



건물에너지 저감을 위한 향별 슬랫형 블라인드의 최적각도 제어 알고리즘 산출

Optimized slat angle control algorithm prediction of venetian blind depending on window orientation for energy saving

권혁주* · 이금호** · 이광호***

Kwon, Hyuk-Ju* · Lee, Keum-Ho** · Lee Kwang Ho***

* Dept. of Architectural Engineering, HanBat National Univ., South Korea (gurwn825@naver.com)

** Coauthor, Green Energy Institute, South Korea

*** Corresponding author, Dept. of Architectural Engineering, HanBat National Univ., South Korea (kwhlee@hanbat.ac.k)

ABSTRACT

Purpose: Most modern office buildings adopt the curtain wall system in order to provide occupants with the sense of openness and high-technology, which requires large window area. As a result, the amount of solar radiation increases, negatively affecting cooling load during the summer and increasing energy costs. However, the performance of window itself is not sufficiently controllable parameter to control thermal comfort and solar radiation. Therefore, a shading device such as venetian blind is required to control them and thus a variety of studies have been performed thus far. So, the purpose of this study is to improve the performance of blind through the development of blind control algorithm.

Method: Among various input variables for the control of venetian blinds, the vertical solar radiation has been selected in this study as the primary input variable and the optimal control algorithm for venetian blinds were developed for each window orientation. **Result:** The developed optimal control algorithm has a positive effect on building energy savings.

KEYWORD

슬랫형 블라인드
슬랫 각도
향
반사율
최적제어
에너지플러스

Venetian blind
Slat angle
Orientation
Reflectivity
Optimum control
EnergyPlus

ACCEPTANCE INFO

Received May 22, 2017
Final revision received Jun 05, 2017
Accepted Jun 10, 2017

© 2017 KIEAE Journal

1. 서론

1.1. 연구의 배경 및 목적

사무소 건물에서 커튼월 및 외피에 창호를 설치하는 방식은 재실자에게 외부조망과 개방감뿐만 아니라 시간감 등을 제공하며, 미래 지향적인 시각적 이미지 부여가 가능하기에 선호되고 있다. 이러한 창호는 일사에 지대한 영향을 받으며 향의 배치, 창면적비에 따라 열적, 시각적 쾌적함에 영향을 미친다. 하지만 사무소 건물의 경우 하절기에 일사의 영향을 많이 받아 냉방부하를 증대 시켜 건물 에너지 비용을 증가시킨다. 물론 겨울철의 경우에는 일사의 증가로 난방부하가 감소되어 건물 에너지 비용을 감소시키지만 낮 시간동안 주로 근무하는 사무소 건물의 특성상 난방부하에 비해 냉방부하의 중요성 및 총 에너지 소비량이 크기 때문에 이를 해결하기 위한 여러 가지 방안들이 연구되고 있다. 이에 건물에서 유일하게 태양복사를 투과시키는 유리는 성능이 아무리 우수하다고 해도 유리 자체만으로 일사조절이 쉽지 않아 이를 보완할 수 있는 장치가 필요하다.[1] 대표적인 방안은 블

라인드와 같은 차양 장치를 이용하는 방법이며 현재 관리 및 장치 운용 문제로 인해 내부 블라인드가 가장 많이 활용되고 있다. 국내 대부분의 사무소 건물에서 사용되고 있으며 일사 정도에 따라 상향 및 하향 조절뿐만 아니라 슬랫 각도 조절이 가능한 슬랫형 블라인드가 가장 보편적이다.[2] 그러나 사무소 건물에서 슬랫형 블라인드의 경우 보편적으로 활용되는 방법은 재실자의 주관적인 판단에 의한 수동적인 제어 방법으로 건물의 에너지 성능을 고려하지 않은 방향으로 가고 있다. 뿐만 아니라 사무소 건물의 블라인드 운영실태 현장조사 결과, 재실자의 과중한 업무 스케줄에 의해 합리적으로 조절되지 않고 있으며 대부분 차폐된 상태로 유지되고 있는 실정이다.[3] 냉방부하를 절감하기 위한 다른 방법으로는 조명제어를 통하여 조명부하를 줄이는 것이다. 실내에 유입되는 일사량에 따라 조명제어를 하면 조명부하뿐만 아니라 조명부하 절감에 따른 냉방에너지에도 영향을 미칠 것으로 판단된다. 따라서 본 연구는 오명환 논문[4]에 대한 후속연구로써 차양 장치의 하나인 블라인드의 성능을 개선시키기 위해 단일향이 아닌 창호의 방위별 블라인드의 최적제어 알고리즘을 도출함에 목적이 있다. 또한 일사가 실내 열환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 블라인드의 반사율 및 조명제어를 통하여 실내 열환

경 변화를 비교분석하였다. 이에 따라 개선 효과가 우수한 조건을 선별하여 일사수열량과 최적 각도사이의 회귀분석 관계식을 활용하여 항별 일사수열량에 따른 최적 각도를 예측하고 최적제어 알고리즘을 산출하였다. 산출된 일사량에 따른 블라인드의 슬랫 각도 최적제어는 실내 시쾌적 및 건물 에너지 절감에 긍정적인 영향을 미칠 것으로 기대된다.[5]

