

신축 공동주택의 누기특성 및 기밀성능 분석에 관한 연구

The Air Leakage Characteristics and Airtightness Performance of a Newly Built Apartment

이윤규(Yun Gyu Lee)[†], 신철웅(Cheol Woong Shin)

한국건설기술연구원 그린빌딩연구소

Green Building Research Division, KICT, Goyang 411-712, Republic of Korea

(Received August 1, 2013; revision received October 1, 2013)

Abstract In responding to the recent framework convention on climate change, and the rise of the need for energy efficient buildings, such as Zero Energy Buildings (ZEB), domestic insulation standards and energy conservation regulations are being reinforced, to prevent heat loss. Accordingly, the Ministry of Land, Infrastructure and Transport have made amendments in Chapter 21 “Enforcement regulations for building facilities standards etc.”, and Chapter 22 “Energy conservation standard”, to reflect these changes. To effectively implement these regulations, it is required to propose air-tightness test methods, and establish air-tightness standards, based on the air leakage characteristics of domestic apartment housings. This research has been done primarily to collect basic technical data, to provide guidance for the establishment of domestic air-tightness standards for new apartment housing, through studying air-tightness test methods, field measurement on air-tightness of new apartment housings, and air leakage characteristics of major developed countries.

Key words Airtightness(기밀), Fan pressurization method(압력차측정법), Apartment(공동주택)

[†] Corresponding author, E-mail: yglee@kict.re.kr

1. 서 론

최근 기후변화협약 대응 및 건물에너지 소비량 절감을 위하여 제로에너지 건물 등 건축물의 에너지 효율화 문제가 대두됨에 따라, 국내에서도 건축물의 열손실 방지를 위한 부위별 단열기준 및 에너지절약 설계기준 등이 강화되고 있다.

이러한 건축물 에너지절약과 관련된 제반기준의 효과적인 시행을 위해서는 기본적으로 건물외피와 관련된 기밀성능 기준의 신규제정과 효과적인 관리방안 제시가 필수적이라고 할 수 있다.

일반적으로 건물 외피의 기밀성능이 취약할 경우, 건물 틈새부위를 통한 누기(air leakage) 및 침기(infiltration)의 주요 발생요인이 될 수 있다. 이는 건물 외피를 통한 열손실 증가, 실내외간의 습기이동에 따른 결로 현상 발생, 콜드 드래프트(cold draft)에 의한 거주자 불쾌감 유발, 환기설비의 효율저하 등 건축물의 전반적인 에너지 및 실내 환경성능에 중대한 영향을 미치게 된다.

미국, 일본 및 유럽 등 주요 선진국에서는 상대적으로 에너지 소비량 저감이 용이하고 거주(이용)시간이

긴 주거용 건물에 대한 기밀성능 기준을 법제화하고, 적절한 기밀성능의 확보를 위한 관리방안을 제시하고 있다. 따라서, 국내에서도 건축물의 에너지 효율 향상 및 쾌적한 실내 환경의 구축을 위하여 객관적인 기밀성능 평가방법의 제시, 국내 공동주택의 누기특성 파악 등을 기반으로 하는 신축 공동주택에 대한 기밀성능 기준의 제정과 보급이 시급한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 주요 선진국의 건축물 기밀성능 평가방법 및 관련기준을 알아보고, 신축 공동주택에 대한 현장측정 및 기밀특성 분석을 통하여 국내 공동주택의 누기특성을 파악함으로써 신축 공동주택의 기밀성능 기준의 제정을 위한 기초 기술자료를 확보하고자 하였다.

2. 기밀성능 평가방법 및 관련기준

2.1 기밀성능 측정방법

건물의 기밀성능을 측정하는 방법에는 압력차측정법(Fan pressurization method)과 가스추적법(Tracer gas method)

이 대표적인 방법이다. 이중 압력차측정법은 실내외 압력차를 임의상태로 유지시킨 후, 그에 따른 공기유동량 변화를 측정하여 건물의 기밀성능을 평가하는 방법으로 건물의 총 공기유동량을 측정하는 방법이다.

압력차측정법은 팬(fan)과 블로어도어(Blower Door)를 이용하여 단위공간 또는 건물 전체를 대상으로 주변기후의 영향을 크게 받지 않고 기밀성능을 측정할 수 있다는 장점이 있다. 현재 국제적으로 활용되고 있는 규격으로는 ASTM E 779, JIS A 2201 및 ISO 9972 등이 있다.

