

초고층 아파트 최적설비 시스템

김 종 필
한국건설기술연구원



●1947년생
●HVAC 및 수소에너지 시스템을 전공하였으며, 냉·난방 공기 조화 분야 및 수소를 매체로 한 주택 냉·난방 및 발전 분야에 관심을 가지고 있다.

1. 머리말

생활수준의 향상에 따른 기능인력의 부족과 인건비 및 원자재비의 상승에 대처하기 위한 기술개발은 사회적으로 필수적인 사항이 되고 있다. 이 글에서는 국내 특성에 적합한 초고층 아파트 설비시스템의 설계기법 확립 및 설비시스템의 최적모델을 정립함으로써 초고층 아파트 설비시스템의 효율향상은 물론 공사비절감, 품질향상, 공기단축 등의 효과를 통해 양질의 저렴한 주택의 기술개발에 기여하고 건설업의 대외개방에 대비한 국제경쟁력을 고취시

키는데 필요한 초고층아파트 수직통로내의 열유동현상, 배관부식 방지기법 및 설비시스템의 구성요소별 설계방안 등에 대해 소개하고자 한다.

2. 초고층 아파트 수직통로내의 열유동 현상 분석

2.1 개요

건물내부 및 외부 사이에 동절기와 같이 온도 차이가 커지게 되면 공기의 밀도가 달라지게 되어 소위 연돌효과(stack effect)가 나타나고 건물내외에 그림 1에 보인 바와 같이 층고에 따른 압력차가 형성되어 외벽의 개구(開口)로부터 외기가 유입 또는 유출된다. 특히

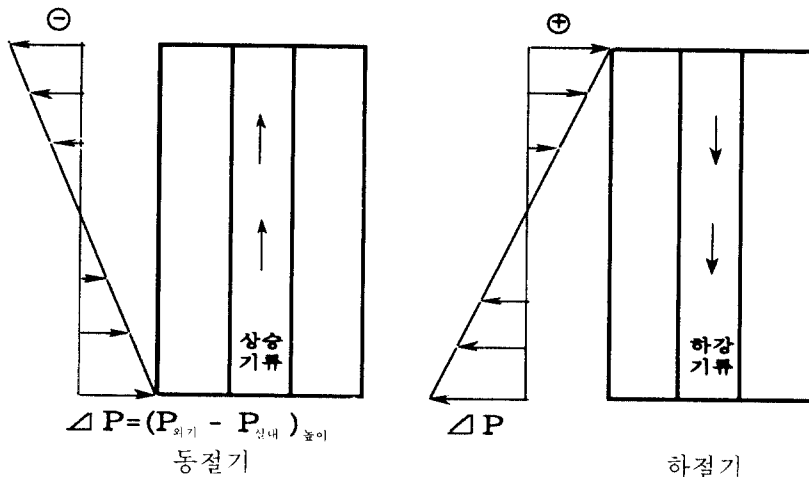


그림 1 수직통로의 열유동

건물이 고층화될수록 연돌효과로 인한 풍량이 전체 건물 에너지에 미치는 영향이 급격히 커지는 경향이 있다.

따라서 건물의 에너지 공급설비의 용량을 결정한다든지 각종 에너지 절약방안을 모색함에 있어서 유입풍량을 정확히 추정하는 것은 매우 중요한 과제이다.

이 글에서는 단순화된 건물의 수직통로를 대상으로 정통적인 열유동해석방법을 적용하여 수식화하고 보조관계식들과 연립으로 푸는 방법을 설명하려 한다.

이 글에서 설명할 모형 수립과정에서 치중한 주안점은 다음과 같다.

(1) 단기간 내의 실험이 어려운 점을 감안하여 대상모형의 실험인자수를 최소화함으로써 계산만으로 구체적인 결과를 제시한다.

(2) 일차적으로 설계상의 주된 유의점을 파악하기 위한 인자고찰 모형 건물은 다음 절에서 설명하고 있듯이 건물의 최상부와 지상층에서만 개구가 있는 것으로 하였다. 이는 건물 형태에 따라 결정되는 실험인자의 수를 줄이고 계산을 다소 간소화하기 위한 것으로서 실제 최근에 기밀시공이 된 주거용 건물의 후반기 사용 형태를 나타낸다고 보아도 무난하다.

2.2 열유동 현상 분석

인자에 대한 고찰을 수행하기 위하여 표 1에

표 1 표본값

1. 외부 온도	$\theta_o=0^\circ\text{C}$ (동절기), 30°C (하절기)
2. 내부 온도	$\theta_i=20^\circ\text{C}$ (동절기), 25°C (하절기)
3. 건물 높이	$h=90.0\text{m}$
4. 개구부 폭	$w=1.0\text{m}$
5. 개구부 깊이	$l=1.0\text{m}$
6. 벽체 전도계수	$C_w=5.00\text{W/m}^2\text{K}$
7. 개구부 표면상태	$\beta=0.0010\text{m}$
8. 입구 유동계수	$f_i=100.00$
9. 출구 유동계수	$f_e=100.00$

