

한국의 열수변질 점토광상의 형성환경 고찰

고상모

대전시 유성구 가정동 30, 한국지질자원연구원 지질연구부
(kohsm@kigam.re.kr)

1. 서론

한국의 열수변질점토광상은 경상계 백악기 유천층군 화산암대내에 주로 분포하고 있으며 Koh(1996)는 공간적인 분포 특성에 근거하여 전남열수변질대와 경상열수변질대로 구분 하였다 (Fig. 1). 이러한 분포적인 특성은 백악기 말 극성화산활동이 종료된후 후화산활동과 관련된 고기의 열수계가 유천층군 분포지내에 산재 발달 하였음을 시준한다. 그러나 유천층군 열수계외에 산출하는 점토광상인 경북 경주시 양북면에 위치한 맥스텍 견운모광상은 제3기 화산암내에 분포하며 경북 봉화군 대현 견운모광상의 경우는 선캄브라아기 홍제사화강편마암과 장산규암의 부정합면상인 장산규암 하부 홍제사 화강암 상부에 배태된 부정합형의 점토광상도 산출되고 있다.

백악기 열수변질대인 전남열수변질대와 경상열수변질대는 유사한 지질환경에서 형성된 것으로 알려져 있지만 각 광상들을 형성시킨 지질학적 및 지구화학적 환경은 다소 차이를 보인다. 본 연구는 이러한 두 변질대에서의 차별성을 지질학적, 광물학적 및 지구화학적 특성을 비교하여 소개코저 한다. 또한 점토광상을 형성시킨 열수변질작용이 초래된 열수변질기를 변질광물의 연대측정 자료로서 분류하였다.

2. 연구범위 및 방법

이 연구는 한국의 모든 열수변질점토광상을 대상으로 변질광물의 광물조성을 XRD (X-선 회절분석) 또는 현미경하에서 확인 하였으며 형성온도는 유체포유물 및 점토광물의 수소 및 산소동위원소값으로 계산된 평형온도를 사용 하였고 형성시기는 견운모나 명반석의 K-Ar 연대측정 자료로서 해석되었다. 또한 열수유체의 황의 기원을 해석키 위해 황철석의 황 동위원소값과 열수변질점토광물의 수소 및 산소 동위원소값을 사용하여 열수유체의 H₂O 기원을 해석 하였다. 이 모든 자료는 저자에 의해 측정된 값과 다른 연구자에 의해 발표된 자료를 종합 하였음을 부언한다.

