

창호의 투과율과 블라인드 슬랫각도에 따른 빛환경 및 에너지성능 비교 연구

심세라*, 윤종호**, 신우철***

*한밭대학교 대학원 건축공학과(simsera1110@naver.com), **한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr)
***대전대학교 건축공학과(shinuc@dju.ac.k)

Comparative Studies on Lighting Environment and Energy Performance depending on the Transmittance of Window and Slat Angle of Blind

Sim, Se-Ra*, Yoon, Jong-Ho**, Shin, U-Cheul***

*Dept. of Architecture Engineering, Graduate School, Hanbat National University(simsera1110@naver.com),
**Dept. of Architecture Engineering, Hanbat National University(jhyoon@hanbat.ac.kr)
***Dept. of Architecture Engineering, Daejeon University(shinuc@dju.ac.k)

Abstract

Recently, curtain wall structure is constructed according to increasing high rise building. Glass is usually used in opening of curtain wall structure and window area ratio is finally increased. Excessive Daylighting and solar radiation by large window area ratio cause discomfort glare and add to cooling load in the case of office that is heavy on lighting and cooling. Therefore, this study suggests to use low transmittance window for solve those problems. Indoor lighting environment and building energy performance were analyzed by increasing transmittance from 10% to 90% and comparing fixed venetian blind. Consequently, the range of transmittance that is possible to daylighting and prevent discomfort glare. Secondary energy consumption is efficient in the case that transmittance is the range of from 20% to 50%, primary energy consumption is nice on from 20% to 40%. If those result put together, the range of window transmittance from 30% to 50% is proper in the office in lighting environment and energy consumption aspects.

Keywords : 빛환경 (Lighting environment), 베네치안 블라인드 (Venetian blind), 조명제어(Dimming control), 건물에너지소비량 (Building Energy Consumption), 1차 에너지(primary energy), 2차 에너지 (secondary energy)

1. 서 론

1.1 연구의 목적

최근 도심지의 토지 고도 이용 및 건축기술의 발달로 인하여 건물의 고층화가 야기되었으며, 외피의 경량화가 불가결하게 됨에 따라 비내력 칸막이벽인 커튼월 공법을 사용하게 되었다. 커튼월의 개구부는 주로 유리를

사용하는데, 유리 외피면적의 증가를 통해 건물의 외관을 미래지향적이고 하이테크(high-tech)한 이미지 부여가 가능하게 되면서 커튼월 유리구조가 많이 선호되고 있다.

커튼월 구조 방식에 의한 유리 외피면적의 증가는 곧 건물에서의 창면적비 증가로 볼 수 있으며, 따라서 다량의 광 및 열이 창을 통하여 실내로 유입되게 된다. 유리외피를

통한 주광의 적절한 이용은 시쾌적과 조명 및 난방에너지를 절약할 수 있는 중요한 요소로 작용하여 재실자에게 심리적, 물리적으로 긍정적인 환경을 제공한다. 반면 주광이 실내로 과도하게 유입될 경우에는 현휘 등의 시각적 불쾌감이 유발되며, 특히 냉방 및 조명부하의 비중이 큰 사무소 건물의 경우 냉방에너지소비량이 크게 가중되어 전체 에너지소비량이 증가하는 결과를 초래한다.

이러한 문제점을 해결하기 위해 커튼월 구조 사무소건물에서는 내부에 롤셰이드 형태의 블라인드를 설치하여 사용하고 있는데, 빛과 열을 필요에 따라 유입 또는 차단하는 효율적 운영 형태가 아니라 오전에 주광을 차단한 상태로 오후까지 고정된 상태로 그대로 두고 있는 비효율적 운영형태를 유지하고 있는 것으로 나타났다.[1] 롤셰이드형태의 블라인드는 한번 차단하면 외부 조망이 불가능하고 동시에 실내를 밝혀줄 빛의 양이 감소되어 조명시스템을 작동시켜야만 한다. 이러한 형태의 블라인드 운영은 사무소건물에서 효율적인 주광 이용을 위한 최선의 해결책이 될 수 없으며, 이를 해결하기 위해서는 다음과 같은 대안이 고려될 수 있다. 첫째, 기존의 커튼월 유리를 투과율이 낮은 유리로 대체함으로써 직사일광을 산란시켜 현휘를 방지하고, 외부 조망 및 가시성을 확보하는 것이다. 실내외 조명조건 및 시각적 쾌적성에 영향을 미치는 주요인은 조도와 휘도보다 투과율 변화에 의해 형성된 시환경이기 때문에 쾌적한 시환경을 확보하기 위해 적정 투과율 범위를 산정할 필요가 있다. 이를 통해 블라인드 작동의 불편함을 해소할 뿐만 아니라 블라인드를 설치하는 초기설치비가 절감되는 효과를 얻을 수 있다. 둘째, 가동형 블라인드의 적절한 제어를 통해 빛과 열의 효율적 이용이 가능하는 것이다. 이 경우 필요 이상의 일사를 차단하여 냉방부하를 줄이고 현휘현상을 방지할 수 있으나, 블라인드 가동할 경우 외부조망이 차단되는 단점을 여전

