

취침 시 환기횟수에 따른 CO₂ 피크치 제어에 관한 연구

김 세 환*, 김 동 규**, 박 종 일**

*동의대학교 건축설비공학과, **부경대학교 기계공학부

A Research on the CO₂ Peak Point Control According to Ventilation Rate During Sleeping

Se-Hwan Kim**, Dong-Gyu Kim**, Jong-Il Park**

*Department of Building System Engineering, Dongeui University, Busan 614-714, Korea

**Department of Mechanical Engineering, Pukyung National University, Busan 608-738, Korea

(Received July 31, 2008; revision received December 1, 2008)

ABSTRACT: Ventilation requirement of apartment was mandated according to building equipment standards in 2006. When ventilation unit was considering for indoor air quality maintenance, we needed energy saving and efficiency ventilation control methods. This study carried out experiment of ventilation rate 0.7 adequacy. When we lived in apartment, we assumed that sleeping time was long stayed time in unconsciousness. Experiments carried out ventilation rate 0, 0.1, 0.4 and 0.7 in environment chamber from 22 o'clock to 06 o'clock, the concentration of CO₂, temperature and humidity rate measured. Analyzing the results, conclusions are as follows.

- 1) When we sleep in bedroom, ventilation rate 0.4 meet the requirements of domestic legal standards. Conform fan of similarity law, ventilation rate 0.4 reduced power cost about 80% than 0.7.
- 2) In generally sleeping time 8 hours, peak point control reduced running time of ventilation unit about 43% than normal control.

Key words: CO₂, Peak point(피크치), Ventilation requirement(필요환기량), Ventilation rate(환기 횟수)

1. 연구배경 및 목적

건물에 있어서 에너지절약을 위한 기술의 발전과 함께 건축물의 기밀성능은 지속적으로 향상되어왔다. 그러나 이러한 건축물의 기밀성능 향상은 실내공기환경의 현저한 악화를 초래하게 되었으며, 그에 따른 시급한 대책이 필요한 실정이다. 특히 실내 공기환경은 거주자의 건강과 체적 감에 커다란 영향을 미치는 환경요소로서 적정한

공기질을 확보하기 위한 대책을 시급히 마련하여야 한다. 대부분의 시간을 실내공간에서 생활하고 있는 현대인에게 실내공기 환경문제는 중요성이 더욱 높아지고 있다. 따라서 현대 거주공간의 적절한 공기환경을 유지하기 위한 방안이 지속적으로 요구되고 있으며 생활수준이 높아지고 웰빙 바람과 더불어 건강에 대한 현대인의 인식이 증대되면서 이에 대한 관심이 증가하고 있다. 또한 건축물의 기밀함이 향상되면서 기계적 환기가 증가하는데 이는 고유가 시대에 많은 에너지 낭비를 불러오고 있다. 또한 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙에 의해 2006년 2월부터 공동주택의 필요환기량(시간당 0.7회의 자연환기 기준)을 의무

* Corresponding author

Tel.: +82-51-890-1985; fax: +82-51-890-1234

E-mail address: jipark@deu.ac.kr

화하고 있다. 그러나 건물이 고층화 및 기밀화됨에 따라 자연적인 환기를 통해 시간당 0.7회를 유지하는 것이 현실적으로 어렵다. 이에 따라서 환기장치를 사용하여 시간당 0.7회를 유지해야 하는 현실을 고려할 때 에너지 절약적이고 효율적인 환기제어의 방법이 절실히 필요한 실정이다.

이에 본 연구에서는 현재 국내 법적기준치인 환기횟수 0.7회의 적정성에 대한 검토가 필요하다고 판단되어 공동주택에서 무의식의 상태에서 가장 오래 머무는 시간이 수면시간이라고 가정하고, 수면 시 환기횟수 0회, 0.1회, 0.4회, 0.7회에 대한 CO₂ 농도를 측정 및 분석하여 법적기준치를 만족하는 최적의 환기횟수를 정립하고자 하였다. 그리고 최적의 환기횟수로 정립된 Data로 CO₂ 피크치 제어를 통해 효과적이고 에너지 절약적인 환기제어 방법을 제시하고자 한다.⁽¹⁾

