

텍타이트와 흑요석의 보석학적 특징비교 - 중국 광동 텍타이트와 백두산 흑요석을 중심으로 -

Gemological Comparison between Gwangdong Tektite and Baikdusan Obsidian

김 원 사 (Won-Sa Kim)*

충남대학교 지질환경과학과

(Department of Geology and Environmental Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea)

요약 : 천연유리로 만든 보석들의 보석학적 특징을 알아보기 위하여 중국 광동성 마오밍산 텍타이트와 백두산에서 채취한 흑요석을 대상으로 편광 및 반사현미경, 주사전자현미경, 비중 및 굴절율 측정, X-선형광분석, ICP-MS분석, X-선회절분석, 전자현미분석 등을 실시하였다. 중국산 텍타이트와 북한산 흑요석은 모두 검고, 패각상 단구를 나타내며, 수 mm 두께로 연마하였을 경우에는 모두 짙은 갈색의 반투명한 특징을 나타낸다. 텍타이트는 4~10 cm 크기의 길쭉한 원통형 모양으로, 또는 직경이 3~5 cm인 구형으로 산출된다. 텍타이트의 표면에는 직경이 최대 3 mm인 함몰구조가 있는 것이 특징이다. 텍타이트의 모스경도는 5~5.5, 비중은 2.66이며, 단굴절을 일으키며, 굴절율은 1.51이다. 텍타이트 속에는 다수의 구형 기포가 분산되어 있으며, 규질성분이 높은 유리질물질이 존재한다. X-선회절분석 결과 비정질상태임이 확인되었다. 백두산 흑요석은 두 가지 형태로 나타난다. 즉, 균질한 검은색의 흑요석과 백색 결정을 함유하고 있는 것 등이다. 주된 차이점인 굴절율은 1.49~1.50으로서 텍타이트보다는 작으며, 비중은 텍타이트보다 다소 큰 2.67~2.68을 나타낸다. 또한 구형 기포 내포물이 없는 대신 새니딘과 자철석 침상결정을 함유하고 있다.

주요어 : 보석학적 특징, 천연 유리질 물질, 광동 텍타이트, 백두산 흑요석

ABSTRACT : The gemological characteristics of Gwangdong tektites and Baikdusan obsidians were investigated, using microscopy, density and refractive index measurements, X-ray fluorescence spectrometry, Inductively Coupled Plasma Mass spectrometry, X-ray powder diffraction, and electron microprobe analysis. The Gwangdong tektites and Baikdusan obsidians are both black in colour and slightly translucent with various shades of brown when cut into a few mm thick. Both the materials yield conchoidal fracture on broken surface. The tektites occur as tear-drop shapes, ranging from 4 to 10 cm long, and in spheres, from 3 to 5 cm in diameter. On the surface numerous shallow pits up to 3 mm in diameter are present. Mohs' hardness and specific gravity are 5 to 5.5 and 2.66, respectively. The tektites are singly refractive, with a refractive index of 1.51. Numerous spherical air bubbles are randomly scattered throughout the tektites, and silica-rich glass inclusions are occasionally seen. X-ray powder diffraction analysis verifies that they are non-crystalline. The Baikdusan obsidians show very

*교신저자: kimw@cnu.ac.kr

similar properties to those of the Gwangdong tektites, especially in hardness, amorphous nature and fracture. Nevertheless, the Baikdusan obsidian can readily be distinguished from the Gwangdong tektites by refractive index (1.49~1.50), specific gravity (2.67 to 2.68), and inclusions (absence of bubbles and presence of sanidine and magnetite crystals).

Key words : gemological properties, natural glassy material, gwangdong tektite, Baikdusan obsidian

서 론

텍타이트(tektite)는 검은색을 띠는 천연산 유리질 고체를 일컫는다. 텍타이트의 생성기원에 대해서는 여러 가지 주장이 있으나 그 중 가장 오래동안 정설로 여겨졌던 학설은 행성 주위를 돌고 있던 소행성이 지구의 중력에 의해 지표면에 떨어진 운석이라는 것이었다. 이 때문에 텍타이트는 철운석, 석철운석, 석질운석과 함께 운석의 4가지 유형 중 하나로 분류되었었다(Glass, 1982). 텍타이트와 석질운석과의 주된 차이점은 석질운석은 감람석 또는 휘석 등 유색 광물이 포함된 입상질 조직을 띠는데 비해, 텍타이트는 입상질 광물이 전혀 포함되지 않은 유리질 물질이란 것이다. 또 다른 학설로는 텍타이트가 달 표면에 있던 암석이 튕겨져 나와 지구 위로 떨어진 것이라는 주장이다(Turkevich *et al.*, 1967, 1969). 그런데 지난 20여 년 전부터 텍타이트가 공중에서 낙하한 외계물질이 아니라, 운석이 지표에 떨어져 이때 생긴 높은 열과 압력에 의해 지표에 있던 토양이 용융된 후 상부로 튀어 올라 멀리 이동한 후 공기 중에서 고결된 후 지표에 낙하한 것이라는 학설(Schort, 1975; King, 1976)이 대두되면서 다시 텍타이트의 기원에 대해 관심을 끌게 되었다. 최근에는 텍타이트가 지표상의 물질(토양)에서 유래된 것이라는 주장이 옳다는 결론에 이르게 되었다(Glass, 1982). 텍타이트는 호주, 체코슬로바키아, 미국, 러시아, 중국, 브라질 등 지구상의 특정 지역에 집중적으로 분포되어 있으며(그림 1), 미국의 NASA 및 스미소니언박물관에서는 텍타이트에 대한 정확한 성인 및 기원을 규명하기 위하여 오래 전부터 세계 각지에서 발견된 이들 물질에 대한 연구를 시작한 바가 있다. 특히 이들 기관은 텍타이트에 대한 자료를 외계 탐험을 위한 자료로 활용하려는 목적으로 삼고 있으며, 현재 유럽, 북미, 남미, 북극 지방에서 발견된 텍타이트를 주요 대상으로 하고