히 안고 있다.

기존의 선행연구는 베네시안 블라인드의 불쾌현휘[2],[3] 및 주광률[4] 등 빛환경 평가를 중심으로 블라인드 자체의 성능개선이 중심이 되어 왔으며, 일부는 가동형 블라인드에 의한 건물 에너지성능 저감효과[5]를 예측하였다. 하지만 블라인드 초기설치비 절감 및 외부 조망 확보가 가능한 창호의 적정 투과율 범위에 대한 연구는 미비한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 위의 배경 하에 커튼월 구조 유리 외피의 효율적 이용을 위해 투과율별 창호의 빛환경 및 건물에너지성능평가를 수행하고, 이를 슬랫각도별 베네시안 블라인드와 비교하여 블라인드를 대체할 수 있는 적정 투과율 범위를 제안하고자 한다.

1.2 연구 방법 및 범위

본 연구에서는 현휘현상을 방지하고 블라인드를 대체할 수 있는 창호의 투과율 범위를 제안하기 위해 투과율을 10~90%까지 증가하면서 빛환경을 평가하였다. 벽면적대비 유리외피의 면적비가 100%인 커튼월구조의 특성상 실내로 풍부한 빛이 유입된다는 가정 하에 건축법에 명시되어 있는 최소 주광율에 대한 고려를 배제하고 현휘에 대한 집중적인 분석을 수행하였다. 분석에는 DGP(Daylight Glare Index), DA(Daylight Autonomy), UDI(Useful Daylight Illuminance) 의 평가지표를 이용하였다.

또한 투과율별 창호와 고정형의 슬랫각도별 베네시안 블라인드를 사무소에 적용하고, 조명제어시스템과 연계하여 냉방, 난방, 조명에너지소비량을 비교하였다. 이를 통해 빛환경 및 건물에너지 성능을 동시에 만족하는 투과율 범위를 선정하였다.

2. 이론 고찰

2.1 빛환경 평가지표

빛에 대한 시각적 쾌적감 및 빛환경 성능에

있어서 조도, 현휘와 같은 성능 지표뿐만 아니라 빛의 방향성, 분배성도 매우 중요한 요인이다. 기존의 주광율법(Daylight factor method)은 담천공상태를 기준으로 외부 장애물이 존재하지 않는다는 가정하에 외부 천공조도에 대한 내부 수평면 조도를 계산하기 때문에 방향성을 가지는 직달일사의 영향이 고려되지 않을 뿐만 아니라 천공의 휘도치의 영향을 받지 않는다.

직달일사의 입사는 조도의 불규칙, 휘도 대비의 증대, 반사 현휘 등을 일으키기 때문에 창면적비가 큰 커튼월 구조 사무소건물의 빛환경 평가에 반드시 고려가 되어야 하는 요소이다. 따라서 광선의 경로를 하나하나 추적하여 눈에 들어오는 빛을 찾아내는 광선추적기법을 활용한 평가방법을 적용해야 한다.

(1) 불쾌현휘 및 DGP

시야 내에 눈이 순응하고 있는 휘도보다 현저하게 높은 휘도 부분이 있거나 휘도 대비가 큰 부분이 있으면 눈부심 현상이 일어나고 보는 데 방해가 되며, 불쾌감을 느끼게 된다. 이것을 현휘라고 하는데, 보는 데 방해가 되는 경우를 감능현휘(Disability Glare), 불쾌감을 느끼게 되는 경우를 불쾌현휘(Discomfort Glare)라 한다. 현휘는 대상광원의 휘도가 높을수록, 대상광원의 면이 넓을수록, 대상광원이 시선에서 가까울수록, 배경휘도가 낮을수록 발생정도가 심해진다.

