

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 24, No. 4, 2004

소규모 사무실공간에서 주광조건에 따른 대비효과 및 조명에너지 절약예측

김수영*

*미시건 대학교 건축 및 도시계획 대학 (sooykim@umich.edu)

Prediction of Contrast and Lighting Energy Savings in a Small Office Space according to Daylight Conditions

Kim, Soo-Young

* Taubman College of Architecture&Urban Planning, The University of Michigan, Ann Arbor, MI, USA
(sooykim@umich.edu)

Abstract

Illuminance and luminous levels in a small office space due to daylight were calculated to analyze the impact of daylight on contrast and lighting energy savings. Computer simulations were performed for four blind conditions under a clear sky condition. The blind conditions significantly impacted the illuminance and luminance level. Visual performance scores were calculated according to the transfer function that uses absolute contrast between target and background surface. The blind condition that had 45° tilted angle toward ground provided good contrast and performance scores. Using a control algorithm of an automated daylight dimming control system lighting energy savings were predicted. For all blind conditions minimum lighting energy was consumed.

Keywords : 주광(Daylight), 휘도(Luminous), 대비(Contrast), 조명에너지절약(Lighting energy saving), 블라인드(Blind), 청천공(Clear Sky)

1. 서 론

사무구조의 변화로 인하여 컴퓨터를 이용한 업무 시간은 증가하는 추세이다. 컴퓨터가 위치한 곳의 배경면과 컴퓨터 스크린과의 대비(contrast)는 적

절히 유지되어야 한다. 이는 전기조명에 의하여 영향을 받지만, 건물외피에서 유리면적이 차지하는 비율이 높은 구조건물에 위치한 소규모 사무실인 경우, 주광(daylight)에 의하여 더욱 심각하게 영향을 받는다.

소규모 사무실공간에서 주광의 영향은 각 실내표면간의 짧은 거리로 인한 각 표면에서의 상호반사현상(interreflection)이 대규모 사무실공간에 비교하여 증가하므로 신중하게 고려되어야 한다. 실내공간에서 주광은 적절한 조명기기제어 시스템에 효과적으로 사용되어 전기조명에너지 절약에도 효율적으로 공헌한다.

따라서, 본 연구에서는 전면이 100% 유리로 가정된 소규모 이중외피 사무실공간에 대하여 다양한 블라인드 조건별 실내벽면 및 컴퓨터 스크린에서의 휘도(luminous)변화에 따른 절대대비(absolute contrast) 변화특성을 고찰한다. 또한 효과적인 주광의 활용방안을 제시하기 위하여 주광을 이용한 전기조명 에너지 절약방안을 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 분석한다.

2. 컴퓨터 시뮬레이션 사용조건

시뮬레이션은 라이트스케이프(lightscape)를 이용하여 실시되었다. 이 프로그램은 일정 주광조건 및 전기조명 조건에서, 레이디아시티(radiosity)와 레이 트레이싱(raytracing) 알고리즘(algorithm)을 이용하여 조도와 휘도의 계산 및 우수한 렌더링 이미지를 제공하므로 조명디자인 단계에서 사용되고 있다. 본 프로그램에 적용된 알고리즘에 대한 이론적 제한점은 기존의 연구에서 고찰되었다(Shalaby, 2002, Renfro, 1999).

시뮬레이션에 사용된 소규모 사무실 공간은 폭 3.9m, 깊이 3.9m이다. 남쪽부분의 높이는 3.9m, 북쪽부분의 높이는 3.0m로 가정되어 천장부분은 남쪽에서 북쪽으로 12.99° 경사를 이루고 있는 것으로 가정되었다.

천정, 벽, 바닥의 반사율은 80%, 50%, 20%이며, 남쪽전면에 100% 유리로 이루어진 이중외피시스템이 설치되는 것으로 가정되었다. 각 실내외피간의 거리는 0.9m, 각 외피에 적용된 유리의 투과율은 70%로 가정되었다.

블라인드를 외부외피의 실내부분 전면에 설치하는 것으로 가정되었다. 블라인드 슬랫(slat)의 폭 및 슬랫사이의 거리는 6.35cm이며, 슬랫은 62%의 반사율을 지닌 재질로 설정되었다. 블라인드는 수평(180°)각도, 두 가지의 45° 각도 및 블라인드가 설치되지 않은 조건으로 가정되었다.

책상의 규격은 가로, 세로, 높이 각각 0.9m, 1.8m, 0.75m 였다. 실내외피와 책상의 중심간의 거리는 1.5m로 설정되었으며, 이 중심점은 동쪽벽면에서 2.4m 이격되어 위치하였다. 책상위의 컴퓨터스크린의 크기는 14.7 인치(가로 12인치, 세로 8.5인치)로 가정되었으며, 그 중심점은 실내외피에서 1.14m, 바닥표면에서 1.1m 각각 이격되어 있는 것으로 가정되었다. 분석대상 공간은 그림 1에 나타나 있다.

분석대상 공간이 위치한 지역은 미국의 Michigan 주에 위치한 Detroit 시(위도: 42°38', 경도: 83°10')이다. 대지의 반사율은 20%로 가정되었으며 청천공 조건(clear sky)만이 사용되었다.

태양고도의 영향을 분석에 반영하기 위하여 동지 및 하지조건을 포함하여 1월, 2월, 3월, 4월, 5월, 6월, 및 12월의 각 21일을 대표 계산일로 설정하였으며, 오전 08:00부터 오후 17:00 까지 일일 10시간에 대하여 각 1시간 간격별로 시뮬레이션을 실시하였다. 전기조명은 설치되지 않는 것으로 가정되었다. 시뮬레이션에 사용된 주광조건은 표 1에 명시되어 있다.

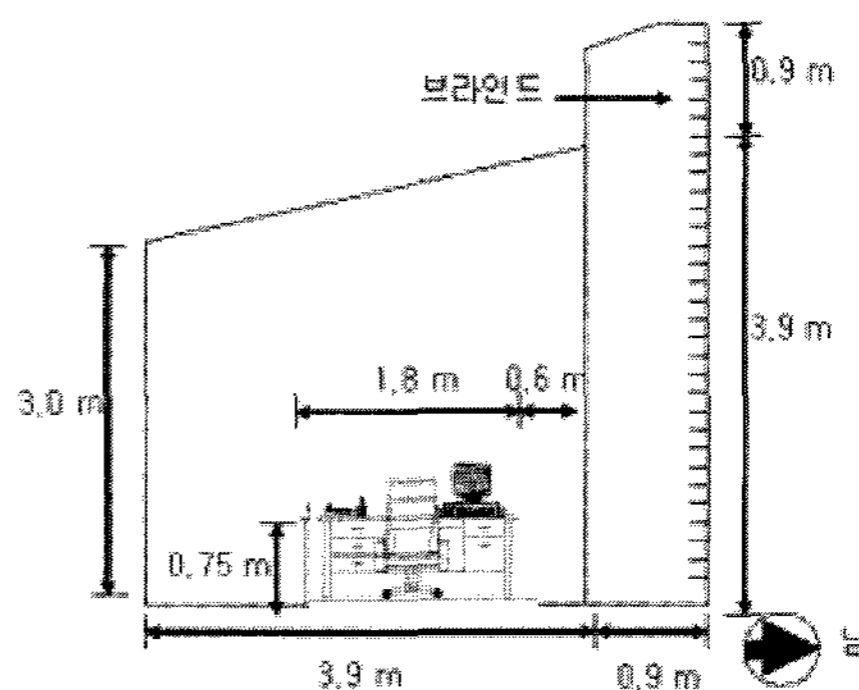


그림 1. 분석대상공간

표 1. 주광조건

월	1월, 2월, 3월, 4월, 5월, 6월, 12월			
일	매월 21일			
시간	오전 08:00 - 오후 5:00 (매 1 시간 간격)			
천공조건	청천공 (Clear Sky)			
브라인드	없음	실내		실외
	수평	실내	—	실외
	45도 상향	실내	↙	실외
	45도 하향	실내	↘	실외

3. 시뮬레이션 결과

3.1 동측벽면의 평균휘도(Luminous) 분포

각 계절 및 시간별 브라인드 조건에 따른 동측벽면의 평균휘도변화는 그림 2 - 그림 5에 나타나 있다. 브라인드가 설치되지 않은 경우, 오후시간대에 높은 분포를 보이는 12월, 1월, 2월, 3월의 경우와, 상대적으로 낮은 분포를 보이는 4월, 5월, 6월의 경우로 분류된다. 전자의 경우, 그 분포형태는 12시를 기점으로 하여 증가한 후 15시에 최고값을 나타내며, 증가폭이 급격한 산형형태를 보이고 있다. 반면, 후자의 경우 오후시간대에 변화분포는 완만하였다. 오전시간대에는, 12월, 1월, 2월의 경우 10:00시에 최고값을 나타낸 후 다시 감소하는 추세이나, 3월의 경우 변화범위는 거의 일정히 유지되었다. 오전, 오후 모두 태양고도가 가장 높은 6월의 경우 최저분포를 나타내었다.

