J. of Korean Oil Chemists' Soc.,
Vol. 31, No. 3. September, 2014. 466~471
ISSN 1225-9098 (Print)
ISSN 2288-1069 (Online)
http://dx.doi.org/10.12925/jkocs.2014.31.3.466

CO_2 직접 제거를 통한 다중이용시설의 에너지 절감 및 경제적 효과에 대한 실험적 연구

김요섭[a] · 이주열[b,c] · 최진식[b,c] · 신재란[b] · 임윤희[b] · 박병현[b] · 김윤신[a]†

한양대학교 보건학과[a], (주)애니텍 기술연구소[b], 경희대학교 환경응용과학과[c]
(2014년 8월 20일 접수; 2014년 9월 22일 수정; 2014년 9월 25일 채택)

Experimental studies of energy savings and economic effects by direct removal of carbon dioxide in the multi-use facility

Yo Seop Kim[a], Ju-Yeol Lee[b,c], Jin Sik Choi[b,c], Jae Ran Shin[b], Yun Hui Lim[b,c], Byung Hyun Park[b], Yoon-Shin Kim[a]†

[a]Dept. of Health Sciences, Hanyang University, 222 Wangsimni-ro, Seongdong-gu, Seoul, 133-791, Korea
[b]Technology Institute, Anytech Co., Ltd, 101-1301, Digital Empire Ⅱ, 88, Sinwon-ro, Yeongtong-gu, Suwon, Gyeonggi-do, 443-734, Korea
[c]Dept. of Applied Environmental Science, Kyung Hee University, 1732 Deokyoung daero, Giheung-gu, Yongin-si, Gyeonggi-do, 446-407, Korea
(Received August 20, 2014; Revised September 22, 2014; Accepted September 25, 2014)

Abstract : It is important to develop the smart ventilation system in order to minimize a building energy consumption using ventilation. In this study, We evaluated the efficiency of the smart ventilation system being developed at the nursery. To evaluate the energy savings and carbon dioxide removal efficiency, two kinds of experimental conditions were compared. First, air conditioner and Smart HVAC system were operated. Second, air conditioner was operating and external air was put into the inside by rate of air circulation. It was more effective when working with air conditioning and ventilation system at the same time. If the Smart HVAC system is applied in a multi-use facility, indoor air quality will be comfortable and the social cost will be reduced.

Keywords : Carbon dioxide, Adsorption, multi-use facility, energy saving, economic effect

†Corresponding author
(E-mail: yoonshin@hanyang.ac.kr)

1. 서 론

최근 화석연료의 비용이 급등하여 에너지 비용의 절감이 중요시 되고 있다. 이로 인하여 정부는 냉난방 비용을 절감하기 위하여 건물의 기밀성을 높이고 있는 가운데, 현대인이 실내에서 머무르는 시간이 증가하면서 실내공기질에 대한 중요성이 점차 강조되고 있다 [1].

국내의 실내공기질과 관련하여 마련된 제도를 살펴보면, 2004년에 제정된 “다중이용시설 등의 실내공기질 관리법”을 통하여 실내공기오염물질의 농도를 권고하였다. 또한 2006년에는 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”에 신축되는 공동주택은 의무적으로 24시간 작동되는 환기설비를 설치하게 하여 시간당 0.7회 이상 환기 가능하도록 규정하였고, 2013년에 개정되어 0.5회로 하향 조정하였다. 그러나 낮은 환기량은 건물에너지를 절약하는데 중요한 요소이지만, 실내 오염물질의 배출을 저해하여 실내공기질을 악화시킬 수 있다. 또한 외부공기질이 안 좋을 경우, 외부 오염물질이 실내로 유입되어 실내 공기질이 더욱 악화될 수가 있다 [2].

