

메틸트리옥틸-암모늄 이온 Ionophore를 이용한 요오드 이온 선택성 고체 접촉 전극

홍태기 · 이혜림 · 박운석 · 이영훈 · 한원식^{1,†}

한서대학교 화학과, ¹한서대학교 문화재보존과학연구소

Development of Ion Selective Solid Contact Electrode Based on Methyl-tri-octyl-ammonium Ion Ionophore for Iodide Detection

Tae-Kee Hong, Hye-Rim Lee, Woon-Suk Park, Young-Hoon Lee, and Won-Sik Han^{1,†}

Dept. of Chemistry, Hanseo University, Seosan, choong-nam, Korea

¹The Research Center of Conservation Science for Cultural Heritage, Hanseo university, Seosan, Korea

Received October 3, 2010/Accepted December 13, 2010

In this study, an iodide ion selective poly(aniline) solid contact electrode based on methyltrioctyl-ammonium ion ionophore as a sensing material was developed. This electrode was made of Me-TOA 2.0, PVC 30.0, and NPOE 68.0. The electrode exhibits a good linear response of 58.8 mV/decade (at $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$, $r^2 = 0.9998$) within the range of $1 \times 10^{-1} \text{ M} \sim 1 \times 10^{-5.2} \text{ M}$ KI solution. When the electrode was used with different alkyl chain ionophores and plasticizers, this electrode had the best result in response characteristics. The electrode showed a good selectivity for iodide ion than any other anions and is suitable to detect it in aqueous solutions of pH 3.0~12.0. Their standard deviation in the measured emf differences was $\pm 1.2 \text{ mV}$ at iodide sample solution of $1.0 \times 10^{-2} \text{ M}$ and $\pm 0.9 \text{ mV}$ at $1.0 \times 10^{-4} \text{ M}$. Their stabilization time was less than 125 sec, and response time was less than 22 sec.

Key words: ISE, SCE, selectivity, ionophore, iodide ion

1. 서 론

요오드는 대기 중의 수분에 쉽게 용해되거나 토양 내의 유기물과 결합, 이온화되어 오랜 기간 안정성을 가질 수 있는 물질로 알려져 있다. 생체적으로 보면, 유아 성장에 기본이 되는 갑상선 호르몬의 구성 요소이면서, 성인에게 있어서도 신경 조절과 대사 조절 물질로 작용하여 인간에게는 반드시 필요한 필수 미량 원소로 분류되고 있다. 하지만 요오드 자체만으로는 독성을 가지고 있어서, 대기 중에 자체 증발되어 부유하게 되면 눈과 폐 등을 자극하게 되어 공기 중에서 1 mg/m^3 이상 존재하게 되면 위험한 물질로도 분류되고 있다.^{1,2)} 이와 같은 지속성과 필요성 등으로 인하여 요오드화 이온은

다양한 의약품에 포함되거나, 환경 시료나 음식 시료 내에 존재하고 있는데, 이에 대한 검출 방법 또한 여러 분야에서 연구되어 왔다.^{3~9)} 이 중에서 이온교환체나 요오드화 이온을 검출할 수 있는 침전물을 ionophore로 사용한 ion 선택성 전극은 매우 오래된 요오드화 이온 농도 결정 방법으로 인정을 받고 있다.^{10,11)} 이들은 주로 Schiff bases^{12~14)}, Vitamin B-12 유도체,¹⁵⁾ aza-substituted macrocyclic ligands⁵⁾ 등의 ionophore가 전극의 최외각 층인 PVC 막에 포함되는 것으로 알려져 있다. 이것은 주로 요오드화 이온과 ionophore 간의 anti-Hofmeister 거동으로 설명하고 있는데, 이런 종류의 전극들의 유일한 단점이라면 같은 할로겐족을 포함한 음이온들에 상당한 방해를 받는 것이라고 할 수 있

[†]To whom correspondence should be addressed.