수평브라인드 조건의 경우, 태양고도가 낮은 12월, 1월, 2월에 상대적으로 높게 나타난 반면, 4월, 5월, 6월에는 낮은 분포를 나타내었다. 1월, 3월, 4월의 16:00시에 각각 최고값인 6719.01 cd/m^2 , 4488.35 cd/m^2 , 3075.78 cd/m^2 을 나타내고 있으나, 12월 및 2월은 15:00시에 각각 최고값 6449.21 cd/m^2 및 4930.58 cd/m^2 를 나타내었다.

브라인드의 조건이 45° 상향설치인 경우, 오전 시간대에는 역시 변화의 폭이 크지 않았으나, 오후

시간대에는 수평브라인드의 경우와 비교하였을 때 높은 값을 나타내었다. 일반적으로 12월, 1월, 2월에 상대적으로 높은 값을 보이고 있으며, 2월의 15:00시에 최고값 8323.52 cd/m^2 를 나타내었다. 상대적으로 태양고도가 높은 4월, 5월 및 6월에는 2000 cd/m^2 이하의 분포를 보이고 있다.

45° 하향설치된 브라인드의 경우, 14:00이전에는 증가폭의 변화가 크지 않은 매우 안정적인 분포를 나타내고 있다. 12월, 1월, 2월, 3월의 값은 5월 및 6월과 비교하여 상대적으로 높은 분포를 나타내었다. 5월, 6월에는 높은 각도에서 입사되는 태양의 직사성분이 브라인드에 의하여 효과적으로 차단되어, 오후 시간대에도 큰 변화값을 나타내지 않았다. 시뮬레이션에 고려된 조건중에서 가장 낮은 휘도의 변화범위를 보이고 있다.

각 브라인드 조건별, 15:00시에 최대휘도와 최소 휘도의 차이값은 브라인드 없는 경우 9798.31 cd/m^2 , 45°상향설치된 경우 7556.64 cd/m^2 , 수평브라인드의 경우 5905.52 cd/m^2 , 45° 하향설치된

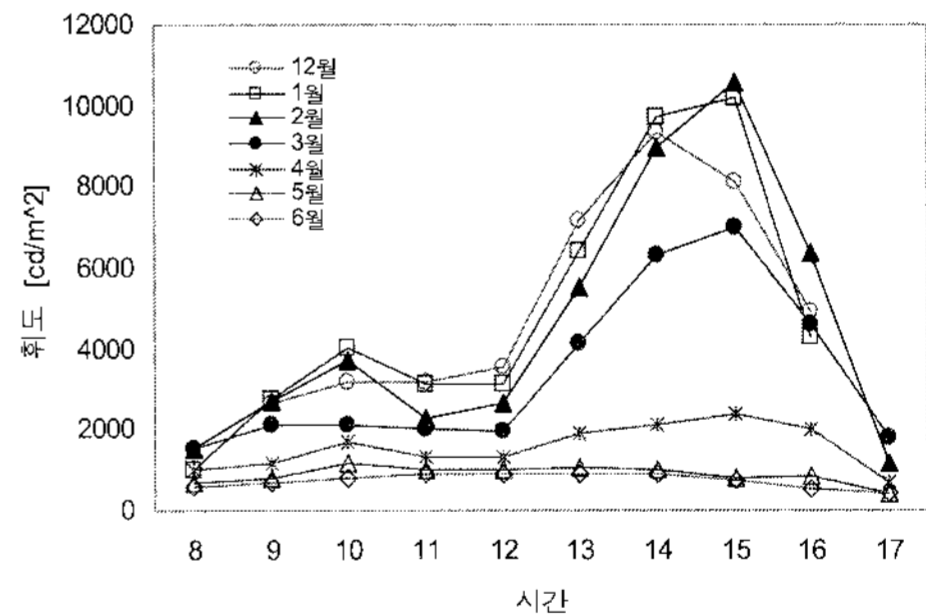


그림 2. 동측벽면 휘도분포 (브라인드 없음)

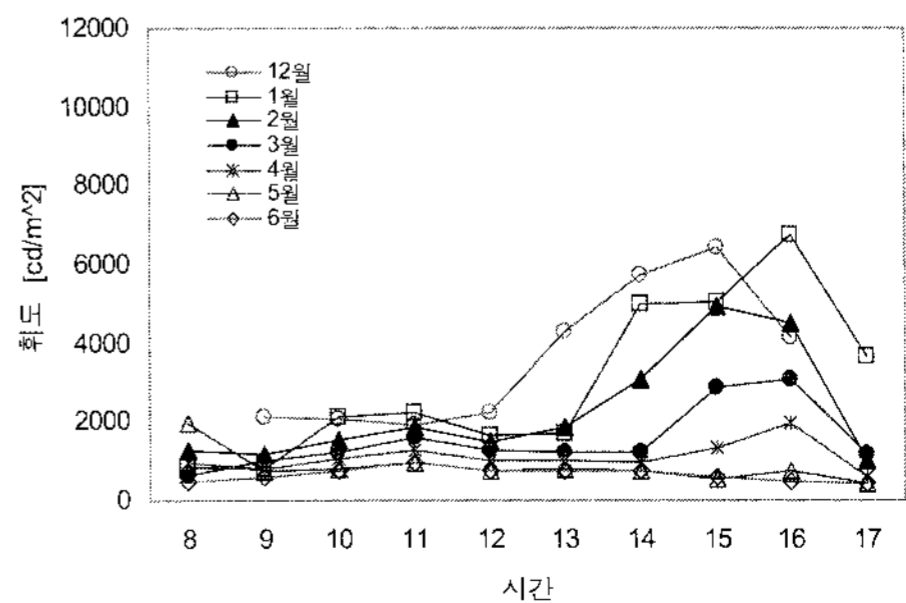


그림 3. 동측벽면 휘도분포 (수평브라인드)

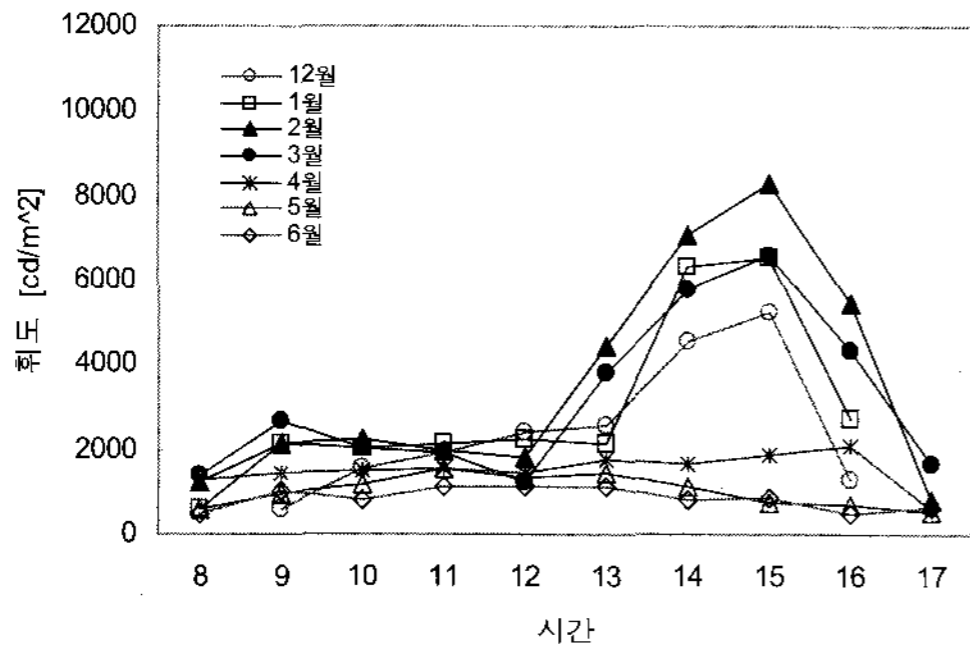


그림 4. 동측벽면 휘도분포 (45° 상향브라인드)

