

共同住宅 二重窓의 氣密性能에 관한 實驗研究

Experimental Study on the Air Permeability of Double Glazing Window in the Apartment Houses

홍 봉재* 전 주영** 김 흥수***
Hong, Bong-jae Jun, Ju-young Kim, Heung-soo

Abstract

This study is to investigate the characteristics of air tightness of window and to present basic data for establishing the ventilation performances in apartment houses. Therefore, experiment was performed for the analyzing the air permeability of double glazing windows with the parameters of frame material, such as aluminium, plastic and wood frame. Design graph which can calculate the air leakage rate per unit length of operable crack perimeter for pressure differences across the indoor and outdoor are suggested.

And, measurements were conducted in the actual apartment houses windows, infiltration data were provided which can be compared with the experimental results.

키워드 : 공동주택, 기밀성, 틈새풍량, 이중창

Keywords : Apartment House, Air tightness, Air Leakage Rate, Double Glazing Window

1 서론

외피 요소로서의 창문은 특히 에너지절약을 위한 단열 및 기밀성의 강화 동향을 비롯하여, 최근의 초고층화, 실내 공기환경 및 거주자의 건강에 대한 사회적인 관심 고조 등에 복합적으로 관계되어 건물의 환기나 열성능에 큰 영향을 끼친다.

종래 공동주택의 창문은 목재창에서부터 근래의 고기밀성 시스템 창호에 이르기까지 단열 및 기밀성능을 향상시키기 위한 목적으로 창호틀의 재질이 다양화되고 구조가 지속적으로 개

선되어 왔다. 창문에서의 누기 또는 침기는 일반적으로 틈새간격이 클수록, 내외 압력차가 클수록 많아지며 정확한 누기량은 제작회사나 실험실에서의 성능 수치로서 명확하게 제시될 필요가 있으나 국내의 경우 이에 관한 자료가 거의 없는 실정이다.

동시에 환기부하 산정시 틈새법의 적용에 있어서 외국의 실험치나 자료를 이용하고 있지만 창문의 형태나 재질 등이 달라 직접적인 적용이 매우 어렵다 또한 창호는 현장 시공이 대부분으로서 시공의 정밀도에 따라 그 성능이 크게 좌우되므로 현장에서의 오차도 고려해야 한다. 따라서 금후 창문을 통한 환기부하 계산을 비롯하여 환기성능의 정확한 평가 등에 사용할 수 있는 창호의 틈새풍량 자료가 필요하다.

* 정희원 청운대학교 전임강사, 공학박사
** 정희원, 대한주택공사 주택연구소 연구원
*** 정희원, 영동전문대학 교수

본 연구에서는 공동주택에 사용되는 이중창에 있어서 실험을 통해 기본적인 창호의 구조 및 재질에 따른 틈새풍량을 산정하는 것을 목적으로 한다. 동시에 현장에서 기 시공된 창문의 틈새풍량을 측정하여 실험치와 비교, 분석하고 급후 환기부하의 계산과 환기성능의 평가에 기본적인 자료를 제시하도록 한다

2 실험 내용 및 방법

본 연구에서는 창호의 기밀성능 측정장치를 직접 제작하여 임의의 (실내외) 압력차에 따른 틈새길이별 틈새풍량을 산정하였으며 현장에서도 창호의 기밀성능을 측정하여 실험치와 비교하고 시공에 따른 편차 등을 분석하였다.

그림 1에 실험에 사용한 창호의 기밀성능 실험장치를 나타낸다. 창호의 기밀성능 실험은 KS F 2292, JIS A 1516, ASTM E 283 및 DIN 18055¹⁾⁻³⁾ 등에서 잘 규정하고 있는데 본 연구에서는 KS F 2292-1988 (창호의 기밀성 시험방법, JIS와 거의 동일함)에 의거하였으며 실험의 대상 및 측정 조건을 고려하여 실험장치의 형태 등에 약간의 수정을 가하였다.

