

## 축소모형 실험을 통한 일조창과 태양의 기하학적 위치관계에 따른 실내조도분포 특성

### The Effect of Geometric Relation between the Window and the Sun on the Interior Illuminance Distributions using a Physical Scale Model

김민성\*      송규동\*\*  
Min-Sung, Kim\*,    Kyoo-Dong Song\*\*

#### Abstract

The existing building code regulates the minimum distance between buildings and the minimum required sunshine hours for winter solstice to ensure the right to light. Especially, the minimum sunshine hours have been guaranteed by the constitution after the right for the people to live in a healthy and comfortable environment was established. However, the existing regulation on the sunshine hours only considers the duration of sunshine hours, but ignores the minimum amount of sunlight. Therefore, the calculated sunshine hours are not coincident with the hours occupants actually feel. Therefore, the purpose of this study is to investigate the effect of solar incident angle on interior illuminance distribution, which will be used to propose a new code on the minimum sunshine hours and levels

Keywords: Physical scale model, Illuminance ratio, Solar incident angle

#### 1. 서론

##### 1.1. 연구의 배경 및 필요성

현행 국내 일조관련 규정은 크게 건물사이 최소이격거리인 인동거리와 동지일 확보되어야 하는 최소 일조시간으로 나누어 진다. 일조시간의 경우 헌법에 명시된 "모든 국민은 건강하고 쾌적한 환경에서 생활할 권리를 가진다"라는 내용의 환경권이 규정되면서 법적으로 보장을 받게 되었다.

현행 일조시간은 동지일 기준으로 오전 9시부터 오후 3시 사이의 연속 2시간의 일조시간 또는 오전 8시부터 오후 4시 사이의 간헐적인 일조시간의 총합이 4시간이 되어야 한다고 규정하고 있으며, 건물 일조창으로 직사일광이 유입되는 시간만을 일조시간이 가능한 것으로 판단하여 산정하고 있다.

그러나 실내로 유입되는 일조량의 경우 일조창으로 유입되는 태양입사각도에 따라 많은 영향을 받게 되어, 직사일광이 일조창의 정면으로 유입될 경우와 비스듬히 경사지게 유입될 경우에 투과되는 태양복사에너지는 많은 차이를 보이게 된다. 따라서 일조창으로 비스듬히 유입되는 태양광도 일조시간으로 산입할 경우 실제 채실자들이 느끼는 일조시간과는 많은 차이가 있으며 헌법에서 보장하는 건강하고 쾌적한 환경에서 생활하는 권리와는 차이가

있을 수 있으므로 이에 대한 대책이 요구된다.

##### 1.2. 연구의 목적

따라서 본 연구는 일조창으로 유입되는 직사일광의 각도에 따라 실내 조도분포의 특성을 파악하고 향후 국내 일조규정의 일조시간 산정시 적용가능한 가중치의 기초자료로써 활용하는데 그 목적이 있다.

##### 1.3. 연구의 진행방법

본 연구의 진행방법은 다음과 같다.

- 1) 기존 문헌 자료들을 수집하여 창을 통한 투과율, 태양 입사각등의 기본 이론적인 사항들을 파악하였다.
- 2) 일조창의 종류, 실내 측정위치, 태양의 고도각 및 건물 태양방위각등의 주요변수를 설정하였다.
- 3) 국내 공동주택 내 적정 거실을 대상실로 선정하고 이에 대한 1:10의 축소모형을 제작하였다.
- 4) 일조창에 입사되는 고도각과 태양건물방위각에 따라 실내 위치별 조도값을 측정하고 이를 외부조도에 대한 비로써 표현하였다.
- 5) 측정된 조도비를 각 변수에 따라 비교 분석하고, 유입되는 태양의 각도에 따라 값을 제시하였다.

#### 2. 이론적 고찰

##### 2.1. 유리창을 통한 투과율

\* 한양대학교 대학원 박사과정  
\*\* 한양대학교 건축학부 교수,Ph.D.

유리창을 통해 투과되는 빛의 양은 전체 빛의 양에 투과율을 곱하여 계산할 수 있고, 투과율( $T_\theta$ )은 식(1)과 그림 1을 적용하여 입사각도에 따라 계산할 수 있다(Rivero 1958).

$$T_\theta = 1.018 T_0 (\cos \theta + \sin^3 \theta \cos \theta) \quad \text{식(1)}$$

여기서  $\theta$ : 입사각도

$T_0$ : 빛의 입사각도가  $\theta$ 인 경우의 투과율

$T_c$ : 빛이 유리창 법선으로 입사하는 경우의 투과율

그림 2는 유리창 내부로 유입되는 빛의 입사각도에 따른 투과율을 보인 것으로 입사각도가 50도 이상이 되면 투과율이 90%이하로 급격히 감소되는 것을 알 수 있다.

