

캄보디아 빠일링지역의 보석광상의 성인에 대한 예비연구

김인준*

한국지질자원연구원

The Preliminary Study for Genetic Environment of the Gem Fields in the Pailling Area, Cambodia

In Joon Kim*

Korea Institute of Geoscience and Mineral Resources, Daejeon 305-350, Korea

This study, one of the projects for investigation of the precious metal deposits of the Circum-Pacific Ocean countries, was performed in a gem field of Pailling, Cambodia, in which there are numbers of undeveloped mineral resources. The gem fields in the Pailling area are typically distributed in the laterite, lying on of weathered basalts. The gem grade of corundum is low in the surface soil horizon(less than 1 m in depth), but is higher in the subsurface. Occurrence and genetic environment of the precious stone are not concerned in the soils. A precious stone that is already made from at the least upper part of volcanic rocks is produced in large quantities to undergoing to weathering of the rocks. A precious stone is made from upper part of the formation under the high temperature when volcano is vomiting or after vomiting, and/or made from between the formation under the high temperature when other volcano is vomiting. Volcanic rocks including precious stone are a little different from other volcanic rocks when volcano is vomiting, but chemical composition of rocks is not far different from other volcanic rocks.

Key words : Cambodia, basalt, laterite, ruby, sapphire.

금번 연구는 환태평양 귀금속 광화대 중 국내기업이 이미 진출한 나라를 대상으로 하였고, 캄보디아 빠일링 지역에 분포하는 보석광상에 대하여 조사를 수행하였다. 빠일링 보석광상은 현무암이 풍화된 라테라이트에 형성되어 있으며 표토 가까운 곳(깊이 1 m 정도)에서는 주로 저품위의 강옥이, 이보다 깊은 곳에서는 고품위의 강옥이 산출된다. 또한, 풍화토의 색깔이 적색인 경우에는 루비, 청색의 경우에는 사파이어가 많이 산출되며, 일반적으로 적색토가 청색토의 상위에 놓인다. 보석류의 산출 및 성인은 풍화토와는 관계가 없으며, 적어도 화산암 상부에 원래 만들어져 있던 이들 보석류가 암석이 풍화를 받으면서 다량으로 산출되는 것이다. 이들 보석류는 화산암의 분출 시 또는 분출 후에 층의 상부 내지는 다른 화산암의 분출로 인해 두 층간 사이에서, 고온의 상태 하에서 보석이 만들어진다고 사료되며, 보석을 함유하는 화산암은 보석을 함유하지 않는 화산암과는 분출시 조금 달랐을 것으로 사료되나, 암석의 화학성분은 다른 지역에서 산출되는 화산암과 별다른 차이가 없다.

주요어 : 캄보디아, 현무암, 라테라이트, 루비, 사파이어

1. 서 언

캄보디아 빠일링(Pailling) 지역 보석광상 조사는 산업 자원부 과제인 해외자원개발협력기초조사의 환태평양 귀금속 광상조사의 일환으로 수행되었다. 빠일링 보석 광화대는 동남아시아의 루비, 사파이어의 대표적인 보

석산지의 하나로(Fig. 1) 태국 국경과 접하고 있으며, 빠일링 보석광상은 프놈펜 북서측 약 400 km 지점에 위치한다(Fig. 2).

현장까지는 캄보디아 국내에서 가는 방법과 태국을 경유하는 두 가지 방법이 있다. 캄보디아 국내에서의 이동은 육로이동, 항공이동과 하상(강)이동 등이 가능

*Corresponding author: ijkim@kigam.re.kr

는 경사암 및 사암으로 구성되어 있으며 이 연구지역의 남서부에 넓게 북서-남동 방향으로 분포한다. 플라이오신의 현무암은 연구지역의 서부, 서북부 및 빼일링시 주변에 분포하고, 사파이어, 루비, 저어콘, 스피넬, 마그네사이트, 일메나이트, 석류석, 감람석, 단사회석, 금홍석, 인회석, 장석 등을 함유하고 있다. 이 암석은 보석광상의 원암이기도 하며, 이들의 분출시기는 2.14 Ma로 알려져 있다(Arun, 1992).

