

알고리즘 변화에 따른 직/간접 조명시스템에 대한 디밍제어 효과분석

김수영*

*연세대학교 주거환경학과 (sooyoung@yonsei.ac.kr)

Analysis on Dimming Control Effect by Algorithm Variation for Direct/Indirect Lighting in a Small Office

Kim, Soo-Young*

*Dept. of Housing & Interior Design, Yonsei University(sooyoung@yonsei.ac.kr)

Abstract

This study examines the influence of control algorithms on dimming performance to determine appropriate control setting when direct/indirect lighting is controlled by a daylight dimming system. Computer simulation were performed for a small office with double skin envelope under various daylight conditions. A retractable fabric shading and Venetian blind were applied for internal and external envelopes under three CIE standard sky conditions. Unshielded and partially-shielded photosensors were used, and three control algorithms were applied for the sensors. In general, dimming level was too excessive due to the direct impact of light from lighting fixture to the photosensor. Providing insufficient lighting output, the unshielded photosensor completely failed to secure required illuminance under any daylight condition. When a partially-shielded photosensor was applied under clear sky, three setting points functioned effectively. Less sensitivity for the partially-shielded photosensor was effective to control the dimming system optimally with reasonable energy saving. However, the daylight dimming control system for direct/indirect lighting does not appear to be energy effective when photosensors without enough shielded area is installed on ceiling where light from fixtures reaches directly.

Keywords : 주광(Daylight), 디밍시스템(Dimming system), 제어알고리즘(Control algorithm), 민감도(Sensitivity), 조명에너지(Lighting energy)

1. 서 론

상업용 건물에서 소모되는 에너지의 대부분은 냉난방과 조명에 사용된다. 전기조명 시스템을 효과적으로 제어하여 에너지 절약을 위한 방안으로 조광제어 시스템 (daylight dimming control system) 개발되어 적용되어 왔다. 이 시스템은 외부에서 유입되는 주광(daylight)을 추가적인 광원 (light source)으로 활용하여 실내에서 요구되는 목표조도를 전기조명시스템과 함께 공급한다. 조광제어 시스템의 효과적인 적용을 위하여 시스템을 이루고 있는 각 구성성분의 조건 변화에 따른 전체 제어효율의 성과는 연구되어 왔다. [1-4]

이러한 연구에서는 다양한 주광조건 아래에서 적용되는 포토센서(photosensor)의 차단조건 (shielding), 센서의 감지 범위 및 센서가 위치하는 조건에 따른 제어효율에 대하여 분석이 이루어졌다. 센서의 감지범위의 변화에 따라 조명기로부터 최종적인 디밍량 (dimming level)이 결정되므로 센서의 조건에 대한 분석은 중요하다.

그러나, 조광제어 시스템이 적용되는 경우, 포토센서는 일반적으로 천장부분에 설치되어 운영되므로 센서의 차단조건을 변화하거나 위치를 변경하는 것은 비효율적이다. 일정한 제어 알고리즘(control algorithm)이 적용되는 경우, 디밍량은 포토센서에서 감지하는 빛의 양에 따라 변화하지만, 동일한 센서조건에서 제어기 세팅조건 (controller setting)의 변화에 따라 각기 다른 제어알고리즘이 적용되면 디밍효과는 변화한다.

따라서, 효과적인 조광제어시스템의 운영을 위하여 주어진 센서의 조건에 대하여 제어기의 알고리즘의 변화에 따른 디밍효율은 분석되어야 한다. 본 연구에서는 고정된 위치에서 센서의 차단조건 변화 및 제어기의 알고리즘의 변화에 따른 조광제어시스템

의 제어효과를 분석한다. 소규모 사무실에 적용된 직/간접 조명방식을 대상으로 다양한 주광조건아래에서 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하여 최적 제어방안에 대하여 결정한다.

2. 컴퓨터 시뮬레이션

2.1 시뮬레이션 프로그램

본 연구에서 제어효율의 분석을 위하여 사용된 시뮬레이션 프로그램은 레이디언스 (Desktop Radiance Version 1.02)이다. 이는 미국의 국립연구소에서 개발되어 실용화된 이래 많은 연구에 적용되어 효과적인 결과를 제공하여 왔다. [4-7]

이는 상용화된 그래픽 프로그램(graphic program)함께 사용될 수 있어, 다양한 기하학적인 조건으로 주어진 공간에 대한 입력이 가능하다. 효과적인 해석을 위하여 광선추적기법(Ray-tracing techniques)의 이론인 몬테카를로(Monte Carlo) 해석법에 기초를 두어, 가정된 공간에서 각 지점에 대한 조도 및 포토센서에 대한 조도값을 계산한다.

또한, 실내에서 주광에 대한 해석이 이루어지는 경우, 천공에 나타난 대기조건(turbidity)을 다양하게 가정하여 시뮬레이션이 실시될 수 있어 주광조건에 대한 신뢰적인 데이터를 제공한다. 따라서, 레이디언스에 의한 시뮬레이션 결과는 현장실험에 의한 실험결과와 많은 오차를 나타내지 않는 것으로 알려져 있다.[4,5,7]

본 연구에서는 레이디언스 프로그램이 주광과 전기조명기에 의하여 발생하는 조도 분포 및 포토센서의 신호값을 계산하는데 이용되었다. 일차적으로 센서의 신호값이 산정되면, 변화하는 제어기의 알고리즘을 적용하여 조명기의 최종 디밍량은 산정되었다.

2.2 대상공간 및 조건

본 연구에서는 직/간접조명 시스템이 소규

모 사무실에 적용되어 주광조건의 변화에 따라 조광제어시스템에 의하여 제어되는 것으로 가정하여 시뮬레이션이 실시되었다. 대상 공간은 그림 1-그림2에 나타나 있다.

사무실의 크기는 3.0m(폭), 3.6m(깊이), 2.7m(높이)로 가정되었으며, 주광의 영향을 최대한 고려하기 위하여 전면의 벽면에 유리가 차지하는 비율이 100%인 이중외피가 설치되는 것으로 가정하였다. 이중외피부분에서 내부외피 및 외부외피에는 동일한 유리가 적용되는 것으로 가정하였고, 유리의 투과율은 0.6, 반사율은 0.07로 설정되었다.

