

# 환기시스템의 성능평가를 위한 통합 시뮬레이션 Tool의 개발

조 왕 희, 송 두 삼\*

성균관대학교 대학원, \*성균관대학교 건축공학과

## A Development of Coupled Simulation Tool to Evaluate Performance of Ventilation System

Wang-Hee Cho, Doo-Sam Song\*

Graduate School, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

\*Department of Architectural Engineering, Sungkyunkwan University, Suwon 440-746, Korea

(Received August 25, 2005; revision received December 21, 2005)

**ABSTRACT:** To evaluate the performance of ventilation system properly, the correlations among the ventilation rate, indoor air-quality and cooling/heating load should be analysed. In this study, simulation tool to analyze the performance of ventilation system was developed. The simulation tool is based on the TRNSYS and some modules to calculate concentration of pollutants with the operation of ventilation system and to decide the signal of ventilation system were newly developed in this study. And these modules coupled with building load and heating/cooling simulation modules. To verify the validity of developed simulation tool, comparison study between simulation and field study were accomplished. As results, the simulation tool developed in this study can be used to predict the performance of ventilation system with accuracy.

**Key words:** Indoor air quality (IAQ, 실내공기질), Simulation tool(평가도구), TRNSYS(트랜시스)

### 기 호 설 명

$ACH$  : time-step당 환기유닛의 환기회수 [ACH]  
 $C_C$  : 이산화탄소 농도 [PPM]  
 $C_H$  : 포름알데히드 농도 [ $mg/m^3$ ]  
 $CMH$  : time-step 공기청정유닛의 풍량 [CMH]  
 $P_C$  : time-step당 1인의  $CO_2$  발생량 [ $m^3$ ]  
 $P_H$  : time-step당 포름알데히드 발생량 [ $mg/m^3$ ]  
 $SC$  : 재실자 스케줄에 따른 재실자 수 [인]  
 $VOL$  : 체적 [ $m^3$ ]

### 그리스 문자

$\eta_C$  : 공기청정유닛의 one-pass 제거효율 [%]

### 하첨자

$F$  : 전(former) time-step  
 $F-M$  : 공기청정유닛의 운전모드  
 $INF$  : 침기  
 $Out$  : 실외(외기)  
 $P$  : 환기 전  
 $V$  : 환기 후  
 $V-M$  : 환기유닛의 운전모드  
 $Z$  : 존(zone), 실(room)

† Corresponding author

Tel.: +82-31-290-7551; fax: +82-31-290-7570

E-mail address: dssong@skku.edu

1. 서 론

청정한 실내공기질을 유지하기 위해서는 오염물질의 방출이 적은 친환경 건축자재의 사용과 함께 환기시스템의 적용이 불가피하다. 그러나 실내 공기질 개선을 위해 건물에 환기를 실시함에 있어 그에 따른 냉·난방부하 및 공조비용의 증가, 콜드드래프트(cold-draft) 현상 등과 같이 동시에 고려되어야 할 부수적인 문제들이 발생한다.

환기시스템의 성능을 통합적으로 평가하기 위해서는 실험 및 실측과 같이 장기간에 걸친 평가가 이루어져야 하나, 비용 및 시간 측면에서 통상 시뮬레이션 기법을 활용하는 것이 일반적이다.

시뮬레이션을 통해 환기에 따른 실내 공기질 변화의 예측 및 냉·난방부하 계산에는 일반적으로 Table 1과 같은 시뮬레이션 툴을 활용하고 있다.

이러한 툴들은 각각의 용도에 따라 CFD 시뮬레이션, 네트워크 시뮬레이션(network simulation)으로 분류할 수 있다.

(1) CFD 시뮬레이션<sup>(8)</sup>은 단위공간에 대해 건축자재로부터의 오염물질의 배출 및 확산 특성을 아주 상세히 묘사할 수 있어 널리 사용하고 있으나 장시간에 걸친 오염물질의 배출감쇠 특성이나 각 실간의 오염물질 이동 특성을 묘사하는 데는 많은 한계를 가지고 있다.

(2) 기존의 네트워크 시뮬레이션 툴<sup>(1,2)</sup>은 주로 환기에 따른 오염물질의 실간 이동 및 오염농도 변화의 예측에 초점을 두고 있거나(예를 들면 CONTAMW, COMIS), 주로 건물부하, 냉·난방부하 특성분석을 위한 것이어서(예를 들면 TRNSYS), 건물부하 특성의 묘사는 정확하나 환기시스템의

전열교환 특성이나 냉·난방시스템 등 시스템을 정확하게 묘사하기 어려운(예를 들면 ESP-r) 단점이 있으므로, 기존의 네트워크 시뮬레이션 툴 자체만으로는 본 연구에서 지향하고 있는 환기시스템의 관련성능을 통합적으로 묘사하기는 다소 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 실내 공기오염 레벨, 오염농도 제어를 위한 환기시스템의 가동 여부, 환기에 따른 실내 오염농도의 변화, 환기에 따른 실내 열환경, 냉·난방부하의 변동을 통합적으로 묘사할 수 있는 통합 시뮬레이션 툴을 개발하고자 한다.

본 논문에서는 본 연구를 통해 개발된 통합 시뮬레이션 툴의 개념을 설명하고, 환기관련 실측 결과와의 비교를 통해 개발된 시뮬레이션 툴의 타당성 검토결과를 제시하고 있다. 또한 개발된 통합 시뮬레이션 툴을 통해 각종 환기방식에 따른 실내공기 제어특성 및 냉·난방 부하특성의 예측 결과를 보이고 있다.

