

건설기술교육원 본관

에너지 효율 진단 분석 보고서

2022년 10월 05일

Net-zero

더 늦기전에, 탄소중립 2050

(사)대한필름시공기술인협회

- 본 효과 분석 보고서는 사단법인 대한필름시공기술인협회 홈페이지 katt.or.kr에서도 확인 할 수 있습니다 -

외벽 창유리 에너지 효율 진단 배경 및 필요성

건물 에너지는 국내 전체 에너지 사용량의 약 25.6%를 차지하고 있다. 최근 건물부문 에너지절감을 통한 온실가스 감축을 목표로 하는 ‘(신축)제로에너지건물’ 및 ‘(기축)그린리모델링’ 정책/사업이 공공, 민간을 막론하고 활발히 시행되고 있다.

건물 창유리는 여름철 일사획득으로 인한 냉방부하 증가와 겨울철 열 손실에 따른 난방부하 증가로 인한 건물 에너지소비에 막대한 영향을 주는 주요 경로이다.

창유리용(기능성)필름은 기존 창호의 유리 표면에 용이하게 부착하여 별도의 교체 및 부착 등의 시공 작업 없이, 건물의 외관을 변형시키지 않으면서도 창호를 통한 열 취득 및 손실을 제어할 수 있어 ‘제로에너지빌딩’ 및 ‘그린리모델링’을 위한 핵심기술로써 수요가 증가하고 있다.

본 진단은 건축용 기능성 필름의 기존 건물의 창유리 부착에 따른 창유리의 열성능(열취득/손실방지) 개선효과, 건물단위의 냉·난방 에너지 절감량 및 그에 따른 경제성(비용절감 효과)을 분석하기 위함이다.

◆ 창유리 에너지 효율 진단 흐름도

건물 현황 분석



- 건물 현장 파악
- 건물 현장 분석
- Needs 파악

현장 모니터링



- 일사량 측정 및 분석기 부착
(Solar power meter & Solar module analyzer)
- 일사/실내온도 분단위 측정
- 유해자외선 측정
- 일사유입에 따른 실내온도
상관 관계 파악

필름 테스트



- 열차단/단열 필름 부착
- 일사량 측정 및 분석기 부착
(Solar power meter & Solar module analyzer)
- 일사/실내온도 분단위 측정
- 유해자외선 측정

결과보고서 (개선효과분석)



- 일사량, 온도 상관관계 파악
- 에너지 시뮬레이션
- 경제성분석
- 분석결과 전달
- 개선사항

◆ 건설기술교육원 본관 현황 및 분석

구 분	내 용
건물명(기관명)	건설기술교육원 본관
유 형	교육연구시설
연면적	5,179.86 m ²
층수(지상)	지상 3층
건물 방위각 (주 향)	남향부
위 치	인천 남동구 소래로 688

- 1980년에 준공. 철근콘크리트 구조 건물.
- 외벽 유리는 단열성능이 취약한 16mm 일반 유리 사용.
노후화에 따른 기밀성(氣密性: 공기가 통하지 않는 성질, 온실의 경우 기밀도가 높을수록 난방 효율이 높아짐)과 단열성능이 낮아 태양열유입과 열손실에 취약함.
- 준공 당시 창유리의 성능은 3.1Kcal/m²·h·°C 이하 제품 설치.
(Kcal/m²·h·°C: 건축법에 의거 2000년 이전 열전달 능력을 측정하는 단위임 / 2001년부터 단위 변경(W/m²·K)으로 현재 기준과 성능 비교 어려움)
- 준공 당시 태양열 취득(열차단)에 대한 성능 기준이 없어(2022년 현재도 없음) 열차단 성능에 대한 판단이 어려움.
- 주변에 그림자 및 조도에 영향 끼칠 환경인자가 없고, 전면 유리 사용량이 높아 채광은 좋으나 일사 유입량이 높은 건물 구조.
- 전면부가 남향으로 일출에서 오후 시간대 눈부심과 일사 유입량이 높음. 일출부터 유입된 일사는 실내온도 영향을 주며 오후시간 될수록 실내유입 열의 축적에 따라 실내온도 상승이 발생.
- 중앙 복도식으로 남향과 북향은 온도 불균형 현상 발생(남향과 북향 온도 편차 심함).
- 북향부는 일사량 유입이 적어 실내온도 상승은 크지 않지만, 열손실이 많아 난방부하 증가.

◆ 건설기술교육원 본관 외관 이미지 및 방위각



- 외관 이미지 -



- 위성사진 및 방위각 -

◆ 실내온도, 일사량 측정기 & 유리 성능 측정기

• 일사량 /온도측정

일사량 측정은 외부에서 들어오는 일사량(태양열, 복사열 등)에 대한 측정으로 그 값을 W/m^2 로 환산 후, 소비하는 전력 에너지로 표현하여 실내 유입량 변환.

일사량 측정기로 측정된 실내 유입 일사량의 결과값을 분당 저장하여 해당 건물에 대한 일사량 유입량 및 실내 온도에 대한 영향 등 파악.

일사량 측정기를 통해 방위각별, 위치별, 층별 일사량과 윈도우 필름 부착 전/후에 대한 일사량 값을 파악. 이를 근거로 일사량과 실내온도 상승의 상관관계를 분석, 일사량 감소율, 기능성 필름 부착 후 감소된 일사량과 실내온도를 통해 에너지 절감율을 예측.



- 일사량·실내온도 측정기 -

∴ 일사량 측정기 사양

일사량 측정 범위	분해능 (Resolution)	입사광 파장대역	정밀도
0 ~ 2,500 W/m^2	0.1 W/m^2	400 ~ 2,500nm	$\pm 5 W/m^2$ 또는 $\pm 5\%$ 이내

• 실내온도 측정

실내온도 측정은 측정기에 부착된 온도 센서를 통해 창가 온도를 측정 후, 윈도우 필름 부착 전후의 실내온도를 비교하여 실질적인 온도 데이터를 확보.

온도 센서를 통해 실내 온도의 결과값을 측정기간 동안 1분~5분단위로 저장, 건설기술교육원 본관에 대한 온도 변화를 파악하고 이를 토대로 실내의 환경 변화 및 에너지 절감율 예측.

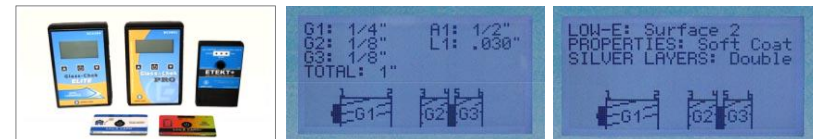
∴ 온도 측정기 사양

온도 측정 센서	정밀도	측정방식
NTC	$\pm 0.2^\circ C$	대기측정

• 유리 성능 측정기두께 측정기 및 Low-E 테스트기

유리의 두께 및 단일, 이중, 삼중 및 사중 창 유리 및 공기 공간 두께를 한 면에서 측정.

Low-E 코팅의 존재, 위치 및 유형을 결정할 수 있을 뿐만 아니라 접합 유리(내층 두께)를 식별 및 측정.



- 유리 성능 측정기두께 측정기 및 Low-E 테스트기 -

◆ 건설기술교육원 본관 진단 계측기 부착 위치



<그림 #1. 평면도상 계측기 부착 위치>



<그림 #2. 남향부-계측기① 부착 위치 및 측정 이미지 >



<그림 #2. 북향부-계측기② 부착 위치 및 측정 이미지 >



■ 계측기 부착 위치 선정 및 진행

- ① 창유리는 건물 외벽에 사용되는 건축 자재 중 에너지 손실이 가장 크기 때문에 이에 대한 창유리의 분석이 필요.
- ② 냉,난방기기가 가장 많이 사용되는 공간 또는 민원이 가장 많은 공간에 대한 측정기 부착.
- ③ 건물 외벽 창유리에 유입되는 일사량과 실내온도를 일정 간격으로 측정하여 저장.
- ④ 일사량과 실내온도 측정 후 공간 및 건물 실내온도 상승과 감소의 상관관계 파악(근거 자료).
- ⑤ 건물의 주중(냉난방기 사용)과 주말(냉난방기 미사용)의 실내온도 변화 및 특징 파악.
- ⑥ 건물 주간, 야간, 업무시간대, 냉난방기 사용시간의 실내온도 변화 및 특징 파악.
- ⑦ 외부 기온, 기후, 날씨 등의 영향에 따른 실내온도 변화 파악 후 실내 온도 상승 원인 파악.
- ⑧ 건물 층간 높이와 위치, 외벽 유리 면적 계산을 통해 태양열 유입이 실내온도 상승의 원인을 파악.

실내온도 변화 원인

진단 계측기를 일정기간 동안 외벽 창유리의 실내부에 부착하여

5분 단위로 일사량, 실내온도, 자외선 측정 후 저장하여

이를 근거로 건설기술교육원 본관 실내온도 상승 원인 파악 및 분석합니다.