내부외피와 외부외피사이의 거리는 0.9m로 가정되어 차양장치가 설치될 수 있는 공극(cavity)로 설정되었다. 공극공간의 양 측면부분에는 각 외피부분에 적용된 유리가 설치되는 것으로 가정하였다. 상부부분은 투과율이 없는 재료로 설정하여 이를 통한 주광의 입사는 없는 것으로 가정되었다. 이 부분은 오버행(overhang)으로 작용하여, 태양고도가 높아지는 조건에 대하여 주광의 입사를 효과적으로 차단하는 것으로 가정하였다.

실내공간의 각 표면에는 사무실 공간의 조명디자인에 일반적으로 적용되는 반사율을 적용하였다. 천장, 벽 및 바닥의 반사율은 0.8, 0.5 및 0.2로 각각 설정하였다. 1.5m(가로), 0.75m(세로), 0.75m(높이)의 크기인 책상이 실의 중심상선에 위치하며, 책상표면의 반사율은 0.3으로 가정되었다. 책상의 중심은 내부외피로부터 2.02m 이격되어 설치되었으며, 후벽면으로 부터 이격거리는 1.57m이다.

실내로 유입되는 주광에 대한 차양장치의 영향을 분석하기 위하여, 공극공간내의 외부외피표면에 블라인드가 설치되는 것으로 가정하였다. 블라인드 슬랫(slat)의 반사율은 0.71로 가정되었으며 이들은 각각 2.54cm 이격되었다. 블라인드 슬랫은 수평으로 유지되어 이중외피를 통하여 유입되는 주광의 효과를 최대화 하는 것으로 설정되었다. 또한 실

내공간내의 내부외피표면에는 투과율이 0.1인 섬유성물질(fabric material)로 구성된 차양장치가 설치되어 내부외피를 실의 천장으로부터 0%, 25% 및 50% 차양하는 것으로 가정되었다.

시뮬레이션에 필요한 주광조건의 설정을 위하여, 분석대상으로 고려된 소규모 사무실 공간은 미국의 한 도시에 위치하는 것으로 가정되었다. (Ann Arbor, Michigan, 위도: 42°14', 경도: 83°32'). 이곳에서 지표면의 반사율은 0.1로

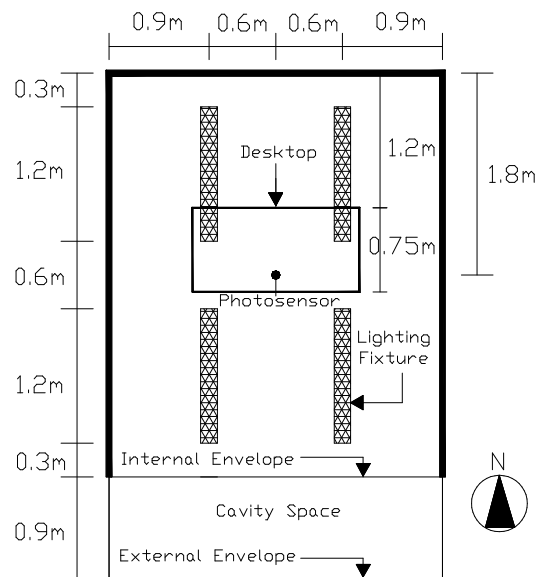


그림 1. 대상공간(평면)

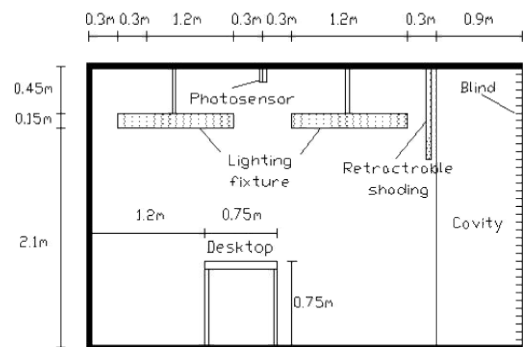


그림 2. 대상공간(단면)

가정되었다. 실내로 유입되는 주광의 영향을 분석하기 위하여 이중외피가 설치된 대상공간의 전면(facade)은 남측 및 북측을 향하는 것으로 가정되었다.

레이디언스를 이용한 시뮬레이션에 가정되는 세가지 표준 CIE 천공조건 (Clear, Intermediate, Overcast sky)이 적용되었다. 태양조건의 분석을 위하여 년중 기준일로 고려되는 각 3일을 선정하여 적용하였다 (동지: 12월21일, 춘분: 3월21일, 하지: 6월21일). 이는 연중 태양고도가 가장 낮은 조건에서부터 높은 조건에 이르기까지 실내주광분포를 분석하는데 효과적으로 적용되었다. 선정된 각 일자에 대하여 오전 8시부터 오후 5시까지 10시간 동안 한 시간간격으로 시뮬레이션이 실시되었다. 본 연구에 적용된 주광조건 및 시뮬레이션 경우는 표 1 및 표 2 나타나 있다.

표 1. 주광조건

방향	일자	시간	차양조건		천공
			내부	외부	
남	12/21	8:00 -17:00	0%	수평 브라인드	청천공 부분담천공 담천공
	3/21		25%		
	6/21		50%		
북	12/21	8:00 -17:00	0%	수평 브라인드	
	3/21				
	6/21				

표 2. 시뮬레이션 경우 및 조건

Case	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Date	12/21			3/21			6/21		
Sky	C	I	O	C	I	O	C	I	O

여기서,

- C: 청천공 (clear sky)
- I: 부분담천공 (Intermediate sky)
- O: 담천공 (Overcast sky)

2.3 전기조명장치 및 출력제어조건

시뮬레이션에 가정된 직/간접조명장치는 직육면체(길이 1.2m, 폭 15.2cm, 높이 19.7cm) 형태로 이루어져 2개의 T8(직경 2.54cm) 형광램프가 상하로 설치되는 방식이다. 직육면체의 상부표면이 천장으로 부터 45.7cm 이격되어 설치되었다.

