

초고층 주거건물의 히트펌프 기술동향

■ 송 명 학 / LG전자 AC사업본부, yh.song@lge.com

초고층 주거건물의 공조 및 환기 특성을 이해하고, 이에 적합한 히트펌프의 종류와 시스템 구성 방법 및 환기 장치 등의 선정 주안점을 소개하고자 한다.

초고층화, 고기밀화, 고단열화, 단위 세대의 대형화 등은 최근 공동주택에 일어나고 있는 변화의 키워드이다. 기존 판상형의 내력벽 구조에서는 거실을 중심으로 3베이(bay) 또는 4베이의 직사각형 형태에서, 기둥과 슬라브로 구성되는 라멘 구조로 전환되면서 한 세대가 여러 향을 가지는 다각형의 평면 등으로 주거 공간이 더욱 역동적으로 변화되고 있다. 또한, 외기와 직접 면하는 돌출형 베란다를 배제하고, 건물 전체의 입면을 고려하여 사무실 건물과 같은 커튼월(curtain wall) 방식이 주거용 건물에 채택되고 있다.

주거 건물의 이러한 변화로 인해 주거용 냉난방 및 환기 시스템에도 많은 변화가 일어나고 있다. 기존 판상형 아파트의 경우 세대의 주요 향, 이를테면 남측면과 접한 실공간에 벽걸이 또는 스탠드형 에어컨을 설치한 부분 공조를 하였으나, 전용면적의 증가로 인해 냉방이 필요한 공간이 넓어지고, 또한 커튼월 구조에 의해 냉방부하가 커지게 되어 과거에는 선택사항이었던 냉방 설비가 이제는 필수 조건이 되었다. 또한 고급의 주거이미지에 부합되도록 에어컨의 실내외기간의 배관 노출을 최소한으로 하며, 복수의 실외기가 외관에 노출되지 않는 시스템이 필요하게 되었다.

또한, 판상형 아파트에서는 자연 환기로 통풍 및 냄새 제거 등을 하는데 크게 지장이 없었으나, 초고층 건물의 경우 재실자가 임의로 창호를 개방할 수 없으며, 더욱이 고기밀화된 구조체로 인해 틈새 바람에 의한 자연환기의 기대도 거의 기대할 수 없게 되었다. 이에, 기계 장치에 의한 환기가 더욱 부

각 되었으며, 급기와 배기의 단순한 공기 교체보다는 상호 열교환을 통한 에너지 절감 등의 수법이 적극적으로 채택되고 있는 실정이다.

한편, 초고층화가 진행되면서 과거에는 상업용 건물에서만 검토되었던 빌딩 외풍에 대한 영향을 주거건물에도 고려해야 하는 상황이 되었다. 기존에는 에어컨의 실외기에서 나오는 배기가 인접층에 미치는 영향에 대하여 거의 고려하지 않았으나, 초고층 건물에서는 별도로 검토해야 할 만큼 중요한 요소가 되었다. 환기장치 역시 초고층용으로 개발된 것이 아니라면 외부 공기압력에 의해, 정압에 미치지 못하는 상황이 발생하여 환기가 제대로 되지 않는 상황이 발생한다.

본 원고에서는, 전술한 바와 같이 기존 주거 건물과 비교하여 초고층 주거건물의 냉방 및 환기장치의 차이점을 이해하고, 이를 해결하기 위한 설비관점에서의 시스템에 대하여 기술하고자 한다. 또한, 내용 전개 of 산만함을 피하기 위하여 본고에서의 초고층 주거건물은 40층 이상의 주상복합형 건물 및 외피일체형 타입(돌출 베란다가 없는 커튼월 구조)으로 한정한다.

전기식 히트펌프의 에너지 소비

히트펌프(Heat Pump)는 문자 그대로 열을 낮은 곳에서 높은 곳으로 전달하는 장치이다. 이 '펌프'를 가동하기 위해서는 에너지를 투입해야 하며, 에너지원은 크게 전기와 가스로 구분된다. 일반적으로 히트펌프라함은 냉동기의 응축기에서 나오는 배열을 난방에 이용하는 것으로서, 기기 하나로 냉방과 난방이 가능한 형태를 일컫는다. 이에 냉온수를 만들어내는 물(水)방식과 냉매배관이 실내까지 연결되어 실내기를 통하여 냉난방을 하는 공기방식이 있으며 이후, 본고에서 언급하는 히트펌프



는 전기를 에너지원으로 하는 공기방식임을 명기한다.

