

[논문] 한국태양에너지학회 논문집
Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol. 23, No. 3, 2003

중규모 사무공간에서 조명에너지 성능평가를 위한 노모그래프 개발에 관한 연구

김한성*, 고동환**, 김강수***

* 고려대학교 건축공학과 박사과정(khs@lycos.co.kr), ** 고려대학교 건축공학과 석사과정(kdhwanny@korea.ac.kr),
*** 고려대학교 건축공학과 교수(kskim@korea.ac.kr)

Development of Nomographs for the Evaluation of Lighting Energy Performance in a Semi-infinite Office Space

Kim, Han-Seong*, Ko, Dong-Hwan**, Kim, Kang-Soo***

* Dept. of Architectural Eng, Graduate Student, Korea University

** Dept. of Architectural Eng, Graduate Student, Korea University

*** Dept. of Architectural Eng, Professor, Korea University

Abstract

The purpose of this study was to analyze daylighting performance in a semi-infinite size office space for lighting energy conservation. DOE2.1E was used for simulations for the model space of 12×12×2.6m. Nomographs were developed which could simulate work plane illuminance, glare index, energy consumption rate and energy reduction rate for daylighting design.

Major results of simulations are as follows ; 1) When blinds facing south were installed, 43% of workplane illuminance diminished, but the glare index didn't exceed the recommended max-glare value. 2) In a semi-infinite office space facing south, energy consumption rate in the case space of 500 lux workplane illuminance is larger than case space of 300 lux workplane illuminance. Therefore, energy reduction rate is increased when the semi-infinite office faces south and maintains 300 lux workplane illuminance level.

Keywords : 주광(Daylight), 조명에너지(Lighting energy), 에너지 절약(Energy saving), 노모그래프(Nomograph)

1. 서 론

사무소 건물의 실내조명을 위하여 사용되고 있는 에너지는 전체에너지 중 매우 큰 비중을 차지하고 있다. 우리나라의 경우 사무소건물에 소비되고 있는 총 전기에너지의 약 20~30%가 조명용으로 사용되고 있으며 앞으로도 계속 증가될 수 있다. 사무소 건물에서 창과 인공조명에 대한 설계는 상호관련되어 실내환경조절을 위한 에너지 사용량에 많은 영향을 미치는데 발광효율이 높은 자연채광의 효율적인 이용은 조명에너지를 감소시킬 수 있으며 또한 부수적으로 냉방부하도 줄일 수 있는 효과가 있다.

국외에서는 주광 이용에 의한 에너지 성능평가를 위해 컴퓨터 시뮬레이션에 의한 심층적인 연구를 수행하고 있으며 국내에서도 시뮬레이션과 계산식을 이용하여 자연채광에 의한 조명에너지 절감과 실내조명환경 예측에 관해 연구가 수행되었으며, 주로 주광률을 이용한 해석적 방법을 적용하여왔다. 사무소건물 등 비주거용 건물에서 자연채광을 이용하여 조명에너지를 절약하기 위해서는 건물의 초기설계단계에서부터 실내 주광에 대한 평가와 연간 에너지 절감율을 예측함으로써 에너지 절약적인 최적설계가 되도록 고려되어야 한다. 본 연구에서는 주광 및 열에너지 해석을 동시에 수행할 수 있는 DOE2.1E 컴퓨터 프로그램과 서울지역 표준기상데이터(공기조화 냉동공학회)를 이용하여 주광 성능 및 조명 에너지 절감율을 평가할 수 있는 노모그래프 형태의 주광설계 기법을 제시하고자 한다.

본 연구에서는 주광 및 열에너지 해석을 동시에 수행할 수 있는 DOE2.1E 컴퓨터 프로그램과 서울지역 표준기상데이터(공기조화 냉동공학회)를 이용하여 주광성능 및 조명 에너지 절감률을 평가할 수 있는 노모그래프 형태의 주광설계 기법을 제시하고자 한다.

2. 중규모 사무공간에서의 주광 시뮬레이션 분석

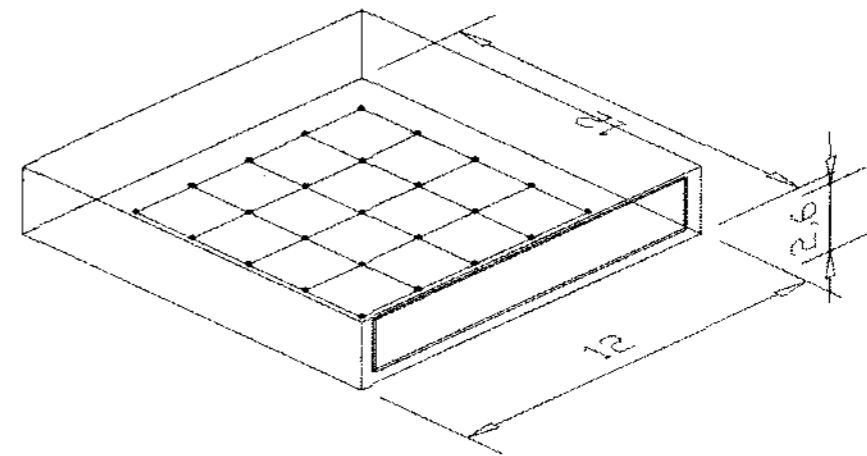


그림 1. 중규모 사무공간의 시뮬레이션 모델

2.1 시뮬레이션 개요

시뮬레이션 대상공간을 중규모 사무공간으로 설정하고, 이러한 대상공간에서 창투과율과 창면적비(벽면 전체에 대한 창의 면적 비율)를 하나의 변수로 설정하여 'TVIS(창투과율) × AREA(창면적비)'로 단일화하였으며²⁾ 이를 바탕으로 항별(남,북), 설계기준조도별(300,500 lux)로 구분하여³⁾ 시뮬레이션 하였다. 예를 들어 창면적이 전체벽면에 대해 100%이고 창 투과율이 80%인 경우, '창면적비×창투과율'은 '0.8'이 된다.

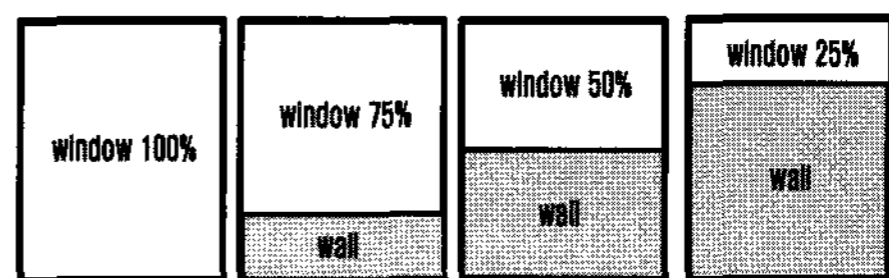


그림 2. 창면적비 산정에서의 위치와 크기 변화

여기서 창면적비의 크기와 위치의 변화는 우선 입면의 100%가 창으로 구성되어 있는 가정하였고 기존 커튼월로 구성된 사무실과 가장 유사한 형태로 팬 코일 유닛이 있다는 조건으로, 그림 2와 같이 창면적비가 증가하는 것으로 고려하였다.

DOE 프로그램에서는 건물이 위치한 위도에서 연간변화가 가능한 태양고도 및 방위각에 대하여 주광률을 계산하며, 기준점에서의 조도는 주광률 계산 단계에서 얻어진 주광률에 대하여 태양고도와 방위각 등의 요소를 시각별로 선형보간하여 조도를 산출한다.

