

# 정밀 전천공조도 데이터를 활용한 국내 주요도시 업무용 건물의 자연채광 활용성능 평가

최수현\* · 신상용\*\* · 서동현\*\*

\*충북대학교 건축공학과

\*\*충북대학교 건축공학과 대학원

## Evaluation of Daylighting Performance in Office Building with Detailed Global Illuminance Data of Selected Korean Cities

Choi, Su-Hyun\* · Shin, Sang-Yong\*\* · Seo, Dong-Hyun\*\*

\*Department of Architectural Engineering, Chungbuk University.

\*\*Department of Architectural Engineering, Chungbuk University. Master Student.

†Corresponding author: seodh@cbnu.ac.kr

### Abstract

In this study, long-term global illuminance data for 19 selected cities are calculated from modeled solar radiation data, AEER's TMY2. Perez model in Daysim daylight simulation tool is used for the solar radiation to illuminance conversion. And then, daylight availability in an unit office space is evaluated for the 19 cities. For this evaluation, various daylight performance indices are reviewed since static daylight performance index such as daylight factor (DF) and annual average global illuminance value is not suitable for actual performance evaluation in terms of visual comfort and light energy saving of a space.

This study evaluated daylighting performance of prototypical office space module by introducing DA (daylight autonomy) and UDI (Useful Daylight Illuminance) index for major cities of Korea. Result shows that there is upto 18% of illuminance level difference with annual average global illuminance data, but if we consider useful daylight in a space the illuminance level difference among the cities are only within 5%. This means that for sustainable building design especially in daylight design, amount of annual global illuminance is not important factor even in cloudy cities. Daylight design and daylight harvesting system would return similar energy saving impact regardless of building location.

**Keywords:** Daysim, 자연채광 잠재량(Daylighting performance), 페레즈 발광효율 모델(Perez luminous efficacy model), DA(Daylight autonomy), UDI(Useful daylight illuminance)



Journal of the Korean Solar Energy Society  
Vol.36, No.6, pp.37-46, December 2016  
<https://doi.org/10.7836/kjes.2016.36.6.037>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 04 September 2016

Revised: 09 December 2016

Accepted: 19 December 2016

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

## 1. 서론

### 1.1 연구의 배경 및 목적

건물에서 사용되는 조명에너지는 연간 건물에너지 사용량의 상당부분을 차지하는 반면 LED와 같은 고효율램프의 기술발전 속도가 빨라 전체 건물에너지 사용처(end-user) 중에서도 에너지 절감잠재율이 높은 부문에 속한다. 더구나 주간에 풍부한 전천공조도(Illuminance from unobstructed sky)를 활용할 수 있도록 건축 또는 설비적인 자연채광기법을 적용할 수 있어 절감잠재율을 더욱 높일 수 있다. 자연채광기법은 에너지절약 이외에도 재실자의 쾌적성 향상, 공간의 질감 향상 등 정량화하기 힘들지만 재실자의 선호를 높이는 장점이 있다. 그러나 주광과 함께 투과되는 태양일사의 제어, 과도한 눈부심, 프라이버시 등의 제약조건들로 인해 적극적으로 자연채광을 이용하는 건축프로젝트는 드물다. 국가에서는 녹색건축물 인증제도나 건축물에너지효율등급제도 등을 통해 자연채광 활용도를 높이고 조명에너지 절감을 유도하고 있으나 이에 따른 인센티브, 설계를 위한 기반데이터, 설계 가이드 등 구체적인 참고용 데이터나 자료의 공급은 원활히 이루어지고 있지 않은 것이 국내의 현실이다. 따라서 본 연구는 건축물 자연채광 기술적용을 활성화하기 위한 기반데이터를 공급하는 것을 목적으로 하며, 이를 위한 기초적인 연구로 국내 도시별 전천공조도 및 건축공간에서의 자연채광 활용 잠재성능을 평가하고자 한다.

