ANALYTICAL SCIENCE & TECHNOLOGY
Vol. 9, No. 2. 1996
Printed in the Republic of Korea

노화도산 맥반석의 미네랄 용출 및 중금속 제거 효과(Ⅰ)

황진봉† · **양미옥** · **구민선**
한국식품개발연구원 식품분석실
(1996. 2. 16. 접수)

Extraction of Minerals and Elimination Effect of Heavy Metals in Water by Nohwado Quartz Porphyry

Jinbong Hwang†, **Miok Yang**, **Minseon Koo**
Food Analysis Lab., Korea Food Research Institute, Kyonggi-do, 463-420, Korea
(Received Feb. 14, 1996)

요약 : 노화도산 맥반석으로부터 미네랄 용출은 맥반석 농도 0.5, 1.0, 1.5, 2.0%를 탈이온수에 첨가하여 3시간 교반했을 때 전 농도에서 음용수 수질기준에 적합한 양질의 식수를 얻을 수 있었다. 노화도산 맥반석의 흡착 및 여과기능은 단일 용액으로 존재하는 중금속에서 제거효율이 가장 좋았으며 그 중에서 특히 납, 구리, 카드뮴, 그리고 비소 등을 실온에서 24시간 진탕했을 때 제거율은 각각 99.9, 99.9, 95.1, 66.5%였다.

Abstract : Extraction of minerals in deionized water and elimination effect of heavy metals in water by Nohwado Quartz Porphyry were examined. When the Nohwado Quartz Porphyry was immersed and stirred in deionized water at 0.5, 1.0, 1.5 and 2.0% concentration for 3 hours, various minerals concentration of the all stirred water were suitable for potable water. Particularly, when the lead, copper, cadmium and arsenic solution were shaked with Quartz Porphyry at 20℃ for 24 hours, the elimination rate of each mineral was 99.5, 99.9, 95.0 and 66.5%, respectively.

Key words : Quartz Porphyry, Mineral Extraction, Heavy Metal Elimination, ICP-AES

1. 서 론

회백색을 띠고 있는 맥반석은 옛 중국에서 발견되었으며 석영반암, 장석반암류에 속하는 반심성암으로서 외형은 백색의 반점이 조밀하게 박혀 있는 것이 특징이며 오래 전부터 피부병에 약효가 있는 약석으로 신비의 돌이라 구전되어 한약재로서 사용되어 왔고 본초강목[1] 등에도 그 효능이 기록되어 있다.

맥반석에 함유된 장석은 $KAlSi_3O_8$, $NaAlSi_3O_8$, $CaAl_2Si_2O_8$, $MgAl_2Si_2O_8$ 등의 화학조성으로 그 중 SiO_2는 SiO_4의 정사면체가 3차원의 입체구조를 갖는 규산염 광물로서 SiO_4 사면체와 AlO_4 사면체가 상호 1개씩 산소원자를 공유하여 결합한 권상구조의 결정격자를 가지고 있는 것으로 알려져 있다.[2] 맥반석의 작용을 살펴보면, 다공성에 의한 흡착, 무기질의 석출, 수질의 조절, 수중 용존산소량의 증가 등의 작용이 학계에 보고되어 있어서, 목욕용수, 화장품용, 약용치약, 식용수, 양어장용, 탈취용, 꽃꽂이 난, 분재용, 외용약용(고

약), 원적외선 이용 등의 용도로 사용하기 위하여 국내외에서 이에 대한 연구가 진행되고 있다.[2~7]

진 등[4]은 맥반석의 유용성에 관한 연구에서 맥반석이 중금속이온 제거능에 있어서 교환력은 방치시보다는 교반시가 우수하며 평형에 도달시간이 양호하다고 발표하였고, 이[5]는 쌀 조리과정 중 맥반석의 Cd 제거능력에 관한 조사에서 쌀 세척 과정 중에서 효과적인 Cd 제거작용이 있는 반면 오염된 쌀의 침적 과정에서는 Cd 제거효과가 미미하다고 발표하였다. 한편, 김[6]은 맥반석을 몇 가지 채소작물에 사용한 결과 발아의 경우 대조구에 비해 별다른 유의차를 발견하지는 못했으나 육묘시에는 생육을 촉진시킨다고 보고하였다. 또한 이[7]는 유황물질의 흡착에 미치는 맥반석 용액의 pH 및 전해질 함량의 영향에 관한 연구에서 용액의 pH가 증가함에 따라 유황물질인 benzyl acetate는 평형흡착량이 증가하고 phenylethyl alcohol은 감소하는 경향이 있었다고 보고하였으며, 김[8]은 맥반석에 의한 우라늄 이온 제거에 관한 보고에서 Cu^{2+}와 Cd^{2+} 이온교환 능력에 비해 우라늄의 이온교환이 미흡하다고 발표하였지만, 오늘날 환경오염의 중요한 관심사로 부각되는 방사성물질의 하나인 우라늄의 제거 가능성을 타진했다.