근래 대중교통수단도 다중이용시설로 포함되어 공기질을 관리하고 있으며, 미세먼지와 이산화탄소가 오염지표물질로 규정되어 있다. 이중 이산화탄소는 인체에 무해한 기체로 대기오염물질로 분류되고 있지는 않지만, 2,000 ppm 이상이 되면 인체에 영향을 줄 수 있는 상태가 된 바 있다 [3]. 따라서 이산화탄소 농도는 실내 환기상태를 평가하는 지표로 자주 사용되며, 건축기준법 상 1,000 ppm 이하로 유지하도록 권고하고 있다 [4].

이산화탄소를 제어하는 기술로는 흡착법, 흡수법, 막분리법 등이 있으며, 이중 흡착법은 이산화탄소를 흡착하기 쉬운 고체 흡착제를 사용하여 압력차이에 따른 흡착량의 변화를 이용하여 분리하는 것이다. 이는 이산화탄소에 대한 포집 성능이 우수하고, 장치가 간단하여 실내공간에서 적용하기 용이하다고 알려져 있다 [5].

본 연구에서는 기존의 이산화탄소를 대용량으로 발생하는 시설에서 처리하는 방법과는 달리 실내공간에서 상온·상압 조건으로 이산화탄소를 직접제거하여 환기에 소요되는 에너지비용을 비교하였고, 다중이용시설 중 지하철 역사 및 객차에서 공기질을 개선과 관련된 비용 편익에 대해서 알아보고자 하였다.

2. 실 험

2.1. 지능형 환기시스템

지능형 환기시스템은 사람이 실내공간에 상주시에 발생하는 이산화탄소를 흡착하거나 산소를 투입하여, 외기를 통한 환기를 최소한으로 줄여 냉난방에 드는 에너지 소비를 줄이려는 데 목적이 있다. Fig. 1은 지능형 환기시스템의 구성을 나타낸 것으로 온도, 습도, 산소 및 이산화탄소 센서가 내재되 있으며, USN 기반으로 연결되어 실시간 데이타 저장이 가능하다. 센서의 측정값에 의해 자동 제어되는 시스템으로 이산화탄소를 제거하는 흡착모듈과 외기 산소를 분리시켜 공급하는 산소공급시스템, 그리고 안팎으로 유동하는 공기의 열효율을 높이기 위한 전열교환기가 있다. 지능형 환기 시스템의 작동은 다음과 같다. 실내의 이산화탄소 농도가 상승하게 되면 실내 공기는 댐퍼를 통하여 이산화탄소 제거용 흡착제를 거친 후, 실내로 유입된다. 재실자의 호흡으로 인해 실내 산소 농도가 떨어지면 산소발생기가 작동하여 일정량의 산소를 실내로 유입하게 된다.

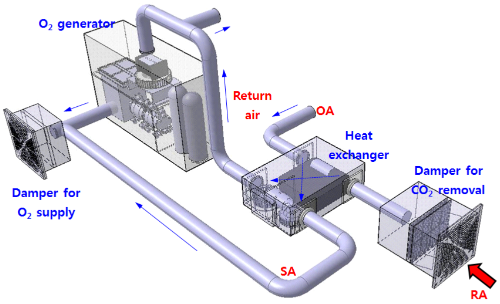

Fig. 1. Schematic of smart HVAC system.

2.2. 지능형 환기시스템의 실제 적용 실험

본 연구에서는 혹서기에 에어컨을 사용하고 있을 때, 실내공기질을 관리하는 두가지 경우를 이용하여 에너지 소비량을 비교하였다. 첫 번째는 건물의 에너지 효율 향상을 위한 지능형 환기시스템(Smart HVAC 시스템)을 적용하여 실내공간의 이산화탄소를 직접흡착제거함으로써 환기횟수를 줄여 에너지 사용량을 줄인 경우, 두 번째는 건축기본법상의 환기횟수를 적용해 실내 환기로 이산화탄소 농도를 적절하게 유지한 경우이다.

Table 1은 상기의 두가지 경우에 대해서 실험

Table 1. Experimental Condition of room A and B.

