

단열 도료 코팅 창호의 냉난방부하 특성분석 및 경제성 평가

정열화*, 김병수**

*한국폴리텍VII대학 울산캠퍼스(jyh1210@kopo.ac.kr), **BEMS컨설팅(joowon_eng@naver.com)

The Estimation of Heating, Cooling Load and Economical Efficiency Analysis of Insulation Paint Coating Windows

Jeong, Yeol-Wha* Kim, Byoung-Soo**

*Korea PolytechnicsVII College Ulsan Campus(jyh1210@kopo.ac.kr)
**BEMS Consulting (joowon_eng@naver.com)

Abstract

The purpose of study is to estimate heating, cooling load performance and economic efficiency in office building with applied the functional paint. this paint can reduced SHGC(Solar Heat Gain Coefficient) on the glazing surface by coating. In this study, estimated to compared with double glazing, low-e glazing, IP(Insulation Paint) and IPu(Insulation UV-Cut Paint) coating glazing.

As a result of this study, 1)heating & cooling load Analysis, SHGC value and U-factor of double glazing is about 0.70 and 3.29(W/m²K). low-E glazing is about 0.65 and 2.70(W/m²K). Two-side it is about 0.27 and 3.25(W/m²K). When compared to double glazing, annual heating & cooling load of low-E glazing, Two-side IPu and IP paint coating glazing is 3,012MWh(124kWh/m²), 2,910MWh(120kWh/m²), 2,867MWh(118.4kWh/m²) and 2,867MWh(118.4kWh/m²). It is reduced to 2.0%, 5.2%, 6.7%, and 6.7% respectively. 2)the estimation of economic efficiency, low-e glazing installed in office building can not recover the investment within a lifetime 40years. but IPu and IP paint, two-side coating in glazing, have a payback period of 13 years respectively.

Keywords : 단열도료(Insulation Paint), 창호시스템(Windows System), 냉난방부하(Heating and Cooling Load), 로이코팅유리(Low-E glazing), 사무소 건물(Office Building), 경제성(Economical Efficiency)

1. 서 론

최근 건축이 조망 및 의장적 요인과 경량 고층화를 추구함으로 인해 외피의 창면적비가 지속적으로 증가하고 창에 의한 열손실도 기술의 개발은 건물분야의 에너지 소비를 절

증가하고 있다. 따라서 창을 통한 열손실 절감 감시키는데 이 매우 중요한 역할을 담당한다. 창호의 성능지표는 열관류율(U; U-value), 차폐 계수(SC; Shading Coefficient), 태양복사취득 계수(SHGC; Solar Heat Gain Coefficient) 등으로 함축할 수 있으며, 최근에는 태양복사의

투고일자 : 2011년 11월 4일, 심사일자 : 2011년 11월 5일, 게재확정일자 : 2011년 12월 20일
교신저자 : 김병수(joowon_eng@naver.com)

유입에 따른 냉난방 에너지성능에 대한 중요성이 대두되면서 태양복사취득계수에 대한 연구가 활발히 진행되고 있다. 본 연구에서는 창호의 태양복사취득계수를 조절할 수 있는 기능성 도료로 개발된 단열도료(Insulation Paint; 이하 IP 도료로 칭함)와 단열 및 자외선 차단도료(Insulation UV-Cut Paint; 이하 IPU 도료로 칭함)를 유리면에 도장하였을 때 프레임을 포함한 창호의 열관류율과 태양복사취득계수를 이중투명유리와 로이유리를 적용한 창호와 에너지 성능과 경제성 분석을 통해 기능성도료 코팅 창호시스템의 보급 활성화를 위한 기술 자료를 구축하는데 연구의 목적이 있다.

2. 도료 코팅 창호의 특성데이터

2.1 유리의 특성데이터

도료를 코팅한 유리의 광학적·열적 특성 데이터를 한국건자재시험연구원에 시험 성적을 의뢰하여 얻은 표 1의 특성데이터를 활용하였다. 로이유리와 단판유리는 광학분석 프로그램인 WINDOW 6.0의 Glass Library의 광학데이터를 근거로 하였다.

