

**LabVIEW를 이용한 Amperometry 측정 정밀도 개선과 측정시간 단축 및 실시간 온도 측정시스템 구성**

최명기, 박정일, 박정호  
고려대학교 전기공학과

**Advanced measurement system of amperometry and temperature monitoring by using LabVIEW**

Myung-ki Choi, Jung-il Park, Jungho Pak  
Department of Electrical Engineering, Korea University

**Abstract** - 본 논문은 LabVIEW를 이용하여 온도측정과 amperometry 측정을 동시에 하며, amperometry 측정오차와 구동전압의 세팅 시간을 줄일 수 있는 시스템을 설계한 내용을 담고 있다. Amperometry는 구동전압을 인가하여, 전류를 측정하는 방법인데, 정확한 측정을 위해서는 구동전압을 균일하게 인가해야 한다. 또한 바이오 분야에서의 amperometry 측정은 온도에 따라 측정 결과가 다르게 나타날 수 있기 때문에 온도의 측정과 amperometry 측정이 동시에 이루어져야 측정오차를 줄일 수 있다. 본 논문에서는 이상(異常) 구동전압의 배제 알고리즘을 통하여 전류측정의 오차를 ±70pA에서 ±50pA 이내로 줄였으며, proportional control을 응용한 알고리즘을 사용하여 307초의 측정시간을 105초로 단축하였다. 또한 amperometry 측정 과정에서 온도를 실시간으로 측정함으로써 측정상태를 보다 정확히 파악하는 시스템을 구성하였다.

**1. 서 문**

Amperometry 측정은 측정법이 간단하여, 각종 화학분석 실험실이나 병원에 보급된 자동 가스분석기기의 대부분이 이 방법을 취하고 있다[1]. Amperometry 측정은 3개의 전극(작업 전극, 기준 전극, 상대 전극)중 작업 전극과 기준 전극 사이에 구동전압을 인가하고 작업 전극과 상대 전극간의 전류를 측정하는 방법인데, 작업 전극과 기준 전극 간의 구동전압이 일정하게 유지되지 못하면, 작업 전극과 상대 전극사이의 전류를 정확히 측정할 수 없기 때문에 구동전압을 일정하게 유지시키는 것은 측정 오차를 줄이는 중요한 요소가 된다. 또한 바이오분야에서 전기 화학적 반응은 온도에 민감하게 변화할 수 있기 때문에[2], amperometry 측정 대상이 생물체일 경우에는 amperometry 측정과 온도 측정을 병행해야 정확한 결과를 얻을 수 있다.

**2. 본 문**

**2.1 온도 측정과 amperometry 측정시스템의 구성**

측정시스템은 크게 하드웨어 모듈과 소프트웨어로 구성된다. 하드웨어는 그림1과 같이 온도 측정 모듈과 amperometry 측정 모듈, PC로 구분된다. 온도측정모듈은 RTD(Resistance Temperature Detector)센서와 RTD의 저항을 측정하는 온도측정 장비로 구성되어있고 실시간으로 온도를 측정하는 역할을 한다. Amperometry 측정모듈은 전압 인가와 전압 측정, 전압 인가 그리고 전류 측정장비와 기준,작업,상대 전극으로 구성되고 일정한 구동전압을 인가하는 역할을 한다. PC는 온도 측정모듈과 Amperometry 측정모듈의 데이터를 취합하여 제어하는 역할을 한다. LabVIEW를 이용하여 측정시스템의 구성의 하드웨어 구성은 그림 1과 같다.

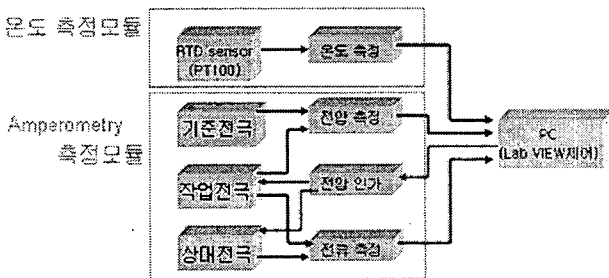


그림 1. Amperometry 측정시스템의 H/W 구성도

측정시스템의 소프트웨어는 그림 2의 알고리즘과 같이 온도 측정과 amperometry 측정을 동시에 실시한다. 온도 측정 중에 amperometry의 구동전압을 제어하여 구동전압을 정상상태로 만들고, 전류를 측정한다. 전류 측정은 전압의 구동상태가 불안정하면 측정값을 배제하여 측정오차를 줄이고 P-gain(proportional gain)을 자동 제어하여 측정시간을 단축할 수 있게 하였다.

