

# 모형을 이용한 채광성능평가 방법

정인영 <경희대학교 채광조명시스템연구센터 연구박사>

## 1. 개요

자연채광의 효과적인 이용은 실내 시 환경의 쾌적성 및 작업 성능을 향상시키며 조명에너지를 절약하는 등 많은 이점을 지니고 있다. 따라서 자연채광설계를 위해 건물계획 초기단계에서부터 채광성능을 정확히 평가할 필요가 있다. 이에 자연채광성능을 예측하기 위한 평가방법으로 컴퓨터시뮬레이션, 축소모형실험 및 실물대모형실험 등이 있다. 이러한 도구들은 주광디자인에 의한 빛 환경의 시각화, 공간의 주광률 예측, 시각적 쾌적성평가, 잠재적인 에너지 절약 예측 등을 돕는데 사용되고 있다. 이러한 예측을 위하여 자연채광실험은 실제 천공상태에서 모형을 이용하여 평가하는 것이 바람직하다고 할 수 있다. 그러나 주광디자인 시 예측되는 조명물리량에 대한 평가방법의 제시는 아직 미흡한 실정이다. 이에 에너지와 관련된 다양한 분야의 연구를 지원하고 있는 국제기구인 IEA(International Energy Agency)는 Task 21(Daylight in buildings)보고서에서 개발된 고성능 채광시스템의 평가에 대한 모니터링프로토콜을 제시하였다. 따라서 이를 바탕으로 모형실험을 통한 자연채광성능 평가방법에 대하여 서술하고자 한다.

## 2. 모형실험

### 2.1 축소모형(Physical Model)

축소모형실험은 실제 건축물과 유사한 내부표면, 기구, 재질감 그리고 건축재료 등을 사용하여 제작된 모형을 이용하여 실내의 채광특성을 측정 및 분석하고 이를 근거로 건축물의 채광성능을 예측하는 기법이다. 그러므로 다양한 설계조건에 따른 건축물의 채광성능을 계획초기 단계에서 손쉽게 예측할 수 있어 건축가와 채광기술자들에게 보다 효과적인 자연채광설계가 가능하다. 또한 모형의 정밀도에 따라 매우 신뢰성 높은 측정데이터를 얻을 수 있다. 그러나 모형기법의 여러 장점에도 불구하고 축소모형실험은 모형제작의 한계상 그 결과의 유용성이 특정의 프로젝트 또는 건물에 한정되는 단점을 지니고 있다. 이를 보완하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션 등 수치적 해석방법에 의한 기법과 병용이 필요하다.

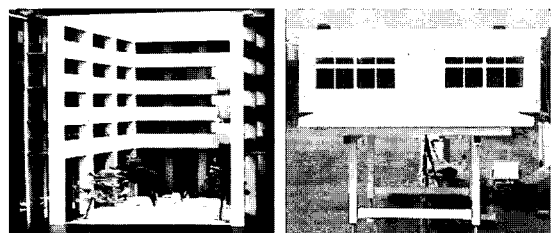
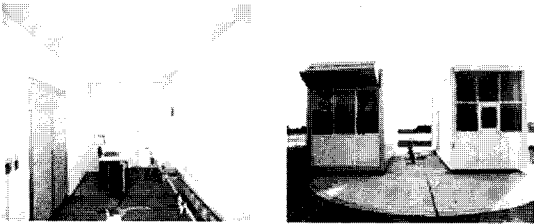


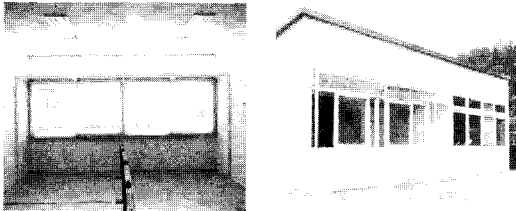
사진 1. 축소모형의 예

## 2.2 실물대모형(Mock-up Model)

주광디자인에 대한 평가는 조명물리량의 측정뿐만 아니라 거주자에 대한 주관적인 평가도 수행되어야 한다. 이에 1:1 모형(Full-Scale test room)을 제작하여 조명물리량과 축소모형에서는 측정되거나 평가될 수 없는 시각적 쾌적성 및 시 작업 성능 등의 주관적 반응을 평가하고 있다. 이를 위하여 동일한 구역에 기준실과 실험실을 동시에 설치하도록 하며, 사진 2와 같다.



