

초고층 아파트 최적설비 시스템연구

A Study on the Optimum Facility Systems for the High-R Apartment House

김 종 필
J. P. Kim
건설기술연구원 설비연구실



- 1947년생
- HVAC 및 수소에너지 시스템을 전공하였으며 냉난방 공기조화분야 및 수소를 에너지 매체로 한 주택 냉·난방 및 발전분야에 관심을 가지고 있다.

1. 초고층 아파트 수직통로내의 열유동 현상

건물내부 및 외부사이에 동절기와 같이 온도차이가 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 건물이 고층화 될수록 연돌효과로 인한 풍량이 전체 건물 에너지에 미치는 영향이 급격히 커지는 경향이 있다.

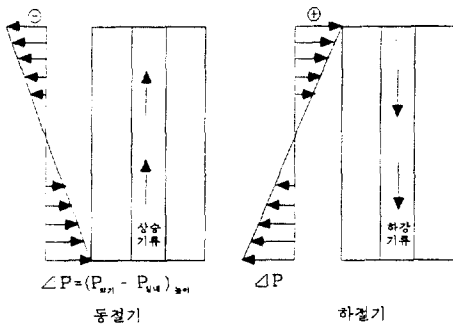


그림 1. 수직통로의 열유동

따라서 건물의 에너지 공급설비의 용량을 결정한다든지 각종 에너지 절약방안을 모색함에 있어서 유입풍량을 정확히 추정하는 것은 매우 중요한 과제이다. 본 연구에서 수행된 과제를 통하여 단순화된 건물의 수직통로를 대상으로 정통적인 열유동 해석방법을 적용하여 수식화하고 보조관계식들과 연립으로 푸는 것이 시도되었다.

본 연구의 모델수립에 치중된 주안점은

- 1) 단기간내의 실험이 어려운 점을 감안하여 대상모델의 실험인자 수를 최소화 함으로써 계산만으로 구체적인 결과를 제시하는 것.
- 2) 일차적으로 설계상의 주된 유의점을 파악하기 위한 인자 고찰하는 것.

등이다. 모델 건물은 다음 절에서 설명하고 있듯이 건물의 최상부와 지상층에서만 개구가 있는 것으로 하였다. 이는 건물형태에 따라 결정되는 실험인자의 수를 줄이고 계산을 다소 간소화하기 위한 것으로서 실제 최근의 기밀시공이 된 주거용 건물의 후환기 사용형태를 나타낸다고 보아도 무난하다.

인자에 대한 고찰을 수행하기 위하여 표 1에 보인 바와 같은 표본값(sample data)을 설정하고 여기에 포함된 건물높이, 건물내외부

기온 등의 파라메터 값을 변화시키면서 1차원 계산을 수행하였다.

그림 2에 표준경우의 건물위치에 따른 통로내 온도 및 건물 내외부 압력차 $\Delta P (= P_o - P_i)$ 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°C에서 유입되어 건물의 열을 빼앗고 11°C 정도에서 유출된다.

표 1. sample data

1. outside temperature	$\theta_o = 0^\circ\text{C}$ (동절기), 30°C (하절기)
2. room temperature	$\theta_i = 20^\circ\text{C}$ (동절기), 25°C (하절기)
3. building height	$h = 90.0\text{ m}$
4. channel width	$w = 1.0\text{ m}$
5. channel depth	$l = 1.0\text{ m}$
6. wall conductance	$C_w = 5.00\text{ W/m}^2\text{K}$
7. channel roughness	$\beta = 0.0010\text{ m}$
8. flow coef. at entrance	$f_i = 100.00$
9. flow coef. at exit	$f_e = 100.00$

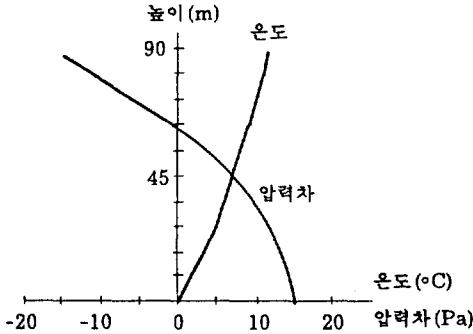


그림 2. 표준경우의 압력차 및 온도의 변화

열 손실량 (kW)