본 연구에서는 현휘로 인해 불쾌감을 느끼는 확률 지표인 DGP(Daylight Glare Probability)를 이용하여 불쾌현휘를 평가하였으며, DGP의 계산식은 다음과 같다.

$$DGP = 5.87 \times 10^{-5} E_v + 9.18 \times 10^{-2} \log \left(1 + \sum_i \frac{L_{s,i}^2 \omega_{s,i}}{E_v^{1.87} P_i^2} \right) + 0.16$$

E_v = vertical eye illuminance ω = 입체각
 L_s = 광원휘도 P = Position index

표 1 DGP의 현휘지수

현휘지수 (%)	감지 정도
35 미만	적합한 시쾌적 성능을 유지
35-40	현휘발생에 대해 지각할 수 있는 정도
40-45	작업에 지극히 지장을 주는 정도
45 초과	견딜 수 없는 정도

DGP는 수직면 조도가 큰 변수로 작용한다. 위치지수와 광원의 후위, 크기 등도 변수로 작용하지만 그 영향이 수직면 조도에 비해 크지 않아 DGP값은 수직면 조도에 비례하는 경향이 있다. 따라서 직사일광이 많이 유입되는 경우 수직면 조도가 높아져 DGP값은 커진다.

(2) DA (Daylight Autonomy)

DA는 동적 자연채광 평가방식으로 기상데이터를 기반으로 해당지역의 기후, 위도, 경도, 시간에 따라 변하는 태양의 고도각 및 방위각, 직달일사 등이 고려된다. 즉, 일과시간(08:00~18:00)을 기준으로 연간 자연채광만으로 기준 조도를 초과하는 총 시간의 합을 전체 시간에 대한 비율로 나타낸 것이다.

(3) UDI (Useful Daylight Illuminance)

UDI 역시 DA와 마찬가지로 기상데이터를 기반으로 하는 자연채광 성능지표라고 할 수 있으며, DA와는 기준 조도에 차이가 있다. UDI는 실내 거주자의 시각적 쾌적감과 열획득을 고려하여 실내의 유용한 조도 범위를 정하고 하루 일과시간 중 이 범위에 얼마나 만족하는지를 백분율로 나타내는 방법이다.

100lux 이하는 자연채광만으로 불충분하여 인공조명의 배치가 요구되며, 100~500lux의 경우 효율적이지만 인공조명이 함께 고려가 되어야 한다. 500~2000lux는 눈부심 등의 시각적 불쾌감 없이 순수히 자연채광만으로도 충분히 실내 조도를 유지할 수 있다고 보며, 2000lux이상은 시각적, 열적으로 불쾌감을 야기시킬 수 있다고 보고 있다.

3. 해석모델 및 대상의 개요

해석 모델은 벽면적대비 창면적비(플레넘 부분 제외)가 100%인 커튼월구조의 사무소 건물 기준층으로, 위치는 대한민국 대전, 정남향이다.

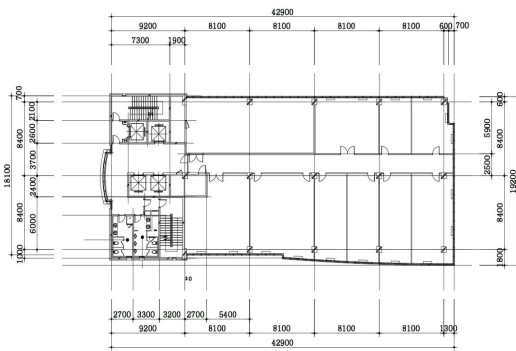


그림 4. 해석에 적용된 사무소 평면도

표 2. 해석모델의 외벽 물성

	재료	두께 (mm)	열전도율 (W/m·K)	밀도 (kg/m ³)	비열 (J/kg·K)	열관류율 (W/m ² ·K)
외벽	화강석	30	2.9	2,650	900	0.504
	단열재	60	0.03	25	1,000	
	중량콘크리트	50	1.4	2,100	653	
	시멘트모르타	10	0.88	1,200	1,000	
내벽	중량콘크리트	200	1.4	2,100	653	0.298
	시멘트모르타	20	0.88	1,200	1,000	
층간	시멘트모르타	30	0.88	1,200	1,000	0.356
바닥	중량콘크리트	150	1.4	2,100	653	