2. 통합 시뮬레이션 툴의 개요

2.1 건물부하/냉·난방 시뮬레이션-TRNSYS

본 연구에서 개발된 환기시스템의 성능평가 툴(통합 시뮬레이션 툴)은 동적 에너지 해석프로그램인 TRNSYS(Transient System Simulation Program)를 기반으로 하고 있다. TRNSYS 프로그램은 1975년 미국 위스콘신 대학의 Solar Energy Laboratory에서 태양열 집열기를 해석하기 위한 프로그램으로 개발되어 현재는 유럽을 비롯한 세

Table 1 Characteristics of energy or IAQ simulation program

	Concentration calculation of pollutant	Annual load calculation	Network simulation	Adjustment of time-step	Writing new component by user
CFD	Possible	Impossible	Impossible	Possible	Possible
COMIS	Possible	Impossible	Possible	Not transient simulation program	Possible but very complex
CONTAMW	Possible	Impossible	Possible	Not transient simulation program	Possible but very complex
TRNSYS	Possible with other simulation program	Possible	Possible with other simulation program	Possible	Possible
ESP-r	Partially possible	Possible	Possible	Possible	Possible but very complex

계 각국에서 사용하고 있다. 기본적으로 모듈식 구조로 되어 있어 사용자의 필요에 따른 확장성과 호환성이 매우 뛰어나, 실험이나 이론에서 유추된 수학적 모델을 사용자가 모듈을 작성하여 사용할 수 있다. 또한, 기본 모듈에 대한 소스 코드를 공개하고 있어 시뮬레이션 특성에 따라 시스템 구성요소 간의 상호작용을 정밀하게 모사할 수 있는 도구이다. TRNSYS 상에서 사용자는 실험이나 이론에서 유추된 논리식을 FORTRAN을 이용하여 코딩함으로써 새로운 모듈을 작성할 수 있다. 작성된 모듈은 TRNSYS 내 IISiBat에서 모듈의 Parameter, Input, Output을 정의하고 Profoma를 형성하고, 기존의 시뮬레이션 모듈과 연성시킴으로써 연구목적에 부합되는 시뮬레이션이 가능하게 된다.<sup>(10)</sup>

2.2 실내공기질 제어방법

실내공기질 제어방법으로 오염원의 배출량을 제어하는 발생제어(source control), 공기 중의 오염물질을 제거하는 제거제어(removal control), 환기를 통해 공기 중 오염농도를 완화시키는 희석제어(dilution control)와 같은 방법이 있다.

본 연구에서는 실내공기질 제어방법으로 환기를 통한 희석제어와 공기청정기를 이용한 제거제어방법을 채용하였다.

제어대상물질은 현재 국내 공기질 기준 및 현장 측정치의 정확도 등을 고려하여, CO<sub>2</sub>와 HCHO(포름알데히드)로 설정하였다.

실제 거주공간에서는 특정지점에서 오염물질이 발생할 경우, 이것이 실 전체 또는 인접실로 확산되는 것이 일반적이지만 본 연구에서는 네트워크 시뮬레이션의 특성상 오염물질이 발생 순간 실 전체로 균일하게 확산하여, 실 전체의 농도가 일정하게 되는 것으로 가정하였다. 추후 실내 오염물질 분포 및 인접실로의 이동에 대한 검토가 필요할 것으로 사료된다.

실내공기질 제어를 위한 환기시스템의 운전모

드를 다음 Table 2과 같이 설정하였다.

TRNSYS 시뮬레이션의 기본모듈에는 환기시스템(환기, 공기청정기 등)의 가동, 실내공기질 변화, 변화되는 환기량에 따른 냉·난방부하의 변화를 모사하는 모듈이 개발되어 있지 않기 때문에 본 연구는 이러한 환기시스템 관련 특성을 모사할 수 있는 모듈을 개발하였다.

2.3 실내 오염물질 발생 및 환기시스템의 오염물질 제거 특성을 모사하기 위한 시뮬레이션 모듈의 개발

본 장에서는 본 연구를 통해 개발된 전자재료부터 오염물질(HCHO)의 발생, 재실에 따른 CO<sub>2</sub> 농도의 변화를 구현하기 위한 모듈을 소개하고, 아울러 환기시스템의 환기(ventilation), 청정(air-cleaning) 또는 환기+청정(ventilation with air-cleaning) 모듈의 실내공기 제어 특성을 시뮬레이션 상에서의 구현방법에 대해 소개한다.

2.3.1 자연상태에서 실내오염물질 농도형성 예측 모듈

환기시스템을 가동 전의 초기조건(initial condition) 또는 초기농도를 결정하기 위해서는 전자재 및 재실자로부터의 시간당 오염물질 발생량, 경과시간(시간변화), 침기에 의한 희석효과 등을 고려해야 한다.<sup>(6,9,11)</sup>

아래 식(1)은 실내에서 CO<sub>2</sub> 발생량을 예측하는 식이다. 먼저 발생량, 희석효과, 경과시간 등을 고려하여 형성된 전 time-step에서의 실내 CO<sub>2</sub> 농도(PPM) 또는 실내 CO<sub>2</sub>량(m<sup>3</sup>)과 침기에 의해 실내로 유입된 CO<sub>2</sub>량(m<sup>3</sup>), time-step당 실내에서 발생하는 CO<sub>2</sub>량(m<sup>3</sup>) 등을 고려하여, 현 time-step에서의 실내 CO<sub>2</sub> 농도(PPM)를 산정한다.

