

[논문] 태양에너지
Solar Energy
Vol. 15, No. 3, 1995

공동주택의 기밀성능 평가 및 에너지 절감효과 분석

李勝馥

成均館大學校 建築工學科

An Evaluation of Airtightness Performance and Analysis of Energy Savings Potential in Apartment Housing

Seung-Bok Leigh*

* *Department of Architectural Engineering, Sung Kyun Kwan University*

요 약

지금까지 우리는 건물분야에서의 합리적인 에너지 사용을 위하여 건물외피의 단열성능을 향상 시킴으로써 열손실을 줄이려는 데에 주력하여 왔으며, 침기로 인한 열손실을 줄이려는 노력은 상대적으로 미흡하였다. 그러나, 침기로 인한 난방에너지의 소비가 상당량에 이르는 것으로 조사됨으로써 재실형태에 따라 최소환기기준을 만족시키면서 침기에 의한 불필요한 에너지의 손실을 줄이려는 노력이 매우 유효한 것으로 평가되고 있다. 실제로 침기에 의한 불필요한 에너지의 낭비가 얼마나 되는가를 평가하기 위해서는, 건물에서의 침기율을 정확하게 측정할 수 있는 방법이 전제되어야 한다. 본 연구에서는 감압/가압법의 일종인 Blower Door System을 사용하여 공동주택에서의 기밀성능을 측정, 평가함은 물론 측정결과를 토대로 합리적인 수준까지 기밀화할 경우 난방 에너지의 절약가능성에 대하여 추정하였다.

Abstract

Since the using of heating energy associated with infiltration is significant in a building, the efforts to minimize the infiltration while ensuring minimum ventilation rates for various types of occupancy will be beneficial. In contrast to that many efforts have been made to reduce heat loss by improving thermal resistance of building envelope, little has been tried to reduce heat loss from infiltration. For achieving such an objective, measurement of air leakage rate will be pre-requisite as a diagnostic tool. A blower door system, a depressurization/pressurization method, was employed and it demonstrated a good potential for measuring airtightness performance of residential buildings. Based on the test results, annual energy savings for residential heating was estimated by reducing infiltration to a level of reasonably airtight or to a level of ASHRAE Standard 62-1989 for minimum ventilation.

I. 서 론

‘환기(ventilation)’란 쾌적한 실내공기를 유지하기 위하여 의도적으로 외기를 실내로 유입하는 것을 말하며, ‘침기(infiltration)’란 건물의 실내외 기압차로 인해서 외피를 통해 어쩔수 없이 발생하는 외기의 유입을 뜻한다. 침기량은 건물주위의 풍속, 실내외 기압 및 온도차, 그리고 건물의 구조 및 시공성에 따라 변화한다. 우리나라의 경우, 제한된 국토 면적으로 인해 주거용 건물의 고층화가 불가피한 실정이며, 건물이 높아짐에 따라 단위주호별로 풍압의 차이가 현저할 것으로 예상된다. 따라서, 이로 인해 발생하는 침기에 의한 에너지 손실은 더욱 심화될 것으로 보이며, 용도 및 거주특성에 따라 적정 환기를 유지하면서 침기량을 최소화할 수 있는 건물의 설계 및 시공은 쾌적한 실내환경의 조성 및 에너지 절약의 관점에서 그 의미가 매우 크다.

최근의 조사에 의하면, 미국의 경우 건물에서 전체 열손실의 약 15~60%가 침기에 의한 것으로 분석됨에 따라, 기밀화에 따른 에

너지 절감효과가 막대할 것으로 판단하여 ‘건물의 기밀화 방안(weatherization program)’을 마련, 적극적으로 보급하고 있다. 그 구체적인 내용으로, 건물의 기밀성능 측정 및 기밀화 기법을 개발하고, 이에 따른 에너지 절약과 경제성 분석에 이르기까지 다각적인 연구를 진행하고 있다(Mills, 1986). 오래전부터 국내에서도 건물의 열손실을 줄이기 위해 외피의 단열성능을 향상시키려는 노력이 꾸준히 이루어져 왔으며, 그 일례로서 건물의 각 부위별 단열기준이 법제화되어 이미 실행되고 있다. 이에 반해서, 침기로 인한 열손실을 줄이려는 노력은 상대적으로 미흡한 실정으로, 에너지 절감효과 및 실내 온열환경 개선의 관점에서 건물의 기밀성능을 측정, 평가할 수 있는 기법을 마련하고, 이를 토대로 성능 향상방안을 제시하기 위한 연구가 절실히 요구된다. 적정 환기조건 설정 및 건물의 기밀성능 측정을 위한 실용적인 기법의 개발은 건물의 실내 환경성능을 평가하기 위한 기준 및 도구가 됨은 물론 건물내 재실자에게 쾌적한 실내 환경조건을 제공하고 건물의 에너지 사용을 최소화

하기 위해 선행되어야 할 조건이다.

