

# CIE 권장가이드를 이용한 자연채광 기후요소 측정시스템의 유효성 검증

## Validation of a Daylight Measurement System Using the CIE Guide of Recommended Practice of Daylight Measurement

공 효 주<sup>\*</sup>                      이 종 수<sup>\*\*</sup>                      김 곤<sup>\*\*\*</sup>                      윤 근 영<sup>\*\*\*\*</sup>                      김 정 태<sup>\*\*\*\*\*</sup>  
 Kong, Hyo Joo                      Lee, Jong Soo                      Kim, Gon                      Yun, Geun Young                      Kim, Jeong Tai

### Abstract

This study is to validate the K University daylight measurement system according to the CIE guide of recommended practice of daylight measurement. In this study global irradiance, illuminance, direct normal illuminance, diffuse irradiance, illuminance and vertical illuminances(North, West, South, East) were measured and compared in accordance with the CIE quality control test. Field monitoring was conducted from 1st August to 15th August 2010. Results for the CIE tests 1 to 4 showed an accuracy of 100%. This indicates that the K University daylight measurement system is reliable and the measurement data would be useful for further daylight researches.

키워드 : 자연채광 측정시스템, 조도, 일사량, CIE, 주광  
 Keywords : Daylight Measurement System, Illuminance, Irradiance, CIE, Daylight

### 1. 서 론

자연채광은 건물에서 에너지 절감을 가능하여 낮은 에너지 소비와 이시대의 오염을 감소시킬 수 있는 중요한 요소이다. 또한, 재실자에게 훌륭한 쾌적감을 제공하여 건물에서의 생활을 보다 즐겁게 해주며, 일의 생산성을 증대시켜 작업의 효율까지 높여줄 수 있다[1].

자연채광으로부터 얻은 천공모델은 디자이너에게 건물에서 필요한 정확한 조명시간을 추정하는데 도움을 주며 또한, 인공조명 제어에서의 에너지 절약을 향상을 가능하게 한다[2]. 그러나 아직 한국은 기후요소 데이터가 있지만 자연채광을 연구하기에는 아주 부족한 실정이다. 즉, 한국은 자연채광에서 필요한 조도 및 일사량의 데이터 및 연구가 부족하다.

유럽의 일부지역이나 건조한 열대지역은 한 가지 천공상태가 계속적으로 비슷하게 나타난다. 그러나 한국은 천공상태가 일정하게 나타나지 않기 때문에 실제 기상상황과 부합하는 표준 천공모델 및 자연채광 데이터가 필요한 실정이다[3].

우리나라와 비슷한 기후를 가진 홍콩의 경우 수평면

일사량 및 조도와 수직면 일사량 및 조도를 1958년부터 일찌감치 측정하였다. 또한, 자연채광 측정시스템을 이용하여 홍콩의 기후요소를 제시하여 건물의 에너지 효율을 높일 수 있도록 하였다[4, 5].

따라서 K대학에는 수평면 전일사량, 확산일사량, 전주광조도, 전천공조도, 법선직사일광조도, 연직면조도 측정기기를 설치하였으며 국제적인 기준을 이용하여 지속적으로 측정할 수 있는지 유효성을 평가하였다. 본 연구의 목적은 CIE 주광측정실행 권장가이드를 이용하여 자연채광 기후요소 측정시스템의 유효성을 평가하는데 있다.

### 2. 자연채광 측정시스템 측정요소 및 CIE QC 검증

#### 2.1 자연채광 측정시스템 측정요소

본 연구에서 측정된 측정요소들은 CIE 108-1994 권장 가이드라인에 의해 제안된 자연채광 설계용 측정요소 중 일반용 측정에 해당되며[6], 본 연구에서의 측정 요소들은 다음과 같다[7].

- ① 수평면 전일사량
- ② 수평면 확산일사량
- ③ 수평면 전주광조도
- ④ 수평면 전천공조도
- ⑤ 법선직사일광조도
- ⑥ 연직면조도 (동, 서, 남, 북)

\* 경희대학교 건축공학과 박사과정(hjk0905@khu.ac.kr)  
 \*\* 경희대학교 건축공학과 박사과정(js6171@khu.ac.kr)  
 \*\*\* 강원대학교 건축학부 교수(gonkim@kangwon.ac.kr)  
 \*\*\*\* 경희대학교 건축공학과 전임강사(gyyun@khu.ac.kr)  
 \*\*\*\*\* 교신저자, 경희대학교 건축공학과 교수(jtkim@khu.ac.kr)

