

## 충남지역 사문암내 감람석과 휘석의 사문석화작용

김영태\* · 우영균

공주대학교 지질환경과학과, 314-701, 충남 공주시 신관동 182

### Serpentinization of Olivine and Pyroxene in Chungnam Serpentinites, Korea

Young-Tae Kim\* and Young-Kyun Woo

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

**Abstract:** Serpentinites in Chungnam area are mainly composed of serpentines. Serpentinites of olivine origin consist of pseudomorphs of olivines and show mesh texture enclosed with magnetites along the boundaries of serpentine crystals. In some serpentinites, serpentinization is occurred in crystal boundaries and/or cracks of olivines and pyroxenes which are relict minerals of dunite and harzburgite. On the process from olivine to serpentine, Mg ions are greatly decreased and Si ions are greatly increased, and  $Fe^{2+}$  and  $Fe^{3+}$  ions are a little decreased. But, on the process from pyroxene to serpentine, Si ions are greatly decreased and Mg ions are greatly increased. Magnetites around the serpentine crystals were formed from the iron which had been left out through this serpentinization process of olivine. Serpentinization from the original rocks such as dunite and harzburgite in Chungnam area was occurred by various waters affected after formation of original rock, and particularly by metamorphic water in the metamorphic conditions ranging from green schist facies to granulite facies through amphibolite facies.

**Keywords:** serpentinite, olivine, pyroxene, dunite, harzburgite, serpentinization

**요약:** 충남지역 사문암은 주로 사문석으로 구성되어 있으며, 감람석 기원의 사문석은 감람석의 가상을 이루고 있고 이 사문석결정들의 외곽을 자철석들이 둘러싸서 전체적으로 망상구조를 보인다. 또한 사문암중에는 부분적으로 기원암인 더나이트와 헤즈버자이트의 잔류 구성광물인 감람석과 휘석이 이들의 결정경계나 결정내 간극을 따라 사문석화가 일어났다. 감람석에서 사문석으로 변할 때 Mg 이온은 크게 감소하고, Si 이온은 크게 증가하였으며  $Fe^{2+}$ 와  $Fe^{3+}$  이온이 약간 감소하였고, 이 철들이 자철석을 형성하였다. 휘석에서 사문석으로 변할 때 Si 이온은 크게 감소하고 Mg 이온은 크게 증가하였으며, 기타 이온은 별 변화가 없다. 충남지역 사문암의 기원암인 더나이트와 헤즈버자이트로부터의 사문석화작용은 기원암이 형성된 후 작용한 여러 가지 물에 의해서, 그리고, 녹색편암상 내지 각섬암상에서 백립암상에 이르는 변성작용시의 변성수의 영향으로 이루어졌다.

**주요어:** 사문암, 감람석, 휘석, 더나이트, 헤즈버자이트, 사문석화작용

## 서론

충남지역의 사문암체는 주로 활석과 석면 광상의 모암으로서 홍성-광천과 유구-청양을 연결하는 선 내부의 선캄브리아기 편마암복합체내에서 북북동 방향에 따라 단속적으로 평행 발달하는 폭 수 m~1 km,

연장 수 m~5 km인 20여개조의 렌즈상 암체들이다.

그동안, 이 사문암체 기원의 활석 및 석면 광상의 성인과 사문암체의 암석학적 연구가 많이 이루어져 왔으며(김건영, 1997; 송석환과 송윤섭, 2001; 송석환 외, 1997, 2004; 송윤구, 1995; 우영균, 1995, 1996; 우영균과 강희주, 1999; 우영균과 김상구, 2002; 우영균과 김상훈, 2003; 우영균과 서동욱, 1998; 우영균과 서만철, 2000; 우영균과 이동우, 2001; 우영균 외, 1991; 위수민 외, 1994; 윤상필, 1992; 지정만과 김규봉, 1977; 최성호, 1995) 이 논문들 중 일부에서 이

\*Corresponding author: kyt9839@kongju.ac.kr

Tel: 82-41-850-8509

Fax: 82-41-850-8479

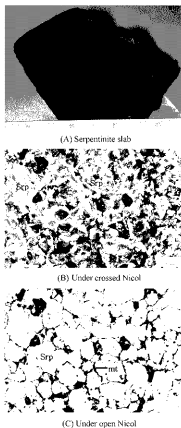


Fig. 1. Photographs of rock slab (A) and photomicrograph (B and C) of Chungnam serpentinites. Srp: serpentine, mt: magnetite.

