

사무공간의 조명성능 평가에 관한 연구

(A Study on the Evaluation of Lighting Performance in an Office Space)

김한성* · 김영민 · 김강수

(Han - Seong Kim · Young - Min Kim · Kang - Soo Kim)

요 약

본 연구는 워크스테이션에서 조명방식에 따른 시환경평가를 목적으로 하고 있다. 성능평가를 위해 Radiance프로그램을 통한 시뮬레이션과 Mock-up실(15.0×11.6×3m)에서의 간접조명 실험을 통하여 사무소 건물의 조명방식에 따른 성능평가자료를 제시하고자 하였다.

본 연구의 결과는 다음과 같다: 1) 대상공간에서 작업면 조도를 살펴보면 첫째, 모든 반사율에서 파티션이 높아 질수록 조도비는 낮은 값을 보였다. 둘째, 직접 양측배치방식에서 가장 높은 조도비를 보였으며 직접 중앙배치방식에서 가장 낮은 조도비를 나타냈다. 셋째, 간접조명방식에서 조명의 배치에 대한 영향도가 직접조명방식보다 50% 정도 낮게 나타났다. 2) 대상공간에서 균제도를 평가할 때 첫째, 모든 반사율에 대하여 조도비와 마찬가지로 파티션이 높아지면 균제도는 낮아졌다, 둘째, 간접 양측배치방식에서 가장 높은 균제도를 보였으며 직접 중앙배치방식에서 가장 낮은 균제도를 나타내었다. 셋째, 조명배치에 따른 균제도 범위를 보면 직접조명방식에서 22.5%, 간접조명방식에서 11.5%의 차를 보여 간접조명방식의 경우 조명배열에 대한 영향도가 적음을 알 수 있었다.

Abstract

The purpose of this study was to provide visual evaluation data in a workstation space when different lighting types were applied. For the performance evaluation, Radiance program was used for simulations, and the mock-up room(15.0x11.6x3m) was used for the actual test.

The results of this study were as follows; 1) When the indirect lighting simulation data using Radiance was compared with the actual data in a small workstation space, there was a 6.5% difference. Therefore, Radiance program was proved to be useful for the evaluation of lighting performance. 2) Higher light levels (higher light ratio (%)) were recorded in the straddled layout and lower light levels (lower light ratio (%)) were recorded in the centered layout condition in most cases. 3) Also, the results show that the indirect luminaires and the straddled layouts provide higher uniformity, whereas the direct luminaires and the centered layouts have lower uniformity.

Key Words : Workstation, Workplace Illuminance, Illuminance Uniformity, Radiance

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

* 주저자 : 고려대 대학원 박사과정
Tel : 02-3290-3744, Fax : 02-921-7947
E-mail : khs86@lycos.co.kr
접수일자 : 2003년 7월 18일
1차심사 : 2003년 7월 25일
심사완료 : 2003년 8월 8일

최근 오피스들이 오픈 플랜의 사무공간을 채택하고 있으며 워크스테이션의 사용이 보편화되고 있으나 인공조명의 설계에서 책상 및 가구의 고려는 미흡하다. 또한 현재 추구하고 있는 인텔리전트 사무공간에서 파티션과 VDT의 사용이 보편적으로 되고 있어 워크스테이션공간에서의 조명환경에 대한 고려가 매우 필요하다.

작업자들은 하루 대부분의 시간이 책상에서의 작업으로 이루어지므로 워크스테이션 책상면의 작업 환경이 중요한 변수로 취급되어야 한다. 부적절한 시환경의 유발은 시각적 불편감을 야기함과 동시에 작업의 능률을 저하시키는 원인이 된다. 따라서 훌륭한 작업환경을 창출할 수 있는 조명환경의 연구가 절실히 필요한 실정이다.

본 연구에서는 사무공간의 워크스테이션을 모델로 설정하여 컴퓨터 프로그램에 의한 인공조명 시뮬레이션을 실시하고 조명방식에 따른 작업면 조도 및 균제도를 분석함으로써 사무공간의 조명환경 자료를 제시하고자 하였다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구에서는 워크스테이션 사무공간에서 조명 방식에 따른 조명 환경을 평가하기 위하여 미국립 로렌스 버클리 연구소에서 개발한 RADIANCE 프로그램을 이용하였다. 연구방법으로 우선 현재 조명 기구가 설치되어 있는 실제 사례공간에 대하여 실측 및 시뮬레이션 자료를 비교하여 시뮬레이션의 오차 범위를 평가하고, 선정된 워크스테이션 모델에 대하여 조명방식에 따른 조도 및 균제도를 평가하였다.

