

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 24, No. 2, 2004

자연채광성능 평가를 위한 태양고정형 Heliodon의 유용성 검증에 관한 연구

김정태*, 이지현**, 김곤***

*경희대학교 건축공학과 교수(jtkim@khu.ac.kr), **삼우설비 에너지기술연구소 연구원(iconity97@hanmail.net),
***국립 강원대학교 건축학부 부교수(gonkim@kangwon.ac.kr)

A Study on the Validation of Heliodon for Daylighting Performance Evaluation

Kim, Jeong Tai*, Lee, Ji Hyun**, Kim, Gon***

*Professor, Ph. D. Dept. of Architectural Engineering, Kyung Hee University(jtkim@khu.ac.kr),
**Samoo Mechanical Consultant Researcher(iconity97@hanmail.net),
***Assoc. Professor, Ph. D., Div. of Architecture, Kangwon National University(gonkim@kangwon.ac.kr)

Abstract

Architects may evaluate building models to see how a building will shadow itself and its neighbors at various times. A heliodon, a tilt-table which is a machine that imitates the rotation and orbit of the Earth, helps architects wanting to analyze patterns of shadow patch, passive solar heating options, site solar panels, or control solar heat gain. The heliodon swivels in three directions for setting latitude, season, and time of day. Using the device, an architect first clamps a model to the tabletop, then turns the table to the coordinates of interest. Usually, the winter and summer solstices receive strong attention, for they represent extreme cases. A more recent installation at a university adds to its heliodon a set of lamps to recreate the illumination level and more accurate patterns of shadow patch. The table holds the building model at various angles to a spotlight, which mounts in the pole. The set of scale model measurement describes the validity of various electric lamps as an artificial sun to approximate the sun's parallel rays, helping designers to distinguish between illuminated areas in and around a building and those regions falling in the shadows.

Keywords : 헬리오돈 (Heliodon), 인공태양(Artificial Sun), 직사광(Direct Sun), 소모형실험(Scale Model Test)

1. 서론

생활의 질 향상과 쾌적한 거주환경을 중시하는 현대 건축에 있어서 조명의 역할은 환경에 대한 인식과 문화수준의 향상으로 말미암아 날로 증대되고 있으며, 바람직한 조명환경의 조성을 위해 외부에 대한 조망 확보와 자연광의 도입이 매우 중요한 문제로 부각되고 있다. 자연광은 공간의 질적 제고와 거주자의 심리적, 생리적 욕구에 대한 건축적 해결책으로서 중요한 의미를 지닌다. 일조와 조망은 건축적 문제를 넘어 경제적인 문제로 확대되고 있으며, 그 중요성이 날로 증대되는 추세이므로 자연채광 성능평가에 대해 정확히 파악하고 객관화하는 노력이 필요하다.

자연채광 성능평가를 위한 방법은 현장측정, 축소모형실험, 컴퓨터 시뮬레이션 등이 있다. 실험의 객관성과 정확성이 보장된다면 실험결과는 현장측정, 축소모형실험, 컴퓨터 시뮬레이션 순으로 높은 신뢰를 보인다. 그러나 현장측정과 축소모형실험은 자연광의 고유한 특성으로 인해 객관적인 실험을 실시하여 결과를 도출하는데 많은 제약이 따른다. 이와 같은 자연광 실험의 문제점을 보완하고 편리성을 증가시키기 위한 축소모형실험 방법으로 실내에서 인공광원과 평판을 사용하여 자연광과 대지환경을 구현하는 헬리오돈(Heliodon)을 들 수 있다.

헬리오돈은 태양의 고도와 방위각, 대지의 위도를 구현하는 장치와 태양을 대체하는 인공광원으로 구성되어 있으며, 인공광원과 모형고정장치를 실험조건에 따라 작동함으로써 자연채광의 성능을 평가하는 장치이다. 기본적으로 구동이 이루어지는 장치부분은 이론적인 기준이나 측정자료를 바탕으로 하여 제작 시에 설정되므로 비교적 오차가 적으나, 인공광원은 자연광과 유사한 특성을 보여야 한다. 그러나 광원의 종류와 밝기, 광원과 장치의 이격거리에 따라서는 빛의 직진성이 미비하여 객관적인 결과를 기대하기 어렵다. 특히 정량적인 조도비 산출은 거리에 따라 전혀 다른 결과를 초래

할 수 있다.

따라서 헬리오돈은 조도를 측정하여 실내와 옥외의 주광조도비를 예측하거나 채광장치의 정량적인 성능을 평가하기 위한 목적보다는 옥외와 실내공간의 일영분포나 일조평가를 목적으로 실험에 사용할 수 있는 대안이다. 외국의 경우, 빛환경을 가시적으로 평가하기 위한 실험방법으로 사용되고 있으며, 이러한 자료를 토대로 설계초기의 대안 마련이나 일조평가의 수법으로 널리 사용되고 있다. 하지만 우리나라의 경우, 몇몇 실험적인 연구가 실시되어 왔으나 아직까지 컴퓨터 시뮬레이션에 의존하고 있으며, 실내에서 자연채광의 성능을 평가하는 방법에 대한 자료와 객관적인 실험조건이 많이 부족한 실정이다.

본 연구에서는 헬리오돈의 객관성과 정확성에 영향을 미치는 다양한 변수에 따른 헬리오돈의 유용성을 축소모형실험과 통계분석을 통하여 정량적으로 평가하고 설계초기나 일조평가 시 이용할 수 있는 실험기초자료를 제시하는데 그 목적이 있다.

2. Heliodon의 종류 및 채광성능평가의 적용사례분석

2.1 헬리오돈의 개요

자연채광 시스템의 성능이나 일조환경을 평가하는 모형실험은 실제 천공상태에서 수행되는 것이 가장 바람직하다. 그러나 자연광의 특성으로 인해 일관성 있는 자연천공상태를 유지하는 것이 불가능하며, 실험조건이나 측정일을 설정하는데도 많은 제약이 따르게 된다. 따라서 경제적이고 합리적인 모형실험을 위해서는 천공조건과 실험여건을 고려한 인공천공이 필요하며, 이를 위해 제작된 인공적인 광학 실험장치를 헬리오돈이라 한다. 헬리오돈의 작동원리는 위도, 날짜, 시간의 세 가지 태양 기하학적 변수의 함수에 기초하며, 천공이 고려된 인공천공돔 내부 설치되거나 인공광원으로 운용된다.

헬리오돈은 모형실험의 편리성과 일관성을 확보를 위해 평가 절기와 일시에 해당하는 태양 방위각과 고도를 선정하여 설정하는데, 이를 운용하는 방법과 형태에 따라 크게 두 가지로 나눌 수 있다. 태양고정형 헬리오돈은 인공태양을 고정한 후 건물모형이 설치된 판을 회전하거나 기울이는 형식으로 상대적으로 설치면적이 작고 경제적인 장점이 있으나 시각적 이해도가 떨어지는 단점이 있다. 대지고정형 헬리오돈은 모형 설치용 평판을 고정하고 인공태양이 태양고도와 방위각을 달리하여 운용되는 방식으로 개념적 이해도 확보나 시각화 측면에서 유용하나 설비면적이 크고 비용이 많이 소요된다.

따라서 대지고정형 헬리오돈의 경우에는 인공천공돔 표면에 궤도를 설치하여 운용되면 여러 면 장점을 도모할 수 있다. 인공태양은 직진성이 높고 확산성이 작은 광원이 유리하며, 일반적으로 할로겐 PAR 램프를 사용한다. 필요한 광도나 면광원을 얻지 못할 경우에는 여러 개의 광원을 조명탑의 랙과 같은 형태로 다발을 만들어 원하는 광도를 얻기도 한다.

2.2 헬리오돈의 개발사례

1) PEC Heliodon

태양고정형 헬리오돈으로서 UC Berkeley 대학의 연구진에 의해 설계되어 PEC(Pacific Gas and Electric Company)에 설치되었으며, 가장 널리 알려진 형상이다. 실내에 입사하는 광량의 측정과 함께 건물로 인한 그림자 효과 및 일조 면적의 시각화 등을 효과적으로 수행할 수 있다.

PEC 헬리오돈은 인공광원이 저렴하고, 평판의 조절이 쉬우며 작은 공간에서도 구현이 가능하도록 설계되었다. 인공태양의 광원으로는 극장이나 방송, 영화제작 등에서 사용되는 스폿 조명을 사용하며, 실험실 공간을 효율적으로 사용하기 위하여 10m 높이의 실험실 천장에 설치되었다. 우수한 직진성과 아울러 헬리오돈 평판 중심부터 가장자리에 이르기까지 60cm이하의 확산성능을 가지고 있다.

재료는 스테인레스 강철과 알루미늄이 사용되었으며 아크릴 도료로 부분 마감되었다.

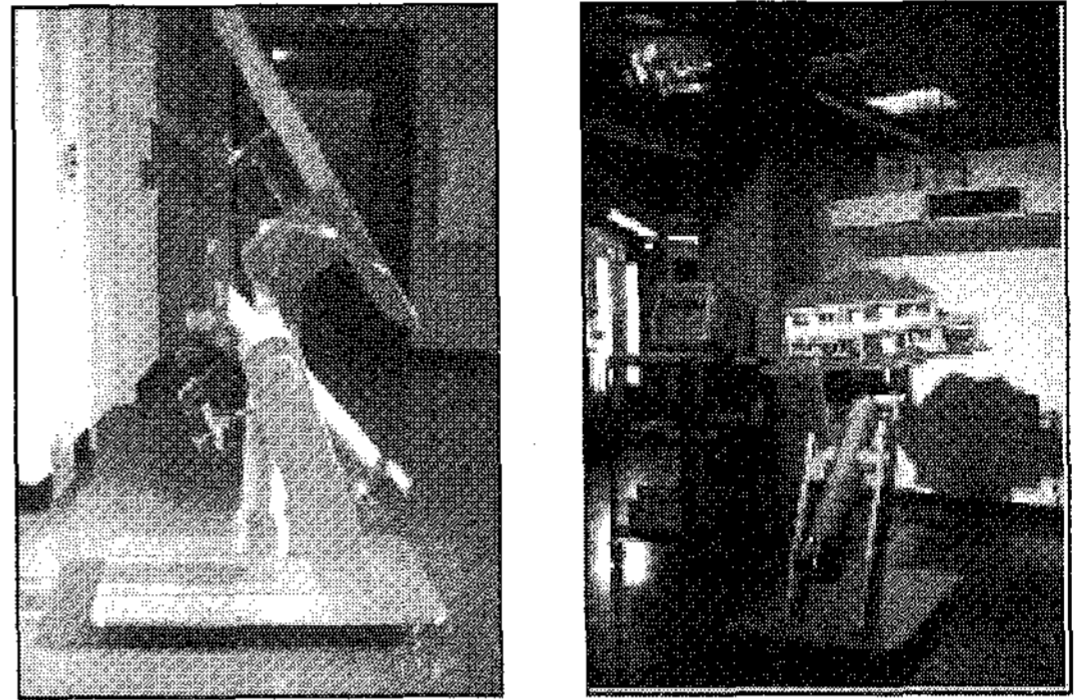


그림 1. PEC 헬리오돈의 측면 및 작동원리 및 실험장면

2) Model 126 Heliodon

모형 설치용 평판에 건물을 고정하고 인공태양을 재현한다. 원격스위치로 원형 루프를 조작할 수 있으며 수동으로 루프의 기울기를 설정할 수도 있다. 태양을 움직이는 원리가 적용된 모형고정용 헬리오돈으로서 운용방법이 매우 간단하고 용이하여 태양기하에 대한 기본적 지식이 없는 사람에게도 매우 높은 이해도와 시각적 개념을 제공할 수 있다. 또한 모형이 고정되므로 설치나 측정이 용이하다.