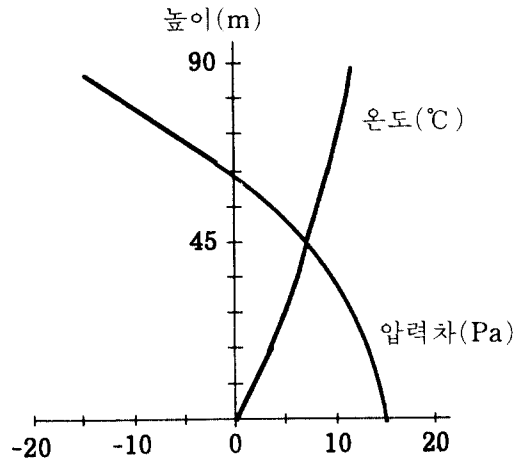


그림 2 표준경우의 압력차 및 온도의 변화

보인 바와 같은 표본값(sample data)을 설정하고 여기에 포함된 건물높이, 건물내외부 기온 등의 파라미터 값을 변화시켰을 때 특성치의 변화는 표 1과 같다.

그림 2에 표준경우의 건물위치에 따른 통로 내 온도 및 건물 내외부 압력차 ΔP 를 나타내었다. ΔP 는 건물 하부에서 양의값을 가지며(외기의 유입) 60m 근처에서 내외부 압력차가 0인 중성대가 되고 상부에서는 건물내에 정압이 형성된다. 통로내의 공기는 섭씨 0°C 에서 유입되어 건물의 열을 빼앗고 11°C 정도에서 유출된다.

이 결과로부터 앞절에서 설명한 단순화된 모

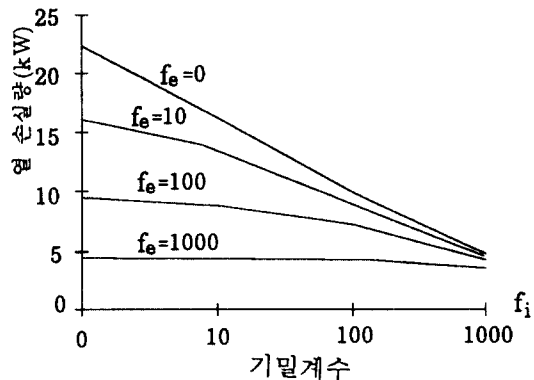


그림 3 기밀계수 변화에 따른 열손실량

형, 즉 통로내의 온도가 일정하다고 가정하였을 때의 직선적인 압력차 분포와 비교하여 비선형화된 특성을 볼 수 있다.

건물의 열손실량은 주어진 기후에 대하여 건물높이나 상하부의 기밀정도에 크게 좌우되며 통로의 단면적이나 거칠기에는 그다지 영향을 받지 않는다. 그림 3에 나타낸 바와 같이 기밀계수*의 변화에 따른 열손실량은 20kW(약 17000kcal/hr) 이상이 되며, 이는 흑한기에 약 200평 이상을 난방할 수 있는 열량이다. 이 열량은 하나의 수직통로와 틈새에 대한 값으로서 1층의 상면적 50평당 수직통로와 틈새 한 개소가 있다고 할 때 전체 건물 에너지의 1/7에 해당하는 값이다.

건물높이는 시공계획상 주어지는 값이므로 기밀계수를 최소화하는 노력이 절대 필요하다. 그림 3에서 보듯이 지층과 최상층 중 한 군데만의 기밀만으로도 연돌효과를 크게 억제할 수 있음을 알 수 있다.

그러나 상부기밀에 치중하는 경우 건물내외부 압력차 ΔP 가 큰 음수값을 가지므로 실내가 정압을 가지며, 상대적으로 지층의 기밀에만 치중하는 경우 실내가 부압상태에 있게 되므로 환기 측면에서 유의할 필요가 있다.

주) *기밀계수 : 건물 상하부의 유인공기 유동을 억제하는 유동저항 ΔP_e , ΔP_i (출입구 문틈, 엘리베이터의 틈새 등에 의한 것)을 정해주는 상하부 풍속에 근거하여 다음식으로 계산하였다.

$$\Delta P_e = f_e \left(\frac{\rho v^2}{2} \right) \quad (1)$$

$$\Delta P_i = f_i \left(\frac{\rho v^2}{2} \right) \quad (2)$$

여기서, 하첨자 e 및 i 는 각각 "exit, inlet"을 표시한다. f_e 및 f_i 는 유동저항을 계산하는 기밀계수이며 양수이다. f_e 와 f_i 가 0일 경우는 기밀이 전혀 없던 개방상태를 말하며 f_e 와 f_i 가 1000인 경우는 기밀계수가 충분히 큰 경우로 기밀이 잘된 상태를 나타낸다.

