

퍼플골드의 Al 조성 증가에 따른 물성 변화

최승재, 송오성*

서울시립대학교 신소재공학과

e-mail: songos@uos.ac.kr

Property of purple gold with Al contents

Seung-jae Choi, and Oh-sung Song

Department of Materials Science and Engineering, University of Seoul

요약

유색 금 합금 중의 하나인 퍼플골드(purple gold)는 특유의 적자색(보라색)이 나는 78wt%Au-22wt%Al의 조성으로 이루어진 금 합금으로 많은 각광을 받고 있다. 본 연구에서는 78wt%Au-22wt%Al(이후 Au1)인 기준 조건보다 Al의 상대조성이 커짐에 따라 보라색과 기계적 물성의 변화를 확인하기 위해 76wt%Au-24wt%Al(이후Au2), 74wt%Au-26wt%Al(이후 Au3), 72wt%Au-28wt%Al(이후 Au4)으로 Al 조성을 22~26%Al까지 변화시키고 이때의 비커스 경도, 광학현미경, EDS, UV-VIS-NIR 색차분석 실험을 실시하였다. 비커스경도 측정결과 Al의 함유량이 증가함에 따라 경도값은 감소하는 경향성을 보였으며, 26wt%Al 이상의 조성에서 Au1 조성에 상응하는 경도 값을 유지할 수 있음을 확인하였다. 광학현미경을 이용한 미세구조 분석결과 Al의 함유량이 증가함에 따라 적자색을 띠는 결정립 AuAl₂의 분포는 감소하며, 결정립계에 석출하는 Al-rich 상의 분포와 크기는 증가하는 경향을 확인하였다. EDS를 이용한 성분분석 결과 실제 목표했던 조성과 분석오차를 고려하면 잘 일치함을 확인하였다. UV-VIS-NIR를 이용한 색차 분석결과 Au3 조성까지도 보라색을 유지할 수 있음을 확인하였다. 따라서 비커스경도와 색을 고려하면 기존 19K인 Au1보다 18K의 Au2 조성에서도 퍼플골드 구현이 가능하였다. 이후 Au2 조성으로 블랙홀과 아라크네를 모티브로 하여 실제 주얼리 제품을 성공적으로 제조하였다.

1. 서론

금은 화학적으로 모든 금속 중 가장 안정된 금속으로 공업적인 용도 외에도 예로부터 독특한 색깔과 광채, 회소성으로 인해 높은 가치를 가지고 있는 금속으로 다루어져 장신구나 장식품, 화폐 등으로 많이 사용되어 왔다.[1] 최근 자원전쟁을 방불케 하는 금의 환금적 특성 때문에 금에 대한 관심이 커지고 있다.

순금은 낮은 경도와 제작 가공 등의 문제로 순금을 합금하여 용점을 낮추고 경도와 색깔, 광택 등의 여러 가치를 변화를 얻고, 색깔에 따라 화이트골드(white gold), 핑크골드(pink gold), 옐로골드(yellow gold), 그린골드(green gold) 등 다양한 유색 금 합금이 장신구나 의장용 소재로 활용되고 있다. 이러한 여러 유색 금합금의 하나로 퍼플골드(purple gold)가 각광 받고 있다.[2]

퍼플골드는 78wt%Au-22wt%Al의 조성으로 이루어진 AuAl₂의 중간상으로써 적자색(보라색)이 나는 특수한 유색 금합금이다. Au과 Al은 Au₄Al, Au₅Al₂, Au₂Al, AuAl, AuAl₂ 등 여러 가지 중간상이 존재할 수 있으나 유독 AuAl₂만이 적자색을 띠는 특성을

가지고 있다.[3-5]

이러한 퍼플골드는 19K 정도의 금합금으로 통상의 18K로 표준화되어 유통되는 다른 유색합금에 비해 상대적으로 금함량이 높아 상업적인 유통이 어려운 단점이 있었고, 금속간화합물 특유의 난주조성, 난접합성 때문에 미려한 장신구에 응용하기 어려운 문제가 있었다.

본 연구에서는 18K정도로 Al함량이 높아져도 기존의 퍼플골드와 큰 기계적, 색상적 차이없이 제조가 가능한지와 이를 이용하여 연삭공정의 기계적인 가공공정을 통하여 고부가가치 주얼리로서의 활용이 가능하지를 확인해 보고자 하였다.

