

## 화학적으로 개질된 왕겨 및 톱밥(미송, 참나무, 포플러)의 중금속 흡착특성

이현용 · 전 총<sup>1)</sup> · 임경재 · 홍기찬 · 임정은 · 최봉수 · 김남원<sup>2)</sup> · 양재의 · 옥용식\*

강원대학교 농업생명과학대학, <sup>1)</sup>강릉원주대학교 환경응용화학공학과, <sup>2)</sup>한국건설기술연구원 수자원연구소  
(2009년 5월 26일 접수, 2009년 6월 16일 수리)

### Adsorption Characteristics of Heavy Metal Ions onto Chemically Modified Rice Husk and Sawdust from Aqueous Solutions

Hyeon-Yong Lee, Choong Jeon<sup>1)</sup>, Kyoung-Jae Lim, Ki-Chan Hong, Jung-Eun Lim, Bong-Su Choi, Nam Won Kim<sup>2)</sup>, Jae E Yang, and Yong Sik Ok\* (College of Agriculture and Life Sciences, Kangwon National University, <sup>1)</sup>Department of Environmental & Applied Chemical Engineering, Kangnung-Wonju National University, <sup>2)</sup>Korea Institute of Construction Technology)

**ABSTRACT:** Biosorption uses adsorbents derived from non-living biomass and removes toxic metals from industrial wastewater. The objective of this research was to evaluate the potential of low cost biosorbents to remove heavy metal ions (Cd, Cu, Pb and Zn) from aqueous solutions using chemically modified rice husk and saw dust (*Pseudotsuga menziesii*, *Quercus*, *Populus*). Batch-type adsorption experiments were carried out using rice husk and saw dust treated with NaOH and/or tartaric acid in artificial wastewater (100 mg metal/L). The experimental results showed that the adsorption specificity of each biosorbent was Pb > Cu > Cd > Zn irrespective of the types of biosorbents. The adsorption capacity of Pb and Cu onto NaOH-treated sawdust was increased 2~3 times compared to the untreated one. In addition, the tartaric acid treatment increased the adsorption capacity of rice husk for Zn and Cd approximately 5~10 fold compared to the untreated one. Surface conditions and changes in functional groups by chemical modification of each biosorbent were confirmed by SEM and FT-IR. Overall, the results show that chemical modification increases the metal removal capacity of rice bran and sawdust.

**Key Words:** Adsorption, Heavy metal ions, Biosorbent, Biosorption, Rice husk, Sawdust

### 서론

현대사회의 산업발달은 인류에게 물질적 풍요와 생활의 편리함을 제공하고 있다. 그러나 최근 급속한 발전과정에서 다양한 환경오염 문제가 야기되었고 특히 폐수를 통한 인근 수계 및 토양환경으로의 중금속 유입은 생태계 및 인간건강을 위협하고 있다.

중금속은 유기오염물질과 달리 생분해성(biodegradability)이 없으므로 생태계 내에서 먹이사슬에 의한 농축효과(biomagnification)가 발생되어 생물체로 축적되며 그 결과 다양한 질병과 장애를 초래하게 된다. 일례로 공단이나 광산에서 배출되는 중금속은 하천과 지하수로 유입되어 일차적으

로는 수중 플랑크톤 또는 조류 등에 의해 흡착되어 축적되고 이차적으로는 포식자인 물고기에 축적되며 최종적으로는 동물과 사람 체내에 축적됨으로써 인체에 악영향을 미치게 된다<sup>1)</sup>. 중금속은 수질 중 다양한 화학종(chemical species)으로 존재하며 그 형태에 따라 생태계에 미치는 영향도 상이한 것으로 보고되고 있다<sup>2)</sup>.

지난 수십 년간 중금속으로 오염된 수질을 정화하기 위해 다양한 물리화학적 기술이 개발되어 왔다. 그러나 현재 중금속 오염 수질의 정화방법으로 널리 이용되고 있는 이온교환수지법의 경우에는 처리 후 2차적인 오염이 발생될 우려가 있고 상대적으로 저농도의 중금속에 대한 제거효율이 낮으며 이온교환수지 자체가 고가인 문제점이 있다. 이외에도 활성탄, 화학적 침전, 화학적 산화 및 환원, 여과, 전기화학적 처리, 막분리 기술 등이 이용되고 있으나 대부분의 폐수 처리공정에서 중금속의 완전한 제거가 어렵고 특히 저농도의 중금속 제거에 있어 취약점을 갖는 것으로 보고되고 있다<sup>2,3,4,5,24)</sup>.

\*연락처:

Tel: +82-33-250-6443 Fax: +82-33-241-6640  
E-mail: soilok@kangwon.ac.kr

한편 최근 들어 폐기물 발생량의 증가에 따른 폐기물 재 활용이 큰 관심사로 대두되고 있으며 이와 함께 생물 유래 폐기물을 이용하여 폐수 중 중금속을 제거하는 생물흡착(biosorption)에 관한 연구도 활발히 보고되고 있다<sup>6,7)</sup>. 일반적으로 생물흡착제(biosorbent)의 중금속 흡착 기작은 생물의 세포벽을 구성하는 화합물의 관능기(functional group)와 중금속 이온 간의 킬레이션(chelation), 배위(coordination), 이온교환(ion exchange)에 의한 화학양론적 상호반응에 의한 것으로 알려져 있다<sup>3,8)</sup>.

