

환기량의 주거건물 냉난방에너지 소비에 대한 영향 : 미국 한랭기후 및 고온다습기후의 단독주택을 중심으로

문진우[†]

국립한밭대학교 건축설비공학과

Ventilation Rate Impact on Heating and Cooling Energy Consumption in Residential Buildings : Concentrated on a Detached House in Cold and Hot/Humid Climatic Zones of USA

Jin Woo Moon[†]

Department of Building Services Engineering, Hanbat National University, Daejeon 305-719

(Received August 15, 2011; revision received October 12, 2011)

ABSTRACT: The purpose of this study was to quantify the impact of the ventilation rate on heating and cooling energy consumption in a detached house. For it, a series of simulations for the application of the diverse ventilation rate (ACH) were computationally conducted for a prototypical detached residential building in the cold climate (Detroit, Michigan) and hot/humid climate (Miami, Florida) of USA. Analysis revealed that ventilation is a significant heat losing source in the cold climate; thus, the higher ventilation rate significantly increases the heating energy consumption and energy cost in the cold climate; while the impact on energy increase for heating and cooling energy consumption is similar in hot/humid climate with less significance compared to cold climate. The research outcome of this study could be a fundamental data for determining the optimal ventilation rate in terms of indoor air quality, but also building energy performance well.

Key words: Ventilation rate(환기량), Heating and cooling energy consumption(냉난방에너지 소비), Economic analysis(경제성 분석)

1. 서론

1970년대 이후 사회적 문제로 대두된 빌딩증후군(Sick Building Syndrome)은 악화된 실내 공기에 의해 재실자의 거주 환경에 부정적 영향을 일으키는 현상이다. 이에 대한 원인은 에너지 효율을 높이기 위해 밀실하게 지어지는 건물에 의한 필요 환기량의 부족, 석유 화학 제품에 근간한 건축 자재의 사용에 따

른 유해한 가스의 실내 방출, 생활용품으로부터 발산되는 오염 화학 물질의 증가, 그리고 도시화에 따른 실내 도입 공기 자체의 질 악화 등으로 정리할 수 있다. 이러한 현상이 재실자들에게 미치는 영향은 알레르기 천식 및 폐 기능 저하 등 호흡기 장애, 두통, 피로감, 건망증, 수면장애, 면역력저하, 점막 자극, 발암 등 다양한 부정적 결과로 나타나고 있다.⁽¹⁾

실내공기질의 유지 및 향상을 위한 효과적인 방법 중 하나는 적정한 양의 신선한 외부 공기 도입을 통한 실내 오염원을 배출하는 것이다. 이를 위해 미국 공조냉동공학회(ASHRAE : American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning En-

[†] Corresponding author

Tel.: +82-42-821-1183; fax: +82-42-821-1175

E-mail address: gilerbert73@gmail.com

gineers)는 실내 공기질 확보를 위한 최소 환기량 가이드라인을 발표하였으며,⁽²⁾ Bradshaw 등은 건물의 밀실 정도를 판단하기 위한 척도(tight : 0.5~1, moderate : 1~2, loose : 2~3)를 제시하였다.⁽³⁾ 국내의 경우도 실내 공기질 실태,^(4, 5) 적정 환기량 산정 및 효과,⁽⁶⁻⁸⁾ 환기량 조절법^(9, 10) 등에 관한 다양한 연구가 진행되었다. 특히, Walker and Sherman은 컴퓨터 시뮬레이션 방법을 이용하여 ASHRAE Standard 62.2에서 제시하는 환기량을 만족하는 미국의 주거건물에 대한 에너지 성능평가를 실시하였다. 이를 위해 미국내 6가지의 기후대(Houston, Phoenix, Charlotte, Kansas City, Seattle, and Minneapolis)에 위치한 소형(Small), 중형(Medium), 그리고 대형(Large) 건물을 모델링한 후 기계식환기를 실시하지 않은 건물(Standard House : no whole-house mechanical ventilation)을 기준으로 6가지 환기전략에 대한 테스트를 실시한 후 에너지 소모량을 계산하여 각 전략의 에너지 성능을 비교, 분석하였다.⁽¹¹⁾