2. 연구의 이론적 배경

2.1 사무공간의 기준조도

사무공간의 기준조도¹⁾는 표 1과 같다.

표 1. 작업면 기준조도
Table 1. Illuminance standard

장 소	조도범위(lux)	조명방법	
사 무 실	VDT사무실	150-200-300	작업면 조명
	일반사무실	300-400-600	
	시청각실	150-200-300	
	회 의 실	150-200-300	
	서비스 공간	60-100-150	

2.2 조도의 균제도

조도의 균제도는 작업면상에 있어서 최소 조도에 대한 평균조도의 비(최소/평균)를 말한다.

조명 · 전기설비학의논문지 제17권 제6호, 2003년 11월

CIBSE (Chartered Institution of Building Services Engineers)의 조도기준에서는 이값을 0.8 이상으로 권장하고 있는데, 통상적으로 최대조도에 대한 최소조도의 값(최소/최대)이 0.7 이상일 경우에 권장기준을 만족시킬 수 있다.

3. 실제 사례공간에서의 조명 평가

3.1 조명선정

사례공간에서 사전평가를 위하여 K연구소 실험실 그림 1에 설치되어있는 간접조명(EZM 2-2, 32W ×2개)을 선정하였다. 이는 실측을 토대로 시뮬레이션 값을 사전에 비교하여 프로그램에서 조명의 정확한 Input을 확인하고자 한 것이다.

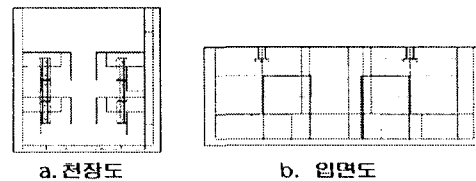


그림 1. K 연구소 실험실
Fig. 1. Laboratory of K research institute

3.2 조명 Data Input

우선 선정한 등기구의 배광곡선(그림 2)을 확인하고 각도별 광도를 파악한 후 Radiance Program에서 조명 Data로 이용하여 시뮬레이션을 실시하였다. 이는 조명의 효율에 따라서 시뮬레이션 결과값이 차이를 보이기 때문에 보다 정확한 값이 필요하였다.

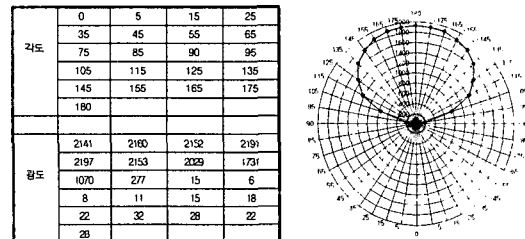


그림 2. 조명기구의 각도별 광도 및 배광곡선
Fig. 2. Intensity of light and photometric distribution by lighting angle

3.3 시뮬레이션 조명 Input

3.3.1 간접조명방식

- Modeling
 - 실크기 : 5.5 × 8 × 2.7m
 - 반사율 : 천장 80%, 벽 80%, 바닥 40%, 파티션 50%, 창 11%
 - 투과율 : 파티션 유리 50%
 - 조명 : 간접조명(EZM 2-2, 32W, 4400lm)
 - 조명밀도부하 : 8.7[W/m²]

• 실측 및 시뮬레이션 비교

간접조명방식에서는 빛이 천장면에 반사되어 비추어지므로 천장면 조도값에 대한 평가가 중요하다. 따라서 천장에 조도센서를 설정하여 각 지점별 조도를 비교하였다 (그림 3-a).

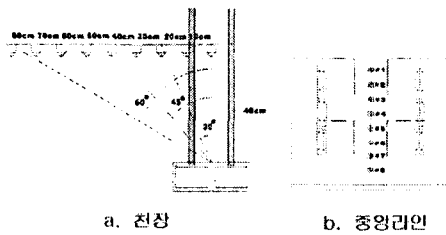


그림 3. 센서의 위치
Fig. 3. Sensor location

그림 4에 나타난 결과를 살펴보면 0cm와 80cm에서 5.7%, 8.6%의 오차율을 보였으며 다른 측정점에서는 5%미만의 낮은 오차율을 보였다. 전체오차율을 살펴보면 2.9%로 근사한 값을 보임을 알 수 있었다.