E-mail: tkhong1@hanseo.ac.kr

다. 이들은 ionophore와 요오드화 이온들 간의 착화합물이 형성되는 만큼, 비슷한 정도의 착화합물의 형성이 가능한 염화 이온과 브롬화 이온이 비슷한 크기와 성질을 갖는 음이온들이 존재하면, 착화합물 형성이 쉬워짐으로 요오드화 이온의 정량에 방해하게 된다. 이것에 대한 연구가 많이 진행되었지만, 아직 구체적인 접근은 이루어지지 않은 것으로 보이며, 다른 전극들과 같이 가소제의 조절이나 변화만으로는 쉽게 해결할 수 있는 문제는 아니다. 단지 금속을 이용한 ionophore와 요오드화 이온 간의 착화합물의 형성과 평형 감응을 이용한 전극에서는 일부 가소제의 변화로 방해 이온들의 영향을 극소화시킨 결과들도 발표되었다.^{16~19)} 또 modify carbon paste와 glassy carbon 전극의 경우에도, 역시 방해 이온에 대한 영향을 줄이는 문제가 가장 큰 연구 과제로 나타나고 있다²⁰⁾. 즉, 타 전극과는 다르게 가소제의 변화만으로는 방해 이온의 효과를 늘이거나 줄일 수 없는 것으로 보여, 구체적인 ionophore의 변화나 변형이 필요한 것으로 보인다.

이런 이유로 본 논문에서는 quaternary ammonium ion을 ionophore로 이용하여 ionophore의 구조와 가소제의 영향성을 함께 조절하면서 그 감응 특성의 변화를 알아보고자 하였다. 전극들은 고체 접촉형 전극으로 백금-poly(aniline)-PVC 층을 가지고 있는 전극 형태를 선택하였다. ionophore들은 비교적 긴 알킬기를 갖고 있는 hexyl, octyl, decyl 등의 4차 암모늄들을 이용하고, 이들 중에서 가장 감응 특성이 우수한 알킬기의 암모늄 이온들을 다시 길이나 구조를 조정하여 감응 특성을 비교하는 방법으로 논문을 진행하고자 하였다. 또 이와 함께, PVC 내의 ionophore와 mobility를 좌우하게 되는 가소제를 변형시키면서 이들이 나타내는 전극의 감응 특성들에 대하여 연구하여, 요오드화 이온 검출에 가장 안정한 alkyl 기를 갖는 ionophore와 가소제의 조성에 대하여 연구하고자 하였다.

2. 실험

2.1. 시약

Aniline과 tetrahydrofuran(THF)는 Aldrich 사의 시약을 증류하여 사용하였다. PVC 막의 지지체인 poly(vinylchloride)(PVC, $n=1,100$)와 가소제인 2-nitrophenyloctylether(o-NPOE), tris(ethylhexyl)phosphate(TEHP), bis(2-ethylhexyl)adipate(DOA), dioctylphthalate(DOP), and bis(2-ethylhexyl)sebacate(DOS),

dibutylphthalate(DBP) 등은 Aldrich 사의 시약을 구입한 그대로 사용하였다. ionophore로 이용한 Tetrahexylammonium Bromide(THA), Tetraoctyl-ammonium Bromide(TOA), Tetra(decyl)-ammonium Bromide(TDA), Methyl Trioctylammonium Bromide(Me-TOA)는 Fluka 사의 제품을 사용하였으며, 이외의 모든 실험에 이용된 시약들은 분석급의 시약을 사용하였고, 실험에 사용된 용액은 Millipore Milli-Q water purification system을 이용하여 제조한 탈염수로 제조하였다.

2.2. 전도성 poly(aniline) 층의 제조²¹⁾

지름 1 mm, 길이 50 mm의 Pt 금속선을 작업 전극으로 사용하였으며, 전도성 polymer 합성에 사용한 용액은 0.03 M의 aniline 용액과 0.06 M의 HCl 용액을 이용하였다. 사용한 전위는 기준 전극에 대하여 0.0 V에서 1.0 V까지 범위를 100 mV/s의 주사 속도로 30 회 순환시켜 전압전류법으로 poly(aniline) 층을 제조하였다. Cyclic voltammograms은 potentiostat(EG & G 273A)를 이용하였으며, 작업 전극은 탈이온수와 1 M HCl 용액에 각각 1시간 동안 유지하였다가 60°C oven에서 5시간 이상 건조하여 제조하였다.

2.3. PVC 혼합 용액 및 고체 접촉 전극의 제조

PVC를 지지체로 사용하여 가소제, ionophore들을 THF에 용해시켜 제조한 PVC 혼합 용액을 이용하여 전도성 poly(aniline)이 흡착된 Pt/poly(aniline) 전극 표면에 bead를 형성하였으며 Pt-poly(aniline)-PVC의 세 층을 형성하도록 하고 여기에 포함되었던 THF를 모두 휘발 건조시켜 제조하였다. 이 혼합 용액을 ionophore와 가소제, PVC의 조성별로 조정하였으며, 전체 전극의 두께를 2.5 ± 0.1 mm가 되도록 조절하여 제조하였다. 혼합 용액의 조성은 ionophore 1.0~5.0% : PVC 30.0% : plasticizer 65.0~69.0%이었으며, THF가 포함된 혼합 용액의 용량은 총 4 mL였다.