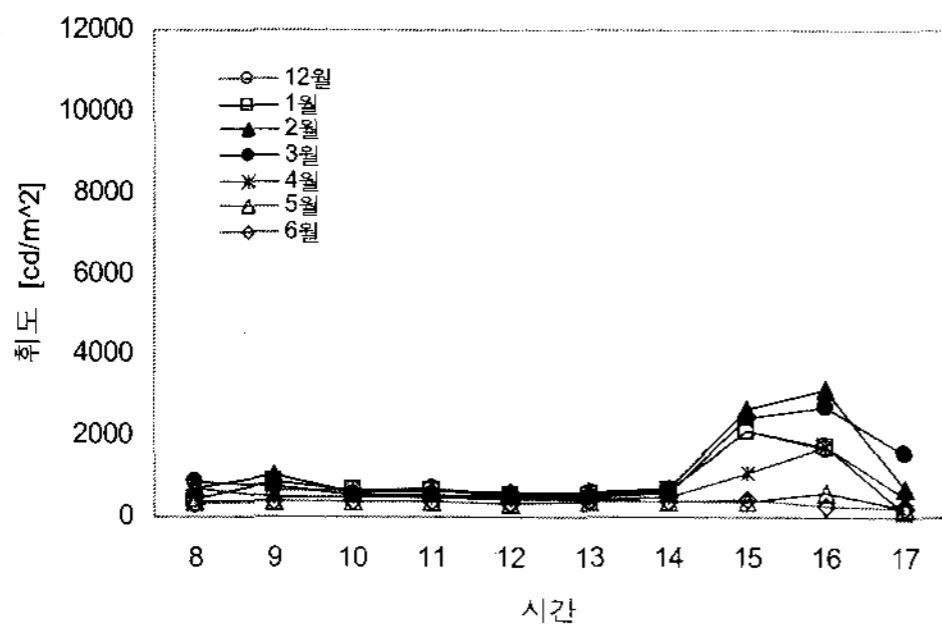


그림 5. 동측벽면 휘도분포 (45° 하향브라인드)

경우 2838.99 cd/m^2 로 나타나 벽면에서 휘도의 분포는 청천공조건에서 태양고도조건에 따라 현저한 영향을 받는 것으로 나타났다.

각 계절별 블라인드 조건에 따라 특히 오후시간대에 동측 벽면에서 휘도분포에 많은 차이가 나타난 원인은 태양고도의 변화에 따라 벽표면에 도달한 직사성분의 영향으로 추정된다. 특히 블라인드가 설치되지 않은 경우, 2월에 가장 높은 값을 나타내고 있다. 이는 26.26°의 태양고도 및 41.62°의 방위각조건에서, 벽면에 입사되는 태양의 직사성분의 영향으로 발생한 것으로 생각된다.

모든 조건의 경우 최저값을 보인 6월의 경우, 태양고도는 최소 31.87° 와 최대 70.11°의 범위에서 변화하여 실내로 입사하는 직사성분의 영향이 외피에 근접한 영역에 국한되었으며, 외피에서 거리가 이격된 부분의 벽면에는 상대적으로 영향이 적어서 발생된 것으로 추측된다.

표 2는 블라인드가 설치되지 않은 경우 동측벽면에서 휘도의 값에 대한 각 블라인드 조건이 고려되었을 경우 동측벽면에서 휘도값의 비율을 나타낸다. 45°상향설치된 블라인드조건의 경우, 태양고도가 가장 낮은 12월을 제외하고 수평브라인드 조건과 비교하여 모든 월별 조건에 대하여 높은 분포를 보이고 있다. 반면, 45° 하향설치된 블라인드 조건에서는, 각 태양고도별 직사성분이 효과적으로 차단되어 20.80% ~ 47.08%의 변화범위를 보이고 있는 것으로 나타났다.

표 2. 블라인드 설치에 따른 휘도 감소비율 [%]

	12월	1월	2월	3월	4월	5월	6월
수 평	70.89	55.68	57.71	50.80	72.95	80.23	83.22
45° 상향	50.34	62.08	76.78	90.17	84.41	91.23	92.13
45° 하향	23.60	20.80	30.46	37.13	44.87	45.66	47.08

3.2 절대대비(Absolute Contrast) 분포 및 시각성능(Visual Performance)예측

그림 6 -그림 9는 동측벽면과 스크린 표면을 각각 배경표면(background) 및 작업면(target)으로 가정하여 계산된 두 표면 사이의 절대대비 변화 분포를 명시한다. 45° 하향설치된 경우를 제외하고, 전반적으로 1.61의 범위내에서 변화하였다.

블라인드가 설치되지 않은 경우, 5월 및 6월에는 12:00시를 중심으로 최소분포를 보이며 오전 및 오후시간대에 증가하는 분포를 나타내었다. 한편, 1월, 2월, 3월에는 이와는 상반된 분포를 나타내었다. 12:00 및 13:00시에 최대값을 보이며 태양고도가 감소됨에 따라서 감소되었다. 전반적으로 일일 모든 시간에 대하여 5월 및 6월보다 높은 분포를 나타내었다.

45° 하향설치된 블라인드의 경우 블라인드가 설치되지 않은 조건과는 상반된 분포특성을 나타내었다. 태양고도가 높은 5월 및 6월의 경우 다른 조건보다 높은 값을 나타내었다. 그러나, 시간별 분포는

모든 월에 대하여 12:00시에 상대적으로 높은 값을 보이고 오전, 오후에는 감소되는 경향을 보였다. 45° 상향설치된 블라인드 조건의 경우, 분포경향은 블라인드가 설치되지 않은 조건의 분포와 유사하였다. 12월, 1월, 2월, 3월의 14:00시에 높은 값 나타내었지만, 변화 분포는 완만하였다.

수평블라인드의 경우, 6월의 분포는 12:00시에 최소값을 보이며 이를 중심으로 오전, 오후시간대에는 유사한 좌우대칭분포를 보였다. 1월 및 2월의 분포는 45° 하향설치된 경우를 제외한 다른 블라인드 조건의 결과와 유사하였다.

주광으로 인하여 실내에서 발생된 대비의 영향을 분석하기 위하여, 절대대비를 매개변수로 하는 변환함수를 적용하여 절대대비값에 따른 성능점수(performance score)를 예측하였다. 그림 10-13은 각 절대대비값에 따른 점수를 나타내고 있다. 블라인드가 설치되지 않은 조건과 45°상향설치된 조건은 점수가 66.99이하의 값을 보이는 경우의 수가 다른 두 가지 조건의 경우보다 많은 것으로 나타났다. 따라서, 과도한 주광으로 인하여 발생된 대비변화로 효율은 저하될 것으로 추측된다. 반면, 45°하향설치된 블라인드조건의 경우 전체적으로 점수는 높은 값을 나타내고 있어 최대효율을 나타낼 것으로 사료된다.

3.3 책상면의 주광조도 분포

각 계절별, 시간별, 블라인드 조건에 따른 책상면의 주광조도는 그림 14-그림 17에 나타나 있다. 블라인드가 설치되지 않은 경우 및 45° 상향설치 블라인드의 경우, 주광조도는 전반적으로 매월 시간이 지남에 따라 증가하여, 12시에 최고값을 보인 후 다시 감소하는 분포를 보이고 있다. 월별 분포는 3월에 최고값을 6월에 최소값을 나타내고 있다. 오전 10시와 오후 2시 사이의 변화분포에 따라, 주광조도는 높은 값을 보이는 2월, 3월 및 중간부분인 1월, 4월, 12월 및 최저부분의 5월, 6월로 분류된다.

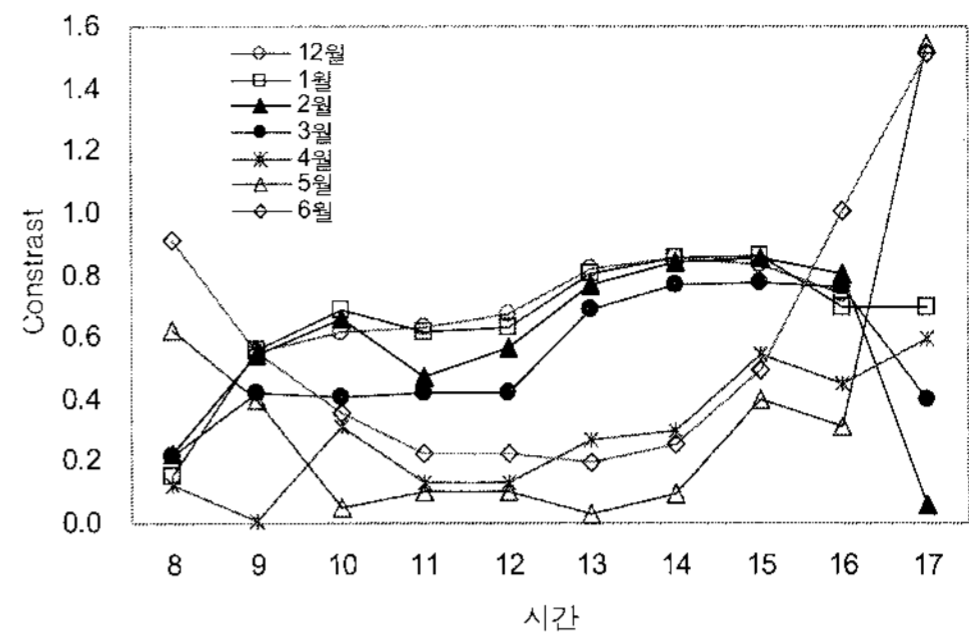


그림 6. 절대 대비 분포 (블라인드 없음)

