

아프리카 마다가스카르산 석류석에 대한 보석광물학적 연구

Gemological Studies on Garnet from Madagascar, Africa

김수현 (Su Hyun Kim)¹ · 장윤득 (Yun Deuk Jang)^{1,*} · 김종랑 (Jong Rang Kim)¹ ·
김정진 (Jeong Jin Kim)² · 김종근 (Jong Gun Kim)³

¹경북대학교 지질학과

(Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

²안동대학교 지구환경과학과

(Department of Earth & Environmental Sciences, Andong National University, Andong 760-749, Korea)

³대구산업정보대학 보석감정학과

(Department of Gemology, Daegu Polytechnic College, Daegu, Korea)

요약: 마다가스카르산 석류석은 편마암 내 변성광물로 산출되며 색상과 구성성분으로 로돌라이트, 자색 알만딘, 갈색 알만딘 세 그룹으로 분류할 수 있다. 자외선-가시광선 분광분석 결과, 로돌라이트와 자색 알만딘은 400, 428, 504, 521 및 572 nm 부근에서 강한 흡수피크를 보이는데 반해 갈색 알만딘은 433과 502 nm에서 주 흡수피크를 보였다. 적외선 분광분석 결과, 620~660 cm^{-1} 영역에서 로돌라이트는 640 cm^{-1} 의 강한 단일 흡수피크가 관찰된 반면 갈색 알만딘은 628 cm^{-1} 와 651 cm^{-1} 두 개의 강한 흡수피크가 관찰되었고, 자색 알만딘은 635 cm^{-1} 와 653 cm^{-1} 에서 두 개의 흡수피크가 약하게 관찰되었다. 알만딘에서 발견되지 않은 3552 cm^{-1} 특징적인 흡수피크가 로돌라이트에서는 관찰되었다. 따라서 로돌라이트와 알만딘은 비슷한 색상과 중첩된 굴절률로 인해 감별이 매우 어렵지만 자외선-가시광선 분광분석과 적외선 분광분석을 통해서도 로돌라이트와 알만딘간의 감별이 가능한 것으로 사료된다.

주요어: 석류석, 로돌라이트, 알만딘, 자외선-가시광선 분광분석, 적외선 분광분석

ABSTRACT: The Madagascar garnets were mainly found as a porphyroblast in gneiss and classified into rhodolite, purple almandine, and brown almandine based on compositional characteristics and color. UV-visible analysis showed strong absorption bands at 400, 428, 504, 521, and 572 nm for rhodolite and purple almandine, and main absorption bands at 433 and 502 nm for brown almandine. For FT-IR analysis, a strong absorption band at 640 cm^{-1} was observed for rhodolite, two strong bands at 628 and 651 cm^{-1} were observed for brown almandine, and two weak absorption bands at 635 and 653 cm^{-1} were observed for purple almandine. A single distinct absorption band at 3552 cm^{-1} was observed only for rhodolite. It is possible to distinguish rhodolite from purple or brown almandine by considering overall characteristics of the rhodolite such as color, RI, UV-visible absorption, FTIR absorption etc.

Key words: garnet, rhodolite, color, FTIR, UV-visible

*교신저자: jangyd@knu.ac.kr

서 론

석류석은 등축정계에 속하는 조암광물의 하나로 그 분포와 산출 형태가 다양하지만 보석질 석류석은 그 산출지가 아주 제한적이다 (Antonin and Stanislav, 2003; Stockton and Mason, 1985). 석류석의 일반 화학식은 $A_3B_2(SiO_4)_3$ 이며 A와 B자리에 다양한 양이온들의 치환을 기준으로 크게 두 개의 동형계, 파이랄스파이트군(Pyralospite Group)과 우그란다이트군(Ugrandite Group)으로 나눌 수 있다(Deer *et al.*, 1992). 파이랄스파이트군은 상기 화학식의 A자리에 2가 양이온인 Ca, Mg, Fe, Mn 등 원자반경이 상대적으로 큰 원소들이 위치하며, B자리에는 Al이 고정되어 있다. 우그란다이트군은 A자리에 Ca가 고정되어 있고 B자리에 3가 이온인 Al, Fe, Cr 등 원자 반경이 상대적으로 작은 원소들이 위치한다(Deer *et al.*, 1992; Winchell, 1958).

파이로프(Pyrope, $Mg_3Al_2(SiO_4)_3$), 알만딘(Almandite, $Fe_3Al_2(SiO_4)_3$), 스페샤틴(Spessartite, $Mn_3Al_2(SiO_4)_3$) 등이 파이랄스파이트군에 속한다. 파이랄스파이트군의 파이로프와 알만딘의 고용체 계열로서 자적색 또는 자색을 띠는 석류석이 로돌라이트(Rhodolite)로 호명되어 왔다 (Trumper, 1952; Barker, 1961). 그리스어 어원으로 장미란 뜻을 의미하는 로돌라이트는 3캐럿 이상 산출이 희귀하여 고가의 보석으로 간주되어 왔지만 로돌라이트의 광물학적인 연구와 개념 정립은 미비한 상태이다(Hanneman, 1997; Schumann, 2001; 김금조, 2000).