3. 결과

1) 지질학적환경

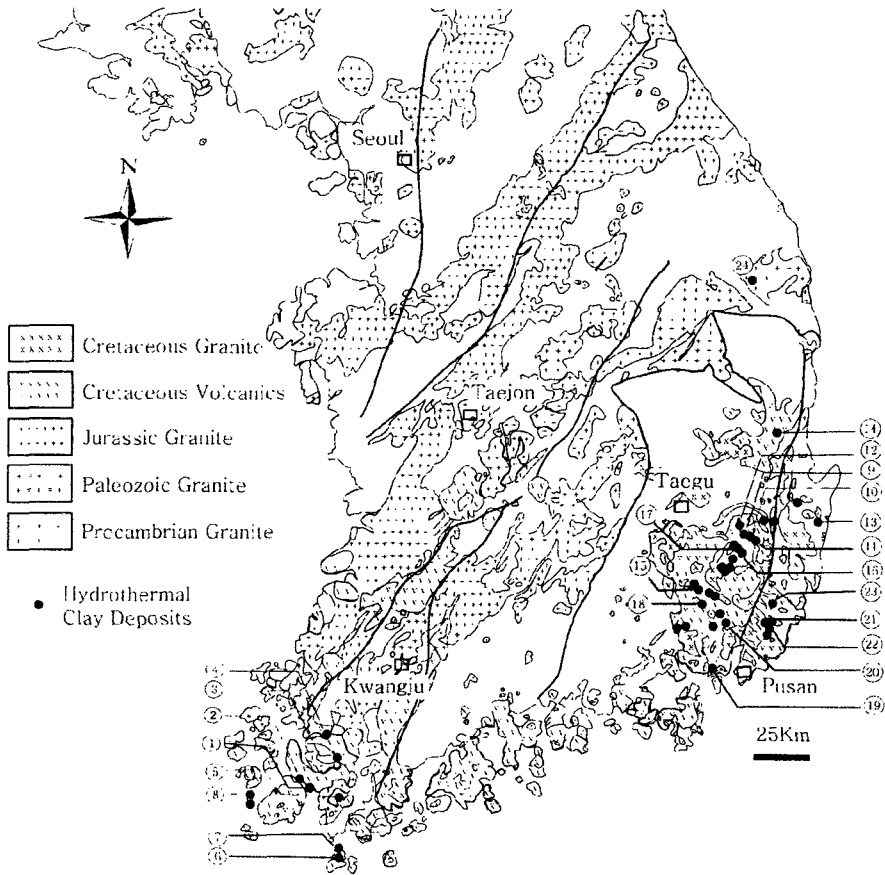


Fig. 1. Simplified geologic map with the distribution of hydrothermal clay deposits in South Korea (Koh et al. 2000). Numbers of hydrothermal clay deposits are the same as those of Table 1.

성산, 옥매, 해남, 구시, 독천, 노화, 완도, 가사 및 옥출납석광상으로 구성되는 전남열수변질대는 광주 및 순창전단대에 의해 경계되는 영동-광주 함몰대 (김옥준 및 박봉순, 1980)의 남부에 주로 분포한다 (Fig. 1). 이 지역은 주로 백악기 화강암류와 화산암류가 우세하게 산출하며 이들 광상의 모암은 경상계 유천층군에 대비되는 유문암 용암류 및 화산쇄설물 (라필리 응회암 또는 용결응회암)이다. 대부분의 납석광상은 유문암용암류의 소규모 돔이 열수용액의 통로로서 작용한 것으로 보이며 산성암질 용암 돔과 성인적인 관련성이 있다.

밀양, 보배, 상동, 천불산, 유광, 불국사, 경주납석 및 삼성도석광상과 맥스택 건운모 광상으로 구성된 경상열수변질대는 경상분지내 모두 분포하고 있으나 (Fig. 1) 대현 건운

모광상은 경상분지 바깥쪽인 분지 북편인 영남육괴와 옥천대의 접촉부에 위치한다 (Fig. 1). 경상열수변질대는 대부분 유천층군의 화산암류와 화강암류로 주 구성되며 점토광상의 모암은 안산암 또는 안산암질 응회암이다. 또한 이들 광상은 소위 콜드론내 또는 외곽부에 밀집된 특성을 보인다.

2) 광물학적 특성

전남열수변질대에 우세한 변질광물은 명반석, 카오린, 석영, 엽납석, 견운모 및 다이아스포아이며 경상열수변질대에 우세한 변질광물은 견운모, 백운모, 석영, 엽납석, 듀모티어라이트, 전기석 및 홍주석등이다 (Table 1). 이는 경상열수변질대에 고온성 변질광물의 산출이 우세하고 붕소계광물의 산출이 특징적이다. 이는 경상열수계에서는 열수용액의 온도가 보다 높았으며 마그마성분의 영향을 강하게 받은 것으로 해석된다.

3) 지구화학적 환경

가. 황동위원소

전남열수변질대에 속하는 성산, 옥매, 독천, 해남, 완도 및 가사납석광상에서 산출되는 황철석의 황 동위원소값은 -11.4% 에서 $+3.9\%$ 범위를 보이나 독천 및 해남광상을 제외하고는 대체로 화성기원을 나타내는 0% 을 나타낸다. 경상열수변질대의 보배, 상동, 송진, 동래, 밀양, 경북 및 삼성광상에서 산출되는 황철석의 황 동위원소값은 -5.8% 에서 $+33.2\%$ 의 광범위한 범위를 보이나 대체로 마그마기원의 0% 에 가까우며 경북광상은 $+4.0\%$ 에서 $+33.2\%$ 로서 이상적으로 대단히 높은 값을 나타낸다.