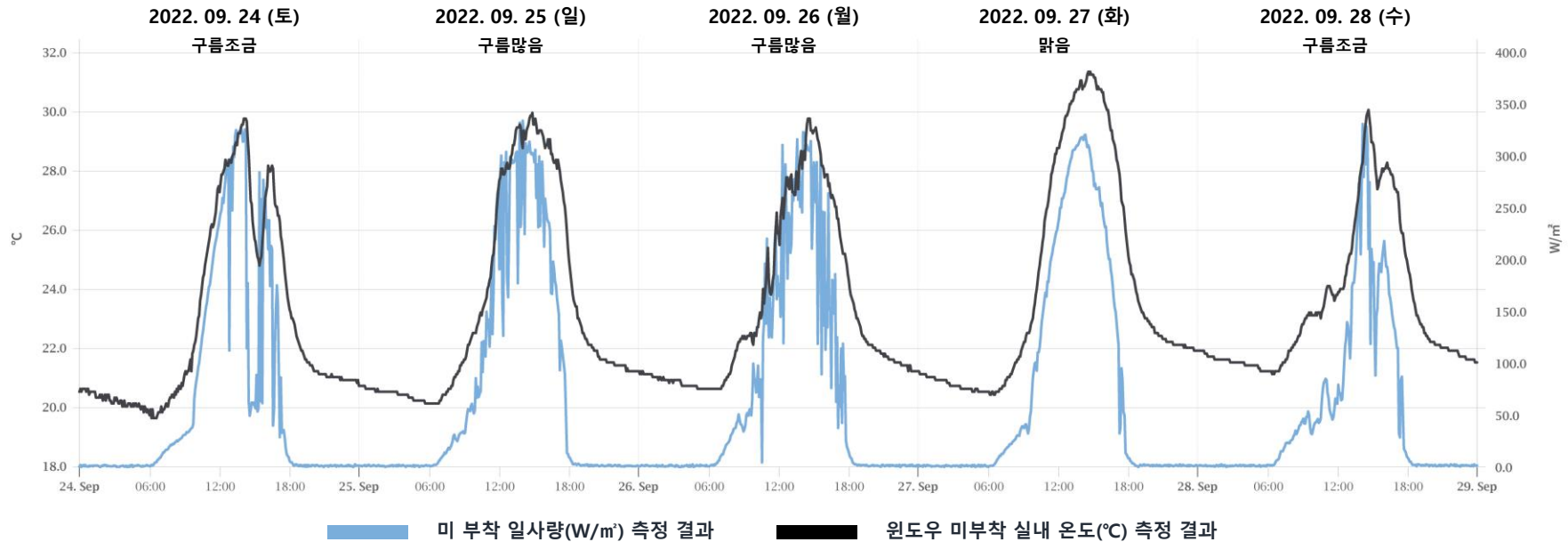
계측기 측정 기간	측정 일수	측정 단위	계측기 부착 위치
2022. 09. 23(금) ~ 2022. 09 .29(목)	7일	5분	외벽 창유리 실내면

※ 측정기간 중 24시간 미만 측정 데이터는 측정 근거로 사용하지 않습니다.

**건설기술교육원 본관
일사량, 실내온도 측정 결과**

- 남향부 -

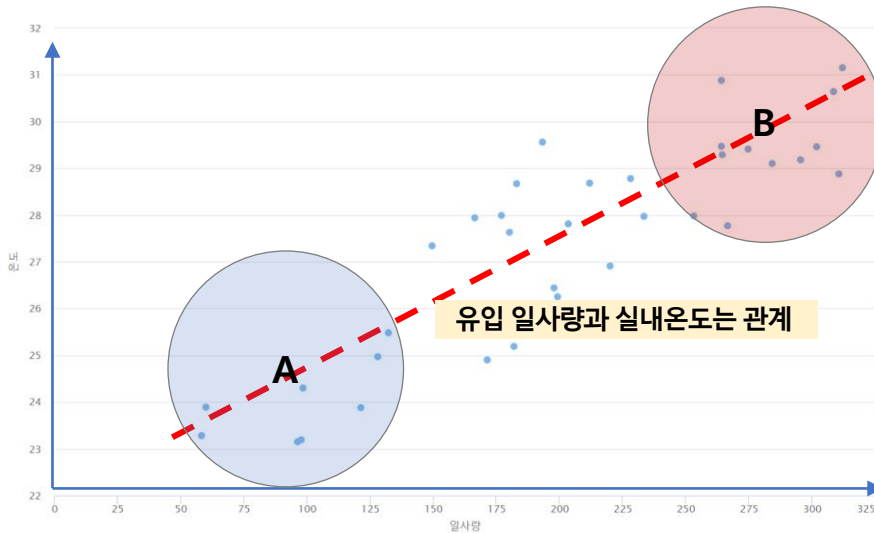
◆ 미부착 유리 일사량 및 실내온도 결과



◇ 일사 & 실내온도 분석 및 측정 결과

- 테스트 기간 2022년 9월 24일 ~ 2022년 9월 28일 결과 자료이며, 테스트 기간 중 냉,난방기 운영되지 않음.
- 5분 단위 간격 데이터는 테스트 공간 유입된 일사에 의한 축열 효과를 고려하지 않는 결과치임.
- 외부 일사 유입량 증가와 동시(일출)에 실내온도 상승, 외부 일사 유입량이 감소(일몰) 이후 실내온도 감소. - 외부 일사량이 실내온도 상승에 지배적 역할임.
- 일사량 그래프와 실내온도 그래프 변동 유사 - 외부 일사량 변화에 따른 실내 온도 변화 확인.
- 일사 변화에 따라 실내온도 변화 발생은 외부 일사량 및 복사열이 실내온도에 지배적인 영향을 끼치는 것을 확인함.

◆ 주간시간대 일사량 & 실내온도 분포도



▶ 일사량 & 실내온도 분포도 진행 내용

- 테스트 기간 2022년 09월 24일 ~ 2022년 09월 28일 결과.
- 실내온도를 독립변수, 수직면 실내 유입 일사량을 종속변수로 선정 회귀분석을 수행.
- 일별 09시~18시 시간별 값(X축: 일사량평균, Y축: 온도평균)으로 회귀분석 진행.
 - A구역 - 실내 유입 일사량이 낮은 구간 실내온도가 낮은 구역임.
 - B구역 - 실내 유입 일사량이 높은 구간으로 실내온도 높은 구간임.

▶ 건설기술교육원 본관 일사량 & 실내온도 분포도 결과

일사량이 낮을수록 실내온도가 낮고 일사량이 높을수록 실내온도가 상승함.

※1시간 간격 평균 데이터 값은 테스트 공간 내부에 유입된 일사에 의한 축열 효과를 고려하지 않은 결과값임

◆ 일사량과 실내온도 상관관계

◇ 일사 & 실내온도 분석 및 측정 결론

- 실내 직접 유입된 태양광이 실내온도 상승과 냉방에너지 발생에 지배적인 요인으로 작용됨.
- A구간 - 외부 일사 유입량이 적고 실내온도 낮은 구간으로 오전 시간대 주로 발생.
- B구간 - 일사 유입량 증가시 실내온도 상승, 일사량과 실내온도 관계성 높은 구간으로 온도 정체 및 실내온도 변동이 심함.
- 냉방 부하의 주요 변수로 일별 적산 일사량을 선정하여 일별 냉방에너지 소요량과 상관관계를 확인.
- 표준 교육시설 건물 평균 일사량이 $100/m^2 \sim 120W/m^2$ 인 것을 감안할 건설기술교육원 본관의 일사량 유입량 매우 높으며, 이는 전면부 지면 복사열 반사 유입량과 창유리의 태양열 취득율에 의한 결과임.

◆ 샘플 윈도우 필름 부착 목적 및 제품 정보

1. 테스트 윈도우 필름 부착 목적

부착하는 샘플 윈도우 필름은 시중에서 유통되는 일반적인 필름이 아닌 본 보고서 작성을 위한 전용 필름으로 건물 유리의 성능 파악 및 필름의 성능 기준 설정을 목적으로 함.

샘플 부착 필름으로 건물 특성에 맞는 가장 이상적인 윈도우 필름 찾기 위한 기준이 되며, 단열성능(동절기)과 열차단성능(하절기)을 모두 갖춘 윈도우이고,

샘플 필름 부착을 통해 밝기, 실내 조도, 유해 자외선 투과, 적외선 투과율, 하절기 일사 획득에 따른 실내온도 상승과 동절기 실내 열 손실에 의한 실내온도 감소등을 측정, 비교하여 외벽 유리의 성능 확인할 수 있고 이를 통해 건물 에너지 효율에 최적화된 윈도우 필름을 확인하기 위하여 외벽 유리에 부착하기 위함임.

2. 테스트 윈도우 필름 국가 공인시험성적 결과

가시광선 투과율 (밝기)	가시광선 내부 반사율 (내부 거울현상)	가시광선 외부 반사율 (외부 빛 반사)	자외선 투과율	태양열 취득율	수정방사율	태양열 흡수율
50.1 %	7.7 %	21.2 %	0.0 %	0.33	0.13	36.5 %

※ 상기 제품 정보는 한국산업표준 규격에 의한 국가공인시험기관의 시험성적서 결과 자료임.