	Room-A	Room-B
Volume	22 m^3	25 m^3
Ventilation type	Smart HVAC system	Supply fresh air
External ambient temperature	28~29 ℃	
Temperature set-up	23 ℃, automatic operation	

을 하기위한 조건을 제시한 표이다. 외부 기온은 약 29℃ 였으며 냉방기의 실내온도는 23℃로 자동 운전이 되도록 설정하였다. 다중이용시설에 지능형 환기시스템을 실제 적용하기 위해서 동탄에 위치한 어린이집을 섭외하여, 비슷한 규모의 방 두 곳을 실험장소로 정하였다. 실험의 신뢰도를 높이기 위해 동일 제품의 에어컨을 설치하였고, 재실자에 의한 실제 온도와 이산화탄소 농도 변화를 측정하였으며, 이를 제어하기 위한 에어컨과 환기시스템을 적용했을 시 소모되는 전력량을 측정함으로써 에너지 소비율을 비교분석하였다.

Room-A에는 지능형 환기시스템을 설치하여 재실자에 의해 배출되는 이산화탄소를 흡착하여 저감시 소요되는 전력량과 에어컨이 실내온도 조절을 위해 작동시 소요되는 전력량을 합산하였다. Room-B는 에어컨 가동과 환기를 위해 돌아가는 팬의 전력 소모량을 측정하였다. 환기는 외부에 팬을 설치하여 외기가 덕트를 통하여 실내

(a)

(b)

Fig. 2. Pictures of the installation in room
(a) Room-A : Smart HVAC system applied.
(b) Room-B : 0.7 times/hour Ventilated.

로 도입하도록 하였고, 외기 도입양은 환기횟수를 적용하기 위해서 덕트 내 유속을 측정하면서 유량을 댐퍼로 조절하였다. 이때 전력량의 측정은 각 방의 콘센트에 전력측정기가 장착된 멀티탭에 에어컨과 환기시스템의 장비를 연결하여 소모되는 전력량을 일괄적으로 측정하고 실시간으로 데이터를 저장 하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 환기방식에 따른 이산화탄소 농도 변화

대기 중의 이산화탄소 농도는 400 ppm에 불과하지만 실내공간에서 환기를 주기적으로 하지 않으면, 이산화탄소 농도는 계속 상승하고 실내공기질이 악화된다. 김형준 등 (2009)은 공동주택 재실자중 환기시스템을 가동시킨다는 응답은 불과 32%에 불과하다고 하였다 [6]. 이처럼 실내공간에서 환기를 주기적으로 하지 않았을 시, 이산화탄소 농도의 상승 경향을 알아보고자 방안에 성인남자 3명을 입실 후 환기의 유무에 따른 농도의 변화를 Fig. 3에 나타냈다.

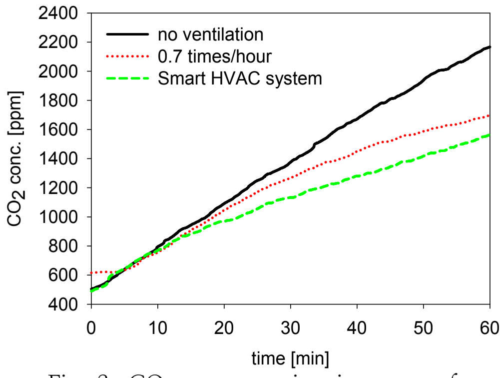

Fig. 3. CO_2 concentration in terms of ventilation type.

방안에 성인남자 3명이 재실하고 한 시간 동안 환기를 하지 않은 상태에서 이산화탄소 농도는 약 2,200 ppm까지 상승하였다. 환기횟수를 0.7 회/시로 적용한 경우는 약 1,700 ppm, Smart HVAC 시스템의 경우는 약 1,600 ppm까지 상승하였다. 2013년에 개정된 건축기본법상의 환기횟수가 '0.5회/시'인 것을 감안하면 실내 이산화탄소의 농도는 현재 측정값보다 더욱 상승할 것으로 판단된다.