2. 실험방법

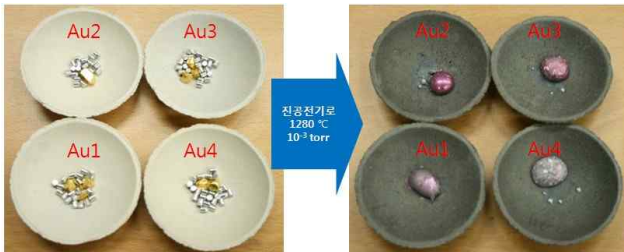
실험에 사용된 합금의 함량은 전자저울을 이용하여 0.01g 단위로 칭량하여 각 조성별로 나타내었다. 실험에 사용된 네 종류의 합금은 각 합금원소의 무게비율로 Al의 함량을 2wt%씩 증가시켰다. 각각 2wt%씩 Al의 함량을 증가시킨 조성은 표 1과 같이 명명하여 나타내었다.

[표 1] 각 금속합금의 조성.

명명	조성비	Au (g)	Al (g)	total (g)
Au1	(78wt%Au-22wt%Al)	4.08	1.15	5.23
Au2	(76wt%Au-24wt%Al)	3.58	1.13	4.71
Au3	(74wt%Au-26wt%Al)	4.22	1.48	5.70
Au4	(72wt%Au-28wt%Al)	3.68	1.43	5.11

실험에 사용된 진공전기로 공정 과정은 청량하여 준비된 각각의 조성별 시편을 마그네시아 도가니에 넣은 후 흑연 발열체를 열원으로 하는 진공전기로에 장입하였다. 이때 진공전기로는 로터리 펌프로 진공 상태를 만들어 10^{-3} torr의 진공을 유지하였으며 1280°C까지 3시간동안 승온시키고 10분간 유지시켜 용융시키고 응고시켜 조성별 합금을 준비하였다.

그림 1은 마그네시아도가니를 이용한 공정 모식도로 일반 귀금속 용해 시에 쓰이는 접시형 마그네시아도가니는 플럭스 없이 진공로에서 채용되면 가장 바람직한 결과를 얻을 수 있었다. 도가니와 용해 물질과의 반응과 젖음성 없이 용해가 가능하였고 기계적인 응고괴와 도가니는 열 충격을 이용하여 파괴시키면 성공적으로 응고괴의 분리가 가능하였다.



[그림 1] 마그네시아도가니를 이용한 진공전기로 공정 전과 후.

조성별로 준비된 금합금은 에폭시로 마운팅을 실시하고 폴리싱 과정을 걸쳐 각 조성에 따라 비커스경도계, 광학현미경, SEM, EDS, UV-VIS-NIR 색차계를 활용하여 미세구조 및 기계적 물성을 확인하였다.

Mitutotyo사의 비커스경도계를 이용하여 1kg의 하중을 10초간 인가하였으며, 그 상흔의 크기를 확인하여 경도값을 계산하였다. 각 시편은 10번씩 반복 측정하여 평균값으로 경도값을 판단하였다.

바이먼스사의 광학현미경을 이용하여 백색 광원을 시료의 표면에 조사하여 $\times 45$ 배에서 확대하여 표면 미세구조를 관찰하였다.

보다 정확한 표면미세구조를 확인하기 위해 Hitachi사의 SEM을 이용하여 가속전압 20kV에서

$\times 250$ 배의 배율로 관찰하였다. 이때 SEM에 부착된 EDS(energy dispersive spectroscopy)를 이용하여 정성분석을 실시하였다.

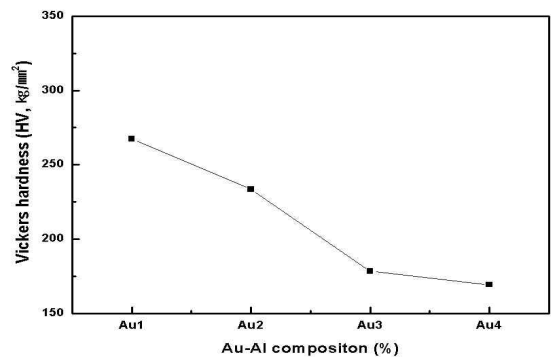
SIMADZU사의 UV-VIS-NIR을 이용하여 색차계 모드에서 Lab 모드로 각 시편에 대한 표면의 색차 분석을 실시하였다.

완성된 시편들의 물성 분석을 통해 확인한 최적의 조성을 선택하여 퍼플골드를 채용하여 실제 퍼플골드 주얼리 시제품을 제작하기 위해 Rhinoceros CAD를 이용하여 디자인을 실시하고 쾌속조형기 (T66)를 이용하여 마스터패턴을 완성하였다. 이때 퍼플골드는 케보선 커팅된 보석재로서 상정하여 블랙홀과 거미를 상징하는 디자인을 고려하여 진행하였다.

