

환기시스템에 의한 Sick House 대책

Kimura Hiroshi (주)하세코 코퍼레이션 정회원
(空氣調和·衛生工學, Vol.77, No.1, 2003)

번역 : 이 상 렬 / 정회원 (주)리우스(srleecla@chol.com)

키워드: 포름알데히드(Formaldehyde), 환기(Ventilation), 실내공기오염(Indoor Air Pollution), 저감기술(Mitigation Technique)

“환기”는 생활용품 등으로부터의 오염물질 및 불특정물질의 농도 저감이 가능하기 때문에 Sick House 대책으로서의 중요한 대책기술이다. 본 고에서는 집합주택을 대상으로 한 중앙공조 환기방식 및 배기 중앙 환기방식의 사례를 보여주고, 시스템의 구성기술과 오염물질의 농도 저감효과에 대해서 기술한다. 또한, 대표적인 오염물질인 포름알데히드의 전자재료로부터의 발산량은 온습도, 환기량 및 전자재의 표면적비율 등의 영향인자에 따라 변화하므로, 필요 환기량은 이들의 영향요인을 고려하여야 한다는 것을 기술한다.

머리말

화학물질에 의한 실내공기의 오염에 관한 사회적인 관심이 높아짐에 따라 “환기”의 중요성이 인식되기 시작하였다. 최근까지 환기에 대한 통상의 인식은 “환기=창문열기”라는 것이었다. 건축기준법에서도 개구부가 환기장치로서 취급되고 있었다. 그러나, 이번의 기준법 개정에서 보면, 기밀성이 높은 주택에서는 24시간 환기 시스템의 설치가 의무화되었다. 원래부터 고기밀 및 고단열 주택과 계획 환기는 일체적인 개념이었지만, 이것이 더욱 명확하게 기준화되어진 것이다.

앞으로 많은 주택에서는 “창문열기 환기”에서 “24시간 환기”로 전환될 것이지만, 이 전환의 효과는 어느 정도일지 의문이다. 본 고에서는, Sick House 대책의 관점에서 24시간 환기에 의한 휘발성 유기화합

물(VOC)의 저감 효과를 기술하고, 쾌적한 주거환경을 확보하기 위하여 주택공급자가 고려해야 할 기술적 과제를 다루고자 한다. 그 사례로서는, 일반적으로 기밀성이 높고 환기량이 부족해지기 쉬운 집합주택을 대상으로 하였다.

1. Sick House 대책의 기본적 발상과 “환기”

Sick House 대책의 기본은 설계·시공가이드라인¹⁾ 등에서 보여주는 바와 같이, 화학물질의 발생량이 적은 전자재의 채용(발생원 대책)과 공기 중에 발산된 화학물질의 환기에 의한 저감·배제(환기대책)이다.

현재 화학물질의 발생량이 적은 전자재나 접착제 등의 개발이 진행되고 있지만, 천연의 목질 전자재에서도 포름알데히드(이하, HCHO)나 피넨 등의 VOC가 발산되고, 입주자가 도입한 가구나, 방향제, 방충제 등의 일상 생활용품에서의 VOC의 발생량도 적지 않기 때문에, 발생원 대책뿐만 아니라 “환기”가 불가결한 상황이다. 환기는, 공기청정기와 같이 특정의 오염물질의 제거가 아닌, 모든 오염물질 제거에 유효하다.

2. 필요 환기량과 HCHO농도의 예측수법

필요한 환기량에 대해서는, 에너지절약 기준²⁾에서 보면 방한을 위해 실내가 외기와 차단되기 쉬운 동절기를 중심으로 주택전체의 환기량이 0.5회/h 이상이 되도록 환기계획을 세우도록 요구하고 있다. 또한,

하절기에 있어서도, 공조를 위하여 창문의 개방을 기대할 수 없는 주택에서는 창문을 닫았을 때에도 주택 전체에서 0.5회/h 이상의 환기계획이 불가결한 것으로 되어있다. 일반적으로 HCHO 등의 화학물질은 온도가 상승하면 발산량도 증가하여 공기중의 농도가 상승하므로, 하절기의 창문이 닫혔을 때를 상정하여 필요 환기량을 확보하는 것이 과제이다.