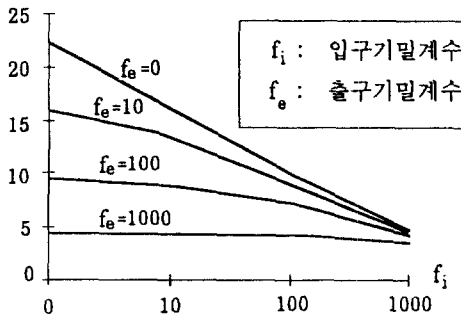


그림 3. 기밀계수 변화에 따른 열손실량

이 결과로부터 앞절에서 설명한 단순화된 모형, 즉 통로내의 온도가 일정하다고 가정하였을 때의 직선적인 압력차 분포와 비교하여 비선형화 된 특성을 볼 수 있다.

건물의 열손실량은 주어진 기후에 대하여 건물높이나 상하부의 기밀정도에 크게 좌우되며 통로의 단면적이나 거칠기에는 그다지 영향을 받지 않는다. 기밀계수의 변화에 따라 열손실량은 20kW(약 17000kcal/hr) 이상이 되며(그림 3 참조), 이는 혹한기에 약 200평 이상을 난방할 수 있는 열량이다. 이 열량은 하나의 수직통로와 틈새에 대한 값으로써 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 4에서 보듯이 지상층과 최상층중 한 군데만의 기밀만으로도 연돌효과를 크게 억제할 수 있음을 알 수 있다.

그러나 상부기밀에 치중하는 경우 $P_o - P_i$ 가 큰 음수값을 가지므로 실내가 정압을 가지며, 상대적으로 지층의 기밀에만 치중하는 경우 실내가 부압상태에 있게 되므로 환기측면에서 유의할 필요가 있다.

2. 초고층 아파트의 수격현상 해석 및 설계기법 분석

배관내의 유체의 흐름을 밸브등에 의해 급격히 폐쇄하면 그림 4와 같이 순간적으로 물의 운동에너지가 압력에너지로 변환되어 밸브 부근의 압력수두가 증가하고, 이로인해 발생된 높은 압력파가 전달속도 a_p 로 관로를 따라 전파되어 간다. 이 압력파는 커다란 소음을 유발하며, 폐쇄된 밸브와 관로사이를 왕복하면서 점차로 감쇄되어 간다. 이 현상을 수격현상(water hammer)이라 하고 이때의 상승된 압력을 수격압이라고 한다. 이 수격현상은 배관의 진동과 소음발생의 주된 요인이며 배관의 파열, 부속기거나 계기의 파손, 접합부의 누설 등을 발생시키고 배관계 전체 시

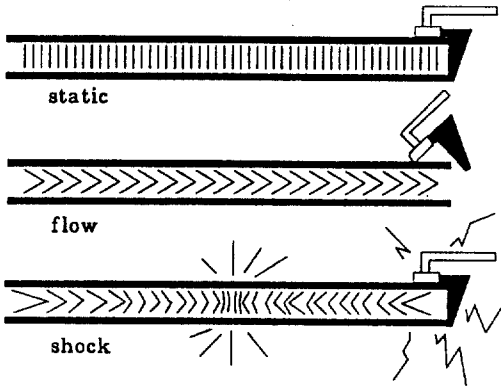


그림 4. 수격현상의 도해

스텝의 내구년한을 감소시키게 된다.

본 연구에서는 폐쇄기간 $T_s \approx 0$ 일때 즉, 급폐쇄되는 경우와 밸브가 밸브의 폐쇄시간인 T_s 동안 직선적으로 완만하게 폐쇄되는 두가지 경우에 대하여 고찰하였다.