2. 연구방법 및 이론적 배경

2.1 연구방법

본 연구에서는 국내기준 환기횟수가 현재의 공동주택에 적합한지를 제안하고자 연구의 내용 및 방법을 Fig. 1에 나타내었다. 본 연구와 관련된 기존 연구자료^(2-3, 5-7)와 실내공기 환경기준을 조사 분석하였고, 조사 자료를 기초로 하여 환경챔버 내에서 피험자의 수면에 따른 실내의 CO₂ 농도, 온도, 습도 등을 측정하여 적정 환기회수를 도출하였고, 또한 현재 기준인 0.7회를 사용하는 경우 CO₂ 피크치에 따른 결과를 도출하여 에너지 절약적인 환기제어 방안을 제안하고자 하였다.

2.2 이론적 배경

공동주택의 실내 공기 환경은 여러 가지 오염물질에 노출되어 있고, 또한 실내에서 발생되는 오염물질은 인체에 많은 영향을 미치고 있다. 일반적으로 실내의 공기질은 실외공기질에 비해 매우 열악하므로, 실내 오염물질에 의한 피해정도는 실외에 비해 매우 크다고 할 수 있다. 실내 공기 오염물질을 저감할 수 있는 방법으로는 신선한 외기를 도입하여 실내의 오염물질을 외부로 배출시키는 방법이 가장 효과적인 방법이다. 이산화탄소는 실내공간에서 농도가 증가하면 호흡 시에

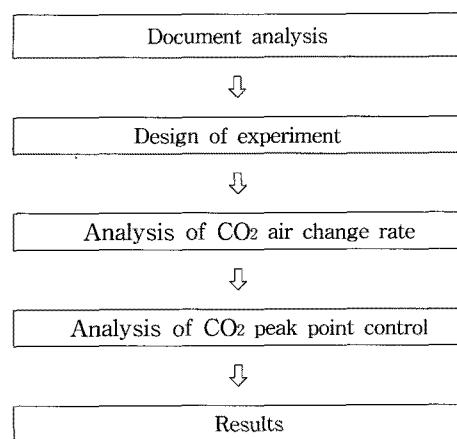


Fig. 1 Research process flow chart.

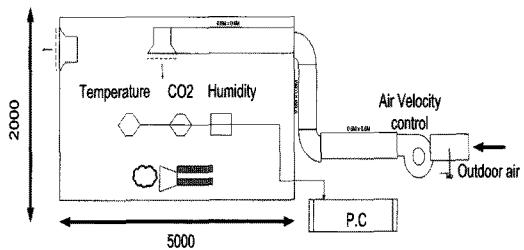


Fig. 2 Schematic diagram of the environmental chamber and sensor.



Fig. 3 Environment chamber inside view.

필요한 산소의 양이 부족하게 되므로 일산화탄소와 함께 중요한 실내오염물질 중 하나로 다루어지고 있다. 실내의 경우 대부분 그 시간에 실외의 이산화탄소의 농도보다 높다. 실제로 실내의 거주자들이 활동하는 시간동안에는 실내 농도가 1000 ppm이상으로 상승하기도 한다. 이에 ASHRAE에서는 다양한 실내농도에 대해 적절한 실내 공기질을 유지하기 위해서 환기율을 제시하였는데, 그

Table 1 Experimental summary

Item	Conditions
Chamber Volume	24.7 m ³
Subjects	Air change rate control(ACH) : Male : 4, Female : 2 Peak point control(ACH) : Male : 1, Female : 1
Time	22 h ~ 06 h
Experimental Conditions	Air change rate control(ACH) : 0, 0.1, 0.4, 0.7 Peak point control(ACH) : 0.7
Measuring Items	CO ₂ , temperature, humidity
Measuring equipments	TSI 8731(Q-CHECK), TSI 8386, ALMEMO 5590

Table 2 Air change rate and air velocity

Air change rates(ACH)	Air velocity(m/s)
0.1	0.16
0.4	0.62
0.7	1.09

기준은 한 사람당 외기량으로 7.5 ℓ/s를 기본 적으로 요구하고 있다. 실내 환경기준은 0.1%(1000 ppm)을 일반적으로 적용한다.

