

자동제어 설계기준서

■ 신 영 기 / 세종대학교 기계공학과, ygshin@sejong.ac.kr

에너지 절약 및 재생에너지 활성화를 위한 자동제어 역할이 중요해지고 있어 이번에 새로 정되는 자동제어 설계기준서의 내용을 소개한다.

자동제어설비 설계의 목적은 제어설비로 열원 및 위생설비를 최적 운전하여 건축물의 공기조화 및 용수공급을 원활히 하면서 에너지를 절약하는 것이다. 자동제어 설비는 외형적으로 검출기(sensor), 조작기(actuator) 및 제어기(controller)로 구성되며 제어 대상에 따라 이들을 선정하고 제어 알고리즘을 구성하는 방안이 설계기준의 핵심 사항이다.

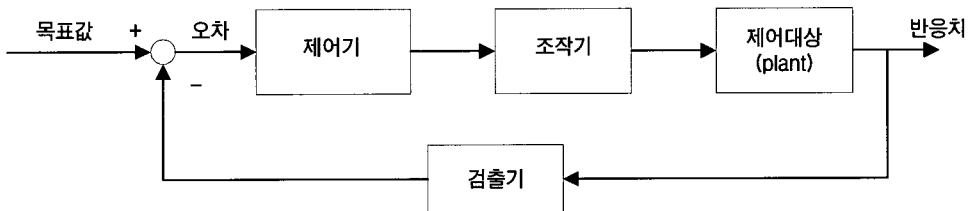
문제는 요구되는 제어 목표성능(예컨대, 정상상태 오차 $\pm 1^{\circ}\text{C}$, 정상상태 도달 시간, 자연환기 활용, 재생에너지 이용 등)에 따라 제어 알고리즘도 달라져야 하고 수학적으로 명확한 단일의 최적제어 알고리즘이 존재하지 않는다. 게다가 조작기이면서 제어 대상(자동제어분야에서는 '플랜트(plant)'로 표현함)의 일부인 열원 및 위생설비는 제어문제를 고려하여 선정되는 것이 아니라 자동제어 설비 설계의 입장에서는 주어진 조건에 해당한다.

열원 및 위생설비는 대개 용량에 비례한 선형제어가 가능한 경우가 드물며 비선형이거나 2위치(on/off) 방식이다. 조작기에 해당하는 펌프나 밸

브 등도 원가문제로 2위치 방식이 대부분이며 에너지 절약의 경제성 및 정밀제어가 중요한 일부 영역에서만 용량에 비례하는 부품이 적용된다.

또한 제어대상인 건축물은 열용량이 커서 조작기의 용량변화에 대한 반응이 오랜 시간에 걸쳐 천천히 나타난다. 온돌 난방의 경우 온수코일에 온수가 유입되면서 곧바로 실내 온도가 반응하지 않고 오랜 경과시간이 소요되는 것과 같은 이치이다. 이러한 지연을 자동제어에서는 반응지연(response delay)이라고 하며 자동제어의 불안정성을 증가시키는 요인이다. 불안정성의 증가는 시스템 반응의 주기적인 헌팅 폭의 증가로 나타난다. 온돌 난방 제어의 경우 실내온도의 변동 폭의 증대에 해당하여 재실자의 불쾌감을 증가시킨다.

자동제어란 제어대상의 반응을 목표치에 수렴하도록 반응결과를 검출기로 감지하여 목표값과 비교하고 제어기에서 그 오차에 근거한 제어 연산을 통해 오차를 줄이는데 필요한 조작기 출력을 계산한다. 제어기에서의 조작기 명령값이 조작기에 입력되어 조작기에 의한 제어대상의 반응을 변화시키는 일련의 과정이 폐루프(closed loop) 형태로 반복되는 것이다. 따라서 자동제어는 기본적으로 폐루프 형태이고 제어대상의 반응을 목표값과 비교하여 제어동작 수정에 되먹임 하는 구조를 피드백(feedback)이라고 한다. 그림 1은 폐루프 형태



