

냉각탑 수질관리를 위한 자동화 시스템 개발

Water Quality Control System Development for Cooling Towers

이 기 건, 송 무 준, 강 태 삼*, 이 영 재, 성 상 경
(Kikeon Lee, Moojun Song, Taesam Kang, Young Jae Lee, and Sangkyung Sung)

Abstract : Cooling tower is an important equipment of the cooling systems for large buildings like factory and department store. Water used for cooling in cooling tower is reused continuously. If the water is polluted, corrosion and scale can happen at equipments and pipes. In order to prevent this problem, it is necessary to control the water quality using chemicals. To control the water quality, an automatic control system is designed, fabricated, and experimented. The control system is based on an imbedded microcontroller. Relays are used for power driving, an LCD and LED for display, and RS485 for remote data acquisition. Monitoring program is also developed for easy man-machine interface and extraction of data stored in the imbedded processor and EEPROM. The control system calculates amounts of chemicals necessary using sensor data and injects the chemicals into the cooling tower on proper time. The developed water quality control system is expected to reduce cost of maintenance and extend the lifetime of the cooling systems with low cost.

Keywords : cooling tower, embedded microcontroller, current sensor, EEPROM, RS-485

I. 서론

냉각탑은 대부분의 빌딩, 호텔, 백화점과 같은 대형 건물의 중요한 설비 중의 하나로써 냉각수가 펌프에 의해 순환되면서 물의 증발열을 이용하여 냉각하는 장치이다[1]. 이때 사용되는 냉각수는 한번 유입되면 소비절감을 위해 냉각탑과 파이프를 순환하면서 계속 재사용하며 증발된 양만큼만 보충하게 된다. 이와 같이 냉각수를 사용하다 보면 냉각수가 오염되어 냉각탑, 열 교환 장치, 파이프에 부식과 스케일을 발생시킨다. 이와 같은 문제점을 해결하기 위해 약품처리를 하여 수질을 관리하게 된다. 하지만 적정량보다 지나치거나 모자라게 약품을 투입하게 되면 오히려 냉각수를 오염시키게 되어 문제가 된다. 현재는 약품들을 사람이 눈대중 또는 경험적 지식에 의존하여 첨가하고 있기 때문에 적정량을 투입하는 것이 어렵고 그로 인해 수질관리가 잘 안되어서 냉각수를 자주 교체해 주어야 한다. 그로 인해 폐 냉각수 배출량이 늘어나 비용을 증가시키는 요인이 되고 있다. 경제적이며 친환경적인 냉각탑 운영을 위해 정확한 시간에 정확한 양을 약품을 투입하여 냉각수를 최적으로 제어해 줄 수 있는 자동화 시스템이 필요하다. 기존에 개발된 국내외의 냉각탑 제어 시스템은 매우 고가로서 공급가격이 일천만 원 이상으로 판매되고 있으며 또한 1:1 제어 시스템으로 하나의 제어기로 하나의 냉각탑 밖에 제어할 수 없고 이로 인해 냉각탑의 개수가 늘어날수록 제어기와 정량펌프[2]의 개수가 비례하여 늘어나므로 이에 들어가는 비용이 더욱 증가하게 된다[3]. 본 연구에서는 임베디드 마이크로프로세서와 밸브 컨트롤을 이용하여 10대의 냉각탑을 하나의 시스템과 하나의 정량펌프만으로 동시에 제어 가능하며 가격 또한 저렴하게 공급이 가

능한 매우 경쟁력 있는 시스템을 개발하였다.

II. 냉각탑 제어 시스템 구조

본 연구에서 개발된 냉각탑 수질 제어 시스템은 1대의 제어기와 1대의 펌프로 10대의 냉각탑을 동시에 제어 가능하게 하며, 5종류 이상의 약품을 정량적으로 투입 가능하게 한다. 또한 6개월 이상의 운행기록을 자동으로 저장할 수 있고 설정변경이나 운행기록 확인을 위해 외부와의 통신이 가능하도록 한다. 또한 냉각탑의 운전 여부를 구별하며 수질상태를 측정하여 그에 맞게 자동으로 약품 투입량을 조절할 수 있는 페루프 시스템이 필요하기 때문에 냉각탑의 운전여부를 냉각탑에 들어가는 동력선의 전류를 측정하여 판단 가능하고, PH센서와 전기전도도 센서를 사용하여 수질상태를 측정할 수 있도록 한다. 그림 1은 본 시스템의 개념도를 나타낸다.

여기서 자동제어부는 임베디드 마이크로프로세서로 널리 쓰이는 ATmega128[4]을 사용하였다. 그리고 장시간 운전 데이터의 저장을 위하여 EEPROM을 추가하였으며, 실시간 정보제어를 위하여 실시간 클럭을 추가하였다.