이에 본 연구에서는 에너지 절약을 위한 개수(energy retrofits)를 목적으로 주거용 건물의 기밀성능을 측정 및 평가하기 위해 개발되어 현재 미국에서 널리 활용되고 있는 Blower Door System을 사용하여 국내 주거용 건물의 기밀성능을 측정/평가하였으며, 이를 토대로 건물의 기밀화에 따른 난방에너지의 절약가능성에 대하여 추정하였다. 또한, 쾌적한 실내 공기환경을 유지하면서 침기에 의한 불필요한 에너지의 낭비를 최소화하기 위하여 기밀성능과 관련한 추후 연구방향을 모색해 보고자 하였다.

II. 환기 및 기밀성능에 관한 기준

국내의 에너지 절약기준을 보면, 1975년 ‘건축물에 있어서의 열손실 방지’ (건축법 제 23조 4항)가 제정된 이후 1987년 전국을 3개 기후대로 구분하여 부위별 열관류율을 제정하는 등 주거용 난방에너지의 절약을 제정하는 등 주거용 난방에너지의 절약을 위한 노력이 계속적으로 이루어져 왔다. 또한, 건축법 시행규칙 제19조 제1항 4호의 신설에 따라 건설부 고시 제397호 ‘개구부의 기밀성능기준’을 제정하기에 이르렀다. 그러나, 주거용 건물의 최소환기기준이 아직 설정되지 않고 있어 주거용 건물의 경우 구체적인 환기 및 기밀성능 평가를 위한 척도가 마련되지 못하고 있는 실정이다.

미국의 경우를 보면, 주거용 건물의 최소환기기준을 1인당 10cfm (ASHRAE Standard 62-1981), 그리고 시간당 최소환기횟수를 0.35회/h (ASHRAE Standard 62-1989)로 제정함으로써 주거용 건물의 환기 및 기밀성능을 위한 설계기준으로 활용하고 있다.

ANSI/ASHRAE/IES 90A-1980 ‘신축건물의 에너지 절약을 위한 설계기준’을 보면, 특정한 실내외 압력차에서 개구부의 유형별 침기율을 규정하고 있으며, 개구부 설치시 각 부품별 접합부위의 기밀성능 향상을 위한 시공상의 절차에 관해 규정하고 있다. ANSI/ASHRAE/IES 100.2-1991 ‘기존의 고층 주거용 건물의 에너지 절약기준’에 따르면 침기에 대한 재실자의 의견을 토대로 예기치 않은 침기요인을 각 주호별로 조사할 것과 침기부위에 대한 시공법을 규정하고 있다.

III. 기밀성능 측정방법

건물의 기밀성능을 측정할 수 있는 방법은 크게 두가지로 구분된다. 그 하나는 가스추적법(tracer gas method)이고, 또 다른 하나는 감압/가압법(depressurization/pressurization method)이다. 가스 추적법의 경우, 건물의 실제 침기량을 측정할 수는 있으나 침기부위를 구분하기가 어려우며, 특히 건물외부의 기상 조건에 의해 측정결과가 수시로 변화함으로써 평가하는 과정에서 일반화된 해석이 어렵다. 반면에, 감압/가압법은 팬(fan)을 사용하여 건물의 실내외 압력차(Pa)를 임의로 유지시키면서 각 압력차에서의 공기의 흐름량(cfm)을 측정함으로써 건물 고유의 기밀성능을 파악하고, 이를 근거로 일상적인 실내외 압력차에서의 자연 환기량이 얼마나 될 것인가를 추정하는 일종의 간접적인 방법이다.

