

폐패각을 이용한 수처리에 관한 연구

이민호 · 정태섭*

광양전문대학 제철금속과, *전북대학교 환경공학과

A Study on the Water Treatment using Shell Waste

Min-Ho Lee and Tae-Seop Jeong*

Department of Metallurgical Engineering, Kwang Yang College

*Department of Environmental Engineering, Chonbuk National University

요 약

조개껍질(굴, 고막)을 수처리제로 활용하기 위한 기초 실험으로 중금속(Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn)과 유기성분(TCE(Trichloroethylene)와 PCE(Tetrachloroethylene))의 흡착능을 조사했다. 수산화칼슘으로 이루어진 굴과 고막 껍질의 소성 분말 주입에 따른 중금속 제거효율은 Mn, Zn, Fe, Cd, Cu, Pb의 순이었다. 우수한 중금속 흡착능은 조개껍질의 Ca(OH)₂ 성분에 의한 높은 pH유지에 따른 중금속 탄산염과 수산화물의 형성에 의한 침전작용, 조개껍질의 칼슘 매트릭스 구조에 의한 중금속의 고정화와 잔존하는 불용성 유기물의 결합 등의 작용이라고 본다. 이와 같은 껍질질은 침출수의 중화작용과 동시에 우수한 중금속 흡착능을 가지고 있어, 이것을 수처리로 활용될 경우, 저렴한 재료의 확보와 더욱이 부가가치가 높은 폐부산자원을 활용한 정화용 세라믹스 담체의 개발로 폐부산자원 폐기처리 문제 이외의 환경정화용 세라믹스 및 담체 등의 환경분야 사업으로 확장 발전시킬 수 있다고 본다

주제어: 조개껍질, 중금속, 유기 화합물, 흡착, 수처리

ABSTRACT

Adsorption properties of heavy metals (Cd, Cu, Fe, Mn, Pb, Zn) and organic compounds (Trichloroethylene and Tetrachloroethylene) on shell(oyster and ark shell) were investigated using water treatment materials. The shell powder (major crystal structure is calcium hydroxide) showed the preference adsorption for heavy metals in order of Mn > Zn > Fe > Cd > Cu > Pb. The high removal capacities of heavy metals are believed to be largely due to precipitation by formation of metal carbonates and hydroxides at high pH caused by the Ca(OH)₂ component of shell, immobilization of heavy metals in a solid matrix by calcium, and fixation by insoluble organic materials in the oyster and ark shell. The use of shell in water treatment has the potential to be beneficial as a source of inexpensive materials, moreover, not only treatment of waste but also environmental business including environmental-purification ceramics could be better off by utilizing high-valued waste and developed purification ceramics and media.

Key words: Shell, heavy metal, organic compound, adsorption, water treatment

1. 서 론

수질오염을 유발하는 주요인으로는 경제 사회의 여건 변화와 자연적 요인으로 대별할 수 있으며 이중 경제성장과 산업구조의 변화에 따른 영향으로 공장폐수 및 산업폐물이 다량 배출되고 있다. 이러한 산업폐수는 비단 유기물 뿐

아니라 배출수계를 중심으로 다양한 경로를 통하여 수질오염을 유발한다. 특히, 최근 수자원의 부족이 심화되고 있는 여건에서 이와 같은 산업폐수 및 폐기물의 배출은 수질오염 뿐아니라 수자원의 가치하락과 부존량의 축소를 유발하여 국가 경제에 직접 영향을 미친다. 이와 같은 배경으로 날로 악화되고 있는 상수원 수질개선의 필요성이 제기되어 국내

의 많은 상수도시설에 선진국에서 이미 일반화되어 있는 고도정수처리시설의 도입이 적극 추진되고 있다.¹⁾

환경에 방출된 다양한 형태의 중금속이온은 안정하여 특별한 처리를 하지 않으면 장기간 토양이나 수체에 잔류하며 환경오염을 가중시키므로 폐수나 폐기물에 존재하는 중금속은 환경에 환원시키기 전에 적절히 제거되어야 한다.²⁾

무기이온 교환체의 역사는 토양이 지닌 양이온 교환능이 발견된 1850년 까지 거슬러 올라간다. 이처럼 무기이온 교환체는 오랜 역사가 있으나, 수처리제로서의 본격적인 연구 및 활용은 제올라이트를 제외하면 20년 정도에 지나지 않는다.³⁾

한편, 금속보유량이 높은 토양시료를 증류수로 회석하면 금속의 유출을 관찰할 수 있으나, 낮은 금속 농도를 가진 토양시료에서는 금속 유출이 없다. 이러한 원인은 토양이 보유하는 금속농도가 낮은 경우에는 금속과의 결합상태가 매우 강한 비가역적 결합을 이루기 때문이다. 그러나 높은 농도에서는 토양과의 약한 결합으로 인한 용이한 탈착이 그 원인이라고 하였다.⁴⁾