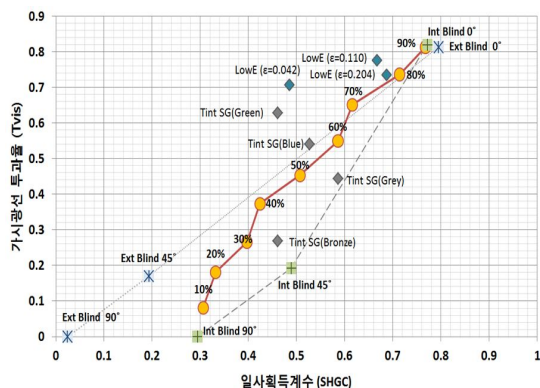


그림 5. 해석대상 창호의 투과율과 일사획득계수의 관계

표 3 투과율별 창호 및 블라인드의 물성

	Transmittance		SHGC	U-Value (W/m ² ·K)	출처
	Single Glass	Double Glazing			
	10%	0.081	0.306	2.699	Window 6 Library
	20%	0.181	0.332		
	30%	0.266	0.397		
	40%	0.373	0.424		
	50%	0.453	0.507		
	60%	0.549	0.586		
	70%	0.651	0.616		
	80%	0.736	0.714		
	90%	0.813	0.772		
	블라인드	0°	0.811		
30°		0.391	0.598	2.471	
45°		0.192	0.489	2.434	
60°		0.110	0.415	2.392	

표 4. 내부발열요소

인체	조명	기기
10m ² /person (현열65W/인, 잠열54W/인)	13.5W/m ²	7.1W/m ²

표 2와 3은 해석모델의 벽체 및 창호, 블라인드의 물성을 나타낸 것이다. 설정온도는 난방 20℃, 냉방 26℃이며, 건물 채실시간은 주중 오전 8시부터 오후 6시까지로 주말은 사용하지 않는 것으로 가정하였다. 또한 K-2000 설계기준안에 따라 침기 0.1회/hr, 내부발열 조건을 표 5와 같이 설정하였다.

4. 분석 결과

4.1 빛환경 평가 결과

빛환경 평가모델은 너비 8m, 깊이 8m, 바닥 면적 64m²의 기준층의 남향 단위실이며, 실의 내부 반사율은 벽면 50%, 바닥 30%, 천정 80%이다.

(1) DGP분석 결과

DGP는 실의 정 중앙에서 채실자의 앉은 자세에서의 눈높이인 1.1m에서 계산되었으며, DGP의 값이 35이상일 경우 불쾌현회가 발생하는 것으로 가정하였다. 해석에는 CIE 청천공 (CIE Clear Sky model)모델을 이용

하였으며 주광의 영향이 가장 많은 정남향을 기준으로, 투과율별 창호(10%~90%) 및 유형별 블라인드(슬랫각도 0°, 30°, 45°, 60°)를 설치하였을 경우의 DGP를 평가하였다.

겨울철의 경우 태양 고도각이 낮아 실 깊숙이까지 주광의 영향이 미치지 때문에 태양고도에 따라 블라인드의 일사차단 성능이 달라진다. 따라서 이러한 영향을 고려하기 위해 동지(12월 21일)와 하지(6월 21일)의 태양이 남중한 시간인 12시 15분을 기준으로 평가를 수행하였다.

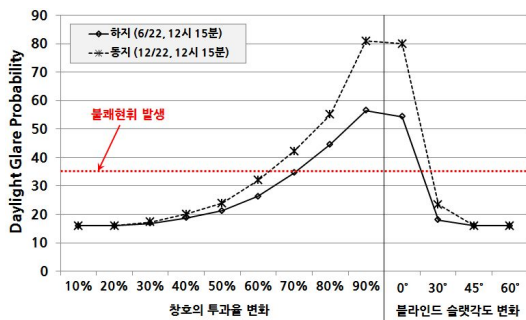


그림 6. DGP(Daylight Glare Probability) 평가 결과

평가 결과, 동지 및 하지의 불쾌현황이 발생하지 않을 최대 투과율은 각각 60%, 70%이며, 블라인드의 경우 0°를 제외한 슬랫각도범위에서는 불쾌현황이 발생하지 않는 것으로 나타났다.

또한 DGP지수를 통해 분석한 결과 슬랫각도 0°와 30°는 각각 투과율 90%와 50%, 슬랫각도 45°이상부터는 투과율 20%미만에 해당하는 것으로 나타났다. 하지만 정량적 분석을 위해서는 슬래트의 반사율에 따른 추가분석이 필요할 것으로 판단된다.

