

축소모형실험에 의한 설계단계 아트리움의 직사일광 유입특성 및 자연채광 효과의 평가에 관한 연구

Evaluating Direct Sunlight Penetration and Daylighting Performance of a Design-Stage Atrium Building through a Physical Scale Model Study

○ 김민성*, 송규동**
Kim, Min Sung, Song, K.D.

Abstract

This experimental study was conducted to qualitatively and quantitatively evaluate the direct sunlight penetration and daylight performance of a design-stage atrium space for I-hospital located near the Seoul area. A large-size physical scale model was built and visual observations and illuminance measurements were performed under real sky conditions. This paper presents the experimental methodologies, measurement results and design recommendations to solve identified problems.

1 서론

현대 건축물에서의 아트리움은 건물 내부에 존재하면서도 옥외 광장과 같은 분위기와 공간적 기능을 갖고 있어서 사람들을 모이게 하는 효과가 있으며 건물의 이미지 제고는 물론이고 건물 사용자들에게 쾌적한 환경을 제공하여 임대율을 높이는 등 궁극적으로 건물의 부가가치를 높이는 역할을 한다.^[1] 이 때문에 외국은 물론 국내에서도 일종의 유행처럼 아트리움을 주요 설계요소로서 채택하는 건물들이 늘어나고 있으며, 이러한 추세는 앞으로도 계속될 전망이다.

아트리움의 큰 공간 규모는 사람들에게 시각적으로 개방감을 느낄 수 있게 하고 식재에 의한 조경과 큰 유리창을 통한 외부 공간과의 긴밀한 시각적 연계에 의해 외부공간과 같은 분위기를 연출하면서도 비, 바람, 추위 등으로부터 보호되어 외부공간 보다는 쾌적한 온열환경을 제공한다. 그리고, 아트리움으로 들어오는 자연광은 계절별, 시각별, 천기상태에 따라 변동하며, 그 양과 질이 인간의 시각적 수용 범위에 있는 한 시각적, 심리적으로 상쾌한 자극제로서의 역할을 한다.

그러나 모든 아트리움이 위에 열거한 것과 같은 긍정적인 기능만을 갖는 것은 아니다. 충분한 공학적 근거와 사전 검토 없이 설계된 아트리움은 글래어 현상과 과도한 일사취득등의 문제를 야기시킬 수 있다.

본 연구는 현재 실시 설계단계에 있는 I 병원의 아트리움 건물의 직사일광 및 자연채광효과를 모형실험을 통해 예측 및 평가하여 도출된 문제점 및 해결 방안들을 설계에 반영하기 위해 수행되었다. 본 논문에서는 축소모형 실험방법과 결과 및 설계에의 반영 사항들에 대해 주로 기술하였다.

2 연구방법

2.1 실험개요

I 병원의 아트리움은 길이 90m, 폭 17.4m, 높이 22m의 선형아트리움으로서 아트리움 내부에는 아트

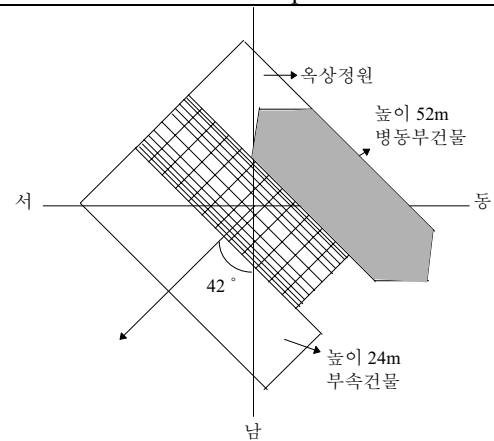


그림 1 아트리움의 방위



그림 2 아트리움 축소모형 제작 광경



a) 아트리움 창호와 실내

b) 설치된 축소모형



c) 데이터로거의 설치모습

d) 측정장면

그림 3 아트리움 모형 실험 장면

리움 양측의 건물을 연결하기 위한 폭 2.9m의 통로가 2층, 3층에 2개씩, 4층에는 1개가 설치되어 있다.

