

시뮬레이션을 이용한 태양반사광 평가에 관한 연구

A Study of Reflected Sunlight Evaluation using Simulation Program

정 유 근*

Chung, Yugun

Abstract

Recently, light pollution cases caused by reflected sunlight due to the high reflective exterior buildings have been frequently reported. A simulation is a useful tool for analyzing the effects reflected sunlight, one of the import environmental issues, and finding solutions. This study aims to evaluate the effect of reflected sunlight by simulation and to examine its effectiveness. For this, the characteristics of various light environment simulation programs were analyzed. Also, the effect of reflected sunlight was evaluated using Ecotech and Relux programs. As results, it was analyzed that the reflected sunlight occurs for about 4 hours, but the period that can cause visual glare is between 11 am to 1:30 pm. In addition, it was analyzed that the reflected sunlight area of the building exterior area causing visual glare is approximately 0.5% of the total exterior. Also, it is considered that the study is valid as the location of the reflected sunlight appearing in both the actual image and the simulated image is consistent. Rhe study is expected to contribute to the vitalization of related research as it is performed as a basic research to develop a simulation techniques.

키워드 : 아트트리움, 실내 열환경, 천창냉각, 축소모형 실험, 냉각효과

Keywords : Atrium, Indoor Thermal Environment, Cool Roof, Scaled Model Experiments, Cooling Effects

1. 서 론

최근 영국 런던에 위치한 스카이가든 빌딩에서 발생한 태양반사광으로 인해 맞은편에 주차한 자동차의 플라스틱 소재가 녹았다는 해외보도가 공개되었다. 전면 유리로 시공된 건물은 건물 상층부의 오목한 외관으로 인해 태양반사광이 집중되어 이런 문제가 발생한 것으로 보고되고 있다(1). 이런 도심지 커튼월 구조의 빌딩에서 발생하는 태양반사광으로 인한 광공해 문제는 해외에서만이 아니라 국내에서도 지속적으로 사회문제로 대두되고 있다.

국내의 경우에도 2004년 서울 강남에 위치한 봉은사가 인근에 통유리로 신축중인 아파트를 상대로 태양반사광 피해소송을 제기한 이후에 서초동 사랑의 교회, 분당 N사옥, 해운대 마린시티 등 많은 피해소송이 제기된바 있다. 이에 더하여 소송까지 진행되지 않았으나 태양광반사로 인해 피해를 호소하는 많은 사례가 보도화되었고 현재 매우 큰 사회문제로 대두되고 있다(2).

그러나 건물의 미적가치와 고층화를 위한 경량화를 위해서는 통유리와 같은 커튼월 구조의 고층빌딩이 지속적으로 증가하며 이로 인한 태양반사광 피해 역시 확대될 것으로 판단된다. 이에 더하여 기존 연구에 의하면 거

주기간이 길수록 그리고 태양반사광 피해에 대한 정보가 많을수록 태양반사광에 더욱 부정적으로 반응하며 사회적 규제 또한 크게 요구한다는 연구결과가 있다(3).

그러므로 태양반사광 문제는 앞으로 중요한 환경피해의 하나로 대두될 것으로 사료되며 이를 완화하기 위한 대안의 개발이 필요하다. 태양반사광에 의한 광공해를 완화하기 위해서는 합리적인 평가방법의 개발이 필요하다. 이러한 평가방법으로 시뮬레이션을 이용한 태양반사광 평가 및 피해예측이 있다. 시뮬레이션은 건축초기 단계부터 태양반사광을 분석하고 영향을 최소화할 수 있는 방안을 제안할 수 있는 강력한 기법이라고 할 수 있다.

시뮬레이션을 이용한 태양반사광을 평가한 연구로는 김강수 등(1996)의 연구가 있다. 연구는 현휘지수(DGI)의 개념을 적용하여 맞은편에 신축 예정인 건축물로부터 창을 통해 유입되는 태양반사광에 대한 실내 거주자의 눈부심을 평가하였다. 연구는 발광효율을 이용 창에 도달하는 외부수평면 조도를 예측할 수 있는 알고리즘을 개발하고 신축될 건축물로부터 발생할 것으로 예측되는 태양반사광에 따른 현휘지수는 신축 전과 비교하여 유의한 차이가 없는 것으로 평가하였다(4).

