

## 活性炭에 의한 重金屬의 吸着特性에 관한 研究 (Cu, Pb, Cr<sup>6+</sup>)

環境生態科

李東植·韓圭文·李尙壽·李相一

金斗來·朴後慶·金周亨

### Studies on Adsorption Characteristics of Metals by Activated Carbon

*Division of Environment Ecology*

Dong Sig Lee, Kyu Moon Han, Sang Su Lee, Sang Il Lee, Doo Rae Kim  
Who Kyeong Park and Joo Hyung Kim

#### = Abstract =

This study was performed to investigate adsorption characteristics of heavy metals by activated carbon. The results were as follow;

1. Significant difference were found in ability of three types of activated carbons to adsorb metals from aqueous solution, and powder type that was made of wood was excellent.
2. The most important parameter affecting adsorption was solution pH, and the Optimum pH of solution for maximum adsorption was determined to be 4 for Pb, 5 for Cu and Cr<sup>6+</sup>, and 5 for coexistent solution of three species of metals.
3. The equilibrium time for adsorption of any single metal in solution that several species of metals coexist was affected by the coexistence of the other metals, and this appears to be proportional to the ratio of the number of adsorption sites to the number of metal species.
4. The adsorption of any single metal in solution that several species of metals coexist appeared to be hindered by coexistent metals that compete for adsorption sites especially adsorption of Cr<sup>6+</sup> was particularly hindered by the presence of Cu and Pb.

#### 緒 論

鑛山排水, 工場排水 등에 다량 포함되어있는 有害 重金屬이온 除去를 위한 活性炭 吸着은 Smith이래 끊임없이 研究되어져 왔으며,<sup>1,2)</sup> 實驗實의으로는 흡착에 影響을 미치는 여러과정의 變數들을 最適化하여 評價하기 위한

方向으로 研究가 進行되었다. 水溶液내에 含有되어있는 重金屬의 吸着을 위한 여러 形態의 活性炭은 吸着能力에 差異가 있는 것으로 알려져 있으며,<sup>6)</sup> 限定된 pH값 하에서는 이들 活性炭에 의한 重金屬의 實際의인 吸着이 일어나지 않는 것으로 報告 된 바 있다.<sup>7,8,9)</sup>

Sigworth와 Smith에 의하면 活性炭에 의한 無機物의 吸着과 溶液의 pH 相互關係에 있어서 水溶液 內에서의

金屬의 吸着은 金屬의 溶解度에 反比例하며 大部分의 金屬들은 溶液의 pH가 增加함에 따라 溶解도가 떨어지고, 수산화물(hydroxide)이나 酸化物(oxide)을 形成하는 것으로 나타나고,<sup>10)</sup> 水溶液 內에 몇가지 金屬들이 共存할때 어떤 單一金屬의 吸着은 다른 金屬들에 의해서 影響을 받는 것으로 報告되어진 바있다.<sup>11)</sup>

이에 著者 등은 本 研究를 통해서 활성탄에 의한 水溶液內의 Cu, Pb, Cr<sup>6+</sup> 등의 吸着現狀을 把握하고 흡착에 影響을 미치는 變數들(활성탄Type, 溶液의 pH, 吸着平衡時間, 共存重金屬)을 中心으로 吸着實驗을 實施하고 그 結果를 報告하고자 한다.

## 材料 및 方法

### 1. 材料

#### 1) 活性炭

本 實驗에서 使用한 活性炭은 國內 市販중인 製品으로 性狀 및 特性은 Table 1과 같으며 Dry Oven에서 105°C, 24時間 乾燥시킨 後 使用하였다.

#### 2) 試藥

重金屬 標準溶液은 Pb(NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub>, CuCl<sub>2</sub>, 및 K<sub>2</sub>Cr<sub>2</sub>O<sub>7</sub> 標準液을 蒸溜水에 녹여 1000mg/l로 調製하여 實驗時 適當한 濃度로 稀釋하여 使用하였으며 溶液의 pH調整을 위해 1N-NaOH, 1N-HCl을 使用하였다.

### 2. 實驗方法

10mg/l 농도의 구리, 납, 6가크롬의 水溶液을 각각 100ml씩 취하여 250ml비이커에 넣어 pH를 調整하고, 여기에 所定量의 活性炭을 加한후 室溫에서 Jar Tester를 使用하여 100rpm의 速度로 一定時間 攪拌하여 吸着시킨다. 이 溶液을 여과지(No. 5B, 일본ToYo제)로 濾過하여 여액에 殘存하는 구리, 납, 6가크롬의 濃度를 環境汚染 公定試驗法에 따라 分析 定量하여 吸着에 影響을 미치는 活性炭의 形態, 溶液의 pH, 共存한 重金屬이온의 영향 및 重金屬이온 共存時 吸着平衡時間 등을 比較 實驗하였다.