$$C_{C,P} = \{ (C_{C,F} + SC \times C_{1P} \div VOL_Z \times 10^6) \times (VOL_Z - VOL_{INF}) + C_{C,Out} \times VOL_{INF} \} \div VOL_Z \quad (1)$$

한편, HCHO의 경우, 자연상태에서의 실내농도는 다음 식(2)로 정의할 수 있다.

$$C_{H,P} = \{ (C_{H,F} + P_H) \times (VOL_Z - VOL_{INF}) + C_{H,Out} \times VOL_{INF} \} \div VOL_Z \quad (2)$$

Table 2 Ventilation method for controlling IAQ

	Ventilation method
VM 1	Mechanical ventilation only
VM 2	Mechanical ventilation with air cleaning unit
VM 3	Air cleaning unit only

2.3.2 환기시스템의 실내 오염물질 제거 특성 예측 모듈

(1) 환기방식 : 환기(VM 1)

환기유닛을 작동한 후의 CO<sub>2</sub>, HCHO의 농도는 식(3), (4)와 같이 환기 전 실의 오염물질농도(식(1), (2) 계산결과)에 환기를 통해 외기를 도입시켜 실내공기와의 혼합을 통해 희석된 새로운 실내농도를 계산하게 된다.

$$C_{C,V} = C_{C,P} \times (1 - ACH_{V-M}) + C_{C,Out} \times ACH_{V-M} \quad (3)$$

$$C_{H,V} = C_{H,P} \times (1 - ACH_{V-M}) + C_{H,Out} \times ACH_{V-M} \quad (4)$$

본 연구를 통해 제시된 환기시스템의 제어논리를 Fig. 1에 보이고 있다. 두 가지 오염물질(CO<sub>2</sub>, HCHO) 중, 어느 한 종류의 오염물질이라도 농도가 허용치 이상이 되면 환기시스템이 가동되도록 운전 알고리즘이 설정되어 있다.

환기시스템의 운전모드 및 신호에 따라 도입외기량(환기량)이 달라지므로 식(3), (4)에서 ACH<sub>V-M</sub>에 이를 반영하도록 하였다. 즉, 환기유닛의 신호가 off인 경우 ACH<sub>V-M</sub>의 값은 0이 된다. 물론, 침기 또는 자연환기를 실시하는 경우에도 각 time-

step에서의 외기도입량을 계산하여 ACH<sub>V-M</sub>에 입력하면 된다.

환기시스템의 신호체계는 강/약/야간/off 등의 모드에 따라 구분하였다. 시뮬레이션 상에서 환기시스템의 on/off 신호주기와 계산이 수행되는 단위시간(time-step)과는 상이할 수 있기 때문에 설정한 환기시스템의 on/off시간 간격을 time-step으로 나누어 일정 time-step 회수(Fig. 1과 Fig. 2의 NOC)에 이르기까지는 환기시스템은 계속 동일한 신호(on 또는 off)로 유지되도록 설정하였다. 예를 들면, time-step이 1.5분이고 환기시스템의 on 시간이 30분이라면, 환기시스템의 신호는 약 20회의 Iteration을 수행할 때까지 동일한 신호 on을 유지하게 된다.

(2) 환기방식 : 환기+공기청정(VM 2)

환기유닛과 공기청정유닛의 신호를 결정하기 위한 알고리즘을 Fig. 2에 보이고 있다.

두 가지 운전모드가 개별적으로 또는 동시에 작동하는 경우를 모사하는 것으로, 실내공기의 HCHO가 기준치 미만이고 CO<sub>2</sub>가 기준치 이상인 경우에 환기유닛이 작동한다. 반대로, CO<sub>2</sub>가 기준치 미만이고 HCHO가 기준치 이상인 경우에는 공기청정유닛만 작동한다. CO<sub>2</sub>, HCHO 두 가지 모두 기준치 이상인 경우, 환기유닛, 공기청정유닛이 동시에 작동하는 것으로 하였다.

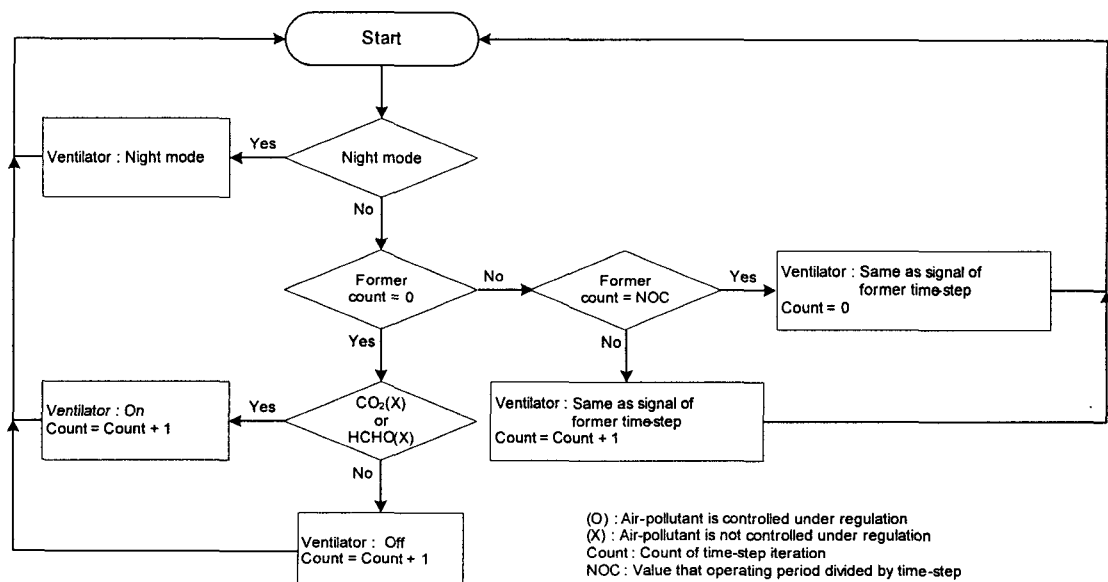


Fig. 1 Operating algorithm of VM (ventilation mode) 1.

