DAEHAN HWAHAK HWOEJEE
(*Journal of the Korean Chemical Society*
Vol. 28, No. 2, 1894
Printed in the Republic of Korea

활성탄에 의한 니켈 및 아연 이온의 흡착특성

金燦國*† · 閔泰鎭
동국대학교 이과대학 화학과

(1983. 5. 2. 접수)

Adsorption Characteristics of Nickel and Zinc Ion on Domestic Activated Carbon

Chan-Kuk Kim*† and **Tae-Won Min**
Department of Chemistry, Dongguk University, Seoul 133, Korea

(Received May 2, 1983)

요 약. 원료가 서로 다른 세종류의 국산활성탄을 사용하여 니켈및 아연이온에 관한 할로겐과 시안이온의 활성탄 흡착에 대한 공존효과를 살펴보았다. 수용액중에서 니켈및 아연이온은 할로겐이나 시안이온의 공존으로 착음이온 형태로 활성탄에 용이하게 흡착됨을 알 수 있었으며 니켈이온은 pH6.0~7.0에서, 아연이온은 pH6.5~7.0의 범위가 가장 적합함을 알았다. 또한 니켈이온과의 착음이온을 만들기 위한 음이온은 1×10^{-4}mol/l의 농도에서 최대흡착량을 나타냈으며, 아연의 경우에는 1×10^{-2}mol/l에서 그 최대치를 나타내었다. 실온에서 구한 이들의 흡착등온선은 거의 직선으로 Freundlich의 흡착등온식에 따랐으며, 시안이온 공존시의 기울기는 활성탄 A, B, C에 대해 각각 1.7, 5.4, 7.1로서 활성탄 A가 흡착제로서 매우 양호한 것을 알 수 있다.

ABSTRACT. The adsorption characteristics of heavy metal ions (Ni^{2+}, Zn^{2+}) on domestic activated carbon which manufactured from the wood, waste rubber and coal has been studied. The following conclusions were obtained by investigating the effect of pH, halides, cyanide and temperature on the adsorption of heavy metal ions and by determining adsorption rate and adsorption isotherms. When heavy metal ions were adsorbed on activated carbon in the pH range from 6 to 7, treated heavy metal ions were almost come to the equilibrium and recovered in the form of complex anions such as MX_4^{2-} and $M(CN)_4^{2-}$ in an hour. The adsorption isotherms of heavy metal ions were well fitted in Freundlich's equation. Heavy metal complex anions on activated carbon were easily eluted by using 0.1*N* HCl solution. These results suggest that the complex anions have unexpectedly strong affinity for the surface of activated carbon.

1. 서 론

활성탄은 여러가지 화합물의 흡착제로 이용되고 있는데, 특히 액체중의 유해성분의 제거 또는 유효성분의 회수를 목적으로 많은 분야에서 활용되고 있다[1~3].

그러나, 최근에 인체에 해를 끼치는 독성으로 문제가 되고 있는 중금속이온의 흡착제로서 활성탄이 이용된 예는 극히 드물다. 흡착제로서 활성탄의 응용은 초기에는 주로 기체의 흡착, 탈색 등에서 부터 시작되었으나, 근래에는 탈취, 탈황 및 용액중의 미량의 불순물의 흡착제거 또는 흡착된 미량성분의 분리 농축과 정을 거침으로서 정량의 감도를 높일수 있는 화학분석등에 적용되고 있다[4~6]. 활성탄에 의한 중금속 이온의 흡착에 관한 연구는 수은을 비롯한 크롬 구리 및 비소 등 몇가지 보고되어 있으나[7~10], 다수의 중

*Present address: Department of Mineral and Mining Engineering, Dong-A University, Pusan 600-02, Korea.

Table 1. Properties of activated carbons

Activated carbon	Adsorption of iodine(mg/g)	Bulk density (g/cm^3)	Surface area (m^2/g)	Pore volume (cm^3/g)
A (wood)	522.4	0.376	700~1,400	0.25~0.60
B(waste rubber)	308.1	0.197	1,700	0.42
C(coal)	938.6	0.690	1,100	0.80

Table 2. Elemental analyses of activated carbons (%)

Activated carbon	C	H	S	O	Ash
A(wood)	91.12	0.68	0.02	4.48	3.07
B(waste rubber)	86.20	0.63	1.12	5.59	6.46
C(coal)	89.80	0.64	0.03	5.03	4.50

금속 이온의 흡착에 대한 상세한 연구검토는 활발치 못하며 특히 국산활성탄을 이용한 연구 보고는 알려져 있지 않다.

따라서, 본 실험에 있어서는 중금속의 하나인 아연 및 니켈금속이온에 있어서의 흡착에 미치는 pH, 음이온 및 온도의 영향, 그리고 흡착속도와 흡착등온선에 대해서 조사하였으며, 탈착 및 용리실험을 통하여 흡착의 가역성등을 확인함으로서 활성탄에 의한 중금속 이온의 흡착특성에 관하여 연구 검토한 바를 몇가지 보고 한다.