있다. 그러나 아시아 지역에서 발견된 텍타이트를 대상으로 한 연구는 아직까지 알려진 것이 없다. 한편, 흑요석(obsidian)은 규소 성분이 풍부한 마그마가 지표로 분출된 후 급격히 냉각되는 과정 중에 형성된 화산성 물질인 것으로 알려져 있는데, 이들 두 물질이 괴상체인 경우 외견상 대단히 흡사하기 때문에 오랫동안 이 두 물질이 물리·화학적 특징뿐만 아니라 성인까지도 동일할 것이라고 여겨진 적도 있었다.

텍타이트와 흑요석은 보석으로 가공하여 유통되고 있으며, 그 외관 모습이 거의 비슷하여 육안으로 구별하기란 쉽지 않은 경우가 대부분이다. 특히 텍타이트로 만들어진 보석은 운석인 것으로 허위 선전되어 고가로 판매되고 있는 실정이다(그림 2).

이번 연구에서는 텍타이트의 경우 집중적으로 발견되고 있는 지역 중, 아직 연구가 이루어진 바가 없는 아시아 권역의 중국 광둥성 마오밍산 텍타이트를 연구대상으로 하였으며 이들의 보석학적 특징을 연구하고자 하였다. 이와 비교할 흑요석은 백두산의 북쪽 산사면에 널리 분포하고 있는 흑요석을 대상으로 하였으며, 동일한 연구를 실시하여 두 물질의 보석학적 차이점을 규명하는 것을 연구목적으로 하였다. 또한 이 논문에서는 중국 광둥성 마오밍산 텍타이트는 광동 텍타이트로, 백두산에서 채취한 흑요석은 백두산 흑요석으로 표기하였다. 백두산 북사면에 발달하고 있는 흑요석 암체는 백두산 관광지에서 구입한 포스트카드(post card)에서도 선명히 관찰된다(그림 3).

시료 채취 및 연구 방법

광동 텍타이트와 백두산 흑요석에 대해 보석학적 특성을 연구하기 위해 다음과 같은 연구 방법을 사용하였다. 연구에 사용된 시료는 텍타이트인 경우, 캐나다자연사연구소로부터 2001년 5월에 기증받은 것이며, 흑요석은 1991년 7

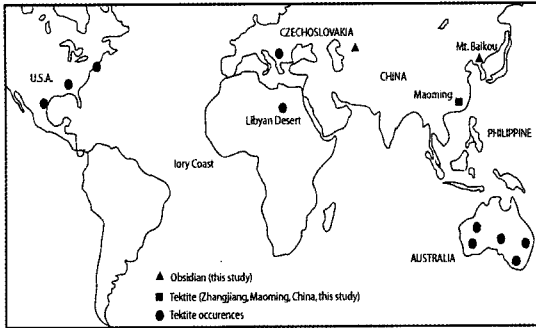


Fig. 1. Worldwide geographic distribution of tektites occurrences. Sample locations of tektites and obsidians used in this study are also shown on the map.

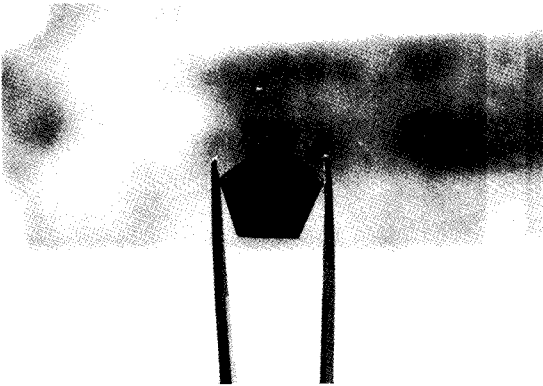


Fig. 2. Pentagonal-shaped tektite gemstone.

월 실시되었던 충남대학교 개교40주년 백두산 자연생태계 조사 때 저자가 직접 채취한 것이다. 우선 각 시료에 대해 표면구조, 형태, 광택 등과 같은 외견상 특징을 기술하고, 이들을 박편 및 연마박편으로 제작한 후 편광현미경 및 반사현미경으로 관찰하여 광학적, 표면조직, 내부조직 및 내포물 등에 대해 관찰하였으며, 굴절계를 이용하여 굴절율을 측정하고, 비중저울을 사용하여 비중을 측정하였다. 또한 결정질 또는 비정질인지를 확인하기 위해 X-선 분말회절분석을 실시하였으며, 주요 구성화학적 성분 및 미량성분의 종류 및 함량을 측정하기 위해 X-선형광분석과 ICP-MS분석을 실시하였다. 특히 흑요석 내에 들어있는 백색 및 흑색 불투명 고체 내포물을 규명하기 위하여 X-선회절분석과 전자현미분석을 각각 실시하였다.

