

## 제 5 장 인공조명에 대한 검증

### 5.1. 실제공간의 실내조명에 대한 검증

자연채광과 더불어 인공조명에 대한 RADIANCE 프로그램의 정확성을 검증하기 위하여 실제 사용되고 있는 실내 공간을 선정하고 공간에서의 인공조명하에서 실측에 의한 조도 및 휘도를 측정하였다. 측정 및 사진촬영이 행해진 대상실은 4.2. 실제공간에서의 측정에 의한 검증에서와 같은 실내 강의실을 선정하였다.

#### 5.1.1. 실험 개요 및 인공조명 조건

실제 재실자들이 사용하는 대상실에서 조도 및 휘도를 측정하고 RADIANCE 프로그램에 의한 계산값과 비교하여 검증을 행하였으며, 실제 공간에서 촬영한 사진과 RADIANCE에 의한 이미지 파일과 비교하여 가시화도 검증하였다.

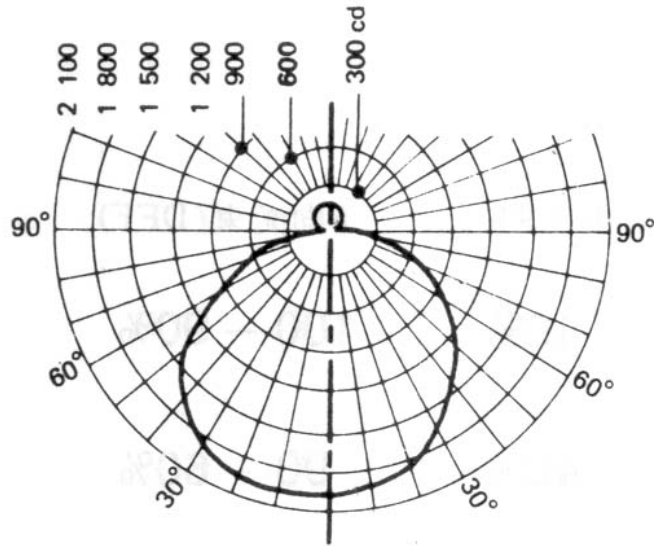
[그림 4.14]에서 보인것과 같이 대상실의 천장에는 40W 3m 형광등이 총 12대 설치되어 있고, 조명방식으로 하향식 직접조명방식에 의한 전반조명을 채택하고 있다. 측정은 형광등이 설치된 지점의 아래 작업면과 형광등 사이지점의 작업면에서 실시하였다. [표 5.1]은 실제 공간의 실내조명 실험에 사용된 측정기기를 보인 것이다. [그림 5.1]은 대상실의 야간시 모습이며, [그림 5.2]는 측정 대상실에 설치된 광원의 배광분포곡선이다(이경희, 1996).

[표 5.1] 실제 공간의 실내조명 실험에 사용된 측정기기

- 
- 모형 측정용 조도계 LI-210SA 1개
  - LI-COR 데이터로거 LI-1000 1대
  - 디지털 조도계 (Hioki 3422) 1대
  - 디지털 휘도계 (Minolta LS 110 1/3° ) 1대
-



[그림 5.1] 실내강의실의 야간시 모습



[그림 5.2] 측정대상 형광등의 배광 분포 곡선

### 5.1.2. RADIANCE 프로그램 시뮬레이션

야간 실내조명상태를 시뮬레이션하기 위한 입력은 앞서와 같이 실제 공간의 3차원 기하학 요소, 대상실에 사용된 재료특성, 그리고 대상조명을 모델링하기 위한 파일이 사용되었다.

실제의 공간과 동일한 3차원 기하학 요소를 만들기 위해 ACAD2000을 사용하여 CAD 파일로 작성하였으며, RADIANCE 프로그램과 같은 언어로의 변환을 위해 ACAD2RAD 명령을 사용하여 RAD 파일로 변환하였고, 대상실에 사용된 재료특성은 MAT 파일로 코딩하였다. 인공조명을 모델링하기 위해 그림 5.2의 측정대상실에 설치된 광원의 배광분포곡선으로부터 각도별 광도(cd)값을 RADIANCE 프로그램의 IES2RAD 명령의 매개변수값으로 입력하였다. IES2RAD 명령에 따라 생성된 \*.rad, 파일과 \*.dat 파일을 Octree 파일 생성을 위한 통합과정에서 같이 변환시켰다. 이상의 내용은 부록: RADIANCE 프로그램의 입력 데이터 부분에 수록하였다.