1.2. 연구의 방법 및 범위

본 연구는 서울에 위치하고 블라인드가 설치된 가상의 사무소 건물을 선정하여 슬랫형 블라인드의 최적제어 방안으로 각도 제어를 통한 항별 제어 알고리즘을 제시하였으며, 제어 알고리즘 수립 방법은 시뮬레이션 도구를 이용한 이론적 해석방식을 활용하였다. 이론적 해석도구로는 건물의 외피를 통해 태양복사, 건물외피의 장파복사, 단파복사 등의 열류계산이 가능하며 창호와 블라인드 사이의 열전달 및 공기유동에 대해 정밀 분석이 가능한 EnergyPlus를 사용하였다. EnergyPlus는 표면간의 열전도, 대류, 복사 열평형과 실내공기의 열평형을 포함하여 계산하는 방법인 열평형 방정식을 사용하여 내부 부하를 계산하게 된다. 또한 실 내부의 공기는 실의 평균온도로 계산되며, 표면온도는 동일하고 균일한 장파, 단파를 받는 확산복사표면으로 벽체를 통한 1차원의 열전도라는 가정 하에 계산이 이루어진다. 본 연구는 Fig. 1과 같은 전반적인 흐름을 통해 진행하였다. 슬랫형 블라인드의 최적제어 알고리즘 산출 방법에서 최적의 범위는 시뮬레이션 모델의 연간 건물 냉난방과 조명 부하의 최소화 및 건물 내부의 창면 불쾌현황지수(DGI : Daylight Glare Index)가 22미만으로 한정하였다. 제어 알고리즘은 연구 조건별 연간 발생 부하량이 가장 낮은 2가지 조건을 선별하여 일사수열 감지량에 따라 슬랫 각도를 회전 시키는 제어 방법을 통해 항별로 각기 다른 제어 알고리즘을 산출하였다.[3,5]

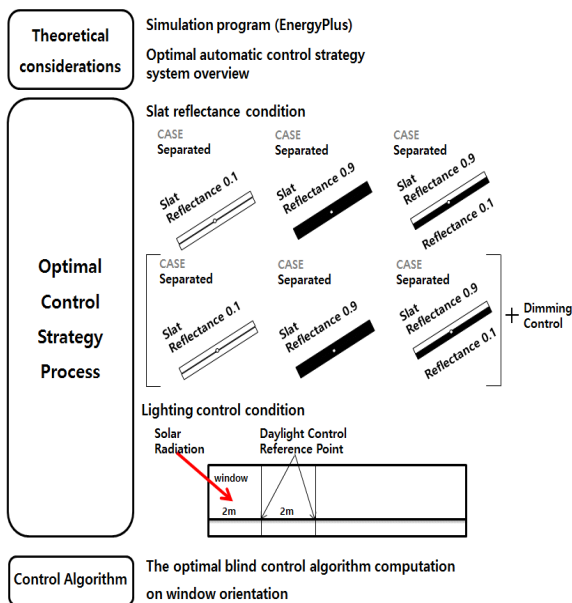


Fig. 1. Study flow chart[5]

2. 이론적 배경

2.1. 시뮬레이션 프로그램

본 연구를 진행하기 위해 선정한 프로그램은 EnergyPlus로 미국 에너지성(The U.S Department of Energy)에서 개발되었다. 기존에 사용되던 시스템 해석부분에서 강정을 지닌 DOE-2와 부하 해석부분에서 BLAST의 장점만을 통합시킨 프로그램이다. 이에 본 연구에 활용되는 슬랫형 블라인드를 통해 실내로 유입되는 열류량 계산과 실내 부하량에 대한 세밀한 계산이 가능하여 선정하였다. EnergyPlus는 건물 냉난방부하 해석에 있어 미국 냉동공조학회(ASHRAE, American Society of Heating Refrigerating and Air-conditioning Engineers)에서 권장하는 열평형(Heat Balance) 기법에 기초하고 있다. 프로그램에 대한 신뢰성은 대표적인 동적 시뮬레이션 규약인 미국 냉동공조학회의 ASHRAE 140 가이드라인을 통해 시뮬레이션 툴 개발을 진행하여 검증 받았다.[6] 또한, 시스템과 건축물 사이에서 발생하는 열적 거동에 대한 유기적인 해석이 가능하다는 장점이 있고, 특히 건물 에너지 시뮬레이션의 주요 구성요소들인 Zone, Surface, Air Heat Balance 및 System과 열원(Plant) 모델링을 각 시간 단계별로 통합적으로 실시함으로써 각 구성요소간의 유기적인 연결 관계를 모사할 수 있는 장점이 있다.

2.2. 블라인드 최적제어 알고리즘 개요

건축물에서의 차양장치로서 블라인드의 역할은 실내로 들어오는 태양 일사의 차단 및 현휘를 막아주는 것이다. 하지만 대규모의 건축물의 경우 사용자가 일일이 블라인드의 각도를 조절하는 것은 개인의 주관적인 판단 하에 조정하기 때문에 인력 및 시간의 낭비일 뿐만 아니라 일사량에 따라 최적의 각도로 조정하여 일사에너지의 개입을 유동적으로 조정하는 것은 더욱 어렵다. 이를 해결하기 위해 제안된 시스템의 특징은 다음과 같다. 블라인드 각도 제어를 통하여 외부에서 유입되는 일사를 조절하여 실내의 부하를 최소화하며 쾌적한 냉난방 환경을 제공하는 시스템이다. 최적 제어를 위해서는 기계적 에너지가 필요하기 때문에 소모되는 전력이 발생하지만 건물의 부하 절감과 시쾌적성으로 인한 사용자의 불쾌현황 감소는 이를 충분히 보완 가능할 것으로 사료된다. 아래 Fig. 2는 최적제어 시스템의 작동원리를 나타내며 해당 위치의 기후 및 수직면 직달일사량을 토대로 수치를 계산하고 데이터를 입력하여 이를 바탕으로 블라인드와 조명을 제어한다. 또한 본 논문은 가상의 사무소 건축물을 대상으로 분석을 진행하기 때문에 실내의 냉난방 부하 및 조명부하 저감과 불쾌현황 부분을 중점적으로 살펴야 한다.[5]

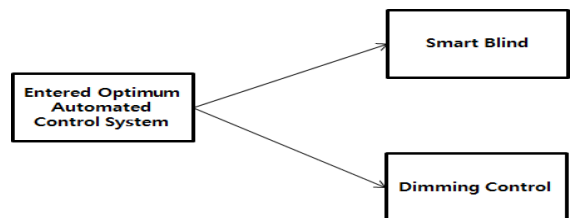


Fig. 2. Automatic control strategy system[5]

3. 시뮬레이션 모델 구축 및 조건

3.1. 시뮬레이션 모델

본 연구에서 사용된 시뮬레이션 모델은 직사각형 모양의 길이 49m, 폭 33m, 층고가 3m, 창면적비가 33%인 3층의 사무소 건물을 모사하였으며, 길이가 49m인 면이 각각 남측과 북측 방위, 폭 33m인 면이 각각 동측과 서측 방위를 향하도록 하였다. 시뮬레이션 해석을 위한 기상데이터는 태양에너지학회의 서울지역 표준 기상데이터를 활용하였다. 실내 발열요소는 Table. 1과 같이 설정하였으며 시뮬레이션 모델의 건물 외피에 대한 구성 및 재료의 물성치는 Table. 2와 같이 설정하였다. 실내 설정온도는 난방 시 21℃, 냉방 시 26℃이며 난방은 07 : 00~18 : 00까지, 냉방은 07 : 00~19 : 00까지 공조하는 것을 전제로 시뮬레이션을 진행하였다.