생물소재를 이용한 중금속 폐수처리 공정은 기술이 간단하고 저농도의 중금속 제거에 효율적이며 폐자원을 이용하므로 경제적이고 공업용 이온교환수지 등과 달리 2차 오염이 발생될 우려가 없으므로 친환경적 기술로 부각되고 있다<sup>7)</sup>. 생물흡착제는 또한 넓은 범위의 pH 영역에 적용할 수 있으며 중금속에 대한 선택성이 높아 다양한 유형의 흡착공정에 적용할 수 있는 장점이 있다<sup>9)</sup>. 이러한 이유로 생물흡착(biosorption) 공정은 향후 기존의 중금속 폐수처리 공정을 대체할 것으로 예측된다<sup>10)</sup>. 현재까지 중금속 제거능을 보유하고 있는 것으로 보고된 생물흡착제로는 균류, 박테리아, 해조류, 톱밥 등이 있다<sup>11)</sup>. 국내에서는 일부 연구자들이 알긴산, 해조류, 미역 폐기물, 폐 페니실리움 균주, 중금속 내성 미생물 등을 이용하여 폐수의 중금속 흡착특성을 연구하였으나 식물 바이오매스(biomass)를 대상으로 한 생물흡착에 대한 연구는 상대적으로 부족한 실정이다<sup>1,3,12,13,14,22)</sup>.

식물 바이오매스 중 왕겨는 우리나라의 주곡 작물의 부산물로 확보가 매우 용이한데 일례로 2007년 국내 벼 생산량인 440만 8000톤에서 발생하는 왕겨의 양은 80~90만 톤에 달해 저렴한 비용으로 확보할 수 있는 장점이 있다<sup>25)</sup>. 한편 톱밥은 산업활동의 부산물로 소재 확보가 매우 용이하며 곤충 사육이나 각종 버섯의 재배, 훈제용 등의 용도로도 사용되므로 많은 양이 발생되어 가격이 매우 저렴한 장점을 지닌다<sup>2)</sup>. 이에 본 연구에서는 우리나라에서 발생량이 많고 가격이 저렴하며 확보가 용이한 왕겨 및 톱밥을 생물소재로 선정하여 폐수 중 흔히 존재하는 중금속(Cu, Zn, Cd, Pb)에 대한 흡

착효율을 평가하였으며 화학적 처리에 의한 흡착량 및 표면 변화를 분석하여 향후 왕겨 및 톱밥의 생물흡착제로의 적용 가능성을 평가하고자 수행하였다.

## 재료 및 방법

본 실험에 이용한 왕겨(Rice husk, RH)는 강원도 철원군에 위치한 A 정미소로부터 수집하였고 미송(*Pseudotsuga menziesii*, PM), 참나무(*Quercus*, Q), 포플러(*Populus*, P)는 경기도 가평군에 위치한 B 톱밥공장에서 수집하여 사용하였다. 각각의 식물 재료는 실험실로 운반하여 불순물을 제거한 후 분쇄기를 이용하여 파쇄하였다. 분쇄한 실험 재료는 건조기를 이용하여 60°C에서 3일간 건조시켰고 1 mm sieve를 통과한 시료만을 채취한 후 데시케이터에 보관하고 등온흡착실험에 사용하였다. 각 시료의 흡착능력 증대를 위해 화학적으로 개질한 흡착제의 제조는 톱밥의 경우 1 M NaOH 용액을 이용하여 고액 비율을 1:10으로 조절하고 20°C에서 2시간 동안 반응시킨 후 증류수를 이용하여 반복 세척하였다(SH-PM, SH-Q, SH-P; Table 1)<sup>15,16)</sup>. 왕겨(RH)의 경우에는 0.1 M NaOH 용액을 이용하여 고액 비율을 1:20으로 조절하고 20°C에서 2시간 동안 반응시킨 후 증류수로 반복 세척하였다<sup>17)</sup>. NaOH를 처리한 왕겨(SH-RH)는 추가적으로 1.2 M tartaric acid(C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub>) 용액을 이용하여 고액 비율을 1:7로 조절하고 20°C에서 2시간 동안 추가적으로 반응시킨 후 증류수로 반복 세척하였다(TA-RH)<sup>18)</sup>. 개질한 시료는 건조기에서 40°C로 3일간 건조하여 방냉한 후 흡착실험 전까지 데시케이터에 보관하였다.