3. 초고층 아파트의 수격현상 및 설계 기법의 해설

3.1 개 요

배관내의 유체의 흐름을 밸브 등에 의해 급

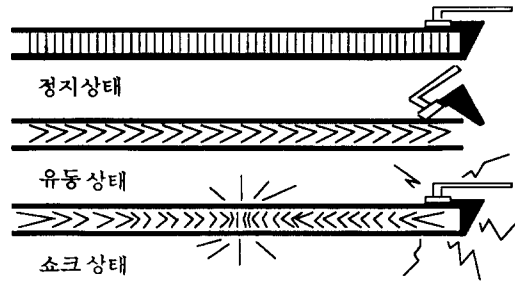


그림 4 유체상태에 따른 압력과 전달

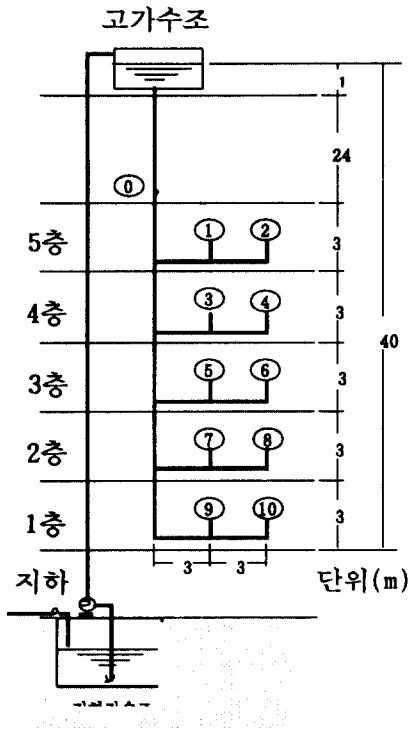
격히 폐쇄하면 그림 4와 같이 순간적으로 물의 운동에너지가 압력에너지로 변환되어 밸브 부근의 압력수두가 증가하고, 이로 인해 발생된 높은 압력파가 음속으로 관로를 따라 전파되어 간다. 이 압력파는 커다란 소음을 유발하며, 폐쇄된 밸브와 관로 사이를 왕복하면서 점차로 감쇄되어 간다. 이 현상을 수격현상(water hammer)이라 하고 이 때의 상승된 압력을 수격압이라고 한다. 이 수격현상은 배관의 진동과 소음발생의 주된 요인이며 배관의 파열, 부속기거나 계기의 파손, 접합부의 누설 등을 발생시키고 배관계 전체 시스템의 내구년한을 감소시키게 된다.

본 연구에서는 폐쇄시간 $T_s \approx 0$ 일 때 즉, 급폐쇄되는 경우와 밸브가 밸브의 폐쇄시간인 T_s 동안 직선적으로 완만하게 폐쇄되는 두 가지 경우에 대하여 고찰하였다.

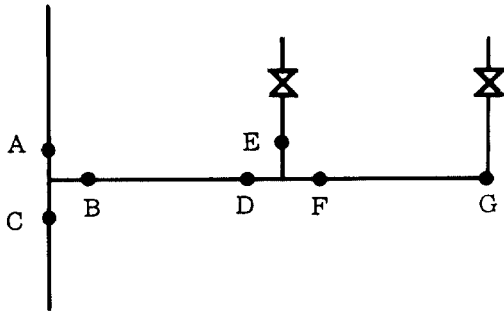
3.2 수격현상 및 설계기법의 해설

실제의 건물에 응용되는 급수관로의 형상에는 여러 가지가 있는데 그림 5는 수격작용 설명을 위한 배관망의 예를 나타낸다. 그림 5(a)는 배관망 모형이고 (b)는 임의층의 단순화된 관로를 나타낸다. 예시된 배관망은 고가수조를 이용한 중력식 급수관로 시스템이며 이는 실제 초고층 아파트 1개 급수 구역에 해당한다.

그림 6은 밸브 #10을 폐쇄하였을 때 수격작용에 의한 관로내의 유량변화를 보여주고 있다. 그림의 첫 숫자는 층수를 의미하고 알파벳



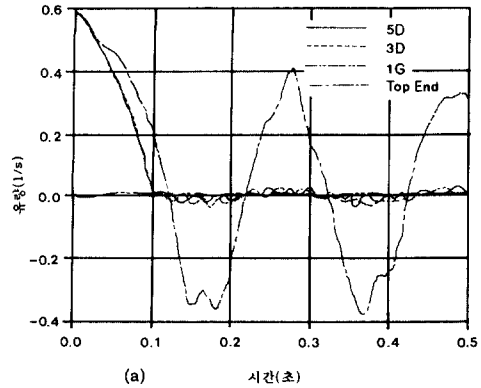
(a) 배관망 모델



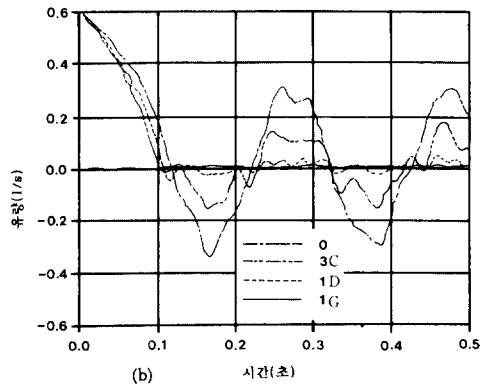
(b) 임의층의 단순화된 관로

그림 5 수격작용의 설명을 위한 배관망 예 (관의 직경: 2cm)

