

충남 예산지구 활석광상의 기원암과 활석화작용

우영균* · 이동우

공주대학교 자연과학대학 지질환경과학과, 314-701 충남 공주시 신관동 182

Original Rocks of the Talc Ore Deposits and their Steatitization in the Yesan Area, Choongnam, Korea

Young-Kyun Woo* · Dong-Woo Lee

Department of Geoenvironmental Science, Kongju National University,
Kongju 314-701, Korea

Abstract: Ultramafic rocks in the Yesan talc ore deposits area are unknown age plutonic rocks which intruded Pre-Cambrian Yoogoo gneiss, and were intruded by Jurassic biotite granite, and Cretaceous acidic and mafic dykes. The ultramafic rocks consist mainly of serpentinite with some amphibolite and talc ore body. The serpentinites are divided 5 rock types (S1~S5) on the basis of the developed degree of serpentine phenocrysts and layerings. It seems that the original rocks of the serpentinites were co-magmatic peridotites (dunite and pyroxene peridotite). Main serpentinization from the original rocks was occurred during amphibolite facies regional metamorphism in Choongnam area which Yoogoo gneiss was affected. Main steatitization from the serpentinites was hydrothermal alteration by ascended hydrothermal fluid through crush zones.

Key words: peridotite, serpentinization, serpentinite, steatitization, crush zone, hydrothermal alteration

요약: 충남 예산지구 활석광상지역에는 선캄브리아기의 유구편마암을 관입하고 주라기 흑운모화강암과 백악기의 산성 및 염기성 암맥의 관입을 받은 시대미상의 초염기성암체가 있다. 이 초염기성암체는 주로 사문암이고, 소량의 각섬암과 주로 사문암으로부터 형성된 활석광체를 포함한다. 이 사문암들은 사문석 반정과 layering의 발달 정도에 따라 S1~S5의 5개 암석단위로 구분된다. 그러나 이들의 구성광물 및 화학조성들이 유사한 것으로 보아 사문암의 기원암은 동일 마그마 기원의 감람암(dunite와 pyroxene peridotite)으로 해석된다. 사문암의 기원암인 감람암은 유구편마암이 받은 각섬암상의 광역변성작용시에 사문석화작용을 받아 사문암으로 되었고, 이 사문암으로부터의 주 활석화작용은 파쇄대를 따라 상승한 열수에 의한 열수변질작용으로 해석된다.

주요어: 감람암, 사문석화작용, 사문암, 활석화작용, 파쇄대, 열수변질작용

서론

충남 예산지구에는 사문암 기원의 활석광상인 유구, 녹천, 평안, 대흥, 온양, 덕성, 신양, 덕유 광상 등이 밀집 분포되어 있다(Fig. 1).

이 지역의 지질 및 광상들에 대한 자료로는 1/25만 서산 및 대전지질도(국립지질조사소, 1973), 1/5만 대흥 및 광정 지질도(엄상호 · 이민성, 1963; 강필중 · 임주환, 1974)과 대한광업진흥공사에서 수행한 광체

발달 상태 및 탐광자료(한국의 광상 9호, 1981; 11호, 1988 및 광상시추조사보고 8-12호, 1985~1989), 김규봉(1972), 지정만 · 김규봉(1977), 우영균 외(1991) 및 윤상필(1992)에 의한 것이 있다.

상기 광상들은 광상의 산출상태 뿐만 아니라 활석 광석과 폐석의 특징, 수반광물의 종류, 화학조성 등 여러가지 점에서 공통점이 있으므로(김규봉, 1972; 우영균 외, 1991) 광상의 성인도 동일한 과정에 의한 것이라고 볼 수 있다.

이 연구에서는 거의 모두 활석화된 광상들중 노천 채굴되어 관찰조건이 양호한 대흥광상과 활석화정도

*E-mail: ykwoo@kongju.ac.kr

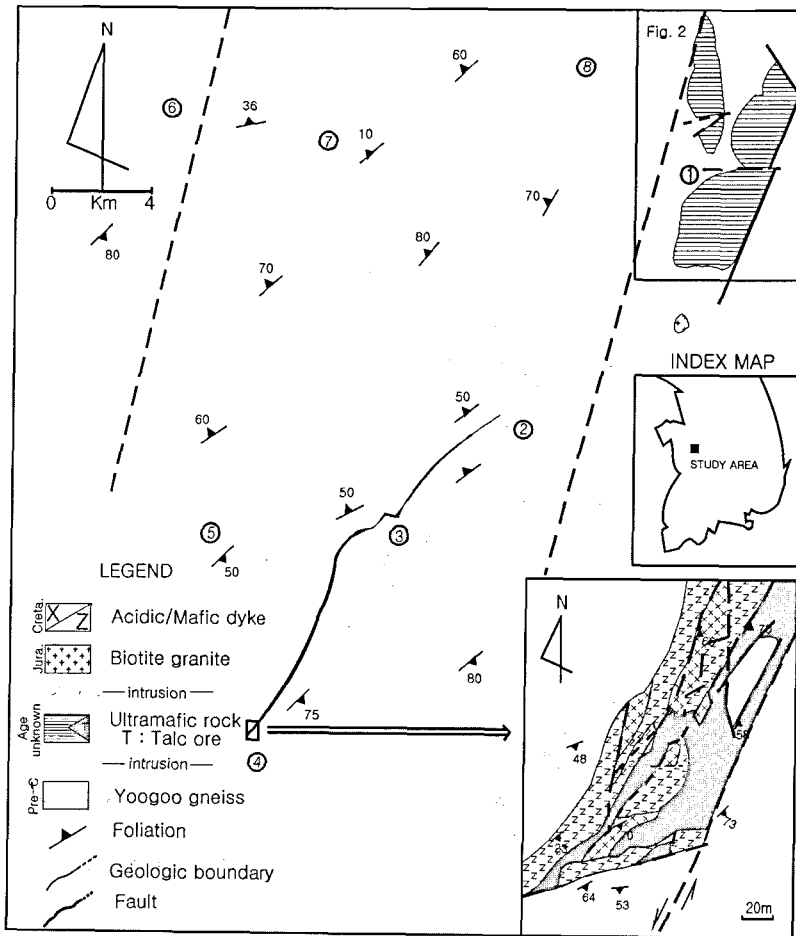


Fig. 1. Regional geologic map of the Yesan talc ore deposits area. Geologic map of the Yoogoo area in the upper right is shown in detail in Fig. 2. ① Yoogoo ② Nockchen ③ Pyeongan ④ Daehung ⑤ Onyang ⑥ Deogseong ⑦ Sinyang ⑧ Deog-yoo talc mine.

