

# 잠재적 시간 오차에 따른 현휘의 발생 방지를 위한 최적 블라인드 제어

성윤복\*

\*한국건설교통기술평가원 선임연구원, 공학박사(nike21@snu.ac.kr)

## Optimum Blind Control to Prevent Glare Considering Potential Time Error

Seong, Yoon-Bok\*

\*Korea Institute of Construction & Transportation technology Evaluation and Planning(nike21@snu.ac.kr)

### Abstract

For the improvement of environmental comfort in the buildings with the blind control, the objective of this study is to prevent the direct glare caused by the daylight inlet. During the process of solar profile prediction, time are significant factors that may cause error and glare during the blind control. This research proposes and evaluates the correction and control method to minimize prediction error. For the local areas with different longitude and local standard meridian, error occurred in the process of the time conversion from local standard time to apparent solar time. In order to correct error in time conversion, apparent solar time should be recalculated after adjusting the day of year and the equation of time. To solve the problems by the potential time errors, control method is suggested to divide the control sections using the calibrated fitting-curve and this method is verified through simulations.

The proposed correction and control method, which considered potential time errors by loop lop leap years, could solve the problems about direct glare caused by daylight inlet on the work-plane according to the prediction errors of solar profile. And also these methods could maximize daylight inlet and solar heat gain, because the blocked area on windows could be minimized.

Keywords : 블라인드 제어(Blind Control), 현휘(Glare), 태양프로파일각(Solar Profile Angle), 오차 보정(Error Correction), 시각 변환(Time Conversion)

### 기 호 설 명

- $A_b$  : 면방위각 (°)
- $AST$  : 진태양시(hour)
- $D_{blind}$  : X축과 블라인드 사이 거리
- $D_X$  : 기준 작업면 깊이
- $ET$  : 균시차 (min)
- $f(t)$  : 태양 프로파일각 계산 함수
- $H_{cover}$  : 블라인드 커버 높이
- $H_{desk}$  : 기준 작업면 높이
- $L_{blind}$  : 블라인드 차폐 길이
- $LON$  : 경도 (°)
- $LSM$  : 지방표준자오선 (°)
- $LST$  : 지방표준시(hour)
- $t_{Day}$  : 제어일의 어떤 시각
- $t_{Day-1}$  : 이전일의 어떤 시각
- $t_{Day+1}$  : 이후일의 어떤 시각
- $y$  : 어떤 시각의 제어용 태양프로파일각 (°)
- $\beta$  : 태양 고도각 (°)
- $\phi$  : 태양 방위각 (°)
- $\Omega$  : 태양 프로파일각 (°)

### 1. 서 론

건물에서 유리를 이용한 외피 개구 면적의 증가는 건물 내부로의 주광과 복사열 유입을 증가시킴으로써 건물 환경 성능에 긍정적·부정적인 효과를 동반한다. 긍정적인 효과로는 실내 주광 유입 증가로 인한 조명에너지 절약, 외부로의 시야확보 및 개방감 향상, 자연 광원의 도입으로 인한 재실자의 심리적 안정감 향상, 실내 태양 복사열 유입 증가로 난방기 난방 부하 저감을 기대할 수 있다. 반면, 부정적인 효과로는 재실공간에서 직접적인 태양광 유입에 따른 현휘 발생, 냉방기 태양 복사열 유입 증대로 인한 냉방 부하 증가가 있다.

이러한 개구부에 의한 부정적 영향을 제거하고자 건물에서는 외피 개구부에 블라인드를 활용하고 있으며, 고정식 블라인드 보다는

외부 환경에 능동적으로 대응 가능한 가동식 블라인드를 이용하여 실내 환경을 조절하고 있다. 최근에는 개구면 차폐 면적 증가에 따른 주광 및 일사 유입량 감소와 개방감 저하를 최소화하기 위한 블라인드 자동 제어 연구들도 수행되고 있다.