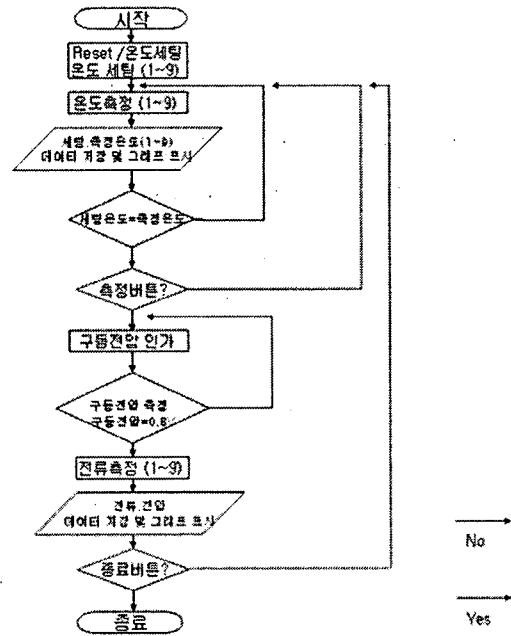


그림 3. Amperometry 측정시스템의 알고리즘

**2.2 구동전압 자동제어에 의한 구동전압 세팅시간 감소와 정밀도 향상**

Amperometry 측정을 위해서는 일정한 구동전압을 인가해야 한다. 구동전압의 정상상태를 유지하기 위하여 proportional control 방법을 사용하였다. Proportional control은 기준 신호와 현재 신호 사이의 오차 신호에 적당한 P-gain(proportional gain)을 곱해서 제어 신호를 만들어 원하는 신호를 만드는 방법이다.[3] Amperometry 측정의 proportional control loop문 구현은 (1)식과 같이 진행하였다.

$$2nd \text{ loop문에서의 인가전압} = 1st \text{ loop문에서의 인가전압} + (P\text{-gain} * (\text{setting 전압} - \text{측정전압})) \quad (1)$$

Proportional control은 P-gain 값에 따라 안정 상태에 이르는 시간과 안정 상태에 이른 후의 측정값의 진폭이 결정된다[4]. P-gain의 값이 클수록 안정 상태에 이르는 시간은 빠르지만, 안정 상태에서의 전압 진폭은 크기 때문에 측정오차가 크다. 반대로 P-gain의 값이 작으면 안정 상태에 이르는 시간은 느리지만, 안정 상태에서의 전압 진폭은 작다. 빠른 측정시간과 측정오차를 줄이기 위해서는 P-gain값을 서서히 낮추어야 하는데, 그림 3과 같이 측정전압 진폭이 이전 진폭의 2/3이하가 되면 P-gain값을 이전 Loop에서의 P-gain값의 1/2로 조절하는 방법을 통해 P-gain을 0.1까지 서서히 낮추었다.

P-gain 값의 조절에 따라 안정 상태에 이르는 시간과 안정 상태에 이른 후 측정값의 진폭 변화를 알아보기 위하여 gain을 0.1, 0.5, 1.0의 값으로 측정 전압의 표준오차, 측정시간을 P-gain을 1.0에서 0.1까지 제어한 측정 전압의 표준오차, 측정시간을 비교해 보았다. 실험은 0.1 M KCl 용액 내에서 작업 전극으로는 Pt를 사용했고, 상대 전극은 Pt wire, 기준 전극은 상용 Ag/AgCl 전극을 사용하였다. 작업 전극과 기준 전극간 setting 전압은 1 V를 인가하였다. 정상상태는 측정전압이 세팅전압의 ±0.01V 이내를 벗어나지 않는 경우로 정의했다. 표준편차는 안정 상태 100초 동안 측정 전압의 값으로 계산했다.

