

고층 아파트의 최적 열공급 시스템



●1935년생
●공기조화 및 냉동분야를 전공하고 있으며, 특히 건물에너지 절약, 열펌프 및 온돌 냉·난방 등에 관심을 가지고 있다.

민 만 기

고려대학교 기계공학과 교수



●1950년생
●전산유체역학, 열전달을 전공하고 있으며, 자동차의 흡배기 유동, 열유체기계의 최적설계에 관심을 가지고 있다.

최 영 돈

고려대학교 기계공학과 교수

1. 머리말

1970년대초 우리 나라는 경제부흥에 따른 생활수준의 향상으로 난방설비 및 보수 관리비가 저렴하고 대기오염을 방지하는 대단위의 공동주택이 들어서게 되었다. 고온수지역 난방의 효시라고 볼 수 있는 여의도 시범 아파트 및 한강맨션아파트가 건설되면서 본격적인 공동주택의 생활문화권이 형성되기 시작하였다.

공동주택은 쾌적한 실내의 열환경을 제공해주고 주택설비의 관리 및 보수 등을 중앙에서 관리하므로 관리비가 저렴하고 아파트 주변의 편익시설을 활용할 수 있는 장점을 지니고 있어 공동주택의 보급률은 날로 증가하고 있다.

초기의 공동주택은 5,6층 정도에 불과하였으나 단위면적당의 건설비를 낮추기 위하여 15층의 아파트가 주종을 이루게 되었고 상계동 신시가지에 25층의 초고층아파트가 시범적으로 등장하였다. 앞으로 분당지구에는 30층 짜리의 초고층아파트도 등장할 예정이다.

그러나 1970년대 후반에 공동주택의 고층화에 따른 부작용이 사회적인 문제로 나타나기 시작하였다. 공동주택의 층수가 높아짐에 따라 고층부에는 온수의 열공급이 지나치게 많아 생활공간이 너무 더워서 유리창을 열어놓게 되는 반면 하층부는 열공급이 원활하지 못하여 별도의 난방장치를 설치하는 등 열공급의 편중현상

이 일어나 아파트주민간의 분쟁이 발생되기 시작하였다. 15층 아파트의 경우 실내온도의 최대차가 심한 경우 10℃ 이상인 예도 볼 수 있었다. 이같은 분쟁이 심화되자 1980년도 이후부터 정부에서는 이 열공급의 편중을 막는 조치로서 난방용 온수공급주배관을 3개로 구분하는 수직구역화를 주택건설촉진법에서 의무화하도록 하였다.

이 조치로 층수에 따른 열공급의 편중으로 인한 분쟁은 잠잠해 졌으나 이 수직구역화로 공급관 및 환수관의 물량증가로 배관공사비가 크게 증대되고 또한 수직배관 샤프트가 차지하는 건축면적이 커지는 부작용이 문제로 등장하게 되었다.

독일 및 그밖의 외국에서는 중앙식 난방용 온수 및 공조용 냉수의 공급배관망에 정하여진 유량을 공급하도록 하고 과대유량을 방지해주는 각종 밸브를 사용하고 있으며 미국에서는 사무실 건물에 이같은 밸브를 적용하고 모두 단구역 배관방식을 채용하고 있으나 국내에서는 다구역배관방식의 적용이 의무화되고 있어 초기공사비의 부담을 감내할 수 밖에 없는 실정에 있다. 따라서 앞으로 다가올 초고층의 공동주택에서는 심각한 문제로 대두될 것으로 보인다.

이러한 저간의 문제점을 보건대 단일구역 배관방식에서 각 층마다 균일한 열공급을 할 수 있는 최적열공급시스템의 설계기술의 개발이

시급하다. 이러한 설계기술이 개발되기 위해서 해야 할 일은 먼저 기존의 다구역 배관망 열공급시스템과 단구역배관망 열공급시스템에서 층간의 열공급 불균일성을 초래하는 원인이 무엇인지를 명확히 규명해야 되며 이와 같은 층간의 열공급의 불균일성을 정확히 해석해줄 수 있는 배관망해석 프로그램이 개발되어야 한다. 다음으로는 다구역배관망 시스템을 쓰지 않고도 열공급을 균일하게 해줄 수 있는 열공급시스템에 대한 성능해석이 뒤따라야 할 것이다.