3. 실험개요

3.1 실험방법

취침 시 환기횟수에 따른 CO₂ 농도를 측정 및 분석하기 위한 실험은 Fig. 2와 Fig. 3과 같은 환경챔버에서 이루어졌다. 침실의 소요면적은 현재 건축계획법에서 1인당 25 m²로 제시되어 있으며 챔버 내 체적은 24.7 m³로 실제 침실 내 가구 등을 고려할 때 이를 만족한다고 할 수 있다.⁽⁴⁾ 실내 권장 CO₂ 농도를 기준으로 상하한 퍼크치 결정을 위하여 환기횟수 0, 0.1, 0.4, 0.7회에 대한기초 실험을 남자 피험자 4명, 여자 피험자 2명에 대하여 2008년 2월 20일부터 3월 7일까지 수행하여 퍼크치 제어를 위한 환기횟수 0.7회를 선정하였다.

퍼크치 실험은 앞선 환기횟수 실험에 참가한 피험자 중 남여 각 1인이 환경챔버에 입실하여 4월 4일부터 4월 7일까지 4일간 실험을 진행하였다. 실험은 22시부터 06시까지 진행되었고, 20분 간격으로 온도, 습도, CO₂ 농도를 측정하였다. 실험에 참여하는 피험자는 실험에 미치는 영향을 최소화하기 위해 실험 기간 중 신체에 부담이 되는 과도한 행동의 금지, 열량이 높고 자극적인 음식에 대한 주의, 그리고 충분한 휴식을 취하도록 실험 참가 전에 충분한 교육을 실시하였다. 그리고 매번 실험 전에 혈압, 체온, 체중 등을 측정하여 신체 이상 유무를 확인한 후 실험에 참가하였다. 챔버 내부는 창, 벽체 등으로부터 침입의 기가 없는 기밀 공간이고, 환기횟수에 따른 외기는 덕트를 통해 공급되었고, 공급외기의 CO₂농도는 평균 360~460 ppm이었다. 전체적인 실험조건은 Table 1과 같다.

3.2 풍속 측정방법

환기횟수에 따른 급기풍속은 원형 플렉시블 덕트(75 mm) 내부 5부위의 평균 풍속값을 실험 풍속값으로 사용하였고, 환기횟수별 풍속값은 Table 2에 나타내었다. 환기횟수는 측정된 평균 풍속값과 챔버 체적을 사용하여 산출하였다.

$$Q = n * V \quad (1)$$

여기서 Q : 풍량[m³/h]

n : 시간당 환기횟수[회/h]

V : 실의 체적[m³]

$$v = Q / (A * 3600) \quad (2)$$

여기서 v : 풍속[m/s]

Q : 풍량[m³/h]

A : 원형 플렉시블 덕트 단면적[m²]

4. 실험결과 및 분석

4.1 환기횟수에 따른 CO₂ 농도

Fig 4는 취침시 각 환기횟수별 CO₂ 농도 변화율을 나타낸 것이다. 챔버에서 실험 시작 시 초기 CO₂ 농도가 다르므로 환기횟수별로 실험시작과 실험종료시의 CO₂ 값을 측정하여 초기농도에 비

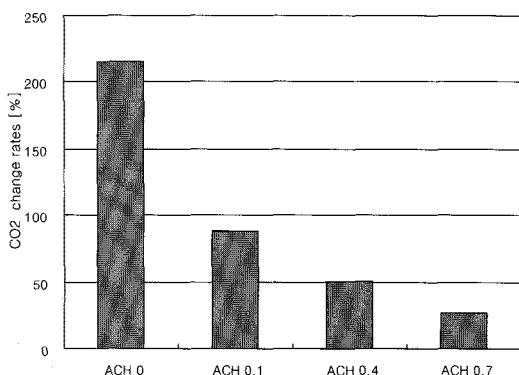


Fig. 4 Change rate of CO₂ according to experimental conditions.

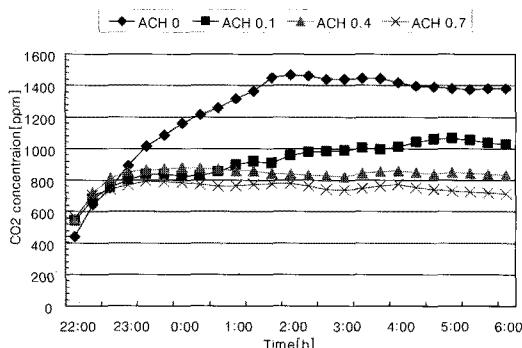


Fig. 5 Variations of CO₂ according to experimental conditions.

