

# 사무소 건물의 외피 리모델링에 따른 에너지절감효과 및 경제성 분석

## the Energy Saving Effect and Economic Assessment of Office Building according to the Building Envelope Remodeling

최 선 우*	김 지 연**	박 효 순***	김 준 태****
Choi, Seon woo	Kim, Ji Yeon	Park, Hyo soon	Kim, Jun Tae

### Abstract

The Korean government has introduced building regulations with improved energy conservation measures, including higher insulation levels for building envelope. However, there are many existing buildings that tend to consume more energy for heating and cooling than new buildings, as they were built under the former regulations with relatively higher U-values of walls and glazing. In order to improve energy efficiency in existing buildings, green remodelling of building envelope and building services are required. For existing buildings, building services improvements have been achieved through energy service company(ESCO), but much attention has not been paid to building envelope improvements with various reasons, such as uncertainty of energy saving effect design issues and costs. The aim of this study is to evaluate the impact of building envelope improvements in a typical commercial building on its heating and cooling energy loads. The results show that the improvement of glazing with lower U-values has the highest energy saving effects, followed by wall, roof and floor, under the condition of same level of insulation improvements. However, high insulated glazing increased LCC because of higher initial investment costs.

키워드 : 그린 리모델링, 외피 단열, 사무소 건물, 열관류율, 건물에너지소요량, 생애주기 비용분석  
Keywords : Green remodeling, Envelop insulation, Office building, U-value, Building energy demand, Life Cycle Cost analyses

### 1. 서 론

#### 1.1 연구배경 및 목적

최근 정부에서는 건물의 냉난방에너지 절감을 목표로 신축건물에 대해 종전 기준보다 약 20% 강화된 외피 단열 기준을 공포, 시행하였다.<sup>1)</sup> 그러나 통계자료에 따르면 2011년 국내 건축물은 신축건물이 약 20만 동<sup>2)</sup>, 기존건물이 약 673만 동<sup>3)</sup>으로 사실상 기존건물이 대다수를 차지하

고 있다. 게다가, 신축건물과 달리 기존건물은 설계 당시의 낮은 에너지 성능과 시간경과에 따른 노후화로 에너지 손실이 큰 경우가 대부분이다.

한편, 정부에서는 건축물의 에너지 소비 정보를 증명서로 발급하여 부동산 거래 시 첨부하도록 하는 에너지소비 증명제를 2013년 상반기 민간 대형건축물을 시작으로 단계적으로 확대하여 모든 건축물에 적용하는 계획을 발표하였다.<sup>4)</sup> 이는 에너지소비 정보 제공 및 에너지소비에 따른 건물의 부동산 가치, 수익에 차등을 두어 건물부분의 에너지 절약을 유도하기 위함이다.

이러한 사회적 추세에 따라 환경적, 경제적 측면에서 기존건물의 제사용을 통해 환경보전을 도모하고 에너지 절약을 통해 유지관리비용 절감과 수익을 증대시키는 리모델링은 필수적이라고 할 수 있다.

이런 리모델링 방안 중에서 환경친화적인 건축의 개념이

\* 주저자, 공주대학교 대학원 에너지시스템공학과 석사수료 (seonw@kier.re.kr)  
\*\* 한국에너지기술연구원 위촉연구원, 공학박사(jykim@kier.re.kr)  
\*\*\* 한국에너지기술연구원 책임연구원, 공학박사(hspark@kier.re.kr)  
\*\*\*\* 교신저자, 공주대학교 건축학부 교수, 공학박사 (jtkim@kongju.ac.kr)  
1) 건축물의 설비기준 등에 관한 규정, 국토해양부령 제306호, 2010.11.05 개정, 2011.02.01 시행.  
2) 2011년도 건축허가 및 착공 현황, 국토해양통계누리 (stst.mltm.go.kr)  
3) 2011년도 용도별 건축물 현황, 국토해양통계누리(stst.mltm.go.kr)

4) 제16차 녹색성장위원회 보고대회, 녹색성장위원회 (www.greengrowth.go.kr)

도입된 그린 리모델링은 에너지절약과 환경보전을 목표로 에너지부하 저감, 고효율 에너지설비, 자원 재활용, 환경공해 저감기술 등을 적용하여 기존건물을 리모델링함으로써 건물의 성능을 향상시키고 경제적 가치 상승을 도모하는 총체적인 개념이다.

그린 리모델링 방안은 크게 건축적 리모델링과 설비적 리모델링으로 분류할 수 있다. 설비적 리모델링은 고효율 설비시스템의 적용과 적정 제어시스템 도입이 있으며, ESCO 사업을 통해 사업성과에 대한 정량적인 분석이 사전에 제시되고 성능에 대한 측정과 검증, 경제적 지원이 이루어진다. 건축적 리모델링 방안으로는 근본적인 부하 저감을 위한 단열성능 개선과 개구부의 성능향상, 자연채광 및 자연환기 도입, 발코니의 온실화가 대표적이다. 그러나 건축적 리모델링의 경우 ESCO와 같은 에너지절감효과나 경제성 등에 대한 분석과 연구가 미흡한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 사무소 건물을 대상으로 그린 리모델링 방안 중 건물 외피의 단열강화에 따른 에너지절감효과와 경제성 분석을 통해 적정 리모델링 방안을 제시하고자 한다.

