

제 4 장 축소 모형 실험을 통한 컴퓨터 모형의 타당성 검증

4.1 축소 모형 실험

4.1.1 축소 모형 실험의 개요

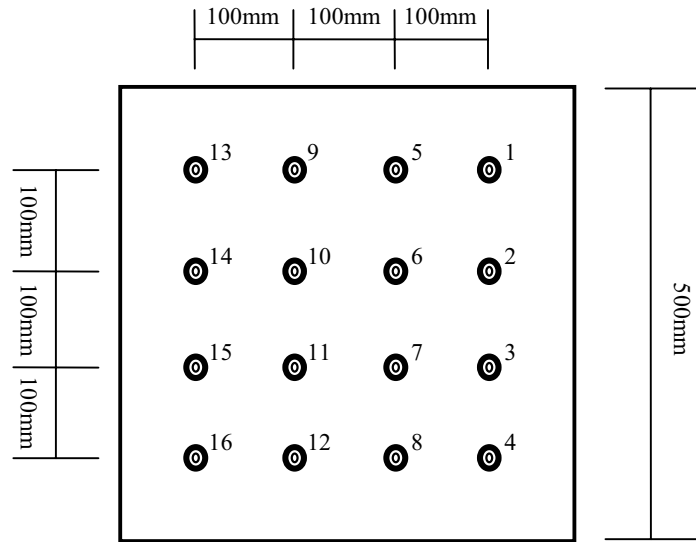
본 연구에서 개발한 아트리움 내부 조도 예측 컴퓨터 모형의 정확성을 검증하기 위해서 아트리움 축소 모형을 이용한 실험을 행하였다. 실험 장소 및 기간은 다음과 같다.

- (1) 실험 장소 : 경기도 안산시 H 대학교 제2공학관 옥상
- (2) 기 간 : 1997년 9월 10일 [중간 천공 상태]
1997년 9월 22일 [청천공 상태]

[그림 4.1.1]~[그림 4.1.3]은 아트리움 축소 모형 실험 장면 및 내부 바닥면을 보여주는 사진이다.



[그림 4.1.1] 아트리움 축소 모형 실험 장면



[그림 4.1.2] 아트리움 축소 모형 바닥면 조도 센서 위치



[그림 4.1.3] 아트리움 축소 모형 내부

4.1.2 아트리움의 자연채광 성능과 관련한 변수의 설정

아트리움의 자연채광 성능에 영향을 미치는 변수는 다음의 5 가지로 요약될 수 있다.

- (1) 아트리움의 형태 (너비, 길이, 높이)
- (2) 아트리움 창호의 형태
- (3) 아트리움 창호의 투과율 및 투과특성
- (4) 아트리움 내부 반사율 및 반사 특성
- (5) 천공 상태

아트리움 형태의 경우 아트리움 창호의 면적에 대해 높이가 변화함에 따라 실내로 유입되는 빛의 양이 변화하며 너비와 길이의 변화도 아트리움 내부 바닥면의 조도값을 변화시키는 요인이 된다.

아트리움 창호의 경우 톱날형, 배럴볼트형, 피라미드형, 박공형 창호와 같이 창호의 다양한 형태는 실내에 유입되는 빛의 양과 방향성을 변화시키는 요인이 된다. 또한 창호의 투과율 및 투과특성도 실내로 유입되는 빛의 양과 방향성에 영향을 미친다. 투명한 재료는 직사일광의 방향을 그대로 투과시키는 반면, 반투명 재료는 직사일광을 확산시킴으로써 실내의 빛 환경을 변화시킬 수 있다.

