제 출 문

국토교통부장관 귀하

이 보고서를 " 제로에너지 건물구현을 위한 국가 기밀도 기준정립 및 측정방법(KS) 개발에 관한 연구"과제의 보고서로 제출합니다.

2014. 11.

주관연구기관명 : 인하대학교 산학협력단
주관연구책임자 : 조재훈
공동연구기관명 : 세종대학교 산학협력단
공동연구책임자 : 성민기
공동연구기관명 : 건축사사무소 탑
공동연구책임자 : 최정만

보고서 요약서

<table>
<tr><td>과제고유번호</td><td>11첨단도시 C11</td><td>해 당 단 계 연 구 기 간</td><td>2011.9.30. ~ 2014.9.29.</td><td>단 계 구 분</td><td>(3)/(3)</td></tr>
<tr><td>연 구 사 업 명</td><td colspan="5">건설교통기술촉진사업</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연 구 과 제 명</td><td>최 상 위 과 제 명</td><td colspan="4">제로에너지 건물 구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발</td></tr>
<tr><td>단위과제명</td><td colspan="4"></td></tr>
<tr><td>연 구 책 임 자</td><td>조 재 훈</td><td>총연구기간 참 여 연구원수</td><td>총 : 54명
내부 : 24명
외부 : 30명</td><td>총연구비</td><td>정부 :499,000천원
기업 :173,000천원
계 :672,000천원</td></tr>
<tr><td>연구기관명 및 소 속 부 서 명</td><td colspan="2">인하대학교 산학협력단</td><td>참여기업명</td><td colspan="2">-</td></tr>
<tr><td>국제공동연구</td><td colspan="3">상대국명 :</td><td colspan="2">상대국연구기관명 :</td></tr>
<tr><td colspan="4">요약</td><td>보고서면수</td><td>167</td></tr>
<tr><td colspan="6">• 건물에너지 절감을 핵심적인 요소로 건물에서의 기밀화가 필요하며 국내 건축물 기밀성능 기준 및 성능검증을 위한 표준화된 측정방법이 없음
• 국가적인 에너지절약 정책에 부합하는 국내 건물의 제로에너지 구현을 위해 필수적인 건물 유형별 ‘기밀성능 기준’을 정립하고 이를 실행하기 위한 KS규격 기반의 ‘기밀성능 측정방법’을 개발

• 건물 기밀성능 측정방법 및 프로세스 정립
• 건물 유형별 기밀성능 현황 측정을 통한 국내 기밀성능 데이터 구축
• 건물에너지 절약을 위한 국내 기밀성능 기준 정립
• 건물 부위별 기밀화 방안 표준안 마련
• 국가 에너지절약을 위한 기밀성능 기준 법제화 및 국내 성능인증제도 연계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">색 인 어 (각 5개 이상)</td><td>한 글</td><td colspan="4">건물에너지, 에너지절약, 국가 기준, 기밀성능, 측정방법</td></tr>
<tr><td>영 어</td><td colspan="4">Building Energy, Energy Saving, National Standard, Airtightness, Measurement Methods</td></tr>
</table>

요 약 문

Ⅰ. 제 목: 제로에너지 건물 구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법 개발

Ⅱ. 연구개발의 목적 및 필요성

- 건물에서는 기밀, 단열, 고성능창호, 고효율환기가 에너지절약의 기본임
- 건축물 침기에 의한 냉난방부하가 20~40%를 차지함 → 기밀화가 필요
- 선진국에서는 건물의 기밀도 기준을 법제화하여 에너지절약건물 시행
  : 국내에는 아직 건물의 기밀도 기준에 대한 연구나 법제화가 미흡함

- 기밀성능 기준 수립: 건물 유형별 국가 기밀성능 수준 정립
- 기밀성능 측정방법 개발: KS 규격(안)
- 기밀화 표준안 개발: 기밀화 체크리스트 및 시방서 마련

Ⅲ. 연구개발의 내용 및 범위

- 건물 기밀성능 측정방법 및 프로세스 정립
- 건물 유형별 기밀성능 현황 측정을 통한 국내 기밀성능 데이터 구축
- 건물에너지 절약을 위한 국내 기밀성능 기준 정립
- 건물 부위별 기밀화 방안 표준안 마련
- 기밀측정 교육프로그램 개발 및 인력양성

Ⅳ. 연구개발결과

- 건물 기밀성능 측정방법 KS규격(안) 마련
- 건물에너지 절약을 위한 국내 기밀성능 기준 정립
- 건물 부위별 기밀화 방안 표준안 마련
- 기밀측정 교육프로그램 개발 및 인력양성
- 국내 기밀성능 데이터베이스 구축 시스템 구현

Ⅴ. 연구개발결과의 활용계획

- 친환경·저에너지 건물 구현을 위한 주요 핵심기술인 기밀 수준 달성
- 건물 기밀성능 평가를 위한 객관적이고 표준화된 측정법 제공
- 관련 자재 산업 및 친환경·저에너지 건물 엔지니어링에 활성화
- 건물 기밀성능 확보를 위한 설계 및 시공 가이드라인을 제공

SUMMARY

I. Title: Development of the airtightness criteria and air leakage measurement methods for the zero-energy buildings

Ⅱ. Research objectives

- Establishment of air tightness standard for realizing zero-energy buildings
- Suggestion of KS based air tightness measurement procedures
- Providing airtight construction method and design procedures

Ⅲ. Research scope

- Development of building air tightness measurement methods: collecting existing measurement procedures from the open literature, providing a draft of KS.
- Field measurements: performing field measurements of building airtightness for over 4 test buildings
- Suggesting building airtightness checklists useful at construction phase

Ⅳ. Research results

- National airtightness criteria
- Airtight measurement method for large buildings
- Checklists for airtight constructions
- Learning program for certified air leakage tester
- Web-based database system for airtightness data

Ⅴ. Use of research outcomes

- To use as core technology and criteria for building energy conservation
- Adopting into the national building codes and green building certification
- Use as a tool for building energy conservation

CONTENTS

Chapter 1. Research overview	7
Chapter 2. Research activities and results	34
Chapter 3. Final research performance	79
Chapter 4. Research outcomes and effects	89
Chapter 5. Use of research results	93
References	106
Appendix	110

목 차

제1장 연구개발과제 개요 7

제2장 연구개발수행 내용 및 결과 34

제3장 최종 연구성과 및 적용실적 79

제4장 연구목표 달성 및 효과 89

제5장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성 93

참고문헌 106

부록 110

제 1 장 연구개발과제 개요

1.1 연구개발의 목적 및 필요성

1. 연구개발 배경

- 건물에너지 절감을 핵심적인 요소로 건물에서의 기밀화가 필요
- 국내 건축물 기밀성능 기준 및 성능검증을 위한 표준화된 측정방법이 없음
- **국가적인 에너지절약 정책에 부합하는 국내 건물의 제로에너지 구현을 위해 필수적인 건물 유형별 ‘기밀성능 기준’을 정립하고 이를 실행하기 위한 KS규격 기반의 ‘기밀성능 측정방법’을 개발**

국내 총에너지 소비량의 20% 정도를 차지하는 건물분야에서의 에너지 소비는 향후 주요 선진국들에서 건물분야가 차지하는 전체 에너지소비의 30～40% 수준까지 높아질 것으로 예상된다. 이에 따라 건물에서의 에너지 소비를 줄이기 위해서 건물 기밀성능의 중요성이 증가되고 있다. 우리나라와 같은 기후대의 기밀하지 못한 건물에서의 침기와 누기는 냉난방 에너지 비용을 상승시키고, 결로 등의 문제를 야기한다. 특히 복합시설 및 고층건물에서 필연적인 연돌효과로 인한 문제점을 발생시키는 직접적인 원인이 되어 이로 인한 과도한 공기유동은 표준건물 대비 냉난방에너지 2~3배 상승, 건물 기능 마비 등의 여러 가지 문제를 초래하고 있다. 각 선진국에서 요구하는 건물 에너지절약 기준에는 가장 주요한 요소로 신축건물이 달성해야하는 기밀수준을 정하고 있으며 이를 검증 평가하도록 제도화하고 있다. 그러나 국내에서의 건물 기밀성능에 관한 제도적 기반은 북미나 유럽 선진국들에 비해 없거나 취약한 실정이다. 따라서 국가적인 에너지절약 정책의 구체적인 실현을 위해서는 먼저 공기의 유동을 차단하는 건물의 기밀화가 필수라 할 수 있다. 건물에서의 불필요한 공기유동을 효과적으로 차단하기 위해서는 건물의 기밀한 설계/시공이 우선적으로 요구되며 외피를 포함하는 건축적 요소에서의 전반적인 기밀화가 뒷받침 될 때, 건물의 사용성능 향상 및 에너지절약을 달성할 수 있다. 또한 건물을 기밀화하면 동절기(하절기)에 외기의 유입을 효과적으로 차단할 수 있으며, 건물의 단열 성능 향상, 효과적인 환기 계획을 실현하여 실내를 쾌적하게 유지할 수 있으며, 먼지나 오염물질의 차단, 냉난방 비용의 절감, 건물 외피의 성능 향상, 그리고 건물의 노후화 방지 등의 이점이 있다.

본 과제에서는 국가적인 에너지절약 정책에 부합하는 국내 건물의 제로에너지 구현을 위해 필수적인 건물에서의 ‘기밀성능 기준’을 정립하고 이를 실행하기 위한 KS규격 기반의 ‘기밀성능 측정방법’을 개발한다. 아울러 건설산업 분야에서 이러한 기밀성능 기준이 구체적으로 실현되기 위한 건물 계획/시공과정에서 필요한 ‘기밀화 표준안’을 마련한다.



그림 1. 연구의 개요(초기 연구계획서 내용으로 연차평가의 수정이 반영된 도안은 아님)

3차년도 최종점검에서 제시된 의견을 반영하여 환기와 침기를 구분하고 건물기밀의 중요성을 기술함

- **건물외피의 기밀성**

  외피에서 실내에서 외기로 이동하는 공기로 정의되기도 하는 용어는 환기와 구분하여 침기 및 누기이다. 건물외피는 기밀해야만 한다. 이에 대해 널리 퍼져 있는 반대의견은 건물의 연결부위가 건물의 주거 유닛에 공기 공급과 환기를 보장한다는 생각인데 이는 잘못된 가정에서 출발한 것이다. 왜냐하면 외피의 연결부위에서 발생하는 공기의 교환은 풍압과 온도에 따라서 극단적으로 넓은 범위에서 다양하게 일어날 수 있으며, 외풍이 심한 건물이라면 온순한 기후와 약한 바람조건에서조차 적절하게 신선한 공기를 공급하지 못한다. 오히려 연결부위에서의 공기흐름(침기 및 누기)은 수많은 문제점을 가진다. 예를 들면 건물에 하자가 발생하는 원인 중 많은 요인들이 침기가 심각하게 발생하는 건물외피 때문에 발생한다. 그 외에도 건물외피나 관통부에서 공기가 쉽게 움직이게 되면 차음성능의 저하와 불필요하게 많은 열손실을 초래할 수 있다. 그러므로 모든 건물에서는 매우 높은 수준의 기밀성이 요구된다. 이와 함께 환기시스템은 신선한 공기 공급을 위해서 최소한으로 요구되는 공기교환비율을 보장하여야 한다.

- **기밀성의 이점**

  1) 습기와 관련된 건물 손상 방지 : 실내공기 단위체적(1㎥)이 함유하고 있는 습기는 외기와 비교해서 상당한 차이로 훨씬 많다. 습하고 따뜻한 공기가 연결부위를 통해 스며져 나올 때, 통과하는 동안 공기는 불가피하게 차가워져 그 온도는 일반적으로 추운계절 동안에 응결점 아래로 떨어진다. 이것은 시공구성 요소에서 결로로 발전될 수 있는 누기부에서의 응결이 일어나게 한다.

  2) 틈새바람과 차가운 바닥 방지 : 건물의 연결부위를 통과하는 바람에 의한 틈새바람(draft)은 매우 불쾌할 수 있다. 왜냐하면 공기흐름의 속도와 방향이 매우 다양하여 예측하기 어렵고, 이러한 침기는 매우 차갑기 때문이다.

  3) 침기에 의한 열손실 방지 : 동절기에 발생하는 모든 침기는 열손실을 초래한다는 것을 의미한다. 침기에 의한 열손실은 외기온도에 의해 결정되기 때문에 미리 대비하거나 조절이 불가능하므로 이를 미연에 방지하는 것이 필요하다.

  4) 실내 요구량에 따라 작동하는 환기시스템 적용을 위한 필수조건 : 열회수(heat recovery)를 특징으로 하는 환기시스템을 사용할 때 침기에 의한 손실을 최소한으로 유지하는 것은 매우 중요하다. 침기에 의한 공기흐름은 열교환기를 거치지 않기 때문에 환기시스템을 사용했을 때조차도 열회수는 불가능한다. 통해서 공기가 움직일 때 보다 대략 3배정도 많은 셈이다.

  5) 효과적인 단열을 위한 필수조건 : 누기에 의해 공기가 단열재를 관통하게 되면 환기 열손실이 커지고, 결국 단열효율을 떨어뜨린다. 이렇게 되면 성능이 현저히 낮아질 수 밖에 없으며, 낮은 열손실을 얻기 위해서 두꺼운 단열층을 사용하는 현대건물에서 특히 그러하다. 기밀성 뿐만 아니라 적절한 방풍(wind resistance) 또한 단열이 적절하게 기능하는데 중요하다.

  6) 차음성능의 향상 : 매우 작은 구멍을 통해서도 소리가 전달될 수 있음은 비전문가에게는 매우 당황스러운 경험이다. 그러므로 우수한 차음성능은 매우 기밀한 시공이 이루어질 때에만 가능하다.

  7) 내부 공기질의 향상 : 매우 우수한 기밀성능과 함께 적절히 조절되는 환기시스템을 갖추게 되면 직간접적으로 공기질 향상에 영향을 미친다. 기밀성은 차고 또는 지하실과 같이 공기오염이 증가하는 영역에서는 정말 중요하게 다루어져야 한다. 지하실 또는 1층에서의 기밀성 향상은 가장 중요한 라돈 방지 대책이다.

2. 연구개발 최종목표

가. 최종목표

본 제안과제에서는 국가적인 에너지절약 정책에 부합하는 국내 건물의 제로에너지 구현을 위해 필수적인 **건물 '기밀성능 기준'을 정립**하고 이를 실행하기 위한 **KS규격 기반의 '기밀성능 측정방법'을 개발**한다. 아울러 건설산업 분야에서 이러한 기밀성능 기준이 구체적으로 실현되기 위한 건물 설계/시공과정에서 필요한 **'기밀화 표준안'**을 마련한다.

표 1. 연구목표 (국가 기밀성능 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발)

분 류	기술 개발 목표	비 고
기밀성능 기준*	업무용 건물 1건	EU 수준**의 국제적 기준 (법제화)
	주거용 건물(단독주택) 1건 ⇒ 연차평가로 삭제	
	주거용 건물(공동주택) 1건 ⇒ 연차평가로 삭제	
	초고층 건물 또는 복합시설 1건	
기밀성능 측정방법*	업무용 건물 1건 ⇒ 연차평가로 대규모 건물	EU 수준의 국제적 기준 (KS 규격)
	주거용 건물 1건 ⇒ 연차평가로 소규모 건물	
	초고층/복합건물 1건⇒ 연차평가로 대규모 건물	
기밀화 표준안	습식공법/건식공법 체크리스트	건물 시방서
기반 구축	교육프로그램 및 기밀 데이터베이스 구축	개발 운영

* 연차평가 결과, 개별 용도가 아닌 건물규모별로 기밀성능 기준/측정방법을 개발하는 것으로 변경
** EU 수준: 국제적 에너지절약 수준을 만족하는 기밀성능 기준 수립

나. 최종목표의 성격 및 설정근거

분 류	기술 개발 목표	비 고
기밀성능 기준	건물 유형별 국기 기밀성능 수준 정립 (건물 냉난방에너지 저감 기준)	EU 수준의 국제적 기준 (법제화)
기밀성능 측정방법	KS 규격화(안) (건물 유형별 특성을 반영한 기밀측정방법의 비교평가 실시 후 최적안 수립)	EU 수준의 국제적 기준 (KS 규격)
기밀화 표준안	기밀화 체크리스트 및 시방서 작성 교육프로그램 개발 및 기밀 데이터베이스 구축	시방서 기준

3. 연구개발의 필요성

- 건물에서는 **기밀, 단열, 고성능창호, 고효율환기**가 에너지절약의 기본임
- 건축물 **침기에 의한 냉난방부하가 20~40%를 차지함 → 기밀화가 필요**
- 선진국에서는 건물의 기밀성능 기준을 법제화하여 에너지절약건물 시행
  : **국내에는 아직 건물의 기밀성능 기준에 대한 연구나 법제화가 미흡함**

⇒ 국가적인 건축물별 기밀성능 기준이 필요하고 기밀성능을 평가하기 위한 표준화된 측정방법이 필요: 건축물 관련 법규 및 인증제도와의 연계시행

기상재해 및 생태계 파괴 등의 형태로 표출되고 있는 지구온난화는 인류 생존을 위협할 정도로 심화되고 있으며, 화석연료 사용증가로 인한 온실가스 증가가 핵심 원인으로 판단되고 있다. 현재 전 세계적으로 에너지원의 약 85%를 화석연료에 의존하고 있으며, 세계 인구의 증가 및 산업화, 삶의 질 향상 등에 따라 에너지수요는 더욱 증가할 것으로 예상된다. 그러나 이러한 화석연료는 매장량이 한계에 도달함에 따라 수급 불균형 및 에너지 무기화 현상을 초래하고 있을 뿐 아니라 온실가스 배출의 주요 원인으로 환경오염을 심화시키는 구조적 한계를 가지고 있다.

건물 부문은 2010년 기준으로 국내 최종 에너지소비의 23.9%, 온실가스 배출량의 19.6%(전환 부문 제외)로 높은 비중을 차지하고 있으며, 삶의 질 향상 및 건축물 증가, 서비스업의 급격한 성장 등으로 인해 지속적인 증가가 예상된다. 또한 건물 부문의 에너지소비 비중은 선진국의 경우 국내보다 훨씬 높아, 미국의 경우 48%, 유럽의 경우 40%를 상회하여 에너지 절약과 온실가스 배출저감을 위해서는 건물 부문이 매우 중요함을 확인할 수 있다.

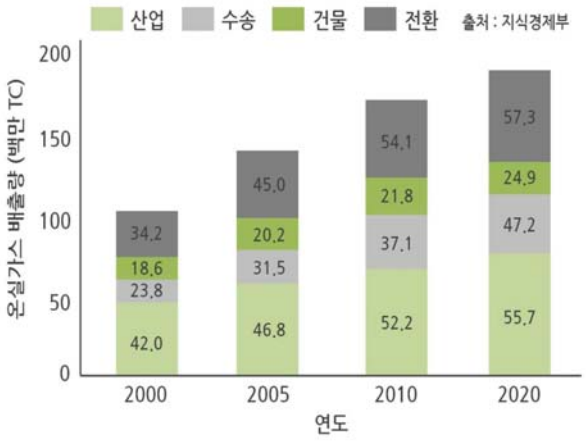


그림 2. 국내 부문별 온실가스 배출 추이

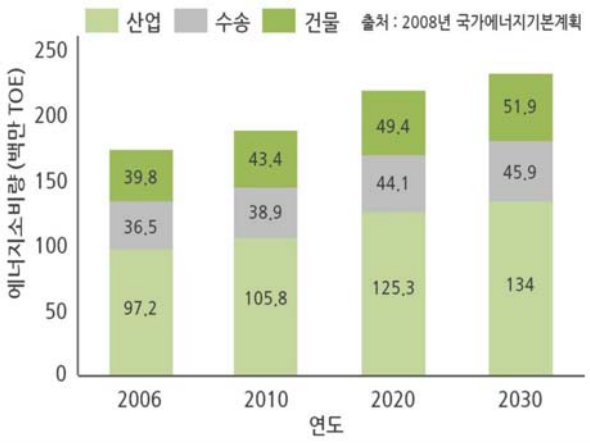


그림 3. 국내 부문별 에너지소비 추이

이에 최근 국내 건설 분야에서는 건물에서의 친환경 요구에 대한 사회적 요구를 반영하고, 점차 비중이 커져가는 건물에서 소비되는 에너지를 절약하기 위하여 건축적 자연형 기술(passive 방법) 및 건물설비 기술(active 방법)에 대한 연구개발을 통한 그린홈 및 제로에너지 건물 구현을 목표하고 있다(그림 4 참조).

- 2020년까지 그린홈 200만호 건설(신축100만, 기존 100만) 도입
- 주거용: ′12년 현 수준 대비 30% 감축, ′17년 60% 감축(패시브하우스 수준), ′25년 제로에너지 의무화
- 비주거용: ′12년 현 수준 대비 15% 감축, ′17년 30% 감축, ′20년 60% 감축, ′25년 제로에너지 의무화

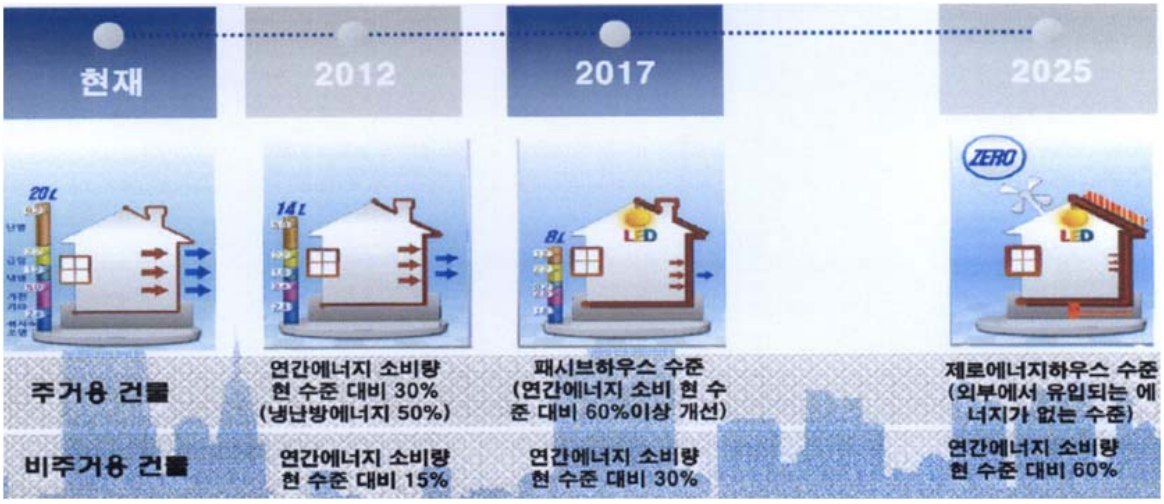


그림 4. 건물에너지절약 국가정책

그린홈 및 제로에너지 건물을 미래 도시에 보급하기 위해서는 1차적으로 건물 에너지요구량[1]을 최소화하여야하며 이를 위해서는 기밀, 단열, 고성능창호, 고효율환기가 건축물 계획에 반드시 반영되어야한다. 기존 국외 연구[2]에 따르면 건물에서 난방에너지에 영향을 미치는 인자를 분석한 결과 창호부분 다음으로 많은 비중을 차지하는 요소가 건물에서의 침기(20% 이상)라고 밝히고 있다(그림 5). 지금까지 창호나 벽체단열 등의 건축자재 분야는 기술적 발전과 국가적인 기준강화로 기존 대비 크나큰 발전을 이루어왔으나 건물에서의 기밀분야는 여전히 등한시되어 최근에는 건물 냉난방에너지 요소에서 침기가(기밀하지 못하여 발생함) 점점 더 큰 비중을 차지하는 것으로 나타났다(그림 6). 따라서 에너지절약 건물 구현을 위해서는 건물에서 많은 에너지 부분을 차지하는 기밀화가 선행되어야 한다. 건물에서의 냉난방부하에 큰 영향을 미치는 침기를 효과적으로 차단하기 위해서는 계획단계에서부터 건물의 기밀화를 위한 설계가 진행되어야 한다. 그러나 건축설계단계에서 기밀화 방법이 제안 되더라도 시공단계에서 검토평가 이루어지지 않으면 그 기밀성능 성능을 달성하기가 어렵다.

1) 건물 에너지요구량: 에너지요구량은 특정조건(내외부온도, 재실자, 조명기구 등)하에서 실내를 쾌적하게 유지하기 위해 건물이 요구하는 에너지로 건축적 조건만 고려함. 전세계적인 건물에너지성능등급 기준은 건물 에너지요구량을 우선적으로 최소화하는 방안을 제시하고 있음

2) Energy Audits of High-Rise Residential Buildings, CMHC, 1996.

또한, 건물의 공기유동경로는 눈으로 파악할 수 있는 개구부도 있지만 육안으로 파악이 불가능하거나 마감재로 인하여 숨겨진 곳도 많아 이를 모두 파악하여 공기유동을 차단하는 것은 불가능한 작업이며, 공사비가 너무 많이 소요되어 실효성이 적다고 할 수 있다. 그러므로 건축계획상 벽이 생기는 외피, 세대 벽, 코어 벽 등 에어베리어(air barrier) 역할을 할 수 있는 곳을 위주로 기밀화하는 전략이 필요하다고 할 수 있다. 또한, 기밀화 작업은 대부분 시공단계에서 시행되므로, 건설산업 분야에서 건물 시공 시, 현장에서 기밀화 부위를 파악하여 관리할 수 있도록 일반화된 기밀화 표준안 마련이 필요하다.

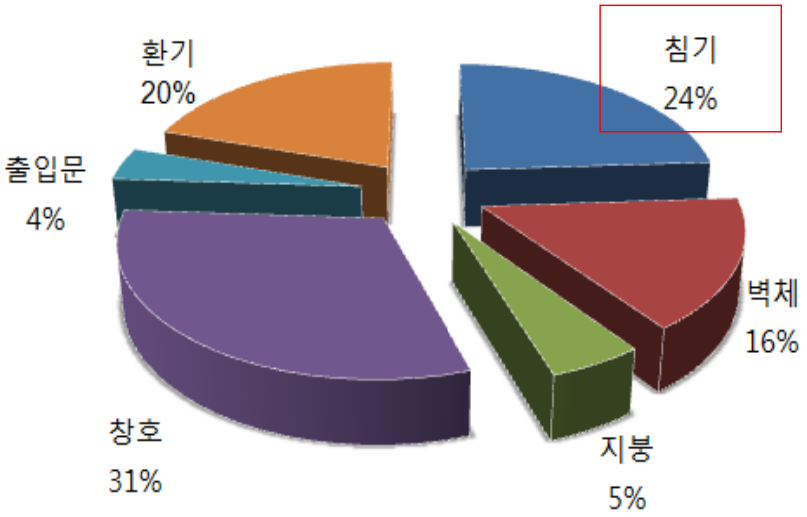


그림 5. 건물에서 난방부하를 구성하는 요소(고층건물 예)

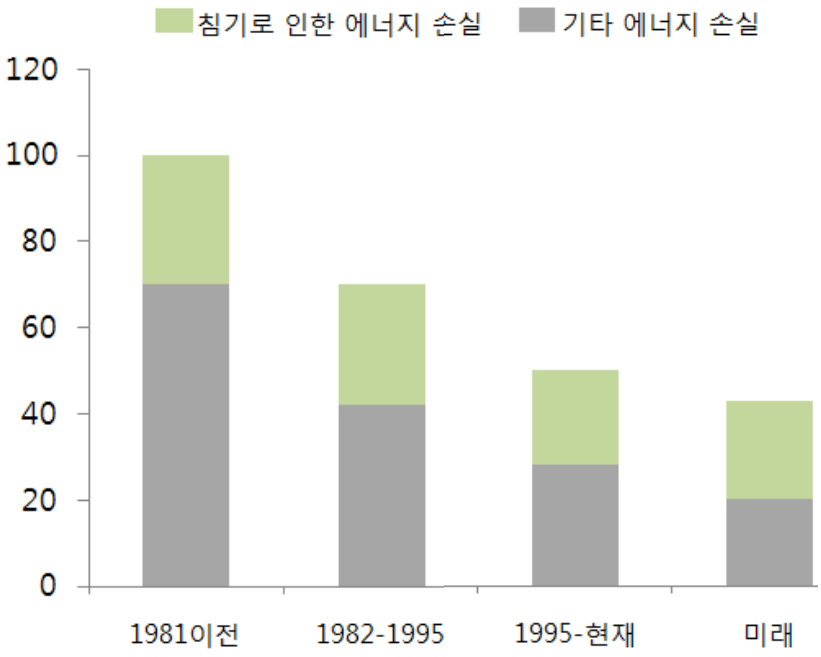


그림 6. 건물에너지에서 침기가 차지하는 비중

가. 국내·외 현황

: **국내** 각종 친환경 저에너지건물 관련 국내 법규 및 제도 현황

- 국내: 주거건물에서의 화석에너지 사용 저감 및 온실가스 배출량 감축을 위한 그린리모델링, 그린홈 건설을 추진 중
- 건축물 에너지절약설계기준(국토교통부)
- 친환경주택 건설기준 및 성능(국토교통부)
- 주택성능등급표시제도(국토교통부)
- 친환경건축물인증제도(국토교통부, 환경부)
- 건물에너지효율등급인증제도(국토교통부, 산업통상자원부)

⇒ 선언적인 건축물의 에너지절약 설계기준 및 인증제도로 실질적인 건물에너지 성능을 높이기 위한 **기밀성능 기준 및 평가방법이 없으므로 국내 건물의 측정을 통한 기밀성능 기준 마련이 필요함**

: **국외** 각종 친환경 및 저에너지건물 관련 인증제도에서의 기밀성능 평가 시행

- 미국, 유럽연합(EU), 일본 등: 탄소 배출량을 최소화한 탄소 제로 도시(Zero－Carbon City), 탄소 중립 도시(Carbon－Neutral City), 탄소 제로 주택(그린홈) 등의 프로젝트를 적극 추진 중
- 미국: LEED, HERS 건물기밀성능 기준 제시 및 기밀성능 평가가 필수항목
- 캐나다: LEED Canada, R-2000, C-2000 기밀성능 기준 제시
- 영국: Building regulations Part L2, 2006년부터 모든 건물에 기밀평가를 시행
- 독일: EnEV Energy Pass(에너지절약등급평가 기준) 신축건물 기밀성능을 규정
- 유럽: 건물에너지성능지침 시행(ATTMA: 유럽기밀협회에서 기밀성능 기준 정립)

⇒ **기밀성능은 해당 국가의 건축설계 및 시공단계에서의 기밀성능 관리수준에 따라 달라지므로 각 나라의 측정 data를 바탕으로 기준을 수립하여 신축 및 기존 건물 등의 에너지성능평가를 위한 기밀성능 기준 시행(표 2)**

⇒ **각 나라별 조건에 맞는 건축물 기밀성능 측정방법 지정(표 3)**



그림 7. 국외 판매시설건물의 기밀성능 측정



그림 8. 국외 대형건물의 기밀성능 측정

표 2. 국외 건물에너지 절약을 위한 기밀성능 기준

국가	관련 기준	기밀성능 기준	측정방법	측정조건	측정결과표현
미국	ASHRAE Standard 90.1-2004	CFM75/ft² ≤ 0.4	ASTM E779	풍속 2m/s 이하, 온도 5~35℃ 이내, 200[m·K] 이하	
		CFM75/ft² ≤ 0.6			Handbook-Leaky
		CFM75/ft² ≤ 0.3			Handbook-Average
		CFM75/ft² ≤ 0.1			Handbook-Tight
	USACE	CFM75/ft² ≤ 0.25	USACE 규정집	풍속 6m/s이하, (건물 10m내에서)	CFM75/ft²
	LEED	ELA@4Pa ≤ 0.868cm²/m²	ASTM E779	풍속 2m/s 이하, 온도 5~35℃ 이내, 200[m·K] 이하	ELA@4Pa(EfLA@4Pa)
캐나다	Canadian R-2000	EqLA@10Pa ≤ 0.7 ACH@50 ≤ 1.5	CAN/CGSB 149.10-M86	풍속 5.6m/s 이하	EqLA@10Pa, ACH50
일본	JIS	0.5 ACH@10Pa — RC조 주택	JIS A-1516	풍속 5.6m/s 이하	EqLA@4Pa
		0.7 ACH@10Pa — 조적조 및 공업화주택			
		1.0 ACH@10Pa — 기타주택			
영국	Building regulation Part L2	<10 ㎥/h · ㎡@50	BS EN 13829	풍속 6m/s 이하 250m · K 이하	㎥/h · ㎡
독일	Passive house	ACH@50 ≤ 0.6	DIN EN 13829	-	50Pa에서의 회/시
	EnEV	ACH@50 ≤ 1.5 ~ 3.0	DIN EN 13829	-	
스웨덴	SIB	ACH@50 ≤ 3.0	SS 02 15 51 Swedish Building Code 1980	풍속 6m/s 이하 (건물 10m 내에서)	50Pa에서의 회/시
		3~6㎥/h · ㎡@50			
노르웨이	NBI	ACH@50 ≤ 1.5~4	NS-INSTA 130	풍속 6m/s 이하	50Pa에서의 회/시
벨기에	BBRI	ACH@50 ≤ 1 — 기계환기	EN 13829	-	50Pa에서의 회/시
		ACH@50 ≤ 3 — 폐열회수			
스위스	NEFF, EMPA	최소 : ACH@50 ≤ 2 ~ 2.5 최대 : ACH@50 ≤ 3 ~ 4.5	EN 13829	-	50Pa에서의 회/시
프랑스	CSTB	ACH@50 ≤ 0.2	-	-	50Pa에서의 회/시
네덜란드	TNO	최대:100~200d㎥/s (ACH@10 ≤ 1.4~2.24) 최소:30~50d㎥/s (ACH@10 ≤ 0.4~0.72)	NEN 2682	풍속 6m/s 이하 자연압력차 5 Pa이하	1, 10Pa에서의 Flowrate
		최대 80d㎥/s (ACH@10 ≤ 0.72~1.15)			
한국	-	없음	-	-	-

표 3. 각 나라별 기밀성능 주요 측정방법

국가	관련 기준 또는 규정	압력차 측정범위	측정횟수	가감압	측정조건	측정결과표현
미국	ASTM E779	10～60Pa	5～10	가감압	풍속 2m/s이하 온도5～35℃ 200m・K이하	ELA@4Pa
캐나다	CGSB	15～50Pa	1,2 또는 7	감압	풍속 5.6m/s이하	EqLA@10Pa
유럽	DIN EN 13829	10～50Pa	5 이상	가감압	풍속 6m/s이하 500m・K이하	ACH50
영국	ATTMA	10～60Pa	7	가감압	풍속 6m/s이하	$(m^3/h)・m^2$
미국	USACE	25～75Pa	12	가감압	풍속 6m/s이하 (건물10m 내에서)	$CFM75/ft^2$
국제	ISO 9972	15～60Pa	5～10	가감압	풍속 3m/s이하 200m・K이하	Flow coeff. & Exponent
한국	없음	-	-	-	-	-

나. 문제점

국내에서는 건물의 기밀성능에 관한 연구는 주거건물에서 민간과제를 위주로 일부 이루어졌으나 북미나 유럽 선진국들에 비해 상당히 부족한 실정이다. 또한 건물 용도별 기밀성능 기준을 정립하기에는 건물 기밀성능 데이터가 거의 없는 수준이라고 할 수 있다. 국외의 경우에는 기밀성능 측정 기준과 평가, 관련 법규가 마련되어 있으나 자국 실정을 중심으로 하고 있어 국내 건물에 적용 가능여부가 검증되지 못한 상황이다. 기밀성능을 측정하는 방법으로 가스추적법 및 가감압법이 있으며 건물에서의 기밀성능을 측정하는 방법으로는 장비준비 및 사용이 용이하여 블로어 도어(Blower Door)를 이용한 가감압법이 주로 활용되고 있다. 국외의 블로어 도어를 이용한 가감압법 측정기준에서는 각 기준별로 압력차 측정범위, 측정횟수, 가압/감압 방법에 따라 다르게 규정하고 있으므로 국내 실정에 맞는 기밀성능 측정방법 검토 및 개선이이 요구된다.

- 건물 관련 정부, 설계자, 엔지니어, 사용자가 활용할 수 있는 건물에서의 기밀성능 평가 및 기준이 없음 => 1차적 건물 에너지요구량 평가의 어려움
- 기존 국내 인증제도 및 법규(기준)의 운영에서 기밀성능 수준의 정량화가 불가능함 => 건물성능 평가를 실증할 수 있는 주요항목의 부재
- 국토교통부의 그린 홈 200만호 프로젝트 수행에 있어서 신축/기존 건물에서의 기밀화 수준 설정 및 달성을 위한 표준화된 측정방법 및 실현방법 부재

1.2 연구개발의 정의 및 범위

1. 기밀성능 기준 정립

가. 주요 연구목표

기밀성능 기준 정립
건물전체 일반건물에 대한 기밀성능 기준 1건(기밀수준 목표에 따른 구분) ⇒ 연차평가에 따라 주거건물을 제외하고 전체건물(규모)에 대한 기밀성능 기준으로 변경

나. 연구개발 범위 및 수행방법

연 차	주요 연구내용	수행방법
1차년도	▪ 건물의 기밀성능 현황 조사	▪ 국내외 기밀성능 Data 조사 및 기준 검토(국내외 기술자료) ▪ 기밀성능 표현방법 및 Database 구축(정보 분류 및 색인화)
	▪ 건물에서의 기밀성능 측정 (4개 건물)	▪ 저층 건물군에서의 기밀성능 측정 ▪ 고층 건물군에서의 기밀성능 측정 ▪ 건물전체 기밀성능 및 부위별 기밀성능 파악 및 영향 분석
2차년도	▪ 건물에서의 기밀성능 측정 (8개 건물)	▪ 저층 건물군에서의 기밀성능 측정 ▪ 고층 건물군에서의 기밀성능 측정 ▪ 건물전체 기밀성능 및 부위별 기밀성능 파악 및 영향 분석
	▪ 기밀성능 기준 정립	▪ 기밀수준에 따른 에너지성능 평가 ▪ 건물 유형별 기밀성능 기준 설정 ▪ 부위별 기밀성능 기준 설정
3차년도	▪ 기밀성능 기준에 따른 mock-up 기밀성능 검증 (연차평가에 따라 삭제됨)	▪ 기밀성능 측정을 통한 검증
	▪ 기밀성능 기준 법제화 및 관련 제도와의 연계화	▪ 정부 유관부서와의 법제화 추진 ▪ 관련 인증제도와의 연계 시행

2. 기밀성능 측정방법 기술규정

가. 주요 연구목표

기밀성능 측정방법 기술규정(KS규격화) : 소규모 건물(주거건물) 1건, 대규모 건물 1건

나. 연구개발 범위 및 수행방법

연 차	주요 연구내용	수행방법
1차년도	▪ 건물 기밀성능 측정방법 조사	▪ 국내외 국제규격 조사 ▪ 국제규격의 체계 분석 ▪ 측정방법 관련 요소 분석
	▪ 기밀성능 측정방법 검토	▪ 주거용 건물에서의 측정방법 평가 ▪ 초고층복합시설 건물에서의 측정방법 평가
	▪ 기밀성능 측정방법 KS규격(안) (규모별 2건)	▪ 한국기술표준원 제안 및 협의 ▪ KS 규격(안) 마련 및 공청회
2차년도	▪ 기밀성능 측정방법 비교평가	▪ 국가별 기밀성능 측정방법 비교평가
	▪ 기밀성능 측정방법 KS규격(안) (규모별 2건)	▪ KS 규격화 2건 보완 및 피드백 ▪ 산업기술자문위원회 평가
3차년도	▪ 기밀성능 측정방법 시행	▪ 산업기술자문위원회 평가 ▪ 제도 홍보 및 관련 학회 연계
	▪ 기밀성능 측정방법 산업 활성화	▪ 기밀성능 측정방법 교육자료 마련

건물의 기밀성능 측정방법은 사물, 개념, 방법 및 절차 등에 대하여 합리적인 기준(Standard)을 설정하고 다수의 사람들이 어떤 사물을 그 기준에 맞추는 것을 의미에서 “표준”과 관련이 있으며 건물 에너지절약 관련 인증제도의 성능기준 충족이라는 정책 관점에서 정부주도의 “기술규정”과 밀접함

기술명세	표준	기술규정
제정목적	표준화에 따른 생산,유통의 효율성 제고	위생, 안전, 환경보호 등 공공이익 추구
제정방법	시장에 의해 자발적(de facto)으로 생성	정부 주도로 제정 및 시행
준수의무	대부분 자발적	강제적
행정조항	거의 포함치 않음	광범위하게 포함

3. 기밀화 표준안 개발

가. 주요 연구목표

기밀화 표준안 개발(설계도면 및 시방서) 2건 : 습식공법 건물 1건, 건식공법 건물 1건

나. 연구개발 범위 및 수행방법

연 차	주요 연구내용	수행방법
1차년도	▪ 국내외 기밀화 관련 자료조사	▪ 국내외 기밀화 기술자료 조사 ▪ 기밀자재 조사 및 활용사례 분석 ▪ 부위별/공법별 기밀화 부위 설정
	▪ 설계/시공 단계에서의 활용을 위한 기밀화 체크리스트 마련 (습식공법 건물)	▪ 습식공법 건물에서의 부위별/공법별 기밀화 체크리스트 마련 (건설현장에서의 진단 조사)
2차년도	▪ 준공건물에서의 누기부위 진단	▪ 연구목표 1의 기밀측정 수행과 연계하여 누기부위 진단
	▪ 설계/시공 단계에서의 활용을 위한 기밀화 체크리스트 마련 (건식공법 건물)	▪ 건식공법 건물에서의 부위별/공법별 기밀화 체크리스트 마련 (건설현장에서의 진단 조사)
3차년도	▪ 기밀성능 향상을 위한 기밀화 프로세스 개발	▪ 공정별 기밀화 적용성 검토 ▪ 건물에서의 공법별/부위별 기밀화 프로세스 개발
	▪ 건물 기밀화 방안 마련 (습식공법/건식공법 건물 2건)	▪ 기밀화 표준안 설계도면 작성 ▪ 기밀화 표준안 상세시방서 작성

4. 기밀성능 측정 교육프로그램 및 전문가 양성 (3차년도 자체 연구 추가내용)

3차년도에 변경된 표 양식에 의해 작성된 것임

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">   </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">신뢰성 있는 건물 기밀성능 측정을 위한 전문가 양성을 위한 교육과정</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">기밀성능 기준의 제도화를 위해서는 관련 규정준수 프레임워크에서,
측정방법의 이해 및 신뢰성 확보를 위해서는 테스터의 전문성이 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">건물 기밀성능 관련 인력 양성 및 친환경·저에너지 건물 엔지니어링 활성화
: 건설산업 분야의 시장확대 및 엔지니어링 산업의 증대</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 국내 교육과정 없음
(개발기술 수준) 국외(미국/일본) 수준의 교육과정 개설
(개발기술 수준 설정근거) 국외 교육과정 프레임워크/측정전문가 인력양성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">조재훈(인하대학교), 성민기(세종대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’13.06 - ’14.02(8개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>국내 1</td><td>-</td><td>교육프로그램개발, 전문인력양성(60인), 학술발표논문</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3 차년도</td><td colspan="5">기밀성능 측정 전문가 교육 프로그램 만족도 80점(4/5)</td></tr>
<tr><td>달성 확인방법</td><td>3 차년도</td><td colspan="5">교육생 설문조사를 통한 교육만족도 조사
(5점척도 평가)</td></tr>
</table>

5. 기밀성능 database 구축 (3차년도 자체 연구 추가내용)

3차년도에 변경된 표 양식에 의해 작성된 것임

<table>
<tr><td colspan="2">관련 그림 / 사진</td><td colspan="6">   </td></tr>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">국내의 기밀성능 측정 data를 자발적으로 보고하여 축적할 수 있는
web 기반의 database 구축</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">지속적인 기밀성능 기준의 검토 및 개정(강화)을 위해서는
다양한 건물에서 대량의 측정 data에 대한 체계적인 축적이 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">지속적인 관련 기준의 법제화 및 실행을 위한 기반 구축
: 성능 중심의 실질적인 건물에너지 절약 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 국내 구축체계 없음
(개발기술 수준) 자발적으로 측정자가 입력해야만 하는 방식
(개발기술 수준 설정근거) data구축이 자발적으로 이루어지지 않음</td></tr>
<tr><td colspan="2">성과달성 책임자 (소속기관)</td><td colspan="6">조재훈(인하대학교), 성민기(세종대학교)</td></tr>
<tr><td colspan="2">소요기간</td><td colspan="6">’13.06 - ’13.11(6개월)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td rowspan="2">양적성과</td><td rowspan="2">3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>국내 1</td><td>-</td><td>1(database 구축),
1(학술발표)</td></tr>
<tr><td>질적성과</td><td>3 차년도</td><td colspan="5">기밀성능 database 국내 기밀 data 구비율 (90%)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인방법</td><td>3 차년도</td><td colspan="5">(입력 data 개수/국내 논문 data 개수)*100</td></tr>
</table>

1.3 관련분야의 국내외 기술개발 현황

1. 국내 기술 및 산업 동향

현재 국내에는 규정된 건물 유형별 (업무용, 주거용, 판매용, 고층용, 학교용) 기밀성능 측정방법이나 프로세스가 없으나 일반적으로 Blower Door Test나 Tracer Gas 방법을 이용해서 이루어지고 있다. 이중에서도 Tracer Gas를 통한 기밀성능 측정은 정밀도는 높으나 고가의 장비와 외부의 기상조건의 영향을 많이 받는 단점이 있어 상대적으로 적용이 용이한 Blower Door Test를 선호하고 있다. 그러나 Blower Door Test는 Fan 용량에 따라 측정 대상규모에 제약이 따르게 되는데, 일반적으로 중소규모 공간, 단위세대 및 특정부위의 기밀성능 측정에 활용되고 있다. 따라서 Blower Door Test만으로 다양한 용도, 규모를 가진 건물전체의 기밀성능을 측정하는 데는 한계가 있다.

건물에너지 절약에서의 1차(passive 방법) 단계의 기술적용을 위한 기밀화 과정(기밀성능 기준이나 기밀화 방안)은 실행되지 않은 상황이다. 아울러 국내에는 기밀화를 위한 자재 및 활용 매뉴얼도 현저히 부족한 실정이고 대부분 수입에 의존하고 있어 대책 마련이 시급하다고 할 수 있다.

[국내 현황 요약]

- 기밀성능 Data: 산발적 연구의 내용만 일부 존재 → 일반화가 어려움
- 기밀성능 기준: 일부 창호재를 제외하고서는 기준 없음
- 기밀성능 측정방안: 건물 유형별 및 건물 전체 측정방안 없음
- 기밀화 프로세스: 건설사에서 개별 연구를 진행한 사례 → 표준안 없음
- 기밀자재: 없음 → 필요한 경우에는 수입에 의존(유럽, 미국)

2. 국외 기술 및 산업 동향

국외에서는 오래전부터 건물에서의 기밀화를 통한 에너지절약의 중요성을 인식하고 기밀성능 기준 및 기밀화 시공에 대한 지속적인 연구가 이루어지고 관련 산업의 많은 발전을 이루고 있다. 1960년대부터 미국-캐나다를 중심으로 이론적 해석 및 실측을 중심으로 많은 연구가 진행되었으며, 일본에서는 1980년에 일본건축학회를 중심으로 분과를 형성하여 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 건물 환경·설비 분야 엔지니어링과 건물 에너지 해석을 위한 기초적인 자료로 인식하여 장기간의 지원과 제도적인 뒷받침으로 연구(미국: NIST 및 ABAA-Air Barrier Association of America, 캐나다: CMHC, 유럽: AIVC, 일본: 일본건축학회-외피 및 기밀성능 분과)가 되고 계속 진행되고 있으며, 관련 산업체의 활성화를 통해 다양한 기밀자재 및 공법이 개발되어 있다.

국제적으로 통용되는 표준화된 기밀성능 측정방법들은 사용장비, 측정시간, 측정비용 등에서 서로 큰 차이를 보이고 있지만, 건물전체 또는 부위별 기밀성능을 비교적 신속하게 정량

적으로 평가할 수 있는 공통점을 가지고 있는 특징을 보인다. 현재 가장 많이 활용되고 있는 국외 기밀성능 측정기준으로 ASTM Standard E779, CGSB Standard 149.10 등이 있다. 그러나 이들은 주로 소규모 건물 및 공간을 측정대상으로 한다. 한편, 건물의 기밀측정에 있어 Blower Door Test, Trace Gas를 통한 기밀측정 뿐만 아니라, 건물 자체의 공기조화기(Air handling unit)를 이용한 가압(pressurization)테스트로 기밀성능을 측정 방안이 대형 및 고층 건물의 기밀성능 측정 프로세스로 정립되어 있는데 CGSB Standard 149.15가 그것이다. 기존 연구문헌에 의하면 Bahnfleth et al. (1999) 에 의해 여러 차례 실측 되어진 사례가 있다. 이 방법은 대형건물 또는 고층건물에 대한 기밀성능 측정의 경우 공조기를 이코노마이저 모드로 운전하면서 공조기 급기팬의 풍량을 조절하여 실내의 가압정도를 변화시켜 외피의 기밀성능 특성을 알아내는 방법으로 (Jeong et al. 2008) 90년대 초반부터 고층건물에 대한 기밀성능 측정방법의 하나로 활용되고 있다.



그림 9. USX Tower,
팬 가압을 통한 기밀 측정



그림 10. 펜실베니아주립대 Pattee East Library,
(University Park, PA)

국외에는 기밀측정을 위한 장비(블로어 도어는 건물의 기밀성능을 측정하고 침기 및 누기가 발생하는 위치를 쉽게 확인할 수 있도록 해주는 장치로 1977년 스웨덴에 처음 적용이 되었고 당시에는 블로어 윈도우(Blower Window)란 용어로 사용됨)산업도 활성화되어 있다. 현재 주거건물 수준의 기밀성능을 측정하는 대표적인 블로어 도어 제조회사로 R사, E사, I사 등이 있으며, 블로어 도어시스템을 구성하는 장치나 측정원리는 거의 유사하다.

[국외 현황 요약]

- 미국 : 건물 기밀성능 기준 설정 및 제도 완비, 관련 연구 및 산업체 네트워크 형성 (NIST, Air Barrier Association of America)
- 캐나다 : 건물 기밀성능 기준 설정 및 제도 완비, 관련 연구 및 산업체 네트워크 형성 (NRC, CMHC, ABA)

- 영국 : 건물 기밀성능 기준 설정 및 제도 완비 (BRE Group)
- EU : 건물 기밀성능 기준 설정 및 제도 완비, 관련 연구 및 산업체 네트워크 (ATTMA, AIVC)
- 일본 : 관련 연구 수행 및 기준 설정 (일본건축학회)



(a) R사 (b) E사 (c) I사

그림 11. 블로어 도어시스템

3. 관련 기술특허 동향

가. 조사의 개요

- 건물의 기밀성능 기준과 평가 관련 기술의 특허 분석은 건물의 기밀 성능과 관련된 전반적인 특허 동향을 살펴 본 후, 기밀성능 기준 정립과 측정 및 평가와 직접적인 연관이 있는 기술들에 대해 적합한 키워드와 검색식을 선정하여 관련 특허 출현(등록) 동향을 구체적으로 조사한다.
- 관련 기술의 특허 건수와 점유율, 국내외 출원 동향, 국내외 기술 위치(분야)등은 포트폴리오 그래프를 이용해 분석하였으며, 관련 특허의 세부 사항(국적, 보유자, 명칭, 기술분류 등)은 서지자료를 표 형태로 요약하여 정리하였다.
- 마지막으로 분석 내용을 바탕으로 특허 활용 또는 회피 방안을 제시한다.

나. 분석 범위

- 선행기술 검색은 건물 기밀성능과 관련된 검색 키워드를 선정하여 실시하였으며, 국내 및 해외 선행기술에 대해서는 USTPO, JPO, EPO, WIPO, KIPO 등 각국 특허청으로부터 데이터를 주기적으로 업데이트 받아 제공하며, 일본어의 경우 기계 번역을 제공하는 WIPS(윕스)의 데이터베이스를 이용하여 실시하였다(표 4).

표 4. 조사 대상 및 범위

국 가 범 위		미국, 유럽특허, 한국, 일본, 중국, PCT
검색년도 범위		2011년 09월 05일 이전 (공개일 기준)
검색 데이터베이스(DB)		WIPS(http://www.wintelips.com)
자료범위		공개특허 및 등록특허
키워드	국 문	건물 기밀성능, 창호 기밀성능, 기밀성능 기준, 기밀성능 측정, 기밀성능 평가, 기밀성능 시험
	영 문	Building Airtightness, Window Airtightness, Airtightness Standard, Airtightness Measurement, Airtightness Evaluation, Airtightness Test
검색식	한국, 일본	기밀 and (건물 or 창호) and (기준 or 측정 or 평가 or 시험)
	미국,유럽,PCT	Airtightness and (Building or Window) and (Standard or Measurement or Evaluation or Test)
	검색항	서지 + 요약 + 대표청구항

다. 검색 결과

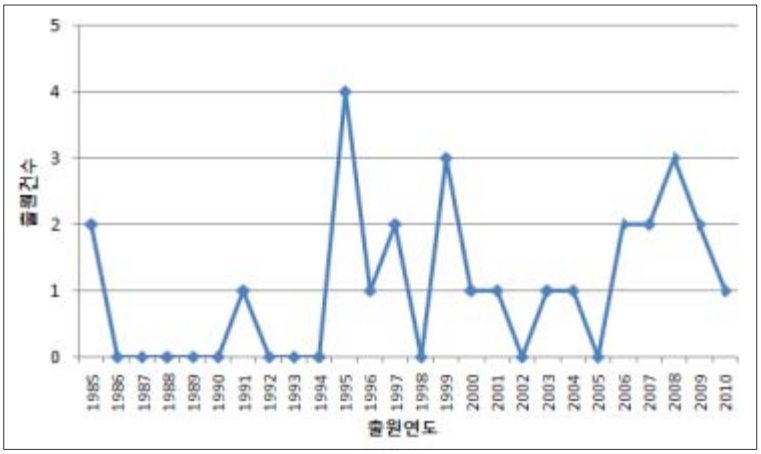
구 분	미국	유럽	한국	일본	중국	PCT	합계
검색데이터 (raw data)	2	1	13	22	1	0	39
중복데이터	0	0	2	3	0	0	5
노이즈데이터 (noise data)	0	0	3	4	0	0	7
최종 분석 대상	2	1	8	15	1	0	27

라. 특허 동향

(1) 연도별 동향

건물 기밀성능 기준 및 평가 관련 기술의 출원(등록)은 ′ 81~′ 85년의 2건, ′ 86~′ 90년의 0건 등으로 출원이 거의 이루어지지 않았다. 91년 이후로는 해마다 평균 1건 정도의 출원이 발생하였고, ‘06-10’ 년에는 10건(연평균 2건)의 출원이 이루어져 급격한 증가세는 아니지만 꾸준히 증가하고 있는 추세이다. 다만 건물 기밀성능 기준 및 평가 관련 기술의 출원(등록)은 총 27건으로 다른 기술들에 비해 전체적인 출원건수가 매우 적은 것으로 나타났다.

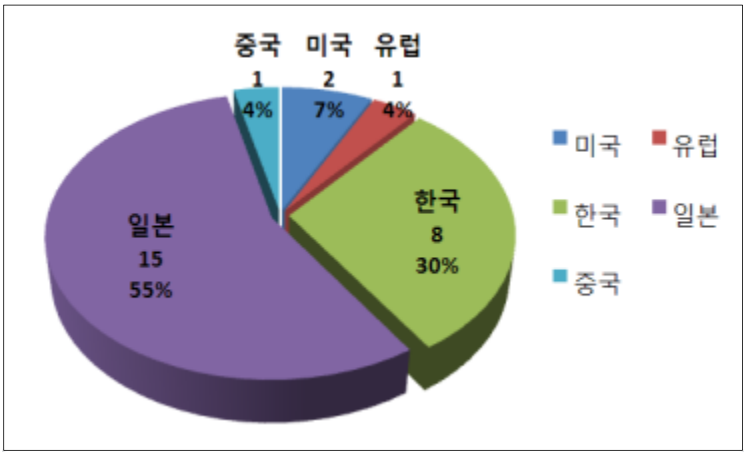
연도	출원건수
1981-1985	2
1986-1990	0
1991-1995	5
1996-2000	7
2001-2005	3
2006-2010	10
계	27



(2) 국가별 동향

건물 기밀성능 기준 및 평가 관련 기술의 출원(등록)을 한국, 일본, 미국, 유럽특허 등 국가별로 분석해보면, 일본이 15건으로 전체 건수 대비 55%로 가장 많이 출원(등록)되었으며, 그 뒤를 이어 한국 8건(30%), 미국 2건(7%), 중국 1건(4%), 유럽 1건(4%) 등으로 출원(등록)되었다. 건물 기밀성능 기준 및 평가 관련 기술은 초기에는 일본과 한국을 중심으로 특허 출원이 이루어졌으며, 미국과 유럽의 경우 특허 출원이 거의 이루어지지 않았다.

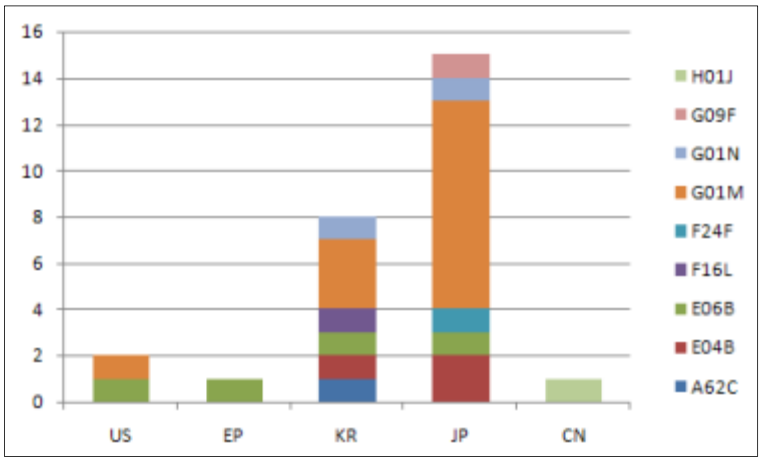
국가	출원건수
미국	2
유럽	1
한국	8
일본	15
중국	1
PCT	0
계	27



(3) 기술분류별 동향 (IPC 코드)

건물 기밀성능 기준 및 평가 관련 기술의 특허 출원(등록)의 기술 분류별 분포를 살펴보면, ‘GM01M: 기계 또는 구조물의 정적 또는 동적 평형시험’ 관련 출원이 13건(48%)으로 가장 많은 건수의 분포를 보이고 있으며, E06B: 건축 창호 관련 출원이 4건(15%), E04B: 건축 구조 일반 관련 출원이 3건(11%)으로 그 다음으로 많은 출원 분포를 보이고 있다.

분류(IPC)	출원건수
A62C	1
E04B	3
E06B	4
F16L	1
F24F	1
G01M	13
G01N	2
G09F	1
H01J	1
계	27



* IPC 분류 코드
A62C : 소방, E04B : 건축구조일반, E06B : 건축 창호, F16L : 관, 관이음
F24F : 공기조화; 공기가습; 환기; 차폐를 위한 기류의 이용
G01M : 기계 또는 구조물의 정적 또는 동적 평형시험
G01N : 재료의 화학적 또는 물리적 성질의 검출에 의한 재료의 조사 또는 분석
G09F : 표시; 광고; 사인; 라벨 또는 명찰; 시일
H01J : 전자관 또는 방전램프

마. 종합 분석 및 활용 방안

- 건물 기밀성능 기준 및 평가 관련 기술의 **특허건수는 많지 않으며**, 이 역시 건물 개별 요소들의 기밀성능 측정과 평가에 한정되어 있음.
- 해당 특허들은 국가 차원의 건물 기밀성능 관련 기준이 정립된 북미와 유럽에서는 건수가 거의 없고, 한국과 일본을 중심으로 특허가 출원됨.
- 국가 차원의 표준 개발에 해당되는 본 연구를 통한 직접적인 특허 출원은 힘들겠지만, 간접적으로 **관련 산업 분야의 기술 발전과 특허 출원을 독려할 것으로 예상됨**.

- 건물 기밀성능 기준 및 평가 관련 기술의 특허 출원(등록)은 전체 건수가 그리 많지 않은 것으로 나타난다. ‘기밀 and (건물 or 창호)’로 검색된 902건 중 ’ 기준 or 측정 or 평가 or 시험’ 등의 검색어를 포함한 건은 39건(4.3%)에 불과하다
- 건물 기밀성능과 관련된 기술의 특허는 대부분 개별 건물 요소(창호, 벽체, 환기 및 공조시스템, 배관)의 기밀성 증대를 위한 특허들이 주를 이루고 있으며, 특히 창호(일반창, 문, 커튼월 등)의 접합부 또는 기밀자재의 개발에 관한 사항이 대부분을 차지하고 있다.
- 건물 기밀성능 기준 및 평가와 관련되어 검색된 특허들 역시 건물 전체의 기밀 성능 확보를 위한 기술들이기보다는 개별 요소 기술의 기밀성능 측정 및 평가를 위한 기술에 한정되어 있다.
- 국가별로 살펴보면 일본과 한국의 특허 건수가 매우 높은 비율을 차지하고 있으며, 출원 초기인 1990년대부터 2000년대 초반에는 일본의 특허 출원이 활발하였고, 2006년 이후에는 한국의 특허 출원이 활발해진다.
- 미국과 유럽의 경우 특허 출원이 거의 이루어지지 않았으며 이는 건물 기밀성능 기준 및 평가 방법에 대한 국가 차원의 정책이 시행됨에 따라 건물 요소(구조체, 창호, 환기설비 등)들의 기밀성 기준에 대한 별도의 특허가 필요하지 않았기 때문으로 사료된다.
- 반면 국가 차원의 건물 기밀성능 관련 기준이 정립되지 않은 일본과 한국의 경우 건물의 기밀 성능 증대를 위해 각 건물 요소들에 대한 개별적인 기밀 성능 기준과 평가 기술에 관한 개발이 이루어져 특허 출원이 발생한 것으로 판단된다.
- 이는 본 연구의 연구 대상인 건물 전체에 대한 기밀성능 기준 정립, 측정 및 평가 방법 개발, 계획/시공의 프로세스 및 표준안 도출 등 특허가 필요한 개별 기술이 아닌 국가 표준 개념의 기초 과학 연구의 성격을 갖기 때문으로 판단된다.
- 따라서 본 연구는 특허 출원 또는 실용 기술의 개발이 목적이 아닌 건물 기밀성능 기준 정립을 위한 기초적인 연구로서, 본 연구를 통한 직접적인 특허 출원은 요원하지만 국가 표준 정립을 통해 이후 관련 산업과 기술 발전에 지대한 영향을 미칠 것으로 사료된다.

- 본 연구를 통한 직접적인 특허 출원은 힘들겠지만 관련 산업과 기술의 발전에 초석을 다져 건설 산업 분야의 기술 발전과 특허 출원을 독려할 것으로 예상되며, 특히 본 연구를 통해 건물 계획/시공 과정에서 필요한 '기밀화 프로세스' 및 '기밀성능 표준안'이 개발되는 경우 관련 기술의 발전에 직접적 영향을 줄 것으로 판단된다.

