

## 통합 수질계측 시스템 개발

### A development of integrated water-quality measurement system

양근호\*

Keun-Ho Yang\*

#### 요약

대형 정수장에서 개인수도꼭지까지 전체 급수 설비에서 수질은 반드시 먹는 물 수질기준을 만족해야 한다. 그러나 현재까지도 수도물의 공급과정은 과학적으로 모니터링되거나 관리되지 못하고 있다. 수도물 특히 대부분의 작은 규모의 정수장은 항상 다양한 오염원 및 불순물 등에 노출되어 있다.

최근 일부 대형 정수장이나 배수지 등에 수질감시 시스템이 사용되고 있다. 특히 인터넷을 이용한 수질 모니터링 방법이 일부 지방자치단체에 도입되었으며 이 시스템은 해당 지역주민들이 언제 어디서나 수질을 확인할 수 있도록 되어있다. 그러나 이 시스템, 즉 대형 시스템에 사용되는 이 방법은 매우 높은 비용을 필요로 하고 이로 인해 아파트, 공공시설, 소규모의 지하저수조 및 고가(高架)저수조와 같은 소규모 급수설비에는 적용하기가 곤란하다.

따라서 본 연구에서는 저가의 개별 수질측정 센서모듈에 대한 통합시스템을 제안한다. 개발된 통합 시스템과 인터넷상에서 동작하는 모니터링 프로그램을 이용하여 저수조 시스템 관리자는 음용수에 대한 수질 특성치를 실시간으로 관리할 수 있다. 또한 제안된 시스템이 모듈화 되어있기 때문에 크고 작고의 규모에 관계없이 저비용으로 다양한 저수조나 정수장에 쉽게 설치할 수 있다.

#### Abstract

The quality of tap water on the whole water-supply system, from a large filtration plant to a private faucet, has to be guaranteed the standards of drinking water. At this point in time, however, the supply process of the tap water has not been monitored and managed scientifically. The piped water, especially the most small-scale reservoirs(underground or overhead type) are always exposed to various contaminations and impurities.

Recently monitoring systems of water-quality were spread on some large filtration plants or distributing reservoirs. In particular, the water quality monitoring method using the internet is adopted into some local government whose inhabitants can check up the water quality anytime and anywhere. The construction of this system that has to apply a large scale needs, and has a limitation on the small water-supply system, such as apartments, public facilities and small-scale underground or overhead reservoirs.

In this work, we suggest the integration system of individual water-quality sensor modules that have a low price. By using the developed integration system and monitoring program operated on the internet, the system managers of reservoirs can monitor and manage water-quality characteristic values of drinking water in online. Since the proposed system was modularized, the system can be applied easily into various reservoirs with a low cost and regardless of its scale, small or large.

**Keywords** : reservoir, water-quality, water-quality sensor, integration of sensor models

#### I. 서론

아파트, 대형건물 등 공공시설의 지하저수조, 고가저수조 및 배수지 등은 항상 수질오염에 노출될 수 있는 환경에 놓여 있다. 시설물의 노후, 재질의 부식, 유지관리의 미흡함으로 인해 시설 자체의 내구성과 수질의 안전성에

문제가 발생되고 있다. 급수설비를 포함한 상수도 시스템 내의 물 저장시설에 대하여 지속적인 수질모니터링을 실시함으로써 유지관리를 최적화하고, 수질오염에 대한 문제를 해결할 수 있도록 수질 데이터를 축적하여 오염원을 찾아 제거하여 정수장에서 수도꼭지까지 안전한 수도물을 공급할 수 있다.

수질 연속 자동 측정장치를 이용한 수질계측은 주로 탁도, 잔류염소농도, 전기전도도, pH, 수온, 중금속 등의 항목을 공정별로 수행하고 있다. 항목별로 측정방법에 따라 동시에 연속측정 및 통합 관리한다. 그러나 수질계측용 센서들은 측정방식 및 센서의 특성에 따라 계측 센서

\*한려대학교 멀티미디어정보통신공학과

논문 번호 : 2007-3-5      접수 일자 : 2007. 6. 11

심사 완료 : 2007. 7. 18

\*본 연구는 환경부 Eco-STAR Project 수행기관인 수처리선진화사업단(과제번호:

I<sup>2</sup>WATERTECH 04-3)의 연구비 지원에 의해 수행되었으며 이에 감사드립니다.

