

동적 단열재의 열성능 측정에 관한 연구

고 선 미, 강 은 철*, 이 의 준†

충남대학교 건축공학과, *한국에너지기술연구원

A Measurement Study of a Dynamic Insulator Thermal Performance

Seon-Mi Ko, Eun-Chul Kang*, Euy-Joon Lee†

Department of Architecture Engineering, Chungnam National University, Daejeon 305-343, Korea

*Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

(Received September 15, 2009; revision received March 30, 2010)

ABSTRACT: Due to the insulation and the air-tightness requirement in modern buildings have resulted NBS(New Building Syndrome) and SBS(Sick Building Syndrome) of IAQ problems. Therefore, energy efficient way of solving such IAQ issues are of major concern in these days and building industries. This paper introduces a method to improve thermal performance with a DI(Dynamic Insulation) concept. The characteristic of the dynamic insulation is that the lower U-value as the higher air velocity through the DI in a micro level. A thermal performance monitoring study has been conducted to show the energy impact of porous DI over the static insulation material. The results show that up to 45% could be improved in the case with DI compared to the conventional insulation.

Key words: Breathing wall(숨 쉬는 벽체), Dynamic insulator(동적 단열재), Dynamic u-value (동적 열관류율), Thermal performance(단열성능), Indoor air quality(실내 공기질)

기 호 설 명

ΔT : 가열상자 내·외부 온도차 [°C]

Q_s : 시험체 통과 열량 [W]

S : 모듈 면적 [m²]

d : 시험체 두께 [m]

하첨자

s : 정적 (static)

d : 동적 (dynamic)

o : 실외 (outdoor)

i : 실내 (indoor)

a : 공기 (air)

그리스 문자

λ : 열전도율 [W/m·K]

α : 열전달율 [W/m²·K]

γ : 전열저항 [m²·K/W]

$\Delta\theta$: 시험체 내·외표면 온도차 [°C]

1. 서 론

쾌적하고 깨끗한 환경을 제공하기 위한 건축물의 환경조절기능은 설비에 의한 많은 에너지 소비를 수반하는 기계적 시스템에 의존하고 있다. 이런 기

† Corresponding author

Tel.: +82-42-860-3514; fax: +82-42-860-3739

E-mail address: ejlee@kier.re.kr

계적 설비 시스템의 의존은 건축물의 냉난방 부하로 인한 에너지 소비의 증가로 이어지고 이에 따른 에너지 소비를 줄이기 위한 방법으로 고기밀, 고단열 건축자재의 사용은 실내 환경을 더욱 악화시키는 요인이 되었다. 이와 같이 악화된 실내 환경에 대해 쾌적하고, 건강하고, 환경오염을 고려한 건축자재의 개발이 절실히 요구되고 있다. 재실자들의 이러한 요구를 수용하기 위해 황토, 숯, 점토 등의 숨 쉬는 자연 소재를 이용한 건축 자재 등의 연구를 통해 친환경, 친인간적인 기술 개발이 다방면에서 활발히 진행되고 있다. 이러한 연구의 일환으로써 최근 자연형 실내 환기 시스템인 동적 단열재(KIER-BSF : Korea Institute of Energy Research Breathing Styrofoam)에 대한 연구가 진행되고 있다. 여기에서 말하는 동적단열재란 기존의 단열재가 가지고 있지 않은 통기성, 향진성 그리고 개선된 단열 성능을 갖춘 건축 재료로서 좀 더 나은 실내 환경을 제공해 줄 수 있는 획기적인 기술이라 할 수 있다. 본 연구에서는 실내 실험 장치를 구축하여 현재 단열재로 널리 이용되고 있는 스티로폼의 단열 성능에 대비 KIER-BSF의 단열 성능이 어느 정도 개선되는지에 대해 연구하고 분석해 보고자 한다.