또한 DOE 프로그램에서 이용하고 있는 일사량자료를 주광자료로 사용하기 위해서는 직달일사량, 청천공산란일사량, 담천공 산란일사량에 대한 발광효율이 계산되어야 한다. 청천공에 대한 산란일사성분의 발광효율은 대기수증기압, 혼탁도와 태양의 고도에 따른 함수로 나타낼 수 있는데, 절기별로 좀 더 정확한 발광효율값을 적용해야 하지만, 기상데이터가 연간 평균데이터이고 발광효율의 변화범위가 115~135 lm/w로 편차가 비교적 작아 외부조도 값이 미치는 영향이 크지 않기 때문에 본 연구에서는 평균값인 125.4 lm/w를 적용하였다. 또한 담천공에 대한 일사성분의 발광효율은 110 lm/w를 적용하였다.

DOE 프로그램에서는 직달일광에 의한 주광효과와 과대평가 및 사무소 재실자들이 글레어에 의해 불편감을 느끼게 되는 요인을 고려하기 위하여 한계현황지수 22를 초과할 경우 즉 직달일사량이 63 W/m^2 (20 btu/ft^2) 이상인 경우 블라인드가 작동하도록 시뮬레이션 함으로써 글레어를 방지하도록 하였다.⁴⁾

심층적인 시뮬레이션을 바탕으로 대상공간의

평균 조도, Glare Index 및 디밍제어를 통한 에너지 사용량, 에너지 절감율의 결과를 도출할 수 있었으며 최종적으로는 이를 통한 노모그래프 작성으로 주광 및 에너지 성능평가 기법을 제시하였다. 본 연구에서는 'TVIS(창투과율)×AREA(창면적비)'의 곱을 주요변수로 하여 각각 0.1 간격으로 변수를 변화하여 시뮬레이션 하였다. 변곡점 부위에서는 이를 0.02 간격으로 세분화하여 결과를 도출하였다.

2.2 중규모 사무공간의 평균조도 및 Glare Index 평가

우선 블라인드가 없는 조건으로 시뮬레이션을 수행하고 그 결과값을 바탕으로 블라인드 조건을 고려하기로 하였다. 그 결과 블라인드가 없는 조건에서 평균조도와 Glare Index는 다음과 같다.

1) No Blind시 향별(남향, 북향) 평균조도

그림 3에서 향에 따른 평균조도를 보면 우선 남향의 경우 'TVIS × AREA'의 값에 따라 평균조도의 편차가 500~2,400 lux로 큰 반면 북향의 경우 편차가 90~813 lux로 상대적으로 적은 편차를 보이고 있다.

표 1. 시뮬레이션 조건

구 분	조 건
면 적	중규모 사무공간 : 12m×12m
창투과율 창면적비	TVIS(창투과율)×AREA(창면적비) = 0.1~0.9
조명제어방식	Dimming System
조명밀도	10W/m ²
설계기준조도	300 lux, 500 lux
반사율	천장 80%, 벽 50%, 바닥 30%
향	남향, 북향
발광효율	청천공:125.4 lm/w, 담천공:110 lm/w
글레어평가위치	실의 중앙점에서 평가
블라인드	직달일사량이 63 W/m^2 (20 btu/ft^2) 초과시 블라인드를 설치 ⁴⁾
블라인드투과율	35% - 블라인드 투과율 35%는 DOE 프로그램의 기본값으로 설정되어 있음
평균조도	2.4x2.4m의 그리드를 설정, 16개 지점에서 측정하여 평균
결 과 값	조도, Glare Index 에너지사용량, 에너지 절감율

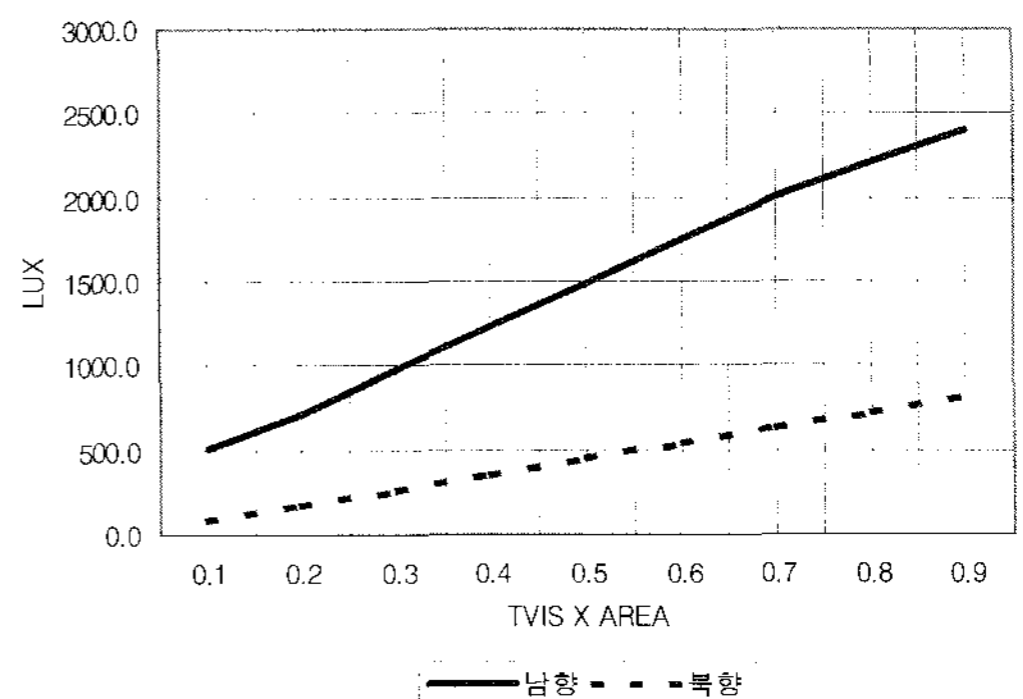


그림 3. no blind시 향별(남,북) 평균조도

2) No Blind시 향별(남향, 북향) Glare Index 평가

글레어인덱스는 기준점을 대상공간의 중앙점

에 위치시키어 시뮬레이션 하였다. 그 결과 그림 4에서와 같이 블라인드가 없는 상태에서 남향인 경우 'TVIS(창 투과율) × AREA(창 면적비)' 지수가 0.7 이상인 경우에서부터 한계현회지수인 22를 초과하였다. 이 경우 남향의 글레어 방지를 위한 블라인드 설치가 고려되어야 한다. 따라서 직달일사량이 63 W/m^2 (20 btu/ft^2) 초과시 블라인드(투과율35%)를 설치하여 시뮬레이션함으로써 글레어인덱스 자료를 제시하였다.

