

[논문] 한국태양에너지학회 논문집

Journal of the Korean Solar Energy Society

Vol. 24, No. 2, 2004

# 기상인자의 변화에 따른 소규모 공간에서의 주광조도분석

김수영\*

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

## Analyses of the Impact of Atmospheric Conditions to Daylight Illuminance in a Small Space

Kim Soo-Young\*

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

### Abstract

Daylight illuminance levels in a small space were calculated using the Superlite program under limited conditions of the turbidity and thickness of condensable water of atmosphere. Three sky conditions (clear sky with direct sun, clear sky with no direct sun, overcast sky with no direct sun) were used. The atmospheric conditions significantly impacted the illuminance levels under especially a clear sky with direct sun. The overcast sky with no direct sun provided no difference for the illuminance levels in the space. As the calculation points moved away from a window, reflected illuminance levels gradually increased but direct illuminance levels significantly decreased.

**Keywords** : 슈퍼라이트(Superlite), 기상조건(Atmospheric Conditions), 천공조건(Sky Condition), 주광조도(Daylight Illuminance), 혼탁도(Turbidity)

### 1. 서 론

인공조명으로 유지되는 단조로운 실내 환경조건에 역동적으로 공헌할 수 있는 광원이 자연채광이다. 자연 채광을 활용한 전기 에너지의 절약을 위한 인공조명 조정방법을 통하여 재실자의 만족도를 증가시키기 위해서는 정확한 주광(daylight)분포를

예측해야 한다.

그러나, 태양으로부터 발생하는 자연광은 대기층에 도달한 후, 대기표면을 구성하고 있는 다양한 물질의 물리적 특성에 따라 건물에 도달하는 과정에서 변화하며, 이에 따라 건물에 활용될 수 있는 주광량은 영향을 받는다. 따라서, 건물이 위치한 지역의 정확한 대기조건을 적용하여 신뢰성 있는 주광예측

결과를 얻는 것이 중요하다.

본 연구에서는 기상조건이 건물내부의 주광조도에 미치는 영향을 파악하기 위하여, 대기를 구성하고 있는 물질의 혼탁도(turbidity) 및 대기중의 응축가능한 수증기의 두께변화에 따른 소규모공간에서 주광조도 변화특성을 3가지 천공조건아래에서 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 분석한다.

### 2. 컴퓨터 소프트웨어

주광조도 예측프로그램 중 두 가지 기상인자를 동시에 가정 할 수 있는 프로그램인 로렌스 버클리 랩(Lawrence Berkeley National Lab)에서 개발된 Superlite 2.0을 사용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시하였다. 이 프로그램은 CIE에서 제안하고 있는 표준천공 휘도분포에 따라서 천공조건을 모델링한다. 천공조건으로는 태양의 직접영향이 고려되지 않은 담천공, 균일천공, 청천공 및 태양의 직접영향이 고려된 청천공이 사용되며, 대기의 혼탁도(turbidity) 및 대기중의 응축가능한 수증기의 두께를 고려하여 주광조도를 계산한다. 또한, 각 천공조건하에서 실내에 도달하는 직사광으로 인한 조도와 실내에서 실표면간의 반사로 인하여 나타나는 조도를 분리하여 계산하는 알고리즘을 적용한다.

### 3. 컴퓨터 시뮬레이션 및 사용조건

시뮬레이션에 사용된 공간은 폭 3m, 깊이 3.6m, 높이는 3m로 남쪽부분 전면이 유리로 가정되었다. 천정, 벽, 바닥의 반사율은 80%, 50%, 20%, 유리의 투과율은 40%로 가정되었다. 본 공간이 위치한 지역은 미국의 Michigan주에 위치한 Detroit 시(위도: 42°38', 경도: 83°10')이며, 대지의 반사율은 20%로 가정되었다. Superlite 에서 가정되는 3가지 천공조건 및 각 월별 변화분포를 파악하기 위하여 연중 7개월의 각 21일이 계산에 사용되었다. 조도계산에 사용된 표면의 높이는

바닥으로부터 75 cm로, 각 30 cm 간격의 격자에 대하여 계산이 수행되어, 남북방향으로 실의 중심을 따라서 분석이 이루어졌다. 직사광을 조절하기 위한 차양장치(shading device)는 고려되지 않았다. 사용된 공간은 그림 1에 나타나 있다.

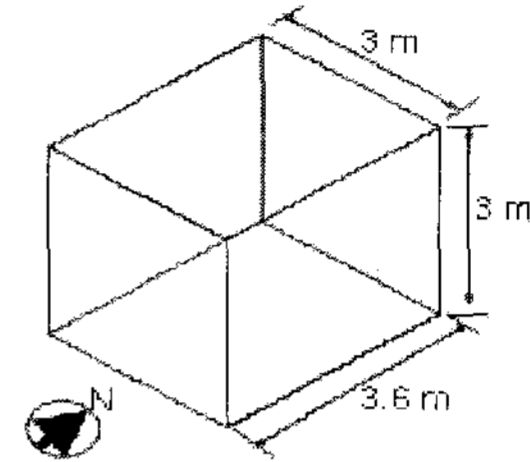


그림 1. 분석대상공간

대기의 혼탁도(turbidity) 및 대기중의 응축가능한 수증기의 두께는 미국 내 각 도시의 월별 평균 대기의 수분분포에서 최대 및 최소값을 선정하여 시뮬레이션에 적용하였다. 태양의 직접영향을 분석하기 위하여 시간은 정오(12:00)만이 사용되었다. 사용된 주광조건, 각 월별 태양고도 및 방위각은 표 2 ~ 표 3에 나타나 있다.

표 2. 주광조건

월	1, 2, 3, 4, 5, 6, 12	
일시	매월 21일, 12:00(정오)	
천공 조건	I	태양의 직접 효과를 고려한 청천공 (direct sun with clear sky)
	II	태양의 직접 효과를 고려 안 한 청천공 (no direct sun with clear sky)
	III	태양의 직접 효과를 고려 안 한 담천공 (no direct sun with overcast sky)
기상 조건	최소 조건	T:0.02, W:0.43
	최대 조건	T:0.55, W:4.55

여기서, T:혼탁도 계수 (Turbidity)

W:대기중의 응축가능한 수증기두께 [cm]

표 3. 태양고도 및 방위각

	12/21	1/21	2/21	3/21	4/21	5/21	6/21
고도	23.85	27.07	35.86	46.56	58.40	66.82	70.11
방위각	-7.43	-7.81	-8.99	-10.8	-14.0	-18.0	-20.4

### 4. 시뮬레이션 결과

사용된 기상조건 및 천공조건변화 별, 남측유리 면으로부터 거리에 따른 실내에서 직사광에 의한 조도, 실내표면간의 반사로 인하여 발생하는 조도 및 주광효율은 그림 3 ~ 그림 7에 나타나 있다.