실험은, 각 챔버(압력상자, 기밀상자)사이 실험용 모델을 삽입하고 팬의 속도 조절에 따라 발생하는 압력상자와 기밀상자와의 압력차 및 통과 풍량을 측정하였다. 실험장치 및 기기의 사양은 다음과 같다

- 1) 압력(기밀)상자 : 15m×0.9m, 강판 2mm,

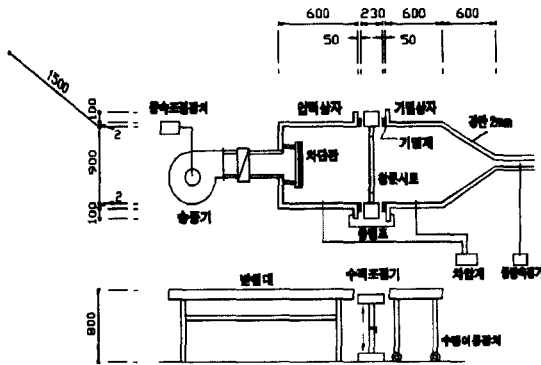


그림 1 기밀성능 실험장치의 구성

- 기밀재 5mm, 클램프(8개), 차단판 설치

- 2) 받침대 : 고정, 이동식(기밀), 시료 높이 조절

- 3) 송풍기 : 다익형(인버터 제어, 800m³/h),

Minneapolis Duct Blaster(20~1500cfm, digital 풍량계, 압력계)

- 4) 압력 측정기 : 60, 100Pa

- 5) 유량 측정장치 : 유량계(800m³/h)

송풍기는 1/2, 1/4HP의 모터를 사용, 압력상자의 압력을 최대 450Pa까지 올릴 수 있다. 압력계는 각각 1Pa, 2Pa의 눈금, Duct Blaster의 디지털 압력계는 0.1Pa(오차 약 2%)의 눈금으로 되어 있으며 소정의 압력(차)가 유지되도록 팬 속도를 조절하고 압력과 풍량을 측정하였다.

챔버의 누기성능에 대해서는, 시료 및 각 상자 연결부를 각 면 2개씩(총 8개)의 클램프를 이용하여 기밀 압착하였으며 실험 수행시 이 부분의 육안에 의한 연기 변동은 전혀 없었다. 특히 송풍기의 급기량(디지털 풍량계의 오차는 약 3%)과 기밀상자 말단에서 측정된 풍량의 차는 거의 없는 것(최대오차 약 3.6%)으로 나타났다.

실험은 1995년 10~12월에 수행되었으며 결과는 KS의 기준상태(온도 20℃, 상대습도 55%, 기압 1013mbar)의 값으로 환산하였다. 또 자료의 분석 등을 위해 다음 사항을 고려하였다.

- 1) 대상 창호별로 각 2개의 시료(목재 이중창 및 시스템 창호는 1개)를 제작하여 측정, 평균을 구하였으며, 동시에 단창과 이중창의 틈새풍량 변화를 분석하였다

- 2) 측정 차압은 5Pa 간격, 100Pa까지로 하였으며 특히 동계의 실내외 차압이 약 10Pa이므로 이 범위에서는 2Pa 간격으로 한다

- 3) 결과는 환기부하(틈새법) 산정에 이용할 수 있도록 임의의 압력차에 대하여 틈새길이별 틈새풍량의 추세곡선을 구한다

실험 대상인 창문의 개요를 그림 2와 표 1에 나타낸다. 실험용 모델은 B복지공단에서 실내측의 목재창과 목재 지지틀을 일괄적으로 조합, 제작하였다. 창문의 크기는 W15m×H0.9m(유리창 3mm), 틈새길이는 실내외측 창문틀의 평균치를 구하였다. 재질은 S 알루미늄(주), H화학

하이새시의 제품으로서 주택공사의 지급자재를 사용하였으며, 시스템 창호는 2개사(D창호, R사)의 기성품으로 실험 모델을 제작하였다. 특히 R사의 플라스틱 복층창은 시스템 창호용의 플라스틱을 재료로 별도 제작한 것이다

창호의 기밀성능 현장측정에는 한국건설기술 연구원에서 개발한 장치를 사용하였으며, 이는 측정시 실험조건의 입의 조절이 가능하다.⁴⁾ 송풍장치(미국 Energy Conservatory, Minneapolis Duct Blaster)는 팬, 차압 및 풍량계, 속도조절기 등으로 구성되며 미리 실험장치에 장착하여 측정치를 비교, 검증하였다.

기밀성능의 표현은 주호 공간이나 부위별 기밀성능이 아니라 이중창이라는 부재에 대한 기밀성능으로서 틈새풍량(KS에서는 통기량¹⁾)으로 하였다 동시에 KS 또는 ASHRAE의 창호 틈새풍량 자료⁵⁾와 직접적인 비교를 위해, 또한 양대수 그래프의 경우 약 10Pa 이하의 압력차 범위에서는 직선 회귀식의 오차가 크므로 압력차에 대한 틈새풍량을 그대로 나타내었다.

