

실리카겔에 담지된 4급암모늄염 유도체의 합성 및 이온교환 특성

안범수[†]

대진대학교 자연과학대학 화학과
(2008년 1월 11일 접수 ; 2008년 3월 3일 채택)

Preparation of Quaternary Ammonium Salt Derivatives Supported on Silica gel and Its Ion Exchange Characteristics

Beom-Shu Ahn[†]

Department of Chemistry, Dae Jin University, Pocheon 487-711, Korea
(Received January 11, 2008 ; Accepted March 3, 2008)

Abstract : The ion exchangers supported on silica gel containing primary, secondary, or tertiary amine groups show a behaviour that is weakly acidic, while the quaternary salts are strongly acidic. These properties change according to the hydrophilicities of the modifier functional groups. Ammonium salt derivatives supported on silica gel were prepared from silica modified with 3-Aminopropyltriethoxysilane and N-3-(Trimethoxysilyl)propylethylene diamine. The preparation and the ion exchange properties of two systems were discussed. Two systems have different hydrophilicities and contain ammonium chloride derivatives of 3-aminopropyltriethoxysilane and N-3-(triethoxysilyl)propyl ethylene diamine supported on silica gel, SA⁺Cl⁻ and SE⁺/Cl⁻, respectively. The high affinity to perchlorate ion presented by the SA⁺/Cl⁻ through the equilibrium studies of ion exchange led us to its application as an ion selective electrode for the perchlorate ion. The determination of the perchlorate ion in the presence of other anions and in complexes is very difficult. Few analytical methods are available and most of them are indirect. Both materials showed potential use as an ion exchanger; they are thermally stable, achieve equilibrium rapidly in the presence of suitable exchanger ions, and are easily recovered.

Keywords : quaternary salts, hydrophilicities, ion exchange, affinity coefficient, counterion, selectivity.

1. 서 론

기능성 기를 이용하여 실리카겔을 화학적으

로 변화시키면 용액상에서 금속이온들을 흡착하는데 활용하거나, 또는 아주 미량 포함되어 있는 금속 이온들을 분석하고자 할 때, 또는 액체크로마토그래피의 column을 채우는 충전 물질등으로 이용할 수 있다 [1-6]. 크로마토그래

[†]주저자 (e-mail : bsahn@daejin.ac.kr)

피의 변형된 실리카겔에서는 흡착, 농축, 이온 교환등이 일어나는데 하전된 관능기가 실리카겔 표면에 화학적으로 흡착이 되고 담지된 관능기의 전하 종류에 따라 양이온이나 음이온의 치환체가 얻어진다. 이온교환에 있어 이 물질들의 응용은 그들의 이온교환 능력, 안정도, 선택성 등의 요인에 의존하게 된다. 이온교환 능력은 변형되기 전의 표면 히드록시기 농도, 실라놀기에서 일어나는 반응정도, 변화된 분자의 성질등에 따라 달라진다 [7-10]. 실리카겔에 붙어있는 이온교환체는 넓은 pH 범위에 걸쳐 용액중에서 안정성이 있고 부풀지 않는다 [11,12]. 선택성은 분리인자, 선택계수, 열역학적 평형상수등을 이용하여 나타낼 수 있다 [13,14].

일차나 이차 또는 삼차 아민기를 갖고 있는 실리카겔에 담지된 음이온 교환체는 약한 산성을 띄는데 비해 4차 암모늄염을 포함하는 경우에는 강한 산성을 나타낸다. 그러나 이런 성질은 관능기의 소수성 정도에 따라 달라진다. 본 논문에서는 서로 다른 소수성을 띄는 두 종류의 계측 실리카겔에 담지된 N-3-(Trimethoxysilyl)propyl ethylenediamine (SA⁺/Cl⁻)과 3-Aminopropyltriethoxysilane (SE⁺/Cl⁻)의 염화암모늄 유도체의 합성과 이온교환 성질에 대해서 알아보려고 한다. 다른 음이온이나 착화합물이 있을 때 perchlorate 이온의 분석은 매우 힘들다. 매우 제한적인 방법이 가능할 뿐이고 이들은 모두 간접적이기 때문에 다른 요인들에 의해 영향을 받기가 쉽다 [15,16]. 여기서는 SA⁺/Cl⁻와 SE⁺/Cl⁻의 교환 성질뿐 아니라 SA⁺/ClO₄⁻ 유도체를 이용한 perchlorate 음이온 분석을 위해 이온 선택성 전극의 특성을 알아보려고 한다.