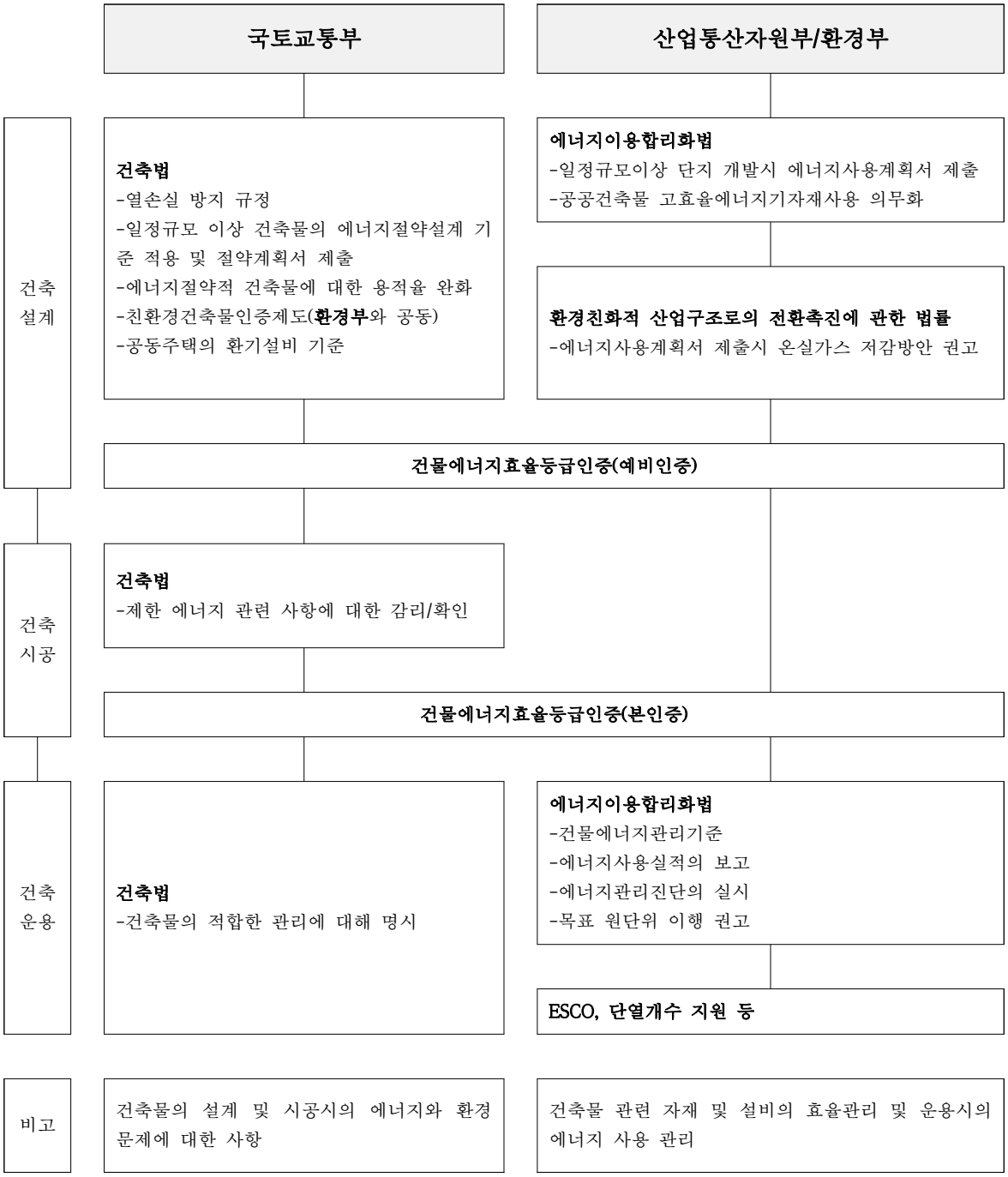
4. 정부지원정책 현황

- 정부는 '저탄소 녹색성장 기본법'([시행 2012. 4.15] [법률 제10599호 시행일, 2011. 4.14, 일부개정)을 통해 에너지이용 효율 및 신·재생에너지의 사용비율이 높고 온실가스 배출을 최소화하는 건축물인 녹색건축물의 확대(54조)를 명시하고 있음.
- 한편 국토교통부는 '녹색건축물 활성화 추진전략'과 '그린홈 시범단지 조성계획'의 일부로 기존 건물의 그린홈 건설 확대와 금융 지원책을 추진하고 있음.
- 지식경제부는 건축법 제 59조 "건축물의 에너지 이용과 폐자재 활용'에 근거한 건축물의 열손실방지규정(단열기준)을 시행하고 있으며 일정규모 이상의 건축물에 대한 에너지절약설계기준을 시행.
- 지식경제부는 에너지이용합리화법에 근거하여 에너지효율등급표시제와 효율 관리제도를 실시.
- 국토교통부는 공동주택의 에너지성능을 포함한 다양한 주거 환경을 평가하기 위한 '친환경주택의 건설기준 및 성능 제도', '주택성능등급인정제도'와 환경부와 공동으로 친환경건축물 건설 촉진을 위한 '친환경건축물인증제도'를 실시하고 있으며, 인증 제도의 활성화를 위해 다양한 인센티브와 연계해 운영.
- 기타 에너지 관리공단을 통한 주택단열개수사업, 에너지관리진단실시, 에너지다소비업체 관리제도, 에너지절약(ESCO) 사업 등을 지원, 에너지공급 부문(지역난방)을 관리

■ 관련법령, 정부 정책 및 담당기관

: 건물에너지 절약 및 성능평가를 위해 건물 기밀성능 기준이 필요한 법령 및 제도

- 저탄소 녹색성장 기본법, 건축법, 주택법. 에너지이용 합리화법
- 건물에너지절약설계기준(국토교통부)
- 친환경주택설계기준(국토교통부)
- 주택성능등급표시제도(국토교통부)
- 친환경건축물인증제도(국토교통부, 환경부)
- 건물에너지효율등급인증제도(국토교통부, 산업통산자원부)
- 건물에너지관리기준(국토교통부)
- 공공기관 에너지이용합리화 추진 지침
- 에너지절약계획서 및 에너지소비총량제 등의 법적 기준
- 그린홈 실증단지 조성사업


국토교통부
산업통산자원부/환경부
건축 설계
건축법
-열손실 방지 규정
-일정규모 이상 건축물의 에너지절약설계 기준 적용 및 절약계획서 제출
-에너지절약적 건축물에 대한 용적율 완화
-친환경건축물인증제도(환경부와 공동)
-공동주택의 환기설비 기준
에너지이용합리화법
-일정규모이상 단지 개발시 에너지사용계획서 제출
-공공건축물 고효율에너지기자재사용 의무화
환경친화적 산업구조로의 전환촉진에 관한 법률
-에너지사용계획서 제출시 온실가스 저감방안 권고
건물에너지효율등급인증(예비인증)
건축 시공
건축법
-제한 에너지 관련 사항에 대한 감리/확인
건물에너지효율등급인증(본인증)
건축 운용
건축법
-건축물의 적합한 관리에 대해 명시
에너지이용합리화법
-건물에너지관리기준
-에너지사용실적의 보고
-에너지관리진단의 실시
-목표 원단위 이행 권고
ESCO, 단열개수 지원 등
비고
건축물의 설계 및 시공시의 에너지와 환경 문제에 대한 사항
건축물 관련 자재 및 설비의 효율관리 및 운용시의 에너지 사용 관리

5. 연구개발과제의 차별화 방안

- 본 연구과제는 건물의 용도별(주거용, 업무용, 판매용 등), 규모별(소규모, 중규모, 대규모 등)로 최적화된 기밀성능 측정 방법 및 기준을 수립하는 과제로써 기존 연구들에서는 수행된 사례가 없다.
- 본 연구에서는 Blower Door Test를 이용하는 기밀성능 측정법뿐만 아니라, 기존의 측정방법을 사용하기 어려운 초고층 및 대규모 건물의 기밀성능 측정 방법을 검증하고 국가표준으로 활용할 수는 측정 프로세스를 정립한다.
- 현재 우리나라의 건물에너지 절약을 위한 다양한 기준에 포함되어 있지 않은 건물 용도별 기밀성능 기준을 정립하고 명문화함으로써 기존의 연구과제들을 통해 얻지 못한 핵심적인 국가 건물에너지 절약기준을 확보할 예정이다.
- 본 연구에서는 기존의 건물 기밀성능 관련연구에서 충분히 수행하지 못한 현장 실측을 건물용도별로 최대한 많은 대상건물을 선정하여 연구기간 동안 지속적으로 실시하고, 수집된 실측 데이터를 관련 연구자들에게 향후에 공개함으로써 보다 다양한 관련 연구에 활용될 수 있도록 한다.

6. 타 산업 및 국내외 연계·협력 가능성

가. 건물성능기반의 인증 및 에너지 절약 사업

- 기밀성능 기준 및 평가방법 확보에 따라 각종 친환경 건축 인증 제도의 기밀성능 평가 방법의 개선을 가져오며, 이를 통해 건물 에너지 효율 나아가 국가 에너지 효율 증대에 기여.
- 건물에서의 효과적인 에너지 절약 및 쾌적한 실내 환경 조성을 위한 친환경· 저에너지 건물 엔지니어링 분야에서도 기밀성능 기준 및 기밀 성능 확보 기술이 필수적으로 요구됨.

나. 건설사 및 관련업체의 기술 경쟁력 향상

- 건물 기밀성능 기준과 표준안 정립은 건물 설계와 시공 프로세스의 변화를 유도하게 될 것이며, 이를 통해 고기밀 · 저에너지 건물의 설계 및 시공 방법의 개발을 독려하여 건설 산업 전반의 기술 개발에 일조.
- 건물 기밀 성능의 증대는 공기조화설비(HVAC)의 요구 사양을 변화시켜, 관련 기기 및 자재 등 기계 설비 분야의 기술 개발을 유도하게 될 것이며, 건축 분야와의 상호 연계를 통해 제로 에너지 건물 구현에 기여.

다. 기밀 자재 산업 및 기밀 성능 측정 엔지니어링

- 기밀성능 기준 제정에 따라 건물 기밀 시공을 위한 기밀 자재의 수요 증가와 연계되어 자재 산업의 기술 개발을 유도하여, 기밀 자재의 국산화를 통한 대형 프로젝트의 원가 절감과 함께 기밀 자재 산업의 국제 경쟁력 확보에 기여함.

- 기밀성능 측정 방법의 KS화에 따라 기밀 성능 측정 및 평가를 위한 전문 엔지니어링 산업이 신규로 발생하고, 이에 따른 관련 전문가의 양성과 기술력 증대를 유도함.

라. 국 외

- 본 연구를 통한 기술 개발은 기밀성능 기준이 이미 확립된 선진국과의 협력 연구를 유도함은 물론, 아직 기준이 정립되지 못한 국가들과의 공동연구사업을 창출하거나 국내 기술의 보급 및 수출을 통한 시장 선점 가능.
- 기밀성능 관련 표준의 확보는 관련 기업의 기술 선점과 원가 경쟁력 향상을 도모하며, 전세계적인 에너지 저감과 저탄소 녹색도시 건설에 따른 건물 기밀화를 위한 자재 및 시공 기술의 수요와 맞물려 국제적으로 건설 및 자재 산업 분야에서 국내 기업의 기술 선점과 경쟁력 향상.
- 또한 동아시아를 중심으로 전 세계적으로 국제적인 기준의 기밀 시공이 가능한 건설 분야 국내 산업체의 시장 확대에 기여.

7. 종합 결론

제로에너지 건물 구현을 위해 핵심적인 요소인 건물의 기밀성능 관련 국내외 현황을 검토한 SWOT분석 결과는 아래 표와 같다. 이와 같은 SWOT분석을 통해 현재 국가적인 정책의 방향이나 정부/민간의 의지는 높고 관련 제도의 시행은 우수하나 제도 자체에 필수적인 성능기반의 실증방법이 미흡한 것이 가장 큰 문제점으로 분석된다.

따라서 본 연구의 결과는 관련 제도에서의 규격화 및 기밀성능 수준 설정을 위해 실질적인 근거자료로 활용될 수 있다. 아울러 국내 건설시장에서 제도의 시급한 실행을 위해 필요한 전반적인 프레임워크에 해당하는 기밀성능 기준, 측정방법, D/B화, 관련 전문가교육 및 양성에 대한 모든 연구결과를 제시하고 있다.

표 5. 본 연구과제 관련 SWOT 분석

■ 국가 정책의 방향(녹색성장) ■ 녹색건축물 구현을 위한 국가적 의지 ■ 전 세계적인 공감대 형성 ■ 저에너지 친환경 산업의 활성화 ■ 건물에너지 관련 규정 및 제도의 시행			■ 국가적인 건물 기밀성능 기준 없음 ■ 성능 실증을 위한 규격 없음 ■ 건물 설계/시공 기술의 실용화 부족 ■ 관련 제도적 기반의 부족
국가 정책 및 민간수요	S	W	**건물에너지 핵심 기밀기술 미흡**
건설산업 성장 및 전문가 양성	O	T	**지속적인 기준의 개선**
■ 2025년 제로에너지 건물구현 정책 ■ 건설산업의 활성화를 위한 민간 의지 ■ 각종 인증제도의 기준 강화 지침 ■ 친환경 전문인력의 양성 확산 ■ 사회전반에 걸친 에너지 인식제고			■ 관련 제도의 유관부서가 다양함 ■ 장기간에 걸친 피드백의 필요 ■ 지속적인 정부의 지원이 필요 ■ 기밀 장비/자재 제품의 국산화가 필요

제 2 장 연구수행 내용 및 결과

2.1 연구수행 전략 및 방법론

1. 연구개발 추진전략

- 건물 기밀성능 관련 연구수행 경험과 실적이 우수한 인하대학교를 주관연구기관으로 세종대학교와 (주)건축사사무소 탑이 공동연구기관으로 참여.
- 기밀성능 기준과 측정 방법에 관한 연구는 인하대학교와 세종대학교가 주축이 되어 수행하며, 실용화 연구인 기밀화 표준안 개발은 (주)건축사사무소 탑에서 수행하며 대외 연구자 및 대형 건설사 기술팀을 전문가로 활용.



그림 12. 연구개발 추진체계

2. 연구개발 추진체계

구 분	주관연구기관	공동연구기관	참여기업
1차년도 (관련기술 자료수집)	▪ 건물의 기밀성능조사 ▪ 건물 기밀성능 측정방법 조사 및 검토 ▪ 기밀성능 측정방법 KS 규격(안) : 주거건물 : 초고층(공동)	▪ 건물의 기밀성능조사 ▪ 건물 기밀성능 측정방법 조사 및 검토 ▪ 기밀성능 측정방법 KS 규격(안) : 업무건물 : 초고층(공동)	▪ 국내외 기밀화 관련 자료조사 ▪ 기밀화 체크리스트 마련(자연형 건물)
2차년도 (핵심기술 개발) -기밀성능 기준 -기밀성능측정방법	▪ 기밀성능 측정방법 KS 규격화 ▪ 건물에서의 기밀성능 측정 ▪ 기밀성능 기준 정립 : 주거건물 : 초고층(공동)	▪ 기밀성능 측정방법 KS 규격화 ▪ 건물에서의 기밀성능 측정 ▪ 기밀성능 기준 정립 : 업무건물 : 초고층(공동)	▪ 준공건물에서의 누기부위 진단 ▪ 기밀화 체크리스트 마련(설비형 건물)
3차년도 (개발기술 실용화/제품화) -기밀화 표준안 -mock-up평가	▪ 기밀성능 기준에 따른 mock-up 기밀성능 검증 1(건식) ▪ 기밀성능 기준 법제화 및 제도와의 연계화	▪ 기밀성능 기준에 따른 mock-up 기밀성능 검증 1(습식) ▪ 기밀성능 기준 법제화 및 제도와의 연계화	▪ 기밀성능 향상을 위한 기밀화 프로세스 개발 ▪ 건물 기밀화 표준안 마련



그림 13. 연구기관 연계방안

3. 연구 추진역량

- 연구진 구성
  - 건물 기밀성능 관련 연구수행 경험과 실적이 우수한 인하대학교를 주관연구기관으로 세종대학교와 (주)건축사사무소 탑이 공동연구기관으로 참여
  - 기밀성능 기준과 측정 방법에 관한 연구는 인하대학교와 세종대학교가 주축이 되어 수행하며, 실용화 연구인 기밀화 표준안 개발은 (주)건축사사무소 탑이 수행
  - 본 컨소시엄은 건물에서의 기밀화 연구 관련 **논문 20건**을 보유하고 있어 건물 부분에서의 실용화 연구와 연계가 가능하고, 관련된 연구 프로젝트도 주관연구기관에서 **실무 프로젝트 12건**, 공동연구기관이 **실무 프로젝트 10건**, 특히 기밀화 설계관련 **실무프로젝트도 7건**을 수행하였음.
  - 이상의 연구 실적과 실용화 프로젝트 수행 횟수를 참고하여 볼 때 본 연구진은 기밀화 연구개발 관련 전문성을 보유하고 있는 것으로 판단됨.

관련 학술논문발표 및 특허출원/등록	관련 R&D추진 및 실무프로젝트 건수
학술논문: 20건 , 특허출원/등록: 6건	**R&D 수행: 7건 , 실무프로젝트: 22건**

- 건물 기밀성능 관련 **국내 최고의 측정장비를 보유하고 실무경험이 있는 학계** 참여
  : 주관연구기관인 인하대학교를 중심으로 세종대학교 공동연구 참여

건축물 기밀화 분야 최고 연구 수준의 학계	▪ 주거건물 및 고층 건물의 기밀화 연구프로젝트 수행 ▪ 국내 최고의 기밀측정장비 기보유(QMG 시스템, 시뮬레이터) ▪ 국내 대형건설사와 기밀측정 연구과제 수행(삼성물산, 대림산업, 포스코건설, 금호건설 등 20여 프로젝트 수행) : **인하대학교** ▪ 주거건물 및 고층 건물의 기밀화 연구프로젝트 수행 ▪ 기밀측정장비 기보유(블로우도어 시스템) ▪ 국내 대형건설사와 기밀측정 연구과제 수행 및 관련 연구논문 : **세종대학교**

- 건물의 기밀화 표준안 **실용화를 위하여 설계업체**의 참여
  : 기밀화 설계가 중요한 다수의 패시브하우스 구축 실무경험이 있는 참여기업 참여

실용화를 위한 기업참여	▪ 건물 기밀화 표준안(설계도면/시방서) 개발을 위한 기업 참여 ▪ 저에너지 및 패시브 설계 기법을 적용한 실무프로젝트 수행 : **(주)건축사사무소 탑**

2.2 연구수행과정 및 내용

인하대	세종대	TOP	공통연구

1차년도	2차년도	3차년도
국내외 기존 기밀성능 측정 데이터 조사 국외 기밀성능 기준 조사		
공동주택건물 400세대 측정 업무용건물 2개 측정 단독주택 건물 2개 측정	⇨ 공동주택건물 200세대 측정 업무용건물 3개 측정 단독주택 건물 2개 측정	⇨ 기밀성능 D/B용 data 건물 기밀성능 데이터 분류
국내외 기존 기밀성능 측정 방법 조사	기밀성능 기준 공포 기밀 기준에 대한 공청회 기밀 기술패널토론 실시	⇨ 건물 기밀성능 기준 정책제안 (국토교통부 녹색건축과)
공조기를 이용한 기밀성능 측정방법 적용 (대공간 업무용건물 측정)	⇨ 대공간 고층건물 기밀성능 측정방법 정립 (KS안 제시)	
부위별, 공법별 기밀화 부위 설정	공조기와 블로어도어를 이용한 기밀성능 측정방법 적용 (대공간 업무용건물 측정)	⇨ ISO WG10 참여 예정
주거, 소규모 건물 20개소, 업무용건물 4개소 측정 열화상카메라 측정	⇨ 건식공법 건물에서의 기밀화 체크리스트 마련	
습식공법 건물에서의 기밀화 체크리스트 마련	⇨ 건물 기밀화 방안 마련	⇨ 건물 기밀화 표준안 마련
	(기밀 측정전문가 교육 연구 제안)	전문가 교육 프로그램 마련 (이론/실습/시험)
	(온라인 데이터베이스 연구 제안)	건물 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템 구축
• 국내외 기밀 data 조사 • 국내외 기밀 측정방법 조사 및 측정 수행 • 기밀화 관련자료 조사	• 기밀성능 기준 제안 • 기밀성능 측정방법 마련 • 기밀화 체크리스트 마련 • 기밀화 방안 마련	• 기밀성능 기준 정책제안 • 기밀화 표준안 마련 • 기밀측정 전문가 교육 • 기밀성능 DB 구축

가. 건물 기밀성능 기준 개발

본 연구에서는 기밀성능 기준을 정립하기 위하여 먼저 지금까지(2014년 기준) 국내외에서 측정되어 외부로 공개된 건물전체의 기밀성능 데이터를 광범위하게 조사하였으며 건물 용도별로 주거 건물은 아파트(apartment)와 단독주택(residential)로 구분하고 비주거 건물은 사무소(office)와 상업용(commercial) 건물로 구분하여 분석하였다. 기밀성능 데이터 문헌 조사 결과, 국외 데이터가 약 450개(다수의 데이터는 평균값을 사용함) 문헌, 국내 데이터는 34개 문헌으로 국내의 기밀성능 데이터는 매우 부족한 실정이었다. 건물용도 별로 살펴보면 국외 데이터는 단독주택이 200여개의 데이터로 가장 많았고, 사무소와 상업용건물은 각각 95개와 96개를 조사하였고 공동주택은 가장 적은 21개의 데이터가 조사되었다. 국외와는 반대로 주거의 형태가 공동주택이 많은 국내의 경우, 아파트의 기밀성능 데이터가 대부분을 차지하였다. 국내 부족한 기밀성능 현황을 파악하고자 주거건물(단독주택, 공동주택) 및 업무용 건물을 대상으로 블로어 도어를 이용한 가압/감압법으로 약 610개소에 걸쳐 기밀성능을 측정(표1)하였으며, 10여회에 걸쳐 건축 부위별 기밀성능을 측정을 수행하였으며 이를 국외 각국의 기밀성능 기준과 비교하여 기밀성능 기준 정립을 위한 근거자료를 마련하였다.

표 6. 측정 대상 건물 개요

구분	A	B	C	D	E	F
구조	벽식 구조	Flat slab 구조				
층수	지하 2층, 지상 9~30층	지하 2층, 지상 47층	지하 2층, 지상 42~49층	지하 2층, 지상 11~33층	지하 2층, 지상 12~28층	지하 2층, 지상 23~32층
최고높이	-	약 161.1m	약 174.6m	약 108.8m	-	약 104.1m
단지세대수	693	729	632	845	1,014	1,401
건물용도	공동주택	공동주택, 판매시설, 근린생활시설		공동주택		
조감도						

국내외 데이터 조사 및 기밀성능 측정 결과를 바탕으로 국내 건물에 필요한 기밀성능 기준을 제안하였다. 기밀성능 제안은 공신력을 확보하고 제반의 의견수렴을 위하여 한국건축친환경설비학회의 기준으로 제시하였으며 약 200여명이 참석한 공청회 및 기술패널토론(IPAZEB 기술세미나)을 실시하여 관계자들의 의견수렴을 실시하였다. 이를 바탕으로 자문위원들의 수정의견을 반영하여 2013년 6월에 학회의 기준으로 공포하였다.

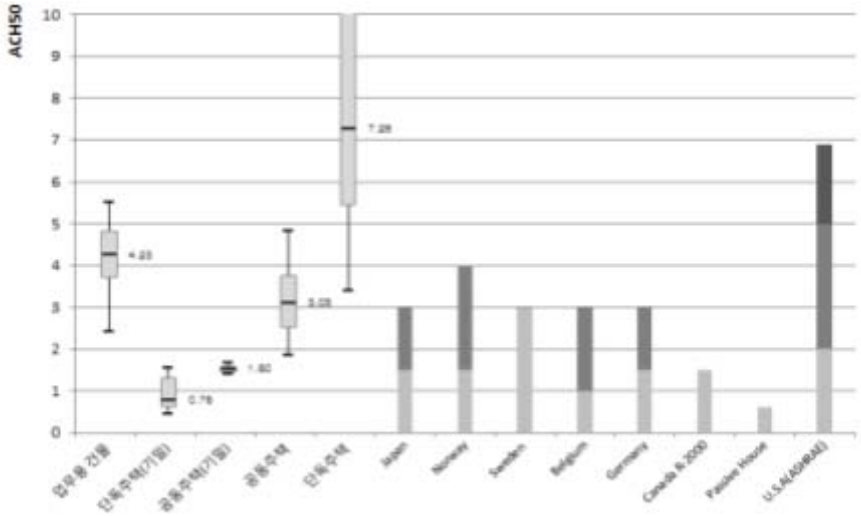


그림 14. 국내외 기밀성능 기준 비교



그림 15. 기술세미나 및 공청회 실시

기밀성능 기준은 건물에서의 에너지 낭비를 줄이고 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 방안인 건축물의 기밀성능을 규정하기 위한 목적으로 제정되었으며 기밀성능 기준, 측정방법, 보고서 등 필요한 기타 제반사항을 명시하기 위한 내용을 포함하였다.

표 7. 기밀성능 기준 마련 절차

제 목	연 월	내 용
위원회 회의	~2012년 4월	1~5차 회의, 기준 1차안 작성
공청회1	2012년 5월	KPHI 기술세미나, 230명
위원회 회의	2012년 6월~2013년 3월	6~8차 회의, 기준 2차안 작성
공청회2	2013년 4월	IPAZEB 기술세미나, 200명
대외 의견수렴	2013년 5월	KIAEBS 이메일
위원회 회의	2013년 5월	9차 회의, 기준 최종안 작성

건축물 기밀성능 기준의 제도화를 위한 노력으로 유관부서(국토교통부 녹색건축과)와 세미나를 실시하여 정책/제도(안)으로 제시하였다.



[주요 연구내용 요약]

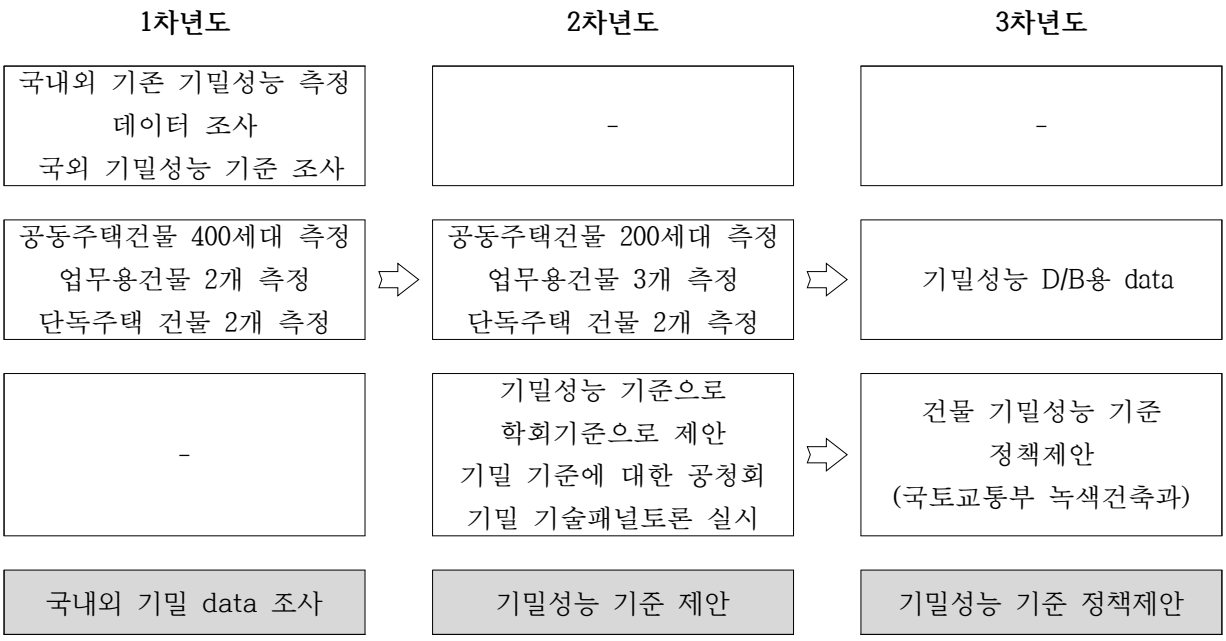
- 국내외 기존 기밀성능 측정 데이터 조사 및 국외 기밀성능 기준 조사
  - 국내 기밀 data 34개의 문헌 조사 및 분석
  - 국외 기밀 data 450개의 문헌 데이터 조사 및 분석
  - 국외 국가적 정책 및 건물인증 관련 기밀성능 기준 조사
  - 국내외 기밀성능 측정 관련 표준 및 프로세스 조사

- 국내 건물에서 측정 수행을 통한 기밀성능 데이터 확보
  - 국내 공동주택 건물 약 600세대 측정 수행(blower door test)
  - 국내 단독주택 건물 4개 측정 수행(blower door test)
  - 국내 업무용건물 5개 측정 수행(AHU + blower door test)

- 국내 건물에서의 기밀성능 기준 마련
  - 유관학회의 기준으로 상정 및 공포(KIAEBS C-1:2013)
  - 기밀성능 기준에 대한 공청회 및 기술패널토론 실시

- 건물 기밀성능 기준 정책제안(국토교통부 녹색건축과)

  ⇒ *건물 기밀성능 기준 정립*



연구 내용	관련 연구 결과물
건물 기밀성능 기준 정립	기밀성능 조사/측정 보고서 A1. 공동주택건물 기밀성능 측정보고서-약 600세대 A2. 공동주택 부위별 기밀성능 측정보고서-6세대 A3. 단독주택 기밀성능 측정보고서 A4. 국내 주거건물 기밀성능 조사보고서 A5. 업무용건물 기밀성능 측정보고서 A6. 업무용건물 커튼월 기밀성능 조사보고서 A7. 모듈러 건축물 기밀성능 측정보고서-2개 type A8. 저층건물(3층) 기밀성능 측정 보고서-전체, 1개실
	기밀성능 기준 마련 A9. 건축물의 기밀성능 기준(KIAEBS 기준으로 채택) A10. 공청회 및 기술패널토론(IPAZEB 기술세미나) A11. 기밀성능 기준 정책제안(국토교통부 녹색건축과)
	국내외 학술발표 및 게재 논문 A12. 국외학술게재 논문 1건(JAABE(SCI-E)) A13. 국외학술발표 논문 1건(AIVC2012) A14. 국내학술발표 논문 1건(대한건축학회) A15. 국내학술발표 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

(1) 건축물의 기밀성능 기준(Building Airtightness Criteria)

이 기준은 건물에서의 에너지 낭비를 줄이고 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 방안인 건축물의 기밀성능을 규정하기 위한 목적으로 제정되었으며 기밀성능 기준, 측정방법, 보고서 등 필요한 기타 제반사항을 명시하기 위한 것이다.

(2) 적용범위 (Scope)

- 이 기준은 특정 조건 하에서 건물 외피(난방되는 존의 경계층)를 통한 침기량(또는 누기량)의 수준을 규정하기 위한 내용을 다룬다.
- 이 기준은 대상 건물의 기밀성능을 평가하고 비교하기 위한 것으로 건물의 기밀성능과 관련된 제반사항을 다루는 분야에서 활용되어질 수 있다.
- 이 기준은 건물의 외피를 구성하는 건물구성요소가 모두 시공되어진 상태에서, 즉 건물의 준공 또는 사용되는 경우에 적용되어야 한다. 단, 건물의 준공 상태를 반영할 수 있는 시공수준이 달성되었다고 판단되면 이 기준을 적용할 수 있다.

(3) 참고규범 (Normative references)

다음의 참고규범 또는 표준은 이 기준의 적용에 있어서 필요한 사항들이다. 발행연도가 표기되지 않은 참고규범은 최신판을 적용한다.

- ASTM E779 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization
- ATTMA TS1-Measuring Air Permeability of Building Envelopes
- CGSB-149. 15 Determination of the overall envelope airtightness of buildings by the fan pressurization method using the building's air handing systems
- EN 13829 Thermal performance of buildings-determination of air permeability of buildings -fan pressurization method
- KS L ISO 9972:2006 단열－건물 기밀성 측정-팬 가압법
- ISO 9972 Thermal performance of buildings-determination of air permeability of buildings-fan pressurization method

(4) 용어 및 정의 (Term and definitions)

- 기밀성능(airtightness)은 건물의 외피전체 또는 외피를 구성하는 재료나 자재의 공기유출입에 저항하는 정도를 말한다. 건물의 기밀성능을 표현하는 방법은 다음과 같다.
- CMH50(m^3/h): CMH50은 실내외 압력차를 50Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣거나 빼주어야 할 기류량을 표현한 것. (50Pa은 기후조건의 영향을 최소화하기 위한 압력차로 약 9m/s의 바람이 불어올 때 생기는 압력에 상응함)
- ACH50(h^{-1}): CMH50값을 건물부피(측정되어지는 것으로 규정된 공간의 총 체적)로 나눈 값. 즉, 건물에 50Pa의 압력차가 작용하고 있을 때, 침기량 또는 누기량이 한 시간 동안 몇 번 교환되었는가로 표현한 것. 서로 다른 크기의 건물에서 기밀성능을 비교할 때 유용한 척도.

- Air Permeability(L/hm^2): CMH50값을 외피면적으로 나눈 것으로 단위면적당 누기량을 나타내는 척도.
- ELA(cm^2/m^2) 또는 EqLA(cm^2/m^2): 지정된 압력차에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기로 나타낸 것으로 일반적으로 ELA(Effective Leakage Area)는 4Pa, EqLA(Eequivalent Leakage Area)는 10Pa의 압력차를 의미하지만 확인이 필요하다.
- 기밀층(air barrier)는 공기 유출입에 저항하는 않는 자재와 부품으로 구성되어 있으며, 조절하지 않는 공간(비공조)과 조절하는 공간(공조)을 분리한다.
- 환기율(air change rate)은 의도된 개구부나 장치를 통하여 외부 공기가 실내공간에 유출입되는 공기량과 실체적에 대한 비율을 말하며 이것은 ACH(회, 1/h)로 표현된다.
- 침기율(또는 누기율, air leakage rate)은 의도되지 않은 경로를 통하여 실내공간에 유출입되는 공기량과 실체적에 대한 비율을 말하며 이것은 ACH50(회, 1/h)로 표현된다.
- 누기(air exfiltration)은 건물 외피에서의 균열과 의도하지 않은 개구부를 통하여 내부 공기가 바깥으로 누출되는 것
- 침기(air infiltration)는 건물 외피에서의 균열과 의도하지 않은 개구부를 통하여 외부 공기가 안으로 들어오는 것
- 공기누기량(air permeability)은 실내외 압력차가 50pa일 때, 공기 누기량을 외피(지면층을 포함한)의 면적으로 나눈 것
- 누기부위(air leakage path)은 침기가 건물에 드나드는 경로 또는 건축재료를 통해 공기가 흐르는 경로
- 난방공간 또는 공조공간(conditioned zone)은 건물에서 냉난방을 필요로 하며, 기본적으로 기밀층의 경계에 해당하는 사용 중인 공간
- 외피면적(envelope area)은 외부 환경으로부터 건물의 내부 체적이 분리되는 경계 또는 벽. 공기누기가 되는 공간에 상응하는 외벽과 지붕의 면적, 바닥층 면적을 포함한다.
- 팬압력차법(fan pressurisation test)은 건물의 공기누기량를 측정하는 방법.
- 실체적(internal volume)은 건물에서 난방되는 공간의 실체적의 합으로 기밀경계층을 기준으로 산정한다.
- 환기(ventilation)는 사용자의 의도로 인하여 자연적 또는 기계적 장치에 의해 실내 공기가 공급 또는 제거되는 것.

(5) 기밀성능 기준 (Airtightness criteria)

- 냉난방을 실시하고 재실자(또는 목적물)가 이용하는 공간(건물 외피 또는 경계벽으로 둘러 싸여진 공간)은 5.0 ACH50 이하의 기밀성능을 가져야 한다.
- 대상 건축물이 에너지절약건물(또는 친환경건물)로 평가(인증)받기 위해서는 3.0 ACH50 이하의 기밀성능, 제로에너지건물(또는 패시브건물)로 평가(인증)받기 위해서는 1.5 ACH50 이하의 기밀성능 수준을 만족해야함을 권장한다.
- 단, 1.5 ACH50이하의 기밀성을 가지는 건물은 건축법에서 요구하는 적절한 환기를 보장하기 위하여 환기시스템을 설치하기를 권장한다.

[기밀성능 기준]

구 분	기밀성능 기준	비 고	
모든 건물	5.0 ACH50 이하	기본 기준	-
에너지절약건물	3.0 ACH50 이하	권장 사항	-
제로에너지건물	1.5 ACH50 이하	권장 사항	환기시스템 권장

(6) 측정방법 (Test methods)

- 대상 건물에서 기밀성능을 평가하기 위한 측정방법으로는 ‘KS L ISO 9972 : 2006단열－건물 기밀성 측정－팬 가압법’ 또는 ‘ISO 9972 Thermal performance of buildings - determination of air permeability of buildings - fan pressurization method’를 따른다.
- 대상 건물의 준공 이전에 기밀성능 보장을 위한 누기부위 진단을 위한 측정방법 기준으로는 ‘EN 13829 Determination of air permeability of buildings-Fan pressurization method’를 참조한다. 단, 이 측정방법에 따른 측정결과가 준공 및 사용상태의 건물의 기밀성을 유추할 수 있다고 판단되면 6.1의 결과로 대체할 수 있다.
- 대공간/고층건물의 측정방법 기준으로는 ‘대공간/고층건물 외피의 기밀성능 측정방법-Envelope Leakage Test Method in High-rise Building or Large Building을 따른다. 단, 대공간 및 고층건물의 구분은 측정방법의 대상건물 규정(acceptable conditions)에 따라 평가한다.

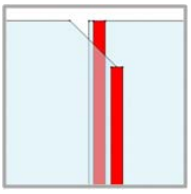
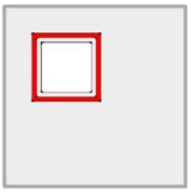
(7) 보고서 (Report)

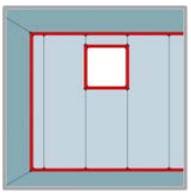
보고서에는 적어도 다음과 같은 정보가 포함되어야 한다.

- 기밀성능 측정보고서(airtightness test report)에는 ‘KS L ISO 9972 : 2006단열－건물 기밀성 측정－팬 가압법’ 또는 ‘ISO 9972 Thermal performance of buildings - determination of air permeability of buildings - fan pressurization method’에서 요구하는 보고서 수준의 정보를 포함하여야 한다.
- 기밀성능 측정보고서에서 다음의 ‘건물 기밀성능 측정결과 요약사항’을 요약하여 나타내어야 하며 이를 ‘기밀성능 database(가칭)’에 기록하여야 한다.
- 측정담당자 또는 감독자[관련 공인교육을 이수하고 자격증을 취득하여 건물에서의 기밀에 대한 이해와 측정방법을 수행할 수 있는 능력을 검증받은 사람(또는 이러한 사람이 있는 기관)]의 정보를 포함하여야 한다.
- 기타로 보고서의 이해와 해석을 위해 필요하다고 판단되는 사항을 포함 할 수 있다.

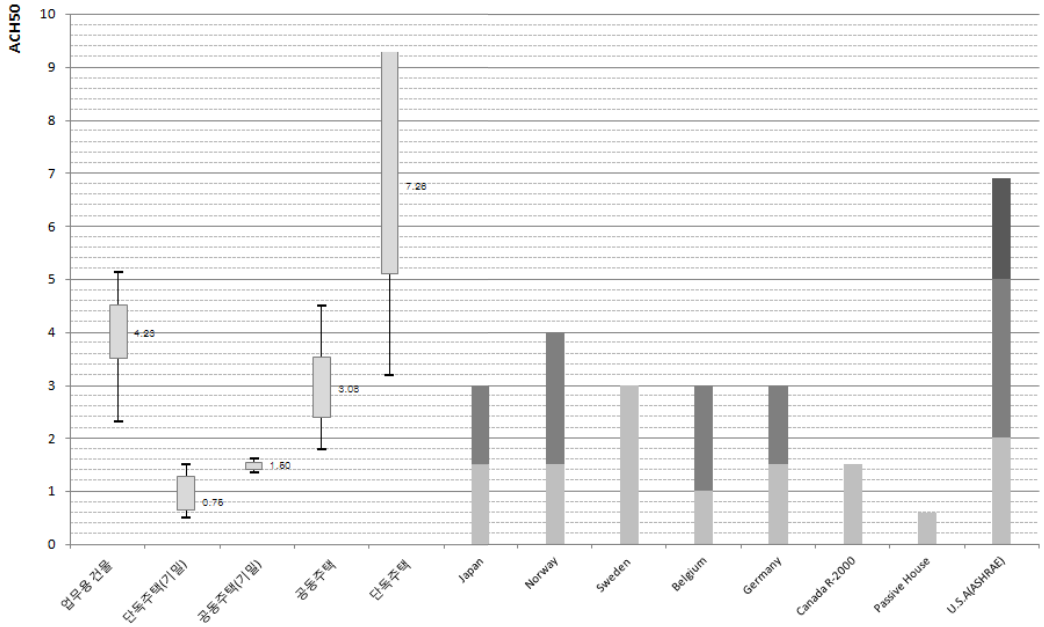
		CMH50	ACH50	Air Permeability	실체적	외피면적	n	C	신뢰도
	단위	m^3/h	1/h	L/hm^2	m^3	m^2	-	-	%
1	Pressurize data								
2	Depressurize data								
-	Combined data								

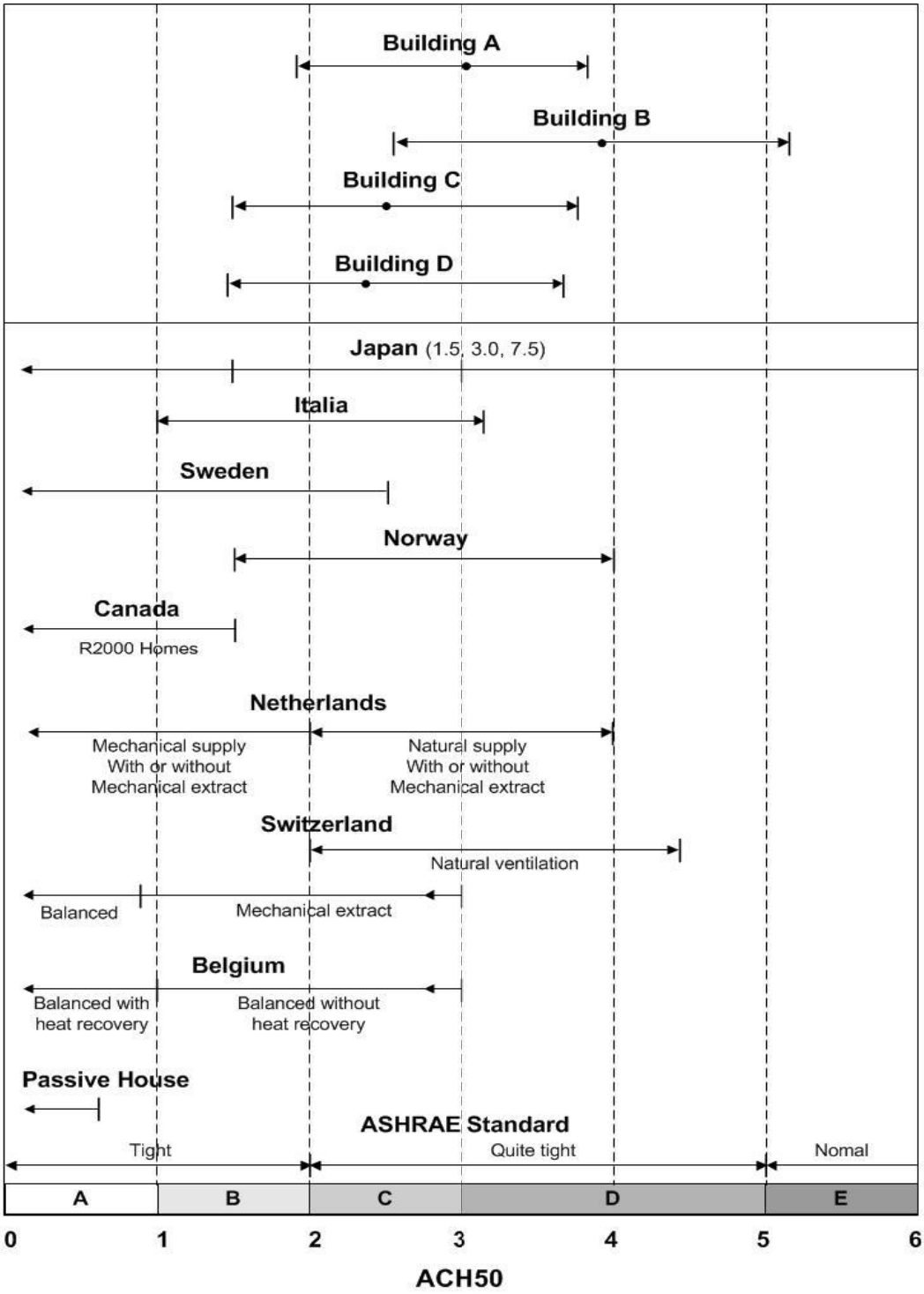
(8) 주거건물 기밀화 가이드라인

	기밀층은 외피(난방공간의 외벽)를 기준으로 하나의 경계층으로 연속되어 형성되어야 한다. 기밀층은 공기를 통과시키지 않아야 하며, 지속적이고 내구성이 있어야 한다. 기밀층은 수증기의 이동이 가능하나, 구조와 단열재가 인접하는 부분의 기밀유지가 중요하다. 기밀화 건물에서는 적정환기를 보장하기 위한 기계 환기 설치를 고려하여야 한다.
	기밀층용 비닐과 비닐이 만날 때 면밀하게 밀봉해야한다. 맞댄 비닐 사이에 양면 테이프를 붙이고, 바깥 비닐의 가장자리에 테이프로 밀봉한다. 이를 더 안정적으로 유지하기 위해 스터드와 같은 지지대를 설치하는 것이 바람직하다. 특수한 바람막과 기밀막은 접착제, 접착 테이프와 침투방지 실링으로 연결한다.
	창문이나 문의 프레임을 설치 또는 재설치 할 때, 프레임 주변의 틈새를 막아야 한다. 작은 틈새에 접합제를 쏘는데, 잘 접합하기 위해 접합부분을 깨끗하게 하고 마감페인트를 칠한다. 개구부가 클 경우 미리 압축되어 있다가 팽창되는 폼을 사용한다. 우레탄폼은 시공 후에 수축되어 실링된 테이프가 끊어질 수 있으므로 마감 실링재를 이용한 기밀화가 필요하다.
	문 또는 창문 프레임과 테두리 벽의 접합부를 접합제를 사용하여 실링한다. 내부에는 테두리 벽 또는 창틱과 창호와 문 사이의 틈새에도 실링을 적용한다.
	개방창과 외부 연결문의 개폐 접합부에 weatherstrip을 설치한다. 모서리 접합부 등의 시공부위에 유의한다.
	천장 개구부가 외기와 연결될 수 있는 곳이라면 weatherstrip을 설치한다. 접합절체부에 seal을 압착시키는 것을 확실히 하여야 한다.

	배수구, 가스 파이프, 보일러 퓨즈, 전선 케이블 등 외벽을 통하는 홀 주위를 실링한다.
	천장에서 전등을 끼우거나 줄을 잡아당길 수 있도록 만든 홀 주위를 실링한다. 만약 전등 끼우는 부분이 기밀하지 않다면, 천장 윗부분에 기밀 상자(airtight box)를 설치한다. 기밀하게 전등을 교체할 수 있는 것을 사용한다.
	건식 라이닝은 공기 누기가 매우 심하기 때문에, 기밀하게 하기 위해 건식 라이닝 설치 전, 벽체의 표면을 칠하는 방법을 고려한다. 건식 라이닝이 외벽에 연결되어있을 때, 기밀 실링제가 하나로 연결되도록 시공한다. 실링된 보드 사이의 접합부를 모두 기밀하게(예, 퍼티) 하는 것이 필요하다.
	바닥 슬래브 또는 공조실 바닥자재의 이음새 부분을 실링한다.
	천장과 외벽사이 접합부를 실링하여라. 건식라이닝과 굽도리널(skirting board) 사이의 접합부를 실링한다.

(9) 국내외 기밀도 기준 및 데이타 요약 : Building A~D 국내건물





[국외 기밀도 기준과의 비교]

나. 기밀성능 측정방법(안) 개발

본 연구에서는 기밀성능 측정방법을 정립하기 위하여 국내외 건물의 기밀성능 측정방법에 대하여 조사하였으며 건물 용도별로 주거용건물, 업무용건물, 대공간건물로 나누어 기밀성능 측정방법 규격안에 대하여 조사 및 분석하였다. 기밀성능 측정방법 조사 결과 국내의 경우 건축물 내 창호 및 문을 대상으로 기밀성능을 측정하는 방법(창호의 기밀성 시험방법 KS F 2292:2008)이 있으며 건물 전체를 대상으로 하는 측정방법은 ISO 9972를 번역한 KS L ISO 9972가 있으나 다양한 건물 유형에 대응할 수 있는 기준으로는 부족하다. 국외의 경우 건물의 기밀성능 측정에 대한 기준과 기밀성능을 평가하는 기준이 다양한 것을 조사를 통해 확인하였다.(표) 이 같이 국내외 기밀성능 측정방법에 대한 조사를 바탕으로 기밀성능 측정방법(안)을 정립하였다.

표 8. 국외 기밀성능 측정방법

<table>
<tr><th>기준</th><th>ASTM E779:2003</th><th>CAN/CGSB-149 .15:1996</th><th>EN 13829:2000</th><th>ATTMA TS L1:2010</th><th>ISO 9972:2006</th></tr>
<tr><td>국가</td><td>미국</td><td>캐나다</td><td>유럽</td><td>영국, 유럽연합</td><td>국제</td></tr>
<tr><td>Acceptable conditions</td><td>5~35℃
0~2 m/s wind
Height × ΔT < 200m℃</td><td>≤20km/h(5.6m/s) wind
건물높이(층) / 외기온(℃)
~10 / ≥5
11~20 / ≥8
21~30 / ≥10
31~ / ≥15</td><td>≤6m/s wind (or 3 Beaufort scale)
Height × ΔT < 500mK</td><td>(< 6m/s wind)
≥ 6m/s wind 이면 ΔP_0이 5Pa이상이면 No</td><td>≤3m/s ground wind or
≤6m/s meteorological wind or
3 Beaufort scale
Height × ΔT < 250mK</td></tr>
<tr><td>Test Pressure range</td><td>10~60 Pa
(10Pa 이하 간격, 5~10Pa 간격 권장)</td><td>0~75 Pa</td><td>소규모 건물: 10Pa 또는 ≥ ΔP_0 *5~ ≥50Pa이상(100Pa까지 권장)
대규모 건물(>4000㎡): ≥ 25Pa
(10Pa 이하 간격)</td><td>10 Pa 또는 ≥ ΔP_0 *5~ ≥50Pa이상
(10Pa 이하 간격)
(8~10Pa 간격 권장)</td><td>소규모 건물: 10Pa 또는 ≥ ΔP_0 *5~ ≥50Pa이상(100Pa까지 권장)
대규모 건물: ≥ 25Pa
(10Pa 이하 간격)</td></tr>
<tr><td>Number of points</td><td>5~(7)</td><td>-</td><td>5~(7)</td><td>7~</td><td>5~(7)</td></tr>
<tr><td>Test direction</td><td>Both</td><td>-</td><td>Both
(one side 가능)</td><td>one side, Both</td><td>Both
(one side 가능)</td></tr>
<tr><td>기타</td><td>3층 또는 7.5m이상이면 1층높이 이상에서 압력차 측정</td><td>공조기를 이용한 건물측정</td><td>Method A,B</td><td>주거용</td><td>Method A,B,C</td></tr>
</table>

건물 기밀성능 측정방법 조사 결과, 건물에서의 기밀성능은 측정 데이터를 기준으로 그 용도에 따라 다양하게 표현되고, 일반적으로 개구부를 통해 빠져나가는 누기량을 표시하거나 환기율 또는 실제 누기가 발생하는 면적의 개념을 사용하여 표현하고 있는 것을 확인할 수 있었다. 표 8에서 보았듯이, 국제적으로 통용되는 표준 기밀성능 측정방법들은 사용 장비나 측정 시간, 비용 등에서 서로 차이가 있지만, 건물의 전체 또는 부위별 기밀성능을 비교적

신속하고 정량적으로 평가할 수 있는 공통된 특징이 있음을 확인하였다. 현재 가장 많이 사용되는 국외 기밀도 측정기준으로는 ASTM E779, CGSB 149.15 등이 있다. 그러나 이 같은 측정방법들은 주로 소규모 건물 및 공간을 대상으로 한다.

일반적으로 기존에 마련되어 있는 건물의 기밀성능의 측정방법들은 적용가능한 건물의 크기를 따로 구분하여 정의하지 않고 있기 때문에 대규모 건물에도 적용할 수 있어야 한다. 그러나 건물의 크기가 커지면 건물의 높이, 외피면적 등이 달라져 건물의 정확한 기밀성능을 평가하기 위한 충분한 압력차와 풍량을 유도하는 것이 쉽지 않다. 따라서 대규모 및 업무용 건물의 기밀성능을 측정하기 위해서는 충분한 압력차를 유지하며 풍량을 유도할 수 있어야 한다. 소규모 건물이나 공간이 아닌 대규모 건물을 측정하는 방법으로는 건물 자체의 공기조화기(Air handling unit)를 이용한 가압테스트로 기밀성능을 측정하는 방법과 공기조화기와 블로어도어를 함께 사용하여 대규모 건물의 기밀성능을 측정하는 방법이 있는 것을 확인하였다.

이 두 가지 측정방법을 비교하기 위해 실험을 진행 한 결과, 대규모 건물에서 다수의 소형 블로어도어를 이용하거나 대형 블로어도어 팬을 이용하는 방법은 기존의 주거용 건물에서 사용되는 블로어도어를 이용하는 건물의 기밀성능 측정방법과 동일한 것을 확인하였다. 또한 건물 자체의 공기조화기 팬을 이용하는 방법 역시 블로어도어를 이용하여 건물의 기밀성능을 측정하는 방법에서 크게 벗어나지 않는 것을 확인하였다.

본 연구에서는 대규모 건물에서의 에너지 절약 및 쾌적성 유지를 위해 필요한 기밀성능을 측정하고자 조사한 측정방법을 대상으로 기밀성능을 측정하고 분석하였다. 건물의 공기조화기를 이용하여 건물을 가압하여 기밀도를 측정하기 위해서는 공조기의 덕트와 팬의 구성방식에 따라 측정에 많은 영향을 받는다. 따라서 본 측정에서는 정확한 측정을 위해 리턴되는 공기 없이 100% 외기만을 도입하여 실내를 가압하는 방식으로 진행하였다. 이 때, EA(배기) 댐퍼와 RA(환기)댐퍼가 완전히 닫힌 상태를 유지하여야 하기 때문에, 접근이 가능하며 누기가 발생할 수 있는 댐퍼 EA 및 RA 입구에 덕트 테이프를 이용하여 댐퍼를 밀봉하였다. (그림 16)

측정을 통해, 건물의 공조기를 이용한 기밀성능 실험과 건물의 공조기 및 다수의 블로어도어를 이용한 기밀성능 측정방법에 대한 방안을 정립하며 구현하였다. 또한 실제 측정을 통해 대규모 건물의 외피 기밀성능 분석 데이터도 마련할 수 있었다. 그 결과, 건물 내 공조기만으로 측정하였을 경우, 공조기의 팬 풍량이 충분하고 건물이 기밀하였을 때 충분한 가압 상태를 만들어 낼 수 있는 것을 확인하였다. 또한 건물의 공조기와 다수의 블로어도어를 병용하여 가압하였을 경우 역시 기밀성능을 테스트하기 충분한 가압상태를 만들어 낼 수 있는 것으로 나타났다. 측정을 바탕으로 두 가압 테스트의 혼합을 통하여 대규모 건물이나 초고층 건물에서 효과적으로 가압테스트가 가능할 것을 입증하였다.

본 연구에서는 대규모 건물에서의 기밀성능 측정방법을 제안하기 위하여 조사 및 실험을 진행하여 공조기를 이용한 대공간/고층건물의 외피기밀성능을 측정하는 측정방법에 대한 규격안을 제시하였다. 측정방법의 명칭은 ‘건물의 기밀성 측정 – 공조기를 이용한 가압법’으로 건물에서의 에너지 낭비를 줄이고 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 방안인 기밀성능 확보를 달성하기 위한 목적으로 제안하였다. 측정건물의 공조기를 이용한 기계적 가압 사용을

명시하며 일정한 실내외 정압차에서 일어나는 기류량을 측정하는 기법을 제안하였다. 이를 통해 기류량과 압력차 간의 상관 관계로 건물 외피의 누기 특성을 평가할 수 있다. 또한 제안한 측정방법은 작은 온도차와 낮은 풍압 조건에서도 적용이 가능하다.

본 연구에서 제안한 대규모 건물의 기밀성능 측정방법에서는 건물의 기밀성능에 관한 다양한 용어의 정의도 포함하고 있다. 그 뿐만 아니라 대규모 건물의 기밀성능을 측정할 시 주의해야할 사항들과 측정된 결과 값을 보정하여 활용하는 방법도 제안하고 있다. 본 연구에서 제안한 측정방법으로 기밀성능을 측정하여 보고서를 작성할 시에는 건물의 기밀성능에 대한 이해와 측정방법을 수행할 수 있는 능력을 검증받은 사람이나 기관, 공인 교육이수 또는 자격증을 취득한 사람임을 나타내고 보고서의 이해와 해석을 위해 필요하다고 판단되는 내용을 포함하도록 명시하고 있다.

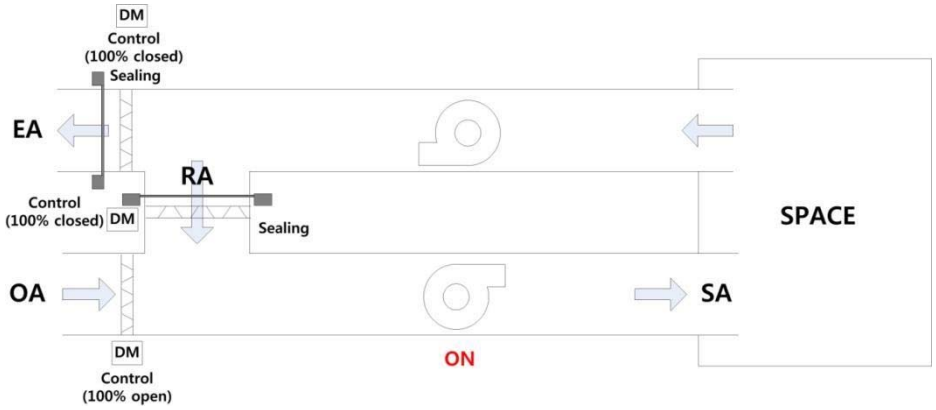


그림 16. 건물 공조기를 이용한 가압 실험 시 팬, 덕트 구성 방법

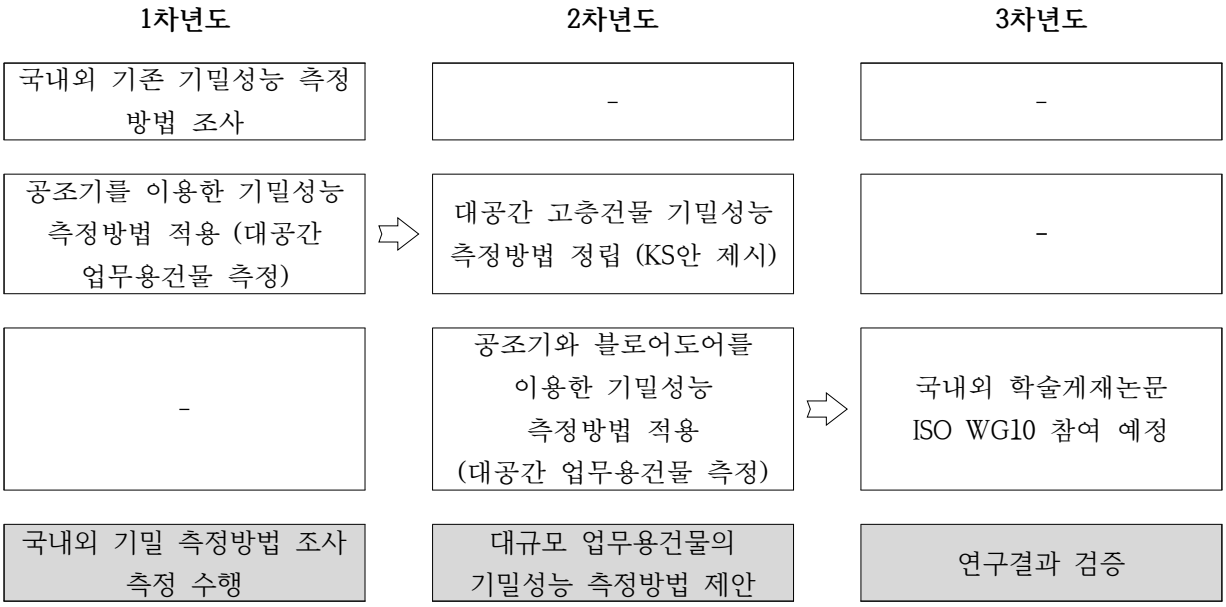
[주요 연구내용 요약]

- 건물 기밀성능 측정방법 조사
  - 주거용건물 기밀성능 측정방법 조사
  - 업무용건물 기밀성능 측정방법 조사 및 비교분석

- 업무용건물(대공간건물) 기밀성능 측정방법 검토
  - 고층건물(12층) 기밀성능 측정방법 적용(Blower+AHU, AHU)
  - 고층건물(26층) 기밀성능 측정방법 적용(Blower)

- 대공간건물 기밀성능 측정방법 규격안 마련
  - 대공간/고층건물 업무용건물 기밀성능 측정방법 KS규격(안) + 압력보정법
  - 기밀성능 측정방법(안) 전문가평가를 위한 심포지엄 개최

⇒ 건물 기밀성능 측정방법(안) 개발



연구 내용	관련 연구 결과물
기밀성능 측정방법(안) 개발	주거용건물 기밀성능 측정방법 조사 B1. 주거용건물 기밀성능 측정방법 조사보고서 업무용건물 기밀성능 측정방법 조사 B2. 업무용건물 기밀성능 측정방법 비교분석 조사보고서 업무용건물 기밀성능 측정방법 검토 수행 B3. 고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-Blower+AHU B4. 고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-AHU B5. 고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-엘리베이터홀 B6. 고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-커튼월 1개층
	기밀성능 측정방법 규격안 B7. 대공간/고층건물 업무용건물 기밀성능 측정방법1 B8. 대공간/고층건물 업무용건물 기밀성능 측정방법2 B9. 기밀성능 측정방법(안) 전문가평가(기밀성능 측정방법에 대한 전문가 심포지엄, KPHI 기술세미나)
	국내외 학술발표 및 게재 논문 B10. 국외학술게재 논문 1건(Energy and Buildings) B11. 국외학술발표 논문 1건(Cold climate2012) B12. 국제심포지엄 논문발표 1건(AEBEST2012) B13. 국내학술게재 논문 1건(한국태양에너지학회) B14. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회) B15. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회) B16. 국내학술발표대회 논문 1건(대한건축학회)

(1) 한국산업규격 - 건물 기밀성 측정: 공조기를 이용한 가압법

이 규격은 건물에서의 에너지 낭비를 줄이고 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 방안인 기밀성능 확보를 달성하기 위한 목적으로 제정되었으며, 건물의 공조기를 이용한 기계적 가압 사용을 명시한다. 일정한 실내외 정압차에서 일어나는 기류량을 측정하는 기법을 기술한다. 기류량과 압력차 간의 상관 관계로부터 건물 외피의 누기 특성을 평가한다. 이 규격은 작은 온도차와 낮은 풍압 조건에 적용할 수 있다. 현장에서 실시된 시험인 경우, 현장 조건이 이상적이지 않다는 것을 인지해야 한다. 따라서 강한 바람과 큰 내외부 온도차는 피해야 한다. 이 규격을 적절히 사용하기 위해서는 기류와 압력 측정의 원리에 대한 지식이 필요하다. 이 규격은 단일 구역 건물의 건물 외피의 기밀성 측정이 목적이다. 이 규격의 목적을 위해서 다중 구역 건물은 내부를 개방하거나 인접 구역의 압력을 동일하게 함으로써 단일 구역으로 취급한다.

이 규격은 현장에서 건물의 기밀성 측정이 목적이다. 개개 부재의 누기에 대한 실험실 평가는 언급하지 않는다. 현장 측정의 결과는 일정한 설비 조건하에서 개개 단일 부재의 누기에 대한 특성화가 아니고 부재와 건물 외피의 연결 부위에 대한 특성화가 목적이다. 따라서 부재 기밀성의 현장 시험에서의 결과는 실험실의 시험 결과와 일치하지 않을 수 있다.

(2) 인용 규격

다음에 나타내는 규격은 이 규격에 인용됨으로써 이 규격의 규정 일부를 구성한다. 이러한 인용 규격은 그 최신판을 적용한다.

- KS L ISO 9972 단열-건물 기밀성 측정-팬 가압법
- ISO 9972 Thermal performance of buildings-determination of air permeability of buildings-fan pressurization method
- CGSB-149. 15 Determination of the overall envelope airtightness of buildings by the fan pressurization method using the building's air handing systems
- ASTM E779 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization

(3) 용어 정의

이 규격의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용한다.

- 기밀성능(기밀도) 건물의 외피전체 또는 외피를 구성하는 재료나 자재의 공기유출입에 저항하는 정도로 일반적으로 다음과 같은 물리량으로 나타낸다.
- CFM50(ft^3/min) 또는 CMH50(m3/h): 실내외 압력차를 50Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣거나 빼주어야 할 기류량 또는 침기(누기)량을 표현
- ACH50(h-1): 건물에 50Pa의 압력이 작용하고 있을 때, 실내 공기가 한 시간 동안 몇 번 환기되는가를 표현하는 척도로 일반적으로 CFM50 또는 CMH50을 건물 또는 시험공간의 체적으로 나누는 값용한 척도.
- EqLA(cm^2/m^2): 10Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기로 상당누기면적
- ELA(cm2/m2) 또는 EqLA(cm2/m2): 4Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기

로 유효누기면적

- Air Permeability(L/sm^2): 누기량을 전체 외피면적으로 나눈 단위면적당 누기량을 나타내는 척도
- 건물 외피 면적: 공조가 이루어지는 공간을 둘러싸는 벽, 천장, 바닥 면적의 합계
- 시험 공간의 외피 면적: 가압 또는 감압테스트가 이루어지는 공간을 둘러싸는 벽, 천장, 바닥 면적의 합계
- 공조공간: 기류, 온도 및 습도가 조절되는 공간
- 개구부: 건물 외피에 특정한 목적을 위해 의도적으로 설계된 개구부
- 기호
- 환기(ventilation)는 사용자의 의도로 인하여 자연적 또는 기계적 장치에 의해 실내 공기가 공급 또는 제거되는 것.

(4) 기호

이 규격에 사용되는 기호의 정의 및 단위는 다음에 따른다.

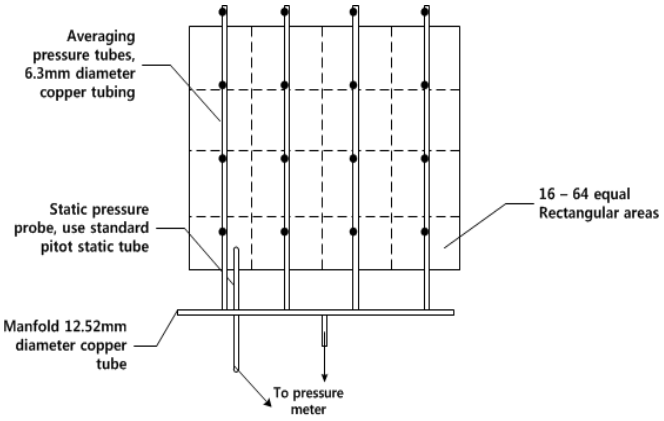
[기밀성능 기준]

기호	설명	단위 기호
C	유량 계수; Q를 결정하기 위한 정수	L/sPa^n
n	유량 지수; Q를 결정하기 위한 정수	–
P_a	건물 주변 대기압	kPa
$\triangle P_{o,b}$	팬이 작동하지 않거나 밀봉하였을 때 실험 전 실내외 압력차	Pa
$\triangle P_{o,a}$	팬이 작동하지 않거나 밀봉하였을 때 실험 후 실내외 압력차	Pa
$\triangle P_o$	팬이 작동하지 않거나 밀봉하였을 때 실내외 평균 압력차	Pa
$\triangle P_{m,i}$	측정된 실내외 압력차 (i=1,2,3,4…)	Pa
$\triangle P_{a,i}$	보정한 실내외 압력차 (i=1,2,3,4…)	Pa
P_c	보정 조건 하의 대기압	kPa
P_{fan}	풍량 측정 위치에서의 대기압	kPa
$q_{j,i}$	측정 장치를 통해 측정된 풍량	L/s
$Q_{m,i}$		L/s
Q_a	보정한 풍량 (부속서 C)	L/s
Q	풍량으로 산정된 기밀도 값 (부속서 C)	L/s
Q_{10}	실내외 압력차 10Pa일 때의 기밀도 값	L/s
Q_{50}	실내외 압력차 50Pa일 때의 기밀도 값	L/s
Q_{75}	실내외 압력차 75Pa일 때의 기밀도 값	L/s
r	보정 계수 (부속서 C)	–
R	공기의 기체 상수	J/g×K
S	건물 외피 면적	㎡
t_o	외기 온도	℃
t_{fan}	풍량 측정 위치에서의 공기 온도	℃
ρ	공기 밀도	kg/㎥

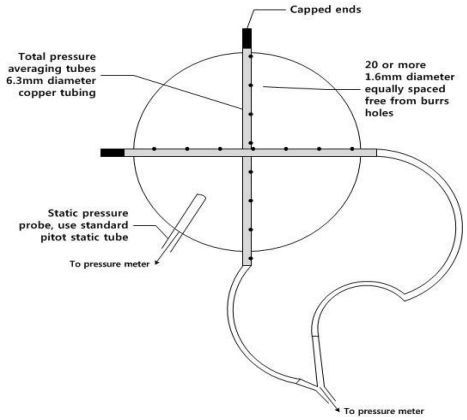
(5) 시험 장치

- 팬: 급배기 팬 또는 공조기의 팬은 외기를 이용하여 건물 내외 압력차를 약 60Pa까지 만들 수 있어야 한다
- 압력 측정 장치: 압력 측정 장치는 5% 이내의 정확도로 1Pa 단위 측정이 가능하여야 한다. 또한 0~75Pa 범위에서 측정이 가능하여야 하며 교정된 장치여야 한다.
- 풍량 측정 장치: 풍량 측정 장치는 급기덕트의 실내 측 출구 또는 경로에 쉽게 설치 및 제거가 용이하여야 한다. 풍량 측정의 정확도는 측정된 풍량의 약 5% 미만이어야 한다.

