

온라인 수질 감시 시스템의 개발

김재철*, 이재윤**, 박종식*, 권우현*, 김승호*, 이찬원**

Development of On-line Water Quality Monitoring System

Jae Chul Kim*, Jae Yun Lee**, Jong Sik Park*, Woo Hyen Kwon*,
Sung Ho Kim*, Chan Won Lee**

요 약

본 논문에서는 실시간으로 수질을 감시하기 위한 온라인 감시시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 중앙 감시 제어부, 데이터 수집기 및 단위 오염 성분 측정기들로 구성되며, 이들을 계층적인 구조로 체계적으로 결합시켜 융통성과 확장성을 가지도록하여 효율적인 데이터 수집 및 관리가 이루어지도록 하였다. 또한 수질측정의 기본이 되는 물의 염도, 전기전도도, 온도, 용존산소량 및 대장균 측정기를 원격 무인 측정이 가능하도록 설계 제작하였다.

Abstract

Real time water quality monitoring system in a large area has been developed. The system is hierarchically composed of CCMS(Central Control and Monitoring System), data loggers and water pollution measuring instruments, which enable systematic and efficient data collection and management. Also in this work we designed and constructed the instruments for measuring basic elements in water quality such as salinity, electrical conductivity, temperature, dissolved oxygen and the amount of coli in water.

1. 서 론

산업화에 따른 환경오염은 단순한 경각심이 아니라 이제는 우리가 시급히 해결해야 할 현실이 되었다. 특히 많은 양의 식수를 강에서 채취하고 있는 우리의 실정

으로는 강이나 저수지들에 대한 수질 온라인(on-line) 감시 시스템의 구축 및 네트워크화는 빠른 기간 내에 전국적으로 확산되어야 할 현실적인 과제이다.^{1)~3)}

환경 감시 시스템의 개발을 위해서는 계측기술, 신호처리기술 및 데이터 관리 기술^{4)~6)} 등의 다양한 분야의 기술이 필요하다. 계측기술은 다양한 환경오염 물질을 효과적으로 감지하기 위하여 오염에 따른 물리적, 화학적 변화를 전기적 신호로 변환시키는 센서기술과 온라인 무인상태에서도 연속측정이 가능하도록 하는 원격제어와 센서의 세척 및 교정을 위한 메카트로닉스 기술이며, 신호처리기술은 센서로부터 나오는 미세한 신호를 증폭하고 또 잡음을 제거하기 위한 신호의 변환 및 조작기술이다. 그리고 데이터 관리 기술은 온라인으로 광역에 걸쳐서 감시시스템을 구축하기 위한 통신제어, 데이터관리를 위한 컴퓨터 네트워크 기술이다.

* 경북대학교 전자전기공학과
(Dept. of Electronics & Electrical Engineering,
KyungPook Nat. Univ.)

** 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)
◦ 경북대학교 컴퓨터공학과
(Dept. of Computer Engineering, KyungPook
Nat. Univ.)
◦ 경남대학교 환경보호학과
(Dept. of Environ. Protection, KyungNam Univ.)
<접수일자 : 1996년 3월 2일>

광역에 걸친 환경감시 시스템은 컴퓨터 기술의 발전 및 비용의 저렴화에 의해서 1980년대부터 외국에서 개발되어 현재까지 국내에 도입되어 사용하고 있는 실정이다. 본 연구는 상기된 다양한 기술을 체계적으로 적용하여 온라인 수질감시시스템의 국산화 개발 및 상품화의 토대를 마련하였다는데 그 의의가 있다.

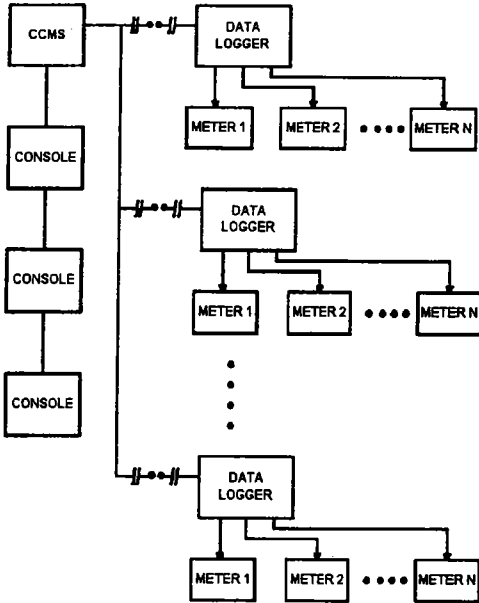


그림 1. 수질 감시 시스템의 구성도.
Fig. 1. Configuration of water quality monitoring system.

그림 1은 본 연구를 통하여 개발된 수질 오염 감시 시스템의 개요도이다. 환경오염 감시 시스템의 하드웨어는 계층적으로 중앙 감시 제어부, 데이터 수집기 및 단위 오염 성분 측정기들로 구성된다. 단위 오염 성분 측정기는 센서를 통하여 입력된 신호를 변환하여 측정값을 표시하여 주고 표준화된 출력을 데이터 수집기에 제공한다. 또한 이 측정기들은 데이터 수집기의 제어에 의하여 초기화되거나 자동교정 등의 동작을 수행한다. 데이터 수집기는 단위 오염 성분 측정기들을 관리하고 이들로부터 입력되는 측정 데이터를 관리 저장하고 중앙 감시 제어부의 요구가 있으면 필요한 데이터를 모뎀을 통하여 출력한다. 중앙 감시 제어부는 주컴퓨터를 중심으로 하여 구성되어 있으며 데이터 수집기들을 감시 제어하고 연결된 단말기들에게 필요한 자료를 제공하도록 하였다.