그림 5와 같이 정상상태의 관내의 압력수두 H_0 , 유속 V_0 를 갖는 관로를 가정하였다. 관내 검사체적에 대해 운동량 방정식과 연속방정식을 적용하여 그림 6과 같이 시간 T 에 대한 변위 x 의 선형보간을 행하므로써 다음과 같은 특성방정식이 유도된다.

$$\rho a_P (V_P - V_R) + (P_P - P_R) + \rho g \sin \theta \Delta x + \frac{\rho \Delta x f |V_R| V_P}{2D} = 0$$

$$\rho a_P (V_P - V_S) - (P_P - P_S) + \rho g \sin \theta \Delta x + \frac{\rho \Delta x f |V_S| V_P}{2D} = 0$$

실제의 건물에 응용되는 급수관로의 형상은 여러가지가 있는데 본 연구에서는 그림 7에 보여준 것과 같은 고가수조를 이용한 중력식 급수관로 system을 가정하였으며 이는 실제 초고층 아파트의 1개 급수 zone에 해당한다.

그림 7은 밸브 # 10을 폐쇄하였을 때 수격작용에 의한 관로내의 유량변화를 보여주고 있다. 그림의 첫 숫자는 층수를 의미하고 알파벳 첨자는 그림 7의 각층별 위치를 의미한

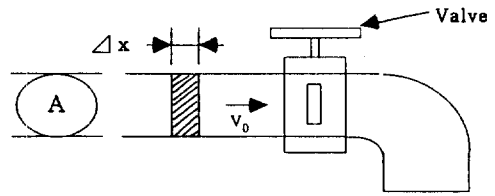


그림 5. 수격작용의 해석을 위한 가정관로

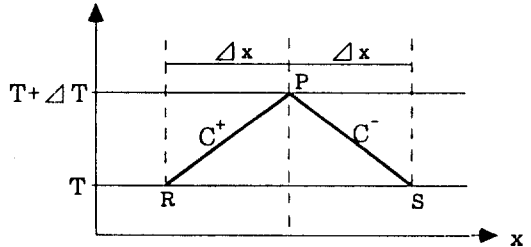


그림 6. 변위-시간 평면상의 선형보간

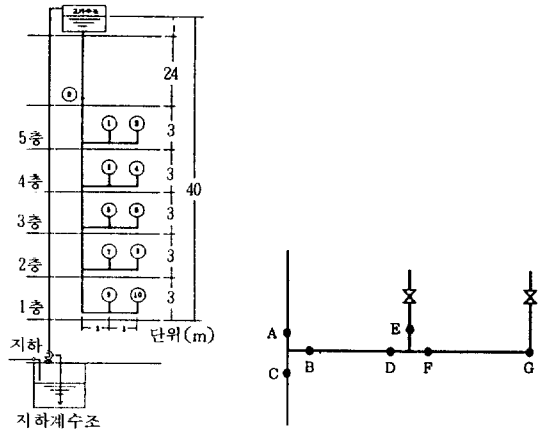


그림 7. 수격작용의 해석을 위한 배관에 (관의 직경 : 2 cm)

다. 그림 8로부터 폐쇄된 밸브에 가까이 위치한 곳에서는 유량의 변동이 작고 멀리 떨어진 곳에서는 유량변동 폭이 상당히 크며, 밸브 # 10이 폐쇄되기 전의 정상상태 때 유체의 흐름이 없었던 곳에서도 밸브 폐쇄 이후 그 크기는 작으나 압력파에 의한 유체 유동이 발생함을 알 수 있다.

밸브 폐쇄전 정상상태 때의 유량변화가 수격압력에 미치는 영향과 초기 유량이 일정한 경우 관 직경변화가 수격압력에 미치는 영향을 그림 9에 도시하였다.

