

약광물로서의 활용을 위한 활석에 대한 환경지화학적 연구

이재영* · 황덕환** · 이인호***

Environmental Geochemical Study on Talc for the Application as Mineral Drug

Jae Yeong Lee*, Duk Hwan Hwang** and In Ho Lee***

ABSTRACT: Talc drug has been used at Oriental Medical Hospital of Kyung San University, and was analysed for mineralogical and geochemical studies. It consists mainly of talc with small amount of tremolite, dolomite and brucite, and its chemical compositions of MgO 31.65%, CaO 0.73% and SiO₂ 60.04% are close to those of pure talc. However, talc of the Dong Yang Talc Mine is also close to pure talc. Its chemical compositions are MgO 31.8%, CaO 0.51% and SiO₂ 61.0%, and contain less impurities. Moreover, talc from the Dong Yang Talc mine is associated with calcite, gypsum and anhydrite, which belong to more soluble mineral drugs than talc, and contains Ca and Fe. These elements may give at least medical effects to talc drug as in the case of actinolite. Therefore, talc of high quality from the Dong Yang Talc Mine may be used instead of imported expensive talc drug. Diagrams of $\log a_{\text{Mg}^{2+}} - \text{pH}$ and $\log a_{\text{Mg}^{2+}} / a_{\text{H}^{+}} - \log a_{\text{H}_4\text{SiO}_4}$ may be used as basic data to predict and examine soluble contents of talc drug for medical experiments.

서 론

중약대사전 (신분출판공사, 1981)에 기재된 한약재는 총 5,707종이나 되고 이중 식물을 이용한 것이 4,773종, 동물을 이용한 것이 740종, 광물을 이용한 것이 82종이다. 그리고 대한약전의 한약규격집 주해서 (지형준, 이상인, 1989)에는 총 514종의 한약재가 기재되어 있는데 이 중 광물을 이용한 것이 34종이다. 현재 국내 한방병원에서 사용되는 전체 약광물의 수요량은 알 수 없으나 대구의 경산대학교 부속 한방병원의 경우 원내 처방집에 광물성 한약재가 사용되는 처방은 25개가 되며 1996년 3월부터

1998년 2월까지 2년간 사용된 광물의 종류 (서부일, 변준석, 1998)는 6종이며 사용량이 50근 이상의 것은 석고 134근, 용골 65근, 활석 55근이고 주사는 100g이다. 아직 광물이 한약재 중에서 차지하는 비중은 매우 적지만 동식물성 한약재와는 다른 약효를 가지고 있고 현재 임상에서 중요하게 사용되고 있으므로, 한의약분야의 폭넓은 발전을 위하여 약광물에 대한 광물학적, 광상학적 및 환경지화학적 조사연구가 필요하다.

따라서, 국내의 대표적 한방병원 중의 하나인 상기 한방병원에서 사용되고 있는 약광물 중 활용빈도가 높고 국내에서도 많이 산출되는 활석을 선택하여 광물조성, 광상의 성인 및 용해도와 관련하여 연구하였다. 현재 국내에서 유통되고 있는 약광물은 대부분 중국에서 수입된 것으로 알려져 있으므로, 본 연구는 국내의 약용 광물자원을 개발하는데 도움이 되고 한방의약학과 접목하여 심도있게 연구하게 되면 한방의약학의 발전에도 기여할 수 있을 것으로 생각된다.

* 경북대학교 지질학과 (Department of Geology, Kyungpook National University, Daegu 702-701, Korea)

** 한국자원연구소 (Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejon 305-350, Korea)

*** 한국자원연구소 (Post-Doc., Korea Institute of Geology, Mining and Materials, Taejon 305-350, Korea)

광상지질

활석의 품위

활석광상의 모암 및 유형

국내 활석광상의 모암은 선캠브리아기와 캄브로-오드비스기에 속하는 돌로마이트나 돌로마이트질 석회암 및 시대 미상의 사문암이다.

광량으로 보면 사문암을 모암으로 하는 광상이 전체의 90% 이상을 차지하나 양질의 활석은 돌로마이트를 모암으로 하는 광상에서 산출된다. 사문암의 원암은 초염기성-염기성 화성암 (김규봉, 1972; 지정만 외, 1977)으로 보고 있다. 활석광상의 대표적 분포지는 경기지역, 충남북지역, 전북지역, 경남지역, 강원지역이다.

활석광상의 유형은 4대분되는데 유형별 대표적 광상은 1형에 돌로마이트를 모암으로 하는 동양활석광상, 2형에 돌로마이트질 석회암을 모암으로 하는 풍전활석광상, 3형에 역시 돌로마이트질 석회암을 모암으로 하는 여주 및 무주활석광상, 그리고 4형에 사문석을 모암으로 하는 평안활석광상이 있다 (Table 1). 이 중 현재 휴광 중인 동양활석광상이 규모가 크고 양질의 활석을 생산한다. 광상의 성인은 광체의 상하반에 분포해 있는 각섬암질 암맥과 관련이 있다는 안과 광역 변성작용에 의하여 활석이 생성될 때 필요한 열수는 쥬라기의 화강섬록암 복합체로 부터 첨가된 것으로 보는 안이 있다 (김옥준, 1982). “동양”은 “일신”으로 개명되었으나 문헌과의 일치를 위하여 동양으로 표시한다.

상기 4개 유형의 대표적 활석광상들은 화학분석자료 (김규봉, 1972)에 의하면 대부분 주성분인 MgO, SiO₂, H₂O외에 불순물로서 Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, K₂O, Na₂O를 흔히 함유한다. 그러나 모암이 돌로마이트인 동양활석광상의 활석은 MgO 31.8%로 활석의 이론치 (31.88%)에 거의 일치되고 SiO₂도 61.0%로 이론치 (63.37%)에 많이 접근해 있으며 불순물 Fe₂O₃와 Al₂O₃의 함량도 매우 낮다. Fe₂O₃, Al₂O₃의 함량은 여주광상이 제일 높다. 대체로 돌로마이트질 암석 기원의 활석이 품위가 가장 높고 불순물도 적다 (Table 1참조).