이종영 등(2008)은 커튼월 건물의 가로, 세로 그리고 높이 비의 변화에 따른 태양광 반사영역을 AutoCAD의 음영분석을 역으로 해석하여 분석하였다. 다음 해(2009)에 그는 빛 환경 평가 프로그램인 Radiance를 이용하여 태양반사광 평가하였다. 연구는 고반사율 외부마감 건물로 인한 운전자의 눈부심 발생여부를 불능현휘**를 이용하여

*한국교통대학교 건축공학과 교수, 공학박사
(Corresponding author : Dep. of Architectural Engineering in Korea National University of Transportation.)
E-mail address : ygchung@ut.ac.kr
본 연구는 2020년도 한국교통대학교 지원을 받아 수행하였음.

평가하였고 눈부심 가능성은 있으나 태양반사광이 운전 자 시야 중심부밖에 발생하여 발생가능성은 낮은 것으로 분석하였다. 즉, 그의 연구에 따르면 태양반사광에 의한 피해여부는 관측자의 시야에 크게 의존하고 있다(5)(6).

김민성 등(2004)년은 봉은사에서 제기되었던 태양반사 광 피해를 발생시키는 인접 커튼월 아파트를 대상으로 Radiance 프로그램의 유용성을 평가하였다. 연구는 현장 측정과 시뮬레이션의 비교분석에서 태양반사광의 경면반 사 휘도는 기기의 측정범위를 초과하여 평가할 수 없으 나 저휘도 범위에서는 시뮬레이션 예측이 유용하다고 평 가하였다. 또한 계절별 반사광 피해범위를 평가하였다(7).

건물의 그러나 넓은 유리창으로 인한 여름철 과도한 일사의 유입은 실내를 과열하여 냉방부하의 증가와 수직 온도분포의 불균형 등 실내 열환경 악화시켜 환경적 문 제를 야기할 수 있다. 이런 이유로 아트리움의 열환경에 관한 다양한 연구가 수행되어 왔고 쾌적한 아트리움 환 경조성을 위한 다양한 설계기법들을 제안하고 있다.

김지현 등(2013)은 공동주택을 대상으로 Radiance 프 로그램을 이용하여 세대별 태양반사광 발생범위와 시간을 평가하고 그 유효성을 검증하였다. 예측결과의 검증을 위 해 시뮬레이션과 현장측정 사진이미지와 예측이미지를 비교하여 유효성을 검증하였다(8).

연구는 태양반사광의 발생과 영향을 시뮬레이션에 의 해 평가하고 유효성을 검증하는데 목적이 있다. 이를 위 해 시뮬레이션 프로그램을 분석하고 Ecotech과 Relux 프 로그램을 선택하여 태양반사광 평가 및 유용성을 검증하 였다. 연구는 합리적으로 태양반사광의 영향을 예측할 수 있는 평가기법 개발을 위한 기초연구로 진행되었다. 연구 결과는 관련연구의 활성화와 거주자의 쾌적한 빛 환경을 조성하는데 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