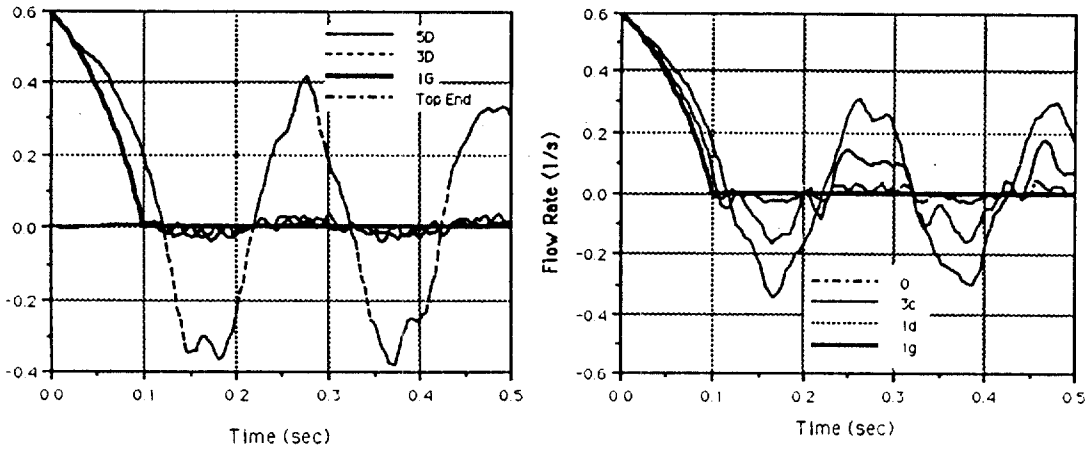


그림 8. 밸브 # 10 의 작동에 의한 위치별 유량변화

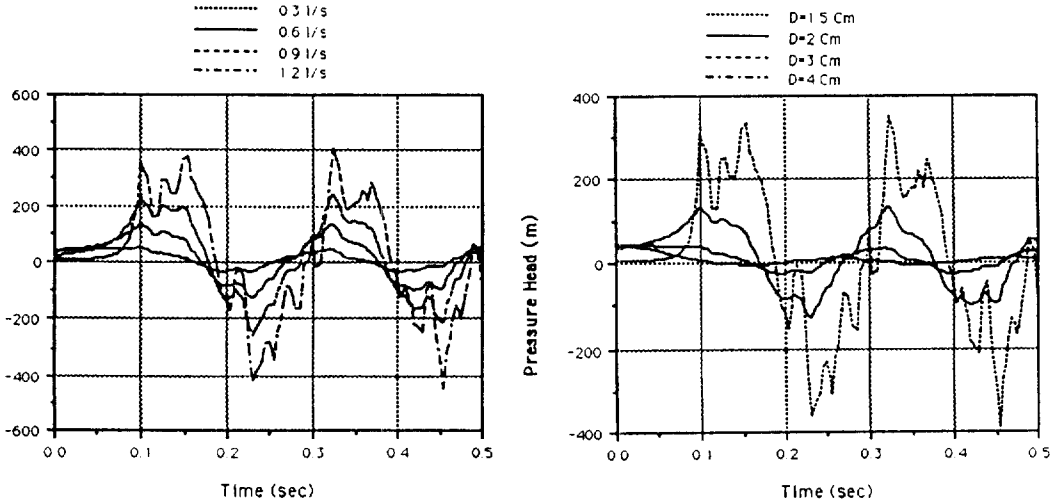


그림 9. 유량과 관 직경변화에 의한 수격압력의 변화

그림 9에 나타난 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 한다.

이상의 해석결과로부터 수격작용에 의한 압

력상승 수두를 줄이기 위해서는

- 관의 지름을 크게하여 유속을 감소시켜야 하며
- 관재질의 탄성계수가 적은 재료를 사용하고
- 관로의 길이를 가능한 한 줄여야 할 뿐 아니라
- 밸브 폐쇄시간을 길게 하여야 한다는 결론을 얻었다.

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

향후 그림 8 과 같은 유량변화 및 관내의 수격압력상승이 발생시키는 소음에 관한 연구와 수격압력의 상승을 감소할 수 있는 밸브 및 기구의 개발에 관한 연구가 필요하다.

3. 배관부식 및 방지기법 분석

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.

국내 아파트의 급수, 급탕, 위생 등 설비시설의 내구년수와 실제 교체된 기간(실사용년수)을 대비한 배관재료의 내구년수를 기준으로 하여 계산된 연간 손실액 추정결과에 의하면 1981. 10. 31 현재 전국의 아파트수 449,771 호에 대하여 연간 722 억원이 배관재료의 부식비용으로 발생된다고 발표된 바 있다.

이와 같이 막대한 경제적 손실의 원인이 되고 있는 부식문제중 설비분야 특히 배관설비에 있어서 실무적으로 흔히 접할 수 있는 부식에 국한하여 그 원인과 대책을 분석하였다.