블라인드 자동제어에서 직달일광 유입에 따른 현휘 방지와 주광과 일사 유입 증가를 위해서는 외부 환경 조건인 태양 프로파일각이 정확히 예측될 필요가 있다. 기존 연구에서 태양 프로파일 예측은 이상적인 상황을 가정하여 태양고도각·방위각, 태양프로파일각의 이론 수식에 의해 기초하였다(구소영, 2011; 김지현, 2007; 성운복 2011). 그러나 실제 상황에서는 태양 프로파일 예측 과정에서 시간 오차로 인해 직달일광 유입에 의한 현휘 발생의 문제가 나타날 수 있으며, 블라인드 제어의 정확성과 재실자 쾌적성 향상을 위해서 이러한 오차에 대한 고려와 보정이 필수적이다.

이에 본 연구에서는 블라인드가 적용된 건물을 대상으로 재실 공간에서의 쾌적성 향상을 위해, 블라인드 제어시 주광 유입에 의한 현휘 발생 방지를 궁극적인 목표로, 시간 오차로 인해 태양 프로파일 예측 과정에서 발생할 수 있는 문제들을 규명하고 문제 해결을 위한 방안을 도출하고자 한다.

본 연구의 목표 달성을 위하여, i) 기존 블라인드 제어에서 작업면으로의 직달일광 유입 방지를 위한 블라인드 위치 설정 방법, 태양 위치(태양 방위각·고도각)와 태양 프로파일각, 태양 프로파일의 변화 특성을 고찰하였다. 다음으로 ii) 시각계 변화 과정에서의 오차 및 잠재적 시간에 의한 오차의 개선을 위하여, 각 오차 요인에 의해 발생할 수 있는 문제점과 원인을 분석하여, 해당 오차 요인을 제거할 수 있는 방안을 논의하였다. 본 연구는 적용 대상을 수직적으로 상승 또는 하강 동작이 가능한 즉, 수직적 차폐가 가능한 모 든 블라인드로 정하였다. 오차 개선 방안

대한 객관적 평가를 위해 Visual Basic .NET 을 이용해 평가 프로그램을 작성하였으며, 시뮬레이션과 결과 분석을 통해 개선 효과를 밝힘으로써 본 연구의 타당성을 검증하였다.

## 2. 예비적 고찰

### 2.1 현휘와 블라인드 수직차폐율

현재 제공되고 있는 인공조명에 대한 현휘 평가 기준은 주광에 대해 적합하지 않다. 그 이유는 주광의 경우 현휘를 유발하는 광원이 시계(視界) 내에서 상당 부분을 차지하게 되면 시간이 지남에 따라 눈이 순응하게 되기 때문이다(Chauvel et al., 1982; Osterhaus, 2005). 한편, 현재 주광에 대한 공인된 현휘 평가 기준은 부재한 실정이다. 그러나 재실자의 시계 내에 직달일광이 직접 유입되는 것은 현휘 뿐 아니라 망막 손상과 같은 해를 입힐 수 있으므로 반드시 방지되어야 한다.

이에 본 연구에서는 재실자의 시계 내에 직접 태양광이 유입되지 않는 것을 현휘 방지로 정의하였고, 재실자의 시계의 위치를 기준 작업면으로 가정하고, 현휘에 대한 제어 목표를 “임의의 어떤 시각에서도 기준 작업면 이내로 직달일광 유입이 발생하지 않는다”로 정하였다. 그리고 “태양 프로파일각”이 “블라인드 차폐 위치” 보다 낮을 경우에 직달일광 유

