

Remediation of Heavy Metal Polluted Agricultural Field with Spent Mushroom Media

Hee Je Chang, Young-Kyu Hong, Soon-Oh Kim¹, Sang-Woo Lee¹, Byung-Tae Lee², Sang-Hwan Lee³,
Mi-Jung Park³, and Sung-Chul Kim*

Department of Bio-Environmental Chemistry, Chungnam National University, Daejeon, 34134, Korea

¹*Department of geology, Gyeongsang National University, Jinju, 52828, Korea*

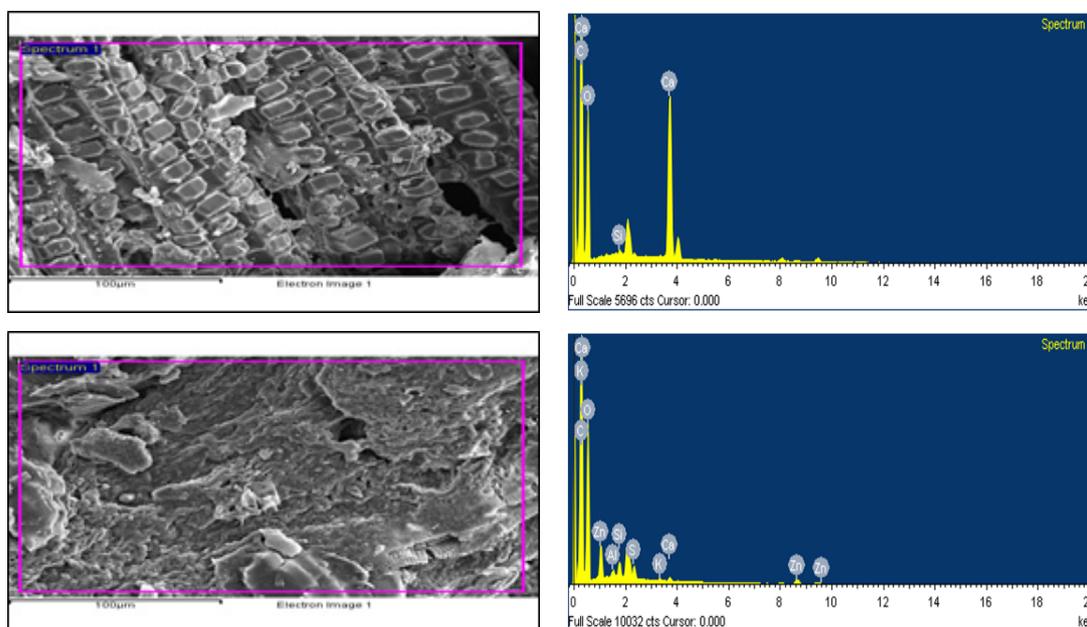
²*School of Environmental Science and Engineering, Gwangju Institute of Science and Technology, Gwangju, 61005, Korea*

³*Mine Reclamation Corporation, Wonju, 26464, Korea*

(Received: December 27 2015, Revised: January 20 2016, Accepted: February 26 2016)

Environmental pollution from abandoned metal mines has been awarded as serious problem and many techniques have been applied to remediate pollutants. Main objective of this research was to evaluate efficiency of heavy metal sorption capacity of spent mushroom media (SMM) in aqueous and soil matrix. Laboratory batch experiment was conducted and 4 different heavy metals (Cd, Pb, Cu, Zn) were evaluated. In aqueous phase, all 4 heavy metals showed high reduction efficiency ranged from 60-99% and Pb showed the highest sorption efficiency. In case of soil phase, much lower sorption efficiency was observed compared to aqueous phase. The highest reduction efficiency was observed in Cd (average of 38%). With scanning electron microscopy energy dispersive detector (SED-EDS) analysis, we confirmed sorption of heavy metals at the surface of SMM. Overall, SMM can be used as sorption materials for heavy metals in both aqueous and soil matrix and more research should be conducted to increase sorption efficiency of SMM in soil.

Key words: Heavy metals, Spent mushroom media, Sorption, Soil



SEM-EDS image of spent mushroom media after Zn sorption batch experiment (Upper-control, Below-after Zn sorption).

*Corresponding author: Phone: +82428216737, Fax: +82428216731, E-mail: sckim@cnu.ac.kr

§Acknowledgement: This research was supported by "Establishing integrated management system for risk assessment in mining region" through the Mine Reclamation Corporation (MIRECO) funded by the Ministry of Trade, Industry, and Energy.

Introduction

우리 사회는 급속한 산업화와 경제발전이 이루어졌다. 이에 동력이 되었던 광산들은 자원고갈과 경제성 감소로 인해 대다수가 휴·폐광 하였다. 공업지역, 광산지역 및 제련소 등에서 발생된 중금속은 다양한 환경 경로를 지나 인근지역 토양에 집적된다 (Jeon et al., 2007; Jeon et al., 2010). 국내 광산은 총 5,396개소로 석탄광산 400개소, 일반광산 4,996개소가 존재한다. 이 중 일반광산은 금속광산 2,166개소, 비금속광산 2,830개소로 분류된다. 총 광산의 40%를 차지하는 금속광산 2,166개 중 56개의 가행광산을 제외한 나머지 2,110개는 휴·폐 광산이다 (MIRECO, 2014). 국내 광산의 97%를 차지하고 있는 휴·폐광산 지역은 광산폐기물처리장으로 인한 주변지역으로의 산성광산배수 배출, 폐기물의 물리적 유실과 광산폐기물의 무분별한 매립 등으로 광산인근 경작지 토양의 오염이 발생한다 (Choi et al., 2012; Oh et al., 2011). 중금속은 유기오염물질과 달리 화학반응에 의해 분해되지 않고 환경에 집적된다. 오염된 토양에서 생산된 농작물은 중금속을 함유할 수 있으며 생물종의 먹이사슬에 의하여 생물농축효과가 발생된다. 중금속은 최종적으로 인체 내에 고농도로 축적되어 영향을 미치기 때문에 이에 대한 정화가 필요하다 (Jeon et al., 2007; Jeon et al., 2010; Kim et al., 2011; Lee et al., 2009a).