최근 미국에서는, 감압/가압법의 실용화를 위해 Blower Door System을 개발하여 사용하고 있다. Blower Door System의 구성요소를 보면, 일정한 실내외 압력차를 유지하기 위하여 공기량을 조절할 수 있는 팬 및 속도조절기, 실내외 압력차를 측정할 수 있는 압

력차계, 그리고 팬을 통과하는 공기량을 측정할 수 있는 유량계 등으로 구성되어 있다 (Fig. 1).



Fig. 1 기밀성능 측정방법

일상상태의 실내외 압력차(약 1-4Pa)에서는 실내외간에 실제로 교체된 공기량의 측정이 불가능하며, 또한 측정이 가능하더라도 그 오차의 범위가 커서 신뢰도가 떨어지므로 대개의 경우 10Pa 이상의 압력차에서 (가령, 10Pa에서부터 60Pa까지 5-10Pa 간격으로 실내외 압력차를 증가/유지시킴) 측정된 결과를 토대로 일상상태에서의 공기량을 간접적으로 추정하게 된다. 측정결과를 보면, 실내외 압력차(Pa)와 공기량(cfm)사이에는 대수(log-log)관계가 있으므로 통계처리에 의해 상호관계를 규명함으로써 건물의 고유한 기밀성능을 평가할 수 있으며, 이에 근거한 일상상태에서의 공기량 추정이 가능하게 된다.

미국의 경우, Max Sherman 등에 의해, 각 기후별 기후 특성에 따라 Blower Door System의 측정결과를 토대로 연평균 실제로 교체된 공기량을 추정할 수 있는 간략한 관계식이 개발, 활용되고 있으나, 우리는 기상조건에 따른 풍압의 변화와 실내외 압력차의 연간변

화를 예측할 수 있는 실태조사가 이루어지지 않아 측정결과를 토대로 건물의 기밀성능을 일반화하는 데 어려움이 있는 실정이다.

Blower Door Test의 경우, 실험이 외기조건 변화에도 비교적 안정성 있는 결과를 도출할 수 있으며, 또한 침기부위를 찾아내어 이를 보수함으로써 침기량을 최소화하여 난방 에너지의 소모를 줄일 수 있는 일종의 건물 진단 및 개수(retrofit)의 수단으로도 활용될 수 있다.

IV. 기밀성능 측정 및 평가

지난 1993년 10월, 신도시에 건설된 고층아파트를 대상으로 건물의 기밀성능 측정 및 평가, 그리고 추후 활용방안에 대한 일종의 파일럿 연구를 진행하였다. 그 중 하나의 예를 보면, 32평형 아파트에 있어서 자연환기 및 기타 창호에 의한 침기량의 산정을 위하여, 환기의 목적으로 설치된 부엌과 화장실의 환기구를 개방하였을 경우와 밀폐하였을 경우로 나누어 실험을 실시하였다(Fig. 2).