가 미약하여 기원암인 사문암체가 존재하는 유구활석광상의 제반 특징을 상호 관련지워서 이 지역 활석광상의 성인을 해석해보고자 한다.

이 연구는 1992년 3월부터 대흥과 유구활석광상 주변의 지질분포 및 지질구조, 광상의 산출상태 등을 조사하고, 이어서 현미경관찰 및 각종분석을 실시한 뒤 이 자료들을 근거로 이 활석광체의 기원암과 활석화작용을 규명하는 과정으로 진행하였다. 암석의 주성분 및 미량성분 분석은 한국표준과학연구원 기초과학연구지원센터에서, X선회절분석은 한국자원연구소에서, EPMA 분석은 연세대학교에서 수행하였다.

이 연구는 한국과학재단 후원 전락광물자원연구센터 지원 연구비에 의하여 이루어졌음을 밝히며 이에 깊이 감사드립니다. 또한 현장조사시 적극 협조해 주신

대흥광업소 안정환계장을 비롯한 관계자 여러분께, 그리고 각종분석을 주선해 주신 문희수교수, 이현구교수, 박계현박사와 야외조사와 실내자료 정리에 수고해준 조용현·류정렬군에게 깊은 감사를 드린다.

지질개요

예산지구 활석광상 부근의 지질은 주로 선캄브리아기의 유구편마암과 이를 관입한 시대미상의 초염기성암체로 구성되어 있으며, 이 밖에 이들을 관입한 소규모의 쥬라기 흑운모화강암과 백악기의 산성 내지 염기성암맥도 분포한다(Fig. 1과 2).

선캄브리아기 경기편마암복합체에 속하는 유구편마암은 대체로 엽리구조가 뚜렷한 흑운모화강편마암으

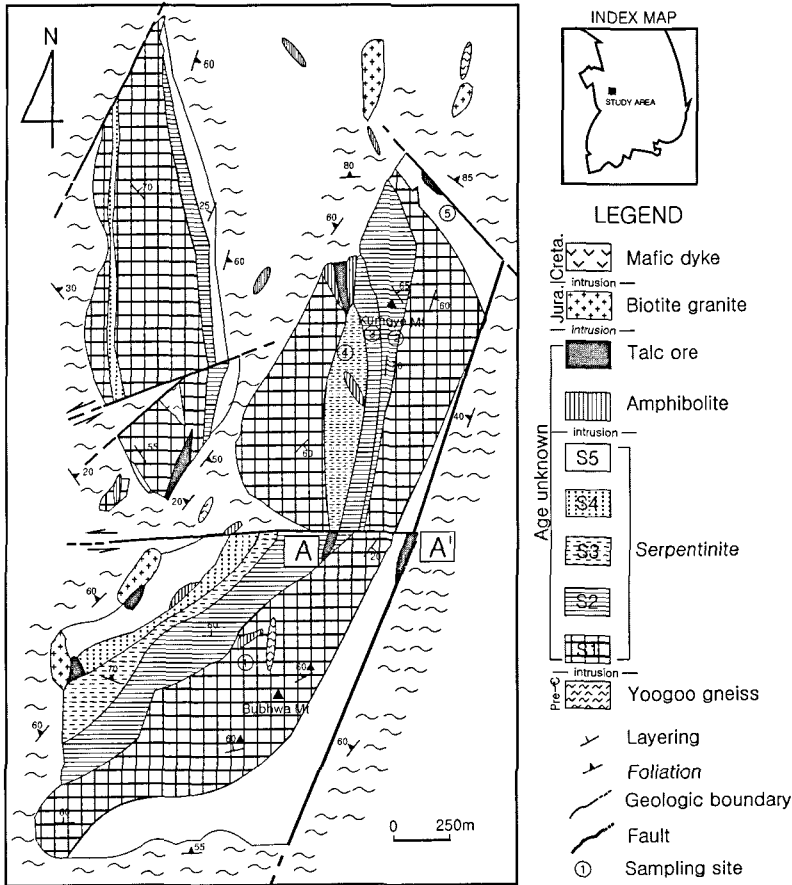


Fig. 2. Geologic map of the Yoogoo talc ore deposits.

로서 우세한 엽리의 주향·경사는 N40~70E/50SE이지만, 곳에 따라 주향은 N30W~N70E 범위에서, 경사는 50~60NE 또는 SE로 변한다. 유구편마암은 곳에 따라 암상이 다양하여 안구상편마암과 흑운모편암상을 보이기도 하는데, 이들 편마암류의 엽리의 방향은 금계산의 서쪽부근을 제외하고는 초염기성암체의 접촉부와 대체로 평행하게 발달한다. 유구편마암의 구성광물은 석영, 장석, 흑운모가 주이고 소량의 백운모를 포함하며 경하에서 보면 주로 석영, 사장석, 미사장석, 흑운모, 녹니석 등으로 구성되어 있다.

초염기성암체는 그 시대를 확실하게 정할 수 없으나 선캄브리아기의 유구편마암을 관입하였고 쥬라기의 화강암에 의해 관입당한 것으로 보아 그생성시기는 선캄브리아기와 쥬라기 사이인 것으로 여겨진다. 초염기성암체는 주로 사문암으로 구성되었으며 각섬암과 활석도 포함된다. 사문암은 암록색 암석으로서 사문석 반정의 함량과 layering의 발달정도에 따라 5

가지 암석단위로 구분하여 지질도에 나타내었다(Fig 2). 각섬암은 금계산 서편에서 폭 20m, 남북 방향의 연장 50m 정도 확인되는 암체가 가장 크며 나머지는 이보다 작다. 각섬암은 뚜렷한 엽리구조를 보이거나 선구조를 보이는데 이들 엽리의 주향과 경사는 N30E~N40W와 40NW~60SE로 변화의 폭이 심하다. 활석은 담회색의 괴상암체로서 주로 사문암과 편마암의 경계부근에 분포한다.