2.2 CIE QC(Quality Control) 검증

CIE QC 검증은 자연채광 측정시스템의 항목인 전일사량(Eeg), 확산일사량(Eed), 법선직달일사량(Evs), 동, 서, 남, 북 연직면일사량(Evge, Evgw, Evgs, Evgn), 전주광조도(Eeg), 전천공조도(Eed), 법선직사일광조도(Ees), 동, 서, 남, 북 연직면조도(Eege, Eegw, Eegs, Eegn)이다. 크게 검증 1에서부터 검증 4까지의 4가지의 검증으로 구성되어 있다. 그러나 본 연구에서는 법선직달일사량 및 연직면일사량을 측정하지 않아 검증 1.5, 검증 2.1, 검증 4.3 및 검증 4.4를 평가 및 자연채광 측정시스템의 유효성을 검증하지 않았다.

1) CIE QC 검증 1

CIE QC 검증 1은 5개의 자연채광 데이터 기본 요소를 확인하는 검증이다. 5개의 요소는 전일사량, 전주광조도, 확산일사량, 전천공조도, 법선직사일광조도로 각 항목 요소별 정확도를 평가하였으며, 그 식은 식1에서부터 5와 같다.

- 검증 1.1:  $0 < Eeg < 1.2 \times Ee0$  식1
- 검증 1.2:  $0 < Evg < 1.2 \times Ev0$  식2
- 검증 1.3:  $0 < Eed < 0.8 \times Ee0$  식3
- 검증 1.4:  $0 < Evd < 0.8 \times Ev0$  식4
- 검증 1.6:  $0 < Evs < Ev0$  식5

여기서, Ev0는 133,800lux이며 Ee0는 1,367w/m<sup>2</sup>이다.

2) CIE QC 검증 2

CIE QC 검증 2는 기존의 태양천정각(Solar zenith angle)에 근거한 법선직사일광조도, 확산 및 전주광조도 또는 일사량 사이의 일관성 검증이며, 그 식은 식 6에서부터 8과 같다. 단 검증 2.3과 2.4는 법선직사일광조도가 0lux일 경우만 평가한다.

- 검증 2.2:  $Evg = (Evs \cos\theta_z + Evd) \pm 25\%$  식6
- 검증 2.3:  $Eed < Eeg + 10\%$  식7
- 검증 2.4:  $Evd < Evg + 10\%$  식8

여기서, cosθz는 태양천정각이다.

3) CIE QC 검증 3

CIE QC 검증 3은 연직면 조도에 대한 유효성 검증이며, 예측한 연직면조도와 측정된 연직면조도를 비교하는 검증이다. 검증 3의 식은 식 9와 같다. 예측 연직면조도 Pevgi로 표기되며 식은 식 10과 같다[8].

검증 3:  $Evgi = Pevgi \pm 30klux$  식9

예측식:  $Pevgi = Evd\{(1-F1)/2 + F1 r/\cos\theta_z + F2\} + rEvs$  식10

여기서,  $r = \max(0, \cos(\theta))$ 이다.

예측 연직면조도를 구하기 위해 필요한 F값은 총 3단

계 계산식에 따라 구해지며 식은 식 11~13과 같다. 첫 단계는 파라미터 델타(Δ) 값을 구하는 것이며 식 11과 같다. 두 번째 단계는 파라미터 엡실론(ε) 값을 구하는 것이며 식 12와 같다. 세 번째 단계는 엡실론 값을 가지고 표 1에서 F11, 12, 13, 21, 22 및 23값들을 이용하여 F1 및 F2 값을 구하는 것이며 식 13과 같다.

단계 1:  $\Delta = Eed/(Ee0 \cos\theta_z)$  식11

단계 2:  $\epsilon = (A+1.041\theta_z^3)/(1+1.041\theta_z^3)$  식12  
 $A = \{(Eeg-Eed)/\cos\theta_z + Eed\}/Eed$

단계 3:  $F1 = F11 + \Delta F12 + \theta_z F13$   
 $F2 = F21 + \Delta F22 + \theta_z F23$  식13

표 1. 예측 연직면조도값에 대한 모델 계수

ε	F11	F12	F13	F21	F22	F23
1.000~1.065	0.011	0.570	-0.081	-0.095	0.158	-0.018
1.065~1.230	0.429	0.363	-0.307	0.050	0.008	-0.065
1.230~1.500	0.809	-0.054	-0.442	0.181	-0.169	-0.092
1.500~1.950	1.014	-0.252	-0.531	0.275	-0.350	-0.096
1.950~2.800	1.282	-0.420	-0.689	0.380	-0.559	-0.114
2.800~4.500	1.426	-0.653	-0.779	0.425	-0.785	-0.097
4.500~6.200	1.485	-1.214	-0.784	0.411	-0.629	-0.082
6.200~	1.170	-0.300	-0.615	0.518	-1.892	-0.055

4) CIE QC 검증 4

CIE QC 검증 4는 조도와 일사량 두 주광측정요소의 관련성 검증이다. 검증식은 다음과 같다. 검증 4.1은 전일사량과 전주광조도를 비교한 유효성 검증이며 검증 4.2는 확산일사량과 전천공조도간 유효성 검증을 위한 검증이다. 검증 4의 유효성 검증 식은 식(11) 및 식(12)와 같다.