### 1.2 연구방법

본 연구에서는 선행연구를 토대로 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 사무소 건물의 외피 단열 강화에 따른 연간 단위면적당 냉난방소요량(kWh/m<sup>2</sup>·y)을 산출하였다. 이때, 설비시스템은 외피 단열 강화에 대한 절감효과와 경제성을 객관적으로 비교하기 위해 모든 경우에서 동일하게 적용하였다. 시뮬레이션 프로그램으로는 현재 국내 건축물 에너지효율등급 인증제도의 평가 프로그램인 ECO2를 사용하였다. 또한, 표준품셈, 물가자료 등을 활용하여 외피 단열 강화에 따른 초기투자비용과 에너지비용을 산출, 리모델링 이후 LCC(Life Cycle Cost) 분석을 통해 경제성을 비교하였다.

## 2. 시뮬레이션 개요

### 2.1 기준모델 개요

건물의 노후화로 인해 리모델링이 필요한 기준모델을 선정하기 위해 사무소 건물의 에너지소비 실태조사 자료<sup>5)</sup>를 참고하였다. 기준모델의 개요는 다음 표 1 및 그림 1과 같다. 기준모델의 외피 단열성능은 1992년부터 시행된 건물의 외피 단열기준 중 창호와 관련하여 복층창호를 포함하여 제시한 2001년의 건물 외피 단열기준을 적용하였다.<sup>6)</sup>

냉난방설비의 경우, 실태조사 자료에서 가장 많이 적용된 것으로 파악된 온수보일러와 흡수식냉동기로 선정하였다. 설비시스템의 성능계수(COP)는 조사 데이터의 평균값인 0.87, 0.96으로 설정하였으며, 에너지원으로는 도시가스(LNG)를 사용하는 것으로 가정하였다.

5) 건물의 에너지원단위 기준(안)연구에 관한 최종보고서, 산업자원부, 1999.

6) 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 건설교통부령 제 270호, 2001.01.17 개정, 2001.06.01시행

표 1. 기준모델의 개요

항 목	내 용	항 목	내 용
층 수	15층	위 치	서울, 남향
연면적	36,000m <sup>2</sup>	창면적비	40%
크 기	폭 64.7m, 깊이 37.1m, 층고 3.9m		
창 호	일반복층유리 (차폐계수 0.8)		
난방기기	온수 보일러	용량 : 2,500kW, COP : 0.87 온수급환수온도 : 80℃/60℃ 온수순환펌프 : 60kW	
	흡수식 냉동기	용량 : 1,250kW, COP : 0.96 냉수급환수온도 : 7℃/12℃ 냉각수급환수온도 : 37℃/32℃ 냉수순환펌프 : 60kW, 냉각수순환펌프 : 110kW	
공조방식	AHU	CAV, 최대풍량 : 20,000CMH 급기팬효율 : 0.20, 배기팬효율 : 0.35	
	FCU	팬 동력 50W	

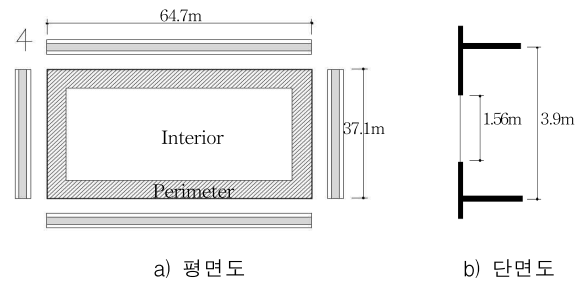


그림 1. 기준모델의 기준층 평면도 및 단면도

### 2.2 시뮬레이션 개요

시뮬레이션에 사용된 실내 설정조건<sup>7)</sup>은 표 2와 같으며, 설정조건 중 조명부하밀도는 건물의 에너지원단위 기준(안)연구에 관한 최종보고서에서 조사된 동일 규모 사무소 건물의 평균치를 적용하였다. 기상데이터의 경우, ECO2에서 제공되는 서울지역의 월별 기상데이터를 활용하였다.

시뮬레이션은 건물 외피의 리모델링 요소인 벽체, 지붕, 바닥, 창호의 열관류율을 각각 2001년 법규 대비 20%씩 강화하여 수행하였다. 각 요소별 적용 열관류율은 다음 표 3과 같으며, 각 요소가 미치는 영향을 객관적으로 분석하기 위해 다른 요소의 열관류율은 기준모델과 같게 하였다.

표 2. 실내 설정조건

항 목	내 용
난방설정온도	20 ℃
냉방설정온도	26 ℃
조명부하밀도	15 W/m <sup>2</sup>
인체발열부하	55.8 Wh/m <sup>2</sup> ·d
장치부하	126 Wh/m <sup>2</sup> ·d
최소외기도입량	6 m <sup>3</sup> /h·m <sup>2</sup>

7) 건축물에너지효율등급 인증제도 운영규정, 2011.4.5 시행

표 3. 요소별 적용 열관류율(W/m<sup>2</sup>·K)

	벽체	지붕	바닥	창호	
기준모델(법규기준)	0.47	0.29	0.58	3.84	
기준대비 20%강화	0.38	0.23	0.46	3.07	SC 0.8
기준대비 40%강화	0.28	0.17	0.35	2.30	SC 0.6
기준대비 60%강화	0.19	0.12	0.23	1.54	SC 0.4
기준대비 80%강화	0.09	0.06	0.12	0.77	

창호의 경우 각 열관류율을 달성하기 위하여 창호의 구성이 달라지며, 그에 따라 내부로 유입되는 일사에너지의 변수인 차폐계수가 변하게 된다. 이에 따라 열관류율과 차폐계수에 따른 냉난방에너지의 변화를 파악하기 위해 차폐계수를 0.8, 0.6, 0.4로 구분하여 각각 열관류율 변화를 적용하였다.

