

## 하동-산청지역 회장암에 배태된 희유금속자원에 관한 연구

### Rare Metal Occurrences within the Anorthosite in the Hadong-Sanchong area, Kyungnam Province, Korea

김원사\* · 정지곤\* · 이강호\* · D. H. Watkinson\*\*

\*충남대학교 자연과학대학 지질학과  
(Department of Geology, Chungnam National University, Taejon 305-764, Korea)

\*\*칼튼대학교 지질학과  
(Department of Earth Sciences, Carleton University, Ottawa, Ont. K1S 5B6, Canada)

**요약 :** 경남 하동군 일대에 분포하고 있는 회장암질 암체내에서는 대규모의 Ti광체가 부존되어 있으며, 특히 옥종면 정수리 일대에서는 희유금속원소(REE)를 함유하는 갈럼석 결정들이 다수 발견되었다. 본 연구에서는 갈럼석에 대해 광학적연구, 전자현미분석, 원자흡수분광분석, X선회절분석, 적외선흡수분광분석, 비중 및 미경도 측정을 실시하였다.

갈럼석은 최대 크기  $3 \times 6$ cm 정도의 괴상형태로 산출되며 석영, 녹염석, 저어콘, 흑운모, 백운모 등과 공존한다. 갈럼석의 연마면 관찰로는 누대구조가 관찰되는데 이것은 자철석이 산점상으로 분포하기 때문이다. Th으로부터 방출되는  $\alpha$ -입자의 존재가 방사능사진법에 의해 확인이 되었음에도 불구하고 메타믹트상태의 정도가 뚜렷하지 않다. 이 갈럼석내에는  $\Sigma$ REE가 19.88-23.99%정도로 높은 편이며 CaO함량이 8.35-10.29wt%로 적은 편이다. 갈럼석의 성인에 대해서는 아직 확실하게 규명되지 않았으나  $TiO_2$ 의 함량(0.89-1.13wt%)이 높은 것과 저어콘과 같은 광물과 공존하고 있는 것으로 보아 마그마와 관련된 REE와 Ti성분이 풍부한 용액으로부터 정출된 것으로 추측된다.

**ABSTRACT :** Allanite crystals rich in rare-earth elements(REE) occur in soil developed on top of anorthositic rocks in the Jungsu-ri area of Okjong-myun, Hadong-gun, where large Ti orebodies are embedded in the bed rock. In this study allanite is investigated mainly by transmitted light microscopy, electron microprobe analysis, atomic absorption spectrophotometry, X-ray diffraction, infrared spectroscopy. In addition, its specific gravity and micro-indentation hardness value are measured.

Allanite occurs with max. dimension of  $3\text{cm} \times 6\text{cm}$  and coexists with quartz, epidote, zircon, biotite and muscovite. It shows nearly nonmetamict crystallinity, although  $\alpha$ -particles bombardment from the disintegration of the radioactive element Th is detected by an autoradiography. The allanite is particularly enriched in REE(19.88-23.99 wt.%), but is deficient in CaO(8.35-10.29 wt.%).

Genesis of the allanite in this area is not understood yet. It is, however, assumed to have been formed from magmatic fluid rich in REE and Ti, based on the facts that it coexists with zircon and that it has high  $TiO_2$ (0.89-1.13 wt. %) whose concentration is significant in the country rocks.

서 언

경남 하동군과 산청군 일대에 분포하는 회장암

질암 내에는 희유금속원소중의 하나인 티타늄(Ti)원소가 다량 부존하여 대규모 광체를 형성하고 있음은 이미 연구 보고된 바가 있다(정지곤

외, 1989). 티타늄 광체의 남-북 연장성을 추적하는 과정에서 특히 하동군 옥종면 정수리 일대의 토양층이나 계곡 일부에서 흑갈색 내지 흑색에 가까운 괴상물질인 갈렴석(褐廉石, allanite)이 다수 발견되었다. 이 괴상체의 풍화표면은 육안 관찰로는 티탄철석과 매우 흡사하여 티탄철석으로 오인할 정도이나 신선한 단구면(斷口面)은 유리광택 내지 지방광택을 띠어 티탄철석과 식별된다.