* 정희원, 한양대학교 대학원 건축공학과, 석사과정

** 정희원, 한양대학교 건축공학과 조교수, 건축학박사

아트리움의 방위는 **그림 1** 과 같다.

본 연구에서는 I 병원 아트리움의 직사일광 유입특성 및 자연채광 성능을 정량적으로 평가하기 위하여 1/50의 축소모형을 제작하였다. **그림 2**는 아트리움의 축소모형을 제작하는 과정을 보인 것이다. 아트리움에 유입되는 빛은 아트리움 창호의 기하학적 형상 및 유리재의 투과 특성, 아트리움 벽의 형상 및 반사 특성에 영향을 받기 때문에^[2] 축소모형에 이용한 재료는 실제 사용될 재료의 반사 및 투과 특성에 최대한 유사한 것을 채택하였다.

2.2 모형실험

그림 3은 H대학교 제 2공학관 옥상에서 모형을 태양의 고도와 방위각에 맞추어 기울이고 회전할 수 있도록 제작된 실험대에 설치하여 데이터로거와 조도센서를 이용하여 측정하는 모습이다. 측정에 사용된 장비는 18개의 LI-210SA 조도센서(내부 16개, 외부 2개)와 아날로그 조도계 1대, 데이터로거 및 노트북 컴퓨터 등이다. 측정대상 일시는 6월 21일, 9월 21일, 12월 21일의 오전 9시부터 오후 3시까지 1시간 간격으로써 각 시각의 태양 고도각과 방위각은 아트리움 축소모형의 상부에 설치된 일영도를 이용하여 결정하였다.

조도계는 **그림 4**에서 볼 수 있듯이 아트리움 장축 중앙선상에서 사람들의 왕래가 잦은 양측건물을 연결하는 내부 연결통로와 양쪽 발코니 아래의 바닥에 설치하였다.

조도측정점은 설계 초기단계에서 노출된 연결통로 및 발코니 하부의 그림자부분과 직사일광에 노출된 인접 바닥부분 사이의 조도비를 정량적으로 평가하기 위해 결정된 것이다.

2.3 실험 변수

본 연구에서는 설계단계에서 전체적인 아트리움의 기하학적 형상과 창호의 방식 및 구조가 확정된 상태에서 기존 설계안에 대한 문제점을 도출하기 위해 수행되었으므로 실험 변수로서 창호의 투과 특성을 주요 변수로 택하였다. 아트리움 창호의 유리재를 모두 투명유리로 한 것과 남측 반쪽만을 반투명 확산유리로 처리한 것 두가지에 대해 동일한 측정을 행함으로써 창호재의 투과특성이 아트리움 내부의 빛환경에 미치는 영향을 시각적 관찰에 의한 정성적 평가와 조도측정에 의한 정량적 평가를 행하였다.

3 실험 결과

3.1 청천공시 조도 분포

I 병원과 같은 볼트방식의 창호를 갖는 아트리움은 대부분의 낮 시간동안과 대부분의 천공상태에서, 재실자의 보행(약 50 lx 정도 필요) 및 시작업(약 200 lx 이상 필요)과 실내 식재의 생장(약 1000 lx 정도 필요)^[3]에 요구되는 충분한 조도가 유지될 수 있으므로, 본 연구에서는 인접한 측정점간의 조도비를 구함으로써 조도의 균등 분포여부를 주로 조사하였다.

