

아트리움의 자연채광 성능 예측 프로그램 개발에 관한 연구

Developing a Computer Model to Estimate
Daylighting Performances of Atria

발 표 자 : 유 기 형

지도교수 : 송 규 동

한양대학교 건축환경시스템연구실

<http://aesi.hanyang.ac.kr>

연구의 배경

- 아트리움 내부 조도 예측에 대한 문제점
 - 창호의 복잡한 기하학적 형상
 - 창호의 다양한 투과특성
 - 기존의 광속전달법으로는 해석이 불가능
 - 모형실험의 경우 시간과 비용 등의 한계

연구 목적

- 아트리움의 자연채광 성능을 정확하게 예측할 수 있는 컴퓨터 모델 개발
- 컴퓨터 시뮬레이션을 통한 아트리움 자연채광 평가 도구 개발 (표, 노모그램)

연구 범위 및 방법

- 이론 연구 (몬테카를로 방법, 광선 추적법)
- 컴퓨터 모델의 개발
- 축소 모형 실험을 통한 컴퓨터 모델의 검증
- 시뮬레이션을 통한 아트리움 자연채광 설계도구 개발 제시

기본 이론 고찰

- 몬테카를로 방법
- 광선 추적법
- **Perez** 천공 모델

몬테카를로 방법

- 난수의 발생과 확률을 기본 개념으로 가지는 방법
- 컴퓨터가 급속히 발달하면서 공학적으로 적용할 수 있게 됨
- 광자(Photon)의 진행 방향 결정에 적용

몬테카를로 방법

- 난수 조건
 - 무작위성
 - 균일성 있는 분포
 - 긴 주기
 - 재생 가능성
 - 계산의 효율성

몬테카를로 방법

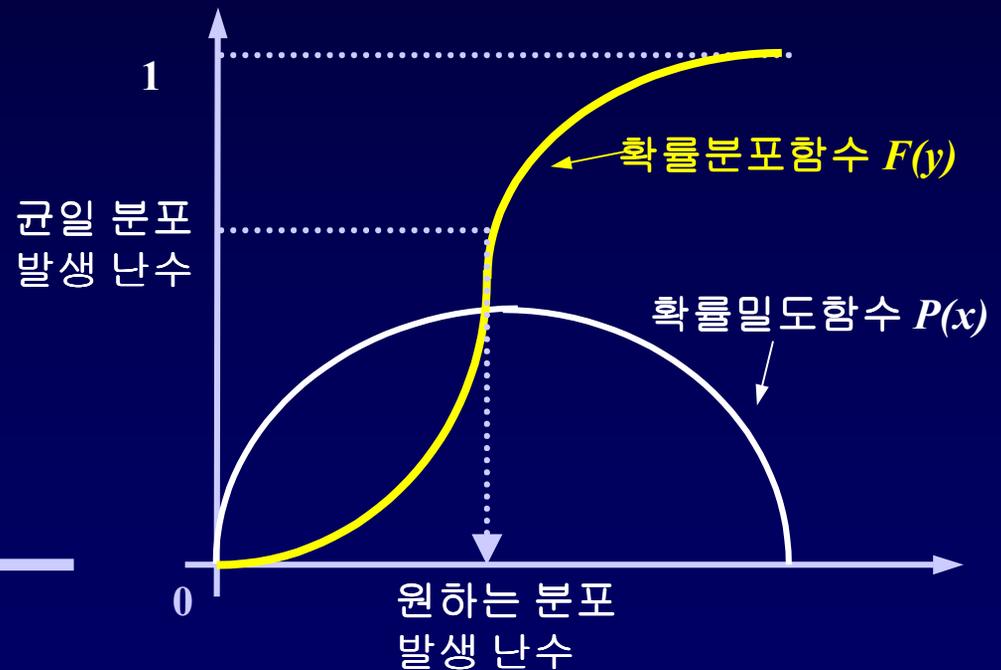
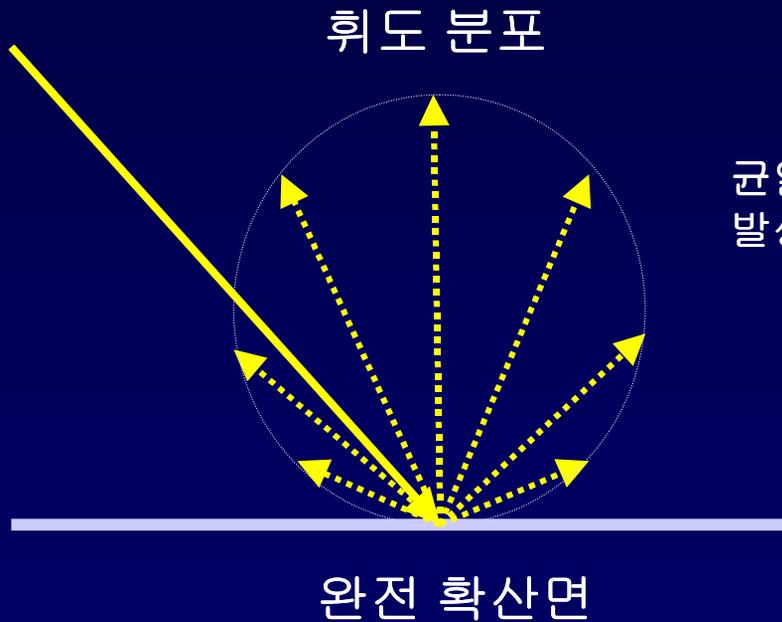
- 난수 발생 방법