첨자는 그림 5의 각층별 위치를 의미한다. 그림 6으로부터 폐쇄된 밸브에 가까이 위치한 곳에서는 유량의 변동이 작고 멀리 떨어진 곳에서는 유량변동 폭이 상당히 크며, 밸브 #10이 폐쇄되기 전의 정상상태때 유체의 흐름이 없었던 곳에서도 밸브 폐쇄 이후 그 크기는 작으나



(a) 시간(초)



(b) 시간(초)

그림 6 밸브 #10의 작동에 의한 위치별 유량변화

압력파에 의한 유체 유동이 발생함을 알 수 있다.

밸브 폐쇄전 정상상태 때의 유량변화가 수격압력에 미치는 영향과, 초기유량이 일정한 경우 관 직경 (d) 변화가 수격압력에 미치는 영향을 그림 7에 도시하였다.

그림 7에 나타낸 바와 같이 초기 유량이 클수록 큰 수격압력을 발생시키며, 동일 유량일 때에는 관 직경이 작을수록 수격작용에 의한 압력상승이 커짐을 알 수 있다. 또한 여러 관 직경에 대하여 유속을 일정하게 유지한 경우의 수격현상은 거의 동일하게 나타났다.

따라서 수격작용에 의한 압력상승은 유량보다는 관내의 유속에 더 큰 영향을 받으며 수격작용에 의한 압력상승을 최소화하기 위해서는 관 직경을 크게 함으로써 유속을 최소화하여야

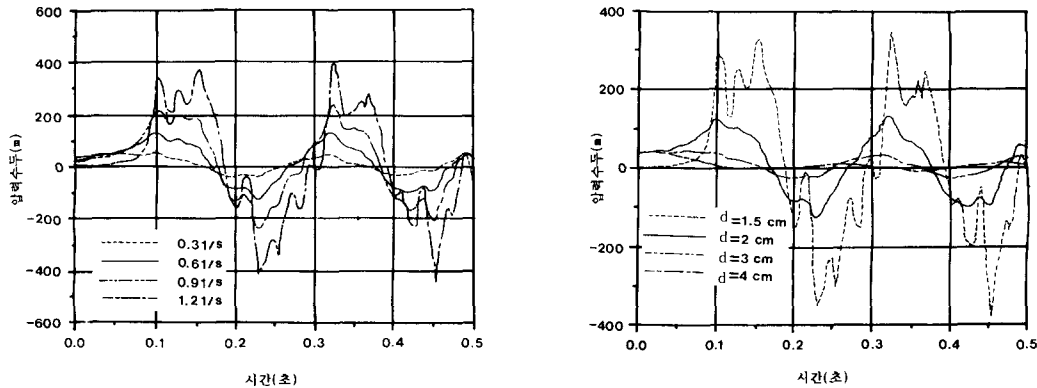


그림 7 유량과 관 직경변화에 의한 수격압력의 변화

한다.

이상의 논의로부터 수격작용에 의한 압력 상승 수두를 줄이기 위해서는 다음 사항을 충족시켜야 함을 알 수 있다.

- 관의 지름을 크게 하여 유속을 감소시켜야 한다.
- 관재질의 탄성계수가 적은 재료를 사용해야 한다.
- 관로의 길이를 가능한 한 줄여야 한다.
- 밸브 폐쇄시간을 길게 하여야 한다.

따라서 아파트의 설계시 관내유속을 2~3m/s 이내로 하며 관내 압력을 1.5~3.5kg/cm²로 유지할 수 있는 구역화를 하여야 한다.

향후에는 유량변화 및 관내의 수격압력상승이 발생시키는 소음에 관한 연구와 수격 압력의 상승을 감소할 수 있는 밸브 및 기구의 개발에 관한 연구가 요구되고 있다.

4. 배관부식 및 그 방지기법 분석

4.1 개 요

부식(corrosion)은 전 산업분야에서 가장 많이 사용되는 단어이고, 부식으로 인한 피해가 대단하다는 것은 기술자 모두가 잘 이해하고 있으나 부식을 감소시키거나 방지대책에 대한 연구 및 노력은 매우 미약하다.

국내아파트의 급수, 급탕, 위생 등 설비시설

의 내구년수와 실제 교체된 기간(실사용년수)을 대비한 배관재료의 내구년수를 기준으로 하여 계산된 연간 손실액 추정결과에 의하면 1981. 10.31 현재 전국의 아파트수 449,771호에 대하여 연간 722억원이 배관재의 부식비용으로 발생된다고 발표된 바 있다.

이와 같이 막대한 경제적 손실의 원인이 되고 있는 부식문제 중 설비분야 특히 배관설비에 있어서 실무적으로 흔히 접할 수 있는 부식에 국한하여 그 원인과 대책을 설명하면 다음과 같다.

4.2 부식의 발생요소

부식이 발생하기 위해서는 다음과 같은 4가지 요소를 갖추어야 한다.

