

광센서 조광제어시스템의 소비전력 평가

(Evaluation of Energy Consumptions in Daylight Responsive Dimming Systems)

이순지* · 최안섭**

(*세종대학교 건축공학과 석사과정 · **세종대학교 건축공학과 교수)

(Soon-ji Lee · An-Seop Choi)

Abstract

This study aims to measure amount of the reduction ratio of energy consumptions by the daylight responsive dimming systems, which uses daylighting and electric lighting. The results of this study show that the reduction ratio of electric power is better 'clear sky' by sky condition and 'window side of room' by zoning. When calculating reduction ratio of energy consumptions with used times in real office space, it tells that the result of real office was higher ratio than that of experimental space. For this study which presents efficient use of daylight in office environment, it will be basis of improving energy performance.

1. 서 론

1.1 연구의 배경

최근 고유가가 지속되면서 에너지 비용의 상승 압박이 과거보다 훨씬 높아지고 있다. 그리고 환경보호문제까지 중요해지면서 미국, 일본 등 각국 정부에서 에너지 절감 문제에 관심을 모으고 있다. 특히 조명용 전기에너지의 절약에 관심이 큰데, 이는 선진국의 경우 조명용 전기에너지가 총 전력의 25%, 우리나라의 경우 20%를 차지하고 있어 잠재적인 에너지 절감량이 크기 때문이다. 일반적으로 사무소 건축물에서 실내를 조명할 때 30~50% 정도의 에너지를 전기에너지로 사용한다[1]. 이러한 이유로 사무소 건축물 내에서 주광(Daylight)을 이용한 실내조명방식을 통해 많은 양의 에너지를 절감하려 노력하고 있으며, 보다 나은 실내 환경을 조성하기 위해 주광을 이용하는 여러 가지 방법들을 사용하고 있다[2]. 그 중에서도 주광을 이용하여 에너지 절감을 극대화하고 최적의 실내 환경을 제공할 수 있는 광센서 조광제어시스템이 많이 사용되고 있다.

광센서 조광제어시스템은 공간에 맞는 작업면조도를 유지하기 위해 실내로 유입되는 주광의 양을 최대한 이용하고 부족한 부분은 인공조명으로 보충하고 제어함으로써 전기에너지를 절약하는 이상적인 시스템이다. 이러한 시스템은 형광램프를 주 광원으로 사용하고 주광을 보조적으로 활용할 수 있는 곳이라면 어디든지 적용 가능하다. 특히, 많은 수량의 형광램프를 사용하고 주광이 잘 들어오는 도심의 고층 사무소 건축물에 이 시스템을

적용하면 더욱 많은 에너지 절약효과를 기대할 수 있다 [3]. 그러므로 광센서 조광제어시스템의 적극적인 활용은 에너지 절약의 방편일 뿐만 아니라 친환경적인 작업 공간 창출이라는 장점을 가지게 되는 것이다. 현재 이러한 광센서 조광제어시스템을 적용한 시뮬레이션과 조명 에너지 절약 및 실내조명환경 예측에 관한 연구가 활발히 진행되고 있으며, 기존 및 신축 건축물의 조명환경에 적용하기 위한 구체적인 기술적 연구가 함께 진행되고 있다.

1.2 연구의 목적

광센서 조광제어시스템이 에너지 절약과 친환경적인 측면에서 효율적이고 경제적이라는 사실은 잘 알려져 있다. 하지만 이 시스템의 사용으로 정확하게 얼마만큼의 소비전력이 절약되고 조닝별, 천공상태에 따라 소비 전력 절감량이 어떻게 변화하는지 구체적으로 알려져 있지 않다. 따라서 본 연구에서는 시스템 운용으로 절감되는 소비전력을 여러 가지 방법으로 분석해 보고자 한다.

1.3 선행연구 분석

선행연구에서 광센서 조광제어시스템의 최적화를 위해 실제공간에 시스템을 적용하고 시스템 성능평가를 통해 발생하는 문제점을 고찰하여 이를 수정·보완하는 연구를 진행하여 왔다. 또한 시스템 성능향상을 위한 제 어기울기 수정으로 시스템의 안정성이 향상되었고 경제성 평가에 있어서도 더욱 많은 에너지 절약을 기대 할 수 있음을 알 수 있었다.

1.4 연구방법 및 절차

본 연구에서는 제어기율기 수정 후 실내에서 광센서 조광제어시스템을 적용하여 실제로 얼마만큼의 소비전력이 절감되는지 분석하고 소비전력 절감율이 각 천공상태에 따라, 조닝별 어떻게 틀린지 비교·분석해 보았다.