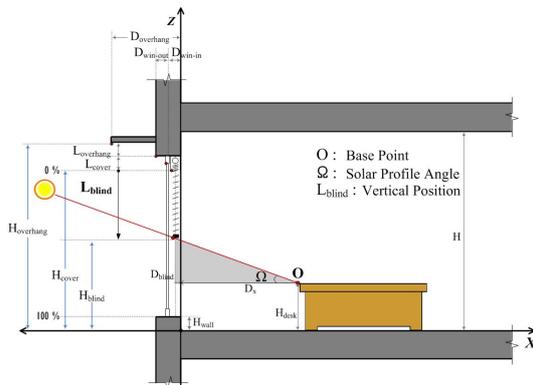


그림 1. 태양 프로파일각과 현휘 방지를 위한 블라인드 위치

입에 의한 직접적인 현휘가 발생하는 것으로 판단하였다. 모든 상황에서 직달일광 유입을 차단하기 위해서는 현재 제어 시점과 다음 제어 시점의 “제어구간”<sup>1)</sup>내에서 최소 태양 프로파일각을 기준으로 차폐율이 계산되어야 한다. 구소영(Koo et al., 2010)은 건물의 기하 조건과 태양 프로파일각을 토대로 블라인드 차폐율 계산을 위하여 차폐율 계산 수식을 다음 수식 (1)과 같이 제안한 바 있다.

$$L_{blind} = H_{cover} - H_{desk} - \tan(\Omega)(D_X + D_{blind}) \quad (1)$$

### 2.2 태양 위치와 태양 프로파일

천구상에서의 태양의 위치는 태양 고도각 ( $\beta$ )과 태양 방위각( $\phi$ )으로 나타내며, 기준문헌(ASHRAE, 2009)에서 수식 (2), (3)과 같이 정의하고 있다.

$$\sin(\beta) = \cos(L)\cos(\delta)\cos(H) + \sin(L)\sin(\delta) \quad (2)$$

$$\cos(\phi) = (\cos(H)\cos(\delta)\sin(L) - \sin(\delta)\cos(L))/\cos(\beta) \quad (3)$$

태양 프로파일각은 수식 (4)와 같이 정의되며, 개구면에서의 태양광 유입 여부는 태양 프로파일각을 기준으로 그 여부를 판단함이 타당하다(Tzempelikos, 2008; 金會瑞, 1986; 김지현, 2007). 태양 고도각이  $0^\circ$ 에서  $90^\circ$  사

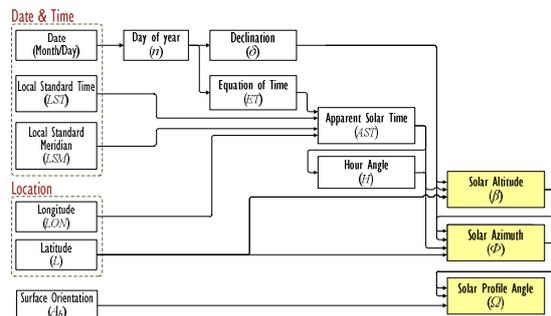


그림 2. 태양고도각·방위각과 태양프로파일각 계산 과정

1) 본 연구에서는 제어가 발생한 어떤 시각부터 다음 제어가 발생하는 시각까지 동일한 수직차폐율을 갖는 연속된 시간 범위를 “제어구간”이라 정의한다.

이의 범위에 나타난다 하더라도 개구면 향의 법선 방향에 태양이 위치하는 조건이 아니면, 직달일광은 실내로 유입되지 않는다. 즉, 태양 프로파일각이 0°에서 90° 사이의 범위에 나타나는 구간에서만 블라인드를 제어할 필요성이 있으며 나머지 시간대에서는 블라인드를 모두 올려 최대한 주광과 일사를 활용하는 것이 바람직하다. 태양 고도각·방위각, 태양 프로파일각은 그림 2의 과정을 통해 계산된다.

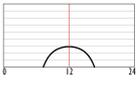
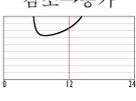
$$\Omega = \tan^{-1} \left( \frac{\tan(\beta)}{\cos(|A_b - \Phi|)} \right) \quad (4)$$

### 2.3 태양 프로파일 곡선 변화 및 제어 전략

#### (1) 기존 연구

최근 태양 프로파일 곡선 변화 특성에 대한 연구(성윤복, 2011)에서는 위도(+90°~−90°), 면방위각(+180°~180°), 시간(1일~365일) 조건을 고려하여, 태양 프로파일 곡선 변화 특성에 대한 분석 결과를 제시하였다. 블라인드 제어를 고려해야 할 태양 프로파일 곡선 변화 유형은 연

