



건축물 태양반사광 시뮬레이션 유효성 평가

Effectiveness Evaluation of the Reflected Sunlight Simulation on Building Envelopes

정 유근*

Yugun Chung*

* Professor, Dept. of Architectural Engineering, Korea National Univ. of Transportation, Korea (ygchung@ut.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: As one of light pollution, the reflected sunlight problems on building envelopes are constantly increasing and are emerging as social conflicts. This study aims to propose a easy Radiance simulation method using BIM HVAC. Also the effectiveness is evaluated by comparing the simulation and field test results. The proposed method is expected to be able to more easily predict the effect of reflected sunlight in the design stage. **Method:** The reflected sunlight simulations and field tests are conducted on the main building of K university. For the simulation, sketch-up, BIM HVAC, EnergyPlus and Radiance program are used, and Qbism HEXA 70 is used for field tests. To evaluate the effectiveness of the proposed simulation method, the location and size of the reflected sunlight area and the highest luminance are analyzed. **Result:** The proposed method is possible to simulate the reflected sunlight effect more easily by using evaluation process by the menu bar rather than the existing complicated program method based on commands. Also, it will be useful for predicting the location and size of the reflected sunlight area. However it shows excessive errors in the analysis of the reflected sunlight luminance, so there is a limit to its application at the present stage.

KEYWORD

태양반사광
시뮬레이션
현장측정
유효성 평가Reflected Sunlight
Simulation
Field Test
Effectiveness Evaluation

ACCEPTANCE INFO

Received Jan. 7, 2021
Final revision received Jan. 22, 2021
Accepted Jan. 27, 2021

© 2021. KIEAE all rights reserved.

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

고반사율의 건축외장재의 사용으로 발생하는 태양반사광으로 인한 빗공해 문제는 국내의 경우 법적분쟁으로 시작되었으나 최근 관련정보의 확대와 피해사례의 증가 등으로 심각한 사회문제로 대두되고 있다. 국내에서 최초로 제기된 태양반사광 갈등은 2003년 외관이 통유리로 시공된 현대 I-Park 아파트에 대한 봉은사의 손해배상 소송이었으며 이후 부산 해운대 마린시티 아이파크와 센텀시티 등 다양한 분쟁사례가 보고되고 있다[1].

대표적 분쟁사례로 분당 N사옥에 대한 인근 아파트 주민의 손해배상 소송사례가 있다. 2011년 처음 소송이 신청된 분당 N사옥 분쟁소송의 경우에 2013년 1심에서 원고가 일부 승소하여 빗공해 발생을 인정하고 태양반사광 차단시설 설치 및 정신 및 재산상 피해보상을 선고하였다[2]. 그러나 2016년 항소심은 태양반사광에 따른 피해가 생활에 불편한 수준으로 손해배상 정도는 아니라 판결하였고 현재 대법원 심의가 진행 중에 있다[3].

현재 태양반사광과 관련된 법적분쟁은 분당 N사옥의 대법원 심의결과에 따라 변동될 수 있으나 기존 또는 신축되는 고반사율 건축외장재로 인한 눈부심 피해는 인접 거주민의 시 환경 악화를 초래하고 있다. 국내 수도권 소재 빌딩을 대상으로 태양반사광에 의한 빗공해 가능성 관련 연구에 따르면 평가대상 건축물에서 모두 불능현황

25,000cd/m² 이상의 반사광 휘도가 발생하는 것으로 보고되고 있다. 또한 태양반사광에 대한 지식확대와 인접 거주민의 거주기간이 증가할수록 태양반사광을 부정적으로 인식하고 규제의 필요성 또한 커지는 것으로 보고되고 있다[4][5].

그러므로 앞으로 태양반사광 문제가 사회갈등으로 확대될 것으로 사료되며 이를 예방하기 위해 기존 건축물에 대한 빗공해 저감방안 개발에 더하여 신축예정 건축물의 태양반사광 빗공해 발생가능성을 평가할 수 있는 유용한 시뮬레이션 기법의 제안이 필요하다. 이와 관련하여 국내외에서 다양한 시뮬레이션 관련연구가 수행되어 왔다. 이들 연구는 주로 Radiance 프로그램을 활용하여 건축물의 태양반사광의 반사범위 및 반사광 휘도 등을 평가하고 있다. 그러나 이들 연구가 사용하였던 연구방법은 시뮬레이션 방법이 어렵고 이로 인해 고비용이 예측되어 실제 건축현장에서 사용하기에 한계가 있는 것으로 사료된다.