공시 흡착제의 중금속 흡착 능력 조사는 복합 중금속 시스템에서 중금속 종류별 흡착능력을 조사하였다. 중금속 흡착실험에 사용한 시약은 Cd, Cu, Pb, Zn에 대해 각각 Sigma-Aldrich사의 AR급 cadmium nitrate tetrahydrate (Cd(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·4H<sub>2</sub>O), copper(II) nitrate hydrate(Cu(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·2.5H<sub>2</sub>O), lead(II) nitrate(Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>), zinc nitrate hexahydrate(Zn(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>·6H<sub>2</sub>O)를 사용하여 100 mg L<sup>-1</sup> Cd, Cu,

Table 1. The changes in pH of artificial wastewater after reaction with each biosorbent

Biosorbent	RH	SH-RH	TA-RH	PM	SH-PM
pH <sub>i</sub>	5.52 ± 0.03	5.51 ± 0.02	5.46 ± 0.04	5.53 ± 0.03	5.48 ± 0.03
pH <sub>e</sub>	4.48 ± 0.05	5.53 ± 0.01	2.52 ± 0.03	4.45 ± 0.06	5.50 ± 0.03

Biosorbent	Q	SH-Q	P	SH-P
pH <sub>i</sub> <sup>a</sup>	5.51 ± 0.01	5.52 ± 0.02	5.49 ± 0.02	5.51 ± 0.03
pH <sub>e</sub> <sup>b</sup>	4.45 ± 0.04	5.53 ± 0.03	4.44 ± 0.05	5.52 ± 0.03

RH, Rice husk; PM, *Pseudotsuga menziesii*; Q, *Quercus*; P, *Populus*; SH-, sodium hydroxide treatment; TA-, tartaric acid treatment

<sup>a</sup> Initial pH

<sup>b</sup> Equilibrium pH

Pb, Zn으로 복합 오염된 인공폐수를 조제하였다. 등온흡착 실험은 흡착제:인공폐수의 비율을 1:200으로 설정하여 항온수조에서 20°C, 120 rpm의 조건으로 24시간 동안 반응시켰다. Volesky 등<sup>7)</sup>은 kinetic 연구를 통해 반응온도가 40°C일 경우 20°C의 반응과 비교해 미량의 흡착량 증가가 있으나 에너지 이용효율 측면에서 비경제적이고, 60°C 이상으로 반응온도가 높아지면 흡착제의 구조에 변형을 가져올 수 있음을 지적한 바 있어 모든 반응온도는 20°C로 설정하였다. 또한 반응과정 중 중금속의 침전을 방지하기 위하여 용액의 초기 pH와 평형 pH는 0.01 M HCl 및 0.01 M NaOH 를 이용하여 pH 5.5 를 유지하였다. 반응 후 용기내의 상등액은 여과지(filter paper)를 통과시킨 후 ICP-AES(Perkin-Elmer, Optima 3100XL)를 이용하여 각각의 중금속 농도를 측정하였다. 중금속 흡착량(q)은 초기 인공폐수에 함유된 중금속 농도를 C<sub>i</sub>로 평형 후 농도를 C<sub>e</sub>로 설정하여 다음의 식 (1)에 따라 계산하였다<sup>7)</sup>.

$$q = V \times (C_i - C_e) \div S \tag{1}$$

- q : 흡착능(mg g<sup>-1</sup>)
- C<sub>i</sub> : 초기농도(mg L<sup>-1</sup>)
- C<sub>e</sub> : 평형농도(mg L<sup>-1</sup>)
- V : 인공폐수 부피(L)
- S : 흡착제 무게(g)

화학적 개질 전·후 흡착제의 표면변화는 SEM(JEOL, JSM-5410)을 이용하여 관찰하였으며 화학적 관능기의 변화는 FT-IR (Bio-Rad, FTS 3000MX)을 이용하여 측정하였다.

### 결과 및 고찰

중금속 흡착실험 결과 왕겨와 3종의 톱밥(미송, 참나무, 포플러) 모두 화학적 처리를 하지 않은 경우에 비해 NaOH 를 이용 표면특성을 개질한 경우에 Cu 등 중금속 흡착량이 2~3배까지 증가하였다. 이는 NaOH가 비누화제로서 작용하여 흡착제 표면의 불순물 제거를 통해 흡착이 가능한 비표면적이 더 많이 노출되었기 때문인 것으로 판단된다. 반면 tartaric acid로 표면 개질한 왕겨(TA-RH)에서는 Cu의 흡착량이 무처리구(RH)와 비교하여 큰 차이가 없었다(Fig. 1). 또한 Cu의 흡착에 있어 NaOH에 의한 개질은 왕겨와 톱밥 3종 모두 뚜렷한 흡착량 증가를 나타냈고 NaOH의 개질 효과는 참나무 톱밥(SH-Q) > 포플러 톱밥(SH-P) > 미송 톱밥(SH-PM) > 왕겨(SH-RH)의 순으로 조사되었다. 특히 NaOH로 개질한 참나무 톱밥은 Cu의 최대흡착량이 13.47 mg g<sup>-1</sup>으로 나타나 Šćiban 등(2006)이 보고한 1 M NaOH 개질 포플러 톱밥의 Cu에 대한 최대흡착량(q<sub>max</sub>) 6.92 mg g<sup>-1</sup> 보다 2배 높은 것으로 계산되었다. Pb의 흡착은 모든 식물소재에서 Cd, Cu, Zn에 비해 높은 흡착량을 보였다. 특히 NaOH로 개질한 왕겨(SH-RH)와 미송 톱밥(SH-PM)에서 무처리구와 비교하여 흡착량이 2~2.5배 증가하였고 Pb에 대

