

건물에너지효율등급향상을 위한 고효율 건물외피 성능 연구

현 중 훈[†], 홍 성 희^{**}, 박 효 순^{**}, 최 무 혁^{*}

^{*}경북대학교 건축공학과, ^{**}한국에너지기술연구원,

Study on High Performance Building Envelope for raising Building Energy Rating

Jong-Hun Hyun[†], Sung-Hee Hong^{**}, Hyo-soon Park^{**}, Moo-Hyuck Choi^{*}

[†] Dept. of Architectural Engineering, Kyungpook University, Taegu 702-701, Korea

^{**}Korea Institute of Energy Research, Daejeon 305-343, Korea

ABSTRACT: The best plan is that the insulation performance should be improved because the insulation and airtight of building envelopes have an effect on the energy consumption basically. New insulation materials, which have the high performance and are above insulation standard, have been developed steadily. Because there are not studies on the building energy rating system and economic evaluation considering new insulation materials, these matters should be studied. In result alternatives, which applied 6 high performance material each, influence, reduce the annual heating energy and raise the building energy rating. Applying the vacuum insulation material(Case1,2) and vacuum or triple glazing can retrieves the investment with \$120 and \$140~150 per barrel each.

Key words: Building energy rating system(건물에너지효율등급인증제도), Heating load (난방부하), 경제성(Economical efficiency)

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

현재 우리나라는 에너지의 97% 이상을 수입에 의존하고 있으며 이 중 약 25% 이상이 건물부문에서 소비되고 있다. 건물부문의 소비량은 2007년 기준 약 237억 달러로 해마다 그 비용은 증가하고 있으며 이는 불균형적인 에너지 수급구조를 가지고 있는 우리나라가 우선적으로 극복해야 할 중요한 문제 중 하나이다. 건물의 에너지소비는 기본적으로 건물외피의 단열 및 기밀 수준에 큰 영향을 받으며, 건물에너지 소비를 줄이는 최선의 방안은 건물 외피의 단열성능 향상시키는 것이다.

건물외피를 통한 열손실 저감을 위하여 선진국

은 물론 우리나라에서도 지역별, 건물 부위별 단열시공을 의무화함으로써 에너지절약에 많은 기여를 하여 왔다. 그 결과 우리나라는 건물에너지 효율등급인증제도와 같은 종합적인 열성능 향상을 위한 에너지절약 정책을 시행하고 있으며, 에너지절약형 건물보급에도 중요한 영향을 미치고 있다고 볼 수 있다.

그동안 건물외피의 법적단열기준치를 상회하는 신단열 고효율 재료가 꾸준히 개발되었으며 일부는 현재 시공 되고 있지만 건물에너지효율등급에 이 재료들이 미치는 영향이나 경제성평가에 관한 연구는 거의 전무한 상태이다.

따라서 본 연구에서는 공동주택을 대상으로 고효율 신단열 재료 사용에 대한 에너지 성능평가와 신소재들이 건물에너지효율등급에 미치는 영향 및 유가상승에 따른 경제성을 분석함으로써

기후변화협약 이행 및 고유가를 대비한 방법의 하나인 고효율 신단열재의 적용 가능성을 알아보기 위함이다.

1.2 연구의 방법 및 절차

고효율 신소재의 적용가능성을 알아보기 위해 실제 효율등급 예비인증 받은 건물을 대상으로 했으며 연구진행 방법은 다음과 같이 하였다.

(1) 선진국에서 현재 건물외피에 적용하고 있는 고효율 신단열 재료에 대한 이론적 고찰 및 국내 적용사례 조사

(2) 적용 가능한 대상 모델 선정 후 각 Case별 난방에너지 비교 후 연간 난방에너지비용 절감량 비교, 신단열 재료에 따른 에너지효율등급 비교

(3) 유가 상승에 따른 지역난방 요금 산출과 각 신소재 적용에 따른 추가 시공 비용 산출 후, 유가변동에 따른 표준주택 대비 각 Case별 난방 에너지 비용 및 절감액 산출

(4) 유가 변동에 따른 투자회수기간 산정

2. 고효율 신소재 건물외피

2.1 고효율 신소재

2.1.1 진공단열패널

진공은 공기가 없는 상태이므로 공기를 통한 전도나 대류 열전달이 일어나지 않아 열 이동을 차단하는 단열재로서 가장 우수하다. 선진 각국에서는 프레온을 사용하는 폴리우레탄폼을 대체할 수 있는 고성능 단열재 개발을 적극 추진하고 있다. 선진국에서 관심을 갖고 있는 고성능 단열재로는 단열성능이 우수한 진공단열패널을 개발하는데 주력하고 있으며 세계적으로 대략 10개사 정도가 진공단열패널을 생산하고 있다.