본 연구는 Radiance를 활용한 태양반사광 평가를 보다 편리하고 쉽게 수행할 수 있는 평가 프로세스를 제안하는데 연구목적이 있다. 이를 위해 BIM HVAC를 기반으로 Radiance 평가방법을 제안하고 그 유용성을 평가하였다. 제안된 평가 프로세스는 초보자도 쉽게 시뮬레이션을 수행할 수 있어 태양반사광 빗공해 발생방지 및 관련연구 활성화에 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

1.2. 연구의 방법 및 범위

연구는 커튼월 구조로 충청북도 충주에 위치한 K대학 본관 건물을 대상으로 태양반사광 시뮬레이션 및 현장측정을 실시하였다. 태

양반사광 시뮬레이션을 위해 Sketch-up, BIM HVAC, EnergyPlus 기상데이터 그리고 Radiance 프로그램을 활용하였다. 현장측정을 통한 건물입면의 표면휘도 측정을 위해 대면휘도계(Qbism HEXA 70)를 활용하였다. 이때, 현장측정은 청천공일에 10:00~15:00 사이에 실시하였고 이중 분석에 적합한 3회 측정치를 선정하여 시뮬레이션을 실시하였다.

시뮬레이션 기상자료는 대학이 소재한 충주지역 기상자료가 부족한 관계로 인접한 충주지역 자료를 적용하였다. 태양반사광 시뮬레이션 결과의 유효성 평가는 건축물 남측외관에 발생하는 태양반사광 반사면적의 위치 및 크기 그리고 최고 반사광 휘도를 비교분석하였다. 이때, 태양반사광 반사면적은 현장측정 반사광 휘도가 25,000cd/m²를 초과하는 외피면적을 유효성 평가에 적용하였다. 또한 시뮬레이션의 경우에 반사면의 반사광 휘도가 높고 일정하게 표현되어 현장측정 반사광 휘도는 측정치 중 최고 값을 유효성 평가에 적용하였다.

2. 선행연구 고찰

태양반사광과 관련된 연구는 크게 기존 건축물에 의한 반사광 피해를 저감하기 위한 연구와 태양반사광 발생을 최소화하기 위한 계획기법을 제안한 연구로 구분될 수 있다. 연구방법으로는 현장측정과 시뮬레이션이 주로 수행되었으며 설문조사를 통해 인접 거주자의 주관적 반응 등을 연구하고 있다. 또한 최근에 눈부심을 유발하는 건물외관의 표면휘도가 연구되고 있다.

시뮬레이션 연구로 국내의 경우 Radiance 프로그램을 활용한 평가가 이루어지고 있다. 이종영 등은 고반사 커튼월 건축물의 반사영역 선정연구에서 건물형태, 방위 그리고 계절에 따른 반사영역을 평가하고 반사영역을 최소화하기 위한 건물형태를 건물형태를 제안하고 있다[6]. 또한 차년도에 관측자의 눈부심 발생조건으로 시야 내 태양광, 불능현휘(25,000cd/m²) 발생, 시야 내 반사광 그리고 광막반사의 발생을 설정하여 연구를 수행하였다. 연구결과 고반사율 외부마감에 따른 시각적 눈부심의 발생 내 대부분 시야 중심부가 아닌 주변시야 범위에서 나타나 불능현휘가 발생할 가능성이 낮은 것으로 분석하고 있다[7].

김지현 등은 공동주택을 대상으로 Radiance 프로그램을 활용한 반사영역도 평가방법을 제시하고 있다. 시뮬레이션 결과는 실제 촬영 이미지와 비교하였고 연구결과 Radiance를 활용하며 복잡한 형태의 공동주택에서 각 세대별의 반사영역 시간을 산정할 수 있어 매우 효율적으로 눈부심 발생시간을 예측할 수 있다고 제안하고 있다[8]. 조영남 등은 부산에 위치한 건물을 대상으로 건물표면휘도 측정과 Radiance 시뮬레이션 결과를 비교분석하였다. 연구결과 현장측정과 시뮬레이션 결과사의 평균 오차는 9.28%로 시뮬레이션이 유효하며 현장측정 휘도가 다소 높게 분석되는 것으로 평가하였다. 그러나 연구결과는 평가대상 및 횟수가 적은 한계를 지니고 있다[9].

권세림 등은 공동주택의 수직적 경면반사영역을 산정하고 현장 사진 이미지와 시뮬레이션 결과를 비교하여 Radiance를 활용한 예측이 가능하다고 제시하고 있다[10]. 또한 최준우 등은 태양광반사

눈부심을 평가하기 위한 시뮬레이션 프로세스 및 가이드를 제안하기 위한 연구를 발표하였다. 프로세스로 불능현휘 발생 판단기준 선정, 평가대상 건물의 모델링 및 반사율 선정, 불능현휘 발생위치 선정, 시뮬레이션 수행 그리고 불능현휘 원인의 검토를 제안하고 있다. 연구는 프로세스 제안을 통해 앞으로 연구방향을 제시하고 있다[11].