Smart HVAC 시스템은 이산화탄소를 제거하는 흡착모듈이 설치되어 있고, 이산화탄소 농도가 1,000 ppm 이상이 되면 흡착을 시작한다. 따라서 Fig. 3과 같이 Smart HVAC 시스템의 이산화탄소 농도 상승 기울기가 1,000 ppm 근처에서 줄어드는 모습을 확인할 수 있으며, 이때 무 환기조건의 이산화탄소 농도와의 차이만큼이 흡착제 모듈에 의해 흡착된 양이라 할 수 있다. 이 흡착량은 시스템에 적용된 흡착제의 성능과 관련이 있고, 현재 흡착제의 성능 향상을 위한 연구가 진행되고 있어서 향후 더욱 효과를 증대할 것으로 판단한다.

3.2. 환기방식에 따른 실시간 소비전력 비교

Fig. 4는 Room에 각각 4명이 재실 후 에어컨으로 설정한 실내온도(23℃)를 유지시킬 때, 환기방식에 따라 소모하는 전력량을 실시간으로 측정한 것을 나타냈다. 에어컨을 작동시키면 초기에 실외기가 작동하면서 2 kW 이상의 전력이 소모된다. Fig. 4를 보면 0.7 회/시의 실시간 전력소모량을 보면, 초반에 에어컨의 실외기가 약 15분간 작동하였으며, 다른 환기조건보다 작동 주기도 짧았다. 0.5 회/시의 결과는 일정한 간격으로 실외기가 작동하는 모습을 확인하였다. 따라서 환기횟수가 많아지면 외기 유입량이 많아져 실내온도가 상승하고, 이로 인해 에어컨이 실내온도조절을 위해서 에어컨 실외기의 작동시간이나 횟수가 증가하면서 전력소모량이 많아지게 된다. Smart HVAC 시스템의 경우 일정시간동안 실외기가 작동하였고, 작동 주기가 길어지는 모습을 보여주고 있다. Smart HVAC 시스템 내의 전열교환기로 인하여 열효율이 좋고, 외기의 도입이 없어서 실

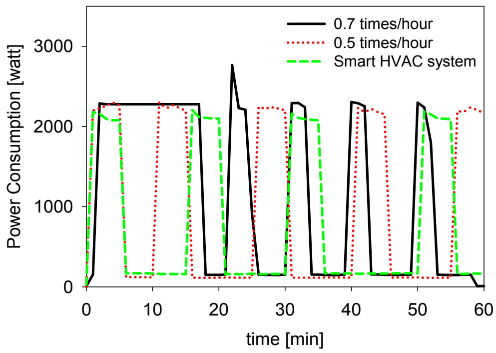

Fig. 4. Real time power consumption according to the ventilation systems.

내온도 조절이 용이하여 전력소모가 다른 경우에 비해 적었던 것으로 판단되다.

3.4. 환기방식에 따른 이산화탄소와 소비전력과의 관계

Room에 재실자가 있을 때 환기로 인한 이산화탄소 농도의 변화와 실내온도 조절 및 환기를 위해 소모되는 누적소비전력량을 Fig. 5에 나타냈다. 한 시간 동안 각각의 환기시스템을 적용시켰을 때 소모되는 누적전력량은 Smart HVAC 시스템의 경우 약 49 kWh, 0.7회/시 환기 시 약 69 kWh로 두 환기방식으로 약 20 kWh의 차이가 발생하였다. 쾌적성의 지표로 삼고 있는 이산화탄소의 농도는 한 시간이 지난 후 약 100 ppm 정도의 차이를 보여주었다.

Smart HVAC 시스템은 기존 환기방식보다 소비전력량은 약 28%의 절약효과를 보았지만, 이산화탄소 제거 효과는 약 6%로 나타났다. 그러나 현재 개정된 환기횟수는 0.5회/시로 같은 실험에 적용 후를 유추해 보면, 환기 시에 실내온도를 유지하기 위해 소비되는 전력량과 환기에 의해 실내에서 배출되는 이산화탄소의 양이 줄어들 것이다. 이것은 결과적으로 Smart HVAC 시스템으로 인한 소비전력량의 절약효과가 떨어질 것이나, 실내 공간의 쾌적성 또한 나빠지는 것을 의미한다. 따라서 이산화탄소 제거효율 상승을 위해 절약되는 에너지를 적절하게 사용된다면, 실내공기질을 관리하는데 도움이 될 것으로 판단된다.