중금속으로 오염된 토양을 복원하기 위한 방법은 물리적·화학적·생물학적 공법으로 분류되어 토양세척, 굴착 및 폐기, 유리화, 동전기, 식물정화 등이 있으나 여러 중금속으로 오염된 경우나 오염범위가 넓은 경우 등 적용의 용이성·경제성 등을 고려할 때 중금속의 제거가 용이하지 않다. 화학적 안정화제를 사용하여 중금속을 안정화시키는 안정화/고정화 공법은 중금속의 종류에 따라 다양한 물질의 선택이 할 수 있고, 적용방법이 용이하며 처리비용이 저렴하기 때문에 중금속 오염토양을 복원하기에 적합한 공법이다 (Jeon et al., 2010; Oh et al., 2011).

버섯폐배지란 버섯을 생산하고 남은 산업부산물로 국내

버섯폐배지는 버섯 생산량의 최소 10.7배로 발생한다 (Kim et al., 2007). 2010~2013년 평균 버섯생산량인 168,610 M ton⁻¹의 10.7배로 연평균 1,804,129 M ton⁻¹의 버섯폐배지가 발생한다. 따라서 버섯폐배지의 효율적인 재활용 방안 모색을 위해 다양한 연구가 이루어지고 있다. 토마토생산용 배지로의 이용 (Lee et al., 2005), 지렁이 생산용 배지로의 이용 (Bae et al., 2010), 가축품질 개량제로의 이용 (Lee et al., 2006), 사료로의 이용 (Kim et al., 2010) 등이 대표적인 폐버섯배지의 재활용 용도로 사용되고 있다.

이에 본 연구는 국내 발생량이 많은 산업부산물인 버섯폐배지를 중금속 안정화제로서 효율성을 확인하고, 이를 활용하여 중금속 오염 토양 현장 적용이 가능한지 확인하고자 수행되었다.

Materials and Methods

시료채취 본 연구에서 이용된 산업부산물인 버섯폐배지는 대전광역시 유성구에 위치한 버섯 농장에서 2014년 7월 29일에 제공받았다. 생산되고 있는 버섯은 새송이버섯 한 종류로 병재배되고 있었다. 배지는 느티나무 톱밥 30%, 옥분 40%, 옥수수대 (corn cob) 30%, 폐화석 1% 미만으로 구성되어 있다. 버섯을 수확하고 남은 배지는 자동 탈병기를 이용하여 탈병 후 균일하게 혼합하고 채취하여 풍건하였다. 이후 2 mm 이하로 체거름하여 사용 전까지 실온에서 보관하였다 (Fig. 1).

중금속 수용액 제조 실험에 사용된 중금속 수용액은 고체시약을 이용하여 구리 (Cu, Copper(II) Chloride dihydrate, SAMCHUN, Korea), 납 (Pb, Lead(II) nitrate, SAMCHUN, Korea), 카드뮴 (Cd, Cadmium chloride 2.5-hydrate, KANTO, Japan), 아연 (Zn, Zinc sulfate heptahydrate, SAMCHUN, Korea)을 1000 mg L⁻¹으로 제조한 뒤 100 mg L⁻¹으로 희석하여 사용하였다.



Fig. 1. Raw materials of spent mushroom media (SMM).

버섯폐배지의 물리 화학적 특성 분석 버섯폐배지의 물리화학적 특성은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 분석하였다 (NIAST, 1988). 버섯폐배지의 수소이온지수 (pH)와 전기전도도 (EC)는 1:5 H₂O 법을 이용하여 pH meter (MP220, METTLER TOLEDO, USA)와 EC meter (Conductivity Meter S230, METTLER TOLEDO, USA)로 측정하였다. 유효인산 (P₂O₅)은 Bray No. 1을 이용하였으며, 유기물함량 (OM)은 Walkley & Black법으로 측정기기는 spectrophotometer (UVmini-1240, SHIMADZU, Japan)를 이용하여 유효인산은 660 nm, 유기물 함량은 610 nm에서 비색정량 하였다. 양이온치환용량 (CEC)는 1 N-NH₄OAc법을 이용하여 pH meter로 측정하였다. FT-IR (ALPHA-P, Bruker, German)를 이용하여 버섯폐배지가 함유하고 있는 기능기 (functional group)를 조사하였으며, SEM-EDS (JSM-7000F, JEOL, Japan)를 이용하여 버섯폐배지의 표면상태와 물질 표면의 정성분석을 실시 하였다. 중금속 분석은 가용성 중금속을 확인하기 위해 환경부의 '토양오염공정시험법'에 준하여 작물유효태 분석법인 0.1 N-HCl과 MehlichIII (Mehlich, 1984) 두 방법으로 비교하였으며, 농진청 '토양화학분석법'에 준하여 왕수 (HNO₃:HCl=1:3) 분해로 전 함량 (total content)을 확인하였다. Cd, Cu, Pb, Zn을 대상으로 AAS (AA-6800, SHIMAD-ZU, Japan)로 측정하였다 (Table 1).

버섯폐배지 중금속 흡착 실험 중금속을 함유한 회분식 형태로 수행되었다. 앞서 제조한 Cu, Pb, Cd, Zn 용액으로 희석하여 각각 50 mL 씩 250 mL 삼각플라스크에 담은 후 버섯폐배지 시료의 양을 제조한 수용액 50 mL에 대하여 0, 1, 3, 5%(w/v)을 넣고 실온에서 flask shaker (KMC-1205SL, Vision, Korea)에 150 rpm으로 교반시켰다. 1, 5, 10, 20, 60, 120, 360, 720, 1440, 2880분 반응 후 상층액을 여과지 (Whatman No.2)에 즉시 여과시켰다. 여과된 수용액의 중금속 농도는 AAS로 측정하였다.

오염토양의 물리 화학적 특성 분석 오염토양은 충북 단양군 조일 (상곡)광산 인근에서 채취하여 실온에서 보관하였다. 토양 분석에 사용하기 위해 시료는 풍건한 후, 2 mm 체거름 하여 사용하였으며, 왕수 분해와 유기물 함량 분석 시에는 각각 0.15 mm, 1 mm 체거름을 하여 분석에 사용하였다. 시료 채취 광산인 조일광산은 갱구가 1개소인 광산으

로 금, 은, 납, 아연을 채광 하였으며, 1997년에 토양오염방지사업이 진행된 광산이다. 오염토양의 물리화학적 특성은 농촌진흥청 토양화학분석법에 준하여 분석하였다 (NIAST, 1988). 오염토양의 수소이온농도 (pH)와 전기전도도 (EC)는 1:5 H₂O 법을 이용하여 pH meter와 EC meter를 이용하여 측정하였다. 유효인산 (P₂O₅)은 Bray No. 1 법을 이용하고 유기물 함량 (OM)은 Walkley & Black법으로 spectrophotometer를 이용하여 610 nm에서 비색정량 했다. 양이온치환용량 (CEC)는 1 N-NH₄OAc를 이용하여 AAS로 측정하였다. 중금속 분석은 가용성 중금속을 확인하기 위해 작물유효태 분석법인 0.1 N HCl법과 MehlichIII 두 방법으로 비교하였으며, 중금속 전 함량 (total content)을 확인하기 위해 왕수 분해법으로 분해 후, Cd, Pb, Cu, Zn을 대상으로 AAS로 측정하였다.