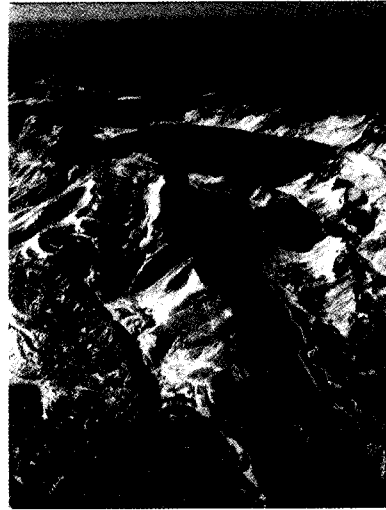


Fig. 3. An aerial photograph showing obsidian flows on the northern slope of Mt. Baikdusan.

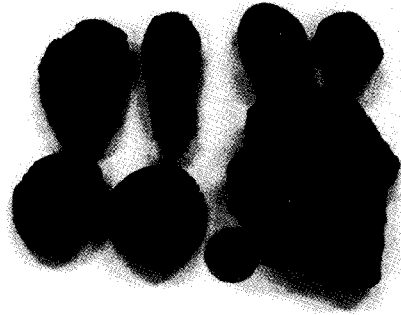


Fig. 4. Examples of four Gwangdong tektites (left) and three Baikdusan obsidians (right).

텍타이트와 흑요석의 광물학적 성질

육안 관찰

광동 텍타이트는 납작한 구형체, 원통형태 등으로 산출되며(그림 4), 표면에는 반구 형태의 움푹 패인 흔적이 다수 존재한다. 반면, 백두산 흑요석은 괴상형태를 나타내며(그림 4). 일부는 백색 광물결정을 다수 포함하고 있다. 백색광물은 주상결정 형태를 나타내며, 확대현미경에서 관찰할 때 좌우 부분의 빛의 반사가 차이가 납을 알 수 있다. 이는 쌍정면에서 발생하는 현상으로 해석되며, 따라서 장석인 것으로 추정된

Table 1. Major elemental abundances of Gwangdong tektites and Baikdusan obsidian. Their chemical compositions are also compared with those of loess and rhyolite (unit: wt%)

	Tektite I	Tektite II	Loess ¹	Obsidian	Rhyolite ²
SiO ₂	70.67	68.95	73.73	73.79	74.57
Al ₂ O ₃	12.67	12.9	12.32	13.2	12.58
Fe ₂ O ₃	5.03	5.03		1.17	1.3
FeO			2.98		1.02
TiO ₂	0.71	0.7	0.98	0.02	0.17
MnO	0.08	0.1		0.04	0.05
CaO	2.26	2.3	2.85	0.54	0.61
MgO	1.7	1.64	1.66	n.d	0.11
K ₂ O	2.34	2.31	2.89	4.35	4.73
Na ₂ O	0.56	0.52	1.33	3.1	4.13
P ₂ O ₅	0.01	0.02		n.d	0.07
L.O.I	0.3	0.3		0.12	
Total	95.74	94.17	100.03	96.32	99.34

Tektite I, Tektite II: Tektite from Maoming, Gwangdong, China, Obsidian: Mt. Baikdusan.

다. 이 광물에 대한 확인을 위해 X-선회절분석을 실시하였다. 광동 텍타이트와 백색 내포물이 없는 흑요석은 모두 검은 색을 띠며, 깨진 파편일 경우 패각상 단구를 나타낸다. 이 때문에 이들 천연물질을 보석으로 가공하면 육안으로 식별해내기가 용이하지 않다.

신선하고 매끈한 광물의 표면에 빛이 닿아 반사될 때 나타내는 느낌을 광택(luster)이라고 하는데, 광동 텍타이트와 백두산 흑요석은 모두 유리광택을 나타내며, 간혹 광동 텍타이트에서는 지방광택이 약간 포함되어 있기도 하다. 광동 텍타이트와 백두산 흑요석은 모두 투명 내지 아반투명하며, 패각상 단구를 나타낸다.

굴절을

광동 텍타이트와 백두산 흑요석의 굴절율은 듀플렉스II 굴절계로 측정하였으며, 전자는 1.510, 후자는 1.489를 나타내었다. 두 물질이 모두 하나의 굴절율을 나타내는 점으로 보아 비정질 상태이거나, 혹은 결정질일 경우에는 등축정계 또는 다결정질 물질로 추정할 수 있다. 이에 대해서는 이후 광학적 성질을 측정함으로써 비정질(유리질) 물질임을 확인하였다.

비중

두 물질의 비중은 아르키메데스의 원리를 이용한 비중저울을 사용하여 측정하였다. 광동 텍타이트는 2.66이고, 백두산 흑요석은 2.67~2.68로 측정되었다. 이로부터 백두산 흑요석의 비중이 약간 더 큼을 알 수 있다.

X선 형광분석

광동 텍타이트와 백두산 흑요석의 주요 구성 성분을 규명하기 위해 텍타이트와 흑요석을 분말로 만든 다음 KBr을 혼합시켜 압축기를 이용하여 등근 원반 형태로 성형시킨 다음 X-선형광분석기로 분석하였다. 분석 결과에 의하면(표 1), 광동 텍타이트인 경우 주구성 화학성분(wt%)이 SiO₂(68.95~70.67), Al₂O₃(12.67~12.90), Fe₂O₃(5.03), TiO₂(0.70~0.71), CaO(2.26~2.30), MgO(1.64~1.70), K₂O(2.31~2.34), Na₂O(0.52~0.56), L.O.I(0.3)이다. 백두산 흑요석의 경우는 SiO₂(73.79), Al₂O₃(13.2), Fe₂O₃(1.17), TiO₂(0.02), CaO(0.54), MgO(n.d.), K₂O(4.35), Na₂O(3.1), L.O.I(0.12)이다. 이로부터 광동 텍타이트의 화학성분은 백두산 흑요석에 비해 Fe₂O₃, CaO, MgO, TiO₂가 많으며, SiO₂, Al₂O₃, K₂O, Na₂O 등의 화학성분은 적다는 사실을 알 수 있다. 백두산 흑요석에서 Al₂O₃, K₂O, Na₂O 등의 함량