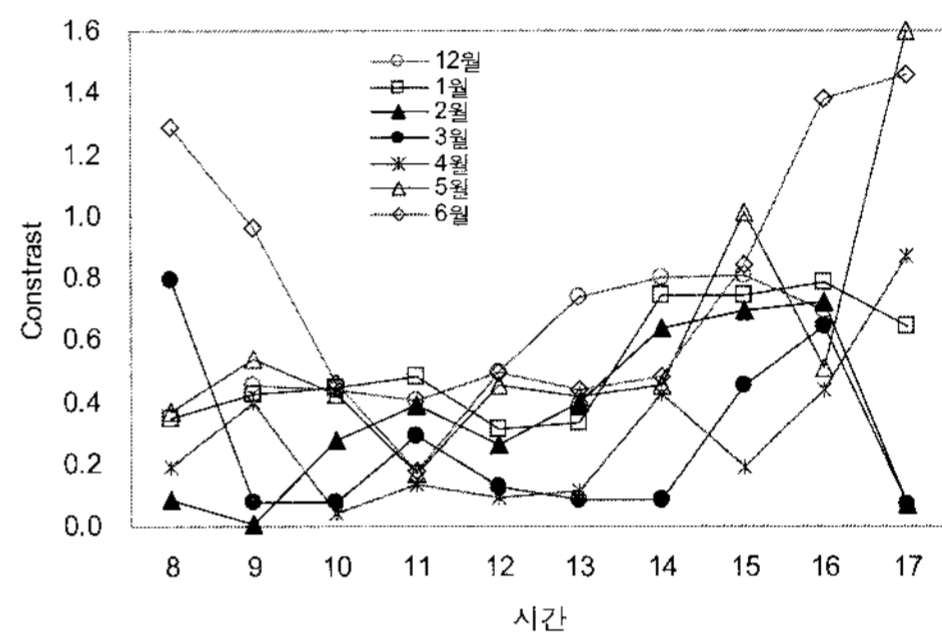


그림 7. 절대 대비 분포 (수평블라인드)

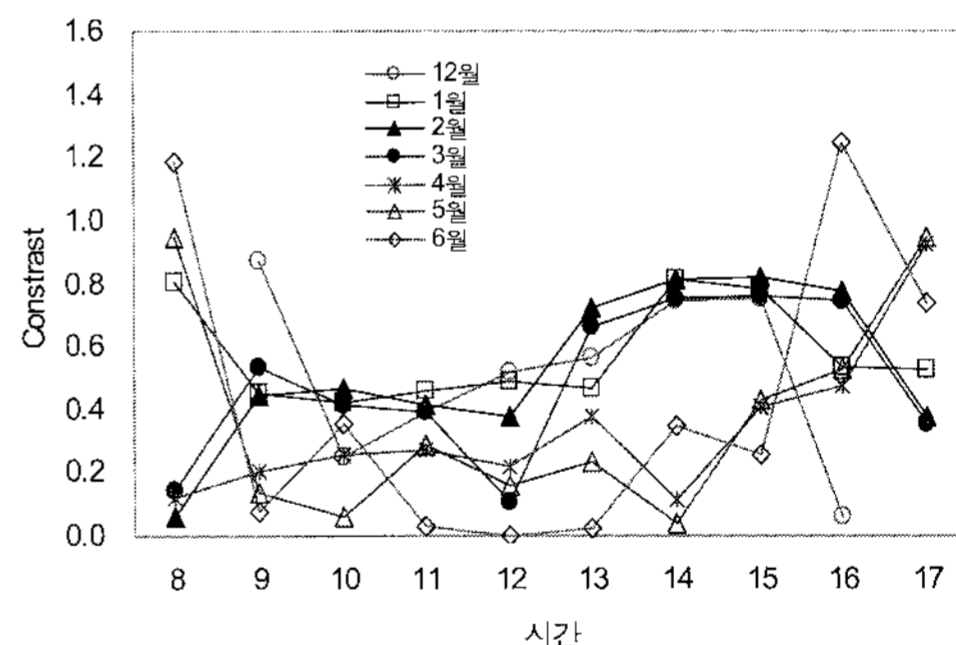


그림 8. 절대 대비 분포 (45° 상향 블라인드)

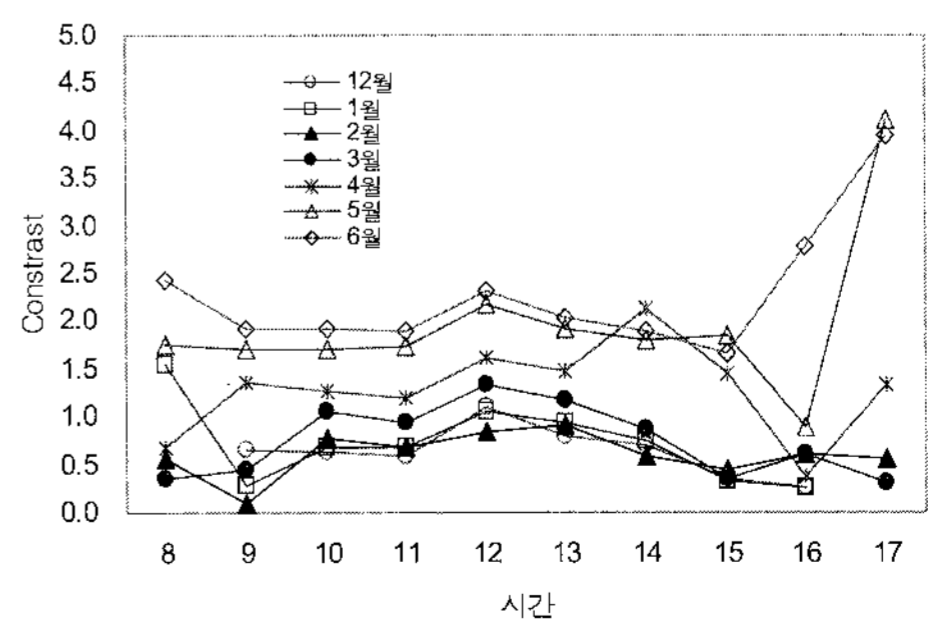


그림 9. 절대 대비 분포 (45° 하향 블라인드)

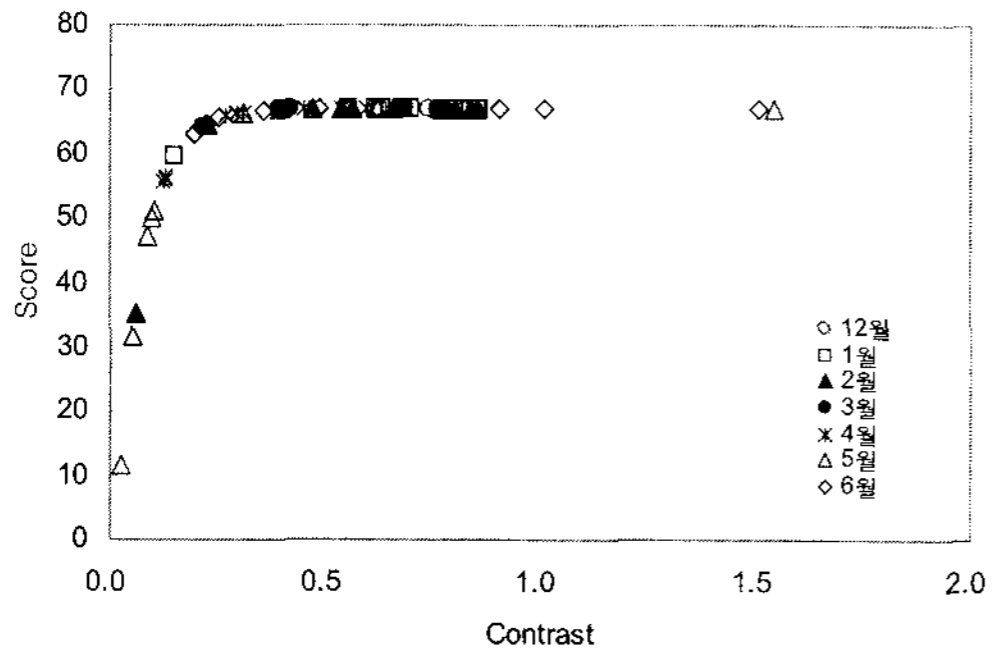


그림 10. 성능점수분포 (블라인드 없음)