태양의 직접영향이 고려된 청천공조건(direct sun with clear sky)의 경우, 태양직사광선에 의한 조도 및 실내표면의 반사에 의한 조도의 변화 분포는 각 기상조건에 따라 유사한 분포를 보이고 있으나, 절대적인 조도값의 차이는 현저한 차이를 나타내고 있다. 남측유리로부터 이격거리에 따라 각

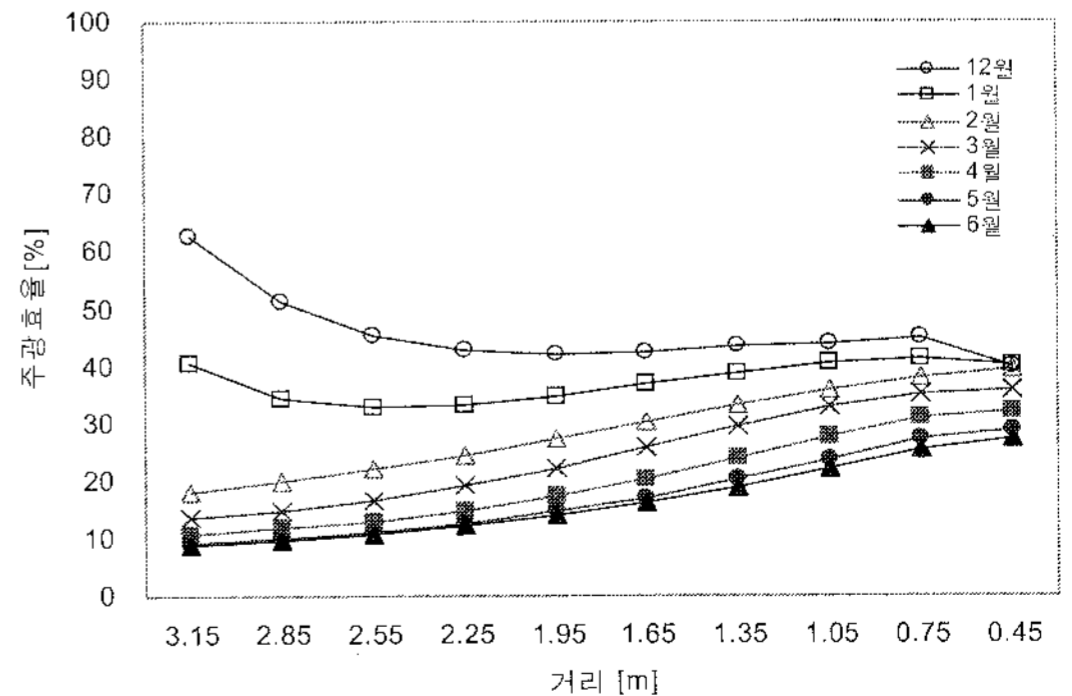
