

FWC흡착제의 납/카드뮴 흡착특성

A Characteristics of Pb²⁺ and Cd²⁺ for FWC Adsorbent

이종영¹⁾, Jong-Young Lee, 김영웅²⁾, Young-Woong Kim, 홍기권¹⁾, Ki-Kwon Hong, 한중근³⁾, Jung-Geun Han

¹⁾ 중앙대학교 대학원 토목공학과 박사과정, Ph.D. Candidate, Dept. of Civil Engrg., Chung-ang University

²⁾ 중앙대학교 대학원 토목공학과 석사과정, Graduate Student, Dept. of Civil Engrg., Chung-ang University

³⁾ 중앙대학교 건설환경공학과 부교수, Associate Professor, Dept. of Civil & Env., Engrg., Chung-ang University

SYNOPSIS : In this study, Batch Test was carried out on the adsorption abilities to heavy metal of FWC, which occurred during the carbonization process was part of recycling methods of food waste. The heavy metals used in the experiment were lead and cadmium; mixing its solution with carbonized ratio of 50:1, respectively. The different concentrations were applied with 50, 100, 200, 400, and 800 $\mu\text{g/ml}$. When, the initial concentration is less than 200mg/l, there has been a high removal ratio of 20% to 50%. Comparing the test results on Lanmmuir and Freundlich adsorption isotherms, the Freundlich adsorption isotherm was well compatible.

Keywords : food waste carbonized(FWC), adsorption, lead, cadmium

1. 서론

투수성 반응벽체(Permeable reactive barrier; PRB)공법은 1990년대부터 오염된 지하수 처리를 위해 개발된 공법으로 양수처리(Pump & treat)공법을 대체할 수 있는 기술로 각광 받고 있다(US EPA, 1998). 이 공법은 지하수 흐름에 수직으로 투수성 반응벽체를 설치하고, 투수성 반응벽체에는 반응물질들을 충전하는데 현재 충전물질에 대한 많은 연구가 활발히 진행되고 있다(홍선미, 2009). 한편 삶의 질 향상에 따라 음식물폐기물 발생량은 2001년 이후 소폭 증가하고 있으며, 앞으로도 소비량의 증가로 지속적으로 증가할 것으로 전망됨으로 이로인한 환경적 문제가 예상되고 있다. 현재 해마다 발생되고 있는 음식물쓰레기의 발생과 처리유형 중 재활용에 대한 비중은 전체 발생량은 약 70%가 차지하고 있으며 대표적인 처리기술로는 사료화, 퇴비화 또는 탄화, 하수병합처리, 지렁이사육, 버섯재배 등으로 처리되고 있다(한국폐기물학회, 2002). 최근까지 상기 처리유형중에서 가축사료화 사업이 활발히 추진되고 있으나 선별과정의 복잡성, 영양소의 불균형, 발생폐수의 유기물 부하가 높고 처리가 곤란하다는 문제점이 부각되었으며, 가장 큰 문제로는 음식물에 함유되어 있는 염분으로 인해 처리 기계의 부식을 가중시켜 제품의 품질·기계적 문제를 낳고 있다. 반면에 부피 감량율이 90%이상이고 상기의 문제점에 노출되어 있지 않은 기술로 탄화기술이 있으며, 탄화과정에서 생산된 제품은 비료, 연료, 탈취제 등으로 다양하게 재활용되고 있다(한중근 등, 2007). 본 연구에서는 탄화과정에 의해 생산된 음식물 탄화제(Food waste carbonized; FWC)를 PRB공법에서 중금속 흡착매질로의 사용성을 살펴보고자 Cd²⁺ 및 Pb²⁺를 대상으로 흡착효율과 흡착평형 특성 고찰을 목적으로 Langmuir와 Freundlich 모델을 적용해 흡착평형특성을 평가하고자 하였다.

