

# 외부 베네시안 블라인드가 설치된 창의 수직면 조도 예측 시뮬레이터 개발

허선영, 김영섭, 라선중, 유영서, 박철수

서울대학교

hye6653@snu.ac.kr, yskim0326@snu.ac.kr, seonjung.ra@snu.ac.kr,

youngseo.yoo@snu.ac.or, cheolsoo.park@snu.ac.kr

## Virtual simulator for predicting vertical illuminance of window with external Venetian blind

Seon-Young Heo, Young-Sub Kim, Seon-Jung Ra, Young-Seo Yoo, Cheol-Soo Park

Seoul National University

### 요약

외부 베네시안 블라인드 (external venetian blind, EVB)가 설치된 창호시스템을 도입하여 자연채광을 효율적으로 이용하기 위한 노력이 지속되고 있다. EVB 제어를 위해, 분석가는 주로 시뮬레이션 툴을 이용해 건물의 실내 전체에 대한 모델링을 수행하고 슬랫 각도별 조도를 도출하고 있으나, 이는 건물의 광범위한 실내 정보가 요구될뿐만 아니라 빛 환경의 주된 영향인자 (예: 가시광선의 유입량)와 조도 간 관계를 이해하는데 어려움이 있다. 따라서, 본 연구에서는 외부 환경요인, 슬랫 각도 및 가시광선 투과율과 수직면 조도 간 관계를 고려한 인공신경망 기반 daylighting simulator를 제안하고자 한다. 다양한 계절 및 환경에 대한 검증을 수행하여, 제안하는 simulator가 센서 및 시뮬레이션 툴을 대체하여 수직면 조도를 잘 예측할 수 있음을 보이고자 한다.

### I. 서론

조명에너지 저감과 재실자의 시쾌적응을 향상하기 위해, 창호에 외부 베네시안 블라인드 (external venetian blind, EVB) 설치 및 제어를 통해 자연채광을 효율적으로 이용하는 연구가 활발히 이루어지고 있다. 효과적인 EVB 제어를 위해서는 슬랫 각도별 실내 조도 예측이 필요하며, 현재는 주로 whole building 시뮬레이션 툴을 활용하여 조도를 계산하고 있다. 이를 위해서는 whole building 시뮬레이션 도구에서 요구하는 건물 실내 환경에 관한 상세하고 광범위한 입력변수가 요구된다. 이로 인해, 실내 조도에 큰 영향을 주는 가시광선(직달 일사, 산란 일사)의 유입량 및 블라인드의 슬랫 각도와 조도 간 명확한 관계를 파악하기 어려워, 재실자의 시쾌적응 향상을 위한 EVB 제어 전략 수립이 어렵게 된다. 본 연구에서는 외부 환경 (태양 위치, 직달 및 산란 일사량) 및 블라인드 슬랫 각도를 이용하여 EVB가 설치된 창을 통과하는 수직면 조도를 예측하는 daylighting simulator를 제안하고자 한다. simulator 제작을 위해 인공신경망 (Artificial neural network, ANN) 모델을 이용하였으며, simulator 개발 프로세스는 다음과 같다: 1) pyWincalc 및 Climate Studio를 활용한 ANN 학습 데이터 수집, 2) ANN 기반 simulator 제작, 3) simulator 검증.

### II. Daylighting simulator 개발

가시광선 투과율(visible transmittance, VT)은 창호의 유리를 통과하는 태양 스펙트럼 중 가시광선의 비율로, 유리의 빛 속성을 분석하는 주된 지표로 사용된다. 일반적인 유리에 대해 ASHRAE (2021)에는 창호 종류별 수평각(normal incidence)의 VT 값이 기재되어 있다 [1]. 그러나, EVB가 설치된 경우에는 슬랫 각도에 따른 VT 값을 고려하기 위해, VT를 3가지의 경우로 나누어 계산한다 ( $VT_{dir-dir}$ ,  $VT_{dir-dif}$ ,  $VT_{dif-dif}$ ) [2].  $VT_{dir-dir}$ 는 직달 일사가 블라인드를 통과할 때 슬랫과의 반사 없이 투과되는 비율이다.  $VT_{dir-dif}$ 는

직달 일사가 슬랫과의 반사 후, 빛이 확산성을 띠 때 사용된다.  $VT_{dif-dif}$ 는 도달하는 확산광과 투과되는 확산광 간의 비율이다. 본 연구에서는 태양의 위치와 슬랫 각도에 따른 3개의 VT 값( $VT_{dir-dir}$ ,  $VT_{dir-dif}$ ,  $VT_{dif-dif}$ )을 활용하여 EVB가 설치된 창을 통과하는 수직면 조도를 예측하는 daylighting simulator를 개발하였다.