### 2.2. 태양입사각

실내로 유입되는 직사일광은 그림 3과 같이 일조량과 태양을 이은 선과 일조량 법선과의 각도인 태양입사각에 크게 영향을 받게 되며 식(2), 식(3) 및 그림 4와 같이 고도각과 건물태양방위각으로 쉽게 계산된다.

$$a_i = \arccos(\cos a_t \cos a_z) \quad \text{식(2)}$$

$$a_z = |a_s - a_e| \quad \text{식(3)}$$

$a_i$ : 태양입사각  $a_t$ : 고도각  $a_z$ : 건물태양방위각

$a_s$ : 태양방위각,  $a_e$ : 건물방위각

그림 5~그림 8은 서울지역인 북위 37.5도의 건물방위각에 따라 정남향, 남동향 30도, 남동향 60도 및 정동향인 경우에 연간 대표일인 춘분일(3/21), 하지일(6/21), 동지일(12/21)의 주간시간대인 오전 8시에서 오후 4시사이의 1분단위의 태양입사각을 보인 것이다. 계산결과 태양입사각이 90도를 넘은 경우에는 태양광이 유입되지 않으므로 90도 이상의 값을 가지는 시간대는 제외하였다.

그림 5와 같이 남향을 바라보는 세대의 경우 동지일 주간시간대 50도 이하의 입사각으로 충분한 태양광 유입이 가능하지만 남동30도, 남동60도 및 정동향의 경우 각각 13:00, 11:00, 및 9:30 이후에는 50도 이상의 태양입사각을 보이므로 실내 유입되는 태양광이 급속하게 감소되는 것으로 판단되었다. 특히 정동향의 경우 동지일(12/21)과 하지일(6/21)의 시간별 태양입사각을 계산한 결과 동일한 결과값을 보여 그림 8과 같이 두 추세선이 겹쳐지는 특징을 보였다.

태양입사각은 실내 유입되는 일조량에 많은 영향을 주게 되므로 현재 일부 일조감정기관에 따라 재실자들이 체감하는 일조환경을 위해 태양입사각을 고려한 일조시간을 산정하고 있으며, 다른 기관에서도 이에 대한 관심이 증

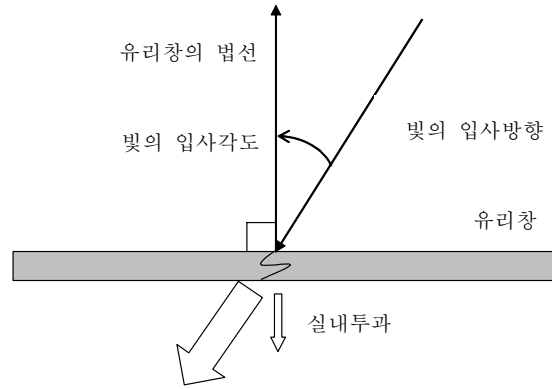


그림 1. 빛의 입사방향에 따른 입사각도

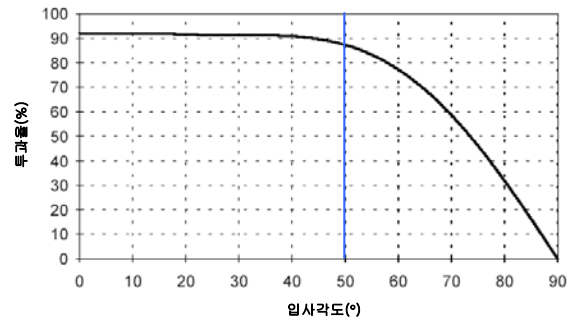


그림 2. 유리창 빛의 입사각도별 내부 투과율

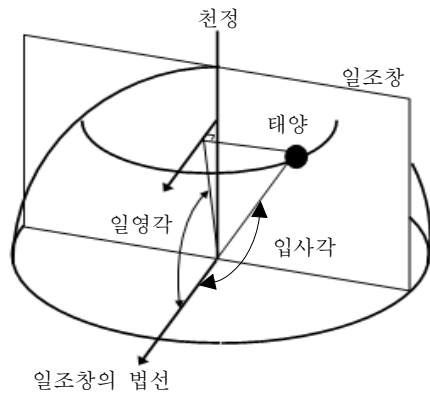


그림 3. 태양입사각의 개념도

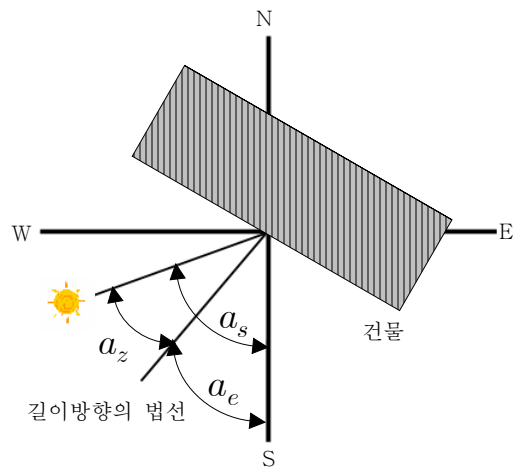


그림 4. 태양방위각과 건물방위각의 개념도

가하고 있는 실정이다.

그러나 태양입사각의 경우 동일한 값을 갖더라도 실내 일조환경에는 많은 차이를 보일 수 있으므로 이에 대한 세분화된 규정이 요구된다. 예를 들어 남서향을 바라보는 일조창에서 오전의 낮은 고도에서 비스듬히 유입되는 태양광과 동향 또는 서향을 바라보는 일조창에서 정오에 유입되는 태양광은 90도에 가까운 태양입사각으로 유사한 계산값을 보이지만 실내 바닥면 조도 분포에는 많은 차이를 보이게 된다. 따라서 본 연구에서는 일조창과 태양의 기하학적 위치관계 설정시 태양입사각이 아닌 고도와 각과 건물 태양방위각으로 구분하여 검토하고자 한다.