표 1. 단순형과 변곡형 곡선 유형에 대한 제어 전략

유형	제어 전략
단순형	<p><b>&lt; 제어 전략 A &gt;</b></p> <p>“증가”</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 운전구간의 시작 시각을 시작으로 종료 시각까지 이후 시각 방향으로 매 시각에서의 제어시간간격과 동작 변화량을 판단하여 “제어목표영역”에 준하는 시간 간격으로 제어구간을 분할함.</li> </ul> <p><b>&lt; 제어 전략 B &gt;</b></p> <p>“감소”</p>  <ul style="list-style-type: none"> <li>• 운전구간의 종료 시각을 시작으로 시작 시각까지 이전 시각 방향으로 매 시각에서의 제어시간간격과 동작 변화량을 판단하여 “제어목표영역”에 준하는 시간 간격으로 제어구간을 분할함.</li> </ul>
변곡형	<p><b>&lt; 제어 전략 C &gt;</b></p> <p>“증가→감소”</p>  <p>(1) 변곡점을 내포하는 1 개의 “기준 제어구간”을 먼저 정의함.</p> <p>(2) “기준 제어구간”의 시작 시각을 시작으로 운전구간의 시작 시각까지 이전 시각 방향으로 매 시각에서의 제어시간간격과 동작 변화량을 판단하여 “제어목표영역”에 준하는 시간 간격으로 제어구간을 분할함.</p> <p>“감소→증가”</p>  <p>(3) “기준 제어구간”의 끝 시각을 시작으로 운전구간의 종료 시각까지 이후 시각 방향으로 매 시각에서의 제어시간간격과 동작 변화량을 판단하여 “제어목표영역”에 준하는 시간 간격으로 제어구간을 분할함.</p>

속형(“증가”, “감소”, “증가→감소”, “감소→증가”), 불연속형(“증가&감소”, “증가&감소→증가”, “감소→증가&감소”)에서 총 7가지 유형이라 보고하고 있다.

불연속형에 대하여 “운전조건”과 이전 시각과의 “운전연속성”을 판단하여 복수의 운전구간<sup>2)</sup>으로 조닝하여 운전구간별로 제어구간을 분할하는 방안을 제시함으로써, 블라인드 제어에서 운전구간별 고려해야 할 유형을 “증가”, “감소”, “증가→감소”, “감소→증가”의 연속형으로 단순화하였다. 나아가 작업면에서의 직달일광 유입에 의한 현휘 방지와 주광·일사 유입 최대화를 목표로, 각 유형에 대한 제어 전략을 다음 표 1과 같이 제시하였으며, 제어 성능의 객관성과 타당성이 입증된바 있다.

### 3. 진태양시로의 시각계 변환시 문제점 및 개선

#### 3.1 시각계 변환시 문제점 및 원인

태양 고도각, 태양 방위각, 태양 프로파일각은 모두 진태양시(수식 (5))를 기준으로 계산된다. 정확한 태양 위치와 태양 프로파일각을 계산하기 위해서는 지방표준시(LST)를 진태양시(AST)로 변환하여 계산해야 하며, 그 변환 과정에서 오류나 문제가 발생하지 않아야 한다. 이에 변환 과정상의 문제를 검토하고, 문제가 있다면 원인을 파악하고 개선할 필요성이 있다.

$$AST = LST + \frac{ET}{60} + \frac{(LON - LSM)}{15} \quad (5)$$

수식 (5)을 살펴보면, 진태양시와 지방표준시 사이에는 균시차(ET) 및 해당 지역의 경도(LON)와 지방표준자오선(LSM)의 차이에

2) “운전구간”을 제어 필요 조건( $0^\circ < \text{solar profile angle} < 90^\circ$ )이 연속적으로 나타나는 시간의 범위로 정의하며, 임의의 “운전구간”은 시작 시각과 종료 시각으로 시간의 범위를 정한다.