(2) DA 분석 결과

DA 분석결과, 투과율 30%이하 및 슬랫각도 45°이상부터는 반드시 인공조명의 도입이 요구되며, 투과율 80%이상, 슬랫각도 0°의 블라인드는 연간 전체 시간 중 40%이상을 자연채광만으로도 기준조도를 만족할 수 있

는 것으로 분석되었다.

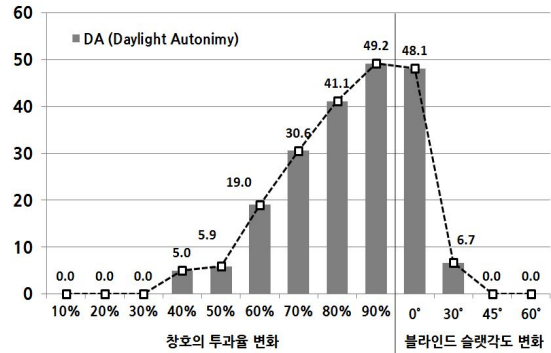


그림 7. DA (Daylight Autonomy) 분석 결과

(3) UDI 분석 결과

UDI의 경우, 3단계의 유용조도 초과 범위에 따라 실내 유용조도 만족 비율을 그림 6과 같이 그래프로 나타내었다.

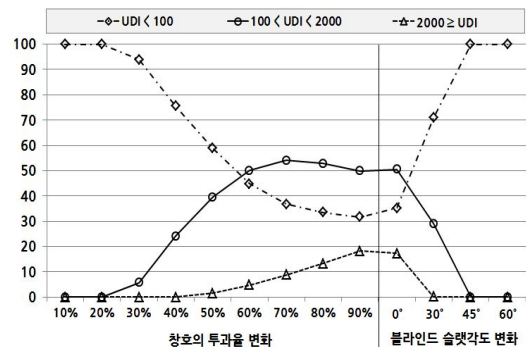


그림 8. UDI (Useful Daylight Illuminance) 분석 결과

분석 결과, 투과율 20%이하, 슬랫각도 45°이상부터는 자연채광만으로는 기준조도 500lux를 100% 만족시킬 수 없는 것으로 나타나, 인공조명에 의존하여 실내 조도수준을 충족시켜야 하는 것으로 나타났다. 투과율 50~60%의 경우 시각적 불쾌감 없이 충분한 실내조도를 유지할 수 있지만, 그 이상의 투과율 및 슬랫각도 0°의 블라인드에서는 창면 가까이에서 시각적·열적으로도 불쾌감이 발생할 수 있는 것으로 분석되었다.

4.2. 건물에너지 성능평가

창호의 투과율 및 블라인드의 설치각도에 따른 냉방, 난방, 조명에너지소비량 평가에는 ESP-r¹⁾ 프로그램이 사용되었다. 또한 창호의 투과율 변화에 따라 달라지는 조명장치의 사용패턴을 반영하기 위해 조명제어시스템을 적용하였으며, 실내 조도 수준이 500lux 이상(작업면 기준 0.85m)이 되면 조명밀도를 감소시키도록 설정하였다.

(1) 2차에너지 소비량

그림 7과 표 5는 창호의 투과율 및 블라인드 유형별 냉방, 난방, 조명에너지소비량 평가결과를 나타낸 것이다.

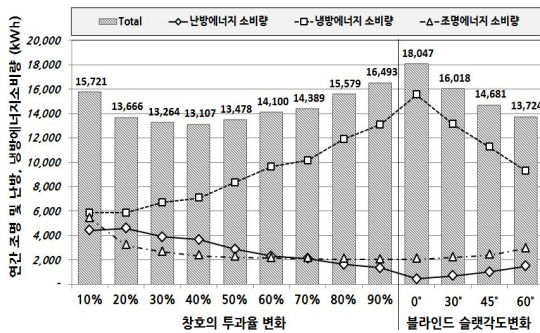


그림 9. 2차 에너지소비량 결과

표 5. 난방, 냉방, 조명에너지소비량 비교분석 결과

(kWh)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
난방	4,421	4,589	3,896	3,681	2,885	2,302	2,121
냉방	5,878	5,880	6,717	7,080	8,360	9,640	10,159
조명	5,422	3,197	2,651	2,345	2,233	2,157	2,108
합계	15,721	13,666	13,264	13,107	13,478	14,100	14,389

(kWh)	80%	90%	Blind			
			0°	30°	45°	60°
난방	1,622	1,368	451	715	1,019	1,483
냉방	11,896	13,087	15,542	13,109	11,261	9,311
조명	2,061	2,038	2,055	2,194	2,401	2,930
합계	15,579	16,493	18,047	16,018	14,681	13,724

1) ESP-r(Environmental System Performance-reference)은 유한체적법을 기본 알고리즘이 적용된 건물에너지 성능평가 프로그램이다.

