



## 공동주택 구조 형식에 따른 기밀성능 측정 및 분석

### *Airtightness of multi-family residential buildings with differential structural systems*

강지연\* · 김형근\*\* · 홍구표\*\*\*

Ji-Yeon Kang\* · Hyung-Geun Kim\*\* · Goopyo Hong\*\*\*

\* SH Urban Research Center, Seoul Housing & Communities Corporation, South Korea (jy kang@i-sh.co.kr)

\*\* Coauthor, SH Urban Research Center, Seoul Housing & Communities Corporation, South Korea (hgkim@i-sh.co.kr)

\*\*\* Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, Kangwon National Univ., South Korea (goopyoh@kangwon.ac.kr)

#### ABSTRACT

**Purpose:** Leakage of building envelope introduces unintended infiltration, heat and moisture into a building and affects building energy, indoor air quality and occupants comforts. The purpose of this study is to measure airtightness of multi-family residential buildings with different structural systems. **Method:** Fan pressurization and depressurization tests using a blower door was used to measure airtightness and air leakage of the buildings by KSL ISO 9972. There are three differential structural types as bearing-wall (A-wall), flat-plate (B-Flat), and rahmen (C-B&C) in the same complex. The proposed four units of multi-family residential buildings were measured airtightness and air leakage of building envelope. The four units were three ones according to differential structural types and last one (C-B&C-1) installed with external wall (dry-cladding) systems on rahmen structure. **Result:** The results of pressurization and depressurization tests show that the air leakage of A-wall was 3.5 ACH50 and one of C-B&C-1 was 5.6 ACH50. The air leakage of B-Flat and C-B&C were 4.25 ACH50 and 4.15 ACH50, respectively.

#### KEYWORD

기밀성  
무량판구조  
라멘구조

Airtightness  
Flat-plate Structure  
Rahmen Structure

#### ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 19, 2019

Final revision received Nov. 27, 2019

Accepted Dec. 2, 2019

© 2019 KIEAE Journal

## 1. 서론

### 1.1. 연구의 배경 및 목적

건물 외피의 틈새나 크랙은 의도하지 않은 공기의 유입인 침기, 열과 수증기를 건물내로 유입시켜 건물에너지, 실내공기 환경 그리고 재실자의 쾌적성에 영향을 준다[1]. 이러한 건물의 침기 또는 누기는 바람의 세기인 실내·외 압력차와 온도차로 인하여 발생한다[2]. ASHRAE Fundamentals에 의하면 각각의 건물요소별 누기 면적 분포를 분석하였으며, 벽체에서는 평균 35%, 천장에서는 평균 18%, 냉·난방 덕트, 보일러 연도, 설비시스템들에 의해 평균 18%, 창호와 문에서 15%, 벽난로 12%, 환기시스템에서 5%정도로 전체 건물에서 요소별 누기량의 분포를 나타내고 있다[1].

건물에너지 중 기밀이 차지하는 부하 비율은 약 1/3~1/4로 큰 비중을 차지하고 있어서 건물을 기밀화 하는 것은 에너지 절약의 핵심 방법이다[3]. 국토교통부에서 제로에너지 건축물의 확대 보급을 위해 시범사업을 진행하였으며, 최근 준공한 고층형 제로에너지 아파트에서 가장 중점적으로 다룬 패시브 요소 기술이 건물을 기밀하게 하는 것이었다[4].

국내 아파트는 초기에 기동과 보를 사용한 라멘구조로 시작하였으나 1980년대에 이르러 시공의 간편과 공사비용을 낮추고자 벽식구조가 사용되어 왔다. 하지만 벽식구조는 세대간벽과 각 실의 구분

이 내력벽으로 구성되어 재실자들의 평면변화와 공간활용에 대응하지 못하고 있다[5]. 최근에는 거주자의 다양한 요구에 대응하고, 장수명주택 관점에서 거주자의 라이프 사이클을 고려하여 기동식 구조인 무량판과 라멘 구조의 아파트가 공공기관을 중심으로 설계 및 시공되고 있다.