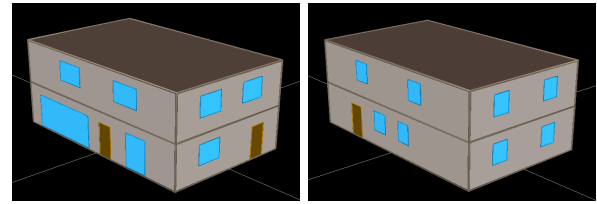
상기된 연구들은 적정 환기량을 실내 공기질 확보를 위한 측면에서 제시하거나, ASHRAE에서 제시한 환기기준을 만족시키는 각종 환기전략들에 대한 에너지 성능을 분석하는 것을 목적으로 하였다. 공기질 측면에선 가능한 많은 양의 신선한 외기를 도입하여 실내 오염 물질을 제거하는 것이 유리하다 할 수 있다. 하지만, 에너지 효율면에선 증가된 환기량은 냉난방 부하, 설비 규모 및 에너지 사용량을 증가시킬 수 있는 가능성이 존재한다. 그러므로 본 연구는 환기량과 에너지 소모량간의 보다 근원적인 관계 분석을 통하여, 향후 주거공간에서의 에너지 측면을 고려한 적정 환기량 산정에 있어 유용한 기초자료로 사용될 수 있도록 하는 것을 목적으로 한다. 이를 위해 다음과 같은 분석을 진행하였다.

- (1) 환기의 전체 건물 열 취득 및 손실량에 대한 영향
- (2) 환기량에 따른 냉난방 에너지량 및 경제성

특히, 위 사항들에 대한 분석은 한랭 및 고온다습 기후에 대하여 진행되었다.

2. 연구방법

변화되는 환기량의 냉난방 에너지 소모에 대한 영향 평가 테스트를 위해 Fig. 1, Fig. 2에 나타난 대상건물을 선정하였으며, 이는 2층 단독주택으로 미



South-east exteriors North-west exteriors

Fig. 1 Views of a test building.

Table 1 Features of a test building

Region and climate	Region	Cold climate : Detroit, Michigan, USA	
		Hot-humid climate : Miami, Florida, USA	
	Weather data	TMY2 for each climate	
	Area(m ²)	185	
	Floor to ceiling height(m)	2.42	
Building Design	Spatial components (%)	Residential	85
		Storage	8
		Laundry	7
Envelope	Insulation (°K*m ² /W)	Walls	3.3
		Roof	6.7
		Floor	3.7
		Windows	0.6
		Doors	0.2
		Window Wall Ratio	0.15 on average without shading devices (0.24 for South, 0.08 for North, 0.14 for East, 0.13 for West)
	Infiltration (cfm)	89	
Internal Loads	People	Sensible heat : 291.2 Watt Latent heat : 234.4 Watt (Hourly weighted gains for a family of four people(13, 14))	
		Lighting	5.38 W/m ² for living area
			12.8 W/m ² for storage 13.8 W/m ² for laundry
Appliances	3.2 W/m ² for living area 1.6 W/m ² for laundry		
	System Applied	Heating	Hot water coils (heat input ratio : 1.25, energy type : natural gas, setpoint temperature 20°C)
Cooling		DX coils (COP : 2.86, energy type : electricity, setpoint temperature : 23.6°C)	

Table 2 Climate conditions of test locations

	Detroit, Michigan, USA	Miami, Florida, USA	Seoul, Korea
Latitude(°)	42.23N	25.82N	37.55N
Longitude(°)	83.3W	80.28W	126.8E
Annual average temperature(°C)	9.2	24.4	12.2
Annual precipitation(mm)	828.0	1,419.9	1,344.3
Design temperature for heating-99%(°C)	-15.1	9.8	-12.1
Design temperature for cooling-1%(°C)	31.0	32.0	30.1
Heating degree day(°C*Day)	3,649	200	2,500~2,700
Cooling degree day(°C*Day)	626	4,198	600~800