검증 4.1:  $Evg/Eeg = 120 \pm 180$  식11

검증 4.2:  $Evd/Eed = 140 \pm 200$  식12

3. 측정기기 및 측정방법

3.1 측정기기의 개요

수평면 일사의 측정은 EKO(일본)의 일사계(모델명: MS-802)를 이용하여 수평면 전일사량 및 수평면 확산일사량을 측정하였다. 수평면 조도의 측정은 EKO(일본)의 조도계(모델명: ML-020so)를 이용하여 수평면 전주광조도, 수평면 전천공조도, 연직면조도(북, 동, 남, 서)를 측정하였다. 법선직사일광조도는 EKO(일본) 직사일광조도계(모델명: ML-010SD)를 이용하였다. 표 2는 본 연구에서 측정된 기기의 모델 및 사양을 나타낸 것이다.

표 2. 측정 기기 개요

구분	측정요소	모델	사양
조도	전주광조도	ML-020s-o	· 범위: 0~150,000lx · 오차율: 2.3%
	전천공조도		
	연직면조도		
	법선직사일광조도	ML-010SD	· 범위: 0~300,000lx
일사	전일사량	MS-802	· 범위: 0~1400W/m <sup>2</sup> · 오차율: 2.3%
	확산일사량		
태양 추적기	전천공조도	STR-22	· 정확도: 0.01° · 해상도: 0.009°
	확산일사량		
	법선직사일광조도		

