

단 보

국내 황토(Hwangto) 산업에서 광물학적 지식의 필요성

조 현 구

경상대학교 지구환경과학과

요약

우리 나라 건강과 환경 관련 산업 분야에서 많이 이용되고 있는 황토는 삼인질에 황산염에 의해 수소가 함유한 것으로 여겨진다. 그러나 황토에 대한 전문적인 지식이 관련 산업 분야에 습득되어 있지 않거나, 때론 제때를 알지 못하고 있다. 황토는 점토광물과 산화-수산화 철-알루미늄 광물은 주로 구성되어 있지만, 그 종류에 있어서서는 산속 지역에 따라 다르고, 산도에 따라서는 달라진다. 이에 따라 물리-화학적 특성이 달라짐은 물론이다. 황토를 제대로 활용하기 위해서는 황토의 변성광물 조성과 매장량 조사, 광물학적 특성 조사, 물리-화학적 특성 조사의 같은 기본적인 연구를 철저히 한 후, 이와 산업 분야의 실제적인 연구를 통하여 활용을 극대화할 수 있을 것으로 생각된다.

서 론

인간의 삶의 질이 향상됨에 따라 건강과 환경에 대한 관심이 증대되고 있으며, 이에 따라 제올라이트, 맥반석, 황토 등 환경친화적인 물질이 우리 생활 주변이나 여러 산업에 많이 이용되고 있다. 이 중 황토는 가장 대표적인 건강-환경 관련 제품이라고 할 수 있다. 특히 우리 나라 사람들은 장수에 대한 욕망이 세계 어느 나라 사람들보다 더 심하기 때문에 건강과 환경에 대한 관심이 더욱 높다고 할 수 있다. 그러므로 황토의 이용 분야는 시간이 갈수록 급증하고 있는 형편이다.

황토는 옛날부터 이용되던 황토방이나 점질방 이외에도 황토침대나 매트, 황토방석 등으로도 이용되고 있다. 최근에는 이용 분야가 더욱 넓어져 황토내의, 황토신사복, 황토구이판 등 다방면에 이용되고 있다. 이들 외에도 양식장의 사료, 토양 오염 정화 또는 적조 발생 시에 적조 퇴치 용으로도 이용되고 있다. 이렇게 다방면으로 이

용되고 있는 황토는 크게 보면 다음 두 가지 특성 중 하나를 이용하는 것이라고 할 수 있다. 하나는 원적외선을 다량 복사하기 때문이고, 또 다른 하나는 유해물질을 흡착-응집-침전시키기 때문이다.

황토 관련 제품을 생산하는 회사들은 황토를 '살아있는 흙', '살아있는 생명체', '신비의 물질' 또는 '신이 준 선물' 이니 하면서, 마치 황토가 만병통치약인 양 선전하고 있다. 황토는 과연 신비의 물질인가? 이처럼 황토가 신비의 물질인 양 인식된다는 것은 황토에 대한 과학적인 연구가 이루어지고 있지 못하는 현실을 반영하는 것이기도 하다. 실제로 우리 나라 황토에 대한 과학적인 연구는 현재까지 극히 일부 학자들에 의하여 수행되는 있는 실정이다(황진연, 1997; 황진연 등, 2000).

황토는 토양의 한 종류이므로, 광물질 이외에도 수분(토양수)과 각종 미생물을 포함하고 있기 때문에 황토의 특성을 완전하게 이해하기 위

해서는 토양 구성 성분에 대한 종합적인 연구가 필요하다. 그러나 황토의 이용시 가장 중요한 성분은 광물질이고, 저자의 연구 분야가 광물이기 때문에 이번 연구에서는 황토의 광물 성분에 대하여 주로 다루었다. 이번 연구에서는 황토란 무엇인가에 대해 먼저 살펴본 후 경남 지역에 분포하고 있는 황토를 중심으로 구성광물성분과 Cu 흡착 특성에 대하여 알아보고, 황토를 제대로 사용하기 위한 방법들에 대하여 토론하고자 한다. 이 연구 결과가 황토의 특성을 완전히 규명하는 것은 아니지만, 이와 유사한 연구가 계속되어 연구 결과가 축적되면 황토의 특성을 어느 정도 이해하게 될 것으로 예상된다. 이런 연구들이 과학자들의 지적 호기심을 충족시키는데 그치지 않고 우리 나라 황토 산업의 발전에 도움이 되기를 기대해본다.

