

다기능 DO 센서용 계측시스템 개발

이 동희*, 김태진*, 최복길**

*수원대학교, **공주대학교

Development of the Measurement System for the Multi-Functional DO Sensor

Dong-Hee Rhie*, T.J.Kim*, Bok-Gil Choi**

*University of Suwon

**Kongju University

Abstract - A method is presented for the development of the PC-based measurement system on the 6 cathodes-single anode type multi-functional oxygen electrodes for detecting various components of the solution by measuring the dissolved oxygen(DO) concentration. The system is consisted with the 6 channel sensor signal modifying circuits for the sensor and the PC interface circuits using the single chip microprocessor 80c196kc. Typical polarograms for the DO probes under test using this sensor circuits are presented. This system covers wide range of measuring time from 300sec to over 16 hour in one measurement step by programming the 9 monitor display mode.

1. 서론

Clark에 의해 혈액 및 세포조직의 산화감시용으로 개발된⁽¹⁾ 산소전극은 사용의 간편성, 일회성, 그리고 측정물질을 분리하지 않고 직접 측정할 수 있는 장점 등에 의해 현재 용액종의 용존산소(Dissolved Oxygen:DO) 농도 측정을 통한 수질측정 및 연속공정감시용으로 환경공학에서 중요한 위치를 점하고 있을 뿐만 아니라 기상산소감시용, glucose analyzer 등의 용도로 미생물학, 의학, 화학, 화학공학, 토목공학, 생리학등 실로 광범위한 분야에서 다양하게 활용되고 있는⁽²⁾ 화학량센서이다.

이 산소전극은 Ag를 양극(A)으로 그리고 Pt나 Au를 음극(K)으로 하는 두 금속전극으로 구성되며, 특정 분극전압 인가시 기준전극(A)과 측정전극(K) 간을 흐르는 전류를 검출하여 용존산소분압 즉 용존산소(DO)농도를 측정하는 전류측정형 센서이다.

최근에 이르러 국내에서도 이 DO 센서에 대한 관심이 높아져 소재 측면⁽³⁾ 및 센서회로 측면에서의 연구결과⁽⁴⁾가 꾸준히 발표되고 있는 실정이다.

한편 산소전극형 DO 센서는 산소투과성 격막에 적절한 효소막을 고정시킴으로써 용액 중의 다양한 종류의 성분물질을 검출할 수 있으며, 이에 따라 현재 본 연구진도 포함하여 6음극-단양극 구조의 다기능 바이오센서에 대한 연구가 진행되고 있다.

그러나 이와 같은 다중출력센서의 경우 그 계측시스템이 각각의 센서신호를 독립적으로 처리, 표시하는 경우에는 계측시스템의 방대화를 피할 수 없으며 특히 측정자, 즉 실험자가 측정치를 상시 관측, 기록해야 하는 운용상의 문제가 크게 대두된다. 따라서 다중입력신

호를 받아 이를 실시간으로 표시할 뿐만 아니라 입력신호에 대한 데이터처리를 통해 측정결과를 자동적으로 연산처리해 줄 수 있는 계측시스템이 필요하다.

본 연구에서는 계측시스템을 디지털화함으로써 무인상시감시 및 측정이 가능하고 데이터처리를 통한 측정치의 저장 및 직접출력 그리고 데이터에 대한 연산처리를 종합적으로 수행할 수 있는 방안을 고안하였다.

2. 계측시스템 구성

계측시스템을 디지털화하면 센서의 열화나 온도의존성 등을 시스템 상에서 보상할 수 있을 뿐만 아니라 하드웨어(H/W)에 의한 설계 방식을 소프트웨어(S/W)에 의해 수행함으로써 시스템에 보다 지능적인 기능을 부가할 수 있고, 아울러 시스템 설계 변경시 유연성(flexibility)을 대폭 확대할 수 있을 것으로 기대된다^(5,6). 또한 계측시스템의 디지털화를 통해 컴퓨터와의 인터페이스를 용이하게 구현할 수 있어 맨-머신 인터페이스 측면에서의 편의성을 극대화할 수 있다.