갈렴석은 희토류원소(REE)중 특히 Ce를 함유하는 녹염석군에 속하는 광물로서 일반화학식은  $A_2M_3Si_3O_{12}(OH)$ 로 표현된다( $A=Ca^{2+}, REE, Mn^{2+}, M=Fe^{2+}, Fe^{3+}, Al^{3+}, Mn^{3+}, Mg^{2+}, Ti^{2+}$ ).

그러나, 갈렴석의 화학조성은 원소의 종류와 그 함량에 있어 변화가 심하다. 특히 소량의 방사성 원소(Th, U)를 함유하여 메타미트상태(metamict state)로 존재하는 경우가 일반적이다. 녹염석군에 속하는 광물들이 주로 저변성 내지 중변성도의 광역변성암내에서 산출되고 있는 반면, 갈렴석은 주로 마그마 분화말기에 형성된 물질중에서 산출된다.

갈렴석은 Ce, La, Pr, Nd, Sm, Th, U 등의 다양한 희토류원소를 함유하고 있기 때문에 이 광물에 대한 광물·광상학적 연구는 이 지역에 분포하고 있는 티타늄광체와 함께 국내 희토류원소 부존상황을 확인하는데 크게 기여할 것으로 사료된다. 따라서 본 연구에서는 갈렴석에 대한 산출 특징과 광물학적 특성을 규명하는 것을 연구목적으로 하였다.

### 일반지질

본 연구지역인 하동군 옥종면을 포함한 이 지역 일대의 지질에 대해서는 정지곤 외(1989)등에 의해서 자세히 연구된 바가 있다. 따라서 본 논문에서는 갈렴석이 발견된 하동군 옥종면 정수리 일대의 지질에 대해서만 간략히 기술하고자 한다.

본 역의 지질은 선캠브리아기의 소백산 편마암 복합체와 이를 관입한 중생대 주라기의 회장암질암, 그리고 이를 부정합으로 피복하고 있는 경상계의 퇴적암으로 되어있다. 회장암질암은 암상의 특징과 유색광물의 함량에 따라 괴상형(塊狀形,

massive-type), 층상형(層狀形, layered-type), 간극누적형(間隙累積形, intercumulate-type), 엽상형(葉狀形, foliation-type) 등 4가지 유형으로 구분된다.

특히 티타늄 광체는 간극누적형 암체에 국한하며 발달되고 있다. 정수리 옥산(玉山)정상에는 역암 또는 적색 사암이 분포하고 있다.

### 갈렴석의 산출 및 광물학적 특징

#### 산출상태

본 지역의 갈렴석은 정수리의 옥산(614.2m)정상의 동측 사면에 분포하는 토양내에서 발견된다. 이 지역은 화장암질암체 중 간극누적형 암체가 분포하고 있다. 갈렴석을 찾기 위해서 scintillation counter를 사용하였다. 야외에서의 배경치(background)는 약 34-45CPS였으며 이상치(anomaly intensity)가 75CPS 이상이 되는 지점을 대상으로 표토를 제거해 가면서 갈렴석의 존재를 추적하였다(Fig. 1). 대부분의 경우 지하 15~60cm 깊이의 토양층내에서 갈렴석이 발견되었으며 주로 괴상형태를 이루며 독립적으로 존재하거나 혹은 괴상의 석영집합체내에 포함되어 있다. 경작지(밭, 과수원 등)에서는 이상치가 높게 나타났는데 이것은 갈렴석이 풍화되어 미세한 입자로 토양내에 존재하기 때문인 것으로 사료된다.

본 지역에서 발견된 갈렴석은 흑색 내지 흑갈색을 띠며, 풍화표면은 적갈색의 산화물로 피복되어



Fig. 1. Scintillation counter survey in the field.

있다. 갈럼석 결정의 크기는 최대 3cm×6cm에 이른다(Fig. 2). 갈럼석과 공존하는 광물로는 석영, 침철석, 자철석 등이 있으며 그 밖에 소량의 녹염석(Fig. 3), 저어콘, 흑운모, 백운모 등이 있다.



Fig. 2. Allanite crystals. Allanite(dark) occurs in the matrix of quartz(light).