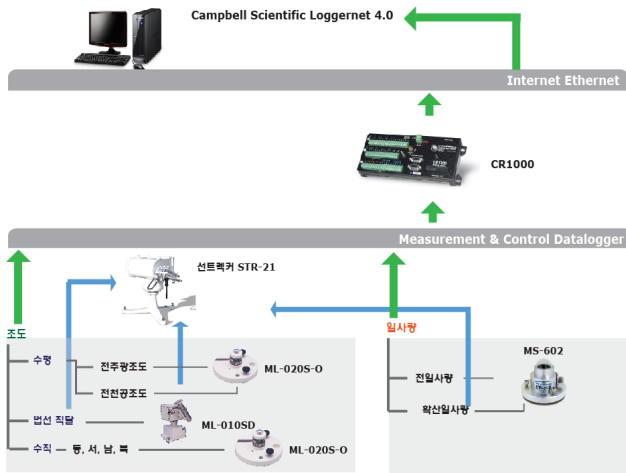


그림 1. 모니터링 시스템

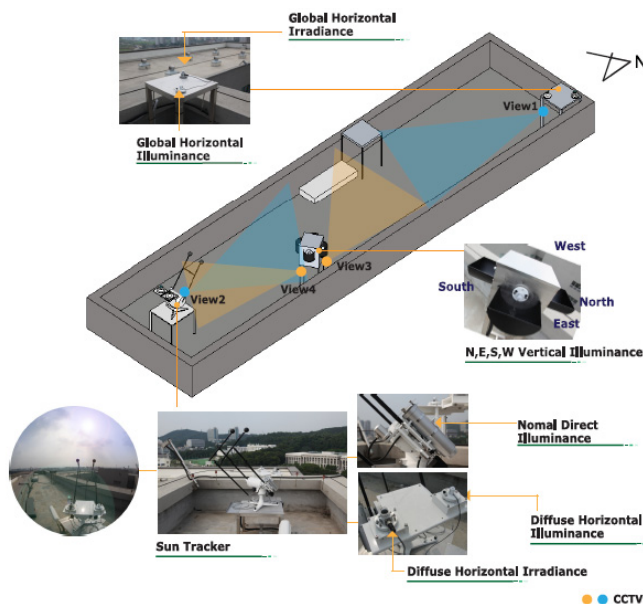


그림 2. 자연채광 측정시스템 배치도

그림 1은 측정시스템의 모니터링 구성모습이며 크게 조도 및 일사량 각각의 센서를 통해 받은 신호를 CR1000 데이터로거를 거쳐 Campbell Scientific Loggernet 4.0을 이용하여 실시간으로 데이터를 수집한다. 그림2는 자연채광 측정시스템 배치도이다. 수평면 확산일사량, 수평면 전천공조도는 태양 추적기에 설치된 산란볼을 이용하여 24시간 그림자가 지도록 측정되었으며 법선직사일광조도는 태양 추적기 오른쪽 하단에 설치되어 태양의 위치에 따라 센서 위치가 동시에 이동하도록 설계되어 있다. 또한, 측정기기가 설치된 곳에 4개의 CCTV를 설치하여 항상 실시간으로 모니터링하여 센서의 오작동 및 보안을 철저히 유지하였다.

3.2 측정 방법

본 연구에서의 측정 위치는 경기도 용인시 기흥구 서천동에 위치한 K대학교 제2기숙사 계단실 옥상에서 설치 및 측정하였다. 측정 위치는 북위 37.54°, 동경 126.07°에 위치한다. CIE 108-1994의 위치 선정에 따라 측정 위치를 선정하였다. 첫째, 주변으로부터 방해되는 조명원이 없다. 즉, 주변 건물 및 나무 등이 0.08 radians 이상 넘지 않는다.

측정은 1분의 순간 측정값과 10분의 평균값이 데이터 로거를 통해 누적되며 본 연구에서는 1분의 순간 측정값을 이용하였다. CIE의 QC 검증의 목적은 시스템의 문제를 빨리 탐지해 내는 것이다. 흔한 문제점으로 태양추적기의 틀린 배열, 센서의 오염, 눈금의 이동 또는 다른 기능 불량이다. 즉, 본 연구에서는 이런 문제점들을 해결하기 위하여 데이터의 유효성을 검증하였다.

CIE QC 검증은 태양고도 4° 이상, 수평면 전일사량 20W/m<sup>2</sup> 이상인 모든 데이터에 대해 수행하였다. 이러한 센서들은 CR1000 데이터 로거를 통해 자동적으로 컴퓨터에 1분 간격의 순간값과 10분 간격의 평균값으로 기록하게 된다. 본 연구에서의 측정은 2010년 8월 1일부터 8월 15일까지의 데이터를 분석 및 검증하였다.

4. 측정된 자연채광 데이터의 검증

4.1 자연채광 데이터 검증 1(CIE QC 검증 1)

자연채광 데이터 각 요소별 검증 검증 중에 전일사량 값을 검증하는 CIE QC 검증 1.1를 분석한 결과, 측정된 데이터 값 전체가 최대 기준 1640.4W/m<sup>2</sup>과 최소기준 0W/m<sup>2</sup>안에 100% 들어오는 것으로 나타났다. 전주광조도의 정확도 검증인 CIE QC 검증 1.2인 경우 최대 기준 160,560lux와 최소기준 0lux에 100% 범위 안에 들어오는 것으로 나타났다.

확산일사량 데이터의 정확도를 검증하기 위한 CIE QC 검증 1.3을 분석한 결과, 기준 값인 0~1093.6W/m<sup>2</sup> 안에 측정된 데이터값들이 100% 들어오는 것으로 나타났다. 또한, 전천공조도 값도 기준값 0~110,400lux 범위 안에 100% 들어오는 것으로 나타났다.

