

電氣的吸·脫着에 의한 除染廢液의 淨化處理技術

*鄭宗憲·文濟權·金桂南·李星昊·*李相瑞

韓國原子力研究所, *忠南大學校 化學工學科

The Purification of Decontamination Liquid Waste by Electrosorption

*Chong-Hun Jung, Jei-Kwon Moon, Gye-Nam Kim, Sung-Ho Lee and *Sang-Moon Lee

Korea Atomic Energy Research Institute

**Department of Chemical Engineering, Chungnam National University*

요 약

화학제염이나 전기화학제염을 통해 발생된 방사성 폐액을 정화처리할 수 있는 새로운 방법으로, 다공성 활성탄소섬유(ACF)상에서 폐액중 코발트이온의 전기적 흡·탈착에 대한 연구를 수행하였다. 회전원판 전극을 사용하여 순환전압전류법으로 전기이중층 충전만이 발생하는 전위 영역을 조사하였다. ACF 전극을 사용한 회분식 전기흡착 실험결과, 음의 전위 가용은 전위 미가용 시의 흡착에 비해 코발트이온의 흡착을 증가시켰다. 또한 흡착된 코발트 이온은 역전된 가용전위에 의해 용액으로 용출되었으며 이와 동시에 탄소체 전극이 재생되어, 전기흡착 공정의 가역성을 확인할 수 있었다.

주제어: 제염, 코발트, 활성탄소섬유, 전기흡착, 회전원판전극, 재생

ABSTRACT

The study on the electrosorption of cobalt ions onto a porous activated carbon fiber (ACF) was performed to treat radioactive liquid wastes resulting from chemical or electrochemical decontamination and to regenerate the spent carbon electrode. Cyclic voltammetry was investigated on a rotating-disk electrode (RDE) to determine the region of potentials within which only double-layer charging should occur. The application of an electric potential increased the sorption of the cobalt ions. The adsorbed cobalt ions could be released into the solution by reversing the applying potential, showing the reversibility of the process.

Key words: Decontamination, Cobalt, Activated Carbon Fiber, Electrosorption, RDE, Regeneration

1. 서 론

핵주기시설의 자원재활용 및 처분량 저감 효과가 큰 고체폐기물 재활용기술, 특히 금속성폐기물 재활용기술로는 전해제염기술이나 화학제염기술이 효과적임이 입증되었으나, 이들 제염기술의 효율성 제고를 위해서는 재활용제염 기술적용시 필연적으로 발생하는 이차폐기물의 완전한 처리가 필수적이다.

이러한 제염후 발생 이차 폐기물의 처리기술로는 이온교환이나 침전, 중발농축법 등이 기존기술로 사용되고 있

으나¹⁻³⁾ 각각의 단점과 한계성이 있기 때문에 이차 폐기물량이 적고 조작조건과 공정제어가 단순할 뿐만 아니라 장치투자비와 운전비용이 저렴한 전기화학적인 방법을 개발하기 위해 집중적인 연구가 이루어지고 있다.^{4,6)}

전기흡착, 전기부상, 전기응집, 전기여과, 전기투석, 전기화학적 이온교환, 전착법 및 전기화학적 침전법 등의 여러 가지 전기화학적인 방법들이 폐액의 특성에 맞게 선택 이용될 수 있으며, 일부 기술은 상용화되어 있거나 기존기술의 성능향상을 위한 기술개선 연구가 이루어지고 있다.

전기화학적 처리기술중 전기흡착기술은 기존의 흡착·이온교환기구에 전기적인 구동력이 부가된 기술로서, 오염물의 흡착제거에 의한 폐액의 정화와 탈착에 의한 오염

* 1999년 2월 11일 접수, 4월 9일 수리

* E-mail: nchjung@nanum.kaeri.re.kr

물의 농축이 용이한 가역적 특성을 갖고 있다. 탈착과 동시에 사용된 흡착제는 재생될 수 있으므로 이차폐기물이 발생하지 않는 장점이 있다. 이 기술은 세계적으로 기술개발 초기단계의 기술로, 연구개발을 통해 재염기술의 효율성 제고와 핵주기 폐기물의 처리기술로도 활용가치가 큰 기술이다.

전기흡착의 주요 구성요소의 하나인 전극은 폐액처리 환경에 적합한 재료특성 즉, 높은 전기전도도와 큰 비표면적 등을 갖추어야 한다. 탄소체는 비교적 상기 두 가지 전극재료특성을 만족하며 내방사능성과 내화학성이 우수하므로 방사성 폐액 처리용 전극소재로서 유용하게 사용할 수 있다. 특히 ACF(Activated Carbon Fiber)는 비표면적이 매우 크고 기공내로 유체의 침투성이 우수할 뿐만 아니라 부직포나 천형태로 가공하여 취급이 용이하므로 전극소재로서 적합하다.

