

고층건물용 다중블라인드 조명 LED 하이브리드 조명설비 기술 소개

이의준 <한국에너지기술연구원, 에너지효율연구단/책임연구원>

1. 배경

국내 총 에너지 소비량 중 건물분야 소비에너지는 약 25%로 매년 그 비율이 증가되고 있으며, 이중 고압에너지원인 전기에너지의 구성비는 주거건물의 경우 12%, 상업용건물의 경우 41%를 차지하며, 조명기기 증가로 전기에너지 소비비율이 증가세를 보이고 있다. 또한 최근 그림 1에서 보는바와 같이 사무용 건물에서 건물에서 차지하는 조명 및 기기부하용 전기 사용량이 29%로 전체 사용에너지의 1/4 이상을 조명에너지로 소비하고 있는 것을 알 수 있다. 또한 이러한 조명에너지 소비를 절감하기 위한 방안으로 표 1에서 보는바와 같이 국내외적으로 건물에 조명부하를 절감하기 위한 설계 기준을 제시하고 시설내부의 시 환경 개선용으로 저탄소, 녹색기술인 태양의 자연광을 활용하는 주광조명설비를 도입하고 있다. 한 예로 1988년부터 시작된 Texas LoanSTAR 프로그램은 1996년 5월 기준 약 400여개의 건물에 자연조명을 이용함으로써 3,200만불의 절감효과를 달성하였고, 향후 20년간 2억 5,000만불의 추가 절감을 예상하고 있다. 현재는 국제적으로 활발한 연구가 진행되어 이미 어느 정도 연구가 성숙기에 와있으며, 실제 적용을 위한 각 분야의 노력이 진행되고 있다.

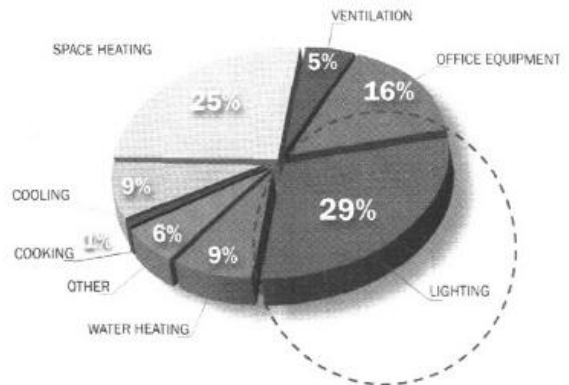


그림 1. 사무실에서 에너지 사용량
(자료출처 : 2009년 LFI 컨퍼런스)

주간에 주로 인공광을 이용하는 은행, 사무실의 경우 조명에 의한 전력에너지의 사용이 전체 사용량의 약 20% 이상을 소비하고 있는 실정이기 때문에, 태양광 조명설비를 도입할 경우 전력에너지의 절감량은 상당할 것으로 전망되며, 국가적 차원에서의 그 파급효과는 매우 클 것으로 예상된다. 또한, 국가적으로는 신재생에너지 보급 촉진 시행 규칙 2조 1항에 근거하여 태양에너지 중 채광분야에 대한 연구를 지향하고 있으며, 이에 따라 주광조명에 대한 보급형 실증 기술이 필요한 상황이다. 최근 실내 재실자들의 작업환경 개선책으로 기존 인공광보다 주광조명에 대한 수요가