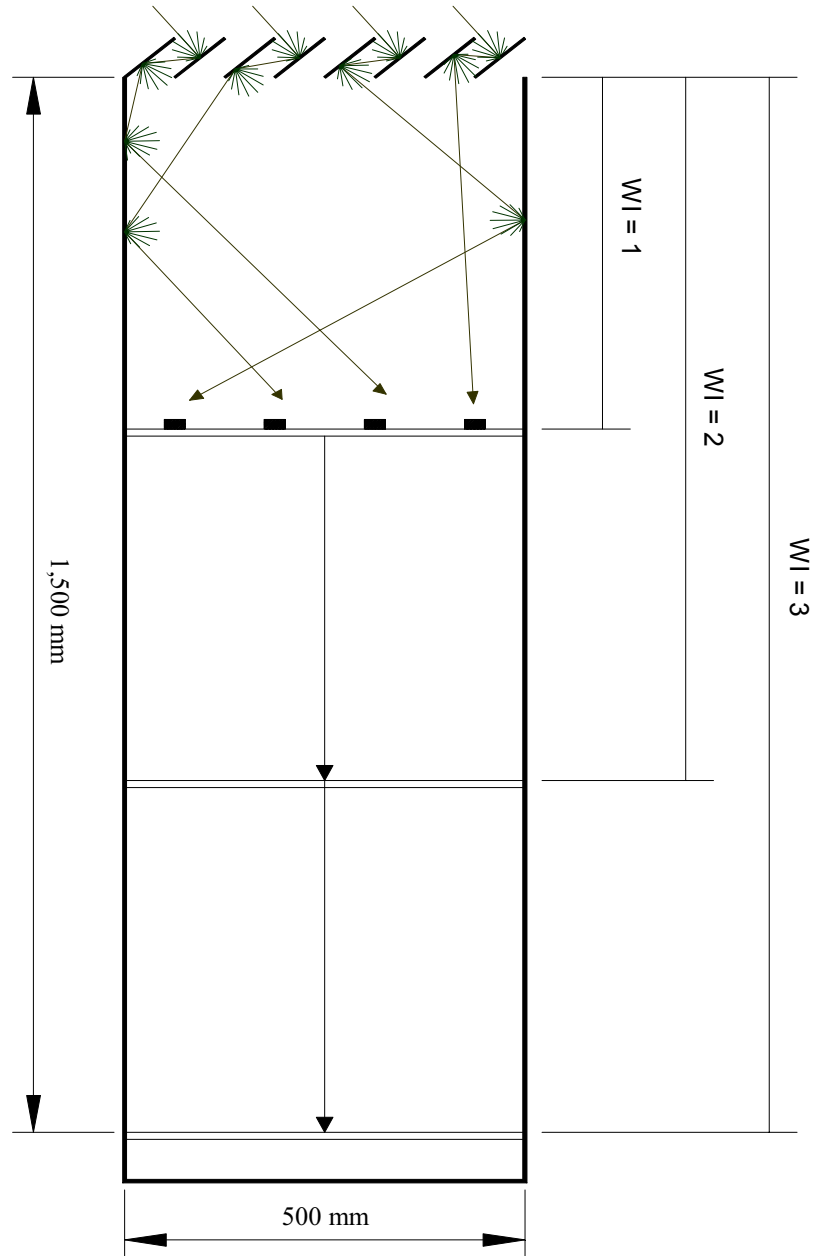
아트리움 내부의 표면 반사 특성에는 확산 반사, 경면 반사, 혼합반사가 있다. 따라서 이 반사 특성에 의해서 반사되는 광자의 방향이 결정된다.

천공 상태는 청천공에서 담천공에 이르는 다양한 변화를 보이며 아트리움 내부의 빛 환경에 큰 영향을 준다.

4.1.3 축소 모형의 제작

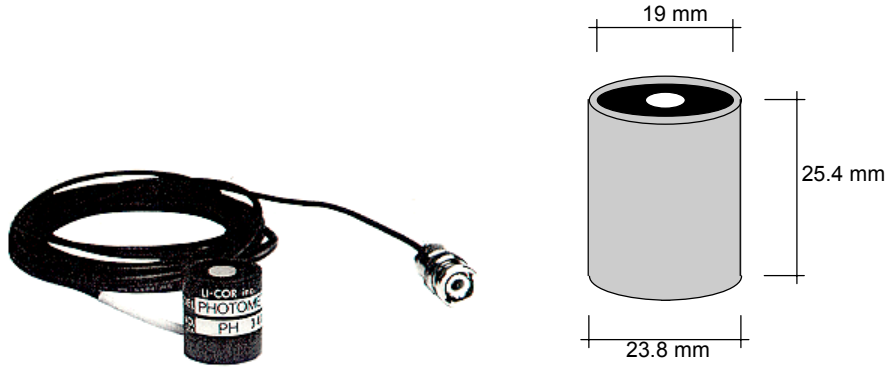
축소 모형은 골판지와 폼보드를 사용하여 아트리움 창호 모델의 기울기 및 크기에 따라 제작하였다. 제작된 아트리움 축소 모형은 바닥면과 조도계가 상하로 움직일 수 있도록 함으로써 광정지수를 0~3 까지 변화시킬 수 있도록 제작되었다. [그

림 4.1.4]는 축소모형의 단면을 나타낸 것이다.