- 양극(anode)
- 음극(cathode)
- 전해질(electrolyte)
- 외부회로(external circuit)

전해질은 이온을 운반할 수 있는 물질 즉 전류가 흐를 수 있는 물질로서 매설된 배관의 경우는 토양을, 유체를 수송하는 배관에서는 물과 같은 내부의 유체를 말하는 것이다. 또한 부식에 관계하는 인자에는 수소이온 농도(PH), 용존산소량, 염소이온 및 황산이온 등이 있으며 부식에 영향을 미치는 환경조건으로는 온도, 유속, 보온피복재, 매설환경 등이 있다.

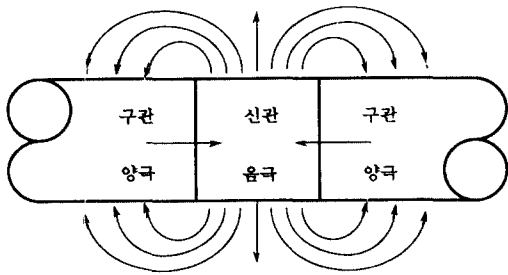


그림 8 동종금속에서 발생하는 부식

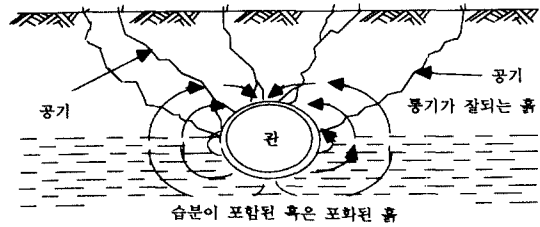


그림 9 토질의 통기력차이로 인한 부식

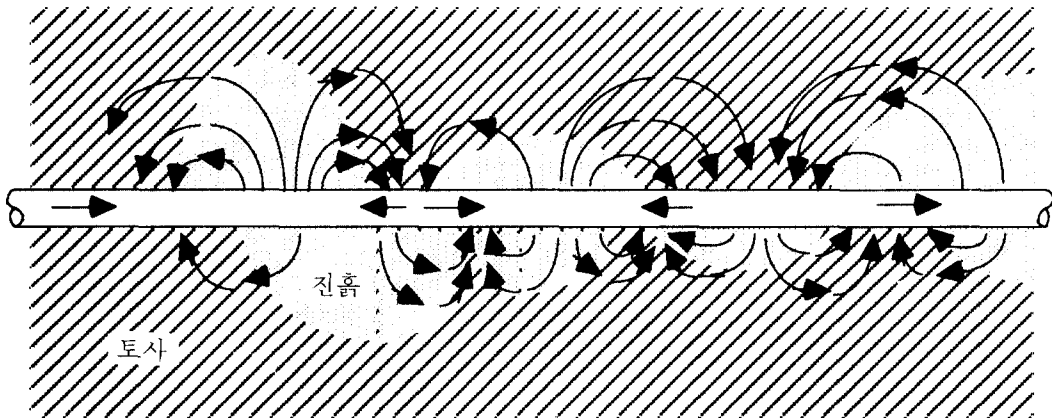


그림 10 성질이 다른 토질의 혼합에 의한 부식

4.3 설비시설에서 흔히 볼 수 있는 부식

이종금속의 전극 전위차에 의한 접촉부식은 설비시설에서 발생하는 가장 대표적인 예이며 이러한 접촉부식이 가속화되는 현상은 재질이 같은 금속간에도 일어난다.

장기간 사용되던 상수도관의 누수부분을 그림 8과 같이 신관의 동일 재질관으로 교체하였으나 용접한 부분이 단기간에 부식되어 재 보수해야 하는 예는 동일재질간에서 발생하는 접촉부식의 대표적인 경우이다. 그림 8~그림 11에서의 화살표는 전류의 흐름을 나타낸다.

낡은 관은 주변의 환경에 적응되는 양호한 보호막이 형성되어 있으므로 음극이 되고 신관의 관은 보호막이 없으므로 양극이 되어 부식이 가속화되기 때문이다.

또한 그림 9와 같이 파이프 상하부의 토질 습기 함유량의 차이에 의한 통기력차에 의해서

도 부식이 발생한다.

그림 10에는 배관의 매설시 흔히 발생하는 이질 토양의 혼합에 의한 부식에 대해 표시하였다.

4.4 부식조절법 (Corrosion Control Methods)

배관의 부식에 대처하는 데는 다음과 같은 방법이 있다.

- 관의 두께를 두껍게 한다.
- 내식성이 강한재료를 사용한다.
- 코팅 또는 도복장관을 사용한다.
- 음극보호장치 (cathodic protection) 를 설치한다.