한편, 산업체의 경우에 있어서는 선경건설 부설 연구소에서 맥반석 개발사업을 검토한 바 있으며[3], 국립보건원에서도 맥반석을 이용한 이온용출 및 대장균실험을 연구한 바 있다.[9]

최근 환경오염 문제가 심각해지고 식생활 패턴이 건강 지향적으로 확산됨에 따라 우리가 상용하고 있는 음료수나 식품에도 중금속의 오염이 크게 우려되어 중금속을 제거하기 위한 연구가 다각적으로 진행되고 있다. 특히 Cd나 Pb와 같은 유해성 중금속의 중독을 식생활 측면에서 해결하고자 최 등[10, 11]은 동물실험과 막투과법에 의한 녹차음료를 음용시 장내 흡수억제와 같은 생리적 효과가 있는지를 수행한 바 있다. 또한 김[12]은 영일산 bentonite의 화학적 처리에 의한 흡착력 개선을 위해 methylene blue 흡착력을 조사했으며, 김 등[13]은 국내산 천연 zeolite 광물의 활성화와 폐수 중의 중금속 제거를 위해 Cd, Cu, Pb를 이용했으며, 또 다른 김 등[14]은 천연비석의 화학처리와 흡착능을 알아보기 위해 H_2O, C_2H_5OH, C_6H_6에 대한 흡착제로서의 가능성을 제시했다. 따라서 본 실험에서는 적합한 공업용수의 확보를 위해 맥반석의 미네랄 용출 및 중금속 제거능을 조사하였기에 그 결과를 보고하는 바이다.

2. 실 험

2.1. 재료 및 시약

실험에 사용된 노화도산 맥반석, 일본산 맥반석, 그리고 대조구인 화강암은 325 mesh에 통과된 분말을 재료로 사용했으며 이들에 함유된 성분 분석은 한국공업규격방법[15]으로 하였고, 맥반석의 다공성 확인은 SEM(JEOL JSM-6400, JAPAN)을 통하여 살펴보았다. 맥반석의 성분 조성은 *Table* 1과 같다. 또한 실험에 사용한 증류수는 17MΩ 이상 되는 탈이온수(NATO pure ultra system, Barnstead, U.S.A)였으며, 기타 일반시약은 특급시약을 사용하였다.

Table 1. Elemental analysis of samples used

unit : %

Item	Granite	Quartz Porphyry	
		Nohwado	Japan
SiO_2	72.9	64.2	69.76
Al_2O_3	12.7	14.7	14.01
Fe_2O_3	2.86	7.49	1.29
CaO	2.59	3.22	2.00
MgO	0.67	2.03	3.55
K_2O	2.17	2.23	3.19
Na_2O	3.92	2.33	3.16
TiO_2	0.35	0.89	0.30
P_2O_5	0.08	0.54	0.26
MnO	0.08	0.11	0.02

2.2. 미네랄 용출

증류수에 노화도산 맥반석, 일본산 맥반석, 그리고 대조구인 화강암을 250*ml* 삼각플라스크에 시료와 증류수를 무게비로, 즉 0.5, 1.0, 1.5, 2.0% 되게 달아 넣고 진탕기(180rpm, 비전과학〈주〉)에서 3시간 교반한 후 일정량을 시험관에 취하여 3,000rpm에서 원심분리(비

Table 2. Operating conditions of ICP-AES for mineral analysis

Power		1KW for aqueous
Nebulizer pressure		3.5 bars for meinhard type C
Aerosol flow rate		0.3*l*/min
Shealth gas flow		0.3*l*/min
Cooling gas		12*l*/min
Wavelength(nm)	Ca	393.366
	Mg	279.553
	Na	588.995
	K	766.490
	Fe	238.204
	Mn	257.610
	As	193.759
	Cd	214.438
	Cu	324.754
	Pb	220.353

전과학(주))하였다. 상등액을 취해 Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometer(Jobin Yvon JY 38 plus, France, 이하 ICP-AES로 함)로 분석하여 미네랄용출을 비교 조사하였다. 이 때 ICP-AES의 작동조건은 *Table* 2와 같다.

2.3. 농도에 따른 중금속 제거

맥반석의 중금속 제거효과를 살펴보기 위하여 증류수에 Pb, Cd, As, Cu 등의 표준물질을 각각 50ppm 농도로 제조하였다. 이 때 맥반석 및 대조구인 화강암의 농도는 1, 3, 5, 7, 10%로 하여 250m*l* 삼각플라스크에 넣어 12시간 교반한 후 일정량을 시험관에 취하였다. 맥반석과 대조구의 농도에 따른 중금속의 제거효과는 2·2와 동일한 방법으로 분석하여 검토하였다.

2.4. 침지시간에 따른 중금속 제거

맥반석 농도에 따른 중금속 제거 실험에서 그 효과가 가장 높은 농도는 Pb의 경우 노화도산 맥반석은 5%, 대조구인 화강암은 10%, Cd는 각각 10, 10%, As는 10, 10%, Cu는 7, 10%였으며 2.3과 동일한 방법으로 처리하여 전체적으로 24시간 동안 교반하면서 1, 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24시간이 경과될 때마다 일부 용액을 취하여 중금속의 제거율을 조사하였다. 이 때 일본산 맥반석은 노화도산 맥반석과 같은 농도로 조제하였고 초기 중금속의 농도는 각각 50ppm이었다.

2.5. 혼합된 용액에서의 중금속 제거

산업체에서 배출되는 폐수는 단일 성분의 중금속 뿐만 아니라 여러 가지 성분이 혼합된 폐수의 방출이 가능하므로 혼합된 유해 중금속 성분을 인공적으로 제조하여 분석하였다. 증류수에 Pb, Cd, As, Cu 표준용액을 첨가하여 50ppm 농도로 조제한 다음 2.4와 같이 최적화된 자료를 이용, 같은 방법으로 처리하여 혼합된 중금속 용액에서 2, 4, 6, 8, 10, 12, 24시간에 따른 중금속 제거 경향을 관찰하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 미네랄 용출