Table 2. Trace element abundances in Gwangdong tektites and Baikdusan obsidian (unit: ppb)

elements	Tektite	Obsidian
Co	1186.8	10362.7
Cu	320.15	9461.6
Y	1437.35	28334.7
Zr	916.25	188731
Nb	< 5.0	8009.8
Cd	< 5.0	< 5.0
Cs	< 5.0	6457.9
La	1002.5	4581.2
Pr	< 5.0	9411.2
Sm	< 5.0	6508
Eu	114.25	1386.7
Gd	< 5.0	6107.5
Tb	< 5.0	392
Dy	< 5.0	5506.7
Ho	< 5.0	365.4
Er	< 5.0	2723.3
Tm	< 5.0	< 5.0
Yb	< 5.0	2463.2
Lu	< 5.0	455.6
Hf	< 5.0	3759.6
Ta	126.95	989.2
Pb	1386.4	3792.1
Nd	340.5	35893.9
Ce	2625.15	85604.8
Ba	615.7	429585.7
Sr	129.5	156191.1
Rb	621.2	106630.5
Ni	1868.45	20224.8
Cr	4557.15	81830.1
Th	< 5.0	14567.8
U	4869.85	2307.8
Zn	13648.55	13316.3

이 광동 텍타이트에 비해 풍부한 것은 흑요석 내에 들어있는 다수의 알카리장석 반정이 존재하기 때문인 것으로 해석된다.

ICP-MS 분광분석

광동 텍타이트와 백두산 흑요석의 미량 구성 성분을 규명하기 위해 유도결합플라즈마질량분석(Inductively coupled plasma spectrometer)을 실시하였으며, 그 결과는 표 2와 같다.

텍타이트의 주요 미량원소(ppb)로는 Zn(13648),

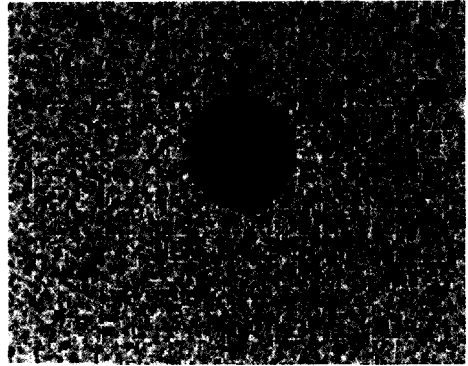


Fig 5. Numerous round pits (max. diameter 0.5 mm) resulted from removal of upper part of air bubble inclusions. Gwangdong tektite.

U(4869), Cr(4557), Ce(2625), Ni(1868), La(1002), Y(1437), Co(1186), Pb(1386) 등이 있다. 텍타이트에는 흑요석에 비해 Zn(13316)만 다소 많이 포함되어 있을 뿐, Y(28334), Zr(188731), Nb(8009), Cs(6457), La(4581), Pr(9411), Sm(6508), Eu(1386), Gd(6107), Dy(5506), Er(2723), Yb(2643), Hf(3759), Nd(35893), Ce(85604), Ba(429585), Sr(156191), Rb(106630), Ni(20224), Cr(81830), Th(14567) 등 기타 희소 원소의 함량은 현저하게 적다.

실체현미경 관찰

광동 텍타이트와 백두산 흑요석의 표면구조를 알아보기 위해 시료를 2~3 mm 정도의 두께로 절단한 다음 1 μm 입도의 연마제로 양면을 연마하였다. 실체현미경을 통해 관찰한 결과, 광동 텍타이트의 연마 표면에서는 반구 형태의 함물체가 무수히 관찰되며(그림 5), 측정된 최대 직경은 약 0.5 mm이다. 흑요석의 경우 표면에 반사도가 다른 고체광물(장석, 자철석)의 일부분이 표면에 닿아 있음을 알 수 있었다.

편광현미경 관찰

연마박편을 편광현미경으로 관찰한 결과, 광동 텍타이트 내부에는 다수의 기포가 존재하는 점이 특징이다. 기포의 형태는 대부분 구형이지만(그림 6), 일그러진 기형의 기포도 다수 발견

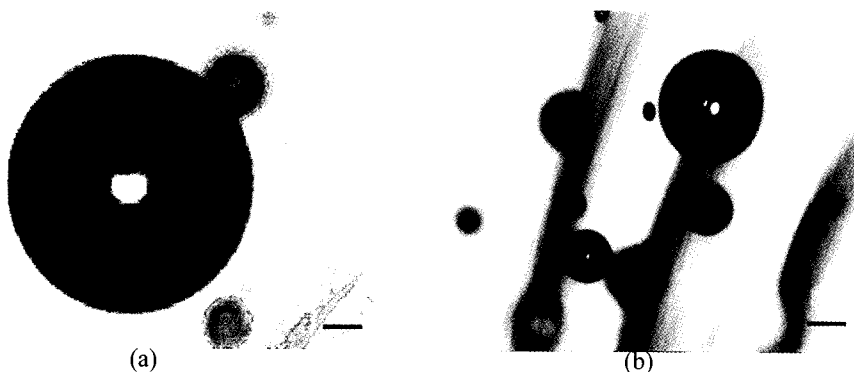


Fig. 6. Photomicrographs of air bubble inclusions observed from Gwangdong tektites. Bar indicates 0.1 mm. Open nicols (a,b). Flow structure is also observed (b).