흑운모화강암은 유구광상 남부와 금계산 북부등 곳곳에서 소규모 관입암체로 나타나는데, 회백색의 조립질 암석으로서 주로 석영, 장석, 흑운모로 구성되어 있다.

염기성암맥은 암회색의 치밀암으로서 이지역에서 수십조가 발견되는데, 폭은 수십cm~3m로서 이상의 암석을 모두 관입하였다. 염기성암맥은 편마암 및 초염기성암체와의 접촉부에서는 치밀해지고 석영, 장석 및 각섬석의 반정을 포함하며 안산암 내지 현무암질

의 조성을 갖는다.

산성암맥은 주로 치밀한 담회색의 규장암으로서 상기 암석들을 곳곳에서 관입하였으며 특히 대홍광상 지역에서 빈번히 나타난다.

활석광상

산출상태

예산지구의 활석광상은 Fig. 1에서 보는 바와같이 유구, 녹천, 평안, 대홍, 온양, 덕성, 신양, 덕유광상 등이다. 이들은 모두 유구편마암내의 사문암체를 기원암으로 하여 형성된 것이지만, 유구광상을 제외한 거의 모든 광상에서는 그 기원암을 찾아보기 어려울 정도로 활석화 정도가 심하다.

이 지역 활석광체는 대체로 N30~40E 방향의 맥상광체이다. 이중 가장 큰 것은 대홍-평안-녹천-유구 광상을 잇는 광화대로서, 이는 곳에 따라 그폭이 팽창하거나 단절된 형태를 보이기도 하지만 대체로 폭 10~100m이고, 약 15km 정도로 북동향의 연장이 뚜렷하다. 또한 나머지도 그 규모는 작지만 이 광화대의 서북쪽으로 평행한 배열을 보인다(Fig. 1).

대홍광상의 활석광체는 본갱광체, 신갱광체, 국사광체로 구분된다. 본갱광체와 신갱광체는 과거 갱도 채굴하였고, 조사 당시 국사광체는 광범위하게 노천채광 작업중이었다. 국사광체의 규모는 폭 10~50m, 연장 약 1km 이상이지만, 암맥류에 의해서 부분적으로 절단되어 맥폭의 변화가 심하다(Fig. 1). 국사광체의 주향 및 경사는 대체로 N40~60E/50~55SE인데, 부광대는 N20E 및 N75E 단층을 따라 형성되어 있다.

대홍 활석광체는 대체로 유구편마암과 접하고 있어서 광체의 발달 방향은 주로 유구편마암의 엽리와 평행하다. 그러나 활석광체 중에는 편마암의 엽리와 거의 수직으로 발달된 파쇄대를 따라 형성된 것도 많으며, 이 활석광체내에는 직경 30cm~2m 규모의 괴상 활석과 활석화 정도가 미약한 괴상체들이 많이 존재하는데, 괴상활석은 거의 그 내부까지 활석화되었으나, 괴상체들은 그 표면부근에만 활석화되었고, 그 내부로 감에 따라 점차 활석화 정도가 미약해져서 중심부에는 변질이 심한 사문암의 잔류체가 남아 있는 것이다. 이 괴상활석 및 괴상체들의 표면과 틈을 따라 금운모 또는 녹니석화된 금운모가 피복되어 있거나, 박층의 석영질 피막이 형성되어 있기도 하다. 일반적으로 대홍활석광체는 파쇄정도가 심하며 활석

광체내 곳곳에 단층 활면이 발달되어 있기도 한데, 이러한 점들은 대홍활석광체의 형성은 파쇄대 발달과 밀접한 관련이 있으며, 광체형성 이후에도 단층작용은 계속되었던 것으로 해석된다.

대홍광산 활석광체는 활석화 정도가 심하여 지표부근에서는 그 기원암을 찾아보기 어렵다. 그러나 광체 하부 연장확인을 위한 시추코아(DH91-4) 관찰에 의하면, 지하 220~235m 구간에서 활석광체와 점이적인 관계를 보이는 약 15m 두께의 변질 사문암체가 발견된다.

유구활석광상의 광화대는 크게 짐춘광화대, 평촌광화대 및 계봉광화대로 구분된다. 상기 3개의 광화대를 연결하면 대체로 N40E 방향을 나타내는데 이는 Fig. 1에서 대홍, 평안, 녹천활석광상을 잇는 방향의 동북연장선에 해당된다. 이러한 방향에 따라 동북방향으로 더 가면 금계산 서쪽에 분포한 활석광상의 채굴적에 이어진다. 또한 이 지역 북동부 N40W 단층 부근과 이 지역 중동부 EW 단층 남부에도 활석광상이 분포한다.

대체로 활석광상은 편마암과 사문암의 경계부근과 단층 접촉부위에, 그리고 사문암 내의 파쇄대가 발달된 부위에, 또한 화강암 또는 페그마타이트의 관입 부위에 고품위를 이루며 형성되어 있다.

활석광석

예산지구 활석광상의 활석광석은 대부분 저품위로서 주로 담회색의 것이 많고 녹색과 담록색의 것도 있다. 활석광석은 일반적으로 고품위일수록 녹색이며, 저품위일수록 담회색을 띤다. 산출 상태는 주로 괴상이며 드물게 분말상 또는 엽편상도 나타난다. 대체로 활석광석의 구성광물들은 광상별 및 광체 부위에 따라 그 산출빈도 및 조성비가 약간씩 다르다(우영균 외, 1991). 현미경관찰과 X선회절분석 결과에 의하면 활석광석은 주로 미립의 활석으로 되어 있으며 소량의 안티고라이트, 녹니석, 돌로마이트, 마그네사이트, 방해석, 금운모, 투각섬석, 엔스터타이트, 자소회석, 자철석, 크롬철석, 금홍석등을 포함한다. 활석광석 내에는 침상의 투각섬석 결정이 산출되기도 하는데 이는 활석형성 이후에 생성 되었음이 확실하다.