중금속이 함유된 정수처리는 일반적으로 응집, 흡착 및 이온교환의 방법이 적용되고 있다. David 등⁵⁾과 Richard 등⁶⁾은 이온 교환수지를 이용하여 지하수에 함유된 경도 유발 물질과 방사능 물질, 질산염, 비소 등의 처리 방법에 대한 연구를 하였고, Williams 등⁷⁾은 활성알루미늄을 이용하여 Mg, Ca, Sr, Ba, Pb 등의 alkali metal의 처리가 가능하다고 보고한 바 있다. 또한 Huang⁸⁾은 주로 유기물의 처리에 적용되어 왔던 활성탄이 자연수에 존재하는 미량의 Cd 및 Cr을 흡착할 수 있으며 기타 중금속 처리도 가능한 것으로 조사되었다. Dugger 등⁹⁾과 Anderson¹⁰⁾은 실리카겔을, Laxen¹¹⁾은 metal oxide를 이용하여 As, Cu, Cd, Fe, Pb, Zn 등의 중금속의 처리를 연구하였으며, Sorg 등¹²⁾은 전기분해 등의 방법을 제시하였다. 이외에도 Dennis 등¹³⁾은 막공법이 정수처리에 이용된다고 하였다. 그러나 막분리 공정은 처리수의 고형물 농도가 극히 낮고, 처리 대상 물질의 농도가 높은 폐수처리에 효율적이나, 초기 투자비가 높아 회수처리하여 재사용 가능한 고가의 중금속 폐수처리에 주로 이용된다. 활성탄을 이용한 흡착 처리법은 주로 유기물의 처리에 이용된 방법이나 유기성 형태의 중금속을 처리하는데 높은 처리효율을 보이고 있다. 그러나 흡착 후 발생하는 활성탄의 재생과정이 복잡한 단점이 있다. 활성알루미늄 흡착법은 사용한 알루미늄의 활성도를 재현시키기 위한 열처리 공정이 수반되며, 이온 교환 방법은 중금속 및 기타 이온에 대한 처리효율이 높으나, 초기 투자비가 높고, 재생시 발생하는 재생 폐액의 처리가 요구되는 문제가 있다.¹⁴⁾

한편, 수돗물 생산과정의 원수에 함유된 dissolved organic carbon(DOC)은 염소처리(chlorination)에 의하여 먹는 물에 부산물을 잔류시키며,¹⁵⁾ 일반적으로 total organic halide(TOX)로 통칭된다. 이 유기염소계화합물 중 휘발성 유기화합물류인 1,1,1-trichloroethane, trichloroethylene, tetrachloroethylene, benzene, toluene, xylene, ethylbenzene, dichloromethane, 1,1-dichloroethylene, carbon tetrachloride 등은 먹는물에서 엄격한 수질기준을 정하여 규제하고 있다.

기존의 연구들은 이들 물질의 제거 기술로 털기법(air stripping)과 활성탄 흡착, coal ash 흡착, 오존산화, 촉매를 이용한 광분해, 미생물을 이용한 생흡착 등을 제안하고 있다. 이 중 가장 경제적인 방법은 입상활성탄을 이용한 흡착법으로 알려져 있다. 여러형태의 흡착기구 중에서 화학적 흡착은 표면분자의 잔여 원자가 힘(force of residual valence)에 의하여 흡착질(adsorbates)의 단분자층(monomolecular layer)을 형성하며 물리흡착에서는 매디아의 모세공(capillary pore) 중에서 분자 응축이 일어난다. 일반적으로 분자량이 큰 물질일수록 흡착이 쉽고, 평형계면농도가 빨리 형성되어 탄소입자내부로의 확산이 그 뒤에 느리게 일어난다. 따라서 총괄 흡착속도는 탄소입자의 모세공안으로 용질 분자의 확산속도에 의하여 제어된다.¹⁶⁾ 이 속도는 입자지름의 제곱의 역에 따라 달라지며 용질농도가 높으면 증가하고, 온도가 올라가면 커지며, 용질분자량이 커지면 감소한다. Morris와 Weber¹⁷⁾에 의하면 흡착속도는 흡착제와 접촉 시간의 제곱근에 따라 달라진다고 하였다.

본 연구는 중금속과 유기염소화합물의 제거에 양식업으로부터 야기되는 폐칼슘제 분말 및 pellet로 가공된 담체를 흡착제로 적용하여 기초적 제거 특성과 수처리 효율을 평가하여, 산업폐기물로 발생되는 칼슘계 폐부산자원을 재활용하고 이것을 재료로하여 환경정화에 이용하려는 목적으로 향후, 조개양식업 부근이나 해안에 쌓여 있는 조개껍질의 처리문제가 쉽게 해결될 뿐만 아니라 개발에 이용되는 재료 등도 우리 주위에서 쉽게 구할 수 있는 것으로 그 활용가치가 높을 것으로 기대된다

2. 실험방법

2.1. 시료제조

본 실험에서 사용한 시료는 조개양식업에서 다량 발생하는 골과 고막을 수거해 깨끗이 세척한 후, 유기물과 불순물을 제거하기 위해 SiC전기로(Carbolite, RHF 15/9 max. 1500±5°C)에서 10°C/min로 900°C까지 가열, 이 온도에서 2시간 유지 후 노냉시켰으며, -325 mesh 통과 분말을 시료

로 사용하였다. 또한, 미분말을 pellet으로 성형하여 담체로 사용하였다.