나. 산소 및 수소 동위원소

전남열수변질대에서 산출하는 변질광물인 카오린, 견운모 및 엽납석 시료에 대한 산소 및 수소 동위원소값은 각각 $+1.8\sim+8.4\%$ 및 $-121\sim-74\%$ 을 보이며 경상열수변질대의 그 값들은 $-0.7\sim+9.1\%$ 및 $-92\sim-57\%$ 을 나타낸다. 동일변질대내에서도 약간의 차이를 보이기는 하지만 $\delta D-\delta O_{H_2O}$ 도에 도시하여 보면 경상열수변질대는 Taylor (1976) 에 의해 작성된 마그마수영역내 또는 가까이에 도시되나 전남열수변질대는 이보다 천수쪽으로 치우친 특성을 보인다. 이러한 차이는 아마도 각 열수계를 형성한 천수와 열수의 혼화율 차이에 의한 것으로 해석 될 수 있다.

다. 생성온도

전남열수변질대에 위치하는 성산, 구시, 옥매 및 해남광상의 형성온도는 각각 $120\sim 360^\circ\text{C}$ (Koh, 1996), $255\sim 265^\circ\text{C}$ (Roh, 1989), $250\sim 300^\circ\text{C}$ (Kim, 1990) 및 $240\sim 290^\circ\text{C}$ (Jeong, 1990)이며 대체로 $120\sim 360^\circ\text{C}$ 의 온도범위와 평균 약 250°C 를 나타낸다. 반면 경상열수변질대의 상동, 밀양, 보배 및 유천광상은 각각 $315\sim 350^\circ\text{C}$ (Moon, 1994), 290°C (Moon, 1994), $210\sim 390^\circ\text{C}$ (Mon, 1994) 및 $242\sim 431^\circ\text{C}$ (Kim, 1996)이며 평균 약 300°C 로서 전남열수변질대의 광상보다 다소 높은 온도를 보인다.

라. 형성시기

전남 및 경상열수변질대의 각 광상에서 산출되는 특징적 변질광물중 명반석 및 견운모의 K-Ar 연대측정자료는 Table 2와 같다.

Table 1. Alteration mineral constituents of hydrothermal clay deposits in South Korea (Koh et al., 2000).