2. 실험

실리카겔은 진공 상태에서 5시간 정도(300°C) 처리하여 기체들을 제거한 후 원하는 반응을 진행하였다. 10 ml의 3-Aminopropyltriethoxysilane을 200 ml의 톨루엔에 잘 녹이고 이어서 30 g의 활성화된 실리카겔과 혼합하였다. 다른 하나는 10 ml의 N-3-Trimethoxysilylpropyl ethylenediamine이 사용되었다. 반응 혼합물은 질소 분위기하에서 24시간 동안 교반시킨 후 생성물을 걸러내었다.

생성물을 에탄올로 씻고 50 °C, 진공에서 건조하여 원하는 실리카겔 유도체를 제조하였다 [≡Si(CH₂)₃NH₂ (SA)와 ≡Si(CH₂)₃NH(CH₂)₂NH₂ (SE)]. IR 스펙트럼은 Bomem FT-IR 100 MB spectrometer로부터 얻었고, 열적 안정성을 알아보기 위한 TG는 Shimadzu TGA 50로부터 25 - 900 °C 범위에서 얻었다.

위에서 만든 실리카겔 유도체 20 g을 100 ml의 N,N-dimethylformamide에 넣고 잘 저으면서 10ml의 Methyl iodide를 조금씩 떨어뜨렸다. 교반기를 이용하여 5시간 정도 천천히 교반시킨 후 고체 생성물을 거르고 2% Sodium bicarbonate 용액과 증류수를 이용하여 잘 씻어 주었다. 70 °C 정도의 진공상태에서 고체 생성물을 잘 건조시켜 원하는 4급 암모늄인 methylation 생성물을 얻을 수 있었다 [≡Si(CH₂)₃N(CH₃)₃I와 ≡Si(CH₂)₃NH(CH₂)₂N(CH₃)₃I]. 이어서 1 g 정도의 요드암모늄 실리카겔 유도체를 100 ml의 10 % 염화나트륨 용액에 넣고 실온에서 5시간 교반하였다. 반응 혼합물을 거른 후 증류수, 에탄올로 잘 씻고 건조하여 원하는 4급 염화암모늄염 유도체를 합성하였다. 이렇게 만들어진 ≡Si(CH₂)₃N⁺(CH₃)₃/Cl⁻ (SA⁺/Cl⁻)와 ≡Si(CH₂)₃NH(CH₂)₃N⁺(CH₃)₃/Cl⁻ (SE⁺/Cl⁻)는 이온교환 실험에 사용되었다. 0.2 mmole의 담지된 4급 암모늄염을 포함하고 있는 시료를 2-6 mmol/L의 NaX (X : F⁻, I⁻, NO₃⁻, SCN⁻, ClO₄⁻) 용액에 넣고 3시간 교반하였다. 다른 이온과 치환된 Cl⁻ 이온의 양은 전위차법으로 측정하였다. Cl⁻ - X⁻ 사이의 교환은 일정 양의 SA⁺/Cl⁻, SE⁺/Cl⁻를 일정 양의 NaCl, NaX과 혼합한 후 교반시켜 반응시킨 후 거른다. 얻어진 생성물을 에탄올, 증류수 등으로 잘 씻고 진공하에서 건조시켰다. 지지체에 흡착된 Cl⁻ 이온의 양은 0.1 M HNO₃ 용액에서 전위차 적정법으로 정량하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 합성된 물질의 특성

