

충남지역 사문암내 크롬스피넬의 색변화

김영태* · 우영균

공주대학교 지질환경과학과, 314-701, 충남 공주시 신관동 182

Color Change of Chromian Spinels of Choongnam Serpentinites, Korea

Young-Tae Kim* and Young-Kyun Woo

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

Abstract: Degrees of serpentinization from the original rocks of Choongnam serpentinites such as dunite and harzburgite are well matched with O'Hanley's textural stages of serpentinites (1996). Colors of chromian spinels in serpentinites are brown and/or red in dunites, and red in harzburgite. Also, colors of chromian spinels changed darker from brown and/or red according to the degree of serpentinization and more darker by steatitization because of increasing Fe ions.

Keywords: serpentinites, dunite, harzburgite, chromian spinel, alteration

요 약: 충남지역 사문암의 기원암인 더나이트와 해즈버자이트로부터의 사문석화작용의 진행 정도는 O'Hanley(1996)의 사문석 조직의 발달단계를 잘 따르고 있다. 사문암내 크롬스피넬의 색은 더나이트내의 것이 갈색 또는 적색이고, 해즈버자이트내의 것은 적색이다. 사문암내 크롬스피넬의 색은 사문석화가 진행될수록 갈색 또는 적색에서 차츰 검은 색이 짙어지고 활석화되면 더욱 검게 변하는데, 이는 변질작용의 진행에 따라 서서히 Fe가 증가하기 때문이다.

주요어: 사문암, 더나이트, 해즈버자이트, 크롬스피넬, 변질작용

서 론

충남지역에는 사문석, 석면 및 활석 광상의 모암인 사문암이 선캄브리아기 경기편마암복합체내에서 북북동 방향에 따라 단속적인 켈즈상으로 발달되어 있다 (Fig. 1).

이들 사문암은 김건영(1997), 송석환과 송운섭(2001), 송석환 외(1997, 2004), 송운구(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) 그리고 최성호(1995)에 의해 연구된 바 있다.

이 사문암 내에는 크롬스피넬이 부성분 광물로 산

출되는데, 특히 이 크롬스피넬의 색이 암석의 표품에 따라 매우 다양해 보인다.

이 논문의 목적은 현미경관찰을 통하여 충남지역 사문암내 크롬스피넬의 특징을 파악하고, EPMA 분석을 통하여 크롬스피넬의 화학성분을 알아낸 뒤, 크롬스피넬의 색이 변질작용에 따라 어떠한 변화를 보이며, 그 원인이 무엇인지를 규명하는 것이다.

크롬스피넬에 대한 EPMA 분석은 기초과학지원연구원에서 CAMECA사 제작 SX-51의 Electron probe micro-analyser를 이용하여 시행하였다.

사문암의 기원암과 변질에 따른 조직의 변화

기원암

충남지역 사문암내 크롬스피넬의 연구를 위하여 Fig. 1에 표시된 10개 광상의 사문암을 선정하여 연구하였다(Fig. 1).

이 사문암들은 대체로 세립질이며 치밀질 괴상체로

*Corresponding author: kyt9839@kongju.ac.kr

Tel: 82-41-850-8509

Fax: 82-41-850-8479

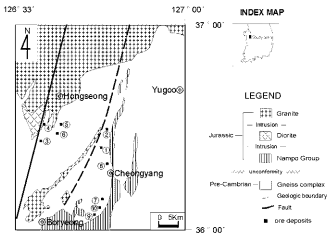


Fig. 1. Simplified geological map plotted the locations of serpentinite, asbestos and talc ore deposits in Chungnam area. Serpentine ore deposits: ① Bibong. Asbestos ore deposits: ② Gwangsi ③ Kwangcheon ④ Hongseong ⑤ Woollyeon ⑥ Woolin ⑦ Daedong. Talc ore deposits: ⑧ Cheongyang ⑨ Taewon ⑩ Namyang.