이로 인해 현재까지 석류석의 변종인 알만딘과 로돌라이트간의 감별에 대한 명확한 기준이 성립되어 있지 않은 상태에서 색상, 굴절률, 비중, 스펙트럼 등의 간접적인 기준만이 제시되어 있을 뿐이다(Hanneman, 1997; Schumann, 2001; GIA, 1990). 파이랄스파이트군에 속하는 석류석의 감별 시 가장 중요한 요소는 색상이며, Stockton and Manson (1985)에 의해 제안된 석류석의 색상범위가 이용되어 왔다. 이를 바탕으로 현재 보석 시장에서 석류석 중 자색-자적색은 로돌라이트, 암적색-갈적색은 알만딘, 적색은 파이로프, 옐로우색은 스페샤틴으로 분류되고 있다. 일반적으로 파이로프, 스페샤틴, 알만딘간의 감별은 색상, 굴절률, 스펙트럼 분광성 검사

등으로 가능하나 알만딘과 로돌라이트간의 감별은 거의 유사한 색상과 중첩된 굴절률로 인해 감별이 쉽지가 않다. 이와 같은 문제점으로 인해 로돌라이트와 자색계열의 알만딘은 현재 보석시장에서 혼용되어 사용되고 있다.

본 연구의 목적은 아프리카 마다가스카르산 석류석에 대해 보석광물학적 연구를 통하여 로돌라이트와 자색계열 알만딘간의 특성과 그 분류의 가능성 규명하는 것이다.

산출상태

석류석은 화성암, 변성암, 혹은 퇴적암의 조암광물, 광석광물, 맥석광물 등으로 다양한 산출양상을 보이거나 보석으로서의 가치를 지니는 석류석의 산출은 탄자니아, 미국의 노스캐롤리나, 마다가스카르, 짐바브웨 등 지리적으로 비교적 제한되어 있다.

로돌라이트는 일반적으로 알만딘의 산출지와 유사하며, 변성작용을 받은 현무암이나 사문암 내에서 변성 광물로서 많이 산출된다(Deer *et al.*, 1992).

마다가스카르의 석류석은 Betroka 지방에서 주로 산출되며 흑운모가 풍부한 편마암에서 반상변정으로 생성되는데 그 결정형태는 작은 자형 내지 반자형 결정 혹은 반자형 내지 타형의 큰 반점 결정형태로 나타난다. 현재 석류석은 편마암의 반상변정인 상태로 채굴되거나 풍화 침식에 의해 계곡이나 하천에 퇴적된 층적층에서 채굴되고 있다(그림 1).

시료 및 연구방법

시료의 전처리

마다가스카르산 석류석 시료 총 75개 중에서 색상, 투명도, 광택을 바탕으로 1차 분류를 수행하였다. 분류기준으로 사용한 색은 표준 보석색 도표를 이용하였다(Rubin, 2003). 1차 분류를 바탕으로 전형적인 자색 시료 15개와 전형적인 갈색 시료 4개 총 19개를 선별하였다(그림 2).

선별된 19개의 시료에 대하여 모두 광학 현미경을 이용한 내포물 관찰을 위해 내포물이 표면에 드러날 때까지 2 mm의 두께로 가공하

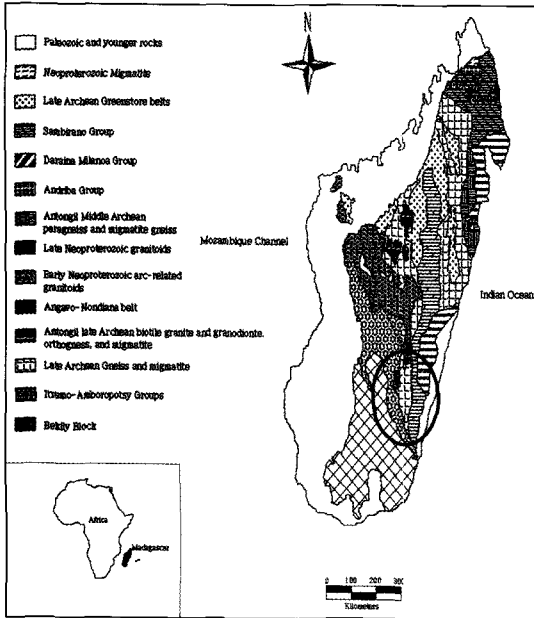


Fig. 1. Geologic map of garnet-occurring area.

였으며 EPMA, UV-Visible, FT-IR 기기분석 등을 위해 시편의 표면을 산화철 파우더, 400,

600, 800 매쉬에서 단계적으로 연마한 후 1 μm 다이아몬드 현탁액으로 최종 연마하였다.

연구방법

시료의 광학적 특성은 실체 현미경(ZEISS-2000C)을 사용하여 투과조명과 반사조명의 조건 하에서 시료를 관찰하였다. 굴절률은 Duplex II 굴절계를 이용하여 평면법으로 측정하였고, 비중은 정수법에 의거하여 측정하였다. 굴절률과 비중 측정은 동일 시료에 대하여 10회 이상 반복 측정하여 평균치를 취하였다. 주성분 분석은 전자현미분석기(EPMA: SHIMADZU-1600)를 사용하여 정량분석하였으며 분석 조건은 가속전압 15 kV, 전자빔 크기 3 μm , 빔 전류 20 nA이며 분석치 보정 프로그램은 ZAF를 적용하였다. 시료의 분광학적 특성은 자외선-가시광선 분광분석기(UV-VIS spectrophotometer: Jasco-V650)를 사용하여 200~800 nm에서의 흡광도와 적외선분광 분석기(FT-IR, Jasco-4100)를 사용하여 4000~400 cm^{-1} 에서의 흡광도를 측정하여 알아보았다.