1.2m 직경의 고정된 원형 평판에 건물 모형을 위치시키고, 운용이 용이하도록 직경 1.52m의 원형 후프 7개에 1년 12개월을 설정하여 태양위치를 정확하게 재현한다. 원격스위치로 원형 루프를 조작할 수 있으며 수동으로 루프의 기울기를 설정할 수도 있다.

인공태양을 구현하기 위한 인공광원으로는 할로겐 램프가 사용되었으며 총 무게는 130kg이다.

3) 우루과이 대학 Heliodon

우루과이 대학 건축학과에 설치되어 있으며, 가장 대표적인 태양 위치를 설정한 후 이에 해당하는 태양 궤적과 위치만을 재현함으로써 태양 궤적 프레임이 간단해지고 광원의 수가 줄어들어 운용법도

단순해지는 등 간단한 모형실험에 대한 편리성을 도모하였다. 자연채광연구를 심도 있게 하지 않는 일반 건축설계사무소나 강의용으로 헬리오돈을 사용하는 경우 유용하게 활용될 수 있다.

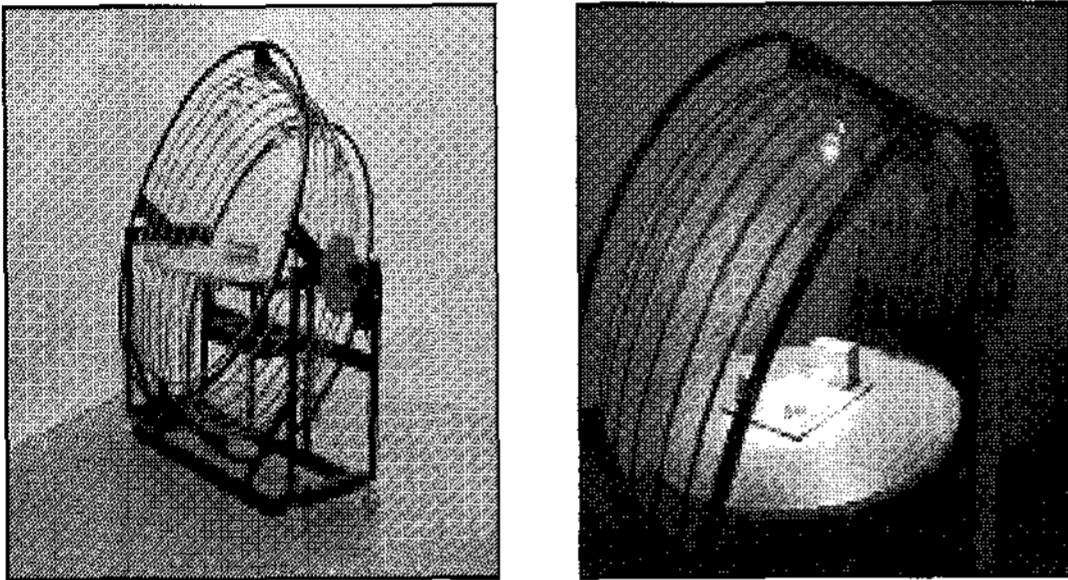


그림 2. Model 126 Heliodon의 형상 및 실험 전경

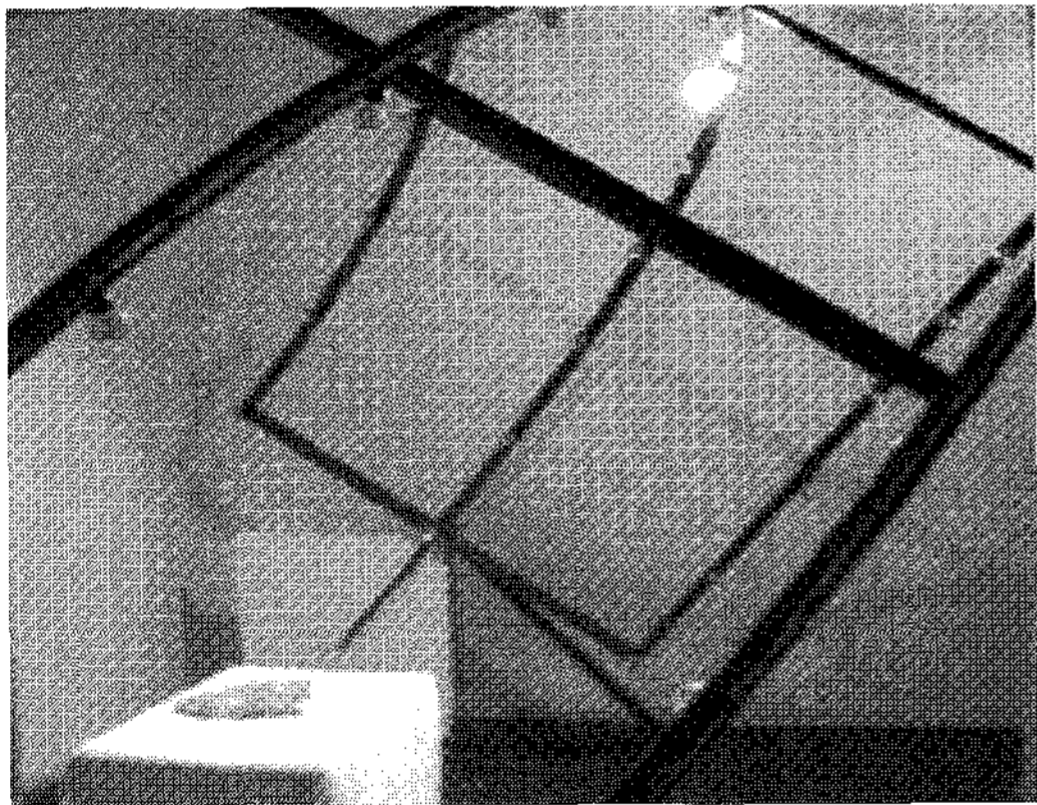


그림 3. 우루과이 대학 Heliodon의 실험전경

4) 카디프 대학 Heliodon

영국 카디프 대학 건축학과에 설치된 헬리오돈으로 천공돔과 일체화되어 설치되었다. 반구를 형성하는 프레임의 반경은 4m이며 조명기구의 설치 및 구동이 용이하도록 설계하였다. 조명기구의 적용범위는 고른 휘도 분포의 구현이 가능한 최대 적용범위와 내부 반사의 감소, 휘도 조절의 편리성이 확보되는 최소범위를 고려하여 절충안을 적용하였다. 인공천공돔의 천공면에는 Philips사의 CL 4,500K 형광램프가 640개 사용되었고 다양한 천

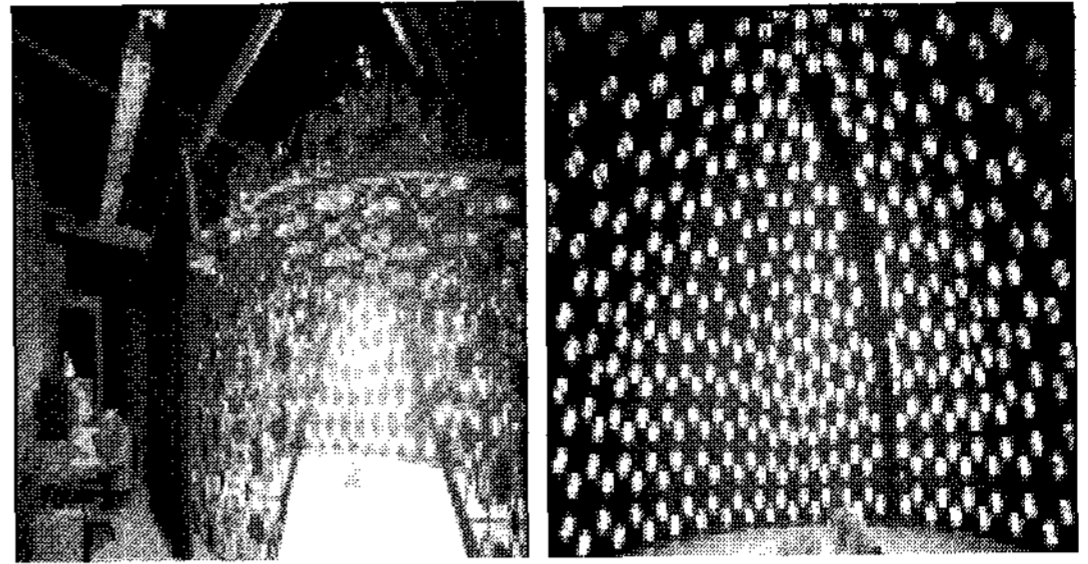


그림 4. 카디프 대학 Heliodon의 외부 및 실험 전경

공상태를 재현하기 위해 밝기를 3~100%까지 조절할 수 있는 디머를 설치하여 담천공 상태에서 최대 7,000lx의 조도를 재현할 수 있도록 하였다.

인공태양은 반경 4.5m의 돔 외부에 궤도를 설치하여 태양 궤적에 따라 수직면으로 구동할 수 있도록 부착하였으며, 해당고도를 설정하기 위해 소형 전동기를 내장하였다. 인공태양의 광원으로는 태양광과 유사한 효과를 주기 위해 1kW 텅스텐 램프나 575W HMI 램프가 사용된다. 또한 태양방위각을 재현하기 위해 회전 원형 평판을 돔의 중앙부 바닥에 설치하였다.