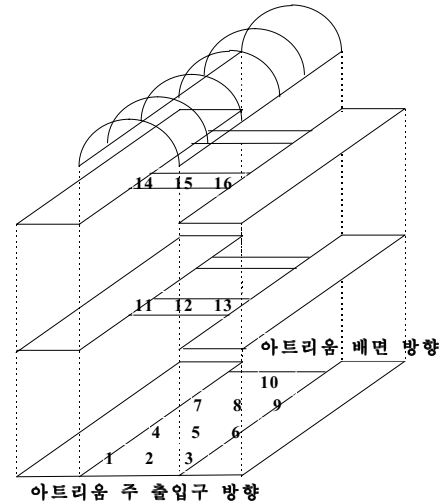


그림 4 아트리움 내부의 조도측정점

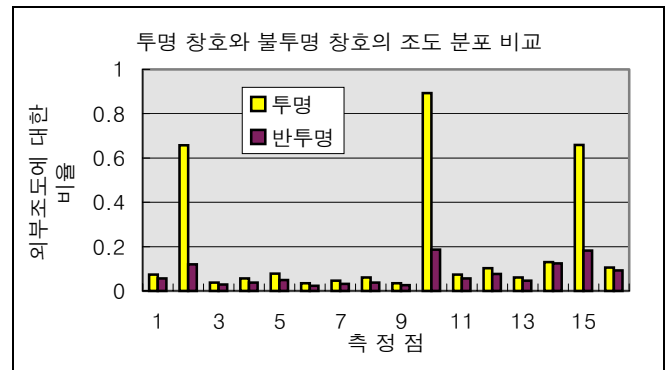


그림 5 6/21 12:00 조도비 분포

표 1 인접 측정점간의 조도비중 최대비 (6/21 12:00)

위치	외부조도에 대한 비율		인접점간의 비율			
	투명창호	반투명창호	투명창호		반투명창호	
7	0.0465	0.0319	1			1
8	0.0599	0.0380		1		1
9	0.0346	0.0257			1	1
10	0.8926	0.1862	19	15	26	5.8
1	0.0739	0.0564	1			1
2	0.6579	0.1202	8.9		17	2.1
3	0.0383	0.0293			1	1

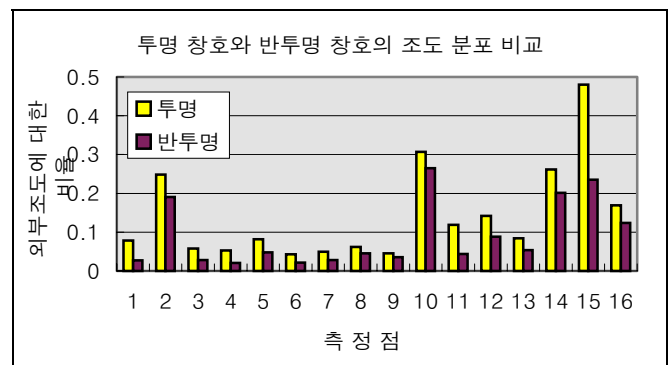


그림 6 9/21 12:00 조도비 분포

표 2 인접 측정점간의 조도비중의 최대비 (9/21 12:00)

위치	외부조도에 대한 비율		인접점간의 비율			
	투명창호	반투명창호	투명창호		반투명창호	
7	0.04927	0.028323	1			1
8	0.06171	0.045408		1		1
9	0.04513	0.035068			1	1
10	0.29133	0.265139	6	4.7	6.5	9.4
					6	7.6

3.1.1 6월 21일 12시의 조도분포

그림 5는 외부조도에 대한 실내 측정조도의 비를 각 측정점별로 계산하여 그린 것이다. **표 1**은 서로 인접하는 측정점간의 조도비를 투명창호와 반투명 확산창호를 설치할 경우에 대해서 보인 것이다. 표에서 볼 수 있듯이 투명창호의 경우 상부 브리지 중앙 부분과 발코니 아래부분의 조도비가 균제도 상한값인 1:10을 크게 상회하는 매우 불균일한 조도분포를 보이지만 반투명 창호의 경우 가장 큰 조도비가 1:10 이하로 됨을 알 수 있다. 이것은 아트리움 창호의 남쪽 부분에 반투명 차양시설을 설치했을 경우의 효과와 동일할 것으로 사료된다.

3.1.2 9월 21일 12시의 조도분포

그림 6은 9월 21일 12시 청천공사 측정된 외부조도에 대한 실내 측정조도의 비를 각 측정점별로 보인 것이다. 그리고 **표 2**는 가장 큰 조도차이를 보인 아트리움내 콘서트홀 부분(측정점 10)의 조도비를 투명창호와 반투명창호의 경우에 대해 비교한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 3층 연결 통로 부근에서 높은 값을 보이지만, 실제 인접점에 대한 조도비 차는 1층 콘서트홀 부분에서 큰 값을 보임을 알 수 있다. 이러한 현상은 정오경 높은 고도에 의한 태양의 직사일광이 3층의 연결 복도 부분에 유입되고 있음을 알 수 있으며, 이런 경우 3층의 연결 통로를 이용하는 보행인들에게 명순응, 암순응의 반응을 일으킬 가능성이 클 것으로 판단되었다.

