

저잡음화 계측회로에 의한 다음극형 용존산소센서의 산소투과특성

이동희*, 김태진*, 김영환**, 성영권**
 * 수원대학교, ** 고려대학교

Oxygen Permeability Characteristics of the Multi-Cathode Type Dissolved Oxygen Sensor Using the Low Noise Measuring Circuit

Dong-Hee Rhie*, T. J. Kim*, Y. H. Kim**, Yung-Kwon Sung**
 * Univ. of Suwon, ** Korea Univ.

Abstract - An evaluation method for oxygen permeable characteristics of the membrane covering to each cathode of multiple cathode - single anode type dissolved oxygen sensor, which has high reproducibility and is capable of measuring multiple components in solutions. For this purpose, a measuring circuit for the multiple cathode type DO sensor was designed to lower the noise signal by adapting a digital LPF to readout the sensor output accurately. Digital LPF is designed by setting up the transfer function to set the cutoff frequency to 10Hz, and the transfer function is programmed by C language, and then the filtering characteristics are evaluated with the simulation and experiments. Using this LPF added measuring circuit for the multiple cathode type DO sensor, we have obtained the calibration factor for each cathode to calibrate the variation of the output signals. The calibration factor was obtained by measuring the sensor output signal followed by oxygen partial pressure, using the same oxygen permeable membrane at each cathode of the multiple cathode type DO sensor.

1. 서 론

최근 생체공학 연구의 일환으로 생체가 가진 우수한 감각기관 및 화학물질 식별 능력을 적극적으로 모의하거나 경우에 따라서는 생물을 직접 이용하는 센서 즉 바이오센서의 개발을 위한 노력이 활발히 진행되고 있다⁽¹⁻³⁾.

바이오센서를 넓은 의미로 생각하면 생체물질의 계측을 목적으로 하는 센서, 생체물질을 이용한 센서, 생체중에 매입한 상태로 계측하는 센서로 구분할 수 있으나 일반적으로는 생체물질의 계측을 목적으로 하는 센서를 가리킨다. 이와 같은 바이오센서는 생체 관련물질이 선택적으로 분자를 식별하는 기능을 이용한 화학센서로서 현재 그 이용되는 관련물질, 즉 수용물질에 의해 효소센서, 면역센서, 미생물센서 등으로 분류된다. 이 중에서도 효소센서는 효소의 우수한 촉매작용에 의해 글루코스나 아미노산 등 생체 내의 여러 측정대상에 대해 적용할 수 있는 측면에 의해 외국의 경우에는 이미 부분적으로 임상 검사용으로 실용화단계에 이르러 있는 실정이다.

한편 바이오센서용 트랜스듀서로는 생체성분이 전기신호를 발생시키는 과정에 직접 관여하는 직접변환형과 식별과정과 전기신호로의 변환과정을 분리시킨 간접변환형이 있다⁽⁴⁾. 이 중 직접변환형은 생체성분이 전기신호의 발생과정에 직접 관여하므로 일반적으로 방해 성분의 영향을 받기 쉬운 문제점이 있다. 이에 비해 간접변환형은 식별과정과 변환과정이 분리되어 있으므로 그 특성을 살려 현재 각종 검지 방식에 대한 연구가 활발히 추진되고

있다. 이 간접변환형 센서로서는 구조상 이온전극형과 갈바니전지형이 있으며 어느 경우나 센서 셀의 외기와 접한 부위에 가스투과막을 설치하여 이 가스투과막과 센서 셀 간에 적당한 전해액을 주입한 구조로 되어 있다. 그 중 갈바니전지형센서는 전지를 단락시켜 그 전류출력을 계측하는 구조로서 Clark형 산소전극이 대표적이며⁽⁵⁾ 여기에 가스투과막을 적절히 선택하면 글루코스, 콜레스테롤 등 다양한 생체 성분을 검출할 수 있다⁽⁶⁾. 본 연구에서는 바이오센서의 응용을 위해 개발한 다음극-단양극구조의 산소전극에 있어서 각 음극에 피복된 산소투과막의 성능을 저잡음화 계측회로에 의해 동시에 측정하는 방법을 제시하고자 한다.

2. 본 론

2.1 다음극형 산소전극

그림 1에 다중성분 측정용으로 개발된 6음극-단양극형 산소전극의 구조를 나타내고 있다.

