

국부+전반조명 (TAL) 방식의 실내조도 예측을 위한 수치모델 개발

Developing a Numerical Model to Estimate Illuminance Levels of Task and Ambient Lighting

발표자: 윤연주, 김민성

지도교수: 송규동

한양대학교 건축환경시스템연구실

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

연구의 배경

- ❖ VDT 작업으로 사무실 조명 환경의 변화
- ❖ 전반+국부 병용 조명(TAL)방식의 보편화
- ❖ TAL 방식에 의한 새로운 실내 조도 계산 방법 개발 필요성 증가
- ❖ 사무소에서 칸막이 벽에 의한 작업영역 구획으로 단위공간에 대한 시환경 평가 요구

연구의 배경

❖ TAL방식 조명을 적용한 사무실 예



연구의 목적

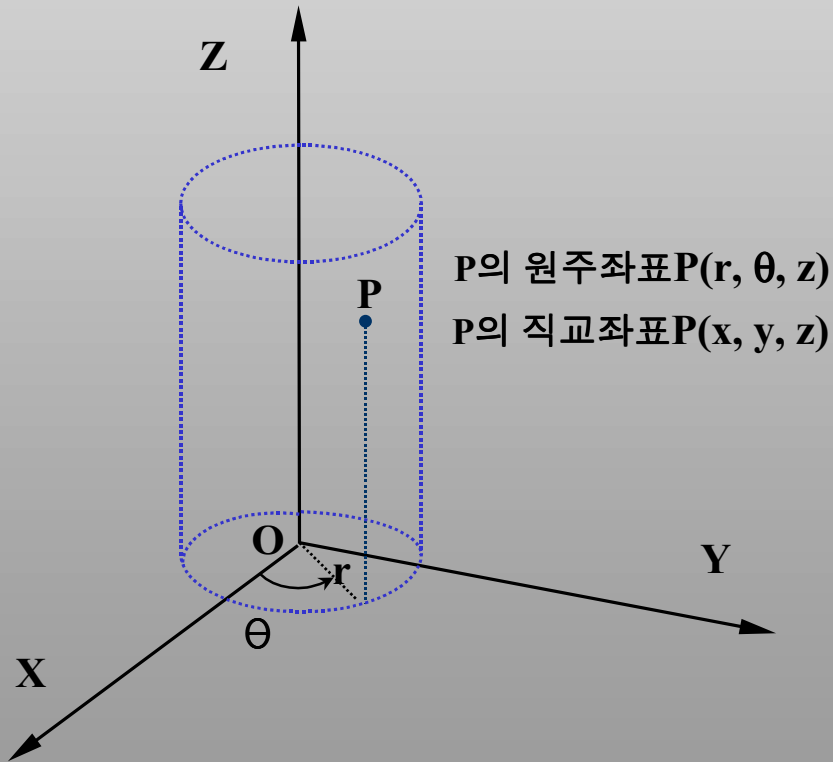
- ❖ VDT 작업이 보편화된 사무공간에 적합한 국부+전반 조명방식(TAL방식)에 의한 실내의 조도분포를 정확하게 예측할 수 있는 수치모델 개발
- ❖ 축소모형 실험을 통해 개발된 수치모델의 정확성 검증

연구의 진행방법

- ❖ 형광전구(원통)의 3차원 공간 내에서의 기하학적 모델링 이론 정립
- ❖ 몬테카를로 방법과 광선추적기법에 의한 형광전구의 광학적 모델링 이론 정립
- ❖ 형광등에 의한 조도 계산용 컴퓨터 모델 개발
- ❖ 축소모형 실험을 통한 컴퓨터 모델 검증

형광전구의 기하학적 형상

❖ 원주좌표계로 표현



직교좌표계

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

원주좌표계

$$\begin{cases} r^2 = x^2 + y^2 \\ \theta = \tan^{-1} \frac{y}{x} \end{cases}$$

형광전구의 광학적 모델링

❖ 몬테카를로 방법(난수발생)

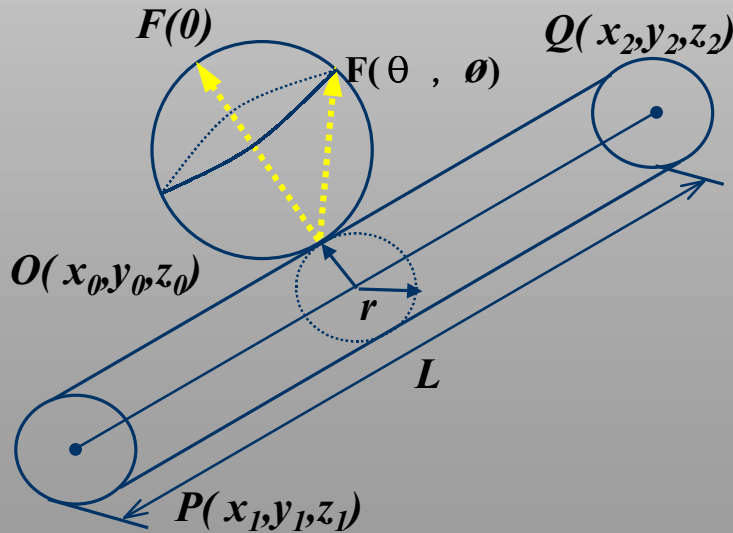
- 형광전구 표면에서 광자의 발생위치 및 방사방향 결정
- 반사되는 광자의 진행방향 결정