표 1. 시험 성적 결과(한국건자재시험연구원)

시험항목	결과				시험방법		
	C_g	Le_g	E_g	Eu_g			
가시광선 투과율(%)	88.4	82.0	78.4	77.8	KS L 2514-'04		
가시광선 반사율(%)	코팅면	8.0	11.4	8.2		9.3	
	유리면	8.0	12.4	8.4		9.5	
태양복사 투과율(%)	77.4	70.7	58.4	57.5		KS L 2525-'06	
태양복사 반사율(%)	코팅면	7.2	10.6	5.9			7.8
	유리면	7.2	11.4	7.3		8.1	
5mm 태양열취득율	0.82	0.8	0.70	0.69		'89 ASHRAE HANDBOOK	
열관류율(W/m ² K)	5.8	4.1	5.8	5.8			
수정 방사율(ε)	코팅면	0.84	0.22	0.81			0.81
	유리면	0.84	0.84	0.84			0.84
차폐계수	0.94	0.88	0.81	0.80	JIS A5759:1999		
최대총열량(W/m ²)	636	581	561	554			
자외선투과율(%)	62.6	44.5	46.2	7.8			

C_g:일반 싱글 유리, Le_g:로이유리
E_g:단열도료 클리어 유리,
Eu_g:단열 및 자외선 차단 유리

2.2 냉난방부하 분석을 위한 창호의 구성
사무소 건물의 냉난방부하 분석을 위해서 창호는 일반적으로 사용되어지는 24mm (6:유리의 두께-12:공기층의 두께-6:유리의 두께)의 이중유리를 사용하였으며, 그림 1과 같이 창호를 구성하였다.

그림 1. 분석대상 창호의 구성

창호의 구성	창호의 구성 이미지	표기
C_g+A+C_g		I (기준모델)
Le_g+A+C_g		II
Eu_g+A+Eu_g		III
E_g+A+E_g		IV

C_g : 투명유리(6mm), Le_g : 로이유리(6mm),
Eu_g : Insulation UV-Cut Paint 코팅 유리(6mm),
E_g : Insulation Paint 코팅 유리(6mm), A:공기층(12mm)

2.3 도료 코팅 창호의 광학 데이터

유리의 광학데이터 측정장비는 가시광선·자외선·근적외선 분광광도계(그림 2)와 포터블 광학측정장비를 이용하여 코팅유리의 광학데이터를 측정하였다. 측정장비를 활용하여 365nm 파장의 자외선, 400~700nm 파장의 가시광선, 950nm 이상 파장의 적외선 투과율을 유리면과 광원과의 각이 90°일 때 광학데이터를 측정 후 결과를 표 2에 나타내었다.



그림 2. 가시광선/자외선/근적외선 분광광도계

표 2. 코팅면의 위치에 따른 광학데이터(법선면)

	자외선(UV) 투과율(365nm)	가시광선 투과율(400~700nm)	적외선(IR) 투과율(950nm 이상)	SHGC
III	1.00	42.00	16.00	0.27
IV	22.00	48.00	15.00	0.27

표 1의 유리 특성데이터 시험성적 결과와 광학데이터 측정장비로 측정한 표 2의 데이터를 근거하여 광학데이터 계산 프로그램인 Window6.0으로 계산하였으며 계산결과는 아래의 그림 3에 나타내었다.

