

# 공동주택의 필요환기량 산정방법

공동주택의 필요환기량을 경험에 의존하지 않고 오염발생량과 환경농도 기준 등에 근거하여 산정하는 방법을 제시하고, 실예를 들어 필요환기량 산정결과를 예시하고자 한다.

한 화 택 / 편집이사

국민대학교 기계자동차공학과(hhan@kookmin.ac.kr)

정 형 호

현대산업개발(chh@hyundai-dvp.com)

## 서론

실내공기질에 관한 일반인의 관심은 매우 높아지고 있는데 비하여, 쾌적한 실내공기질을 유지하기 위한 구체적인 방법과 과학적인 자료가 아직까지 충분히 제시되지 못하고 있는 실정이다. 공기청정기의 실제적인 공기청정 효과가 과학적으로 입증되어야 하고, 건축자재의 신뢰성 있는 오염발생량 데이터가 제공되어야 하며, 또한 실내에 필요한 적정 환기량이 제시되어야 하는 등 앞으로 실내공기질을 유지하고 개선하기 위한 연구들이 좀더 활발히 진행되어야 할 것이다.

최근 고급형 아파트에서 폐열회수 환기유닛을 채용하는 경우가 많고 앞으로 보급형 아파트에서도 여러 가지 형태의 환기장치가 사용될 것으로 예상됨에 따라서 각 건설사에서는 아파트 평수와 거주 인원 등에 따른 적정 환기량을 찾기 위하여 부심하고 있다. 환기량이 너무 적으면 실내오염발생을 제대로 조절하지 못할 것이고, 환기량이 너무 많으면 환기장치의 용량이 커지고 불필요한 에너지 손실이 많아질 것이다.

본고에서는 공동주택의 필요환기량을 산정하는 방법에 관하여 고찰하고자 한다. 기존에 사용되는 필요환기량 산정방법으로 (1) 1인당 점유면적으로부

터 구하는 방법, (2) 필요 환기횟수로부터 구하는 방법, (3) 실면적당 환기량으로 계산하는 방법, 그리고 (4) 수용인원으로부터 구하는 방법 등이 있다. 그러나 이러한 방법들은 실제 조건과 실의 용도에 따라서 경험적으로 구한 데이터에 의존하고 있다. 또한 어느 방법 하나를 이용하여 필요환기량을 산정할 경우, 다른 요소들을 고려하지 못하는 것이 문제가 될 수 있다.

공동주택의 필요환기량을 산정하는데 있어서 위의 경험적 데이터가 부족할 뿐만 아니라 재실인원과 아파트 평수를 모두 고려하여야 한다. 따라서 위의 경험에 의존하는 관계식을 사용하지 않고, 인체와 벽체에서 발생하는 오염발생량과 환경 농도기준을 기초로 하여 아파트의 필요환기량을 산정하는 방법을 제시하고자 한다. 또한 H사의 아파트에 대하여 건물 평수, 건축자재등급, 그리고 재실인원 등에 따른 필요환기량 산정결과를 예시하고자 한다.

## 개별 오염물질별 필요환기량

일반적으로 필요환기량은 각 오염물질에 대하여 환경기준과 오염발생량으로부터 다음 식과 같이 구할 수 있다.

$$Q_{required} = \frac{M}{C_{criterion} - C_{\infty}} \quad (1)$$

여기서  $M$ 은 실내오염 발생량이고,  $C_{\infty}$ 는 자연상태에서 대기 중에 존재하는 배경 농도,  $C_{\text{criterion}}$ 은 환경기준 농도이다. 표 1과 표 2는 우리나라 다중이용시설등의 실내공기질관리법에 주어진 환경기준으로서 오염물질에 따라서 유지기준과 권고기준으로 나누어 제시되어 있다.

**(1) 인체 오염발생(CO<sub>2</sub>)에 따른 필요환기량**

인체에서 발생하는 대표적인 오염물질은 이산화탄

소이다. 이산화탄소의 환경기준은 1000 ppm이고 배경농도는 약 353 ppm이다. 또 인체에서 발생하는 오염발생량은 인체의 활동강도에 따라서 바뀐다. 취침시 이산화탄소 발생량은 10 L/h 정도이고 격렬한 운동시 약 70 L/h에까지 이른다. 표 3은 동작의 강도에 따른 이산화탄소 배출량을 보인다.