구체적인 측정방법은 다음과 같다. 먼저 공기가송장비인 팬 또는 블로어도어를 측정대상공간의 출입문 또는 창에 설치하고 이의 설치부위와 개구부사이에 틈이 발생하지 않도록 밀폐한다. 실내압력을 임의조절한 후, 압력계로 실내외 압력차를 측정하여 특정 압력차에서의 공기유동량을 산정하는 방법으로 공기유동량(Q : m³/hr)은 식(1)에 의해 구할 수 있다.

$$Q = C(\Delta P)^n \quad (1)$$

여기서, C : 공기유동계수
 ΔP : 실내외압력차 (Pa)
 n : 공기유동지수

일반적으로 단위실 또는 건물전체에 대한 기밀성능 측정은 압력차를 10 Pa에서부터 약 60 Pa까지 5~10 Pa 간격으로 압력차를 변화시키면서 각 압력차에서의 공기유동량을 측정하여 건물고유의 공기유동 특성을 파악한다. 일반적으로 최소 5개의 등간격 압력차에서 공기유동량을 측정하여 평가하며, 이를 근거로 정상상태 압력차(일반적으로 실내외에서 발생하는 압력차를 의미하며 일반적으로 사용되는 압력차는 1 Pa, 2 Pa, 4 Pa, 10 Pa 또는 50 Pa)에서의 공기유동량을 산정할 수 있다.

2.2 기밀성능 평가방법^(1,2)

미국, 일본 및 유럽 등 주요 선진국에서 적용하고 있는 건물의 기밀성능에 대한 평가척도는 측정결과에 영향을 미칠 수 있는 변수(풍압, 연돌효과, 기후 등)들의 영향력을 최소화하기 위하여 자연상태보다 큰 압력차(예를 들면 50 Pa)에서의 누기량 또는 누기면적으로 표현하고 있다.

주요 선진국에서 규정하고 있는 기밀성능 측정 장비, 기준 압력차 등 세부적인 적용기법 면에서 다소 차이가 나고 있으나, 전체적으로 압력차측정법을 바탕으로 이와 유사한 개념 및 원칙을 갖고 있다. Table 1은 주요 선진국의 기밀성능 기준을 나타냈다.

2.2.1 CFM50

CFM50(Cubic Feet per Minute@50Pa, ft³/min)은 실내외 압력차를 50 Pa로 유지하기 위해 실내에 불어넣어야 할 기류량을 의미한다. 통상적으로 건물주변에서 약 20 m/h의 바람이 부는 경우, 건물 내부에 약 ±50 Pa 정도의 압력이 발생하는 것으로 알려져 있다.

이러한 특성을 반영할 수 있는 인위적 환경을 조성하기 위하여 건물내부를 송풍기 등으로 인위적으로 가압 또는 감압하여 ±50 Pa을 유지시킨 상태에서 유입 또는 유출되는 공기유동량(풍량)을 평가하도록 규정하고 있다.

2.2.2 ACH50

건물의 내외부 압력차를 인위적으로 ±50 Pa이 되도록 유지하고 이때의 공기유동량을 환기회수로 나타내는 방법으로 CFM50에 60(분)을 곱한 후, 건물의 체적으로 나눈 값이다. 크기와 형태가 다른 건물의 기밀성능을 상대적으로 비교하기 위한 지표로 이용되며 미국, 캐나다, 유럽 등에서 많이 사용되고 있다.

$$ACH50 = \frac{CFM50 \times 60}{Building Volume (cubicmeter)} \quad (2)$$

2.2.3 EqLA(Equivalent Leakage Area)

상당누기면적(EqLA)은 캐나다 NRC(National Research Council)에서 제안한 개념으로 건물 내외부의 압력차가 10 Pa일 때에 누기되는 공기량과 같은 양의 공기가 새는 얇은 판위의 구멍(sharp edge orifice)의 면적으로 나타낸다.

2.2.4 ELA(Effective Leakage Area)

LBNL(Lawrence Berkeley National Lab.)에서 개념을 정립한 유효누기면적(ELA)은 건물 내외부 압력차가 4 Pa일 때에 발생하는 누기량과 동일한 공기가 새어나가는 구멍의 크기를 Blower Door Fan의 Inlet과 유사한 노출면적으로 환산한 값이다. 이때의 토출계수는 일반적으로 0.61로 가정한다.