표 1. 국내외 건물에너지 절약 설계 기준

요소기술		미국 ASHRAE 90.1 ¹⁾	캐나다 C-2000 ²⁾	K-2000 설계 기준(안) ³⁾
침기량		0.15 ACH	0.08 ACH	0.10 ACH
창면적비		35	30	25
공조시스템		VAV	복사냉난방	VAV
Fan/Pump Power		4.0-16W/m ²	1.5-3.1W/m ²	4.0-10W/m ²
환기량		10 l/s인	10-20 l/s인	10-15 l/s인
급탕량		38 ℓ/day인	19 ℓ/day인	29 ℓ/day인
열회수시스템		No	Yes(효율 84%)	Yes
내부기기부하		8.1W/m ²	6.0W/m ²	7.1W/m ²
내부조명부하		18.5W/m ²	9.3W/m ²	13.5W/m ²
조도조절장치		No	Yes	Yes
열관류율 (U-value) W/m ² ·k	지상층 외벽	0.43	0.18	0.4
	지하층 외벽	0.53	0.53	0.5
	창문	3.7	0.91	1.6
	문	2.5	1.0	2.5
	지붕	0.27	0.1	0.29
	바닥(외주부)	5.0	0.63	5.0
	바닥(내주부)	5.0	5.0	-
제안 성능 비교		100%	50%	75%

- ※ 1) ANSI/ASHRAE/IES Standard 90.1-2007
- 2) 캐나다 NRC C-2000 Nils Lasson의 제안값
- 3) 한국-캐나다 태양건물 설계 및 통합성능평가 기술 개발, KS-2010(U-value)

증대되고 있으며, 본 기술의 개발은 국내 실내 자연조명 기술 발전에 많은 영향을 끼칠 것으로 보여 진다. 태양빛을 이용한 주광조명 기술은 대체에너지 개발 보급사업의 일환으로 전문화, 특성화를 갖는 미래 에너지 기술의 기반이 될 수 있는 참신한 기술이며, 특성화 분야별 사업으로 차세대 에너지 절약 및 고효율화, 청정화를 꾀하는 혁신적인 기술로 판단된다. 특히 가정, 사무소, 학교, 지하공간 등의 주광조명 활용하여 에너지 저감 외에 CO₂, 황산화물, 질소산화물 등이 환경부하 감소를 기대할 수 있다. 따라서 본 고에서는 주광조명설비와 건물의 통합을 목적으로 연구되어지고 실제 건물에 적용 가능한 주광조명설비의 국

외 및 국내 사례를 살펴보고자 한다.

2. 국외 적용 사례

캐나다 UBC(University of British Columbia)는 그림 2에서 보는바와 같이 처음으로 건물 층간 공간을 활용하는 방안에 대해 연구를 시작하였다. 집광부는 사각형 반사거울을 사용하였고, 변광부 역시 파라볼릭 형태의 반사거울을 사용하였으며, 산광부는 광파이프로 제작하였다. 이 설비는 현재 캐나다에 위치한 British Columbia Institute of Technology 사무실에 설치하여 사용 중에 있으며, 건물의 층간 공

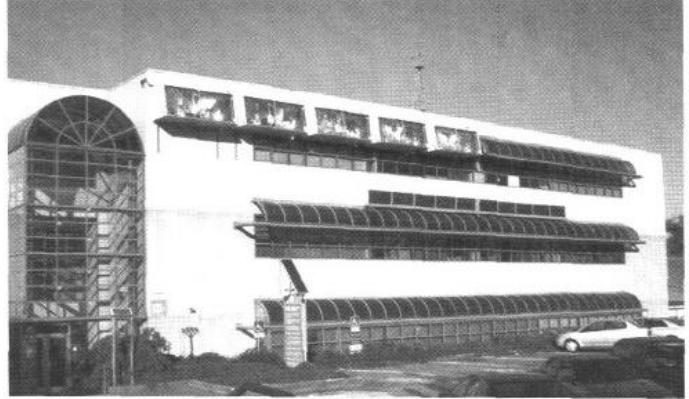
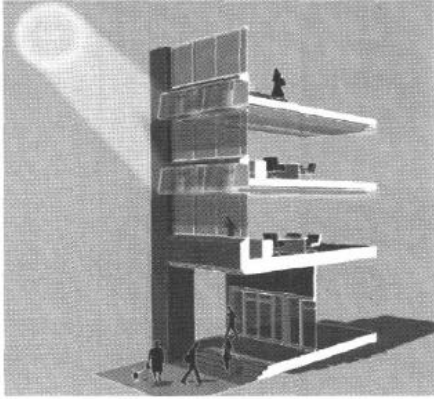