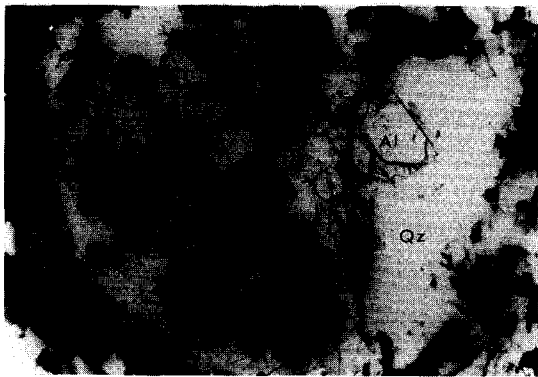


Fig. 3. Epidote crystal(Ep) coexisting with allanite (Al) and quartz(Qz).

#### 광학적 특징

갈럼석은 벽개의 발달을 나타내지 않으며 불평탄한 단구면을 가진다. 갈럼석을 박편으로 제작하여 편광현미경하에서 관찰하면, 황갈색내지 갈색을 띠며 약한 다색성을 나타낸다. 소광은 4회 일어나지만 벽개나 결정면의 발달이 없기 때문에 소광각을 측정할 수는 없다. 수렴광하에서의 간섭상도 아주 흐려서(diffused) 정확한 2V각을 잴수가 없었다. 갈럼석 결정의 연마표면에서는 때때로 흑색과 흑회색부분으로 누대구조를 이루고 있음

을 알 수가 있다. 이의 원인을 규명하기 위해 다시 박편을 제작하여 편광현미경과 전자현미분석기로 조사한 결과 화학성분의 차이나 메타믹트상태의 발달정도에 기인하는 것이 아니라 자철석입자들이 산점상으로 존재하기 때문인 것으로 밝혀졌다(Fig. 4). 갈럼석 결정의 내부에 발달된 균열을 따라서는 침철석(Fig. 5) 또는 석영(Fig. 6)이 충전하고 있다. 다색성 및 4회소광현상이 관찰되는 것으로 보아 본 연구지역에서 산출되는 갈럼석은 결정도가 우수한 것으로 판단된다.



Fig. 4. Magnetite grains(MT) disseminated in the allanite.

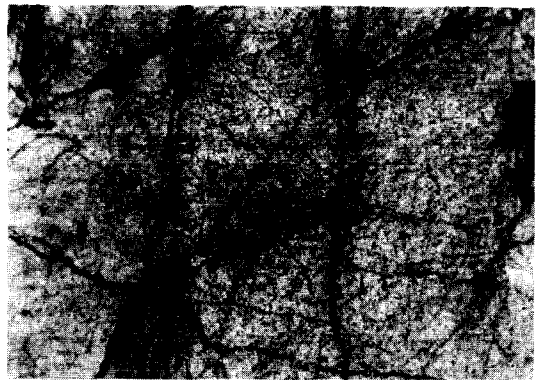


Fig. 5. Veinlets of quartz filling cracks in the allanite.

#### 방사능 사진법

·갈럼석내에 있는 방사성원소의 분포양상을 확인하기 위해 방사능사진법(autoradiography method)을 실시하였다. 이를 위해 4개의 갈럼석 결정

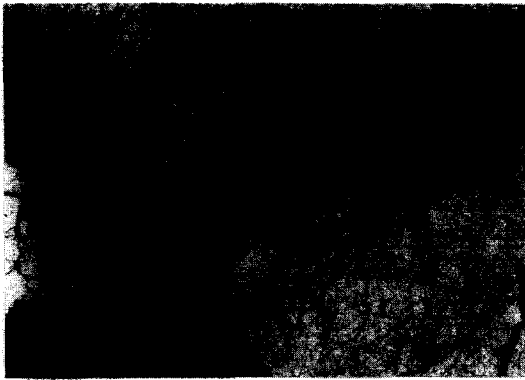


Fig. 6. Veinlets of quartz filling cracks in the allanite.

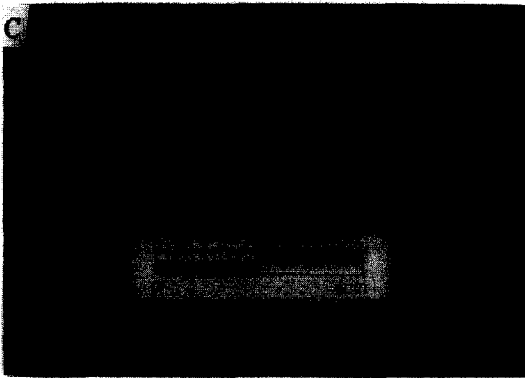


Fig. 7. Allanite specimen used for autoradiography experiment.



