

## 주사전자현미경에 의한 사지구 금광석의 광물조성과 금의 존재상태

황남희, 오충남

경애하는 최고령도자 김정은동지께서는 다음과 같이 말씀하시였다.

《과학연구사업에서 독창성과 창조성을 발휘하는것도 중요하지만 다른 나라들에서 이룩한 과학기술성과들을 우리 실정에 맞게 받아들이기 위한 사업도 잘하여야 합니다.》

광석을 허실하지 않고 효과적으로 회수리용하자면 광석속에 있는 유용한 광물들의 존재상태를 과학적으로 해명하여야 한다. 최근 과학과 기술이 발전하면서 과학연구부문을 비롯한 여러 분야에서 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)을 리용하여 광상들에서의 광화작용특징과 광석의 공학적특징들을 밝히기 위한 연구가 많이 진행되고있다.[1, 2] 논문에서는 에네르기분산형X선분광기(Energy Dispersive X-ray Spectrometer, EDS 또는 EDX)가 결합된 주사전자현미경을 리용하여 연구지역 금광석의 광물조성과 금의 존재상태를 밝힌 결과에 대하여 서술하였다.

### 실 험 방 법

시료로는 연구지역의 석영-다금속류화물광석을 리용하였다.

먼저 광석을 절단하고 연마하여 마편을 제작한다. 마편면의 크기는 최고 30mm×30mm 정도로 하는데 그것보다 더 작을수록 주사전자현미경관찰에 유리하다. 다음 마편을 광석절단기를 리용하여 최고 5mm의 두께로 절단한다. 주사전자현미경관찰과 분석을 위한 시료는 두께가 5mm이하인 마편으로 준비하는것이 합리적이다. 주사전자현미경에 의한 관찰 및 분석속도와 정확성을 높이기 위하여 먼저 광석현미경을 리용하여 마편감정을 진행한다.

먼저 광석현미경에서 다금속류화물광석속에 있는 광물들을 감정한다.

다음 마편에서 금 또는 금이라고 볼수 있는 광물(그림 1의 1))을 찾아서 마편면우에 그림 1의 2)와 같이 위치를 표시하고 번호를 쓴다.

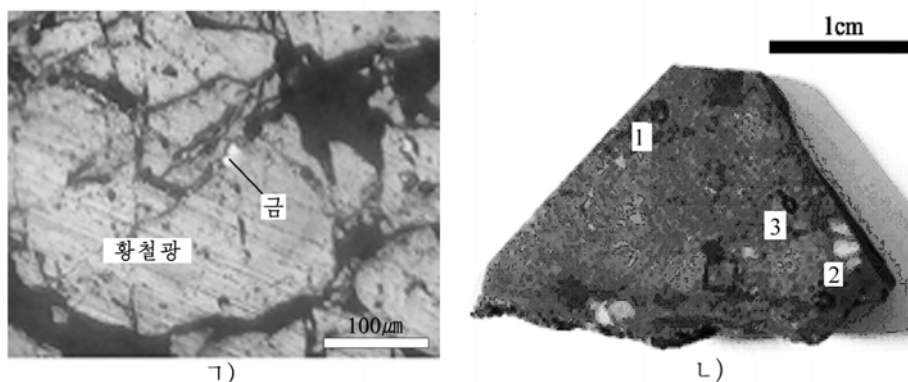


그림 1. 광석현미경사진(1))과 분석위치를 표시한 마편사진(2))

## 실험결과 및 해석

광석의 광물조성과 존재상태에 대한 연구는 에네르기분산형X선분광기를 결합한 주사전자현미경(《JSM-6610A》)을 리용하여 진행하였다.

광석의 광물조성과 존재상태를 정확히 해명하자면 광석마편에 대한 점 및 면분석과 반사전자화상에 대한 전반적인 X선원소분포분석을 진행하여야 한다.

마편시료를 시료대에 고정시키고 가속전압 20kV, 작동거리 10mm, 1 000배의 배율에서 관찰한 반사전자화상은 그림 2와 같다.