3. 광 상

3.1. 광상 개요

광상주변은 제4기층과 플라이오신의 현무암이 넓게 분포한다. 강옥 광상은 현무암을 피복하고 있는 풍화층적층 내에 발달하며 이들의 풍화 심도는 약 5~10 m 정도이며, 보석으로는 사파이어와 루비가 주

를 이룬다. 풍화층적층을 관찰한 결과, 이들은 현무암이 풍화된 라테라이트이다. 표토 가까운 곳(깊이 1 m 정도)에서 산출되는 루비와 사파이어는 주로 보석 원석으로서의 품질이 낮으며, 이보다 깊은 풍화토에서는 우수한 품질의 강옥들이 산출된다고 한다. 또한 풍화토의 색깔이 적색인 경우에는 루비, 청색의 경우에는 사파이어가 많이 산출되며, 일반적으로 적색토가 청색토의 상위에 놓인다.

이 지역의 보석광상은 주로 현무암으로 구성되는 화산암이 풍화된 지역(풍화대)에서 사파이어, 루비 등 보석류가 산출되며, 이 풍화대를 중심으로 현재 중국 및 태국 기업이 보석 채광권을 가지고 있으며 풍화대 밑의 원암석에도 보석이 함유되어 있으나 채광조건 등이 어려워 아직은 개발되지 않고 있다. 이곳에서는 과거 우리나라의 진로주식회사가 하루에 300~500 g의 보석 원광석(사파이어, 루비 등)을 채광하였으며, 보석 원광

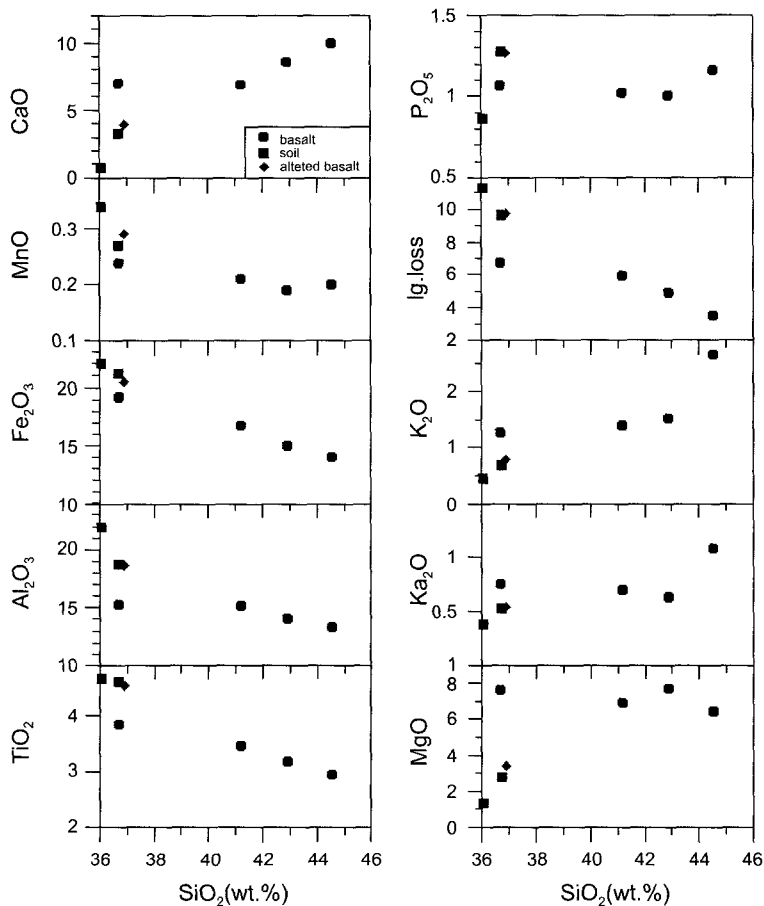


Fig. 4. Variation diagrams of SiO₂ (wt.%) vs. major oxides (wt.%) for the fresh rock, altered rock and soil samples of the 빼일링 gem field, Cambodia.

석을 태국의 찬타부리까지 자동차로 운반한 후 가공하여 완제품을 생산하였다. 이곳의 보석은 세계적으로 품질이 매우 우수한 것으로 알려져 있다.

