

공동주택 침기의 불확실성 분석

현 세 훈*, 박 철 수*, 문 현 준**

*성균관대학교 건축공학과, **단국대학교 건축공학과

Infiltration in Residential Buildings under Uncertainty

Hyun, Se-Hoon*, Cheol-Soo Park*, Hyeun-Jun Moon**

**Department of Architectural Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, Kyonggi-do, Korea*

***Department of Architectural Engineering, DanKook University, Seoul, Korea*

Abstract: Quantification of infiltration rate is an important issue in HVAC system design. The infiltration in buildings depends on many uncertain parameters that vary with significant magnitude and hence, the results from standard deterministic simulation approach can be unreliable. The authors utilize uncertainty analysis in predicting the airflow rates. The paper presents relevant uncertain parameters such as meteorological data, building parameters (leakage areas of windows, doors, etc.), etc. Uncertainties of the aforementioned parameters are quantified based on available data from literature. Then, the Latin Hypercube Sampling (LHS) method was used for the uncertainty propagation. The LHS is one of the Monte Carlo simulation techniques that is suited for our needs. The CONTAMW was chosen to simulate infiltration phenomena in a residential apartment that is typical of residential buildings in Korea. It will be shown that the uncertainty propagating through this process is not negligible and may significantly influence the prediction of the airflow rates.

Key words: Uncertainty analysis(불확실성 분석), residential building(주거용 건물), Infiltration(침기), Natural Ventilation(자연환기), Mechanical Ventilation(기계환기), Uncertain parameters(불확실한 파라미터)

1. 서론

거주자는 환기 시스템 성능에 대해 많은 기대와 요구를 한다. 실내 공기질 향상, 낮은 초기 투자비와 유지관리비, 적은 에너지 소비, 소음과 드래프트의 최소화 등이 이에 해당한다. 2006년부터 적용되는 공동주택 및 다중이용시설의 환기설비기준 등에 의하면, 앞으로 적용될 환기시스템은 기계환기에 의존하게 될 실정인바, 거주자의 기대와 요구사항을 충족시키기에는 부족한 감

이 있으며, 이에 따라 기계환기와 함께 자연환기의 적극적인 활용이 필요하다.

기계환기와 자연환기를 병용하는 환기시스템에서 기계환기는 재실자(혹은 건물 관리자)에 의해 환기량의 제어가 가능하지만 자연환기의 경우는 바람과 온도차에 의해 수시로 변하므로, 정확한 환기량의 제어가 어렵다.

외기의 실내유입은 크게 침기(infiltration), 자연환기(natural ventilation), 기계환기(mechanical ventilation)로 구분되어질 수 있다. 침기는 건물

외파를 통한 의도되지 않은 외기의 유입이며, 환기는 외기의 인위적인 유입이다 (Stein et al 2006⁽¹⁾). 이 논문에서는 자연환기 및 기계환기 부분은 고려하지 않고 침기부분만을 다룬다. 자연환기의 정확한 분석을 위해 재실자의 스케줄 및 각종 창문 및 출입문의 개구상태에 대한 정보를 목동 아파트 100세대를 대상으로 설문 및 현장조사를 통해 구하였으며, 이를 이용한 자연환기의 불확실성에 대한 결과는 추후 발표할 예정이다.

일반적으로 침기는 기후요소, 지형요소, 공기유동경로, 건축물의 물리적 특성, 건축적 특성과 같은 다양한 파라미터에 의해 결정되며, 대부분의 경우, 각 파라미터 값들은 '결정적(deterministic)'이지 않고 '확률적(probabilistic)'이기 때문에 불확실성을 고려한 침기 분석이 필요하다. 환언하면, 파라미터의 범위 내에서 침기량 증가에 유리한 값을 입력한 경우와 불리한 값을 입력한 경우의 침기량은 차이가 크며, 정확한 침기 분석을 위해서는 파라미터들의 불확실성을 고려해야 한다.

따라서 본 연구의 목적은 공동주택에서 침기에 영향을 미치는 파라미터들을 파악하고, 그 파라미터들의 확률적 분포가 침기에 어떤 영향을 미치는지를 파악하는 것이다. 그리고, 침기에 대한 분석결과를 바탕으로, 자연환기 및 기계환기에 대한 불확실성 분석으로 그 범위를 추후 확대하고자 한다.