- 선형 합동적 방법

$$S_{i+1} = (aS_i + c) \bmod m$$

몬테카를로 방법

- 완전 확산면에서 빛의 반사 특성 모델링

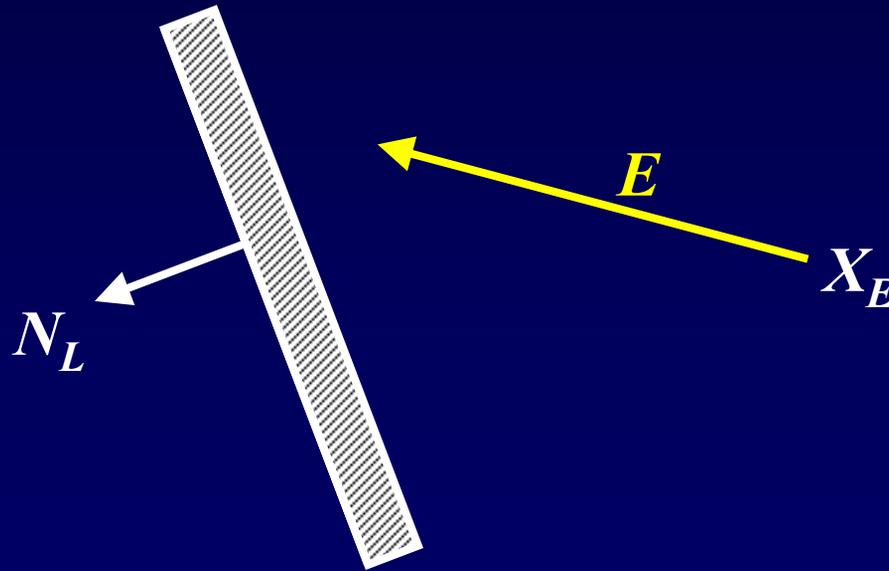


광선 추적법

- 광자의 움직임과 크기를 벡터화
- 광자의 운동 경로를 수학적으로 예측

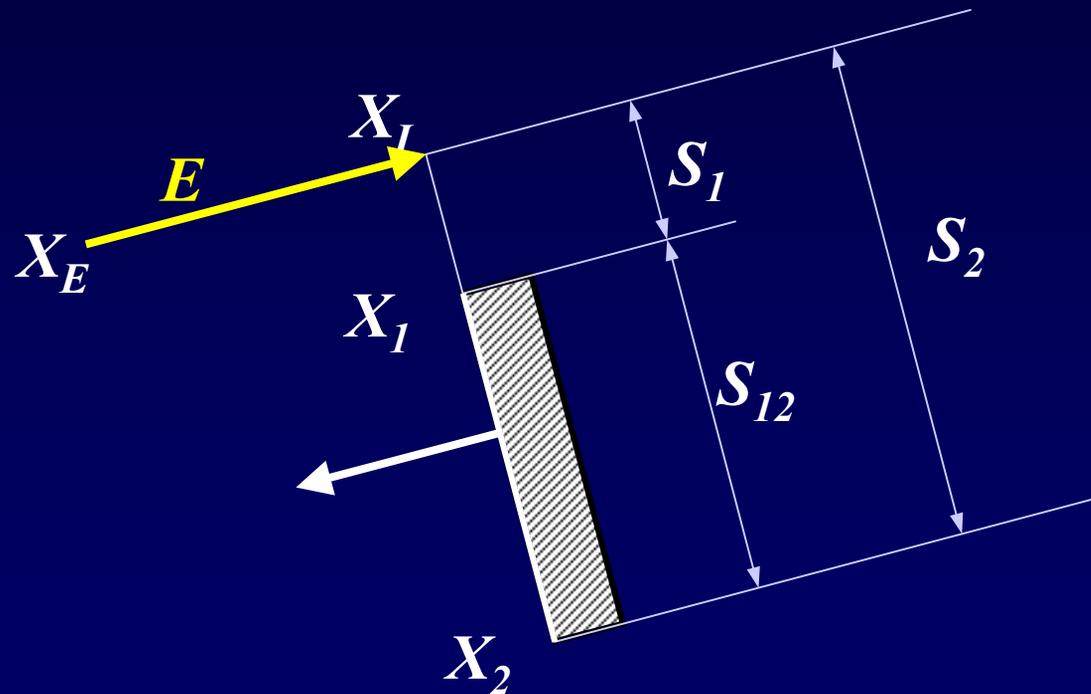
광선 추적법

- 광자의 방향과 표면의 방향을 검사



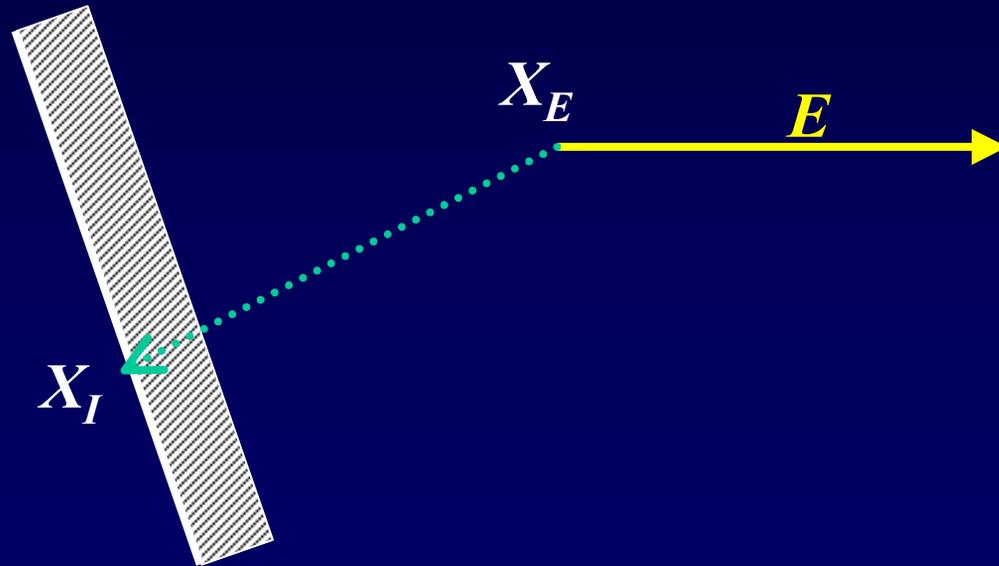
광선 추적법

- 평면의 범위 안에 광자가 들어오는가를 검사



광선 추적법

- 표면이 광자의 발생점 뒤에 있는가를 검사

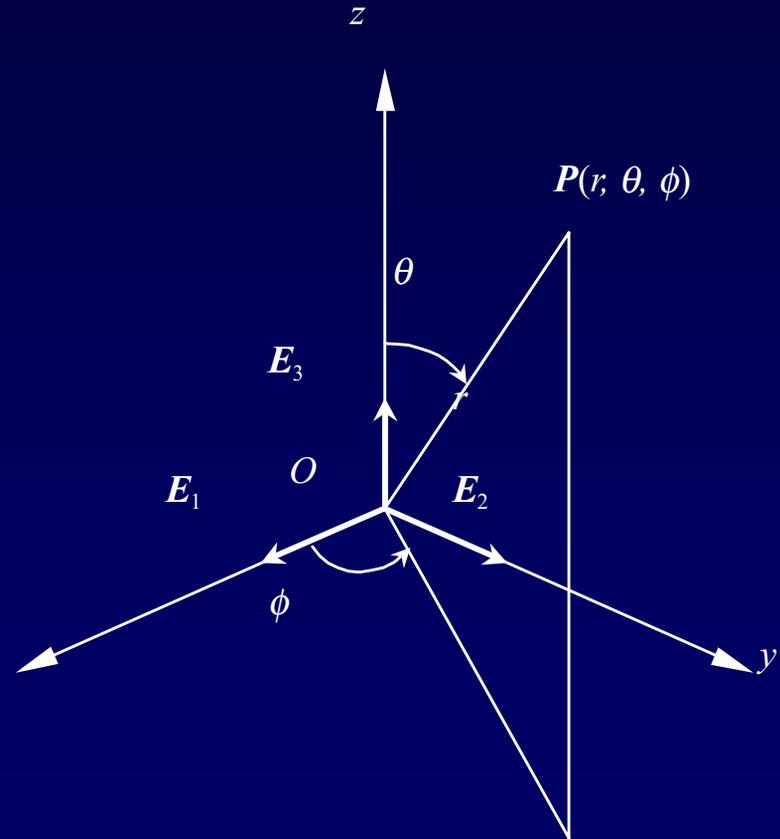


광선 추적법

- 표면에서 반사되거나 투과되는 입자의 새로운 벡터 계산

$$\begin{cases} x = r \sin \theta \cos \phi \\ y = r \sin \theta \sin \phi \\ z = r \cos \theta \end{cases}$$

$$\begin{cases} r = \sqrt{x^2 + y^2 + z^2} \\ \tan \theta = \frac{\sqrt{x^2 + y^2}}{z} \\ \tan \phi = y / x \end{cases}$$



Perez 천공 모델

- 실제 천공의 휘도 분포를 정확히 예측하는 것은 불가능
- Perez 천공 모델은 가장 정확한 결과를 얻을 수 있는 모델

- 천공 휘도 분포 식 :
$$L_v = l_v \times \frac{E_{kH}}{\int_{2\pi sr} (l_v(\zeta, \gamma) \cos \zeta) d\omega}$$

Perez 천공 모델

- 입력 변수

- 일사량, 노점온도, 계산시각, 위도, 경도

- 결과치

- 법선면 직달 조도, 수평면 확산 조도, 천공의 상대 휘도비, 천공의 각도별 휘도 분포

아트리움 자연채광 성능예측 프로그램

- 객체지향언어를 사용하여 입력된 각각의 평면들을 객체화 시킴
- 객체화된 각각의 평면과 광자와의 연관성을 계산 (광선추적법)

자연채광 성능 예측 프로그램 개요

INPUT MODULE

- 예측 장소의 위도, 경도, 측정시각, 일사량, 노점온도 입력
- 조도 계산 대상면 및 기타면들의 공간좌표, 그리드 수, 반사율, 투과율, 확산율 입력