2. 숨 쉬는 외피 기술

2.1 숨 쉬는 외피 기술 개요

숨 쉬는 외피 기술은 기존의 단열성만을 나타내는 벽체의 특성과는 달리 단열성은 물론 통기성, 향진성의 특징을 포함한 새로운 건물 외피 기술로서 벽체 외부는 구조용 다공성 콘크리트로, 내부는 미세한 구멍이 형성된 필터 기능의 소재로 구성되며, 실내·외의 압력 차의 영향으로 공기의 흐름이 형성되도록 설계하였다. 숨 쉬는 외피는 일반 벽체와 열손실 원인은 동일하지만 실내·외 압력차에 의한 공기 투과성을 가지고 있다. 차가운 실외 공기는 벽 내부를 통과하면서 벽의 외부 층의 온도 또한 서서히 떨어지며 온도 그래프의 기울기가 내려가게 된다. 실내 온도는 실내 난방 시스템에 의하여 적정 온도로 유지될 것이지만, 벽을 통한 열손실의 예상 계획은 단지 벽의 바깥 표면에 따른 온도 하강 기울기에 따라 결정된다.⁽¹⁾ 그 결과 내부 공기흐름의 작용으로 열손실 계수를 상당히 줄일 수 있다는 점에서 숨 쉬는 외피는 벽을 통한 전도 열손실을 상당

히 줄일 수 있는 열교환기와 열회수 장치의 기능을 동시에 갖춘 기술이라 할 수 있다. 벽체를 통한 공기흐름은 매우 느리기 때문에($v = 0.01 \text{ m/s}$ 이하) 실내에서 생활하는 거주자는 거의 느끼지 못하며, 건물 벽체 전체에서 공기흐름이 발생함으로써 최근 문제시 되고 있는 실내 환기 요구량(약 $0.7A \text{ CH}$)을 출입구 혹은 창문을 여는 등의 자연개방이나 기계적 설비 시스템을 이용하지 않고서도 충분히 충족시킬 수 있으며, 실외공기와 함께 유입되는 분진이나 미세 오염물질 등이 숨 쉬는 외피 내부에 있는 필터에 의해 걸러지고 제거되기 때문에 실내 공기질(IAQ)을 개선시킬 수 있는 장점을 가지고 있다. 이렇듯 숨 쉬는 외피 기술은 기존 벽체와 비교하였을 때 기존 벽체의 구조체 역할 수행은 물론 벽체를 통한 열손실을 최소화하고, 건물에 필요한 환기량을 확보할 수 있으며, 오염된 외부공기를 필터링해서 실내로 유입시키는 향진 기능을 수행한다. 또한, 친환경소재와 결합하여 사용하기 때문에 내재 에너지를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 숨 쉬는 외피 성능 평가 지표로는 크게 단열성, 통기성, 향진성, 실용성, 환경부하 저감성, EBE 내재에너지 등으로 구분하여 나타낼 수 있다.

2.2 ABD-BSF(Aberdeen-Breathing Styrofoam)

ABD-BSF^(2,3)는 영국의 Aberdeen 대학에서 고안된 기술로써 숨 쉬는 외피에 사용가능한 단열재로 일반적으로 숨 쉬는 외피 내부에 삽입하여 사용할 수 있다. 하지만 ABD-BSF는 지붕이나 비내력벽처럼 건물의 자중을 덜 받는 곳에서는 벽체 개념으로도 사용이 가능하다. Fig. 1은 실제 ABD-BSF의 모듈로써 두께별로 열관류율 및 필터 여과의 수명도가 각각 다르게 나타나고 셀의 두께가 두꺼워질수록 열관류율은 낮아지며 셀의 오염농도에 따른 필터 수명은 늘어난다.