3 이중창의 틈새풍량 측정 결과

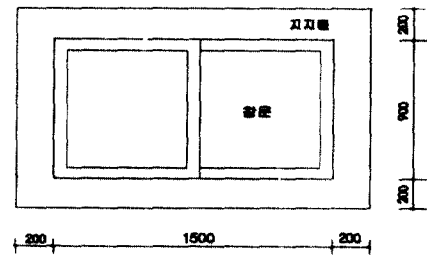
본장에서는 이중창의 시건장치 및 재질 등에 대한 틈새풍량을 산정하였으며 각 2개 시료에 대한 측정치와 평균, 압력차에 대한 추세곡선을 나타내었다. 근래 공동주택의 경우 주로 이중창의 내부측에만 목재 단창을 사용하거나, 내부창의 시건장치가 없는 경우가 많아 여기에서도 내부창에는 시건장치를 고려하지 않았다.

3.1 알루미늄(AL)+목재창

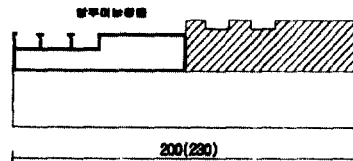
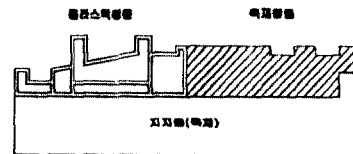
그림 3에 알루미늄(AL)+목재창의 실험 결과를 나타낸다. AL+목재창의 틈새풍량은 AL 단창이나 시건장치의 개폐여부에 상관없이 거의 비슷한 경향을 나타내고 있으며 이는 다음과 같은 2가지의 원인에 기인한다. 즉 AL 창문 자체 및 시건장치의 시공 불량을 생각할 수 있으며, 두번째는 AL창에 비해 목재 단창의 틈새풍량이 상당히 크기 때문이다

표 1 실험용 창문시료의 개요

시료 종류 (외기·실내측)	규격(m) W×H	틈새길이 (m)	비고	
알루미늄+목재창	15×09	53	실내측 목재창은 시건장치 없음	
플라스틱+목재창	"	53		
플라스틱 2중창	"	53		
기타	목재 이중창	15×09	53	시스템 창호는 업체 기성품
	시스템 창호(D사)	09×10	31	
	시스템 창호(R사)	15×09	58	
	PL복층창(R사)	15×09	52	



