

냉각탑 수질 제어 시스템

냉각탑은 대형빌딩이나 공장의 주요 설비 중의 하나이다. 냉각탑의 경제적 운영과 장비의 수명연장을 위해서는 환경적 변화에 따라 적정량의 약품을 투여할 수 있는 자동화 시스템이 필요하다

■ 이기건*, 강태삼*, 강홍석**

(*건국대학교 항공우주정보시스템공학과, **(주)배스캡)

1. 서론

냉각탑은 기계나 산업공정에서 발생하는 열을 제거하기 위하여 사용된 온수를 공기와 효과적으로 접촉시켜 냉각시키는 장치이며, 주변에서 흔히 볼 수 있는 빌딩, 호텔, 병원, 백화점 및 극장과 같은 대형 건물이나 대형 공장의 중요한 설비 중의 하나이다[1][2]. 냉각탑에 한번 유입된 냉각수는 냉각탑과 파이프를 순환하면서 계속 재사용되며 냉각과정에서 증발된 양만큼만 보충된다. 이 과정에서 순환수의 일부분이 증발하면서 냉각효과를 발휘하는 대신 남아있는 냉각수 중의 이온들은 농축되어 부식, 스케일 등이 쉽게 생성될 수 있는 여건이 조성되고 또한 대기로부터의 여러 가지 오염물질의 혼입과 계통 내부에서 발생하는 부식이나 미생물의 증식 등으로 수질이 계속 악화되게 된다. 오염된 냉각수는 냉각탑, 열 교환 장치, 파이프 등에 부식과 스케일을 발생시키고 미생물, 세균 등을 증식시킨다. 부식과 스케일은 열전달성을 저하시켜 열 교환 효율을 떨어뜨리고 냉동기의 응축온도가 상승되며, 냉동기 효율의 저하로 냉동기의 소비전력이 증가하게 되며 처리약품이 흡착되어 약품을 낭비시킨다. 또한 미생물과 세균이 증식되어 악취와 질병의 원인이 된다[3][4]. 이러한 문제들을 해결하기 위해서 자외선이나 자기장, 오존, 미생물 등을 이용하는 수처리 기

술들이 개발되고 있지만 대부분의 냉각탑 설비에서는 화학적 처리기술로 약품을 투여하여 수질을 관리하고 있다.

일반적으로 냉각수 약품이 많이 사용되는 대형 플랜트, 발전소 등에는 냉각수약품을 투입하기 위한 대형의 자동화 설비가 있으나, 대부분의 중소형 설비나 중소형 건물은 물론이고 백화점, 종합병원과 같은 대형건물에도 냉각수 약품을 투입하기 위한 설비는 전무한 것이 현실이다. 이런 중소형 냉각탑 설비에서는 여전히 사람의 눈대중이나 경험적 지식에 의존하여 약품을 첨가하고 있기 때문에 환경적 변화에 따라 적정량의 약품을 투여하는 것이 어렵다. 적정량보다 지나치거나 모자라게 약품을 투입하게 되면 오히려 냉각수를 오염시키게 되어 냉각수를 자주 교체해 주어야 하기 때문에 냉각수의 사용량이 증가하여 비용이 낭비되고 폐 냉각수의 배출로 환경에도 나쁜 영향을 미친다. 또한 부식과 스케일 등의 생성으로 장비 수명을 단축시키게 된다. 이 글에서는 기존에 개발된 국내외의 냉각탑 제어시스템과 필자가 중소형 냉각탑 설비의 수질관리를 위해 개발한 자동 제어시스템의 알고리즘과 시스템 구성에 대해 다루고자 한다.

