타지키스탄 고르노바다흐산주 지역 루비에 대한 분광학적 특성 연구

정솔림¹ · 박종완^{2*}

¹한양대학교 공학대학원 보석학과, ²한양대학교 공과대학 신소재공학과

Spectroscopic Characteristics of Ruby from Gorno-Badakhshan, Tajikistan

Sol Lim Chung¹ and Jong Wan Park^{2*}

¹Department of Materials & Chemical Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

²Division of Materials Science & Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Korea

요약: 타지키스탄 산 루비의 보석 광물학적 특징들을 알기 위해 물리적 특성, 원소분석, 내포물 분석, 그리고 분광분석(UV-VIS 분광기, FTIR 분광기, ED-XRF 분광기)을 수행하였다. 타지키스탄 산 루비는 장파에서는 보통에서 매우 강한 적색 또는 오렌지색을 띄었으며, 단파에서는 장파에서보다는 약간 약한 적색 또는 오렌지적색을 띤다. 자외선-가시광선 분광분석 결과, 3개의 흡수선 468.5, 475와 476.5 nm이 크롬이 함유된 루비의 대표적인 특징으로 나타났고, 넓은 흡수 밴드 550 nm와 적색 영역에서 몇 개의 흡수밴드가 나타나서 전체적인 루비 스펙트럼을 보여준다. 적외선 분광분석 결과, 루비 10개 시료들이 모두 매우 유사한 양상을 보이고 있으며, 타지키스탄 산 루비에서 카올리나이트(kaolinite)와 비마이트(boehmite)의 존재를 추측할 수 있는데, 그것의 존재는 천연이라는 것을 증명한다. 카올리나이트는 3500, 3617, 3630, 3697 cm⁻¹ 부근에서 특징적인 다수의 흡수 피크를 보이고, 비마이트는 1989, 2125 cm⁻¹ 주변에서 뚜렷한 흡수 피크가 관찰되며 3085와 3320 cm⁻¹ 사이에서 넓은 흡수 밴드가 나타났다. 내포물에서는 침상내포물, 액상과 고상내포물 외에 산화철에 기인한 오렌지 색대가 나타나고 있다. 연구 결과는 타지키스탄 산 루비의 감별 및 산지 추측에 유용한 정보로 활용될 수 있다.

핵심어: 루비, X-선 형광분석, 자외선-가시광선 분광분석, 적외선 분광분석, 내포물 분석

Abstract: Physical properties, XRF, UV-Vis, FTIR studies were carried out in order to characterize gemological features of ruby from Tajikistan. Fluorescence reaction of the Tajikistan ruby to short wave ultraviolet was moderate to very strong in red and long wave ultraviolet rays was weakly detected. UV-visible analysis strong absorption bands at 468.5, 475, 476.5 nm and broaden bands at 550 nm were observed for ruby due to Cr³⁺. According to FT-IR analysis, all rubies from Tajikistan showed the similar patterns and kaolinite peaks at 3500, 3617, 3630, 3677 cm⁻¹ and boehmite broaden absorption bands at 3085 and 3320 cm⁻¹. Inclusions in Tajikistan ruby are observed solid inclusions, negative crystals, needle and silk inclusions. These distinctive characteristics mentioned above can be used to identify the locality and source of ruby stones from Tajikistan.

Key words: Ruby, X-ray fluorescence, UV-Vis spectroscopy, Infrared spectroscopy, Inclusion

서론

루비는 현재까지도 계속 채광되는 주요 보석 광물로서, 일반적으로 석회암이 화강암의 관입에 의해 변

성작용을 받아 형성된 백운암질 대리암을 모암으로 하여 산출된다. 또한, 운모편암, 편마암 및 결정질 석회암 등의 변성암에서 부성분 광물로 산출되며, 실리카 성분이 적은 섬자암 또는 네펠린 섬자암 등의 화성암과 페그마타이트에서 거정질 결정으로 발견되기도 한다(Park and Sung, 2005).