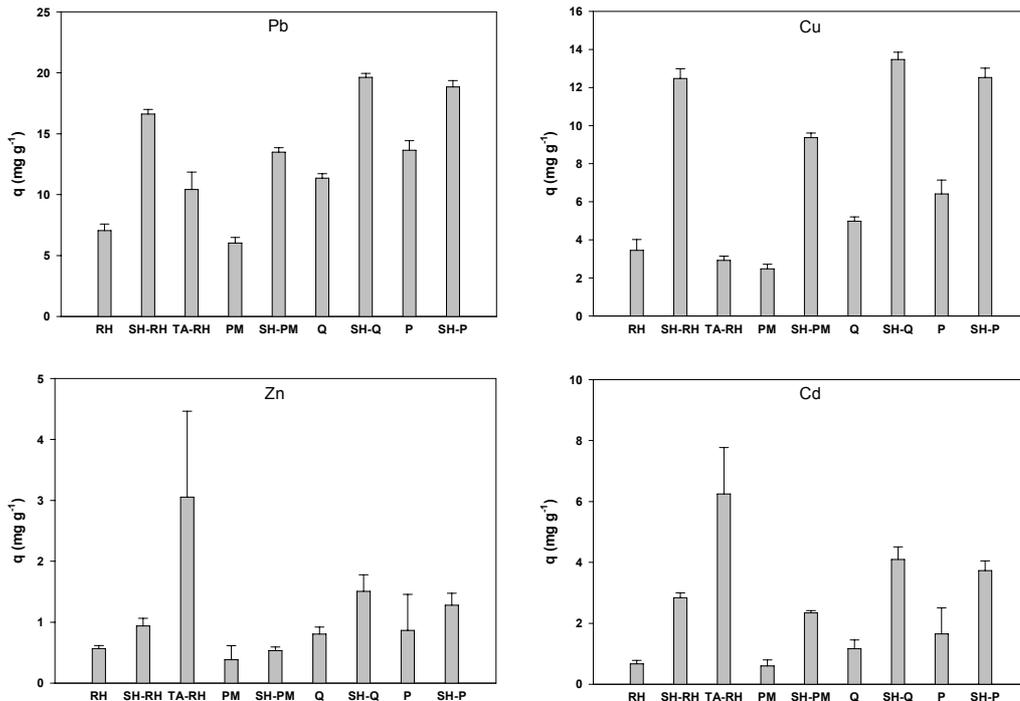


Fig. 1. Adsorption capacities(mg g<sup>-1</sup>) of heavy metal ions(Cd, Cu, Pb and Zn) from aqueous solutions by different sources of biosorbents with and without chemical modification. Treatment codes are described in Table 1.

한 흡착량은 SH-Q > SH-P > SH-RH > SH-PM 순으로 나타났다.

Tartaric acid로 개질한 왕겨(TA-RH)의 Pb 흡착량은 Cu의 경우와 같이 NaOH 개질 왕겨(SH-RH) 보다 낮은 증가율을 나타냈다. 그러나 Cu와 Pb의 경우와는 달리 Zn의 경우에는 tartaric acid로 개질한 왕겨(TA-RH)에서 흡착량이 3.05 mg g<sup>-1</sup>으로 무처리시보다 5~6배 정도 증가하였다. 이와 달리 Šćiban 등(2006)은 NaOH 개질 포플러 톱밥이 Zn에 대해 최대흡착량이 15.8 mg g<sup>-1</sup>이라고 보고한 바 있으나 본 실험에서는 tartaric acid 개질이 Zn의 흡착량 증대에 효율적임을 알 수 있었다. 이는 동일한 포플러라도 환경적 요인 등에 의해 특성 차이가 생길 수 있으므로 상이한 결과가 나타난 것으로 판단된다. Zn에 대해 높은 흡착량을 나타내는 소재는 TA-RH > SH-Q > SH-P > SH-RH 순이었다. Cd의 흡착은 Zn와 같은 경향을 보였는데 tartaric acid로 개질한 왕겨(TA-RH)의 경우 6.25 mg g<sup>-1</sup>으로 무처리보다 10배정도 흡착량이 증가하였다. 따라서 Zn과 Cd의 흡착은 모두 NaOH에 의한 개질 보다는 tartaric acid에 의한 개질이 흡착량 증가에 큰 영향을 주는 것으로 판단되었다. Cd에 대해 높은 흡착량을 나타내는 소재는 TA-RH > SH-Q > SH-P > SH-RH 순으로 조사되었다. 한편 왕겨와 톱밥 3종

의 중금속 선택성은 Pb > Cu > Cd > Zn 순으로 모두 같은 경향을 보였고 중금속별 최대 흡착량은 Cu와 Pb의 경우 SH-Q(Cu: 13.47 mg g<sup>-1</sup>, Pb: 19.36 mg g<sup>-1</sup>), Cd와 Zn의 경우 TA-RH(Cd: 5.37 mg g<sup>-1</sup>, Zn: 2.24 mg g<sup>-1</sup>)로 나타났다. 조 등(2004)은 생물흡착제는 중금속에 대해 선택적 중금속 흡착을 하며 이는 생물흡착체가 가지고 있는 작용기들이 중금속에 대한 선택성을 가지고 있기 때문으로 보고한 바 있다<sup>1,13,19</sup>.