황토란?

황토를 국어대사전(한국어사전편찬위원회, 1986)에서는 다음과 같이 정의하고 있다: ① 빛깔이 누르고 거무스름한 흙(yellow soil), ② 대륙의 내지에서 풍화로 인하여 부스러진 암석의 세진이 바람에 날려와서 지표를 두껍게 덮고있는 누르고 거무스름한 흙. 중국의 북쪽, 특히 황하 유역과 유럽, 북미 등지에 분포하고 있음(loess). 한편 지질학 용어 사전(Bates and Jackson, 1987)에서는 황토(loess)를 '바람에 의하여 운반된, 주로 실트 크기의 입자로 구성된, 연황색-황갈색 퇴적물로서, 균질하고, 비층상이며, 기공이 많으며, 쉽게 부스러지는 성질을 가지며, 약한 점착력이 있으며, 석회질이 포함된 경우가 많다'고 정의하고 있다.

이 정의에서 보듯이 황토는 풍성 기원의 퇴적물로 간주하고 있으며, 시중에 유통되고 있는 황토를 생산하는 회사에서도 이 정의에 따라 제품

을 선전하고 있다(류도옥, 1995). 그러나 우리나라에 분포하는 토양을 조사한 연구자(엄명호 등, 1992a, 1992b)들에 의하면, 풍성기원의 퇴적물에서 나타나는 광물조성이나 특성이 거의 없다는 것을 알 수 있다. 또한 황진연(1997)과 황진연 등(2000)의 연구 결과, 우리나라에서 여러 용도로 사용되는 황토는 가까운 산에서 쉽게 볼 수 있는 황색 내지 적갈색의 풍화토이므로, 암석의 풍화 결과 형성된 것이라는 사실을 알 수 있다. 그러므로 우리나라에서 흔히 사용되는 황토는 지질학 용어 사전의 풍성 기원의 퇴적물인 'loess'는 아니고, 기반암의 풍화에 의하여 형성된 황색-적갈색의 토양(그림 1)이기 때문에 'Hwangto'라는 새로운 영어 용어를 사용해야 혼란을 피할 수 있을 것으로 판단된다.

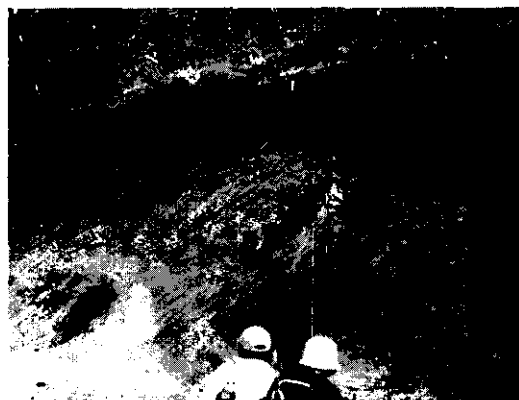


그림 1. 황토. 황토는 암석의 풍화에 의하여 형성되므로, 우리나라 어디에서나 흔히 볼 수 있다. 황토는 보통 연황색이나 황갈색을 띠고 있다.