3. Heliodon의 효용성 평가방법

3.1 채광성능평가를 위한 실험방법

1) 헬리오돈의 제작

본 연구에서는 자연채광 성능평가를 위한 실험장비로 국외의 적용사례와 K대학의 실험여건을 고려하여 태양고정형 헬리오돈으로 선정·제작하였다. 헬리오돈의 전체높이는 모형고정용 평판을 바닥면과 평행하게 설정할 경우에 1,115mm이다. 모형고정용 평판의 크기는 폭 700mm, 깊이 1,000mm, 두께 12mm이며 중심축의 지름은 $\phi 130$ 이다. 바닥판의 크기는 폭 700mm, 깊이 900mm, 두께 20mm이며 수평계를 설치하여 실험조건을 일정하게 유지할 수 있도록 하였다. 헬리오돈의 재료는 모형이 설치되는 평판의 작동을 원활히 하기 위하여 가능한 알루미늄을 사용하였으나 중심축을 이루는 원통부분에

대한 고려와 각도를 조절하는 기어의 사용을 고려하여 일부분 강철을 사용하였다.

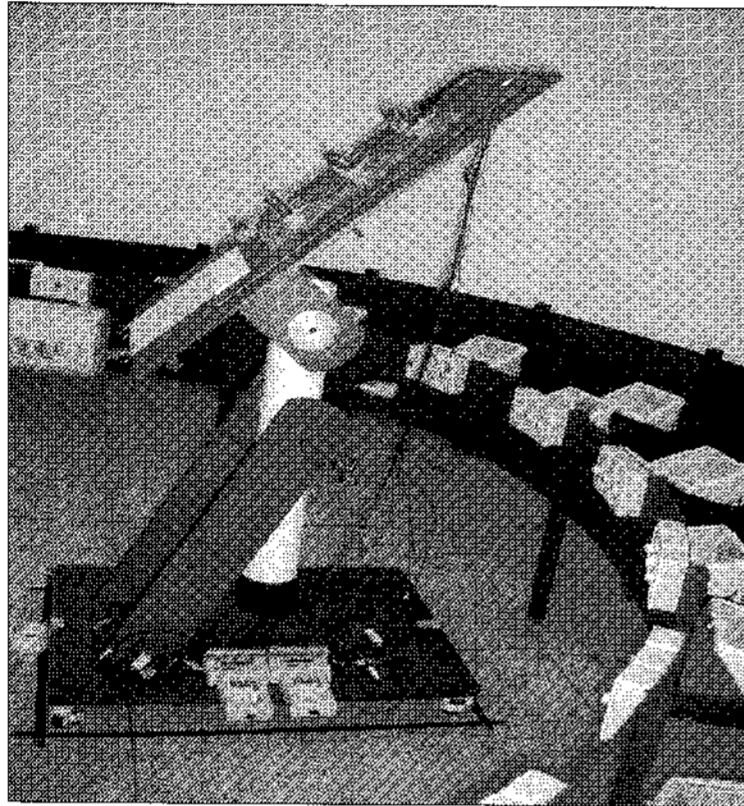


그림 5. K대학 Heliodon의 형상

빛의 반사에 의한 오차를 최소화하기 위하여 모형설치용 평판을 비롯한 주요 몸체는 흑색의 철강재를 사용하였으며 일부 착색부위도 흑색페인트 마감을 하였다. 헬리오돈의 세 부분에 태양의 고도, 태양방위각, 대지위도를 설정할 수 있는 조작레버를 설치하였으며, 일영 측정 및 방법에 관한 이론과 계산식, 38° North Latitude Sundial, 옥외실험 결과에 기초한 계절과 시간에 따른 각도를 헬리오돈에 부착된 각도기에 표기하여 일관성과 편리성을 확보하도록 하였다.

2) 건물모형의 형상 및 척도의 설정

자연채광 성능평가에 있어서 헬리오돈의 용도는 물리량 평가나 정량적 분석보다는 일조분포측정이나 일조분석과 같은 가시적인 부분에 비중을 두고 있다. 따라서 본 연구에서는 헬리오돈의 용도와 일조평가에 대한 사회적 이해를 고려하여 일조분쟁이 빈번한 공동주택을 자연채광평가 모델로 선정하였다. 이에 따른 대상건물은 최근에 건설된 수원시 M아파트 121, 122, 123동으로 선정하였다. 옥외공간의 일조평가를 전제로 하여 매스모형의 크기는 1/400 축척으로 설정하였고 선정과정에서 <표1>¹⁾

을 참조하였다. 이에 따른 모형의 최고높이는 20cm, 최저높이는 12cm이다. 모형의 형상은 일영 분포의 측정이 용이하도록 하기 위하여 육면체의 매스형태로 단순화하였으며 세부적인 형태는 고려하지 않았다.

3) 축소모형실험 변수의 설정

(1) 인공광원의 종류

본 연구에서는 선행연구와 헬리오돈에 적용된 인공광원의 국외적용사례를 종합한 결과, 인공태양용 인공광원으로 태양광과 유사한 효과를 줄 수 있는 HMI 램프와 텅스텐 램프를 선정하였다. HMI 램프와 텅스텐 램프는 점광원으로는 다소 확산성을 가지고 있으나 매우 명확한 음영을 생성하는 장점이 있다.

(2) 인공광원의 밝기

인공광원의 밝기는 HMI 575W, HMI 1.2KW, Tungsten 650W, Tungsten 1.0KW로 설정하였다. 인공광원은 별도의 개발에 많은 시간, 노력, 비용이 소요되므로 실험의 편리함과 유용성을 위해 여러 가지 조명기구 중 비교적 우리나라에서 구하기 쉽고 일반적인 조명기구를 선정하여 실험에 사용하였으며 선정된 조명기구의 제원은 <표 3>과 같다.

표 1. 자연채광 실험용 모형의 크기

측 정 목 적	축 척
일반적인 매스모형	1/400 ~ 1/50
자연광의 건물내부 사입과 분배측정	1/24 ~ 1/16
관찰점을 통해 직접 눈으로 내부를 관찰	1/24 ~ 1/12
렌즈를 통한 관찰	1/8 ~ 1/4
공간 내부에 직접 사람이 들어갈 경우	Full Scale

1) Evans, B.H Daylight in Architecture. New York : Mcgraw-Hill, 1981

표 2. 인공광원의 형상

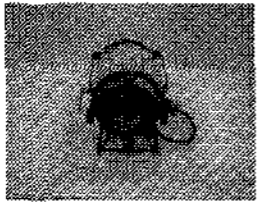
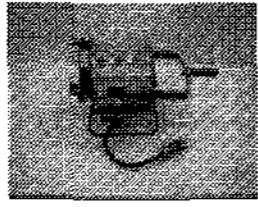
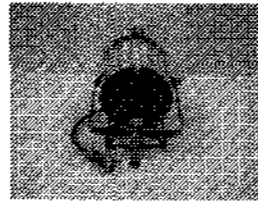
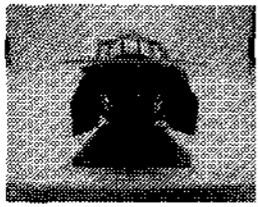
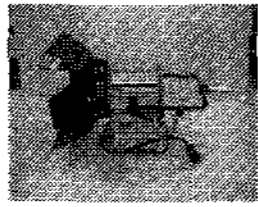
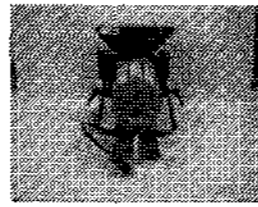
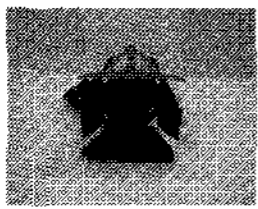
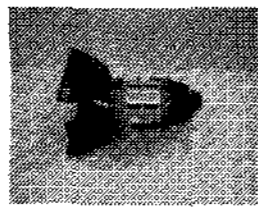
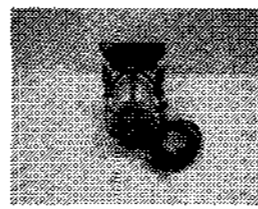
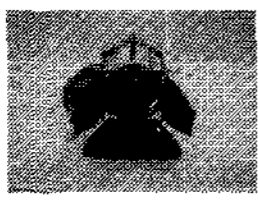
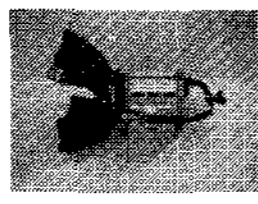
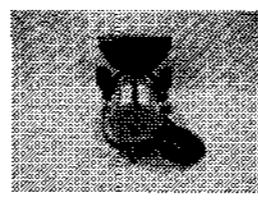
광원의 종류		전면	측면	후면
HMI	575 W			
	1.2K W			
텅스텐	650 W			
	1.0K W			

표 3. 인공광원의 제원

	HMI		Tungsten	
	575W	1.2kW	650W	1.0kW
제품명 (Names of Goods)	ARRI Daylight Compact 575	ARRI Daylight Compact 1200	ARRI Tungsten 650	ARRI Tungsten 1000
램프헤드형태	프레스널			
출력	575W	1200W	650W	1000W
공급전압	95V	100V	230V	230V
색온도	6,000K		3,200K	
렌즈지름	130mm	175mm	112mm	130mm
필터지름	197mm	229mm	168mm	197mm
무게	9.7kg	13.0kg	3.6kg	6.1kg

(3) 인공광원과 모형고정용 평판의 이격거리

인공광원과 모형고정용 평판의 이격거리(l)는 PEC 헬리오돈의 사례²⁾에 기초하여 1~10m까지

2) PEC Heliodon의 경우 인공광원으로 #3480 BVT 1000-W lamp를 사용하였고 이격거리는 9.75m이다. 또한 빛의 직진성이 확보될 경우 3.0m에서도 실험이 가능하다고 제시하고 있다.

표 4. 축소모형실험 변수의 설정

변수	내용	
광원의 종류	HMI, Tungsten	
광원의 밝기	HMI	575W, 1.2KW
	Tungsten	650W, 1.0KW
광원과 평판의 이격거리	1~10m	

1m 간격으로 1차 실험을 실시하였으며 일영의 형상이 38° North Latitude Sundial과 유사한 구간에서는 25cm 간격으로 설정하고 2차 실험을 실시하였다.

물리적 계산으로 일정간격의 이격거리를 예측해 볼 수는 있으나 인공광원의 특성에 따라 이격거리가 상이할 수 있으므로 명확한 일영의 형상이나 분포를 파악하기 위해서는 변수를 설정하여 검증하는 과정이 필요하다.

4) 모형의 제작

축소모형실험을 위한 모형은 헬리오돈의 모형고정용 평판에 부착하기 쉬우면서도 조립된 형상이 일정하게 유지될 수 있도록 하기 위하여 가벼우면서도 견고한 폼 보드를 사용하였다. 벽체와 천장은 내구성과 미관을 고려하여 접합자국이 남지 않는 직물본드를 사용하였으며 접합부가 수직이 되도록 제작하여 일영 측정이 용이하도록 하였다.