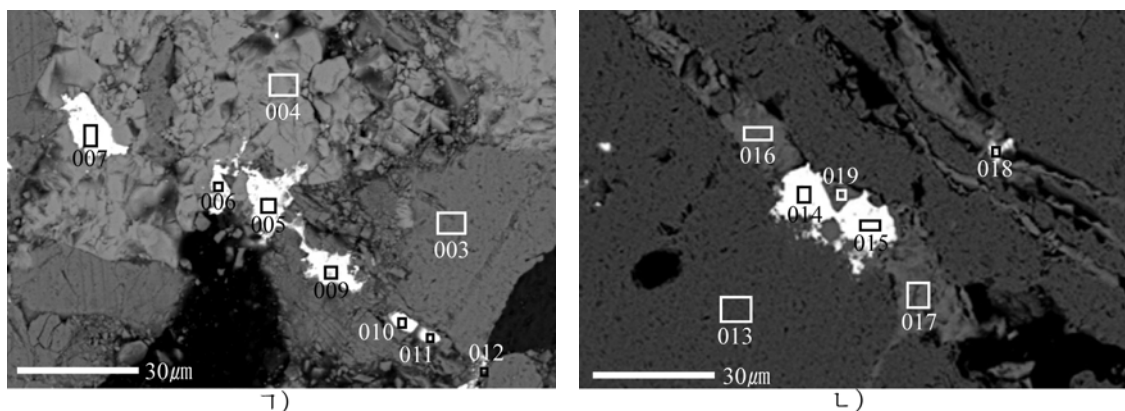


그림 2. 미소구역분석위치를 보여주는 주사전자현미경의 반사전자화상

먼저 광석현미경에서 감정된 광물이 정확히 금광물인가 또는 금광물이 옳다면 그것이 자연금인가 아니면 합금광물인가를 확인하기 위하여 에네르기분산형X선분광분석을 진행하였다. 반사전자화상미소구역에서의 원소함량은 표와 같다.

표. 반사전자화상미소구역에서의 원소함량(질량%)

시료번호	O	S	Fe	Cu	Zn	Mo	Ag	Au	Pb
003		54.06	45.94						
004		32.84	4.29	1.50	56.05	5.33			
005			2.88		4.54		57.53	35.05	
006		33.65	3.98		60.78		1.59		
007	3.37		0.96		2.58		55.02	38.06	
009	2.28	5.85	4.64				51.16	36.06	
010	4.53	49.83	43.87		1.77				
011	3.14	40.39	31.12						25.34
012	3.61	51.84	44.54						
013		54.04	45.96						
014			1.94	1.47			60.76	35.83	
015			2.23				62.77	35.00	
016		36.21	30.76	33.03					
017		36.18	30.94	32.89					
018		34.15	32.28	33.57					
019	2.25	45.05	40.57	12.13					

표에서 보는바와 같이 광석현미경에 의한 마편감정결과가 정확하다는것이 확증되었다. 분석결과 화상(그림 2의 ㄱ))에서 3개(분석번호 005, 007, 009)의 밝은 타형립자들이 금이라는것이 확인되었다. 그림 2의 ㄱ)에서 분석번호 003은 황철광이며 004는 섬아연광으로 분석되었다. 011에서는 황철광과 방연광이 함께 검출되었다. 006은 밝은 립자이지만 은과 섬아연광이 검출되었다. 그림 2의 ㄱ)에서 분석번호 005, 007에 해당하는 금립자는 섬아연광안에, 009에 해당하는 금립자는 황철광안에 포과되어있다는것을 알수 있다. 005, 007, 009에 해당하는 금립자의 크기는 평균 길이  $15\mu\text{m}$ , 너비  $10\mu\text{m}$  정도이다.

분석결과를 통하여 알수 있는바와 같이 금은 Au 35~38%, Ag 51~57%인 금과 은의 합금광물형태로 존재하는데 여기서 은의 함량이 30%이상이므로 금은광으로 볼수 있다.

그림 2의 ㄴ)에서도 분석번호 014, 015에 해당하는 금이 검출되었는데 이것도 역시 금은광형태로 존재한다. 반사전자화상에서 금립자의 크기는 직경이 보통  $15\mu\text{m}$  정도로서 길이와 너비가 서로 비슷하고 타형립상구조를 나타낸다.

분석결과에 의하여 확증된 금광석의 광물조성에 대한 주사전자현미경사진은 그림 3과 같다.

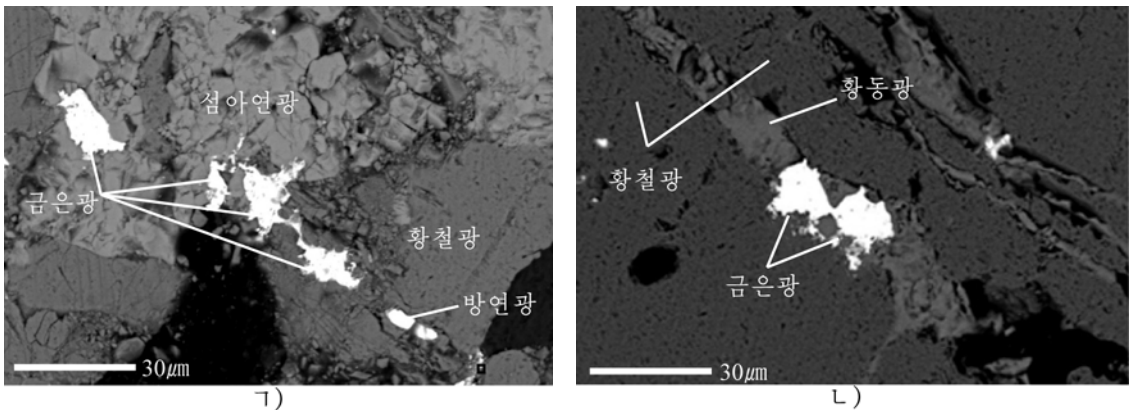


그림 3. 금광석의 광물조성을 보여주는 주사전자현미경의 반사전자화상

그림 3의 ㄱ)에서의 광물조성은 황철광, 방연광, 섬아연광, 금은광이며 ㄴ)에서의 광물조성은 황철광, 황동광, 금은광이다. 이와 같이 미소구역분석결과와 주사전자현미경사진관찰에 의하면 연구지역의 광석에서 금은 금은광으로서 황철광, 섬아연광, 황동광과 같은 류화물광물안에 포과된 상태로 혹은 황철광의 균렬속에 존재한다.