4급 암모늄염을 실리카겔에 고정시키는 과정을 Fig. 1에 나타내었다. 그리고 SA, SE, SA⁺/Cl⁻, SE⁺/Cl⁻의 질소와 염소에 대한 분석이 Table 1에 나타나 있다. 이것을 보면 SA에서 아민 질소의 거의 100%, 그리고 SE에서는

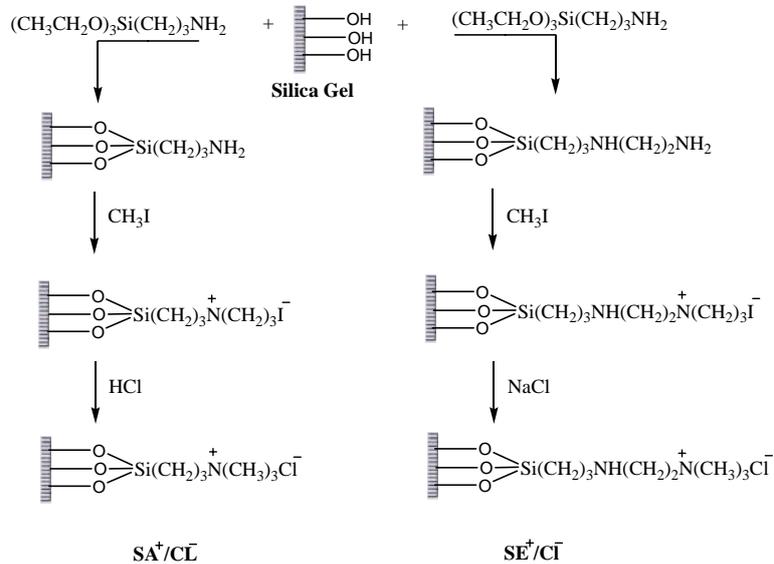


Fig. 1. Reaction for obtaining the quaternary ammonium salts supported on silica gel, SA⁺/Cl⁻ and SE⁺/Cl⁻.

Table 1. The Nitrogen and Chloride Analysis of Modified Silica Gel.

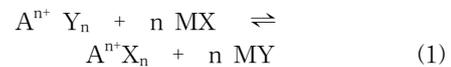
Sample	N(mmol g ⁻¹)	Cl ⁻ (mmol g ⁻¹)
SA	0.70 ± 0.01	—
SE	2.49 ± 0.02	—
SA ⁺ /Cl ⁻	0.70 ± 0.01	0.70 ± 0.01
SE ⁺ /Cl ⁻	2.49 ± 0.01	1.19 ± 0.01

약 50% 정도가 암모늄염으로 바뀐다는 사실을 알 수 있다. 이런 차이는 SE에서 2차 질소의 입체 장애가 크기 때문에 생긴다고 보여 진다. FT-IR에서 흡수 띠를 살펴보면 SA에서는 1610 cm⁻¹에서, SE에서는 1620 cm⁻¹에서 강한 흡수를 알 수 있는데 이는 NH₂ 기의 굽힘 진동에 기인한 것이라는 사실을 알 수 있다(Table 2). 그런데 이들 피크는 SA⁺/Cl⁻와 SE⁺/Cl⁻에서는 관찰되지 않고 대신 1500 cm⁻¹에서 강한 피크를 볼 수 있는데 이것은 CH₃ 그룹의 비대칭 굽힘 진동에 기인한 것으로 볼 수 있다. 이는 또한 NH₂ 기가 메틸화 하였다는 사실을 말해 준다. TG분석을 보면 130°C부근에서 급격한 무게 감소를 나타내고 이어 600°C 까지 점진적으로 감소하는데 이것은 이 물질들이 적어도

130°C까지는 열적으로 안정하다는 것을 말해 준다.

