

흑염소 간-조직과 Ferrocene 매개체를 사용한 과산화수소정량 전류법 바이오센서

권효식* · 박인근 · 김양숙
충북대학교 사범대학 과학교육학부
(2004. 8. 23 접수)

Amperometric Biosensor for Hydrogen Peroxide Determination Based on Black Goat Liver-Tissue and Ferrocene Mediation

Hyoshik Kwon*, In Keun Park, and Yang Sug Kim

School of Science Education, Chungbuk National University, Cheongju 361-763, Korea
(Received August 23, 2004)

요 약. 흑염소의 간-조직과 ferrocene을 탄소반죽 전극에 고정하여 과산화수소를 정량할 수 있는 전극을 만들었다. Ag/AgCl 전극에 대하여 $-0.3 \sim +0.0$ V의 전위 범위에서 전극의 감도를 관찰하였으며 전극의 감응시간은 12 s로 나타났다. 전극의 검출한계는 2.25×10^{-6} M ($S/N=3$)이었으며, 1.0×10^{-2} M 과산화수소를 이용해 15회 반복 측정된 결과, 상대표준편차는 1.87%이었다. 또한, 방해물질의 영향도 없는 것으로 나타났다. 효소전극의 감도는 19일 사용 후 50%로 감소하였다.

주제어: 바이오전극, 흑염소 간 조직, 과산화수소

ABSTRACT. The response characteristics of the bioelectrode developed by the co-immobilization of black goat liver tissue and ferrocene in a carbon paste matrix for the amperometric determination of hydrogen peroxide were evaluated. In the range of electrode potential examined ($-0.3 \sim +0.0$ V vs. Ag/AgCl), the response time was relatively short ($t_{95\%}=12$ s) and it responded in the wide range of pH. The detection limit was 2.25×10^{-6} M ($S/N=3$) and a relative standard deviation of the measurements which were repeated 15 times using 1.0×10^{-2} M hydrogen peroxide was 1.87%. The bioelectrode sensitivity decreased to 50% of the original value in 19 days of continuous use.

Keywords: Bioelectrode, Black Goat Liver-Tissue, Hydrogen Peroxide

서 론

생체반응에 활성인 효소를 촉매로 사용하여 바이오센서를 제작하는 개념이 1962년 Clark와 Lyons¹에 의하여 처음으로 제안되었고, 1967년에 Updike와 Hicks² 이에 관한 논문을 발표하였다.

감응전극(작업전극)에 동물 또는 식물 조직으로부터 추출된 효소를 고정하여도 잘 감응한다는 사실이 알려진 이후 Mascini³ 처음으로 동식물 조직을 이용한 전류법 바이오센서를 보고하였는데, 이것은 산소감응 전

극에 소의 간조직을 고정시켜서 과산화수소를 정량한 것이었다. 그 후, Wang⁴은 버섯, 바나나, 고추냉이 뿌리의 조직을 이용 phenol 유도체를 정량하였고, Gunasingham⁵은 혈액중에 포함된 glucose를, Rosa⁶은 갯벌이나 키위 속에 잔류하는 유기농약을 정량하였다. 또한 Conrath⁷은 감자를 이용하여 무기인산을, Lee⁸은 미생물과 dithizone을 이용하여 cyanide와 납을 정량 하였다. 이와 같이 바이오센서는 유기물뿐만 아니라 무기물의 정량에도 이용되어 왔다.

최근 Choi⁹은 소의 간으로부터 catalase를 추출한

것을 달걀껍질 막으로 고정하여 과산화수소 바이오센서를 만드는 등 많은 분야에서 바이오센서에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다. 위에서 언급된 것 외에도 생체조직을 포함하는 바이오센서가 많은 종류의 물질들을 정량하는데 사용될 수 있는 것으로 보고되고 있다.

과산화수소는 폐수처리나 소독에 사용되며,^{10,11} 피혁, 직물, 펄프, 목재 등의 표백 및 탈취제로 이용되기도 하는 중요한 화학공업 시약이다. 또한, 살아있는 유기체의 물질대사 과정에서 생성되기도 하는데 그 예로, glucose가 gluconic acid로 산화될 때 부산물로서 얻어진다. 따라서 과산화수소를 경제적이면서 신속하고 정확하게 정량하는 일은 대단히 중요하다.

