

RADIANCE 프로그램에 의한 전시공간의 자연채광 성능 평가 방법

송규동 · 서광덕

한양대학교 공학대학 건축학부

Evaluating Daylighting Performance of an Exhibition Space by the RADIANCE Program

Song, Kyoo-Dong · Seo, Kwang-Duk

Department of Architecture, Hanyang University

Abstract : Light is one of the most important design elements in exhibition spaces. Especially daylighting is conventional and recommended practice of ambient lighting for exhibition spaces. Conventionally, designers depended upon scale model measurements for evaluating the daylighting performance of design-stage exhibition spaces. Recently, owing to high-performance computers, 3-D based computer simulation programs are increasingly used for evaluating not only daylighting performance, but electric lighting effects of buildings.

The purpose of this study is to suggest the evaluation method of daylighting performance of exhibition spaces using the RADIANCE that is one of the most accurate rendering softwares. In this study Kimbell Art Museum located in Fort Worth, Texas, U.S.A. was adopted as a sample. Illuminance and luminance distributions were simulated using the RADIANCE and compared with the recommended values.

Key words : Exhibition space, Daylighting, RADIANCE, Lighting Visualization

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

빛은 공간을 인식하는데 있어서 가장 중요한 건축요소이다. 역사적으로 많은 건축가들은 거주자로 하여금 빛의 역할을 체득하게 하고 건축 계획시에 효과적인 조명방법을 구하기 위해 많은 노력을 기울여 왔다. 특히 미술관 등의 전시공간이 본래의 기능을 발휘하기 위해서는 시각적 감각을 불러일으키는 빛이 필수적인 설계요소이다. 전시공간의 조명은 실 전체의 밝기를 유지하기 위한 전반조명과 전시작품을 강조하는 국부조명으로 구분할 수 있는데 전반조명의 경우 에너지 절약 효과와 시각적 쾌적도를 동시에 높일 수 있는 자연광에 의존하는 것이 권장된다. 자연채광의 효과는 창문 등 개구부의 위치나 크기, 실내마감재의 반사율 및 반사특성에 따라 달라지므로 건축가는 설계단계에서 설계안의 자연채광 성능을 검증할 필요가 있다. 그 동안 자연채광 성능의 검증은 주로 축소모형실험에 의존하는 경우가 대부분이었지만 최근에는 3차원 CAD를 기반으로 하여 자연채광은 물론 인공조명의 효과까지도 정량적·정성적으로 검증할 수 있는 컴퓨터 프로그램에 의존하는 경향이 증가하고 있다(양혜인 2000).

본 연구는 빛의 물리적인 거동을 시뮬레이션하여 가시화하는 컴퓨터 프로그램 중 하나인 RADIANCE(Larson and Shakespeare 1998)를 이용하여 실존하는 전시공간

중 자연채광 설계가 우수한 것으로 평가되고 있는 건물을 대상으로 RADIANCE에 의해 자연채광 성능을 평가 및 검증하는 방법을 제시하는 것을 목적으로 한다.

1.2. 연구의 범위 및 방법

본 연구에서는 문헌조사를 통하여 전시공간 내부의 조명요건을 조사한 후, 미국 텍사스주 포트워스에 위치한 김벨미술관을 대상으로 RADIANCE에 의해 시뮬레이션된 자연채광 효과를 문헌을 통하여 조사된 조도 및 휘도 분포의 권장치와 비교함으로써 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 채광계획의 평가 방법을 제시하였다.

2. 기본 이론 검토

2.1. 전시조명의 요건

1) 적정 조도의 선정

조도가 높아질수록 눈의 피로가 적어지지만 지나치게 높은 조도는 광화학 작용에 의해 전시작품이 변색 또는 퇴색되거나 적외선에 의해 건조되어 박리현상이 발생하는 문제를 야기시킨다(여인선 1996). 따라서 관람객이 전시물을 잘 관찰할 수 있는 밝기(밝을수록 좋다)와 전시물의 손상을 최소화할 수 있는 밝기(어두울수록 좋다)의 최대한계를 절충하여 적정조도를 규정할 필요가 있다. **Table 1**은 각국의 각 전시물을 그 내광성의 단계에 따라 세 단계로 구분하고, 각 종류별로 적절한 조도 및 적산조

도를 제시하고 있다. 각 국의 기준을 참조하고 국내 실정을 감안하여 한국 조명전기설비학회에서 제안한 조명기준은 Table 2와 같다(한국표준협회 1993).