증류수에 맥반석을 첨가하여 용출되는 무기질을 측정, 비교 조사한 결과 *Table* 3과 같다. Ca의 경우 노화도산과 일본산 맥반석은 0.5%의 농도에서 각각 8.25, 7.77ppm이 용출되었고, 맥반석의 농도가 증가함에 따라 약간 감소하는 추세를 보였다. 그러나 화강암에서는 2% 농도에서 10.37ppm으로 가장 높은 Ca이 석출되었다. Mg은 비교적 맥반석의 농도가 높을수록 용출되는 양이 증가하는 경향을 보였고, 특히 화강암 2%에서 약 0.59ppm으로 가장 많이 용출되었다. 또한 Na과 K, Fe도 농도가 높을수록 용출량이 증가하였으며 화강암 0.5% 농도에서 Na과 K의 검출량은 각각 0.04, 0.62ppm이었다. Fe는 일본산 맥반석과 화강암에서 많은 양이 검출되었는데, 우리나라 음용수 수질기준[10]인 0.3ppm에 비해 일본산은 최소 1.5배에서 최대 3.5배 이상 높은 결과가 나왔으며, 화강암은 1.9에서 7.5배로 철의 함량이 기준치에 훨씬 웃도는 경향을 보였다. 그러나 노화도산 맥반석은 각 농도에서 Fe의 음용수 수질기준보다 낮은 0.25에서 0.29ppm으로 매우 적합하였다. 그리고 Cu, Pb, As, Cd 등을 분석한 결과 음용수

Table 3. Mineral composition of deionized water immersed with Quartz Porphyry and stirred at 180rpm for 3 hours

unit : ppm

		Ca	Mg	Na	K	Fe	Mn	Cu	As	Cd	Pb
Deionized water		0.10	N.D	N.D	N.D	N.D	0.01	N.D	N.D	N.D	N.D
Nohwado (%)	0.5	8.25	0.16	0.48	1.12	0.26	0.03	0.02	N.D	N.D	N.D
	1.0	6.69	0.22	0.83	1.90	0.27	0.02	0.02	N.D	N.D	N.D
	1.5	5.84	0.19	1.09	2.37	0.29	0.01	0.02	N.D	N.D	N.D
	2.0	6.67	0.23	1.52	3.40	0.25	0.02	0.02	N.D	N.D	N.D
Granite (%)	0.5	4.81	0.16	0.04	0.62	0.58	0.02	0.02	N.D	N.D	N.D
	1.0	7.75	0.30	0.10	1.31	1.02	0.04	0.02	N.D	N.D	N.D
	1.5	8.60	0.40	0.13	1.53	1.45	0.04	0.01	N.D	N.D	N.D
	2.0	10.37	0.59	0.19	1.81	2.26	0.04	0.01	N.D	N.D	N.D
Japan (%)	0.5	7.77	0.07	0.66	1.27	0.46	0.03	0.01	N.D	N.D	N.D
	1.0	5.30	0.06	1.27	1.88	0.56	0.02	0.01	N.D	N.D	N.D
	1.5	4.46	0.09	1.90	2.65	0.98	0.02	0.01	N.D	N.D	N.D
	2.0	4.13	0.10	2.42	3.03	1.14	0.02	0.00	N.D	N.D	N.D

N.D=Not detected

수질기준 이하이거나 거의 검출되지 않았다. 따라서 일본산 맥반석과 화강암이 미네랄 용출에 이용될 때에는 부적합한 것으로 판명되었다.

한편, 국립보건원[9]의 자료에서는 맥반석의 이온 용출량 실험에서 증류수에 맥반석을 10% 첨가시 Cu와 Fe, 그리고 Mn은 검출되지 않은 반면 Ca, Mg, Na, K 등은 음용수 수질기준 이상의 수치를 나타내었다.

산지별 맥반석의 조성을 살펴보면(*Table* 1) 일본산은 노화도산에 비해 Al_2O_3, Fe_2O_3, CaO, TiO_2, P_2O_5 등이 비교적 풍부한 반면, SiO_2, MgO, K_2O, Na_2O 등이 낮은 함량을 보이고 있다. 우리나라의 맥반석 분포면적은 총 5,615km^2에 달하고 있으며 지역별 분포면적을 보면, 경상남도가 2,081km^2로 가장 많은 분포 면적을 나타내고 있으며, 그 다음으로 경상북도가 1,480km^2, 전라남도 1,442km^2, 전라북도가 558km^2로 나타나고 있다.[17] 현재 맥반석을 채석하여 상품화하고 있는 전남 완주군 노화도산 맥반석의 추정 매장량은 약 120만톤에 이르고 있으며 1994년 기준시 연간 채석량은 10,000M/T로 앞으로 120년간 공급할 수 있는 양에 해당된다. 따라서 노화도산 맥반석은 쥬스, 건강음료, 주류, 전통음료 등을 제조하는 식품가공업체에서 가장 중요한 원료인 식수를 노화도산 맥반석으로 여과하여 정수하면 양질의 정수 확보가 가능하고 부존량이 풍부한 맥반석의 활용도 병행할 수 있어 일거양득의 효과를 얻을 수 있을 것이라 판단된다.

