

탄자니아산 강옥의 보석광물학적 특성 연구

박희윤^{1*}, 박맹언², 성규열³

¹ 열린사이버대학교 보석감정디자인학과

² 부경대학교 환경지질학과

³ 고려대학교 지구환경과학과

1. 서론

모호스 경도가 9로서 다이아몬드 다음으로 높은 광물인 강옥(Al_2O_3)은 경제성이 높은 보석으로서의 활용뿐만 아니라 학술적 연구 대상이 되고 있다. 오늘날 까지 계속적으로 채광되어온 주요 보석광물이지만 오랜 기간동안의 채광으로 양질의 강옥은 드물게 생산된다. 그러나, 자원개발의 미답지인 아프리카, 특히 탄자니아에서 양질의 강옥이 대규모로 매장되어 있는 것이 알려지면서, 이 지역에서 산출되는 강옥에 대한 보석광물학적 연구가 필요하다.

이 연구는 탄자니아에서 산출되는 강옥의 원석광물과 커트된 보석을 대상으로 현미경 관찰, X-선 회절분석, 화학조성 및 분광분석 등 광물학적 특성 분석을 실시하여 탄자니아산 강옥의 보석광물학적 특성을 정량화하였다. 연구결과는 기존에 보고된 타 지역 강옥과 비교·분석할 수 있는 자료로 활용될 뿐만 아니라, 탄자니아산 강옥을 감별 또는 감정하는데 중요한 정보를 제공할 것이다. 특히, 음극선 발광장치가 장착된 전자현미경(SEM-CL)을 이용한 표면조직 연구는 강옥을 원석으로 하는 루비와 사파이어의 산지를 구분하는데 유용한 정보를 제공할 것이다. 또한, 강옥에 대한 보석광물학적 연구결과는 보석의 정량적 감별 및 감정에 대한 전기를 마련하고, 탄자니아 강옥의 보석광물학적 처리를 통한 고부가가치화에 이용될 수 있는 유용한 자료를 제공할 것이다.

2. 재료 및 실험방법

탄자니아 수도인 다루에살렘(Dar es Salaam)에서 서쪽 방향으로 약 200km 지점에 모로고로(Morogoro)가 있으며, 이곳에서 30km 남서방향에 강옥광산이 위치한다. 이 곳의 강옥 원석을 색도표를 이용, 투명, 갈색을 띠는 투명, 갈색을 띠는 흰색, 연한 분홍색, 어두운 하늘색, 분홍적색, 밝은 적색 등으로 분류하고, 그 중 15개의 시료를 선택하여 굴절율, 형광 반응, 포유물 관찰, XRD, XRF 및 FT-IR 분석 등을 수행하였다. 또한, 내포물을 구성하는 광물 및 화학조성 연구를 위하여 현미경하에서 관찰된 결과를 이용하여 산출특성을 달리하는 시료를 대상으로 전자현미분석을 실시하였다. 앞의 15개 시료와는 별도로 루비로 분류되는 3개의 원석과 사파이어로 분류되는 3개의 원석을 대상으로 분광분석과 화학분석을 실시하였다.

조직 및 내포물 관찰을 위해 편광현미경(NIKON Optiphot2-POL)과 원형상의 조명이 가능한 실체현미경(ZEISS-2200)을 사용하였고, 굴절율 측정을 위해서는 DUPLEX REFRACTOMETER를 사용하였다. 비중은 Sartorius사 저울과 측정용 부품을 이용하여 정수법으로 측정하였다. SEM-CL 이미지를 관찰하기 위해서는 오레곤대학의 mirror-type CL detector와 Hamamatsu R374 Photomultiplier tube가 부착된 JSM 6300V SEM을 사용하였다.

시료는 탄소포복을 하였고, 분석조건은 3000~800n Amps 사이의 전류와 20KV의 전압을 사용하였다. X-선 회절분석은 PHILIPS사의 XPERT-MPD System과 RIGAKU사의

D/MAX-2000을 이용하였으며, 전압 ; 40kV, 전류 ; 30mA, Anode ; Cu Ka에서 분석하였다.