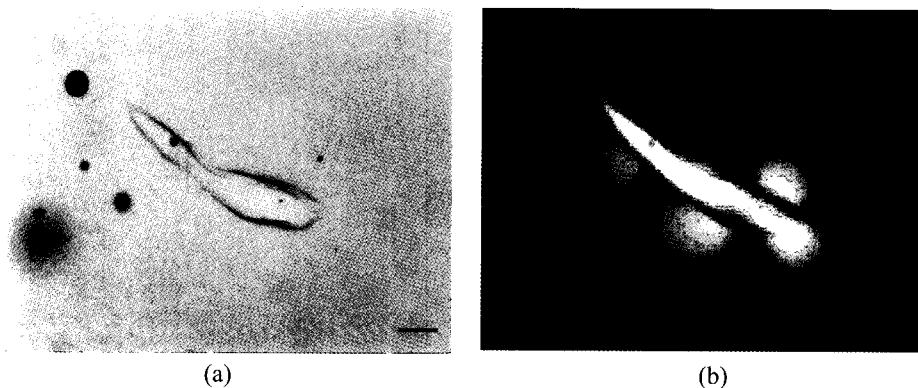


Fig. 7. Photomicrographs showing silica-rich inclusion (Lechatelierite) observed from Gwangdong tektites. Bar indicates 0.1 mm. Open nicols (a), Crossed nicols (b).

된다. 구형 기포 내포물의 직경은 최대 1 mm 정도이다. 또한 산성 마그마가 흐를 때 생긴 유상구조가 뚜렷이 관찰된다. 한편, 실리카 용융체인 소위 Lechatelierite가 발견된다(그림 7). 이들 실리카 용융체(lechatelierite)들은 개방니콜 상태에서 양각(relief)이 매우 높게 나타나며, 교차니콜 상태에서는 항상 밝음을 나타내는 등 비정상적인 이방성을 나타낸다. 이들은 실리카 성분이 주변부보다 특히 높게 모여 있는 부분으로서 화학성분으로는 석영과 유사하지만 원자들의 배열이 일정하지 않아 완전한 결정질 특징을 나타내지 않는 것으로 사료된다. 텍타이트를 교차니콜 하에서 관찰하면 항상 소광하는 등 전체적으로 등방성의 광학성을 나타내고 있다. 텍타이트는 점도(viscosity)가 매우 높은 용융체로부터 형성되었기 때문에 그 내부에 유상

구조가 존재하고 있음을 알 수 있다.

백두산 흑요석인 경우, 장식(그림 8)과 불투명한 자철석 침상체(그림 9) 결정들을 함유하고 있다. 또한 다수의 마이크로라이트(microlite)도 관찰된다. 장식의 경우 개방니콜 하에서는 무색이며, 두 방향의 벽개를 나타내며, 교차니콜 하에서는 칼스바드 쌍정(Carlabad twin)을 나타내는 점으로 보아 정장석임을 알 수 있다. 이러한 특징은 미국 오레곤주에서 산출되는 흑요석에서 관찰되는 새니딘 장식 반정과는 좋은 대조를 이룬다. 이러한 차이점으로부터 미국 오레곤주에서 산출되는 흑요석은 신속히 냉각됨으로써 새니딘 구조가 그대로 유지되었던 것으로 해석되며, 백두산 흑요석의 경우는 일단 새니딘이 형성된 후 정장석으로 전이될 여유가 있을 정도로 다소 서서히 고화되었음을 알 수 있다.

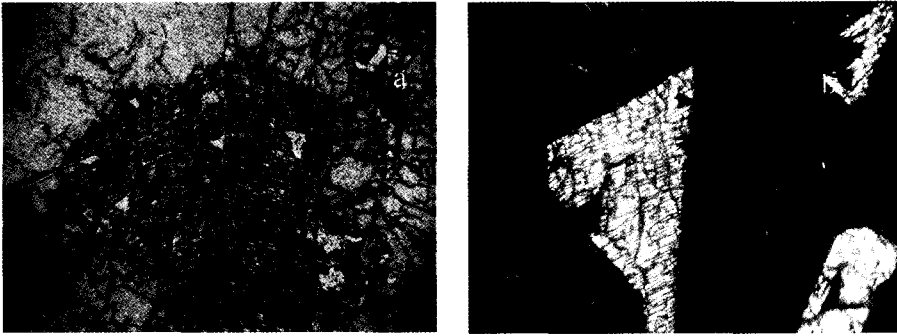


Fig. 8. Photomicrographs showing orthoclase inclusions observed from Baikdusan obsidians. Two direction cleavages and Carlsbad twinning are visible. Bar indicates 0.1 mm. Open nicols (a), crossed nicols (b).

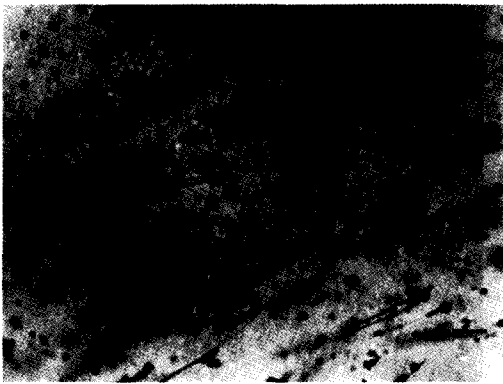


Fig. 9. Photomicrograph showing numerous magnetite needles in Baikdusan obsidian. Transmitted light. Bar indicates 0.1 mm.