Table 1. Internal heat gain

	Value	Radiant fraction
Occupancy	17m ² /person	0.6
Lighting loads	10.8W/m ²	0.32
Equipment Loads	8.6W/m ²	0.4

Table 2. Properties of building construction

	Materials	U-value [W/m ² ·K]
Ext Wall	M15 200mm heavyweight concrete	0.438
	I02 70mm insulation board	
	F04 Wall air space resistance	
	G01a 19mm gypsum board	
Roof	M11 100mm lightweight concrete	0.203
	I02 150mm insulation board	
	F16 Acoustic tile	
Groud Floor	M15 200mm heavyweight concrete	0.441
	I02 70mm insulation board	
	M15 200mm heavyweight concrete	
Ceiling	M11 100mm lightweight concrete	1.96
	F05 Ceiling air space resistance	
	F16 Acoustic tile	

공조 방식은 HVAC System 및 Plant의 효율을 배제한 EnergyPlus의 IdealLoadsAirSystem 모델을 작용하여 연간 냉난방 및 조명 부하의 데이터를 분석하였다. 본 연구에서 적용된 창호는 Fig. 3과 같이 복층유리(6mmClear + 12mmAir + 6mmClear)로 구성되어 있다. 또한 창호를 통한 열획득량 변화 분석을 위해 사용된 슬랫형 블라인드는 내부 블라인드로 물성은 열전도율 0.9W/m·K, 방사율 0.9이며 슬랫 너비 0.0048m, 슬랫 간격 0.0048m, 유리와 블라인드의 간격은 0.05m로 가정하였으며, 타 세부 사항은 Table 3와 같다. 슬랫 각도의 범위는 Fig. 4와 같이 -90° ~ +90°로 나타내었다.

Table 3. Properties of blind slat

Field	Unit	Value
Blind Position		Inside Blind
Slat Width	m	0.048
Slat Separation	m	0.048
Slat Thickness	m	0.002
Blind to Glass Distance	m	0.050
Slat Reflectance	%	10/90
Slat Infrared Hemispherical Emissivity	-	0.900
Slat Conductivity	W/m·K	0.900
Slat Angle	°	0-180

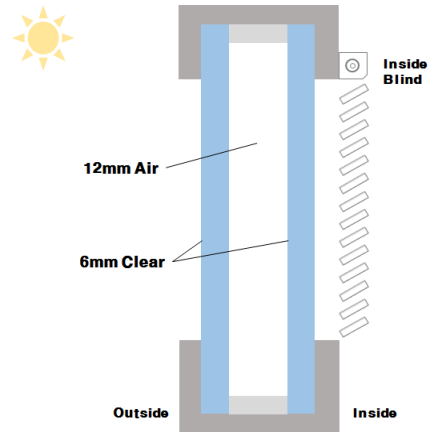


Fig. 3. Configuration and design of window and blind position

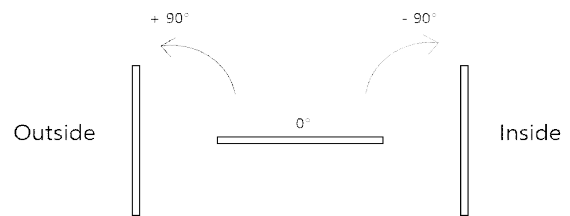


Fig. 4. Slat angle

3.2. 시뮬레이션 조건

시뮬레이션 조건은 Table 4과 같이 블라인드가 설치되지 않은 Base Case를 기준으로 단일 반사율 조건인 Reflect 0.1, Reflect 0.9, 전후면의 반사율이 각각 0.9, 0.1로 다른 Separated와 이를 조명제어를 한 Reflect 0.1 + Dimming, Reflect 0.9 + Dimming과 여기에 Separated + Dimming의 경우까지 총 7가지의 조건을 활용하여 시뮬레이션을 진행하였다. 조명제어의 경우 감지센서를 창으로부터 2m 떨어진 위치에 설치하여 자연 채광량의 증가에 따라 조명에너지가 선형으로 감소하는 Continuous 방식을 사용하였고 실내조도감지가 500lux 이상부터는 조명에너지의 20%만 작동하도록 설정하였다. 위의 조건을 바탕으로 조명 제어 전후의 연간 실내 총 부하량(냉방 + 난방 + 조명)과 창면 불쾌현황지수(DGI, Daylight Glare Index)에 대하여 조건 별 비교 분석을 하였다. 이를 통해 부하 절감이 좋은 상위 2가지 조건을 활용하여 블라인드 최적제어 알고리즘 산출을 진행하였다.

Table 4. Simulated cases

	Blind Reflect	Dimming Control
Base Case	No	No
Reflect 0.1	0.1	No
Reflect 0.9	0.9	No
Separated Reflect	Front 0.9 / Back 0.1	No
Reflect 0.1+Dimming	0.1	Yes
Reflect 0.9+Dimming	0.9	Yes
Separated Reflect + Dimming	Front 0.9 / Back 0.1	Yes

4. 시뮬레이션 결과분석

4.1. 해석 모델의 연간 부하분석

Table 5는 블라인드를 설치하지 않은 Base case 해석 모델을 대상으로 50%의 창면적비를 가진 기준층(Middle Floor)의 항별 연간 단위 면적당 부하 값을 나타낸다. 동측에서는 냉방부하가 58.6%, 난방부하가 13.2%, 조명부하가 28.2%이며, 서측에서는 냉방부하가 54.9%, 난방부하가 15.1%, 조명부하가 30.0%이며 또한 냉방부하가 가장 큰 남측에서는 냉방이 62.2%, 난방이 9.8%, 조명이 28.0%이며 냉방부하가 가장 적은 북측에서는 냉방이 45.6%, 난방이 19.7%, 조명이 34.8%로 나타났다.

