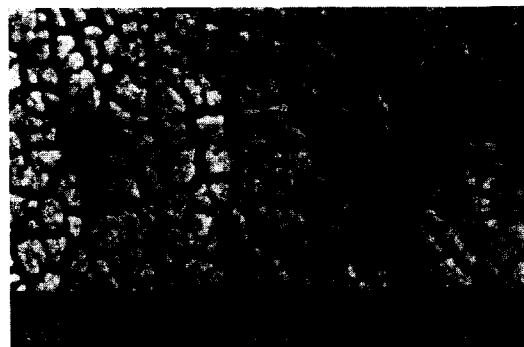


Fig. 3. SEM micrograph illustrating texture of a polished surface of Au-Ag alloy (51.0 at.% Au).

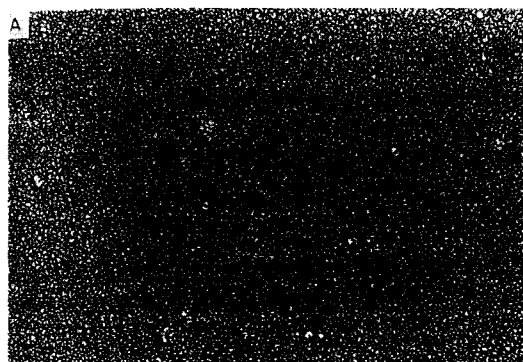


Fig. 4. Back-scattered electron image for a polished surface of Au-Ag alloy (65.9 at.% Au).

연마편 제작시 이 미세한 틈사이에 연마제가 들어 가면 화학분석시 상당한 영향을 미치므로 세심한 주의가 필요하다. 금-은고용체에 대한 Back-scattered Electron Image 분석에 의하면 반응물내에서 금, 은 원자가 균질하게 분포하고 있음을 알 수 있다(Fig. 4). 반사현미경을 통한 연마면 관찰에 의해서도 복반사가 관찰되지 않았다.

#### 화학성분 분석

저울을 사용하여 계산된 반응전 혼합시료에 대한 화학성분자료와 반응물에 대한 전자현미분석 결과는 반응전과 후의 화학성분이 잘 일치함을 알 수 있다(Table 2). 특히, 상변태도(Fig. 1)의 45-55 at.% Au 영역에서 제기되었던 용리현상 가능성은 본 실험에서 제작된 고용체내에서는 확인되지 않았다.

#### X선 회절분석

원소 금과 은, 그리고 5at.% 성분 간격으로 합성한 금-은고용체를 Debye-Scherrer카메라를 이용하여 촬영한 X선 회절분말 양상은 Fig. 5와 같다. X선 회절 사진중 Fig. 5.5(81.1 at.% Au)와 5.6(75.9 at.% Au)에는 다른 고용체에서는 발견되지 않는 수개의 X선 회절선이 발견된다. 이 회절선들이 금-은고용체내에서의 금과 은 원자의 질서(ordering), 혹은 super structure에 의한 결과인지를 규명하기 위해서 단위포 상수값을 정수배로 증가시키면서 등축정계 격자지수로 설명될 수 있는 지를 시도해 보았으나 이들을 지수화

Table 2. Compositions of Au-Ag alloys prepared in this study.

Run no.	Bulk composition(at.%)		Run products(at.%)	
	Au	Ag	Au	Ag
2	95.1	4.9	95.1	4.9
3	90.0	10.0	89.8	10.2
4	85.1	14.9	85.3	14.7
5	80.5	19.5	81.1	18.9
6	75.6	24.4	75.9	24.1
7	70.0	30.0	69.8	30.2
8	65.4	34.6	65.9	34.1
9	60.0	40.0	59.3	40.7
10	54.8	45.2	54.6	45.4
11	50.6	49.4	51.0	49.0
12	45.2	54.8	45.7	54.3
13	40.0	60.0	39.5	60.5
14	34.8	65.2	34.4	65.6
15	30.8	69.2	31.0	69.0
16	26.0	74.0	36.2	73.8
17	19.9	80.1	19.7	80.3
18	14.6	85.4	14.5	85.5
19	10.6	89.4	11.0	89.0
20	5.1	94.9	5.3	94.7