2. 시뮬레이션 프로그램

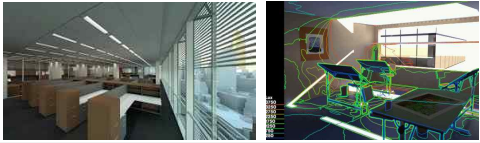
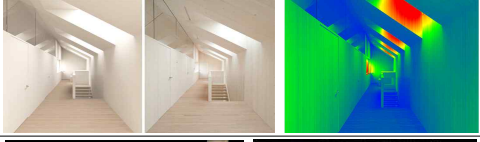
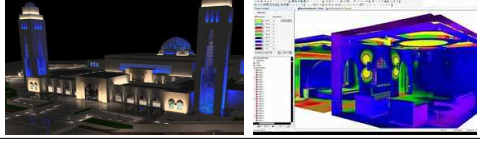
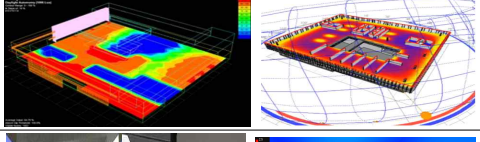
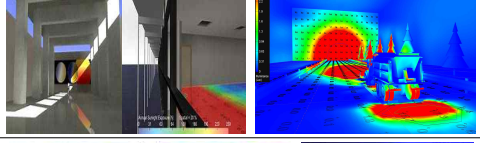
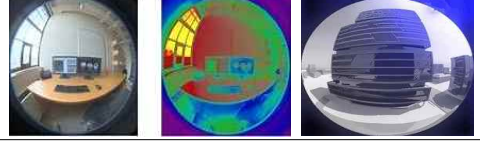
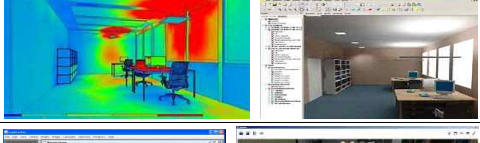

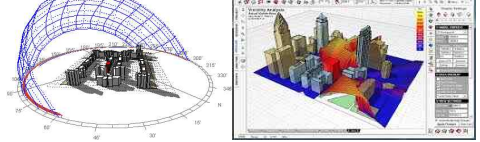
건축 빛 환경을 예측하기 위해 활용되고 있는 시뮬레 이션 프로그램을 분석하였다. 프로그램은 현장에서 실제 사용되고 있는 대표적인 9개 프로그램을 선정하여 각 프 로그램의 평가범위 및 특성을 분석하였다. 이들 프로그램 은 실내 자연채광 및 조명환경 조도 및 휘도 예측이 가 능하고 3D 이미지로 평가결과를 연출하여 이해도를 높이 고 있다. 일반적으로 ray-tracing 기법을 이용하여 빛의 거동을 예측하며 일부 프로그램은 glare index를 활용한 실내 재실자의 눈부심 평가가 가능하다.

미국 LBNL에서 개발된 Radiance 프로그램은 monte-carlo 및 ray-tracing을 알고리즘으로 사용하여 빛의 굴절 과 반사에 더불어 photo-map 등과 같은 추가매치를 사용 하여 다양한 빛환경 시뮬레이션이 가능하며 무료로 배부 되어 국내외에서 널리 사용되고 있다. 또한 Daysim,

Velux, Relux 등 많은 상용화 빛환경 해석프로그램들이 Radiance 엔진을 기반으로 개발되고 있다.

Velux Daylight Visualizer 프로그램은 CIE 천공에 따른 빛 환경 설계도구로 가상색상 및 등고선에 의한 렌더링 을 통하여 채광과 조명환경을 분석한다. Daysim 프로그램 은 평가대상 모델형상 및 재질에 제한이 없으며 관찰자 의 시점에서 ray-tracing 방식을 사용하여 빛의 반사와 굴절과 같은 복잡한 현상들을 분석한다. Dialux 프로그램 은 독일표준 DIN 5043과 CIE 110 코드를 사용하여 채광 해석 및 조명에너지를 분석한다.

Table 1. Light Evaluation Program

Program	Evaluation results & 3D images
Radiance	
Velux Daylight Visualizer	
Dialux	
Daysim	
Agi32	
Evglare	
Relux	
Lightsolve	
Ecotech	

** 불능현황 : 과도한 빛으로 시 작업이 불가능한 상태로 시대 상과 배경의 휘도비가 10:1이상 또는 평균휘도 25,000cd/m² 이상으로 연구에서 정의하고 있다.

Aig32 프로그램은 유럽에서 개발된 프로그램으로 다양한 건축재료 및 표면특성에 따른 휘도변화와 빛과 반사면의 상호작용에 따른 효과를 시각화하여 연출할 수 있다. 또한 조명기구의 광도예측이 가능하여 조명제품 생산을 위한 mock-up 실험용으로 활용되고 있다. Evaglare는 Radiance 엔진을 기반으로 개발되었고 180° 어안렌즈 효과로 연출되는 글래어 평가가 가능하다.