(a) 스위스 LESO의 실물대모형



(b) 국내 K대학의 실물대모형

사진 2. 실물대모형의 설치 예

## 2.3 모형의 제작

모형의 제작은 평가목적에 연관되어 사용하는 척도의 선택이 선행되어야 한다. 척도 범위는 1:500부터 1:1에서 고려할 수 있으며, 목적에 따른 척도는 표 1과 같다.

축소모형의 경우 모든 벽은 불투명해야 하며, 모든 연결 부위는 빛을 차단해야 한다. 또한 모형의 각 부분들은 교체가 될 수 있도록 하며, 센서나 케이블의 배치가 가능해야 한다. 내부의 광학적 부분(벽, 천장,

바닥)과 외부의 표면은 계획된 건물의 것과 가능한 유사하게 제작되어야 하며, 투과체에 의한 내부공간의 주광분포를 평가할 경우 축소된 투과체를 사용하여 평가할 수 있도록 한다. 제작된 실내모습의 예는 사진 3과 같다.

표 1. 주광디자인의 목적과 기능에 따른 척도 선택

Scale	Objectives
1:200~1:500	응용계획, 건물의 전체적인 매스계획, 컨셉디자인 시 사진실험
1:200~1:50	대공간에서의 확산광에 대한 연구 직사일광의 유입 즉, 효과적인 차양계획시
1:100~1:10	확산광과 직사일광의 유입의 정확한 연구 와 실내의 디테일한 모습관찰
1:10~1:1	거주자 평가와 관찰을 통해 고성능채광시스템의 최종적인 평가



사진 3. 실내 마감재의 제작

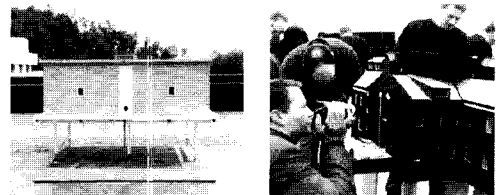


사진 4. 사진촬영을 위한 개구부

관찰자의 시점에서 실내의 빛 분포와 센서위치 파악, 시각적 활용자료 등을 위하여 실 후벽에 사진촬영을 위한 개구부를 설치해야 한다. 사용되는 렌즈는 사람의 시야범위와 유사한 광각렌즈 및 어안렌즈를 사용하며, 개구부의 중심높이는 평가목적에 따라 다르

특집 : 태양광 채광시스템의 실태 및 필요성

지만 사람이 서거나 의자에 앉아 있을 때의 눈높이로 설정한다. 또한 촬영시 렌즈구멍으로 새어 들어가는 빛이 없도록 차단해야 한다.

그 밖에 모형 전체의 부피와 무게는 헬리오돈(Heliodon)이나 인공 천공돔(Sky simulator) 등에 지지되거나 이동 가능하여야 한다. 모형을 이용하여 실제 천공상태에서 실험을 수행할 경우 천공조건이 일관성 있게 유지되어야 하나 실질적으로 변화가 있어 객관성 있는 결과를 얻기 쉽지 않다. 이와 같은 문제를 보완하기 위해 CIE 표준담천공 상태인 인공 천공돔을 제작하여 실험하고 있으며, 태양의 기하학적인 변수 즉, 고도, 방위각, 위도에 대해 평가 시 일관성을 부여할 수 있도록 헬리오돈을 사용하고 있다. 사진 5는 카디프대학의 인공 천공돔을 이용한 실험 예이며, 사진 6은 PEC의 헬리오돈 실험 예이다.

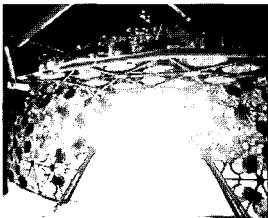


사진 5.  
카디프대학의 인공천공돔

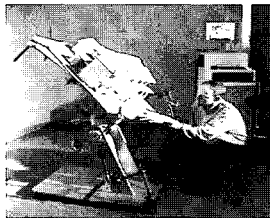


사진 6.  
PEC의 헬리오돈

### 3. IEA의 모니터링프로토콜

#### 3.1 모니터링프로토콜의 개요

모니터링은 측정 가능한 기기, 채광시스템 등 실험 상황에 영향을 받으므로 IEA에서는 자연채광을 평가하기 위하여 모니터링과정에서 고려해야 되는 매개변수를 선정하고 측정을 하는데 있어서 가이드라인을 제공하여 채광성능평가의 기초를 확립하고 있다. 적용대상으로는 수직창과 수평 작업면을 가진 일반 사무실을 대상으로 실제 천공상태에서 실험실과 기준실

을 비교하는데 이 프로토콜을 적용하고 있다. 또한 모니터링의 과정은 수행되는 채광시스템의 선택, 실험실과 사용될 모니터링시스템의 사양기록, 시스템의 구성도 작성, 시스템의 채광성능평가로 이루어진다.