### 3. 축소모형 실험

#### 3.1 축소모형 제작

본 연구에서는 일반적인 공동주택 내 거실공간을 선정하고 그림 9와 같이 1:10의 축소모형을 제작하였으며, 실내 9곳과 외부수평면, 수직면의 2곳의 전체 11곳의 조도측정점을 선정하였다. 또한 일반적으로 건설되는 실내마감재의 반사율을 측정하여 축소모형 내부 마감시 동일한 반사율을 가진 재료를 선정하여 채택하였다.

또한 축소모형은 그림 10과 같이 벽체, 지붕 및 바닥면 틈새를 통한 외부태양광이 유입되지 않도록 은박테이프를 이용하여 마감처리를 행하였으며, 축소모형 실험시 건물 전면의 바닥면에 의한 반사된 태양광 유입을 막기 위하여 축소모형 전면에 무광 흑색으로 마감 처리하였다.

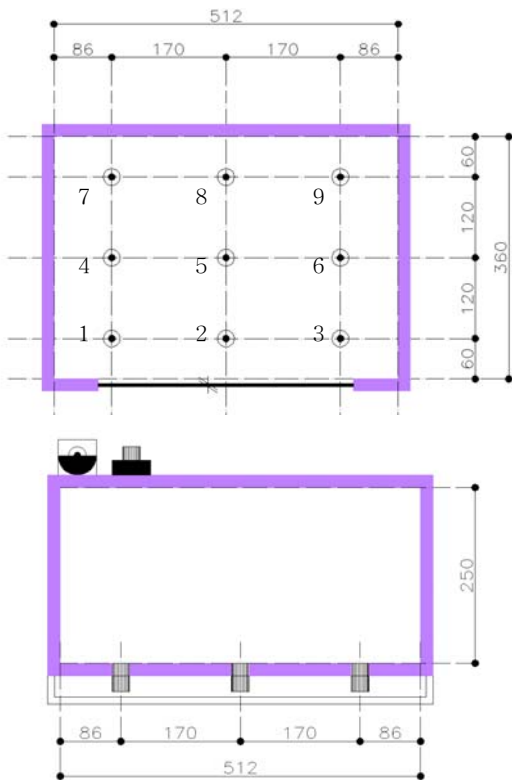


그림 9. 축소모형의 제원  
(위)평면도, (아래)단면도

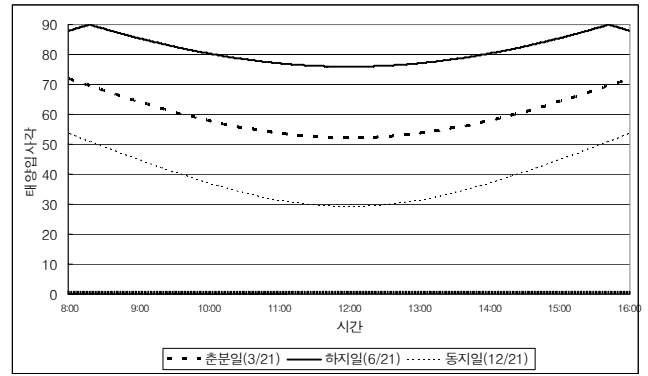


그림 5. 정남향 창에 대한 시간별 태양입사각(북위37.5도)

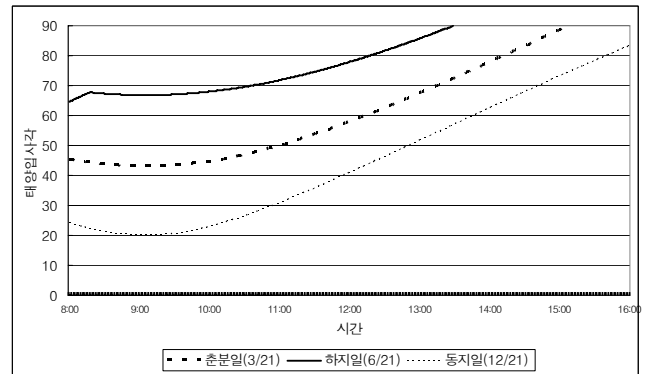


그림 6. 남동 30도 창에 대한 시간별 태양입사각(북위37.5도)

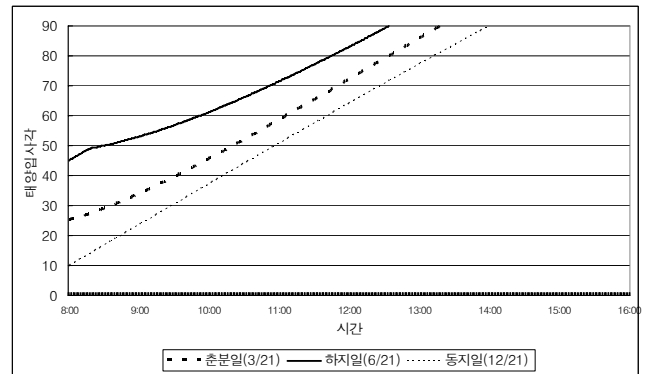


그림 7. 남동 60도 창에 대한 시간별 태양입사각(북위37.5도)