활석광물의 정확한 화학조성을 파악하기 위한 EPMA 분석(Table 1)에 의하면, SiO₂는 59.29~62.22wt.%, MgO는 27.88~30.86wt.%로서 이들의 화학조성은 거의 비슷하며, 8면체내의 양이온의 수가 약 6으로서

Table 1. Electron microprobe analyses and structural formulae for representative talcs in the Daheung (D) and Yoogoo (Y) talc ore deposits.

	Talc							
	D4-7	D4-11	D4-13	D4-20	Y12-2	Y12-13	Y12-14	Y18-24
SiO ₂	60.64	61.97	61.41	62.22	59.96	59.89	59.91	59.29
TiO ₂	0.02	0.03	0.02	0.00	0.07	0.00	0.00	0.00
Al ₂ O ₃	0.56	0.07	0.40	0.27	0.79	1.38	1.25	0.43
FeO	3.48	2.01	2.90	2.53	1.56	1.73	1.96	2.53
MnO	0.09	0.01	0.02	0.01	0.07	0.00	0.03	0.03
MgO	27.88	29.45	28.65	29.27	30.06	30.86	30.69	29.97
CaO	0.06	0.01	0.03	0.05	0.00	0.00	0.04	0.00
Na ₂ O	0.03	0.04	0.10	0.01	0.06	0.14	0.04	0.04
K ₂ O	0.01	0.01	0.03	0.01	0.25	0.02	0.29	0.01
Total	92.77	93.60	93.56	94.37	92.82	94.02	94.21	92.30

Number of cations calculated on the basis of O ₂₂ formula unit.								
Si	7.982	8.023	7.989	8.004	7.861	7.759	7.766	7.848
Al(IV)	0.018	0.000	0.011	0.000	0.122	0.211	0.191	0.067
Al(VI)	0.069	0.010	0.051	0.040	0.000	0.000	0.000	0.000
Ti	0.002	0.003	0.002	0.000	0.007	0.000	0.000	0.000
Fe*	0.383	0.218	0.315	0.272	0.171	0.187	0.212	0.280
Mn	0.010	0.001	0.002	0.001	0.008	0.000	0.003	0.003
Mg	5.470	5.684	5.557	5.613	5.875	5.960	5.931	5.914
Ca	0.008	0.002	0.005	0.006	0.000	0.000	0.006	0.000
Na	0.008	0.011	0.024	0.014	0.015	0.035	0.010	0.010
K	0.002	0.001	0.004	0.002	0.042	0.003	0.048	0.002
	5.952	5.929	5.960	5.948	6.118	6.186	6.210	6.209
Mg/(Mg+Fe)	0.930	0.960	0.950	0.950	0.970	0.970	0.970	0.950

*All Fe treated as ferrous.

Mg 이온의 함유비가 D4-7의 93%를 제외하면 모두 95% 이상이므로 거의 이론치(SiO₂ 63.5wt.%, MgO 31.7wt.%, H₂O 4.8wt.%)에 가까운 구조식을 갖는다.

활석광석의 화학분석 결과(Table 3), SiO₂는 38.84 ~ 57.32wt.%, MgO는 26.46 ~ 32.26wt.%로서 상기 활석 광물의 EPMA 분석치에 비하여 특히 SiO₂가 크게 미달된다. 또한 활석광석의 작열감량은 7.35 ~ 15.81wt.%로서 활석광물의 이론치의 H₂O 4.8wt.% 보다 훨씬 많다. 이러한 점들은 활석광석 속에 포함된 사문석, 투각섬석, 녹니석 등 부수광물의 영향 때문이라고 해

석된다.

또한 활석광석의 미량원소(Table 3)는 공통적으로 Cr(460 ~ 2491ppm)과 Ni(1861 ~ 2394ppm) 값이 특히 높고, Co와 Sr 값도 다소 높다. 이 중 Cr, Ni, Sr은 활석광석에 따라 분산되는 경향이 크고, 나머지는 적은 값으로서 거의 같은 범위의 값을 갖는다.

활석광상의 기원암과 활석화작용

활석광상의 기원암

충남 예산지구 초염기성암 기원의 활석광상중 대표 적인 것으로 대홍과 평안광상을 들고 있지만 이광상 들에서는 활석화정도가 심하여 활석의 기원암을 발견 하기가 힘들다. 다만, 시추코아에서 발견된 활석광체 와 접한 소량의 변질 사문암과 활석광석의 현미경 관찰 및 XRD 분석으로 확인된 소량의 사문석의 존재에 의하여 이들 활석광상의 기원암이 사문암이라고 해석할 수 있다. 그러나 이들 광상에서는 사문암의 잔류체가 적고, 변질 정도가 심하여서, 사문암의 기 원암에 대한 연구는 물론 사문암으로부터 활석화되는

Table 2. Lithofacies scheme of serpentinite in the Yoogoo talc ore deposits area.

		layering			
		well	good	poor	none
Antigorite phenocryst	A < 1 (0.5)				S-5
	1 < A < 3 (1.2)				S-4
	3 < A < 10 (5.7)				S-3
	0 < A20 (14.3)				S-2
	20 < A (34.2)				S-1

Table 3. Chemical composition of serpentinites and talc ores in the Yoogoo and Daeheung talc ore deposits.