[평균 전압과 정압 프로브를 이용한 풍량 측정 장치의 예 (출처: CAN/CGSB Standard)]



사각 덕트



원형 덕트

- 온도계: 온도 측정 단위는 섭씨이며, ±1℃의 정확도로 -10℃~35℃ 범위를 측정할 수 있어야 한다.

(6) 시험 방법

- 사전 조사 항목: 사전 현장 조사 및 도면 검토 시 다음 사항들이 기록되어야 한다.
- 건물 상태: 준공년도, 시공타입, 층수, 지하 층수, 창 측, 외벽 측(perimeter, 선택사항), 건물의 용도, 층고 및 전체 높이, 건물 용적(부피), 층별 면적 및 전체 면적, 창문 종류, 바닥 면적 대비 창 및 문의 면적, 인접 건물이나 지하로 통하는 문, 통로, 터널, 창고, 엘리베이터 개수 및 지면층 자동차 주차 엘리베이터, 기타 실험에서 제외되어야 하는 공간 등
- 공조기 시스템 상세: 공조기 대수 및 공조 구획, 급기팬 및 리턴팬 스피드, 외기도입/리턴/배기팬의 위치 및 상태, 메인 급배기/리턴팬 개수, 각 팬의 최대 풍량, 급기팬만 이용 시 100% 외기도입 운전 가능성, 메인 급배기/리턴팬, 제어장치 접근 여부, 메인 외기, 리턴, 배기 댐퍼의 접근 여부 및 각 댐퍼에 대한 수동 조작 가능 여부, 화장실 배기구 및 다른 배기 팬, 특수한 공간(컴퓨터 실 및 실험실)에 대한 공조 시스템 및 댐퍼의 접근 여부, 급기 및 배기 풍량 조절 방법 (댐퍼 개폐 또는 팬 스피드 조절), 메인 급배기 덕트 크기 및 급기량 측정이 가능한 적정위치

- 건물 침기 및 누기 부위
- 건물 침기 및 누기가 일어나는 부위: 공조기를 가동한 후, 실험 영역 주변을 관찰 시, 몇 가지 공통적인 침기 및 누기 발생 부위를 확인할 수 있다.
  - 덕트 배관
  - 바닥 공간 (특히, 공조되지 않는 공간, 예: 창고)
  - 배기 팬
  - 매입 조명 기구
  - 벽과 벽의 접합부
  - 문 또는 창문
  - 실내 벽명의 장식용 돌출부, 발코니 등의 아래측 부분
  - 덕트 접합부
  - 주거 건물의 경우 : 굴뚝, 다락
- 침기 및 누기 확인 방법

  - 도구 없이 확인하는 방법: 가장 간단하고 빠르게 침기 및 누기 발생 여부를 확인하는 방법으로, 특별한 도구 없이 대상 건물을 둘러보면서 확인할 수 있다. 예를 들어 기밀성능이 낮은 공간의 문이 거의 닫혀 있는 상태일 때, 강한 기류가 좁은 문의 틈새를 통해 지나가는 것을 확인할 수 있다.

  - 화학적인 연기를 통해 확인하는 방법: 화학적인 연기는 공기가 흐르지 않는 상태에서는 한 방향으로 움직이는 것을 확인할 수 없다. 침기가 예상되는 부위에서 연기를 발생시켰을 때, 연기가 움직이는 것을 확인할 수 있다.

  - 극장용 연기를 통해 확인하는 방법: 극장에서 무대용으로 사용하는 연기를 이용하면 많은 연기가 발생하여 침기 부위를 확인하기 용이하다.

  - 열화상 카메라를 이용하여 확인하는 방법: 열화상 카메라를 이용하면 침기가 발생하여 온도 변화가 있는 곳을 확인할 수 있다. 열화상 카메라 이용을 위한 적절한 숙련이 필요하다.

(7) 건물 기밀도 측정 실험 준비 사항

- 건물의 중앙층에 인접한 기준층의 중앙 지점에 기준 압력 탭을 설치한다.
- 바람이 가려지는 방향 측 건물 외벽 땅의 1m 높이에 압력 탭(3.2mm ID 플라스틱 튜브)를 설치한다.
- 두 번째 압력 탭을 대상 건물의 지붕 중앙에 설치한다. 이 때, 바람이 가려지는 방향 측 건물 외벽 땅의 1m 높이에 설치된 플라스틱 튜브와 같은 길이로 설치한다.
- 설치한 압력 탭을 평균 압력 측정 기기에 연결한다.
- 실내외 압력 차이를 측정하기 위해 압력 측정 기기를 설치한다.
- 계단실 문을 포함한 모든 실내 문과 창문을 연다. (단, 기준층과 기계실 층은 제외한다.)
- 인접한 건물의 모든 실외 문과 실험 영역에 포함되지 않는 외부 연결 통로를 닫거나 봉쇄한다.

- 모든 급배기 팬의 작동을 정지시킨다.
- 건물을 가압하기 위한 공조기의 팬과 댐퍼를 설치한다.
- 실험 영역에 포함되지 않는 공간의 급배기 팬을 끄고, 중앙 덕트의 댐퍼를 닫거나 가능하면 밀봉한다.
- 실외로 연결된 모든 문과 창문을 닫는다.
- 1층의 모든 엘리베이터의 작동을 정지 시키고, 엘리베이터 문을 완전히 닫거나 문의 틈새를 밀봉한다. (필요 시, 실험 도중 이용할 수 있는 하나의 엘리베이터는 남긴다.)

(8) 기밀도 측정 시 주의사항
- 기밀도 측정을 실시하는 날을 선정하는데 있어서 측정 결과에 미치는 영향을 최소화하기 위하여 5℃~35℃를 벗어나는 기온 또는 4m/s 이상의 풍속인 날은 가능한 피하도록 한다.
- 눈 보호 – 실험 건물의 실내외 압력 차는 건물의 허용 범위 안에서 이루어져야 하며, 창문 및 문이 깨질 위험이 있다. 미리 추가적으로 적절한 보호 장비를 사용하여 상해를 예방하는 것이 좋다.
- 안전복장 – 안전화 및 안전모를 포함하여, 일반 야외 작업 및 실험에 필요한 안전 장비를 사용하는 것이 좋다.
- 소음 문제 – 팬에 의해 생기는 소음을 가까운 곳에서 듣는 실험자의 경우, 청력을 보호할 수 있는 귀마개 및 귀덮개를 사용하는 것이 좋다.
- 잔해 및 유독가스 – 팬이 작동하는 동안, 많은 공기가 건물에 유입되거나 유출된다. 이렇게 유입되는 공기로 인한 식물, 애완동물, 거주자 및 내부 가구에 피해가 없도록 해야 한다. 또한, 벽난로나 연통이 설치되어 있는 경우, 건물의 내부에 배기가스나 이물질이 유입되지 않도록 유의한다. 연소 장치가 설치되어 있는 경우, 안전한 실험을 위해 담당자를 통해 기기의 전원을 끄거나, 적절한 조치를 취하는 것이 좋다.

(9) 건물 전체 영역에 대한 기밀도 측정 결과
- 외부로 연결된 문과 창문, 기타 실외(창고)로 연결된 문이 완전히 닫혀있는지 확인한다.
- 인접 건물로 연결된 통로의 문이 닫혀있거나 봉쇄되어 있는지 확인한다.
- 만약 대상 건물에 연소 기기가 설치되어 있어 연소 가스나 희석된 공기가 유입될 상황이 우려되는 경우, 연소 기기를 끄거나 연소 기기의 상태를 확인하고, 연소 가스 유입구를 실험이 진행되는 동안 봉쇄한다.
- 외부 그릴이나 건물에 설치되거나 연결된 기계식 환기 시스템을 조절하여 외부에서 바람이 유입되지 않도록 한다. 봉쇄는 플라스틱 시트를 이용할 수 있다.
- 압력 측정 기기의 상태를 0으로 설정하고, 모든 압력 튜브를 측정 기기에 연결한다.
- 공조기 팬을 가동하기 전에, 모든 급기 및 리턴, 배기팬을 끈 후 덕트의 모든 댐퍼를 닫고 초기 레퍼런스 압력차($\triangle P_a$,b)를 측정한다.
- 공조기의 급기 및 배기팬을 작동 시키고, 외기 및 배기 댐퍼(또는 팬 스피드)를 조절하

여 건물 내외의 압력차가 0-75Pa 이내가 되도록 풍량을 정한다.

- 리턴 및 배기 댐퍼를 확인하여 제대로 닫혀 있거나, 기밀하게 밀봉되었는지 확실히 검사한다. 또한, 실험 도중 이용할 수 있는 엘리베이터를 확인하고, 사용하지 않는 엘리베이터의 문이 닫혔는지 확인한다.
- 급배기 댐퍼나 시트 등으로 밀봉한 그릴 등은 실험 중 높은 압력차에 의해 개방될 수 있으므로 실험 도중 수시로 확인하여야 한다.
- 출입구를 확인하고, 실험 도중 이용할 수 없도록 한다.
- 실험 준비를 완전히 마친 후, 다음과 같은 사항을 실험 시 측정 및 기록한다. (각 팬의 풍량이 일정하고, 압력차의 변동이 적을 때 측정하는 것이 좋다.)
  ① 각 팬의 급기 풍량, qj,i(L/s), 풍량 측정 위치에서의 실내 온도, $(t_{fan})j,i$
  ② 각 팬의 급기 풍량에 해당하는 압력차 $\triangle P_{m,i}$ (i=1,2,3,4…)
  ③ 풍량 측정 위치에서의 공기 압력, $P_{fan,i}$, (i=1,2,3,4…)
- 공조기로 인한 실내외 압력차가 작을 경우 블로어 도어 팬을 추가적으로 가동한다.(별도의 규격 참조)
- 실험 종료 시 공조기의 가동을 완전히 정지 시킨 후, 외기 댐퍼를 닫은 후 최종적인 기준 압력차($\triangle P_{o,a}$)를 측정한다.
- 다음에서 제시한 사항들을 기록한다.
  ① 실험 날짜, 진행 시간(시작, 마침시간)
  ② 외기온도, 습도, 날씨 (실험 전, 후 상태)
  ③ 실내온도, 습도 (실험 전, 후 상태)
  ④ 기상상태 (대기압, 풍속, 풍향)
- 건물 내외에 설치된 실험 기기들을 제거하고, 덕트나 댐퍼의 밀봉된 부분을 제거하여 건물의 상태를 실험 이전으로 되돌린다.
  ① 공조기의 팬을 끄고, 추후 작동 시 문제가 되지 않도록 리턴/배기 댐퍼의 상태 확인
  ② 방재 댐퍼를 실험 전과 같은 상태로 되돌린다.
  ③ 실내에 밀봉했던 부분 또는 출입을 제한했던 장소 확인 (계단실, E/V Shaft)

(10) 결과 표현

- 데이터 분석 전 측정 결과값을 보정한다. (CAN/CGSB 149.15 참조)
- 기준 압력 측정값 보정
  $\triangle P0=(\triangle Po,b + \triangle Po,a)/2$
- 외피 압력차 측정값 보정
  $\triangle Pa,i=(\triangle Pm,i + \triangle Po)$, 여기서 i=1,2,3,4…
- 측정된 풍량을 팬에서의 온도(t_{fan}), 보정 온도(t_c), 그리고 실내 온도로 보정한다.

$$(q_a)_{j,i} = q_{j,i}[\frac{P_{fan,i}(t_i+273)}{P_a(t_{fan,i}+273)}][t_{fan,i}+273/(t_c+273)]^{1/2} \qquad \text{(식. 1)}$$

여기에서,

$(q_a)_{j,i}$: 실내 실험 전 실내 조건에 따른 각 팬에서 보정된 풍량, L/s

$q_{j,i}$: 풍량 측정 장치에 의해 각 팬에서 측정된 풍량, L/s

t_i : 실내 온도, C

t_c : 보정 온도, C

$t_{fan,i}$: 풍량 측정 장치에서의 공기온도, C

$P_{fan,i}$: 측정된 곳에서의 대기압, kPa

P_a : 외기 대기압, kPa

각 측정 압력 차에 따라 얻은 풍량을 보정한 뒤 총 풍량을 계산한다.

$$Q_{a,i} = (q_a)_{1,i} + (q_a)_{2,i} + (q_a)_{3,i} + (q_a)_{4,i} \quad \text{(식. 2)}$$

여기에서,

$Q_{a,i}$: 보정된 총 풍량

(추가적으로) $Q_{a,i}/S$ vs $\triangle P_{a,i}$ 를 그래프로 나타낸다.

이때, S : 건물 외피 면적, m^2

(11) 기밀도 산정

- 건물 외피 면적 산정: 지상층의 건물 외피 면적과 가장 높은 층 지붕과 가장 낮은 층 바닥면적을 산정한다. 그리고 이 세 면적을 더함으로써 총 건물 외피 면적을 산정한다. 정확도는 ±1% 이내이어야 한다.
- 외피에 포함된 실내 용적 산정: 가압실험을 하는 동안의 모든 방과 공간의 용적이 포함되어야 한다.
- 실험 건물의 침기 성능 특성: 건물의 침기 특성은 아래의 (식. 3) 에 의해 정의된다.

$$Q = C(\triangle P)^n \quad \text{(식. 3)}$$

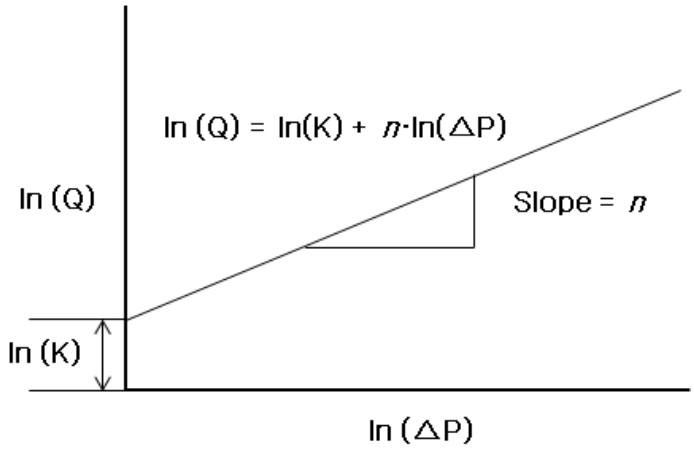
Q : 침기량, L/s

△P : 건물 외피를 통한 압력차, Pa

C : 누기량 계수, $L/(s\ Pa^n)$

n : 누기 지수

C값은 Q와 P의 보정 값을 그래프로 나타낸 후 log-log 회귀식을 이용하여 얻어진다.



- 10Pa, 50Pa, 그리고 75Pa에서의 침기량 산정: 산정된 n과 C값을 이용하여 10, 50, 75Pa 에서 실험 건물에서의 침기량을 계산한다.

a. △P=10Pa일 경우, 침기량

$$Q_{10}^{'} = C(10)^n$$

b. △P=50Pa일 경우, 침기량

$$Q_{50}^{'} = C(50)^n$$

c. △P=70Pa일 경우, 침기량

$$Q_{75}^{'} = C(75)^n$$

- 적합도(Goodness-of-Fit) 산정: 압력과 침기량 관계를 통해 구한 회귀식이 적합도를 아래와 같은 값을 통해 판단한다.
  a. 상관 계수, r
  b. 측정된 압력차의 회귀곡선을 통한 기밀도와 각 계산된 값의 상대 오차를 산정한다.
  c. 산정된 값의 표준 오차를 산정한다.
  d. 10,50,75Pa일 때의 산정된 기밀도의 상대표준 오차를 산정한다.
- 데이터의 검사(verification): 만약 다음 값 중에 하나라도 맞지 않을 경우, 모든 실험을 반복하는 것이 좋다.
  a. $0.5 \leq n \leq 1.00$
  b. $r > 0.990$
  c. $(Q_1^{'} - Q_{a,i})/Q_{a,i}) < 0.06$

(12) 보고서

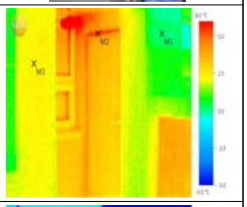
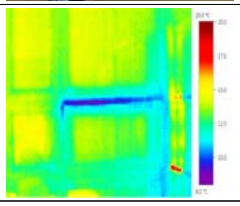
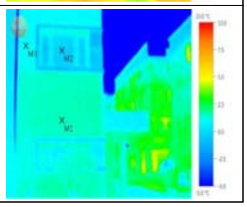
- 기밀시험보고서에는 “KS L ISO 9972: 단열-건물 기밀성 측정-팬 가압법” 또는 “ISO 9972 Thermal performance of buildings - determination of air permeability of buildings - fan pressurization method”에서 요구하는 수준의 정보를 포함하여야 한다.
- 측정 담당자 또는 감독자의 정보를 포함하여야 한다. 이 때, 측정 담당자 또는 감독자는 건물에서의 기밀에 대한 이해와 측정방법을 수행할 수 있는 능력을 검증받은 사람이나 기관, 공인 교육이수 또는 자격증을 취득한 사람임을 나타내야 한다.
- 기타 보고서의 이해와 해석을 위해 필요하다고 판단되는 사항을 포함할 수 있다.

다. 기밀화 표준안 개발

주거용건물의 신축을 2017년까지 건물 에너지 소비량을 현 소비량의 60%까지 줄인 패시브하우스 수준, 2025년 제로에너지 수준으로 의무화하고 비주거용건물은 2017년까지 현 소비량의 30% 감축, 2020년 60% 감축, 2025년 제로에너지 수준으로 신축을 의무화 하는 정부 로드맵에 따라 건물에서의 에너지 소비량 절감문제도 중요시 되고 있다. 건물에서 침기로 인한 건물 에너지 손실 비중은 점차 증가하고 있어 건물 에너지 소비를 줄이기 위해서는 기밀은 필수적인 요소이다.

건물 내 공기의 유동이 일어나는 부위는 출입문이나 창문 등과 같이 쉽게 확인이 가능한 부위부터 각종 부재의 접합부나 크랙(crack), 설비 샤프트의 관통부 등과 같이 눈에 띄지 않는 개구부에 이르기까지 다양하며 건물 내에 산재해 있다. 특히, 고층건물의 경우 내부 간벽과 출입문이 상대적으로 많아서 개구부 및 틈새 또한 많이 발생하여 이에 대한 기밀성이 떨어지는 경우가 많다. 이에 건물을 기밀화하기 위해서 개구부나 틈새의 위치를 파악하는 현장조사를 수행하였다.

표 9. 건물의 누기부위 조사

구분	A	C	D	E
건물용도	단독주택	공동주택	업무시설	업무시설
규모	지상 2층	지상 24층	지상 2층	지상 4층
구조	철근콘크리트조	철큰콘크리트 라멘구조	철근콘크리트조	철근콘크리트조
현장조사				
				
				

다음으로 건물의 누기부위 조사를 통한 공기의 유동을 효과적으로 차단하기 위한 방안으로 현장 관리자가 본 연구 자료를 용이하게 활용할 수 있도록 습식공법, 건식공법에서의 기밀화 요구 부위를 체크리스트 형식으로 작성하였다.

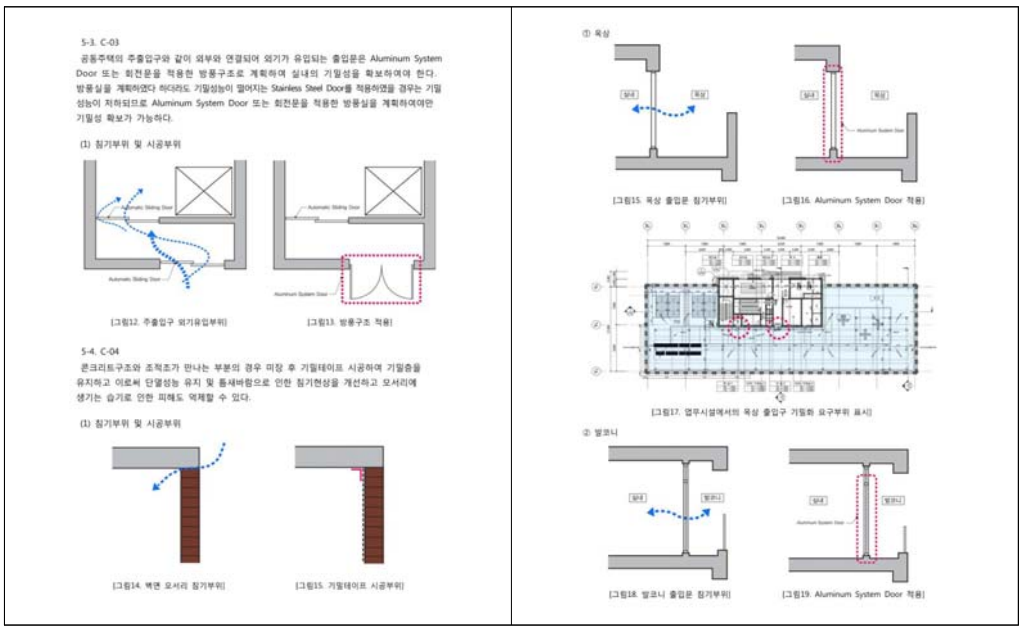
번호	침기 · 누기부위		도면기호
1	개구부	창호, 문이 벽체가 접하는 부위	W-A-01
2		창문과 창틀이 접하는 부위	W-A-02
3		공동주택의 동 출입구	W-A-03
4		현관문	W-A-04
5	구조체	바닥과 벽체가 접하는 부위	W-A-05
6		벽체와 지붕이 접하는 부위	W-A-06
7		벽체가 꺾이는 부위	W-A-07
8	재료	서로 다른 재료가 접하는 부위	-
9	기계설비	오수 및 배수 연출관의 외벽관통 부위	W-M-01
10		옥외 부동수전 인출관의 외벽관통 부위	W-M-02
11		수도 및 가스 인입관의 외벽관통 부위	W-M-03
12		욕실 배기덕트의 외벽관통 부위	W-M-04
13		주방 및 다용도실의 후드배기덕트의 외벽관통 부위	W-M-05
14		욕실 환풍기, 주방 후드 환기구	W-M-06
15		보일러 연도의 외벽관통 부위	W-M-07
16	전기설비	전기, 통신 인입선의 외벽관통 부위	W-E-01
17		세대 분전반 박스 부위	W-E-02
18		콘센트, 전등 스위치, 온도조절기, 비디오폰 박스 부위	W-E-03
19		전동블라인드 전원공급선의 외벽관통 부위	W-E-04
20		외부전등 전원공급선의 외벽관통 부위	W-E-05
21		전등 박스 부위	W-E-06
22		TV분배함 및 통신용 국선단자함 부위	W-E-07
23		비디오폰 및 도어제어 전선의 외벽관통 부위	W-E-08
24	기타	시공 시 기밀층 훼손부위	-

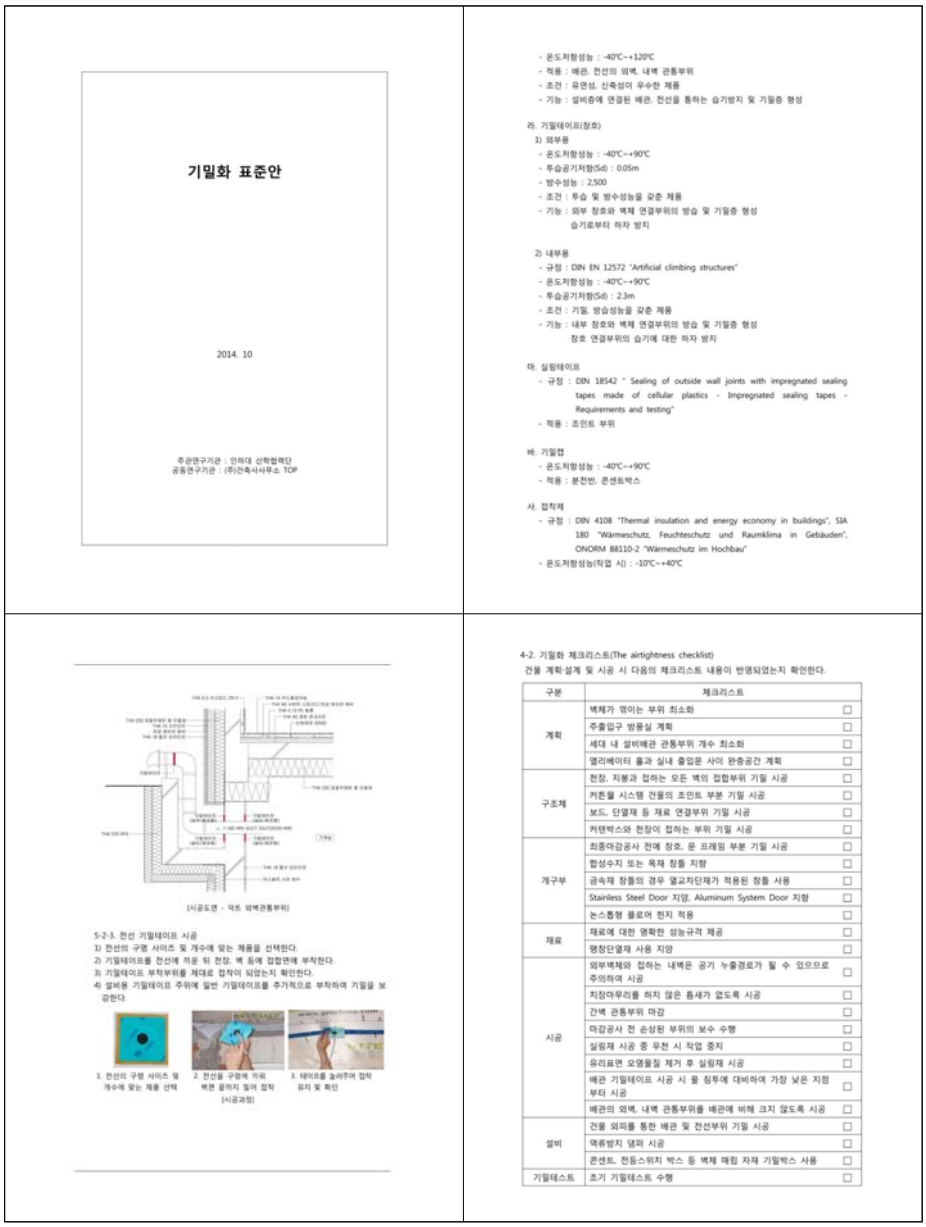
[표 3. 습식건물(철근콘크리트구조) 기밀화 시공 체크리스트]

번호	침기 · 누기부위		도면기호
1	개구부	창호, 문이 벽체가 접하는 부위	D-A-01
2		주출입구	D-A-02
3		옥상, 외부 데크 출입구	D-A-03
4		출입문의 플로어힌지 적용 부위	D-A-04
5	구조체	벽체가 꺾이는 부위	D-A-05
6		커튼월 외벽의 침기부위	D-A-06
7	재료	이중바닥재 적용부위	D-A-07
8		서로 다른 재료가 접하는 부위	D-A-08
9		커튼월 유리와 볼트가 접하는 부위	D-A-09
10	코어	코어와 실내가 연결되는 부위	D-A-10
11	기계설비	오수 및 배수 인출관의 외벽관통 부위	D-M-01
12		수도 및 가스 인입관의 외벽관통 부위	D-M-02
13	전기설비	전기, 통신 인입선의 외벽관통 부위	D-E-01
14		콘센트, 전등 스위치, 온도조절기, 비디오폰 박스 부위	D-E-02
15		전동블라인드 전원공급선의 외벽관통 부위	D-E-03
16		외부전등 전원공급선의 외벽관통 부위	D-E-04
17		통신용 국선단자함 부위	D-E-05
18		전등 박스 부위	D-E-06
19	기타	커튼월 외벽과 기둥사이의 관리소홀 부위	D-C-01
20		시공 시 기밀층 훼손부위	-

[표 2. 건식건물(철골구조) 기밀화 시공 체크리스트]

건물 기밀화 방안은 실제 건물 내 건축 요소에 적용이 되는 구체적인 방법을 사례를 통해 정리하였다. 먼저 각종 출입문과 창호 등의 건물 개구부에서의 기밀화 사례를 나타내었고, 다음으로 외벽과 바닥의 접합부, 내벽과 바닥의 접합부, 방풍실 접합부 등의 건물 구조체에서의 기밀화 사례를 정리하였다. 최종적으로 현장에서의 기밀화 도면작업 및 공사수행을 위한 시방자료로 활용될 수 있도록 기밀화 표준안을 마련하였다.





기밀화 표준안

2014. 10

주관연구기관 : 인하대 산학협력단
공동연구기관 : (주)건축사사무소 TOP

- 온도저항성능 : -40℃~+120℃
- 적용 : 배관, 전선의 외벽, 내벽 관통부위
- 조건 : 유연성, 신축성이 우수한 제품
- 기능 : 설비층에 연결된 배관, 전선을 통하는 습기방지 및 기밀층 형성

라. 기밀테이프(창호)

1) 외부용
- 온도저항성능 : -40℃~+90℃
- 투습공기저항(Sd) : 0.05m
- 방수성능 : 2,500
- 조건 : 투습 및 방수성능을 갖춘 제품
- 기능 : 외부 창호와 벽체 연결부위의 방습 및 기밀층 형성
  습기로부터 하자 방지

2) 내부용
- 규정 : DIN EN 12572 "Artificial climbing structures"
- 온도저항성능 : -40℃~+90℃
- 투습공기저항(Sd) : 2.3m
- 조건 : 기밀, 방습성능을 갖춘 제품
- 기능 : 내부 창호와 벽체 연결부위의 방습 및 기밀층 형성
  창호 연결부위의 습기에 대한 하자 방지

마. 실링테이프
- 규정 : DIN 18542 " Sealing of outside wall joints with impregnated sealing tapes made of cellular plastics - Impregnated sealing tapes - Requirements and testing"
- 적용 : 조인트 부위

바. 기밀캡
- 온도저항성능 : -40℃~+90℃
- 적용 : 분전반, 콘센트박스

사. 접착제
- 규정 : DIN 4108 "Thermal insulation and energy economy in buildings", SIA 180 "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden", ONORM B8110-2 "Wärmeschutz im Hochbau"
- 온도저항성능(작업 시) : -10℃~+40℃

[시공도면 - 덕트 외벽관통부위]

5-2-3. 전선 기밀테이프 시공
1) 전선의 구멍 사이즈 및 개수에 맞는 제품을 선택한다.
2) 기밀테이프를 전선에 먼저 뒤 천장, 벽 등에 접합면에 부착한다.
3) 기밀테이프 부착부위를 제대로 접착이 되었는지 확인한다.
4) 설비용 기밀테이프 주위에 일반 기밀테이프를 추가적으로 부착하여 기밀을 보강한다.

1. 전선의 구멍 사이즈 및 개수에 맞는 제품 선택
2. 전선을 구멍에 끼워 벽면 골까지 들어 접착
3. 테이프를 눌러주어 접착 유지 및 확인

[시공과정]

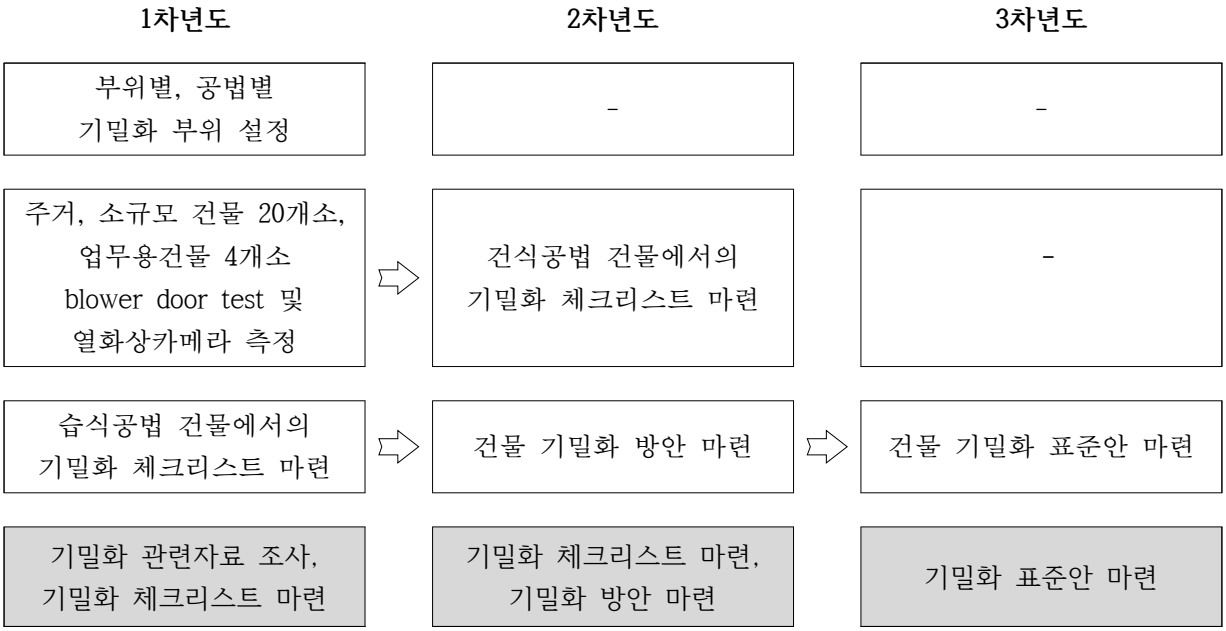
4-2. 기밀화 체크리스트(The airtightness checklist)
건물 계획·설계 및 시공 시 다음의 체크리스트 내용이 반영되었는지 확인한다.

구분	체크리스트	
계획	벽체가 꺾이는 부위 최소화	□
	주출입구 방풍실 계획	□
	세대 내 설비배관 관통부위 개수 최소화	□
	엘리베이터 홀과 실내 출입문 사이 완충공간 계획	□
구조체	천장, 지붕과 접하는 모든 벽의 접합부위 기밀 시공	□
	커튼월 시스템 건물의 조인트 부분 기밀 시공	□
	보드, 단열재 등 재료 연결부위 기밀 시공	□
	커텐박스와 천장이 접하는 부위 기밀 시공	□
개구부	최종마감공사 전에 창호, 문 프레임 부분 기밀 시공	□
	합성수지 또는 목재 창틀 지양	□
	금속재 창틀의 경우 열교차단재가 적용된 창틀 사용	□
	Stainless Steel Door 지양, Aluminum System Door 지향	□
	논스톱형 롤로어 헌지 적용	□
재료	재료에 대한 명확한 성능규격 제공	□
	평창단열재 사용 지양	□
시공	외부벽체와 접하는 내벽은 공기 누출경로가 될 수 있으므로 주의하여 시공	□
	치장마무리를 하지 않은 틈새가 없도록 시공	□
	간벽 관통부위 마감	□
	마감공사 전 손상된 부위의 보수 수행	□
	실링재 시공 중 우천 시 작업 중지	□
	유리표면 오염물질 제거 후 실링재 시공	□
	배관 기밀테이프 시공 시 물 침투에 대비하여 가장 낮은 지점부터 시공	□
	배관의 외벽, 내벽 관통부위를 배관에 비해 크지 않도록 시공	□
설비	건물 외피를 통한 배관 및 전선부위 기밀 시공	□
	역류방지 댐퍼 시공	□
	콘센트, 전등스위치 박스 등 벽체 매립 자재 기밀박스 사용	□
기밀테스트	초기 기밀테스트 수행	□

[주요 연구내용 요약]

- 건물에서의 현장 조사를 통한 주요 누기부위를 검토
  - 국내 업무용 건물 4개소 조사 수행(smoke test, 열화상 검토 수행)
  - 국내 주거/소규모 건물 20개소 조사 수행
- 습식건물, 건식건물 기밀화 시공 체크리스트 마련
- 국내외 자료를 바탕으로 누기부위에서의 기밀화 방안 마련
- 건축공사에서 활용하기 위한 시방자료가 될 수 있는 기밀화 표준안 마련

⇒ 기밀화 표준안 마련



연구 내용	관련 연구 결과물
기밀화 표준안 개발	C1. 기밀화 체크리스트 보고서 2건(업무용건물/대규모건물)
	C2. 기밀화 체크리스트 보고서 2건(주거건물/소규모건물)
	C3. 건물 기밀화 방안 2건
	C4. 건물 기밀화 표준안 1건
	C5. 국내학술발표 논문 1건(한국태양에너지학회)

(1) 기밀화 표준 시방서

본 시방서는 건물의 기밀성능 향상을 위해 설계 시 및 착공 전에 기본적으로 고려할 필요가 있는 부위들에 대한 사전 검토를 실시하여 시공부위의 침기 및 누기부위 사전 차단, 건물 에너지 손실 방지, 이용자의 쾌적도 향상, 건물 수명 연장, 건물 보수에 따른 비용 추가발생 방지 등 건물의 기밀성능을 향상시키기 위한 목적으로 작성되었다.

(2) 적용범위 (Scope)

- 본 시방서는 각종 건축물에 적용할 수 있는 기밀화 요구부위에 대한 관리, 시공방안을 제시하는 것이다. 기밀에 관련된 시공 내용만 포함하고 있으며 타공사는 해당공사 시방에 따른다.
- 본 시방서상의 자재는 KS규격 또는 이와 동등 이상 품질의 자재를 사용함을 원칙으로 하며, 그 외에 발주자 및 감독원 등과 협의하여 정한 자재를 사용하도록 한다.
- 본 시방서에 기재되지 않은 사항에 관해서는 건설교통부 제정 건축공사 표준시방서에 준하여 시행하며, 기타 사항은 발주자 및 감독원과 협의하여 결정한다.

(3) 기밀시공 자재

창호, 문	충진재	기밀테이프
		
설비용 기밀테이프	기밀접착제	팽창형밴드
		
기밀박스	기밀캡	실란트
		

(4) 기밀성능 표현방법

	단위	정의
CMH50	㎥/hr	· CFM50은 실내외 압력차를 50Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣어야 할 기류량(즉, 누기량)을 표현하며 50Pa은 약 9m/s의 바람이 불어올 때 생기는 압력 · 기후조건의 영향을 최소화하기 위함
CFM50	ft^3 /min	
ACH50	h^{-1}	· 건물에 50Pa의 압력이 작용하고 있을 때 실내공기가 한 시간동안 몇 번 환기가 되는가를 표현하는 척도 · 서로 다른 크기의 건물에서 측정된 누기량을 비교할 때 유용함
EqLA	㎠	· Canadian National Research Council(NRC)에서 정립한 누기면적 척도 · 주로 10Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기 · 커튼월은 EqLA@75Pa 사용
ELA, EfLA	㎠	· Lawrence Berkeley National Laboratory(LBNL)에서 정립한 누기면적 척도 · 주로 4Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기
Air Pemeability	cfm/ft^2 , L/s㎡	· 누기량을 전체 외피면적으로 나눈 단위면적당 누기량을 나타내는 척도 · 영국 등 EU에서 주로사용하는 단위

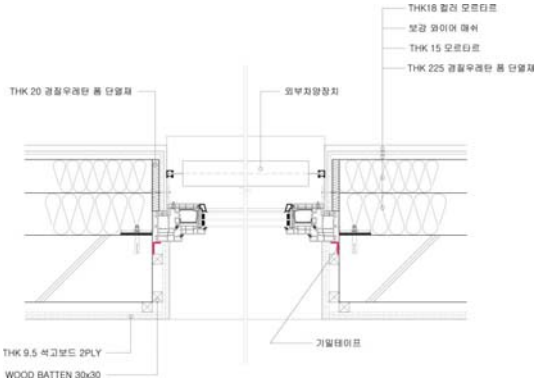
(5) 건물에서의 침기·누기요소 분석

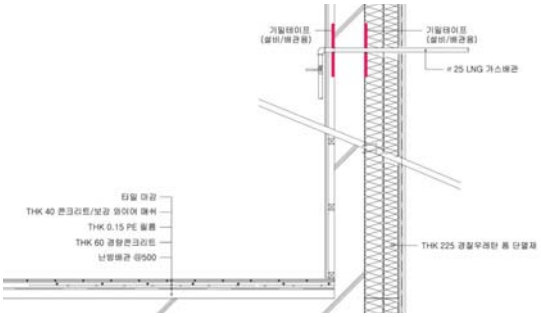
- 대상건물의 면적 및 부피를 계산한다.
- 외기와 연결된 출입문과 창호는 닫고, 실내문은 열어둔다. 환기·배기·HVAC시스템은 전원을 끄고 환기용 개구부·그릴은 실링 또는 댐퍼를 닫는다. 각종 배수구도 실링 또는 봉수를 채워 측정을 준비한다.
- 측정자의 위치가 실내인지 실외인지 확인한다.
- 측정 시작 시의 실내 외 온도, 습도, 절대압력, 풍속, 풍향 등 기후조건을 측정한다.
- Baseline pressure를 측정한다. 가압/감압 시작 전, 후 모두 측정하며 Blower door의 개구부를 닫은 상태에서 최소 30초 이상 측정하여 평균을 기록한다.
- 기밀테스트를 수행한다. 설정된 범위를 10Pa 내로 증가시키면서 최소 횟수 이상(5회) 유사간격을 측정한다.
- Building Leakage Report를 통하여 대상건물의 기밀성능을 평가하고 외기와 접하는 부위 등은 풍속을 측정하여 실제 침기·누기가 발생하고 있는지 결과를 분석한다.

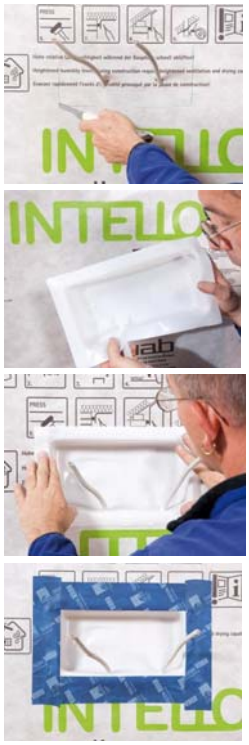
(6) 시공방안

항목	시공 방법	사진
창호	1) 창호의 설치는 일반 공통사항에 따르며 특별한 부분에 대해서는 발주자 및 감독원과의 협의된 내용에 따른다. 2) 창호설치는 제작자가 하는 것을 원칙으로 하며, 창호 공사 전 벽체마감 시공 시 현장 시공사측 책임자는 반드시 창호 시공 책임자와 협의 후 시공에 착수해야 한다. 3) 유리 끼우기 ① 유리 끼우기는 건식공법으로 E.P.D.M. GASKET을 사용한다. ② 개폐 종류에 따라 SASH 및 FRAME의 적당 지점에 GLASS SUPPORT및 GLASS BLOCK을 위치시킨 후 유리를 설치한다. 4) 창호를 설치한 후 출입 또는 작업으로 손상될 우려가 있는 곳에는 FRAME이 손상되지 않도록 보양한다. 5) 창호표면에 모르타르나 불순물 등이 묻은 때에는 표면에 흠이 생기지 않도록 제거하고 청소한다.	 [EPDM GASKET]
문	1) 콘크리트조, 조적조 및 경량칸막이가 설치되는 곳을 제외하고는 문틀 먼저 세 우기를 시행하여야 한다. 2) 조적공사 시 수직재에는 정첩 및 문의 손잡이 높이에 3개 이상의 앵커를 설치하여야 한다. 3) 용접용 앵커 ① 앵커 간격은 모서리 150mm, 중앙 500mm 내외로 설치한다. 문틀폭이 클 경우(폭 150mm)는 이중으로 한다. ② 문지방 부분은 바닥철근을 이용하거나 앵커를 설치한다. ③ 앵커의 위치는 시공도로 확인한다. 4) 문지방이 처지지 않도록 설치 후 조속히 주변 모르타르를 채운다. 5) 금속표면은 깨끗하게 청소하고 변색되었을 때 복구시킨다. 아연도금된 철재나 부식성 재료의 표면의 다른 재료와 접촉으로 인한 정전기가 발생되지 않도록 아스팔트 도장을 하거나 플라스틱 재료를 끼운다.	

항목	시공 방법	사진
문	6) 알루미늄 합금제 문틀의 충진 모르타르는 부식을 방지할 수 있는 제품이어야 하며 모르타르의 염분 함유량은 0.02% 이하이어야 한다. 7) 시공도에 표기한 대로 문을 정확하게 문틀에 맞추어 설치하여야 한다. 8) 문틀, 문지방이 처지거나 변형되지 않도록 버팀대, 가새 등을 보강하여 운반, 설치하고 조속히 주변 모르타르를 채운다.	
충진 모르타르	1) 창호틀과 드레인 주위의 틈새를 빈틈없이 밀실하게 충진하고 표면은 평탄하게 처리한다. ※ 충진재를 시공하여야 하는 창호틀과 배관 주위 등은 제품규격에 비해 크게 절단하는 것을 피해 틈새를 최소화 하여야 한다.	
충진용 발포 폴리 우레탄	1) 사용부위 표면의 먼지와 이물질을 제거한다. 2) 시공부위에 물을 뿌려준다. 3) 밀실하게 충진될 수 있도록 주입건의 노즐을 틈새에 깊이 넣어 분사하며, 반드시 캔을 뒤집어서 충진상태를 확인하면서 시공한다. 4) 시공 시 부피 팽창율을 감안하여 시공부위에 적용한다. 5) 충진 깊이는 내, 외부 각 50㎜씩 2회에 걸쳐 시공한다. 6) 발포작용으로 인하여 외부로 빠져나온 부분은 6시간 이상 경과 후 칼이나 쇠톱손으로 잘라내고 외부마감을 한다. 7) 충진 시 접착면의 최소온도는 5℃이상을 유지하여야 하며, 5시간 이상 경과되기 전까지는 충격을 주지 않도록 주의하여야 한다. 8) 반드시 장갑 등을 착용하고 시공하고 피부나 옷에 묻은 경우 경화 전 즉시 아세톤이나 별도의 폼 제거제를 사용하여 제거한다. ※ 충진재를 시공하여야 하는 창호틀과 배관 주위 등은 제품규격에 비해 크게 절단하는 것을 피해 틈새를 최소화 하여야 한다. ※ 간혹 충진재에 따라 과열되거나 화재 시 부풀거나 특이사항이 있을 수 있으니 확인이 필요하다.	

항목	시공 방법	사진
창호 기밀 테이프	1) 사용부위 표면의 먼지와 이물질을 제거한다. 2) 작업할 곳의 치수를 측정하여 기밀테이프를 절단한다. 3) 모서리부위는 4~5cm 더 길게 절단한다. 4) 창문의 4면 또는 벽체 연결부위 등 기밀화 요구부위에 테이프를 부착한다. 5) 호(arc)형태로 테이프를 부착하는 경우에는 최소 5cm가 중첩되도록 부착한다. 6) 기밀테이프 부착부위를 제대로 접착이 되었는지 확인한다. 7) 테이프 절단면이 서로 맞물리는 곳은 접착제를 도포하여 기밀을 보강한다.  	   [창호 기밀테이프 시공과정]  [창호 기밀테이프 시공]
내벽 기밀 테이프	1) 사용부위 표면의 먼지와 이물질을 제거한다. 2) 작업할 곳의 치수를 측정하여 기밀테이프를 절단하여 부착한다. 3) 메쉬부분은 접착제 도포 후 부착한다. 4) 기밀테이프 부착부위를 제대로 접착이 되었는지 확인한다. 5) 메쉬부분 마감처리 후 기밀테이프가 보이지 않도록 마감한다.	    [내벽 기밀테이프 시공과정]

항목	시공 방법	사진
전선 기밀 테이프	1) 사용부위 표면의 먼지와 이물질을 제거한다. 2) 전선의 구멍 사이즈 및 개수에 맞는 제품을 선택한다. 3) 기밀테이프를 전선에 끼운 뒤 천장, 벽 등에 접합면에 부착한다. 4) 기밀테이프 부착부위를 제대로 접착이 되었는지 확인한다. 5) 설비용 기밀테이프 주위에 일반 기밀 테이프를 추가적으로 부착하여 기밀을 보강 한다.	    [전선 기밀테이프 시공과정]
배관 기밀 테이프	1) 사용부위 표면의 먼지와 이물질을 제거한다. 2) 배관의 사이즈에 맞게 설비용 기밀테이프를 절단한다. 3) 기밀테이프를 배관에 씌운 뒤 천장, 벽 등에 접합면에 부착한다. 4) 물 침투에 대비하여 가장 낮은 지점부터 시공한다. 5) 설비용 기밀테이프 주위에 일반 기밀 테이프를 추가적으로 부착하여 기밀을 보강 한다. 	  [배관 기밀테이프 시공과정]  [배관 기밀테이프 시공]

항목	시공 방법	사진
기밀 박스	1) 사용부위 표면의 먼지와 이물질을 제거한다. 2) 전선사이즈, 위치 및 기밀박스 매립위치를 확인한다. 3) 벽체에 매립할 기밀박스를 준비하고 박스 내부에 상처 등 틈새가 없는지 확인한다. 4) 전선사이즈 및 개수에 맞게 기밀박스 절단 후 벽체에 매립한다. 5) 기밀박스 주변에 기밀테이프를 추가 시공하여 기밀성을 유지한다.	 [기밀박스 시공과정]
실란트	1) 사용부위 표면의 먼지와 이물질을 제거한다. 2) 주제(PTA)와 경화제(PTB)를 규정된 혼합비에 따라 혼합이 이루어지도록 교반한다. 3) 코킹건을 준비한다. 4) 부착력 확보를 위해서 실란트는 자재와 최소 6mm이상 시공되도록 한다. 5) 실란트의 충진은 조인트 교차부 또는 가장자리부터 시작하여 구석구석까지 충분히 충진하여야 한다. 6) 실란트 충진 후 즉시, 고무칼 등을 사용하여 내부 탈포 및 표면을 매끄럽게 마무리 한다. 7) 마스킹테이프는 표면마무리(Tooling)작업이 끝난 후 즉시 제거한다. 8) 제거 후 남아있는 잔여물은 헤라 또는 주걱 등을 사용하여 제거하고, 이때 실란트 표면에 상처가 남지 않도록 주의한다. ※ 금속표면에 처리된 코팅부와 접하는 부분은 실런트 접착을 피한다. ※ 실란트 충진 후 배부름, 누수, 변색, 갈라짐, 접착불량 등에 대한 육안 검사 및 손으로 만져 검사하고 불량부분을 제거하고 수정한다.	

(7) 시공 체크 매뉴얼

구분	체크리스트	
계획	벽체가 꺾이는 부위 최소화	☐
	주출입구 방풍실 계획	☐
	세대 내 설비배관 관통부위 개수 최소화	☐
	엘리베이터 홀과 실내 출입문 사이 완충공간 계획	☐
구조체	천장, 지붕과 접하는 모든 벽의 접합부위 기밀 시공	☐
	커튼월 시스템 건물의 조인트 부분 기밀 시공	☐
	보드, 단열재 등 재료 연결부위 기밀 시공	☐
	커텐박스와 천장이 접하는 부위 기밀 시공	☐
개구부	최종마감공사 전에 창호, 문 프레임 부분 기밀 시공	☐
	합성수지 또는 목재 창틀 지향	☐
	금속재 창틀의 경우 열교차단재가 적용된 창틀 사용	☐
	Stainless Steel Door 지양, Aluminum System Door 지향	☐
	논스톱형 플로어 힌지 적용	☐
재료	재료에 대한 명확한 성능규격 제공	☐
	팽창단열재 사용 지양	☐
시공	외부벽체와 접하는 내벽은 공기 누출경로가 될 수 있으므로 주의하여 시공	☐
	치장마무리를 하지 않은 틈새가 없도록 시공	☐
	간벽 관통부위 마감	☐
	마감공사 전 손상된 부위의 보수 수행	☐
	실링재 시공 중 우천 시 작업 중지	☐
	유리표면 오염물질 제거 후 실링재 시공	☐
	배관 기밀테이프 시공 시 물 침투에 대비하여 가장 낮은 지점부터 시공	☐
	배관의 외벽, 내벽 관통부위를 배관에 비해 크지 않도록 시공	☐
설비	건물 외피를 통한 배관 및 전선부위 기밀 시공	☐
	역류방지 댐퍼 시공	☐
	콘센트, 전등스위치 박스 등 벽체 매립 자재 기밀박스 사용	☐
기밀 테스트	초기 기밀테스트 수행	☐

라. 기밀측정 전문가 교육 및 양성 (3차년도 추가 연구내용)

국외에서는 선진국을 중심으로 신뢰할 수 있는 건물 기밀성능을 규명하고 관련 제도 및 산업 발전을 위하여 측정방법 및 전문가 양성을 이미 오래전부터 실시하고 있으며, 국내에서 건물에서의 에너지절약 및 쾌적한 실내환경 조성을 목적으로 건물 기밀성능에 대한 기준 마련/제도화를 위한 전문가 양성을 위한 교육 프로그램을 개발하였다. 교육 프로그램은 크게 이론 및 실습 교육으로 이루어져 있으며 교육수료생의 전문가 인증을 위해 필기/실시 시험을 통한 인증체계를 구축하였다. 교육 실행을 위해 패시브제로에너지건축연구소와 연계하여 한국건축친환경설비학회의 '건축물의 기밀성능 기준(KIAEBS C-1: 2013)'에 따른 '건물기밀측정 전문가'를 양성하였다. 그 결과 2013년~2014년에 걸쳐 총 3회의 교육을 실시하였으며 80명의 전문가를 배출하였다. 교육 프로그램의 만족도 평가를 실시한 결과, 90점(4.5점/5점)이라는 목표를 달성할 수 있었다.

표 10. 교육 프로그램 및 시험 일정

일 시	교육내용 및 시험	시간	비 고
1일차	기초 이론	2h	Building Physics
	건물에서의 기밀	2h	Building Airtightness
	기밀성능 및 환기성능	1h	Build Tight, Ventilate Right
	기밀성능 측정방법	2h	KS, ISO, ASTM, EN 관련 측정방법
2일차	기밀측정보고서 작성	1h	Air leakage report
	건물기밀 관련 기술 강좌	2h	현안 및 주요 이슈(외부강사 2인)
	기밀측정 실습	3h	Fan pressurization method
	기밀측정 전문가 필기시험	1h	합격점수 70% 이상 획득
3일차	기밀측정 전문가 측정시험	1h	건물모델 측정 및 보고서 작성 Pass
-			



그림 17. 제2회 전문가 교육 수강생





그림 18. 전문가 자격증 및 전문가의 수행능력 상세기술사항

[주요 연구내용 요약]

- 건물 기밀측정 전문가 교육 프로그램
  - 건물 기밀측정 전문가 교육 프로그램 개발(이론/실습, 시험체계, 자격체계)
  - 건물 기밀측정 전문가 교육 교재 개발
- 기밀측정 전문가 인력 양성
  - 2013년~2014년에 걸쳐 총 3회의 교육 프로그램 운영
  - 건물 기밀측정 전문가 양성: 80명

⇒ 기밀측정 전문가 교육 및 양성

1차년도	2차년도	3차년도
-	(기밀 측정전문가 교육 연구 제안)	전문가 교육 프로그램 마련 (이론/실습/시험)
-	-	교육 교재 개발 실습방법 마련
-	-	1~3회 전문가 교육 운영 기밀측정 전문가 양성
-	-	기밀측정 전문가 교육/양성

연구 내용	관련 연구 결과물
기밀측정 전문가 교육 및 양성	기밀측정 전문가 교육 프로그램 개발 D1. 건물 기밀측정 전문가 교육 프로그램 D2. 건물 기밀측정 전문가 교육 교재
	기밀측정 전문가 인력 양성 D3. 건물 기밀측정 전문가 교육 과정 운영-3회 실시 D4. 건물 기밀측정 전문가 양성-약 80명
	D5. 국내학술게재 논문 1건(한국건축친환경설비학회) D6. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

교육 단위	시간	주 제	주요 내용
프로그램 소개	30m	교육내용, 시험, 수료/자격 설명	교육 내용-국내외 교육 현황/전문가 현황
			필기/실습 시험, 수료 및 자격
기초 이론	1h 30m	Building Physics	Basic 이론
			UNIT
			풍량(Q): CMH, CFM
			압력: 절대압, 차압, 압력 SCALE:
			WIND PRESSURE, Stack Effect
			Combining Driving Forces
			건물에서의 압력차
			THERMAL LOADS
			Leakage Function
건물에서의 기밀	2h	Building Airtightness	기밀의 정의
			Leaky 건물의 문제점
			기밀성능의 중요점
			Leakage Function
			기밀성능 표현방법, Reference 압력차
			Q, 압력차, n
			Airtightness Ratings
			가스추적법, 팬가압법, 차음법 등
			Fan pressurization method 소개
			Leakage Function을 이용한 data 산출
			기밀성능 결과값 계산/오차
기밀성능 및 환기성능	1h	Build Tight, Ventilate Right	침기 VS 환기
			건물 기밀성능 ACH50
			건물 환기성능 ACH
			국내외 기밀 및 환기성능
			국내 기밀성능 기준
			환기 계획
			Build Tight, Ventilate Right
기밀성능 측정방법	2h	KS, ISO, ASTM, EN 측정방법 ASTM E283/E783, NFRC-400 ASTM E1186 ISO 6891	관련 standard 소개 및 비교
			대표 standard 체계 및 내용(ISO 9972)
			EN Method A/B 설명
			제한사항(기후조건), K・m
			ASTM E283/E783, NFRC-400
			건물에서 기밀조사방법 ASTM E1186
			Smoke Inspection
			Thermography Inspection (ISO 6891)
			Blower door 측정장비
			Blower door 측정방법 절차
			현안 문제
기밀측정보고서 작성	1h 30m	Air leakage report	Air Leakage Report
			작성 내용
			Software 활용
			작성 실습
			기밀성능 database 소개 및 예시
건물기밀 관련 기술세미나	1h 30m	현안 및 주요 이슈	(외부강사 2인)
기밀측정 실습	3h	Fan pressurization method	측정 준비사항
			외피면적 및 건물부피 계산
			측정방법 선택에 따른 측정절차
			Air Leakage Report 작성
			측정 실습

마. 건물 기밀성능 데이터베이스 구축

본 과제에서 목표로 하고 있는 기밀성능 기준을 수립하기 위해서는 건물의 기밀성능 저하에 따른 에너지 소비량 증가 및 실내환경 악화 등과 같은 문제점을 해결할 수 있도록 고려하여야 한다. 또한 기존 건축물 및 건설되고 있는 건축물의 기밀성능 수준과 개선 가능한 현재의 기술 수준을 고려하여 현실적인 기준 구축이 필요하다. 그러나 오랜 기간 동안 수많은 건물의 기밀성능 데이터를 축적하고 있는 유럽 및 미국과는 달리 국내에 축적된 데이터는 적으며 입수할 수 있는 데이터들도 기밀성능의 표현 방식이 다양하고 필요한 내용이 생략되어 있는 경우가 많아 기밀성능 수준 파악 및 기준 수립에 어려움이 있다.

따라서 본 과제에서는 건물 기밀성능 관련 국가정책 수립 및 기술개발에 활용할 수 있도록 통일된 건물의 기밀성능 데이터를 수집하고 축적할 수 있는 웹 기반 데이터베이스 시스템을 구축하였다. 또한 기밀성능 측정 전문가 교육프로그램에 본 시스템을 소개하고 교육 수료자를 대상으로 본 시스템의 사용자로 등록하여 전문가에 의한 신뢰성 있는 기밀성능 데이터가 자발적으로 수집될 수 있도록 유도하였다.

건물의 기밀성능 데이터를 수집하여 정리하기 위해 온라인 시스템을 활용하였다. 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템은 패시브제로에너지건축연구소(IPAZEB)에서 관리하는 시스템으로, 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스의 사용자는 고유의 사용자번호를 받아 시스템 사용이 가능하다. 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템의 사용자는 패시브제로에너지건축연구소에서 기밀 전문가 교육에 합격한 전문가와 교육을 수료한 전문가이다. 그 외 시스템 내 기밀성능 데이터를 조회하기 희망하거나 입력을 원하는 사용자의 경우 패시브제로에너지건축연구소에서 사용 승인을 받은 후 사용이 가능하다.

웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템의 데이터 입력 절차는 측정한 건물의 기본정보를 먼저 입력한 후, 측정과 관련된 정보를 입력한다. 그 다음으로 기밀성능 측정 결과를 입력하고, 측정에 사용된 장비를 입력한 뒤, 입력내용을 확인할 수 있다. 사용자가 입력내용 온라인 데이터베이스 시스템에 저장하게 되면, 사용자가 입력한 기밀성능 데이터를 관리자가 확인할 수 있게 된다. 관리자가 데이터를 확인한 후, 보고서 인쇄 승인 절차를 거치게 되면 사용자는 기밀성능 데이터가 정리된 보고서를 출력할 수 있다. (그림 20)

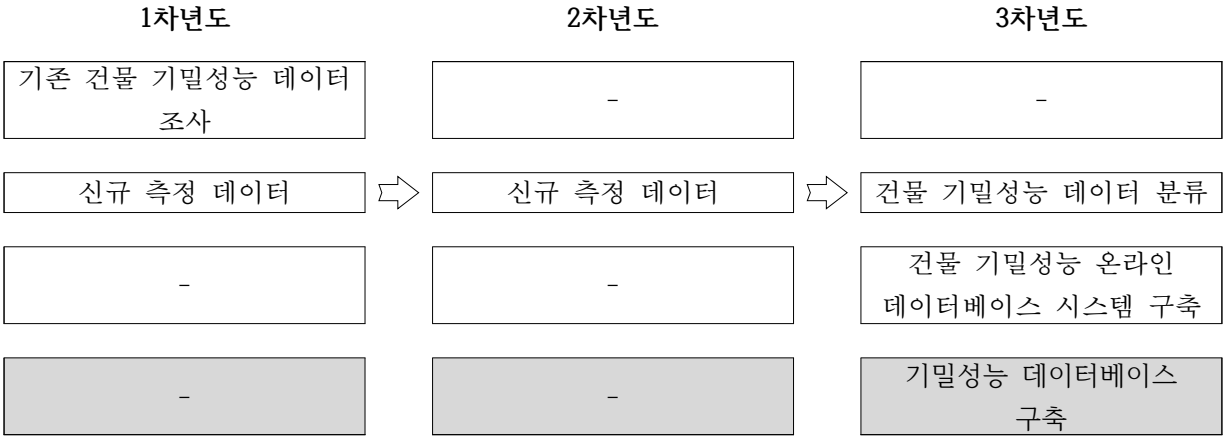
국내 건물의 기밀성능 데이터베이스를 축적하기 위하여 국내 논문 및 연구자료를 조사하였다. 기존 연구자료 내 건물의 기밀성능 자료를 정리하여 웹기반 기밀성능 데이터베이스 시스템에 입력하였다. 국내 논문 약 30편에 있는 기밀성능 데이터 133개와 직접 측정한 데이터 609개를 시스템에 입력하여 기밀성능 데이터를 축적하였다.