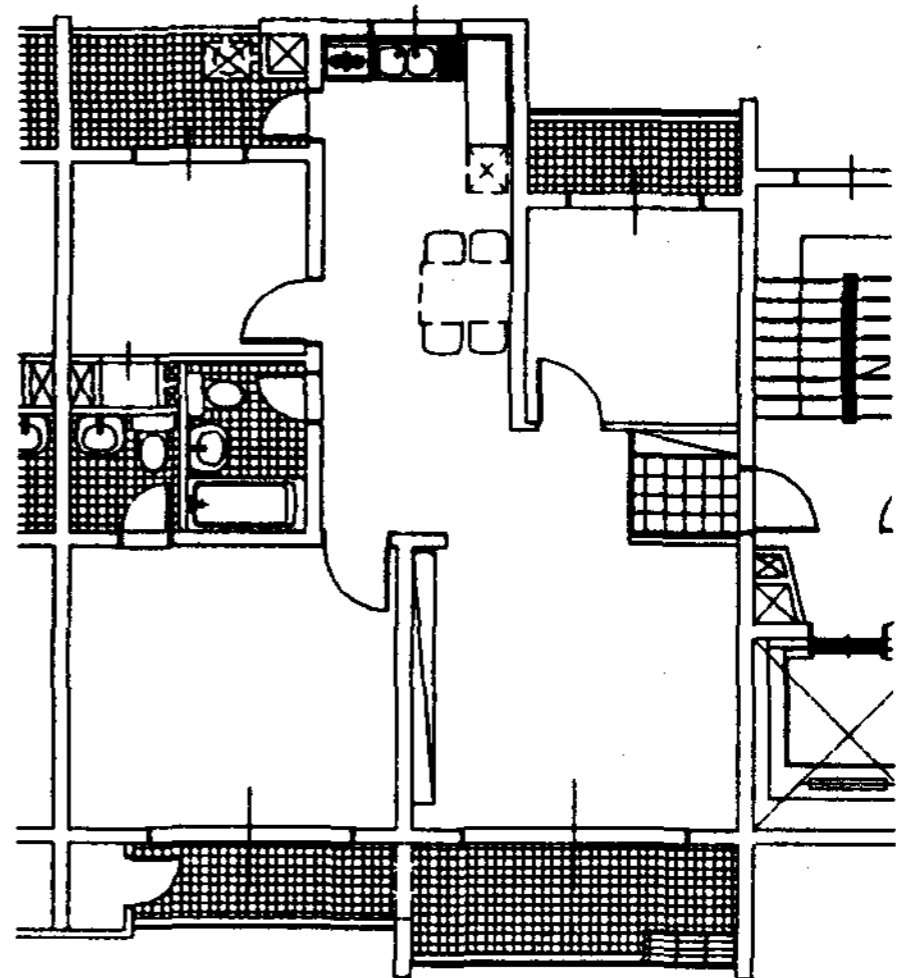


Fig. 2 단위추호의 평면도

그 결과, 연평균 실내외 압력차를 1pa이라고 가정하였을 때, 환기구를 일상적인 상태로 열어 놓았을 경우 자연환기에 의한 단위주호의 환기횟수가 약 0.72회/h, 밀폐하였을 경우 개구부의 틈새 등 건물의 외피를 통한 침기량이 약 0.54회/h로 나타났다.