과산화수소를 정량하는 데는 과망간산 등을 이용하는 적정법,^{12,13} 분광법,^{14,15} 전기화학적 방법¹⁶⁻¹⁸ 등 여러 가지가 있다. 앞의 두 가지 방법은 방해물질의 간섭, 긴 측정시간, 고가 시약의 사용 등 주요결점을 가지고 있는데 비하여, 여기서 언급되는 전기화학적 방법은 높은 감도, 더 넓은 동적범위, 빠른 감응시간과 같은 분석적 특성이 좋은 것으로 알려져 있다. 그러나 분리된 순수한 효소를 이용하여 과산화수소를 정량할 경우 가격이나 보관이 문제가 되므로, 동·식물조직에 함유된 peroxidase를 대략적으로 분리 농축시킨 다음 작업 전극에 고정시켜 H₂O₂를 선택적으로 정량하려는 시도가 이루어지고 있다.¹⁹ 지금까지 과산화수소의 정량에 사용되어진 동식물조직의 예로는 grape,²⁰ horseradish root,¹⁶ pineapple,²¹ asparagus,²² lettuce seed,¹⁷ chicken liver²³ 등이 있다. 이들을 사용하여 제작된 바이오센서들은 공통적으로 방해물질의 영향이 적고, 생축매의 활성도가 높으며, 안정성이 개선되어, 감응시간이 짧고, 저렴한 가격으로 쉽게 구할 수 있다는 장점을 가지고 있다.

본 연구에서는 아직 보고된 바 없는 흑연소의 간-조직을 전극물질로 사용하여 과산화수소를 정량할 때의, 필요한 최적 pH, 감응시간, 최적온도, 감도, 안정성 등 전극의 여러 가지 전기화학적 특성을 조사하였다.

실 험

기기 및 시약

실험은 10 mL의 작업부피를 갖는 BAS Model VC-2 Voltammetric cell을 사용하였다. 전류측정은 EG&G Princeton Applied Research Model 264A Voltammeter를

사용하였고, 기록계는 Rikadenki Kogyo사의 R-62 Recorder를 사용하였다. 기준전극은 Ag/AgCl을, 보조전극은 백금선 전극을 이용하였으며, 일정량의 시료를 취하기 위하여 Eppendorf사의 micropipet을 사용하였다. 완충용액의 pH측정을 위하여 Digital pH/ion meter (Model DP-215)를 사용하였다. Graphite powder는 Kanto Chemical CO., INC. 제품을, 완충용액을 만드는데 사용한 acetic acid, sodium acetate는 삼전순약공업사(일본, GR급) 제품을, hydrogen peroxide는 민중화학주식회사(일본, GR급)의 제품을, mineral oil, ferrocene, chloroform은 Aldrich사의 제품을 사용하였다. 방해물질의 효과를 알기 위하여 사용된 L-aspartic acid, Glycine은 임순약공업주식회사(일본, GR) 제품을 L-histidine는 Sigma사 제품을, L-ascorbic acid, L-threonine은 화공순약공업주식회사 제품을, dopamine, catechol은 Aldrich 제품을 사용하였다. 실험에 사용된 흑연소 간(liver)은 농가에서 구입하였으며, 사용하지 않을 때는 건조한 상태로 밀폐시켜 냉동 보관하였다. 완충용액은 0.070 M CH₃COOH 용액과 0.070 M CH₃COONa 용액의 부피비를 적절히 조합하여 만들었으며, 모든 용액은 증류수를 이용하여 제조되었으며, 항상 실험 직전에 새로 만들어 사용하였다.

전극의 제조 및 신호 측정

9%의 간 조직과 7%의 ferrocene을 포함하고 있는 전극의 제조과정은 다음과 같다. 0.070 g의 ferrocene을 20 mL의 CHCl₃에 녹인 후, 0.93 g의 흑연가루와 균일하게 혼합시킨 다음 hot plate 위에서 용매를 증발시켰다. 혼합물 0.40 g을 취하여 0.60 g의 mineral oil과 혼합하여 탄소반죽을 만든 후, 이 반죽 0.91 g에 파쇄된 간 조직 0.090 g을 추가한 후, 완전히 혼합시켜 순수 탄소반죽이 채워진 직경 4 mm, 길이 50 mm 원통형 유리관 끝부분 3 mm에 충전시켜 Cu도선으로 연결하였다. 필요에 따라 간 조직과 ferrocene의 함량은 조절되었으며, 전극이 사용되지 않을 경우는 pH 4.85의 0.070 M acetate buffer에 담가 4 °C의 냉장고에 보관하였다. 감응전류의 측정은 각각의 경우 명시된 전극 전위에서, 10 mL의 아세트산 완충용액을 포함하고 있는 유리 cell에 1.0×10⁻² M 과산화수소 용액 100 μL를 첨가한 후, 첨가 전후 신호크기의 차를 감응전류로 간주하였으며, 전류가 측정되는 동안 반응 용액의 전류 포화시간을 단축하기 위하여 300 rpm으로 저어주었다. 모든 실험은 실온에서 측정하였다.