ASHRAE에서는 1인당 최소환기량을 25 CMH로 제시하고 있다. 이것은 1인당 이산화탄소 배출량을 약 20 L/hr로 하였을 때의 값에 해당한다. 따라서 이산

<표 1> 실내공기질 유지기준(환경부, 제3조 관련)

| 오염물질 항목  | PM10 (µg/m <sup>3</sup> ) | CO <sub>2</sub> (ppm) | HCHO (µg/m <sup>3</sup> ) | 총부유세균 (CFU/m <sup>3</sup> ) | CO (ppm) |
|--|---------------------------|-----------------------|---------------------------|-----------------------------|----------|
| 다중이용시설   |                           |                       |                           |                             |          |
| 지하역사, 지하도상가, 여객자동차터미널의 대합실, 공항시설중 여객터미널,항만시설중 대합실, 철도역사의 대합실,도서관, 박물관, 미술관, 업무시설, 20이상 용도 건축물,공연장, 대규모점포, 상점가, 혼인예식장, 실내체육시설, 장례식장 | 150 이하                    | 1,000 이하              | 120 이하                    | -                           | 10 이하    |
| 의료기관, 보육시설, 노인복지시설, 학원   | 100 이하                    |                       |                           | 800 이하                      |          |
| 실내주차장  | 200 이하                    |                       |                           | -                           | 25 이하    |

<표 2> 실내공기질 권고기준(환경부, 제4조 관련)

| 오염물질 항목  | NO <sub>2</sub> (ppm) | Rn (pCi/ℓ) | TVOC (µg/m <sup>3</sup> ) | 석면 (개/cc) | 오존 (ppm) |
|--|-----------------------|------------|---------------------------|-----------|----------|
| 다중이용시설   |                       |            |                           |           |          |
| 지하역사, 지하도상가, 여객자동차터미널의 대합실, 공항시설중 여객터미널,항만시설중 대합실, 철도역사의 대합실,도서관, 박물관, 미술관, 업무시설, 20이상 용도 건축물,공연장, 대규모점포, 상점가, 혼인예식장, 실내체육시설, 장례식장 | 0.05 이하               | 4.0 이하     | 500 이하                    | 0.01 이하   | 0.06 이하  |
| 의료기관, 보육시설, 노인복지시설, 학원   |                       |            | 400이하                     |           |          |
| 실내주차장  | 0.30 이하               |            | 1000 이하                   |           |          |

<표 3> 인체의 활동강도에 따른 이산화탄소 배출량

| 동작의 강도 | CO <sub>2</sub> 배출량 (CMH) | 평균 CO <sub>2</sub> 배출량 (CMH) |
|--------|---------------------------|------------------------------|
| 취침시    | 0.011                     | 0.011                        |
| 가벼운 동작 | 0.023-0.033               | 0.028                        |
| 보통의 동작 | 0.033-0.0583              | 0.046                        |
| 격렬한 동작 | 0.0583-0.0840             | 0.069                        |

화탄소 농도기준을 맞추기 위한 환기량은 다음과 같이 재실 인원수에 비례하는 것으로 표현할 수 있다.

$$Q_{CO_2} = k_1 M \quad (2)$$

여기서  $M$ 는 재실인원수이고  $k_1$ 은 1인당 필요환기량으로 25 CMH/person을 사용한다. 따라서 4인의 경우 필요환기량은 100 CMH, 6인의 경우 150 CMH가 된다.

**(2) 건축자재 오염발생(TVOC, HCHO)에 따른 필요환기량**

건축자재로부터 발생하는 오염물질은 매우 다양하며 각각의 발생량을 정확하게 측정하는 것은 쉽지 않다. 또한 시간에 따라서 발생량이 변화하기 때문에 이를 근거로 하여 그때그때의 필요환기량을 산정한다는 것은 거의 불가능하다. 따라서 건축자재의 등급제에서 최우수등급에 해당하는 건축자재를 사용한다고 가정하여 필요환기량을 산정하고자 한다. 오염발생량이 많은 건축자재를 사용하거나 건설초기에 다량 발생하는 오염물질을 모두 해결할 수 있는 환기장치의 용량을 산정하는 것은 어리석은 일이다. 건설초기에는 다량으로 오염물질이 발생하지만

일정 시간이 경과한 이후에는 환기장치로 처리해야 할 일상적이며 연속적인 오염발생량이 매우 낮아질 것으로 예상되기 때문이다.