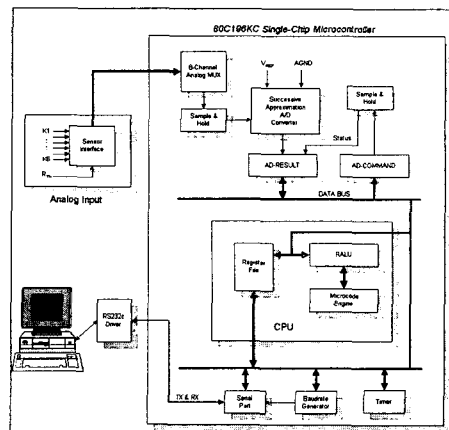


그림 1. 6음극-단양극형 DO센서용 계측시스템 구성도

Fig.1 Schematic Diagram of the DO Sensor Instruments for the Six Cathodes-Single Anode Type Oxygen Electrode

본 연구에서는 마이크로 프로세서와 주변회로 부품이 함께 집적된 마이크로 컨트롤러(80C196KC)를 이용하여, 측정회로의 소형 경량화와 동시에 전술한 각종 기능을 수행할 수 있는 계측회로를 설계하고 아울러 이를 PC와 인터페이스시켜 PC 상에서 측정에 관련된 모든 작업을 수행할 수 있는 다중출력형 DO 센서 전용 계측시스템을 개발하였다.

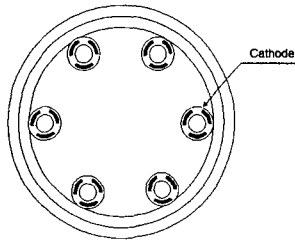
그림 1에 본 연구에서 개발한 계측시스템 구성도를 나타내었으며 본 시스템은 기본적으로 다음극형 센서소자에서 출력되는 아날로그 신호를 디지털 처리할 수 있는 신호 레벨로 변환시키는 다채널 센서회로와 이를 통해 입력된 아날로그 신호를 디지털 처리함과 동시에 PC와 인터페이스시키는 PC 인터페이스회로의 두 부분으로 구성되어 있다.

아울러 PC 기반 하에 본 계측시스템을 운용할 수 있도록 현재 광범위하게 이용되고 있는 C 언어를 이용하여 시스템 운용 프로그램을 작성 개발하였다.

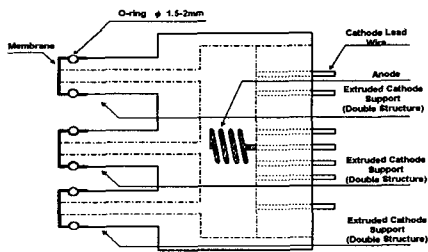
3. 실험결과 및 검토

(1) 6음극-단양극형 산소전극

본 연구에 이용된 6음극-단양극형 산소전극은 용액 중의 다양한 성분물질을 동시에 검출하기 위하여 그림 2에 나타낸 바와 같이 기존의 단음극-단양극 구조의 산소전극에 대해 6개의 음극을 병렬로 설치한 구조로 설계하였다. 각각의 음극은 Pt, 양극은 Ag로 코팅한 Clark 전극에 두께 1 mil 의 FEP 테프론을 산소투과성 격막으로 사용하고 화학반응을 위한 전해액으로는 반포화 KCl 용액을 이용하였다.



(a)



(b)

그림 2. 6음극-단양극 구조의 DO 센서용 산소전극 (a) 하면도, (b) 측면도

Fig.2 6 Cathodes-Single Anode Type Oxygen Electrode for DO Sensor (a) Bottom View, (b) Side View

(2) 신호측정회로 설계

센서소자로부터 출력되는 미소한 아날로그신호를 디지털신호로 처리하기 위해서는 이 미소신호를 디지털회로가 동작할 수 있는 신호레벨로 변환시켜야 한다. 이를 위해 본 연구에서는 개별 음극으로부터 출력되는 센서신호를 독립적으로 처리할 수 있는 6채널의 다입력 센서회로를 구성하였다.

그림 3에 본 연구에서 고안한 단음극-단양극형 산소전극에 대한 센서회로의 블럭도를 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 본 센서회로는 기본적으로 전류-전압변환회로, LPF(low pass filter)회로, 표시회로, 분극전압발생회로로 구성된다⁽⁷⁾. 이 회로를 개별 센서신호 채널 별로 구성하여 그림 2의 6음극형 산소전극용 센서신호처리회로를 구성하였다.