이 연구의 목적은 공동주택의 구조타입별 기밀성측정 분석이다. 본 연구에서는 1개 단지에 벽식구조, 라멘구조, 무량판구조의 아파트가 시공되었고 이에 대해 각 구조타입별 동일면적 세대의 기밀성을 측정하였다.

### 1.2. 연구의 방법 및 범위

기밀성을 측정하기 위해 압력차법을 이용하였으며 블로워 도어 (Blower door)를 사용하였다[6]. 압력차법은 현관문 또는 외기에 접해있는 개구부에 팬을 설치하여 외기를 실내로 도입하거나 방출하여 실내·외 압력차를 일정한 값으로 설정한 후 팬의 풍량을 측정하여 누기량을 산정하는 방법이다[7].

총 4개세대로서 A동 벽식구조 59㎡(A-wall), B동 무량판구조 세대(B-Flat), C동 라멘구조 세대(C-B&C), 그리고 C동 라멘구조 세대 중 건식외피시스템이 설치된 세대(C-B&C-1)이다. 각 세대마다 가압과 감압을 2회씩 측정하였고, 측정값이 비슷한 분포를 나타내는지 살펴보았다.

## 2. 대상건물 소개 및 측정방법

### 2.1. 대상건물

대상건물은 한국건설기술연구원, SH공사, LH가 공동으로 추진하고 있는 국책과제인 ‘비용절감형 장수명주택 개발 및 실증 단지 구축’에서의 실증단지이다. 총 1,080세대이며 59㎡가 840 세대, 84㎡가 240세대로 구성되어 있다[8].

2019년 9월 준공이 된 실증단지에는 벽식구조가 12개동 설치되었고, 기동식 구조인 라멘구조와 무량판구조가 각각 1개동씩 실증을 구축하였다. Fig. 1.은 단지 구성도와 구조 평면도이며, 측정세대 면적은 59㎡로 모두 동일하다.



(a) Proposed buildings on bird's eye view

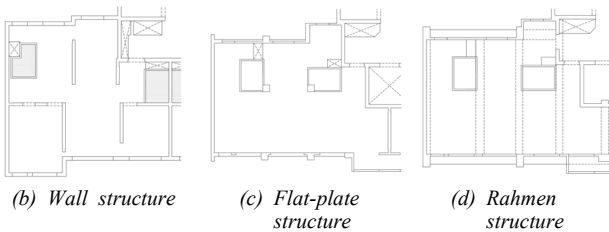
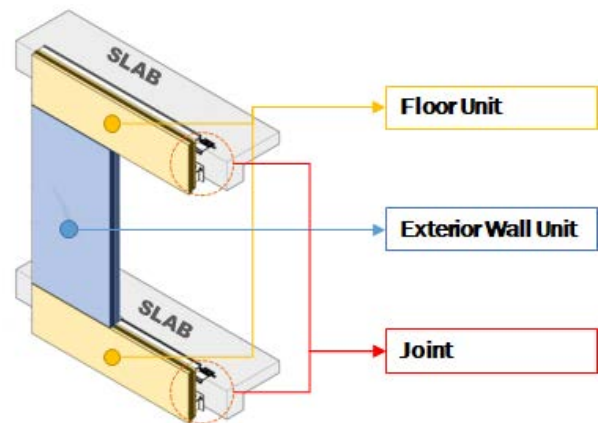


Fig. 1. Structural Plan

구조타입별 개요와 기밀성과 관련된 건축, 구조, 설비적 요소들을 살펴보았으며, Table 1.에 나타내었다. 벽식구조와 무량판구조는 층고가 2.8m, 라멘구조는 3.0m이며, 벽식구조의 내벽은 콘크리트 내력벽이고 무량판과 라멘구조는 세대층벽을 제외하고 건식 경량벽체를 내벽으로 사용하였다. 설비 배관과 전기 배선들은 이중관을 적용하여 상부 슬래브에 매립한 하향 설치방식이며, 슬리브의 이음새들은 내화 충전하여 밀실하게 처리하였다.