본 연구에서는 ACF 부직포 전극을 사용해서 Co(II)이온에 대한 회분식 실험을 수행하였다. 가용전위에 따른 흡착거동을 조사하고 전위를 가용치 않은 흡착거동과 비교하였으며, 흡착시와 반대의 정전압을 가용하여 탈착거동을 조사하였다. 음의 전위에서 흡착 후 바로 양의 전위로 역전시켜 탈착하는 실험을 주기적으로 하여 흡착과 재생의 순환을 관찰하였다. 이 회분식 실험전에 회전원판전극(Rotating Disk Electrode, RDE)을 사용해서 전하이동 반응이 무시되는 전위범위를 구하였다.

2. 실험방법

전하이동 반응이 무시되는 전위범위를 구하고자 glassy carbon RDE를 사용해서 실험을 수행하였다. Fig. 1에 표시한 바와 같이 실험에 사용한 장치는 potentiostat (E&G Model 273), 작업전극 회전기(EG&G PARC Model 616), 및 전기화학 셀(EG&G Model G0096)로 구성된다. 상대전극으로는 가스발생반응에 비부식성을 나타내는 pt wire를 기공직경이 40Å인 vycor 튜브(Vycor No 7930)내에 설치하여 작업전극과 분리시켰다. 기준전극은 Cl⁻이온과 Cl⁻용액에 대해 가역적인 포화된 칼로멜전극(Saturated Calomel Electrode, SCE)을 사용하였다.

용액은 1L의 셀 플라스크에서 제조하였으며, 16MΩ·cm 이상의 저항값을 갖는 탈염수를 사용하였다. 0.1N NaCl용액을 전해질로 사용하였다. 입자상의 NaCl(Junsei Chemical Co.)과 CoCl₂(Merck Co.)를 사용하여 NaCl과 CoCl₂ 혼합용액 1L를 제조하였다. 혼합용액의 pH는 미량의 0.1N NaOH 또는 HCl을 첨가하여 조절하였다

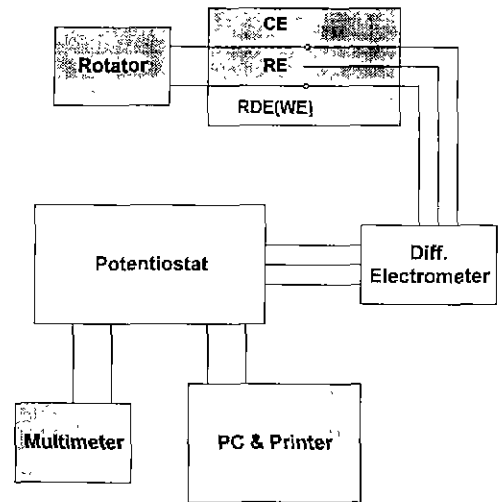


Fig. 1. Schematic of equipment in RDE experiments.

용액의 용존산소는 RDE 표면에서 쉽게 환원되기 때문에 실험전에 N₂ 가스로 30분간 용액을 탈기시켰다.

순환전압전류법을 사용하여 RDE가 이상 분극으로 거동하는 전위범위를 결정하였다. 원하는 전위한계 사이에서, 일정속도로 작업전극의 전위가 주사되도록 potentiostat의 내부전위발생기를 고정하였다. 가용전위범위와 주사속도 범위는 각각 ±1Volts(vs SCE), 2~10 Volts/min로 하였고 RDE의 회전속도는 900~3600 rpm으로 변화시켰다.

ACF 부직포 전극을 사용해서 코발트 이온의 전기흡

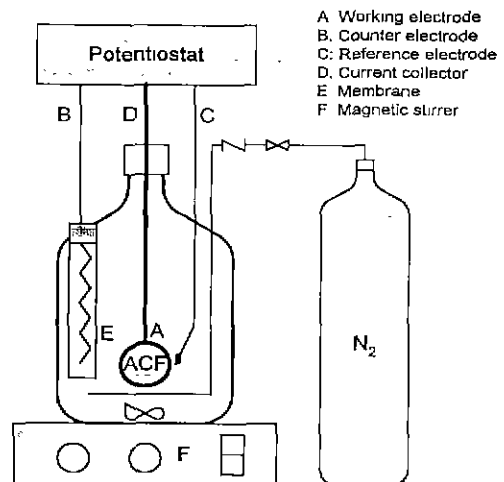


Fig. 2. Electro-sorption cell.

Table 1. Properties of ACF felts

Physical property		Electro/chemical property	
Specific S/A(m ² /g)	1950	Conductivity(ohm·cm) ⁻¹	72
Total pore vol.(cc/g)	0.94	pH	6.4
Micro pore vol.(cc/g)	0.77	Surface acidity (meq/g)	0.38

착에 대한 회분식 실험을 수행하였다. 실험에 사용된 장치는 RDE 대신 ACF 부직포를 작업전극으로 사용하되에는 RDE 실험장치와 동일하다(Fig. 2).