3. 결과 및 토의

탄자니아 강옥은 적색, 황색, 녹색, 청색 등 다양한 색을 지녔으며, 비중과 굴절률은 각각 3.99~4.01와 1.76~1.77의 범위를 갖는다. X-선 회절분석 결과, 루비는 강옥이외에 스피넬이 함유되어 있으며, 사파이어는 비슷한 피크 값을 갖는 강옥으로만 구성되어 있다.

탄자니아산 강옥의 내포물은 액상포유물, 기상포유물, 액상 CO₂를 함유한 포유물, 고상포유물, 유체포유물과 고상포유물과 팔광물이 함께 수반되는 복합포유물 등의 유형으로 구분되며, 고상내포물은 스피넬, 모나자이트, 스피넬과 확인되지 않은 불투명 광물로 이루어져 있다. 탄자니아산 강옥은 다른 산지에서 산출되는 강옥에 비해 매우 다양한 내포물을 함유하고 있으며, 이는 강옥이 고온의 다양한 열수환경에서 형성되었음을 시사한다.

강옥 중 보석으로 활용되는 사파이어와 루비는 주성분인 Al 이외에 Fe, Mg, Ti, Si, Fe, Cr, Co, Ca, Zn, P, Zr, S 등의 원소들이 미량으로 함유되어 있다. 청색계열은 다량의 Fe(1~1.5 Wt.%)가 함유되어 있으며, 적색 계열은 Cr(0.6~0.8%)이 함유되어 있다.

그 외에도 적색의 루비는 청색 강옥류에 비해 높은 Mg, Si, Ca, P, Ti을 함유하고 있다. Al₂O₃-Cr₂O₃-Fe₂O₃ 삼각도표에 도시한 결과, 루비는 상대적으로 Cr의 함량이 높은 반면, 사파이어는 Fe의 함량이 높다. 이러한 결과는 미량원소와 발색소와의 관계를 도시한 결과와 잘 일치된다(Fig. 1).

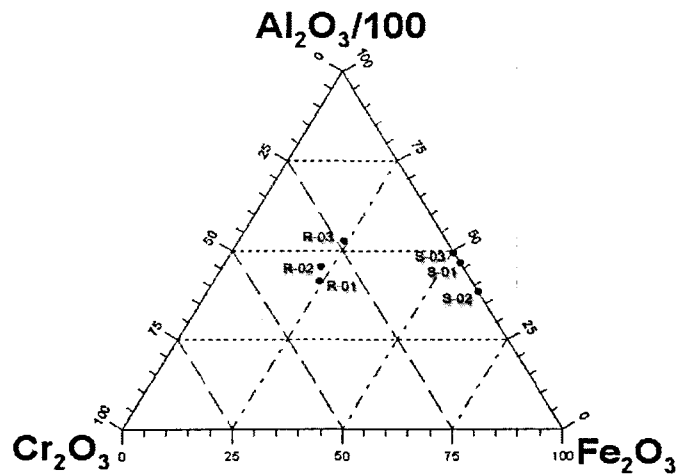


Fig 1. Composition of corundum plotted in Al, Cr, Fe diagram.

이는 탄자니아산 강옥의 색을 지배하는 주요 요소가 Fe과 Cr임을 시사하며, 다른 지역 루비와 사파이어의 연구결과와 잘 일치한다(Gem & Gemology, 1992).

연녹색의 강옥은 장파 자외선에서 오렌지색 형광을 나타내며, 단파 자외선에서 황색의 강옥은 부분적으로 적색 형광을 나타낸다. 이러한 결과는 황색 강옥 내에 함유되어 있는 미량 원소인 Ti, P, Si, Co 성분이 자외선에 반응하는 것으로 추정된다. Cr 함량이 높은 강옥은 장파 및 단파 자외선 하에서 강한 적색 형광반응을 나타내며, 적색 형광반응 효과를 감소시키는 것으로 알려진 Fe 성분에 의한 영향은 뚜렷하지 않다.

SEM-CL에서 사파이어는 균질한 열수환경을 반영하는 피상의 고른 조직, 명확한 성장구조 및 쌍정이 관찰 (Fig. 2), 루비는 스피넬에 의한 반점조직이 관찰된다(Fig. 3).