Table 1. Recommended illuminance levels for museum in foreign countries

	very sensitive to light	relatively sensitive to light	not sensitive to light
	wooven stuff, cloth, a watercolor, roughdrawing, print, stamp, wall paper, a specimen	an oil painting, a tempera, a fresco, hides leather, frame work, ivory, wooden, lacquer	metal, stone, glass, pottery, a jewel, enamel, stained glass
IESNA (USA) (1993)	54lx, 1day 8hours, yearly 125days exhibited, a yearly additional illuminance 54,000lx · h	220lx, 1day 8hours, yearly 300days exhibited, a yearly additional illuminance 500,000lx · h	concerned exhibit condition
CIBSE (U.K)	50lx, weekly 60hours, yearly 50weeks exhibited, yearly additional illuminance 150,000lx · h	200lx, weekly 60hours, yearly 50weeks exhibited, yearly additional illuminance 600,000lx · h	selected considering adaptation and increased temperature
JIS (JPN) (1979)	75~300lx (a stuffed, a specimen 75~150lx)	300~750lx	750~1,500lx
MMFA (CANADA) (1979)	75lx, yearly 4weeks exhibited or yearly additional illuminance 12,000lx · h (100years preserved)	100lx, yearly 10weeks exhibited or yearly additional illuminance 42,000lx · h (250years preserved)	100lx, yearly 20weeks exhibited or yearly additional illuminance 84,000lx · h (3,500years preserved)
KS(KOR) (1993)	150~300lx	300~600lx	600~1,500lx

Table 2. Museum lighting standard in Korea

STEP	PROPERTY	TYPE	faded additional illuminance	fading time	recommended illuminance level	yearly additional illuminance	yearly exhibit times
1	very sensitive to light	ISO 2,3 level	1,200,000lx · h (ISO 2 level)	20 years	50lx	60,000lx · h	1day 8hours 150days
2	relatively sensitive to light	ISO 4,5,6 level	10,000,000lx · h (ISO 4 level)	28 years	150lx	360,000lx · h	1day 8hours 300days
3	not sensitive to light	over ISO 7,8 level	300,000,000lx · h (ISO 7 level)	-	below 450lx	-	-

2) 조도비와 순응

전시물의 관찰에 필요한 적정 조도를 제공함과 동시에

전시물과 전시물 사이, 전시물과 배경 사이, 전시실 전반, 전시실과 복도 사이에서의 적절한 조도 분포를 유지할 필요가 있다. 일반적으로 동일 공간 또는 인접 공간에서의 밝기의 분포는 조도비가 3:1~5:1정도로 유지될 때 적절한 것으로 알려져 있다. 밝은 복도에서 들어가는 전시실의 입구, 야외에서 들어가는 박물관의 입구, 조도 차이가 많이 나는 두 전시실 사이, 지하 주차장의 진출입구 등에는 관람객이 밝기의 변화에 서서히 적응할 수 있도록 조도가 단계적으로 변화하는 순응공간을 마련하는 것이 바람직하다 (Lehmbruck 1995).

3) 휘도 분포

전시조명에 있어서 휘도는 물체의 보임은 물론 전시물의 보존 차원에서도 검토되어야 한다. 즉, 보존성 때문에 전시물의 조도는 낮게 유지되어야 하므로 사람의 시각생리특성을 이용하여 시감휘도를 높게 하는 조명을 고려한다. 시감휘도는 실제의 밝기와는 달리 사람의 눈의 순응상태에 따라 느끼게 되는 감각적인 밝기를 가리키는 것으로서, 관람객의 눈의 순응을 원활하게 하기 위해서는 다음과 같은 배려가 필요하다 (여인선 1996).