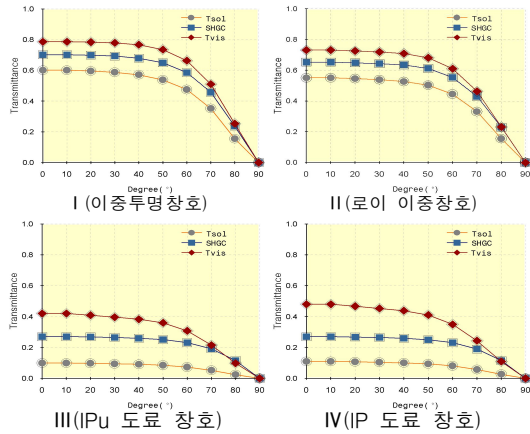


그림 3. 창호 종류별 광학데이터

도료의 코팅으로 인한 가시광선 투과율 (Tvis)은 선행연구[3]에서 제시하고 있는 사무공간에서 재실자가 시각적 쾌적감을 느낄 수 있는 최소 범위인 40% 이상인 것으로 나타났다. 태양복사 투과율(Tsol) 및 태양복사 취득계수(SHGC)는 I(기준모델)의 경우 각각 0.601, 0.702이나 도료를 코팅한 창호는 그림 3과 같이 I보다 낮게 나타나 도료가 창호의 태양복사 투과율과 태양복사취득계수에 영향을 미치는 것으로 분석되었다.

2.4 도료 코팅 창호의 열적 특성데이터

창호의 통합 열적 특성데이터를 분석하기 위해 사무소 건물을 커튼월 프레임 구조를 적용하였으며, 커튼월 프레임의 열적 특성은 LBNL에서 제공하는 THERM6.0과 WINDOWS6.0 프로그램을 활용하였다. THERM6.0 프로그램에 의해 계산된 창호의 부위별 열적 특성 결과를 아래의 표 3에 나타내었다. WINDOWS6.0에 의한 창호의 통합열관류율의 분석 결과는

표 3에 나타내었다.

분석 결과 각 창호의 단열 성능은 II가 2.697W/m²K로 가장 우수하며 III, IV는 I(기준모델)보다 약 0.04W/m²K 낮게 나타났다. 따라서 IP 및 IPu 도료를 도장함으로써 해서 단열 성능에는 큰 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다.

표 3. 창호의 통합열관류율 분석 결과

유리의 종류	프레임의 종류	열관류율 (W/m ² K)	구성
I	투명 이중유리	3.295	C_g+A+C_g
II	로이 이중유리	2.697	Le_g+A+C_g
III	IPu (Insulation UV-Cut Paint)	3.253	Eu_g+A+Eu_g
IV	IP (Insulation Paint)	3.253	E_g+A+E_g

* C_g : 투명유리(6mm), Le_g : 로이유리(6mm), Eu_g : Insulation UV-Cut Paint 코팅 유리(6mm), E_g : Insulation Paint 코팅 유리(6mm), A:공기층(12mm)

3. 도료 코팅 창호의 냉난방부하 분석

3.1 해석시물레이션의 개요

사무소 건물의 창호 종류별 부하 분석을 위해 본 연구에서는 ESP-r 프로그램을 선정하였다. ESP-r 프로그램은 영국의 스트라스클라이드 대학의 ESRU (Energy System Research Unit)에서 개발한 프로그램으로 자연형 태양열 건물성능 평가 분야에 있어 유럽의 기준 시물레이션 프로그램으로 지정된 바 있다.

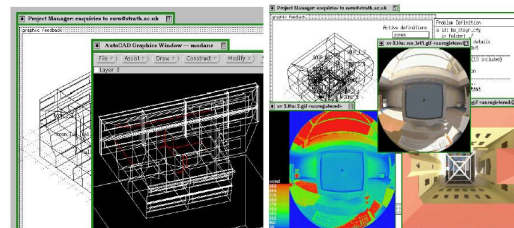


그림 4. 부하분석 시물레이션 프로그램(ESP-r)

그림 4는 건물부하 특성 분석 시물레이션 프로그램인 ESP-r의 모델링 및 계산결과물을 나타내고 있다.

3.2 기상데이터

시뮬레이션 프로그램을 이용하여 성능평가를 수행하기 위해서는 시시각각 변하는 기상조건을 정확하게 입력하는 것이 중요하다.