사 신선한 부분에서는 흑색 내지 암록색을 띠지만, 상회된 표면은 연무색, 회백색 내지 갈색을 띠고, 더 상회되어 모양화가 이루어지면 적갈색을 띤다.

현미경 관찰에 의하면, 사문암의 구성광물은 사문석이 50~80% 정도이고, 이 밖에 감람석, 휘석, 각섬석, 자철석, 크롬스피넬 및 소량의 녹니석, 금운모, 활석 등이 포함된다.

이 사문암들은 주로 사문석으로 구성되어 있지만, 사문암중에 부분적으로 존재하는 감람석과 휘석의 결정 경계나 결정 내 간극을 따라 사문석화작용이 일어나는 것을 관찰할 수 있으므로 사문석은 감람석과 휘석으로부터 생성된 것이며, 이 사문암의 기원암은 주로 이들 감람석과 휘석으로 구성된 초염기성암이라고 해석할 수 있다. 이 사문암의 기원암을 추정하기 위하여 비교적 변질이 덜 된 부분의 박편에 대한 모드분석을 시행하여 감람석, 사방휘석 및 단사휘석의 양을 구하였다(Table 1).

이 자료를 Streckeisn(1976)의 Ol-Opx-Cpx각각도에 도시해보면(Fig. 2), 그 기원암은 더나이브와 헤즈버자이트라고 해석할 수 있다.

한편, 주로 사문석으로 구성된 사문암의 현미경 관찰에 의하면, 감람석기원의 사문석은 감람석의 가상

을 이루고 있는데, 이로 보아 그 기원암은 더나이브였다고 해석할 수 있다. 그리고 충남지역에서 휘석을 포함한 사문암내 휘석들은 Table 1에서 보듯이 사방휘석이 단사휘석보다 월등히 많다. 따라서 휘석을 포함한 사문암의 기원암은 헤즈버자이트였다고 해석할 수 있다.

이러한 해석은 충남지역 사문암의 기원암 추정 연구를 수행한 기 연구자료들과 잘 일치된다(송석환과 송윤섭, 2001; 송석환 외, 1997; 우영균, 1996; 우영균과 서만원, 2000; 최성호, 1995).

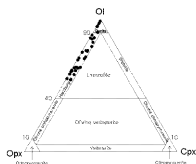
변질에 따른 조직의 변화

사문석들은 감람석과 휘석의 가상을 비롯한 다양한 조직들을 보이는데, 이는 대체로 사문석화작용의 진전에 따라 발달하는 O'Hanley(1996)의 사문석 조직의 순서를 잘 따르고 있다. 즉 O'Hanley(1996)는 사문석화작용이 진행됨에 따라 가상조직(pseudomorphic texture), 점이조직(transitional texture) 및 비가상 조직(nonpseudomorphic texture)의 순차로 나타난다고 하였으며, 가상조직은 원래의 광물종은 없어졌으나 그 결정의 윤곽만은 그대로 보존된 것으로서 mesh texture와 mesh rim texture의 단계가 있고, 점이조직

Table 1. Content of Olivine (Ol), Orthopyroxene (Opx) and Clinopyroxene (Cpx) of serpentinites

ore deposit	Ol	Opx	Cpx
Bibong	76.38	21.62	2.00
	90.97	6.25	2.78
	57.09	39.57	3.34
	83.15	13.48	3.37
	69.94	26.01	4.05
Gwangsi	85.82	12.69	1.49
	92.19	6.20	2.60
	79.72	15.96	4.32
	86.75	10.64	2.61
	76.56	20.31	3.13
Hongseong	63.17	35.25	1.58
	53.85	46.15	0.00
	57.65	42.45	0.00
Woollhyeon	86.49	13.51	0.00
	53.03	43.94	3.03
	59.66	40.34	0.00
Woobim	70.48	29.52	0.00
	71.34	24.32	4.34
	68.85	31.15	0.00
	62.96	32.20	4.75
	75.90	21.80	3.10
Daedong	60.00	39.57	0.43
	62.96	34.86	2.17
	62.67	36.72	0.61
	60.61	39.39	0.00
	62.38	34.17	3.45
Kwangcheon	60.34	36.94	2.72
	75.24	24.76	0.00
	88.89	11.11	0.00
	75.00	25.00	0.00
	98.34	1.66	0.00
Namyang	96.25	3.75	0.00
	95.76	4.24	0.00
	100.00	0.00	0.00