[그림 1] 폐루프 자동제어 블록선도



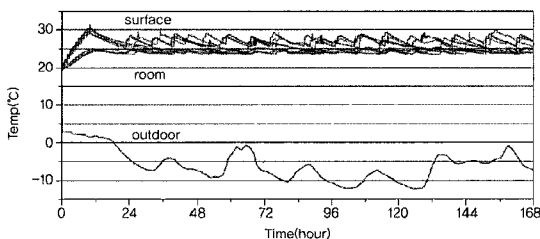
의 자동제어를 보여주는 블록선도(block diagram)이다. 그림 2와 그림 3¹⁾은 온돌난방 제어의 예를 나타낸다. 제어 알고리즘은 제어하한과 상한 사이에서 온수 밸브(조작기)를 2위치 제어하는 것이고 그 결과 온돌 표면온도가 23℃와 30℃ 사이에서 변동하고 실내온도는 그 보다 완만하게 변동하고 있다.

제어대상의 비선형성이 강하고 조작기가 2위치 동작이거나 비선형적이므로 정상상태에서의 제어 안정성 확보에 중점을 둔 보수적 제어 알고리즘을 선호하게 된다. 그 결과 보수적 제어 알고리즘인 2위치 제어와 PID(비례-적분-미분 동작) 제어 알고리즘이 실용적으로 적용되고 있다. PID 제어의 경우도 최대한 단순화하기 위하여 제어 대상에 따라 비례(P) 제어 또는 비례-적분(PI) 제어가 주로 사용된다.

설계기준서 내용 구성

건축물에 적용된 공기조화 및 위생 설계방식에 의해 건축설비가 선정된다. 선정된 건축설비를 이용하여 설계된 공기조화 및 위생 방식을 구현하도록 자동제어 설계가 수행되어야 한다.

전술한 바와 같이 자동제어는 제어 알고리즘 구성이 핵심사항이지만 유일한 알고리즘이 존재하는 것이 아니라 다양할 수 있고 검출기나 조작기의 종류에 따라서도 달라져야 한다. 이 모든 경우의 수를 고려하여 설계기준을 정하는 것은 불가능하기 때문에 설계기준은 지나치게 구속적이어서는 안된다. 그러나 설계된 공기조화 및 위생방식이 요



[그림 2] 제어대상의 실내온도 반응(실내온도 제어상한 24.5℃, 제어하한 23.5℃) surface-온돌표면, room-실내, outdoor-외기

구하는 제어성능을 만족하기 위해서 준수해야 할 최소한의 조건이 있으며 자동제어 설계 기준서에는 이를 규정하고 있다.

제1장 총칙에서는 설계 목적, 설계 단계 및 성과물, 용어 정의 그리고 참고기준이 일반사항으로서 서술되어 있다. 제2장은 공기조화설비 제어설계로서 공기조화기, 열원설비 및 환기설비를 그리고 제3장은 위생설비 제어설계로서 급수설비, 급탕설비, 배수설비, 우수설비 그리고 액면조절장치에 대하여 일반사항, 설비의 제어설계 그리고 자동제어 설계의 고려사항의 항목 형식으로 설계기준을 서술하고 있다.

제4장은 자동제어 설비 자체에 관한 것으로서 중앙관제설비와 현장제어설비 그리고 이를 응용한 원격검침시스템과 실별온도조절장치에 관하여 제2장 및 3장의 형식대로 설계기준을 서술하고 있다. 그 외 추가될 수 있는 설비들이 많이 있으나 이는 추후 개정판에서 검토될 필요가 있다.

설비별 자동제어 설계기준 예

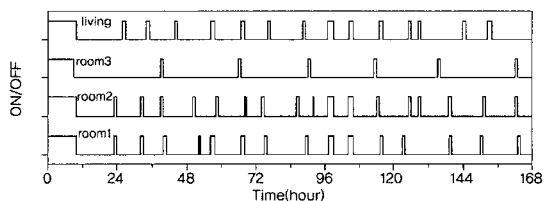
자동제어 설계기준의 내용을 살펴보기 위해 일부 사례를 살펴본다.