- 시야내에 고휘도 광원이나 실외로 향하는 밝은 창을 설치하지 않는다.
 - 전시실의 전반조도를 낮추어 실내공간 전체가 고휘도로 되지 않도록 하며, 조도의 균제도를 높여 부분적인 고휘도대비를 피하도록 한다.
 - 전시물이 놓이게 되는 배경이나 인접한 주위의 휘도 분포가 1/2~1/3 정도 이내가 되도록 재질이나 색채를 결정하여 반사율에 대한 배려를 한다.
 - 전시실에 진입하기 전의 입구 로비나 중앙 홀에서부터 전시경로를 따라 진행할수록 서서히 조도를 낮추어 낮은 휘도분포에 자연스럽게 순응시킨다.
- 일반적으로 북미조명공학회(IESNA)에서 권장하는 휘도비는 Table 3과 같다 (Stein and Reynolds, 1992).

Table 3. Recommended luminance ratio

SELECTION	office	school	factory	house
between working field and environment	1:1/3	1:1/3	1:1/3	1:1/10
dark space separated from working field	1:1/5	1:1/3	1:1/10	1:1/10
bright space separated from working field	1:5	1:10	1:10	1:10
between window (a source of light)and environment	20:1		20:1	
common in sight	40:1		40:1	

4) 현회방지

전시실에서 심리적 불쾌감과 눈의 피로를 초래하는 불쾌현회는 시야내의 고휘도 광원에 의한 직접현회와 유리면 등에서 반사된 빛에 의한 반사현회가 대부분이며 다음과 같은 경우에 발생한다 (여인선 1996).

- 높은 휘도의 광원이 시야에 위치할 때
 - 시야내의 휘도대비가 심할 때
 - 액자의 유리나 진열장의 유리 케이스를 통해 광원이 반사되어 시야에 들어올 때
 - 어떤 진열장의 조도를 높였을 때 그것과 마주보는 진열장에 빛이 투영되는 경우
 - 전시실 출입문 등이 외부의 자연광과 연결되는 구조에서 직접적으로나 또는 반사되어 실내의 진열장에 빛이 투영되는 경우
- 따라서 직접현회를 줄이기 위해서는,
- 창문, 천공, 조명기구 등 광원의 휘도를 감소시킨다.
 - 광원의 면적을 감소시킨다.
 - 발광면 주위의 배경휘도를 증가시킨다.
 - 시선으로부터 광원을 멀리한다.

3. 대상공간의 개요

앞의 이론을 토대로 한 전시공간 자연채광 성능의 분석 및 평가를 위해 미국 텍사스주 포트워스에 있는 김벨미술관을 선정하였다. 김벨미술관은 Fig. 1과 Fig. 2에서 볼 수 있듯이 볼트 구조의 지붕 상단을 따라 길게 나 있는 천창과 천정 밑에 설치되어 있는 반사판을 통해 자연광이 천정면으로 반사되어 전시공간의 고급스럽고 온화한 광환경을 조성하는 것으로 평가되어 왔다 (송규동 1998).

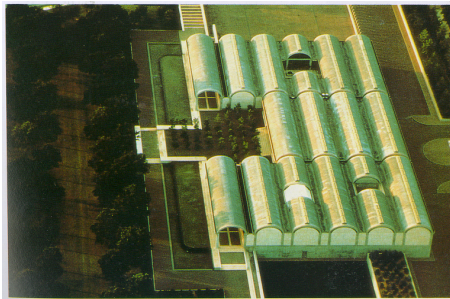


Fig. 1. Roof structure



Fig. 2. Daylight reflector

4. 자연채광 성능의 분석 및 평가

연구 대상 전시공간인 김벨미술관에서의 자연채광 성능을 분석 및 평가하기 위하여 인공조명을 배제하고

RADIANCE 프로그램에 의한 시뮬레이션을 통하여 조도 및 휘도 분포를 계산하였다. 시뮬레이션의 주요 변수는 계절(춘분, 하지, 동지)과 천기상태(담천공, 천청공)로 하였다.

4.1. 시작업면의 정의

전시공간에서의 시작업면은 크게 천장전시와 바닥전시, 그리고 벽면전시로 구분된다. 그러나 본 연구에서는 바닥면 전시와 벽면 전시 두가지 방법을 고려하였다. 따라서 전시실내의 조도 및 휘도 분석은 바닥면과 벽면에 대해서 실시하였다.

4.2. 대상공간의 제원

분석이 행해진 대상실은 건물의 북동쪽에 위치한 크기 30.8 × 15.7(m)의 한 변이 긴 장방형 공간이다. Table 4는 대상실에 사용된 각종 재료의 광학적 특성을 나타낸 것이고 Fig. 3은 대상실의 크기와 형태를 나타낸 것이다.