은 가상조직과 비가상조직의 중간단계로서 hourglass texture와 ribbon texture가 있으며, 비가상조직은 위리 광물종의 결정 유락을 모두 잃고 변형을 받은 조직 으로서 interpenetrating texture와 interlocking texture

**Fig. 2.** Estimated original rocks of serpentinites plotted on Streckeisner's Ol-Opx-Cpx diagram (1976).

를 보인다고 하였다.

연구대상 사분암은 O'Hanley(1996)의 조직적 분류에 따라 거의 위암에 가까운 조직을 보이는 것으로부터 사분석화작용의 정도에 따른 7단계와 거의 환석화된 단계를 합하여 총 8단계로 구분하였다(Fig. 4와 5).

법질에 따른 크롬스피넬의 색변화와 화학성분의 변화

색 변화

충남지역 사분암내에는 부생분광물로서 Fig. 4 및 5와 같은 스피넬그룹의 광물들이 산출되는데, 그 양은 Table 2와 Fig. 3에서 보는 바와 같이 사분암내에서의 함량 범위는 0.0~9.3%이고, 평균 0.2~2.3%의 소량이다.

이들의 EPMA분석치는 디바이드와 해즈비자이트에 들어있는 것에 따라 Table 3 및 4와 같다.

Deer et al.(1992)에 의하면 스피넬그룹 광물들은 Al^{3+} , Fe^{3+} 및 Cr^{3+} 의 함량에 따라 스피넬 시리즈, 자철석 시리즈 및 크로마이트 시리즈로 구분한다.

이 지역 스피넬그룹 광물들을 상기 기준에 적용해

Table 2. The amount of chromian spinels from serpentinites of each ore deposits in Choengnam area

ore deposits	Bibong	Gwangsi	Kwangcheon	Hongseong	Woollhyeon
range	0.0-8.0	0.5-5.2	1.1-3.0	0.3-3.0	0.0-9.3
average	1.5	2.3	2.1	1.8	2.1
ore deposits	Woobim	Daedong	Chonggyang	Taewon	Namyang
range	0.2-2.5	0.3-2.1	0.0-0.5	0.1-1.9	0.5-2.6
average	1.1	1.2	0.2	0.9	1.3

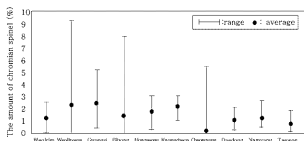


Fig. 3. The range and average of the amount of chromian spinel within serpentinites in Chocongnam area.

Table 3. Electron microprobe analyses of chromian spinels according to the degree of alteration in dunite