❖ 광선추적기법

- 광자의 움직임과 크기를 벡터화하여 광자의 운동경로를 계산

형광전구의 광학적 모델링

❖ 형광전구 표면에서의 광자의 발생위치 및 방사 방향 결정



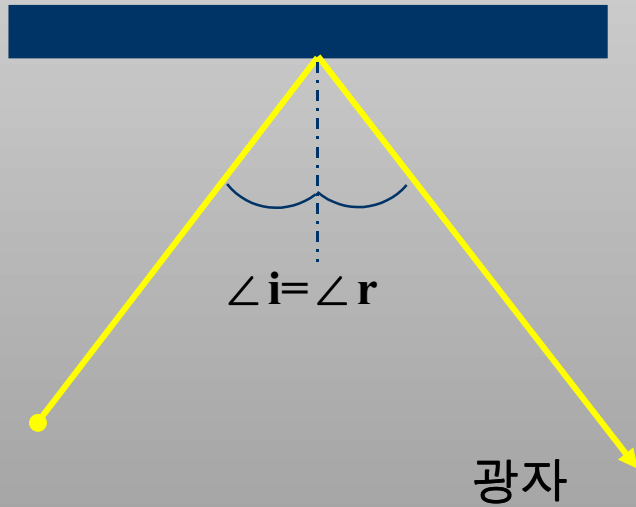
- 광자의 방사각과 방위각

$$\theta = \frac{\cos^{-1}(1 - 2R)}{2}$$

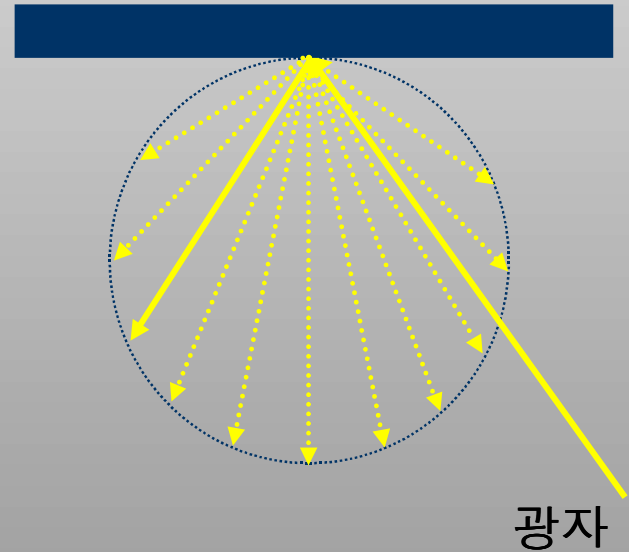
$$\phi = 2\pi R \quad \mathbf{R} = \text{난수}$$

광자의 광학적 거동

❖ 형광등 반사갓에서의 반사특성

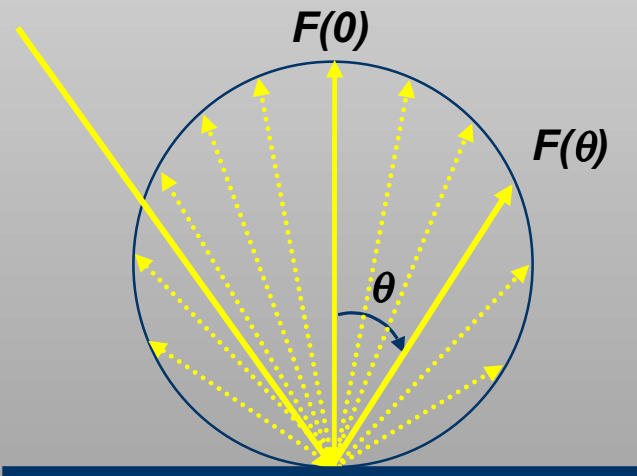


경면반사



확산반사

실내 완전 확산면에서의 반사

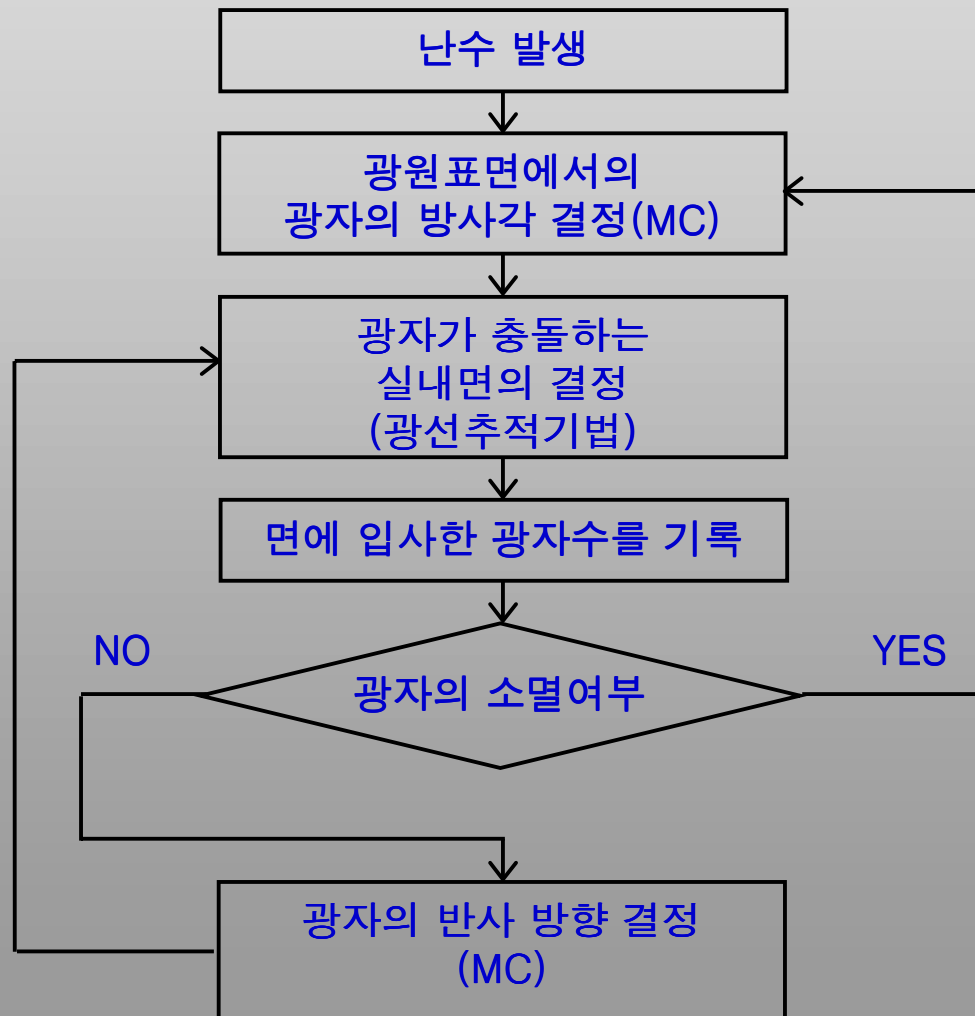


θ : 몬테카를로 방법에 의해 결정

$F(\theta)$: θ 방향으로의 확률분포함수

$F(\theta) : F(0)\cos\theta$

TAL 방식의 실내조도계산 프로그램의 핵심 알고리즘



TAL 방식의 실내조도 예측 프로그램의 개요

3-D DRAWING CONVERSION MODULE

- AutoCAD 3차원 그래픽 공간 좌표를 excord.lsp를 이용하여 추출

INPUT MODULE

- 광원데이터 : 광원의 좌표, 광원의 개수, 총광속
- 실 데이터 : 조도 계산 대상면 및 기타면(반사갓, 칸막이)들의 공간 좌표, 그리드 수, 반사율, 투과율, 확산율

COMPUTATION MODULE

- 광자의 크기와 개수 결정
- 광원의 기하학적 형상의 모델링 계산
- 광원의 발생위치와 광자의 방사 방향 계산
- 실내면의 반사특성과 형태에 따른 광자의 반사각 계산
- 조도 계산 대상면의 조도를 계산

OUTPUT MODULE

- 조도 계산 대상면으로 들어온 광자의 개수를 합하여 조도를 계산하고 출력

최종 조도의 계산

$$E = \frac{F}{P_{\text{total}}} \cdot \frac{P_n}{A}$$

E : 조도 [lx]

F : 광원의 방사 광속 [lm]