3. 실험결과 및 토의

그림 2에는 각각의 조성 Au1, Au2, Au3, Au4에 대한 비커스경도값을 그래프로 나타내었다. Au1의 조성의 경우 약 267.4(HV)를 나타내었으며, Au2의 조성의 경우 약 233.5(HV)로 Au1의 조성의 경우와 약 33.9(HV) 정도의 작은 감소를 보였다. 반면 Au3, Au4 조성의 경우 각 178.4(HV), 169.3(HV)로 Au1의 조성의 경우와 89(HV), 98.1(HV)의 큰 정도 감소를 보여 Al의 조성 함유량의 증가에 따라 급격히 감소함을 확인할 수 있었다.

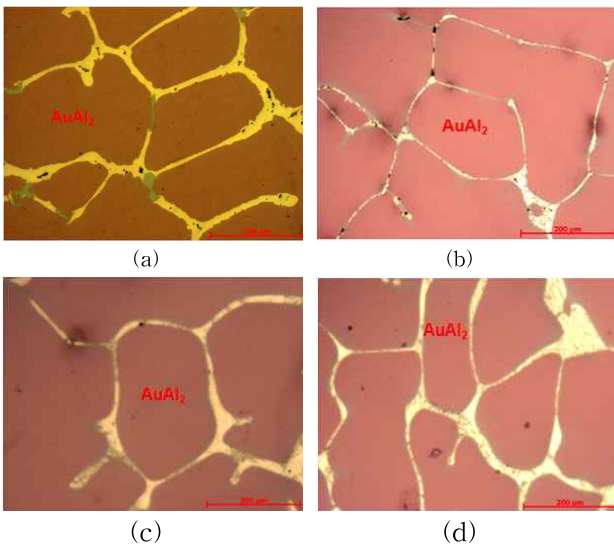
따라서 기준 조성 Au1에 비해 Al의 조성 함유량이 2wt%로 증가함에 따라 비커스경도는 감소하는 경향성을 보였으나 상대적으로 Au2는 큰 변화 없이 사용가능한 정도로 판단되었다.



[그림 2] 조성에 따른 비커스경도의 변화.

그림 3에는 각각 조성의 Au1, Au2, Au3, Au4에 대한 광학현미경 이미지를 나타내었다. (a)의 Au1

조성으로 용융된 금합금의 표면의 경우, 보라색의 색상을 띠는 결정립 형태는 AuAl₂ 이고, Al-rich상이 결정립계에 석출한 것으로 판단되었다. (b)의 Au2 조성으로 용융된 금합금의 표면의 경우, (a)에서의 결과와 유사하게 보라색의 결정립과 Al-rich상이 비슷한 크기로 석출되었다. 반면 (c)의 Au3 조성과 (d)의 Au4 조성에서는 AuAl₂는 분홍색의 색상을 띠는 결정립 형태로 형성되었으나, Al-rich상 결정립계가 두꺼워져서 결정립계의 분율이 커지면서 기계적 강도와 색상에 영향을 미칠 것으로 예상된다.[6]



[그림 3] Al 조성에 따른 광학현미경 이미지 (a) Au1, (b) Au2, (c) Au3, (d) Au4.

표 2에는 각 조성별의 시편을 EDS로 라인 분석하여 Al의 조성을 wt%로 확인한 결과를 나타내었다. Al의 조성은 목표했던 22, 24, 26, 28wt%와 달리 17, 19, 22, 24wt%로 약 4~5%의 감소를 보이고 있다. EDS는 정확한 표준시료에 근거하지 않으면, 이 정도의 오차가 발생하는 것이 일반적이며 선형적인 오차가 발생하여 원래 목표하였던 22~28wt%의 Al이 합금이 되었다고 판단하였다. 이를 뒷받침하기 위해서 큐펠법[7]을 이용하여 Au1과 Au4를 확인한 결과 모두 목표했던 Al조성이 22, 28wt%로 합금되어 있음을 재확인하였다.