다음은 위의 설명한 파일들을 RADIANCE 프로그램의 명령을 통하여 통합하고, 이미지 파일을 만들고 변환하는 과정을 나타낸 것이며, 파일명은 임의로 정한 것이다.- 야간 실내조명상태의 일례

- **204.rad, 204.mat, ies44.rad lighting44.rad coding**  
입력파일 코딩과정
- **Oconv 204.mat ies44.rad 204.rad lighting44.rad > n44.oct**  
입력파일들을 Octree파일로 통합하는 과정
- **Rview -vp 7.0301 -5.2619 5 -vd 0 0 -1 -ab 10000 n44.oct**  
생성된 Octree 파일을 RVIEW 명령을 사용하여 관측점 관측방향등을 지정, 확인하는 과정
- **Rpict -vp 7.0301 -5.2619 5 -vd 0 0 -1 -ab 10000 -x 1024 -y 1024 n44.oct / | pfilt -e 2 > n44.pic**  
결정한 관측점, 방향과 이미지의 크기 및 밝기등을 지정하여 원하는 이미지 파일을 출력하는 과정
- **Ra\_gif n44.pic n44.gif**  
Unix 상태의 PIC 파일을 Window 상태의 GIF 파일로 변환하는 과정

### 5.1.3. 실내조도 및 휘도에 대한 검증

#### (1) 조도의 비교

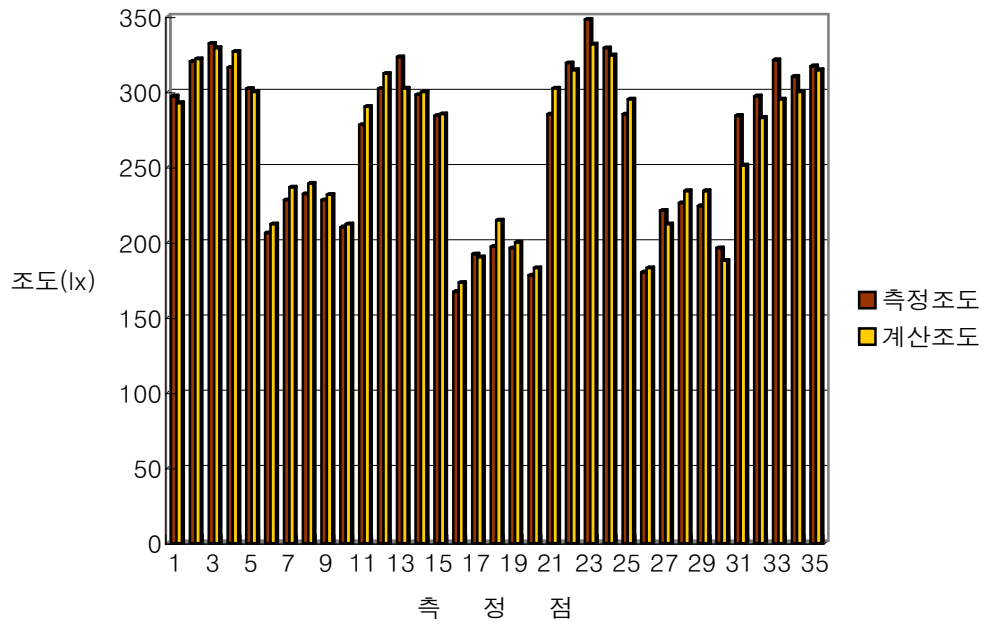
[표 5.2]는 야간시 측정조도와 계산조도의 비교값과 상대오차를 나타낸 것이다. 창측에 가까운 측정점 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31에서의 측정치의 평균조도는 242.43lx이고, 계산치의 평균은 243.42lx의 결과를 얻었으며, 상대오차는 0.41%이다. 또한 중앙부분의 측정점 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33에서의 측정치의 평균조도는 282.71lx이고, 계산치의 평균조도는 277.89lx의 결과를 얻었으며, 상대오차는 1.71%이다. 전체 평균상대 오차는 3.28%였다. [그림 5.3]는 각 측정점의 조도와 RADIANCE에 의해 계산된 조도를 비교하여 보인 것이다. 창측부분에 비하여 상대적으로 중앙부분의 형광등이 직접 반사되는 부분에서 오차가 높게 발생되었으며, 복도측과 창측부분의 유리에 반사된 부분에서도 높게 나타났다. [그림 5.4]은 RADIANCE 프로그램의 FALSE-COLOR 명령을 이용하여 조도분포를 등고선 형태의 가시화 이미지로 나타낸 것이다.