다양한 채광시스템은 빛의 방향을 변화시켜 자연채광을 필요로 하는 곳에 천공광이나 직사일광을 들어오게 하는데 이용된다. 따라서 이러한 시스템은 자연채광의 조도레벨을 제어하고, 맑은 기상 상태와 구름으로 덮인 흐린 기상 상태에 따라 다르게 건물 주변으로 들어오는 직사일광과 천공광의 방향을 변화시킬 수 있는 능력 모두를 평가하는 것이 필요하다고 할 수 있다. 전통적인 창문은 균일하지 않은 주광분포를 가지기 때문에 채광시스템에 대하여 실 내부로 들어오는 채광량을 조절할 수 있는 성능도 평가되어야 한다.

채광시스템의 성능은 같은 기상 조건 아래에서 시스템이 설치되어 있는 실험실과, 시스템이 설치되어 있지 않은 기준실을 비교함으로써 평가할 수 있다. 또한 두 실의 실내 채광상태와 외부상태가 동시에 모니터링되어야 한다. 담천공일 경우 실험실과 기준실에는 투명유리를 사용한 창문을 설치해야 하며, 청천공일 경우는 측정 시에 블라인드와 같은 차양시스템을 사용해야 한다. 천공상태에 따른 모니터링 조건은 표 2와 같다.

표 2. 서로 다른 천공상태에서의 모니터링 조건

	천공상태	담천공	청천공
실분류			
채광시스템이 설치되어 있는 실험실			
채광시스템이 설치되어 있지 않은 기준실			

#### 3.2 측정방법

측정시 실내측정과 외부측정으로 나눌 수 있으며,

실내조도를 측정할 경우 작업면 높이(0.7~0.85 [m])에서 측정해야 하고, 실외조도를 측정할 경우는 천공에 대해 수평면 조도와 수직면 조도를 측정해야 한다. 다수의 채광시스템들이 간접적인 반사광을 이용하기 위한 것이므로 이에 대한 채광성능평가를 정확하게 하기 위하여 벽과 천장의 조도를 그림 1과 같이 측정하며, 이를 바탕으로 실험한 예는 사진 7과 같다.

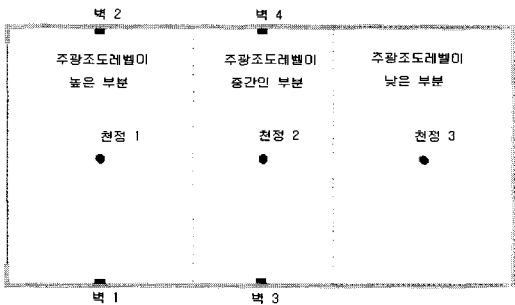
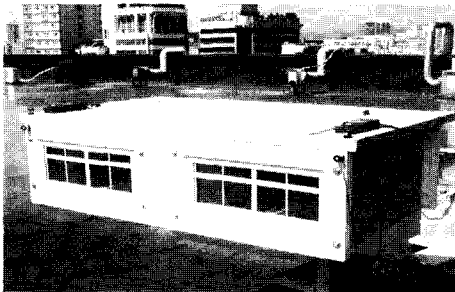
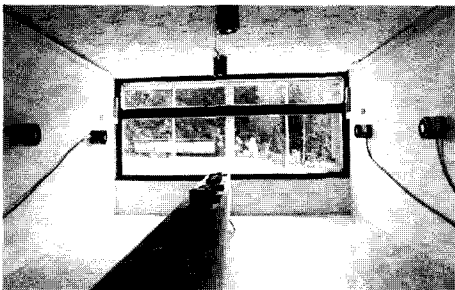


그림 1. 모니터링을 하기 위한 센서위치도



(a) 실외수평면조도와 수직면조도의 센서설치



(b) 실내 조도센서의 설치

사진 7. 실외조도와 실내조도의 측정 예

센서의 위치는 사용가능한 센서의 개수와 모니터링 단계(최소화하거나 추가적인 요구가 있을 경우)를 고려하여 선정한다. 채광시스템을 모니터링하기 위한 위치는 채광시스템의 종류를 고려하여 선정하며, 자연채광에 반응하는 인공조명 제어시스템을 사용할 경우는 창 의 크기, 투과율을 고려하여 선정한다.