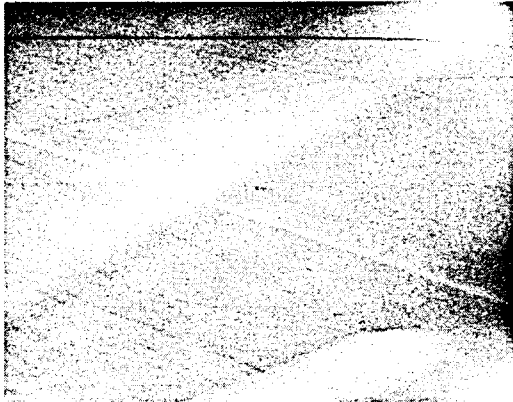


Fig 2. SEM-CL image

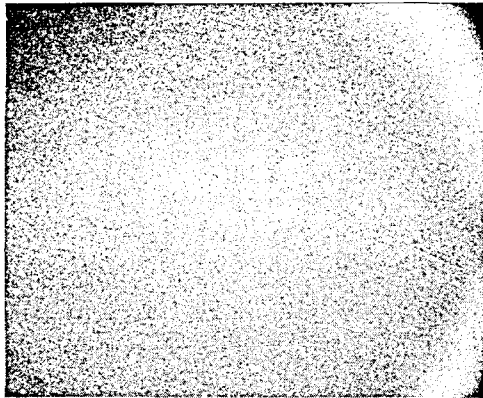


Fig 3. SEM-CL image

사파이어에 나타나는 성장조직은 미량으로 존재하는 Fe 성분에 의해 형성되며, 반점구조는 루비의 성장 이전 시기에 생성된 스피넬에 기인된 것으로 여겨진다. 피상의 고른 조직, 반점 모양의 스피넬은 루비가 성장 할 때, Al의 위치에 Mg가 치환되어 스피넬이 생성된 것으로 여겨진다.

4. 결론

탄자니아산 강옥은 다른 산지에서 산출되는 강옥에 비해 매우 다양한 내포물을 함유하고 있으며, 이는 강옥이 고온의 다양한 열수환경에서 형성되었음을 시사한다. 탄자니아 강옥의 다양한 색은 이들 광물 내에 불순물로 함유되어있는 Fe, Mg, Ti, Si, Ca, S, Cr, Co, Zn, P, Zr 등의 미량 성분에 의해 지배되며, 탄자니아 강옥 중 청색은 Fe와 Co가, 적색은 Cr이 주 발색소이다. 연녹색의 강옥은 장파자외선에서 오렌지색 형광을 나타내며, 단파자외선에서 황색의 강옥은 부분적으로 적색 형광을 나타낸다. 형광반응 실험결과, 장파 자외선에서 연녹색 강옥은 오렌지 형광색을 나타내며, 단파 자외선에서는 황색 강옥만이 부분적으로 적색형광을 나타내었다. SEM-CL에서 사파이어는 균질한 열수환경을 반영하는 피상의 고른 조직, 명확한 성장구조 및 쌍정이 관찰되며, 루비는 스피넬에 의한 반점조직이 관찰된다

강옥에 대한 보석광물학적 연구결과는 보석의 정량적 감별 및 감정에 필요한 중요한 자료

로 활용될 수 있으며, 탄자니아 강옥의 보석광물학적 처리를 위한 기초자료로 활용될 수 있다. 또한, 지금까지의 내포물 연구는 산지를 구분하기 위하여 복합내포물 형태만이 활용되었으나, 체계적인 내포물 연구를 통하여 다양한 산지별 내포물의 정보를 자료화한다면 산지를 구분할 수 있는 유용한 정보를 제공할 것이다. 특히, 딸광물은 보석광물의 형성과정을 알려주는 중요한 정보를 내포하고 있기 때문에, 딸광물에 대한 화학조성, 공생조합 등에 대한 체계적인 연구가 수행되어야 할 것이다.

5. 참고문헌

- Bwersox, G.W., Chamberlin, B.E (1995) Ruby and Sapphire deposits of Jegdalak and Gandamak IN Gemstones of Afghanistan. Geosci press. Tucson. AZ, p. 95-119.
- Dobois, FJ. (1989) A contribution to the identification of ruby by detecting various trace elements[in French] D.U.G report Nantes university, 201p.
- Gubelin, E.J., Koivula, J.I. (1986) Photoatlas of inclusions in gemstones ABC Edition. Zurich Hanni, H.A., Schmetzer K. (1991) New rubies from Morogoro area.
- 김원사 (1993) 보석학. 보성문화사