ABD-BSF는 건물 용도별로 셀의 두께를 다르게 하여 적용할 수 있다. ABD-BSF는 두께별로 단열, 자연 환기 및 오염물질의 포집 능력이 다르다. Fig. 2와 같이 ABD-BSF의 열관류율은 외기속도의 함수로써 두께별로 서로 다른 특성을 보이는데 셀의 두께가 얇을수록 열관류율은 증가하며 기류속도(v_a)에 따라 변화한다. 외기 속도가 빠를수록 열관류율은 감소하고 단열성능은 더 좋아지게 된다. ABD-BSF의 동적인 열관류율(U_d)은 주어진 다음

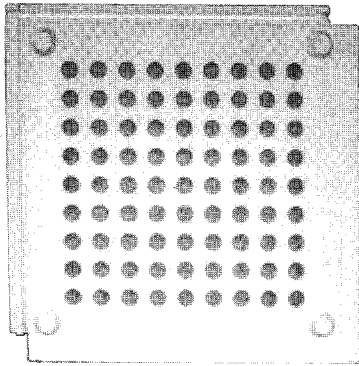


Fig. 1 ABD-BSF module.

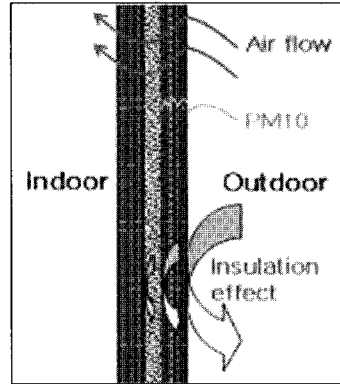


Fig. 3 KIER-BSF dynamic insulation concept.

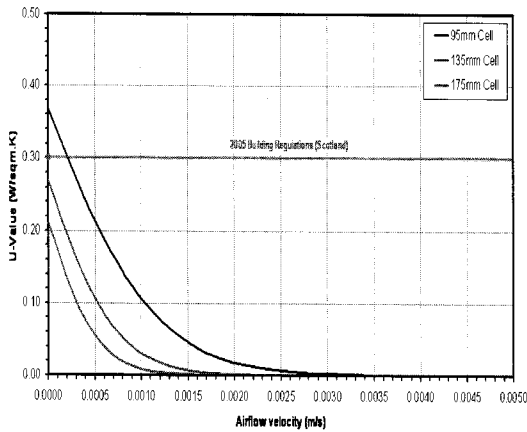


Fig. 2 Dynamic Ud of ABD-BSF.

식(1)을 이용하여 구하여졌다.⁽⁴⁻⁶⁾

$$U_d = \frac{v_a \rho_a c_{pa}}{\exp(v_a \rho_a c_{pa} R) - 1} \quad (1)$$

- v_a : 공기유속,
- ρ_a : 공기밀도,
- c_a : 공기의 정압비열,
- R : 벽체의 열저항

2.3 KIER-BSF(KIER-Breathing Styrofoam)

KIER-BSF란 벽체 안에서 공기가 멈추어 있지 않고 공기 이동 속도에 따라 열관류율이 변하는 것을 말한다. 유속에 따라 열관류율이 감소하기 때문에 그에 따라 단열성능이 개선되는 효과를 나타낸다. KIER-BSF는 Fig. 3과 같은 일반 단열재와는

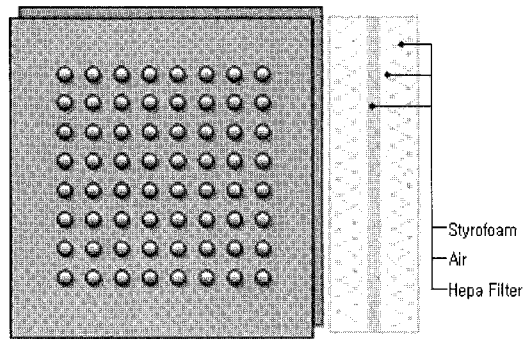


Fig. 4 KIER-BSF module and section.