2. 재료특성 및 실험방법

2.1 FWC의 화학적 특성

표 1은 FWC의 화학적 구성성분을 나타낸 것으로 전체 구성의 약 70%이상이 O, Ca, C로 구성되어 있다. 그림 1은 FWC의 SEM(scanning electron microscope, Philips XL30 ESEM)촬영 결과를 나타낸 것으로 FWC입자 크기는 75 μm ~150 μm (100mesh~200mesh)이 주된 분포를 이루고 있으며, 다공성 구조를 띄고 있다.

BJH(Barrett-Joyner-Halenda)모델에 의한 FWC의 기공 분포 측정결과 FWC의 Surface Area는 14.16 m^2/g , Total Pore Volume 0.0469 cm^3/g , Average Pore Diameter 132.4 Å이다. 분석기기로는 Micromeritics ASAP2010, 측정방법은 KS L ISO 18757에 의해 수행하였다.

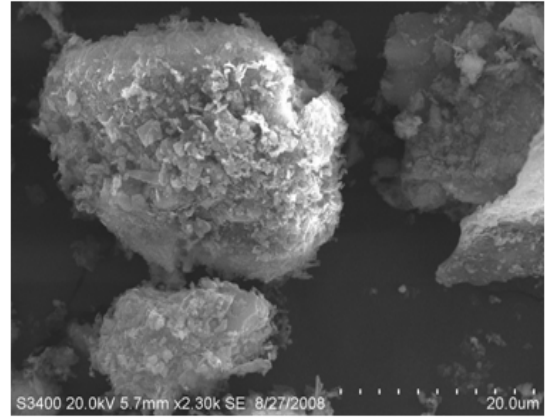


그림 1 FWC의 전자현미경 촬영결과

표. 1 FWC의 화학적 구성

O	Ca	C	K	Cl	Na	P	Fe	Si	Mg	S	Al	Other	Total
(%)													
38.39	25.51	21.73	3.2	3.05	2.64	1.5	1.29	0.97	0.71	0.51	0.27	0.23	100

2.2 실험조건 및 방법

실험에 사용된 중금속은 분말상태의 $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ 와 $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ 를 이온제거수에 희석하여 표 2의 실험조건에 맞게 제조하였다. 표 2는 실험조건을 나타낸 것으로 100 ml 유리병에 FWC를 0.8g, 50 $\mu\text{g}/\text{ml}$ ~800 $\mu\text{g}/\text{ml}$ 으로 제조된 구리용액을 각각 40 ml 채운 후 80분 동안 200rpm으로 교반하였다. 교반 후 원심분리를 통해 상등수를 0.24 μm 의 멤브레인 필터를 이용해 채취하였으며, 채취된 용액은 유도결합플라즈마분광기(ICP, Inductively Coupled Plasma Spectrometer, JY-Ultima-2, Jobin Yvon, France)에 의해 정량 분석하였다.

표 2. 실험조건

Heavy metal	Concentration ($\mu\text{g}/\text{ml}$)	Contact Time(min)	rpm	Mixture rate
Lead & Cadmium	50	80	200	50:1
	100			
	200			
	400			
	800			

3. 실험결과 및 분석

3.1 흡착효율 평가

그림 2는 납과 카드뮴의 초기농도에 따른 제거율을 나타낸 것으로, 초기농도가 200 $\mu\text{g/ml}$ 이하일 때 약 50~80%의 제거율을 보였다. 카드뮴에 대한 흡착효율은 초기농도가 증가할수록 감소되었으며, 초기농도가 800 $\mu\text{g/ml}$ 일 경우에는 약 20%의 낮은 제거율을 보여 납에 대한 제거율이 카드뮴보다 약 2배정도 우수한 것으로 나타났다. 그림 3은 실험종료 후 오염용액의 pH측정결과를 나타낸 것으로 용액의 초기 pH와 대비해 카드뮴은 pH변화폭이 컸으며, 전반적으로 초기농도가 증가할수록 pH는 감소하였다. pH변화는 초기농도 200 $\mu\text{g/ml}$ 까지는 급격하게 그 이상에서는 다소 완만한 변화를 보였으며, 600 $\mu\text{g/ml}$ 이상에서는 초기 pH보다 감소하는 경향을 나타냈다. 이러한 원인으로서는 양이온을 띄고 있는 중금속이 다량으로 첨가됨으로써 수소이온이 증가했고, 양이온 첨가량이 증가할수록 수소이온의 증가량이 급격해짐에 따른 경향이라 판단된다.

