

고층 건물의 연돌효과가 실내 오염물 확산에 미치는 영향

기존 고층 건물의 연돌효과에 의해 발생하는 새로운 실내환경 문제의 가능성을 소개하고자 한다.

김 광 호

유원엔지니어링(주) (infrazign@hanmail.net)

기존 연구에서 본 연돌효과의 문제점

1990년대 이후 고소득층을 대상으로 대형평수의 고급주택을 대량으로 공급할 수 있는 초고층 아파트가 증가하고 있다. 이러한 초고층 아파트는 고층부의 강풍에 대한 안전성과 고단열과 고기밀 등 에너지 절약적 측면에서 자연환기를 위한 창호의 개폐가 자유롭지 않으며 외벽의 면적에 비해 개폐 가능한 창호의 면적도 상대적으로 작은 커튼월 구조로 계획되고 있다. 이로 인해 자연환기보다는 기계식 환기에 의존이 높다. 초고층 건물의 일반적인 구성을 보면 다음과 같은 특징에서 업무용 건물과 유사한 구조를 가지고 있다.

- ① 커튼월 구조의 외피를 가지며, 창의 개폐가 자유롭지 못하며, 개폐 면적도 작다.
- ② 코어를 중심으로 4개에서 7개의 단위주거가 둘러 싸여 있다.
- ③ 엘리베이터와 계단실을 위한 수직통로(vertical shaft)가 있다.
- ④ 개폐가능한 창의 면적이 작기 때문에 기계환기에 의존한다.

또한 초고층 주거용 복합건물은 초고층 업무용 빌딩과 같이 연돌효과가 발생하고 있으며, 이로 인해 엘리베이터 문의 오작동, 문 개폐의 어려움, 각종 틈새로 인한 기류 소음 등의 문제가 보고 되고 있다. 그러나 주상복합의 경우, 업무용 건물과 달리 실내에서는 조리, 세탁 등 생활행위에 의해 많은 수증기가 발생한다. 이 때문에 업무용 빌딩에서 나타나지 않는 여러 가지 새로운 문제점이 나타나고 있다.

새로운 문제점의 제기

건물에서의 공기감염 바이러스 확산은 건물의 특징과 관련이 깊다. 2003년 홍콩의 "Amoy Gardens"라는 고층 공동주택에서 짧은 시간에 300명이상의 SARS 감염자가 발생되었다. 감염경로를 살펴보면, Amoy Gardens은 36층 높이의 동일한 7동의 건물들로 구성되었고, 건물내부는 중심코어에 단위주거가 둘러싸여 있는 전형적인 복합형태의 건물이다. 그 중 한동의 7층에서 SARS에 감염된 재실자가 발생되었고, 이 SARS 바이러스는 건물 전체로 확산되어 인접한 동들의 재실자들을 감염시켰다. 선행 연구에