3.1.3 12월 21일 12시의 조도분포

그림 7은 12월 21일 12시 청천공사 측정된 외부조도에 대한 실내 측정조도의 비를 각 측정점별로 보인 것이다. 그리고 **표 3**은 가장 큰 조도차이를 보인 아트리움내 콘서트홀 부분의 조도비를 투명창호와 반투명창호의 경우에 대해 비교한 것이다. 표에서 알 수 있듯이 아트리움의 콘서트홀 부분에서 높은 조도차를 보였지만 아트리움 내부에 대한 시각적 관찰결과 대부분의 주간동안 직사일광이 전혀 유입되지 않아 매우 단조로운 분위기가 문제점으로 지적되었다.

3.2 담천공사 조도분포

담천공에서의 조도 분포는 크게 1층 부분의 주 출입구(측정점 1,2,3), 콘서트홀 부분(측정점 10)과 3층의 연결 통로(측정점 14,15,16)에서 큰 값을 가짐을 알 수 있었다. 일반적으로 청천공 상태에서의 조도 분포는 직사일광을 받는 부분과 그림자 지는 부분간의 큰 조도값의 차이에 의한 보행자와 재실자에게 글래어 현상과 각종 눈부심의 현상을 유발시킬 우려가 있는 것으로 판단되었다. 그러나 담천공에서는 조도의 불균등 분포에 의한 문제는 없는 것으로 판단되었다. 다만 1층 연결복도와 발코니 아래 부분의 낮은 조도비는 반사율이 높은 천정재료를 이용하거나 간접 조명에 의하여 해결해야 할 것으로 판단되었다.

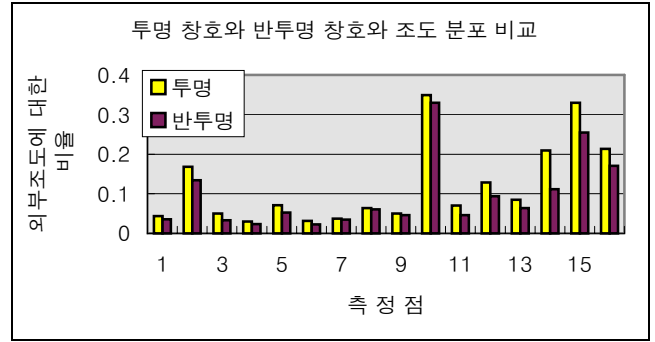


그림 7 12/21 12:00 조도비 분포

표 3 인접 측정점간의 조도비중의 최대비 (12/21 12:00)

위치	외부조도에 대한 비율		인접점간의 비율			
	투명창호	반투명창호	투명창호		반투명창호	
7	0.0373	0.0347	1		1	
8	0.0637	0.0608		1		1
9	0.0501	0.0463			1	1
10	0.3490	0.3297	9	5.5	7	9.5
					5.4	7