2. 국내 · 외의 냉각탑 제어시스템

이미 개발되어 판매되어지고 있는 국내 · 외의 냉각탑 제어

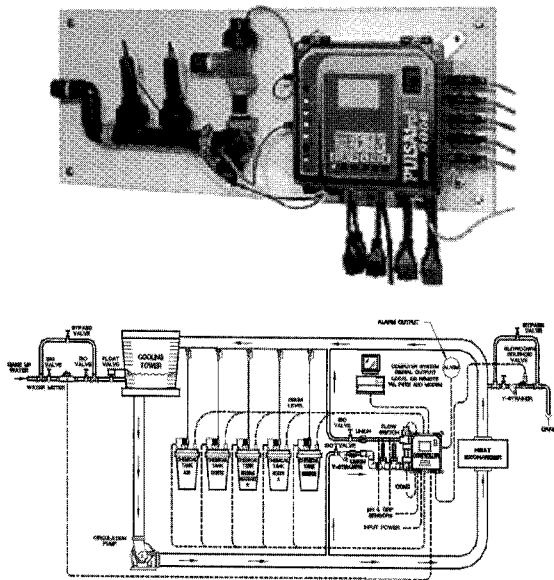


그림 1. MC9500 Series 냉각탑 수질제어 개념도(5)

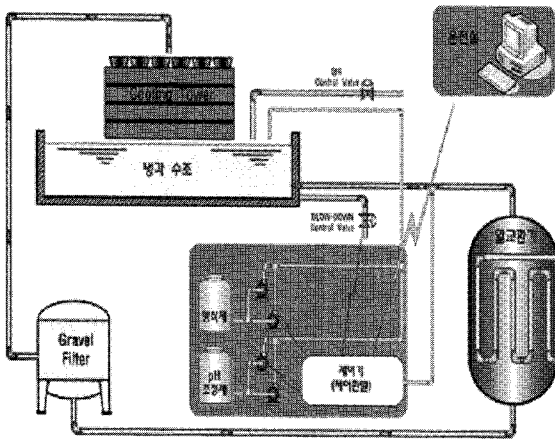
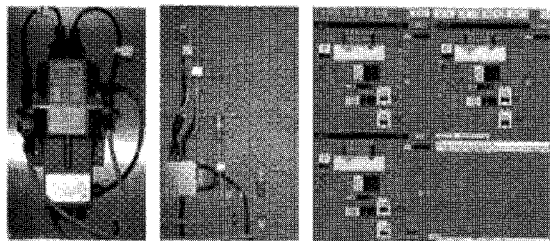


그림 2. WAREC-C 냉각탑 수질 제어 개념도(6)

시스템에 대해 살펴보겠다. 먼저 그림 1은 Nova-tech international 사의 MC9500 series로 마이크로프로세서로 냉각수의 전기전도도, PH, ORP를 측정하며 약품을 투입하여 이를 제어하는 시스템이다. 전기전도도 센서, PH 센서, ORP 센서 등의 출력 신호를

제어기의 입력(4-20mA)으로 받아서 각 약품들의 밸브를 릴레이 출력으로 제어한다. 편리한 키패드 메뉴로 설정이 용이하고 LED를 통해 각종 제어 상태를 확인해 볼 수 있다. 또한 다수의 사이클 타이머를 가지고 있어서 정해진 사이클이나 28일(월단위)설정, Limit(설정치에 도달할때까지)설정 등의 옵션을 사용자가 선택할 수 있고. 업체에서 제공하는 소프트웨어를 사용하여 RS-232통신을 하거나 모뎀을 사용하여 원격 제어가 가능하다. 제어기 자체의 가격만 200~300만원이고 수질 측정을 위한 센서들과 약품주입을 위한 펌프는 추가하여야 한다. 또한 하나의 제어기로 여러 약품의 투입은 가능하지만 하나의 냉각탑만 제어할 수 있다.

그림 2는 국내의 KNTEC사의 WAREC-C시스템으로 PH,전기전도도, 경도, 잔류염소, 부식도를 측정하여 냉각수의 수질을 실시간으로 확인하고, 약품주입량과 블로우 다운을 자동 제어하여 설비의 스케일, 부식, 슬러임 장애를 사전에 방지함으로써 정비비를 절감하고 설비 수명을 향상 시킬 수 있다. 또한 실시간으로 분석되는 수질정보를 운전실에서 원격으로 모니터링이 가능하고 측정된 수질 정보는 저장되어 용도에 따라 여러 가지 형태로 그래프 및 통계 분석이 지원되어 공정 개선이나 원가절감 활동에 유용하게 사용할 수 있다. 하지만 이 역시 제어기와 냉각탑이 1:1로 제어가 된다.