토양 배양 실험 풍건한 오염토를 2 mm 이하로 체 거름 한 후 250 mL Bottle에 건조 토 100 g에 버섯폐배지 0, 1, 3, 5%(w/w)를 넣고 포장용수량의 약 40%로 증류수와 혼합하여 25°C에서 3, 7, 14, 30, 60일 배양시켰다. 배양이 끝난 토양을 105°C에 8시간 건조 후 분석하였다. 중금속 분석은 작물유효태 분석법인 0.1N HCl법과 MehlichIII를 이용하여 가용성 중금속량을 확인하였다. 배양 기간인 3, 7, 14, 30, 60일로 토양특성을 비교하기 위해 pH와 EC를 측정하였다.

Results and Discussion

버섯폐배지의 특성 버섯폐배지의 pH는 5.21로 팽이버섯폐배지 (톱밥:짚겨, 4:1)의 pH 5.5보다 산성을 띠고, EC는 25.17 dS m⁻¹로 팽이버섯폐배지 (4.2 dS m⁻¹)보다 약 6배 높게 나왔다 (Lee et al., 2005). CEC는 20.46 cmol kg⁻¹로 나타났다. 유기물함량은 121.25 mg g⁻¹으로 68 mg g⁻¹의 팽이버섯폐배지보다 약 2배 높게 나왔다. 유효인산은 136.467 mg kg⁻¹으로 5803 mg kg⁻¹의 팽이버섯폐배지와 40배 이상 차이를 보였다. 이는 버섯폐배지는 배지를 조성하는 재배방식에서 조성 재료의 비율에 따른 차이로 사료된다 (Kim et al., 2007). 왕수분해를 통해 버섯폐배지가 가지는 총 중금속 함량을 Table 2에 나타내었다. 버섯폐배지의 Zn은 35.3 mg kg⁻¹으로 다른 중금속 함량에 비해 높게 나타났으나, 그 외 Cd, Cu, Pb은 Zn의 중금속 농도에 비해 낮게 검출되었다.

Table 1. Physicochemical properties of SMM and soil.

| Samples | pH (1:5) | EC | CEC | OM | P ₂ O ₅ |
|---------|----------|--------------------|-----------------------|--------------------|-------------------------------|
| | | dS m ⁻¹ | cmol kg ⁻¹ | mg g ⁻¹ | mg kg ⁻¹ |
| SMM | 5.21 | 25.17 | 20.46 | 121.25 | 136.47 |
| Soil | 6.16 | 2.53 | 8.29 | 22.53 | 22.5 |

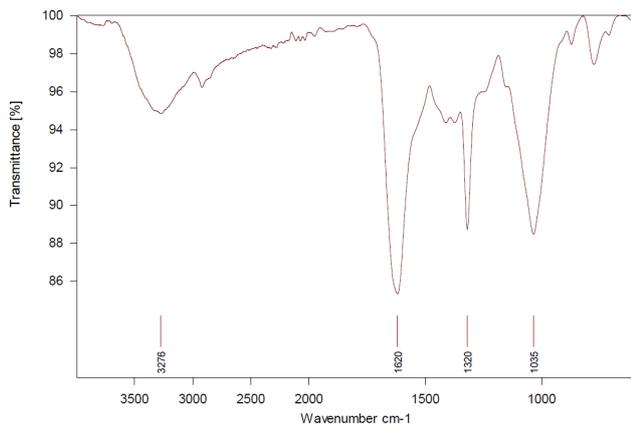
SMM : spent mushroom media

버섯폐배지의 성분을 분석하기 위해 FT-IR을 사용하였으며, 결과는 Fig. 2에 나타내었다. 중금속 흡착 시 버섯폐배지의 변화를 확인하기 위해 대조구와 각 중금속 원소의

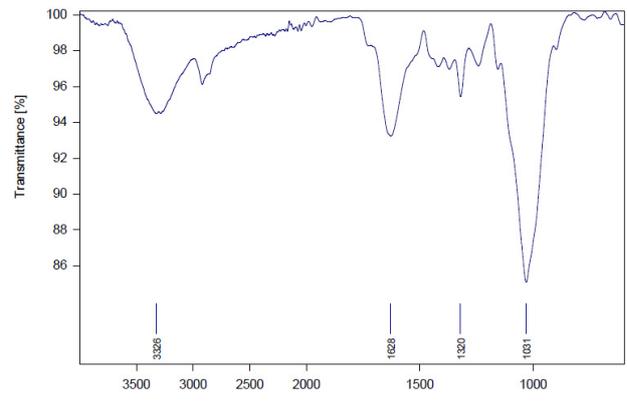
10,000 mg kg⁻¹을 제조하여 회분식 실험과 동일한 방법을 거친 후 풍건 시킨 버섯폐배지가 가지는 기능을 조사하였다. 그 결과 3,276 cm⁻¹에서 나타나는 특성 피크는 hydroxyl 기의 phenols, alcohols을 나타낸다. 그리고 1,620 cm⁻¹ 피크는 Amide기의 I band를 나타내며, 1,029 cm⁻¹에서 나타나는 피크는 carbonyl group를 나타낸다. 대조구, Cd, Pb에서만 보인 1320 cm⁻¹의 특성 피크는 carboxylate group을 나타낸다. 톱밥의 중금속 흡착의 주 흡착 기능기인 -COOH기와 -C₆H₅-OH와 비교하였을 때 비슷한 기능기로 흡착한다고 판

Table 2. Total content of heavy metals in SMM and soil.