3.2. 현무암, 변질현무암 및 풍화토의 지화학적 특징

금번 조사에서는 이들 보석광상의 성인에 관한 기존의 연구자료가 전무한 상태여서, 성인을 알아보기 위하여 보석을 함유하는 약 10여 개의 현무암, 변질현무암 및 풍화토의 시료를 채취하였으며, 이중 7개 시료에 대하여 화학분석을 실시하였으며 그 결과를 Table

Table 1. Chemical compositions of major (wt.%), trace (ppm) and REE (ppm) elements for fresh basalts, altered basalt and soil samples from Pailling area.

	Pa1 (altered basalt)	Pa2 (basalt)	Pa3 (basalt)	Pa4 (soil)	Pa5 (soil)	Pa6 (basalt)	Pa7 (basalt)
SiO ₂	36.90	42.88	36.68	36.04	36.70	41.20	44.54
TiO ₂	4.53	3.18	3.85	4.67	4.60	3.46	2.96
Al ₂ O ₃	18.56	14.05	15.31	21.98	18.78	15.17	13.29
Fe ₂ O ₃	20.45	15.01	19.15	22.06	21.23	16.75	13.97
MnO	0.29	0.19	0.24	0.34	0.27	0.21	0.20
MgO	3.44	7.71	7.65	1.38	2.82	6.93	6.45
CaO	3.95	7.71	7.65	1.38	2.82	6.93	6.45
Na ₂ O	0.79	1.53	1.27	0.45	0.69	1.39	2.65
K ₂ O	0.53	0.63	0.75	0.38	0.52	0.69	1.07
P ₂ O ₅	1.27	1.00	1.06	0.86	1.28	1.02	1.16
Ig.loss	9.76	4.93	6.72	11.25	9.59	5.99	3.51
Total	100.47	99.73	99.83	100.10	99.71	99.69	99.77
Ba	761	1009	950	951	738	1030	698
Cu	56	51	71	84	77	58	51
Co	114	73	89	130	110	83	67
Cr	298	146	241	269	259	183	107
Li	32	27	37	56	31	33	24
Nb	125	88	99	124	124	97	94
Ni	191	148	227	228	212	177	97
Sc	28	16	21	27	25	21	17
Sr	381	701	533	295	356	599	972
Th	8.78	6.73	7.13	8.60	8.36	7.18	7.36
U	2.40	1.64	1.78	1.92	2.46	1.77	1.74
V	230	239	245	264	238	254	225
Y	36	30	35	30	31	35	29
Zn	181	137	164	174	167	152	127
Zr	321	230	264	323	323	253	237
La	191	158	156	139	168	156	172
Ce	149	109	112	134	129	110	124
Pr	94.2	94.2	97.5	86.8	105	95.0	102
Nd	88.9	72.7	74.6	73.0	77.8	72.9	76.5
Sm	57.1	45.9	48.2	42.5	49.3	46.2	47.6
Eu	50.8	40.0	43.2	37.4	43.5	40.4	40.5
Gd	38.4	32.0	33.6	29.1	32.0	32.2	31.7
Tb	30.2	24.5	26.4	23.2	25.1	24.9	24.0
Dy	21.8	18.1	19.4	17.5	18.1	18.4	17.2
Ho	16.4	13.7	14.6	13.1	13.2	13.7	13.1
Er	14.2	11.9	13.0	11.9	11.5	12.1	11.0
Tm	12.2	9.7	10.6	10.3	9.7	10.0	9.1
Yb	10.6	8.5	9.4	9.5	8.7	8.8	7.9
Lu	8.9	7.1	8.0	8.0	7.1	7.4	6.5

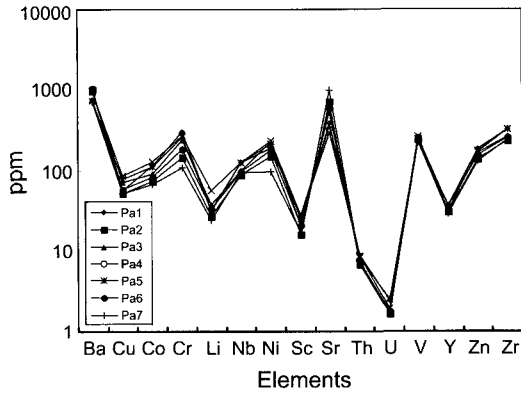


Fig. 5. Trace elements variation diagram for the rocks and soil samples of the Pailling gem field, Cambodia (Pa1=altered basalt, Pa2, 3, 6, 7=fresh basalt. Pa4, 5=soils).