국외연구로 Shih 등은 도심지에 위치한 5개 커튼월 건물을 대상으로 태양반사광 시뮬레이션을 실시하여 건물외피에 발생하는 반사영역 설정기준, 모델링의 정확성 그리고 휘도수준 등에 따라 오차가 결정되는 것으로 분석하였다[12]. Yang 등은 Rhino와 Grasshopper 및 Radiance 프로그램을 활용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 또한 기상데이터로 EnergyPlus 기상데이터를 사용하여 Perez 천공모델을 적용하였다. 이를 통해 사례 건축물을 대상으로 광선추적에 따른 반사범위 평가, 건물표면의 반사휘도 평가를 수행하고 시뮬레이션을 매우 유용성이 높은 평가기법으로 제안하였다[13].

Brzezicki는 광선추적기법을 사용하여 건물형태에 따른 태양반사광 특성을 분석하였다. 특히 다양한 곡률을 지닌 건물입면의 태양반사광의 영향을 분석하고 볼록한 외면에서 반사영역이 증가하나 오목한 외면은 반사광 집중이 발생하여 디자이너의 주의가 필요하다고 주장하였다[14]. Danks 등은 다양한 시뮬레이션 기법을 소개하고 ECLIPSE 프로그램 활용하여 시뮬레이션 수행하였다. 현장측정을 통해 시뮬레이션의 유효성을 평가한 결과 건물외피의 반사면적에 오차가 있으며 일반적으로 현장측정에서 더 태양반사광 면적이 큰 것으로 분석되었다. 이는 건물표면의 오염 및 대기혼탁도 등의 영향으로 분석되고 있다. 그러나 건물표면의 반사강도는 허용오차 범위 내에 있는 것으로 분석하였다[17].

Abdelwahab 등은 텍사스에 위치한 건물을 대상으로 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션은 그래픽 알고리즘 편집기인 Grasshopper와 Radiance 프로그램 그리고 어안렌즈 각도분석이 가능한 DIVA V.4를 적용하였다. 또한 글레어 평가는 DGP (Daylight Glare Probability)를 사용하여 피해대상 건축물 실내의 두 관측자 시점에서 진행하였다. 연구는 하지, 동지 춘추분 9시, 12시 15시의 관측자 시점에서 글레어 발생여부를 평가하였고 모든 조건에서 글레어 발생이 우려되나 특히 태양고도가 낮은 15시 이후에 가장 높은 것으로 분석하였다[18].

Radiance를 주로 활용한 태양반사광 시뮬레이션 연구는 주로 반사영역 및 영향분석, 표면휘도 평가, 글레어 평가 등으로 구성되어 있다. 그러나 대부분의 경우 시뮬레이션 과정이 복잡하고 어려워 설계단계에서 적용하기에 어려운 한계를 지니고 있다. 특히 국내의 경우에 현장측정 등의 자료를 활용한 시뮬레이션 평가결과의 유효성을 검증한 연구가 매우 부족한 것으로 사료된다. 그러므로 보다 간단하게 태양반사광 평가용 시뮬레이션을 수행할 수 있는 프로세스를 제안하고 유효성 분석을 통해 적용된 프로세스의 한계를 예측할 수 있는 관련연구가 필요한 것으로 사료된다.

3. 시뮬레이션 평가방법

간편한 태양반사광 시뮬레이션 평가방법의 제안은 모델링을 위

한 Sketch-up 프로그램, 건물의 위치보정 및 물성입력을 위한 BIM HVAC 프로그램, 기상데이터를 위한 EnergyPlus 기상자료 그리고 Radiance 프로그램을 적용하고 있다.

3.1. 평가대상 건물

선정된 K대학 본관 건물(동경 127° 52, 북위 36° 58)은 커튼월 구조로 1층 필로티의 4층(높이 24m) 건축물이다. 건물배치는 정면을 기준으로 정남에서 서측으로 10° 틀어져 배치되었고 외관은 반사율 14%의 칼라 복층유리로 마감되었다. 특히 지대가 높아 태양반사광 발생에 주변 방해물의 영향을 받지 않는다. 선정된 건물 및 3D 모델링 결과는 (Fig. 1.)과 같다.

3.2. 시뮬레이션 프로세스 제안

통합 환경해석 프로그램인 BIM HVAC를 중심으로 태양반사광 평가 시뮬레이션을 제안하였다. 시뮬레이션 프로세스는 3D 모델 불러오기, BlockMesh의 제거, 모델의 위치보정, 기상데이터 불러오기, 외장재 물성선정 그리고 Radiance 실행 및 태양반사광 연출로 구성된다. 각 프로세스는 Fig. 2.~Fig. 8.과 같다.