현재 우리나라에는 한국공기청정협회에서 제시한 HB(healthy building) 인증등급이 있다. 표 4와 같이 일반 자재와 페인트, 그리고 접착제에 대한 포름알데히드(HCHO)와 총휘발성 유기화합물(TVOC)의 시간당 단위면적당 오염발생량의 등급기준이 주어져 있다.

건축자재로부터의 총오염발생량은 단위 면적당 발생량에 실내에 노출된 표면적을 곱하면 구할 수 있다.

$$\dot{M} = \dot{m} A_{exp} \quad (3)$$

여기서  $A_{exp}$ 는 실내에 노출된 오염발생 표면적으로서 전체 실내 표면적 중에서 유리창 등 오염발생이 되지 않는 면적을 제외한 실내노출 표면적을 말한다. 이는 아파트 면적  $A$ 에 대체적으로 비례한다고 볼 수 있다.

$$A_{exp} = \epsilon A \quad (4)$$

여기서  $A$ 는 공칭 아파트 평수이며  $\epsilon$ 은 아파트 평

<표 4> 한국공기청정협회의 HB 인증등급

| 구 분             |      | 일반 자재           | 페인트             | 접착제              |
|-----------------|------|-----------------|-----------------|------------------|
| 표시(5개)<br>○○○○○ | TVOC | 0.10 미만         | 0.10 미만         | 0.25 미만          |
|                 | HCHO | 0.03 미만         | 0.03 미만         | 0.06 미만          |
| 표시(4개)<br>○○○○  | TVOC | 0.10 이상~0.2 미만  | 0.10 이상~0.2 미만  | 0.25 이상~0.50 미만  |
|                 | HCHO | 0.03 이상~0.05 미만 | 0.03 이상~0.05 미만 | 0.06 이상~0.12 미만  |
| 표시(3개)<br>○○○   | TVOC | 0.20 이상~0.40 미만 | 0.20 이상~0.40 미만 | 0.50 이상~1.50 미만  |
|                 | HCHO | 0.05 이상~0.12 미만 | 0.05 이상~0.12 미만 | 0.12 이상~0.40 미만  |
| 표시(2개)<br>○○    | TVOC | 0.40 이상~2.00 미만 | 0.40 이상~2.00 미만 | 1.50 이상~5.00 미만  |
|                 | HCHO | 0.12 이상~0.60 미만 | 0.12 이상~0.60 미만 | 0.40 이상~2.00 미만  |
| 표시(1개)<br>○     | TVOC | 2.00 이상~4.00 미만 | 2.00 이상~4.00 미만 | 5.00 이상~10.00 미만 |
|                 | HCHO | 0.60 이상~1.25 미만 | 0.60 이상~1.25 미만 | 2.00 이상~4.00 미만  |

수에 따른 실내노출 표면적의 비를 나타내는 상수이다. 그림 1은 H사 아파트 군에 대한 예를 보인다. 이 경우 그래프의 기울기는  $\epsilon$ 에 해당된다.

따라서 건축자재 발생 오염물질인 총휘발성 유기화합물과 포름알데히드를 제어하기 위하여 필요한 환기량은 각각 아파트 평수에 비례하는 다음과 같은 관계식으로 표현된다.