조명기기의 상부면에 반사판이 설치되어 램프로부터 천장부분에 수직으로 최대 676.1cd의 빛이 투사되었다. 하부면에는 깊이 4cm의 루버가 형광램프에 수직으로 7.62cm 간격으로 설치되어 하부수직 방향으로 최대 741.2cd가 투사되었다. 이를 이용하여 책상면의 목표조도는 760 lx (70 fc)로 유지되는 것으로 가정되었다. 조명기구의 단면 및 강도분포는 그림 3에 나타나 있다.

빛을 감지하는 포토센서(photosensor)는 천장의 중심부분에 설치되어 바닥면과 수직을 이루며 설치되는 것으로 가정되었다. 센서에는 부분차단조건(partially-shielded)과 차단조건없음 (unshielded)이 적용되는 것으로 가정되었다. 차단조건은 그림 4에 명시되어 있다.

부분차단조건은 센서가 설치된 천장의 남북중선을 기준으로 동측 및 서측으로 각 90도씩 차단되는 것으로 가정되었다. 이중외피 방향으로 향한 수직차단각도는 33.6도이다. 따라서, 센서는 센서의 중심에서 실내외피와 바닥부분이 접하는 부분까지에서 변화하는 빛의 분포를 감지한다.

부분차단조건으로 인하여 유리로부터 반사되어 센서에 직접 도달하는 성분은 효율적으로 차단되고 후벽면에서 반사되는 성분은 센서에 의하여 모두 감지된다. 부분차단조건에 적용된 재료의 반사율은 0.71로 설정되었으나, 센서의 감지점(detection point)을 둘러싸고 있는 원형형태의 부분은 센서의 감지정도에 영향을 미치지 않는 것으로 가정되었다.

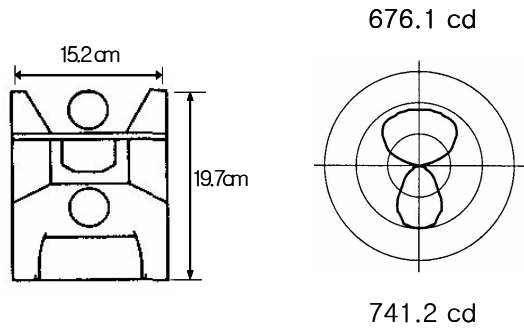


그림 3. 조명기기
(좌측: 단면, 우측:광도분포)

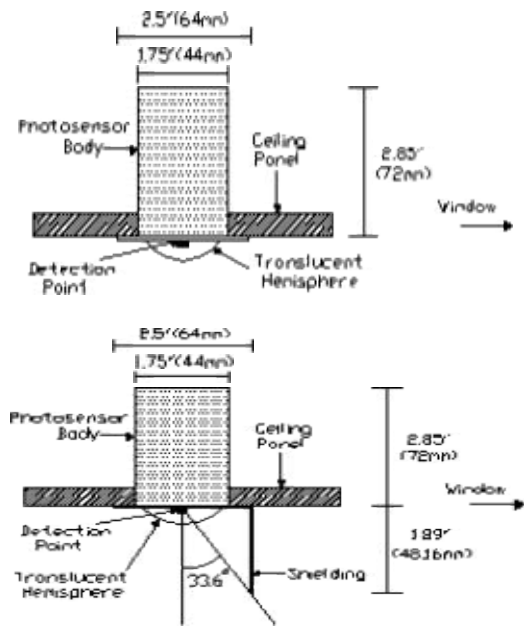


그림 4. 센서 차단조건
(상: 차단조건없음, 하: 부분차단)

차단조건이 없는 경우, 센서에서 빛을 감지하는 부분은 실내공간에 완전히 노출되어 전기조명과 실내로 유입되는 주광의 영향을 직접적으로 받게 된다. 차단조건에 의하여 센서가 감지하는 빛의 변화량에 근거하여 조명기기의 최종 디밍량은 조광제어 시스템에 의하여 제어되었다.

포토센서에서 발생된 신호를 근거로 조명

기기의 최종디밍량을 조정하는 제어기의 알고리즘은 선형적으로 변화하는 것으로 가정되어 적용되었다. 따라서, 동일한 양의 빛이 센서에 의하여 감지되는 경우, 알고리즘의 차이에 따라 각기 다른 최종 디밍량이 결정된다. 본 연구에 적용된 제어기의 알고리즘을 선정하는 세팅(setting)점에 따른 디밍량은 실험실조건에서 측정되어 결정되었다. 알고리즘에 대한 함수식은 표 3에 명시되어 있으며, 변화 분포는 그림 5에 나타나 있다.

표 3. 제어알고리즘 함수

세팅	신호범위	제어알고리즘
# 4	$30 < X$	$Y = 100$
	$30 < X < 530$	$Y = -0.18 X + 105.5$
	$X > 530$	$Y = 10$
# 6	$30 < X$	$Y = 100$
	$30 < X < 395$	$Y = -0.246 X + 107.39$
# 11	$30 < X$	$Y = 100$
	$30 < X < 295$	$Y = -0.339 X + 101.18$
	$X > 295$	$Y = 10$

여기서,

- X: 포토센서 신호값 [lx]
- Y: 조명기기 출력량 [%]

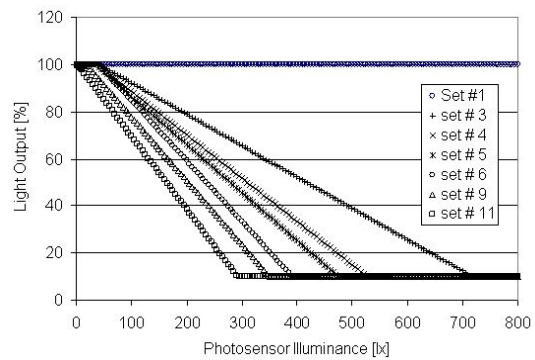


그림 5. 제어세팅 (선형알고리즘)

본 연구에서는 그림 5에 있는 모든 조건중에서 일반적인 민감도 범위인 3가지 (#4, #6, #11)만을 선정하여 시뮬레이션에 적용하였다. 알고리즘의 변화에 따라 포토센서에 동일한 신호값이 감지되어도 디밍량이 다르게 나타나 책상면의 주광조도는 변화하므로, 3가지 조건에 대한 모든 경우를 분석하여 제어효과를 결정하였다.