우리 나라 황토(Hwangto)는 기반암의 풍화 결과 형성된 것이므로, 기반암의 종류와 풍화 정도, 기후 조건 등에 따라 매우 다양하게 나타날 것이라는 추측을 쉽게 할 수 있다. 암석은 풍화에 의하여 잘게 부스러지고, 원광물이 점토광물을 비롯한 2차광물로 변해가면서 토양을 형성하게 되는데, 물질의 첨가 과정, 물질의 전이와 이

동 과정 및 물질의 제거 과정 등을 거치면서 성숙하게 된다(Simonson, 1978). 이 결과 형성된 토양 단면은 상부에서 하부로 가면서 식물이 자라는 O층(유기물대), 표토에 해당하는 A층(용탈층), 점토광물을 비롯한 풍화산물이 집적되는 B층(심토층), 풍화대인 C층 순으로 분포하게 된다. 황토는 주로 토양단면의 B층에 A층 일부가 포함된 것으로 간주할 수 있다. 우리나라 황토는 전국적으로 고르게 분포하지만, 고지대 및 급경사지, 하천 등에는 잘 나타나지 않는 경향을 보인다(황진연 등, 2000).

황토의 구성 광물

황토는 다른 종류의 토양과 같이, 유기물, 수분, 공기, 무기물 등으로 구성되어 있다. 그러나 무기물을 제외한 성분은 황토의 이용 시 큰 역할을 하지 못하므로, 무기물 성분이 가장 중요하다고 할 수 있다. 토양 내의 무기물은 90% 이상 광물로 되어 있으므로, 토양의 구성 성분을 알기 위해서는 토양 내 광물들의 종류와 함량비를 아는 것이 매우 중요하다.

경남 하동, 고성, 산청 지역에 분포하는 황토의 구성 광물을 알아보기 위하여 X선회절분석을 실시한 자료를 'SIROQUANT' 프로그램(Taylor and Clapp, 1992)을 이용하여 정량분석을 실시한 결과는 표 1에 나타나 있다. 표 1에서 보듯이 암석을 원래 구성하던 대부분의 조암광물들은 석영을 제외하고 모두 다른 광물로 변한 것을 알 수

있다. 카올리나이트를 비롯한 점토 광물이 대부분을 차지하고 있으며, 산화-수산화광물의 함량은 9.0-17.3% 정도이다.

점토광물은 산지에 따라 그 종류와 함량이 많은 차이를 보이고 있긴 하지만, 황토 전체의 2/3-4/5 정도를 차지하고 있다. 점토광물 중 가장 많은 것은 카올리나이트이고, 그 다음으로 많은 것은 할로사이트인데, 이들은 모두 Si-사면체판과 Al-팔면체판이 한 층씩 결합된 1:1층 구조로 되어 있다. 팔면체판 상-하에 사면체판이 결합된 2:1층 구조의 점토광물은 1:1층 구조 광물보다 훨씬 적은 0.7-33.6% 포함되어 있으며, 일라이트가 가장 많은 양을 차지하고 있다. 이 결과에서 알 수 있듯이 우리나라 황토에 가장 많이 포함된 광물은 1:1층 구조의 점토광물이다. 황토를 선전하는 선전문 중(심지어는 학술적인 일부 논문들까지)에 '황토는 표면이 넓은 벌집구조로 수많은 공간이 복층 구조(2:1층 구조를 의미)를 이루고 있고, 이 구멍 안에 원적외선이 다량 흡수-저장되어 있어...'라는 말은 황토의 광물 조성에 대한 지식이 거의 없거나, 광물학적 지식이 전혀 없어서 잘못 사용하고 있는 것임을 알 수 있다.

황토 내에 점토광물 다음으로 많이 포함된 Al-Fe 산화물이나 수산화물은 황토 고유의 색과 밀접한 관계를 가지고 있다. 일반적으로 적철석이 많이 포함되면 붉은색을 띠게 되고, 침철석이 많이 포함될 경우에는 황색을 나타내게 된다(Jeong and Kim, 1990).

황토의 광물 조성은 산지에 따라 달라지기도

표 1. 경남 지역 황토의 XRD 정량분석 결과.

(단위: wt.%)

산지	조암광물		점토광물				산화-수산화광물		용도
	석영	장석	카올리나이트	할로사이트	일라이트	질석	집사이트	적철석	
하동	8.4		45.2	22.7	14.8		0.7	8.3	방사체
고성A	14.0	1.2	26.4	18.2	20.6	2.3	6.7	10.6	방사체
고성B	12.9		66.6	6.0		0.7		14.4	방사체
산청	4.8	9.9	25.2	18.3	24.5	9.1		8.1	적조방체

표 2. 고성B 지역 황토의 깊이에 따른 광물 조성 변화.