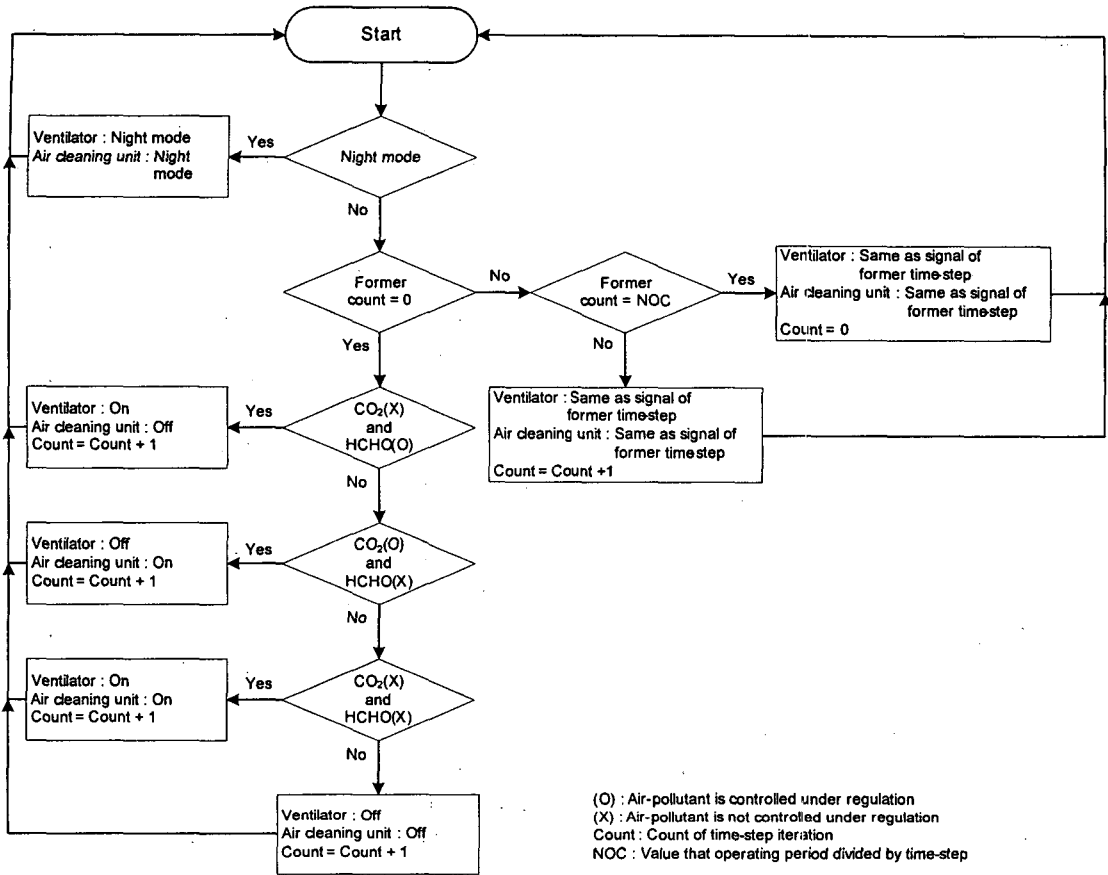


Fig. 2 Operating algorithm of VM 2.

환기유닛 또는 공기청정유닛이 작동한 후의 CO<sub>2</sub> 농도는 VM 1의 식(3)과 동일하고 HCHO의 농도 변화는 다음 식(5)로 정의된다.

$$C_{H,V} = \{ C_{H,P} \times (1 - ACH_{V-M}) + C_{H,Out} \times ACH_{V-M} \} \times \left( 1 - \eta_C \times \frac{CHM_{F-M}}{VOL_Z} \right) \quad (5)$$

HCHO는 환기유닛 작동시에는 희석제어가 되고, 공기청정유닛을 작동할 경우에는 제거제어가 된다. 따라서 HCHO 농도 계산식에서 실내공기가 공기청정유닛을 통과하기 전의 농도는 환기유닛의 작동 유무에 따라 희석제어된 농도이다. 결과적으로 환기유닛 off시에는 ACH<sub>V-M</sub>은 0이 되며, 실내공기 중의 HCHO는 공기청정유닛에 의해서 제어된다. 즉, 공기청정유닛만 가동하는 경우, 실

내 CO<sub>2</sub>의 농도에는 영향을 미치지 않는다.

일반적으로 공기청정유닛의 오염물질 제거성능을 평가하기 위한 필터(filter)의 효율은 일정량의 오염물질을 발생시킨 후, 발생을 정지한 상태에서 공기청정유닛을 가동하여 경과시간에 따른 오

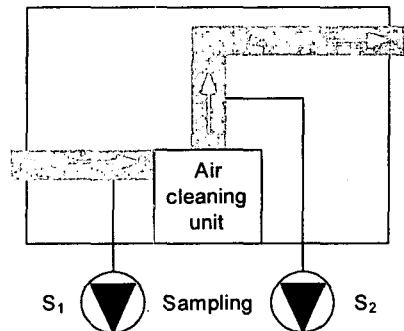


Fig. 3 Concept of one-pass removal efficiency.