3.2 이온교환 성질

시간에 따른 이온 교환 정도를 알아보기 위해 6.0x10⁻² M 농도 NaBr 용액에서 SA⁺/Cl⁻과 SE⁺/Cl⁻를 흔들어 주었다. 결과는 Fig. 2에서 보는바와 같이 양쪽 모두의 용액에서 30분 정도 지나면서 Br⁻이온의 흡수가 최대로 되었다. 일가의 음이온 교환 반응은 아래와 같은 평형 반응으로 나타낼 수 있는데 Aⁿ⁺는 음이온 교환체를 Y⁻는 상대이온을 가리킨다. 치환은 동등한 양으로 일어나기 때문에 평형에서의 X⁻이온 농도는 치환된 상대이온인 Y⁻의 양으로부터 알 수 있다.



위 평형반응을 다음의 관계를 이용하여 분석해 보자 [17].

$$(2)$$

Tbale 2. Infrared Absorption Wavenumbers(cm-1) of the Unmodified and Functionalized Silica Gels.

Unmodified silica	SA	SA ⁺ /Cl ⁻	SE	SE ⁺ /Cl ⁻	
3400(s,b)	3400(s,b)	3400(s,b)	3400(s,b)	3400(s,b)	ν OH
-	2990(m)	2990(m)	2990(m)	2990(m)	ν CH ₂
1645(s)	1645(s)	1645(s)	1645(s)	1645(s)	δ HOH
-	1610(s)	-	1620(s)	-	δ NH ₂
-	-	1500(s)	-	1500(s)	δ CH ₂ , δ CH ₃
-	1485(w)	-	1480(s)	-	δ -C-CH ₂ -C-

s, strong; m, medium; w, weak; b, broad.

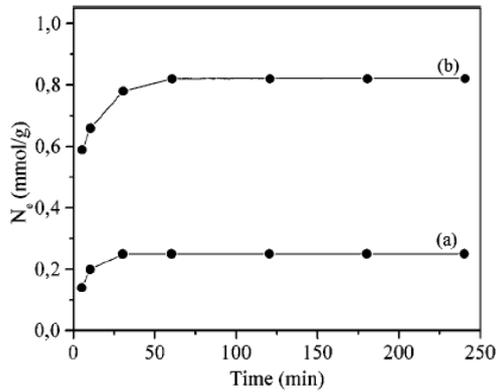


Fig. 2. Cl⁻ -Br⁻ exchange ability([Br⁻]=8.0 x 10⁻³ mol L⁻¹)at 298 K, as function of time: (a) SA⁺/Cl⁻, (b) SE⁺/Cl⁻.

여기서 X⁻는 치환 후 용액에서 음이온 농도 (mole/L)를, N_e는 치환상에서 X⁻의 농도변화, N₀는 물질의 치환 능력을, n은 치환된 음이온의 몰분율을, K는 위 평형반응의 평형상수를 각각 나타낸다. (2)식의 양변에 X⁻를 곱해주고 N₀로 함께 나누어 주면 아래와 같은 (3)식을 얻을 수 있다. 몇가지 음이온(X⁻)에 대한 치환을 농도의 함수로써 Fig. 3에서 보여주고 있다. Fig. 3에서 보듯이 X⁻/N_e와 X⁻는 직선의 관계를 나타내는데 이것은 각 교환된 이온들이 이어지는 치환 반응에 아무런 영향을 미치지 않고 치환체의 활성 자리가 표면 전체에 균일하게 퍼져 있다는 사실을 말해 준다.

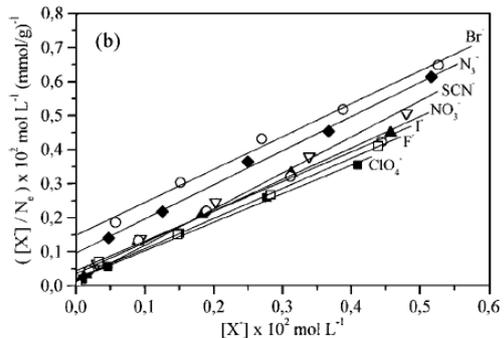
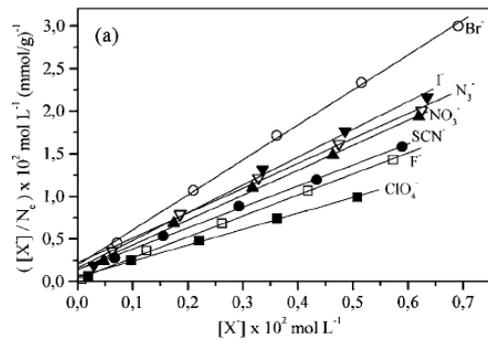