측정전압의 결과, 표1에서와 같이 고정된 P-gain이 0.1에서 1.0으로 증가함에 따라, 정상상태에서의 측정전압의 표준편차는 0.002497에서 0.003017의 차이가 나고 정상 상태까지 걸리는 시간은 307초에서 110초까지 소요되는 것을 확인할 수 있었다. 이와 비교하여 P-gain이 0.1에서 1.0으로 자동제어한 결과 정상상태에서의 측정전압 표준편차는 0.002496으로 P-gain이 0.1로 일정한 경우와 거의 같은 표준편차를 가지면서, 정상 상태까지 소요되는 시간은 150초 가량으로 P-gain이 0.1인 경우와 비교하여 307초에서 150초로 약 1/2로 줄어든 것으로, 정상상태까지 소요되는 구동전압을 단축할 수 있었다.

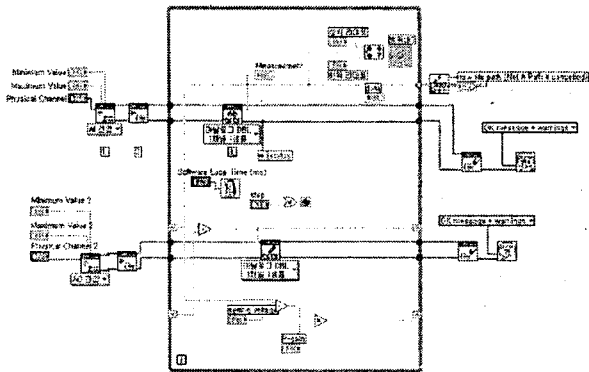


그림 3. Amperometry의 구동전압을 제어하기 위한 LabVIEW 프로그램 코딩 화면

표.1 측정전압의 표준편차와 정상 상태 소요시간

P-gain	0.1	0.5	1.0	Variable (0.1~1.0)
정상상태에서의 측정전압 표준편차	0.002497	0.002528	0.003017	0.002496
정상 상태에 까지 소요되는 시간 (sec)	307	241	110	150

### 2.3 전류 측정 정밀도 향상

Amperometry 측정 시, 구동전압 변화는 측정 전류의 결과에 영향을 미치기 때문에, 전류측정은 구동전압이 안정 상태 내에 있을 경우에만 측정을 해야 한다. 또한, 구동전압이 안정 상태 이후라도 노이즈 등에 의한 구동전압의 흔들림이 있을 동안의 측정전류는 배제되어야 한다. 구동전압이 일정하지 않을 경우의 전류측정값을 배제하기 위해, 그림 4(a)와 같이 전류를 3회 측정된 결과를 1패킷으로 구성하고, 1패킷 내에서 안정상태의 전압이 인가되지 않은 측정값은 배제하고 나머지 값들의 평균을 패킷의 대표값으로 설정하는 알고리즘을 구성하였다. 전류측정의 선택적 배제 알고리즘의 성능을 알아보기 위해, 정상상태의 구동전압을 인가하고 알고리즘의 유/무일 경우를 비교하여 amperometry 측정을 하고, 측정전류의 오차허용치를 초과하는 패킷의 개수를 비교하였다.

측정은 0.1 M KCl 용액 내에서 구동전압을 -0.8 V로 인가하고, 90초 동안 작업 전극과 상대 전극에 흐르는 전류를 측정하고 측정전류의 오차(±50 pA)를 초과한 패킷 개수를 비교하였다. 측정 결과, 구동전압이 -0.8 V 기준 측정전류 0.876 nA에 대해 전류측정 배제 알고리즘이 없는 측정방법은 오차범위(±50 pA) 이상의 측정전류 패킷이 8개가 발생하였고, 오차범위 중 진폭이 가장 큰 것은 70 pA 였다. 그림 4(b)는 전류측정 배제 알고리즘을 사용한 프로그램에서의 전류측정 결과이다.