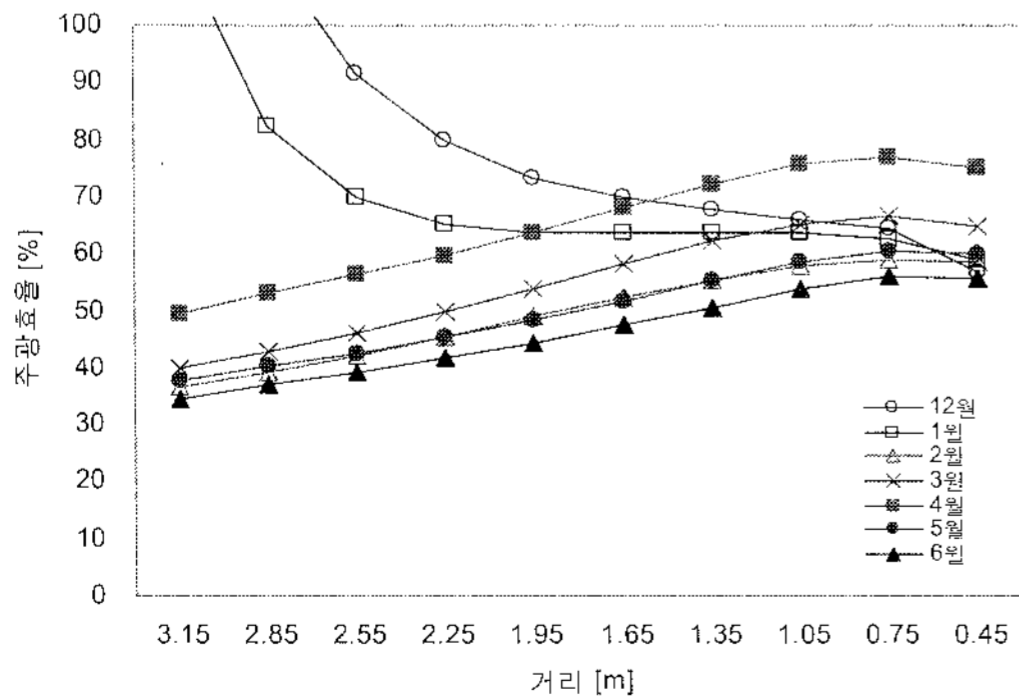
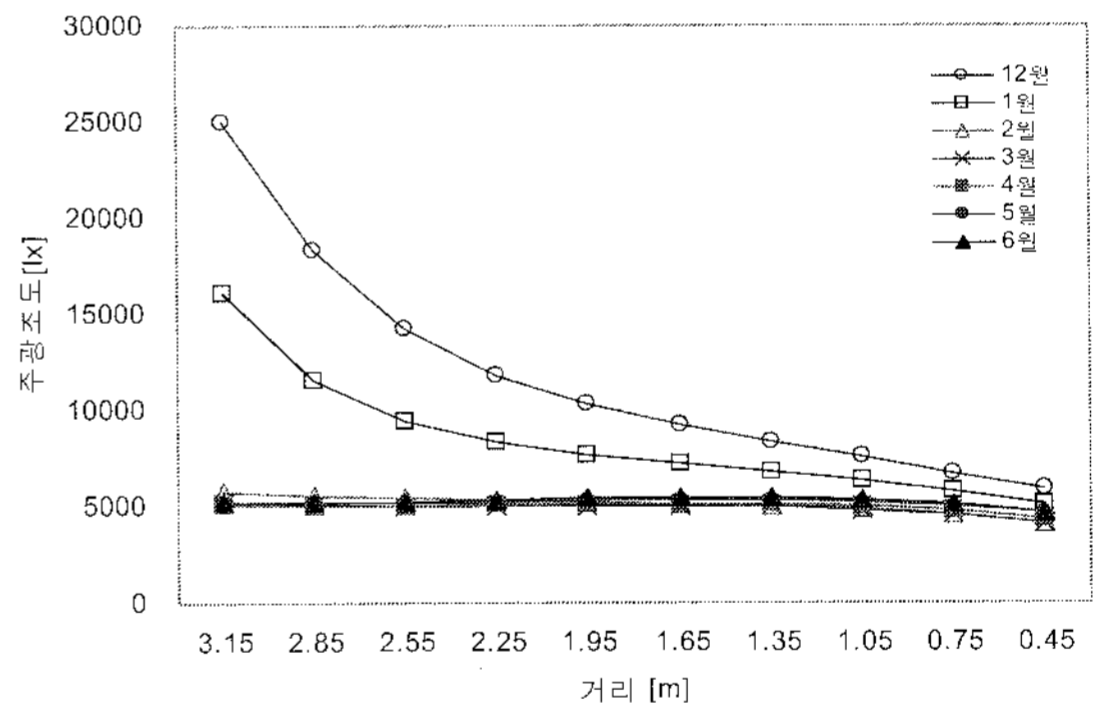
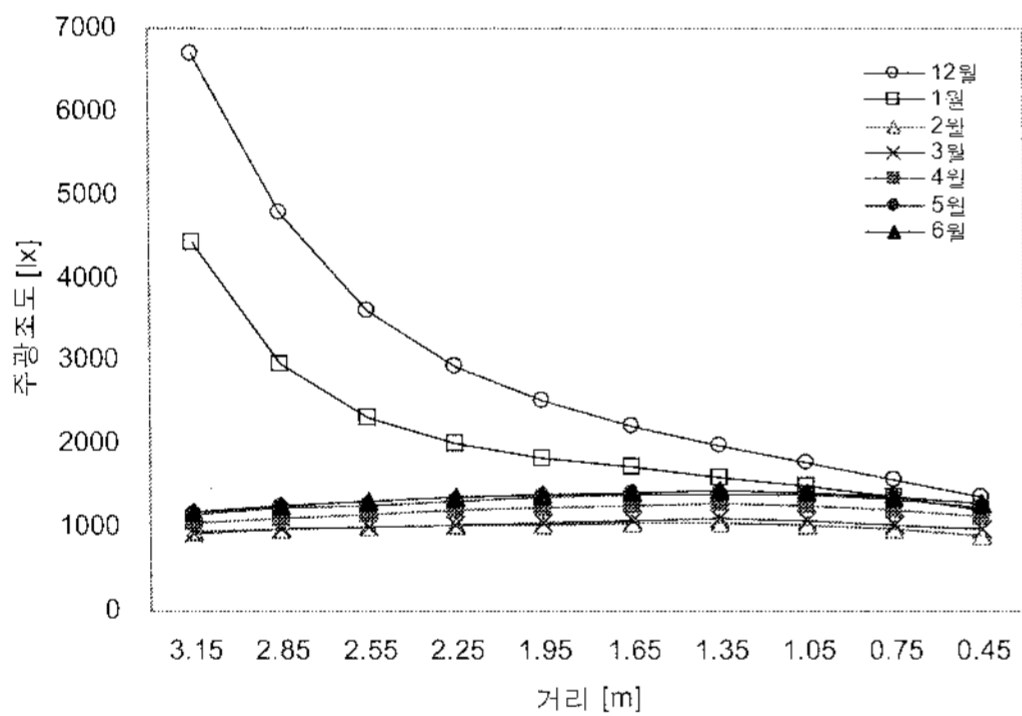
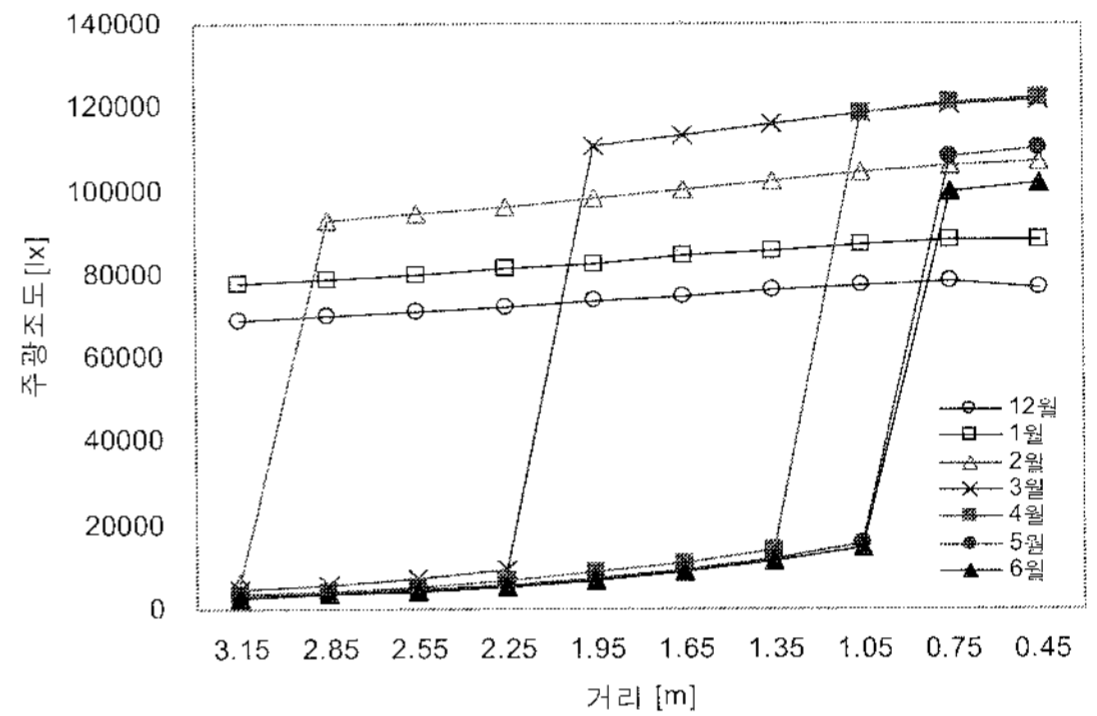
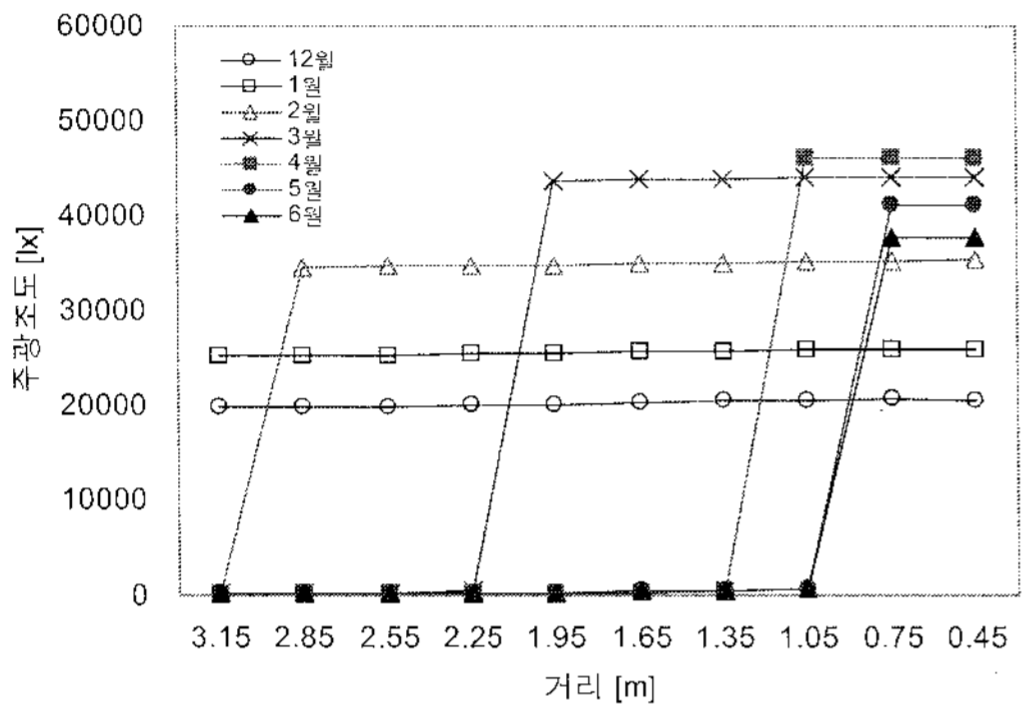