모형이 설치되는 바닥판은 폼 보드 위에 방안지를 부착하였고 X축과 Y축, Z축에 일정한 단위를 기입하여 일영의 분포나 길이를 측정하기 용이하도록 하였다. 단위 축은 가로를 X축, 세로를 Y축으로 하였으며, ㉠과 마주하는 ㉡동의 입면에도 방안지를 부착하여 Z축으로 설정하였다.

측정용 바닥판의 단위는 5mm를 1로 하여 X축으로는 -100~+100까지 총 1000mm, Y축으로는 0~150까지 총 750mm, Z축은 0~40까지 총 200mm 설정하였다.

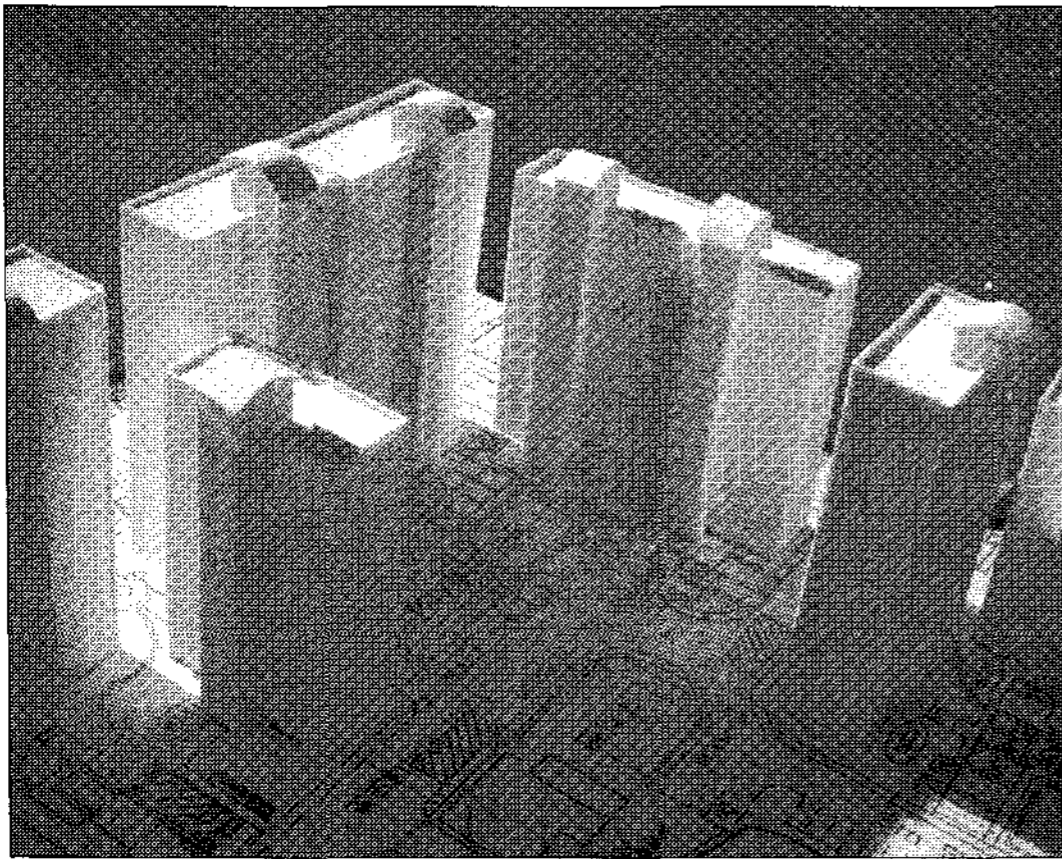


그림 6. 대상건물의 1/750 축소모형 형태

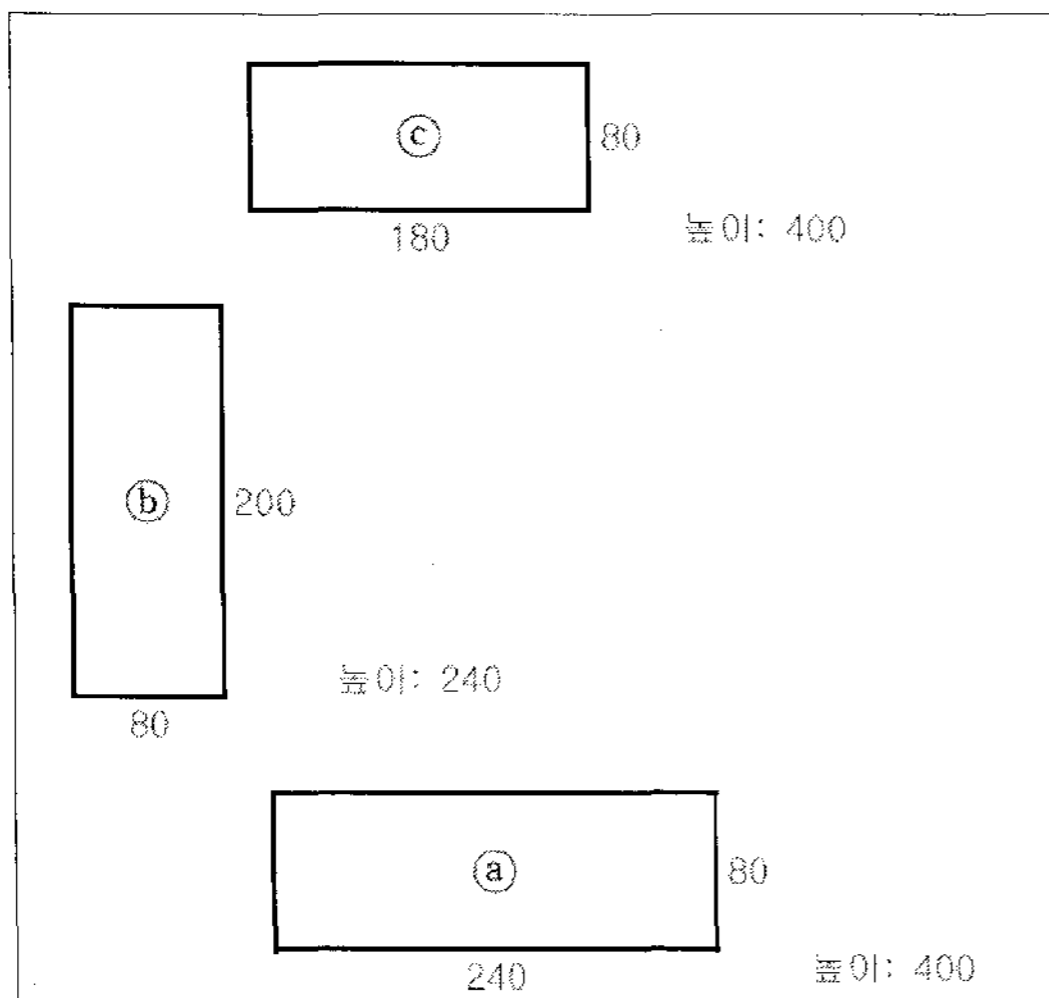


그림 7. 헬리오돈 가시화 측정시 모형크기(단위: mm)

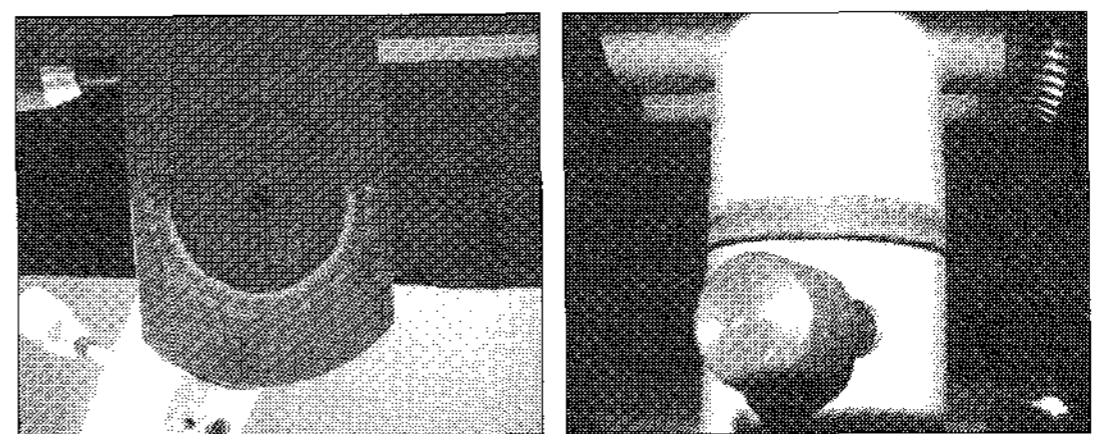
3.2 축소모형실험의 개요

헬리오돈의 효용성은 평판이 기울어지는 원리의 구현보다는 태양의 역할을 하는 인공광원의 광학적 특성에 의해 주로 좌우된다. 전기 조명기구의 경우 태양광의 직진성과 평행 주사선의 특성을 재현하는데 한계가 있으며 이는 광원의 출력과 조사 거리, 즉 수조부와의 이격거리에 달려있다. 따라서 사용 가능한 광원의 특성을 고려하여 효율적인 인공광원의 역할을 수행하는 이격거리를 산정하며 이에 상대적으로 모형의 크기와 축척을 조정해야 한다.

본 실험에서는 대상광원으로 선정된 HMI와 텅스텐 램프를 출력 변화와 아울러 1m부터 1m의 간격으로 10m까지 이격거리를 변화시켜가면서 그림자의 선명도와 평행성을 측정하여 상대 비교함으로써 각 광원의 적절한 이격거리와 이상적인 시스템 구성의 기초 자료로 제시하고자 한다.

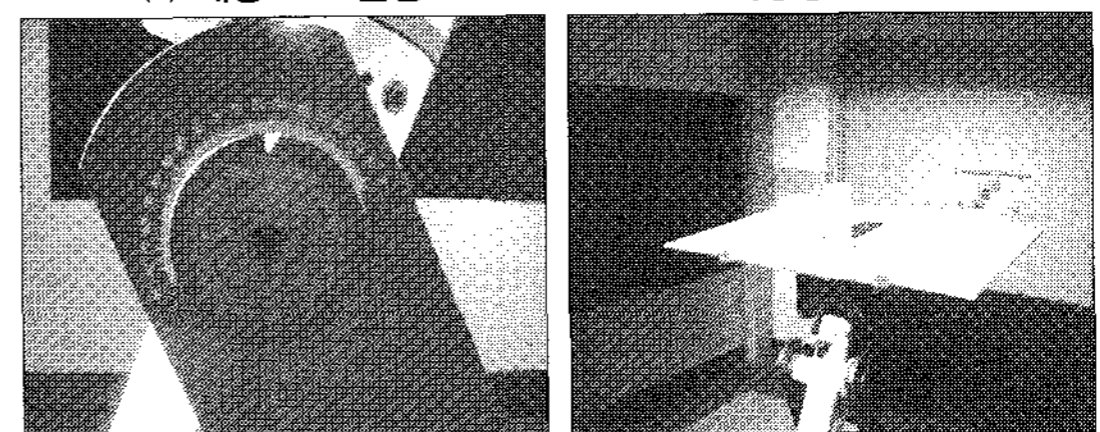
축소모형의 실험조건은 일조평가용 실험장비임을 고려하여 대한민국 동지 12:00으로 설정하였으며 태양의 고도와 방위각은 선행연구를 통해 제시된 식³⁾을 이용하여 산출하였다. 이에 따르면 진태양시 기준으로 동지 정오의 태양고도는 28.5°, 태양 방위각은 0°이다.