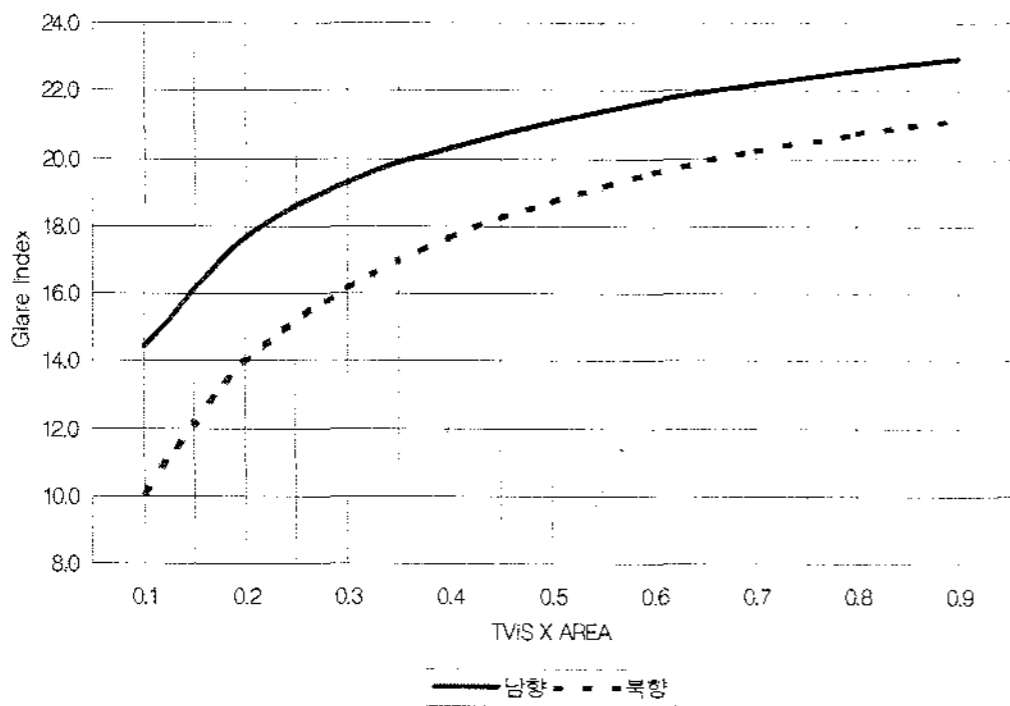


그림 4. 향별(남,북) 글레어 인덱스

3) Blind 설치시 조도 평가

그림 5에서와 같이 남향의 경우 블라인드 설치시 평균조도는 평균 약 43%정도 감소하였다. 북향의 경우는 블라인드 설치 후에 평균조도의 변화가 없었고 한계현회지수 22를 초과하지 않으므로 블라인드의 설치가 필요하지 않았다.

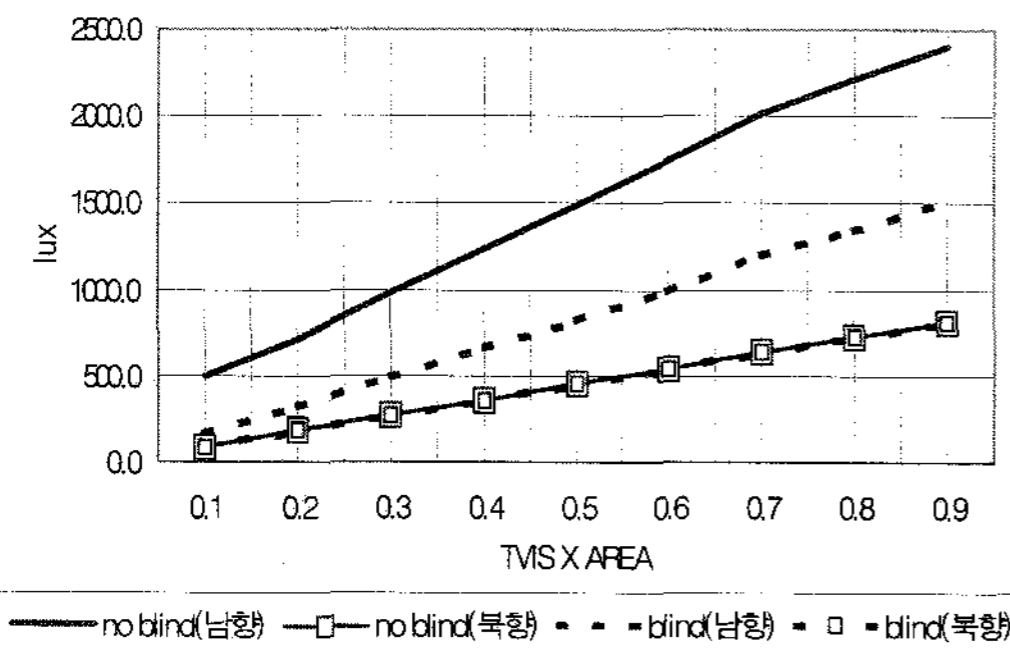


그림 5. 블라인드 유무에 따른 조도 비교(남,북향)

4) Blind 설치시 Glare Index 평가

대상공간의 글레어 방지를 위하여 블라인드 설치가 고려되는 아래 그림 6과 같은 자료가 제시되었다. 조도감소와 함께 남향시 블라인드의 영향으로 한계현회지수인 22를 초과하지 않았다.

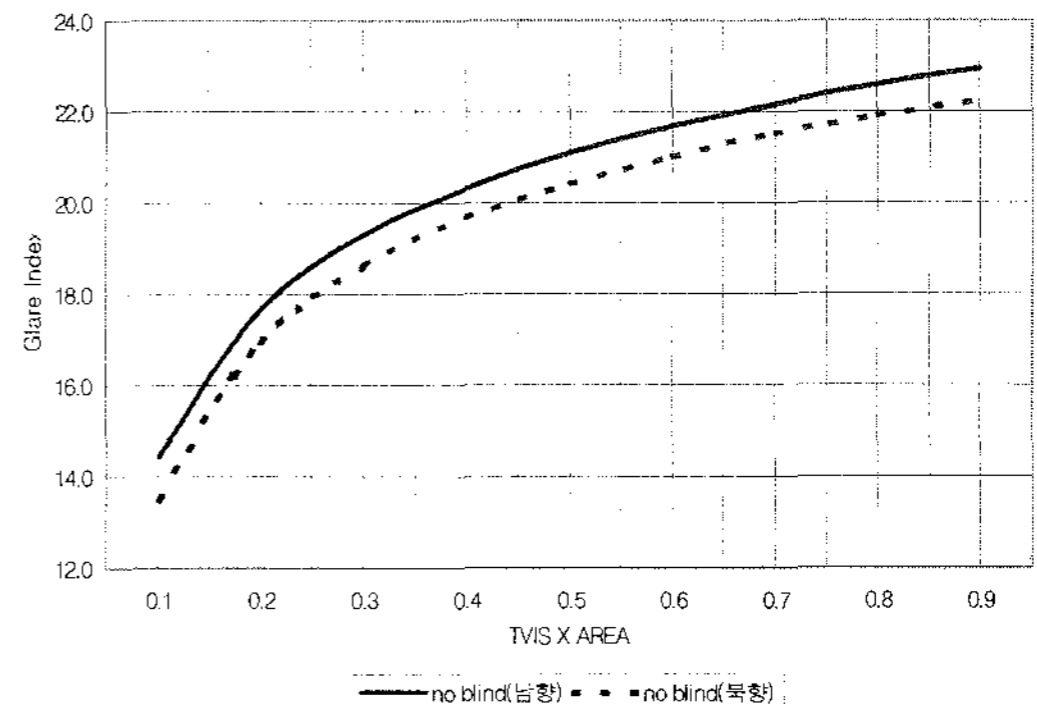


그림 6. 블라인드 유무에 따른 Glare Index비교(남향)

5) 블라인드 유무에 따른 에너지 소비량 및 절감율 분석

블라인드 설치시 작업면 평균조도는 평균 43% 감소하는 반면 그림 7, 8에 나타난 바와 같이 에너지 소비량과 에너지절감율은 각각 3% 이내의 적은 감소를 보이고 있다. 이는 시뮬레이션에서 블라인드가 설치되는 직달일사량이 63 W/m^2 (20 btu/ft^2) 초과한 대부분의 경우 작업면 조도