상기 방법 중 구조물이나 배관에 대한 코팅은 효과적인 부식조절 방법이다. 에폭시, 비닐 등을 사용하고 절연코팅, 아연도금과 같은 회

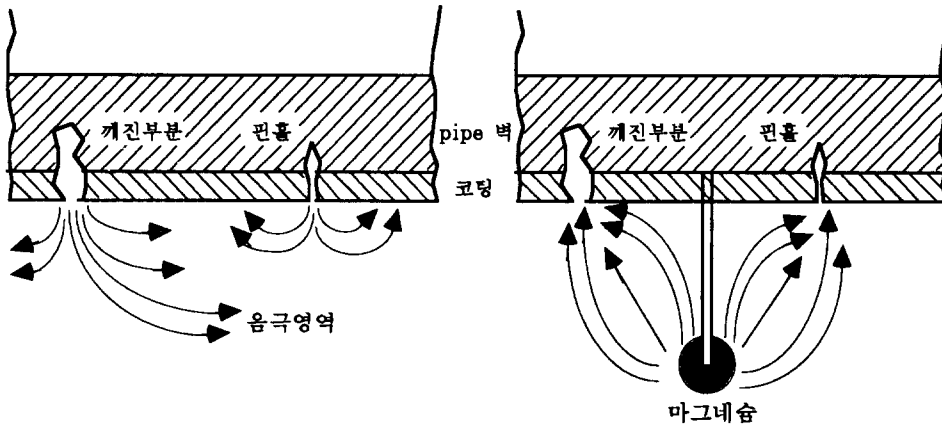


그림 11 코팅의 깨진부분이나 작은 구멍에서의 부식집중

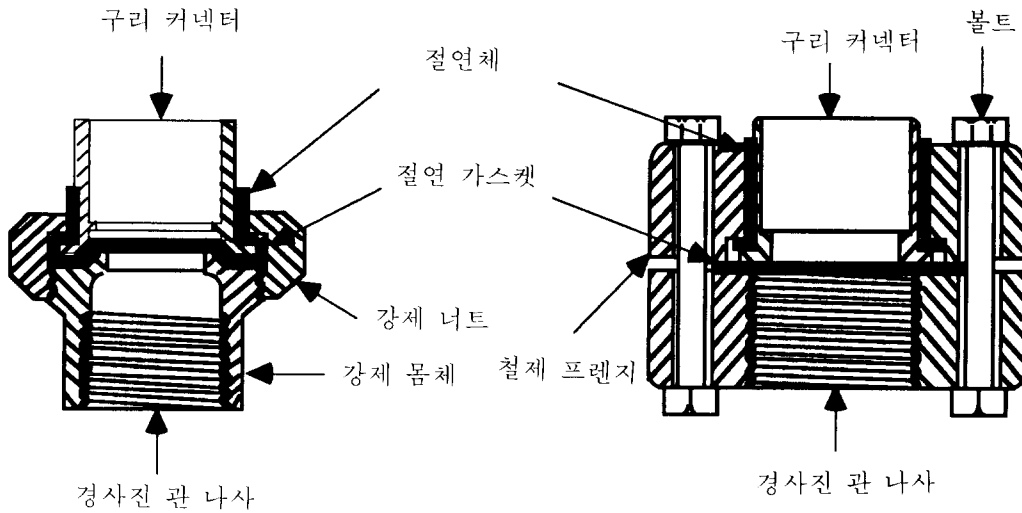


그림 12 부식방지를 위한 절연체의 단면도

표 2 배관 재료별 부식인자의 허용치

배관재료 \ 부식인자	주철관	동 관	스테인레스관
PH (25°C 기준)	6.5~8.5	6.8~8.0	6.0~9.0
용존 산소	적을수록 좋다	적을수록 좋다	적을수록 좋다
염소이온(ppm)	20이하	20이하	100이하
황산이온(ppm)	20이하	20이하	300이하
망간(ppm)	0.1이하	0.05이하	1.0이하

주) 배관 전체를 스테인레스로 할 경우는 가능하나 용접 또는 스테인레스 탱크 시스템 등에 배관이 될 경우는 20ppm 이하가 좋다.

생성 코팅은 실무적으로도 광범위하게 사용된다.

그러나 매설 구조물이나 배관에 대해서는 그림 11에서와 같이 코팅이 안 된 곳이나 불완전한 부분이 있을 수 있으므로 이러한 부분을 부식으로부터 보호하기 위해서는 별도로 음극보호장치를 사용해야 완전한 처리가 된다.

전술한 부식발생 요소 4가지 중 회로를 차단하기 위한 절연의 예를 그림 12에 나타내었으며 부식인자에 대한 배관재의 종류별 허용치를 표 2에 수록하였다.

5. 설비시스템의 구성요소별 설계방안 분석

5.1 급수설비

급수설비에는 고가수조방식과 압력탱크방식 펌프직송방식 등이 있으나 대부분의 국내 아파트에 적용되고 있는 고가수조에 의한 급수방식

은 공사 비용이 많이 들 뿐만 아니라 최상층의 경우 수압부족으로 민원발생을 초래하기도 한다.

각 급수방식의 특징을 비교하면 표 3과 같이 나타낼 수 있다.