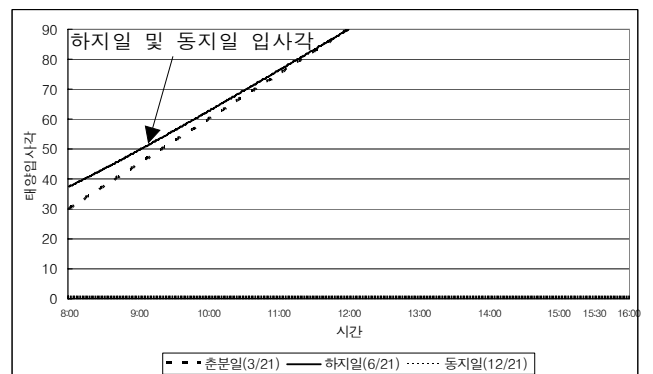


그림 8. 정동향 창에 대한 시간별 태양입사각(북위37.5도)

3.2. 일조창의 종류

일조창은 일반적으로 많이 사용되고 있는 투명창과 열선을 흡수하여 여름철에는 태양열을 알맞게 차단시켜 주고, 겨울철에는 유리자체의 온도가 높아져 실내온도를 보온하는 특징을 가지고 있는 색유리창을 선정하였고, 각각 5mm, 8mm의 두께를 선정하여 축소모형에 설치하였다. 따라서 창 설치 이전의 조건(Base case)을 포함 전체 5가지 조건을 적용하여 실험을 실시하였다. 표 1은 성능평가 실험실에서 측정된 일조창들의 가시광선 투과율과 반사율을 비교하여 보인 것이다.

표 1. 일조창 성능표

종류	두께 (mm)	광학적 특성 (가시광선)	
		투과율(%)	반사율(%)
투명 유리	5	89	8
	8	87	8
그린색 유리	5	77	7
	8	70	6

3.3. 조도비

축소모형은 크게 실외, 실내에서 실험을 진행할 수 있으나, 본 연구와 같이 직사광선이 필요한 경우 실내 인공조명에 의한 실험인 경우 대부분 직사광선이 아닌 점광원을 중심으로 사방으로 빛이 퍼지는 문제점과 유출되는 광원의 양이 부족하여 실내조도측정값이 상대적으로 적게 나오는 문제점이 있다. 또한 외부 축소모형실험의 경우 천공조건이 시시각각 변화하므로 동일한 외부환경을 항상 유지하지 못하지만 밝은 빛을 실내로 유입시킬수 있는 특징이 있다. 따라서 본 연구에서는 외부에서 시각별 외부조도에 대한 실내조도비를 계산하여 유입되는 태양입사각도별 실내조도분포를 비교 분석하였다.

조도비는 외부수평면 조도에 대한 실내 바닥면 조도비(이하 수평조도비)와 외부수직면에 대한 실내 바닥조도비(이하 수직조도비)를 계산하였으며, 그림 12는 축소모형실험시 사용된 외부 수평면과 수직면 조도측정을 위한 조도계 설치모습을 보인 것이다. 외부 수직면 조도의 경우 바닥면으로 반사되어 유입되는 직사일광을 배제하기 위하여 무광흑색 마감의 1/4구를 제작하여 설치하였다.

$$IR(\text{Illuminance Ratio}) = \frac{E_{in}}{E_{out}} \quad \text{식(4)}$$

$E_{in}$ : 실내바닥면 조도값  
 $E_{out}$ : 외부 수평면 또는 수직면 조도값

3.4 직사일광 유입각

실내 유입되는 직사일광은 그림 13과 같이 고도각과 건물태양방위각으로 나누어 15도 간격으로 각각 15도~70도에서(12회), 0도~90도(19회) 사이에서 전체 348회(12x19)의 직사일광 유입각을 설정하였다.

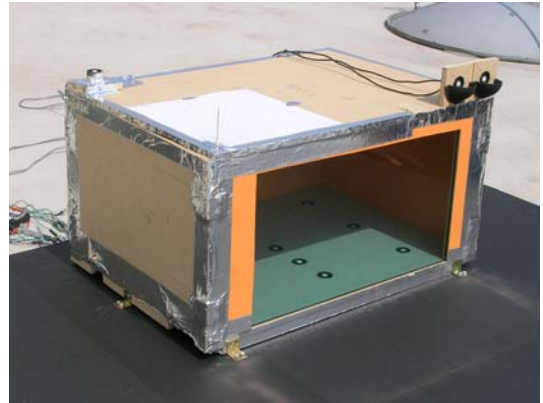


그림 10. 제작된 축소모형의 모습



그림 11. 일조창의 유리재 종류



그림 12. 외부 설치된 조도계(좌: 수평면, 우: 수직면)