본 실험에 사용된 ACF 부직포의 물리화학적 성질을 Table 1에 나타내었다. 전극으로 사용한 ACF는 큰 BET 비표면적과 기공부피를 가지며, 기공의 평균 반경이 약 10Å인 미세공으로 대부분 구성되어있다. pH와 표면산도가 각각 6.4, 0.38 meq/g인 결과로 부터 ACF 부직포가 산성 탄소체임을 알 수 있다. 전기흡착에 사용되는 탄소체는 최소 전기전도도값이 $0.1(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 이어야 하고 $1.0(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 이상의 전기전도도를 가져야만 효과적이다.⁷⁾ 약 $10(\Omega \cdot \text{cm})^{-1}$ 의 전도도를 가진 활성탄소섬유가 보고된 바 있다.⁸⁾ 실험에 사용한 ACF 부직포는 이전에 보고된 탄소체에 비해 더 큰 전도도를 보이는 좋은 전도성 전기흡착제로서 사용할 수 있음을 알 수 있다. current collector로 사용한 흑연봉(BG&G Model G0091)주위에 conductive carbon cement(Leit-C, Neubauer Chemikalien)로 ACF 부직포를 접착시킨 후 일정하게 감아 5.9~294.7 ppm 농도범위의 코발트 수용액에 수용토록 하였다. 용액은 RDE 실험용액과 같은 방법으로 제조하였으며, 이때 상온에서 일정하게 교반을 하였다. RDE 실험을 통해 확인된 페러데이 반응이 일어나지 않는 전위범위내에서, 여러 고정전위에서 시간에 따라 일정량의 시료를 채취하고 분석하여 흡착량을 구하였다. 또한 일정가용전위에서 충분한 시간동안 흡착평형에 도달한 ACF전극에 흡착시와 반대의 정전압을 가용하여 시간에 따라 시료를 채취, 분석하여 탈착량을 구하였다. 코발트 이온의 초기와 평형 농도의 분석은 1~3 ppm 기준농도 범위에서 원자흡수 분광도계(Atomic Absorption Spectrophotometer, Perkin Elmer 1100B)를 사용하여 이루어졌다.

3. 결과 및 고찰

3.1. RDE 실험

본 실험에서 염전해결과 코발트 용액내의 탄소전극은 수소발생전위와 산소발생전위 사이에서 이상분극 전극으로 거동해야 한다. Fig 3은 이러한 계에서 가능한

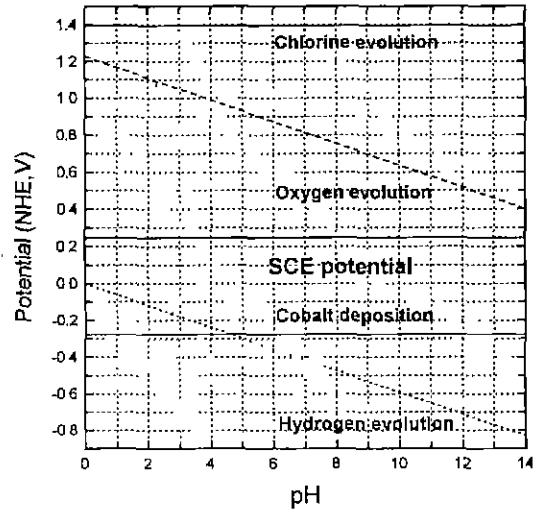


Fig. 3. Pourbaix diagram for the system cobalt chloride-water at 25°C.

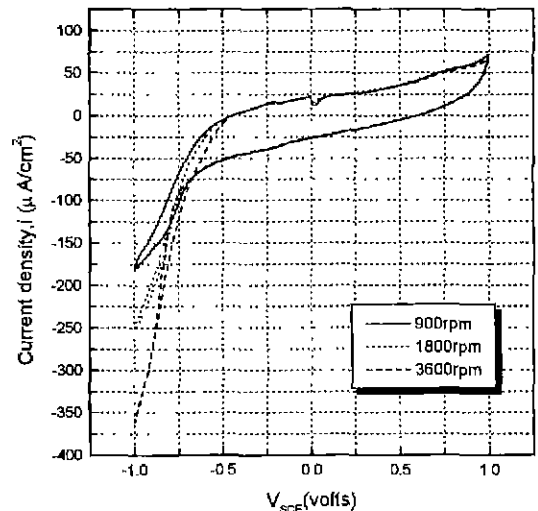


Fig. 4. Cyclic voltammogram for glassy carbon in a solution of 0.1 M NaCl and 0.45 mM Co²⁺ at pH 5, a sweep rate of 33 mV/s and various RDE rotation speed.

여러가지 반응의 열역학적 전위를 pH의 함수로 표시한 Pourbaix diagram을 나타낸 것이다. 산소발생전과 수소발생전 사이의 전위창 내에서 아무런 전하이동 반응없이 용액은 열역학적으로 안정할 것이다. 따라서 초기 pH 5에서 이론적 전위창은 -0.594 V에서 +0.706 V(vs. SCE)이다. 만약 수소 및 산소 발생속도가 탄소체상에서의 반응에 대해 큰 과전압을 필요로 한다면, 이 전위창

은 더욱 커질 것이다.