2. 실 험

활성탄. 본 실험에 사용된 활성탄은 국내 시판중인 나무를 원료로 만든 활성탄(이하 활성탄 A라 약함)과 폐고무로 합성한 활성탄(이하 활성탄 B라 약함) 및 석탄을 원료로 만든 활성탄(이하 활성탄 C라 약함)을 각각 분쇄하여 200 mesh로 만든 다음, 표면에 부착하고 있는 미분말을 증류수로 씻어버리고 105°C에서 5시간 건조한 후 시료로 사용하였다. *Table* 1및 2에 사용된 활성탄의 특성 및 그 분석치를 나타내었다.

시약. 니켈금속이온의 표준용액은 특급시약인 염화니켈($NiCl_2$ $6H_2O$) 4.0489g을 평량하여 소량의 탈이온 증류수에 녹인 다음 전양이 1*l*되도록 증류수로 희석하여 조제하였다. 이 용액 1m*l*는 1mg의 Ni을 함유 (Ni로서 1,000 mg/*l*)하며, 또한 아연 금속이온의 표준용액은 1g의 아연금속 (99.99 %)을 50m*l*의 염산에 서서히 가열하여 녹여 탈이온 증류수로 1*l*가 되도록 희석하였다. 이 용액 1m*l*는 1mg의 Zn (Zn로서 1,000mg/*l*)을 함유 한다. 흡착실험에는 상기표준용액을 사용직전에 소요량에 따라 희석하여 사용하였으며, 또한 염류, 산, 염기 기타의 시약은 모두 특급 시약을 상기와 같이 처리한 증류수에 용해하여 각각 사용하였다.

흡착실험. 10ppm의 니켈 및 아연수용액 100 m*l*를 250m*l*의 비이커에 각각 취하여, 여기에 소정량의 활성탄을 가한 후 실온 (25°C)에서 180~200rpm으로 Jar Tester를 사용하여 6시간 교반한 후 여과지(No. 6)로 여과하고, 여액중의 금속이온의 농도를 측정하여 흡착량을 조사하였다.

용리실험. 250m*l*의 비이커에 10ppm의 니켈 및 아연 수용액 100m*l*를 각각 취하고 0.1g의 활성탄A를 가하여 6시간 교반하여 니켈이온 및 아연이온을 흡착 처리하였다. 흡착 처리한 후에 흡착된 활성탄을 여과하여, 여액을 버리고 남은 활성탄 및 여액에 용리액으로 소정농도의 염산 100m*l*를 가하여 6시간 교반한 후 여과 분리하여 여액중의 니켈이온 및 아연이온의 농도를 원자흡광광도법으로 측정하였다. 또한 처음에 활성탄에 흡착된 니켈이온 및 아연이온의 흡착량에 대한 용출된 니켈이온 및 아연이온의 흡착량의 비율을 용리율로 하였다.

분석방법. 니켈 및 아연의 정량은 Perkin-Elmer 제품인 Atomic Absorption Spectrophoto-

meter 모델 360형 장치를 사용하여 원자흡광광도법으로 측정 하였다. 니켈이온 및 아연이온의 원자화에는 공기-아세틸렌을 사용하였으며, 측정파장은 니켈이온이 232.0nm, 아연이온이 213.9 nm이였다. 또한 모든 수용액의 pH는 TOA model HM-5 A형 pH meter를 사용하여 실온에서 측정하였으며, 액성조절에는 염산과 가성소다 수용액을 사용하였다.

3. 결과 및 고찰

pH의 영향. 활성탄에 의한 니켈 및 아연이온의 흡착에 미치는 pH의 영향을 활성탄 A를 사용하여 검토하였다. *Fig*. 1에 제시한 바와같이 활성탄에 의한 니켈이온의 흡착에 있어서, pH의 영향은 전 pH의 범위에서 활성탄 첨가에 따른 효과는 거의 없었다. 즉 그림에서 알 수 있는 바와같이 pH5.5이하에서는 니켈의 잔유율은 거의 100%이므로 니켈이온은 활성탄에 흡착되지 않으며, 다만 pH7.0이상의 범위에서는 활성탄의 첨가없이도 클로이드 상태의 수산화 니켈의 침강으로 인하여 니켈의 잔존농도가 저하됨을 나타냈다. pH7.0까지는 활성탄에 의한 니켈이온의 흡착곡선이 거의 수평이므로 니켈이온이 흡착되지 않음을 나타내었으나, 중성용액을 벗어나면서 pH7.5 부근에서 부터 니켈이온의 잔존율은 떨어지기 시작하여 pH8.0에서 약 50%의 흡착율을 보였으며, pH10.0에서 그 잔존율이 둔화되었다. 알칼리성 영역에서의 활성탄에 의한 금속이온의 흡착 현상을 알아보기 위하여, 1,000ppm의 구연산을 첨가하여 금속 수산화물의 생성을 억제하고[11] 흡착실험한 결과를 그림의 상단에 나타내었다. *Fig*. 1에서 보여주듯이 니켈이온의 농도는 처음 농도와 같으므로, 니켈금속은 이온상태로 활성탄에 흡착되지 않음을 알 수 있다. 한편 아연의 경우에 있어서, pH6.0이하에서는 아연의 잔존율은 약 90%이상으로서 아연도 역시 이온상태로서는 니켈과 마찬가지로 활성탄에 흡착되지 않음을 알 수 있었다.