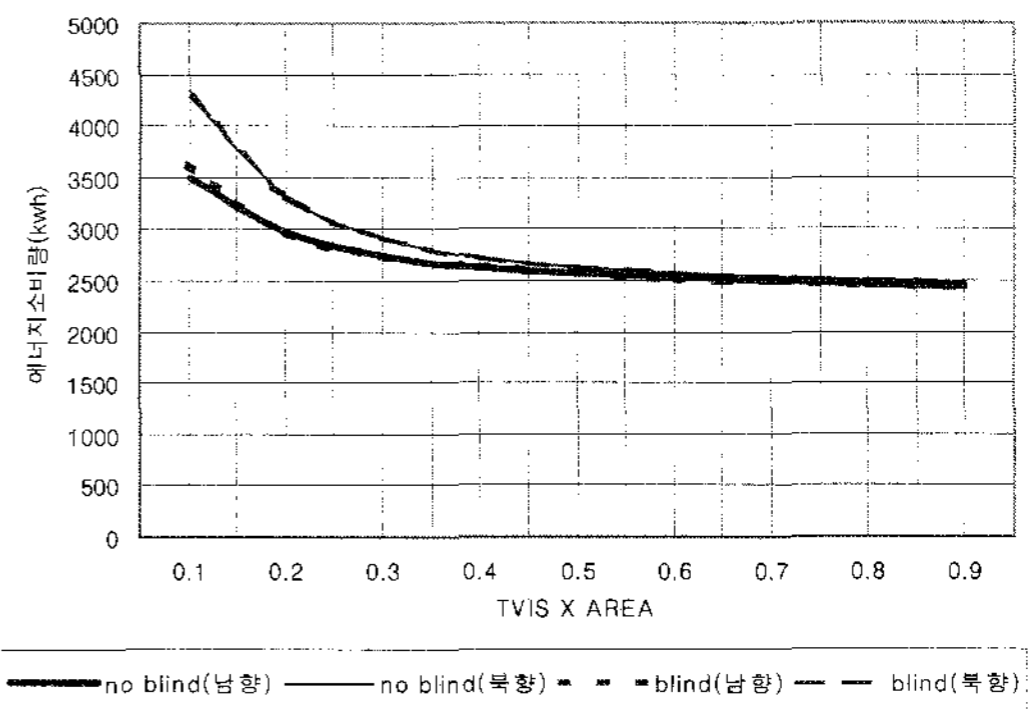


그림 7. 블라인드 유무에 따른 향별 에너지소비량 비교

는 설계기준조도를 초과하여 조명은 소등내지 디밍된 상태이며 블라인드 설치시에도 이 상태를 유지하므로 에너지 소비량과 절감율의 변화는 적을 수 있다.

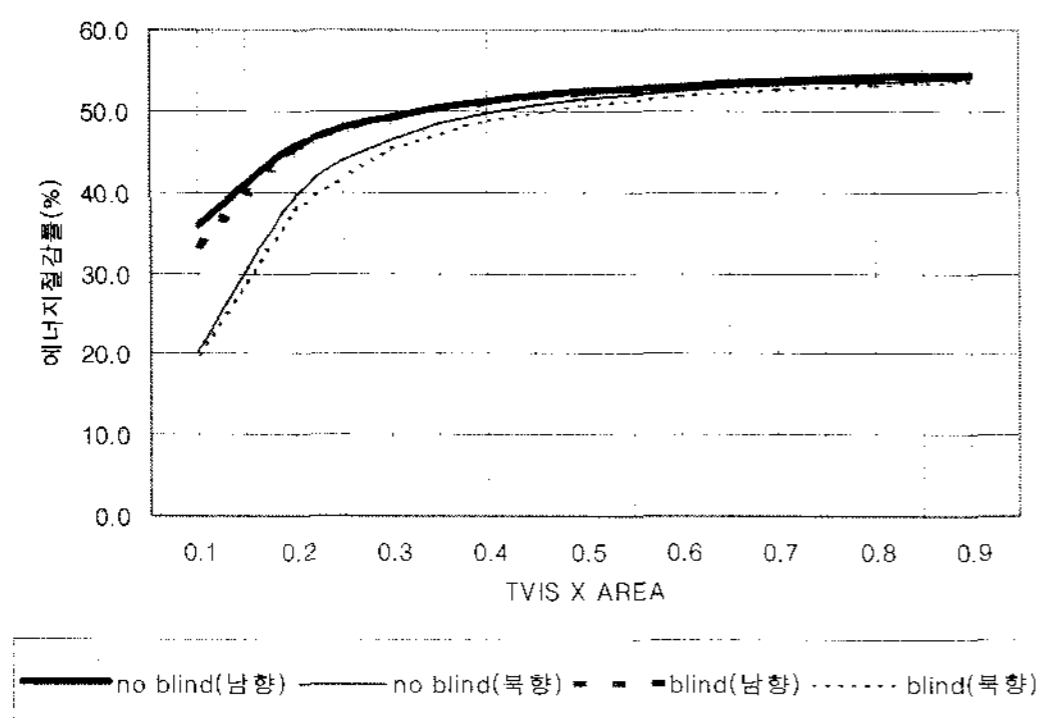


그림 8. 블라인드 유무에 따른 향별 에너지절감율 비교

2.3 중규모 사무공간의 에너지소비량 및 에너지 절감율 평가

1) 중규모 사무공간의 에너지소비량 및 에너지 절감율 평가

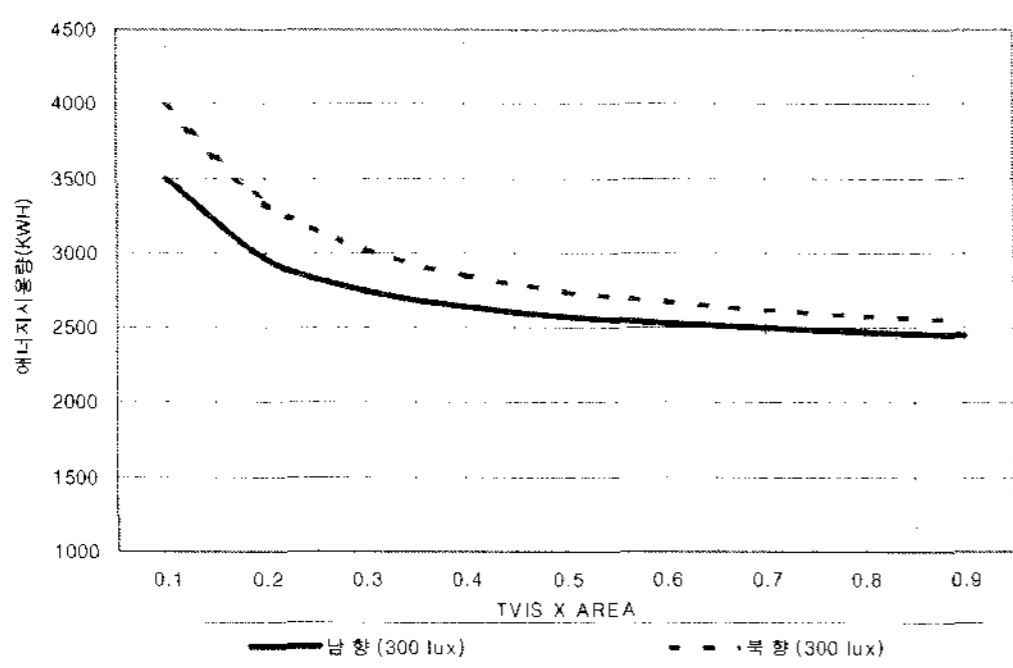


그림 9. 중규모사무공간의 에너지소비량

그림 9, 10과 같이 각 향별(남향, 북향) 및 설계기준조도(300lux, 500 lux)별로 에너지 소비량과 에너지 절감율의 그래프가 작성되었다. 에너지 소비량은 북향의 경우가 남향보다 많으며 에너지 절감율은 남향이 효과가 더 크다. 설계기준조

도에서는 300 lux 보다 500 lux일 때 소비량이 커서 설계기준조도가 300 lux인 경우 절감율은 증가하게 된다.