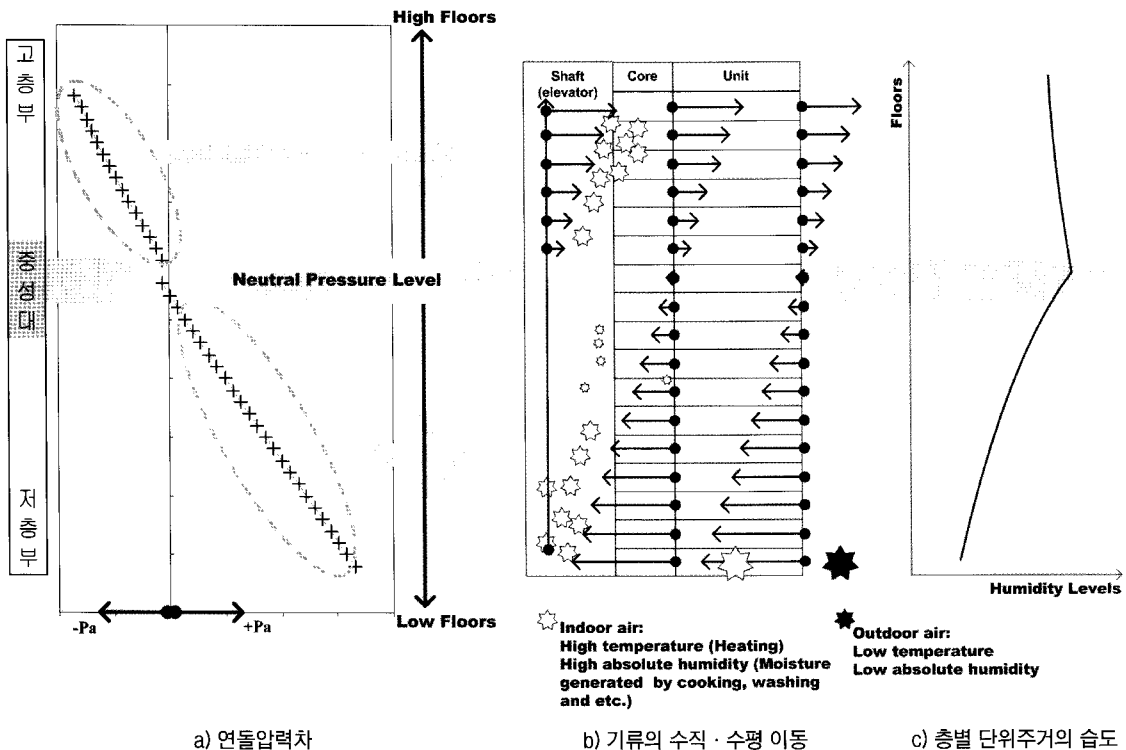
1) 급성호흡기중후군(SARS)은 숙주로부터 사람에게 감염된 이후 매우 빠른 속도로 전염되며, 그 치사율도 높은 것으로 알려져 있다. 뿐만 아니라 2차 감염의 경로가 공기를 통하여 이루어지기 때문에 더 위협적인 것으로 여겨지고 있다.

의하면, 이 바이러스의 확산과정이 건물의 구조적인 특징과 관련이 있다는 보고서를 제출하였다. 즉 바람의 영향으로 건물내부의 압력차가 발생되어 실내 기류의 변화가 생겼으며 이 과정에서 SARS 바이러스가 확산되었다는 것이다.

한국의 초고층 주상복합에서 SARS가 발생되었다면 그 바이러스는 어떻게 확산되는가? 이러한 SARS 바이러스의 건물내부 확산문제는 홍콩만의 문제는 아니다. 우리나라의 경우, SARS에 대한 심각한 문제는 발생되지 않았지만, SARS와 같은 공기감염 바이러스가 건물내부의 자연적인 현상에 의해 확산될 가능성이 더욱 높은 환경을 가지고 있다. 홍콩의 경우에는 겨울철 온화한 기후로 실내온도차가 평균 0.5℃ 차이를 보이고 있어(Li et al, 2004), 고층건물의 실내기류 이동은 연돌효과보다는 바람의 영향에 중점을 두고 분석하고 있다. 그러나 우리나라의 경우는 다르다. 겨울철 실내온도차가 서울지방의 경우

TAC 2.5%를 기준으로 30℃ 정도 되어 그림 1과 같이 각 층별 압력프로파일을 갖는 연돌효과가 발생된다. 이런 연돌 압력차는 수직적으로 엘리베이터와 계단실 샤프트를 통해 하부에서 상부로의 기류를 이동시키며, 수평적으로는 저층에서는 단위주거에서 코어로, 고층에서는 코어에서 단위주거로 기류가 이동된다. 더욱이 바람은 이러한 연돌효과를 가중시키는 효과를 가진다. 따라서 저층에서 SARS 환자가 발생한다면 환자의 호흡기에서 나온 공기감염 바이러스는 기류의 이동에 의해 고층으로 확산될 가능성이 매우 높다.

고층건물의 경우, 고층으로 갈수록 습도가 높고 실내오염물질(TVOC, 포름알데히드, 집먼지 진드기 등)의 농도도 높아질 확률이 높다. 그림 1은 연돌효과에 대한 기류의 이동과 층별 실내습도의 패턴을 보여주고 있다. 상부층으로 갈수록 습도가 높고 저층으로 갈수록 습도는 낮다. 하부층의 경우, 저온저