상호간의 간섭이 발생하고, 신호전달 체계의 일원화로 계측정보를 정확하게 전달할 수 없는 원활하게 이루어지지 않는 등의 문제점이 발생하고 있다[1-3].

현재 국내외에서 개발되어 사용하고 있는 수질계측기의 종류는 많이 있다. 그 중에서 “먹는물수질공정시험방법”에 적합한 계측기들도 국내외에서 많이 개발되어 사용하고 있다. 그러나 현재 수질계측기의 이용 추세는 하나의 계측기에서 공정별 수질관리에 필요한 항목을 통합 계측하는 것이며, 이러한 조건에 맞는 계측기 및 센서가 미국, 독일, 일본 등에서 개발되어 국내에 수입·판매되고 있다[4-8].

현재 국내에 수입·판매 중인 수질계측센서 통합장치는 주로 하천수 등과 같은 원수의 측정에 적합하며, 가격이 고가이다. In-Situ사의 Troll-9500은 탁도, 전도도, 수온, DO, ORP 및 염화물 등의 이온성분 등의 측정이 가능하며[4], YSI사의 YSI-6600[5], Hydrolab사의 DS5[6], UIT사의 MSM[7] 및 DKK-TOA사의 WQC-24[8] 등은 TDO, 클로로필, 이산화탄소, 암모니아 등의 측정이 가능하다. 탁도의 측정범위는 0~10,000NTU 등과 같이 측정범위가 넓기 때문에 0.5NTU이하의 저탁도 측정에 부적합하며, 잔류염소농도의 경우도 마찬가지로 이유로 먹는 물과 같은 저농도 측정에 부적합하기 때문에 하천 또는 호수 등의 수질측정에 적합한 통합계측센서이며, 가격이 고가이다.

국내 먹는 물에 대한 수질측정 기반기술을 확보하고 수질계측센서의 융합기술을 개발하여 연속수질측정데이터의 정도를 높이고, 정확하고 체계적인 수질관리를 할 수 있는 수질제어 정보를 생성할 필요성이 제기되고 있다. pH, 잔류염소, 전도도 등은 전극방식을 이용한 측정 방법으로서 상호 간섭을 받기 때문에 동시에 연속측정이 어렵다. 따라서 상수원에서 생산한 수돗물을 수송가까지 공급하는 과정에서 공정별로 수질을 모니터링하여 공정 제어에 필요한 pH, 탁도, 잔류염소, 전도도 및 수온 등을 계측하고 그 결과를 제어정보로 활용할 수 있는 센서융합기술 개발이 필요하다. 즉 미국의 EPA 기준 및 국내의 “먹는물수질공정시험방법”에 적합하고 각각의 센서 특성에 맞는 효율적인 상수도용 수질계측센서 통합기술 개발이 절실하다[9-13].

그림 1에서 보인 바와 같이 현재 정수장, 배수지 등의 수질 모니터링 시스템이 보급되고 있으며, 일부 지방자치단체에서는 수질 모니터링을 인터넷과 연동하여 주민들이 언제든지 수돗물에 대한 수질을 모니터링 할 수 있는 시스템을 구축하고 있다. 그러나 이러한 시스템은 물을 순환시키면서 각각의 계측기별로 측정하도록 시설하기 때문에 구축 비용이 많이 소요되고 있다. 아파트, 공공시설 등의 고가저수조, 지하저수조 등에 대한 수질모니터링 시스템 구축의 필요성은 제기되고 있으나 정수장 또는 배수지 등과 같이 고가의 설비를 도입할 수 없다. 수질 측정 시스템에서 가장 많은 비용을 차지하는 부분이 센서 등 수질 측정장치이기 때문에 각각의 센서를 이용하여 수질을 실시간 통합계측이 가능하며 가격이 저렴한 모듈

을 개발한다.