3. 냉각탑 수질제어시스템 개발

3.1 시스템 구성

냉각탑 수질제어시스템은 센서의 데이터를 처리하여 수질을 실시간으로 모니터링하고, 측정된 수질 정보를 해석하여 최적으로 약품을 투입할 수 있어야 한다. 또한 센서를 이용한 폐루프 제어로 완전 자동화로 운행되어야 하고 측정된 수질의 데이터와 각 냉각탑의 운행시간, 약품의 투입량 등의 데이터가 저장되고 일별, 월별로 정리되어 사용자가 언제라도 확인할 수 있어야 한다. 기존에 개발된 냉각탑 수질제어시스템은 고가의 프로세서를 사용하여 공급가격이 비싸고 냉각탑과 시스템이 1:1로 제어되기 때문에 하나의 시스템으로 하나의 냉각탑 밖에 제어할 수 없어서 냉각탑의 개수가 늘어날수록 제어기와 정량펌프[7]의 개수가 비례하여 늘어나므로 이에 들어가는 비용이 더욱 증가하게 된다. 필자는 기존 시스템의 단점을 극복하기 위해서 한 대의 제어시스템과 한 대의 정량펌프만으로 최대 10대의 냉각탑과 5가지의 약품을 동시에 제어 가능하여 중소형 냉각탑에서도 사용할 수 있는 공급 가격이 저렴한 시스템을 개발하였다.

그리고 운행에 필요한 정보를 입력하고 현재의 운행상태나 운행되어진 기록들을 받아보기 위한 통신프로그램을 개발하였다. 이 프로그램은 Windows 기반의 PC에서 사용되고 제어나 프로그램에 전문적 지식이 있는 사람보다는 단순히 사용하고 확인하는 정도의 사람들을 대상으로 개발하였기 때문에 모든 화면은 간단한 버튼과 입력 창으로 되어있고 각 순서의 화면을 자유롭게 앞뒤로 이동할 수 있다. 현재 날짜와 시간, 운행 요일, 약품 투입량, 센서 사용 여부, 작동 주기 등을 설정할 수 있고 각각의 설정이 끝나면 마지막 페이지에서 설정된 데이터를 모두 정리하여 확인해 볼 수 있다.

본 시스템은 그림 3에서와 같이 크게 센서의 데이터를 받아서 적정 약품량을 계산하기 위한 자동 제어부, 자동 제어부의 신호를 받아서 약품 투입을 위해 밸브와 펌프를 구동하기 위한 구동부, 전류센서, PH센서, 전기전도도 센서로 구성되어 냉각수 수질에 대한 정보를 자동 제어부로 전달하는 센서부로 구성된다.

자동 제어부는 고가의 프로세서 대신에 저렴한 ATmega128[8] 프로세서를 사용하였다. 이 프로세서는 8비트의 마이크로프로세서로서 16MHz에서 16MIPS (Million Instruction Per Second)의 고속의 처리속도를 가지고 있으며 프로그램 메모리와 데이터 메모리가 완전히 분리되어 있어서 효율적이다. 또한 ISP가 지원되는 128Kbyte의 플래시 메모리를 가지고 있어서 프로그램 이식에도 무리가 없고 8채널의 10비트 아날로그 디지털 변환기가 자체 내장되어 있어서 아날로그 센서 신호를 처리함에 있어서 별도의 추가 비용이 필요치 않다. 약품 투입량의 계산은 센서보드로부터 받은 냉각수의 수질 데이터에 기초하여 비례 제어[9]를 사용하여 계산하게 된다. 또한 자동 제어부에 512 K bytes의 EEPROM이 추가되어 있어서 6개월 이상의 운행 데이터의 저장 가능하다.