S대학 교내의 실제공간에 광센서 조광제어시스템을 적용하였고 주광 분석을 위해 기상청에서 일(日)별 구름양 데이터를 받아 0~3은 청천공, 4~7은 부분담천공, 8~10은 담천공으로 그 날의 천공상태를 구분하였다. 주광에 따른 조광율의 변화와 그에 따른 사용 소비전력 측정으로 소비전력 절감율을 구하였다. 그리고 이 소비전력 절감율을 바탕으로 사무소 건축물의 실제 사용시간동안 소비전력 절감율을 구하였다.

2. 시스템 소비전력 평가

2.1 시스템 소비전력 평가 방법

소비전력 평가를 위해 실험실에서 시스템이 작동하고 있을 때(오전 6시~오후 9시)의 소비전력을 실내 분전반(EPS실)에 전력계를 설치하여 측정하였다. 또한 이 소비전력 값을 시스템에 적용하지 않고 인공조명을 100% 켜었을 때의 값과 비교하여 소비전력 절감율로 산출하고, 조닝별에 해당하는 조광율을 기준으로 실내측와 창측의 소비전력 절감율을 각각 산출하여 세 가지 천공상태에 따른 소비전력 절감율도 산출하였다. 천공상태의 구분은 천공의 구름이 전혀 없는 상태를 0으로 하고, 구름이 완전히 덮힌 상태를 10으로 규정하는 Sky cover 법칙을 사용하였다.

본 연구에서는 2005년 12월 1일부터 2006년 2월 5일까지 측정된 데이터를 가지고 소비전력을 분석하였다. 시스템 설치 공간에 대한 내용은 표 1과 같고 그림 1은 시스템을 설치하고 소비전력을 측정된 실험실의 평면을 나타낸 것이다.

표 1. 시스템 설치 공간 수치
Table 1. Figures of the experimental space

위 치	서울소재 S대학교 내 조명실험실
크 기	9.2m × 8.9m
개구부(창)	북향, 투과율: 89%
조명기구	32W 2등용 형광등기구 (알루미늄 반사식) 12개 (창측 6개, 실내측 6개)

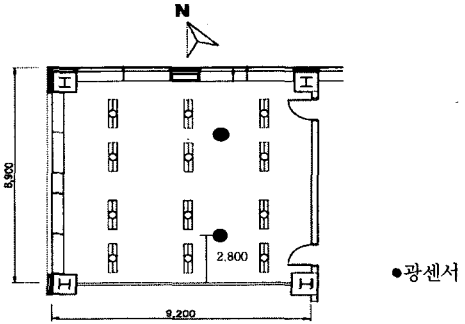


그림 1. 시스템 측정공간 평면도
Fig. 1. Plane for measurement space

광센서는 조명기구의 배광에 직접적으로 노출되지 않도록 중앙지점으로부터 0.5m 떨어진 천장에 설치하였다. 실의 측정 데이터인 조도값, 출력광속, 전력량의 측정 위치 및 측정 방법은 표 2와 같으며 측정시간은 매일 오전 6시부터 오후 9시까지였다.

표 2. 실의 데이터 측정위치 및 측정방법
Table 2. Location and method of measurement of space data

실의 조도값	광센서와 동일선상의 작업면 높이 (바닥으로부터 85cm)에 설치한 조도센서에서의 측정값으로, 5분 동안의 평균값으로 저장
실의 출력광속	최적화한 조광용 전자식 안정기의 디지털 신호값 (0~255)을 램프의 출력 광속값(%)으로 저장
실의 소비전력	실내 분전반(EPS실)에서 5분 동안의 평균값으로 저장

2.2 시스템 소비전력

소비전력을 평가하기 전에 측정된 데이터와 시스템의 신뢰성을 위하여 시스템 안정성 평가를 하였다. 그림 2, 그림 3과 같이 일별로 조광율과 조도값을 실내측, 창측으로 나누어 측정시간동안 목표조도를 잘 유지하고 있는지 분석하였다. 그림 2의 실내측 데이터를 보면 측정 시간동안 작업면조도가 목표조도의 $\pm 10\%$ 를 항상 만족하고 있음을 알 수 있다. 그림 3의 창측 데이터 또한, 한 낮을 제외하고 작업면조도가 목표조도의 $\pm 10\%$ 를 만족하고 있으며 불규칙한 주광 유입에도 다소 조광율의 변화가 있지만 변화하는 시간이 완만하므로 시스템이 안전하게 구동되고 있음을 알 수 있다.