Fig. 8. Autoradiography(positive) of allanite developed after 10 days exposure time.

을 절단하고 그 위에 필름을 올려놓은 후 10일 동안 놓아두었다. 이 결과 갈렘석이 존재하는 부분에서는 모두 필름이 감광되었으나 감광정도는 다소 차이가 있음을 알 수 있다(Figs. 7, 8). 이로부

터 Th원자의 함량정도가 균질하지 않음을 알 수 있으며,  $\alpha$ -입자에 의해 감광된 것으로 판단된다.

### 화학조성

갈렘석의 주 구성원소 및 미량원소를 알아보기 위해 Cambridge MK5와 Jeol JXA-8600 전자현미분석기(electron microprobe analyser)를 사용하여 분석하였다. 먼저 EDX를 이용하여 정성분석을 실시하였으며 이 분석으로 검출되지 않는 원소들은 문헌에 발표된 타 지역산 갈렘석내에 존재하는

Table 1. Electron microprobe analyses(wt.%) of allanite from Jungsu-ri, Hadong-gun.

	1	2	3	4	5	6
SiO <sub>2</sub>	32.41	30.93	31.22	31.28	31.40	31.50
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	17.65	15.64	15.38	15.47	15.67	15.45
MgO	0.94	1.04	1.22	1.23	1.31	1.26
TiO <sub>2</sub>	0.89	0.98	1.12	1.10	1.13	1.06
FeO	13.54	14.11	15.35	15.30	15.29	15.48
MnO	0.27	0.18	0.11	0.10	0.20	0.14
Y <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.17	0.32	0.38	0.31	0.34	0.29
CaO	8.35	8.44	10.24	10.25	10.25	10.29
La <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	4.17	4.59	5.76	5.72	5.79	5.67
Ce <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	8.25	8.44	10.28	10.31	10.43	10.36
Pr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.91	0.88	0.85	1.07	1.13	1.18
Nd <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.94	3.48	3.72	3.85	3.50	3.56
Sm <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.55	0.79	0.42	0.38	0.51	0.32
ThO <sub>2</sub>	2.00	1.77	0.81	1.04	1.16	1.10
Total	93.04	91.60	96.86	97.14	98.11	97.66
Si	2.759	2.636	2.905	2.925	2.982	2.968
Al	1.771	1.571	1.686	1.705	1.754	1.715
Fe <sup>+2</sup>	0.964	1.006	1.194	1.196	1.214	1.220
Mg	0.119	0.132	0.169	0.171	0.185	0.177
Ti	0.057	0.063	0.078	0.077	0.080	0.075
ΣM	2.911	2.772	3.127	3.149	3.233	3.187
Ca	0.762	0.771	1.021	1.027	1.043	1.039
La	0.131	0.144	0.198	0.198	0.203	0.197
Ce	0.257	0.263	0.350	0.353	0.363	0.358
Pr	0.029	0.028	0.029	0.036	0.039	0.040
Nd	0.089	0.105	0.124	0.119	0.119	0.125
Sm	0.016	0.023	0.013	0.012	0.017	0.010
Th	0.039	0.034	0.017	0.022	0.025	0.024
Y	0.007	0.014	0.019	0.016	0.017	0.015
Mn	0.019	0.013	0.008	0.008	0.016	0.011
ΣA	1.349	1.395	1.779	1.791	1.842	1.819

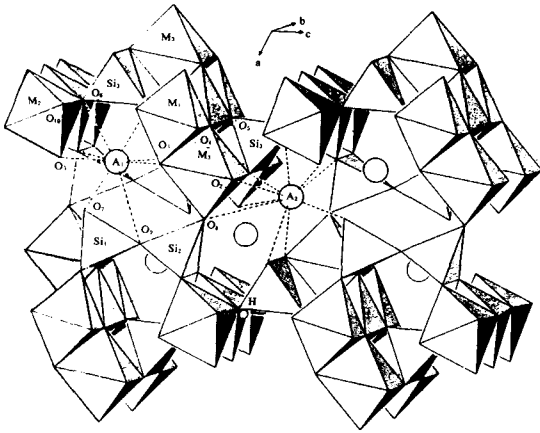


Fig. 9. Polyhedral linkage in the epidote-group minerals(Dollase, 1971).