### 2.2. 건식외피 설치세대

기존 연구[9]에서 기밀성 측정대상 중 라멘구조의 1개세대에 건식외피 시스템을 설치하였고 Mock-up실험을 분석하였다. 이에 본 연구에서는 건식외피 설치세대에 실제 기밀성을 측정하게 되었다. Fig. 2.는 장수명주택 연구단에서 개발한 건식외피시스템의 수직유닛과 수평유닛의 구성과 측정세대의 설치 모습이다.



(a) Components



(B) Pictures of installation

Fig. 2. Exterior wall(dry-cladding) system

Table 1. Components of case study related with air-tightness

		Bearing Wall (A-Wall)	Flat-Plate (B-Flat)	Rahmen (C-R)	Rahmen-1 (C-R-1)
Architecture	Story height	2,800mm	2,800mm	3,000mm	3,000mm
	Interior wall	Bearing wall	(Stud Framed) Drywall	(Stud Framed) Drywall	(Stud Framed) Drywall
	Exterior wall	Reinforced Concrete	Reinforced Concrete	Reinforced Concrete	Dry-cladding system
Structure	Concrete Compressive strength	24MPa			
	Slab thickness	210mm	210mm	150mm	150mm
MEP	Pipe Path	Downward installation with buried pipes in upper slab			
	Sleeve	Sealing at joint			

### 2.3. 기밀성능 측정 기준

국내의 기밀성능 측정 방법은 KS L ISO9972 (단열-건물 기밀성 측정-팬가압법) 2006년 제정 및 2016년에 개정되었으며[10], 국내에 기밀성능 기준은 없는 상태이다. 다만 한국건축환경설비학회에서 냉·난방 공간은 일반건축물인 경우 최소 5.0 ACH50 이하의 기밀성을 규정하고 있다[11]. 에너지 절약 건물은 3.0 ACH50, 제로에너지건물 구현을 위해서는 1.5 ACH50이 권장사항이다[3].

국외의 기밀성능 측정 기준은 미국의 ASTM E779-03, 캐나다의 CGSB, 유럽의 DIN EN 13829, 영국에서는 ATTMA, ISO 9972의 기준이 있다. 이러한 기준들은 실내·외 압력차 10~60Pa에서 가압과 감압을 실시하여 평균값을 계산하며, 측정결과 지표로서 ACH50, CFM50, EqLA (equivalent air leakage area, 상당누기면적), ELA (Effective air leakage area, 유효누기면적)가 사용된다[11,12].

### 2.4. 측정방법

#### 1) 방법

본 연구에서는 10~60Pa 범위에서 10Pa 간격으로 팬풍량을 측정하였으며, 가압과 감압을 각각 측정하여 평균 ACH50을 결과 값으로 활용하였다. 2019년 10월 측정당시 실내 온도는 23~24°C, 실외 온도는 18~20°C의 분포를 나타내었고, 기상청의 풍속은 0.7m/s였다. 세대의 측정 조건은 실내의 침실 문은 모두 열고, 주방 배기 후드와 환기시스템의 급·배기구 디퓨저는 모두 밀봉하여 측정하였다. 측정장비는 Retrotec Q5E Blower Door System이며, Fig. 3.과 같이 설치 및 측정하였다.



Fig. 3. Pictures for measurement using Retrotec blower door

#### 2) 기밀성 평가 방법

##### ① ACH50 (Air Changes per Hour at 50Pa)

Blower door를 이용하여 실내·외 압력차를 50Pa로 만들었을 때 팬 풍량과 이를 건물의 체적으로 나눈 값으로서 누기에 대한 환기회수를 의미한다. 기밀성능을 상대적으로 비교하기 위해 많이 사용하

는 지표이다.

$$ACH50 [1/h] = \frac{Fan\ air\ flow [m^3/h]}{Space\ volume [m^3]} \quad (식\ 1)$$

##### ② 유효누기면적 (Effective air Leakage Area, ELA)과 상당누기면적 (Equivalent air Leakage Area, EqLA)

ELA와 EqLA는 해당 압력이 각각 4Pa, 10Pa일 때 예상되는 풍량을 누기면적으로 변환하는 것이며 (식 2)와 같다.