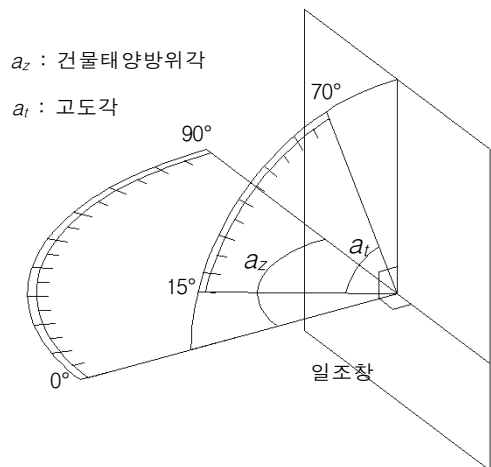


그림 13. 일조창의 고도각과 건물태양방위각

고도각의 경우 국내 전 지역을 대상으로 연간 오전 8시에서 오후 4시 사이의 고도각을 계산한 결과 7도~80도 사이의 각도 범위를 가지게 되나 0도나 90도와 같이 비스듬히 유입되는 각도인 경우 축소모형 실험에 따라 큰 오차값을 보였으므로 본 연구에서는 15도~70도의 고도각 범위를 설정하였다. 건물태양방위각은 정면을 기준으로 우측방향에서 유입되는 각도로써 설정하였으며, 향후 좌측으로 유입되는 결과값은 정면으로 기준으로 우측결과값을 대칭이동하여 활용하였다.

**3.5. 축소모형 실험**

축소모형 실험은 그림 14와 같이 직사일광 유입각도를 자유롭게 설정가능한 일영도를 축소모형 상판위에 설치하고 그림 15와 같이 상하좌우 자유로운 각도조절이 가능한 헬리온(Heliodon) 위에 축소모형을 설치한 후 진행하였다.

표 2는 축소모형 실험시 사용된 장비를 보인 것이다.

표 2. 축소모형시 사용된 장비 현황

항목	수량
Li-210 조도계	11개
Datalogger	1set
Heliodon	1set
notebook	1set
일영도	1set

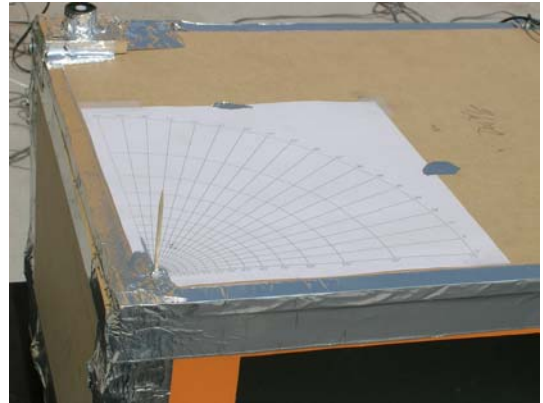


그림 14. 직사일광 유입각도 설정용 일영도



그림 15. 축소모형 실험 장면

**4. 축소모형 실험결과**

**4.1. 조도비에 따른 분석결과**

그림 16과 그림 17은 창호가 없는 경우 가운데 뒷편 8번 위치에서 계산된 수직조도비와 수평조도비 결과를 각각 비교하여 보인 것이다(측정위치 그림 9참조). 수직조도비와 수평조도비 모두 고도각이 40도보다 높은 경우 완만한 조도비를 보이지만, 고도각이 35도보다 낮은 경우는 완만히 진행되다 건물태양방위각이 30도 내외의 각도범위에서 급격한 감소한 후 다시 완만해 지는 분포를 가짐을 알 수 있었다.

수평조도비의 경우 건물태양방위각이 증가함에 따라 특정대역을 제외한 전체적으로 완만한 하강곡선을 보인 반면 수직조도비의 경우 전체적으로 하강추세이긴 하나 건물태양방위각이 90도에 가까워질수록 외부수직면으로 유입되는 조도값이 동시에 감소하여 수직조도비가 상대적으로 증가하는 특징을 보였다. 이러한 특징은 창호의 종류와 실내 조도측정 위치를 변화하여도 유사하게 변화하는 특징을 보임을 확인할 수 있었다.

따라서 수직조도비의 경우 비스듬히 직사일광이 유입되면 외부 수직조도의 값이 급격히 떨어져 외부의 높은 조도값을 반영하지 못하는 문제점이 발생하므로 향후 실내 조도분포는 수평조도비를 기준으로 비교 분석하였다.

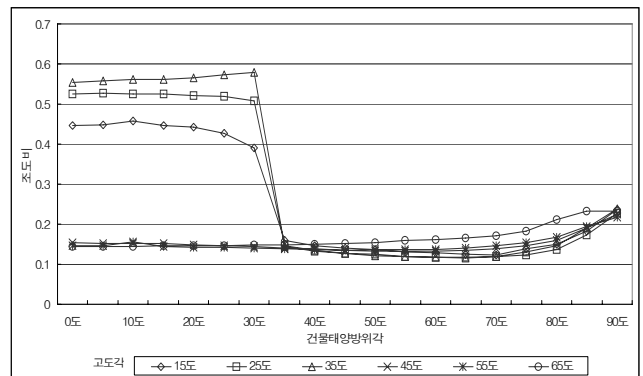


그림 16. 태양유입각도별 수직조도비 분포 (Base Case 가운데 뒷편 8번위치)