변풍량 공기조화 설비

그림 4는 DDC (직접 디지털 제어; Direct Digital Control) 방식에 의한 변풍량 제어 방식의 예를 나타낸다.

• 개요

급기팬과 환기팬의 정압 및 풍량제어는 풍량측정기(FMS) 제어 방식이며, 급기팬과 환기팬의 풍량



[그림 3] 조작기인 온수밸브의 2위치 제어동작

조절은 인버터에 의한 방식으로 한다. 제어 계통은 그림 4를 따른다.

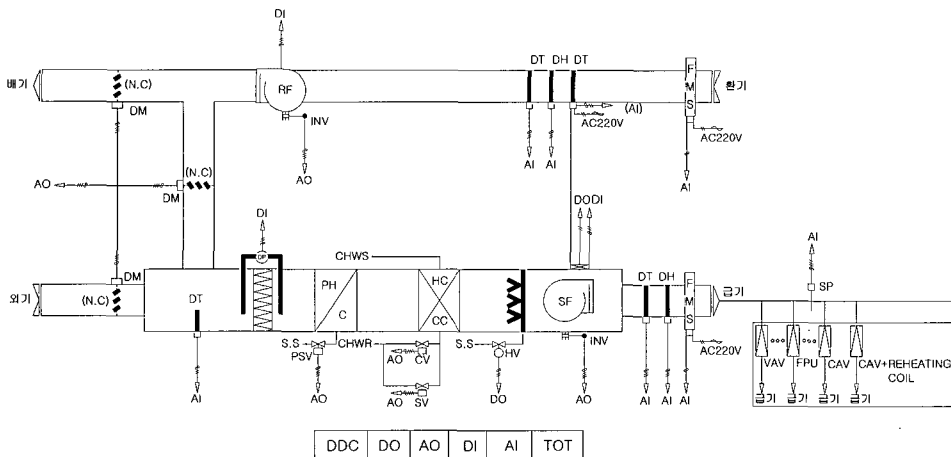
• 제어 설계

- ① 기동 : 중앙감시실에서 급기팬(SF)을 기동하면 공조가 시작되도록 한다. 이때 시간 지연 기능을 두어 기동 시에는 댐퍼모터(DM)가 먼저 동작하도록 한다.
- ② 실내온도 제어 : 환기덕트에 설치된 온도검출기(DT)의 검출온도에 따라 냉방밸브(CV)와 난방밸브(SV)를 비례 제어한다.
- ③ 실내습도 제어 : 환기덕트에 설치된 습도검출기(DH)의 검출습도에 의해 가습밸브(HV)를 비례 제어하여 실내 습도를 일정하게 유지시킨다.
- ④ 환절기 댐퍼 제어 : 외기, 배기, 환기 댐퍼는 엔탈피 제어에 의해 상호 연동 비례 제어 한다.
- ⑤ 동하절기 시 댐퍼 제어 : 외기, 배기 댐퍼는 최소 개도치 열림, 환기댐퍼는 역동작 된다.
- ⑥ 초기 기동 시 댐퍼 제어 : 외기, 배기 댐퍼는 완전 닫힘, 환기 댐퍼는 완전히 열려 실내가 일정 온도에 도달 시까지 운전된다.
- ⑦ 엔탈피 제어 : 환절기 외기냉방 시 환기덕트에 설치된 온·습도 검출기(DT, DH)와 외기 덕트에 설치된 온·습도 검출기 엔탈피를 연

산 비교하여 외기 엔탈피가 실내 엔탈피보다 낮은 경우 엔탈피 제어에 의한 댐퍼의 상호 연동 비례 제어로 실내 상태를 유지시킨다.