표 4. 서울지역 30년 표준기상데이터의 통계처리 변환결과

	외기온도 (°C)			직달일사 (kW/m ²)				산란일사 (kW/m ²)				풍속 (m/s)		풍향		상대습도 (%)		
	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	최소	평균	최대	평균	최대	평균	최대	최소		
1월	-3	9	-12	2.06	0.92	0.93	0.23	2	8	208	360	62	98	21				
2월	0	10	-11	2.99	1.06	1.24	0.28	3	8	198	360	69	99	38				
3월	6	16	0	1.72	0.73	1.78	0.36	3	9	190	360	65	97	19				
4월	12	24	3	3.17	1.02	2.03	0.40	3	9	195	360	63	100	15				
5월	17	28	6	3.90	1.05	2.45	0.43	3	9	210	360	66	99	23				
6월	22	32	14	2.32	0.80	2.58	0.43	2	7	192	360	75	100	22				
7월	24	33	18	1.49	0.84	2.56	0.43	2	8	193	360	80	100	36				
8월	25	35	18	2.44	0.93	2.34	0.41	3	10	136	360	73	99	38				
9월	21	31	11	1.72	0.66	1.98	0.38	2	7	155	360	71	99	29				
10월	15	25	2	3.18	1.04	1.48	0.31	2	10	192	360	59	97	21				
11월	7	17	-6	1.44	0.59	1.03	0.25	3	11	202	360	67	99	26				
12월	0	14	-12	1.69	0.87	0.85	0.21	3	10	218	360	58	93	23				
평균	12.2	22.9	2.4	2.3	0.9	1.8	0.3	2.4	8.8	190.8	360.0	67.2	98.4	26.1				

본 연구에서 사용된 프로그램인 ESP-r 11.0에서 사용되는 기상파일의 구성요소는 외기온도, 법선면 직달일사, 산란일사, 풍향, 풍속, 상대습도 등으로 구성하였다. 사무소 건물에 적용된 도료 코팅 창호의 성능분석을 수행하기 위해 표 4와 같이 서울지역 30년 표준기상데이터를 통계 처리한 결과를 나타내었다.

3.3 냉난방부하 분석

(1) 사무소 건물의 시뮬레이션 해석모델

사무소 건물의 창호 종류별 냉난방부하 특성 분석을 위해 그림 5과 같이 시뮬레이션 해석모델을 선정하였다. 해석모델은 층별로 사무공간과 로비 및 계단, 엘리베이터가 있는 코어로 구분하였으며, 기준층의 공조면적은 556m²이며 열적인 경제조건이 다른 저층부는 1~3층의 3층으로 구성, 중층부는 4~13층, 14~23층의 2개 층으로 구성, 고층부는 24, 25층의 2층으로 구분하여 7개 층으로 구성하였으며 총 연면적은 22,501m²이다. 시뮬레이션 해석 모델의 개요를 표 5에 나타내었다.

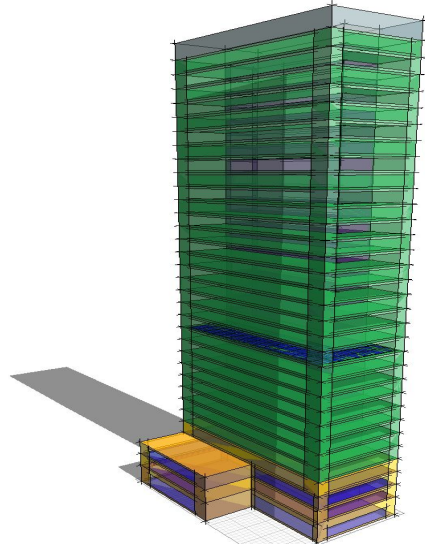


그림 5. 사무소건물의 시뮬레이션 해석모델

기준모델의 각 부위별 열관류율은 외벽 0.47W/m²K, 내벽 0.64W/m²K, 창호 3.29W/m²K이며, 해석모델의 내부조명밀도, 기기 및 인체의 내부발열은 선행연구[7]를 참조하여 입력하였다.