2.4. 감응 전위의 측정

전극의 감응 전위는 $20 \pm 0.2^\circ\text{C}$ 에서 Ion-analyzer(Mettler-Toledo Ltd., England)를 이용하여 측정하였다. pH의 측정은 Mettler-Toledo InLab 412 glass electrode를 이용하였으며, 외부 기준 전극은 double-junction calomel electrode Orion 90-20-00(Orion Research, U.S.A.)을 이용하였다. 측정치의 변화가 0.1 mV가 5 초 이상 유지될 때, 감응 전위로 간주하였으며,

사용 전에 모든 전극들은 최소 2 시간 이상 1×10^{-3} M의 KI 용액에 유지시켜 안정화하여 사용하였다.

2.4. 안정화 시간 및 감응 시간²²⁾

전극의 안정화 시간은 1.0×10^{-3} M의 pH 7.0 Tris buffer iodide 용액 내에서 2 시간 동안 측정하였다. 안정화가 이루어지면 이 용액에 pH 7.0 Tris buffer 용액을 모 용액으로 제조한 10.00 mL의 1.0×10^{-2} M KI 용액을 교반 상태에서 첨가하여 변화하는 전위값을 0.5 초 단위로 측정하였으며 다시 감응 전위가 안정되는 전위 중의 90%를 감응 시간(T_{90})으로 측정하였다. 최종 안정 전위도 역시 감응 변화가 0.1 mV 이하로 5 초 이상 유지될 때로 간주하여 측정하였다.

2.5. 요오드화 이온 표준 용액과 방해 이온 용액의 제조

1.0×10^{-1} M KI 용액은 0.1 M Tris 용액을 이용하여 pH 7.0로 조정된 용액을 모 용액으로 이용하여 제조하였다. 이 용액을 다시 모 용액으로 하여 1.0×10^{-2} M에서 1.0×10^{-6} M까지 희석하여 표준 용액으로 이용하였다. 방해 이온 역시, 이 모 용액으로 측정하고자 하는 음이온이 포함된 1×10^{-3} M 용액으로 제조하여 이용하였다. 방해 이온 측정 방법은 separate solution method(SSM)를 이용하여 측정하였으며 선택 계수 $K_{i,x}^{pot}$ 는 Nicolsky 방정식 $\log K_{i,x}^{pot} = (E_1 - E_2)/S + (1 + z_1/z_2) \times \log a$, (E_1 은 1.0×10^{-3} M KI 용액에서 측정된 전위, E_2 는 방해 화학종 1.0×10^{-3} M 용액에서 측정된 전위, z_1 와 z_2 는 요오드화 이온과 방해 화학종 X의 전하이온도 S는 검정곡선의 기울기)을 이용하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 1~3에 THA, TOA, TDA ionophore를 이용하여 제작한 고체 접촉 전극이 나타내는 KI 용액에서의 감응성을 나타내었다. 이들은 PVC 감응막 내에서 세 개의 ionophore와 6개의 가소제들을 조성별로 조정하면서 이들의 감응 전위를 측정하였다. 이 세 가지의 ionophore 군에서 가소제와 조성을 변화시켰을 때, 가장 우수한 감응성을 나타내는 전극은 THA ionophore를 이용한 전극의 경우, THA:PVC:NPOE = 3:30:67의 조성을 가지고 있었고, TOA ionophore를 이용한 전극의 경우, TOA:PVC:DOA = 2:30:68의 조성을 가지고 있었다. 그리고 TDA ionophore를 이용한 전극

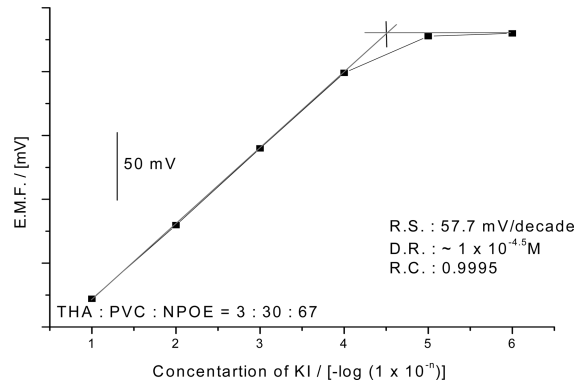


Fig. 1. The response characteristics of solid contact electrode with THA ionophore and NPOE plasticizer in Tris buffered KI standard solution.