	Serpentinite										talc ore				
	regional sample					polishing slab sample					U14	U15	D1	D2	D27
	①	②	③	④	⑤	S10	S20	S30	S40	S50					
SiO ₂	41.24	41.00	39.56	39.89	35.33	41.65	40.95	39.91	40.17	39.83	38.84	45.69	50.66	44.89	57.32
Al ₂ O ₃	1.27	1.27	0.88	1.03	-	1.58	1.32	1.03	1.53	0.26	1.04	0.56	0.95	0.24	0.65
Fe ₂ O ₃	8.18	7.16	6.38	9.07	8.82	7.26	6.93	8.91	7.29	8.44	7.82	6.52	7.70	5.33	4.43
MgO	38.63	37.74	37.67	37.73	40.95	37.61	37.45	36.77	37.32	36.49	32.26	31.07	29.04	26.46	27.60
CaO	1.38	1.29	0.07	0.12	0.11	1.65	1.20	0.56	0.87	0.09	3.32	3.21	2.73	7.94	4.55
Na ₂ O	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.02
K ₂ O	0.03	0.02	<0.01	<0.01	<0.01	0.03	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.02	<0.01	0.02
TiO ₂	0.02	0.03	0.03	0.03	0.01	0.03	0.03	0.02	0.03	0.01	0.02	0.02	0.09	0.01	0.01
P ₂ O ₅	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.03	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.02	0.05
MnO	0.12	0.12	0.09	0.11	0.13	0.12	0.12	0.11	0.16	0.13	0.14	0.08	0.09	0.17	0.11
LOI	8.97	10.54	13.08	11.88	14.47	9.68	10.99	11.36	12.06	12.53	15.81	11.81	7.35	14.20	
Total	99.86	99.19	97.78	99.88	99.84	99.63	99.04	98.69	99.47	97.80	99.29	98.98	98.71	99.26	94.76
Ba	14.56	9.7	2.88	2.04	1	17.93	11.08	2.94	13.85	1.41	9.13	4.11	8.06	3.2	7
Co	118.06	104.44	96.41	103.88	111.91	101.55	103.23	118.01	114.52	117.2	107.2	80.71	84.37	85.81	49
Cr	2824	2272	2434	2175	1024	1685	2117	2589	2743	2461	2491	1492	460	1237	663
Cu	38.7	34.3	8.9	18.6	9.9	61.9	37.0	14.4	26.8	19.5	27.2	13.0	58.8	37.2	9
Nb	1.71	0.58	0.33	0.3	0.03	0.89	0.68	0.36	0.77	0.29	0.36	0.9	5.27	0.41	2
Ni	2735	2606	2428	2650	2961	2371	2424	2692	2439	2666	2353	2041	2394	2603	1861
Sr	8.49	7.32	1.54	0.88	0.91	11.28	7.35	2.04	4.59	2.58	69.53	62.94	32.52	489.8	327
Y	1.84	1.14	0.55	0.84	0.02	1.43	1.15	0.78	0.99	0.1	0.83	1.25	3.27	0.72	1
Zn	54.4	38.6	40.3	48.1	50.7	40.1	37.8	49.1	37.0	52.4	44.6	33.1	74.7	34.8	32
Zr	2.55	0.91	0.39	0.43	0.08	1.61	1.25	0.93	1.04	0.54	2.2	0.36	2.36	0.17	1

과정에 대한 체계적인 연구가 어렵다.

유구활석광상은 대홍과 평안광상을 있는 활석광화대의 동북 연장선상에 있으며, 활석화가 되지않은 비교적 신선한 초염기성암체가 노출되어 있다. 이 초염기성암체는 주로 사문암이며, 사문암내에 약간의 각섬암과 활석광체가 협재된다(Fig. 2). 유구 활석광상에서는 활석광체와 사문암의 접촉부의 관찰과 현미경 및 XRD 분석 자료, 그리고 화학분석 자료 등으로 보아 활석의 기원암이 사문암임을 확실히 알 수 있다.

한편, 이지역 초염기성암체 중 소규모로 분포하는 각섬암은 암록색을 띠며 각섬석과 사장석 또는 주로 각섬석으로 구성된 암석으로서 엽리가 잘 발달되어 있다. XRD와 현미경관찰에 의하면, 이 암석은 주로 투각섬석과 사장석, 녹니석, 금운모로 구성되어 있으며, 사장석은 안데신이다. 유구와 대홍광산 고품위 활석광체 사이에 층상으로 발달된 각섬암에서 녹니석의 일부가 활석화된 것이 관찰되긴 하지만, 거의 전체적으로 활석화가 진행되지 않았다. 따라서 이 지역의 각섬암은 활석의 기원암으로서의 역할을 하지 못했다고 해석된다.

사문암의 특징과 분류

이 사문암은 신선한 부분에서는 암록색을 띠지만,

풍화된 표면은 회백색을 띠며, 대부분 풍화되어 갈색의 토양으로 변한 곳이 많다. 사문암은 사문석의 반정이 layering에 따라 조밀하게 분포된 것으로부터 사문석 반정은 물론 layering도 거의 보이지 않는 것에 이르기까지 그 양상이 다양하다. layering은 신선한 면에서는 잘 보이지 않는 경우가 많지만, 풍화면에서는 뚜렷하게 잘 보인다.

이 사문암체에서 보여지는 사문석 반정의 양적 변화와 layering의 발달 정도의 조합에 의한 lithofacies scheme에 따라 구분해 보면, 이 사문암체는 크게 S-1으로부터 S-5까지 5개의 암석단위로 나누어진다 (Table 2).

S-1은 사문석 반정의 양이 20% 이상이고 그 평균 부피비가 대략 34.2%이며, 반정의 크기는 평균 지름 1.5cm 이상으로서 layering이 아주 잘 발달되어 있는 것인데, 이 지역에서 가장 넓은 분포를 보인다(Fig. 2). S-2와 S-3로 감에 따라 사문석 반정의 양과 크기가 줄고, layering의 발달 정도도 점차 미약해져 간다. S-4에서는 사문석 반정의 크기도 작아지며, 그양도 1~3% 정도로 줄어서 육안으로는 layering이 거의 보이지 않는다. S-5에서는 사문석의 반정이 1% 이하로서 거의 보이지 않으며 layering도 찾아볼 수 없다.

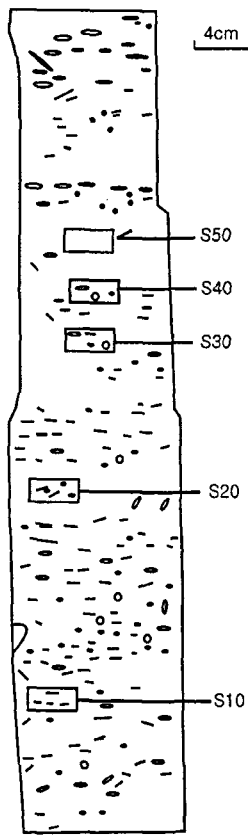


Fig. 3. Sketch of serpentinite in one outcrop of the yoogoo talc ore deposits. S10 ~ S50: sampling point.

이러한 각 암석단위의 특징이 우세한 부분을 기준으로 이 지역 사문암체를 크게 구분해 보면 Fig. 2와 같다. 그러나 하나의 노두에서도 상기 5개의 암석단위들이 소규모로 compositional layering을 이루는 부분이 많다.