깊이	석영	카올리나이트	할로이사이트	질석	적철석
25cm	12.1	56.7	2.6	10.1	18.5
50cm	12.9	66.6	6.0	0.7	14.4
75cm	18.0	61.9	7.2	0.9	12.0
100cm	17.4	69.2	7.2	0.6	5.6
125cm	12.3	60.7	2.6	0.7	23.7

하지만, 산출 깊이에 따라서도 달라질 수 있다. 고성 B지역의 경우, 25cm 간격으로 시료를 채취하여 XRD 정량분석한 결과, 깊이에 따라 광물 조성이 달라짐을 볼 수 있다(표 2). 석영의 함량은 깊이가 깊어짐에 따라 대체적으로 증가하는 경향을 보이지만, 점토광물의 함량은 뚜렷한 경향을 나타내지는 않는다.

황토의 Cu 흡착 특성

황토 내 포함되어 있는 광물들은 주로 광물 표면에서 발생한 전하 때문에 음이온 및 양이온을 흡착할 수 있다. 황토의 양이온 흡착 특성을 알아보기 위하여 고성과 하동에서 산출되는 황토 시료를 이용하여 Cu 흡착 실험을 실시하고, 이 결과를 컴퓨터 프로그램 'FITEQL3' (Herbelin and Westall, 1996)와 'MINTEQA' (Allison et al., 1991)를 이용하여 모델링을 실시하였다.

고성 B 지역 황토의 Cu^{2+} 흡착 실험 결과(그림 2), 이온세기가 0.01M이고, $Cu(NO_3)_2$ 의 농도가 0.1M일 때, pH 4.5에서 pH 6.5사이에서 흡착율이 급격하게 증가 하다가, pH 6.5이상에서는 거의 99%이상인 황토 구성 광물 표면에 흡착하는 것으로 나타났다. 황토의 $pH_{pznpc} = 4.21$ 이었다. 그림 2에서 보듯이, Cu 용액의 양을 1ml에서부터 6ml까지 증가시킬 때 흡착되는 양상은 거의 비슷함을 알 수 있다.

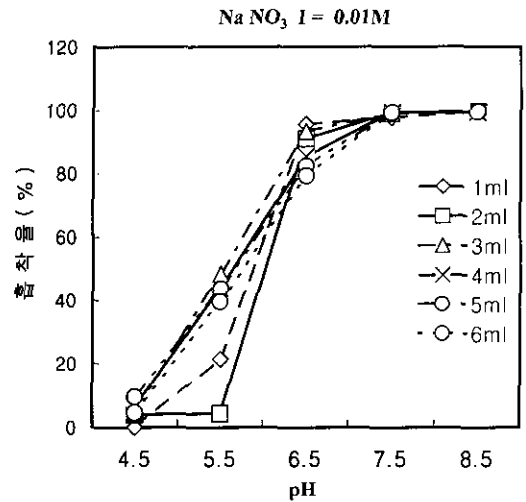


그림 2. 고성 B 지역 황토의 Cu^{2+} 흡착 실험 결과.

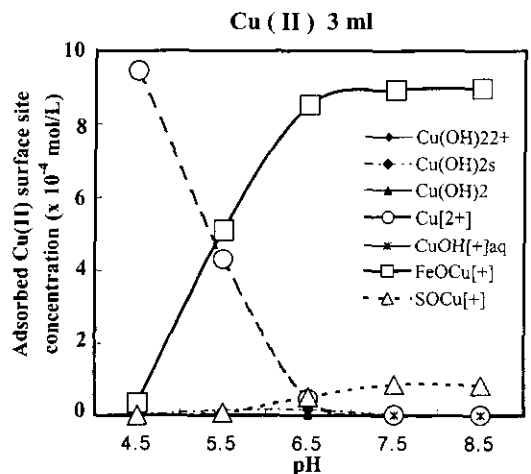


그림 3. 고성 B 지역 황토의 FITEQL3.2 모델링 결과.