[그림 4.1.4] 아트리움 축소 모형의 단면

본 축소 모형 실험에서 사용한 조도계의 형태와 크기는 [그림 4.1.5 와] 같다.



[그림 4.1.5] 축소 모형 실험에 사용된 조도 센서

제작한 모형의 반사율은 [그림 4.1.6]와 같이 조도계와 휘도계를 사용하여 측정한 값을 (식 4.1.2)에 대입하여 반사율을 구하였다.



[그림 4.1.6] 조도계와 휘도계를 사용하여 반사율을 측정하는 장면

$$\rho = \frac{L \times \pi}{E} \quad (\text{식 4.1.2})$$

단, ρ : 반사율

L: 휘도 [$\text{cd}/\text{m}^2 = \text{lm}/\text{sr} \cdot \text{m}^2$]

E: 조도 [lm/m^2]

π : 3.14159 [sr]

4.1.4 측정기기 및 측정 방법

1) 측정기기

본 측정에서 사용된 측정기기는 [표 4.1.1]과 같다.

[표 4.1.1] 실험에 사용된 측정기기

-
- 모형 측정용 조도계 LI-210SA 16 개
 - 모형 측정용 일사계 LI-200SA 1 개
 - 데이터로거 DATASCAN 1 대
 - 휘도계 LS110 1 대
 - 디지털 조도계 1 대
 - 측정 데이터 저장 및 처리용 컴퓨터 486DX₂ 50 1 대
-

[표 4.1.2]는 축소 모형 실험에 사용된 조도계의 조도 변환 상수를 계산한 것을 나타낸 것이다.

[표 4.1.2] 축소 모형 실험에 사용된 조도계 상수의 계산

번호	계산 상수 [$\mu A/100klux$]	계산	조도변환 상수 [$lux/\mu V$]
1	35.12	$35.12 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2121248 [\mu V/lux]$	4.7142
2	32.68	$32.68 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1973872 [\mu V/lux]$	5.0662
3	34.57	$34.57 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2088028 [\mu V/lux]$	4.7892
4	32.70	$32.70 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1975080 [\mu V/lux]$	5.0631
5	34.11	$34.11 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2060244 [\mu V/lux]$	4.8538
6	29.54	$29.54 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1784216 [\mu V/lux]$	5.6047
7	31.68	$31.68 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1913472 [\mu V/lux]$	5.2261
8	34.11	$34.11 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2060244 [\mu V/lux]$	4.8538
9	33.10	$33.10 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1999240 [\mu V/lux]$	5.0019
10	33.41	$33.41 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2017964 [\mu V/lux]$	4.9555
11	33.48	$33.48 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2022192 [\mu V/lux]$	4.9451
12	35.59	$35.59 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2149636 [\mu V/lux]$	4.6520
13	31.58	$31.58 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1907432 [\mu V/lux]$	5.2427
14	31.96	$31.96 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1930384 [\mu V/lux]$	5.1803
15	32.64	$32.64 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.1971456 [\mu V/lux]$	5.0724
16	35.59	$35.59 \mu A/100000lux \times 604 Ohm = 0.2149636 [\mu V/lux]$	4.6520