- ⑧ 화재 감지 : 환기 덕트에 설치된 이산화 연검출기(DS)의 감지에 의해 급기 팬(SF)을 정지시키고, 중앙감시실에 화재 경보 신호를 보낸다.
- ⑨ 풍량 제어 : 급기 및 환기 덕트에 설치된 풍량 측정기(FMS)와 정압 검출기(SP)는 덕트내 풍량 및 정압을 검출하여 DDC에 의해 급기팬(SF)과 환기팬(RF)의 VVVF를 비례적분 제어하여 급기 및 환기 풍량을 가변시킨다.
- ⑩ 정지 : 급기팬과 환기팬을 정지하고 냉방 밸브, 난방 밸브, 외기 댐퍼, 배기 댐퍼는 닫힘으로 설정하고 환기 댐퍼는 열림으로 설정한다.
- ⑪ 중앙감시실 주요 관제점 : 급기팬/환기팬 기동/정지 및 운전상태 감시, 화재 경보 감시, 혼합기 온도 감시, 필터 차압 감시, 환기 온/습도 감시, 급기 온도/습도 감시, 외기 온/습도 감시, 정압 감시, 풍량 감시

위의 설계 예에서 보는 바와 같이 변풍량 공기조화 설비에 요구되는 제어설계기준을 구체화함으로써 유사 제품 간의 유사 성능을 기대할 수 있고 제어기에 문제가 생길 경우 궁극적으로 타사 제어기에 의한 대체가 가능하도록 하고자 한다.



[그림 4] 공기조화 자동제어 계통도 5(변풍량 방식, DDC 방식)



급탕 설비

• 급탕설비 제어 일반사항

급탕설비는 기름, 가스, 스팀, 전기 등을 열원으로 이용하여 물을 가열하여 온수를 만들어 필요한 개소에 공급한다. 급탕방식에는 국소식(개별식) 급탕방식과 중앙식 급탕방식이 있다. 국소급탕방식은 급탕 개소가 적고 건물 내에 분산되어 있는 경우, 중앙급탕방식은 사용량이나 급탕개소가 건물전체에 비교적 많이 분포하는 경우에 적용한다.

가) 국소식 급탕법

급탕개소가 분산, 고립하고 있을 경우로서 문이 다른 급탕개소 등에 각각 단독으로 급탕설비를 설치하는 것으로, 가열장치에는 순간식 가열기나 저탕식 가열기를 사용한다. 열원으로는 가스, 전기, 등유, 경유 등을 사용한다.

나) 중앙식 급탕법

대규모 급탕방식으로 건물 전체에 걸쳐 온수를

공급하는 경우에 사용된다. 기계실 등의 일정한 장소에 가열장치, 온수탱크(HWG), 순환펌프 등의 기기류를 설치하고, 상향 또는 하향 등의 순환배관에 의해 필요한 장소에 온수를 공급한다. 그림 5에서와 같이 스케줄에 의해 급탕순환펌프가 기동되면, 운용자가 설정한 급탕 설정온도에 맞춰 급탕 공급배관에 설치된 온도검출기(PT)의 검출온도에 의해 가열밸브(HGV)를 비례제어하여 급탕공급 온도를 일정하게 유지시킨다.

• 급탕설비 제어 설계

가) 동작설명서

- ① 급탕 공급배관에 설치된 온도검출기(PT)의 검출온도에 의해 가열밸브(HGV)를 비례제어하여 급탕공급 온도를 일정하게 유지시킨다.
- ② 온수를 필요로 하는 시간만큼 스케줄에 의해 급탕 순환펌프의 기동/정지(S,S)를 제어한다.