[그림 1] 연돌효과에 의한 기류의 이동

습의 외기가 실내로 유입되면서 난방에 의해 온도가 높아져 상대습도는 낮아지게 된다. 즉 건조하게 된다. 그러나 실내에서 발생하는 수증기(가습, 조리/식사, 세탁, 샤워/목욕 등) 때문에 저층의 공기는 많은 수증기를 함유하게 된다. 이처럼 실내습도의 양상이 바뀌게 되는데 상대적으로 높은 습도를 가지는 공기는 현관문을 통해 코어로 나오게 되며, 엘리베이터를 통과하여 수직샤프트를 통해 상층부의 단위주거로 유입된다. 이 때문에 중성대(neutral pressure level) 이상의 층에서는 하부층의 다습하고 오염된 공기가 엘리베이터 코어를 통해 현관문으로 유입되어 실내습도 및 실내오염물질의 농도가 높다. 현관문을 통해 들어온 공기만큼 실내의 다습한 공기는 차가운 창을 통해 외부로 나가게 된다. 이 과정에서 유리창 내표면에 결로가 발생하게 된다. 표 1을 보듯이 상부층에 습도가 높다는 것은 집먼지 진드기 및 곰팡이의 생육을 증진시키기도 하기 때문에 재실자의 호흡기 질환을 높일 수 있다²⁾.

고층병원의 경우, 이런 연돌효과에 대한 공기감염 바이러스의 확산에 대한 대응책은 있는가? 현재 연

세대 세브란스 병원을 시작해서 고층병원들의 건설이 증가하고 있다. 연돌효과는 고층병원이라도 예외 없이 발생하고 있다. 그림 2는 국내 유명한 중층병원으로 코어와 엘리베이터 샤프트간의 연돌압력차를 예비 측정된 결과이다. 측정된 결과를 보면 전형적인 연돌압력차 프로파일을 보여주고 있다.

이러한 고층병원에 공기감염 바이러스에 감염된 환자들을 저층에 입원시킨다면, 또는 저층에 수술실, 격리병동 등을 배치한다면 환자들에게서 나오는 공기감염 바이러스 및 나쁜 먼지 등은 연돌효과로 인해 엘리베이터 및 계단실 샤프트를 거쳐 상부층으로 확산될 가능성이 높다. 수술실과 격리병동의 경우, 강력한 환기장치를 가지고 있지만 공기를 통한 오염물질의 확산은 공간자체를 분리하지 않는 한 완전히 막을 수는 없다. 일 예로 그림 3은 급배기가 가동되는 조건하에서 주방의 냄새가 연돌효과로 인해 코어로 확산되는 과정을 보이고 있다.

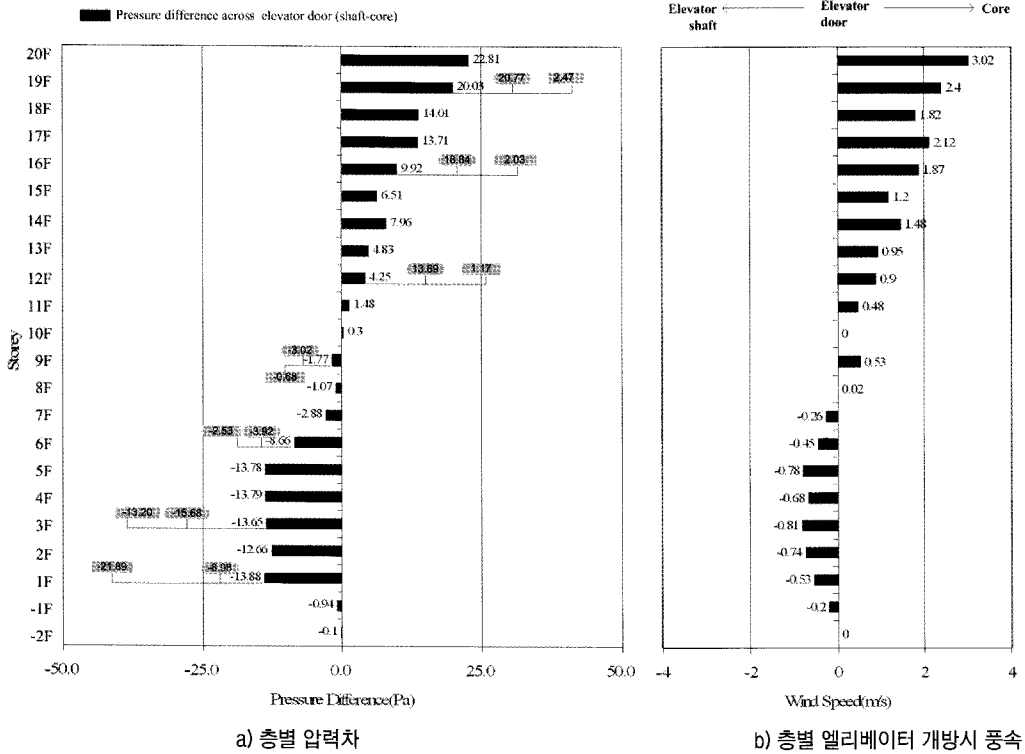
똑같은 원리로 주방의 냄새가 아닌 환자라고 가정한다면 확산원리는 동일하다. 현재 고층병원은 연돌효과를 고려한 용도별 공간의 배치가 계획되지 않고