$$A_L = 10000 Q_r \frac{\sqrt{\rho/1\Delta p_r}}{C_D} \quad (식\ 2)$$

$A_L$  = 유효누기면적 또는 상당누기 면적 [ $cm^2$ ]

$Q_r$  = 해당 압력에 대한 팬 풍량(측정하여 예측) [ $m^3/s$ ]

$\rho$  = 공기밀도 [ $kg/m^3$ ]

$\Delta p_r$  = 해당 압력차 (4Pa 또는 10Pa) [Pa]

$C_D$  = 누기계수 (discharge coefficient,  $C_D$ 가 0.6이면 오리피스 면적과 건물외피의 누기면적의 같은 양으로 간주)

해당 압력차를 4Pa, 10Pa일로 결정한 이유는 실제로 침기와 누기의 환기등이 발생하는 자연적인 압력차이며 틈새의 흐름특성을 잘 반영한다고 결정된 압력차이다. 다만 과한 압력차로 인한 기밀성값의 불확실성이 약 40%까지도 발생한다[1].

##### ③ 교정상수를 활용한 침기량 (infiltration)

ACH50은 실내·외 압력차 50Pa에서 측정된 누기량에 대해 공간의 체적을 나눈 환기회수를 의미한다. 따라서 자연압력 상태에서의 침기량(ACH)을 산정하기 위해서, 지역 기후분포, 건물높이, 바람차폐, 보정계수에 의한 교정상수를 검토하였고 미국에서는 9.8~ 29.4 범위에서 교정상수를 정하였다[13].

$$ACH [1/h] = \frac{ACH\ 50 [1/h]}{N\ (교정상수)} \quad (식\ 3)$$

통상적으로 교정상수는 20이 사용되며, 국내에서 추적가스법과 압력차법을 비교한 교정상수에서는 20보다 큰 값을 사용해야 하는 것을 알 수 있다[2,12].

##### ④ 무차원 누기면적 NL (Normalized Leakage)

해당 건물의 바닥면적당 누기면적으로 기밀성을 나타내는 척도이다. 유효연평균침기량 (Effective annual average infiltration rate)은 ASTM E779 또는 CGSB149.10에 의해 건물외피 기밀성을 측정된 후에 NL을 활용하여 계산하며 (식 4)와 같다[14]. ASHAE Standard 119에서는 NL의 값으로 총 10단계의 누기등급을 구분하였고, 0.1미만은 A등급, 0.14미만이면 B등급 등으로 제시하여 평가할 수 있도록 하였다.

$$NL = 1000 \times \frac{ELA_{ave}}{A_{floor}} \times \left[ \frac{H}{H_r} \right]^{0.4} \quad (식\ 4)$$

$ELA_{ave}$  = 가압과 감압의 평균 유효누기면적 [ $m^2$ ]

$A_{floor}$  = 측정세대 바닥면적 [ $m^2$ ]

$H$  = 압력차법 공간인 높이, 층고 [m]

$H_r$  = 기준높이 [2.5m]



### 3. 측정결과

#### 3.1. 실측결과

압력차법을 이용하여 4개의 세대에 대해 측정된 누기량을 Fig. 4.에 나타내었다. 가압법과 감압법의 경우 압력차는 10Pa부터 60Pa까지 10Pa 간격으로 실내·외 압력차를 증가시키며 측정하였고, 60Pa에서 10Pa씩 감소시키며 2회 측정하여 평균값을 나타낸 결과이다.

감압법의 경우 실내·외 압력차를 음압의 값으로 나타내었고, 누기량의 경우도 음의 값으로 표현하였다. 즉, 벽식구조인 A동의 1개 세대에서 50Pa일 때 가압법의 풍량은 474 m<sup>3</sup>/h, 감압법에서의 풍량은 -433 m<sup>3</sup>/h으로 나타났다. 각 세대별 50Pa일때의 가압법과 감압법의 풍량을 살펴보면 무량판구조 세대는 559 m<sup>3</sup>/h, -596 m<sup>3</sup>/h이다. 라멘구조 세대의 50Pa일 때는 533 m<sup>3</sup>/h, -598 m<sup>3</sup>/h이고, 건식의 피시시스템이 설치된 라멘구조 세대는 826 m<sup>3</sup>/h, -797 m<sup>3</sup>/h로 나타났다.