그림 2. British Columbia Institute of Technology(BCIT) MBLP 적용 모습

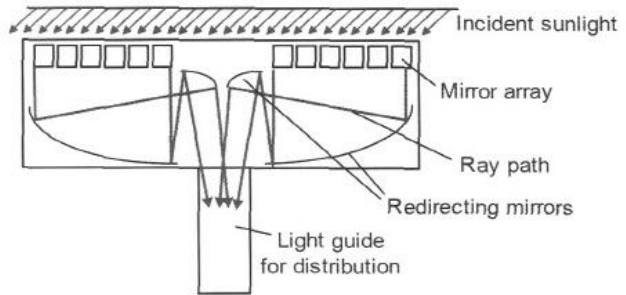
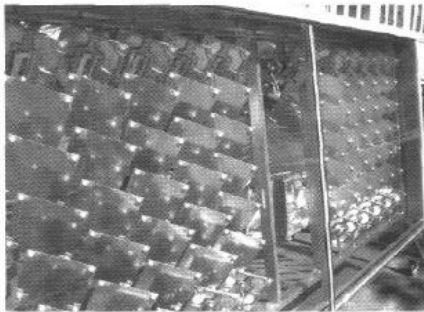


그림 3. MBLP 집광부

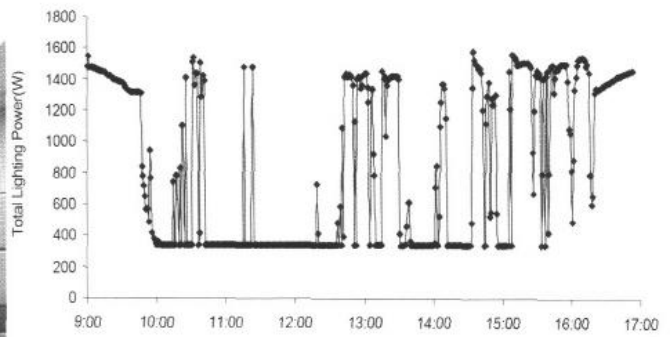
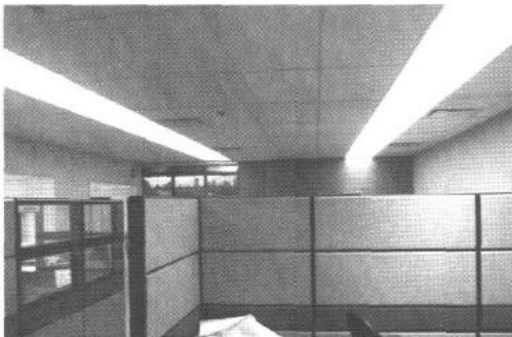


그림 4. BCIT 전기조명 에너지 사용량

간을 활용하는 주광조명설비의 초기 모델로 주광조명 설비가 건물에 설치되었을 때 건물의 미관보다는 기능적인 부분에 더 중점을 두고 개발 되어졌다.

UBC에서 개발한 MBLP(Multi Blind Light

Pipe) 주광조명설비의 주요 사항은 그림 3에서 보는 바와 같이 사각형의 여러 반사거울 활용하여 태양광을 집광하는 것이다. 각각의 사각형 반사거울은 센터를 고정시키는 철선을 기준으로 양 옆으로 태양광을

추적할 수 있도록 철선이 연결되어 있어 움직임이 자유로워 태양의 고도와 방위에 자유롭게 대처하여 집광효율을 높였다. 사각 거울의 추적은 건물의 위치 및 방위에 따라 프로그램으로 추적하는 방법을 채택하였다. 외관은 먼지나 빗물 등이 들어가지 않도록 하기 위하여 프레임을 제작하여 모든 설비들이 안쪽에 위치하도록 하였다.