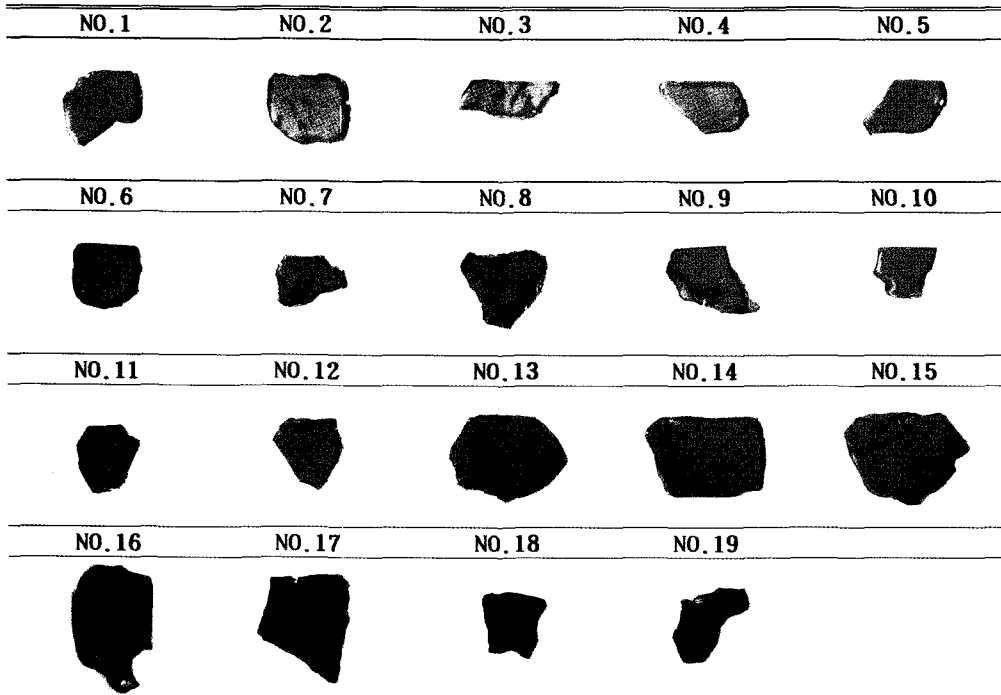


Fig. 2. Photographs of sliced garnet specimens used in this study.

Table 1. Physical and gemmological properties of garnets from Madagascar, Africa

	Number	Clarity	Hue	Tone	Saturation
Purple	No.1	TP ^{e)}	P ^{a)}	10	10
	No.2	TP	P	20	10
	No.3	TP	P	30	10
	No.4	TP	R2P ^{b)}	10	10
	No.5	TP	R2P	20	10
	No.6	TP	R2P	30	20
	No.7	TP	R2P	40	10
	No.8	TP	R2P	40	20
	No.9	TP	R2P	40	20
	No.10	TP	P2R ^{c)}	30	20
	No.11	TP	P2R	40	10
	No.12	TP	P2R	40	10
	No.13	TP	P2R	40	20
	No.14	TP	P2R	40	20
	No.15	TP	P2R	40	20
Brown	No.16	TP	BRN ^{d)}	60	20
	No.17	TP	BRN	80	10
	No.18	TP	BRN	90	20
	No.19	TP	BRN	100	20

a) Purple, b) Reddish Purple, c) Purplish Red, d) Brown, e) Transparent

결과 및 토의

주구성 성분

색상, 투명도 및 광택

표준 보석 색도표에 의하여 시료의 색상을 분류한 결과, 자색 시료 15개는 P (Purple), R2P (Reddish Purple), P2R (Purplish Red)의 색도를 가지며, 명도는 10~40 사이의 값을 나타내었고, 채도는 10~20의 값을 나타냈다. 갈색 시료 4개의 색도는 BRN (Brown)을 가지며 명도는 60~100의 값을 가지며, 채도는 10~20의 값을 나타냈다(표 1).

시료에 빛이 투과되는 양의 정도를 관찰하는 투명도는 19개 시료 모두 빛을 가장 잘 투과시키는 투명도를 나타내었으며, 보석 표면에 반사되는 빛의 질과 양에 따라 나타나는 광택은 모두 유리광택에 속했다(표 1).

본 연구시료 모두를 전자현미분석기를 이용하여 정량분석 한 결과 표 4와 같다. 구성성분 분석 결과와 색상을 바탕으로 시료를 3가지 그룹으로 나눌 수 있는데, 첫째, MgO 함량이 FeO 함량보다 높고 자색을 띠는 시료(No. 1~No. 8)는 전형적인 로돌라이트 둘째, 자색을 띠지만 FeO 함량이 MgO 함량보다 높게 나타나는 시료(No. 9~No. 15)는 자색 알만딘, 셋째, FeO 함량이 MgO 함량보다 높고 갈색을 띠는 시료(No. 16~No. 19)는 전형적인 갈색 알만딘으로 분류할 수 있다. 위와 같이 성분에 의해 구분되는 이들 세 가지 그룹은 MgO-FeO-CaO 및 end-member molecules 값을 이용한 삼각 다이어그램으로 구분할 때보다 명확하게 분류되고 있다(그림 4, 5).

