

## 환경물 시료의 휴대용 탁도 측정 장치 개발

한원식 · 김소영\* · 홍태기\*†

한서대학교 문화재보존과학연구센터, \*한서대학교 화학과

## Development of Portable Turbidimeter for Environmental Water Samples

Won-Sik Han, So-Young Kim\*, and Tae-Kee Hong\*†

*The Research Center of Conservation Science for Cultural Heritage, Hansŏ University, Chungnam, Korea*

*\*Department of Chemistry, Hanseo University, Chungnam, Korea*

*Received February 28, 2010/Accepted March 24, 2010*

In this study, we have developed a portable light-scattering turbidimeter by combining an MPU(micro-processing unit, ADuC-848) and an AD/DC converter. In short, the developed device has a simplified circuit structure and showed improved performance. The calibration curve for  $NTU_{\text{manual}}$  vs  $NTU_{\text{sensor}}$  was found to be linear over the range of 0 NTU to 40 NTU. Calibration sensitivity (slope) was and was 0.9996. In addition, the calibration curve for  $NTU_{\text{manual}}$  vs  $NTU_{\text{sensor}}$  was linear over the range of 0 NTU to 400 NTU. Calibration sensitivity is and is 0.9999.

**Key words:** Turbidimeter, Environmental water samples, MCU(ADuC-848).

### 1. 서 론

탁도(turbidity)는 물이나 빛을 투과하는 액체에 부유된 입자들에 의한 빛의 산란(light scatter) 정도를 나타낸다. 빛이 물 시료를 통과 할 때, 빛의 세기는 물에 분산된 작은 알갱이(granule)의 양에 해당한다. 탁도는 콜로이드, 미생물(micro-organism), 서로 다른 입자 크기를 갖는 부유물질, 밀도와 형태에 관한 정량적 개념을 갖게 한다. 특히 탁도계(turbidimeter)는 현장에서 빠르게 분석해야하는 발전소(power plants), 석유화학 산업 및 수도물(tap water) 공급업체에서는 필수적이다.<sup>1-5)</sup>

탁도 측정 장치의 물리적인 설계(광원, 빛의 통과 길이, 검출기 및 증폭회로 등)에 따라 탁도의 측정값에 차이를 유발하게 된다. EPA180-1에서 광원은 텅스텐 램프(2200~3000 K 사이에서의 색 온도에서 작동하는)를 사용하며 빛의 통과 길이는 10 cm를 초과하지 않아야 하고 입사광과 검출기의 각도는  $90^{\circ} \pm 30^{\circ}$ 를 초과하

지 않을 것을 추천하고 있다.<sup>6)</sup> 검출기는 400~600 nm 사이에서 최대 감응을 나타내는 검출기를 사용하여야 한다. 만일 그렇지 않으면 필터를 사용하여야 한다. 그러나 광원으로 텅스텐 램프를 사용할 경우 많은 전력이 소모되므로 휴대용 탁도 측정 장치로 사용하기에는 한계가 있으며 또한 필요한 과정에서 측정할 경우 필터를 사용해야 하기 때문에 불편하다. ISO 7027(EN ISO 7027)에서 광원은 빛을 흡수하는 용해된 물질에 의해서 빛을 흡수하지 않게 하기 위해서 800 nm 이상의 파장을 갖는 광원을 사용하여야 하며 두 가지 방법(부유된 입자들에 의한 산란 또는 감쇠)을 추천하고 있다.<sup>7-9)</sup> 이 광원을 사용할 경우 필터를 사용하지 않기 때문에 측정 장치는 보다 간단해진다는 장점을 가지고 있다. 특히 약 860 nm 부근의 파장을 갖는 LED(Light Emitting Diode)를 허락하고 있어 적은 전력으로도 작동하기 때문에 휴대용 탁도 측정 장치는 주로 ISO 7027에서 허락하고 있는 LED를 사용하고 있다.

본 연구에서는 광원으로 850 nm LED를 사용하였고

†To whom correspondence should be addressed.

E-mail: tkhong1@hanseo.ac.kr

빛의 통과 길이는 10 mm와 22 mm를 동시에 사용할 수 있도록 셀을 제작하였으며 검출기는 최대 감응 파장이 820 nm인 silicon photodiode를 사용하였다. 증폭 및 제어 회로를 위해서는 MCU(microprocessing unit, ADuC-848)를 사용하여 간단하게 설계할 수 있도록 하였다.

## 2. 실험

### 2.1. 시약

Formazone 표준용액을 제조하기 위해 Hydrazine sulfate(Shinyo Pure Chemical Co.)와 Hexamethylenetetramine(Tokyo Chemical Industry) 특급시약을 구입하여 사용하였다. 모든 실험에 사용된 증류수는 탈이온수(deionized water)를 사용하였다.