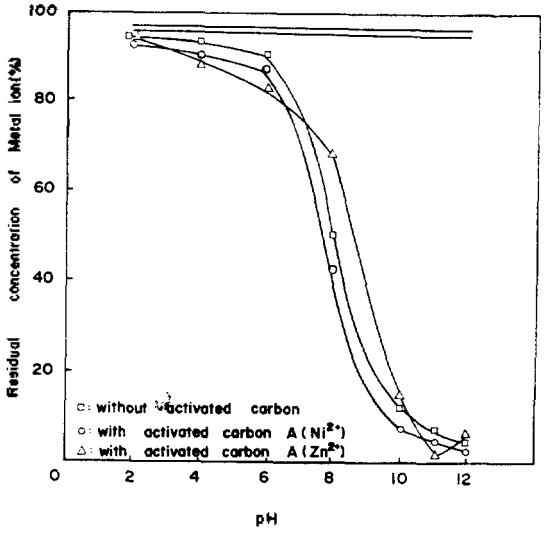

Fig. 1. Effect of pH on adsorption of metal ion on activated carbon A (Initial conc. of Ni^{2+}; 10ppm, Zn^{2+}; 10ppm shaking at room temp. for 7hrs).

pH6.0이상에서도 침강한 콜로이드상의 수산화아연이 활성탄에 흡착되어, 아연 이온의 잔존율은 서서히 저하하였으나, 활성탄을 첨가함으로서 일어나는 효과는 거의 없었다. pH10~12에서는 활성탄을 가하지 않아도 그 잔존량이 저하하다가, pH의 상승과 함께 다시 증가하는 경향을 보여주었다. 이것은 침강한 수산화아연이 아연산이온으로 다시 용해하는 현상으로 보여진다.

할로겐 이온의 효과. 할로겐 이온이 공존할 때, 니켈 및 아연이온의 활성탄에 의한 흡착효과를 검토하기 위하여, 할로겐화물인 NaI, NaCl, NaBr 및 NaF 등의 할로겐화 나트륨 수용액을 사용하여 니켈이온의 흡착실험을 하여 각 할로겐 이온이 니켈이온의 흡착에 미치는 영향을 pH와 함께 조사하여 *Fig*. 2에 나타낸 바와 같은 결과를 얻었다. 이 경우에도 pH7.0 이상의 염기성영역에서는 교질상태인 수산화물의 침전현상을 볼 수 있었다.

그러나 침전물이 거의 생성되지 않는 산성영역에서 pH2.0에서 부터 니켈이온의 잔유농도가 급격히 저하하기 시작하여 pH3.0 부근에 이르러서는 할로겐이온의 종류에 따라서 흡착도에 약간의 차이는 있지만 대체로 30~40%의 잔존율을 보였으며, pH6.0에서 금속이온의 농도는 3 ppm이하로 떨어졌다. 또한 할로겐이온이 공존할때의 니켈흡착은 pH6.0~7.0인 부근에서 용이하게 흡착됨을 알 수 있었다. 네 종류의 할로

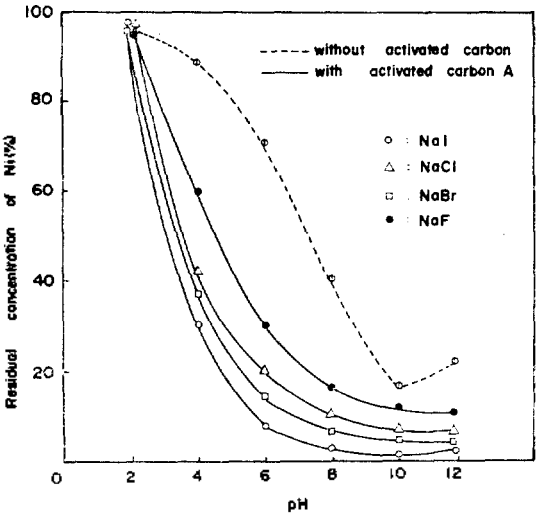

Fig. 2. Effect of pH on adsorption of nickel ion with various halide ion on activated carbon A(Initial conc. of Ni^{2+}; 10ppm, conc. of NaX; 1×10^{-4}mol/*l* shaking at room temp. for 6 hrs).

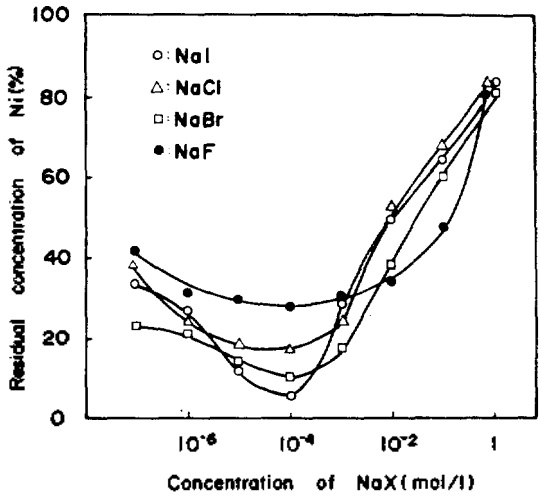

Fig. 3. Effect of halide ion on adsorption of nickel ion on activated carbon A (Initial conc. of Ni^{2+}; 10 ppm, pH;6.0 shaking at room temp. for 6 hrs).