<표 1> 온도변화에 따른 집먼지진드기 마리수 변화

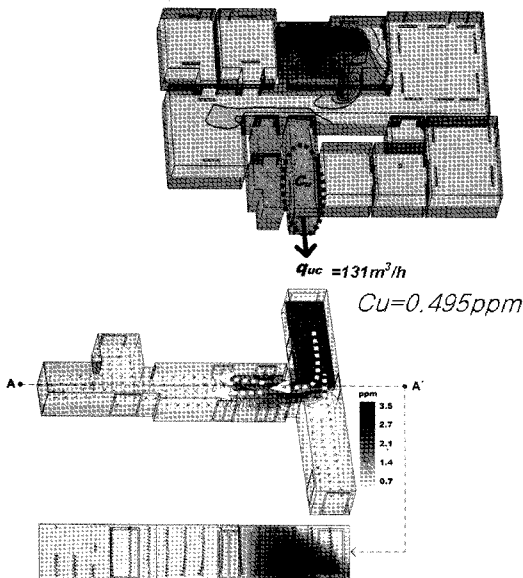
| 온도 (°C) | 상대습도 (%) | 층 | 2배로 될 때까지 걸리는 시간(일) | 1/2로 될 때까지 걸리는 시간(일) |
|---------|----------|-----|---------------------|----------------------|
| 15 | 75 | DP* | 274 | - |
| 20 | 75 | DP | 22 | - |
| 23 | 75 | DP | 13 | - |
| 25 | 75 | DP | 12 | - |
| 30 | 75 | DP | 9 | - |

* Dermatophagoides pteronyssinus

- 매일경제: 국토연구원 전 연구원인 원미연씨는 “16층이상 고층아파트에 사는 사람이 5층이하 저층아파트 거주자보다 병원에 가는 횟수가 두배 이상 많다”고 지적했습니다. 그는 ‘아파트 주거층수가 건강에 미치는 영향’이란 연구논문을 통해 고층에 사는 주부가 한 해에 6.8회 병원 진료를 받는 것으로 조사돼 저층에 사는 주부 연간 진료횟수 3.4회의 두 배에 달한다고 밝혔습니다. 아동의 경우는 더욱 심해 저층 아동이 연간 3.8회 병원 진료를 받는 반면 고층의 아동은 연간 8.6회 진료를 받고 있는 것으로 나타났다고 밝혔습니다. 이유는 고층 거주자에게 감기·기관지염·비염 등 호흡기 질환과 소화기 질환등이 많았다는 것이죠. 원씨는 “초고층은 습도와 기온 산소량 자외선량 바람 진동 등이 저층보다 인체에 악영향을 주기 때문에 이 같은 현상이 나타나는 것으로 보인다”며 “외국 연구진들에 의해 ‘초고층 아파트가 건강에 부정적 영향을 미친다’는 사실은 수도 없이 확인된 바 있다”고 말했습니다.