$$Q_{HCHO} = k_{HCHO}A \quad (5)$$

$$Q_{TVOC} = k_{TVOC}A \quad (6)$$

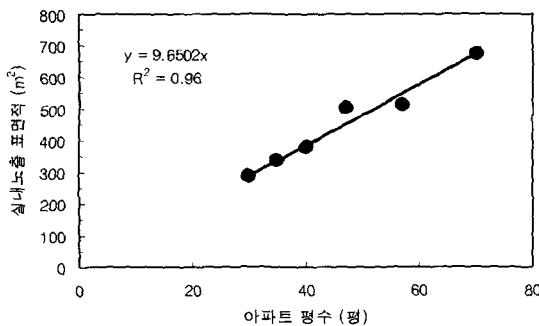
여기서 비례상수는 각각  $k_{HCHO} = \frac{\dot{m}_{HCHO}}{C_{HCHO}} \epsilon$ ,  $k_{TVOC} = \frac{\dot{m}_{TVOC}}{C_{TVOC}} \epsilon$  와 같이 계산된다. 만일 포름알데히드와 총휘발성 유기화합물의 발생면적이 동일하다고 가정하면 환경기준과 건축자재 등급기준에 따라서 둘 중 하나가 항상 크게 나타난다. 따라서 건축자재로부터 발생하는 오염물질을 제어하기 위하여 필요한 환기량은 다음과 같이 표현된다.

$$Q_{material} = k_2A \quad (7)$$

여기서  $k_2$ 는  $k_{HCHO}$ 와  $k_{TVOC}$  중 큰 값을 택한다.

### 필요환기량의 산정

인체발생 오염물질과 건축자재발생 오염물질에 대한 필요환기량 중에서 최대값이 실제 필요한 환기량이 된다. 이를 수식으로 표현하면 다음과 같다.



[그림 1] 아파트 평수에 따른 실내노출 표면적의 관계

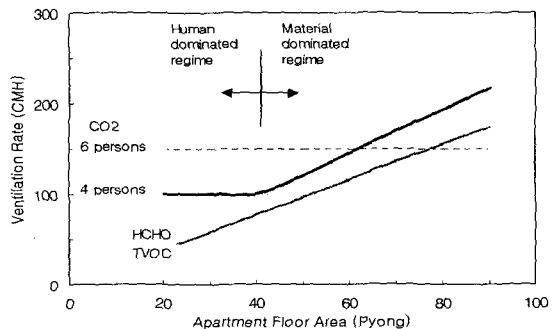
$$Q_{required} = \max(Q_{CO_2}, Q_{material}) \quad (8)$$

아파트 평수에 따른 각 오염물질별 필요환기량의 개념을 그림 2에서 보이고 있다. 이산화탄소에 대한 필요환기량은 평수에 관계없이 재실인원에 비례하여 환기량이 결정되므로 수평선으로 주어진다. 반면, 건축자재로부터의 오염발생량은 인원수에 관계없이 아파트의 면적에 비례하여 증가한다. 최우수등급 자재에 대해서는 포름알데히드 직선이 총 휘발성 유기화합물 직선보다 위로 나타난다. 따라서 필요환기량은 이산화탄소 직선과 포름알데히드 직선 중 큰 쪽 값을 택하여야 한다. 여기서는 약 40평을 기준으로 하여 두 영역으로 나뉘어진다. 두 개의 직선식을 각기 이용하는 것보다 위 결과를 하나의 수식으로 표현하면 다음과 같은 방법을 쓸 수 있다.

$$Q_{required} = [(k_1M)^9 + (k_2A)^9]^{1/9} \quad (9)$$

### (1) 자연환기량의 산정

실제 필요한 환기량 중에서 많은 부분은 건축물의 틈새를 통한 자연환기량으로 이루어진다. 자연환기량은 건물의 기밀도와 관련이 있다. 건축기술의 발달과 기밀한 창호의 개발로 건축물의 기밀도는 점점 높아지고 있다. 재래식 아파트의 경우 환기횟수가 0.5-1회에 이르고 있으나 최근 건축되고 있는 주상복합 아파트의 경우에는 0.1-0.4회의 환기횟수를 보인다. 자연환기량은 기밀도와 아울러 외기조건과 층수에 따라서 변화하기 때문에 매우 광범위한 값을 가질 수 있다.



[그림 2] 아파트 평수에 따른 필요환기량 개념 (1등급 자재 적용시)

$$Q_{natural} = N \cdot V \quad (10)$$

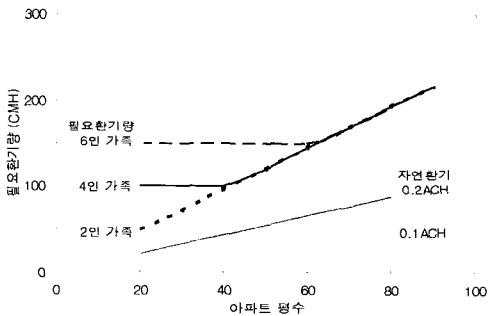
여기서  $N$ 은 환기횟수이고  $V$ 는 실내 체적이다. 실내체적은 아파트 바닥면적에 층고를 곱하여 구하는데, 공칭 평수와 실평수가 차이가 나는 것에 유의한다. 따라서 자연환기량은 바닥면적에 비례하고 환기횟수에 비례하는 식으로 표현된다.