2. 고층아파트 층간의 열공급 불균일성의 원인

고층아파트의 열공급배관망에서 온수공급배관망을 단구역으로 하면 상층으로 올라갈수록 열공급이 잘되고 하층으로 내려올수록 열공급이 잘되지 않았으나 그 원인이 최근까지 명확히 알려져 있지 않아서 막연이 부력의 효과 때문이라고 생각되어 왔다. 따라서 배관망을 다구역으로 하는 경우 이 부력효과를 감소시킬 수 있다고 생각해서 확실한 이론적 혹은 실험적 자료에 근거하지 않고 다구역 배관망을 법제화하는 데까지 이르렀다. 일반적으로 우리나라에서는 기술적인 문제를 법제화하는 과정에서 대학이나 연구소 등의 전문기관에서의 연구결과에 따라 법제화하는 과정을 거치지 않음에 따라 발생하는 손실이 막대하다. 고층아파트의 열공급배관망 분야에서도 과거 10여 년간 불합리한 법규 때문에 건설분야에서 필요없이 소비된 건축비 증가와 시공상의 어려움, 에너지 소비증가 등에 미친 영향은 헤아리기조차 어렵다.

따라서 이러한 기술적 문제의 법제화 과정에서 반드시 그 문제점을 관련기관과 학계가 함께 협의하는 관학협의회를 구성할 필요가 있으며 대두되는 기술적 문제를 해결하기 위한 연구과정을 거쳐야 할 필요가 있다.

고층건물의 온수공급시스템에서 층간에 열공급의 불균일성이 나타나는 것은 간단한 원리에

의한다. 그것은 층간의 공급온수유량의 불균일성 때문에 발생하고 그 공급온수의 불균일성은 온수공급관과 회수관에서 온수의 온도차에 의한 물의 밀도차에 의해 발생하는 정수압력의 차에 의해서 발생한다.

그림 1은 단구역 배관망 내에서 정수압력차에 의해 발생하는 유동저항을 나타내준다. 공급관에서 비중량 γ_H 의 고온수가 공급되어 아파트 각세대에서 열을 뺀 후 비중량 γ_C 인 저온수가 되어 회수관으로 회수된다고 하자. 그림 1에서와 같은 좌표축을 잡았을 때 고온수 공급관에 걸리는 정수압력은 기준점으로부터의 거리 h 에 따라 다음과 같이 표시된다.

$$P_H = \gamma_H h \quad (1)$$

한편 저온수 회수관에 걸리는 정수압력은 h 에 따라 다음과 같이 된다.

$$P_C = \gamma_C h \quad (2)$$

γ_C 는 γ_H 보다 크므로 P_C 는 P_H 보다 크게 되어 결국 기준점으로부터의 거리 h 에 따라 식 (3)

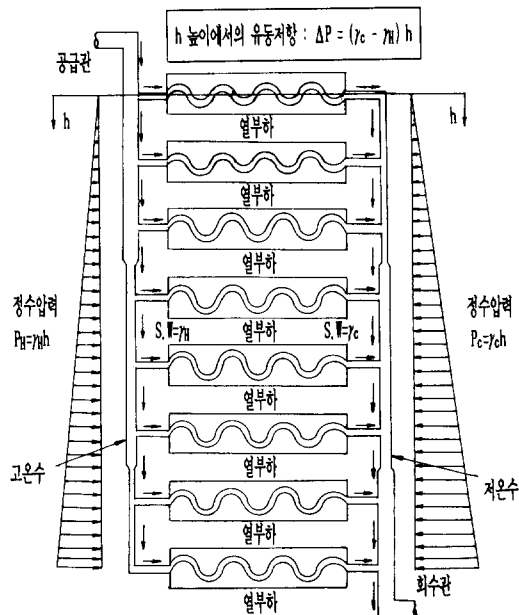


그림 1 정수압력차의 영향으로 인한 단구역배관망내의 유동저항을 보여주는 개념도

의 유동저항이 걸리게 된다.

$$\Delta P = (\gamma_c - \gamma_H) h \quad (3)$$

이 유동저항은 결국 h 가 0일 때는 0이 되고 h 가 증가하면 h 에 비례해서 커지게 된다. 따라서 하층부로 갈수록 유동저항이 커져서 유동의 흐름이 방해되고 상층부로 갈수록 유동의 저항이 작아져 유동이 원활하게 된다.