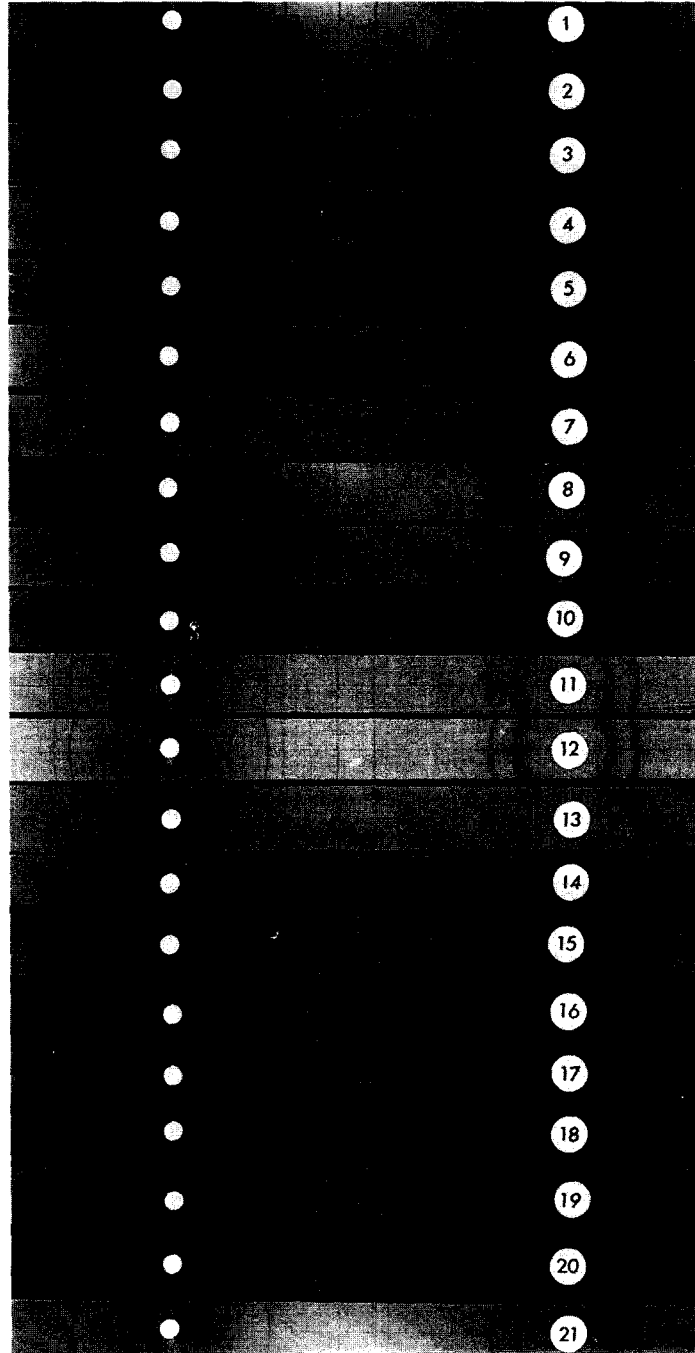
Compositions of run products are determined by a JEOL electron microprobe analyser.

(indexing)할 수 없었다. 따라서 이들 회절선의 존재에 대해서는 계속연구가 필요하다.

본 실험에서 얻은 원소 금, 은, 그리고 금-은 고용체의 X선회절자료와 이를 이용하여 계산된 단위포 상수값을 Table 3에 나타내었다. 격자상수 계산과정에서 등축정계 Fm3m 구조로 지수화할 수 없는 일부 X선 회절선(Figs. 5.5와 5.6)은 제외하였다. 본 실험에서 계산한 원소 금과 은의 격자상수(a) 4.071과 4.085는 Table 1의 4.0789와 4.0862와 각각 잘 일치함을 알 수 있다. 고용체내의 은함량이 많아 질수록 단위포상수(a)가 거의 일정하게 증가함을 알 수 있다(Table 3, Fig. 6).

#### 반사도

금, 은, 금-은고용체에 대한 반사도 측정값은 Table 4에 나타내었으며 이를 다시 Fig. 7에 도시화 하였다. 금의 반사도범위(R%)는 480nm와



**Fig. 5.** X-ray powder diffraction patterns for Au-Ag series alloys. 114.6mm diameter Debye-Scherrer camera and  $\text{CoK}\alpha$  radiation used. Compositions(at.% Au): 1 (100.0); 2 (95.1); 3 (89.8); 4 (85.3); 5 (81.1); 6 (75.9); 7 (69.8); 8 (65.9); 9 (59.3); 10 (54.6); 11 (51.0); 12 (45.7); 13 (39.5); 14 (34.4); 15 (31.0); 16 (26.2); 17 (19.7); 18 (14.5); 19 (11.0); 20 (5.3); 21 (0.0).