[그림 8]의 (a)와 (b)는 태양의 위도와 방위각을 (c)는 대지위도를 설정한 모습이며, (d)는 실험조건을 모두 설정한 후 모형과 측정판을 설치한 모습이다. 인공광원의 높이는 측정장소의 층고와 실험조건을 감안하여 2m로 설정하였으며, 광원교체 시스템의 높이를 조절하여 일정한 높이를 유지하였다. [그림 8]의 (d)에서 보는 바와 같이 헬리오돈 평판이 위치한 지점의 측벽에 검은 색지를 부착하여 반사에 의한 오차가 최소화되도록 하였다.



(a) 태양고도 설정

(b) 태양방위각 설정



(c) 대지위도 설정

(d) 모형설치모습

그림 8. 실험조건 설정모습

3) 李商雨의 共著, 建築環境計劃論, 泰林文化社, P110~111

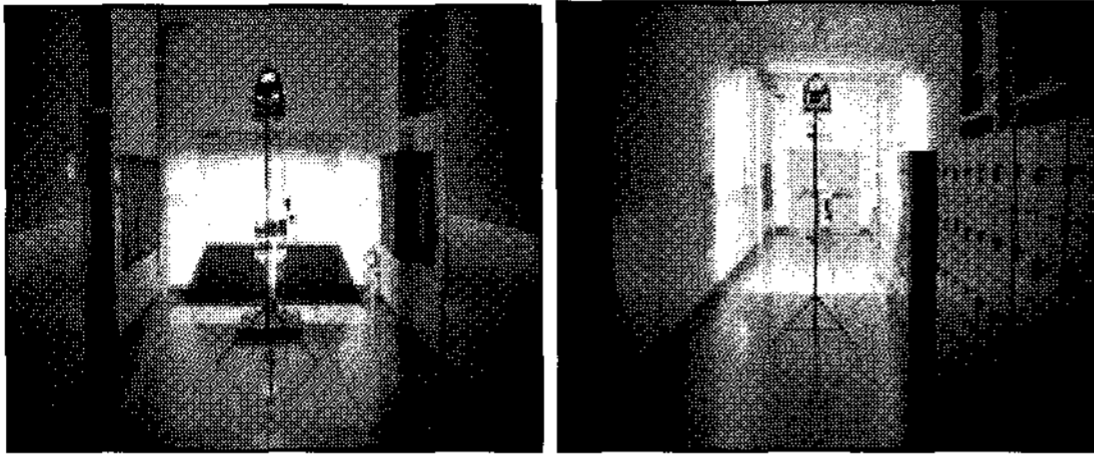
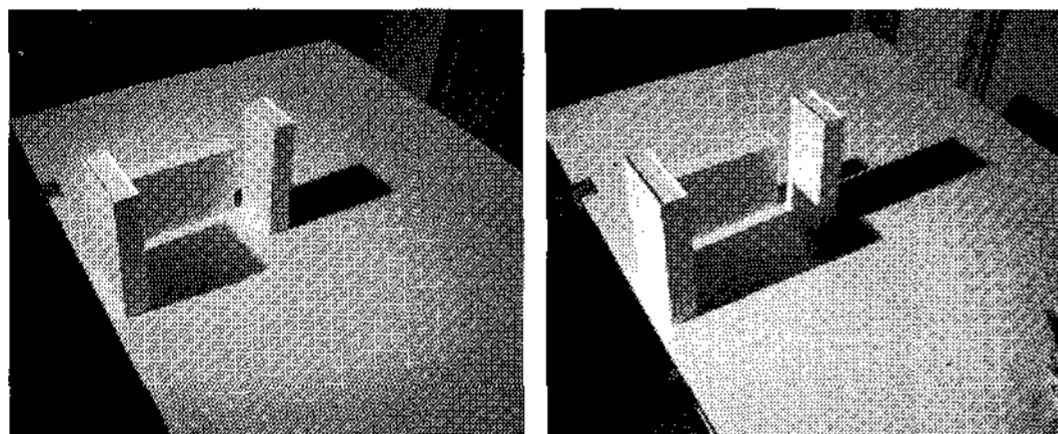
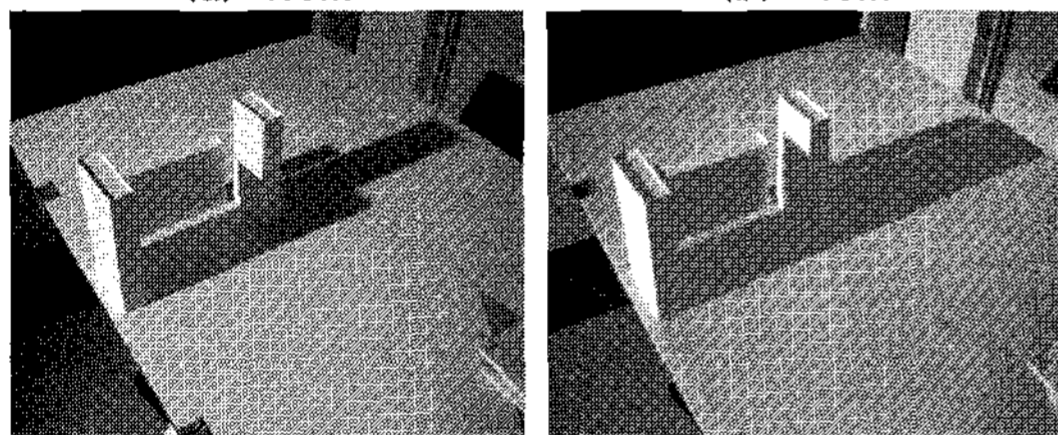


그림 9. 이격거리 1m와 10m의 실험모습



(a) 1.0m

(b) 2.0m



(c) 3.0m

(d) 4.0m

그림 10. 인공광원 HMI 575W의 증 이격거리별 그림자 이미지

3.3 축소모형실험의 결과 검증

1) 축소모형실험 개요 및 검증방법

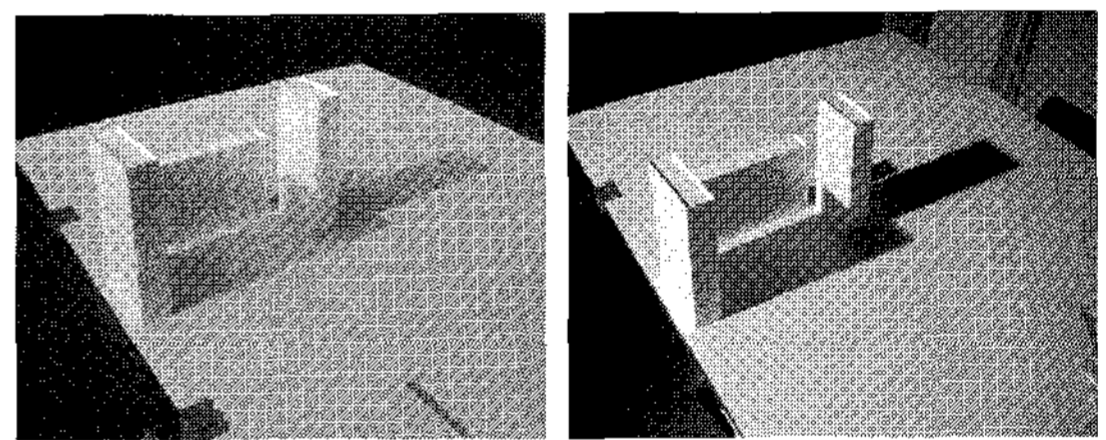
본 연구의 결과를 검증하기 위하여 옥외에서 동일한 실험조건을 설정하여 축소모형실험을 실시하였다. 광원 이외의 모든 실험조건은 실내 축소모형 실험과 일치하며, 단지 광원만 인공광원에서 자연광으로 변경하여 설정하였다. 인공광원을 사용한 실내 축소모형실험과 유사한 실험조건 설정하기 위하여 가능한 발광효율값이나 기타 오차요인이 적은 청천공을 천공조건으로 선정하여 외부 수평면 직사일광조도 60,000~120,000lx에서 실험을 실시하였다.

실험장소는 K대학교 공과대학 주차장이며 실험 일시는 예비실험은 2003년 9월 21~22일, 본 실험

은 10월 16일과 12월 3일이며 오전 11시부터 오후 2시까지 3시간에 걸쳐 측정하였다. 자연광을 광원으로 하는 옥외실험결과와 비교하는 인공광원으로는 HMI 575W 램프를 선정하였다. HMI 575W lamp의 실험결과는 다른 인공광원의 실험결과에 비해 결과값의 특성이 명확하여 비교가 용이하다.

2) 자연채광 실험결과와 인공광원 실험결과 비교

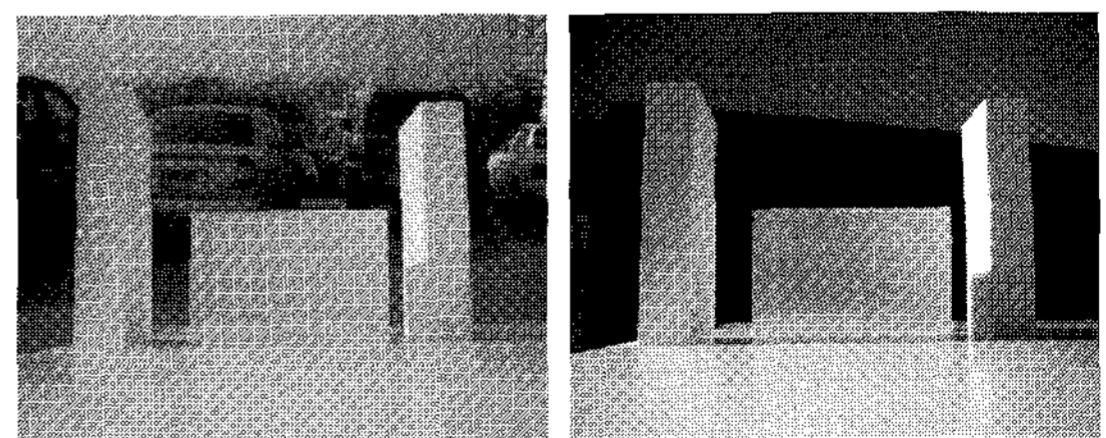
인공광원을 광원으로 하여 헬리오돈을 사용한 실내 축소모형실험과 자연광을 광원으로 하여 헬리오돈을 사용한 옥외 축소모형실험한 결과, [그림 11]과 [그림 12]와 같이 일영의 형태가 유사하였다.