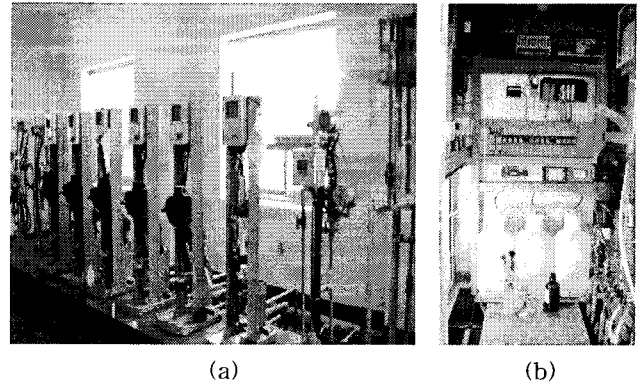


그림 1. 샘플링 방식 수질모니터링 시스템  
Fig. 1. Water quality monitoring system using sampling method

## II. 통합 수질측정의 특징

잔류염소, 전도도, pH, 탁도, 온도 등과 같이 먹는 물의 대표적인 수질측정항목 중에서 연속측정이 가능한 전극 방식은 잔류염소, 전도도, pH이다. 탁도는 빛의 산란을 이용하며, 온도는 열전대형 또는 측온저항체를 이용하기 때문에 전극 상호간의 간섭을 일으키지 않는다. 그 이유는 잔류염소, 전도도 및 pH는 저수조내의 물 자체가 전류를 흐르는 매개체 역할을 함으로써 측정장치와 전기적으로 루프를 형성하기 때문에 상호 간섭을 일으킨다. 그러나 탁도와 온도는 물에 전류가 흐르는 매개체로 이용되지 않기 때문에 전기적인 루프가 끊어진 상태이므로 간섭을 일으키지 않는다.

일반적으로 전극센서 또는 전극센서 증폭기의 출력은 직류성분이므로 이 전압을 A/D변환 후에 전기적으로 분리하여 상호간 간섭을 제거하기 위하여 포트커플러를 이용하여 마스터 프로세서에게 데이터 값을 전송하는 방식을 채택하면 쉽게 구현할 수 있다. 즉 다항목 수질측정은 측정 방법에 따라 상호 간섭이 쉽게 발생하거나 측정값의 정확도에 매우 큰 영향을 미친다. 따라서 화학적 반응에 의해 발생하는 기전력을 이용한 수질 측정장치는 측정의 용이성은 있으나 정확성이 저하되는 단점이 있다. 그림 2는 먹는 물에 특성을 나타내는 5가지 항목에 대한 측정방법을 나타내었다.

잔류염소농도와 수소이온농도(pH)는 이온전극의 특성상 매우 심한 간섭과 영향을 미치기 때문에 전원분리방법에 의해서 측정된 데이터를 마스터 프로세서에 데이터를 전송하고 탁도, 전도도, 수온은 통합해서 측정하도록 설계한다.

그림 3은 마스터 프로세서의 기능을 나타낸 것으로서 슬레이브 프로세서로부터 데이터를 전송받거나 직접 계측한 수질데이터를 메모리에 저장하며, LCD에 디스플레이하고 RS-232와 TCP/IP 통신을 지원한다.

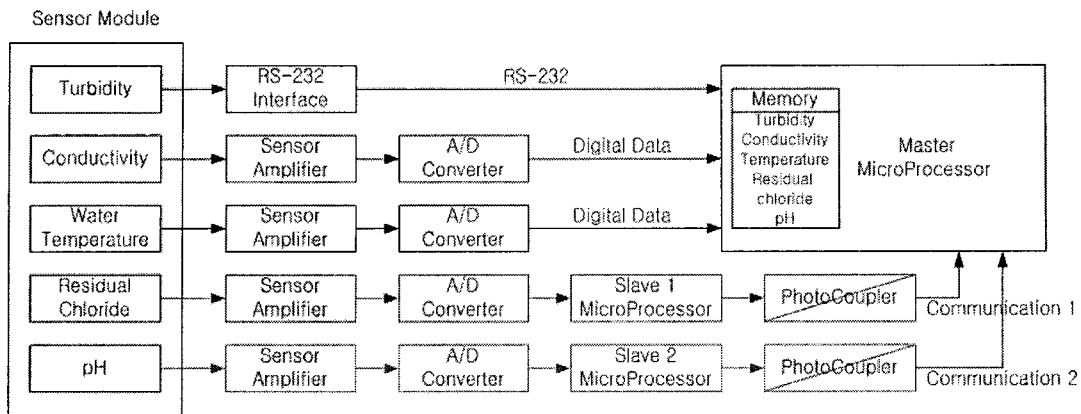


그림 2. 통합 수질 측정 및 감시 시스템의 블록도

Fig. 2. The block diagram of integrated water quality measurements and monitoring system