[주요 연구내용 요약]

- 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템 구축
  - http://koreanphi.org/airtightness/

- 기밀성능 데이터베이스 축적
  - 약 740여개 데이터베이스 입력 (총 742/742 = 100% 입력)

⇒ 건물 기밀성능 데이터베이스 구축



연구 내용	관련 연구 결과물
건물 기밀성능 데이터베이스 구축	E1. 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템 구축
	E2. 기밀성능 데이터베이스 축적-약 742여개 데이터베이스 입력

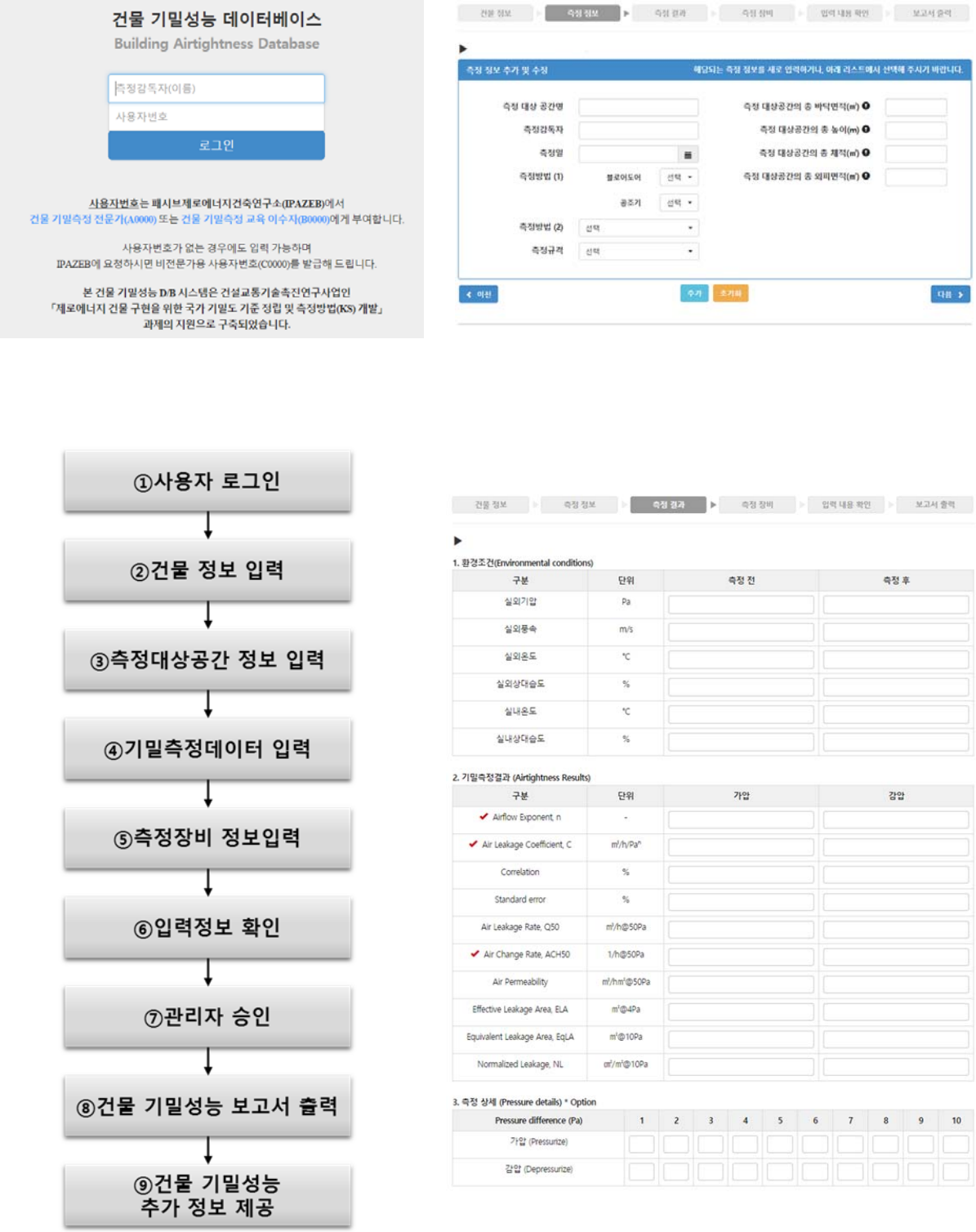


그림 19. 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템

패시브제로에너지건축연구소

건물 기밀측정 보고서

BUILDING AIRTIGHTNESS TEST REPORT

일련번호: 201404-1606　　입력일자: 2014년 4월 6일

기밀성능 측정 전문가: 조재훈

(1)건물 정보 (Building information)

건물명	송도국제업무지구 D11/16BL		
건물유형	공동주택	준공년도	2014년
규모(연면적)	㎡	소재지	인천

(2)측정 정보 (Test conditions)

대상공간	1606동 2404호				
바닥면적	96.92㎡	체적	290.747㎥	외피면적	319.952㎡
측정일	2014-04-06	측정방법	가압법+감압법		
측정규격	ASTM E779				
실내환경	온도:℃ 습도:%		실외환경	온도:℃ 습도:%	

(3)측정 결과 (Test results)

차압범위	Pa ~ Pa	ACH50	1/h	2.5
누기계수(C)	43.05 / 42.35	Q50	㎥/h	735.8
압력지수(n)	0.5891 / 0.5848	ELA@4	㎡	
상관계수(R^2)	/	EqLA@10	㎡	

(4)측정 장비 (Test equipments)

블로어도어(Blower Door)	Retrotec Inc/3300SR

비고:
1. 이 보고서는 패시브제로에너지건축연구소(http://www.ipazeb.org)의 '건물 기밀성능 측정 전문가 교육 프로그램'을 이수한 기밀측정 전문가(Certified Air Leakage Tester)에 의해서 작성된 것입니다.
2. 이 보고서의 측정 결과는 패시브제로에너지건축연구소에서 운영하는 '건물 기밀성능 D/B'에 저장되어 공개된 것입니다.
3. 단, 측정 결과 및 상세내용의 책임은 이 보고서의 작성자에게 있습니다.

2014년 11월 21일

패시브제로에너지건축연구소

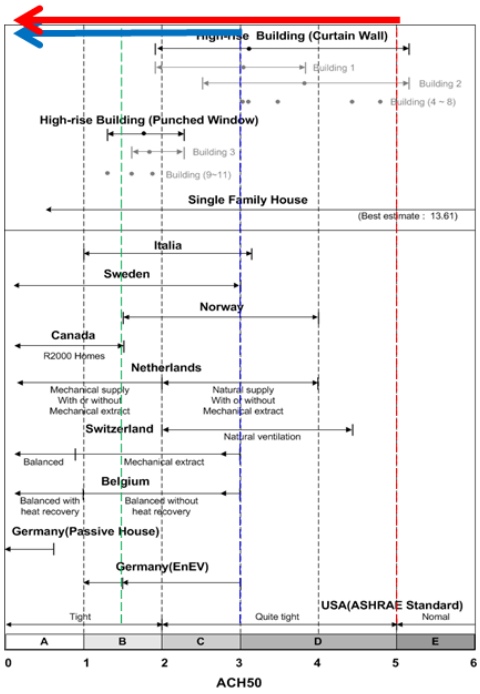
주소: 서울 관악구 신림동

그림 20. 측정보고서 예시

제 3 장 최종 연구성과 및 적용실적

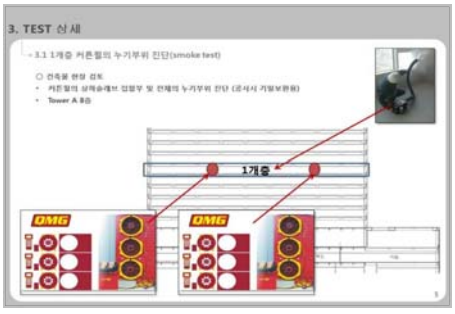
3.1 건물 기밀성능 기준 정립

<table>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">국내 건물의 제로에너지 구현을 위해 건물 유형별 기밀성능 기준을 정립</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">건물 에너지 절감을 위한 핵심적인 요소로 건물에서의 기밀화가 필요
국내에서는 건물 기밀성능에 관한 기준이 없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">건물에서 기밀성능 기준 정립
: 건물 기밀화를 통한 냉난방 부하 저감 및 쾌적성 증대</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 국내 기준 없음
(개발기술 수준) EU 수준의 국제적 기준
(개발기술 수준 설정근거) 대부분의 선진국 기밀성능 기준 시행</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적 성과</td><td>1~3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>1</td><td>-</td><td>-</td><td>1(국외 학술발표)
2(국내 학술발표)</td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>1~2 차년도</td><td colspan="5">기밀성능 기준 마련</td></tr>
<tr><td>달성 확인 방법</td><td>3 차년도</td><td colspan="5">기밀성능 기준 정책 제안</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="8">결과물</td><td colspan="6">A1. 공동주택 5개 건물 기밀성능 측정보고서-600세대</td></tr>
<tr><td colspan="6">A2. 공동주택 부위별 기밀성능 측정보고서-6세대</td></tr>
<tr><td colspan="6">A3. 단독주택 기밀성능 측정보고서</td></tr>
<tr><td colspan="6">A4. 국내 주거건물 기밀성능 조사보고서</td></tr>
<tr><td colspan="6">A5. 업무용건물 기밀성능 측정보고서</td></tr>
<tr><td colspan="6">A6. 업무용건물 커튼월 기밀성능 조사보고서</td></tr>
<tr><td colspan="6">A7. 모듈러 건축물 기밀성능 측정보고서-2개 type</td></tr>
<tr><td colspan="6">A8. 저층건물(3층) 기밀성능 측정 보고서-전체, 1개실</td></tr>
</table>

결과물	A9. 건축물의 기밀성능 기준(KIAEBS 기준으로 채택)
	A10. 공청회 및 기술패널토론(IPAZEB 기술세미나)
	A11. 기밀성능 기준 정책제안(국토교통부 녹색건축과)
	A12. 국외학술게재 논문 1건(JAABE(SCI-E))
	A13. 국외학술발표 논문 1건(AIVC2012)
	A14. 국내학술발표 논문 1건(대한건축학회)
	A15. 국내학술발표 논문 1건(한국건축친환경설비학회)
기술 실시 및 적용사례	• 국내 건설사에 기밀성능 기준으로 제시 - 포스코건설: 주거건물에서의 기밀성능 - 롯데건설: 잠실 롯데타워
기술개발 성과의 국내외 시장 전망	• 건물에너지 저감을 위한 핵심기술로 정량적 기준 자료로 활용 • 관련 법규 및 녹색건축물 인증제도의 기밀성능 기준으로 활용 • 성능 기반의 정량화된 건물에너지 평가 툴의 기밀성능 기준으로 연계 • 건물 기밀성능 구현을 위한 건설 자재의 평가 기준으로도 일부 활용하며, 자재 산업의 활성화를 통한 국내 관련 산업 육성에 기여
기타 자료	 

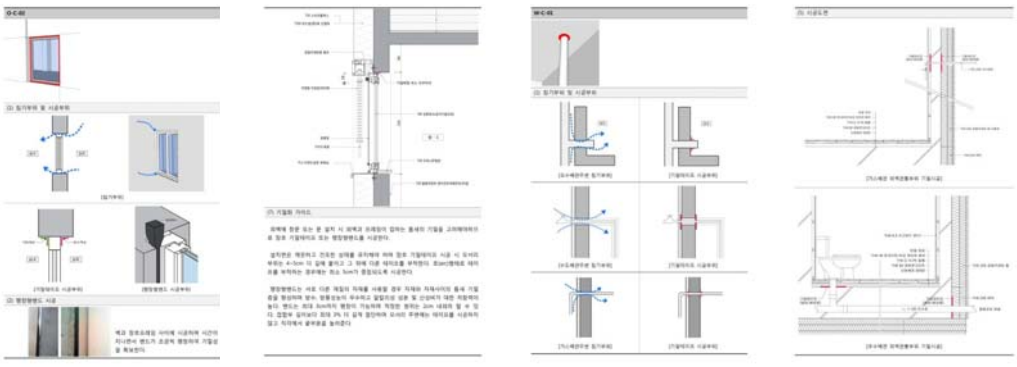
3.2 건물 기밀성능 측정방법(안) 개발

<table>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">KS규격 기반의 기밀성능 측정방법 개발</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">국내 건축물 기밀성능 검증을 위한 표준화된 측정방법이 없음</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">건물 기밀성능 측정을 위한 규격화된 시험방법 개발
: 신뢰할 수 있고 검증된 시스템</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 국내 소규모 건물에 대한 기준이 있으며 1996년 버전임
(개발기술 수준) EU 수준의 국제적 기준
(개발기술 수준 설정근거) 국제적 수준(ISO, EN)에 해당하는 표준안</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적 성과</td><td>1~3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>1
1(심사중)</td><td>1</td><td>-</td><td>2(국외 학술발표)
3(국내 학술발표)</td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>1~2 차년도</td><td colspan="5">측정방법 규격(안) 개발</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인 방법</td><td>1~2 차년도</td><td colspan="5">공개된 전문가평가 실시</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="10">결과물</td><td colspan="6">B1. 주거용건물 기밀성능 측정방법 조사보고서</td></tr>
<tr><td colspan="6">B2. 업무용건물 기밀성능 측정방법 비교분석 조사보고서</td></tr>
<tr><td colspan="6">B3. 고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-Blower+AHU</td></tr>
<tr><td colspan="6">B4. 고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-AHU</td></tr>
<tr><td colspan="6">B5. 고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-엘리베이터홀</td></tr>
<tr><td colspan="6">B6. 고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-커튼월 1개층</td></tr>
<tr><td colspan="6">B7. 대공간/고층건물 업무용건물 기밀성능 측정방법1</td></tr>
<tr><td colspan="6">B8. 대공간/고층건물 업무용건물 기밀성능 측정방법2</td></tr>
<tr><td colspan="6">B9 기밀성능 측정방법(안) 전문가평가
(기밀성능 측정방법에 대한 전문가 심포지엄, KPHI 기술세미나)</td></tr>
</table>

결과물	B10. 국외학술게재 논문 1건(Energy and Buildings)
	B11. 국외학술발표 논문 1건(Cold climate2012)
	B12. 국제심포지엄 논문발표 1건(AEBEST2012)
	B13. 국내학술게재 논문 1건(한국태양에너지학회)
	B14. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)
	B15. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)
	B16. 국내학술발표대회 논문 1건(대한건축학회)
기술 실시 및 적용사례	• 업무용건물 12층 건물에 대한 기밀성능 측정 실시(건물 전체) • 업무용건물 26층 건물에 대한 기밀성능 측정 실시(엘레베이터홀, 커튼월 1개층)
기술개발 성과의 국내외 시장 전망	• 기밀성능 측정방법의 KS 규격화를 통한 기밀성능 평가의 신뢰성 확보 • 녹색건축물 인증제도의 건물 기밀측정을 위한 기술규정으로 활용하며, 이를 통해 궁극적으로 건물 기밀성능 향상 유도 • 국제적인 기준에 경쟁할 수 있는 건설기술력 향상 • 측정 방법은 건물 각 구성요소의 기밀 성능 측정에 준용
기타 자료	   

3.3 기밀화 표준안 개발

<table>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">기밀화 표준안 설계도면/상세시방서 작성</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">건물의 기밀성능 향상을 위해서는 설계/시공단계에서 기밀화를 위한 검토와 이를 규정할 수 있는 시방서가 필요</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">건물 기밀성능 확보를 위한 설계 및 시공 가이드라인 제공
: 건물 기밀시공 기술 향상</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 국내 기밀화 지침/시방서가 없음
(개발기술 수준) 습식공법/건식공법 건물에 활용될 30개 체크리스트
(개발기술 수준 설정근거) 기밀 시공 체크리스트를 통한 기밀화 코드 개수</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td rowspan="2">양적 성과</td><td rowspan="2">1~3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td>기타</td></tr>
<tr><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>3(기밀화 방안/표준안)
1(국내 학술발표)</td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>3 차년도</td><td colspan="5">국내 최초 기밀화 표준안 개발 (목표: 개발 여부)</td></tr>
<tr><td>달성 확인 방법</td><td>3 차년도</td><td colspan="5">건식용건물/습식용 건물 30개 이상의 체크리스트</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="7">결과물</td><td colspan="6">C1. 기밀화 체크리스트 보고서 2건</td></tr>
<tr><td colspan="6">C2. 기밀화 체크리스트 보고서 2건(주거건물/소규모건물)</td></tr>
<tr><td colspan="6">C3. 건물 기밀화 방안 2건</td></tr>
<tr><td colspan="6">C4. 건물 기밀화 표준안 1건</td></tr>
<tr><td colspan="6">C5. 국내학술발표 논문 1건(한국태양에너지학회)</td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
<tr><td colspan="6"></td></tr>
</table>

기술 실시 및 적용사례	• 국내 건설사에 기밀시공 체크리스트 및 시공 가이드라인 제시 - 포스코건설: 그린빌딩, NEATT - 삼성물산: DSR, R5
기술개발 성과의 국내외 시장 전망	• 건물 기밀성능 확보를 위한 설계 및 시공 가이드라인 제공을 통한 설계 시, 준공전 참고 자료 제공 • 설계사무소, 전문건설업체, 건설 CM/감리업체 등의 건물 설계, 시공, 관리 기술능력 향상 구현 • 건물 기밀성능 관련 설계 및 시공 자료의 축적을 통한 중장기적 건물 에너지 효율 향상을 위한 기초자료로 활용
기타 자료	

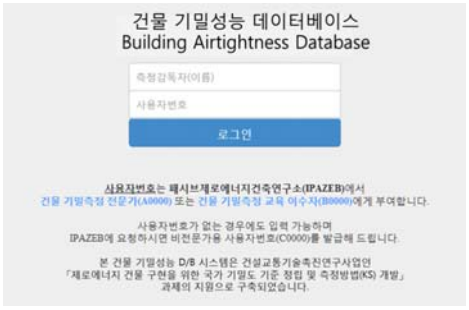
3.4 건축물 기밀성능 측정전문가 교육프로그램 개발

<table>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">신뢰성 있는 건물 기밀성능 측정을 위한 전문가 양성을 위한 교육과정</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">기밀성능 기준의 제도화를 위해서는 관련 규정준수 프레임워크에서,
측정방법의 이해 및 신뢰성 확보를 위해서는 테스터의 전문성이 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">건물 기밀성능 관련 인력 양성 및 친환경·저에너지 건물 엔지니어링
활성화: 건설산업 분야의 시장확대 및 엔지니어링 산업의 증대</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 국내 교육과정 없음
(개발기술 수준) 국외(미국/독일) 수준의 교육과정 개설
(개발기술 수준 설정근거) 국외 교육과정 프레임워크/측정전문가 인력양성</td></tr>
<tr><td rowspan="3">핵심성과</td><td>양적 성과</td><td>3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td></td><td>-</td><td>-</td><td>1</td><td>-</td><td colspan="2">교육프로그램개발, 전문인력양성(80명), 1(학술발표)</td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>3 차년도</td><td colspan="6">기밀성능 측정 전문가 교육 프로그램 만족도 91점 (목표 80점, 4/5)</td></tr>
<tr><td></td><td>달성 확인 방법</td><td>3 차년도</td><td colspan="6">교육생 설문조사를 통한 교육만족도 조사
(5점척도 평가)</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="6">결과물</td><td colspan="6">D1. 건물 기밀측정 전문가 교육 프로그램 개발</td></tr>
<tr><td colspan="6">D2. 건물 기밀측정 전문가 교육 교재 개발</td></tr>
<tr><td colspan="6">D3. 건물 기밀측정 전문가 교육 과정 운영-3회 실시</td></tr>
<tr><td colspan="6">D4. 건물 기밀측정 전문가 양성-약 80명</td></tr>
<tr><td colspan="6">D5. 국내학술게재 논문 1건(한국건축친환경설비학회)</td></tr>
<tr><td colspan="6">D6. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)</td></tr>
</table>

기술 실시 및 적용사례	• 2013년 7월 제1회 건물 기밀측정 전문가 교육 실시 (LEVEL Ⅰ 주거건물/소규모건물) • 2013년 8월 제2회 건물 기밀측정 전문가 교육 실시 (LEVEL Ⅰ 주거건물/소규모건물) • 2014년 5월 제3회 건물 기밀측정 전문가 교육 실시 (LEVEL Ⅰ 주거건물/소규모건물)
기술개발 성과의 국내외 시장 전망	• 기밀성능 측정 방법의 KS화에 따라 기밀 성능 측정 및 평가를 위한 전문 엔지니어링 산업이 신규로 발생하고, 이에 따른 관련 전문가의 양성과 기술력 증대를 유도함 • 전문인력으로 인한 신뢰성 있는 기밀성능 데이터의 구축이 가능하고, 기밀성능 측정을 위한 기밀 자재 및 장비의 수요 증가와 연계되어 자재 산업의 기술 개발을 유도함
기타 자료	   

3.5 건물 기밀성능 데이터베이스 구축

<table>
<tr><td colspan="2">정의(설명)</td><td colspan="6">건물의 기밀성능에 대한 신뢰성 있는 측정데이터를 축적</td></tr>
<tr><td colspan="2">설정사유</td><td colspan="6">지속적인 기밀성능 기준의 검토 및 개정(강화)을 위해서는
다양한 건물에서 대량의 측정 data에 대한 체계적인 축적이 필요함</td></tr>
<tr><td colspan="2">목 적</td><td colspan="6">지속적인 관련 기준의 법제화 및 실행을 위한 기반 구축
: 성능 중심의 실질적인 건물에너지 절약 달성</td></tr>
<tr><td colspan="2">성능목표</td><td colspan="6">(기존기술 수준) 국내 구축체계 없음
(개발기술 수준) 자발적으로 측정자가 입력해야만하는 방식
(개발기술 수준 설정근거) data구축이 자발적으로 이루어지지 않음</td></tr>
<tr><td rowspan="4">핵심성과</td><td>양적 성과</td><td>3 차년도</td><td>특허</td><td>SCI 논문</td><td>비SCI논문</td><td>S/W</td><td colspan="2">기타</td></tr>
<tr><td></td><td></td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td colspan="2">1
(데이터베이스 시스템 구축)</td></tr>
<tr><td>질적 성과</td><td>3 차년도</td><td colspan="6">기밀성능 database 국내 기밀 data 구비율 100% (목표 90%)</td></tr>
<tr><td>달성 확인 방법</td><td>3 차년도</td><td colspan="6">(입력 data 개수/국내 논문 data 개수)*100</td></tr>
<tr><td colspan="2" rowspan="6">결과물</td><td colspan="7">E1. 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템 구축</td></tr>
<tr><td colspan="7">E2. 기밀성능 데이터베이스 축적-약 700여개 데이터베이스 입력</td></tr>
<tr><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="7"></td></tr>
<tr><td colspan="7"></td></tr>
</table>

기술 실시 및 적용사례	• 웹 기반 온라인 기밀성능 데이터베이스 시스템(홈페이지) 구축 • 본 연구과정 수행 중 측정한 건물 기밀 성능 데이터 600여개를 웹 기반 온라인 기밀성능 데이터베이스 시스템에 입력 • 기존 국내 기밀성능 관련 연구자료를 조사한 100여개 기밀 성능 데이터 입력
기술개발 성과의 국내외 시장 전망	• 건물에너지 성능 평가를 위한 정량적 기준 자료로 활용 • 관련 법규 및 녹색건축물 인증 제도의 기밀성능 기준 수립에 활용 • 성능 기반의 정량화된 건물에너지 평가 툴의 기밀성능 기준으로 연계 • 축적된 측정 자료는 보다 정밀한 건물에너지 예측 자료로 활용 • 기밀성능 데이터베이스를 국제적으로 공유하여 국내 건축물의 수준을 파악하고 기밀성능 향상을 위한 기술개발 방향 설정에 기여
기타 자료	   

제 4 장 연구목표 달성 및 효과

4.1 연구개발 최종목표 달성도

연차 (단계)	연차별 성과목표	성과지표	측정방법	목표치	달성치	가중치
1 차년도	기밀성능 측정방법(안) 개발	국내 건물 기밀성능 측정 수행	(국내 건물 측정개수 4건)	4건	300	30%
		기밀성능 측정방법	(측정방법 기술보고서 3건)	3건	3	30%
		기밀성능 측정방법 검증 KS 안 마련	(전문가 평가 1건)	1건	1	20%
		건물에서의 기밀화 체크리스트 마련	(자연형/설비형 건물 조사보고서 2건)	2건	2	20%
	소 계					100%
2 차년도	기밀성능 기준 정립	국내 건물 기밀성능 측정 수행 기밀성능 기준 정립	(국내 건물 측정개수 8건)	8건	310	50%
			(표준기준법제화 1건)	1건	1	
		기밀성능 측정방법 KS 규격화	(표준규격화 1건)	1건	2	30%
			(정책홍보 1건)	1건	1	
		국내외 학술지 논문게재 건수	(국내외학술게재 논문건수2×0.6) +(국내외학술발표 논문건수5×0.4)	2건	3.2	20%
	소 계					100%
3 차년도	기밀성능 실용화를 위한 기반 구축	기밀성능 측정 전문가 교육 프로그램 만족도	교육생 설문조사를 통한 교육만족도 조사 (5점척도 평가)	80점	91.3	40%
		기밀성능 database 국내 기밀 data 구비율	(입력 data 개수 /국내 논문 data 개수)*100	90%	100%	40%
	기밀화 표준안 개발	기밀성능 표준안 개발	건식용건물/습식용건물 30개 이상의 체크리스트	개발 여부	개발	20%
		국내외 학술지 논문게재 건수	(국내학술게재 논문건수2×0.6) +(국내외학술발표 논문건수2×0.4)	2건	2	-
	소 계					100%

구분	연구목표	연구성과	
		정성적 성과	정량적 성과
세부목표	○ 건물 기밀성능 기준 정립	기밀성능 기준 마련 -유관학회 기준으로 상정 및 공포 -국토교통부 녹색건축과 정책/제도 제인	기밀성능 측정 610 건 학술게재 논문 1건 학술발표 논문 3건
세부목표	○ 기밀성능 측정방법(안) 개발	기밀성능 측정방법 개발 -주거/소규모 건물 측정방법 규격(안) -업무용/대규모 건물 측정방법 규격(안)	측정방법 조사보고서 2건 업무용 건물에서의 측정검토 수행 4건 학술게재 논문 2건 학술발표 논문 5건
세부목표	○ 기밀화 표준안 개발	기밀화 표준안 개발 (건식용건물/습식용 건물 40개 체크리스트)	기밀화 방안/표준안 3건 학술발표 논문 1건
세부목표	○ 건축물 기밀성능 측정전문가 교육프로그램 개발	기밀성능 측정 전문가 교육 프로그램 만족도 91점 -주거/소규모 건물 측정방법 규격(안) -업무용/대규모 건물 측정방법 규격(안)	교육 프로그램 개발 1건 전문인력 양성 80명 학술게재 논문 1건 학술발표 논문 1건
세부목표	○ 건물 기밀성능 데이터베이스 구축	기밀성능 database 국내 기밀 data 구비율 (100%)	웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템 구축 1건

4.2 연구개발 성과의 효과분석

1. 정성적인 기대효과(기술적 효과)

- 제로에너지 건물 구현을 위한 핵심기술요소의 확보
  - 에너지절약건물 목표달성을 위한 성능기반의 기술 구현
  - 침기량 감소로 인한 그린홈/에너지절약 주택구현 기술 확보
  - 기밀화 표준안 활용을 통한 기밀화 기술력 보유(국외시장 기준 충족)
- 체계적인 건물 기밀성능 평가체계 구축
  - 국내 분야뿐만이 아니라 국외 저에너지 건축시장의 참여 확대
  - 국제적인 기밀성능 기준 및 기밀성능 평가방안 보유
- 기밀성능 저하로 인한 건설하자 저감
  - 외피에서의 결로방지
  - 비난방공간 및 난방공간 취약부위에서의 결로방지
  - 공조 및 환기설계의 오류 방지
- 외부소음 차단 및 실간 차음성능 향상

2. 정량적인 기대효과(경제적 효과)

- 연간 냉난방 에너지비용 절감: 기존 표준건물 대비 10%~20% 저감
  (제로에너지건물 달성의 20% 수준에 해당하는 요소기술 확보)
- 건설산업 관련 하자보수비용 절감: 대형 프로젝트별 5~20억원 절감
- 결로발생 관련 하자보수비용 절감
- 건설 자재산업 분야의 시장 확대: 마감재산업 분야에 상응하는 시장 형성
- 녹색건축물 인증제도나 건물에너지효율등급 표시제도 등 현재의 사회적/제도적 에너지 절약 분위기에서, 건물에너지 부하의 약 30%에까지 달하는 기밀성능을 관리함으로써 에너지 절약 효율을 비교적 적은 비용으로 높일 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것으로 기대함.

3. 연구결과의 기업 활용방안

- 저에너지 건축물 설계기법 도입을 통한 설계분야 특화
- 저에너지, 패시브 건축의 시장 확대 및 핵심기술의 선두적인 위치 선점
- 저에너지, 패시브 건축물 설계에 취약한 국내 설계사무소에 기밀화 관련 기준안을 제시함으로써 선진외국과 유사한 성능의 건축물 계획 수행
- 과제 성과물의 실무 프로젝트 적용을 통한 적용가능성 여부 확인
- 유관 산업분야의 연계를 통해 성과물에 대한 교육 실시
- 성과물의 정보공유 및 적용과 문제점 도출의 신속한 피드백을 통한 보완
- 연구 성과물의 실무 적용을 위한 합리적 적용방안 마련

3차년도 최종평가에서 제시된 의견을 반영하여 기밀성능 향상에 따른 경제적 효과를 추가로 기술함

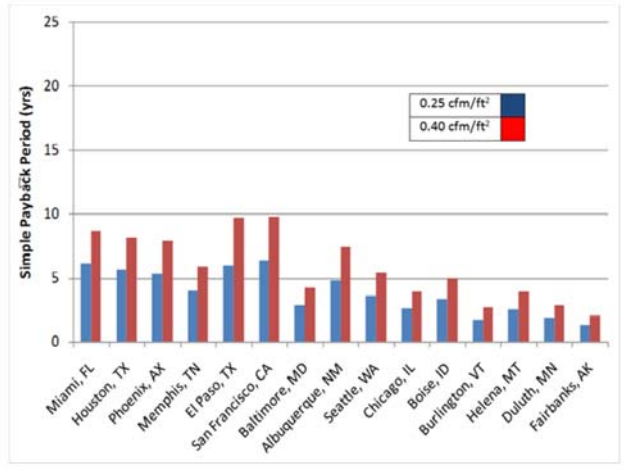
- 녹색건축물 인증제도나 건물에너지효율등급 표시제도 등 현재의 사회적/제도적 에너지 절약 관련 제도에서 건물에너지 부하의 약 30%에까지 달하는 기밀도를 관리함으로써 에너지 절약 효율을 비교적 적은 비용으로 높일 수 있는 기회를 제공할 수 있을 것으로 기대된다. 낮은 기밀성능에 의한 손실은 건물의 에너지비용 손실뿐만 아니라 온열감 저하, 실내공기질, 소음, 습해 등의 추가 손실을 가져오며 이러한 손실을 줄임으로써 얻을 수 있는 경제적 효과는 기밀성능 관리 및 향상에 필요한 비용을 단 기간 내에 회수할 수 있다고 보고되고 있다[3]. 그러나 기밀성능 확보를 위한 설계, 시공, 운영의 단계별 추가되는 비용을 포함한 종합적인 경제효과를 분석한 사례는 아직 없으며, 이를 위한 별도의 연구가 필요할 것으로 판단된다. 기밀성능 개선에 따른 에너지 비용 절감과 관련된 국외연구 사례는 다음과 같다.

- **기밀성능 향상에 따른 경제적 효과 국외연구사례**

1) US DOE[4]에 따르면 미국의 1995 Model Energy Code에서 요구하고 있는 신축 주택의 기밀도를 유지하기 위하여 일반적으로 $200에 미치지 않는 보수비용이 들었고, 그 결과 난방에는 $67, 냉방에는 $18 (1,300ft^2 기준)의 연간 에너지 절약 효과를 가져올 수 있었다고 함.

2) 미국의 한 연구팀(Steven Winter Associates, US)[5]이 기밀성능이 떨어져 에너지비용 불만이 큰 360개 주택에 대하여 누기부위에 대한 실링 등 기밀성능 향상 사업을 실시한 결과, 세대당 평균 $267의 보수비용으로 매년 $200의 에너지 절약효과를 가져와 2년 이내에 투자비용을 회수하였다고 보고하였음.

3) 미군 병영 건물의 침기량을 0.40cfm/ft^2 및 0.25cfm/ft^{2}로 개선할 경우 각 지역에 있어서 투자회수 기간을 다음 그래프와 같이 분석함[6].



[미군 지역별 병영건물의 기밀성능 향상 비용 회수연수]

3) Sandberg, P.I. et al., The Effects and Cost Impact of Poor Airtightness-Information for Developers and Clients, Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X International Conference, 2007
4) US DOE, Technology Fact Sheet Air Sealing, 2000
5) US DOE, Building Technologies Program Air Leakage Guide, 2011
6) Alexander Z. et al., Achieving Good Air Tightness in New and Retrofitted US Army Buildings, International Workshop Tight Vent Europe, 2012

제 5 장 연구성과의 활용 및 추가연구 필요성

5.1 연구성과 향후 활용방안

- 친환경·저에너지 건물 구현을 위한 주요 핵심기술인 기밀 수준 달성
  : **건물 냉난방에너지 10%, 20% 수준 저감에 기여**
- 건물 기밀성능 평가를 위한 객관적이고 표준화된 측정법 제공
  : **기밀성능 평가의 신뢰성 확보 및 관련 인력 양성**
- 관련 자재 산업 및 친환경·저에너지 건물 엔지니어링에 활성화
  : **건설산업 분야의 시장확대 및 엔지니어링 산업의 증대**
- 건물 기밀성능 확보를 위한 설계 및 시공 가이드라인을 제공
  : **건물 기밀시공 기술 향상을 통해 건물의 쾌적성 증대**

표 11. 연구결과의 활용방안

활용방안	주요 내용
건물 기밀성능 기준 (건물에너지 저감 핵심기술 확보)	• 건물에너지 저감을 위한 핵심기술로 정량적 기준 자료로 활용 • 관련 법규 및 녹색건축물 인증 제도의 기밀성능 기준으로 활용 • 성능 기반의 정량화된 건물에너지 평가 툴의 기밀성능 기준으로 연계 • 건물 기밀 성능 구현을 위한 건설 자재의 평가 기준으로도 일부 활용하며, 자재 산업의 활성화를 통한 국내 관련 산업 육성에 기여 • 축적된 측정 자료는 보다 정밀한 건물에너지 예측 자료로 활용
건물 기밀성능 측정방법 (기밀성능 신뢰성 확보) (건물성능인증 연계)	• 기밀성능 측정방법의 KS 규격화를 통한 기밀성능 평가의 신뢰성 확보 • 녹색건축물 인증제도의 건물 기밀성능 측정을 위한 기술규정으로 활용하며, 이를 통해 궁극적으로 건물 기밀성능 향상 유도 • 국제적인 기준에 경쟁할 수 있는 건설기술력 향상 • 측정 방법은 건물 각 구성요소의 기밀 성능 측정에 준용
건물 기밀화 표준안 (저에너지건물 구현) (건설경쟁력 강화)	• 건물 기밀성능 확보를 위한 설계 및 시공 가이드라인 제공을 통한 건물 설계와 관련된 대안 결정시 참고 자료 제공 • 향후 설계사무소, 종합건설사, 전문건설업체, 건설CM/감리업체의 건물 설계/시공/관리 기술능력 향상을 구현 • 건물 기밀성능 관련 설계 및 시공 자료의 축적을 통한 중장기적 건물 에너지 효율 향상을 위한 기초 자료로 활용

1. 기밀성능 관련 현행기준

- 건물 기밀성능 및 에너지효율과 관련된 국내 인증·기준은 건축물에너지효율등급인증, 녹색건축인증, 에너지절약설계기준 등이 있다.

	건축물에너지효율등급인증	녹색건축인증	에너지절약설계기준
의무대상	· 공공기관에서 「녹색건축물조성지원법 제14조」 및 동법 시행령 제10조에 따른 에너지절약계획서 제출대상 중 연면적이 3,000제곱미터 이상이고 「건축물에너지효율등급 인증기준」에서 에너지효율등급 인증기준이 마련된 건축물을 신축하거나 별동으로 증축하는 경우 1등급 이상 취득 의무, 공동주택(기숙사 제외)을 신축하거나 별동으로 증축하는 경우에는 2등급 이상 의무 취득	· 중앙행정기관, 지방자치단체, 공공기관, 지방공사 또는 지방공단, 국립·공립학교에 해당하는 기관에서 신축 또는 별도의 건축물을 증축하는 연면적의 3,000제곱미터 이상의 「건축법 시행령」 별표1의 건축물 · 「건축법 시행령」 별표1의 공공업무시설을 우수 (그린2등급)등급 이상 의무취득	· 연면적의 합계가 500제곱미터 이상인 건축물을 허가신청하거나 용도변경의 허가신청 또는 신고, 건축물 대장 기재내용의 변경 시 에너지절약계획서 제출 · 변전소, 도시가스배관시설, 정수장, 양수장 중 냉난방설비를 설치하지 아니하는 건축물, 운동시설, 위락시설, 관광휴게시설 중 냉난방설비를 설치하지 아니하는 건축물은 에너지절약계획서를 첨부 제외(「건축법 시행령」 별표1 기준)
관련기준 및 법규	· 녹색건축물 조성지원법 · 건축물 에너지효율등급 인증기준 · 공공기관 에너지 이용합리화 추진에 관한 규정	· 녹색건축물 조성지원법 · 녹색건축 인증기준 · 녹색건축 인증에 관한 규칙	· 녹색건축물 조성지원법 · 건축물의 에너지절약설계기준
기밀기준	· 업무시설 외기에 직접 면하는 실 3.0회/h @50Pa, 간접 면하는 실 1.5회/h @50Pa 일괄 입력	· 건물에너지효율등급 인증 시 기밀측정값이 입력되므로 별도의 기밀기준은 필요 없음	· 외기에 직접 면하는 창은 기밀성 1~5등급 창 적용 · 창 외 별도의 기밀기준은 없음

- 건축물에너지효율등급인증 시 에너지해석프로그램에는 기밀성능 값을 업무시설의 경우 외기에 직접면한 실은 3.0회/h @50Pa, 외기에 간접면한 실은 1.5회/h @50Pa로 일괄 입력되고 공동주택의 경우 예비인증 시 6.0회/h @50Pa로 일괄 입력되어 사용자가 값을 수정하는 것은 불가하며 공동주택 본인증 시에만 현장실사를 통한 기밀성능 측정값을 입력하도록 되어있다.
- 건물에너지효율등급인증을 통한 결과값(등급)은 녹색건축인증의 에너지 및 환경오염-에너지효율향상 항목에 반영되고 있으며 인증등급별 차등점수를 부여하는 방식으로 녹색건축인증 배점을 평가하고 있다.
- 에너지절약 설계기준에서는 의무사항으로 거실의 외기에 직접 면하는 창은 한국산업규격(KS) F 2292 규정에 의하여 기밀성 등급에 따른 기밀성이 1~5등급(통기량 5㎥/h・㎡ 미만)인 창을 적용하도록 하였다.

2. 기밀성능기준 규정

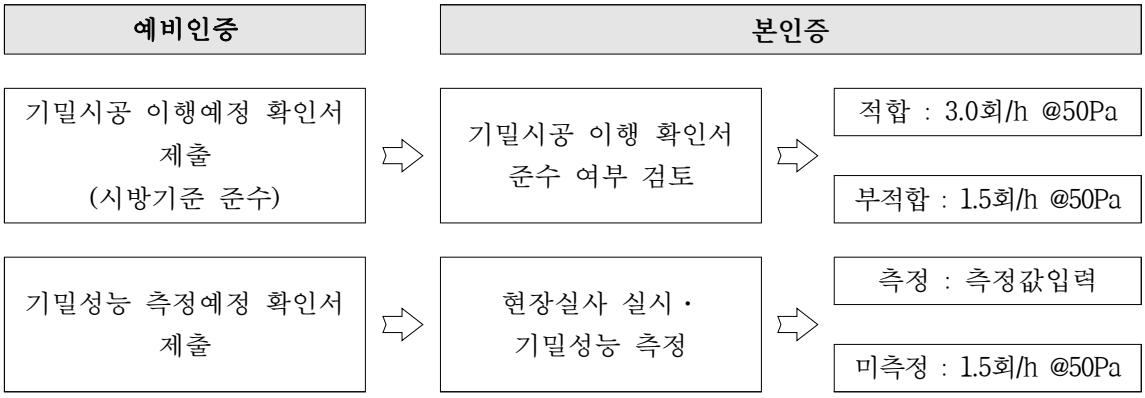
- 건물에너지효율등급인증 1등급을 득한 건물의 실제 기밀성능을 측정하고 그 측정값을 반영하여 에너지해석을 하면 아래 표와 같이 인증등급이 하향되는 것을 볼 수 있다. 이는 모든 인증평가 건물의 기밀성능 값이 일괄 적용됨에 따라 대상건물의 기밀성능을 보장할 수 없음을 나타내며 기밀성능기준 및 실제측정값 반영 등의 개선이 필요한 이유라 할 수 있다.

	기밀성능		인증등급
	외기 직접	외기 간접	
건물에너지효율등급인증 시	3.0회/h @50Pa	1.5회/h @50Pa	1등급 해당
실제 기밀성능 측정값을 반영한 에너지해석	8.0회/h @50Pa	5.0회/h @50Pa	3등급 해당

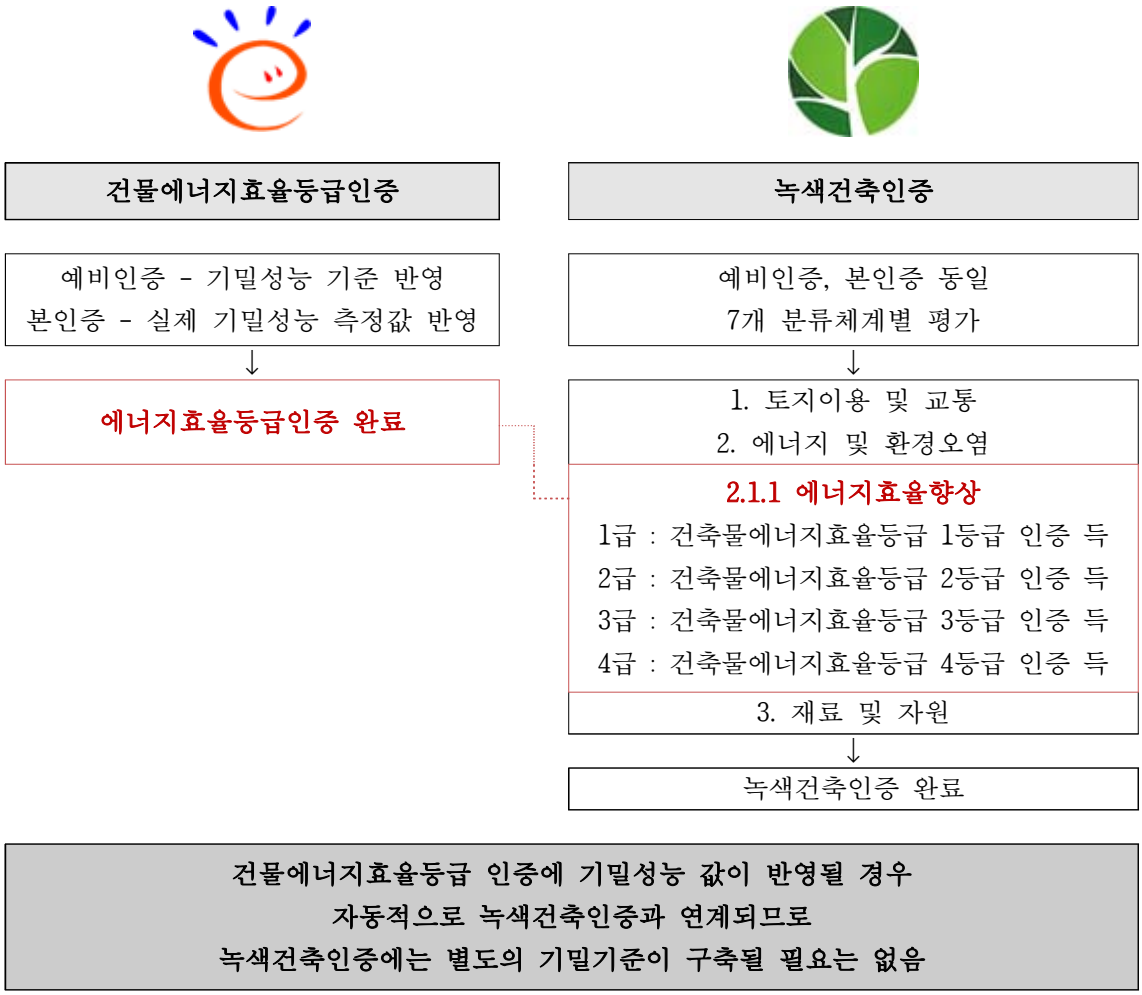
- 기밀성능기준을 도입 초기시점부터 강력하게 할 경우 시장의 준비 부족과 시공비 상승 등이 유발되므로 기밀성능기준은 조급하게 구축할 것이 아닌 여유를 가지고 결정할 필요가 있다. 기밀성능기준을 충족한다면 건축물의 사용에너지 또한 절감할 수 있을 것으로 판단된다.

3. 인증제도 연계방안

- 건축물에너지효율등급인증 시 기밀성능 측정값이 일괄 입력됨에 따라 인증대상건물의 기밀성능을 보장할 수 없다는 문제점이 있다. 이에 인증평가 시 대상건물의 기밀성능 측정값을 사용자가 입력할 수 있도록 우선적으로 개선이 필요하다.



- 기준값 또는 측정값을 입력함으로써 기밀시공을 이행하게 하고 실제 측정을 통한 검증을 유도하는 제도로 개선될 수 있도록 한다.
- 건축물에너지효율등급인증·녹색건축인증의 기준이 강화됨에 따라 현재 대부분의 공공건축물은 위의 2가지 인증을 모두 취득하고 있다. 건축물에너지효율등급인증 평가 시 기밀성능 측정값을 입력함으로써 대상건물의 녹색건축인증 평가 시에도 기밀성능이 반영된 것으로 간주할 수 있다.



- 건축물의 에너지절약 설계기준에는 기밀성능에 대한 기준이 기밀성 창 적용 이외에는 없으므로 다음 표와 같이 건물규모별 기준으로 제시하였다.

구분	규모	기준	개정내용
소규모 건축물	500㎡ 미만	기밀성 창호,문 적용 또는 기밀성능 측정값 확인	· 기밀성 2등급이하 창, 5등급 이하 문 적용
에너지절약 계획서 제출대상	500㎡ 이상	시방기준 충족 또는 기밀성능 측정값 ≤ 5ACH50	· 에너지절약계획서 의무사항 추가 · 해설서에 시공가이드라인, 기밀성시험기준 제시
	건축물에너지 효율등급인증 대상	시방기준 충족(3ACH50 입력) 또는 기밀성능 측정값 확인 · 입력 ≤ 5ACH50	· 기밀성능확인서 양식 추가

- 건축물의 에너지절약 설계기준 수정(안)

건축물의 에너지절약 설계기준

제2장 에너지절약 설계에 관한 기준, 제1절 건축부분 설계기준

제6조 건축부분의 의무사항

4. 기밀 및 결로방지 등을 위한 조치

가. 벽체 내표면 및 내부에서의 결로를 방지하고 단열재의 성능 저하를 방지하기 위하여 제2조에 의하여 단열조치를 하여야 하는 부위(창호 및 난방공간 사이의 층간 바닥 제외)에는 제5조제9호카목에 따른 방습층을 단열재의 실내측에 설치하여야 한다.

나. 방습층 및 단열재가 이어지는 부위 및 단부는 이음 및 단부를 통한 투습을 방지할 수 있도록 다음과 같이 조치하여야 한다.

1) 단열재의 이음부는 최대한 밀착하여 시공하거나, 2장을 엇갈리게 시공하여 이음부를 통한 단열성능 저하가 최소화될 수 있도록 조치할 것

2) 방습층으로 알루미늄박 또는 플라스틱계 필름 등을 사용할 경우의 이음부는 100 ㎜ 이상 중첩하고 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것

3) 단열부위가 만나는 모서리 부위는 방습층 및 단열재가 이어짐이 없이 시공하거나 이어질 경우 이음부를 통한 단열성능 저하가 최소화되도록 하며, 알루미늄박 또는 플라스틱계 필름 등을 사용할 경우의 모서리 이음부는 150㎜이상 중첩되게 시공하고 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것

4) 방습층의 단부는 단부를 통한 투습이 발생하지 않도록 내습성 테이프, 접착제 등으로 기밀하게 마감할 것

다. 건축물 외피 단열부위의 접합부, 틈 등은 밀폐될 수 있도록 코킹과 가스켓 등을 사용하여 기밀하게 처리하여야 한다.

1) 냉난방을 실시하고 재실자(또는 목적물)가 이용하는 공간(건물 외피 또는 경계벽으로 둘러 싸여진 공간)은 5.0 ACH50 이하의 기밀성능을 가져야 한다. 건물 규모별 규정하는 기밀성능을 보장하기 위한 방법으로 다음 <표>를 따른다.

2) 대상 건축물이 에너지절약건물(또는 친환경건물)로 평가(인증)받기 위해서는 3.0 ACH50 이하의 기밀성능, 제로에너지건물(또는 패시브건물)로 평가(인증)받기 위해서는 1.5 ACH50 이하의 기밀성능 수준을 만족해야함을 권장한다. 단, 1.5 ACH50이하의 기밀성을 가지는 건물은 건축법에서 요구하는 적절한 환기를 보장한다.

라. 외기에 직접 면하고 1층 또는 지상으로 연결된 출입문은 제5조 제9호 아목에 따른 방풍구조로 하여야 한다.

건축물의 에너지절약 설계기준 세칙

기밀성능 기준 준수를 위한 방법

가. 준공단계에서의 기밀성능 측정을 통한 기밀성능 측정 보고서 제출(에너지절약계획서 제출 대상 공동주택은 의무사항) 또는 기밀시공 이행확인서를 제출하여 적합으로 판정받음으로 대체할 수 있다.

나. 대상 건물에서 기밀성능을 평가하기 위한 측정방법으로는 ‘KS L ISO 9972 : 2006단열－건물 기밀성 측정－팬 가압법’ 또는 이에 상응하는 국제표준 (‘ISO 9972, EN 13829, ASTM E779)을 따른다. 대공간/고층건물의 측정방법 기준으로는 ‘대공간/고층건물 외피의 기밀성능 측정방법 - Envelope Leakage Test Method in High-rise Building or Large Building을 따른다. 단, 대공간 및 고층건물의 구분은 측정방법의 대상건물 규정에 따라 평가한다.

다. 기밀성능 측정보고서(airtightness test report)에는 위의 나목 측정규정에서 요구하는 보고서 수준의 정보를 포함하여야 한다.

라. 기밀성능 측정보고서를 국토교통부가 운영하는 ‘기밀성능 D/B’에 기록하여야 한다.

마. 기밀성능 측정보고서에는 측정담당자 또는 감독자[국토교통부의 인가를 받은 건축관련 학회 또는 한국건설기술연구원에서 실시한 교육을 이수하여 건물에서의 기밀에 대한 이해와 측정방법을 수행할 수 있는 능력을 검증받은 사람(또는 이러한 사람이 있는 기관)]의 정보를 포함하여야 한다.

- 건축물의 에너지절약 설계기준 건축부문 의무사항에 건물 기밀성능 내용을 추가함에 따라 준공시점에 작성하는 에너지절약계획서 이행 검토서에도 건물 기밀성능에 대한 평가를 추가한다.
- 시방기준 준수 여부 검토 및 기밀성능 측정값을 기재하도록 하여 건축물에너지효율등급 본인증과도 연계될 수 있도록 한다.

[별지 제3호 서식]

에너지절약계획서 이행 검토서

1. 일반사항

건축물 개요	건물명								
	주 소					지역구분	중부	남부	제주
	주용도		연면적		㎡	외벽면적			㎡
	층수(층고)	층(㎡)	냉난방면적		㎡	창면적			㎡
시공자	회사명		착공일			공사완료일			
작성책임자	소 속		직위			성명			(인)
건축허가일			건축허가시 적용 설계기준			국토해양부 고시			호

2. 확인사항

구 분		시공 및 설치 현황			검토결과
건축부문 의무사항	①단열조치 (해당 부위 열관류율)	외 벽		W/㎡K	□ 적합 □ 부적합
		최상층지붕		W/㎡K	
		최하층바닥		W/㎡K	
		공동주택 측벽		W/㎡K	
		공동주택 층간바닥		W/㎡K	
		창		W/㎡K	
		문		W/㎡K	
	②외벽의 평균 열관류율 (창 및 문 포함)	외 벽 (창 및 문 포함)		W/㎡K	□ 적합 □ 부적합
		점수		점	
	②바닥난방 (슬래브 상부 열저항)	최하층바닥		㎡K/W	□ 적합 □ 부적합 □ 해당없음
		층간바닥		㎡K/W	
	③방습층	□ 단열재 자체성능 : 보온판 □ PE필름 적용: ㎜× 장 = ㎜ □ 기타 방습재료 :			□ 적합 □ 부적합
	④방풍구조	□ 회전문 □ 방풍실			□ 적합 □ 부적합 □ 해당없음
	⑤ 창의 기밀성능	□ 기밀성 : 등급 이상			□ 적합 □ 부적합
	⑥ 건물 기밀성능	□ 시공기준 준수 여부			□ 적합 □ 부적합
		□ 기밀성능 측정값		ACH50	

요소기술 구분	1-가	요소기술명	건축물의 기밀성능 기준
구 분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관		유관 학회(대한건축학회, 한국건축친환경설비학회)	
연구개발결과 수요기업		국토교통부, 산업자원통상부(정책), 건설회사, 건축설계사무소, 엔지니어링사, 연구기관	
연구개발결과 현장적용 기관·업체		국토교통부, 산업자원통상부(정책), 건설회사, 건축설계사무소	
연구개발결과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관		국토교통부 및 산하 정출연 기관	

요소기술 구분	1-나	요소기술명	기밀측정 전문가 교육 프로그램
구 분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관		유관 학회(대한건축학회, 한국건축친환경설비학회)	
연구개발결과 수요기업		국내 건축관련 업무 영역자	
연구개발결과 현장적용 기관·업체		건설회사, 엔지니어링사	
연구개발결과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관		국토교통부	

요소기술 구분	1-다	요소기술명	공조기를 이용한 고층건물의 기밀성능 측정방법(안)
구 분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관		ISO, 국가기술표준원, 유관 학회(대한건축학회, 한국건축친환경설비학회)	
연구개발결과 수요기업		국가기술표준원, 시험기관(KCL, KICT, KIER)	
연구개발결과 현장적용 기관·업체		건설회사, 엔지니어링사	
연구개발결과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관		국가기술표준원	

요소기술 구분	1-라	요소기술명	웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템 구축
구 분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관		유관 학회(대한건축학회, 한국건축친환경설비학회)	
연구개발결과 수요기업		국토교통부, 산업자원통상부(정책)	
연구개발결과 현장적용 기관·업체		국토교통부, 산업자원통상부(정책)	
연구개발결과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관		국토교통부, 산업자원통상부	

요소기술 구분	1-마	요소기술명	건물 기밀화 표준안
구 분		주체명	
연구개발결과 시험·검증기관		-	
연구개발결과 수요기업		건설회사, 건축설계사무소, 엔지니어링사	
연구개발결과 현장적용 기관·업체		건설회사, 건축설계사무소, 엔지니어링사	
연구개발결과 추가 R&D(사업비) 투자·자문 기관		건설회사, 건축설계사무소, 엔지니어링사	

5.2 추가 연구의 필요성(향후 추진사항)

1. 국내 건물 기밀성능 향상에 따른 경제성 효과 분석

- 기밀성능 기준의 법제화 및 제도 연계화를 위하여 건축물 기밀성능 향상에 따른 경제성 효과 분석이 필요하며 최종 평가에서 논의되어 향후 진행이 필요한 사항을 RFP 형식으로 요약하였음.

<table>
<tr><td>과제명</td><td colspan="7">건물 기밀성능 향상에 따른 경제성 분석</td></tr>
<tr><td>연구개발
목표</td><td colspan="7">• 기밀성능 향상에 소요되는 비용 및 에너지절감 효과 검증
• 국가 기밀성능 기준이 정책에 반영되기 위해 필요한 근거자료 마련</td></tr>
<tr><td>주요
연구내용</td><td colspan="7">1) 기밀성능 향상을 위해 소요되는 건축자재(기밀자재)의 물량 산출

2) 관련 시공작업을 위한 man-hour 작업시간 및 소요인력 산출

3) 표준건물 모델링을 통한 냉난방에너지 절감량 시뮬레이션
- 기준성능 대비 에너지절약건물 수준의 비교: 5->3ACH50
- 에너지절약건물 대비 제로에너지건물 수준의 비교: 3->1.5ACH50
- 건축물에너지효율등급 수준에 적합한 기밀성능별 에너지절감량 분석

4) 샘플시공을 test-bed 구현 및 모니터링
- 신축건물 /기존그린리모델링 시범사업의 파일럿 프로젝트 기술적 구현
- 냉난방 에너지 절감량 및 실내쾌적성 모니터링 검증</td></tr>
<tr><td rowspan="4">연구개발
과제의 규모</td><td colspan="2">구분</td><td>1차</td><td>2차</td><td>-</td><td>-</td><td>-</td><td>합계</td></tr>
<tr><td rowspan="2">연차별
연구비
(백만원)</td><td>정부</td><td>100</td><td>80</td><td></td><td></td><td></td><td>180</td></tr>
<tr><td>민간</td><td>20</td><td>20</td><td></td><td></td><td></td><td>40</td></tr>
<tr><td colspan="2">합 계</td><td>120</td><td>100</td><td></td><td></td><td></td><td>220</td></tr>
</table>

2. 기밀측정 전문가 교육 및 자격 체계 유지

향후 추진사항: 기밀측정 전문가 양성

▪ **기밀측정 전문가 교육을 통한 전문가 양성**
- 국토부(산자부) 산하 유관 기관과 연계하여 기술자 양성
- 에너지평가사, (주택)에너지진단사의 필수 보수교육으로 추진

정의(설명)	신뢰성 있는 건물 기밀성능 측정을 위한 전문가 양성을 위한 교육과정
설정사유	기밀성능 기준의 제도화를 위해서는 관련 규정준수 프레임워크에서, 측정방법의 이해 및 신뢰성 확보를 위해서는 테스터의 전문성이 필요함
목 적	건물 기밀성능 관련 인력 양성 및 친환경·저에너지 건물 엔지니어링 활성화 : 건설산업 분야의 시장확대 및 엔지니어링 산업의 증대


CERTIFICATE of AIR LEAKAGE TESTER

KYUNG HWAN JI

has been certified by Institute for Passive Zero Energy Building as having passed completetency teste(theory and practice):

LEVEL I : Air Leakage Tester for Residential or Small Buildings

Seoul Korea
August 23, 2013

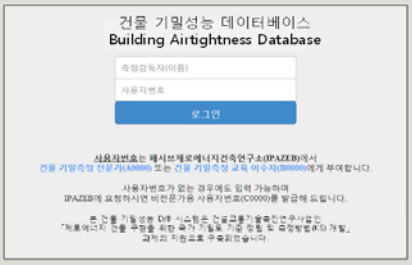
Kwang Woo Kim
President of Institute for Passive Zero Energy Building
Division of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems

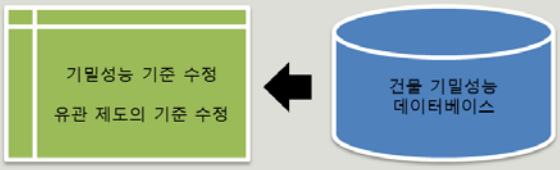
3. 기밀성능 database 지속적인 관리 및 업데이트

향후 추진사항: 기밀성능 D/B 유지

▪ **기밀성능 database 지속적인 관리 및 업데이트**
- 국토부 D/B 시스템 이관(또는 학회 관리)을 통한 신뢰성 확보
- 2014년까지 약 800여개의 국내 기밀성능 data 축적

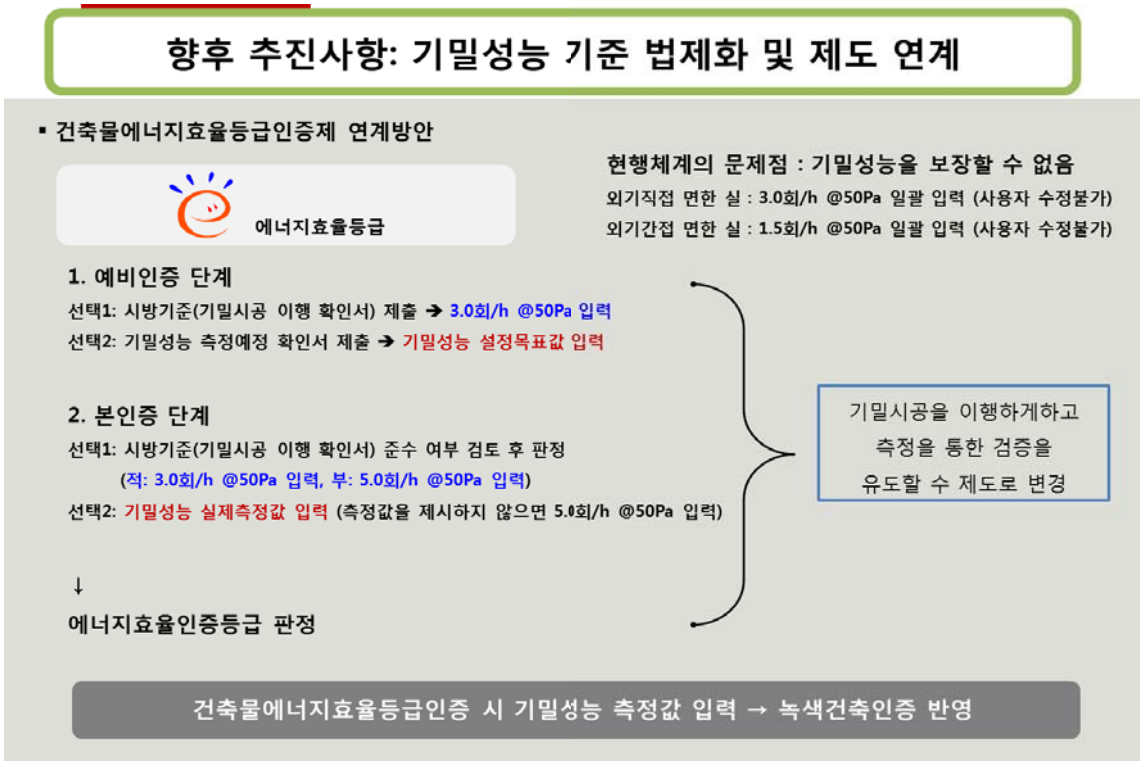
정의(설명)	국내의 기밀성능 측정 data를 자발적으로 보고하여 축적할 수 있는 web 기반의 database 구축
설정사유	지속적인 기밀성능 기준의 검토 및 개정(강화)을 위해서는 다양한 건물에서 대량의 측정 data에 대한 체계적인 축적이 필요함
목 적	지속적인 관련 기준의 법제화 및 실행을 위한 기반 구축 : 성능 중심의 실질적인 건물에너지 절약 달성

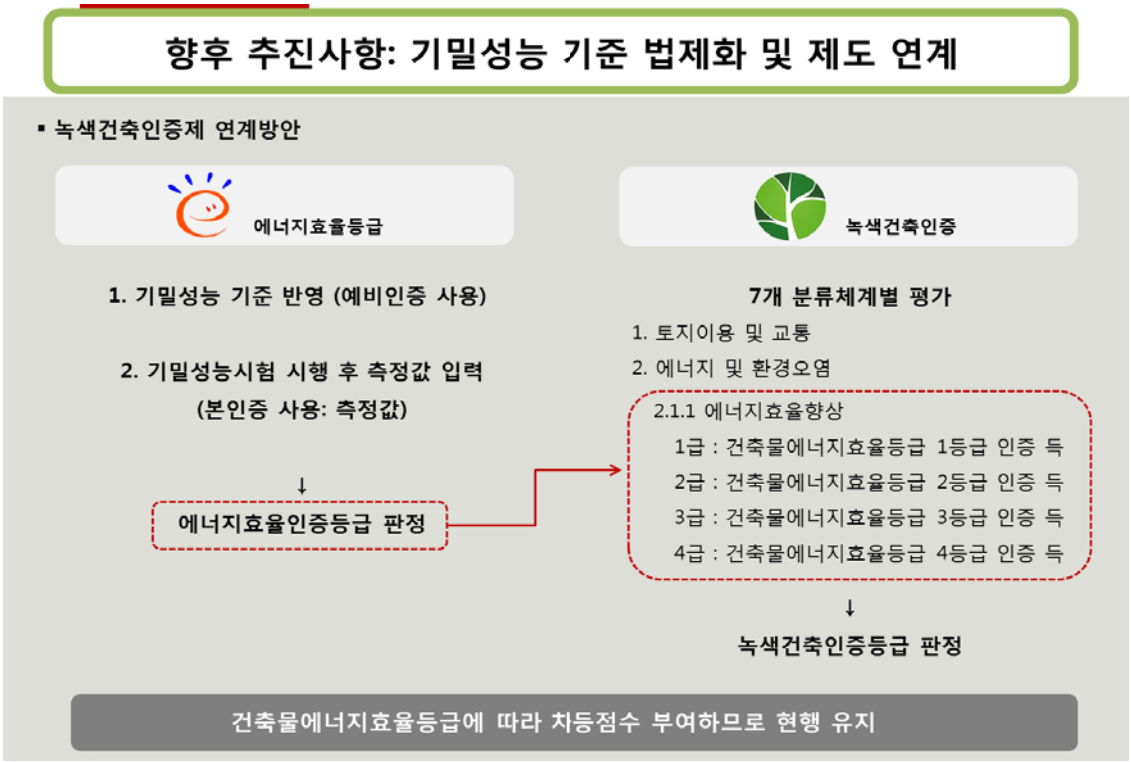




4. 관련 기준의 법제화 및 실행을 위한 유관부서의 연계 및 추진

- 건축허가 단계에서의 에너지절약 기준에 관련한 각종 제도 및 인증지침에 성능기반의 기준으로서의 연계를 위한 산학연관위원회 구성하여 에너지절약건물 목표달성을 위한 성능기반의 제도 의무화(건물 준공단계에서 실질성능 검토를 위한 법제화)





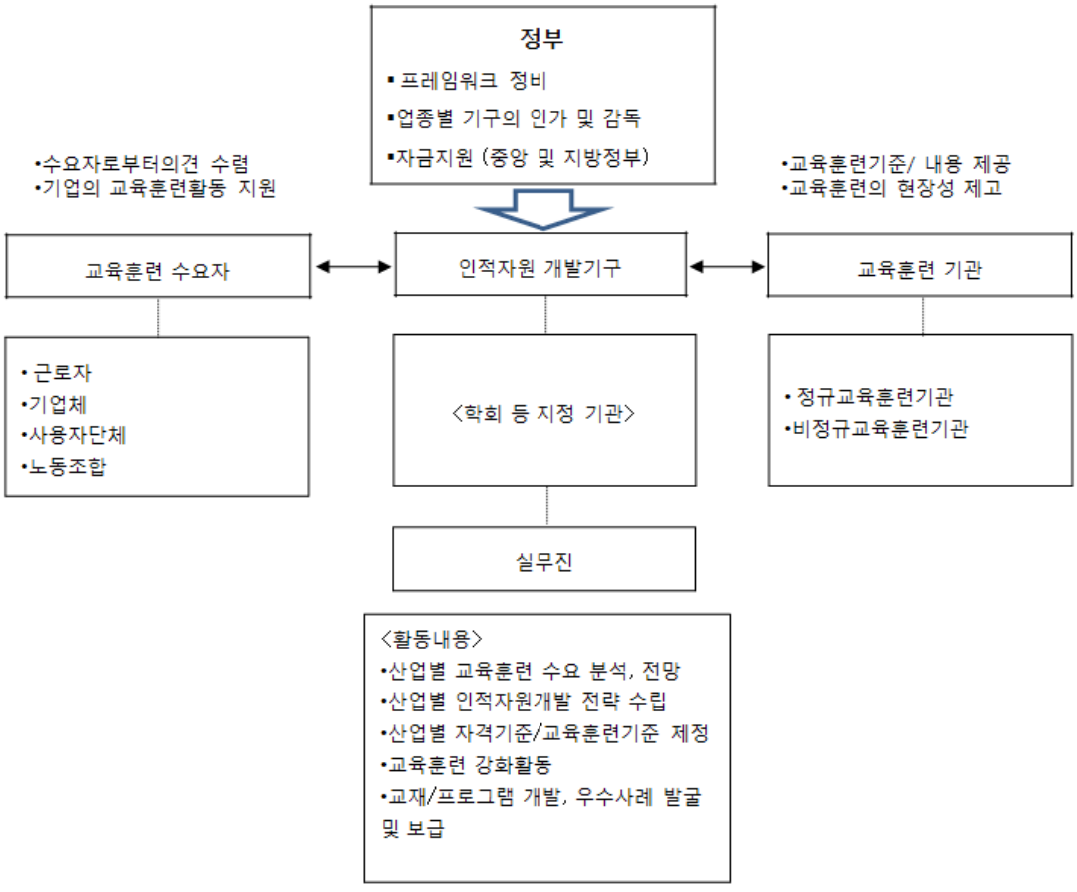
5. 자격제도와 교육훈련과정의 연계 운용

- 시행기관 : 국토교통부 - 건물 기밀측정 전문가 자격제도 및 인증제도에 관하여 법 제정 및 기준 제시와 보완

- 운영기관/인증기관 : 국토교통부 산하기관 - 건물 기밀측정 전문가 자격제도를 실질적으로 운영 및 관리

- 평가검증기관 : 국토교통부 산하기관(예, 한국건설기술연구원, 감정원 등) - 인증기관의 인증결과를 검증토록 하며, 검증기관은 인증기관의 건축물 기밀측정보고서를 통하여 검증업무를 실시

- 자격교육/검정기관 : 전문성 있는 관련학회 등의 지정기관 - 자격교육/ 검정기관으로 각 지정기관 및 학회 등을 임명하여 관련 자격 교육을 실시/수정



산학연계 구성안

참고문헌

1. 구성한, “고층 건물에서 연돌효과로 인한 압력차의 저감 방안“, 석사학위논문, 서울대학교 대학원, 2005.
2. 김승철 외, Blower door를 이용한 고기밀 공동주택의 기밀성능 평가, 한국생태환경건축학회논문집, 2011.
3. 김주수 외, 패시브 주택과 일반 주택의 기밀성에 관한 비교 실험 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집, 2010.
4. 권오현 외, Blower Door를 이용한 국내 주거용 건물의 기밀성능 실측 사례 분석, 대한건축학회논문집, 2010.
5. 신우철 외, 고기밀 고단열 주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회논문집, 2005
6. 박원석 외, 공동주택의 침기량 측정에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 2003.
7. 박선효 외, 기밀 시공 관리에 따른 건물의 기밀성능 현황 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 2007.
8. 박재완 외, 단독주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회지연합회 학술발표대회논문집, 2007.
9. 구성한 외, 실측을 통한 초고층 주거건물의 기밀성능 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2004.
10. 신현국 외, 초고층 건물의 요소별 기밀성능 실측에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 2010.
11. 신현국, “공동주택에서의 가감압법 측정조건 비교 및 기밀성능 평가“ 석사학위논문, 충북대학교 대학원, 2011.
12. 신현국 외, “건물의 기밀성능 측정에서의 가감압법 테스트조건 비교“, 대한건축학회논문집, 2011.
13. 문현준 외, 초고층 주거 건물에서의 차압 및 기밀성능 측정 연구, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회논문집, 2009.
14. 조재훈, 초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 측정 및 평가, 대한건축학회논문집, 2010.
15. 조재훈, “고층 주거건물에서 연돌효과로 인한 압력분포 예측 및 평가, 서울대학교 박사학위 논문, 2005.
16. 이광호 외, 초고층 주상복합아파트의 기밀 성능 및 연돌 효과 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2005.
17. 윤종호 외, 충청지역 단독주택의 기밀성능 실측 연구, 한국태양에너지학회논문집, 2008.
18. 신우철 외, 침기량 측정실험을 통한 ZeSH 주택의 기밀화 시공개선 연구, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2005.