## 結果 및 考察

### 1. 活性炭의 吸着力

구리, 납, 6가크롬이 각각 10mg/l씩 含有된 水溶液을 試料로 pH 5에서 3種類 活性炭의 吸着能을 實驗하고 그

Table 1. Properties of activated carbons.

項目/活性炭	A	B	C
Raw material	Wood	Coal	Coconut
Bulk density(g/cm <sup>3</sup> )	0.38	0.61	0.48
Surface area(m <sup>2</sup> /g)	800~1400	1100	1020
Pore Volume(cm <sup>3</sup> /g)	0.6	0.8	0.55
pH	6.8	7.8	7.9
Shape	Powder	Powder	Glanular

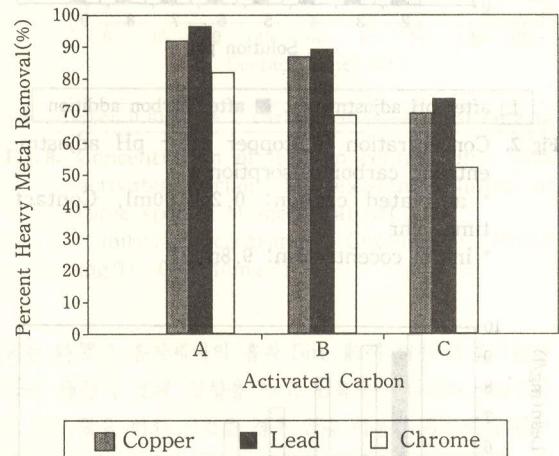
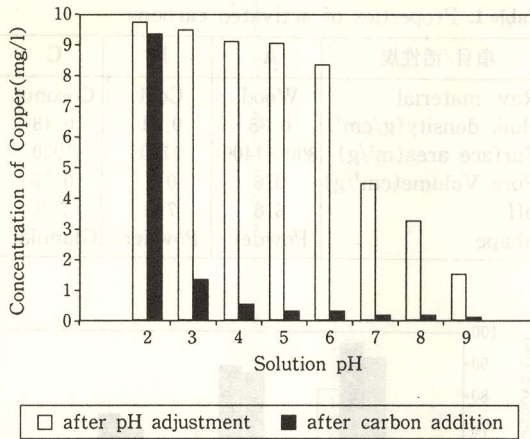


Fig. 1. Comparison of adsorption ability of heavy metals on three species of activated carbon at pH 5 and contact time of 2hr.  
\* activated carbon: 0.2g/100ml  
\* initial concentration: Cu(10mg/l), Pb(10mg/l), Cr<sup>6+</sup>(10mg/l)

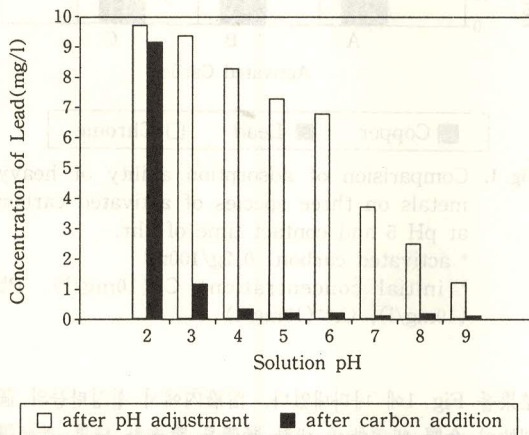
結果를 Fig. 1에 나타내었다. 溶液內에서 활성탄들의 個別的인 金屬 吸着能에 대한 評價를 實施한 結果 重金屬을 吸着하는 活性炭들의 吸着能力에는 큰 差異가 있었으며, 3種의 활성탄중 木材(라왕)를 原料로 한 분말상태의 活性炭 A가 가장 優秀한 吸着能을 지닌 것으로 나타나 本 實驗을 위한 重金屬 吸着제로 利用하였다. 활성탄의 吸着力은 흡착에 影響을 미치는 많은 變數와 水質化學, 活性炭表面의 복잡성, 활성탄의 物理, 化學的 性質 등에 의하여 吸着特性이 決定되는 것으로 사료된다.