2.2. X-선 회절 분석

분말시료의 정성분석을 위해 X-선 회절기(Rigaku D/max-III A type)를 이용하여, 골과 고막 겹질의 미가공과 소성가공 시료를 분석 하였다. 회절조건은 Cu- α 의 관구를 사용하여, 35 kV, 20 mA로, scan speed 4°/min, step size 0.05, Slit은 DS 1°, SS1°, RS 0.3 mm, 회절범위는 10~90°(2 θ)로 하였다.

2.3. 분말시료에 의한 pH조정 및 중금속제거

일정농도의 흡착제 20 ml씩을 정밀히 취하여 100 ml 용량의 pyrex제 Elenmyer flask에 넣고 각각 농도의 흡착질 10 ml씩을 투여한 후 150 rpm에서 10 min간 진탕한 다음, Whatman ashless 4C 여지로 여과하여 원자흡광광도계 (Varian SpectraAA 400)로 분석하였다. 분말의 투입량에 따른 pH의 변화는 pH 6.46인 원수에 0.005 g에서 0.005 g 간격으로 0.340 g까지 증량 첨가하면서 조사하였고, pH 4.0~11.0의 조제된 원수에 흡착제를 500 ppm 주입하여 Pb, Cd, Zn 등을 각각 50 ppm 주입한 단일성분과 각 성분을 50 ppm 주입한 혼합성분에 대하여 pH에 따른 중금속 제거효율을 조사하였다. 또한, 흡착제 500 ppm에 1~200 ppm으로 중금속 농도를 변화시키면서 단일성분과 혼합성분 시의 제거율을 분석하였다. 그리고 증류수에 중금속 Pb, Cd, Zn을 각각 50 ppm용해시키고 흡착제를 100~20000 ppm으로 변화시의 제거율도 비교 평가하였다.

2.4. Pellet에 의한 중금속 및 유기염소화합물제거

본 실험을 위하여 별도로 제작한 충전컬럼의 반응조는 Fig. 1과 같이 조개껍질로부터 얻은 분말을 소성가공하여 제조한 세라믹 담체를 충전하여 중금속 및 유기염소화합물에 대한 처리실험을 실시하였다. 반응(접촉)조 및 기타 장치의 세부 제원은 Table 1에 나타났다. 한편, 충전컬럼에 충전된 세라믹 담체는 조개가루를 900°C에서 고온 소성 후, 직

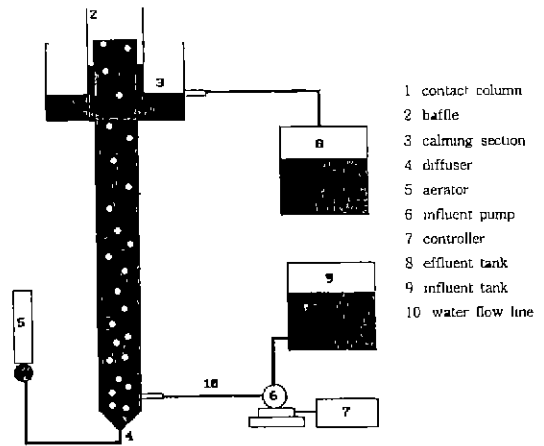


Fig. 1. Schematic diagram of bench scale apparatus.

경을 약 10 mm정도로 가공한 pellet이다. Aeration은 접촉과 혼합을 원활하게 유도하기 위한 것이며, 추후 미생물의 생분해를 통한 수처리 적용에 대비하여 실시한 것이다.

2.5. 처리 대상물질 및 충전여재

처리대상이 되는 흡착질로는 중금속 중 Pb, Cd, Zn를, 유기염소화합물 중에서는 TCE(Trichloroethylene)와 PCE(Tetrachloroethylene)를 선정하고, 원자흡광광도계 및 gas chromatography 분석용 standard solution을 회석하여 처리 원수를 조제하였다

3. 결과 및 고찰

3.1. X-선 분석 결과

Fig. 2는 분말시료의 X-선회절 분석 결과로서 골 및 고막을 원상태로 분쇄하여 얻은 (a), (b)는 고막 및 골껍질 모두 탄산칼슘이었으나, 고막껍질은 JCPDS카드에서 주피크의 2 θ 가 26.221, 27.223, 33.154, 45.862°의 사방정계인 Aragonite, 골껍질은 주피크가 29.407, 39.402, 43.146, 47.489,