19. Allard Francis, “Natural Ventilation in Buildings“, James and James, 1998.
20. ASHRAE “2005 ASHRAE Handbook Fundamentals“, American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers 2005.
21. ASHRAE Standard 119, “Air Leakage Performance for Detached Single-Family esidential Buildings” , American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers, 1988.
22. ASTM E779-03 “Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization, American Society for Testing and Materials” , American Society for Testing and Materials, USA, 2004.
23. ASTM E283-04, “Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen” , American Society for Testing and Materials, USA, 2004.
24. ASTM E741-00, “Standard Test Method for Determining Air Change in Single Zone by Means of a Tracer Gas Dilution” , American Society for Testing and Materials, USA, 2004.
25. ATTMA, Measuring Air Permeability of Building Envelopes, Technical Standard 1. Issue 2, The Air Tightness Testing and Measurement Association, 2007.
26. Brennan T., W. Turner, G. Fisher, B. Thompson and B. Ligman, “Fan Pressurization of School Buildings” , Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings V, 1992.
27. Claus Reinhold and Robert Sonderegger, “Air Infiltration Reduction in Existing Buildings“, 4th’AIC Conference, 1983.
28. Emmerich S. J. and A. K. Persily, “Multizone Modeling of Three Residential Indoor Air Quality Control Options“, National (1) Institute of Standards and Technology, 1996.
29. CGSB Standard 149, Determination of the Airtightness of Building Envelopes by Fan Depressurization Method, Canadian General Standards Board 1986.
30. CMHC, Energy Audits of High-rise Residential Buildings, Technical Series 97-100, 1996.
31. Fang Jin B. and A. K. Persily, “CONTAM88 Building Input Files for Multi-zone Airflow and Contaminant Dispersal Modeling“, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 5440, 1994.
32. Gulay B. W., and C. D. Stewart, “Field Investigation of Airtightness, Air Movement and Indoor Air Quality in High Rise Apartment Buildings Prairie Region“, Canada Mortgage and Housing Corporation, 1991.
33. ISO, Standard 9972, ““Thermal Insulation-Determination of Building Air Tightness - Fan Pressurization Method” “, International Standards Organization, 1996.
34. LEED Reference Guide for Green Building Design and Construction V.3 2009-IEQ PREREQUISITE 2 : Environmental Tobacco Smoke (ETS) Control

35. Lundin L. I., “Air Leakage in Industrial Buildings - Description of Equipment” , ASTM STP 904, 1986.
36. Malcolm Orme and Nurul Leksmono, “Ventilation Modelling Data Guide“, International Energy Agency, 2002.
37. Max H. Sherman, “The Use of Blower Door Data” , LBL Report No. 35173, 1998.
38. Max H. Sherman, Darryl Dickerhoff, “Air-tightness of U.S. Dwellings“, LBL-35700, 1998.
39. Max H. Sherman, Rengie Chan, “Building Airtightness : Research and Practice“, LBNL, 2004.
40. Perera M.D.A.E.S, R. K. Stephen and R. G. Tull, “Airtightness Measurements in Two UK Office Buildings” , ASTM STP 1067, 1990.
41. Persily A. K., “Airtightness of Commercial and Institutional Buildings: Blowing Holes in the Myth of Tight Buildings“, Conference Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Buildings VII, 1998.
42. Persily, A. K. “A Modeling Study of Ventilation, IAQ and Energy Impacts of Residential Mechanical Ventilation“, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6162, 1998.
43. Persily, A. K., Samuel R. Martin, “A Modeling Study of Ventilation in Manufactured Houses“, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6455, 2000.
44. Persily A. K. and Elizabeth M. Ivy, “Input Data for Multizone Airflow and IAQ Analysis“, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 6585, 2001.
45. Persily, A. K, J. Crum, S. Nabinger and M. Lubliner, “Ventilation Characterization of a New Manufactured House“, National Institute of Standards and Technology.
46. Persily, A. K. and R.A. Grot. “Pressurization Testing of Federal Buildings” , ASTM STP 904, 1986.Persily, A. K. and R.A. Grot. “The Airtightness of Office Building Envelopes“, ASHRAE Special Publication, 1985.
47. Persily, A. K., W.S. Dols, S. J. Nabinger and S. Kirchner. “Preliminary Results of the Environmental Evaluation of the Federal (29) Records Center in Overland Missouri“, National Institute of Standards and Technology, NISTIR 4643, 1991.
48. Shaw, C. Y. “Air Tightness: Supermarkets and Shopping Malls” ASHRAE Journal, Vol. 23, 1981.
49. Shaw, C. Y., D.M. Sander and G. T. Tamura, “Air Leakage Measurements of the Exterior Walls of Tall Buildings“, ASHRAE Transactions, Vol.79, Part2, 1973.
50. Shaw, C. Y., J. T. Reardon and M. S. Cheung. .“Changes in Air Leakage Levels of Six Canadian Office Buildings.“, ASHRAE Journal, Vol. 35, 1993.
51. Shaw, C. Y., and L. Jones. “Air Tightness and Air Infiltration of School Buildings,” ASHRAE Transactions, Vol. 85, Part 1, 1979.
52. Shaw C. Y., “Methods for Conducting Small-Scale Pressurization Tests and Air Leakage Data of Multi Story Apartment Buildings” , ASHRAE Transactions, Vol. 86, Part 1, 1980.

53. Shaw C. Y., R. J. Magee and J. Rousseau, “Overall and Component Airtightness Values of a Five-Story Apartment Building” , ASHRAE Transactions, Vol. 97, Part 2, 1991.
54. Shaw C. Y., S. Gasparetto and J. T. Reardon, “Methods for Measuring Air Leakage in High-Rise Apartments” , ASTM STP 1067, 1990.
55. Tamura G. T. “Smoke Movement and Control in High-rise Buildings“. National Fire Protection Association, Quincy, Massachusettes, 1994.
56. Tamura G. T. and C. Y. Shaw, “Air Leakage Data for the Design of Elevator and Stair Shaft Pressurization Systems” , ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part 2, 1976.
57. Tamura G. T. and C. Y. Shaw, “Experimental Studies of Mechanical Venting for Smoke Control in Tall Office Buildings” , ASHRAE Transactions, Vol. 84, Part 1, 1978.
58. Tamura G. T. and C. Y. Shaw, “Studies on Exterior Wall Air Tightness and Air Infiltration of Tall Buildings” , ASHRAE Transactions, Vol. 82, Part 1, 1976.
59. The Building Regulations 2000 (2010 edition), Approved Document L2A Conservation of fuel and Power in new buildings other than dwellings
60. The Building Regulations 2000 (2010 edition), Approved Document L2B Conservation of fuel and Power in existing buildings other than dwellings
61. Walton G.N., CONTAMW-User Manual NISTIR 6476, National Institute of Standards and Technology, 2000
62. Wilson A.G. and G.T. Tamura, Stack Effect and Building Design, Canadian Building Digest CBD-107, National Research Council Canada, 1968.
63. Sandberg, P.I. et al., The Effects and Cost Impact of Poor Airtightness-Information for Developers and Clients, Proceedings of Thermal Performance of the Exterior Envelopes of Whole Buildings X International Conference, 2007.
64. US DOE, Technology Fact Sheet Air Sealing, 2000.
65. US DOE, Building Technologies Program Air Leakage Guide, 2011.
66. Alexander Z. et al., Achieving Good Air Tightness in New and Retrofitted US Army Buildings, International Workshop Tight Vent Europe, 2012.

- http://www.aivc.org
- http://www.attma.org
- http://www.airbarrier.org
- http://www.clarkpublicutilities.com
- http://www.cmhc-schl.gc.ca
- http://www.enev-online.de

부 록

A. 건물 기밀성능 기준 정립

A1. 공동주택건물 기밀성능 측정보고서-약 600세대
A2. 공동주택 부위별 기밀성능 측정보고서-6세대
A3. 단독주택 기밀성능 측정보고서
A4. 국내 주거건물 기밀성능 조사보고서
A5. 업무용건물 기밀성능 측정보고서
A6. 업무용건물 커튼월 기밀성능 조사보고서
A7. 모듈러 건축물 기밀성능 측정보고서-2개 type
A8. 저층건물(3층) 기밀성능 측정 보고서-전체, 1개실
A9. 건축물의 기밀성능 기준(KIAEBS 기준으로 채택)
A10. 공청회 및 기술패널토론(IPAZEB 기술세미나)
A11. 기밀성능 기준 정책제안(국토교통부 녹색건축과)
A12. 국외학술게재 논문 1건(JAABE(SCI-E))
A13. 국외학술발표 논문 1건(AIVC2012)
A14. 국내학술발표 논문 1건(대한건축학회)
A15. 국내학술발표 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

B. 기밀성능 측정방법(안) 개발

B1. 주거용건물 기밀성능 측정방법 조사보고서
B2. 업무용건물 기밀성능 측정방법 비교분석 조사보고서
B3. 고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-Blower+AHU
B4. 고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-AHU
B5. 고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-엘리베이터홀
B6. 고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-커튼월 1개층
B7. 대공간/고층건물 업무용건물 기밀성능 측정방법1
B8. 대공간/고층건물 업무용건물 기밀성능 측정방법2
B9. 기밀성능 측정방법(안) 전문가평가
(기밀성능 측정방법에 대한 전문가 심포지엄, KPHI 기술세미나)
B10. 국외학술게재 논문 1건(Energy and Buildings)
B11. 국외학술발표 논문 1건(Cold climate2012)
B12. 국제심포지엄 논문발표 1건(AEBEST2012)
B13. 국내학술게재 논문 1건(한국태양에너지학회)

B14. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

B15. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

B16. 국내학술발표대회 논문 1건(대한건축학회)

C. 기밀화 표준안 개발

C1. 기밀화 체크리스트 보고서 2건(업무용건물/대규모건물)

C2. 기밀화 체크리스트 보고서 2건(주거건물/소규모건물)

C3. 건물 기밀화 방안 2건

C4. 건물 기밀화 표준안 1건

C5. 국내학술발표 논문 1건(한국태양에너지학회)

D. 기밀측정 전문가 교육 및 양성

D1. 건물 기밀측정 전문가 교육 프로그램

D2. 건물 기밀측정 전문가 교육 교재

D3. 건물 기밀측정 전문가 교육 과정 운영-3회 실시

D4. 건물 기밀측정 전문가 양성-약 80명

D5. 국내학술게재 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

D6. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

E. 건물 기밀성능 데이터베이스 구축

E1. 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템 구축

E2. 기밀성능 데이터베이스 축적-약 742여개 데이터베이스 입력

A1	국내 공동주택 기밀성능 측정보고서
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	국내 공동주택 건물(약 600세대) 기밀성능 측정 수행

국내 공동주택의 기밀성능 측정

1. 공동주택의 기밀성능 측정 개요

국내 공동주택의 기밀성능 데이터를 확보 및 기밀성능 기준제안의 기술 자료로 활용하기 위하여, 국내에서 최근에 지어진 공동주택 6단지, 약 610세대를 대상으로 기밀성능 측정을 실시하였다. 대상건물은 대전광역시와 인천광역시에 위치한 공동주택으로 2010 ~ 2014년에 준공되었다. 측정방법은 블로어 도어를 이용한 가압/감압법으로 실시하였다. 측정 대상 건물의 개요를 아래 표 1에 요약하였다.

표 1. 측정 대상 건물 개요

구분	A	B	C	D	E	F
위 치	대전 목동	인천 송도동				
구 조	벽식 구조	Flat slab 구조				
층 수	지하 2층, 지상 9~30층	지하 2층, 지상 47층	지하 2층, 지상 42~49층	지하 2층, 지상 11~33층	지하 2층, 지상 12~28층	지하 2층, 지상 23~32층
최고높이	-	약 161.1m	약 174.6m	약 108.8m	-	약 104.1m
단지 세대수	693	729	632	845	1,014	1,401
건물용도	공동주택	공동주택, 판매시설, 근린생활시설		공동주택		
조감도						

2. 공동주택의 기밀성능 측정 결과

측정 공동주택 약 600세대에 대한 기밀성능(ACH50) 측정결과를 그림 1에 단지별 기밀성능 분포와 대푯값으로 나타내었다. 전체적인 기밀성능 대푯값은 약 2.7ACH50으로 측정되었다. 단지별 ACH50의 범위는 A건물의 ACH50의 범위는 약 1.6~2.3회, B건물은 1.9~3.8회, C건물은 2.6~5.2회, D건물은 1.4~3.8회, E건물은 1.4~6.7회, F건물은 1.5~4.8회로 나타났다. 평균적으로 A건물이 가장 기밀하게 측정되었으며 다음으로 E, D, F, B, C건물 순으로 기밀하게 측정되었다. B, C건물에서 기밀성능이 낮게 나타난 이유는 외벽 및 세대간 벽의 종류가 큰 영향을 미쳤을 것으로 판단된다.

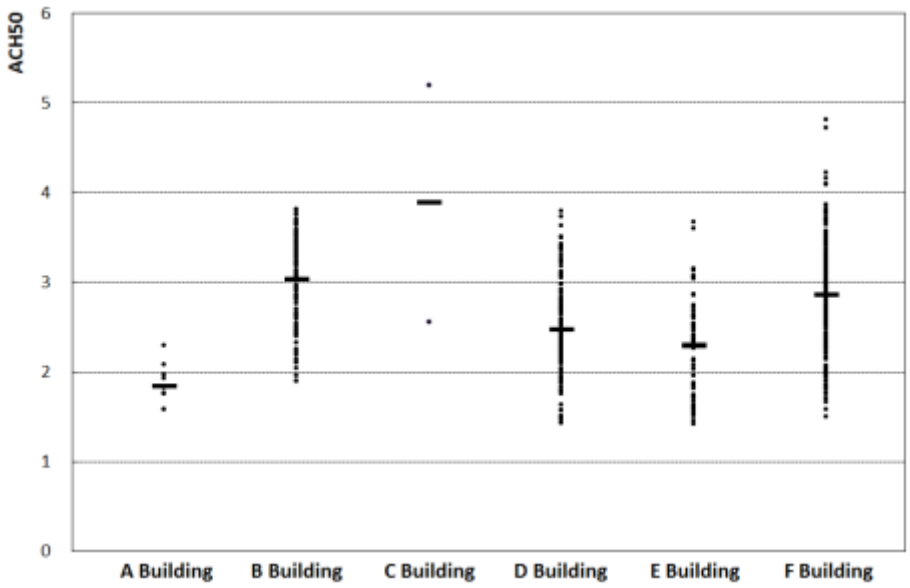


그림 1. 단지별 기밀성능 측정 결과

표 2. 기밀성능 테스트 결과(일부 발췌)

(SI Unit)

Building	Floor Area(㎡)	Envelope Area(㎡)	Volume(㎥)	ACH50
A Building	146	449	414	1.58
	146	449	414	1.58
	146	449	414	1.82
	129	405	365	1.77
	129	405	365	1.75
	146	449	414	1.92
	129	405	365	1.96
	146	449	414	2.29
B Building	156	488	484	3.40
	106	344	329	3.82
	133	418	411	3.63
	156	488	484	3.35
	176	527	546	3.44
	133	419	410	3.44
	111	308	266	6.15
	111	559	266	5.86
	167	432	400	3.89

A2	국내 공동주택 부위별 기밀성능 측정보고서
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	국내 공동주택 6세대 건축 부위별 기밀성능 측정 조사

건축 부위별 기밀성능 측정 조사

1. 부위별 기밀성능 측정 개요

측정 세대는 총 6세대로 외기와 면한 면의 수가 1개인 일반적인 평면 형태의 세대를 크기별로 2세대를 선정하여 5층, 11층, 13층에서 측정하였다. 측정 세대수가 적어 일반화에는 어려움이 있으나, 본 연구에서 측정된 결과가 추후 건물 요소별 기밀성능 연구에 활용될 수 있을 것으로 판단된다. 측정 세대의 세부 정보는 다음 표와 같다. 세대 기밀성능과 외피(커튼월), 세대간벽, 층간슬래브, 환기설비의 기밀성능을 다음 방법으로 측정하였다.

① 세대 기밀성능 측정 : 측정 대상세대의 현관문에 Blower door를 설치한 후 가/감압을 측정하였다. 이때 외부와 Blower door가 설치된 공간의 압력이 동일하게 유지될 수 있도록 인접세대의 창문과 현관문을 열어두어야 한다.

② 외피 및 환기설비 기밀성능 측정 : 외피의 기밀성능을 측정하기 위해서 외기와 면한 외피를 기밀 처리 전과 기밀처리 후의 기밀성능 측정하였다. 기밀처리 전의 누기량과 기밀처리 후의 누기량의 차이를 계산하여 외피의 기밀성능을 구할 수 있다.

③ 세대간벽 및 층간 슬래브 기밀성능 측정 : 세대간벽과 층간 슬래브의 측정은 Blower door 시스템 2대를 이용해 아래 그림 1과 같이 측정대상을 사이에 두고 측정세대와 인접세대에서 동시에 가/감압을 실시해 두 세대간 압력차가 ±0 Pa 되도록 유지하면 측정대상을 통한 누기가 발생하지 않는다. 이 상태에서 측정세대의 누기량을 측정하고 세대 기밀성능 결과와 차이를 계산하여 구할 수 있다.

표 1. 측정 세대

구 분	바닥면적 (m^2)	층고 (m)	세대외피면적 (m^2)	체적 (m^2)
A type	103.85	3.1	342.71	321.94
B type	132.53	3.1	418.17	410.84

2. 부위별 기밀성능 측정 방법

세대 기밀성능과 외피(커튼월), 세대간벽, 층간슬래브, 환기설비의 기밀성능을 다음 방법으로 측정하였다.

① 세대 기밀성능 측정 : 측정 대상세대의 현관문에 Blower door를 설치한 후 가/감압을 측정하였다. 이때 외부와 Blower door가 설치된 공간의 압력이 동일하게 유지될 수 있도록 인접세대의 창문과 현관문을 열어두어야 한다.

② 외피 및 환기설비 기밀성능 측정 : 외피의 기밀성능을 측정하기 위해서 외기와 면한 외피를 기밀 처리 전과 기밀처리 후의 기밀성능 측정하였다. 기밀처리 전의 누기량과 기밀처리 후의 누기량의 차이를 계산하여 외피의 기밀성능을 구할 수 있다.

③ 세대간벽 및 층간 슬래브 기밀성능 측정 : 세대간벽과 층간 슬래브의 측정은 Blower door 시스템 2대를 이용해 아래 그림 1과 같이 측정대상을 사이에 두고 측정세대와 인접세대에서 동시에 가/감압을 실시해 두 세대간 압력차가 ±0 Pa 되도록 유지하면 측정대상을 통한 누기가 발생하지 않는다. 이 상태에서 측정세대의 누기량을 측정하고 세대 기밀성능 결과와 차이를 계산하여 구할 수 있다.



그림 1. 세대간벽 기밀성능 측정 예

3. 부위별 기밀성능 측정 결과

건물의 요소별 기밀성능은 측정 결과를 각 세대의 건축 요소에서의 분배 비율로 계산하여 그림 2에 나타내었다. 측정 대상 건물은 세대간벽에서 전체 누기량의 31～58 %를 차지해 가장 많은 누기가 발생하는데, 이것은 고층 주상복합 건물의 특성상 건식벽체로 시공되어 벽체와 벽체 사이 접합부 또는 기둥이나 슬래브가 벽체와 만나는 접합부에서 많은 누기가 발생되는 것으로 판단된다. 외피에서는 세대 전체 누기량의 5～28 %의 누기를 면적을 차지하고 있다. 또한 층간 슬래브를 통한 누기가 3～32 %발생하는데, 이는 스모크 테스트를 실시한 결과 슬래브 자체의 누기보다 알루미늄 커튼월 내부 공간을 통한 누기가 인접세대로 이동하기 때문인 것으로 나타났다. 측정대상건물은 전열교환기 환기시스템이 설치되어 환기설비에서의 누기량도 세대 전체 누기량의 3～19 %정도 발생되고 있어 환기설비 자체의 기밀성능도 중요하게 고려되어야 한다. 기타 7～30 %의 누기는 세대현관문, 설비관통부, 전기 배관 등에서의 누기로 판단되며 세부적인 누기 부위 파악 및 누기 분배 비율에 대한 연구가 추가로 필요하다.

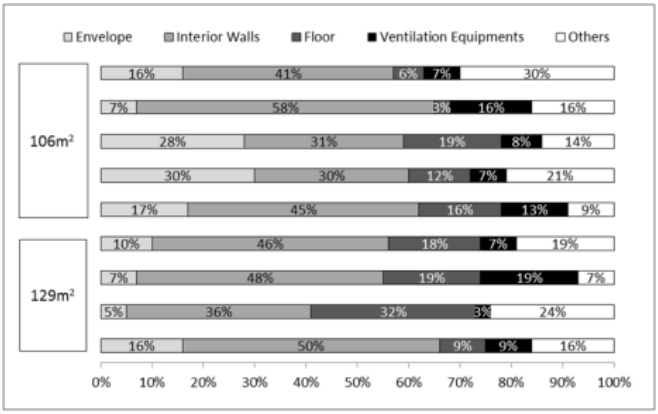


그림 2. 부위별 누기부위 분배

A3	단독주택 기밀성능 측정보고서
수행 기관	(주)건축사사무소 TOP
주요 내용	단독주택 기밀성능 측정 수행-4건

화천군 하남면 서오지리 547-1 단독주택 기밀측정보고서

TOPAA
TOP ARCHITECTS & ASSOCIATES

1. 기밀성테스트

1-1. 방법 및 분석

- 외기와 접해있는 개구부에 팬을 설치하고 실내로 외기를 도입하여 가압을 하거나, 반대로 실내 공기를 외부로 방출시켜 실내를 감압시킨 후 실내외 압력차가 임의의 설정값에 도달했을 때 팬의 풍량을 측정하여 실측대상의 침기량 또는 누기량을 산정하는 방법
- 일반적으로 실내외 압력차를 50Pa 또는 그 이상의 압력차로 가압하거나 감압한 후 팬 풍량을 조절하여 침기량 또는 누기량을 측정

1-2. 기밀조건

- 아직 국내에서는 기밀성능 평가 및 요구성능 기준 등이 명확하게 설정되어 있지 않으나, 기밀성은 외피를 통한 열손실, 구조체 내부의 결로 발생, 거주자의 열적 쾌적도 등에 많은 영향을 미침
- 독일 PHI (passiv.de)에서 기준을 삼는 패시브하우스의 기밀조건은 50pa ≤ 0.6회/h (50pa : 건물 내 외부 공기의 압력 차이를 의미하는데 풍속으로 따지면 약 8~9m/s 정도이며, 정성적으로 표현하면 여름철 태풍의 초기 바람세기 정도)
- 평상시보다는 상당히 강한 압력이 외부에 걸릴 때 건물 내부로 들어오는 틈새바람의 양이 시간당 실내체적의 0.6회 정도만 들어와야 한다는 설명이며, 국내 기존 건물에 비해 상당히 강화된 기밀 수준임

1-3. 계산방법

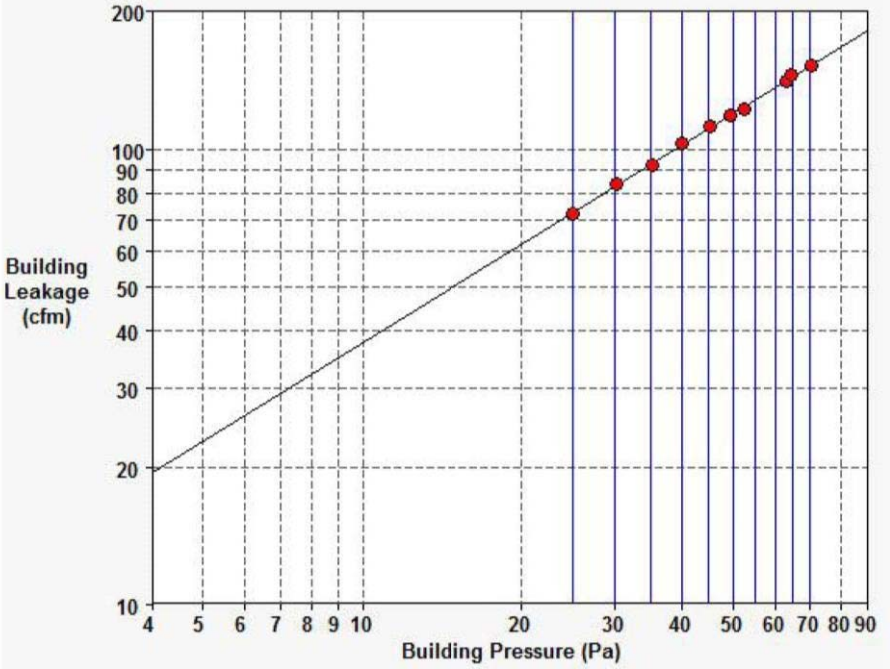
- 측정값 : (블로어도어 테스트 시 표시되는 침기량 추정치-단위:㎥) / 건물 체적(지하층~옥탑층의 바닥면적 x 층고의 합) = OO회/h

2. 기밀성능 측정

2-1. 목적

- 화천군 하남면 서오지리 547-1 단독주택 준공에 따른 기밀 성능 검토

3. Test Results



- v50 : 119 cfm(+/- 0.3%)
- n50 : 0.70 ACH(1/h)
- w50 : 1.02 cfm㎡ Floor Area
- q50 : 0.30 cfm㎡ Surface Area

※ 일반적인 건물의 기밀성능

구 분	기밀성 (회/h)
패시브하우스	0.6 이하
국내 APT	2~3
신축단독주택 (업무시설)	3~4

A4	국내 주거건물 기밀성능 조사보고서
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	국내 주거건물 기밀성능 data 조사 및 비교 : 기밀성능 측정결과 조사, 34개 문헌

번호	대상건물	개수	Data	대푯값	단위	⊿P	특이사항	참고문헌
1	공동주택	1세대	1.65	1.65	ACH	50	대전 위치/1세대 기밀성능 측정을 통해 침기발생 부위 도출 바닥면적 159.7㎡ 벽체면적 565.1㎡ 높이 3.4m 실체적 543.1㎥ 벽체단열성능 0.2W/㎡K 창호성능 Triple Low-eGlass	(1)
2	고층주상복합	1세대	3.79	3.79	ACH	50	인천 위치 바닥면적 121㎡ 외피면적 391㎡ 높이 47층중 6층 실체적 291㎥	(2)
3	공동주택	1세대	9.03	9.03	ACH	50	서울 위치/90년대 후반 리모델링 바닥면적 119㎡ 외피면적 414㎡ 높이 15층중 10층 실체적 286㎥	(2)
4	공동주택	1세대	1.85	1.85	ACH	50	인천 위치 바닥면적 143㎡ 외피면적 440㎡ 높이 11층중 4층 실체적 381㎥	(2)
5	단독주택	1세대	12.91	12.91	ACH	50	서울 위치 바닥면적 108㎡ 외피면적 269㎡ 높이 2층중 2층 실체적 260㎥	(2)
6	ZeSH	1세대	3.2~5.4	4.3	ACH	50	대전 위치/ 제로에너지 솔라 하우스/ 1~2층 측정 기밀화 시공기술, 부착온실, Trombe wall, Transparent Insulation wall, 태양열시스템 적용	(3)
7	공동주택	29세대	2.05~4.05	2.81	EfLA	4	천안 위치/ 철근콘크리트 구조 바닥면적 78.21㎡	(4)
8	공동주택	27세대	1.23~1.68	1.5	EfLA	4	발안 위치/ 철근콘크리트 구조 바닥면적 64.42㎡	(4)

9	단독주택	1세대	0.67	0.67	ACH	50	용인 위치 기밀 시공기술 적용 (창호 조인트 부위 기밀시트 시공, 콘센트박스 우레탄 폼 충진, 배관 관통부위 몰탈 충진) 기밀 시공관리 (시공자와 사전 시공 상세 협의, 사진촬영에 의한 시공 관리, 전문가 입회하에 시공 실시)	(5)
10	공동주택	1세대	1.37	1.37	ACH	50	대전 위치 기밀 시공기술 적용 (창호 조인트 부위 코킹 시공, 배관 관통부위 몰탈 충진) 기밀 시공관리 (기밀시공에 대한 업무 지침 전달, 기밀시공 유경험자에 의한 시공)	(5)
11	사무소	1세대	3.74	3.74	ACH	50	대구 위치 기밀 시공기술 적용 (창호 조인트 부위 코킹 시공) 기밀 시공관리 (기밀시공에 대한 업무 지침 전달)	(5)

참고문헌

(1) 김승철 외, Blower door를 이용한 고기밀 공동주택의 기밀성능 평가, 한국생태환경건축학회논문집, 2011.
(2) 권오현 외, Blower Door를 이용한 국내 주거용 건물의 기밀성능 실측 사례 분석, 대한건축학회논문집, 2010.
(3) 신우철 외, 고기밀 고단열 주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구, 한국태양에너지학회논문집, 2005
(4) 박원석 외, 공동주택의 침기량 측정에 관한 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 2003.
(5) 박선효 외, 기밀 시공 관리에 따른 건물의 기밀성능 현황 연구, 한국생태환경건축학회논문집, 2007.
(6) 박재완 외, 단독주택의 기밀성능에 관한 실험적 연구, 대한건축학회지연합회 학술발표대회논문집, 2007.
(7) 구성한 외, 실측을 통한 초고층 주거건물의 기밀성능 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2004.
(8) 신현국 외, 초고층 건물의 요소별 기밀성능 실측에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회논문집 ,2010.
(9) 문현준 외, 초고층 주거 건물에서의 차압 및 기밀성능 측정 연구, 한국건축친환경설비학회 학술발표대회논문집, 2009.
(10) 조재훈, 초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 측정 및 평가, 대한건축학회논문집, 2010.
(11) 이광호 외, 초고층 주상복합아파트의 기밀 성능 및 연돌 효과 특성에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2005.
(12) 윤종호 외, 충청지역 단독주택의 기밀성능 실측 연구, 한국태양에너지학회논문집, 2008.
(13) 신우철 외, 침기량 측정실험을 통한 ZeSH 주택의 기밀화 시공개선 연구, 대한설비공학회 학술발표대회논문집, 2005.
(14) 김주수 외, 패시브 주택과 일반 주택의 기밀성에 관한 비교 실험 연구, 한국생태환경건축학회 학술발표대회논문집, 2010.

-이하 생략-

A5	업무용건물 기밀성능 측정보고서
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	업무용건물 기밀측정 수행 :Large Building-Blower Door Fan, HVAC+Blower Door Fan)

블로어 도어를 이용한 업무용 건물의 기밀성능 측정

1. 서론

본 측정은 Blower door 시스템을 사용하여 업무용 건물의 기밀성능을 측정하였다. 측정은 4월 20일~4월 21일까지 진행되었으며, 6개의 팬을 이용하여 건물의 입구에 Blower door를 설치하여 건무의 기밀 성능을 측정하였다. 최종 기밀성능은 Door FAN 소프트웨어에서 제공되는 'air leakage report'로 계산된 값을 검토하였다.

2. 기밀성능 측정

표 1. 건물 개요

소재지	대전시 유성구 장동 71-2 번지 외 14필지		
연면적	6,164,82m2(1,864.8평)	건물 외피 재료	외벽 : 화강석 버너 마감 30T T3 AL. SHEET
준공 년도	2001 년	구 조	철골조
건물 높이	22.2M	건물 층수	지하 1층, 지상 5층
건물 외피 면적	1~5층 : 2611.44m2 지붕포함 : 2935.44m2	층 고	기준층 : 3,900mm(2,550mm) 1층 : 4,500mm(3,000mm)
바닥 면적	39,973.935 ㎡		
지하 1층	3,458.54 ㎡	지상 1층	17,140.62 ㎡
지상 2층	9,399.10 ㎡	지상 3층	5,993.26 ㎡
지상 4층	2,507.86 ㎡	지상 5층	967.48 ㎡



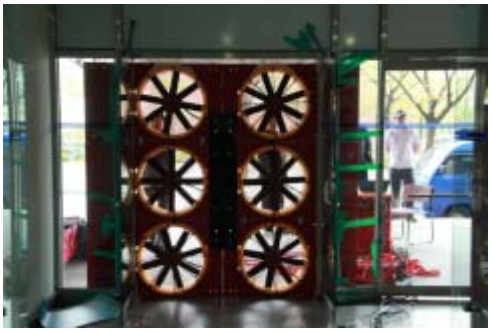
그림 1. 측정 대상 건물

3. 측정방법

건물 입구에 블로어도어를 설치 후 가압/감압하여 세대의 기밀성능을 측정하였다. 측정 압력범위는 10~30Pa로 5Pa 단위로 압력차를 증가시켜 5Point에서 누기량을 측정하였다. 건물 외피의 기밀성능 측정을 위하여 외부 출입문과 창문을 모두 닫힌 상태로 설정하였다. 측정건물 내의 각종 환기구 및 급/배기구는 기밀처리 하였으며, 실내문은 열려진 상태에서 실측하였으며 상세한 조건은 다음 표와 같다.

표 2. 블로어 도어 실측 준비사항

실측 처리부위	조건
외부 출입문, 창문	닫음
실내문	열림
배기구(화장실)	기밀처리
환기용 급배기구	기밀
건조기	없음







A6	국내외 업무용건물 커튼월 기밀성능 조사보고서
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	국내외 업무용건물 Unit 커튼월 기밀성능 data 조사 및 비교

유니트 커튼월 시스템의 기밀성능 분석

1 유니트 커튼월 시스템의 기밀도 분류: **기밀도의 표현방법**

○ **CFM50(ft^3/min) or CMH50(m^3/hr)**
- CFM50은 실내외 압력차를 50 Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣어야 할 기류량(즉, 누기량)을 표현
- 50 Pa은 약 9 m/s의 바람이 불어올 때 생기는 압력, 기후조건의 영향을 최소화하기 위함

○ **ACH50(h^{-1})**
- 건물에 50 Pa의 압력이 작용하고 있을 때, 실내 공기가 한 시간 동안 몇 번 환기되는가를 표현하는 척도
- 서로 다른 크기의 건물에서 측정된 누기량을 비교할 때 유용한 척도

○ **EqLA(cm^2/m^2)**
- Canadian National Research Council(NRC)에서 정립한 누기면적 척도
- 일반적으로 EqLA(Eequivalent Leakage Area, 상당누기면적)는 10 Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기
- 커튼월은 EqLA@75Pa 사용

○ **ELA, EfLA(cm^2/m^2)**
- Lawrence Berkeley National Laboratory[LBNL]에서 정립한 누기면적 척도
- ELA(Effective Leakage Area, 유효누기면적)는 4 Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기

○ **Air Permeability(cfm/ft^2, L/sm^2)**
- 누기량을 전체 외피면적으로 나눈 단위면적당 누기량을 나타내는 척도, 영국 등 EU에서 주로 사용하는 단위

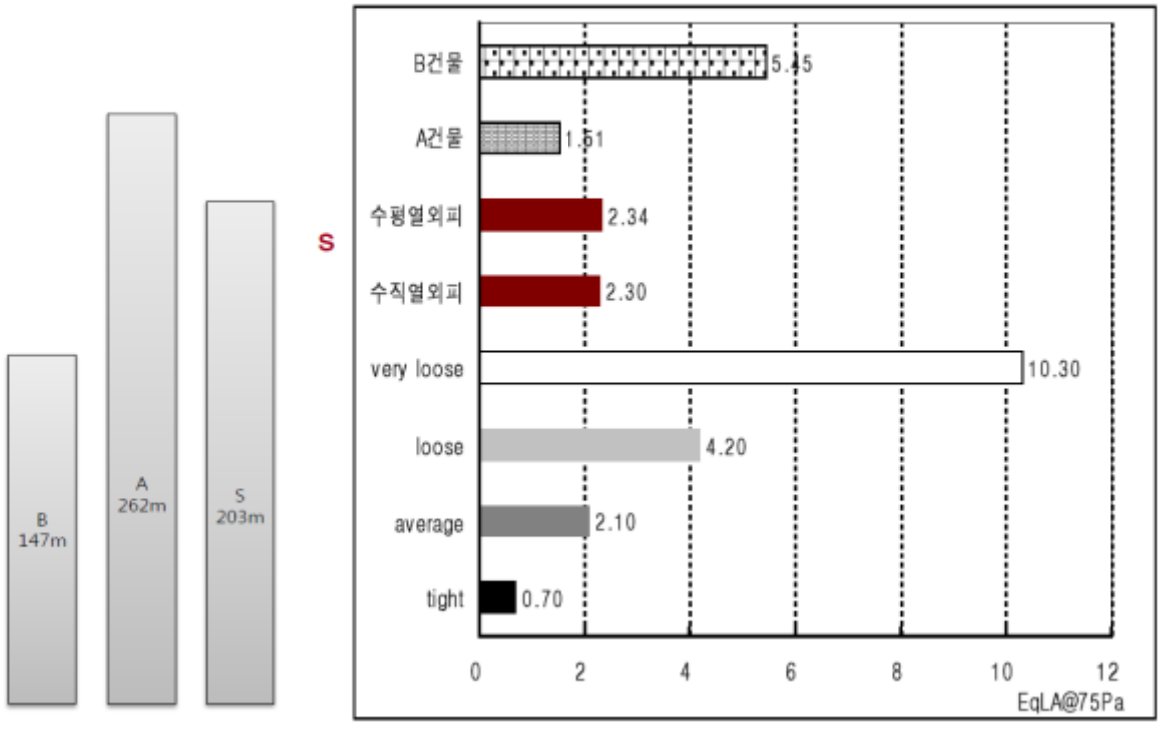
	Unit	DIN EN 12152 DATA					실측 DATA (북미건물 + 국내건물)							비 고
		Class AE	Class A4	Class A3	Class A2	Class A1		Tight		Average		Loose		
		>600Pa	600Pa	450Pa	300Pa	150Pa								
실측 DATA	cm^3/m^2@75Pa							0.7		2.1		4.2		북미건물(ASHRAE)
	cm^3/m^2@75Pa								1.21~1.51					A건물(70층 규모)
	cm^3/m^2@75Pa									2.30~2.34				B건물(40층 규모)
	cm^3/m^2@75Pa												5.45	C건물(40층 규모)
DIN EN 12152	$L/s \cdot m^2$ @75·(2n)Pa'	0.42	0.42	0.42	0.42	0.42								* n은 Class An의 n값
	cfm/ft^2@75·(2n)Pa'	0.08	0.08	0.08	0.08	0.08								
	$m3/h \cdot m^2$ @75·(2n)Pa'	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5								
	$L/s \cdot m^2$ @75Pa	0.10	0.10	0.13	0.17	0.26		0.5		1.5		3.0		Qn=Qo(Pn/Po)^1.0
	$L/s \cdot m^2$ @300Pa	0.26	0.26	0.32	0.42	0.67		1.26	~	3.78		7.56		Qn=Qo(Pn/Po)^1.0
	cfm/ft^2@300Pa	0.05	0.05	0.06	0.08	0.13		0.25		0.74		1.48		Qn=Qo(Pn/Po)^1.0
AAMA 501-05	cfm/ft^2@75Pa					0.06								일반 건물
	$L/s \cdot m^2$ @75Pa	Cube 커튼월 data		기준층 커튼월 data		0.3								
	cfm/ft^2@300Pa			0.06										공기질, 습도조절, IAQ 중요건물
	$L/s \cdot m^2$ @300Pa			0.3										
AAMA 503-03	cfm/ft^2@300Pa				0.09									국내 Field test 기준으로 활용
	$L/s \cdot m^2$ @300Pa				0.5									

31 유니트 커튼월 시스템의 기밀도 분류: EqLA@75Pa, L/s·㎡ @75Pa 변환

ASHRAE 평가								Tight		Average		Loose		Unit
DIN EN 12152 평가		Class AE	Class A4	Class A3	Class A2	Class A1								
EqLA (상당누기면적)		< 0.15	0.15	0.18	0.23	0.36	0.42	0.7		2.1		4.2		cm^2/m^2@75Pa
Air Permeability (외피면적당 누기량)		< 0.11	0.11	0.13	0.17	0.26	0.30	0.50		1.50		3.00		L/s-m^2 @75Pa
AAMA501-05				0.06 (0.12)										cfm/ft^2@300Pa (L/s-m^2 @75Pa)
							0.06* (0.30)							cfm/ft^2@75Pa (L/s-m^2 @75Pa)
ASHRAE data								0.7		2.1		4.2		cm^2/m^2@75Pa
								500		1,500		3,000		$cm^3/s·m^2$@75Pa
DIN EN 12152		0.42	0.42	0.42	0.42	0.42								L/s-m^2 @(150-n)Pa^n
국내 실측 data	A건물								1.21					cm^2/m^2@75Pa
									1.51					cm^2/m^2@75Pa
	B건물												5.45	cm^2/m^2@75Pa
	S건물										2.30			cm^2/m^2@75Pa
											2.34			cm^2/m^2@75Pa

* 0.3L/s-m^2 @75Pa (국내 커튼월 mock-up test 기준), ** n은 Class An의 n값, Class AE는 Class A4 미만을 나타냄
(단, 단위변환 조건은 C_q 및 ρ는 일정하다고 가정)

2 국내건물 외피커튼월 기밀도 실측 data



A7	모듈러 건축물 기밀성능 측정보고서-2개 type
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	강구조, 목구조 모듈러 건축물의 기밀 성능 측정 및 비교

Building Air Leakage Test Results

In Compliance with European Norm EN13829



Modular house

(Wooden construction)

Building Air Leakage Test Results

In Compliance with European Norm EN13829



Modular house

(Steel structure)

A8	저층건물(3층) 기밀성능 측정보고서-건물전체, 1개층
수행 기관	세종대학교 산학협력단
주요 내용	Blower Door Fan을 이용하여 3층 건물 전체의 기밀성능 및 1개층의 기밀성능 측정을 실시

저층 건물(3층) 기밀성능 측정

1. 대상 건물 개요

본 건물은 서울특별시 광진구 능동로 209에 위치한 세종대학교 소재로, 건축학과 스튜디오로 사용되는 건물로 지하 1층, 지상 3층의 규모이다. 표 1과 표 2에서 각 층별 면적 및 층별 부피 및 전체 부피를 산정하였다. 실험 건물 내에는 설계실 및 회의실, 화장실로 구성되어 있었으며, 별다른 공조 장치나 난방 기구는 설치되어 있지 않았다.



그림 1. 세종대학교 소재 이당관

표 1. 층별 면적 및 전체 면적

	가로	세로	면적
1층	52.85m	9.3m	491.505m^2
2층	52.85m	9.3m	491.505m^2
3층	52.85m	9.3m	491.505m^2
전체 면적	1474.515 m^2		

표 2. 층별 부피 및 전체 부피

	층별 면적	높이	부피
1층	491.505m^2	2.95m	1449.94m^3
2층	491.505m^2	3.05m	1499.09m^3
3층	491.505m^2	3.05m	1499.09m^3
전체 부피	4448.12 m^3		

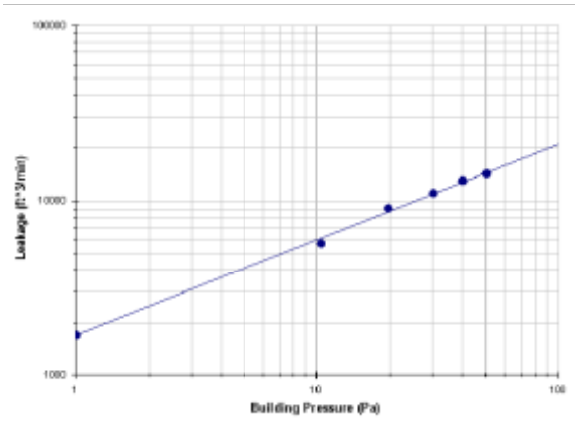


그림 2. Case-1(배선 선로를 실링하지 않은 상태)의 log-log plot

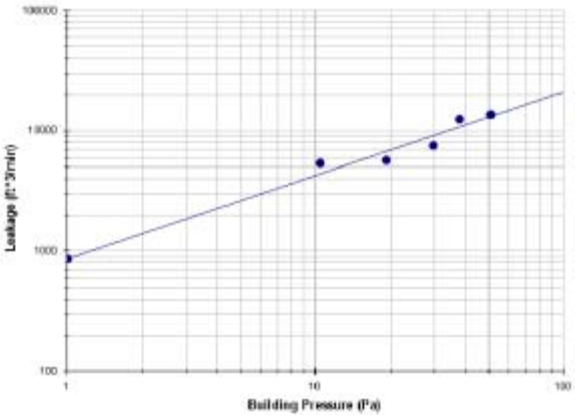


그림 3. Case-2(배선 선로를 실링한 상태)의 log-log plot

$$Q = 2982.54(\triangle P[Pa])^{0.568} \qquad \text{Case-1}$$

$$Q = 1457.38(\triangle P[Pa])^{0.704} \qquad \text{Case-2}$$

- Q[m3/s] : 풍량
- △P[Pa] : 건물 실내외 차압
- 유량계수, C : 1457.38
- 유량지수, n : 0.704

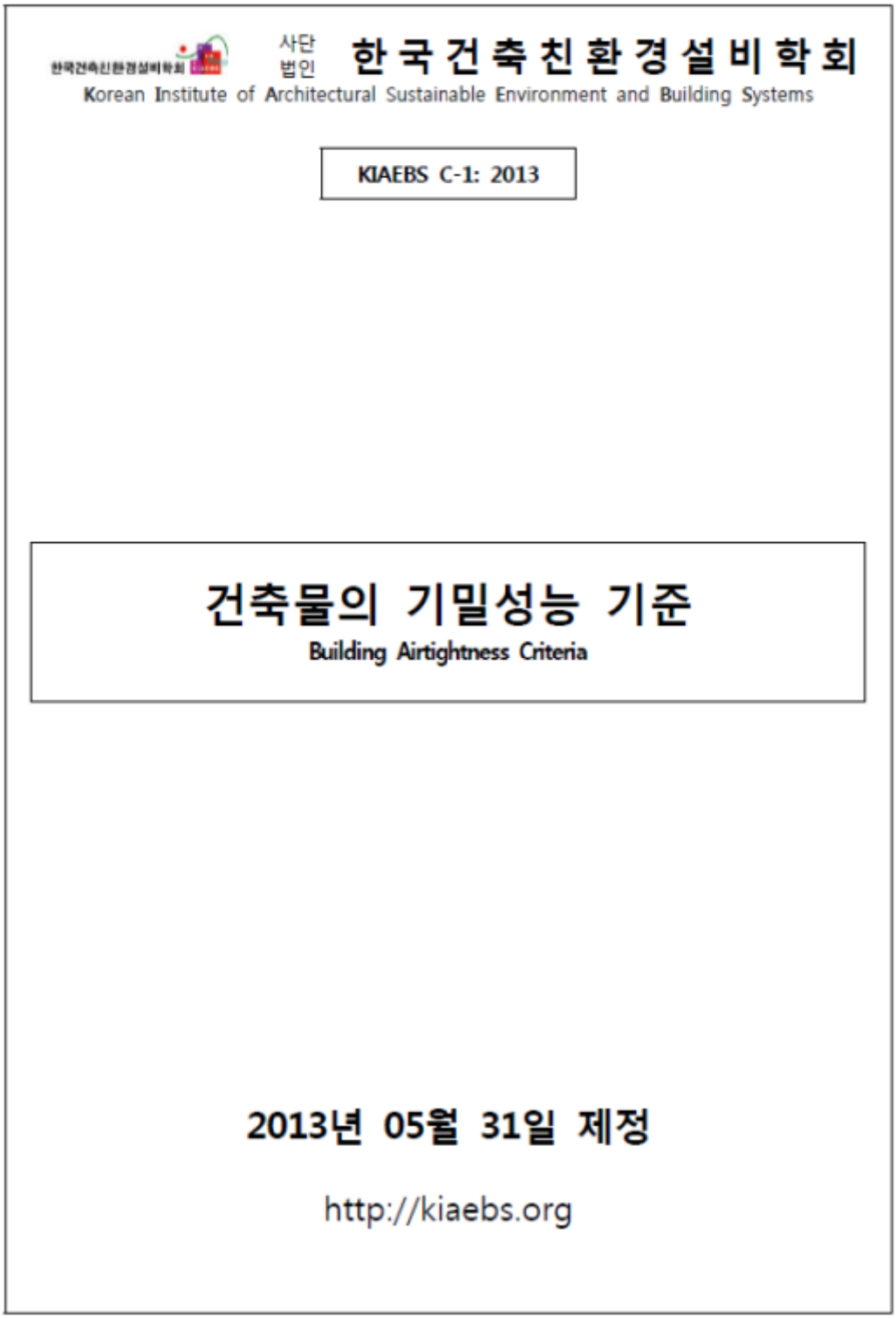
표 3. Case-1의 결과

기밀 성능 지표	ACH50	ELA	EqLA
지표에 따른 결과	5.52 hr^{-1}	1.1376 m^2	0.6659 m^2

표 4. Case-2의 결과

기밀 성능 지표	ACH50	ELA	EqLA
지표에 따른 결과	5.15 hr^{-1}	0.8247 m^2	0.4178 m^2

A9	건축물의 기밀성능 기준
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	건축물의 기밀성능 기준 마련(학회 기준화)



사단법인 한국건축친환경설비학회
Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems

KIAEBS C-1: 2013

건축물의 기밀성능 기준
Building Airtightness Criteria

2013년 05월 31일 제정

http://kiaebs.org

심의위원 명단

	성 명	소 속	직 위
(총 괄)	김 광 우	서울대학교	교 수
(간 사)	조 재 훈	인하대학교	교 수
(위 원)	조 수	한국에너지기술연구원	책임연구원
	송 승 영	이화여자대학교	교 수
	김 수 민	숭실대학교	교 수
	윤 근 영	경희대학교	교 수
	이 병 연	충북대학교	교 수
	임 재 한	이화여자대학교	교 수
	정 재 원	한양대학교	교 수
	성 민 기	세종대학교	교 수

제정자 : 한국건축친환경설비학회장
제 정 : 2013년 04월 19일
개 정 :
고 시 : 제2013-01호
심 의 : 한국건축친환경설비학회 부설, 패시브제로에너지건축연구소
원안작성협력 : 첨단도시개발사업 11첨단도시 C11 - 제로에너지 건물구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발

이 기준 또는 표준에 대한 문의는 한국건축친환경설비학회(kiaebs@kiaebs.org) 또는 패시브제로에너지건축연구소(info@koreanphi.org)로 하실 수 있습니다.

A10	공청회 및 기술패널토론 (IPAZEB 기술세미나)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	기밀성능 기준에 대한 공청회 및 기술패널토론 실시

INSTITUTEFORPASSIVEZEROENERGYBUILDING
316-208, Gwanak-ro 1, Gwanak-gu, Seoul 151-742 Korea
Tel: 02-552-1012, Fax:02-552-1012, E-mail:info@koreanphi.org

IPAZEB

패 시 브 제 로 에 너 지 건 축 연 구 소
(151-742) 서울시관악구관악로 1 서울대학교 316동 208호
Tel: 02-552-1012, Fax:02-552-1012, E-mail:info@koreanphi.org

IPAZEB 제2013-022호
수 신 업무관계자
참 조
제 목 2013년 기술세미나: 건물의 기밀성능 기준(측정방법)에 대한 패널토론

1. 귀하(귀사)의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 오는 4월 05일(금)에 한국건축친환경설비학회 부설, 패시브제로에너지건축연구소((구)한국패시브하우스연구소)에서 주관하는 기술세미나가 개최됨을 안내드립니다. 이번 기술세미나에서는 건물에너지절약을 위해 필수적인 핵심요소인 [건축물 기밀성능 기준 및 대공간/고층건물의 측정방법] 관련 국가 R&D 연구결과 발표 및 패널토론이 있을 예정이오니 많은 관심과 성원을 부탁드립니다.

3. 2013년 기술세미나 중, 연구발표 및 패널토론의 프로그램은 다음과 같습니다.

- 다음 -

1. 일시: 2013년 04월 05일 (금), 16:30 ~ 18:00
2. 장소: 현대힐스테이트갤러리(양재역 3호선)
3. 주최: 패시브제로에너지건축연구소((구)한국패시브하우스연구소)
4. 주요내용: 건물의 기밀성능 기준(측정방법)에 대한 패널토론

16:30~16:50	대공간 건물에서의 기밀성능 측정방법 1	성민기 교수(세종대학교)
16:50~17:10	대공간 건물에서의 기밀성능 측정방법 2	조재훈 교수(인하대학교)
17:10~18:00	건물 기밀성능 기준에 대한 공청회 -건물 기밀성능 기준 -초고층/대공간 측정방법 (지원: 첨단도시개발사업 11첨단도시 C11-제로에너지 건물구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발)	주제발표: 주관연구책임자 사 회: 윤근영 교수(경희대학교) 지정 토론자: 산학연 전문가 5 인 - 조 수 박사 (한국에너지기술연구원) - 이윤규 박사 (한국건설기술연구원) - 박진철 교수 (중앙대학교) - 박준석 교수 (한양대학교) - 서회수 부장 (포스코건설)

사단법인 패시브제로에너지건축연구소 김 광 우

담 당 김 수 진
실 행 IPAZEB 제2013-022호(2013.04.05) 접 수 ( )
주 소 (151-742) 서울시 관악구 관악로1 서울대학교 316동 208호
전 화 02-552-1012 팩 스 02-552-1012 이 메 일 info@koreanphi.org 홈페이지 http://www.koreanphi.org





A11	기밀성능 기준 정책제안
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	과제의 연구성과 발표 및 정책제안 세미나 실시(국토교통부 녹색건축과)

"미래 가치 창출과 창조적 지도자 육성"

인하대학교 산학협력단

수신 수신자 참조
(경유)
제목 연구과제 성과발표 및 정책제안을 위한 세미나 참석 요청

1. 귀 기관의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 본 인하대학교 산학협력단에서 주관(연구책임자: 조재훈 교수)하는 [제로에너지 건물 구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발(건설교통기술촉진사업:11첨단도시C11)] 연구과제의 성과발표 및 정책제안을 위한 세미나 참여를 요청 드립니다.

가. 일 시 : 2014년 3월 12일(수), 오후 1시
나. 장 소 : 국토교통부 녹색건축과
다. 내 용 : 상기과제 연구성과 발표 및 정책제안

인하대학교 산학협력단장

수신자 국토교통부 녹색건축과, 국토교통과학기술진흥원 도시건축사업실

전결 03/05

담당자	이채영	담당자	안용덕	부팀장	김용식	팀장	이석재
협조자							

시행 연구관리팀- 87 (2014. 03. 05) 접수

우 402-751 인천시 남구 용현3동 253 / http://www.inha.ac.kr
전화 032-860-7173 전송 032-863-1332 lcy@inha.ac.kr / 공개

건설교통기술촉진사업 (11첨단도시C11)



정책/제도(안) 제안

제로에너지 건물 구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발

Development of the airtightness criteria and air leakage measurement methods for the zero-energy buildings

2014. 04. 08

인하대학교 산학협력단(조재훈 교수)
세종대학교 산학협력단(성민기 교수)
건축사사무소탑(최정만 소장)

정책/제도(안)

▪ 건축물에너지효율등급인증제 연계방안

에너지효율등급

현행체계의 문제점 : 기밀성능을 보장할 수 없음

외기직접 면한 실 : 3.0회/h @50Pa 일괄 입력 (사용자 수정불가)

외기간접 면한 실 : 1.5회/h @50Pa 일괄 입력 (사용자 수정불가)

1. 예비인증 단계

선택1: 시방기준(기밀시공 이행 확인서) 제출 ➔ 3.0회/h @50Pa 입력

선택2: 기밀성능 측정예정 확인서 제출 ➔ 기밀성능 설정목표값 입력

2. 본인증 단계

선택1: 시방기준(기밀시공 이행 확인서) 준수 여부 검토 후 판정

(적: 3.0회/h @50Pa 입력, 부: 5.0회/h @50Pa 입력)

선택2: 기밀성능 실제측정값 입력 (측정값을 제시하지 않으면 5.0회/h @50Pa 입력)

↓

에너지효율인증등급 판정

기밀시공을 이행하게하고
측정을 통한 검증을
유도할 수 제도로 변경

건축물에너지효율등급인증 시 기밀성능 측정값 입력 → 녹색건축인증 반영

A12	국외 학술게재 논문 (JAABE)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	한국의 기밀성능 data 및 건축부위별 누기율 결과 논문

Air Leakage Characteristics and Leakage Distribution of Dwellings in High-rise Residential Buildings in Korea

Hyun Kook Shin[1] and Jae Hun Jo*[2]

[1] Doctoral Student, Division of Architecture, Inha University, Korea
[2] Assistant Professor, Division of Architecture, Inha University, Korea

Abstract

Reliable airtightness data is needed to estimate the level of air infiltration and the thermal loads for improving building energy efficiency and indoor comfort. While useful information on air leakage in low-rise dwellings exists, there is little data available on dwellings in high-rise residential buildings (particularly those with a central core plan). In this study, airtightness measurements using the fan pressurization method were conducted on approximately 350 dwellings in 4 high-rise residential buildings in Korea. The results were compared with the airtightness requirements for high performance buildings or several airtightness ratings. The measured results showed that average ACH50 (air change per hour at 50Pa) was 2.3. This is within the range of 2~5, which is the level of 'quite tight' based on the ASHRAE airtightness ratings. The results of the building component test showed that the parts of the dwelling that leaked the most were the internal walls between the residential units.

Keywords: airtightness; air leakage distributions; high-rise residential building; fan pressurization method

1. Introduction

A building envelope's airtightness is important for energy-efficient building constructions, particularly in high-rise buildings, and is a fundamental building performance measure that affects the heating and cooling loads. Infiltration is the movement of air through leaks and cracks in a building envelope. Airtightness is also important because it impacts the transport of contaminants between indoor and outdoor air. Most residential buildings located in the United States, Canada, and Europe are low-rise dwellings. Many studies have examined the airtightness level of low-rise dwellings. Sherman and Chan (2004) reviewed a range of airtightness studies and practices. This report reviews the most important publications related to building airtightness. Many studies (Orme *et al.* 1994, Hamlin 1997, Stephen 1998, Sherman 2001, Chan *et al.* 2003, Yoshino 2008) presented data on the airtightness of single-family houses. The measurement methods of the airtightness of single-family houses (or detached houses) and the airtightness standard for each nation were also suggested. Over the last 10 years, the type of housing being constructed in Korea, China and other Southeast Asian countries has been in the form of high-rise buildings and multi-family housing, where many units are adjacent to each other. In Japan, however, more than half of the residential buildings are detached houses. Hiroshi Yoshino (1986) conducted an in-depth study of the airtightness performance of these buildings and similar studies were performed in Korea. Researches on airtightness performance have been carried out in most of Asia, excluding Japan in recent years. With regards to building airtightness, Japan (H. Yoshino 2008, H. Yoshino *et al.* 2009) has considered the impact of leaky envelopes on a building's energy performance and indoor air quality. Studies on measuring the airtightness performance were conducted for early detached housing or experimental housing, as well as for current high-rise apartment housing in South Korea. Yun Jong-ho *et al.* (2008) and Kim Ju-su *et al.* (2010) examined detached housing. Park Seon-hyo *et al.* (2007) and Shin U-cheol *et al.* (2005) evaluated experimental housing. Jo Jae-hun *et al.* (2010), Kwon O-hyun *et al.* (2010), Koo Seong-han *et al.* (2004), and Kim Seung-cheol *et al.* (2011) assessed apartment housing. Most of these studies focused on presenting one or several airtightness data only. They presented neither the mean values nor established criteria for the energy performance or airtightness performance of a building. That is, most Asian countries except Japan lack airtightness standards and data. In addition, the measurement data or standards for low-rise dwellings in the United States, Canada,

*Contact Author: Jae Hun Jo, Ph.D. / Assistant Professor
2N-690Ho, Division of Architecture, Inha University
Incheon, 402-751, South Korea
Tel: +82-32-860-7582 Fax: +82-32-866-4624
E-mail: jhjo@inha.ac.kr
(Received October 9, 2012 ; accepted March 15, 2013)

and Europe are not applicable. Therefore, airtightness data of high-rise residential buildings is needed to provide airtightness standards.

This study presented the airtightness data and air leakage distributions of dwellings in 4 high-rise residential buildings in South Korea. The fan pressurization method with a blower door was used to measure the airtightness of approximately 350 dwellings, and the measurement results were compared with the standards of other countries. The airtightness of building components that form units of residential buildings, such as the envelope, internal walls between dwelling units and floors, were investigated.

2. Test Building Descriptions

The core was located at the center of all the buildings tested, and hallways and each unit were on the surrounding plane. In addition, the floor structure was a flat slab, and the walls between the units and hallways were dry walls. Therefore, compared to concrete walls, it is difficult for airtight joints to be constructed in dry walls, which degrades the airtightness. The exterior wall was a curtain wall type for buildings A and B, and a punched window type for buildings C and D. Fig.1. and Table 1. summarize the typical plans and construction outlines of the targeted buildings.

3. Airtightness Measurement Method

The test conditions presented by the ATSM standard E779-03 were followed to measure the airtightness of the unit and building components, such as the envelope, internal walls between dwelling units, floors and ventilating equipment. To measure the airtightness of a dwelling unit, a blower door was installed in the entrance door at each dwelling unit, and the pressure difference was controlled to 5–10Pa intervals for the measurements. To prevent the effect of the airtightness of the adjacent units on the tested unit, large openings (windows and doors) of units located above and below were left open so that the situation could be set based on the ambient conditions. The building components were distinguished as envelopes, internal walls between dwelling units, floors, and ventilating equipment for their air leakage distributions. To measure the airtightness of the envelope, its airtightness data was measured twice (built condition and no air leakage condition).

When the difference in the amount of air leakage was calculated before and after airtight processing, the airtightness of the envelope could be identified. The airtightness of the ventilation equipment was measured using the same methodology. To measure the internal walls between the dwelling units and floors, two blower door sets were placed on either side of the measurement target. Pressurization and de-pressurization methods were used on the measured unit and adjacent units. Air leakage did not occur from the measurement target if the pressure difference between the two dwelling units was ±1~2 Pa.