제어효과를 비교하기 위하여 최적디밍량이 산정되었으며, 이는 주광조건 아래에서 목표조도인 760lx (70 fc)를 항상 효율적으로 공급하는 조건을 의미한다. 기존연구에서 적용된 바와 같이 선형회귀분석 방법을 적용하여 주광조도와 조명출력량간의 차이를 제곱합의 오차 (SSE: Error Sum of Squares)를 최소화 하는 방안이 적용되었다. [4,8]

3. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3.1 제어효과 분류를 위한 기준설정

본 연구에서는 각 주광 조건 및 센서의 차단조건 아래에서 발생된 제어시스템의 디밍효과를 분석하기 위하여 5가지의 범주를 선정하였다. 이는 기존의 연구에 적용되어 효과적인 판단기준으로 활용되었다.[3,4]

위의 5 가지 범주의 선정을 위하여 가장 우선적으로 고려되는 것은 조명기기로부터 발생되는 출력량이다. 이는 주어진 주광조건에서 제어시스템이 작동했을 경우 나타나는 실질적인 조명출력량과 어떠한 주광조건아래에서도 요구되는 조도를 반드시 공급하기 위하여 필요한 이상적인 조명출력량으로 구분된다.

이상적인 출력량이 발생하는 경우, 시스템은 최적의 제어효과를 나타내는 것으로 고려된다. 본 연구에서는 위의 2가지 출력량을 먼저 고려한 후, 두 출력량사이의 선형상관관계 (linear correlation) 분석하여 제어시스템의 디밍효과를 구분하는 5가지의 범주가 선정되었다.

첫째, “최적(best)”의 제어효율을 나타내는

범주는 일일평균 디밍량이 10-50%를 나타내고, 실질적인 출력량과 최적 출력량간의 절대값의 차이가 5%이내이며, 선형회귀분석 결정계수가 0.9 이상인 경우로 선정하였다.

둘째, “우수(good)”한 제어효율은 일일 디밍평균값이 최대 50%이며, 실질적인 출력량과 최적출력량의 절대값의 차이가 5% 이상 10% 이하인 경우로 설정하였다.

셋째, 우수제어 효율의 범위에서 두가지 조명출력량의 절대값의 차이가 5% 이내로 벗어나는 경우는 “허용가능(acceptable)”으로 설정되었다. 이는 효과적인 제어효율로 추천되지는 않는 경우이지만, 일 평균 디밍량이 50% 이내이며 최적 출력량과의 차이가 최대 15% 범위이내에 있으므로, 현실적으로 허용 가능한 범위로 인정될 수 있다.

넷째, 위에 언급된 3가지 경우 이외에, 주광의 변화로 인하여 디밍이 과도하게 이루어져 책상면의 조도가 목표조도보다 낮게 유지되는 경우 및 디밍량이 부족하여 목표조도보다 매우 높은 조도가 유지되는 경우는 “추천안함 (Not recommended)”로 설정되었다. 이러한 경우, 시스템의 제어효과는 없어 제어에 실패한 것을 의미한다.

끝으로, 실질적인 조명출력량이 60% 이상인 경우, 즉 디밍량이 40% 이하인 경우는 실내에서 주광의 영향이 적어 목표조도는 유지되지만, 실질적으로 에너지절약을 위한 제어는 효과적으로 이루어 지지 않은 경우이다.

3.2 시스템 제어효과

본 연구에서 가정된 조건아래에서 분석된 디밍효과에 대한 결과는 그림 6 - 그림 13에 있다. 그래프의 데이터 점은 일일 평균 발생한 디밍량에 기준하여 산정된 조명기기의 실질적인 출력량의 평균값이다. 이상적인 출력량과 비교되어 그 차이를 명시하고 있다. 부분차단이 적용되었을 경우, 두 출력량간의 선형결정계수는 표4에 있으며, 모든 조건아

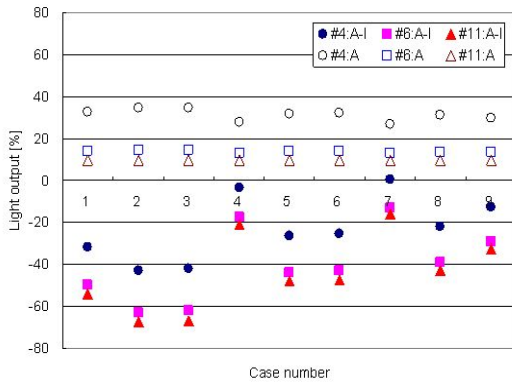


그림 6. 디밍제어효과
(부분차단, 북측 ,0% 차양조건)

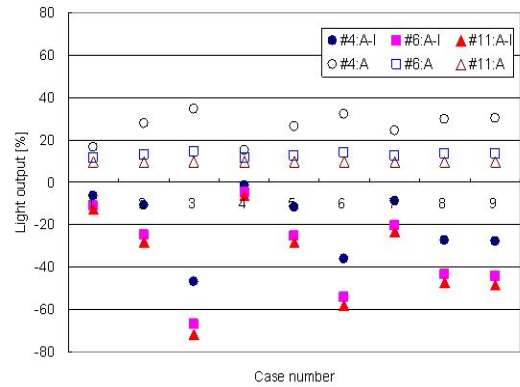


그림 8. 디밍제어효과
(부분차단, 남측 25% 차양조건)

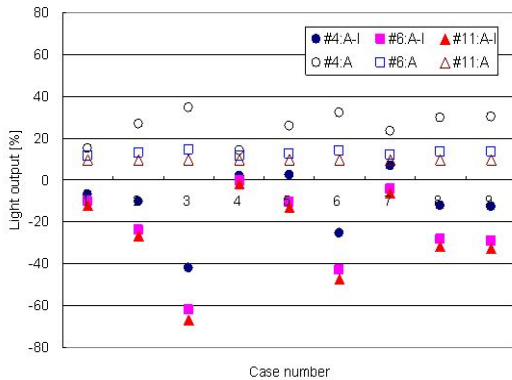


그림 7. 디밍제어효과
(부분차단, 남측 ,0% 차양조건)