### 3. 시뮬레이션 분석결과

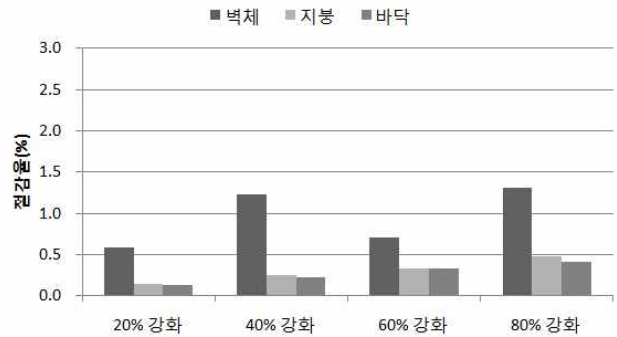
#### 3.1 요소별 냉난방소요량 분석

기준모델의 난방요구량은 18.30 kWh/m<sup>2</sup>·y, 냉방요구량은 36.96 kWh/m<sup>2</sup>·y로 난방요구량이 난방요구량에 비해 2배가량 크게 나타났다. 소요량의 경우, 난방 31.41 kWh/m<sup>2</sup>·y, 냉방 63.55 kWh/m<sup>2</sup>·y로 소요량 역시 2배가량 차이를 보였다. 이는 냉방기기 구동을 위해 냉압탑과 냉각수 펌프가 추가되기 때문에 냉방기기의 효율이 난방기기의 효율보다 약간 더 높음에도 차이가 줄어들지 않은 것으로 판단된다.

건물 외피의 요소별 단열강화에 따른 냉난방소요량은 표 4 및 그림 2와 같다. 벽체의 경우 난방소요량은 단열강화에 따른 동절기 열손실의 감소로 2.39%~10.35% 절감되는 것으로 나타났다. 반면 냉방소요량은 오히려 0.30%~3.16% 증가되는 것으로 나타났다. 전체 냉난방소요량에 대해서는 0.59%~1.31%의 절감효과가 나타났다.

표 4. 요소별 단열강화에 따른 냉난방소요량(kWh/m<sup>2</sup>·y) 및 기준모델 대비 절감률(%)

		난방		냉방		합계	
		소요량	절감률	소요량	절감률	소요량	절감률
기준모델		31.41	-	63.55	-	94.96	-
벽체	20% 강화	30.66	2.39	63.74	-0.30	94.40	0.59
	40% 강화	29.79	5.16	64.00	-0.71	93.79	1.23
	60% 강화	29.01	7.64	65.28	-2.72	94.29	0.71
	80% 강화	28.16	10.35	65.56	-3.16	93.72	1.31
지붕	20% 강화	31.27	0.45	63.55	0.00	94.82	0.15
	40% 강화	31.14	0.86	63.58	-0.05	94.72	0.25
	60% 강화	31.05	1.15	63.59	-0.06	94.64	0.34
	80% 강화	30.89	1.66	63.61	-0.09	94.50	0.48
바닥	20% 강화	31.25	0.51	63.59	-0.06	94.84	0.13
	40% 강화	31.10	0.99	63.65	-0.16	94.75	0.22
	60% 강화	30.94	1.50	63.71	-0.25	94.65	0.33
	80% 강화	30.80	1.94	63.77	-0.35	94.57	0.41



이는 사무소건물의 경우 실내부하가 다른 용도의 건물보다 크고, 외피면적에 비해 바닥면적이 커 상대적으로 외피부하보다 실내발열부하의 영향이 더 크기 때문으로 판단된다. 즉, 이처럼 실내발열부하가 큰 상태에서 외피의 단열이 강화되어 외기온도가 설정온도보다 낮은 시간대에 외부로의 손실량이 감소하고 실내에 더 많은 양이 머물게 되는 것으로 사료된다. 또한, 사무소건물의 경우 냉방부하가 난방부하보다 전체 냉난방부하에서 차지하는 비중이 더 크기 때문에 단열강화에 의해 난방부하가 크게 절감되었음에도 불구하고 냉방부하 증가에 의해 전체 냉난방부하 절감효과는 감소되는 것으로 나타났다.

특히 중간기의 경우, 벽체의 단열을 50% 이상 강화하면 증가된 냉방요구량을 외기냉방만으로 감당하지 못하고 냉동기의 가동이 필요한 것으로 나타났다.

벽체에 비해 전체 외피에서 차지하는 면적이 적은 지붕과 바닥의 경우, 냉난방소요량 절감률은 0.5% 미만으로 효과가 미미하였다.

창호의 경우 창호의 구성변화에 따른 차폐계수의 변화를 고려하기 위해 차폐계수를 0.8, 0.6, 0.4로 구분하여 분석하였다. 창호의 차폐계수별 단열강화에 따른 냉난방소요량은 표 5 및 그림 3과 같다.

표 5. 요소별 단열강화에 따른 냉난방소요량(kWh/m<sup>2</sup>·y) 및 기준모델 대비 절감률(%)

		난방		냉방		합계	
		소요량	절감률	소요량	절감률	소요량	절감률
기준모델		31.41	-	63.55	-	94.96	-
창호 (SC 0.8)	20% 강화	26.96	14.17	66.10	-4.01	93.06	2.00
	40% 강화	22.78	27.48	68.79	-8.25	91.57	3.57
	60% 강화	19.06	39.32	71.83	-13.03	90.89	4.29
	80% 강화	15.77	49.79	75.67	-19.07	91.44	3.71
창호 (SC 0.6)	20% 강화	29.95	4.65	59.96	5.65	89.91	5.32
	40% 강화	25.42	19.07	62.58	1.53	88.00	7.33
	60% 강화	21.26	32.31	65.23	-2.64	86.49	8.92
	80% 강화	17.51	44.25	68.40	-7.63	85.91	9.53
창호 (SC 0.4)	20% 강화	33.19	-5.67	54.37	14.45	87.56	7.79
	40% 강화	28.33	9.81	56.67	10.83	85.00	10.49
	60% 강화	23.80	24.23	59.19	6.86	82.99	12.61
	80% 강화	19.56	37.73	62.02	2.41	81.58	14.09