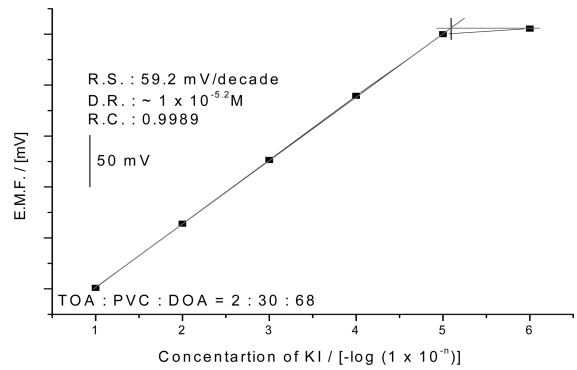


Fig. 2. The response characteristics of solid contact electrode with TOA ionophore and DOA plasticizer in Tris buffered KI standard solution.

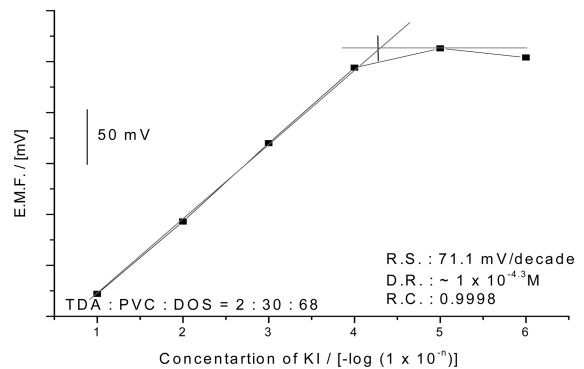


Fig. 3. The response characteristics of solid contact electrode with TDA ionophore and DOS plasticizer in Tris buffered KI standard solution.

의 경우, TDA:PVC:NPOE = 2:30:68의 조성을 가지고 있을 때였다. 이들은 각각 57.7 mV/decade, 59.2 mV/decade, 71.1 mV/decade의 감응 기울기를 나타내

어서, ionophore 내의 알킬기가 길어질수록, 요오드화 이온과 ionophore 간의 친화력이 증가되어 감응 기울기가 커지는 것을 알 수 있었다. 이 전극들의 감응 범위는 각각 $1 \times 10^{-1.0} \text{ M} \sim 1 \times 10^{-4.5} \text{ M}$ ($r^2=0.9995$), $1 \times 10^{-1.0} \sim 1 \times 10^{-5.2} \text{ M}$ ($r^2=0.9989$), $1 \times 10^{-1.0} \sim 1 \times 10^{-4.3} \text{ M}$ ($r^2=0.9998$)으로 나타나서 TOA를 ionophore로 이용한 전극이 가장 넓은 감응 범위를 나타내는 것을 알 수 있었다. 감응 범위의 결과에서는 ionophore 내의 알킬기의 길이의 증가에 따라서 일정한 경향성이 없는 결과가 나타났다. 이중에서 TDA의 감응 범위가 좁아지는 이유는 다른 음이온 감응 전극들의 결과에서와 같이²³⁾ 내부의 긴 알킬기의 영향으로 인하여 요오드화 이온에 대한 친화력은 증가하나 비교적 큰 이온인 요오드화 이온이 낮은 농도에서는 ionophore의 nitrogen 주위로 접근이 힘들었던 결과로 보인다. 반면에 THA의 ionophore의 경우에는 요오드화 이온에 대한 친화력의 부족으로 인하여 감응 범위와 기울기가 모두 떨어지는 결과들로 볼 수 있었다.

KI 용액 내에서의 감응성만으로 판단하자면, TOA ionophore를 이용한 전극의 감응성이 가장 우수한 것으로 보이지만, Fig. 4~6에 나타난, 방해 이온 결과를 보면 TDA나 TOA의 경우, 다른 이온들에 대한 방해가 THA보다 많아지는 것을 알 수 있었다. 이 역시 THA 내의 상대적으로 짧은 hexyl기가 다른 이온과의 친화력도 없어서 나타나는 결과로 보이며 octyl과 decyl로 내부 알킬기가 길어지면서 다른 음이온에 대한 친화력도 커지는 결과로 보인다. 이는 Fig. 4에서 볼 수 있듯이, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 과 CrO_4^{2-} , Cl^- 이온 이외에는 비교적 작은 방해만을 나타내고 있으며 특히, S 계열의 방해는 매우 작게 나타나지만, Fig. 5에서 볼 수 있듯이, S 계열의

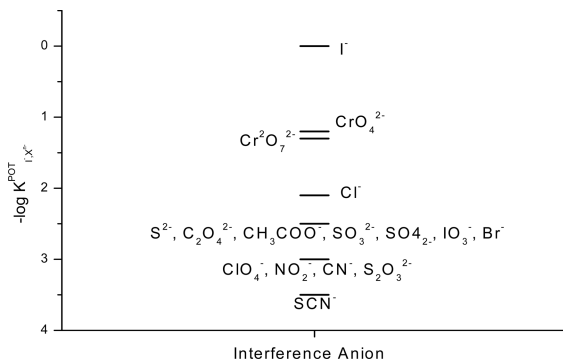


Fig. 4. Selectivity coefficients of the solid contact electrode based on THA ionophore and NPOE plasticizer in the various anion interference solution.