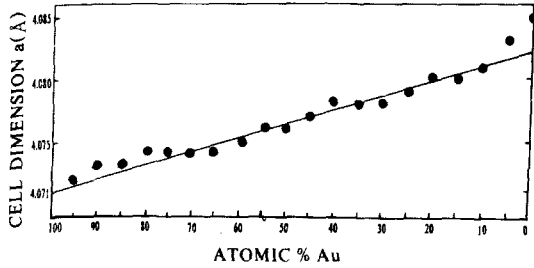


Fig. 6. Unit-cell dimension of Au-Ag alloys.

546nm에 대해 각각 29.5-31.3과 62.1-64.9로 Table 1에 기재된 35(470nm)와 66(550nm)보다 작으며 은의 경우도 마찬가지이다. 일반적으로 금-은 고용체내의 은함량이 증가함에 따라 480nm, 546nm 두 파장 모두에 대해 반사도가 증가함을 알 수 있다. 특히 546nm파장보다 480nm의 경우 성분에 따른 반사도변화가 현저함을 알 수 있다. 따라서 금-은고용체의 화학성분을 측정할때 480nm파장을 쓰는 것이 효과적임을 알 수 있다.

미경도

Vickers 미경도 값은 25g과 50g하중에서 실시하였으며 그 결과 Table 5에 정리하였다. 본 연구중에 측정한 금과 은의 미경도값 범위는 25g과 50g에 대해 각각 41.1-46.6, 41.5-51.8과 89.2-98.9, 80.0-103.0으로 이는 Table 1의 41-94와 46-118에 비교하여 좁은 범위를 나타낸다. 동일한 자료를 그래프로 표시해 보면(Fig. 8) 미경도값은 금-은고용체의 성분변화에 따라 일정한 변화양상을 나타내지 않고 불규칙하게 변함을 알 수 있다.

비중

본 연구에서 측정한 비중값은 Table 6과 같다. 원소 금과 은의 비중은 각각 20.00과 10.44로 Table 1의 19.3과 10.5과 비교하면 금의 비중이 다소 큼을 알 수 있다. 본 연구중 얻어진 금의 단위포크기(a=4.071Å)로 부터 계산된 이론 비중치는 19.38이다. 따라서, 본 연구에서 얻어진 실측 비중치(20.00)는 측정시 사용된 시료가 작기(660mg)때문에 생긴 결과로 생각된다.

동일한 측정자료(Table 6)를 그래프로 표시한 Fig. 9로부터 금-은고용체의 비중은 은의 함량이 증가하면 비중 역시 거의 일정하게 감소함을 알 수 있다.

토의 및 결론

Back-scattered electron image결과와 연마면에 대한 반사현미경적 연구, 전자현미분석법에 의한 화학성분 자료는 모두 본 실험연구중 합성된 금-은고용체가 화학적으로 균질한 다결정 집합체를 의미한다. 따라서 금과 은이 모든 성분비로 완전한 고용체를 형성한다는 Hansen and Anderko(1985)의 금-은 이성분계 상변태도가 신빙성 있음을 확인할 수 있다. 그러나 45-55 at.% Au 영역내에 속하는 혼합시료를 가열한 후 서냉시킨 반응물이 원래의 성분을 나타내는 점으로 미루어 보아 상변태도(Fig. 1)내에 점선으로 그려진 용리곡선은 그 존재 가능성이 없는 것으로 여겨진다.

한편, 80 at.% Au와 75 at.% Au 성분을 가지는 고용체의 X선 회절분석자료에 나타난 두개의 X선 회절선이 금-은고용체의 구조적 단절을 의미하는 지는 아직 확실치 않다.

금-은고용체에 대해 본 연구에서 최초로 시도된 단위포 상수 계산과 비중측정 결과에 의하면 은함량 증가에 따라 이들 상수가 거의 일정하게 증가 또는 감소한다는 사실을 알게 되었다.