Fig. 3. Exchange isotherms for some anions (X⁻) on the exchangers SA⁺/Cl⁻ (a) and SE⁺/Cl⁻ (b).

$$\frac{[X^-]}{N_e} = \frac{[X^-]}{nN_0} + \frac{1}{nN_0K} \quad (3)$$

K값은 치환체의 활성 자리와 상대이온 사이의 상호작용 힘과 직접적으로 관계되는데 이온 쌍 사이의 상호작용이 클수록 더 큰 K값을 갖

Table 3. n^a and K^b Values for Some Anions (X^-), Determined from Equation [3]

Competing anion X^-	Anion exchanger			
	SA^+/Cl^-		SE^+/Cl^-	
	$K \times 10^3$ (mol L ⁻¹)	n	$K \times 10^{-3}$ (mol L ⁻¹)	n
F ⁻	7.6	0.58	8.0	0.92
Br ⁻	0.70	0.46	0.61	0.90
I ⁻	1.1	0.47	2.0	0.95
N ₃ ⁻	1.3	0.49	1.0	0.84
NO ₃ ⁻	2.1	0.49	2.7	0.91
SCN ⁻	2.8	0.56	3.8	0.81
ClO ₄ ⁻	5.0	0.75	4.2	1.0

^a n = molar fraction of exchanged anion(Cl⁻) to the infinite X⁻.

^b K = equilibrium constant of Eq. [1].

계 된다. 이온쌍 사이의 상호 자용이 크다고 해서 반드시 모든 이온들이 치환체의 활성자리를 다 차지해야 되는 것은 아니다. 예를 들면 SA⁺/Cl⁻에서 F⁻ 이온에 대한 K값은 다른 이온의 경우보다 큰 값을 나타내는데 치환체 활성 자리의 약 반 정도만이 불소 이온들이 차지하고 있다. SE⁺/Cl⁻에서 ClO₄⁻ 이온은 용액중의 ClO₄⁻ 이온 농도가 매우 클 경우에 지지체의 대부분 Cl⁻ 이온들을 치환하는데 K값은 F⁻ 이온일 때보다 작은 값을 나타낸다. 이것은 이온 치환의 선택성이 이온-이온 상호작용 뿐 아니라 용매-용매, 용매-지지체, 용매-이온 상호작용 등 여러 요인에 의해서도 영향을 받기 때문일 것이다. 그러므로 K는 이온의 활동도 계수, 농도 등을 포함하는 열역학적 평형상수 형태(K_{y-})로 나타내는 것이 좋을 것이다 [18]. 따라서 반응(1)은 아래와 같이 나타내 줄 수 있다.

$$= \tag{4}$$

Xx-, Xy-는 X⁻와 Y⁻의 몰분율, f는 치환체에서의 활동도 계수, 는 용액상에서의 활동도 계수, Y⁻는 치환된 음이온 농도, K_{y-}는 반응식 1의 평형상수를 각각 나타낸다. (4)식을 정리하고(5식) 여기에 Gibbs-Duhem식을 적용하면 (7)식이 얻어진다.

$$= \tag{5}$$

$$\text{여기서} \tag{6}$$

$$\ln \tag{7}$$

용액과 고체상에서 치환체와 이온 사이의 상호작용은 로 표현될 수 있다. 그리고 K_{y-}, f(A⁺X⁻), f(A⁺Y⁻)는 상호작용과 관계될 것이다. Xx-와 Xy-을 0.5라 가정하고 log 와 Xy-의 그래프를 그려서 log 가 Xx-의 선형함수를 보일 때 K_{y-}을 얻을 수 있다. 치환체 SA⁺/Cl⁻와 SE⁺/Cl⁻에 대해 log 와 Xx-의 선형 관계가 Fig. 4와 Fig. 5에 나타나 있다. 그리고 이 선형 관계로부터 K_{y-} 값을 얻을 수 있다.