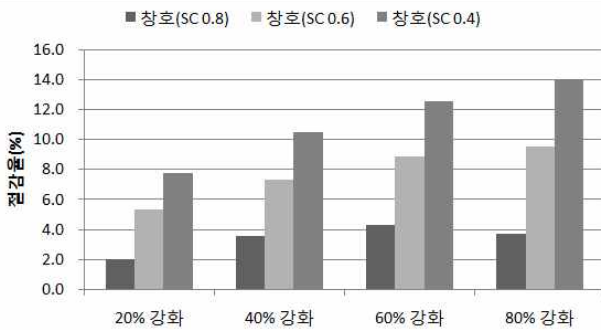


그림 3. 창호의 차폐계수별 기준모델 대비 절감율(%)

기준모델(SC 0.8)과 차폐계수가 동일하고 열관류율만 강화된 경우 난방소요량은 14.17%~49.79% 절감되고, 냉방소요량은 4.01%~19.07% 증가되었다. 전체 냉난방소요량은 2.00%~3.71% 절감되는 것으로 나타났다. 이때, 창호의 열관류율이 70% 이상 강화되면 난방소요량의 절감보다 냉방소요량의 증가가 커지기 시작하며, 절감되던 전체 냉난방소요량이 다시 증가하여 절감효과가 감소하는 것으로 나타났다.

차폐계수가 0.6, 0.4로 작아질수록 일사에너지 획득 감소로 난방소요량은 증가하나, 냉방에너지가 크게 절감되어 전체 냉난방소요량은 5.32%~9.53%, 7.79%~14.09% 절감되었다.

### 3.2 요소의 복합 적용 시 냉난방소요량 분석

표 6 및 그림 4는 창호를 제외한 벽체·지붕·바닥의 단열을 통합적으로 강화 시 냉난방요구량 및 절감율을 나타내고 있다. 이 때 냉난방요구량은 벽체에 대한 단열 강화 시와 유사한 패턴을 보였으며, 80% 단열강화 시 절감율은 2.20%로 단열 면적이 증가함에 따라 소폭 증가하였다.

표 6. 벽체·지붕·바닥의 단열강화에 따른 냉난방소요량(kWh/m<sup>2</sup>·y) 및 기준모델 대비 절감율(%)

	난방		냉방		합계	
	소요량	절감율	소요량	절감율	소요량	절감율
기준모델	31.41	-	63.55	-	94.96	-
20% 강화	30.36	3.34	63.81	-0.41	94.17	0.83
40% 강화	29.21	7.00	64.13	-0.91	93.34	1.71
60% 강화	28.16	10.35	65.48	-3.04	93.64	1.39
80% 강화	27.05	13.88	65.82	-3.57	92.87	2.20

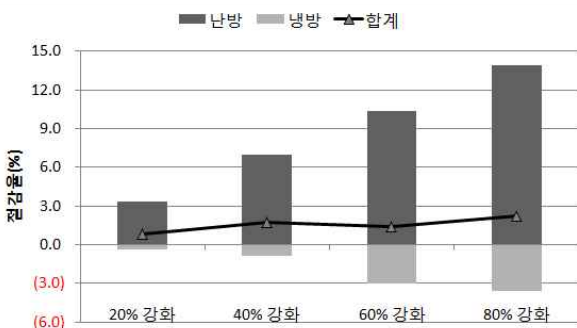


그림 4. 벽체·지붕·바닥의 단열강화에 따른 기준모델 대비 절감율(%)

한편, 창호(SC 0.4)를 포함하여 전체 외피에 대한 단열강화 시 냉난방요구량 및 절감율은 표 7 및 그림 5와 같으며, 전체 냉난방소요량은 8.76%~15.32% 절감되었다. 이 경우 절감효과는 가장 컸으나, 창호(SC 0.4)의 단열만을 강화할 때와 비교하면 차이는 약 1% 내외로 비교적 미미하였다. 이는 차폐계수로 인한 일사에너지 획득의 감소와 전체 외피의 단열강화로 인한 내부발열의 누적량 증가가 서로 상쇄되기 때문으로 판단된다.

표 7. 벽체·지붕·바닥·창호(SC 0.4)의 단열강화에 따른 냉난방소요량(kWh/m<sup>2</sup>·y) 및 기준모델 대비 절감율(%)

	난방		냉방		합계	
	소요량	절감율	소요량	절감율	소요량	절감율
기준모델	31.41	-	63.55	-	94.96	-
20% 강화	32.06	-2.07	54.58	14.11	86.64	8.76
40% 강화	26.03	17.03	57.20	9.99	83.26	12.32
60% 강화	20.63	34.32	60.31	5.10	80.94	14.76
80% 강화	15.60	50.33	64.81	-1.98	80.41	15.32

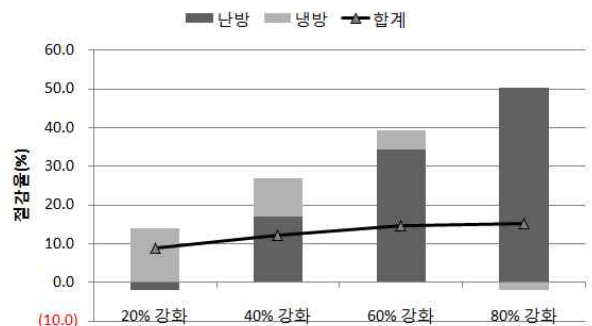


그림 5. 벽체·지붕·바닥·창호(SC 0.4)의 단열강화에 따른 기준모델 대비 절감율(%)

## 4. 경제성 분석

### 4.1 LCC 분석

LCC(Life Cycle Cost)란 건축물의 수명주기(Life Cycle) 동안 발생하는 계획, 설계, 시공, 운영 및 폐기처분 등에 소요되는 총 비용을 말한다.