그림 4에서 보는바와 같이 구름 조금인 날씨에서 주광조명설비를 건물에 적용한 후 주광조명설비와 인공조명을 같이 사용했을 때의 전기 조명에너지 사용량을 보여준다. 오전 10시 이전 주광조명설비에 태양광이 유입되기 전 전기조명 에너지 사용량은 1.5kW 정도로 나타나는데 태양광이 유입되기 시작하면서 전기조명에너지는 0.4kW로 급격히 떨어지는 것을 볼 수 있다. 따라서 맑은 날씨가 유지된다면 전기 조명에너지 사용량은 상당히 절약 될 수 있다는 것을 실재사례로 보여준다.

3. 국내 적용 사례

한국에너지기술연구원에서는 고층건물에 적합한

주광조명설비인 DBLP(Double Blind Light Pipe)를 개발하고자 하였고, 이에 베네시안 블라인드 형태에 착안한 집광부와 반사거울과 팔각뿔형태의 전송부, OLF(Optical Light Film)와 Extractor 및 Diffuser를 사용한 광파이프의 산광부를 가지고 주광조명설비를 제작 하였다. 그림 5에서 보는 바와 같이 건물의 층과 층 사이에 공간을 활용함으로써 주광조명설비의 활용도를 극대화시킬 수 있고, 주광조명설비가 건물 내로 삽입되어 있기 때문에 건물의 미관을 해치지 않는다.

집광부 부분에서는 태양 고도를 추적하는 고도추적 블라인드, 태양의 방위를 추적하는 방위추적 블라인드가 태양광을 추적하여 집광하도록 설계 되었다. 집광부에서 블라인드를 사용한 이유는 주광조명설비의 이용률을 높이기 위해 블라인드를 사용하였다. 베네시안 형태의 블라인드는 태양의 고도와 방위각이 낮을 때 효과적으로 집광할 수 있다는 장점을 가진다. 주광조명설비에 있어서 모든 부분이 중요하지만 가장 중요한 부분은 태양광을 받아들이는 양에 따라 설비의 성능이 좌우되기 때문에 태양광을 집광하는 집광부 부분을 어떻게 설계하느냐가 가장 중요시 된다. 따