활석의 기존 화학분석자료들에는 대부분 미량금속원소가 포함되어 있지 않는데 한약에 함유된 중금속 중에는 인체에 유해한 것이 있고 (노병규, 송천준, 1990) 최근 문헌에는 활석은 발암성이 있다는 보고 (이선동, 강순수, 1991)가 있으므로 활석광상 1형 (Table 1 및 2 참조)의 활석도 약광물로서의 적합성에 대하여는 구체적으로 평가할 수 없으나 경산대학교 부속한방병원에서 사용되고 있는 약활석보다는 주성분의 함량이 상기 이론치에 더 가까우므로 불순물과 미량원소의 함량도 상대적으로 적을 것으로 기대된다. 따라서 국내 활석을 약광물로서 활용할 수 있도록 하기 위해서는 광상별 및 광체의 부위에 따라 품위와 주/미량원소의 함량을 정밀히 조사할 필요가 있으며 또한 원광은 선광으로 품위를 높이고 품질이 높은 것을 선별하면 약활석은 수입에 의존하지 않고 국내산으로 대체할 수 있을 것으로 생각된다. 허준 (1613)의 동의보감 (한글판,

Table 1. Description of 4 types of representative talc deposits in Korea.

deposit types	mines	country rocks	related rocks	minerals	origin of deposits
1 type	Dongyang (good quality)	dolomite	granitoid	tc , ch, tr, cc, qtz, py, gy, ah, be	regional metamorphism, water was supplied from Jurassic granodiorite complex
2 type	Pungjeon		granitoid	tc , tr , ch, sc, cc, qtz	hydrothermal replacement contact metamorphism
3 type	Yeoju (low quality)	dolomitic limestone	granitoid	tc , tr , di , sp, ch, ga, cc, sc, ve, ph	hydrothermal replacement after skarnization
	Muju		granitoid	tc , tr , di , sp	
4 type	Pyeongang	serpentine in granite gneiss	dyke (granitoid)	tc , sp , cc , do, qtz, mg, il, ve	auto-/regional-metamorphism, formed by hydrothermal solution from acidic intrusives

Source : Kim (1982)

Abbreviation: tc, talc; tr, tremolite; di, diopside; ah, anhydrite; be, beryl; cc, calcite; ch, chlorite; do, dolomite; ga, garnet; gy, gypsum; il, illite; mg, magnetite; ph, phlogopite; py, pyrite; qtz, quartz; sc, sericite; sp, serpentine; ve, vermiculite. **Thick** letters represent major minerals.

1994)에도 “我國出忠州者可用”(충주산이 쓸 만하다)라는 기록이 있는데 우리나라의 대표적 활석분포지인 충북지역은 충주-중원을 중심으로 하며 이 지역의 활석이 품위가 매우 높고 매장량도 많다 (광업진흥공사, 1988; 서승범, 1989)는 사실과 일치한다.

연구방법

시료선택 및 기본분석자료

약활석은 국내의 여러 한약방에서 판매되고 있으나 정부에서 인정하는 감정 및 분석표가 첨부되어 있는 것이 아니고 한약방에 따라 품질이 일정하지 않으므로 학술적으로 권위가 인정되고 사용해진 기록이 있으며 현재도 사용하고 있는 경산대학교 부속 한방병원의 약활석을 실험시료로 하였다. 그리고 국내 산 활석으로는 어느 광산의 것이 약활석으로서 개발할만한 품질의 것인지 검토하기 위해서는 한국자원연구소와 광업진흥공사의 조사 및 연구자료와 지질광상분야 학회지의 문헌조사를 통해 선택한 대표적 활석광산을 대상으로 기본분석자료를 이용하였다.

약활석의 분석 및 감정

한방병원에서 수집할 수 있는 약활석은 과상이 아닌 분말상이므로 편광현미경에 의한 감정은 하지 않고 주원소와 불순물의 정량분석과 XRD 및 열분석 (TG/DSC)을 실시하여 종합적으로 감정하였다. 정량분석(습식)은 한국자원연구소에서 그리고 XRD (PHILIPS, X'PERT)와 열분석 (Pometric, DSC, TMA, STA)은 경북대학교 소재 기초과학기술연구소 대구분소에 의뢰하여 분석하였다. 분말시료는 일반적으로 XRD분석으

로 광물감정이 되고 있으나 2~5%이하의 낮은 비율로 혼합되어 있는 유사한 광물은 검출하기 어려운 경우가 있으므로 본 연구에서는 활석의 정량분석결과를 상도에 접시하여 XRD분석결과와 비교검토하였고 또한 주광물과 수반광물의 함량 (wt. %)을 전체 분석증량에서 성분 (MgO, SiO₂, CaO, H₂O/CO₂)별로 감하여 조성광물을 확인하는 방법을 시도하여 약활석시료의 주광물과 부광물을 감정하였다.

활석의 용해도 계산

활석은 성인적으로 관련있는 투각섬석, 투회석, 돌로마이트, 수활석 등의 광물들과 같이 산출되므로 약활석 시료 중에는 흔히 다른 광물들이 소량 혼합되어 있다. 이로인해 약활석의 Mg용해도는 중국 장춘한의대에서 처음으로 실시된 결과 (이홍초외, 1988)에서 보는 바와 같이 시료에 따라 일정하지 않으며 특별히 순수한 활석만을 선별하여 용해도를 측정하지않는 한 활석의 순도 및 혼합되어 있는 광물의 종류와 양에 따라 변화한다. 따라서 약활석의 용해도 측정은 조성광물의 종류와 양을 고려하여 용해도를 측정하여야 되는데 시료로부터 각 조성광물을 분리하는 일은 극히 어렵고 또한 활석은 광상에 따라 순도가 다르기 때문에 용해도의 연구결과를 광범하게 적용할 수 있도록 하기위해서 본 연구에서는 열역학에 바탕을 두고 이론적으로 계산하였다.

연구결과 및 고찰

약활석의 광물 및 화학조성

현재 국내 한방병원에서 어떤 활석이 약활석으로 사용되고 있는지를 알아보기 위하여 시판되고 있는 것은

Table 2. Chemical compositions of talc drug and ores.

Talc	wt. %								mol. %		
	MgO	SiO ₂	CaO	Ig.loss	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	Na ₂ O	MgO	SiO ₂	CaO
drug ^a	31.65	60.04	0.73	6.40	1.14	0.06	0.0012	0.0162	56.00	43.29	0.71
Dongyang	31.8	61.0	0.51	4.8	0.8	0.8	43.5	55.99	0.50		
Pungjeon	23.87	60.44	5.58	2.15	5.24	1.02	0.21	0.54	34.88	59.26	5.86
Muju	28.66	56.14	2.30	nd	4.19	1.23	nd	nd	42.29	55.58	2.12
Yeouju	25.27	49.14	5.67	7.45	5.80	4.46	nd	nd	40.56	52.90	6.54
Pyeongan	27.5-29.6	55.7-60.0	0.3	4-8	2.7-4.5	3.5-4.5	nd	nd	42.25	57.43	0.32
theoretical composition	31.7	63.5	-	4.8 (H ₂ O)	-	-	-	-	42.86	57.14	0

^aOriental Medical Hospital of Kyung San University

^bAverages from representative talc mines in Korea (Kim, 1982)

피하고 대구의 경산대학교 부속 한방병원에서 사용되고 있는 약활석을 수집하여 화학분석과 X-선회절 및 열분석을 실시하고 화학분석결과는 국내 산 활석의 품위와 비교하였다 (Table 2). 표에 의하면 시료의 MgO 31.65%는 이론치 31.7%에 거의 일치되고 SiO₂ 60.04%는 이론치 63.5%보다 조금 낮으나 자연계에서의 활석은 흔히 소량의 Al이 Si를 교대하여 산출되므로 Al₂O₃ 1.14%를 가산하면 SiO₂ 61.18%는 이론치에 훨씬 접근된다.