LCC 분석은 건물의 수명기간동안 발생하는 모든 경제적 비용을 포함시키게 되므로 유지관리 및 에너지 절감 비용이 중요한 비중을 차지하게 된다. 각종 요구조건을 만족하면서 가장 낮은 LCC를 갖는 대안의 경우 성능개선 효과가 극대화되었다고 볼 수 있다. 즉, 리모델링의 대안 선택에 있어서 단순한 투자효율보다 장기적인 개선효과를 갖는 대안 선택이 가능하다.

LCC분석을 위해서는 시간의 흐름에 따른 화폐의 가치변화를 고려해야하며, 다수의 대안을 비교하기 위해서는 동일 시점의 가치로 환산하는 것이 필수적이다. 본 연구에서는 수명주기에 필요한 모든 비용을 현재의 가치로 바꾸어 비교하는 현가법<sup>8)</sup>을 적용하였다. 현가법에서는 식 (1)과 식 (2)의 비정기적인 비용과 정기적으로 발생하는 비용을 구분하여 현재가치로 환산한 후 합산하여 구한다.

8) Robert B Wtewart 저, 임종권, 최영민, 김용수 공역, 가치공학의 원리, 구미서관, 2006

$$P_f = F \times \left[ \frac{1}{(1+i)^n} \right] \quad (1)$$

$P_f$  : 비반복비용의 현재가치의 합  
 $F$  : 미래 발생비용  
 $i$  : 실질할인률  
 $n$  : 경과년수

$$P_a = A \times \left[ \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \right] \quad (2)$$

$P_a$  : 반복비용의 현재가치의 합  
 $A$  : 연간 등가발생비용

시간적 가치 환산을 위해 적용할 실질할인율은 식(3)와 같이 이자율과 물가상승률을 복합적으로 고려하게 된다. 표 8에서 나타난 바와 같이 한국은행, 통계청 자료에 의한 과거 10년간(2002년~2011년) 평균 실질이자율은 1.31%이다.

$$i = \frac{(1+i_n)}{(1+f)} - 1 \quad (4)$$

$i_n$  : 이자율  
 $f$  : 물가상승률

표 8. 실질할인률

년도	국고채(3년)금리 (연리%)	소비자물가지수 (2010=100)	물가상승률 (%)	실질할인율 (%)
2002	5.78	78.18	2.8	2.90
2003	4.55	80.92	3.5	1.01
2004	4.11	83.83	3.6	0.49
2005	4.27	86.14	2.8	1.43
2006	4.83	88.07	2.2	2.57
2007	5.23	90.30	2.5	2.66
2008	5.27	94.52	4.7	0.54
2009	4.04	97.13	2.8	1.21
2010	3.72	100.00	3.0	0.70
2011	3.62	104.00	4.0	-0.37
평균	4.54	-	3.19	1.31

LCC는 초기투자비와 건물의 유지관리비, 에너지비용, 개보수 교체비용 뿐만 아니라 각종 시스템 및 건물자체의 수명 이후 잔존가액, 해체·철거비용으로 구성된다. 본 연구에서 리모델링 시행 이전의 비용과 교체비용, 해체·철거비용은 각 대안에서 동일하게 발생될 것으로 가정하였다. 따라서 본 연구의 건물 외피 단열강화에 따른 LCC 분석은 초기투자비와 에너지비용만을 대상으로 평가하였다. 또한, 초기투자비의 경우, 외피의 단열성능을 강화하지 않은 기준모델 역시 노후화로 인해 동일 성능의 외피로 리모델링 수요가 발생하는 것으로 가정하였다.

#### 4.2 에너지비용

연간 에너지소비비용은 연간 단위면적당 에너지소요량을 바탕으로 지출되는 연간 비용을 산출하였다. 냉난방기기의

에너지원인 도시가스(LNG)의 원단위는 75.73원/kWh<sup>1)</sup>를 적용하였다. 연간 도시가스의 가격상승률은 6.19%로 한국가스공사의 과거 10년간 천연가스 요금표를 토대로 산술평균하여 산출하였다.