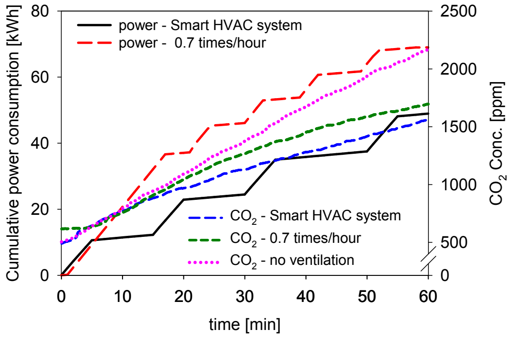

Fig. 5. Correlation of the carbon dioxide concentration and the power consumption.

3.5. 다중이용시설 적용 시 경제적 효과

대중교통수단이 다중이용시설에 포함이 되면서 승객이 많이 붐비는 출퇴근시간대의 교통수단 내 공기질에 관한 관심이 증가하고 있으며, 특히 수도권 내 광역교통수단인 지하철 역사 및 차량 내 공기질에 대한 연구가 활발히 진행되고 있는 실정이다. 다중이용시설의 실내공기질을 개선할 때 얻어지는 이익은 이용자 개인들뿐만 아니라 사회 전체에 미치는 이익이 크므로, 다중이용시설에 대한 공공정책의 필요성이 중요한 이유다 [7].

권순박 등 (2008)은 출입문 개폐에 의한 전동차 객실 이산화탄소 저감 효과를 알아보기 위해서 출퇴근 시간대 객실 이산화탄소 농도를 연속 측정하였고 탑승객수를 정차역마다 기록한 결과 대부분의 정차역에서 기준치인 1,000 ppm 이상인 것으로 나타났으며, 승객수를 고려했을 때 출입문 개폐에 의한 환기로는 기준치 이하를 유지하기 어려운 것으로 보여진다 [8]. 또한 권순박 등 (2012)은 지하철 객실내 미세먼지와 이산화탄소 저감을 위해 지하철객실공기정화장치를 개발하여 혼잡시간인 출·퇴근시간대 적용 후 객실 공기질 측정결과 미세먼지의 경우 약 17.6%의 개선효과가 나타났으며, 이산화탄소는 승객수를 고려하였을 때, 약 18% 개선된 것으로 나타났다 [9].

이처럼 많은 사람이 지하철을 이용하는 출·퇴근시간 때는 자연적인 환기로는 한계가 있으므로 별도의 실내공기질을 개선할 수 있는 환기장치가 필요함을 확인할 수 있다. 홍종호 등(2006)은 설문조사를 통하여 지하역사 공기질 개선을 위하여 연평균 가구당 5,314원을 지불할 수 있다고 조사되었다. 지하철 역사에 머무르는 시간이 짧다는 점과, 실내공기질은 공공재로서의 성격으로 가구당 지불의사액이 낮은 수준으로 나왔다고 판단했다. 이를 기초로 수도권 지하역사 공기질 개선에 따른 총 편익은 약 178억원으로 추정되었다 [7].

Lee 등 (2013)은 서울시 지하철 9호선을 중심으로 실내온도관련 민원의 요인을 분석을 한 결과, 냉난방기가 자동모드에서 동작하였을 때 민원발생과 연관이 깊다고 밝혔다. 이것으로 보아 자동모드에서는 작동유무에 따라 객실온도의 변화가 있기 때문에 적절한 실내온도를 유지하는데 어려움이 있는 것으로 판단된다 [10]. 이를 해결하기 위해 Smart HVAC 시스템과 같은 효율적으로 실내 온도를 유지하고 공기질을 개선하는 시스템을 도입한다면 민원의 감소와 이로 인한

사회적 비용도 절약될 것으로 예측된다.