그렇다면 이와 같은 정수압 차이에 의해 발생하는 유동저항이 다구역 배관망에서는 없어지는 것일까? 온수공급관이 하나로 연결되어 있을 경우 온수공급관에 걸리는 정수압력은 배관형식에 관계없이 관의 높이에 따라서만 변한다는 것은 유체역학의 기본원리이다. 따라서 다구역 배관망에서의 온수공급관의 정수압력의 h 에 따른 변화는 단구역 배관망과 하등의 차이가 없이 그림 2와 같이 나타난다. 따라서 층간의 차이에 따라 발생하는 유동저항도 $\Delta P = (\gamma_c - \gamma_H) h$ 로 같아진다. 따라서 다구역 배관망 시스템은 근본적으로 정수압력의 차이에 따른 각 층간의 유량의 불균일성을 방지할 수 있는 시스템이 아니다. 이 시스템은 단지 단구역

시스템에 비해서 다구역을 나누고 각 구역 사이에 마찰저항의 차이를 일으켜 층간 열공급의 불균일성을 약간 해소할 수 있는 정도의 시스템이다. 따라서 이론적으로 아무 근거 없는 다구역 시스템을 10여 년간 사용함에 따라 실제 시공자에게 많은 시공비를 증가시킴과 동시에 최하층부의 거주자가 추위를 느끼지 않도록 하는데 기준을 두고 열을 공급하므로써 상층부에 필요 이상의 열공급을 초래하여 소비된 에너지 양은 막대하다. 다구역배관망의 법제화에 따른 또 하나의 폐해는 다구역배관망 시스템보다 훨씬 이론적으로 근거있는 열공급 시스템의 도입을 오랜 기간 동안 불가능하게 하여 기술발전을 저해시킨 점이다. 따라서 이러한 불합리한 법규는 하루속히 개정되어야 할 것으로 생각된다. 그렇다고 해서 과거와 마찬가지로 전문가에 의한 아무런 이론적, 실험적 근거에 바탕하지 않고 이런 시스템이 더 좋을 것이라는 심증만 가지고 다구역배관망시스템을 다른 열공급 시스템으로 이름만 바꾸는 오류는 없어야 할 것이다. 과거의 법규가 잘못되었다 하더라도 이를 수정하기 위해서는 충분한 연구결과에 바탕해야 하며 이러한 법개정을 위해서 기술적문제의 관련학회와 정부관련 부처 사이에 정례적인 관학조정협의회를 두어 운영할 필요가 있다.

3. 새로운 열공급 제어설비 기술

고층 아파트의 온수난방배관망 시스템을 다구역으로 나누지 아니하고 열공급을 균일하게 할 수 있는 방법들이 최근 많이 소개되고 있으며 외국에서는 실제 고층건물에서 이러한 방법들을 사용하고 있다. 고층아파트에서 층간의 열공급 불균일성을 제어할 수 있는 방식들을 분류해보면 ① 유량조절밸브 방식관과 ② 서모스타트 방식으로 대별할 수 있다. 유량조절밸브는 아파트의 열(column) 혹은 세대간에 흐르는 온수 유량을 일정하게 유지함으로써 각 세대로의 열공급을 조절하는 장치로서 주로 간