Relux 프로그램은 radiosity 및 ray-tracing 알고리즘을 사용하여 인공조명과 자연채광 및 통합채광 조건에서 조명에너지의 사용량을 평가하며 조도와 휘도 등 다양한 측광데이터를 제공할 수 있다. Lightsolve 프로그램은 디자인 초기단계에서 다양한 채광성능을 평가하기 위한 평가 도구로 사용자의 평가목적과 관심분야 그리고 연간 기상 자료에 따라 보다 정확한 이미지의 구현이 가능하다.

3. 시뮬레이션에 의한 태양반사광 분석

3.1 시뮬레이션 개요

시뮬레이션 평가대상 건물은 충주시에 위치한 K대학 본관건물(동경 127°52, 북위 36° 58)을 선정하였다. 선정된 건물은 비교적 관련도면을 구하기 쉽고 청천공에서 태양광반사가 발생하고 있다. 대상건물은 커튼월 구조의 5층 구조로 1층에는 필로티가 설치되었다. 태양반사광이 발생하는 건물정면은 정남을 기준으로 서측으로 10° 기울어졌고 외장은 반사율은 14%의 복층유리가 시공되었다. 태양반사광 분석은 건물정면에서 35m 떨어져 위치한 관측자의 시점(높이 1.5m)을 기준으로 실시되었다. 시뮬레이션 시간은 10월 16일의 13:00(진태양시 12:26)을 기준으로 실시하였다. 이때 태양반사광 반사범위는 선정된 일의 하루 동안의 태양반사광 길이를 분석하였다.

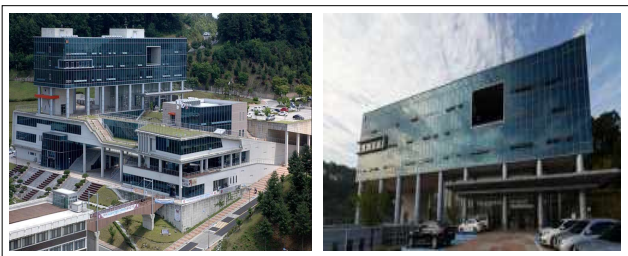


Figure 1. Evaluation Building

3.2 태양반사광 반사범위 예측

태양광의 반사범위 분석은 Ecotech 프로그램을 활용하였고 이전 연구에서 적용된 분석방법과 같이 건물의 음영길이를 역으로 해석하였다. 이 때, 기상자료는 충주지역의 기상자료를 구하지 못해 인접한 청주지역 기상자료를 활용하였다. 평가대상 건물의 3D 모델링 작업을 위해서는 Sketch-up 프로그램을 사용하였다. 분석결과 건물남측 정면에 발생하는 태양반사광은 관측자 시점에서 우측에서 좌측으로 이동하며 오전 10:00부터 오후 14:00까지 발생하는 것으로 분석되었다. 이 때, 관측자에게 눈부심을

을 야기할 수 있는 반사면 표면휘도 25,000cd/m² 이상의 태양반사광이 발생하는 시간대는 진태양시를 기준으로 오전 11:00부터 15:30분 사이인 것으로 분석되었다.