히트펌프는 콤프레서를 구동시켜 냉매를 압축하는 과정에 전기에너지가 투입되고, 다시 냉매를 팽창시키는 과정에서 실내의 열을 흡수하여 실외로 버리는 형태를 취한다. 이러한 냉동사이클을 역으로 하면, 겨울철 난방 운전 시 실외의 열을 실내로 유입시킬 수 있다. 기구적으로는 팽창밸브와 증발기가 있는 실내기와 콤프레서 및 응축기가 설치되어 있는 실외기가 하나의 세트를 이루며, 실외기는 외기와 면하는 곳에 위치하는 것이 일반적이다.

흡수식 냉동기 및 가스난방기와 비교하여 히트펌프의 가장 큰 특징은 그 효율에 있다. 현재, 국내 시장에서 판매되고 있는 히트펌프의 효율은 성적계수(COP : Coefficient of Performance)로 표현시, 4 ~ 5 정도이며, 이는 1 kW의 에너지로 4 ~ 5 kW의 열량을 얻을 수 있다는 뜻이다. 얼핏 보면 에너지 보존법칙에 위배되는 것 같아 보이지만, 실제로는 실외기 주변의 공기(공기열원 히트펌프의 경우)가 가지고 있는 에너지를 차용하는 것으로, 자연에너지를 이용하기 때문에 친환경적이라 하겠다(EU에서는 2009년부터 공기열원도 신재생에너지의 항목으로 채택되었다).

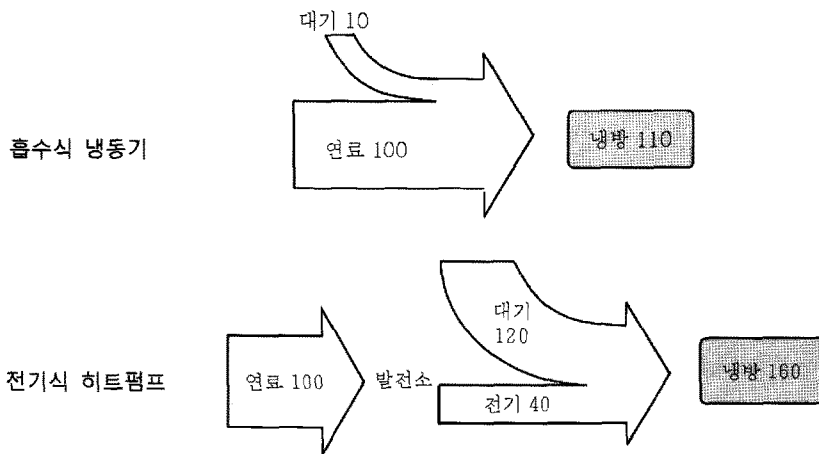
시스템이 상이하여 단순비교를 하기에는 무리가 있으나 순수하게 열량을 만들어 내는 열원의 관점

으로서만 평가할 경우, 가스를 열원으로 하는 흡수식 냉동기(COP 1.1로 가정)와 비교 시, 1차 에너지 소비량은 32% 절감되는 효과를 가져온다(그림 1 참조).

공기열원 히트펌프

가장 널리 알려진 형태의 히트펌프이다. 건물의 옥상층이나 각층의 외기가 면하는 곳에 실외기를 설치하고, 실내기는 천장, 벽 또는 바닥에 상치하는 형태로 구성된다. 한대 이상의 실외기에 복수의 실내기로 구성되는 형태를 취하고 있으며, 실내기 대수와 배관의 수가 일치하는 다배관 방식과 실내기 대수와는 상관없이 하나의 배관을 사용하는 단배관 방식이 있다. 흔히, 국내에서는 후자를 '시스템 에어컨'이라 칭하는데 이는 어디까지나 마케팅적인 용어이며, 정식으로는 냉매변류방식(VRF: Variable Refrigerant Flow)이라는 용어를 사용한다(이하, VRF로 칭함).

초고층 주거 건물에서, 실외기를 옥상층에 집단 설치하고 각 세대마다 배관을 연결할 경우, 저층부는 실내외기간의 배관길이가 비약적으로 증가하게 되어 효율의 저하가 발생한다. 동시에 냉매 수직 배관이 통과하는 샤프트(PS : Pipe Shaft)의 면적이 넓어지게 되는 단점이 있다. 이에, 각 세대별



[그림 1] 흡수식 냉동기와 전기식 히트펌프의 에너지효율 비교

로 실외기를 설치하면 전술한 문제점을 해결할 수 있으며, 주거라는 특성상 단위 세대 내에서 설치 및 서비스 등의 모든 행위를 할 수 있게 된다.