그래프에 나타난 바와 같이, 조명에너지소비량의 경우 투과율이 최대 변수이기 때문에 투과율이 증가할수록 소비량이 감소되는 패턴을 보였다. 난방에너지소비량은 투과율에 따른 실내 유입 태양복사량과 조명으로부터의 발생 열이 클수록 그 소비량이 감소되는데, 전반적으로 투과율이 클수록 난방에너지 소비량이 감소되는 패턴을 나타냈다. 하지만 투과율 10%에서 20%로 증가했을 경우를 살펴보면 오히려 난방에너지가 증가한 것을 알 수 있는데, 이는 조명에너지가 크게 저감되면서 조명으로 인한 획득 열도 함께 감소되어 난방에너지가 증가되었기 때문이다. 즉, 조명제어시스템이 설정조도 500lux이하일 경우 점등하기 때문에 투과율이 가장 낮은 10%에서 500lux이하일 경우의 빈도가 더 높아 이러한 결과가 나타난 것으로 판단된다.

조명, 난방, 냉방에너지소비량을 모두 합산한 결과, 투과율 40%의 창호가 연간 총 13,264kWh를 소비하면서 건물에너지측면에서 가장 효과적인 것으로 분석되었다. 또한 슬랫각도 30°의 블라인드는 투과율 90%, 슬랫각도 45°와 60°는 각각 70%, 20%에 상응하는 것으로 나타났다. 따라서 사무소와 같이 난방보다는 조명과 냉방에너지 소비 비중이 큰 건물에서는 투과율 20%이상, 50%이하의 창호 또는 슬랫각도 60°의 블라인드를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다. 하지만 실내 설정온도 및 창면적비에 따라 부하의 패턴이 달라지기 때문에 다양한 조건에서의 해석이 필요할 것으로 사료된다.

(2) 1차에너지소비량

1차에너지는 천연자원 상태에서 공급되는 에너지를 말하는 것으로, 석탄, 석유, 천연가스, 수력, 원자력 등과 같이 전환과정을 거치지 않은 에너지를 의미한다. 보일러의 경우 석유가 지니고 있는 열량의 대부분이 열로 변환하지만, 전기는 석유를 통해 터빈을 돌리고 이 운동에너지가 전기로 변하기 때문에

그만큼 비효율적이다²⁾. 따라서 전력생산 및 연료의 운송 등에서 손실되는 손실분을 고려하기 위해서 연료의 경우 1.1, 전력의 경우 2.75의 환산계수를 적용하여 계산한다.

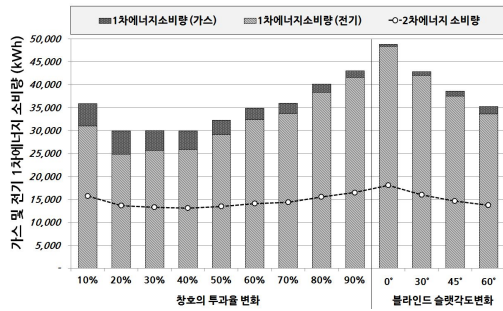


그림 10. 1차에너지소비량

표 6. 난방, 냉방, 조명에너지소비량 비교분석 결과

(kWh)	10%	20%	30%	40%	50%	60%	70%
난방	4,863	5,048	4,286	4,050	3,174	2,533	2,333
냉방	16,165	16,171	18,471	19,471	22,989	26,511	27,938
조명	14,911	8,790	7,292	6,448	6,141	5,933	5,798
합계	35,938	30,009	30,048	29,969	32,303	34,976	36,069

(kWh)	80%	90%	Blind			
			0°	30°	45°	60°
난방	1,784	1,505	496	786	1,120	1,631
냉방	32,715	35,990	42,741	36,051	30,968	25,605
조명	5,668	5,605	5,650	6,033	6,603	8,057
합계	40,167	43,100	48,886	42,870	38,692	35,293

조명, 난방, 냉방의 2차에너지소비량을 전기와 연료(가스)로 구분하여 1차에너지소비량으로 환산한 결과, 그림 8에 나타난 바와 같이 전반적으로 2차에너지소비량에 비해 약 2배 증가한 것을 알 수 있다. 또한 국가관점에서는 투과율 20%~40%의 창호가 가장 효과적인 것이며, 전반적으로 냉방 및 조명 등의 전기에너지소비량이 큰 경우에 전기의 생산효율로 인하여 더 많은 1차에너지가 투입된 것으로 분석되었다.