순환전압전류법에 의한 RDE 실험결과는 페레데이 반응이 일어나지 않는 glassy carbon에서의 전위범위를 알 수 있다. Fig. 4에서 순환전압전류곡선의 수평부분은 전기이중층 충전만이 중요한 정전이중층용량 영역을 나타낸다. 이 영역은 -0.4 V에서 +0.4 V(vs. SCE)까지 걸쳐져 있다. 양과 음의 주사선 사이의 거리는 이중층정전용량에 비례한다. 정전영역이 전류축에 대해 대칭되지 않기 때문에 glassy carbon disk는 정전영역에 있다고 가정될 때 이상적인 RC회로를 유사하게 따르는 것 같다. Fig. 4의 음의 전위에서의 전류는 수소발생전위에서의 전하이동 환원반응에 기인해서 나타난 것이다. -1.0 V(vs. SCE)에서의 전류 크기는 disk의 회전속도에 따라 변하였다. 이로부터 수소발생과 같은 전하이동반응의 특성인 벨크로부터 계면으로 물질전달 공정이 일어남을 알 수 있다. RDE에서의 물질전달 경계층 두께는 회전속도에 의해 결정된다. 만약 반응이 RDE에서의 물질전달에 의해 지배된다면 전류는 회전속도의 제곱근에 비례할 것이다.⁹⁾ 그러나 정전전류는 Fig. 4에 보여지는 것처럼 회전속도에 따라 변하지 않아 흡착반응은 물질전달의 제한없이 일어남을 알 수 있다. 일반적으로 전기이중층 흡착은 벨크 대류가 영향을 미치지 않는 전극부근에서 일어나므로 이러한 결과를 뒷받침한다.

3.2. 회분식 전기흡착 거동

기존 흡·탈착공정이 압력(혹은 농도)과 온도 변화에 의해 유발되는데 반해서 전기 흡·탈착은 새로운 제어 인자로 용액중 높은 표면적의 전극에 전기전위를 적용하여 전극표면에 생성된 전기이중층이 충전 혹은 방전되는 원리를 이용하는 새로운 분리공정기술이다. 계면에서의 전기 전위나 전기적 성질이 용액으로부터 이온종 혹은 비이온성 화학종의 흡착에 영향을 주므로, 전기전도성 탄소체를 분극하여 계면전위 즉 결과적으로 표면 흡착용량을 조절하는 것이 가능하다. 이온종이 함유된 폐액의 정화처리에 전기 흡·탈착공정을 적용할 경우, 전기전도체에 전기를 통하면 폐액중의 이온종은 상변화없이 전극의 전기이중층에 정전기적으로 흡착되어질 수 있다. ACF는 Table 1에서와 같이 다양한 산화된 관능기들을 갖고 있다. 이와 같은 관능기들의 양쪽성을 근거로, 양이온교환의 가능성을 예측할 수 있으며, 이온교환 용량은 용액 pH의 함수이다. 한편, 가용된 전류는 회석 수용액으로부터 탈염화를 유발할 수 있다. 이 공정은 가역적이고 산성관능기를 갖는 ACF전극

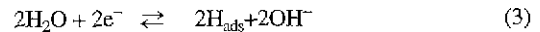
에 큰 영향을 미친다.

양쪽성 산화관능기가 함유된 표면상에서 표면전하 발달을 설명하는데 일반적으로 사용되는 양성자화와 탈양성자화의 평형식은 다음과 같다.

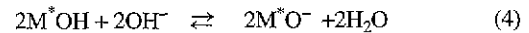


여기서 MOH는 탄소체 표면에 산화된 표면기를 나타내는 것이다. 탄소체 표면의 성질이 MOH기에 의존한다면, 수용액의 주어진 pH에서 탄소체의 총괄 전하는 양성, 중성, 또는 음성일 것이다.

전기흡착 시, 수소는 음으로 하전된 탄소표면에 선택적으로 흡착된다.¹⁰⁾

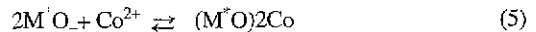


여기서 H_{ads}는 표면에 흡착된 수소원자이다. 음극에서의 부분적 열기성 분위기는 벨크 용액내의 양성자 농도의 감소로 산성기를 이온화 시킬 수 있다. 그러므로



여기서 M^{*}OH는 중성기를 나타낸다.

반응식 (4)에서 M^{*}OH는 용액으로부터 코발트 이온을 제거하며 반응식은 다음과 같다.



한편, 상대전극에서의 반응식은 다음과 같이 예상할

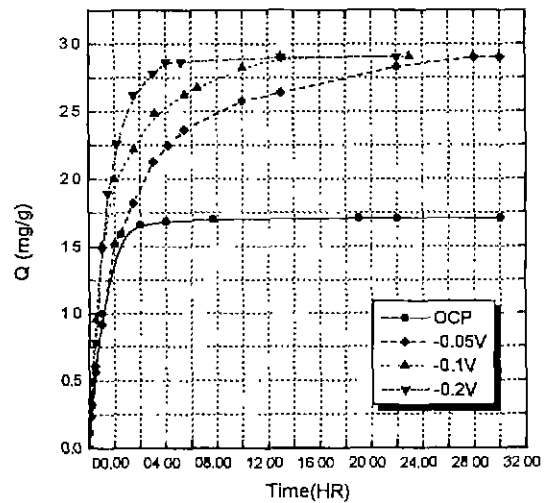
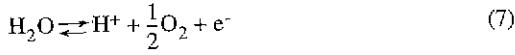
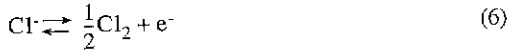


Fig. 5. Amount of cobalt cations trapped by electrosorption at various electrode potential.