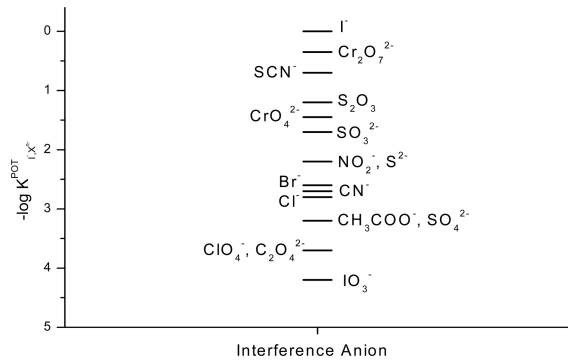


Fig. 5. Selectivity coefficients of the solid contact electrode based on TOA ionophore and DOS plasticizer in the various anion interference solution.

방해가 심하여지다가, decyl기가 포함된 ionophore의 경우에는 요오드화 이온의 감응성을 넘어서는 방해가 나타나고 있어서(Fig. 6) 이들을 제거하지 않고는 측정이 힘든 결과들을 나타내고 있었다.

이처럼 요오드화 이온에 대한 감응성은 감응막 내부 mobility를 좌우하는 가소제보다는 ionophore 구조에 영향을 주로 받게 되는 것으로 보이며, 특히 ionophore 내부의 alkyl기는 감응 음이온들에 대한 친화성을 조절할 수 있는 한 인자로 작용하는 것을 알 수 있었다. 특히 iodide 이온 선택성 전극에서 가장 문제가 되는 방해 이온의 경우, 요오드화 이온의 접근성과 ionophore의 음이온에 대한 친화성들이 감응성의 주된 역할을 하게 됨으로, 이에 대한 조절이 적절히 가해진다면, 충분히 우수한 감응성을 나타낼 수 있을 것으로 예상되었다. 이런 이유로, TOA ionophore를 이용한 전극의 경우, 세 가지의 ionophore 중 가장 우수한 감응 기울기와 감응 범위를 나타내지만, 방해 이온에서 문제

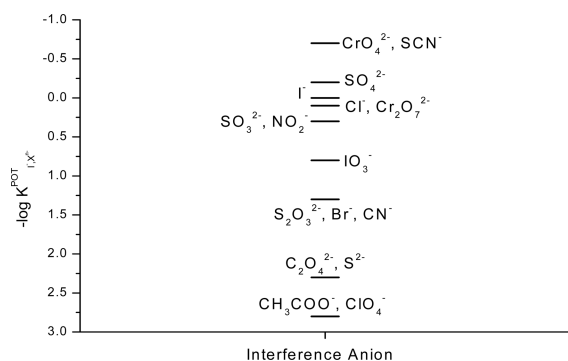


Fig. 6. Selectivity coefficients of the solid contact electrode based on TDA ionophore and DOS plasticizer in the various anion interference solution.

를 나타내고 있어, 네 개의 octyl 기 중에 하나를 methyl 기로 대체할 경우, 타 이온에 대한 친화력이 감소되어 이에 대한 변화가 예상되었다. 이 Me-TOA를 ionophore로 이용한 전극의 감응 결과는 Fig. 7에 나타내었다. TOA를 ionophore로 이용한 전극과 비교하여 볼 때, 감응 기울기는 조금씩 떨어지는 결과를 나타내었지만(59.2 mV/decade → 58.8 mV/decade), 같은 감응 범위를 나타내었고($1 \times 10^{-1.0}$ M ~ $1 \times 10^{-5.2}$ M), 방해 이온에 대한 결과는 THA, TOA, TDA ionophore를 사용했을 때 보다 우수해지는 것을 알 수 있었다

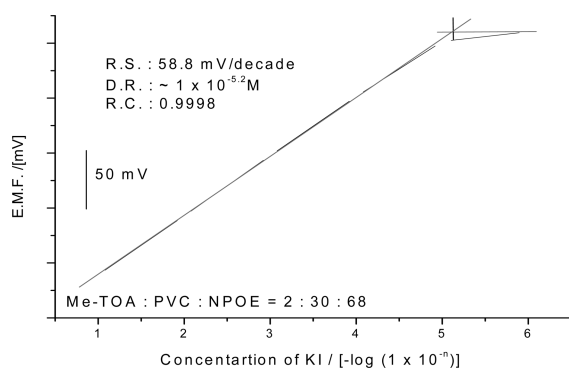


Fig. 7. The response characteristics of SCE with Me-TOA ionophore and NPOE plasticizer in Tris buffered KI standard solution.