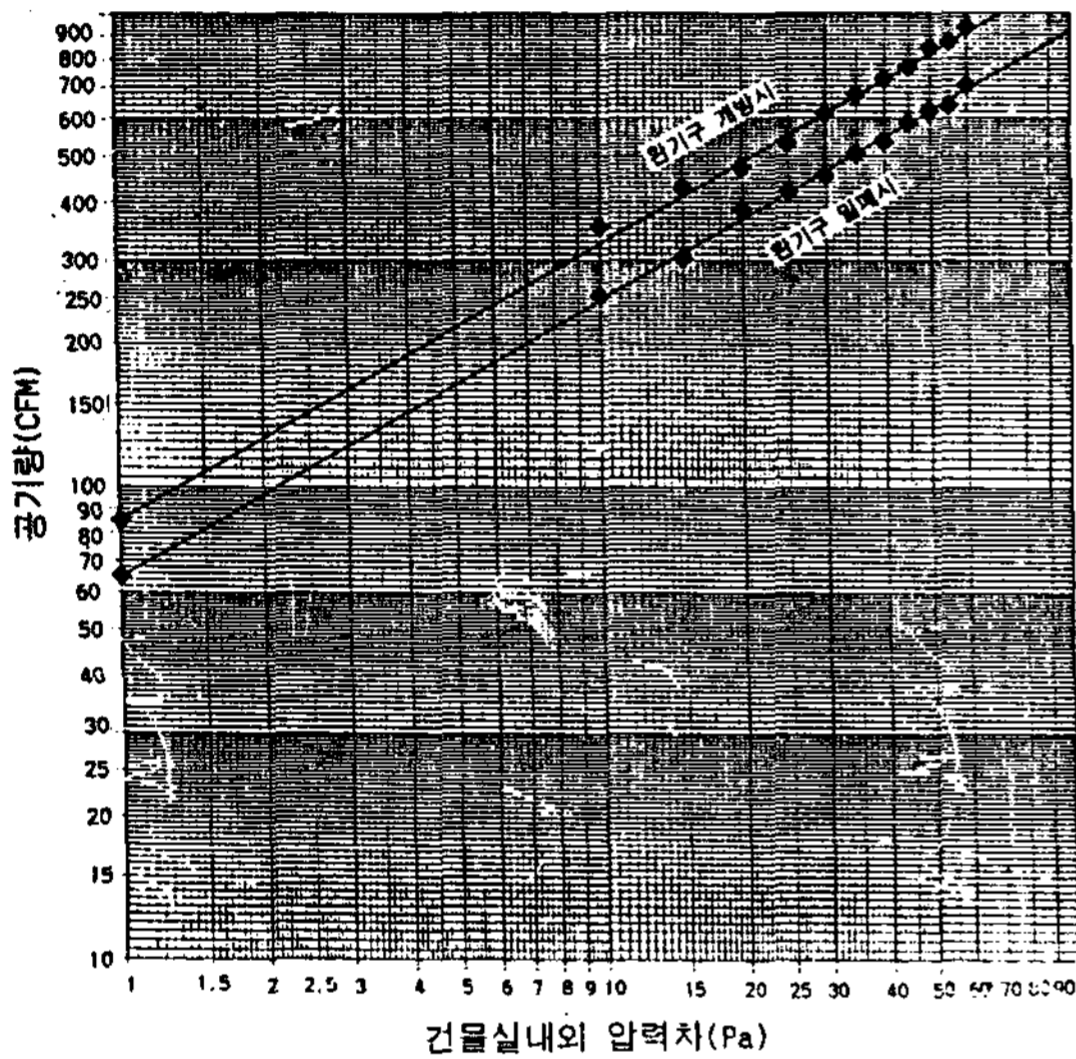


Fig. 3 압력차에 따른 기밀성능 측정결과

이를 ASHRAE standard 62-1989의 주거용 건물에서의 최소환기기준인 0.35회/h와 비교해 보면, 취사 및 기타 주호내에서 특정한 연기 및 냄새가 발생하여 강제환기가 필요할 경우를 제외하고는 틈새를 통한 침기량이 최소환기기준을 만족시키고 있음을 알 수 있다 (Fig. 3 압력차에 따른 기밀성능 측정결과 참조).

또한, 50Pa의 실내외 압력차에서 측정한 환기횟수에 따라 주택의 기밀성능을 7등급으로 구분, 평가할 수 있는 미국의 Texas Power & Light and Johns-Manville Corp.의 평가기준 및 척도에 따라 본 실험주호의 측정결과를 평가해 보면, Fig. 4에서 나타난 바와 같이 환

기구를 개방하였을 경우 '적당한 기밀', 그리고 환기구를 밀폐하였을 경우 '기밀'한 것으로 나타남으로써 최근에 건설되고 있는 아파트의 기밀성은 비교적 양호한 것으로 평가되었다.