2. 데이터 수집기

데이터 수집기(Data logger)는 단위수질 감시기로서 단위측정기를 하부에 거느리고 상위 제어부인 중앙감시부와 모뎀통신으로 연결된다. 따라서 데이터수집기는 측정기에서 측정된 자료를 수집, 분석 및 저장하고 실시간으로 중앙감시시스템의 주 컴퓨터와 통신하여 측정데이터를 보낸다. 또한 필요시에는 주컴퓨터의 원격제어에 의하여 각종 측정기의 동작상태를 제어하거나 교정을 지시하게 된다. 그림 2는 데이터 수집기의 구성도를 표시한다. 데이터 수집기는 RS422로 네트워크화된 온라인 측정기와 PC로 실현한 지역데이터수집기(local data logger)로 구성되어 있다. 이는 주와 종의 제어 개념을 도입하여 한 통신선로에 병렬로 여러 개를 접속하여 사용하는 멀티드롭(multi-drop) 방식이다.

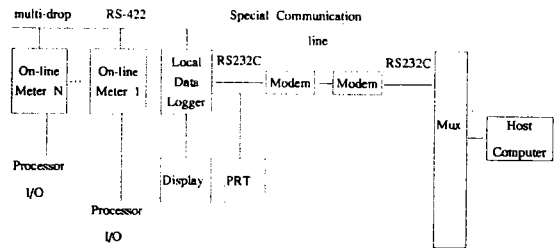


그림 2. 데이터 수집기의 구성예.
Fig. 2. System configuration example of data logger.

2-1. 온라인 측정기

온라인 측정기는 여러 개의 단위 측정기를 관장하여, 측정치를 읽어들이고 각 측정기의 현재 동작상태를 파악하며, 측정기의 측정 오차를 줄이기 위하여 특정 시간 간격으로 자체 점검이나 자체 진단 등을 시행하도록 제어할 수 있어야 한다. 개발된 온라인 측정기의 사양은 표 1과 같다.

아날로그 신호측은 4개의 입출력(input/output)을 기본 단위로 하며, 디지털 신호측은 8개의 입출력 신호를 기본 단위로 모듈(module)별로 설계하고, 확장 가능하도록 하였다. 그림 3은 제작된 온라인 측정기의 내부 구성도이다.

온라인 측정기는 1개의 통신망을 가지며, 여러 개의 온라인 측정기가 이 통신망을 병렬로 사용하여 지역 데이터 수집기와 연결된다. 이런 경우 한 통신선로를 여러 온라인 측정기가 공유해야 하므로 가장 일반적인

2-3 데이터 수집기의 소프트웨어

데이터 수집기는 단위오염 측정기로 부터 측정된 정보를 수집 정리하여 중앙 감시국에 전송하여야 하며, 이때에는 통신상 발생할 수 있는 잡음이나 접속에 의한 오류를 제거하기 위하여 통신 규약(protocol)을 사용한다. 이러한 통신 규약은 원격제어장치의 핵심적인 요소이며 선정된 중앙감시망이 나머지 모든 통신망 구조를 장악하게 되는 현상을 초래한다. 따라서 독자적인 환경 감시시스템을 실현하기 위해서는 단위오염 측정기에서부터 데이터 수집기를 거쳐 중앙 감시망까지 일괄되게 개발하여야 하며, 특히 통신 규약에 대해서는 통일된 양식을 따라야 한다. 본 연구 개발에서는 1993년에 제정된 환경처 기준 굴뚝 배출 감시체계용 통신 약정을 기준으로 하였다.^[7]

통신방법은 RS232C 비동기 반이중, 블록 전송방법을 사용하며, 통신속도는 1200bps에서 9600bps가 사용된다. 데이터 비트는 ASCII 8bit no parity로 고정되었다. RS232C핀 연결은 데이터의 신뢰 및 변조를 막기 위하여 신호접속으로 2, 3, 7, 8핀 4개만 사용하도록 하였다. 그림 5는 통신방법에 따른 모뎀 초기화를 통해 'ENQ' 코드로 시작되는 자료 전송 수행절차를 따른다. 데이터 페리티를 확인하여 송신오류가 발생한 경우는 'NAK'를 출력하여 자료 블록의 재송신을 요구한다.^[7]

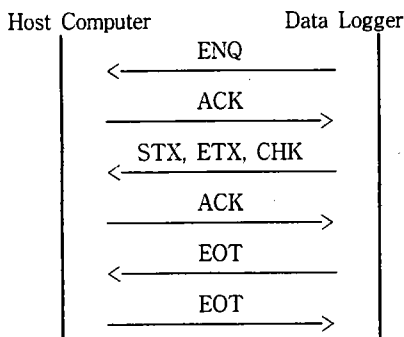


그림 5. 자료수집기의 데이터 전송 절차.

Fig. 5. Data transmission procedure of data logger.

3. 중앙 감시제어부

중앙 감시 제어부(CCMS:Central Control and Monitoring System)는 환경 감시와 관리를 행하는 사람들이 효과적이고 쉽게 시스템을 운영할 수 있도록

한다. 여기에는 현재 시점에서의 실시간 환경감시, 저장된 자료들을 분석하고 통계를 낼 수 있는 분석기능, 원하는 양식의 보고서를 출력하고 기안할 수 있는 보고서 기능, 기준치를 위반한 측정치가 발견되면 알려주는 경고기능, 원거리에 있는 데이터 수집기나 측정기를 관리할 수 있는 기기 관리기능 등이 포함된다. 중앙 감시제어부는 IBM PC를 주컴퓨터로 하여 Microsoft사의 Windows 환경하에서 동작하며^[8-11] 또한 네트워크 서버(network server)와 데이터베이스 서버(database server)를 도입하였다.