결과 및 고찰

H₂O₂의 농도에 따른 감응 전류의 변화

Fig. 1은 완충용액(pH=4.85), 10 ml에 1.0×10⁻³ M 과산화수소 용액 100 μl를 누적적으로 10회 첨가할 때 7%의 ferrocene만을 포함한 전극(a)과, 9%의 간조직과 7%의 ferrocene을 포함한 전극(b)의 반응전류(-0.15 V vs. Ag/AgCl)의 변화를 보여주는 전형적인 예이다. Fig. 1(b)에서 계단이 시작되는 곳은 과산화수소의 첨가 시점을 나타내며, (a)의 경우도 첨가시점은 동일하다. 전극이 간 조직을 포함하지 않는 경우는 거의 감응을 보이지 않았으나, 간 조직과 ferrocene을 포함한 경우에는 기질의 농도변화에 대단히 빠른 감응을 나타내고 있으며, 수초 이내에 전류의 정류상태를 나타내고 있다. 이와 같은 빠른 감응은 흑염소 간-조직에 있는 peroxidase(환원형)가 과산화수소를 물로 환원시키고, 이때 생성된 peroxidase(산화형)은 매개체로 사용된 ferrocene을 ferricinium 이온으로 산화시키며, ferricinium 이온은 전극으로부터 전자를 받아들여 다시 ferrocene이 되는 과

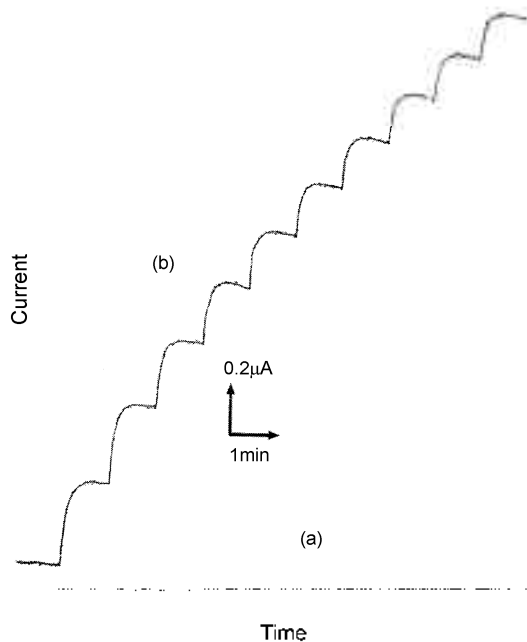


Fig. 1. Typical current-time recordings obtained at (a) unmodified (b) the black-goat liver tissue (9.0% w/w) and ferrocene (7.0%) modified carbon paste bioclectrode with stepwise additions of 1.0×10⁻³ M hydrogen peroxide. Electrolyte, 0.070 M acetate buffer solution (pH 4.85) and operating potential -0.150 V (vs. Ag/AgCl).

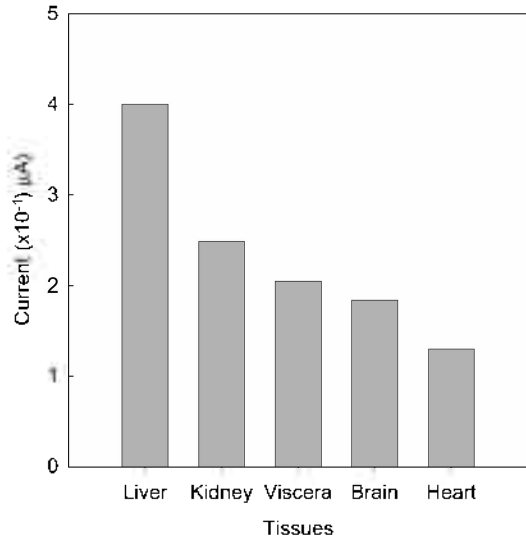


Fig. 2. Response of various goat tissues. All the other conditions are the same as Fig. 1.

정으로 보고되어있다.²⁷

또한, 흑염소의 다섯 가지 다른 조직에 대한 과산화수소의 감응도를 조사한 결과 심장<뇌<창자<공팔<간의 순으로 신호가 증가하였다. 이들 감응도의 비교를 Fig. 2에 나타내었다. 본 실험은 감응도가 가장 큰 간-조직을 사용하였다.

pH에 따른 감응전류의 변화

효소에 있는 아미노산 작용기는 두 활성 작용기(-COOH과 -NH₂)의 상태가 수소이온 농도에 따라 변하므로 수소이온 농도가 촉매의 반응속도, 즉 반응전류에 영향을 미칠 것으로 예측된다. 예외적인 경우는 있지만,²⁸ 효소의 활성도에는 일반적으로 최적의 pH가 존재한다. Arnold 등²⁵은 돼지신장 조직센서로 글루타민을 정량할 때 pH=7.8에서, Fang 등¹⁷은 상추씨로 pH 6과 7 사이에서, Oungpipat 등²³은 asparagus식물 조직으로, pH=5에서, Yoon 등²⁵은 닭의 간 조직으로 pH=2.7에서 최대의 감도함을 갖는 것으로 보고되어있다. Fig. 3은 흑염소 간-조직 센서의 pH 의존도를 보여주고 있다. 사용된 전극은 간 조직 9%와 ferrocene 7%를 포함하고 있으며, 완충용액 10 ml에 1.0×10⁻² M 과산화수소용액을 100 μl씩 가하였으며, 측정전위는 -0.15 V(vs. Ag/AgCl)였다. CH₃COOH와 CH₃COONa의 몰 분몰을 변화시켜 pH를 조절하였으며, pH 변화에 따라 감응전류가 변화하였다. 본 실험에서는 특히 아세트산 완충용액