### 1.2 연구의 방법 및 절차

도시별 전천공조도 및 건축공간의 자연채광성능을 정확히 평가하기 위해서는 도시별 장기간의 측정데이터가 필요하다. 그러나 이러한 자료는 세계적으로도 공식 측정하지 않고 있는 것이 일반적이기 때문에 본 연구에서는 Daysim 프로그램에 내장되어 있는 페레즈 발광효율모델(Perez luminous efficacy model)<sup>1)</sup>을 활용하여 매시각별 일사량을 매시각별 또는 그 이하의 시간간격별 전천공조도로 변환하여 사용한다. 페레즈 발광효율모델은 평균적인 발광효율모델을 사용하는 것이 아니라 전일사량, 직달일사량, 확산일사량, 태양고도각, 대기 중의 수증기, 에어로졸 등의 영향으로 인한 brightness, clearness 등을 고려하여 매시각 발광효율을 계산하는 일종의 전천공(All-Sky) 발광효율모델로 다양한 입력값 중에서도 매시각별 전일사와 확산(또는 직달) 일사량 값이 가장 중요하다. 매시각별 일사량은 Seo et al. (2011)<sup>2)</sup>와 Seo et al. (2010)<sup>3)</sup>의 연구를 통해 국내외 도시를 대상으로 성능에 대한 검증을 완료한 일사데이터를 활용하였다. 두 연구는 표준 기상데이터의 필수요소인 장기간 태양일사량 데이터를 솔라모델을 활용하여 계산하였으며 실측한 일사량 데이터와 검증한 결과 R<sup>2</sup> 값 기준으로 0.9 이상의 예측정확성을 보였다.

도시별 건축공간의 자연채광성능을 비교하기 위하여 국토교통부의 가이드라인 (2012)<sup>4)</sup>과 최안섭 (2015)<sup>5)</sup>의 연구결과를 바탕으로 Daysim 표준사무소건물 모델을 작성하였다. 선정된 실내 자연채광성능 지표를 이용하여 19개 도시의 전천공조도수준에 따른 실내 자연채광성능의 차이를 비교분석 하였다. Fig. 1은 본 연구의 흐름을 보여주고 있다.

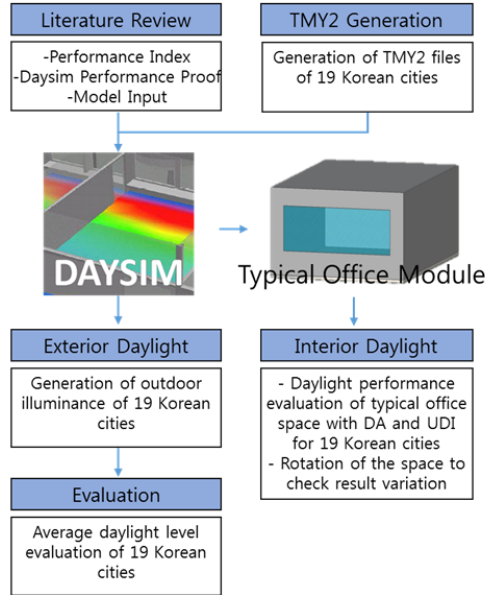


Fig. 1 Research flow diagram

## 2. 문헌고찰

### 2.1 Daysim과 동적채광성능 지표

Daysim은 NRCC (National Research Council Canada)가 개발한 건물 자연채광 성능분석 동적 시뮬레이션 프로그램이다. Radiance 프로그램과 동일한 Raytracing 방법을 기반으로 개발된 프로그램으로 사용자의 조명스위치 조작, 센서위치, 설계조도 및 블라인드의 작동여부 등을 시뮬레이션할 수 있다. 동적 건물에너지 시뮬레이션 프로그램인 EnergyPlus, eQUEST, TRNSYS와 연동하여 자연채광 분석이 가능하다. 배치한 가상 포토센서의 채광량을 계산하여 DF (Daylight Factor), DA (Daylight Autonomy), UDI (Useful Daylight Illuminance) 등을 쉽게 산출할 수 있는 시뮬레이션 프로그램이다. 프로그램에 대한 소개와 본 연구에서 사용할 채광성능지표에 관해서는 프로그램 매뉴얼(2006)<sup>6)</sup>에 상세히 설명이 되어 있으며, 아래는 요약한 내용이다.