실험에 사용된 루비는 고르노바다흐산주 산지의 것

*Corresponding author

Tel: 02-2220-0386

E-mail: jwpark@hanyang.ac.kr

으로 이곳은 타지키스탄 남동부에 위치한 파미르 고원의 가운데에 위치하며 높이 6,000 m의 산지와 2,000 m 내외의 곡저분지 등으로 구성되어 기복이 심한 지형을 이룬다. 타지키스탄의 동쪽에 위치한 습곡 지대의 파미르 고원은 판재이 강을 따라 흘러 형성된 계곡에 의해 동-서쪽으로 분리되었으며 중앙아시아에 위치한 산맥으로 히말라야 산맥의 교차로 지점에 형성되었다. 이 산맥은 대개 타지키스탄의 고르노바다흐산주 지역과 아프가니스탄의 바다흐산주 지역에 놓여있는데, 이 산맥에서 루비, 토파즈, 자수정, 투어멀린, 아마조나이트, 스케폴라이트 등 귀중한 보석들이 채굴되고 있다(Sasso, 2004)(Fig. 1).

강옥(Corundum, Al_2O_3)중에는 결정격자 내부에 불순물로서 들어가 있는 미량성분에 따라서 적색의 칼라를 띠는 루비와 적색 이외의 색을 띠는 사파이어로 분류된다. 이들의 결정격자는 육방조밀격자 구조를 하고 있으며 Al^{3+} 가 그 사이에 들어가서 팔면체 배위를 하고 있으며 2/3만 채워져 있는 구조이다(Fig. 2). 루비의 적색은 미량 불순물로서 Cr^{3+} 가 결정격자 내의 Al^{3+} 자리에 대신 들어가서 주위의 리간드로서 산소와

Fig. 1. Location of the Gorno-Badakhshan area in Pamir mountain region.

Fig. 2. In the closed packed layer of O^{2-} of corundum structure, two-third of octahedral interstitial sites are filled with Al^{3+} (modified from Shon, 2006).

Fig. 3. Crystal structure of Ruby.

팔면체를 이루면서 적색을 나타내는 원인을 제공한다 (Fig. 3). 즉, 크롬원소는 전이금속으로서 다양한 산화수를 가진다. 강옥 격자 내에서는 Cr^{3+} 가 되어 3d3 분자궤도 함수가 리간드들과 팔면체 장을 이룰 때 이들 사이에는 정전기적 반발력이 생기게 되는데 축을 향한 분자궤도 함수들은 에너지 준위가 커지고 축과 축 사이에 있는 분자궤도 함수는 낮은 에너지 준위를 갖게 되어 결정장 분리가 일어나 이 에너지 차이 만큼의 스펙트럼 흡수가 나타나며 이때 적색을 나타낸다(Miessler and Tarr, 2004).

2005년도에 일부 루비가 새로운 버마 광산에서 발견되었다고 의뢰됐으나 실제로는 타지키스탄 산 루비라고 규벨린 감정소에 의해 밝혀졌다. 규벨린 보석감정소측에 따르면 보석 딜러들이 이 루비들을 버마산 루비라며 감정을 의뢰했으나 현미경, 화학, 분광분석 등을 통해 감별한 결과 버마 광산에서 발견된 것들과 일치하지 않고, 오히려 타지키스탄의 파미르 산 지역의 루비들과 특성이 비슷하다는 것이다.

본 연구의 목적은 지금까지 학회에 발표되지 않은 타지키스탄 고르노바다흐산주 지역 루비를 대상으로 물리적 특징들과 내포물의 종류들을 확인하고 X-선 형광분석, 자외선-가시광선 분광분석, 그리고 적외선 분광분석을 통하여 타 산지의 루비와 비교분석 하는 것이다.

시료 및 연구방법

본 연구에는 타지키스탄 고르노바다흐산주 지역에

Fig. 4. 10 pcs samples of Ruby from Gorno-Badakhshan, Tajikistan.

서 산출된 적색(No. 1-5) 및 분홍색(No. 6-10) 계열의 전체 10개의 시료를 실험에 사용하였다(Fig. 4). 600 메쉬의 다이아몬드 디스크로 커팅된 시료들은 정확한 분광 분석을 위하여 1400 메쉬의 다이아몬드 파우더로 연마하여 표면을 매끄럽게 하였다. 준비된 시료들은 초음파 세척기를 사용하여 증류수 속에서 10분 동안 세척되었다.