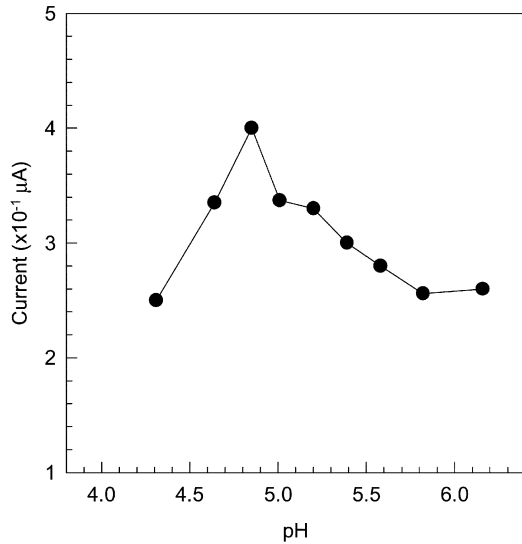


Fig. 3. Variation in current with pH. Other conditions are the same as Fig. 1.

(0.07 M CH₃COOH : 0.07 M CH₃COONa=7 : 3) pH=4.85 에서 감응전류가 가장 크게 나타났다.

간조직의 함량변화에 따른 감응전류의 변화

혈염소의 간 조직에서 촉매역할을 하는 peroxidase를 분리추출 하지는 않았으나, 탄소반쪽의 조직함량 변화가 전극의 효소함량 변화를 의미하므로, 전극의 간 조직 함량을 변화시켜 반응전류의 변화를 관찰하였다. 이

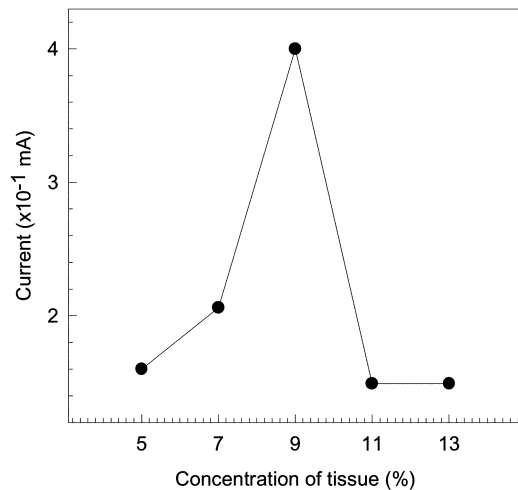


Fig. 4. The effect of the tissue composition on the response of the carbon paste electrodes. Other conditions are the same as Fig. 1.

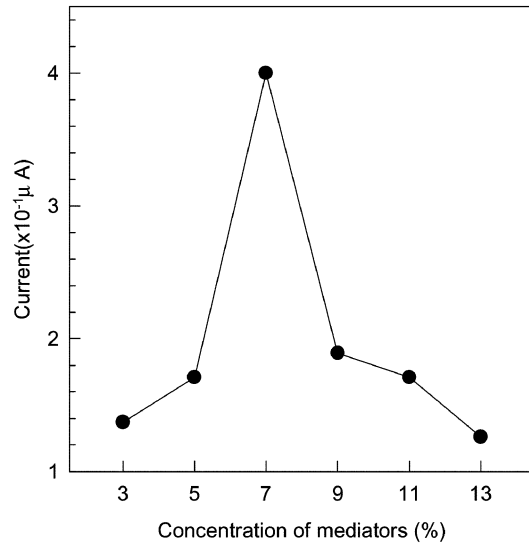


Fig. 5. Optimization of mediator concentration in the carbon paste electrode. Other conditions are the same as in Fig. 1.

때 사용된 탄소반쪽은 mineral oil과 혼합하기 전 단계에서 ferrocene의 함량이 7%로 제조한 것을 공통적으로 사용하였다. 조직의 양에 따른 감응도의 비교는 Fig. 4에 나타내었다. 또한, ferrocene의 함량변화에 대한 전극의 감응도는 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보듯이와 같이 ferrocene의 농도가 7%일 때 전극의 감도가 가장 좋게 나타났다. 따라서 본 실험은 ferrocene의 농도를 7%로 고정하였다.