국의 전형적인 형태를 일반화하였다.⁽¹²⁾ 지역 및 기후, 건물 디자인과 외피, 실내부하 및 적용된 시스템에 대한 자세한 정보는 Table 1에 정리되어 있다. 특히, 두 지역 기후(한랭 : 디트로이트, 미시건, 미국과 고온/다습 : 마이애미, 플로리다, 미국)에 대하여 테스트를 실시하였으며, 각 지역과 서울의 기후 조건이 Table 2에 정리되어있다.⁽¹⁵⁻¹⁸⁾ 서울의 경우 한랭기후지역인 디트로이트와 비슷한 조건을 나타내고 있으므로, 이 지역 시뮬레이션 결과를 바탕으로 추후 서울 지역에 j의 냉난방에너지 소비에 대한 환기량의 영향을 간접 유추할 수 있을 것으로 예상된다. 침기량(Infiltration), 조명 및 기기부하(Lighting and Appliance), 적용된 냉난방 시스템은 시뮬레이션 소프트웨어에서 제안하는 기본형을 도입하였다. 테스트 방법은 컴퓨터 시뮬레이션법을 이용하였다. 이를 위해 eQUEST¹⁾ 소프트웨어를 사용하였으며, 이를 통해 다양한 환기량에 의한 건물 열 취득/손실 요소, 에너지 사용량 등의 결과값을 도출할 수 있었다.⁽¹⁹⁾ 시뮬레이션을 위한 변수는 변화된 환기량으로써 0.1, 0.2, 0.3, 0.35(기본형), 0.4, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0, 4.0, 5.0 ACH(Air Changes Per Hour : 시간당 환기 횟수)에 대하여 실시하였다. 0.35 ACH의 경우를 기

1) eQUEST 소프트웨어는 미에너지국(Department of Engineering, USA)에서 개발한 DOE 시뮬레이션 소프트웨어에 근간한 방법으로 최근 건물 에너지 분석을 위한 연구에 적극적으로 사용되고 있다.

본형으로 채택함은 미국공조냉동공학회의 실내 공기질 확보를 위한 최소 환기량 가이드라인에 근거하였다.⁽²⁾

3. 결과 분석

3.1 건물 열취득 및 손실 요소

기본형에 대한 대상건물의 열 취득 및 손실 요소가 Fig. 2~Fig. 5에 나타나 있다. 한랭기후의 경우 연간 취득 및 손실량은 각각 29,415.3 KWh와 -24,518.0 KWh로 계산되었으며, 취득 및 손실 요소들 중 가장 중요한 요소는 각각 태양열취득(Solar Heat Gain : 전체의 42.5%, 12,501.5 KWh)과 외피열전달(Envelope Heat Transfer : 전체의 81.7%, -20,036.1 KWh)였다. 환기 및 침기(Ventilation/Infiltration)는 열 취득의 2.5%(735.4 KWh)와 손실의 18.3%(-4,486.6 KWh)를 차지하였다. 즉 환기 및 침기의 경우 열 손실에 대하여 보다 중요한 부분을 차지하며, 이를 바탕으로 환기량의 적절한 조절을 통하여 건물 난방 에너지 효율을 증가시킬 수 있을 것으로 기대된다.

고온다습기후의 경우 연간 열 취득(40,273.2 KWh)은 한랭기후에 비해 현저히 증가되었으며, 손실량(-2,567.6 KWh)은 감소되었다. 이는 온화한 외기에 기인한 것으로 판단된다. 가장 중요한 요소는 역시 각각 태양열취득(전체의 34.2%, 13,777.4 KWh)과 외피열전달(전체의 81.2%, -2,084.1 KWh)로 나타났으며, 환기 및 침기는 각각 11.4%와 18.8%로써 한랭기후에 비해 높은 비율을 나타내었으나, 그 양의 경우 각각 4,591.1 KWh와 -482.6 KWh로써 열 취득의 경우 증가한 반면 손실의 경우 감소하였다. 한랭기후와 고온다습기후의 열 취득 및 손실 요소

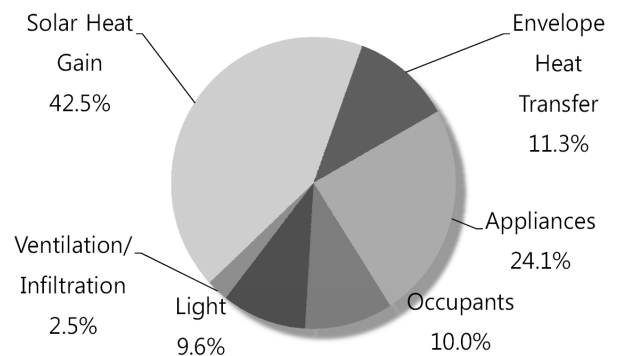


Fig. 2 Heat gain components in cold climate (Detroit, Michigan, USA).