3.2. 농도에 의한 중금속 제거

맥반석의 농도에 따른 Pb 제거 효과를 살펴본 결과는 *Fig* 1과 같다. 노화도 맥반석은 농도가 높아질수록 이온 교환능도 증가하여 5% 농도에서는 0.1ppm이 검출되어 Pb 제거율은 약 99% 이상인 반면 화강암은 비교적 완만한 하강곡선으로서 10% 농도에서 7ppm이 측정되어 약 86%의 Pb가 제거되었다. 따라서 Pb의 제거는 맥반석 이용시 화강암에 비해 적은 농도를 사용

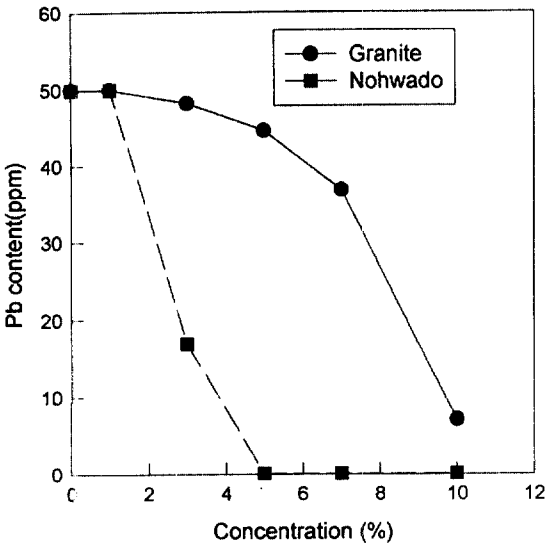


Fig. 1. Effect of Quartz Porphyry concentration on Pb elimination in water

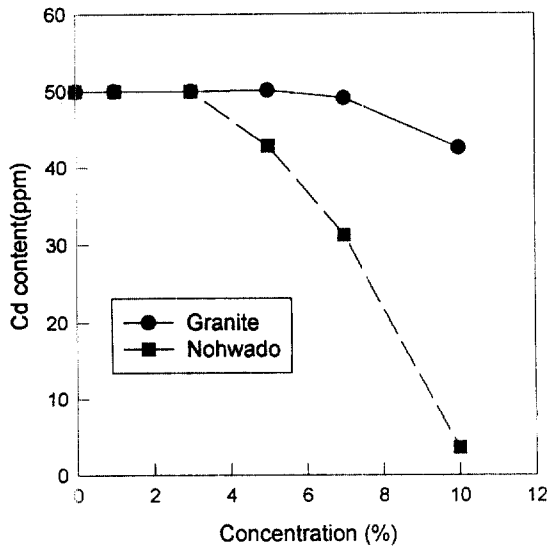


Fig. 2. Effect of Nohwado Quartz Porphyry concentration on Cd elimination in water

하여 그 효과는 극대화시킬 수 있었다.

맥반석을 이용한 Cd 제거양상을 관찰한 결과 *Fig.* 2에 도시한 바와 같이 그 제거율은 맥반석 7%와 10% 농도의 사이에서 급격하게 변화되어 10% 농도에서 3.5ppm이 검출되어 약 93%가 제거되었다. 그러나 대조구인 화강암의 경우 7%까지도 일정한 수준을 유지하다가 10% 농도에서 46ppm이 측정되어 제거율은 약 8%로 미미하였다. 이러한 사실로부터 맥반석은 화강암에 비해 이온교환력이 약 10배 이상 우수함을 알 수 있었다.

한편, As 제거경향을 조사한 결과 *Fig.* 3과 같았으며, 맥반석과 화강암의 As 제거는 농도에 따라 다소 차이

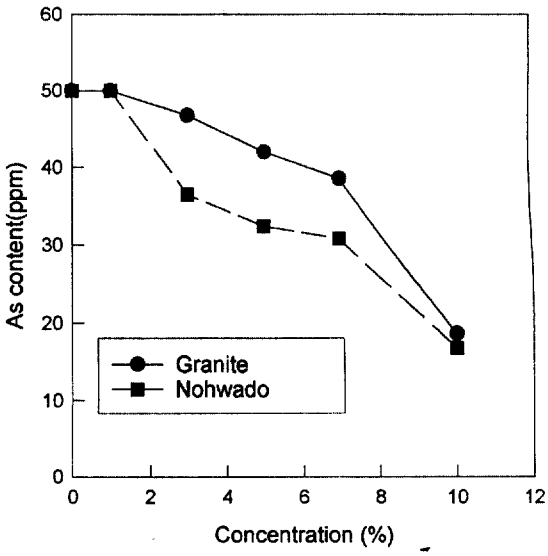


Fig. 3. Effect of Nohwado Quartz Porphyry concentration on As elimination in water

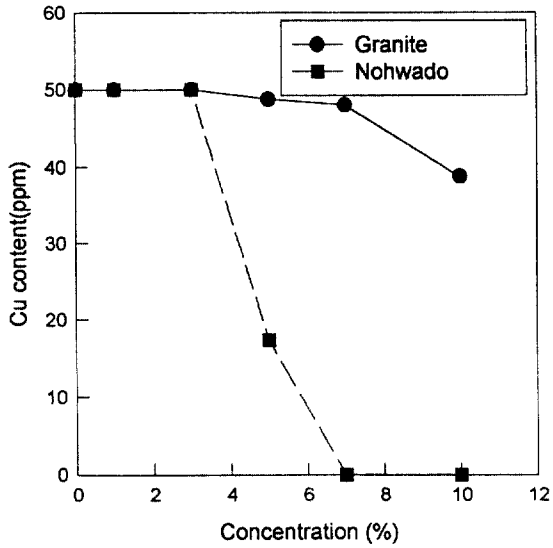


Fig. 4. Effect of Nohwado Quartz Porphyry concentration on Cu elimination in water

는 있으나 맥반석 10% 농도에서 66%, 화강암 10%일 때 63%의 As가 제거됨에 따라 다른 중금속과 비교해 볼 때 전반적으로 제거율은 현저하게 저조하였다.

그러나 Cu 제거(*Fig.* 4)는 맥반석의 경우 Pb의 결과와 매우 유사하였는데, 맥반석의 농도인 3%와 7% 사이의 농도에서 Cu의 이온교환능은 신속하게 이루어져 그 제거율은 약 99% 이상 된 반면, 화강암은 완만하게 감소되었다. 이러한 사실에 근거하여 동일한 7% 농도를 비교할 때 맥반석이 약 95배 이상 월등하였다.