#### (1) DF (Daylight Factor, 주광율)

건축공간의 자연채광 성능을 나타내는 가장 일반적인 지표로 작업면 높이(일반적으로 75 cm)에서 담천공 상태의 외부조도와 실내조도의 비율로 정의한다. DF는 태양이 완전히 구름에 가려진 상태가 기준이기 때문에 최소한의 채광기준을 제시할 뿐 다양한 천공조건 및 태양일사의 상태를 고려하지 못한다. 따라서 동일 조건에서의 채광성능을 비교하기 용이하다는 장점이 있으나 건물의 실제 채광량을 합산하거나 매시각별 평가할 수는 없다. 하지만 채광을 고려하는 건축기준으로 가장 많이 활용되는데, 영국표준협회 기준(BS 8206 part2<sup>7)</sup>)의 경우 주간에 DF는 2% 이상의(실용도에 따라 다름) 값을 가져야 하며, 조명이 있을 경우에는 5% 이상의 값을 가져야 한다고 정의하고 있다. 또한 미국그린빌딩위원회의

LEED 인증시스템에서는 바닥면적의 75% 이상의 범위에서 작업면에 대한 DF값이 최소 2%를 만족해야 한다고 정의하고 있다.

### (2) DA (Daylight Autonomy)

DA는 사용자가 정의한 연간 총일과시간대비 자연채광으로만 최소조도를 충족시키는 총시간의 비율 정의하며 DF값과는 달리 외부조도의 시시각각 변화특성을 고려한다. 채광장치의 유무에 따라 값이 달라질 수 있으며 블라인드와 같은 가동 채광장치의 경우 그에 따른 사용자의 행동패턴을 고려할 수 있다. 조도의 상한선이 없어 재실자의 눈부심, 열적 불쾌감에 대한 고려는 하지 못한다는 한계점이 있다.

### (3) UDI (Useful Daylight Illuminance)

UDI는 사용자가 정의한 연간 일과시간 대비 3개 범위로 구분된 실내조도가 발생하는 연중 총시간 비율로 정의한다. 기본 정의방식은 DA와 유사한 개념이지만 눈부심이나 열적 불쾌감을 고려하여 적정범위를 설정하여 유용한 조도범위(100~2,000 lux), 유효조도 미달범위(100 lux 미만), 유용조도 초과범위(2,000 lux 이상)로 분류하였다.

## 2.2 기존연구문헌 고찰

### (1) Daysim 계산결과의 신뢰성 검토

Daysim 시뮬레이션 결과의 신뢰성은 다양한 문헌(C. Reinhart, 2006<sup>6)</sup>; Go, 2010<sup>8)</sup>; Oh and Yoon, 2011<sup>9)</sup>)을 통해 검증되었으며 특히, 국내의 경우 Kim et al. (2013)<sup>10)</sup>의 연구에서 소규모 사무공간을 Daysim으로 모델링하고 오전 9시부터 오후 6시까지 1시간 단위로 실내 작업면 조도를 측정하여 실측값이 시뮬레이션 조도보다 평균 10% 정도 높았고, R<sup>2</sup> 값은 0.88의 설명능력을 가진다고 평가한바 있다. 국외의 경우 Reinhart et al. (2009)<sup>11)</sup>는 천공상태별 Daysim의 계산 정확성을 평가하여 청천공에서는 실측값과 계산값이 5~10%의 오차를, 답천공에서는 10~15%의 차이가 있는 것으로 분석하였다.