Table 4. Optical characteristics of various materials

Item	Material	reflectance (max=1.0)	roughness (max=1.0)
wall	Bagnidi Tivoli Travertine	0.25	0.01
floor	White oak hard wood floor	0.34	0.01
ceiling	exposed concrete	0.35	0.31
column	concrete	0.01	0.31
reflector	perforated aluminium sheet	0.90	0.35
upper reflector	solid aluminium sheet above hinge point	0.27	0.1
frame	aluminium yoke-folded plate	0.34	0.11
top of the vault	glass	0.96(transmittance)	
duct	steel	0.30	0.11
block	Travertine	0.25	0.11
window	glass	0.96(transmittance)	
window frame	aluminium		0.7

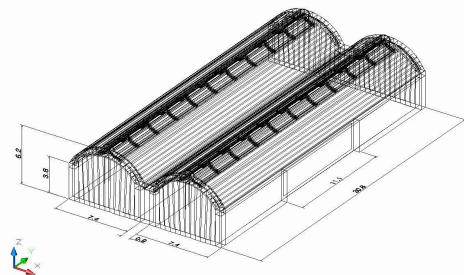


Fig. 3. 3-D CAD drawing of exhibition unit

4.3. 시뮬레이션 개요 및 조건

RADIANCE 프로그램에 의한 대상실에서의 조도 및 휘도분포를 분석하기 위해 천공상태를 답천공과 청천공으로 나누어 시뮬레이션 하였다. 좌표값은 미국 텍사스주 포트워스의 위도 33° N, 경도 97° W로 하였다. 답천공은 6월 21일 13시를 기준으로 행하였으며, 청천공의 경우는 춘·추분(3월 21일), 하지(6월 21일), 동지(12월 21일)의 각각 13시에 행하였다. RADIANCE 프로그램에서의 시뮬레이션을 위한 입력은 실제 공간의 3차원 기하학 요소, 대상실에 사용된 재료특성, 외부천공상태 등을 모델링하기 위한 파일이 사용되었다. 실제의 공간과 동일한 3차원 기하학 요소를 만들기 위해 AutoCAD를 사용하여 CAD 파일로 작성하였으며, TORAD프로그램을 이용하여 RADIANCE 프로그램의 RAD 파일로 변환하였고 대상실에 사용된 재료특성도 별도의 RAD 파일로 코딩하였다. 특히 천공의 상태는 위에서 설명한 바와 같이 시각과 지형적 특성을 입력하여 별도의 RAD 파일을 작성하였다.

4.4. 사진이미지와와의 비교

Fig. 4와 Fig. 5는 각각 청천공 상태에서 직접 사진 촬영된 이미지와 RADIANCE의 RPICCT 명령에 의해 가상화된 이미지를 보인 것이다. 이미지에서 볼 수 있듯이 중앙 볼트의 천장부분에 반사되는 자연광이 잘 표현되고 있다.