(a) 자연광에서의 일영 형태

(b) HMI 575W

그림 11. 자연광을 광원으로 하는 옥외축소모형 실험과 인공광원을 광원으로 하는 실내축소모형실험의 일영 형태 비교



(a) 자연광

(b) HMI 575W

그림 12. 자연광을 광원으로 하는 옥외축소모형 실험과 인공광원을 광원으로 하는 실내축소모형 실험의 측면모습 비교

인공광원을 광원으로 하여 헬리오돈을 사용한 실내 축소모형실험과 자연광을 광원으로 하여 헬리오돈을 사용한 옥외 축소모형실험을 비교한 결과, 일영

의 길이가 유사한 것으로 나타났으며 오차는 9.3~13.0%로 실내 축소모형실험 결과가 타당한 것으로 입증되었다. 모형의 위치에 따른 자세한 일영의 길이는 [그림 13]과 같다.

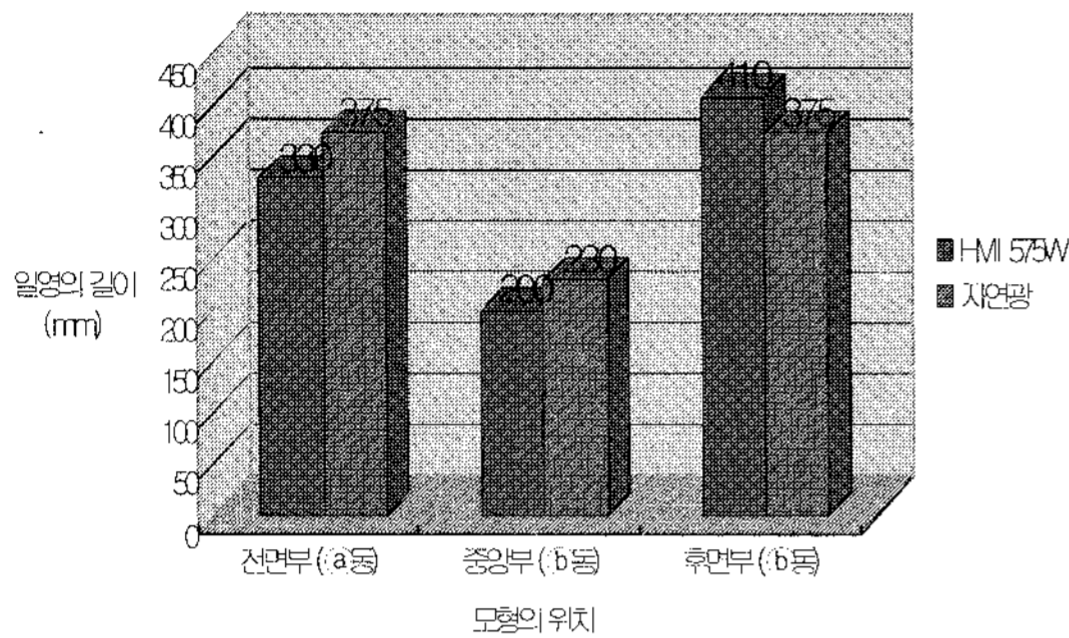


그림 13. 인공광원을 통한 실내 축소모형실험과 자연광을 통한 옥외 축소모형실험의 일영 길이 비교 (인공광원 : HMI 575W)

4. 광원의 종류와 이격거리에 따른 결과 및 분석

4.1. 인공광원의 종류에 따른 음영분석 성능

가시적인 성능을 중심으로 하는 자연채광 성능평가 시 인공광원의 종류에 따른 헬리오돈의 실험성능은 다음과 같다.

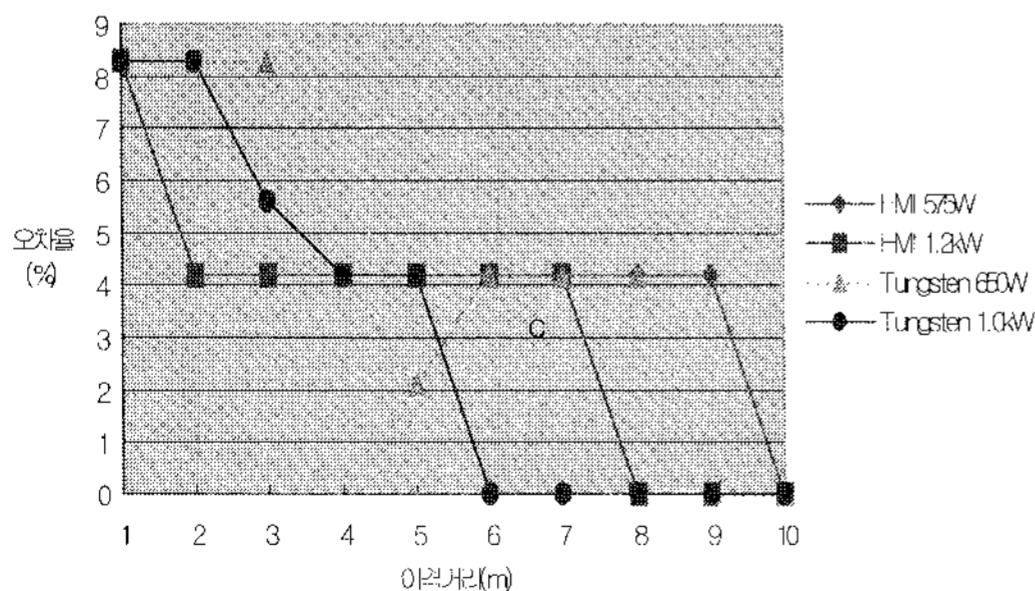


그림 14. 인공광원의 종류에 따른 전면부(a동)의 오차율

㉠동이 설치된 전면부의 경우, [그림 14]와 같이 이격거리가 증가할수록 오차율이 낮아지게 되며, 이격거리가 4m 이상되는 지점부터는 네 가지 인공

광원 모두 5% 이하의 오차율을 보였다. 38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점은 HMI 램프 4.2%, 텅스텐 램프 8.3%의 오차율을 보였다. 따라서 이격거리 2m 지점에서 실험조건으로 설정한 HMI 램프, 텅스텐 램프를 사용할 경우에는 일영의 형태나 길이가 오차범위 10% 이내에서 유용한 것으로 분석되었다.

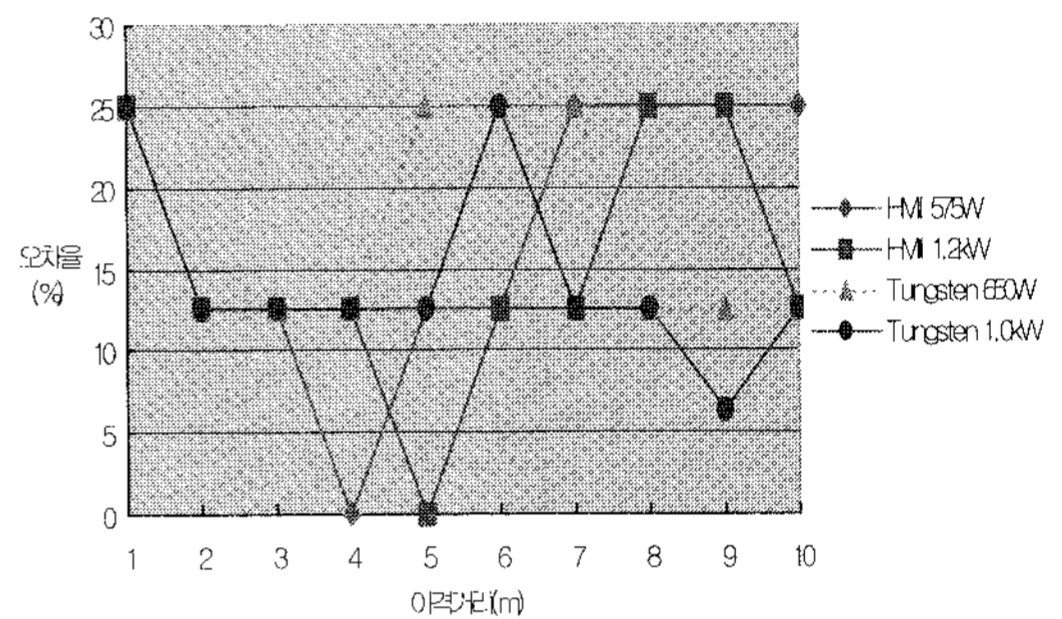


그림 15. 인공광원의 종류에 따른 중앙부(b동)의 오차율

㉠동이 설치된 중앙부의 경우, 오차율은 [그림 15]와 같다. 중심축에서 벗어난 위치와 광원의 확산성 때문에 모형과 인공광원과의 이격거리 증가할수록 오차율이 증가하는 특성을 보이는 것으로 분석되며, 2~4m 구간에서는 12.5% 이하의 오차율을 보였다. 38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는 HMI 램프와 텅스텐 램프모두 12.5%의 오차율을 보였다. 따라서 이격거리 2m 지점에서 실험조건으로 설정한 HMI 램프, 텅스텐 램프를 사용할 경우에는 일영의 형태나 길이가 오차범위 12.5% 이내에서 유용한 것으로 분석되었다.