수 있다.



코발트 이온의 흡착시 가용된 전위의 영향을 결정하기 위해 -0.4 V에서 +0.4 V(vs. SCE)까지 전위범위에서 수행한 회분식 흡착실험 결과를 Fig. 5에 나타내었다.

보통 미가용전위에서의 일반흡착(Open-Circuit Adsorption, OCP)의 경우, 32시간동안 용액접촉결과 29.5 ppm의 초기농도로부터 10 ppm까지 감소시킬 수 있었으며, 흡착평형시간은 6시간이었다. -0.05, -0.1, 그리고 -0.2 V의 세가지 음의 전위를 가용한 경우 세 조건 모두 용액 내 코발트 이온을 완전히 제거할 수 있었으나 흡착속도는 음의 전위가 증가할수록 증가하는 경향을 나타내었다.

Table 2는 6시간 흡착 후에 여러 가용전위에서 얻은 코발트의 흡착량을 비교한 것이다. 이 Table로부터 -0.05와 -0.2 V에서 흡착된 코발트의 흡착량은 미가용전위시에 비해 각각 33%, 72% 증가하였다. OCP

Table 2. Data for adsorption of Co(II) on ACF electrode at various potential

Applied potential (vs. SCE)	OCP	-0.05V	-0.1V	-0.2V
Amount of adsorbed (mg/g of ACF)	1.68	2.23	2.52	2.87

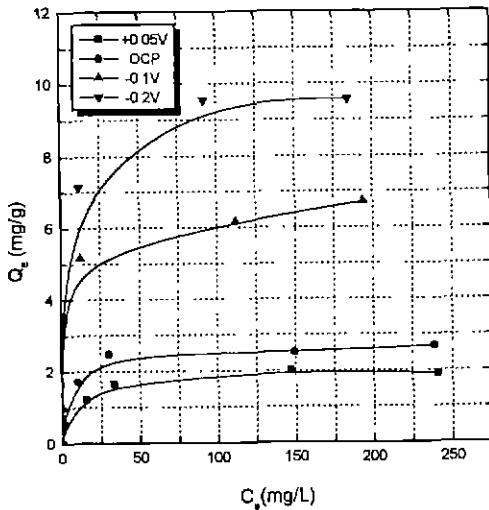


Fig. 6. Electrosorption isotherms of cobalt cations trapped at various electrode potential.

와 -0.2 V조건에서의 흡착량차는 1.19 mg/g-ACF로서 비교적 높았다. 음의 전위일 때 ACF 부직포상에서 양이온 흡착용량의 증가는 정전기적 효과라고 생각된다. 전위가용하에 탄소체상에서 흡착량의 증가는 다른 연구들에서도 보고된 바 있다.¹⁰⁻¹²⁾

Fig. 6은 용액의 pH가 5일 때 여러 전위(vs. SCE)에서 코발트 이온의 등온흡착을 나타낸 것으로 Langmuir 등온선과 유사한 흡착등온형태를 보여주고 있다 따라서 이를 확인하고 Langmuir 매개변수를 구하기 위해 등온흡착 데이터를 식(8)로 표시되는 Langmuir식에 따라 도시하여 Fig. 7에 나타내었다.

$$\frac{C_c}{Q_c} = \frac{1}{Q_m b} + \frac{C_c}{Q_m} \quad (8)$$

여기서, C_c = 용액내 흡착질의 평형농도(mg/L)

Q_c = 흡착제 단위 g당 흡착된 흡착질의 양(mg/g)

Q_m = 단분자층 최대 흡착용량(mg/g)

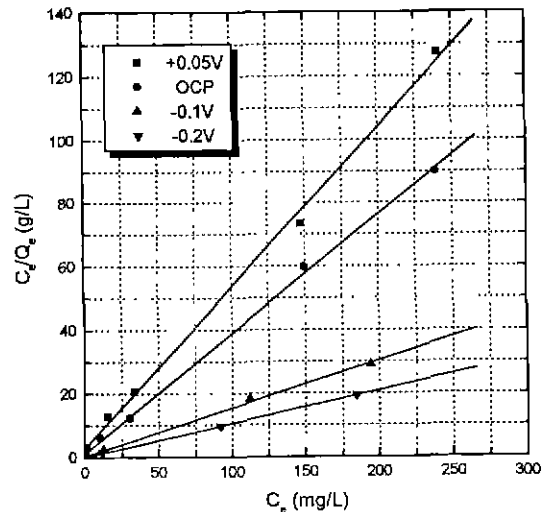


Fig. 7. Langmuir plot for cobalt cations trapped at various electrode potential.