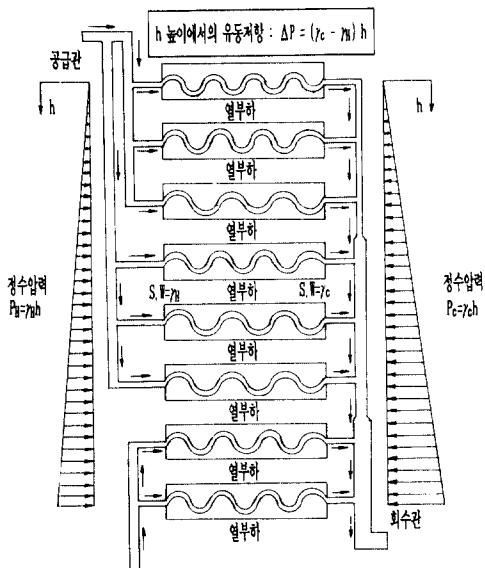


그림 2 정수압력차의 영향으로 인한 다구역배관망내의 유동저항을 보여주는 개념도

혈난방 방식에 적합한 유량조절 방식에 속한다. 유량조절밸브 방식에는 ① 수동유량조절밸브 방식과 ② 자동유량조절밸브 방식이 있다. 서모스타트에 의한 유량조절은 주로 연속난방 방식에 적합한 방식이고 실내 공기나 방바닥 온도를 감지하여 온수공급관을 켜거나 끄으로써 온수가 어느 한층으로 편중되어 흐르는 것을 방지하여 열공급을 제어하는 방식이다. 각 방법의 특징을 설명하면 다음과 같다.

3.1 수동유량조절밸브 방식

수동유량조절밸브는 그림 3과 같은 계기에 의해서 유량의 크기를 감지할 수 있는 수동유량조절밸브를 각 세대의 온수공급관에 설치하고 TAB(testing, adjusting and balancing)에 의해서 각 층간의 유량을 일정하게 조절하는 방식이다. 이 방식은 고장이 적고 유로에 유동저항을 적게 발생시키며 하나의 밸브를 가지고 제어할 수 있는 유량의 범위가 넓은 장점이 있는 반면 TAB에 의해 각 층간 유량을 일정하게 조절해야 한다는 점과 한 번 수동유량조절밸브를 TAB에 의해 맞추어 놓았다 하더라도 시간이 흐름에 따라 펌프성능의 변화나 관속의 부식, 스케일 부착으로 마찰저항이 달라질 경우 유량의 불균일성이 다시 일어날 수 있어서 TAB를 다시 해야 하는 불편함 점이 있다. 이 방식은 주로 간헐난방방식에 적합한 방식이다.

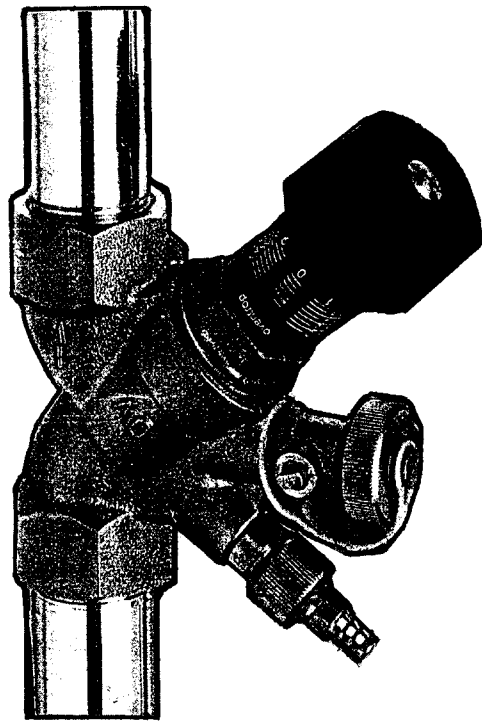


그림 3 수동유량조절밸브

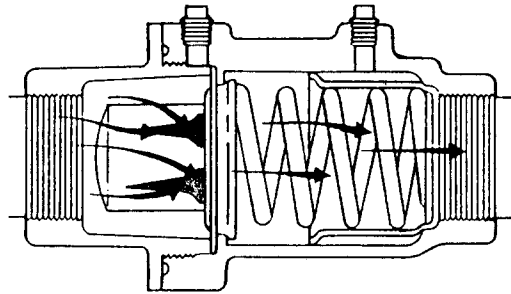


그림 4 자동유량조절밸브

3.2 자동유량조절밸브 방식

자동유량조절밸브의 형상은 여러 가지가 있으나 대체적으로 그림 4와 같이 밸브의 개구면적이 밸브스프링에 가해지는 수압력의 크기에 의해 자동적으로 변하여 유량이 자동조절되는 형상을 갖고 있다. 이 밸브방식은 TAB가 필요없어서 편리한 방식이나 하나의 밸브가 조절할 수 있는 유량범위가 한 가지이므로 조절할 유량크기가 다를 때 밸브의 규격이 바뀌어야 한다. 따라서 여러 종류의 밸브가 준비되어야 한다는 점과 밸브스프링에 고장이 날 경우 유량제어가 되지 않아 이 밸브를 설치하지 않