먼저 BIM HVAC의 3D 모델 불러오기는 화면 상단 메뉴바의 홈버튼에서 자료입력 탭으로 실행된다(Fig 2.). 이때 3D 모델의 입력 과정에서 발생하는 BlockMesh를 제거하여야 한다. 이는 Sketch-up 과정에서 발생한 기하학 정보를 제거하는 것으로 이후 시뮬레이션을 위한 위치 등 기하학정보의 재설정이 요구된다. Block Mesh의 제거는 화면좌측 하단의 메뉴에서 선정된다.

평가대상 건물의 시뮬레이션을 위한 기하학 보정은 화면 상단의 Translation과 Rotation 메뉴에 의해 수행될 수 있다. 연구에서는 Google 어스를 활용한 평가건물의 위치정보 및 건물배치도를 활용하여 정남을 기준으로 평가건물의 위치를 보정하였다. Fig. 3.은 해발고도(116m)에 따른 보정결과를 보여준다.

평가대상 지역의 기상데이터는 EnergyPlus에서 제공하는 자료를 활용하였다. 다운받은 기상데이터는 메뉴바 홈에서 데이터 불러오기를 통해 외부데이터로 입력할 수 있다. 이때 연구에서는 EnergyPlus에서 제공하는 자료에 한계가 있어 충주지역과 인접한 청주지역 자료를 평가에 활용하였다(Fig. 4.).

평가건물의 커튼월 물성을 입력하기 위하여 메뉴바의 Tool 탭 하위 메뉴인 건축 그리고 투명 건축재료를 선택한다(Fig. 5.a). 복층유리 커튼월은 물성입력을 위해 double glazing 선정 후 새로 만들기 (+ 탭)를 선택하여 커튼월 물성을 설정할 수 있다(Fig. 5.b, Fig. 5.c). 끝으로 복층유리의 충전재를 선정(Fig. 5.d)하고 저장한다. 그림은 커튼월 물성 적용전후의 모습을 보여주고 있다.

Radiance 프로그램을 실행하기 전에 태양반사광이 형성되는 건물입면을 어두운 색으로 칼라보정이 필요하다. 이는 생성된 태양반사광을 보다 선명하게 연출하여 평가를 보다 용이하게 하기 위함이다. 칼라보정은 메뉴바의 팔레트 아이콘을 이용하여 수정이 가능하다. Radiance 실행을 위한 평가시간 및 위치 등은 화면 오른쪽 Toolkit를 활용하여 변경할 수 있다(Fig. 6., Fig. 7.).

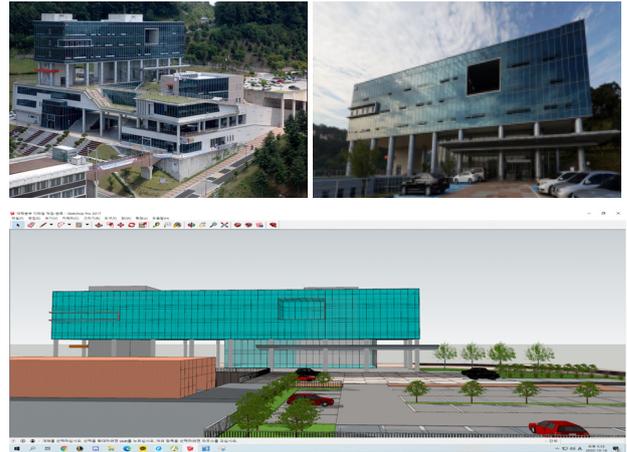
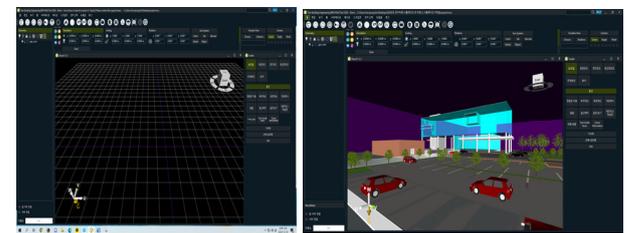
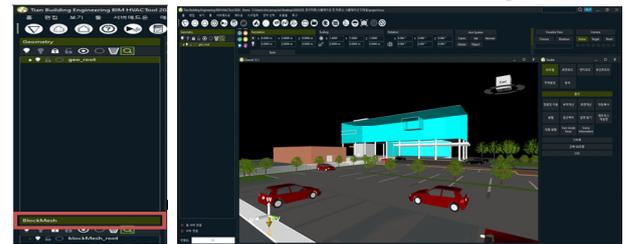