해 어느 정도 농도가 상승했는지를 알아보고자 하였다. 변화폭은 실험 전후 CO₂ 농도차이를 초기 CO₂ 농도값으로 나누어 구하였다.

환기가 이루어지지 않은 경우에는 CO₂ 농도 증가폭이 초기에 비해 약 2배 정도로 나타났다. 반면에 최소한의 환기를 하는 경우에는 환기를 하지 않은 경우에 비해 CO₂ 농도 증가폭이 낮게 나타났으며, 증가폭은 환기회수가 증가할수록 낮게 나타났다. 따라서 밀폐된 공간에 최소한의 환기를 하는 경우 CO₂ 농도 증가폭이 약 절반정도로 감소함을 알 수 있었다.

Fig. 5는 각 환기회수별 CO₂ 농도 경시변화를 나타낸 것으로 기존 연구결과인 기밀성이 우수한 공동주택 안방에서 취침시 CO₂ 농도가 1400 ~1700 ppm까지 상승함을 고려할 때 유사한 경향을 나타내고 있음을 알 수 있다.⁽⁵⁾ 환기회수가 없는 경우 CO₂ 농도 변화는 취침 후 1시간 30분부터 법적기준치인 1000 ppm을 초과하였으며, 4

시간 정도 경과 후 최대 피크치인 1500 ppm까지 상승하였다가 다소 하강 후 약 1400 ppm으로 유지되는 경향을 나타내었다. 이러한 점은 수면 중 인체 호흡과 관련된 생리 현상으로 판단되지만, 추후 연구가 필요하다고 사료된다. 환기횟수 0.1 회일 때에는 취침 후 5시간 경과 후 1000 ppm을 초과하였으며, 환기횟수 0.4회일 경우와 0.7회의 경우에 CO₂ 농도는 900 ppm 이하에서 변화하고 있는 것으로 나타났다. 실험의 결과로만 보면 환기횟수 0.4회 만으로도 CO₂ 국내 법적기준을 만족하고 있으나 실험조건 등을 고려하여 보다 많은 연구가 필요하다고 생각한다. 따라서 본 연구에서는 법적 기준치인 실내환경기준 1000 ppm을 만족시키기 위한 시간당 환기횟수 0.7회의 경우에 동력비 절감을 위한 효과를 검증하고자 하였다.

Fig. 6는 각 환기회수별 실 중앙에 설치된 온도센서에 의한 챔버 내 온도경시변화를 나타내고 있다. 도입외기온도는 평균 7 °C⁽⁸⁾이었고, 챔버 내 바닥온도 25 °C를 고려할 때 환기횟수가 증가함에 따라 실내온도 유지가 양호함을 알 수 있었다.

4.2 피크치 제어에 따른 CO₂ 농도

Fig. 7과 같이 환기횟수 0.7회의 조건에 대해서 CO₂ 피크치를 고려한 팬의 on/off에 따른 실험을 수행하였다. 피크치는 실내에서 환기팬이 가동되지 않을 때의 실내 CO₂의 농도 경향을 고려하여 1000 ppm에 도달하는 시점에서 피크치 하한값까지 환기팬을 가동하고, 이후 팬을 정지하고, 다시 피크치 상한값에 도달하면 팬이 가동되는 개념이

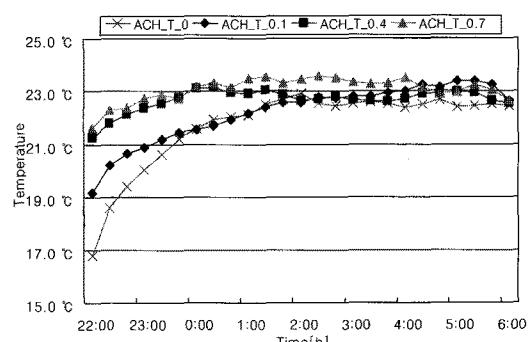


Fig. 6 Variations of temperature according to experimental conditions.

