

# 5. 실내환경과 환기

## Healthy Indoor Air Quality & Hybrid Ventilation

이윤규 / 한국건설기술연구원 건축계획·환경연구실  
by Lee, Yun-gyu

### 친환경 기능성 건축자재

2000년대 초반부터 새집증후군 문제가 국내에서 집중적으로 부각되면서, 실내공기환경에 대한 관심이 크게 증가하고 있다.

이러한 새집증후군 문제의 유발요인이 되는 대표적인 실내공기 오염물질로는 폼알데하이드 및 휘발성유기화합물 등의 각종 유해화학물질을 비롯하여 미세먼지(PM10), 부유세균, 곰팡이 등이 있으며, 건축자재, 가구 및 가전제품, 생활용품, 인체 등과 같이 매우 다양한 오염원에서 배출되고 있다. 또한, 단열 및 기밀성능의 강화로 건축물의 에너지절약 성능을 향상되었으나, 이로 인한 환기량 부족으로 인하여 실내공기환경이 상대적으로 크게 악화된 실정이다.

실내공기질 문제를 개선하기 위하여 2004년 5월부터 시행되고 있는 “다중이용시설 등의 실내공기질관리법”에서는 실내공기 오염물질에 대한 권고기준이 설정되었을 뿐만 아니라, 신축 건축물에 대하여 오염물질 과다방출 건축자재의 사용제한 조치를 할 수 있도록 하고 있다.

이와 더불어, 유해화학물질을 저방출하는 친환경 건축자재에 대한 인증 제도가 한국공기청정협회 및 한국환경기술진흥원(친환경상품진흥원) 등에서 시행되면서 건축자재의 환경친화성에 대한 소비자의 요구에 부응하고 있다.

그러나, 국내 건축자재의 경우, 단순히 유해화학물질을 적게 방출하는 보건학적 측면에만 초점이 맞추어져 있으며, 실내의 습도를 적절하게 조절할 수 있는 흡방습 성능이나 유해화학물질을 흡착제거하는 기능 등 건축자재가 갖는 기능성 측면에 대한 고려가 상대적으로 미흡한 실정이다.

이는 다양한 기능과 성능을 갖는 기능성 건축자재에 대한 명확한 개념, 실내공기질 개선효과를 검증할 수 있는 평가방법 및 이에 상응하는 평가 기준 등이 정립되어 있지 못하기 때문이다.

이로 인하여 소비자들에게 잘못된 정보가 전달되거나, 성능이 제대로 발휘되지 못하는 제품이 아무런 제약 없이 유통되고 있는 등 건축자재 관련 시장에 혼란이 야기되고 있다.

이러한 실내환경 문제를 해결하기 위해서는 여러 가지 노력이 필요하지만, 무엇보다도 건축물의 초기계획 및 설계단계에서 건축가들이 친환경 기능성 건축자재를 효과적으로 설계에 적용될 수 있도록 하는 것이 매우 중요하다.

따라서, 본 고에서는 환경친화적인 건축물의 설계 시에 참고가 될 수 있도록 친환경 기능성 건축자재의 정의와 유형 및 특성에 대하여 간략히 소개하고자 한다.

### 친환경 기능성 건축자재의 정의

친환경 기능성 건축자재는 일반적인 건축자재가 갖추어야 할 기본적인 성능뿐만 아니라, 다음과 같은 근본적인 전제조건을 충족할 수 있어야 한다.

- 친환경 기능성 건축자재가 갖고 있는 특정 기능을 객관적으로 평가할 수 있는 과학적인 성능검증 방법의 존재
  - 대상 기능성 건축자재의 실내공기질 개선효과가 쾌적한 실내공기환경의 확보에 유효하다는 점의 입증
  - 관련제품의 생산 및 시공에 있어서 환경부하의 저감여부
- 여기서 언급한 과학적인 성능검증방법은 기능성 건축자재가 갖는 성능을 평가할 수 있는 국내 및 국제적 공인시험규격을 의미하며, 쾌적한 실내 공기환경의 확보에 유효해야 한다는 것은 2차오염의 발생 등 기능성 건축자재의 적용으로 인한 역효과가 없어야 한다는 것을 말한다. 또한, 환경부하의 저감여부는 향후 제반 건축자재가 갖추어야 할 관련 기술개발의 당면목표 중에 가장 중요하게 다루어질 부분이라고 할 수 있다.