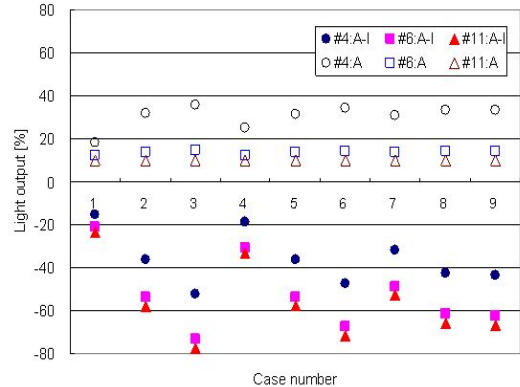


그림 9. 디밍제어효과
(부분차단, 남측 ,50% 차양조건)

래에서 나타난 제어시스템의 효과는 표5- 표 6 에 있다. 북측방향을 향하고 있는 공간에 부분차단조건이 적용된 경우, 전반적으로 제어효율은 성공적으로 이루어 지지 않았다. 과도한 디밍이 이루어져, 목표조도를 유지하기 위하여 필요한 조명출력량 보다 적은 양의 출력이 발생되었다. 청천공조건에서 세팅 #4로 적용된 경우, 3월 및 12월에 우수한 제어효율을 나타냈다. 센서의 민감도가 증가하는 세팅 #6 및 #11 인 경우 고려된 모든 조건에서 목표조도를 공급하는 데 실패하였다.

기존의 연구결과를 분석하면, 북측방향의 경우 태양으로부터 직접영향을 받는 효과는

발생되지 않아 부분차단 조건이 센서에 적용되었을 경우 우수한 제어효과가 이루어졌다.[1,3,4] 조명기기에서 천장으로 직접적인 빛의 투사가 없는 직접조명 시스템을 적용하였을 경우, 부분차단조건은 후벽면에서 반사되는 빛을 감지하여 우수한 제어효율을 발생하였다. 그러나, 직/간접조명기기가 적용되었을 경우, 주광의 영향이 감소되면 조명기기로 부터 출력량은 증가하여, 센서에 직접 영향을 주게 되며 이에 따른 과도한 디밍이 발생된 것으로 판단된다. 이는 기존의 연구결과와 일치한다.

남측을 향하고 있는 경우 부분차단조건이 적용되면, 청천공 조건에서 시스템은 효과적

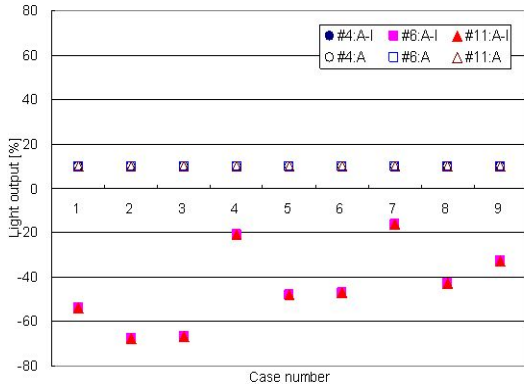


그림 10. 디밍제어효과
(차단없음, 북측 ,0% 차양조건)

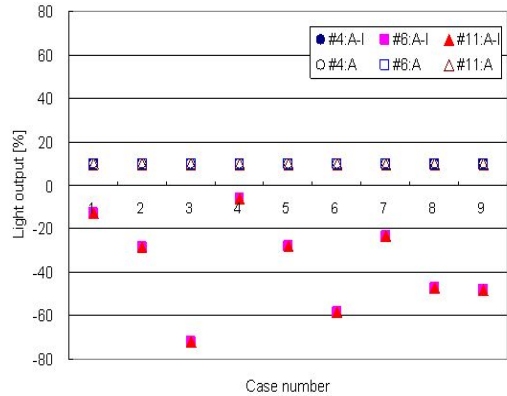


그림 12. 디밍제어효과
(차단없음, 남측 25% 차양조건)



그림 11. 디밍제어효과
(부분없음, 남측 ,0% 차양조건)

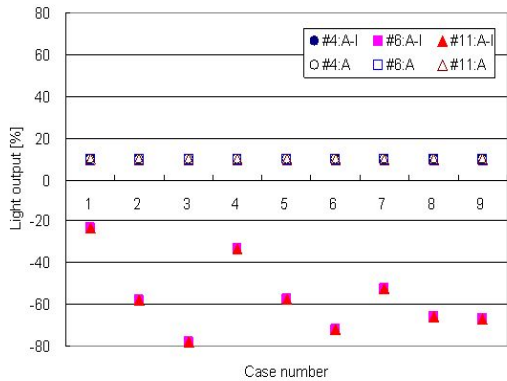


그림 13. 디밍제어효과
(차단없음, 남측 ,50% 차양조건)

으로 작동된 것으로 나타났다. 실내외피에서의 차단비율이 0% 부터 25% 인 경우, 세팅 조건 #4, #6 모두 우수한 제어효율을 나타내었으나, 담천공(Overcast sky)조건에서는 목표조도를 유지하는데 실패하였다.

이는 청천공조건인 경우, 유입되는 조도의 영향이 증가하여 조명기기로의 출력량은 감소되므로 센서에 직접적으로 미치는 영향이 감소되어 발생한 것으로 판단된다. 담천공 조건인 경우, 주광의 영향은 감소되므로 전기조명의 출력량은 증가한다. 직접적인 전기조명의 영향으로 과도한 디밍이 이루어져 조도는 성공적으로 유지되지 않았다.

차단 비율이 50%로 증가하면서 시스템은 모든 세가지 세팅조건에서 성공적인 제어효율을 유지하는데 실패하였다. 이는 유입되는 주광이 감소되어, 조명장치로부터 출력량이 증가하여 과도한 디밍이 발생되어 나타난 결과로 판단된다. 부분차단 조건에 대한 제어효율의 예는 그림 14에 있다.