일반적으로 주광물에 수반되는 광물은 소량일지라도 산지의 광상성인을 알면 X-선회절분석으로 파악하기 쉬우나 현재 국내에서 유통되고 있는 약광물은 대부분 국명은 표기되어 있어도 정확한 산지는 알 수 없다. 따라서 약활석시료의 광물조성을 알기 위해서는 활석의 일반적 성인과 관련된 상도 (相圖)를 작성하여 여기에 화학분석 결과를 점시하고 X-선회절 분석결과와 비교 검토할 필요가 있다.

활석은 돌로마이트, 돌로마이트질 석회암, 사문암이 화강암대에 의하여 관입될 때 관입암으로부터 공급된 열수의 변성작용으로 형성되는데 변성온도 250~450°C (Klein, Hurlbut, 1993)에서는 SiO₂-CaO-MgO계 성분 삼각도 (Fig. 1)에서 보는 바와 같이 활석에 투각섬석, 돌로마이트, 수활석 중 1개 또는 2개 광물과 성인적으로 수반될 수 있다. 단, 투각섬석과 수활석은 활석에 같이 수반되지 않는다. 국내 대부분의 활석광상에서도 투각섬석이 주요 광물로서 수반되어 산출되며 모암에는 Al₂O₃, Fe₂O₃, FeO 등 불순물이 함유되어 있으므로 변성과정에서 이들과 관련된 광물도 혼입될 수 있다. Fig. 1에는 국내의 대표적 활석광상들 (Table 1 참조)을 점시하였는데 mol. %는 해당 분자들만으로 백분율을 구한 후 각각의 분자량으로 나누어 구한 값이다.

본 약활석시료는 분자백분율 (SiO₂ 56.00 mol.% MgO 43.29% mol.%, CaO 0.71 mol.%)을 구하여 상도에 점시해보면 Fig. 1에서 보는 바와 같이 활석-돌로마이트 공존선상의 활석에 인접한 점에 놓이며 lever rule로 계산하면 광물조성은 대략 활석이 98%, 돌로마이트가 2%가 된다. 그런데 분석치는 화학적 평형에 도달한 활석의 것이 아니고 점시점의 화학성분에 근접된 활석들의 산술적 평균치이며 SiO₂, MgO, CaO의 양이 조금만 변하여도 광물조성은 활석-돌로마이트에서 활석-투각섬석-돌로마이트 또는 활석-수활석-돌로마이트로 된다. 성분의 변화에 따른 영향을 알아보기 위하여 편의상 같은 CaO양으로 점시점을 활석-투각섬석 공존선상에 이동되었다고 가정하고 광물조성을 계산하면 대

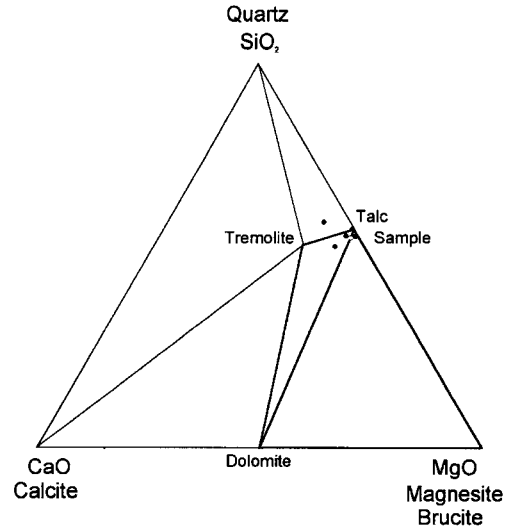


Fig. 1. Equilibrium relationships of the system CaO-MgO-SiO₂-(H₂O+CO₂) at 250~450°C. The sample of talc drug is plotted on the tie-line of talc-dolomite, but with tiny change of composition the mineral assemblages move to the region of talc-tremolite-dolomite or talc-dolomite-brucite. Symbols : ○, sample of talc drug ; ●, talc ores from representative talc mines in Korea.

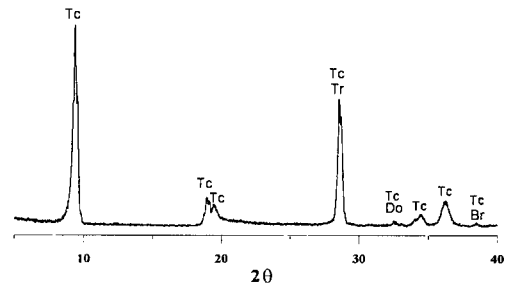


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of talc drug from Oriental Medical Hospital of Kyung San University. Abbreviations : Tc, talc; Tr, tremolite; Do, dolomite; Br, brucite.

략 활석은 94.6 mol.%, 투각섬석 5.4 mol.%가 된다. 따라서 시료의 CaO분석치 0.73 wt.% 중 활석은 0.54 wt.%, 돌로마이트는 0.19 wt.%가 되고 CaO의 분자량으로 나눈 각각의 분자비율은 활석은 0.0096, 돌로마이트는 0.0036이 된다. 시료의 산화물의 총 분자비율에서 투각섬석, 돌로마이트, 활석, 수활석의 순위로 그 산화물의 분자수를 제하고 XRD분석결과 (Fig. 2)와 비교검토한 결과, 본 약활석시료는 활석을 주광물로 하고 소량의 투각섬석에 돌로마이트와 수활석이 수반되는 것으로 해석된다. 돌로마이트나 수활석은 양이 적

Table 3. Reconstruction of mineral assemblages for talc drug from chemical compositions.

oxides	chemical compositions ^a		minus tremolite			minus dolomite		minus talc		brucite	
	wt. %	mol.wt.	mol. prop.	mol. prop.	rest	mol. prop.	rest	mol. prop.	rest	mol. prop.	rest
MgO ^b	31.71	40.31	0.7867	0.024	0.763	0.0034	0.7596	0.735	0.0246	0.0246	0.000
SiO ₂ ^c	61.18	60.09	1.018	0.038	0.980	-	0.980	0.980	0.000	-	-
CaO	0.73	56.08	0.013	0.0096 (0.54%)	0.0034	0.0034 (0.19%)	0.000	-	-	-	-
Ig. loss (H ₂ O/CO ₂)	5.24 ^d (4.94/0.3)	18.02/ 44.0	0.2744/ 0.0068	0.0048 (H ₂ O)	0.2696/ 0.0068	0.0068 (CO ₂)	0.2696/ 0.068	0.245 (H ₂ O)	0.0246	0.0246 (H ₂ O)	0.000
total	100.02%										

^aTalc drug from Oriental Medical Hospital of Kyung San University.

^bMgO includes Fe₂O₃,

^cSiO₂ includes Al₂O₃,

^dIg. loss value was adjusted slightly to balance between chemical compositions and mineral assemblages.