Cl⁻이온과 비교했을 때 여러 종류의 X⁻이온에 대한 SA⁺/Cl⁻계와 SE⁺/Cl⁻계의 상대적 친화도는 경쟁적인 Cl⁻-X⁻ 치환반응에 의해 결정된다. 열역학적 평형상수(K_{y-})는 속박상수(K)와 다른데 이것은 이온교환 반응이 치환체와 상대 이온 사이의 상호작용에만 의존하지 않는다는 것을 말한다. 따라서 이온 치환체의 선택성은 단지 K의 상대적 값을 비교하여 결정되지 않는다. SA⁺/Cl⁻ 계는 ClO₄⁻이온에 대한 친화도가 큰 반면, SE⁺/Cl⁻ 계는 F⁻이온에 대한 친화도가 크다는 것을 알 수 있는데 이렇게 친화도가 크다는 것은 F⁻ 이온에서는 이 음이온의 큰 소수성질 때문에, 그리고 ClO₄⁻ 이온에서는 큰 편극성과 낮은 수화 엔탈피 때문에 이라고 생각된

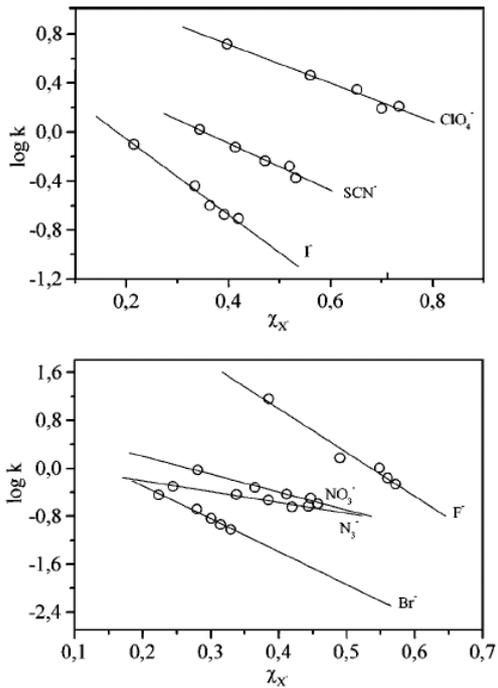


Fig. 4. Cl^- - X^- exchanges at 25°C on SA^+/Cl^- .

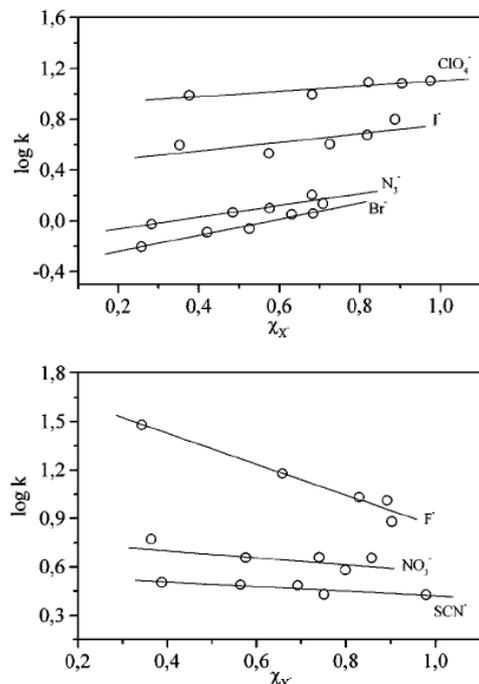


Fig. 5. Cl^- - X^- exchanges at 25°C on SE^+/Cl^- .