목표조도를 기준으로 실 전체 조광에 의한 평균 소비전력을 구해본 결과 74%가 사용되어 26%의 소비전력이 절감되었음을 알 수 있었다. 즉, 목표조도를 유지하기 위해서 12개의 인공조명을 100% 점등한 경우에 대해 실 전체 기준 74%의 전력만이 요구됨을 알 수 있었

다.

본 연구에서 사용한 인공조명의 출력광속에 따른 소비전력을 측정된 결과는 그림 4와 같다. 그리고 소비전력과 기상청에서 제공한 일별의 외부기온을 분석해본 결과 서로 큰 연관성이 없음을 알 수 있었으며 오히려 실험실 실내온도의 상승이 광센서, 조도계, 데이터로거 등의 장비에 영향을 줄 수 있기 때문에 일정한 온도를 유지하는 것이 중요했다. 선행 연구의 경제성 평가에서 산출한 전기에너지 절약량에 비해 본 연구에서 더 높은 소비전력 절감율이 나온 이유는 제어기율기 오차 수정을 통해 시스템이 더욱 보완되었기 때문이다.

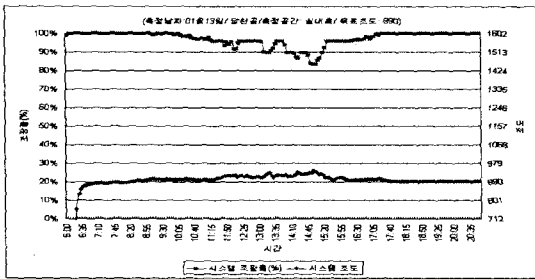


그림 2. 조광율과 작업면 조도(실내측)
Fig. 2. Illuminance of workplane and dimming percent(position far from the windows)

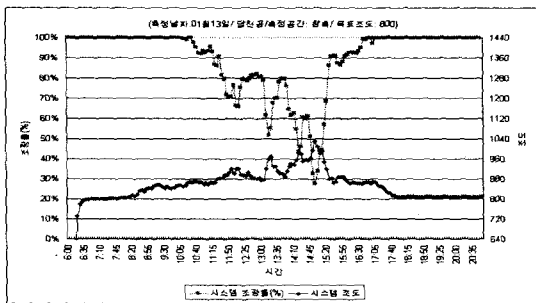


그림 3. 조광율과 작업면 조도(창측)
Fig. 3. Illuminance of workplane and dimming percent(position near the windows)

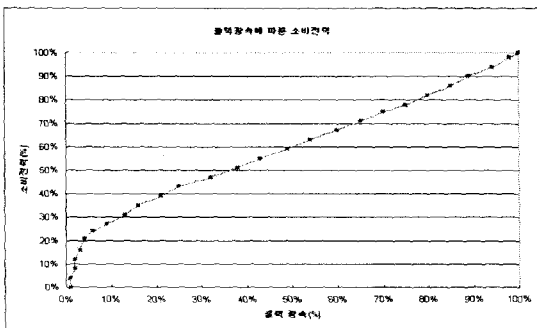


그림 4. 출력광속 대비 소비전력
Fig. 4. Energy Consumptions to dimming percent
2.3 천공상태에 따른 시스템 소비전력

측정기간까지 모두 58일 간의 데이터 중 천공상태를 분석해 본 결과 청천공 36일, 부분담천공 15일, 담천공 7일이었다. 표 3을 보면 청천공일 때 실내측 13%, 창측 43%의 소비전력 절감율을 나타내었고, 부분담천공일 때 실내측 12%, 창측 40%의 소비전력 절감율을 나타내었다. 즉, 청천공 > 부분담천공 > 담천공의 순으로 소비전력 절감율이 높음을 알 수 있다. 담천공의 경우 전반적으로 주광에 의한 작업면조도가 낮기 때문에 주로 인공조명에 의존하므로 소비전력 절감율이 가장 낮은 것으로 보인다.