느지만 못 하다는 점과, 밸브의 설치에 의해서 유동저항이 증가하는 단점이 있으며 온수 공급 펌프의 용량이 부족하면 자동유량밸브가 유량을 정해진 범위내에서 제어할 수 없어서 펌프 용량의 선정 또는 적합한 밸브규격의 선정 등에 고급의 공학 기술이 요구되는 단점을 가지고 있다. 그러나 이러한 기술적 어려움은 앞으로 이 분야 연구를 통해서 해결될 수 있으므로 앞으로 유망성이 큰 온수공급 방식의 하나로

대두되고 있다. 자동유량조절밸브가 각 세대로의 유량을 일정하게 유지하는 원리는 그 특성곡선으로 설명할 수 있다. 그림 5는 자동유량조절밸브의 특성곡선이다.

이 밸브의 특성곡선을 살펴보면 밸브 입출구의 양단에 걸리는 압력차가 ΔP_{min} 보다 커지면 ΔP 증가에 따른 압력의 증가가 대단히 작아져 유량 Q 가 거의 일정하게 유지된다. 그러나 ΔP 가 ΔP_{max} 보다 커지면 다시 유량이 급속히 증가하게 된다. 따라서 이 자동유량조절밸브가 유량을 조절할 수 있는 ΔP 의 범위는 ΔP_{max} 에서 ΔP_{min} 까지이다. 이 범위 내에서 일반적으로 자동유량 조절밸브 Q 의 변화는 기준치 Q_0 의 $\pm 5\%$ 를 넘지 않도록 설계된다. 자동유량조절밸브의 성능이 우수한 것은 ΔP_{max} 와 ΔP_{min} 의 차가 큰 것이고 ΔP_{min} 은 작을수록 좋다. 하나의 밸브에 대해서 Q_0 는 일정하므로 하나의 유량값만을 조절할 수 있다. 이 밸브는 아파트 열간 주 온수공급관에 설치하는 것이 보통이고 다구역배관망 시스템의 간헐난방방식에서는 세대별로 설치하면 층간의 온수공급의 불균일성을 없앨 수 있다.

3.3 서모스타트 방식

서모스타트 방식은 실내온도를 온도센서가 감지하여 실내온도가 어느 온도 이상 상승하면

서모스타트를 꺼(off)서 온수 공급을 차단시키고 실내온도가 일정온도 이하로 내려가면 서모스타트를 켜(on)서 온수공급을 계속시키는 방법으로 어느 한 세대로 열이 편중되어 흐르는 것을 방지하는 방식으로 일반적으로 연속난방 방식에서 사용된다. 서모스타트의 종류는 솔레노이드 밸브를 사용한 전기식과 작동유체의 압력에 의한 기계식이 있다. 기계식은 작동유체의 종류에 따라 액체식, 가스식, 왁스식이 있고 사용되는 유체에 따른 압력은 표 1과 같다.⁽¹⁾ 서모스타트 센서의 종류에 따라 분류하면 표 2와 같다.