기본적인 동작은 다음과 같다. 자동제어부에서는 전류센서,

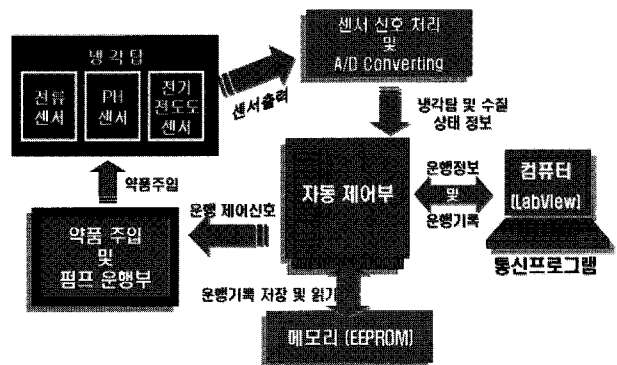


그림 1. 페루프 냉각탑 수질제어 시스템 개념도.
Fig. 1. Flow of closed loop water control system.

* 책임저자(Corresponding Author)
논문접수 : 2007. 9. 29., 채택확정 : 2007. 10. 26.
이기건, 송무준, 강태삼, 성상경, 이영재 : 건국대학교 항공우주정보시스템공학과
(0130lk@naver.com/jjgo99@naver.com/tskang@konkuk.ac.kr/sksung@konkuk.ac.kr/younglee@konkuk.ac.kr)
※ 본 연구는 ㈜베스캡에 의해 지원되었음.

PH센서 및 전기전도도 센서로부터 각 냉각탑의 운전여부와 냉각수의 수질에 대한 정보를 입력 받는다. 이 정보는 임베디드 마이크로프로세서 안에 있는 A/D 변환기를 통하여 자동제어부로 전달되며, 자동제어부는 정보를 종합하여 투입할 수질 제어 약품의 양을 결정하고, 약품을 주입하기 위해 펌프와 밸브를 조작한다. 펌프 및 밸브는 220V 상용 교류 전압으로 구동되며, 마이크로프로세서의 명령을 실제 구동신호로 변환하기 위하여 릴레이를 사용하였다. 외부 컴퓨터와의 통신을 위해 그래픽 기반의 통신프로그램을 개발하였고 이를 이용해 운행정보를 입력하거나 현재 운행상태와 이전의 운행기록을 확인해 볼 수 있다. 운행정보란 현재날짜와 시각, 센서를 이용한 자동제어의 여부, 자동제어를 선택하지 않을 때 운행되어야 할 각 냉각탑의 약품 투입량에 대하여 입력된 정보이며, 운행기록이란 매일매일 기록되는 것으로 각 냉각탑에 투입되었던 약품량에 대한 운전정보를 날짜 별로 저장한 데이터이다. 또한 시스템 본체에는 운전 정보를 간략하게 볼 수 있게 하기 위해서 LCD 화면을 사용하였고, 각 냉각탑의 운전상태를 눈으로 쉽게 파악할 수 있게 하기 위하여 LED패널을 구성하였다.

III. 운행 알고리즘 개발

본 시스템은 정해진 운행정보나 센서 데이터를 이용하여 제어하게 된다. 또한 운행 중에도 냉각탑의 작동 상태와 수질상태를 확인할 수 있어야 한다. 이를 위한 알고리즘을 그림 2에서 볼 수 있다.

이 알고리즘은 마이크로컨트롤러인 ATmega128에서 C언어로 구현되었다. 이 알고리즘을 살펴보면 전원이 들어온 후 먼저 EEPROM의 특정 주소에 저장되어있는 운행 정보를 입력 받는다. 다음으로 현재 시간을 체크하면서 운행 시간에 해당될 때까지 대기한다. 그림 2에서 N은 냉각탑의 갯수를, M은 사용 약품의 갯수를 나타낸다. 그리고 변수 I는 현재 제어중인 냉각탑의 번호를, J는 현재 주입중인 약품의 번호를 나타낸다. 운전시간이 되면 각각의 냉각탑 I에 대하여 냉각탑의 운전여부를 결정하기 위해 전류센서에 데이터를 요청한다. 센서모듈로부터 운전여부를 전달 받은 후 자동제어를 할 것인지를 체크한다. 자동제어를 할 경우 센서 데이터로부터 얻은 측정치를 사용하여 약품의 양을 결정한 후 차례로 필요약품을 주입하며, I 냉각탑에 대하여 최종 약품이 주입되면, 즉, J 가 M 번호의 약품을 주입하고 나면, 제어 냉각탑

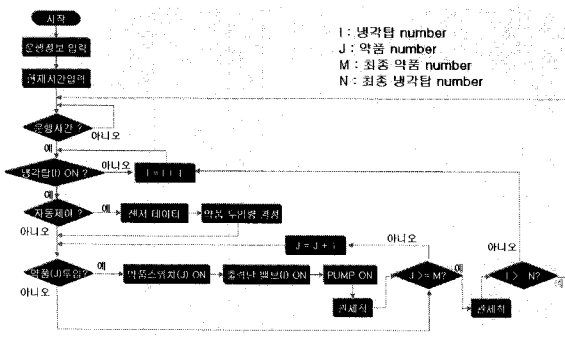


그림 2. 자동 제어 운행 알고리즘.
Fig. 2. Automatic control algorithm.