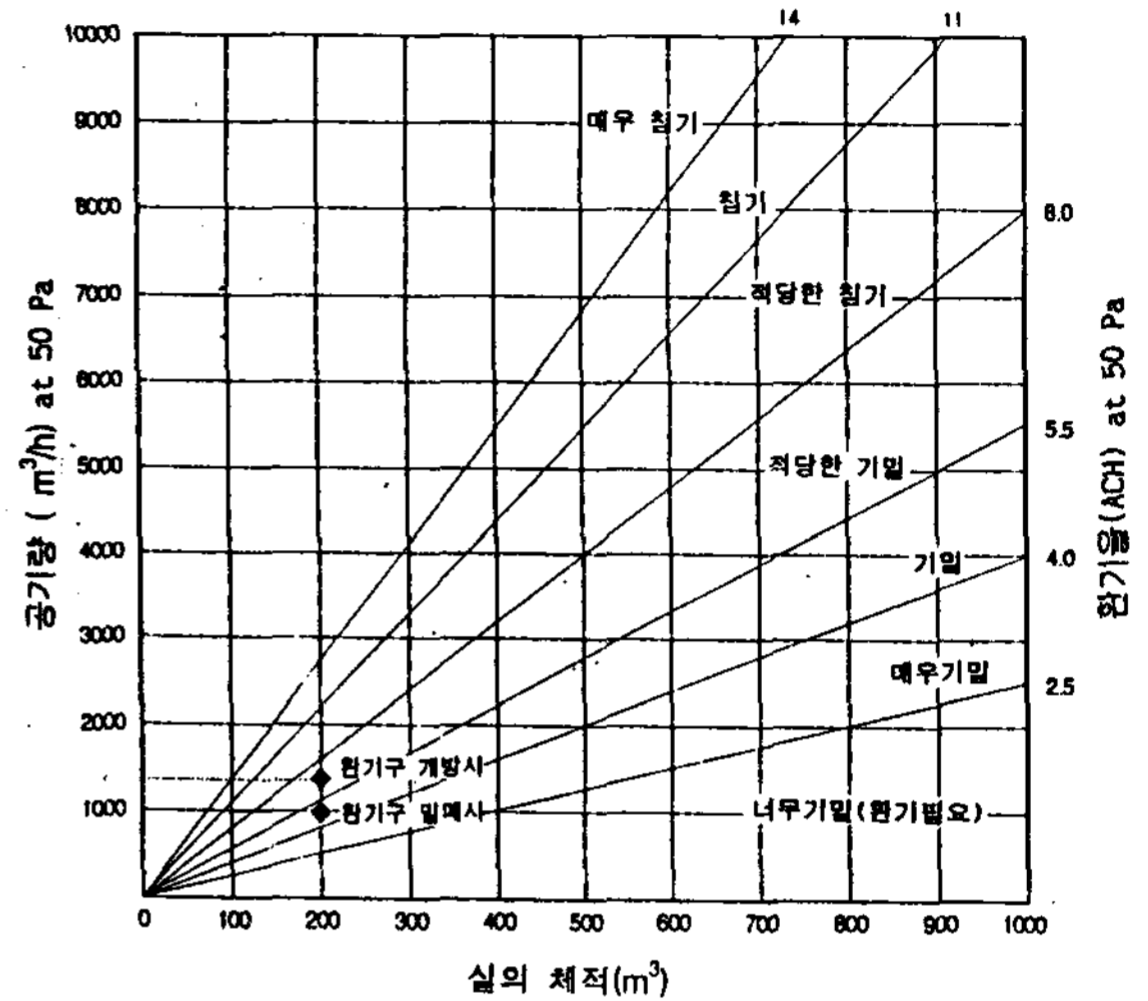


Fig. 4 환기구 개폐시 기밀성능 평가

V. 기밀화에 따른 에너지 절감효과

환기 및 침기량을 ASHRAE의 최소환기기준인 0.35회/h로 유지할 경우, 한 세대당(32평형 기준) 75.5m³/h에 해당하는 외기를 난방하기 위해 소요되는 에너지의 절감이 가능한 것으로 나타났다. 이를 연간 종합해 보면, 중부지방의 경우(HDD₁₈= 3050℃) 1,568 Mcal 만큼의 에너지 절감효과가 있는 것으로 분석된다. 이를 연료사용 및 난방비의 관점에서 보면, 기름보일러의 효율을 0.65, 그리고 경유의 92년 6월 가격을 기준으로, 각각 연간 262 liter의 경유 및 43,700원의 비용절감이 가능한 것으로 추정된다.

또한, 실내외 압력차 1Pa에서의 총 환기량 0.72회/h 중 외피를 통한 침기량 0.54회/h를

제외하면 환기구를 통한 자연환기횟수는 0.18 회/h로 나타남으로써 배기팬을 사용하지 않는 시간동안에 환기구가 자동으로 밀폐되도록 배기팬을 재설계할 경우, 단위주호당 연간 약 760Mcal의 난방에너지, 127 liter의 경유, 그리고 22,263원의 비용절감 효과가 있을 것으로 추정된다.

위에서 조사한 아파트를 기준으로 최소환기를 유지하는 수준까지 기밀화할 경우, 단위면적당(m²) 유류 및 에너지 비용 절감효과는 각각 약 3 liter/m².yr 및 515원/m².yr으로 분석된다. 이를 서울지역에 있는 아파트 전체를 대상으로 확대하여 보면, 1990년도를 기준으로 아파트의 비율은 전체 주택의 약 35.5%로서 516,918호에 달하며, 단위 주호당 평균면적이 81.4m² 임을 감안할 때, 서울에 있는 아파트에서의 연간 절약가능한 유류 및 에너지 비용은 각각 약 100만 배럴 및 200억원에 이르는 것으로 추정된다.

이러한 추정은, 비록 최소환기를 유지한다는 전제하에서 최대한 절감할 수 있는 양의 추정이기는 하지만, 본 연구에서 측정한 대상 아파트가 최근에 건설된 것이며, 비교적 정밀 시공이 이루어졌다는 점과 기존의 노후화된 아파트에 있어서 침기량이 더욱 심각할 것으로 판단할 때, 실제로 기존의 주거용 건물을 기밀화 함으로써 얻을 수 있는 에너지 절약효과는 막대할 것으로 사료된다.