The amount of air leakage without leakage through the internal walls was measured. Finally, the airtightness data of the internal walls was obtained from the differences between the whole airtightness value of the dwelling unit and the measured value

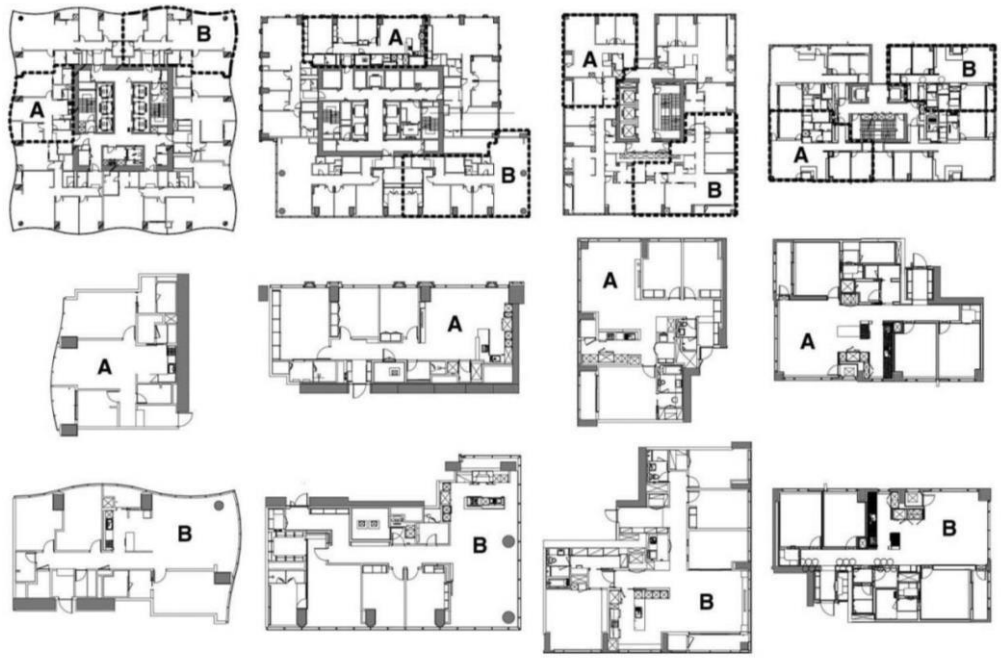


Fig.1. Typical Plans of the Test Buildings

A13	국외 학술발표대회 논문 (AIVC2012)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	한국의 기밀성능 data 및 특징을 세계적인 학회인 AIVC에 발표

AIR LEAKAGE CHARACTERISTICS OF DWELLINGS IN HIGH-RISE RESIDENTIAL BUILDINGS IN KOREA

Yun Jeong Choe[1], Hyun Kook Shin[2], and Jan Hun Jo[3*]

1 Inha University
Yonghyun-Dong, Nam-Gu
Incheon, Korea

2 Inha University
Yonghyun-Dong, Nam-Gu
Incheon, Korea

3 Inha University
Yonghyun-Dong, Nam-Gu
Incheon, Korea
**Corresponding author: jhjo@inha.ac.kr*

Note : the contact addresses may be re-arranged

ABSTRACT

Reliable airtightness data is needed to calculate the estimate of air infiltration and the thermal loads for building energy efficiency and indoor comfort. While useful information on air leakage in low-rise dwellings does exist, there is little data available on dwellings in increasing high-rise residential buildings (particularly ones with central core plan). In this paper, we conducted airtightness measurement using fan pressurization method for about 350 dwellings in 4 high-rise residential buildings in Korea. The results were compared to airtightness requirements for high performance buildings or several airtightness ratings. The measured results show that average ACH50 was 2.3, and the ACH50 value was within the range of 2~5 which are level of 'quite tight' on the basis of ASHRAE airtightness ratings. The results of the building component test show that the most leak parts of dwelling are the internal walls between residential units.

KEYWORDS

Airtightness, Air leakage distributions, High-rise residential building, Fan pressurization method

INTRODUCTION

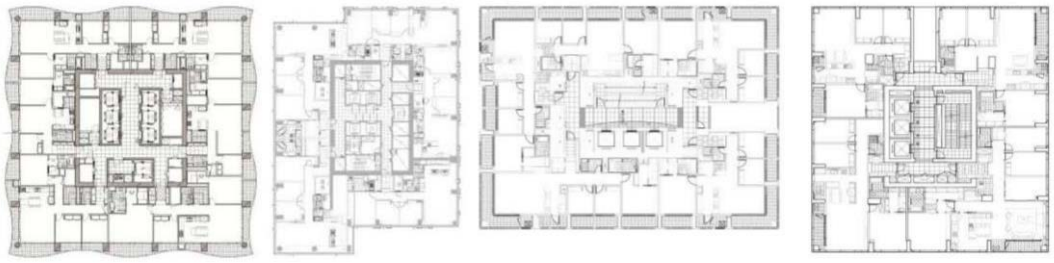
Most residential buildings located in the United States, Canada, and Europe are low-rise dwellings. Many studies have been conducted on the airtightness level of low-rise dwellings. Sherman and Chan(2004) reviewed various airtightness research and practices. This report reviews the most important publications relating to the building airtightness. Many studies in this report mainly presented the data on airtightness of single-family house. Measurement methods of the airtightness of single-family house and the airtightness standard for each nation were also suggested. On the other hand, most residential dwellings in Asia are constructed as a multi-family house and high-rise buildings where many units are adjacent to each other. Most Asian countries including South Korea lack airtightness standards and data.

In addition, the measurement data or standards for low-rise dwellings of the United States, Canada, and Europe are not applicable. Therefore, airtightness data of high-rise residential buildings should be investigated to provide an airtightness standard.

This study presented the airtightness data and air leakage distributions of dwellings in 4 high-rise residential buildings in South Korea. Fan pressurization method with blower door was used to measure the airtightness value of about 350 dwellings, and the measurement results were compared with the standards of each nation. The airtightness of building components that form units of residential buildings—such as envelope, internal walls between dwellings units, and floor—were investigated.

TEST BUILDING DESCRIPTIONS

The core was located at the center of all the tested buildings, and hallways and each unite were on the surrounding plane. In addition, the floor structure was a flat slab, and walls between units and hallways were dry walls. Thus, compared to concrete walls, it is difficult for joints to be airtightly constructed in dry walls, which degrades airtightness. The exterior wall was a curtain wall type for buildings A and B and a punched window type for buildings C and D. The construction outline of the targeted building are summarizes in Table 1.



Building A Building B Building C Building D

Figure 1. Building Plan

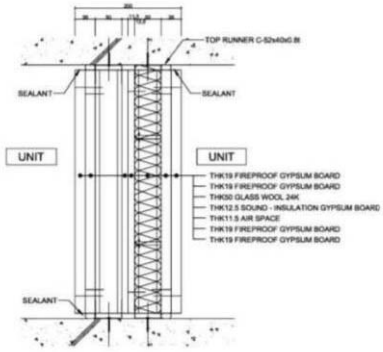


Figure 2. Structure of Dry Wall

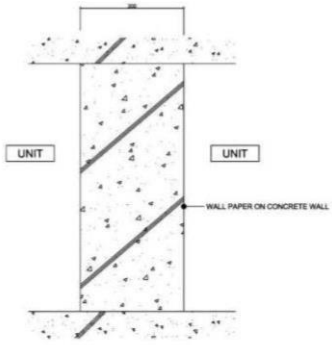


Figure 3. Structure of Conctre Wall

A14	국내 학술발표대회 논문 (대한건축학회)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	단위세대 기밀 성능측정 및 에너지 관련 기준 평가

2012 춘계 학술

단위세대 기밀성능 측정 및 에너지 관련 기준 평가

Measurement of the Dwelling Unit Airtightness and Evaluation of Energy Standards

○신 현 국* 조 현** 김 관 우*** 조 재 훈****
Shin, Hyun-Kook Cho, Hyun Kim, Kwan-Woo Jo, Jae-Hun

Abstract

Apartment houses is constantly increasing as residential buildings in Korea. The buildings going to higher, infiltration and energy consumption increase, too. To solve this problem, We have interest in airtightness for the residential buildings. However, studies on the type of apartment houses lacks for airtightness. This study measured the airtightness of units in residential building, and the results were compared with those of two residential buildings and several detached houses studied previously. Also, by examining the overseas airtightness standards comparatively, this study provides the foundational data to suggest the standards of airtightness in Korea.

키워드 : 기밀도, 가압/감압법, 에너지 기준, 주거건물

Keywords : Airtightness, Pressurization/Depressurization Method, Energy Standard, Residential Building

1. 서 론

국내 주거건물의 형태는 아파트와 같은 공동주택의 형태가 지속적으로 증가하고 있다. 또한 건물의 고층화에 따라 침기량과 누기량이 증가되고 냉난방 에너지 소비가 증가되면서 기밀성능의 중요성이 커지고 있다. 국외에서는 건물 에너지 절약을 위하여 각 나라의 실정에 맞는 기밀성능 기준을 설정하고 있다. 하지만 국내에서는 다수로 건설되고 있는 고층 공동주택에 대해 건물 에너지와 관련된 기밀성능 기준을 제시하지 못하고 있다. 뿐만 아니라 연구가 부족하여 국내 주거건물에 대한 기밀성능 파악 및 데이터 구축이 필요한 실정이다. 본 연구에서는 기존에 연구된 국내 연구 결과 및 국외 에너지 관련 기준과 비교를 위하여 고층 공동주택을 대상으로 단위세대의 기밀성능을 측정하였다.

2. 기밀성능에 관한 고찰

2.1 국내 연구

기밀성능에 관한 국내의 측정연구는 초기에 단독주택이나 실험용주택을 대상으로 수행되었으며 최근에는 고층 공동주택을 대상으로 연구가 진행되고 있다. 단독주택을 대상으로 윤종호 외(2008), 김주수 외(2010), 실험용주택을 대상으로 박선효 외(2007), 신우철 외(2005), 공동주택을 대상으로 조재훈 외(2010), 권오현 외(2010), 구성한 외(2004), 김승철 외(2011) 등에 의해 연구되었다. 그러나 단순히 기밀측정 데이터 제시에만 한정되어 있고 건물 에너지 성능이나 기밀성능 기준에 대한 논의는 부족한 실정이다. 국내의 주요 측정결과를 요약하여 다음 표 1에 정리하였다.

표 1. 국내 주거건물의 기밀성능 주요 측정 결과

대상	세대수	측정결과	비고
단독주택	1	12.91 (ACH50)	권오현 외(2010)
	22	4.7~31.6, 평균 16.4 (ACH50)	윤종호 외(2008)
	2	1.28, 5.18 (ACH50)	김주수 외(2010)
실험용 주택	1	4.3, 5.8 (ACH50)	신우철 외(2005)
	1	0.67 (ACH50)	박선효 외(2007)
공동주택	1	1.95 (ACH50)	김승철 외(2011)
	3	3.79, 9.03, 1.85 (ACH50)	권오현 외(2010)
	29	2.05~4.05, 2.81 (바닥면적당 상당누기면적, ㎠/㎡)	박원석 외(2003)
	27	1.23~1.68, 1.50 (바닥면적당 상당누기면적, ㎠/㎡)	
	1	1.37 (ACH50)	박선효 외(2007)
	6	4.2~5.7, 평균 4.8 (ACH50)	구성한 외(2004)
	3	4.15~5.10, 평균 4.57 (ACH50)	문현준 외(2009)
	132	A건물:1.5~3.8, 평균 2.4 (ACH50)	조재훈 (2010)
	107	B건물:2.0~3.8, 평균 3.1 (ACH50)	

2.2 국외의 주거건물의 기밀성능 기준

국외에서는 건물 에너지 절약 및 실내 공기환경 유지를 위하여 기밀성능의 기준을 제시하고 있다. 또한 기밀성능을 측정하기 위하여 각 국가별 실정에 맞는 측정 방법을 제시하고 있다. 다음 표 2는 국외에서 주거건물의 에너지 절약 기준과 관련하여 규정되어 있는 기밀성능 기준을 나타내었다.

표 2. 국외 주거건물의 기밀성능 기준

국가	에너지 관련 기준	기밀도 기준	측정 방법
독일	Passive Hosuse	ACH50≤0.6	DIN EN 13829
	2001 German building code (EnEV)	ACH50≤3.0 (일반건물) ACH50≤1.5 (기계환기장치)	DIN EN 13829
캐나다	R-2000 Standard	ACH50≤1.5 또는 EqLA@10(㎠/㎡)≤0.7	CAN/CGSB-149.10-M86
영국	Building regulation Part L	Air permeability@50 (㎥/h·㎡)≤10	ATTMA-TS1, BS EN 13829
미국	LEED	EfLA@4(㎠/㎡)≤0.868	ASTM E779-03

* 인하대학교 대학원 건축공학과 박사과정
** 포스코건설 R&D CENTER 건축연구그룹, 공학박사
*** 포스코건설 R&D CENTER 건축연구그룹, 공학석사
**** 인하대학교 건축학부 조교수, 공학박사
(교신저자 : jhjo@inha.ac.kr)

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2011년도 첨단도시개발사업(11CHUD-C059710-01-000000)에 의해 수행되었습니다.

3. 단위세대 기밀성능 측정

3.1 측정 개요

기밀성능 측정은 인천광역시에 위치한 고층 공동주택 건물을 대상으로 2011년 5월~2012년 1월까지 실시하였다. 총 148세대를 대상으로 Blower door를 이용한 가압/감압법으로 측정하였다.

표 3. 측정 대상 건물 개요

구 분	내 용
위치	인천광역시
층수	지하 2층, 지상12~28층
세대수	1014세대 (측정세대수 : 148세대)
구조	Flat slab 구조, 외부 : Punched window, 내부 : 건식벽체
용도	공동주택

3.2 기밀성능 측정방법

본 연구에서는 단위세대의 기밀성을 측정하기 위하여 ATSM E779-03 기준에서 제시하는 측정 조건에 준하여 진행되었으며 세대 현관문에 Blower door를 설치 5~10Pa 간격으로 압력차를 조절하여 측정하였다.

4. 기밀성능 기준 비교 및 평가

4.1 단위세대 기밀성능 분석

대상 건물의 148세대에서 측정한 기밀성능 결과를 ACH50 값으로 나타내어 기존의 연구 결과와 비교하였다.

대상 건물의 ACH50의 범위는 약 1.4~3.7회로 평균 2.3회로 나타났다. 기존에 연구된 표 1의 국내 주거건물 측정 결과와 비교해볼 때, 높은 수준의 기밀성능으로 나타났다. 이는 기밀시공 관리, 시공능력 향상, 기밀화자재의 개발 등으로 국내 공동주택의 기밀성능이 향상된 것으로 판단된다.

본 측정 대상건물과 가장 유사하고 비슷한 시기에 건설된 건물인 조재훈(2010)의 연구 결과와 비교해보면 ACH50의 범위와 평균값이 거의 동일한 결과를 나타내었다(그림 1 A건물). 즉 건물의 구조, 외피와 내부 벽체의 종류가 기밀성능 특정에 영향을 미치는 것을 알 수 있다.

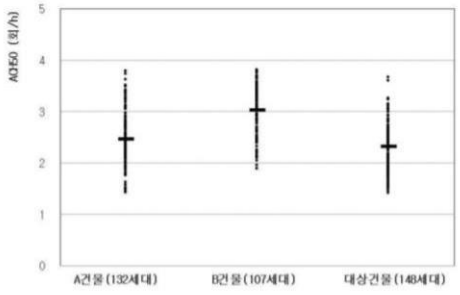


그림1. 측정결과와 기존연구결과 비교 (ACH50)

4.2 국외 기밀성능과 비교 및 평가

국내의 주거건물에서는 '건축물의 설비기준 등에 관한 규칙'에 따라 시간당 0.7회 이상의 환기를 확보하도록 규정하고 있을 뿐 기밀성능을 평가할 수 있는 기준은 아직 마련되어 있지 못하다. 따라서 측정결과를 국외의 기밀성능 기준과 비교 및 평가하였다.

대상건물을 ASHRAE의 주거건물의 환기횟수 기준에 따라 평가하면 '기밀' 에서 '다소 기밀'한 수준으로 국내 주거건물의 기밀성능이 국외 수준으로 향상된 것으로 평가된다. 하지만 국외의 에너지 절약적인 건물 기준으로 명시되어 있는 기밀성능과 비교하여 볼 때, Passive House나 R-2000 기준에는 부족한 수준으로 평가된다. 대상건물은 전열교환기가 설치되어 있는 건물로 EnEV 기준의 환기시스템이 적용되지 않은 일반 건물 기준에는 만족하지만 환기시스템이 적용된 기준에는 미치지 못한다. 다만 측정 건물을 단독주택을 대상으로 제시된 국외의 기밀성능으로 평가한 것으로써 직접적인 비교에는 한계가 있다. 따라서 국내 실정에 맞는 적절한 기밀성능 기준이 요구되며 기밀화를 위한 기밀 시공 방안이 마련되어야 한다.

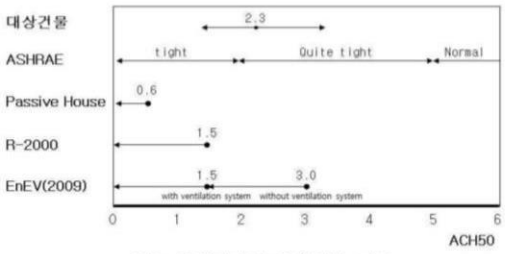


그림2. 측정결과와 국외기준 비교

5. 결 론

본 연구에서는 국내 주거건물에서의 단위세대 기밀성능을 파악하기 위하여 고층 주거건물을 대상으로 기밀성능을 측정하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

(1) 대상 건물의 ACH50의 평균은 2.3회로 ASHRAE 기준에 따라 '다소 기밀'한 수준이다. 국내 공동주택의 기밀성능이 크게 향상되었으나 국외 에너지 관련 기준의 기밀성능 기준에는 미치지 못하는 수준이다.

(2) 국내에서 시행중인 환기성능 기준은 에너지절약을 위한 주거건물에 적합하지 않은 것으로 판단되며 국내 실정에 맞는 기밀성능 기준 수립 및 측정방법에 대한 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 조재훈, 초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 측정 및 평가, 대한건축학회 논문집 계획계 제26권 제10호, 2010.
2. ASTM, ASTM E779-03 "Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization" American Society for Testing and Materials, U.S.A., 2004.

A15	국내 학술발표 논문 (한국건축친환경설비학회)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	기밀성능이 냉난방 부하에 미치는 영향 평가방안의 이용율 데이터 연구

ISO 13790의 Monthly method 에너지 요구량 계산에서 열 획득 이용률 산정방법에 관한 연구

A Study on the Gain Utilization Factor of Energy Demand in Monthly method of ISO 13790

○ 곽 희 정* 신 현 국** 조 재 훈*** 서 승 직***

Kwak, Hee-Jeong Shin, Hyun-Gook Jo, Jae-Hun Suh, Seung-Jik

Abstract

In order to reduce whole energy consumed in the building, the ratio that heating and air conditioning take in charge of within the building should be decreased considering heat loss and gain of the building. That is, heating and air conditioning system should provide the required spare energy only by calculating the energy demand of the building. The process of calculating heating and air conditioning energy demand is specified in EN ISO 13790(2008) and the calculation method is divided into quasi-steady-state calculation method and dynamic calculation method. Regarding quasi-steady-state calculation method, its calculation process is simpler comparing with dynamic calculation method, but its accuracy is not good. So the alternative that have the dynamic effect even in the condition of steady state is needed in order to raise the accuracy and the concept of gain and loss utilization factor are established for that reason. Gain and loss utilization factor are the experiential value and they gets different along the variables of $\alpha_{H,o}$ and $\tau_{H,0}$ and those variables are decided by each country, however, they are current status that the values regulated in EN ISO 13790(2008) are used in domestic country not the values that are adequate for domestic environmental conditions. So this paper is willing to calculation method of the variables $\alpha_{H,o}$ and $\tau_{H,0}$ to decide gain utilization factor that is adequate for domestic conditions through foreign and domestic standards.

키워드 : ISO 13790, 열 획득 이용률, 난방 에너지 요구량

Keywords : ISO 13790, Gain utilization factor, Energy demand for heating

1. 서론

1.1 연구의 배경 및 목적

국내의 주요 에너지 소비 분야는 건축 분야이며, 에너지 소비의 약 20 %를 차지하고 있다. 건물은 주로 냉·난방을 목적으로 에너지를 소비하고 있으며, 건물에서 소비되는 전체 에너지를 줄이기 위해서는 건물의 손실 열과 획득 열을 고려하여 건물에서 냉·난방 시스템이 담당하는 비율을 감소시켜야한다. 즉, 건물의 냉·난방 에너지 요구량을 계산하여 여분의 필요한 에너지만을 냉·난방 시스템이 공급하도록 하는 것이다.

냉·난방 에너지 요구량[2]을 계산하는 과정은 EN ISO 13790(2008)에 명시되어 있으며, 계산 방법을 준 정상상태 방법과 동적방법으로 구분하였다. 준 정상상태 방법은 월간 계산방법과 기간 계산방법으로 나뉘고, 동적 방법은 단순 시간방법과 시뮬레이션 방법으로 나뉜다. 준 정상상태 방법은 동적 방법에 비해 계산 과정이 간편하지만, 정확성이 좋지 않다. 따라서 정확성을 높이기 위해 준 정상상태 방법에서도 동적인 효과를 낼 수 있는 대안이 필요했으며, 이러한 이유로 열 획득·손실 이용률의 개념이 형

* 인하대 대학원 석사과정
** 인하대 대학원 박사과정
*** 인하대 건축학부 교수
" 이 논문은 2012년 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 첨단도시개발사업의 지원을 받아 수행된 연구임 (12CHUD-C059710-02-000000)

2) 에너지 요구량은 특정조건 (내·외부 온도, 재실자, 조명기구 등) 하에서 실내를 쾌적하게 유지하기 건물이 요구하는 에너지

성되었다. 열 획득·손실 이용률은 경험적 수치이며, $\alpha_{H,o}$와 $\tau_{H,0}$의 변수에 따라 달라지고, 이 변수들은 각 국가에서 결정하게 되는데, 현재 국내에서는 국내의 환경 조건에 맞는 값을 사용하는 것이 아닌, EN ISO 13790(2008)에서 정한 값을 사용 하고 있는 실정이다. 따라서 본 논문은 국외의 기준 Technical Manual for SBEM (2010), ISO FDIS 13790 및 논문 (B. Wauman eat al. , H.A.L. van Dij eat al. 1987, Juha Jokisalo eat al. 2007)을 통해 국내 실정에 맞는 열 획득 이용률을 결정하기 위한 변수 $\alpha_{H,o}$와 $\tau_{H,0}$의 산정 방법을 고찰하고자 한다.

1.2 EN ISO 13790(2008)의 역사

EN ISO 13790(2008)은 1990년대 초기 EN 832라는 기준에서 시작되었는데, 이 기준은 간단한 방법인 월간방법이나 기간 방법에서의 열 획득 이용률을 정한 기준이며, 그 값은 $\alpha_{H,0}=1, \tau_{H,0}=16$ 으로 거주 지역의 난방 에너지 요구량만을 계산할 수 있었다. EN 832에 근거를 두고 있지만, 비 거주 지역까지 포함한 prEN ISO 13790기준이 2002년에 성립되었으며, 이 기준은 CEN기준에서 CEN과 ISO가 통합된 모습으로 EN ISO 13790(2004) 기준의 배경이 되었다. 2008년의 EN ISO 13790은 기존에 포함되지 않았던 냉방 에너지 요구량에 대한 내용도 포함되었으며, 이를 계산하는 방법 또한 다양하게 되었고, 이 기준에서의 변수 값은 $\alpha_{H,0}=1, \tau_{H,0}=15$이다. 아래의 그림은 EPBD에서 EN ISO 13790 기준이 사용되는 위치를 나타내는 것으로 계산 과정에서 상위 부분에 위치해있으며, 시스템 성능에 관한 기준 EN 15316과 EN 15243의 상호 작용을 통해 건물의 에너지 성능을 계산한다.

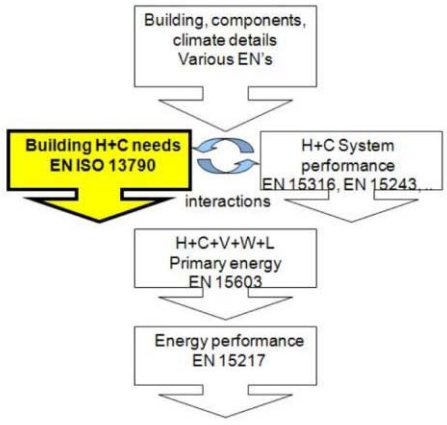


그림1. EPBD에서의 EN ISO 13790의 위치[3)]

2. 이론해석

2.1 열 획득 이용률 ($\eta_{H,gn}$)

열 획득 이용률은 건물의 난방 에너지 요구량 계산 시 이용할 수 없는 획득 열에 의해서 추가로 발생한 관류 및 환기 열손실과 실내 온도를 설정 온도 이상으로 증가시키는 과열이 방정식에서 생략됨으로써, 에너지 요구량의 정확성을 감소시키는 것을 방지하기 위해 사용된다.

다음은 지속 난방 에너지 요구량 식과 계산에 필요한 계수들을 구하는 식이다.

$$Q_{H,nd}=Q_{H,nd,cont}=Q_{H,ht}-\eta_{H,ht}Q_{H,gn} \quad (1)$$

$$\text{if } \gamma_H > 0 \text{ and } \gamma_H \neq 1 : \eta_{H,gn}=\frac{1-\gamma_H^{a_H}}{1-\gamma_H^{a_H+1}} \quad (2)$$

$$\text{if } \gamma_H = 1 : \eta_{H,gn}=\frac{a_H}{a_H+1} \quad (3)$$

$$\text{if } \gamma_H < 0 : \eta_{H,gn}=\frac{1}{\gamma_H} \quad (4)$$

with

$$\gamma_H=\frac{Q_{H,gn}}{Q_{H,ht}} \quad (5)$$

$$a_H=a_{H,0}+\frac{\tau}{\tau_{H,0}} \quad (6)$$

$$\tau=\frac{C_m/3600}{H_{tr,adj}+H_{ve,adj}} \quad (7)$$

위 식 (2)~(7)은 열 획득 이용률이 건물의 열 균형비와 시간상수의 함수임을 알려준다.

2.2 열 획득 이용률($\eta_{H,gn}$)과 난방 에너지 요구량의 관계

B. Wauman, R. Klein, H. Breesch, S. Van, Loon R. Baetens and D. Saelens의 논문에 따르면, $\alpha_0=0.8$, $\tau_0=70$인 경우, $\eta=0.46$으로 계산되며, 열 손실과 열 획득의 비 $\gamma=0.95$ 값을 적용하여 연간 난방 요구량을 계산하면, $Q_h=24.20$ [kWh/m²] 값을 도출할 수 있으며, $\alpha_0=1, \tau_0=15$ 인 경우, $\eta=0.55$, $\gamma=1.26$의 값으로 $Q_h=12.69$ [kWh/m²] 값을 도출할 수 있다. 이를 통해 난방 에너지 요구량 값은 열 획득 이용률에 따라 달라지고, 열 획득 이용률은 α_0와 τ_0 따라 달라지는 것을 알 수 있으며, 정확한 난방 에너지 요구량의 값을 도출하기 위해서는 적절한 $\alpha_{H,0}$와 $\tau_{H,0}$에 따라 열 획득 이용률의 값을 결정하는 것이 중요하다.

3. 열 획득 이용률 산정

3.1 각 국가의 열 획득 이용률

3.1.1 영국

영국에서는 2010년에 열 획득 이용률에 대한 메뉴얼을

3) Dick van Dijk (2008) EN ISO 13790, Energy performance of Buildings - Energy use for space heating and cooling

B1	주거용건물 기밀성능 측정방법 조사보고서
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	주거용건물(단독주택, 공동주택) 기밀성능 측정방법 조사 수행

기밀성능 측정 방법 조사

1. 기밀성능에 관한 이론적 고찰

1.1 기밀성능 표현방법

건물에서의 기밀성능은 측정 데이터를 기준으로 그 용도에 따라 다양하게 표현하며, 일반적으로 개구부를 통하여 빠져나가는 공기의 누기량을 표시하거나, 환기율 또는 실제 누기가 발생하는 면적의 개념을 사용하여 표현하고 있다. 똑같은 기밀성능이지만 바라보는 관점에 따라 개념에 차이가 있으며 사용목적에 따라 적합한 표현방법을 이용하면 된다. 국내외 기준이나 문헌에서 주로 사용되고 있는 기밀성능 표현 방법에는 CFM50, ACH50, ELA 등이 있으며 그 개념과 표현방법을 살펴보면 다음과 같다.

(1) CFM50/CMH50(Cubic feet per minute at 50Pa, ft3/m /Cubic meter per hour at 50Pa, m3/h)

CFM50이란 실내·외 압력차를 50Pa로 유지하기 위하여 실내에 불어 넣어야 할 기류량을 의미한다. 50Pa의 압력은 대략적으로 20mph(Mile per hour, 약 9m/s)의 바람이 건물의 사방에서 불어올 때 생기는 압력이다. CFM50은 건물에서 새어나가는 바람의 양을 쉽게 파악할 수 있게 하기 때문에 건물의 기밀성능을 나타내는데 가장 흔히 쓰이는 척도이다. 미터 단위(Metric units)를 사용하는 국가에서는 CFM50 대신 CMH50을 사용하기도 한다.

(2) 건물의 크기로 표준화 한 기밀성능

① ACH50(Air change rate per hour at 50P, 회/h)

서로 다른 크기의 건물에서 측정된 기밀성능을 비교하기 위하여서는 50Pa에서의 환기율(Air change rate per hour)을 비교하면 된다. 50Pa에서의 환기율(ACH50)을 구하기 위하여서는 CFM50을 60(분)으로 곱한 후 건물의 체적으로 나누면 된다. ACH50은 건물의 외피에 50Pa의 압력이 작용하고 있을 때 실내 공기가 몇 번 환기 되는지를 나타낸다.

② 단위바닥면적당 침기(누기)량(at 50Pa)

단위면적당 침기(누기)량은 CFM50을 측정건물의 바닥면적으로 나누어서 구할 수 있다. 건물의 바닥면적을 통하여 서있는 공간을 기준으로 단위면적당 침기(누기)량을 표현한 것이다.

③ 단위외피면적당 누기량(at 50Pa)

MLR(Minneapolis leakage ratio)로도 알려져 있는 이 값은 CFM50을 누기가 있을 수 있는 건물의 외피면적(Above grade surface area)으로 나누어서 구할 수 있다. MLR은 특히 목재 건물의 기밀성능 파악에 유용하게 쓰이며, MLR 1.0 이상의 목재 건물은 기밀하지 못하고, MLR 0.5～1.0의 목재 건물은 비교적 기밀하다고 판단할 수 있다. MLR에서 Above grade surface area를 구할 때는 누기가 있을 수 있는 모든 벽, 바닥, 천정이 포함되어야 한다.

(3) 누기면적

건물의 누기량을 측정할 때, 누기가 일어나는 각각의 틈새들의 면적을 합친 값을 파악하는 것도 유용하다. 누기면적은 건물에 있는 틈새들의 크기를 쉽게 파악할 수 있게 해주며, 자연 상태에서 건물의 침기 양상을 알 수 있게 해 주는 침기 모델을 이용하는 데에도 필요하다. 누기면적은 (식 2.1)1)을 이용하여 계산할 수 있으며, 누기면적을 구하기 위하여서는 블로어 도어를 이용하여 특정 압력 값에서의 누기량을 측정하여야 한다. 누기면적을 나타내는 척도로써 상당누기면적과 유효누기면적이 가장 많이 쓰이며 그 개념은 다음과 같다.

$$A_L = 10{,}000\, Q_r \frac{\sqrt{\frac{\rho}{2\Delta P_r}}}{C_D} \qquad \text{(식 2.1)}$$

여기서,

A_L : 상당누기면적(유효누기면적), cm^2

Q_r : ΔP_r에서의 기류량, m^3/s

ρ : 공기의 밀도, kg/m^3

ΔP_r : 실내외 압력차, Pa

C_D : 유량계수, 무차원

① 상당누기면적(Equivalent leakage area at 10Pa, EqLA, cm2)

EqLA는 Canadian national research council에서 정립한 누기면적 척도이며, 10 Pa에서 발생하는 누기량과 같은 양의 공기가 새는, 얇은 판위의 오리피스(Sharp edge orifice)의 크기로 나타낸다.

② 유효누기면적(Effective leakage area at 4Pa, ELA, cm2)

ELA는 LBL(Lawrence berkeley laboratory)에서 정립한 개념으로 LBL 침기 모델에 쓰인다. ELA는 건물 내부에 4Pa의 압력이 발생할 경우의 누기량과 같은 공기가 새어나가는 구멍의 크기를 블로어 도어 팬의 유입부분과 유사한 노즐면적으로 환산한 값이다.

B2	업무용건물 기밀성능 측정방법 비교분석 조사보고서
수행 기관	세종대학교 산학협력단
주요 내용	업무용건물 기밀성능 측정방법 조사 수행

업무용건물 기밀성능 측정방법 조사

1. 서론

국외에서는 오래 전부터 건물에서의 기밀화를 통한 에너지절약의 중요성을 인식하고 기밀도 기준 및 기밀화 시공에 대한 지속적인 연구가 이루어지고 관련 산업의 많은 발전을 이루고 있다.1960년대부터 미국-캐나다를 중심으로 이론적 해석 및 실측을 중심으로 많은 연구가 진행되었으며, 일본에서는 1980년에 일본건축학회를 중심으로 분과를 형성하여 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 건물 환경・설비 분야 엔지니어링과 건물 에너지 해석을 위한 기초적인 자료로 인식하여 장기간의 지원과 제도적인 뒷받침으로 연구(미국: NIST 및 ABAA-Air Barrier Association of America, 캐나다: CMHC, 유럽: AIVC, 일본: 일본건축학회 - 외피 및 기밀도 분과)가 되고 계속 진행되고 있으며, 관련 산업체의 활성화를 통해 다양한 기밀자재 및 공법이 개발되어 있다.

국제적으로 통용되는 표준화된 기밀도 측정방법들은 사용장비, 측정시간, 측정비용 등에서 서로 차이를 보이고 있지만, 건물전체 또는 부위별 기밀성능을 비교적 신속하게 정량적으로 평가할 수 있는 공통점을 가지고 있는 특징을 보인다. 현재 가장 많이 활용되고 있는 국외 기밀도 측정기준으로 ASTM Standard E779 [1], CGSB Standard 149.10 [2] 등이 있다. 그러나 이들은 주로 소규모 건물 및 공간을 측정대상으로 한다. 한편, 건물의 기밀측정에 있어 Blower Door test, Trace Gas를 통한 기밀측정뿐만 아니라, 건물 자체의 공기조화기(Air handling unit)를 이용한 가압 (pressurization)테스트로 기밀도를 측정하는 방안이 대형 및 고층건물의 기밀도 측정 프로세스로 정립되어 있는데 CGSB Standard 149.15 [3] 가 그것이다. 기존 연구문헌에 의하면 Bahnfleth etal. [4] 에 의해 여러 차례 실측된 사례가 있다. 이 방법은 대형건물 또는 고층건물에 대한 기밀도 측정의 경우 공조기를 이코노마이저 모드로 운전하면서 공조기 급기팬의 풍량을 조절하여 실내의 가압정도를 변화시켜 외피의 기밀도 특성을 알아내는 방법으로 90년대 초반부터 고층건물에 대한 기밀도 측정방법의 하나로 활용되고 있다 [5].

이와 같이, 현재 국외에서는 이미 건물에서의 에너지 절약을 위한 방안으로 건물 기밀도에 대한 다양한 기준을 설립하고 관련 연구들이 진행되고 있다. 시행하고 있다. 이중 건물자체의 공조기를 이용하여 가압 테스트로 건물의 기밀도를 측정하는 방법으로

CAN/CGSB 149.15-96 가 가장 상세히 나타내고 있다. 하지만, ASTM E779 의 경우에도 공조기를 이용하여 고층건물에서의 침기량 테스트에 관하여 꾸준히 논의가 진행되고 있는데, 이는 층간 침기량까지 측정이 되는 블로어 도어 테스트에 비해, 실제 건물 외피에서의 침기량을 측정할 수 있는 방법이기 때문이다.

이에, 본 연구에서는 CAN/CGSB 149.15-96을 기준으로 국외 기준을 비교하였으며, 현재까지 발표된 연구 실험 논문을 비교 분석하였다. 이들을 바탕으로 우리나라에서 적용 가능한 건물 공조기를 이용한 고층건물에서의 기밀도 측정에 관한 기준을 마련하였다.

2. 국내외 기밀성능 시험 기준 현황

2.1 국외기준

- CIBSE TM23:2000 – Air Leakage Pressure Testing [6]
- ASTM E779-10: Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by fan Pressurization
- CAN/CGSB 149.15-96 – Determination of the Overall Envelope Airtightness of Buildings by the Fan Pressurization Method Using the Building's Air Handing Systems
- EN 13829: Determination of Air permeability of Buildings – fan Pressurization Method (비고: ISO 9972:2006을 기준으로 작성) [7]
- ISO 9972:2006 – Thermal performance of buildings – Determination of air permeability of buildings – Fan Pressurization Method [8]
- (비고: EN 13829를 기준으로 작성)

2.2 국내기준

- 아직까지 작성된 국내기준은 없음

B3	고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-Blower + AHU
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	블로어 팬과 AHU을 이용하여 고층건물(12층)의 기밀성능을 측정

Building Details

Building:
: Daelim **Co.**

Test technician: **Jae Hun Jo**
Test company: **Inha University**

Elevation: **0 m**
Height above ground: **0 m**
Building Volume, V: **63,488 m³**
Total envelope area, $A_{T\,BAT}$ **7,089 m²**
Floor Area, A_F **0 m²**
Building exposure to wind:
Accuracy of measurements: **0%**

Testing Details

Fan Model: **Retrotec 3000SR**	Fan SN:	Gauge Model: **DM-2**	Gauge SN: **202848**

Pressurize set

Date: **2012-11-18** Time: **11:39** to

Environmental Conditions:
Barometric Pressure:**101.3**KPa from **Stand. temp. and pressure**.

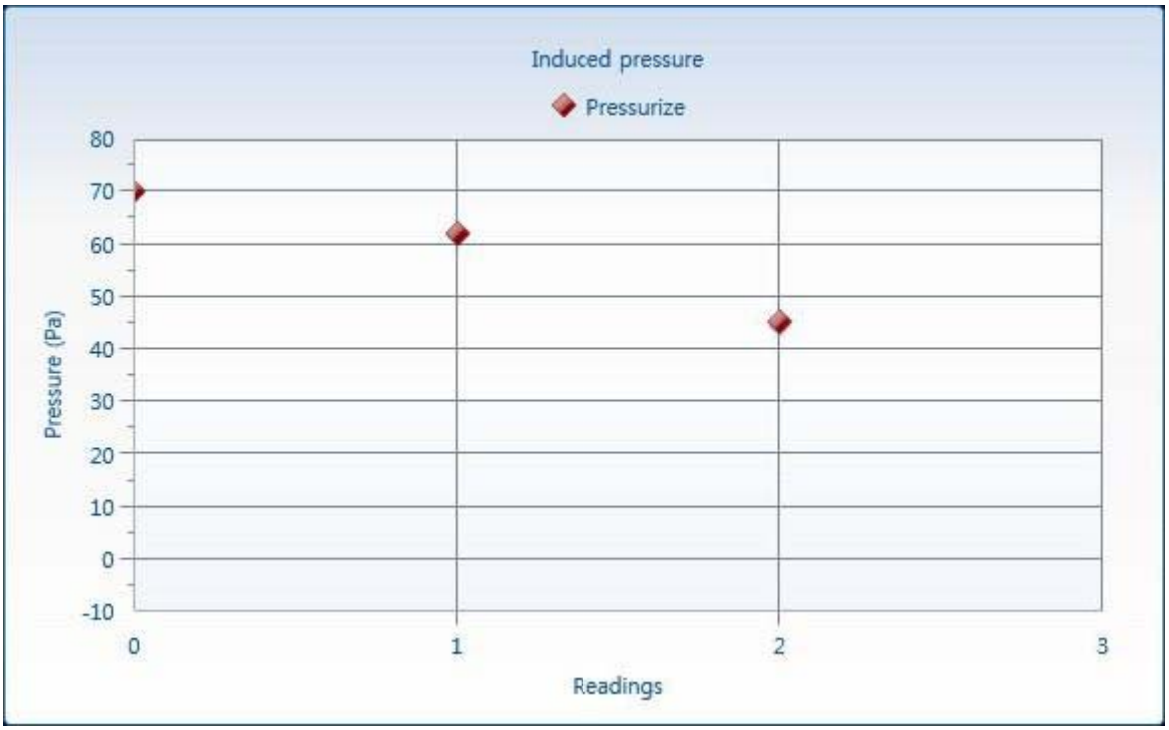
Wind speed: **0: Calm**

Temperature: Initial: indoors **13** °Coutdoors **13** °C.
Final: indoors**13** °Coutdoors **13** °C.

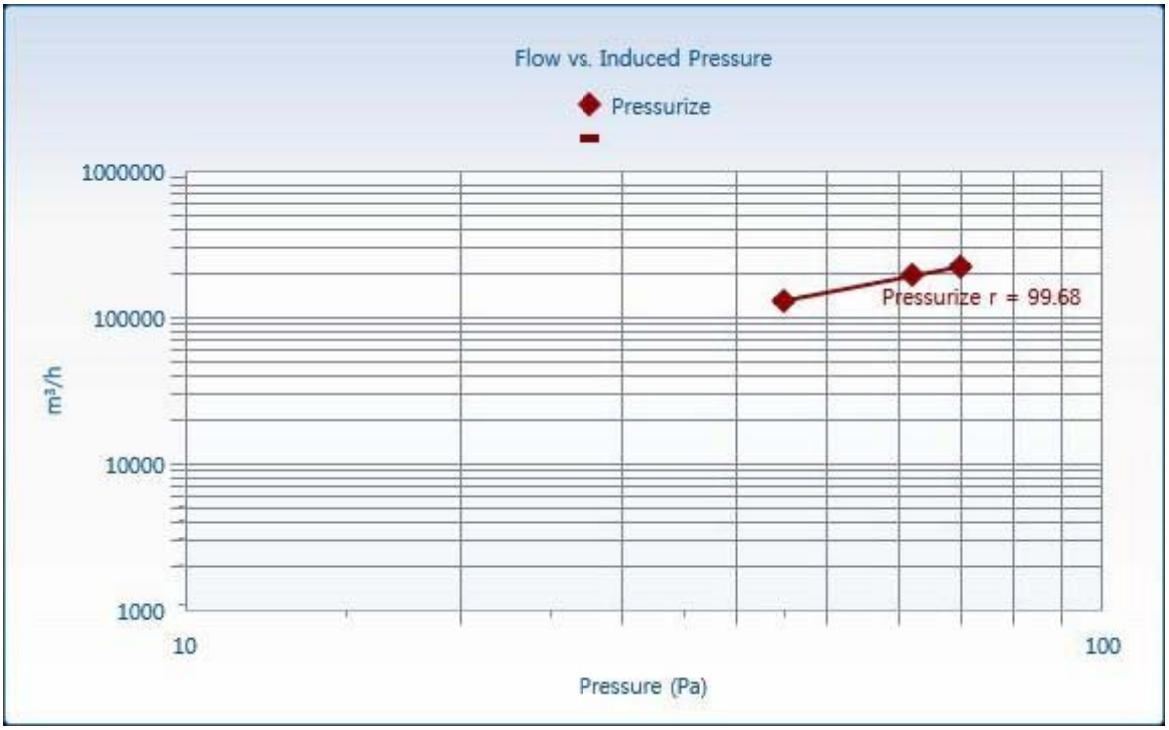
Test Data:

Bias, initial [Pa]												
Building Test Pressure [Pa]	70.0	62.0	45.0									
Bias, final[Pa]												
Door FanPressure, [Pa]	2933	2417	1004									
Range(s) Used	Open (22)	Open (22)	Open (22)									
Total flow, V_r[m³/h]	220905.5	199114.3	130923.2									
Corrected flow, V_{env}[m³/h]	217900	196400	129100									
Error [%]	-1.8%	2.5%	-0.7%									

Induced Pressure



Induced Pressure vs. Flow



B4	고층건물(12층) 기밀성능 측정보고서-AHU
수행 기관	세종대학교 산학협력단
주요 내용	AHU를 이용하여 고층건물의 기밀성능을 측정

Building Air Leakage Test Results
건물 자체 공조기팬을 이용한 기밀성능 실험 측정 결과 보고서

1. 건물 개요

본 연구 대상 건물은 서울시 종로구 수송동에 위치한 대림 산업 본사 사옥으로(그림 1), 중앙 공조 시설이 갖추어져 있으며 지하 3층, 지상 12층으로 이루어져 있다. 대상 건물은 철근 콘크리트 라멘 구조로 건물 부피는 70,164m3이며 건물 내에는 2개의 계단실과 1개의 중앙 코어에 3대의 엘리베이터가 설치되어 있다. 사무용으로 사용되는 건물로 지상 1층에 로비로 구성되어 있으며 2층부터 12층까지 사무실 및 회의실로 구성되어 있었다. 건물 개요는 표 1에 나타내었다.



그림 1. 측정 대상 건물

표 1. 대상 건물 개요

구 분	내 용
위 치	서울시 종로구 수성동
규 모	지하 3층, 지상 12층
높 이	62.4 m
구 조	철근콘크리트 라멘조
연면적	20350.42 ㎡

건물 내 공조 방식은 중앙 공조 시스템으로 구성되어 있으며 정풍량 공조기(CAV)가 적용되어 있다. 각 공조기는 지하 3층에 2개(AHU-1,2), 옥탑 1층에 2개(AHU-3,4)가 위치하고 있었다. 지하 3층에 위치한 AHU-1, 2는 1층에서 5층까지의 공조를 담당하고 있으며, 급기팬은 각 34000m3/h의 정격 풍량을 가지고 있다. 옥탑 1층에 위치한 AHU-3, 4는 6~12층의 공조를 담당하고 있으며 급기팬은 각 39400m3/h, 64500m3/h의 정격 풍량을 가지고 있다.

2. 실험 개요

본 연구에서는 대공간 고층 건물의 가압을 통한 기밀성능을 측정에 관한 실험을 진행하였다. 실험 기간은 2012년 11월 18일이며 공조기의 팬을 이용하여 건물을 가압하는 실험(TEST 1)을 실시하였다. 본 실험을 통해 기존의 국외기준에 따른 서로 다른 압력 측정방법(ASTM E779-10 Standard (9), CAN/CGSB 149.10-15(10)) 을 비교하여 최적의 압력 측정방법을 도출하였으며 기존의 압력측정 방안에 대한 타당성을 입증하였다.

현재 국외에서는 건물의 가압을 통한 기밀성능을 도출하기 위한 다양한 기준들이 마련되어 있다(표 2). 이 중 건물의 공조기를 이용한 가압 실험법에 관한 국외 기준인 CAN/CGSB 149.10-15 [10]는 실내외 압력차 측정 시, 실외 압력은 최상층부와 최하층부를 압력탭으로 연결하여 실외 압력으로 규정하고, 실내 압력은 건물의 중간층을 기준으로 규정하고 있다.

표 2. 각 기준 및 압력 측정 사항

기 준	내 용
ASTM [9]	• 각 건물 외벽 중간에 1개의 튜브 설치 (건물 모서리 설치 금지) • 평균 10초 이상 매니폴드 및 평균 차압계를 이용하여 압력 측정 • 3층 이상의 건물에서 적어도 1m 이상의 위치에서 압력 측정
ATTMA [14]	• 건물의 최하층에서 압력 측정 • 실외 압력 측정 시, 팬 또는 바람의 영향이 없는 외벽에서 측정
CAN/CGSB [10]	• 최하층 및 옥상층의 평균 실외 압력과 건물 중간층의 실내 압력의 차압 측정 • 바람의 영향이 거의 없는 곳 - 실외에서 1회 측정 • 바람이 약간 부는 곳 - 각 면에 대해서 일분에 약 4회 측정하여 평균 차압 산정 • 바람이 많이 부는 곳 - 바람의 영향이 없도록 함에 넣어 측정 (capillary tubes, 5초 이상 측정하여 평균)
EN13829 [12]	• 건물의 중간층에서 압력 측정, 고층 건물의 경우 최상층 압력 측정 • 실외 압력 측정 시 압력 튜브가 태양의 영향을 받지 않도록 하며, T-파이프에 가까이 붙여 설치하거나 또는 상자 또는 함을 이용하여 바람의 영향을 받지 않도록 설치
USACE [13]	• 최소 1면의 건물 외벽에서 압력 측정, 고층 건물의 경우 1개 이상 필요 • 실내 압력 게이지를 1로 설정한 뒤 압력 측정

B5	고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-엘리베이터 홀
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	업무용 건물 기준층 엘리베이터 홀의 기밀 성능을 측정



1. 기밀성능 측정 및 누기부위 진단

○ TEST 개 요
- 대상 건물 : R5 Project
- TEST 내용
  - ✓ 기준층 엘리베이터 홀 sliding door 기밀성능 측정 (A, B tower 4개)
  - ✓ 기준층 엘리베이터 홀 출입문 주변 누기부위 진단 (A, B tower 해당 부위, smoke test)
- TEST 일자 : 2012. 11월 8~9일
- TEST 시행 : 인하대학교 건축환경시스템 연구실, 조재훈 교수

○ TEST 목적
- 기준층 엘리베이터 홀 기밀도어의 기밀성능 및 기밀수준 검토
- 기밀화 구획벽 누기부위 진단 (공사시 기밀보완용)

3

2. 기밀측정 방법

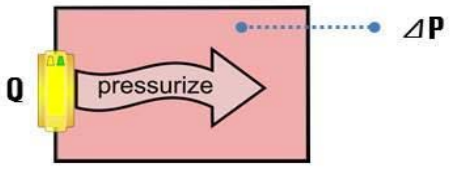
Fan Pressurization Method(가감압법 활용)

○ **Q = K(ΔP)^n**

- Q = the air flow rates applied to the building in m^3/sec^{-1}
- ΔP = the pressure differential across the building in Pascals
- K = the air leakage coefficient in the $m^3/sec\text{-}1\ Pa^{-n}$
- n = an exponent normally between 0.5 and 1.0

○ **기밀성 TEST STANDARD (AIR INFILTRATION & EXFILTRATION TEST)**

- ASTM E783, Field Measurement of Air Leakage through Installed Exterior Windows and Doors
- ASTM E2319, Standard Test Method for Determining Air Flow Through the Face and Sides of Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen
- ASTM E283, Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen



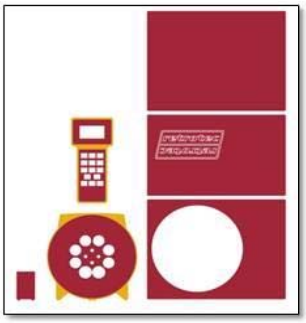
4

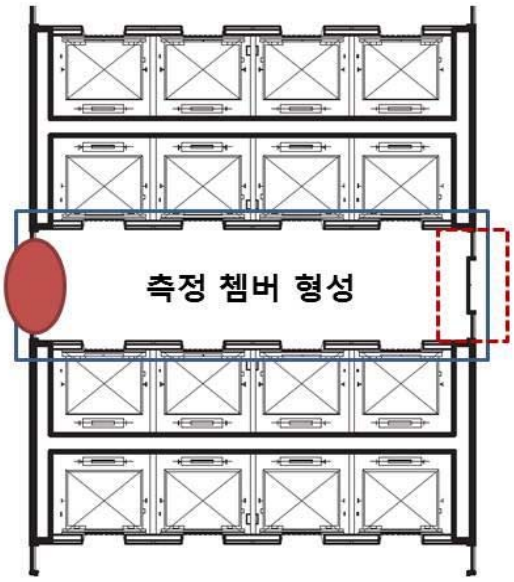
3. TEST 결과

3.1 기준층 엘리베이터 홀 출입문 기밀성능

○ 건축물 현장 검토

- **Sliding door의 기밀성능 TEST: air leakage report**
- **Tower A 2개소, Tower B 2개소**





5

B6	고층건물(26층) 기밀성능 측정보고서-커튼월 1개층
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	고층건물(26층, 업무용 건물)의 1개층 커튼월 기밀성능 측정



1. 기밀성능 측정 및 누기부위 진단

○ TEST 개 요

- 대상 건물 : R5 Project
- TEST 내용
  - ✓ 1개층 커튼월의 누기부위 진단(smoke test)
- TEST 일자 : 12월 21~22일
- TEST 시행 : 인하대학교 건축환경시스템 연구실, 조재훈 교수

○ TEST 목적

- 커튼월의 상하슬래브 접합부 및 전체의 누기부위 진단 (공사시 기밀보완용)
  : 1개층 전체 커튼월 모듈에 대한 기밀성능 진단(기존 field test는 부분 시료에 대한 기준만족 여부의 검토)

3

2. 기밀측정 방법

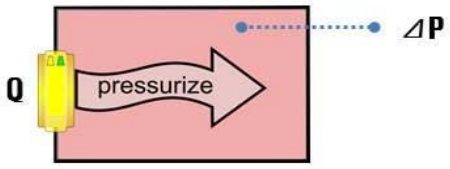
Fan Pressurization Method(가감압법 활용)

○ **Q = K(ΔP)^n**

- Q = the air flow rates applied to the building in m^3/sec^{-1}
- ΔP = the pressure differential across the building in Pascals
- K = the air leakage coefficient in the $m^3/sec\text{-}1\ Pa^{-n}$
- n = an exponent normally between 0.5 and 1.0

○ **기밀성 TEST STANDARD (AIR INFILTRATION & EXFILTRATION TEST)**

- ASTM E783, Field Measurement of Air Leakage through Installed Exterior Windows and Doors
- ASTM E2319, Standard Test Method for Determining Air Flow Through the Face and Sides of Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen
- ASTM E283, Standard Test Method for Determining Rate of Air Leakage Through Exterior Windows, Curtain Walls, and Doors Under Specified Pressure Differences Across the Specimen



4

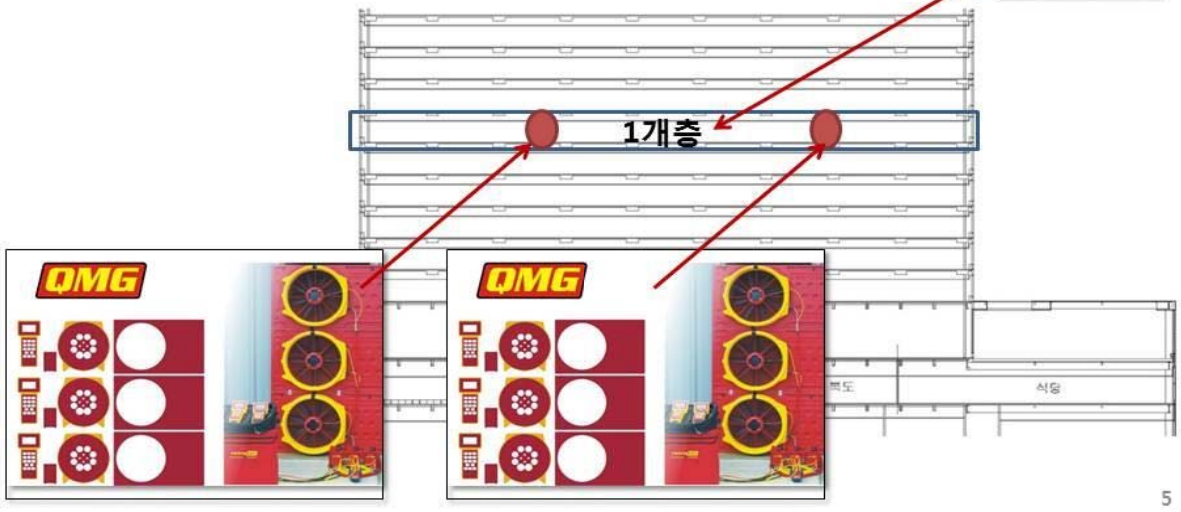
3. TEST 상세

3.1 1개층 커튼월의 누기부위 진단(smoke test)

○ **건축물 현장 검토**

- **커튼월의 상하슬래브 접합부 및 전체의 누기부위 진단 (공사시 기밀보완용)**
- **Tower A 8층**





5

B7	대공간/고층건물 기밀성능 측정방법1
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	대공간/고층건물 업무용건물 기밀측정 방법 KS 규격안(차압보정법)



첨단도시개발사업 11첨단도시 C11-제로에너지 건물구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발

대공간/고층건물에서의 기밀성능 측정방법

2013. 04. 05.
인하대학교 건축학부 교수, 조재훈
(jhjo@inha.ac.kr)

목 차

1. 건물 기밀성능 측정방법

2. 대공간/고층건물 기밀성능 측정
- 2-1. 대공간 건물 측정: 5층 사무소건물
- 2-2. 고층건물 측정: 12층 사무소건물
- 2-3. 고층건물 측정: 26층 사무소건물
- 2-4. 소 결

3. 대공간/고층건물 기밀성능 측정방법: 주요 사항

이 발표자료는
[첨단도시개발사업 11첨단도시 C11-제로에너지 건물구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발] 연구과제의
1~2차년도 결과물 중 일부입니다.
책임연구기관(인하대학교 교수 조재훈)
공동연구기관(1차년도: 한양대학교 교수 정재원)
공동연구기관(2차년도: 세종대학교 교수 성민기)

1. 건물 기밀성능 측정방법: key issues

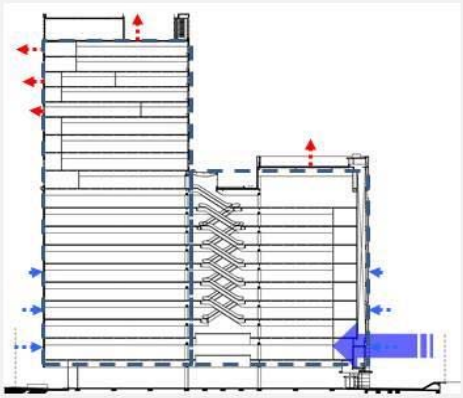
✓ There is currently only one industry standard for the measurement of envelope leakage in tall buildings: CGSB Standard 149.15. ... **Tall buildings require refinement and extensions of established procedures** because of obstacles to accurate measurement not present in small buildings, including large envelope leakage area, interfloor leakage, vertical shafts, and large wind and stack pressures. *(ASHRAE Fundamentals)*

- **Housing / Low-rise residential building : ISO 9972, ASTM E779, EN13829 ...**
- **High-rise Building, Large Building : CGSB standard 149.15 + @**

Q = ?
ΔP = ?



Small zone



Large zone

6

3. 대공간/고층건물 기밀성능 측정방법: 주요 사항

대공간/고층건물 외피의 기밀성능 측정방법 (KS 규격에 준하는 표준측정방법)

(Envelope Leakage Test Method in High-rise Building or Large Building)

1. 기본 사항(Overview)
   - 적용목적 및 범위(Purpose and Scope)
   - 관련기준 및 용어(Referenced Documents and Terminology): CGSB 149.15, ASTM E779, ATTMA TS1
2. 측정 장비(Test Equipment)
3. 측정 조건(Determine Test Condition: stack effect, wind effect)
4. 측정 준비(Prerequisites: Checklist prior to test)
   - 건물용적(Building Volume) 및 외피면적(Envelope Area) 산정: 난방존의 경계조건, 외벽선 기준
   - Q량 산정: AHU 또는 Blower ≥ 5ACH * Building Volume
   - 차압기준: 최소 25Pa, 50Pa 이상 권장
   - 측정개수: 3회 이상, 5회 권장
   - 차압보정: 3개소 이상 3~5층 단위 averaging, 1층 제외 (2층 + ... + 중간층 + ... + 최상층)
5. 측정 방법(Test Procedure)
6. Data 분석 및 계산(Data Analysis and Calculations)
7. 보고서(Report), 부록(Appendixes)

이 자료의 내용은 개발하고자 하는 측정방법의 초안이며, 보완측정 및 관계자 검토를 통하여 최종안이 마련될 예정입니다.

24

B8	대공간/고층건물 기밀성능 측정방법2
수행 기관	세종대학교 산학협력단
주요 내용	공조기를 이용한 대공간/고층건물의 외피기밀성능 측정 방법 KS 규격안

KS A XXXX

한 국 산 업 규 격

건물 기밀성 측정 – 공조기를 이용한 가압법

Determination of building airtightness

– Fan pressurization method using air handling systems

1. 목적 및 적용범위 이 규격은 건물에서의 에너지 낭비를 줄이고 쾌적한 실내환경을 조성하기 위한 방안인 기밀성능 확보를 달성하기 위한 목적으로 제정되었으며, 건물의 공조기를 이용한 기계적 가압 사용을 명시한다. 일정한 실내외 정압차에서 일어나는 기류량을 측정하는 기법을 기술한다. 기류량과 압력차 간의 상관 관계로부터 건물 외피의 누기 특성을 평가한다. 이 규격은 작은 온도차와 낮은 풍압 조건에 적용할 수 있다. 현장에서 실시된 시험인 경우, 현장 조건이 이상적이지 않다는 것을 인지해야 한다. 따라서 강한 바람과 큰 내외부 온도차는 피해야 한다. 이 규격을 적절히 사용하기 위해서는 기류와 압력 측정의 원리에 대한 지식이 필요하다. 이 규격은 단일 구역 건물의 건물 외피의 기밀성 측정이 목적이다. 이 규격의 목적을 위해서 다중 구역 건물은 내부를 개방하거나 인접 구역의 압력을 동일하게 함으로써 단일 구역으로 취급한다.

이 규격은 현장에서 건물의 기밀성 측정이 목적이다. 개개 부재의 누기에 대한 실험실 평가는 언급하지 않는다. 현장 측정의 결과는 일정한 설비 조건하에서 개개 단일 부재의 누기에 대한 특성화가 아니고 부재와 건물 외피의 연결 부위에 대한 특성화가 목적이다. 따라서 부재 기밀성의 현장 시험에서의 결과는 실험실의 시험 결과와 일치하지 않을 수 있다.

2. 인용규격 다음에 나타내는 규격은 이 규격에 인용됨으로써 이 규격의 규정 일부를 구성한다. 이러한 인용 규격은 그 최신판을 적용한다.

KS L ISO 9972 단열-건물 기밀성 측정-팬 가압법

ISO 9972 Thermal performance of buildings - determination of air permeability of buildings - fan pressurization method

CGSB-149.15 Determination of the overall envelope airtightness of buildings by the fan pressurization method using the building's air handling systems

ASTM E779 Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization

3. 정의

3.1 용어 이 규격의 목적을 위하여 다음의 용어와 정의를 적용한다.

3.1.1 기밀성능(기밀도) 건물의 외피전체 또는 외피를 구성하는 재료나 자재의 공기유출입에 저항하는 정도로 일반적으로 다음과 같은 물리량으로 나타낸다.

1) CFM50(ft^3/min) 또는 CMH50(m^3/h): 실내외 압력차를 50Pa로 유지하기 위해 실내에 불어 넣어야 할 기류량 또는 침기(누기)량을 표현

2) ACH50(h^{-1}): 건물에 50Pa의 압력이 작용하고 있을 때, 실내 공기가 한 시간 동안 몇 번 환기되는가를 표현하는 척도로 일반적으로 CFM50 또는 CMH50을 건물 또는 시험공간의 체적으로 나누는 값

3) EqLA(cm^2/m^2): 10Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기로 상당누기면적

4) ELA 또는 EfLA(cm^2/m^2): 4Pa에서 발생하는 누기량에 상응하는 구멍의 크기로 유효누기면적

5) Air Permeability(L/sm^2): 누기량을 전체 외피면적으로 나눈 단위면적당 누기량을 나타내는 척도

3.1.2 건물 외피 면적 공조가 이루어지는 공간을 둘러싸는 벽, 천장, 바닥 면적의 합계

3.1.3 시험 공간의 외피 면적 가압 또는 감압테스트가 이루어지는 공간을 둘러싸는 벽, 천장, 바닥 면적의 합계

3.1.4 공조 공간 기류, 온도 및 습도가 조절되는 공간

3.1.5 개구부 건물 외피에 특정한 목적을 위해 의도적으로 설계된 개구부

3.2 기호 이 규격에 사용되는 기호의 정의 및 단위는 다음에 따른다.

표 1 기호와 단위

기호	설명	단위 기호
C	유량 계수; Q를 결정하기 위한 정수	L/sPa^n
n	유량 지수; Q를 결정하기 위한 정수	–
P_a	건물 주변 대기압	kPa
$\triangle P_{o,b}$	팬이 작동하지 않거나 밀봉하였을 때 실험 전 실내외 압력차	Pa
$\triangle P_{o,a}$	팬이 작동하지 않거나 밀봉하였을 때 실험 후 실내외 압력차	Pa
$\triangle P_o$	팬이 작동하지 않거나 밀봉하였을 때 실내외 평균 압력차	Pa
$\triangle P_{m,i}$	측정된 실내외 압력차 (i=1,2,3,4…)	Pa
$\triangle P_{s,i}$	보정한 실내외 압력차 (i=1,2,3,4…)	Pa
P_c	보정 조건 하의 대기압	kPa
P_{tm}	풍량 측정 위치에서의 대기압	kPa
$q_{f,i}$	측정 장치를 통해 측정된 풍량	L/s
$Q_{m,i}$		L/s
Q_s	보정한 풍량 (부속서 C)	L/s
Q	풍량으로 산정된 기밀도 값 (부속서 C)	L/s
Q_{10}	실내외 압력차 10Pa일 때의 기밀도 값	L/s
Q_{50}	실내외 압력차 50Pa일 때의 기밀도 값	L/s
Q_{75}	실내외 압력차 75Pa일 때의 기밀도 값	L/s
r	보정 계수 (부속서 C)	–
R	공기의 기체 상수	J/g×K
S	건물 외피 면적	m^2
t_o	외기 온도	℃
t_{tm}	풍량 측정 위치에서의 공기 온도	℃
ρ	공기 밀도	kg/m^3

4. 시험 장치

4.1 팬 급배기 팬 또는 공조기의 팬은 외기를 이용하여 건물 내외 압력차를 약 60Pa까지 만들 수 있어야 한다.

4.2 압력 측정 장치 압력 측정 장치는 5% 이내의 정확도로 1Pa 단위 측정이 가능하여야 한다. 또한 0~75Pa 범위에서 측정이 가능하여야 하며 교정된 장치여야 한다.

4.3 풍량 측정 장치 풍량 측정 장치는 급기덕트의 실내 측 출구 또는 경로에 쉽게 설치 및 제거가 용이하여야 한다. 풍량 측정의 정확도는 측정된 풍량의 약 5% 미만이어야 한다. (그림 1 참조)

4.4 온도계 온도 측정 단위는 섭씨이며, ±1℃의 정확도로 -10℃~35℃ 범위를 측정할 수 있어야 한다.

B9	기밀성능 측정방법 기술 심포지엄 공문 (KPHI 기술강연회)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	KPHI 기술세미나: 기밀성능 측정방법에 대한 전문가 심포지엄 실시

사단법인 **한국건축친환경설비학회**
Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems

KIAEBS 제2012-030호
수 신 KIAEBS 회원
참 조
제 목 KPHI 기술강연회 공고

1. 귀하(귀사)의 무궁한 발전을 기원합니다.

2. 오는 5월25일(금)에 한국건축친환경설비학회 부설연구소, 한국패시브하우스연구소에서 주관하는 기술강연회가 개최됩니다. 이번 기술강연회에서는 "건물에서의 기밀도 기준 및 측정방법"이라는 주제로 산업계의 기술동향 및 관련 국가R&D 연구결과를 중심으로 기획하였습니다.

3. 기술강연회의 일정 및 프로그램은 다음과 같습니다.