겐이온중에서 불화합물이온의 흡착효과가 가장 적게 나타났으며, 그 이외의 할로겐이온의 공존효과는 니켈의 잔유농도를 감소함에 있어서 그 효과가 큰 것으로 나타났다. 특히 요오드화물이나 브롬화물에 의한 흡착효과는 매우 우수하여 pH6.0에서 니켈의 농도는 1ppm 이하로 떨어졌다. 또한 니켈의 흡착에 가장 적당한 pH범위는 할로겐이온의 종류에 관계없이 6.0~6.5의 범위로 밝혀졌다. 이러한 흡착현상은 할로겐이온이 니켈이온과 결합하여 착이온 NIX_4^{2-}을 형성하여 활성탄에 흡착하는 것으로 생각되며, 또한 할로겐이온이 활성탄에 우선적으로 흡착하고 다시 이 음이온이 니켈 양이온을 전기적인 인력으로 끌어당김으로서 흡착효과가 더욱 큰 것으로 보여진다. 즉, 이 흡착은 물리적인 흡착외에 일부 화학적 흡착현상도 수반된다고 생각된다.

그림에서와 같이 흡착효과는 할로겐 이온의 종류에 따라 차이를 나타내었는데, 이러한 흡착현상은 전기음성도의 역순인 $I^->Br^->Cl^->F^-$의 순서로 불화물인 경우 가장 그 흡착효과가 적은 것으로 보여진다. 네종류의 할로겐이온중에서 전기음성도가 약한 것일수록 분해현상이 용이하게 일어나 착이온 형성이 쉽게 이루어지기 때문인 것으로 생각된다. 이들 흡착현상이 할로겐이온의 농도에 미치는 영향을 *Fig.* 3에 나타내었는데, 그림에서 알수 있는 바와같이 할로겐이온의 종류에 따라서 어느 정도의 차이가 있으나, 어느 이온이나 10^{-4}mol/*l*의 농도에서 그 흡착효과가 최대로 나타났다. 니켈 이온과 할로겐이온이 거의 비슷한 몰농도인 1×10^{-4}mol/*l*에 있어서의 흡착현상이 양호하고, 할로겐 이온의 농도가 동일한 몰농도보다 크거나 작을 때에는 흡착효과가 떨어졌다. 이러한 현상은 농도가 클 경우에는 착이온이 쉽게, 형성되나, 농도가 작을 때에는, 착이온의 형성이 활발치 못함으로 흡착현상이 적게 일어나고, 활성탄에 의한 할로겐이온의 흡착현상이 적기 때문에 전기적 인력에 의한 화학적 흡착도 아울러 적게 되기 때문인 것으로 생각된다. *Fig.* 4및 5에서는 활성탄에 의한 아연 이온의 흡착에 미치는 pH의 영향과 착이온 생성에 할로겐 이온의 농도가 미치는 영향을 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와같이 아연이 온의 흡착현상은 pH6.5~7.0의 범위에서 가장 양호 하였으며, 니켈 이온의 흡착에 비하여 그 흡착곡선이 일괄성이 없는 듯 보였다.

농도에 의한 흡착현상의 영향을 나타낸 *Fig.* 5

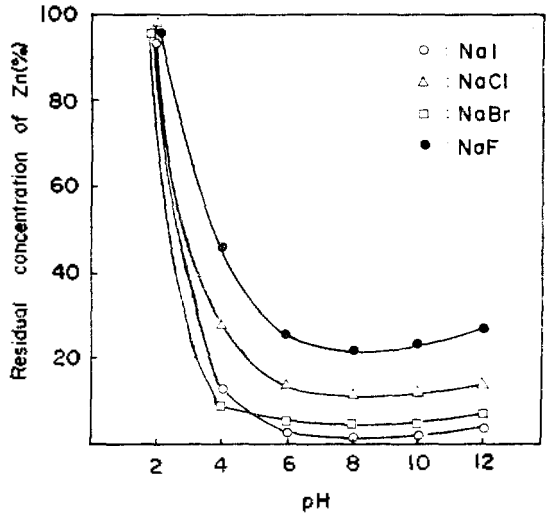

Fig. 4. Effect of pH on adsorption of zinc ion with various halide ion on activated carbon A (Initial conc. of Zn^{2+}; 10ppm, conc. of NaX; 1×10^{-4}mol/*l* shaking at room temp. for 6 hrs).

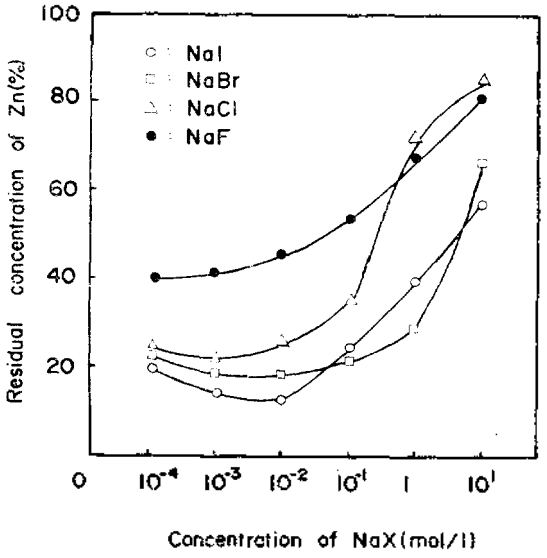

Fig. 5. Effect of halide ion on adsorption of zinc ion on activated carbon (Initial conc. of Zn^{2+}; 10 ppm, pH; 6.5~7.0 shaking at room temp. (25°C) for 6 hrs).