원소들을 대상으로 정량분석을 실시하였다. 화학분석결과는 Table 1과 같으며 이 자료를 음의 원자가 25를 기준으로 하여 원소별 존재량을 계산하여 같은 표에 나타내었다. Mn과 Fe는 모두 +2가 처리하였으므로 원자 몰수 계산시 오차가 생길 수 있다. 이 밖에 원자흡수분광분석법으로 분석한 Tb, U, Yb, Eu, Lu의 함량은 각각 410ppm, 250ppm, 203ppm, 72.8ppm, 23.3ppm으로 측정되었다.

갈럼석의 구조(Fig. 9)내에서 Ca는 배위수가 9와 10인 A<sub>1</sub>과 A<sub>2</sub>자리에 위치하며, 원자반경이 큰 REE는 틈새가 큰 배위수 10인 A<sub>2</sub>자리를 채우게 된다(Dollase, 1971). 배위수가 6인 M에는 Al, Fe 등의 원자가 차지한다. 갈럼석은 A<sub>2</sub>위치의 50% 이상을 REE가 차지하는 것으로 정의되는데 이것은 REE 산화물의 총 합계가 15wt.% 정도에 해당한다. 이 갈럼석내에도 Ca, Si, Al, Fe와 같은 주 구성원소 외에 REE가 20wt.% 이상 존재함을 알 수 있다. 시료 1, 2에서는 M과 A자리가 모두 채워져 있지 않음을 알 수 있다. 이것은 갈럼석이 정출된 후 열수작용에 의해 Ca와 REE가 추출되어 나갔을 가능성을 시사한다. 이 가능성은 갈럼석결정을 절단하는 석영맥의 존재(Fig. 6)로부터 짐작할 수 있다. 그러나 시료 3, 4, 5의 경우는 ΣM=3.0을 초과하는 원소의 양만큼 A자리를 채운다고 보면 구조적인 원소결손은 없는 것으로 판단된다.

한편, CaO함량이 많을수록 Ce<sub>2</sub>O<sub>3</sub>함량도 증가하며 ΣREE도 증가함을 알 수 있다. 그러나 Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub>

의 함량은 이와 반대의 경향을 나타낸다. 이론적으로는 CaO의 함량이 증가하면 이를 치환하는 ΣREE가 적어져야 옳다. 따라서 본 연구지역에서 발견된 갈럼석내에는 REE가 A<sub>2</sub>자리에 먼저 채워지게 되고 Ca는 A<sub>1</sub> 또는 A<sub>2</sub>위치를 채우므로 결국 A<sub>1</sub>자리가 많이 비어있는 상태로 추정된다.

### X선 회절분석

갈럼석의 X선 분말회절 양상을 파악하기 위해 Rigaku D/max-B X선회절분석기를 사용하였으며, 갈럼석에 대한 방사능사진법 연구결과 방사성 원소로부터 α-입자가 방출하고 있음이 밝혀졌으므로 갈럼석의 원자구조의 복원을 위해 800°C에서 3시간 정도 가열한 후 다시 X선회절양상을 분석하였다(Figs. 10, 11). 이 X선회절자료를 단사 정계의 공간군 P2<sub>1</sub>/m 구조에 따라 격자지수화 하였다(Table 2).

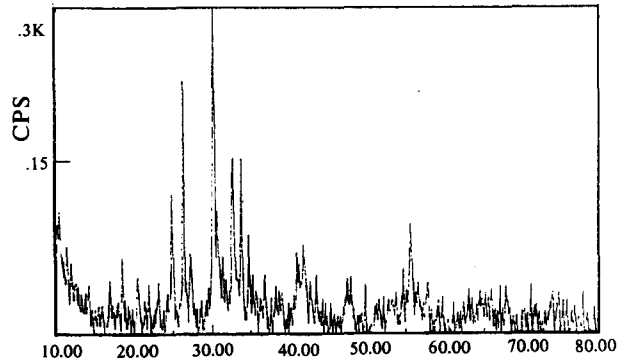


Fig. 10. X-ray powder diffraction pattern of natural untreated allanite.