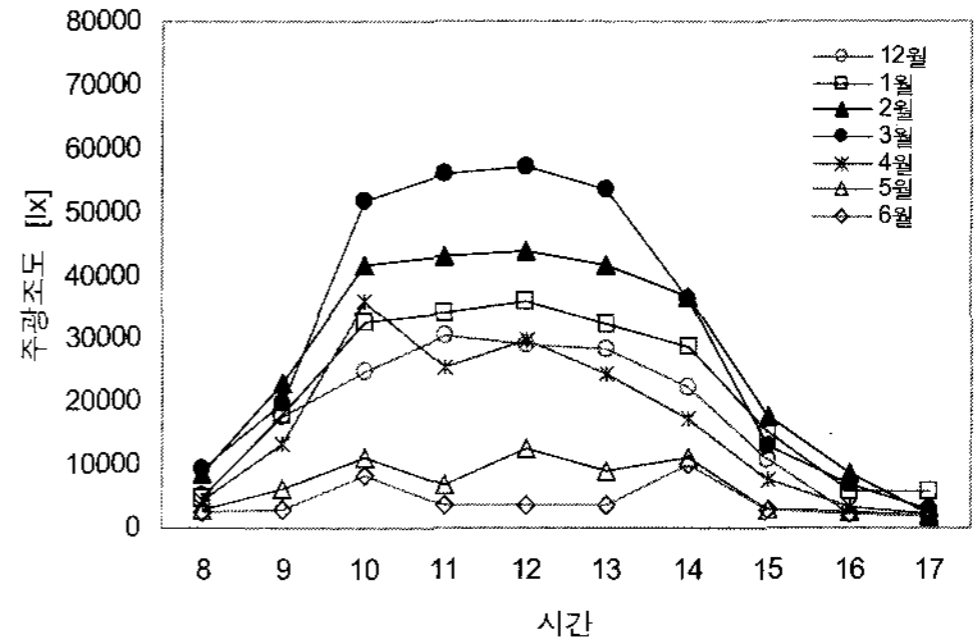


그림 14. 책상면의 주광조도 (블라인드없음)

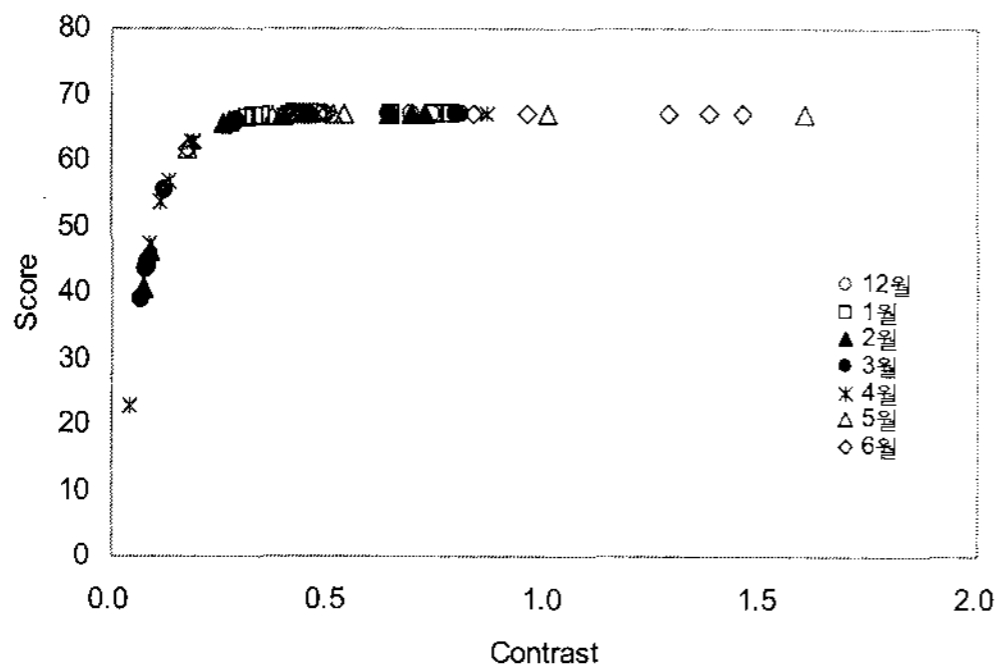


그림 11. 성능점수분포 (수평블라인드)

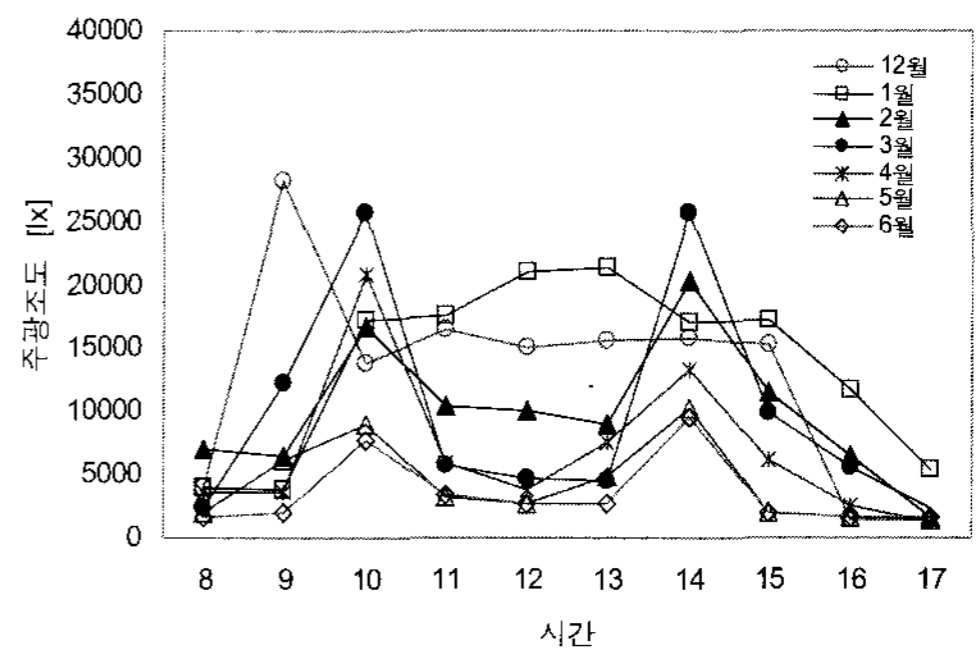


그림 15. 책상면 주광조도 (수평블라인드)

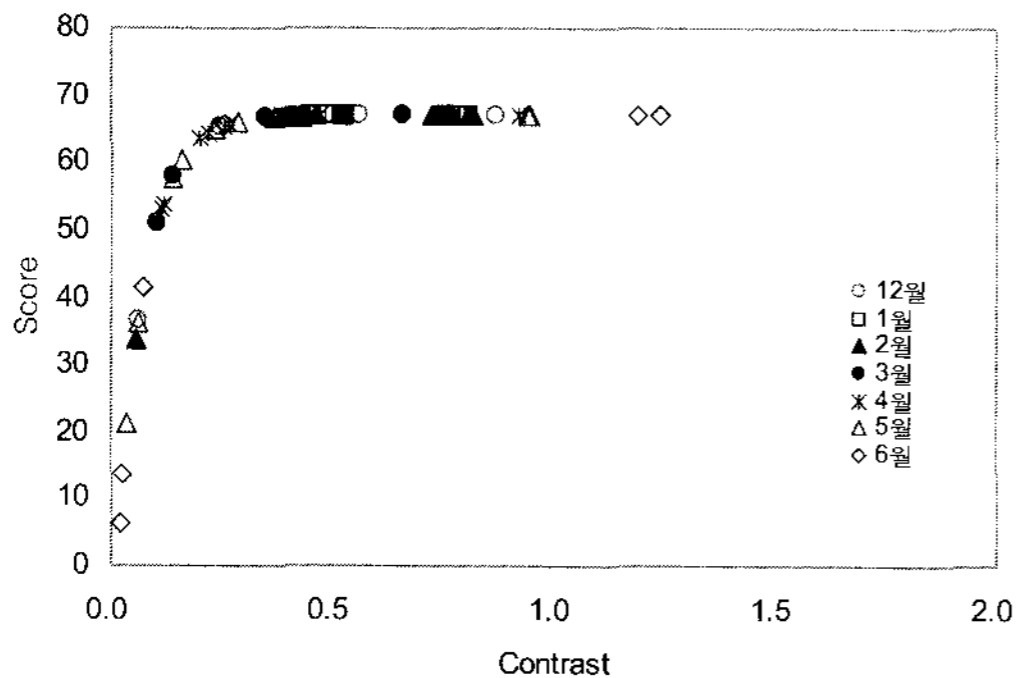


그림 12. 성능점수분포 (45° 상향 블라인드)