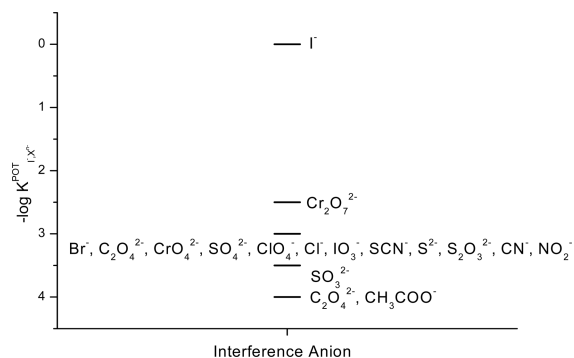


Fig. 8. Selectivity coefficients of the solid contact electrode based on Me-TOA ionophore and NPOE plasticizer in the various anion interference solution.

(Fig. 8). THA, TOA, TDA ionophore를 사용한 전극들의 방해 이온의 결과와 비교하여 볼 때, $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 의 약한 방해 이외에는 거의 방해를 받지 않고 있으며 특히, Cl^- , Br^- 과 같은 할로겐 이온이나 S 계열의 이온들에서는 거의 방해를 받지 않고 있어, 다른 논문의 결과들과 비교하여도 우수한 결과를 나타내고 있다.²⁴⁾ 이 전극은 NPOE 가소제를 사용할 때 가장 방해 이온 효과의 최소화를 나타냈으며, 조성은 Me-TOA 2.0 : PVC 30.0 : NPOE 68.0이었다.

이 Me-TOA ionophore를 이용한 전극의 감응 시간과 안정화 시간 역시 다른 세가지 ionophore를 사용한 전극과 비교하여 우수한 결과를 나타내고 있다. 특히, pH 용액에서의 안정성은 pH 3~12의 넓은 영역에서 나타나며, 나머지의 강산과 강알칼리 영역에서도 감응 전위의 미세한 변화만을 나타내고 있어 pH 변화에도 매우 안정한 전극의 전위를 나타내는 것으로 보인다. 이 결과들을 Table 1에 나타내었다. Me-TOA ionophore를 이용한 전극의 경우, 안정화 시간 125초에 감응시간 22초를 나타내고 있어 4종류의 전극 중 가장 빠른 안정화와 감응 시간을 나타내고 있다. 1×10^{-2} M의 KI 용액과 1×10^{-4} M의 KI 용액에서 10 번씩 변할 아 가면 측정된 감응 전위의 변화 역시도 Me-TOA ionophore를 이용한 전극이 가장 작은 변화만을 나타내고 있는데, 이 결과는 감응 시간의 순서와 일치하는 것으로 보여 빠른 감응과 재현성이 밀접한 관계를 나타내는 결과들로 보인다.

Fig. 9에 KI 용액과 Me-TOA 용액 그리고 두 용액의 혼합 용액에서의 UV의 변화를 나타내었다. KI와 Me-TOA ionophore를 같은 용매에 용해시킨 용액의 결과는 모두 335 nm에서 최대 흡광도를 나타내었지만, KI와 Me-TOA ionophore가 혼합된 용액에서는 최대 흡광도가 335 nm에서 345 nm로 변하는 것을 알 수 있어 iodide ion - ionophore 간의 감응 기울기가 이온세기의 차이가 아닌, 용액 내의 요오드화 이온이 Me-TOA와 혼합되면서 서로 착화합물을 형성하는 결과로 볼 수 있었다.