Locality		Deposit number and name	Major mineral constituents	Minor mineral Constituents	References	
Chonnam Province	Haenam	1. Seongsan	alunite, dickite, quartz	kaolinite, illite, I/S, barite, pyrite, chlorite	Koh(1996)	
		2. Okmae	alunite, kaolinite, quartz	dickite, illite, gibbsite, chlorite, kaolinite,	Kim,I.J.(1990)	
		3. Haenam	pyrophyllite, sericite	smectite, chlorite, corundum, quartz,andalusite, diaspore,	Jeong(1990)	
		4. Dokchon	alunite, kaolinite, quartz	pyrite	Kim,I.J.(1991)	
		5. Gushi	pyrophyllite, dickite, I/S	illite, pyrite	Roh(1989)	
	Wando	6. Nowha	pyrophyllite	illite, diaspore, alunite	Koh et al.(1994)	
7. Wando		pyrophyllite	quartz, pyrite	Koh et al.(1994)		
Jindo	8. Gasa	alunite, kaolin, sericite	diaspore, illite, quartz, pyrite	Koh et al.(1994)		
Kyongsang Province	Kyongju	9. Taewoong	alunite, kaolin, sericite	quartz, pyrophyllite, pyrite	Kim, J.H.et al.(1993)	
		10. Kyongju	sericite, quartz	pyrophyllite	chlorite, pyrite	Kim,J.H.and Koh(1990)
		11.Bulguksa	pyrophyllite	kaolinite, sericite, pyrite, diaspore, corundum	Kim,J.H.and Koh(1990)	
		12. Sanne	pyrophyllite, sericite	kaolinite, diaspore, corundum, quartz, pyrite, hematite, chlorite	Lee et al.(1994)	
	Pohang	13. Maxtec	sericite, quartz	dumortierite, pyrite	Kim,J.H.and Koh(1990)	
		14. Yuchon	sericite, chlorite, quartz, fluorite	corundum, diaspore, pyrite	Lee,D.J. and Koh(1998)	
		15. Milyang	pyrophyllite, kaolinite, sericite, quartz	diaspore, andalusite, dumortierite, chlorite, epidote, alunite, pyrite, hematite	Kim,J.H.and Koh(1990)	
		16. Dongkok	sericite, quartz	pyrite, hematite	Kim,J.H.and Koh(1990)	
		17. Samsong	quartz, pyrophyllite	sericite, alunite, diaspore, kaolin, pyrite	Koh and Kim (1999, Unpublished)	
		Yangsan-Pusan	18. Sungjin	sericite, quartz	pyrite	Kim,J.H.and Koh(1990)
			19. Bobae	quartz, sericite	andalusite, pyrophyllite, rutile, chlorite, sphene, pyrite	Moon(1994)
20.Sangdong	sericite, quartz		pyrite	Moon(1994)		
21. Yukwang	sericite, quartz		pyrite	Kim,J.H.and Koh(1990)		
Ponghwa	22. Dongrae	pyrophyllite, sericite	andalusite, dumortierite, kaolin, chlorite, epidote, pyrite	Koh et al.(1999)		
	23.Cheonbul-san	pyrophyllite, sericite	tourmaline, kaolin, quartz, pyrite, hematite	Lee,D.J. et al.(1994)		
Ponghwa	24. Daehyun	sericite	tourmaline, muscovite, quartz	Rhee,B.Y. (1991)		

I/S : illite-smectite mixed layer, C/S : chlorite-smectite mixed layer

Table 2. K-Ar ages of alteration minerals occurring in hyarothermal clay deposits in South Korea (Koh et al., 2000).

Locality		Deposit name	Mineral	K-Ar Age (Ma)	References
Chonnam Province	Haenam	Seongsan (Bukok)	Sericite (illite)	78.1 ± 1.1	Kim(1991)
			Sericite (illite)	79.7 ± 1.0	Kim(1991)
			Alunite	80.8 ± 0.9	Kim(1991)
			Alunite	80.9 ± 1.2	Kim(1991)
			Alunite	76.6 ± 2.9	Moon et al.(1990)
			Alunite	78.3 ± 2.7	Kim et al.(1993)
		Okmae	Sericite (illite)	79.0 ± 1.1	Kim(1991)
			Sericite (illite)	80.2 ± 1.1	Kim(1991)
			Alunite	80.8 ± 1.0	Kim(1991)
			Alunite	81.4 ± 1.0	Kim(1991)
	Haenam	Haenam	Alunite	71.8 ± 2.8	Moon et al.(1990)
			Sericite (illite)	79.6 ± 1.1	Kim(1991)
			Sericite (illite)	78.9 ± 1.0	Kim(1991)
		Dokchon	Sericite (illite)	78.9 ± 1.0	Moon et al.(1990)
			Sericite (illite)	78.8 ± 4.8	Kim(1991)
			Alunite	80.4 ± 3.8	Kim(1991)
	Wando	Nohwa	Alunite	80.6 ± 1.9	Kim(1991)
			Sericite	72.6 ± 1.6	Koh et al.(2000)
			Sericite	71.8	Takagi et al. (unpublished)
			Sericite	71.8	Takagi et al. (unpublished)
Jindo	Gasa	Sericite	70.1 ± 2.1	Koh et al.(2000)	
		Sericite	70.5 ± 2.1	Koh et al.(2000)	
Kyongsang Province (within Kyongsang Basin)	Kyongju Pohang	Maxtec Yuchon	Sericite	39.7 ± 0.9	Koh et al.(2000)
			Sericite	48.1 ± 1.2	Kim(1996)
			Sericite	47.7 ± 1.2	Kim(1996)
	Milyang Yangsan-Pusan	Milyang Bobae	Sericite	69.7 ± 2.1	Koh et al.(2000)
			Sericite	79.4 ± 2.1	Moon(1994)
			Sericite	67.5 ± 1.7	Moon(1994)
			Sericite	65.9 ± 1.7	Moon(1994)
			Sericite	67.5 ± 1.3	Park(1994)
			Sericite	79.4 ± 2.0	Park(1994)
			Sericite	66.0 ± 2.0	Koh et al.(2000)
	Dongrae	Cheonbulsan	Sericite	67.3 ± 2.0	Koh et al.(2000)
			Sericite	68.6 ± 2.0	Koh et al.(2000)
			Sericite	68.6 ± 2.0	Koh et al.(2000)
Kyongsang Province (outside Kyongsang Basin)	Ponghwa	Daehyun	Sericite	290.6 ± 6.2	Koh et al.(2000)
			Sericite	314.8 ± 6.7	Koh et al.(2000)
			Uraninite (U-Pb)	336 ± 6	Kim et al.(1989)