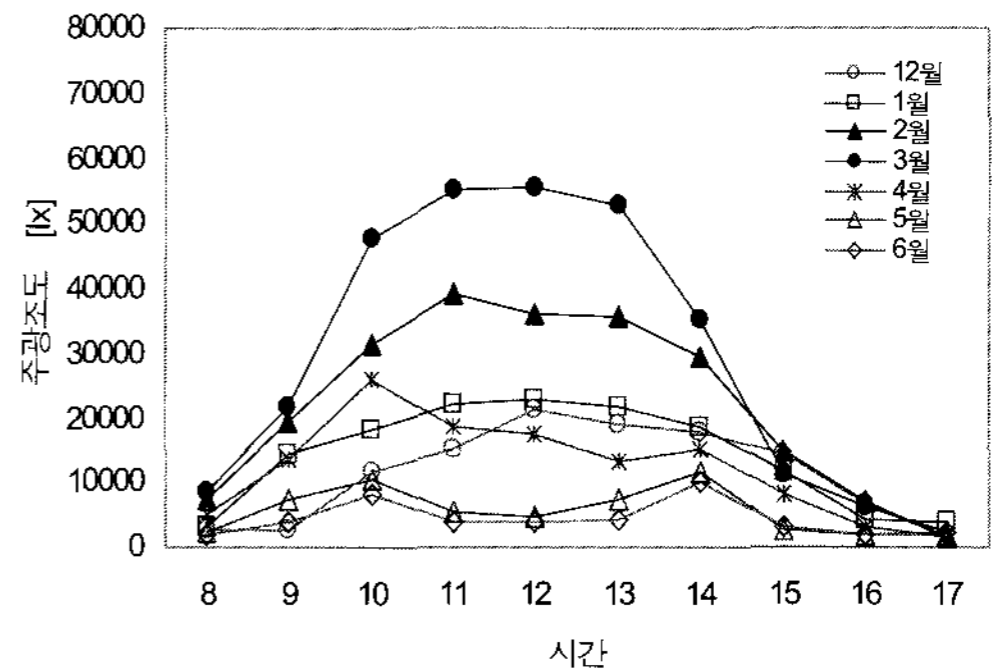


그림 16. 책상면 주광조도(45° 상향설치 블라인드)

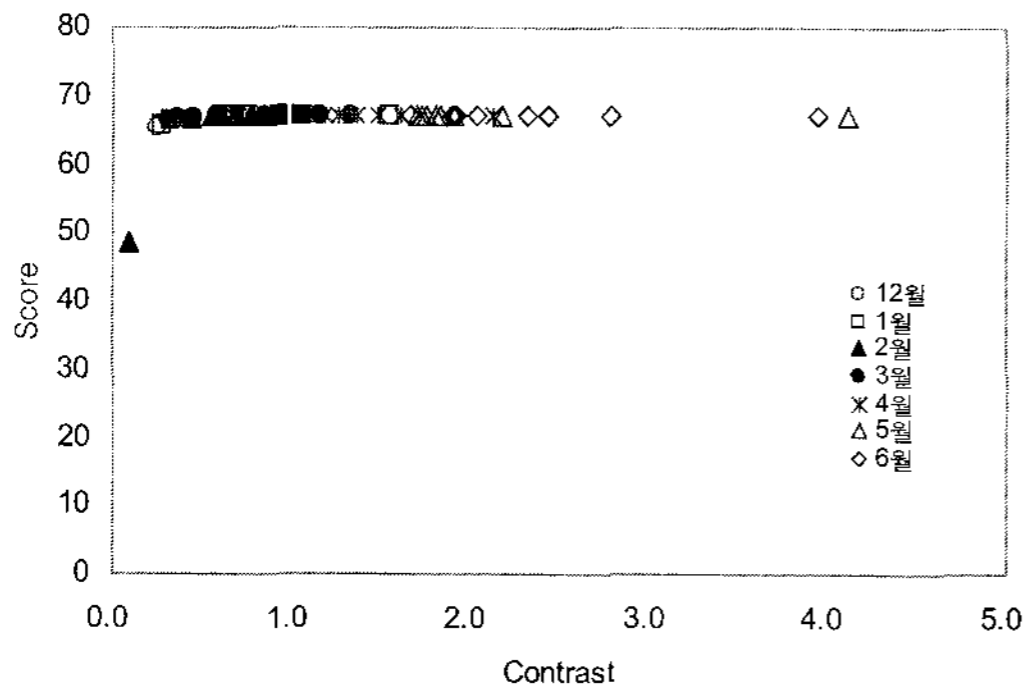


그림 13. 성능점수분포 (45° 하향 블라인드)

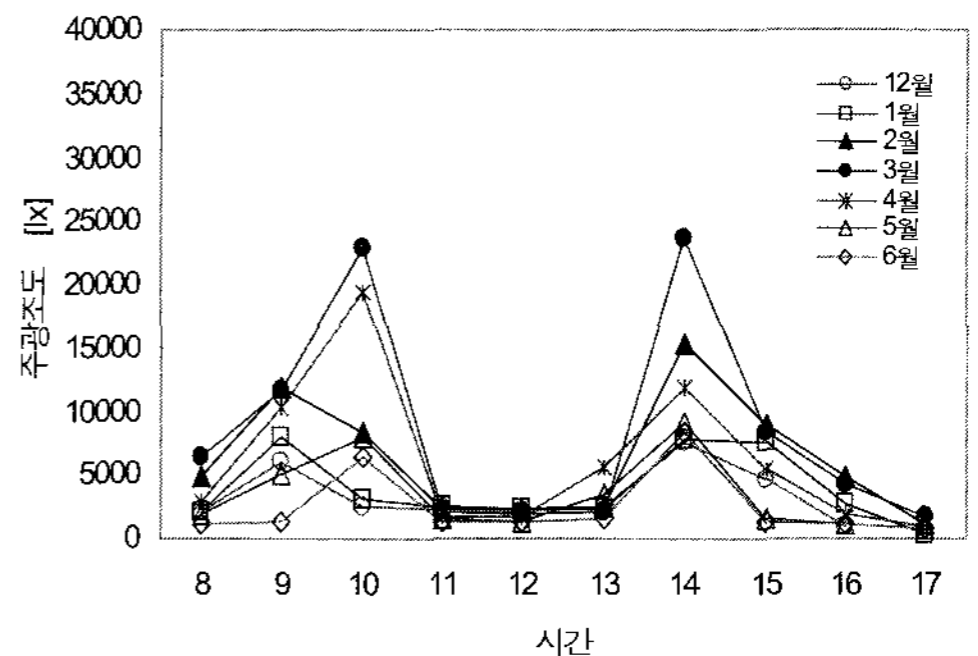


그림 17. 책상면 주광조도 (45° 하향설치 블라인드)

수평브라인드가 설치된 경우, 1월 및 12월의 주광조도는 브라인드가 설치되지 않은 경우와 유사한 경향을 보이고 있다. 그 이외 모든 달의 경우는 오전 11시부터 오후 1시까지 낮은 값을 나타내고 있으며, 오전 10시와 오후 2시에 피크 값을 보이고 있는 것으로 나타났다.

45° 하향설치 브라인드의 경우, 모든 달의 책상면주광조도가 오전 11시부터 오후 1시 사이에는 일중 최저값을, 오전 10시 및 오후 2시에는 피크값을 보이는 분포를 나타냄으로써 1월 및 12월의 주광조도분포 역시 수평브라인드 설치시의 분포와 다른 경향을 보이고 있다.

책상면의 주광조도 분포가 많은 차이를 보이는 원인은 태양고도 변화에 따른 직사광선의 영향으로 생각된다. 브라인드가 설치되지 않은 경우와 45° 상향설치 브라인드의 경우, 3월에 가장 높은 주광조도 값을 보이고 있으며, 이는 16.05°에서 46.56° 사이에서 변화하는 태양고도로 인하여 책상면이 직사광선의 영향을 직접 받았으리라고 사료된다. 6월의 경우 태양고도는 31.87°에서 70.11° 사이의 상대적으로 높은 값을 보이고 있으므로, 책상면에 도달하는 직사광의 영향이 낮은 것으로 생각된다.