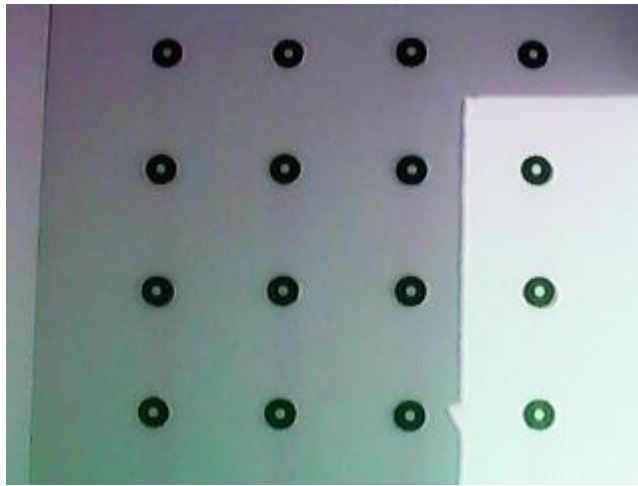
4.2 컴퓨터 모델의 계산치와 축소 모형 실험치의 비교

컴퓨터 모델의 계산치와 축소 모형 실험치를 비교하기 위해서 본 연구에서는 오차율 개념을 도입하였다. 따라서, 오차율이 5% 이하이면 컴퓨터 모델의 계산치가 정확하다고 말할 수 있다. 오차율은 (식 4.2.1)과 같이 나타낼 수 있다.

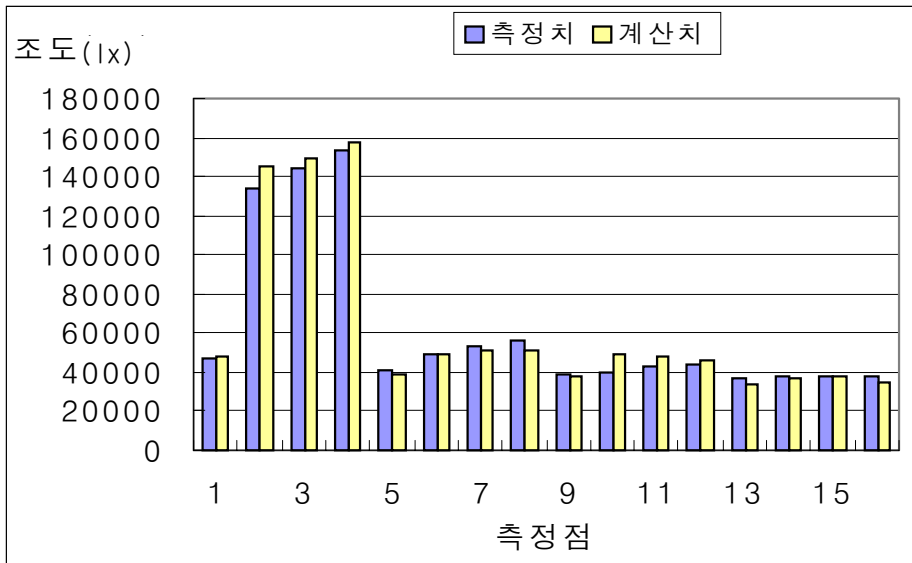
$$\text{오차율} = \frac{\text{실측치의평균} - \text{계산치의평균}}{\text{계산치의평균}} \times 100 [\%] \quad (\text{식 4.2.1})$$

4.2.1 atrium 창호를 설치하지 않은 상태

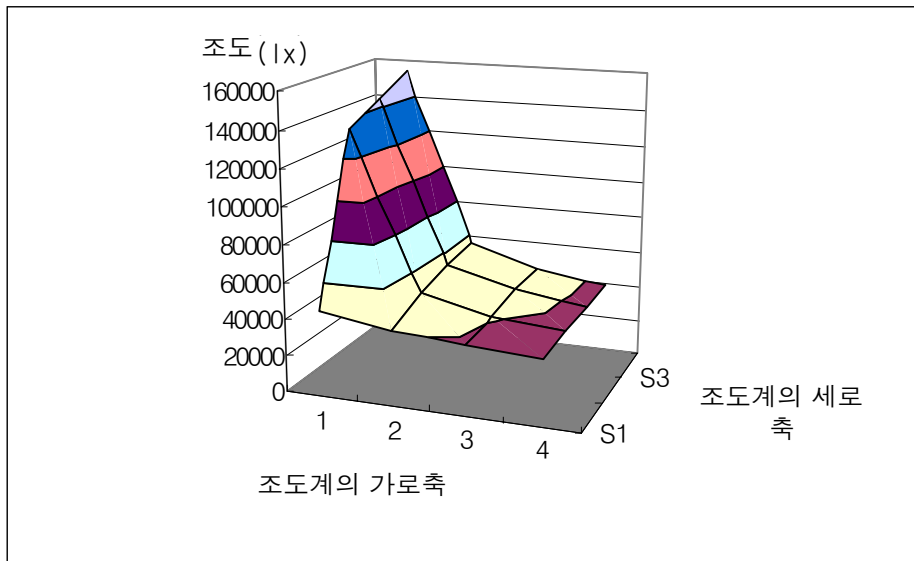
[그림 4.2.1]은 atrium 창호 모델을 설치하지 않은 상태에서의 바닥면 사진이다. [그림 4.2.2]~[그림 4.2.4]는 조도값의 계산치와 측정치를 비교한 것이다. 창호가 없을 때 측정치의 평균 조도는 62290.02 lx 였고 계산치는 63356.87 lx 였다. 따라서 평균 오차율은 1.68%가 된다.