에서는 NaI의 공존효과가 10^{-2}~10^{-1}mol/*l* 범위에서 커다란 효과를 나타냈으며, 니켈 이온의 경우와 마찬가지로 할로겐이온중에서는 요오드화 이온에 의한 흡착효과가 양호하였다. NaCl의 농도가 1×10^{-3}mol/*l*인 때에 흡착이 잘 되었음을 나타냈으나, 대체로 농도에 의한 영향이 있는 것으로 나타났다. 또한 불화물에 있어서는 농도가 증가할수록 아연이온의 잔존율은 오히려 증가함을 나타냈으며, 다른 할로겐화물에 비해 그 흡착효과는 좋지 않았음을 알 수 있었으나 NaF의 존재로 활성탄에 의한 아연이온의 흡착현상도 가능한 것을 보여 주었다.

시안이온의 효과. 니켈이온이나 아연이온이 할로겐이온과 할로겐화 착이온을 형성하여 활성탄에 용이하게 흡착되었다. 그러나 할로겐화착이온은 같은 금속이온일지라도 할로겐이온의 농도에 따라 서로 다른 착이온을 형성한다고 알려져 있다. 이 반면에 시안화 착이온은 보다 안정된 상태이고, 농도의 변화에 따른 영향이 없으며 용이하게 $Ni(CN)_4^{2-}$나 $Zn(CN)_4^{2-}$을 형성함으로 할로겐이온의 공존시와 같은 방법으로 시안화나트륨 수용액의 존재하에서 니켈이온 및 아연이온의 흡착실험을 하였으며, 그 결과를 *Fig.* 6과 7에 나타내었다. 할로겐이온의 경우와 마찬가지의 메카니즘으로 $Ni(CN)_4^{2-}$의 형태로 착이온을 형성하여 활성탄에 흡착됨을 알 수 있었으며 가장 적합한 pH의 영역은 6.0~7.0으로서 니

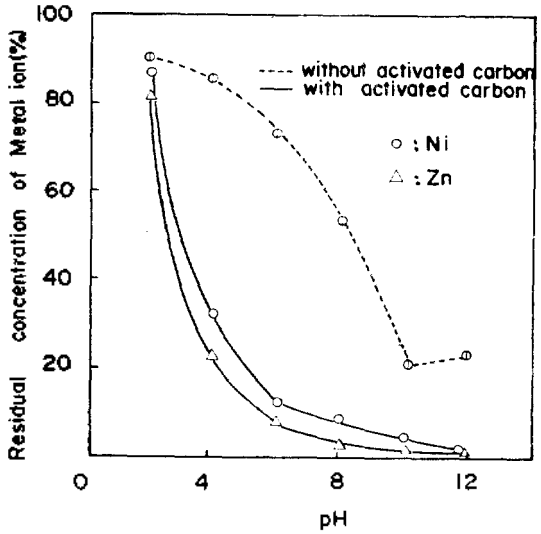

Fig. 6. Effect of pH on adsorption of metal ion with cyanide ion on activated carbon A(Initial conc. of Ni^{2+}; 10ppm, conc. of NaCN; 1×10^{-4}mol/*l*, Initial conc. of Zn^{2+}; 10ppm, conc. of NaCN; 1zx 10^{-2}mol/*l* shaking at room temp. for 6 hrs).

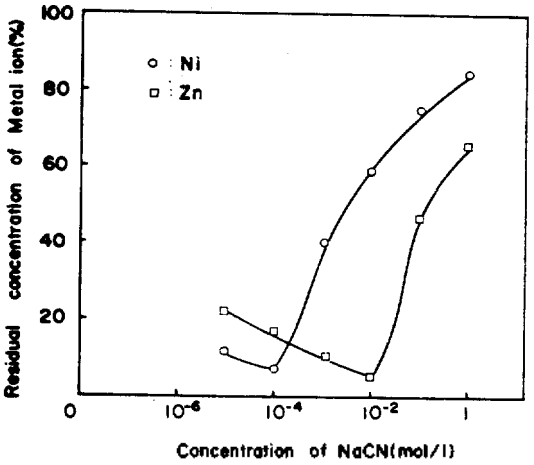

Fig. 7. Effect of cyanide ion on adsorption of Ni^{2+} and Zn^{2+} on activated carbon A (Initial conc. of Ni^{2+}; 10ppm, pH; 6.0, Initial conc. of Zn^{2+}; 10ppm, pH; 6.5~7.0 shaking at room temp. for 6 hrs).

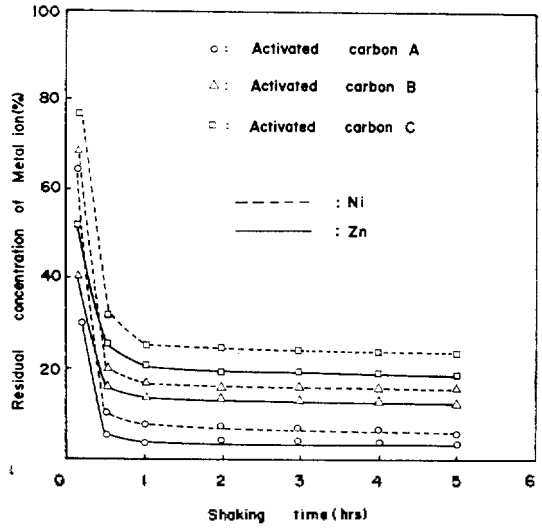

Fig. 8. Adsorption of metal ion activated carbon as a function of shaking times (Initial conc. of Ni^{2+}; 10ppm, conc. of NaCN; 1×10^{-4}mol/*l*, pH; 6.0, Initial conc. of Zn^{2+}; 10ppm, conc. of NaCN; 1×10^{-2}, pH; 6.0~7.0).