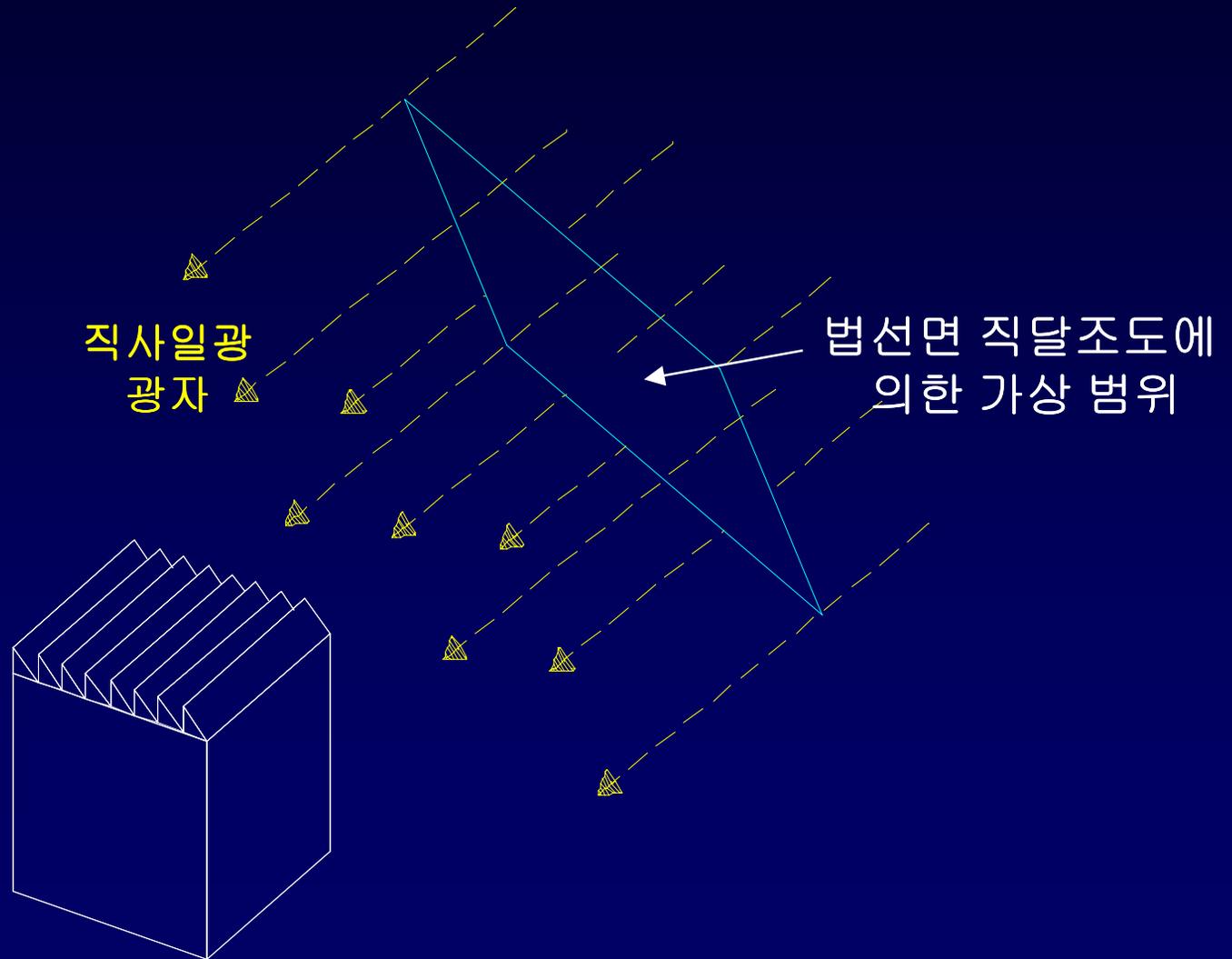
COMPUTATION MODULE

- 태양의 고도 및 방위각 계산
- Perez 모델을 이용한 법선면 직달조도, 수평면 확산 조도 계산
- 직사일광의 광자를 발생시켜 계산 대상면의 조도를 계산
- 확산천공광의 광자를 발생시켜 계산 대상면의 조도를 계산 (Perez의 천공휘도분포 모델을 이용)