표 9. 도시가스의 가격상승률

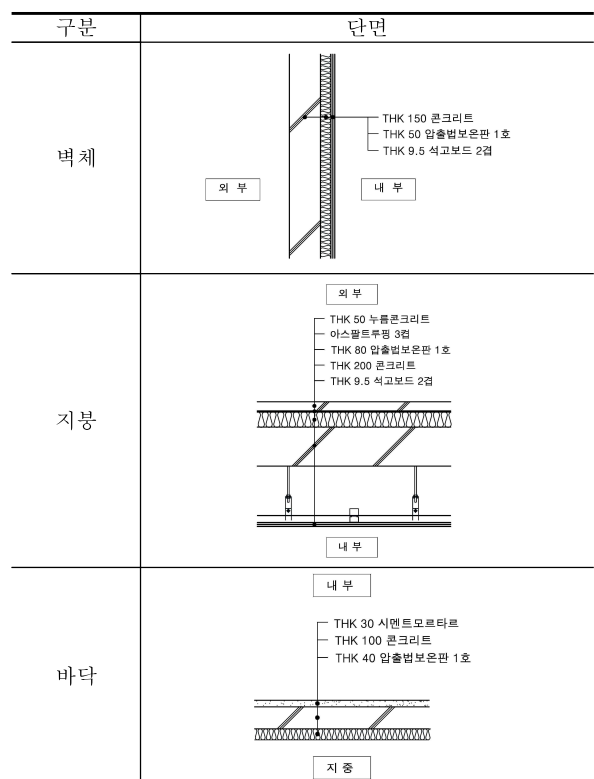
년도	연평균 요금(원)	전년 대비 상승률(%)
2002	386.09	-12.20
2003	416.04	7.76
2004	438.10	5.30
2005	449.61	2.63
2006	531.45	18.20
2007	559.99	5.37
2008	604.63	7.97
2009	692.71	14.57
2010	726.99	4.95
2011	780.59	7.37
평균	-	6.19

#### 4.3 초기투자비 분석

리모델링 공사의 초기투자비용은 기존 건물에서 기존 내·외장재 및 단열재 등의 철거작업과 단열재, 창호 등의 재료비, 시공을 위한 노무비 및 장비비 등으로 구성된다.

본 연구에서 폐기물 발생 및 시공비를 줄이기 위해 기존 외피 요소를 활용하여 단열재 부분만 보강하는 것으로 가정하고, 초기투자비용은 요소별 재료비와 노무비만을 대상으로 산출하였다. 벽체, 지붕 및 바닥의 단면구성은 표 10과 같다.

표 10. 부위별 단면구성



1) 한국가스공사, 천연가스 요금표, 2012.06

재료비는 벽체의 경우 단열재와 석고보드(T19), 지붕의 경우 단열재와 누름콘크리트(T50), 아스팔트루핑(3겹), 바닥의 경우 단열재와 콘크리트(T100), 시멘트모르타르(T30)로 구성되었다. 창호의 경우 유리과 프레임의 면적비를 87.5:12.5로 산출하였다. 노무비는 해당 부위의 기존 수장 철거공사와 각각의 재료 시공비용으로 구성되었다. 한국물가정보(2012.07)와 건설공사 표준품셈(2012)을 활용하여 산출된 요소별 초기투자비용은 표 11과 같다.

표 11. 요소별 초기투자비용(단위:천원)

		재료비	노무비	합계	비고
벽체	기준모델	123,847	299,822	423,669	압출1호 T50
	20% 강화	153,869	299,822	453,691	압출1호 T70
	40% 강화	183,890	229,822	483,712	압출1호 T100
	60% 강화	258,977	299,822	558,799	압출1호 T140
	80% 강화	514,128	299,822	813,950	압출1호 T310
지붕	기준모델	49,916	113,834	163,750	압출1호 T80
	20% 강화	60,021	113,834	173,855	압출1호 T110
	40% 강화	73,504	113,834	187,338	압출1호 T150
	60% 강화	97,093	113,834	210,927	압출1호 T220
	80% 강화	174,631	113,834	288,465	압출1호 T450
바닥	기준모델	28,628	121,583	150,211	압출1호 T40
	20% 강화	31,992	121,583	153,575	압출1호 T50
	40% 강화	38,733	121,583	160,316	압출1호 T70
	60% 강화	52,517	121,583	173,800	압출1호 T110
	80% 강화	89,289	121,583	210,872	압출1호 T220
창호	기준모델	589,322	397,309	986,631	T16 이중유리
	20% 강화	589,322	397,309	986,631	T16 이중유리
	40% 강화	654,278	397,309	1,051,587	T22 Low-e 이중유리
	60% 강화	658,194	397,309	1,055,503	T42 삼중유리
	80% 강화	798,225	397,309	1,195,534	T42 Low-e 삼중유리
벽체, 지붕, 바닥	기준모델	208,194	535,240	743,434	-
	20% 강화	251,684	535,240	786,924	-
	40% 강화	301,931	535,240	837,171	-
	60% 강화	414,090	535,240	949,330	-
	80% 강화	783,851	535,240	1,319,091	-
벽체, 지붕, 바닥, 창호	기준모델	797,516	932,549	1,730,065	-
	20% 강화	841,006	932,549	1,773,555	-
	40% 강화	956,209	932,549	1,888,757	-
	60% 강화	1,072,284	932,549	2,004,833	-
	80% 강화	1,582,075	932,549	2,514,624	-

그림 6은 요소의 복합적용 시 초기투자비를 나타낸 것이다. 벽체·지붕·바닥의 경우 기준모델의 초기투자비는 약 7억 4천만원으로 단열이 20%씩 강화됨에 따라 기준모델 대비 각각 약 5.9%, 11.9%, 24.6%, 60.64% 증가하였다. 창호가 포함될 경우 기준모델의 초기투자비는 약 17억 3천만원으로 2.3배가량 증가하였다. 벽체·지붕·바닥·창호의 단열이 20%씩 강화될 때 초기투자비는 기준모델 대비 각각 약 2.5%, 9.0%, 14.6%, 39.1% 증가되었다.