다. SA^+/X^- 계와 SE^+/X^- 계 모두 큰 친수성을 띄는 HCO_3^- 이온 용액과 이어서 HCl 용액으로 처리 시키면 Cl^- 이온 형태로 쉽게 변화시킬 수 있다. 이렇게 쉽게 염소이온 형태로 바뀔 수 있는 것은 치환 반응에 대한 높은 평형상수 값으로 인해 지지체의 상대이온이 불안정하여 이 반응이 유리하기 때문이다. SA^+/Cl^- 계가 SE^+/Cl^- 계에 비해 과염소산이온에 대한 친화도와 선택성이 더 크기 때문에 SA^+/Cl^- 계를 택하여 전극을 준비하는데 사용하였다. Fig. 6은 $\text{SA}^+/\text{ClO}_4^-$ 계로 만들어진 전극에 대한 전위차 변화(pH 영향)를 보여준다. citric acid/ Na_2HPO_4 용액을 사용하여 pH가 2.0에서 8.0까지의 전위차 변화를 관찰하였다. 그림을 보면 수소이온들이 pH가 2.0와 5.5 범위 사이에서 전극의 감응을 방해한다는 것을 알 수 있다. 따라서 유용한 전극사용 범위는 pH가 5.5에서 8.0 사이가 좋다. pH 5.5 이하에서의 방해는 H_3O^+ 이온이 모체에 흡착 되기 때문이라고 생각된다. pH 8.0 이상에서는 실리카의 용해화 때문에 전극이 잘 작동하지 않는다.

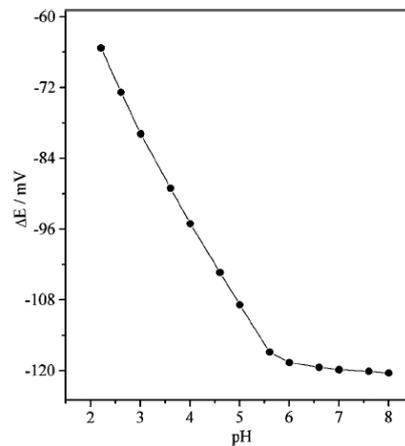


Fig. 6. Effect of pH on the $\text{SA}^+/\text{ClO}_4^-$ electrode response ($[\text{ClO}_4^-] = 1.0 \times 10^{-3} \text{ mol L}^{-1}$; buffer=citric acid/ Na_2HPO_4).

새로운 이온 선택성 전극의 개발은 방해 이온들의 존재하에서 얼마나 잘 작동할 수 있느냐에 달려있다. 방해이온 B^- 에 대한 일차이온 A^- 의 전극에 대한 선택도는 다음과 같은 전위차 선택계수로 나타낼 수 있다 [18].

$$K_{A,B}^{pot} = (a_A)^{Z_B} / (a_B)^{Z_A}$$

여기서 $a_A = 18/Z_A$, a_B 는 방해이온의 활동도, Z_A , Z_B 는 각각 방해이온과 일차이온의 전하량이다.

4. 결 론

서로 다른 성질을 갖는 두 종류의 계 즉 실리카겔에 담지된 N-3-(Trimethoxysil)propyl ethylenediamine (SA^+/Cl^-)과 3-Aminopropyltriethoxysilane(SE^+/Cl^-)의 염화암모늄 유도체를 3-Aminopropyltriethoxysilane과 N-3-Trimethoxysilylpropyl ethylenediamine으로부터 시작하여 실리카겔과의 반응, Methylarion 등을 통하여 각각 합성하였다.

이온교환 연구로부터 얻은 열역학적 평형상수 값과 친화도 계수로부터 여러 이온들에 대한 두 계의 선택성이 다음과 같음을 알 수 있었다. 즉 SA^+/Cl^- 계에서는 $ClO_4^- > F^- > SCN^- > NO_3^- > I^- > Br^-$, SE^+/Cl^- 계의 경우는 $F^- > ClO_4^- > NO_3^- > I^- > SCN^- > Br^-$ 를 나타내었다. 치환에 대한 실험에서 SE^+/Cl^- 계와 비교하여 SE^+/Cl^- 계가 Cl^- 이온을 더 쉽게 치환하지만 선택성에 있어서는 SA^+/Cl^- 계가 더 선택적이었다. SA^+/ClO_4^- 전극은 여러 방해 이온들의 존재에서도 잘 작동하는데 이 물질의 화학적 안정성, 내구성을 고려하면 전위차 감지계로 활용될 수 있을 것이다.