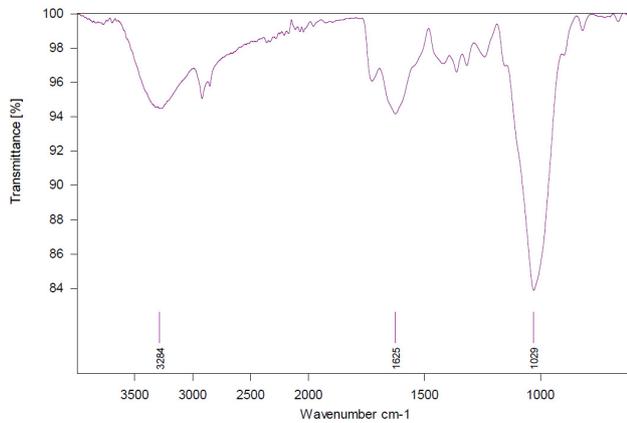
| Samples | Cd | Cu | Pb | Zn |
|---------------------------------|-----|------|------|------|
| ----- mg kg ⁻¹ ----- | | | | |
| SMM | 0.1 | 2.8 | 3.2 | 35.3 |
| Soil | 0.6 | 19.3 | 90.0 | 74.5 |



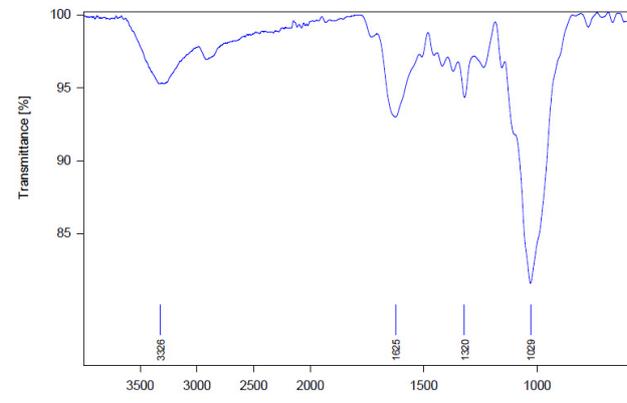
(A)



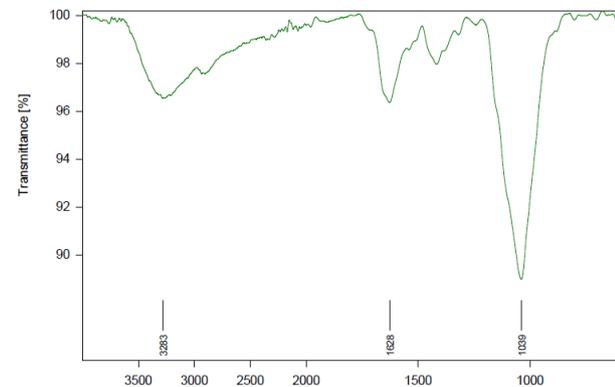
(B)



(C)



(D)



(E)

Fig. 2. Result of FT-IR for SMM. (A) Control, (B) Cd, (C) Cu, (D) Pb, (E) Zn.

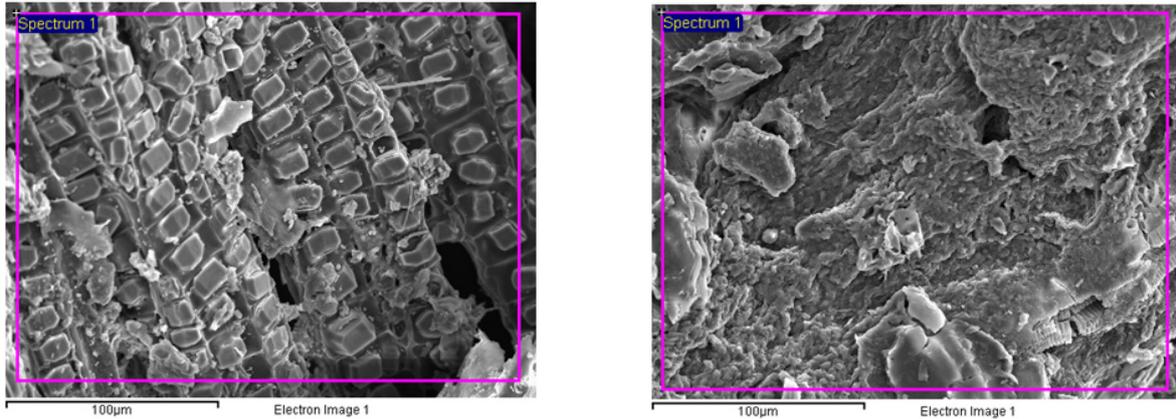


Fig. 3. SEM image of SMM, Control (Left), Zn (Right).

단되어진다 (Barth, Andreas., 2000; Jeon et al., 2010).

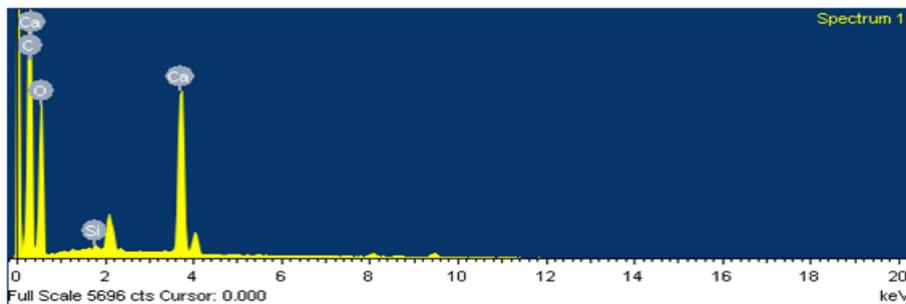
버섯폐배지 표면의 중금속 흡착여부를 확인하기 위해 SEM-EDS 분석이 이루어졌다. Fig. 3에 대조구와 아연(Zn)의 흡착 후 SEM 사진결과를 나타내었다. 관찰결과 대조구의 표면이 매끄러운 반면 중금속이 흡착된 버섯폐배지의 표면은 거친 것을 확인하였다. 이후 중금속 흡착 여부를 확인하기 위해 EDS 분석이 수행되어졌으며, Fig. 4의 흡착 실험 전과 후 EDS 분석결과 버섯폐배지가 지닌 원소 외 아연 (Zn)이 버섯폐배지 표면 흡착한 것을 확인 할 수 있었다. 위의 결과들을 종합하여 보았을 때 아연 (Zn)의 경우 버섯폐배지 표면에 흡착 및 결합이 있음을 알 수 있었다.