본 연구에서는 daylighting simulator 개발을 위해, 인공신경망 (Artificial neural network, ANN) 모델을 사용하였다. 입력 변수는 천공 조건 (clearness)에 영향을 주는 환경 요인 (직달 및 산란 일사량, 천정각)[3]과 블라인드 슬랫 각도, 슬랫 각도에 따른 변수( $VT_{dir-dir}$ ,  $VT_{dir-dif}$ ,  $VT_{dif-dif}$ , 개폐율, 산란 일사가 수직면에 도달하는 비율)를 고려하였다. 출력변수는 EVB가 설치된 창호 시스템을 통과하는 수직면 조도이다.

ANN 학습 데이터를 수집하기 위해, LBNL에서 개발한 python 패키지인 pyWincalc를 활용하여 EVB가 설치된 이중창 모델을 생성하였다. EVB는 슬랫 너비 50mm, 슬랫 간격 50mm, 슬랫 두께 15mm, 투과율 0.0, 반사율 0.47로 설정하였고, 창과의 이격 거리는 1,000mm로 하였다 (그림 1). 이중창은 투명 유리 6mm+ 아르곤 가스 12mm+ 투명 유리 6mm로 구성되며 가로 및 세로 1m x 1m로 구성하여 남향에 설치된 것으로 가정하였다. 환경 요인 (직달 및 산란 일사량, 천정각)은 계절과 시각에 따른 태양의 위치와 천공 조건을 반영하기 위해 서울 지역의 표준 기상 데이터를 참고하여, 하지(6월 21일), 추분(9월 21일) 및 동지(12월 21일)의 9~16시로 선정하였다.

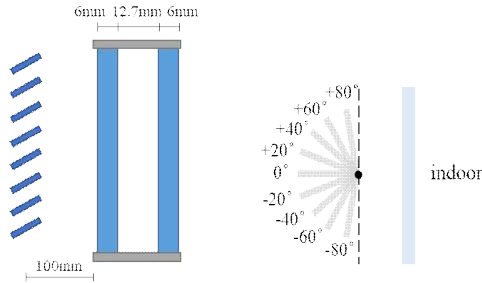


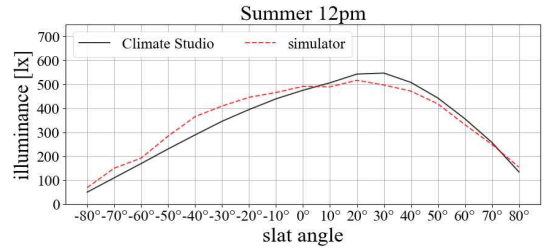
그림 1. 외부 베네시안 블라인드가 설치된 이중창 및 슬랫 각도 (슬랫 각도 0°은 블라인드 슬랫이 수평인 상태)

슬랫 각도  $-80^{\circ}$ ~ $80^{\circ}$  범위에서  $10^{\circ}$  간격으로 변화하여, 17개 슬랫 각도별 하지, 추분 및 동지의 직달 및 산란 일사량 및 태양 위치(방위, 고도)에 따른  $VT_{dir-dir}$ ,  $VT_{dir-dif}$ ,  $VT_{dif-dif}$ 를 도출하였다. 상술한 바와 같이 VT는 태양의 위치와 슬랫 각도에 따라 다른 특성을 보였다.  $VT_{dir-dir}$ 는 태양의 방위각과 고도각에 의해 정의되는 프로파일 앵글 (profile angle)과 슬랫 각도가 평행할 때 큰 값을 보였고,  $VT_{dir-dif}$ 는 태양의 프로파일 앵글과 슬랫에 의해 가려지는 비율에 영향을 받았다.  $VT_{dif-dif}$ 는 산란 일사가 태양의 위치에 영향을 받지 않고 슬랫 각도에 따라 차이가 존재하며, 산란 일사가 가장 많이 투과할 수 있는  $0^{\circ}$ 에서 가장 크고,  $0^{\circ}$ 를 기준으로 대칭인 형태를 띠며 감소하였다. 즉,  $VT_{dir-dir}$ ,  $VT_{dir-dif}$ ,  $VT_{dif-dif}$ 별 특성을 입력데이터로 활용하여 다양한 환경 하에서 조도 예측이 가능하도록 simulator를 구축하였다.