그림 3. 주광분포 (천공조건 I, T:0.02, W:0.43, 상: 직사주광조도, 중: 반사주광조도, 하: 주광효율)

그림 4. 주광분포 (천공조건 I, T:0.55, W:4.55, 상: 직사주광조도, 중: 반사주광조도, 하: 주광효율)

지점에서의 직사 조도값은 태양고도가  $58.40^{\circ} \sim 70.11^{\circ}$  로 변화하는 4월, 5월, 6월의 경우 1.35m 를 전환점으로 하여 95%이상 감소되었다. 태양고도가  $46.56^{\circ}$ 인 3월인 경우, 직사조도값은 남측으로부터 1.95m 지점에서 변환점을 나타내고 있으나, 고도가  $23.85^{\circ} \sim 35.86^{\circ}$ 로 낮은 분포를 보이는 1월, 2월, 3월의 경우, 실의 전 범위에 걸쳐 직사조도는 현저한 차이를 보이고 있지 않다.

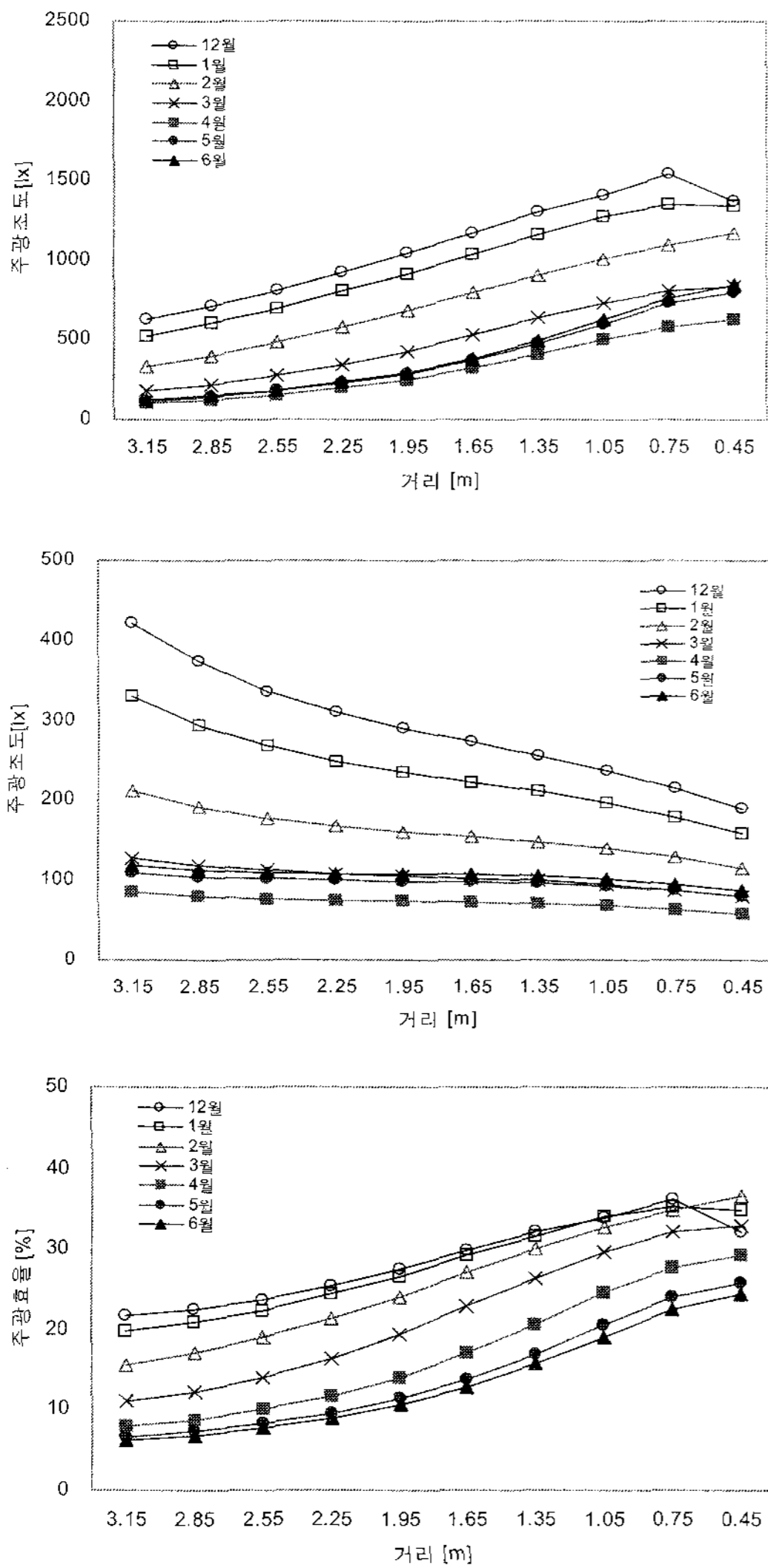


그림 5. 주광분포 (천공조건 II, T:0.02, W:0.43, 상: 직사주광조도, 중: 반사주광조도, 하: 주광효율)

반사에 의한 조도분포는 1월 및 12월에는 남측 유리에서 이격거리가 증가함에 따라, 기하급수적인 증가분포를 나타내고 있으나, 다른 월별 조도분포는 현저한 차이를 보이고 있지 않다. 실내의 직사조도분포는 태양으로부터 계산표면 사이의 기하학적 조건에 따라 영향을 받아 역동적인 변화를 보였지만, 실내에서의 반사로 인하여 나타나는 성분은 태양고도가 낮은 12월 및 1월을 제외하고는 태양의 직접 효과보다는 상대적으로 낮았던 것으로 생각된다.

주광효율의 월별 분포는 태양고도가 증가함에 따라, 각 조건하에서 모두 감소하는 분포를 보였으며, 이는 창문에 차양창치가 설치되지 않았고 입사하는 주광의 전달방향이 조절되지 않아서 나타난 직사조도의 영향으로 추측된다. 실의 후면부분에서의 반사로 인하여 발생된 조도의 영향으로 인하여, 창문에서의 이격거리가 증가함에 따라 12월, 1월의 경우를 제외하고는 모든 월별조건에 따라 감소하였다.

태양으로부터 직접영향이 고려되지 않은 청천공 조건(no direct sun with clear sky)의 경우, 남측으로부터 거리가 증가함에 따라, 천공으로부터 직사조도분포는 태양의 직접 영향이 고려된 천공조건의 경우에 비하여 완만한 변화분포를 보이고 있다. 사용된 기상조건에 따라 각 월별 조도변화 분포는 유사한 분포를 보이고 있으나, 각 지점별 절대조도값은 역시 현저한 차이를 나타냈다. 직사조도의 경우, 최소기상 조건하에서 나타난 결과는 최대 기상조건에 비교하여 2.9% ~ 9.66%의 범위내에서 변화하고 있다.

주광효율분포는 기상조건에 따라, 유사한 변화분포를 보이고 있으며, 절대적인 효율도 전반적으로 각기 40% 미만으로 나타났다. 모든 월의 경우 고려된 두 가지 기상조건 아래에서, 직사조도는 실의 후반부로 계산점이 이동할수록 감소하였으며, 반사로 인하여 발생된 조도는 증가하였다. 직사조도는 최소기상 조건에서  $100.28lx \sim 1537.71lx$ , 최대기상 조건에서는  $2810.51lx \sim 22297.84lx$  의

범위를 보였다. 반사된 조도는 최소 기상조건에서 58.64lx~422.44lx, 최대기상 조건에서 2015.35lx~4347.47lx의 변화 분포를 보이고 있어 기상조건의 차이가 실내조도분포에 미치는 영향은 중요한 인자로 생각된다.

태양의 직접영향이 고려되지 않은 담천공 조건(no direct sun with overcast sky)에서는 두 가지 기상조건에 따라 실내조도 값의 차이를 나타내지 않았다. 그 원인은 태양의 위치가 파악되지 않으며, 장애물이 없는 수평면에 2,000 f.c.(22,520lx)의 조도를 조성하며, 천저(zenith)에서의 휘도(luminous) 값이 수평선(horizontal)의 휘도값의 3배로 모델링하는 CIE 담천공특성이 Superlite의 계산 알고리즘에 사용되었기 때문으로 생각되며, 또한 천공조건에 고려된 구름으로 인하여 기상조건인 혼탁도(turbidity) 또는 응축가능한 수증기의 두께는 실내주광 조도변화에 영향을 미치지 않은 것으로 추측된다. 직사조도 분포는 실의 후반부로 이동할수록 현저히 감소하며, 변화범위는 218.97lx~3552.95lx였다. 반사로 인한 조도의 경우, 각 월별 변화범위는 17.01lx~38.74lx로 전반적으로 균등한 분포를 보였다.

각기 다른 천공조건하에서 기상조건별 변화하는 주광조도를 파악하기 위하여, 최소기상조건에서 주광조도와 최대기상조건에서 주광조도의 비율을 분석하였으며, 결과는 표 4에 나타나 있다. 태양의 직접영향이 고려된 경우, 두 가지 기상조건별 차이는 직사조도의 경우 최고 32.01%의 차이를 보였으며, 반사의 경우는 최고 25.30%의 차이를 나타내었다. 반면 태양의 직접영향이 고려되지 않은 경우는 최소 2.91%에서 최대 9.66%의 차이를 보이고 있어, 태양으로 인한 실내조도의 영향은 대기를 구성하고 있는 물질의 혼탁도(turbidity) 및 대기중의 응축가능한 수증기의 두께에 따라 많은 영향을 받는 것으로 나타났다.