Fig. 3.을 살펴보면, 벽식구조 세대(A-Wall)가 실내·외 압력차에서 가장 낮은 누기량의 분포를 나타내고 있으며, 라멘구조 중 건식외피시스템이 설치된 세대가 상대적으로 많은 누기량을 나타내고 있음을 알 수 있다. 무량판구조와 라멘구조 세대는 거의 비슷한 분포를 나타내고 있으나, 무량판구조가 누기량이 각 차압별 평균 12m<sup>3</sup>/h 많게 나타났다.

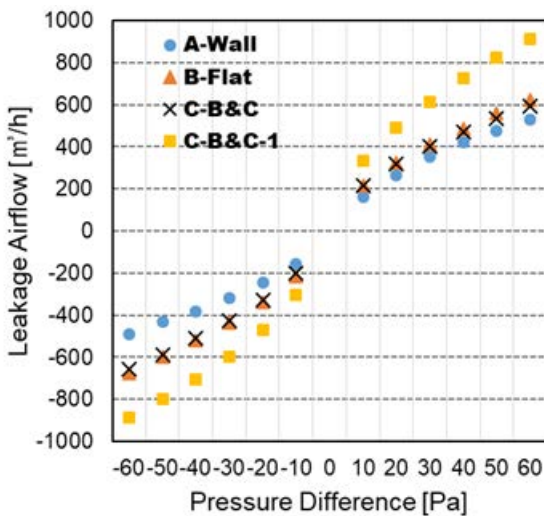


Fig. 4. Leakage airflow rate and pressure difference data

#### 3.2. 압력차 지수 n (Pressure exponent)

틈새의 특성을 분석하기 위해서 압력차 지수 n값을 나타낸다. 보통 n값은 바람이 층류나 난류에서 0.5~1.0 범위내에 존재하게 된다. n값은 누기면적을 나타내는 지표가 되며 기밀성능 진단에 중요한 값이다[16]. 기존연구[15]에 의하면 n값이 0.5에 가까우면 틈새의 흐름이 적은 형태이고, 1.0에 가까우면 틈새가 크게 열려 있는 형태이다. 또한 ASTM E779에 따르면 압력차지수 n값이 0.5미만거나 1보다 큰 경우는 비정상 측정 결과이므로 재측정을 실시해야 한다.

Table 2.는 측정세대의 n값을 나타내며 0.58~0.64의 범위를 나타내고 있다. 기존연구에서 857세대를 압력차법으로 측정된 결과,

n값의 평균은 약 0.61로 측정되어 비슷한 수준의 압력차 지수값을 타내고 있음을 알 수 있다.

Table 2. Pressure exponent by measurement

		Pressure exponent, n
A-Wall	Pressurization	0.63
	Depressurization	0.62
B-Flat	Pressurization	0.60
	Depressurization	0.63
C-B&C	Pressurization	0.58
	Depressurization	0.63
C-B&C-1	Pressurization	0.58
	Depressurization	0.58

#### 3.3. 유효누기면적(ELA)과 상당누기면적(EqLA)

Table 3.은 각 세대별 가압과 감압에 대한 유효누기면적과 상당누기면적의 결과를 나타내었다. 벽식구조의 가압법에서의 유효누기면적의 평균은 103.7cm<sup>2</sup>, 감압법에서는 93.4cm<sup>2</sup>이다. 상당누기면적은 압력차가 10Pa일때의 누기면적이므로, 4Pa의 유효누기면적보다 약 1.75~1.85배 정도 더 큰 분포를 나타내고 있음을 알 수 있다.