따라서 모든 사용자는 네트워크 서버에 로그인(login)을 한 다음에 중앙 감시 제어 소프트웨어를 사용하고 공통으로 사용하는 파일은 서로 공유하게 하였다. 이렇게 함으로서 불법적인 소프트웨어의 사용을 막을 수 있게 되고 보안유지가 용이하여 중앙 감시 제어 소프트웨어 운영자들의 관리가 쉬워지게 된다. 보통의 자료 저장 방식은 자료수집기로부터 넘어오는 자료를 하나의 파일로 저장함으로써 자료를 입출력하는 시간이 상당히 부담이 되었으나 데이터베이스 서버를 도입함으로써 자료 입출력 시간이 많이 줄어들게 되었다. 그리고 자료 입출력 속도의 개선뿐만 아니라 데이터베이스 서버에서 제공해주는 자료 보안 기능, 자료 복구 기능 등은 네트워크 서버가 제공해주는 사용자 보안기능, 파일 공유기능, 메시지 전송기능 등과 더불어서 독립적인 주컴퓨터에서 작업하는 환경보다 다양하고 강력한 기능을 제공해 줄 수 있게 되었다.

그림 6는 중앙 감시제어부의 개요도이다. 중앙 감시 제어부의 소프트웨어는 그림 7에 표시된 바와 같이 크게 4개의 모듈로 구성되어 있으며 이들은 서로 독립적인 프로세서로 동작하며 모듈 간의 정보 교환은 Windows의 메세지(message) 전달기능을 이용하였다.

화면 관리자는 중앙 감시 제어 소프트웨어를 구성하는 네 개의 모듈 중에서 운영자와 직접 만나는 부분이다. 이것은 운영자에 대한 보안 문제가 있기 때문에 Windows 상에서 실행하게 되면 운영자의 신분 확인 절차를 거치게 된다. 운영자는 고유의 ID, 운영자 비밀번호가 있는데 이것을 제대로 입력하여야만 화면관리자를 사용할 수 있게 된다. 운영자는 제각기 고유의 권한이 부여되는데 이 권한에 따라 화면관리자 모듈을 사용할 수 있는 범위를 제한 받게 된다. 화면 관리자는 상황표시, 설정, 보고서 작성, 그룹 설정 등 여러 기능을 가지고 있으며 운영자의 권한이 어떠한가에 따라 허가된 기능만을 사용할 수 있게 한다. 모든 기능은

그림 메뉴 버튼을 선택하는 형식으로 실행하게 되는데 권한에 따라 메뉴의 선택을 할 수 없게 조치가 되어 현재 사용중인 운영자의 권한 밖의 일을 할 수 없게 설계되어 있다. 메뉴의 선택은 직관적이고 이해가 쉬운 그림 메뉴 버튼을 사용하게 하였으며, 파일 입출력을 하면서 자료를 읽어오는 대신 SQL query를 데이터베이스 서버에 전송해서 자료를 가지고 오도록하여 수행속도를 증대시켰다.

통신 중계자는 RS-232C 통신포트를 직접 제어, 관리하는 프로그램 모듈이다. 단위 오염 성분 측정기는 자신이 감지한 오염수치를 데이터 수집기에 전송하고, 데이터 수집기는 이런 자료들을 유지하다 주컴퓨터의 요청이 있을 시 이를 모뎀을 통해 전송하게 된다. 주컴퓨터에서 볼 때 모뎀과 직접적으로 물려있는 프로그램 모듈이 바로 통신 중계자가 된다. 이것은 직접적으로 디스크에 화일을 형성하지 않고 메시지를 통해 자료 생성기 모듈에게 자료를 전송하는 역할을 하게 된다. 통신 중계자의 주된 역할은 통신시 발생할 수 있는 문제 해결과 STX 등 필요 없는 필드를 잘라내어 다른 모듈이 참조할 수 있는 형태로 변형시킨 자료를 자료 생성기 모듈로 넘기는 것과 자료 수집기나 자료

측정기로 제어 명령을 전송하는 것 그리고 통신상의 오류문제를 해결하는 역할을 한다.

자료 생성기는 통신 중계자로부터 메시지로 전달받은 자료를 변환해서 계속적으로 데이터베이스 서버에게 레코드(record)를 첨가하는 SQL query를 전송하는 주 기능과 기준치를 위반하는 자료를 발견하면 메시지로 경보 관리자에게 통보해 주는 역할을 수행하게 된다. 자료 생성기는 RS-232C를 통해 전송되는 데이터 중에서 통신의 동기화 작업에 사용되는 각종 필드들을 제거한 순수한 자료만을 받게 된다. 이렇게 받은 자료를 측정된 데이터 테이블에 저장하게 된다. 자료 생성기는 파일 입출력을 하면서 자료를 저장하는 대신 SQL query만 만들어서 데이터베이스 서버에 전송하면 되기 때문에 처리 속도가 상당히 향상되었다. 자료 생성기에서 오염수치가 규정량보다 초과한 자료를 발견하게 되면 메시지를 사용, 현재 시스템을 사용하고 있는 지정된 운영자에게 알려 주는 역할을 담당한다. 모든 측정 항목에 대해서 작동하는 것이 아니고 지정된 측정 항목에 대해서만 경보 관리자가 작동하게 된다. 지정되지 않은 측정 항목이 기준치를 위반했을 때에는 화면관리자에서 표시를 해주게 된다. 따라서 경보 관