법선직사일광조도는 최대 기준 133,800lux 범위 안에

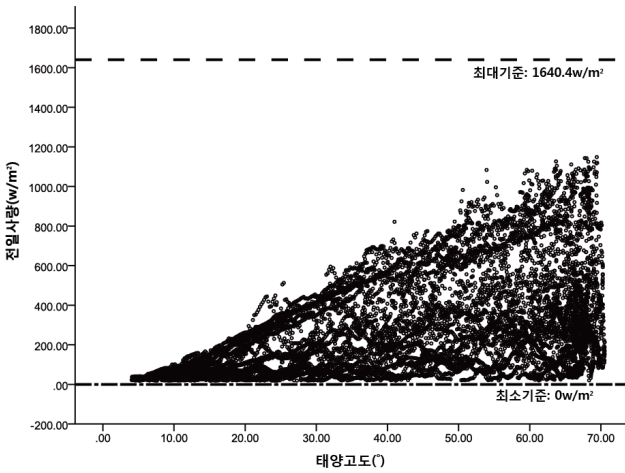


그림 3. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 1.1

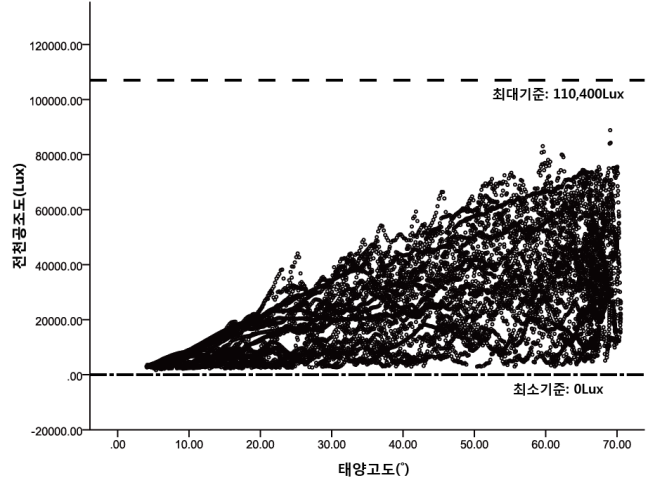


그림 6. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 1.4

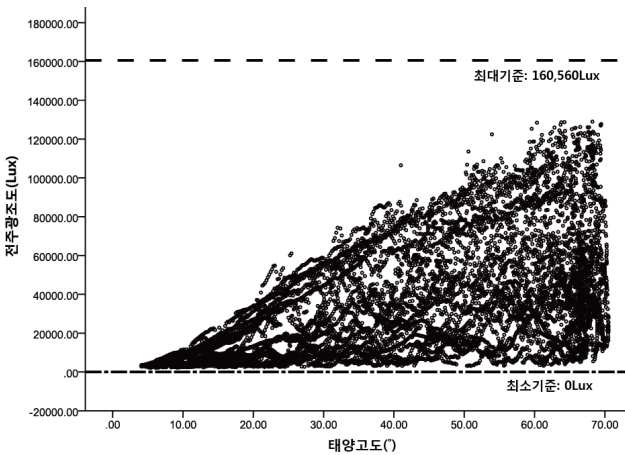


그림 4. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 1.2

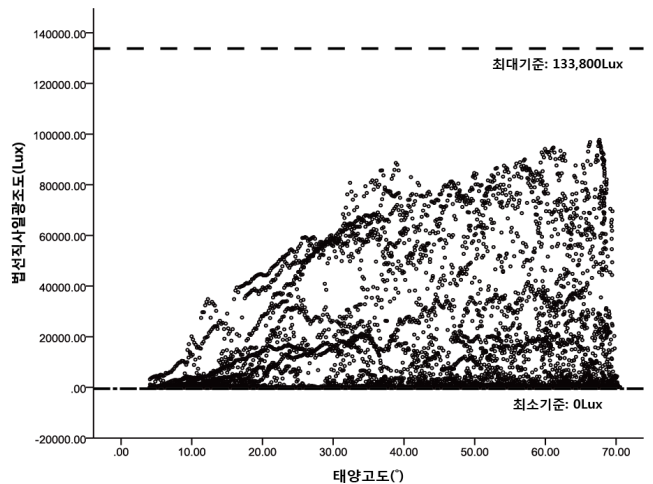


그림 7. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 1.6

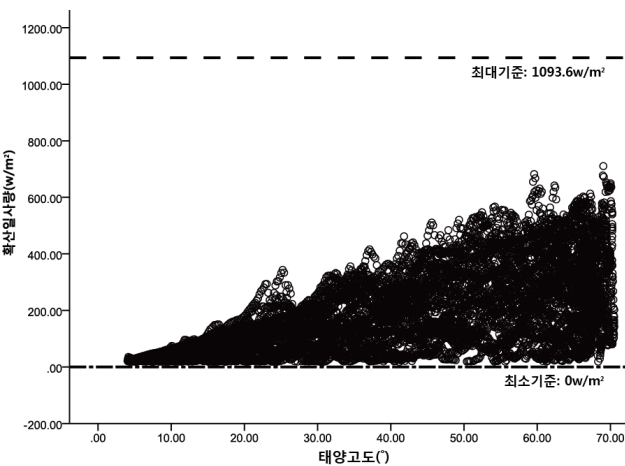


그림 5. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 1.3

산일사량, 전주광조도, 전천공조도 및 법선직사일광조도 데이터의 신뢰성이 높은 것으로 사료되며 장기적으로 본 데이터를 이용하는데 문제가 없는 것으로 판단된다.

#### 4.2 자연채광 데이터 검증 2(CIE QC 검증 2)

전주광조도와 전천공조도를 이용한 법선직사일광조도 예측값과 측정된 법선직사일광을 비교하여 정확도를 평가하는 CIE QC 검증 2.2를 분석한 결과, 기준인  $\pm 25\%$ 을 충족하는 것으로 나타났다.