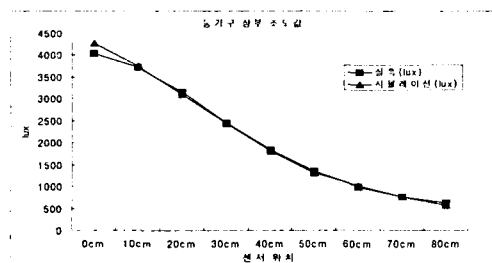


그림 4. 천장 조도값의 비교
Fig. 4. Comparison of ceiling illuminance level

두 번째로 작업면 높이에서 중앙 복도를 따라 0.6m 간격으로 8 포인트에서 조도를 측정하였다 (그림 3-b).

평균 조도값을 살펴보면 실측값은 211[lux]로 나타났으며, 시뮬레이션 결과는 207.5[lux]를 보였다.

따라서 평균조도값의 오차율을 살펴보면 그림 5에서 알 수 있듯이 1.7%로 나타나 천장에서의 조도를 측정한 결과값과 같이 유사한 값을 보였다.

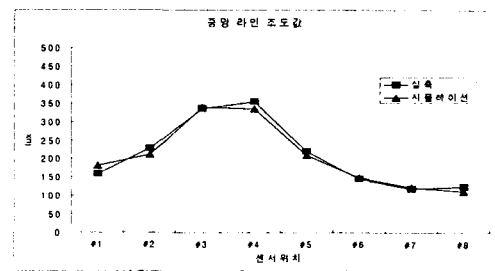


그림 5. 중앙라인 조도값의 비교
Fig. 5. Comparison of center line illuminance level

두 경우의 실측 및 시뮬레이션 결과를 비교해 보았을 때 조명 상부(천장조도값)와 중앙 라인에 대한 오차율은 상당히 낮은 2.9%, 1.7%를 보여 Radiance 프로그램 결과의 유사성이 검증되었다.

4. 워크스테이션 대상공간 시뮬레이션

4.1 대상공간 Modeling

- Modeling
 - 실크기 : 15×11.6m (그림 6)
 - 워크스테이션 : 4인 기준 (3.6×3.8m)
 - 반사율 : 천장 80%, 벽 50%, 바닥 20%
 - 조도 측정점 : 3×6 point, 0.2×0.2m 간격 (그림 7)
 - 책상, 의자, 사람 모두 고려하여 시뮬레이션에 적용

• 시뮬레이션 변수

- 조명방식 : 직접조명(IES 35, 32W, 4400lm)
간접조명(EZM 2-2, 32W, 4400lm) (그림 8)

- 조명 배치 방식 :
 - 중앙배치방식 (Centered layout:C)
 - 양측배치방식 (Straddled layout:S)
 - (그림 9)
- Partition 높이 : 0m, 1.25m, 1.50m, 1.75m
- Partition 반사율 : 20%, 60%

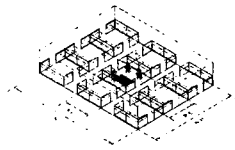


그림 6. 대상 워크스테이션 조감도
Fig. 6. Workstation space

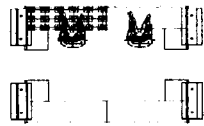


그림 7. 작업면 조도의 측정점
Fig. 7. Measurement point of work plane

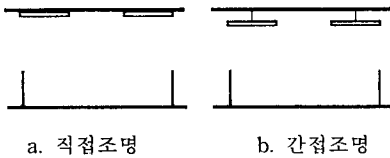


그림 8. 조명방식(단면)
Fig. 8. Lighting type(section)

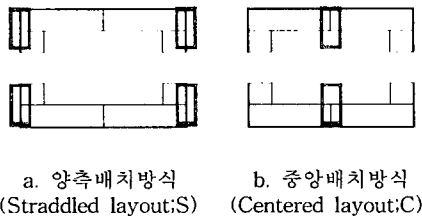


그림 9. 조명배치(평면)
Fig. 9. Lighting layout(plan)

4.2 작업면 조도 평가

일반적인 사무공간에서 보편적으로 나타날 수 있는 워크스테이션에서의 작업면의 조도를 평가하기 위하여 대상공간을 모델링한 후 시뮬레이션 변수를 적용하여 시뮬레이션 하였다. 대상공간의 조명은 총 30개로 배치하였다.