초고층 주거공간에서 공기열원 VRF의 선정 시, 고려할 주요 사항은 크게 제품 사이즈와 빌딩 외풍에의 대응성, 실외기 배기의 인접층 간섭 영향 등이다. VRF의 구동 메커니즘 상, 실외기는 외기와 면하는 곳에 설치해야 하므로 베란다 등에 실외기 실 공간을 확보해야만 한다. 그림 2와 같이 기기의 크기에 의해 실외기실의 면적이 달라지며, 이로 인해 거실에서의 조망 시야가 달라진다. 이는 주거용 건물에서 매우 중요한 사항이다.

다음은 건물 외벽에 발생하는 풍압에 대한 대응 가능 여부이다. 대부분의 실외기의 토출 풍속은 초속 3 ~ 4 m/나 이로서는 고층 건물의 빌딩 외풍 및 역풍에 대응하기 힘들며, 최소 7 m/s 이상이거나 경우에 따라서는 10 m/s까지 풍속이 가변 되는 지를 계획 단계에서 확인하는 것이 좋다. 또한, 실외기의 토출 방향은 상부가 아닌 타입이 바람직하다. 상부 토출의 경우 실외기에서 나오는 뜨거운 바람이 실외기실에 적체되어 외부베란과의 화초를 죽이는 원인이 될 수 있으며, 엘(L)자형의 가이드 부착할 경우 저항에 의한 효율이 예상되기 때문이다.

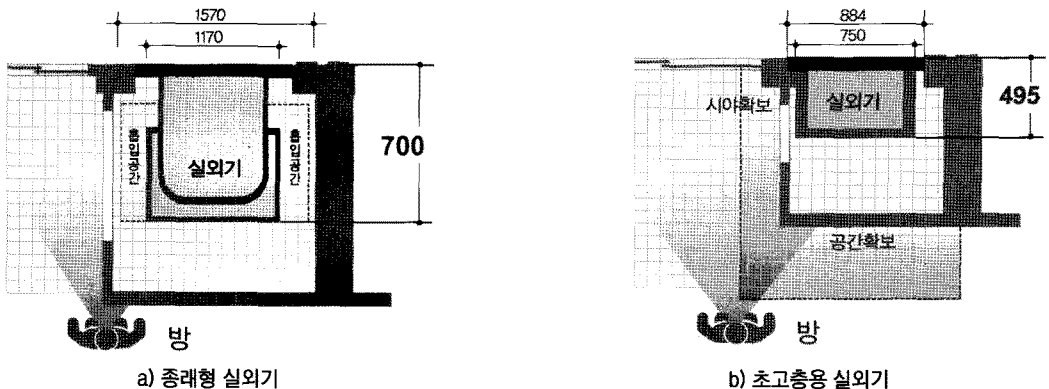
그림 3은 실외기 배기가 인접층에 미치는 영향을 나타낸 것이다. 그림과 같이 3 ~ 4 m/s의 기류 및 정면으로 배기가 나올 경우, 빌딩 외풍의 상승하는

기류에 의하여 윗층으로 바로 유입되는 쇼트 서킷 (Short Circuit) 현상이 일어나며, 이로 인해 상층부로 갈수록 VRF의 효율이 저하되는 결과를 가져온다. 이러한 현상은 7 m/s 이상의 기류 확보 및 배기의 각도 조절을 좌우로 비틀므로 인해 해결할 수 있으며 그림 3 b)와 같은 효과를 얻을 수 있다.