Table 1. Dimension of contact column and instruments

Head space	Reactor	Baffle
Diameter 150 mm Height 50 mm Total volume 883 ml Effec. volume 589 ml	Diameter 55 mm Height 463 mm Total volume 1.1 l Effec. volume 1.0 l	Diameter 100 mm Height 150 mm Total volume 1,178 ml Effec. volume 548 ml
Pump controller	Feeding pump	Storage tank
10 step	4.8~480 ml/min	Total volume 500 l

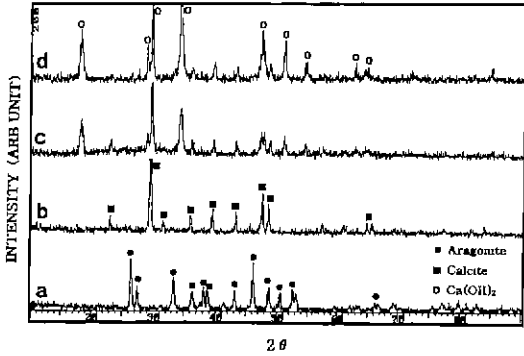


Fig. 2. X-ray diffraction patterns of oyster and ark shell
 (a) ark (b) oyster
 (c) ark powder after heat-treatment at 900°C for 2 hrs
 (d) oyster powder after heat-treatment at 900°C for 2 hrs

48 512인 3방정계인 Calcite로 나타났다. 그러나 2시료 모두 900°C에서 2시간 소성한 후의 (c)와 (d)는 주피크가 18.088, 34.088, 47.123, 50.795인 수산화칼슘으로 나타났다. 이로써 CaCO₃인 원조개 껍질을 900°C로 소성하면 CaO+CO₂로 분해되고 또한, 냉각시 주위의 수증기와 반응하여 CaO+H₂O → Ca(OH)₂의 수산화칼슘으로 나타났다.

3.2. Powder dosage에 따른 pH변화

조개가루를 0.005 g/l에서 0.005 g/l씩 증가시키면서 0.340 g/l까지 단계적으로 투입한 용액의 pH변화를 Fig. 3에 나타내었다. 투입초기에는 투입량이 증가할수록 pH는 높아졌으나 나중에는 투입량이 증가해도 pH의 변화가 없었다. 이는 powder가 물에 용해되므로서 OH⁻이온의 방출로 인해 pH가 높아진 것으로 판단되며, 물의 용해한에 도달한 분말이 미용해상태의 분말로 반응기에 축적되기 시작한 농도인 0.11 g/l에서부터 pH의 증가는 둔화되어 0.20 g/l이상의 농도에서는

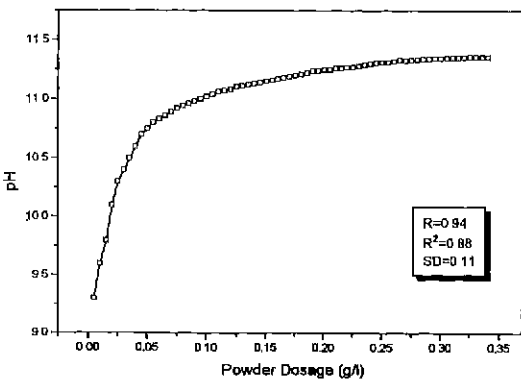


Fig. 3. Relationship between pH and powder dosage

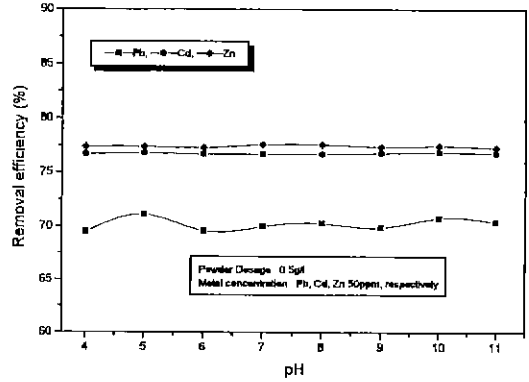


Fig. 4. Variation of removal efficiency vs pH of raw water (case of single component solution).

11.25~11.34의 범위로 안정되었다. 따라서 powder의 투입에 따른 pH의 상승은 powder의 용해도에 지배를 받으며 한계 용해농도 0.11 g/l이하에서는 수중에 용해되는 powder에 따라 약 0.03/ mg의 pH 상승효과를 유발한다.

3.3. Powder의 중금속이온 처리특성

3.3.1. pH변화에 따른 중금속 제거 효율

Powder를 500 ppm용액으로 조제한 후, 처리대상물질 Pb, Cd, Zn를 각 50 ppm 함유한 처리원수에 대해 투입하여 단일성분 흡착효과 및 혼합성분 흡착을 행하여 pH에 따른 경쟁흡착여부를 Fig. 4와 5에 나타내었다.