### (2) 기계환기량의 산정

자연환기량으로 부족한 필요환기량은 기계환기량으로 해결하여야 한다. 이것이 곧 환기장치의 용량이 된다. 따라서 위에서 구한 수식을 대입하면 다음과 같이 된다.

$$Q_{mechanical} = Q_{required} - Q_{natural} \\ = [(k_1 M)^9 + (k_2 A)^9]^{1/9} - k_3 N A \quad (11)$$

여기서  $k_3 = hV$ 로서  $V$ 는 공칭 아파트 평수에 대한



[그림 3] 재실인원과 아파트 평수에 따른 필요환기량 (1등급 자재, 자연환기 없음)

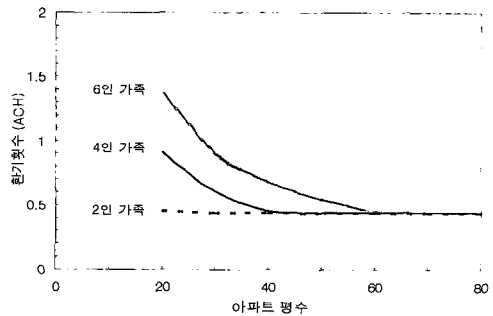
실평수의 비를 나타내고  $h$ 는 실내 층고이다.

### 결과 분석

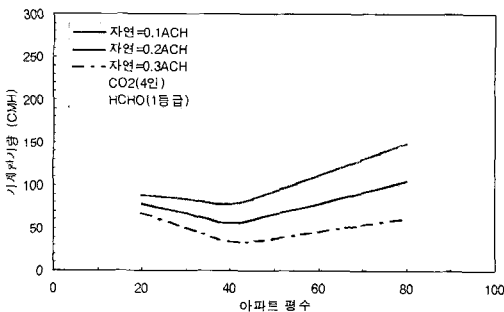
최우수등급의 건축자재를 사용하였을 때, 아파트 평수에 따른 필요환기량을 2인, 4인, 6인 가족에 대하여 나타낸 결과가 그림 3에 보인다. 이것은 자연환기량이 없을 때의 결과를 나타내며 자연환기횟수가 0.1, 0.2 ACH일 때의 자연환기량과 중첩하여 보여주고 있다. 필요환기량을 실내체적으로 나누어 필요 환기횟수로 환산한 결과가 그림 4에 보인다.

전체 필요환기량에서 자연환기량을 제외한 순수 기계환기량의 결과가 그림 5에 나타나 있다. 두 영역의 경계가 되는 아파트 평수에서 최소값을 보이고 있다. 또 예상되는 바와 같이 자연환기횟수가 증가할수록 전체적인 기계환기량은 줄어들고 있다.

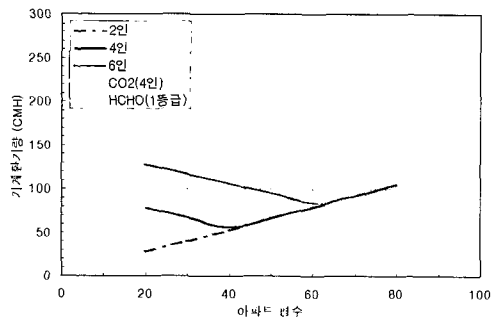
그림 6은 자연환기횟수가 0.2 ACH일 때, 재실인



[그림 4] 아파트 평수에 따른 필요 환기횟수 (1등급 자재, 자연환기 없음)



[그림 5] 자연환기횟수에 따른 필요 기계환기량 (1등급 자재, 4인 가족 기준)



[그림 6] 재실인원에 따른 필요환기량 (1등급 자재, 자연환기횟수 0.2회)