2006년도에는 국내가전업체가 진공단열패널을 냉장고에 사용하여 소비전력량을 27.4 kWh로 줄였다. 이는 기존 소비전력량이 58 kWh였던 점을 감안하면 약 50% 절감된 수치다.

2.1.2 에어로젤 단열재

에어로젤은 98%가 기체로 채워졌기 때문에 지구상에 존재하는 고체 중 가장 가볍다. 밀도는 공기밀도(0.001 g/m³)의 3배인 0.003 g/m³ 정도다.

하지만 에어로젤이 가벼운 고체라는 이유만으로 각광받는 것은 아니다. 에어로젤의 장점은 빛 투과성이 높고 단열성이 매우 우수하다는데 있다. 3mm 두께 유리의 태양광 투과율이 90% 정도다. 하지만 두께 1 cm의 에어로젤은 94%의 투과율을 보인다. 유리보다 높은 채광률과 단열률을 갖고 있기 때문에 현재 에어로젤 상용화에 가장 가까운 분야는 건축자재 부문이다.

2.1.3 삼중유리

기존 유리창의 결로, 방음성, 고단열성을 강화할 목적으로 개발된 창으로 유리의 구성은 6mm 유리 (CL) + 18.5mm 공기층 + 3mm 유리(CL) + 18.5mm 공기층 + 6mm(LE) 유리로 구성되어 총 52mm로 구성된다.

삼중유리를 사용할 경우 24mm 복층유리보다 2배 이상의 단열효과가 높고 차음성이 증대되고, 단부에서 발생하는 냉교를 차단하여 유리의 가장자리 온도를 높여줌으로써 결로저항성을 향상시키는 효과가 있다.

2.1.4 진공창

이중 유리창 내부가 진공으로 된 진공창은 두 유리판을 봉인하기 바로 직전 작은 튜부를 통해 두 장 유리사이의 가스나 공기를 뽑아내는 방법으로 만든다. 1913년 졸러가 평판형 진공창에 대한 제조방법을 제시한 이후 지금까지 개발되지 못하다가 1990년 들어서 유리창 접합기술, 코팅기술, 진공기술등을 바탕으로 실질적인 연구개발이 진행되고 있다.

최근 호주 시드니대와 미 국립재생에너지연구소(NREL)는 진공창 내부의 압력이 10⁻⁶ torr (1torr=133.332 N/m²) 정도인 고진공상태를 유지할 수 있는 시제품 제작에 성공했다.

2.2 고효율 신소재 국내 적용사례

국내에서는 초단열재가 상업적으로 응용된 예는 아직까지 없다. 산업자원부(구) 건물에너지절약사업에서 시범사업으로 적용한 사례에서 고단열재료의 성능과 우수성을 추측할 따름이다. 건물에너지절약사업에서 초단열재의 사용으로 건물 난방비를 1/7로 줄이고, 에너지 자립도가 80% 정도인 실험동을 지어 현재 실험중인 사례가 있다.

3. 고효율 신소재의 에너지성능 평가

3.1 성능평가 개요

3.1.1 적용 대상 공동주택

본 연구의 분석 대상은 한국에너지기술연구원 에서 예비인증을 마친 공동주택으로서 대구광역시 에 위치해있다. 공동주택의 총 에너지 절감율은 23.69%로서 건물에너지효율등급 예비 2등급을 받았고, 규모는 지하 3층, 지상 57층이며 총 세대 수는 788세대이다. 사례에 사용된 건물의 구조체 열관류율 및 단열재 두께는 Table 1과 같으며 난방방식은 소형열병합발전(보일러효율 90%) 시스템을 적용하였다.

평가모델 전체 동은 7동이며 본 연구에서는 전체 동 중 102동 전체 세대(105세대)의 기본형과 확장형 평면을 평가한다. 102동 동 평면도는 Fig. 1과 같이 'T'자 형태이며 세대의 향은 남동향과 남서향으로 배치되어 있다.