Fig. 1. Evaluation Building & 3D Modeling



BIM HVAC Initial Screen and 3D Model Input



BlockMesh Menu & Removed Screen

Fig. 2. 3D Model Input & BlockMesh Removed

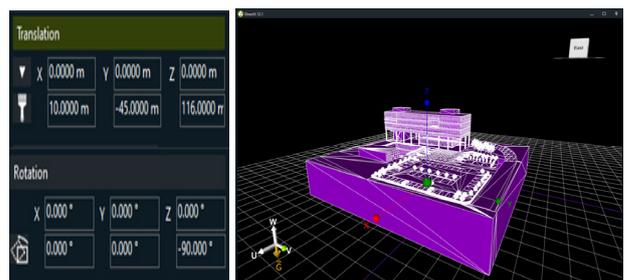


Fig. 3. Building Relocation

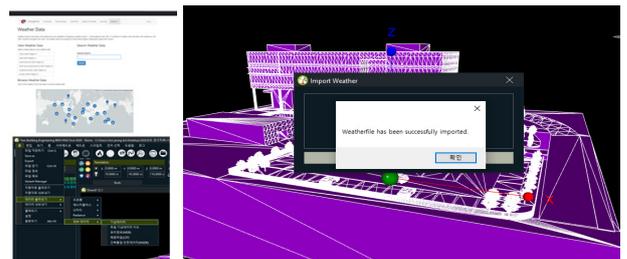


Fig. 4. Weather Data Down & Input

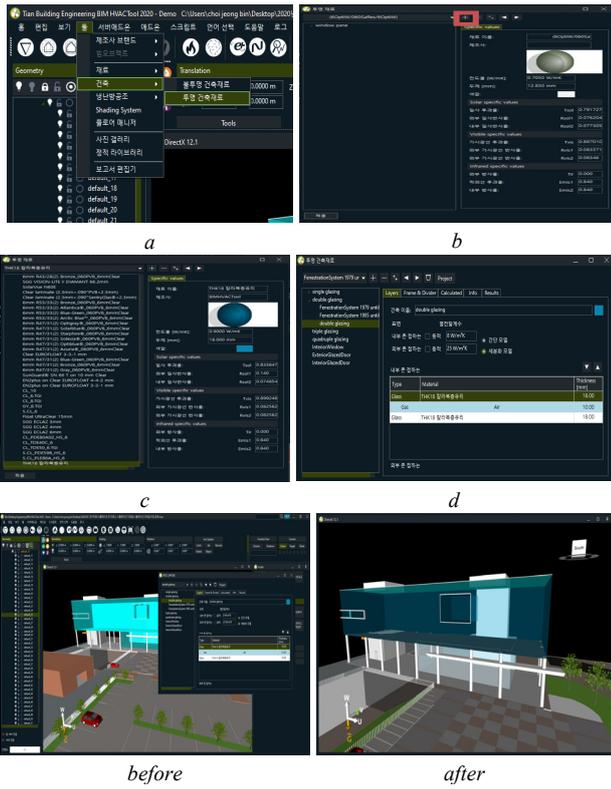


Fig. 5. Curtain Wall Characteristics Input

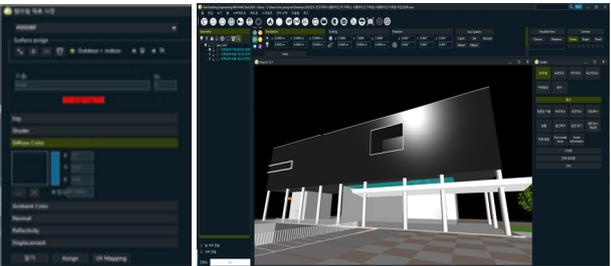
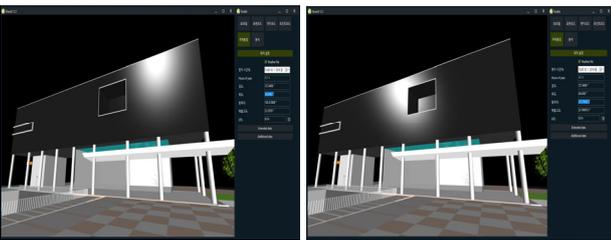
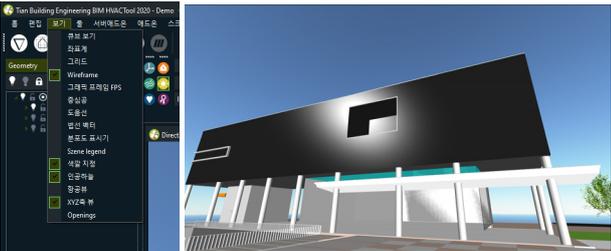