Eales(1967)는 100-50 at.% Au성분의 합성 금-은고용체에 대해 452, 470, 491, 516, 541, 653nm 파장을 사용하여 반사도를 측정한 바 있다. 이 중 본 실험에서 사용한 480과 546nm와 유사한 470, 491nm와 541nm에서의 반사도자료를 비교하면(Table 7), 본 실험에서 얻어진 반사도(R)값이 Eales(1967)의 측정치보다 일정하게 작으나 변화양상은 470/480, 491/480, 541/546가 각각 1.15-1.35, 1.22-1.63, 1.13-1.17로 거의 동일함을 알 수 있다. 두 실험자료에서의 반사도 수치차이는 (1)사용한 표준시료(standard)가 황철석과 순수한 백금으로 각각 다르고, (2)금-은 고용체의 연마면의 연마상태 차이에 의한 결과로 생각된다.

금-은고용체에 대해 546nm보다 480nm 파장을 사용하면 반사도 변화가 현저하게 나타난다. 이 현상은 Eales의 연구결과와도 일치한다. 이상의 연구결과로부터 금-은고용체를 생산하는 광산현지에서 금-은 성분비를 신속히 결정하고 싶을 때 고가장비인 전자현미분석기를 직접 운용하지 않고서도 비교적 저렴한 장비인 반사도측정기나 그 외 X선 회절분석기를 사용하면 현장에서 필요로 하는 자료를 용이하게 얻을 수 있을 것으로

Table 3. X-ray powder diffraction data for Au-Ag alloys.

hkl	$\frac{1}{a=4.071}$	$\frac{2}{a=4.072}$	$\frac{3}{a=4.073}$	$\frac{4}{a=4.074}$	$\frac{5}{a=4.074}$	$\frac{6}{a=4.074}$	$\frac{7}{a=4.074}$
	d	d	d	d	d	d	d
111	2.3502	2.3511	2.3518	2.3514	2.3521	2.3519	2.3521
200	2.0353	2.0361	2.0367	2.0363	2.0369	2.0368	2.0370
220	1.4392	1.4397	1.4402	1.4399	1.4403	1.4402	1.4404
311	1.2274	1.2278	1.2282	1.2280	1.2283	1.2282	1.2283
222	1.1751	1.1755	1.1759	1.1757	1.1760	1.1759	1.1761
400	1.0177	—	—	—	1.0185	1.0184	1.0185
331	0.9339	0.9342	0.9345	0.9343	0.9346	0.9345	0.9346
420	0.9102	0.9106	0.9108	0.9107	0.9109	0.9109	0.9110
	$\frac{8}{a=4.074}$	$\frac{9}{a=4.075}$	$\frac{10}{a=4.076}$	$\frac{11}{a=4.076}$	$\frac{12}{a=4.077}$	$\frac{13}{a=4.078}$	$\frac{14}{a=4.078}$
	d	d	d	d	d	d	d
111	2.3521	2.3528	2.3531	2.3532	2.3539	2.3547	2.3546
200	2.0370	2.0376	2.0379	2.380	2.0389	2.0392	2.0391
220	1.4404	1.4408	1.4410	1.4414	1.4415	1.4419	1.4419
311	—	1.2287	—	1.2290	1.2293	1.2297	1.2296
222	1.1760	1.1764	1.1766	1.1767	1.1769	1.1773	1.1773
400	—	—	1.0189	1.0190	1.0193	1.0196	—
331	0.9346	0.9349	0.9350	0.9350	0.9353	0.9356	0.9356
420	0.9110	0.9112	0.9114	0.9114	0.9117	0.9120	0.9119
	$\frac{15}{a=4.079}$	$\frac{16}{a=4.080}$	$\frac{17}{a=4.080}$	$\frac{18}{a=4.080}$	$\frac{19}{a=4.081}$	$\frac{20}{a=4.083}$	$\frac{21}{a=4.085}$
	d	d	d	d	d	d	d
111	2.3543	2.3551	2.3554	2.3556	2.3560	2.3572	2.3583
200	2.0389	2.0396	2.0398	2.0400	2.0403	2.0414	2.423
220	1.4417	1.4422	1.4424	1.4425	1.4427	1.4435	1.4441
311	1.2295	1.2299	1.2301	1.2302	1.2304	1.2310	1.2316
222	1.1771	1.1775	1.1777	1.1778	1.1780	1.1786	1.1791
400	—	1.0198	0.019	1.0200	1.0202	1.0207	1.0212
331	0.9355	—	—	0.9360	—	0.9367	0.9371
420	0.9118	0.9121	0.9122	0.9123	0.9125	0.9129	0.9134

\* 1;1,000, 2;950, 3;900, 4;850, 5;800, 6;750, 7;700, 8;650, 9;600, 10;550, 11;500, 12;450, 13;400, 14;350, 15;300, 16;250, 17;200, 18;150, 19;100, 20;50, 21;0 fine. Fineness is expressed as the ratio 1,000 Au/(Au+Ag).  
CoK $\alpha$  radiation( $\lambda=1.79026$  Å), 114.6mm diameter Debye-Scherrer camera.