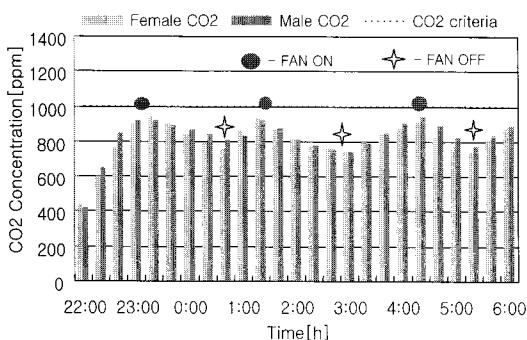


Fig. 7 Peak Point control variations between man and female in 0.7 ACH.

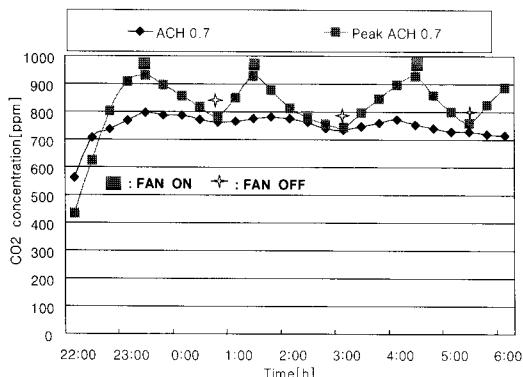


Fig. 8 Control methods comparison between Peak Point ACH 0.7 and 0.7 ACH.

다. 따라서 환기횟수 실험 결과를 고려하여 제어 변화량을 약 150ppm으로 하여 실험을 수행하였다. 피크치 제어시점 도달한 후 팬을 가동하면 CO₂ 농도가 약 150ppm정도 감소되었다. 팬을 정지시킨 후 40분에서 1시간 정도 경과 후 CO₂ 농도는 다시 900ppm정도로 상승하였다. 이와 같은 패턴을 수면시간 동안 3번 반복하였다. 따라서 현재 0.7회의 환기회수로 8시간 가동되는 상황을 고려할 때 팬 가동 및 정지를 고려한 피크치 제어를 통하여 약 3시간 30분정도의 팬 가동정지로 인한 팬동력 절감 효과를 얻을 수 있었다.

Fig. 8은 환기횟수 0.7회에 대한 일반적인 운전 패턴과 피크치 제어시 CO₂ 경시변화를 나타낸 것이다. 일반운전은 수면시간 동안 환기횟수 0.7회를 유지하기 위하여 기기가 연속적으로 운전되는 패턴이며, CO₂ 변화량은 약 700 ppm에서 800 ppm 사이에서 변화하였다. 피크치 제어시 CO₂ 변화량은 환기팬의 운전과 정지가 반복됨으로 인하

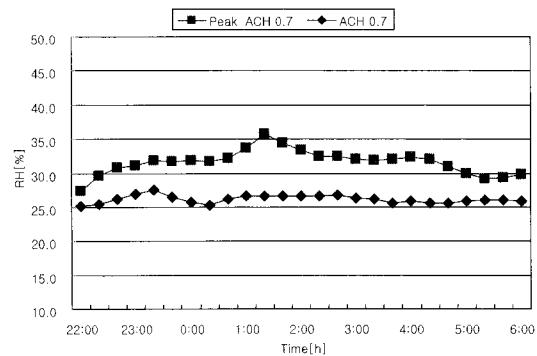


Fig. 9 Variations of humidity between Peak ACH 0.7 and 0.7 ACH.

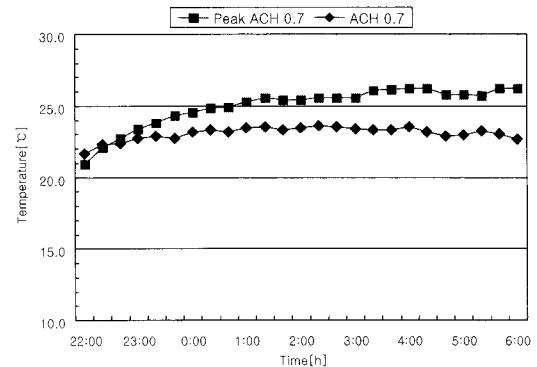


Fig. 10 Variations of temperature between Peak ACH 0.7 and 0.7 ACH.

