

숨쉬는 벽체를 적용한 건물에서의 실내공기질(IAQ) 개선 효과 분석

박 용 대, 이 진 숙, 강 은 철*, 이 의 준**

충남대 건축공학과, *한국에너지기술연구원

IAQ improvement effect analysis in Dynamic Breathing Building(DBB)

Yong-Dai Park, Jin-Sook Lee, Eun-Chul Kang*, Euy-Joon Lee**

Department of Architecture, Chungnam National University, Daejeon, Korea

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

ABSTRACT: In modern buildings, the air-tightness and insulation for energy saving resulted in degradation of Indoor Air Quality(IAQ). It has brought out new diseases such as New Building Syndrome(NBS) and Sick Building Syndrome(SBS) to the tenants of such buildings. As a result, researches on the Dynamic Breathing Building(DBB) are being undertaken to minimize energy loss as well as to improve IAQ. DBB is a state-of-the-art technology to build channels inside the wall so that air migrates between indoor and outdoor, which improves insulation performance and IAQ. This study attempts to evaluate the improvement of DBB employed in real buildings. As analyzing tools, IAQ improvement and particle degradation while were evaluated while the required indoor ventilation rate was satisfied. DBB were installed in the twin test cells at Korea Institute of Energy Research(KIER). From the test, IAQ was compared with outdoor air base on the concentration of particle matter(PM10). As a results, the concentration of particle dust (PM10) within the breathing walls was reduced by 80% at 0.7 ACH, 67% at 2 ACH, 63% at 3 ACH respectively. As ACH is higher, Dnamic Isulation(DI) and normal wall permit more PM10 particles being infiltrated.

Key words: Dynamic Breathing Building(숨쉬는 건물), Dynamic Insulation(동적 단열재), Indoor Air Quality(실내 공기질), PM10(미세먼지), Infiltration(침기량)

1. 서 론

에너지 절약을 위한 건물의 기밀화, 밀폐화 등

은 실내 공간의 공기질을 악화시키는 결과를 초래하였고 이로 인하여 새집증후군과 같은 신종 질병들이 생겨나고 있다.

또한, 우리나라의 지리적 위치와 계절의 변화에 따른 계절풍의 영향으로 매년 봄철이면 중국으로부터 날아드는 황사로 인한 피해가 해를 거듭할수록 증가하고 있으며, 단지 공기의 오염뿐

† Corresponding author

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

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

만이 아닌 국민건강을 위협하는 가장 위험한 요소로 작용하고 있으나, 자연재해로만 치부하며 특별히 뾰족한 대책 없이 매년 반복되는 피해를 겪고 있다. 이에 에너지 손실을 줄이고 실내 공기질을 개선하기 위한 방안으로 숨쉬는 벽체와 같은 신개념의 실내환기시스템에 대한 연구가 진행 중에 있다. 해외에서 보고된 한 연구결과에 의하면 동적 단열재를 건물에 적용하였을 경우 실외 대비 실내 오염 농도의 절감률이 90% 이상¹⁾ 되는 것으로 나타났다.

본고에서는 해외에서 개발된 숨쉬는 벽체 기술의 일환으로 숨쉬는 벽체 단열재인 동적 단열재를 한국에너지기술연구원내 실험용 건물인 실외 실험 장치(Twin Test Cell)에 적용한 후 외기상태에서의 실외 오염 농도 대비 동적 단열재 내부 공간의 실내공기질(IAQ) 개선 효과 및 실내환기량 충족시 발생하는 오염입자 저감효과를 정량적으로 분석하여 보고자한다.

2. 숨쉬는 벽체

2.1 숨쉬는 벽체 기술

Fig. 1은 숨쉬는 벽체 기술의 개념도로써 벽체 외부는 구조용 다공성 콘크리트로, 내부는 미세한 구멍이 형성된 필터 기능의 소재로 구성되며, 실내외의 압력 차의 영향으로 공기의 흐름이 형성되도록 설계한다. 벽체를 통한 공기흐름은 매우 느리기 때문에($v=0.01\text{m/s}$ 이하) 거주자는 거의 느끼지 못하며, 벽체를 통해 실외공기가 실내로 유입되면서 벽체 내부에서 열교환이 이루어짐으로 건물 냉난방에너지 소비량을 상대적으로 줄일 수 있게 된다.