Table 4. Reflectivity values of Au-Ag alloys.

Wavelength Composition	480nm(Blue)			546nm(Green)		
	Min.	Max.	Mean	Min.	Max.	Mean
Fineness of compounds 1000	29.5	31.3	30.2	62.1	64.9	63.3
951	30.0	33.8	31.8	62.1	67.3	65.1
898	31.2	39.5	33.8	63.4	70.5	67.8
853	34.0	39.5	37.2	68.8	72.2	70.6
811	40.3	41.7	41.2	68.7	72.1	71.2
759	44.4	47.9	46.6	70.8	73.0	72.3
698	48.8	52.6	50.7	72.2	74.9	73.4
659	55.7	57.4	56.9	72.4	77.1	74.9
593	62.0	63.7	62.9	72.4	78.4	76.0
546	65.3	67.6	66.5	75.9	78.3	76.8
510	69.0	72.0	70.5	75.9	79.5	77.4
457	-	-	-	76.5	79.4	77.8
395	73.2	77.7	75.0	77.3	81.4	79.6
344	73.5	78.5	76.9	77.6	82.4	80.8
310	75.8	80.1	77.9	79.9	82.2	81.6
262	76.8	80.8	78.8	80.6	83.5	82.1
197	78.4	81.6	80.1	80.9	84.3	82.7
145	79.3	83.1	81.3	81.8	84.6	83.1
110	81.0	83.7	82.8	83.0	85.5	83.9
53	81.0	85.6	83.6	82.9	86.9	85.2
0	82.6	86.4	84.1	84.4	87.2	86.1

- : not determined.

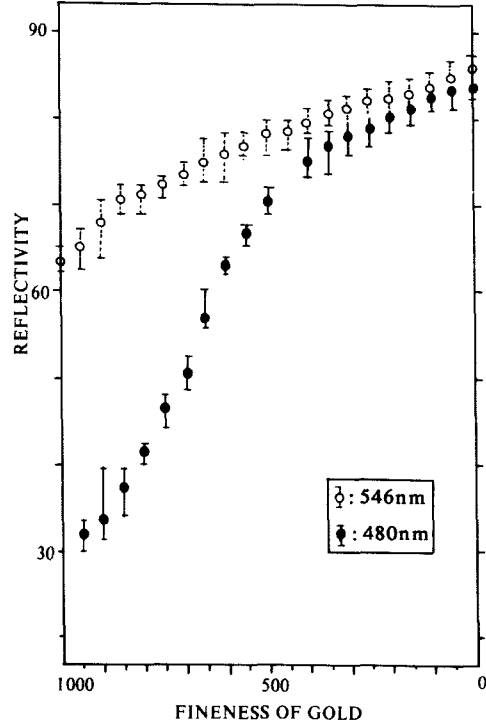


Fig. 7. Plot of reflectivity against composition for Au-Ag alloys.

Table 5. Vickers micro-indentation hardness data for Au-Ag alloys.

Weights applied in grams	Fineness of gold-silver compounds										
	1000	951	898	853	811	759	698	659	593	546	510
25	43.54 (41.1-46.6)	68.12 (65.5-71.3)	93.14 (88.4-99.8)	89.23 (82.2-97.1)	104.60 (102.0-107.0)	66.93 (64.1-71.3)	94.59 (92.2-98.9)	70.92 (68.3-73.0)	77.69 (74.5-84.3)	96.63 (94.5-98.9)	83.17 (79.2-86.5)
50	45.35 (41.5-51.8)	76.56 (68.5-85.7)	92.88 (88.6-101.0)	81.70 (79.5-85.4)	100.58 (98.4-103.0)	67.32 (62.7-71.7)	91.54 (86.4-95.6)	65.95 (65.2-66.8)	79.05 (75.8-81.4)	89-53 (82.1-98.1)	86.29 (83.1-89.7)
Mean value	44.445	72.340	93.010	85.470	102.590	67.125	93.670	68.435	78.234	92.990	84.416
	457	395	344	310	262	197	145	110	53	0	
25	79.91 (72.4-83.2)	79.31 (76.6-82.9)	103.05 (96.7-108.0)	76.61 (72.1-80.5)	101.57 (94.1-107.0)	63.33 (57.7-74.2)	95.49 (91.6-98.9)	62.78 (60.9-66.5)	63.57 (58.5-70.7)	93.59 (89.2-98.9)	
50	78.27 (75.0-82.1)	78.77 (77.0-80.9)	111.17 (110.0-115.0)	88.55 (83.9-92.3)	111.70 (150.0-116.0)	56.93 (54.2-59.6)	101.30 (99.3-103.0)	65.090 (63.9-67.2)	69.810 (68.3-71.5)	91.780 (80.0-103.0)	
Mean value	62.483	79.092	107.107	81.384	105.620	60.770	97.812	63.706	66.068	92.685	