단일성분 흡착인 Fig. 4는 처리원수의 pH의 변화에 따른 중금속 처리정도가 Zn, Cd, Pb순이었으며, 혼합성분 흡착인 Fig. 5는 단일 성분과 거의 유사하고 경쟁에 의한 흡착효율의 감소는 거의 나타나지 않았다.

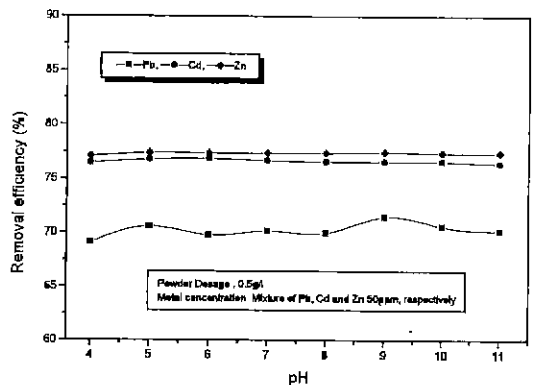


Fig. 5. Variation of removal efficiency vs pH of raw water (case of mixed component solution).

Table 2. Result of metal ion removal efficiency

Description	Pb	Cd	Zn	Fe	Mn	Cu
Concentration of eff., mg/l	14.218	11.573	10.2275	9.213	10.226	13.522
Removal Efficiency, %	71.6	76.9	79.5	81.6	79.5	73.0

Kuo 등¹⁸⁾은 산성토양을 가지고 Cu, Zn, Cd의 pH변화에 따른 수착능을 연구하여, pH가 증가할 때 Cu이온의 흡착(Sorption)도 증가한다고 하였으며, Zn이나 Cd보다 Cu의 흡착이 우선적으로 이루어진다고 하였다. 또한 Cu이온이 공존할 경우 Zn과 Cd의 흡착을 방해한다고 보고하고 있다.

3.3.2 중금속 항목별 제거 효율

중류수에 Pb, Cd, Zn, Fe, Mn, Cu 등의 금속 이온을 각각 50 ppm 혼합하여 조제한 처리원수에 powder를 500 ppm을 투입하여 각 금속 이온별 제거정도를 살펴본 결과를 Table 2와 Fig. 6에 나타내었다. 중금속 이온별 제거효율은 Fe, Mn, Zn, Cd, Cu, Pb의 순이었다.

Kishk 등¹⁹⁾은 중금속 이온의 제거제로서 토양과 같은 무기질교환체는 Pb와 같은 중금속의 흡착에 용이하다고 하였으며, Harter²⁰⁾는 Pb와 Cu 등은 토양내 유기물질과 결합하여 안정된 금속착체를 형성한다고 하였다. 이러한 현상은 Pb와 Cu가 수산화물(hydroxides)로서 침전되며 특히, Pb는 높은 pH에서 탄산염으로 침전되는 과정을 나타낸다. 또한, Si가 존재하면 무형질의 oxyhydroxide의 안정성을 증대시켜 Cd의 흡착능을 증가시킨다고 하였으나, Si가 Cu, Co, Zn의 흡착에 미치는 영향은 없다고 하였다.²¹⁾

3.3.3 중금속 이온의 농도변화에 따른 제거 효율

중금속 이온의 농도변화에 따른 처리특성을 조사하기 위하여 powder를 500 ppm투입한 후, 중금속 이온인 Pb, Cd, Zn 등 3가지를 각각 1, 2, 5, 10, 20, 40, 80, 100, 120, 150,

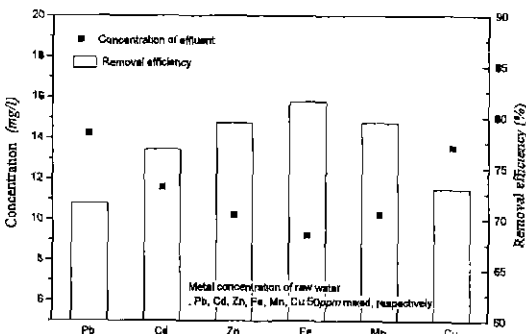


Fig. 6. Removal efficiency of various metal ions.

Table 3. Result of Pb, Cd, Zn removed depending upon concentration of metal ion in raw water

Conc. (mg/l)	Removal rate, % case of single agent spiked			Removal rate, % case of mixture spiked.		
	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn
1	99.9	99.9	95.2	99.9	98.7	87.7
2	99.0	99.9	97.25	99.9	99.9	93.1
5	97.0	99.9	92.4	99.9	99.9	99.5
10	63.3	99.2	96.4	66.2	64.4	65.4
20	62.5	66.0	99.6	67.8	66.2	73.7
40	56.4	71.9	84.9	68.4	72.0	84.7
80	67.8	82.9	91.7	74.0	82.9	91.7
100	70.9	85.5	93.2	76.2	85.6	93.2
120	74.1	87.5	94.3	78.4	87.5	94.3
150	77.4	89.6	95.4	80.5	89.6	95.4
200	81.6	91.8	96.5	84.3	91.9	96.5