Table 3. ELA and EqLA by structural types

		A-Wall	B-Flat	C-B&C	C-B&C-1
ELA (cm <sup>2</sup> )	P	103.7	133.2	131.4	204.9
	DP	93.4	131.4	129.1	196.9
EqLA (cm <sup>2</sup> )	P	191.7	238.8	232.6	362.0
	DP	173.6	241.8	238.5	348.4

\* P: Pressurization, DP: Depressurization

#### 3.4. ACH50

누기량에 측정세대 체적을 나누어 기밀성능 ACH50을 Fig. 5.에 나타내었다. 벽식구조에서 가압법은 3.5 ACH50, 감압법은 3.2 ACH50으로 나타났다. 건식외피시스템 설치세대가 6.1 ACH50과 5.6 ACH50으로서 가장 높은 분포를 나타내었고, 기밀성능에 취약한 것을 알 수 있다. 국내에는 아직 기밀성능의 기준이 없으나 한국 건축친환경설비학회에서 5.0 ACH50이하의 기밀성 규정 관점에서 건식외피시스템이 설치되어 있는 세대를 제외하고는 규정을 만족하는 수준의 기밀성을 확보하고 있는 것을 알 수 있다.

국내 연구[15]를 살펴보면, 2010년 이후 준공된 공동주택 857세대를 압력차법을 이용하여 기밀성능을 측정하였으며 평균 1.04~4.81 ACH50의 분포를 나타내었고 세대면적이 작을수록 높게 나타나고 있었다. 이와 비교하였을 때 본 연구에서의 벽식구조와 기밀성능이 비슷한 것을 알 수 있다. 다만, 무량판 구조와 라멘구조의 세대

가 벽식구조보다 약 0.4~1.2 ACH50 높게 나타나는 것은 건식 경량 벽체에 기인하는 것으로 판단되며 이는 기존연구[15]에서도 언급하고 있는 바이다. 건식경량벽체의 기밀화 시공을 고려해야 할 필요가 있다.

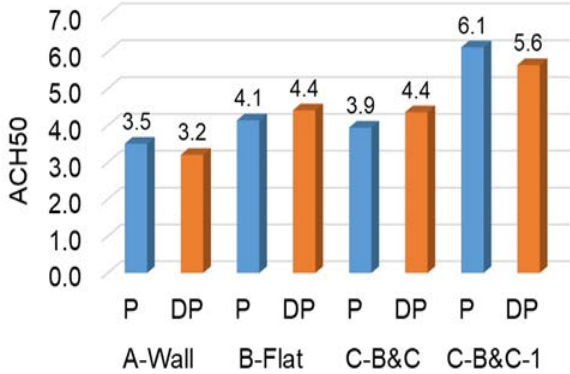


Fig. 5. ACH air leakage at 50Pa according to different structure

### 3.5. 침기량 분석

실내 · 외 인위적 압력차를 가하여 측정하는 압력차법보다는 추적가스를 이용하는 Tracer gas method가 실제 기후조건 상태에서 측정하는 방법이다. 그러나 추적가스법은 설치의 어려움과 비용이 높기에 압력차법을 주로 이용하고 있으며 이에 대해 자연상태인 1~4Pa에서의 침기량으로의 변환이 필요하다. (식 3)에서와 같이 교정상수로 20을 사용하여 침기량을 환산한 결과를 Fig. 6.에 나타내었다.

벽식구조 세대의 침기량은 0.16(회/h)에서 0.18(회/h)로 나타났고, 건식외피시스템 설치 세대는 0.28(회/h)에서 0.31(회/h)로 나타났다.

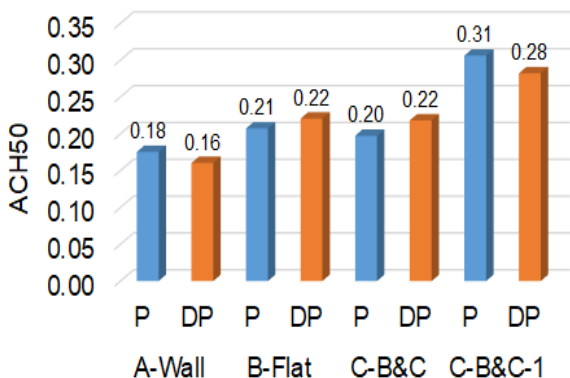


Fig. 6. ACH according to different structure

### 3.6. NL

(식 4)를 통해 4개의 측정세대의 NL을 산정한 결과를 Fig. 7.에 나타내었다. 벽식구조는 NL이 0.17로 C등급이며, 무량판과 라멘구조는 0.23으로 D등급, 건식외피시스템은 0.36으로 E등급을 나타내고 있다.