SEM 분석 결과 왕겨(RH)는 표면이 볼록한 형태를 나타내었고 상당량의 불순물이 존재하며 표면이 다소 거칠음을 관찰할 수 있었다(Fig. 2a). 그러나 NaOH로 표면을 개질한 왕겨(SH-RH)에서는 개질 전(RH)과 비교하여 표면이 평탄하고 매끄러우며 불순물이 제거·안정화된 표면이 관찰되었다(Fig. 2b). 따라서 NaOH 개질은 흡착을 일으킬 수 있는 표면적을 노출시킴으로써<sup>11</sup> 흡착량이 증가되는 것으로 판단할 수 있었다. Tartaric acid로 개질한 왕겨(TA-RH)에서는 볼록한 부분이 보다 조밀하게 분포하였고 표면이 매끄럽게 안정화됨을 관찰할 수 있었다(Fig. 2c). 일반적으로 중금속의 종류에 따라 흡착제에 결합되는 관능기와 중금속들의 흡착특성이 다르기 때문에<sup>13,25</sup> 본 연구에 사용된 소재의 등온흡착실험 결과를 분석해 볼 때 tartaric acid 개질로 인해 새롭

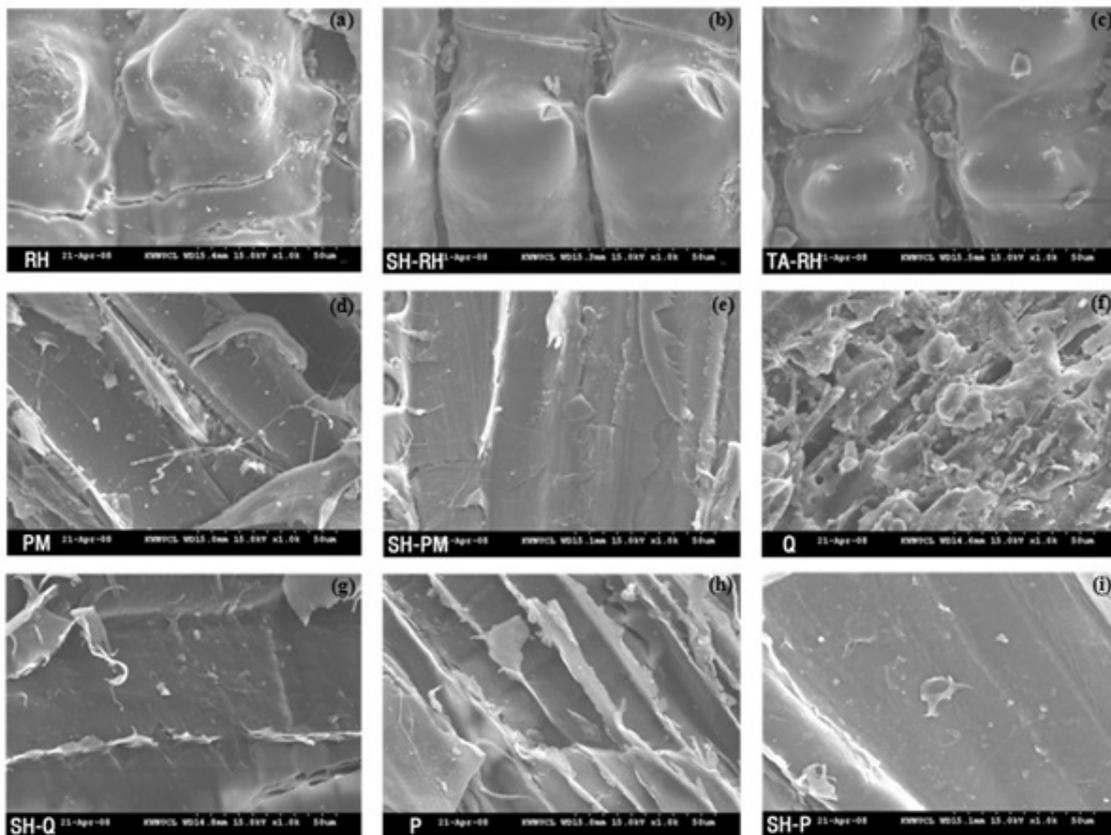


Fig. 2. Scanning electron microphotographs of different sources of biosorbents with and without chemical modification Treatment codes are described in Table 1.

게 생겨난 불룩한 부위는 Zn과 Cd에 대한 흡착능에 관여하는 관능기일 것으로 판단된다.