Table 1 Theoretical u-value of KIER-BSF

Material	Thermal conductivity (W/m · K)	Thick-ness(m)	Thermal resistance (m² · K/W)
Styrofoam	0.033	0.025	0.757
Air	0.170	0.005	0.029
Hepa filter	0.039	0.040	1.025
Indoor heat transfer resistance			0.043
Outdoor heat transfer resistance			0.110
U-value	1/(Indoor heat transfer resistance + styrofoam thermal resistance + air thermal resistance + hepa filter thermal resistance + air thermal resistance + styrofoam thermal resistance)		
	KIER-BSF	0.37(W/m² · K)	
	ABD-BSF	0.34(W/m² · K)	

다른 개념으로서 Table 1에 나타난 바와 같이 가로, 세로 250 mm, 두께 100 mm로, 스티로폼과 스티로폼 사이 내부에는 HEPA형 필터가 삽입되어 있는

구조로 이는 외기가 유입되는 과정에서 미세먼지 (PM10)나 인체에 유해한 오염물질을 차단, 포집하는 항진 기능을 가지며 실내 공기질을 개선할 수 있다. HEPA형 필터와 스티로폼 사이에 존재하는 공기층은 통기성, 항진성은 물론 단열성을 높이는 역할을 한다.

KIER-BSF의 열관류율은 Table 1에 제시된 계산식에 의해 $0.37 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$ 로 나타났다.

3. 실험 방법

본 연구는 KIER-BSF와 기존 단열재와의 열성능을 비교, 분석하기 위한 실험으로써 국내에서는 최초로 시행되었다. 본 실험은 기준이 되는 실험 방법이 존재하지 않기 때문에 「KS F 2277의 건축용 구성재의 단열성 측정방법」⁽⁷⁾에 근거하여 KIER-BSF의 정적 열관류율을 측정한 후 일정 유량을 KIER-BSF에 통과시킴으로써 변화되는 열관류율을 측정함으로써 동적 열관류율을 구하고 이를 기존 단열재와 KIER-BSF의 열성능을 비교하였다.

3.1 실험장치 설계 및 구성

실내 실험 장치⁽⁸⁾는 KIER-BSF의 단열성, 항진성 그리고 통기성에 대한 성능평가를 위해 Fig. 5와 같이 데이터 수집 장치, 온도센서, 항온 항습 장치 및 가열장치 및 차압 측정 장치 그리고 유량 측정 장치로 구성되었고 장치의 사양 및 성능은 다음과 같고, 각 계측장치는 보정을 수행한 후 정상상태에서의 데이터를 5초 간격으로 저장하였다. 계측장비의 오차로써 온도는 $\pm 0.3\%$, 차압은 $\pm 0.25\%$, 유량은 $\pm 1\%$ 의 값을 가진다.

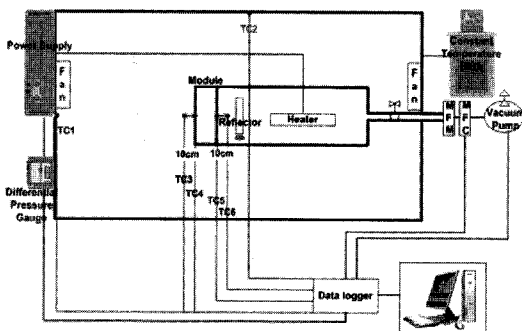


Fig. 5 Schematic diagram of experimental set up.

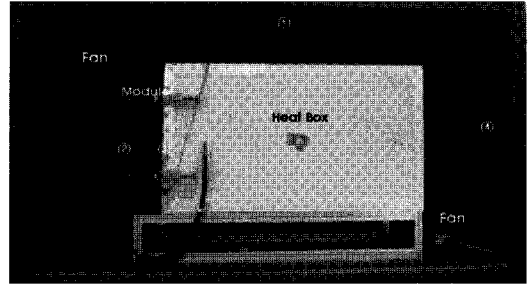


Fig. 6 Experimental equipment for KIER-BSF Ud.

Table 2 Experimental equipment dimension

Equipment	Dimension(mm)
Heating Box	460 · 910 · 460
Cooling Box	930 · 1700 · 870
KIER-BSF	250 · 250 · 100

3.1.1 데이터 수집 장치

데이터로거는 실험중의 각각의 센서로부터의 데이터를 수집하기 위한 장치로서 데이터의 수집은 물론 전환 모듈의 조화를 받아들일 수 있다. 장치의 후면에 세 개의 모듈 슬롯이 내장되어 있어 최고 60 채널까지 이용가능하며 Agilent 34970A DATA Acquisition/Switch Unit, 20channel General Purpose Multi-plexer 및 GPIB Cable로 구성되어 있다.