### 2. 溶液의 pH와 吸着效果

活性炭에 의한 重金屬 吸着時 용액의 pH가 흡착에 미치는 影響과 最大吸着을 위한 pH範圍를 決定하고자, 溶液의 pH(2~9)변화에 따른 吸着實驗을 實施하여 吸着率을 比較 檢討하고 結果를 Fig. 2, 3, 4에 나타내었다. 活性炭의 吸着能力은 pH의 影響이 매우 큰 것으로 나타

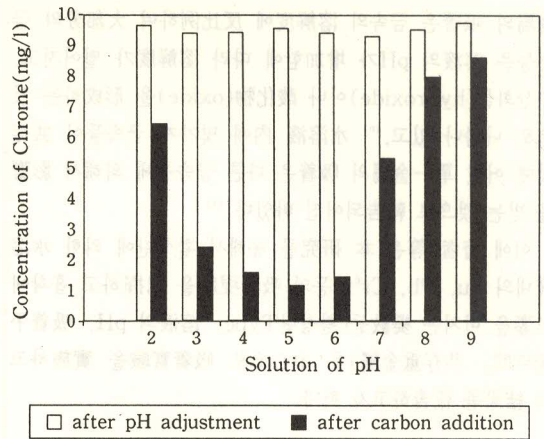


**Fig. 2.** Concentration of copper after pH adjustment and carbon adsorption.  
 \* activated carbon: 0.2g/100ml, Contact time: 2hr  
 \* initial coccentration: 9.8mg/l

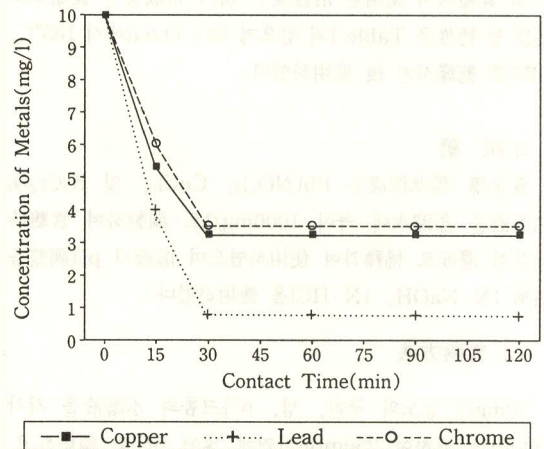


**Fig. 3.** Concentration of lead after pH adjustment and carbon adsorption.  
 \* activated carbon: 0.2g/100ml, Contact time: 2hr  
 \* initial coccentration: 9.8mg/l

나, pH 2 以下에서 흡착율은 구리와 납이 2~6%, 6가 크롬이 34% 이하로 낮았으나, pH 3부터 급격히 상승하는 경향을 보여 납은 pH 4에서 96.3%, 구리와 크롬은 pH 5에서 각각 95.6%, 87.6%로 最大 吸着率을 나타내었다. pH가 弱酸性에서 中性으로 높아짐에 따라 흡착은 다른 樣相을 보였는데, 구리와 납의 境遇 pH 6 이상에서는 활성탄을 가하지 않아도 殘留濃度가 급격히 減少하여, pH 9에서는 1.5ppm 이하로 나타났다. 이는 pH 6 이상에서 두 金屬이 콜로이드상의 水酸化物(hydroxide)沈澱



**Fig. 4.** Concentration of chrome( $Cr^{6+}$ ) after pH adjustment and carbon adsorption.  
 \* activated carbon: 0.2g/100ml, Contact time: 2hr  
 \* initial coccentration: 9.8mg/l

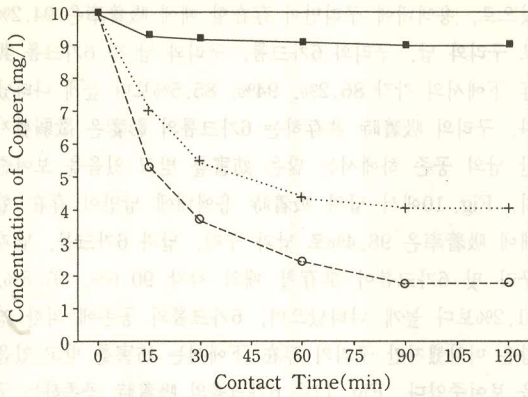


**Fig. 5.** Concentration of heavy metals on contact time with activated carbon in single solution of heavy metals at pH 5.  
 \* initial concentration: Cu(10mg/l), Pb (10mg/l),  $Cr^{6+}$ (10mg/l)

을 形成하거나, 加水分解에 의해서 金屬이 析出되어지기 때문인 것으로 사료된다.<sup>10)</sup> 6가크롬의 境遇 구리, 납과는 對照的인 現狀을 보여, pH 7 이상에서는 활성탄 吸着後의 殘留率이 급격히 上昇하였고, 활성탄에 의한 吸着率도 매우 낮아져 pH 8 이상에서는 殘留率이 90% 以上이었다.