나) 중앙감시반 관제점

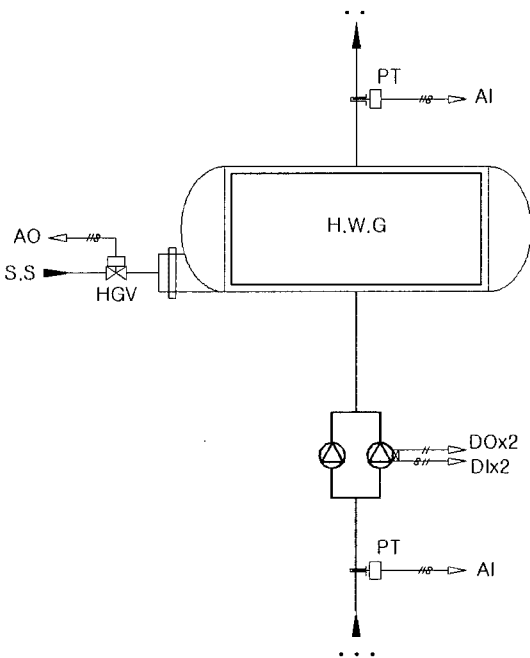
- ① 급탕 순환펌프 기동/정지(S,S) 및 운전상태 감시
- ② 급탕 공급 및 환수온도 감시
- ③ 급탕 가열밸브(HGV) 비례제어 및 개도치 감시

• 자동제어 설계의 고려사항

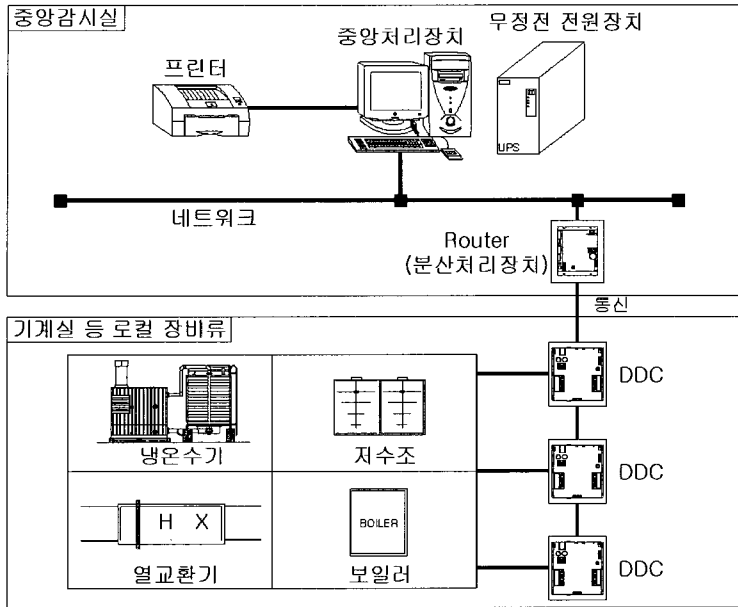
- ① 펌프의 기동/정지 순서를 일정시간마다 차례로 교대시켜 각 펌프의 운전시간을 균등하게 함으로써 장비전체의 수명을 연장할 수 있도록 제어한다.
- ② 급탕 공급온도가 너무 높게 올라가 어린이나 장애인, 노약자 등이 뜨거운 물에 손을 닿을 수 있기 때문에 중앙감시반에서 급탕 공급온도 설정 제한을 두어 일정온도 이상을 공급할 수 없도록 제어한다.

자동제어기기

그림 6은 건축물 전체의 공기조화 및 위생설비를 관장하는 중앙관제 시스템을 나타낸다. 설계기준에서는 중앙관제 시스템을 구성하는 요소기기를



[그림 5] 급탕설비 자동제어 계통도(저탕조 방식)



[그림 6] 중앙관제 시스템 구성도

이 만족해야 할 최소 요구조건을 규정하고 있다. 제어 관점에서 에너지 절약을 위한 에너지 관리가 중요하므로 중앙관제 시스템은 소프트웨어 형태로 (1) 최적 기동, (2) 역률 제어 (power factor control), (3) 야간운전 사이클 (night cycle), (4) 나이트 퍼지 (night purge), (5) 엔탈피 제어, (6) 제로 에너지 밴드, (7) 부하재설정, (8) 절전 사이클, (9) 분산전력 수요, (10) 외기도입량 제어, (11) 가변풍량 제어, (12) 열원기기 운전대수 제어 모듈 중 전부 또는 일부를 건축물에 설치된 설비의 특성을 고려하여 구현하도록 한다.