표 5. 시뮬레이션 해석모델의 개요

층	바닥면적 (m ²)	층고 (m)	체적 (m ³)	외벽면적 (m ²)	창면적 (m ²)	창면적비 (%)	비고
1층	1105	6	6630	796.8	159.36	20	
2층	1105	4	4420	531.2	79.68	15	
3층	1105	4	4420	531.2	79.68	15	
4층	861	4	3444	468.8	220.34	47	10개층
14층	861	4	3444	468.8	220.34	47	10개층
24층	1105	4	4420	531.84	79.78	15	
25층	861	4	3444	469.44	75.11	16	
합계	22501	-	92214	12236	4880	40.84	

(2) 사무소 건물의 냉난방최대부하

사무소 건물을 분석한 결과는 표 6과 같이 투명 이중유리가 적용된 기준모델인 I에 비해 일반 로이코팅 창호를 적용한 II는 최대 난방부하는 3.1% 감소하고 최대 냉방 부하는 0.1% 감소하였다.

도료를 이면에 적용한 III, IV은 최대 난방

부하는 약 3% 증가하고 최대 냉방부하는 약 24% 감소하는 것으로 나타났다.

표 6. 사무소 건물의 최대 냉난방부하

Type	Heating Peak Load			Cooling Peak Load		
	kW	W/m ²	절감율(%)	kW	W/m ²	절감율(%)
I	2389.4	98.6	-	1597.1	65.9	-
II	2316.2	95.6	3.1	1594.8	65.8	0.1
III	2466.2	101.8	-3.2	1212.1	50.0	24.0
IV	2467.6	101.9	-3.3	1201.1	49.6	24.8

(3) 창호 종류별 냉난방부하

사무소 건물 기준모델(I)의 냉난방부하를 분석한 결과 연간 난방부하는 1,692MWh(69.8 kWh/m²), 냉방부하는 1,382MWh(57.0kWh/m²)를 사용하는 것으로 나타났다. 즉, 기준모델(I)은 연간 냉난방부하로 3,073MWh(126.9kWh/m²)를 사용하는 것으로 분석되었다.

사무소 건물의 창호 종류별 냉난방부하를 분석한 결과 II의 경우 연간 난방부하는 1,550 MWh, 냉방부하는 1,462MWh, III의 경우 연간 난방부하는 2,047MWh, 냉방부하는 820MWh, IV의 경우 연간 난방부하는 2,056MWh, 냉방부하는 811MWh를 사용하는 하는 것으로 나타났다.

표 7. 월별 냉난방부하 성능(kWh/m²)

	시간(월)												합계
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
I	17.2	12.5	8.7	3.0	1.0	0.5	0.2	0.1	0.6	1.9	8.7	15.3	69.8
II	15.9	11.5	7.9	2.7	0.9	0.5	0.2	0.1	0.5	1.6	8.0	14.3	64.0
III	19.1	15.0	11.0	4.7	1.9	0.7	0.4	0.2	0.9	3.1	10.4	17.1	84.5
IV	19.1	15.0	11.1	4.7	1.9	0.7	0.4	0.2	1.0	3.2	10.4	17.2	84.9
I	0	0	0.5	2.9	7.0	9.6	10.5	14.5	8.0	3.7	0.3	0	57.0
II	0	0.1	0.7	3.3	7.4	10.1	10.8	14.8	8.6	4.3	0.4	0	60.3
III	0	0	0.1	0.9	3.1	5.9	7.2	10.1	5.1	1.5	0.1	0	33.9
IV	0	0	0	0.8	3.1	5.8	7.1	10.0	5.0	1.5	0.1	0	33.5

즉 II는 3,012MWh, III는 2,867MWh, IV은 2,867MWh를 연간 냉난방부하로 사용하는 것으로 분석되었다. 분석한 결과는 다음 표 7

과 그림 6에 나타내었다.