(a) 입면도



(b) 실험용 이중창의 구성예

그림 2 실험용 창호모델의 구성

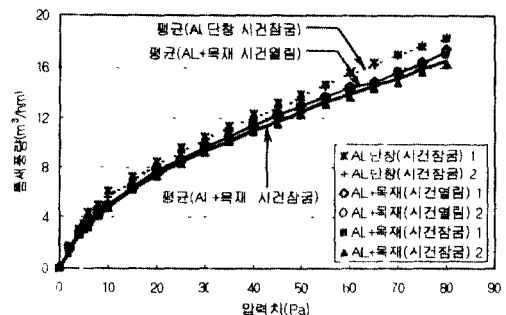


그림 3 AL+목재창의 틈새풍량

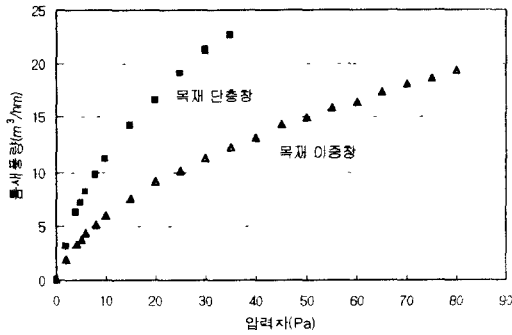


그림 4 목재창의 틈새풍량

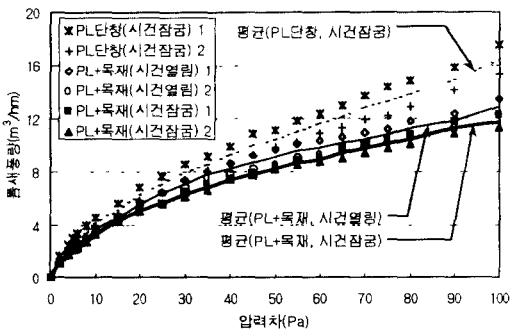


그림 5 PL+목재창의 틈새풍량

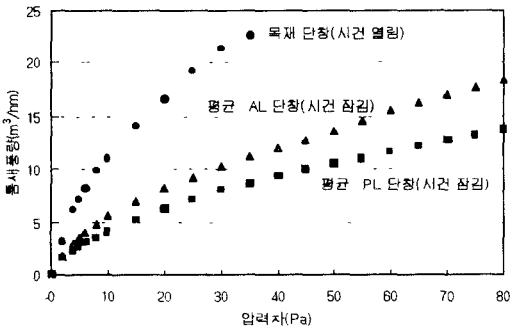


그림 6 단층창의 틈새풍량(평균치) 비교

AL+목재창의 틈새풍량은 AL 단창에 비해 평균 약 10.6%가 감소되고 있으며 외부측 AL 창외의 시건장치 개폐에 의해서는 약 4.2%가 변화하고 있다.

그림 4에 목재창의 틈새풍량을 나타낸다. 전술한 바와 같이 본 실험에서는 참조의 의미에서 목재창을 별도로 실험하였으며, 동시에 모두 시

건장치 없는 경우를 실험하였다 또한 목재 단창의 경우 틈새풍량이 지나치게 많아 기밀성능 실험장치로는 최대 압력차를 35Pa 이상으로 유지할 수 없었다.

실험 결과, 목재 단창과 이중창의 틈새풍량은 압력차에 따라 차이가 크게 나타나고 있으며 35Pa 이하의 범위에서 이중창의 틈새풍량은 단창창에 비해 약 45.3%가 감소되고 있다.

AL 창호와 목재창(시건장치 없음)을 비교할 경우 AL 단창의 틈새풍량은 목재 단창에 비해 평균 약 50.9%가 감소되었고, AL+목재창은 목재 이중창에 비해 평균 약 18.2%가 감소되는 것으로 나타났다.

3.2 플라스틱(PL)+목재창

그림 5에 플라스틱(PL)+목재창의 틈새풍량을 나타낸다. 외부 PL 단창만의 경우 틈새풍량의 차(약 17.6%)가 약간 크게 나타나고 있으나 원인은 분명하지 않으며 시료 제작시의 정밀도에 영향을 받은 것으로 생각된다. PL+목재창의 틈새풍량은 실내측 목재창의 영향으로 편차가 약간(약 2.6%)만 나타나고 있다.

PL+목재창의 틈새풍량은 PL 단창에 비해 약 22.5%가 감소되고, 외부 PL 단창의 시건장치에 따라서는 약 9.2%의 변화가 보여 AL+목재창의 경우보다 감소폭이 더욱 크게 나타나고 있었다. 또한 PL+목재창의 틈새풍량은 목재 이중창(시건장치 없음)이나 AL+목재창에 비해 각각 45.1%, 32.8%가 감소되어 플라스틱 창호의 기밀성능이 매우 우수한 것으로 나타나고 있다.

재질에 따른 단층창의 틈새풍량을 비교하면 그림 6에서와 같이 플라스틱(PL) 단창의 경우 목재 단창 및 AL 단창에 비해 각각 약 61.6%, 22.8%가 감소되어 우월한 기밀성능을 보여주고 있다 목재창의 경우 시건장치가 없어 절대적인 비교는 어렵지만 전체적인 측정의 결과, 시건장치에 따라 약 5%~10%의 틈새풍량이 변화하여 큰 영향은 없을 것으로 보인다. 이는 시료의 제작상태나 실내측 목재 단창의 큰 틈새풍량이 영향을 끼치는 것으로 생각된다.

3.3 플라스틱(PL) 이중창

그림 7에 PL 이중창의 틈새풍량을 나타낸다. 실제 공동주택에서와 같이 내부 PL 창문의 시건장치 없는 경우를 기준으로 하면 양측의 시건장치가 열린 경우에 비해 틈새풍량이 약 12.2% 감소되며, 양측의 시건장치를 잠금 경우는 내부측 시건장치가 열린 경우보다 약 8.9%가 감소하는 것으로 나타나고 있다

또, PL 이중창과 단창과 비교하면, 양측 PL 단창의 시건장치가 모두 열린 경우, 내부측만 열린 경우, 양측 모두 잠긴 경우의 틈새풍량은 PL 단창에 비하여 각각 약 28.9%, 37.3%, 43.3%가 감소되고 있다.