Fig. 10. Reflected light photomicrograph showing magnetites (light color) visible from Baikdusan obsidian. Bar indicates 0.1 mm.

정장석에서 관찰되는 칼스바드 쌍정은 이런 전이현상으로 인해 생성된 것으로 해석된다(그림 8). 이런 현상으로부터 백두산 흑요석은 마그마 진화과정의 거의 마지막 단계에서 산성도가 높은 마그마로부터 만들어진 유문암과 유사한 성분의 마그마로부터 형성된 것이며, 흑요석이 유문암에 비해 더욱 급작스럽게 냉각됨으로서 알칼리장석과 자철석을 제외한 기타 광물(예: 석영, 사장석, 운모)의 정출이 없었음을 알 수 있다.

반사현미경 관찰

텍타이트 내에 있는 기포나 실리카 용융체는 반사현미경하에서 별다른 특징을 나타내지 않는다. 그러나 흑요석의 경우는 불투명한 자철석

결정이 그림 10과 같이 밝은 회백색 또는 황색을 나타내며, 이방성이 없다. 따라서 이 금속광물이 적철석(이방성)이 아니라 자철석을 알 수 있다. 흥미로운 사실은 흑요석의 투명도와 색의 짙기는 그 속에 들어있는 자철석 침상체의 수효에 관련되어 있음을 알 수 있었다. 즉, 불투명한 침상체의 수효가 증가할수록 투명도가 감소하고, 동시에 색도 짙어진다.

전자현미분석

흑요석 내에 들어있는 불투명한 침상체의 화학성분을 규명하기 위해 흑요석 시편을 수지(resin)에 넣고 굳힌 다음, 표면에서 광택이 날 때까지 연마하였다. 표준시료(standard)는 전자현미분석용으로 준비되어 있는 자철석을 사용

Table 3. Electron microprobe analyses of opaque inclusions in Baikdusan obsidian

	#1		#2		#3	
SiO ₂	4.02		4.50		4.39	
Al ₂ O ₃	0.22		0.19		0.25	
Fe ₂ O ₃	98.48	68.96	94.67	68.96	96.44	68.96
FeO		26.57		23.14		24.73
MnO	0.43		0.82		0.73	
MgO	0.22		0.65		0.65	
Total	103.37		100.83		102.46	
	O = 4		O = 4		O = 4	
	cation		cation		cation	
Si	0.24		0.27		0.26	
Al	0.13	2.00	0.01	2.00	0.01	2.00
Fe+3	1.63		1.72		1.73	
	0.17		0.09		0.07	
Fe+2	0.77		0.68		0.71	
Mn	0.01	0.96	0.02	0.82	0.02	0.83
Mg	0.01		0.03		0.03	

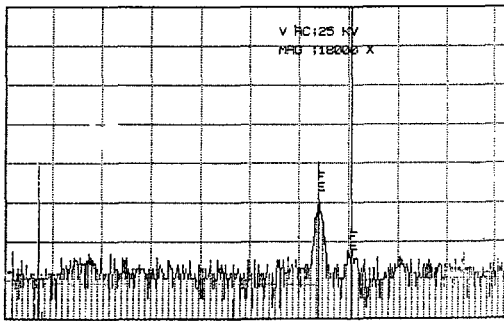
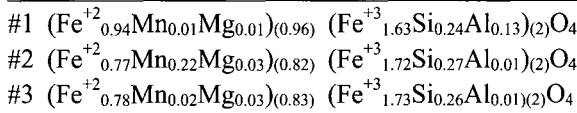


Fig. 11. SEM-EDS data obtained from black, opaque inclusions within Baikdusan obsidian. It indicate that Fe is the major component of the minerals.

하였다. EDS 자료로부터(그림 11) 철(Fe)이 주 구성원소임을 알 수 있으며, 정량적인 화학성분을 분석한 결과(표 3), 각 원소의 함량(wt%)은 SiO₂(4.02~4.50), Al₂O₃(0.19~0.25), Fe₂O₃(94.67~98.48), MnO(0.43~0.82), MgO(0.22~0.65)인 것으로 측정되었다. 이 분석자료로부터 고체 입자의 주 구성성분은 철(Fe)임을 알 수 있으며 따라서 자철석(magnetite) 혹은 적철석(hematite)일 가능성이 있는데, 반사현미경 관찰로부터 등

방성이 입증됨으로 자철석임을 알 수 있다. 이 분석자료로부터 계산된 자철석의 화학식은 (Fe⁺²_{0.94} Mn_{0.01}Mg_{0.01})_(0.96) (Fe⁺³_{1.63}Si_{0.24}Al_{0.13})₍₂₎O₄, (Fe⁺²_{0.77} Mn_{0.22}Mg_{0.03})_(0.82) (Fe⁺³_{1.72}Si_{0.27}Al_{0.01})₍₂₎O₄, (Fe⁺²_{0.78} Mn_{0.02}Mg_{0.03})_(0.83) (Fe⁺³_{1.73}Si_{0.26}Al_{0.01})₍₂₎O₄이다. 자철석의 R+2 위치에 있는 원자(Fe, Mn, Mg)들의 합이 1.00 보다 작은 것으로 보아 결손고용체임을 알 수 있다.

X선 분말회절분석

텍타이트와 흑요석의 전체적인 결정상태를 확인하기 위해 X-선회절분석을 실시하였으며, 분석조건은 30 kV, 35 mA이었다. X-선회절분석자료는 그림 12와 같으며, 모두 비정질인 것으로 확인되었다(A, B). 대표적인 비정질 물질인 창유리에 대하여서도 동일한 조건으로 X-선회절분석을 실시한 결과 위 두 경우와 동일한 것으로 밝혀졌다(C). 이러한 사실로부터 텍타이트와 흑요석은 모두 비정질 물질임을 확인할 수 있다.