구동부는 자동 제어부에서 나오는 명령을 실제 전원에 연결하여 밸브와 펌프를 구동 시키는 역할을 한다. 전원 및 릴레이로 구성되어 있으며 구동부는 마이크로컨트롤러의 명령에 따라 릴레이를 온/오프 함으로써 펌프 및 주입구의 밸브를 구동하게 된다. 그림 4는 구동부의 릴레이 작동으로 밸브를 제어하여 한 대의 제어기와 정량 펌프로 다수의 약품 및 냉각탑을 제어하는 모습을 나타내는 개념도이다. 여러 약품 입력 중에 하나가 선택되어 밸브가 개방되고 출력 또한 여러 냉각탑 중에 하나가 선택되어 밸브가 개방되어 하나의 펌프로 다수의 입력과 출력을 제어하게 된다.

센서부는 냉각탑의 가동 유무를 체크하기 위한 전류센서와 냉각수의 수질을 파악하기 위한 PH센서, 전기전도도 센서 또한

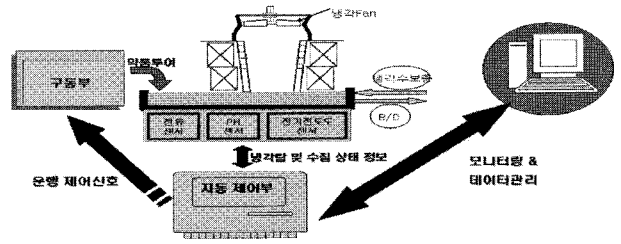


그림 3. 페루프 냉각탑 수질제어 시스템

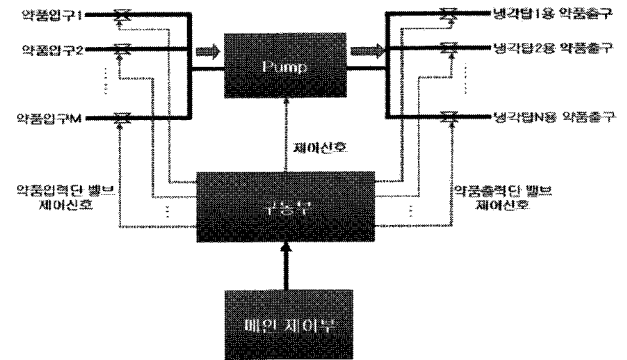


그림 4. 구동부의 밸브 제어

메인제어부나 다른 센서보드들과의 신호를 주고 받기 위한 RS-485통신과 센서신호의 처리를 위한 신호처리 회로로 [10][11][12] 구성된다. 보통 센서는 제어기와 멀리 떨어져 있어서 외부 잡음의 영향을 많이 받는다. 따라서 외부 잡음에 강하고 원거리 통신이 가능한 RS-485를 이용하여 제어부와 센서보드, 센서보드들끼리의 통신을 한다. RS-485통신은 통신거리가 1.2Km로 비교적 장거리 통신이 가능하고 여러 개의 통신 포트를 병렬로 연결하여 사용할 수 있기 때문에 경제적으로 여러 센서의 데이터를 모으는데 유용하게 사용된다. 각 센서보드에는 ATmega128이 탑재되어 있어서 내장된 10bit의 아날로그-디지털 변환기로 센서의 데이터를 처리한다.