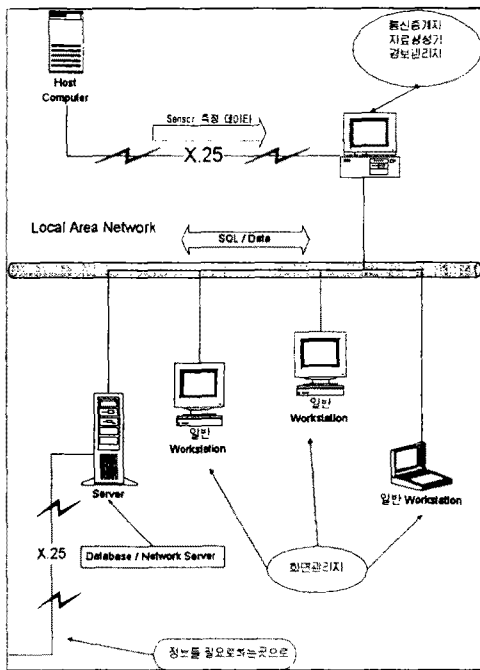


그림 6. 중앙 감시 제어부의 개요도.
Fig. 6. Concept diagram of CCMS.

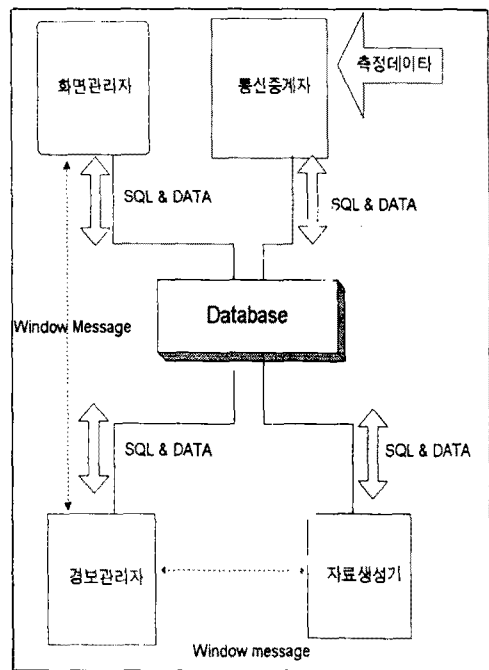


그림 7. 중앙 감시 제어부의 소프트웨어 구성.
Fig. 7. Software configuration of CCMS.

리자는 기준치 위반이 환경에 위험한 영향을 끼치는 측정 항목에 대해서 설정을 해 놓으면 효과적으로 감시할 수 있다. 경보사실은 LAN을 통하여 지령된 사용자에게 알려 주도록 하였다.

그림 8에 중앙 감시 제어부의 실시간 모니터링 화면을 표시하였다.

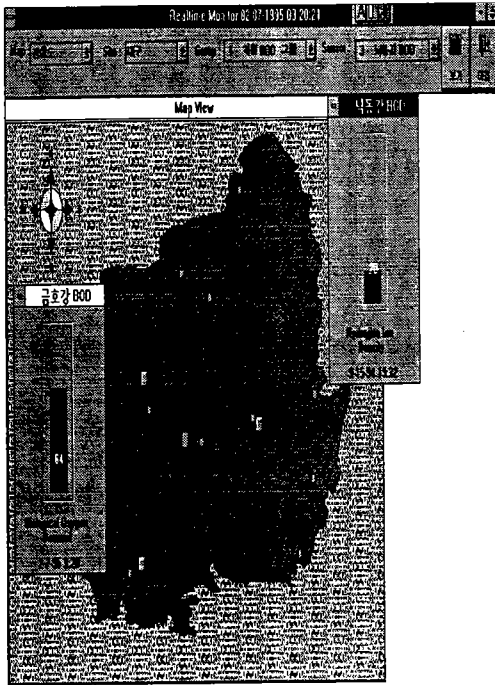


그림 8. 중앙 감시 제어부의 실시간 모니터링 화면.
Fig. 8. Real time monitoring picture of CCMS.

4. 단위 오염 성분 측정기

물의 염도(Salinity), 전기전도도(Conductivity), 온도(Temperature) 및 용존 산소량(DO : Dissolved Oxygen)을 측정할 수 있는 계측기들을 설계하여 제작하였고, 또한 압력센서를 이용한 대장균 측정기의 시제품(prototype)을 제작하였다. 설계 및 제작된 각각의 측정기들은 센서부, 아날로그 측정회로부, CPU부, 컴퓨터 인터페이스부 및 프론터 패널부 등으로 구성되어 있다. 불력별로 주요 기능을 살펴보면, 먼저 센서부는 물 속에 포함된 염도, 전기전도도, 온도 및 용존 산소량 등 물리적 혹은 화학적 양을 전기적 신호로 변환시켜 준다. 아날로그 측정회로부는 센서들의 신호를 증폭하고

신호처리를 수행하여 일정한 범위 내의 전압으로 바꾸어 주고, 이를 디지털 신호로 변환시켜 CPU부로 전달한다. 컴퓨터 인터페이스부는 단위 오염 성분 측정기에서 측정된 값을 주컴퓨터로 보내는 원격 무인 측정기능과 주컴퓨터로부터 단위 오염 성분 측정기에 제어 명령을 전달하는 기능을 수행한다. 프론터 패널부는 사용자의 선택 명령을 받아들이거나 측정된 값을 표시하여 준다. 본 연구에서는 물 속에 있는 대장균 측정을 위한 새로운 방법을 제안하였으며 제작된 시제품의 측정결과는 기존의 방법에 비하여 단시간내에 측정 가능함을 알 수 있었다.