이런 흡착 실험 결과를 FITEQL3.2 프로그램을 이용하여 모델링한 결과(그림 3), Cu 용액의 양이 3ml일 경우 pH=4.5-6.5 범위에서는 황토의 구성 광물 중 철산화염 광물인 적철석이 대부분의 Cu^{2+} 를 흡착하고, pH=6.5 이상에선 규산염 광물 표면에 흡착하는 것을 알 수 있다. 적철석은 pH 4.5부터 6.5까지의 범위에서 pH가 증가함에 따라 흡착할 수 있는 Cu의 양이 급증하다가, pH 6.5 이상에서는 광물 표면에 흡착할 수 있는 자리가 거의 Cu로 채워지고, 이에 따라 pH가 증가하더라도 더 이상의 Cu는 흡착하지 못하게 된다. 점토광물을 비롯한 규산염 광물은 pH 5.5부터 Cu를 흡착하기 시작하여 pH 7.5까지 흡착하는 양이 증가하지만, 적철석에 비하여 매우 적은 양을 흡착한다. Cu 용액의 양을 5ml로 증가시키면, pH 7.5에서 흡착하는 Cu의 양은 적철석이나 규산염광물에서 비슷해진다.

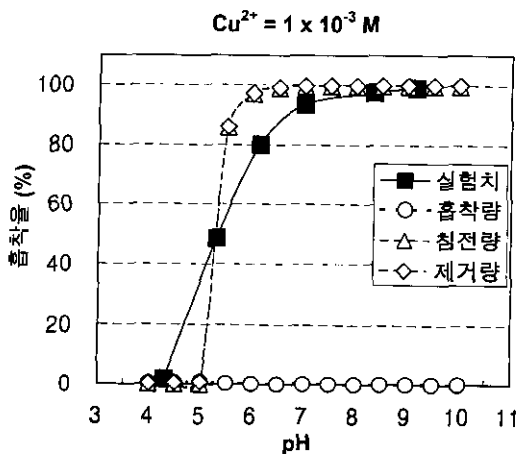


그림 4. 하동 황토의 구리 흡착 실험과 MINTEQA2 모델링 결과.

하동 지역 황토를 이용하여 Cu 흡착 실험을 한 결과는 그림 4에 나타나 있다. pH 4 이상에서 제거량이 급증하다가 pH 6 이상이 되면 거의 95% 이상의 Cu가 제거됨을 알 수 있다. 이 결

과를 MITEQA2를 이용하여 모델링하면, 제거되는 Cu의 대부분은 광물 표면에 흡착되기 보다 침전에 의하여 제거됨을 알 수 있다.

물론 이런 실험 결과는 실험실 내에서 변수를 최소로 하여 실시한 결과이므로, 자연계 내에서 일어나는 가능한 모든 결과를 반영한다고 할 수 없지만, 구성 광물이 다른 황토는 서로 상이한 Cu 흡착 특성을 가진다는 것을 알 수 있으며, 용액의 pH와 Cu 농도에 따라 서로 달라짐을 알 수 있다.

점토광물은 매우 큰 비표면적을 가지며, 표면 전하를 띠며, 물 속에서 미세 입자가 분산되어 현탁되는 등 다른 광물에 비하여 특이한 성질을 가지므로, 화학적으로 활성도가 매우 높다. 이러한 점토광물의 특성 때문에 점토광물은 여러 가지 산업에 활용되고 있다. 황토 내에도 점토광물은 가장 많은 양을 차지하고 있기 때문에 황토의 여러 특성, 역시 점토광물에 의하여 주로 발현된다고 생각하는 경향이 있다. 그러나 황토를 이용한 Cu 흡착 실험 결과, 점토광물보다 적은 양 포함되어 있지만, 산화철 광물이 흡착에 더 큰 역할을 할 수도 있다. 그러므로 황토의 물리-화학적 성질을 제대로 파악하기 위해서는 활용 목적에 부합하는 기본적인 실험을 통하여 최소한 그 특성을 규명하여야 할 것으로 생각된다.