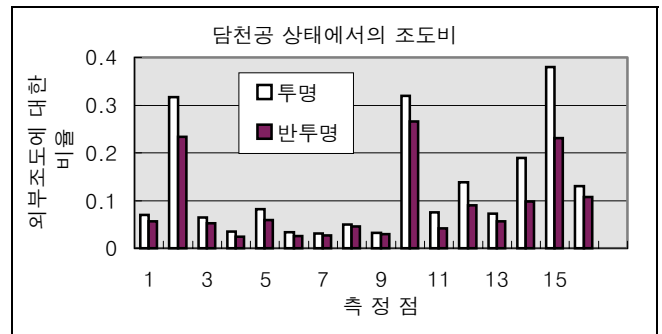


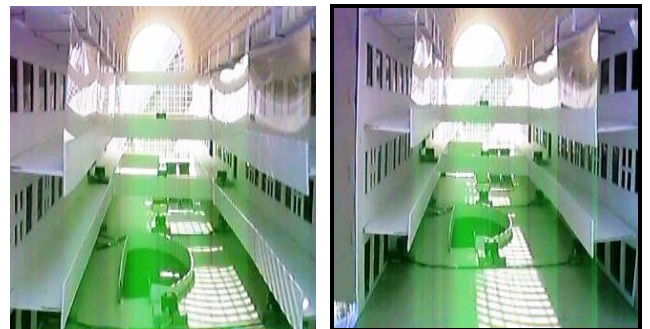
그림 8 담천공사 조도비 분포



a) 투명창호

b) 반투명창호

그림 9 동절기 3층 유리벽에서의 광막반사 현상 (12/21 9:00)



a) 투명창호

b) 반투명창호

그림 10 중간기 3층 유리벽에서의 광막반사 현상 (9/21 09:00)

3.3 아트트리움 직사일광 유입특성

I 병원과 같은 선형아트트리움에 투명유리재로 마감된 볼트형 창호를 설치할 경우 태양의 고도가 높은 여름철 주간에 과도한 직사일광의 유입으로 인하여 냉방부하가 과도하게 상승될 우려가 있다. 그리고 글레어 현상은 주어진 시야내에 현저하게 높은 휘도대비(1:10 이상)^[4]가 존재하는 경우와, 지나치게 밝은 휘도를 갖는 넓은 면적의 광원 또는 반사면이 존재할 경우 일어나는 시각적 불쾌감으로서 태양의 고도가 높은 여름철 주간에 직사일광이 직접 유입되는 바닥면과 발코니에 의해 그림자가 생기는 부분의 경계부분에서 과도한 휘도대비에 의해서 유발될 수 있다. 또한, 태양의 고도가 낮은 오전과 늦은 오후에는 아트트리움의 동 서측 양단에서 유입되는 직사일광이 아트트리움의 벽에 설치되는 유리창에서 정반사된 후, 재실자의 눈에 입사하여 글레어 현상을 유발하게 된다.

본 연구에서는 모형실험 과정을 통하여 직사일광이 존재하는 맑은 하늘 상태의 아트트리움 공간내 과도한 직달일사의 유입과 글레어 현상이 일어날 수 있는 부분을 조사하고 그 대책을 제시하였다.

3.3.1 3층 발코니 유리벽의 광막반사

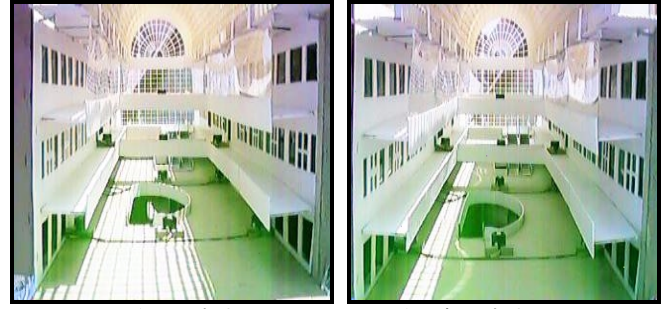
그림 9와 그림 10에서 볼 수 있듯이 일출과 일몰경 아트트리움 양단의 유리벽을 통해 입사하는 직사일광이 유리벽에서 광막반사(Specular Reflection)하여 3층의 양쪽 브리지에서 볼 때 글레어 현상이 발생할 가능성이 높을 것으로 판단되었다. 이 경우 투명유리재의 천창을 설치할 경우 유리벽의 광막반사가 더욱 심한 것을 알 수 있었다.

3.3.2 발코니에 의한 그림자

그림 11과 그림 12에 보인 것처럼, 태양의 고도가 높은 시각에는 1층 상부의 발코니에 의해 생기는 그림자에 의해 직사일광이 입사하는 바닥면과 그림자 사이의 과도한 휘도대비에 의해 불쾌글레어가 발생할 우려가 있는 것으로 판단되었다. 이러한 문제는 그림 12에서 보여지듯이 천창의 남쪽 1/2 면을 반투명 유리재로 처리함으로써 중간기에는 완전히 해결될 수 있다. 그러나 그림 11(b)에서와 같이 태양의 고도가 높은 6월에는 여전히 문제점으로 남을 것으로 판단되었다. 이러한 문제는 발코니 하부에 인공조명기구를 설치하고, 하부면을 고반사면으로 처리함으로써 해결될 수 있을 것으로 판단되었다.