로돌라이트의 구성성분은 갈색 혹은 자색 알만딘에 비하여 FeO 함량은 약간 낮고 MgO 함량은 높은 양상을 보이며 CaO 함량은 확연하게

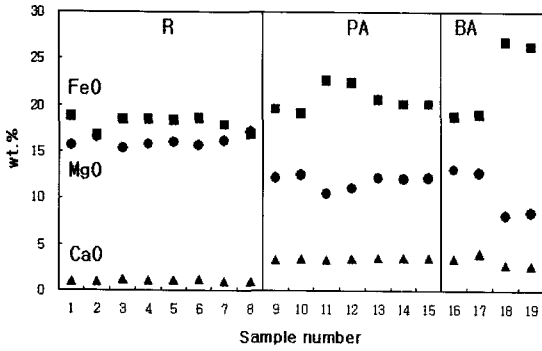


Fig. 3. Compositional variations of major element concentration in garnet: rhodolite (R), purple colored almandine (PA) and brown colored almandine (BA).

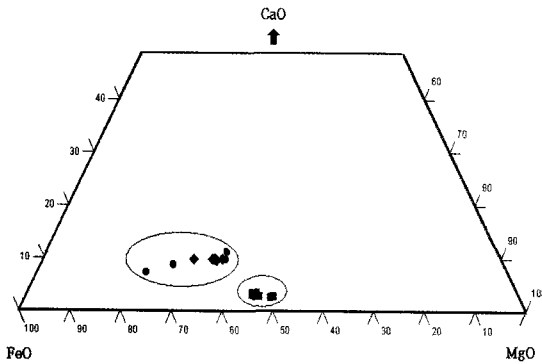


Fig. 4. Compositional distribution of garnets from Madagascar plotted on MgO-FeO-CaO triangular diagram (Symbols are ◆; Brown Almandine, ●; Purple Almandine, ■; Rhodolite).

낮은 경향을 나타내고 있다. 위와 같은 구성성분의 특성을 고려할 때 Novak and Gibbs (1971)가 제시한 로돌라이트와 알만딘의 구분기준인 MgO와 FeO의 함량차이는 개략적인 구별기준으로 가능할 뿐 로돌라이트, 자색 알만딘, 갈색 알만딘의 색상을 구분하는 절대적 기준으로는 미비한 것으로 사료된다(그림 3).

굴절률 및 비중

일반적으로 로돌라이트를 규정하는 굴절률과 비중의 범위는 표 2와 같이 Gem-A (The Gemological Association of Great Britain), GIA (Gemological Institute of America) 등의 연구기관과 산지에 따라 약간의 차이를 보이고 있다

Table 2. Refractive indices and specific gravities for typical rhodolites

	R.I ^{a)}	S.G ^{b)}
Hanneman	1.749 ~ 1.795	3.80 ~ 3.95
Gem-A	1.75 ~ 1.78	3.84 ~ 3.94
GIA	1.740 ~ 1.770	3.80 ~ 3.95
Zambia	1.759 ~ 1.763	3.87 ~ 3.94

a) Refraction index, b) Specific gravity

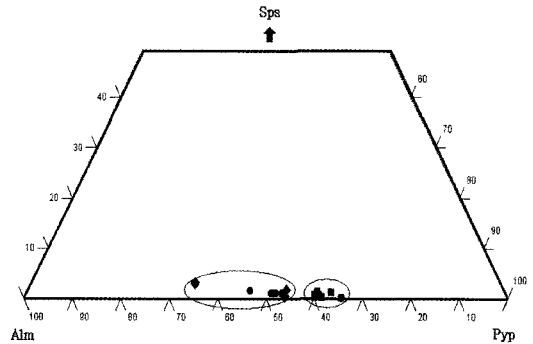


Fig. 5. Compositional distribution of garnets from Madagascar plotted on Sps-Alm-Pyp triangular diagram. Symbols are the same as in Fig. 5.

(Antonin, 2003; Deer, 1992; GIA, 1990). 본 연구의 로돌라이트 시료 No. 1~No. 8의 굴절률은 1.745~1.779, 비중은 3.70~3.85의 값을 나타내었으며, Gem-A와 GIA의 기준에 따르면 굴절률은 Gem-A에서 제시한 기준과 유사하고, 비중의 범위는 GIA의 범위와 유사하였다(표 3). 한편 자색 알만딘 시료 No. 9~No. 15의 굴절률과 비중 측정 시 No. 10과 No. 11 시료를 제외한 나머지 시료는 로돌라이트의 측정값과 중첩되었고, 갈색 알만딘 시료인 No. 16과 17의 측정값 또한 로돌라이트의 측정값과 중첩되었다.

내포물

내포물 특성은 천연, 합성, 처리의 유무 등을 지시해 줄 수 있는 중요한 기준(김원사, 1993)으로 19개 시료를 대상으로 실체 현미경 하에서 관찰한 결과 인회석, 루틸, 액상, 결정체 등이 관찰되었다. 석류석의 자색 시료와 갈색 시료 모두 액상과 침상의 내포물이 관찰되었으며 특히 루틸침상과 고체 내포물이 빈번하게 관찰되었다(그림 6). 루틸은 침상으로 산출되며 서

Table 3. Refractive indices and Specific gravities of garnets from Madagascar, Africa

No.	Color	RI ^{a)}	SG ^{b)}
1		1.759	3.77
2		1.758	3.77
3		1.759	3.77
4	Purple (Rhodolite)	1.760	3.84
5		1.759	3.83
6		1.758	3.7
7		1.757	3.75
8		1.753	3.83
9		1.768	3.88
10		1.765	4.05
11	Purple (Almandine)	1.770	3.97
12		1.770	3.91
13		1.765	3.84
14		1.768	3.83
15		1.769	3.88
16		1.762	3.87
17	Brown (Almandine)	1.761	3.86
18		1.790	3.97
19		1.785	4.17

a) Refraction index, b) Specific gravity

로 일정한 상호각을 이루고 있었다. 결정체와 액상 내포물은 자색 시료에서 보다 빈번하게 관찰되었는데 내포물이 눈꽃송이처럼 뭉쳐서 산출되는 특징을 보였다. 갈색 시료에서는 전형적인 알만딘의 내포물인 교차 침상체가 빈번하게 관찰되었으며 이들이 이루는 상호각은 $110^\circ/70^\circ$ 으로 관찰되었다.