항별 부하패턴을 분석해보면 모든 항에서 냉방부하, 조명부하, 난방부하 순으로 큰 값을 나타내었는데 이는 큰 창면적비로 인해 일사의 유입이 증가하면서 냉방 시 부하가 크게 증가한 것으로 판단되며 난방부하의 경우 모든 항에서 20% 이하의 낮은 값을 나타내었다. 남측의 경우 다른 항에 비해 난방부하는 낮으나 높은 냉방부하를 나타내었으며 이는 비교적 많은 일사의 유입에 기인한 것으로 판단된다. 반면에 북측의 경우 태양으로 인한 일사의 유입의 거의 미미하여 다른 항에 비해 상대적으로 냉방부하가 낮고 난방부하는 증가함을 알 수 있다.

또한 조명부하의 경우 난방부하보다 크며 항과는 무관하게 일정한 소비량을 나타내고 있다. 이처럼 항별로 서로 다른 실내 냉·난방부하 값을 나타내고 있으며 이에 따라 항별로 블라인드를 상이하게 제어할 필요성이 있다. 또한 일정하게 소비되는 조명에너지 줄이는 방안을 모색해야 할 것으로 사료된다.

Table 5. Annual load depending on window orientation

	East		West	
	Annual Load [kW/m ²]	Rate [%]	Annual Load [kW/m ²]	Rate [%]
Heating	13.84	13.2	14.89	15.1
Cooling	61.47	58.6	54.15	54.9
Lighting	29.55	28.2	29.55	30.0
Total	104.86	100	98.59	100
	South		North	
	Annual Load [kW/m ²]	Rate [%]	Annual Load [kW/m ²]	Rate [%]
Heating	10.28	9.8	16.69	19.7
Cooling	65.54	62.2	38.69	45.6
Lighting	29.55	28.0	29.55	34.8
Total	105.37	100	84.93	100

4.2. 시뮬레이션 조건별 부하 분석

본 연구에서는 각 조건별 냉방, 난방, 조명부하를 비교분석하기 위하여 블라인드를 45°로 고정하여 실내의 연간 부하를 산출하였다. Fig. 5에서 Fig. 8은 블라인드를 설치하지 않은 Base Case를 기준으로 항 및 조건별 냉방, 난방, 조명부하의 증감 비율을 나타냈으며 Table 6.에서 Table 9.는 조건별 실내 총 부하의 절대량을 나타낸다. 이에 총 6가지의 조건을 부하 및 항별로 분석을 진행하였다.

조명부하의 경우 조명제어를 적용한 모든 조건에서 조명제어를 적용하지 않은 조건보다 에너지 저감에 효과가 있는 것으로 나타났다. 특히 다른 조건에 비해 반사율이 0.9인 조건에서 최대 61%의 많은 절감량을 보였으며 이는 블라인드를 통해 들어오는 직사광은 차단하면서 슬랫 사이로 반사되어 유입되는 확산광에 기인한 것으로 판단된다. 냉방부하의 경우 반사율이 동일한 조건에서 조명제어 시 냉방부하가 다소 감소하는 패턴을 보였으며 반사율이 낮은 0.1의 조건에서는 최대 51% 증가하는 경향을 나타냈다. 이는 슬랫 반사율이 낮아짐에 따라 블라인드의 표면온도 상승으로 인하여 대류와 복사열 획득량의 증가로 인해 냉방에너지가 증가한 것으로 판단된다. 난방부하의 경우 모든 항에서 반사율이 낮은 0.1인 조건에서는 미미한 변화를 보였지만 반사율이 0.9인 경우와 전후면 반사율이 각각 0.9, 0.1로 다른 조건에서는 오히려 난방부하가 증가한 것으로 나타났다. 하지만 난방부하가 증가함에도 불구하고 조명부하와 냉방부하의 절감으로 인해 총 부하량은 절감되었으며 Reflect 0.9+Dimming과 Separated Reflect+Dimming 조건에서 가장 효과적인 것으로 분석되었다.

항별 부하 패턴을 분석해보면 동측의 경우 다른 항에 비해 조명제어를 적용함으로써 조명부하의 절감효과가 가장 높게 나타났으며 서측과 남측에서는 반사율이 0.1인 조건에서 다소 큰 냉방부하 증가를 나타냈다. 또한 남측의 경우 반사율이 0.9와 Separated인 조건에서 다른 조건에 비해 많은 냉방부하 감소와 난방부하의 증가가 나타나 블라인드 조건에 따른 영향이 큰 것으로 나타났다. 이와 반대로 북측의 경우 직달일사의 영향을 받지 못하고 확산일사를 통해서만 일사를 유입받기 때문에 다른 항과는 다르게 블라인드에 의한 실내 부하의 영향이 가장 적은 것으로 나타났다.

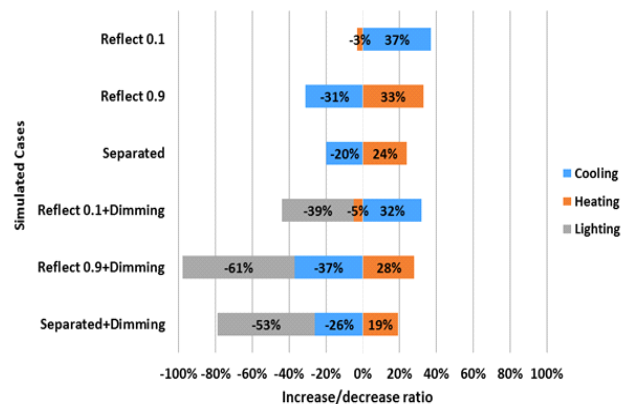


Fig. 5. Increase/decrease ratio of load in East

Table 6. Annual load(cooling+heating+lighting) in East

Cases Load [kW/m ²]	Reflect 0.1	Reflect 0.9	Separated	Reflect 0.1+Dimming	Reflect 0.9+Dimming	Separated+Dimming
Heating	13.42	18.41	17.16	13.15	17.72	16.47
Cooling	84.21	42.41	49.18	81.14	38.73	45.49
Lighting	29.55	29.55	29.55	18.03	11.52	13.89