또한 건물 벽체 전체에서 공기흐름이 발생함으로 최근 문제시 되고 있는 실내환기요구량(약 0.7ACH)을 창문을 열지 않고도 충분히 충족시킬 수 있으며, 실외공기와 함께 유입되는 분진이나 미세 오염물질 등은 숨쉬는 벽체 내부에 있는 필터에 의해 제거되기 때문에 실내공기질(IAQ)을 크게 개선시킬 수 있다.

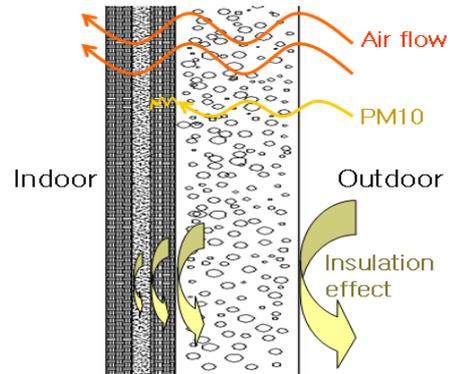


Fig. 1 Concept of breathing wall.

2.2 동적 단열재²⁾(Dynamic Insulation)

단열재 역할을 하는 동적 단열재 내부에는 HEPA형 필터가 삽입되어 있어 외기가 유입되는 과정에서 미세먼지(PM10)나 인체에 유해한 오염 물질을 차단 및 포집하여 실내 공기질을 개선시킬 수 있다. 동적 단열재의 두께는 95, 135, 175 mm로써 3가지 타입이 있고, 두께별로 열관류율 및 필터 여과의 수명도가 각각 다르게 나타난다. 셀의 두께가 두꺼워질수록 열관류율은 낮아지며 셀의 오염농도에 따른 필터 수명은 늘어난다. 동적 단열재는 건물 용도별로 셀의 두께를 다르게 사용하여 적용 가능하다. 외부 오염농도가 일반적으로 낮은 지방 같은 경우 건물 용도별로 95, 135mm 셀이 적용 가능하며 그 반대로 높은 오염도를 나타내는 도시 같은 경우 좀 더 두꺼운 135, 175mm 셀이 적용가능하다.



Fig. 2 Dynamic insulation.

1) Mohammed S. Imbabi, Dynamic Breathing Buildings to Combat Global Warming, 3rd international Solar Cities Congress 2008.

2) Mohammed Salah-Eldin Imbabi, 2005, Energyflo Cell - Thermal Performance environmental building, Technical Bulletin 2.

Table 1 Selection matrix of cell thickness for filtration life

Cell thickness (mm)	Typical static U-value (W/m ² .K)	Predicted filtration life, typical construction (years)		
		High pollution	Average pollution	Low pollution
95	0.36	<60	60	>60
135	0.28	60<80	80	>80
175	0.20	80<100	100	>100

Table 2 Selection matrix of cell thickness for building type

Building type	Recommended dynamic insulation application		
	Urban	↔	Rural
	High pollution	Average pollution	Low pollution
Semi-detached house	2	1.2	1.2
Secondary school	2	2	1.2
Multi-storey office block	2	2	1.2
NHS hospital ward	3	2	1.2
Semi-conductor plant	3	2.3	2

(1=95mm, 2=135mm, 3=175mm)

3. 실험 장치 구성 및 방법

3.1 실험 장치 구성

Fig. 3은 실외 실험 장치로써 외기조건하에서 동적인 단열재의 단열기능, 자연환기 기능, 항진 기능을 평가하기 위한 SET(Separate Effect Test)실험 장치이다.



Fig. 3 KIER twin test cell.