[그림 2] 분석을 위한 사례 병원의 특징



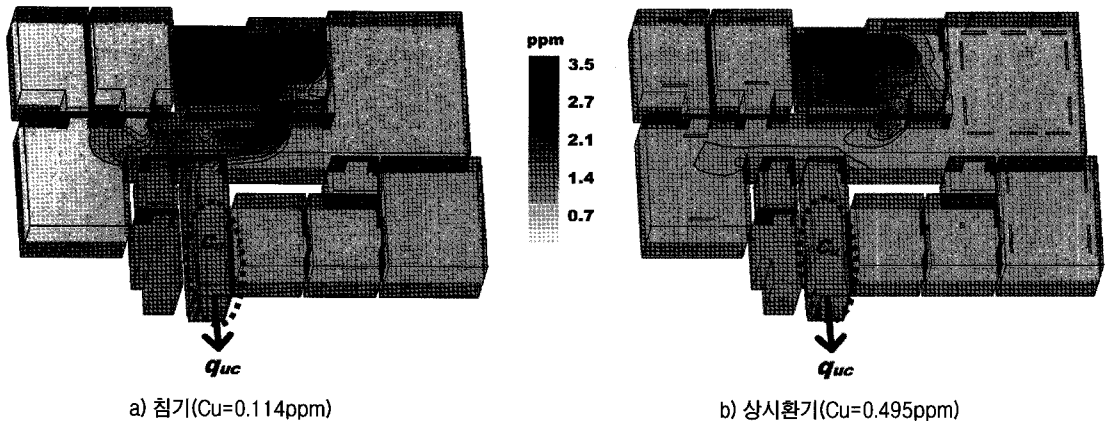
[그림 3] 고층건물의 저층에서 일어나는 조리냄새의 확산

있으며, 급배기 설비 또한 정확한 검증없이 배치되고 있어 공기감염 바이러스의 확산 가능성은 더욱 높다고 할 수 있다. 이에 대한 면밀한 대책과 계획이 필요하다.

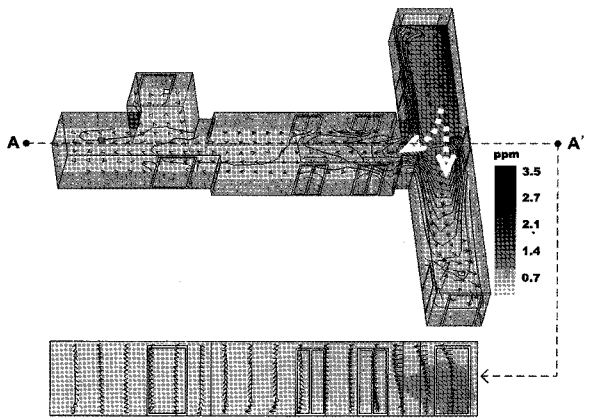
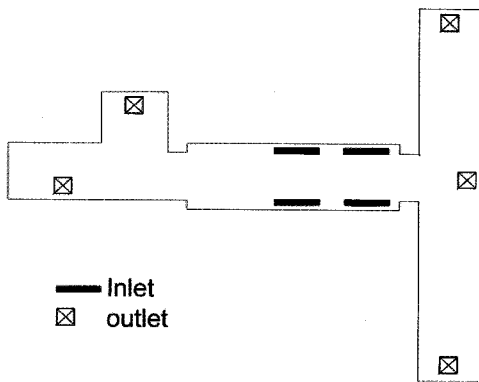
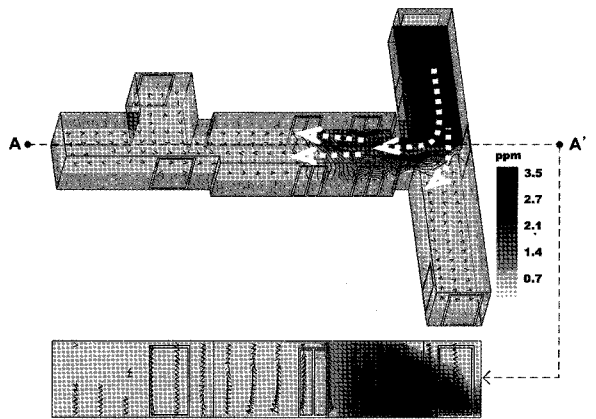
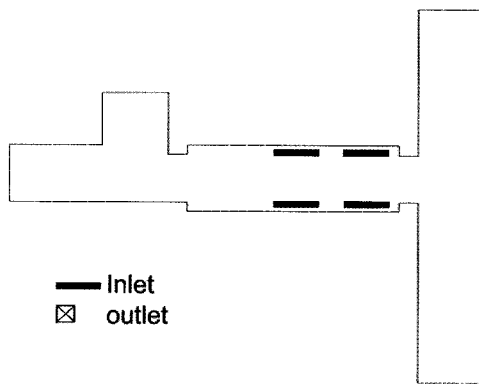
해결책의 모색

연돌효과에 대한 문제점의 해결책은 여러 가지 방법이 있다. 건물의 구조적인 변화와 설비적인 대책이 그중 하나일 수 있다. 본 글에서는 설비적인 대책을 모색하도록 하겠다.