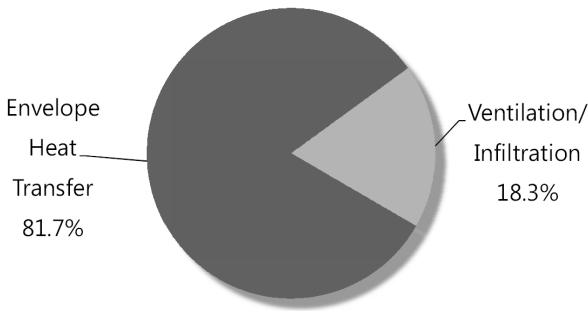


Fig. 3 Heat loss components in cold climate (Detroit, Michigan, USA).

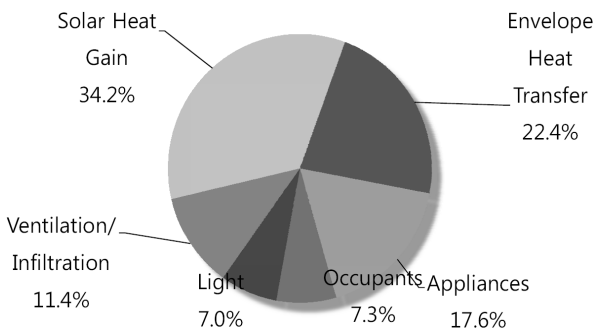


Fig. 4 Heat gain components in hot/humid climate (Miami, Florida, USA).

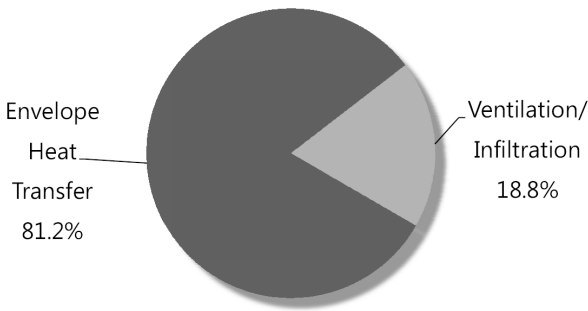


Fig. 5 Heat loss components in hot/humid climate (Miami, Florida, USA).

의 비교를 바탕으로 적절한 환기량 조절을 통해 한랭기후에서의 난방 에너지와 고온다습기후에서의 냉방에너지를 효과적으로 감소시킬 가능성이 존재함을 알 수 있다.

3.2 건물 에너지 분석

환기량 변화에 따른 냉난방 설비에 의한 연간 에너지 소모량이 Fig. 6, Fig. 7에 나타나 있다. 한랭기후의 경우 기본형(0.35ACH)의 환기량에서 난방에너지(27.4 MWh)가 냉방에너지(2.2 MWh)보다 큰 값

을 나타냈으며, 이는 기후적 특성에 기인한다. 난방 에너지는 환기량의 증가에 따라 예민하게 선형의 형태로 증가(0.0 ACH에서 21.6 MWh, 5.0 ACH에서 106.9 MWh)하여 0.1 ACH 증가에 따라 평균 6.2% (1.7 MWh)가 늘어났다. 냉방에너지는 1.0 ACH까지는 변화가 미비한 반면 2.0 ACH 이상에서 증가하기 시작하나 난방에너지의 경우와는 다르게 완만한 기울기를 가진다. 그 양은 0.0 ACH에서 2.2 MWh, 2.0 ACH에서 2.4 MWh, 5.0 ACH에서 4.2 MWh를 가지며, 1.0 ACH와 5.0 ACH 사이에서 0.1 ACH 증가 시 2.4%(52.0 KWh)의 냉방에너지가 늘어난 것으로 나타났다. 이를 통해 한랭기후에선 환기량 증가가 난방에너지 증가에 보다 직접적으로 영향을 미치고 있음이 밝혀졌으며, 이는 건물 열 취득 및 손실 요소에서의 분석 결과와 일치한다.