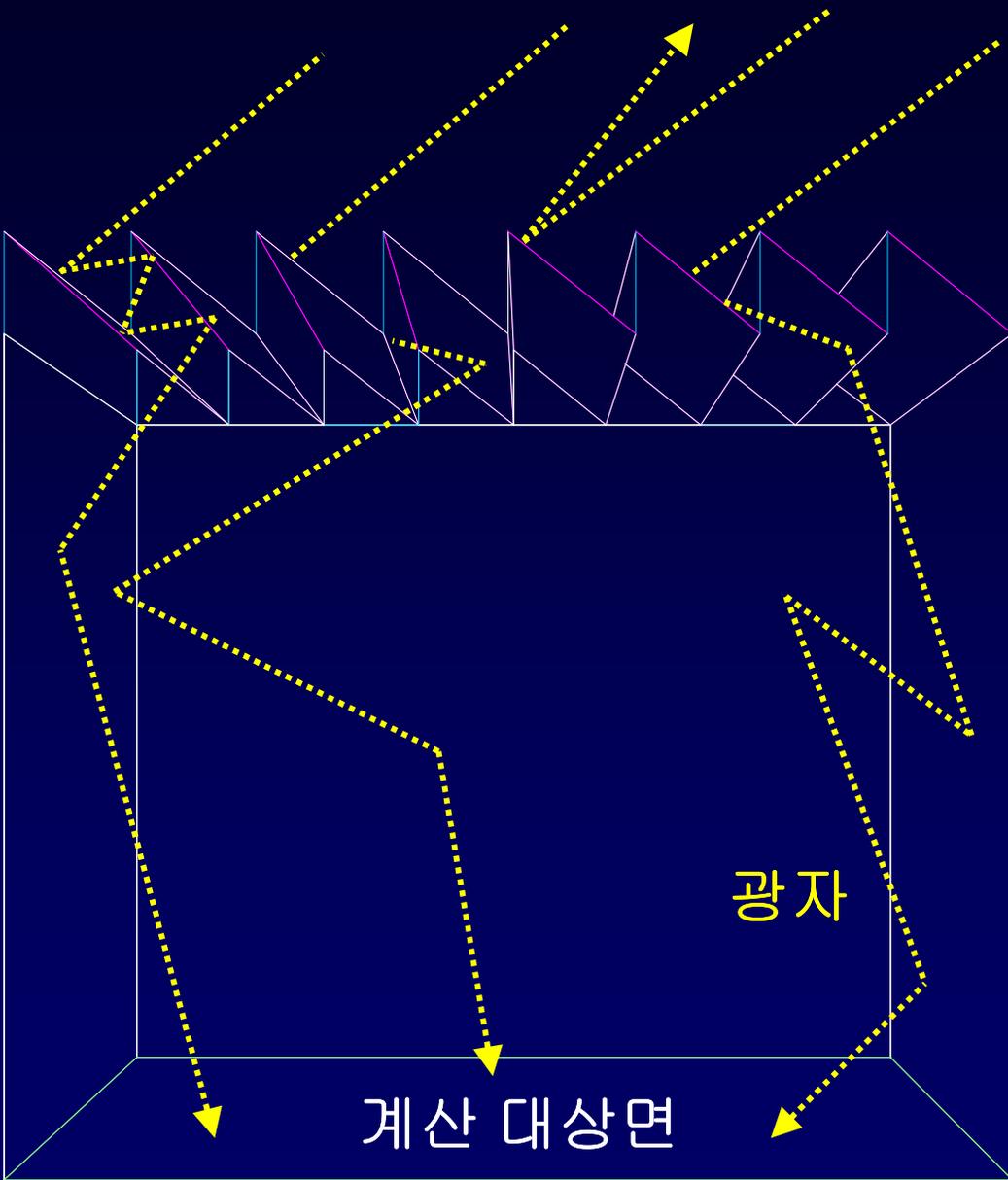
OUTPUT MODULE

- 조도 계산 대상면으로 들어온 직사일광의 광자와 확산천공광의 광자의 개수를 합하여 조도를 계산하고 출력

직사일광에 대한 모델링



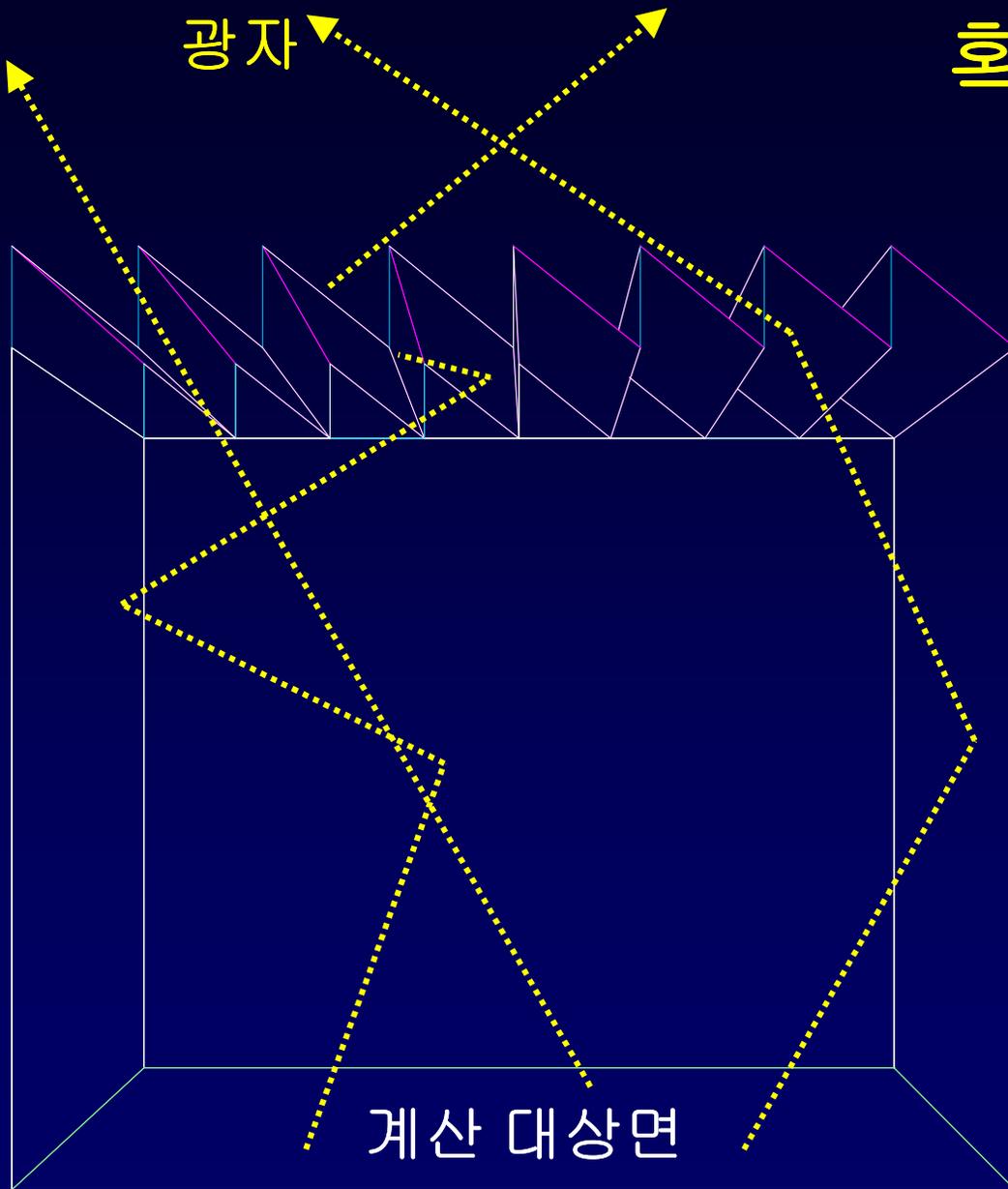
직사일광에 대한 모델링



광자

계산 대상면

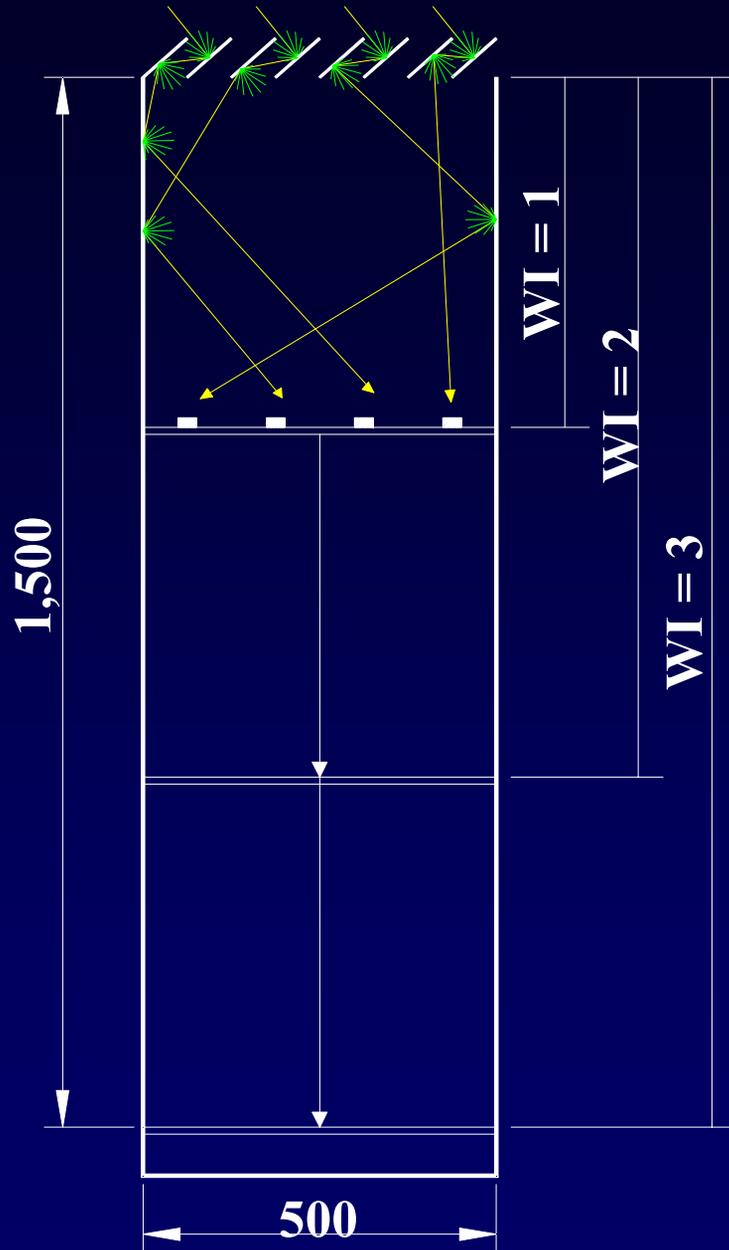
확산 천공광에 대한 모델링



축소 모형 실험 개요

- 컴퓨터 모형의 정확성을 검증하기 위함