Table 3 KIER twin test cell specification

Type	Area (m ²)	Material	Thickness (m)
Wall (East, West)	9.12	Steel panel	0.001
		Urethane foam	0.075
Wall (North)	4.80	Steel panel	0.001
		Urethane foam	0.075
Wall (South)	RW	Air	0.040
		Plywood	0.012
		Wood panel	0.015
	BW	Insulation (Styrofoam)	0.095
		Steel panel	0.001
		Air	0.040
Floor	7.60	Plywood	0.012
		Wood panel	0.015
		Insulation (Dynamic Insulation)	0.095
		Steel panel	0.001
		Steel panel	0.001
		Urethane foam	0.075
Roof	7.60	Urethane foam	0.100
		Gypsum board	0.010
		Air	0.100
		Steel panel	0.001

실외 실험 장치 내부에는 모니터링 공간을 중심으로 좌우에는 2.0×3.8×2.4 m³의 동일한 크기와 형태의 실내공간이 있으며 위의 Table 3에서 나타낸 바와 같이 건물의 남쪽벽을 제외한 나머지 벽체들은 동일한 특성을 갖는 샌드위치판넬로 구성되었다. 실외 실험 장치에서 동적인 단열재의 설치 위치는 남쪽벽체이며 외장재, 공기층, 동적 단열재, 공기층, 내장재 순서로 벽체를 형성하였다. 여기서 내장재는 동적 단열재를 통하여 유입되는 공기를 실내에 전달하기 위해 통기 및 흡음 기능이 있는 합판으로 설치하였다.

동적 단열재 필터 성능 평가를 위하여 미세먼지(PM10, PM2.5)를 측정할 수 있는 항진성 테스트 장비 P-TRAK 8525를 선정하였으며 항진성 테스트 장비의 특성은 Table 4와 같다. 테스트 장비의 측정범위는 0-5×10⁵particles/cm³이며 검지 입자크기는 0.02-1μm이내에서 여과효율을 계수법(DOP법)으로 측정하였다. Fig. 4는 항진성 테스트 장비 설치 위치이다. 실외 대비 동적 단열재 내부 공간을 동시에 측정하기 위해 P-TRAK 8525 각각 1대씩 설치하였다. 여기서 항진성 테스트 장비를 일반 벽체에 설치하지 않고 실외에 설치한 이유는 일반 벽체가 설치된 공간에 개구부를 열어 자연 환기를 시킬 경우 일반 벽체의

공간과 실외 공간에서 열평형 상태가 이루어져 실외와 일반 벽체 내부 공간에 동일한 오염 농도가 나타날 것이라고 판단하여 실외에 항진성 테스트 장비를 설치하였다.

Table 4 Filtration test equipment specification

Function		Specification
Model		8525(P-TRAK)
Concentration range		0-5×10 ⁵ particles/cm ³
Particle size range		0.02 to 1 micrometer
Flow rate	Sample	100cm ³ /min
	Total	700cm ³ /min
Alcohol requirement	Type	100% reagent grade isopropyl
	Hours per charge	8 hours at 70°F(21°C)
RS232 output		Baud rate 9600(8-N-1)
Temperature range		0-38°C
Size		(27cm×14cm×14cm)

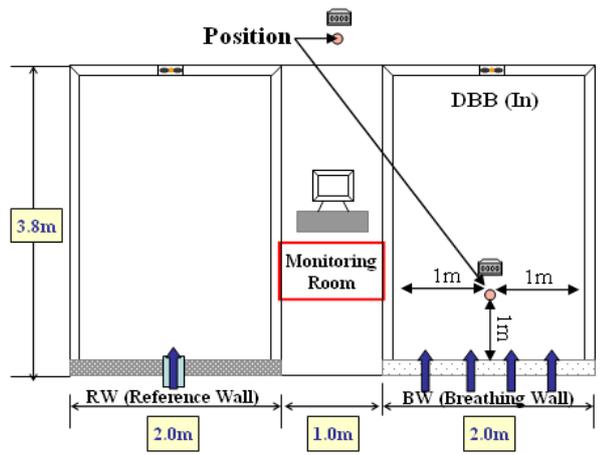


Fig. 5 Particle counting position.