또한 백두산 흑요석 내에는 흰색 광물결정이 다수 존재하는데(그림 4) 이들을 분리해 X-선회

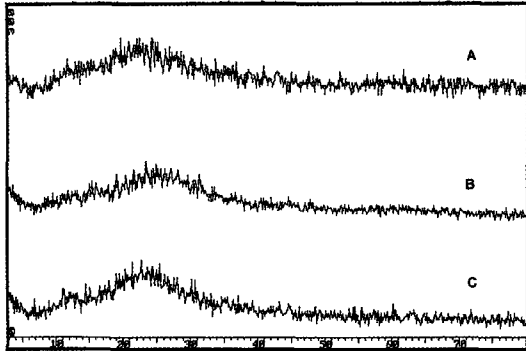


Fig. 12. X-ray powder diffractogram of Gwangdong tektite (A) and Baikdusan obsidian (B). Data of an artificial glass is also included for comparison (C).

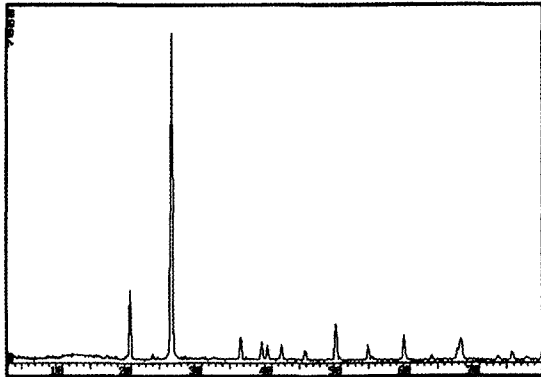


Fig. 13. X-ray powder diffractogram for white crystal inclusions (orthoclase) within Baikdusan obsidian.

질분석을 실시한 결과(그림 13) 정장석임이 확인되었다(표 4).

토 의

천연 유리질 물질인 텍타이트와 흑요석의 연구는 이들 물질이 보석으로 사용되는 점 이외에도 이들 물질이 외계에서 기원한 것인지 혹은 지구 내부로부터 분출된 것인지를 예측하는데 기여할 뿐만 아니라, 유리질이므로 분화하기 전의 용융상태의 화학성분을 그대로 유지한다는 점에서 의미가 있다.

광동 텍타이트는 중국 내륙지방의 퇴스(loess) 토양의 화학성분과 매우 유사하다(표 1). 이러한 사실은 광동 텍타이트의 기원 물질이 지표

Table 4. X-ray powder diffraction data for the white crystal inclusions (orthoclase) within Baikdusan obsidian

1		2		h k l
d _o (Å)	I/I _o	d _o (Å)	I/I _o	
3.77	5	3.77	80	130
3.48	4	3.47	45	112
3.31	100	3.31	100	220
2.891	3	2.901	30	022, 041
2.125	4	2.124	8	241
1.971	5	1.971	8	222
1.810	15	1.807	4	262
1.658	8	1.656	2	401
1.531	3	1.531	4	533

1: Baikdusan obsidian, 2: orthoclase (JCPDS Card #19-1227)

풍화 토양일 가능성이 매우 높음을 시사한다. 백두산 흑요석은 그 화학성분이 유문암과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다(표 1). 따라서 흑요석과 유문암은 거의 동일한 성분의 마그마에서 기원된 것이며, 분출 후 냉각되는 속도에 따라 차이가 남을 짐작할 수 있다. 이러한 사실은 유문암 내에서는 미립 또는 세립질의 조암광물(석영, 사장석, 정장석 등)이 포함되어 있는 반면 백두산 흑요석 내에는 이런 광물들이 거의 존재하지 않는다. 백두산은 염기성 화산암의 일종인 조면암이 여러 번 분출되어 형성된 화산인데 그 정상에는 부석 등이 피복하고 있다. 그런데 흑요석은 북측사면을 따라 산출되며 전형적인 유동구조를 나타낸다. 이러한 현상은 백두산 화산암체를 생성했던 마그마가 처음에는 염기성을 띠었으나, 마지막 단계에서는 산성을 띠었음을 알 수 있다. 이번 연구한 광동 텍타이트는 화학적으로 호주에서 발견된 것들(표 5)과 매우 유사한데, 호주산 텍타이트인 경우 그 연령이 700만년 정도인 것으로 연구된 바가 있다(King, 1977). 이러한 특징들은 텍타이트가 외계 물질이 지표면에 낙하되어 보존된 잔류물질이 아니라, 외계 물질이 지표면에 충돌함으로써 생긴 높은 열과 압력에 의해 지표 물질이 용융되어 공기의 저항을 받으며 공중으로 떠올랐다가 급히 냉각되면서 형성된 것임을 의미한다.