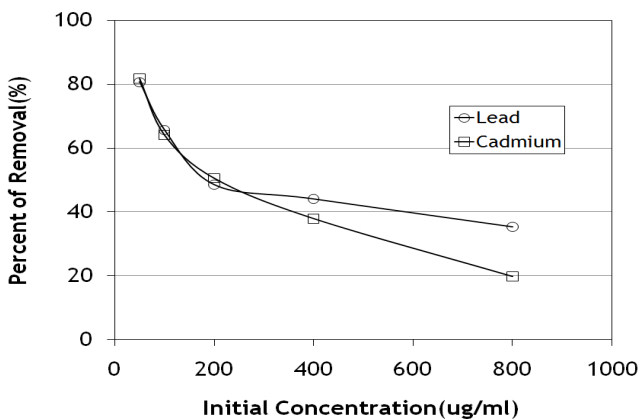


그림 2. 납/카드뮴 흡착효율

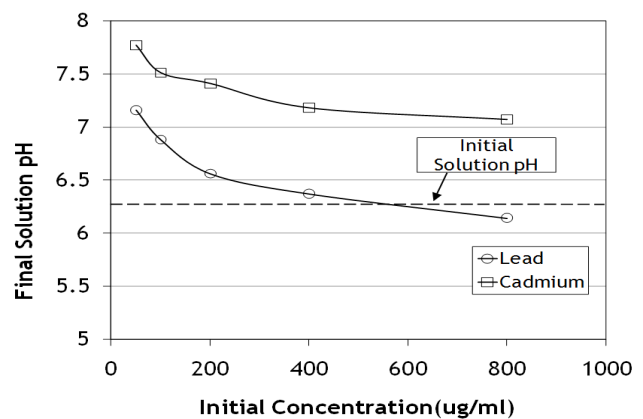


그림 3. 실험종료 후 pH변화

3.2 흡착평형특성

FWC의 흡착평형특성을 평가하기 위한 모델로는 Langmuir와 Freundlich 모델을 사용하였다. 먼저 Langmuir의 흡착등온식은 최대흡착이 흡착제 표면에 용질분자가 단일 층으로 포화되고, 표면에서의 에너지는 일정하며, 표면에 흡착된 용질의 이동이 없다는 가정하에 식 1과 같이 제시되었다.

$$\frac{1}{q_e} = \frac{1}{Q_0} + \frac{1}{bQ_0} + \frac{1}{C_e} \quad (1)$$

여기서, q_e : 입자에 흡착된 이온의 양($\mu\text{g/g}$), C_e : 용액내에 남아있는 이온의 농도($\mu\text{g/ml}$), b : 결합에너지와 관련된 흡착상수($\mu\text{g/g}$), Q_0 : 흡착용량을 나타내는 상수($\text{ml}/\mu\text{g}$)이다.

한편 Langmuir 등온식이 잘 맞지 않을 경우, 특히 액상에서의 활성탄의 흡착현상에는 Freundlich 등온식이 적합하며, Freundlich 등온식은 실험적으로 다음과 같이 표현이 가능하다(오종기 등).

$$X = K \cdot C_e^{1/n} \quad (3)$$

또는 $\log X = \log K + (1/n) \log C_e$ 로 표현될 수 있다.

여기서, X : 단위중량당 피흡착물질의 양($\mu\text{g/g}$), C_e : 피흡착물질의 평형농도($\mu\text{g/ml}$)를 의미하며, 상수 K 는 흡착량, n 은 흡착정도를 의미한다.

그림 4는 납과 카드뮴의 실험결과를 $1/q_e$ 와 $1/C_e$ 의 관계로 Langmuir와 Freundlich 흡착등온모델에 적용한 결과로 납은 두 가지 모델에 선형적인 관계를 나타내는 반면 카드뮴은 Freundlich 모델에 보다 일치하는 것으로 나타났다. 표 4는 Langmuir와 Freundlich의 흡착등온 평형값을 정리한 것이다.