3.2 실험 방법

본 연구의 실내공기질 평가항목인 미세먼지 (PM10, PM2.5) 등은 환경부의 실내환경공정시험법에 제시된 실내공기질 측정법을 준하여 측정하였다. 동적 단열재 필터 테스트를 하기 전에 실외 실험 장치의 개구부를 개방하여 30분 이상 환기를 시키고 실내환기요구량(약 0.7ACH)을 설정한 후 실험실을 4시간 이상 밀폐시켰다. 여기서 ACH는 단위 체적당 환기량을 말한다. 또한 실외와 실내 오염농도를 1분씩 측정하고 30분 간격으로 평균치를 내어 데이터를 분석한 후 다시 실내 환기요구량을 변화시켜 측정하였다.

4. 실험 결과

KIER 실외 실험 장치에 동적 단열재가 설치된 공간과 실험 장치 외부에 오염농도 측정 장비를 각각 1개씩 설치하여 실외 대비 동적 단열재 내부 공간의 오염농도 측정 실험을 수행하였다. 동적 단열재의 필터 테스트는 황사가 집중적으로 불어오는 3월에서 4월에 수행하였으며 실내 적정환기량을 조절하면서 오후 1시부터 오후 5시까지 실험하였다. 다음 Table 5는 황사가 예상되는 2008년 3월에서 4월 사이에 실험한 종합 데이터이며 실내 환기횟수를 0.7ACH, 2ACH 그리고 3ACH로 변화시키면서 실험하였다. 0.7ACH로 설정하여 실험할 당시 실외 온도는 15.5°C, 실내 온도 17°C, 실외 풍속은 0.8-2m/s이었다. 실험 결과 실외의 오염 농도는 최대 21100 PT/CC 최소 14500 PT/CC였으며 평균 18122PT/CC였다. 반면 동적 단열재의 실내 오염 농도는 최대 4280 PT/CC, 최소 2940PT/CC였으며 평균 3558 PT/CC로 측정되었다. 이때 실외 대비 동적 단열재의 오염농도 감소율은 0.7ACH일 때 80%로 나타났다.

또한 실내 환기횟수를 높여 2ACH로 설정하여 실험할 당시 실외 온도는 23°C, 실내 온도 22°C, 실외 풍속은 0.5-2.5m/s이었으며 이때 환기횟수는 2ACH로 설정하여 실험하였다. 그 결과 실외의 오염 농도는 최대 19814PT/CC 최소 10836PT/CC였으며 평균 15403PT/CC였다. 반면 동적 단열재 내부 실내 오염 농도는 최대 6604PT/CC, 최소 3252PT/CC였으며 평균 5134PT/CC로 측정되었다. 2ACH일 때 실외 대비 동적 단열재의 내부 공간 오염농도 감소율은 67%였다.

그리고 환풍기의 공기 유속을 좀 더 빠르게 설정하여 실내 환기횟수를 3ACH로 설정하여 실험하였다. 이때 실험 조건은 실외 온도는 16°C, 실내 온도 17°C, 실외 풍속은 0.8-2m/s이었다. 실험 결과 실외의 오염 농도는 최대 13100PT/CC 최소 10100PT/CC였으며 평균 11756PT/CC였다. 반면 동적 단열재 내부 실내 오염 농도는 최대 5010PT/CC, 최소 3830PT/CC였으며 평균 4404 PT/CC로 측정되었다. 이때 실외 대비 동적 단열재의 내부 공간의 오염농도 감소율은 3ACH일 때 63%로 나타났다.

Table 5 Dynamic insulation filtration test condition and results

Test condition									
Test day	2008, 03, 20			2008, 04, 18			2008, 03, 18		
Outdoor temperature	15.5℃			23℃			16℃		
Indoor temperature	17℃			22℃			17℃		
Wind speed	0.8-2m/s			0.5-2.5m/s			0.8-2m/s		
ACH	0.7			2 ACH			3 ACH		
Test results									
Time	Outdoor (PT/CC)	DBB (PT/CC)	Reduction (%)	Outdoor (PT/CC)	DBB (PT/CC)	Reduction (%)	Outdoor (PT/CC)	DBB (PT/CC)	Reduction (%)
1:00	15300	2950	81	10836	3252	70	13100	5010	62
1:30	21100	3010	86	11804	3905	67	11500	4860	58
2:00	20300	3580	82	13755	4371	68	10800	4680	57
2:30	20600	3930	81	16248	4619	72	10100	4550	55
3:00	20100	4280	79	18883	5121	73	10700	4190	61
3:30	17600	3860	78	19814	5919	70	12500	3920	69
4:00	17100	3710	78	17760	6604	63	13300	4210	68
4:30	16500	3760	77	14484	6576	55	11600	4390	62
5:00	14500	2940	80	15048	5839	61	12200	3830	69
average	18122	3558	80	15403	5134	67	11756	4404	63