톱밥의 경우 개질 전·후를 비교해보면 NaOH로 개질한 후 거친 표면이 매끄럽게 안정화되고 불순물이 제거됨을 관찰할 수 있었고(Fig. 2e, Fig. 2g and Fig. 2i) 이로 인해 흡착 표면적이 노출되어 흡착량이 증가한 것으로 판단된다. 한편 톱밥 3종에 대한 SEM 결과에서는 참나무 톱밥(Q)의 표면이 가장 조밀하고 거칠었으며 미송 톱밥(PM)이 상대적으로 매끄러운 표면을 지님을 확인할 수 있었다(Fig. 2d and Fig. 2f). 톱밥 3종 중 참나무 톱밥의 SEM 결과에서는 작은 기공을 관찰 할 수 있었는데 이러한 기공에 의해 관능기에 의한 흡착뿐 아니라 물리적 흡착도 일어날 수 있다고 추측해 볼 수 있다<sup>23)</sup>.

왕겨의 개질 전·후 FT-IR 분석결과 IR 스펙트럼상에서 중금속 이온과 치환될 것으로 사료되는 관능기를 확인할 수 있었다(Fig. 3). 이 중  $3400\text{ cm}^{-1}$ 의 hydroxyl group은 증류수의 FT-IR 분석결과 수분에 의한 관능기로 판단되어 결과 해석에서 제외하였다. 왕겨에서는  $1080\text{ cm}^{-1}$ 에서의 carbonyl group, hydroxyl group, carboxyl group 등이 관찰되었는데 왕겨는 주로 cellulose(28-36%)로 구성되어 있어 carboxyl group을 많이 함유하여 흡착능이 높은 것으로 보고된 바 있

다<sup>17,18,21)</sup>. NaOH로 개질한 경우에는 peak에 큰 변화는 없었으나 tartaric acid로 개질한 후  $1184\text{ cm}^{-1}$ 와  $1735\text{ cm}^{-1}$ 사이의 carboxylate group, carboxyl group, methylene group 등의 새로운 peak가 관찰되었다. FT-IR 분석은 정량 분석이 아닌 정성분석이기 때문에 관능기의 수가 증가하였음을 결론지을 수는 없지만 앞선 SEM 분석결과에서 불룩한 부분이 조밀해진 것으로부터 tartaric acid의 개질에 의해 carboxylate group, carboxyl group 등 새로운 관능기가 생성되었음을 추측할 수 있으며 이 관능기들이 Zn과 Cd에 대해 선택적 흡착능을 가지고 있는 것으로 판단된다. 미송, 참나무, 포플러 3종의 톱밥에 대한 FT-IR 분석결과 모두 유사한 패턴의 peak를 나타내었는데(Fig. 3) IR 스펙트럼 상  $1030\text{ cm}^{-1}$ 에서의 carbonyl group과 hydroxyl group,  $1200\text{ cm}^{-1}$ 과  $1700\text{ cm}^{-1}$  사이의 carboxylate group, carboxyl group, methylene group, ester group 등을 관찰할 수 있었다. 또한 NaOH로 개질한 후의 peak는 개질전의 peak와 동일한 패턴으로 해석되었다. SEM 분석과 FT-IR 분석을 통해 NaOH 개질에 의한 흡착량 증가는 새로운 관능기 생성에 의한 것이 아닌 표면 불순물의 제거와 안정화로 인한 것임을 알 수 있었다.