- 톱날형 창호
- 북향
- 광정지수(Well Index) = 1

아트리움 축소 모형 단면



광정지수 $WI = \frac{H(W + L)}{2WL}$

아트리움 축소모형 실험장면



아트리움 축소모형 내부

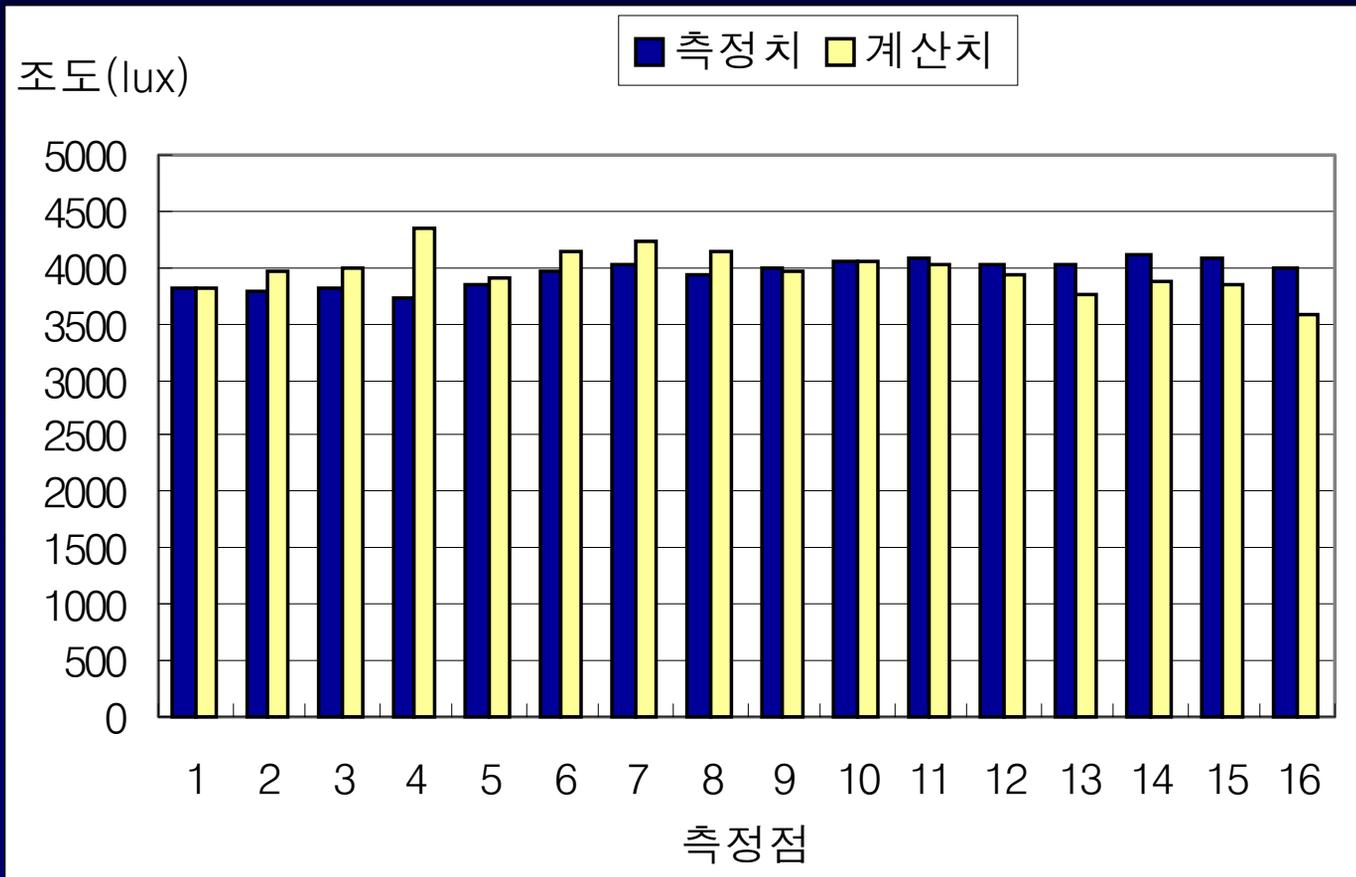


아트리움 창호 축소 모형



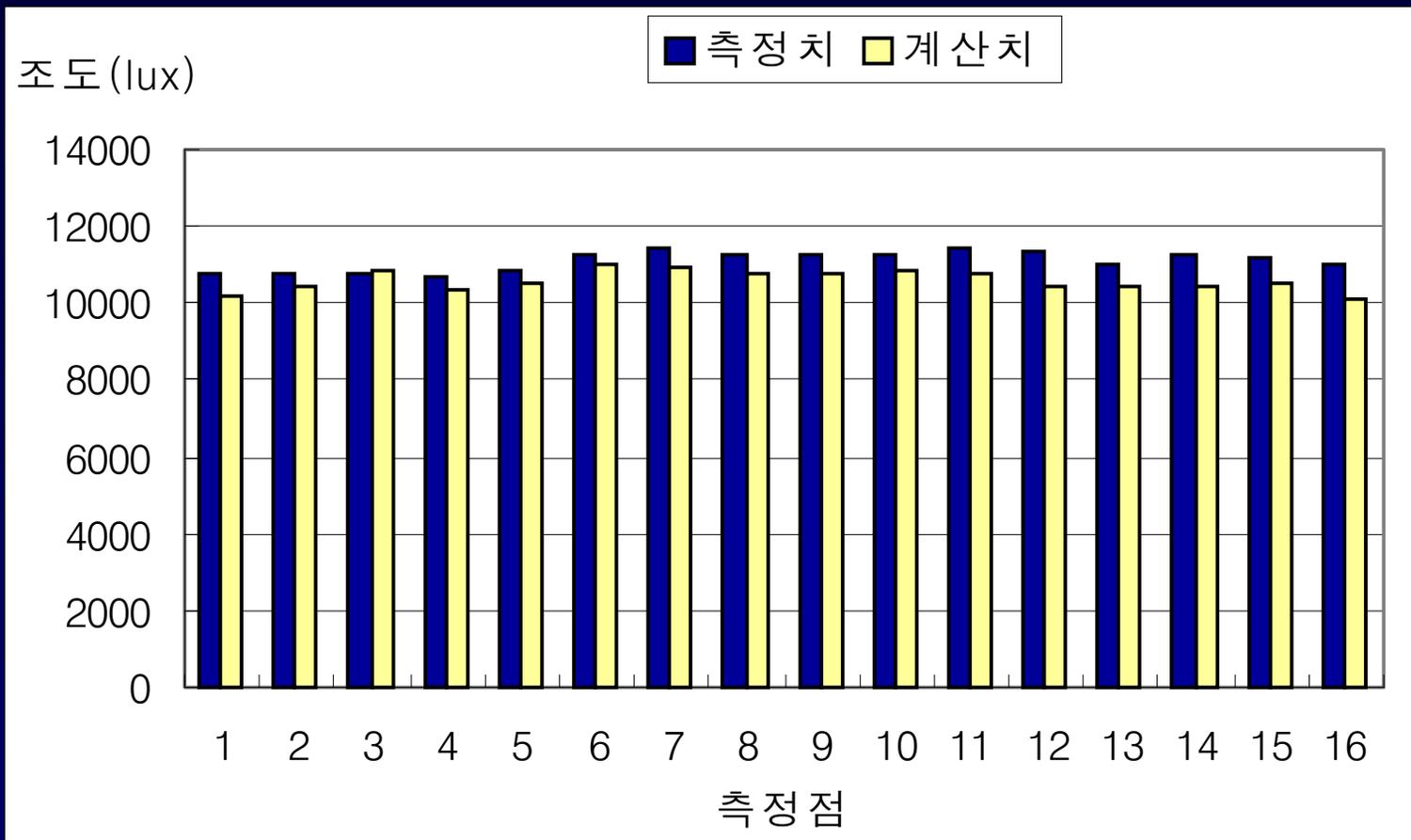
측정치와 계산치 비교

- 15° 경사의 아트리움 창호를 설치한 경우
(상대오차 0.42%)