다만, 아직까지 국내외의 경제적, 사회적, 기술적 수준을 감안 할 때, 이 항목을 감안하기 위해서는 보다 많은 시간이 필요할 것으로 사료된다. 이러한 문제를 종합적으로 감안하여 수행된 기존의 정책연구에서는 기능성 건축자재를 다음과 같이 정의하고 있다.

“기능성 건축자재는 건축자재가 내재하고 있는 특정 성능에 대한 객관적인 검증이 가능하고, 이로 인한 실내공기환경의 개선효과가 유효한 것으로 입증된 건축자재를 의미한다.” 단, 협의의 기능성 건축자재로 실내습도조절을 위한 흡방습성능과 유해화학물질의 흡착제거를 위한 흡착성능을 갖는 건축자재로 정의한다<sup>1)</sup>

### 기능성 건축자재의 분류 및 유형

#### ● 기능별 분류

흡방습\_흡방습에 관한 명확한 학술적 정의는 아직 정립되어 있지 않은 상태이나, 흡방습이란 건축자재 내부로의 흡습과 외부로의 방습을 통한 실내습도 조절기능을 의미하며, 조습이라고도 한다. 건축자재 흡방습 관련 규격으로는 ISO 24353(2008) : Hygrothermal performance of building materials and products - Determination of moisture adsorption/ desorption properties in response to humidity variation, JIS A 1470-1(2008) : 건축재료의 흡방습성 시험 방법 제1부 : 습도응답

1) 한국건설기술연구원, 한국공기청정협회, “기능성 건축자재 실태조사 및 관리방안 연구”, 국립환경과학원, 2008. 12.

법, JSTMH 6302: 조습건축재의 흡착습성 실험방법 등이 있다.

흡착 건축자재의 흡착기능과 관련된 규격에는 VOCs의 흡착과 관련된 JIS A 1906, ISO/DIS 16000-24와 폼알데하이드의 흡착과 관련된 JIS A 1905-1, JIS A 1905-2, ISO/DIS 16000-23 등이 있으며 JIS A 1905-1에서는 흡착성을 갖는 건축자재의 적용범위를 다음과 같이 정의하고 있다.

건축물 실내공기중의 휘발성유기화합물(VOCs), 폼알데하이드 및 기타 카르보닐 화합물 등을 흡착, 분해 하는 것으로 오염 농도를 저감하는 성능을 가지는 건재(건축용 보드류, 벽지, 바닥재 등에 적용되며 단, 자외선, 가시광선을 이용하여 분해하는 광촉매작용을 가진 재료는 적용하지 않는다)

●소재별 분류

기능성 건축자재 실태조사를 바탕으로 기능성 건축자재를 소재별로 살펴보면 다음에서 보는 바와 같이 크게 광물성과 식물성으로 나눌 수 있다.

〈표 1〉 친환경 기능성 건축자재의 소재별 분류

원료의 종류	분류	재료	주요기능
식물	목질계	숯, 목재분말(향나무, 편백나무), 판지	흡착 습도조절
	기타	피톤치드 누차 썩	흡착 자연 VOCs 방출
광물	석질계	인조석, 천연석, 맥반석, 옥	습도조절
	토질계	황토, 규조토, 화산재	흡착 흡방습
	금속계	알루미늄 동 스텐 레스	항균

●적용부위별 분류

기능성 건축자재를 적용부위별로 살펴보면 천정, 벽면, 바닥, 기타 등으로 나눌 수 있다.

천정마감재에는 기공을 통한 오염물질 흡착 및 흡방습 기능과 벽면마감재에는 데코스톤과 같은 원적외선방사, 숯 보드의 흡착기능, 벽지의 항균기능 등이 조사되었다. 또한 바닥마감재에는 장판 및 바닥재의 항균, 습도조절기능 등이 조사되었다. 그러나 건축자재는 용도에 따라 사용되는 곳이 천정, 벽면, 바닥, 기타로 명확히 구분하기 힘들다.

예를 들면 페인트의 경우 복도나 계단실 등의 벽면, 천정에 주로 사용되며 미장재의 경우는 벽면, 바닥을 사용하고 보드의 경우 벽면, 천정 모두 사용하기 때문이다.