자외선-가시광선 분광분석

가시광선 영역에 해당되는 빛이 보석광물에 도달하면 보석 광물의 광학적 성질에 의하여 다양한 색상이 발현하는데 이는 보석광물 내부의 원자 배열방식 및 화학성분에 의해 크게 좌우된다(김원사, 2004). 자외선-가시광선 영역에서 시료의 흡수피크를 분석한 결과, 로돌라이트와 자색 알만딘은 400, 428, 504, 521 및 572 nm 부근에 강한 흡수피크가 관찰되었고, 갈색 알만딘은 433과 502 nm 부근에서 주 흡수피크가 관찰되었다.

로돌라이트와 자색 알만딘은 서로 동일한 흡수피크를 나타내는데 비하여, 갈색 알만딘의 흡수 피크는 502 nm 이상의 영역에서는 흡수가

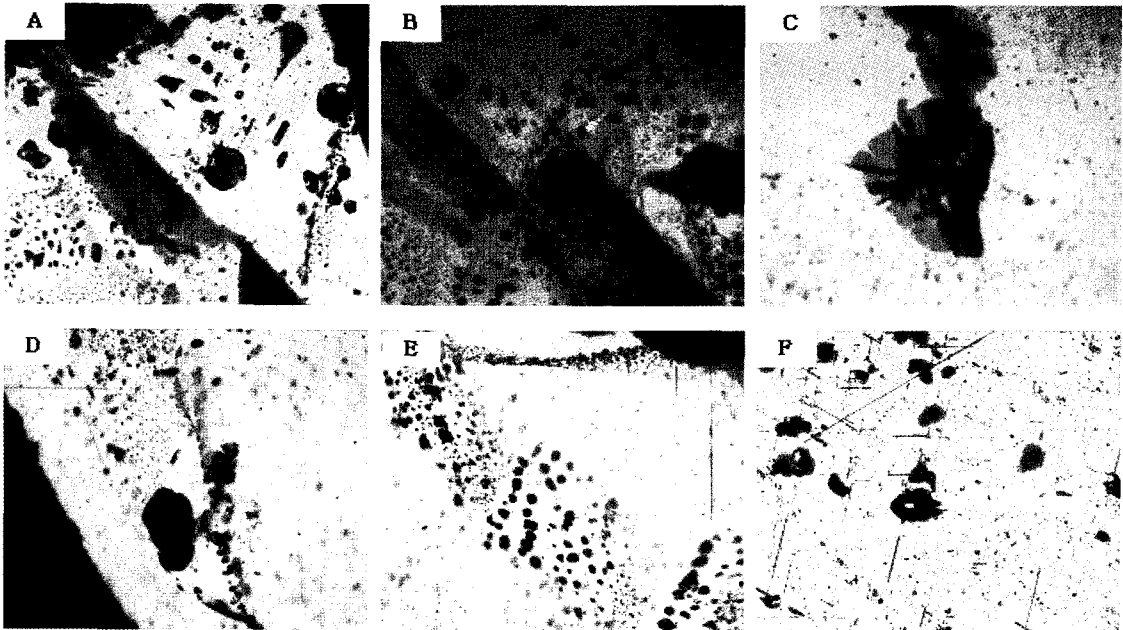


Fig. 6. Various inclusions observed in garnets from Madagascar ($\times 66$). (A)-(B) apatite inclusions. (C) snow crystal inclusions. (D)-(E) rutile needles. (F) rutile needles and two phase inclusions.