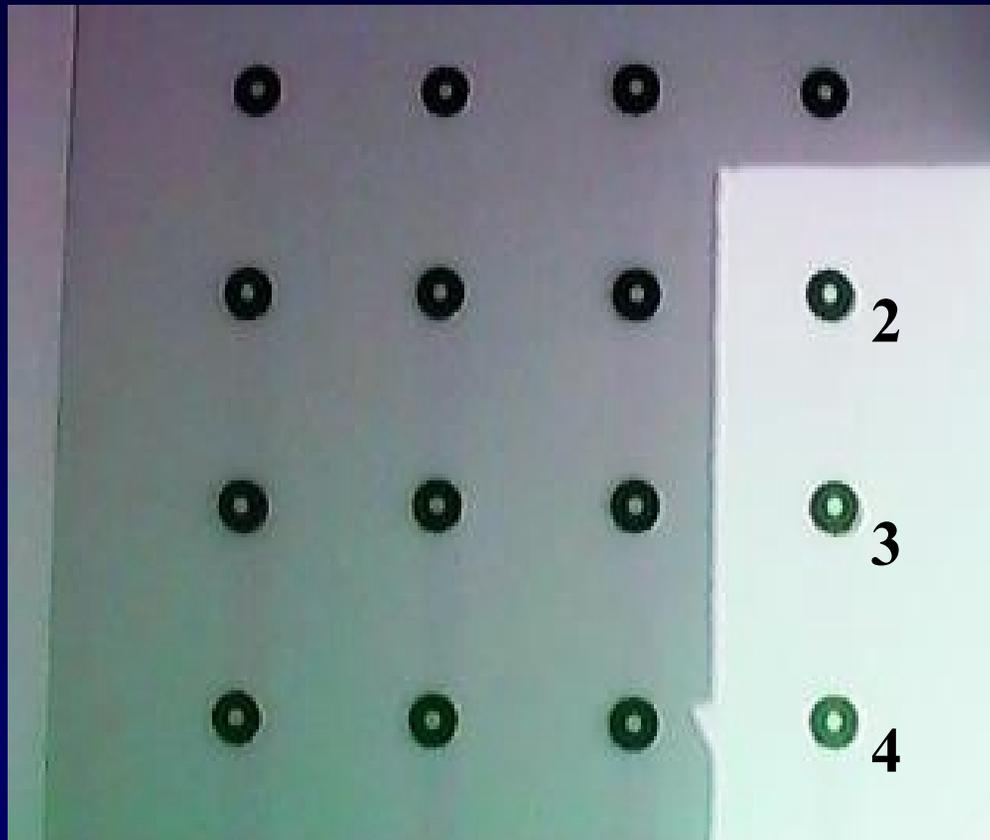
측정치와 계산치 비교

- 45° 경사의 아트리움 창호를 설치한 경우
(상대오차 4.83%)



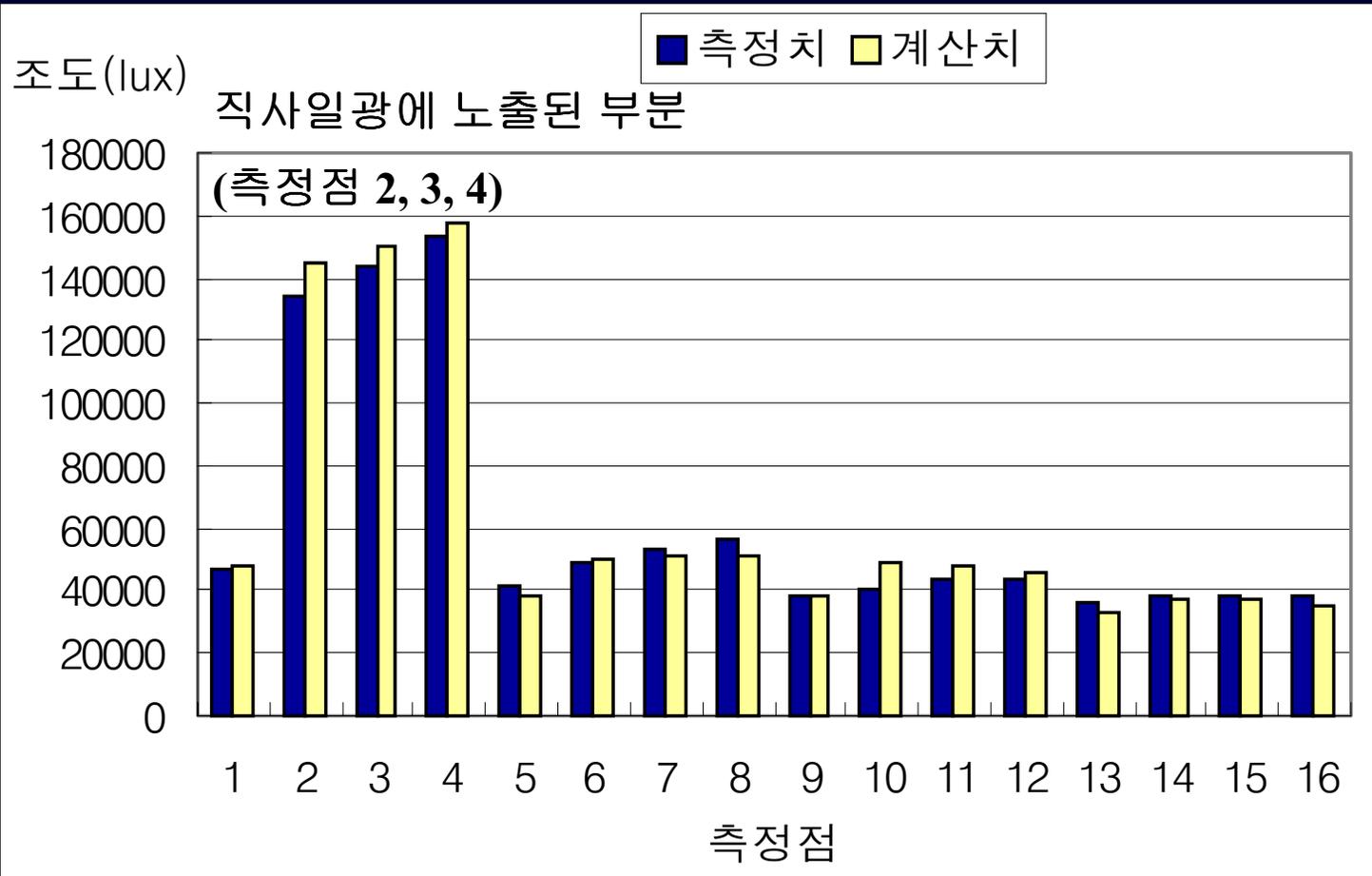
축소모형 내부

(측정점 2, 3, 4 직사일광에 노출)



측정치와 계산치 비교

- 아트리움 창호를 설치하지 않은 경우
(상대오차 1.68%)