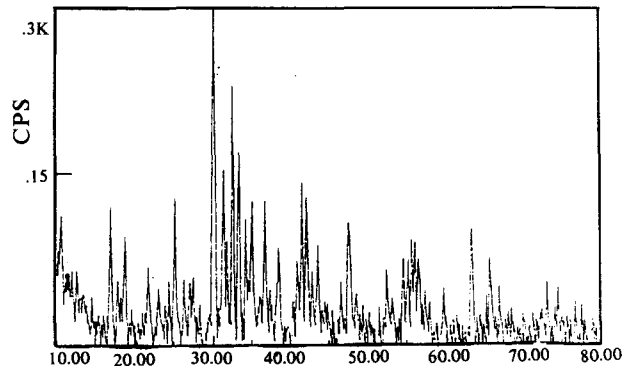


Fig. 11. X-ray powder diffraction pattern of heat-treated allanite.

Table 2. X-ray powder diffraction data of allanite.

1		2		
hkl	d(Å)	I/I <sub>0</sub>	d(Å)	I/I <sub>0</sub>
001	9.23	39	9.52	46
102	5.01	16	5.16	37
011			4.91	18
202	4.68	16	4.67	10
112	4.00	22	4.02	17
012	3.79		3.82	16
211			3.62	18
210	3.54	28	3.51	39
212	3.38	75		
201	3.26	24	3.28	17
113			3.22	18
211	2.952	100	2.962	100
021	2.842	23	2.840	46
013		52	2.805	28
303	2.732	52	2.740	68
202	2.644	30	2.677	51
310	2.569		2.604	34
313		18	2.481	13
114	2.433		2.434	39
123		25	2.322	22
014	2.192	27	2.193	21
223	2.148			
023		16	2.138	39
203	2.112	18		
123	2.072		2.067	27
			1.907	33

1. allanite, untreated.
2. allanite, heat-treated at 800°C for 3 hours.

X선회절분석결과에 의하면, 천연의 갈럼석결정의 결정도(crystallinity)는 비교적 양호하였으며, 가열시킨 결정에서는 새로운 peak의 출현과 강도의 변화가 있음을 알 수 있는데 이는 가열후 결정도가 다소 증가하였음을 의미한다. 그러나 가열시킨 후의 X선회절양상이 가열하지 않았을 때보다 크게 다르지 않은 것은 천연의 갈럼석도 metamictization이 뚜렷이 진행되지 않았음을 의미한다.

### 비중 및 미경도 측정

천연 그대로의 갈럼석과 가열처리한 후의 갈럼석에 대한 비중을 측정한 결과 각각 3.68-3.97과

3.77-3.82 범위의 값을 얻었다. 이 비중치는 Cech(1972)가 측정된 잠비아산 갈럼석의 4.11보다 작다. 갈럼석의 비중은 ① metamictization의 진행 정도, ② 결정내의 H<sub>2</sub>O 함량차이, ③ 구성원소의 종류와 함량 등의 요소에 따라 달라질 수 있다. 본 연구대상이 된 갈럼석의 경우, 가열시킨 결정의 최대 비중치가 가열처리하지 않은 경우보다 작은 이유는 전자의 단위포 격자 크기가 후자보다 크기 때문인 것으로 판단된다. 이것은 X선회절자료(Table 2)로부터 알 수가 있다. 본 연구대상의 갈럼석 비중치가 Cach(1972)의 4.11보다 작은 것은, 잠비아산 갈럼석의 구성원소가 원자량이 작은 원소는 적은 반면 원자량이 큰 REE의 함량이 많기 때문인 점과 단위포상수(a=8.932, b=5.770, c=10.1575 Å, β=114.69°)가 본 지역의 갈럼석의 것보다 작기 때문일 것으로 판단된다. 그 밖에 본 지역의 갈럼석은 A<sub>1</sub>자리가 많이 비어있는 결손고용체를 형성하기 때문인 점도 한 원인이 될 수 있다.