3.2 운행 알고리즘

시스템은 정해진 운행정보나 센서 데이터를 이용하여 제어하게 되며 운행 중에도 냉각탑의 작동상태와 수질 정보를 확인할 수 있어야 한다. 알고리즘은 C언어로 구현되었다. 이 알고리즘을 살펴보면 전원이 들어온 후 먼저 EEPROM의 특정 주소에 저장되어있는 운행 정보를 입력 받는다. 다음으로 현재 시간을 체크하면서 운행 예약까지 대기 한다. 운행 시간이 되었으면, 각 냉각탑의 작동상태를 알기 위해서 전류센서의 정보를 요청한다. 센서 모듈로부터 각 냉각탑의 작동상태를 확인하고 자동

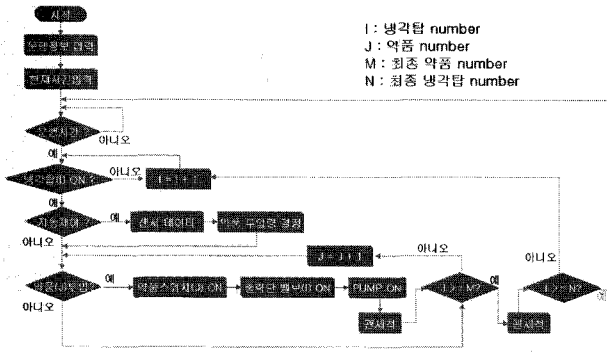


그림 5. 운영 알고리즘

제어를 할 것인지를 결정한다. 이는 사용자가 미리 설정해야 할 부분이다. 자동제어를 할 경우 PH미터기와 전기전도도 센서의 데이터를 바탕으로 필요한 약품의 투입량을 계산하여 일정 시간 간격으로 약품을 투여한다. 자동제어를 설정하지 않는다면 사용자가 입력한 약품의 양만큼만 정해진 시간에 투여하게 된다. 각각의 약품과 냉각탑에 번호를 부여하여 순차적으로 투여하도록 하였다.

또한 운영 중에도 시스템의 각종 정보를 확인하기 위해서 인터럽트 개념을 사용하였다. 인터럽트는 PC와 센서, 키패드에서 들어오며 키패드의 인터럽트를 사용하여 LCD창에 현재 운영 정보를 표시한다. 인터럽트가 들어오면 먼저 식별코드를 해독하고, 그에 맞는 루틴을 수행한다. 키패드 입력이면 각 키의 맞는 명령을 수행한다. 키패드를 이용해 현재시각, 자동제어 여부, 각 냉각탑의 약품 투입량, 약품 투입 주기 등에 대한 정보를 확인할 수 있다. 원격 컴퓨터에서의 명령 입력으로 운영설정을 하거나 기록된 정보를 확인해 볼 수 있다.

3.3 통신 및 사용자 인터페이스

운영정보와 운영기록은 자체 개발된 통신 프로그램을 통하여 이루어진다. 이는 그래픽 인터페이스 기반으로 제작되었다. 그림 6은 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 등을 간편하게 설정할 수 있고 각각의 설정이 끝나면 마지막 페이지에서 설정된 데이터를 모두 정리하여 볼 수 있다. 데이터의 전송은 RS-232통신을 이용하며 PC의