따른 시간적 편차가 발생하게 된다. 첫 번째, 균시차에 의한 시간적 편차는 평균태양시와 진태양시 사이의 시간적 편차를 의미하며, 이는 해당 일의 균시차 계산 결과에 따라 시간적 편차 정도가 결정되기 때문에 동일한 날에는 모든 지역에서 동일한 값을 나타낸다. 두 번째, 해당 지역의 경도와 지방표준자오선의 차이에 따른 시간적 편차는 평균태양시와 지방표준시 사이의 시간적 편차를 의미하며, 이 시간적 편차는 해당 지역의 경도와 지방표준자오선의 차이에서 나타난다. 이 두 번째 시간적 편차에 대해서는 경도와 지방표준자오선의 차이에 의해 편차가 발생할 수 있기 때문에, 시각계 변환에서의 오류를 검토해 볼 필요성이 있다.

경도와 지방표준자오선이 다른 지역에 대하여 진태양시로의 시각계 변환시 오류 검토를 목적으로, i) 경도가 지방표준자오선 보다 큰 경우와 ii) 경도가 지방표준자오선 보다 작은 경우에 대하여 지방표준시에서 진태양시로의 시각계 변환 결과를 비교·검토하였다. 1일 동안 그 결과를 검토한 결과 지방표준시 0시 무렵 또는 24시 무렵의 시간대에서 시각계 변환에서의 오류가 나타났다. 이러한 문제에 대한 세부적인 결과를 표 2에 나타내었으며, 문제점은 다음과 같이 요약된다.

경도가 지방표준자오선 보다 큰 지역( $LON > LSM$ )에서 진태양시는 지방표준시 보다 이른 시각이다. 이러한 지역에서는 지방표준시 24시에 가까워지는 시각대에서 day of year가 다음날로 변경되지 아니하면서, 진태양시가 24시를 이상인 시각의 경우에는 24시를 감산한 시각으로 변환되지 않고, 24시 이상의 시각으로 변환되는 문제점이 나타났다. 다시 말해서, 표 2에서 " $LON > LSM$ " 경우 지방표준시 24.0시(n번째 일)의 진태양시는 0.52시(n+1번째 일)로 변환되어야 하나, 실제 계산 결과 24.52시(n번째 일)로 나타나 잘못된 변환 결과를 보여주고 있다.

반면, 경도가 지방표준자오선 보다 작은 지역( $LON < LSM$ )에서 진태양시는 지방표준시 보다 늦은 시각이다. 우리나라가 이 경우에 해당되며, 서울의 경우 경도( $LON$ )는 약  $+126.97^\circ$ 이며, 지방표준자오선( $LSM$ )은 일본 동경 기준의 경도인  $+135^\circ$ 를 사용하고 있다. 이러한 지역에서는 지방표준시 0시 직후 무렵의 시각대에서 day of year가 이전 날로 변경되지 아니하면서, 진태양시가 0시를 미만인 시각의 경우에는 24시를 가산한 시각으로 변환되지 않고, 0시 미만의 음수 시각으로 변환되는 문제점이 나타났다. 다시 말해서, 표 2에서 " $LON < LSM$ " 경우 지방표준시 0시(n번째 일)의 진태양시는 23.48시(n-1번째 일)로 변환되어야 하나, 실제 계산 결과  $-0.52$ 시(n번째 일)로 나타나 잘못된 변환 결과를 보여주고 있다.

### 3.2 보정 방법 및 개선 알고리즘

경도와 지방표준자오선이 다른 지역에서 이와 같은 시각계 변환 과정의 문제는 태양의 위치와 태양 프로파일각을 계산함에 있어서 부정확한 결과를 초래하며, 이는 곧 블라인드 제어 성능을 저하시키는 주요한 원인이 된다. 일반적으로 백야현상이 나타나지 않는 지역에서 이런 문제가 발생하는 시각대는 태양이 나타나지 않기 때문에 제어가 필요하지 않을 것이라 판단 할 수도 있다. 그러나 백야 현상이 나타나는 극지방의 경우 이러한 시각대에도 건물의 향과 위도에 따라 태양 프로파일각이  $0^\circ \sim 90^\circ$  범위(제어가 필요한 조건) 내에 나타날 수 있다. 이와 같은 시각계 변환 과정상의 문제에 대하여, 다음과 같이 개선 방안을 제시한다.