200 ppm용액으로 처리원수를 조제하여 실험한 결과를 Table 3에 나타내었다. 이 실험에서도 각각의 단일성분 흡착

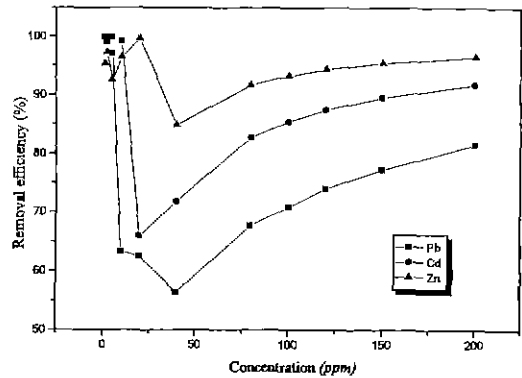


Fig. 7. Variation of metallic ion removal vs influent concentration (case of single component solution).

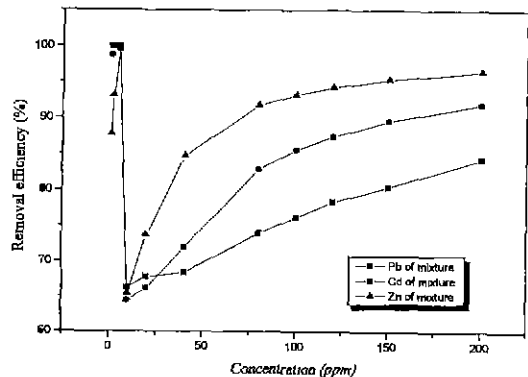


Fig. 8. Variation of metallic ion removal vs influent concentration (case of mixed component solution).

과 혼합성분 흡착을 행하여 경쟁흡착여부에 의한 처리특성의 변화도 실험하여 단일성분의 경우는 Fig. 7, 혼합성분의 경우는 Fig. 8로 나타내었으며 단일성분의 처리와 혼합성분의 처리에 있어서 약간의 처리효율의 변화를 볼 수 있으나 큰차이는 관찰되지 않았다.

한편, 두 경우 모두 저농도에서 급격한 처리효율의 감소를 나타내었으며 단일성분의 처리에 있어서는 원수의 중금속 농도가 20 ppm에서, 혼합성분의 처리에 있어서는 약 10 ppm에서 처리효율의 감소후 상승하는 break-point가 있었다. 이 농도에 따른 처리효율의 변화는 10~20 ppm이하의 저농도 범위에서는 powder투입에 따라 수중의 pH가 상승됨으로써 중금속이온의 용해도적 감소가 발생되어 제거된 것으로 판단되며, break-point이후의 제거는 pH의 변화에 따른 용해도 감소가 아닌 수중에 과량으로 첨가된 powder particle에의 이온흡착에 의한 것으로 판단된다.

통상의 상수원에 존재하는 중금속 이온의 농도는 수 mg/l 이하이므로 powder를 투입할 경우 중금속 이온의 제거는 powder particle에의 이온흡착보다는 pH변화에 따라 발생하는 용해도적 변동에 의한 중금속 이온의 침전제거가 주요한 처리기구가 될 것이다.

3.3.4. Powder dosage에 따른 중금속 제거특성

Powder 주입량에 따라 변화되는 처리효율의 특성을 살펴보기 위하여 Pb, Cd, Zn 등 중금속 이온 50 ppm의 처리 원수에 분말을 단계적으로 100, 200, 500, 100, 2000, 5000, 10,000, 20,000 ppm 주입하여 실험한 결과를 Table 4에 나타내었다. 이 실험에서도 각각의 단일성분 흡착과 혼합성분 흡착을 행하여 경쟁흡착여부에 의한 처리특성의 변화도 실험하여, 단일 성분은 Fig. 9에 혼합성분은 Fig. 10에 나타내었다.

Table 4. Result of Pb, Cd, Zn removed depending upon powder dosage

Dosage (g/l)	Removal rate, % case of single agent spiked			Removal rate, % case of mixture spiked		
	Pb	Cd	Zn	Pb	Cd	Zn
0.1	70.9	76.0	81.7	71.3	76.2	82.4
0.2	70.5	76.0	81.6	61.4	73.1	81.0
0.5	70.2	76.2	81.8	71.6	76.3	81.9
1	81.7	76.5	81.0	72.0	76.3	81.8
2	99.5	86.4	93.9	71.7	76.2	81.88
5	99.0	99.9	94.2	99.6	99.9	99.6
10	99.3	99.9	95.7	98.3	99.9	94.1
20	99.3	99.9	98.9	98.4	99.9	97.3

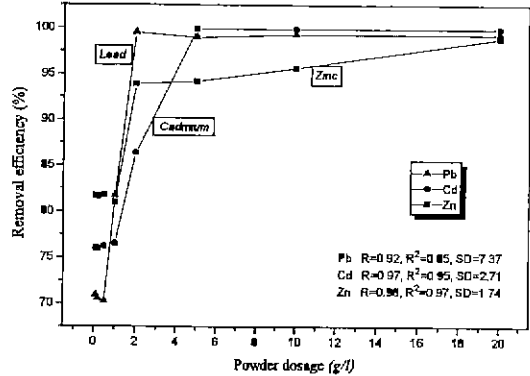


Fig. 9. Variation of metallic ion removal vs powder dosage (case of single component solution).