Table 1. The response characteristics of SCE based on THA, TOA, TDA, Me-TOA ionophore

	Stabilization time	Response time	Stabilization range in pH	1×10^{-2} M	1×10^{-4} M
THA	230 s.	33 s.	pH 3~10	± 1.4 mV	± 1.3 mV
TOA	150 s.	30 s.	pH 3~9	± 1.2 mV	± 1.1 mV
TDA	200 s.	28 s.	pH 3~11	± 1.2 mV	± 1.2 mV
Me-TDA	125 s.	22 s.	pH 3~12	± 1.2 mV	± 0.9 mV

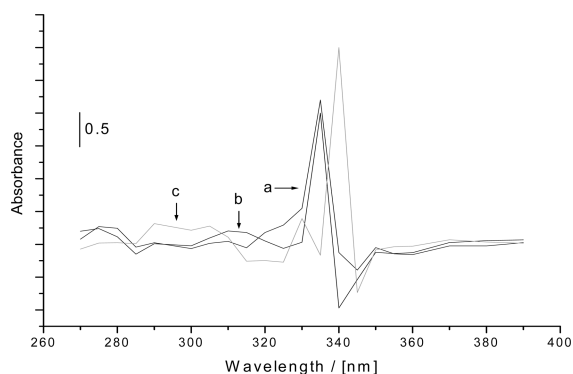


Fig. 9. variation of absorbance in Acetonitrile solution of Me-TOA ionophore: a, acetonitrile solution of KI; b, ME-TOA and KI solution; c.

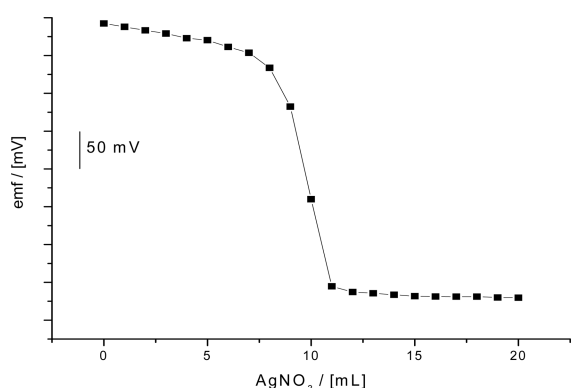


Fig. 10. Potentiometric titration curve of 20 ml of 1.0×10^{-3} M KI solution with 2.00×10^{-2} M $AgNO_3$, using the solid contact electrode based on Me-TOA ionophore and NPOE plasticizer as an indicator electrode.

Fig. 10에 20.0 mL의 약 1.0×10^{-3} M KI 용액에 2.00×10^{-3} M $AgNO_3$ 용액을 적가하면서 변화되는 전극의 감응 전위 변화를 나타내었다. 측정된 용액의 농도는 9.85×10^{-4} M이었으며, 변화하는 요오드화 이온의 농도에 순간적으로 감응하여 나타내는 전위를 정확히 감응함을 알 수 있었다. 이 전극들은 모두 증류수 내에 유지된 후, 28일이 지날 때까지 감응 전위의 변화가 나타나지 않았으며, KI 용액에 전극 전위가 측정된 후, 건조와 측정을 반복하였을 경우, 6개월 이상 전극 전위 감응에 문제를 나타내지 않았다.

4. 결 론

THA, TOA, TDA, Me-TOA를 ionophore로 이용하고, NPOE, TEHP, DOA, DOS, DBP, DOP를 가소

제로 이용하여 제조한 고체접촉전극이 나타내는 KI 용액 내에서의 감응 특성에 대하여 조사하였다. THA, TOA, TDA ionophore들을 이용한 전극을 비교한 결과는 알킬기가 길어질수록, 요오드화 이온과 ionophore 간의 친화력이 증가하면서 감응 기울기가 증가하였고, 이 중에서 감응 기울기와 감응 범위를 모두 고려하면 TOA ionophore를 이용한 전극이 가장 긴 감응 범위와 Nernstian slope에 가까운 감응 기울기를 나타내고 있었다. 가장 짧은 알킬기를 갖고 있는 THA를 이용하여 제조한 전극의 경우, 다른 음이온에 대하여 적은 방해만을 받고 있었고, 역시 ionophore 내의 알킬기의 길이가 TOA, TDA로 길어질수록 방해 효과가 커지는 것을 알 수 있었다. TOA 전극의 우수한 감응 특성을 유지 하면서, 방해 이온의 최소화를 위해, 이온 - ionophore 간의 친화력과 steric effect를 고려하였으며, 이를 위하여 TOA의 네 개의 octyl기 중에 하나를 methyl기로 대체한 Me-TOA 전극을 제조하였다. 그 결과, 감응 기울기와 감응 범위에서는 TOA 전극(59.2 mV/decade, $1 \times 10^{-1.0} \sim 1 \times 10^{-5.2}$ M)과 거의 같은 결과를 나타내면서, 방해 이온에서는 가장 짧은 알킬기를 가지고 있는 THA 전극보다 더 향상된 결과들을 얻을 수 있었다. 제작된 Me-TOA 전극의 감응 기울기는 58.8 mV/decade이었으며 감응 범위는 $1 \times 10^{-1.0} \sim 1 \times 10^{-5.2}$ M이었다. 안정화 시간은 125 초, 감응 시간은 22 초였으며, pH 안정 범위는 3~12로 매우 넓은 범위에서 측정이 가능한 것으로 나타났다. 또, $AgNO_3$ 를 이용하여 용액 내에서 감소하는 요오드화 이온의 농도를 측정하였으며, 빠른 전극의 감응 속도로 용액 내에서 변화하는 요오드화 이온의 안정한 농도 결정이 가능하였다.