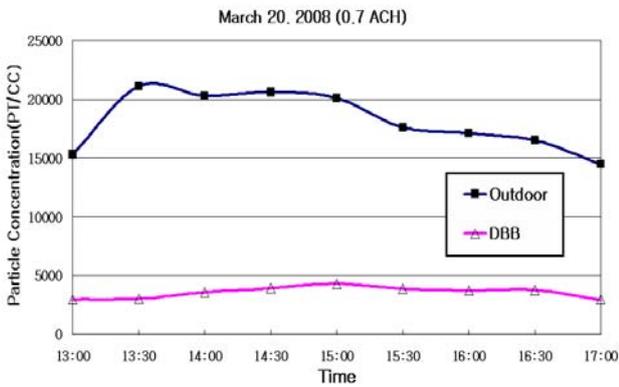


Fig 5. Test results(0.7ACH).

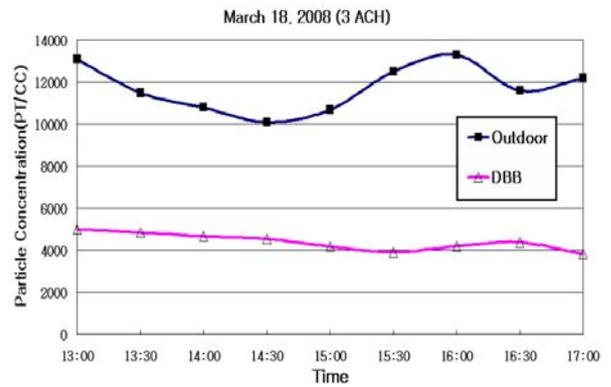


Fig 7. Test results(3ACH).

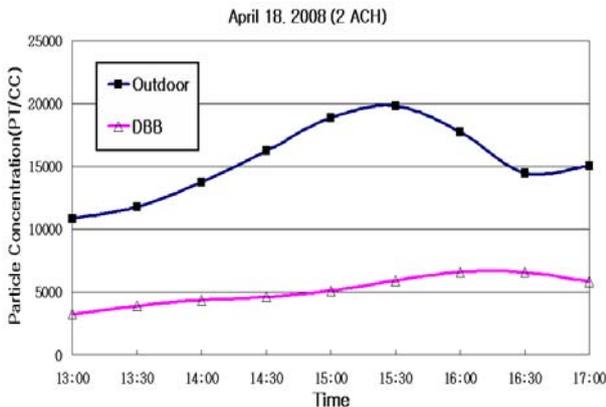


Fig 6. Test results(2ACH).

다음 Fig. 8은 실내 적정 환기횟수인 ACH를 변화시키면서 실외 오염 농도 대비 동적 단열재 내부 오염농도 감소율의 변화량이다. 환기횟수가 0.7 ACH 일 때 절감률이 80%, 2ACH 일 때 67% 그리고 3ACH일 때 63%로 나타났다. 실내 환기횟수가 늘어날수록 실외 대비 동적 단열재 내부 공간의 오염농도 감소율이 낮아지는 경향이 나타났다. 한편 동적 단열재의 필터 테스트를 수행한 해외의 연구결과와 비교하여 보면 동적 단열재를 건물에 적용하였을 경우 환기횟수가 0.3-0.7ACH 일 때 실외 대비 오염 농도의 절감률이 90%이상 되는 것으로 나타났으며 본 연구 결과와는 약 10%의 오차 범위를 나타냈다.