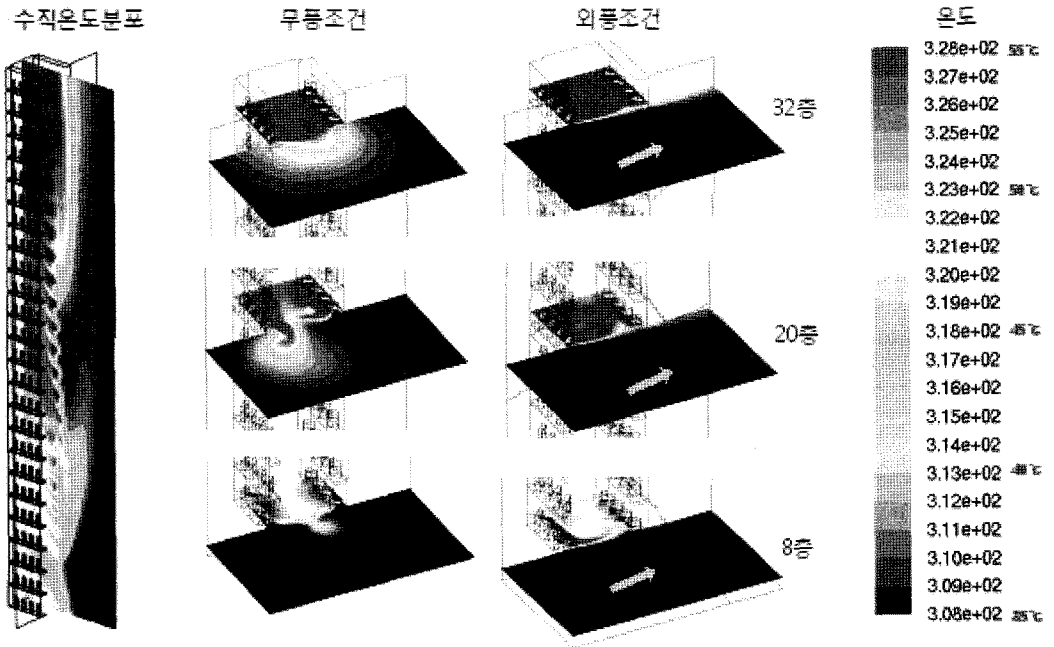
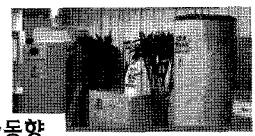
수열원 VRF

수열원 시스템은 미국에서 1950년대 말부터 상업용으로 제작 판매되었고 최초 수열원 히트펌프는 플로리다 주에서 지하수 및 운하의 물을 열원으로 사용, 주거용으로 이용하도록 구성된 시스템으로 1960년대 초부터 각 용도별로 분리된 형태의 히트펌프가 상업용 및 공공 건물에 적용되기 시작하였다. 국내에서는 2000년에 처음으로 수열원 히트펌프(물방식)가 도입되었고, 현재 1200여 곳에 설치되어 운영되고 있다. 대부분 지열을 이용한 시스템으로 2004년 정부의 신재생 에너지 적용 의무화 법규 적용 이후 보급이 급격히 증가되었다.

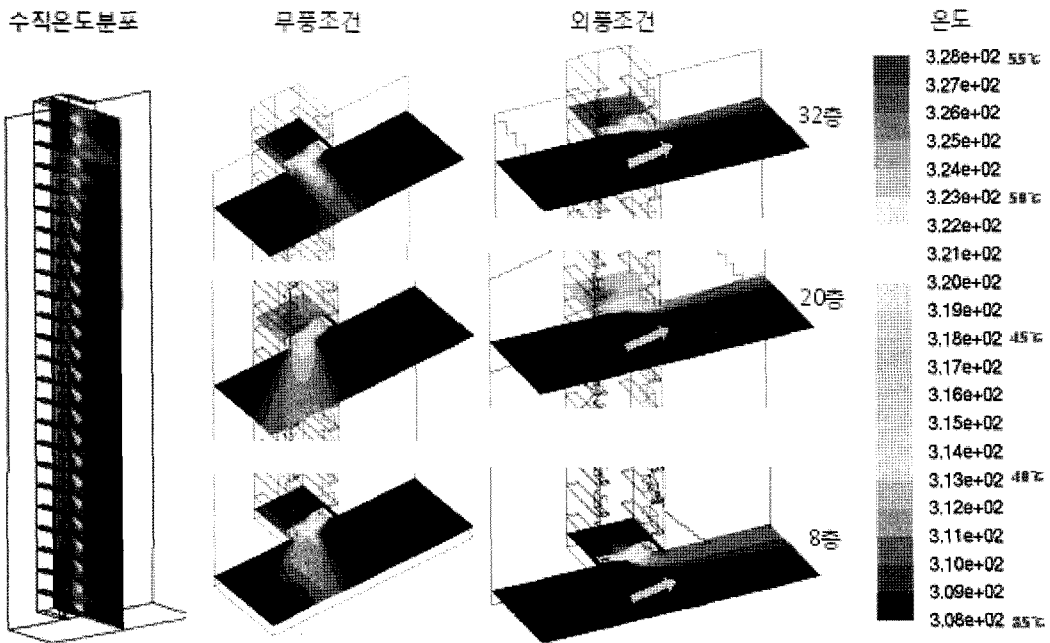
수열원 VRF는 지열을 이용하는 대신 냉방 시에는 냉각탑을 이용하고, 난방 시에 보일러를 통한 온수 공급으로 순환수의 온도를 일정하게 유지하여 실외기의 열교환에 이용한다. 사무용 건물의 경우, 각 층의 공조실에 실외기를 설치하나, 주거 건물은 실외기의 각 세대 내 배치를 원칙으로 한다. 수열원 VRF는, 외기 온도 및 빌딩 외풍 등 실외조