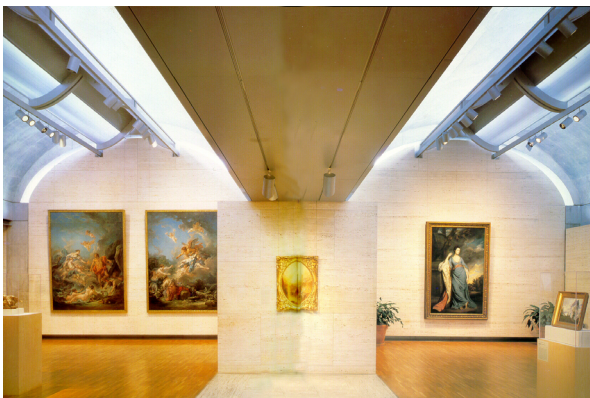


Fig. 4. Photo image

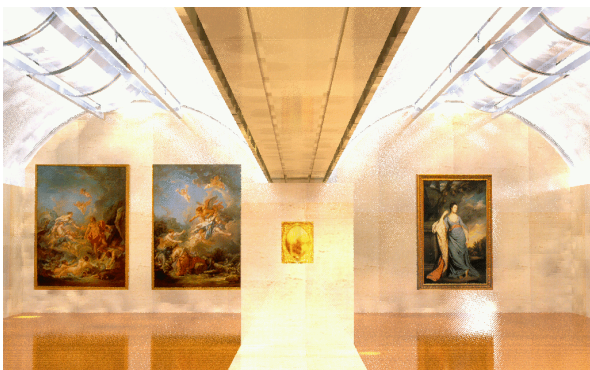


Fig. 5. RADIANCE image

4.5. 조도분포 분석

4.5.1. 청천공 상태

Fig. 6과 Fig. 7은 각면의 조도 분포를 이미지화 하여 조도분포를 곡선으로 나타낸 것이며, Fig. 8은 이에 따른 평균조도를 계절에 따라 각 방위별로 나타낸 것이다. 그래프에서 보는 바와 같이 계절별로 평균 250lx 정도의 조도를 나타내고 있으며, 계절의 변화에 큰 차이가 없는 유사한 패턴을 나타낸다.

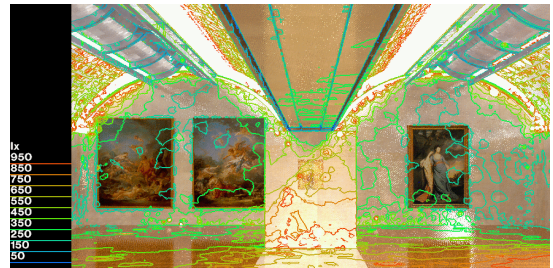


Fig. 6. Illuminance distribution (North, Clear sky)

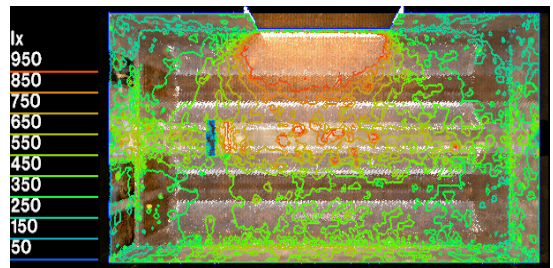


Fig. 7. Illuminance distribution (Floor, Clear sky)

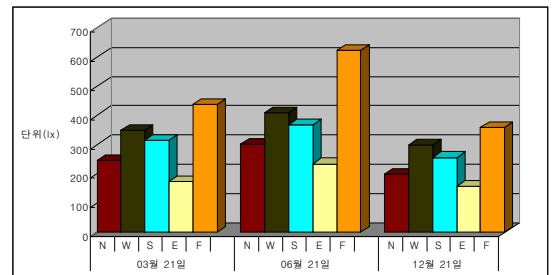


Fig. 8. Illuminance distribution (Clear sky)

(N=North, W=West, S=South, E=East, F=Floor)

4.5.2. 답천공 상태

Fig. 9와 Fig. 10은 답천공일때 조도분포 곡선을 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 11은 위의 조도분포를 토대로 각 방위별 조도 분포를 나타낸 것이다. 그래프에서 보는 바와 같이 계절별로 평균 250lx 정도의 조도를 나타내고 있으며, 계절의 변화에 큰 차이가 없는 유사한 패턴을 나타낸다. 또한 자연채광만으로도 전반조명의 기준치인 150~300lx를 만족시키고 있다.

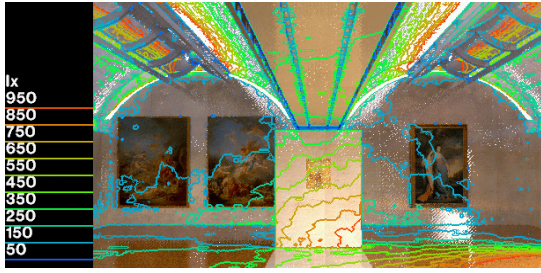


Fig. 9. Illuminance distribution (North, Cloudy sky)

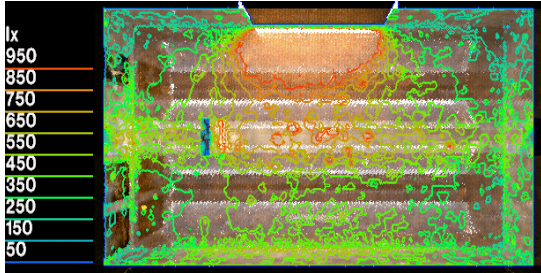


Fig. 10. Illuminance distribution (Floor, Cloudy sky)