사문암체는 맨틀기원의 초염기성암체인 더나이트와 페르브자이트의 사문석화작용으로 형성되었다고 하였으나, 그 사문석화작용의 과정에 대해서는 구체적으로 밝혀지지 않았다.

이 논문의 목적은 충남지역 사문암의 현미경관찰 및 EPMA 분석자료류 바탕으로 초염기성암인 기원 암으로부터의 사문석화과정의 특징을 좀 더 상세히 밝혀려는데 있다.

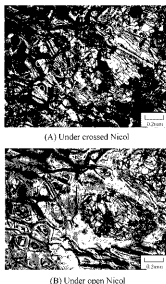


Fig. 2. Photomicrographs of some Chungnam serpentinites showing original minerals such as olivines (O), pyroxene (Px) and serpentine (Srp).

### 충남지역 사문암과 사문석화작용의 특징

충남지역의 사문암은 주로 압축력 내지 압축력을 띠는 세립질 암석으로서(Fig. 1A), 풍화된 표면은 연두색, 회색의 내지 갈색을 띠고, 더 풍화되어 토양화가 이루어지면 적갈색을 띤다.

신선한 사문암의 박편을 편광현미경의 직교니콜하에서 관찰하면, Fig. 1B와 같이 주로 사문석으로 구성되었고, 소량의 크롬스피넬이 관찰된다. 이를 개방니콜하에서 관찰하면, Fig. 1C와 같이 사문석 결정들이 감람석의 기상을 이루고 있고, 이 사문석 결정들의 외곽을 자철석들이 둘러싸서 전체적으로 망상구조를 잘 보여주고 있다. 때로는 사문암내에서 감람석과 휘석이 관찰되며, 이들 감람석과 휘석의 결정경계나 결정내 간극을 따라 사문석화가 진행되는 것을 볼 수 있으므로(Fig. 2), 이 사문암의 기원암은 주로 감람석과 휘석으로 구성된 초염기성이라고 해석할 수



Fig. 3. Photomicrograph of serpentinite showing the points of analyses along the scanning line from olivine (O1-O3) to serpentine (S1-S7).

있다. 이 초영기실링은 주로 면틀기원의 다나이트와 레즈비자이트라고 발표된 바 있다(송석환 외, 1997; 우영근, 1996; 우영근과 서민철, 2000; 최성호, 1995)

김립석으로부터의 사문석화작용을 좀더 자세히 밝히기 위하여, Fig. 3과 같이 김립석(O1-O3)에서 사문석(S1-S7)으로의 변화가 잘 보이는 박편에서 이 추사선에 따른 EPMA분석을 시행한 자료가 Table 1이다. Table 1에서 각 이온들의 합이 김립석의 경우는 3.020-3.027이고, 사문석의 경우는 4.972-5.036이므로, 이들 자료를 같은 기준하에서 비교해 보기 위하여 이온의 합을 100으로 하였을 때의 각 이온의 값을 계산하였다(Table 2).

김립석으로부터 사문석으로의 추사선에 따른 각 이온의 변화율 효과적으로 파악하기 위하여 Fig. 4A와 같은 다이아그램을 작성하였다.

Fig. 4A의 왼쪽분에서 김립석으로부터 사문석으로 변함에 따라 Mg 이온은 크게 감소하고, Si이온은 크게 증가함을 잘 볼 수 있다. Fig. 4A의 이렇듯분에서 김립석으로부터 사문석으로 변함에 따라  $Fe^{2+}$ 와  $Fe^{3+}$  이온이 약간 감소함을 보여주는데, 이들 중 자세한

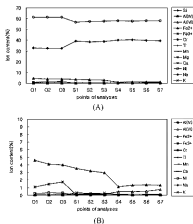
Table 1. Electron microprobe analyses along the scanning line from olivine to serpentine in above Fig. 3