이상과 같이 맥반석농도에 의한 유해물질 제거효과를 고찰한 결과, As 제거율만 보편적으로 저조했을 뿐 Pb, Cu, 그리고 Cd 제거는 농도에 따라 차이는 있으나 93%~99% 이상이 제거되었다.

3.3. 침지시간에 따른 중금속 제거

시간에 따른 Pb 제거는 *Fig.* 5와 같이 노화도산 맥반석이 1시간 경과 후 0.1ppm이 검출되어 약 99% 이상이 제거되었으며, 일본산은 39.7ppm, 약 20.6%, 대조구인 화강암은 20.7ppm 검출, 약 58.6% 제거되는 것으로 보아 노화도산 맥반석이 가장 월등하였으며, 전반적으로 시간이 경과함에 따라 Pb는 감소하는 경향을 나타냈다. 24시간 경과 후 일본산 맥반석의 Pb 제거율은 36.2%로 87.5% 제거된 화강암보다 저조하였다.

진[4] 등은 Pb 50ppm 용액에서 50 mesh로 분쇄한 맥반석(산지와 종류 알 수 없음)을 이용, 최대 제거능력이 20일이 경과 후 kg당 Pb 32.9g이라고 보고한 데 비해 본 연구결과는 *Fig.* 5에 도시한 것처럼 1시간 반응한 결과 0.1ppm이 검출되어 kg당 Pb가 약 1.0g이 제거되었다. 한편, 김[18]은 경상북도 청도산 맥반석(200 mesh를 사용) 0.1% 농도인 pH 2.4에서 3분 후 Pb가 전부 소멸되었다고 밝힌 바 있다.

Cd의 제거율은 *Fig.* 6과 같이 노화도산 맥반석이 비

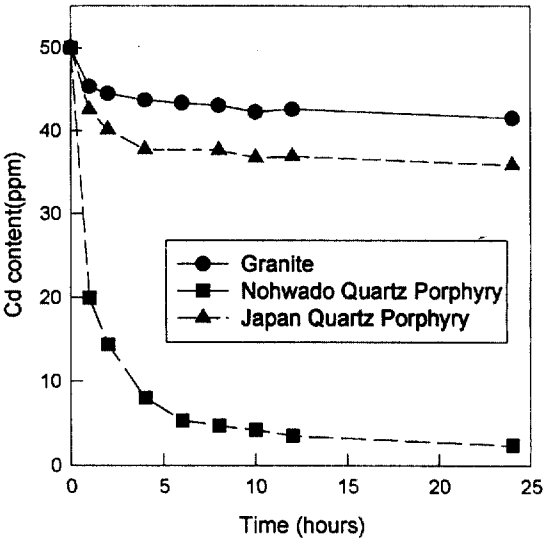


Fig. 6. Effect of stirring time on Cd elimination in water

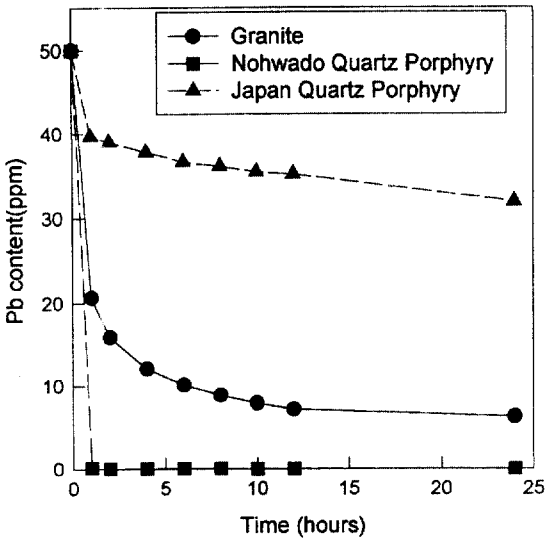


Fig. 5. Effect of stirring time on Pb elimination in water

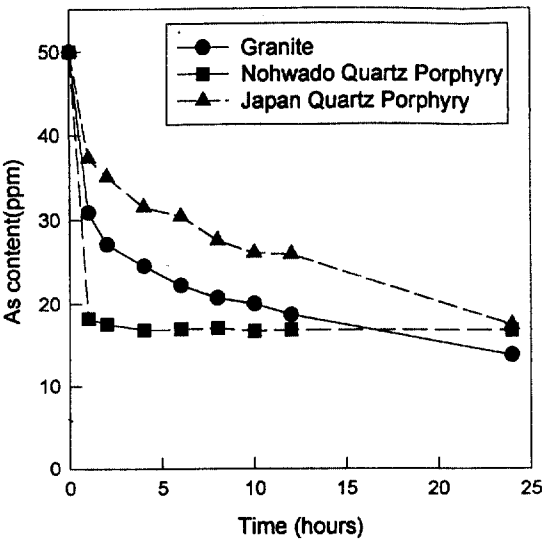


Fig. 7. Effect of stirring time on As elimination in water

교적 양호하였는데, 1시간 후 분석한 결과 19.9ppm이 검출되어 약 60% 제거, 6시간 후 5.3ppm으로 약 90%, 24시간 이후에는 2.4ppm이 검출되어 약 95% 이상이 제거된 반면, 일본산과 대조구인 화강암은 24시간 경과 후에도 각각 28%, 17%만 제거되었다.