45° 상향 및 하향 설치 브라인드의 경우, 오전 10시와 오후 2시에 피크값을 보이는 원인은 이중외피구조의 공극 옆부분이 유리로 가정되어, 차양장치가 설치되지 않은 공극측면으로 도달하는 직사일사는 차단되지 않아 나타난 것으로 추측된다. 한편, 브라인드슬랫이 오전 11시부터 오전 1시까지의 태양고도 및 방위각에 따라 변화하는 직사일사는 효과적으로 차단한 것으로 추측된다.

3.4 전기조명에너지 절약 가능성 예측

포토센서 제어 시스템에 의한 조명기기의 출력은 포토센서가 감지하는 조도에 따라 제어알고리즘에 의하여 조정되므로, 포토센서가 감지하는 조도의 예측이 중요하다. 소규모 사무실에 포토센서 조절 시스템을 이용한 전기조명 조절방식의 경우, 포토

센서의 설치위치로는 천장이나 후벽면이 권장되었다(Mistrick, 1997). 본 연구에서는 포토센서 시스템을 이용한 전기조명에너지 절약을 고찰하기 위하여 후벽면(북측벽면, 바닥면으로 부터 2.4m)의 한 곳을 선정하여 조건별 조도분석을 실시하였다. 결과는 그림 18-그림 21에 나타나 있다.

주광조도변화 분포는 브라인드가 설치되지 않은 경우의 변화분포가 다른 브라인드 조건하에서 나타내는 변화값 보다 높은 범위를 보이고 있다. 오전 10시에 피크값을 나타내며, 태양고도가 가장 높은 정오에 최저값을 보이고 있다. 브라인드가 설치되지 않은 조건과 수평브라인드 조건의 경우, 계절별 각 표면의 주광조도 값은 태양고도가 연중 가장 낮은 분포를 보이는 12월에 최고값을 나타냈고, 태양고도가 증가함에 따라 감소하여 6월에 최소값을 나타냈다. 각 표면별 주광조도분포의 변화범위는 피크값을 보이는 오전 10시에, 브라인드가 설치되지 않은 조건 및 수평브라인드 설치조건에 대하여 각 월별 최고 및 최소의 차이는 14604.42 lx 및 9020.95 lx로 나타났다.

45° 상향 및 하향설치 브라인드의 경우, 각 표면 주광조도값은 수평브라인드의 경우보다 낮은 분포를 보이고 있다. 45° 하향 설치브라인드의 경우, 월별 차이값이 현저히 감소되었다. 이는 태양의 직접 영향을 브라인드가 차단하고, 실내에서의 각 표면 간 반사의 영향으로 인하여 발생한 것으로 추측된다. 따라서, 후벽면에서의 주광조도는 태양의 직사일사 보다는 실내표면에서의 반사에 영향을 더욱 많이 받는 것으로 판단된다.

포토센서 디밍조정장치 시스템(photosensor dimming control system)의 제어 알고리즘(control algorithm)은 그림 22에 나타나 있다. 포토센서가 감지하는 조도와 전기조명기기의 출력간의 관계는 실험실 조건에서 측정된 것으로, 각 지점에서 포토센서가 감지하는 조도에 따라 전기조명기기의 출력범위는 10%에서 100% 사이로 조정되고 있다. 이러한 제어 시스템을 본 연구에서

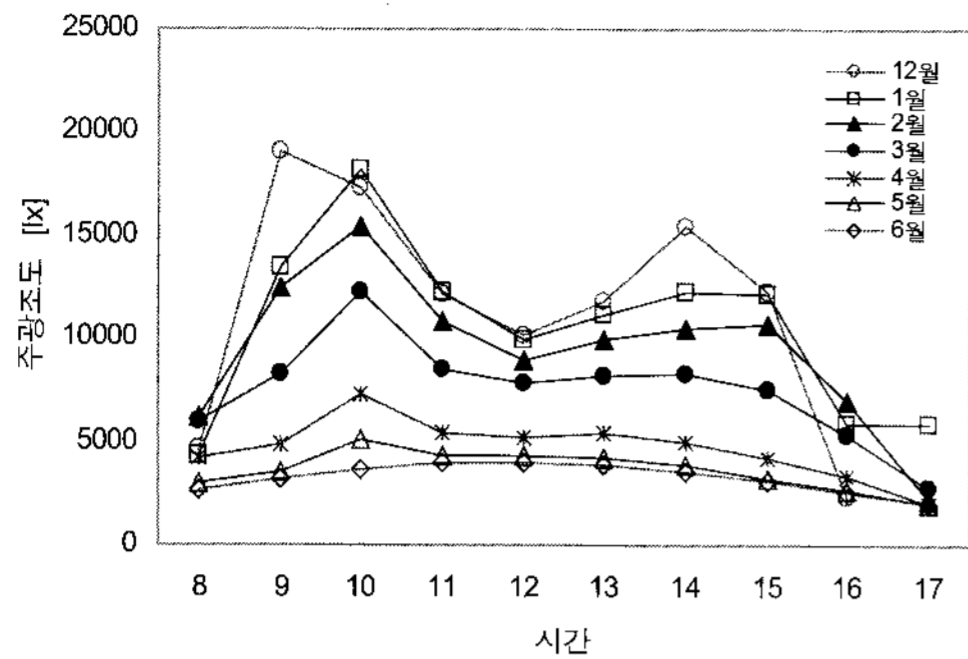


그림 18. 북측벽면 주광조도 (블라인드없음)

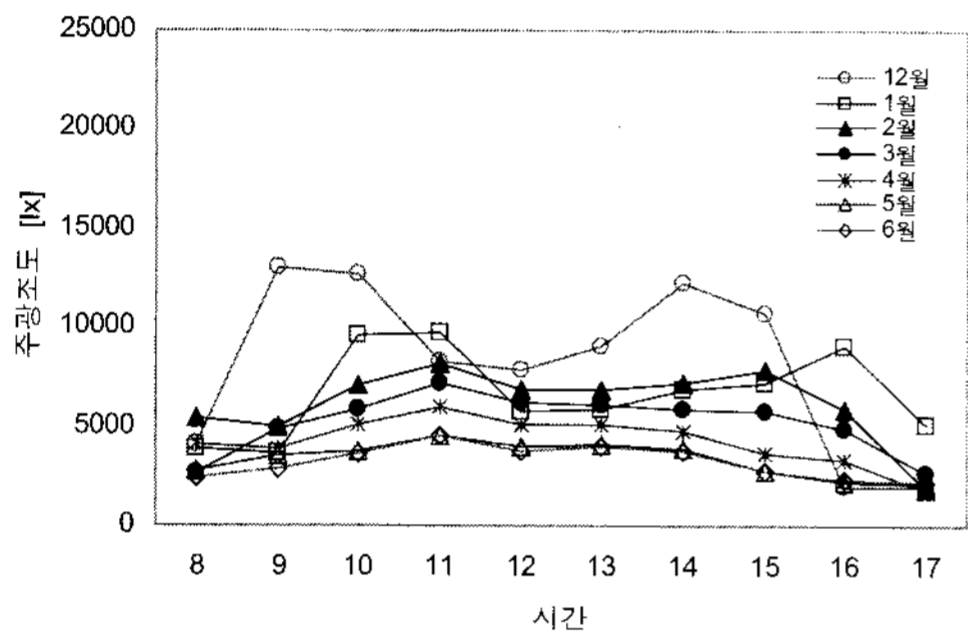


그림 19. 북측벽면 주광조도 (수평블라인드)