물리적 특성을 확인하기 위하여 굴절율, 비중, 그리고 자외선 형광기로 장파(366 nm)와 단파(253.7 nm)에 대한 반응을 측정하였다. 루비를 확인하기 위하여 정수법으로 비중을 측정하고, 표준 굴절계로 측정이 불가능한 범위의 보석을 확인할 수 있는 Gemological Instruments Ltd.사의 적외선 반사도 측정기(Brewster-angle meter, 측정파장 670 nm)를 이용하여 루비를 확인하였다. 루비 산지에 따른 특성을 살펴보기 위하여 시료 내부의 내포물들은 광학 현미경(x60)을 사용하여 시료별로 특징적인 내포물을 관찰하였다. 또한 시료의 주 원소와 미량원소를 분석하기 위하여 ED-XRF(Horiba사, 모델명: XGT-1000WR, 이하 X-선 형광분석)로 X-ray 조사직경 1.2 mm, X-ray 튜브 타

깃 로듐(Rh), 전압 50 KV 그리고 전류 1 mA로 300 초 동안 시료에 조사하여 얻은 결과를 정성정량분석하였다.

자외선-가시광선 분광분석은 제이스코사의 V-650기기를 사용하여 스캔속도를 분당 100 nm, 밴드 폭을 5 nm로 하여 300-900 nm의 영역을 측정하였고 적외선 분광분석은 DTGS 감지기가 장착된 제이스코사의 FT-IR 4100을 이용하여 실온상태에서 해상도를 4 cm^{-1} 로 측정 분석되었다.

결과 및 토의

물리적 특성

강옥의 색은 발색소의 유무와 함량, 산화 정도 및 미세한 내포물들의 존재 등에 의해 달라진다. 많은 사람들이 루비와 사파이어는 색에 의해 어느 정도 감정이 가능하다고 하지만 불가능한 경우가 많다. 특히 타지키스탄산 루비는 적색과 핑크 적색빛 계통의 비슷한 색을 띠기 때문에 색에 의해서 산지를 감별하기가 매우 어렵다.

Table 1은 타지키스탄 산 10개 시료의 물리적 특성을 분석한 것이다. 빛의 파장은 매질의 굴절률과 반비례하기 때문에 굴절률, 비중 및 색 사이에 상관성을 갖게 된다. 타지키스탄 산 루비의 굴절률은 1.769-1.772이고, 비중은 3.96-4.00의 범위를 보이며, 일반적인 루비의 비중 4.0과 차이를 보이지 않는 근접한 값을 나타내었다. 약간의 계산 오차를 고려하더라도 비중 값은 다른 지역의 루비와 차이를 나타내지 않는다. 타지키스탄 루비의 굴절률은 1.769-1.772의 범위를 나타내며, 색에 따른 굴절률의 차이는 나타나

Table 1. Gemological properties of Ruby from Gorno-Badakhshan, Tajikistan

Sample	Color	CT ¹⁾	RI ²⁾	SG ³⁾	Size(mm)
No.1	Red	0.68	1.768-1.772	3.96	6.06×4.00×3.03
No.2	Red	0.64	1.762-1.770	3.96	5.97×4.10×2.43
No.3	Red	0.76	1.762-1.770	4.01	6.04×6.00×2.93
No.4	Red	0.69	1.762-1.770	4.00	6.60×4.64×2.64
No.5	Red	0.92	1.762-1.770	4.00	6.73×4.96×2.99
No.6	Pink	0.48	1.762-1.770	4.03	4.69×3.94×2.74
No.7	Pink	0.67	1.762-1.770	4.01	6.86×4.14×2.96
No.8	Pink	0.69	1.762-1.770	3.99	5.75×4.17×3.01
No.9	Pink	0.86	1.762-1.770	3.96	5.31×4.69×3.84
No.10	Pink	1.00	1.762-1.770	3.98	5.40×5.56×4.06

¹⁾CT : Carat, ²⁾RI : Refractive Index, ³⁾SG : Specific gravity

Fig. 5. Effect of Fe vs. V wt% by ED-XRF on ruby from Tajikistan.

지 않는다. 따라서 타지키스탄 산 루비의 색은 굴절률에 영향을 미치지 않는 것으로 여겨진다(Park and Sung, 2005).