각 이중창의 틈새풍량을 비교할 경우, 내부창의 시건장치 열림을 기준으로 하면 PL 이중창의 틈새풍량은 목재 이중창(목재창의 시건장치 없음), AL+목재창, PL+목재창에 비해 각각 약 56.2%, 46.4%, 19.6%가 감소하고 있어 PL 재질을 사용한 창호의 기밀성능이 상당히 우수함을 나타내고 있다. 이러한 이중창에 대해서는 다시 추세곡선을 구하여 비교하기로 한다.

3.4 고기밀성 창호의 틈새풍량

본 연구에서 다룬 고기밀성 창호는 일부의 주택에서 사용되고 있는 것으로 일명 시스템 창호를 가르키며 주로 유럽을 비롯한 외국에서는 여닫이식의 창문이 널리 사용되고 있는 실정이다. 이러한 고기밀성 창문에 대하여 미닫이, 여닫이식 2개의 형식별로 틈새풍량을 파악하였다. 제작회사별로 상세가 틀리고 동시에 재료 자체를 수입에 의존하는 경우가 많으므로 이들간의 절대적인 비교는 어렵지만 기존의 미닫이식 이중창에 대하여 어느 정도의 기밀성능을 갖고 있는지 참조를 목적으로 실험을 수행하였다.

그림 8에 고기밀성 창호의 틈새풍량 실험결과를 나타낸다. 고기밀성 창호 재료로 제작된 미닫이식의 PL 복층창(R사)의 경우 시스템 창호(여닫이식)에 비해서 틈새풍량이 많은 것으로 나타나고 있으며 이는 재료나 상세가 아무리 기밀하다 해도 여닫이식의 압착에 의한 개폐에는

미치지 못한다는 것을 알 수 있다.

시스템 창호(여닫이식)의 경우 압착에 가까운 시건장치의 영향으로 2개 시료에 있어서 제작회사별로 수치적인 차이는 나타나고 있으나 모두 틈새풍량이 거의 없을 정도로 좋은 기밀성능을 나타내고 있다.

미닫이식의 복층창은 전술한 PL 이중창(양측 시건장치 잠김)에 비하여 틈새풍량이 평균 약 49.2%가 감소되고 있어 매우 우수한 기밀성능을 보이고 있으며, 시건장치의 개폐에 따른 변화는 약 27%로 영향은 거의 나타나지 않았다.

D사의 시스템 창호의 틈새풍량을 PL 이중창(양측 시건장치 잠김)에 비교하면 평균 약 92.7%가 감소하고 있으며 R사의 경우는 D사의 창호보다 다시 평균 92.4%가 감소되고 있다. 이는 압력차가 20Pa 이하의 범위에서는 틈새풍량이 전혀 측정되지 않았기 때문으로, 그 후에서의 범위에서는 약 88.9%의 감소율을 나타낸다.

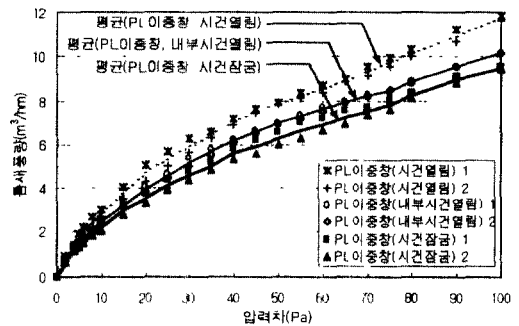


그림 7 PL 이중창의 틈새풍량

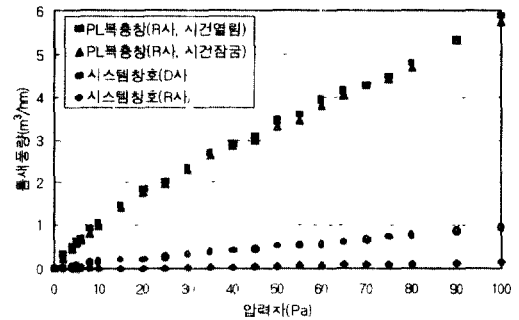


그림 8 고기밀성 창호의 틈새풍량

3.5 이중창의 틈새풍량 분석

그림 9에 측정된 각 창호들의 평균적인 틈새풍량을 나타내며, 이는 각 창호들에 있어서 압력차에 대한 틈새풍량의 평균치에 대하여 추세곡선을 구한 것이다. 이중창의 시건장치, 외부창은 잠김 상태, 내부창은 열림 상태를 대상으로 하였으며, 금후의 적용을 고려하여 PL 이중창에 대해서는 내부창의 시건장치 잠김상태도 포함하였다.