감사의 글

본 연구는 2007년도 대전대학교 학술연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고문헌

1. T. R. Burke, B. S. Bajwa, K. C. Rice, and W. A. Klee, Probes for Narcotic Receptor Mediated Phenomena, *J. Med. Chem.*, **27**, 1570 (1984).
2. T. Sugimoto, Preparation of Monodispersed Colloidal Particles, *Adv. Colloid Interf. Sci.*, **28**, 65 (1987).
3. S. M. Haile and D. W. Johnson, Aqueous Precipitation of Spherical oxide powders for varistor Applications, *J. Am. Ceram. Soc.*, **72**, 2004 (1989).
4. E. Fisher, M. Shen, and R. Siriwardine, Adsorption and Desorption on Solid Sorbents, *US Department of Energy*, 348 (2001).
5. A. M. Kuhn, C. H. Senayake, D. W. Kesser, and S. A. Wald, Effective Synthesis of Hydroxytriconazole, *Tetrahedron Lett.*, **39**, 6845 (1998).
6. D. Peiffer, S. Jochusch, and N. Turro, Interactions between Hydrophobically Modified Polymers and Surfactants, *Langmuir*, **18**, 3860 (2002).
7. M. Sivaci, F. S. Kilic, and K. Erol, Synthesis of Some Triazolylantipyrine Derivatives and Investigation of analgesic Activity, *Eur. J. Med. Chem.*, **36**, 685 (2001).
8. J. T. Lutz and R. F. Grossman, *Polymer Modifiers and Additives*, pp 85 - 92, Marcel Dekker Inc., New York (2001).
9. H. S. Kim and N. H. Jeong, Light Emitting Properties of Organic Luminescent Devices using Zinc Complexes. *J. Kor. Oil Chem Soc.*, **20**, 316 (2003).
10. J. Lee and Y. Moroi, Binding of Sodium dodecyl sulfate to a Cationic Polymer of High Charge Density, *Bull. Chem. Soc. Jpn*, **76**, 2099 (2003).
11. B. W. Barry, *Dermatological Formulations*, pp. 75-124, Marcel Dekker, New York (1998).
12. F. Santos, G. Oskam, and C. Searson, Influence of the Reactant Concentrations on the Synthesis of Nanoparticles, *J. Colloid Interf. Sci.*, **288**, 313 (2005).
13. Y. Moroli and J. Lee, Solubilization Study for Aggregates of Sodium dodecyl sulfate and a Cationic Polymer of High Charge Density, *J. Colloid Inter. Sci.*, **273**, 645 (2004).
14. S. B. Kim, E. S. Park, H. S. Park, and H. S. Hahm, Activity Changes of Supported

- Nickel Catalysts with Respect to Ni Loading, *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, **20**, 230 (2003).
15. C. H. Ju and K. H. Park, A Study on the Valve regulated Battery using Phosphoric Acid Gel Electrolyte, *J. Kor. Oil Chem. Soc.*, **20**, 296 (2003).
 16. M. Lergenmueller, J. Schultz, and R. Daniels, Investigation of Stability in Emulsions Stabilized with Different Surface, *Colloid Surfaces A*, **232**, 261 (2004).
 17. S. Grylewicz, Rapeseed Oil MethylEsters Preparing Using Heterogenous Catalysts, *Biores. Technol.*, **70**, 249 (1999).
 18. P. Hanson and B. Lindman, Mixed Solution of Surfactant and Hydrophilically Modified Polymer, *J. Phys. Chem. B.*, **102**, 7099 (1998).