자외선 형광 분석

10개의 루비들을 자외선 형광기(UVP, UVLS-28 EL series, 8 watt, UV lamp)로 장파(366 nm)와 단파(253.7 nm)에 대한 반응을 측정하였다. 타지키스탄 산 루비는 철이 풍부한 원산지로 잘 알려져 있는 버마, 쓰리랑카 산 루비 산처럼 장파에서는 보통에서 매우 강한 적색 또는 오렌지색을 띄었으며, 단파에서는 장파에서보다는 약간 약한 적색 또는 오렌지적색

을 띤다(Table 2).

X-선 형광 분석

Table 3은 X-선 형광분석에 의한 타지키스탄 산 루비의 주 원소와 미량 성분을 나타내었다. 타지키스탄 산 루비는 시료에 따라 미량원소의 함량이 다양하게 나타났다. 어두운 핑크빛 적색을 띤 루비(No. 4)는 미량원소 중 규소의 함량이 0.98 wt.%로서 가장 높고 다량의 칼슘(0.43 wt.%)을 함유하고 있으며, 선분홍색을 띤 루비(No. 1)는 크롬의 함량(1.46 wt.%)이 루비 중에서 가장 높다. 오렌지색의 No. 6, 7은 크롬의 함량(0.14 wt.%)이 가장 낮으며, No. 9는 다량의 마그네슘(0.47 wt.%)을 함유하고 있다.

루비의 미량원소(티타늄, 바나듐과 철) 함량에 따른 타지키스탄 산 루비의 특성을 파악하기 위하여, 루비를 산화알루미늄, 산화철, 산화티타늄, 산화바나듐으로 구분해서 보면 철의 함량이 티타늄에 비해 상대적으로 높다. 바나듐의 상대적인 함량은 철과 티타늄에 비해 극히 적은 분포를 보였다. 타지키스탄 루비를 합성과 구별하는 강력한 또 하나의 방법은 현저한 크롬과 철과의 상관성, 즉, 화학적 특징이다. 티타늄, 바나듐, 갈륨과 같은 원소는 합성 루비에서도 일반적으로 꽤 낮은 함량을 보이기 때문에 거의 도움이 안된다. 구별의 핵심이 되는 원소는 철이다. 타지키스탄산 루비와 사파이어에서는 전형적으로 0.04-0.2 wt.% 산화철의 철 함유량을 보이며 합성 루비에서는 거의 발견되지 않는다.

타지키스탄 지역의 루비는 다른 지역으로부터 온

Table 2. Fluorescent reaction of Ruby

Variety	Long wave(366 nm)	Short wave(253.7 nm)	X-rays
Tajikistan	Moderate to very strong red or red orange	Moderate to strong red or red orange, slightly weaker than long wave	Moderate to strong red
Burma, Sri Lanka	Moderate to very strong red or red orange	Moderate to strong red or red orange, slightly weaker than long wave	Moderate to strong red
Thailand, Cambodia	Weak to moderate red or red orange	Inert to moderate red or red orange, slightly weaker than long wave	Inert to moderate red
Kenya	Strong to very strong red or red orange	Moderate to strong red or red orange, slightly weaker than long wave	Moderate to strong red
Other sources	Weak to very strong red or red orange	Inert to very strong red or red orange, slightly weaker than long wave	Inert to strong red

Table 3. ED-XRF analyses of Ruby from Gorno-Badakhshan, Tajikistan

(Unit: wt %)

Elements	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10
Al ₂ O ₃	97.74	98.98	98.60	97.25	99.07	98.50	98.84	99.18	97.51	98.74
Cr ₂ O ₃	0.46	0.20	0.27	0.28	0.18	0.14	0.14	0.17	0.21	0.18
CaO	0.41	0.16	0.16	0.43	0.05	0.13	0.07	nd	0.04	0.04
Na ₂ O	0.38	0.15	0.14	0.19	0.06	0.24	0.14	0.11	0.23	0.17
SiO ₂	0.32	0.15	0.15	0.98	0.38	0.40	0.31	0.16	0.91	0.23
Cl	0.22	0.05	0.05	0.06	0.03	0.12	0.09	0.09	0.08	0.08
CdO	0.15	0.10	0.10	0.09	0.08	0.19	0.13	0.13	0.22	0.20
K ₂ O	0.08	0.02	0.01	0.03	0.01	0.03	0.02	nd	0.09	0.02
SO ₃	0.06	nd	nd	0.04	nd	0.06	0.04	0.05	nd	0.05
Fe ₂ O ₃	0.04	0.11	0.11	0.19	0.03	0.04	0.04	0.04	0.06	0.05
TiO ₂	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05	0.05	nd	0.06	0.11
V ₂ O ₅	0.02	nd	nd	0.01	nd	nd	nd	nd	0.04	0.02
CuO	0.01	nd	nd	nd	0.02	0.01	0.04	0.01	nd	0.04
NiO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.01	nd	nd	nd
ZnO	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MnO	nd	0.01	0.01	nd	nd	nd	0.01	nd	nd	0.02
Ga ₂ O ₃	nd	Nd	nd	nd	nd	0.01	nd	nd	0.01	nd
P ₂ O ₅	nd	0.22	0.22	0.36	nd	nd	nd	nd	nd	nd
SnO ₂	nd	0.09	0.09	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd
MgO	nd	Nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	0.47	nd
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100