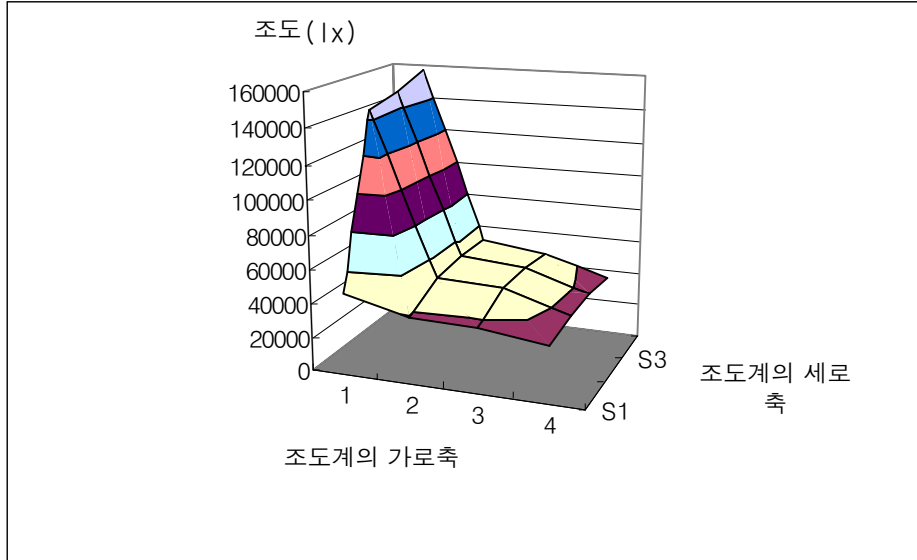
[그림 4.2.1] atrium 창호 모델을 설치하지 않은 상태에서의 바닥면 사진



[그림 4.2.2] 측정치와 계산치의 조도값 비교(창호를 설치하지 않은 때)



[그림 4.2.3] 측정치의 조도값 분포(창호를 설치하지 않은 때)



[그림 4.2.4] 계산치의 조도값 분포(창호를 설치하지 않은 때)

아트리움 창호가 설치되지 않았을 때 직사일광이 바닥면에 직접 유입되는 부분이 발생하면서 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다. 컴퓨터 모델링 결과치 역시 실험치와 유사하게 조도값이 급격히 증가하는 것을 볼 수 있다.