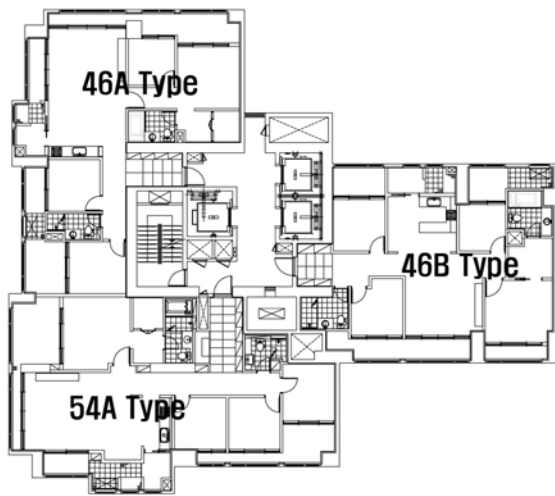



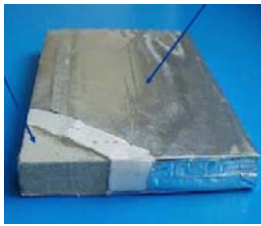




Fig. 1 102 Block floor plan.

Table 1 U-value and insulation thickness.

Type	U-value [W/m ² K]	Thickness [mm]
Ext. wall	0.475	60
Int. wall	0.414	70
Roof	0.256	100
Floor	0.321(direct)	90
	0.376(indirect)	70

3.1.2 적용 신소재

Table 3 New materials and U-value.

Case 1	
VIP (Vacuum insulation panels) U-value = 0.13 [W/m ² K]	
Case 2	
Vacuum insulation materials U-value = 0.02 [W/m ² K]	
Case 3	
Aerogel insulated unit U-value = 0.3 [W/m ² K]	
Case 4	
Aerogel insulation U-value = 0.012 [W/m ² K]	
Case 5	
Triple glazing U-value = 1.20 [W/m ² K]	
Case 6	
Vacuum-insulated glazing U-value = 0.65 [W/m ² K]	

3.2 신소재의 건물에너지효율등급 적용

대상건물의 각 기호는 평면 형태별로 46A, 46B, 54A로 나타내며 세부적으로 최상층은 T, 기준층은 M, 최하층은 B로 형태별 분류 뒤에 표기하였다. 단위세대는 총 7가지 형태이고 최상층에 있는 87형 세대의 경우 본 단지에 1세대만 있는 이유로 분석 대상에서 제외했다.

또한 각 단열재 및 창호 적용부위는 공동주택 전면과 후면벽체만 적용하였다.

3.2.1 연간 난방에너지 절감량

연간 난방에너지 절감량은 표준주택대비 Case 2, Case 3, Case 4, Case 1, Case 5, Case 6 순으로 증가하는 것으로 나타났다.(Table 3,4)

Table 3 Heating energy by households.

Type	Standard Type [GJ/yr.]	Case 1 [GJ/yr.]	Case 2 [GJ/yr.]	Case 3 [GJ/yr.]
46AM	35.49	27.29	28.65	28.56
46AB	49.41	36.34	37.79	37.71
46BT	46.85	31.13	32.97	32.83
46BM	34.98	23.97	25.71	25.58
46BB	48.92	33.01	34.85	34.73
54AM	36.18	24.14	25.53	25.42
54AB	52.14	34.21	35.71	35.59

Table 4 Heating energy by households.

Type	Standard Type [GJ/yr.]	Case 4 [GJ/yr.]	Case 5 [GJ/yr.]	Case 6 [GJ/yr.]
46AM	35.49	27.74	19.63	15.46
46AB	49.41	36.82	28.02	23.26
46BT	46.85	31.73	25.65	21.77
46BM	34.98	24.55	18.87	15.37
46BB	48.92	33.61	27.46	23.50
54AM	36.18	24.60	17.64	13.91
54AB	52.14	34.70	27.00	22.68

3.2.2 건물에너지효율등급 비교

Table 5 Energy rating system by households.

	Case1	Case2	Case3	Case4	Case5	Case6
절감율 [%]	33.73	29.65	29.95	32.38	51.21	61.61
Rate	1	2	2	2	1	1

신단열재 적용에 따른 효율등급비교에서는 진공창과 삼중창에 따른 효율등급 향상이 크게 나타났다(Table 5).