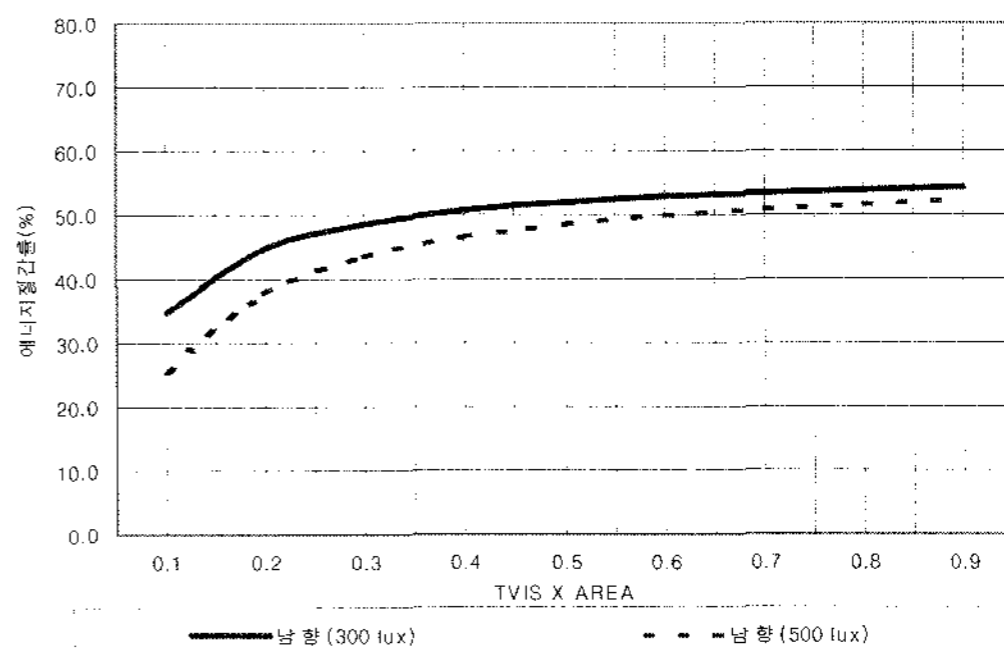


그림 10. 중규모사무공간의 에너지 절감률

2) 향별 및 설계기준조도별 에너지 사용량 및 절감율 평가

그림 11, 12는 향별(남향, 북향) 및 설계기준조도(300 lux, 500 lux)에 따른 에너지 소비량과 에너지 절감율을 각각 나타낸 것이다.

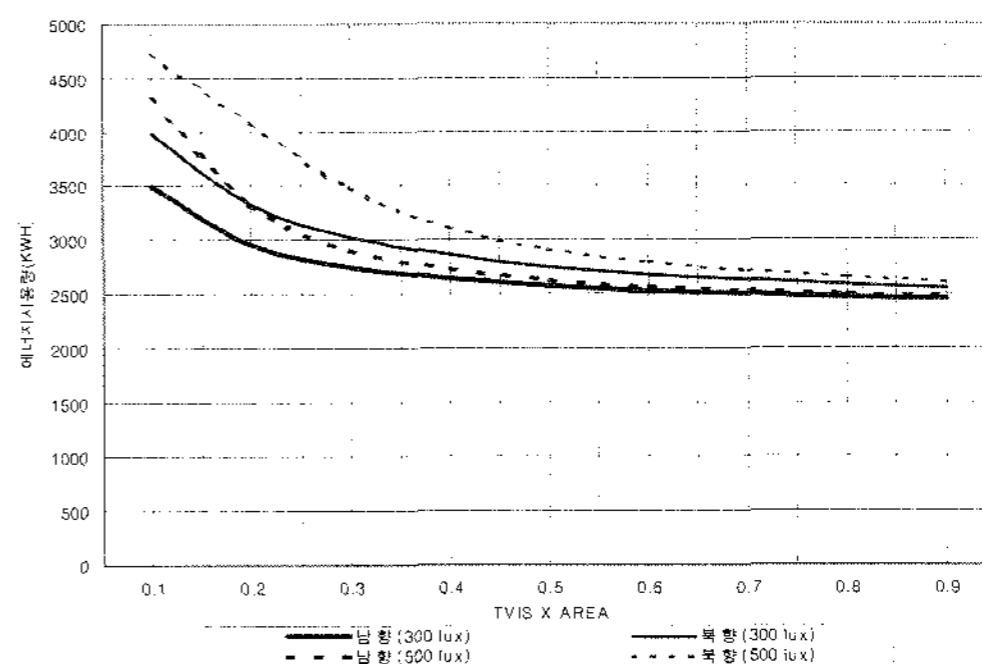


그림 11. 향별 설계기준조도별 에너지소비량

각 조건에서 에너지소비량은 향에서는 남향보다는 북향, 설계기준조도에서는 300 lux 보다 500 lux일 때 소비량이 많다. 이는 결국 에너지 절감율로 연결되며 남향일 때와 설계기준조도가 300 lux인 경우 절감율은 증가하게 된다.

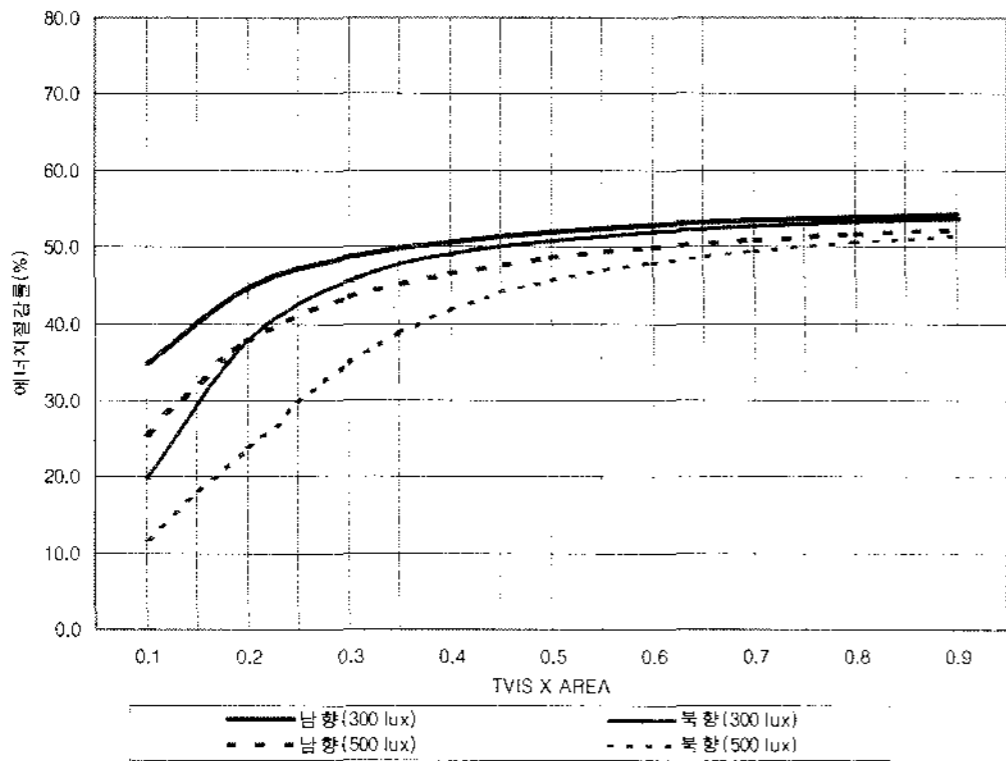


그림 12. 향별 설계기준조도별 에너지절감율

3. 중규모 사무공간의 노모그래프 개발

노모그래프는 여러 주광 변수사이에 존재하는 상관관계를 도표화한 표현방식인데 사용자들로 하여금 세 개 또는 그 이상의 변수를 갖고 있는 방정식의 값을 신속하게 결정하게 한다. 또한 노모그래프는 알고리즘(algorithm)과 비교해볼 때 변수들의 상관관계를 그래프형식으로 나타내어 여러 변수들의 중요정도를 시각적으로 파악할 수 있다.

따라서 노모그래프는 평가기법으로 건물계획, 특히 창면적, 유리의 투과율 등에 따른 실내 자연 채광계획과 이에 따른 조명제어를 통한 에너지소비량과 절감율을 빠른 시간 내에 파악할 수 있게 한다.

노모그래프를 작성함에 있어서 중규모 사무공간의 설계기준조도를 300 lux, 500 lux로 설정하고 향별(남향, 북향)로 작성하였다. 또한 보다 정확한 지침을 제시하기 위하여 기준이 되는 3개의 절기(3월, 6월, 12월)로 설정하여 작성되었다.