- 다 음 -

- 일 정: 2012년 5월25일(금) 오후 2시~6시
- 장 소: 서울대학교 호암교수회관
- 프로그램 내용:
  - Passive House에서의 기밀도 수준 및 측정방법: 원종서 박사(대림산업)
  - 국내외 기밀도 기준 및 정책 동향: 조재훈 교수(인하대학교)
  - 국가 건물기밀도 기준 마련에 대한 방안: 정재원 교수(세종대학교)
  - 건물 기밀도 측정방법에 대한 기술 심포지엄: 건물 기밀도 측정방법 규정
    - 좌장: 조재훈 교수(인하대학교)
    - 지정 토론자: 김광우 교수(서울대학교), 조수 박사(한국에너지기술연구원), 원종서 박사(대림산업), 한국기술표준원

사단법인 **한국건축친환경설비학회장 송규동**

담당 이지연
시행 KIAEBS 제2012-030호(2012.04.27)
주소 (우) 135-707 서울시 강남구 역삼동 635-4 한국과학기술회관 본관 406호
전화 02-552-0412 팩스 02-552-8012
접수 ( )
Web http://www.kiaebs.org
e-mail kiaebs@kiaebs.org 구분 공개

B10	국외 학술게재 논문 (Energy and Buildings)
수행 기관	세종대학교 산학협력단
주요 내용	건물에서의 기밀성능 측정방법 실험연구 발표

Energy and Buildings 62 (2013) 436–441

Contents lists available at SciVerse ScienceDirect

Energy and Buildings

journal homepage: www.elsevier.com/locate/enbuild

Feasibility of building envelope air leakage measurement using combination of air-handler and blower door

Min-Hwi Kim [a], Jae-Hun Jo [b], Jae-Weon Jeong [a,*]

[a] Division of Architectural Engineering, Hanyang University, Seoul 133-791, Republic of Korea
[b] Division of Architectural Engineering, Inha University, Incheon 402-751, Republic of Korea

ARTICLE INFO

Article history:
Received 6 December 2012
Received in revised form 25 January 2013
Accepted 15 March 2013

Keywords:
Building air tightness
Air handler fan pressurization test
Blower door test
Envelope leakage

ABSTRACT

An air-handler fan pressurization method can be used to estimate envelope leakage in large or tall buildings. However, because the size of a building's air handling system is designed only to meet heating and cooling demands, there may be many unanticipated problems on the test site. For example, one may not be able to perform the envelope leakage test using the air-handler fan(s) with relatively high pressure differences across the building envelope (e.g. 50–75 Pa). In order to overcome the insufficient pressurization problem faced during the air handler fan pressurization test, a combination of an air-handler and a blower door is proposed and verified by performing a pressurization test in an office building. It was found that the proposed method is feasible for evaluating the overall envelope leakage in large or tall buildings.

© 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.

1. Introduction

Envelope leakage is caused by pressure differences across a building envelope, that are generated by wind and/or stack effects. Unbalanced air flow introduced by a centralized HVAC system or by mechanical ventilation equipment may also affect the amount of envelope leakage [1]. Air leakage or infiltration in buildings may cause an increase in heating and cooling demands, noise, condensation and mold growth problems on the exterior wall surface. The building air tightness has become an important factor affecting indoor air quality and energy consumption in a building [2–4].

Generally, there are two methods of measuring air leakage in a building: the tracer gas method [5] and the fan pressurization method [6]. The former has better accuracy than the fan pressurization method, but requires well-trained experts and has a higher measurement cost. Therefore, the latter, which is relatively inexpensive and simple, is more widely used.

As for the fan pressurization approach, the blower door test method [7,8] is commonly used in residential or small buildings. Envelope leakage is measured by pressurizing (or depressurizing) the building using a fan installed on a door or an operable window. The pressure inside the building is increased to 70 Pa by the blower door fan(s) and reduced gradually at 5–10 Pa intervals by modulating the fan speed. By measuring the pressure difference and coincident blower door fan flow rate, the leakage coefficient (C) and exponent (n) of the power-law equation (Eq. (1)) is determined [6,9–11]. The values of C and n represent the leakage characteristics of the building envelope.

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

where Q is the air leakage rate, m^3/s, C the leakage coefficient, $m^3/(s\,Pa^n)$, ΔP the pressure difference, Pa, n the leakage exponent, dimensionless.

In general, the blower door test approach can also be applied to air leakage measurement in large and tall buildings. However, it may require high air flow to reach the initial target differential pressure (i.e. over 50 Pa), so one may need to use many blower door fans or a large fan [12]. On the other hand, the CGSB 149.15-96 standard [12] and some literature [13–17] recommend the use of air-handlers that already exist in a test building for measuring air leakage, especially in a large and tall building. The air handler fan pressurization is a practical solution to measure the envelope leakage in tall or large buildings. However, since the capacity of the air-handler fan is commonly selected to meet the ventilation and air conditioning needs of the zone, the airflow may not be sufficient to make the pressure difference exceed 20 Pa. In order to solve the insufficient pressurization problem in the use of the air handler fan, the combination of both air-handler and blower door fans is suggested in this research.

In terms of envelope leakage measurement in tall and large buildings using the air-handler fan, there are some existing measurement standards which can be applied. ASTM E779-10 [6] and CIBSE TM23 [10] refer to the measurement of air tightness using a large fan. ISO 9972 [9] and EN 13829 [11] indicate the typical fan

* Corresponding author. Tel.: +82 2 2220 2370; fax: +82 2 2220 1945.
E-mail address: jjwarc@hanyang.ac.kr (J.-W. Jeong).

0378-7788/$ – see front matter © 2013 Elsevier B.V. All rights reserved.
http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.03.034

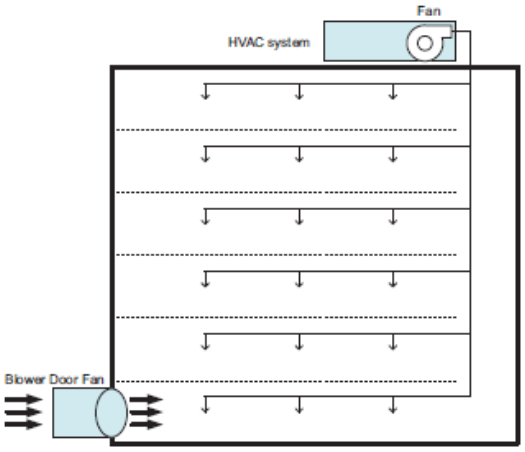


Fig. 1. Air leakage test configuration using air-handler fan and blower door.

door cannot reduce the zone pressure below a certain level. The proposed approach has not been suggested before.

2.4. Combination test process

In the preparation stage of the test, one should consult mechanical drawings and visit the test site to identify the location, accessibility, and service zone of each air-handler. The outdoor air inlet and exhaust air outlet locations, and the controllability of dampers and fans in each air handler should also be checked. After sealing leakage components which should not be considered as envelope leakage, one may activate the air handler at 100% of the outdoor air mode (e.g. economizer mode) and check the maximum pressure differential built in the test zone. If the zone pressure reaches the target pressure, the test can be performed by the air handler only. Otherwise, one should determine whether to use the blower door in parallel with the air handler. Once the test is started, the rest of the procedure is identical to the conventional fan pressurization test approach.

2.4.1. Supply air flow measurement in the air-handler fan pressurization test

In order to measure the outdoor air (or supply air) flow rate in the air-handler fan pressurization test, Bahnfleth and Yuill [13] suggested a tracer gas or orifice plate method. Jeong et al. [14] used fan inlet sensors installed at the inlet of the supply air fan. One may also use existing air flow sensors installed for a building's mechanical system control if sensor accuracy can be secured. Otherwise, conventional duct insertion type portable flow measuring devices (e.g. pitot tubes) can be used [25,26], which would reduce the accuracy of the measurement.

2.4.2. Preparation of air-handler for the fan pressurization test

When an air-handler fan is used for the pressurization test, the air handling unit should operate in 100% outdoor air mode (i.e. economizer mode). The exhaust air outlet (or damper) and return air damper of the air-handler should be closed and sealed (Fig. 2).

If the exhaust air outlet and return air damper cannot be sealed since they are not accessible, all the exhaust air grills inside the test zone should be sealed.

2.4.3. Test site preparation prior to air leakage testing

Elevator shaft vents and toilet vents on the roof should be sealed if they are accessible. Otherwise, all elevator doors and toilet exhaust grilles on each floor should be sealed. All the interior doors should remain open to make the entire test zone reach a uniform pressure differential during the test.

CGSB-149.15 [12] recommends that the outside pressure should be measured in at least three different locations (i.e. the first, the middle, and the top floors), and then averaged to get an instantaneous averaged outside pressure. As for the inside pressure, the CGSB standard recommends that it should be measured at the center of the middle floor. Bahnfleth and Yuill [13] and the ASTM standard [6] suggest measuring the outside pressure by averaging pressures measured in four different directions of the building envelope so as to minimize the effect of wind.

2.4.4. Testing procedure

In the fan pressurization test, the indoor-to-outdoor pressure difference should be reduced gradually from the maximum (e.g. 50–60 Pa) to low pressure in 5–10 Pa intervals. Both the air-handler and the blower door are operated until the pressure difference reaches the maximum target pressure, and then the zone pressure decreases by adjusting the blower door fan flow. It is relatively easier to adjust the flow rate of the blower door fan than the air-handler fan in the field test. When the blower door fan flow reaches zero and the zone pressure is further reduced, the air-handler fan flow begins to adjust. The air flow rate of the air-handler can be adjusted by modulating the inlet vane of the fan, the fan speed, or the supply air damper. The indoor-to-outdoor pressure differences before and after the test should be measured to perform the zero-pressure correction.



Fig. 2. Preparation of air handler for the fan pressurization test.

B11	국외 학술발표 논문 (Cold Climate2012)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	연돌효과 문제해결을 위한 고층건물에서의 기밀성능 측정 및 data의 활용결과 발표

Practical Stack Effect Study to Minimize the Problems related to Pressure Difference in Severe Cold Climate

Jae Hun Jo, Ph.D. **Hoi Soo Seo, M.D.** **Myoung Souk Yeo, Ph.D.** **Kwang Woo Kim, Arch.D.**
Member ASHRAE

ABSTRACT

Stack effect is a natural phenomenon which occurs in all buildings. In tall buildings, especially during the winter season, it is considered to be the most serious issue than any others which are commonly raised such as wind effect. This paper presents a practical study to minimize the impact of stack effect in a 42-stories office building in extreme winter conditions, -13°C. Both architectural and mechanical drawings were reviewed in order to understand the airflow dynamics and field measurements were carried out to generate the pressure distribution caused by stack effect. Two recommendations were suggested which can reduce the stack effect problems most effectively: increasing the airtightness of building envelope and adding compartmentalization or separation to provide air barrier to the airflow path inside the building. In terms of mechanical approaches, it is suggested that stack effect pressure at higher part of the building can be managed by pressurizing the building using HVAC systems. In order to investigate the pressure and the airflow rates within the building, a detailed network model of the building was developed based on as-built drawings. Various scenarios of airflow simulations were carried out to evaluate the impact of stack effect, wind and the operation of HVAC systems. It was found that stack effect problems can be solved by increasing the airtightness of building envelope, by adding architectural compartmentalization, and by using HVAC systems.

INTRODUCTION

In Korea, the number of tall buildings over 30 stories has been increasing recently. In such high buildings, the difference of the weight of air columns inside and outside of the building causes stack effect. During the winter season, in particular, when there is large variance between internal and external temperatures, this causes severe airflow inside the building which leads to many serious problems. In previous studies (Tamblyn 1991, ASHRAE 1993, Jo 2007), buildings suffering from stack effect problems were diagnosed in both design stage and post construction stage. Solutions and guidelines were suggested in order to minimize the airflow and to reduce stack effect problems. In spite of these efforts, problems in the reality are not entirely resolved in most cases due to many reasons such as analytic misinterpretations, insufficient awareness, and inappropriate application of procedures. Moreover, as the stack effect problems mostly occur around vertical shafts, e.g. elevator doors and stairwell doors, the solutions are normally applied only to those areas only as temporary methods. Since stack effect is determined by many aspects of the entire building, it is necessary to understand the pressure distribution of the whole building before investigating the problems and establishing effective solutions. This paper presents a practical case study of the stack effect problems to suggest possible solutions for tall office buildings through actual measurements of pressure distribution of the building.

Jae Hun Jo is a professor in the Division of Architecture of Inha University. **Hoi Soo Seo** is a director of POSCO E&C. **Myoung Souk Yeo and Kwang Woo Kim** are professors in the Department of Architecture of Seoul National University.

PRELIMINARY DIAGNOSIS OF CASE BUILDING

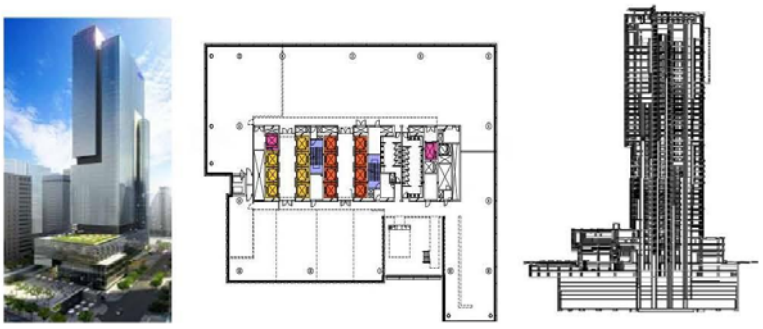
Building Description

The case building is 203m high and has 42 stories (42 stories of office space and 8 basement floors). The building is located in Seoul, Korea and it is directly connected to a underground subway station. The details of the building are briefed in Table 1. Most of the underground floors are used for parking spaces except the first and the second basement floors where retails and employee cafeteria are located. The ground floor is used for lobby, 2nd floor for convenient facilities, and 3rd to top floors are used for office areas.

In terms of the characteristic of the building affecting air flow, there is an open space which penetrates 1st to 3rd floors and there is a roof garden on 7th floor. As the area of the lower part of the building, 1st to 6th floors, is much larger than the area of 7th floor and above, air leakage (or infiltration) is expected to increase on the lower floors. In terms of vertical air flow, there are 37 elevators and two stairwells in total. The building is designed as a multi-zone type and groups of elevators serve different ranges of floors. 3 shuttle elevators serve ground floor and all underground floors. 8 low-rise elevators serve 1F to 19F, 7 mid-rise elevators serve 1F, 19F-30F, and 8 high-rise elevators serve 1F, 30F-42F. There are also 12 elevators for other purposes such as emergency. Figure 1 shows show a typical floor plan and a section of the building. It is presented that the airflow from the underground parking area moves into the elevator shaft, stairways and flows into the upper part of the building through transit floors such as 19th and 30th floor.

Table 1. Building Summary

Classification	Details
Building location	Seoul
Number of stories	42F(B8)
Building height	239m(including the basements, 36m)
Building use	Office



a) b) c)

Figure 1. (a) Case building, (b) Typical plan, (c) Section

Identification of Stack Effect Problems

Preliminary diagnosis and field measurements were carried out on a day when the temperature difference between inside and outside of the building was approximately 22°C (19℃ and -3°C). This enabled the authors to observe and identify stack effect problems for which the building manager requested solutions. Below is a brief summary of the stack effect problems identified during the field measurements and the request from the building maintenance team.

B12	국제심포지엄 논문발표 (AEBEST 2012)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	건물에서의 연돌효과 해석을 위한 고층건물 기밀성능 측정 활용

International Symposium on Architectural Environment, Building Energy Science and Technology
April 13-15, 2012, Tianjin, China

Analysis of the Stack Effect Pressure in Vertical Shafts with a Passive Cooling Condition

Jae-Hun Jo

Division of Architecture, Inha University, Incheon 402-751, Korea,

Abstract

The stack effect occurs seriously in winter having great temperature difference between the indoor and the outdoor. Because of this, there are problems related to the pressure difference and excessive air flow. Vertical shafts such as a elevator and a stairwell are the main airflow paths in the building. One approach to minimize stack effect problems is to lower the temperature of the vertical shaft, and reduce the magnitude of stack pressure difference on each floor. This study deal with investigation of the effectiveness of the passive shaft cooling. To do this, we measured the temperatures in the inside of the shafts(One is located in the middle of the floor, the other is located in the perimeter area), and analyzed the effect of the shaft's cooling on the pressure distribution caused by stack effect. The temperature of the vertical shaft with the passive cooling was lower than the one without the passive cooling. These results showed that the vetical shaft with passive cooling is the effective method to reduce stack pressure problems.

Keywords: Passive Cooling, Vertical Shafts, Stack Effect, Pressure Distribution, Measurement

ACKNOWLEDGMENTS

This research is supported by a grant from High-Tech Urban Development Program (11CHUD-C059710-01-000000) funded by the Ministry of land, transport and maritime affairs.

Presentation author biography

Jae-Hun Jo, Ph.D.

Current Employment :

Assistant professor, Division of Architecture, Inha University, March. 2011 ~ present.

Contact information :

- Email: jhjo@inha.ac.kr
- Phone: +82-32-860-7582
  -Address: 2S 413, Division of Architecture, Inha University, Nam-Gu, Incheon 402-751, Korea

Education :

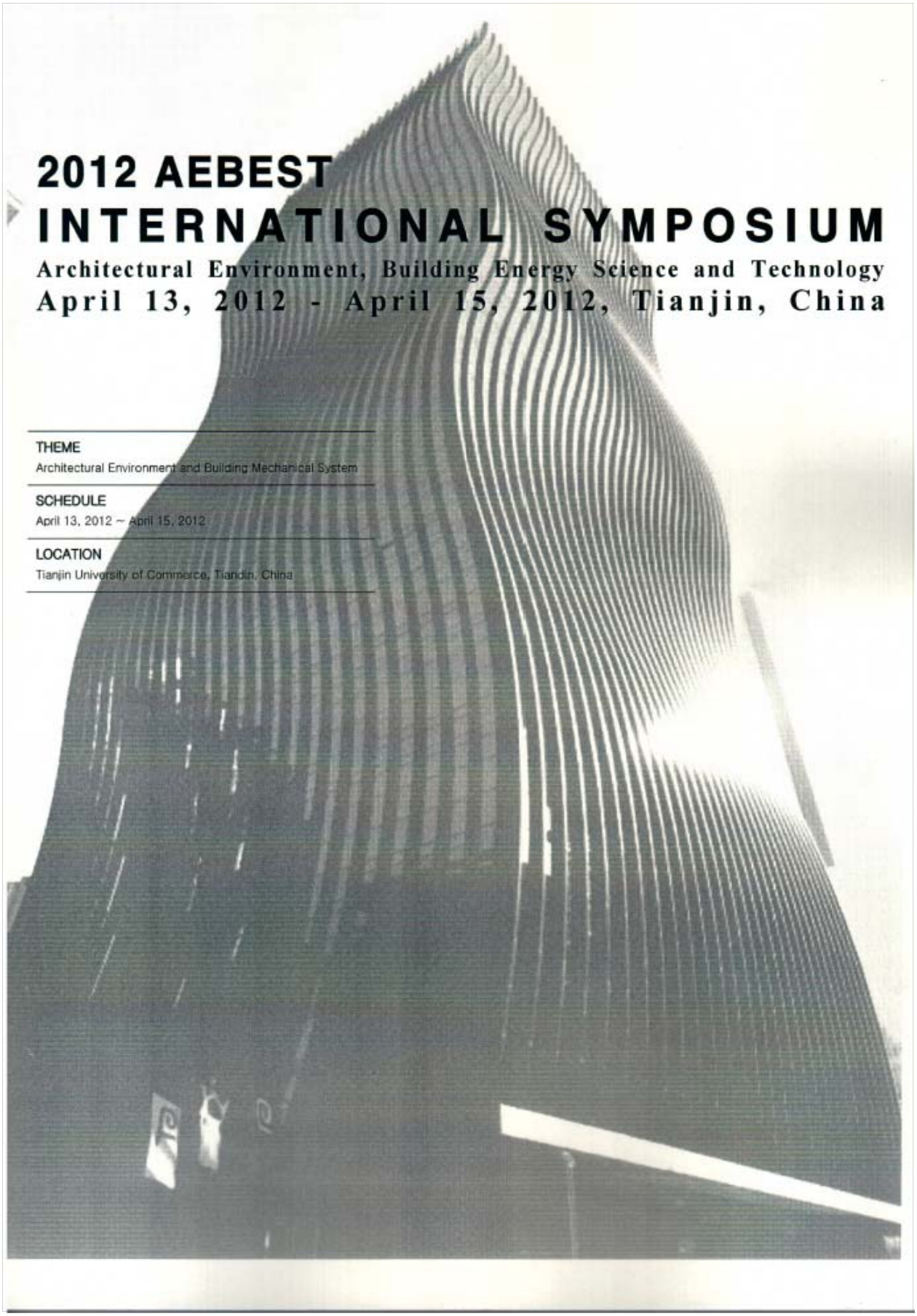
- Ph.D. Department of Architecture, College of Engineering, Seoul National University, Korea, August 2005.
- Dissertation: Prediction of Pressure Distribution due to Stack Effect in High-rise Residential Buildings and Evaluation of its Impact
- Advisor: Professor Kwang-Woo Kim, Arch.D.

Professional Activities :

- Member of AIK(Architectural Institute of Korea)
- Member of KIAEBS(Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems)
- Member of KPHI(Korean Passive House Institute)

Skills :

- Large/Complex buildings air leakage tester
- Stack effect engineering and airflow analysis in high-rise buildings
- Knowledge to consider stack pressure difference in the fields of load calculation and ventilation planning
- Development of hi-performance envelope, window and door system(especially double-skin facade)
- Knowledge to achieve airtightness criteria(Construction phase inspections, Airtightness test, Air leakage audit and thermographic surveys)


2012 AEBEST
INTERNATIONAL SYMPOSIUM
Architectural Environment, Building Energy Science and Technology
April 13, 2012 - April 15, 2012, Tianjin, China
THEME
Architectural Environment and Building Mechanical System
SCHEDULE
April 13, 2012 ~ April 15, 2012
LOCATION
Tianjin University of Commerce, Tiandin, China

B13	국내 학술게재 논문 (한국태양에너지학회)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	대규모 건물의 기밀성능 측정기준 수립에 관한 연구

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 34, No. 1, 2014
ISSN 1598-6411
http://dx.doi.org/10.7836/kses.2014.34.1.117

대규모 건물의 기밀성능 측정기준 수립에 관한 연구

Study on the Establishment of Large Building Airtightness Measurement Standards

이동석* · 지경환* · 조재훈**†
Lee Dong-Seok*, Ji Kyung-Hwan* and Jo Jae-Hun**†

(Submit date : 2014. 1. 5., Judgment date : 2014. 1. 6., Publication decide date : 2014. 2. 25.)

Abstract : Airtightness standards using fan pressurization method are normally used for measuring small buildings, detached houses, and apartment units. And, it is easy to conduct airtightness measurement through this fan pressurization method. However, it can be difficult to achieve accurate measurement results for the large buildings as the height and volume of the buildings have been increased. In this paper, we studied the principle of airtightness method by fan pressurization. And, we reviewed the measurement process described in ISO 9972, EN 13829, ASTM E779, ATTMA TS 1, CAN/CGSB 149.15, and JIS A 2201. Then, we categorized the methods' items according by air flow rate(Q) and pressure difference($\triangle P$). As a result, we made a comparison analysis on the measurement methods appeared in each standards. And, we achieved 5 test conditions about air flow rate and pressure difference to state requirements for large buildings airtightness measurement.

Key Words : 기밀성능(Airtightness), 연돌효과(Stack effect), 누기(Air leakage), 측정 방법(Measurement method), 표준(Standard), 가/감압법(Pressurization/depressurization method)

1. 서 론

최근 에너지에 대한 관심과 중요성이 점점 증가하고 있다. 2010년 기준 국내에서 소비되는 최종에너지는 총 157.44 106toe에 달하고, 이중 건물부분에서 소비되는 총 에너지는 40.36 106toe으로 국내 최종에너지소비의 26%에 해당한다[1]. 이렇게 국내에서 소비되는 에너지의 대부분이 모두 수입에 의존하는 것을 볼 때, 건물에서의 에너지는 매우 중요한 과제가 된다. 특히, 건물에서 손실되는 에너지 중 침기로 인한 손실 비중은 1981년 이전 30%에서

**† 조재훈(교신저자) : 인하대학교 건축학부
E-mail : jhjo@inha.ac.kr, Tel : 032-860-7582
*이동석, 지경환 : 인하대학교 건축학부 대학원

**Jo Jae-Hun(corresponding author) : Division of Architecture, Inha University.
E-mail : jhjo@inha.ac.kr, Tel : 032-860-7582
*Lee Dong-Seok, Ji Kyung-Hwan : Graduate school, Division of Architecture, Inha University.

점차 그 비중이 증가하고 있는 실정이며, 앞으로 건물에서 침기로 인한 건물 에너지 손실 비중은 전체 건물 에너지손실의 반 이상을 차지하게 될 것으로 전망하고 있다[2].

건물이 고층화, 대형화됨에 따라, 건물에서는 실내외의 압력차로 인한 더 많은 침기 및 누기의 발생으로 에너지 손실을 증가시키고 있다. 이러한 대규모 건물에서 침기 및 누기로 인한 에너지 손실을 줄이기 위한 한 가지 방법으로 건물의 기밀성능이 중요시 되고 있다. 건물의 기밀성능을 측정하는 방법으로는 가스추적법과 팬을 이용한 가/감압법[3-8]이 일반적으로 사용되고 있다. 가스추적법을 이용한 건물의 기밀성능 측정방법은 가/감압법을 이용한 측정방법 보다 더 높은 정확성을 가질 수 있지만, 가스추적법은 측정시 가/감압법보다 더 많은 비용이 소요되고 또한 경험이 많은 전문가들을 필요로 하게 되므로, 현장에서는 주로 가/감압법을 이용한 기밀성능 측정방법이 사용되어지고 있다[9]. 그러나 이러한 표준들은 대부분 저층의 주거건물 또는 소규모 건물을 대상으로 다루어져 왔다. 이에 대규모 건물에서의 기밀성능 평가를 위해서는 기존의 기밀성능 측정방법에 관한 표준들이 유효한지에 대한 검토가 요구된다.

대규모 건물에서의 기밀성능 측정방법 및 기준 마련을 위한 검토사항을 파악하기 위해, 본 연구에서는 기밀성능 측정방법 중 팬을 이용한 가/감압법 원리에 대한 이해를 바탕으로 대규모 건물과 소규모 건물에서의 기밀성능 측정방법에 대하여 고찰하였다. 위의 내용들을 바탕으로 국내외 대표적인 표준, ISO 9972[3], DIN EN13829[4], ASTM E779[5], JIS A 2201[6], ATTMA TS1[7], CAN/CGBS-149.15[8]의 측정방법에 대한 표준들을 비교분석하여 대규모 건물에서의 기밀성능 측정 요구조건을 분석하였다.

2. 대규모 건물의 기밀성능 측정방법 고찰

2.1 대규모 건물의 기밀성능 측정시 고려사항

(1) 기밀성능 측정방법의 원리

건물의 기밀성능은 외피에서 새어 들어오거나 나가는 공기의 양(즉, 누기량)을 측정함으로서 평가할 수 있다. 팬을 이용하여 건물에 가압 또는 감압을 하면, 공간의 내부에는 이로 인한 압력차가 발생하게 되는데, 이때 건물로 불어넣는 압력차($\triangle P$)와 풍량(Q)을 사이에는 다음의 멱급수함수의 관계가 있다.

$$Q = k(\triangle P)^n \quad (1)$$

여기서, k 는 유체계수, $m^3/s\,Pa^n$, n 은 무차원 유체지수($0 \le n \le 1$, 대부분의 경우 $0.5 \le n \le 1$)이다. 유체계수 k 값과 유체지수 n 값은 지수함수의 관계식을 log값으로 환산하고, 추정회귀직선의 방정식을 계산함으로서 구할 수 있는데(Fig. 1 참조), 이는 건물의 기밀성능과 관련이 있다.

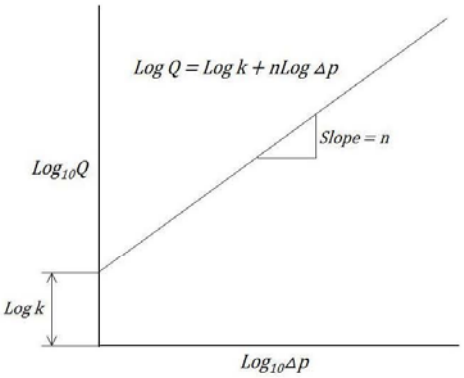


Fig. 1 Example of log-log graph

B14	국내 학술발표대회 논문 (한국건축친환경설비학회)
수행 기관	세종대학교 산학협력단
주요 내용	국내외 공조기를 이용한 대형건물의 외피 기밀성능 측정 방법 및 조사

국내외 공조기를 이용한 대형건물의 외피 기밀성능 측정 방법 및 조사

A Study on the overall envelope air leakage measurement methods of large buildings using an air-handler fan pressurization approach

○ 한 슬 기* 조 홍 재* 박 준 영*
Han, Seul-Ki Jo, Hong-Jae Park, Joon-Young
김 민 휘** 정 재 원***
Kim, Min-Hwi Jeong, Jae-Weon

Abstract

Over the las decades, many large scale or high-rise buildings have been constructed. In these buildings, air tightness is critical issue for raising the space cooling and heating load and occurring the stack effects. Therefore, it is important to measure the airtightness and air leakage rates in components of building to save energy. However, conventional bloor door test could not be suitable to measure the air tightness in large scale buildings. In this paper, air leakage test method using building air-handler unit is introduced. And it could be also provided that the practical way to estimate envelop leakage in large scale or high-rise building where a blower door test is not using. CGSB 149.15 was well known fan pressurization and de-pressurization test standard using air-handler fan. Based on CGSB 149.15, this paper provides information about the procedure of the air-handler fan pressurization test method.

키워드 : 학교교실, 실내공기질, 건축자재, 환기, 시뮬레이션
Keywords : School Classroom, IAQ, Building Material, Ventilation, Simulation

1. 서 론

최근 국내 및 해외에서 주거 건물 및 사무소 건물, 오피스텔 등 건물의 대형화, 초고층화가 이루어지고 있다. 건물이 높아지고 대형화됨에 따라 압력차에 따른 침기와 누기가 발생하여 건물 에너지 소비가 증가하게 된다.

현재 국외에서는 오래 전부터 건물에서의 기밀화를 통한 에너지절약의 중요성을 인식하고 기밀도 기준 및 기밀화 시공에 지속적인 연구가 이루어지고 있다. 1960년대부터 미국-캐나다를 중심으로 이론적 해석 및 실측에 대해 많은 연구가 진행되었으며, 일본에서는 1980년 일본건축학회를 중심으로 지속적인 연구가 이루어지고 있다.

국제적으로 통용되는 표준화된 기밀도 측정방법들은 ASTM Standard E779 [1], CGSB Standard 149.15 [2]이 있으며 사용 장비, 측정시간, 측정비용 등에서 서로 차이를 보이고 있으나 건물 전체 또는 부위별 기밀 성능을 신속하고 정량적으로 평가할 수 있으나 이들은 주로 소규모 건물 및 공간을 대상으로 한다.

건물의 기밀 성능 측정 시, Blower door test, Trace Gas 뿐만 아니라 건물 자체 공기조화기를 이용한 가압테스트로 기밀도를 측정하는 방안이 CGSB Standard 149.15-96 [2]에 대형 및 고층건물의 기밀도 측정 프로세스로 정립되어 있고, 기존 연구에서 Bahnfleth ea al. [3]에 의해 건물 공조기를 통한 기밀도가 여러 차례 실측된 사례가 있다. 이 연구에 따르면 블로어 도어 테스트 시, 엘리베이터, 문, 덕트 등 다른 침기요소를 막아도 층간 침기를 막지 못해 층간 침기량까지 측정이 되었다.

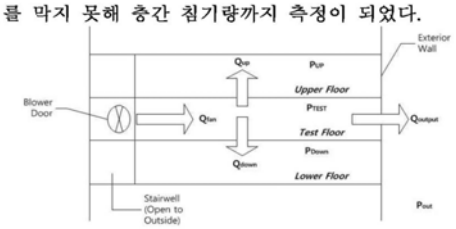


그림 1. 블로어 도어 테스트시 발생하는 층간 침기량

* 세종대 대학원 건축공학과 석사과정
** 세종대 대학원 건축공학과 박사과정
*** 세종대 대학원 건축공학과 교수, 공학박사

공조기를 이용한 침기량 테스트에 관하여 꾸준히 논의가 진행되고 있는데, 이는 층간 침기량까지 측정이 되는 블로어 도어 테스트에 비해, 실제 건물 외피에서의 침기량을 층간 침기량을 제외하고 측정할 수 있는 방법이기 때문이다.

이에, 본 연구에서는 CGSB 149.15-96[2]을 기준으로 국외 기준을 비교하였으며, 현재까지 발표된 연구 실험 논문을 비교 분석하였다.

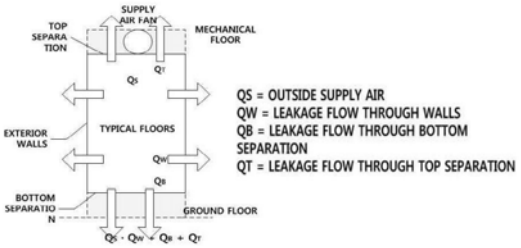


그림 2. 벽체에서 발생하는 층간 침기량 테스트

2. 대형 건물에서의 기밀도 측정 방법 및 기준

현재 건물 에너지 성능에 많은 영향을 끼치는 건물의 침기량을 측정하기 위한 기준 뿐만 아니라 현재 건물 자체의 공조기를 이용하여 고층 건물의 침기 성능을 측정하기 위한 기준 또한 마련되어 있는 것을 알 수 있다.

이와 관련된 국외 기준으로는 CIBSE TM23:2000, ASTM E779-10, CGSB 149.15-96, EN 13829, ISO 9972 등으로 정해져 있으나 아직 까지 별도의 국내 기준은 마련되어 있지 않다. 건물의 기밀성능 측정 기준은 기준 별로 다소 차이가 있으나 전반적으로 내용이 유사하다. 고층건물의 침기 성능에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있음에도 불구하고 건물 자체의 공조기를 이용한 침기량 테스트를 직접 실험하여 진행한 연구는 많지 않다.

건물의 침기율 측정방법에는 크게 두 가지로 추적가스법(Tracer gas method)과 가/감압법(Pressurization/Depressurization method)으로 나눌 수 있다. 가/감압법은 이용하는 장비에 따라 팬을 이용한 가압/감압법과 공조기를 이용한 가/감압법으로 나눌 수 있다.

2.1 추적가스법(Tracer gas method)

추적가스법은 실내 환기횟수를 측정할 수 있는 가장 기초적인 방법으로 일반적으로 공기 중에 포함되어 있지 않은 특정한 가스의 농도를 측정하여 농도변화에 따라서 각 실과 외부의 유동방향 및 유량을 알아보는 방법이다.

추적가스로는 어느 종류의 기체나 이용이 가능하나 환기량 측정에 사용되기 위해서는 인체에 무해하고 대기중이나 실내에 존재하지 않고, 실내공기와 혼합이 잘 되며 경제적 이어야 한다.

2.2 Blower door

가/감압법은 압력차 측정법이라고도 불리며 팬 또는 블로어 도어 팬(Blower door Fan)을 이용하여 실내외의 압력차를 조절한 후 공기 유동량을 산정할 수 있다.

블로어 도어는 현관문과 같은 공기 유동이 일어나는 곳에 설치하고 실을 가압 또는 감압하여 실내외의 일정한 압력차를 유지하여 그 때 발생하는 침기 또는 누기의 양을 측정할 수 있다.

대형건물의 기밀성능을 측정하기 위해 가압/감압하는 방식은 대형 및 다수의 소형 팬을 이용하는 방식과 공조기를 이용한 방식으로 나눌 수 있다. 대형건물에서 기밀성능을 측정하기 위한 팬 가/감압 방식으로는 외부의 팬을 이용하는 경우 크게 두 가지로 하나의 대형 팬을 이용하는 방식과 소형 팬을 여러 대 설치하는 방식이 있다.

(1) 대형 팬을 이용하는 경우

자동차가 팬의 이동을 담당하여 대형건물의 출입문을 이용하여 가압/감압 실험을 실시하며 대형 주거 건물과 대형 상업 건물 모두 측정할 수 있다.



그림 4 . 대형 팬의 이동



그림 3 . 문에 설치된 팬

(2) 다수의 소형 팬을 이용하는 경우

일반적으로 중소형 건물에서 기밀성능 실험에 사용되는 팬을 여러 대 부착하여 건물에 가/감압한다. 이 때 출입문에 여러 대를 부착할 수 있는 프레임을 사용하여 팬을 부착한다. 팬의 대수는 건물의 크기에 따라 조절할 수 있으며, 제조사에 따라서 달라질 수 있다.



그림 5. 다수의 소형 팬을 이용한 기밀성능 측정 방법

2.3 공조기를 이용한 가/감압법 (Air handler method)

CGSB 기준에서는 전반적인 건물 외피에서의 기밀도(Overall airtightness)를 측정하는 기준에 관하여 나타내고 있는 반면에 ASTM, ISO, CIBSE는 주로 블로어 도어를 이용하여 건물을 가압/감압 상태로 만들어 건물의 외피를 통한 기밀도를 측정하는 기술에 대해서 나타내었다.

또, 건물의 가/감압은 공조기를 이용하여 가능하고 그 양은 급기 측과 배기 측의 풍량 측정을 통해 알 수 있다.

B15	국내 학술발표대회 논문 (한국건축친환경설비학회 추계)
수행 기관	세종대학교 산학협력단
주요 내용	AHU를 이용한 가압테스트를 통한 외피기밀성능 측정방법 발표

공조기를 이용한 가압테스트를 통한 외피 기밀도 실측

Building Envelope leakage measurement using the air-handler fan pressurization approach

○ 한 슬 기* 조 홍 재* 정 재 원**
Han, Seul-Ki, Cho, Hong-Jae Jeong, Jae-Won

Abstract

This research is a case study performing the air-andler fan pressurization test in a real building. The test has been performed follwing an exiting test method(i.e. CGSB 149.15-96 Standrard). The test building is a 5-story office with a square (32.4m × 32.4m) footprint built in 2001 at Dae-jeon. The test building gas four air-handling units, but the unit located at the basement was out of order. Consequently, the 3 air-handling units installed at the 1st floor and 5th floor were used to pressurize the building. To measure the whole building envelope air leakage, the SA airflow rates in each air handler, operated at the 100% outdoor air mode with closed return and exhaust air dampers, were monitored together with the building pressure. This paper provides some practical information acquired in the field measurement of envelope leakage using the established air-handler fan pressurization test method.

키워드 : 공조기를 이용한 가압테스트, 건물 기밀도, 팬 가압 테스트, 건물 침기량
Keywords : AHU pressurization test, Air-tightness, Air leakage test, Buildling Envelope

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

건물 외피를 통해 발생된 침기 및 누기는 건물의 온도 및 습도에 중요한 영향을 끼치는 요소로서 건물 에너지 소비, 곰팡이 및 습기, 실내 공기질 및 건물 내구성 등 다양한 건물 운영 측면에 많은 영향을 끼친다. 특히 초고층 및 대형 건물의 경우, 침기와 누기가 더 많이 발생하게 되고 이에 따른 건물 외피에서의 열손실이 증가하여 건물 에너지 소비가 증가하게 된다. CIBSE의 연구에 따르면, 침기는 제어가 불가능하며 예측 불가능 하여 , HVAC 시스템이 필요 이상으로 크게 설계되기 때문에 침기를 정확히 측정하는 것이 중요하다. AIVC는 벨기에, 캐나다,미국 등 13개 국가의 상업 및 주거용 건물의 평균 ACH와 건물을 기밀하게 함으로써 감소 시킬 수 있는 에너지 소비량을 산정하였다. 그 결과 불필요한 침기 및 누기로 인해 낭비되는 에너지 소비량은 약 60%에 달했다. 상대적으로 침기 및 누기가 적은 건물의 경우, 실내 온습도 및 공기질을 보다 효율적으로 제어할 수 있을 뿐만 아니라 에너지도 절약할 수 있다. 이와 같이 건물 에너지 소비 및 건물 운용 문제와 관련되어 건물의 기밀도 측정에 대한 중요성이 대두되고 있다.

* 세종대 대학원 석사과정
** 한양대 건축공학부 교수, 공학박사

이 논문은 2012년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2012-001927). 또한, 본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2011년도 첨단도시개발사업(11CHUD-C059710-01-000000)에 의해 수행되었음.

2. 건물 기밀도에 대한 문헌적 고찰

2.1 건물 기밀도 측정 방법

일반적으로 건물의 침기 및 누기량을 측정하는 방법으로는 추적가스법과 팬 가압/감압법이 있으며, 팬 가압/감압법으로는 블로어 도어 테스트가 대표적이다. 대형 건물에서는 다수의 소형 블로어 도어 팬을 이용하거나 대형 블로어 도어 팬을 이용하여 가압/감압하여 기밀도를 측정하게 된다. 또 다른 방법으로는, 건물 내 공조기를 이용하여 건물을 가압하여 기밀도를 테스트 하는 방법으로써, 리턴 측 댐퍼와 배기 측 댐퍼를 닫고, 오직 외기 100%만을 도입하여 건물을 가압하여 기밀도를 산정한다.

2.2 기밀성능 지표

기밀도 관련 기준별로 다소 차이는 있으나 공통적으로 'Power law Equation'을 통해 침기 계수 및 침기 지수를 산정한 뒤, 필요에 따라 측정된 데이터를 환산하여 다양

하게 결과값을 나타낼 수 있다. 있다.

(1) CFM50(Cubic Feet per Minute)

CFM50은 실내외 차압이 50Pa일 때 유입되거나 유출되는 풍량을 의미하며, 건물 기밀도를 쉽게 파악할 수 있어 건물 기밀성능 지표로 많이 사용 된다. 이 외에 CFM50을 건물의 바닥면적으로 나누거나 건물의 외피면적으로 나누어 일반화 시키는 방법이 있다.

(2) ACH50

비교하고자 하는 대상의 면적이 다를 경우, 건물 체적에 따라 건물의 기밀량을 일반화 시켜 평가할 수 있는 지표이다. 실내외 차압이 ±50Pa 일 때, 시간당 환기량을 의미한다.

(3) 유효 누기면적(ELA, Effective Leakage Area)

ELA는 Lawrence Berkely Laboratory(LBL)에서 제시하였으며 건물 내부에 4Pa의 압력이 발생할 경우, 공기가 새어 나가는 요소의 크기를 블로어 도어 팬의 Inlet 부분과 유사한 노즐 모양의 구멍 크기로 환산하는 지표이다.

(4) 상당누기면적(EqLA, Equivalent Leakage Area)

EqLA는 건물의 실내외 차압이 10Pa일 때 발생하는 누기량을 얇은 판위의 구멍의 면적으로 환산하여 나타낸 것이다.

(5) 표준 누기면적(NL, the Nomalized Leakage)

표준누기면적은 ASHRAE Standard 119-(1988, 2005)에서 제시한 건물의 크기와 높이를 고려하여 건물의 누기 면적을 환산한 지표이다.

2.3 건물 기밀도 관련 기준 및 산정

각 국가별로 추적가스법 및 팬 가압/감압법을 통해 건물의 기밀도를 측정하는 사항에 관한 기준 및 절차들을 제시하고 있다. 대표적으로 ASTM E779-10은 팬 가압 및 감압 테스트 절차에 대해 상세히 나타냈으며, 테스트 장비 및 조건, 결과 분석 방법에 대해서도 구체적으로 나타내고 있다. 또한, USACE에서 가압 테스트를 하고자 하는 공간과 기후 및 상황에 따른 권고사항과 테스트 결과 리포트 형식을 제시하였다. 이 외에도 ISO, CIBSE, CAN/CGSB 등 각종 기준에서 대형빌딩의 기밀도를 측정하는 사항과 건물 내 공조기를 이용하여 기밀도를 측정하는 사항에 대해서 별도로 언급하고 있다. 다소 기준 별로 차이는 있으나, 건물의 기밀도 테스트 시 이용하는 장비의 정확도가 높고, 건물의 실내외 온도차가 적으며, 실내의 층별 압력 분포가 고른 것을 권고하고 있다. 또한, 측정의 정확도를 위해 측정 범위 평균 10~60Pa 내에서 Multi point 측정과 실험 시 가압할 수 있는 최대 가압크기를 만들어 실험하는 것을 권고하고 있다. 측정 결과는 Power-law Equation에 의해 측정한 압력차와 누기량을 지수함수의 관계로 나타내게 된다.

$$Q = C(\Delta Pa)^n \quad 식\ (1)$$

여기서, Q = 건물 침기량, ㎥/h

C = 침기 계수

△Pa = 실내외 압력차, Pa

n = 침기 지수

C와 n은 각각 여러 번의 건물 기밀도 테스트를 통해 산정된다. 침기 계수 C는 건물 침기 크기에 대한 함수이며, 침기지수 n은 공기의 흐름 특성으로 층류의 특성을 의미하며 0.5~1 사이의 값을 가진다. 일반적으로 n의 기준값으로는 0.65를 대입하며, 이는 침기량에 대한 정확한 지표를 나타내기 때문에 중요하다.

3. 건물 기밀도 실측

3.1 건물 개요

본 실험에서는 대전에 위치한 한국 에너지 기술 연구원 소재의 그린 빌딩을 선정하여 건물 기밀도를 실측하였다. 대상 건물은 지하 1층, 지상 5층으로 구성된 오피스 건물로 건물 중앙부에 1층부터 5층부를 관통하는 아트리움이 구성되어 있었다. 건물의 개요는 아래 표 2와 같다.

표 2 . 건물 개요 및 사진



구 분	내용
위치	대전시 유성구 장동
구조	철골 구조
높이	21.9m
연면적	6,164.82㎡
외피	화강석 버너 마감, AL SHEET

3.2 건물 기밀도 실측 개요

본 실험은 건물 내에 설치된 4개의 공조기 중 3대만을 이용하여 가압테스트를 진행하였다. 실험 시 가장 작은 풍량을 낼 수 있는 AHU-3번은 일정하게 최대 풍량을 지속적으로 내어 가압하였으며, 나머지 AHU-1,2번은 VAV 방식으로 팬의 풍량을 조절하면서 실험하였다. 정확한 실험 결과값을 얻기 위해 실내·외 압력차를 5Pa단위로 감압시켜가며 5단계로 나눠 차압 및 풍량을 측정하였으며, 각 단계별로 50Point의 데이터를 측정하였다.

3.3 실측 장비

건물 실측 장비에 대한 사항은 아래 표 3과 같다.

표 3. 실측 장비에 대한 사항

장비	상세 사항		사진
Weather Station	모델	DAVIS Vantage PRO 2	
	수량	1개	
	측정	풍향, 풍속 온도 상대습도 절대압	

B16	국내 학술발표대회 논문 (대한건축학회)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	대규모 건물에서의 기밀성능 측정방법에 관한 연구

2013 추계 학술

대규모 건물에서의 기밀성능 측정방법에 관한 연구

Analysis on Airtightness Measurement Method for Large Buildings

○이 동 석* 지 경 환** 조 재 훈***
Lee, Dong-Seok Ji, Kyung-Hwan Jo, Jae-Hun

Abstract

Airtightness measurement for small buildings can easily be conducted by using fan pressurization method. However, for large buildings, it is difficult to achieve accurate measurement results as the height and volume of the buildings have been increased. In this paper, we studied the principle of fan pressurization method. And, we reviewed the measurement process described in ISO 9972. Then, we investigated EN 13829, ASTM E779, ATTMA TS 1, CAN/CGSB 149.15, and JIS A 2201. As a result, we made a comparison analysis on the measurement methods appeared in each standards. And, we achieved test conditions about pressure difference, building scale, climatic conditions, and so on to conduct airtightness measurement for large buildings.

키워드 : 기밀성능, 연돌효과, 누기, 측정 방법, 표준
Keywords : Airtightness, Stack Effect, Airleakage, Measurement Method, Standard

1. 서 론

건물이 고층화, 대형화함에 따라 건물에서는 실내외 압력차로 인한 침기와 누기 발생, 결로 발생 증대로 에너지 소비가 증가되고 있다. 이러한 대규모 건물에서의 에너지 부하를 줄이기 방안으로 건물의 기밀성능이 중요하다. 건물의 기밀성능 평가를 위한 측정 방법으로는 팬을 이용한 가감압법이 현장에서 주로 활용되고 있다. 그러나 국내외에 마련되어 있는 가감압법을 이용한 기밀성능 측정방법을 다루는 표준들은 대부분 저층의 주거건물, 소규모 건물을 대상으로 다루어져 왔다.

본 연구에서는 기밀성능 측정방법의 원리와 ISO 9972(2006) "Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method"의 내용을 바탕으로 대규모 건물의 기밀성능 측정방법에서 고려해야 할 항목들을 검토하고, 각 나라별 측정방법에 대한 표준들을 비교분석하였다. 본 연구의 결과는 향후 대규모 건물 전체의 기밀성능 측정방법을 위한 기초연구로 사용되어 질 수 있다.

2. 기밀성능 측정방법

2.1 기밀성능 측정방법의 원리

건물의 기밀성능은 외피의 누기량을 측정함으로서 평가할 수 있다. 팬을 이용하여 건물에 가압 또는 감압을 하게 되면, 공간의 내부에는 이로 인한 압력차가 발생하게 된다. 이때 건물로 불어넣는 풍량(Q)과 압력차($\triangle P$) 사이에는 다음의 식 (1)과 같은 지수함수의 관계가 있다.

$$Q = k(\triangle P)^n \quad (1)$$

여기서, k 는 기류계수, $m^3/(s\,Pa^n)$이고, n 은 대부분 0.5 부터 1 사이의 값을 가지는 무차원 압력지수이다. 지수함수의 관계에서, 건물에 기계적으로 불어넣는 공기의 양, Q 는 기류계수, k 값과 압력지수, n 값, 그리고 걸어주는 압력차, $\triangle P$ 값의 관계에 의하여 결정된다. 기류계수와 압력지수는 건물의 기밀성능과 관련이 있는데, 이는 가감압의 측정방법에서 측정자가 얻은 Q 값과 $\triangle P$ 값의 관계식으로부터 구할 수 있다. k 값과 n 값은 지수함수의 관계식을 log값으로 환산하고, 추정회귀직선의 방정식을 계산함으로서 구할 수 있다.[1]

2.2 기밀성능 측정방법 항목

건물의 기밀성능 측정을 위해서는 풍량(Q)과 압력차($\triangle P$)와 관련된 방법과 기준들이 논의되어야 한다. ISO 9972에서는 풍량과 압력차에 관한 원리를 바탕으로 팬을 이용한 기밀성능 측정방법에 대하여 설명하고 있다.

2.1의 기밀성능 측정방법의 원리를 바탕으로 ISO 9972에서 설명하는 측정방법에 관한 내용을 참조하였을 때, 건물의 기밀성능 측정방법에서 반드시 고려되어야 하는 항목들은 표 1과 같다.

표 1. 풍량과 압력차 관련 측정방법 항목

구분	내용
풍량	· 풍량 공급방법: 팬과 덕트 시스템, 블로어 도어 시스템, 공기조화 시스템 · 송풍량의 측정 시스템의 사양 · 건물의 규모: 건물의 체적, 외피면적 등에 대한 정의
압력차	· 공기유도장비(팬): 장비의 압력 범위 · 압력 측정 장치: 측정 압력의 범위 및 정밀도 · 기타 측정 장치: 압력, 온도, 풍속, 기압 · 압력의 방향설정: 가압 또는 감압 · 영(0) 기류 압력차 (zero-flow pressure) · 압력 센서의 설치: 위치, 개소 · 적정 지상 및 기상 풍속 · 적정 온도 · 측정압력의 범위, 횟수(point) 및 증가 압력 · 건물의 규모 결정에 관한 기준 · 건물의 규모에 따른 측정 방법 · 기후조건: 연돌효과, 적정 지상 및 기상 풍속, 적정온도

* 인하대 대학원, 석사과정
** 인하대 대학원, 석사과정
*** 인하대 건축학부 부교수, 공학박사
(Corresponding Author, jhjo@inha.ac.kr)
이 연구는 2013년도 국토교통과학기술진흥원의 연구비 지원에 의한 결과의 일부임. 과제번호:13CHUD-C059699-03

표 2. 각 나라별 기밀성능 측정방법 기준 비교

구분		ISO 9972 (2006) (International)	EN 13829 (2000) (Europe)	ASTM E779 (2010) (U.S.A.)	ATTMA TS1 (2013) (UK, EU)	CAN/CGSB-149.15 (1996) (Canada)	JIS A 2201 (2003) (Japan)
장비		• 팬과 덕트 시스템, 블로어 도어 시스템, HVAC 시스템	• 팬과 덕트 시스템, 블로어 도어 시스템, HVAC 시스템	-	• 팬, 멀티 팬, 공조기	• 공기조화 시스템	-
		• 송풍량을 ±7% 이내로 관독 • 공기의 밀도에 따라 송풍량에 대한 값 보정	• 송풍량을 ±7% 이내로 관독 • 공기의 밀도에 따라 송풍량에 대한 값 보정	• 송풍량을 ±5% 이내로 관독 • Test Method E 1258에 따라 교정된 시스템	• 송풍량을 ±7% 이내로 관독 • 공기의 밀도에 따라 송풍량에 대한 값	• 송풍량을 ±5% 이내로 관독	• 송풍량을 ±5% 이내로 관독
		• 압력계: 정확도 ±2 Pa • 온도계: 정확도 ±1K	• 압력계: 정확도 ±2 Pa • 온도계: 정확도 ±1K	• 압력계: 정확도 ±2 Pa • 온도계: 정확도 ±1℃ (2°F) • 풍속계: 정확도 ±0.25 m/s	• 압력계: 정확도 ±2 Pa • 온도계: 정확도 ±1K • 풍속계: 정확도 ±1 m/s • 기압계: 정확도 ±5 mbar	• 압력계: 정확도 ±1 Pa • 온도계: 정확도 ±1℃	• 압력계:정확도 ±5 Pa • 온도계: 정확도 ±1K
건물 규모	체적 (m^3)	• 순바닥 면적 × 평균 순 천장 높이	• 순바닥 면적 × 평균 순 천장 높이	• 건물의 내측 부피	• 외피를 둘러싼 경계면적(Ae permeability)	• 가압과 감압이 된 모든 공간의 부피 (선택사항)	-
	외피 (m^2)	• Total envelope area: 내측 부피를 둘러싼 경계면적	• Total envelope area: 내측 부피를 둘러싼 경계면적	-	※ Air barrier line: 외측 단열재로부터 외측벽면까지 ※ 외피에 대한 기준: 통인된 공기 외인 (측 벽체 안쪽 면)	• 건물 외피면적 (선택사항), ±1%의 정확성 계산 요구 (최상층 천정, 최하층 바닥, 외측 벽면을 포함)	• Building envelope: 압력 밥을 기밀하게 분리해주는 바람벽, 천장, 바닥의 경계면 ※ Real total floor area 계산 가이드라인 제시
가압방법		• 가압 또는 감압 (가감압 모두 권장)	• 가압과 감압	• 가압과 감압	• 가압 또는 감압	• 가압 또는 감압	-
기후	높이와 온도의 관계 (m·K)	• 실내외 온도차(K)와 건물 높이(m)의 곱 ≤ 250 m·K	• 실내외 온도차(K)와 건물 높이(m)의 곱 ≤ 500 m·K	• 실내의 온도차(℃)와 건물 높이(m)의 곱 ≤ 200 m·℃ (118 ft·°F) • 외기온도 = 5 ~ 35 ℃ 또는 41 ~ 95 °F) 권장	• 실내외 온도차(K)와 건물 높이(m)의 곱 ≤ 250 m·K	• 풍속 ≤ 20 km/h 또는 ~10층: 5℃이하 11~20층: 8℃이하 21~30층: 10℃이하 31층~ : 15℃이하	• 실내외 온도차(K)와 건물 높이(m)의 곱 ≤ 200 m·K • 5 ~ 35 ℃ (실내 일정온도)
	바람	• 지상풍속 ≤ 3 m/s, • 기상풍속 ≤ 6m/s, 또는 Beaufort Scale < 3	• 기상풍속 ≤ 6m/s, 또는 보퍼트 풍력 계급(Beaufort Scale) < 3	• 지상풍속 ≤ 2 m/s (≤ 4 mph) 권장	• 지상풍속 ≤ 6 m/s	-	• 풍속으로 인한 압력차 ≤ 3 Pa
ΔP_a 영(0)기류 압력차		• 측정 전후 압력차 ≤ ±5 Pa • 30초 이상 측정된 값의 평균 기록	• 측정 전후 압력차 ≤ ±5 Pa • 30초 이상 측정된 값의 평균 기록	• 압력차 ≤ 5% • 10초 이상 측정된 값의 평균 기록	• 측정 전후 압력차 ≤ ±5 Pa ※ Fan-off pressure ≤ 5±1 Pa (5 Pa 이하)	-	• 측정 전후 압력차 ≤ ±3 Pa ※ 측정 전과 후의 압력차는 같아야함
압력센서		• 바람의 영향 없는 곳에 설치	• 바람의 영향 없는 곳에 설치	• 3층 이상 또는 7.5 m (25.5ft)인 건물은 외벽 높이 이상의 곳에서도 설치	• 바람이 관관해 질 때 측정	• Tubes, typically 57.3 mm long by 0.5 mm inside diameter	-
측정 압력	최소 압력	• 10 Pa 이상, 또는 영(0) 기류 압력차 × 5	• 10 Pa 이상, 또는 영(0) 기류 압력차 × 5	• 반드시 10 Pa 이상 (0.04 in. H20)부터	• 10 Pa 이상, 또는 영(0) 기류 압력차 × 5	• 10 Pa 이상	• (정온기후): 10 Pa 이상, • (바람의 영향이 있는 경우): 30 Pa 이상
	증가 압력	• 10 Pa 이하	• 10 Pa 이하	• 5 Pa ~ 10 Pa (0.02 ~ 0.04 in. H20)	• 10 Pa 이하 ※ 풍속 > 3 m/s: ≥ 10 Pa (15 Pa 권장)	-	-
	최대 압력	• (일반): 50 Pa ~ 100 Pa • (대공간, 4000m²이상): 25 Pa ~ 50 Pa	• (일반): 50 Pa ~ 100 Pa • (대규모, 4000m²이상): 25 Pa ~ 50 Pa	• 반드시 60 Pa 이상 (0.24 in. H20) 까지	• (일반): 50 Pa 이상 • (대공간): 35 Pa 이상	• 75 Pa 이하	• (정온기후): 50 Pa 이상 • (바람의 영향이 있는 경우): 70 Pa 이상
	측정 횟수	• 5회 이상 (균일 증가압력)	• 5회 이상 (균일 증가압력)	• 5회 이상 (10초 이상 측정값의 평균)	• 7회 이상	• 3회 이상	• 5회 이상 (각 3회 측정, 총 15회)
분확실성		• 젊은한 기후 조건: 보통 10% 이하 • 바람이 많이 부는 기후조건: 20%까지 도달 가능	• 젊은한 기후 조건: 보통 10% 이하 • 바람이 많이 부는 기후조건: 20%까지 도달 가능	• Precision and Bias (정밀도 및 바이어스)	-	-	-

3. 대규모 건물에서의 기밀성능 측정 방법

본 장에서는 2.2의 풍량과 압력차에 관한 항목들을 바탕으로 6개의 대표적인 표준(ISO 9972, EN 13829, ASTM E779, ATTMA TS1, CAN/CGSB-149.15, JIS A 2201)을 분석하여 표 2에 나타내었다. 대규모 건물의 기밀성능 측정방법에서 추가적으로 규정되어야 하는 주요 항목들에 대하여 요약하면 다음과 같다.

(1) 건물의 체적과 외피면적 계산에 관한 항목: 건물 외피와 체적에 대한 정의는 6개의 표준들에서 모두 비슷하였다. 그러나 실제 건물의 체적과 면적을 결정하기 위한 구체적인 계산방법에 대해서는 명확히 규정되어 있지 않은 것으로 판단된다.

(2) 건물의 규모에 관한 항목: 6개의 표준들의 건물의 규모에 관한 기준들을 검토하였을 때, EN 13829이외 나머지 표준들에서는 명확한 건물의 규모에 대한 기준을 제시하지 않았다. 측정 압력차의 항목에서 3개의 표준들이 일반건물과 대규모 건물을 구분하여 측정 방법을 구분해 놓았지만, EN 13829에서 대규모 건물을 4000m²로 규정한 것 이외에 다른 표준들에서는 건물의 규모를 구분하기 위한 판단기준이 명확히 제시되지 않았다.

(3) 온도와 높이 관계에 대한 항목: CAN/CGBS-149.15를 제외한 4개의 표준에서, 온도와 높이 관계(m·K)에 대한 값을 200 ~ 250m·K으로 하였다. 이는 초고층 건물에서의 기밀성능 측정을 제한하므로, 이를 위한 고려가 필요하다고 판단된다.

4. 결 론

본 연구에서는 대규모 건물에서의 기밀성능 측정방법에서 규정되어야 하는 항목들을 정리하였다. 이를 위하여 기밀성능 측정방법의 원리를 바탕으로 대표적인 기밀성능 측정방법에 대한 표준들을 비교 분석하였다.

참고문헌

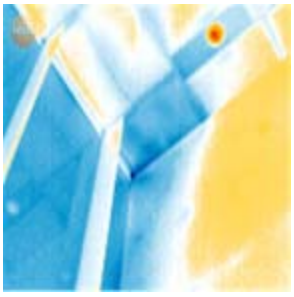
1. 조재훈, 초고층 주거건물에서의 단위세대 기밀성능 측정 및 평가, 대한건축학회 논문집 계획계 제 26권 제 10호, 2010
2. ISO 9972, Thermal performance of buildings - Determination of air permeability of buildings - Fan pressurization method, 2006
3. DIN EN13829, Thermal performance of buildings Determination of air permeability of buildings Fan pressurization method, 2001

C1	기밀화 체크리스트 보고서(업무용건물/대규모건물)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	업무용/대규모건물을 기준으로 건물에서의 기밀화 체크리스트 마련

1. 기밀화 체크리스트 작성을 위한 누기부위 조사 실시

구 분		건물 A	건물 B	건물 C	건물 D
조감도/사진					
위 치		서울시 서초구 서초동	서울시 마포구 상암동	수원시 연통구 매탄동	화성시 반월동
구 조		철골, 철근 콘크리트 구조	철골, 철근 콘크리트 구조	철골, 철근 콘크리트 구조	철골, 철근 콘크리트 구조
외피형태		Curtain Wall	Curtain Wall	Curtain Wall	Curtain Wall
용 도		업무 시설, 근생 시설	업무 시설, 근생 시설	교육 연구, 복지 시설	교육 연구, 연구소
누기 부위 조사 방법	현장 조사	○	○	○	○
	연기 장치	○	○	○	X
	열화상 카메라	○	X	X	X



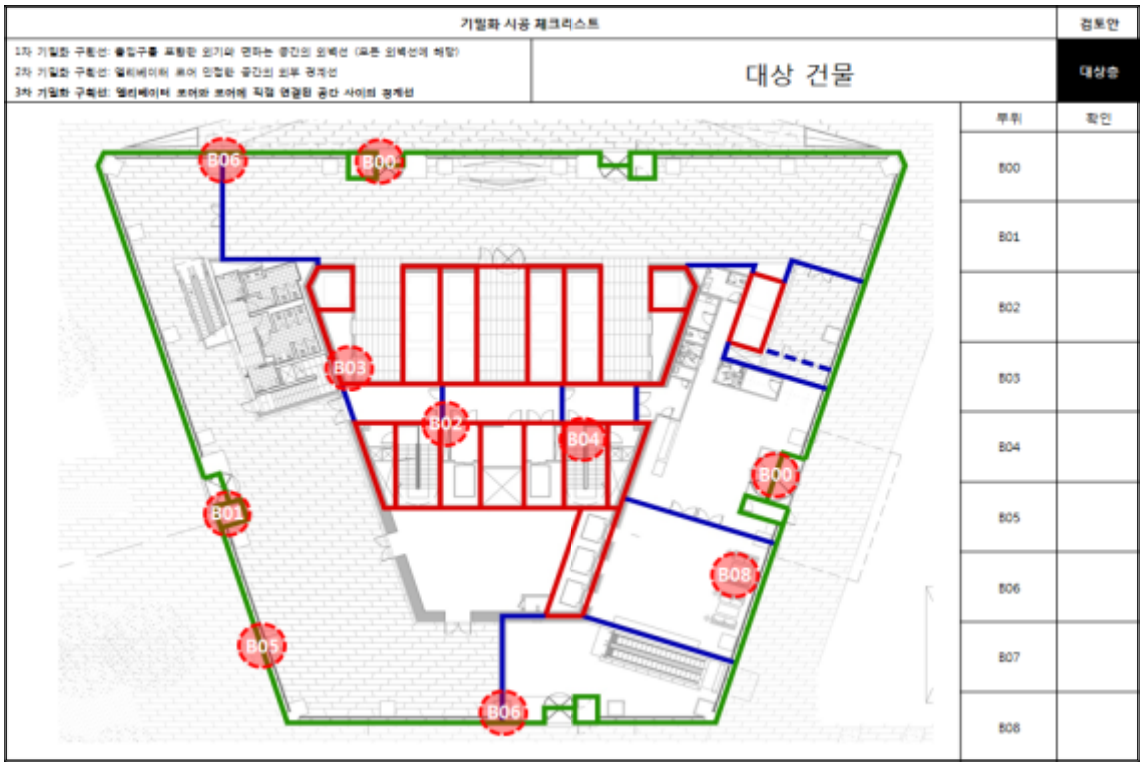
(a) 연기 장치를 이용한 조사

(b) 열화상 카메라를 이용한 조사

2. 기밀화 체크리스트 마련

기밀화 시공 체크리스트

기밀 보완 부위	기밀 보완 부위
01 출입구	03 커튼월
방풍실 프레임	구조체 접합부
출입문 주변부	프레임간 접합부
외부 캐노피 접합부	외부 바닥 접합부
옥상정원 등 외부출입문	내부 수직 프레임 접합부
02 건식벽체	04 배관 관통부
벽체간 접합부	배관 관통부
구조체 접합부	05 구획문
도어 프레임 주변 벽체	프레임 접합부
천장 내부 수벽	06 기타
외기에 직접 면한 벽체	엘리베이터, 기계실, 기밀도어, 방풍실, 실내외 인테리어 마감 부위



C2	기밀화 체크리스트 보고서(주거건물/소규모건물)
수행 기관	(주)건축사사무소 TOP
주요 내용	주거/소규모건물을 기준으로 건물에서의 기밀화 체크리스트 마련

목적

- 북미, EU등 선진국에서는 객관적이고 정량화된 기밀도 기준을 법제화하여 에너지절약 건물을 시행하고 있으나 국내의 경우 건물의 기밀성을 높이기 위한 연구와 기밀 성능 측정 및 건물 기밀화 기법 개발에 관한 노력은 많았으나 실제 기밀성을 높이기 위한 설계나 기밀 시공을 위한 시공지침서 및 시방서 등의 확립은 미흡한 실정이다.
  또한 시공 시 문제점이 발생하여도 보완이 어려워 부실시공 또는 하자가 발생할 가능성이 높으므로 이에 건물 설계 및 시공과정에서 가이드라인으로 활용할 수 있는 기밀화 표준안을 마련하고자 한다.