제어를 위해 제어기, 검출기 및 조작기 간의 통신은 필수적이므로 통신방식을 규정하고, 이종 제어기 간의 호환, 제어 시스템 확장 등을 위해 필수적인 오픈 프로토콜로서 KS F ISO 16484-5에 의하여 건물 자동화 및 제어통신망으로 제정된 통신망 표준 규격인 BACNET의 적용을 규정하고 있다. 이외에 산업계에 많이 보급되어 있는 Lonwork, Modbus 및 OPC(OLE for process control)도 사용가능한 오픈 프로토콜로서 설계기준에 포함하였다.

현장제어기로는 디지털 처리장치인 DDC가 주로

사용되므로 자동제어 설계기준에 적합한 DDC가 갖추어야 할 하드웨어 성능을 규정하고 있다. 특히 제어기 간 통신을 위한 오픈 프로토콜 구현방식에 따라 하드웨어 구성이 달라지므로 구현 프로토콜 별로 DDC가 만족해야 할 하드웨어 요건을 구체적으로 명시하였다.

PLC (programmable logic controller)는 건축물이 아닌 공장 설비제어에 주로 사용되지만 건축물에서의 사용 가능성도 배제할 수 없으므로 PLC의 하드웨어 요구사항도 규정하였다.

검출기의 경우 제어용으로 적용 가능한 다양한 종류의 온도, 습도, 압력 및 유량 등을 측정할 수 있는 검출기들의 최소 요구성능을 규정하였다. 조작기의 경우 유량제어에 사용되는 밸브 및 댐퍼의 개도에 따른 유량특성 별로 형식을 분류하고 제어 용도에 따른 적합한 선정기준을 제시하였다.

맺음말

지금까지 자동제어 설계는 자동제어 설비에 부수적으로 제공되는 소프트웨어 서비스 정도로 인식



되었고, 설치 후에도 지속적으로 운용되고 정비되는 사례가 적었다. 많은 보고에 의하면 자동제어 설비를 정상적으로 운용하는 경우, 15% 이상의 에너지 절감이 가능하다고 한다. 자동제어설비 운용율을 높이려면 건축설비별 제어기준을 명시하여 제어 알고리즘의 표준화를 유도하고 설계기준에 맞는 제어기, 검출기 및 조작기의 사용을 권장함으로써 호환성을 향상시켜야 한다. 특히 제어기 통신에 필수적인 통신 프로토콜의 경우 제조사별 고유 프로토콜이 아닌 오픈 프로토콜 사용을 의무화함으로써 타사 제어기에 의한 대체 또는 업데이트를 가능하게 해야 한다.

탄소 저감 및 신재생 에너지 사용은 다양한 열원을 이용하는 복잡한 설비 구성을 요구하게 될 것이다. 복잡하게 얽힌 설비들을 최적으로 운전하면서 에너지를 절약하기 위해서는 자동제어의 역할이 더욱 중요해진다. 설비 구성이 복잡해질수록 제어 설계기준을 명확히 하여 제어운전의 표준화를 도

모해야 자동제어 성능 평가 및 관리가 효율적으로 이루어질 수 있다.

이번에 처음 제정되는 자동제어 설계기준은 기존 건축물에 적용되어 왔던 보편적인 건축설비에 대한 제어 방식을 규정한 것이며 앞으로는 지열 및 태양열을 이용하는 설비, 지역난방 설비, 폐기물 자동집하 설비 등을 추가해야 할 것이다. 또한 주택건설기준 등에 관한 규정(2009.10.19 개정)에 의해 20세대 이상의 공동주택은 모두 친환경 주택으로 건설해야 한다는 규정에 의해 새로 구비되어야 하는 건축설비들의 제어기준들도 추가해야 할 것이다.

참고문헌

1. 홍희기, 김시환, 2010, 온돌 난방에 대한 동적 시뮬레이션 및 분석, 설비공학회논문집, 심사중. ㉔