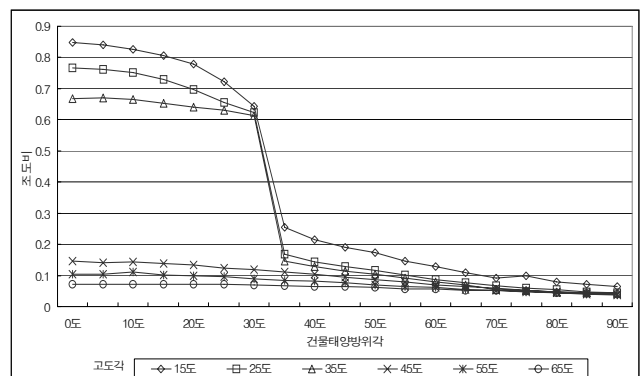


그림 17. 태양유입각도별 수평조도비 분포 (Base Case 가운데 뒷편 8번위치)

### 4.2. 실내 위치별 분석 결과

그림 18~그림 20은 일조창의 중심에서 실내 이격 거리에 따른 실내 조도비를 비교하여 보인 것이다. 분석 결과 그림 18과 같이 실내 조도측정 위치가 전면에 있을 경우 직사일광에 쉽게 노출이 되어 높은 조도비를 보이지만 그림 20과 같이 실내 가장 깊은 곳의 8번 위치는 낮게 고도각이 유입되는 경우에만 건물태양방위각의 각도에 상관없이 높은 조도비를 보이는 것으로 파악되었다.

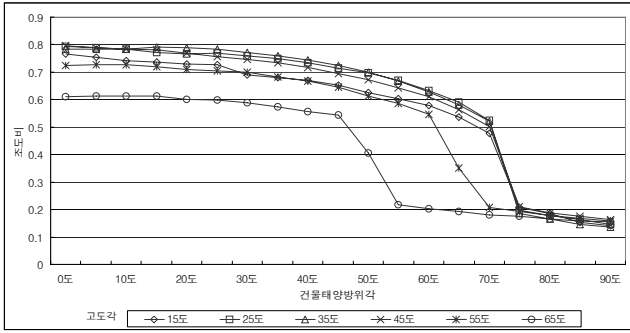


그림 18. 태양유입각도별 수평조도비(5mm 투명창, 2번위치)

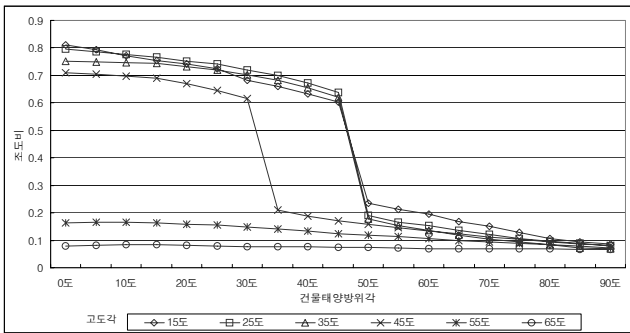


그림 19. 태양유입각도별 수평조도비(5mm 투명창, 5번위치)

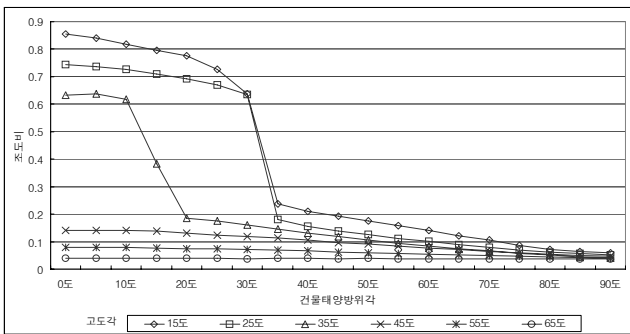


그림 20. 태양유입각도별 수평조도비(5mm 투명창, 8번위치)

### 4.3. 일조창의 종류에 따른 분석 결과

그림 21~그림 25는 일조창이 없는 경우와 5mm와 8mm의 두께를 가진 투명창과 그린 일조창을 각각 설치한 경우에 실내 위치별 수평조도비를 평균한 값을 보인다. 실내 특정위치를 대상으로 조도비를 계산한 결과 직사일광 유입여부에 따라 급격한 조도비 변화를 보이므로 일조창과 태양의 위치에 따른 실내 전체적인 일조환경을 상대적으로 비교 평가하기 위해서는 위치별 조도비의 평

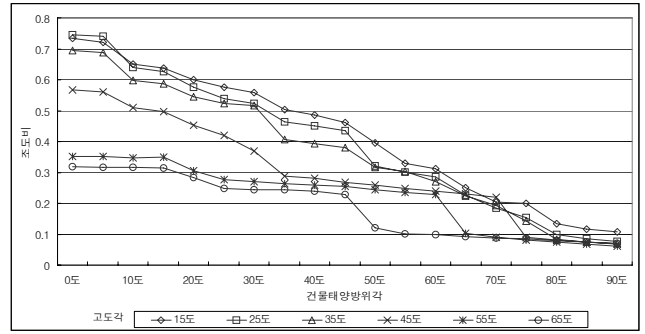


그림 21. 태양유입각도별 실내 수평조도비 평균(Base Case)