Table 4. Major element composition of garnet analyzed by EPMA

Samples	No.1	No.2	No.3	No.4	No.5	No.6	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	No.19
SiO ₂	40.80	41.73	41.45	41.27	42.24	40.99	42.80	41.75	41.61	41.77	39.80	40.04	41.00	41.69	41.10	40.27	40.24	39.85	39.03
TiO ₂	0.00	0.01	0.04	0.03	0.02	0.03	0.03	0.01	0.06	0.01	0.02	0.05	0.05	0.05	0.04	0.10	0.05	0.01	0.03
Al ₂ O ₃	22.99	23.25	22.98	23.04	22.70	23.04	22.67	22.96	22.54	22.72	22.43	22.23	22.12	22.09	22.22	22.81	22.15	21.48	21.86
FeO	18.88	16.85	18.49	18.45	18.35	18.57	17.98	16.90	19.58	19.18	22.64	22.42	20.68	20.19	20.21	18.86	19.05	26.81	26.40
MgO	15.66	16.62	15.36	15.78	16.00	15.69	16.18	17.10	12.20	12.46	10.48	11.06	12.13	12.11	12.21	13.13	12.72	8.08	8.43
MnO	0.66	0.68	0.39	0.32	0.30	0.35	0.21	0.15	0.52	0.49	0.86	0.66	0.57	0.54	0.53	0.72	0.80	1.32	1.51
CaO	1.00	0.97	1.24	1.10	1.13	1.20	1.05	1.04	3.42	3.50	3.37	3.51	3.63	3.58	3.59	3.52	4.06	2.78	2.76
Cr ₂ O ₃	0.06	0.00	0.02	0.02	0.02	0.07	0.00	0.01	0.00	0.06	0.07	0.03	0.00	0.05	0.05	0.00	0.00	0.00	0.00
P ₂ O ₅	0.07	0.05	0.05	0.07	0.04	0.04	0.01	0.04	0.03	0.06	0.03	0.05	0.05	0.04	0.07	0.06	0.06	0.02	0.01
Total	100.12	100.16	100.00	100.09	100.79	99.98	100.91	99.97	99.96	100.24	99.70	100.04	100.22	100.33	100.00	99.45	99.13	100.34	100.03
cations on the basis of 24 O																			
Si	6.0063	6.0632	6.0762	6.0434	6.1293	6.0193	6.1817	6.0701	6.1682	6.1638	6.0334	6.0382	6.1106	6.1818	6.1222	6.0084	6.0453	6.1197	6.0182
Ti	0.0000	0.0013	0.0039	0.0027	0.0026	0.0033	0.0032	0.0006	0.0071	0.0011	0.0028	0.0057	0.0060	0.0054	0.0040	0.0106	0.0054	0.0011	0.0038
Al	3.9691	3.9813	3.9703	3.9769	3.8820	3.9886	3.8585	3.9344	3.9392	3.9511	4.0065	3.9511	3.8848	3.8593	3.9003	4.0107	3.9217	3.8873	3.9725
Fe	2.3239	2.0477	2.2670	2.2594	2.2263	2.2807	2.1716	2.0554	2.4275	2.3676	2.8704	2.8284	2.5772	2.5040	2.5173	2.3528	2.3927	3.4428	3.4045
Mg	3.4372	3.5998	3.3578	3.4447	3.4600	3.4345	3.4831	3.7059	2.6953	2.7420	2.3681	2.4866	2.6962	2.6760	2.7116	2.9195	2.8479	1.8504	1.9375
Mn	0.0824	0.0836	0.0483	0.0397	0.0363	0.0435	0.0260	0.0184	0.0654	0.0608	0.1100	0.0838	0.0715	0.0678	0.0663	0.0909	0.1017	0.1712	0.1966
Ca	0.1580	0.1517	0.1940	0.1725	0.1762	0.1882	0.1619	0.1624	0.5431	0.5447	0.5478	0.5676	0.5802	0.5685	0.5723	0.5632	0.6535	0.4573	0.4561
Cr	0.0069	0.0000	0.0019	0.0028	0.0022	0.0081	0.0000	0.0015	0.0000	0.0066	0.0082	0.0029	0.0000	0.0058	0.0059	0.0000	0.0000	0.0000	0.0000
P	0.0087	0.0065	0.0058	0.0088	0.0045	0.0052	0.0010	0.0051	0.0037	0.0073	0.0037	0.0058	0.0058	0.0046	0.0084	0.0078	0.0081	0.0023	0.0010
end-member molecule																			
Alm ^{a)}	36.4	34.8	39.3	38.3	37.8	36.1	36.8	32.9	41.5	42.4	48.0	46.3	43.7	42.4	42.7	41.2	40.5	58.3	58.5
Pyr ^{b)}	56.8	61.0	59.7	58.1	58.6	56.8	59.0	62.9	47.5	46.3	42.4	40.5	45.8	45.4	45.9	48.5	48.3	31.4	31.4
Spe ^{c)}	1.5	1.4	0.9	0.5	0.7	0.9	0.5	0.3	1.2	1.2	1.5	1.5	1.2	1.2	1.2	0.5	1.7	2.9	3.2

a) Almandine, b) Pyrope, c) Spessartine

감소하여 서로 다른 양상을 나타내었다(그림 7). 주구성성분에서 차이가 있는 로돌라이트와 자색 알만딘은 가시광선영역의 흡수 스펙트럼이 동일하여 동일한 자색을 띠고 있어 이는 주구성성분의 차이가 발색으로서 역할을 하여 관찰되는 자색의 발현색상을 결정하기보다는 그 외의 차이를 유발할 수 있는 다른 기작에 의하여 결정되는 것으로 생각된다.

적외선 분광분석

적외선 분광분석은 결정 내부에 존재하는 원자 혹은 분자의 진동운동이나 회전운동에 의해서 빛이 흡수되고, 이를 통해 결정 내부의 원자 혹은 분자의 특성, 분자구조, 격자상태 등에 대한 정보를 얻을 수 있다(박면용 외, 2006).

적외선 영역에서 물질은 고유한 흡수피크의 패턴을 나타내는데 석류석은 1200~500 cm⁻¹에서 특징적인 흡수피크를 나타낸다(Hofmeister

and Chopelas, 1991). 본 시료에 대한 적외선 분광분석을 4000~400 cm⁻¹ 영역에서 수행한 결과 전반적으로 1200~500 cm⁻¹ 영역과 4000~3500 cm⁻¹ 영역에서 특징적인 흡수피크가 관찰되었다(그림 8). 1200~500 cm⁻¹ 영역에서 로돌라이트는 530, 559, 640, 892, 945 및 1122 cm⁻¹에서 6개의 뚜렷한 흡수피크를, 자색 알만딘은 526, 556, 635, 653, 889, 943 및 1156 cm⁻¹에서 7개의 흡수피크를, 갈색 알만딘은 525, 551, 628, 651, 889, 940 및 1106 cm⁻¹에서 7개의 뚜렷한 흡수피크를 나타냈다. 또한 이 세 그룹이 각각 620~660 cm⁻¹ 영역에서 특징적인 양상이 관찰되는데 로돌라이트는 640 cm⁻¹에서 강한 단일 흡수피크가 관찰되고, 자색 알만딘은 635 cm⁻¹와 653 cm⁻¹에서 두 개의 흡수피크가 약하게 관찰되고, 갈색 알만딘은 628 cm⁻¹와 651 cm⁻¹에서 두 개의 강한 흡수피크가 관찰된다. 유사한 흡수피크를 보이는 자색 알만딘은 갈색 알만딘에 비해 흡수피크의 분리성은 약하게 나