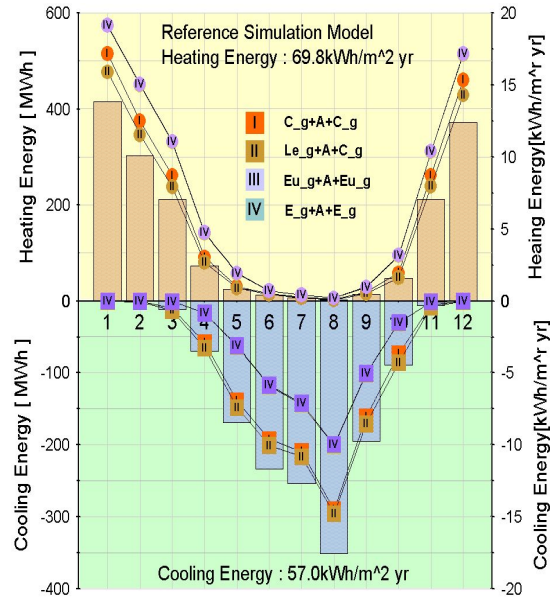


그림 6. 사무소 건물의 냉난방부하 성능

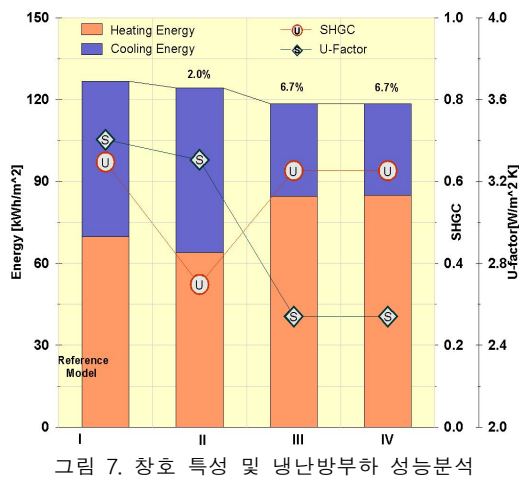
사무소 건물의 창호 종류별 냉난방부하를 분석한 결과 투명이중유리가 적용된 기준모델(I)에 대해 분석 대상인 각 창호를 적용한 경우 연간 냉난방부하는 로이유리가 적용된 모델(II)은 2.0%, 2·3번 면에 도료가 적용된 모델(III, IV)은 6.7% 절감되는 것으로 나타났다.

표 8. 열관류율, 태양복사취득계수 및 부하 성능

Type	U-Factor (W/m ² K)	SHGC	Heating Energy (kWh/m ²)	Cooling Energy (kWh/m ²)	Total Energy (kWh/m ²)	절감율 (%)
I C_g+A+C_g	3.295	0.702	69.8	57.0	126.9	-
II Le_g+A+C_g	2.697	0.653	64.0	60.3	124.3	2.0
III Eu_g+A+Eu_g	3.253	0.270	84.5	33.9	118.4	6.7
IV E_g+A+E_g	3.253	0.270	84.9	33.5	118.4	6.7

로이코팅 창호의 경우 SHGC는 약 7% 감소하는 반면에 열관류율이 약 18% 감소하여

난방부하가 큰 폭으로 감소하는 것으로 나타났으며, 유리 표면에 IP 및 IPu 도료를 코팅한 창호의 경우 기능성 도료에 의해 열관류율은 거의 변동이 없으나 유리의 열적 특성인 태양복사취득계수(SHGC)가 낮아져 난방부하는 약 21% 증가하고 냉방부하는 약 40~41% 감소하는 것으로 나타났다. 분석한 결과는 다음 표 8과 그림 7에 나타내었다.



4. 경제성 평가

4.1 경제성 평가의 개요

본 연구에서의 경제성 평가는 에너지 관련 분야 및 비에너지 분야에서 사용되는 연간등가법(annual worth method)의 등가지불현재가치계수(UPV:uniform present value factor)를 사용하여 경제성 분석을 수행하였다.