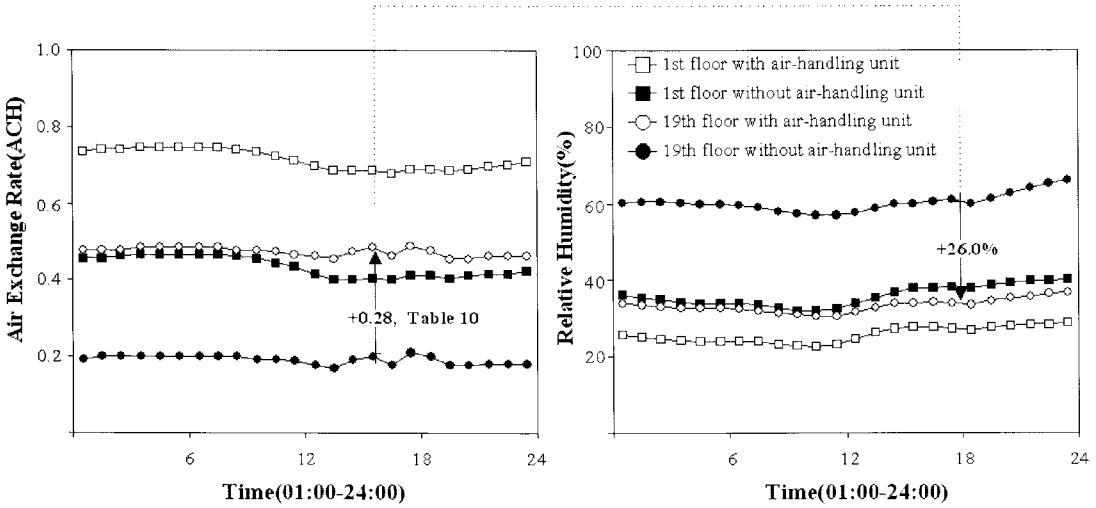
그림 4와 그림 5는 연돌효과로 인한 단위주거에서 코어로의 냄새확산을 보여주고 있는 CFD해석 결과이다. 그림 4와 그림 5는 양호한 환기를 위해 코어, 주방 및 각 실에 적정 급·배기구를 설치했지만 급·배기구의 부적절한 배치로 인해 오염물질을 회색·격리시키지 못하고 공용부인 코어까지 확산되



[그림 4] 단위주거의 냄새확산과 현관부분의 냄새농도



[그림 5] 코어의 급·배기구 위치에 따른 대안과 농도분포



[그림 6] 환기유닛의 유무에 따른 환기횟수와 상대습도의 변화

는 것을 보여주고 있다. 그림 5의 Case 2의 경우 단위주거에서 발생한 오염물질이 1차적으로 각 단위주거의 앞에 있는 배기구에 의해 제거되며, 엘리베이터 앞부분의 라인 급기로 인해 형성된 기류가 코어부분으로 확산되는 음식냄새의 유입을 막고, 음식냄새를 희석시키고 있다. 그림 6의 경우, 적정 환기량으로 인해 고층의 단위주거의 높은 습도가 줄어드는 것을 보여주고 있다.

따라서 고층부의 고습도와 저층부의 오염물질 확산을 방지하기 위한 설비적인 대응책의 기본 요지는 적절한 환기량을 선정하고 효과적으로 급·배기구의 위치를 선정하여 오염물질을 희석/격리시키는 것이다. 또한 일반적으로 고층 주상복합 건물에 기계

환기 시스템이 설치되어 있지만 고층부에는 상대적으로 고습도 현상과 결로 현상이 나타나는 이유는 상시환기를 가동여부를 재실자에 부여한 데서 기인한 것으로 판단된다. 즉 상시환기 장치를 작동시키지 않는 경우가 많다는 것이다. 이러한 여러 가지 이유 때문에 상시환기의 경우, 가동권한을 제한하는 것이 필요하다.

여러 논문에서 고층주상복합건물의 연돌효과를 제어하기 위해 급·배기를 적용하는 것에 대한 문제점을 지적하고 있다. 본 글에서 해결책 모색은 필자의 견해이며, 이러한 문제를 해결하기 위해 현재 관련 연구를 진행중에 있다. 