염물질의 농도비가 제거효율로 정의된다.<sup>(3)</sup>

그러나, 실제적으로는 실내에서 오염물질이 지속적으로 발생되고, 공기청정기 가동시 연속적으로 오염물질이 제거되기 때문에 Fig. 3에서와 같이 공기청정유닛에 덕트를 연결, 온·습도와 가스농도를 조정한 공기를 공기청정유닛의 정격 풍량으로 흘리고 통과 전의 가스농도와 통과 후의 가스농도를 측정하여, 통과 전( $S_1$ )과 후( $S_2$ )의 가스농도 차이의 비로 정의되는 one-pass 제거효율의 개념이 수치 시뮬레이션에서는 일반적으로 이용하고 있다. 본 연구에서도 공기청정모드의 오염물질 제거 특성을 나타내는 식(5)에 이 개념을 적용하였다.<sup>(5)</sup>

(3) 환기방식 : 공기청정(VM 3)

공기청정유닛만 가동하는 경우에는 환기유닛의 신호를 off로 고정하고 농도계산시 환기유닛의 풍량( $ACH_{V-M}$ )을 0으로 고정하는 것을 제외하면 VM 2의 계산 알고리즘과 동일하다.

오염물질의 발생 침기, 환기, 공기청정 등에 의해 희석제어 또는 제거제어되는 일련의 프로세스는 3.2절에 기술된 것처럼 단계별로 구분되어 진행되는 것이 아니라 동시에 진행된다. 따라서, 이러한 차이점으로 인한 계산상의 오차를 줄이기 위해서는 time-step을 최대한 짧게 설정해야 한다.

2.3.3 개발된 시뮬레이션 모듈의 타당성 검토

본 연구를 통해 개발된 환기시스템의 오염물질 제거 특성 시뮬레이션 모듈의 타당성을 검토하기 위해 환기시스템의 성능평가 실측데이터와 개발된

모듈을 통해 계산된 예측치와의 비교를 통해 모듈의 논리를 수정/보완하였다.

(1) 환기시스템의 성능평가 실측

환기시스템을 실제 공동주택에 설치하여 성능평가를 위한 실측을 실시하였다. 실측은 미입주 상태의 준공 후 약 1.5개월 경과한 38평형 공동주택에서 거실+주방+식당 공간에 Table 3과 같은 정격용량의 환기시스템을 실의 창측, 천정(Fig. 4의 ②지점) 부위에 설치하고 환기시스템의 각 운

Table 3 Airflow rate of ventilation system

Ventilator	Air cleaning unit
70 [CMH]	180 [CMH]

\* One-pass removal efficiency of air cleaning unit is set at 0.35 (35%).

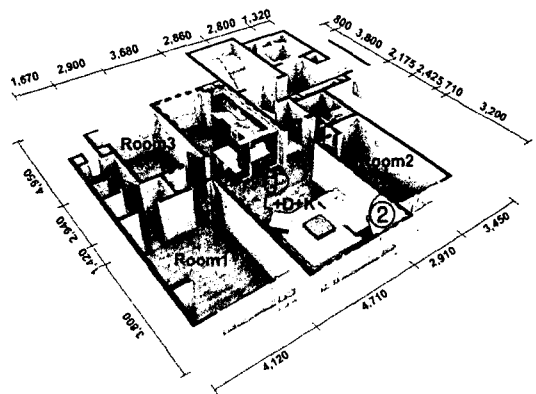


Fig. 4 House model for field study.

Table 4 Measurement condition

Outdoor condition	Dry B. Tem. : 10~15°C, Relative Humi. : 22~36%
Indoor condition	Dry B. Tem. : 25°C, Relative Humi. : 30%
Infiltration rate	0.2 [ACH]
Outdoor concentration	HCHO : 0.036 [mg/m <sup>3</sup> ], CO <sub>2</sub> : 350 [PPM]

Table 5 Result of measurement

Operation mode	Concentration (HCHO)	
	Before operating (Base concentration) [mg/m <sup>3</sup> ]	After operating [mg/m <sup>3</sup> ]
Ventilator only	0.236	0.083
Ventilator and air cleaning unit	0.224	0.062
Air cleaning unit	0.367	0.113
Indoor emission rate of HCHO	0.00812 [mg/hr·m <sup>3</sup> ]	

전모드(환기, 환기+청정, 청정)를 가동한 경우의 실내농도 변화를 '실내공기질공정시험방법'에 의거하여 수행되었다. 측정은 실증양(Fig. 4의 ①지점)에 DNPH 카트리지를 장착한 샘플러를 이용하여 환기시스템 가동 전의 베이스 농도와 5시간 가동 후의 HCHO 농도를 측정하였다.<sup>(7)</sup> 측정시료의 분석은 HPLC를 이용하여 분석하였다.

측정기간은 2004년 12월 1~14일이며, 측정시 측정대상공간에서 인접실로의 공기이동을 배제하기 위해 인접실의 출입문을 모두 밀봉하였다.

Table 4와 같은 조건(대상공간의 침기율, 외기 오염물질 농도 등)에서 환기시스템 가동 전·후의 실내 오염물질 농도, 실내 오염물질 발생률 등의 실측결과는 Table 5와 같다.

(2) 타당성 검토결과

타당성 검토를 위한 비교 시뮬레이션에는 앞서 수행된 실측과 동일한 조건(분석대상, 환기시스템의 풍량 및 운전조건, 실내 온·습도 조건, 침기율, HCHO 발생조건 등)을 적용하였다.