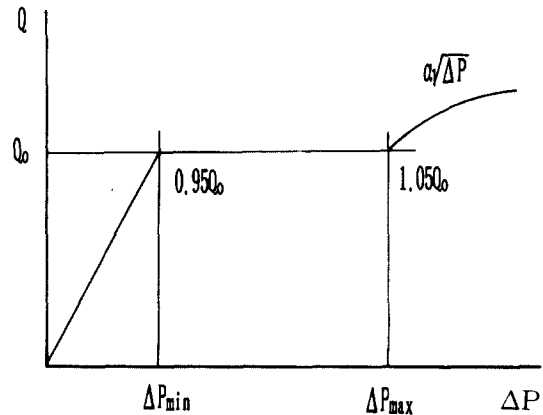


그림 5 자동유량조절밸브의 Q-ΔP 곡선

표 1 작동유체의 종류별 충전압력

작동유체	액 체	가 스	왁 스
압력 (kg/cm ²)	3.5	1.7	1.5
유체종류	메칠 아세테이트	프레온	파라핀

표 2 서모스타트 센서의 종류

종 류	센서부착방법
내 장 형	밸브에 직접 부착
원격감지형	조절기는 밸브에 부착하고 감지기는 원격설치하며 모세관으로 연결함
원격조절 및 감지형	조절기와 감지기를 밸브에서 원격 설치함

서모스타트에 의한 열공급제어는 에너지 절약면에서 다른 방식보다 가장 유리하나 다른 방식보다 고장의 위험성도 가장 크며 사용자의 작동 미숙으로 인한 열공급 조절이 원활하지 못할 경우가 발생할 수 있다. 외기온도가 매우 추운날 단구역배관망 시스템에서 각 세대에서 서모스타트를 설치할 경우 상층부의 몇몇 세대에서 서모스타트 작동온도를 표준작동온도(예: 20℃)보다 지나치게 높은 상태로 고정시켜 놓으면 그 세대의 서모스타트가 계속 켜져 있을 가능성이 있어 하층부에 열공급이 원활치 못하여 열공급의 불균일성이 발생할 수 있다. 따라서 이러한 현상을 방지하기 위해서는 온수 주 공급관의 압력이 충분해야 하며 사용자에게 대한 서모스타트 운전교육이 필요하다. 온수공급압력이 충분히 크지 못하더라도 이러한 문제를 해결하는 방법은 서모스타트를 설치한 연속난방시스템에 자동유량조절밸브를 함께 부착하는 방법이다. 그러나 서모스타트와 자동유량조절밸브 사이의 간섭현상은 아직 명확히 규명되지 않은 상태이므로 앞으로 연구가 요구된다. 앞으로 이 방식을 보편화시키려면 고장이 적고 높은 감도(resolution)로 켜고 끌 수 있는 서모스타트의 개발에 대한 연구와 다수의 서모스타트가 설치된 고층아파트에서 서모스타트 사이의 간섭현상(한 서모스타트가 순간적으로 닫힐 때 이것이 다른 서모스타트의 제어 성능에 영향을 주는 현상), 서모스타트와 자동유량조절밸브 사이의 간섭현상 등에 대한 연구가 요구된다

4. 새로운 열공급 제어 설비가 설치된 아파트의 배관망 해석 시뮬레이션 결과

새로운 열공급 제어설비인 자동유량조절밸브와 서모스타트가 각 세대별로 부착된 고층아파트에서 열공급이 균일하게 이루어 질 수 있는가에 대한 전산시뮬레이션의 예에 대해서 설명하기로 한다. 이 연구는 에너지관리공단의 지

원⁽²⁾과 한국에너지기술연구소의 지원⁽³⁾으로 이루어진 것이다. 에너지관리공단지원의 연구에서는 기존의 단구역과 다구역 배관망 시스템에서의 층간의 유량공급 실태를 분석하는 시뮬레이션을 하였고 다음으로 단구역배관망 시스템에 자동유량조절밸브를 설치할 때 층간의 유량조절 특성을 알아 보았다.

한국에너지기술연구소의 지원연구에서는 다구역배관망시스템에 서모스타트를 부착하고 연속난방을 할 경우 실내의 온도제어 성능을 알아 보았다.

본 연구에서 해석 대상으로 한 배관망시스템은 K사에서 건설한 15층 아파트이다. 이 아파트의 건축사양은 표 3과 같고 이 때 공급온수 온도는 65℃이었다.