전극의 반응전류는 조직의 함량변화에 크게 의존하였다. 완충용액(pH=4.85), 10 ml에 1.0×10^{-2} M 과산화수소 용액 100 μl가 공통적으로 첨가될 때, 전극의 조직함량이 증가함에 따라 9%에서 최대값을 보인 후 다시 감소하는 것을 볼 수 있다. 간 조직의 함량이 증가함에 따라 전류가 증가하는 것은 전극 표면에 노출되는 촉매부위의 증가로 볼 수 있으나,¹⁶ 일정함량(여기서는 9%) 이상에서 감소하는 것을, Gunasingham 등⁵은 간 조직 증가에 따른 전극의 전도도 감소로 설명하고 있다.

작업전극의 전위에 대한 감응전류의 변화

Fig. 6은 작업전극의 전위에 대한 전류의 의존도를 보여주고 있다. 사용된 전극은 간 조직 9%와 ferrocene 7%가 포함되어 있으며 과산화수소의 농도는 1.0×10^{-4} M로 고정하였다. 과산화수소는 전극의 종류에 따라 다르지만, 넓은 전위 영역(-1.40 V ~ +0.20 V vs. Ag/AgCl)에서 환원되는 것으로 알려지고 있다. 본 연구에서는

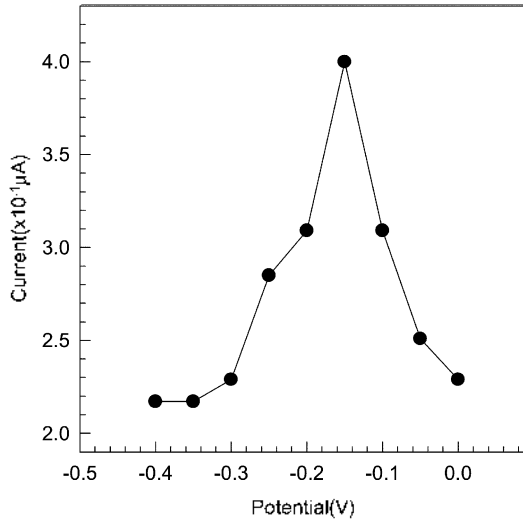


Fig. 6. Dependence of the biocatalytic current on the operating potential. Other conditions are the same as in Fig. 1.

작업전극의 전위를 -0.40 V에서부터 0.00 V까지 변화시킬 때 -0.15 V의 환원전위에서 가장 큰 감응전류를 보인 후 다시 감소하는 것을 보여주고 있다. 따라서 본 실험에서는 -0.15 V에서 실험을 하였다.

방해물질의 영향

일반적으로 전극을 정량분석용으로 사용하려면 필요 조건으로서 선택성(selectivity)이 있어야 한다. 생체 조직에 들어있는 효소를 이용하는 바이오센서는 대체로 이 조건을 잘 충족시킨다고 보고되었다.^{21,22,24} 방해물질의 영향을 살펴보기 위하여, 분석물질에 존재한다고 가정되는 물질 중에서 -OH기 말단을 가지고 있으며, 양성자 주개로 작용할 수 있다고 생각되는 아미노산과 기타 물질, 7종을 선택하였다. 이 때 사용된 전극은 Fig. 1에 사용되었던 전극이다. 1.0×10⁻⁴ M 과산화수소를 포함하고 있는 완충용액(pH=4.85)에 이 방해물질들의 농도가 1.0×10⁻⁴ M이 되도록 첨가하였을 때 어떠한 신호도 관찰할 수 없었으며, 역으로 동일농도의 과산화수소를 첨가한 경우, 과산화수소의 신호크기에 어떠한 영향도 주지 못하였다(Table 1). 이는 흑연소 건-조직 센서가 조사된 물질들과 비교하여 과산화수소에 대하여 좋은 선택성을 보여주고 있음을 말하여 준다.

감응시간과 검출한계

효소전극은 감응시간이 대단히 빠른 것을 그 특징으로 하고 있다. Wang 등은 바나나 조직이 함유된 탄소 반쪽 전극을 이용하여 t_{95%}=12 s의 빠른 감응시간을 얻

Table 1. Interference studies of some important hydrogen donors in the presence of hydrogen peroxide

Compound	Sx.H ₂ O ₂ /SH ₂ O ₂
L-Aspartic acid	1
L-Ilistidine	1
L-Ascorbic	1
L-Threonine	1
Glycine	1
Dopamine	1
Catechol	1

Each injection changed in [Hydrogen donor]=1.0×10⁻⁴ M, [H₂O₂]=1.0×10⁻⁴ M.

Sx.H₂O₂: Steady-state sensitivity of hydrogen donor in the presence of H₂O₂.

SH₂O₂: Steady-state sensitivity of H₂O₂.

Sx.H₂O₂ /SH₂O₂: Relative sensitivity.

어, 시간당 60개 이상의 시료를 처리할 수 있다고 보고 하였다.¹⁶ Fig. 1(b)에서 측정된 t_{95%}는 12 s로 나타났다. 또한, 잡음에 대한 신호의 비(S/N)가 3일 때 검출한계(detection limit)는 2.25×10⁻⁶ M로 나타났다.