#### (2) 휘도의 비교

[표 5.3]은 야간시 측정휘도와 계산휘도의 비교값과 상대오차를 나타낸 것이다. 창측에 가까운 측정점 1, 6, 11, 16, 21, 26, 31에서의 측정치의 평균휘도는 9.35cd/m<sup>2</sup>이고, 계산치의 평균은 9.42cd/m<sup>2</sup>의 결과를 얻었으며, 상대오차는 0.75%이다. 또한 중앙부분의 측정점 3, 8, 13, 18, 23, 28, 33에서의 측정치의 평균휘도는 13.49cd/m<sup>2</sup>이고, 계산치의 평균휘도는 13.95cd/m<sup>2</sup>의 결과를 얻었으며, 상대오차는 3.35%이다. 전체 평균상대오차는 6.52%였다. [그림 5.5]는 각 측정점의 휘도와 RADIANCE에 의해 계산된 휘도를 비교하여 보인 것이다. 조도와 마찬가지로 창측부분에 비하여 상대적으로 중앙부분의 형광등이 직접 반사되는 부분에서 오차가 높게 발생되었으며, 복도측과 창측부분의 유리에 반사된 부분에서도 높게 나타났다. [그림 5.6]은 RADIANCE 프로그램의 FALSECOLOR 명령을 이용하여 휘도분포를 등고선 형태의 가시화 이미지로 나타낸 것이다.

[표 5.2] 측정조도와 계산조도의 비교표

지 정	측정조도(lx)	계산조도(lx)	상대오차(%)
1	297.00	292.52	1.51
2	320.00	321.77	0.55
3	332.00	329.09	0.88
4	316.00	326.65	3.37
5	302.00	299.83	0.72
6	206.00	212.08	2.95
7	228.00	236.45	3.71
8	232.00	238.89	2.97
9	228.00	231.58	1.57
10	210.00	212.08	0.99
11	278.00	290.08	4.35
12	302.00	312.02	3.32
13	323.00	302.27	6.42
14	298.00	299.83	0.62
15	284.00	285.21	0.42
16	167.00	173.07	3.64
17	192.00	190.14	0.97
18	197.00	214.51	8.89
19	196.00	199.89	1.98
20	178.00	182.83	2.71
21	285.00	302.27	6.06
22	319.00	314.46	1.42
23	348.00	331.52	4.73
24	329.00	324.21	1.46
25	285.00	294.96	3.49
26	180.00	182.83	1.57
27	221.00	212.08	4.04
28	226.00	234.02	3.55
29	224.00	234.02	4.47
30	196.00	187.70	4.23
31	284.00	251.08	11.59
32	297.00	282.77	4.79
33	321.00	294.96	8.11
34	310.00	299.83	3.28
35	317.00	314.46	0.80
상 대 오 차(%)			3.28