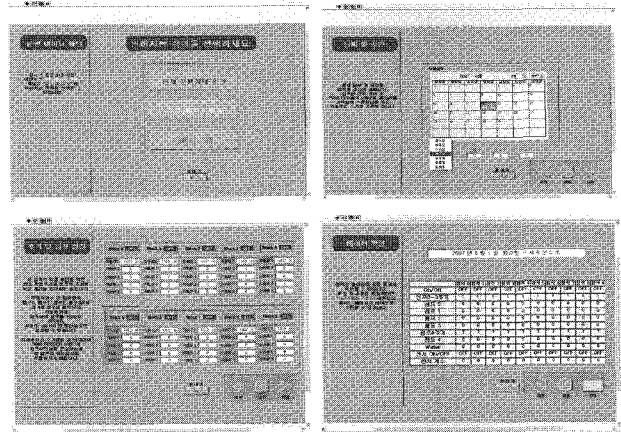


그림 6. 통신프로그램 실행 화면

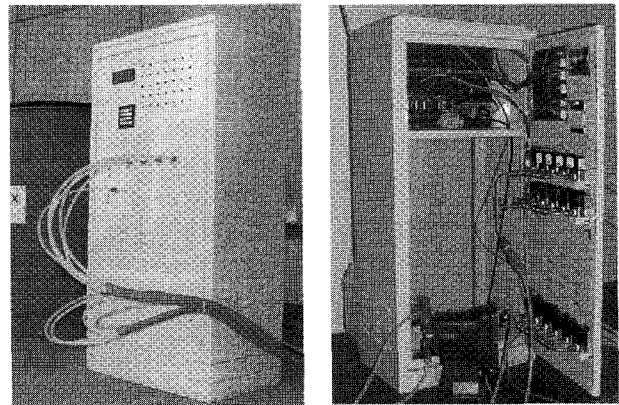


그림 7. 개발된 냉각탑 수질 시스템의 외관과 내부

시리얼 케이블로 연결된다. 그림 7은 본 연구에서 개발된 냉각탑 수질 제어장치의 모습을 보여주고 있다.

3.4 수질제어 동작

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. 또한 냉각수의 적정 PH는 7.0 ~ 8.0이다. 그림 8은 냉각탑 제어기가 PH를 제어하는 과정을 보여주고 있다. 제어기는 PH미터의 데이터를 확인하여 목표치 보다 높으면 1 번 약품을 투여하고 목표치 보다 낮으면 2 번 약품을 오차에 비례하여 투여한다. PH미터는 0 ~ 14의 PH를 4 ~ 20 mA의 전류 출력으로 표시한다. 전류를 200Ω의 저항을 사용하여 0.8V ~ 4V의 전압으로 바꾼 후 출력을 메인프로세서의 10bit A/D 컨

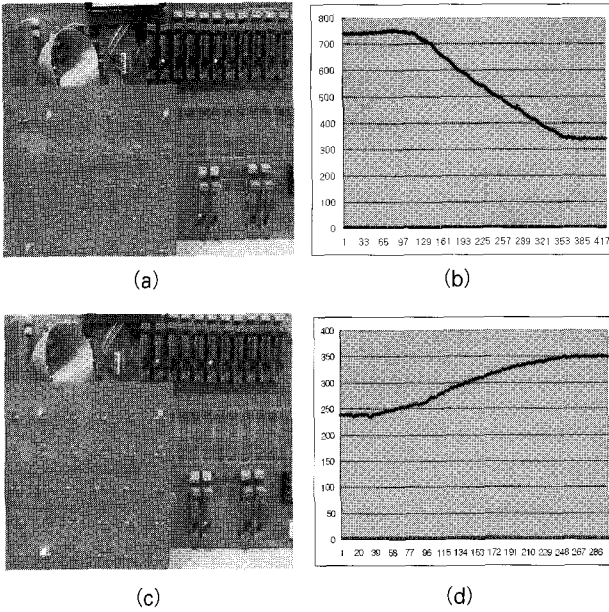


그림 8. 릴레이구동과 PH센서 데이터

버터를 이용하여 센서의 데이터를 읽는다. PH 0 은 약 160, PH 14는 약 820의 데이터를 가지게 된다. 목표로 하는 수치는 PH 7 ~ PH 8로서 330 ~ 380의 데이터를 갖는다. 그림 7에서 PH 제어 동작시 제어부의 동작 판별과 PH 응답을 보여주고 있다. 그림 8(a)와 (b)는 약 PH 12 정도의 알칼리성 용수를 제어하는 것을 보여 주고 있다. 제어기는 PH미터의 데이터를 확인하여 1 번 약품의 릴레이가 가동되었다. 그림 8 (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 8 (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 투입된 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.

4. 기대효과 및 활용방안

냉각탑 수질관리 시스템은 우리나라에서 많이 이루어지지 않은 화학분야의 자동화 시스템이며 특히 중소형 냉각탑에

적합한 저렴한 시스템이 거의 전무한 것이 사실이다. 필자는 업체의 협조 하에 개발한 결과 시제품을 제작할 수 있게 되었다.