켈이온의 경우에 비하여 아연이온의 흡착현상이 더욱 양호하였음을 나타내었다. 그림에서 보는 바와같이 아연이온과의 착음이온이 생성되도록 시안화나트륨의 수용액을 가하여 활성탄에 의한 흡착현상에 대한 효과를 검토하였다. 즉 아연이온은 시안화물을 가함으로서 $Zn(CN)_4^{2-}$의 착이온이 형성되는데 이것은 그 안정도 정수가 크며 시안화나트륨의 농도가 1×10^{-2}mol/*l*에서 흡착효과가 크며, $Zn(CN)_4^{2-}$의 안정도 정수가 크기 때문에 pH의 상승에 의한 수산화아연의 생성은 거의 무시된다고 생각된다. 그러나 시안화나트륨의 농도가 1×10^{-2}mol/*l* 이상에서는 아연이온의 잔존율이 크게 상승하는 것으로 나타났는데, 이러한 현상은 활성탄에 의한 시안화물이온의 흡착 또는 활성탄 표면에서의 전하의 변화등이 고려되나, 상세한 것은 더욱 검토할 필요가 있는 것으로 사료된다.

흡착속도. *Fig.* 8에 실온조건에서 활성탄 A, B, 및 C에 의한 니켈이온 및 아연이온의 흡착속도를 나타내었는데, 그림에서 나타난 바와같이 시안화나트륨 존재하에서의 활성탄에 의한 니켈이온 및 아연이온의 흡착속도는 30분내에 약 90% 흡착되었으며, 1시간 후에는 흡착평형에 도달되었음을 알 수 있었다. 각기 다른 세 종류의 활성탄을 사용했을 때의 흡착효과는 활성탄 A가 가장 양호하였고, B, C의 순서로 흡착효과가 떨어졌음을 알 수 있었다. 따라서 수용액중에서의 흡착제로 활성탄을 사용할 경우에는, 나무를 원료로 한 활성탄이 다른 활성탄에 비해 흡착효과가 좋은 것으로 나타났다.

온도의 영향. 니켈이온 및 아연이온의 흡착에 미치는 온도의 영향을 검토하기 위하여 1×10^{-4} mol/*l*의 시안화나트륨이 공존하는 상태에서 온도를 10°C~40°C로 변화시키면서 흡착실험을 하였는데, *Fig.* 9에 나타난 실험결과에서는 급격한 변화를 찾아볼 수 없었으나 온도의 상승과 함께 니켈이온 및 아연이온의 잔유농도가 증가하여 흡착율이 떨어짐을 알 수 있었으며 온도가 낮을수록 흡착이 잘 되는 경향을 보여 주었다. 즉 온도가 올라감에 따라 흡착량이 감소함을 알 수 있는데, 이것은 흡착된 금속착이온의 해리가 온도 상승과 함께 증가하는 것에 기인된다고 생각되며, 이러한 현상은 분석조작에 있어서 불순물의 흡착을 적게 하기 위해서는 어느정도 온도를 유지하여 주는 것이 바람직하다는 일반적인

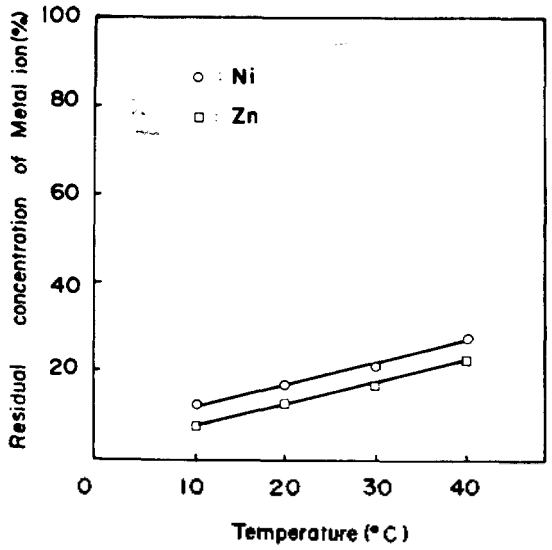

Fig. 9 Effect of temperature on adsorption of metal ion with cyanide on activated carbon A(Initial conc. of Ni^{2+}; 10 ppm, conc. of NaCN; 1×10^{-4}mol /*l*, pH;6.0, Initial conc. of Zn^{2+}; 10ppm, conc. of NaCN; 1×10^{-2}mol/l, pH;6.0~7.0, shaking time; 6hrs.).