### (2) 도시별 자연채광 활용 잠재량 예측

자연채광 활용잠재량은 건물에너지 측면에서는 결국 자연채광과 연동된 인공조명의 제어에 의한 조명에너지 절감량으로 평가할 수 있다. 따라서 지금까지 대부분의 관련 연구는 인공조명 에너지의 절감량을 평가하기 위한 실험(Ihm et al., 2009<sup>12)</sup>; Li, 2014<sup>13)</sup>), 시뮬레이션 (Yun et al., 2012<sup>14)</sup>; Chen et al., 2014<sup>15)</sup>), 예측방정식 개발 (Krarti, 2005<sup>16)</sup>), 제어 알고리즘의 개발 (Roisin et al., 2008<sup>17)</sup>) 등의 방향으로 진행되고 있다. 이러한 연구들은 기본적으로 자연채광에 따른 실내조도수준을 기반으로 인공조명제어를 통한 조명에너지 절감잠재량을 평가하는 것이 그 목적이나 근본적으로는 공간 자체가 채광에 유리하도록 건축설계가 선행되어야 한다. 따라서 특정 공간에서 조명에너지 절감 잠재량을 평가하는 연구들에 앞서 더 근본적으로 도시별 자연채광 자원의 차이가 있는지, 주광의 도시별 차이가 건축공간에서도 그 만큼의 영

향을 가지는지를 표준건축공간모형을 활용하여 비교분석할 필요가 있다고 판단된다.

### 3. 자연채광 잠재량 평가

#### 3.1 전천공조도 데이터의 생성 및 검증

충북대 건축환경 및 에너지연구실(AEER)에서 개발한 표준기상데이터(TMY2)는 Seo(2010)의 연구결과를 기반으로 국내 35여 개 도시를 대상으로 DOE-2 프로그램에서 직접 활용할 수 있는 기상데이터 형식(\*.fmt)으로 개발되었다. Daysim은 EnergyPlus용 기상데이터 파일(\*.epw)을 읽어 페레즈 발광효율모델(2006)을 활용하여 조도데이터를 생성하기 때문에 본 연구에서는 19개 도시를 대상으로 Fig. 2와 같이 매시각별(또는 그 이하의 시간간격별) 전천공조도를 생성하여 사용하였다.

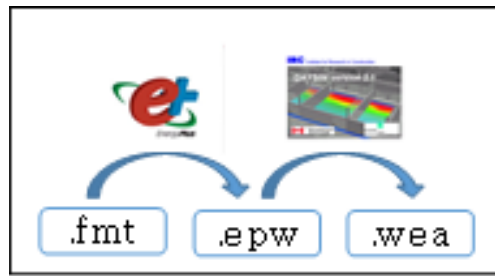


Fig. 2 Transformation of AEER's TMY2 file for generation of global illuminance data

페레즈 발광효율모델의 주요 입력변수 중 하나는 매시각별 직달 및 확산일사량이다. 페레즈 발광효율모델의 정확성에 관해서는 Muneer(2004)<sup>18)</sup>, Cucumo(2008)<sup>19)</sup> 등 많은 연구에서 이미 검증이 되었다.

국내의 경우 직접 비교할 장기간의 전천공조도 데이터가 존재하지 않기 때문에 Fig. 3과 같이 1997년부터 2006년까지 한국기상청(KMA)에서 측정한 일사데이터와 동일 기간에 대하여 AEER에서 계산한 일사데이터를 활용하여 간접적으로 AEER의 TMY2 데이터 사용의 신뢰성을 비교 및 검증하였다. 즉, 30년간 실제 기상데이터를 TMY2 작성 방법에 따라 처리하여 생성한 표준기상데이터가 해당 지역의 전형적인 기상상황을 대변한다는 의미이기 때문에 TMY2의 일사데이터가 장기간 실제 일사데이터와 유사한 특성을 가진다면 TMY2데이터의 대표성을 인정할 수 있게 된다. Fig. 3을 통해 기상청 실측데이터의 평균값과 TMY2 전일사량의 평균값이 대부분의 도시에서 1~2% 이내의 편차를 가지고 있으며, 실선으로 표현된 TMY2 일사량을 페레즈 발광효율모델로 변환한 수평면 전천공조도의 경우도 TMY2 수평면 전일사량의 도시별 변화를 잘 따르고 있어 Daysim에서 생성한 전천공조도 데이터를 활용하여 도시별 자연채광 잠재량을 평가하여도 무리가 없을 것으로 판단된다.