Table 4. Recalculation of weight percents from molecular proportions of tremolite, dolomite, talc and brucite.

oxides	tremolite Ca ₂ Mg ₅ Si ₈ O ₂₂ (OH) ₂			dolomite CaMg(CO ₃) ₂			talc Mg ₃ Si ₄ O ₁₀ (OH) ₂			brucite Mg(OH) ₂		
	mol. prop.	mol. ratio	wt. %	mol. prop.	mol. ratio	wt. %	mol. prop.	mol. ratio	wt. %	mol. prop.	mol. ratio	wt. %
MgO	0.024	5	0.97	0.0034	1	0.14	0.7596	3	30.62	0.0246	1	0.99
SiO ₂	0.038	8	2.28	0	0	0	0.980	4	58.89	0	0	0
CaO	0.0096	2	0.54	0.0034	1	0.19	0	0	0	0	0	0
H ₂ O/CO ₂	0.0048	1	0.086	0.0068 (CO ₂)	2	0.30	0.3502	1	6.31	0.0246	1	0.44a
total	3.88%			0.63%			95.82%			1.43%		

고 그들의 대표적 피크가 활석의 약한 피크와 중첩될 때는 화학분석치의 도움이 없이는 검출해내기 어렵다. Ig. loss 6.4%는 분석치와 광물조성간의 균형을 맞추기 위하여 5.24%로 약간 하향 조정하였다. 그러나 그 차이는 미미하고 분석의 오차도 있을 수 있으며 활석의 주요성분이 아니므로 문제되지 않는다 (Table 3, 4).

따라서 본 약활석시료는 좋은 품질의 활석으로 판단되나 국내 활석광상중 동양활석광상의 활석은 MgO 31.8%, SiO₂ 61.0%로 이보다도 품질이 더 높으며 불순물의 함량도 낮은 매우 순수한 활석에 가깝다. 중국에서 사용되고 있는 약활석 (복석)도 중국광물약 (이홍초외, 1988)에 의하면 보통 Al, Fe, Mn, Ni과 소량의 K, Na, Ca 등을 함유한다. 중국의 약활석에는 2종류가 있는데 남방에서 사용되는 약활석 (남석)은 활석이 아닌 점토이고, 북방에서 사용되는 약활석 (북석)이 활석에 해당하며 북석은 활석을 주광물로 하고 사문석, 녹니석, 석영을 소량 수반한다. 약활석은 본초강목 (이시진, 1975)과 중약대사전 (신민풍출판공사, 1981)에는 여러 가지 이름을 가지고 있으나 모두 활석에 해당한다. 실험식은 Mg₃Si₄O₁₀(OH)₂이고 산화염식으로 표시

하면 3MgO · 4SiO₂ · H₂O이다. 경산대학교 부속 한방병원에서 수집한 약활석시료는 그 산지를 알 수 없으나, 현재 국내에서 유통되고 있는 약광물은 대부분이 중국산으로 알려져 있다.

활석 및 수반광물의 용해도

약광물 성분의 인체에의 흡수는 사람의 체질과 건강 상태에 따라 다르고 약광물 특유의 용해도가 매우 중요한 요인이 되므로 활석을 약광물로서 충분히 활용할 수 있도록 하기 위해서는 용해도에 대한 검토가 필요하다. 그런데 자연계에는 활석이 단일 광물로서 산출되는 것이 아니고 성인적 관계가 있는 투각섬석, 투회석 등과 수반되어 산출되므로 약활석을 용해시킬 때 이들 수반 광물의 영향을 받을 수 있다. 따라서 약활석의 용해도는 활석뿐만 아니라 투각섬석, 투회석 및 기타 수반 광물의 용해도도 같이 비교검토되어야 한다. 국내에서 시판되고 있는 약활석에도 본 연구자들의 최근 조사에 의하면 이들 수반 광물의 일부가 조금씩 혼합되어 있다.

본 연구에서는 활석과 이에 흔히 수반되는 투각섬석

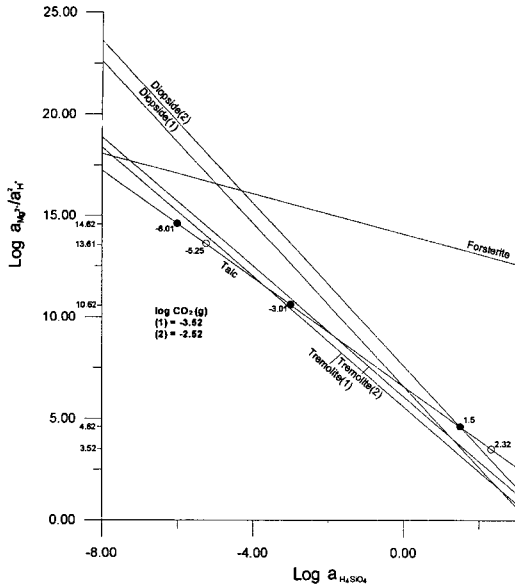


Fig. 3. Solubility relationships of some silicate minerals in the system CaO-MgO-SiO₂-H₂O. For explanation of experimental data at 25° (○) and 35°~42°C (□), see text.

(tremolite), 투회석 (diopside), 돌로마이트, 고토감람석 (forsterite) 및 온석면 (chrysolite)에 대하여 $\log a_{Mg^{2+}}/a_{H^+} - \log a_{H_4SiO_4}$ 도 (Fig. 3)와 $\log a_{Mg^{2+}} - pH$ 도 (Fig. 4)를 작성하여 용해도를 비교하였는데 Fig. 4에 의하면 pH에 대한 용해도의 순위는 고토감람석 > 투회석 > 사문석 > 돌로마이트 > 방해석 > 투각섬석 > 활석이 된다. 탄산염 광물은 사문석과 투각섬석의 사이에 놓이는데 탄산가스의 함량이 대기 ($P_{CO_2} = 10^{-3.5}$)보다 약 10배 높은 토양 ($P_{CO_2} = 10^{-2.5}$)에서는 돌로마이트가 투각섬석보다 용해도가 낮고 매우 안정한 것으로 나타난다. ΔF^0 값은 자료의 통일을 위하여 USGS Bulletin 1452 (Robie *et al.*, 1984)를 이용하였다. 여러 광물들의 반응식과 계산한 ΔF 및 $\log K$ 값은 Table 5에 있다. Table 6은 중국 장춘현의대에서 실시한 활석의 용해실

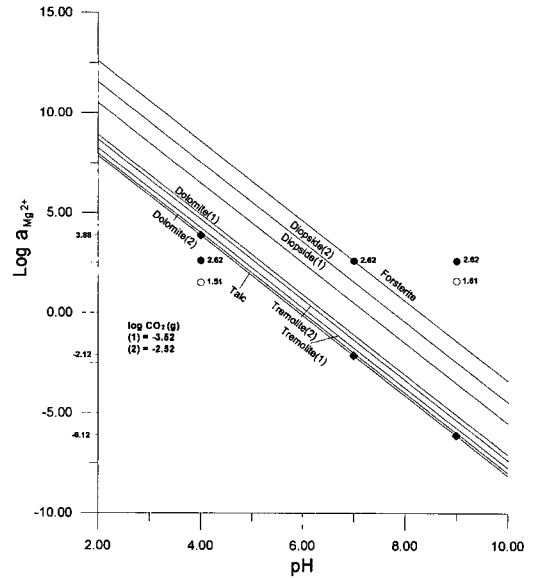


Fig. 4. Solubility relationships of some minerals in the system CaO-MgO-SiO₂-(H₂O+CO₂). The upper limits (◆) of $\log a_{Mg^{2+}}$ for talc are plotted on the talc solubility line. Their contents are shown on $\log a_{Mg^{2+}}/a_{H^+}$ axis. For explanation of experimental data at 25° (○) and 35°~42°C (●), see text.