〈표 2〉 친환경 기능성 건축자재의 적용부위별 분류

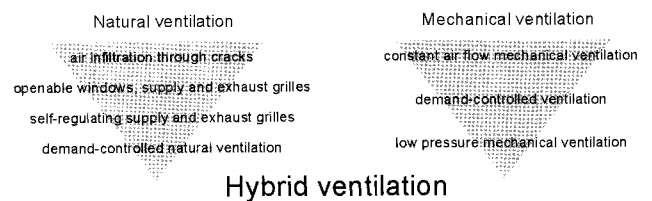
적용부위별	종류	주요기능
천정	황토몰탈, 황토미장재, 천정마감재, 페인트	흡착 습도조절
벽면	황토몰탈, 벽지, 석고보드, 판재, 페인트, 미장재	흡착 습도조절 항균
바닥	바닥재, 장판, 페인트	흡착 습도조절 항균

●시공방법별 분류

건축자재는 자재의 형상(고체상, 액체상)에 따라 시공방법을 분류할 수 있다. 고체상의 경우 타일, 판넬, 벽지 등이 있으며 건식시공방식과 접착제를 이용한 습식시공방식이 있다. 액체상의 경우 도료의 도장 방법에는 붓도장, 롤러도장, 에어스프레이도장, 정전스프레이도장 등이 있다.

하이브리드 환기

하이브리드 환기의 정의

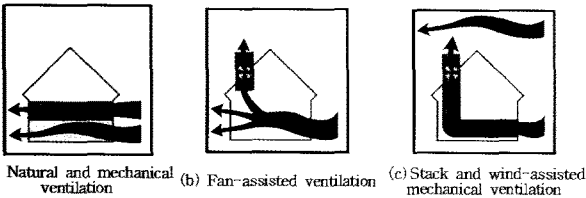


〈그림 1〉 하이브리드 환기를 위한 자연환기와 기계환기 방식의 개발 단계

하이브리드 환기는 자연환기와 기계환기 방식을 조화시켜, 에너지 절약적이면서도 쾌적한 실내 환경을 제공하는 환기 시스템을 말하는 것으로, 외기조건과 실내 환경조건에 따라 각각 다른 시간에 각 시스템의 특성을 활용하는 것이다. 하이브리드 시스템에서 기계력과 자연 구동력(풍압, 연돌효과)은 두 가지 모드로 결합되며, 운전모드는 계절 및 각 시간대별로 변하게 된다. 따라서 운전모드는 외부환경을 반영하여, 외기가 가지는 실내 환경조절 능력을 최대한 활용할 수 있도록 작동된다. 기존의 환기시스템과 하이브리드 환기시스템의 가장 큰 차이점은 하이브리드 시스템이 에너지 소비를 최소화하기 위해서 자연환기 모드와 기계환기 모드를 자동적으로 전환할 수 있는 자동제어시스템을 가지고 있다는 점이다. 단, 하이브리드 시스템은 두 가지 모드, 즉 자연환기와 기계환기가 시간적으로 공존하지 않는 것을 원칙으로 한다. 예를 들어, 자연환기로 적정 환기회수를 확보하는 것이 불가능 할 경우에만 기계환기가 작동되고, 이 경우 기계환기에 방해가 될 가능성이 있는 자연환기는 정지된다.

**하이브리드 환기시스템의 종류2)**

- 자연환기와 기계환기 병용시스템(Natural and mechanical ventilation) : 두 가지 시스템이 외부환경조건(풍속, 온도, 엔탈피 등)에 따라 자동적으로 전환되는 시스템
- 보조팬형 자연환기 시스템(Fan-assisted ventilation) : 급기 또는 배기팬과 연동되는 자연환기 시스템으로 자연구동력만으로 환기량이 부족할 경우에 급기 또는 배기팬을 활용
- 연돌과 풍압을 활용하는 기계환기시스템(Stack & wind-assisted mechanical ventilation) : 자연적인 구동력(연돌, 풍압)을 최적으로 이용하는 저압력형 기계환기시스템



(그림 2) 하이브리드 환기의 종류

**하이브리드 환기의 역할**

● 실내공기질 조절을 위한 환기

환기의 가장 기본적인 역할은 실내에 신선한 공기를 도입하여 실내에서 발생한 오염물질 제거함으로써 실내 공기를 항상 청정하게 유지하는 것이다.