한편, 추[19]는 Cd의 경우 교반시 맥반석(산지와 종류 알 수 없음)의 최대 제거능력은 kg당 Cd가 9.9g이 제거되었고, 김[18]은 산성 용액보다는 알칼리성 용액에서 Cd 제거능이 월등하다고 보고하였다. 이[5]는 오염된 쌀에 대한 조리과정 중 맥반석(산지와 종류 알 수 없음)의 첨가가 Cd 제거효과에 큰 영향을 미친다고 발표한 바 있다. 또한 국립보건원[9]에서 분석한 맥반석(산지와 종류 알 수 없음)의 이온용출 및 흡착효과 자료에 의하면 유해 중금속인 1ppm Cd 용액에 10%의 맥반석을 첨가했을 때 10시간에 거의 제거되었다고 기록되었다.

이와 같이 맥반석의 Pb, Cd 제거능이 본 연구 결과와 상이한 것은 맥반석 산지에 따른 SiO_2 함량차이와 맥반석의 분쇄 정도, 즉 입자 크기에 따라 Pb, Cd 제거능이 차이가 나는 것으로 보아 중금속 제거시 맥반석의 입자 크기를 가능한 한 작게 하면 상대적으로 표면적이 넓게 됨으로써 효율적인 효과를 얻을 것으로 판단된다.

한편, 시간에 따른 As 제거효과는 대조구인 화강암에서 상이한 경향을 보였는데, 노화도산은 1시간이 지난 후부터 평형에 도달하여 18.2ppm으로 약 63% 이상이 감소되었고 24시간 경과 후에는 16.7ppm으로 약 66%가 소멸되어 평형상태에 도달되었다. 그러나 화강암은 시간이 흐름에 따라 단계적으로 제거되어 최종 24시간 이후에는 그 제거율은 약 72.4%로 가장 높았으며, 이 때 일본산 맥반석은 65.2%로 그 결과는 *Fig.* 7과 같다.

Cu의 제거는 노화도산이나 일본산 모두 1시간 경과 후에 각각 0.2, 0.4ppm으로 99% 이상이 제거된 반면 화강암은 40.8ppm으로 약 18%가 감소되는 양상이 관찰되었다. 그 결과는 *Fig.* 8과 같다.

지금까지 시간에 따른 각 중금속 제거효과를 조사한 결과, 노화도산이 일본산 맥반석에 비해 전반적으로 우수하였고, 이와 같은 실험결과는 노화도산 맥반석이 가장 중요한 성질인 다공성이 비교적 풍부했기 때문으로 사료된다(*Fig.* 9). 맥반석이 중금속을 흡착하는 기작은 맥반석이 갖고 있는 다공성 성질이 표면적을 크게 하여 분자간 반응에 의하여 고체의 촉매 표면에 흡착원자를 끌어 들여 (+)이온과 (−)이온작용에 의하여 석출된 무기질의 용출, 고체의 촉매작용에 의한 물리적 흡착이나 화학적 흡착작용에 기인한 것으로 추정되고 있다.[2]

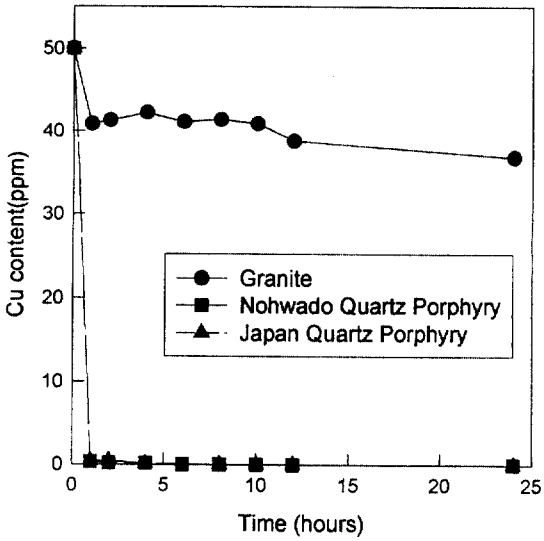
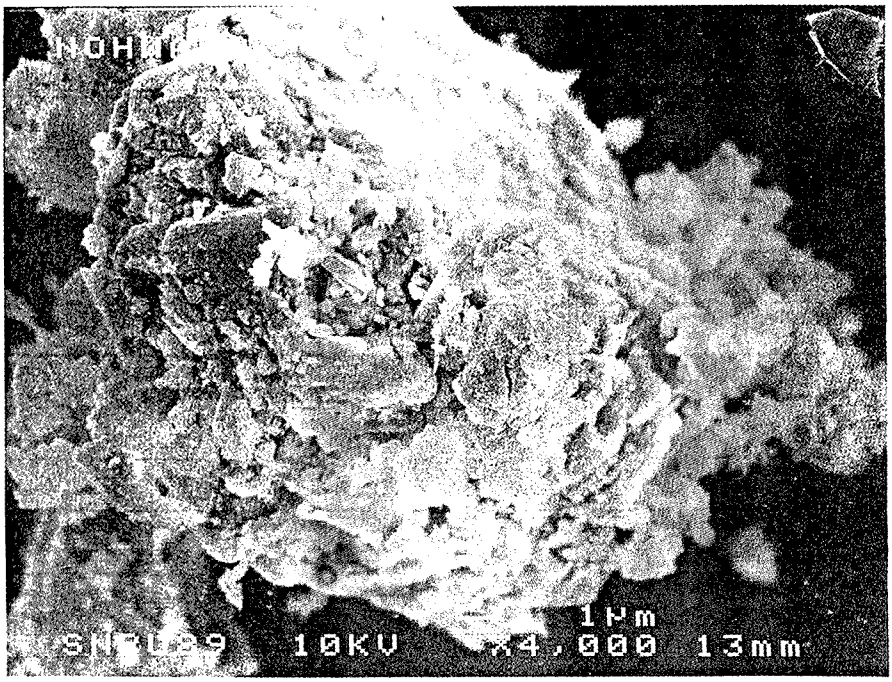