황토산업의 문제점과 해결 방안

앞에서 살펴본 바와 같이 우리 나라 황토는 산출 지역에 따라 구성 광물의 종류와 함량에 많은 차이가 있고, 이 결과 Cu 흡착 특성도 매우 상이함을 알 수 있다. 즉, 황토는 지역에 따라 물리-화학적 특성이 다르다. 이렇게 특성이 다른 황토를 같은 목적으로 이용할 수 없음은 명확한 사실

이다. 그러므로 용도에 따라 이용되는 황토의 특성이 달라져야 한다는 것이다. 그런데도 불구하고 황토는 이런 기본적인 조사나 연구가 거의 전무한 상태에서 여러 분야에 이용되고 있는 실정이다. 국내 자원의 양이 많지 않음에 비추어볼 때 이는 자원의 낭비라고 할 수 있다. 우리 나라 황토를 제대로 본래의 목적에 맞게 이용하기 위해서는 다음과 같은 연구들이 이루어져야 할 것으로 생각된다.

(1) 황토의 법정광물 지정과 매장량 조사

황토는 국내 여러 산업 분야에 이용되고 있지만, 그 매장량이 얼마쯤 되는가에 대해서는 아직 연구된 바가 없다. 그 이유 중의 하나는 황토라는 이름으로는 채취가 되지 않고 있기 때문일 것이다. 황토는 광업법 상에 법정광물로도 등록되어 있지 않기 때문에, 대부분 고령토나 골재로 등록하여 채취하고 있는 실정이다. 황토에 대한 체계적인 연구와 채광을 하기 위해서는 무엇보다도 황토를 법정광물로 지정하는 것이 시급하다고 할 수 있다.

황토를 법정광물로 등록하기 위해서는 황토에 대한 정의를 내리는 것이 절실하다. 지질학자, 광물학자, 토양학자 등 관련 분야의 전문가들이 상의하여, 어떤 조성과 물리-화학적 특성을 가지는 것을 황토로 정의할 것인가를 결정해야 할 것이다.

황토를 정의하고 법정광물로 지정한 후, 지질학자와 광물학자를 중심으로 국내에 부존되어 있는 황토에 대하여 광범위한 조사를 벌여 산출양상과 매장량을 산출해야 할 것이다. 이런 조사는 몇몇 학자들에 의하여 이루어질 수 없는 과제이므로, 정부 주도하에 지질학회나 광물학회 차원 또는 자원연구소 등 출연연구소를 중심으로 수행되어야 할 것으로 생각된다.

(2) 황토의 광물 조성에 관한 연구

황토에 관한 이번 연구의 결과나 기존 연구자들의 결과를 살펴보면, 황토는 점토광물이 주를 이루지만, 점토광물 이외에도 여러 광물들이 함량비가 다양하게 포함되어 있음을 알 수 있다. 일부 지역에서 생산되는 황토에는 점토광물의 함량이 매우 적은 것도 있다. 또한 모양이나 기후 조건 등에 따라 황토의 구성광물의 종류와 양적인 비가 매우 다양하다. 그러므로 국내에서 채취되고 있거나, 매장량이 풍부한 지역에 대하여 체계적인 시료를 채취하여 XRD 정량분석법에 의하여 광물조성을 정확하게 밝혀야, 차후의 물리-화학적 성질과 연계시켜 연구할 수 있을 것이다.

(3) 황토의 물리-화학적 성질에 관한 연구

황토는 고유한 물리-화학적 특성을 가지고 있기 때문에 여러 산업 분야에 이용되고 있다. 그러나 각 분야에 이용되는 황토의 물리-화학적 성질이 아직 자세하게 규명되어 있지 않은 상태이다. 황토를 적재적소에 이용하기 위해서는 황토의 물리-화학적 성질에 대한 연구가 이루어져야 할 것이다.