Table 3. Langmuir constants for Co(II) adsorption isotherms at various potential

Applied potential(vs. SCE)	b(L/mg)	Q_m (mg/g)
+0.05V	0.17	1.98
OCP	0.29	2.66
-0.1V	0.39	6.66
-0.2V	0.72	9.64

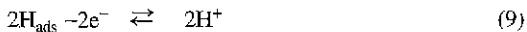
$$b = \text{Langmuir 상수(L/mg)}$$

단분지층 최대 흡착용량, Q_m 과 Langmuir 상수, b 를 Table 3에 나타내었다. 이 결과로부터 음의 전위가 커질수록 최대 흡착용량값이 증가하였으며 +0.05 V에서 보다 -0.2 V에서 약 5배 증가된 것을 알 수 있다. Langmuir 상수 역시 음의 전위가 커질수록 증가하였다. 따라서 Langmuir 매개변수들은 모두 전위에 일정한 상관성을 가짐을 알 수 있다.

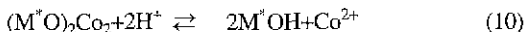
한편 전위 피가용시의 흡착등온곡선은 +0.05 V에서의 등온곡선과 유사한 반면, 보다 음의 전위(-0.1 V, -0.2 V)에서의 흡착등온곡선과는 구별된다. 이러한 사실은 양의 전위에서는 정전기적 반발력 때문에 전기이중층 충전에 의한 전기흡착현상이 일어나지 않고 일반흡착만이 발생하는 반면, 음의 전위에서는 일반흡착 외에 정전기적 인력에 의한 전기흡착이 동시에 발생하기 때문으로 생각된다.

3.3. 탈착거동 및 전극재생 특성

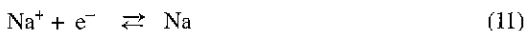
전기흡착과 탈착공정을 한 주기로 하였을 때, 폐액인 전해액으로부터 화학종의 분리는 흡착제에 가용되는 전위를 주기적으로 바꿈으로써 가능하다. 흡착량이 증가되는 전위가 가용되는 첫번째 반주기 동안 흡착전극을 통해 흐르는 용액으로부터 제거하고자 하는 화학종이 제거된다. 그 후 흡착이 일어나지 않는 전위로 변화시킨 후 두번째 반주기 동안 새로운 용액을 통과시킨다. 이 용액은 오염화학종이 농축된 상태로 분리공정으로부터 배출된다. 이때 주기적 전기흡착공정의 가장 큰 특성의 하나인 흡착제의 직접 재생이 동시에 이루어진다. 사용한 탄소체의 주기적 전기흡착과 재생은 가역적 탈착이 일어날 때 가능하다. 전위가 역전되었을 때, 탄소체는 다음과 같이 양극으로 거동하며



그 결과 부분적으로 낮은 pH가 되고 다음과 같이 반응한다.



반면 상대전극에서의 예상되는 반응은



이다. Evans와 Hamilton은 탄소전극상에서의 물의 탈염

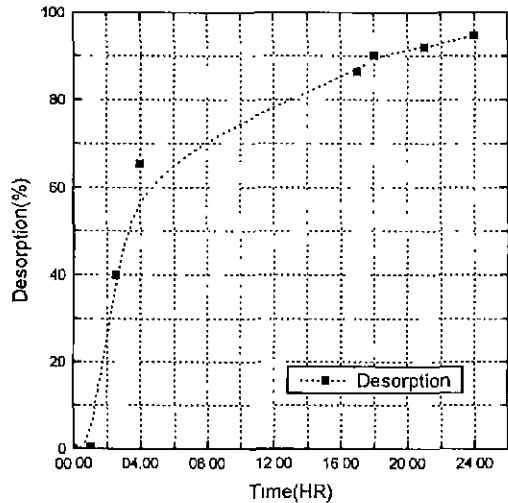


Fig. 8. Electrodesorption % on time at constant anodic potential of +0.7V.

화에 대해 상기와 같은 반응기구로 설명한 바 있다.⁷⁾

탈착거동에 대한 조사는, 먼저 -0.2 V(vs. SCE)에서 포화흡착을 시킨 다음 흡착전위를 역전시킨 +0.2 V(vs. SCE)에서 탈착이 이루어졌으나 부분적인 탈착결과만을 나타내었다. 따라서 보다 양으로 분극된 +0.7 V(vs. SCE)의 전위에서 탈착거동이 실험되었다. Fig. 8의 결과로부터, 흡착된 코발트 이온은 24시간 이내에 완전히 탈착되었다. 따라서 이러한 결과는, -0.2 V(vs. SCE)의 전위조건에서 전기적 흡착만 이루어 졌다면, 흡착전위를 역전시킨 +0.2 V(vs. SCE)에서 전기적 탈착이 가능하겠지만, 본 실험에서는 전위 가용에 의한 전기적 흡착과 ACF 자체의 흡착력에 의한 일반 흡착도 동시에 이루어짐으로써 더 높은 탈착 전위를 필요로 하기 때문으로 생각된다.