필요 환기량은 HASS 102 환기기준·동 해설³⁾에 의하면, “오염물질의 농도를 설계기준농도 이하로 유지하기 위하여 필요한 최소한의 취입 외기량”이라고 정의하고 있으며, 원칙적으로 오염물질의 발생량으로부터 오염물질의 농도를 예측할 필요가 있다.

기본 필요 환기량이란 실내에서의 오염물질의 혼합상태를 정상 완전혼합으로 가정하여 구하는 필요 환기량으로, 식(1)을 이용하여 산출한다. 식(1)에서는, 취입외기의 오염물질 농도를 무시할 수 있을 경우에, 환기량이 2배가 되면 실내의 오염물질 농도는 반분되고, 반대로 실내에서의 오염물질의 발생량이 2배가 되면 실내의 오염물질의 농도도 2배가 되는 것을 보여주고 있다.

$$Q_p = \frac{M}{C_i - C_o} \quad (1)$$

여기에서,

- Q_p : 기본 필요 환기량 [m³/h]
- M : 실내에서의 오염물질 발생량 [m³/h]
- C_o : 취입외기의 오염물질 농도 [m³/m³]
- C_i : 실내의 오염물질 설계 기준농도 [m³/m³]

HCHO에 대해서도 발생량을 특정지을 수 있다면, 동일하게 오염물질 농도의 저감에 필요한 환기량을 설정할 수 있다. 그러나, 목재 건자재에서 발생하는 HCHO의 발산량 EF [mg/(m²·h)]는 N/L 값[환기회수 N 과 부하율 L (건자재 표면적/공기체적)의 비율]에 따라 변화하고, HCHO 공기중 농도 C_s 는, 식(2) (HBF식; hoetjer-berge-fujii equation)와 같이 나타낼 수 있다⁴⁾.

$$C_s = \frac{C_{eq}}{1 + \frac{1}{K} \times \frac{N}{L}} \quad (2)$$

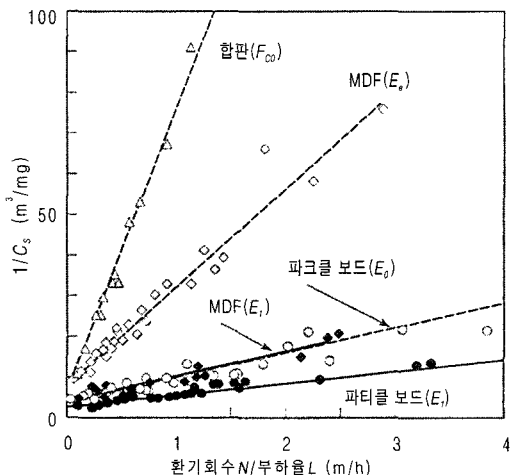
여기에서,

- C_s : 상정상상태(환기회수 $N \neq 0$)에서의 HCHO농도 [mg/m³]
- C_{eq} : 환기회수 $N=0$ 일 때의 평균농도 [mg/m³]
- K : 건자재의 물질이동 계수 [m/h]
- N : 환기회수 [h⁻¹]
- L : 부하율 [m²/m³]

식(2)에서 환기회수가 0일 때의 평균농도 C_{eq} 와 물질 이동계수 K 를 구하면, 임의의 N/L 값에서 HCHO의 공기중 농도 C_s 를 예측할 수 있다.

그림 1은, 평균농도 C_{eq} 와 물질 이동계수 K 를 구하기 위하여 챔버를 이용한 공기중 농도의 측정 결과로부터 Myers⁴⁾의 수법을 이용하여 $1/C_s$ 와 N/L 값을 그래프화한 예이다⁵⁾. $1/C_s$ 와 N/L 값의 회귀식은 높은 상관관계를 얻을 수 있으며, 절편과 기울기에서 C_{eq} 및 K 를 구할 수 있다. 이로부터, N/L 값을 실제 세대의 조건에 적용시킴으로써 실공간에서의 농도를 예측할 수 있다. 그러나, HBF방정식은 온도 의존성에 대해서는 고려하지 않고 있다. 온도 의존성에 대해서는, 데디케이터법을 이용한 井上식⁶⁾이나, 챔버법을 이용한 神, 木村, 小峰⁷⁾ 등이 온습도 변화에 의한 HCHO 발산량 추정식을 제안하고 있다.