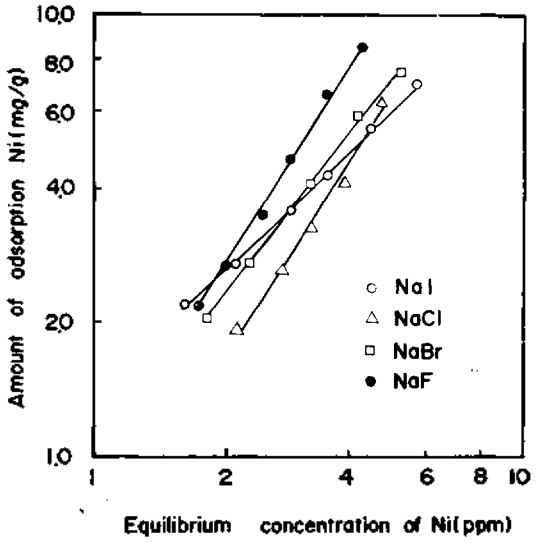

Fig. 10. Adsorption isotherms of nickel ion with halide ion on activated carbon A (Initial conc. of N^{2+}; 10ppm, conc. of NaX; 1×10^{-4}mol/*l*, pH; 6.0, shaking at room temp. for 6 hrs).

물리흡착의 경우와 일치한다고 볼 수 있다.

흡착등온선. *Fig.* 10은 니켈의 할로겐화 착이온에 대한 흡착등온선을 나타내었다. 즉 종류별

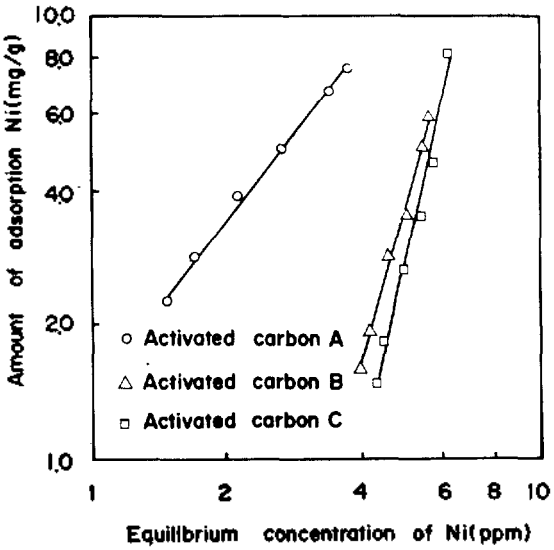

Fig. 11. Adsorption isotherms of nickel ion with cyanide ion on activated carbon (Initial conc. of Ni^{2+}; 10ppm, conc. of NaCN; 1×10^{-4}mol/l, pH; 6.0 shaking at room temp. for 6 hrs).

Table 3. Slopes of adsorption isotherms of nickel halogeno complex in the presence of sodium halide on activated carbon A

NaX	NaI	NaCl	NaBr	NaF
Slope($1/n$)	1.17	1.61	1.39	1.69

할로겐화 나트륨의 수용액에 10ppm의 니켈이온 및 활성탄 A를 각각 50~400mg을 가하여 흡착실험으로 얻어진 흡착등온선은 흡착량과 농도와의 관계를 나타내는 Freundlich의 흡착등온식에 따랐었다[12~14]. 흡착 등온선은 실온(25°C)에서 흡착평형에 도달했을 때의 최종농도에 대해서, 흡착제 1g당의 흡착된 니켈이온의 mg를 조사하여 얻었다. 이들 각각의 기울기는 *Table* 3과 같으며, 네개의 할로겐이온의 경우에 기울기가 모두 2이하였음으로 니켈이온의 흡착에 이용될 수 있음을 알수 있었다[13]. 또한 시안화나트륨의 공존시 활성탄의 종류별 흡착등온선을 *Fig.* 11에 제시하였으며, 그 등온선은 거의 직선으로 역시 Freundlich 흡착등온식에 따랐으며, 활성탄 A, B 및 C의 기울기는 각각 1.7, 5.4, 7.1이었다.

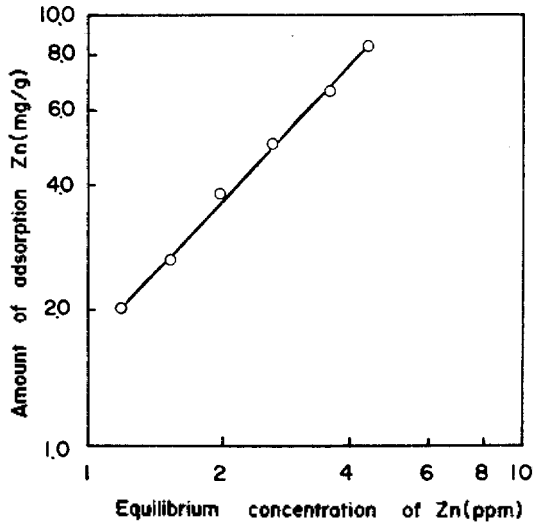

Fig. 12. Adsorption isotherms of Zinc ion on activates anbon Initial are. of Zn^{2+}; 10ppm, conc. of NaCN; 1×10^{-2}mol/*l* shaing time; 6 hrs, pH;6.5~7.0).

따라서 시안이온의 공존시 활성탄 A는 니켈이온의 흡착재로서 사용이 가능하나 활성탄 B와 C는 그 기울기가 2 이상으로서 흡착재로서 사용이 불가능한 것으로 나타났다. 아연이온의 경우에 있어서도 시안화나트륨의 공존하에서 10 ppm의 아연수용액 100m*l*에 50~400mg의 활성탄 A를 가하여 흡착실험을 하였다. 그 결과 *Fig.* 12에서와 같이 활성탄에 의한 아연이온의 착이온 흡착도, 또한 Freundlich의 흡착등온식에 따랐음을 알 수 있었다.