2. 불확실성 분석

아래의 Fig. 1(Wouters et al 2004⁽²⁾) 은 불확실성 분석을 간략하게 설명한다.

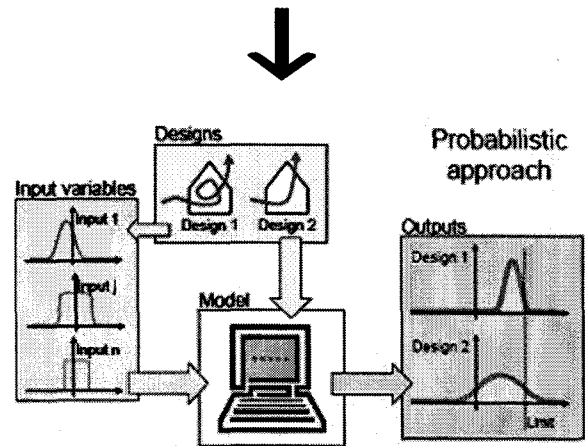
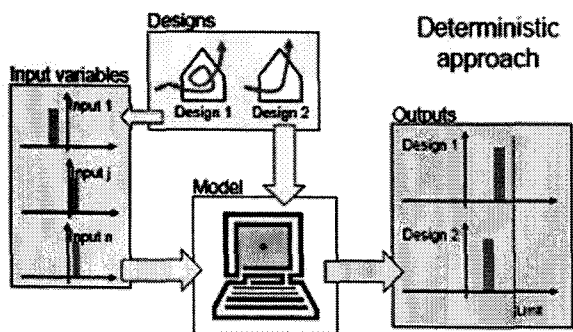


Fig. 1 The deterministic approach vs. the probabilistic approach

결정적 접근(deterministic approach)은 각 파라미터 별로 하나의 값을 선정하고, 시뮬레이션을 수행하는 경우이다. 각 파라미터의 값은 최빈값 또는 평균값을 사용한다.

Fig. 1에서 위쪽 그림은 에너지 소비를 평가하기 위하여 결정적 접근(deterministic approach) 방식을 사용하는 경우로, 각 파라미터의 단일값을 입력한 후, 그 결과를 비교한다. 에너지 소비를 최소화 시키는 설계 대안이 최고의 대안이라 한다면, 위 그림에서는 Design 2가 Design 1보다 좋다고 할 수 있다 (그리고 Design 1, 2 모두 에너지 범규상에서 제한하는 값(limit으로 표시된 부분)을 넘지 않는다.)

하지만 실제의 경우, 각 파라미터의 값들은 '불확실'(uncertain)하다. 그리고, 불확실한 여러 파라미터의 조합을 이용한 시뮬레이션이나 계산 결과는 결정적(deterministic)인 것이 아니라, 확률적(probabilistic)이 된다. 따라서, 불확실한 각 파라미터 값을 변화시키면서, 시뮬레이션(또는 계산)을 수행하면, 그 결과는 확률적 분포를 이루고, 설계 대안을 좀 더 객관적으로 평가하는데 유용하다. Fig. 1의 하단부는 확률적 접근 방법(probabilistic approach)을 보여 준다. Design 1과 Design 2의 설계대안을 비교함에 있어 상한(Fig.1의 limit으로 표시된 부분)을 넘지 않을 확률을 기준으로 평가하면, Design 1이 Design 2보다 우수하다 할 수 있다.

Fig. 1의 하단에서는 Design 1의 평균값이

Design 2의 평균값보다 높게 나왔지만, 어떤 경우에 있어서는 그 반대일 수도 있다. 결론적으로 Fig. 1은 시뮬레이션 파라미터들이 불확실한 경우 또는 파라미터의 변동범위가 큰 경우, '결정적 접근'보다는 '확률적 접근'이 유용함을 보여준다.

3. 침기 시뮬레이션

3.1 대상건물과 시뮬레이션 툴

본 연구에서 분석 대상으로 서울에 위치한 15층 철근 콘크리트조 공동주택을 선정하였다. 실내 온도는 23℃로 유지되며, 제실자는 없는 것으로 가정하였고, 모든 창문과 문은 닫힌 상태로 가정하였다.