오차 원인을 분석하기 위해 해외에서 수행한 실험 방법을 살펴보면 동적 단열재를 벽체가 아닌 지붕에 설치하였으며 동적 단열재 내외부를 캡슐로 감싸고 캡슐 구멍에 덕트를 연결하여 순수 동적 단열재를 통해 들어오는 공기의 오염농도를 항진성 측정 장비로 측정하였다. 하지만 본 실험은 해외에서 수행한 실험 방법과 달리 동적 단열재를 통해 들어오는 공기 뒤편에 통기성 있는 내장재를 통하여 실내로 유입되는 공기를 측정하였다. 따라서 동적 단열재를 통해 유입된 깨끗한 공기가 통기성 있는 목재의 영향을 받아 오염 농도가 높아진 것으로 판단된다. 또한 ACH가 늘어날수록 실내 공간에 압이 형성되어 동적 단열재를 통해서 들어오는 공기 이외에 동적 단열재가 설치되지 않은 벽체, 지붕 및 바닥부위에서 외부 침기의 영향이 있었다고 판단된다. 이러한 침기량은 적용 건물 및 시공 방법에 따라 다르게 나타날 수 있다고 판단된다.

동적 단열재를 통하여 유입된 오염농도의 저감효과를 정량적으로 분석하였다. KIER Twin Test Cell에서 실외 오염 농도 대비 동적 단열재 실내 공간의 오염농도를 측정한 결과 0.7ACH일 때 80%, 2ACH일 때 67% 그리고 3ACH일 때 63%의 감소율을 나타냈다. 이는 환기량이 많아질수록 건물내부에 압이 형성되어 동적 단열재 이외의 벽체에서 침기량이 형성되어 오염입자가 늘어난 것으로 판단된다. 또한 동적 단열재를 통해 유입된 공기는 통기성 목재 내장재의 영향을 받아 오염 농도가 높아졌다고 판단된다. 따라서 숨쉬는 벽체 기술은 벽체를 통해 외부공기가 유입되어 실내 적정 환기 요구량인 0.7ACH를 만족하는 동시에 실내공기질을 개선할수있다. 이러한 숨쉬는 벽체 기술은 차세대 실내환경 개선 시스템이라 할 수 있으며 본 연구를 기반으로 향후 실용화 및 상용화를 위한 연구가 계속해서 진행될 것이다.

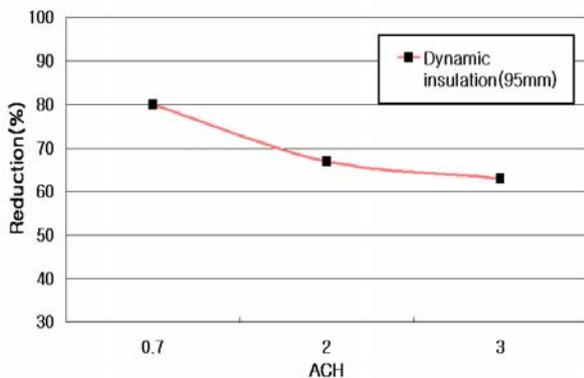


Fig. 9 Pollution reduction results graph

Table 6 Pollution reduction results data

Average ACH	Outdoor (PT/CC)	DBB (PT/CC)	Reduction (%)
0.7	18122	3558	80
2	15403	5134	67
3	11756	4404	63

5. 결론

본 연구에서는 숨쉬는 벽체 기술에 사용되는 동적 단열재인 Energyflo cell를 한국에너지기술연구원내에 비치된 Twin test cell 실험용 건물에 적용한 후 외기조건하에서 실외 오염 농도 대비

후 기

이 논문은 산업자원부 연구비 지원 사업(과제명: 실용형 숨쉬는 외피 Breathing Wall(BW) 기술 개발. 과제번호 : 2006-E-BD02-P-02-0-000)으로 진행되었음.

참고 문헌

1. Mohammed Salah-Eldin Imbabi and Jim M. Wong and Fredrik P, 2005, "breathable concrete for low energy building" world renewable energy congress(WREC).
2. M. S. Imbabi, 2006, "Full-scale evaluation of energy use and emissions reduction of a dynamic breathing building", Building and Environmental.
3. M. S. Imbabi, September 2004, "New developments in the science and art of breathing walls", world renewable energy congress(WREC), Denver.
4. M. S. Imbabi, 1996, Analytical Investigation of the steady-state behaviour of Dynamic and diffusive building envelopes. Building and Environmental,31(6), 519-525.