따라서 국가 에너지관점에서 본다면, 고정형의 베네시안 블라인드를 설치하는 것보다

투과율이 20~40%인 창호를 사용하는 것이 더 바람직하다고 판단된다.

5. 결 론

본 연구에서는 현휘방지 및 자연채광이 가능하고 건물에너지성능이 우수한 창호의 투과율 범위를 제안하기 위해 투과율을 10~90%까지 증가하면서 실내 빛환경 및 건물에너지 소비량을 평가하였다. 주요 결과는 다음과 같다.

첫째, DGP지수에 따른 불쾌현휘 분석 결과, 태양고도가 가장 낮은 동지와 가장 높은 하지에 투과율이 60% 초과 또는 블라인드 슬랫각도 0°에서는 견딜수 없는 정도의 현휘가 발생하는 것으로 분석되었다.

둘째, DA의 경우 투과율 30%이하 및 슬랫각도 45°이상의 블라인드는 반드시 인공조명의 도입이 요구되는 것으로 나타났다.

셋째, UDI에 의한 해석 결과로는 투과율 50~60%의 경우 시각적 불쾌감없이 충분히 실내조도를 유지할 수 있지만, 그 이상의 투과율 및 슬랫각도 0°의 블라인드에서는 시각적, 열적 불쾌감이 유발되는 것으로 나타났다.

넷째, 2차에너지소비량의 경우 사무소와 같이 난방보다는 조명과 냉방에너지 소비 비중이 큰 건물에서는 투과율 20%이상, 50%이하의 창호 또는 슬랫각도 60°의 블라인드를 설치하는 것이 바람직할 것으로 판단된다.

다섯째, 1차에너지소비량의 경우 전기의 생산효율을 고려하여 고정형의 베네시안 블라인드를 사용하는 것보다 투과율이 20~40%인 창호가 더 효율적인 것으로 나타났다.

여섯째, 상기의 분석결과를 종합해볼 때, 투과율30%~50%의 창호가 빛환경 및 건물에너지측면에서 효과적인 범위라고 판단된다.

추후 가동형 블라인드 적용 및 실내 반사율 조절 등 다양한 조건에서의 해석을 수행할 예정이다.

2) 한국패시브협회(Passive House Institute Korea) www.phiko.kr

후 기

본 연구는 교육과학기술부의 연구비지원으로 수행되었음 (과제번호 : 2011-0027338)

참 고 문 헌

1. 오피스건물의 채실자 블라인드 사용실태 분석, 백주영, 여명석, 김지현, 김광우, 대한건축학회 논문집 2006.12
2. 채광창의 평균휘도가 불쾌글레어의 주관평가에 미치는 영향, 김원우, 신인중, 한국생활환경학회지, 제 11권 제 2호 2004.
3. RADIANCE 소프트웨어를 이용한 롤러셰이드와 베니션 블라인드에 의한 실내 주광 분포 분석 및 창면 글레어(DGI)평가, 대한건축학회 학술발표대회 논문집, 2007.10
4. RADIANCE 프로그램을 이용한 베네치안 블라인드의 차양특성 분석, 복다연, 송규동, 대한건축학회 논문집 2004.10
5. 최적화 알고리즘을 이용한 실내 블라인드 최적제어 전략, 김덕우, 박철수, 한국건축친환경설비학회 추계학술발표대회 논문집, 2008.10
6. 기상데이터 기반 동적 자연채광 시뮬레이션을 이용한 유용조도 분석에 관한 연구 대한건축학회 논문집, 고동환, 2010.06
7. F. Gugliemetti, Visual and energy management of electrochromic windows in Mediterranean climate, Building and Energy, 2002.05
8. J.Karlsson, Control strategies and energy saving potentials for variable transmittance windows versus static windows, Building Simulation, 2001.08
9. LBNL, Therm5, WINDOW5 NFRC Manual