거주공간의 필요 환기량을 결정하는 요인은 법적 환기량 및 실내 공기질 상태에 따라 환기수요(Demand control)를 제어하는 방법 등으로 나눌 수 있다. 그러나 환기에 동반하여 차가운 기류가 실내로 유입됨으로써 발생하는 콜드 드래프트현상, 냉난방 부하의 증가, 건물 에너지 소모량의 증가 등을 고려하면, 실내공기질 상태에 따라 환기량을 결정하는 것이 보다 효과적일 수 있다.

환기와 관련된 모든 요소를 고려하여 가장 효율적인 환기를 실시하려면, 먼저 거주환경에서 오염원을 제거하거나 발생량을 최소화하는 것이 가장 유효한 방법이다. 그리고 환기에 따른 냉난방 부하를 줄이기 위해서는 폐열회수 시스템(Heat recovery system)을 사용하거나 건축적인 방법(예를 들면 이중외피, 구체냉각, 구체축열)을 통해 열을 보상하는 방법이 있다. 또한, 환기팬에 요구되는 에너지를 최소화하기 위해서는 압력손실을 최소화하도록 덕트를 제작하고, 풍압과 연돌효과 등 자연적인 구동력에 의해 환기가 이루어지도록 계획하는 것이 중요하다.

그리고 외기조건이 양호한 중간기에 외부풍속에 의해 환기가 원활하게 이루어 질 수 있는 경우에는 자연환기량을 증대시켜 별도의 에너지소비 없이 실내공기를 청정하게 할 수 있도록 환기시스템을 설계하여야 한다.

● 실내 온도 조절을 위한 통풍(Ventilation for temperature control)

하이브리드 환기가 친환경성을 가지는 이유 중의 하나가 외기도입을 통해 실내 환경을 조절할 수 있다는 점이다.

하이브리드 환기는 기본적으로는 실내 공기질을 조절하기 위해 환기를 실시하지만, 외기조건에 따라서는 도입 풍량을 실내 공기질 조절에 요구되는 필요 환기량 이상으로 유입하여 실온을 조절하는 역할을 기대할 수도 있다. 특히 외기조건이 양호한 중간기, 즉 외부의 온·습도가 실내에 비해 양호한 계절에는 유입 외기량을 필요 환기량 이상으로 하여 실내의 공기질을 청정하게 하는 것은 물론 실내의 열을 제거하여 실온을 쾌적한 상태로 제어할 수도 있다. 또한 비교적 고온다습한 여름철의 경우에도 이 기간에는 외기온도가 실온보다 낮아지는 시간대가 발생하기 때문에, 이 시간대에 실내로 외기를 도입하여 실내에 정체되어 있는 열을 제거하고 건물 구조체를 냉각시켜 구조체의 축열성능을 제거한다.

보통 여름철 아침에 냉방을 시작할 경우, 구조체의 축열성분에 의해 실온이 쾌적한 상태에 이르기까지 다소 많은 시간과 냉각량이 소요되지만, 이러한 야간환기를 통한 냉각을 이용하면 빠른 시간 내에 실내를 쾌적하게 제어할 수 있으며 에너지 소비도 절감할 수 있다.

**하이브리드 환기의 구성요소**

하이브리드 환기시스템은 별도의 전용설비가 존재하는 것은 아니다. 하이브리드 환기가 자연환기와 기계환기가 통합된 시스템이기 때문에 기존의 자연환기와 기계환기에 적용되는 시스템이 동일하게 사용된다. 하이브리드 환기시스템 하에서 자연환기와 기계환기의 두 가지 시스템이 모두 효과적으로 운전되기 위해서는 다음과 같은 사항을 검토하여야 한다.

- 압력손실이 적은 덕트
- Frequency control이나 Air-flow control 등의 제어능리를 구비한 저압력 팬
- 압력손실이 적은 열교환기와 필터
- 배기를 촉진하는 Wind tower, Solar chimney
- 도입외기의 온도보상을 위한 지중덕트, 천정구조
- 환기와 관련하여 실내 공기질, 열쾌적성, 기류분포를 조정하기 위해서 요구되는 장치로 외벽 및 내벽에 설치되는 수동 또는 자동 개폐창, 통기구 등 실온센서, CO<sub>2</sub>센서, 풍속센서 기상계측 기능이 있는 컨트롤 시스템

**하이브리드 환기의 제어**

하이브리드 환기시스템의 제어는 시간과 유입공기량 조절로 결정된다. 하이브리드 환기에서는 외기조건에 따라 각각 다른 제어방법이 선택되어야 한다. 그러나 실제 환기시스템의 제어는 환기관련 법규, 건물사용자의 환기 수요, 건물 소유자의 요구 등을 반영하여 결정해야 할 것이다. 다음은 하이브리드 환기시스템과 관련된 제어 내용이다.