측정치와 계산치 비교

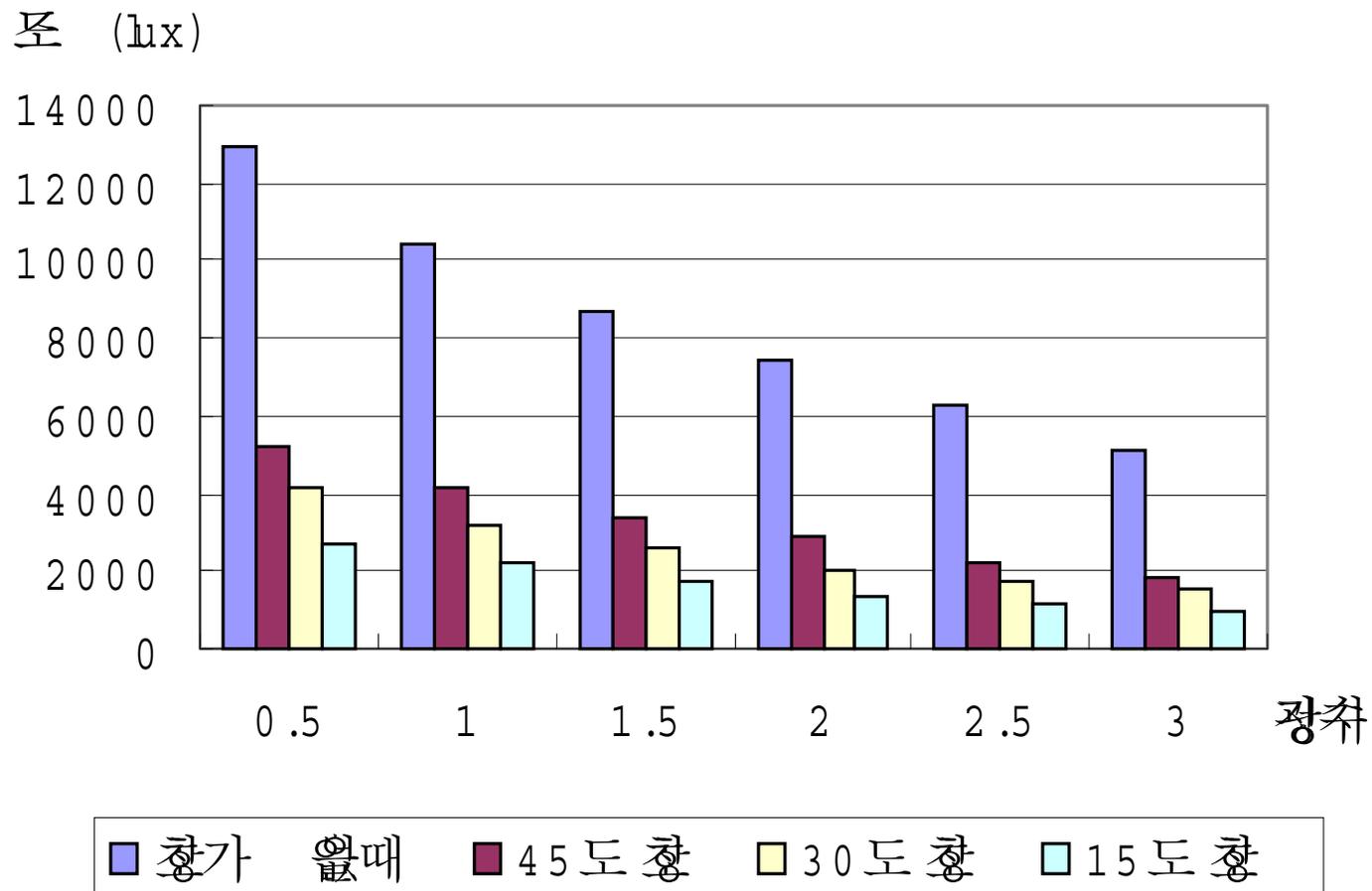
(평균 상대오차 5% 이내)

	측정치 평균	계산치 평균	평균 상대오차
창호 없을 때	62290.02 lx	63356.87 lx	1.71 %
15도 톱날 창호	3956.04 lx	3972.54 lx	0.42 %
45도 톱날 창호	11095.95 lx	10584.97 lx	4.61 %

$$\text{평균 상대오차: } \bar{e} = \frac{|\bar{E}_m - \bar{E}_c|}{\bar{E}_m} \times 100\%$$