공기중에서의 cell 과 질소로 포화시킨 cell에서의 감응 전류의 비교

일반적으로, 효소전극은 분석물질 속에 녹아있는 산소의 영향을 받을 수가 있다. 이러한 산소의 영향을 알아보기 위해 cell을 공기 중에서도와 질소 중에서 10분 이상 포화시킨 상태에서 감응전류 값을 비교하여 보았다. cell 내부를 자연상태(공기 중)로 두고 작업한 전극과 cell 내부를 질소로 포화시킨 상태로 작업한 전극에서 결과는 거의 같은 감응전류를 나타내었다. 즉 본 연구에서 사용된 전극은 완충용액에 녹아있는 산소의 영향을 받지 않음을 알 수 있었다.

반응속도 분석

Fig. 7은 1×10⁻⁴ M~1.2×10⁻⁴ M 범위에서 과산화수소에 대한 검정곡선을 나타내었다. Fig. 7에서 보는 바와 같이 실험한 전체구간에 대하여 직선의 상관계수는 0.999로 매우 좋은 직선성을 나타내고 있다.

Fig. 8는 Fig. 7의 농도와 전류의 역수를 도시한 결과를 나타내었다. Michaelis-Menten 식에 따라 기질농도([S])를 변화시켜 효소반응속도(v)를 실측하고 Lineweaver-Burk도시를 할 때, 직선성이 얻어지면 이 반응은 효소 촉매에 의하여 조절되는 반응이다.^{22,27} 따라서 Fig. 8의 직선성은 전극의 반응이 촉매에 의해 조절되는 효소반응임을 나타내고 있다.

바이오센서로 사용할 수 있으려면 감응시간과 감도

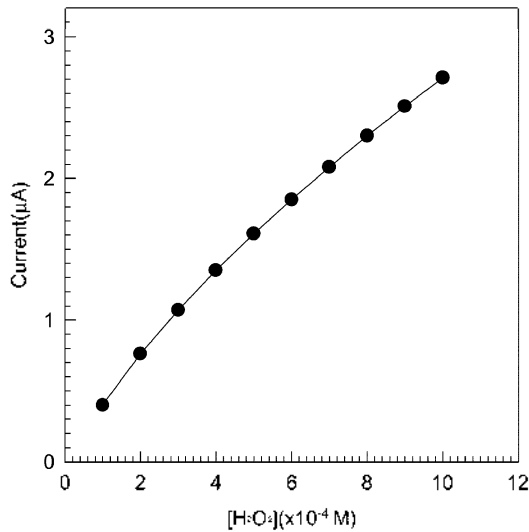


Fig. 7. Calibration curve for hydrogen peroxide. Conditions are the same as in Fig. 1.

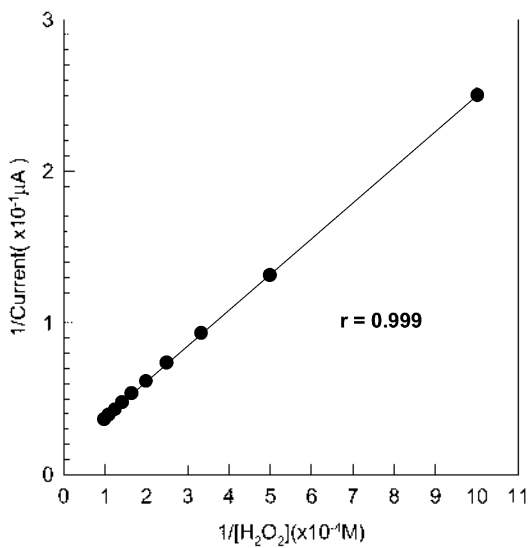


Fig. 8. Lineweaver-Burk plot of the same data as in Fig. 7.

가 좋아야 한다. 많은 경우, 바이오센서의 반응속도론적 분석은 Michaelis-Menten식의 한 형태인 Eadie-Hofstee 식을 사용한다. 전류법 바이오센서에서는 이 식에서 반응속도 대신 정류상태의 전류를 사용한다.

$$I = I_{max} - K_m^{app} (I/C)$$

여기에서 I_{max} 는 정류상태의 전류이며 C 는 기질의 농도이다. 또한, 절보기 Michaelis-Menten 상수, K_m^{app} 는

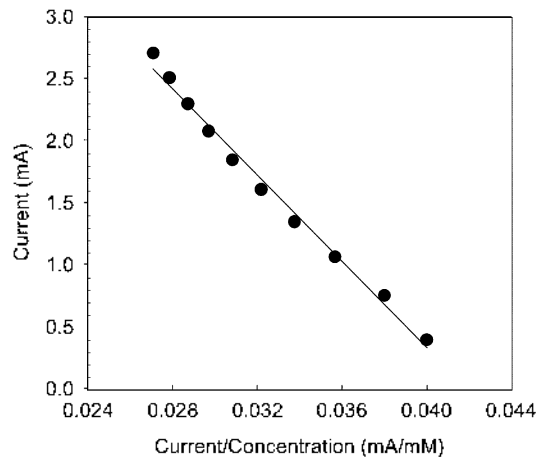


Fig. 9. Electrochemical Eadie-Hofstee plot for the enzyme electrode using data of Fig. 7.