차단조건이 적용되지 않은 경우, 남측 및 북측 조건에 대하여 시뮬레이션에서 고려된 모든 천공조건에서 시스템은 과도한 디밍을 유지하며 요구되는 목표조도를 유지하는데 실패하였다. 이는 센서에서 빛이 감지되는 부분이 주광 및 조명장치에 직접 노출되어

표 4. 이상적 조명출력량과 실질적 조명출력량간의 선형결정계수(부분차단조건)

일자	천공	복측			남측 0%			남측 25%			남측 50%		
		set # 4	set # 6	set #11	set #4	set # 6	set #11	set # 4	set # 6	set #11	set # 4	set # 6	set #11
12/21	C	0.996	0.996		0.992	0.992		0.882	0.999		0.992	0.984	
	I	0.991	0.991	**	0.923	0.923	**	0.887	0.887	**	0.387	0.387	**
	O	0.996	0.996	**	0.995	0.995	**	0.991	0.991	**	0.992	0.992	**
3/21	C	0.995	0.995	**	0.478	0.617	**	0.912	0.992	**	0.485	0.485	**
	I	0.993	0.993	**	0.989	0.989	**	0.976	0.976	**	0.928	0.928	**
	O	0.998	0.998	**	0.998	0.998	**	0.996	0.996	**	0.992	0.992	**
6/21	C	0.794	0.794	**	0.886	0.886	**	0.977	0.977	**	0.945	0.945	**
	I	0.997	0.997	**	0.950	0.950	**	0.931	0.931	**	0.871	0.871	**
	O	0.997	0.997	**	0.997	0.997	**	0.997	0.997	**	0.991	0.991	**

표 5. 제어효과 및 조명에너지 절약 (부분차단조건)

일자	제어 효과	복측			남측 0%			남측 25%			남측 50%	
		천공 조건	세팅 조건	절약 [%]	천공 조건	세팅 조건	절약 [%]	천공 조건	세팅 조건	절약 [%]	천공 조건	세팅 조건
12/21	최적							C	#6	88.1		
	우수				C	#4	84.7	C	#4	83.5		
					C	#6	88.1	I	#4	72.3		
					C	#11	90					
					I	#4	73.2					
	허용							C	#11		C	#4
	추천 안함	C,I,O	#4		I	#6,#11		I	#6,#11		C	#6,#11
C,I,O		#6		O	#4,#6, #11		O	#4,#6, #11		I	#4,#6,#11	
C,I,O		#11								O	#4,#6,#11	
3/21	최적	C	#4	72.3	C	#4	86.0	C	#4	85.1		
					C	#6	88.4	C	#6	88.4		
					I	#4	74.2					
	우수				I	#6	87.2					
	허용				I	#11		I	#4			
	추천 안함	I,O	#4		C	#11		C	#11		C	#4,#6,#11
		C,I,O	#6		O	#4,#6, #11		I	#6,#11		I	#4,#6,#11
C,I,O		#11					O	#4,#6,#11		O	#4,#6,#11	
6/21	최적	C	#4	73.1	C	#4	76.4					
					C	#6	87.6					
					C	#11	90.0					
	우수						C	#4	75.4			
	허용				I,O	#4						
	추천 안함	C,I,O	#6		I	#6,#11		C	#6,11		C	#4,#6,#11
		C,I,O	#11		O	#6,#11		I	#4,#6,#11		I	#4,#6,#11
							O	#4,#6,#11		O	#4,#6,#11	

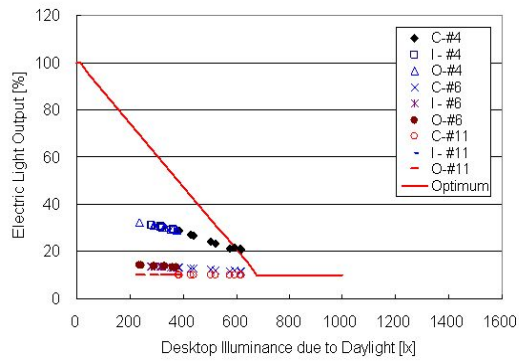
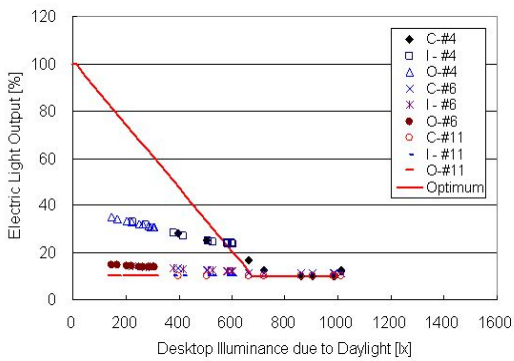
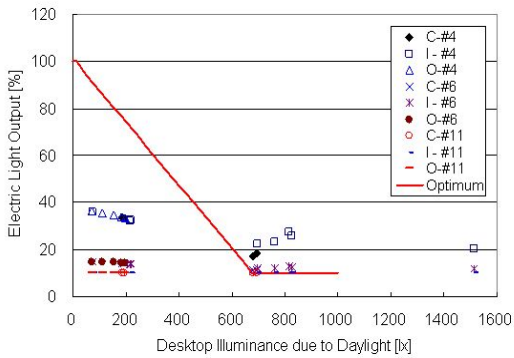


그림 14. 디밍제어효과 예
(부분차단, 날축 25%, 상:12/21, 중:3/21, 하:6/21)