험결과와 계산상의 최대 용해량을 비교한 것이며 작도에 필요한 유도식은 아래에 있다.

$$\log a_{Mg^{2+}}/a_{H^+}^2 - \log a_{H_4SiO_4} \text{ 도}$$

활석

Table 5의 (1)식으로부터

$$\log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 6.6 - 1.33 \log a_{H_4SiO_4}$$

투각섬석

Table 5의 (2)식+(a)식×2

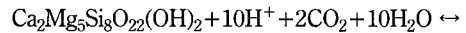


Table 5. ΔF and $\log K$ for equilibrium equations of minerals in the system CaO-MgO-SiO₂- (H₂O+CO₂).

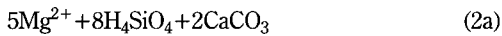
minerals	Equilibrium equations	ΔF (kal/mol)	$\log K$
talc	$Mg_3Si_4O_{10}(OH)_2 + 4H_2O + 6H^+ \leftrightarrow Mg^{2+} + 4H_4SiO_4$ (1)	-27.01	19.80
tremolite	$Ca_2Mg_5(Si_8O_{22})(OH)_2 + 14H^+ + 8H_2O \leftrightarrow 5Mg^{2+} + 2Ca^{2+} + 8H_4SiO_4$ (2)	-79.02	56.29
diopside	$MgCa(SiO_3)_2 + 4H^+ + 2H_2O \leftrightarrow Mg^{2+} + Ca^{2+} + 2H_4SiO_4$ (3)	-27.13	19.89
forsterite	$Mg_2SiO_4 + 4H^+ \leftrightarrow 2Mg^{2+} + H_4SiO_4$ (4)	-38.42	28.19
chrysolite	$Mg_3Si_2O_5(OH)_4 + 6H^+ \leftrightarrow 3Mg^{2+} + 2H_4SiO_4 + H_2O$ (5)	-44.17	32.38
dolomite	$MgCa(CO_3)_2 + 4H^+ \leftrightarrow Mg^{2+} + Ca^{2+} + 2CO_2 + 2H_2O$ (6)	-26.18	19.19
calcite	$Ca^{2+} + CO_2 + H_2O \leftrightarrow CaCO_3 + 2H^+$ (a)	-13.34	-9.78
silic acid	$H_4SiO_4 \leftrightarrow SiO_2(\text{quartz}) + H_2O$ (b)	-5.42	3.97

Table 6. Calculation of solubility for talca.

pH	dissolution (25°C)						dissolution (35-42°C)				
	%	a _{Mg²⁺} (mmol/l)	log a _{Mg²⁺} max.	log $\frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2}$	log a _{H₄SiO₄}		%	a _{Mg²⁺} (mmol/l)	log a _{Mg²⁺}	log $\frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2}$	log a _{H₄SiO₄}
4	0.08	32.92	1.52	3.88	3.52	2.32	>1	411.35	2.62	4.62	1.50
7	-	-	-	-2.12	-	-	>1	411.35	2.62	10.62	-3.01
9	0.1	41.14	1.61	-6.12	13.61	-5.25	>1	411.35	2.62	14.62	-6.01

^aOriental Mineral Medicines (Pusan Univ. Press, 1998).

^bUpper limit concentrations were calculated from formula for talc at 25°C (see Fig. 3).



$$\Delta F = -50.1 \text{ kcal} \quad \log K = 36.73$$

$$\log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 7.35 + 0.5 \log CO_2 - 16 \log a_{H_4SiO_4}$$

대기의 CO₂분압 (P_{co₂} 10^{-3.52})을 적용하면

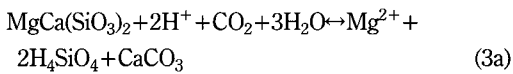
$$\log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 5.59 - 16 \log a_{H_4SiO_4}$$

토양의 CO₂분압 (P_{co₂} 10^{-2.52})을 적용하면

$$\log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 6.09 - 16 \log a_{H_4SiO_4}$$

투회석

Table 5의 (3)식 + (a)식



$$\Delta F = -13.79 \text{ kcal} \quad \log K = 10.11$$

$$\log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 0.11 + \log CO_2 - 2 \log a_{H_4SiO_4}$$

대기와 토양의 분압을 (2a)식에서 처럼 적용하면

$$P_{CO_2} = 10^{-3.52} \log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 6.59 - 2 \log a_{H_4SiO_4}$$

$$P_{CO_2} = 10^{-2.52} \log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 7.59 - 2 \log a_{H_4SiO_4}$$

고토감람석

Table 5의 (4)식으로부터

$$\log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 14.09 - 0.5 \log a_{H_4SiO_4}$$

온석면

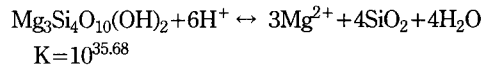
Table 5의 (5)식에서

$$\log \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2} = 10.79 - 0.67 \log a_{H_4SiO_4}$$