Texture	Degree of alteration							
	1 nearly dunite	2 mesh	3 mesh rim	4 hourglass	5 ribbon	6 interpenetrating	7 interlocking	8 curly stannite
SiO ₂	0.04	0.03	0.09	0.03	0.02	0.04	0.03	2.50
Al ₂ O ₃	45.64	44.51	43.26	41.32	38.42	37.45	36.95	1.69
TiO ₂	0.01	0.01	0.04	0.03	0.03	0.03	0.03	0.23
Cr ₂ O ₃	21.43	20.58	21.70	23.40	26.03	26.13	27.01	7.47
NiO	0.19	0.22	0.18	0.12	0.22	0.13	0.22	0.68
FeO	15.90	18.28	18.39	18.50	20.06	21.52	21.84	76.65
MgO	16.26	15.95	15.57	15.40	14.33	13.77	13.12	3.52
MnO	0.12	0.18	0.22	0.20	0.10	0.18	0.14	1.24
CaO	0.01	0.01	0.22	0.21	0.02	0.00	0.00	0.01
Na ₂ O	0.04	0.03	0.04	0.04	0.00	0.02	0.00	0.03
K ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.02	0.00	0.00
Total	99.63	99.82	99.71	99.26	99.25	99.28	99.33	94.01
Si	0.01	0.01	0.02	0.07	0.00	0.00	0.01	0.72
Al	11.87	11.63	11.38	10.95	10.41	10.21	10.14	0.58
Ti	0.00	0.00	0.01	0.00	0.01	0.01	0.00	0.05
Cr	3.75	3.61	3.84	4.24	4.73	4.78	4.97	1.71
Ni	0.03	0.04	0.03	0.03	0.04	0.02	0.04	0.16
Fe ²⁺	2.56	2.63	2.68	2.639	3.02	3.18	3.39	6.74
Fe ³⁺	0.38	0.76	0.76	0.841	0.83	0.99	0.87	12.18
Mg	5.35	5.27	5.18	5.164	4.91	4.75	4.56	1.52
Mn	0.02	0.03	0.04	0.038	0.02	0.03	0.03	0.30
Na	0.02	0.01	0.02	0.01	0.00	0.01	0.00	0.02
Ca	0.00	0.00	0.05	0.02	0.01	0.00	0.00	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.01	0.00	0.00
sum	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	23.99	24.00	24.00

보인, 사분암에 포함된 것들은 모두 스피넬 시리즈에 속하며, 활석광석에 포함된 것만이 자철석시리즈에 속한다.

여기서 스피넬 시리즈에 속하는 것들은 철함량에 비하여 크롬함량이 월등히 많으므로 이 광물들을 크롬스피넬이라고 정의할 수 있다.

Fig. 4와 5는 연구대상 사분암의 기원암인 더나이

드와 헤즈버지아이드에서 사분석화작용 7단계와 활석화 작용(8번째 단계)의 변질작용을 거치는 동안에 크롬스피넬의 색과 형태가 잘 나타난 현미경 사진들이다.

이중 Fig. 4는 더나이드로부터 사분암으로 변질되는 경우로서, 1은 더나이드에 가까운 사분암에서 보여지는 크롬스피넬로서 갈색 또는 적색을 띄며, 7은 완전히 사분석화된 사분암에서 보여지는 크롬스피넬

Table 4. Electron microprobe analyses of chromian spinels according to the degree of alteration in harzburgite

Texture	1	2	3	4	5	6	7	8
	nearly harzburgitic	mesh	mesh rim	hourglass	ribbon	interpenetrating	interlocking	early steatitic
SiO ₂	0.05	0.00	0.02	0.04	0.05	0.04	0.03	1.70
Al ₂ O ₃	35.31	33.73	32.39	31.99	31.54	30.68	30.64	0.92
TiO ₂	0.04	0.05	0.07	0.03	0.01	0.01	0.01	0.12
Cr ₂ O ₃	33.36	35.52	36.73	36.21	36.82	36.91	36.64	7.76
NiO	0.19	0.09	0.10	0.09	0.08	0.08	0.08	0.75
FeO	15.74	15.93	16.57	18.23	18.45	19.36	21.72	78.86
MgO	14.96	14.23	13.66	13.23	12.63	11.32	10.65	2.48
MnO	0.21	0.15	0.16	0.11	0.12	0.12	0.12	1.38
CaO	0.00	0.00	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.00
Na ₂ O	0.01	0.01	0.01	0.02	0.01	0.01	0.01	0.01
K ₂ O	0.01	0.01	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.01
Total	99.88	99.71	99.73	99.95	99.72	98.54	99.91	93.98
Si	0.01	0.00	0.00	0.01	0.012	0.01	0.007	0.51
Al	9.61	9.29	9.00	8.91	8.851	8.797	8.723	0.32
Ti	0.01	0.01	0.01	0.00	0.002	0.002	0.002	0.03
Cr	6.09	6.57	6.86	6.76	6.931	7.099	6.998	1.82
Ni	0.04	0.03	0.02	0.02	0.015	0.016	0.016	0.18
Fe ²⁺	2.77	2.99	3.15	3.29	3.457	3.831	4.100	6.89
Fe ³⁺	0.27	0.12	0.12	0.31	0.216	0.107	0.288	12.80
Mg	5.15	4.96	4.81	4.66	4.484	4.106	3.836	1.10
Mn	0.04	0.03	0.03	0.02	0.024	0.025	0.025	0.35
Na	0.01	0.00	0.01	0.01	0.005	0.005	0.005	0.00
Ca	0.00	0.00	0.00	0.00	0.003	0.003	0.003	0.00
K	0.00	0.00	0.00	0.00	0.000	0.000	0.000	0.00
sum	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00	24.00