S-1 구역의 신선한 노두에서 큰 사문암괴를 떼어내어 연마편을 만든 것이 Fig. 3으로서, S-1에서 S-5까지 소규모의 layering이 발달된다.

사문암의 기원암과 사문석화작용

사문암을 구성하는 광물 조성 및 조직 그리고 화학조성의 특징과 생성 과정을 파악하기 위하여 암석의 편광현미경 관찰과 XRD 분석, 그리고 주성분 및 미량성분 분석(Table 3)을 시행하였고, 주요 구성광물에 대한 EPMA 분석(Table 4)을 시행하였다. 특히 사문암의 S-1에서 S-5까지의 지화학적 특성을 파악하기 위하여 지질도에 표시한 위치에서 각각의 표품을 채취하였고(① ~ ⑤), 이를 하나의 노두에서의 S-1에서

S-5까지의 특성과 비교하기 위하여 Fig. 3에 표시한 바와 같은 부분의 것(S10 ~ S50)도 시료로 하였다.

모든 암석이 주로 사문석으로 구성되었으며, 소량의 투각섬석, 자철석, 감람석, 녹니석, 휘석으로 되어 있다.

사문석은 반정의 경우는 주로 안티고라이트이지만, 석기부분의 것은 안티고라이트 이외에도 크리소타일이 나타나며, 리자다이트는 극히 적다. 사문석의 EPMA 분석 결과 사문석들의 화학조성은 거의 유사하며 모두 이론치에 가까운 값을 갖는다(Table 4).

감람석은 모두 그 조성이 거의 유사하며, 10% 내외의 Fe²⁺ 이온이 Mg 이온을 치환하고 있으므로 거의 포스터라이트의 이론치에 가까운 구조식을 갖는다(Table 4). 감람석 결정의 경계나 결정내의 틈을 따라 사문석화작용이 진행되었음을 보여준다.

자철석은 감람석과 사문석의 경계에 주로 분포되어 망상조직(Maltman, 1978)을 이루고 있다. 이 자철석은 감람석의 사문석화작용에 의해서 빠져나온 것으로 해석된다.

휘석은 자소휘석과 엔스터타이트로서 그 양이 극히 적으며, 대부분의 사문석이 감람석의 가정을 보이는 점으로 보아 이 암석의 원암에도 휘석의 양이 적었던 것으로 해석된다.

S-1으로부터 S-5까지 각 암석의 구성 광물의 종류에는 큰 변화가 없다. 그러나 구성광물의 양적 변화를 보여서 S-1에서 S-5로 감에 따라 사문석 반정과 잔류 감람석의 함량이 줄고 사문석의 함량이 증가 한다.

S1 ~ S5까지의 화학분석치도 Table 3에서 보듯이 광역적인 표품(① ~ ⑤)의 것과 한 노두 단면에서의 것(S10 ~ S50)에서의 값이 큰 차이를 보이지 않는다. 즉 사문암의 주요 성분인 SiO₂와 MgO에 대해서도 큰 차이가 없다. SiO₂의 경우는 최대치가 41.65wt.%이고 최소치가 35.33wt.%이다. 이중 최소치를 제외하면 대체로 39.56 ~ 41.65wt.%의 범위로서 큰 변화를 보이지 않는다. MgO의 경우에는 최대치 40.95wt.%, 최소치 36.49wt.%로서 최대치를 제외하면 대체로 36.49 ~ 38.63wt.%로 역시 큰 변화가 없다. 이 사문암의 분석치들은 Anhaeusser(1976)의 사문암화감람암의 평균치와 대체로 유사하다.

사문암의 미량원소(Table 3)는 Cr(1024 ~ 2824ppm)과 Ni(2371 ~ 2961ppm)이 비교적 큰 값을 보이고, 암석에 따라 다소 분산을 보이거나, 나머지는 그 값이 작으며 암석에 따른 차이가 매우 작다. 전체적으로

Table 4. Electron microprobe analyses and structural formulae for representative olivines and serpentines in the Yoogoo (Y) and Daehung (D) talc ore deposits.

	Olivine														Serpentine													
	Y12-1	Y12-3	Y12-6	Y12-15	Y12-16	Y12-17	Y12-18	D4-11	D4-12	Y12-4	Y12-5	Y12-7	Y12-9	Y12-11	Y12-12	Y18-21	Y18-22	Y18-23	Y18-25									
SiO ₂	40.70	41.19	40.72	39.74	40.44	41.41	40.55	40.94	39.68	39.02	43.14	37.25	40.02	42.67	41.75	42.24	42.31	41.41	42.06									
TiO ₂	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.05	0.03	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01									
Al ₂ O ₃	0.02	0.00	0.00	0.00	0.06	0.00	0.03	3.20	4.42	0.00	2.12	1.17	0.39	2.83	2.53	1.49	1.21	3.09	1.82									
FeO	11.63	10.11	10.62	10.07	11.14	9.57	9.68	6.02	6.01	4.49	4.15	8.00	3.96	3.58	3.58	6.34	6.54	7.41	7.07									
MnO	0.17	0.14	0.18	0.15	0.26	0.11	0.19	0.05	0.01	0.13	0.02	0.06	0.07	0.00	0.04	0.17	0.00	0.03	0.06									
MgO	46.54	48.81	47.66	48.08	46.91	50.07	49.08	39.91	34.46	41.36	37.11	36.27	37.91	37.12	36.86	35.39	35.21	34.26	34.83									
CaO	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.01	0.05	0.03	0.07	0.03	0.18	0.12	0.03	0.01	0.00	0.00	0.00	0.03									
Na ₂ O	0.01	0.01	0.00	0.04	0.03	0.02	0.01	0.04	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01	0.26									
K ₂ O	0.00	0.00	0.00	0.03	0.05	0.01	0.0	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.05	0.00	0.00	0.02	0.09									
Total	99.07	100.26	99.18	98.11	98.89	101.20	99.55	90.28	84.66	85.07	86.57	82.93	82.53	86.25	84.84	85.63	85.28	86.23	86.23									
Number of cations calculated on the basis of O ₄ (olivine), O ₁₄ (serpentine) formula unit																												
Si	1.013	1.006	1.008	0.995	1.008	1.000	0.998	3.950	3.852	3.803	4.057	3.791	3.979	4.017	4.003	4.069	4.093	3.982	4.045									
Al(IV)	0.000	0.000	0.000	0.005	0.000	0.000	0.001	0.050	0.148	0.000	0.000	0.140	0.021	0.000	0.000	0.000	0.000	0.018	0.000									
Al(VI)	0.001	0.000	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.314	0.357	0.000	0.235	0.000	0.025	0.314	0.286	0.169	0.138	0.332	0.206									
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.003	0.002	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001									
Fe*	0.242	0.207	0.220	0.211	0.232	0.193	0.199	0.486	0.488	0.366	0.326	0.681	0.329	0.282	0.287	0.511	0.529	0.596	0.569									
Mn	0.004	0.003	0.004	0.003	0.005	0.002	0.004	0.004	0.001	0.011	0.002	0.005	0.006	0.000	0.003	0.014	0.000	0.002	0.005									
Mg	1.727	1.778	1.759	1.795	1.743	1.803	1.800	5.022	4.986	6.010	5.203	5.502	5.619	5.209	5.268	5.083	5.077	4.911	4.993									
Ca	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.005	0.003	0.007	0.003	0.020	0.013	0.003	0.001	0.000	0.000	0.000	0.003									
Na	0.000	0.000	0.000	0.002	0.001	0.001	0.000	0.008	0.001	0.000	0.000	0.000	0.012	0.002	0.000	0.000	0.000	0.002	0.048									
K	0.000	0.000	0.000	0.001	0.002	0.000	0.000	0.002	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001	0.006	0.000	0.000	0.002	0.011									
Mg/(Mg+Fe)	1.974	1.988	1.983	2.012	1.985	2.000	2.004	5.844	5.839	6.394	5.769	6.208	6.004	5.811	5.853	5.777	5.745	5.845	5.836									