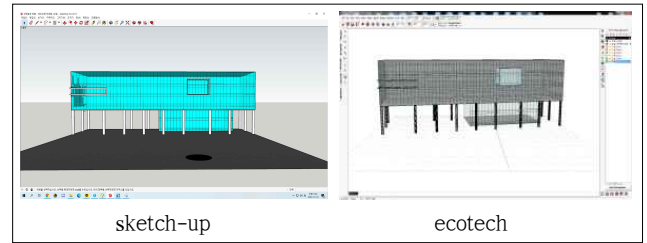


Figure 2. 3D Modeling

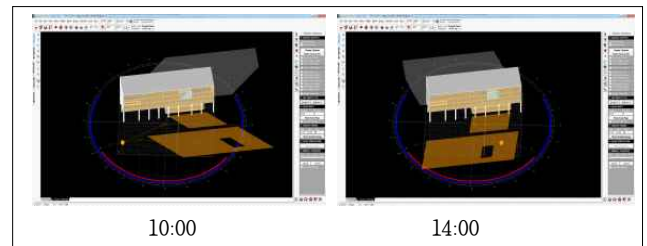


Figure 3. Simulation Results

3.3 건물외관 태양반사광 예측

건물외관에 발생하는 태양반사광의 평가는 Relux 프로그램을 이용하여 실시하였다. 분석을 위한 3D 모델링은 반사범위 평가와 같이 Sketch-up 모델을 활용하였다. 태양반사 휘도는 평가대상 건물의 남측입면에 가로 10개 그리고 세로 5개로 나누어 모두 50개의 표면휘도 평가지점을 설정하고 시뮬레이션을 실시하였다.

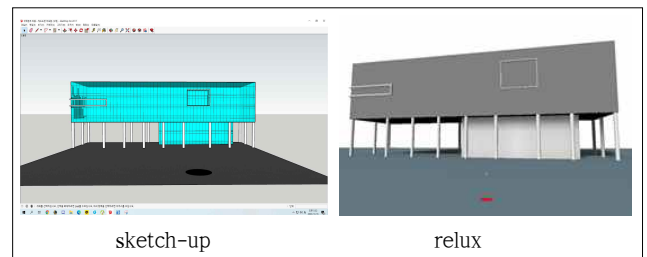


Figure 4. 3D Modeling

시뮬레이션 분석결과 태양반사광이 없는 남측면의 표면휘도는 2,100~6,680cd/m²에 이르며 평균 3,698cd/m²로 분석되었다. 또한 태양반사광이 발생하는 부분의 표면휘도는 최대 310,000cd/m²에 이르는 것으로 분석되었다. 건축물 남측입면에 발생하는 태양반사광 표면휘도를 모두 5단계(1000cd/m², 2,000cd/m², 3,000cd/m², 12,500cd/m², 25,000cd/m²)로 나누어 시각화하여 분석하였다. 국외 연구에서 관측자에게 불쾌글래어를 유발할 수 있는 표면휘도로 제시된 12,500cd/m²를 초과하는 면적은 전체 입면의 약 6.3%로 분석되었고 국내 연구에서 제시된 불능현황을 유발할 수 있는 표면휘도 25,000cd/m²를 초과하는 면적은 약 0.5% 범위에 있는 것으로 분석되었다.

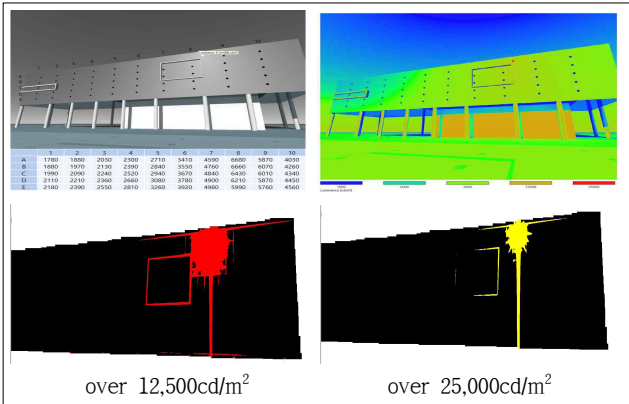


Figure 4. Simulation Results

시뮬레이션 결과의 유효성을 평가하기 위해서 현장측정 이미지와 비교하였다. 평가는 동일 시간대의 태양반사광의 발생위치를 관측하였고 평가일 13:00(태양시 12:26)의 태양반사광이 건물입면 우측 윗면에 발생하는 것으로 나타났다. 즉, 시뮬레이션과 현장측정 이미지에 따른 태양반사광 발생위치는 일치하는 것으로 분석되었다.