그림 6은 표 3에 나타난 다구역배관망에 순환펌프 공급유량을 인위적으로 바꾸었을 때 층간의 유량 불균일성을 나타내는데 공급온수 유량이 적을수록 층간의 유량공급의 불균일성이 크고 유량이 많아질수록 불균일성이 적어진다. 이것은 온수공급관과 회수관 사이의 정수압력의 차이에 의한 유동저항의 전체 유로의 유동저항에 대한 비율이 순환펌프 공급유량이 적어질수록 높아지기 때문이다. 그림 6에서 알 수 있는 것은 펌프 공급유량이 적어질 경우 다구역 배관망은 층간의 유량 불균일성 해소에 거의 아무 기여를 하지 못한다는 것이다. 1층~4

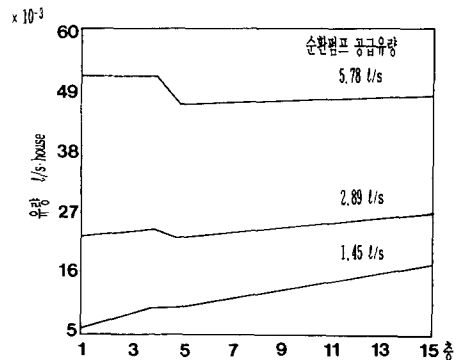


그림 6 다구역배관망에서 펌프의 공급유량이 5.78 l/s, 2.89 l/s 및 1.45 l/s 일 때의 층별유량분포

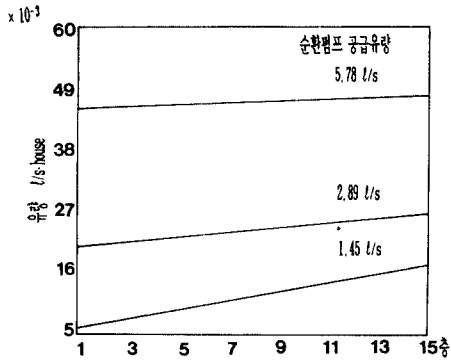


그림 7 단구역배관망에서 펌프의 공급유량이 5.78ℓ/s 2.89ℓ/s 및 1.45ℓ/s 일 때의 층별유량분포

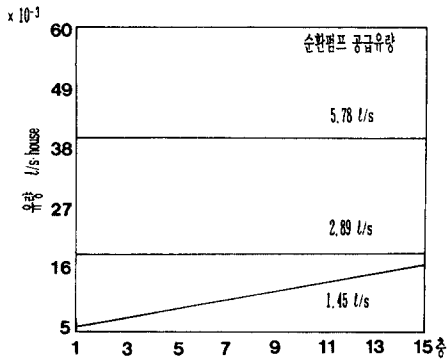


그림 8 각 층에 자동유량조절밸브를 설치한 단구역배관망에서 펌프공급유량이 5.78ℓ/s 2.89ℓ/s 및 1.45ℓ/s인 경우에 층별 각 세대의 유량분포

층 사이에 유량이 약간 평준화된 것은 이곳의 관 길이가 짧아서 마찰저항이 고층부에 비해서 감소되었기 때문이지 정수압력 차에 의한 유동저항을 근본적으로 상쇄시켜 일어난 것은 아니다.

그림 7은 표 3의 아파트 배관망을 단순히 단구역으로 대치시켰을 때의 시뮬레이션 결과로 그림 6에서와 거의 비슷한 경향으로 유량의 층간 불균일성이 나타난다.

그림 8은 단구역배관망에 자동유량조절밸브를 설치했을 때 층간의 유량 공급실태를 나타낸다. 순환 공급유량이 5.78ℓ/s, 2.89ℓ/s 일 때는 각 층간에 유량의 불균일성이 거의 없어졌다. 그러나 유량이 1.45ℓ/s에서는 그대로 남

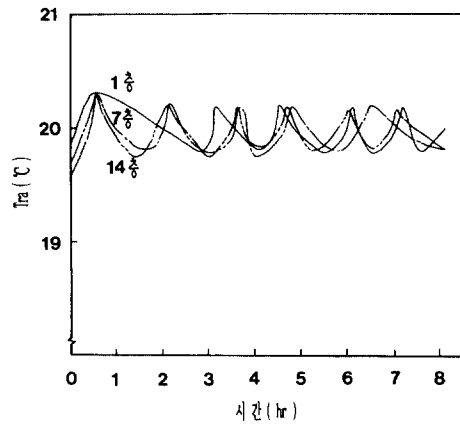


그림 9 외기온도가 0℃일 때 1층, 7층, 14층 단위세대의 실내온도의 변화

표 3 아파트의 건축사양

층 수	열 수	배관망 구역수
15	8	1구역 1층 (상향식 회수관)
		2구역 2~4층 (상향식 회수관)
		3구역 5~9층 (하향식 회수관)
		4구역 10~15층 (하향식 회수관)