2.2.5 NL(Normalized Leakage Area)

ASHRAE Standard 119에서 주거용 건물의 단위 바닥면적당 누기면적으로 해당 건물의 기밀성을 나타낸 것이다. 미국 공기조화냉동공학회에서는 NL 값에 따라 10단계로 이루어진 누기등급(Leakage class)을 제시하고 지역별 기후조건에 따라 누기등급의 허용범위를 설정한 후 해당 건물의 NL 값이 허용범위 내에 있는지 평가할 수 있도록 하고 있다.

Table 1 Comparison of airtightness standard of the developed countries⁽³⁾

Country		Airtightness Standard of Overall Buildings		
		Standard	Pre.diff.	Target Buildings
Norway	Norwegian energy requirements (2010)	2.5 ACH	50 Pa	Single family house
		1.5 ACH		more than two floors
		3.0 ACH		Minimum value
		0.6 ACH		passive house standard(NS 3700)
Netherlands	Standard NEN 2687 requirements	0.4~0.72 ACH(min)	10 Pa	1 Class
		1.4~2.24 ACH(max)		2 Class
		0.72~1.15 ACH		
Germany	DIN 4108-7 and EnEV(2008)	3.0 ACH	50 Pa	Natural ventilation
		1.5 ACH		Mechanical ventilation
		0.6 ACH		Passive house
Belgium	The Belgian ventilation standard NBN D50-001	3.0 ACH	50 Pa	balanced ventilation
		1.0 ACH		
		0.6 ACH		
Sweden	Swedish Standards Institute	3.0 ACH	50 Pa	Mechanical ventilation
UK	CIBSE technical memorandum TM23	10 m ³ /h · m ²	50 Pa	naturally ventilated
		5 m ³ /h · m ²		mechanical ventilation
	Building Regulations 2008 TGD-L(Dwellings)	10 m ³ /h · m ²	50 Pa	minimum
		7 m ³ /h · m ²		good practice
		3 m ³ /h · m ²		best practice
USA	ASHRAE	4.4 ACH	50 Pa	Residential(Averages)
		1.4~2.1 ACH	50 Pa	Commercial(Averages)
Japan	Energy conservation standard	3.3 ~ 8.3 ACH	50 Pa	Each regional
France	RT 2005	7.0 m ³ /h · m ²	4 Pa	Single family house
		9.2 m ³ /h · m ²		Other house., office, education etc
		16.2 m ³ /h · m ²		Other
Finland	2007	2.0 ACH	50 Pa	
Czech Republic	The Standard CSN 73 0540	1.0 ACH	50 Pa	ventilation systems and WRG
		1.5 ACH		ventilation system without WRG
		4.5 ACH		all the rest of the buildings
		0.6 ACH		passive houses
Canada	R-2000	1.5 ACH	50 Pa	dwellings

3. 신축 공동주택의 기밀성능 현장측정

3.1 측정 개요

본 연구에서의 기밀성능 측정은 2011년 5~8월 입주 예정인 수도권 및 주요 대도시에서 건설된 7개 단지의 총 45세대에서 수행하였으며, 측정대상 단지에는 기계 환기설비가 설치된 단지가 5개, 창호형 자연환기설비가 설치된 2개로 구성되었다(Table 2 참조).



측정은 “KS L ISO 9972 : 단열-건물기밀성 측정-팬 가압법”에 따랐으며, 측정장비는 Table 3과 같이 현관문에 설치하는 ‘Minneapolis Blower Door System-Model 3’, 주방 또는 침실 창문 등에 설치하는 ‘KONA Sapporo의 KNS-4000 K’를 적용하였다.

측정방법은 감압법을 적용하였으며, 단지내에서 대표적인 평면 타입(2면 및 3면이 외기에 접하는)을 각 1개씩 선정하여, 1개동에서 수직라인으로 최하층, 중간층, 최상층 각각 1개 세대를 측정하여 총 6개 세대 이상을 비교, 분석하였다.