P_{total} : 전체 방사 광자수

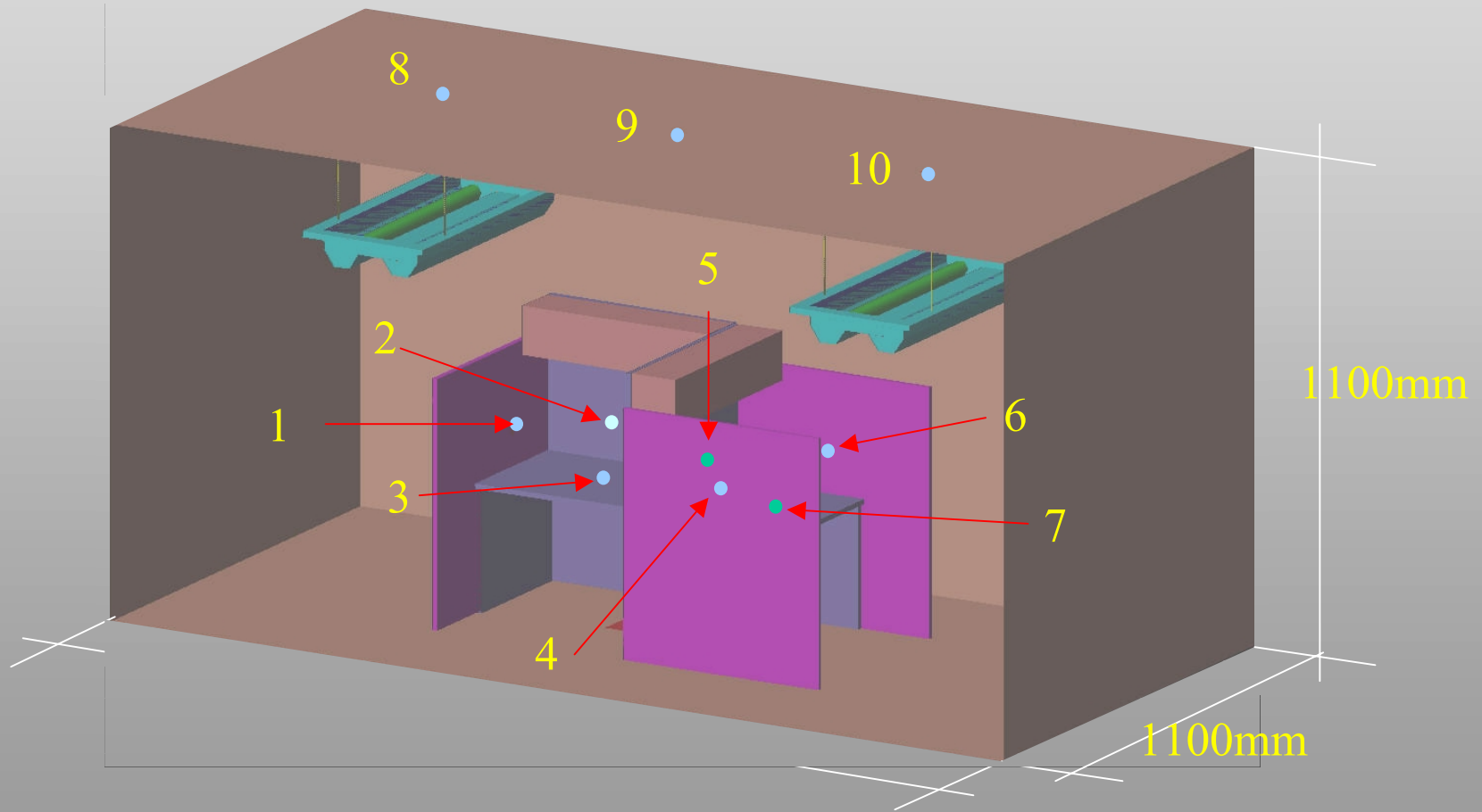
P_n : 계산 대상면으로의 입사 광자수

A : 계산 대상면의 면적 [m^2]

축소 모형 실험에 의한 컴퓨터 모델 검증

- ❖ 측정대상 : H대학교 인공조명실험챔버
- ❖ 축소모형 축척 : 1:2.5
- ❖ 측정기기 : 조도계(LI-210SA)
회도계(Minolta LS110 1/3°)
- ❖ 제어방식 : 점멸제어(On/Off)
- ❖ 전반조명기구와 광원의 광속 : H형 2등용
2개 @ 2850 *lm*
- ❖ 작업조명광원의 광속 : 530 *lm*

인공조명실험챔버의 제원과 측정점



측정대상실 내부 10곳에 조도계 설치

축소모형 실험 변수

❖ 실험변수

변수명	내용
전반조명 반사특성	무광 백색 반사갓, 고조도 반사갓
전반조명의 높이	12cm, 24cm
작업조명의 점멸상태	On/Off
칸막이 벽의 높이	40cm, 48cm, 56cm

모형재료의 반사율

❖ 대상물의 표면반사율

대 상 면	반 사 율	표면특성
책 상 면	50%	확산
칸막이 벽	40%	확산
무광백색 반사갓	83%	경면+확산
고조도 반사갓	86%	경면
천 정 면	80%	확산
벽 면	70%	확산
바 닥 면	50%	확산
형 광 등	95%	확산

형광등 조도측정 시 주의사항

- ❖ 점등 후 일정 시간동안 출력광속의 차이
- ❖ 최대출력광속은 주변 온도의 영향 받음

본 실험에서는

- 형광등 점등 후 최소 1시간이 경과 후 측정
- 측정 시 주변 온도를 20~25도 사이로 유지

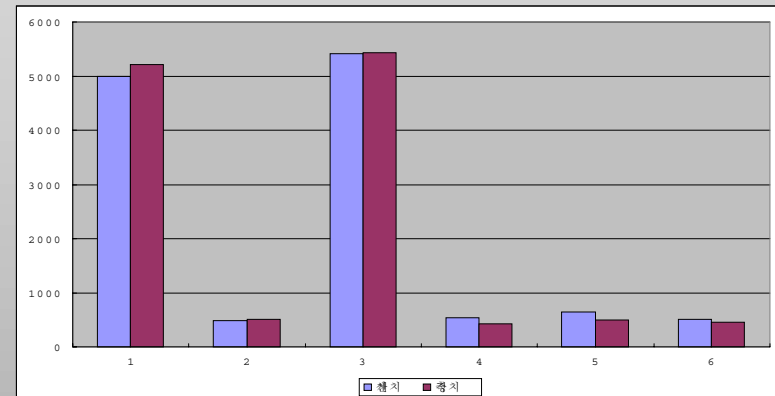
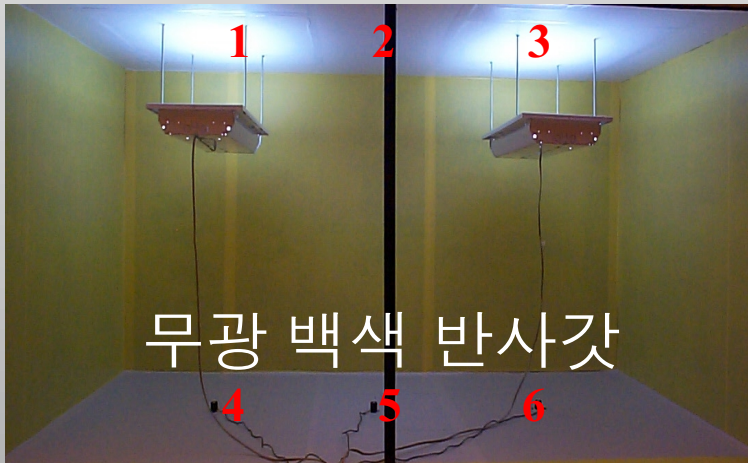
프로그램 검증용 상대오차 계산