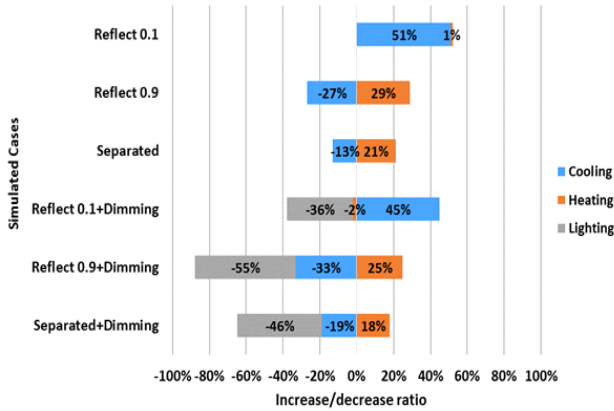


Fig. 6. Increase/decrease ratio of load in West

Table 7. Annual load(cooling+heating+lighting) in West

Cases Load [kW/m ²]	Reflect 0.1	Reflect 0.9	Separated	Reflect 0.1+Dimming	Reflect 0.9+Dimming	Separated+Dimming
Heating	15.04	19.21	18.02	14.59	18.61	17.57
Cooling	81.77	39.53	47.11	78.52	36.28	43.86
Lighting	29.55	29.55	29.55	18.91	13.30	15.96

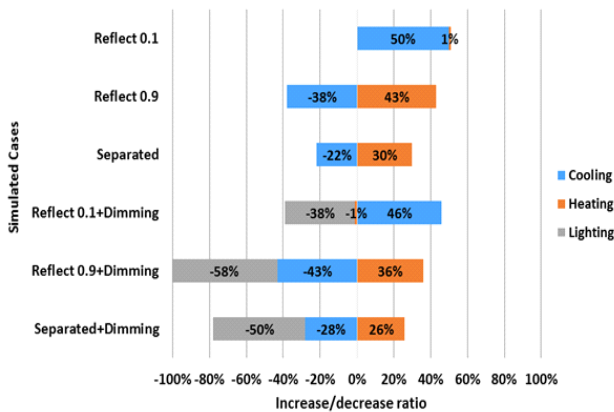


Fig. 6. Increase/decrease ratio of load in South

Table 8. Annual load(cooling+heating+lighting) in South

Cases Load [kW/m ²]	Reflect 0.1	Reflect 0.9	Separated	Reflect 0.1+Dimming	Reflect 0.9+Dimming	Separated+Dimming
Heating	10.38	14.70	13.36	10.18	13.98	12.95
Cooling	98.31	40.63	51.12	95.69	37.36	47.19
Lighting	29.55	29.55	29.55	18.32	12.41	14.76

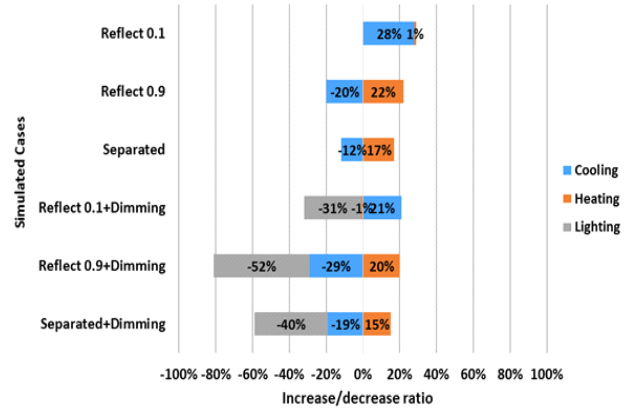


Fig. 8. Increase/decrease ratio of load in North

Table 9. Annual load(cooling+heating+lighting) in North

Cases Load [kW/m ²]	Reflect 0.1	Reflect 0.9	Separated	Reflect 0.1+Dimming	Reflect 0.9+Dimming	Separated+Dimming
Heating	16.86	20.36	19.53	16.52	20.03	19.19
Cooling	49.52	30.95	34.05	46.81	27.47	31.34
Lighting	29.55	29.55	29.55	20.39	14.18	17.73

4.3. 일사수열량에 따른 최적제어 알고리즘 산출

블라인드의 반사율 변화와 조명제어를 연계하는 전략을 통해 건물 실내부하 저감 효과를 얻을 수 있었다. 이에 부하저감 효과가 좋은 Reflect 0.9+Dimming과 Separated Reflect+Dimming 두 가지 조건에서 블라인드의 최적 제어를 위해 슬랫 각도가 45°로 고정인 아닌 -90 ~ +90° 범위의 슬랫 각도 가변제어를 통하여 더 효과적인 에너지 저감을 이루고자 한다. 하지만 슬랫 각도 제어를 위한 입력변수는 특정한 외부 환경 조건이나 실내 환경 조건의 감지대상 선정이 필요하며, 입력변수에 의한 슬랫 각도 가변제어 시 규칙적이고 간단한 알고리즘 형태의 수식화가 요구된다. 다양한 실내외 환경 조건 가운데 본 연구에서는 외부 수직면 일사수열량을 입력 변수로 선정하였다. 전술하였듯이, 본 연구는 오명환 논문[4]에 대한 후속 연구로써 차양 장치의 하나인 블라인드의 성능을 개선시키기 위한 연구의 일환으로 일사가 실내 열환경에 미치는 영향을 알아보기 위해 블라인드의 반사율 및 조명제어를 통하여 실내 열환경 변화를 비교분석하였다. 수직면 일사수열량은 태양복사 스펙트럼 가운데 열적인 영역과 광적인 영역을 동시에 포함하고 있으며, 실제 창면에 입사되는 일사의 양으로서 실내 획득열량과 자연채광에 대한 변수 조건으로 충분하다고 볼 수 있다. 또한 슬랫 각도에 따라 변화하지 않는 외부 조건이며, 최적 각도를 구한다면 냉방, 난방 및 조명부하에 대한 비교 분석이 가능하다.