의 번호 I를 1 증가시켜 다음 냉각탑(I+1)을 제어할 수 있게 하며, 이와 같이 하여 마지막 냉각탑 즉, N 냉각탑 제어를 마친 후에는 다음 운행 시간까지 대기하다가, 다음 운행시간이 되면 같은 과정을 반복한다. 자동제어를 사용하지 않는다면 미리 입력된 운행정보에만 기초하여 시스템이 작동된다.

또한 운행 중에도 시스템의 각종 정보를 보기 위해서 인터럽트 개념을 사용하였다. 인터럽트는 PC와 센서, 키패드에서 들어오며 키패드의 인터럽트를 사용하여 LCD 창에 현재 운행 정보를 표시한다. 인터럽트가 들어오면 시스템은 직렬 통신으로 맨 먼저 들어온 식별자를 해독하고, 그에 맞는 루틴을 수행한다. 인터럽트가 들어오면 먼저 키패드 입력인지를 판별하고 키패드 입력이면 각 키의 기능에 맞는 명령을 수행한다. 키패드 입력이 아닌 운행 정보를 보내거나 운행 기록을 요청하는 것이라면 운행정보를 EEPROM에 저장하거나 EEPROM에 저장되어있는 데이터를 PC에 보내게 된다. 키패드를 이용해 현재시각, 센서 사용 여부, 각 냉각탑의 약품 투입량, 약품 투입 주기 등에 대한 정보를 확인할 수 있다.

IV. 하드웨어 개발

수질 제어를 위한 하드웨어 시스템은 메인보드와 센서보드로 구성된다. 메인보드는 임베디드 마이크로프로세서인 ATmega128을 중심으로 EEPROM, 실시간 클럭 등으로 구성된 메인제어부, LCD와 LED패널로 기본적인 운행정보를 표시하는 표시부, PC또는 센서보드들과 데이터를 주고 받을 수 있게 하는 통신부, 그리고 모터 및 밸브를 구동하여 약품을 공급하는 구동부로 이루어진다. 별도로 센서보드는 전류 센서 및 PH 센서, 전기 전도도 센서로 구성되어있다.

1. 메인보드

메인 제어부 : ATmega128은 COMS 형태로 이루어진 8비트의 마이크로 컨트롤러이다. 저가이면서 16MHz에서 16MIPS (Million Instruction Per Second)의 고속의 처리 속도를 가지고 있으며 프로그램 메모리와 데이터 메모리가 완전히 분리되어 있어서 한 개의 데이터 버스보다 더욱 효율적이다. 또한 ISP가 지원되는 128 Kbytes의 플래시 메모리를 가지고 있어 프로그램 이식에도 무리가 없고 8채널의 10비트 A/D 변환기를 지원하기 때문에 센서 신호를 처리함에 있어서 별도의 추가 비용이 필요치 않다. 마이크로 컨트롤러 외에 정전 시에도 계속 동작할 수 있도록 백업 배터리를 장착하였고, 펌프의 시간 제어를 위해 실시간 클럭 칩을 사용하여 정확한 제어가 가능하고 시간뿐만 아니라 년, 월, 일, 요일까지 사용할 수 있어 현재 시각 및 운행시간을 설정하는데 편리하다. 운행기록을 저장하기 위해 두 개의 EEPROM칩을 사용하였다. 총 512Kbyte의 공간을 가지고 있어 6개월 이상의 운행 데이터의 저장이 가능하다.

통신부 : RS-232통신을 사용하여 컴퓨터나 키패드와 통신할 수 있고 RS-485통신으로 각 냉각탑의 센서보드들과 통신한다[5].