Fig. 6. Color Change & Radiance Simulation



Measurement Time Change



Background Screen Change

Fig. 7. Time & Background Change

4. 시뮬레이션 유효성 평가

4.1. 태양반사광 현장측정

건물입면의 반사면 휘도측정을 위해 중성 필터(ND16)를 적용하여 측정범위를 120,000cd/m²로 확장시킨 대면휘도계(Qbism HEXA 70)를 사용하였다. 이때 중성필터 사용에 따른 대면휘도계 휘도측정 값의 유효성을 검증하기 위하여 분광복사휘도계(SpecterScan PR 670) 측정결과와 비교하였다(Table 1.). 두 기구 사이의 오차는 평균 9.7%인 것으로 분석되었다.

현장측정은 평가대상 건물정면 남측으로 40m 이격된 지점을 관측지점으로 설정하여 실시하였다. 이때 휘도계의 높이는 눈높이를 반영하여 1.5m로 설정하였다. 측정은 2020년 1월10일부터 25일 사이에 청천공일에 실시하였고 이 중 1월 10일, 16일 그리고 18일의 측정결과를 시뮬레이션 유효성 평가에 사용하였다.

4.2. 유효성 평가

시뮬레이션의 유효성 평가를 위해 현장측정에서 선정된 3일의 Radiance 분석을 실시하였다. 또한 두 분석결과를 이용하여 건물 남측입면에 형성되는 태양반사광 반사면의 위치와 크기 그리고 최대 휘도레벨을 비교, 분석하였다.

1) 태양반사광 반사면의 위치 및 크기분석

현장측정과 시뮬레이션에 의한 태양반사광 발생위치 및 면적분석 결과는 (Table 2., Table 3.)과 같다. 이때 현장측정은 건물입면의 표면휘도 25,000cd/m² 이상인 부분을 중요 태양반사광 발생영역으로 산정하고 반사면의 위치 및 크기를 산정하였다. 분석결과 태양반사광의 발생위치는 모든 경우에서 유사하게 나타났으며 반사면적의 경우에도 평균 6.9%의 오차를 보이는 것으로 분석되었다. 이 때, 면적 분석은 태양반사광이 발생하는 외장판넬의 수와 면적을 산정하여

Table 1. Comparison of HEXA & SpecterScan

	AM 11:30			PM 14:00		
	PR 670 (cd/m ²)	HEXA 70 (cd/m ²)	ratio (%)	PR 670 (cd/m ²)	HEXA 70 (cd/m ²)	ratio (%)
1	45,450	50,600	10.2	10,230	11,140	8.2
2	44,208	46,790	5.5	13,184	14,666	10.1
3	35,360	40,348	12.3	9,073	10,873	11.0
ave.	41,672	45,912	9.33	10,829	12,226	9.74



Fig. 8. Luminance Meters & Field Test

Table 2. Reflected Position Comparison of Field & Simulation

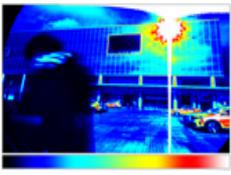
	Simulation	Field Test
Jan. 10 12:30		
Jan. 16 13:10		
Jan. 18 13:40		

Table 3. Reflected Area Comparison of Field & Simulation

	Simulation	Field Test	Error Ratio
Jan. 10(12:30)	37.66m ²	33.55m ²	10.91%
Jan. 16(13:10)	49.71m ²	47.76m ²	3.90%
Jan. 18(13:40)	21.61m ²	20.31m ²	6.02%
ave.	36.32m ²	33.87m ²	6.94%

Table 4. Reflected Luminance Comparison of Field & Simulation

	Simulation	Field Test	Error Ratio
Jan. 10(12:30)	321,354cd/m ²	111,114cd/m ²	289%
Jan. 16(13:10)	310,754cd/m ²	111,109cd/m ²	279%
Jan. 18(13:40)	269,910cd/m ²	111,105cd/m ²	242%
ave.	300,672cd/m ²	111,109cd/m ²	270%

계산하였다. 일반적으로 현장측정에서 태양반사광 면적이 시뮬레이션 보다 큰 것으로 분석되었고 이는 건물입면의 오염 또는 평탄도 등으로 인한 차이에서 발생하는 것으로 사료된다.