4-1. SCT 측정기

SCT(Salinity, Conductivity, Temperature) 측정기는 피측정 용액의 염도, 전기전도도 및 온도를 측정한다. 일반적으로 전해물질을 갖고 있는 용액의 전기전도도는 용액 속에 녹아 있는 이온의 양에 비례한다. 순수한 물은 전기전도도가 극히 작은데, 염류가 용합되면 염류가 이온으로 해리되어 전기전도도가 증가한다. 전기전도도의 측정에서는 특정한 물질의 농도를 알 수는 없지만, 수중에 녹아 있는 염류의 대략적인 양을 알 수 있다. 따라서 환경 기준, 배수 기준이 정해져 있는 항목이 아니더라도 수질 모니터의 몇 개의 측정항목 중의 하나로서 사용된다. 전기전도도 측정기는 측정원리에 따라서 전극(electrode) 방법과 전자유도(electromagnetic induction) 방법에 의하여 제작된다. 일반적으로 전극 방법은 피측정 용액의 전기전도도가 낮은 보통의 수질 측정시에 주로 이용되며, 전자유도 방법은 용액의 전기전도도가 높은 강산 또는 강알칼리 용액의 측정에 사용된다. 본 연구에서는 전극 방법에 의하여 SCT를 측정하는 미국 YSI사의 모델(model) 3300 SCT 센서를 이용하여 측정기를 제작하였다.

전극 방법은 피측정 용액의 전기저항을 측정하여 얻어진다. 저항 측정시 DC 전압을 인가해 주면 이온들의 분극 현상에 의해서 정확한 값을 얻기가 어려우므로 분극 정전용량(polarization capacitance) 및 분극 저항(polarization resistance)에 의한 효과를 제거하기 위하여 AC 전압을 피측정 용액에 인가하고, 그 때의 AC 전류를 측정한다. 측정시 인가되는 AC 전원의 주파수는 수 백에서 수 천 Hertz이며, 용액의 전기전도도가 높을수록 가해 주는 주파수를 증가시킨다. 본 연구에서는 측정기의 정확도를 높이기 위하여 위상 감도 검

출기(phase-sensitive detector)를 이용하여 제작하였다. 측정 용액의 전기전도도는 온도의 함수이므로 SCT 측정센서는 일반적으로 전기저항을 측정하는 두 개의 전극 외에 써미스터 등의 온도센서를 함께 부착한다.

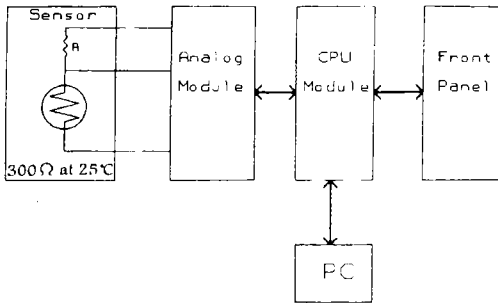


그림 9. SCT 측정기의 구성도.
Fig. 9. Constructive diagram of SCT meter.

SCT 측정기는 크게 센서부, 아날로그 회로부, 프론터 패널부, CPU부로 대별되며, 블록 다이어그램을 그림 9에 나타내었다. 각 모듈별로 주요 기능을 살펴보면, 센서부는 3개의 단자를 가지며 피측정 용액의 전기저항 측정용 단자 및 써미스터 단자를 갖는다. 아날로그 회로부는 전기전도도 또는 온도 측정시 양단자에 일정한 AC 전압을 인가하고, 이 때 흐르는 전류를 전압으로 변환시켜 A/D변환을 수행하여 CPU부에 디지털 값을 전달한다. CPU부는 계산된 전기전도도 및 온도 값을 RS-232C 직렬 통신 포트를 통하여 퍼스널 컴퓨터로 전송한다. 프론터 패널부는 사용자와 측정기의 인터페이스를 수행한다. 프론터 패널의 입력은 전원 스위치와 local/remote 선택, 전기전도도, 온도 등의 측정 선택 스위치를 갖는다. Local/remote 선택 스위치에서 local를 선택할 경우에 측정기는 프론터 패널에 있는 스위치에 의해서 동작이 제어되고, remote를 선택할 경우에는 측정기의 동작은 컴퓨터의 명령에 의해서 수행되도록 하였다. 프론터 패널의 출력은 출력치(3½-digit) 디스플레이와 상태(micromho/cm, millimho/cm, ℃) 디스플레이 및 local/remote LED 디스플레이로 이루어져 있다.

SCT 측정기의 측정방법, 측정영역 및 정확도는 표 2와 같다.

그림 10는 제작된 SCT측정기의 사진을 표시한다.

표 2. SCT 측정기의 사양.

Table 2. Specifications of SCT measuring instrument.