3.1.2 온도 센서

온도센서는 Fig. 5에 나타난 숫자의 위치에 부착하여 항온 항습 챔버와 가열 챔버 그리고 KIER-BSF 모듈 내·외부의 표면 온도를 측정하도록 설치하였다(온도센서 설치 위치는 Fig. 6에서 나타난 곳에 항온 상자의 바닥, 좌측, 문을 제외한 3면과, 가열상자의 각 5면에 설치되었다). 각각 측정된 온도는 유출열량과, 동적 열관류율의 계산에 이용된다.

3.1.3 항온 항습 장치 및 가열 장치

항온 항습 챔버는 KIER-BSF 모듈이 설치된 공간에 일정한 온·습도를 형성시켜줌으로써 KIER-BSF의 단열성을 측정할 때 사용되는 장치이다. 챔버내의 온·습도는 항온장치와 전기히터를 이용하여 조절할 수 있다. 항온 공간은 0~10℃를 유지할 수 있고, 가열장치인 히터를 사용하여 실내 온도를 20~30℃ 유지하며 실내 온도가 정상상태에 도달하였을 때 단열테스트를 할 수 있다. KIER-BSF 모듈이 놓인 실험공간은 두곳에 설치된 팬을 통해 열교

환을 하게 되고 가열 챔버 안에 설치된 교반 송풍기 열교환을 함으로써 가열 챔버내 온도의 성층화가 일어나지 않고 균일한 온도 분포가 형성되도록 한다.

3.1.4 차압 측정 장치

차압 측정 장치는 KIER-BSF 모듈의 통기성에 대한 성능평가를 위한 장치로 KIER-BSF는 모듈내 · 외 압력차에 의해 자연 환기가 이루어진다. 따라서 KIER-BSF 모듈에 저속의 공기가 흐를 때 자연 환기에 의한 실외(향온 챔버)와 실내(가열 챔버)에 형성되는 차압을 측정하기 위해 차압계를 설치한다.

3.1.5 유량 측정 장치 및 유량 조절기

유량 측정 장치는 실내 실험 장치에서 공기흐름을 발생시키는 중요한 역할을 한다. KIER-BSF를 통해 공기흐름이 발생함으로써 좀 더 나은 단열효과를 기대할 수 있으며, 실내 환기량 또한 충족시켜 준다. 본 실내 실험 장치에서는 KIER-BSF 모듈에서의 공기유속이 최대 0.02 m/s까지 측정될 수 있도록 송풍기 용량을 산정하여 설치하고, 다양한 범위의 공기유속에 대한 실험이 가능하도록 송풍기 풍량을 조절할 수 있는 유량 조절기를 구비하였다.

3.1.6 전력량 조절 및 측정 장치

전력량 측정 장치는 가열 챔버와 냉각 챔버의 온도를 설정한 후 정상 상태에 도달하였을 때 가열 챔버의 열량을 분석하여 KIER-BSF 모듈의 열관류율을 구하는데 사용된다. 소비 전력을 측정하기 위해 전류와 전압을 조절하여 소비전력을 구하게 된다.

3.2 모니터링 소프트웨어 장치개발

Fig. 5는 VEE 프로그램을 이용한 시스템 모니터링 통신 개략도로서 모니터링과 데이터 수집을 할 수 있도록 소프트웨어 장치를 개발하였다. 이 소프트웨어를 통한 실험장치의 제어는 불가능하다.

데이터 저장은 사용자가 임의로 정할 수 있고 시스템 구성도내의 각 측정지점에 온도센서나 유속등의 물리량을 위치시켜 사용자가 쉽게 식별하고 모니터링 할 수 있도록 구성하였다.