*All Fe treated as ferrous.

볼 때, 사문암체의 미량원소 함량은 암석에 따른 약간의 차이는 있으나 거의 유사하며, 또한 맨틀값과도 유사하다.

아외산출상태를 비롯한 각종 분석자료에 의하면, 이 지역 사문암체는 조직상의 차이를 나타낼 뿐 광물 및 화학조성상에 큰 변화가 없다. 따라서 이 사문암체는 모두 동일한 마그마로부터 기원된 것으로 해석된다. 특히, 미량성분중 Ni과 Cr의 함량이 비교적 많고, 미량 성분들이 맨틀값과 유사한 점으로 보아 이 암석은 맨틀 기원의 초염기성암으로 여겨진다 (Park, 1989).

이상의 자료들을 종합해 볼 때, 이 사문암의 기원 암은 주로 감람석으로 구성되었으며, 소량의 휘석과 각섬석이 포함된 감람암(dunite와 pyroxene peridotite) 이었다고 해석된다.

한편, 사문암의 기원암인 감람암으로부터의 사문석화작용을 고찰해 보면 다음과 같다.

우선, 초염기성암 형성 직후 물의 공급만 받아도 포스터라이트 또는 포스터라이트와 앤스터타이트가 사문석으로 변질되는 자변성작용으로서의 사문석화작용을 생각할 수 있다(Bowen and Tuttle, 1949; Hyn-dman, 1972; Winkler, 1974; Turner, 1981; Ehlers and Blatt, 1982).

그러나, 이지역 사문암과 활석광석 그리고 각섬암에서 관찰되는 엽리가 이 지역 편마암류의 엽리와 대체로 유사하므로, 주변의 편마암류가 광역변성작용을 받을 때 이 초염기성암류도 함께 변성작용을 받았다고 해석된다. 더구나 각섬암내의 사장석이 안데신이므로 그 변성도는 안데신-올리고클레이스 각섬암상에 속한다고 해석되며(Winkler, 1974; Tomkeieff, 1983), 이는 주변 편마암의 광역변성작용시의 변성도가 각섬암상이었다는 연구결과(윤상필, 1992)와도 일치된다. 또한 이 사문암내의 사문석은 안티고라이트가 많은데, 안티고라이트 형성에 적당한 변성도는 녹니석-흑운모-녹색편암상과 알바이트-녹렴석 각섬암상이라고 알려져 있다(Francis, 1956). 그러므로 이 사문암의 기원암인 감람암으로부터의 주 사문석화작용은 상기와 같은 변성도의 변성작용을 받는 과정에서 포스터라이트가 SiO₂와 H₂O의 공급을 받아 안티고라이트로 변질되는 과정으로 진행되었다고 해석된다.

사문암의 활석화작용

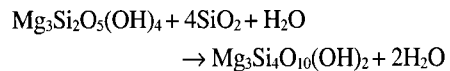
앞에서 살펴본바와 같이 이 지역 활석광상의 기원

암은 주로 사문암이다. 그러나 그 활석화 정도는 광상별 및 광체부위에 따라 다른데, 특히 대홍과 유구 활석광상에서 큰 차이를 보인다.

대홍활석광상의 경우, 파쇄대내에서 사문암의 대부분이 활석화되었고, 활석화작용이 잘 이루어지지 않은 각섬암만 남아 있을 뿐이다. 대홍광산 파쇄대의 방향성은 N30~40E로서 그 동북 연장선상에 유구활석광상의 주광화대가 분포한다. 즉 유구활석광상의 경우 사문암체중 활석화된 부분은 파쇄대에 위치한 극히 일부분에 해당된다(Fig. 1과 2). 이 두 광상의 산출상태의 비교에서 활석화정도는 파쇄정도에 비례하는 것이 확실하므로 활석광체의 형성에는 파쇄대의 발달이 매우 중요한 요인이라고 해석된다.

이지역 활석광체는 파쇄대 이외에도 사문암과 편마암의 경계부나, 단층 접촉부, 화강암과 페그마타이트의 접촉부에서 고품위를 이루고 있다.