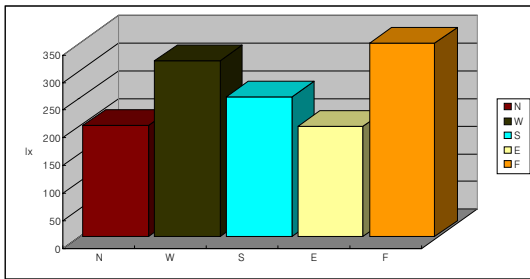


Fig. 11. Illuminance distribution (Cloudy sky)
(N=North, W=West, S=South, E=East, F=Floor)

4.6. 휘도분포 분석

4.6.1. 청천공 상태

(1) 북쪽면

Fig. 12는 청천공일때의 각 지점(A, B, C)별 휘도분포를 나타낸 것이다. 전시면과 인접 주위면의 휘도분포가 50cd/m²정도로 거의 일정함을 Fig. 13의 그래프를 통해 알 수 있다.

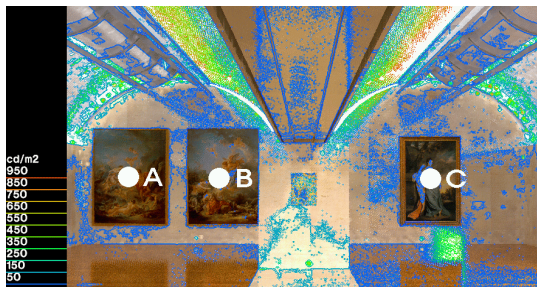


Fig. 12. Luminance distribution (North, Clear sky)

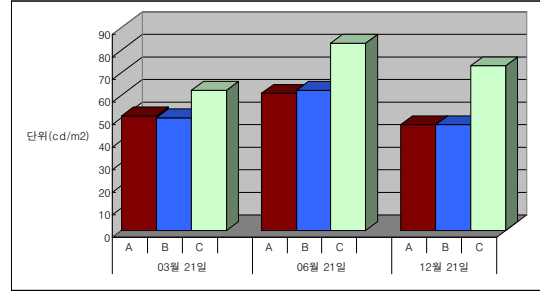


Fig. 13. Luminance distribution Graph(North, Clear sky)

(2) 남서쪽면

Fig. 14는 청천공일 때의 각 지점(D, E, F, G)별 휘도분포를 나타낸 것이다. Fig. 15에서 알 수 있듯이 G점을 제외하고는 지점별로 큰 휘도차는 나지 않으며 계절에 관계없이 거의 일정하다.



Fig. 14. Luminance distribution (Southwest, Clear sky)

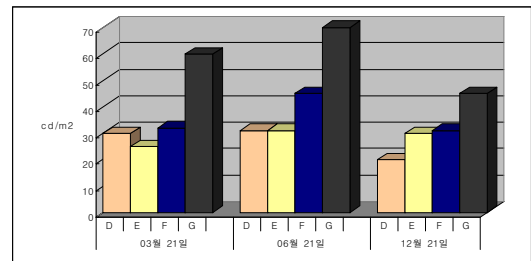


Fig. 15. Luminance distribution Graph (Southwest, Clear sky)

(3) 남동쪽면

Fig. 16은 청천공일때의 각 지점(H, I, J)별 휘도분포를 나타낸 것이다. Fig. 17의 그래프에서 보는 바와 같이 계절별로 일정한 패턴을 나타내며, 지점별로 큰 휘도 차이가 나지 않는다.

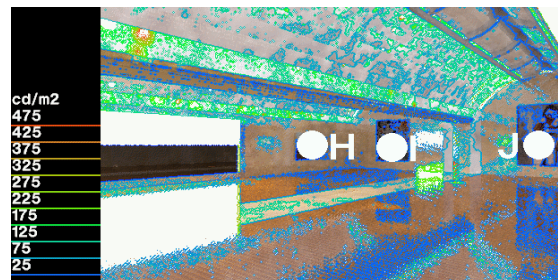


Fig. 16 Luminance distribution (Southeast, Clear sky)