- 재실 시간에 대한 실내 공기질 제어(IAQ during occupied hours)
  - 거주자에 의한 수동 제어
  - 간이 타이머 제어
  - 재실자 감지센서에 의한 제어

2) IEA Annex 35(2002). Principle of Hybrid Ventilation, Aalborg Univ., Aalborg, Denmark.

- 실내 공기질의 직접 측정 결과에 따른 제어

■ 비 재실 시간에 대한 실내공기질 제어 (IAQ during non-occupied hours)

- Built-up pollution을 제거하기 위한 비 재실 시간에 대한 환기

- 건자재에서 방출되는 화학물질의 배출을 위한 비 재실 시간에 대한 환기

한편, 하이브리드 환기시스템에서 유입 외기량 및 자연환기 모드에서 기계환기 모드로의 전환은 주로 외기온도와 습도, 풍속 등을 기준으로 하고 있다. 외기 엔탈피가 실내 설정 엔탈피에 비해 높을 때에는 자연환기 장치에 있는 유입공기량 조절장치(댐퍼)를 적정하게 조정해 최소환기량만을 유입하게 된다. 하지만 창문을 사용하는 경우나 자연환기장치에 댐퍼가 없는 경우에는 기계환기모드로 전환되어 최소환기량만을 실내로 도입하게 된다. 하이브리드 환기 시스템에서는 외부풍속에 따라 제어모드의 변환이 요구된다. 외부풍속이 약한 경우에는 자연환기를 통해 실내의 필요환기량을 충족시킬 수 없기 때문에 제어모드는 자연환기 모드에서 기계환기 모드로 전환되어 실내에 일정 환기량이 확보되도록 제어된다.

외부풍속이 지나치게 강한 경우에는 자연환기 장치에 설치된 댐퍼를 통해 유입공기량이 조절될 수 있으나, 댐퍼가 없는 경우에는 기계환기 모드로 전환되어 일정량만 실내로 유입되게 된다. 그러나 외기조건이 양호한 중간기(봄, 가을)의 경우에는 외부풍속이 약간 강하여 자연환기를 통해 실내로 유입되는 공기량이 필요환기량 이상이 되는 경우에도 자연환기 모드는 지속될 수 있어야 한다.

### 실내공기환경 설계방법

건강하고 안전한 실내공기환경을 전제로 하여, 에너지절약적이며 환경 친화적인 실내환경을 설계하기 위해서는 매우 다양한 환경요소들에 대한 배려가 필요하다. 이를 위하여 일반적으로 대다수의 국민들이 거주하고 있는 공동주택과 같은 주거용 건축물에서 가장 효과적으로 적용할 수 있는 방법은 오염원제어(Source Control) 및 환기제어(Ventilation Control)를 들 수 있다. 그러나, 앞에서 살펴본 바와 같이 일본 및 유럽 등 주요 선진국에서는 단순히 오염물질을 저방출하는 건축자재를 개발하는 수준을 넘어서 실내에 존재하는 오염물질을 흡착제거하는 기능 등이 부가된 기능성 친환경 건축자재를 개발 및 보급하고 있다. 또한, 환기설비의 경우에 있어서도 기존의 단순 자연환기 또는 기계환기 설비에서 벗어나, 에너지효율적이면서도 재실자의 환기 만족도를 높일 수 있는 주거용 건물에 적합한 하이브리드 환기설비를 개발하기 위한 다양한 연구들이 진행되고 있다.

〈그림 3〉은 환기 시스템의 초기 설계단계에서 자연환기, 하이브리드 환기, 기계환기 중 최적의 방식을 선정하는 데에 이용할 수 있는 환기 시스템 검토 평가지로 9개의 부문에서 총35개의 항목을 검토하여 가장 적합한 환기 방식을 찾으려 하고 있다. 여기에서 검토해야 할 항목으로 제시하고 있는 것은 외기 조건, 실내공기질 수준, 열적 쾌적성, 소음, 에너지비용, 경제적 비용, 건물 및 시스템 관련 요소, 환경에의 영향, 사용자 만족성 등이다.

각 부문별 하위 항목들을 간단히 살펴보면, 외기 조건에서는 기후 특성과 공기 오염, 주변 환경의 소음 등을 제시하고 있다.