### 3. 重金屬의 共存과 吸着平衡時間

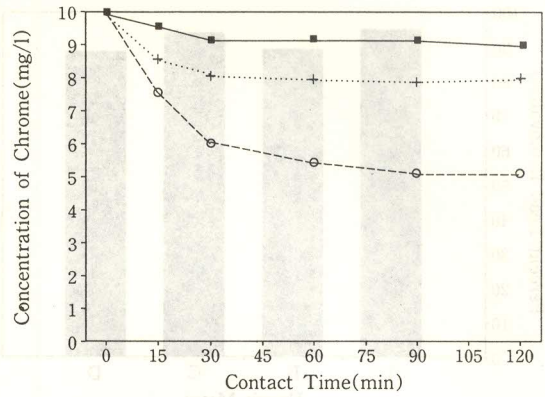
구리, 납, 6가크롬의 吸着時 水溶液內에 이들 金屬들



■ Carbon 0.01g ····· Carbon 0.05g --○-- Carbon 0.1g

**Fig. 6.** Concentration of copper on contact time with activated carbon in coexistent solution of three species of metals at pH 5.

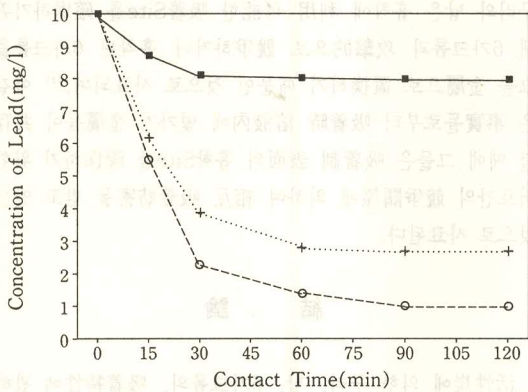
\* initial concentration: Cu(10mg/l), Pb(10mg/l), Cr<sup>6+</sup>(10mg/l)



■ Carbon 0.01g ····· Carbon 0.05g --○-- Carbon 0.1g

**Fig. 7.** Concentration of lead on contact time with activated carbon in coexistent solution of three species of metals at pH 5.

\* initial concentration: Cu(10mg/l), Pb(10mg/l), Cr<sup>6+</sup>(10mg/l)



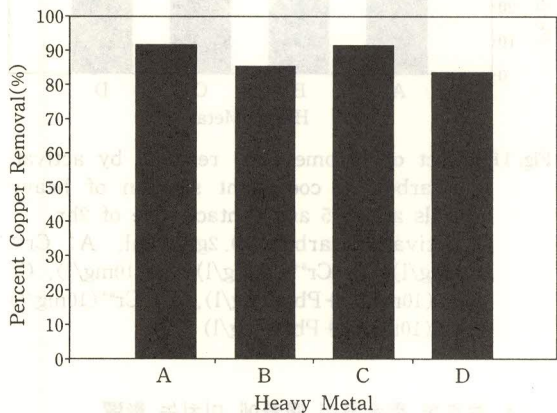
■ Carbon 0.01g ····· Carbon 0.05g --○-- Carbon 0.1g

**Fig. 8.** Concentration of lead on contact time with activated carbon in coexistent solution of three species of metals at pH 5.

\* initial concentration: Cu(10mg/l), Pb(10mg/l), Cr<sup>6+</sup>(10mg/l)