### 3.3 조도측정기기의 비교

IEA에서 실물대모형을 이용하여 첨단채광시스템의 채광성능을 평가한 각각의 연구소에서는 다양한 측정 시스템을 가지고 측정을 수행하고 있었다. 모니터링시스템은 측정시스템과 데이터취득시스템으로 구성되어 있으며, 측정시스템에 사용되는 기기의 측정범위는 0에서 200,000[lux]를 가지고 있어 내외부의 조도를 측정할 수 있으며, 0.5~10(%)의 최대보정오차가 있었고, 작업으로 인한 오차는 2(%)미만으로 나타났다. 각 연구소별로 구성하고 있는 측정시스템을 요약하면 표 3과 같다. 또한 측정 시스템을 제어하고 취득한 데이터값을 저장 및 분석하기 위한 데이터 취득시스템은 표 4와 같이 나타났다. 시스템의 형태는 PC Board와 Datalogger의 두 가지 형태로 나타나고 있으며, 센서를 연결하는 단자채널수는 8~80개로 동시에 측정할 수 있다. 또한 데이터 취득시스템을 제어하고 분석할 수 있는 소프트웨어로는 실시간으로 데이터를 볼 수 있는 프로그램이 사용되고 있다. 모니터링시스템의 구성도는 그림 2와 같이 나타낼 수 있다.

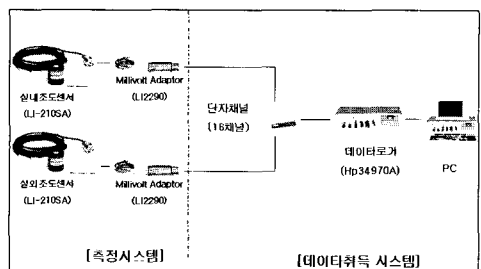


그림 2. 모니터링시스템 구성도

표 3. IEA Mock-Up모형실험의 측정시스템

연구소(국가)	제조사	측정범위 ([klux])	보정	최대보정 오차	V( $\lambda$ )(f <sub>1</sub> )	코사인응답 오차(f <sub>2</sub> )	작업오차 (f <sub>3</sub> )
QUT(오스트레일리아)	Topcon IM5	0.01~200	1998	±2[%]		±5[%]	
BAL(오스트리아)	LMT	0.01~200	1994+1998	±7[%]	±2[%]	±2[%]	
BAL(덴마크)	Hanger	0.1~100	1993/1998		<3[%]	<3[%]	
ILB(독일)	ILB	1.0~120		±10 [lux]	<3[%]	<0.4[%]	<1[%]
TUB(독일)	LMT	0.1~100	1996	±0.6[%]	<3[%]	<2[%]	
NTNU(노르웨이)	PRC Krochmann	50~200 2~100	1996	0.5[%]	<2[%]	<1[%]	<0.1[%]
LESO(스위스)	BEHA L.M.T.	1.0~100 1.0~100	1996	2.5[%] 3[%]	3[%]	2[%]	2[%]
BRE(영국)	Megatron	0.01~7.5/50 (센서위치에 따라)	12개월 간격으로	3[%]	0.5[%]	3[%]	1[%]
LBNL(미국)	Li-Cor	0.0~150	1995	1[%]	-	1[%]	-

표 4. IEA Mock-Up모형실험의 데이터 취득시스템

연구소(국가)	제조사	형태	단자 채널수	A/D전환 분해능력(bit)	데이터수집 소프트웨어
QUT(오스트레일리아)	Pico Log	PC Board	8	16	Pico Log
BAL(오스트리아)	LMT, Keithley	Scanner+Photometer	20	16	BLL
SBI(덴마크)	Keithely SmartLink KNM-DVC32	Datalogger	80	20	SBI
ILB(독일)	ILB	PC Board	16	14	ILB
TUB(독일)	DelfinInstr./Keithley	PC Board	20	21	TUB
NTNU(노르웨이)	Hp 34970A	PC Board	16	12	Labview
LESO(스위스)	Campbell	Datalogger	32	12	PC 208W
BRE(영국)	Keithley	PC Board	32	-	Cambridge consultants
LBNL(미국)	Campbell Scientific(CR10)and Labview	Datalogger/ PC Board	25(+3)	12	Labview National Instruments