[그림 2] 실외기 사이즈에 따른 주거 공간 활용 및 조망권의 차이



a) 일반실외기 적용 시 (실외기 토출풍속: 4 m/s)



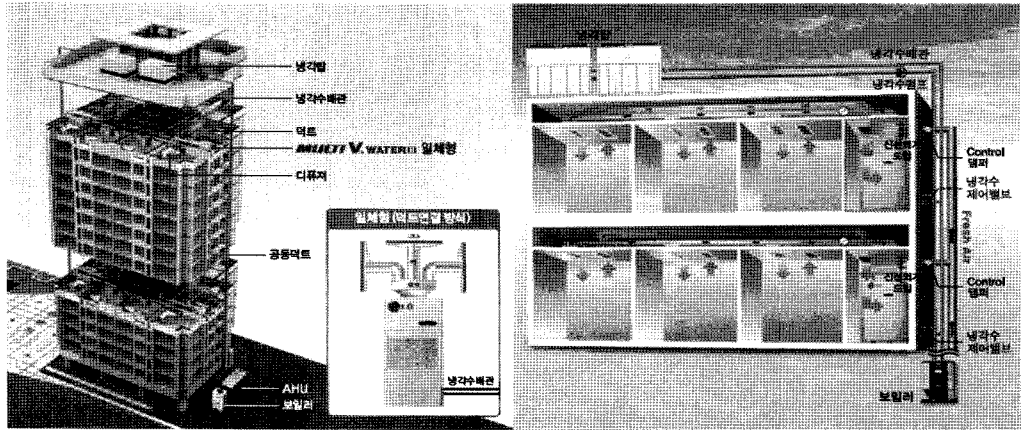
b) 초고층용 실외기 적용 시 (실외기 토출풍속: 7 m/s)

[그림 3] 층간 실외기 토출기류 간섭 효과 검토

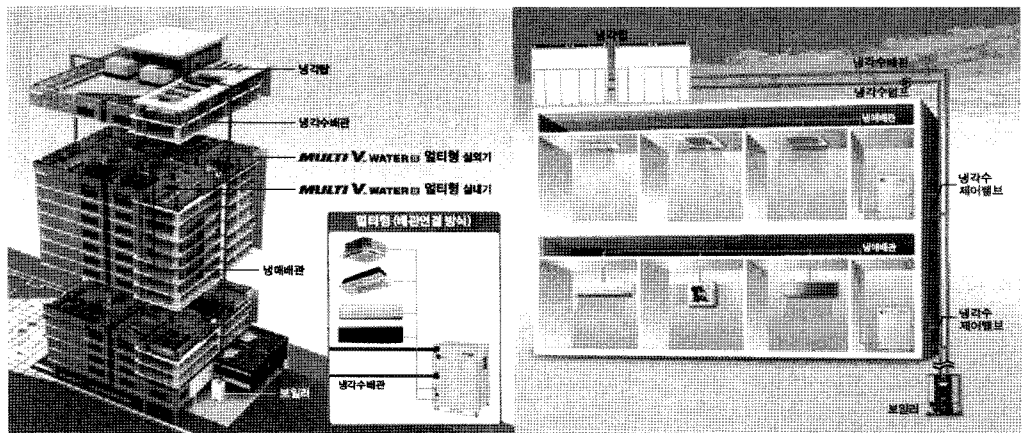
건에 영향을 받던 공기열원 방식에 비하여 일정 온도의 냉각수를 이용하기 때문에 운전 효율이 높다. 또한, 공기열원 VRF와 같이 공기 냉매 열교환이 아닌, 물 냉매 열교환이므로 공기열원과 동일한 용량의 압축기 조합을 사용하더라도 냉매 이동량이 증가하여 더 큰 냉난방 능력을 얻을 수 있다. 특히 수열원 VRF는 겨울철 난방운전 시, 공기열원 방식에서 발생하는 제상운전(실외기 열교환기에 발생하는 서리를 녹이기 위해 고온의 냉매를 흘려보내는 운전. 이 때 실내에는 열공급이 중단되나, 최근 이를 해결한 기기가 출시되었다)이 없으므로 안정적인 운전이 가능하다.