KS L 2016(창 유리용 필름), KS L 2514(유리의가시광선 투과율, 반사율, 방사율, 태양열 취득률, 자외선 투과율, 연색성 시험방법), KS L 9107(솔라시뮬레이터에 의한 태양열 취득률 측정 시험방법),

KS F 2278(창호의 단열성 시험방법), KS M ISO 4593(플라스틱 기계적 주사에 의한 두께 측정), KS M ISO 14782(플라스틱 - 투명 재료의 흐림도 측정), KS L 2525(판유리류의 열저항 및 건축 관련 열관류율의 계산 방법)

3. 테스트 윈도우 필름 Glazing 구조화 단위(창호) 태양열 취득률 측정 테스트 결과

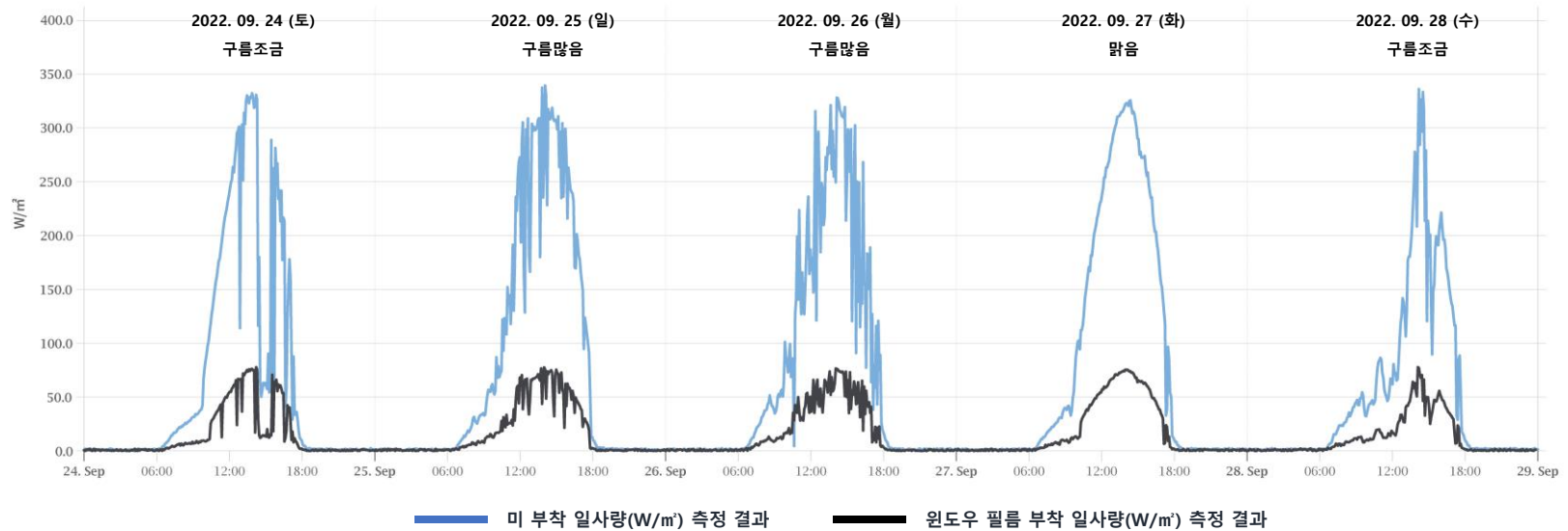
시료명 \ 필요 성능	Glazing 구조	태양열 취득률(-)	감소율 (%)
기존 유리 (윈도우 필름 미부착)	(외부)6mmCL + 12mmAir + 6mmCL(내부)	0.70	-
기존 유리 + 윈도우 필름 부착	(외부)6mmCL + 12mmAir + 6mmCL+필름(내부)	0.33	52.86

- 샘플 부착한 윈도우 필름의 태양열취득률(0.33)은 기존 창유리(윈도우 필름 미부착) 창호의 태양열취득률(0.70) 대비 52.86% 감소한 결과가 나왔음.
- 미부착 창호의 태양열 취득률은 창호, 유리의 열전달 및 결로 여부를 해석하는 WINDOW 7.6 프로그램을 활용하여 결과를 산정하였음.
- 이는 윈도우 필름 부착 창호는 하절기에 창호를 통해 유입되는 태양열 차단 성능이 미부착 창호보다 높은 것으로 볼 수 있음.
- 따라서, 윈도우 필름 부착 창호는 미부착 창호보다 하절기 냉방부하 절감에 효과가 있을 것으로 예상됨.

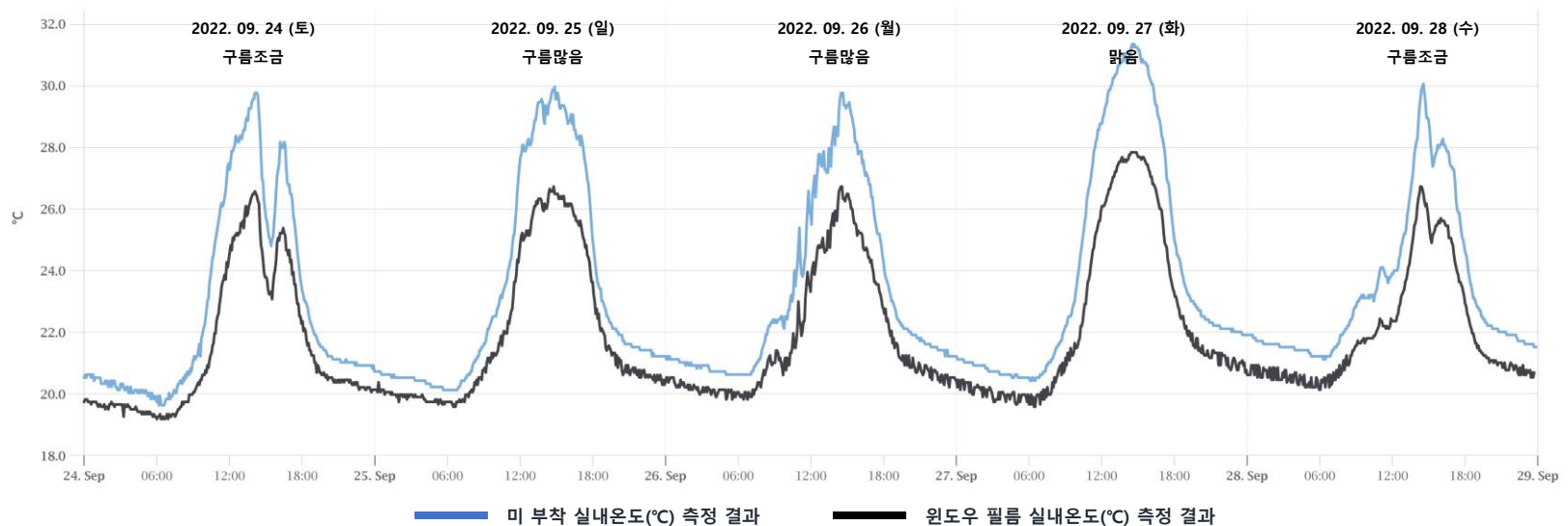
건설기술교육원 본관
테스트 윈도우 필름 부착 결과

- 남향부 -

◆ 일사량 측정 결과 (미부착 유리 VS 윈도우 필름 부착)



◆ 실내온도 측정 결과 (미부착 유리 VS 윈도우 필름 부착)



◆ 일사량 측정 최종 결과

항 목	최대 일사 유입	평균 일사 유입	전체 유입 일사량
미 부착	333.4 W/m ²	99.24 W/m ²	2,784.40 Wh/m ²
윈도우 필름 부착	77.1 W/m ²	23.92 W/m ²	689.13 Wh/m ²
감 소 율	76.87 % 감소	75.89 % 감소	75.25 % 감소

※ 일사량 결과는 측정기 부착 방위각부에 대한 결과값임 시간대별 날씨(맑음, 비, 구름)와 주변 환경(그림자, 지면 반사)등의 영향으로 일자별, 시간별 차이가 발생함.

◆ 실내온도 측정 최종 결과

항 목	최고 온도	평균 온도
미 부착	31.4 °C	27.77 °C
윈도우 필름 부착	27.9 °C	24.53 °C
감 소 율	3.5 °C 감소	3.24 °C 감소

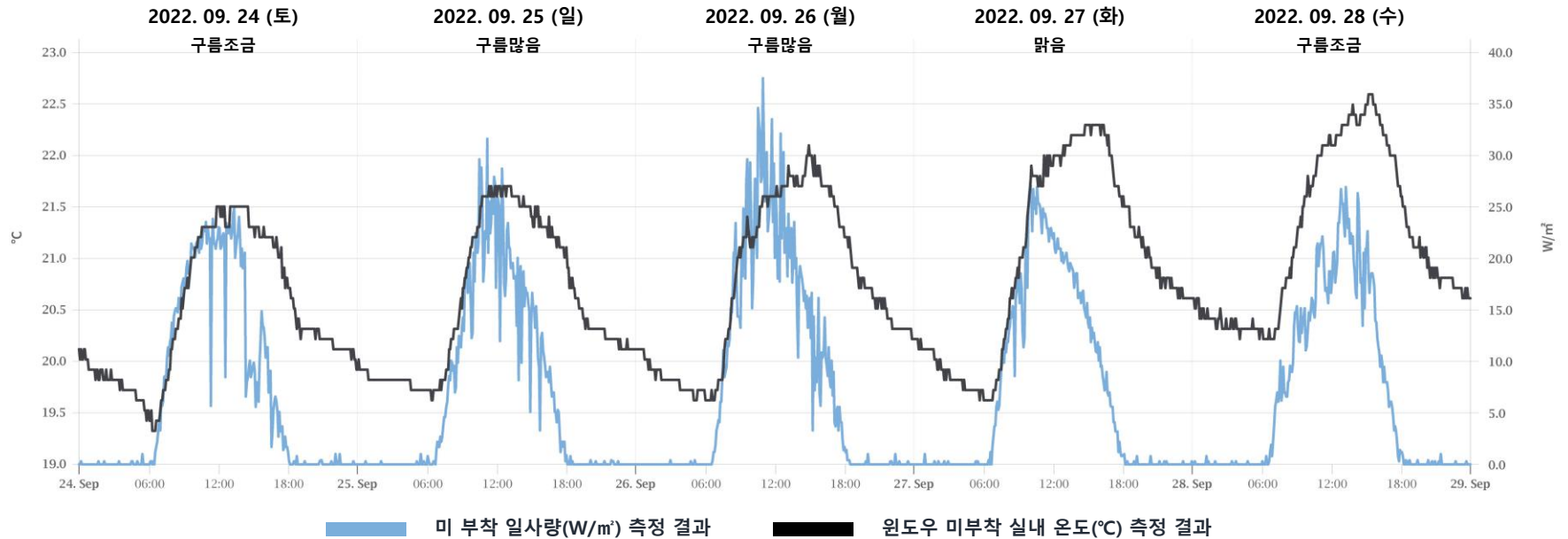
◇ 윈도우 필름 부착 측정 결과

- 테스트 기간 2022년 9월 24일 ~ 2022년 9월 28일 결과 자료임.
- 표준 교육시설 건물 평균 남향부 일사량 대비 일사 유입량이 약 214.1%로 매우 높음. 이는 전면부 지면 복사열 반사 유입량과 창유리의 태양열 취득율에 의한 결과임.
- 일사량은 테스트 필름 부착 후 최고 일사량 76.87%, 평균 일사량 75.89%, 전체 유입 일사량 75.25% 감소.
- 실내온도는 테스트 필름 부착 후 최고 실내 온도 3.5°C, 평균 실내 온도 3.24°C 감소.
- 테스트 필름 부착 결과 외부 일사 유입량 감소 및 실내온도 감소되나 하절기 적정 실내 목표 온도에는 다소 부족함.