이 원인은 혼탁도(turbidity)의 정의 및 이를 이용한 알고리즘에서 찾을 수 있다. 천공휘도(sky

luminous)는 태양이 대기층에 도달한 후, 이를 구성하고 있는 물질의 광학적, 물리적 특성에 따라 결정된다. 혼탁도(turbidity)는 대기구성 입자에 의하여 빛이 분산되는 정도를 정의하기 때문에 혼탁도가 높을수록 천공에서 분산되는 빛의 강도는 높아진다. 결과적으로 천공휘도가 증가함에 따라 실내에 도달하는 주광량도 증가하게 된다. 따라서, 건물내부 및 외부표면에 대한 주광분포를 예측하기 위하여 컴퓨터 시뮬레이션을 사용할 경우, 계산상의 오차를 최소화 하기 위하여, 건물이 위치한 지역의 기상자료를 이용하여 소프트웨어의 허용범위 내에서 적용하여야 한다. 상용화된 주광해석용 프로그램이 연구에 적용되고 있으나, 기상조건을 계산 알고리즘에 적용한 경우는 드문 실정이므로, 시뮬레이션에 사용되는 프로그램이 자연 조건에 따라 변화하는 기상조건에 대하여 계산오차를 최소화 할 수 있는지 검증하여야 할 필요성이 있다고 판단된다. 특히, 건물의 외피에서 유리부분이 차지하는 부분이 높은 curtain wall structure 고층건물로 인하여 발생하는 눈부심 현상(glare) 및 시적 불편감(visual discomfort)을 예측할 경우, 정확한 기상조건의 설정이 필수적이라 생각된다.

## 5. 결론 및 향후연구

대기를 구성하는 물질의 혼탁도(turbidity) 및 응축 가능한 수증기두께의 변화에 따른 실내에서의 주광조도 값의 분포는 현저한 변화를 보였다.

특히, 태양의 직접영향이 고려된 청천공 조건의 경우, 최소기상조건에서 계산된 조도는 최대기상 조건에서 계산된 결과의 17.94% ~ 31.87%로 나타났다. 태양의 직접영향이 고려되지 않은 청천공 조건인 경우, 그 범위는 10% 이하로 나타났다. 태양의 직접 영향이 고려되지 않은 담천공인 경우, 프로그램에서 사용된 천공조건의 정의에 따라 실내의 주광조도는 대기를 구성하고 있는 물질의 물리적 특성에 상관없이 일정하였다. 각 천공조건별 기