목재창과 시스템 창호에 대해서는 일반적인 사용형태가 아닌 동시에 주로 외국에 의존되는 재료 및 제작 상세, 시건장치, 개폐 방향 등에 따라 틈새풍량의 차이가 클 것으로 생각되므로 여기에서는 생략하였다.

이 도표로 각 창호의 틈새풍량을 직접 구할 수 있으며, 이 경우 PL 이중창(내부창의 시건장치 열림)은 AL+목재창, PL+목재창에 비해 틈새풍량이 각각 46.5%, 19.5% 감소되고 있다

하지만 이는 KS의 압력상자법에 따른 계산 결과로서 압력상자와 기밀상자와의 압력차는 ASTM 등에서 말하는 실내의 압력차와 차이가 있으므로³⁾ 이에 대한 보정이 필요하다

그림 10은 재실험을 통해 KS상의 압력차(압력상자 및 기밀상자간의 압력차)와, 실내외 압력차(압력상자와 실내와의 압력차)의 상관관계를 구한 것이다 그림에서와 같이 창호의 기밀 성능이 좋을수록 실내외의 압력차에 대하여 상사간의 압력차가 커지고 있음을 알 수 있다

그림 11은 실내외의 압력차에 대하여 구해진 각 창호의 틈새풍량을 추세곡선으로 나타낸 것이며, 특히 10Pa 이하의 범위에 대하여도 별도의 도표를 나타내었다. 실내외의 압력차로 틈새풍량을 산정할 경우 압력차에 대한 수치보다 약 10~20%가 감소되며, AL+목재창, PL+목재창에 비해 PL 이중창(내부창의 시건장치 열림)의 틈새풍량이 각각 약 42.4%, 17.5%가 감소되고 있다.

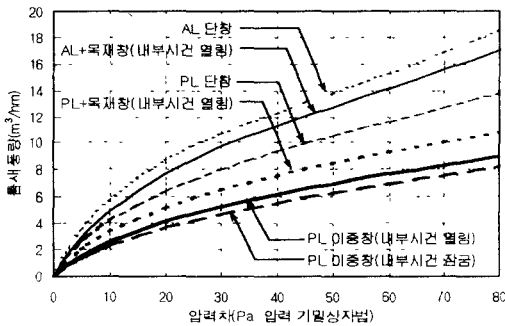
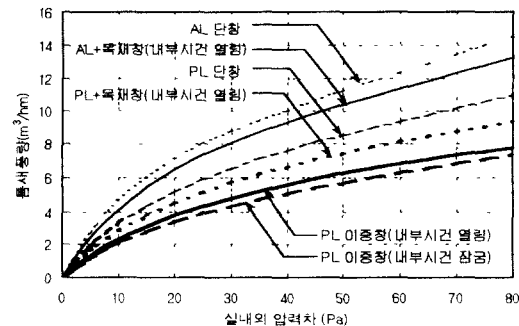


그림 9 압력차와 창호별 틈새풍량



(a) 전압력 범위(80Pa 이하)

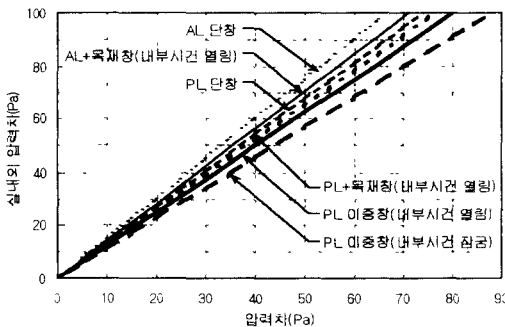
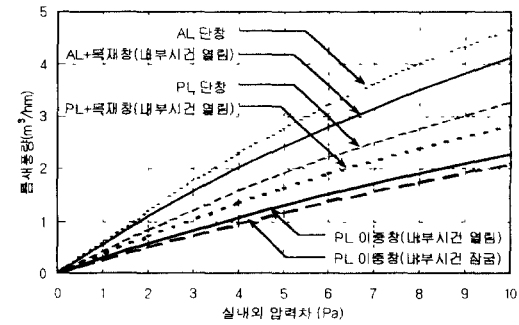


그림 10 압력차와 실내외 압력차의 관계



(b) 저압력 범위(10Pa 이하)