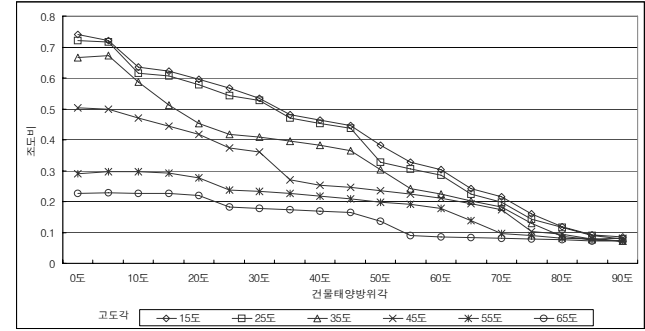


그림 22. 태양유입각도별 실내 수평조도비 평균(5mm 투명창)

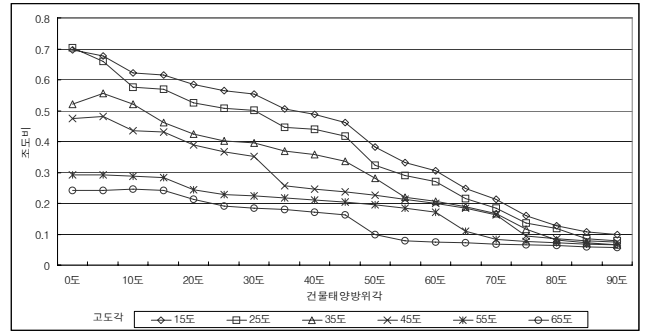


그림 23. 태양유입각도별 실내 수평조도비 평균(8mm 투명창)

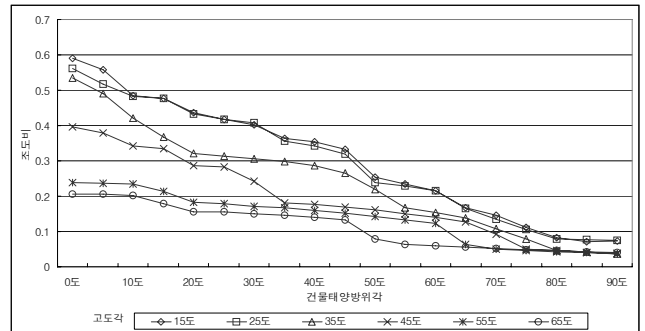


그림 24. 태양유입각도별 실내 수평조도비 평균(5mm 그린창)

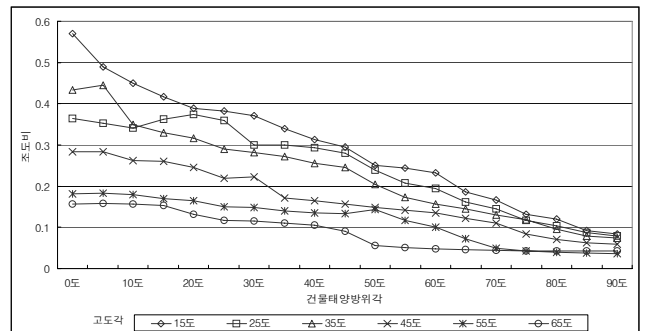


그림 25. 태양유입각도별 실내 수평조도비 평균(8mm 그린창)

균값을 적용하는 것이 유리할 것으로 판단하였다. 비교 결과 일조창의 종류에 상관없이 고도각과 건물태양 방위각의 값이 커질수록 수평조도비는 감소하는 추세를 보였으며, 그린창의 경우 Base Case와 투명창에 비해 상대적으로 낮은 투과율로 인하여 수평조도비의 평균값이 0.1정도 낮게 유사한 추세를 보이는 것으로 분석되었다.

**5. 동지일 시간별 실내조도비**

4절에서 분석된 일조창과 태양의 기하학적 위치관계에 따른 실내 조도비 분포 자료를 활용하여 시각의 흐름에 따른 조도비 분포를 예측하였다.

축소모형 실험시 유입되는 고도각과 건물태양방위각은 5도 단위로 나누어 측정하였으므로 특정 고도각과 건물태양방위각은 측정값 중에서 가장 가까운 인접 각도의 값을 이용한 단순 간격보정을 통해 계산하였다. 예를 들어 27도의 고도각과 32도의 건물태양 방위각이 있을 경우 고도각은 인접된 25도와 30도에서 건물태양방위각은 30도와 35도의 값을 이용하여 보정하였다.

그림 26~그림 30은 일조창의 종류에 따라 동지일 오전 9시에서 오후 3시 사이의 10분 단위의 실내 조도비의 변화를 보인 것이다. 분석 결과 일조창이 없는 Base Case의 경우보다 투명창을 설치한 경우에 실내조도비의 평균값이 높게 나오는 것으로 분석되었다. 이는 투명창의 특성상 유입되는 입사각이 클 경우 대부분 반사되어 실내 투과량이 적으나 정면으로 입사되는 경우 직접 유입되는 직사일광에 유리재를 통해 산란된 태양광도 일부 포함되어 유입되므로 전체적인 실내 조도비는 높이는 것으로 판단되었다. 그린 일조창을 설치할 경우에는 상대적으로 낮은 조도비 분포를 보였으며 유리재의 두께가 두꺼워질수록 실내 조도비는 더 떨어지는 것으로 분석되었다.