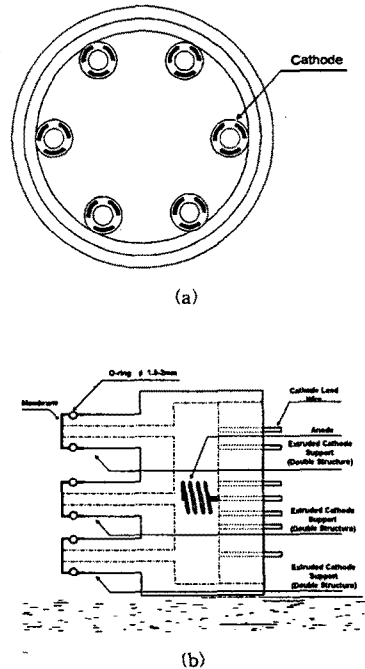


그림 1 다중성분 측정용 6음극-단양극형 산소전극. (a) 정면도, (b) 측면도

2.2 다중입력 계측시스템

본 연구에서는 마이크로 프로세서와 주변회로 부품이 함께 집적된 마이크로 컨트롤러(80C196KC)를 이용하여, PC와 인터페이스시켜 PC 상에서 측정에 관련된 모든 작업을 수행할 수 있는 다음극형 산소전극 전용 계측시스템⁽⁷⁾을 이용하였다.

본 시스템은 기본적으로 다음극형 센서소자에서 출력되는 아날로그 신호를 디지털 처리할 수 있는 신호 레벨로 변환시키는 다채널 센서회로와 이를 통해 입력된 아날로그 신호를 디지털 처리함과 동시에 PC와 인터페이스시키는 PC 인터페이스회로로 구성되어 있다.

2.3 디지털 저역필터

Low Pass 필터의 전달함수는 다음 식과 같이 표현된다.

$$T(s) = \frac{a_0}{s + w_0}$$

본 연구에서는 오픈루프게인(open loop gain) a_0 와 차단주파수(cutoff frequency) w_0 의 값으로, 입력되는 기본 신호의 주파수와 노이즈의 주파수를 감안하여 약 10Hz이상의 신호들은 필터링 되도록 선정하였다.

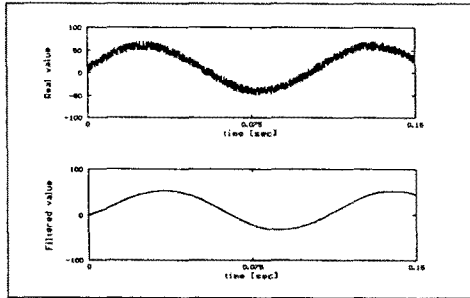


그림 2. 정현파에 중첩된 노이즈의 필터링 시뮬레이션 결과

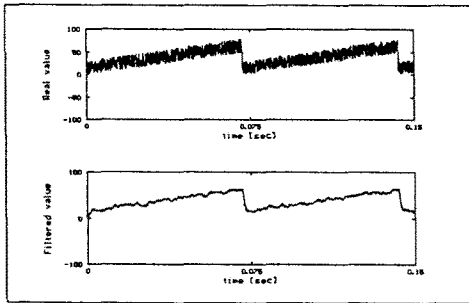


그림 3. 톱니파에 중첩된 노이즈의 필터링 시뮬레이션 결과

상기 디지털 필터의 동작특성을 평가하기 위해 C language로 작성한 프로그램을 이용하여 저역통과필터의 전달함수를 정의한 후, 입력으로 노이즈 발생함수에 의해 발생시킨 랜덤 노이즈를 정현파 및 톱니파 그리고 직류신호에 중첩시킨 후 필터에 인가하여 그 출력신호를 관측하였다.

정현파 및 톱니파 그리고 직류값에 노이즈를 중첩시켜 이를 필터링한 결과 그림 2 - 그림 4에 나타난 바와 같이 모두 다 노이즈를 제거하고 기본파 성분만을 출력함을 알 수 있었다.