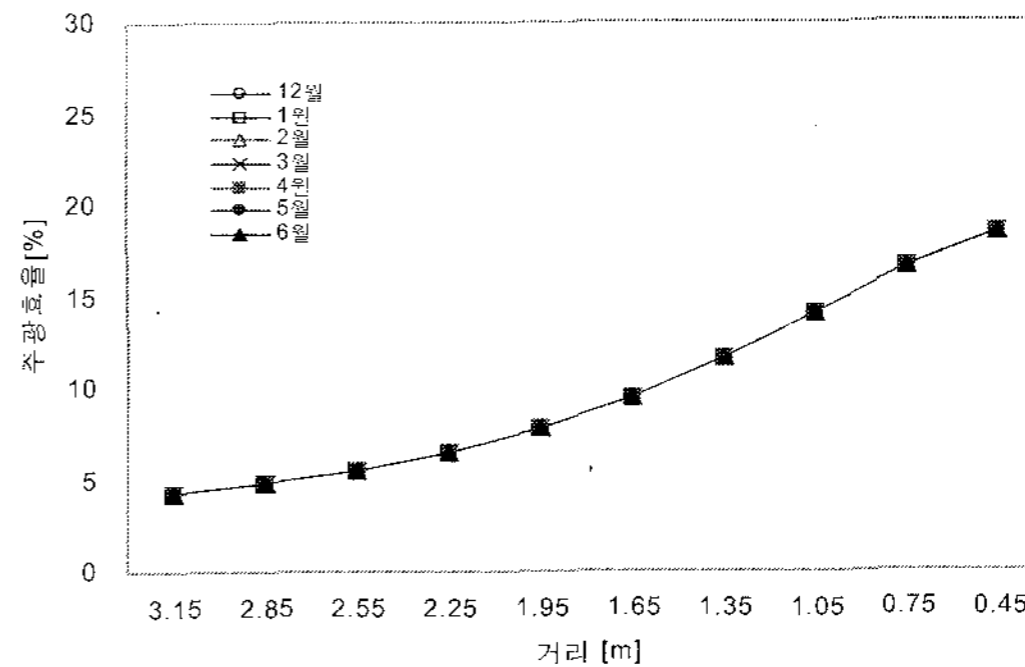
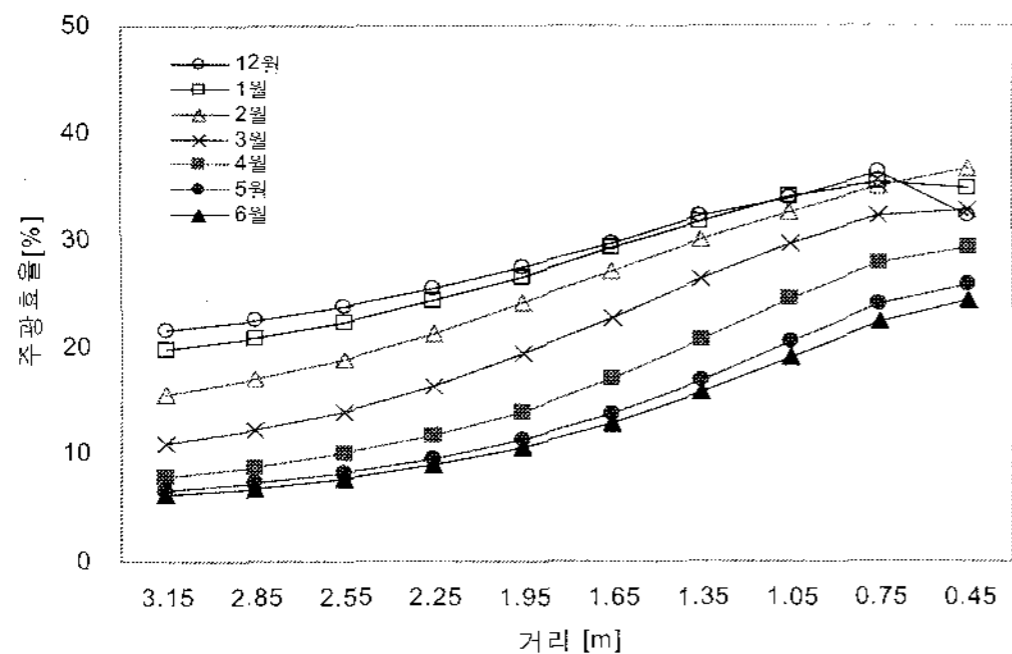
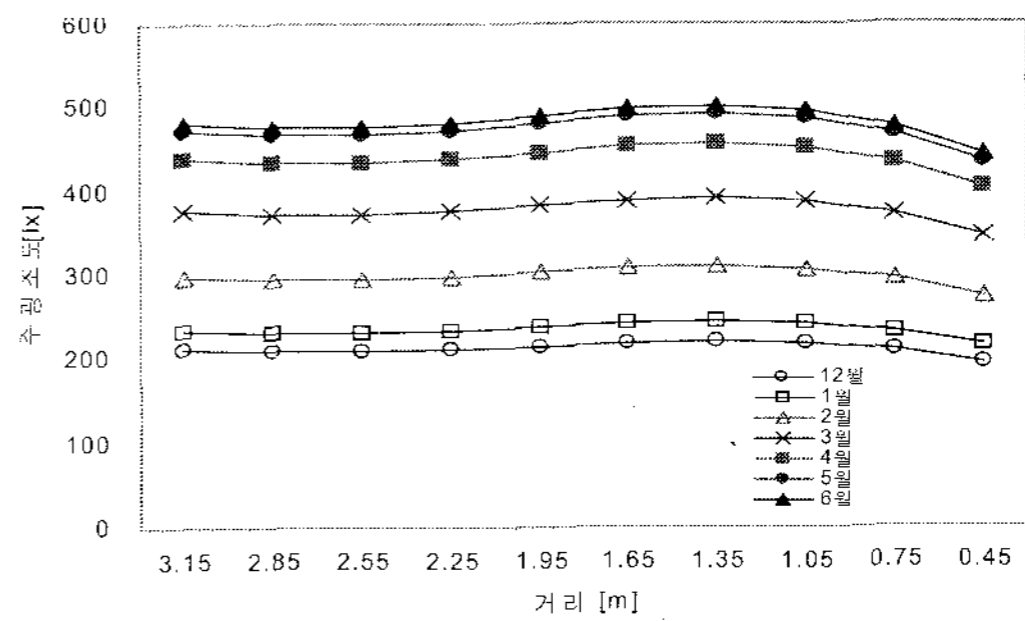