건설기술교육원 본관
일사량, 실내온도 측정 결과

- 북향부 -

◆ 미부착 유리 일사량 및 실내온도 측정 결과



◇ 일사 & 실내온도 분석 및 측정 결과

- 테스트 기간 2022년 9월 24일 ~ 2022년 9월 28일 결과 자료이며, 테스트 기간 중 냉,난방기 운영되지 않음.
- 5분 단위 간격 데이터는 테스트 공간 유입된 일사에 의한 축열 효과를 고려하지 않는 결과치임.
- 외부 일사 유입량 증가와 동시(일출)에 실내온도 상승, 외부 일사 유입량이 감소(일몰) 이후 실내온도 감소 - 낮은 외부 일사량(40W/m²이하)임에도 실내온도 변화 발생.
- 유입 일사량(40W/m²이하)이 주간시간대 실내온도에 긍정적인 영향을 주지만, 유입 일사량 수치가 낮아 실내에 미치는 영향은 크지 않음.
- 야간 시간대 우하향 온도 그래프 현상 - 창호의 기밀성 및 유리면의 단열성능이 낮아 실내 열손실 발생(동절기는 실내/외 온도차가 커 전 시간대에 발생 가능성 높음).
- 본관 북향부는 일사량보다는 기밀성과 단열성능에 따른 열손실이 많아 이에 대한 보완 필요.

◆ 일사량과 실내온도 상관관계

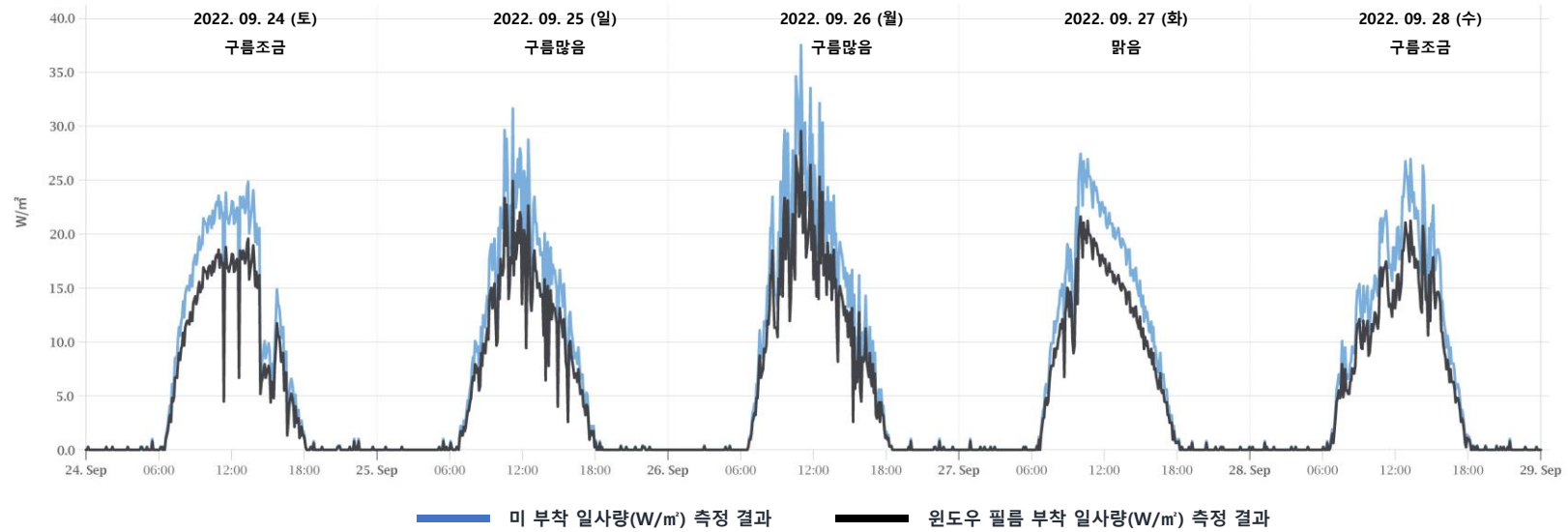
◇ 일사 & 실내온도 분석 및 측정 결론

- 일사량과 실내온도는 관계가 있으나 실내 온도 열손실이 많아 일사량과 실내온도 상관관계 정확한 분석 불가.
- 외부 일사 유입량 증가와 동시(일출)에 실내온도 상승, 외부 일사 유입량이 감소(일몰) 이후 실내온도 감소 - 낮은 외부 일사량($40W/m^2$ 이하)임에도 실내온도 변화 발생.
- 유입 일사량($40W/m^2$ 이하)이 주간시간대 실내온도에 긍정의 영향을 주지만, 유입 일사량 수치가 낮아 실내에 미치는 영향은 크지 않음.
- 야간 시간대 우하향 온도 그래프 현상 - 창호의 기밀성 및 유리면의 단열성능이 낮아 실내 열손실 발생(동절기는 실내/외 온도차가 커 전 시간대에 발생 가능성 높음).
- 본관 북향부는 일사량보다는 기밀성과 단열성능에 따른 열손실이 많아 이에 대한 보완 필요.

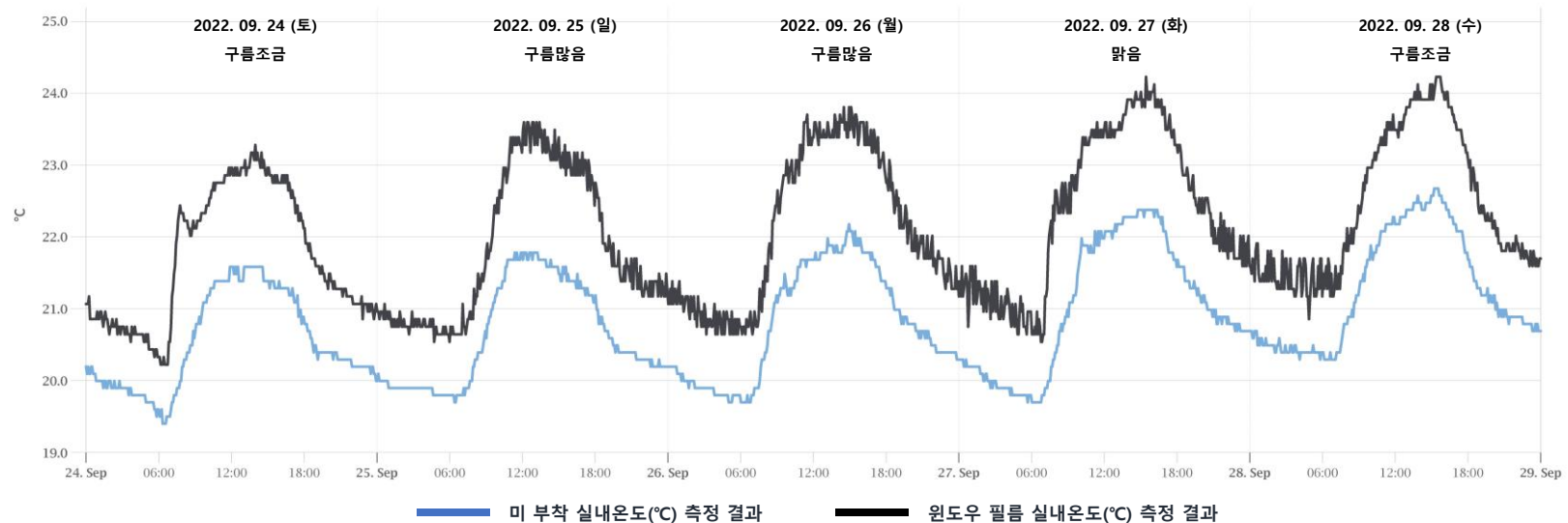
건설기술교육원 본관
테스트 윈도우 필름 부착 결과

- 북향부 -

◆ 일사량 측정 결과 (미부착 유리 VS 윈도우 필름 부착)



◆ 실내온도 측정 결과 (미부착 유리 VS 윈도우 필름 부착)



◆ 일사량 측정 최종 결과

항 목	최대 일사 유입	평균 일사 유입	전체 유입 일사량
미 부착	37.6 W/m ²	7.89 W/m ²	286.77 Wh/m ²
윈도우 필름 부착	29.4 W/m ²	6.69 W/m ²	242.43 Wh/m ²
감 소 율	21.8 % 감소	15.20 % 감소	15.46 % 감소

※ 일사량 결과는 측정기 부착 방위각부에 대한 결과값임 시간대별 날씨(맑음, 비, 구름)와 주변 환경(그림자, 지면 반사)등의 영향으로 일자별, 시간별 차이가 발생함.