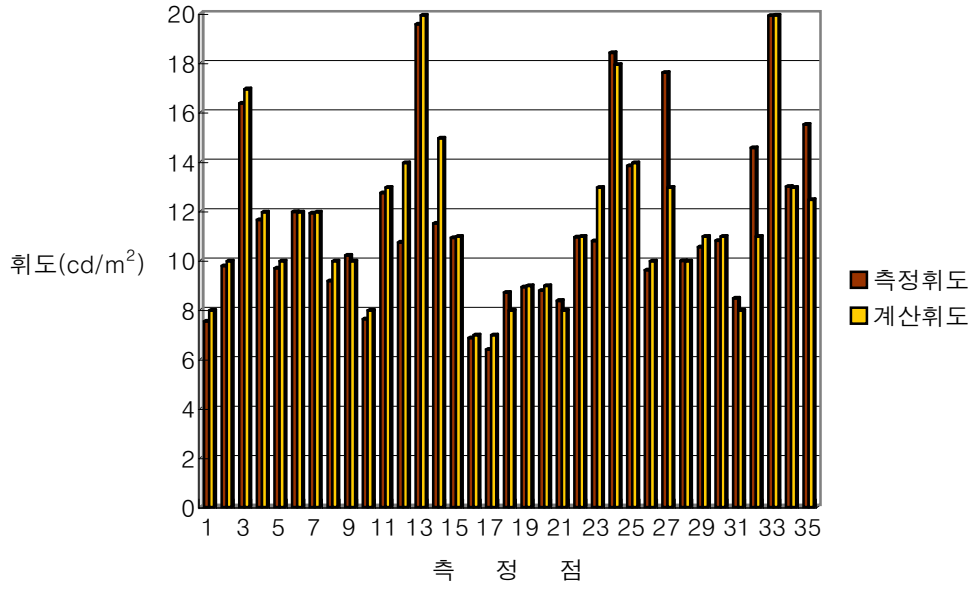
[그림 5.3] 야간 실내조명상태에서의 조도 비교 그래프



[그림 5.4] RADIANCE에 의한 야간 실내조명상태에서의 조도분포

[표 5.3] 측정휘도와 계산휘도의 비교표

모두 점등	측정휘도(cd/m <sup>2</sup> )	계산휘도(cd/m <sup>2</sup> )	상대오차(%)
1	7.53	7.97	5.80
2	9.77	9.96	1.93
3	16.35	16.93	3.54
4	11.63	11.95	2.75
5	9.68	9.96	2.88
6	11.96	11.95	0.08
7	11.90	11.95	0.42
8	9.16	9.96	8.72
9	10.19	9.96	2.27
10	7.61	7.97	4.69
11	12.72	12.95	1.78
12	10.72	13.94	30.05
13	19.56	19.92	1.82
14	11.49	14.94	30.01
15	10.91	10.95	0.41
16	6.85	6.97	1.77
17	6.38	6.97	9.26
18	8.69	7.97	8.32
19	8.91	8.96	0.59
20	8.77	8.96	2.20
21	8.36	7.97	4.70
22	10.93	10.95	0.22
23	10.78	12.95	20.09
24	18.40	17.93	2.58
25	13.83	13.94	0.81
26	9.60	9.96	3.73
27	17.60	12.95	26.44
28	9.98	9.96	0.22
29	10.53	10.95	4.03
30	10.79	10.95	1.52
31	8.46	7.97	5.83
32	14.55	10.95	24.71
33	19.91	19.92	0.03
34	12.98	12.95	0.26
35	15.50	12.45	19.69
상 대 오 차(%)			6.52



[그림 5.5] 야간 실내조명상태에서의 휘도 비교 그래프



[그림 5.6] RADIANCE에 의한 야간 실내조명상태에서의 휘도분포



#### 5.1.4. 가시화된 이미지 검증

[그림 5.7]과 [그림 5.8]은 각각 야간 실내조명 상태에서 사진 촬영된 이미지와 RADIANCE의 RPICT 명령에 의해 가시화된 이미지를 보인 것이다. 이미지에서 볼 수 있듯이 형광등에 의해 반사되는 벽부분과 칠판부분, 유리창이 잘 표현되고 있다.



[그림 5.7] 야간 실내조명 상태에서의 촬영사진 이미지



[그림 5.8] 야간 실내조명 상태에서의 RADIANCE 이미지

## 5.2. 실제건물의 야간경관조명에 대한 검증

실내 인공조명 뿐 아니라 외부 야간조명에 대한 검증을 통하여 다양한 조명들에 관한 모델링의 정확성을 검증하였다.