3.1 노모그래프 구성 및 설정

우선 'TVIS × AREA'의 값을 구하고 이 값을 바탕으로 수직 상부 방향으로 이동하며 평균조도, 글레어 인덱스, 에너지소비량, 에너지절감율 등의

그래프 y축값을 결과값으로 얻을 수 있다.

조도와 글레어인덱스는 블라인드 유무에 따라서 결과값을 평가할 수 있으며 글레어 인덱스는 각각의 경우 한계현회지수인 22를 초과하는지를 알 수 있다. 또한 에너지 소비량과 에너지 절감율은 설계기준조도 300lux와 500lux에 따라서 결과값을 평가할 수 있다.

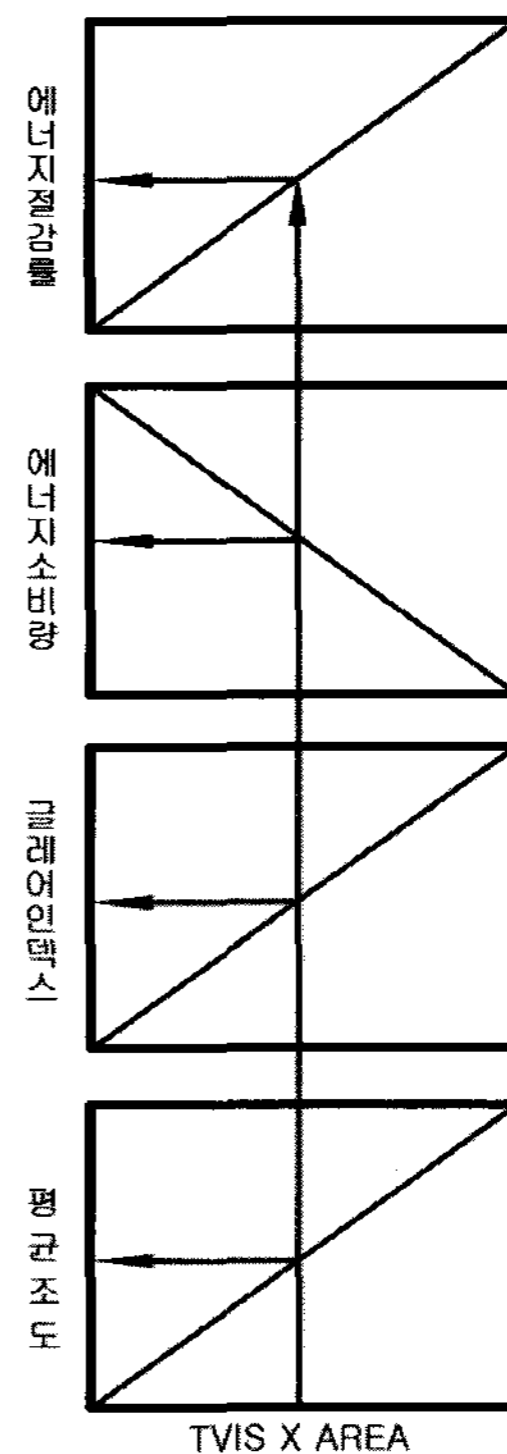


그림 13. 노모그래프 사용방법

3.2 중규모 사무공간의 노모그래프

그림 14~16는 남향시 3,6,12월의 노모그래프를 나타낸다. 남향시 3월(그림 14)은 창면적비와 투과율이 증가하더라도 글레어인덱스가 한계현회지수를 초과하지 않으며, 설계기준조도 300 lux시 37~54 % (500 lux시 : 27~51 %)의 절감율을 보이고 있다. 남향시 6월(그림 15)은 'TVIS(창투과율)×AREA(창면적비)'가 0.7 이상인 경우 한계현회지수 22를 초과한다. 에너지절

감율은 설계기준조도 300 lux시 29~59 % (500 lux시 : 17~57 %)를 나타낸다. 남향시 12월(그림 16)은 낮은 태양고도로 인한 직달일사의 대상공간 사입으로 높은 조도가 나타나며 대부분의 경우 한계현회지수를 초과함을 알 수 있다. 에너지절감율은 설계기준조도 300 lux시 38~49 % (500 lux시 : 32~48 %)를 나타낸다.