수열원 VRF 시스템에서 실내에 열을 공급하는 방법은 크게 두 가지가 있으며, 덕트 방식의 일체형 시스템과 배관 연결 방식의 멀티형 시스템으로 구분된다. 그림 4에 각각의 시스템 구성도를 나타내었다.

덕트 방식의 일체형 시스템은 실내기가 필요 없는 실내외기 일체형 구조로 다양한 실내 공간의 효율적 냉방은 물론 환기까지 가능하며, 거실 및 방에 실내기를 설치할 필요가 없으므로 인테리어의 자유도가 높다. 또한 외기기를 이용하여 중앙에서 덕트를 통해 신선 외기를 각 실에 직접 공급하기 때문에 별도의 환기장치를 설치하지 않아도 되는



a) 덕트방식 일체형 수열원 VRF 시스템 구성도



b) 배관 연결 멀티형 수열원 VRF 시스템 구성도

[그림 4] 수열원 VRF 시스템 종류



이점이 있다. 아울러, 실별 풍량 및 온도제어를 위한 풍량 제어 댐퍼를 이용하면 재실자가 있는 실만 공조가 되므로 에너지 절감에 효과적이며, 쾌적성 증대 및 사용 편리성을 더욱 높일 수 있다.

배관 연결 방식의 멀티형 시스템은 실외기에 여러 대의 실내기를 단배관으로 직접 연결하여 냉방 운전을 하는 형태이며, 덕트가 필요 없으므로 층고가 낮은 경우 적용이 용이하다. 세대별로 환기장치를 별도로 설치하여 환기 수요를 해결할 수 있으며, 시공 기간 중 냉매 배관을 미리 매설해 놓으면 입주 이후 추가적인 공사를 피할 수 있으며, 배관 노출에 의한 인테리어상의 문제 등도 해결할 수 있다. 또한 냉방이 필요한 실에만 실내기를 설치할 수 있기 때문에 실내 부하에 대한 사용 편리성을 높일 수 있는 장점이 있다. 또한, 송풍기가 없어 공기열원 VRF에 비해 약 18% 가량 실외기 소음을 줄일 수 있다.

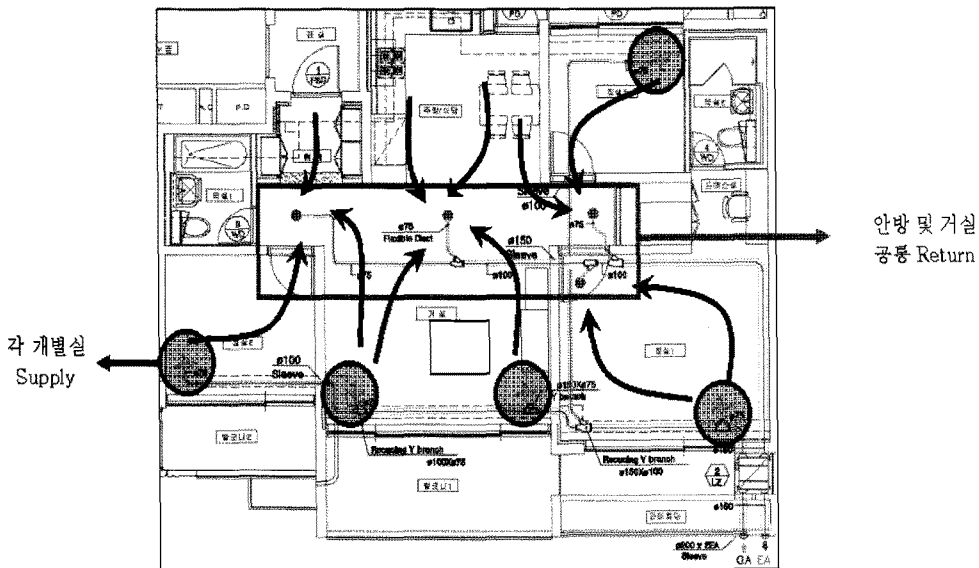
주거 평면 계획에서의 가장 큰 특징은, 실외기가 외기와 면하지 않아도 되므로, 실외기를 베란다 공간이 아닌 복도 인접 및 보일러실 등에 설치할 수 있다는 점이다. 실외기 배치에 따라서는 점검 및 서비스 발생 시, 세대 방문을 하지 않고도 복도 등

의 외부에서 해결할 수 있어 개인의 사생활 침해에 대한 불편을 막을 수 있다. 또한 건물 전체로 보면 공기열원 VRF에 설치되었던 실외기 그릴이 없어져, 입면 디자인의 자유도가 높아진다.