부식의 발생요소 : 부식 발생에 필요한 4 가지 요소는

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

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

설비시설에서 흔히 볼 수 있는 부식 : 이중 금속의 전극 전위차에 의한 접촉부식은 설비시설에서 발생하는 가장 대표적인 예이며 이러한 접촉부식이 가속화되는 현상은 재질이 같은 금속간에도 일어난다.

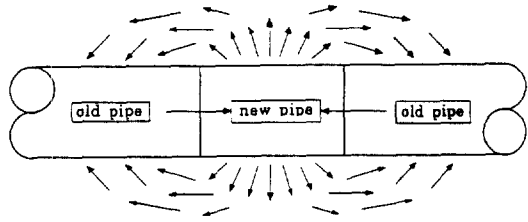


그림 10. 동종금속에서 발생하는 부식

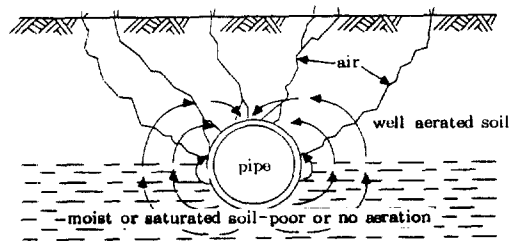


그림 11. 토질의 통기력 차이로 인한 부식

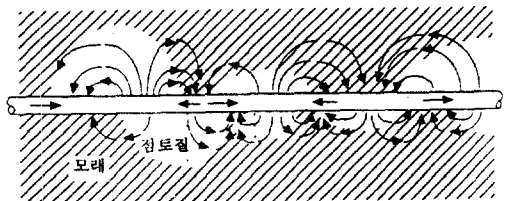


그림 12. 성질이 다른 토질의 혼합에 의한 부식

장기간 사용되던 상수도관의 누수부분을 그림 10 과 같이 신품의 동일 재질관으로 교체하였으나 용접한 부분이 단기간에 부식되어 재 보수해야 하는 예는 동일 재질관에서 발생하는 접촉부식의 대표적인 경우이다.

낡은 관은 주변의 환경에 적응되는 양호한 보호막이 형성되어 있으므로 음극이 되고 신 품의 관은 보호막이 없으므로 양극이 되어 부 식이 가속화되기 때문이다.

또한 그림 11 과 같이 파이프 상하부의 토질 습기 함유량의 차이에 의한 통기력차에 의해서도 부식이 발생한다.

그림 12 에는 배관의 매설시 흔히 발생하는 이질 토양의 혼합에 의한 부식에 대해 표시하였다.

부식조절법 (corrosion control methods): 배관의 부식에 대처하는 전형적인 방법은

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

와 같다.

상기 방법중 구조물이나 배관에 대한 코팅은 효과적인 부식조절 방법이다. 예로서, 비닐 등을 사용하는 절연코팅, 아연도금과 같은 희생성 코팅은 실무적으로도 광범위하게 사용된다.

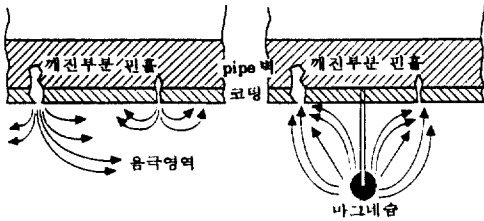


그림 13. 코팅의 깨진 부분이나 작은 구멍에서의 부식집중

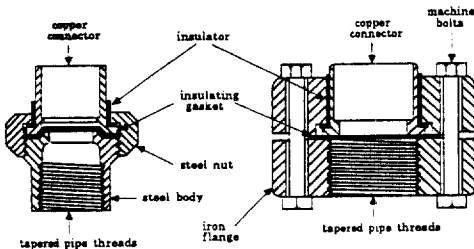


그림 14. 부식방지를 위한 절연체의 단면도

표 2. 배관 재료별 부식인자의 허용치 안

배관재료 부식인자	주철관	동 관	스테인 레스관
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)	20 이하	20 이하	100 이하
황산이온(ppm)	20 이하	20 이하	300 이하
망간(ppm)	0.1 이하	0.05 이하	1.0 이하

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

그러나 매설 구조물이나 배관에 대해서는 그림 13에서와 같이 코팅이 안된 곳이나 불안정한 부분이 있을 수 있으므로 이러한 부분을 부식으로부터 보호하기 위해서는 별도로 음극보호장치를 사용해야 완전한 처리가 된다.