Fig. 5는 환기시스템의 각 운전모드별 HCHO의 베이스 농도에 대한 5시간 운전 후 농도변화의 실측치와 실측시의 베이스 농도와 동일한 조건을 시뮬레이션에 모사하여 환기시스템 가동 5시간 후의 농도예측 결과를 보이고 있다. HCHO 농도는 환기유닛+공기청정 환기방식과 공기청정 환기방식에서는 두 결과치가 거의 동일하게 나타났으나, 환기유닛 환기방식에서는 다소 차이를 보이고 있다. 그러나 현장측정 상의 오차를 고려하면 그다

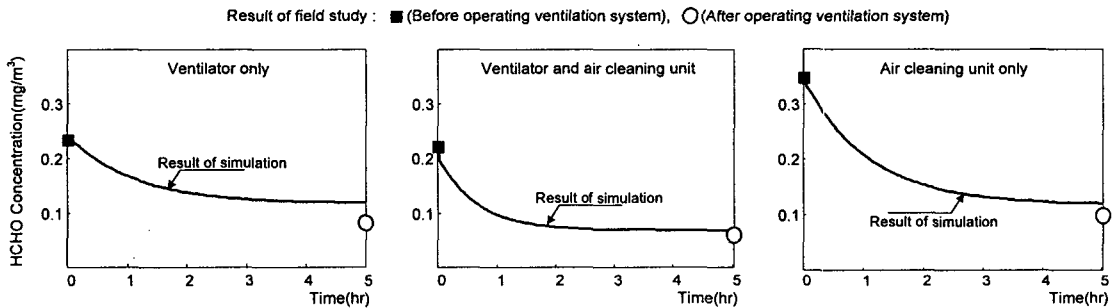


Fig. 5 Comparison between simulation results and field study results.

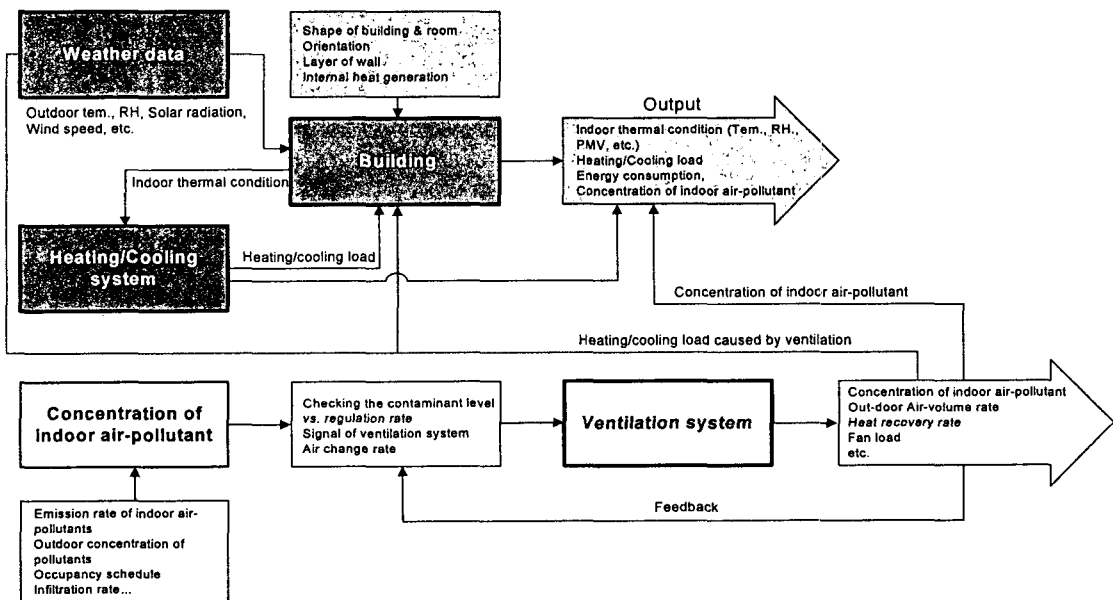


Fig. 6 Concept of coupled simulation.

지 큰 오차라고 할 수는 없을 것으로 사료된다.

보다 정확한 비교·검증을 위해서는 실측시 보다 짧은 시간간격으로 오염물질 농도를 측정하여 시간별 농도변화를 비교함으로써 보다 정확한 예측모델을 제안할 수 있을 것으로 판단되며, 향후 검토를 실시할 예정이다.

**2.4 환기시스템의 실내공기질 제어성능 및 냉·난방 부하 예측을 위한 통합 시뮬레이션**

환기시스템 적용에 따른 실내공기질 제어 특성 및 건물 냉·난방부하의 변동, 이에 따른 에너지 비용의 증가를 예측하기 위해서는 건물부하 시뮬레이션과 환기에 의한 실내공기질 제어 시뮬레이션, 냉·난방시스템 시뮬레이션 등을 모두 통합하여 시뮬레이션하는 것이 필요하다.

Fig. 6은 통합 시뮬레이션의 기본개념으로 회색 부분은 기존의 건물부하 및 냉·난방 시뮬레이션의 일반적인 프로세스이다. 기존 시뮬레이션 모듈에서는 외기특성 및 내부발열조건에 따른 실내 온열환경, 건물부하량, 냉·난방시스템의 운전, 에너지소비량 등을 평가하고 있다. 여기에 본 연구에서 개발한 오염물질 농도예측 모듈, 환기시스템의 신호 및 외기도입량 결정 모듈, 전열교환효율 계산 모듈, 환기시스템과 냉·난방시스템을 연성하기 위한 모듈 등을 추가하여 오염물질의 농도에 따라 외기를 도입, 실내공기질을 제어하고, 기상데이터로부터 도입외기의 특성(온·습도 등)을 제공받아 이것을 건물부하, 시스템 부하 시뮬레이션에 반영함으로써 통합적인 시뮬레이션이 가능하도록 하였다.