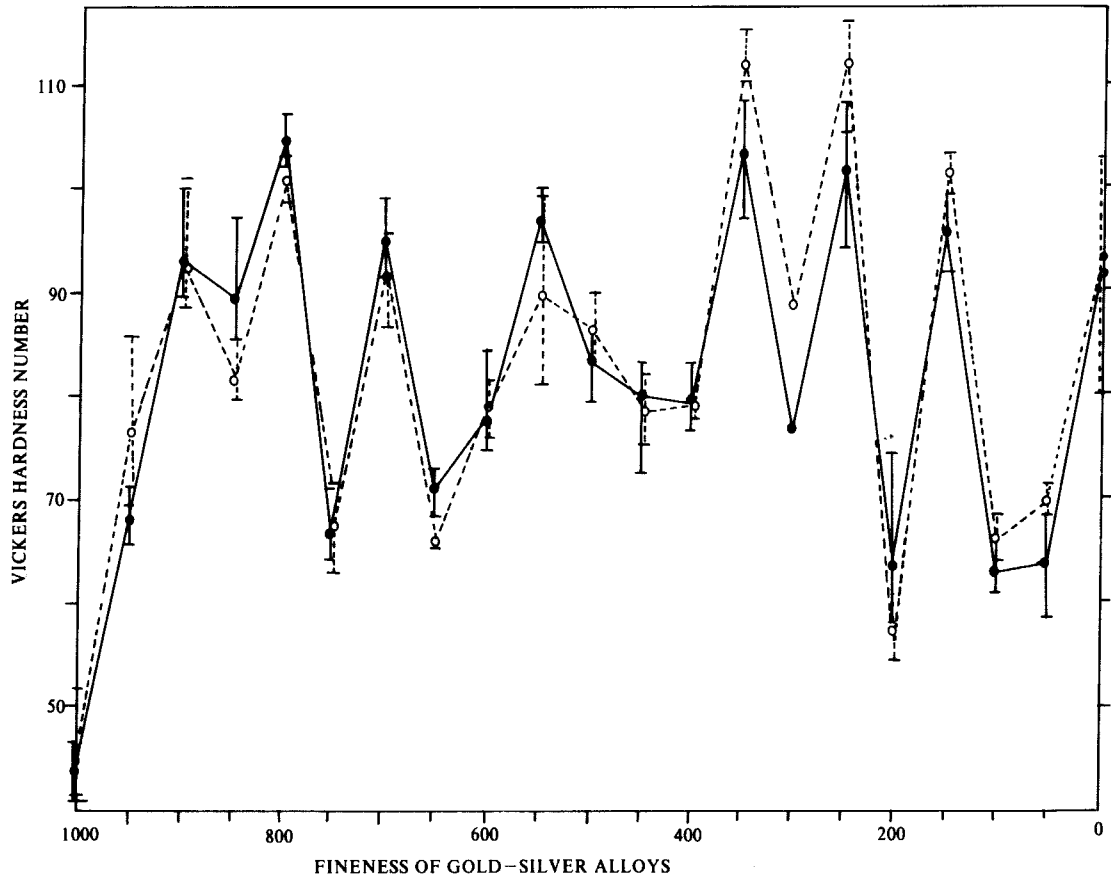


Fig. 8. Plot of micro-indentation hardness data for Au-Ag alloys.