법선직사일광조도가 0lux인 경우의 확산일사량과 전일사량의 관계 및 전천공조도와 전주광조도와의 관계 검증인 CIE QC 검증 2.3 및 2.4를 분석한 결과, 최소 기준 0%와 최대 기준 10%안에 측정된 데이터 값으로부터 계산한 데이터 값이 100% 들어오는 것으로 나타났다. 즉, 검증 1과 같이 100%의 높은 정확도로 데이터의 신뢰성이 높은 것으로 나타났다. 그림 8~10은 주광데이터 검증 2의 검증 결과 및 정확도를 나타낸 것이다.

들어와 높은 정확도를 나타냈다. 그림 3~7은 주광데이터 검증 1.1에서 1.6까지를 그래프로 나타낸 것이다.

자연채광데이터 검증 1을 분석한 결과 5가지 측정 요소가 100%의 높은 정확도를 나타냈다. 이는 전일사량, 확

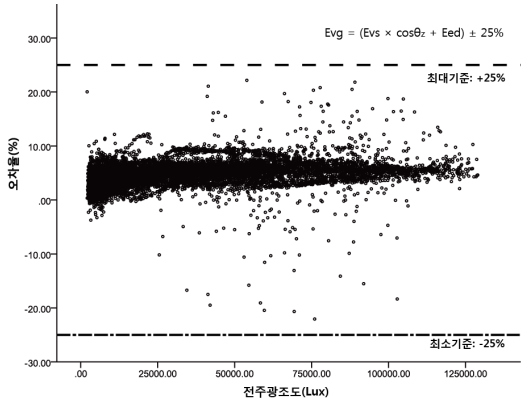


그림 8. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 2.2

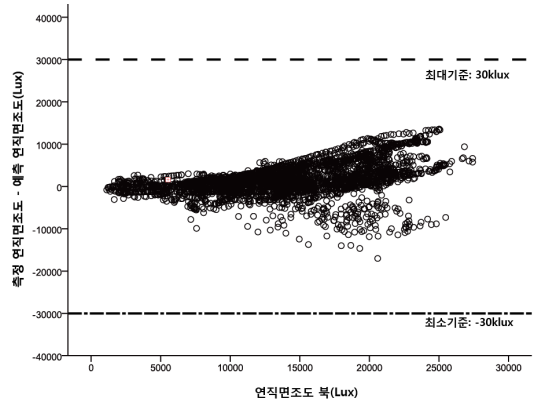


그림 11. 자연채광 데이터 검증 3(연직면조도 북)

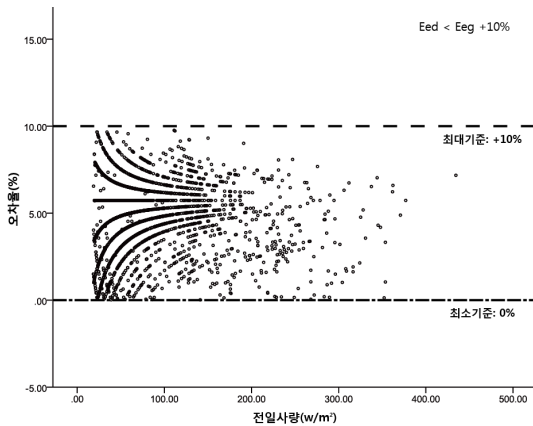


그림 9. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 2.3

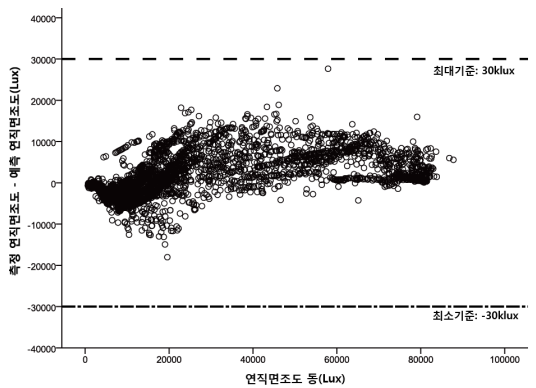


그림 12. 자연채광 데이터 검증 3(연직면조도 동)