Meter / Measurement	Temperature	Salinity / Conductivity
Method	Thermister	Electrode
Range	-5~50℃	0~70ppt
Accuracy	±1%	±1%

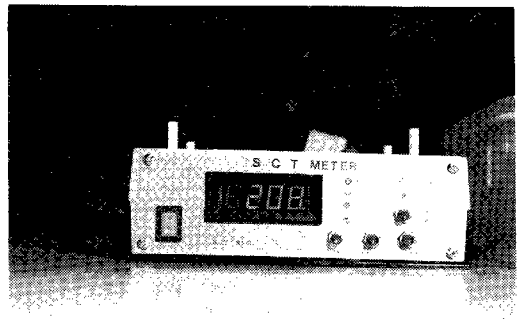


그림 10. 제작된 SCT 측정기의 사진.
Fig. 10. Photograph of constructed SCT meter.

4-2. DO 측정기

용존 산소(Dissolved Oxygen)는 용액에 녹아있는 분자상의 산소를 의미한다. 이는 물 속에 사는 생물들의 호흡에 쓰이고 화학적으로는 산화제로 사용된다. 용존 산소량은 용액의 온도 및 Henry의 법칙에 따른 산소분압과 물에 녹아 있는 염분의 농도에 관계한다. DO의 측정은 화학적 적정법에 의하여 이루어지거나 산소 가스만을 투과시키는 다이어프램(diaphragm) 전극을 이용한 전기 화학적 방법으로 이루어진다. 다이어프램 전극측정법은 DO 농도를 산소분압에 비례하는 산소 분자의 확산에 의한 전류로 측정하는데, pH값, 염분 농도, 산화 환원 물질의 양, 색깔, 및 탁도 등의 값에 관계없이 재현성이 높으므로 온라인 자동 측정기에는 거의 유일하게 이용된다. 따라서, 본 논문에서는 다이어프램을 이용한 전기 화학적 방법을 이용하여 DO 측정기를 제작하였다.

DO 측정기는 크게 센서부, 아날로그 회로부, CPU부, 프론터 패널부로 나눌 수 있다. 센서부는 미국 YSI사의 5739 probe를 사용하였다. Probe 단자는 3개

의 DO 측정 및 온도보정 단자와 2개의 써미스터 단자로 이루어져 있다. DO의 측정은 ⊕와 ⊖의 두 전극 사이에 0.7 V의 전압을 인가하고, 그때 흐르는 전류를 측정하여 이루어지고, 온도는 써미스터의 저항을 측정하여 알 수 있다. 측정기에 인가되는 전원은 +5V의 단일 전원을 인가하도록 하였으며, ICL7660 칩을 사용하여 -5V를 생성시켜 아날로그 회로부에서 사용하였다. 그리고 다이어프램의 두께변화는 DIP스위치를 사용하여 1mil, 2mil 및 5mil을 선택하도록 하였다.

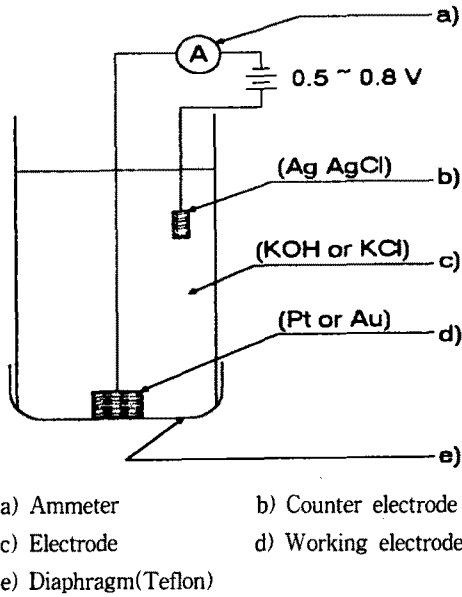
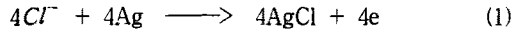


그림 11. Diaphragm 전극에 의한 DO 측정기.
Fig. 11. DO meter using diaphragm electrode.

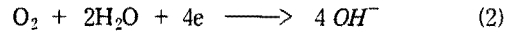
그림 11은 다이어프램 전극을 사용한 DO 측정기의 개념도를 표시한다. 전극 및 전해 용액은 다이어프램을 통하여 샘플 용액과 격리된다. 일반적으로 다이어프램은 산소 분자의 투과성이 좋은 폴리에틸렌(polyethylene), 셀로판(cellophane) 및 테플론(teflon)등으로 만들어진다. 전해 용액은 염화 칼륨(potassium chloride) 용액 또는 가성 칼리(caustic potash) 용액을 사용한다. 두개의 전극 사이에 0.5~0.8V의 전압이 인가되면, 투과된 산소 분자가 working electrode에서 counter electrode로 전자의 흐름을 발생시켜 전류가 흐르게 된다.

이때 counter electrode와 working electrode 에서 이루어지는 화학변화의 방정식은 다음과 같다.

counter electrode :



working electrode :



Counter electrode는 silver-silver oxide 또는 silver-silver chloride로 주로 만들어지며, working electrode는 백금 또는 금을 사용한다. 예전에는 다이어프램 재질로 셀로판이나 폴리에틸렌이 사용되었으나, 현재에는 수십 마이크로미터 두께의 테플론 필름이 많이 사용된다. 그림 12는 다이어프램 센서를 통하여 샘플 용액으로부터 전해 용액까지 산소 분자의 확산 관계를 나타낸다. 다이어프램 내에서 산소 분자의 확산 정수를 D 라하면 전류는 다음과 같이 표시된다.

$$I = nAqD \frac{dN_{O_2}}{dx} = nAqD \frac{C_s}{L} \quad (3)$$

식 (3)에서 N_{O_2} 는 산소 분자의 농도, q 는 전자의 전기량 (1.6×10^{-19} Coulomb), C_s 는 샘플용액에서의 산소 분자의 농도(cm^{-3}), L 은 다이어프램의 두께를 의미하며 n 은 산소 분자 한개 투과시 흐르는 전자의 개수를 표시하고 A 는 다이어프램의 면적이다. 확산정수 D 와