	olivine			serpentine						
	O1	O2	O3	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
SiO <sub>2</sub>	40.87	39.95	39.16	39.37	39.05	39.33	41.28	41.88	40.61	40.56
TiO <sub>2</sub>	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.16	0.12	0.41	0.40	0.44	0.65
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.02	0.05	0.11	0.04	0.14	0.10	0.08	0.03	0.05	0.07
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	8.53	8.21	8.30	4.25	3.86	3.60	1.39	1.61	1.69	1.59
MnO	0.11	0.08	0.12	0.13	0.08	0.00	0.00	0.00	0.00	0.09
MgO	51.38	50.65	49.92	38.27	39.01	39.25	39.92	40.05	39.88	39.95
CaO	0.00	0.00	0.01	0.10	0.04	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01
Na <sub>2</sub> O	0.00	0.03	0.00	0.01	0.00	0.00	0.02	0.00	0.00	0.01
K <sub>2</sub> O	0.00	0.02	0.01	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
NiO	0.40	0.48	0.41	0.42	0.29	0.33	0.12	0.16	0.17	0.10
Total	101.32	99.47	98.04	82.72	82.63	82.75	83.22	84.14	82.84	83.04
Number of cations calculated on the basis of O <sub>4</sub> (olivine) and O <sub>8</sub> (serpentine) formula unit.										
Si	0.987	0.984	0.979	1.961	1.945	1.952	2.003	2.010	1.985	1.978
Al(IV)	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Al(VI)	0.000	0.000	0.000	0.007	0.009	0.007	0.023	0.023	0.025	0.037
Fe <sup>2+</sup>	0.139	0.124	0.120	0.177	0.161	0.149	0.056	0.065	0.069	0.065
Fe <sup>3+</sup>	0.053	0.045	0.052	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.000	0.001	0.002	0.002	0.006	0.004	0.003	0.001	0.002	0.003
Ti	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Mn	0.002	0.002	0.003	0.005	0.003	0.000	0.000	0.000	0.000	0.004
Mg	1.850	1.859	1.861	2.842	2.897	2.904	2.888	2.866	2.906	2.905
Ca	0.000	0.000	0.000	0.005	0.002	0.001	0.000	0.001	0.000	0.001
Ni	0.008	0.010	0.008	0.001	0.000	0.000	0.002	0.000	0.000	0.001
Na	0.000	0.001	0.000	0.001	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.001
K	0.000	0.001	0.000	0.017	0.012	0.013	0.005	0.006	0.007	0.004
Total	3.020	3.025	3.027	5.018	5.036	5.030	4.980	4.972	4.995	4.998

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* is total iron, Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> contents are calculated with stoichiometry.

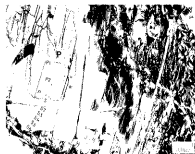
**Table 2.** Each ion content (%) calculated from Table 1

	O1	O2	O3	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7
Si	32.69	32.52	32.36	39.08	38.63	38.80	40.22	40.44	39.75	39.58
Al(IV)	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Al(VI)	0.00	0.00	0.00	0.14	0.19	0.14	0.47	0.46	0.51	0.75
Fe <sup>2+</sup>	4.59	4.68	3.98	3.53	3.19	2.97	1.13	1.30	1.38	1.30
Fe <sup>3+</sup>	1.09	1.47	1.72	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.01	0.03	0.07	0.03	0.11	0.08	0.06	0.02	0.04	0.05
Ti	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Mn	0.07	0.06	0.08	0.11	0.07	0.00	0.00	0.00	0.00	0.07
Mg	61.27	61.46	61.50	56.64	57.54	57.73	57.98	57.65	58.19	58.12
Ca	0.00	0.00	0.01	0.11	0.04	0.02	0.00	0.01	0.00	0.01
Ni	0.26	0.31	0.27	0.02	0.00	0.00	0.04	0.00	0.00	0.02
Na	0.00	0.05	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01
K	0.00	0.02	0.01	0.34	0.23	0.26	0.09	0.12	0.13	0.08
Total	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Fig. 4.** Variation of each ion content from olivine to serpentine in Fig. 3 and Table 1 (A) and enlarged diagram of values under 10% from above diagram A (B).

살피고 위하여 Fig. 4A의 0-10%범위를 확대하여 Fig. 4B를 작성하였다. 여기에서 보면, 감람석으로부터 사분석화 됨에 따라  $Fe^{2+}$  이온은 처음부터 감소하였고,  $Fe^{3+}$  이온은 감람석에서는 약간 증가하다가 사분석으로 가면서 감소하였고, 기타 이온들은 거의 변하지 않음을 알 수 있다.

한편, 휘석으로부터의 사분석화작용을 좀더 자세히 밝히기 위하여 Fig. 5와 같이 휘석(P1-P3)으로부터

**Fig. 5.** Photomicrograph of serpentinites showing the points of analyses along the scanning line from pyroxene (P1-P3) to serpentine (S1-S6).