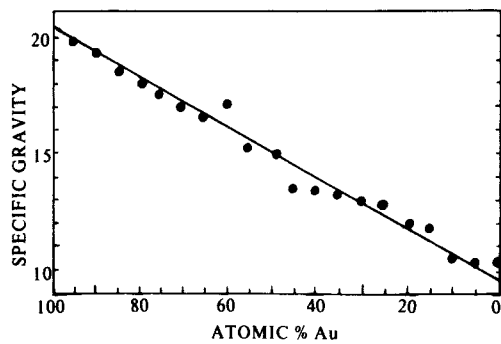


Fig. 9. Plot of specific gravity against composition for Au-Ag alloys.

Table 6. Specific gravity for Au-Ag alloys.

Fineness of alloys	S.G.	Fineness of alloys	S.G.
100	20.00	457	13.39
951	19.85	395	13.39
898	19.31	344	13.21
853	18.47	310	12.81
805	18.06	262	12.66
756	17.47	197	11.97
698	16.92	145	11.75
659	16.56	110	10.44
593	17.00	53	10.23
546	15.07	0	10.43
510	14.90		

Table 7. Comparison reflectivities for Au-Ag alloys of similar compositions.

nm	Eales(1967)*			This study**		470	491	541
	470	491	541	480	546	480	480	546
Comp.								
100	36.4	39.8	71.6	30.2	63.3	1.20	1.31	1.13
95	39.1	46.0	74.9	31.8	65.1	1.22	1.44	1.13
90	43.5	53.2	77.9	33.8	67.8	1.28	1.57	1.14
85	49.2	60.8	80.8	37.2	70.6	1.32	1.63	1.14
80	56.0	67.5	83.1	41.2	71.2	1.35	1.63	1.16
75	61.8	72.3	85.0	46.6	72.3	1.32	1.55	1.17
70	66.8	76.2	86.2	50.7	73.4	1.31	1.50	1.17
65	75.1	82.0	88.0	62.9	76.0	1.19	1.30	1.15
50	81.5	86.6	89.4	70.5	77.4	1.15	1.22	1.15

\* pyrite used as standard.

\*\* platinum used as standard.

로 기대된다.

미국 각지의 사광상에서 채취한 자연 금-은고용체에 관한 연구에 의하면(Groen et. al., 1990), 고용체 가장자리를 따라 금 함량이 높은 띠(gold-rich rim)가 형성되어 있음이 발견되었다. 이와 같은 현상은 균질한 성분의 금-은고용체 덩어리가 수용액에 의해 운반되는 과정에서 일부 은이 용해되어 추출되었거나 혹은 수용액내 용해상태의 금이 재 침전한 결과로 여겨지는데 이와 같은 성분상의 대상구조가 합성 금-은고용체내에서는 발견되지 않는다.

감사 : 본 연구과정동안 반사도측정 연구가 가능하도록 기기사용을 허락해 주시고 많은 조언을 해 주신 한국동력자원연구소 박석환 실장과 주사전자현미경연구가 실시될 수 있도록 도와주신 한

국화학연구소 김풍작 실장께 깊은 감사올 드리는 바이다. 또한 가열실험에 도움을 주신 충남대학교 금속공학과 조통래 교수께도 감사드린다.

### 참고문헌

- Beran, A.(1985) The reflectance behaviour of gold at temperatures up to 500°C. *TMPM Tschermaks Min. Petr. Mitt.* 34, 211-215.
- Eales, H.V.(1967) Reflectivity of gold and gold-silver alloys. *Econo. Geol.*, 62, 412-420.
- Groen, J.C., Craig, J.R. and Rimstidt, J.D.(1990) Gold-rich rim formation on electrum grains in placers. *Can. Mineral.*, 28, 207-228.
- Hansen, M. and Anderko, K.(1958) *Constitution of Binary Alloys, Metallurgy and Metallurgical Engineering Series.* McGraw-Hill Book Co., New York, 1305p.
- Kaneda, H., Shimazaki, H. and Lee, M.S.(1984) Mineralogy and geochemistry of Au-Ag ore deposits in the Southern Korea peninsula. Granite provinces and associated ore deposits in South Korea. *Rept. Overseas Field Research*, 81-142.
- Mason, B. and Berry, L.G.(1968) *Elements of Mineralogy.* W.H. Freeman and Company. U. S.A., 550p.
- Shikazono, N.(1986) Ag/Au total production ratio and Au-Ag minerals from vein-type and disseminated-type deposits in Japan. *Min. Geol.*, 35(6), 411-424.