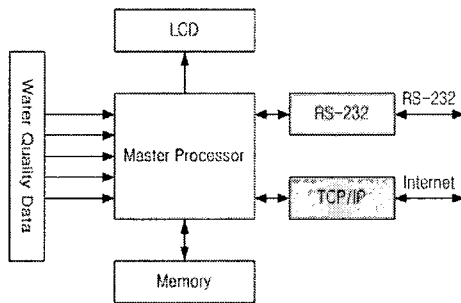


그림 3. 마스터 프로세서의 기능

Fig. 3. The functions of master processor

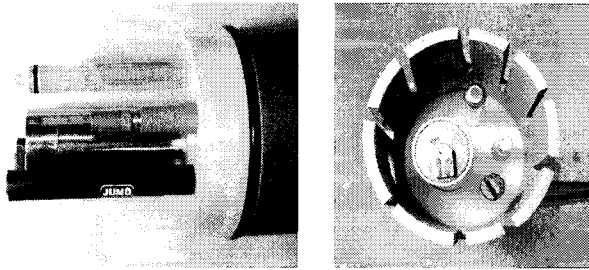
### III. 통합 수질 감시 시스템 및 센서 모듈 개발

탁도, 수온, 전도도, 잔류염소농도 및 pH 농도는 수질을 평가하는데 있어서 중요한 인자이다. 특히 염소는 저수조의 대장균 등 세균번식을 억제하는 소독제로서 0.3ppm 정도의 일정 농도를 유지해야 한다. 만약 잔류염소 농도가 낮으면 세균이 번식할 수 있으며 높다면 수도물에서 소독약 냄새가 심하게 나서 식수로 사용할 수 없다. 따라서 고가저수조 또는 지하저수조 등에서 각 가정에 수도물을 공급하기 전에 일정한 수준의 수질을 유지해야만 양질의 수도물을 수용가에 공급할 수 있다.

저수조의 수질을 모니터링하고 염소투입 또는 수위 유지 등의 기능을 수행하는 시스템은 설치가 복잡하며 수질계측 데이터를 획득하기 위하여 저수조의 물을 별도의 배관을 통해 샘플링하여 측정하는 방법을 사용한다. 따라서 탁도, 잔류염소농도, 수온 및 수위레벨 뿐만 아니라 전도도와 pH 농도를 측정하기 위한 센서를 그림 4와 같이 하나로 통합하여 측정할 수 있는 센서모듈을 만들어 저수조 안에 투입하여 측정하는 침지형 측정방법은 저수조

수질을 직접 측정하기 때문에 정확한 저수조의 수질을 측정할 수 있으며, 기존 건물의 저수조에 샘플링 방식으로 수질을 측정하기 위한 물 순환장치를 설치할 필요가 없기 때문에 시스템 자체가 간단하게 된다. 본 연구에서 개발한 통합 수질감시시스템 및 침지형 센서모듈은 저수조의 수질상태 변화를 실시간으로 모니터링이 가능하며, 직접 인터넷망과 연계하여 본인이 먹는 수도물의 상태를 확인할 수 있다. 현재 수입·판매되고 있는 제품은 잔류염소농도 측정할 수 없지만 그림 4에 나타낸 센서모듈은 잔류염소농도, pH, 전도도, 수온 및 탁도를 동시에 측정이 가능한 통합 센서 모듈이다. 탁도센서는 90도 적외선 산란광 측정법이며, 측정범위는 0NTU부터 40NTU까지이며, 먹는 물 기준 측정에 적합한 분해능을 갖는다. 잔류염소농도는 갈바닉 전극법을 사용한 센서이다. 측정범위는 0.0~2.0ppm까지이다. pH는 유리전극법을 사용하여 -160mV에서 +160mV 기전력을 pH 농도로 환산하여 측정하며 0~14pH 측정범위를 가지며, 전도도는 기준전압을 공급하고 센서에 흐르는 전류변화를 감지하여 0~1000 $\mu$ S/cm의 측정범위를 갖도록 하였으며, 수온은 온도의 변화에 따라 저항값이 변하는 Pt100 측온저항체를 사용하였으며, 측정범위는 -25 $^{\circ}$ C에서 +60 $^{\circ}$ C를 갖도록 제작하였다.