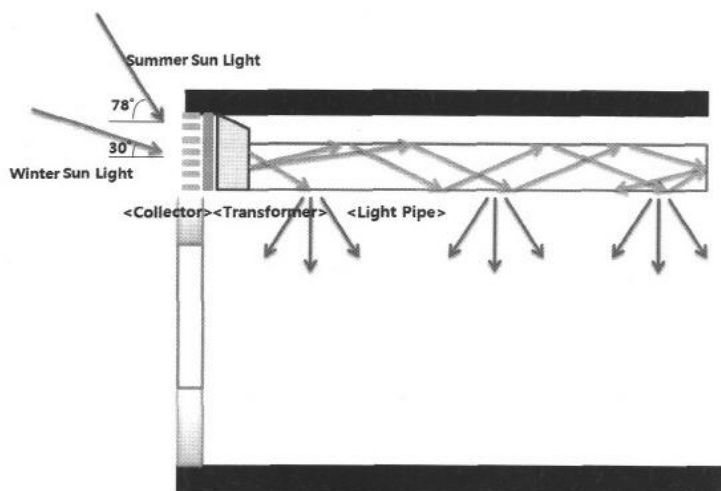


그림 5. DBLP 주광조명설비 개요도

라서 집광부를 설계 하고 시뮬레이션을 통해 검증을 통하여 집광부를 제작하였다. 특히 블라인드 형태 집광부는 블라인드 끼리 그림자가 생기지 않도록 하는 것과 빛이 블라인드 사이로 새어나가지 않도록 하는 것이 가장 중요하다. 변광부는 1차 반사거울과 8각뿔 형태의 광덕트, 2차 반사거울로 구성된다. 집광부의 블라인드에 의해 반사되어 들어온 빛은 1차 거울에 의해 반사되어 8각 형태의 반사 덕트 안으로 전송되는데, 이렇게 전송된 빛은 2차 반사거울로 모인 후 산광부 부분인 광 파이프로 전달된다. 그리고 광파이프로 유도된 빛을 실내조명으로 사용하고자 하는 곳에서는 Extractor를 부착하여 광파이프 내부를 전반사하면서 이동하던 빛을 다양한 각도로 난반사하게 된다. 이때 Extractor에 닿은 후 반사되는 빛이 광파이

프의 OLF에 도달할 때 입사각이 임계각 이내가 되면 빛은 다시 반사하게 되고 입사각이 임계각보다 크게 되면 빛은 광파이프 외부로 투과되어 실내조명에 사용되어진다. 그림 6은 집광부의 전체적인 모습을 보여준다.

또한 이중 블라인드 주광조명설비에 사용되는 블라인드 제어 설비는 그림 7에서 보는바와 같이 방위각 및 고도각을 움직이는 위치제어 모터 및 드라이버로 구성된 2축 시스템으로 태양의 위치를 실시간 계산하여 최적의 집광상태를 유지하도록 한다. 블라인드 제어 시스템은 실시간으로 태양의 황도를 계산하고 태양의 위치를 기반으로 시스템의 위치 범위를 집광에 필요한 오차범위 이내로 상시 유지할 수 있도록 태양을 추적하는 제어 시스템이다. 이 시스템은 스텝 드라