Table 2 Overview of target apartment

	A (Busan)	B (Daejeon)	C (Goyang)	D (Incheon)	E (Seoul)	F (Suwon)	G (Daejeon)
Total unit	1012	752	445	1172	397	980	704
Target unit	6	9	6	6	6	6	6
Type	84 m ² ~132 m ²	132 m ² ~163 m ²	84 m ² ~111 m ²	130 m ² ~155 m ²	115 m ² ~144 m ²	36 m ² ~51 m ²	56 m ² ~115 m ²
Floors	21	23	17	22	26	15	22
Vent.	Mech.	Mech.	Mech.	Mech.	Mech.	Natural	Natural

Table 3 Measuring equipment of airtightness

	Blower door system	KNS-4000K
Figure		
Flow rate	34~10,700 m ³ /h	1~9,999 m ³ /h
Max. Press.	± 1,250 Pa	± 147 Pa
Method	ISO 9972	ISO 9972
Location	Entrance door	Window

3.2 측정 결과

3.2.1 누기 특성 및 기밀성능 분석

기밀성능 측정대상 7개 단지의 평균 ACH50은 Fig. 1 과 같이 블로어도어를 이용한 경우 2.8 l/h, KNS-4000K 는 2.7 l/h로 나타났다. 또한, 주요 국가의 기밀성능 기준과 비교한 결과 Fig. 2와 같이 노르웨이, 독일, 핀란드 및 캐나다에 비해 다소 낮은 수치가 나타났다.

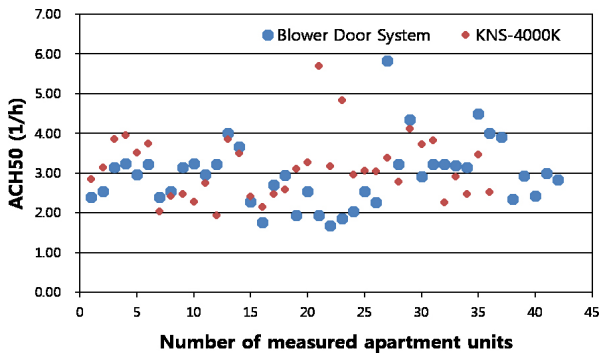


Fig. 1 Results of measured ACH50.

각 세대별 기밀성능 측정값(ACH50)은 Fig. 3과 같다. 측정대상 단지당 2~3개 동에서 각각 최하층과 중간층, 최상층을 측정한 결과, 측정 결과값의 편차는 공동주택 E를 제외하고 평균 측정값과 유사한 결과를 나타냈다.

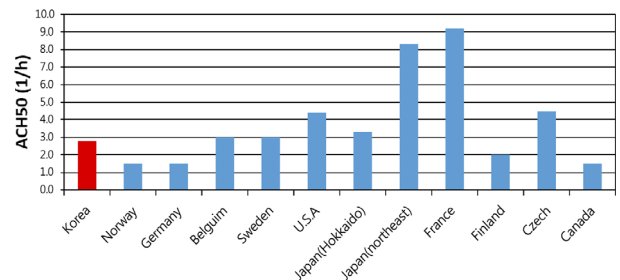


Fig. 2 Results compared with other standards.

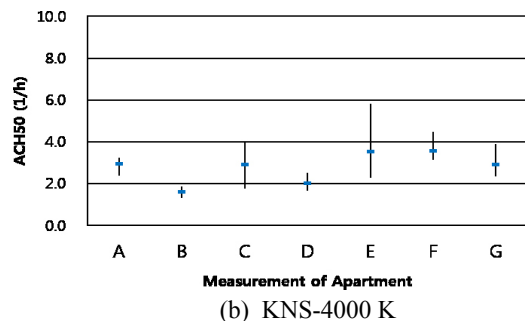
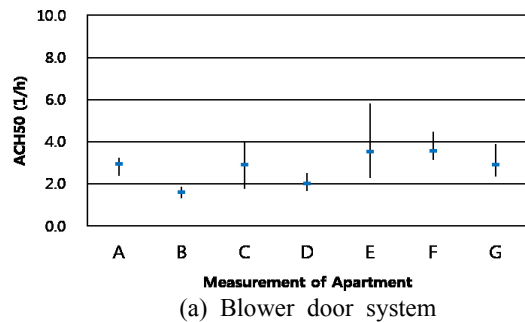


Fig. 3 Comparison of airtightness performance on each apartment.

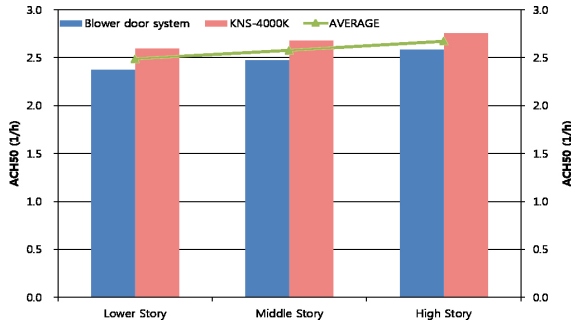


Fig. 4 Comparison of ACH50 on floors.