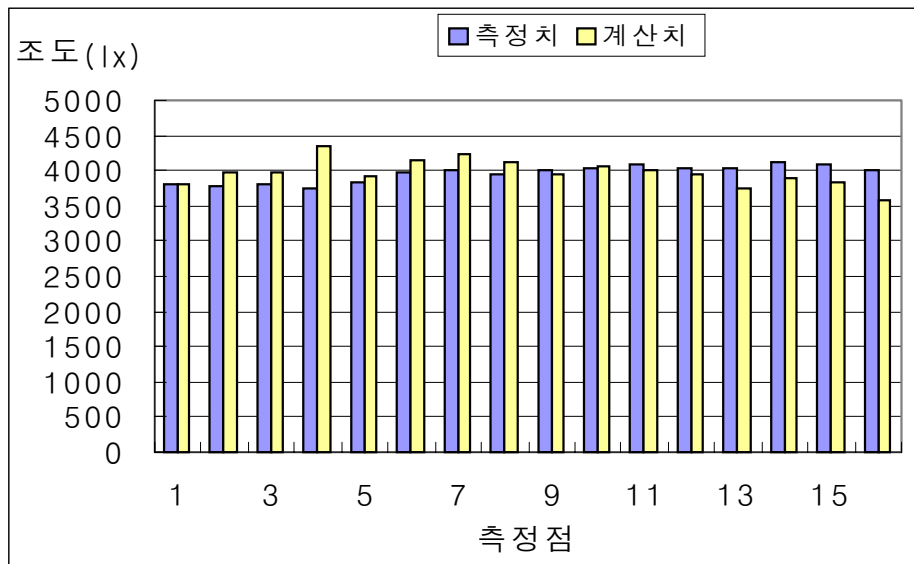
4.2.2 톱날형 아트리움 창호의 기울기가 15도인 상태

[그림 4.2.5]는 기울기가 15도인 톱날형 아트리움 창호 모델을 설치한 상태를 보여주는 사진이다. 아트리움 창호는 북향으로 설치하였는데 이유는 직사일광이 직접 계산 대상면에 들어올 경우 직사일광이 직접 들어온 부분과 그렇지 못한 부분이 뚜렷한 구별이 생길 것이라 가정하여 좀 더 많은 반사를 통하여 문제점이 있다면 좀 더 부각되게 하기 위해서였다.

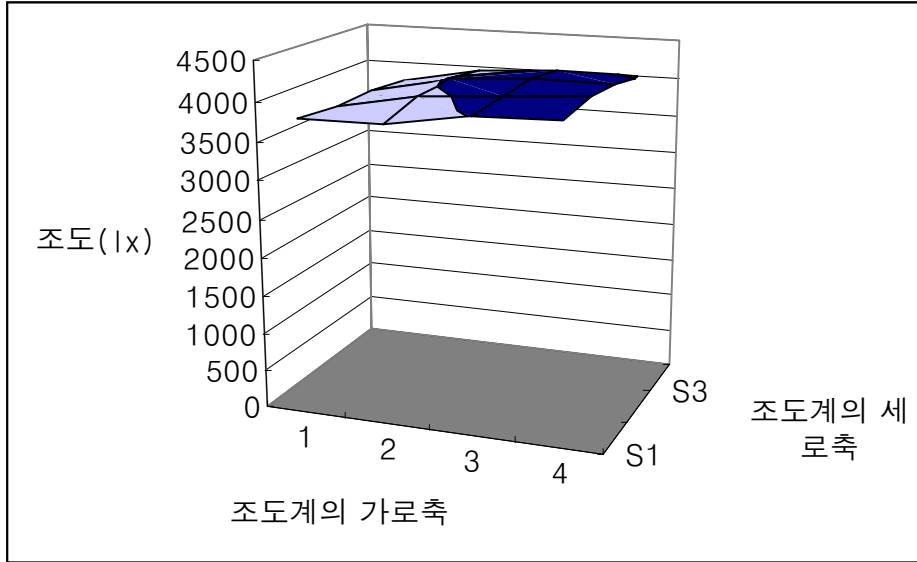
[그림 4.2.6]~[그림 4.2.8]은 조도값의 계산치와 측정치를 비교한 것이다. 기울기가 15도인 톱날형 아트리움 창호일 때 측정치의 평균 조도는 3956.04 lux 였고 계산치는 3972.54 lx 였다. 따라서 평균 오차율은 0.42%가 된다.