고온다습기후 경우 0.35 ACH의 기본형일 때 냉방에너지(11.1 MWh) 소모가 난방에너지(0.9 MWh) 소모에 비해 현저한 것으로 나타났다. 난방에너지는 환기량이 증가함에 따라 선형(0.0 ACH일 때 0.5 MWh, 5.0 ACH일 때 6.8 MWh)으로 증가하였으며, 이는 매 0.1 ACH 증가에 따라 14.3%가 늘어난 값이다. 이 기울기는 한랭기후의 것보다 약 두 배 이상 늘어난 것이지만 그 양은 125.5 KWh로 약 1/13~14 정도이다. 냉방에너지의 경우 환기량 증가에 따라 안정적으로 증가하여 0.0 ACH일 때 10.8 MWh,

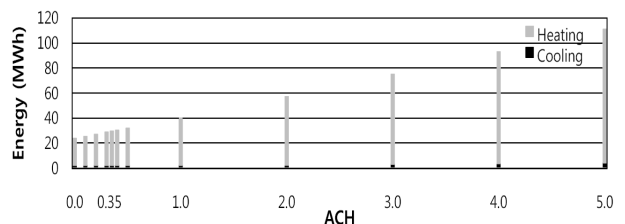


Fig. 6 Annual Heating and Cooling Energy Consumption of cold climate (Detroit, Michigan, USA).

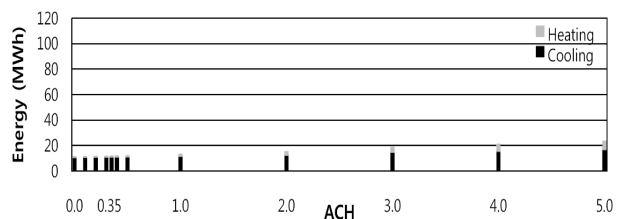


Fig. 7 Annual Heating and Cooling Energy Consumption of cold climate (Miami, Florida, USA).

Table 3 Annual energy cost(\$) for diverse ventilating ratio

ACH	Cold climate (Detroit, Michigan, USA)			Hot-humid climate (Miami, Florida, USA)		
	Heating cost (\$)	Cooling cost (\$)	Total Cost (\$)	Heating cost (\$)	Cooling cost (\$)	Total Cost (\$)
0.0	2,202.4	222.8	2,425.2	54.0	1,092.8	1,146.8
0.1	2,366.7	221.3	2,588.0	63.5	1,103.2	1,166.7
0.2	2,532.3	220.0	2,752.3	74.0	1,112.4	1,186.4
0.3	2,716.4	223.2	2,939.6	83.8	1,121.5	1,205.3
0.35	2,790.2	222.7	3,012.9	89.0	1,126.4	1,215.4
0.4	2,865.2	222.0	3,087.2	94.6	1,131.6	1,226.2
0.5	3,032.0	221.0	3,253.0	105.6	1,140.8	1,246.4
1.0	3,866.9	215.9	4,082.8	163.2	1,187.4	1,350.6
2.0	5,582.8	239.0	5,821.8	282.5	1,276.6	1,559.1
3.0	7,355.6	314.0	7,669.6	422.4	1,495.7	1,918.1
4.0	9,103.7	362.7	9,466.4	556.9	1,595.0	2,151.9
5.0	10,882.2	426.6	11,308.8	692.7	1,716.7	2,409.4

5.0 ACH일때 16.9 MWh의 값을 나타내며, 이는 0.1 ACH 증가에 따라 1.1%(123.1 KWh)의 증가 수치를 의미한다. 증가량은 한랭기후보다 약 두 배 이상 늘어난 것으로 분석되었다. 즉, 고온다습기후에서의 환기량 증가는 냉방에너지 증가에 현저한 영향을 미치며, 그 결과 난방에너지 및 냉방에너지의 증가량이 비슷한 수준에 이르게 됨이 밝혀졌다.