Log a_{Mg²⁺} - pH도

활석

Table 5의 (1)식 + (b)식 × 4

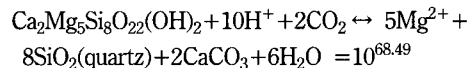


$$K = \frac{a_{Mg^{2+}}^3}{a_{H^+}^6} = 10^{35.68}$$

$$\log a_{Mg^{2+}} = 11.89 - 2pH$$

투각섬석

(2a)식 + Table 5의 (b)식 × 8



$$K = \frac{a_{Mg^{2+}}^5}{a_{H^+}^{10} (CO_2)^2} = 10^{68.49}$$

$$\log a_{Mg^{2+}} = 13.70 + 0.4 \log CO_2 - 2pH$$

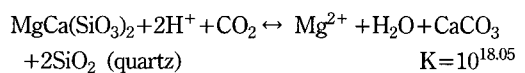
대기와 토양의 분압을 (2a)식에서 처럼 적용하면

$$P_{CO_2} = 10^{-3.52} \log a_{Mg^{2+}} = 12.29 - 2pH$$

$$P_{CO_2} = 10^{-2.52} \log a_{Mg^{2+}} = 12.69 - 2pH$$

투회석

(3a)식 + Table 5의 (b)식 × 2



$$K = \frac{a_{Mg^{2+}}}{a_{H^+}^2(CO_2)} = 10^{18.05}$$

$$\log a_{Mg^{2+}} = 18.05 + \log CO_2 - 2pH$$

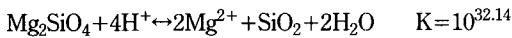
대기와 토양의 분압을 (2a)식에서 처럼 적용하면

$$P_{CO_2} = 10^{-3.52} \log a_{Mg^{2+}} = 14.53 - 2pH$$

$$P_{CO_2} = 10^{-2.52} \log a_{Mg^{2+}} = 15.53 - 2pH$$

고토감납석

(4)식 + (b)식

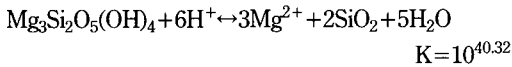


$$K = \frac{a_{Mg^{2+}}^2}{a_{H^+}^4} = 10^{32.14}$$

$$\log a_{Mg^{2+}} = 16.07 - 2pH$$

은석면

(5)식 + (b) × 2

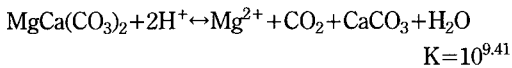


$$K = \frac{a_{Mg^{2+}}^3}{a_{H^+}^6} = 10^{40.32}$$

$$\log a_{Mg^{2+}} = 13.44 - 2pH$$

돌로마이트

(6)식 + (a)식



$$K = \frac{a_{Mg^{2+}}(CO_2)}{a_{H^+}^2} = 10^{9.41}$$

$$\log a_{Mg^{2+}} = 9.41 - \log CO_2 - 2pH$$

대기와 토양의 분압을 (2a)식에서 처럼 적용하면

$$P_{CO_2} = 10^{-3.52} \log a_{Mg^{2+}} = 12.93 - 2pH$$

$$P_{CO_2} = 10^{-2.52} \log a_{Mg^{2+}} = 11.93 - 2pH$$

이상의 계산에 의하여 작도된 그림은 약화석과 수반 광물의 pH에 대한 Mg^{2+} 용해도를 파악하고 Mg^{2+} 용해 실험 결과를 평가하는데 활용할 수 있다. 예로 중국 장춘현의대에서 실시한 약화석의 산제와 당제의 용해 실험결과 (이홍초외, 198)를 그림 (Fig. 4)에 점시해보면 산성용액 (pH=4)에서의 Mg^{2+} 농도는 이론적으로

용해가능한 농도보다 낮게 나타나는데 이는 용해 시간이 충분하지 않았든지 활석 보다도 용해도가 높은 다른 광물이 혼합되어 있을 가능성이 있다. 또한 이 그림으로 약화석의 상한 Mg^{2+} 농도를 알 수 있으므로 상한 농도에 이르는 데 소요되는 시간을 실험조건 (입도, 온도, pH 등)별로 측정할 수 있다. 그리고 이를 기초로 첨가물을 가한 여러 가지 임상실험을 체계적으로 실시할 수 있을 것으로 생각된다.

의학환경지화학

CaO-MgO-SiO₂계내 광물은 활석과 방해석만이 약광물에 해당되고 투각섬석 $Ca_2Mg_5Si_8O_{22}(OH)_2$ 은 포함되어 있지 않지만 Mg가 Fe로 부분적으로 치환된 양기석 $Ca_2(Mg, Fe^{2+})_5Si_8O_{22}(OH)_2$ 은 약광물에 해당된다. 이는 Fe가 첨가됨으로서 투각섬석에 Fe의 약적 기능이 추가되기 때문이 아닌가 생각된다. 그리고 투각섬석도 그 자체의 이름으로는 약광물에 포함되어 있지 않지만 그의 변종인 연옥 (nephrite)은 한의분헌 (이시진, 1982; 신문풍출판공사, 1981)에 의하면 약광물에 해당되고 동의보감에도 기록되어 있다.

이런 이치로 미루어 볼 때 활석보다는 Ca이 추가된 투각섬석이 약적 효과를 더 가질 것으로 기대되고 Mg의 일부가 Fe로 치환된 양기석은 Mg, Ca, Fe의 약적 효과를 모두 가질 것으로 기대된다. 즉, 인체의 구성원소 Mg만 들어 있는 규산염광물보다 Ca이 추가되고 필수원소 Fe가 더 추가된 규산염광물이 인체에 주는 의약학적 효과가 더 커질 가능성이 있다고 볼 때 약학적 효과는 Mg-규산염 (활석) < Mg-Ca-규산염 (투각섬석) < Mg-Ca-Fe-규산염 (양기석)의 순으로 증대될 것으로 사료된다. 인체의 구성원소 Mg, Ca과 필수원소인 Fe의 환경지화학적 이해를 돕기 위하여 체내 함량, 공급원, 일섭취량 및 지화학적 문제점 등 (Whitney, 1999; 임연풍, 1991; Crouse *et al.*, 1983)을 요약하면 다음과 같다.

Mg

인체의 평균 함량은 42g로 약 70%는 뼈에 $Mg_{10}(PO_4)_6(OH)_2$ 과 $MgCO_3$ 형태로 함유되고 잔여분이 연조직과 체액에 이온상태로 존재한다. 마그네슘의 생물학적 주요 기능은 세포막의 강화, 세포내부구조의 안정, 세포내 효소의 보조, 종양의 억제, 단백질의 합성 등인데 만일 마그네슘을 함유한 음식을 적당히 섭취하지 못하고 환경에도 결여되어 있으면 마그네슘 결핍증

이 발생한다. 우리나라 주요 토양형 중의 하나인 포드졸 토양은 마그네슘 함량이 매우 낮고 한국을 포함한 일본, 중국, 네덜란드, 영국, 노르웨이, 스웨덴 등 나라 들에는 마그네슘과 칼슘이 매우 낮은 토양을 가지고 있다 (임연풍, 1991). 마그네슘 결핍은 비타민-E 결핍을 가속화시키고 골격근의 손상, 심경괴사, 신경경련 등을 일으키며 결핍이 장기화될 때는 성장정체, 발육장애, 치아의 성장불량 등이 일어난다. 마그네슘은 견과 (堅果), 해산물, 채소에 많이 함유되어 있고 육류에 중간, 정제 설탕과 지방에는 적게 함유되어 있다. 일섭취량은 평균 220~480 mg이고 일최저 필요량은 3.6~4.2 mg인데 경도가 높은 물은 이 중 20%를 공급할 수 있다. 마그네슘과 칼슘의 함량이 낮은 연수는 복합적인 결핍증을 유발한다.

국내 지하수의 마그네슘 함량은 평균해서 화강암지역이 $1.55 \pm 3.58 \text{ mg/l}$, 퇴적암지역이 $9.64 \pm 3.58 \text{ mg/l}$ (홍영국의, 1993) 인데 경북 (고령)지역은 화강암지대가 2.62 mg/l , 퇴적암지대는 하산동층이 5.75 mg/l , 진주층이 8.62 mg/l , 낙동층이 6.24 mg/l (김철수, 1995)이며 대구지역은 화강암지대가 3.54 mg/l , 퇴적암지대는 함안층이 24.69 mg/l , 반야월층이 26.29 mg/l (이인호, 1998)로 일반적으로 화강암 지하수는 낮으나 회절성분이 많은 퇴적암의 지하수는 높은 편이다.