2) 태양반사광 휘도분석

시뮬레이션에 의해 예측된 태양반사면 휘도는 반사면 모두에서 동일한 밝기를 보이며 매우 높은 휘도레벨을 나타내는 것으로 분석되었다. 이로 인해 현장측정 태양반사광 휘도는 최고 값을 분석에 이용하여 유용성 평가를 실시하였다. 분석결과 현장측정 태양반사광의 최고 휘도는 평균 111,110cd/m²로 일정하게 나타나는 것으로 분석되었고 이는 측정기구가 지닌 측정범위의 한계(120,000cd/m² 이하)로 인한 결과로 사료된다. 시뮬레이션에 의해 예측된 건물입면 태양반사광 휘도는 평균 300,600cd/m²로 현장측정과 약 2.7배의 차이가 있는 것으로 분석되었다. 이는 실제 건물외관의 오염, 먼지 등 대기상태 그리고 기상자료의 차이(청주지역 데이터 적용) 그리고 측정기구의 반사광 측정휘도 범위가 제한되었다는 점 등 다양한 원인과 이전 연구에서도 시뮬레이션에 의한 태양반사광 휘도가 현장

측정 보다 더 높게 분석되었다는 것을 고려하여도 오차범위를 크게 초과하는 것으로 사료되어 앞으로 이를 보정하는 추가연구를 진행할 예정이다.

5. 결론

야간의 빛공해에 더하여 주간에 발생하는 태양반사광에 의한 빛공해는 경량 고층건물의 증가와 여름 냉방부하 및 건축외관을 고려한 고반사율의 외장재 적용 등으로 인해 사회적 갈등이 확대되고 있는 실정이다. 연구는 설계단계에서 계획중인 건축물에 의한 태양반사광 영향을 손쉽게 예측할 수 있는 시뮬레이션 방법을 제안하고 그 유용성을 평가하였다. 연구결과는 다음과 같다.

먼저 제안된 시뮬레이션 프로세스는 건축통합 환경해석 프로그램인 BIM HVAC을 기반으로 Radiance 프로그램을 활용하고 있다. 이를 통하여 명령어 기반의 기존의 복잡한 프로그램 방식이 아닌 메뉴바를 이용한 평가프로세스를 제시하여 보다 쉽고 간단하게 시뮬레이션이 가능할 것이라 사료된다. 제안된 방법의 유효성 분석결과 태양반사광 반사면의 위치 및 크기 예측에 유용할 것으로 판단되나 반사휘도 분석에 대해서는 과도한 오차를 보여 현재 단계에서 적용에 한계가 있는 것으로 판단된다.

연구결과는 경제적이고 간단하게 태양반사광 영향을 분석하기 위한 평가기법 개발의 첫 단계로 앞으로 관련 연구를 위한 가이드로 활용가능성이 매우 높을 것으로 기대된다. 그러나 태양반사광 반사휘도 예측에 한계가 있어 이를 보정할 수 있는 연구가 필요하며 보다 다양한 건물입면 형태에 적용할 수 있는 시뮬레이션 방법을 개발하는 등 보다 다양한 설계조건에서 태양반사광의 영향을 평가하기 위한 연구가 필요한 것으로 사료된다.

Acknowledgement

이 논문은 2019년도 한국교통대학교 해외파견 연구교수지원금을 받아 수행한 연구임.

Reference

[1] 조선비즈 2016. 07. 04, 경향신문 2013. 10. 13, 중앙일보 2013. 10. 07, KBS News 2015. 09. 22, 연합뉴스 2013. 09. 05. // (ChosunBiz 2016, 07. 04, Kyunghyang News 2013. 10. 13, JoongAng Ilbo 2013. 10. 07, KBS News 2015. 09. 22, Yonhap News 2013. 09. 05.)
 [2] 한겨레, 연합뉴스, 뉴스 2013. 05. 31, 한국경제 2013. 06. 13. 수원 지방법원 판결 2013, 06. 03. // (Hankyoreh, Yonhap News, Newsis 2013. 05. 31, The Korea Economy Daily 2013. 06. 13, Suwon District Court Adjudication 2013, 06. 03.)
 [3] 조선비즈 2016. 06. 13, 경기일보 2016. 10. 11, 뉴스 2016. 06. 17, 서울고등법원판결 2016. 06. 17. // (ChosunBiz 2016. 06. 13, Kyunggi News 2016. 10. 11, Newsis 2016. 06. 17, Seoul High Court Adjudication 2016. 06. 17.)
 [4] 정유근, 태양반사광 국내외 실제 및 빛공해 발생가능성 평가, 한국생태환경건축학회논문집, 제14권 제3호, 2018. 02, pp113-118. // (Y.G. Chung, The Sunlight Reflection Lighting Cases and Light Pollution Possibility, KIEAE Journal, 14(3), 2018. 02, pp113-118.)
 [5] 정유근, 주관적 반응을 통한 태양반사광 환경피해 분석, 한국교통대학교 교통건축논문집, 제1권 제1호, 2018. 10, pp.25-30. // (Y.G. Chung, An Reflected Sunlight Damage Analysis through Resident's Subjective