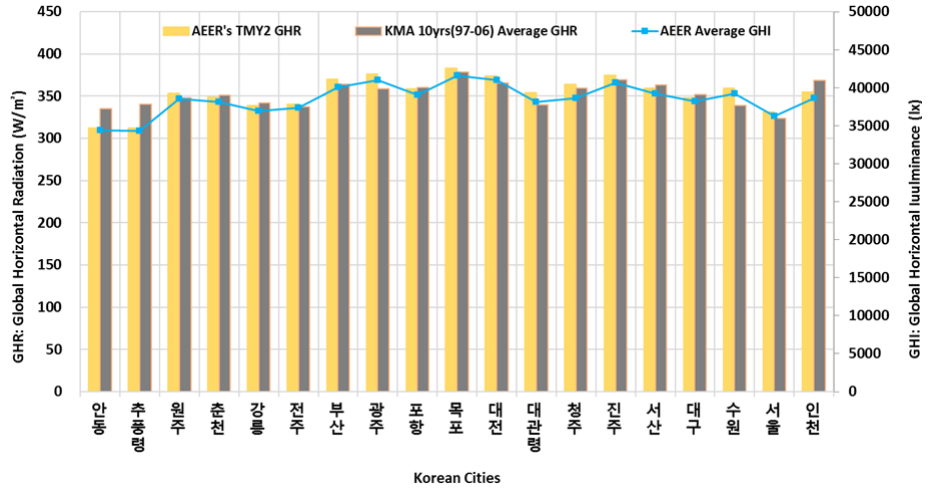


Fig. 3 Comparison of AEER TMY2's global solar radiation against actual long-term measured solar radiation data from KMA

### 3.2 시뮬레이션 대상 공간 모델링

분석대상건물의 용도는 전형적인 사무소 건물로 설정하였으며 모델링 및 분석의 효율을 위해 단위모듈로 대상공간을 한정하였다. 해석모델의 창면적비(WWR)는 국토교통부가 발행한 창호설계 가이드(2012)를 참고하여 40%로 정하였으며 창의 가시광선 투과율은 일반 복층유리로 가정한 0.65, 재실시간은 9시간(9 am~6 pm)이다. 바닥면적의 80%에 1 m 간격으로 총 48개의 센서를 가상으로 설치하여(Fig. 4) 분석하였다. 또한 KS의 사무실 실내 권장조도를 참조하여 500 lux를 기준조도로 설정하였다. 실내마감재 반사율은 최안섭(2005)의 논문에서 사용한 데이터를 활용하여 Table 1과 같이 가정하여 분석을 실시하였다.

Table 1 Input data for typical office space model

Classification		Contents
Orientation		South
Floor Area (m <sup>2</sup> )		70
WWR (%)		40
Reflectivity (%)	Ceiling	80
	Walls	50
	Floor	20
Work Plane Height (m)		0.75
Visible Transmittance (%)		0.65
Occupancy Profile (Time)		09:00~18:00