펌프직송방식은 펌프의 운전 및 정지에 따른 수격작용의 발생과 펌프를 최고 효율로 운전하

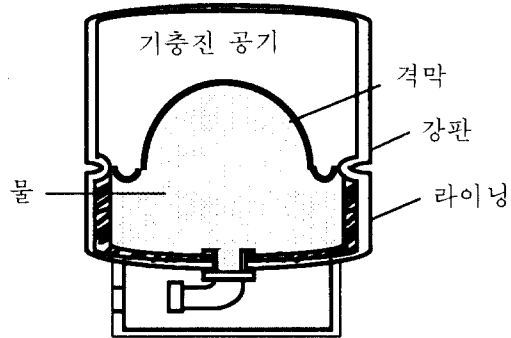


그림 13 격막식 압력탱크

표 3 각 급수방식 비교

급수방식 항목	수도직결방식	고가수조방식	압력탱크방식	펌프직송방식
수질오염가능성	1	3	2	2
단 수 시 급 수	불가	급수조와 고가수조에 남아 있는 수량을 이용할 수 있다.	급수조에 남아 있는 수량을 이용할 수 있다.	좌동
정 전 시 급 수	관계없음	고가수조에 남아 있는 수량을 이용할 수 있다. 발전기를 설치하면 가능	발전기를 설치하면 가능	좌동
최 하 층 기 계 실 공	불필요	1	3	2
고 가 수 조 용 공	불필요	필요	불필요	좌동
설 비 비	1	3	2	3
유 지 관 리	1	2	3	3

표 4 급수방식의 소요비용 비교

구 분	고가수조방식	펌프직송방식
장비의 구성	180l/min × 10HP(1대) 360l/min × 20HP(2대)	150l/min × 7.5HP(1대) 350l/min × 15HP(2대)
	계 ; 900l/min × 50HP	계 ; 850l/min × 37.5HP
건축비	15,987,592	584,192
설비비	37,782,411	31,026,345
총공사비	53,770,003	31,610,537
총공사비 대비(%)	100	58.8
운전동력비(%)	100	79.3

기가 곤란하며 정전시 단수된다는 것이 문제점으로 지적되어 왔다. 그러나 그림 13과 같은 가압탱크를 설치하여 운전하면 펌프의 정지 및 운전순간의 수격작용을 어느 정도 방지할 수 있으며 펌프도 최고의 효율로 운전할 수 있어 경제적이다.

이상에서 언급한 펌프직송방식을 산곡 7차아파트 설계도면에 의거 소요비용을 산출한 결과 표 4와 같이 총 공사비는 펌프직송방식이 고가수조방식에 비해 약 41.2%를, 운전동력은 20.7%를 절감할 수 있을 것으로 예측된다. 따라서 시스템이 단순하고 하자발생이 적다는 점에서는 고가수조방식이 유리하다 할 수 있으나 아파트의 동별 양수펌프와 지하저수조 펌프실에서 옥탑의 고가수조까지 별도의 개별 급수간선을 필요로 하는 점 등을 고려해 볼 때 초기 투자비 및 운전비가 낮고 급수압의 조절이 용이한 펌프 직송방식이 초고층 아파트 급수방식으로 유리하다고 판단된다.

5.2 쓰레기 반송 시스템

대다수의 국내 아파트에 적용되어 온 더스트 슈트방식의 문제점으로 인해 선진 외국에서는 새로운 쓰레기 반송시스템 개발에 주력하고 있으며 현재 실용화되어 사용하고 있는 방식을 보면 진공수집방식, 컨테이너방식, 팩포터방식

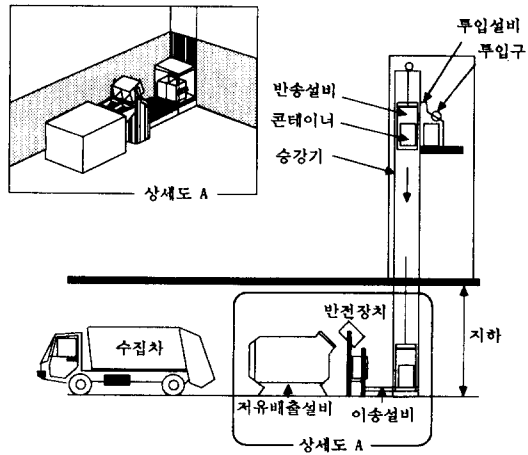


그림 14 컨테이너를 이용한 쓰레기 자동 반송 시스템의 개요

등이 있으며 부엌의 싱크대 등에서 발생하는 음식찌꺼기를 처리하는 디스포저(disposer)방식이 있다. 이들 쓰레기 반송시스템에 대한 경제성 및 운영상의 문제점 등을 비교 검토한 결과 컨테이너방식이 국내실정에 부합되고 초고층아파트에 적용이 가능한 방식으로 나타났다.

그림 14에는 컨테이너를 이용한 쓰레기 자동 반송시스템의 개요가 나타나 있으며, 인송용 엘리베이터 사용방식과의 전력사용량 비교를 표 5에 나타내었다.