3.3 경제성 분석

환기량에 변화에 따른 냉난방에너지 사용료를 계산하기 위해, 연구 진행 당시의 경제적 가치를 적용하였다. 즉, 천연가스의 경우 0.03 \$/ccf²⁾, 그리고 전기의 경우 0.1014 \$/KWh를 사용하였다.^(20, 21)

한랭기후에선 기본형의 경우 연간 \$3,012.9의 냉난방에너지 비용이 필요했으며, 이 중 \$2,790.2와 \$222.7가 각각 냉난방을 위해 사용되었다(Table 3). 이 값은 냉난방 제어법에 설정온도의 셋백(setback)법을 적용하지 않은 결과이므로, 실제 건물에서 건물 내 재실자의 부재 시 혹은 밤 시간에 셋백법을 적용시키면 그 비용이 줄어들 것으로 예상된다. 환기량 증가에 따른 에너지 비용 증가는 난방 비용이 현저히 증가하였으며, 이는 0.1 ACH 증가 시 연간 \$177.7이 더 사용되었다. 반면, 냉방의 경우는 \$4.1

에 지나지 않았다.

고온다습기후 기본형의 경우 연간 \$1,215.4의 냉난방에너지 비용이 사용되었으며, 이 중 대부분은 냉방(\$1,126.4)으로 사용되었다. 연간 에너지 비용은 한랭기후 지역에 비해 현저히 감소된 값을 보이며, 이는 난방 에너지 감소의 영향이 크음을 알 수 있다. 0.1 ACH 환기량의 증가에 따라 전체 냉난방에너지 비용은 \$25.3 증가하였으며, 난방 및 냉방 비용 증가는 각각 \$12.8, \$12.5인 것으로 분석되었다.

4. 결론

본 연구는 환기량 변화가 주거건물 냉난방 설비의 에너지 소모량에 미치는 영향을 분석하며, 이를 통해 에너지 측면을 고려한 적정 환기량 산정을 위한 기초자료로 사용될 수 있음에 그 목적이 이었다. 이를 위해 다양한 수준의 환기량에 대한 에너지 성능을 컴퓨터 시뮬레이션법을 이용하여 분석하였다. 분석을 통해 밝혀진 사실은 다음과 같다.

(1) 한랭기후와 고온다습기후에서의 건물 열 취득 및 손실 분석 결과, 환기 및 침기는 한랭기후의 열 손실 및 고온다습기후의 열 취득에 있어 중요한 요소임이 밝혀졌다.

(2) 냉난방 설비의 에너지 사용량 분석을 통해 환기량의 증가는 한랭기후에서의 난방에너지 증가에 보다 직접적으로 영향을 미치고 있음이 밝혀졌으며, 고온다습기후의 경우 냉방에너지 증가에 현저한 영향을 끼쳐 난방에너지 및 냉방에너지의 증가량이 비슷한 것으로 나타났다.

(3) 한랭기후에선 환기량 증가에 따라 난방 에너지 비용이 현저히 증가한 반면 고온다습기후의 경우에는 비슷한 증가량을 나타내었다. 특히, 고온다습기후의 연간 냉난방 에너지 비용은 한랭기후 지역의 비용에 비해 현격히 작은 값을 나타내었는데, 이는 현저히 감소된 난방 에너지 사용에 의한 것으로 분석되었다.

결론적으로 환기량의 증가는 한랭지역의 난방에너지, 고온다습기후지역의 냉방에너지 증가에 중요한 영향을 미치며, 이러한 본 연구 결과를 바탕으로 추후 적정 환기량 산정 시 실내 공기 질 뿐 아니라 에너지 측면을 고려한 종합적 접근이 필요할 것으로 사료된다. 또한, 환기량 증가에 따른 실내환경의 질 향상, 재실자의 건강 및 생산성, 그리고 에너지 효율성 등을 복합적으로 고려한 심도 있는 추후 연구가 필요할 것으로 예상된다.

2) ccf : 100 ft³으로 미국에서 천연가스의 양을 나타내는 단위법

후 기

이 논문은 2011년 교육과학기술부(지역거점연구단육성사업/바이오하우징연구사업단) 및 바이오하우징연구소의 지원을 받아 수행된 연구임.