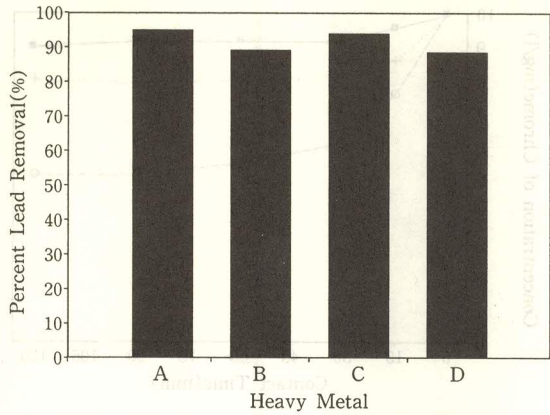
의共存與否 및 吸着劑 投入量이 吸着平衡時間에 미치는影響을 檢査하고자 條件을 變化시켜가며 吸着實驗을 實施하고 結果를 Fig. 5, 6, 7, 8에 나타내었다. 實驗에서 吸着平衡에 到達하는 時間은 이들 金屬의 共存與否에 影響을 받고있는 것으로 나타났다. 水溶液內에 單一金屬만이 存在時에는 활성탄에 의해서 30분 吸着後 3種(Cu, Pb, Cr<sup>6+</sup>)의 金屬이 모두 平衡狀態에 到達했으나, 3種의 金屬이 共存時 그 以上이 所要되었다. 이와같은 事實에서 水溶液內에 含有된 金屬의 完全한 吸着을 위해서 要求

되는 時間은 흡착제내의 흡착 Site 數에 대한 吸着可能한 金屬 種들의 比에 影響을 받고 있음을 나타낸다. 활성탄의 投入量을 變化 시켰을 경우 金屬 이온들 흡착하기 위한 흡착 Site數가 變化되므로 흡착의 進行속도가 변화되는 傾向을 보였으며, 활성탄의 투입량이 많을 수록 吸着劑內의 흡착 Site의 수가 增加되어 吸着의 進行速度는 빨라지는 것으로 사료된다.



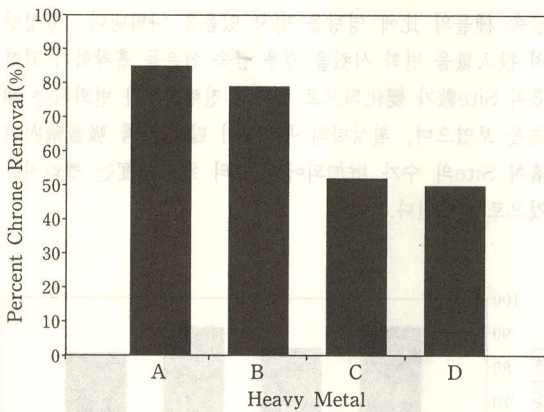
**Fig. 9.** Effect of copper removal by activated carbon in coexistent solution of heavy metals at pH 5 and contact time of 2hr.

\* activated carbon: 0.2g/100ml, A: Cu(10mg/l), B: Cu(10mg/l)+Pb(10mg/l), C: Cu(10mg/l)+Cr<sup>6+</sup>(10mg/l), D: Cu(10mg/l)+Pb(10mg/l)+Cr<sup>6+</sup>(10mg/l)



**Fig. 10.** Effect of copper removal by activated carbon in coexistent solution of heavy metals at pH 5 and contact time of 2hr.

\* activated carbon: 0.2g/100ml, A: Pb (10mg/l), B: Pb(10mg/l)+Cu(10mg/l), C: Pb(10mg/l)+Cr<sup>6+</sup>(10mg/l), D: Pb(10mg/l) +Cu(10mg /l) +Cr<sup>6+</sup>(10mg/l)



**Fig. 11.** Effect of chrome(Cr<sup>6+</sup>) removal by activated carbon in coexistent solution of heavy metals at pH 5 and contact time of 2hr.

\* activated carbon: 0.2g/100ml, A: Cr<sup>6+</sup> (10mg/l), B: Cr<sup>6+</sup> (10mg/l)+Cu(10mg/l), C: Cr<sup>6+</sup> (10mg/l)+Pb(10mg/l), D: Cr<sup>6+</sup>(10mg/l) +Cu(10mg/l)+Pb(10mg/l)

#### 4. 共存한 重金屬이 吸着에 미치는 影響

水溶液內에 共存하는 金屬이 吸着에 미치는 影響을 검토하고자 溶液內에 구리, 납, 6가크롬이 混在되어있는 境 遇와 單一金屬만이 存在하는 경우의 吸着傾向을 比較 檢 討하고, 結果를 Fig. 9, 10, 11에 나타내었다. Fig. 9는 구리의 吸着時 共存하는 납과 6가크롬의 影響을 나타낸