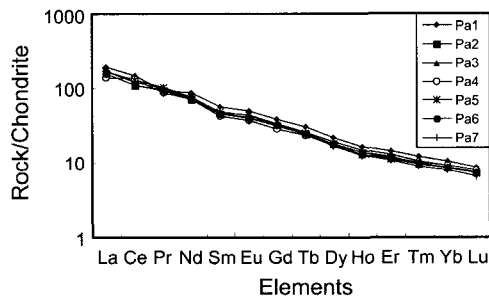


Fig. 6. Chondrite-normalized concentration of REE for the rocks and soil samples of the Pailling gem field, Cambodia (Pa1=altered basalt, Pa2, 3, 6, 7=fresh basalts. Pa4, 5=soils).

1에 나타내었다. 시료번호 Pa 1에서 Pa 5까지는 빠일링시 남쪽 보석광산에서 채취한 시료이고, Pa 6과 Pa 7은 빠일링시에서 채취한 시료이며, Pa 2, Pa 3, Pa 6 및 Pa 7은 비교적 변질을 덜 받은 현무암, Pa 1은 변질이 매우 심한 현무암, Pa 4 및 Pa 5는 풍화토 시료이다. 이들 시료에 대한 주성분원소 분석 결과는 Table 1과 같으며, SiO₂에 대한 산화원소 함량변화를 도시화한 그림은 Fig. 4와 같다. Fig. 4에 나타나듯이 주성분원소들의 변화는 풍화토를 제외하고는 암석들이 풍화를 받았음에도 불구하고 풍화를 받지 않은 화산암의 트렌드의 연장선상에 놓이고 있다.

또한, 이들 시료에 대한 미량원소에 대한 분석 결과는 Table 1과 같으며, 이들 미량원소들에 대하여 도시화한 그림은 Fig. 5와 같다. Fig. 5가 보여주듯이 풍화토나 암석들이 거의 같은 트렌드를 보여주고 있으며, 이는 이들이 풍화에 의해서는 거의 변화하지 않는다는 것을 나타내고 있다. 이런 트렌드는 보석류가 미량원소 성분에 의해서 색이 좌우되지만 풍화토 색깔과는

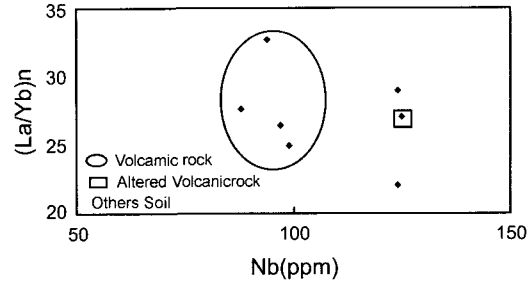


Fig. 7. Variation of (La/Yb)n vs. Nb for the rocks and soil samples of the Pailling gem field, Cambodia.

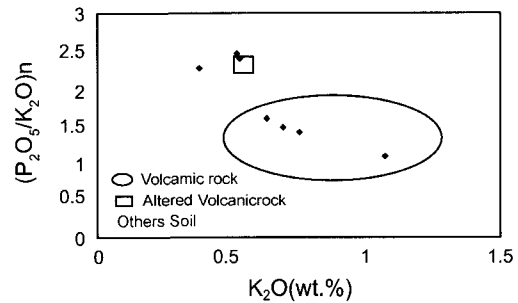


Fig. 8. (P₂O₅/K₂O)n vs. K₂O for the rocks and soil samples of the Pailling gem field, Cambodia.

관계없이 보석류가 일정하게 산출됨을 나타내며, 풍화와 관계없이 원암에도 이들 보석류가 산출됨을 의미한다. 실제로 풍화토 밑의 원암에서도 이들 보석류가 산출되고 있으며, 현장에서도 확인되었으나, 단지 풍화토에 비해서 원암이 딱딱한 관계로 보석류를 채취하기가 어렵기 때문에 채광하고 있지 않을 뿐이다.