로서 후색에 가까운 색을 보이고 있다. 8은 더나이트 기원의 사문암이 활석된 것으로서 여기서 보여지는 스피넬그룹 광물은 자철석 시리즈에 속하며 더욱 짙은 후색을 보이고 있다. 즉, 사문석화작용 및 활석화작용이 진행됨에 따라 크롬스피넬의 색이 점차 검게 변하여 마침내 활석광석에서는 자철석 시리즈로 변함을 볼 수 있다.

Fig. 5는 해즈버자이트로부터 사문암으로 변질되는 경우로서, 그림의 순서는 앞서 설명한 더나이트내의 크롬스피넬의 것과 동일하다. 해즈버자이트내의 크롬스피넬은 더나이트내 크롬스피넬과는 달리 대부분 적색을 띠는데, 사문석화작용 및 활석화작용이 진행됨에 따라 그 색이 점차 검게 변하는 것은 더나이트내의 사문암에서 보여지는 것과 같다.

화학성분의 변화

이들 사문암 중 더나이트 기원 사문암의 변질에 따른 각 단계별 사문암내 크롬스피넬의 화학성분 변화를 쉽게 알아보기 위하여 각 단계별로 변화가 컸

던 산화물들의 이온인 Al³⁺, Cr³⁺, Fe³⁺, Fe²⁺ 및 Mg²⁺의 자료를 정리해 보면 Fig. 6과 같다.

여기서 사문석화가 진행됨에 따라 Al³⁺ 이온은 완만하게 감소하고 Cr³⁺ 이온은 완만하게 증가하여 +3가 이온끼리 Al³⁺ 이온과 Cr³⁺ 이온은 치환관계를 이루고, Mg²⁺ 이온은 극히 완만하게 감소하며, Fe²⁺ 이온은 극히 완만하게 증가하였고, Mg²⁺ 이온과 Fe²⁺ 이온도 치환관계를 이루고 있다. 여기서 Fe³⁺ 이온은 Fe²⁺ 이온과 함께 극히 완만하게 증가하였다.

그리고 활석화작용이 진행됨에 따라 Al³⁺ 이온은 매우 급격하게 감소하고, Fe³⁺는 매우 급격하게 증가하여 상기 두 이온은 상호 치환관계를 이루고 있다. 또한 Mg²⁺ 이온은 Cr³⁺ 이온과 비슷하게 완만하게 감소하며, 완만하게 증가하는 Fe²⁺ 이온과는 상호 치환관계를 이루고 있다. 여기서 종합해보면, Al³⁺, Cr³⁺ 및 Mg²⁺ 이온은 감소하고, Fe³⁺와 Fe²⁺ 이온은 함께 증가한다.

한편, 해즈버자이트 기원 사문암의 변질에 따른 각 단계별 사문암내 크롬스피넬의 주요 이온들의 변화경

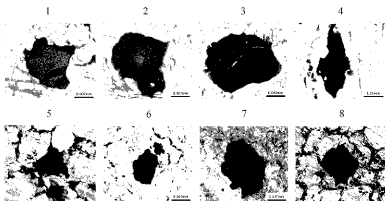


Fig. 4. Photomicrographs showing color and morphology of the chromian spinels in dunite origin serpentinites according to the degree of alteration. 1-7: degree of serpentinization, 8: steatitization.