이와같이 단일 건자재에서는 챔버법으로부터 HBF 방정식이나 온습도변화에 따른 추정식을 이용하여, 실공간의 HCHO 공기중 농도를 예측할 수 있다. 그리고, 실환경에서는 다른 종류의 건자재가 혼재하고 온



[그림 1] HCHO 공기중 농도 $1/C_s$ 와 N/L 의 관계

습도도 연속적으로 변화하므로, 향후에는 이들을 고려한 HCHO 농도 예측수법의 확립이 요구되고 있다.

3. 24시간 환기시스템의 예

3.1 환기방식의 종류

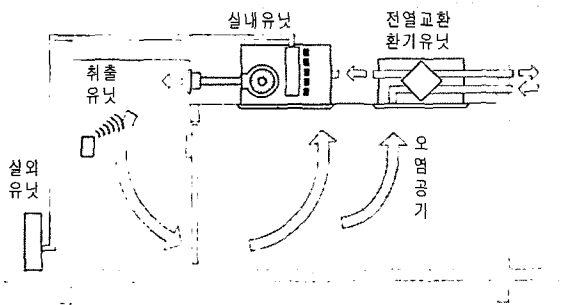
환기방식의 종류는 급·배기방식에 따라 4종류로 나누어 진다. 제1종 기계환기는 기계급기·기계배기를 이용한 환기방식으로, 열교환기나 냉난방시스템과의 조합이 가능하며, 확실한 환기량을 확보할 수 있는 것이 특징이다. 제2종 기계환기는 기계급기와 적당한 자연배기와의 조합으로 구성되는 환기방식으로, 실내측을 정압으로 유지함으로써 오염물질의 유입을 방지할 수 있다. 제3종 기계환기는 기계배기와 자연급기를 조합함으로써 구성되는 방식이다. 안정된 환기효율을 얻으려면 주택의 기밀성능을 높이는 것이 필요하다. 제4종 환기는 온도차이나 외풍에 의한 압력차를 응용한 자연환기방식이다.

기계환기에 의한 전체 환기방식으로서 제1종 및 제3종 환기방식이 일반적이다. 다음에 그 시스템의 예를 보여준다.

(1) 중앙공조 환기(제1종 환기방식)

그림 2에 급배기 중앙 환기(제1종 환기방식)와 공기식의 냉난방시스템을 일체화한 중앙공조 환기 시스템의 개념도를 보여준다. 본 시스템은 전열교환 환기유닛·실내유닛·실외유닛·취출유닛 등으로 구성되어 있다.

전열교환 환기유닛에서 외기를 취입하고 실내유닛으로 환기공기와 혼합하여 온도가 조절된 공기가 각



[그림 2] 중앙공조 환기시스템(제1종 환기)

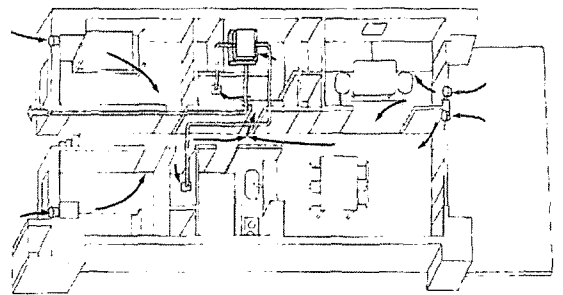
거실의 취출유닛으로부터 공급되고, 거실문의 언더컷에서 복도를 경유하여 실내유닛으로 되돌아온다. 실내 공기의 일부는 전열교환 환기유닛에서 실외로 배기된다. 전열교환 환기유닛에는 취입외기의 먼지나 화분을 제거하는 “외기청정 필터”가, 실내유닛에는 실내에서 발생하는 악취나 HCHO 등의 VOC를 제거하는 “탈취·집진 필터”가 설치되어 있다.