워크스테이션은 일반적으로 사용되고 있는 배향식을 적용하였다. 그리고 책상의 형태를 T자형으로 설정하였으며 하나의 파티션의 공간에는 4개의 책상을 배치시켜 4인이 사용할 수 있는 공간을 적용하였으며 크기는 3.6 × 3.8m로 모델링 하였다. 조도는 그림 7과 같이 한쪽면의 책상 1개를 0.2 × 0.2m 간격으로 18포인트를 잡아 측정하였다. 시뮬레이션 결과는 파티션이 없을 경우(조도비 100%)에 대한 비율로 각각의 변수에 따른 경우의 결과를 조도비(%)로 나타냈다.

파티션이 없는 경우 워크스테이션 공간의 평균조도는 직접 양측배치방식은 612[lx], 직접 중앙배치방식에서 603[lx]를 보였으며, 간접 양측배치방식은 399[lx], 간접 중앙배치방식에서 398[lx]를 보였다. 따라서 파티션이 없을 경우 조명배치에 대하여 조도는 큰 차이를 보이지 않았다.

파티션 높이에 따른 조도비(%)는 반사율이 20% (그림 10)일 때 첫째, 1.25m 에서 68.7~76.9%, 1.50m 에서 62.3~67.0%를, 1.75m 에서 56.0~62.8%를 보여 파티션이 높아질수록 전반적으로 조도비가 낮게 나타났다. 둘째, 1.25m 에서는 간접 양측배치방식이 76.9%로서 가장 높은 조도비를, 1.50m, 1.75m 에서는 직접 양측배치가 67.0%, 62.8%로서 가장 높은 조도비(%)를 나타내었으며, 직접 중앙배치에서 평균 62.3%로 가장 낮은 조도비를 나타내었다. 셋째, 조명배치에 따른 조도범위를 비교해 보면 직접조명은 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 5.2%의 조도값의 차를 보였으며 간접조명에서는 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 3.2%의 차를 보였다.

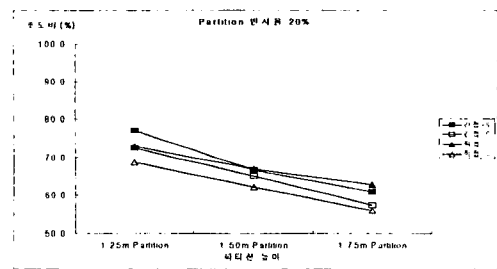


그림 10. 파티션 반사율 20%일 때의 조도비(%)
Fig. 10. Illuminance ratio(%) with 20% of partition reflectance

사무공간의 조명성능 평가에 관한 연구

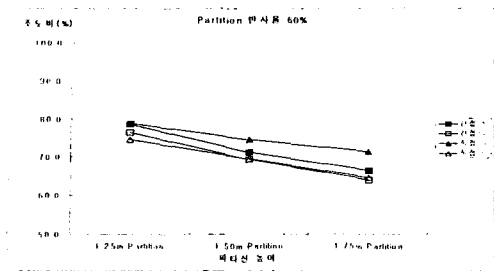


그림 11. 파티션 반사율 60%일 때의 조도비(%)
Fig. 11. Illuminance ratio(%) with 60% of partition reflectance

반사율이 60%(그림 11)일 경우를 살펴보면 1.25m에서 74.5~78.9%, 1.50m에서 69.3~74.5%를, 1.75m에서 64.1~71.4%를 보여 파티션이 높아질수록 조도비는 낮은 값을 보였다. 둘째, 평균적으로 직접 양측 배치방식에서 74.9%로 가장 높은 조도비(%)를, 직접 중앙배치방식에서 69.5%로 가장 낮은 조도를 나타냈다. 셋째, 조명배치에 따른 조도범위를 비교해 보면 직접조명은 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 5.4%의 조도값의 차를 보였으며 간접조명에서는 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 2.1%의 차를 보였다.

따라서 결과를 종합해 보면 첫째, 모든 반사율에서 파티션이 높아질수록 조도비는 낮은 값을 보였다. 둘째, 평균적으로 직접 양측배치방식에서 평균 71.2%으로 가장 높은 조도비를 보였으며 직접 중앙배치방식에서 평균 65.9%로 가장 낮은 조도비를 나타냈다. 따라서, 파티션이 높아질수록 직접 양측배치방식에서 가장 높은 조도값을 나타내었다.