오염토의 특성 오염토의 pH는 6.16으로 버섯폐배지보다 약간 높았으며, EC는 2.5 dS m⁻¹로 나왔다. CEC는 8.29 cmol kg⁻¹, 유기물함량은 22.53 mg g⁻¹로 나타났다. 왕수분해를 통해 오염토가 가지는 총 중금속 함량을 Table 1에 나타내었다. 오염토는 환경부 '토양환경보존법'에 명시된 토양오염우려기준인 Cd (4.0 mg kg⁻¹), Cu (150.0 mg kg⁻¹), Pb (200.0 mg kg⁻¹), Zn (300.0 mg kg⁻¹)보다 낮은 Pb, Zn, Cu, Cd 순으로 90.0, 74.5, 19.3, 0.6 mg kg⁻¹으로 나타났다.

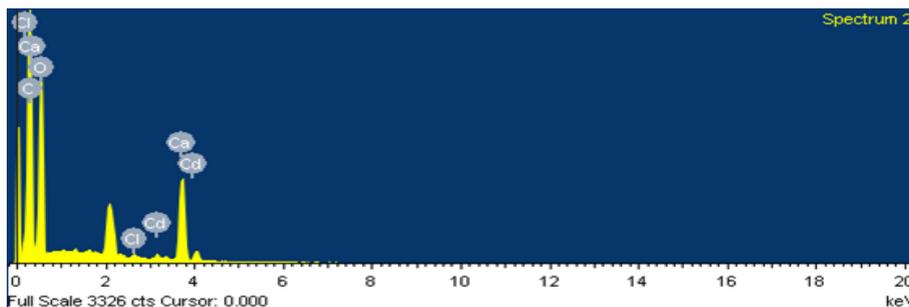
버섯폐배지 중금속 흡착 시험 버섯폐배지에 대한 중금속 흡착 시험 결과는 Fig. 5에 나타났다. 실험대상 중금속은 1분에서 10분 이내에 빠른 저감 효율을 보였다. 이는 흡착제에 의한 중금속 흡착 시 1시간 이내에 이루어진다고 알려져 있는 것과 비슷하였다 (Jeon et al., 2007). 버섯폐배지는 대체로 1 < 3 < 5%(w/v) 처리 순으로 흡착이 잘 되었지만 3%와 5%의 차이가 크게 없는 것으로 보아 버섯폐배지의 3%(w/v) 이상으로는 중금속 저감 효율에 크게 영향을 미치지 않는 것으로 판단된다. 이는 폐버섯배지 내의 흡착 작용기가 중금속과 평형을 이루어 3% 이상의 혼합배율에서는 흡착효율에 영향이 없는 것으로 판단된다. 가장 큰 효과를 보인 Pb의 경우 1분 이후 용액 내의 중금속 농도는 103.3

mg kg⁻¹에서 7.3 mg kg⁻¹까지 급격히 감소 후, 2시간 이후에 0.036 mg kg⁻¹까지 감소하였다. Cu는 60분까지 95.9 mg kg⁻¹에서 44.0 mg kg⁻¹까지 감소하다 2일 째에 37.6 mg kg⁻¹까지 감소하였다. Cd은 1분 이후 81.3 mg kg⁻¹에서 최대 31.9 mg kg⁻¹까지 감소하였다. Zn은 20분에 92.1 mg kg⁻¹에서 37.5 mg kg⁻¹까지 크게 감소하였다. 이는 Jeon et al. (2007)의 연구 결과에 따르면 톱밥이 중금속을 흡착한다고 하였으며, 본 연구의 실험 대상인 버섯폐배지의 경우 톱밥이 구성성분이므로 중금속을 흡착하여 농도가 낮아진 것으로 판단된다. 용액 내의 중금속 농도의 양이 일정하지 않은 것은 버섯폐배지가 함유하는 아연 (Zn)이 용출되었기 때문인 것으로 판단된다.

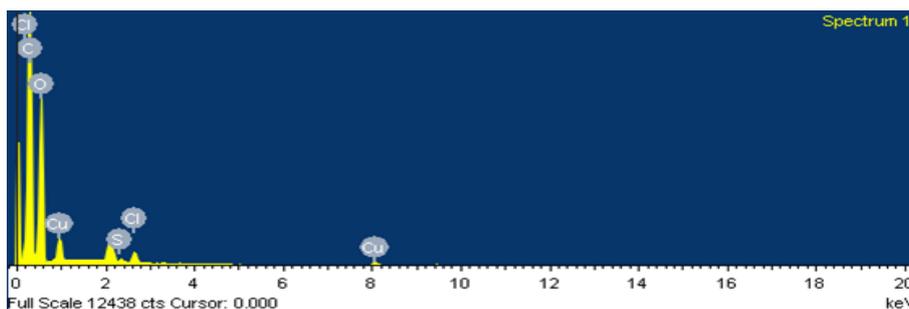
토양 배양 실험 토양 배양 실험 결과는 Fig. 6, 7에 나타내었다. 0.1 N-HCl 결과에서는 Cd의 경우 7일까지 감소하다가 14일에 농도가 증가하였다가 다시 감소하는 경향을 보였으며, Melich III 결과에서는 시간이 지날수록 Cd의 농도가 감소하는 것을 알 수 있었다. Cu는 pH가 증가하는 14일 까지는 감소하는 경향을 보였으며, 14일 이후 pH가 감소할 때 증가하는 결과를 보였다. Pb은 일정한 Control에 비해 처리구에서 변화폭이 큰 것을 관찰하였으며, Pb은 다른 실험과 같이 pH와 유의한 상관관계는 보이지 않았다 (Yoon et al., 2011). Zn은 14일까지 증가하다가 30일에서 감소하였으며 60일에 다시 증가하였는데 pH가 증가할 때 농도가 증가하였으며 pH가 감소할 때 농도가 감소하였다. Cd을 제외한 나머지 중금속 원소의 경우 시간이 지날수록 버섯폐배지에 농도가 증가하는 경향을 보였다. 이는 버섯폐배지의 중금속 전 함량 (total content) 분석 결과에서 Cu, Pb, Zn의 농도가 Cd에 비해 높게 검출된 것을 보아 버섯폐배지 내 중금속이 시간이 지날수록 토양 내로 용출되어 농도가 증가한 것으로 판단된다. 버섯폐배지를 이용한 중금속 저감효과 실험결과 수용액상에선 큰 효과를 보였지만 토양 적용 시 처리량과 처리일수, 중금속의 종류에 따라 차이를 보였다. 버