### 5.2.1. 대상 건물의 개요

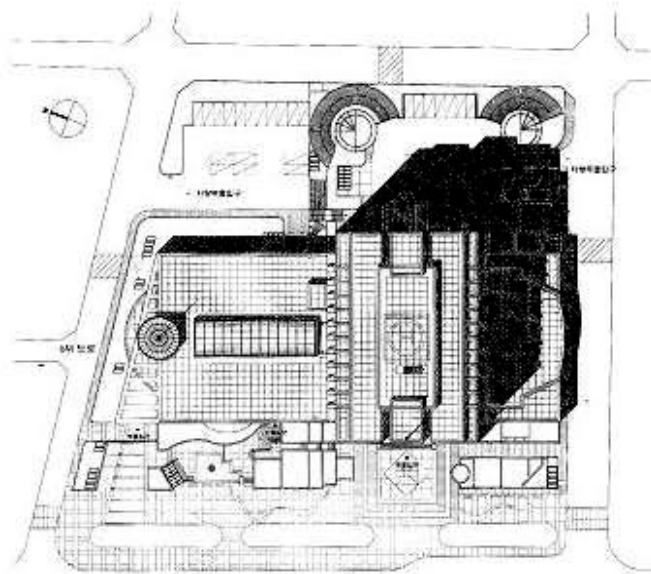
측정 및 사진 촬영이 행해진 대상건물은 한국담배인삼공사 서울지역본부사옥 (KOSMO Tower)이며, ㈜종합건축사사무소 건원에서 설계하였다. 이 건물은 서울시 건축상 야간 경관조명분야 금상수상 건물로 멀리서도 잘 보일 수 있도록 조도를 높은 조명을 사용하였으며, 좌우측 불규칙적인 표면을 응용하여 건물이 수직상승하는 듯한 발전지향적인 모습을 연출하였다. [표 5.4]는 대상건물의 개요를 나타낸 것이며, [그림 5.9]와 [그림 5.10]은 각각 대상건물의 전경과 배치도를 보인 것이다.

[표 5.4] 야간 경관 조명 대상건물의 개요

위 치	서울시 강남구 대치동
용 도	업무시설, 근린생활시설, 체육시설, 전시시설
대 지 면 적	9,548.60m <sup>2</sup>
건 축 면 적	3,854.42m <sup>2</sup>
연 면 적	71,276.94m <sup>2</sup>
건 폐 율	40.37%
용 적 율	355.58%
지 상 연 면 적	33,952.90m <sup>2</sup>
층 수	지상 20층, 지하 6층
구 조	철골, 철근콘크리트조



[그림 5.9] KOSMO Tower의 전경



[그림 5.10] KOSMO Tower의 배치도

### 5.2.2. 실험 개요 및 조건

대상실에서의 야간경관조명에 따른 휘도분포를 측정하기 위해 야간시 경관조명 점증상태에서 휘도를 측정하였다. 휘도측정부분은 각각 조명기구가 설치된 부분을 기준으로 하였고, 그에 따라 좌우측 벽체 모서리부분, 전면 창측 부분, 상부 나트륨 등 사용부분으로 나누어 시행하였다. 실험은 각각의 측정점에서 휘도를 측정하였고, 대상실 외부표면에 사용된 재료들의 반사율을 측정하였다. 앞에서와 같이 반사율 측정에는 휘도 측정시 Minolta Ls-110을 사용하였고, 표면 조도 측정시에는 SEKONIC Model 264 HandyLumi를 사용하였다. [표 5.5]는 대상건물의 외부에 사용된 주요 마감재 및 광학적 특성을 보인 것이다.

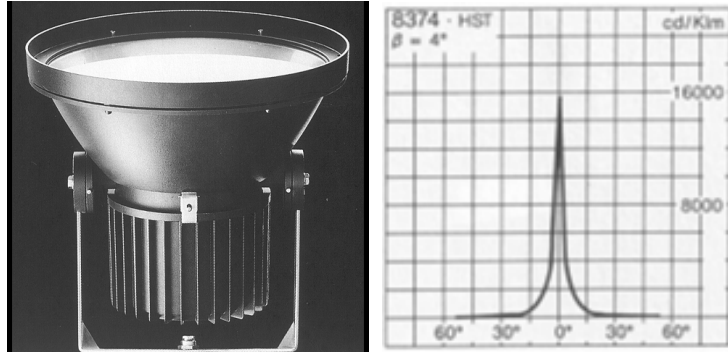
[표 5.5] KOSMO Tower의 주요 외부 마감재 및 광학적 특성

항목	재료	반사율 또는 투과율
주요 외부 마감재	화강석 버너구이	84.39
유리창	THK 24mm 파스텔 복층유리	96(청색 투과율)