NaOH 개질은 생물흡착소재에서 유기물 등을 불용화하

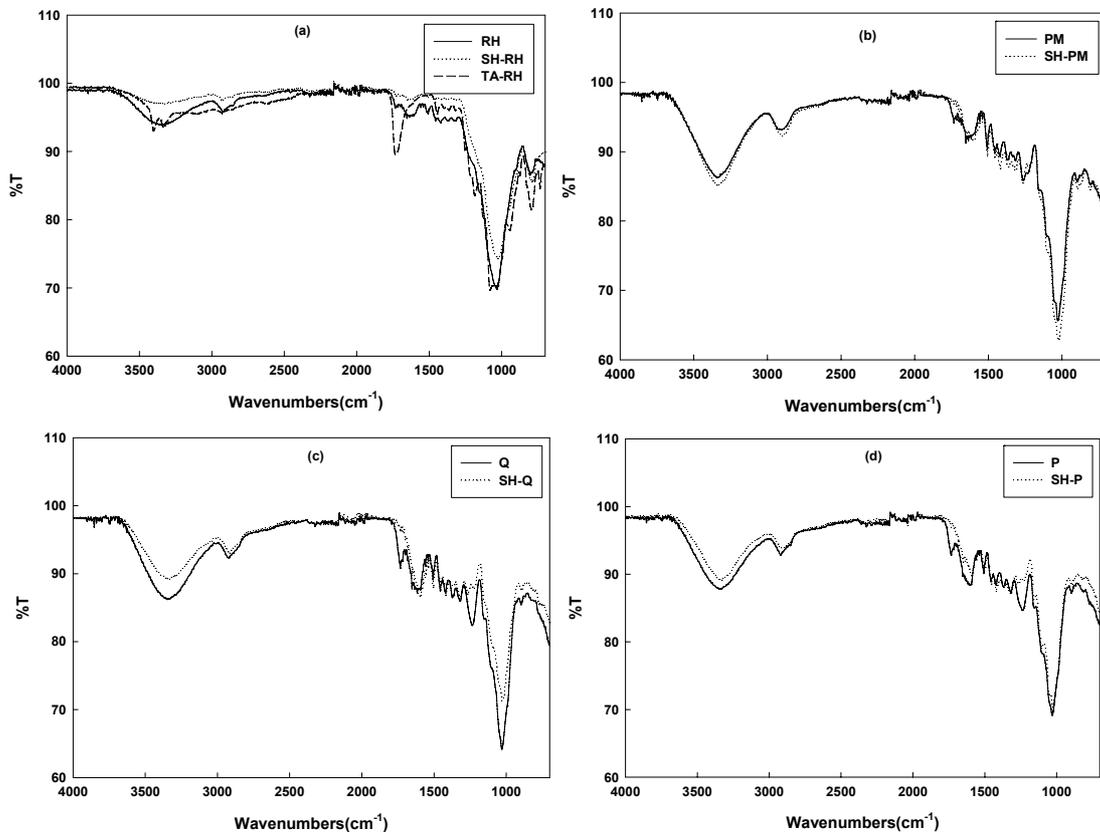


Fig. 3. FT-IR spectrum of different sources of biosorbents with and without chemical modification. Treatment codes are described in Table 1.

는 것으로 보고된 바 있는데 이로 인해 pH가 낮아지거나 COD 등이 증가하는 것을 방지할 수 있음이 보고되었다<sup>11)</sup>. 본 실험결과에서도 24시간 교반 이후 pH 5.5를 조절하는 과정에서 NaOH로 개질한 경우에는 pH의 변화가 관찰되지 않았는데(Table 1) NaOH는 이외에도 ester group을 흡착능이 높은 carboxylate group으로 전환시키는 것으로 알려져 있다<sup>20)</sup>. 최근에는 NaOH 대신 폐 세제를 처리하는 경우 NaClO와 NaIO<sub>3</sub> 등에 의해 carboxylic group의 수를 증가시킬 수 있음이 보고되어 향후 표면 특성을 개질하기 위한 처리제의 비용 절감도 기대할 수 있을 것으로 판단된다<sup>11)</sup>.

### 요 약

왕겨와 톱밥 3종(미송, 참나무, 포플러)을 sodium hydroxide(NaOH)와 tartaric acid(C<sub>4</sub>H<sub>6</sub>O<sub>6</sub>)를 처리한 후 중금속 흡착특성을 평가한 결과 모든 소재에서 중금속 선택성은 Pb > Cu > Cd > Zn 순으로 나타났다. 참나무 톱밥(NaOH로 개질)은 Pb(19.36 mg g<sup>-1</sup>)과 Cu(13.47 mg g<sup>-1</sup>)에 대해 그리고 왕겨(tartaric acid로 개질)는 Cd(5.37 mg g<sup>-1</sup>)과 Zn(2.24 mg g<sup>-1</sup>)에 대해 뛰어난 흡착능을 나타내었다. SEM 분석결과 4가지 소재에서 모두 NaOH 개질 후에 표면의 불순물이 제거됨이 확인되었고 흡착표면이 매끄럽게 안정화 된 것을 관찰할 수 있었다. FT-IR 분석결과 왕겨는 1080 cm<sup>-1</sup>에서 carbonyl group, hydroxyl group 등의 관능기가 존재함을 확인하였고 tartaric acid로 개질한 경우 1184 cm<sup>-1</sup>와 1735 cm<sup>-1</sup>에서 carboxylate group, carboxyl group, methylene group 등의 새로운 관능기가 생성됨을 확인하였다. 3종의 톱밥(미송, 참나무, 포플러)에 대한 FT-IR 분석결과 왕겨와 유사한 peak가 관찰되었는데 1030 cm<sup>-1</sup>에서 carbonyl group과 hydroxyl group, 1200 cm<sup>-1</sup>과 1700 cm<sup>-1</sup> 사이에서 carboxylate group, carboxyl group, methylene group 등이 이에 해당하였다. 한편 NaOH로 개질한 경우 peak에서 큰 변화를 나타내지 않았으나 흡착량이 증가한 것은 표면개질로 새로운 관능기가 생성되지는 않았으나 표면의 불순물이 제거·안정화됨으로써 흡착 표면적이 증가되었기 때문인 것으로 판단되었다.

### 사 사

본 연구는 21세기 프론티어연구개발사업인 수자원의 지속적 확보기술개발사업단의 연구비지원(과제번호: 2-2-3)에 의해 수행되었습니다. 시료의 기기분석은 강원대학교 공동실험실습관에서 수행되었습니다.

### 참고문헌

1. Lee, H. S. (1999) Characteristics of cadmium bio-

sorption and desorption by brown marine algae, *KENSS*. 8, 249-254.