### 2.2. Formazone 표준용액의 제조

Hydrazine sulfate 1 g을 100 mL-부피플라스크에 넣고 증류수로 녹이고 채운다(A 용액). Hexamethylenetetramine 10 g을 100 mL-부피플라스크에 넣고 증류수로 녹이고 채운다(B 용액). A와 B 용액을 각각 5 mL씩 취하여 100 mL-부피플라스크에 넣고 잘 혼합하여 25±3°C로 24시간 동안 방치한 후 증류수로 희석하여 400 NTU 저장용액을 제조하였다. 이 용액을 실험하기 직전에 0~40 NTU 표준용액과 0~400 NTU 표준용액을 제조하여 사용하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 광원 및 검출기의 선택

측정 장치의 정확도와 정밀도에 가장 크게 영향을 주는 것이 광원과 센서이다. 일반적으로 EPA에서 추천하는 광원은 2200~3000 K의 색 온도로 작동하는 텅스텐 램프를 사용하는데 텅스텐 램프를 사용할 경우 매우 높은 전력이 필요하여 휴대용 탁도계를 만들기가 매우 어려우며 필터를 사용하여야 한다. 그러나 ISO 7027에서는 약 860 nm의 광원을 추천하고 있다. ISO 7027에 의하면 물중에 존재하는 용질(solute)들에 의한 간섭은 800 nm 이상의 파장을 사용함으로써 최소화할 수 있다. 파장이 500 nm 이하의 파장을 사용하면 물속에 존재하는 유기화합물의 흡광도는 매우 큰 오차를 수반하게 된다. 그래서 탁도 측정을 위해서는 긴 파장을 사용함으로써 보다 정확하게 측정할 수 있다. 그러므로

광원은 850 nm 발광다이오드(Light Emitting Diode, LED)를 사용하였다. 850 nm LED를 사용하면 낮은 전압(5 V)을 사용할 수 있으며 수명이 매우 길고 방출광의 세기가 안정하며 매우 낮은 농도에서도 적절한 산란광 세기를 얻을 수 있고 색깔을 띠는 시료의 탁도를 측정할 수 있다.

EPA에서 추천하는 검출기는 400~600 nm 사이에서 최대 감응을 보이는 검출기를 사용하는데 필요에 따라서는 필터를 요구한다. ISO 7027에서는 약 860 nm 부근의 광원을 사용하므로 필터를 사용하지 않아도 된다. 그러므로 820 nm에서 최대 감응을 보이는 silicon photodiode를 사용하였다.

### 3.2. 탁도계의 회로 설계

탁도계의 개략적인 증폭회로는 Fig. 1에서와 같다.

광원 부분은 MCU(Microprocess, ADuC-848)에서 LED 드라이버를 조절하여 LED를 순간적으로 켤 수 있도록 한다. 이 때 사용되는 드라이버는 도시바 TB62706BF를 사용하였다. 이 IC는 16개의 LED를 켤 수 있으며 LED에 일정한 전류를 공급하여 광량을 일정하게 유지시킴으로써 방출광의 세기를 안정하게 해주는 역할을 한다.

검출기는 photodiode를 사용하였으며 photodiode에 흐르는 전류의 세기를 측정하기 위하여 이 흐르는 전류를 증폭회로 National Semiconductor 회사의 LMC6082 Chip을 선택하였다. LMC6082(Precision CMOS Dual Operational Amplifier)를 사용하면 정밀 회로 애플리케이션에 적합한 Low offset voltage, Ultra low input bias current, Rail-to-rail output swing 특성을 가지며 주변회로를 단순화할 수 있고 높은 제품성능을 갖게 한다.

측정된 신호를 제어, 연산 및 display하기 위해서

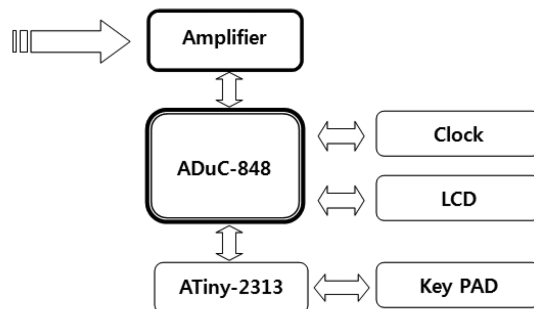


Fig. 1. Block diagram of an amplifier circuit.