침기를 해석하기 위한 도구로 CONTAMW 2.4를 이용하였다. CONTAMW는 네트워크 모델을 사용하여, 건물 존과 외부 사이 그리고 존과 존 사이의 상대적 압력과 공기유동을 계산한다. CONTAMW 시뮬레이션 모델 내에서 공기 유동 경로는 창호, 현관문, 내부 출입문, 욕실 및 배기 수직 샤프트, 옥상 배기팬, 계단실, 엘리베이터실 등이며, 엘리베이터와 계단실을 통한 공기의 층간 이동이 가능하도록 하였다. 그리고 수직적 높이에 따른 압력 변화는 CONTAMW 시뮬레이션 수행 시 자동으로 계산된다.

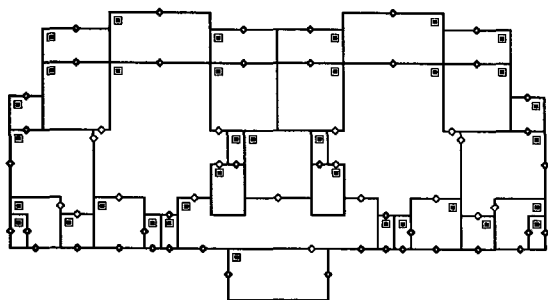


Fig. 2 CONTAMW 화면

3.2 불확실한 시뮬레이션 파라미터 (Uncertain Parameters)

침기에 영향을 주는 '불확실'한 파라미터들은 문헌에 근거하여 표 1과 같이 선정하였다(김영돈 2002⁽³⁾; 이윤구 1997⁽⁴⁾; Moon, H. J. 2005⁽⁵⁾; 2005 ASHRAE 2005⁽⁶⁾; CONTAM 2.4 2005

⁽⁷⁾). 선정된 14개의 파라미터들은 Base 값/최소 값/최대값으로 구분되었다(Table 1). Base 값은 확률적으로 빈도수가 가장 높은 값이다. 14개의 파라미터를 제외한 다른 변수들은 문헌 자료와 기상데이터를 바탕으로 구하였다.

Table 1 Uncertain parameters and their minimum, maximum and base values

Parameters	Min	Base	Max	참고문헌
Flow exponent	0.6	0.65	0.7	(7)
차출계수(Cd 값, Discharge coefficient)	0.6	0.675	0.75	(3), (5)
Cp 값	0	0.5	1	(5)
Wind velocity profile exponent	0.33	0.33	0.4	(7)
Local terrain constant	0.28	0.28	0.40	(7)
풍속(m/s)	0	2.5	8.6	(8)
외기온(℃)	-12.1	13	30.1	(8)
침실문 누기면적(cm^2/EA)	12.45	37.8	54.5	(4), (10)
욕실문 누기면적(cm^2/EA)	12.6	23.2	55	(4), (10)
현관문 누기면적(cm^2/EA)	24	41.8	248.6	(4)
샤프트 면적비	0.5	1	1.5	(10)
발코니창 누기면적(cm^2/m^2)	1.9	4.3	9	(9),(10)
발코니 외 외부창 누기면적(cm^2/m^2)	1.9	4.3	9	(9),(10)
옥상팬 누기면적(cm^2/EA)	34	600	785	(3)

3.3 몬테카를로법(Monte Carlo Method)

14개의 불확실한 파라미터들에 대해 3수준으로 시뮬레이션하는 경우, 3^{14} 횟수의 시뮬레이션이 필요하다. 본 연구에서는 시뮬레이션 횟수를 줄이기 위해, LHS(Latin Hypercube Sampling) 방법을 사용하였다. LHS 방법은 Monte Carlo 기법

중의 하나(Wyss and Jorgensen 1988⁽¹¹⁾)로 층화 표출(層化標出, stratified sampling¹⁾)에 의한 방법이다. 시물레이션 Case 수는, 최소 요구 값 ($4k/3=24^{11}$, k는 파라미터의 수) 보다 많은 30 회로 선정되었다. LHS 방법을 이용한 시물레이션 Case는 MATLAB 7.0의 Statistics Toolbox 를 사용하여 구하였다.