연간등가법(annual worth method)은 각 대안의 수명주기에 발생하는 모든 투자비용과 그 대안에 의해 얻어지는 각 시점의 절감액 또는 편익이 매년 균일하게 발생한다고 가정할 경우, 이와 대등한 연간 비용으로 환산하는 방법으로 어떤 시점의 비용과 수입을 매년 균일하게 분할하여 등가 환산함으로써 경제적인 대안을 선정하는 방법이다. 해마다 동일하게 발생하는 비용에 의해 발생하는 돈의

양은 특정 분석기간과 할인율에 대한 등가지불 현재가치계수(UPV)를 연간 비용에 곱함으로써 기준시점에서의 현재가치로 할인할 수 있다(수식 1, 2).

$$UPV = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (1)$$

$$P = A \cdot UPV = A \cdot \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \quad (2)$$

따라서 연가(annual value)를 구하면 (수식 3)과 같다.

$$A = P \cdot \frac{1}{UPV} = P \cdot \frac{i(1+i)^n}{(1+i)^n - 1} \quad (3)$$

단, A = 연가(annual value),

UPV = 등가지불현재가치계수,

P = 현재가(present value), i = 할인율, n = 연수

할인된 현재가치(P)가 기준 창호인 이중투명창호를 다른 창호로 교체하였을 경우 창호 교체를 위한 초기 투자비용의 상승과 창호의 열성능 향상으로 인한 사무소 건물의 냉난방부하 절감에 따른 운전비용의 감소를 비교하여 대안으로 제시된 창호들이 기준 창호를 설치 사용하였을 때의 총비용(초기 투자비+연간 운전비)과 같아지는 시점(투자회수 기간)을 분석하여 경제성 평가를 수행하였다. 사용하는 에너지원은 도시가스(LNG)로 가정하고 분석기간은 창호의 생애주기인 40년으로 하였다.

4.2 유리 종류별 경제성 평가

경제성 평가를 위해 적용된 창호 종류별 초기 투자비 및 연간 운전비는 표 10에 나타내었다.

사무소 건물에서 II가 적용된 창호는 표준이 되는 I이 적용된 창호와 총비용의 현재가치가 같아지는 시점이 없이 분석기간인 40년간 운전비는 점차적으로 감소하는 것으로 나타났다. III, IV이 적용된 창호는 13년 후 I이

적용된 창호와 총비용이 같아져 투자회수기간 이후에는 운전비를 절약할 수 있 것으로 나타났다. 창호 종류별 경제성 분석 결과는 그림 8에 나타내었다.

표 9. 창호 종류별 초기투자비 및 연간 운전비

창호의 종류	단가 (원/m ²)	초기 투자비 (백만원)	도시가스 (LNG) 단가(원/m ³)	도시가스 (LNG) 사용량(m ³)	연간 운전비 (백만원)
I (표준)	225,247	2,114	713.20	286,082	204
II	241,818	2,270	713.20	280,362	200
III	240,045	2,253	713.20	266,872	190
IV	240,045	2,253	713.20	266,922	190

* 창면적 9,386m² 적용

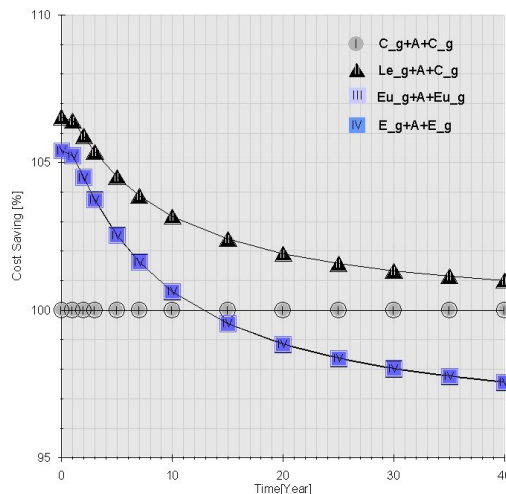


그림 8. 도로 코팅 창호의 경제성 분석

5. 결 론

본 연구에서는 기존의 창호 시스템에 SHGC (Solar Heat Gain Coefficient)를 감소시키는 기능성 도료를 적용한 창호시스템의 부하 성능평가를 수행하였다. 결과는 다음과 같다.