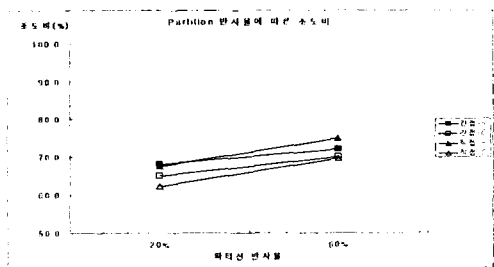


그림 12. 파티션 반사율에 따른 조도비(%)
Fig. 12. Illuminance ratio(%) with different partition reflectance

셋째, 간접조명방식에서 조명의 배치에 따른 변화의 폭이 직접조명방식보다 50% 정도 적게 나타남으로써, 간접조명에서 배치에 대한 영향을 적게 받았다. 또한 그림 12에서와 같이 파티션의 반사율이 높아짐에 따라 조도비는 비례적으로 증가함을 보였다.

4.3 작업면 균제도 평가

작업면의 균제도를 평가하기 위해서 조도 측정점은 위와 동일한 지점에서 측정하였으며 최소/평균값으로 나타냄으로서 변수에 대한 영향도를 확인하고자 하였다.

먼저 파티션이 없을 경우 균제도를 살펴보면 직접 양측배치방식에서 0.87를, 직접 중앙배치방식에서 0.84을 보였다. 간접 양측배치방식에서 0.95를, 간접 중앙배치방식에서 0.95를 보였다.

파티션의 반사율 변화에 따른 균제도는 반사율 20%(그림 13)일 때 첫째, 1.25m에서 0.59~0.85를, 1.50m에서 0.58~0.78를, 1.75m에서 0.55~0.74%를 나타내어 조도비와 마찬가지로 파티션이 높아질수록 균제도가 낮아지었다. 둘째, 간접 양측배치방식에서 0.79로 가장 높은 균제도를, 직접 중앙배치방식에서 0.57로 가장 낮은 균제도를 보였다. 셋째, 조명배치에 따른 균제도 범위를 비교해 보면 직접조명은 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 26%정도의 차를 보였으며 간접조명에서는 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 약 14%의 차를 보였다.

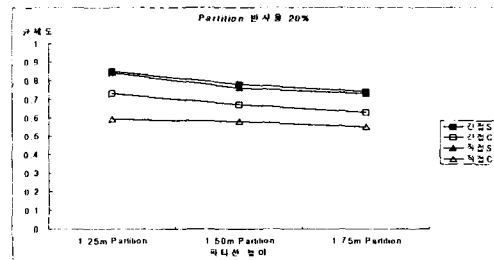


그림 13. 파티션 반사율 20%일 때의 균제도
Fig. 13. Illuminance uniformity with 20% of partition reflectance

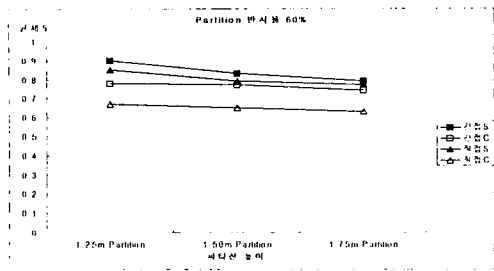


그림 14. 파티션 반사율 60%일 때의 균제도
Fig. 14. Illuminance uniformity with 60% of partition reflectance

파티션의 반사율이 60%(그림 14)일 경우 첫째, 1.25m 에서 0.67~0.90을, 1.50m 에서 0.65~0.83을, 1.75m 에서 0.63~0.79를 나타내어 앞의 경우와 동일하게 파티션이 높아질수록 균제도는 낮아지었다. 둘째, 간접 양측배치방식에서 0.84로 가장 높은 균제도를, 직접 중앙배치방식에서 0.65로 가장 낮은 균제도를 보였다. 셋째, 조명배치에 따른 균제도 범위를 비교해 보면 직접조명은 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 19%정도의 차를 보였으며 간접조명에서는 양측배치방식과 중앙배치방식사이에서 약 9%의 차를 보였다.