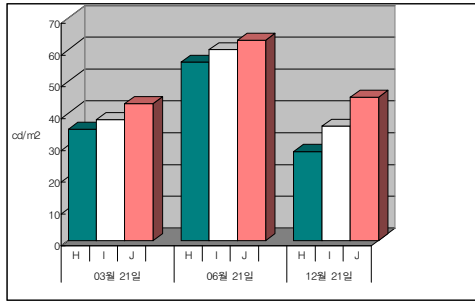


Fig. 17. Luminance distribution (Southeast, Clear sky)

4.6.2. 담천공 상태

Fig. 18~Fig. 20은 담천공일 때의 각 지점(A~J)별 휘도 분포를 모두 나타낸 그래프이다. 그리고 Fig. 21은 위의 휘도분포를 토대로 각 지점별 휘도 분포를 그래프로 나타낸 것이다. 그래프에서 보는 바와 같이 계절별로 일정한 패턴을 나타내고 있다.

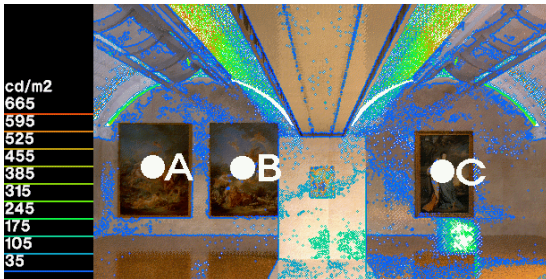


Fig. 18. Luminance distribution (North, Cloudy sky)



Fig. 19. Luminance distribution (Southwest, Clear sky)

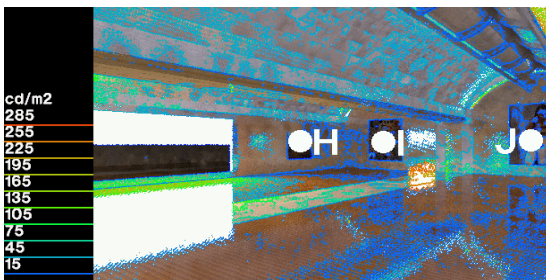


Fig. 20. Luminance distribution (Southeast, Cloudy sky)

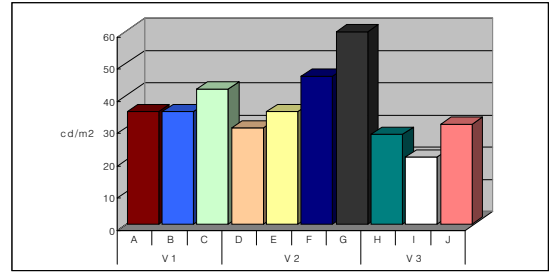


Fig. 21. Luminance distribution (Cloudy sky)

4.7. 현휘 발생 여부 검토

Fig. 22~Fig. 24는 전시공간에서의 현휘(Glare)현상의 유무를 발견하기 위해 RADIANCE의 FINDGLARE 명령을 사용하여 나타낸 이미지이다. 천장에서서의 확산광에 의해 과도한 휘도차에 의한 현휘 현상은 거의 나타나지 않았다.

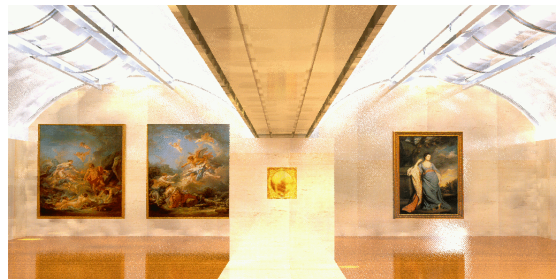


Fig. 22. North side image (by findglare)

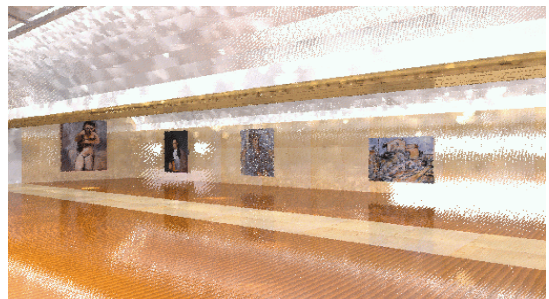


Fig. 23. Southwest side image (by findglare)