3.3 실험 방법

일반적으로 건물 벽체에서의 단열효과는 벽체의

열관류율(U_s)을 측정함으로써 구할 수 있다. 열관류율은 벽체 내 · 외측의 온도차가 1℃일 때 벽체면적 1 m²을 1시간 동안에 관류하는 열량을 표시하는 것으로 이 값이 작을수록 벽체 단열성은 좋아지며 그 값은 다음 식(2)⁽⁷⁾로 구할 수 있다.

$$U_s = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_0} + \sum_{i=1}^n \frac{l}{\lambda} + \gamma_a + \frac{1}{\alpha_i}} \quad (2)$$

3.3.1 유출열량 측정방법

KIER-BSF의 동적 열관류율을 실험하기 위해 실내 실험 장치에 KIER-BSF를 장치한다. 모듈에 열량을 주고 일정온도에 도달하여 그 온도가 유지되는 구간(30분간) 데이터의 평균값을 가지고 다음의 계산 식(3)에 의해 유출열량을 계산한다.

$$Q_s = \frac{\lambda \cdot \Delta\theta \cdot S}{d} \quad (3)$$

3.3.2 유속 측정 방법

유속은 MFM-유량 측정 장치에 의해 측정된 유량을 다음의 식(4)에 의해 유량 측정 장치가 나타내는 단위인 m³/h를 필요로 하는 유속의 단위인 m/s로 환산시키고 계산한 값은 Table 3에 나타내었다.

$$\text{유속} = \text{유량} / (\text{모듈면적} \cdot 3600) \quad (4)$$

3.3.3 동적 열관류율 측정 방법

Table 3과 같이 유량에 변화를 주어 일정온도가 유지되는 구간의 평균값을 계산하여 식(3)에 의해 유출열량을 구하고 그 유출열량을 다음의 식(5)에 대입하여 동적 단열체의 유속에 따른 동적 열관류율

Table 3 Convention of velocity to flow rate

Flow velocity[m/s]	Module area[m ²]	Flow rate[m ³ /h]
0.0005	0.0625	0.1125
0.001	0.0625	0.225
0.0015	0.0625	0.3375
0.002	0.0625	0.45
0.0025	0.0625	0.5625
0.003	0.0625	0.675
0.0035	0.0625	0.7875

을 계산한다.

$$U_d = \frac{Q_s}{S \cdot \Delta T} \quad (5)$$

4. 실험 결과

실험결과는 다음과 같다. Fig. 7은 유속이 0.002231 m/s일 때의 실험 데이터를 나타낸 그림으로서 가열상자의 온도가 일정하게 유지되는 구간의 데이터 중에서 30분 간의 데이터를 평균하여 앞서 언급된 식(3)~식(5)에 의해 유출열량 및 유속에 따른 동적

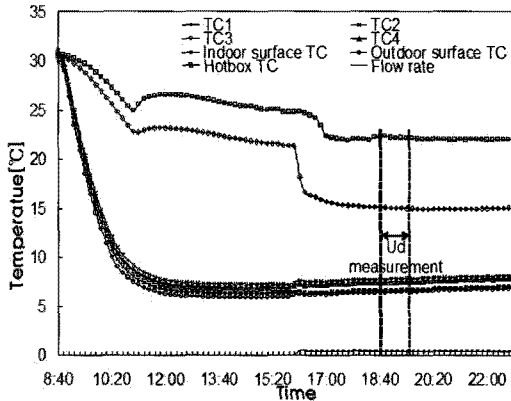


Fig. 7 Measuring data of 0.002231 m/s flow velocity.