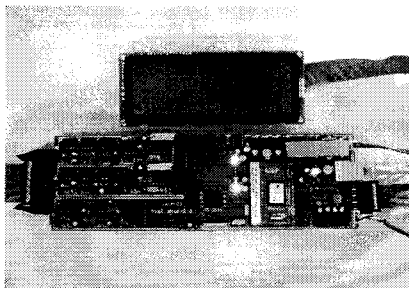
그림 5는 수질 통합 계측보드를 보인 것으로 이것은 직경이 80mm인 원통형 하우징에 인입이 될 수 있도록 만들었다. 그림 6은 실제 100톤 규모의 고가저수조에 75톤 정도의 수량이 있는 실제 물탱크에 개발한 통합 수질 측정장치를 설치하여 측정된 값을 인터넷망을 통하여 서버로 전송하고 전송된 데이터를 그림 7과 같이 모니터링 프로그램으로 수온, pH, 잔류염소농도, 전도도 및 탁도와 저수용량을 실시간으로 계측한다.



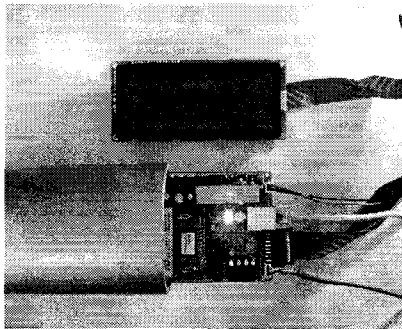
(a) (b)

그림 4. 통합 센서 모듈

Fig. 4. The module of integrated sensors



(a)



(b)