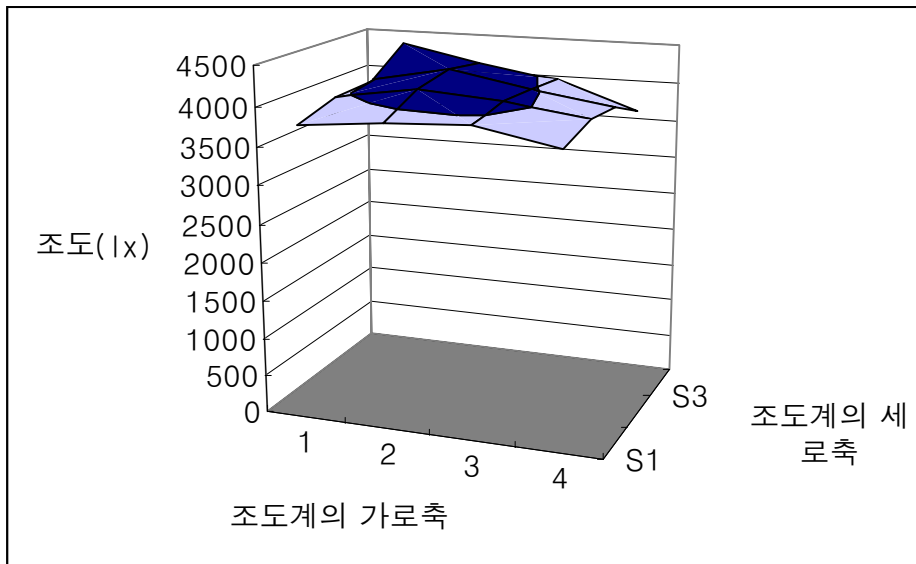
[그림 4.2.5] 기울기 15 도인 톱날형 아트리움 창호 모델 사진



[그림 4.2.6] 측정치와 계산치의 조도값 비교(기울기 15 도인 톱날형 창호)



[그림 4.2.7] 측정치의 조도값 분포(기울기 15도인 톱날형 창호)



[그림 4.2.8] 계산치의 조도값 분포(기울기 15도인 톱날형 창호)

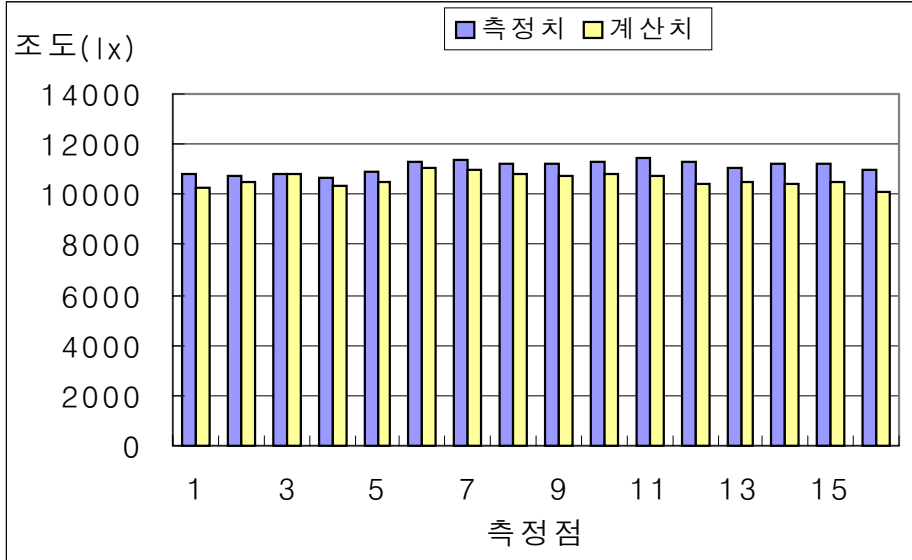
4.2.3 톱날형 아트리움 창호의 기울기가 45도인 상태

[그림 4.2.9]는 기울기가 45도인 톱날형 아트리움 창호 모델을 설치한 상태를 보여주는 사진이다.

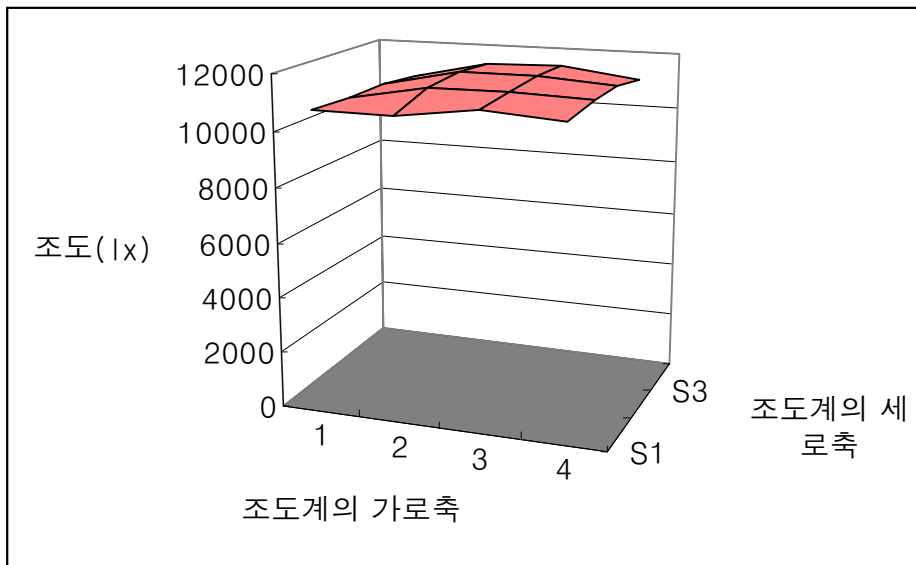
[그림 4.2.10]~[그림 4.2.12]는 조도값의 계산치와 측정치를 비교한 것이다. 기울기가 45도인 톱날형 아트리움 창호일 때 측정치의 평균 조도는 11095.95 lx 였고 계산치는 10584.97 lux 였다. 따라서 평균 오차율은 4.83%가 된다.