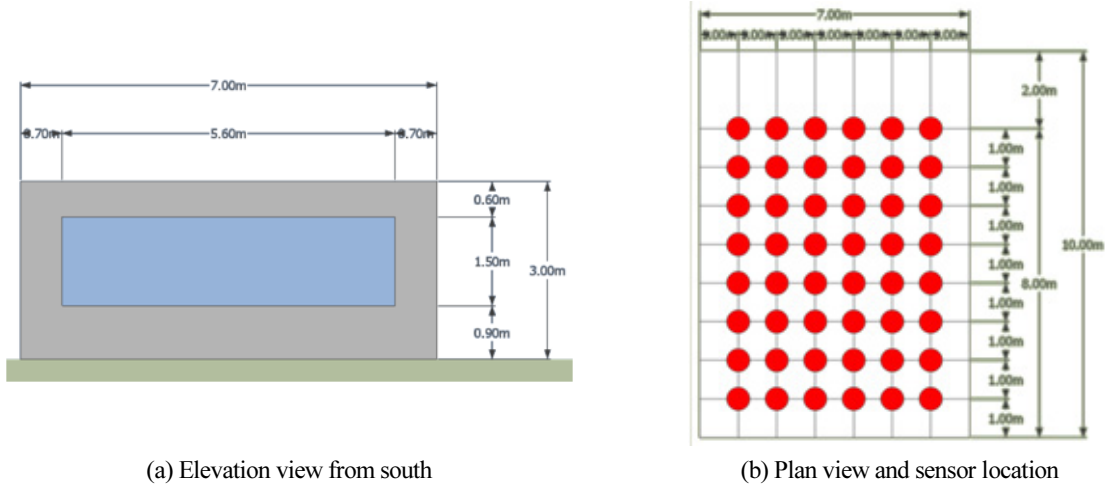


Fig. 4 Model space elevation and photosensor location

Table 2는 강릉시의 기상데이터를 사용하여 해석모델의 시뮬레이션 결과의 일부를 보여주고 있다. x, y, z는 Fig. 4 b)에서 마크한 조도센서의 좌표이며, 각 좌표마다 계산된 DF, DA, UDI값의 일부를 보여주고 있다. 각 좌표별값을 평균한 값이 해당 도시별 채광성능지표이며, 이 결과에 관해서는 다음절에서 상세하게 제시하고 있다.

Table 2 Part of daysim simulation result (gangneung)

x [m]	y [m]	z [m]	DF [%]	DA [%]	UDI<100 [%]	UDI100-2000 [%]	UDI> 2000 [%]
1.37	5.7	0.75	8.1	95	1	39	60
1.87	4.83	0.75	11	96	1	30	69
2.37	3.96	0.75	11.7	97	1	28	71
2.87	3.1	0.75	11.8	97	1	28	71
3.37	2.23	0.75	11.1	96	1	32	67
3.87	1.37	0.75	8	95	1	52	47
2.23	6.2	0.75	3.6	87	2	62	36
2.73	5.33	0.75	4.9	92	1	53	46
3.23	4.46	0.75	5.3	93	1	52	46

### 3.3 도시별 자연채광 성능분석

Fig. 5는 Daysim으로 작성된 대상공간 모델과 wea파일로 변환된 AEER의 TMY2 파일을 입력하여 계산한 도시별 평균 외부수평면조도와 48개 센서값을 평균하여 얻은 도시별 DA 및 UDI를 보여주고 있다.

도시별 10년 평균 전천공조도 데이터는 목포가 41,611 lux로 가장 높고 추풍령이 34,289 lux로 가장 낮은 도시로 나타났다. 그 차이는 약 18%이다. 대관령, 춘천, 강릉, 안동, 서울 등 대부분 중동부 지역의 조도가 목포시 대비 10% 이상의 전천공조도 편차를 보이고 있으며 그 외 다른 지역은 주로 5% 이내의 편차를 나타내고 있다. 전천공조도 평균값이 높을

수록 주광이 풍부하다고 할 수 있으나, 실제 건축공간에서 유용하게 활용할 수 있는 주광의 상한 및 하한 범위는 제한적이기 때문에 DA와 UDI의 관점에서 확인해볼 필요가 있다.

DA의 경우 19개 도시 모두 52.8~58.4%의 범위를 유지하는 것으로 나타나 대상 건축공간과 같은 조건의 건물에서 9시간 재실시간 중 50% 이상의 시간은 자연채광만으로 500 lux 이상의 실내조도를 확보할 수 있다는 것을 의미한다. 특히, 가장 높은 DA와 가장 낮은 DA를 가진 대전과 추풍령과의 차이가 5.6%, 약 246시간에 불과해 평균 전천공조도 평가에서 나타난 최대 18% 이상 편차는 많이 축소되었음을 알 수 있다. 또한, DA값으로 평가시 평균 전천공조도와는 다른 도시 순위를 보여줌으로써 단순한 평균 전천공조도를 통한 도시별 자연채광 활용잠재성의 평가가 오류를 가져올 수 있음을 시사하고 있다.

UDI의 경우 DA보다 높아 도시별 73.6~77.1%의 비율을 보여주고 있다. 이는 자연채광에 활용 가능한 전천공조도의 측면에서는 DA지표보다 더 활용 잠재량을 높게 평가하는 지표임을 알려주는데, 이는 UDI가 최소 100~500 lux에 해당하는 데이터도 실내공간의 채광에 활용할 수 있다고 평가하기 때문이다.