*nd : not detected

루비와 비슷하게 티타늄, 바나듐, 크롬, 철과 갈륨의 미량원소가 발견되었다. 농도는 oxide wt.%, oxide ppmw와 elemental ppma로 나타낸다. 분석은 높은 철 농도 430-1200 ppma, 낮은 바나듐 농도(617.50 ppma를 가진 예외적인 샘플을 제외하고 37 ppma까지 갖는다) 그리고 낮은 갈륨(13.50 ppma까지) 함량, 크롬은 530-5200 ppma까지 매우 다양한 범위를 가진다. 이것은 루비 자체에서 내는 고유의 색 때문이다(분홍빛에서 진한 적색까지). 시료 No. 1은 더 밝고 채도가 강한 분명한 색대를 보여준다. 두 개의 영역은 비슷한 단계의 티타늄, 바나듐, 철 그리고 갈륨을 보여주지만 크롬의 농도는 매우 다양하다(Pardieu *et al.*, 2009).

자외선- 가시광선 분광분석

타지키스탄 산 루비의 흡수 스펙트럼은 철의 역할은 거의 없고 크롬 원소로부터 파생된다. 루비에서 흡수의 주요 영역인 400-450 nm와 550 nm에 넓은 밴드가 나타났다. 450-500 nm까지는 투과하며 3개의 흡수선 468.5, 475와 476.5 nm가 크롬이 함유된 루

비의 특징이 나타났고, 넓은 흡수 밴드 550 nm와 694-695 nm 피크로 전체적인 루비 스펙트럼이 관찰된다(Fig. 6).

비록 천연 루비의 크롬 스펙트럼은 합성루비로부터 분류할 수 없지만 가끔 철 성분에 의해 다른 특징을 보인다. No. 3, 4 루비에서 451.5 nm의 철 선이 크롬 때문에 밴드가 중복된다. 이들 철 선들이 합성석에서는 관찰되지 않기 때문에 그것의 존재는 천연을 증명할 수 있다. 흡수선 중에서 694와 695 nm는 형광선으로서 전환될 수 있다. 교차 필터를 사용하면 흑색 배경에 이 현상이 잘 관찰되며 이들 형광 선은 반사 혹은 산란된 루비에서 가장 잘 보인다.

적외선 분광분석

Fig. 7은 타지키스탄 산 루비의 적외선 분광분석 스펙트럼을 나타낸 그림이다. 적외선 분광분석법은 적외선의 흡수 정도를 조사하여 광물 내의 흡수에너지 모드를 연구하는데 유용하며, 특히 분자결합 규모의 정보를 제공하므로 광물의 구조나 층간 결합 연구에 널리 이용되어져 왔다(Shoval *et al.*, 2001).

Fig. 6. Uv-Vis absorption spectra of variety ruby from Tajikistan. (a), (b) iron line(No. 3) caused by Fe^{2+} in the region of 451.5 nm, pink-red color ruby (No. 1-No. 10) caused by Cr^{2+} in the region of 400-450 nm, 450-500 nm, broad band of 550 nm and absorption line at 468.5, 475, 476.5 nm.

적외선의 중간영역은 파수가 4000 cm^{-1} 에서부터 400 또는 200 cm^{-1} 범위를 일컫는데, 광물내의 분자간 혹은 원자 간의 진동모드를 이용하여 결정내의 파라론 흡수를 연구함으로써, 수소이온이나 수산기의 결합, 사면체자리의 Si-O나 Al-O 결합, 팔면체자리의 양이온과 수산기의 결합을 해석하는데 유용하다 (Blackburn and Dennen, 1994).