Table 4 Average data of measuring position

Position	Temp [°C]	Position	Temp [°C]
Constant temp 1	7.65	Heating box	22.06
Constant temp 2	7.98	Module temp	Indoor 14.97
Constant temp 3	6.64		Outdoor 6.84
Constant temp 4	7.67	Flow rate	0.502(m ³ /h)
Average	7.49		

$$Q_s = \frac{0.037 \cdot 0.0625 \cdot (14.97 - 6.84)}{0.1} = 0.1881 \text{ W}$$

$$\text{Flow velocity} = \frac{0.502}{0.0625 \cdot 3600} = 0.002231 \text{ m/s}$$

$$U_d = \frac{0.1881}{0.0625 \cdot (22.06 - 7.49)} = 0.2066 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

열관류율을 구하면 유출열량은 약 0.1881 W, 유속이 0.002231 m/s, 동적 열관류율은 0.2066 W/m²·K으로 계산되었다. 이때 가열 챔버의 평균온도가 22°C, 항온 챔버의 온도가 7°C정도를 나타냈다. 이는 Table 4에서 확인 할 수 있고 이와 같은 방식으로 나머지 실험 데이터를 계산한 것을 Table 5에 나타내었다. Table 5를 보면 유속이 0일 때의 열관류율은 0.37 W/m²·K이고 유속을 0.00086 m/s로 증가시켜 주었을 때 열관류율은 0.2765 W/m²·K로 감소하였고 유속이 증가할수록 동적 열관류율이 감소하는 경향은 Fig. 8에서 보면 알 수 있다. 유속이 0.0025 m/s일 때 동적 열관류율은 약 0.2 W/m²·K로써 국내 단열기준 대비 약 45%이상의 단열성능이 개선된 점을 알 수 있다.

Table 6은 KIER-BSF와 ABD-BSF의 열관류율을 나타낸 표이고 Fig. 9는 KIER-BSF와 ABD-BSF의 단열성능을 비교해 보고자 실내 실험 장치를 통해 두 모듈을 동일 조건하에서 실험방법에 따라 유량에 변화를 주면서 유출열량을 측정, 계산, 분석한 결과를 나타낸다. 실험 결과 두 모듈의 동적 열관류율은 Fig. 9에 나타난 그래프와 같이 유사한

Table 5 KIER-BSF U_d experimental data

Flow velocity [m/s]	Module area [m ²]	Q _s [W]	Temperature (ΔT)	U _d [W/m ² ·K]
0.0000	0.0625	0	0	0.3700
0.00086	0.0625	0.2749	15.90	0.2765
0.001777	0.0625	0.2692	16.85	0.2555
0.002231	0.0625	0.1881	14.57	0.2066
0.002438	0.0625	0.1797	14.21	0.2024

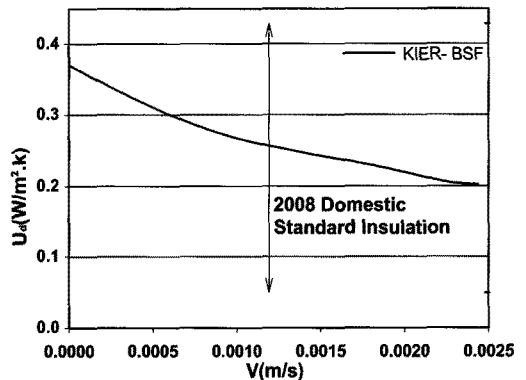


Fig. 8 Dynamic U_d over the flow velocity.

Table 6 Theoretical value of ABD-BSF and KIER-BSF

	Module size [mm]	Thermal conductivity [W/m · K]	Ud [W/m ² · K]
KIER-BSF	250 × 250 × 100	0.037	0.37
ABD-BSF	250 × 250 × 95	0.035	0.34

Table 7 KIER-BSF and ABD-BSF U_a comparative experimental data

Flow velocity[m/s]	Ud[W/m ² · K]	
	KIER-BSF	ABD-BSF
0.0000	0.3400	0.3700
0.0005	0.3166	0.3113
0.0010	0.2932	0.2679
0.0015	0.2705	0.2398
0.0020	0.2570	0.2181

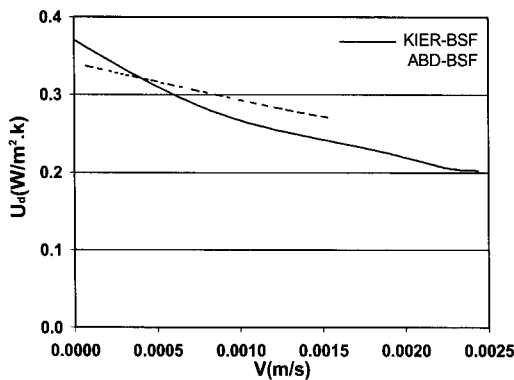


Fig. 9 KIER-BSF and ABD-BSF U_a comparative experimental graph.