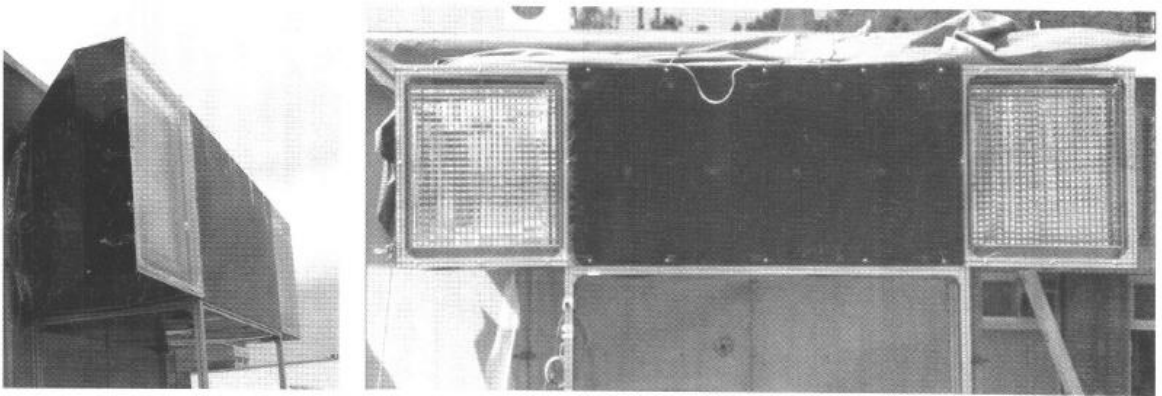


그림 6. KIER DBLP 주광조명설비

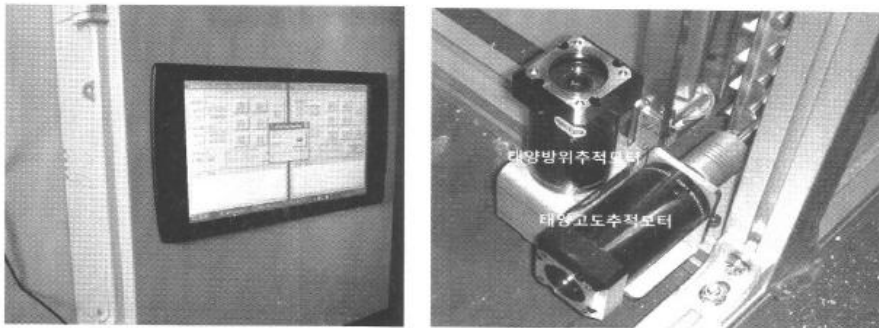


그림 7. 태양광 추적 프로그램과 추적 모터

이버와 연결되어 스텝모터를 구동하는 모션 제어부와 태양각 계산 및 각종 운전을 통괄 제어하는 임베디드 시스템인 태양추적 제어기로 구분된다. 태양추적 제어기는 GPS 모듈의 시간을 기준으로 현재 태양각을 산출하고 시스템의 각도를 태양각 제어의 오차범위 0.02도 안으로 실시간 위치하도록 모션 컨트롤러를 이용하여 제어한다.

또한 광파이프 내부에는 그림 8에서 보는바와 같이 6개씩 2세트 총 12개의 LED바가 설치되어 총 95W의 소집전력을 가지며 앞쪽 부분과 뒷부분이 각각의 조도센서와 제어장치에 의해 작동한다. 실내 조도에

따라 자동 디밍을 하기 위해 조도센서를 천장에 부착을 하며, LED 바타입 6개를 한 세트로 하여 실내의 조도 제어가 가능하다. 조명센서는 실내 바닥면의 조도를 측정하여 바닥면의 조도가 300lx를 이하로 떨어지면 LED바가 점등되도록 제어역할까지 해 실내 조도를 300lx 이상으로 유지해준다. 따라서 주광조명설비 내로 태양광이 많이 유입되어 실내 조도가 300lx 이상 유지가 된다면 LED조명은 점등되지 않는다.

이렇게 제작된 주광조명 설비를 한국에너지기술연구원내에 설치하여 설비의 효율 실험을 하였다. 주광



그림 8. 광파이프내 LED 조명 설치

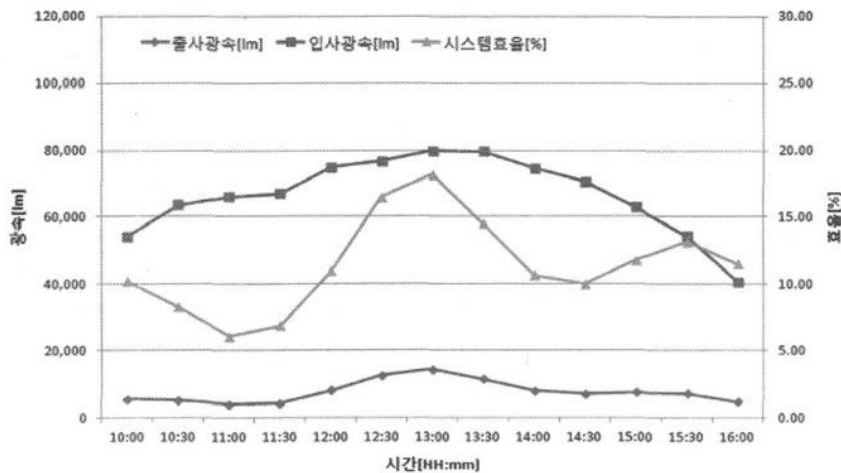


그림 9. KIER DBLP LED 하이브리드 조명 설비 시스템 효율

조명 설비의 자체적인 효율을 측정하기 위해서 인공 광원인 LED는 사용하지 않았고 오직 자연광만을 이용하여 측정하였다. 본 주광조명설비 집광부의 면적은 0.98m², 광파이프에서의 산광면적은 2.40m²이며, 집광부에서의 광속은 평균 68,000lm, 산광부에서의 출사 광속은 7,769lm으로 주광조명설비의 전체 평균효율은 11.44%, 최고효율은 정오시간에 약 18%가 넘는 것으로 나타났으며 그림 9와 같다.