2. Lee, H. Y., Lim, J. E., Hong, K. C., Yang, J. E. and Ok, Y. S. (2008) Biosorption technology for removal of heavy metals from wastewater: a literature review, *TALS*. 6, 15-24.

3. Seo, Y. C., Lee, H. J. and Kim, D. W. (2006) Characteristics of heavy metals bio-sorption by *Penicillium* biomass, *KSFEA*. 9, 49-54.

4. Ok, Y. S., Kim, J. G., Yang, J. E., Kim, H. J., Yoo, K. Y., Park, C. J. and Chung, D. Y. (2004) Phytoremediation of heavy metal contaminated soils using transgenic plants, *Korean J. Soil Sci. Fert.* 36, 323-332.

5. Ok, Y. S., Lim, S. K., Kim, J. G. (2003) The application of dual function organoclay on remediation of toxic metals and organic compounds in soil-water system. *Kor. J. Environ. Agric.* 22, 177-184.

6. Cha, W. S., Kim, J. S., Cho, B. S. and Kim, J. K. (1998) A study on the adsorption of heavy metals by chitosan obtained from shrimp shell, *J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry*. 9, 504-508.

7. Volesky, B. (2007) Biosorption and me, *Water Res.* 41, 4017-4029.

8. Hong, K. C., Choi, Y. B., Lee, H. Y. Yang, J. E. and Ok, Y. S. (2008) Applicability of biosorbents for precious metals recovery process, *TALS*. 6, 25-33.

9. Ehrlich, H.L. and Brierley, C. (1990) Microbial mineral recovery, Mc-Graw-Hill Publishing Com.

10. Demirbas, A. (2008) Heavy metal adsorption onto agro-based waste materials: A review, *J. Hazard. Mat.* 157, 220-229.

11. Wan Ngah, W.S. and Hanafiah, M.A.K.M. (2007) Removal of heavy metal ions from wastewater by chemically modified plant wastes as adsorbents: A review, *Bioresour. Technol.* 99, 3952-3948.

12. Kim, I. B. (2002) A study on the removal of heavy metals by biomass(I), *J. Korean Society of Environmental Administration*. 8, 223-229.

13. Cho, J. S., Park, I. N., Heo, J. S. and Lee, Y. S. (2004) Biosorption and desorption of heavy metals using *Undaria* sp, *Kor. J. Environ. Agric.* 23, 92-98.

14. Kim, S. U., Choi, I. W., Seo, D. C., Han, M. H., Kang, B. H., Heo, J. S., Shon, B. K. and Cho, J. S. (2005) Biosorption of heavy metal in aqueous solution by heavy metal tolerant microorganism

- isolated from heavy metal contaminated soil, *Kor. J. Environ. Agric.* 24, 379-385.
15. Šiban, M., Klašja, M. and Šrbić, B. (2006) Modified softwood sawdust as adsorbent of heavy metal ions from water, *J. Hazard. Mat.* 136, 266-271
  16. Memon, S.Q., Memon, N., Shah, S.W., Khuhawar, M.Y. and Bhangar, M.I. (2007) Sawdust - a green and economical sorbent for the removal of cadmium(II) ions, *J. Hazard. Mat.* 139, 116-121.
  17. Wong, K.K., Lee, C.K., Low, K.S. and Haron, M.J. (2003) Removal of Cu and Pb by tartaric acid modified rice husk from aqueous solutions, *Chemosphere.* 50, 23-28.
  18. Wong, K.K., Lee, C.K., Low, K.S. and Haron, M.J. (2003) Removal of Cu and Pb from electroplating wastewater using tartaric acid modified rice husk, *Process Biochem.* 39, 437-445.
  19. Lee, M. G., Lim, J. H., Hyun., S. S. and Kam, S. K. (2002) Adsorption characteristics of copper ion by jeju scoria, *HWAHAK KONGHAK.* 40, 252-258.
  20. Min, S. H., Han, J. S., Shin, E. W. and Park, J. K. (2004) Improvement of cadmium ion removal by base treatment of juniper fiber, *Water Res.* 38, 1289-1295.
  21. Kumar, U. and Bandyopadhyay, M. (2006) Sorption of cadmium from aqueous solution using pre-treated rice husk, *Bioresour. Technol.* 97, 104-109.
  22. Jeon, C. and Choi, S. S. (2007) A study on heavy metal removal using alginic acid, *KORRA.* 15, 107-114.
  23. Jeon, C. and Kim, J. H. (2007) Heavy metal removal using sawdust, *KORRA.* 15, 81-88.
  24. Ok, Y. S., Yang, J. E., Zhang, Y. S., Kim, S. J. and Chung, D. Y. (2007) Heavy metal adsorption by a formulated zeolite-Portland cement mixture, *J. Hazard. Mat.* 147, 91-96.
  25. Lee, H. Y., Hong, K. C., Lim, J. E., Joo, J. H., Yang, J. E. and Ok, Y. S. (2009) Adsorption of heavy metal ions from aqueous solution by chestnut shell, *Kor. J. Environ. Agric.* 28, 69-74.
-