- ❖ 축소모형에 대한 실험치와 프로그램을 통한 계산치를 비교 → 상대오차 개념 적용

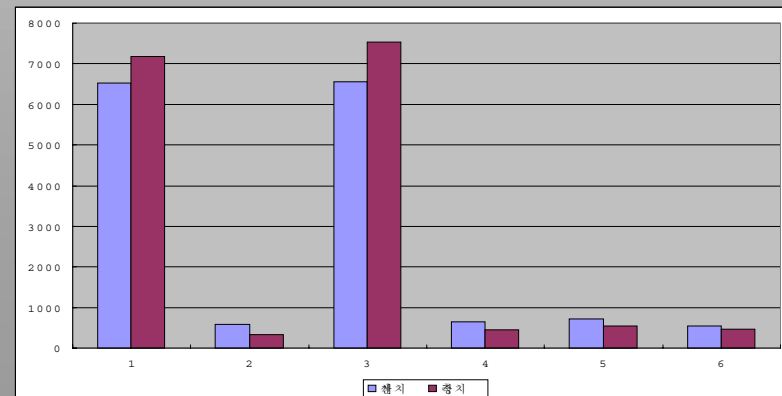
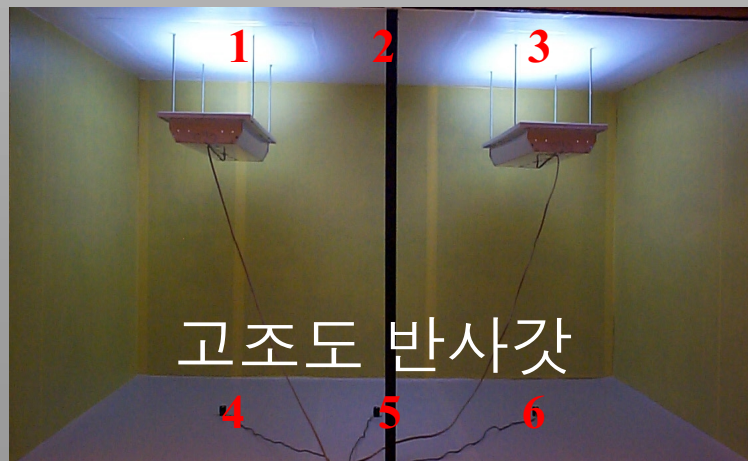
$$\text{평균상대오차(\%)} = \frac{|\text{측정값평균} - \text{계산값평균}|}{\text{측정값평균}} \times 100$$

프로그램 검증을 위한 모형실험

전반조명높이 : 24cm



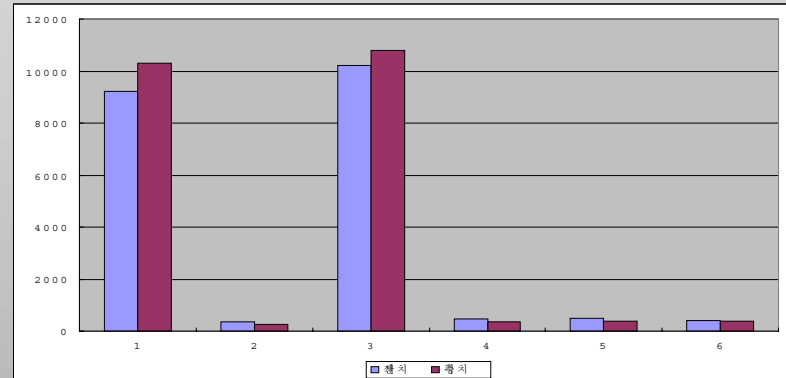
평균상대오차: 0.4%



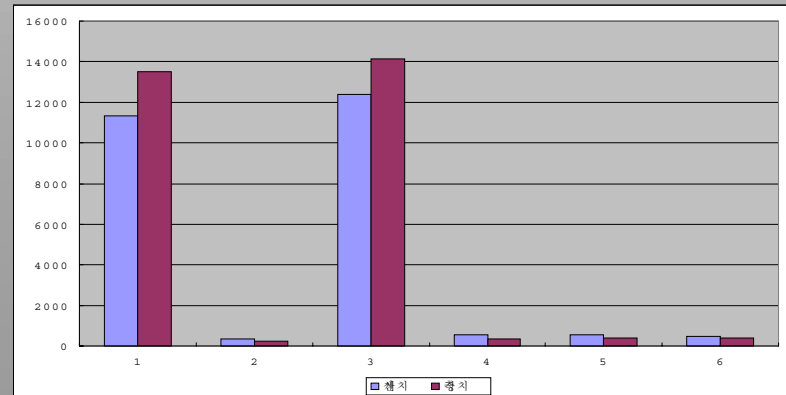
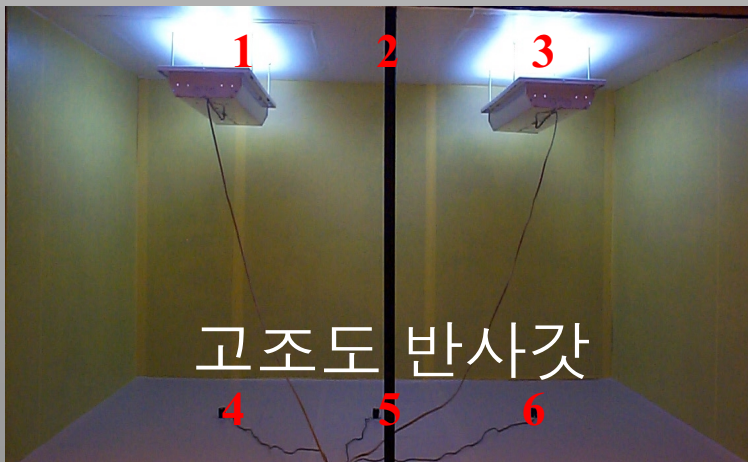
평균상대오차: 5.7%