그림 5. 통합 수질계측 보드

Fig. 5. The PCB board of integrated water quality measurement

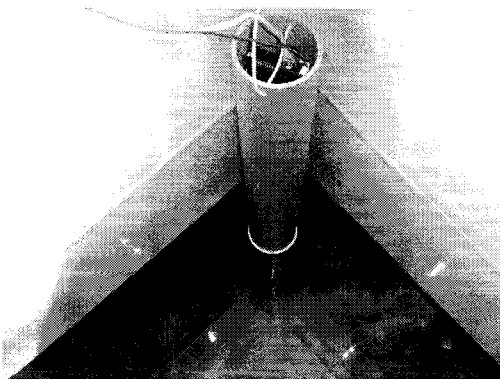


그림 6. 저수조에 통합 수질계측기의 설치

Fig. 6. The installation of integrated sensor module

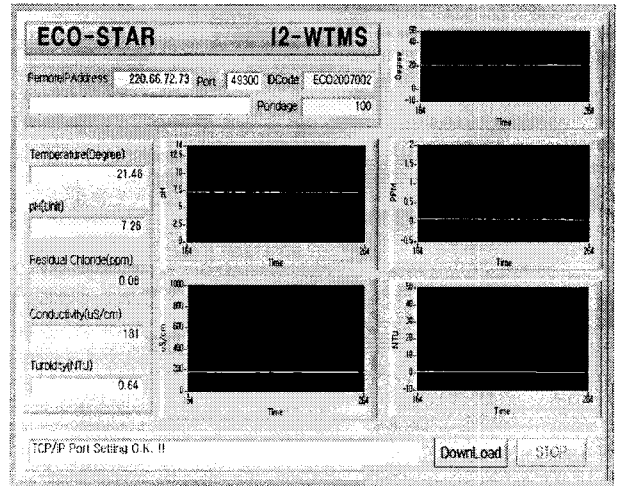


그림 7. 통합 수질 모니터링 프로그램

Fig. 7. The monitoring program of integrated water quality

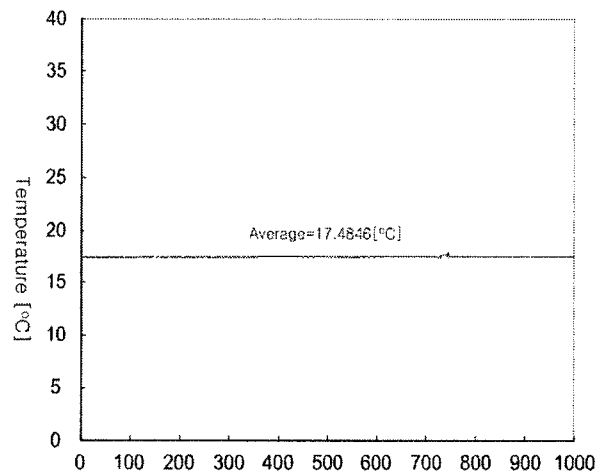


그림 8. 수온

Fig. 8. Water temperature

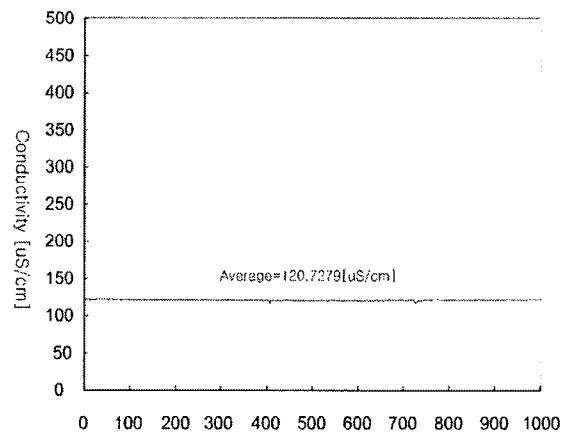


그림 9. 전도도

Fig. 9. Conductivity

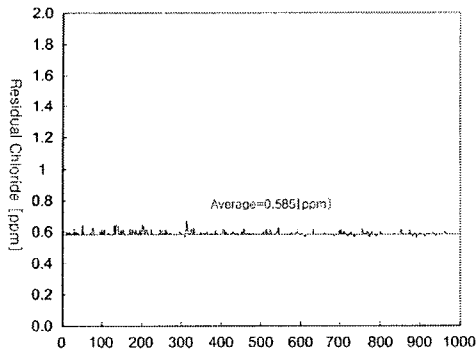


그림 10. 잔류염소농도

Fig. 10. Residual chloride concentration

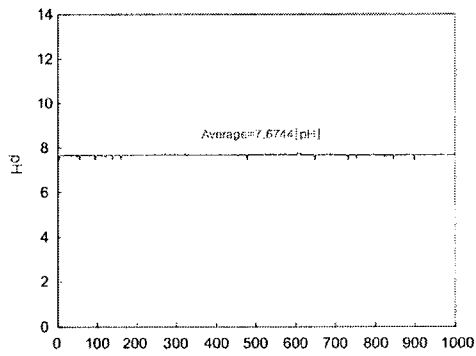


그림 11. 수소이온농도

Fig. 11. pH

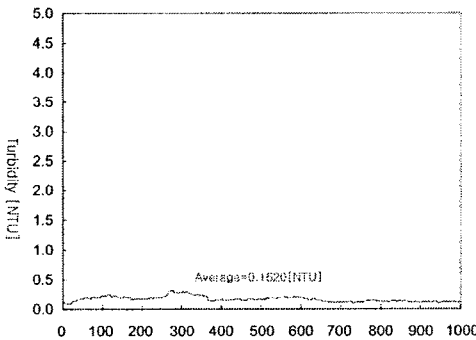


그림 12. 탁도

Fig. 12. Turbidity

그림 8에서 그림 12까지는 5가지 수질측정항목을 초당 하나의 데이터를 수집하여 각각 1000초 동안 계측한 데이터를 그래프로 그린 것으로 측정값이 안정된 경향을 보여주고 있다.

표 1은 개발된 시스템에 대한 결과를 요약한 것이며, 수입품은 강물, 저수지 등과 같은 원수(原水)에 대한 수질측정에 적합하며, 수돗물에 대한 기본 측정항목인 잔류염소농도 측정이 불가능하다[14].

수질계측에 있어서 각 센서들은 유속의 영향을 받기 때문에 만약 저수조에서 입수 또는 출수가 있는 관로 부근에 설치하였을 때와 저수조에서 유속이 거의 없는 장소

에 설치하였을 때 측정값이 다를 수 있다. 따라서 본 연구에서 개발한 통합 수질계측 센서와 모니터링은 수질의 정확한 측정에 주안점을 두기보다는 장기적으로 수질변화를 모니터링 하는데 목적을 두고 개발하였다.

#### IV. 결론 및 향후 연구 방향

본 연구에서 개발한 장치는 “먹는물수질공정시험방법”을 충족하고 연속자동수질측정이 가능한 시스템이다. 특히 센서모듈을 침지형으로 개발함으로써 설치 및 관리가 용이하다. 아파트, 공공건물의 고가저수조 또는 지하저수조에 대한 지속적인 수질감시를 통하여 저수조의 리모델링에 대한 데이터베이스를 저렴한 가격으로 구축할 수 있다.