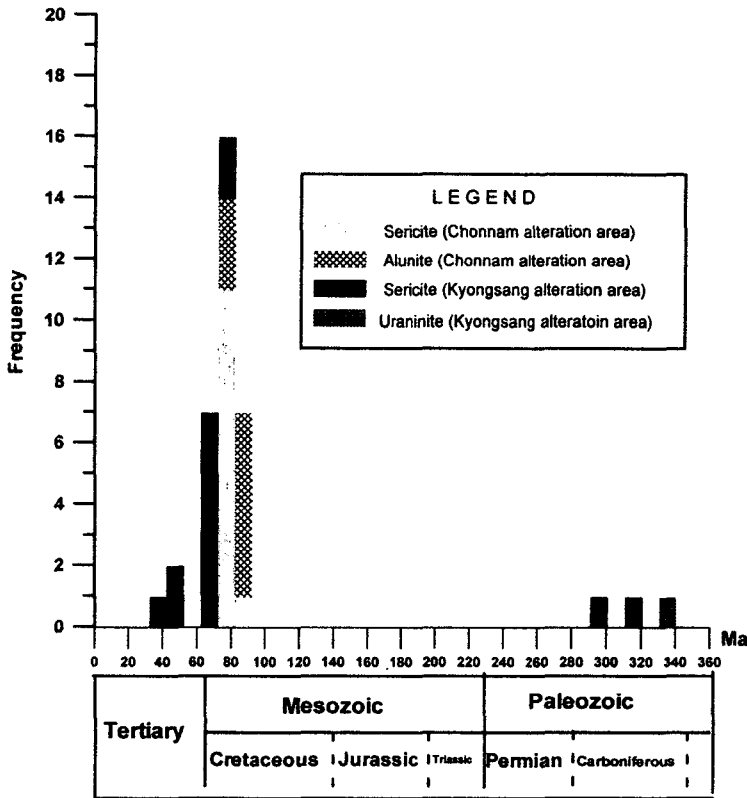


Fig. 2. Frequency of age data of alteration minerals occurring in hydrothermal clay deposits in South Korea (Koh et al., 2000).