사분석(S1-S6)으로의 변화가 잘 보이는 박편에서 주사선에 따른 EPMA 분석을 시행한 자료가 Table 3이다. Table 3에서도 각 이온들의 함이 휘석의 경우는 4.018-4.025이고, 사분석의 경우는 4.956-5.065이므로, 이들 자료를 같은 기준하에서 비교해보기 위하여 이온의 함을 100으로 하여 각 이온의 값을 계산하였다(Table 4). 휘석으로부터 사분석으로의 주사선에 따른 각 이온의 변화를 효과적으로 파악하기 위하여 Fig. 6에 도시하였다.

Fig. 6에서 보면 휘석에서 사분석으로 변함에 따라 Si 이온은 크게 감소하고, Mg 이온은 크게 증가하였으며, 나머지 이온들은 거의 변화가 없다.

**Table 3.** Electron microprobe analyses along the scanning line from pyroxene to serpentine in Fig. 5

	pyroxene			serpentine					
	P1	P2	p3	S1	S2	S3	S4	S5	S6
SiO <sub>2</sub>	55.23	55.21	54.30	36.14	38.61	37.32	35.94	38.03	41.00
TiO <sub>2</sub>	0.02	0.03	0.03	0.05	0.06	0.00	0.01	0.02	0.00
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2.76	2.64	2.86	2.79	2.16	1.74	1.98	2.11	1.41
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0.72	0.71	0.84	1.13	0.79	0.64	0.74	0.84	0.85
NiO	0.05	0.09	0.11	0.09	0.10	0.04	0.10	0.10	0.13
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> *	5.80	5.92	5.62	3.06	4.67	3.42	4.76	3.95	1.96
MnO	0.11	0.15	0.12	0.22	0.18	0.29	0.23	0.14	0.10
MgO	34.64	34.84	34.03	37.12	36.31	37.25	36.76	37.36	38.40
CaO	0.21	0.36	0.48	0.14	0.03	0.12	0.10	0.03	0.02
Na <sub>2</sub> O	0.01	0.01	0.01	0.00	0.02	0.00	0.02	0.02	0.00
K <sub>2</sub> O	0.00	0.00	0.00	0.02	0.01	0.02	0.00	0.00	0.01
Total	99.55	99.96	98.40	80.76	82.94	80.84	80.64	82.60	83.88
Number of cations calculated on the basis of O <sub>n</sub> (pyroxene) and O <sub>n.1</sub> (serpentine) formula unit									
Si	1.915	1.910	1.907	1.846	1.924	1.902	1.856	1.900	1.983
Al(IV)	0.085	0.090	0.093	0.168	0.127	0.105	0.121	0.124	0.080
Al(VI)	0.027	0.017	0.025	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Ni	0.001	0.003	0.003	0.004	0.004	0.002	0.004	0.004	0.005
Fe <sup>2+</sup>	0.111	0.092	0.099	0.131	0.195	0.146	0.206	0.165	0.079
Fe <sup>3+</sup>	0.057	0.078	0.065	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000	0.000
Cr	0.020	0.019	0.023	0.046	0.031	0.026	0.030	0.033	0.033
Ti	0.001	0.001	0.001	0.002	0.002	0.000	0.000	0.001	0.000
Mn	0.003	0.004	0.004	0.010	0.008	0.013	0.010	0.006	0.004
Mg	1.790	1.797	1.782	2.827	2.697	2.831	2.830	2.782	2.769
Ca	0.008	0.013	0.018	0.008	0.002	0.007	0.006	0.002	0.001
Na	0.001	0.001	0.001	0.000	0.002	0.000	0.002	0.002	0.000
K	0.000	0.000	0.000	0.001	0.001	0.001	0.000	0.000	0.001
Total	4.018	4.025	4.021	5.042	4.992	5.031	5.065	5.018	4.956

Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>\* is total iron. Fe<sup>2+</sup> and Fe<sup>3+</sup> contents are calculated with stoichiometry.