다음으로 X선원소분포화상을 리용하여 금광석의 광물조성과 금의 존재상태, 모양과 크기를 확인하였는데 그 결과는 그림 4와 같다.[2]

개별적인 원소들의 분포화상에 의하면 그림 4의 ㄴ)와 ㄷ)에서 S와 Fe의 함량이 전반적으로 높기때문에 이것은 황철광으로 볼수 있으며 ㄷ)의 밝은 부분은 높은 아연함량을 나타내므로 섬아연광으로 볼수 있다. 또한 ㄴ)와 ㄷ)에서 밝은 부분들은 각각 금과 은의 높은 함량을 보여주며 그 위치가 같기때문에 금과 은의 합금광물로 볼수 있으며 금은 황철광안에 포과되어있다는것을 알수 있다.

주사전자현미경을 리용하여 광석의 광물조성과 금의 존재상태를 해명한 결과를 종합하면 다음과 같다.

연구지역의 금광석은 황철광, 방연광, 섬아연광, 황동광과 같은 류화물광물들로 이루어져있다.

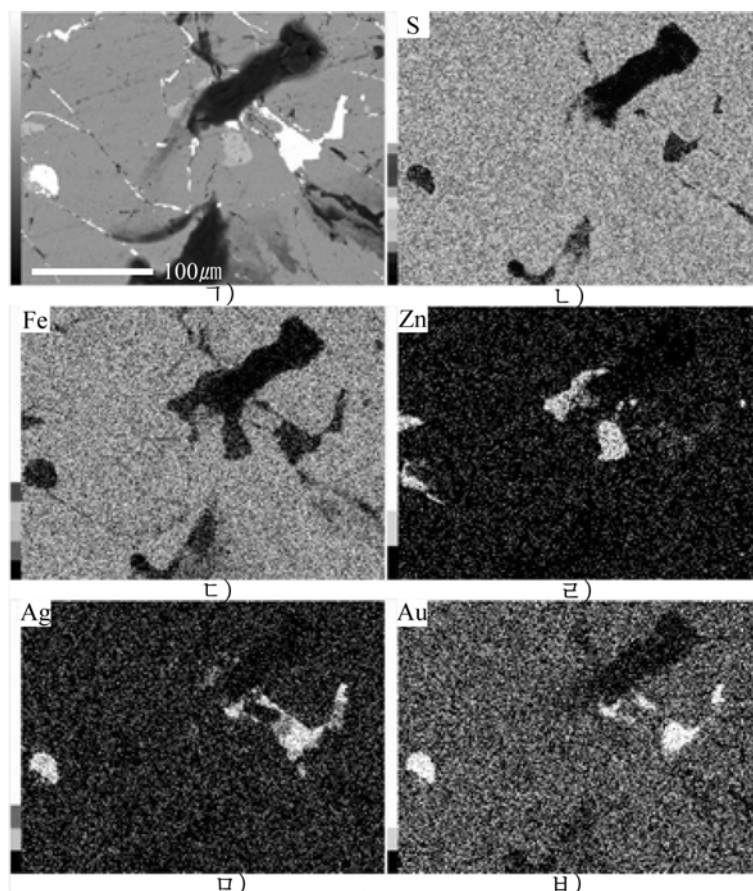


그림 4. 반사전자화상(a)과 개별적인 원소들에 대한 X선원소분포화상(b~h)

광석에서 금은 금과 은의 합금광물로 존재하며 은의 함량이 높으므로 금은광으로 볼 수 있다. 금은광은 광석에서 류화물광물안에 포파된 상태로 존재한다. 금광물의 립도는  $10\sim15\mu\text{m}$  정도로서 미립금에 속한다.

## 맺 는 말

주사전자현미경을 리용하여 광석의 광물조성과 금의 존재상태를 해명하기 위한 방법을 확립하였다.

연구지역의 금광석은 황철광, 방연광, 섬아연광, 황동광과 같은 류화물광물들로 이루어져있으며 금은 금은광으로서 류화물광물안에 포파된 상태로 존재한다.

## 참 고 문 헌

- [1] 김일성종합대학학보(자연과학), 53, 2, 112, 주체96(2007).
- [2] De-Xin Kong et al.; Ore Geology Reviews, 69, 199, 2015.

## **The Mineral Composition of Gold Ore and Occurrence State of Gold Using the Scanning Electron Microscope in the 八 Region**

*Hwang Nam Hui, O Chung Nam*

In the study area, the gold ore consists of the sulfide minerals such as pyrite, galena, sphalerite, chalcopyrite and gold exists as inclusion state in the sulfide minerals.

Keywords: SEM, gold ore