표시부 : 표시부는 LCD와 LED 패널로 현재의 운행상태를 나타내는 기능을 한다. LCD창은 현재 시각 및 실시간으로 시스템의 상태를 표시하며, LED패널은 현재 운전되고 있는 냉각탑과, 펌프 및 릴레이의 동작을 나타내어, 현재 어떤 냉각탑으로 어떤 약품이 주입되고 있는지 시각적으로 볼 수

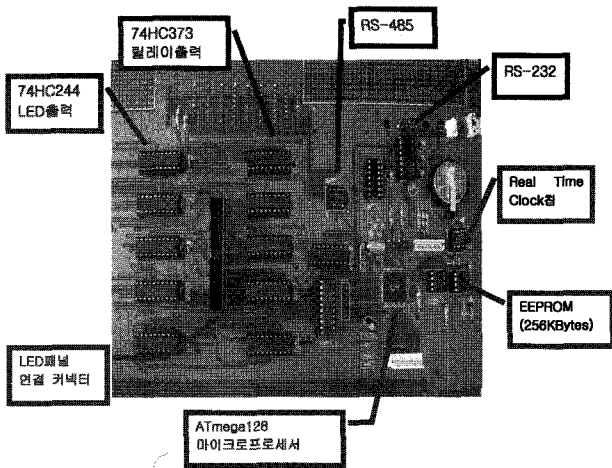


그림 3. 메인 제어부,통신부 및 표시부.
Fig. 3. Main control part, communication part, and display part.

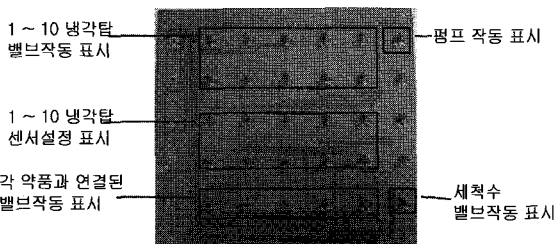


그림 4. LED 패널.
Fig. 4. LED panel.

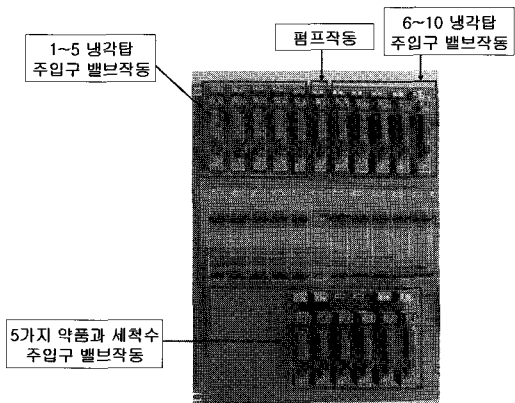


그림 5. 구동부.
Fig. 5. Driving part.

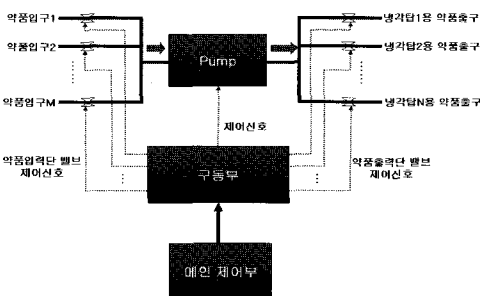


그림 6. 밸브제어 개념도.
Fig. 6. Concept of valve control.

있게 한다.

구동부 : 구동부는 마이크로컨트롤러에서 나오는 명령을 실제 전원에 연결시키는 역할을 한다. 전원 및 릴레이로 구성되어 있으며 구동부는 마이크로컨트롤러의 명령에 따라 릴레이를 온-오프 함으로써 펌프 및 각 주입구의 밸브를 구동하게 된다. 릴레이는 220V 교류 전원을 온-오프 할 수 있게 되어 있다. 전원은 상용으로 판매되는 220V 입력으로 +12V, -12V, +5V 출력을 만드는 스위칭 파워서플라이를 사용하였다. 또한 과전류가 흐를 때 차단할 수 있도록 누전 차단기를 연결하였다. 그림 5는 구동부의 각 부분의 역할에 대해서 나타내고 있다. 냉각탑 주입구 제어 릴레이, 정량펌프 구동 릴레이, 그리고 약품(1-5) 및 세척수(6)를 선택하여 구동하는 릴레이를 보여주고 있다. 그림 6은 구동부의 릴레이 작동으로 밸브를 제어하여 한 대의 제어기와 펌프로 다수의 약품 및 냉각탑을 제어하는 모습을 나타내는 개념도이다. 즉 여러 M개의 입력단 중 하나가 선택되어 정량펌프에 연결되며, 정량펌프의 출력도 N개 중 하나가 선택 되므로 조합을 하면 MxN개의 선택 조합이 가능하다. 여기서는 입력측은 약품 선택용으로, 출력측은 냉각탑 선택용으로 쓰인다. 메인 제어부에서는 필요한 밸브 선택 명령을 내리고, 구동부에서는 릴레이를 통하여 연결된 밸브 또는 정량 펌프를 구동한다.