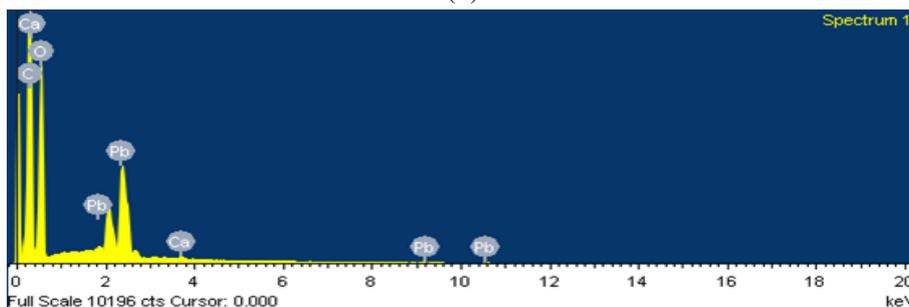
(A)



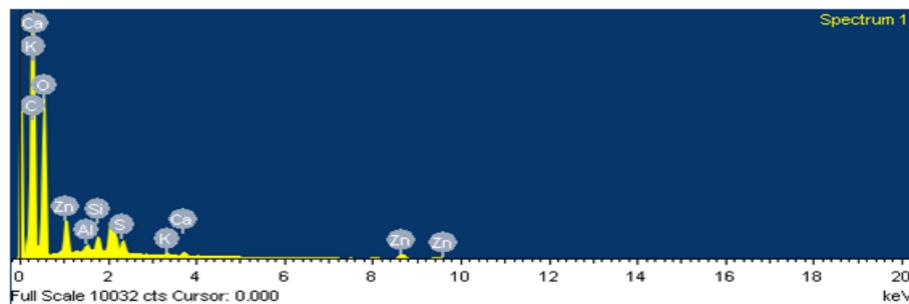
(B)



(C)



(D)



(E)

Fig. 4. Result of EDS for SMM, (A) Control, (B) Cd, (C) Cu, (D) Pb, (E) Zn.

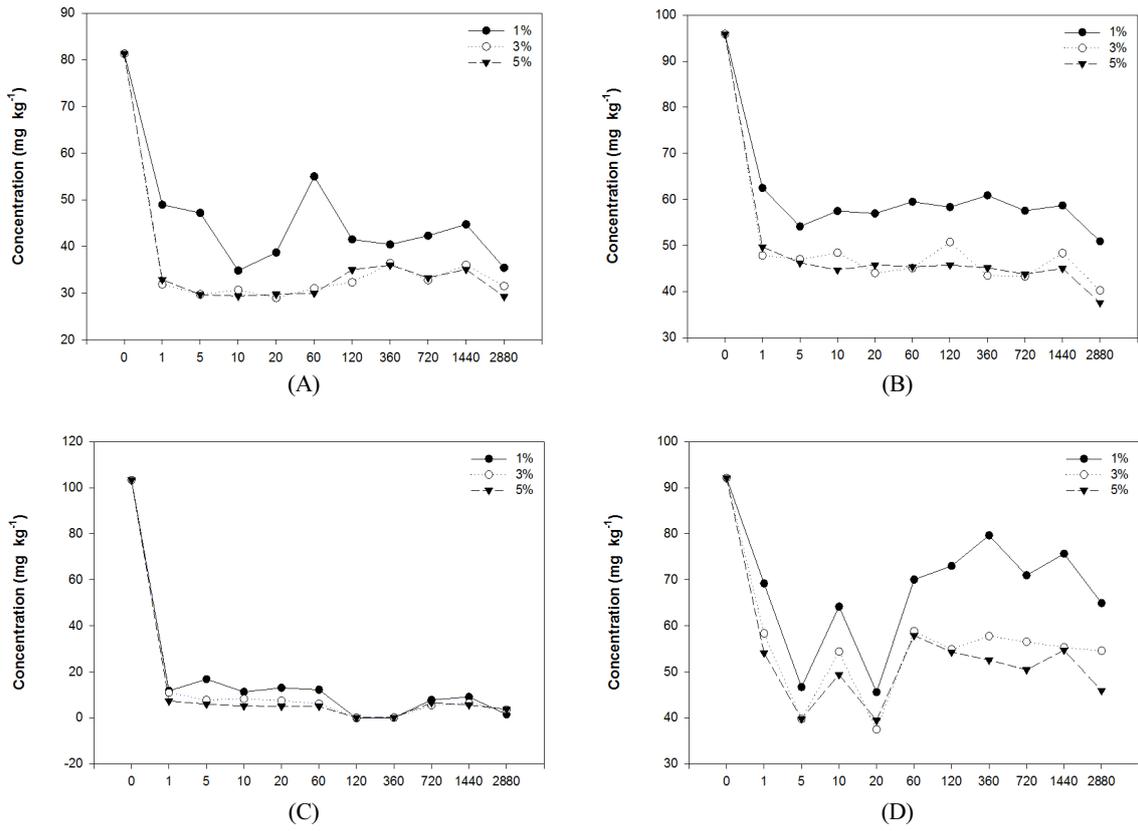


Fig. 5. Concentration change of heavy metal with time (A) Cd (B) Cu (C) Pb (D) Zn.