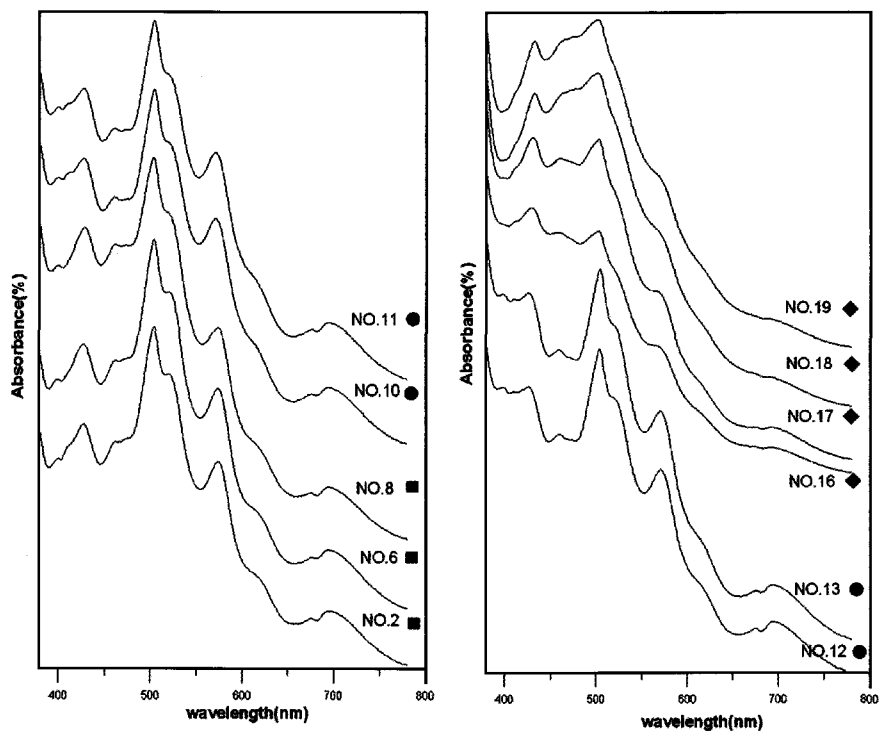


Fig. 7. UV-Visible absorption spectra of garnets from Madagascar in the region of 400~800 nm. Symbols are the same as in Fig. 5.

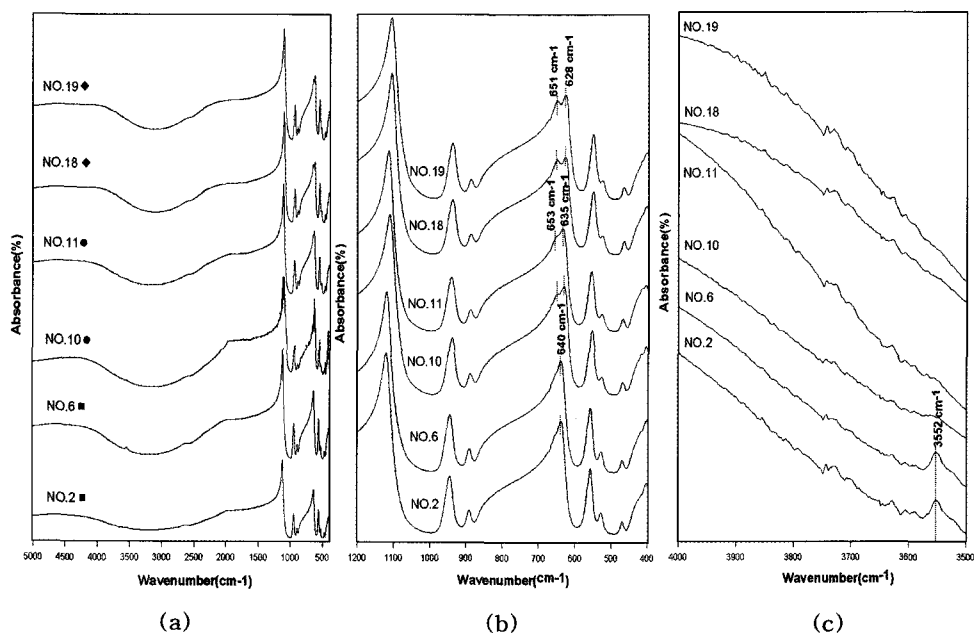


Fig. 8. FT-IR absorption spectra of the garnets. (a) in the region of 5000~400 cm^{-1} , (b) in the frequency range 1200~400 cm^{-1} , (c) in the frequency range 4000~3500 cm^{-1} and single distinct absorption band, 3552 cm^{-1} , was observed only for rhodolite. Symbols are the same as in Fig. 5.