Ca

성인의 평균함량은 1.25 kg로 약 99%는 뼈와 치아에 $\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)(\text{OH})$ 형태로 함유되고 잔여분이 다른 조직 및 세포액에 이온상태 및 단백질과 결합하여 존재한다. 칼슘을 함유한 음식을 충분히 섭취하는 사람들에게는 문제되지 않으나 산성토양과 사질토양 등의 칼슘함량이 낮은 지역의 사람들은 칼슘결핍증에 걸리기 쉽다. 칼슘의 부족은 성장기의 어린이, 임부, 갱년기 여성, 장섭취에 장애가 있는 환자에게 결핍증을 일으키며 불균형은 내분비성 이상, 비타민 D의 결핍 등과 관계된다. 비타민 D의 결핍은 어린이에게는 구루병, 어른에도도 골연골화와 골다공증을 유발한다. 칼슘의 주 공급원은 우유, 쇠고기, 생선, 달걀 (5~10%), 땅콩, 과일, 콩 (<5%)인데 일섭취량은 음식 1000칼로리당 400 mg로 평균해서 약 0.4~1.5g이다. 경수에도 3 mmol/l 함유되어 있으나 평균일섭취량 25 mmol (미국)의 약 1/8도 밖에 되지 않는다. 따라서 음식을 통해 충분한 칼슘을 섭취하지 못하는 곳에서는 칼슘함량이 낮은 연수도 건강에 문제가 될 수 있다.

국내 지하수의 칼슘함량은 평균해서 화강암지역이

$14.60 \pm 20.70 \text{ mg/l}$, 퇴적암지역이 $42.22 \pm 66.25 \text{ mg/l}$ (홍영국의, 1993)인데 경북 (고령)지역은 화강암지대가 31.85 mg/l , 퇴적암지대는 하산동층이 50.52 mg/l , 진주층이 41.86 mg/l , 낙동층이 51.64 mg/l (김철수, 1995)이며 대구지역은 화강암지대가 18.33 mg/l , 퇴적암지대는 함안층이 78.76 mg/l , 반야월층이 71.45 mg/l (이인호, 1998)로 일반적으로 화강암 지하수는 낮으나 탄산염성분이 많은 퇴적암의 지하수는 높은 편이다.

Fe

성인의 평균함량은 4~5g로 60~70%는 적혈구의 헤모글로빈, 15%는 철단백질, 3~5%는 근육의 적색색소 단백질 (myoglobin)에 함유되어 있으며 호흡효소와 철 운반단백질 (transferrin)에도 각각 0.2%, 0.004% 들어 있다. 육류, 해산물, 달걀, 밀, 녹색채소 등의 철 함량은 높으나 우유, 유제품, 정제 밀가루와 설탕, 정미, 감자, 과일류는 낮다. 일섭취량은 10~20 mg로 이중 약 10%가 흡수된다. 만일 철분이 충분한 음식을 섭취하지 못하고 특히 피를 많이 흘렀다면 성장기의 어린이, 임부에게는 건강에 문제가 생길수 있으며 철 함량이 낮은 사질토양 지역은 철결핍증이 유발되기 쉽다. 반대로 철이 다량 용해되어 있는 강산성의 광산폐수는 중독현상을 일으키는데 국내 금속폐광산의 폐수도 Fe함량이 높다 (이재영외, 1993; 이재영외, 1996).

국내 지하수의 철함량은 평균해서 화강암지역이 $0.05 \pm 0.06 \text{ mg/l}$, 퇴적암지역이 $0.06 \pm 0.07 \text{ mg/l}$ (홍영국의, 1993)인데 경북 (고령)지역은 화강암지대가 0.13 mg/l , 퇴적암지대는 하산동층이 0.11 mg/l , 진주층이 0.09 mg/l , 낙동층이 0.13 mg/l (김철수, 1995)이며 대구지역은 화강암지대가 0.02 mg/l , 퇴적암지대는 함안층이 1.17 mg/l , 반야월층이 1.26 mg/l (이인호, 1998)로 과량으로 인한 중독현상은 없다.

Si

규산은 약광물 활석, 투각섬석, 양기석 모두의 주요 성분이므로 이들 약광물이 공통으로 가지는 생물학적 기능에 기여할 것으로 생각된다. 성인의 평균함량은 18g으로 주로 뼈, 피부, 폐, 임파, 선체, 상피조직, 결합조직에 모여 있고 비장, 신장, 간에도 소량 함유되어 있다. 규소의 주요 기능은 단백질 및 다당의 합성, 결합조직의 형성 등이며 탄성섬유와 주위 조직의 완전성을 유지시켜 동맥경화, 반피발생율을 저하시킨다. 인체의 주동맥, 흉선에도 일정량 함유되어 있는데 나이 들수록 현저히 감소되고 동맥혈관, 피부 등의 노화를 초

래한다. 한편, 영국에서는 관상동맥경화증의 발병율이 규소함량이 상대적으로 적은 지역 (1.7 mg/l)은 낮고 많은 지역 (7.6 mg)은 높다. 일섭취량은 30 mg인데 일반 천연수 중 함량은 낮으나 고온다습한 환경에서는 비교적 높고 건조한 환경에서 낮다.

국내 지하수의 규소함량 (Si₂O)은 평균해서 화강암 지역이 23.20±8.59 mg/l, 퇴적암지역이 24.04±11.98 mg/l (홍영국의, 1993) 인데 대구지역은 화강암지대가 14.47 mg/l (김종근외, 1997), 함안층과 반야월층지대가 8.68 mg/l (이인호, 1998)이다.

따라서 지질학적으로 이들 인체구성 및 필수원소가 결여된 암석 분포지역과 이들 원소가 용탈되기 쉬운 온대의 산성토양과 사질토양 지역에서는 음식을 통해 필요한 원소를 충분히 섭취하지 못하게 되면 결핍현상이 나타나고 결핍증에 걸리게 될 수 있다. 그러나 현대 사회에서는 의학이 발달하고 생활수준이 높아 옛날과 같은 지역적인 지질 및 지화학적 환경에 따르는 결핍증은 드물 것으로 생각된다. 온대에 속한 한국은 산성토양이 발달하지만 삼면이 바다에 접해있어 Mg, Ca가 많은 해산물을 충분히 섭취할 수 있다.

결 론

경산대학교 부속 한방병원에서 약광물로 사용되고 있는 활석시료는 X선분석, 화학분석 및 활석의 MgO-CaO-SiO₂계 상도를 기초로 판단해볼 때 주광물은 활석이고 투각섬석을 소량 함유하며 돌로마이트, 수활석을 미량 수반한다. 본 시료는 화학분석치로 볼 때 품위가 이론치에 가까운 비교적 순수한 활석에 해당되며 활석에 흔히 함유되는 불순물 Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO의 함량은 각각 0.06%, 1.14%, 0.73%로 매우 낮다.