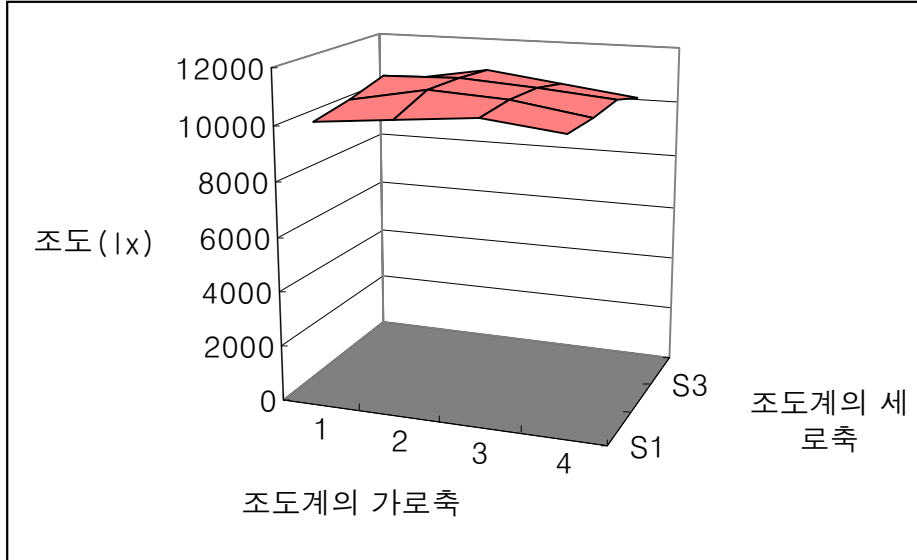
[그림 4.2.9] 기울기 45도인 톱날형 아트리움 창호 모델 사진



[그림 4.2.10] 측정치와 계산치의 조도값 비교(기울기 45도인 톱날형 창호)



[그림 4.2.11] 측정치의 조도값 분포(기울기 45도인 톱날형 창호)



[그림 4.2.12] 계산치의 조도값 분포(기울기 45도인 톱날형 창호)

4.2.4 컴퓨터 모델의 정확성

축소 모형 실험을 통한 측정값과 컴퓨터 모델을 이용한 계산값을 비교한 결과 다음과 같은 결과를 얻을 수 있다.

1) 축소 모형 실험을 통한 실험치와 컴퓨터 모델에 의한 계산치를 비교한 결과, [표 4.2.1]에 나타난 것처럼 평균 오차율이 5% 미만인 것으로 나타났다.

[표 4.2.1] 계산치와 측정치의 비교

	측정치 평균	계산치 평균	평균 오차율
창호가 없을 때	62,290.02 lx	63,356.87 lx	1.68 %
15도 톱날형	3,956.04 lx	3,972.54 lx	0.42 %
45도 톱날형	11,095.95 lx	10,584.97 lx	4.83 %

2) 광속전달법에 의해서는 계산될 수 없었던 직사일광에 의한 조도를 몬테카를로 방법과 광선추적기법을 이용하여 매우 정확하게 계산할 수 있는 것으로 검증되었다.

3) 아트리움 창호를 북향으로 설치한 결과 직사일광이 직접 유입되지 않기 때문에 고른 조도분포를 볼 수 있었다. 계산치 역시 거의 고른 분포를 나타내었는데 계산치와 실험치가 약간의 차이를 보이는 것은 실제 측정할 당시의 천공상태와 컴퓨터 모델에 사용된 Perez 천공 모델의 차이와 실제 투과재료, 반사재료의 특성과 컴퓨터 모델에 입력된 재료특성의 차이에 의해서 오차가 발생한 것으로 사료되었다.