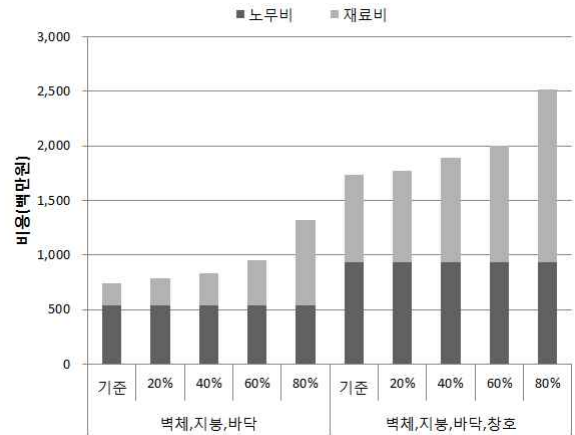


그림 6. 요소의 복합적용 시 초기투자비용

#### 4.4 요소의 복합적용 시 LCC 분석 결과

리모델링 초기투자비와 리모델링 시행 이후 20년간 연간 에너지비용의 누적 금액을 현재가치로 환산하여 LCC를 산출하였다. 벽체·지붕·바닥의 단열을 기준모델 대비 20%씩 강화할 경우 LCC 변화는 그림 7 및 표 12과 같다. 20%, 40% 단열을 강화할 경우 기준모델 대비 각각 약 3천만원(0.31%), 6천 5백만원(0.59%)의 비용을 절감하는 것으로 나타났다. 반면, 60%, 80% 단열 강화 시에는 오히려 기준모델 대비 각각 약 8천 4백만원(0.88%), 3억 8천만원(4.0%) 비용이 증가하였다.

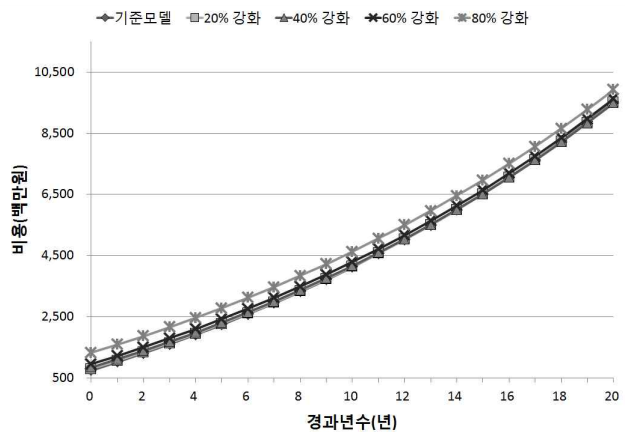


그림 7. 벽체·지붕·바닥의 단열강화에 따른 LCC

표 12. 벽체·지붕·바닥의 단열강화에 따른 LCC(단위:천원)

	LCC	기준 대비 절감액	기준 대비 절감율
기준모델	9,544,164	-	-
20% 강화	9,514,438	29,726	0.31
40% 강화	9,487,762	65,402	0.59
60% 강화	9,627,725	-83,561	-0.88
80% 강화	9,926,123	-381,959	-4.00

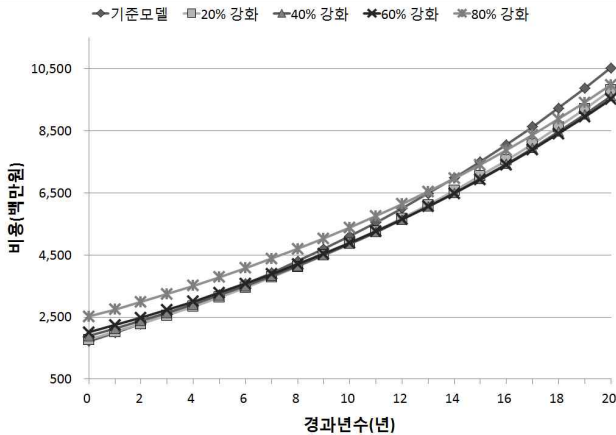


그림 8. 벽체·지붕·바닥·창호의 단열강화에 따른 LCC

표 13. 벽체·지붕·바닥·창호의 단열강화에 따른 LCC(단위:천원)

	LCC	기준 대비 절감액	기준 대비 절감율
기준모델	10,524,992	-	-
20% 강화	10,437,556	87,436	0.83
40% 강화	10,214,759	310,233	2.95
60% 강화	10,098,834	426,158	4.05
80% 강화	10,555,625	-30,633	-0.29

그림 8과 표 13는 벽체·지붕·바닥·창호의 단열강화에 따라 산출된 LCC를 나타낸 것이다. 20%, 40%, 60% 단열 강화 시 기준모델 대비 각각 약 9천만원(0.83%), 3억 1천만원(2.95%), 4억 3천만원(4.05%)의 비용을 절감하는 것으로 나타났다. 반면 에너지절감율이 80% 단열 강화 시에는 약 3천만원(0.29%) 증가되는 것으로 나타났다.

한편, 벽체·지붕·바닥의 단열을 강화한 경우와 벽체·지붕·바닥·창호의 단열을 강화한 경우의 LCC를 비교해보면 다음 그림 9와 같다. 벽체·지붕·바닥·창호의 단열을 강화한 경우 소비하는 에너지가 8~13% 더 절감됨에도 불구하고 모든 경우에서 20년 동안의 LCC가 벽체·지붕·바닥을 강화한 경우보다 더 큰 것을 알 수 있다.

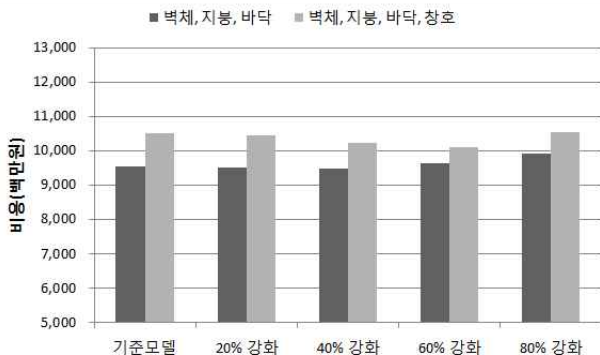


그림 9. 요소의 복합적용에 따른 LCC

## 5. 결론

본 연구에서는 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 사무소 건물의 리모델링 시 외피의 단열강화에 따른 에너지절감효과를 분석하였다. 분석 결과를 토대로 외피 단열 강화에 따른 초기 투자비용과 에너지비용을 산출하여 LCC(Life Cycle Cost) 분석을 수행하였으며, 그 결과는 다음과 같다.