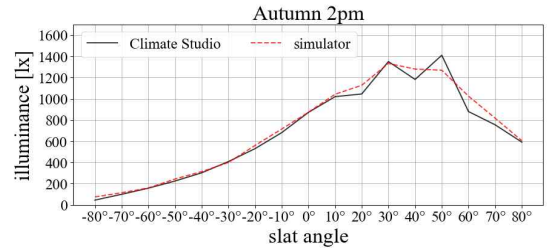
ANN 학습을 위한 출력데이터를 수집하기 위해, Solemma에서 개발한 ClimateStudio를 활용하여, EVB가 설치된 이중창 시스템을 통과하는 수직면 조도값을 도출하였다. 5m x 5m x 3.4m의 실 (zone)을 형성하고, pyWincalc에서 모델링한 것과 같이 동일한 EVB가 설치된 이중창 시스템을 모델링하였다. 또한, 동일한 환경 조건 하에 총 408회의 시뮬레이션을 수행하여 (3일 (하지, 추분, 동지) x 8시간(9~16시) x 17개 슬랫 각도 = 408회), 창호 시스템의 바로 뒤 수직면 그리드를 기준으로 조도를 측정하였다. 수집한 입력 및 출력데이터를 이용해 ANN 모델을 학습하여, Coefficient of Variance of Root Mean Square Error (CVRMSE) 13.3%의 정확도를 확보하였으며, daylighting simulator로 충분히 활용 가능한 것으로 판단하였다.

### III. Daylighting simulator 검증

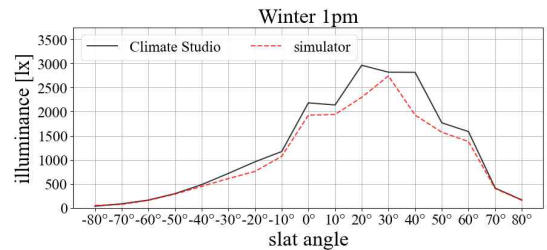
simulator의 정확도를 검증하기 위해, 여름, 가을 및 겨울별 한 시각에 대한 슬랫 각도별 simulator 예측값과 ClimateStudio 결과값과 비교하였다 (3일 x 1시각 x 17개 슬랫각도 = 총 51회 수행). 참고로, 일사 조건은 직달 일사량  $600W/m^2$ , 산란 일사량  $200W/m^2$ 로 동일하나, 계절과 시각에 따른 태양의 위치 변화로 인해 천공 조건 (clearness)은 다르다. 그림 2는 여름, 가을 및 겨울의 슬랫 각도별 검증 결과를 나타내며, CVRMSE는 여름 10.2%, 가을 9.1%, 겨울 24.2%로 나타났다. 여름 및 가을에 예측된 조도는 높은 정확도를 보였으며, 이는 제안하는 daylighting simulator가 동일한 태양 조건에서도 태양 위치 및 슬랫 각도에 따른 가시광선 투과율을 고려할 수 있어, EVB가 설치된 이중창 시스템을 통과하는 수직면 조도를 잘 예측할 수 있음을 의미한다. 겨울의 경우 비교적 낮은 예측 결과를 보였는데, 이는 학습 데이터에 활용된 동지 (12월 21일)의 태양 고도의 범위와 직달 및 산란 일사량의 조합이 하지와 추분에 비해 비교적 좁아, 겨울철 환경을 반영하기 위한 입력데이터의 다양성이 낮았기 때문으로 추측된다. 추후 겨울의 환경 요인 (태양 고도, 직달 및 산란 일사량)의 다양성을 고려한 학습 데이터를 수집하여 simulator를 개선하여, 겨울철 조도 예측의 정확도를 개선할 예정이다.



(a) 여름 (오후 12시)



(b) 가을 (오후 2시)



(c) 겨울 (오후 1시)

그림 2. daylighting simulator와 ClimateStudio 결과 간의 비교값 (여름, 가을, 겨울)

## IV. 결론

본 논문에서는 외부 베네시안 블라인드가 설치된 이중창을 통과하는 조도 예측을 위한 인공신경망 기반 daylighting simulator를 개발하였다. 다양한 환경요인에 대해 검증을 수행한 결과, 제안하는 daylighting simulator는 기존의 센서 설치 및 시뮬레이션 틀에 사용되는 광범위한 건물 실내 정보 없이, 외부 베네시안 블라인드가 설치된 창호 시스템의 일부 정보와 주된 환경 요인만으로도 충분히 조도를 예측할 수 있었다. 또한, 제안하는 daylighting simulator는 슬랫 각도에 따른 직달 일사 및 산란 일사의 투과율과 변화하는 외부 환경에 대한 슬랫 각도별 자연채광 유입량을 반영한 조도 예측이 가능하여, 실시간 빛환경 제어에 효과적으로 활용될 수 있을 것으로 기대할 수 있다.

## ACKNOWLEDGMENT

본 연구는 산업통상자원부(MOTIE)와 한국에너지기술연구원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다. (No. 20202020800360)

## 참고 문헌

- [1] ASHRAE, (2021), *ASHRAE Handbook: Fundamentals 2021*, ASHRAE
- [2] Curcija, C., Vidanovic, S., Hart, R., Jonsson, J., Powles, R., & Mitchell, R. (2018). *WINDOW Technical Documentation*. Lawrence Berkeley Lab.
- [3] Aghimien, E. I., Li, D. H., Chen, W., & Tsang, E. K. (2021). Daylight luminous efficacy: An overview. *Solar Energy*; 228, 706-724.