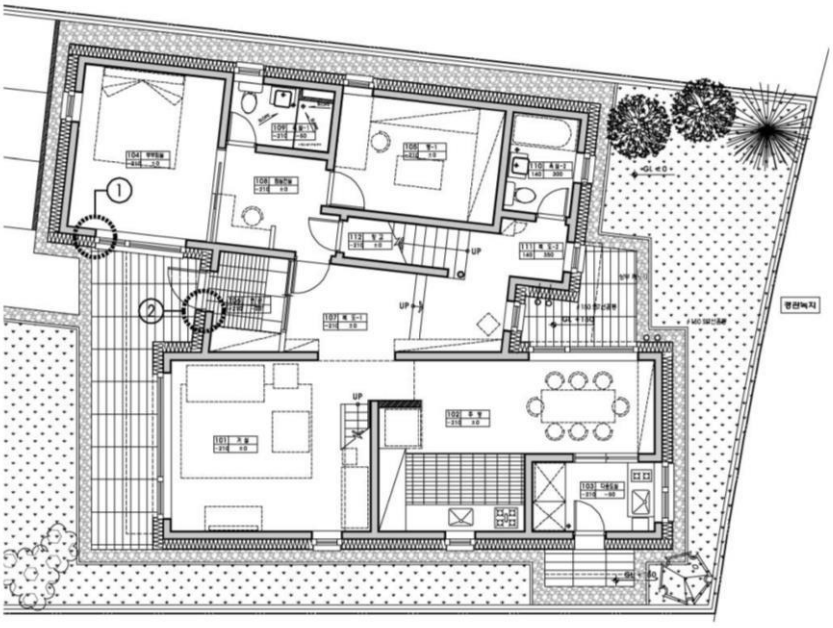
Process

- 체크리스트를 작성할 자연형 습식건물의 사례(단독주택) 선택
- 기밀화가 필요한 침기 부위 리스트 작성
- 침기 부위 도면상 표시
- 건축구조, 기계설비, 전기설비로 구분하여 체크리스트 작성

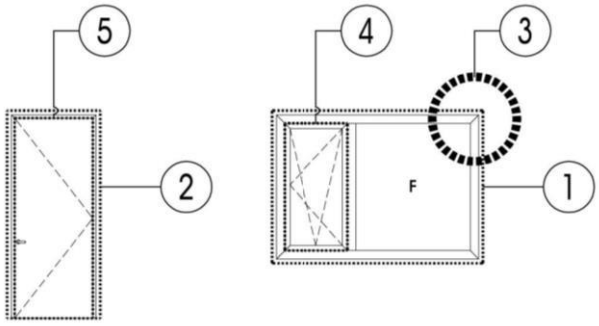
사례선택

건축개요	
위치	파주시 교하읍 문발리 577-7
대지면적	357.60㎡
건축면적	163.33㎡
연면적	218.93㎡
건폐율	45.67%
용적율	61.22%
구조	철근콘크리트조
용도	단독주택
층수	2층

침기 부위 표시



[그림 1]



[그림 2]

침기부위

① 창호와 벽체가 만나는 부위
② 문과 벽체가 만나는 부위
③ 창호프레임 접합 부위
④ 창문과 창틀이 만나는 부위
⑤ 문과 문틀이 만나는 부위

C3	건물 기밀화방안
수행 기관	(주)건축사사무소 TOP
주요 내용	습식공법, 건식공법을 주로 사용하는 건물에서의 기밀화방안 작성 수행

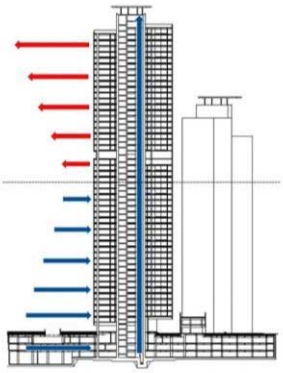
1. 목적 및 필요성

기존 건축기준으로 지어진 건축물에서는 전체소비에너지의 약 26% 정도가 건축물 냉난방 에너지 및 전기에너지로 소비되고 있으며 그 중 약 18%정도가 주거건물에서의 냉난방에너지 소비로 나타났다.[1] 이에 건물분야에서의 에너지 소비를 줄이기 위하여 건물 기밀화가 필수라 할 수 있다. 각 선진국에서는 객관적이고 정량화된 기밀도 기준을 법제화하여 에너지 절약 건물을 시행하고 있으나 국내의 경우 건물의 기밀성을 높이기 위한 연구와 기밀 성능 측정 및 건물 기밀화 기법 개발에 관한 노력은 많았으나 실제 기밀성을 높이기 위한 설계나 기밀 시공을 위한 시공지침서 및 시방서 등의 확립은 미흡한 실정이다. 또한 시공 시 문제점이 발생하여도 보완이 어려워 부실시공 또는 하자가 발생할 가능성이 높으므로 이에 건물 설계 및 시공과정에서 활용할 수 있는 기밀화 방안을 제시하고자 한다.

2. 기밀화 요구부위 점검

2-1. 기밀화 요구부위

고층의 업무시설에서는 실내의 온도차 때문에 온돌효과가 발생하며 특히 겨울철처럼 건물의 내 · 외부의 온도차가 클 경우 외기가 내부로 유입되면서 연돌효과는 심화된다. 주로 1층의 로비나 지하 출입문으로 유입된 창 공기가 엘리베이터 혹은 계단실을 통해 상승하는데 층수가 높을수록 공기의 세기와 압력이 거세지기 때문이다. 외기가 유입되면서 건물 내부의 단열성능 또한 현저히 저하되어 연돌효과를 최소화하며 기밀성을 확보하기 위한 노력이 필요하다. 이에 업무시설에서 기밀성 확보를 위해 외부와 연결되는 부분을 중점적으로 개선할 필요가 있다.



[그림1. 연돌효과]

2-2. 기밀화 체크리스트 작성

철골조 업무시설을 대상으로 설계 및 시공 시 기밀화가 요구되는 침기 · 누기부위를 확인하고 이를 건축구조, 기계설비, 전기설비로 구분하여 체크리스트를 작성하였다.

1) 이용한 패시브주택의 시공 및 개선방안에 관한 연구, 조경민, 이태구, 김주수, 김주환

3. 기밀성 확보를 위한 개선

철골조와 같은 건식구조 방식은 콘크리트구조에 비해 기밀성 확보가 더 어렵다. 이는 벽체를 구성하는 석고보드와 석고보드 사이의 틈새가 존재하기 때문이며 각종 전기나 기계 배선들이 벽체와 만나는 부위도 기밀성을 유지하는데 방해가 되기 때문이다. 앞서 말한 것과 같이 고층의 업무시설에서는 온돌효과의 발생으로 외부와 연결되는 부분의 기밀화가 중요하며 이에 방풍구조 계획과 고효율 창호 및 문이 적용되어야 한다.

3-1. 방풍구조 및 문의 기밀성

국내의 경우 거의 대부분의 건물이 Stainless Steel Door를 하는 편이나 이는 기밀성능이 떨어지므로 기밀성 확보를 위해서는 적용하지 않는 것이 좋다. 따라서 주출입구에 Aluminum System Door를 사용하거나 회전문으로 계획하여 방풍구조를 유지하여야 한다.



[그림2. Stainless Steel Door]



[그림3. Aluminum System Door]



[그림4. 고효율에너지기자재 인증서]

3-2. 창의 기밀성

업무시설의 창호는 고효율에너지기자재 인증을 받은 창호를 적용하여 창호의 기밀성을 유지하는 것이 중요하다.

4. 기밀화를 위한 시공방안

앞서 작성한 기밀화 체크리스트와 개선사항들을 보완하기 위한 건식구조 업무시설에서 기밀화를 위한 방안을 시공방법별로 구분하면 아래와 같다.

시공방법	자재	적용부위
방풍구조	Aluminum System Door, 회전문	주출입구
고기밀 도어	Aluminum System Door, 논스톱 플로어힌지	주출입구, 외부와 연결되는 모든 출입문, 코어와 연결되는 실의 문
고기밀 창호	고효율에너지기자재 창호	창호

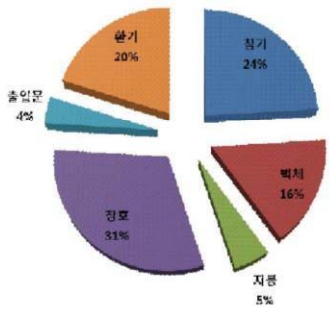
[표2. 시공방법별 기밀화 시공방안]

C4	건물 기밀화 표준안
수행 기관	(주)건축사사무소 TOP
주요 내용	건물 기밀화 표준안 작성

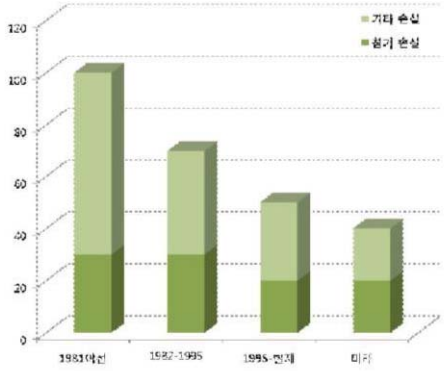
1. 일반사항

1-1. 기밀성능의 중요성

기존 건축기준으로 지어진 건축물에서는 전체소비에너지의 약 26% 정도가 건축물 냉난방에너지 및 전기에너지로 소비되고 있으며 그 중 약 18%정도가 주거건물에서의 냉난방 에너지 소비로 나타났다.[1] 대형건물은 에너지 소비량의 약 50%가 냉난방에너지에서 소비되며 침기에 의한 냉난방에너지 손실은 약 20~40%인 것으로 나타났다.[2] 이에 건물분야에서의 에너지 소비를 줄이기 위하여 건물 기밀화가 필수라 할 수 있다. 또한 시공 시의 문제점, 건물 내외의 압력차 등으로 건물 외피를 통한 침기 및 누기가 발생할 경우 곰팡이 및 결로 발생, 이용자의 쾌적도 하락, 건물 내구성 저하 및 건물 외피에서의 열손실 증가에 따른 건물 에너지소비량 증가, 고층건물의 경우에는 상하층간의 연돌효과가 크게 발생하는 등의 문제점을 야기할 수 있다. 이에 외피 열손실 저감, 건물 에너지 소비를 줄이기 위해서는 건물 기밀도 향상은 매우 중요하다.



[그림1. 건물에서의 난방부하 구성 요소]



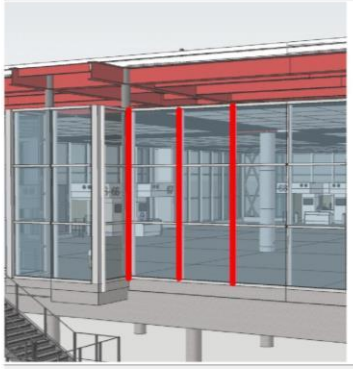
[그림2. 건물에너지에서 침기가 차지하는 비중]

1-2. 가이드라인의 필요성

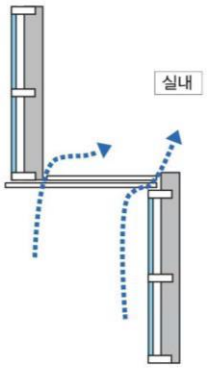
각 선진국에서는 객관적이고 정량화된 기밀도 기준을 법제화하여 에너지절약 건물을 시행하고 있으나 국내의 경우 건물의 기밀성을 높이기 위한 연구와 기밀 성능 측정 및 건물 기밀화 기법 개발에 관한 노력은 많았으나 실제 기밀성을 높이기 위한 설계나 기밀 시공을 위한 시공지침서 및 시방서 등의 확립은 미흡한 실정이다. 또한 시공 시 문제점이 발생하여도 보완이 어려워 부실시공 또는 하자가 발생할 가능성이 높다.

건물의 기밀성능 향상을 위해 설계 시 및 착공 전에 기본적으로 고려할 필요가 있는 부분들에 대한 사전 검토를 실시하여 이를 반영한다면 건물의 기밀성능을 크게 향상 시킬 수 있다. 또한 시공 시 침기 및 누기 예상부위를 시공자 및 감리자에게 사전에 알려주어 시공

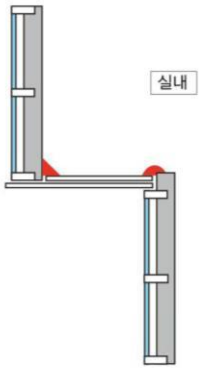
O-C-04



(1) 침기부위 및 시공부위

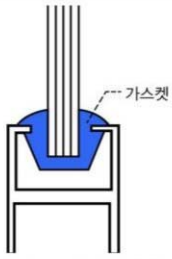


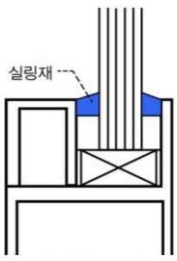
[침기부위]



[시공부위]

(2) 개선방안 1







[가스켓 적용]



[실런트 시공]

C5	국내학술발표 논문(한국태양에너지학회)
수행 기관	(주)건축사사무소 TOP
주요 내용	국내 저에너지주택의 기밀성능 현황 분석 및 체크리스트

한국태양에너지학회
VOL. 33, NO.1, 2013.4.4~5 대구EXCO
춘계학술발표대회 논문집

국내 저에너지주택의 기밀성능 현황 분석

안나*, 조민구**, 최정만***

*(주)건축사사무소 탑 부설연구소 ZARIM 연구원(apink0324@gmail.com),
**한국패시브건축협회 사무국장(chomg0301@gmail.com),
***(주)건축사사무소 탑 부설연구소 ZARIM 소장(izzarder@gmail.com),

A study on the airtightness performance analysis of low-energy house in korea

Ahn, Na*, Cho, Min-Goo**, Choi, Jung-Mann***

*Researcher, ZARIM ENC, TOP Architecture & Associate R&D(apink0324@gmail.com),
**Managing Director, Passive House Institute Korea(chomg0301@gmail.com),
***Chief, ZARIM ENC, TOP Architecture & Associate R&D(izzarder@gmail.com),

Abstract

Importance of building airtightness performance to reduce energy consumption has been on the increase. Building airtightness is essential for concrete realization of the national energy saving policy. The most important factor is achieving airtightness level of the new building in the developed world needs to building energy saving standards. However, there is no standardized method for building airtightness criteria in korea.

This research presents the airtightness performance of the housing with high airtightness and insulation. The purpose of this study establishes development of airtightness criteria in the housing through airtightness performance analysis of low-energy and passive houses.

Keywords : 기밀(Airtightness), 에너지절약(Energy saving), 패시브(Passive), 침기(Infiltration)

1. 서 론

1.1 연구 배경 및 목적

국내 총 에너지 소비량의 20%정도를 차지하는 건물분야에서의 에너지 소비는 향후 주요 선진국들에서 건물분야가 차지하는 전체 에너지 소비의 30~40%수준까지 높아질 것으로 예상되고 있다. 이에 건물에서의 에너지 소비를 줄이기 위하여 건물 기밀성능의 중요성이 증가되고 있다. 우리나라와 같은 기후대의 기밀하지 못한 건물에서의 침기와 누기는 냉난방 에너지 비용을 상승시키고 결로 등의 문제점을 야기한다. 따라서 국가적인 에너지절약 정책의 구체적인 실현을 위해서는 건물의 기밀화가 필수라 할 수 있다. 각 선진국에서 요구하는 건물 에너지절약 기준에는 가장 중요한 요소로 신축건물이 달성해

야 하는 기밀수준을 정하고 있으며 이를 검증 평가하도록 제도화하고 있다. 그러나 국내에는 건축물 기밀도 기준 및 성능검증을 위한 표준화된 측정방법이 없는 실정이다.

따라서 본 연구에서는 사단법인 한국패시브건축협회에서 인증한 국내 저에너지·패시브하우스의 기밀성능 현황을 분석하고 국내 주택의 기밀도 기준정립을 위한 데이터를 구축하고자 한다.

2. 기밀화 체크리스트

건물의 기밀화가 요구되는 침기부위를 건축구조, 기계설비, 전기설비의 분야별 구분하여 기밀화 체크리스트를 작성하였다.

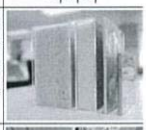
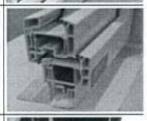
표 1. 기밀화 체크리스트

번호	분야	침기부위
1	건축구조	창호와 벽체가 만나는 부위
2		문과 벽체가 만나는 부위
3		창호프레임 접합 부위
4		창문과 창틀이 만나는 부위
5		문과 문틀이 만나는 부위
6	기계설비	오수 및 배수 인출관의 외벽관통 부위
7		옥외 부동수전 인출관의 외벽관통 부위
8		수도 인입관의 외벽관통 부위
9		가스 인입관의 외벽관통 부위
10		욕실 배기덕트의 외벽관통 부위
11		주방 및 다용도실의 후드배기덕트의 외벽관통 부위
12		보일러 연도의 외벽관통 부위
13	전기설비	전기 인입선의 외벽관통 부위
14		세대 분전반 박스 부위
15		온도조절기 박스 부위
16		콘센트 박스 부위
17		전동블라인드 전원공급선의 외벽관통 부위
18		외부전등 전원공급선의 외벽관통 부위
19		전등 박스 부위
20		전등스위치 박스 부위
21		통신 인입선의 외벽관통 부위
22		TV분배함 및 통신용 국선단자함 부위
23		비디오폰 및 도어제어 전선의 외벽관통 부위
24		비디오폰 박스 부위
25		TV유니트 및 통신용 콘센트 박스 부위

3. 저에너지주택·패시브하우스의 개념

사단법인 한국패시브건축협회에 의하면 패시브하우스란 연간난방에너지요구량 15kWh/㎡·a인 건축물이며, 저에너지주택은 연간난방에너지요구량 50kWh/㎡·a이하, 기밀성능은 n50Pa일 때 1.5회/h이하인 건축물을 말하며[1] 이 기밀성을 충족하기 위해서는 앞서 체크리스트로 작성한 건물의 침기부위에 적절한 기밀시공이 되어야 한다.

표 2. Passive 요소

기법	내용	이미지
고단열	외단열 방식 단열재를 설치하여 열손실을 최소화하고, 실내 결로발생을 억제하는 고성능 단열시스템	
고성능 창호	외벽에서 창호를 통한 에너지 손실률이 가장 크므로 고성능 창호 적용	
고기밀	외벽, 창호 및 문 접합부위 기밀테이프 시공	
	배관 및 콘센트 주위 기밀테이프 시공으로 기밀성 확보	
폐열회수 환기장치	겨울철 외부로부터 유입되는 차갑고 신선한 공기는 실내에서 빠져나가고 오염되고 따뜻한 공기의 열을 교환하여 난방비를 줄여주는 역할	
EVB 외부차양	여름철에는 태양광의 차단, 냉방부하 절감	

4. 저에너지주택·패시브하우스의 성능분석

4.1 성능분석

1) 한국패시브건축협회 http://phiko.kr

연구 내용	관련 연구 결과물
기밀측정 전문가 교육 및 양성	기밀측정 전문가 교육 프로그램 개발 D1. 건물 기밀측정 전문가 교육 프로그램 D2. 건물 기밀측정 전문가 교육 교재
	기밀측정 전문가 인력 양성 D3. 건물 기밀측정 전문가 교육 과정 운영-3회 실시 D4. 건물 기밀측정 전문가 양성-약 80명
	D5. 국내학술게재 논문 1건(한국건축친환경설비학회) D6. 국내학술발표대회 논문 1건(한국건축친환경설비학회)

D1	건물 기밀측정 전문가 교육 프로그램 개발
수행 기관	인하대학교 산학협력단, 세종대학교 산학협력단
주요 내용	건물 기밀측정 전문가 교육을 위한 LEVEL I 주거건물/소규모건물 교육 프로그램 개발

교육 단위	시간	주 제	주요 내용
프로그램 소개	30m	교육내용, 시험, 수료/자격 설명	교육 내용-국내외 교육 현황/전문가 현황
			필기/실습 시험, 수료 및 자격
기초 이론	1h 30m	Building Physics	Basic 이론
			UNIT
			풍량(Q): CMH, CFM
			압력: 절대압, 차압, 압력 SCALE:
			WIND PRESSURE, Stack Effect
			Combining Driving Forces
			건물에서의 압력차
			THERMAL LOADS
			Leakage Function
건물에서의 기밀	2h	Building Airtightness	기밀의 정의
			Leaky 건물의 문제점
			기밀성능의 중요점
			Leakage Function
			기밀성능 표현방법, Reference 압력차
			Q, 압력차, n
			Airtightness Ratings
			가스추적법, 팬가압법, 차음법 등
			Fan pressurization method 소개
			Leakage Function을 이용한 data 산출
			기밀성능 결과값 계산/오차
기밀성능 및 환기성능	1h	Build Tight, Ventilate Right	침기 VS 환기
			건물 기밀성능 ACH50
			건물 환기성능 ACH
			국내외 기밀 및 환기성능
			국내 기밀성능 기준
			환기 계획
			Build Tight, Ventilate Right
기밀성능 측정방법	2h	KS, ISO, ASTM, EN 측정방법 ASTM E283/E783, NFRC-400 ASTM E1186 ISO 6891	관련 standard 소개 및 비교
			대표 standard 체계 및 내용(ISO 9972)
			EN Method A/B 설명
			제한사항(기후조건), K·m
			ASTM E283/E783, NFRC-400
			건물에서 기밀조사방법 ASTM E1186
			Smoke Inspection
			Thermography Inspection (ISO 6891)
			Blower door 측정장비
			Blower door 측정방법 절차
			현안 문제
기밀측정보고서 작성	1h 30m	Air leakage report	Air Leakage Report
			작성 내용
			Software 활용
			작성 실습
			기밀성능 database 소개 및 예시
건물기밀 관련 기술세미나	1h 30m	현안 및 주요 이슈	(외부강사 2인)
기밀측정 실습	3h	Fan pressurization method	측정 준비사항
			외피면적 및 건물부피 계산
			측정방법 선택에 따른 측정절차
			Air Leakage Report 작성
			측정 실습

INSTITUTE FOR PASSIVE ZERO ENERGY BUILDING
316-208, Gwanak-ro 1, Gwanak-gu, Seoul 151-742 Korea
Tel: 02-552-1012, Fax:02-552-1012, E-mail:info@koreanphi.org
IPAZEB
패 시 브 제 로 에 너 지 건 축 연 구 소
(151-742) 서울시 관악구 관악로 1 서울대학교 316동 208호
Tel: 02-552-1012, Fax:02-552-1012, E-mail:info@koreanphi.org

IPAZEB 제2014-040호
수 신 인하대학교 산학협력단
참 조 조재훈 교수
제 목 건물 기밀측정 전문가 교육에 대한 설문조사 결과(교육 만족도)

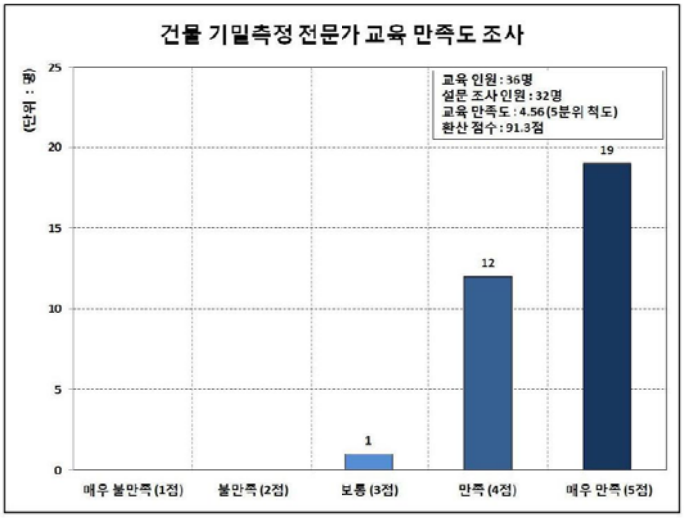
1. 귀교의 무궁한 발전을 기원합니다.
2. 인하대학교 산학협력단과 연계하여 진행한 [건물 기밀측정 전문가 교육] 참여자들을 대상으로 실시한 설문조사에서 '교육 만족도' 부분의 평가 결과는 다음과 같습니다.

– 다 음 –

● **IPAZEB 건물 기밀측정 전문가 교육 [교육과정 개선을 위한 설문조사] 개요**

가. 설문기간: 2013년 9월~10월 (교육일시 2013년 8월 30일~9월 2일)
나. 설문방법: 온라인 설문조사
다. 대 상 자: 교육 수강자 36명 (총 응답자 32명)

교육 만족도 평가 결과(5분위 척도)



사단법인 패시브제로에너지건축연구소장 김 광 우

담 당 박 성 중
실 행 IPAZEB 제2014-040호(2014.07.14) 접 수 ( )
주 소 (151-742) 서울시 관악구 관악로1 서울대학교 316동 208호
전 화 02-552-1012 팩 스 02-552-1012 이 메 일 info@koreanphi.org 홈페이지 http://www.ipazeb.org

D2	건물 기밀측정 전문가 교육 교재 개발
수행 기관	인하대학교 산학협력단, 세종대학교 산학협력단
주요 내용	건물 기밀측정 전문가 교육을 위한 교육 교재 개발 (LEVEL Ⅰ 주건건물/소규모 건물)

Institute for Passive Zero energy Building
IPAZEB 패시브제로에너지건축연구소 사단법인 패시브제로에너지건축연구소

건물 기밀측정 전문가 교육

(건물 기밀측정 전문가: LEVEL Ⅰ 주거건물/소규모건물)

2014

(사)한국건축친환경설비학회 부설
IPAZEB 패시브제로에너지건축연구소
http://koreanphi.org , info@koreanphi.org

본 교육 프로그램 및 교육교재는
[국토교통부 건설교통기술촉진사업(11첨단도시 C11)-제로에너지 건물구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법(KS) 개발] 연구과제의 지원 및 결과물로 제작되었습니다.

책임연구기관(인하대학교 교수, 조재훈). 공동연구기관(세종대학교 교수, 성민기)

D3	건물 기밀측정 전문가 교육 과정 운영
수행 기관	인하대학교 산학협력단, 세종대학교 산학협력단
주요 내용	2013~2014년 총 3회의 건물 기밀측정 전문가 교육을 실시

Institute for Passive Zero energy Building 사단 법인 패시브제로에너지건축연구소

IPAZEB 패시브제로에너지건축연구소

제2회 건물 기밀측정 전문가 교육

(건물 기밀측정 전문가: LEVEL I 주거건물/소규모건물)

최근 국내에서는 건물에서의 에너지절약 및 쾌적한 실내환경 조성을 목적으로 건물 기밀성능에 대한 기준 마련/제도화가 활발하게 이루어지고 있습니다. 또한 국외에서는 선진국을 중심으로 신뢰할 수 있는 건물 기밀성능을 규명하고 관련 제도 및 산업 발전을 위하여 측정방법 및 전문가 양성을 이미 오래전부터 실시하고 있습니다. 이에 패시브제로에너지건축연구소에서는 한국건축친환경설비학회의 '**건축물의 기밀성능 기준(KIAEBS C-1: 2013)**'에 따른 '**건물 기밀측정 전문가**'를 양성하기 위하여 아래와 같이 교육 프로그램을 실시함을 알려드립니다.

○ **교육일시 : 2013년 8월 30~31일(금,토) 10:00~18:00 (실습시험은 9월 1일)**
○ **교육장소 : 대한건축학회 건축센터 (지하철 2호선 방배역)**
○ **프로그램 : 건물 기밀측정 이론 및 실습/기밀측정 전문가 시험 (아래표 참조)**

- **교육대상 : 건축환경설비/건축시공 실ㅁ자, 관련 학과 대학(원)생**
- **교육인원 : 40여 명**
- **교 육 비 : 50만원 (단, 교육신청서 등록 20인까지 교육비 20% 감액)**
- **교육신청 : 교육신청서를 작성하여 info@koreanphi.org 로 송부**
- **신청기간 : 선착순 마감종료**

교육 프로그램 지원 : [국토교통부 건설교통기술촉진사업 11첨단도시C11] : 제로에너지 건물 구현을 위한 국가 기밀도 기준 정립 및 측정방법 개발

교육생 특전
- IPAZEB가 부여하는 전문가 자격증 (또는 교육수료증)
- 기밀측정 전문가(certified air leakage tester)는 국토교통부 R&D에서 구축하는 건물기밀 database(10월 실시)에 고유번호를 가진 전문가로 등록되어 data를 입력/출력하는 자격 부여

[교육 프로그램 및 시험 일정]

일 시	교육내용 및 시험	시간	비 고
8월 30일(금)	기초 이론	2h	Building Physics
	건물에서의 기밀	2h	Building Airtightness
	기밀성능 및 환기성능	1h	Build Tight, Ventilate Right
	기밀성능 측정방법	2h	KS, ISO, ASTM, EN 관련 측정방법
8월 31일(토)	기밀측정보고서 작성	1h	Air leakage report
	건물기밀 관련 기술 강좌	2h	현안 및 주요 이슈(외부강사 2인)
	기밀측정 실습	3h	Fan pressurization method
	기밀측정 전문가 필기시험	1h	합격점수 70% 이상 획득
9월 01일(일)	기밀측정 전문가 측정시험	1h	건물모델 측정 및 보고서 작성 (시간대별 3인 내외 신청)
9월 01일(일)	협 의		

(사)한국건축친환경설비학회 부설

IPAZEB 패시브제로에너지건축연구소

D4	건물 기밀측정 전문가 양성
수행 기관	인하대학교 산학협력단, 세종대학교 산학협력단
주요 내용	3회의 교육에 걸쳐 약 80명의 건물 기밀측정 전문가 양성



CERTIFICATE of AIR LEAKAGE TESTER

SO RA KANG

has been certified by Institute for Passive Zero Energy Building as having passed completetency tests(theory and practice):

LEVEL I : Air Leakage Tester for Residential or Small Buildings

Seoul, Korea
September 26, 2013

Kwang Woo Kim
President of Institute for Passive Zero Energy Building
Division of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems



IPAZEB Institute for Passive Zero energy Building 패시브제로에너지건축연구소

Name : SO RA KANG
E-mail : shell719@naver.com

LEVEL I : Air Leakage Tester for Residential or Small Buildings

Congratulations, you have completed IPAZEB's Training Course, and successfully passed our exam including the practical exercise with a mark over 70%, demonstrated calculation skills and the ability to use an air leakage test system(blower door) on a single zone like residential or small buildings. Topics related to measuring air leakage included:

- Fundamentals of ventilation and infiltration
- Fundamentals of airtightness measurement
- Air leakage report contents
- Practice measurement
- Standardized test methods : *ISO 9972 (KS L ISO 9972), EN 13829, ASTM E779*

This certificate will serve to inform your clients of your qualifications.
If clients have any questions about your test procedure or test results, they may contact us directly at info@koreanphi.org.
(+82-(0)2-552-1012, www.ipazeb.org)

Kwang Woo Kim
President of Institute for Passive Zero Energy Building
Division of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems

ACKNOWLEDGMENTS
This training course is supported by a grant from High-Tech Urban Development Program (11CHUD-C059710-01-000000) funded by the Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs

[2013년 제2회 건물 기밀측정 전문가(LEVEL 1) 교육생 _ 이름순(36명)]

번호	이름	영문명	소속	연락처	메일
1	강소라	SO RA KANG	이화여자대학교	01	
2	고영은	YOUNG EUN KO	(사)IPAZEB	01	
3	김동진	DONG JIN KIM	건축과환경	01	
4	김서훈	SEO HOON KIM	한국에너지기술연구원	01	
5	김수원	SU WON KIM	EANTEC	01	
6	김학건	HAK KUN KIM	(주)친환경계획그룹 청연	01	
7	김호민	HO MIN KIM	중앙대학교	01	
8	김효준	HYO JUN KIM	영남대학교	01	
9	김효진	HYO JIN KIM	서울대학교	01	
10	남은혜	EUN HYE NAM	세종대학교	01	
11	남중우	JUNG WOO NAM	(주)대림산업	01	
12	류승훈	SEUNG HUN RYU	삼성물산	01	
13	박민주	MIN JU PARK	이화여자대학교	01	
14	손진칠	JIN CHIL SON	프로클리마 코리아	01	
15	손창락	CHANG RAK SON	(주)피앤디엔지니어링	01	
16	신지혜	JI HYE SHIN	동국대학교	01	
17	안병립	BYUNG LIP AHN	한국에너지기술연구원	01	
18	양영권	YOUNG KWON YANG	중앙대학교	01	
19	유성식	SUNG SIK YOO	(주)삼에스코리아	01	
20	유슬기	SEUL GI YU	숭실대학교	01	
21	유종근	JONG KEUN YU	삼성중공업	01	
22	윤종호	JONG HO YOON	(주)친환경계획그룹 청연	01	
23	이병희	BYUNG HEE LEE	서울대학교	01	
24	이상훈	SANG HOON LEE	(주)오션엔지니어링	01	
25	이정훈	JEONG HUN LEE	숭실대학교	01	
26	장동원	DONG WON JANG	SGS Korea	01	
27	장호진	HO JIN JANG	한국건설생활환경시험연구원	01	
28	정근형	GUEN HYEONG JUNG	포스코건설	01	
29	정수광	SU GWANG JEONG	숭실대학교	01	
30	정영주	YOUNG JU JUNG	영남대학교	01	
31	정옥영	OK YOUNG CHUNG	숭실대학교	01	
32	조민구	MIN GOO CHO	(사)한국패시브건축협회	01	
33	조 현	HYUN CHO	포스코건설	01	
34	한준택	JUN TAEK HAN	세린 레하우	01	
35	한혜심	HYE SIM HAN	한국에너지기술연구원	01	
36	황재숙	JAE SOOK HWANG	세린 레하우	01	

개인 정보로 삭제

[2014년 제3회 건물 기밀측정 전문가(LEVEL 1) 교육생 _ 이름순(39명)]

번호	이름	영문명	소속	연락처	메일
1	곽호진	HO JIN KWAK	군산대학교	01	
2	김경섭	KYOUNG SUP KIM	(주)제이제이리드	01	
3	김나은	NA EUN KIM	군산대학교	01	
4	김새배랑	SAE BAE RANG KIM	군산대학교	01	
5	김석현	SEOK HYUN KIM	한국에너지기술연구원	01	
6	김영중	YOUNG JOONG KIM	군산대학교	01	
7	김원석	WON SEOK KIM	한국에너지기술연구원	01	
8	김인호	IN HO KIM	(사)한국패시브건축협회	01	
9	김일중	IL JOONG KIM	인하대학교	01	
10	김희강	HEE GANG KIM	서울대학교	01	
11	노태민	TAE MIN NOH	군산대학교	01	
12	박대범	DAE BEOM PARK	이노빌드	01	
13	박정연	JEONG YEON PARK	세종대학교	01	
14	박정환	JUNG HWAN PARK	한국에너지기술연구원	01	
15	박주현	JU HYUN PARK	한국시설안전공단	01	
16	박희망	HEE MANG PARK	세린레하우	01	
17	서현정	HYUN JUNG SEO	숭실대학교	01	
18	신경주	KYUNG JU SHIN	영남대학교	01	
19	안 나	NA AHN	자림이앤씨건축사사무소	01	
20	어민선	MIN SUN EO	한국시설안전공단	01	
21	우민호	MIN HO WOO	자림이앤씨건축사사무소	01	
22	이승경	SEUNG GYEONG LEE	군산대학교	01	
23	이승철	SEUNG CHUL LEE	(주)제이제이리드	01	
24	이아람	AH RAM LEE	(주)제이제이리드	01	
25	이종민	JONG MIN LEE	동아대학교	01	
26	이중훈	JOONG HOON LEE	(주)삼성물산	01	
27	이해길	HAE GIL LEE	한국에너지기술연구원	01	
28	임준선	JOON SEON LIM	한국시설안전공단	01	
29	임태구	TAE GU LIM	서울대학교	01	
30	장성진	SEONG JIN CHANG	숭실대학교	01	
31	전수민	SU MIN JEON	한국시설안전공단	01	
32	정상혁	SANG HYEOK JUNG	한국시설안전공단	01	
33	정요한	YO HAN JEONG	GS건설 기술연구소	01	
34	정지나	JI NA JUNG	한국환경산업기술원	01	
35	조영남	YOUNG NAM JO	동아대학교	01	
36	조우영	WOO YOUNG CHO	서울대학교	01	
37	최보은	BO EUN CHOI	영남대학교	01	
38	최수지	SU JI CHOI	인하대학교	01	
39	최승우	SEUNG WOO CHOI	(주)포스코E&C	01	

개인 정보로 삭제




제3회 건물 기밀측정 전문가 교육


제2회 건물 기밀측정 전문가 교육





D5	국내 학술게재 논문 (한국건축친환경설비학회)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	측정자에 따른 건물의 기밀성능 결과의 불확실성 실험결과 분석

한국건축친환경설비학회논문집 8권 2호 2014년
Journal of KIAEBS Vol. 8, No. 2, 2014, pp. 40~45

건물의 기밀성능 측정에서 측정자에 따른 불확실성 실험연구

최지성*, 지경환*, 이동석*, 조재훈*
*인하대학교 건축공학과

A Study on Uncertainty Experiment depending on Testers in Airtightness Measurement of Buildings

Choi Ji-Sung*, Ji Kyung-Hwan*, Lee Dong-Seok*, Jo Jae-Hun*
*Department of Architectural Engineering, Inha University, Incheon, Korea

Abstract

This is the experimental study on airtightness measurements of 40 testers in order to identify the uncertainty of data by testers in the airtightness measurement of buildings. It is not easy to identify exact airtightness because airtightness contains a lot of uncertainty etc. by measurement methods, measurement conditions, testers. Therefore, we compared testers' airtightness measurement results by carrying out education of the same contents during the same period and using the same environmental conditions and equipment. We reviewed uncertainty about the result of airtightness by comparing and analyzing airtightness data of the same building measured by testers. According to analysis results, uncertainty by testers was found to be lower than other uncertainty factors. Through uncertainty analysis research, when measuring airtightness, the main error cause and degree of uncertainty by testers can be easily identified and can be usefully utilized in improving measured experimental values.

키 워 드 : 기밀성능, 불확실성, 측정자, 블로어 도어, 가감압법
Keywords : Airtightness, Uncertainty, Testers, Blower Door, Fan Pressurization

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건물외피에서의 기밀성능 저하는 냉난방 에너지 낭비, 내구성 저하, 습기조절의 어려움 등의 문제를 야기하게 된다. 건물에서의 쾌적성능 향상 및 에너지 효율을 높이기 위한 원칙으로 기밀성을 중요하게 다루어야하며 측정을 통해 검토할 필요가 있다.

건물의 기밀성능 측정 데이터는 기후 조건과 측정 환경, 장비상태 등 다양한 요인들로 인해 불확실성이 존재하게 된다. 기후조건에서는 실내외 온도차에 의한 연돌효과로 발생하는 압력차와 바람에 의한 압력차 등이 오차요인이 될 수 있다. 측정을 통해 얻어지는 측정값은 부정확한 압력 데이터, 건물의 외피면적 산정 오류, 온도변화 등의 요인과 측정자에 의한 측정 오차가 발생하여 정확한 기밀성능을 확인하기 어려울 수 있다. 이와 같이 측정 오차에서 비롯된 불확실성이 존재하므로 측정값의 정확성을 높이기 위해서는 불확실성 정도를 파악하고 대책을 마련할 필요가 있다.

본 연구에서는 다양한 불확실성 요소들 중, 기존연구[1]에서 다루어지지 못한 측정자에 따른 불확실성 파악을 목적으로 동일한 환경 및 조건에서의 측정자에 의한 불확실성과 측정자의 경험에 따른 불확실성을 분석하는 실험을 수행하였다.

1.2 연구의 방법 및 절차

측정자, 즉 사용자에 의한 기밀성능 측정결과의 불확실성을 조사하기 위해 동일한 조건하에 실험을 실시하였다. 사전에 측정자들을 대상으로 동일한 교육을 이수하도록 하였으며, 블로어 도어를 이용한 팬가압법을

교신저자
성명 : 조재훈, 인하대학교 부교수, 공학박사
전화 : +82-32-860-7582
E-mail : jhjo@inha.ac.kr
접 수 일 : 2013년 12월 3일
수정접수일 : 2014년 2월 3일
채 택 일 : 2014년 4월 21일

1) V. Dorer and C. Tanner, A. Weber Airtightness of buildings, VIP08, 2004

표 4. 각 건물 시뮬레이터별 측정자의 ACH50(1/h) 평균값 및 평균값 대비 차이(비율)

건물의 시뮬레이터	시뮬레이터별 표본의 ACH50(1/h)값							ACH50 평균값 (1/h)	평균값 대비 차이(비율)(%)							평균 차이 (%)	전체 평균 차이(%)
A	A1	A2	A3	A4′	A5′′	A6	A7	2.51	A1	A2	A3	A4′	A5′′	A6	A7	2.9	3.1
	2.57	2.54	2.62	2.57	2.43	2.46	2.39		2.4	1.2	4.4	2.4	3.2	2.0	4.8		
B	B1′	B2′′	B3	B4	B5′	B6′	B7	2.14	B1′	B2′′	B3	B4	B5′	B6′	B7	1.8	
	2.01	2.13	2.18	2.17	2.15	2.16	2.17		6.1	0.5	1.9	1.4	0.5	0.9	1.4		
C	C1	C2′′	C3′	C4	C5	C6	C7	2.05	C1	C2′′	C3′	C4	C5	C6	C7	1.0	
	2.09	2.07	2.03	2.02	2.04	2.05	2.07		2.0	1.0	1.0	1.5	0.5	0.0	1.0		
D	D1′	D2	D3	D4	D5	D6		2.43	D1′	D2	D3	D4	D5	D6		7.4	
	2.29	2.63	2.57	2.04	2.51	2.55			5.8	8.2	5.8	16.1	3.3	4.9			

표 5. 블로어 도어 사용경험 유무에 의한 비교

블로어 도어 사용경험	A	B	C	D	계	평균값 대비 차이(비율)(%)
없음	5	3	5	5	18	3.5
있음	2	4	2	1	9	2.4

표 6. 건물 기밀측정 경험 유무에 의한 비교

건물기밀 측정경험(명)	A	B	C	D	계	평균값 대비 차이(비율)(%)
없음	5	3	5	5	18	3.5
1~10개(′)	1	3	1	1	6	2.8
10개 이상(′ ′)	1	1	1	0	3	1.6

하여 측정경험의 유무에 따라 표기를 나타내었다. 건물의 측정경험이 10개 이상(′ ′), 1~10개(′)로 구별하였다. 이에 대한 사용경험 유무의 표본에 따른 결과를 **표 5**와 **표 6**에 나타내었다. 기밀성능 측정실험 결과, 블로어 도어 측정 경험이 없는 사람과 경험이 있는 사람의 평균값 대비 차이(비율)는 2.4%지만, 경험이 없는 측정자의 차이(비율)는 3.5%로 차이를 보였다.

건물 기밀측정 경험의 유무에서도 10개 이상의 건물 경험이 있는 측정자의 평균 차이(비율)은 1.6%로 가장 낮게 나온 것을 알 수 있다. 따라서 블로어 도어의 사용경험 유무와 건물 기밀측정 경험의 유무가 측정결과의 차이에 영향을 미치는 것으로 파악할 수 있다.

측정자가 실제 측정에서 감압 또는 차압 시, 팬의 압력을 얼마나 정확히 읽어내는 것에 따라 그 차이는 줄어들 수 있다. 측정자가 차압 10Pa의 풍량과 압력차를 측정할 시, 불안정하게 움직이는 팬의 압력값을, 적정한 범위 안에서 정확하게 찾아내어 지정하는 것이 중요하다. 계기판에 나타나는 값들 중, 실제 정확한 값으로 예상되는 측정값을 제대로 읽어내는 숙련도가 경험의 유무에 따라 평균값 대비 차이(비율)가 줄어든 요인으로 파악된다. 따라서 측정자의 경험에 의해 발생하는 불확실성이 다소 영향을 주는 요인으로 분석되었지만 이에 대한 추가의 연구가 필요할 것으로 사료된다.

6. 결 론

본 연구는 건물의 기밀성능 측정 시, 오직 측정자에 의해 발생하는 측정값의 불확실성에 대한 조사연구를 위해, 시험자에게 동일한 교육을 이수하게 하고 주요한 영향요소인 기후조건과 실험대상을 유사하게 설정하여 측정값을 분석하였다.

기밀성능 ACH50(1/h)의 측정 결과를 평균값에 대한 차이(비율)로 나타내어 분석을 수행하였다. 측정값 분석 결과, 각 측정자에 따라 다양한 차이(비율)을 보였으나, 전체 측정자의 평균 차이(비율)는 3.1%로 기존연구에서 보여진 다른 오차원인에 비하여 작은 것으로 분석되었다. 즉, 본 실험에서의 측정자에 의한 차이는 5% 이내의 정확도를

D6	국내 학술발표대회 논문 (한국건축친환경설비학회)
수행 기관	인하대학교 산학협력단
주요 내용	측정자 교육에 따른 건물의 기밀성능 결과의 정확도 조사

측정자에 따른 건물의 기밀성능 결과의 불확실성 조사

A Research on Uncertainty of the Results of Building Airtightness in Accordance with Testers

○ 최 지 성* 지 경 환** 이 동 석** 조 재 훈***
Choi, Ji-Sung Ji, Kyung-Hwan Lee, Dong-Seok Jo, Jae-Hun

Abstract

In order to understand uncertainty of data in accordance with testers when measuring building airtightness, this study conducted measurement of airtightness with 40 testers. Since airtightness involves lots of uncertainty depending on measuring methods, situations of measurement and testers, it is not easy to understand accurate airtightness. After the education about the contents, each tester measure airtightness in the same environmental conditions during the same period of time by using the same equipments, and then the results of their measurements are compared to each other. Also the results of their measurements are compared in accordance with their experiences. By comparatively analyzing the measurement data of the same building airtightness depending on testers, the uncertainty of the results of airtightness is reviewed. In case of the test for airtightness measurement, we use the fan pressurization using blower door.

키워드 : 기밀성능, 불확실성, 측정자, 블로어 도어, 가감압법
Keywords : Airtightness, Uncertainty, Testers, Blower Door, Fan Pressurization

1. 서 론

1.1 연구의 목적

건물의 기밀성능 저하는 건물의 에너지 낭비, 습기조절의 어려움, 건물의 내구성 저하 등의 문제점을 발생하고 있다. 그러하여, 건물에너지 효율 향상을 위한 원칙으로 기밀성능을 중요하게 고려해야 한다.

건물의 기밀성능 실험은 기후조건, 외부환경 등 다양한 요소들로 인해 불확실성이 존재한다. 기후조건에서 온도차에 의한 연돌효과로 발생하는 압력차와 바람에 의한 압력차로 인한 오차가 발생한다. 측정으로부터 구해지는 실험값은 부정확한 압력, 건물의 외피면적 산정, 온도 등에 의해 측정 오차가 발생한다. 그러하여 건물의 실제 정확한 기밀성능은 알 수 없다. 따라서 측정 오차에서 비롯되는 불확실성이 항상 존재한다.

건물의 기밀성능 측정에 있어서, 많은 불확실성 요소들이 고려될 수 있다. 측정 환경, 장비의 상태 등 여러 가지 요소들이 고려될 수 있으나, 본 연구에서는 동일 조건 및 환경 속에서 기밀성능을 측정하는 측정자의 의한 실험의 불확실성에 대한 자료를 제시하고자 한다. 또한 측정자의 경험의 유무에 의한 불확실성을 고려한다.

1.2 연구의 방법 및 절차

본 연구에서는 측정자, 즉 사용자에 의한 기밀성능 결과의 불확실성을 조사하기 위해 동일한 조건에 의한 실험을 실시하였다. 측정자들을 대상으로 동일한 교육을 실시하였으며, 블로어 도어를 이용한 팬가감압법을 통해 측정한 실험 결과를 비교하여 분석하였다. 또한 기밀측정 경험 유무를 파악하여 측정자의 경험에 의한 불확실성의 특성을 분석하였다. 연구의 절차는 다음과 같다.

(1) 기밀성능 측정과 관련하여 불확실성 요소들과 기준에 대한 조사.

(2) 측정자에 대해 동일한 교육을 실시하며, 동일한 환경에서 기밀성능 측정 실험을 실시.

(3) 기밀성능 실험 측정값을 분석하여, 측정자에 의한 평균값 대비 차이(비율)를 분석.

(4) 측정자의 블로어 도어 사용유무 및 건물의 기밀성능 측정경험의 유무에 따른 차이(비율)를 분석.

* 인하대 건축학부 학사과정
** 인하대 대학원, 석사과정
*** 인하대 건축학부 부교수, 공학박사
"이 논문은 2013년 국토교통과학기술진흥원의 지원을 받아 수행된 연구임"(13CHUD-C059699-03)

E1	웹 기반 온라인 기밀성능 데이터베이스 시스템 구축
수행 기관	세종대학교 산학협력단, 인하대학교 산학협력단
주요 내용	국내의 기밀성능 측정 데이터를 지속적으로 수집, 축적, 공유할 수 있는 웹 기반의 데이터베이스 시스템

웹 기반 온라인 기밀성능 데이터베이스 시스템 구축

국내의 경우, 건물의 기밀성능 관련 데이터가 정리되어 있지 않아 현재 국내 건물의 기밀성능에 대한 자료를 확인하기가 어렵다. 이러한 문제를 해결하기 위해 기밀성능 데이터를 조사하여 정리 하였다.

사용자의 편의를 위해 온라인 시스템을 활용하였다. 웹기반 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템은 패시브제로에너지건축연구소(IPAZEB)에서 관리하는 시스템이다. 본 시스템은 패시브제로에너지건축연구소에서 기밀 전문가 교육에 합격한 전문가와 교육을 수료한 전문가들이 사용할 수 있도록 되어있다. 그 외 데이터를 조회하기 희망하거나 입력을 원하는 사용자의 경우 패시브제로에너지건축연구소에서 사용 승인을 받은 후 사용이 가능하도록 하였다.

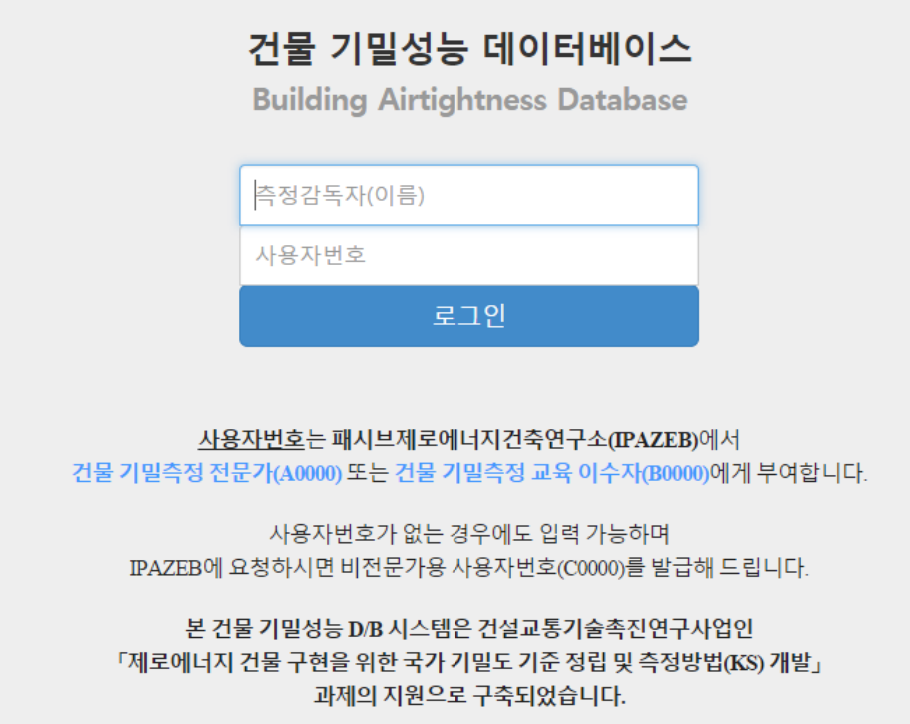


그림 1. 웹기반 데이터베이스 시스템 로그인 화면

건물의 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템에 사용자는 패시브제로에너지건축연구소에서 받은 사용자번호로 로그인을 할 수 있다. 로그인을 하게 되면 웹기반 기밀성능 데이터베이스 시스템에 본인이 측정한 데이터를 입력하여 보고서를 출력하거나 기존의 다른 데이터와 비교도 가능하다.

건물의 기밀성능 온라인 데이터베이스 시스템은 크게 건물정보, 측정정보, 측정결과, 측정장비, 입력내용 확인, 보고서 출력으로 기밀성능 평가에 기본적인 항목들로 나누어져 있다. 건물의 기밀성능을 측정한 후 입력하려고 할 때 필요한 기본 정보들을 입력해야만 다음 절차로 넘어가 데이터 입력을 계속 진행할 수 있도록 되어있다.

건물 정보의 경우 건물명, 건물 유형과 준공년도 및 소재지를 입력해야 한다. 건물 유형의 경우 단독/공동 주택, 업무시설, 상업시설, 교육시설 등으로 나뉘어져 있고 연면적의 경우 필수 입력사항으로 되어있어 입력하지 않을 경우 다음 항목으로 넘어가지 않도록 설정되어 있다. 건물의 정보를 모두 입력한 후 측정 정보에 대하여 입력해야 한다. 측정 대상 공간명, 측정 감독자와 측정일에 대해 입력하고 측정방법으로는 블로어도어와 공조기의 사용유무와 측정규격 등을 입력해야 한다. 측정 정보 입력 시 측정 대상공간의 총 바닥면적, 높이, 체적, 외피면적을 입력하지 않으면 다음 항목으로 넘어가지 않는다.

건물의 정보와 측정 정보를 입력한 후에는 측정 결과를 입력하게 된다. 측정 결과에는 실외기압, 풍속, 온도 등의 환경조건과 Airflow Exponent(n), ACH50 등 기밀측정 결과를 입력하도록 되어있다. 측정 결과를 입력한 후에는 측정에 사용된 장비를 추가로 입력하고 입력한 모든 내용을 다시 한 번 확인하는 절차를 거치게 된다. 사용자 선에서 입력이 모두 끝나면, 보고서를 바로 출력하는 것이 아니라 관리자, 패시브제로에너지건축연구소에서 입력된 기밀성능 정보를 확인 받은 후 보고서 출력이 가능하다.

건물의 기밀성능 데이터를 웹기반으로 관리함으로 기존 자료뿐만 아니라, 향후 측정되는 자료까지 관리할 수 있는 장점이 있다. 또한 그 사용자가 패시브제로에너지건축연구소의 인증을 받은 자들이기 때문에 수집되는 건물의 기밀성능 데이터 역시 신뢰성을 인증받을 수 있다. 국내 건물의 기밀성능 데이터를 수집함으로 기존 건물의 기밀성능을 평가하는 자료가 될 수 있으며 국내 건물의 기밀성능 기준을 수립할 수 있게 될 것이다.



그림 2. 웹기반 기밀성능 데이터 입력 순서

패시브제로에너지건축연구소

건물 기밀측정 보고서

BUILDING AIRTIGHTNESS TEST REPORT

일련번호: 201402-002　　입력일자: 2014.2.18

기밀성능 측정 전문가: 성민기

(1)건물 정보 (Building information)

건물명	공덕래미안		
건물유형	공동주택	준공년도	2007
규모(연면적)	20000 m2	소재지	서울

(2)측정 정보 (Test conditions)

대상공간	12동 1205호				
바닥면적	85 m2	체적	190 m3	외피면적	95 m2
측정일	2013년12월11일	측정방법	가압법 + 감압법		
측정규격	ISO 9972				
실내환경	온도: 21℃ 습도: 45%		실외환경	온도: 24℃ 습도: 50%	

(3)측정 결과 (Test results)

차압범위	Pa ~ Pa	ACH50	1/h	3.234
누기계수(C)	120	Q50	m^3/h	615
압력지수(n)	0.7654	ELA@4	m^2	0.021
상관계수(R^2)	0.9992	EqLA@10	m^2	0.032

(4)측정장비 (Test equipments)

블로어 도어	Retrotec/3845, Minneapolis/6566
기타	

비고:
1. 이 보고서는 패시브제로에너지건축연구소(http://www.ipazeb.org)의 '건물 기밀성능 측정 전문가 교육 프로그램'을 이수한 기밀측정 전문가(Certified Air Leakage Tester)에 의해서 작성된 것입니다.
2. 이 보고서의 측정 결과는 패시브제로에너지건축연구소에서 운영하는 '건물 기밀성능 D/B'에 저장되어 공개된 것입니다.
3. 단, 측정 결과 및 상세내용의 책임은 이 보고서의 작성자에게 있습니다.

2014년 2월21일

패시브제로에너지건축연구소

주소: 서울 관악구 신림동

그림 3. 기밀성능 보고서

E2	기밀성능 Database 구축
수행 기관	인하대학교 산학협력단, 세종대학교 산학협력단
주요 내용	구축된 웹 기반 기밀성능 데이터베이스 시스템에 국내 기밀성능 데이터 축적

1. 국내의 기존 기밀성능 관련 연구자료 축적

- 기존 기밀성능 데이터 입력: 133건
- ACH 50 (93건), ELA (20건) 등 입력
- 측정일, 건물의 기본정보(연면적, 바닥면적 등) 등 일반적인 데이터 부족
- 기존 기밀성능 데이터의 경우 기밀성능을 표현하는데 필요한 데이터(airflow exponent, air leakage coefficient 등)가 누락된 경우가 많음

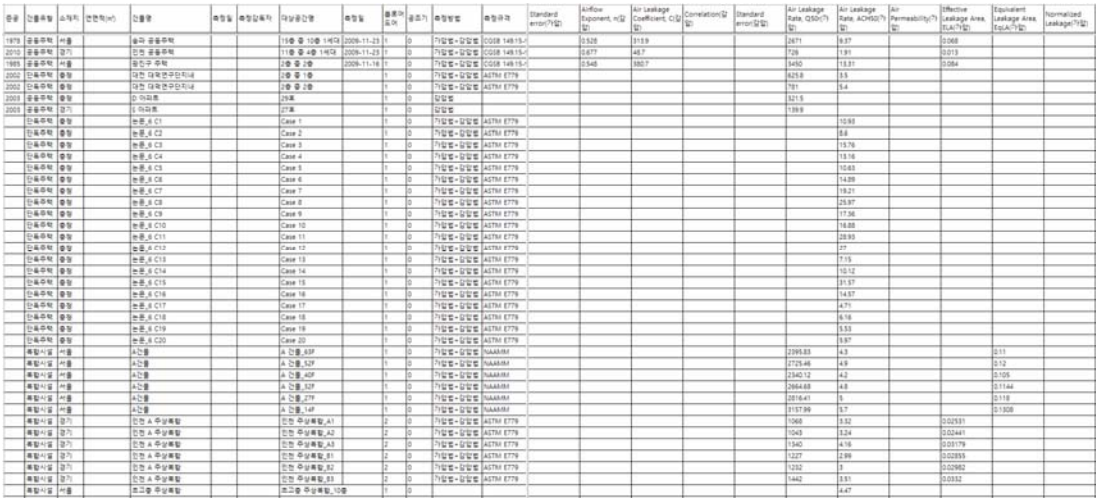
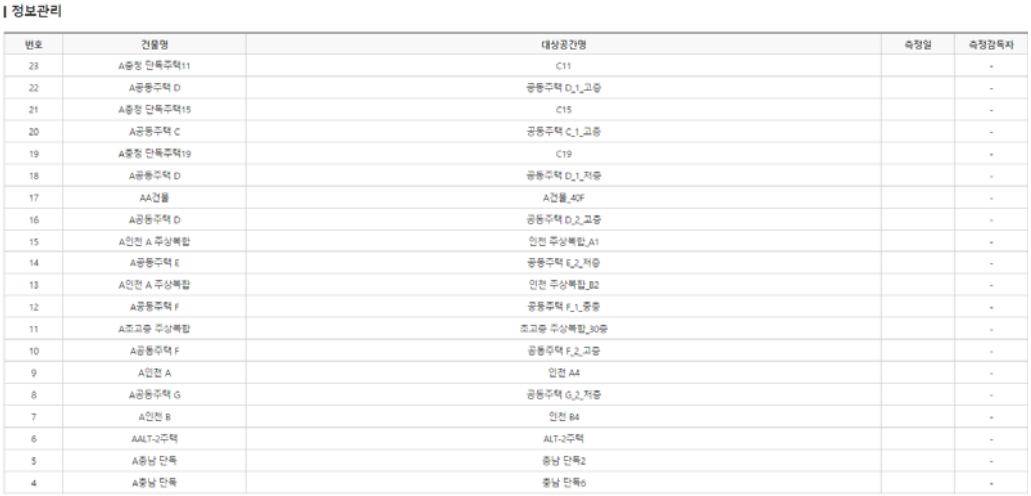


그림 1. 국내 연구자료 내 기밀성능 자료 정리



번호	건물명	대상공간명	측정일	측정점검자
23	A중정 단독주택11	C11		-
22	A공동주택 D	공동주택 D_1_고층		-
21	A중정 단독주택15	C15		-
20	A공동주택 C	공동주택 C_1_고층		-
19	A중정 단독주택19	C19		-
18	A공동주택 D	공동주택 D_1_저층		-
17	AA건물	A건물_40F		-
16	A공동주택 D	공동주택 D_2_고층		-
15	A인천 A 주상복합	인천 주상복합_A1		-
14	A공동주택 E	공동주택 E_2_저층		-
13	A인천 A 주상복합	인천 주상복합_B2		-
12	A공동주택 F	공동주택 F_1_중층		-
11	A조고층 주상복합	조고층 주상복합_30층		-
10	A공동주택 F	공동주택 F_2_고층		-
9	A인천 A	인천 A4		-
8	A공동주택 G	공동주택 G_2_저층		-
7	A인천 B	인천 B4		-
6	AALT-2주택	ALT-2주택		-
5	A중남 단독	중남 단독2		-
4	A중남 단독	중남 단독6		-

그림 2. 웹기반 기밀성능 데이터베이스 구축(국내 연구자료)

2. 본 연구과제에서 측정된 기밀성능 데이터 축적

- 본 연구과제의 연구진이 측정한 600여개(609개) 기밀성능 데이터 입력
- 기존 기밀성능 데이터에서 누락된 건물 정보 및 기밀성능을 표현하는데 필요한 데이터를 입력

| 정보관리

번호	건물명	대상공간명	측정일	측정감독자
723	A송도국제업무지구 D11/16BL	1606동 403호	2014-04-05	조재훈
722	A송도국제업무지구 D11/16BL	1103동 2403호	2014-04-05	조재훈
721	A송도국제업무지구 D11/16BL	1606동 1603호	2014-04-05	조재훈
720	A송도국제업무지구 D11/16BL	1605동 1002호	2014-04-05	조재훈
719	A송도국제업무지구 D11/16BL	1605동 1702호	2014-04-05	조재훈
718	A송도국제업무지구 D11/16BL	1103동 2405호	2014-04-05	조재훈
717	A송도국제업무지구 D11/16BL	1604동 2305호	2014-03-30	조재훈
716	A송도국제업무지구 D11/16BL	1101동 2404호	2014-03-30	조재훈
715	A송도국제업무지구 D11/16BL	1604동 3103호	2014-03-30	조재훈
714	A송도국제업무지구 D11/16BL	1102동 2301호	2014-03-30	조재훈
713	A송도국제업무지구 D11/16BL	1605동 1704호	2014-03-30	조재훈
712	A송도국제업무지구 D11/16BL	1101동 2301호	2014-03-30	조재훈
711	A송도국제업무지구 D11/16BL	1101동 3102호	2014-03-30	조재훈
710	A송도국제업무지구 D11/16BL	1101동 2302호	2014-03-30	조재훈
709	A송도국제업무지구 D11/16BL	1604동 2404호	2014-03-30	조재훈
708	A송도국제업무지구 D11/16BL	1605동 303호	2014-03-30	조재훈
707	A송도국제업무지구 D11/16BL	1605동 903호	2014-03-30	조재훈
706	A송도국제업무지구 D11/16BL	1605동 1603호	2014-03-30	조재훈
705	A송도국제업무지구 D11/16BL	1605동 2404호	2014-03-30	조재훈
704	A송도국제업무지구 D11/16BL	1101동 1702호	2014-03-30	조재훈

그림 3. 웹기반 기밀성능 데이터베이스 구축(측정 자료)

참고자료

1. 조재훈, 이동석, 지경환, 대규모 건물의 기밀성능 측정기준 수립에 관한 연구, 한국태양에너지학회논문집 제34권 1호, pp.117-124, 2014.03

2. CGSB Standard 149.15-96.(1996) “Determination of the Overall Envelope Airtightness of Buildings by the Fan Pressurization Method Using the Building’s Air Handing Systems”, Canadian General Standards Board.

3. ASTM E 779-03(2004) “Standard Test Method for Determining Air Leakage Rate by Fan Pressurization”, American Society for Testing and Materials.

4. EN 13829. Hellenic Standard. Thermal performance of buildings—determination of air permeability of buildings — fan pressurization method.

5. ISO. (2006) Thermal performance of buildings - determination of air permeability of buildings - fan pressurization method. ISO Standard 9972. Geneva: International Organization for Standardization.

6. CIBSE TM23 - Testing Buildings for Air Leakage. (2000) The Charted Institution of Building Services Engineers. London, England.

7. U.S. Army Corps of Engineers. “Air Leakage Test Protocol for Measuring Air Leakage in Buildings”, Engineer Research and Development Center

8. Emmerich, Steven J., and Andrew K. Persily. “US Commercial Building Airtightness Requirements and Measurements.“ 32 nd Air Infiltration and Ventilation Centre Conference, Belgium. 2011.

9. Emmerich, Steven J., and Andrew K. Persily. “Airtightness of Commercial Buildings in the US.“ 26th AIVC Conference, Brussels, Belgium. 2005.

10. J-W Jeong, J Firrantello, WP Banfleth, JD Freihaut and A Musser. : Case studies of building envelope leakage measurement using an air-handler fan pressurisation approach. Building Services Engineering Research and Technology 2008 29:137

11. Bahnfleth WP, Yuill GK, Lee BW. RP-935: Protocol for field testing of tall buildings to
determine envelope air leakage rate. American Society of Heating, Refrigeration and Air-Conditioning Engineers, Inc., 1998.

12. Retrotec Inc.(2012) “Residential Pressure & Air leakage Testing Manual”