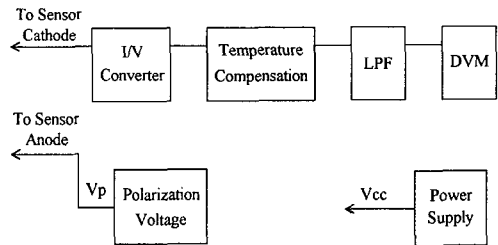


그림 3. 단음극-단양극형 산소전극용 센서회로 블럭도
Fig. 3 Block Diagram of the Sensor Circuit for the Single Cathode-Single Anode Type Oxygen Electrode

산소전극을 통해 흐르는 전류는 수 μA 정도로 미소하기 때문에 본 연구에서는 전류-전압변환회로를 이용하여 이를 측정하도록 하였다. 전류-전압변환회로는 전력이득을 가진 저항과 같이 동작하여 입력전류에 비례하는 전압을 출력하며 그 비례상수는 $V_o = -I R_i$ 의 관계를 가지는 궤환저항 R_i 이다.

한편 그림 3의 block도에서 LPF(low-pass filter) 회로는 회로부품의 입수 용이성을 고려하여 시정수를 동일하게 하고 전압이득을 갖는 궤환증폭기로 구성하였으며, 따라서 이 전압이득을 보상하기 위하여 이득보상회로를 설계하여 LPF 회로에 의한 DC 에러를 제거하였다.

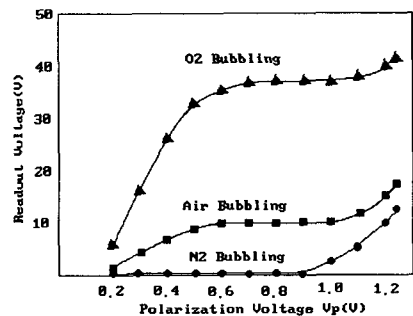


그림 4. 산소전극형 DO 센서의 폴라로그래프
Fig. 4 Polarogram of the Oxygen Electrode Type DO Sensor under Test

그림 4에 단일채널 센서회로의 동작을 시험한 결과를 나타내었다. 실험은 시험용 용액을 bubbling 과정을 통해 공기(air)포화상태, 산소(O₂)포화상태, 질소(N₂)포화상태로 그 상태를 변화시키면서 본

센서회로에 의한 지시치를 측정하였다. 이 때 분극전압, 즉 센서 바이어스전압을 0~1.235 V까지 가변시키면서 그 전압-전류특성을 구해 본 결과, 그림에서와 같이 약 0.4~0.8 V 영역에서 평탄한 특성, 즉 plateau 영역이 나타나는 산소전극 특유의 폴라로그래를 얻을 수 있었다. 그림 4에서 황축은 산소전극에 인가하는 분극전압 V_p 를 나타내고 종축은 센서회로에 의해 1V full-scale의 직류전압으로 변환된 센서 출력전류를 나타낸다. 여기에서는 각 상태에서의 상대적인 용존산소농도를 비교하기 위하여 제환저항 10k Ω 의 제환분로에 의해 측정된 값으로 표시하였다.

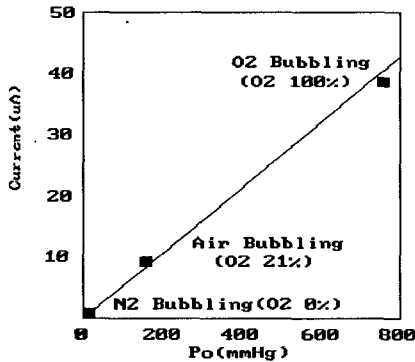


그림 5. 각 산소분압에 대한 DO 센서의 출력전류
Fig. 5 Output Current vs. Oxygen Partial Pressure for the Test DO Sensor

한편 산소전극의 출력전류와 산소분압과의 관계는 분극전압을 0.8 V로 인가한 경우 경험적으로 다음과 같이 주어지며,

$$I_s(\mu A) = 0.1644 + 0.0507 P_o \quad (7)$$

그림 5에 이 관계식에 의한 계산식과 그림 4의 폴라로그래로부터 구한 각 산소분압에 대한 실측치를 표시하였다.

(3) PC 인터페이스회로

6채널 센서회로의 출력신호를 받아 이를 PC 상에서 표시 및 데이터처리할 수 있는 PC 인터페이스회로를 그림 1의 시스템 블록도에 나타내었다.

이 회로의 핵심부는 16 비트 단일칩(single chip) 마이크로 컨트롤러인 인텔(Intel)사의 80C196KC이다. 이 80C196KC는 16 MHz의 클럭주파수에서 동작하며 그 내부에 488 바이트(byte)의 RAM이 내장되어 있고, 주변장치로는 3개의 펄스폭 변조출력(PWM : pulse width modulation), 2개의 타이머/카운터, 입력된 펄스폭을 측정하는 고속입력장치(HSI : high speed input), 원하는 폭의 펄스를 만들어 내는 고속출력장치(HSO : high speed output), 10 비트 AD 변환기 그리고 직렬포트(serial port)가 내장되어 있다^(8,9).