◆ 실내온도 측정 최종 결과

항 목	최고 온도	평균 온도
미 부착	22.3 °C	20.49 °C
윈도우 필름 부착	24.1 °C	22.34 °C
감 소 율	1.6 °C 상승★	1.85 °C 상승★

◇ 윈도우 필름 부착 측정 결과

- 테스트 기간 2022년 09월 24일 ~ 2022년 09월 28일 결과 자료임.
- 표준 교육연구시설 건물 북향부 평균 일사량 대비 일사 유입량이 약 17.04% 높으나 북향부 일사량 수치 기준이 낮아 큰 의미는 없음.
- 테스트 필름(기준 필름) 부착 후 최고 일사량 21.8%, 평균 일사량 15.20%, 전체 유입 일사량 15.46% 감소.
- 테스트 필름 기준 최고 실내 온도 1.6°C 상승★, 평균 실내 온도 1.85°C 상승★.
- 테스트 필름 부착 후 일사량은 평균 15.2% 감소하였으나 실내온도는 1.85°C 상승★ → 이는 부착 필름의 Low-E 기능(저방사)에 의해 유리면에서 발생되는 열손실이 감소한 결과임.

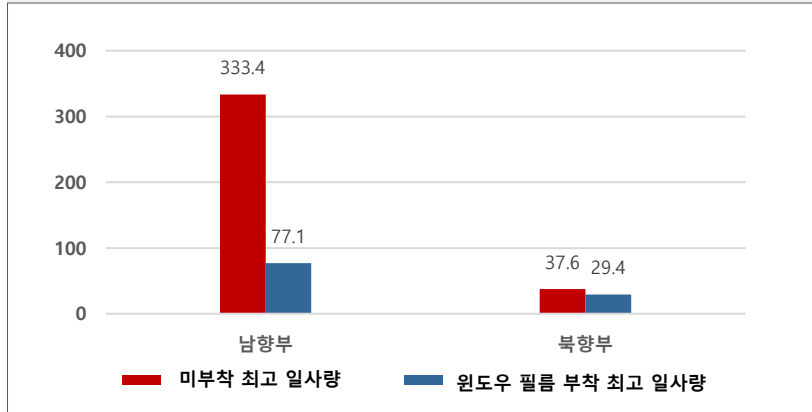
건설기술교육원 본관
일사량, 실내온도 테스트 결과

- 남향부 / 북향부 -

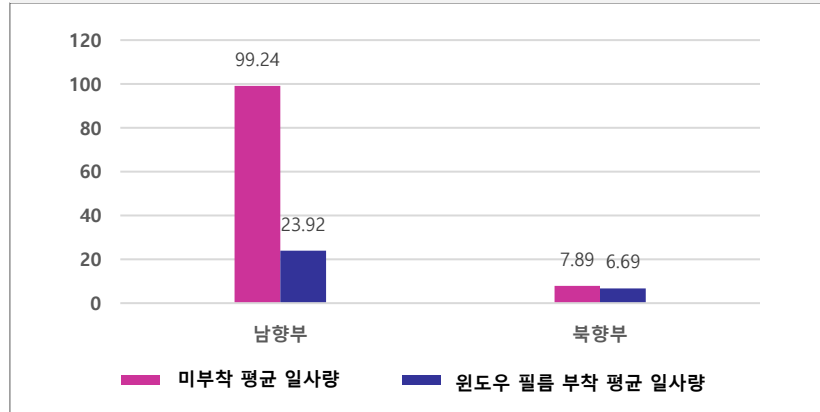
◆ 일사량 측정 최종 결과

항 목	남향부		북향부	
	최고 일사량 (W/m ²)	평균 일사량 (W/m ²)	최고 일사량 (W/m ²)	평균 일사량 (W/m ²)
미 부착	333.4	99.24	37.6	7.89
윈도우 필름 부착	77.1	23.92	29.4	6.69
감소율 (%)	76.87	75.89	21.8	15.20

• 남향부, 북향부 미부착 vs 윈도우 필름 부착 **최고 일사량 비교 (W/m²)**



• 남향부, 북향부 미부착 vs 윈도우 필름 부착 **평균 일사량 비교 (W/m²)**



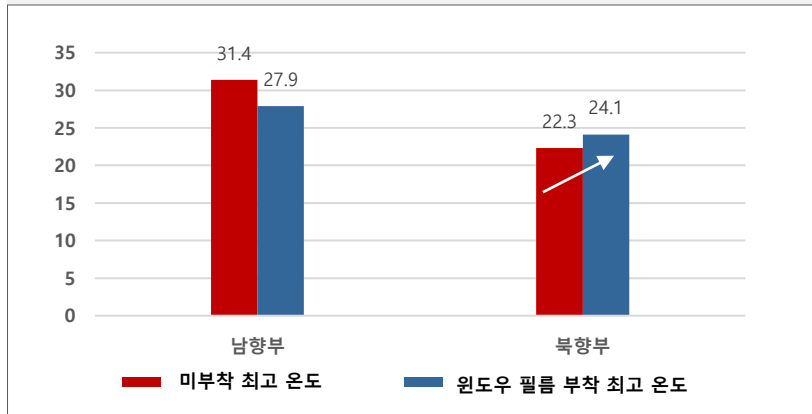
◇ 윈도우 필름 부착 방위별 일사량 측정 결과

- 남향부와 북향부 실내 유입 최고 일사량은 남향부 333.4W/m², 북향부 37.6W/m²로 남향부가 북향부 대비 8배 이상 많은 일사가 실내로 유입됨.
- 남향부와 북향부 실내 유입 평균 일사량은 남향부 99.24W/m², 북향부 7.89W/m²로 남향부가 약 12배 이상 많은 일사가 실내로 유입됨.
- 건설기술교육원 본관 남향부는 필름 부착시 최고 일사량은 미부착 대비 71.67~76.87% 감소, 평균 일사량은 미부착 대비 69.31~75.89% 감소됨.
- 남향부 테스트 윈도우 필름 부착 후 시간대별 일사량 감소율 차이는 방위각과 태양의 남중고도와 일사 각도, 적층 시간 등에 의한 것임.

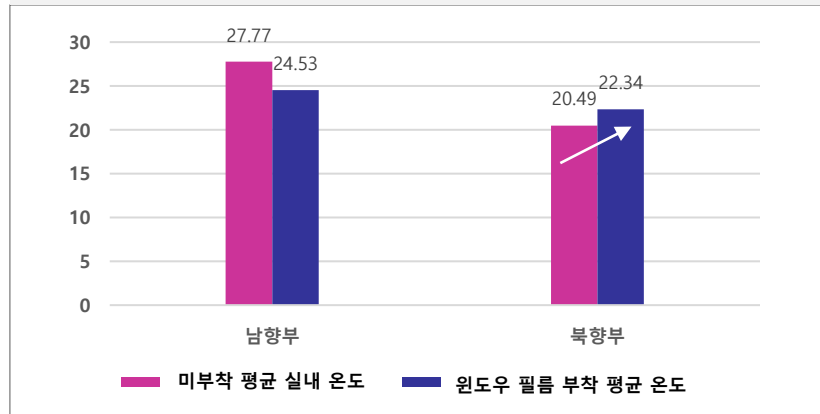
◆ 실내온도 측정 최종 결과

항 목	남향부		북향부	
	최고 실내 온도 (°C)	평균 실내 온도 (°C)	최고 실내 온도 (°C)	평균 실내 온도 (°C)
미 부착	31.4	27.77	22.3	20.49
윈도우 필름 부착	27.9	24.53	24.1	22.34
감 소 율 (%)	3.5	3.24	1.6	1.85

• 남향부, 북향부 미부착 vs 윈도우 필름 부착 **최고 실내 온도 (°C)**



• 남향부, 북향부 미부착 vs 윈도우 필름 부착 **평균 실내 온도 (°C)**



◇ 윈도우 필름 부착 방위별 실내온도 측정 결과

- 윈도우 필름 미부착 남향부와 북향부 실내 최고 온도는 남향 31.4°C, 북향부 22.3°C로 남향부가 북향부보다 9.1°C 높음.
윈도우 필름 미부착 남향부와 북향부 실내 평균 온도는 남향 27.77°C, 북향부 20.49°C로 남향부가 북향부보다 7.28°C 높음.
이는 방위각에 따른 일사량 유입량에 의한 실내온도 불균형 현상임.
- 윈도우 필름 부착 후 본관 남향부 실내 최고 온도는 미부착 대비 3.1°C ~ 3.5°C 감소, 평균 온도 미부착 대비 2.98°C ~ 3.24°C 감소함.
- 윈도우 필름 부착 후 본관 북향부 실내 최고 온도는 미부착 대비 **1.3°C ~ 1.6°C 상승★**, 평균 온도 미부착 대비 **1.55°C ~ 1.85°C 상승★**.

◆ 건설기술교육원 본관 남향부 윈도우 필름 부착 최종 결과

실내온도 변화 요인

1. 실내 직접 유입된 태양광과 지표면 복사열이 실내온도 상승과 냉방에너지 발생에 지배적인 요인으로 작용.

- ① 건설기술교육원 본관 남향부는 동일 지역 표준 교육시설 건물 남향부 평균 일사량 대비 일사 유입량이 214.1%로 매우 높음.
- ② 표준 교육시설 건물 대비 일사량 유입량이 높은 이유는 창유리 성능[태양방사(태양열선) 반사, 태양열 취득율]과 전면부 지표면 복사열 영향에 의한 것임.
- ③ 일사량은 실내온도 상승과 냉방기기 부하에 지배적인 요인으로 작용되고, 시간대별 유입된 적산 일사량은 실내온도 상승의 주요 원인임.
- ④ 실내온도 상승과 변동 주요 요인으로서는 외부 날씨, 적산 일사량, 적산 온도 등에 의한 것이며, 적산된 일사량과 온도로 냉방에너지 사용량도 증가됨.