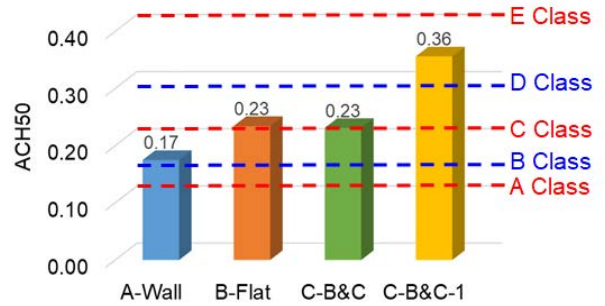


Fig. 7. NL according to different structure

## 4. 결론

본 연구에서는 동일한 단지내에서 벽식구조, 무량판 구조, 라멘구조, 라멘구조 중 건식외피시스템이 설치된 각 세대에 대해 압력차법을 이용하여 구조타입별 기밀성능을 측정하였다. 본 연구를 통해 획득한 주요 결과는 다음과 같다.

- (1) 벽식구조에서 가압법은 3.5 ACH50, 감압법은 3.2 ACH50으로 나타났다. 건식외피시스템 설치세대가 6.1 ACH50과 5.6 ACH50으로서 가장 높은 분포를 나타내었고, 기밀성능에 취약한 것을 알 수 있다.
- (2) 무량판 구조와 라멘구조의 세대가 벽식구조보다 약 0.4~1.2 ACH50 높게 나타나는 것은 건식 경량벽체에 기인하는 것으로 판단되었으며, 세대간 건식 경량벽체의 기밀화 시공을 고려할 필요가 있다.
- (3) 인위적인 압력차법을 이용하여 기밀성능인 ACH50에서 교정상수를 활용하여 침기량을 환산한 결과, 벽식구조의 침기량은 0.16~0.18회/h, 무량판 및 라멘구조는 약 0.20~0.22회/h로 비슷한 분포였고, 건식외피시스템 설치세대가 약 0.3회/h로 다소 높게 나타났다.

본 연구를 통해 공동주택 기동식 구조시스템의 기밀성 측정을 분석하였으며, 향후 건식벽체의 기밀 설계 및 시공 분야가 발전할 것을 기대한다. 압력차법을 통해 환산한 침기량값과 추적가스를 이용한 침기량 측정을 통해 값의 비교 연구와 우리나라만의 교정상수를 검토하는 연구를 진행할 계획이다.

## Acknowledgement

본 연구는 2019년 국토교통부 주거환경연구사업(과제번호: 19RERP-B082173-06) 연구비지원으로 이루어졌습니다. 실험을 도와준 B.S.Lab의 홍 준, 안유선, 이상규 연구원에게도 감사를 표합니다.

## Reference

[1] ASHRAE Handbook Fundamentals 2017, Chapter 16, Ventilation and Infiltration, pp.16.15-16.18.  
 [2] G. Hong, D.D. Kim, Airtightness of electrical, mechanical and architectural