- (1) 조건 : 경도( $LON$ ) > 지방표준자오선( $LSM$ )  
 경도가 지방표준자오선 보다 큰 지역( $LON > LSM$ )에서 지방표준시 24시에 가까워지는 시각대에서 day of year가 다음 날로 변경되

지 않는 문제와 진태양시가 24시 이상인 시각의 경우 24시가 감산되지 않는 문제에 대하여, 다음과 같은 방법으로 개선이 가능하다.

- i) 계산된 진태양시가 24시 이상인지 확인한다.
- ii) 진태양시가 24시 이상인 경우, day of year가 다음 날로 변경되어야 하고 진태양시는 24시 만큼 감산된 결과이어야 하기 때문에, 다음과 같은 과정으로 거쳐 day of year와 진태양시를 다시 계산한다.
  - Day of year를 다음날의 day of year로 변경한다. (단, 현재일이 365일 경우, 다음날은 1일로 한다.)
  - 변경된 day of year에 해당되는 균시차를 재계산한다.
  - 변경된 day of year와 균시차를 적용하여 진태양시를 다시 계산한다.
  - 변경된 진태양시에서 24시를 감산한 시각을 최종 진태양시로 결정한다.

(2) 조건 : 경도(LON) < 지방표준자오선(LSM)  
 경도가 지방표준자오선 보다 작은 지역 (LON < LSM)에서 지방표준시 0시 직후 무렵의 시각대에서 day of year가 이전날로 변경되지 않는 문제와 진태양시가 0시 미만인 시각의 경우 24시가 가산되지 않는 문제에 대하여, 다음과 같은 방법으로 개선이 가능하다.

- i) 계산된 진태양시가 0시 미만인지 확인한다.
- ii) 진태양시가 0시 미만인 경우, day of year가 이전 날로 변경되어야 하고 진태양시는 24시 만큼 가산된 결과이어야 하기 때문에, 다음과 같은 과정으로 거쳐 day of year와 진태양시를 다시 계산한다.
  - Day of year를 이전 날의 day of year로 변경한다. (단, 현재일이 1일인 경우, 이전날은 365일로 한다.)
  - 변경된 day of year에 해당되는 균시차를 재계산한다.

표 2. 진태양시로의 시각계 변환시 문제점과 개선 결과

조건	지방표준시 (hour [n*])	진태양시 (hour [n*])		
		개선 이전	이상적인 진태양시	개선 이후
LON>LSM	0.00 [n]	0.52 [n]	0.52 [n]	0.52 [n]
	12.00 [n]	12.52 [n]	12.52 [n]	12.52 [n]
	24.00 [n]	24.52 [n] <오류값>	0.52 [n+1]	0.52 [n+1]
LON<LSM	0.00 [n]	-0.52 [n] <오류값>	23.48 [n-1]	23.48 [n-1]
	12.00 [n]	11.48 [n]	11.48 [n]	11.48 [n]
	24.00 [n]	23.48 [n]	23.48 [n]	23.48 [n]

\* Day of year

- 변경된 day of year와 균시차를 적용하여 진태양시를 다시 계산한다.
- 변경된 진태양시에서 24시를 가산한 시각을 최종 진태양시로 결정한다.