직선의 기울기이다. Fig. 9에 효소전극의 Eadie-Hofstee 도식을 나타내었다. K_m^{app} 값은 7.30 mM로 나타났으며 순수한 sol-gel 매트릭스에서 보고된 값³⁰보다는 훨씬 더 낮은 값이다. 보통 과산화수소와의 친화력(affinity)이 높을수록 K_m^{app} 값은 낮게 나타난다.

혈염소 간 조직 바이오센서의 안정성과 재현성

효소전극의 수명은 보관방법에 따라 차이가 대단히 크다.³¹ 본 실험에서 제작한 진극의 장시간 사용 가능성

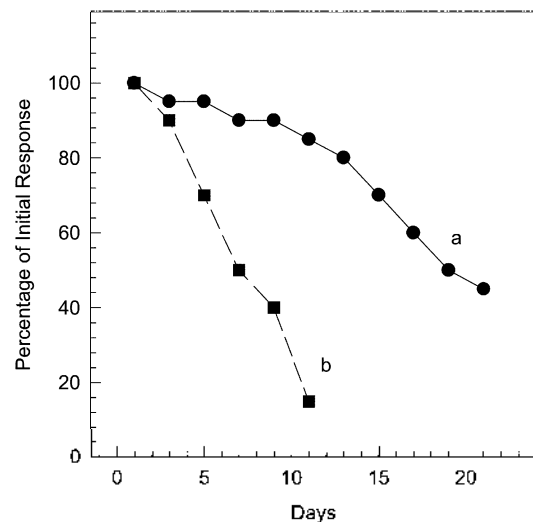


Fig. 10. Long term stability of the goat liver tissue biosensor. (a) Stored in buffer (pH=4.85). (b) Stored in the air. Other conditions are the same as in Fig. 1.

을 알아보기 위하여, 21일 동안 보관하면서 전극 감응 전류의 크기 변화를 조사한 결과가 Fig. 10에 주어졌다. Fig. 10의 (a)는 전극을 사용하지 않을 때, 4 °C 냉장고에서 pH=4.85의 완충용액에 담근 상태로 보관한 것이며 Fig. 10의 (b)는 동일한 조건하에서 건조한 상태로 보관한 것이다. 건조한 상태로 보관한 것은 11일 경과 시 초기 신호의 20% 이하로 감소하였으나, 완충용액에 보관한 것은 19일이 경과한 후에도 초기 신호의 50% 이상을 유지하였다. 효소 단백질이 공기 중에 노출되면 공기 중에 존재하는 여러 물질들이 저해제(inhibitor)로 작용하여 효소와 직접 결합하거나, 효소의 촉매부위에 결합, 또는 효소의 조절 부위에 결합하여 효소의 입체 구조를 변형시키는 등으로 효소의 촉매기능의 일부 또는 전부를 저해 할 수 있다. 이러한 원인에 의해 용액 중에 보관한 것에 비하여 노출시켜 보관한 것은 우선적으로 공기중의 여러 물질들과 접촉할 가능성이 크므로, 두 경우의 감소 경향이 다른 것은, 앞서 언급된 요인들에 기인된 것으로 추정할 수 있으나, 확실한 것은 보다 연구가 진행되어야 할 것으로 보여진다. 또한 1.0×10^{-2} M 과산화수소를 이용해 15회 반복 측정된 결과, 상대표준편차는 1.87%이었다.

결 론

흑염소의 간 조직으로 만든 탄소반축 전극으로 된 조직 바이오센서로 과산화수소를 정량할 때의 최적 실험 조건을 다음과 같이 조사하였다.

전극은 pH=4.85(온도 25 °C, 0.070 M 아세트산 완충 용액)에서 가장 좋은 감응을 나타내었고, 간 조직의 함량과 mediator의 함량은 9%의 간 조직과 7%의 ferrocene을 포함할 때 가장 좋은 감응을 나타내었다. 또한 전극은 -0.15 V의 환원전위에서 가장 좋은 감응을 나타내었다. 최적 조건에서 $t_{95\%}$ 는 12 s이었으며, 과산화수소의 검출 한계(S/N=3)는 2.25×10^{-6} M 이었다.