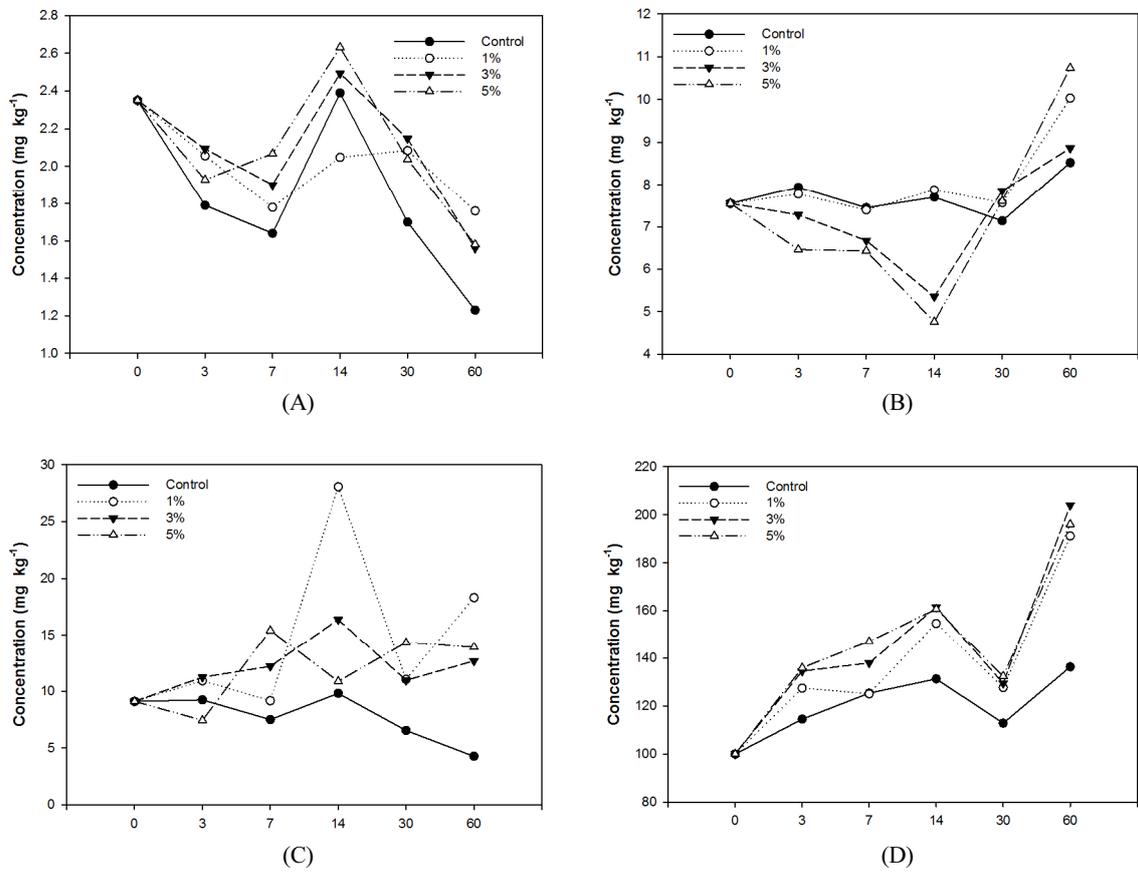


Fig. 6. Concentration change of heavy metals extracted with 0.1N HCl in time (A) Cd (B) Cu (C) Pb (D) Zn.

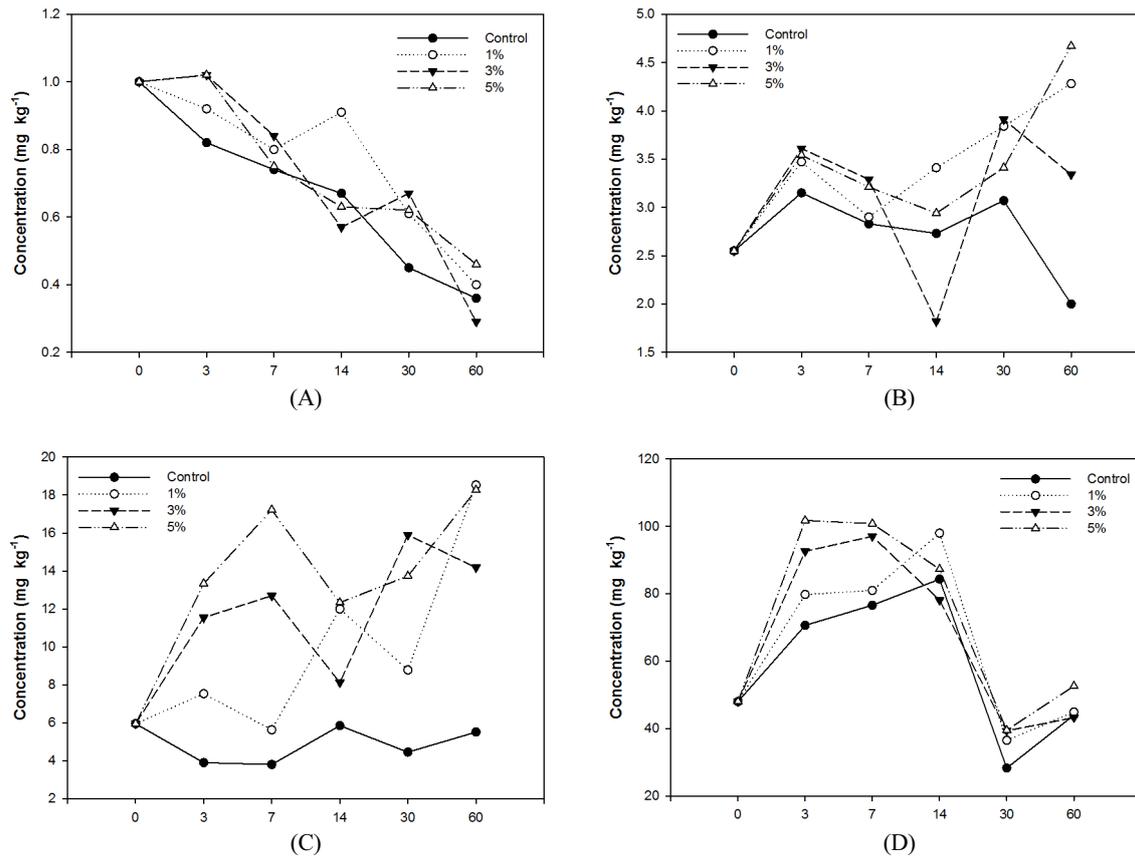


Fig. 7. Concentration change of heavy metals extracted with Mehlich-III in time (A) Cd (B) Cu (C) Pb (D) Zn.

섯폐배지의 중금속 흡착 시험 결과에서 저감 효율은 높지만 토양에 적용 시 중금속에 따른 처리량 및 처리방법 설정이 필요하며 식물생장에 영향이 있는지 추후 실험이 요구된다.