전술한 부식발생 4요소중 회로를 차단하기 위한 절연의 예를 그림 14에 나타내었으며 부식인자에 대한 배관재의 종류별 허용치안을 표 2에 수록하였다.

4. 설비시스템의 구성요소별 설계방안 분석

4.1 급수설비

급수설비에는 고가수조방식과 압력탱크방식 펌프직송방식등이 있으나 대부분의 국내 아파트에 적용되고 있는 고가 수조에 의한 급수방식은 공사비용이 많이 들 뿐만 아니라 최상층의 경우 수압 부족으로 민원 발생을 초래하기도 한다.

각 급수방식의 특징을 비교하면 표 3과 같이 나타낼 수 있다.

펌프직송방식은 펌프의 운전 및 정지에 따른 수격작용의 발생과 펌프를 최고 효율로 운전하기가 곤란하며 정전시 단수된다는 것이 문제점으로 지적되어 왔다. 그러나 가압탱크를 설치하여 운전하면 펌프의 정지 및 운전순간의 수격작용을 어느 정도 방지할 수 있으며 펌프도 최고의 효율로 운전할 수 있어 경제적이다.

이상에서 언급한 펌프직송방식을 산곡 7차 아파트 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 등 여러 관점에서 볼 때 초기 투자비 및 운전비가 낮고 급수압의 조절이 용이한 펌프 직송방식이

표 3. 각 급수방식 비교

급수방식 항 목	수도직결 방식	고가수조방식	압력탱크방식	펌프직송방식
수질오염 가능성	1	3	2	2
단수시 급수	불 가	급수조와 고가수조에 남아있는 수량을 이용할 수 있다.	급수조에 남아있는 수량을 이용할 수 있다.	좌 동
정전시 급수	관계없음	고가수조에 남아있는 수량을 이용할 수 있다. 발전기를 설치하면 가능	발전기를 설치하면 가능	좌 동
최하층 기계실 공간	불필요	1	3	2
고가수조용 공간	불필요	필 요	불필요	좌 동
설 비 비	1	3	2	3
유 지 관 리	1	2	3	3

* 숫자에서 1, 2, 3으로 나타나 있는 것은 수가 적은쪽이 유리한 것을 나타낸다.

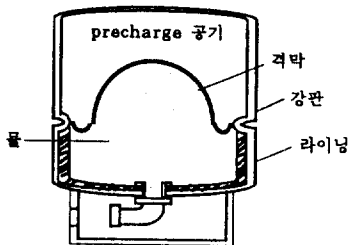


그림 15. 격막식 압력 탱크

초고층 아파트 급수방식으로 유리하다고 판단된다.

4.2 쓰레기 반송 시스템

대다수의 국내 아파트에 적용되어온 더스트 슈트방식의 문제점으로 인해 선진 외국에서는 새로운 쓰레기 반송시스템 개발에 주력하고 있으며 현재 실용화되어 사용하고 있는 방식을 보면 진공수집방식, 콘테이너방식, 팩포터방식 등이 있으며 부엌 싱크대 등에서 발생하는 음식 찌꺼기를 처리하는 디스포저(dish-poser)방식이 있다. 이들 쓰레기 반송시스템에 대한 경제성 및 운영상의 문제점 등을 비교 검토한 결과 콘테이너방식이 국내 실정에 부합되고 초고층 아파트에 적용이 가능한 방식으로 나타났다.

그림 16 에는 콘테이너를 이용한 쓰레기 자동반송시스템의 개요가 나타나 있으며, 인송용 엘리베이터 사용방식과의 전력사용량 비교를 표 5에 나타내었다.