본 연구결과는 향후 저수조뿐만 아니라 관로에 대한 수질모니터링을 통하여 정수장에서 수도꼭지까지 모든 급수설비에서의 수질변화를 감시하고 관리함으로써 양질의 수돗물 공급 시스템을 구축하는데 많은 활용이 기대된다.

표 1. 개발된 시스템의 결과

Table 1. The results of developed system

항목	내 용	
외형	- 소형화로 설치공간의 최소화 - 데이터로거 : 센서통합모듈형 - 센서 : 침지형 - 모니터링 : 인터넷망, 액정표시기, RS-232	
가격	기존 장비 가격의 50%이상 저감	
성능	환경기술개발 및 지원에 관한 법률에 규정하는 먹는 물 분야 형식승인 및 정도검사 기준에 준하는 기기[15-18]	
측정 항목	측정항목: pH, 전도도, 온도, 탁도, 잔류염소, 저수용량	
	수온	측정범위 : -20~60℃ 정확도 : ±0.01℃ 분해능 : 0.001℃
	잔류염소	측정범위 : 0~10 ppm 정확도 : ±0.01 ppm 분해능 : 0.001 ppm
	전도도	측정범위 : 0~1000 μS/cm 정확도 : ±0.01 μS/cm 분해능 : 0.001 μS/cm
	pH	측정범위 : 0~14 pH 정확도 : ±0.01 pH 분해능 : 0.001 pH
	탁도	측정범위 : 0~40 NTU 정확도 : ±0.01 NTU 분해능 : 0.001 NTU
유지 보수 기간	- 조작이 간편하고 설치가 용이한 시스템 - 시스템의 작동상태를 온라인으로 감시	

현장에 적합한 측정 항목 선택 가능

통합/연속 측정

참 고 문 헌

- [1] 환경부 고시 제2002-91호, 먹는 물 수질 공정시험 방법, 환경부, 2002
- [2] 환경부령 제122호, 먹는 물 수질기준 및 검사 등에 관한 규칙, 환경부, 2002
- [3] 환경부 고시 제2002-106호, 정수처리에 관한 기준, 환경부, 2002
- [4] In-Sute Inc, Multi-Parameter TROLL 9500 technical note, <http://www.in-situ.com>, USA
- [5] YSI Inc, YSI 6 Series technical note, <http://www.ysi.com>, USA,
- [6] Hach Company, Hydrolab DS5X, DS5, and MS5 water quality multiprobes User Manual, <http://www.hachenvironmental.com>, USA
- [7] UIT Inc, Multi-Sensor Module MSM data sheets, <http://www.uit-gmbh.de>, Germany
- [8] DKK-TOA, WQC-24 data sheet, <http://www.toadkk.co.jp>, Japan
- [9] EPA 120.1, Conductance (Specific Conductance,  $\mu\text{mhos at } 25^\circ\text{C}$ ), US Environmental Protection Agency
- [10] EPA 150.1, pH (Electrometric), US Environmental Protection Agency
- [11] EPA 170.1, Temperature (Themometric), US Environmental Protection Agency
- [12] EPA 180.1, Turbidity (Nephelometric), US Environmental Protection Agency
- [13] EPA 330.5, Chlorine, Total Residual (Spectrophotometric, DPD)
- [14] 양근호, 유병국, “수질 계측센서의 성능분석 및 센서 융합기술에 관한 연구,” 한국신호처리시스템학회, Vol.7, No.3, pp.143-148, July, 2006.
- [15] 환경관리공단, 정수장 자동측정설비의 정도관리 방안 수립을 위한 연구“ 최종보고서, 2003
- [16] 엽병호, 수돗물의 수질편람, 양서각, 2001
- [17] 환경부, 상하수도 시설기준, 2004
- [18] 환경부 고시 제2004-188호, 수질오염 공정시험 방법, 환경부, 2002



양 근 호(Keun-Ho Yang)

1989년 2월 전북대 전자공학과(공학사)

1991년 8월 전북대 전자공학과(공학석사)

1999년 2월 전북대 전자공학과(공학박사)

1995년 3월 ~ 현재 한려대학교 멀티미디어정보통신공학과 교수

관심분야 : 영상신호처리, 디지털신호처리 및 응용, 수질계측시스템