- Response, Journal, of Transportation Architecture 2018. 10, pp.25-30.)
- [6] 이종영, 김지현, 송규동, 고반사 커튼월 건물의 직사일광 반사영역산정, 한국친환경설비학회 학술발표대회논문집, 2008. 04, pp.104-109. // (J.Y. Lee, J.H. Kim, K.D. Song, Estimating Direct Sunlight Reflection Area of High-reflectance Curtain Wall Buildings, Conference Journal of KIASEBS, 2008.04, pp.104-109.)
- [7] 이종영 외 3인, 컴퓨터 시뮬레이션을 이용한 건물 외장재의 태양광 반사에 의한 눈부심 영향 평가, 한국친환경설비학회논문집, 2009. 03, pp.23-30. // (J.Y. Lee et al., Evaluating Glare in due to Solar Specular Reflection from a High-rise Building Skin, Journal of KIASEBS, 2009.03, pp.23-30.)
- [8] 김지현 외 3인, "RADIANCE 프로그램을 이용한 태양광 경면반사에 의한 눈부심 영향 분석방안 연구", 한국생활환경학회지, 제20권 1호, 2013. 02, pp.64-71. // (J.H. Kim et al., A Study on the Evaluating Method for Daylight Glare due to Solar Specular Reflection from High-rise Buildings using the RADIANCE Program, Journal of KSLES Vol. 20(1), 2013. 02, pp.64-71.)
- [9] 조영남, 박헌준, 이정재, Radiance를 이용한 휘도 예측에 관한 연구, 한국친환경설비학회 학술발표대회논문집, 2013. 10, pp.123-109. // (Y. N. Jo, H. J. Park, J. J. Lee, A Study on the Prediction of Building Skin Luminance using the Radiance, Conference Journal of KIASEBS, 2013. 10, pp.123-109.)
- [10] 권세림, 송규동, 현장실측과 컴퓨터 모델에 의한 건물 외장재 경면반사의 눈부심 영향 분석, 대한건축학회 학술발표대회논문집, 제34권 제 2호, 2014. 10, pp.421-422. // (S.L. Kwon, K.D. Song, Impact Analysis on Glare for Daylight Glare due to Solar Specular Reflection using the Computer Model and Field Survey, Conference Journal of AIK, 34(2), 2014. 10, pp.421-422.)
- [11] 최준우 외 4인, 빛반사 시뮬레이션을 통한 건축물의 현황영향분석 프로세스 구축, 한국태양에너지학회 학술발표대회논문집, 2018. 04, pp.165-165. // (J.W. Choi et al., Glare-effect Analysis Process of Buildings by the Light Reflection Simulation, Conference Journal of KSES, 2018. 04, pp.165-165.)
- [12] Naai-Jung Shih, Yen-Shih Huang, The Computer-aided Visualization of Curtain Wall Reflection Glare, Journal of Computing in Civil and Building Engineering, 2000, pp.1574-1581.
- [13] Xiaoming Yang Lars Grobe, Wittkopf Stephen, Simulation of Reflected Daylight from Building Envelopes, 13th International Conference Journal of IBPSA, 2013. 08, pp.26-28.
- [14] Marcin Brezicki, The Influence of Reflected Solar Glare Caused by the Glass Cladding, Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering, 27(5), 2012, pp.347-357.
- [15] Marc Shiler, Elizabeth Valmont, Urban Environmental Glare: the Secondary Consequence of Highly Reflective Materials, Conference Journal of Passive & Low Energy Architecture, 2006. 09, pp.55-60.
- [16] Jae Y. Suk, Marc Shiler, Karen Kensek, Reflectivity and Specularity of Building Envelopes How Materiality in Architecture Affects Human Comfort, Architectural Science Review, 2017. 06, pp.256-265.
- [17] Ryan Danks, Joel Good, Urban Scale Simulations of Solar Reflections in the Built Environment: Methodology & Validation, Conference Journal of SimAUD, 2016. 05 pp.19-26.
- [18] Sahar Abdelwahab, Mariam Elhussainy, Rania Labib, The Negative Impact of Solar Reflections Caused by Reflective Buildings' Facades: Case Study of the Nasher Museum in Texas, Conference Journal of Earth and Environmental Science, 2019, pp.1-10.

1) 태양과 같이 너무 밝아 주변 밝기에 관계없이 눈부심을 유발할 수 있는 태양 반사광 반사면의 휘도개념으로 Mrac Shiler 등[15]은 15,000cd/m², Jae Y. Seok 등[16]은 22,500cd/m² 그리고 국내 연구논문과 법원에서는 25,000cd/m² 이상을 채용함.