프로그램 검증을 위한 모형실험

전반조명높이 : 12cm



평균상대오차: 5.9%



평균상대오차: 11.7%

칸막이벽 높이에 따른 모형실험

무광백색 반사갓, 전반조명 높이 : 24cm , 작업조명 On



칸막이벽 높이 56cm



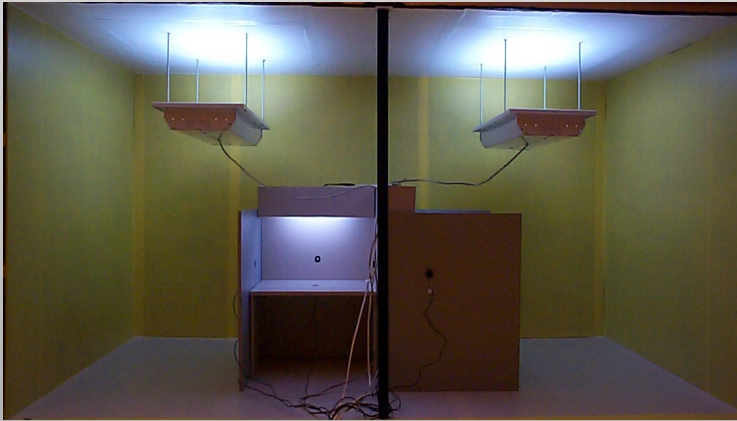
칸막이벽 높이 48cm



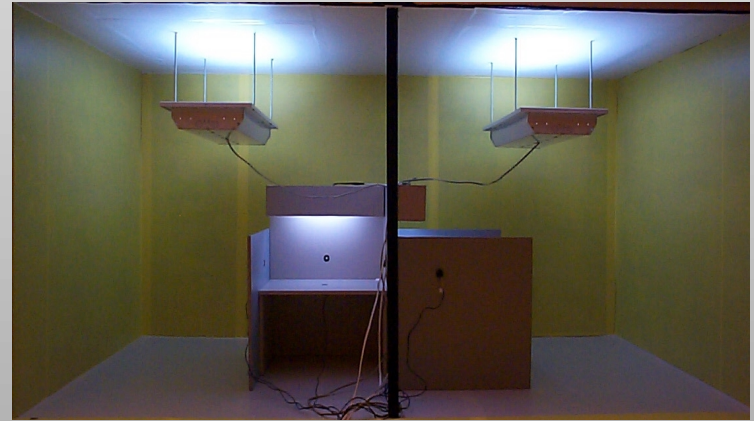
칸막이벽 높이 40cm

칸막이벽 높이에 따른 모형실험