감사의 글

본 연구는 2009년도 한서대학교 교내 학술연구비 지원으로 수행되었으며 이에 감사드립니다.

Reference

1. N. N. Greenwood, A. Earnslaw, Chem. Elem. (1984) 933.
2. R. M. Calligaris: G. Wilkinson, R.D. Gillard (Eds.), Comprehensive Coordination Chemistry, Oxford, 1987. 10.
3. Y. Yabu, K. Miyai, S. Hayashizaki, Y. Endo, N. Hata, Y. Tijima, R. Fushimi, Endocrinol. Jpn. 33 (1986) 905.

4. A. S. Buinovskii, S. A. Bezrukova, N. A. Kolpakova, A. I. Maslyuk, *Diagnostika Materialov* 70 (2004) 3.
5. M. Ying, R. Yuan, X. M. Zhang, Y. Q. Song, Z. Q. Li, G. L. Shen, R. Q. Yu, *Analyst* 122 (1997) 1143.
6. F. El Aamrani, J. Garcia Raurich, A. Sastre, L. Beyer, A. Florido, *Anal. Chim. Acta* 402 (1999) 129.
7. F. El Aamrani, J. Garcia-Raurich, A. Sastre, L. Beyer, A. Florido, *Anal. Chim. Acta* 329 (1996) 247.
8. S. Changqing, Z. Jinghong, X. Hongding, S. Yipeng, Z. Xi, S. Jiacong, *Talanta* 46 (1998) 15.
9. Z. Li, R. Yuan, M. Ying, Y. Song, G. Shen, R. Yu, *Anal. Lett.* 30 (1997) 1455.
10. C. J. Coetzee, H. Freser, *Anal. Chem.*, 41, (1969) 1128.
11. Y. Umezawa, *CRC Handbook of Ion Selective Electrodes: Selectivity Coefficients*, CRC Press, Boca Raton, FL, 1990.
12. V. J. Worting, D.M. Johnson, L. G. Bachas, *Anal. Chem.* 62 (1990) 1506.
13. R. Yuan, Y. Q. Chai, D. Liu, D. Gao, J. Z. Li, R. Q. Yu, *Anal. Chem.* 65 (1993) 2572.
14. M. Shamsipur, S. Sadeghi, H. Naeimi, H. Sharghi, *Polish J. Chem.* 74 (2000) 231.
15. S. Daunert, L.Q. Bachas, *Anal. Chem.* 61 (1989) 499.
16. V.J. Worting, D.M. Johnson, L.G. Bachas, *Anal. Chem.* 62 (1990) 1506.
17. R. Yuan, Y.-Q. Chai, D. Liu, D. Gao, J.-Z. Li, R.-Q. Yu, *Anal. Chem.* 65 (1993) 2572.
18. M. Shamsipur, S. Sadeghi, H. Naeimi, H. Sharghi, *Polish J. Chem.* 74 (2000) 231.
19. Jeong-Sik Yeom, Mi-Sook Won, Yoon-Bo Shim, *Journal of Electroanalytical Chemistry* 463 (1999) 16.
20. M. Shamsipur, A. Soleymanpour, M. Akhondb, H. Sharghi, M. A. Naseri, *Anal. Chimica Acta*, 450 (2001) 37.
21. A. Cadogan, Z. Gao, A. Lewenstam, and A. Ivaska, *Anal. Chem.*, 64, (1992) 2496.
22. Mojtaba Shamsipur, Ahmad Soleymanpour, Morteza Akhond, Hashem Sharghi, Mohammad Ali Naseri, *Analytica Chimica Acta* 450 (2001) 37.
23. Won-sik Han, Yun-sung Shim, Ji-young Lee, Mi-kyoung Kim, Koo-chun Chung, and Tae-kee Hong, *J. of KSEA*, 11(3), (2008) 232.
24. Hamid Reza Pouretedal, Mohammad Hossein Keshavarz, *Talanta* 62 (2004) 223.