공조부하의 처리로 인하여 세대 내의 각 실의 오염물질 농도는 균일화하는 경향이 있으며, 신선공기를 각 실에 균등하게 분배할 수 있는 이점이 있다. 따라서 하절기의 냉방운전에서는 실온의 저하에 의한 HCHO 저감효과를 세대 전반에 걸쳐 얻을 수 있다. 종래의 거실별 냉방운전에서는 비냉방실에서 고농도의 HCHO가 발생될 가능성이 있다. 또한, 동절기에는 신축 입주전에 난방운전을 하면서 환기를 함으로써, 미취발분의 VOC의 발생·제거가 촉진되어 입주기의 농도저감 효과를 기대할 수 있다⁹⁾.

(2) 배기 중앙 환기(제3종 환기방식)

그림 3에 세면실·욕실·화장실의 3실 프로펠러형 환기장치를 이용한 배기 중앙 환기의 예를 보여준다. 제3종 환기방식에서 안정된 환기효과를 얻기 위해서는 주택의 기밀성이 불가결하다. 기밀성이 낮으면 누기량이 증가하고, 외풍에 의해 거실의 환기량이 변동하여 계획적인 환기를 보장할 수 없다¹⁰⁾.

또한, 자연 급기구에는 외벽에 설치되어 외기를 직접 거실내로 받아들이기 때문에, 취입외기의 먼지나 화분을 제거하는 화분제거 필터나, 외부소음을 저감하는 낮은 압력손실의 소음슬리브를 삽입하는 등의 대책이 필요하다. 이들은 통기저항이 커서 필요한 환기량을 얻지 못할 수도 있으므로, 부품의 선정에 유의



[그림 3] 배기 중앙 환기시스템(제3종 환기)

하여 필터의 메인テナンス도 용이하게 할 수 있도록 하여야 한다.

3.2 배기 중앙 환기시스템에 의한 농도저감 효과

(1) 고층 집합주택에 있어서의 농도저감 효과와 외풍의 영향

도내(都内)에 입지한 15층 건물의 신축 집합주택의 14층 주거실(전용면적 111.6m², 상당 틈새면적 $\alpha A=0.43\text{cm}^2/\text{m}^2$)에 3실 프로펠러형 환기장치를 이용한 배기 중앙 환기시스템을 설치하여, 실내외의 정압차와 HCHO의 농도를 측정하였다. 각 거실의 외벽에는 외기취입용의 자연 급기구(75φ)가 설치되어 있으며, 측정은 북측의 양식 실내와 남측의 일식 실내에서 실시하였다. HCHO 농도는 PAS법(광음향법)을 이용하고 있기 때문에 수치는 정확한 값을 보여주지 못하지만, 농도의 증감경향은 잘 파악할 수 있다. 측정결과를 그림 4에 보여준다¹¹⁾.

11월26일에서 30일까지는 환기가 없는 조건이었지만, 26일에서 28일에 걸쳐서는 실내외의 정압차가 0이며 무풍상태가 계속되고 있다. 따라서 2개 실내에서 동일하게 HCHO 농도가 증가한 것을 알 수 있다. 또한, HCHO 농도는 평균농도에 미치지 못하므로, 기밀성이 높고 누기량이 적은 것을 알 수 있다. 28일 오후에는 외풍의 영향으로 20~40Pa정도의 실내외정압차가 발생하여, 일식 실내에서 양식 실내로

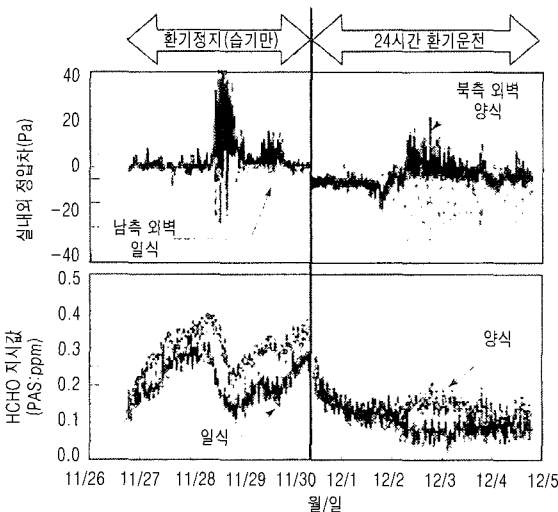
압력차에 의한 자연환기가 이루어져서 HCHO 농도가 급격한 감소를 보여주고 있다. 다시 외풍이 멈추면 HCHO농도가 상승하고 있다.