ACF를 연속적 전기흡착제로 사용가능 여부를 확인하기 위해, -0.2 V(vs. SCE) 전위조건에서의 전기적 흡착과 +0.7 V(vs. SCE) 전위조건에서의 탈착단계로 구성된 주기적 실험이 수행되었다 Fig. 9에 세번의 실험 주기동안 각각의 주기에서의 흡착과 탈착 시 잔류농도 변화를 나타내었는데 세 번의 주기동안 흡탈착 거동이 유사함을 알 수 있다. Fig. 10은 흡착과 탈착량을 시간에 따라 재도시한 것으로 Fig. 9 보다 상세한 흡탈착 거동을 알 수 있다. 1주기 흡착과 2주기 흡착은 속도면에서는 차이가 크지만 평형 흡착량에는 변화가 없었으며, 2주기와 3주기의 흡착속도는 유사하였다 이는 첫번째 주기 후 ACF의 표면 관능기들이 일부 반응으로 인해 제거되어 전극표면의 성질이 변화하였거나

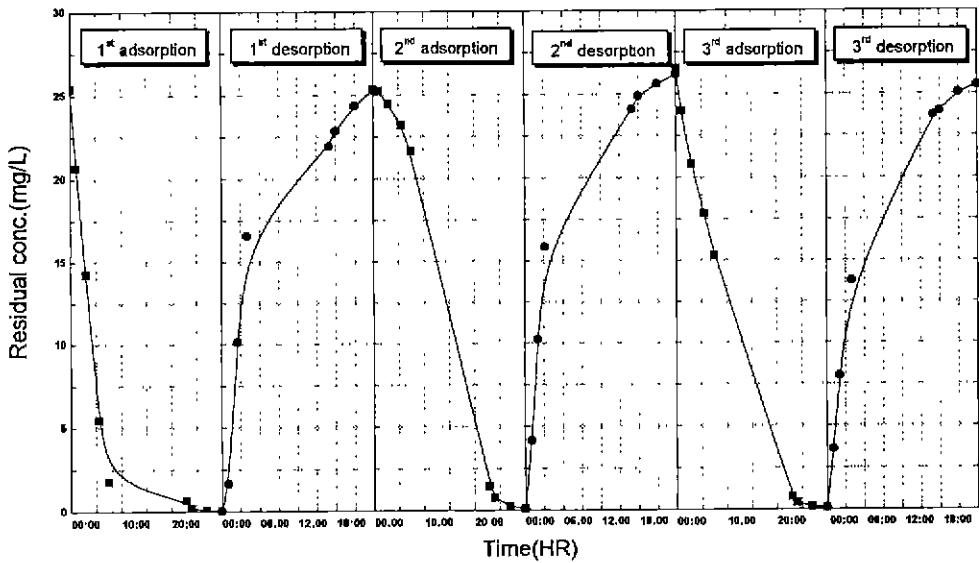


Fig. 9. Electrosorption and regeneration behaviors of ACF electrode.

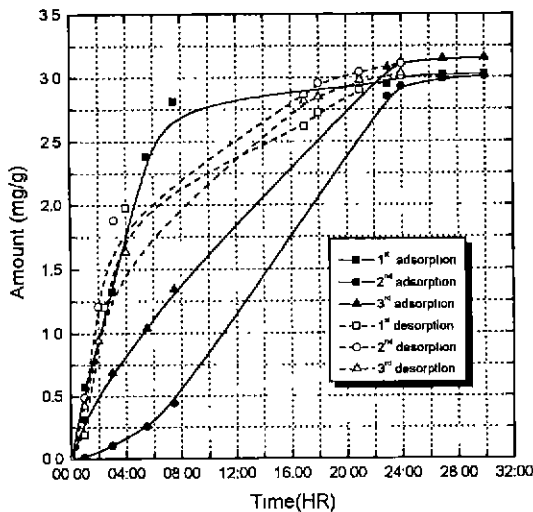


Fig. 10. Amount of cobalt cations trapped and released during three cycles

전해질이 ACF의 기공내에 흡착된 후 완전히 탈착되지 않아 기공내 구조변화를 가져왔을 가능성을 고려해 볼 수 있다. 이를 정확히 규명하기 위해서는 흡탈착 후 ACF의 표면산도와 BET측정 등이 필요하며 이에 대한 추가연구가 진행되고 있다. 그러나 전기화학적 탈착거동은 세 주기 모두 유사하였다. 위의 결과들로부터 역전된 ACF 전극의 전위를 역전시킴으로써 ACF 전극에

흡착된 흡착질 이온을 전기적으로 탈착시켜 탄소체 전극이 직접 재생되는 사실을 알 수 있다. 또한 이와 같은 흡착과 탈착 재생공정은 여러 주기동안 실행가능함을 확인할 수 있다.