그림 11 실내외의 압력차와 창호별 틈새풍량

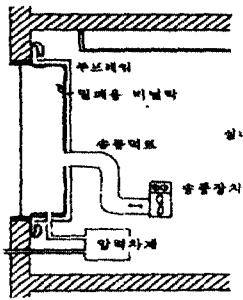


그림 12 현장 기밀성능 측정 장치

표 2. 측정대상 공동주택 및 창호의 개요

단지명	측정일('96)	측정 대상 창호		비고
		종류	재원(m)	
중동DY	2.22-2.27	AL+목재창	15×0.9 12×0.9	일부 공사중
등촌DC	2.27-2.29	AL+목재창	15×0.9	입주중
신림SL	1.31-2.2	AL+목재창	12×0.9	"
		PL 이중창	15×0.9 1.2×0.9	
부평II	2.14-2.17	PL 이중창	1.5×0.9	"
			1.2×0.9	

4 기밀성능 현장 측정과 기타 자료와의 비교

4.1 창호의 현장 기밀성능 측정

창호 틈새풍량의 현장 측정장치는 ASTM E 783-91에 따른 것⁶⁾으로 그림 12와 같이 천막내부를 송풍기의 속도를 조절하면서 가압하고, 천막내부와 외부의 압력차를 5Pa 간격으로 틈새풍량을 측정, 기준상태의 값으로 환산하였다.

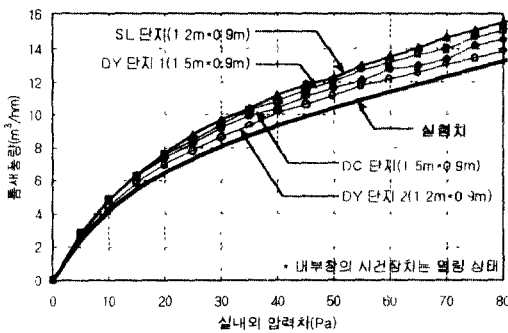
표 2에 측정 대상인 대한주택공사 아파트 및 창호의 개요를 나타낸다. 입주 직전 또는 미입주 세대에서 내부창의 시건장치가 없는 이중창의 틈새풍량을 측정하였다. 대상 창호는 W1.5m×H0.9m, W1.2m×H0.9m를 선정하였다.

그림 13에 현장 측정결과(내부창의 시건장치 열림)를 나타낸다. AL+목재창은 실험치에 비해 틈새풍량이 약 7~18% 증가하고 있으며 20Pa 이하에서는 편차가 20% 높게 나타나고 있다. PL 이중창의 경우도 실험치보다 높은 측정결과를 보이며 틈새풍량이 약 81% 감소한 1개소를 제외하면 약 9~13%가 증가하였으며 20Pa 이하에서는 약 15%가 증가하고 있었다.

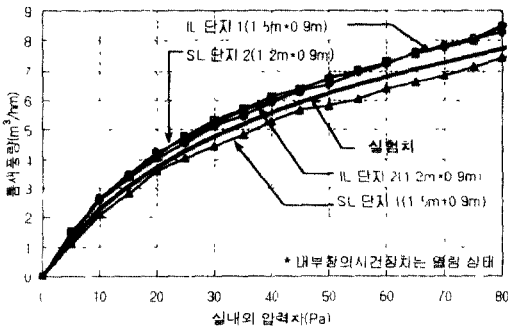
4.2 기타 자료와의 비교

그림 14~그림 15에 국내의 창호의 틈새풍량 자료와의 비교 결과를 나타낸다. KS에서는 기밀성능을 창문 단위면적당의 틈새풍량으로 표기하고 있으므로 압력차에 대한 실험결과를 단위면적당으로 환산하여 비교하였다. 여기에서의 창호 등급기준은 불명확하지만 실험에 의해 얻어진 이중창들의 틈새풍량은 주로 8~30등급에 해당하는 경향을 보이며 고기밀성 창문은 2등급에 가깝거나 그 이하로 나타났다. 특히 시스템 창호(여단이식)의 경우 그래프에 표기가 불가능할 정도로 좋은 기밀성능을 나타내고 있다.

ASHRAE의 부하계산용 창호의 누기량(크랙법) 자료에서는 창호를 기밀기구의 사용 등에 따라 3단계의 구분을 하고 있어⁵⁾ 직접적인 비교는 어렵지만, 고기밀성 창문의 틈새풍량(PL 복층창의 측정치)만이 k=2(평균적인 기밀성의 창호) 이하를 보이고 있다.