ADuC-848 (MicroConverterMultichannel 24-/16-Bit ADCs with Embedded 62 kB Flash and Single-Cycle MCU)를 사용하였다. ADuC-848은 내부에 고성능 16Bit A/D을 갖고 있을 뿐만 아니라, UART, SPI, I2C와 Serial I/O 등이 있어 외부와 통신을 자유롭게 선택할 수 있는 장점이 있다. ADuC-848을 선택하면 주변회로가 간단해지고, 더불어 회로 구성비용이 적게 든다. 또한 프로그램을 포팅하기 위한 In-circuit serial download 를 갖고 있어, 별도의 하드웨어가 필요 없으며, 62-kbyte on-chip Flash/EE program memory와 4-kbyte on-chip Flash/EE data memory가 내부에 있어서 프로그램 하기에 매우 편리한 장점을 갖고 있다. 그 외에도 Standard 8051와 비교하여 프로그램 처리 속도와 데이터 연산속도가 월등히 앞서있는 고성능의 정밀회로 애플리케이션에 적합한 MCU이다. 그러므로 검출기로부터 받은 전압을 74hc4051에서 선택한 후 A/D하기 위하여 LT1806A를 사용하여 양 전압으로 바꾸고 ADuC-848의 A/D부분에 입력한다. 증폭된 신호는 ADuC-848 chip에 있는 A/D을 통해서 변환되고, 내부 회로를 통해서 연산을 수행한다.

출력은 128×64의 그래픽 LCD를 사용하여 결과를 display하였으며, Max232를 사용하여 RS-232C를 사용하여 통신을 할 수 있도록 하였다. 외부에서 원활한 측정을 위하여 Atmel사의 ATiny-2313을 사용하여 보다 다양한 Key을 구성할 수 있도록 배려했다.

### 3.3. 휴대용 탁도계의 프로그램 설계

Turbidimeter의 software program은 5개의 부분으로 나누어진다. metrical subprogram, key board subprogram, serial communication subprogram, metrical calibration range subprogram 및 main manu subprogram. main program은 Fig. 2에서 보여주고 있다.

key-board는 6개의 key로 구성되어있다: main menu, up, down, enter, cancel 및 reset. 어떤 key가 아래로 눌러질 때, press value를 결정하기 위해서 program은 button의 sub-program으로 들어간다. main menu를 누를 때, menu p 가 나타날 것이다. main menu는 turbidity 측정, former는 tuve search, dark eletric는 turbid 및 calibratich, r p의 선택으로 구성되어 있다. 마지막으로 두 영역으로 나누어진다: 0~40 NTU와 0~400 NTU. 이 영역에서의 slope를 결정하고 Flash에 저장한다. 그들은 언제든지 측정을 위해서 이용될 수 있다. 이렇게 설계된 탁도 측정 장치는 Fig. 3

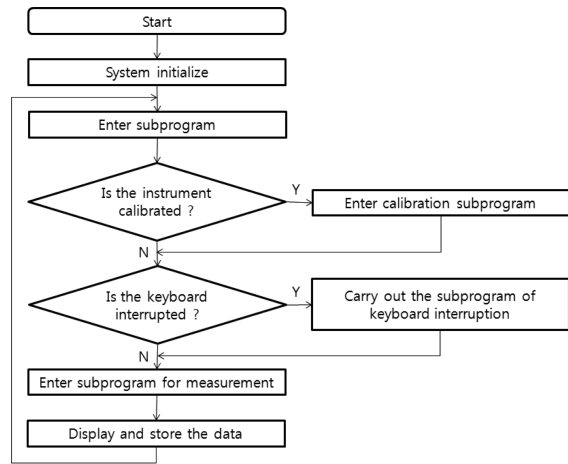


Fig. 2. Main program flow chart.



Fig. 3. Photograph of new turbidimeter.

에서와 같다.

### 3.4. 검정곡선의 작성

바탕시료로는 증류수를 이용하고 NTU 표준용액을 제조하여 탁도를 측정하였다. 측정하기 전 표준 용액이 담긴 셀을 Vortex-mixer를 사용하여 1분간 교반을 시켜준 후, 탁도계에서 2분간 방치한 후 탁도 측정을 하였다. 이 실험은 재현성을 위해 한 용액마다 7회 측정하였으며, 이들의 평균값으로부터 0 NTU~40 NTU와 0 NTU~400 NTU에 대한 검정곡선을 각각 작성하였다 (Fig. 4와 Fig. 5). 0 NTU~40 NTU 범위에서의 검정곡선에 대한 검정감도는 이고 이었으며 중간농도인 20 NTU에서의 7번 측정된 값의 표준편차(s)는 0.020