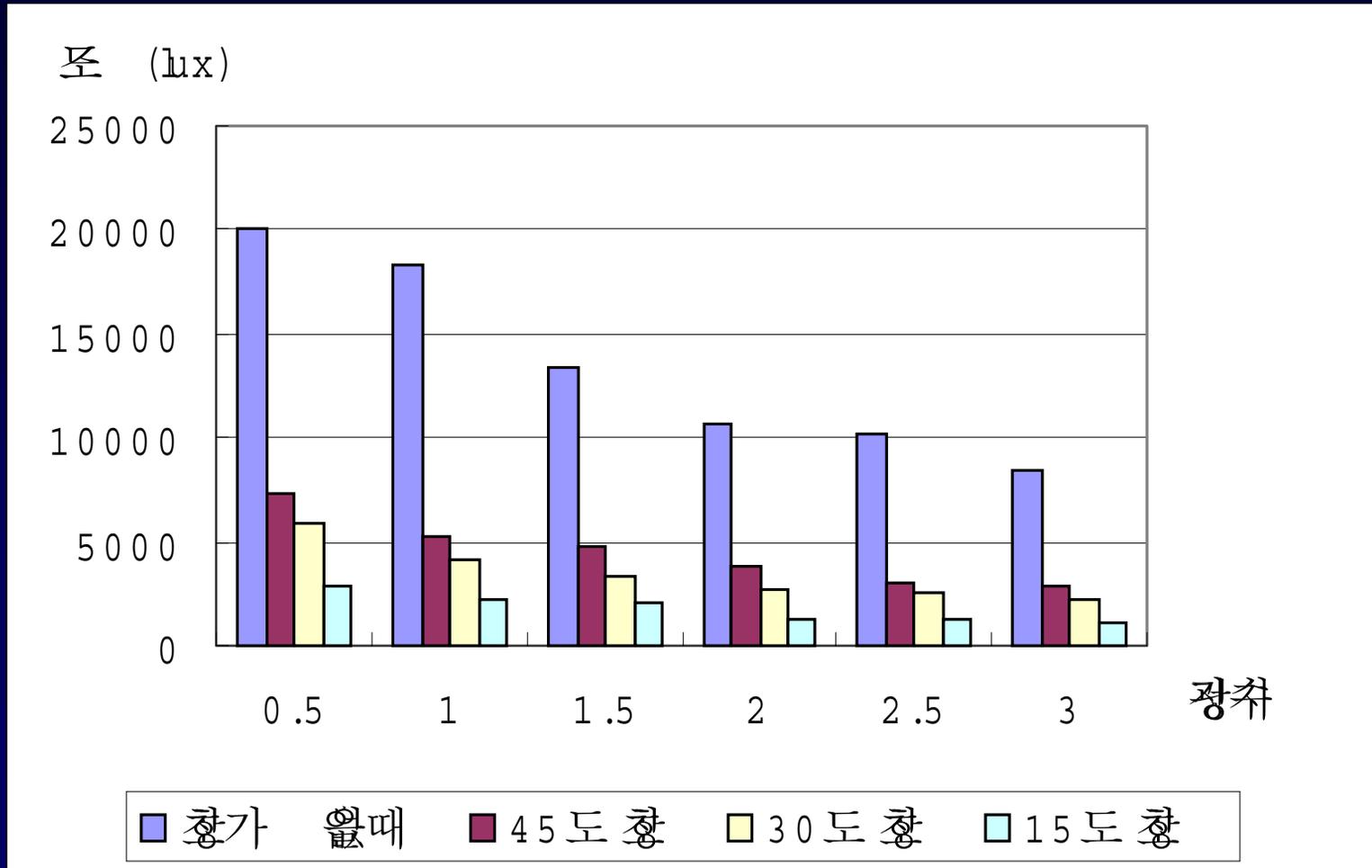
컴퓨터 모델의 실내 조도 예측

- 담천공 상태에서의 실내 조도



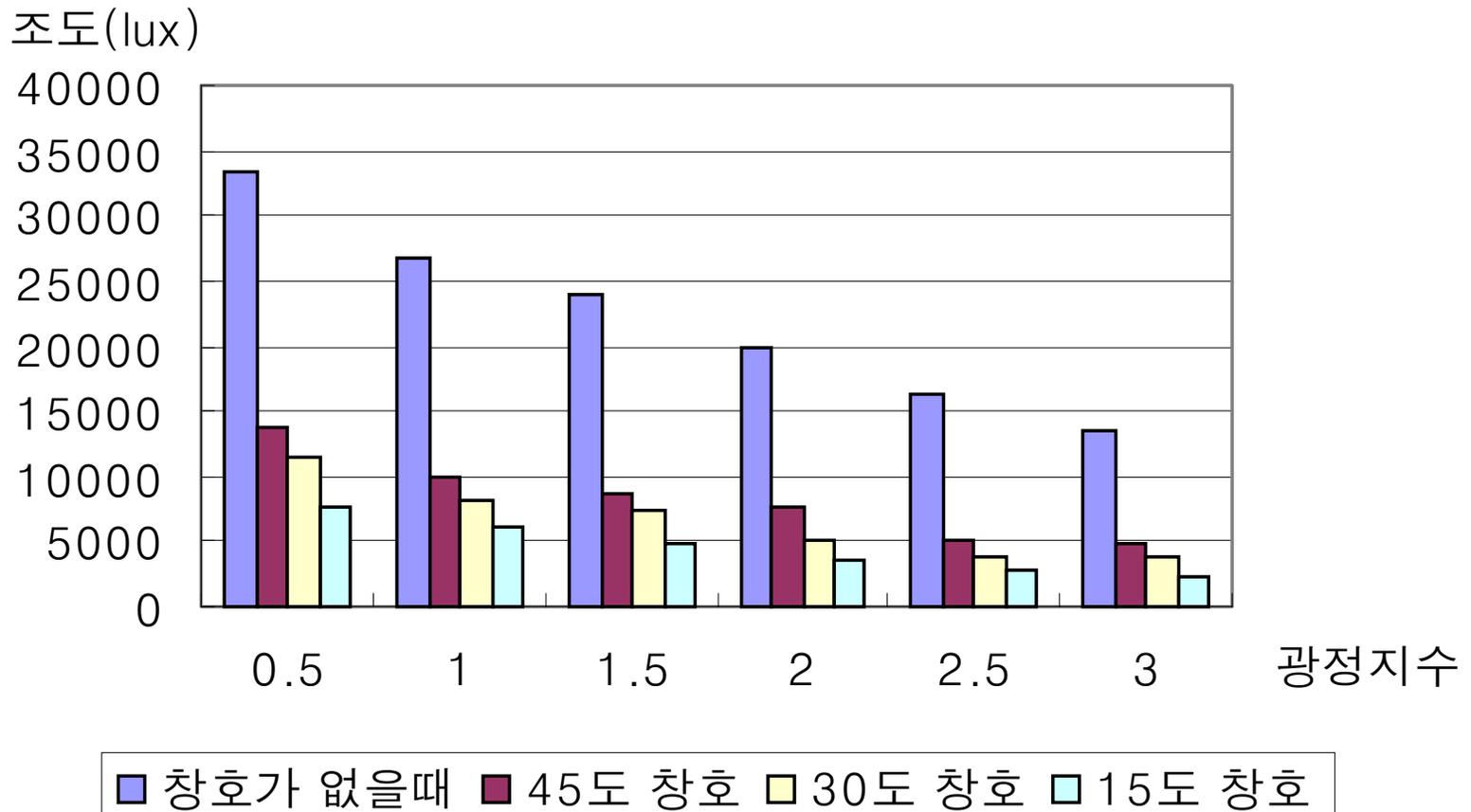
컴퓨터 모델의 실내 조도 예측

- 청천공 상태에서의 실내 조도 (6월21일12시)



컴퓨터 모델의 실내 조도 예측

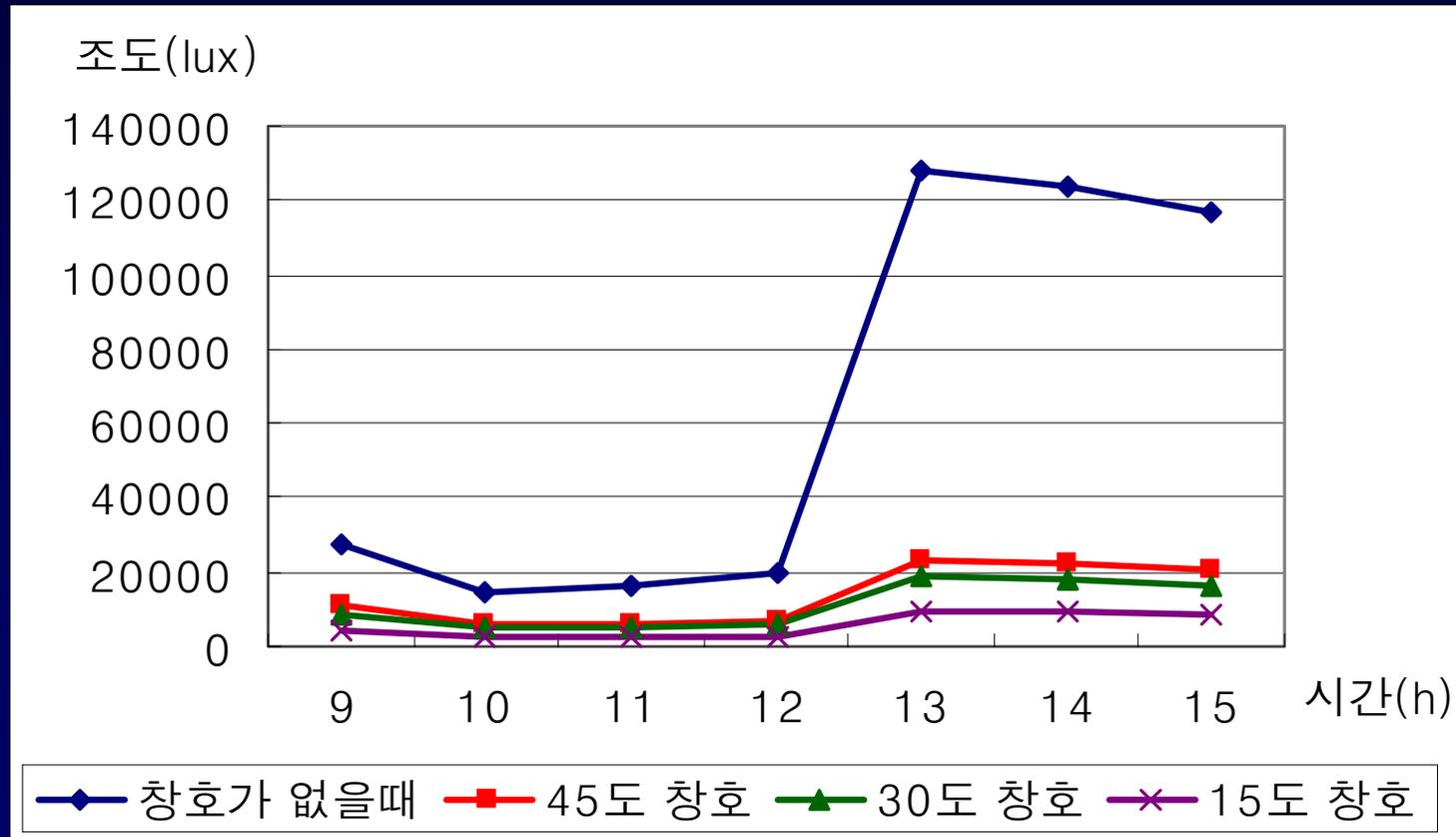
- 청천공 상태에서의 실내 조도 (12월21일12시)



컴퓨터 모델의 실내 조도 예측

- 시간의 변화에 따른 실내 조도

(6월21일, WI=0.5)



결론

- 아트리움 창호의 복잡한 기하학적 형상 모델링 가능
- 측정치와의 평균 상대오차 5%이하로 정확성 검증됨
- 직사일광과 천공광 조도 동시 계산 가능
- 다양한 아트리움 형상에 대한 시뮬레이션 결과
→ 건물 설계자들이 쉽게 이용 가능

추후 연구 과제

- 계산 시간의 단축
 - 적정 광자 수 결정방법
 - 적정 표면 수 결정방법
- 곡면 에서의 반사 특성 모델링
- 실내 휘도 예측 및 3차원 가시화
(예 :Radiance)