한편, 흑요석은 화산활동이 있었던 분화구 주위 또는 화산지대에 넓게 분포되어 있는 경우

Table 5. Chemical compositions tektites from Gwangdong, China and other regions

	Gwangdong, China		Australia			Ivory Coast ^c		Czechoslovakia ^d		North America ^{ef}				
	1	2	Austra-llite	Indoch-inite	Philip-pinite	1	2	1	2	1	2	3	4	5
SiO ₂	70.67	68.95	71.62	72	71	67.2	69.1	74.91	84.48	71.48	81.31	79.8	80.54	83.6
Al ₂ O ₃	12.67	12.9	13.62	13.02	13.9	16.78	16.42	13.8	7.79	17.56	10.96	11.72	11.21	9.5
Fe ₂ O ₃	5.03	5.03	0.85	0.68	0.87	0.38	0.94	0.44	0.21	0.27	0.15	0.04	0.33	0.01
FeO			4.9	4.65	4.29	6.29	5.93	3.11	0.98	5.26	2.29	3.09	2.4	1.82
MgO	1.7	1.64	2.15	2.67	2.7	3.61	2.64	1.66	1.72	0.78	0.53	0.68	0.65	0.42
CaO	2.26	2.3	3.24	1.94	2.95	1.35	0.71	1.16	1.9	0.45	0.5	0.5	0.61	0.4
Na ₂ O	0.56	0.52	0.98	1.45	1.37	1.84	1.92	0.72	0.2	1.28	1.5	1.07	1.16	1.19
K ₂ O	2.34	2.31	1.9	2.32	2.37	1.82	1.98	3.76	2.4	1.6	2.17	2.22	2.38	2.51
TiO ₂	0.71	0.7	0.53	0.73	0.78	-	-	0.55	0.22	1.05	0.53	0.56	0.43	0.42

^aThis study, ^bChapman & Scheiber (1969), ^cCuttitta, Carron & Annell (1972), ^dRost (1972), ^eChao (1963), ^fCuttitta, Carron & Annell (1967)

가 대부분인데, 백두산 흑요석의 경우 백두산 화구의 북측 산사면에 대규모로 산출되고 있다 (표 3). 흑요석은 그 화학성분이 유문암과 매우 유사하지만, 유문암은 석영, 장석 등이 매우 작은 결정으로 구성되어 있는 반면, 백두산 흑요석에서는 전체적으로는 유리질이지만 정장석 반정이 거정질로 다수 발달하고 자철석 결정과 미결정체(microlites)가 존재하고 있는 점이 상이하다.

결 론

이번 연구에서 얻어진 연구결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 광동 텍타이트와 백두산 흑요석은 검은색의 유리광택을 띠는 물질로서, 전자는 납작한 구형물질 또는 아령모양으로, 후자는 괴상체로 발견된다. 광동 텍타이트에서는 약간의 지방광택이 나타난다. 두 물질 모두 반투명 내지 아투명하며, 패각상 단구를 나타낸다.

2) 광동 텍타이트의 굴절율은 1.510, 비중은 2.66이며, 백두산 흑요석은 굴절율이 1.489, 비중이 2.67~2.68이다. 따라서 광동 텍타이트와 백두산 흑요석은 굴절율에서 큰 차이를 나타내므로 두 물질로 가공한 보석을 구별할 수 있는 특징적인 성질이다.

3) 광동 텍타이트의 화학성분은 주요 화학성

분(wt%)은 SiO₂(68.95~70.67), Al₂O₃(12.7~12.9), Fe₂O₃(5.03), TiO₂(0.70~0.71), CaO(2.26~2.30), MgO(1.64~1.70), K₂O(2.31~2.34), Na₂O(0.52~0.56), L.O.I.(0.3)이며, 백두산 흑요석은 SiO₂(73.79), Al₂O₃(13.2), Fe₂O₃(1.17), TiO₂(0.02), CaO(0.54), MgO(n.d.), K₂O(4.35), Na₂O(3.1), L.O.I.(0.12)이다.

4) 광동 텍타이트의 주요 미량원소(ppb)로는 Zn, U, Cr, Ce, Ni, La, Y, Co, Pb 등이 있다. 그러나 백두산 흑요석은 Zn만 광동 텍타이트에 비해 적을 뿐 기타 원소는 훨씬 풍부하다.

5) 광동 텍타이트 내부에는 구형 또는 일그러진 형태의 기포가 다수 발달하며, 실리카 용융체(lechatelierte)가 간혹 관찰된다. 한편 백두산 흑요석에는 기포가 없으며, 유상구조 및 자철석과 새니딘 장석이 내포물이 발견된다. 백두산 흑요석의 투명도와 비중은 자철석의 수효와 관련이 있다.

6) X-선회절분석 결과 텍타이트와 흑요석은 모두 비정질 상태의 고체임이 확인되었다.

사 사

X-선형광분석과 ICP-MS분석은 한국기초과학지원연구원 대구분원과 부산분원에 의뢰하여 분석하였으며, 전자현미분석과 X-선회절분석은 충남대학교 공동실험실습관에서 실시하였다. 본 논문의 미비점을

지적하여 보완할 수 있도록 수고해 주신 심사위원께 감사드립니다.

참 고 문 헌

- Glass, B.P. (1982) Introduction to planetary geology. Cambridge Univ. Press. 145-172.
- Johnson, C.K. (1976) OrtepII Report Orel-5138-Oak Ridge National Laboratory, Tennessee, USA.
- King, E.A. (1976) An introduction to Space Geology - Wiley, New York.
- King, E.A. (1977) The origin of tektites. American Scientist, 65, 212-218.
- Schort, N.M. (1975) Planetary geology. Prentice-Hall Inc. 43-44.
- Turkevich, A.I., Franzgrote E.J. and Patterson J.H. (1967) Chemical analysis of the moon at the Suveyor V landing site. - American Scientist, 158, 636-637.
- Turkevich, A.I., Franzgrote E.J. and Patterson J.H. (1969) Chemical composition of lunar surface in Mare Tranquilitatis. - American Scientist, 165, 277-279.

2007년 8월 10일 원고접수, 2007년 9월 11일 게재승인.