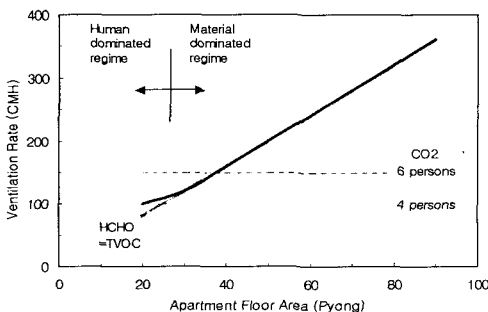
원에 따른 차이를 보이고 있다. 2인 가족의 경우 기계환기량은 20평 이상 거의 모든 평수에서 건축자재 오염발생을 제거하기 위한 것이다. 4인 가족의 경우에는 약 40평에서 최소 환기량을 보이고 6인 가족의 경우에는 약 60평에서 최소 환기량을 보이고 있다.

우수등급인 2등급 자재를 사용하였을 때에는 건축자재에서 발생하는 오염물질이 인체 발생 오염물질에 비하여 상대적으로 비중이 커진다. 그림 7에서와 같이 거의 모든 평수에서 건축자재 오염발생이 필요환기량을 결정하는 중요한 역할을 한다. 건축자재 2등급 기준에 대해서는 포름알데히드와 총휘발성 유기화합물 제어에 필요한 환기량이 일치하고 있다. 실선은 4인 가족의 경우 이산화탄소 영역과 건축자재 영역을 연결하는 하나의 필요 환기량 곡선이다. 2등급 자재에 대해서도 1등급 자재와 동일한 방법으로 필요환기량을 반복하여 분석할 수 있을 것이다.

**결 론**

이상에서 공동주택에서 필요로 하는 환기량을 오염원의 발생량과 재실인원을 고려하여 검토하였고 다음과 같은 결론을 얻을 수 있다. 이와 같은 환기량 산정방법은 폐열회수 환기유닛의 용량선정에 사용될 수 있을 것이다.

- 필요환기량을 결정짓는 요소는 소형 평수에 대해서는 인체오염이며, 대형 평수에 대해서는 건축자재오염이다.



[그림 7] 아파트 평수에 따른 필요환기량의 개념 (2등급 자재 적용시)

- 인체오염 영역에서는 필요환기량이 재실인원수에 비례하며, 건축자재 오염영역에서는 내부 표면적에 비례한다.
- 인체오염 영역과 건축자재 오염영역의 경계가 되는 아파트 평수는 재실인원 증가에 따라서 증가한다. 본고에서 고려한 아파트 군에 대하여 4인 가족을 기준으로 하였을 때, 두 영역의 경계가 되는 평수는 최우수등급 자재를 사용하면 약 40평, 우수등급 자재를 사용하면 약 25평에서 나타나고 있다.
- 본 연구에서 구한 기계환기량은 다음과 같은 하나의 식으로 표현할 수 있다.

$$Q_{mechanical} = [(k_1 M)^9 + (k_2 A)^9]^{1/9} - [k_3 AN]$$

여기서 M은 재실인원수, A는 아파트 평수, N은 자연환기횟수이고, k1, k2, k3는 환경기준과 건축자재 등급기준, 그리고 건축구조 등에 의하여 결정되는 상수이다.

본 연구에서 개발된 환기량 산정방법을 적절하게 적용하고 점차 발전시켜 나가기 위해서는 각 아파트 외피의 기밀도와 자연환기량에 관한 데이터, 그리고 아파트 구조에 따른 건축자재로부터의 오염발생 표면적에 대한 종합적인 데이터가 제공되어야 할 것이다.

**참 고 문 헌**

1. ASHRAE, 'ASHRAE Handbook Fundamentals,' 2001.
2. 환경부, '다중이용시설등의실내공기질관리법,' 2004.
3. 한국공기청정협회, '친환경 건축자재 단체품질 인증 운영기준,' 2004.
4. 이윤규, 공기유동 해석에 의한 공동주택 환기성능 예측모델에 관한 연구, 박사논문 연세대학교, 1998.
5. 한화택, 초고층 주상복합형 아파트 적정 환기량 기준설정 연구, 현대산업개발 보고서, 2004.