VI. 결 론

이상에서 에너지 절감효과가 유류를 기준으로 추정되었으므로 아파트만을 대상으로 하였으나, 그 외의 연립주택을 포함한 공동주택 및 단독주택을 대상으로 전체 에너지 절감 및 실내 온열환경 개선의 관점에서 볼 때, 주거

용 건물에 대하여 광범위하게 기밀성능을 측정, 평가하고, 이를 토대로 우리의 주거 특성에 맞는 기밀화 기법을 개발, 보급할 경우, 그로 인한 에너지 절약의 가능성은 상당할 것이며, 이를 위해서는 두가지의 연구가 선행되어야 한다. 하나는 우리의 대기조건에 맞는 주거용 건물의 적정환기기준의 설정이 있어야 하고, 둘째로 우리의 기상조건에 대한 장기적인 조사를 통하여 연평균 건물의 높이에 따른 지상풍압 및 실내외 압력차에 대한 자료를 확보함으로써 기밀성능의 측정결과를 일반화하고 이에 따른 에너지 절감효과 및 경제성 분석을 시도할 수 있는 근거를 마련하여야 할 것이다.

References

1. ASHRAE. 1989. *ASHRAE Standard 62-1989*, "Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality," American Society of Heating, Refrigeration, and Air-conditioning Engineering, Inc., Atlanta, GA, U.S.A.
2. ASHRAE. 1980. *ANSI/ASHRAE/IES 90A-1980*, "Energy Conservation in New Building Design," American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, Inc., Atlanta, GA, U.S.A.
3. ASHRAE. 1991. *ANSI/ASHRAE/IES 100.2-1991*, "Energy Conservation in Existing Buildings - High-Rise Residential," American Society of Heating, Refrigerating, and Air-conditioning Engineers, inc., Atlanta, GA, U.S.A.
4. ASTM. 1987. *ASTM Standard E779-87*,

- “Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization,” American Society for Testing and Materials, U.S.A.
5. CGSB. 1986. *Standard CAN/CGSB-149.10-M86*, “Determining of the Airtightness of Building Envelope by the Fan Depressurization Method,” Canadian General Standards Boards, CANADA.
 6. Meier, A. 1986. “INFILTRATION: JUST ACH₅₀ DIVIDED BY 20?,” *Energy Auditor & Retrofitter*, July/August 1986, pp.16~19.
 7. Mills, E. 1986. “Blower Doors: Infiltration Is Where the Action Is,” *Energy Auditor & Retrofitter*, March/April 1986, pp.6~13.
 8. Infiltec, 1990. *Operators Manual of Infiltec Blower Doors*, U.S.A.
 9. Schlegel, J. 1990. “Blower Door Guidelines for Cost-Effective Air Sealing,” *Home Energy*, March/April 1990, pp.34~38.
 10. Butterfield, K. 1989. “How Effective are Blower Door?,” *Home Energy*, January/February 1989, pp.25~28.
 11. The Energy Conservatory, 1993. *Operational Manual of Minneapolis Blower Doors*, U.S.A.
 12. 한국건설기술연구원, 1993. 공동주택의 초고층화를 위한 계획 및 설계기법 개발(Ⅲ), 연구보고서 92-AD-123, 과학기술처.

An Evaluation of Airtightness Performance and Analysis of Energy Savings Potential in Apartment Housing

Seung-Bok Leigh*

** Department of Architectural Engineering, Sung Kyun Kwan University*

Abstract

Since the using of heating energy associated with infiltration is significant in a building, the efforts to minimize the infiltration while ensuring minimum ventilation rates for various types of occupancy will be beneficial. In contrast to that many efforts have been made to reduce heat loss by improving thermal resistance of building envelope, little has been tried to reduce heat loss from infiltration. For achieving such an objective, measurement of air leakage rate will be pre-requisite as a diagnostic tool. A blower door system, a depressurization/pressurization method, was employed and it demonstrated a good potential for measuring airtightness performance of residential buildings. Based on the test results, annual energy savings for residential heating was estimated by reducing infiltration to a level of reasonably airtight or to a level of ASHRAE Standard 62-1989 for minimum ventilation.