㉡동이 설치된 후면부의 경우, 오차율은 [그림 16]과 같다. 광원의 확산성과 모형설치위치의 차이로 인해 이격거리 4m이후 오차율이 증가한 후 일정해지는 특성을 보였다. HMI 램프는 2~5m에서 텅스텐 램프는 3m에서 오차율 0%를 보였다. 38°

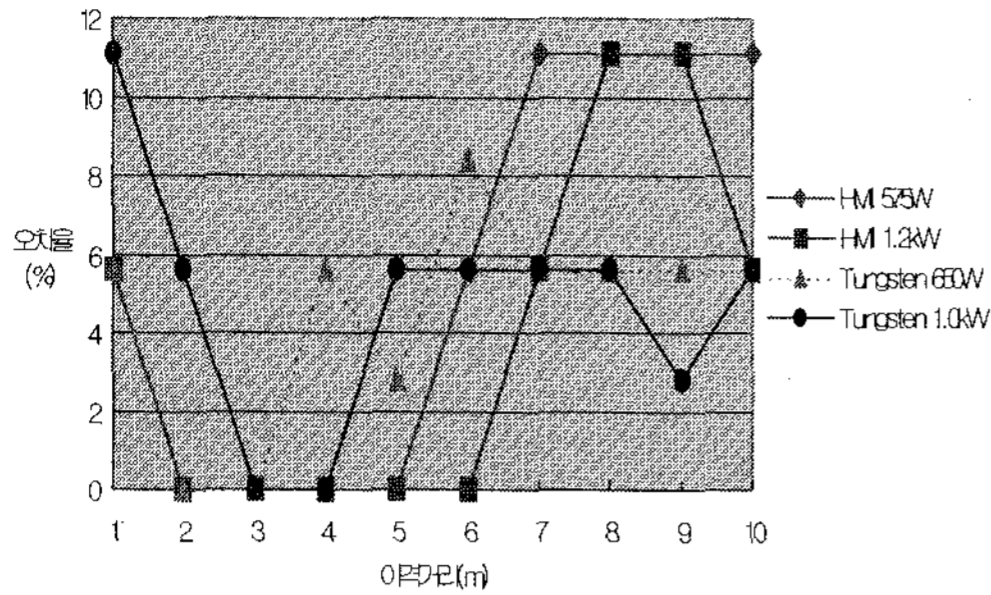


그림 16. 인공광원의 종류에 따른 후면부(㉔동)의 오차율

North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는 HMI 램프는 0%, 텅스텐 램프는 5.6%의 오차율을 보였다. 따라서 이격거리 2m 지점에서 실험조건으로 설정한 HMI 램프, 텅스텐 램프를 사용할 경우에는 일영의 형태나 길이가 오차범위 15.6% 이내에서 유용한 것으로 분석되었다.

4.2 인공광원의 밝기에 따른 결과분석

가시적인 성능을 중심으로 하는 자연채광 성능평가 시 앞서 언급한 인공광원의 종류에 따른 헬리오돈의 실험성능은 다음과 같다.

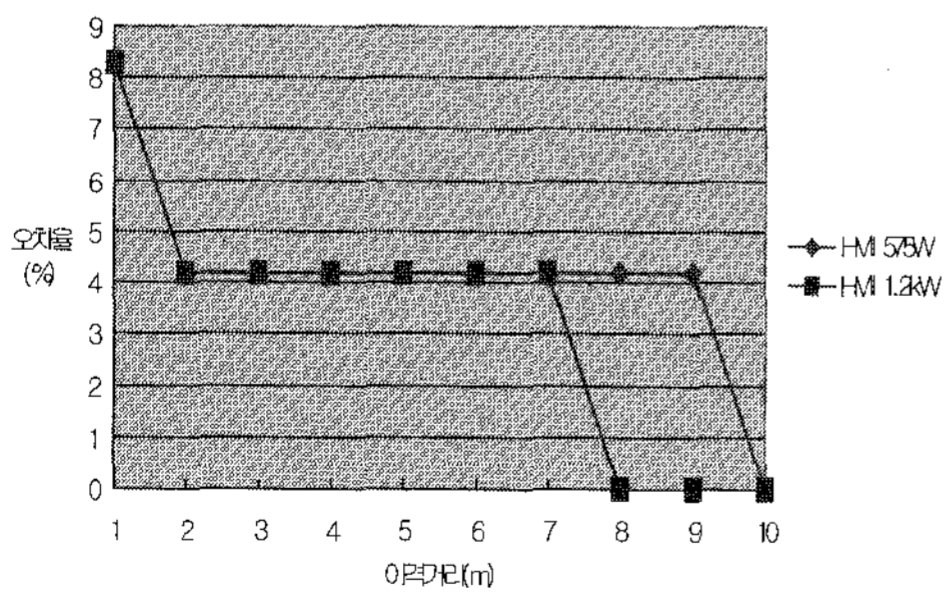


그림 17. HMI 램프의 밝기에 따른 전면부(㉑동)의 오차율

㉑동이 설치된 전면부의 경우, [그림 17]과 같이 HMI 램프의 밝기 차이에 따른 오차율의 변화는 없는 것으로 측정되었으며, 이격거리 7m 이상에서 HMI 1.2KW 램프가 HMI 575W 램프보다 2m

정도 짧게 오차율 0%를 보였다.

38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는 밝기의 차이에 관계없이 4.2%의 오차율을 보였다. 본 연구의 설정한 실험조건에서는 HMI 램프의 밝기에 따른 헬리오돈 평판 전면부의 성능 차이는 없는 것으로 판단된다.

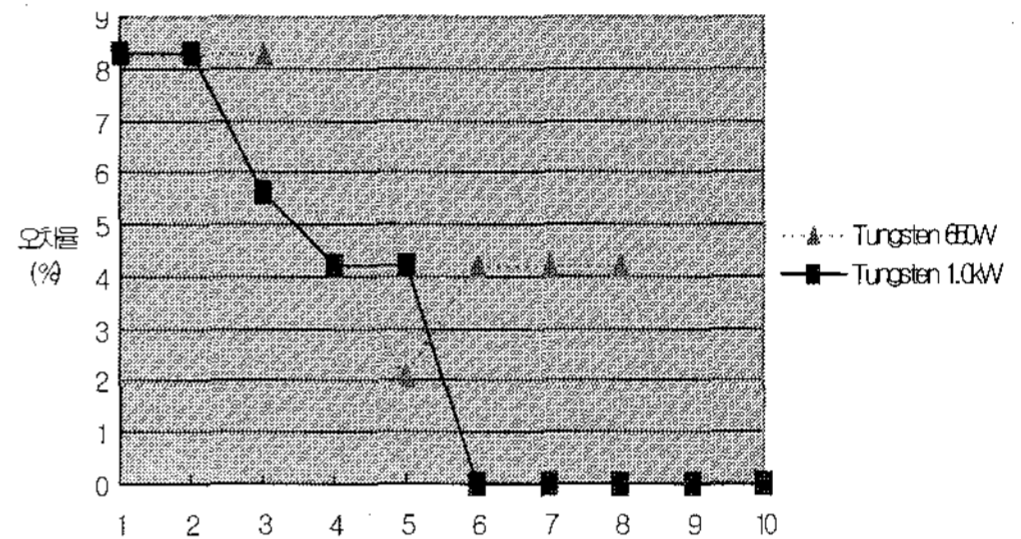


그림 18. 텅스텐 램프의 밝기에 따른 전면부(㉑동)의 오차율

㉑동이 설치된 전면부의 경우, [그림 18]과 같이 텅스텐 램프의 밝기 차에 따른 오차율의 변화가 이격거리 7m이상에서 차이를 보였으며, 텅스텐 1.0KW 램프는 6~10m까지 오차율 0%를 보였다.

38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는 밝기의 차이에 관계없이 8.3%의 오차율을 보였다. 본 연구에서 설정한 실험조건에서는 헬리오돈 평판 전면부에 대한 텅스텐 램프의 밝기 차이는 헬리오돈의 성능에 영향이 없는 것으로 사료된다.

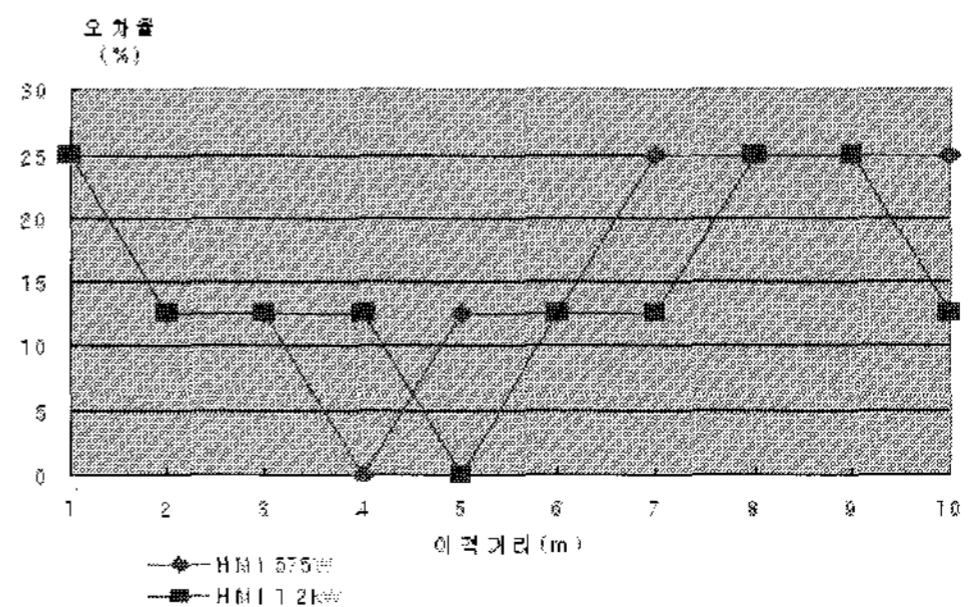


그림 19. HMI 램프의 밝기에 따른 중앙부(㉒동)의 오차율

㉞동이 설치된 중앙부의 경우, [그림 19]와 같이 HMI lamp의 밝기 차이에 따른 오차율의 변화는 상이한 면이 있으나 전반적으로 유사한 형상을 보였다. 이격거리 6m 이상에서는 확산성을 갖는 HMI의 특성으로 인하여 오차율이 증가하는 것으로 분석되었다.

38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는 밝기의 차이에 관계없이 12.5%의 오차율을 보였다. 본 연구에서 설정한 실험조건에서는 HMI 램프의 밝기에 따른 헬리오돈 평판 중앙부의 성능 차이는 없는 것으로 판단된다.