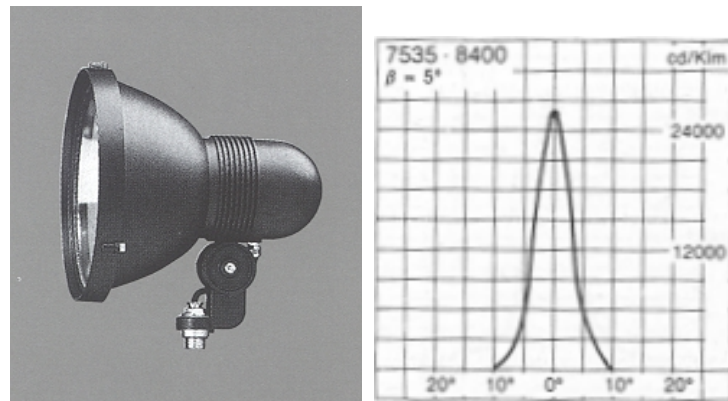
대상물에 사용된 주요 조명기구는 벽체와 전면조명으로 백색광(3500K)을 발하는 메탈할라이드가 사용되었고 상부조명으로 황색광(2100K)의 고압나트륨등이 사용되었다. [표 5.6]는 대상물에 사용된 조명기구의 개요를 보인 것이며, [그림 5.11], [그림 5.12], [그림 5.13]는 조명기구 각각의 형태와 배광곡선을 보인 것이다(BEGA, 1994). 메탈할라이드의 경우에는 주위로 퍼지지 않고 곧게 나가는 스포트라이트 형태(narrow beam)가 사용되었고, 고압나트륨등의 경우에는 일반적인 와이드(wide beam) 형태가 사용되었다.

[표 5.6] KOSMO Tower의 조명기구 개요

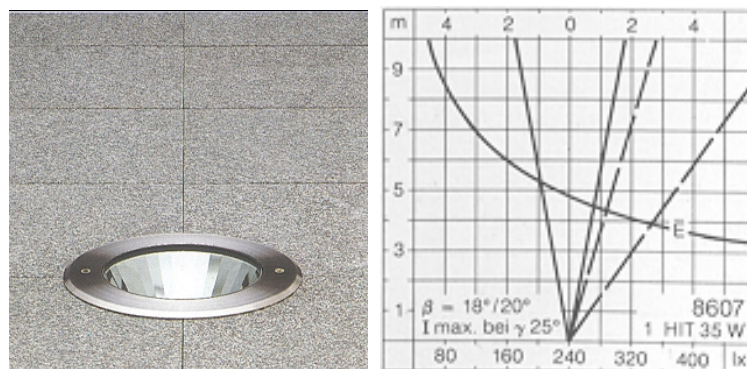
벽체 주요 조명	Coated Metal Halide 400W
전면 창측 조명	Coated Metal Halide 175W
상부 조명	HPS Lamp 100W



[그림 5.11] 벽체 메탈할라이드의 형태와 배광곡선



[그림 5.12] 창측 메탈할라이드의 형태와 배광곡선



[그림 5.13] 고압나트륨등의 형태와 배광곡선

### 5.2.3. RADIANCE 프로그램 시뮬레이션

야간 경관조명상태를 시뮬레이션하기 위한 입력은 앞에서와 같이 야간 경관조명 대상건물의 외부 3차원 기하학 요소, 대상건물에 사용된 재료특성, 그리고 대상조명을 모델링하기 위한 파일이 사용되었다. 실제의 공간과 동일한 3차원 기하학 요소를 만들기 위해 ACAD2000을 사용하여 CAD 파일로 작성하였으며, RADIANCE 프로그램과 같은 언어로의 변환을 위해 ACAD2RAD 명령을 사용하여 RAD 파일로 변환하였고, 대상건물에 사용된 재료특성은 MAT 파일로 코딩하였다. 인공조명을 모델링하기 위해 [그림 5.11], [그림 5.12], [그림 5.13]의 측정대상실에 설치된 광원의 배광분포곡선으로부터 각도별 광도(cd)값을 RADIANCE 프로그램의 IES2RAD 명령의 매개변수값으로 입력하였다. IES2RAD 명령에 따라 생성된 \*.rad, 파일과 \*.dat 파일을 Octree 파일 생성을 위한 통합과정에서 같이 변환시켰다. 이상의 내용은 부록: RADIANCE 프로그램의 입력 데이터 부분에 수록하였다.