자연계에서 투각섬석과 투회석은 성인적으로 활석에 수반되어 산출되는데 투각섬석은 활석에는 없는 Ca를 주요 구성원소로 포함하고 있고 Mg가 Fe로 치환되면 약광물인 양기석이 되므로 활석의 화학분석치에 흔히 포함되어 나오는 소량의 Ca와 Fe₂O₃는 불순물로서 취급하기 보다는 이들이 결여될 때 유발되는 결핍증을 억제하는 효과를 가져올수 있는 요인으로서 연구할 필요가 있다.

활석은 산지에 따라 불순물의 종류와 양이 다르기 때문에 순수한 활석에 대한 이론적 용해도를 파악해둘 필요가 있다. 광물의 열역학적 자료를 이용한 관계식과 이를 기초로 작성한 도표를 이용함으로써 약광물의 용해가능 농도 (mol)의 상한치 (또는 최대치)를 알수

있다. 예로 활석의 pH에 따른 a_{Mg²⁺} 농도와 a_{Mg²⁺}/a_{H⁺}에 대한 a_{H₄SiO₄} 농도의 상한치를 살펴보면 Table 6 및 Fig. 3, 4에서 보는 바와 같이 pH가 4, 7, 9일 때 log a_{Mg²⁺} 농도의 상한치는 각각 3.88, -2.12, -6.12이고 log a_{Mg²⁺}/a_{H⁺}가 3.52, 13.61일 때 log a_{H₄SiO₄} 농도의 최대치는 각각 2.32, -5.25가 된다. 이와 같은 자료는 한약에서 산제나 탕제를 만들 때 약광물의 용해정도를 파악하는데 도움이 될 것으로 기대된다.

국내의 대표적 활석광산 예로 동양, 풍진, 무주, 여주 및 평안 활석광산의 활석은 대부분 주성분인 MgO, SiO₂, H₂O외에 다소의 불순물 Fe₂O₃, Al₂O₃, CaO, K₂O, Na₂O를 함유한다. 그런데 동양활석의 분석치는 활석의 이론치에 접근해 있으며 경산대 한방병원의 활석보다 이론치에 더 가까우므로 불순물의 성분도 상대적으로 더 낮을 것으로 기대된다. 미량원소에 대한 분석치는 없으므로 활석광상 1형 활석의 광물약으로서의 품질에 대하여 구체적으로 언급할수 없으나 주성분의 함량으로 볼 때 경산대 한방병원의 것보다 그 품위가 높다.

따라서 광상별 및 같은 광상에서는 광체의 부위별로 품위와 주/미량원소의 함량을 정밀히 조사하고 또한 원광은 선광하여 품위를 높이고 질이 우수한 것을 선별하면 활석은 수입에 의존하지 않고 국내산으로 대처할 수 있을 것으로 사료된다.

사 사

본 연구는 1998년 한국학술진흥재단의 학술연구비 지원으로 수행된 일부이며 약활석시료와 한의학적 자료의 제공 및 본초학적 내용의 토의에 협조하여 준 경산대학교 한의과대학 교수 서부일 박사에게 감사한다.

참고문헌

- 대한광업진흥공사 (1988) 한국의 광상 제 11호. 대한광업진흥공사.
 김규봉 (1972) 지질광상조사연구보고 14호, 국립지질조사소.
 김옥준 (1982) 한국의 지질과 광물자원. 김옥준교수 정년 퇴임기념논문집, 대림문화정판사, 523p.
 김종근, 이재영 (1997) 대구지역에 분포하는 약수의 지구화학적 특성. 한국환경위생학회지, 23권, p. 56-65.
 김철수 (1995) 고령지역 신동층군에 부존된 지하수의 지화학적 연구. 경북대학교 대학원 석사학위논문, 57p.
 노병규, 송천준 (1990) 중금속을 함유한 한약의 본초학적 고찰. 본초분과학회지, 5권, p. 57-68.
 서부일, 변준섭 (1998) 광물약의 이용 현황에 관한 조사.

- 경산대학교 동서의학, 23권, p. 1-5.
- 서승범 (1989) 공주군 일대 저품위 활석의 품질향상을 위한 응용광물학적 연구. 경북대학교 대학원 석사학위논문, 38p.
- 신문출판공사 (1981) 증약대사전
- 이선동, 강순수 (1991) 한약의 독성연구 (최근보고된 문헌을 중심으로). 원광한의학 1권, p. 33-38.
- 이시진 (1975) 본초강목. 인민위생출판사
- 이인호 (1998) 대구지역 지하수에 대한 지화학적 연구-GIS의 활용-경북대학교 대학원 이학박사논문, 153 p.
- 이재영, 김종근, 이인호, 이진국 (1993) 경북지역 폐금속광산이 환경에 미치는 영향. 자원환경지질, 26권, p. 465-472.
- 이재영, 이인호, 이순영 (1996) 금속폐광산주변의 토양, 식물 및 하천의 중금속오염에 대한 지화학적 연구-달성 및 경산광산-. 자원환경지질, 29권, p. 597-613.
- 이홍초, 엄수학, 유만, 이대경, 장아민 (1988) 중국광물약. 지질출판사. 편역판: 동의광물약 (김항목, 오양효, 최우식, 정해영, 이재영, 1998), 부산대학교 출판부, 569p.
- 임연풍 (1991) 의학환경지구화학. 길림과학기술출판사. 번역판: 의학환경지구화학 (최석원, 김억수, 1996) 춘광출판사, 434p.
- 지정만 (1977) 사문석의 활석화과정에 관한 연구. 광산지질, 10권, p. 67-74.
- 지형준, 이상인 (1989) 대한약전의 한약규격집 주해서. 한국메디칼 인텍스사.
- 홍영국, 박중권, 전효택, 문희정, 김성제, 지세정, 성익환, 김통권, 박희열 (1993) 지질환경에서 유해원소들의 지구화학적 분산연구 (I) 과학기술처 KR-93 (T)-10, 464p.
- 허준 (1613) 동의보감 (한글판, 1994), 여강출판사.
- Crouse, R.G., Pories, W.J., Bray, J.T. and Mauger, R.L. (1983) Geochemistry and Man: Health and Disease. Essential Elements In: Applied Environmental Geochemistry, Ed. by Iain Thornton, Academic Press Inc. (London), p. 267-308.
- Klein, C. and Hurlbut, C.S. Jr. (1993) Manual of mineralogy. John Wiley & Sons, INC., 681p.
- Robie, R.A., Hemingway, B.S., and Fisher, J.R. (1984) Thermodynamic properties of minerals and related substances at 298.15 K and 1 bar (105 Pascals) pressure and at higher temperatures. U.S.G.S. Bulletin 1452, 456p.
- Whitney, E.N. and Rolfes, S.R. (1996) Water and the major minerals (chap. 12), The trace Minerals (chap. 13) In: Understanding Nutrition. West Publishing Co.

1999년 5월 17일 원고접수, 1999년 10월 22일 게재승인.