표 3. 시스템 측정시간의 평균 소비전력 절감율
Table 3. Avg. reduction ratio of energy consumptions of measuring time

천공상태	측정시간	12월1일~2월5일 / 오전6시~오후 9시		
		실내측	실내측	창측
청천공	36일	28%	13%	43%
부분담천공	15일	26%	12%	40%
담천공	7일	17%	7%	27%

그림 5는 청천공일 때(12월4일) 실내측 측정 사례이고, 그림 6은 창측 측정 사례이다. 측정시간(6시~21시)동안 평균 소비전력 절감율이 실내측은 16%, 창측은 47%로 나타났다. 측정 사례를 통해 청천공 상태일 때 소비전력 절감효과가 다른 천공상태에 비하여 가장 우수함을 알 수 있다.

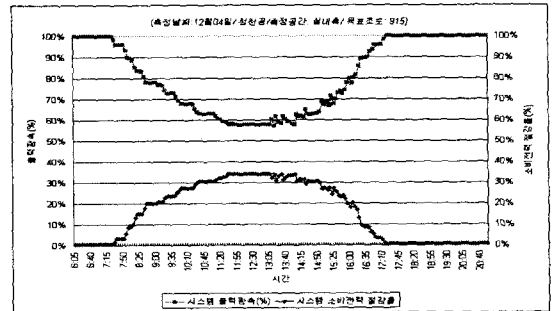


그림 5. 청천공 데이터(실내측)
Fig. 5. Clear sky data 1

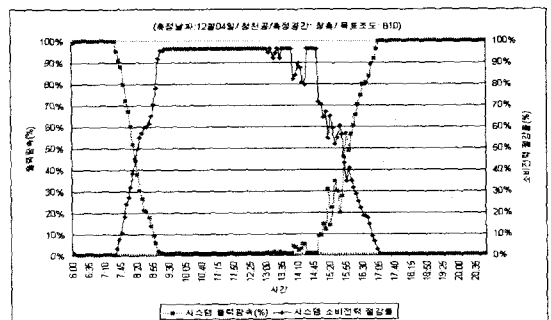


그림 6. 청천공 데이터(창측)

Fig. 6. Clear sky data 2

그림 7은 부분담천공일 때(1월14일) 실내측 측정 사례이고, 그림 8은 창측 측정 사례이다. 측정시간(6시~21시)동안 평균 소비전력 절감율이 실내측은 14%, 창측은 45%로 나타났다. 청천공일 때 보다 소비전력 절감율이 작지만 그림 8의 창측 데이터를 살펴보면 낮시간 동안의 소비전력 절감율이 최대로 잘 유지되고 있음을 알 수 있다.

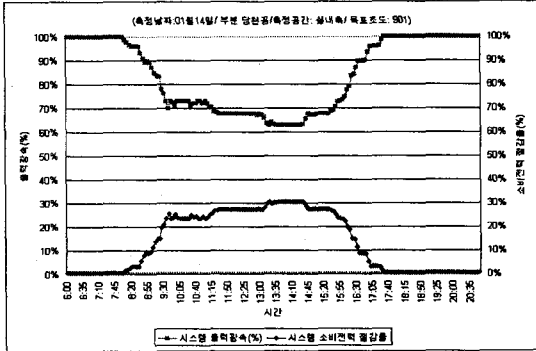


그림 7. 부분 담천공 데이터(실내측)
Fig. 7. Partly cloudy clear sky data 1

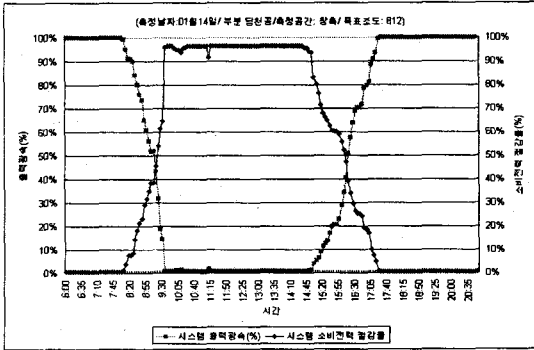


그림 8. 부분 담천공 데이터(창측)
Fig. 8. Partly cloudy clear sky data 2

그림 9는 담천공일 때(1월30일) 실내측 측정 사례이고, 그림 10은 창측 측정 사례이다. 측정시간(6시~21시)동안 소비전력 절감율이 실내측은 11%, 창측은 43%로 나타났다. 담천공의 실내측의 경우 주로 인공조명으로 실내 작업면조도를 유지하기 때문에 에너지 절감율이 가장 낮게 나타나고 있다. 담천공일 때 가장 낮은 소비전력 절감율을 보이지만 그림 10에서 주광유입이 가장 많은 낮시간 동안의 소비전력을 살펴보면 비교적 높은 소비전력 절감율을 유지하고 있음을 알 수 있다.