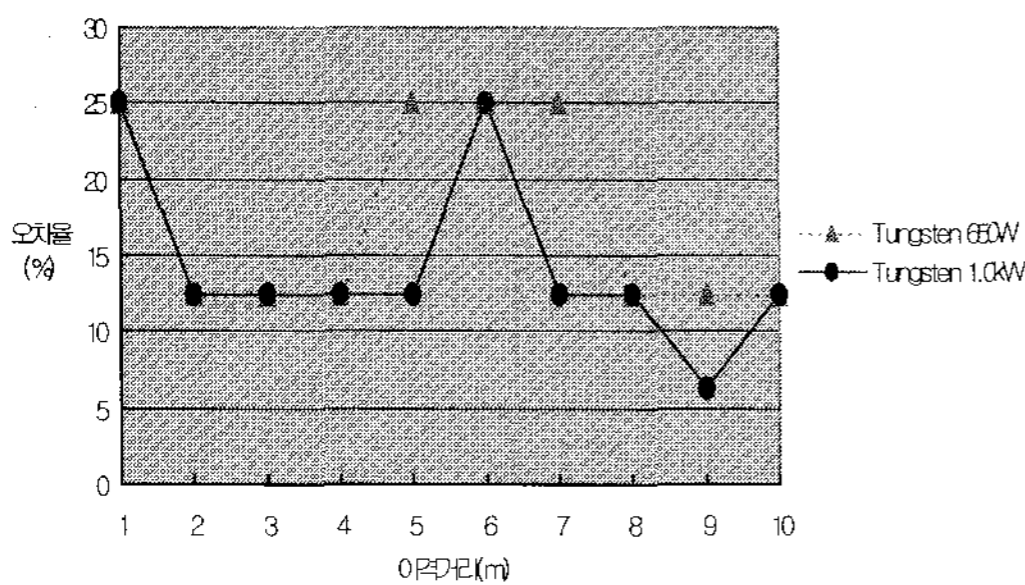


그림 20. 텅스텐 램프의 밝기에 따른 중앙부(㉞동)의 오차율

㉞동이 설치된 중앙부의 경우, [그림 20]과 같이 텅스텐 램프의 밝기 차이에 따른 오차율의 변화는 상이한 면이 있으나 전반적으로 유사한 형상이며, 텅스텐 1.0KW 램프는 2~5m 구간에서 고른 분포를 보였다.

38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는 밝기의 차이에 관계없이 12.5%의 오차율을 보였다. 본 연구에서 설정한 실험조건에서는 헬리오돈 평판 중앙부에 대한 텅스텐 램프의 밝기 차이는 헬리오돈의 성능에 영향이 없는 것으로 사료된다.

㉞동이 설치된 후면부의 경우, [그림 21]과 같이 HMI 램프의 밝기 차이에 따른 오차율의 변화는 적은 것으로 측정되었으며, 이격거리 5m 이상에서

다소 차이를 보였다.

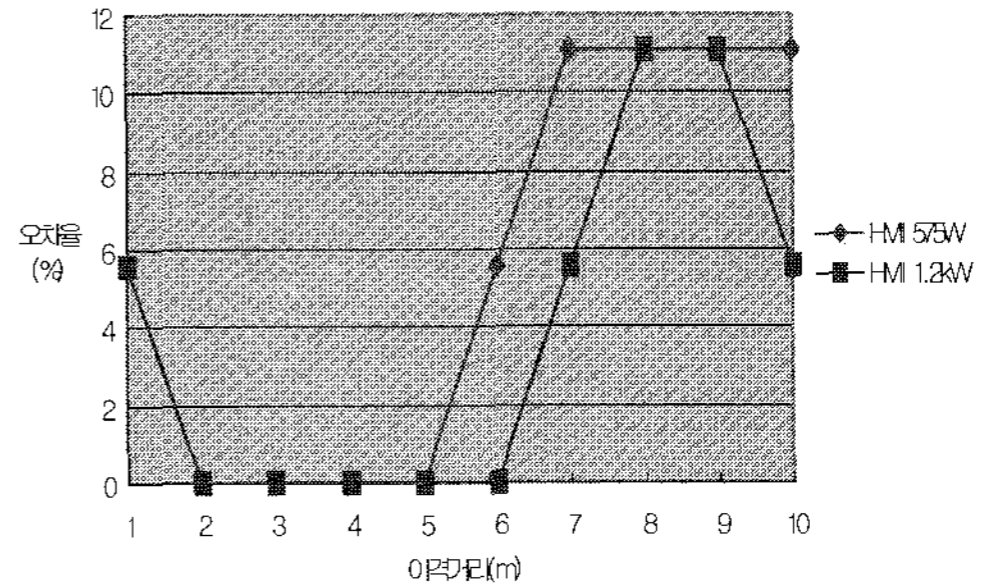


그림 21. HMI 램프의 밝기에 따른 후면부(㉞동)의 오차율

38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는 밝기의 차이에 관계없이 오차가 발생하지 않았다. 본 연구에서 설정한 실험조건에서는 HMI 램프의 밝기에 따른 헬리오돈 평판 후면부의 성능 차이는 없는 것으로 판단된다.

㉞동이 설치된 후면부의 경우, [그림 22]와 같이 텅스텐 1.0KW 램프가 텅스텐 650W 램프에 비해 고른 분포를 보였다. 텅스텐 650W 램프의 6m 지점, 텅스텐 1.0KW 램프의 1m 지점을 제외하면 전반적으로 6%미만의 오차율을 보이는 것으로 분석되었다.

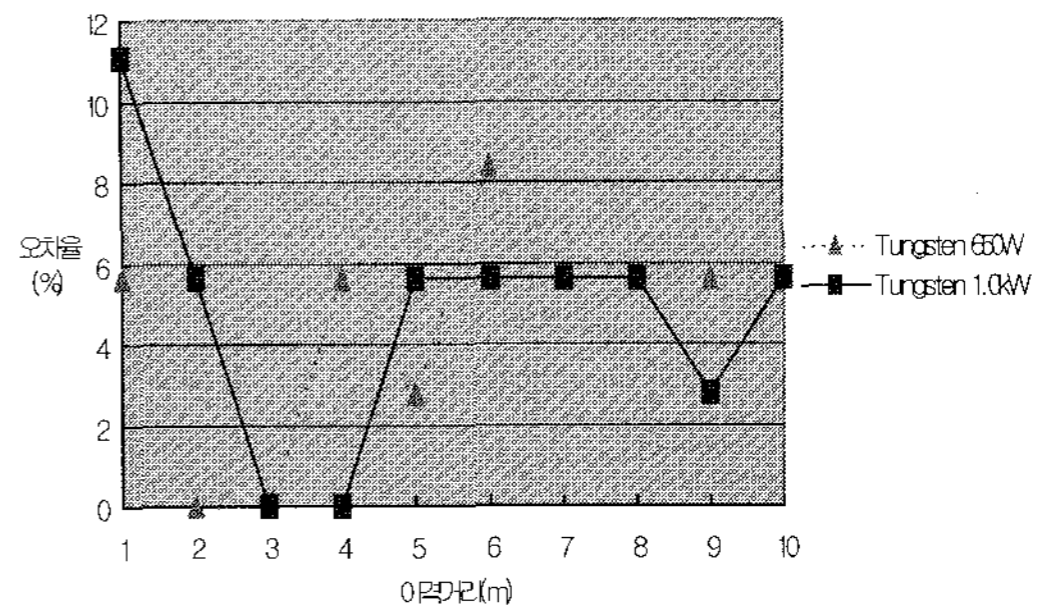


그림 22. 텅스텐 램프의 밝기에 따른 전면부(㉞동)의 오차율

38° North Latitude Sundial 상의 일영 길이가 설정한 동지 조건과 일치하는 2m 지점에서는

텅스텐 650W 램프는 오차가 없었으며 텅스텐 1.0KW 램프는 5.6%의 오차율을 보였다. 본 연구에서 설정한 실험조건에서는 헬리오돈 평판 후면부에 대한 텅스텐 램프의 밝기 차이는 헬리오돈의 성능에 영향을 미치는 것으로 판단되나 오차율 5.6% 내에서 유용한 것으로 사료된다.

5. 결론

- 1) 헬리오돈은 자연광, 인공광원 등 광원의 종류에 따라 다양한 실험을 수행할 수 있기 때문에 경량으로 제작하여 이동이 쉽도록 하는 것이 바람직하며 헬리오돈의 모형고정용 평판도 별도의 판을 설치할 수 있다면 크기 자체는 중요하지 않다.
- 2) 실내에서 태양고정형 헬리오돈을 사용하여 인공광원을 대상으로 한 축소모형실험을 실시할 경우, HMI 램프나 텅스텐 램프를 광원으로 사용하는 것이 일조측정의 명확성이나 자연광과의 유사성 면에서 효과적이다.
- 3) 인공광원의 종류와 밝기에 따른 적정 이격거리는 HMI 575W, HMI 1.2KW, 텅스텐 650W, 텅스텐 1.0W 모두 2.0m이며 일영 폭의 오차도 HMI 램프는 4.16%, 텅스텐 램프는 8.33% 정도로 유용한 수준을 보였다.
- 4) 일영 폭에 대한 결과로 볼 때, HMI 램프가 텅스텐 램프에 비해 빛의 직진성이 우수하며 상대적으로 헬리오돈의 인공광원으로도 보다 적합하다고 판단된다.
- 5) 본 연구에서 설정한 실험조건에서는 HMI 램프와 텅스텐 램프 두 종류 모두 각 광원의 밝기에 따른 헬리오돈의 성능 차이가 없는 것으로 사료된다.
- 6) 본 연구에서 제시한 실험조건으로 헬리오돈을 활용한 축소모형실험을 실시한다면 500mm×360mm×250mm(폭×깊이×높이)에서 최소 87.5% 이상의 실험 정확도를 예측할 수 있을 것으로 분석되었다.

- 7) 태양고정형 헬리오돈의 경우 청천공에서 시각적인 일조분포를 측정하는 실험이 주를 이룬다. 특히 발광효율이나 기타 천공조건의 오차에 대한 보정이 어려운 근본적인 한계를 극복하기 위해서는 대지고정형 헬리오돈을 인공 천공돔에 설치하여 운용하는 것이 다양한 천공상태의 실험과 정확성에서 유리할 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 과학기술부 국가지정연구실 사업의 연구비 지원에 의한 연구결과의 일부임

참 고 문 헌

1. 이지현 외, "자연채광 성능평가를 위한 Heliodon의 효용성 연구", 한국생태환경건축학회 추계학술발표대회 논문집 제3권 제2호(통권5호), 2003
2. 김정태 외, "인공천공돔과 헬리오돈의 개발 성능실험 사례연구", 한국생태환경건축학회 논문집, Vol. 3 No. 1, 2003
3. 김곤 외, "자연채광요소로서 직사일광의 조명원적 효용성에 관한 연구", 대한건축학회 논문집, 제18권 7호, 2002
4. 李商雨의 共著, "建築環境計劃論", 泰林文化社, 1997
5. Evans, B.H. Daylight in Architecture. New York: McGraw-Hill, 1981
6. Hopkinson, R.G., P. Petherbridge and J. Longmore. Daylighting. London, UK.: William Heinemann, 1966
7. <http://arch.ced.berkeley.edu/resources/bldg-sci/index.htm>
8. <http://arch.hku.hk/~kpcheung/heliodon/he-mlas.htm>
9. <http://sundial.arch.hawaii.edu/sundial/ECSLabmaterial/heliodon.htm>
10. <http://www.cadc.auburn.edu/sun-emulator/mainpage.htm>
11. http://www.unl.ac.uk/LEARN/port/1998/daymedia/web/axel/sky/sim_heli.html