(1) 설비가 동일할 경우 기준모델 대비 요소별 냉난방소요량 절감율은 벽체·지붕·바닥·창호의 단열을 강화한 경우가 가장 높게 나타났다. 그 다음으로는 창호만 강화한 경우가 벽체·지붕·바닥을 함께 강화한 경우보다 냉난방소요량 절감율이 높게 나타났다.

(2) 요소의 복합적용 시 리모델링 시행 이후 20년의 수명주기 동안 각각의 기준모델 대비 LCC는 벽체·지붕·바닥의 경우 40% 강화할 때, 벽체·지붕·바닥·창호의 경우 60% 강화할 때 가장 작아 경제적인 것으로 나타났다.

(3) 벽체·지붕·바닥을 60%, 80% 강화할 때와 벽체·지붕·바닥·창호를 80% 강화할 때에는 오히려 기준모델보다 LCC가 증가되어 불리한 것으로 나타났다.

(4) 벽체·지붕·바닥·창호의 경우 에너지비용 절감은 가장 크지만, 초기투자비로 인해 20년간 총 비용은 더 커져 벽체·지붕·바닥을 강화한 경우보다 불리한 것으로 나타났다.

이상의 결과를 통해 단열 강화에 따른 에너지절감율과 리모델링 시행 이후 수명주기에 대한 LCC가 비례하지 않음을 알 수 있다. 이는 에너지절감율이 큰 고단열 외피일수록 초기투자비의 증가폭이 더욱 커지는 것에서 기인한다. 따라서 정책적인 지원을 통해 건축주의 경제적 부담을 분담하는 것이 필요할 것으로 사료된다. 정책적인 지원은 융자지원보다는 보조금지원이나 세금감면을 우선으로 하여 건축주가 투자해야 하는 실질적인 비용을 줄이는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

한편, 본 연구에서는 건축적 리모델링 대안에 대해 기준모델과 동일한 설비를 적용하여 각각의 효과를 비교하였다. 그러나 실제 건축적 리모델링 대안 적용에 따른 요구량이 변화로 인해 적용되는 설비의 용량 또한 변하게 된다. 이러한 설비의 용량 변화는 건물의 에너지소비에 영향을 미치게 된다. 따라서 추후 연구에서는 요구량 변화에 따른 설비용량의 변화를 반영한 LCC 분석을 수행할 필요가 있다.

## 감사의 글

본 논문은 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(20114010203040)과 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 대학중점연구소 지원사업으로 수행된 연구임(2012-0006682).

### 참고문헌

1. 건설교통부령 제 270호, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2001.1
2. 국토해양부령 제 306호, 건축물의 설비기준 등에 관한 규칙, 2010.11
3. 국토해양부, 2011년도 건축물 착공 현황, 2012
4. 국토해양부, 건축물에너지효율등급 인증제도 운영규정, 2011.04
5. 김주환, 이태구, 조경민, 김주수, 리노베이션(Renovation)을 통한 기존건물의 에너지 저감 효과 분석, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 통권 19호, pp.11-14, 2010.11
6. 문진우, 강화된 건물 외피 단열기준의 지역별 냉난방에너지 감소 효과, 대한설비공학회 논문집, 23호 10호, pp.646-655, 2011.10
7. 박경석, 건물 에너지 성능 평가를 위한 건물 총량 에너지 기준 제시에 관한 연구, 광운대학교 학위논문(석사), 2007
8. 산업자원부, 에너지원단위 기준(안)연구 최종보고서, 1999.10
9. 손보식, 장명훈, 이현수, LCC분석을 이용한 공동주택 개보수의 경제성 분석 방법, 대한건축학회 논문집, 통권 201호, pp.73-82, 2005.07
10. 송승영, 이수진, 에너지절약형 공동주택을 위한 주요 설계변수별 비용효율 분석, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 통권 제52집, pp.579-582, 2008.10
11. 에너지관리공단, 에너지·기후변화 편람, 2009.07
12. 이태철, 김상욱, 여인애, 이정재, 윤성환, 사무소 건물의 건축 및 설비조건에 따른 에너지원단위 민감도 분석, 대한건축학회 지회연합회 논문지, 13권 2호, pp.131-138, 2011.06
13. 이현정, 심명섭, 업무시설의 리노베이션 현황에 관한 조사 연구, 한국건축시공학회 논문집, 2권 2호, pp.121-128, 2002.05
14. 통계청, 2011년도 용도별 건축물 현황, 2012
15. 한국가스공사, 천연가스 요금표, 2012.06
16. 현균출, 김태일, 양건, 공공 건축물의 그린빌딩화를 위한 리노베이션 수법의 타당성 연구, 한국태양에너지학회 논문집, 30권 5호, pp.1-10, 2010.10
17. Robert B Wtewart 저, 임종권, 최영민, 김용수 공역, 가치공학의 원리, 구미서관, 2006

---

투고(접수)일자: 2012년 10월 19일

수정일자: (1차) 2012년 12월 13일

(2차) 2012년 12월 24일

게재 확정일자: 2012년 12월 26일