전남열수변질대의 열수변질점토광상에서 산출하는 견운모와 명반석의 K-Ar 연대는 각각 70.1~80.2 Ma 와 71.8~80.2 Ma로서 Santonian에서 Campanian 까지의 대단히 제한된 연대범위를 나타낸다 (Table 2 및 Fig. 2). 반면 경상열수변질대의 열수변질점토광상에서 산출되는 견운모의 K-Ar 연대와 우라니나이트의 U-Pb 연대는 39.7~336 Ma로서 대단히 넓은 연대범위를 나타내며 (Table 2 및 Fig. 2) 이는 한국의 열수변질활동기가 39.7~48.1 Ma (Tertiary : middle~late Eocene), 65.9~79.4 Ma (late Cretaceous : Santonian~Maastrichtian) 및 290~336 Ma (Paleozoic Carboniferous) 세시기에서 주로 일어났음을 의미할 것이며 백악기말이 가장 활동적이며 이는 제3기까지 연속되었고 고생대 석탄기는 가장 약한 활동기로 추정된다 (Fig. 2). 이러한 열수변질활동은 화성활동 특히 화산활동과 밀접한 상관성을 보여야 된다. 경상분지에서의 화성활동기는 100~18 Ma (박희인, 1994)로서 백악기말부터 제3기 마이오신까지로 잘 알려져 있으나 고생대 석탄기에서의 화성활동은 옥천계 남서부에 산출하는 청산 화강암 (K-Ar 각섬석 연대: 258~260 Ma)외는 잘 알려져 있지 않다. 고생대의 열수변질활동을 지시하는 경북 봉화군 대현리의 대현견운모 광상과는 약 130km 떨어져 위치하고 있어 이 양자의 상관성은 불확실하다.

4. 결론 및 토의

전남 및 경상열수변질대의 지질학적 환경, 광물학적 특성 및 지구화학적 환경을 근거하여 양 변질대의 형성환경을 구분 하였다 (Table 3).

Table 3. Comparative summary of geologic, mineralogic, geochemical and geotectonic environments of hydrothermal and igneous activities in South Korea (Koh et al., 2000).

	Chonnam alteration zone	Kyongsang alteration zone
Geotectonics of igneous activity	Subduction magmatism in depression zone	Subduction magmatism in basin
Tectonic setting of volcanism	Volcanic arcs in continental margin	Volcanic arcs in continental margin
Structural setting of hydrothermal activity	Intrusive center and silicic dome	Commonly in caldera
Strontium initial ratio	Volcanics (basalt to rhyolite) : 0.707~0.713	Volcanic (basalt) : 0.705~0.706 Granites : 0.705~0.707
Host rock of clay deposits	Acidic volcanics (Yuchon Group)	Acidic to intermediate volcanics (Yuchon Group)
Alteration minerals	Kaolin, pyrophyllite and alunite common Sometimes diaspore	Sericite and pyrophyllite common Sometimes andalusite, tourmaline and dumortierite, Rarely alunite
Alteration zone	Advanced argillic	Sericitic to argillic
Alteration age	70~81 Ma	40~48 and 66~79 Ma
Formation temperature	120~360 °C (mean 250°C)	150~430 °C (mean 300°C)
Salinity	0.33~7.88 NaCl wt.%(Seongsan) 1.0~4.0 NaCl wt.%(Gasa)	0.20~19.2 NaCl wt.%(Yuchon)
Source of fluid	Dominantly meteoric	Dominantly magmatic
Source of sulfide sulfur	Probably magmatic	Probably magmatic
Acidity of Hydrothermal Fluid	Strong acidic solution	Weak acidic to neutral solution
Alteration type	Dominantly acid-sulfate type	Dominantly quartz-sericite type

양 변질대는 유사한 지질시대와 지질환경에서 형성된 것으로 알려져 있지만 열수변질점토광상들은 명백한 차별성을 보여준다. 이는 각 열수계의 지구화학적 차이와 모암의 암석학적, 물리적 및 지화학적 차이로 보아야 할 것이다.