이를 이용한 최적 슬랫 각도 도출 방법은 우선 -90 ~ +90° 사이의 슬랫 각도를 5° 단위로 해석 모델에 적용한 뒤 연간 불쾌현황 지수가 22 미만의 데이터 중 실내 총 부하가 가장 낮은 각도를 산출하였으며 이 때 일사수열량의 구간은 100W/m² 단위로 구분하였다.[4,5] 이후 일사수열량의 구간별 최적각도를 바탕으로 Excel의 회귀분석을 통하여 항별 서로 다른 블라인드 제어 알고리즘을 산출하였다. Fig. 9와 Fig. 10은 항 및 조건별 일사수열량에 따른 구간별

최적각도를 회귀 분석하여 나타난 슬랫 각도 최적제어 알고리즘을 나타내며 수식은 아래와 같다. 각 수식은 다음과 같이 'Optimum∠(Window orientation, Blind reflectance)'을 나타내며 입력변수로써의 x의 값은 수직면 일사수열량을 나타낸다.

$$\text{Optimum}\angle(\text{East},0.9) = 4.8\text{E}-10x^4 - 8.98\text{E}-07x^3 + 0.00044x^2 + 0.451x + 24.167 \quad (1)$$

$$\text{Optimum}\angle(\text{West},0.9) = 1.28\text{E}-9x^4 - 3.2\text{E}-06x^3 + 0.0028x^2 - 0.93x + 158.06 \quad (2)$$

$$\text{Optimum}\angle(\text{South},0.9) = 3\text{E}-12x^5 - 8\text{E}-09x^4 + 8\text{E}-06x^3 - 0.0034x^2 + 0.6493x + 32.08 \quad (3)$$

$$\text{Optimum}\angle(\text{North},0.9) = 0.0005x^2 + 0.25x + 60 \quad (4)$$

$$\text{Optimum}\angle(\text{East, Sep}) = 2\text{E}-10x^4 - 8.2\text{E}-07x^3 + 0.0011x^2 - 0.552x + 127.22 \quad (5)$$

$$\text{Optimum}\angle(\text{West, Sep}) = -6\text{E}-10x^4 + 7.2\text{E}-07x^3 + 5.4\text{E}-05x^2 - 0.311x + 118.89 \quad (6)$$

$$\text{Optimum}\angle(\text{South, Sep}) = -6\text{E}-10x^4 + 1\text{E}-06x^3 - 0.0009x^2 + 0.2458x + 53.33 \quad (7)$$

$$\text{Optimum}\angle(\text{North, Sep}) = -0.004x^2 + 2.5x - 300 \quad (8)$$

Fig. 9는 블라인드 반사율이 0.9인 조건의 제어 알고리즘을 Fig. 10은 블라인드 반사율이 전후면이 각각 0.9, 0.1로 다른 Separated인 조건의 제어 알고리즘을 나타낸다.

동측의 경우 조건별 다른 제어 패턴을 보이는데 반사율 0.9인 조건에서 일사수열량이 100W/m² 이하로 낮을 때 블라인드 슬랫은 거의 폐쇄된 80°를 나타냈으며 이는 높은 태양입사각에 의해 발생하는 불쾌현황을 방지하기 위함으로 사료된다. 이후 100~200W/m²의 일사량에서는 부분 개방을 보이다가 일사량의 증가에 따라 완전 폐쇄에 가깝게 블라인드가 제어된다. 반면 Separated인 조건에서의 낮은 일사량에서는 블라인드가 완전 폐쇄에 가까우며 일사량이 300W/m² 이상에서는 각도를 30°로 유지하는 패턴을 나타냈다.

서측의 경우 일사수열량이 100W/m² 이하에서는 두 조건 모두 완전 폐쇄를 나타냈으며 반사율이 0.1인 조건에서는 일사량이 300W/m² 일 때 50°로 개방되었다가 다시 일사량의 증가에 따라 80°까지 폐쇄되는 패턴을 보였다. 반면 반사율이 Separated인 조건에서는 일사량이 500W/m² 일 때 30°까지 점차 개방되었다가 일사량의 증가에 따라 최대 45°로 폐쇄되는 패턴을 나타냈다. 남측의 경우 블라인드의 반사율과 무관하게 모든 구간에서 블라인드가 완전 폐쇄에 가까운 70° 이상을 항상 유지하는 패턴을 나타냈다. 북측의 경우 일사수열량이 300W/m² 미만으로 다른 향에 비해 낮은 일사수열량이 관측되었으며 반사율이 0.9인 조건에서는 완전폐쇄에 가까운 패턴을 보였지만 반사율이 Separated인 조건에서는 일사수열량이 100W/m² 이하일 때 유일하게 반사율이 0.1인 면이 전방을 향하는 -90°가 최적각도로 나타났으며 300W/m²에서는 반사율이 0.9인 면이 전방을 향하는 90°가 최적각도로 나타났다.