30일에서 12월4일까지는 환기를 수행한 조건인데, 환기시스템의 운전직후부터 2개 실내가 동일하게 5~10Pa정도의 부압이 되어, 환기에 의해 HCHO 농도가 감소한 것을 알 수 있다. 그러나, 2일과 3일에 걸쳐서 외풍으로 일식 실내는 더욱 부압이 되어 외기 도입량이 증가하함으로써 HCHO 농도가 한층 더 저감한 한 것에 반해서, 양식 실내는 급기구에서의 역류 현상이 일어난 것을 알 수 있다. 결과적으로는 외풍의 영향에 의해 HCHO 농도의 현저한 증가에는 미치지 못하였지만, 차압이 0의 상태가 계속되면 환기가 침체된다. 고층 판상 집합주택에서의 제3종 환기와 외풍의 영향에 대해서는, 鳥海 등¹²⁾의 연구보고서와 같이, 향후에는 외풍의 영향에 의한 급기구에서의 과풍량이나 역류의 영향에 대해서 검토가 필요하다.

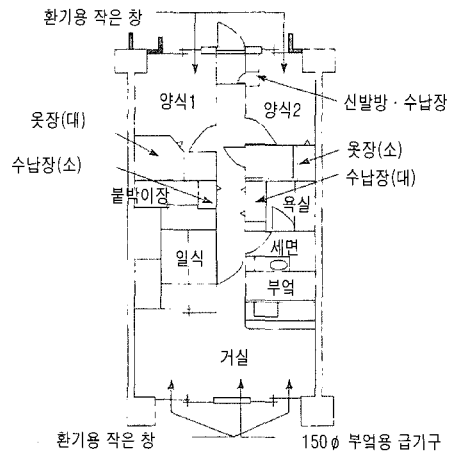
(2) 농도저감 효과와 환기경로·수납부의 영향

앞서의 사례와 같이 3실 프로펠러형 환기장치를 이용한 배기 중앙 환기시스템을 설치한 신축 집합주택에서, 환기의 유무에 의한 HCHO·VOC농도를 측정 한 사례를 다음에 나타내었다¹³⁾.

그림 5에 측정대상의 세대 평면도를 보여준다. 외기는 각 거실의 샷시 틀에 부착된 4군테의 환기판(셔터가 부착된 환기용 작은 창)에서 거실로 유입하



[그림 4] 실내외 정압차와 HCHO 농도변화



[그림 5] 측정대상 세대 평면도

여, 실내문 언더컷을 통하여 세면실·욕실·화장실에서 배기되고 있다. 환기 풍량은 75.4m³/h로, 세대 전체에 대한 환기회수는 0.44회/h, 환기 정지시의 누기에 의한 환기회수는 트레이서 가스 농도 감쇄법을 이용하여 측정하여 0.2회/h 이하였다. HCHO·VOC의 측정은, 측정전일에 창문·현관 등의 개구부 및 실내창호·창고문을 열어서 30분 이상 외기를 도입한 후, 개구부를 약 15시간 폐쇄하여 샘플링하였다. 개구부 폐쇄시에는 실내의 창호를 모두 닫고, 각 거실별로 농도측정을 실시하였다.