Akashi MVK-E 미경도측정기를 사용하여 측정 한 정도는 VHN<sub>100</sub>=892.2(870-920), VHN<sub>200</sub>=903(883-927), VHN<sub>300</sub>=826.3(804-842), VHN<sub>500</sub>=792.8(786-797)이다. 이를 Young과 Millman(1964)이 제시한 방정식

$$\log VHN = 2.5 \log \text{Mohs } H + 1.00$$

에 대입하면 모스경도계로 약 6.0이 되어 문헌의 타 자료(H=5.5~6)와 잘 일치한다.

### 적외선 흡수 분광분석

JASCO IRA-1 적외선흡수분광분석기를 사용

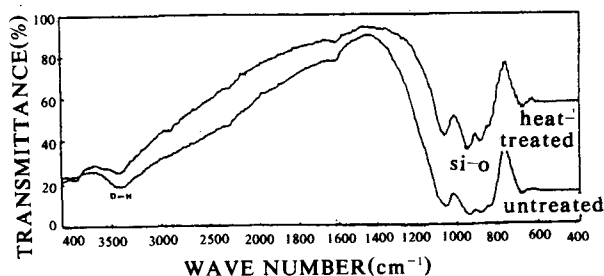


Fig. 12. Infrared absorption spectra of natural untreated and heat-treated allanites.

하여 4000~400cm<sup>-1</sup>영역에서 얻은 스펙트럼 자료 (Fig. 12)에 의하면 천연상태와 가열처리를 한 갈럼석 모두에서 3400cm<sup>-1</sup>과 900cm<sup>-1</sup>부근에서 흡수가 일어났다. 전자는 O-H결합을, 후자는 Si-O의 결합을 가르키는 것으로 이 갈럼석은 metamictization의 진행정도가 현저하지 않음을 의미한다.

### 성인고찰

갈럼석은 녹염석과  $Ca^{2+} + Fe^{3+}$ (녹염석)→ $REE^{3+} + Fe^{2+}$ (갈럼석)와 같은 쌍쌍치환(coupled substitution)에 의해 완전고용체를 형성하는 것으로 알려져 있다(Maaskant et al., 1981; Sakai et al., 1984; Deer et al., 1986; Gieré, 1986). 갈럼석은 화강암(Cerny & Cerna, 1972), 석영섬록암(Morin, 1977), 석영몬조나이트(McRitchie, 1971; Ghent, 1972), 편마암(Sutton, 1974), 페그마타이트(Mawdsley, 1958; Satterly & Hewitt, 1955), 응회암(Izett & Wilcox, 1968), 규암(오민수 외, 1989) 등과 같이 아주 다양한 암석내에서 산출되고 있다. 본 연구지역에 존재하는 갈럼석은 피상의 석영내에서 비교적 큰 결정으로 산출하며(Fig. 2), 이 석영이 석영맥암의 일부인지 아니면 페그마타이트의 일부분인지는 아직 확실하지 않다. 본 지역에서의 갈럼석내에는 타지역산의 경우보다 TiO<sub>2</sub> 함량이 특히 높다(0.89-1.13 wt. %). 이것은 이 지역에 분포하는 회장암질 암내에 타타늄광체가 형성되어 있는 것과 무관하지 않을 것 같다. 만약 이 갈럼석이 페그마타이트 내에 존재하는 경우라면, 회장암질암체에 배태된 티타늄광체를 형성시키고 남은 잔류용액내에 Ti를 포함한 풍부한 REE가 갈럼석을 정출시켰을 것이다.

그러나 SiO<sub>2</sub> 이외의 기타 광물을 형성할 만큼의 Ca, Na, Al 등의 원소가 없었던 잔류용액인 경우였다면 페그마타이트 형성 대신 석영맥암을 형성시켰을 수도 있다. 실제로 갈럼석과 공존하고 있는 광물로는 석영 이외에 소량의 저어콘, 흑운모, 백운모, 자철석 등이 있어 갈럼석은 마그마와 성인적으로 관련이 있는 것으로 사료된다. 갈럼석과 공존하고 있는 녹염석(Fig. 3)의 화학조성을 규명하는 것도 갈럼석의 성인을 규명하는데 많은 도

움이 될 것으로 생각된다.