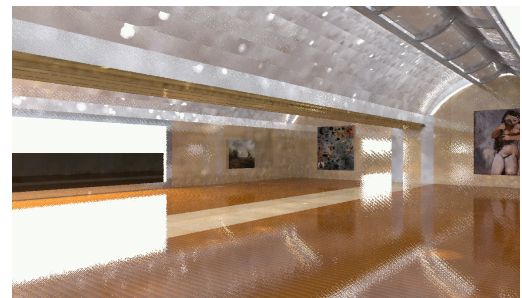


Fig. 24. Southeast side image (by findglare)

5. 결 론

본 연구에서는 전세계적으로 많은 사용자 그룹이 형성되어 있는 가시화 프로그램인 RADIANCE(양혜인 2000)를 이용하여 실제 존재하는 전시 공간인 김벨미술관을 대상으로, 전시공간에서 자연채광에 의한 조명 환경을 분석, 평가하고 그에 따른 설계 방법을 제시하고자 하였다. 시뮬레이션을 통하여 전시면내의 자연채광에 의한 조도와 휘도 분포 및 현황 현상을 조사하기 위해 다양한 천공상태를 고려하였으며, 이에 따라 청천공과 담천공 상태로 나누었다. 조도 분포는 각 방위별로 분석하였으며, 휘도 분포는 전시면에 각 지점을 정하여 분석하였다. 또한 현황 현상은 RADIANCE 프로그램의 FINDGLARE명령을 사용하여 분석하였다.

본 연구의 결론은 다음과 같다.

- 1) 조도차가 가장 큰 동쪽 중정에 의한 측창으로 부터의 직접광과 바닥 평균조도비는 1:2.3으로서 조도비 허용치인 1:3~1:5를 만족시켜서 순응에는 문제가 없는 것으로 판단되었다.
- 2) 동쪽 측창에 의한 몇몇 부분을 제외하고 실전반에 걸친 평균조도는 약 250lx 정도로서 전시공간의 조도기준치인 150~300lx를 만족시켰다.
- 3) 전시벽면과 전시면 사이의 휘도 차이는 거의 없었고 모두 설계 허용치인 1:2~1:3 이내임을 알 수 있었다.
- 4) 천장면의 확산광에 의한 전시면의 휘도분포는 대체로 큰 차이가 없이 일정하고 단조로운 느낌이 들 수 있다. 따라서 인공조명을 이용하여 전시물에 추가 강조해 줌으로써 해결 가능할 것이다.
- 5) 미술관이나 박물관에서는 유기물질로 된 전시작품에 직사일광이 유입되면 변색 또는 건조 등의 문제가 발생하기 때문에 전시공간 내 조명은 인공조명에만 의존하는 경우가 많지만, 김벨 미술관과 같이 완전히 확산된 적정량의 자연광을 실내로 유입시켜 전시공간을 디자인 할 경우 그러한 문제를 야기시키지 않고 풍부한 스펙트럼의 자연광으로 인해 좀 더 쾌적한 빛환경을 조성할 수 있음을 알 수 있었다.
- 6) 향후 RADIANCE와 같은 조명시뮬레이션 프로그램을 이용하여 설계단계의 전시공간을 가시화 함으로써 전시공간의 실제적인 공간감을 느낄 수 있을 뿐만 아니라, 조도와 휘도 분포를 정량적, 정성적으로 분석 및 평가함으로써 관람자들에게 좀더 쾌적한 빛환경을 제공할 수 있을 것으로 사료된다.

참고문헌

- 양혜인. 2000. RADIANCE프로그램에 의한 빛환경 설계 및 평가의 타당성 검증, 석사논문, 한양대학교
- 여인선 외. 1996. 조명전기설비학회지 기술교육자료, pp. 7~49.

- 한국표준협회. 1993. KS A 3011-1993, 조도기준, 송규동, 1998. "김벨미술관 - 빛과 공간의 조화," 대한건축학회지 42권 10호.
- Lehmbruck, M. 1995. 박물관 건축과 환경
- Larson, G.W. and R. Shakespeare. 1998. Rendering with Radiance, Morgan Kaufmann Publishers, Inc.
- Stein, B. and J.S. Reynolds, 1992. Mechanical and Electrical Equipment for Buildings, 8th Edition, John Wiley & Sons, Inc.