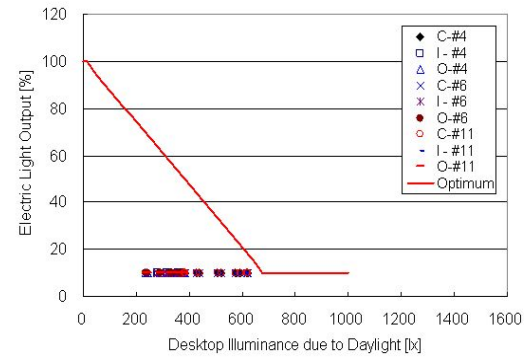
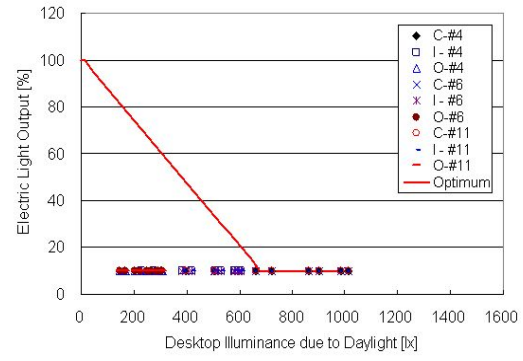
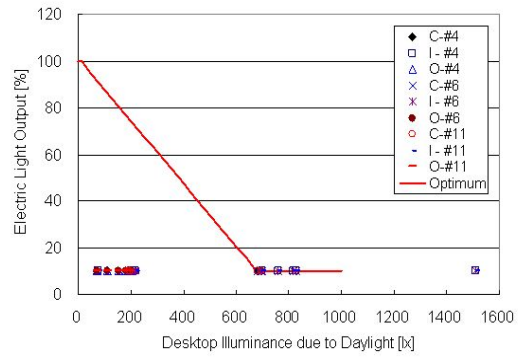


그림 15. 디밍제어효과 예
(차단없음, 날축 25%, 상:12/21, 중:3/21, 하:6/21)

과대한 양의 빛이 센서에 영향을 주어 발생된 것으로 판단된다.

따라서, 직/간접조명시스템이 설치되는 경우, 차단조건이 적용되지 않은 센서가 시스템에 적용되면 제어 시스템의 효과는 없을 것으로 판단된다. 기존의 연구에서 차단조건이 적용되지 않은 센서는 조명기로부터 센

서에 직접영향이 없는 직접조명에 대하여 적절하지 않은 것으로 나타났다.[1,4,8]

일반적으로 디밍량은 제어기에서 조절되는 민감도에 따라 제어시스템에서 조정된다. 그러나, 센서에서 과대한 신호가 감지되는 경우 민감도를 조정하여 목표조도를 유지하는 것은 효과적이지 않은 것으로 판단된다. 민

감도를 낮추어 디밍량을 조정하는 경우에도 성공적인 제어를 위하여 센서에서 감지되는 신호는 적정범위내에 존재하여야 한다.

이는 센서의 차단조건과 제어기에서 조정되는 민감도가 동시에 고려되어야 디밍제어 효과가 최적으로 이루어질 수 있음을 의미한다. 변화하는 주광조건에서 안정적인 조도를 공급하기 위하여 필요한 제어기의 세팅조건은 전기조명기구의 디밍량변화 대 포토센서가 감지하는 조도변화 비율이 0.25인 것으로 판단된다.

또한, 실질적인 디밍량과 이상적인 디밍량의 두변수간의 선형회귀분석에서 나타난 결정계수가 낮은 경우 디밍 성능이 우수하게 작용한 경우도 발생하였다. 이는 실질적인 디밍량이 이상적인 디밍량이 제어되도록 설정된 알고리즘의 세팅조건에서 나타난 선형기울기와 유사한 기울기를 보유하고 있지 않음을 의미한다. 전체적인 디밍량은 우수한 경우인데 그 변화 분포가 알고리즘의 선형분포를 따르지 않는 경우이다. 차단 조건이 적용되지 않은 경우에 대한 제어효율의 예는 그림 15에 나타나 있다.

3.3 전기조명 에너지 절약

조광제어 시스템을 적용하였을 경우 절약되는 조명에너지 절약양은 표 5에 나타나 있다. 본 연구에서는 시뮬레이션에 고려된 모

든 경우에 대하여 조명에너지 절감량이 산정되었다. 그러나, 책상면에 목표조도를 성공적으로 유지하지 못하는 경우는 시스템이 성공적으로 제어되지 않는 경우로 판단되어 에너지 절감량을 고려하는 대상에서 제외되었다.

사무실 공간이 북측을 향한 경우, 2가지 경우에 대하여 시스템이 성공적으로 제어되어 최대 73%의 에너지를 절약할 수 있었다. 그러나, 이는 본 연구에서 고려된 전체 시뮬레이션 경우의 수에 비교하면 극히 적은 빈도수에 해당하므로, 실질적인 조명 에너지 절약효율은 없는 것으로 판단된다.

남측방향의 경우, 실내외피에 적용된 차양면적이 50%인 경우를 제외하고 조명 에너지 절약은 효과적으로 이루어진 것으로 판단된다. 각 계절별 청천공 조건아래에서 효과적으로 제어시스템이 작용하여 73%이상의 에너지 절감효과를 나타내었다. 이러한 조건인 경우 역시, 시스템이 효과적으로 목표조도를 유지한 빈도수는 기존의 연구에서 직접조명장치가 적용되었을 경우에 비교하여 적다.[4] 북측조건에 비교하면 상대적으로 우수한 제어효과를 이루어 조명에너지를 절약할 수 있었지만, 실질적인 측면에서 에너지 절약은 매우 효과적이지 않은 것으로 판단된다.

따라서, 직/간접조명시스템을 소규모 사무실에 적용하여 조광제어 시스템으로 제어하는 경우, 에너지 효과적인 측면에서는 바람

표 6. 제어효과 및 에너지 절약(차단조건 없음)

일시	제어 효과	북측		남측 0%		남측 25%			남측 50%	
		천공 조건	세팅 조건	천공 조건	세팅 조건	천공 조건	세팅 조건	절약 [%]	천공 조건	세팅 조건
12/21	비추천	C,I,O	#4,#6,#11	C,I,O	#4,#6,#11	C,I,O	#4,#6,#11		C,I,O	#4,#6,#11
3/21	우수					C	#4	90		
							#6	90		
							#11	90		
	비추천	C,I,O	#4,#6,#11	C,I,O	#4,#6,#11	I,O	#4,#6,#11		C,I,O	#4,#6,#11
6/21	비추천	C,I,O	#4,#6,#11	C,I,O	#4,#6,#11	C,I,O	#4,#6,#11		C,I,O	#4,#6,#11

적하지 않은 것으로 판단된다. 제어효율을 향상하고 에너지 절약량을 증가하려면 센서는 천장부분이외의 다른 곳에 설치되어 적정 민감도를 유지하면서 제어되면 최적의 효과를 달성할 수 있을 것으로 판단된다.