단일성분 실험에서는 모든 중금속 이온의 제거효율이 양호하였으며 특히, 2 g/l를 초과한 주입농도부터는 90% 이상의 처리효율을 보였다. 반면, 혼합성분 흡착실험에서는 5 g/l 이상에서 90% 이상의 처리효율을 나타내었다. 또한 주입되는 powder의 양에 의존하여 처리효율이 달라졌으며, powder 주입량이 부족할 경우, Zn > Cd > Pb의 순이며, 충분한 powder가 주입된 환경에서는 Cd > Pb > Zn의 순서로 처리효율이 나타났다. 또한, 주입된 powder의 농도가 높을수록 중금속의 처리효율이 증가함을 알 수 있다.

3.4. Pellet의 중금속이온 처리특성

3.4.1. 접촉시간 변화에 따른 중금속 처리효율

Powder에 의한 중금속 이온의 처리실험을 토대로 packed column에 powder로 제조한 담체를 충전하여 중금속 제거실험을 행한 결과를 Table 5에 나타내었다. 접촉시간의 경과에 따라 처리효율은 크게 변하지 않았으며

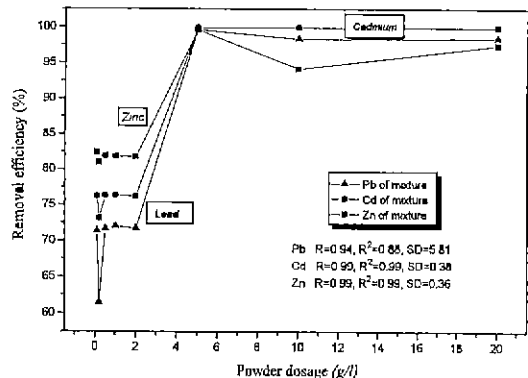


Fig. 10. Variation of metallic ion removal vs powder dosage (case of mixed component solution)

Table 5. Result of experiment on metallic ion removal by pellet packed column

Time, min	Effluent of metallic ion concentration, mg/l		
	Pb	Cd	Zn
1	0.080	0.093	0.359
10	0.071	0.005	0.043
30	0.067	0.002	0.030
60	0.065	0.001	0.099
180	0.063	0.000	0.135

Note) Influent concentration of metallic ion 1 mg/l

Table 6. Result of experiment on organic halide by pellet packed column

Contact time, min	Effluent of metallic ion concentration, µg/l	
	TCE	PCE
0	6.370	15.200
5	5.002	7.898
10	2.006	0.599
30	0.000	0.000

이로써 powder 또는 담체에 의한 중금속 흡착은 단시간에 진행됨을 알 수 있다. 아울러, Zn의 처리실험에서 30min이 경과 후, 처리수의 농도가 급속히 높아진 것은 과도한 접촉 시간의 흐름에 따라 pellet로부터의 탈착이 발생된 것으로 추정된다.

3.4.2. 미량유기화합물의 처리특성

중금속 이온의 처리실험과 함께 미량 유기염소화합물의 처리실험을 실시하였다. Powder에 대한 유기염소화합물의 처리실험을 하지 않은 이유는 pellet의 미세공극이 없는 powder상태로는 흡착이 진행될 수 없을 것으로 판단되었기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 pellet를 충전한 packed column에서 미량 유기염소화합물의 제거실험을 행하여 Table 6에 그 결과를 나타내었다.

1,1,2-Trichloroethylene(TCE, C_2HCl_3)는 색깔이 없는 맑은 액체로서 주로 금속산업에서 비윤활용매로서 사용된다. 또한 가정용이나 산업용 드라이클리닝 용매, 식품의 추출용매, 단기간의 외과 수술시 흡입마취제 등 그 용도가 매우 광범위하다.²²⁾ 1,1,2,2-Tetrachloroethylene(perchloroethylene : PCE, C_2Cl_4)는 주로 드라이클리닝산업에서 용매로 사용되는 무색의 비가연성액체이며 금속산업에서 탈지용매로 사용하기도 한다.²³⁾ 그러므로 TCE와 PCE는 그 다양한 용도로 인해 강물, 해수, 용수 등의 물 뿐만 아니라 수중 미생물, 공기, 식품 그리고 인간의 신체조직에서도 자주 검출된다. Pearson과 McConnel²⁴⁾에 의하면 주변 환경에서 TCE와 PCE가 검출되는 주된 이유는 그 광범위한 사용 때문이기도

하나, 이를 생산하거나 사용하는 과정에서 휘발되기 때문이라고 했다.