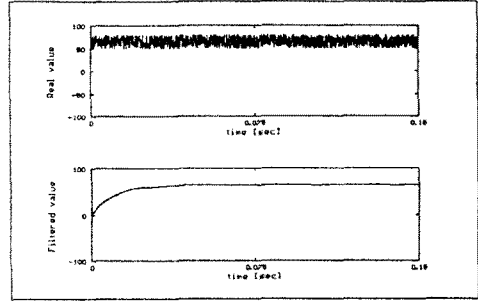


그림 4. 직류신호에 중첩된 노이즈의 필터링 시뮬레이션 결과

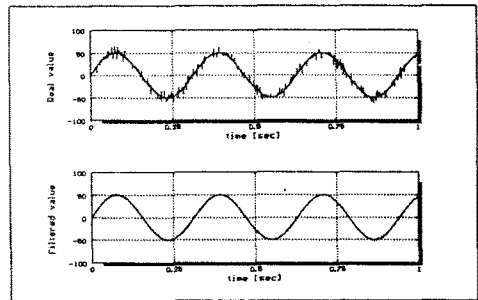


그림 5. 정현파에 중첩된 노이즈의 필터링 특성

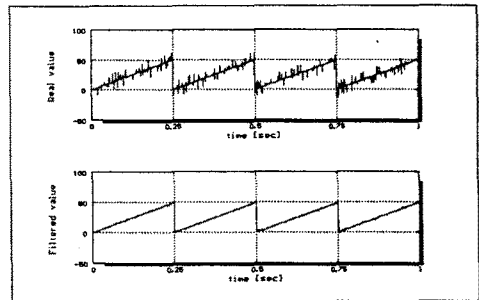


그림 6. 톱니파에 중첩된 노이즈의 필터링 특성

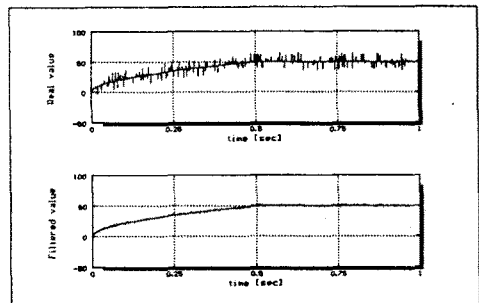


그림 7. 직류에 중첩된 노이즈의 필터링 특성

한편 상기 C language로 작성한 프로그램에 의한 시뮬

레이션 결과를 실제 회로에 대해 평가하기 위해 전술한 계측회로에 이 디지털 저역통과필터를 적용하여 6채널 중 임의의 1채널에 대해 잡음이 증폭된 신호를 입력한 후 그 필터링 특성을 판측한 결과 그림 5 - 그림 7에 나타낸 바와 같이 이들 실험 결과로부터도 정현파, 톱니파 및 직류 전압에 포함된 잡음신호를 충실히 제거하고 있음을 알 수 있었다.

2.4 산소투과막 특성 평가

기존의 가스투과막 성능 평가법은 단일 전극을 사용하여 피시험막을 교체하는 방법을 이용하고 있다. 그러나 이와 같은 방법으로는 전극 자체의 수명이 단축될 뿐만 아니라 동일한 실험 환경을 유지하기에 어려움이 있어 실험결과와 재현성에 문제가 있다⁽⁶⁾.

본 연구에서는 6음극형 산소전극을 이용하여 동일한 테프론막에 대해 5단계의 용존산소 조건하에서 그 출력 특성을 연속 모니터링하여 가스투과막의 성능을 평가하는 방법을 제시하였다.

시험 온도는 용액순환기와 항온조를 이용하여 25°C 조건을 유지하였으며, 산소분압은 0, 4.2, 8.4, 12.6, 16.8 및 21%로 조절하였다.

그림 8에 5단계의 산소분압 조건하에서 본 연구에서의 계측회로를 이용하여 측정된 개별 음극의 출력력을 표시하고 있다. 이로부터 동일한 가스투과막을 사용한 경우 6음극의 개별 전극마다 편차가 생김을 알 수 있었다.