Fig. 8. Effect of stirring time on Cu elimination in water

3.4. 혼합된 중금속의 제거

Pb, Cd, As, Cu 등이 혼합된 중금속액을 50ppm 농도로 제조하여 시간에 따른 제거 양상을 검토한 결과 *Table* 4와 같으며 혼합된 수용액에서 Pb는 노화도산 맥반석, 화강암, 일본산 맥반석순으로 2시간 경과 후 각각 19.7, 40.7, 51.7ppm으로 약 60, 20.8% 제거된 반면, 일본산 맥반석은 3.4% 증가되었고 시간이 경과함에 따라 일본산 맥반석을 제외하고는 큰 차이를 발견할 수 없었으며 24시간 후에는 각각 18.3, 33.5, 34.4 ppm으로 분석되어 63, 32.8, 31.1%가 제거되었다. Cd는 노화도산 맥반석과 화강암의 경우 시간에 상관 없이 약 12.0% 감소로 일정한 경향이었으며 일본산은 반응 2시간부터 급격히 증가하다 시간이 흐름에 따라 서서히 감소하여 24시간 경과 후 2.2%가 제거되었다. 한편, As는 단일 수용액 결과에서는 제거율이 약 66%로 상대적으로 저조했으나 혼합용액에서는 특이한 현상으로 노화도산 맥반석은 2시간 이후부터 99.9% 이상 제거된 반면, 화강암과 일본산 맥반석은 제거율이 미

A



B

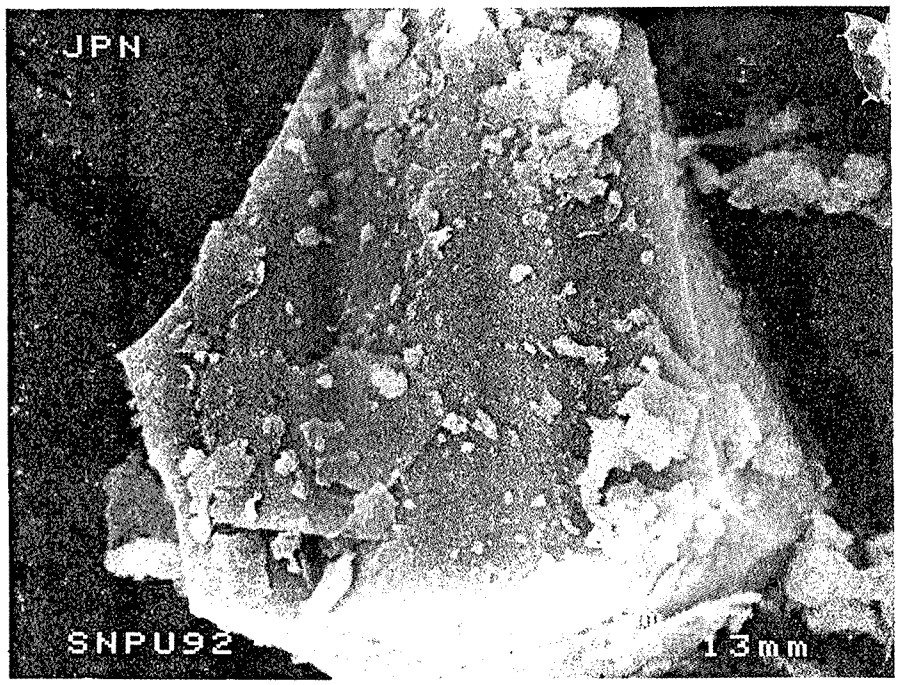


Fig. 9. SEM photographs of Quartz Porphyry :
A : quartz porphyry of Nohwado　B : quartz porphyry of Japan

Table 4. Effect of stirring time on elimination of various heavy metals from mixed solution

unit : ppm

T	Pb			Cd			Cu			As		
	N	J	G	N	J	G	N	J	G	N	J	G
2	19.74	51.72	40.76	44.09	66.68	42.28	68.15	52.77	40.77	ND	43.99	37.55
4	19.82	49.61	39.41	43.82	63.23	44.40	70.66	51.75	41.47	ND	37.10	36.60
6	19.84	45.56	41.52	43.69	61.34	44.75	75.76	50.50	47.79	ND	28.58	35.45
8	20.61	41.85	40.54	46.52	55.85	44.47	83.22	48.92	43.02	ND	26.13	34.43
10	19.72	38.96	40.04	43.93	52.27	43.66	80.86	47.86	44.13	ND	22.80	34.12
12		37.89	37.55		50.99	44.39		47.15	45.10	ND	20.96	31.91
24	18.28	34.43	33.58	47.15	48.95	44.38	98.96	47.13	48.39	ND	14.22	25.37

T : time(hour) N : quartz porphyry of Nohwado J : quartz porphyry of Japan
G : Granite ND : Not detected

미했는데, 최종 24시간에는 각각 25.4, 14.2ppm으로 약 49%, 71%가 제거되었다. 한편, Cu는 노화도산 맥반석의 경우 지금까지의 연구 결과와는 상충된 결과가 조사되었는데, 즉 초기 50ppm보다 시간이 경과함에 따라 반응 2시간 후에는 68.18ppm이 분석되어 Cu 함량은 초기농도보다 약 36% 증가하는 현상을 보였으며 24시간에는 98.96ppm으로 약 98%로 급격히 증가하는 추세였다.