이 논문은 2011년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 기초연구사업 지원을 받아 수행된 것임(2011-0010519).

참고문헌

- U. S. Environmental Protection Agency, 2010, Indoor Air Facts No. 4 (revised) Sick Building Syndrome, Available from : <http://www.epa.gov/iaq/pubs/sbs.html>.
- ASHRAE, 1989, Ventilation for Indoor Air Quality, (ANSI/ASHRAE Standard 62-89), Atlanta, GA : American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.
- Bradshaw, V., 1993, Building Control Systems, 2nd edition, John Wiley and Sons, Inc., New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore.
- Ryu, Y. H., Nam, J. Y., and Lee, K. H., 2004, Measurement Indoor Air Quality of Apartment Housing and Estimation Indoor Air Quality by Air Flow and Materials, Proceeding of Spring Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol. 24, pp. 577-580.
- Chang, H. J., 2010, A Study on the Recommended Ventilation Rates in Bed Rooms and Air Exchange Rates between Rooms, Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea, Vol. 12, pp. 229-236.
- Kim, Y. D. and Lee, K. H., 2006, A Study on the Required Ventilation Rate of the Residential Building, in the Respect of Ventilation Method and TVOC Emission Rate, Journal of the Architectural Institute of Korea, Vol. 22, pp. 279-287.
- Kim, T. J., Yoon, C. H., and Park, J. S., 2007, Effects of Outdoor Air Supply Rate and Exposure Time on Performance and Productivity, Proceeding of Spring Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol. 27, pp. 841-844.
- Choi, S. Y., Kim, S. H., and Yee, 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, pp. 649-655.
- Kim, J. H., Kwon, O. H., Cho, H., Kim, K. W., Kim, H. B., and Jeong, J. W., 2009, The Use of Demand Controlled Ventilation in Apartment Houses, Proceeding of Spring Annual Conference of the Architectural Institute of Korea, Vol. 29, pp. 713-716.
- Kim, J. H., Kim, M. H., Kwon, O. H., Seok, Y. J., and Jeong, J. W., 2009, Application of Demand Controlled Ventilation(DCV) in Multi-family Houses Meeting the Current Korean Ventilation Standards, Journal of the Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 3, pp. 192-200.
- Walker, I. S., Sherman, M. H., 2008, Energy Implications of Meeting ASHRAE Standard 62.2, ASHRAE Transaction, Vol. 114, pp. 505-516.
- U. S. Census Bureau, 2006, American Housing Survey for the United States 2005, Available from : <http://www.census.gov/hhes/www/housing/ahs/ahs.html>.
- ASHRAE, 2004, Energy-Efficient Design of Low-Rise Residential Buildings(ANSI/ASHRAE Standard 90.2-2004), Atlanta, GA : American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.
- McArthur, H. and Spalding, D., 2004, Engineering Materials Science : Properties, Uses, Degradation and Remediation, Horwood Publishing.
- ASHRAE, 1997, ASHRAE HANDBOOK FUNDAMENTALS, Atlanta, GA : American Society of Heating, Refrigerating, and Air Conditioning Engineers.
- Korea Energy Economics Institute, 2010, Heating and Cooling Degree Day(Seoul), Available from : <http://www.keei.re.kr/>.
- Climate Zone.com, 2010, Available from : <http://www.climate-zone.com/climate/united-states/>

- west-virginia/charleston/index_centigrade.htm.
18. Weather Underground, 2010, HDD and CDD for Seoul, Korea, Available from : <http://www.wunderground.com/history/station/47108/2009/12/1/MonthlyHistory.html>.
 19. eQUEST, 2010, eQUEST-Quick Energy Simulation Tool, version 3.63. DOE.com, Available from : <http://www.doe2.com/equest>.
 20. Consumers Energy, 2008, Gas Charges, Current Bill, Available from : <http://www.consumersenergy.com>.
 21. DLEG, 2008, Summer 2007 Energy Appraisal, MI Department of Labor and Economic Growth, Public Service Commission, Available from : <http://www.dleg.state.mi.us/mpsc/reports/energy/07summer/index.htm>.