3.4 지하 1층 천정 유리블럭의 자연채광 효과

그림 13에 보인 것처럼 아트트리움 바닥면의 일부를 확산투과 특성을 갖는 유리블럭으로 처리하여 지하 1층 주출입구 근처의 보행에 필요한 조도가 확보되는지의 여부를 축소모형실험을 통해 검토하였다. 그 결과 겨울철 담천공을 제외하고 하절기와 중간기의 주간동안 주광에 의해 약 100~700 lx 정도의 조도가 확보되어 인공조명에 의존하지 않고도 보행 등과 같은 경미한 시각업무가 가능할 것으로 판단되었다. 또한 이 부분은 강당과 식당으로의 통로로서 많은 인원이 통행하는 곳이므로 자연채광에 의한 시야 확보는 물론 밝은 천정으로 인해 방향성을 제시해 줄 수 있는 장점을 갖고 있다고 사료되었다.



a) 투명창호 b) 반투명창호
그림 11 하절기 발코니 그림자 (6/21 12:00)



a) 투명창호 b) 반투명창호
그림 12 중간기 발코니 그림자



a) 6월 21일 12:00시



b) 9월 21일 12:00시



c) 12월 21일 12:00시

그림 13 지하 1층천정 유리블럭 설치유무시의 분위기

4 결론

본 연구에서는 I 병원 atrium의 직사일광 유입 및 자연채광 효과를 축소모형실험을 통해 분석한 결과 다음과 같은 문제점과 권장 사항들이 도출되었다.

4.1 문제점

- 태양의 고도가 낮은 오전과 오후시간에 atrium 양단의 유리벽을 통해 입사하는 직사일광에 의한 눈부심 현상.
- 태양의 고도가 높은 시간에 발코니 밑부분의 그림자와 인접하는 밝은 바닥면과의 과도한 휘도차.
- 일조시간대 지하 1층의 주 출입구 부분의 비효율적인 전기 조명.
- 여름철 과도한 직달일사의 유입.

4.2 권장 사항

4.2.1 동·서측 양단 유리벽에 가동식 차양시설 설치

천창과는 달리 채실자의 시야에 들어올 가능성이 더 큰 수직유리벽을 반투명유리로 처리할 경우 오히려 큰 면적의 밝은 광원으로서 작용하게 되어 글레어 현상을 더욱 가중시키게 되므로 유리벽의 내부에 가동식 블라인드 또는 커튼 등의 차양장치를 설치하여 청천공시 일출과 일몰경 직사일광의 유입을 줄일 수 있도록 하였다. 이렇게 함으로써, 이곳으로 직사일광이 유입되지 않는 주간동안에는 차양시설을 접어들여 조망창으로서의 역할을 할 수 있게 하였다.

4.2.2 천창에 가동식 차양시설 설치

전동식으로 작동되는 차양시설을 **그림 14**에 보인 것과 같이 천창 내부의 남쪽면과 북쪽면에 분리 설치하여 직사일광을 차단, 확산 및 반사 할 수 있도록 권장하였다. 이 차양시설은 추후 병원의 건물자동화 시스템(BAS)과 연계시켜 계절별 및 시각별로 자동적으로 운용되도록 권장하였다. 가동식 차양시설은 **그림 14**에서 보인 것과 같이 계절별, 시간별 및 천기상태에 따라 유연하게 운용됨으로써 atrium 실내의 쾌적성을 증대시키고 에너지 절약에도 큰 도움을 줄 수 있을 것으로 사료된다.