표 4. 급수방식의 소요비용 비교

구 분	고가수조방식	펌프직송방식
장비의 구성	180 l/min × 10 HP (1대)	150 l/min × 7.5HP (1대)
	360 l/min × 20 HP (2대)	350 l/min × 15HP (2대)
	계 : 900 l/min × 50 HP	계 : 850 l/min × 37.5 HP
건 축 비	15,987,592	584,192
설 비 비	37,782,411	31,026,345
총 공사비	53,770,003	31,610,537
총공사비대비(%)	100	58.8
운전동력비(%)	100	79.3

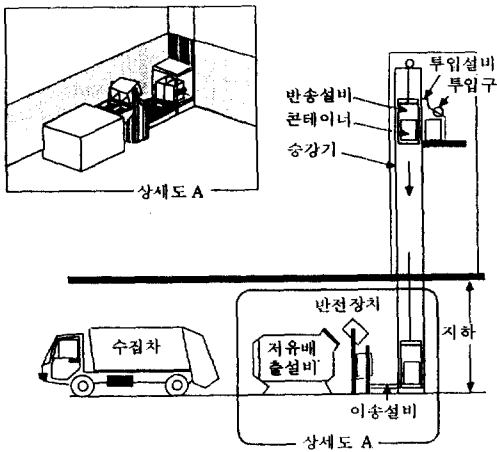


그림 16. 컨테이너를 이용한 쓰레기 자동 반송 시스템의 개요

표 5. 쓰레기 운반 방식에 따른 전력 사용량 비교

구분 \ 방식	인송용 엘리베이터	컨테이너 방식
적재량	450 kg	200 kg
승강속도	60m/min	60m/min
균형추계수	0.6	0.6
승강기전효율	0.5	0.5
전동기용량	5.29 kw	2.35 kw
각층별 운행시간	3분	3분
1일 운행시간	6 h	1.5 h
1일 전력량	31.7 kwh	3.525kwh
한달 전력량	951 kwh	105.75kwh
kwh당 전력요금	한달 전기요금	
75 원/kwh	71,325 원	7,931 원
21.5 원/kwh (십야)		2,274 원

기준 : 30 층, 층당 4가구

참 고 문 헌

- Gordon, V. R., Holness, P. E., "Pressurization Control : Fact and Fallacies", Heating/Piping/Air Conditioning, Feb. 1989.
- Tamura, G. T. and Shaw, C. Y., "Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part I, 1976.
- Tamura, G. T. and Shaw, C. Y., "Air Leakage Data for the Design of Elevator and Stairshaft Pressurization Systems", ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part II, 1976.
- Tamura, G. T. and Shaw, C. Y., "The Calculation of Air Infiltration Rate Caused by Wind and Stack Action for Tall Buildings", ASHRAE Transactions, Vol. 83, Part II, 1977.
- "The pros and cons of balancing a variable flow water system", ASHRAE Journal, Oct. 1990.
- "Steel Pipe A Guide for Design and Installation", AWWA Manual M11, 1987.
- Shaw, C. Y., Sander, D. M., and Tamura, G. T., "A Fortran IV Program to Simulate Stair-Shaft Pressurization System in Multi-Story Buildings", Div. of Building Research, NRC,
- 原一城, "高層ビルのため配管について", 空気調和と冷凍, 1975. 9.
- 坂上恭助, "給排水設備によつて生じる騒音", 空気調和・衛生工学, 第55巻, 第3號.
- 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・衛生工学, 第56巻, 第9號.
- 小田原健治, 小倉洋介, 三好弘治, 丁字行彦, "中高層集合住宅に最適たごみ自動搬送システムの開発", 建築設備と配管工事, 1990. 9.
- 井上宇市, 高層建築の設備計劃, 彰國社.
- 超高層建築 3. 設備編, 麗島研究所出版會.
- 設備配管の劣化, 全國建設研修セフター, 1984.

15. 박길룡, “초고층 아파트먼트의 건축계획에 관한 연구”, 홍익대학교 박사학위 청구논문, 1990. 6.
16. “초고층 아파트의 계획에 관한 연구”, 쌍용건설 설계실 연구과제 도서, 1987. 2.
17. “쓰레기 소각로 설치에 관한 연구”, 한국건설기술연구원, 1990. 12.
18. “고층주택의 급수방식을 가압 송수방식으로”, 대한설비공사협회 회보 ‘설비공사’, 1991. 1.