소규모 사무실내에서 포토센서가 후벽면에 설치되었을 경우 조광제어 시스템은 양호한 에너지 절약량을 나타내었다.[1,4,8] 그러나, 포토센서의 민감도를 결정하는 제어 알고리즘을 한 가지 조건만 고려되었다. 추가적인 알고리즘이 적용된다면 다른 결과를 나타낼 수 있을 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 소규모 사무실내에 직/간접 조명장치가 조광제어시스템에 의하여 제어되는 경우 제어효과에 대하여 분석하였다. 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 부분차단된 포토센서가 천장의 중심에 설치되어 직/간접조명을 제어하는 경우, 청천공조건에서 민감도 조명출력량 대 포토센서의 신호변화량의 비율이 최대 0.25이하로 유지되면 비교적 효과적인 제어효율을 유지할 수 있는 것으로 분석된다.
- (2) 북측조건과 남측에서 50% 차양조건이 고려된 경우, 책상면으로 공급되는 주광조도가 낮아 조명기로부터 출력량이 증가한다. 이로 인하여 센서에 과대한 신호가 감지되어 디밍량이 증가되어 목표조도보다 매우 낮은 조도를 공급하였다. 따라서, 직/간접 조명에 부분차단조건의 센서가 적용되는 경우, 주광의 양이 공급되면 제어시스템의 효율을 높일 수 있을 것으로 판단된다.
- (3) 천장중심에 위치한 센서에 부분차단조건이 적용되어 시스템이 효율적으로 제어된 경우, 일일평균 조명에너지 절약은

최소 72%에서 최대 90% 까지 이루어 졌다. 그러나, 효과적인 제어가 이루어진 빈도수가 전체 경우에 비교하여 낮아서 실질적인 에너지 절약의 효과는 크게 없는 것으로 분석되었다. 제어효과를 향상하고 보다 나은 에너지 절약을 위하여 센서는 천장에 설치되는 경우는 적절하지 않은 것으로 제안한다.

5. 연구의 한계점 및 향후연구

본 연구는 특정이론에 근거하여 작성된 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 제한된 주광조건, 민감도 및 센서조건을 고려하여 진행되었다. 조광제어 시스템은 각 시스템의 각 구성 요소의 차이에 따라 제어효과가 변화한다. 이와 같은 영향요인을 분석하기 위하여 본 연구는 기존에 수행된 연구와 연계적으로 이루어 졌다. [9-12] 디밍 제어 시스템에 대한 총괄 연구계획이 결정되는 당시 제어효과를 체계적으로 분석하고자 일련(series)의 연구로 계획되었으며, 각기 다른 모든 경우에 대하여 연구가 실시되었다.

연구에 사용된 적용공간 및 소프트웨어 등에서 유사성이 있으나, 본 연구에서는 제어시스템의 구성인자가 전체 제어효과에 미치는 영향을 평가하기 위하여 동일한 공간에서 각기 다른 조건으로 설정된 조명기기 및 제어시스템에 대한 연구가 이루어졌다.

본 연구는 시뮬레이션에 근거하여 이루어졌으므로, 현장실험에 근거한 해석이 이루어져 시뮬레이션 결과와 비교된다면 더욱 효과적일 것으로 생각된다. 또한, 센서부분의 차단조건이 더욱 강화되어 전기조명기로부터 센서로 도달하는 부분을 효과적으로 차단하는 경우 디밍제어 시스템의 효율은 더욱 향상될 것으로 판단되어 이에 대한 추가적인 연구가 필요할 것으로 생각된다.

주광을 이용한 디밍제어 시스템의 효율은

센서의 차단조건 및 제어기에서 작동되는 제어알고리즘의 민감도에 따라 다양하게 변화한다. 따라서 제어기의 민감도는 센서의 차단조건과 동시에 고려되어 더욱 다양하게 적용된 분석이 향후 연구에는 필요 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Mistrick. R. et al., Analysis of daylight photocell placement and view in a small office. The Journal of IESNA, Vol.31, 150-160. 1997
2. Mistrick. R. et al. Comparison of photo sensor-controlled electric dimming system in a small office, The Journal of IESNA, 66-80, 2000
3. Kim. S. et al. Recommended daylight conditions for photosensor system calibration in a small office. The Journal of IESNA, Vol.30, 176-188, 2001
4. Kim. S. et al. Determining photosensor condition of a daylighting dimming control system using different double-skin envelope envelope system configuration. Indoor and Built Environment, Vol.16, 411-425. 2007
5. Lawrence Berkeley National Laboratory. Desktop Radiance User Manual, 2000
6. Reinhart et al. The simulation of annual daylight illuminance distribution—a state of the art comparison of six RADIANCE-based methods. Energy and Buildings, Vol.32, 167-187. 2000
7. Ranasinghe S. et al. A study of photosensor configuration and performance in a daylighted classroom space. The Journal of IESNA, Vol.32, 3-20. 2003
8. Kim S. et al. Optimum control of a photoelectric dimming system in a small office with a double skin envelope. Architectural Research, Vol.7. 47-54. 2005
9. 김수영, 정용호, 홍봉재, 소규모 사무실에서 디밍시스템 제어를 위한 완전차단조건 포토센서의 민감도 제안, 한국생활환경학회 논문집, 15권 2호, 2008. 6
10. 백용규, 김수영, 포토센서의 민감도에 따른 자연광을 고려한 인공조명 제어시스템 성능, 한국생활환경학회 논문집, 14권 2호, 2007. 6
11. 김수영, 정용호, 손장열, 소규모 사무실 공간에서 간접조명에 대한 조광제어 시스템 효율, 한국태양에너지학회 논문집, 26권 3호, 2006. 9
12. 김수영, 소규모 이중외피 사무실에서 직간접조명방식에 대한 포토센서 디밍시스템의 제어성능, 대한건축학회 논문집(계획계), 20권 8호, 2004. 8