4. 시물레이션 결과

Fig. 3은 저층부(1층), 중층부(8층), 고층부(15층)로 구분하여 30회 시물레이션한 결과이며, Table 2는 층별 평균, 최소, 최대 환기횟수이다.

Table 2에서 보는 바와 같이, 1층의 경우, 평균 환기횟수는 0.377로서 고층부(15층)에 비해 높게 나온 이유는 연돌효과와 풍압에 의한 효과가 겹쳐져서 저층부에서 침기량이 증가하였고, 고층부에서는 실내의 압력차가 줄어들었기 때문이다²⁾.

Table 2 층별 침기량 분석 (침기에 의한 환기횟수 : ACH)

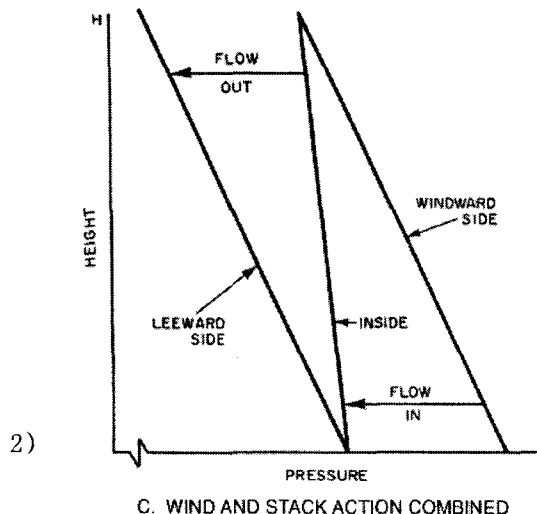
층수	평균값	최소값	최대값	표준편차
1층	0.377	0.006	0.977	0.2928
8층	0.188	0.002	0.492	0.1450
15층	0.049	0.005	0.159	0.0401

1층의 경우, 최대-최소의 차이가 0.971 (=0.977-0.006)회까지 되어, 불확실한 파라미터의 선택에 따라 침기량 산정에 큰 차이가 남을 알 수 있었다. 마찬가지로, 8층과 15층의 경우도 불확실한 파라미터의 변동이 침기량 예측에 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

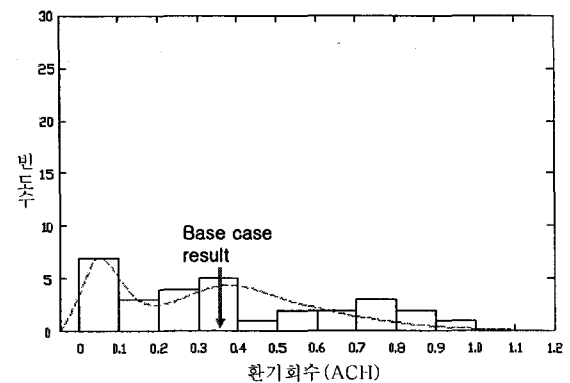
Fig. 3에서 보는 바와 같이, 1층의 경우는 침기량에 의한 환기횟수가 편만한 분포를 보이는 반면, 8층, 15층의 경우는 분포의 범위가 좁고, 정규분포에 가까운 모습을 보인다. 그리고, 1, 8, 15층 모두 Base case 결과가 평균값과 비슷함을 알 수 있다.

Fig. 3(a), (b)에서 보는 바와 같이, 1, 8층은 평균값(또는 Base Case result)과 최대값의 차이가 상당함을 알 수 있다.

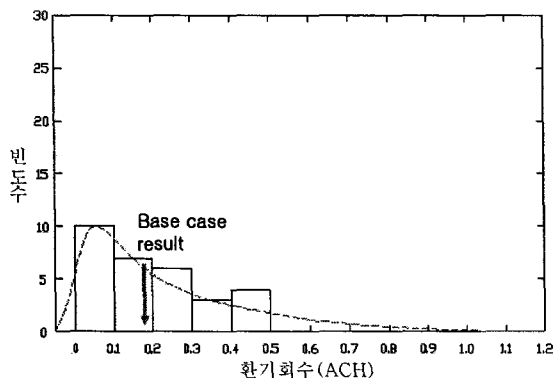
1) 모집단을 성격에 따라 여러 계층으로 분류한 다음, 각 층에서 표본을 추출하는 방법이다. 예를 들어 모집단을 연령별·성별·지역별 등으로 구분한 뒤 각 연령층 등에서 무작위로 표출을 한다. 이 가운데 표본크기를 정할 때 모집단의 구성비율을 고려하는 경우를 비례적 층화표출이라 한다.⁽¹³⁾