희토류원소에 대한 이들 시료의 분석결과는 Table 1과 같으며, REE 패턴은 Fig. 6과 같다. Fig. 6에 나타나듯이 콘드라이트 값(Taylor and McLennan, 1985)으로 표준화된 희토류원소의 함량 변화는 HREE에 비해 LREE가 더 부화된 패턴을 가지며, 이 패턴은 알카리 화산암의 전형적인 패턴 영역에 들어가며, 미량원소와 마찬가지로 풍화토 및 변질화산암과 원 화산암이 다른 차이가 없음을 보여주고 있다.

분화에 따른(La/Yb)n 비의 변화를 보기 위한 한 방법으로 Nb에 대한(La/Yb)n 비(Fig. 7)에서 화산암이나 풍화토의(La/Yb)n 비가 일정함을 나타내며, 이는 암석에서 풍화토로 변하면서도 변화하지 않음을 역시 나타내고 있다.

P₂O₅/K₂O-K₂O 변화도(Fig. 8)에서 이지역의 암석들은 K₂O가 증가함에 따라 그 비가 감소하여 인회석의 정출에 의해 영향을 받은 것으로 해석된다. 반면에 풍

화토는 그 반대의 현상이 일어나고 있다. 이러한 현상은 암석이 풍화 받으면서 칼륨이 용탈되어짐을 나타내며, 칼륨의 용탈이 인의 용탈보다 훨씬 더 심하다는 것을 보여주고 있다.

따라서, 분석결과를 볼 때, 보석류의 성인은 풍화토와는 관계가 없으며, 적어도 화산암 상부에 이들 보석류가 이미 만들어져 있던 것들이 암석이 풍화를 받으면서 다량으로 잔류되는 것이다. 이들 보석류는 화산암의 분출시 또는 분출후의 또 다른 화산암의 분출로 고온의 현상이 층의 상부 내지는 두 층간 사이에서 보석이 만들어진다고 사료되며, 보석을 함유하는 화산암은 보석을 함유하지 않는 화산암과는 분출시 조금 달랐을 것으로 사료되나, 암석의 성분은 다른 지역에서 산출되는 화산암과 별다른 차이가 없다.

5. 결 언

금번 연구는 환태평양 귀금속 광화대 중 캄보디아가 빠일링 지역 보석광상 지역에 대하여 조사를 수행하였다. 빠일링 보석광상은 현무암이 풍화된 라테라이트에 형성되어 있으며 표토 가까운 곳(깊이 1m 정도)에서는 주로 저품위의 강옥이, 이보다 깊은 곳에서는 고품위의 강옥이 산출된다. 또한, 풍화토의 색깔이 적색인 경우에는 루비가, 청색의 경우에는 사파이어가 많이 산출된다. 일반적으로 적색토가 청색토의 상위에 놓인다. 보석류의 성인은 풍화토와는 무관하며, 적어도 화산암 상부에 본래 만들어져 있던 이들 강옥들이 암석이 풍화

를 받으면서 풍화토 내에 잔류하는 것이다. 이들 보석류는 화산암의 분출 시 또는 분출 후에 층의 상부 내지는 다른 화산암의 분출로 인해 두 층간 사이에서, 고온의 상태 하에서 보석이 만들어지는 것으로 사료되며, 보석을 함유하는 화산암은 보석을 함유하지 않는 화산암과는 분출시 조금 달랐을 것으로 사료되나, 암석의 성분은 다른 지역에서 산출되는 화산암과 별다른 차이가 없다. 따라서, 이 지역은 보석 부존 잠재력이 커서 앞으로 보석에 대한 연구가 진행되면 탐사 및 개발에 더 많은 도움을 줄 것이다.

사 사

이번 연구는 당 연구원이 캄보디아 빠일링지역에 대하여 1998년 산업자원부 출연 연구과제인 “해외자원 개발협력기초조사” 사업의 지원을 받아 수행한 연구 결과의 일부이며 연구비 지원에 감사를 드립니다.

참고문헌

- Arun, T. (1992) Southern Khorat Plateau-Possibility of New Gem Deposits, National Conferences on “Geological Resources of Thailand”, p. 393-406.
 Taylor, S.R., and McLennan, S.M (1985) The continental crust: its composition and evolution. Blackwell Scientific Publication, 312p.
 United nation (1993) Cambodia; Atlas of Mineral Resources of the ESCAP Region. v. 10, 87p.

2003년 2월 27일 원고접수, 2003년 8월 3일 게재승인.