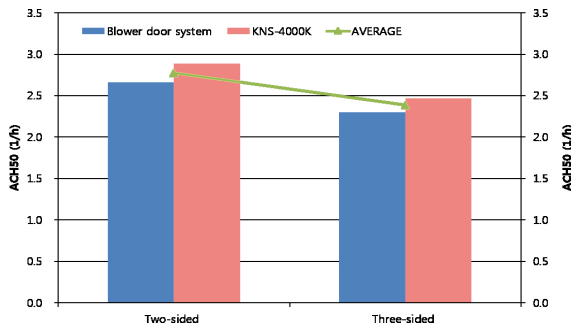


Fig. 5 Comparison of ACH50 on number of external wall.

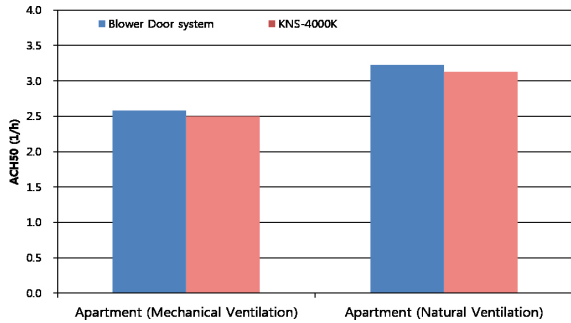


Fig. 6 Airtightness performance on type of installed ventilation system.

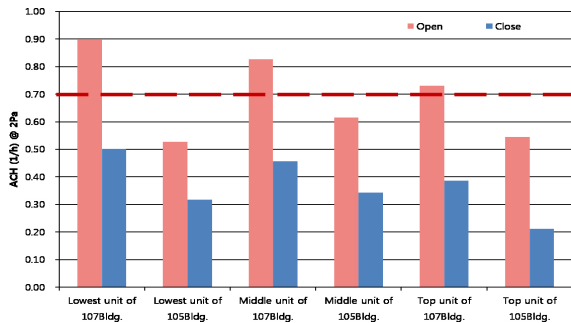


Fig. 7 Air Change rate of indoor pressure difference at 2 Pa.

Table 4 Airtightness performance of entrance door

a) Apartment A(busan)

	Blower door	KNS-4000K	
		Normal	Taping of Ent.
Middle Floor of 203 Bldg.	631 m ³ /h (3.23 1/h)	772 m ³ /h (3.95 1/h)	550 m ³ /h (2.81 1/h)

b) Apartment B(daejeon)

	Blower door	KNS-4000K	
		Normal	Taping of Ent.
Middle Floor of 302 Bldg.	504 m ³ /h (3.82 1/h)	689 m ³ /h (5.22 1/h)	588 m ³ /h (4.45 1/h)
Middle Floor of 303 Bldg.	565 m ³ /h (3.81 1/h)	782 m ³ /h (5.92 1/h)	742 m ³ /h (5.62 1/h)

7개 공동주택 단지에서 동일한 수직라인상 1개동에서 각 단위세대의 기밀성능 평가를 실시한 결과는 Fig. 4에 나타냈으며, 저층부에서 고층부로 올라갈수록 ACH50이 다소 증가하는 경향이 나타났으나 그 차이가 미미하여 압력차 측정법의 경우, 건물높이에 따른 압력차이는 무시할 수 있을 것으로 판단되었다.

또한, 2면이 외기에 접한 세대와 3면이 접한 세대에 따른 기밀성능 평가에 대한 결과를 Fig. 5에 나타냈으며, 2면에 접한 세대가 3면이 접한 세대보다 평균 ACH50 값이 다소 높게 나타났는데, 이는 2면이 접한 세대의 창면적비가 3면이 면한 세대보다 크기 때문인 것으로 판단된다.