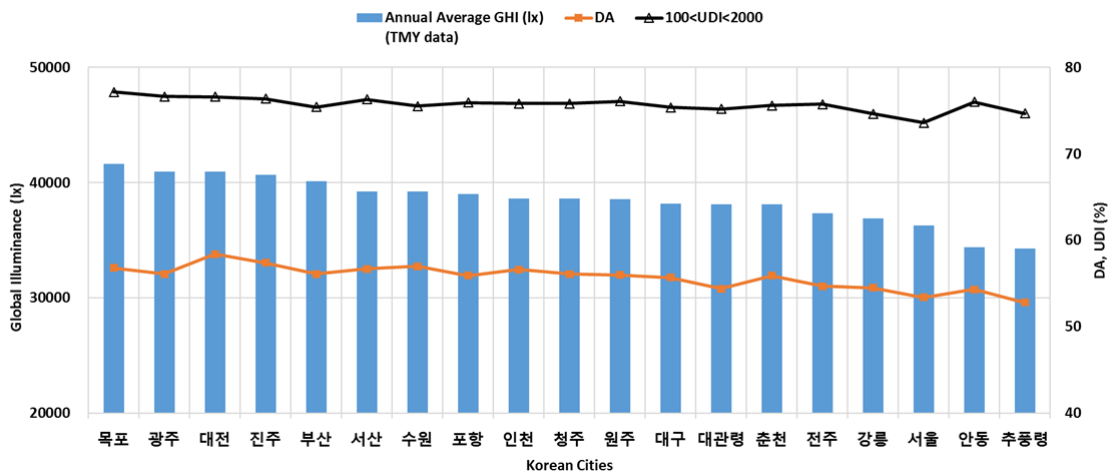


Fig. 5 Result summary of 10-year average global illuminance, DA, and UDI of 19 cities

#### 4. 결론

본 연구에서는 19개 도시의 자연채광활용 잠재량을 평가하기 위해 측정된 태양일사데이터로 비교검증한 장기간 표준 기상데이터의 일사량을 이용하여 년평균 전천공조도, DF, UDI 및 DA를 계산하고 비교평가하였다. 일사량을 전천공조도로 변환하기 위해 가장 범용적으로 활용하고 있는 페레즈 발광효율모델을 활용하였으며, 도시별 채광재량의 비교결과는 다음과 같다.

- (1) DF나 평균 전천공조도는 정적성능지표로 설계시 기준이 될 수는 있으나, 실제 건물의 채광성능을 평가함에 있어서는 모든 천공상태를 고려하는 동적자연채광지표인 DA 및 UDI를 활용하는 것이 보다 합리적이다.
- (2) 동적자연채광지표인 DA 및 UDI의 측면에서 도시별 자연채광활용성능은 DA의 경우 추풍령이 52.8%, 대전이



58.4%로 최저와 최고성능을 보였으며, UDI의 경우 서울 73.6%, 목포 77.1%로 각각 최저와 최고성능을 보이는 것으로 나타났다. 그 차이가 크지는 않지만 DA와 UDI의 관점에서 도시별 순위가 변경된 이유는 DA에서는 고려하지 않는 100~500 lux 범위의 실내 조도의 분포비율, 즉 외부조도가 낮은 비율이 도시별로 차이가 있기 때문으로 추정할 수 있다. 하지만 그 차이는 약 5% 이내로 큰 영향은 없는 것으로 판단된다.

- (3) 실내 쾌적한 시환경 조성의 측면에서 유용한 주광의 범위는 상한과 하한이 한정이 되기 때문에 도시별 연평균 천천공조도는 최대 18%까지 차이가 있었으나 DA, UDI의 측면에서 그 차이는 5% 이내로 도시별 외부채광조건의 차이는 거의 없는 것으로 분석되었다. 예를 들어, 주광반응 조명제어시스템을 설치할 경우 예상되는 조명에너지 절감량은 모든 조건이 동일한 경우 도시별 편차는 5% 이내로 큰 영향이 없으므로 연평균 천천공조도에 따른 도시별 가중치를 둘 필요가 없다는 것을 의미한다.