고조도 반사갓, 전반조명 높이 : 24cm , 작업조명 On



칸막이벽 높이 56cm



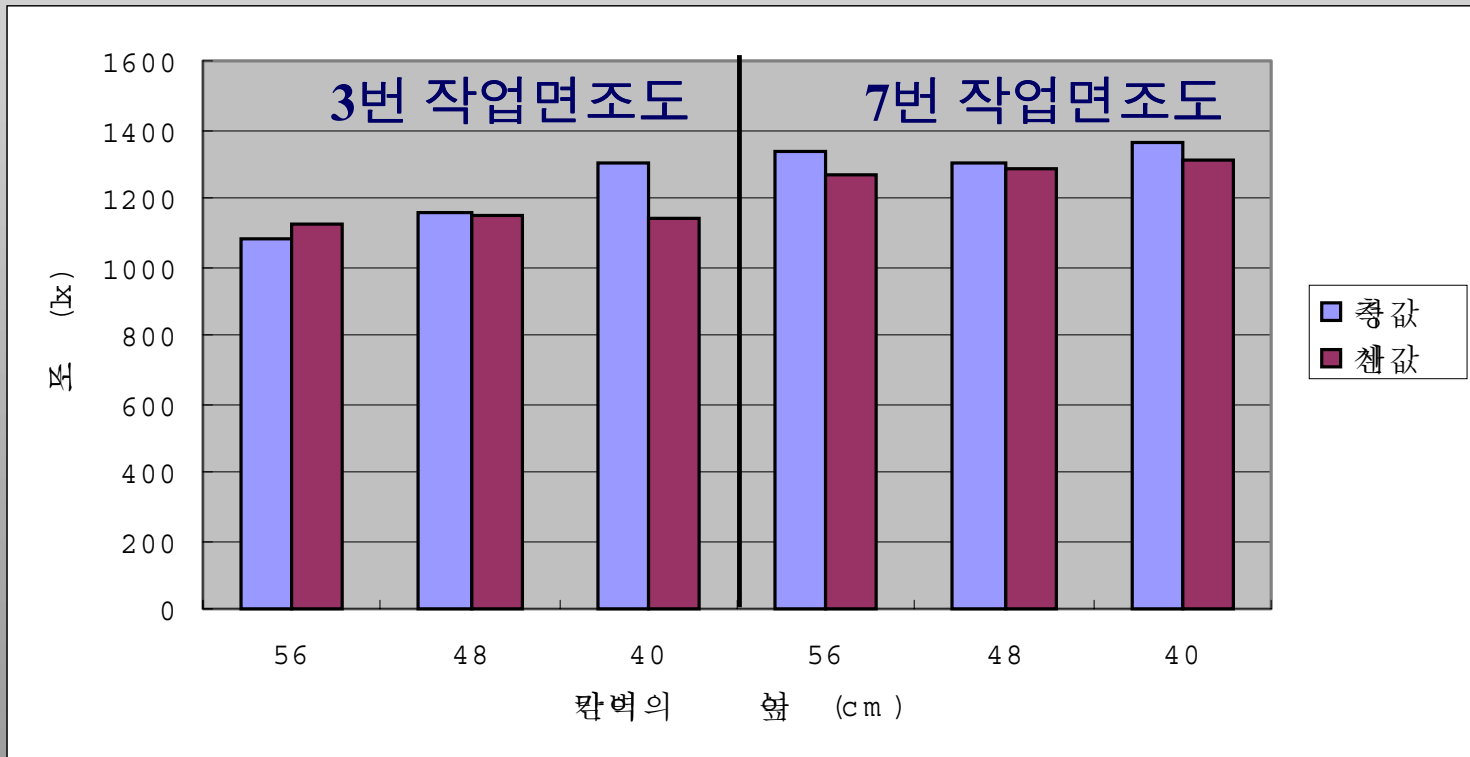
칸막이벽 높이 48cm



칸막이벽 높이 40cm

칸막이벽 높이에 따른 검증 결과

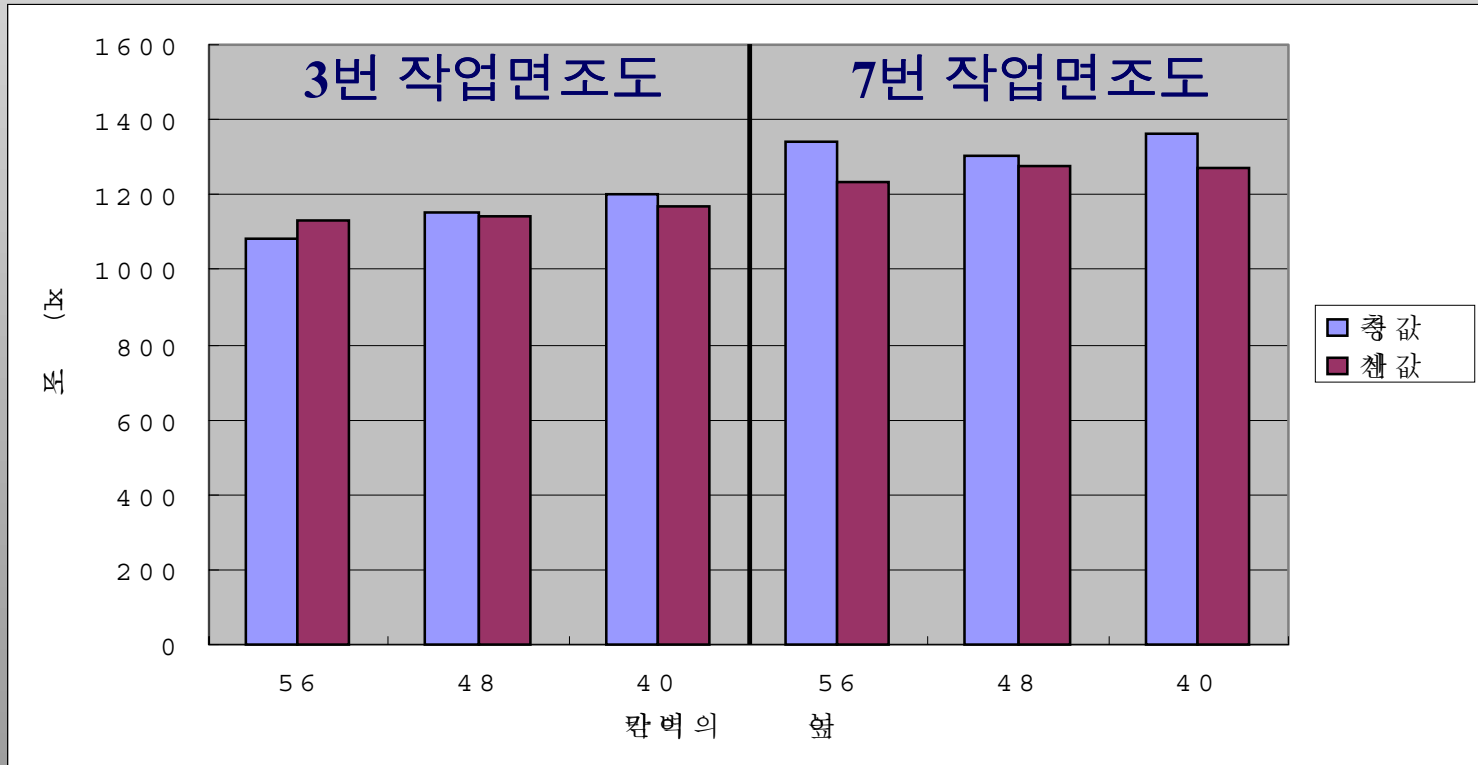
작업면의 중심점 3번, 7번으로 비교 (무광백색 반사갓)



측정치와 계산치의 평균상대오차는 **3.5%**

칸막이벽 높이에 따른 검증 결과

작업면의 중심점 3번, 7번으로 비교 (고조도 반사값)