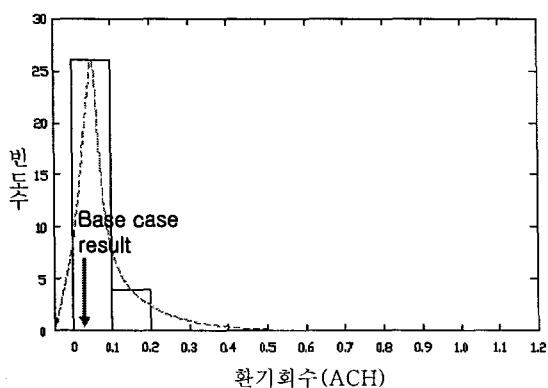
(ASHRAE 2005)⁽⁶⁾



(a) 1층



(b) 8층



(c) 15층

Fig. 3 침기에 의한 환기회수 분포

5. 결론

본 연구에서 공동주택의 침기에 영향을 미치는 파라미터를 선정하고, 파라미터의 불확실성이 침기에 미치는 영향을 시뮬레이션을 통해 분석하였다.

문헌을 통해, 먼저 불확실한 파라미터와 각 파라미터들이 취할 수 있는 범위를 구하고, 몬테카를로 방법을 통해 시뮬레이션 회수를 줄인 후, 침기량의 확률적 분포를 보여주었다. 결과로서, 불확실한 파라미터들이 시뮬레이션 입력변수로 사용될 때, 시뮬레이션 결과에 많은 영향을 미침을 알 수 있었다.

이 연구는 공동주택의 침기에만 국한된 점이 있으나, 향후, 이 연구에서 제시한 방법과 결과는 자연환기 및 기계환기 시스템의 불확실성을 분석하는데 사용될 예정이다.

후 기

본 논문은 건설교통부 2005년도 건설핵심기술 연구개발사업(과제번호: C105A1050001-05A0505-0000)에 의한 연구 결과의 일부이다. 본 연구를 수행하는 과정에서 시뮬레이션 수행에 참여하여 수고한 성균관대학교 건축공학과 윤성환, 유재준 학생에게 감사드린다.

참고문헌

1. B Stein et al (2006), Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 10th Ed. John Wiley & Sons, Inc.
2. P. Wouters, N. Heijmans, X. Loncour, 2004, Outline for a general framework for the assessment of innovative ventilation systems, RESHYVENT-WP4-D4.4, P.32
3. 김영돈, 2004. 02, 고층 주거용 건물의 적정 배기 시스템 계획에 관한 연구, 서울대학교 박사학위논문
4. 이윤규, 1997. 12, 空氣流動 解析에 의한 共同住宅 換氣性能 豫測모델에 關한 研究, 연세대학교 박사학위논문, pp. 56-58, 115
5. Moon, H.J. 2005. Assessing mold Risks in Buildings under Uncertainty. College of Architecture. Georgia Institute of Technology, Thesis. Atlanta
6. ASHRAE 2005. ASHRAE Handbook Fundamentals(SI): Venvilation and Infiltration, Atlanta, USA,
7. NIST 2005. 12. CONTAM 2.4 User Guide and Program Doumentation. U.S. Department of Commerce
8. 기상청, 기후정보(<http://www.kma.go.kr/>), 통계자료, Korea Meteorological Administration
9. KS F 2292-88: 창호 기밀성 시험 방법
10. ASHRAE 2001. ASHRAE Fundamentals Handbook (SI): Venvilation and Infiltration, Atlanta, USA, p. 26.15
11. Wyss, G. D., Gorgensen, K. H. 1998. A User's Guide to LHS: Sandia's Latin Hypercube Sampling Software, Albuquerque, NM, Sandia National Laboratories

12. European Commission-IPSC. 2004. SimLab
2.2 Reference Manual
13. 이종수, 2000, 행정학사전, 대영문화사