**6. 결론**

- 지금까지의 내용을 요약하면 다음과 같다.
- 본 연구는 일조창으로 유입되는 태양입사각도에 따른 실내일조환경을 파악하기 위하여 1:10의 축소모형을 제작하여 실험을 실시하였다.
- 태양입사각도별 실내일조환경은 외부수평면 조도에 대한 실내 바닥면 조도의 비인 수평조도비로써 비교 분석하였으며, 일조창으로 유입되는 고도각과 건물태양방위각으로 분리하여 표시하였다.
- 실내 위치별 조도비를 분석한 결과 일조창 전면의 경우 높은 조도비를 보였지만 실내 안쪽의 경우 낮은 고도각인 경우에만 높은 조도비를 보였다. 따라서 실내 특정 1곳을 대상으로 조도비를 분석할 경우 직사일광의 유입여부에 따라 급격한 조도값의 변화를 보이므로 실내 전체 9곳의 조도비를 평균한 값을 활용하여 변수에 따른 상대적인 일조환경을 평가하였다.
- 표 3~표 7은 축소모형 실험 결과 도출된 고도각과

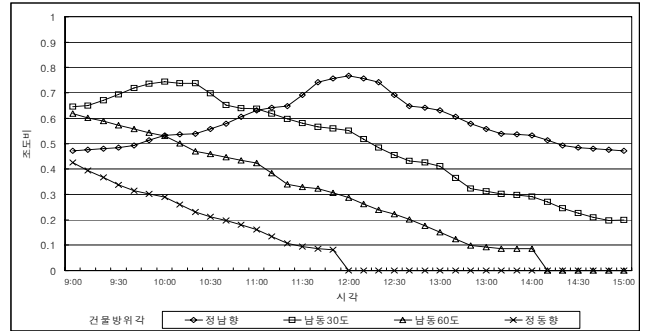


그림 26. 동지일 시간별 실내 조도비(Base Case)

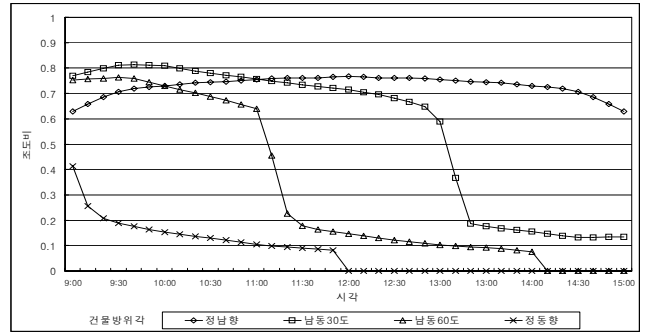


그림 27. 동지일 시간별 실내 조도비(5mm 투명창)

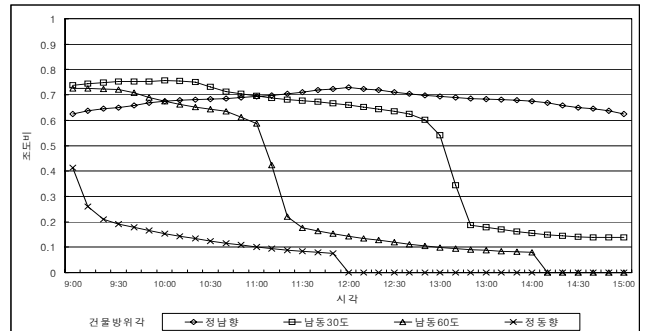


그림 28. 동지일 시간별 실내 조도비(8mm 투명창)

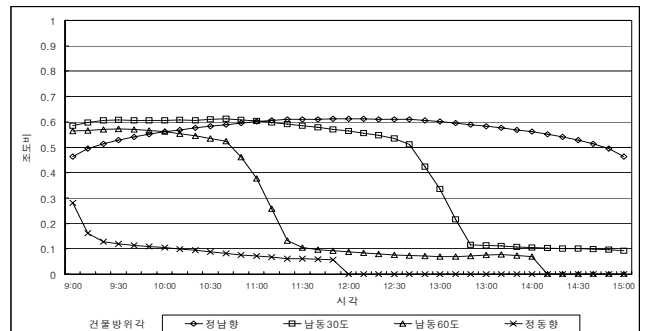


그림 29. 동지일 시간별 실내 조도비(5mm 그린창)

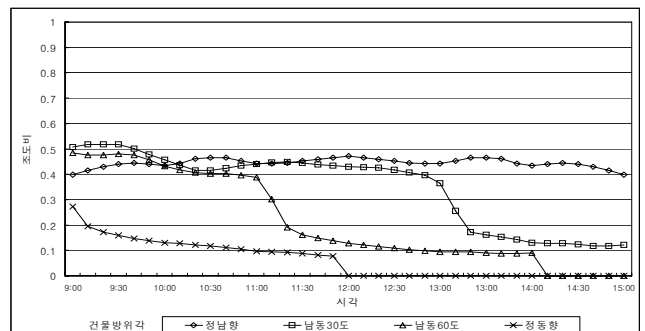


그림 30. 동지일 시간별 실내 조도비(8mm 그린창)