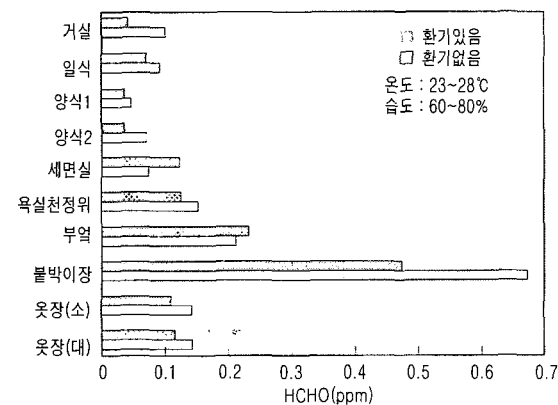
그림 6, 7에는 환기의 유무에 의한 HCHO·VOC의 측정 결과를 보여준다. 환기가 없는 각 거실의 HCHO 농도는 0.046~0.099ppm, VOC는 총량 2,000~5,000μg/m³이었다. 환기를 실시함으로써, 거실은 0.099ppm에서 0.042ppm으로 반감하고, 양식 실내1, 양식 실내2에서도 0.035ppm으로 저감하였다. 한편, 일식 실내는 0.093ppm에서 0.067ppm으로 저감 하였지만, 다른 거실에 비해서 저감의 비율은 낮다. VOC는 환기에 의해 500~1,000μg/m³가 되어, 각 거실에서 동일하게 저감효과가 현저하다.

일식 실내가 다른 거실보다 HCHO 저감효과가 낮은 요인으로써, 일식 실내에는 자연 급기구가 없고 창호지문으로 가로막혀 있어서 도입되는 외기량이 적다는 것과 붙박이장에서 고농도의 HCHO가 발산되는 것으로 생각할 수 있다. VOC는 환기 운전으로 다른 거실과 동일하게 저감하고 있는 것으로 보아, 일식 실내의 HCHO의 저감효과가 적은 것은 붙박이

장에서 고농도의 HCHO의 발산에 의한 것으로 생각된다. 붙박이장 내의 건자재 표면적은 약11.3m³로 실내 바닥면적과 같은 정도의 표면적을 가지고 있으며, 그 영향이 큰 것으로 추측된다. 환기에 의한 농도 저감효과를 기대할 수 없으므로, 대책으로써 선반 판자·측면 판자를 HCHO의 발산량이 적은 건축재료로 교체하던가, HCHO 흡착시트를 까는 것 등을 생각할 수 있다.

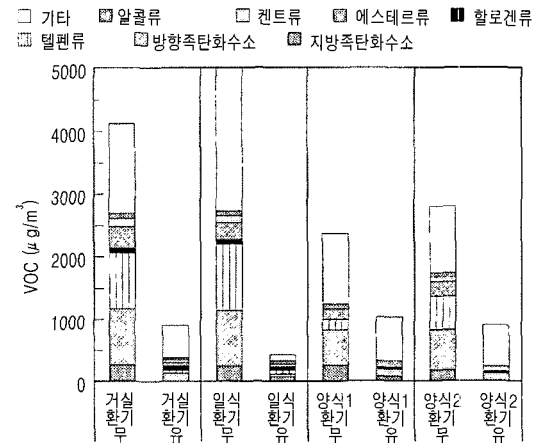
수납부는 환기가 없는 상태에서 농도 저감효과를 기대할 수 없으며, HBF방정식의 평균농도 C_{eq}에 가까운 농도에 달하는 것으로 추측된다. 한편, 환기를 실시하고 있는 상태에서는 수납부의 HCHO농도가 저감하고 있지만, 거실만큼의 저감효과는 보이지 않는다. 따라서, 수납부내의 건자재는 HCHO 발산량이 적은 재료를 채용하여 고농도가 되지 않도록 하는 일이 바람직하다고 할 수 있겠다.

다음으로 세면실의 HCHO 농도는, 환기중의 상태 쪽이 환기가 없는 경우보다 더욱 높아져 있다. 그 이유로서는, 세면실의 HCHO농도가 거실보다 높은 것으로 보아, 천장 위 혹은 벽 뒤의 고농도 HCHO가 세면실로 유입되고 있는 것으로 생각할 수 있다. 세면실은 일시적인 사용 시설이며, 거주자에의 영향이 적다고 할 수 있지만, 농도를 저감하기 위해서는 기초 재료에 대해서도 HCHO의 발산량이 적은 건자재, 또는 평균농도 C_{eq}가 낮은 건자재를 채용하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.