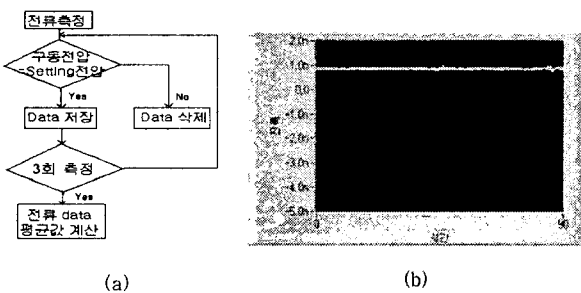


그림 4. 전류측정 배제 알고리즘을 이용한 프로그램과 전류측정 결과. (a) 전류측정 배제 알고리즘, (b) -0.8 V 정전압 인가 시 전류측정 결과

그래프의 측정곡선은, 90초동안 오차범위(±50 pA)를 넘어가는 측정전류 패킷이 발생하지 않음을 의미한다. 전류측정 배제 알고리즘을 사용한 프로그램이 좀 더 정확한 측정 결과를 얻을 수 있음을 확인하였다.

### 2.4 온도 실시간 측정

Amperometry 측정을 하는 동안의 온도 변화를 측정 하기 위해 RTD(Resistance Temperature Detector)센서인 상용 PT100를 사용하였다. 온도측정의 과정은 그림 5(a)와 같이 PT100의 종류(2 wire/3 wire)를 선택하고 종류에 따라 PT100의 저항값을 측정하여 온도저항 table에서 측정저항에 해당하는 온도값을 실시간 화면으로 보여주고 이 과정을 반복한다. 온도측정 프로그램은 측정시스템의 전 과정에서 amperometry 측정과 무관하게 실시간으로 측정이 가능해야 하기 때문에, 독립 루프문으로 프로그램을 구성하였다. 또한 amperometry 측정과 온도측정의 시간매칭을 정확하게 하기 위해 컴퓨터 내부클럭을 이용하여 현재시간으로 사용했다. 구성된 온도 측정 모듈을 이용하여 상온에서 PT100을 1분간 방치한 다음에, 체온을 이용하여 변화하는 온도를 측정했다. 측정결과, 그림 5(b)와 같이 28℃에서 34℃로 변화하는 체온을 실시간으로 측정할 수 있었다.

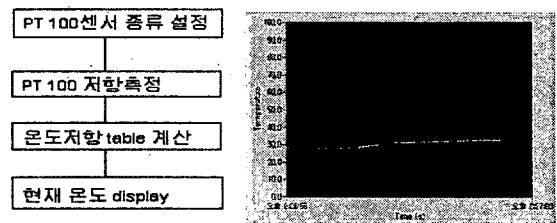


그림 5. 온도측정의 과정과 온도측정모듈을 이용한 체온측정 결과. (a)온도측정 과정, (b)체온측정 결과

## 3. 결 론

LabVIEW를 이용하여 온도와 amperometry를 동시에 측정하는 시스템을 구성하고 측정시간과 측정오차를 개선하였다. Amperometry 측정의 P-gain을 자동 제어하는 방법으로 구동전압의 세팅시간을 307초에서 150초로 단축하여 결과적으로, 측정시간을 150초 줄일 수 있었다. 구동전압을 일정하게 제어하는 방법과 전류측정값을 선택적으로 배제하는 방법을 통해 측정오차를 ±70pA에서 ±50pA 이내로 줄일 수 있었다. 또한 온도값을 amperometry 측정과 동시에 측정하도록 함으로써 온도측정의 결과를 취할 수 있게 되었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] 서화일, 최병, 손병기, "마이크로 산소분압센서용 Potentiostat 및 I-V Converter 회로 설계," 센서학회지 제3권 제3호, pp22, 1994
- [2] Ipek BECER\_IK, Fehmi FIC ICIUGLU, Figen KADIRGAN, "Eect of Temperature on the Electrooxidation of Some Organic Molecules on Pt Doped Conducting Polymer Coated Electrodes," *Turk J Chem* 23 (1999), p353-359.
- [3] Seul Jung and Richard C. Dorf, "Analytic PID Controller Design Technique for A Third Order System," *Conference on Decision and Control 35th, Proc., Japan*, pp. 2513-2517, 1996.
- [4] 박재형, 김승철, 조용성, 최부귀, "퍼지보상기와 퍼지 동조기를 이용한 PID 제어기의 Deadzone을 포함한 시스템제어," *한국해양정보통신학회*, Vol 3, No. 2, pp. 403-410, 2006.