황토 내에는 다양한 광물이 포함되어 있긴 하지만 점토광물이 주를 이루고 있으므로, 점토광물의 연구에 적용되는 방법들을 활용한다면 물리-화학적 특성을 규명할 수 있다. 황토의 물리적 성질을 규명하기 위해서는 입자 크기와 입도 분포, 형태, 비표면적, 밀도, 가소성 등에 관한 연구가 수행되어야 하며, 황토의 화학적 성질을 규명하기 위해서는 주성분과 미량성분에 대한 분석, 산도, 이온교환능, 중금속이나 유기물 흡착능에 관한 연구 등이 이루어져야 한다. 황토의 원적외선 방사능에 관한 연구도 필요에 따라 수행되어야 한다.

(4) 황토 품위의 균질화

천연으로 산출되는 광물질의 이용 시 가장 문제가 되는 부분이 품질의 균질화이다. 황토 역시 다양한 광물이 다양하게 섞여서 산출되므로, 품질의 균질화가 문제된다. 이런 문제는 한 지역에서 산출되는 황토에 대하여 수평적-수직적인 광물 조성의 변화를 조사하여, 목적에 맞는 광물조성을 가지게 혼합하여 사용되면 해결할 수 있을 것으로 판단된다.

(5) 광물학과 관련 분야 사이의 산-학 협력 연구

황토 내에서 가장 중요한 구성물질은 물론 점토 광물을 비롯한 광물이지만, 광물에 대한 연구만 가지고는 그 이용을 극대화할 수 없다. 황토를 이용하는 분야에서 어떤 특성이 가장 중요한 지를 알아야만 황토 생산과 처리 시 적절한 특성을 가지는 황토를 생산할 수 있다. 그러므로 황토를 이용하는 여러 산업분야와 광물학을 전공으로 연구한 연구자들 사이에 밀접한 상호 교류 하에 연구가 이루어져야 할 것이다.

참고 문헌

엄명호, 엄기태, 임형식 (1992a) 한국의 주요 모암에서 발달된 토양점토광물의 특성과 생성학적 연구. III. 모래와 미사중에 점토광물의 특성비교. 한국토양비료학회지, 25, 1-7.

엄명호, 임형식, 김태순 (1992b) 한국의 주요 모암에서 발달된 토양점토광물의 특성과 생성학적 연구. IV. 토양점토광물의 분포 및 생성. 한국토양비료학회지, 25, 202-212.

한국어사전편찬위원회, 1986, 국어대사전. 삼성문화사, 1849.

황진연 (1997) 맥반석과 황토의 특성과 활용.

한국광물학회 창립 10주년 기념 심포지움 논문집, 89-99.

황진연, 장명익, 김준식, 조원모, 안병석, 강수원 (2000) 우리 나라 황토(풍화토)의 구성광물 및 화학성분. 한국광물학회지, 13권 3호(출판예정).

Allison, J.D., Brown, D.S. and Novo-Gradac, K.J., 1991. MINTEQA2/PRODEFA2, A Geochemical Assessment Model for Environmental Systems: Version 3.0 User's Manual. Washington, DC: US Environmental Protection Agency.

Bates, R.L and Jackson, J.A. (1987) Glossary of Geology (3rd Ed.). Amer. Geol. Inst., Alexandria, 387.

Herbelin, A.L. and Westall, J.C. (1996) FITEQL - A computer program for determination of chemical equilibrium constants from experimental data. Report 96-01, Department of Chemistry, Oregon State University, Corvallis, OR 97311

Jeong, G.Y. and Kim, S.J.(1990) Iron oxide minerals in the Sancheong kaolin deposits. J. Miner. Soc. Korea, 3, 79-88.

Simonson, R.W.(1978) A multiple-process model of soil genesis. In: Mahaney, W.C. (ed.) Quaternary Soils. Geo Abstracts, University of East Anglia, Norwich, England, 1-25.

Taylor, J.C. and Clapp, R.A., 1992, New features and advanced applications of SIROQUANT: a personal computer XRD full profile quantitative analysis software package, Advances in X-ray Analysis, 35, 49.