4. 결 론

본 연구는 건물의 환기에 의해 발생하는 에너지 비용을 최소화하기 위해 개발한 지능형 환기시스템으로 어린이집에서 직접 효율평가를 하였고, 이를 바탕으로 다중이용시설에 적용하였을 시 얻는 효과에 대해 알아보고자 하였다.

혹서기의 상황에 실내온도를 조절하기 위한 에어컨과 Smart HVAC 시스템을 동시에 작동시켰을 경우와 환기를 시키면서 에어컨을 작동하였을 경우를 비교하여 에너지 절약효과와 이산화탄소 제거효과를 알아보고자 하였다. Smart HVAC 시스템을 이용하여 환기를 한 경우는 그렇지 않은 경우보다 약 28%의 에너지 절약을 할 수 있었고, 이산화탄소의 제거 효과는 약 6%의 우수한 결과를 얻을 수 있었다.

또한, 다중이용시설 중 지하철은 출·퇴근시간에 적절한 실내공기질을 유지하기 어렵기 때문에, Smart HVAC 시스템과 같은 환기시스템을 도입 시 민원해소 및 쾌적성을 높일 수 있고, 사회적 비용을 줄일 수 있을 것으로 판단된다.

감사의 글

이 연구는 지식경제부 에너지기술개발사업의 “에너지효율 15% 개선을 위한 CO_2 저감용 흡착 모듈 및 연계 환기시스템 개발” 연구비 지원으로 이루어졌으며 이에 감사드립니다(과제번호 : 20122020100210).

Referneces

1. J. M. Kim, “Status and Prospect of Carbon Dioxide Storage Technologies”, *KIC News*, 12(2), 31 (2009).
2. Y. H. Lim, J. Y. Lee, Y. J. Cha, and B. H. Park, Evaluation for Adsorption of Low Concentration of Indoor CO_2 Adsorption using Zeolite and Alkali Metal, *J. of Korean Oil Chemists’ Soc.*, 30(3), 494 (2013).
3. Hyun Cho, In-Chang Choi, and Seung-Ki Pang. Prediction of Energy Consumption and Indoor Ventilation Performance According to Individual Room Control Ventilation System in Apartment House, *Journal of The Korean Society of Living Environmental System*, 18(4), 4118 (2011).
4. G. S. Oh, G. J. Jung, and Y. B. Im, Experiment on Reduction Effect of CO_2 Concentration with Indoor Plants under Illuminance Condition in Office, *AURIC*, 11(4), 233 (2009).
5. Youngmin Cho, Youngmin Yang, Jin-Sik Choi, Soon-Bark Kwon, Duck-Shin Park, Woo-Sung Jung. Study on CO_2 adsorption of indoor space using CO_2 adsorption-desorption system, *Korean Society for Railway* (2012).
6. Kim, H. J., Kim, J. H., Park, J. S., Effect of Ventilation System on Energy Consumption in Apartments, Proceedings of the *KIAEBS* (2009).
7. Jong Ho Hong, Hyungna Oh. Economic value of improving indoor air quality of subway stations in seoul metropolitan area. *Journal of Korean Economics Studies.*, 17, 169 (2006)
8. Soon Bark Kwon, Youngmin Cho, Duck-Shin Park, Eun Young Park. Quantitative analysis of CO_2 reduction by door-opening in the subway cabin. *KOSAE*, 24(2), 153 (2008)
9. Soon-Bark Kwon, Duck-Shin Park, Youngmin Cho, Wootae Jeong, Jihan Song, Goan-Hyun Cho, et al. Air quality improvement by the subway cabin air purifier (SCAP). *Korean Society for Railway* (2012).
10. Sang Oh Lee, Jung Su Park. A study on factors affecting complaints about hot or cold in the cabin in trains. *Korean Society for Railway* (2013).