본 연구지역에서 발견된 갈럼석은 REE를 20wt. % 이상 함유하고 있으며 인접한 청용리에 부존하는 티타늄광체의 평균 품위가 3.7wt. % TiO<sub>2</sub>이며 매장량은 1,400,000T/M인 점을 고려하면(김수영 외, 1991) 하동-산청군 일대에 분포하는 회장암질 암체는 국내 최대의 희유금속 부존 암체임이 명백하며 따라서 앞으로 이 희유금속 광화대에 대한 정밀하고 종합적인 조사연구가 요구된다고 할 수 있다.

사사: 본 연구는 한국과학재단의 기초연구과제(과제번호 911-0501-016-2)의 지원으로 수행되었으며 이에 감사드린다. 방사능측정연구에 도움을 주신 한국자원연구소의 김통권박사께 감사드리며 야외조사시 도움을 준 충남대학교 지질학과 최광용 대학원생에게도 감사를 표한다. 전자현미분석시 도움을 준 Carleton University의 P.Jones에게도 감사한다.

### 참고문헌

- 김수영, 서정률, 양정일, 김상배(1991) 희유금속광물자원조사연구, 한국자원연구소, KR-91-2D-1, 9-77.
- 오민수, 서정률, 구성분, 최종호(1989) 희유금속광물자원조사연구, 한국동력자원연구보고서, KR-88-8A, 1-41.
- 정지곤, 김원사, Watkinson, D.H.(1989) 하동지역에 분포한 회장암질암의 구조와 티타늄광체의 산출상태. 지질학회지, **25**(1), 98-111.
- Cech(1972) Neues Jahrb. Mineral. Abh., **116**, 208-23. PDF 25-169. Mineral Powder Diffraction File (1980), 19.
- Cerny, P. and Cerna, I. (1972) Bastnaesite after allanite from Rough Rock Lake, Ontario. Can. Mineral., **11**, 541-543.
- Deer, W. A., Howie, R. A. and Zussman, J. (1986) Rock-Forming Minerals. IB. Disilicates and Ring silicates(2nd ed.). Longmans, London.

- Dollase, W. A. (1971) Refinement of the crystal structures of epidote, allanite and hancockite. *Am. Mineral.*, **56**, 447-464.
- Ghent, Z. D. (1972) Electron microprobe study of allanite from the Mt. Falconer quartz monzonite pluton, Lower Taylor Valley, South Victoria Land, Antarctica. *Can. Mineral.*, **11**, 526-530.
- Gieré, R. (1986) Zirconolite, allanite and hoegbomite in a marble skarn from the Bergell contact aureole: implications for mobility of Ti, Zr and REE. *Contrib. Miner. Petrol.*, **93**, 459-470.
- Izett, G. A. and Wilcox, R. E. (1968) Perrierite, chevkinite, and allanite in Upper Cenozoic ash bed in the Western United States. *Am. Mineral.*, **53**, 1558-1567.
- Maaskant, P., Coolen, J.J.M.M.M. and Burke, E. A.J. (1980) Hibonite and coexisting zoisite and clinozoisite in a coal-silicate granulite from southern Tanzania. *Mineral. Mag.*, **43**, 995-1003.
- Mawdsley, J. B. (1958) The radioactive pegmatites of Saskatchewan. 2nd United Nations Conf. Peaceful Uses Atomic Energy, Pap. 225.
- McRitchie, W.D. (1971) Petrology and environment of the acidic plutonic rocks of the Wanipigow-Winnipeg river region, southeastern Manitoba. *Man. Mines Br. Publ.*, 71-1, Rep. 2.
- Morin, J. A. (1977) Allanite in granitic rocks of the Kenora-Vermilion Bay area, northwestern Ontario. *Can. Mineral.*, **15**, 297-302.
- Sakai, C., Higashino, T. and Enami, M. (1984) REE-bearing epidote from Sanbagawa pelitic schists, central Shikoku, Japan. *Geochem. J.*, **18**, 45-53.
- Satterly, J. and Hewitt, D. F. (1955) Some radioactive occurrences in the Bancroft area. *Ont. Dep. Mines Geol. Circ.*, 2.
- Sutton, J. S. (1972) The Precambrian gneiss and supracrustal rocks of the western shore of Kaipokok Bay, Labrador, Newfoundland. *Can. J. Earth Sci.*, **9**, 1677-1692.
- Young, B. B. and Millman, A. P. (1964) Microhardness and deformation characteristics of ore minerals. *Bull. Inst. Mining Met.*, **73**, 437-466.