흡착의 가역성. 약산성 내지 중성용액에서 니켈이온이나 아연이온은 각각 $Ni(CN)_4^{2-}$, $Zn(CN)_4^{2-}$의 착이온 형태로서 활성탄에 용이하게 흡착되는 것으로 나타났다. 이것은 일반적인 물리적인 흡착현상으로 보고, 용리실험을 통해 흡착의 가역성에 대해 검토하였다.

즉 전술한 바와같은 최적조건의 시안이온의 농도와 pH를 조절하여 니켈및 아연이온을 활성탄에 흡착시켰다. 이때의 니켈및 아연이온의 잔유농도는 0.6 및 0.5ppm로서 그 흡착율을 각각 94%와 95%였다. 니켈 및 아연이온이 흡착된 활성탄을 여과 불리하여 용리액으로서 0.01, 0.1, 및 1.0*N*의 HC*l*을 사용하여 용리실험을 하였다. *Table* 4에 제시하였듯이 0.1*N*의 HCl에서 흡착된 니켈이온 및 아연이온의 약 95%가 활성탄에서 용출됨으로서 시안음이온존재시 활성탄에 의한 니켈 및 아연이온의 흡착은 가역적이었다.

Table 4. Desorption of Ni and Zn from activated carbon by HCl aqueous solution.

Eluting agent	Elute(ppm)		Recovery(%)	
	Ni	Zn	Ni	Zn
1.0*N* HCl	9.0	9.2	95.7	96.8
0.1*N* HCl	8.9	9.0	94.6	94.7
0.01*N* HCl	7.4	7.3	78.7	76.8

5. 결 론

국산 화성탄을 사용하여 중금속이온(Ni^{2+}, Zn^{2+})에 대한 흡착실험을 한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 중금속은 유리 이온상태로서는 활성탄에 흡착되지 않으며, 할로겐이나 시안이온의 공존상태에서는 NiX_4^{2-}이나 ZnX_4^{2-}, $Ni(ON)_4^{2-}$, $Zn-(CN)_4^{2-}$ 등의 형태로 용이하게 흡착되었다.

2. 활성탄에 의한 흡착효과는 할로겐이나 시안음이온의 농도가 중금속이온의 농도에 가까워질수록 좋았으며, 특히 할로겐이온 첨가시 전기음성도의 역순인 NaI>NaBr>NaCl>NaF의 순서로 흡착되는 경향을 나타냈다.

3. 활성탄에 의한 중금속이온의 흡착속도는 1시간 후 흡착평형에 도달하였으며, 온도가 낮을수록 흡착효과가 양호하였다.

4. 활성탄에 의한 중금속이온의 흡착은 Freundlich의 흡착등온식에 따랐으며, 할로겐의공존시 그 기울기는 1.17~1.69의 범위이고 시안이온일 경우에는 활성탄 A, B 및 C는 각각 1.7, 5.4, 7.1로서 B와 C는 흡착제로서 부적당 하였다.

5. 국산 활성탄에 의한 중금속이온의 흡착은 가역적으로 나타났다.

인 용 문 헌

1. R-S Ramaiho, "Introduction to waste water treatment processes," P. 343, Academic Press,

London, England, 1977.
2. Russell L. Culp, George Maek and Wesner L. Culp, "Handbook of Advanced Waste water treatment," 2nd Ed., P. 167, Van Nostrand Reinhold Co., U. S. A., 1977.
3. N. I. Taskin, A. G. Romanenko, N. P. Shevchenko and K. 3, Lebedev, *Chem Abst.*, **76**, 16870 (1982).
4. Ecken Felder and W. Wesley Jr, "Industrial water pollution control", P. 42, McGraw-Hill Co., New York, U. S. A., 1970.
5. 平出正孝, 水谷旬, 水池敦, 日本化學會誌, **1**, 161 (1981).
6. Masaru kimura and kazuko Kawanami, *Bull, Chem. Soc. Japan.*, **1**, 1 (1981).
7. I. A. Tarkonskaya, T. I. Kononchuk and N. I. pestrikova, *Chem. Abstr.*, **74**, 116321 (1971).
8. Herschel A, Elliott and Chin-pao Hunang, *J. Amer.* Cem. *Soc.*, **4**, 1 (1980).
9. Toyoaki Aori and Makoto Muenmori, *Bull. Chem. Soc. Japan.*, **55**, 730 (1982).
10. 龜川克美, 吉田久良, 有田靜兒, 日本化學會誌, **10**, 1365 (1979).
11. 橋本茂, 日本全國公害研會誌, **4**, 1231(1977).
12. J. M. Thomas, A. J. Thomas "Introduction to the Principles of Heterogeneous Gatalysis," P. 43 Academic Press, London, Fngland, 1967.
13. 北川浩, 鈴木謙一郎, "吸着の基礎と設計," P. 3, 槇書店, 日本, 1977.
14. James J. Carberry, "Chemical and Catalytic Reaction Engineering," P. 364, McCraw-Hill, New York, U. S. A., 1976.