적정 실내온도 유지 방안

2. 일사량 유입에 의한 실내온도 상승을 막고 적정 실내온도 유지.

- ① 본관 남향부 실내 최고 온도는 미부착 대비 3.1°C ~ 35°C 감소, 평균 온도는 미부착 대비 29.8°C ~ 32.4°C 감소하였으나 적정 실내 온도에는 다소 부족함. (테스트 필름보다 높은 성능 필요)
- ② 테스트 윈도우 필름보다 뛰어난 태양열 차단 필름 적용시 테스트 결과보다 우수한 실내온도 저감 효과를 발생시킬 것으로 판단됨.
- ③ 태양열 차단[태양열 취득율(SHGC)] 성능에 따라 적산 일사량, 적산 온도, 냉방기 사용시간, 냉방기 효율성 등의 변화 발생.
- ④ 또한, 동절기 적정 실내온도 유지를 위해 단열성능(열관류율)이 있는 Low-E 윈도우 필름을 부착하여 열손실을 최소화하는 것을 추천함.

방위별 특징

3. 건설기술교육원 본관 남향부 윈도우 필름 부착시 포인트

❖ 남향부

외부 복사열 차단 / 현 유리의 단열성능 유지하면서 단열성능을 강화할 수 있는 내부용 Low-E 윈도우 필름
유해자외선 차단 / 유해전자파차단 / 내후성 통과 제품 / 기밀성 보완 장치 필요

환경 개선

4. 적합한 윈도우 필름 사용

- ① 사계절 에너지 절감 및 적정 실내온도 유지를 위해 내부용 Low-E 필름 또는 열차단 필름 제안.
- ② 내부용 Low-E 필름 부착시 유리의 단열성능을 강화 및 내부 유리면에 부착되어 유리의 태양열 취득율 향상에 따른 실내온도 저감, 열손실 최소화 및 에너지 절감 효과 우수.
- ③ 본 테스트에 사용된 기준 테스트보다 높은 외부 태양열 차단[낮은 태양열 취득율(SHGC)] 필름 부착시 보다 본 진단보고서 결과보다 높은 실내온도 감소를 보일 것임.
- ④ 건설기술교육원 본관 남향부는 일사량이 유입이 많고 실내온도 상승이 급격하여 내후성 테스트를 거친 내부용 제품을 선정하는 것을 권유함.

◆ 건설기술교육원 본관 북향부 윈도우 필름 부착 최종 결과

실내온도 변화 요인

1. 북향부 실내온도 변화는 일사 유입량과 창유리(창프레임)의 열손실이 주요 원인임.

- ① 외부 일사 유입량 증가와 동시(일출)에 실내온도 상승, 외부 일사 유입량이 감소(일몰) 이후 실내온도 감소 - 낮은 외부 일사량($40W/m^2$ 이하)임에도 실내온도 변화 발생.
- ② 유입 일사량($40W/m^2$ 이하)이 주간시간대 실내온도에 긍정의 영향을 주지만, 유입 일사량 수치가 낮아 실내에 미치는 영향은 크지 않음.
- ③ 야간 시간대 우하향 온도 그래프 현상 - 창호의 기밀성 및 유리면의 단열성능이 낮아 실내 열손실 발생(동절기는 실내/외 온도차가 커 전 시간대에 발생 가능성 높음).
- ④ 본관 북향부는 일사량보다는 기밀성과 단열성능에 따른 열손실이 많아 이에 대한 보완 필요.

적정 실내온도 유지 방안

2. 기밀성 확보(창유리와 창프레임) 및 창유리의 단열성능 향상 필요.

- ① 테스트 필름 부착 후 일사량은 평균 15.2% 감소하였으나 실내온도는 $1.85^{\circ}C$ 상승★. 이는 부착 필름의 Low-E 기능(저방사)에 의해 유리면에서 발생하는 열손실이 감소한 결과임.
- ② 창프레임과 유리면에서 발생하는 열손실을 막아 적정 실내온도 유지 - 기밀 향상용 보조제품(문풍지 등)으로 보완시 추가 에너지 효율 상승 효과 발생.
- ③ 창유리 Low-E 필름 부착을 통해 유리면의 단열성능 향상으로 열손실 방지 필요.
- ④ 기존 커튼 등을 이용 - 창과 커튼 사이의 공기층을 이용한 단열 성능 향상 가능.

방위별 특징

3. 건설기술교육원 본관 북향부 윈도우 필름 부착시 포인트

❖ 북향부

현 유리의 단열성능 유지 및 단열성능을 향상을 위한 내부용 Low-E 윈도우 필름 / 기밀 향상용 보조제품 설치로 기밀성 확보
유해자외선 차단 / 유해전자파차단 / 내후성 통과 제품

환 개 선

4. 적합한 윈도우 필름 사용 및 기밀성 보조제품 설치

- ① 사계절 에너지 절감 및 적정 실내온도 유지를 위해 내부용 Low-E 필름 또는 열차단 필름 제안.
- ② 기밀성 보조제품, 내부용 Low-E 필름 부착을 통한 유리의 단열성능을 강화, 커튼등의 이용한 단열성능 향상으로 실내 열손실 최소화.
- ③ 본 테스트에 사용된 기준 테스트 필름 이상의 수정방사율과 열관류율 성능을 보유한 필름 부착시 보다 본 진단보고서 결과보다 높은 에너지 절감효과 및 적정 실내온도 유지 가능.
- ④ 내후성 테스트와 안전성 테스트를 거친 내부용 제품을 선정하는 것을 권유함.

추천 제품 사양

◆ 남향부 윈도우 필름 테스트 제품 성능 평가 및 추천 사양

1. 추천 근거 및 이유

• 채광 및 조도

실내 적정 채광을 통한 업무 중 눈부심이 적고 추가 조명을 사용하지 않으며, 피로감이나 불쾌감 감소.

• 우수한 외부 일사량 감소 및 열 손실 최소화.

실내온도 상승이 주요 원인인 외부 일사량 유입을 일정 수준이상 차단시켜, 실내온도 상승 억제 및 냉방부하 감소 목적.
실내온도 상승을 억제함으로 인한 근무환경 개선 및 냉방기 사용 시간 감소로 에너지 절감 효과 우수.
동절기 열손실을 최소화 하여 사계절 내내 에너지 절감이 가능한 윈도우 필름.

• 건물 외벽의 디자인

건물과 가장 유사한 제품을 추천하고 외부 디자인적요소를 최대한 손상을 끼지 않는 제품.

• 에너지 절감

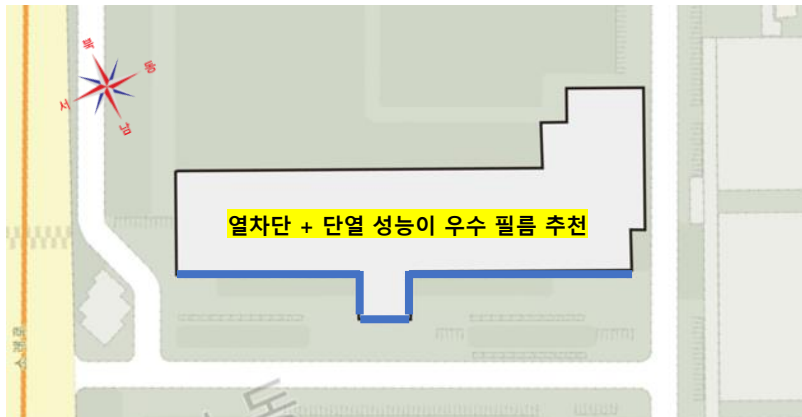
하절기 실내온도 상승 및 동절기 열손실을 최소화하여 적정 실내온도 유지를 통한 냉,난방 사용 시간 감소 및 냉/난방 부하 감소로 에너지 효율 상승.

• 안전 및 내후성

국가 공인 시험성적기관의 안전 및 내후성 테스트를 통한 인증 제품



2. 테스트 진행을 통한 남향부 특징에 따른 추천 윈도우 필름 사양



필요 성능	최소 사양	특 징
가시광선 투과율(밝기)	60% 이하	실내 채광, 조도 영향 최소
가시광선반사율(거울현상)	25% 이하	거울현상 최소에 따른 반사 최소
유해 자외선 투과율	0.1% 이하	유해자외선 유입 차단
태양열 취득율	0.33 이하	외부 태양 일사량 유입 감소
수정방사율	0.45 이하	단열(보온)성능 강화
안전성능	비산방지성능, 쇼트백 성능 통과	비산 및 외부 충격 방지
내후성	축진 내후성 테스트 통과	품질보증

◆ 북향부 윈도우 필름 테스트 제품 성능 평가 및 추천 사양

1. 추천 근거 및 이유

• 채광 및 조도

실내 적정 채광을 통한 업무 중 눈부심이 적고 추가 조명을 사용하지 않으며, 피로감이나 불쾌감 감소.

• Low-E 기능에 따른 창 유리면 열 손실 최소화

건설기술교육원 창유리 성능 및 두께 등으로 인한 열손실을 최소화를 위해 Low-E 기능이 있는 필름 부착 추천.
Low-E 기능이 있는 필름을 통해 하절기 적정온도 유지, 동절기 열손실 최소로 에너지 절감 효과 목적.

• 건물 외벽의 디자인

건물과 가장 유사한 제품을 추천하고 외부 디자인적요소를 최대한 손상을 끼치지 않는 제품.