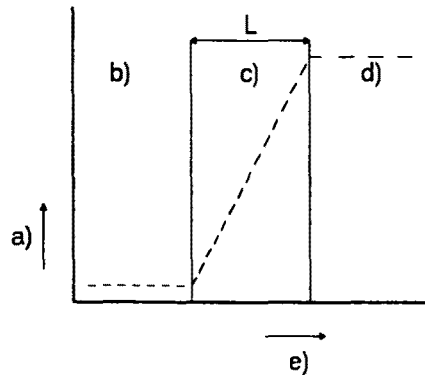


그림 12. DO 센서를 통한 샘플용액으로부터 전해액으로의 산소 분자의 확산.
Fig. 12. Diffusion of oxygen molecules from sample solution to electrolytic solution.

다이어프램의 산소 분자에 대한 투과성(permeability) P_m 은 다음과 같은 관계를 갖는다.

$$P_m = \frac{D}{N_o} \quad (4)$$

식 (4)에서 N_o 는 Abogadro 상수 (6.02×10^{23})를 나타낸다. 따라서 산소 분자의 확산에 의한 counter electrode로부터 working electrode로 흐르는 전류는 다음과 같이 표시된다.

$$I = \frac{nFAP_m}{L} C_s \quad (5)$$

식 (5)에서 F 는 Faraday 상수 (96500 Coulomb)를 의미한다. 따라서 전류는 C_s 에 비례하고 역으로 전류를 측정함으로써 C_s 를 간접적으로 측정하게 된다.

다이어프램 전극은 가스 상태의 산소 분자나 용액에 녹아 있는 분자 상태나 확산에 있어서 거의 차이가 없으므로 감도가 일정하고 산소 분자 농도에 대한 직선성이 좋다. 반응시간은 전해 용액의 양 및 working electrode로부터 counter electrode까지의 거리에 따라 달라진다.

다이어프램을 이용한 전기 화학적 DO측정기에서는 정확한 DO값의 측정을 위해서는 샘플 용액의 흐름을 20cm/sec 이상 유지시켜 다이어프램을 통한 산소 분자의 확산을 활성화시켜 주어야 하며, 투과성 P_m 은 온도에 대하여 지수 함수적으로 증가하므로 써미스터 등을 이용하여 보정해 주어야 한다. 또 같은 온도와 대기압에서 샘플용액의 염분농도가 증가하면 포화 용존 산소량은 감소한다. 그렇지만 용액 내에서의 산소 분압과 대기는 평형 상태를 이루고 있으므로 샘플용액의 염분이 높을 때 DO값은 그 염분농도에서 최대 포화 용존 산소량에 비례한다. 따라서 DO값 측정시 염분농도에 의한 보정을 수행하여 주어야 한다.

제작된 DO측정기는 테플론 다이어프램 방법을 이용하며, 측정 범위는 0~20mg/l, 정확도는 $\pm 1\%$ 를 갖는다.

그림 13에 제작된 DO 측정기의 사진이다. 측정기 앞면에는 전원 스위치, DO, 온도, 퍼센트 포화도, local/remote 선택 입력 단자들이 있으며, 3½디지트 LED로 측정 결과를 표시하도록 하였다. 또한 영점조정, calibration 및 염도선택을 위한 가변저항 입력 다이알 세개가 앞면에 있다.

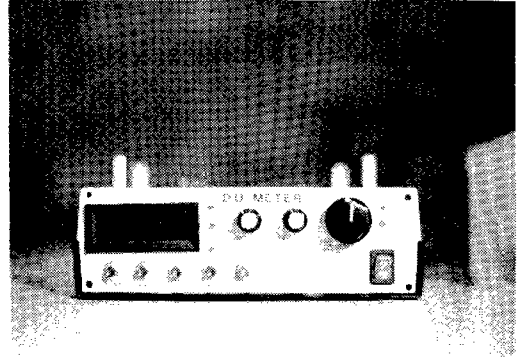


그림 13. 제작된 DO 측정기의 사진.

Fig. 13. Photograph of constructed DO meter.

4-3. 대장균 측정기

먹는물, 상하수처리 등에서 대장균의 측정은 필수적이다.^[12,13] 국내에서는 1996년부터 하폐수 처리장 방류수에도 대장균을 측정하도록 규정되어 있다. 본 연구에서는 Coliform과 E.coli측정을 위하여 개발되어 있는 기질을 이용하여 물속의 대장균을 배양하고 발효시 생성되는 이산화탄소에 의하여 밀폐된 측정기내의 압력 증가를 시간별로 측정하여 대장균의 개수를 측정하는 새로운 방법을 제안하였고 시제품(prototype)를 제작하였다. 그림 14은 대장균 측정기의 개요도이다. 압력 센서는 일본 Copal Electronics사의 PA-800-102G-05(0~1기압)을 이용하였다. 그림 15에 제작된 시제품을 이용하여 측정된 압력과 시간과의 관계를 나타내었다. 본 실험의 결과 4~6시간내에 대장균의 측정이 가능하며 이는 기존의 방법^[14,15]을 이용하여 걸리는 24~72시간의 측정보다 훨씬 신속하다.