5. 참고문헌

- 고상모, 김문영 (1999) 경북 청도 삼성도석광상의 지질 및 열수변질작용 (미발간).
 고상모, 김문영, 박중권, 김수영, 홍세선, 김인준, 서정률, 황덕환 (1999) 한국의 백악기 화산성 천열수 금광상 탐사 및 생성환경연구. KR-99(B)-10, 한국자원연구소.

- 고상모, 이동진, 홍세선, 이형재 (1994) 전남지역 세라믹 원료광물의 물리-화학적 특성 연구. KR-94(B)-6, 과학기술처, 75p.
- 김종환, 고상모 (1990) 밀양-양산지역 납석광상의 광화작용. KR-89-(B)-21, 과학기술처, 44p..
- 김종환, 고상모, 이동진, 박중권, 홍세선, 채수천, 이형재, 안기호, 서효준 (1993) 화산원천열수성 광상탐사 및 모델정립 (III). KR-92(T)-25, 과학기술처, 209p.
- 김종환, 조한익, 박중권, 서효준, 김상엽, 이태섭, 조진동, 서상용, 오천혁, 홍영국, 김통권, 박영수, 구성본, 최종호, 고상모, 채수천 (1989) 분천화강암원 우라늄광상 탐사모델개발. 87M-T09, 한국전력공사, 540p.
- 김상중 (1996) 북부 경상분지의 화성활동과 다금속 광화작용에 관한 지화학 및 지질년대학적 연구. 충남대학교 박사학위논문, 276p.
- 김영희 (1990) 옥매 명반석광상의 광물학 및 성인. 연세대학교 석사학위논문, 89p.
- 김옥준 및 박봉순 (1980) 한반도의 지체구조적 분석. 과학기술처.
- 문희수 (1994) 경상분지내 요업원료광물의 광물학적 특성 및 생성기구: 경상분지내 금속-비금속광상의 생성환경. KOSEF, 91-06-00-03, 183-305.
- 문희수, 김영희, 김종환, 유장한 (1990) 해남지역 화산암류와 납석 및 고령토광상의 K-Ar 연대. 광산지질, 23, 135-141.
- 박희인 (1994) 경상분지내 광상의 생성시기와 생성구 : 경상분지내 금속-비금속광상의 생성환경. KOSEF, 91-06-00-03, 29-75.
- 노열 (1989) 구시납석광상의 광물학 및 성인. 연세대학교 석사학위논문, 82p.
- 이동진, 고상모 (1998) 경북 양북지역산 견운모광석의 물성 및 부존산상. 한국광물학회지, 1권, 85-96.
- 이동진, 고상모, 이형재 (1994) 부산 및 양산지역 산업원료광물의 광물학적 및 물리화학적 특성연구. 한국자원연구소 연구보고서, KR-94(C)-1-4, 1-66.
- 정승우 (1990) 해남납석광상의 벽암변질작용 및 일라이트의 광물특성. 연세대학교 석사학위논문 84p.
- Kim, I. J. (1991) Geochemistry of hydrothermal alteration and clay deposits in the Haenam area, southwest Korea. Ph.D. Thesis, University of Tokyo, 238p.
- Koh, S. M. (1996) Geochemical characteristics of the Cretaceous volcanic rocks and Bukok hydrothermal deposits in the Haenam volcanic field, Chollanamdo, Korea. Ph.D. Thesis, Seoul National University, 210p.
- Koh, S. M., Takagi, T, Kim, M. Y., Naito, K., Hong, S. S., and Sudo, S. (2000) Geological and geochemical characteristics of the hydrothermal clay alteration in South Korea. Resource Geol. 50, 229-242.
- Rhee, B. Y (1991) Mineralogy of sericites in the Daehyun mine, Korea. Ph.D. Thesis, Seoul National Univ., 143p.
- Taylor, H. P. (1974) The application of oxygen and hydrogen isotope studies to problems of hydrothermal alteration and ore deposition. Econ. Geol. 69, 843-883.