4.2.3 발코니 하부에 인공조명 설치

위의 **그림 11**에서 볼 수 있었듯이 태양이 아주 높은 6월에는 천창의 반을 차양시설로 처리하더라도 발코니 아래에 그림자가 생기게 된다. 비록, 본 연구에서는 몇몇 특정일에 대해서만 실험을 행했지만 일년 전체를 고려할 때 발코니 하부의 그림자는 매우 많은 시간동안 생기게 될 것으로 판단되었다. 따라서, 발코니 아래의 그림자 부분과 인접 바닥면과의 휘도차를 줄이기 위해 발코니 하부에 인공조명기구를 설치하고 조명기구의 출력은 바닥면에 입사하는 직사일광에 의한 조도가 높으면 높을 수록 더 증가시키도록 권장하였다.

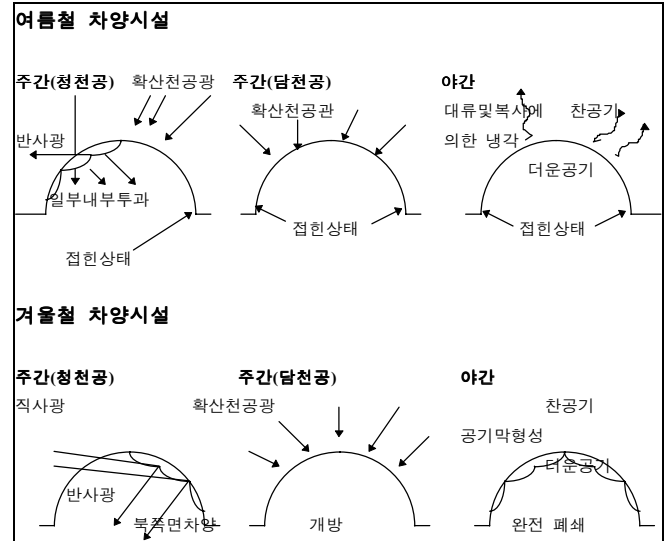


그림 14 계절별 시간별 가동식 차양시설의 개념

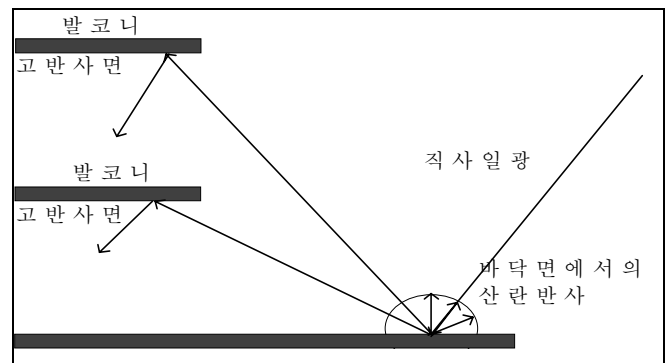


그림 15 발코니 하부면의 정반사

4.2.4 발코니 하부면 반사율의 증가

1층과 2층의 발코니 하부면은 **그림 15**에 보인 것과 같이 반사율이 높은 알루미늄 등으로 마감하여 인접 바닥면에서 반사되어 발코니 하부면으로 입사하는 빛을 대부분 다시 발코니 아래로 반사시킴으로써 조명기구의 전기 소비량을 줄일 수 있도록 권장하였다.

4.2.5 지하 1층 주출입구부분 천정에 유리블럭설치

지하 1층 주출입구 상부 천정에 반투명 투과특성을 갖는 유리블럭으로 사방 1m의 넓이를 갖는 천창을 두군데 만들어 줌으로써 연중 주간동안 보행에 필요한 충분한 조도를 확보할 수 있을 것으로 판단되었다. 또한 **그림 13**을 통해 시각적으로 판별할 수 있을 정도로 근처의 계단실 부분과 출입구 부분의 조도차를 줄여 균제도를 향상시킬 수 있을 것으로 사료되었다.

5 참고 문헌

- [1] Bednar, M.J., The New Atrium, McGraw-Hill, Inc., 1986.
- [2] Song, K.D., Illuminance Levels and Luminance Distributions in Sunlit Atria with Different Canopy Systems and Well Configurations, Doctoral Dissertation, Texas A&M University, 1993.
- [3] Saxson, R., Atrium Buildings-Development and Design, Second Edition, Van Nostrand Reinhold, Co., Inc., 1987.
- [4] IESNA, Lighting Handbook 8th Edition, IESNA, 1993.