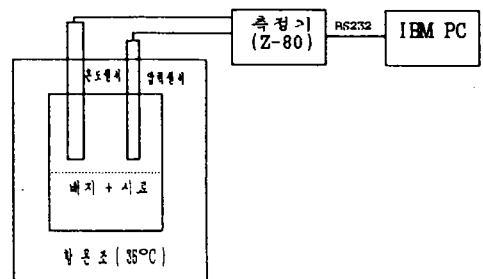


그림 14. 대장균 측정기의 개요도.

Fig. 14. Concept diagram of coli meter.

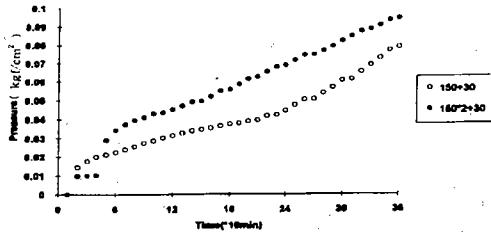


그림 15. 150ml 배지와 30ml 시료에 의한 시간별 압력 측정곡선.

Fig. 15. Pressure measurement curve dependent on time with 150ml medium and 30ml sample.

5. 결론

본 연구에서는 실시간으로 광역에 걸쳐서 수질을 감시하기 위한 온라인 수질 감시 시스템을 개발하였다. 개발된 시스템은 단위 수질 측정기로부터 얻어지는 데이터를 1차적으로 수집, 저장 및 관리하는 지역 데이터 수집기와 이들을 통신망으로 연결 제어하는 중앙 감시 제어기로 구성된다. 지역 데이터 수집기 및 중앙감시 제어기는 통신 인터페이스를 포함한 PC로 구현되었으며, 통신규약은 1993년에 제정된 환경처 기준을 따랐다. 또 수질 측정의 기본이 되는 염도, 전기전도도, 온도, 용존산소량 및 대장균 측정기를 주어진 통신 규약에 맞도록 설계 제작하여 수질 감시망을 실현하였다.

6. 참고 문헌

- [1] 해양연구소, 적조 및 오염 모니터링 연구, BSPE 00048-80-7, 1983.
- [2] 환경처, 진해만 일원 오염실태 조사보고서, 1991.
- [3] 대구지방환경청, 환경보전, 1992.
- [4] 홍병호, 임병국, 센서 일렉트로닉스, 대광서림, 1995.
- [5] Yokohama/Kyoto Workshop Organising Committees, Technical Information, ICA, July 26th-July 28th, 1990.
- [6] Wills J. Tompkins, John G. Webster, Interfacing sensors to the IBM PC, 1988, Prentice-Hall, INC.
- [7] 센서기술연구소, 환경오염 측정 시스템의 개발 보고서, STRC/RR-04/93, 1994.

- [8] 센서기술연구소, 환경오염 측정 시스템의 개발 보고서, STRC/RR-04/94, 1995.
- [9] Charles Petzold, Programming Windows, 2nd ed., Microsoft Press, 1990.
- [10] Stanley B. Lippman, C++ Primer, 2nd ed., Addison Wesley, 1991.
- [11] Microsoft Windows, Software Development Kit Guide to Programming, Microsoft Corporation, 1990.
- [12] 안승구, 김상진, 안태석, 이건형, 안태영, 조기성, 권오섭, 박성주, 환경미생학, 신광문화사, pp.294-299, 1995
- [13] 류희정, 신항식, 신형우, 위생공학, 신광문화사, pp.22, 1995
- [14] 조순행, 구자공, 한상욱, 서용찬, 수질관리, 동화기술, pp.111-112, 1995
- [15] APHA. 1992. Standard methods for examination of water and wastewater, 18th Ed. American public Association, Washington, D.C.

著 者 紹 介



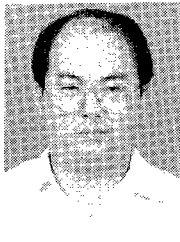
김재철

1964년생, 1990년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1992년 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정 졸업(공학석사), 1993년~현재 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정, 주관심분야 : 실시간 영상처리



이재윤

1967년생, 1993년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1996년 경북대학교 대학원 전자공학과 석사과정 졸업(공학석사), 1996년~현재 국방과학연구소 연구원, 주관심분야 : 마이크로프로세서 응용 시스템 설계



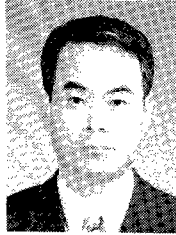
박종식

1953년생, 1976년 서울대학교 물리학과 졸업 (이학사), 1978년 한국과학원 수학 및 물리학과 졸업 (이학석사), 1987년 University of Florida, 전기공학과 졸업(공학박사), 1978년~1981년, 1987년~현재 경북

대학교 전자전기공학부 부교수, 주관심분야 : VLSI 설계, DSP

권우현

『센서학회지 제2권 제2호』 논문93-2-2-05, p.37 참조
현재 : 경북대학교 전자전기공학부 교수, 학장보



김승호

1958년생, 1981년 경북대학교 전자공학과 졸업(공학사), 1983년 한국과학기술원 전산학과 졸업(공학석사), 1994년 한국과학기술원 전산학과 졸업(공학박사), 1985년~현재 경북대학교 컴퓨터공학과 부교수, 주관심분야 : 알고리즘 설계, HCI



이찬원

1954년생, 1977년 서울대학교 식품공학과 졸업(공학사), 1979년 서울대학교 대학원 식품공학과 졸업(공학석사), 1987년 University of Florida, Dept. of Environmental Eng. & Sciences 졸업 (공학박사),

1988년~현재 경남대학교 환경보호학과 부교수, 주관심분야 : 수질오염방지