주)분석법: 거실은 DNPH-Active법 세면, 천정, 수납부는 화학발광법

[그림 6] 환기의 유무에 따른 HCHO 농도측정결과



[그림 7] 환기의 유무에 따른 VOC 농도측정결과

맺음말

환기시스템에 요구되는 과제로서는, 필요 환기량의 확보와 동시에, 에너지절약성, 콜드 드래프트의 방지, 급기구로부터의 외부소음 차단, 급기구를 통한 외부로부터의 시야 차단, 실내외 정압차의 증대에 의한 바람소리나 현관문 개방력의 억제, 급기구 주변의 오염방지 등의 과제가 있다. 이러한 과제가 해결되지 않으면, 거주자는 급기구를 막거나 환기시스템을 정지할 가능성이 적지 않다. Sick House 대책으로서, 환기는 중요한 대책이다. 그러나 단지 환기량이 확보되는 것만으로는 확실하게 운전된다는 보장은 없다. 당연하게도, 거주자의 쾌적성을 악화시키지 않고 거주환경을 향상시키는 환기시스템이 요구되고 있다는 것을 새삼 인식할 필요가 있다.

참고문헌

1. 건강주택연구회: 실내공기 오염저감을 위한 설계·시공 가이드라인, 1998. 3
2. (재)건축환경·에너지절약기구: 주택의 에너지절약기준의 해설, 2002. 6
3. (사)공기조화·위생공학회: HASS102-1997, 환기기준·동(同)해설
4. G. E. Myers: Effect of Ventilation Rate and Board Loading on Formaldehyde Concentration: a Critical Review of Literature. Forest Products. J., 34-10, pp.59~68
5. 木村 洋·神 寛樹·小峯 裕己: 챔버에 의한 HCHO 발산량 측정치에 의거한 실내농도 예측수법에 관한 연구(1), N/L치 변화에 의한 HCHO 발산량 추정식의 제안, 공기조화·위생공

- 학회 학술강연회 논문집, 2002. 9, pp.625~628
6. 井上明生·小野擴邦·千葉保人: 데디케이터법에 의한 포름알데히드 발산량과 공기중농도와 상관, 목재공업, Vol. 45-7, No.520, 1990, pp.313~319
7. 神 寛樹·木村 洋·小峯 裕己: 챔버에 의한 HCHO 발산량 측정치에 의거한 실내농도 예측수법에 관한 연구(2), 온습도 변화에 의한 건자재에서의 포름알데히드 발산량 추정식의 제안, 공기조화·위생공학회 학술강연회 논문집, 2002. 9, pp.629~632
8. 屢倉克幸: “공기박사24”의 설계와 시공, 주거와 전화(電化), 2000. 6, pp.26~32
9. 木村 洋·山鹿英雄·熊谷一清: 전실 냉난방·환기공조시스템에 의한 실내환경의 측정(2), 환기 성능과 공기청정효과, 공기조화·위생공학회 학술강연회 논문집, 1999. 9, pp.865~868
10. 小峯 裕己: 계획환기에 요구되는 기밀성능, 건축기술No.7, 1996, pp.78~84
11. 木村 洋·小池道廣·熊谷一清: 집합주택의 24시간 환기시스템에 의한 실내 공기질 개선효과, 인간과 생활환경, 2001, 8-1, 2, pp.18~26
12. 鳥海吉弘·倉 隆·嵐口·今野 雅·鎌田元康·水谷泰三: 전체 환기시스템이 설비된 집합주택의 환기성상평가에 관한 연구(1), 환기회로망 계산에 의한 거실의 환기회수·포름알데히드 공기중농도 예측, 환기 충족도평가, 공기조화·위생공학회 학술강연회 논문집, 2002. 9, pp.661~664
13. 木村 洋·長谷川麻子·小峯 裕己·鎌田元康: 신축 집합주택에 있어서의 화학물질 실내공기오염 억제기술의 효과에 관한 연구, 일본건축학회 계획계 논문집, No.554, 2002. 4, pp.27~34