2. 센서보드 및 센서

센서보드는 이 센서 보드에 연결된 다른 센서보드에서 받은 정보와, 이 센서 보드에 직접 연결된 전류센서, PH센서, 전기전도도 센서에서 받은 신호를 RS-485 통신을 이용하여 메인보드의 센서부로 전송한다. 현장에서는 본 시스템과 냉각탑과의 거리 또는 냉각탑들 사이의 거리가 멀게는 수백m에 달할 수 있기 때문에 RS-485 통신을 사용하도록 하였다. RS-232 통신의 통신거리가 15m인 것에 비해 RS-485 통신은 통신거리가 1.2Km로 비교적 장거리 통신이 가능하다. 또한 여러 개의 통신 포트를 병렬로 연결하여 사용할 수 있기 때문에 경제적으로 여러 센서의 데이터를 모으는데 유용하게 사용된다.

각 센서보드에는 메인 제어부와 마찬가지로 임베디드 프로세서인 Atmega128이 탑재되어 있어 각 센서들의 출력을 인식하고 다른 센서보드들과 통신하여 메인 제어부로 데이터를 보낼 수 있다. 각각의 센서보드는 자신의 코드를 가지고 있어서 메인 제어부에서 데이터를 요청하였을 때 자신의 고유 식별번호를 인식하고, 자신이 호출 되었을 때만 데이터를 전송한다. 또한 센서보드에는 다른 4개의 센서보드를 추가로 연결할 수 있기 때문에 총 5개의 센서 세트를 사용할 수 있고, 따라서 10개의 냉각탑에 최대 50개의 센서 세트를 사용할 수 있다.

각 냉각탑의 작동여부를 판단하기 위해서 전류센서를 사용하였다. 기존의 전류센서들은 전선을 센서에 관통시켜야 하기 때문에 전선을 절단하여 센서를 관통시킨 후 다시 이어야 하는 불편함이 있었다[6,7]. 이러한 불편을 해결하기 위해서 코일을 사용한 전류센서를 개발하고 센서신호를 처리할 수 있는 회로를 만들어 모듈화 시켰다. 각 냉각탑의 전원을 공급하는 전선 위에 코일을 접해 놓으면 전선에 흐르는 전류에 의해 코일에 수mV 정도의 전압이 유도되어 흐르게 된다.

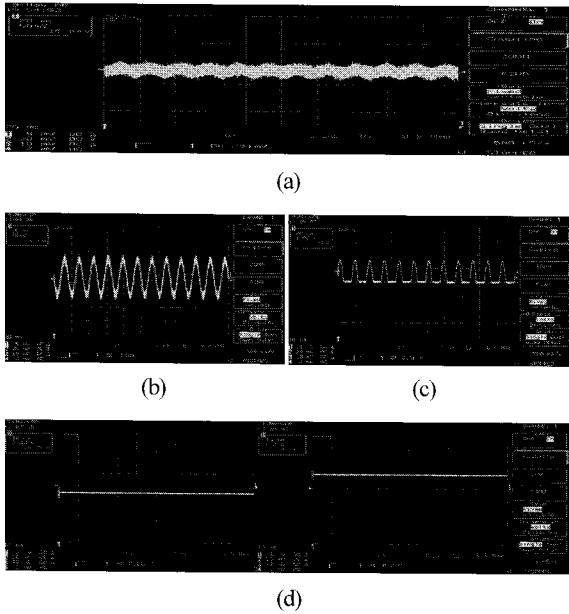


그림 7. 전류센서 출력 파형.
Fig. 7. Current sensor output signals.

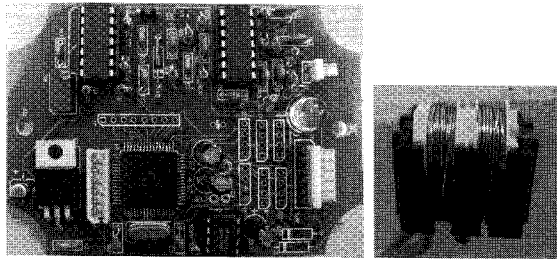


그림 8. 센서보드와 전류센서코일.
Fig. 8. Sensor board and current sensor coil.

그림 7(a)가 유도된 전압의 파형이다. 그 크기가 작지만 유도된 교류 신호가 섞여 있는 것을 볼 수 있다. 유도된 전압은 Op-Amp를 사용하여 설계한 증폭회로, 정류회로, 필터회로의 과정을 거쳐서 컨트롤러가 냉각탑의 작동 유무를 판단할 수 있도록 디지털 신호로 변환 된다[8,9,11,13]. 그림 7(b)와 (c)는 유도된 전압을 Op-Amp를 사용하여 증폭한 후 밴드패스필터를 통과시킨 파형과 정류회로를 통과시킨 파형이다. 최종파형은 그림 7(d)와 같이 냉각탑의 전원이 켜져 있으면 5V, 꺼져 있으면 0V의 전압이 나온다.