수열원 VRF 시스템 설계 고려사항

수열원 VRF 시스템 상에서 공기 측 변풍량 제어, 물 측 변유량 제어, 제곱 측의 인버터 냉매 제어 등은 HVAC 시스템 전체의 에너지 절약에 공헌할 수 있는 요소들이다. 이러한 연동 제어 시, 각 제어 부품들의 피드백 제어 및 시퀀스 제어에 대한 주기설정 및 냉각탑 및 보일러, 펌프 등과의 상호통신 등이 중요한 설계 인자가 될 수 있다.

기기 안정성의 측면에서는, 실외온도와 냉각수 온도가 아주 낮거나, 냉각수 순환 유량이 매우 적을 때 판형 열교환기 내에 결빙이 발생, 동파될 가능성이 있으므로 이에 대한 안전 제어가 마련되어 있는지의 확인이 필요하다. 또한, 물의 특성상 밀폐계가 형성된 시스템 내에서 물의 온도 변화가 발생할 경우 부피 팽창에 의한 압력 변화가 매우 커 수배관 측의 피해가 발생할 우려가 있으므로, 설계



[그림 5] 주거 시설의 환기 급배기 설계 예

시 이를 반영하여야 한다.

아울러, 주거의 거주 패턴 상 평일 낮 시간은 재실자 수가 적고, 봄, 가을과 같은 중간기에는 부하가 적어 부분부하 운전이 일어난다. 따라서, 효율적인 운전을 위해서는 실외기의 압축기에 인버터 및 정속 압축기의 조합이 필수적이다. 이를 이용하면 부하가 적을 시, 인버터 압축기로 운전을 하며 일정 이상의 부하에서는 정속 압축기로 안정적인 냉난방을 하는 운전 시퀀스를 만들어 낼 수 있다.

초고층 주거 건물과 같은 대형 건설현장은 계획부터 준공까지의 전체공정이 3 ~ 5년 정도 소요되기 때문에, 사전 건축계획에 따른 설비계획을 근거로 건축 공정을 진행하는 것이 중요하다. 덕트 및 배관은 실외기의 타입을 결정한 후 시공 시 미리 매설하면 외부에 노출되지 않기 때문에 고급 주거에 어울리는 인테리어를 확보할 수 있다. 또한 VRF 제품은 제품의 개발 주기가 비교적 짧으며, 기술 개발이 빠르므로 제조사와 충분한 사전 협의를 거친다면 건물에 최적화된 제품을 개발하여 적용시킬 수 있다.

환 기

공동주택에 전실환기로 설계할 경우, 각 실 급기(OA : Outdoor Air)를 원칙으로 하며 배기(EA :

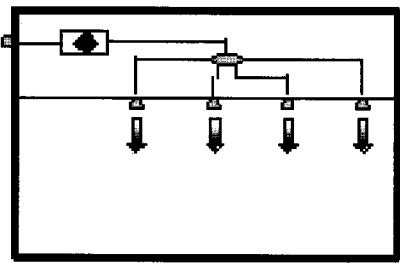
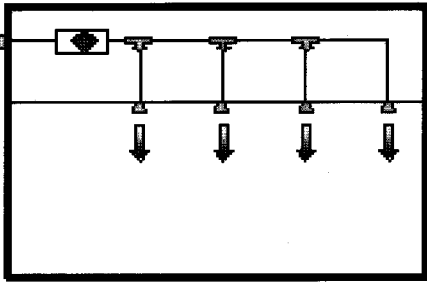
Exhaust Air)는 국소 오염물질 및 환기의 중요성이 높은 안방과 거실에 공동 배기하여 덕트 교차 개소 증가를 최소화하는 방안을 강구해야 한다. 안방은 급기와 배기 디퓨저를 1:1로 적용하여 부부의 프라이버시 확보 및 쾌적성을 유지하는 데 주안을 두며, 개별 침실은 급기만 적용한 2종 환기로 거실 공동 배기를 이용한 유인 환기 성능을 확보하도록 해야 한다. 거실은 급기와 더불어 배기 집중 배치로 화장실, 주방 및 식당의 냄새가 각 방으로 유입되지 않도록 설계하며, 주 거주 공간의 쾌적성 확보를 고려하여 설계를 진행한다(그림 5 참조).