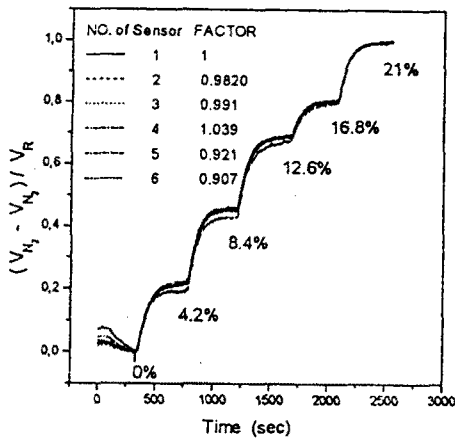


그림 8. 산소 분압을 파라미터로 한 6음극형 산소전극의 테프론 투과막에 대한 표준화곡선

이와 같은 편차는 다음극형의 산소전극 제작시 제조공정 중의 불균일성에 기인하는 것으로서 각 음극의 출력 오차를 나타내는 것이다. 따라서 상이한 재질의 산소투과막에 대한 특성을 동시에 평가하기 위해서는 이와 같은 개별 음극에서의 편차를 교정해야 하며, 이를 위해 6개의 음극 중 포화 공기 조건에서 최대출력을 나타내는 한 전극을 기준으로 하여 동일한 조건에서의 다른 음극에서의 출력을 비교하여 교정계수를 구하였으며 그림 8에 이 교정계수를 표시하였다.

이 실험결과에 의하면 5번 음극의 경우에는 실험조건에 따라 교정곡선으로부터의 편이가 다소 나타남을 알 수 있었다.

한편 그림 9에는 상이한 재질의 산소투과막에 대해 6음극형 산소전극과 본 계측회로에 의해 측정된 결과에 전술한 교정계수를 적용하여 그 출력특성을 나타낸 것이

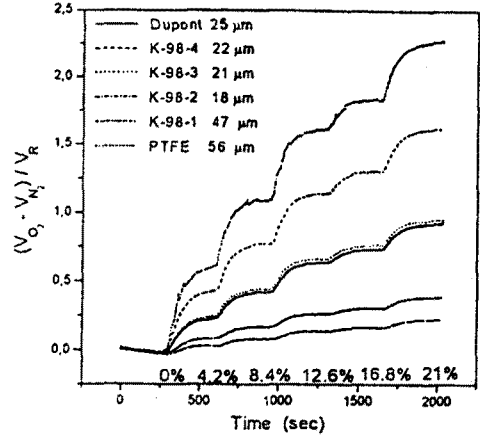


그림 9. 산소분압을 파라미터로 한 6종의 상이한 산소투과막의 산소투과특성

다. 이로부터 상이한 재질의 산소투과막의 산소투과특성을 동시에 평가할 수 있음을 알 수 있다.

3. 결 론

본 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 디지털 저역통과필터를 이용하여 다음극형 용존산소센서용 계측회로의 저잡음화를 도모하였다. 이 필터의 특성은 시뮬레이션과 실험을 통해 차단주파수 이상의 잡음신호를 정확히 필터링함을 확인하였다.
- (2) 6음극형 산소전극의 개별 음극은 제조공정 중의 불균일에 의해 출력이 편차가 발생함을 알 수 있었다.
- (3) 6음극형 산소전극의 출력 편차는 교정계수를 이용하여 교정할 수 있음을 확인하였다.
- (4) 개별 음극의 산소 투과특성에 대해 교정계수를 이용하여 상이한 산소투과막에 대한 재현성있는 동시 평가가 가능함을 확인하였다.

본 연구는 한국과학재단의 96년 특장연구(과제번호 96-0502-05-01-3)의 일부 연구비 지원에 의해 수행되었으며, 이에 감사를 드리는 바입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] T. Morizumi, et al. Oyo Buturi(in Japanese), Vol.54, 98-114, 1985
- [2] M. Esashi, Trans. IEE Jap.(D)(in Japanese), 108D, 210-213, 1988
- [3] I. Karube, et al., Eur. J. Appl. Microbiol. Biotechnol., Vol.15, 127, 1982
- [4] K. Tada, ed., Sensor Technology(in Japanese), Maruzen, 1981
- [5] L. C. Clark, et al., Ann. N. Y. Acad. Sci., Vol.102, 29, 1962
- [6] T. Seiyama, ed., Chemical Sensor Technology(in Japanese), Vol.1, Kodansha, 1988
- [7] D.H.Rhie, et. al., "Oxygen Electrode Type Multi-Biosensor System", 5th ICPADM, 1028-1031, 1997
- [8] T.J.Kim, Korean J. Biotech. Bioeng., Vol.4, 150-156, 1989