냉각수의 PH와 전기전도 측정에는 기존에 개발되어 있는 센서를 이용하였다 PH미터와 전기전도도 센서는 정해진 부위를 냉각수에 담그기만 하면 간편하게 냉각수의 수질상태를 측정할 수 있다. 센서의 출력은 mA단위로 나타나며 이것을 센서보드에 탑재된 마이크로프로세서의 아날로그디지털 변환기를 이용하여 디지털 값으로 변환시킨 후 제어에 사용한다. 아날로그디지털 변환은 ATmega128에 내장된 10bit 성능의 변환기를 사용하였다. 기준이 되는 수질의 PH와 전기전도도를 측정 한 뒤 이 값을 기준으로 정하고, 일정 간격으로 냉각수의 PH를 측정하여 그 변화에 따라 투입될 약품의 양을 변화시킨다. 측정된 센서의 값은 센서보드로 수집되고 메인 제어부에서 데이터의 요청이 있을 때마다 그 값을 보낸다.

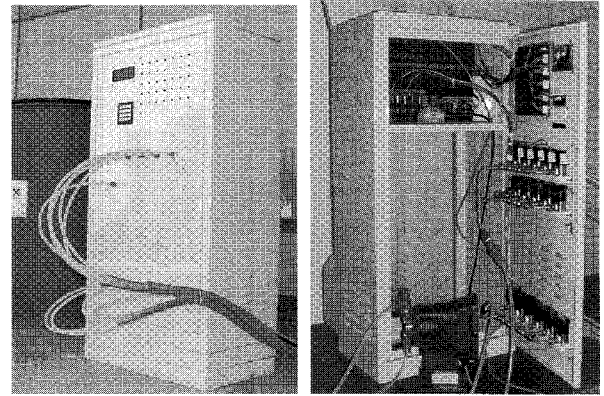


그림 9. 케이스의 외관과 내부.
Fig. 9. Appearance and inside picture of the developed system.

센서보드와는 전원과 출력선이 연결되므로 사용이 간편하다.
3. 케이스

그림 9는 케이스의 모습을 보여준다. 케이스 상단에는 메인보드를, 하단에는 밸브 및 펌프가 설치될 수 있게 하였다. 작동상태를 한눈에 볼 수 있도록 전면에 LED패널을 장착하였고 데이터 및 현재 시간을 확인 할 수 있는 LCD창과 정보를 선택할 수 있는 키패드를 전면에 부착하였다. 약품 및 물을 본체로 주입하기 위한 주입구가 밑부분에 있으며, 각 냉각탑으로 약품 및 물을 전달하기 위한 배출구가 위쪽에 있다. 10개의 냉각탑으로 전달할 수 있도록 배출구가 나누어져 있는 것을 볼 수 있다. 각 약품의 주입구와 배출구를 제어하기 위해 메인보드의 구동부와 각 주입구의 밸브가 연결되어있다.

V. 통신 프로그램 개발

운영정보와 운행기록을 송수신 할 수 있는 PC용 통신 프로그램을 개발하였다. 이는 그래픽 인터페이스 기반으로 제작되었다. 그림 10은 그래픽을 인터페이스를 이용하여 개발된 본 제어장치의 입출력 창을 보여주고 있다. 이 입출력 프로그램은 Windows 기반의 PC에서 사용되기 때문에 데이터의 처리가 매우 용이하다. 사용자의 편의를 위해 모든 화면은 간단한 버튼과 입력 창으로 되어있고 각 순서의 화면을 자유롭게 앞뒤로 이동할 수 있게 제작되었다. 현재 날짜와 시간, 운영 요일과 약품 투입량, 센서 사용 여부, 작동 주기

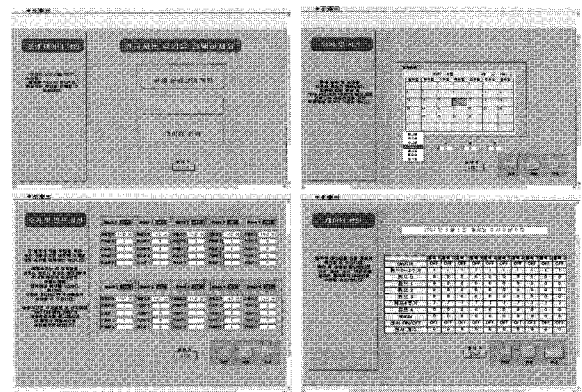


그림 10. 통신프로그램 실행 화면.
Fig. 10. Communication program display.