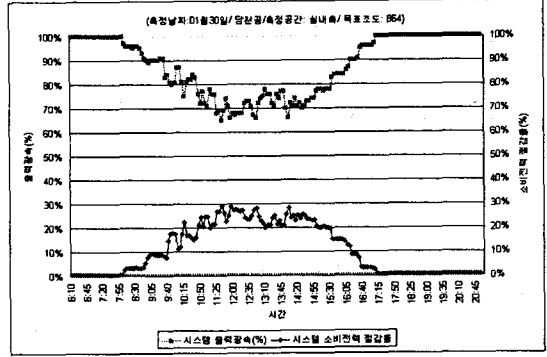


그림 9. 담천공 데이터(실내측)
Fig. 9. Overcast sky data 1

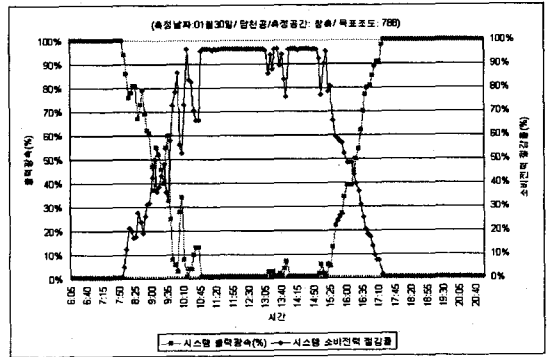


그림 10. 담천공 데이터(창측)
Fig. 10. Overcast sky data 2

2.4 조닝별 시스템 소비전력

조닝별로 분석해 보았을 때 평균 소비전력 절감율이 실내측은 12%, 창측은 40%를 보였다. 창측의 소비전력 절감율이 더 큰 이유는 낮 시간동안의 주광유입으로 인해 인공조명의 출력이 줄었기 때문이다.

천공상태의 변화에 따라, 실내측은 최소 4%에서 최대 23%의 범위를 보였으며, 창측은 최소 9%에서 최대 58%의 범위를 보였다. 실내측의 소비전력 절감율 범위가 창측의 소비전력 절감율 범위보다 작은 것은 실내의 창으로부터 가장 멀리 떨어져있는 인공조명은 거의 항상 점등되어 있기 때문이며, 창측은 외부 기상상태에 따라 주광유입 양상이 틀려져 소비전력 절감율의 범위가 크다.

2.5 사무소 건축물의 실제 사용시간 평균 소비전력

광센서 조광제어시스템은 특히 사무소 건축물의 조명 에너지 절약에 효율적으로 사용할 수 있는 시스템이므로 실제 사무소 건축물의 사용시간을 고려하여 소비전

력 절감량을 구하였다. 먼저 기상청에서 제공되는 1971년부터 2000년까지 30년간의 서울지역 구름양 데이터로 본 연구의 시스템 적용기간이었던 12월, 1월 천공상태별 발생 비율을 표 4와 같이 적용하였다[4]. 표 4의 수치를 살펴보면 청천공과 담천공의 발생 비율이 0인 달이 많은데, 이것은 일별 구름양이 시간대별 산술 평균한 중간값으로 구해지기 때문이다.

본 연구에서 시스템 측정시간은 오전 6시부터 오후 9시까지로 일반 사무소 건축물의 실제 사용시간인 오전 9시부터 오후 6시에 이 시스템을 운용한다고 가정한다면 실험에서 나온 값보다 더 많은 소비전력 절감율을 기대할 수 있다. 표 5에서 자세한 소비전력 절감율을 비교해 보았다. 최대의 소비전력 절감율을 예상할 수 있는, 청천공일 때 창측의 소비전력 절감율을 시스템 측정시간과 실제 사무소 사용시간으로 비교해 보면 43%에서 66%로 1.5배 이상 커짐을 알 수 있다. 그리고 실험실과 유사한 사무소 공간을 가정하고 12월, 1월 두 달간 오전 9시부터 오후 6시까지의 소비전력 절감율을 구해보니 표 6과 같은 수치가 나왔다. 실 전체 평균 소비전력 절감율이 12월은 44%, 1월은 51%로 나타났고 1월 창측의 평균 소비전력 절감율은 65%로 가장 높게 나왔다.