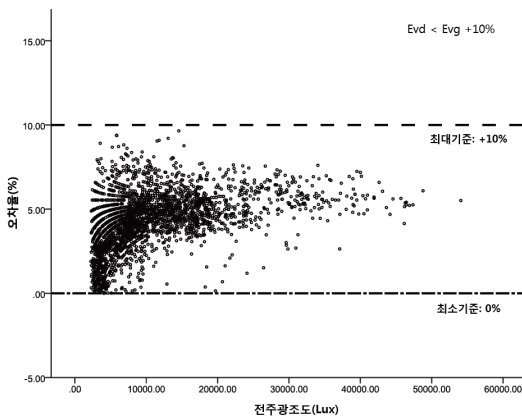


그림 10. 자연채광 데이터 검증(CIE QC 검증) 2.4

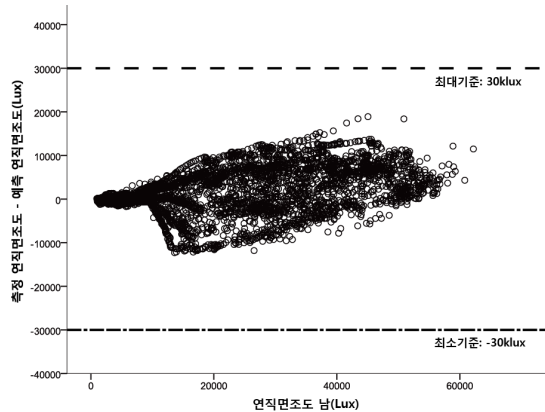


그림 13. 자연채광 데이터 검증 3(연직면조도 남)

### 4.3 자연채광 데이터 검증 3(CIE QC 검증 3)

자연채광 데이터 검증3인 예측식을 통한 연직면조도와 측정된 연직면조도의 차를 검증한 결과, 연직면조도 북, 동, 남, 서 전체가 기준인 최대 30,000lux와 최소 -30,000 lux 범위안에 있어 100%의 정확도를 나타냈다. 즉, 연직면조도 동, 서, 남, 북의 데이터 검증에 대한 신뢰도가 높아 데이터를 분석 및 평가하는데 문제가 없는 것으로 사료된다. 그림 11~14는 측정된 연직면조도와 예측한 연직면조도의 차를 나타낸 그래프이다.

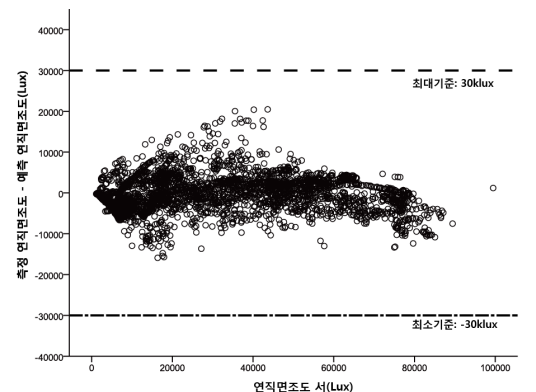


그림 14. 자연채광 데이터 검증 3(연직면조도 서)

#### 4.4 자연채광 데이터 검증 4(CIE QC 검증 4)

CIE QC 검증 4.1인 전일사량과 전주광조도 관계에 대해 분석한 결과 최대 기준 180lumen/W와 최소기준 60lumen/W 범위 안에 측정된 데이터 값이 100% 들어오는 것으로 나타났다.