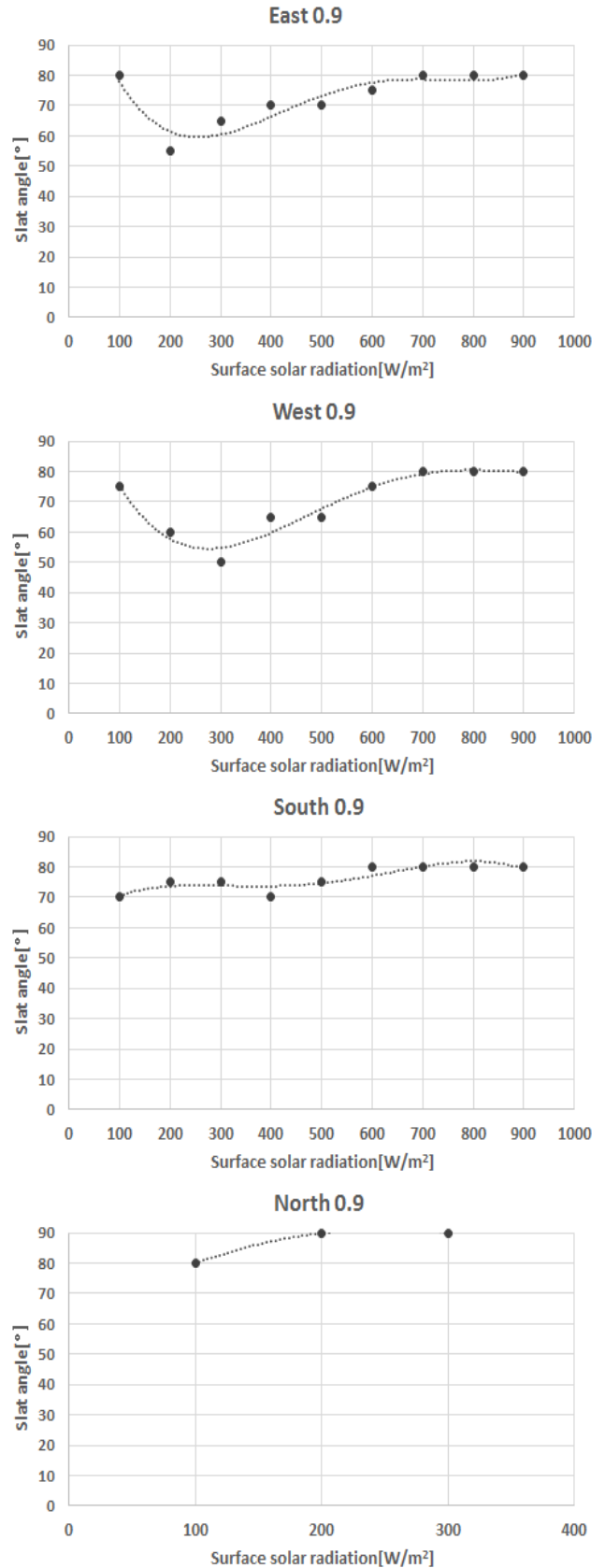


Fig. 9. Slat angle optimum control algorithm in Reflect 0.9+Dimming case

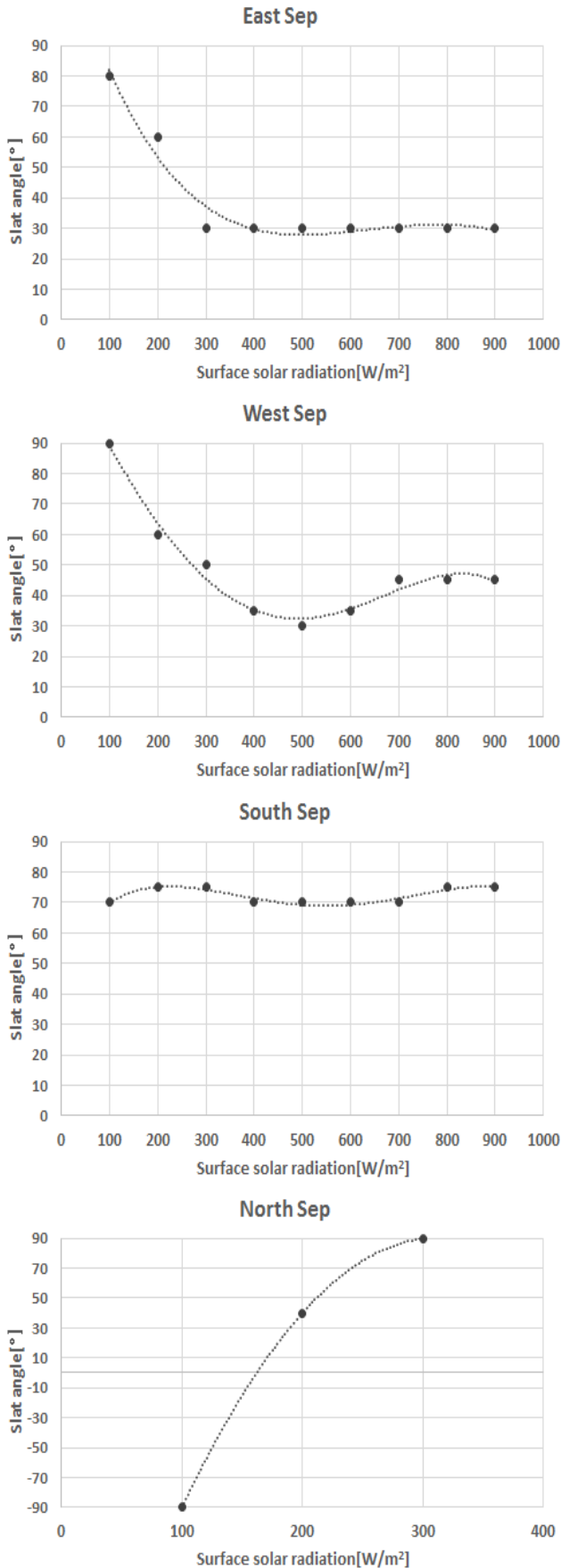


Fig. 10 Slat angle optimum control algorithm in Separated+Dimming case

5. 결론

본 연구는 사무소 건물에서 향별 슬랫의 반사율, 각도 및 실내의 조명 제어의 유무에 따른 실내 열환경을 검토하고 건물 부하 저감에 있어 우수한 조건을 선정하였다. 이에 일사수열량에 따라 향 및 조건별로 최적각도를 산출하여 회귀분석을 통해 슬랫 각도 최적 제어 알고리즘을 도출하였으며, 그 결론은 다음과 같다.