표 4. 천공상태 발생 비율
Table 4. Ratio of frequency of sky condition

	1월	2월	3월	4월	5월	6월	7월	8월	9월	10월	11월	12월
청천공	6	2	0	0	0	0	0	0	0	7	2	3
부분담천공	25	26	31	30	31	29	17	31	30	24	30	28
담천공	0	0	0	0	0	1	14	0	1	0	0	0

표 5. 시스템 측정시간과 사무소 건축물 실제 사용시간의 평균 소비전력 절감율 비교

Table 5. Comparison Avg. energy consumptions of consider two type times

	오전6시~오후9시			오전9시~오후6시		
	실전체	실내측	창측	실전체	실내측	창측
천공상태	28%	13%	43%	42%	19%	66%
부분담천공	26%	12%	40%	39%	15%	63%
담천공	17%	7%	27%	26%	11%	42%
평균값	26%	12%	40%	40%	17%	62%

표 6. 시스템 측정시간과 사무소 건축물 실제 사용시간 및 천공발생 비율을 고려한 소비전력 절감율 비교

Table 6. Comparison Avg. energy consumptions of consider two type times and Ratio of frequency of sky condition

	12월 (오전9시~오후6시)			1월 (오전9시~오후6시)		
	실전체	실내측	창측	실전체	실내측	창측
천공상태	0			3	51%	65%
부분담천공	31	44%	16%	28	51%	65%
담천공	0			0		
평균	44%	16%	56%	51%	19%	65%

3. 결론 및 향후 연구계획

이상과 같이 본 연구에서는 광센서 조광제어시스템을 사용하여 2개월간의 소비전력을 비교·분석하여 소비전력 절감율을 평가하였다. 이 연구를 바탕으로 실험실과 유사한 조건을 가진 실제 사무실을 적용해서 소비전력 절감율을 이용하면 절약 가능한 실질적 전기료를 산출할 수 있을 것이다. 다음은 본문을 요약한 것이다.

1) 목표조건을 기준으로 실 전체 조광에 의한 평균 소비전력을 분석해 본 결과 26%의 소비전력이 절감되었다. 세 가지 천공상태 중에서 청천공일 때 가장 높은 소비전력 절감율을 보이고, 조닝별에서는 창측의 소비전력 절감율이 가장 높게 나타났다.

2) 표준 천공상태 발생 비율과 사무소 건축물의 실제 사용시간을 적용하여 소비전력 절감율을 산출해본 결과, 사무공간에서 최대 65%의 효과를 볼 수 있음을 알 수 있었다. 사무소 건축물의 실내 조명환경은 주로 인공조명에 의해 유지되므로 본 연구의 결과를 바탕으로 사무소 건축물의 설계단계에서 실질적인 에너지 절약방안을 고려해 시스템을 적용한다면 전기에너지 절약효과를 크게 볼 수 있을 것이다.

본 연구에서는 북향으로만 개구부(창)를 갖는 공간을 조성하여 실험하였다. 이것은 북향에서는 직사일광의 유입이 없어 차양시설이 없고, 대부분의 사무공간에서 직사일광의 유입을 막기 위해 블라인드나 스크린을 설치하기 때문이었는데 향후 연구에서 개구부의 다양한 형태 면적, 투과율을 고려하여 시스템의 경제성 평가가 이루어진다면 현재보다 더욱 활성화가 될 것이다. 또한 남향이고 창의 면적이 큰 건물일수록 더 많은 에너지 절약이 가능하므로 직사광선의 유입을 어떻게 효과적으로 제어할 것인지 연구가 진행되어야 할 것이다.

감사의 글

본 연구는 에너지관리공단 2003년 에너지자원기술개발 사업 연구비에 의해 연구되었음.

(과제번호: 2003-E-EL01-P-04)

참고문헌

- 1) 육정원, 사무소 건물의 에너지 절약적 조명설계 및 제어, 한양대학교 석사논문, 1998.12.
- 2) 주근탁, 광센서 조광제어시스템의 효율적인 광센서 형상에 관한 연구, 세종대학교 대학원 석사논문, 2004.5.
- 3) 최안섭 외, 조명시스템의 자동화를 위한 주광센서 연동제어 시스템의 개발연구, 삼성물산(주) 건설부문 기술연구소, 1998.12.
- 4) <http://www.weather.go.kr/>
- 5) 주근탁, 광센서 조광제어시스템의 최적의 하드웨어 구성과 성능평가, 세종대학교 대학원 석사학위논문, 2005.12.
- 6) 김한성, 소규모 사무공간에서 디밍제어를 이용한 조명에너지 절약에 관한 연구, 조명·전기설비학회논문지, 2003.9.