측정치와 계산치의 평균상대오차는 3%

전반조명 높이에 따른 모형실험

무광백색 반사갓, 칸막이벽 높이 : 56cm , 작업조명 ON



전반조명 높이 : 24cm



전반조명 높이 : 12cm

전반조명 높이에 따른 모형실험

고조도 반사갓, 칸막이벽 높이 : 56cm , 작업조명 ON



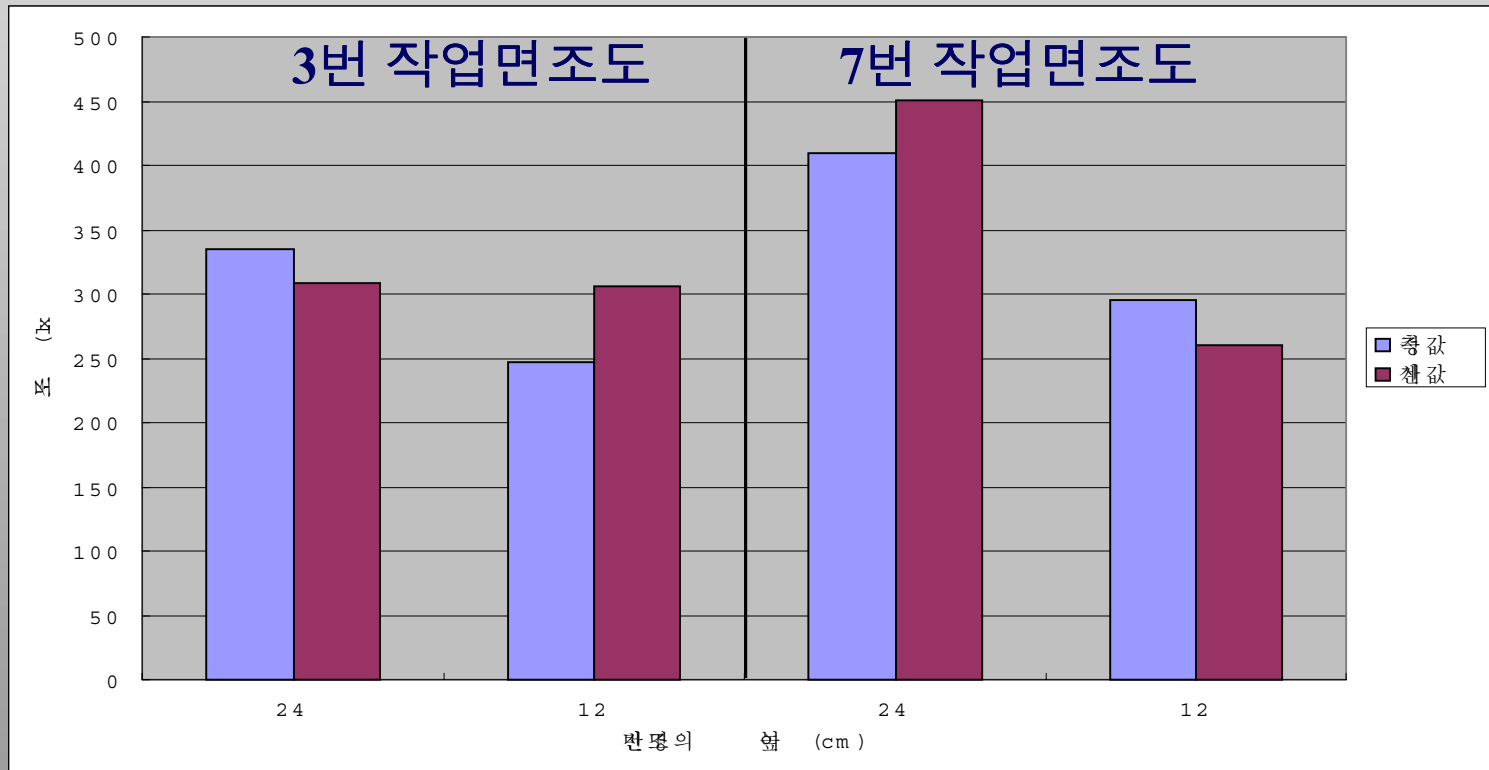
전반조명 높이 : 24cm



전반조명 높이 : 12cm

전반조명 높이에 따른 검증 결과

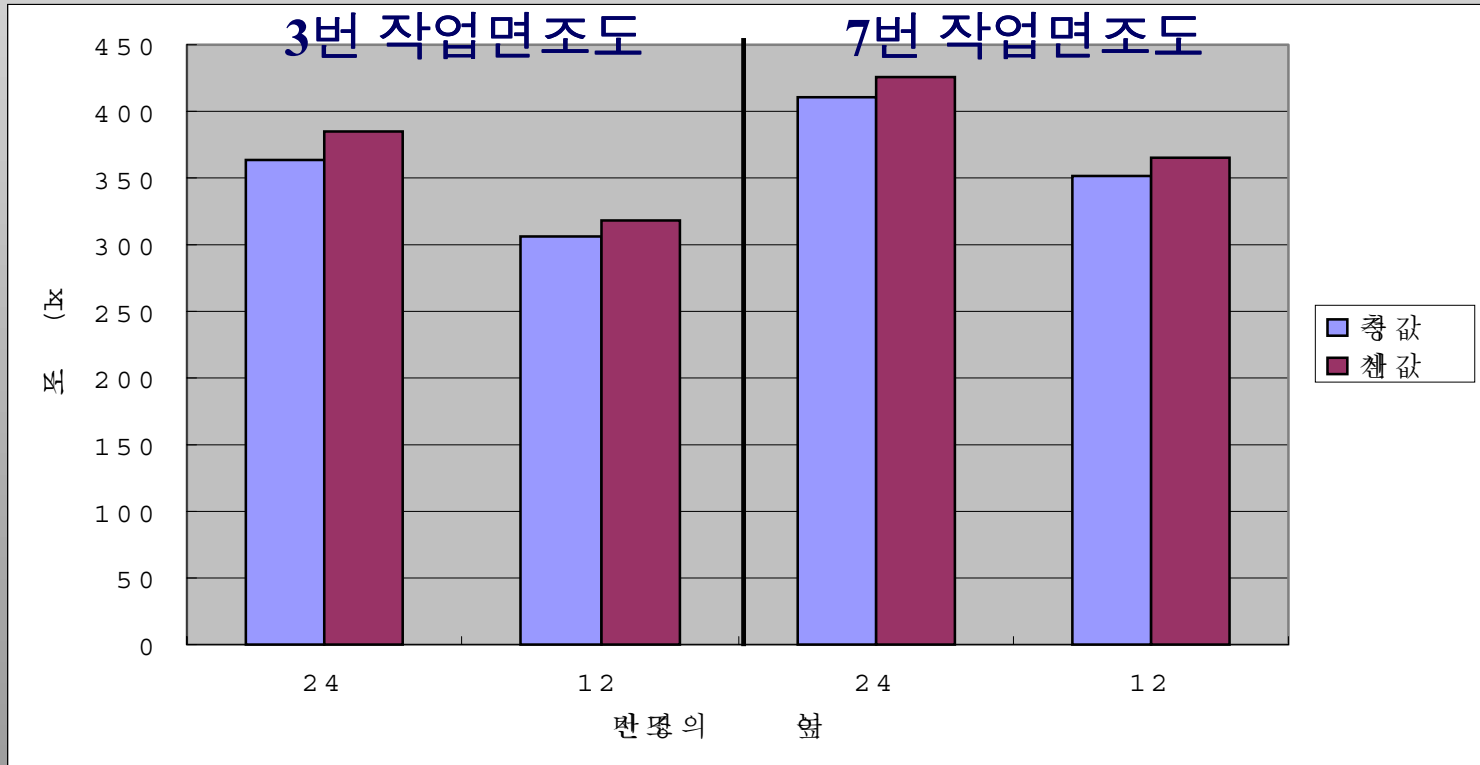
책상면의 중심점 3번, 7번으로 비교 (무광백색 반사갓)



측정치와 계산치의 평균상대오차는 **3.1%**

전반조명 높이에 따른 검증 결과

책상면의 중심점 3번, 7번으로 비교 (고조도 반사값)