**Table 4.** Each ion content (%) calculated from Table 3

	P1	P2	p3	S1	S2	S3	S4	S5	S6
Si	47.65	47.44	47.43	36.62	38.54	37.81	36.65	37.85	40.02
Al(IV)	2.13	2.24	2.31	3.33	2.54	2.08	2.38	2.48	1.62
Al(VI)	0.68	0.43	0.63	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Fe <sup>2+</sup>	2.75	2.28	2.47	2.59	3.90	2.90	4.06	3.29	1.60
Fe <sup>3+</sup>	1.41	1.95	1.61	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Cr	0.49	0.48	0.58	0.91	0.62	0.51	0.60	0.66	0.66
Ti	0.01	0.02	0.02	0.04	0.05	0.00	0.01	0.01	0.00
Mn	0.08	0.11	0.09	0.19	0.15	0.25	0.20	0.12	0.08
Mg	44.55	44.63	44.31	56.07	54.04	56.26	55.88	55.44	55.88
Ca	0.19	0.33	0.45	0.15	0.03	0.13	0.11	0.03	0.02
Ni	0.03	0.06	0.08	0.07	0.08	0.03	0.08	0.08	0.10
Na	0.02	0.02	0.02	0.00	0.04	0.00	0.04	0.04	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.03	0.01	0.03	0.00	0.00	0.01
Total	100	100	100	100	100	100	100	100	100

## 토 의

앞의 연구결과를 정리하면 다음과 같다.

충남지역 사문암은 주로 사문석으로 구성되어 있지만, 부분적으로 기원암의 잔류광물인 감람석과 휘석이 관찰되고, 감람석과 휘석의 결정경계나 결정내의



## 결 론

1. 충남지역 사문암은 주로 사문석으로 구성되어 있으며, 감람석 기원의 사문석은 감람석의 가상을 이루고 있고 이 사문석 결정들의 외곽을 자철석들이 둘러싸서 전체적으로 망상구조를 보인다. 또한 사문암 중에는 부분적으로 기원암인 더나이트와 해즈버자이트의 잔류 구성광물인 감람석과 휘석이 이들의 결정경계나 결정내 간극을 따라 사문석화가 일어났다.
2. 감람석에서 사문석으로 변할 때 Mg이온은 크게 감소하고, Si 이온은 크게 증가하였으며 Fe<sup>2+</sup>와 Fe<sup>3+</sup> 이온이 약간 감소하였는데, 이 철들이 자철석을 형성하였다. 휘석에서 사문석으로 변할 때는 Si이온은 크게 감소하고 Mg 이온은 크게 증가하였으며, 기타 이온에는 별 변화가 없었다.
3. 충남지역 사문암의 기원암인 더나이트와 해즈버자이트로부터의 사문석화작용은 기원암이 형성된 후 작용한 여러 가지 물에 의해서, 그리고, 또는 녹색편암상 내지 각섬암상에서 백립암상에 이르는 변성작용시의 변성수의 영향으로 이루어졌다.