**3. 통합 시뮬레이션을 통한 실내공기질 제어 특성 및 냉·난방 부하의 예측결과**

개발된 통합 시뮬레이션 틀을 활용하여 환기방식별 실내공기질 제어 특성 및 냉·난방부하 특성을 검토하기 위한 시뮬레이션을 실시하였다.

**3.1 시뮬레이션 기본조건**

앞서 수행된 실측결과를 바탕으로 시뮬레이션의 대상공간(거실+주방+식당), 침기울, 실내 오염물질 배출특성, 외기조건, 환기시스템 운전조건

은 2.3.3에서 설정한 조건과 동일하며, 전열교환 유닛 적용시에는 풍량에 따른 전열교환효율(현열교환효율은 냉방모드에서 약 70%, 난방모드에서 75%, 잠열교환효율은 냉·난방 모두 약 40%[최대풍량 120 CMH 기준])을 적용하였다.

실측에서와 같이 시뮬레이션에서도 오염물질의 실간 이동은 고려하지 않았다.

환기시스템의 on/off 상태를 유지하는 시간단위는 실측조건과 동일하게 30분, 시뮬레이션의 time-step은 1분 30초로 설정하였다. 부하계산을 위한 시뮬레이션 조건은 Table 6과 같다.

또한, 시뮬레이션 Case는 Table 7과 같다.

Table 6 Simulation condition for load calculation

Weather data	Standard weather data (Seoul)	
	Cooling	Heating
Set-point	Dry B. Tem. : 26℃ Relative Humi. : 60%	Dry B. Tem. : 20℃ Relative Humi. : 40%
Period	June ~ September	December ~ March
Internal heat generation	Human : sensible 65 [W/person], latent 55 [W/person] Lighting : 20 [W/m <sup>2</sup> ] Appliance : 20 [W/m <sup>2</sup> ]	

\* Schedules of internal heat generation are set.<sup>(11)</sup>

Table 7 Analysis case

	ACH	Ventilation method	-
Case 1	0.5*	Ventilation only	C
Case 2-1	0.9**	Ventilation only	C
Case 2-2	0.9	Ventilation only	F
Case 2-3	0.9	Ventilation + air cleaning	C
Case 2-4	0.9	Ventilation + air cleaning	F
Case 3-1	1.0	Ventilation only	C
Case 3-2	1.0	Ventilation only	F
Case 4-1	1.4***	Ventilation only	C

C : constant airflow, F : feedback control

\* Present recommendatory airflow on apartment house.

\*\* Maximum airflow that air-pollutants were maintained under regulations by ventilation + air-cleaning + feedback control mode (simulation result).

\*\*\* Maximum airflow that air-pollutants were maintained under regulations by ventilation + consecutive control mode (simulation result).



3.2 시뮬레이션 결과

3.2.1 실내공기질 제어 특성

시뮬레이션 결과, 환기유닛 단독가동, 24시간 연속환기의 경우, 환기회수 1.4회/h 이상이 확보되어야 CO<sub>2</sub>와 HCHO가 제어되는 것으로 나타났다(Fig. 7(a)). 동일 운전조건에 대해 1.4회/h 미만의 환기회수에서는 CO<sub>2</sub>나 HCHO에 관한 기준치(CO<sub>2</sub>: 1,000 PPM, HCHO: 0.12 mg/m<sup>3</sup>(다중이용시설 등의 실내공기질 관리법))에 미치지 못하는 것으로 나타났다. 즉, Case 2-2, Case 3-2에서와 같이 운전모드를 feedback 제어로 설정하여도 실제적으로는 24시간 연속 운전모드로 작동한 결과를 초래하였다.

그러나, 환기유닛과 공기청정유닛을 병행하여 가동하는 경우, 24시간 연속환기방식의 환기회수 0.9회/h만으로도 두 가지 오염물질이 허용농도 이하로 제어되었으며, feedback 제어를 적용한 Case 2-4에서도 환기시스템이 off된 상태에서 허용농도를 다소 초과하는 시간도 발생하지만 전반적으로

제어 특성이 양호한 것으로 판단되었다(Fig. 7(b)).

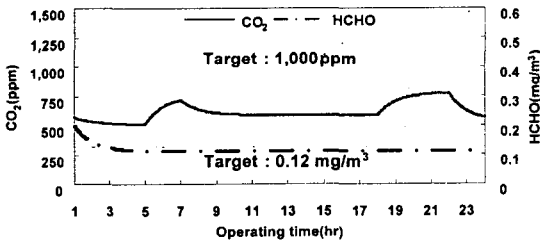
환기시스템의 공기청정유닛만을 가동한 Case 2-5, 2-6의 경우, HCHO를 허용농도 이하로 제어할 수 없는 것으로 나타났으며, 또한 24시간 연속운전모드와 feedback 제어모드의 차이가 나타나지 않았다.

3.2.2 냉·난방 부하 특성

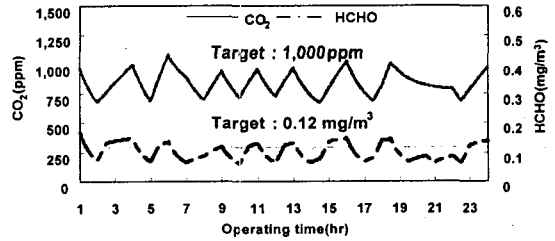
검토한 케이스 중에서 실내공기질을 제어기준을 만족한 Case 4-1과 Case 2-4에 대해 냉·난방 부하 특성을 비교하고자 하였다.