그러나 홍[20]에 의하면 타이온 공존시, 즉 Pb, Hg, Cd 혼합용액(50ppm) 중의 Pb의 제거력은 단일용액에 비해 훨씬 증가하며, Cd와 Cu도 일반적으로 3~4배 증가한다고 발표한 반면, *Table* 4에 기술한 바와 같이 노화도 및 일본산, 그리고 화강암 등은 As를 제외하고는 혼합용액에서 전반적으로 홍[20]의 결과와 다른 양상을 보였으며 특히 단일용액에 비해 현저하게 감소하였다.

이와 같은 결과는 홍(맥반석〈50mesh를 사용〉 산지 알 수 없음)[20]과 미네랄 용출 실험 결과(*Table* 3)와 상반되는 것으로서, 이러한 현상의 원인은 맥반석의 종류 또는 7%의 노화도 맥반석에서 용출된 Cu와 혼합된 용액 속의 Cu, 즉 단일 표준 용액에 함유된 질산에 비해 혼합된 표준 용액 속의 질산농도가 4배 이상 높은 관계로 촉매작용을 유발시켜 맥반석 속의 Cu를 상대적으로 유출을 야기시킴에 따라 Cu 함량이 증가하는 경향을 보인 것으로 추측된다. 이와 같이 Cu 함량의 증가 원인을 설명하기 위하여 노화도산 맥반석의 농도를 7%로 고정시킨 다음 표준 용액 속의 질산농도와 동일하게 제조한 후 단일 수용액 속의 산과 동일한 농도, 2, 3, 4배를 가해 1시간 반응시킨 다음 원심분리하여 노화도산 맥반석에서 질산 용액에 의해 용출된 Cu를 실험한 결과 0.10, 0.19, 0.34, 0.50ppm이 검출되었다. 이때 노화도산 맥반석과 일본산 맥반석의 Cu 함량을 분석한 결과 노화도산 맥반석의 경우 0.05%의 함량이 들어 있는 반면, 일본산에서는 검출되지 않았다. 따라서 이 결과에 의하면 단일수용액에 비해 혼합된 용액에서 약 5배의 Cu량이 증가했으므로 혼합된 용액의 중금속 제거에 있어서 산의 농도도 중요한 변수임을 알 수 있었다.

이상과 같이 중금속 혼합용액에서는 단일 수용액과는 달리 전반적으로 중금속 제거율이 현저히 떨어지는 경우와 급격히 증가하는 원인은 추후 실험을 통해 좀 더 규명해야 할 것이다.

4. 결 론

노화도 맥반석의 미네랄 용출 및 이온교환능의 특성을 조사한 결과 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 노화도 맥반석의 경우 0.5%~2.0% 농도에서 음용수에 적합한 양질의 식수를 얻을 수 있다.

2. 최적화된 농도를 이용하여 시간에 따른 중금속 제거 능을 조사한 결과 납의 경우 1시간만에 99%, 카드뮴은 24시간 경과 후 95%, 비소의 경우 5시간만에 66%, 구리는 1시간 경과 후 99% 이상이 제거되어 화강암이나 일본산 맥반석에 비해 국내산이 더 우수한 것으로 나타났다.

3. 인공적으로 혼합한 중금속 용액에 맥반석을 투여한 결과 비소의 경우 1시간 이내에 약 99% 이상이 제거되었을 뿐 그 외 중금속은 단일 용액에 비해 중금속 제거능이 현저히 감소하였다.

감사의 글

본 연구는 1995년도 농림수산 특정연구 사업비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. 李時珍, *本草綱目*, **10**, 30-31, 臺灣商務印書館印行 (1968).
2. 麥飯石, 日本 ジェムファクトリー, 西尾.
3. 鮮京建設(株) 附設研究所, 麥飯石 事業 檢討, (1991).
4. 陳甲德 · 李神雄 · 李壽根, *資源問題研究*, **5**, 55-68 (1986).
5. Wha-Ja Lee, Ms., Thesis, Kyongbook, YeungNam University(1988).
6. 김희성, 석사학위논문, 서울여자대학교 대학원, 서울 (1983).
7. 李永雲, 碩士學位論文, 中央大學校 大學院, 서울 (1983).
8. 金章沃, 碩士學位 論文, 嶺南大學校, 경북(1989).
9. 맥반석의 이온용출 및 흡착효과평가, 국립보건원 (1991).
10. 최성인 · 이정희 · 이서래, *한국식품과학회지*, **26**(6), 745-749(1994).
11. 최성인 · 이정희 · 이서래, *한국식품과학회지*, **26**(6), 740-744(1994).
12. 김면섭, *대한화학회지*, **16**(4), 241-248(1972).
13. 김진만 · 최경수 · 권숙문 · 신방섭, *대한광산학회지*, **19**, 306-312(1982).
14. 金淙澤 · 孫宗洛 · 崔遠馨 · 金海源, *한국화학회지*, **17**(5), 331-344(1979).
15. 한국공업규격, 내화벽돌의 화학분석방법, 한국규격협회, KSL3120(1971).
16. 한국식품과학회 국제심포지움, "광천음료수(생수)의 품질관리와 미생물", *한국식품과학회*, p. 56-60, 서울, (1992).
17. 한국식품개발연구원, 맥반석 가공제품의 식품 저장, 가공 활용을 위한 기초 연구조사, p. 21-29, 경기도 (1995).
18. 金銀實, 碩士學位論文, 成均館大學校, 서울(1989).
19. 秋淵在, 碩士學位論文, 嶺南大學校, 경북(1974).
20. 洪性律, 碩士學位論文, 嶺南大學校, 경북(1986).