표 5 쓰레기 운반 방식에 따른 전력 사용량 비교

구분	방식	
	인송용 엘리베이터	컨테이너 방식
적재량	450kg	200kg
승강속도	60m/min	50m/min
균형추계수	0.6	0.6
승강기전효율	0.5	0.5
전동기용량	5.29kW	2.35kW
각층별 운행시간	3분	3분
1일 운행시간	6h	1.5h
1일 전력량	31.7kWh	3.525kWh
kWh당 전력요금	한달전기요금	
75원/kWh	71,325원	7931원
21.5원/kWh(심야)		2274원

기준 : 30층, 층당 4가구

6. 맺음말

이상에서 본 바와 같이 아직까지 국내에서 확립되어 있지 않은 초고층아파트 설비시스템의 개념을 정립함과 동시에 선진 외국의 현황을 감안하여 초고층아파트의 수직통로 및 온수배관내의 열유동 현상 분석, 초고층아파트의 수격현상 해석 및 설계기법 분석, 배관부식 및 방지기법 분석, 급수설비 및 쓰레기 반송시스템의 실험모형을 위한 경제성 검토 결과를 설명하였다.

향후 이분야에 관해서 더욱 연구가 요구되는 사항들을 열거하면 다음과 같다.

(1) 수직통로내의 열유동 해석

○ 건물고에 따라 불균일한 틈새가 있는 일반적인 경우에 대한 모형정립 및 컴퓨터 수치해석을 통한 인자 고찰

○ 벤치 척도(bench scale)의 축소된 시험장치를 이용한 실험을 통하여 수치모형을 검증하고 설계에 이용될 관계식에 필요한 계수치 도출

○ 입주중인 현장의 실측을 수행하여 벤치, 척도 시험(bench scale test)를 거침으로써 수

직통로내의 실제적 열유동현상을 정량화하고 설계지침을 제시

(2) 초고층 아파트의 수격현상해석 및 설계기법 분석

○ 실제 초고층 아파트와 모델에 대한 수치해석과 측정을 통하여 설계에 이용될 구역(zoning), 구획 등의 관계식 유도

○ 수격현상과 음향이론의 결합에 의한 소음발생의 추정을 위한 이론식유도 및 실험수격작용의 영향을 감소할 수 있는 밸브의 종류별 설계방안 도출

(3) 배관부식 및 방지기법 분석

○ 배관부식의 실험장치를 구성하여 실험을 수행함으로써 최적의 부식방지기법 모형 및 설비시스템별 배관재와 사용년한 기준, 시공방법 제시

(4) 설비시스템의 구성요소별 설계방안 분석

○ 현재 실용화되어 있는 압력에 의한 제어방식을 탈피하여 부하에 따른 전류변화를 감지, 제어하는 부스터 시스템의 메카니즘 및 모형 도출

○ 전문가 시스템을 이용한 설비시스템의 해석 프로그램을 개발하여 CAD 시스템에 적용

참고문헌

- (1) Gordon, V. R. and Holness, P.E., 1989, "Pressurization Control: Fact and Fallacies," Heating/Piping/Air Conditioning, Feb.
- (2) Tamura, G. T. and Shaw, C. Y., 1976, "Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings," ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part I.
- (3) Tamura, G. T. and Shaw, C. Y., 1976, "Air Leakage Data for the Design of Elevator and Stairshaft Pressurization Systems," ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part II.
- (4) Tamura, G. T. and Shaw, C. Y., 1977, "The Calculation of Air Infiltration Rate Caused

- by Wind and Stack Action for Tall Buildings," ASHRAE Transactions, Vol. 83, Part II.
- (5) ASHRAE Journal, 1990, "The Pros and Cons of Balancing a Variable Flow Water System."
- (6) "Steel Pipe 1987, A Guide for Design and Installation," AWWA Manual M11.
- (7) Shaw, C. Y., Sander, D.M. and Tamura, G. T., "A FortranVI Program to Simulate stair-Shaft Pressurization System in Multi-story Buildings," Div. of Building Research, NRC.
- (8) 原一城, 1975, "高層ビルのたて配管について," 空気調和と冷凍.
- (9) 坂上恭助, "給排水設備によつて生じる騒音," 空気調和 衛生工學, 第54卷, 第3號.
- (10) 高橋紀行, "建築給水管路系における水撃現象の防止," 空気調和 衛生工學, 第56卷, 第9號.
- (11) 小田原健治, 小倉洋介, 三好弘治, 丁字行彦, 1990, "中高層集合住宅に最適なごみ自動搬送システムの開発," 建築設備と配管工事.
- (12) 井上宇市, 高層建築の設備計劃, 彰國社.
- (13) 超高層建築 3. 設備編, 麗島研究所出版會.
- (14) 設備配管の劣化, 1984, 全國建設研修センター.
- (15) 박길룡, 1990, "초고층 아파트먼트의 건축계획에 관한 연구," 홍익대학교 박사학위 청구논문.
- (16) 쌍용건설 설계실 연구과제 도시, 1987, "초고층 아파트의 계획에 관한 연구."
- (17) 한국건설기술연구원, 1990, "쓰레기 소각로 설치에 관한 연구."
- (18) 대한설비공사협회 회보 '설비공사', 1991, "공동주택의 급수방식을 가압 송수 방식으로." 