측정치와 계산치의 평균상대오차는 **4.4%**

작업조명 점멸에 따른 모형실험

무광백색 반사갓, 전반조명 높이 : 12cm , 칸막이벽 높이 : 48cm



작업조명 ON



작업조명 OFF

작업조명 점멸에 따른 모형실험

고조도 반사갓, 전반조명 높이 : 12cm, 칸막이벽 높이 : 48cm



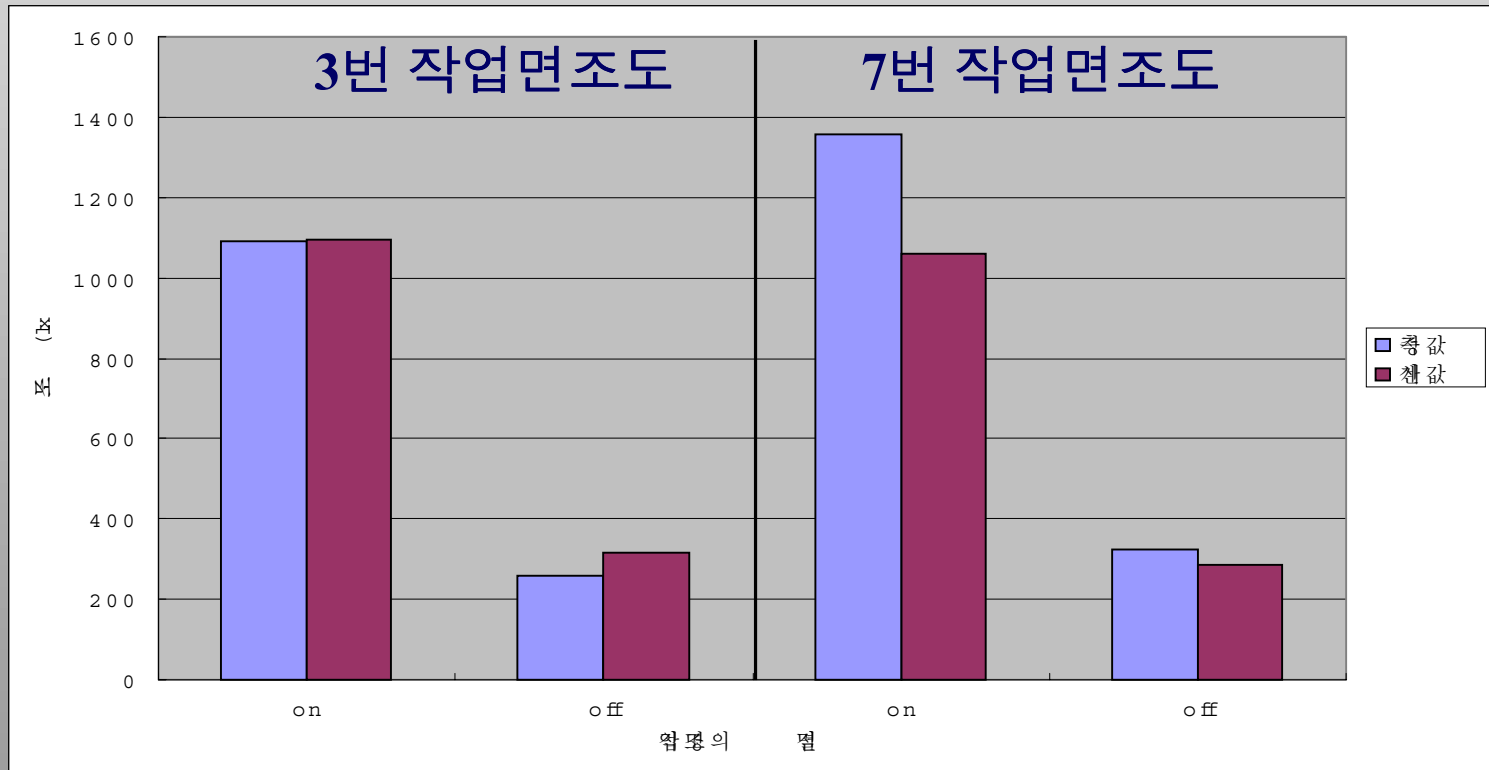
작업조명 ON



작업조명 OFF

작업조명 점멸에 따른 검증 결과

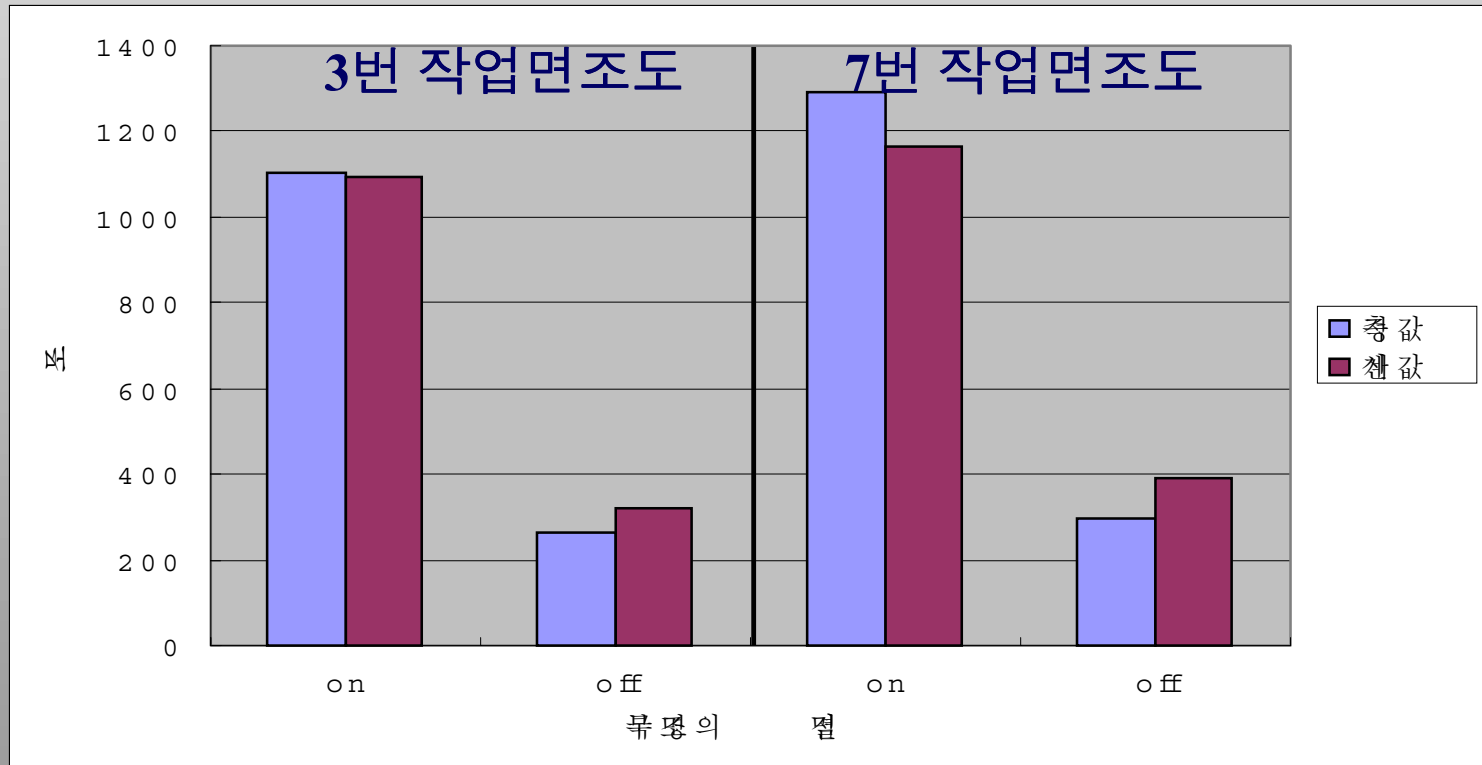
책상면의 중심점 3번, 7번으로 비교 (무광 백색 반사갓)



측정치와 계산치의 평균상대오차는 9%

작업조명 점멸에 따른 검증 결과

책상면의 중심점 3번, 7번으로 비교 (고조도 반사값)



측정치와 계산치의 평균상대오차는 **0.3%**

결론

- ❖ 몬테카를로 방법과 광선추적기법을 이용하여 개발된 컴퓨터 모델로 TAL방식의 조명에서의 실내작업면 조도분포 계산 가능
- ❖ 평균상대오차 계산 결과

	칸막이벽높이	전반조명 높이	국부조명 점멸
무광백색 반사갓	3.5%	3.1%	9%
고조도 반사갓	3%	4.4%	0.3%

결론

- ❖ 다양한 광원조건에 대한 시뮬레이션 가능
 - 형광등의 반사갓 디자인에도 적용가능
 - 형광등 루버의 조명성능도 예측가능

추후 연구 과제

- ❖ 광자수 증감에 따른 전산처리시간을 고려하여 오차를 5%로 줄일 수 있는 최적 광자수 결정
- ❖ 백열전구 및 다른 형태의 광원에 대한 모델링 알고리즘 정립
- ❖ 실내 마감재료의 표면 반사특성에 대한 검토