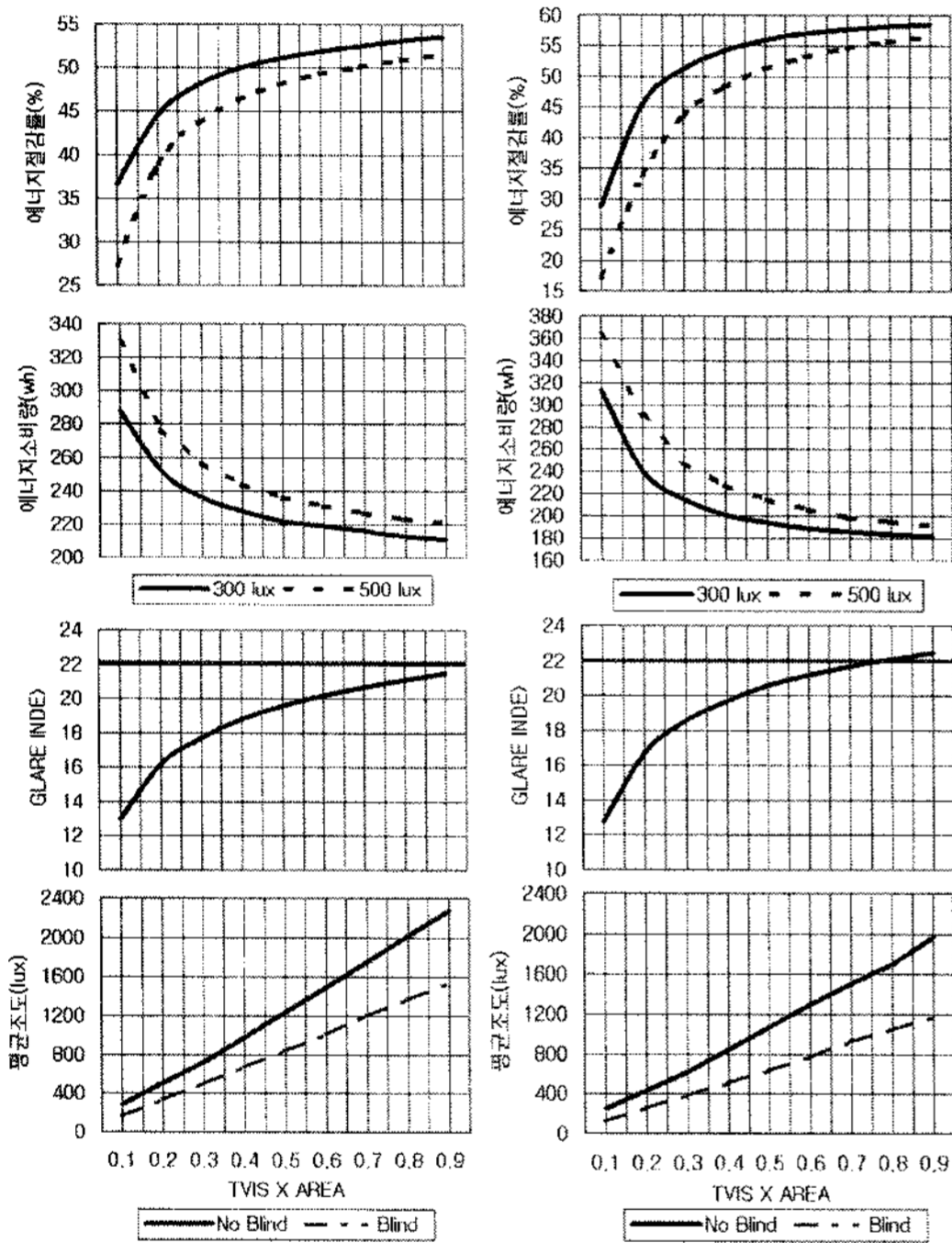


그림 14. 남향 3월의 노모그래프

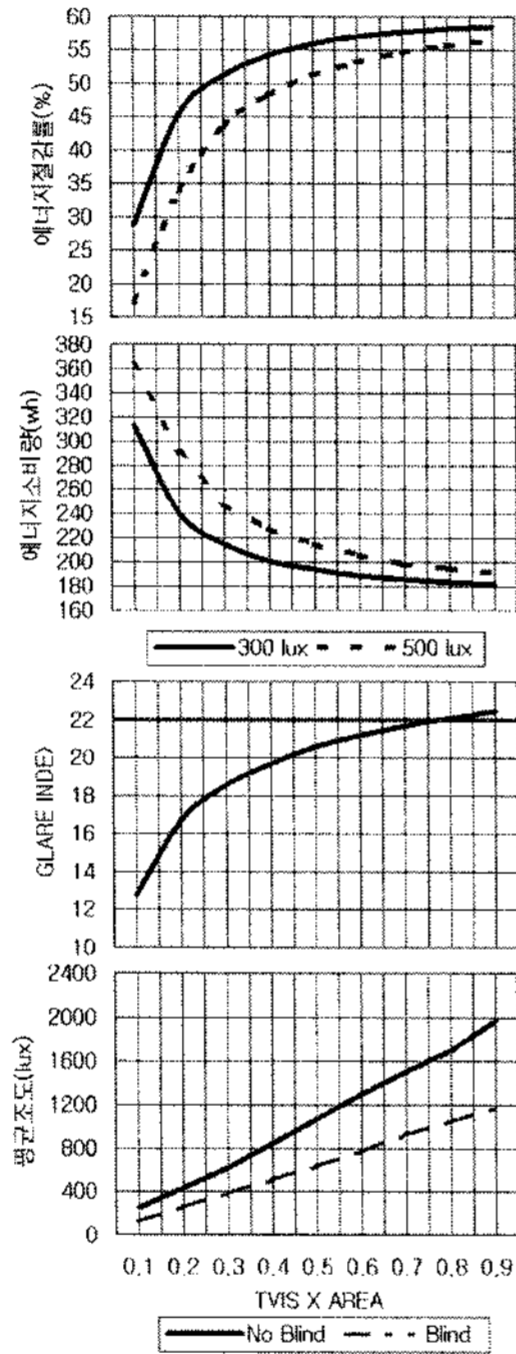


그림 15. 남향 6월의 노모그래프

그림 17~19는 북향시 3,6,12월의 노모그래프를 나타낸다. 북향시 3월(그림 17)은 각각의 경우 글레어인덱스가 한계현회지수를 초과하지 않으며, 설계기준조도 300 lux시 20~53 % (500 lux시 : 12~51 %)의 절감율을 나타내고 있다. 북향시 6월(그림 18)은 블라인드 유무에 따른 조도와 글레어인덱스의 변화는 없으나 'TVIS(창투과율)×AREA(창면적비)'가 0.8 이상인 경우 한계현회지수 22를 초과한다. 에너지 절감율은 설계기준조도 300 lux 시 25~59%