적외선 분광분석 결과, 루비 10개 시료들이 모두 매우 유사한 양상을 보이고 있으며, $3500, 3617, 3630, 3697\text{ cm}^{-1}$ 부근에서 특징적인 다수의 흡수 피크에서 카올리나이트가 $1989, 2125\text{ cm}^{-1}$ 주변에서 뚜렷한 흡수 피크와 3085 와 3320 cm^{-1} 사이에서 넓은 흡수 밴드가 나타남으로써 비마이트를 함유하고 있다는 것을 추정할 수 있다(Pardieu *et al.*, 2009).

Fig. 7. Infrared spectra of Ruby from Tajikistan shows the present of both kaolinite (indicated in circle) and boehmite(indicated in circle). Kaolinite has sharp absorption peaks around $3500, 3617, 3630, 3697\text{ cm}^{-1}$ and Boehmite has sharp absorption peaks at $1989, 2125\text{ cm}^{-1}$ and broad absorption bands center at $3085, 3320\text{ cm}^{-1}$.

내포물 분석

타지키스탄 산 루비의 내포물들은 다른 산지의 루비 내포물들과 대체적으로 유사하였다. Fig. 8에서 나타나는 육방주 형태로 보이는 결정체가 내포되어 있는 형태는 루비의 대표적인 내포물이다. 세계적으로 분포되어 있는 현무암 지역의 루비에 대한 지금까지의 기재학적 연구는 방대한 광물 내포물을 보고하고 있다. 이들 광물 내포물은 저어콘(zircon), 인회석(apatite), 알바이트(albite), 스피넬(spinel), Zn이 풍부한 스피넬(Zn-rich spinel), 자류철석(pyrrhotite), 황철석(pyrite), 방해석(calcite), 백운석(dolomite), 플로고파이트(phlogopite), 백운모(muscovite), 파이로크로(pyrochlore), 흑운모(biotite), 전기석(tourmaline), 흑연

Fig. 8. Various inclusions of Ruby from Tajikistan. (a) No. 1, (b) No. 2, (c) No. 3, (d) No. 4, (e) No. 5, (f), (g) No. 6, (h) No. 8, (i) No. 9, (j) No. 10.

(graphite), 콜롬바이트(columbite) 등이다(Guebelin and Koivula, 1986). 본 연구에서는 여러 종류의 내포물들이 아래와 같이 발견되었다.

Fig. 8에 타지키스탄 산 루비에서 분석된 내포물들을 나열하였다. Fig. 8a, 8b는 루비 내부에 결정체 형태의 내포물이고 Fig. 8c는 오렌지 색대를 띠고 있는데 이는 산화철이다. 철 성분이 산화하게 되면 오렌지 색으로 바뀌게 된다는 원리에 기인한다. 이는 순수한 자연적인 형태로 비처리석이라는 것을 입증한다. 또한 Fig. 8d는 결정체가 빠져나간 흔적으로 결정체가 있었다가 어떤 요인으로 인해 녹거나 해서 빠져 나가고 난 뒤에, 빈 자리가 그대로 빈 채로 결정화 되어 결정체의 빈자리가 보이는 것이다. 루비에 열처리를 하게 되면 크리스털 주변이 팽창하여 터지게 되어 미세한 균열, 곤충 날개를 단 모습, 원반상 균열 등을 보이나 여기 사진에서는 결정형 그대로 갖고 있으므로 팽창할 요소가 없었다고 판단할 수 있다. 따라서 비처리된 천연 루비라는 것을 입증한다(Pardieu *et al.*, 2009). Fig. 8e는 흑색 내포물이며 Fig. 8f는 테이블 정 중앙에서 보이는 침상 내포물을 볼 수 있다. 11시 방향에서 5시 방향으로 길게 늘어진 침상 형태는 피마이트라는 광물이다. 이는 적외선 분광분석을 통하여 확인하였다. Fig. 8g는 루비 종류에서 많이 나타나는 간섭 무늬로, 조각 패각의 간섭 색처럼 보이며 내부적으로 크랙 또는 액상이 있는데 간섭 형태가 많이 보인다. Fig. 8h는 결정 내포물로서 결정체 주변에서 보이는 간섭 무늬의 원인이