- components in South Korean apartment buildings using the fan pressurization and tracer gas method, *Building and Environment*, 2018.03, pp.21-29.
- [3] 강기남, 박민주, 공동주택 제로에너지 건축의 핵심기술에 관한 연구, 대한건축학회 추계학술발표대회, Vol.37 (2호), 2017.10, pp.480-483. // (K.N. Kang, M.J. Park, Study on the Major Technology of Zero Energy Architecture Technique in Residential building, AIK Fall Conferences, 2017.10, Vol.37 (2), pp.480-483.)
- [4] 국내 첫 고층 제로에너지 공동주택 준공, 국토교통부 보도자료 2019.07. // (Completion of the first multi-family residential buildings for zero energy, a brief of MOLIT, 2019.07.)
- [5] 방중대, 박지영, 공동주택 구조형식 변화와 장수명 주택, 대한건축학회지, Vol.61 (8호), 2017.08, pp.14-17. // (J.D. Bang, J.Y. Park, Structural Development in Long Life Housing of LH, AIK, Vol.61 (8), 2017.08, pp.14-17.)
- [6] M.H. Sherman, The Use of Blower-Door Data, *Indoor Air*, Vol.5, No.3, 1995.9, pp.215-224.
- [7] 권오현외, Blower Door를 이용한 국내 주거용 건물의 기밀도 실측 사례 분석, 대한건축학회 논문집, Vol.26 (7호), 2010.07, pp.303-340. // (O.H.Kwon et al., Case Study of Residential Building Air Tightness in Korea based on Blower Door Test Approach, AIK, Vol.26 (7), 2010.07, pp.303-340.)
- [8] 박지영, 송상훈, 방중대, 라멘구조 공동주택 사례분석을 통한 비용절감형 장수명주택의 방향, 한국주거학회학술대회, Vol.26 (2호), 2014.11, pp.71-74. // (J.Y. Park, S.H. Song, J.D. Bang, A Case Study on Beam-Column Residential Apartments for Cost-effective Long-life Housing, Khousing Fall Conferences, Vol.26 (2), 2014.11, pp.71-74.)
- [9] 홍구표외, Mock-Up 실험 및 시뮬레이션을 이용한 공동주택 건식외피 시스템 적용성 분석, KIEAE Journal, Vol.18 (1호), 2018.02, pp.1-10. // (G. Hong et al., Analysis on the Application of Envelope Systems developed for Apartments by Using Mock-Up Test and Simulation Tools, KIEAE Journal, Vol.18 (1), 2018.02, pp.1-10.)
- [10] KS L ISO9972 단열-건물 기밀성 측정-팬가압법, 2016. // (Korean Standards Association, 2016, KS L ISO 9972-Thermal insulation-Determination of building airtightness-Fan pressurization method, KATS 2016-0431.)
- [11] 웅드람, 송두삼, 김주옥, Blower Door를 이용한 건물의 기밀성능 시험 방법의 고찰, 설비공학회 논문집, Vol.31 (5호), 2019.05, pp.216-226. // (M. Undram, D. Song, J. Kim, A Review of the Test Methods for Airtightness Performance of Building Components Using the Blower Door System, KIACR, Vol.31 (5), 2019.05, pp.216-226.)
- [12] 신현국, 조재훈, 건물의 기밀성능 측정에서의 가압압법 테스트조건 비교, 대한건축학회 논문집, Vol.27 (8호), 2011.08, pp.279-276. // (H.K. Shin, J.H. Joe, Comparison of Test Conditions of the Fan Pressurization Method in measuring the Building Airtightness, AIK, Vol.27 (8), 2011.08, pp.279-276.)
- [13] 강기남외, 침기량 ACH50 교정상수 N=20? (주거건물을 중심으로), SAREK Summer Conferences, 2015, pp.435-438. // (K.N. Kang et al., Infiltration : Just ACH50 Divided by 20? (Concentrated on a Residential Building) SAREK Summer Conferences, 2015, pp.435-438.)
- [14] ASHRAE Standard 62.2-2016, Ventilation and Acceptable Indoor Air Quality in Low-Rise Residential Buildings.
- [15] 지경환, 신현국, 조재훈, 국내 고층 공동주택의 기밀성능 특성 분석 및 누기부위 조사, 한국건축환경설비학회논문집, Vol.10, (4호), 2016.08, pp.307-312. // (K.H. Ji, H.K. Shin, J.H. Jo, Analysis of Airtightness Characteristics and Investigation of Leakage Point in High-rise Residential Buildings, Journal of KIAEBS, Vol.10, (4), 2016.08, pp.307-312.)
- [16] F.R. Amvrosio Alfano et al., Experimental analysis of air tightness in Mediterranean buildings using the fan pressurization method, *Building and Environment*, Vol.53, 2012.07, pp.16-25.