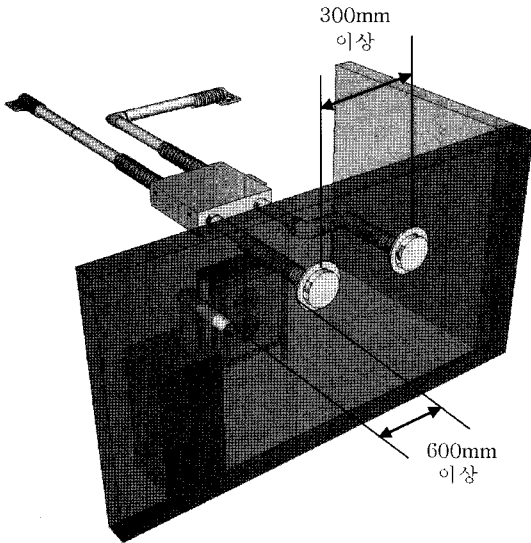
덕트 설계 방식은 크게 와이(Y)형 분지(Branch)를 사용하는 간선 덕트 방식과 분기 챔버를 이용한 공기분배 덕트 방식이 있으며, 각각의 차이를 표 1에 나타내었다.

도시가스 안전 관리기준에 의하면, 주거 공간의 보일러 등이 있는 유틸리티(Utility)실의 외벽에 설치되는 캡 그릴과 보일러 사이의 이격거리는 600 mm 이상 이격되어야 하나, 지역 난방으로 세대 내 보일러가 없는 경우는 예외로 간주된다. 다만 급기와 배기의 캡 이격 거리는 300 mm 이상을 확보하여, 배기된 공기가 급기로 재유입(short circuit)되지 않도록 설계하여야 한다. 그림 6에 보일러 및 캡 그릴간 이격 기준을 나타내었다.

이상은 일반적인 환기 시설에 해당되는 내용이

<표 1> 공기 분배 방식 및 특성 비교

	공기분배 덕트 방식	간선 덕트 방식
시스템 개요도		
특징	<ul style="list-style-type: none"> • 분기 챔버를 이용한 풍량 분배 • 분기 챔버 사용시 풍량 분배 성능이 양호함 • 충분한 풍량 성능의 확보를 위해 환기장치의 Fan 압력성능이 커야 함 	<ul style="list-style-type: none"> • Y-branch 를 이용한 풍량 분배 • 분기 챔버보다 정압 손실이 적어 전체 풍량 양호 • 분기 덕트에 Damper 설치하여 풍량 분배 필요



[그림 6] 환기 급배기 그릴간 이격 거리 기준

나, 초고층 건물의 환기 시설에서 가장 문제가 되는 점은 빌딩 외풍, 역풍 및 돌풍 등에 의한 높은 외부 압력이며, 이를 위해 최대 300 Pa의 초고정압 환기 기기의 검토가 요구된다. 초고층용 환기 기기가 아닌 경우 대부분 170 Pa 이하의 압력에 대응 가능하도록 설계 되어 있으므로, 이 경우 충분한 정압을 확보하지 못하여 배기가 원활히 이루어지

지 않아 실내에 오염된 공기가 정체되거나, 과도한 급기로 인해 실내 온도 유지에 여분의 에너지가 소요된다. 특히 겨울철 차가운 외기온이 충분한 열교환 없이 실내에 들어올 경우, 찬 냉기에 의한 불쾌감(Cold Draft)을 유발한다. 설계자는 주거용에 적용 가능한 사이즈인지, 초고정압을 확보하기 위해 환기 기기 내의 팬 블라인드 형상 설계 및 전열소자의 고효율 등 요소 기술의 확보가 충분히 이루어져 있는지 기기 단위의 검토가 반드시 해야 한다.

맺음말

다양한 주거 공간에 대한 요구, 국내 부동산 시장의 특수성, 고층에의 인간의 욕망 등으로 인해 초고층 건물에 대한 수요는 앞으로도 계속될 것으로 보인다. 단지 에너지와 설비라는 측면에서만 본다면 저층의 판상형 아파트만을 지어야 할 것이나 삶과 거주 환경의 질적 향상까지 고려할 때, 이러한 추세에 대한 옳고 그름의 판단은 쉬운 것이 아니다. 엔지니어로서의 역할은 최소한의 자원투입으로 최대한의 효율을 이끌어내어 안정된 실내 환경을 유지하는 것이며, 이것은 오늘날의 화두인 '그린에너지'와 일맥상통하는 의미가 될 것이다. 본 원고가 그러한 역할에 대해 조금이나마 기여가 된다면 저자로서의 영광이다. (주)