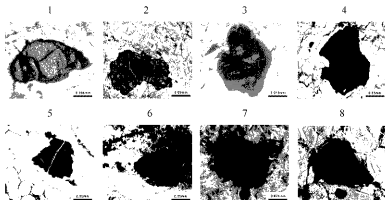


Fig. 5. Photomicrographs showing color and morphology of the chromian spinels in harzburgite origin serpentinites according to the degree of alteration. 1-7: degree of serpentinization, 8: steatitization.

향을 살펴보면 마나이드 기원 사문암의 경우와 유사함을 알 수 있다(Fig. 7).

고 찰

충남지역 사문암의 기원암인 마나이드와 해즈버지이트로부터의 사문석화작용의 진행 정도는 O'Hanley (1996)의 사문석 조직의 발달단계를 잘 따르고 있다.

이들 사문암의 부분분광원인 크롬스피넬의 색은 마나이드내의 것이 갈색 또는 적색을 띠고, 해즈버지이트내의 것은 적색이다. 또한, 변질단계별 사문암내 크롬스피넬의 색을 비교해 보면, 사문석화가 진행될수록 갈색 또는 적색에서 차츰 검은 색을 띠어지며, 황철화되면 더욱 검게 변한다.

우선, 이들 크롬스피넬의 색과 그 변화 원인에 대하여 고찰해보고자 한다.

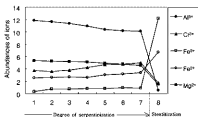


Fig. 6. Variations of ions in chromian spinels according to the degree of alteration in duric origin serpentinites.

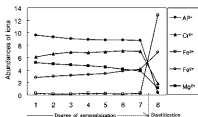


Fig. 7. Variations of ions in chromian spinels according to the degree of alteration in harzburgitic origin serpentinites.

Lee(1999)는 크롬스피넬이 일반적으로 화학성분에 따라 갈색, 적갈색 내지 흑색을 나타낸다고 하였는데, 연구 대상 크롬스피넬의 경우에서도 화학성분에 따라 그 색이 변화한다고 볼 수 있다. 즉 갈색과 적색 크롬스피넬의 화학 성분을 비교해 보면, Al_2O_3 의 차이를 보이는데, Al_2O_3 가 많은 경우 갈색을 띠는 것으로 해석된다. 그리고 Onyeagocha(1974)는 크롬스피넬의 변질에 따른 ferric-chromite의 형성이 가장 잘 알려진 특징 중의 하나라고 한 바 있는데, 변질작용의 진행에 따라 차차 검은 색을 띠는 것은 화학 분석 결과에서도 볼 수 있듯이 Fe이온이 증가하기 때문이라고 해석할 수 있다.

한편, 변질작용이 진행됨에 따라 특히 환산화작용이 일어날 때, 크롬스피넬에서 Al과 Mg이 감소하는데, 이는 Beeson and Jackson(1969), Kimball(1985) 및 Shen et al.(1988)이 변질작용 동안 크롬스피넬로부터 빠져나온 Al 이온과 Mg 이온이 녹니석용 형성한다고 하였는데, 이는 이 지역 사문암의 휘기경 관찰 결과와도 잘 일치된다.

결론

이 연구 결과 밝혀진 사실을 요약하면 다음과 같다.

1. 충남지역 사문암의 기원암인 디나이트와 헤즈버 다이프로부터의 사문석화작용의 진행 정도는 O'Hanley (1996)의 사문석 조직의 발달단계를 잘 따르고 있다.
2. 사문암내 크롬스피넬의 색은 디나이트내와 것이 갈색 또는 적색이고, 헤즈버다이트내의 것은 적색이다.
3. 사문암내 크롬스피넬의 색은 사문석화가 진행된 수목 갈색 또는 적색에서 차츰 검은 색이 짙어지고, 환산화되면 더욱 검게 변하는데, 이는 변질작용의 진행에 따라 차차 Fe가 증가하기 때문이다.