4. 경제성 분석

4.1 평가 개요

경제성 평가 방법에는 투자회수기간법(PP, Payback Period Method), 내부수익율법(Internal interest rate method), 투자이익율법(Investment interest rate method), 생애비용법(Life cycle cost method)등이 있다. 본 연구에서는 현장실무진이 가장 선호하고 있으며, 기존안 대비 대안별 경제성 평가가 용이한 투자회수기간법(PP)을 적용하는 것으로 하였다.

4.1.1 난방 에너지비용 산출

난방에너지비용 산출은 지역난방을 기준으로 난방비용을 산출하였으며 그 계산식은 다음과 같다.

$$\begin{aligned} & \text{지역난방을 열원으로 사용하는 건물} = \\ & [(\text{기본요금} (\text{원}/\text{m}^2) \times 12 \times \text{전용면적} (\text{m}^2)) + \\ & (\text{사용량} (\text{Gcal}) \times \text{사용요금}/0.95)] \times 1.1 \quad (1) \end{aligned}$$

열량 당 에너지 비용은 2007년 11월 1일에 개정된 한국지역난방공사의 에너지 요금을 적용하였다(Table 6).

4.1.2 투자회수기간 산출

투자회수기간 산출을 위해 단순투자회수기간(PP, Payback Period Method)법을 이용하였고, 각 대안의 투자회수기간 산출을 위한 계산식은 수식 2와 같다.

Table 6 heating consumption data of the housing

Unit cost [won]	Period	Rate of Mcal [won/Mcal]
		57.05/Mcal
49.02/m ²	Spring, Fall (3-5, 9-11)	55.91/Mcal
	Summer (6-8)	50.32/Mcal
	Winter (12-2)	58.70/Mcal

대안의 투자회수기간 =

$$\frac{\text{기존안대비시공비용증가액}}{\text{기존안대비년간난방에너지비용절감액}} \quad (2)$$

4.2 경제성 평가 결과

4.2.1 난방 에너지비용

유가상승에 따른 원유가격(FOB) 산출은 에너지경제연구원에서 2007년 하반기에 발간한(유가 100달러 시대 그 영향과 시사점) 보고서를 기준으로 작성하였다.

원유가격(FOB)이 \$10/B 상승할 경우 석유제품의 가격은 63원/ℓ의 인상 요인이 발생한다. 석유제품은 연산품이어서 개별 제품의 원가 인식이 곤란하므로, 이를 모든 제품에 공히 적용할 경우 휘발유는 4.2%, 경유는 5.0%, 부탄은 8.0%의 가격인상률로 나타난다(2007년 9월 가격기준).

또한 표준주택 대비 연간 난방에너지 비용 절감액은 Table 8과 같이 나타났다.

Table 7 heating energy cost considering higher oil prices. [won / Mcal]

Price of oil [\$]	70	80	90	100	110
Unit cost	57.05	61.61	66.54	71.87	77.62
Price of oil [\$]	120	130	140	150	160
Unit cost	83.83	90.53	97.77	105.60	114.04
Price of oil [\$]	170	180	190	200	-
Unit cost	123.17	133.02	143.66	155.15	-

Table 8 Cost of heating energy with each case.

Type	Price of oil [\$]	Heating energy cost [won]	절감액 [won]
Reference building	100	937,990	-
	150	1,350,249	-
	200	1,953,769	-
case 1	100	655,562	282,428
	150	929,526	420,723
	200	1,332,070	621,697
case 2	100	691,536	246,454
	150	982,384	367,865
	200	1,409,736	544,031
case 3	100	688,952	249,038
	150	978,588	371,661
	200	1,404,158	549,609
case 4	100	667,288	270,702
	150	946,756	403,493
	200	1,357,386	596,381
case 5	100	548,633	389,357
	150	772,412	577,837
	200	1,101,218	852,549
case 6	100	473,504	464,486
	150	662,024	688,226
	200	939,021	1,014,746

4.2.2 추가 시공비용

추가 시공의 경우 적용 벽체는 38.62m²(전면(16.11m²), 후면(22.51m²)), 창호는 29.06m²(전면(19.77m²), 후면(9.29m²))에 각각의 신단열재를 적용한 값으로 비용 산정을 하였다.