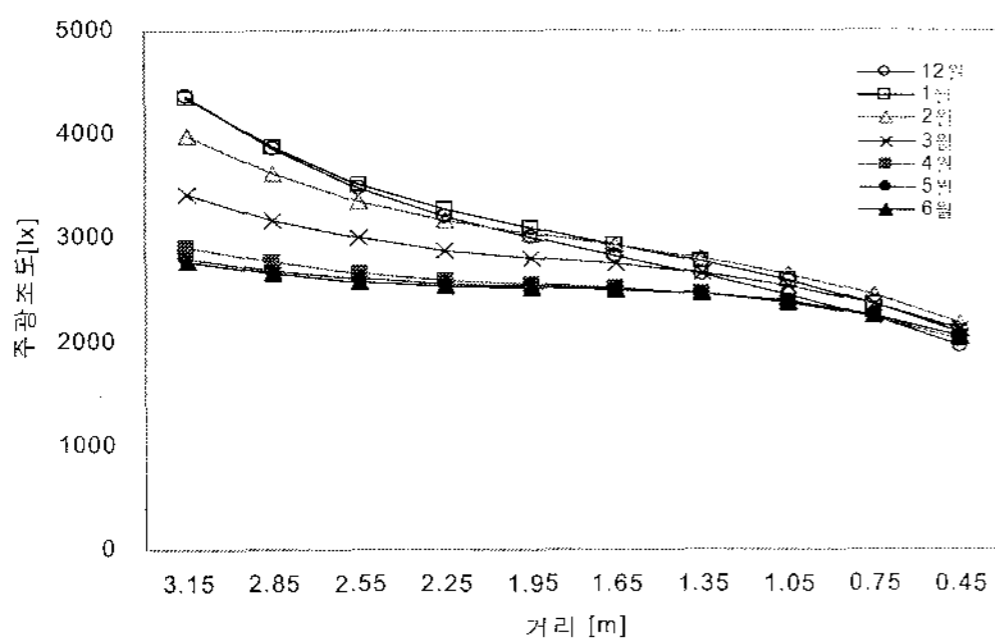
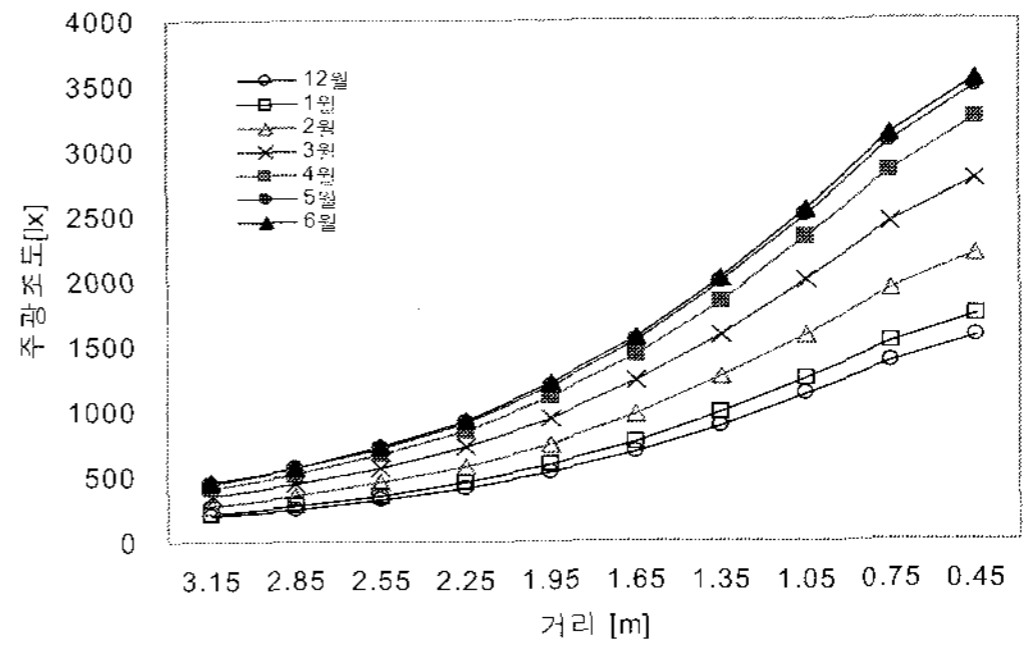
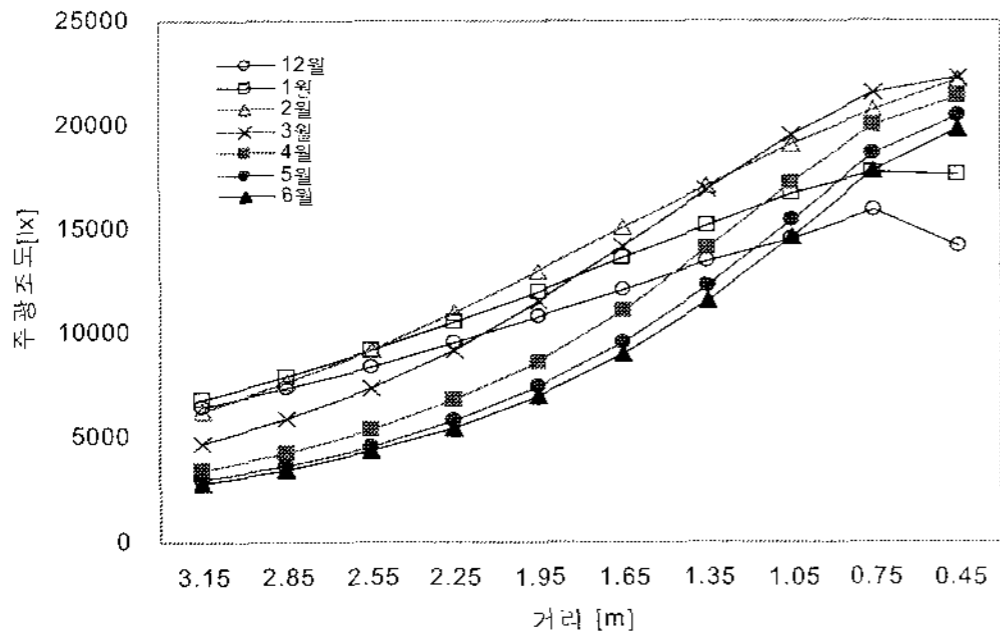