Conclusion

산업부산물인 버섯폐배지를 중금속 흡착제로서의 가능성을 검토하기 위해 실험을 실시하였다. 제조한 중금속 수용액을 통해 버섯폐배지의 흡착특성을 조사하였다. 버섯폐배지의 중금속 제거효율은 초기농도에 비례하여 Pb (0.04 mg kg⁻¹) > Cu (37.6 mg kg⁻¹) > Cd (31.9 mg kg⁻¹) > Zn (37.5 mg kg⁻¹) 순으로 Pb의 흡착효율이 99.6%의 저감효율을 보이며 가장 높게 나타났다. SEM-EDS 분석 결과 중금속 이온 흡착 전에는 표면이 매끄럽게 안정된 모습이 관찰되었지만 중금속 흡착 반응 후 표면이 거친 것을 확인하였고, 중금속 이온의 흡착 후 표면에 처리이온의 피크가 관찰되었다. FT-IR 분석결과 버섯폐배지는 3276 cm⁻¹에서 hydroxyl기의 phenols, alcohols, 1620 cm⁻¹에서 Amide기의 I band, 1029 cm⁻¹에서 carbonyl group, 1320 cm⁻¹에서 carboxylate group등이 존재하는 것으로 조사되었다. 톱밥의 중금속 흡착의 주 흡착 기능기인 -COOH기와 -C₆H₅-OH와 비교하였을 때 버섯폐배지에 의한 중금속 이온 흡착은 물리적인 흡착 및 관능기에 의

한 화학적 흡착이 동시에 이루어지는 것으로 판단되며, 비슷한 기능기로 흡착한다고 판단되어진다. 토양배양실험 결과 Cd, Cu는 pH와 음의 상관관계를 보였으며, Zn은 양의 상관관계를 보였다. Pb의 경우 다른 연구결과에 따르면 pH와 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 토양 내에서 중금속 안정화제로서 Cd에 대한 저감 효율은 보였으나, 다른 중금속 원소는 시간이 지날수록 농도가 증가하는 것에 대한 추후 연구가 필요하다고 사료된다. 본 연구 결과로 미루어 볼 때 산업부산물이 버섯폐배지는 중금속 흡착제로서의 활용 가능성이 있을 것이라 판단되지만 중금속 원소에 따른 처리량과 처리방법 설정을 위한 추후 실험이 요구된다.

References

Andreas, B. 2000. The infrared absorption of amino acid side chains. *Prog. Biophys. Mol. Bio.* 74(3):141-173.
 Bae, Y.H. and Y.U. Yang, 2010. Feeding rate and growth rate of earthworm(Oligochaeta : *Eisemia fetida*) population on the spent substrate of the agaric-mushroom cultivation. *Korean J. Organic Res. Recyc. Assoc.* 18(4):45-53.
 Choi, J.W., K.J. Yoo, M.S. Koo, and J.H. Park. 2012. Comparison of Heavy Metal Pollutant Exposure and Risk Assessments in an Abandoned Mine Site. *Korean J. Civil Engineer.* 32(4B):261-266.

- Jeon, C. and J.H. Kim, 2007. Heavy Metal Removal using Sawdust. Korean J. Organic. Res. Recyc. Assoc. 15(2): 81-88.
- Jeon, J.W., B.H. Bae, and Y.H. Kim. 2010. Applicability Test of Various Stabilizers for Heavy Metals Contaminated Soil from Smelter Area. Korean J. Geo Environ. Soc. 11(11):63-75.
- Kim, J.E., S.K. Park, T.W. Kim, M. Mun, J.S. Koh, S.K. Jeong, and K. Kook. 2010. Effects of feeding fermentation of spent mushroom substrate(FSMS) on growth performance in broiler chicks. Korean J. Vet. Serv. 33(4):387-392.
- Kim, K.R., J.S. Park, M.S. Kim, Y.J. Choi, N.I. Kim, and J.G. Kim. 2011. Immobilizer assisted management of metal contaminated agricultural soils for safer food production. Korean J. Soil Sci. Fert. 172-174.
- Kim, Y.I., J.S. Bac, S.H. Jung, M.H. Ahn, and W.S. Kwak. 2007. Yield and Physicochemical Characteristics of Spent Mushroom(*Pleurotus ryngii*, *Pleurotus osteratus* and *Ammulina velutipes*) Substrates According to Mushroom Species and Cultivation Types. Korea J. Anim. Sci. Technol. 49(1):79-88.
- Lee, H.Y., C. Jeon, K.J. Lim, K.C. Hong, J.E. Lim, B.S. Choi, N.W. Kim, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2009. Adsorption Characteristics of Heavy Metal Ions onto Chemically Modified Rice Husk and Sawdust from Aqueous Solutions. Korean J. Environ. Agric. 28(2):158-164.
- Lee, H.Y., K.C. Hong, J.E. Lim, J.H. Joo, J.E. Yang, and Y.S. Ok. 2009. Adsorption of Heavy Metal Ions from Aqueous Solution by Chestnut Shell. Korean. J. Environ. Agric. 28.1 (2009): 69-74.
- Lee, S.H., B.Y. Park, J.M. Yeo, and W.Y. Kim. 2006. Effects of the Supplementation period of Spent Composts of Selenium-enriched Mushrooms on Plasma Glutathione Peroxidase Activity and Selenium Deposition in Finishing Hanwoo Steers. Korea J. Anim. Sci. Technol. 48(6):897-906.
- Lee, S.W., S.Y. Sim, S.Y. Lee, M.W. Seo, J.W. Lim, H.G. Lee, and K.W. Park. 2005. Effect of Amount of Reutilized Sawdust after Enokitake Cultivation on Growth and Yield of Tomato Plants(*Lycopersicon esculentum* Mill) in Recycled or Non-recycled Hydroponics. Korea J. Hort. Sci. Technol. 23(4):372-376.
- Oh, S.J., S.C. Kim, T.H. Kim, K.H. Yeon, J.S. Lee, and J.E. Yang. 2011. Determining Kinetic Parameters and Stabilization Efficiency of Heavy Metals with Various Chemical Amendment. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(6): 1063-1070.
- Yoon, S.W., S.I. Kang, H.G. Jin, H.J. Kim, Y.C. Lim, J.M. Yi, and C. Yu. 2011. An Investigation of Treatment Effects of Limestone and Steel Refining Slag for Stabilization of Arsenic and Heavy Metal in the Farmland Soils nearby Abandoned Metal Mine. Korean J. Soil Sci. Fert. 44(5):734-744.