검토케이스는 Case 4-1(환기유닛 단독방식, 환기회수 1.4회/h, 24시간 연속운전)과 이에 전열교환을 실시한 경우, Case 2-4(환기유닛+공기청정유닛방식, 환기회수 0.9회, feedback 제어)에 전열교환을 실시한 경우 등 3가지 케이스이다.

냉·난방 부하 산정을 위해 설정된 실내외 조건은 3가지 케이스 모두 동일하기 때문에 Fig. 8에 나타난 각 Case별 부하량의 차이는 환기부하로 간주할 수 있다.



(a) 1.4 ACH constant air flow rate, ventilation only (Case 4-1)



(b) 0.9 ACH air flow rate, ventilation+air cleaning, feedback control (Case 4-1)

Fig. 7 IAQ control characteristics.

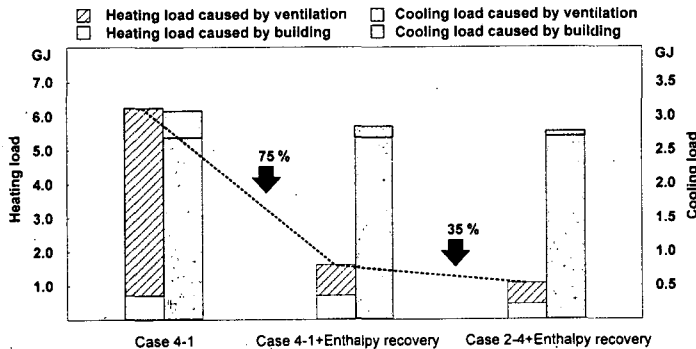


Fig. 8 Heating & cooling load.

시뮬레이션 결과, 환기시스템 가동조건에 따른 난방부하의 차이는 미미하다고 판단된다. 그러나, 난방부하의 경우, Case 4-1(환기유닛 단독방식, 환기회수 1.4회/hr, 24시간 연속운전)을 기준으로 전열교환을 실시한 경우, 약 75%의 난방부하의 감소효과가 있었으며, 환기유닛+공기청정유닛방식(환기회수 0.9회/h)/feedback 제어/전열교환을 실시한 Case 2-4의 경우, 전열교환을 하지 않은 Case 4-1에 대해 약 85%, Case 4-1+전열교환 대비 약 35%의 난방부하 감소효과를 얻을 수 있었다. 환기시스템과 더불어 공기청정기를 가동함으로써 실내공기 제어에 요구되는 환기량(외기도입량)을 줄일 수 있으며, 부하절감효과도 기대할 수 있을 것으로 사료된다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 비정상 동적 에너지 시뮬레이션 툴인 TRNSYS를 기반으로 하여 환기시스템의 각 운전모드별 실내공기질 제어 특성, 환기시스템 운전에 따른 냉·난방부하 변동을 연동하여 모사할 수 있는 환기시스템의 통합 성능평가 시뮬레이션 툴을 개발하였다.

환기시스템의 공기질 제어성능에 관한 현장측정 결과와 본 연구를 통해 개발된 환기시스템의 오염물질 제거 특성 모듈을 통해 예측된 결과와의 비교를 통해 개발된 시뮬레이션 모듈의 타당성을 검증하였다.

또한 환기방식별 실내공기질 제어 특성 및 냉·난방부하 특성을 동시에 검토할 수 있는 통합시뮬레이션 툴을 개발하였다.

향후, 실의 조건(온도, 습도)에 따른 오염물질 발생량의 변동과 건자재의 시공 년 수에 따른 오염물질 방출량의 시간감쇠 특성, 실간 공기이동, 오염물질의 실간 이동 등을 고려한 통합 시뮬레이션 툴을 개발하기 위한 연구를 진행할 예정이다.

#### 후 기

본 연구는 과학기술부 우수연구센터 육성사업의 지원으로 수행되었습니다(R11-2005-056-02004-0(2005)).

#### 참고문헌

1. Kong, S. H., 2000, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers, Vol. 29, No. 4, pp. 56-59.
2. Yoon, J. H., 2002, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers, Vol. 31, No. 4, pp. 7-11.
3. Kim, W. J., 2004, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers, Vol. 33, No. 1, pp. 22-27.
4. Lee, Y. K., 2004, The Magazine of the Society of Air-Conditioning and Refrigerating Engineers, Vol. 33, No. 6, pp. 24-31.
5. Architectural Institute of Japan, 2002, Plan Bible regard in Sick House Syndrome, Changuksa, pp. 122-123.
6. Andrew, K. P. and Elizabeth, M. I., 2001, Input data for multizone airflow and IAQ analysis, National Institute of Standards and Technology.
7. Ko, H. J., Song, D. S. and Cho, W. H., 2005, The Effects of Ventilation System on IAQ in an Apartment House, Proceedings of the SAREK 2005 Summer Annual Conference, pp. 848-854.
8. Kim, J. Y., Kim, E. S., Kim, T. Y. and Leigh, S. B., 2005, A prediction of IAQ based on distribution of indoor pollutant concentration, Proceedings of the SAREK 2005 Summer Annual Conference, pp. 97-102.
9. ASHRAE Standard 62-99, 1999, Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
10. TRNSYS reference manual, 2000, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin-Madison.
11. Cho, W. H., 2003, A Study on the Proposal of Ventilation System for Improving IAQ and Development of Simulation Tool to Evaluate its Performance, Sungkyunkwan University, Suwon, Korea.