센서 프로브로부터의 출력신호(K1-K6)는 전술한 센서회로에서 신호처리되어 6채널의 다중입력 신호로 단일칩 마이크로 컨트롤러 80C196KC의 AD 변환기로 입력된다. 80C196KC의 AD 변환부는 그 입력단에 8채널 아날로그 멀티플렉서가 내장되어 CPU로부터의 명령(AD-COMMAND)에 의해 임의의 채널 신호를 선택할 수 있다. 선택된 채널 신호는 80C196KC 운영프로그램에 의해 AD 변환부에서 디지털신호(AD-RESULT)로 변환된다. 이 변환된 신호는 직렬 통신용 인터페이스회로(RS232C Driver)에 의해 운용 PC로 전송된다. PC에서는 본

계측시스템에 의해 전송된 신호를 받아 계측시스템 운영프로그램에 의해 개별 채널별 및 6채널 동시표시가 가능하다.

한편 80C196KC 시스템을 운영하기 위해, 즉 ROM 내에 위치하여 PC로부터 프로그램을 다운로드받아 RAM 영역에 써주고 명령을 받아 실행시키기도 하고 정지시키기도 하며 필요에 따라 데이터를 PC로 업로딩하는 작업을 담당하는 시스템 프로그램 OS196.c와 또한 이 OS196과 통신해서 명령을 내리고 프로그램을 다운로드하며 데이터를 업로딩해서 그래픽으로 표시해 주는 PC 상의 통합개발환경 "에밀레"⁽¹⁰⁾를 이용하여 본 계측시스템을 운용하도록 하였다.

4. 결론

본 연구에서는 6음극-단양극형 DO 센서에 대한 전용 계측시스템을 시작 DO 전극에 대한 폴라로그래 특성을 조사해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 산소전극형 DO 센서의 미소한 출력전류를 검출하여 이를 디지털 표시함으로써 그 전류치를 직독할 수 있는 DO 센서 인터페이스회로 및 표시회로 설계기술을 확보하였다.
- (2) 단음극-단양극형 센서회로를 이용하여 6 채널의 독립적인 신호처리회로를 설계하여 6음극-단양극 구조의 다기능 센서용 센서회로를 구성하고 또한 단일칩 마이크로 컨트롤러를 이용하여 계측시스템을 디지털화함으로써 본 계측회로를 PC와 인터페이스시켜 무인 상시감시 및 측정, 측정 데이터의 처리(저장, 기록, 표시, 연산 등)를 PC 상에서 수행할 수 있는 멀티바이오센서 전용 계측시스템을 개발하였다.
- (3) 본 연구에서 개발한 멀티 바이오센서 전용 계측시스템을 6음극-단양극 구조의 DO 전극에 적용하여 그 동작을 평가해 본 결과 양호한 결과를 얻었으며 특히 오퍼레이터의 필요에 따라 1회 측정 결과를 300초에서 16시간 이상에 이르기까지 다양한 시간 범위에 걸쳐 연속적으로 도시할 수 있게 총 9종의 화면 표시모드를 프로그래밍해 놓음으로써 측정 편의성을 대폭 향상시킬 수 있었다.

본 연구는 한국과학재단 96년도 특정기초연구 일부 연구비 지원에 의해 수행되었음.

5.참고문헌

1. L.C. Clark Jr., "Monitor and control of blood and tissue oxygen tension", Trans. Am.Soc.Artifi.Organs, 2, 41-48 (1956)
2. K.Tada, in "Sensor Technology", 113, Maruzen Pub (1991)
3. 이동희, "Clark 전극에 의한 절전형 DO 센서 개발에 관한 연구", 한국전기전자재료학회지, 8권, 3호, 1-5 (1995)
4. 김태진 : "정체 및 유동액체에서 산소전극의 안정상태 일차원적 해석", 한국생물공학회지, Vol.4, 150 (1989)
5. W.J.Tomkins, et al: Interfacing Sensors to the IBM PC, Prentice-Hall (1988)
6. D.R.Patrick: Electronic Instruments, p.172, Prentice-Hall (1992)
7. C.D.Ferris, : "Design and Fabrication of Polarographic Oxygen Sensor", J.Clinic.Eng., Vol.8, 201-211 (1983)
8. Intel : 16-Bit Embedded Controllers, Intel, 1990
9. Intel : Embedded Applications, Intel, 1993
10. 박귀태, 이상락 : 80C196KC, p.277-328, 대영사 (1994)