다음은 위의 설명한 파일들을 RADIANCE 프로그램의 명령을 통하여 통합하고, 이미지 파일을 만들고 변환하는 과정을 나타낸 것이다.- 야간 경관조명상태의 일례

- **kosmo.rad, kosmo.mat, 8337.rad 8607.rad, lighting.rad, coding**  
입력파일 코딩과정
- **Oconv kosmo.mat kosmo.rad 8337.rad 8607.rad lighting.rad > n44.oct**  
입력파일들을 Octree파일로 통합하는 과정
- **Rview -vp -100 -100 100 -vd 1000 1000 -100 -ab 10000 kosmo.oct**  
생성된 Octree 파일을 RVIEW 명령을 사용하여 관측점 관측방향등을 지정, 확인하는 과정
- **Rpict -vp -100 -100 100 -vd 1000 1000 -100 -ab 10000 -x 1024 -y 1024 kosmo.oct | pfilt -e 2 > kosmo.pic**  
결정한 관측점, 방향과 이미지의 크기 및 밝기등을 지정하여 원하는 이미지 파일을 출력하는 과정
- **Ra\_gif n44.pic n44.gif**  
Unix 상태의 PIC 파일을 Window 상태의 GIF 파일로 변환하는 과정

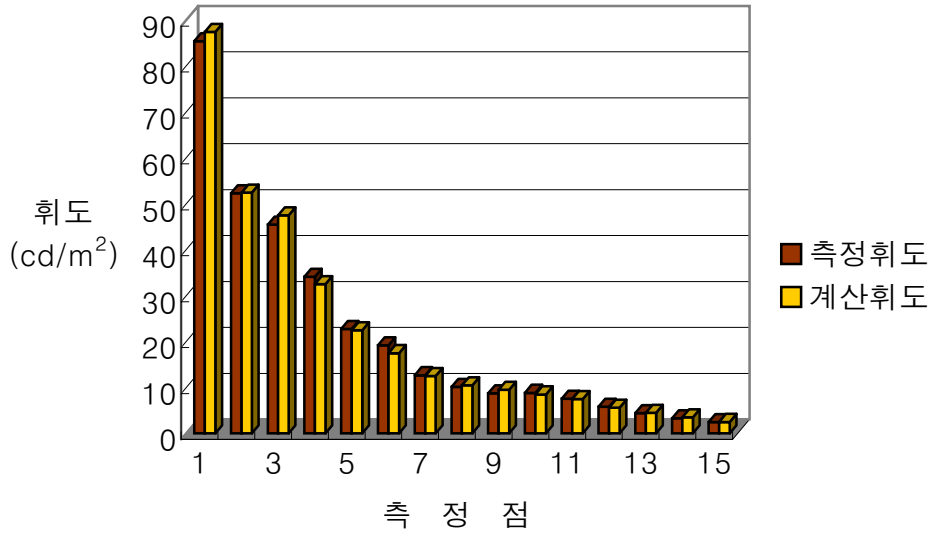
#### 5.2.4. 건물외부 휘도 분포의 검증

[표 5.7]은 야간시 경관조명의 측정휘도와 계산휘도의 비교값과 상대오차를 나타낸 것이다. 전면 창측면 측정점에서의 측정치의 평균휘도는 55.61cd/m<sup>2</sup>이고, 계산치의 평균은 53.54cd/m<sup>2</sup>의 결과를 얻었으며, 상대오차는 3.72%이다. 또한 상부 고압나트륨등 사용부분 측정점에서의 측정치의 평균휘도는 86.2cd/m<sup>2</sup>이고, 계산치의 평균휘도는 91.5cd/m<sup>2</sup>의 결과를 얻었으며, 상대오차는 6.15%이다. 좌우측 벽체 메탈할라이드 사용부분 측정점 중 최하부에서의 측정치의 평균휘도는 85.38cd/m<sup>2</sup>이고, 계산치의 평균휘도는 87.41cd/m<sup>2</sup>의 결과를 얻었으며, 상대오차는 2.37%였다. 역시 같은 부분 측정점 중 최상부에서의 측정치의 평균휘도는 2.47cd/m<sup>2</sup>이고, 계산치의 평균휘도는 2.50cd/m<sup>2</sup>의 결과를 얻었으며, 상대오차는 1.11%였다. 전체 상대오차는 3.49%였다. 야간시의 외부 경관조명 실험시의 오차로는 주위의 차량등과 가로등에 따른 휘도의 영향을 생각할 수 있으며, 실제 점등된 개개의 사무실의 전등의 휘도는 고려하지 않았다. [그림 5.14]는 좌우측 벽체부분 측정점의 휘도와 RADIANCE에 의해 계산된 휘도를 비교하여 보인 것이다. [그림 5.15]는 RADIANCE 프로그램의 FALSECOLOR 명령을 이용하여 휘도분포를 등고선 형태의 가시화 이미지로 나타낸 것이다