그림 6. 주광분포 (천공조건 II, T:0.55, W:4.55, 상:직사주광조도, 중:반사주광조도, 하:주광효율)

그림 7. 주광분포(천공조건 III, T:0.02, 0.55, 및 W:0.43, 4.55, 상:직사주광조도, 중:반사주광조도, 하:주광효율)

상조건의 변화에 따라서 직사조도는 태양이 고려된 천공조건에서 12월 및 1월을 제외한 경우 실의 중간부분에서 조도의 변화분포가 급격히 변했으나, 태양의 직접영향이 고려되지 않은 천공조건인 경우 실 전체에서 완만히 감소하는 경향을 보였다. 실표면의 반사로 인하여 나타나는 조도는 천공 조건에서는 기상조건과 무관하게 실의 후반부로 갈수록 증가하는 경향을 보였으나, 태양의 직접효과가 고려되지 않은 답천공인 경우 각 지점별 17.01

표 4. 주광조도비율(최소조건/최대조건) (%)

월	태양 고려한 천공			태양 고려 안한 천공		
	직사	반사	종합	직사	반사	종합
12/21	27.28	24.58	26.94	9.66	9.66	9.66
1/21	30.71	24.42	30.14	7.61	7.61	7.61
2/21	32.01	19.64	31.87	5.28	5.28	5.28
3/21	24.08	21.12	26.42	3.74	3.74	3.74
4/21	13.51	23.88	19.38	2.91	2.91	2.91
5/21	10.66	25.30	17.94	3.9	3.9	3.9
6/21	10.87	25.71	18.45	4.26	4.26	4.26

lx~38.74lx의 범위에서 균등한 분포를 나타냈다.

따라서, 동일한 천공조건이 동일지역내의 건물에 대한 주광예측에 사용되는 경우, 적용하는 기상조건에 따라 시뮬레이션 예측결과는 현저한 차이를 나타내므로 정확한 기상데이터를 적용하여 예측 결과의 신뢰성을 향상시켜야 할 것으로 생각된다. 본 연구는 제한된 기상조건하에서 소규모 공간에 대한 주광분석이 CIE 천공조건을 가정하는 소프트웨어를 사용하여 이루어졌으며, 프로그램의 제한으로 인하여 차양장치는 고려되지 않았다. 다른 계산이론이 적용된 프로그램에 의한 결과와 비교분석도 필요하리라 생각된다.

## 참 고 문 헌

1. Superlite 2.0 Manual, Lawrence Berkeley National Lab, 1994.3.
2. Karayel, M. et al., Zenith Luminance and Sky Luminance Distributions for Daylighting Calculation, Energy and Buildings, Vol.6. 1984.
3. Lam.K.P. et al., Algorithm and Context : A Case Study of Realiability in Computational Daylight Modeling, CAD Futures, 1997.
4. Nomenclature and Definitions for Illuminating Engineering, ANSI/IESNA RP-16-96, 1996.
5. M.Rea, IESNA Handbook 8th Edition, The IESNA, 2001