공동주택 단위세대의 침기 및 누기량에 미치는 영향이 가장 클 것으로 예상되는 현관문에 기밀성능 측정장비를 설치한 경우와 주방에 위치하는 상대적으로 작은 창에 기밀성능 장치를 설치한 경우에 대한 비교 실험을 진행하였다. 측정결과는 Table 4와 같으며 공동주택 A와 공동주택 B에서 KNS-4000 K를 이용한 기밀성능 측정결과가 Blower Door System보다 ACH50 값이 약 33% 정도 높게 나타났다. 이는 상기 두 개 단지에 설치된 현관문의 기밀성능이 상대적으로 떨어지기 때문에 현관문을 통한 누기량 발생이 크기 때문인 것으로 판단된다.

공동주택 F와 G 단지에는 창호형 자연환설비가 설치되어 있다. 이에 창호형 자연환기설비가 설치된 공동주택과 기계환기설비가 설치된 공동주택을 서로 비교 측정한 결과는 Fig. 6과 같으며, 자연환기설비가 설치된 공동주택의 기밀성능이 상대적으로 약 25% 정도 떨어지는 것으로 나타났다.

창호형 자연환기설비의 개폐여부가 단위세대의 기밀성능에 미치는 영향을 알아보기 위하여 공동주택 G의 단위세대에서 자연환기설비 닫음, 중간 개방, 완전개방인 경우의 기밀성능을 Blower Door System으로

Table 5 Airtightness performance on opening level of natural ventilation

ACH50 (1/h)	Lowest unit of 107 Bldg.	Middle unit of 107 Bldg.	Top unit of 107 Bldg.	Lowest unit of 105 Bldg.	Middle unit of 105 Bldg.	Top unit of 105 Bldg.	Ave.
close	3.90	2.93	3.00	2.34	2.42	2.83	2.90
half open	4.42	3.37	3.65	3.04	3.10	3.49	3.51
open	5.92	5.10	4.98	3.81	4.47	4.39	4.78

측정하여 ACH50을 비교하였다. 측정결과, 자연환기 설비를 완전 개방하였을 때에는 최대 5.92, 최소 3.81로 측정되었고, 닫았을 경우는 최대 3.90, 최소 2.34로 나타났다. 자연환기설비의 개폐에 따른 ACH50 변화량은 평균 1.87로 큰 차이가 발생하는 것으로 나타났다.

Table 5 및 Fig. 7의 측정결과를 이용하여 환기설비 설치기준에서 자연환기 설비성능을 평가하는 척도인 실내의 압력차 2Pa일 때의 단위세대 환기량을 추정할 결과는 다음과 같다. 자연환기설비의 환기구를 완전 개방시 3개 세대만이 환기기준인 0.7 이상으로 나타났다. 이는 측정대상 세대의 약 50%가 기존 “건축물의 설비기준 등에 관한 시행규칙”에서 정하고 있었던 환기기준인 0.7회/h를 만족하지 못하고 있음을 의미한다.

4. 결 론

(1) ACH50(n50-1)에 의한 신축 공동주택의 기밀성능 측정결과, Blower Door System을 적용한 경우 2.8 1/h, KNS-4000 K를 적용한 경우 2.7 1/h로 나타났다. 이를 주요 선진국의 기밀성능 기준과 비교한 결과 우리와 기후조건이 상대적으로 비슷한 노르웨이, 독일, 핀란드 및 캐나다에 비해 다소 낮은 수치로 분석되었다.

- (2) 기밀성능 측정을 위한 팬(fan) 등의 설치위치에 따라 약 33%의 기밀성능 차이가 나타남으로서, 현관 문에 설치하여 기밀성능을 측정하는 방법에 대한 재검토가 필요한 것으로 판단된다.
- (3) 창호형 자연환기설비가 설치된 공동주택과 기계환기설비가 설치된 공동주택을 서로 비교 측정할 결과, 자연환기설비가 설치된 공동주택의 기밀성능이 상대적으로 약 25% 정도 떨어지는 것으로 나타남으로서, 자연환기설비의 기밀성능 강화가 필요할 것으로 판단된다.
- (4) 자연환기설비가 설치된 공동주택의 절반정도가 기존 “건축물의 설비기준 등에 관한 규칙”에서 정하고 있었던 환기기준인 0.7회/h를 만족하지 못하는 것으로 나타났다.

Reference

1. Lee, Y., 1998, A study on prediction model of ventilation performance for multi-family housings using air-flow analysis, Ph.D. thesis, Yonsei University.
2. KICT, 2011, A research on standard of ventilation and air tightness performance in buildings.
3. AIVC, 2011, Towards optimal airtightness performance, AIVC.