참고문헌

- 김진영, 1997, 충남 예산-공주-청양 지역 환산화작용에 대한 휘자위미경의 연구, 서울대학교 석사학위논문, 299 p.
- 송석환, 송유섭, 2001, 충남 서부산곡지역에 분포하는 초염기성암의 광물 조성 및 지구화학, 자원환경지질학회지, 34 (4), 395-415.
- 송석환, 최선규, 오창환, 서지은, 최정호, 2004, 충남 홍성 및 공주지역 초염기성암의 암석 및 지구화학, 자원환경지질학회지, 37 (5), 477-497.
- 송석환, 최선규, 우경기, 1997, 경기북부암복합체에 분포지역에 분포하는 초염기성암에 대한 광물의 특성, 자원환경지질학회지, 30 (5), 477-491.
- 송유구, 1995, 청양-광천지역 염기성암체의 변질작용과 변질작용의 광물화, 연세대학교 석사학위논문, 293 p.
- 우영균, 1995, 충남 지역 환산화작용의 성인(I) 환산화작용의 지질, 공주대학교 자연과학연구, 4, 81-86.
- 우영균, 1996, 충남 지역 환산화작용의 성인(II) 사문암 기원 환산화작용의 환산화작용, 공주대학교 자연과학연구, 5, 105-110.
- 우영균, 강희주, 1999, 충남 홍성군 원천사문석상암 사문암의 변질작용, 한국지구과학회지, 20 (2), 189-198.
- 우영균, 김상구, 2002, 충남 보령시 청천환석상암의 성인, 지역발전 연구, 2 (3), 1-11.
- 우영균, 김상훈, 2003, 충남 청양군 일대 사문석상암 사문암의 변질작용, 공주대학교 과학교육연구, 34, 181-196.
- 우영균, 서동우, 1998, 충남 예산군 광시사문석상암 사문암의 변질작용, 공주대학교 자연과학연구, 7, 83-95.
- 우영균, 서인철, 2000, 충남지역 초염기성암체의 암석학 연구, 한국지구과학회지, 21 (3), 323-336.
- 우영균, 이동우, 2001, 충남 예산지역 환산화작용의 기원암과 환산화작용, 한국지구과학회지, 22 (6), 548-557.
- 우영균, 최석환, 박기화, 1991, 충남 예산지역 환산화작용의 성인에 관한연구, 광산지질, 24 (4), 363-378.
- 위수민, 최선규, 소정섭, 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.
- Beeson, M. H. and Jackson, E. D., 1969, Chemical composition of altered chromites from the Stillwater Complex, Montana. *American Mineralogy*, 54, 1084-1100.
- Deer, W.A., Howie, R.A., and Zussman, J., 1992, *An introduction to the rock-forming minerals* (2nd edition), Longman Scientific & Technical, Hongkong, 696 p.
- Kimball K.L., 1985, Compositional variations in spinels from hydrothermally altered abyssal ultramafics. *Transactions, American Geophysical Union*, 66, 432 p.
- Lee, Y.I., 1999, Geotectonic significance of detrital chromian spinel: a review. *Geosciences Journal*, 39 (1), 23-29.
- Onyeagocha, A.C., 1974, Alteration of chromite from the Twin Sisters dunite, Washington. *American Mineralogist*, 59, 608-612.
- O'Hanley D.S., 1996, Records tectonic and petrological history, Oxford university press, New York, 277 p.
- Shen, P., Hwang S.L., Chu, H.T., and Jeng, R.C., 1988, STEM study of "ferrite chromite" from the Heng-Chun chromitite. *American Mineralogy*, 73, 383-388.
- Streckeisen, A., 1976, To each plutonic rocks its proper name. *earth Science Review*, 12, 1-33.

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