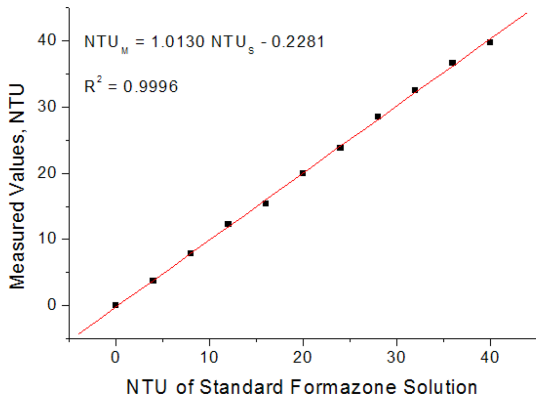


Fig. 4. Calibration curve for 0 NTU to 40 NTU ranges.

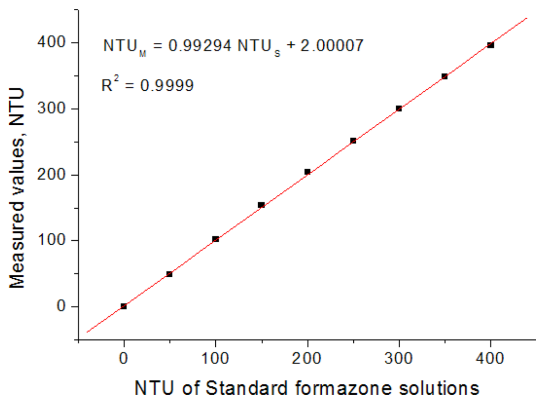


Fig. 5. Calibration curve for 0 NTU to 400 NTU ranges.

NTU 이었다. 0 NTU~400 NTU 범위에서의 검정곡선에 대한 검정감도는 이고 이었으며 중간농도인 200 NTU에서의 7번 측정된 값의 표준편차(s)는 0.098 NTU이었다.

#### 4. 결 론

탁도계의 설계를 위해 AD/DC 변환기를 가진 CPU와 photodiode와 LED를 선택하고 Data를 저장하는 EEPROM, Keyboard를 통한 Key controller, Data를 나타내는 LCD 및 모든 IC들과 CPU 및 전원공급 장치를 포함하고 있어야 한다. 이들을 작동시키기 위한 전원 부분, CPU와 clock 부분, LCD와 LED selector 부분 및 Photo-sensor 부분에 대한 회로를 설계하였다.

광원은  $\pm 5$  V에서 작동될 수 있는 850 nm 파장을 갖

는 LED를 사용하였고 검출기로는 820 nm에서 최대 감응을 보이는 silicon photodiode를 사용하였다. Turbidimeter의 software program은 5개의 부분(metrical subprogram, key board subprogram, serial communication subprogram, metrical calibration range subprogram 및 main manu subprogram. main program)으로 나누어 program되었으며 와 인 두 영역에서의 slope를 결정하고 Flash에 저장하여 측정값을 직접 읽을 수 있도록 하였다.

0 NTU~40 NTU 범위에서의 검정곡선에 대한 검정감도는 이고 이었으며 중간농도인 20 NTU에서의 7번 측정된 값에 대한 표준편차(s)는 0.020 NTU이었다. 그리고 0~400 NTU 범위에서의 검정곡선에 대한 검정감도는 이고 이었으며 중간농도인 200 NTU에서의 7번 측정된 값에 대한 표준편차(s)는 0.098 NTU이었다. 새로이 제작된 탁도 측정 장치는 먹는 물에서 폐수에 이르기까지 폭넓은 범위의 환경 물 시료에 대한 탁도를 측정할 수 있는 매우 훌륭한 휴대용 탁도 측정 장치라 할 수 있다.

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

#### 참고문헌

1. Vans, Jason J., *Journal of Chemical Education*, **2000**, 77, 1609-1611.
2. Sun, H. W., and Sun, B. L., *Physical Testing and Chemical Analysis, Part B: Chemical Analysis*, **2001**, 37, 179-184.
3. Pavanelli, D., *Biosystems Engineering*, **2005**, 90, 75-83.
4. Wang, N. N., Zheng, G., and Xiao, S.C., *Particulate Science and Technology*, **1994**, 12, 115.
5. Diniz, Maria-Celeste T., *Laboratory Robotics and Automation*, **2000**, 12, 236-240.
6. EPA Method 180-1
7. The European Committee for Standardization (1994), *European Standard*, EN ISO 7027, 1st Edn, Brussels.
8. The International Organization for Standardization (1990), *International Standard*, ISO 7027, 2nd Edn, Geneva.
9. Dag Hongve and Gunvor Akesson, *Water Research*, **1998**, 32, 3143-3145.