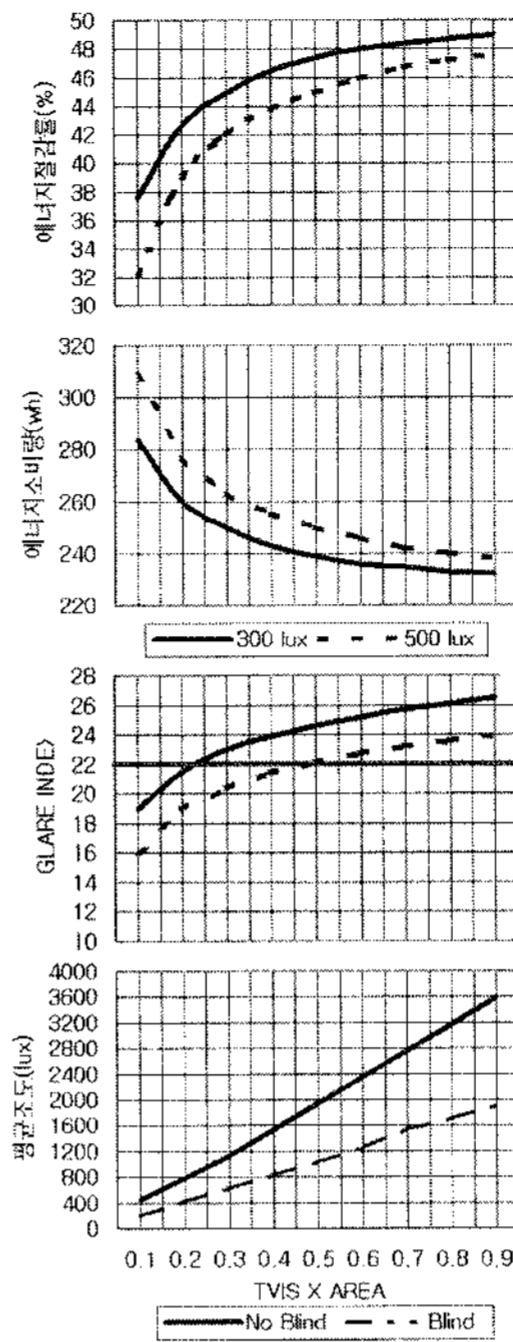


그림 16. 남향 12월의 노모그래프

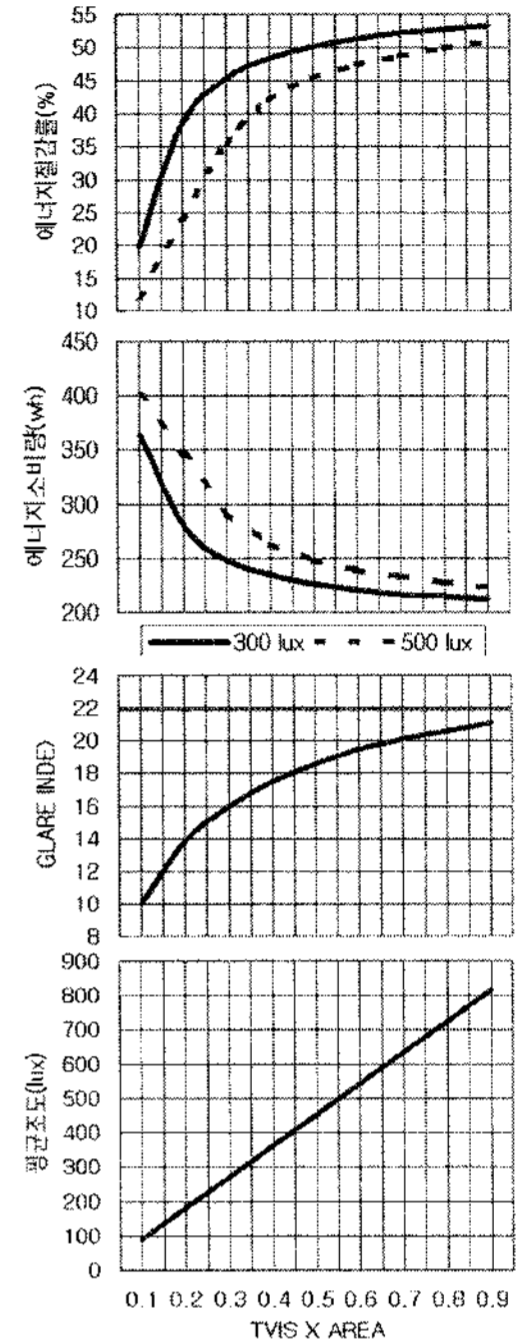


그림 17. 북향 3월의 노모그래프

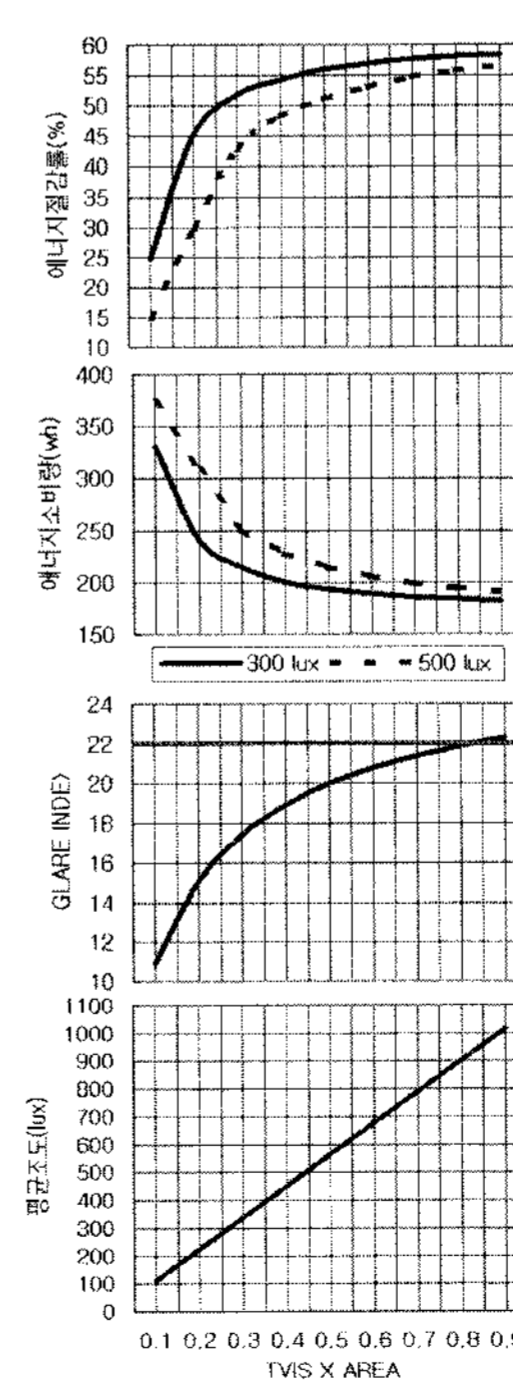


그림 18. 북향 6월의 노모그래프

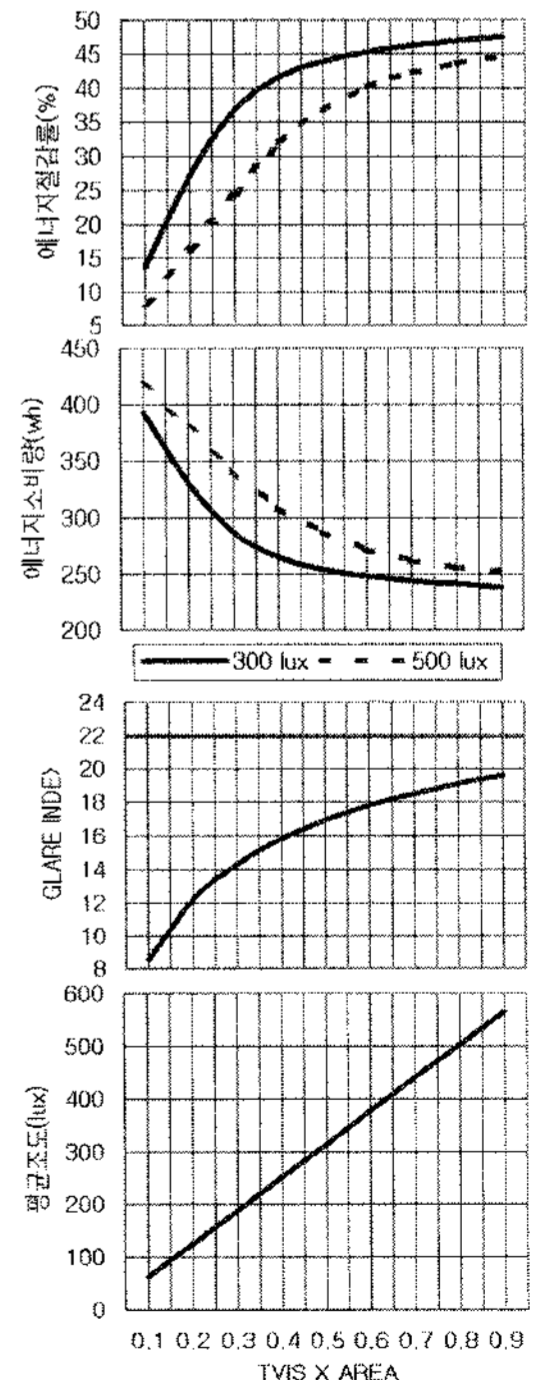


그림 19. 북향 12월의 노모그래프

(500 lux시 : 15~57 %)를 나타낸다. 북향시 12월(그림 19)은 창면적비와 투과율이 증가하더라도 한계현회지수를 초과하지 않으며 에너지절감율은 설계기준조도 300 lux시 14~48 % (500 lux시 : 9~45 %)를 나타낸다.

4. 결 론

본 연구에서는 서울 지역의 중규모 사무소 건물을 설정하여 창투과율과 창면적비의 변화에 따른 작업면 조도, Glare Index, 조명 에너지 사용량 및 조명 에너지 절감율을 산출하였다. 또한 이를 바탕으로 노모그래프를 작성하여 주광설계를 위한 설계기법을 도출하였다.

- 1) DOE2.1-E 시뮬레이션 결과 남향의 경우 블라인드 설치시 평균조도는 평균 약 43% 정도 감소되며 glare인덱스 또한 한계현회지수를 초과하지 않는다. 남향의 블라인드 설치시 에너지소비량과 에너지 절감율은 각각 적은 감소를 보이고 있었다.
- 2) 중규모 사무소 공간에서 향별(남향, 북향) 및 설계기준조도(300 lux, 500 lux)별로 에너지 소비량과 에너지 절감율의 그래프를 작성한 결과 에너지소비량은 향에서는 남향보다는 북향, 설계기준조도에서는 300 lux 보다 500 lux일 때 소비량이 많다. 이는 결국 에너지 절감율로 연결되며 남향일 때와 설계기준조도가 300 lux인 경우 에너지 절감율은 다소 증가하게 된다.
- 3) 위와 같은 결과를 바탕으로 건물의 설계초

기단계부터 실질적인 에너지 절약을 고려해 나아갈 수 있도록 각각의 변수를 고려한 노모그래프를 작성하여 조명에너지에 대한 설계기법 및 성능평가자료로 제시하였다.

후 기

본 연구는 2002년 건설교통부 산학연 공동연구개발사업의 연구비지원으로 수행되었음.

참 고 문 헌

1. 김상식, 김강수, 담천공 및 직사일광 조건에서 천창 루버시스템의 실내 주광성능 평가 연구, 대한건축학회 논문집, Vol.17, No.3, 2001.3
2. Fuller Moore, Concepts and Practice of Architectural Daylighting, 1985
3. IES Lighting Handbook
4. 건물 개구부의 에너지 성능 평가에 관한 연구, 한국건설기술연구원, 1988. 12
4. Francis Rubinstein, Steve Johnson, Advanced Lighting Program Development, LBNL-41679, 1998
5. E.S Lee, D.L. Dibratolomeo, E.L. Vine, S.E. Selkowitz, Integrated Performance of an Automated Venetian Blind/Electric Lighting System in a Full-Scale Private Office, LBNL-41443, 1998
6. Danny H.W. Li, Joseph C. Lam, Evaluation of Lighting Performance in office building with daylighting controls, Energy and Building 33, 2001, pp. 793-803