4. 결 론

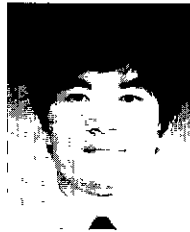
화학제염이나 전기화학제염을 통해 발생한 방사성 폐액을 정화처리할 수 있는 새로운 방법으로, 다공성 활성탄소섬유(ACF)상에서 폐액중 코발트이온의 전기적 흡·탈착에 대한 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. ACF 부직포에 가용된 전위는 수용액에서 코발트 이온에 대한 흡착용량에 영향을 주었다. 양의 분극은 흡착용량을 감소시키는 반면 음의 분극은 흡착용량을 뚜렷하게 증가시켰다.
2. 역전된 전위에 기인한 전기적 탈착에 의해 전기화학적으로 재생된 탄소체는 초기 흡착용량을 그대로 유지하여 전기흡·탈착공정이 가역적임을 알 수 있었다.
3. ACF를 전극으로 사용한 전기흡착공정은 코발트 이온을 효과적으로 제거하여 폐액의 정화처리에 이용할 수 있었으며, 다른 중금속이나 유기물을 함유한 폐액의 처리에도 전기흡·탈착공정을 이용할 수 있을 것으로 예상된다.

참고문헌

1. NN Sauer, B.F. Smith : "Metal-Ion Recycle Technology for Metal Electroplating Waste Waters", LA-12532-MS (1993).
2. CEC : "The Community's R & D Programme on Radioactive Waste Management and Storage". Annual progress Report, Rep. EUR-11089 EN, CEC, Brussels (1988).
3. K.W. Carley-Macauy, R.G. Gutman : "Radioactive Waste : Advanced management methods for Medium Active Liquid Waste", Harwood Academic Pub. (1981).
4. F.E. Woodard, D.E. McMackins and R.E.W. Jansson : "Electrosorption of Organic on Three Dimensional Carbon Fiber Electrode", J. Electroanal. Chem, 214, 303 (1986).
5. Y. Oren, A. Soffer : "Water desalting by means of electrochemical parametric pumping", J. Applied Electrochemistry, 13, 473 (1983).
6. G.G. Jayson, J.A. Sangster, G. Thompson, M.C. Wilkinson : "Adsorption and Electrosorption of Mercury (II) Acetate onto Activated Charcoa; Cloth from Aqueous Solution", Carbon, 25(4), 523 (1987).
7. S. Evans, W.S. Hamilton : "Electrochemically Controlled Ion-Exchange", J. Electrochemical Society, 113, 1314 (1966).
8. Fairhurst, D. : "Activated Carbon Cloth Electrode for Electroadsorption". UK Patent GB 2,081,744 (1982)
9. A.J. Bard, L.R. Faulkner : "Electrochemical Methods: Fundamentals and Applications", John Wiley & Sons Inc., 284 (1980).
10. A.N. Abakarov, D.A. Sveshnikova, A.V. Dribinski, M.M. Gafurov, Sh. O. Sheikov, T. Yu. Kuleshova, P.A. Saltykov, and A.V. Shirkov : "Adsorption Properties of Polarized Carbons", Russian J. of Physical Chemistry, 67, 1449 (1993).
11. A. Seron, H. Bnaddi, F. Beguin, E. Frackowiak, J.L. Bretelle, M.C. Thiry, T.J. Bandoz, J. Jagiello and J.A. Schwarz : "Sorption and Desorption of Lithium Ions from Activated Carbons", Carbon, 34(4), 481 (1996).
12. I. Tomizuka, T. Meguro, H. Kuwagaki, A. Chiba, A. Miyazaki and M. Okamoto : "Elimination Behavior of Metallic Ion from Its Dilute Solution by Activated Carbon Fiber under Applied Electrical Potential", Proceeding of Carbon '94, 222, Granada, Spain (1994).

정 종 헌



- 1997년 연세대학교 화학공학과 학사
- 1981년 연세대학교 대학원 화학공학과 석사
- 1994년 충남대학교 대학원 화학공학과 박사
- 현재 한국원자력연구소 선임연구원

문 제 권



- 1982년 연세대학교 화학공학과 학사
- 1984년 연세대학교 대학원 화학공학과 석사
- 1989년 충남대학교 대학원 화학공학과 박사
- 현재 한국원자력연구소 선임연구원

김 계 남



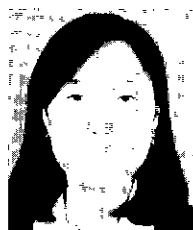
- 1984년 한양대학교 토목공학과 학사
- 1991년 충남대학교 대학원 토목공학과 석사
- 1996년 한국과학기술원 토목공학과 박사
- 1998년 U.C. Berkely Post Doc
- 현재 한국원자력연구소 선임연구원

이 성 호



- 1982년 영남대학교 화학공학과 학사
- 1984년 연세대학교 대학원 화학공학과 석사
- 1997년 한국과학기술원 화학공학과 박사
- 현재 한국원자력연구소 선임연구원

이 상 문



- 1995년 충남대학교 화학공학과 학사
- 1997년 충남대학교 대학원 화학공학과 석사
- 현재 충남대학교 대학원 박사 과정