• 에너지 절감

적정 실내온도 유지를 통한 냉,난방 사용 시간 감소 및 냉, 난방부하 감소로 에너지 효율 상승.

• 안전 및 내후성

국가 공인 시험성적기관의 안전 및 내후성 테스트를 통한 인증 제품



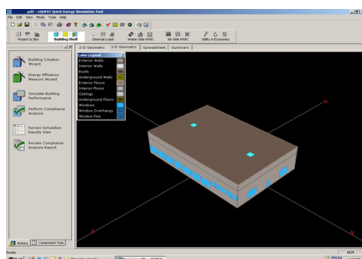
2. 테스트 진행을 통한 북향부 특징에 따른 추천 윈도우 필름 사양



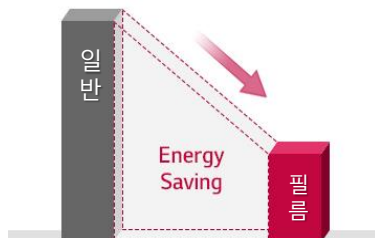
필요 성능	최소 사양	특 징
가시광선 투과율(밝기)	80% 이하	실내 채광, 조도 영향 최소
가시광선반사율(거울현상)	25% 이하	거울현상 최소에 따른 반사 최소
유해 자외선 투과율	0.1% 이하	유해자외선 유입 차단
태양열 취득율	0.33 이하	외부 태양 일사량 유입 감소
수정방사율	0.45 이하	단열(보온)성능 강화
안전성능	비산방지성능, 쇼트백 성능 통과	비산 및 외부 충격 방지
내후성	축진 내후성 테스트 통과	품질보증

에너지절감량/경제성/탄소감축량 평가

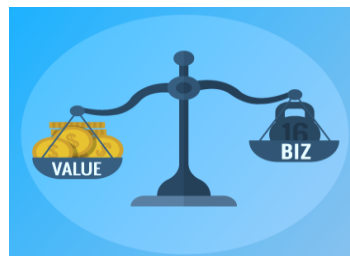
표준건물
에너지 시뮬레이션



필름적용
에너지 절감량 분석



에너지절감액 /
경제성 평가



탄소 감축량 분석



eQUEST 시뮬레이션 분석 ⇒ 에너지절감량

투자비/에너지절감액/탄소배출계수 적용
경제성평가, 탄소감축량 분석

표준 건물 시뮬레이션 (유사 건물에너지 스펙의 표준건물을 대상으로 동적 건물 에너지 시뮬레이션 실시)

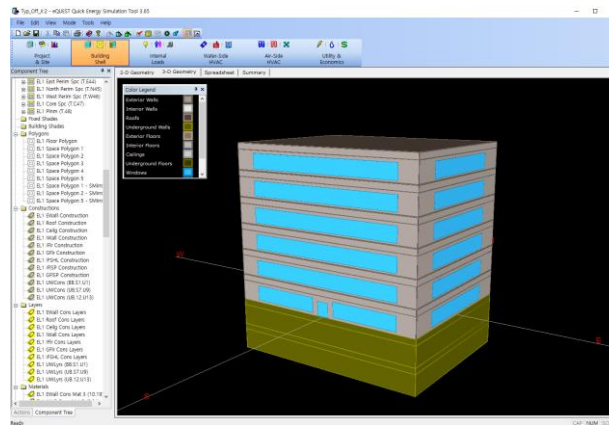
- ◆ 표준건물 : 선행연구(590여개 건물정보 기반)를 통한 업무용 건물 표준 건물 활용
- ◆ 시뮬레이션 프로그램 : DOE-2엔진(미국에너지지성 개발) 기반 eQUEST 활용

표준건물 개요

구분	내용
기상데이터	인천 TMY2
건물용도	교육시설
연면적 (m ²)	4,800
공조면적 (m ²)	3,675
층수(지상)	6
층수(지하)	2
외벽 U-value(W/m ² K)	0.58
지붕 U-value(W/m ² K)	0.406
창 U-value(W/m ² K)	3.36
창면적비 (동)	38
창면적비 (서)	42
창면적비 (남)	47
창면적비 (북)	43
유리종류	복층칼라
실내조명밀도(W/m ²)	5.17
냉난방온도(°C)	26 (냉방)
	21 (난방)

※ 출처 : 건물 에너지소비상설표본조사 연구 (에너지경제연구원, 2016)

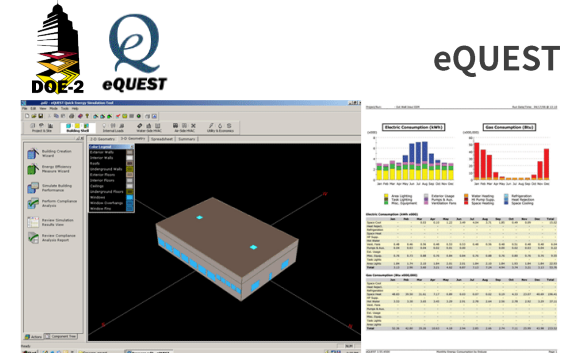
표준건물 eQUEST 모델링



창호면적 : 686.37 m²

대상건물과 유사한 건물에너지 스펙의
표준건물을 대상으로 동적 건물 에너지
시뮬레이션 실시

시뮬레이션 개요



국제 공인 시뮬레이션으로 미국 에너지성(USDOE : Department of Energy)의 지원하에 LBL(Lawrence Berkely Laboratory)에서 개발된 건물에너지해석 DOE-2엔진의 건물 에너지 시뮬레이션 도구

What is eQUEST

eQUEST is the DOE 2 engine with wizards and graphics built on top of it. eQUEST is the most popular energy modeling program in existence. It's used by energy modelers and engineers all over the world. One big contributing factor to its popularity is its cost, FREE, and the fact that it's built on the DOE 2 simulation engine. The other benefit of eQUEST is that it can be used at every stage of building development, from the early designs to final stages.

Using eQUEST

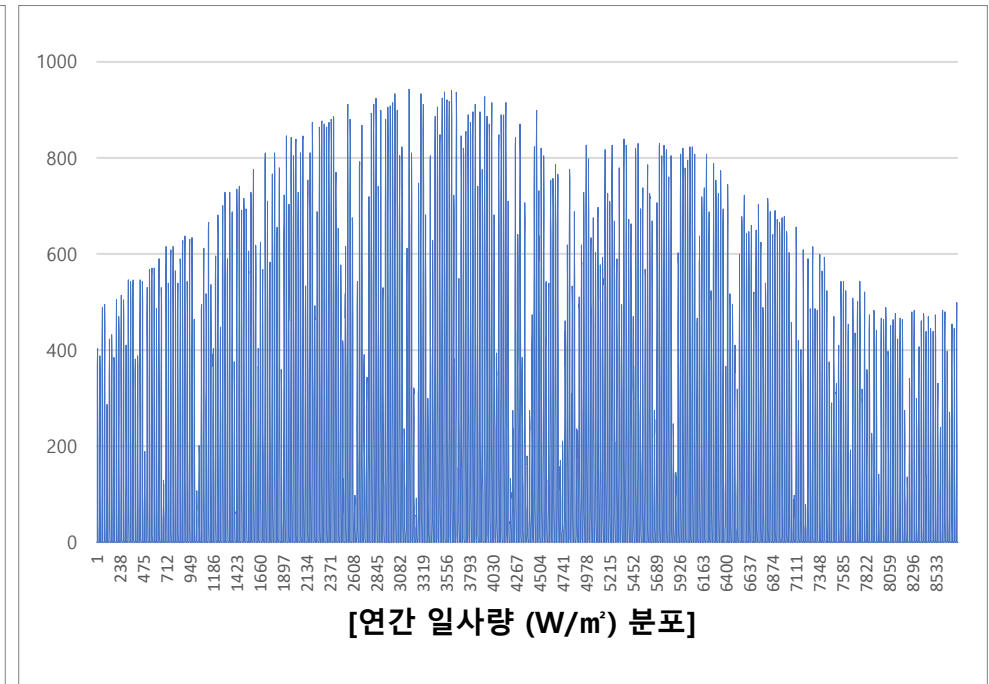
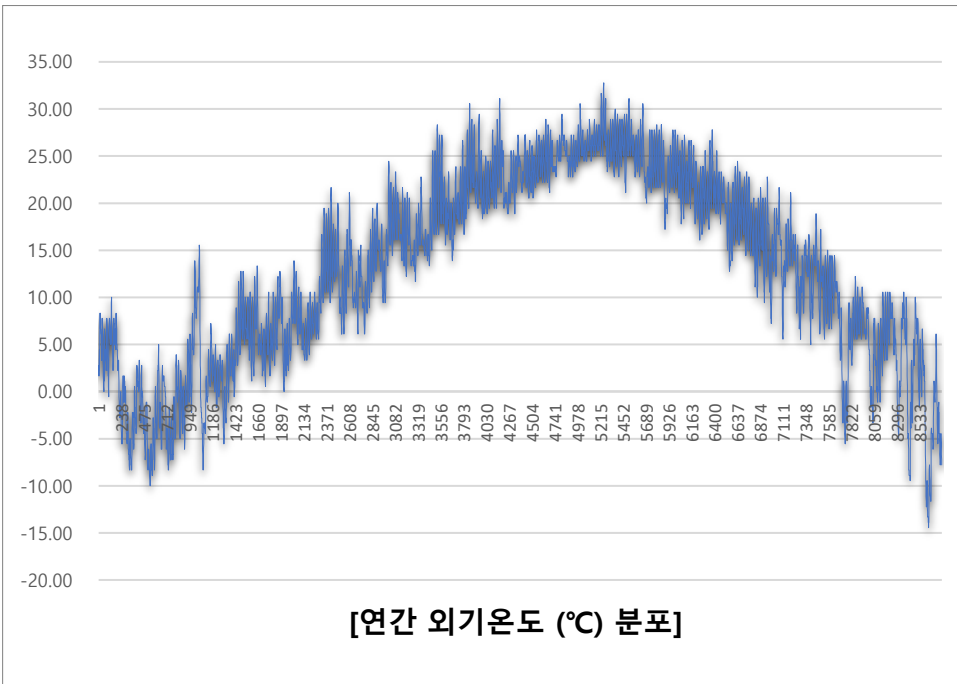
eQUEST allows you to import building geometry from architectural models. Or you can construct a building envelop within the program. From there you can run simple simulations or very complex models. There are three input wizards in eQUEST that all have differing levels of complexity, or you can use the detailed DOE-2 interface. They wizards are as follows: Schematic Design Wizard (simple inputs), Design Development Wizard (detailed input) and Energy Efficiency Wizard. Each wizard has extensive default inputs that are based off California Title 24 building energy code. Long-term average weather data (TMY, TMY2, TMY3, etc.) for 1000+ locations in North America are available via automatic download from within eQUEST (requires Internet connection).