등을 간편하게 설정할 수 있고 각각의 설정이 끝나면 마지막 페이지에서 설정된 데이터를 모두 정리하여 볼 수 있다. 데이터의 전송은 RS-232통신을 이용하며 PC의 시리얼 케이블로 연결된다.

VI. 운행실험

각 냉각탑의 배출구와 약품의 주입구 밸브 및 펌프는 구동부의 릴레이로 제어하게 되며 LED패널을 통해 확인된다. 투여해야 할 약품의 종류와 양은 전기전도도 센서와 PH미터의 데이터로부터 결정 된다. 냉각수의 적정 전기 전도도는 400 uS/cm 이하이다[10]. 또한 냉각수의 적정 PH는 7.0~8.0[10]이다. 본 실험에서는 여기서 개발된 제어장치와 약품을 이용하여 PH를 제어하는 실험을 수행하였다. 실험에서는 PH미터의 데이터를 확인하여 목표치 보다 높으면 1번 약품을 투여하고 목표치 보다 낮으면 2번 약품을 오차에 비례하여 투여하도록 설정하였다[12]. PH미터는 0~14의 PH를 4~20mA의 전류 출력으로 표시한다. 전류를 200Ω의 저항을 사용하여 0.8V~4V의 전압으로 바꾼 후 출력을 메인프로세서의 10bit A/D 컨버터와 연결하여 센서의 데이터를 읽는다. PH 0은 약 160, PH 14는 약 820의 데이터를 가지게 된다. 목표로 하는 수치는 PH 7~PH 8로서 330~380의 데이터를 갖는다.

그림 11은 PH 실험시 제어부의 동작 판별과 PH 응답을 보여주고 있다. 그림 11(a)와 (b)는 약 PH 12정도의 알칼리성 용수를 제어하는 것을 보여 주고 있다. 제어기는 PH미터의 데이터를 확인하여 1번 약품의 릴레이가 가동되었다. 그림 11(a)의 우측 하단에 보면 첫 번째 LED가 켜져서 1번 약품이 선택된 것을 보여주고 있으며, (b)는 시간이 지남에 따라 PH가 낮아져서 목표수치로 돌아오는 것을 보여 주고 있다. 최종 데이터는 약 340 정도로 목표 수치에 적합하다. 그림

11(c)와 (d)는 PH 2 정도의 산성의 용수를 제어하는 것을 보여 주고 있다. (c)의 우측 하단에 보면 이번에는 기준치보다 PH가 낮기 때문에 두번째 LED가 켜져서 2번 약품의 밸브가 가동되었다. 그림 (d)는 약품이 투여된 후에 PH 7.5 정도가 되어 냉각수로서 적합하게 된 것을 보여주고 있다. 실험을 위해서 강산성과 강알칼리성의 용수를 사용하였고 사용한 용기가 냉각탑에 비해 매우 작기 때문에 PH가 급격히 변화하였다.

VII. 결론

냉각탑 수질관리 자동 제어 시스템을 업체의 협조 하에 개발한 결과 시제품을 개발할 수 있게 되었다. 전자기 유도 현상을 이용하여 냉각탑의 작동여부를 판단할 수 있는 전류센서를 개발하였고, RS-485 통신 시스템을 구성하여 1.2Km 정도의 원거리에서도 제어가 가능하도록 하였다. 그래픽 기반으로 개발된 PC와의 통신프로그램으로 사용자는 편리하게 운행설정을 하거나 운행기록을 확인할 수 있으며 6개월 이상의 운행기록이 저장 가능하다. 또한 각종 센서를 활용하여 환경적 변화에 능동적으로 대응할 수 있는 페루프 시스템으로 설계하였고 완전 자동화를 구현하였다. 자동제어장치, 키패드 및 구동부, 통신부 각각에 대한 시운전을 성공적으로 마쳤고 여기에 실제 펌프 및 물을 이용하여 동작 시험을 한 결과 의도대로 동작하는 것을 확인하였다. 현재 실제 현장에 설치되어 운행 중에 있다.

이 시스템의 개발로 인하여 정확한 수질 관리를 할 수 있으므로 약품의 오남용을 막고 용수 및 관리 비용을 절감할 수 있으며 설비의 부식 및 막힘을 보다 효율적으로 방지할 수 있게 되어 장비의 수명을 연장시킬 수 있게 되었다. 또한 파이프나 열교환기의 부착 및 유착을 예방함으로써 열효율을 높이고 미생물 발생을 억제하여 친환경적인 냉각탑 운영이 가능하게 되었다.