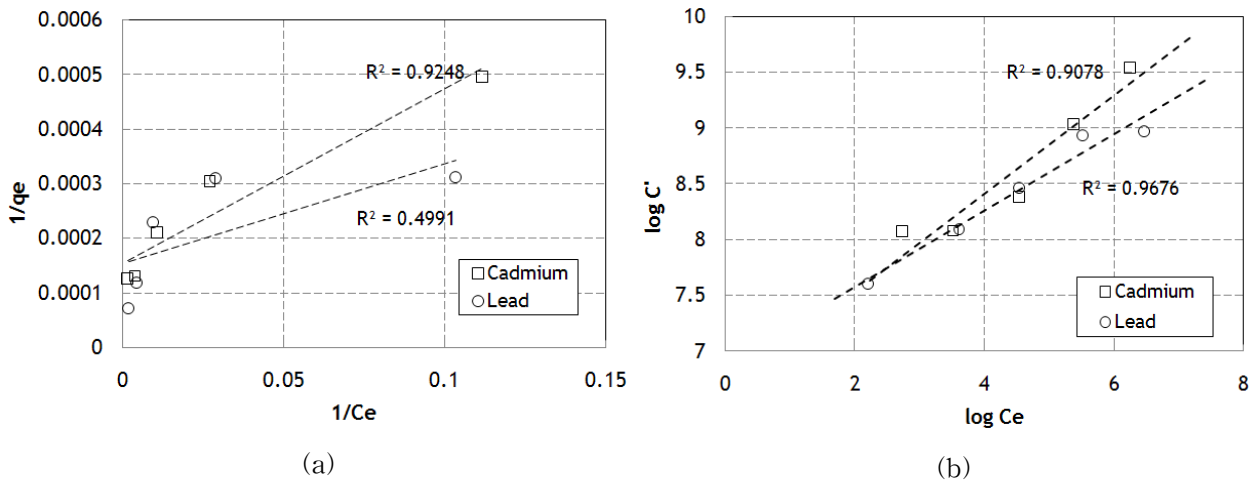


그림 4. 흡착등온곡선(a)Langmuir, (b)Freundlich

표 4. 납과 카드뮴에 대한 FWC의 Langmuir와 Freundlich 흡착등온평형값

Isotherm parameters	Lead	Cadmium
Langmuir		
Q_0	15101	8498
b	0.0081	0.0209
Freundlich		
K	773.09	978.78
$1/n$	0.4404	0.342

4. 결론

본 연구에서는 음식물쓰레기 재활용 차원에서 생산된 FWC의 중금속 흡착특성을 납과 카드뮴을 대상으로 실시한 결과 초기농도가 $200\mu\text{g}/\text{ml}$ 이하일 때 약 50~80%의 제거율을 보였으며, Langmuir와 Freundlich 흡착등온모델에 적용한 결과로 납은 두 가지 모델에 선형적인 관계를 나타내는 반면 카드뮴은 Freundlich 모델에 보다 선형적인 관계를 보였다.

참고문헌

- 오종기, 구성연, 김성규, 이화영, 1996, Freundlich 모델에 의한 중금속의 활성탄흡착 해석, 한국자원공학회 학술발표회
- 한국폐기물학회(2003), 음식물쓰레기 감량·자원화 추진성과 평가 및 장기개선 방안에 관한 연구
- 한중근, 이명호, 이종영, 김영웅, 홍선미(2007), “음식물탄화재의 중금속 흡착특성에 관한 실험적 연구”, 중앙대학교 과학기술연구소 논문집, 제37권 1호, pp.67~72
- 홍선미(2009), “PRB공법의 반응물질로써 FWC를 활용하기 위한 실험적 연구”, 중앙대학교 석사학위 논문
- U. S . EPA, 1998, Permeable Reactive Barrier Technologies for contaminant remediation, EPA/600/R-98/125, USEPA, pp.2~10.