실내 공기질과 열적 쾌적성은 사용 시간 대비 요구되는 퍼센트로 제시하고 있으며, 소음 부문에서는 팬의 작동이나 기류에 따른 소음과 건물 내부에서 발생하는 소음을 검토하도록 하고 있다.

에너지 비용은 팬 작동에 따른 에너지와 냉각 및 난방 에너지를 체크하도록 하며, 경제적인 비용은 초기설치비용과 유지보수비용으로 나누어 검토하고 있다. 또한, 건물 및 시스템 요소에서는 사용 및 점점의 편의성, 청소의 용이성, 외기에 의한 냉각 가능성, 시스템의 감가상각, 공간의 가용성 및 유연성, 내구성 등을 점검하도록 하고 있다. 이 평가지는 위에 제시한 여러 항목들을 각각 L(Low), M(Middle), H(High)로 평가하도록 하고, 그 결과를 종합하여 가장 적합한 환기 방식을 선정하도록 하고 있다.

Condition or requirement	natural			hybrid			mechanical*		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H
<b>OUTDOOR ENVIRONMENT FOR &gt; TWO WORKING WEEKS PER YEAR:</b>									
Hot and humid									
Hot and dry									
Moderate									
Cold									
High pollution level in the area									
Noisy surroundings									
<b>INDOOR AIR QUALITY:</b>									
High requirements for 95% of occupancy hours									
Normal requirements for 95% of occupancy hours									
Normal requirements for 80% of occupancy hours									
<b>THERMAL COMFORT:</b>									
High requirements for 95% of occupancy hours									
Normal requirements for 95% of occupancy hours									
Normal requirements for 80% of occupancy hours									
<b>ACOUSTICS- HIGH REQUIREMENTS WITH RESPECT TO:</b>									
Occupants' presence									
Noise from neighbouring rooms or corridors									
<b>MINIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION:</b>									
Fan energy									
Heating									
Cooling									
<b>MINIMIZATION OF COSTS:</b>									
Initial									
Maintenance									
<b>BUILDING AND SYSTEM:</b>									
Ventilation system easy to inspect									
Ventilation system can be cleaned easily									
Avoidance of problems with intrusion of snow and rain									
Free cooling with outside air									
Avoidance of short-circuiting from exhaust to intake opening									
Market value of building after 15 years of operation									
High space- and use-flexibility									
High costs/ high occupancy per volume-unit									
One or two floors with central air handling									
<b>EMMISSIONS TO THE ENVIRONMENT VERY RESTRICTED</b>									
Starting procedure									
Discontinuous operation									
<b>USER SATISFACTION:</b>									
Appreciation of total indoor environment									
User influence on controlling climate in rooms									
Occupants' influence on thermal comfort and IAQ									
Possibility to understand how ventilation system works									
Avoidance of complaints from occupants									

〈그림 3〉 초기설계 단계에서 환기시스템 선정을 위한 검토 시트<sup>3)</sup>

이와 더불어 앞에서 소개하였던 약 30~40% 내외의 유해화학물질 저감율을 보인 친환경 기능성 건축자재<sup>4)</sup>를 적용할 경우, 실내 환기부하를 크게 줄임으로써 이를 통한 에너지절약 효과를 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다. 즉, 건축물의 설계시에, 건축내장재를 오염물질 방출량이 상대적으로 작으면서 일부 오염물질을 흡착제거할 수 있는 기능을 갖는 친환경 기능성 건축자재로 계획하여 초기입주단계의 실내 오염물질 농도를 일정 부분 저감시킨다면, 신축 공동주택의 새집증후군 문제 해결을 목적으로 제정된 현재의 환기기준에서 요구하고 있는 필요환기량을 크게 줄일 수 있을 것이다. 또한, 이러한 친환경 기능성 건축자재와 하이브리드 환기설비가 국토해양부를 중심으로 시행되고 있는 주택성능등급표시제도 및 친환경건축물인증제도 등의 실내공기환경 평가항목으로 추가하여 관련 국내기술 개발을 유도한다면, 보다 효과적으로 에너지절약적이면서 환경친화적인 실내환경을 확보할 수 있을 것이다. ■

3) IEA Annex 35, Principle of Hybrid Ventilation, Aalborg Univ., Aalborg, Denmark.

4) 한국건설기술연구원, 친환경소재 개발, 국토해양부, 2009. 5