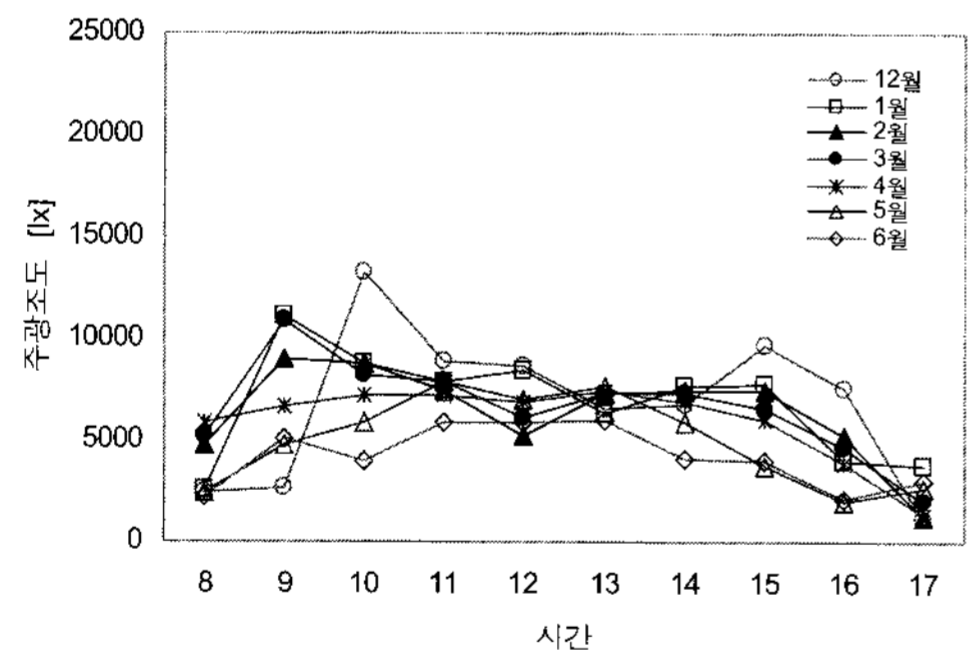


그림 20. 북측벽면 주광조도 (45° 상향설치 블라인드)

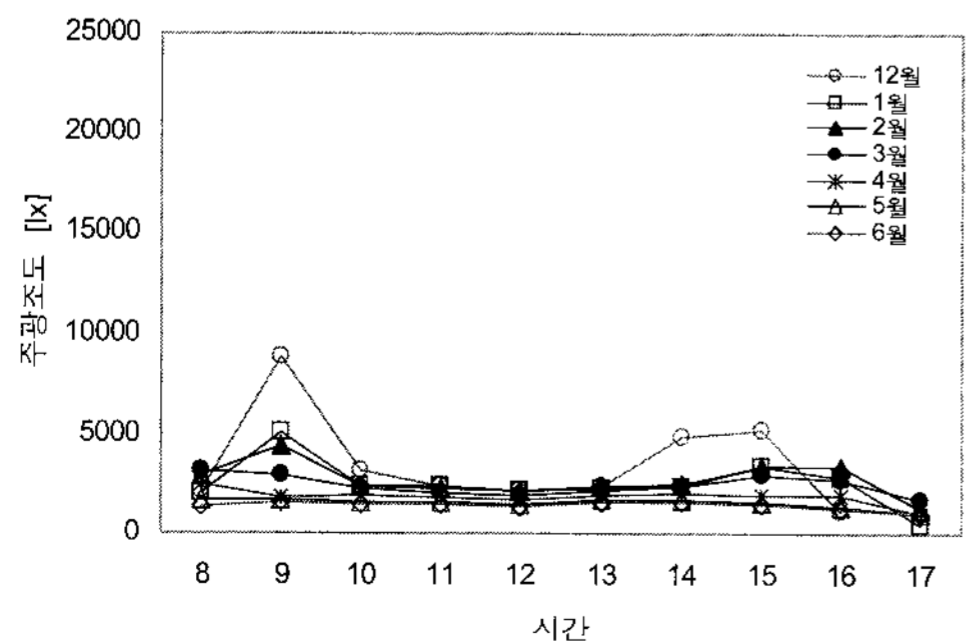


그림 21. 북측벽면 주광조도 (45° 하향설치 블라인드)

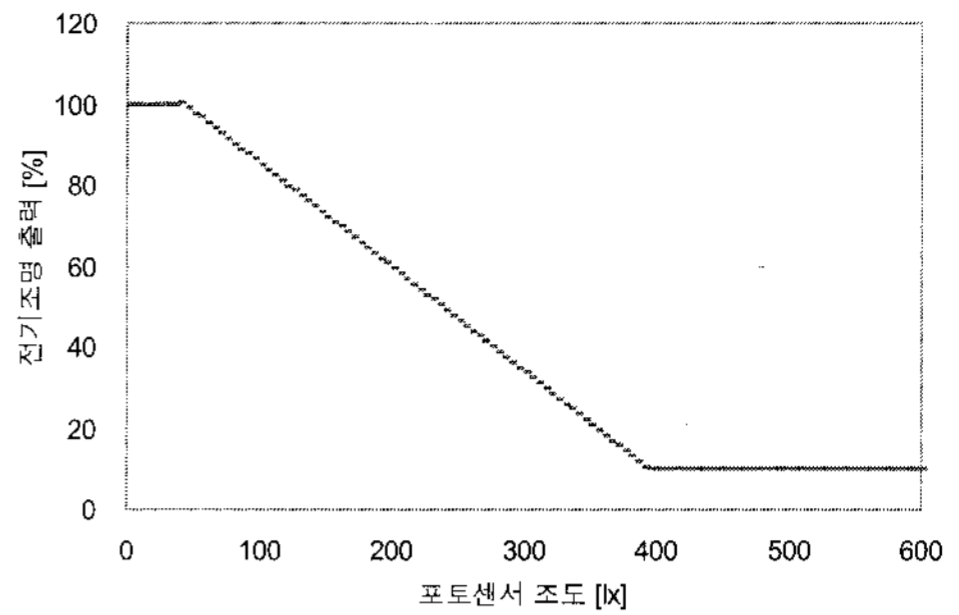


그림 22. 조정알고리즘 (Control Algorithm)

분석된 실내공간에 적용시킬 경우, 모든 블라인드 조건에 대하여 후면벽에서 설치된 포토센서가 감지하는 높은 주광조도로 인하여 전기조명장치의 출력은 최소범위인 10%로 조절된다.

전기조명이 최소출력범위로 조정되는 경우에도 책상면의 조도분포는 주광에 의하여 각 기준이 제시하고 있는 최소 조도 범위를 초과하고 있다. 따라서, 전기조명이 고려되지 않은 경우에도 청천공조 조건에서 블라인드의 조정에 따른 조도부족현상은 나타나지 않을 것으로 예상된다.

4. 결론 및 향후연구

본 연구에서는 이중외피구조시스템이 설치된 소규모 사무실 공간에 대한 주광효과를 컴퓨터 시뮬레이션을 이용하여 분석하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 각 월별, 시간별 실내벽면에서의 휘도값의 분포는 블라인드 조건에 따라 현저한 변화를 나타내었다. 블라인드가 설치되지 않은 조건인 경우와 비교하여 휘도값은 수평블라인드의 경우 50.80% ~ 83.22%, 45°상향설치된 블라인드의 경우 50.34% ~ 92.13%, 45°하향설치된 블라인드의 경우 20.80% ~ 47.08% 감소되었다.
- (2) 절대대비값은 45° 하향블라인드 조건에서 효과적인 직사주광의 차단으로 인하여 다른 조건

의 경우보다 높은 분포를 나타내었다. 특히, 고도가 높은 6월에 최대분포를 보이고 있다. 이는 다른 블라인드 조건에서의 결과와는 상반된다. 절대대비값을 매개변수로 하여 산정한 시각성능의 예측결과는 45° 하향블라인드가 설치된 경우 다른 블라인드조건의 결과와 비교하여 전반적으로 우수한 분포를 나타내었다.

- (3) 청천공조건 하에서 남측면에 설치된 전면유리를 통하여 입사하는 높은 주광의 영향으로 전기조명기기는 최소 출력범위인 10%를 유지하여 시뮬레이션에 사용된 조건별 90%의 전기 에너지를 절약할 수 있는 것으로 나타났다. 에너지 절약효과와 함께 책상면의 조도는 사무실 공간을 대상으로 제안되는 기준값인 500 lx ~ 1000 lx 를 초과한 것으로 나타나, 청천공 조건에서 다밍조절장치를 이용한 전기조명기기의 제어성능은 조명에너지 절약면에서 우수한 것으로 나타났다.

본 연구의 결과는 청천공 조건하에서 특정 알고리즘을 이용하는 소프트웨어를 이용하여 분석되었으므로, 다른 천공조건에 대한 추가연구 및 현재 상

용화된 다른 프로그램에 의한 비교분석도 필요할 것으로 사료된다. 또한, 재실자에 의한 시각적반응도 향후 연구되어야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

1. Renfor et al., Lightscape Daylight Accuracy Test, Renfrom Design Group, 1994
2. Shalaby et al., Evaluating Lightscape's Accuracy for Predicting Daylighting Illuminance compared to an Actual Space, Master Thesis, The Univ. of Florida, 2002
3. Joseph Murdoch, Illumination Engineering : From Edison's Lamp to The Laser, Vision Communications, 1994
4. M. Rea, IESNA Handbook 8th edition, 2001
5. R. Mistrick. J, Thongtipaya., Analysis of Daylight Photocell Placement and View in a Small Office, The Journal of IESNA, Summer, 1997