개발된 수질자동제어시스템은 RS-485 통신 시스템을 구성하여 잡음에 강하고 원거리 제어가 가능하다. 그래픽 기반으로 개발된 모니터링 프로그램으로 사용자는 편리하게 운행설정을 하거나 운행되어진 기록을 확인해 볼 수 있고 그 데이터는 6개월 이상 저장 가능하다. 또한 각종 센서를 활용하여 환경적 변화에 따라 약품의 양이 자동으로 조절되어 완전한 자동화가 가능하도록 하였다. 이 시스템을 개발로 냉각수의 수질관리가 자동화되어 기존에 사람이 경험에 의해 관리할 때보다 정확히 관리할 수 있으므로 약품의 오남용을 막을 수 있으며 폐냉각수의 배출을 줄일 수 있고 설비의 부식 또는 스케일을 보다 효율적으로 방지할 수 있어 장비의 수명을 연장시킬 수 있고 열 효율이 향상되어 에너지 손실을 줄일 수 있다. 또한 미생물이나 세균의 발생을 억제하여 악취나 질병을 예방할 수 있다. 이처럼 이 시스템의 개발로 냉각수의 절약, 약품의 오남용 방지, 장비수명 연장, 인건비 절감의 효과들을 얻을 수 있다.

현재 우리나라에 중·대형빌딩, 백화점, 호텔, 병원, 공장 등 냉각탑이 없는 대형건물은 거의 없다. 이런 많은 냉각탑들이 아직까지는 대부분 사람에 의해 수동적으로 관리 되고 있기 때문에 앞으로의 수요가 매우 많을 것임을 기대할 수 있다. 이 시스템은 냉각수의 상태를 파악해서 정확한 양의 화학약품을 투입하는 것이 그 핵심기술이다. 그렇기 때문에 본 시스템은 이와 유사한 보일러나 조건과 시간에 맞춰 물과 비료를 주는 농업시설 등 여러 분야에서 약간의 수정만으로 본 제어기를 활용할 수 있다.

참고문헌

- [1] <http://www.shinkwangeng.co.kr/html/collingtower.php>
- [2] <http://www.cti.org/whatis/coolingtowerdetail.shtml>
- [3] 신성의, 박주석, 수처리공학(이론과 응용), 동화기술, (1990)
- [4] 양병수, 용수 및 폐수처리, 동화기술, (1990)
- [5] <http://www.novatech-usa.com>
Products/Pulsatrol-MC9500-Cooling-Tower-Controllers
- [6] http://www.kntec.co.kr/sub_product.htm
- [7] Jan Axelson, Serial Port Complete, Lakeview Research, 2000.
- [8] 8-bit AVR Micro controller with 128K Bytes In-System Programmable Flash/ ATmega 128, ATMEL Inc.

- [9] Norman S. Nise, Control Systems Engineering, John Wiley & Sons Inc, 2000.
- [10] M. E. VAN VALKENBURG , Analog Filter Design, CBS college Publishing, New York, 1982.
- [11] 전자기술연구회 편, OP앰프 IC의 사용법, 技文社.
- [12] David A. Bell, Electronic Instrumentation and Measurements, Prentice Hall Career & Technology Prentice-Hall Inc, 1994.

저 자 약 려



이 기 건

- 2007년 건국대학교 기계항공공학부 졸업.
- 2007년~현재 건국대학교 대학원 항공우주정보 시스템공학과 석사과정 재학 중.
- 관심분야 : 전자제어시스템, 무인항공기 제어 시스템.



강 태 삼

- 1986년 서울대학교 제어계측공학과 학사 졸업.
- 1988년 동 대학원 석사 졸업. 1992년 동 대학원 제어계측 공학박사.
- 2001년 9월~현재 건국대학교 항공우주공학과 교수.
- 관심분야 : MEMS센서, 자동비행, 전자제어시스템.



강 흥 석

- 1986년 충남대학교 경영학과 학사 졸업.
- 현재 (주) 배스캡 상무.
- 관심분야 : 냉각탑 수질제어시스템, 보일러 수질 제어시스템, 수처리공법