### 3.4 휘도, 색도 및 색온도 측정

휘도측정에 대한 일반적인 측정프로토콜은 정해진 바 없다. 일반적으로 실내공간 밝기의 측정은 측정표면에 대하여 점으로 측정하였으나 최근 카메라를 이용하여 면을 촬영하여 휘도, 색도 및 색온도를 측정하여 분석하고 있다. 기기에로 Prometric은 한 장의 이

미지를 촬영하는 광도계(photometer), 노출계(radiometer), 비색계(colormeter)시스템으로 구성되어 촬영된 이미지를 분석프로그램을 이용하여 물리량을 측정할 수 있는 광학장비이다. 기기구성과 설치모습은 사진 8 및 9와 같다. 측정을 시작하면 빨강(Red), 초록(Green), 파랑(Blue) 3개의 필터가 노출시간 간격대로 이미지를 촬영하고, 측정면의 물리

량분포를 실시간으로 볼 수 있다. 시스템의 구성은 카메라와 광각렌즈(17[mm])로 구성된 측정시스템과 케이블, PC로 구성된 데이터 취득시스템으로 구성되어 있으며, Prometric 8.1.2 프로그램을 이용하여 시스템을 제어하고 측정면의 휘도, 색온도 및 색도에 대해 값과 분포도를 통해 사진 10 및 그림 3과 같이 분석이 가능하다.

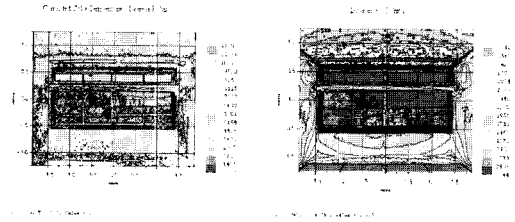


그림 3. 색온도와 휘도분포도 작성예

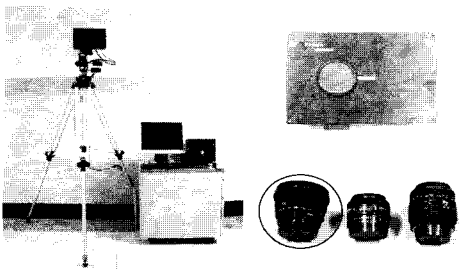


사진 8. 기기의 구성

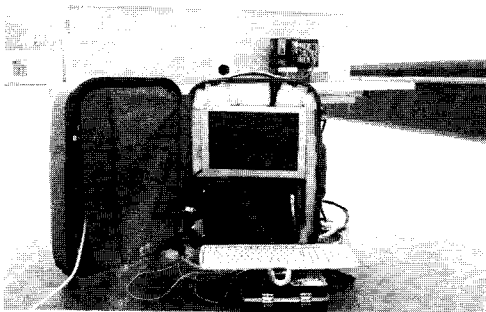


사진 9. Prometric을 이용한 실험모습

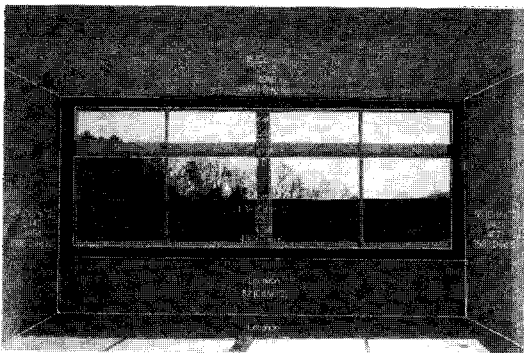


사진 10. Prometric을 이용한 측정값

#### 4. 맺음말

그 동안 자연채광분야는 표준화된 모니터링시스템이 없어 채광성능을 상호 비교하는데 어려움이 많았다. 특히, 채광성능의 모니터링 프로토콜(protocol)에 관한 국제적 기준이 부재하여 공통화된 문서를 만들 수가 없었다. 그러나, IEA SHC Task21에서는 실제 천공상태에서 실물대모형(Mock-Up)을 이용하여 공통적인 방법으로 채광성능을 평가함으로써 연구결과 귀중한 국제 모니터링 프로토콜(protocol)을 제안하였다. 앞으로 자연채광 평가방법에 대하여 공통화되고 체계적인 자료화의 기초가 될 것으로 사료된다.

#### ◇ 저 자 소개 ◇



정인영 (鄭仁泳)

1973년 10월 14일생. 1997년 경희대학교 건축공학과 졸업. 1999년 경희대학교 졸업(석사). 2005년 경희대학교 졸업(박사). 현재 경희대학교 채광조명 시스템연구센터 연구박사.