타난다(그림 8). 한편 4000~3500 cm^{-1} 영역에서 로돌라이트는 3552 cm^{-1} 에서 특징적인 흡수 피크가 관찰되었는데 이 흡수 피크는 갈색 알만딘나 자색 알만딘에서는 관찰되지 않았다.

아프리카 마다가스카르산 석류석에 대한 1200~500 cm^{-1} 영역의 적외선 분광분석 결과, 로돌라이트, 자색 알만딘 및 갈색 알만딘 세 그룹이 전체적으로 유사한 형태의 전형적인 석류석 흡수 패턴을 나타내고 있으나, 부분적으로 특징적인 흡수 피크가 나타남으로써 이것을 기준으로 명확하게 로돌라이트, 갈색 알만딘 및 자색 알만딘을 감별할 수 있는 것으로 사료된다.

결 론

아프리카 마다가스카르산 석류석은 흑운모가 풍부한 편마암에서 반상변정으로 생성되어져 그 상태로 채굴되거나 풍화침식에 의해 층적층에서 채굴되고 있다. 본 시료의 색상 중 자색 시료는 P (Purple), R2P (Reddish Purple), P2R (Purplish Red)의 색도와 명도는 10~40, 채도는 10~20 값을 보여주고, 갈색 시료는 색도가 BRN (Brown), 명도는 60~100, 채도는 10~20의 값을 보여준다. 굴절률은 1.745~1.779, 비중은 3.70~3.85의 값을 나타내었다.

본 시료에 대한 구성성분 분석 결과와 색상을 바탕으로 MgO 함량이 FeO 함량보다 높고 자색을 띄는 로돌라이트, 자색을 띄지만 FeO 함량이 MgO 함량보다 높게 나타나는 자색 알만딘, FeO 함량이 MgO 함량보다 높고 갈색을 띄는 갈색 알만딘 등과 같이 세 그룹으로 나눌 수 있었다.

자외선-가시광선 분광분석결과 로돌라이트와 자색 알만딘은 서로 동일한 흡수 피크를 나타냄으로써 인해 두 보석광물에 대한 감별기준을 제시할 수가 없었다. 그러나 본 시료에 대한 적외선 분광분석을 4000~400 cm^{-1} 영역에서 수행한 결과 620~660 cm^{-1} 영역에서 로돌라이트, 자색 알만딘, 갈색 알만딘간에 특징적인 양상이 관찰되는데 로돌라이트는 640 cm^{-1} 에서 강한 단일 흡수 피크가, 자색 알만딘은 635 cm^{-1} 와 653 cm^{-1} 에서 두 개의 흡수 피크가, 갈색 알만딘은 628 cm^{-1} 와 651 cm^{-1} 에서 두 개의 강한 흡수 피크가 관찰되어졌고 4000~3500 cm^{-1} 영역에서는 로돌라이트가 3552 cm^{-1} 에서 특징적인 흡

수 피크가 관찰되었는데 이 흡수 피크는 갈색 알만딘이나 자색 알만딘에서는 관찰되지 않음으로 인해 이것을 기준으로 명확하게 로돌라이트, 갈색 알만딘 및 자색 알만딘을 감별할 수 있는 것으로 사료된다.

사 사

이 연구의 실험 및 분석과정에서 많은 분들의 도움이 있었으며, 특히 시료 확보 및 제작에 도움을 주신 양상철님, EPMA 분석을 해 주신 권석범님께 특별히 감사드립니다. 본 연구는 과학재단(원자력연구기반확충사업)의 지원으로 수행되었다. 본 논문의 질적 향상을 위해 심사하고 교정해 주신 경상대학교 최진범 교수님과 익명의 심사위원님께 진심으로 감사를 드립니다.

참 고 문 헌

- 김원사 (1993) 보석 내포물. 춘광, 서울, 287p.
 김원사 (2004) 보석학. 우성출판사, 서울, 576p.
 김금조 (2000) 보석으로 사용되는 석류석의 광물학적·보석학적 연구. 부산대학교 석사학위 논문, 54p.
 박면용 외 (2006) 첨단기기분석. 녹문당, 서울, 132p.
 Antonin, V.S. and Stanislav, V. (2003) Sangu garnet deposit, eastern province, Zambia. Bull. Geol. Surv., 78, 3-8.
 Deer, W.A., Howie, R.A. and Zussman, J. (1992) An introduction to the rock forming minerals (2nd Edition.). Longman, London, 712p.
 Gemological Institute of America (1990) GEM reference guide, G.I.A.
 Hanneman, W.W. (1997) A unified system for classifying garnets. Journal of Gemmology, 25, 471-473.
 Hofmeister, A.M. and Chopelas, A. (1991) Vibrational spectroscopy of end-member silicate garnets. Phys. Chem. Minerals., 17, 503-526.
 Novak, G.A. and Gibbs, G.V. (1971) The crystal chemistry of the silicate garnets. Am. Mineral., 56, 791-825.
 Rubin, H. (2003) Gemdialogue color comparison charts. M.V.
 Schumann, W. (2001) dGemstones of the world (2nd Rev. Ep. Ed.). NAG Press, 280p.
 Stockton, C.M. and Mason C.V. (1985) A proposed new classification for gem-quality garnets.

Gems and Gemology, 21, 205-218.
Trumper, L.C. (1952) Rhodolite and the py-
rope-almandine series. Gemmologist, 21, 26-30.
Winchell, H. (1958) The composition and physical

properties of garnet. Am. Mineral., 43, 595-600.

2007년 12월 7일 원고접수, 2008년 3월 10일 게재승인.