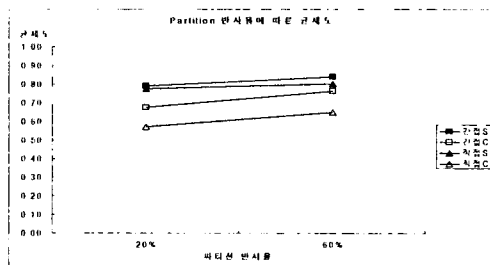


그림 15. 파티션 반사율에 따른 균제도
Fig. 15. Illuminance uniformity with different partition reflectance

따라서 결과를 종합해 보면 첫째, 모든 반사율에 대하여 조도비와 마찬가지로 파티션이 높아지면 균제도는 낮아졌다, 둘째, 간접 양측배치방식에서 평균 0.82로 가장높은 균제도를 보였으며 직접 중앙배치방식에서 0.61로 가장 낮은 균제도를 나타내었다. 셋째, 조명배치에 따른 균제도 범위를 보면 직접

조명방식에서 22.5%, 간접조명방식에서 11.5%의 차를 보여 간접조명방식의 경우 조명배치에 따른 변화의 폭이 적음을 알 수 있었다. 넷째, 양측배치방식에서 중앙배치방식보다 높은 균제도를 나타내었다. 또한 그림 15에서의와 같이 파티션의 반사율이 높아짐에 따라 균제도는 조도비의 결과와 마찬가지로 비례적으로 증가함을 보였다.

5. 결론

워크스테이션의 균질한 조도를 확보하기 위한 시뮬레이션 결과는 다음과 같다.

- 1) 대상공간에서 작업면 조도를 살펴보면 첫째, 모든 반사율에서 파티션이 높아질수록 조도비는 낮은 값을 보였다. 둘째, 파티션이 높아질수록 직접 양측배치방식에서 가장 높은 조도값을 나타내었다. 셋째, 간접조명방식에서 조명의 배치에 따른 변화의 폭이 직접조명방식보다 50% 정도 적게 나타내었다. 또한 파티션의 반사율이 높아짐에 따라 조도비(%)가 비례적으로 증가함을 알 수 있었다.
- 2) 대상공간에서 균제도를 평가할 때 첫째, 모든 반사율에 대하여 조도비와 마찬가지로 파티션이 높아지면 균제도는 낮아졌다, 둘째, 간접 양측배치방식에서 평균 0.82로 가장높은 균제도를 보였으며 직접 중앙배치방식에서 0.61로 가장 낮은 균제도를 나타내었다. 셋째, 조명배치에 따른 균제도 범위를 보면 직접조명방식에서 22.5%, 간접조명방식에서 11.5%의 차를 보여 간접조명방식의 경우 조명배열에 따른 변화의 폭이 적음을 알 수 있었다. 넷째, 양측배치방식에서 중앙배치방식보다 높은 균제도를 나타내었다. 또한 파티션의 반사율이 높아질수록 균제도는 조도비와 마찬가지로 비례적으로 높아지었다.

따라서 본 연구의 결과를 토대로 워크스테이션 사무공간의 균제도 향상 방안으로 간접조명방식의 양측배치방식이 최대한 많은 워크스테이션이 적용될 수 있도록 구성하며, 파티션의 높이는 낮으며, 파티션 반사율은 높은 것을 적용함으로써 작업환경이 쾌적화 될 수 있다고 판단된다.

- 감사의 글 -

본 연구는 2002년도 건설교통부 산학연 공동연구개발사업의 연구비 지원으로 수행되었습니다.

References

- [1] 건축환경학, 김강수의, 문운당, 2003.
- [2] IES Lighting Handbook.
- [3] ADELIN 2.0, Tutorial, IES.
- [4] Francis Rubinstein, Steve Johnson, Advanced Lighting Program Development, LBNL-41679, 1998.
- [5] M. Moeck, E.S.Lee, R.Sullivan, Visual Quality Assessment of Electrochromic and Conventional Glazing, LBNL-39471, 1996.
- [6] A.S. Choi, R.C. Mistrick, A Study of Lighting System Performance in Partitioned Space, Journal of IES, 1995.
- [7] Cary R. Steffy, Architectural Lighting Design, 2nd ed, 2000.

◇ 저자소개 ◇

김한성 (金翰成)

1966년 8월 18일생. 1990년 연세대학교 건축공학과 졸업(학사). 1994년 동 대학원 졸업(석사). 현재 고려대 건축공학과 박사과정.

김영민 (金永敏)

1974년 6월 20일생. 2002년 고려대학교 건축공학과 졸업(학사). 현재 고려대학교 건축공학과 석사과정.

김강수 (金岡秀)

1954년 11월 17일생. 1981년 고려대학교 건축공학과 졸업(학사). 1983년 미국 Ball State University, Indiana 졸업(석사). 1987년 미국 Texas A&M University 졸업(박사). 현재 고려대학교 건축공학과 교수.