또한 과산화수소의 양이 증가함에 따라 전류도 비례하여 증가함을 알 수 있었고, 농도와 전류의 역수를 도시한 결과 좋은 직선성이 나타났으므로 효소 촉매분해 반응으로 좋은 전극임을 알 수 있다. 전극은 사용하지 않을 때 동일한 조건하에서 건조한 상태로 보관한 것보다는 pH=4.85의 아세트산 완충용액에 담겨 냉장 보관하는 것이 수명이 더 길었다. 건조한 상태로 보관한 것은 11일 경과 시 초기신호의 20%이하로 감소하였고,

완충용액에 보관한 것은 19일이 경과한 후에도 50%이상을 유지하였다. 또한 1.0×10^{-2} M 과산화수소를 이용해 15회 반복 측정된 결과, 상대표준편차는 1.87%이었다.

흑염소의 간 조직을 이용한 경우 전극의 우수한 안정성과 감도를 가지는 것으로 나타났으며, 전극을 만들기가 쉽고, 순수한 효소전극에 비해 매우 저렴한 가격으로 센서를 만들 수 있으며, 또한 간 조직에 들어있는 효소는 외부의 시약에 의해 분해가 잘 일어나지 않는 것으로 나타나는 등 선택성도 좋으므로 과산화수소의 정량에 유용하다.

이 논문은 지방대특성화사업단과 (주)충부화학의 지원으로 이루어졌기에 감사드립니다.

인 용 문 헌

1. Clark, L. C.; Lyons, C.; *Ann. N.Y. Acad. Sci.* **1962**, *102*, 29.
2. Updike, S. J.; Hicks, G. P. *Nature*. **1967**, *214*, 986.
3. Mascini, M.; Jannello, M.; Palleschi, G. *Anal. Chim. Acta*. **1982**, *138*, 65.
4. Wang, J.; Naser N.; Kwon, H. S.; Cho, M. Y. *Anal. Chim. Acta* **1992**, *2*, 264, 7.
5. Gunasingham, H.; Tan, C. H. *Analyst* **1990**, *115*, 35.
6. Rosa, C. L.; Pariente, F.; Hernandez, L.; Lorenzo, E. *Anal. Chim. Acta* **1995**, *308*, 129.
7. Conrath, N.; Grundig, B.; Huwel, S.; Cammann, K. *Anal. Chim. Acta* **1995**, *311*, 281.
8. Lee, J. I.; Karube, I. *Anal. Chim. Acta* **1995**, *313*, 69.
9. Choi, Martin, M. F.; Yiu, Tak Pong. *Enzyme & Microbial Tech.* **2004**, *34*, 41.
10. Kirchner, J.J. R. *Encyclopedia of Chemical Technology*, Wiley-Interscience: New York, U. S. A., **1981**; Vol. 13, p 12.
11. Irving Sax, N. *Hawley's Condensed Chemical Dictionary*; Van Nostrand Reinhold: New York, U.S.A., **1987**; p 618.
12. Huckaba, C. E.; Keyes, F. G. *J. Am. Chem. Soc.* **1948**, *70*, 1640.
13. Hurdis, E. C.; Romeyn, H. Jr. *Anal. Chem.* **1954**, *26*, 320.
14. Clapp, P. A.; Evans, D. F.; Sheriff, T. S. *S. Anal. Chim. Acta* **1989**, *218*, 331.
15. Nakano, T.; Takahashi, A. *Anal. Sci.* **1990**, *6*, 823.
16. Wang, J.; Lin, M. S. *Electroanalysis* **1989**, *1*, 43.
17. Fang, Y.; Cai, R.; Deng, J. *Electroanalysis* **1992**, *4*, 819.
18. Kwon, H. S.; Kim, K. K.; Lee, C. G. *J. Kor. Chem. Soc.* **1996**, *40*(4), 278.
19. Gaspar, S.; Popescu, I. C.; Cazaryan, I. G.; Bautista, A.

- G.; Sakharov, I. Y.; Mattiasson, B.; Csoregi, E. *Electrochimica Acta* **2000**, *46*, 255.
20. Wijesuriya, D.; Lin, M. S.; Rechnitz, G. A. *Anal. Chim. Acta* **1990**, *234*, 453.
21. Lin, M. S.; Tham, S. Y.; Rechnitz, G. A. *Electroanalysis* **1990**, *2*, 511.
22. Oungpipat, W.; Alexander, P. W.; Southwell-Keely, P. *Anal. Chim. Acta* **1995**, *309*, 35.
23. Yoon, K. J.; Pyun, S. Y.; Kwon, H. S. *J. Kor. Chem. Soc.* **1997**, *41*, 7.
24. Clapp, P. A.; Evans, D. F.; Sheriff, T. S. S. *Anal. Chim. Acta* **1989**, *218*, 331.
25. Arnold, M. A.; Rechnitz, G. A. *Anal. Chem.* **1980**, *52*, 1170.
26. Kim, M. A., Lee, W. Y. *Anal. Chim. Acta* **2003**, *479*, 143.
27. Ciolkosz, M. K.; Jordan, J. *Anal. Chem.* **1993**, *65*, 164.
-