## 후기

본 연구는 한국기상산업진흥원의 기상산업지원 및 활용기술개발사업에서 지원한 연구과제(KMIPA 2015-4070)로 진행되었음.

## Reference

1. Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., and Stewart, R., Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct and Global Irradiance, *Solar Energy*, Vol. 44, No. 5, pp. 271-289, 1990.
2. Seo, D. and Krarti, M., Hourly Solar Radiation Model Suitable for Worldwide Typical Weather File Generation, *Journal of Solar Energy Engineering*, Vol. 113, 041002, pp. 1-8, 2011.
3. Seo, D. and Ihm, B., Comparative Solar Models Performance Analysis for Typical Meteorological Year Development of Korea, *Journal of the Regional Association of Architectural Institute of Korea*, Vol. 12, No. 1, pp. 147-154, 2010.
4. MOLIT, Window Design Guide for Building Energy Efficiency, Ministry of Land, Infrastructure, and Transportation, 2012.
5. Choi, A. and Kim, G., A Study on Determination of Dimming Zones for Effective Application of Daylight Responsive Dimming Systems, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 21, No. 6, pp. 157-164, 2005.
6. Christoph, R., Tutorial on the Use of Daysim Simulation for Sustainable Design, NRCC, 2006.
7. CIBSE BS 8206-2:2008, Lighting for Buildings. Code of Practice for Daylighting, 2008.
8. Ko, D., Analysis of Useful Daylight Illuminance(UDI) by Dynamic Daylight Simulation Using Weather Data, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 26, No. 6, pp. 321-331, 2010.
9. Oh, M. and Yoon, J., A Study on the Evaluation of Daylighting Performance based on Weather Data Using The BIM Tools in Initial Design Step, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 27, No. 6, pp. 267-274, 2011.
10. Kim, H. and Kim, K., A Study on Daylighting Performance Evaluation for the Green Building Certification and Daylight Prediction According to Design Elements, *Journal of Architectural Institute of Korea*, Vol. 29, No. 7, pp. 239-246, 2013.
11. Christoph, R., Experimental Validation Of 3D Max Design 2009 and Daysim 3.0, Eleventh International IBPSA Conference Glasgow, Scotland, 2009.

12. Ihm, P., Nemri, A., and Krarti, M., Estimation of Lighting Energy Savings from Daylighting. *Build Environ*, Vol. 44, pp. 509-514, 2009.
13. Li, D. H. W., Cheung, A. C. K., Chow, S. K. H., and Lee, E. W. M., Study of Daylight Data and Lighting Energy Savings for Atrium Corridors with Lighting Dimming Controls, *Energy Build*, Vol. 72, pp. 457-464, 2014.
14. Yun, G. Y., Kim, H., and Kim, J. T., Effects of Occupancy and Lighting Use Patterns on Lighting Energy Consumption, *Energy Build*, Vol. 46, p. 152, 2012.
15. Chen, Y., Liu, J., Pei, J., Cao, X., Chen, Q., and Jiang, Y., Experimental and Simulation Study on the Performance of Daylighting in an Industrial Building and Its Energy Saving Potential, *Energy Build*, Vol. 73, pp. 184-191, 2014.
16. Krarti, M., Erickson, P. M., and Hillman, T. C., A Simplified Method to Estimate Energy Savings of Artificial Lighting Use from Daylighting, *Build Environ*, Vol. 40, pp. 747-754, 2005.
17. Roisin, B., Bodart, M., and Deneyer, A., D'Herdt P. Lighting Energy Savings in Offices using Different Control Systems and Their Real Consumption, *Energy Build*, Vol. 40, pp. 514-523, 2008.
18. Muneer, T., Gueymard, C., and Kambezidis, H., *Solar Radiation and Daylight Models*, (2nd Edition), Butterworth-Heinemann, Oxford, 2004.
19. Cucumo, M., De Rosa, A., Ferraro, V., Kaliakatsos, D., and Marinelli, V., Correlations of Global and Diffuse Solar Luminous Efficacy for All Sky Conditions and Comparisons with Experimental Data of Five Localities, *Renewable Energy*, Vol. 33, No. 9, pp. 2036-2047, 2008.