- (1) IP 및 IPu 도료는 가시광선투과율을 적정 수준 유지하여 유리면에 도장하면 단열 성능에는 미치는 영향은 미미하지만 태양복사취득계수를 효과적으로 낮출 수 있는 것으로 나타났다.

- (2) 투명이중유리를 적용한 모델을 기준모델로 할 경우 로이유리를 적용한 모델보다 IP 및 IPu 도료를 이면에 적용한 창호가 연간 냉난방부하를 절감하는 효과가 큰 것으로 분석되었다. 특히 창면적이 크고 냉방부하가 큰 건물에서 냉난방부하절감 효과가 더욱 우수할 것으로 예상된다.
- (3) 경제성 평가 결과 로이코팅 유리가 적용된 창호보다 IP 및 IPu를 이면에 코팅한 창호의 투자회수기간이 짧게 나타났다.

본 연구에서 수행한 IP 및 IPu 도료 적용에 따른 냉난방부하는 사무소 건물에 한정하여 수행한 결과이며, 냉난부하 특성이 다른 건물에 적용할 경우 에너지 절감효과 및 경제성 분석결과에 차이가 있을 수 있기 때문에 건물의 용도가 다른 여러 사례에 확대하여 수행할 필요가 있다.

참 고 문 헌

1. 장철용, 조수, 임상훈, 박상우, 이태훈, 초단열 슈퍼 윈도우의 개발 방향, 한국생태환경건축학회 학술발표대회 논문집, 7권, 1호, pp.349-354, 2007.06.
2. 한국에너지기술연구소, 첨단 일사조절 창호의 에너지 성능 평가 기술 개발, 과학기술부, 1998.09.
3. 김병수, 임오연, 오피스 창호의 적정 및 최소투과율 선정에 관한 연구, 대한건축학회 계획계 논문집, Vol 19권, No.9, 2003.09.
4. 김병수, 김재웅, 윤종호, 투명단열 축열벽 시스템을 적용한 주거용 건물의 냉난방에너지 성능분석, 대한건축학회논문집 계획계 20권 7호, 2004.07
5. 윤종호, 대전지역 직달일사량 실측치 통계 분석을 통한 국내일사량자료의 신뢰성 검증연구, 공기조화냉동공학회 대전 충청지방 강연회, 1999. 10.

6. 김병수, 임오연, LED램프를 적용한 사무소 건물의 실내조명환경 및 에너지 성능분석, 대한건축학회계획계 논문집, Vol 25권, No.7, 2009.07
7. 김재용, 김병수, 신재석, 사무소 건물에 적용된 에너지 세이버 도료 코팅 창호의 냉난방에너지 성능분석 및 경제성 평가, 대한건축학회논문집 계획계 26권 9호, 2010.09
8. 한국건설기술연구원, 건축물의 LCA를 위한 원단위 작성 및 프로그램 개발 연구, 건설교통부, 2004.12
9. 윤중호, 김병수, 박재성, 홍성철, 열관류율 민감도 분석에 의한 고단열 삼중창호 시스템의 단열성능 평가 연구, 대한건축학회 계획 논문집, 2007.10.
10. 성옥주, 이진성, 조수, 장철용, 송규동, 알루미늄 창호의 구성요소에 따른 단열성능 예측, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2006.10.
11. 송수빈, 윤성환, 창호의 단열특성에 따른 공동주택의 에너지 절감효과 및 경제성 분석, 대한건축학회 춘계 우수졸업논문전 수상논문 개요집. 2009.04.
12. Windows & Daylighting Group, WINDOW 6.0/THERM 6.0 Research Version User Manual, Lawrence Berkeley National Laboratory Berkeley, CA 94720 USA, LBNL-941 January 2008