TCE보다는 PCE의 제거효율이 양호하였고 접촉시간의 경과에 따른 처리효율은 지속적으로 증가되었으며 이는 접촉시간의 경과에 의해서도 흡착제거된 부분이 있었지만 aeration에 의한 air stripping이 발생되어 TCE와 PCE가 다량 휘발된 영향을 배제할 수 없다.

4. 결 론

조개껍질을 소성 가공한 powder와 pellet 담체를 흡착제로 적용하여 중금속 및 유기화합물의 흡착실험을 행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 굴과 고막껍질은 소성 후 모두 주성분이 수산화칼슘($Ca(OH)_2$)으로 나타났으며, 분말 주입에 따른 pH의 상승효과 및 중금속 이온별 제거효율은 Mn, Zn, Fe, Cd, Cu, Pb 순으로 나타났다.
2. 처리원수의 pH의 변화에 따른 Pb, Cd, Zn의 제거효율은 Zn, Cd, Pd 순이었으며, 혼합성분에서의 경쟁흡착효율의 감소는 거의 나타나지 않았다.
3. 원수 중의 중금속 이온농도 변화에 따른 단일성분의 처리에서는 중금속 농도가 20 ppm, 혼합성분에서는 약 10 ppm에서 break-point가 있었다.
4. 미량 유기화합물의 처리는 접촉시간 경과에 따라 처리효율은 지속적으로 증가되었으며, PCE가 TCE보다 양호하였다.

참고문헌

1. 한국수자원공사: "고도정수처리 시설실증플랜트보고서." (1996).
2. J.W. Patternson, and R.A. Mimeoar: in heavy metals in the Aquatic Environment, P.A. Krenkeled, Pergamon Press, Oxford, England, 261-276 (1975).
3. 産業用水調査會: 用水と廢水, 3, 36-42 (1994).
4. M.C. Amacher, H.M. Sehm and Iskander: American J. Soil Sci. Soc., 52, 398-408 (1988)
5. W.S. David, L.S. Vernon and L.P. Julie: J. AWWA, 78, 98-104 (1989).
6. P.L. Rechard and A.G. Gerald: J. AWWA, 78, 83-88 (1986).
7. K.C. Williams *et al.* J. Phys. Chem, 69(1), 250-253 (1965).
8. C.P. Huang, M. Asce and F.B. Ostovic: J. Envir. Eng

Div, 104, 863-878 (1987).

9. D.L. Dugger *et al.*: J. Phys. Chem, 68(4), 757-760 (1964).
10. J.H. Anderson : J. Catalysis, 28, 76-82 (1973).
11. P.H. Laxen : J. Chem. Geology, 47, 321-332 (1984).
12. T.J. Sorg and G.S. Logsdon : J. AWWA, 72, 411 (1980).
13. C. Dennis, V. Winston and S. Suresh : J. AWWA, 80, 94 (1988)
14. S. Bragg *et al.* : J. AWWA, 4, 203 (1990).
15. T.A. Bellar, *et al.* : Journal of the American Water Works Association, 66-703 (1974).
16. W.W. Eckenfelder : McGraw-Hill, New York, 279-300 (1989).
17. J.C. Morris, and W.J. Weber : Environmental Health Ser-
ies AWTR-9. May (1964)
18. S. Kuo and A.S. Baker : J. Soil Sci. Soc, 44, 969-974 (1980).
19. F.M. Kishk and M.N. Hassan : Plant Soil, 39, 497-505 (1973).
20. R.D. Harter : J. Soil Sci. Soc., 43, 679-683 (1979).
21. P.R. Anderson and M.M. Benjamin : Environ. Sci. Tech., 19(11), 1048-1052 (1985).
22. J.E. Huff : Industrial medicine, 40, 25 (1971).
23. M. Windholz *et al.* : The Merck Index 9th ed. Rahway, NJ. Merck and Co. (1976).
24. C.R. Pearson and G. McConnel : Proceeding of the Royal Society of London, Series B. 189-305 (1975).

學會誌 投稿 案内

種 類	內 容
論 說	提案, 意見, 批判, 時評
展望, 解説	現況과 將來의 견해, 研究 技術의 綜合解説, Review
技術報告	實際的인 試驗, 調査의 報告
技術, 行政情報	價値있는 技術, 行政情報를 간결히 解説하고 comment를 붙인다.
見 聞 記	國際會議의 報告, 國內外的 研究 機關의 見學記 등
書 評	
談 話 室	會員相互의 情報交換, 會員 自由스러운 말, 隨筆等
Group 紹介	企業, 研究機關, 大學 등의 紹介
研究論文	Original 研究論文으로 本 學會의 會誌에 掲載하는 것이 適當하다고 보여지는 것

수시로 원고를 접수하오니 많은 투고를 바랍니다.