여 일반운전 패튼의 환기횟수 0.7회와 비교할 때 약 800에서 900 ppm 전후에서 변화하였고, 일반운전에 비해 약 100 ppm정도 높지만 실내권장 기준값 1000 ppm이하로 나타났다. 이상의 분석결과를 기준으로 환기횟수 0.7회의 경우 일반적인 수면시간 8시간을 고려할 때 피크치 제어를 하는 경우 운전시간 비율은 약 45%의 운전시간을 절약함을 추정할 수 있다.

4.3 온도, 습도 변화

Fig. 9, Fig. 10는 피크치 제어 시 챔버내 온도 및 습도의 변화를 나타낸 것이다. 측정결과 온도는 취침 후 1시간 동안은 변화를 보였으나 1시간 이후에는 일정해졌으며 실내 공기환경기준인 17 ~ 28 °C를 만족하였다. 일반운전과 피크치 운전을 비교하면 일반운전의 경우가 환기팬의 연속운전에 의해 피크치에 비해 온도가 다소 낮게 나타났

다. 습도는 피크치 운전이 일반 운전에 비해 다소 변화 양상을 나타냈지만, 전반적으로 당일의 우천이나 외기의 영향에 따른 영향을 많이 받는 것으로 나타났다.

5. 결 론

현대인의 삶의 대부분이 실내에서 이루어지고 있다는 점에서 현대인에게 실내공기환경 문제는 심각하게 대두되고 있으며, 거주공간의 적절한 공기환경을 유지하기 위한 방안이 지속적으로 요구되고 있다. 하지만 건물이 기밀해짐에 따라 기계환기가 증가하고 이로 인한 많은 에너지 낭비를 불러오고 있다. 이에 현 국내 법적기준치인 환기횟수 0.7회의 적정성에 대한 검토가 필요하다고 판단되어 실의 크기 24.7 m^3 , 실의 온도 25°C 의 환경 챔버에서 재설자 1인을 기준으로 실험을 실시한 결과 아래와 같은 결론을 얻었다.

1) 수면시 환기횟수 0.4회 만으로도 국내 법적기준을 만족하였으며, 팬의 상사법칙 적용 시 환기횟수 0.7회보다 동력비가 약 80%가 절감되는 효과를 얻었다.

2) 일반적인 수면시간 8시간에 대해 환기횟수 0.7회를 기준으로 피크치 제어를 실시함으로써 3시간 30분 가량의 팬운전시간 절감의 효과를 얻었다.

후 기

본 논문은 2008년 동의대학교 교내 연구비 지원에 의해 연구된 논문임(2008AA146).

참고문헌

- Won, Y. M., Kim, D. S., Lee, W. J., Kim, D. G. and Kim, S. H., 2008, A research on the

CO_2 Peak Point Control according to Ventilation Frequency during Sleeping, Proceedings of the SAREK 2008 Summer Annual Conference, p. 130.

- Hyun, S. H. and Park, C. S., 2006 Indoor CO_2 concentration depending on diffuser location, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA, Vol. 26, No. 1, pp. 653-656.
- Min, B. S., 2005, A Study on the Field Survey and Improving Method of Indoor Air Quality in Apartment House, Ph.D, Kyonggi University Graduate School, pp. 0-179.
- Kim, D. G., Kim, S. Y. and Kim, S. H., 2007, A Study on the Assessment of the IAQ during Nighttime, Korea Institute of Ecological Architecture and Environment, Vol. 7, No. 5, pp. 93-98.
- Park S. H., Park J. W. and Hong C. H., 2002, A Study on Optimizing the Ventilation System in Apartment Building, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA, Vol. 22, No. 2, pp. 693-696.
- Choi, S. Y., Kim, S. H. and Lee, J. J., 2006, The Effect on Indoor Air Quality Improvement by Ventilation Rate in Newly Built Apartment, Korean journal of air-conditioning and refrigeration engineering, Vol. 18, No. 8, pp. 259-266.
- Lee J. C., Kim D. W., Park B. H. and Kim B. S., 2006, The Reform Measure the Ventilation in Military Barracks by Computational Fluid Dynamics, ARCHITECTURAL INSTITUTE OF KOREA, Vol. 22, No. 12, pp. 275-283.
- www.kma.go.kr.