감소율을 보이기는 하였으나 ABD-BSF보다 동적 단열재의 동적 열관류율 감소율이 좀 더 높게 나타남을 알 수 있었다. 초기 열관류율값이 동적 단열재가 0.03 W/m² · K 높다는 점을 감안한다면 ABD-BSF보다 단열성능이 좀 더 좋다는 결과를 도출해 낼 수 있다.

5. 결 론

본 연구는 최근 문제시되고 있는 실내 공기질은 물론 향진성, 통기성을 지닌 재료로서 동적 단열재

를 소개하였다.

본 연구를 통하여

- (1) 동적 열관류율 실험을 위한 실내 실험 장치를 구현하였고, 이 장치를 통해 KIER-BSF의 단열성능을 측정하였다.
- (2) 측정된 KIER-BSF가 기존 단열재 대비 45% 이상의 단열성능이 개선되었음을 알 수 있었다.
- (3) KIER-BSF와 ABD-BSF의 열관류율 비교 실험에서는 초기 열관류율 값을 감안했을 경우 유속이 0.0005 m/s 이상이 될 경우 KIER-BSF의 단열성능이 ABD-BSF보다 우수하게 나타났다.

국내에는 아직 동적 열관류율 측정 방법으로 증명, 정립되어 있는 방법이 없다. ABD-BSF의 동적 열관류율 계산 방식을 그대로 사용하기에는 아직 증명된 계산 방법이 아니기에 무리가 있다고 본다. 그렇기 때문에 좀 더 정확한 실험을 위해서는 우선적으로 동적 열관류율의 측정 방법과 계산방식부터 정립하는 것이 우선 과제일 지도 모른다. 숨 쉬는 외피 기술은 기존 벽체의 기능 뿐만 아니라 단열성과 통기성, 향진성이 뛰어난 실내 환경 개선용 차세대 신기술이라 할 수 있다. 향후에는 본 실내 실험 장치를 이용하여 동적 단열재의 통기성 및 향진성에 대한 실험을 정량적으로 측정, 분석하고 여러 방면으로 기술 개발 및 연구를 통해 KIER-BSF가 상용화 될 수 있을 것이라 본다.

후 기

이 연구는 2006년 산업 자원부 연구비 지원 사업에 의한 결과의 일부임(과제명 : 실용형 숨 쉬는 외피 : Breathing Wall(BW) 기술 개발 과제 번호 : 2006-E-BD02-P-02-0-000).

참고문헌

1. Imbabi, M. S., 2004, New Developments in the Science and Art of Breathing Walls, WREC 2004.
2. Imbabi, M. S., 2005, Energyflo™Cell and the Dynamic Breathing System, Environmental Building, p. 1.
3. Taylor, B. J. and Imbabi, M. S., 1998, The appli-

- cation of dynamic insulation in buildings, Renewable Energy, Vol. 15, No. 1 pp. 377-382.
4. Imbabi, M. S., 2008, Dynamic Breathing Buildings to Combat Global Warming, 3rd International Solar Cities Congress.
 5. Imbabi, M. S., 2005, Energyflo™ Cell-Thermal Performance environmental building, Environmental Building, p. 2.
 6. Imbabi, M. S., 2006, Full-scale evaluation of energy use and emissions reduction of a dynamic breathing building, WREC-IX Building and Environmental.
 7. Korea Standard Association, 2002, KS F-2277 : Thermal insulation-Determination of steady-state thermal transmission properties-Calibrated and guarded hot box.
 8. Kang, E. Ch., 2007, Development of Indoor Test Facility for a Breathing Wall Energy Performance, Proceeding of the SAREK 2007, Summer Annual Conference, pp. 500-505.