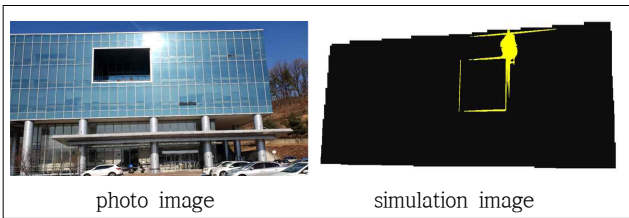


Figure 5. Comparison of Results(13:00)

4. 결론

태양반사광에 의한 광공해는 최근 사회적 관심이 증대하며 다양한 분쟁사례가 보고되고 있다. 연구는 평가수단으로 시뮬레이션을 이용하여 태양반사광의 영향을 평가하였다. 이를 위해 현재 사용되고 있는 다양한 빛환경 평가 프로그램을 분석하고 Ecotech과 Relux 프로그램을 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 연구결과는 다음과 같다. 먼저 평가대상 건물에서 평가일의 태양반사광은 약 4시간동안 발생하나 눈부심을 유발할 수 있는 시간대는 11시부터 13:30분 사이인 것으로 분석되었다. 또한 불능현황(반사광 휘도 25,000cd/m² 이상)이 발생할 수 있는 건물입면의 반사면적은 전체 입면의 약 0.5%인 것으로 분석되었다. 실제 현장이미지와 시뮬레이션 이미지의 태양반사광 발생위치는 일치하여 시뮬레이션을 이용해 태양반사광 예측이 가능할 것으로 사료된다. 연구는 간편한 태양반사광 평가기법으로 시뮬레이션 기법을 개발하기 위한 기초연구로 수행되었다. 그러나 태양반사광 발생위치는 검증하였으나 태양반사광 휘도 및 발생면적 등 시뮬레이션의 유효성을 보다 심도 깊게 평가할 수 있는 다양한 요소에 대한 검증이 부족하여 앞으로 이에 대한 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

REFERENCES

- 1 KBS News 2013. 09. 03., ChosunBiz 2013. 09. 14 & SegaeIlbo 2017.11.30.,
2. Kyunghyang Shinmun 2013. 10. 13, Naver News 2013. 06. 25, Kyeonggi News 2016. 10. 11, Busan News 2012. 07. 25 & 2015. 12. 28, News & Joy 2013. 10. 25, Jejusori 2013. 08. 08, Newsis 2012. 06. 07.
3. Chung, Y. G., (2018), The Sunlight Reflection Lighting Cases and Light Pollution Possibility, *Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and Environment*, 18(1), 113~118.
4. Kim, K. S., Jeong, J. W. & Lee, J. H. (1996). A Study on Estimation of Discomfort Glare caused by Reflected Sunlight in a Living Space, *Journal of Architecture Institute of Korea*, 12(12), 125~132.
5. Lee, J. Y., Lee, J. Y. & Song, K. D.(2008), Estimating Direct Sunlight Reflection Area of High-reflectance Curtain Wall Buildings, *Journal of Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, 2(2), 22~27.
6. Lee, J. Y., Lee, J. Y., Kim, J. H. & Song, K. D.. (2009). Evaluating Glare due to Solar Specular Reflection from a High-rise Building Skin, *Conference Journal of Korea Institute of Architectural Sustainable Environment and Building System*, 127~131.
7. Kim, M. S. & Song, G. D., (2004), Evaluating Glare due to Solar Specular Reflection from a High-rise Building Skin in Urban Area, *Journal of Korea Society of Living Environment System*, 11(2), 117~121.
8. Kim, J. H., Kim, M. T., Song, G. D. & Choi, A. S., (2013), A Study on the Evaluating Method for Daylight Glare due to Solar Specular Reflection from a High-rise Building using the RADIANCE program, *Journal of Korea Society of Living Environment System*, 20(1), 64~71.
9. Marc Shiler & Elizabeth Valmont (2006), Urban Environmental Glare: the Secondary Consequence of Highly Reflective Materials, *Conference Journal of Passive & Low Energy Architecture*, 55~60.