참고문헌

- [1] <http://www.cti.org/whatis/coolingtowerdetail.shtml>
- [2] http://www.iwakipumps.jp/e_products/e_meterinnng/e_ehn.html
- [3] <http://www.novatech-usa.com/Products/Process-Control-Instrumentation>
- [4] 8-bit AVR Micro controller with 128K Bytes In-System Programmable Flash/ ATmega 128, ATMEL Inc.
- [5] Jan Axelson, Serial Port Complete, Lakeview Research, 2000.
- [6] <http://www.hansen.co.kr/products/2.htm>
- [7] <http://www.hqsensing.com/>
- [8] M. E. VAN VALKENBURG, *Analog Filter Design*, CBS college Publishing, New York, 1982.
- [9] 전자기술연구회 편, OP앰프 IC의 사용법, 技文社
- [10] 일본공업규격 JIS K 0101
- [11] David A. Bell, *Electronic Instrumentation and Measurements*, Prentice Hall Career & Technology Prentice-Hall Inc, 1994.
- [12] N. S. Nise, *Control Systems Engineering*, John Wiley & Sons Inc, 2000.
- [13] R. P-Areny/J. G.Webster, *Sensors and Signal Conditioning*, John Wiley & Sons Inc, 2001.

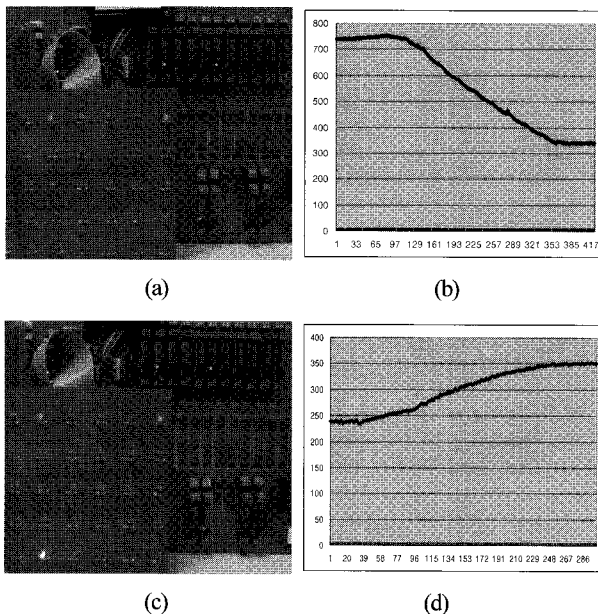
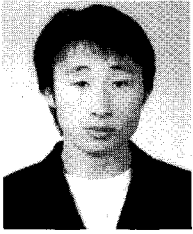
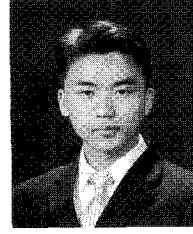


그림 11. 릴레이구동과 PH센서 데이터.
Fig. 11. Relay operation and PH sensor data.



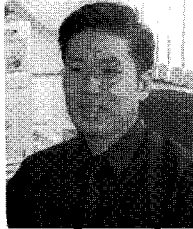
이 기 건

2007년 건국대학교 기계항공공학부 졸업. 2007년~현재 건국대학교 대학원 항공우주정보시스템공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 전자제어시스템, 무인항공기 제어 시스템.



송 무 준

2006년 건국대학교 기계항공공학부 졸업. 2006년~현재 건국대학교 대학원 항공우주정보시스템공학과 석사과정 재학중. 관심분야는 임베디드 시스템, Firmware, 전자제어시스템, 무인항공기.



강 태 삼

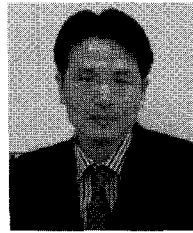
1986년 서울대학교 제어계측공학과 학사 졸업. 1988년 동 대학원 석사 졸업. 1992년 동 대학원 제어계측 공학박사. 2001년 9월~현재 건국대학교 항공우주공학과 교수. 관심분야는 MEMS 센서, 자동비행, 전자제어시스템.



이 영 재

1982년 서울대학교 항공공학과 학사 졸업. 1985년 동 대학원 석사 졸업. 1990년 미국 The Univ. of Texas at Austin 항공우주공학 박사. 1996년~현재 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 교수. 관심분야는 GPS를 이용한 정밀 위치결정, GPS응용.

GPS응용.



성 상 경

1996년 서울대학교 전기공학부 학사 졸업. 1998년 동 대학원 석사 졸업. 2003년 동 대학원 전기컴퓨터공학부 박사. 2007년 3월~현재 건국대학교 항공우주정보시스템공학과 조교수. 관심분야는 Avionics 센서, 통신 및 제어 시스템 하드웨어, 항공전자용 Data network 시스템, 비선형 제어 시스템 및 응용.

공전자용 Data network 시스템, 비선형 제어 시스템 및 응용.