것으로, 용액內에 구리만이 存在할 때에 吸着率은 94.2% 로 구리와 납, 구리와 6가크롬, 구리와 납 및 6가크롬 共 存 下에서의 각각 86.2%, 94%, 85.5%보다 높게 나타났 다. 구리의 吸着時 共存하는 6가크롬의 影響은 微弱했지 만 납의 공존 하에서는 많은 妨害를 받고 있음을 보여준 다. Fig. 10에서 납의 吸着時 용액內에 납만이 存在 할 때에 吸着率은 98.4%로 납과 구리, 납과 6가크롬, 납과 구리 및 6가크롬이 共存할 때의 각각 90.6%, 97.8%, 91.2%보다 높게 나타났으며, 6가크롬의 공존에 의한 영 향은 미약했지만 구리의 存在 下에서는 妨害를 받고 있음 을 보여주었다. Fig. 11은 6가크롬의 吸着時 공존하는 구 리와 납의 影響을 나타낸 것으로, 溶液內에 6가크롬 만이 存在할 때에 吸着率은 85.1%로 6가크롬과 구리, 6가크롬 과 납, 6가크롬과 납 및 구리가 共存할 때의 각각 78.3 %, 52.1%, 49.7%보다 높게 나타났다. 6가크롬의 吸着 時 구리, 납의 共存 下에서 다같이 많은 妨害를 받고 있 으며, 구리보다 납의 共存時 그 程度가 더 컸다. 여기서 구리와 납은 흡착에 利用 가능한 吸着Site를 確保하기위 해 6가크롬과 攻擊的으로 競爭하거나 흡착된 6가크롬을 그들 金屬으로 置換하기 때문인 것으로 사료되며,<sup>11)</sup> 이갈 은 事實들로부터 吸着時 溶液內에 몇가지 金屬들이 共存 할 때에 그들은 吸着制 表面의 흡착Site를 確保하기 위한 서로간의 競爭關係에 의하여 相互 吸着妨害를 받고 있는 것으로 사료된다.

## 結 論

活性炭에 의한 구리, 납, 6가크롬의, 吸着特性에 관하 여 實驗한 結果 다음과 같았다.

1. 實驗한 活性炭 3종의 吸着能力에는 큰 差異가 있었으 며 木材(라왕)를 原料한 粉末狀態의 활성탄이 가장 優秀했다.
2. 吸着에 影響을 미치는 가장 重要한 變數는 溶液의 pH이며, 最大의 吸着을 위한 最適 pH는 납이 4, 구리와 6가크롬이 5였으며, 共存溶液의 最適pH는 5였 다.
3. 몇가지 金屬이 共存하고 있는 溶液內에서 어느 單一 金屬이 吸着平衡에 到達하는 時間은 공존한 다른 金 屬들에 의해서 影響을 받고 있으며, 이는 金屬種의 數 에 대한 吸着Site수의 比에 比例하는 것으로 나타났 다.
4. 몇가지 金屬이 共存하고 있는 溶液內에서 어느 單一 金屬의 吸着은 吸着Site를 確保하기 위해 競爭하는

共存金屬들에 의해 妨害를 받는 것으로 나타났으며, 특히 6가크롬의 흡착은 구리나 납의 공존시 顯著한 妨害를 받았다.

### 參 考 文 獻

1. Hershel A, Elliott and Chin-pao hunang, J: Amer. Chem. Soc, 4:1(1980).
2. Smith S.B: Trace metals removal by activated carbon. J, Wat. Pollut. Control., 12:75(1973).
3. 安部郁夫: 活性炭吸着의 基礎. 用水 と 廢水., 20:385 (1991).
4. Hannah S.A, Jelus M. and Cohen J.R: Removal of uncommon trace metals by physical and chemical treatment. J, Wat. Pollut. Control., 49: 2297(1977).
5. A. Beveridge and W.F. Pickering: The influence of surfactants on the adsorption of heavy metal ions by clay. J, Water Res., 17:215(1983).
6. 金燦國: 活性炭에 의한 니켈 아연 이온의 吸着特性. Journal of the Korean Chemical Society., 2:121 (1984).
7. 金燦國, 李成植, 張哲鉉: 國產 活性炭에 의한 니켈 이온의 吸着特性에 관한 研究. 韓國公害問題研究所., 11:19(1981).
8. 吉田久郎, 龜川克美: 活性炭による重金屬 이온의 吸着. 水處理技術., 20:117(1983).
9. Bernardin, F.E: Activated carbon. W.P.C.F., 45: 221(1973).
10. Sigworth E.A and S.B: Adsorption of inorganic compounds by activated carbon. A.W.W.A., 64: 386(1972).
11. Adsorption of lead and cobalt by activated carbon. J., Water Res., 18:927(1984).