표준주택 대비 시공비용 증가액은 에어로젤 재료를 사용한 경우와 삼중창과 진공창을 사용한 경우가 비교적 비용이 높은 것으로 나타났다(Table 9 참조). 에어로젤 단열 판넬과 단열재의 경우 국내에서도 소량 생산을 하고 있으며 세계적으로 가장 크게 주목 받고 있는 제품으로 생산 단가가 지금보다 1/10 정도로 낮아 진다고 충분히 가격경쟁력이 있을 것으로 생각된다.

Table 9 A Mount increased with Reference building.

Type	Mount increased (won)	Unit cost [won/m ²]	Source
Reference building	-	Insulating:13,000 Wall : 106,000 Window : 236,000	Price list in Korea
Case 1	3,456,567	195,502	Germany W.Co
Case 2	1,630,923	55,230	Germany W.Co
Case 3	10,869,213	387,440	U.S.A N.Co
Case 4	5,592,562	157,810	U.S.A N.Co
Case 5	5,486,528	424,800	Denmark V.Co
Case 6	7,063,905	479,080	Denmark V.Co

4.2.3 투자회수기간

년간 난방 에너지비용 절감액에 대한 시공비용 증가액을 이용하여 투자회수기간을 산정하였다. 전반적으로 유가가 \$140~\$150일 경우 경제성이 8년~10년 정도로 에어로젤 단열재를 사용한 경우를 제외하고는 경제성이 있는 것으로 나타났다.

Table 10 Payback period compared with standard housing.

Price of oil	Payback period [y.]					
	case1	case2	case3	case4	case5	case6
70	15.42	8.34	54.98	26.03	17.75	19.16
80	14.28	7.72	50.91	24.10	16.44	17.74
90	13.22	7.15	47.14	22.31	15.22	16.42
100	12.24	6.62	43.64	20.66	14.09	15.21
110	11.33	6.13	40.41	19.13	13.05	14.08
120	10.31	5.56	36.69	17.40	11.93	12.90
130	9.56	5.16	34.02	16.13	11.06	11.96
140	8.86	4.78	31.55	14.95	10.25	11.08
150	8.22	4.43	29.24	13.86	9.49	10.26
160	7.61	4.11	27.11	12.85	8.80	9.51
170	7.14	3.86	25.47	12.05	8.22	8.87
180	6.46	3.48	22.98	10.90	7.49	8.10
190	6.00	3.23	21.32	10.11	6.94	7.51
200	5.56	3.00	19.78	9.38	6.44	6.96

5. 결론

본 연구는 최근 치솟고 있는 고유가와 기후변화협약 대응을 위한 방안으로 주목받고 있는 고효율 신단열 재료의 건물에너지효율등급향상 방안에 관한 연구이다.

나아가 표준주택 대비 연간 난방에너지비용 절감액 및 시공비용 증가액에 따른 경제성을 평가하였다. 그 결과는 다음과 같다.

(1) 건물에너지효율등급 향상과 난방에너지 성능 측면에서 삼중창과 진공창이 표준주택 대비 50~60% 정도의 높은 에너지 절감율을 보였다. 이는 사례 적용에서도 알 수 있듯이 효율등급 향상에도 큰 영향을 미침을 알 수 있다.

(2) 전반적으로 유가가 \$140~\$150일 경우 경제성이 8년~10년 정도로 에어로젤 단열재를 사용한 경우를 제외하고는 경제성이 있는 것으로 나타났다. 에어로젤 단열재인 경우 단열재만 적용한 경우는 유가가 \$180인 경우 경제성이 있는 것으로 판단 보였다.

참고문헌

1. Park, H. S. et al., 2001, A Study on the building energy rating system and its transfer, Report of Korea Institute of Energy Research, KIER-A03929
2. Koo, B. K. et al., 2007, Optimum Insulation of aluminum curtain wall fastening unit for residential complex in the aspect of heating energy performance and economical efficiency, Architectural Institute of Korea, Vol. 23, No. 2, pp. 189-198.
3. Park, H. S. et al., 2006, The effect of building energy rating on the balcony remodeling in apartment, Architectural Institute of Korea, Vol. 22, No. 3, pp. 295-302.
4. Kim, J. Y. et al., 2006, A Study on Improvement Methods and Evaluation of Thermal Environment regarding the Balcony Remodeling in APT, Proceedings of the KSES '2006 Spring Annual Conference, pp. 67-72.