필름 적용 에너지 절감량 분석 (대상건물이 위치한 지역의 표준 기후 데이터 확인)

기상데이터 : 인천 TMY

◆ TMY : 표준기상데이터(Typical Meteorological Year)

기간부하용 동적 건물에너지 시뮬레이션을 위해 1년 8760시간에 대한 시간별 기상자료(20년 통계) 형식이며, 건물에너지부하에 영향을 주는 일사량, 외기온도, 습도, 대기압, 풍향/풍속 등이 포함되어 있음.

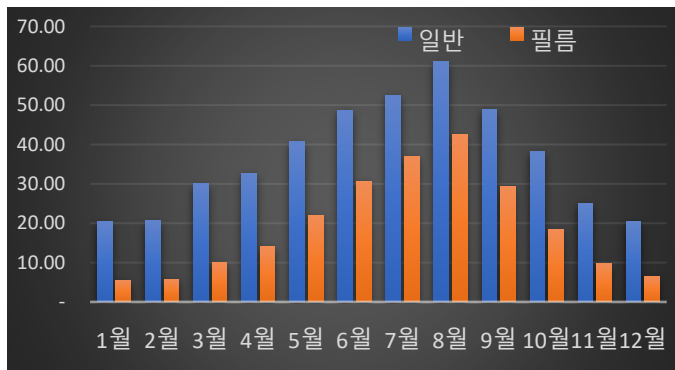


필름적용 에너지 절감량 분석 시뮬레이션 결과 (표준건물을 대상으로 필름적용에 따른 단위면적당(m²) 에너지 절감량 평가)

필름적용 창호 단열성능

구분	단열성능(U)	일사열 차단성능(SHGC)	부착 방위(향)
일반 (표준 건물)	3.36 W/m²K	0.78	-
필름 적용 건물	3.02 W/m²K	0.2	남향 / 동향 / 서향
	2.85 W/m²K	0.33	북향

냉방부하(MWh)



• 연간 냉방부하 절감량 : 207.96 MWh/a

- 일반(표준 건물) 연간 냉방부하 : 439.45 MWh

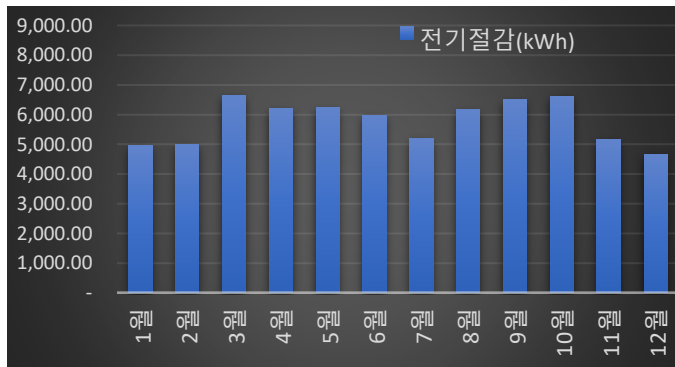
- 필름 적용 연간 냉방부하 : 231.49 MWh

연간 필름 적용 창호 냉방에너지 절감량

167.65 kWh/m²a

※ 연간 에너지절감량 ÷ 창호부착면적 × 향별 절감가중 비율
⇒ 69,319.63 kWh/a ÷ 686.37 m² × 1.66

필름 적용 냉방에너지(전기) 절감량(kWh)



• 연간 에너지(전기)절감량 : 69,319.63 kWh/a

* 전기에너지 산정기준 냉방기기 COP 3적용

* COP = 출력냉방부하(kWh)/투입전력량(kWh)

⇒ 207.96 MWh/3(COP) = 69,319.63 kWh/a

필름 적용 경제성 평가 (실제 부착면적에 따른 에너지절감액 및 내구연한동안의 경제성 분석)

연간 필름적용 창호 냉방에너지 절감액

24,287.56 원/m²a

※ 연간 에너지절감량 × 연평균 전력요금 ÷ 창호부착면적 × 항별 절감가중 비율
⇒ 69,319.63 kWh/a × 142.91원/kWh ÷ 686.37 m² × 1.66

경제성 평가(현가법)

현재가격은 물가상승률(j)에 따라 미래의 비용(FC; Future Cost)이 되며, 미래의 비용은 할인률(d)에 의해 현재 가치(PW ; Present Worth)가 됨.

필름부착면적	458.08	m²
부착비	135,000	원/m²
투자비	61,841,340	원
냉방에너지절감량	76,798.22	kWh/a
냉방에너지절감액	11,125,744.02	원/a
에너지물가 상승률	1.8	%
할인률	5.5	%
내구연한	10	년

계산식

$PW(n,d) = \frac{FC}{(1+d)^n}$
 d : 할인율
 n : 시간(년)
 $FC(n,j) = AP(1 + \frac{j}{100})^n$
 AP : 연간 판매액(원)
 j : 물가상승률

내구연한	년간판매액(FC)	년간 수익 (PW)	누적 수익 (PW 합)
0			
1	11,326,007	11,326,007	10,735,552
2	11,529,876	11,529,876	10,359,045
3	11,737,413	11,737,413	9,995,742
4	11,948,687	11,948,687	9,645,180
5	12,163,763	12,163,763	9,306,913
6	12,382,711	12,382,711	8,980,509
7	12,605,600	12,605,600	8,665,553
8	12,832,500	12,832,500	8,361,643
9	13,063,485	13,063,485	8,068,391
10	13,298,628	13,298,628	7,785,424

Payback 6년
순 편익 약 3,000만

이산화탄소(CO2) 감축량

$$76,798.22 \times 0.4594 \div 1000 = 35.28 \text{ tCO}_2/\text{a}$$

* 연간에너지절감량(kWh) x 전력 CO2 배출계수(0.4594 tCO₂eq/MWh) ÷ 1000

* 출처 : 한국에너지공단

내구연한
(10년)

352.81
(tCO₂)

탄소(C) 감축량

$$76,798.22 \times 0.125 \div 1000 = 9.60 \text{ tC/a}$$

*연간에너지절감량(kWh) x 전력 탄소 배출계수(0.125 tCeq/MWh) ÷ 1000

* 출처 : 한국에너지공단

내구연한
(10년)

96.00
(tC)

건설기술교육원 본관 윈도우 필름 부착 최종 결론

◆ 외벽 유리부 에너지 진단 결과 및 에너지 절감 효과

1. 테스트 결과

- 건설기술교육원은 남향부 하절기 창유리에 의한 외부 일사 유입량이 높고 일사 유입으로 실내온도 상승, 온도 불균형, 냉방기 사용과 냉방부하 상승 등의 문제 발생.
- 북향부는 환절기 및 동절기 창유리를 통한 열손실로 실내온도 감소 및 난방기 사용 증가와 효율성에 문제가 있음. 이에 대해 기능성 윈도우 필름 부착으로 정부정책에 따른 에너지 절감 및 적정 실내온도 유지에 탁월한 효과가 있을 것으로 사료됨.



2. 제품 추천 사양

- 에너지 공단 에너지 성능지표에 의거하여 태양열 유입에 의한 냉·난방부하를 저감 할 수 있도록 일사조절장치, 태양열투과율, 창 면적비 등을 고려하여 건설기술교육원 본관 특성에 맞는 적합한 윈도우 필름 제안하고 비, 바람, 눈, 고드름 등의 낙하 및 화재 등의 사고에 대비하여 안전성을 검토하고 주변 건축물에 빛 반사에 의한 피해 영향을 고려하여 제품 사양을 추천함.

3. 제품 사양에 따른 건설기술교육원 본관 에너지 절감 효과

- 창유리 단열성능과 태양열 취득률 향상에 따른 효과는 다음과 같다.

• 경제성 분석 결과

필름부착면적	458.08 m ²
부착비	135,000 원/m ²
투자비	61,841,340 원
투자비 회수기간	6 년
편익 수익	약 3,000 만원

• 에너지 절감 효과

구 분	절감량
연간 냉/난방부하 절감량	207.96 MWh/a
필름 적용 냉/난방부하	231.49 MWh
냉방에너지 절감량	167.65 kWh/m ² a
연간 에너지 절감량	69,319.63 kWh/a

• 이산화탄소, 탄소 감축효과

구 분	감축량
연간 이산화탄소(CO ₂) 감축량	35.28 tCO ₂ /a
총 이산화탄소(CO ₂) 감축량	352.81 tCO ₂
연간 탄소(C) 감축량	9.60 tC/a
총 탄소(C) 감축량	96.00 tC



감 사 합 니 다