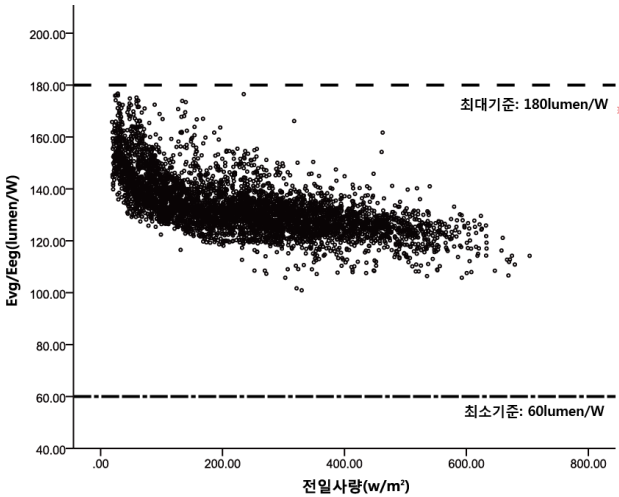


그림 15. 자연채광 주광데이터 검증 4.1

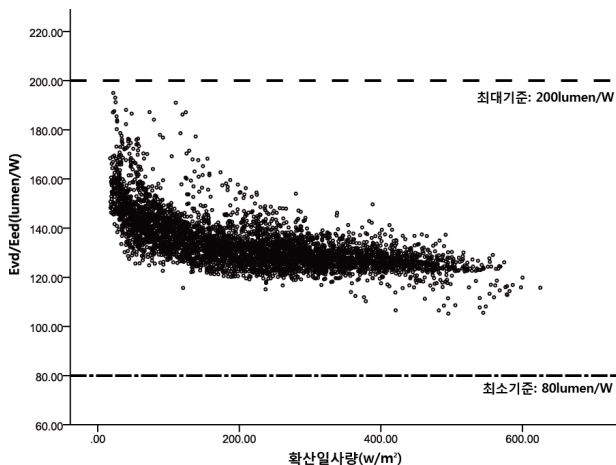


그림 16. 자연채광 주광데이터 검증 4.2

또한, 검증 4.2인 확산일사량과 전천공조도 관계에 대해 분석한 결과, 기준값 80~200lumen/W 범위 안에 측정된 데이터 값이 들어와 정확도 100%로 신뢰도가 높은 것으로 나타났다. 즉, CIE QC 검증을 통해 데이터의 유효성이 검증되어 장기적으로 주광측정시스템의 데이터값을 사용할 수 있는 것으로 나타났다. 그림 15, 16은 자연채광 데이터 검증 4를 나타낸 것이다.

#### 5. 결론

K 대학에 설치된 자연채광 측정시스템은 건축물의 채광 계획시에 필수적인 연간 기상 자료를 제공하며, 또한 주광을 고려한 인공조명 제어기법의 신뢰성을 부여함으로써 건축물의 에너지 절약을 도모할 수 있다. 본 연구에서는 CIE

자연채광 측정 권장가이드라인 QC(Quality Control)를 실시하여, K 대학의 자연채광 측정시스템의 유효성을 검증하였다. 검증 1-4에서부터 4까지 정확 여부를 검토하였다.

전일사량, 확산일사량, 전주광조도 및 전천공조도의 데이터 유효성을 검증한 결과, CIE QC 검증 1의 정확도는 100%로 나타났다. CIE QC 검증 2의 전일사량과 확산일사량 및 전주광조도 전천공조도 비교 검증 검증에서도 100%의 높은 정확도가 나타났다. 연직면조도 검증인 CIE QC 검증 3의 유효성 검증 결과, 동, 서, 남, 북 100%의 정확도가 나타났으며 전일사량과 전주광조도 및 확산일사량과 전천공조도 비교 검증인 CIE QC 검증4 역시 100%의 정확도를 나타났다.

즉, K 대학의 자연채광 측정시스템은 CIE 기준에 적합한 신뢰할 수 있는 자연채광 데이터를 제공할 수 있는 것으로 판단된다. 본 자연채광 측정시스템은 장기간의 외부 주광 데이터의 수집에 활용되어 수평면, 법선면, 연직면의 전주광 조도, 직달조도, 확산조도에 대한 일반 단위의 데이터를 제공함으로써, 객관적이고 신뢰성 있는 주광 및 인공조명 연구에 크게 기여할 수 있을 것으로 기대된다.

#### Acknowledgement

이 논문은 2010년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2010-0001860, No.2010-0028008)

#### 참고문헌

- Egan, M.D., Olgyay, V.W., Architectural Lighting, Mc Graw Hill, 2002
- Hunt, D.R.G., Availability of daylight, Building Research Establishment, 1979
- Li, D.H.W., Lam, J.C., "Vertical solar radiation and daylight illuminance data for Hong Kong", Lighting Research Technology 32(12) 2000, pp.93-100
- Lam, J.C., Li, D.H.W., "Study of solar radiation data for Hong Kong", Energy Conversion and Management 37(3) 1996, pp.343-351
- 김정태, "에너지 절약을 위한 건축물의 자연채광 디자인 방법에 관한 연구 (I); 주광조도예측을 위한 천공상태의 추정방법 비교", 조명·전기설비학회 논문지, 제3권 제2호, 1989, pp.56-62
- CIE, CIE 108-1994; Guide to recommended practice of daylight measurement, Commission Internationale de l'Eclairage, 1994
- (사)일본건축학회, 편. 자연채광디자인, 김정태, 김곤, 김원우 역, 기문당, 2009
- Perez, R., Ineichen, P., Seals, R., Michalsky, J., Stewart, R., "Modeling Daylight Availability and Irradiance Components from Direct And Global Irradiance", Solar Energy, 44, pp.271-289

투고(접수)일자: 2010년 11월 16일

심사일자: 2010년 11월 16일

게재확정일자: 2010년 12월 14일