(1) 해석모델을 대상으로 Base case의 연간 에너지 소비량을 분석한 결과 동측에서는 냉방 58.6%, 난방 13.2%, 조명 28.2%이며, 서측은 냉방 54.9%, 난방 15.1%, 조명 29.9%이며, 냉방부하를 가장 많이 받는 남측은 냉방 62.2%, 난방 9.7%, 조명 28.0%이며, 냉방부하를 가장 적게 받는 북측은 냉방 45.5%, 난방 34.8%, 조명 19.6%이다. 모든 향이 냉방부하가 1순위 조명부하가 2순위로 나타내는데 이는 사무소건물이 창면적비가 크기 때문에 일사유입량의 증가로 여름철 냉방부하가 증가하기 때문이다.

(2) 블라인드 슬랫의 반사율과 실내 조명제어의 유무에 따라 부하분석을 한 결과 단일 반사율 0.9인 조건과 전후면 반사율이 각각 0.9, 0.1로 다른 조건에서 난방부하가 증가했지만 냉방부하의 절감으로 인해 총 부하량은 절감하였으며 또한 조명제어의 유무에 따른 분석에서 조명제어를 적용함으로써 최대 61%의 부하 절감이 나타났다.

(3) 블라인드의 최적 제어를 위해 일사수열량을 입력변수로 설정하였으며 각도별 연간 불쾌현황 지수가 22미만의 데이터 중 실내 총부하가 가장 낮은 각도를 산출하여 일사수열량에 따른 최적각도를 회귀 분석하여 슬랫 각도의 최적 제어 알고리즘을 산출하였다.

(4) 블라인드 최적 제어 알고리즘에서 동측의 경우 반사율 조건에 따라 서로 다른 패턴의 각도 제어를 서측의 경우 패턴은 유사하지만 반사율이 0.9의 조건에서 Separated 조건에 비해 슬랫 각도가 다소 폐쇄되는 경향을 보였다. 남측의 경우 블라인드 반사율에 무관하게 유사한 각도 제어를 나타냈으며 북측의 경우 일사량이 100W/m² 이하일 때 Separated조건에서는 전면 반사율이 0.1로 완전 폐쇄되었을 때 실내 총 부하(냉방+난방+조명)가 가장 낮게 측정되었다.

이와 같이 산출된 슬랫 각도 최적제어 알고리즘은 일사수열량에 따라 제어되어 실내 총 부하를 절감하기 위한 각도로 제어되며 건물 에너지 저감 효과가 뛰어날 것으로 사료된다. 하지만 보다 효율적인 블라인드 최적제어를 위해서는 창호의 방위 이외의 건물의 여러 외적인 요소가 통합적으로 고려된 지속적인 연구가 필요할 것으로 사료되며, 추후 최적제어 알고리즘을 블라인드에 적용하여 건물에너지 변화를 분석할 예정이다.

Acknowledgements

이 논문은 2016년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 기초연구사업임(No. 2015R1A1A1A05000964)

Reference

- [1] Gouri Datta, Effect of Fixed Horizontal Louver Shading Devices on Thermal Performance of Building by TRANSYS Simulation, *Renewable Energy*, Vol. 23, pp. 497-507, 2001
- [2] J. Breitenbach, S. Lart, I. Langle and J.L.J. Rosenfled, Optical and Thermal Performance of glazing with Integral Venetian Blinds, *Energy and Buildings*, Vol. 33, pp. 433-442, 2001
- [3] 오명환, 윤종호, “협회와 에너지성능을 통합 고려한 슬랫형 블라인드의 최적제어 효과에 관한 연구”, *대한건축학회 논문집-계획계*, 28(5), pp. 293-300, 2012 // (Oh, Myunh-Hwan, Yoon, Jong-Ho, The Effects of Automatically Controlled Slat-Type Blind to Reflect Optimum Control Strategies which are Reducing Discomfort-Glare and Improving Energy Performance, *Journal of the Architectural Institute of Korea Planning & Design*, Vol. 28(5), pp. 293-300, 2012)
- [4] 오명환, “시환경 및 건물에너지성능을 통합 고려한 슬랫형 블라인드 자동제어전략”, *한밭대학교대학원 건축공학과 석사학위논문*, 2012 // (Oh, Myunh-Hwan, Optimum Automated Control Strategies of Inside Slat-type Blind considering Visual Comfort and Building Energy Performance, Hanbat University, Master's Dissertation, 2012)
- [5] 이금호, “슬랫형 블라인드의 최적각도 제어를 위한 항별 시환경 및 에너지 소비 특성 분석”, *한밭대학교대학원 건축공학과 석사학위논문*, 2017 // (Lee, Keum-Ho, Visual Comfort and Energy Characteristics Depending on Window Orientation for Optimized Slat Angle Control of Venetian Blind, Hanbat University, Master's Dissertation, 2017)
- [6] 박률, 박종일, “공동주택 유리창의 항별 에너지 성능 분석”, *대한설비공학회 학술발표대회 논문집*, pp. 1041-1044, 2012 // (Park, Yool, Park, Jong-Il, Analysis of Energy Performance by Window Directions in Apartment, *Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, pp. 1041-1044, 2012)
- [7] The U.S. DOE., *EnergyPlus Engineering Reference. The Reference to EnergyPlus Calculations*, 2011
- [8] The U.S. DOE., *EnergyPlus Input Output Reference. The Encyclopedic Reference to EnergyPlus Input and Output*, 2011
- [9] The U.S. D.O.E., *Getting Started with EnergyPlus*, The U.S. Department of Energy, 2010
- [10] 김덕우, 박철성, “최적화 알고리즘을 이용한 실내 블라인드 최적제어 전략”, *한국건축환경설비학회 추계학술발표대회 논문집*, pp. 65-69, 2008 // (Kim, Deuk-Woo, Park, Cheol-Soo, Optimal Control Strategies of Blind Systems Using Energy Plus and an Optimization Routine, *Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems(KIAEBS)*, pp. 65-69, 2008)
- [11] 윤여범, 이광호, “동계 외부 블라인드 자동제어에 따른 실내 환경 실측 연구”, *대한건축학회 춘계학술발표대회 논문집*, 제 33권 제1호, 2013 // (Yoon, Yeo-Beom, Lee, Kwang-Ho, An Experimental Study on the Indoor Environment Assessment under the Automated Exterior Blind Operation, *Architectural Institute of Korea*, Vol. 33(1), pp. 223-224, 2013)