5. 결 론

지금까지 주광조명설비와 건물의 통합을 목적으로 연구되어지고 실제 건물에 적용 가능한 주광조명설비의 국외 및 국내 사례를 살펴보았다. 현재 우리나라는 에너지 수급의 대부분을 해외에 의존하고 있는 현실에서 전체 전력소비량의 20%이상을 차지하는 조명 전력의 절감을 위한 주광 조명 설비 연구는 필수적이다. 에너지 절감의 관점에서, 현대의 태양광 조명설비에서 유도되는 태양광을 기존의 조명설비와 함께 사용함으로써 에너지 절감 효율을 얻을 수 있어, 최근 고유가 시대에 절실히 요구되는 미래 에너지 신기술 산업으로 사료된다. 선진국에서는 태양광을 이용하는 주광조명설비 기술을 다양하게 개발하여 많은 건축 산업 분야에 응용하고 있는 도입 성장기의 단계이며, 유럽, 미국을 중심으로 개발된 주광조명설비의 성능 향상 및 상용화 기술에 대한 연구가 지속적으로 이루어지고 있다. 따라서 중장기적 관점에서 기술의 해외 종속화를 극복하고 새로운 국내 건축산업분야 육성 및 국제 경쟁력 확보를 위해서는 고성능 주광조명설비의 통합설계 및 상용화를 위한 최적화 설비 기술개발이 절실한 시점이다. 이러한 고층건물용 주광조명설비의 등장은 그 활용성이 대부분의 건축물 유형에 적용이 가능할 뿐만 아니라 이 설비와 관련된 창호, 조명, 제어 설비 등 관련 사업에도 큰 영향을 미쳐 산업의 활성화에 크게 기여할 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Lorne Whitehead, Allen Upward, Peter Friede, Guthrie Cox, Michele Mossman, "Using Core Sunlighting to Improve Illumination Quality and Increase Energy Efficiency of Commercial Buildings", ASME, 2010 5. 17.
- [2] 기문당, 건축조명개론, 지철근.
- [3] 강은철 외 다수, Fresnel 및 Prism 렌즈 활용 Solar 자연재광 주광조명설비 Prototype 개발 연구, 대한설비공학회 하계 학술발표회 논문집, 2001, 7.
- [4] JAMES, Daylighting in Architecture.
- [5] IESNA, Calculating Illuminance at a point, 1993.
- [6] 한국조명기술연구소, 태양광 집광 채광기 성능평가 기술기 준개발 집광효율시험, 2006.
- [7] 기계저널, 광기술과 기계공학, ISSN1226-7877, Vol. 141, No. 3, 대한기계학회, 2001.
- [8] 건축조명계획론, 김성수 외 3인, 광문각, 2001. 3.
- [9] 조도기준(KSA 3011 : 1998), 한국산업규격 조도 기준.
- [10] 한국 조명·전기설비학회, Qualification for Lighting Designer(조명디자이너 자격인증교재).
- [11] 김홍범, 조명효율 이야기, 전기조명학회지, 2000. 8, Vol. 14, No. 4, pp 57-68.
- [12] Goniophotometer Types and Photometric Coordinates(IESNA LM-75-01), IESNA.
- [13] Daylighting Using Tubular Light Guide Systems, Callow, Joel Morrison, PhD thesis, University of Nottingham, May 2003.
- [14] Hong Ma, The Roller Blind Heliostat "Engineering Physics Projects", The University of British Columbia, 1999.

◇ 저 자 소 개 ◇



이의준(李義駿)

연세대 기계공학과 졸업. Oklahoma 주립대(OSU) 기계공학과 졸업(석사). Oklahoma 주립대(OSU) 기계공학과 졸업(박사). 한국에너지기술연구원, 에너지효율연구단/책임연구원. IEA ECBCS Annex 54 MG 한국대표

E-mail : ejlee@kier.re.kr