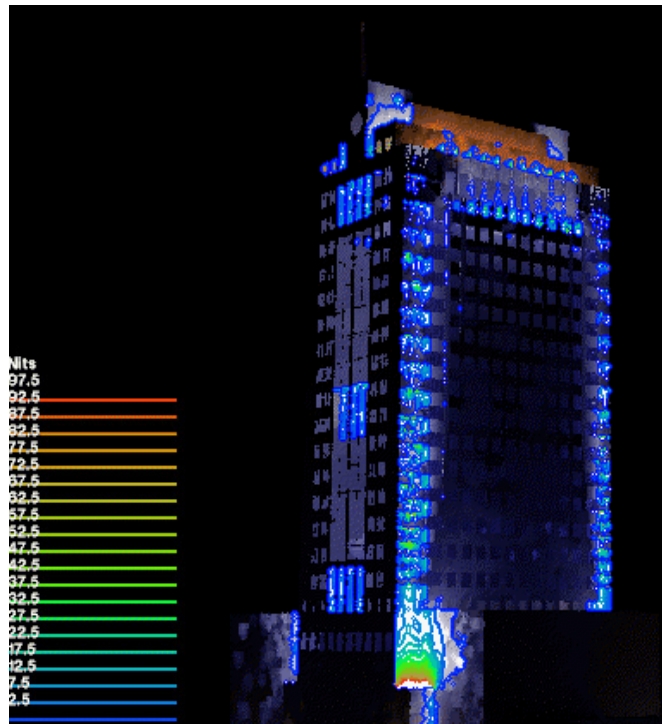
[표 5.7] 측정휘도와 계산휘도의 비교표

측정위치	휘도(cd/m <sup>2</sup> )		상대오차(%)	
	측정치의 평균	계산치의 평균		
전면창측부분	55.61	53.54	3.72	
상부 나트륨등 사용부분	86.2	91.5	6.15	
벽체 부분	최하부	85.38	87.41	2.37
	최상부	2.47	2.50	1.11
	전체상대오차(%)		3.49	





[그림 5.14] 야간 경관조명상태에서의 벽체 휘도 비교 그래프

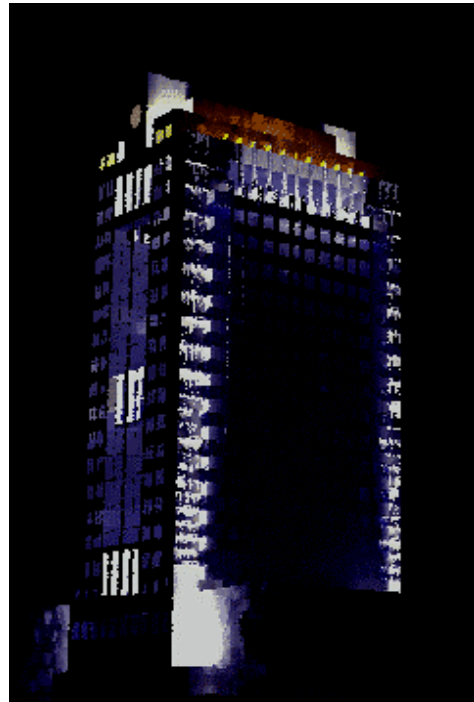


[그림 5.15] RADIANCE에 의한 야간 경관조명상태에서의 휘도분포



### 5.2.5. 가시화된 이미지 검증

[그림 5.16]과 [그림 5.17]은 각각 야간 경관조명 상태에서 사진 촬영된 이미지와 RADIANCE의 RPICT 명령에 의해 가시화된 이미지를 보인 것이다. 이미지에서 볼 수 있듯이 상부 나트륨등의 색과 대상건물의 특징이라고 할 수 있는 벽체 좌우측의 상승이미지를 잘 표현하고 있음을 볼 수 있다.



[그림 5.16] 야간 경관조명 상태에서의 촬영사진 이미지(좌)

[그림 5.17] 야간 경관조명 상태에서의 RADIANCE 이미지(우)