다. Fig. 8i는 결정집합체로 결정 안에 또 다른 결정을 함유하고 있는데, 동물이 임신하고 있는 것 같은 사진이 찍혔다. 초음파 찍으면 생명체가 처음 만들어질 때 사진처럼 보이는 특이한 형상의 결정체를 보인다. 구체적으로 이에 대한 성분을 밝히기 위하여 연구 중이다. Fig. 8j는 루비의 전형적인 액상 내포물이다. Fig. 8i와 같은 루비의 내포물인 결정체만을 대상으로 하는 성분 분석 등의 좀더 심도 있는 연구를 현재 진행하고 있다.

결론

타지키스탄 산 루비는 장파에서는 보통에서 매우 강한 적색 또는 오렌지색을 띄었으며, 단파에서는 장파에서보다는 약간 약한 적색 또는 오렌지적색 형광 반응을 하였다. 타지키스탄 산 루비에 대한 X-선 형광분석 결과, 어두운 분홍빛 적색을 띤 루비는 미량 원소 중 규소의 함량이 가장 높고 다량의 칼슘을 함유하고 있으며, 선분홍색을 띤 루비는 크롬의 함량이 루비 중에서 가장 높게 나타났다.

자외선-가시광선 분광분석 결과, 3개의 흡수선 468.5, 475와 476.5 nm이 크롬이 함유된 루비의 대표적인 특징으로 나타났고, 넓은 흡수 밴드 550 nm와 적색 영역에서 몇 개의 흡수밴드가 나타나서 전체적인 루비 스펙트럼을 만든다. 적색 영역의 흡수선 중에서 694-695 nm는 형광선으로서 전환될 수 있다.

적외선 분광분석에서는 3500, 3617, 3630, 3697 cm^{-1}

부근에서 특징적인 다수의 흡수 피크에서 카올리나이트를, 1989와 2125 cm^{-1} 주변에서 뚜렷한 흡수 피크와 3085와 3320 cm^{-1} 사이에서 넓은 흡수 밴드가 나타남으로써 비마이트를 함유하고 있다는 것으로 추정될 수 있다.

내포물 분석에서는 결정이 빠져나가고 남은 흔적, 침상내포물, 액상과 고상내포물 외에 산화철에 기인한 오렌지 색대가 나타나고 있다. 루비의 내포물인 다양한 결정체만을 대상으로 하는 성분 분석 등의 좀 더 심도있는 연구를 하는 것이 필요하다.

이번 연구 결과는 타지키스탄 산 루비의 감별 및 감정에 필요한 정보를 제공하고, 타 지역에서 산출되는 루비와 비교·분석 할 수 있는 자료로 활용될 수 있다.

참고문헌

- Blackburn, W.H. and Dennen, W.H., 1994, Principles of mineralogy. Wm.C. Brown Publishers, Dubuque, 413p.
- Guebelin E.J. and Koivula J.I., 2008, Photoatlas of inclusions in gemstones. Opinio Publishers, 3, 340-341.
- Miessler, G.L. and Tarr, D.A., 2004, Inorganic chemistry. Pearson Education, New Jersey, 4, 344-345.
- Park, H.Y. and Sung, K.Y., 2005, Gemological Characteristics of Rubies and Sapphires from Tanzania. Journal of the Mineralogical Society of Korea, 18, 313-323.
- Pardieu V., Thanachakaphad J., Jacquat, S., Senoble, J.B. and Bryl, L.P., 2009, Rubies from the Niassa and Cabo Delgado regions of Northern Mozambique. GIA Laboratory, 5-16.
- Sasso, A., 2004, Geology of rubies. Discover Magazine, 25, 31-32.
- Shon, S.H., 2006, The gemological and mineralogical study of sapphire from Bokeo Province, Laos. M.A. dissertation, Graduate School Kyungbook National University of Korea, 42p.
- Shoval, S., Boudeulle, M., Yariv, S., Lapidés, I. and Pancer, G., 2001, Micro-Raman and FT-IR spectroscopy study of the thermal transformations of St. Claire dickite. Optical Materials, 16, 319-327.

2011년 1월 14일 접수

2011년 1월 17일 심사개시

2013년 3월 28일 채택