또한 활석광체 속에 금운모와 녹니석과 같은 열수 변질 광물이 존재하는 점, SiO₂ 함량이 비교적 적은 사문암으로부터 대규모의 활석광체가 형성되기 위해서는 다량의 SiO₂의 공급이 있었으리라는 점등을 고려해 본다면, 이 활석광체의 형성에는 파쇄대를 따라 상승한 열수에 의한 변질작용이 매우 중요한 요인으로 작용했다고 해석된다. 따라서 사문암의 활석화작용은 녹색편암상의 변성작용에 의해서도 일어날 수 있지만(Hess, 1955; Turner, 1948), 이 지역 사문암의 효과적인 활석화작용은 주로 다음식(Hess, 1955)에 따라 일어났다고 해석된다.



그러므로 대홍광상지역의 경우는 사문암체의 폭이 좁고(Fig. 1), 파쇄대의 발달이 우세하여 파쇄대를 따라 상승한 열수용액에 의해서 사문암이 거의 활석화되었다. 그러나 유구광상지역의 경우는 사문암체의 규모가 큰데 비하여 파쇄대의 발달이 미약했기 때문에 활석화정도도 약했다고 보여진다. 더구나, 대홍광상 파쇄대의 연장선이 유구광상 지역으로 와서는 그 중심이 사문암체 사이에 위치한 편마암을 지나가기 때문에 특히 활석화작용이 미약했던 것으로 해석된다(Fig. 1과 2).

일반적으로 광상의 형성은 화학적규제와 구조적규제에 의해서 이루어지는데(Guilbert and Park, 1985), 예산지구 활석광상의 활석화과정은 이 2가지 요인의

적절한 합작으로 형성된 것이다. 즉 이 지역에 활석을 형성시킬 수 있는 화학조성을 가진 기원암으로서의 사문암이 분포되어 있었고, 활석화과정을 촉진시키는 구조적규제가 작용한 부위에 활석광상이 형성된 것으로 해석된다.

결 론

1. 예산지구 활석광상지역에는 선캄브리아기의 유구편마암을 관입하고 주라기 흑운모화강암과 백악기의 산성 및 염기성 암맥의 관입을 받은 시대미상의 초염기성암체가 있다.

2. 이 초염기성암체는 주로 사문암이고, 이를 관입한 소량의 각섬암과 주로 사문암으로부터 형성된 활석광체로 구성된다.

3. 이 사문암들은 사문석 반정과 layering의 발달 정도에 따라 S1 ~ S5의 5개 암석단위로 구분된다. 그러나 이들의 구성광물 및 화학조성들이 유사한 것으로 보아 이들은 모두 동일 마그마 기원으로 해석되며 이 사문암의 기원암은 감람암(dunite와 pyroxene peridotite)으로 해석된다.

4. 사문암의 기원암인 감람암으로부터의 주 사문석화작용은 주로 유구편마암이 받은 각섬암상의 광역변성작용시에 일어난 것으로 해석된다.

5. 이 지역 활석광상은 주로 사문석의 활석화작용으로 형성되었다.

6. 이 활석화과정에서 중요한 요인은 활석의 기원암인 사문암의 존재 뿐만 아니라 열수공급의 통로를 마련한 파쇄대의 형성이다. 즉 이 광상들의 주활석화작용은 사문암의 열수변질작용으로 해석된다.

참고문헌

강필중 · 임주환, 1974, 1/5만 광정지질도폭 설명서. 국립지질광물연구소, 13 p.
 국립지질광물연구소, 1973, 1/25만 서산 및 대전지질도. 한림출판사.
 김규봉, 1972, 한국의 활석광상, 지질광상조사연구보고. 제 14호, 국립지질조사소, pp. 5-121
 대한광업진흥공사, 1981, 한국의 광상(비금속편), 제9호,

제11호, pp. 31-117.
 대한광업진흥공사, 1988, 한국의 광상(비금속편). 제9호, 제11호, pp. 11-80.
 대한광업진흥공사, 1985 ~ 1989, 광상시추조사보고. 제8호-제12호.
 업상호 · 이민성, 1963, 1/5만 대홍지질도폭 설명서. 국립지질조사소, 13 p.
 우영균 · 최석원 · 박기화, 1991, 충남 예산지구 활석광상의 성인에 관한 연구. 광산지질 제24권 4호, pp. 363-378.
 윤상필, 1992, 충남 유구지역의 활석광상에 대한 광물. 광상학적 연구. 연세대학교 대학원 석사논문, 86 p.
 지정만 · 김규봉, 1977, 사문석의 활석화 과정에 관한 연구. 광산지질, 제10권 2호, 67-74.
 Anhaeusser, C.R., 1976, The nature of chrysotile asbestos occurrences in Southern Africa: A review. Economic Geology, 71, pp. 96-116.
 Bowen, N.L. and Tuttle, O.F., 1949, The system MgO-SiO₂-H₂O. Bulletin of the Geological Society of America, 60, 439 p.
 Ehlers, E.G. and Blatt, H., 1982, Igneous, sedimentary and metamorphic petrology. Freeman and Company, 732 p.
 Francis, G.H., 1956, The serpentinite mass in Glen Urquhart, Inverness-shire, Scotland. American Journal of Science, 254, 201 p.
 Guilbert, J.M. and Park, Jr. C.F., 1985, The Geology of Ore Deposits. W.H. Freeman and Company, p. 985.
 Hess, H.H., 1955, Serpentine, orogeny, epeirogeny. Crust of the Earth (a symposium). Geological Society of America Special Paper 62, 391 p.
 Hyndman, D.W., 1972, Petrology of igneous and metamorphic rocks. 103-113.
 Maltman, A.J., 1978, Serpentine textures in Anglesey, North Wales, United Kingdom. Bulletin of the Geological Society of America, 89, 972-980.
 Park, A.F., 1989, Peridotite, The Encyclopedia of igneous and metamorphic petrology, In Bowes, D.R. (ed.), Encyclopedis of igneous and metamorphic petrology, Van Nostrand Reinhold. 437-438.
 Tomkeieff, S.I., 1983 Dictionary of Petrology. A Wiley-Interscience Publication, 680 p.
 Turner, F.J., 1948, Mineralogical and structural evolution of the metamorphic rocks. Geological Society of America, Memoir, 30, 132 p.
 Turner, F.J., 1981, Metamorphic petrology (2nd ed.). McGraw-Hill Co. 524 p.
 Winkler, H.G.F., 1974, Petrogenesis of Metamorphic Rocks (3rd ed.), Springer-Verlag, 148-194.