아 있다. 이것은 자동유량 밸브가 설치되었다 하더라도 순환펌프의 용량이 부족하여 그림 5의 특성곡선 상에서 ΔP 가 ΔP_{min} 보다 작은 범위에 들게 되면 자동유량조절이 일어나지 않는다는 것을 나타내어서 자동유량조절밸브를 설치할 때는 적정 펌프용량 선정에 신중을 기해야 함을 나타낸다.

그림 9는 시험 대상 아파트를 다구역으로 둔 채 각 세대에 서모스타트를 부착하고 연속 난방방식으로 변환시켜 열을 공급할 때 1층, 7층, 14층의 실내온도 변화를 나타낸다. 이 연구 결과에 의하면 서모스타트는 각층의 온도를 정해진 서모스타트 감도내에서 잘 제어함을 알 수 있었다. 그런데 서모스타트에 의한 실내온도 조절에서 가장 중요한 것은 방바닥 온수관 위부분의 물타르 두께이다. 간헐난방방식에서는 일반적으로 방바닥의 축열성을 크게 하기 위해서 방바닥 물타르 두께는 두껍게 하는 경

향이 있으나 연속난방방식일 경우 그렇게 하면 실내온도 조절이 잘되지 않으므로 가능한 몰타르 두께를 얇게 하는 것이 유리하다. 그러나 방바닥 몰타르 두께가 얇아지면 방바닥 온도의 불균일성이 커져 거주자의 쾌락도가 감소하기 때문에 적정 몰타르 두께가 존재함을 알 수 있다.

5. 맺음말

이 글에서는 고층아파트에서 층간 열공급의 불균일성이 발생하는 원인을 설명하였고 이 불균일성을 해소시키는 새로운 열공급 설비 기술을 설명하였으며 그 내용들에 대한 결론은 다음과 같다.

(1) 온수 난방 고층아파트의 층간 열공급의 불균일성은 온수공급관과 회수관의 정수압력의 차이에 의한 유동저항에 의해서 발생한다.

(2) 다구역배관망 시스템은 온수공급관과 회수관의 정수압력의 차이에 의해 발생하는 열공급 불균일성의 해소에 거의 기여하지 못한다.

(3) 연속난방방식에서 서모스타트의 설치는 각세대의 열공급을 균일하게 할 수 있고 에너지 절약면에서 가장 유리한 방식이나 고장의 위험성이 가장 크며, 운전의 미숙에 의한 열공급 제어의 불균일성을 초래하기 쉬우며 외기온

도가 매우 낮으면 층간 열공급제어가 되지 않을 수 있어서 자동유량조절밸브를 병용하거나 온수공급압력을 충분히 크게 할 필요가 있다.

(4) 자동유량조절밸브에 부착하면 단구역 배관망 시스템에서도 층간의 유량공급의 불균일성을 없앨 수 있으나 순환 펌프유량이 부족하면 밸브의 자동유량조절 기능이 상실된다.

(5) 수동유량조절밸브는 TAB에 의해서 층간의 유량을 균일하게 조절할 수 있으나 펌프 성능변화 관부식 등이 발생하면 TAB를 다시 할 필요가 발생할 수 있다. 그러나 밸브의 고장이 적고 유동저항을 적게 발생시키며 한 개의 밸브로 조절할 수 있는 유량의 범위가 큰 점에서는 가장 유리하다.

참고 문헌

- (1) 김영호, 1991, "난방온도 조절 밸브의 작동원리와 설치 방법," 공기조화 냉동 공학회 공장 방문 강연회집, pp.29~62.
- (2) 민만기 외 3인, 1989, "공동주택 온수 배관 시스템의 적정 난방 열공급 기술개발," 에너지관리공단 보고서, 89연 -4.
- (3) 오정무 외 5인 1991, "공동주택 난방시스템의 열성능 해석," 한국동력자원 연구소 보고서. 