[표 2] EDS분석에 의한 Al과 Au의 조성 변화

Element	Au1	Au2	Au3	Au4
Al (wt%)	17.23	19.40	22.41	24.81
Au (wt%)	82.77	80.60	77.56	75.19

표 3에는 각 조성별 시편에 대한 색차 변화를 확인하기 위해 UV-VIS-NIR을 이용한 색차 분석 결과를 나타내었다. Au1과 Au2는 조성 Au3와 Au4에 비해 상대적으로 낮은 명도(L*)값을 가지고 있었다. a* (red-green 차이수) 차이는 Au1 조성과 Au2 조성이 Au3 조성과 Au4 조성에 비해 높은 a* 값을 가지고 있으므로 상대적으로 붉은 빛을 띠고 있음을 확인하였고, b* 값(yellow-blue 차이수)의 경우 모든 조성 Au1~Au4에서 음의 값을 보였다. [8] 색차를 분석함에 있어 조성 A1을 기준으로 분석한 결과 Au2는 색차가 1.09로 거의 유사한 색이라고 판단되었다. 일반적으로 색차가 5이하면 육안 구분이 어려운 색이라고 판단되는 같은 색이라고 판단한다. 반면 Au3, Au4에서는 각각 6.04, 12.92로 기준되는 퍼플골드와 매우 큰 색차가 있음을 보이고 있다. 따라서 비록 Al 합금이 28wt%까지 높아져도 보라색을 유지하지만 기준 되는 19K의 보라색과는 육안으로 구별할 수 있는 색변화가 일어나지만 18K(Au2)의 조성에서는 큰 변화없이 동일색으로 제조 가능함을 확인하였다.

[표 3] 조성에 따른 Lab 지수와 색차.(Au1 조성을 0으로 기준)

	L	a*	b*	color difference
Au1	59.51	12.70	-5.13	0
Au2	59.89	12.98	-6.11	1.09
Au3	62.74	7.69	-4.14	6.04
Au4	68.71	3.83	-3.17	12.92

그림 4에는 Rhinoceros CAD를 이용하여 퍼플골드를 채용한 주얼리 제품 디자인 시안을 바탕으로 Au2의 조성으로 성공적인 주조 공정을 거쳐 시제품을 제작한 결과물이다. (a)의 블랙홀을 주제로 한 펜던트와 반지의 중심에 있는 캐보션 커팅된 퍼플골드 요소 (직경 7mm)가 성공적으로 장착되었다. (b)의 거미를 모티브로 한 시제품에는 거미형태의 몸통부에 장착된 장방형의 캐보션 커팅된 퍼플골드 요소 (장축직경 8mm)가 베즐세팅 기법으로 성공적으로 채용되었다. 모두 큰 반사도를 가지고 내부기공 없이 유색보석의 대응으로 훌륭히 장신구로서의 기능

을 하고 있음을 알 수 있다.



(a) (b)

[그림 4] 실제 퍼플골드 주얼리 시제품 (a) 블랙홀, (b) 거미 (아라크네).

4. 결론

기존 19K 퍼플골드에 비해서, Al 함량 증가에 따라 퍼플골드의 경도값은 저하되었으나, 18K인 24wt%Al 조성도 22wt%Al 기준 퍼플골드와 큰 변화 없이 사용이 가능하였다. 진공 용해를 이용하여 목표 조성을 용이하게 조절할 수 있었고, 광학현미경과 색차분석을 통하여 24wt%Al도 동일한 보라색으로 활용할 수 있었다. 24wt%Al로 진공 용해하여 제작한 퍼플골드는 연삭공정으로 내부기포 없이 주얼리로 성공적인 제작이 가능하였다.

참고문헌

[1] E. R. Weld, "Ring of gold," New York : Putnam, c1978, 350p
 [2] C. Cretu, E. Lingen, "Coloured Gold Alloys," Gold Technology, Vol. 30, pp. 31-40, 2000
 [3] 민경화, "Purple Gold Aurumite," J. Kor. Inst. Met. Mater, Vol. 21, No. 10, pp. 1034-1035, 1983
 [4] H. Okamoto, "Al-Au(Aluminum-Gold)", Journal of Phase Equilibria and Diffusion Vol. 26, No. 4 pp. 391-393, 2005
 [5] Loh Peng Chum, "Jewelry alloy compositions," US Pat Vol. 6, No. 929, pp. 776, 2005
 [6] D. A. Porter, K. E. Easterling, "Phase Transformation in Metal and Alloys," Chapman & Hall, 2001
 [7] V. A. Shvetsov, N. V. Adelshina, "Quality control of cupels and noble metal losses in the cupellation of lead alloys in fire assay," Journal

of Analytic Chemistry, Vol. 59, No. 5, pp. 412-414, 2004

[8] A. T. Collins, "Colour center in diamond," Journal of Gemmology," Vol. 18, No. 1, pp. 37-75, 1982