(a) AL+목재창



(b) PL 이중창(2는 1.2m×0.9m)

그림 13 창호의 현장 기밀성능 측정 결과

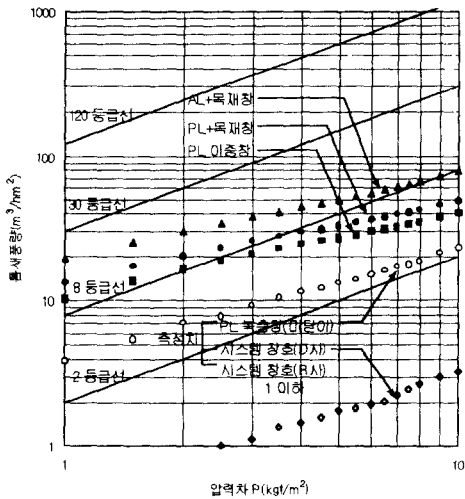


그림 14 KS의 창호 틈새풍량과 비교

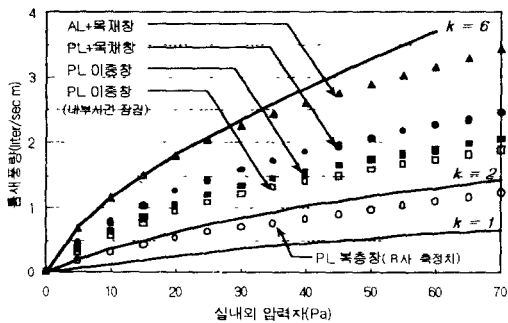


그림 15 ASHRAE의 창호 틈새풍량 비교

5. 결론

본연구는 공동주택의 창호를 대상으로 실험에 의해 틈새풍량을 산정하고 현장의 실측을 통해 전체적인 기밀성능을 평가하였다 이러한 결과를 요약하면 다음과 같다

1) 틈새풍량의 산정을 위해 제작된 장치는 실험 수행시 연결부의 연기 움직임이나, 송풍기 급기량과 기밀상자 덕트 말단의 풍량차가 거의 없어 신뢰성이 있는 것으로 나타났다

2) 실험을 통해 실내의 압력차와 창호의 틈새풍량의 관계를 명확히 하는 동시에 다시 추세곡선을 이용한 도표를 제시하였으며 이에 따른 주요 실내의 압력차별 틈새풍량은 다음과 같다

표 이중창의 틈새풍량 (m³/hm)

구 분 (외기+실내)	실내외 압력차				비 고
	4Pa	10Pa	50Pa	75Pa	
AL+목재창	20	35	104	128	내부창의 시건장치 열림
PL+목재창	13	24	74	91	
PL 이중창	11	19	62	75	잠김
PL 이중창	10	17	57	70	

3) 창호 틈새풍량의 현장측정을 통해 실험치와 비교한 결과, AL+목재창은 7~18%, PL 이중창은 9~13%의 틈새풍량이 증가하고 있어 급후 이러한 편차를 고려할 필요가 있다.

4) 급회의 실험결과는 공동주택 기존 이중창의 틈새풍량을 대상으로 하였으나 틈새의 정확한 특성치 파악이 거의 불가능하였으며 급후 틈새특성에 따른 이론적인 기밀성능의 비교에 대하여 연구가 지속적으로 수행될 필요가 있다.

참고문헌

1. KS F 2292-88 창호의 기밀성 시험 방법
2. JIS A 1516-84 建具の氣密性試験方法
3. ASTM E 283-91, Standard Test Method for Determining the Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen.
4. 통상산업부, 건물외피의 열성능향상을 위한 평가시스템 개발 및 제도연구에 관한 중간보고서 (한국건설기술연구원), 1995 9, pp.229-245
5. ASHRAE, Cooling and Heating Load Calculation Manual, 2nd Edition, 1992, pp 67-68
6. ASTM E 783-91, Standard Test Method for Field Measurement of Air Leakage Through Installed Exterior Windows and Doors
7. 대한주택공사 주택연구소, 공동주택의 환기개선 및 적정 환기량 산정연구(중간보고), 1996.5
8. 조 병선 외, 미서기 창호의 기밀성에 관한 실험적 연구, 대한건축학회논문집 8권 3호, 1992 3
9. 유 현형 외, 건물 개구부의 공기누기 기준(에너지 절약을 위한 건물의 설계기준에 관한 Workshop), 1985

(接受 1998. 12. 30)