## 참고문헌

- 김건영, 1997, 충남 예산-공주-청양-지역 활석광화작용에 대한 전자현미경적 연구. 서울대학교 이학박사학위 논문, 299 p.
- 송석환, 송윤섭, 2001, 충남 서부신곡지역에 분포하는 초염기성암의 광물 조성 및 지구화학. 자원환경지질학회지, 34 (4), 395-415.
- 송석환, 최선규, 오창환, 서지은, 최성호, 2004, 충남 홍성 및 광천지역 초염기성암의 암석 및 지구화학. 자원환경지질학회지, 37 (5), 477-497.
- 송석환, 최선규, 우준기, 1997, 경기편마암복합체내 비봉지역에 분포하는 초염기성암에 대한 성인적 적용. 자원환경지질학회지, 30 (5), 477-491.
- 송윤구, 1995, 청양-광천지역 염기성암체의 변질작용과 변질광물의 광물화학. 연세대학교 박사학위 논문, 293 p.
- 오창환, 최선규, 송석환, 2002, 백동지역의 변성염기성암과 주변 편마암의 변성진화과정과 그 지구조적 의미. 암석학회지, 11 (3/4), 103-120.
- 우영균, 1995, 충남 지역 활석광상의 성인(I) 활석광상의 지질. 공주대학교 자연과학연구, 4, 81-86.
- 우영균, 1996, 충남 지역 활석광상의 성인(II) 사문암 기원 활석광상의 활석화작용. 공주대학교 자연과학연구, 5, 105-110.
- 우영균, 강희주, 1999, 충남 홍성군 월현사문석광상 사문암의 변질작용. 한국지구과학회지, 20 (2), 189-198.
- 우영균, 김상구, 2002, 충남 보령시 정전활석광상의 성인. 지역발전 연구, 2 (3), 1-11.
- 우영균, 김상훈, 2003, 충남 청양군 일대 사문석광상 사문암의 변질작용. 공주대학교 과학교육연구, 34, 181-196.
- 우영균, 서동욱, 1998, 충남 예산군 광시사문석광상 사문암의 변질작용. 공주대학교 자연과학연구, 7, 85-95.
- 우영균, 서만철, 2000, 충남지역 초염기성암체의 암석학적 연구. 한국지구과학회지, 21 (3), 323-336.
- 우영균, 이동우, 2001, 충남 예산지구 활석광상의 기원암과 활석화작용. 한국지구과학회지, 22 (6), 548-557.
- 우영균, 최석원, 박기화, 1991, 충남 예산지구 활석광상의 성인에 관한연구. 광산지질, 24 (4), 363-378.
- 위수만, 최선규, 소철섭, 1994, 충남지역에 분포하는 초염기성암의 기원 규명을 위한 기초 연구. 자원환경지질, 27 (2), 171-180.
- 윤상필, 1992, 충남 유구지역의 활석 광상에 대한 광물?광상학적 연구. 연세대학교 석사학위논문, 86 p.
- 지정만, 김규봉, 1977, 사문암의 활석화과정에 관한 연구. 광산지질, 10 (2), 67-74.
- 최성호, 1995, 충청남도 홍성, 광천, 정전지역에 분포하는 초염기성암의 변질작용. 고려대학교 석사학위논문, 96 p.
- Allen, D. E. and Seyfried, W. E., 2004, Serpentinization and heat generation: constraints from Lost City and Rainbow hydrothermal systems. *Geochimica et Cosmochimica Acta*, 68 (6), 1347-1355.
- Bowen, N.L. and Tuttle, O.F., 1949, The system MgO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O. *Bulletin of the Geological Society of America*, 60, 439-460.
- Cohen, B. A., Brearley, A. J., Ganguly, J., Liermann, H. P., and Keil, K., 2004, Experimental Study of Serpentinization Reactions. *Lunar and Planetary Science Conference abstract*, 1423-1424.
- Ehlers, E.G and Blatt, H., 1982, *Igneous, sedimentary and metamorphic petrology*. WH Freeman and Company, San Francisco, 732 p.
- Francis, G.H., 1956, The serpentinite mass in Glenm Urquart, Inverness-shire, Scotland. *American Journal of Science*, 254, 201-226.
- Hyndman, D.W., 1972, *Petrology of Igneous and metamorphic Rocks*. McGraw Hill Book Company, New York, 552 p.
- King, R. L., Kohn, M. J., and Eiler, J. M., 2003, Constraints on the petrologic structure of the subduction zone slab-mantle interface from Franciscan Complex exotic ultramafic blocks. *Geological Society of America Bulletin*, 115 (9), 1097-1109.
- Li, X.P., Rahn, M., and Buche, K., 2004, Serpentinities of the Zermatt-Saas ophiolite complex and their texture evolution. *Journal of Metamorphic Geology*, 22 (3), 159-177.
- Mevel, C., 2003, Serpentinization of abyssal peridotites at mid-ocean ridges. *Comptes rendus. Geoscience*, 335 (10/11), 825-852.

Nasedkin, V.V., Markov, N.M., Boeva, N.M., and Krupenin, V.K., 2002, The banding in serpentinites and its influence on character of talc-magnesite and magnesite mineralization (natural and experimental data). *Boletim Paranaense de Geociencias*, 50, 33-42.

Nozaka, T., 2003, Compositional heterogeneity of olivine in thermally metamorphosed serpentinite from Southwest Japan. *American Mineralogist*, 88, 1377-1384.

O'Hanley D.S., 1996, *Records tectonic and petrological history*. Oxford university press, New York, 277 p.

Turner F.J., 1981, *Metamorphic Petrology: mineralogical, field and tectonic aspects* (2nd edition). McGraw Hill, New York, 524 p.

Winkler, H.G.F., 1974, *Petrogenesis of Metamorphic Rocks* (3rd. ed.). Springer Verlag, New York, 194 p.

---

2005년 3월 14일 원고 접수  
2005년 3월 23일 수정원고 접수  
2005년 3월 23일 원고 채택