### 3.3 결과 분석

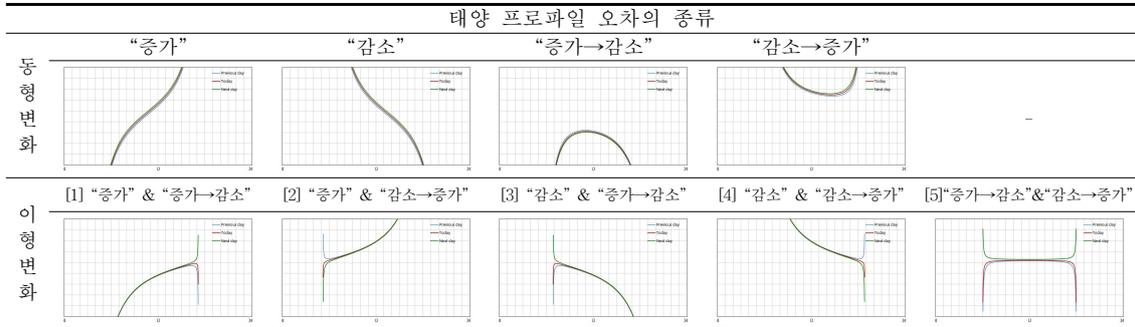
이상과 같은 개선 방법을 적용하여 경도와 지방표준자오선이 다른 지역에서 진태양시로 의 시각계 변환 결과는 표 2와 같이 나타났고, 개선 전과 후의 결과를 비교해보면, 문제점이 해결되었음을 판단할 수 있었다. 이와 같은 사실로 개선 방안의 타당성 또한 확인할 수 있었으며, 시각계 변환 과정의 개선을 통해 정확한 태양 위치와 태양 프로파일각을 계산할 수 있었다.

## 4. 잠재적 시간 오차로 인한 태양 프로파일 예측 오차 및 최적 제어

### 4.1 시간 오차에 따른 문제와 원인

일반적으로 블라인드 제어에서 시간에 대하여 1년의 시간을 365일로 가정하여 제어를 수행하고 있다. 그러나 실제 1년은 365.25일로써 매일 ± 0.25 일 즉, 1 일 잠재적 시간 오차를 내포하고 있다. 이 오차로 인하여 태양 프로파일각이 달라질 수 있음은 물론 실제로 나타나는 태양 프로파일 곡선 형태가 제어에서 예측한 형태와 상이할 수 있어, 블라인드

표 3. 잠재적 시간 오차에 의한 태양 프로파일 오차 종류



제어 시 작업면으로의 직달일광 유입 문제가 발생될 수 있다.

문제점들을 파악하고자 제어 일에서 ±1 일의 잠재적 시간 오차를 반영하여 서울 지역 (위도: +37.57°, 경도: +126.97°, 지방표준자오선: +135°)을 대상으로 1일~365일 시간에 대하여 아래의 조건으로 시뮬레이션을 수행하였고 제어시 발생하는 문제점들을 분석하였다. 불연속적 유형이 나타나는 면방위각 +160°, +170°, +180°의 조건은 운전구간별로 조닝되어 연속형(변곡 유형과 단순 유형)으로 제어되기 때문에 제외하였다.

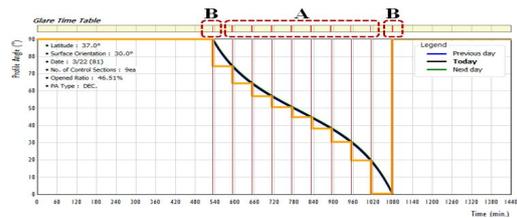
(1) 변곡과 단순 유형 변화가 나타나는 면방위각 조건 : 0°, +10°, +20°, +30°

(2) 단순 유형 변화만 나타나는 면방위각 조건 : +40°, +50°, +60°, +70°, +80°, +90°, +100°, +110°, +120°, +130°, +140°, +150°

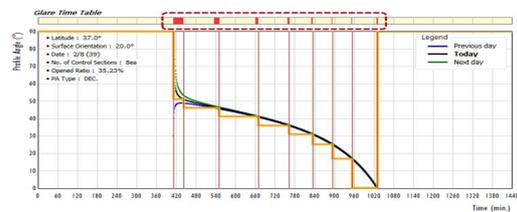
모의실험 결과, 태양 프로파일 곡선 오차는 제어일, 이전일, 이후일의 곡선 유형이 동일한 동형(同形) 변화 형태와 제어일과 이전일 또는 이후일에서 곡선 유형이 상이한 이형(異形) 변화 형태를 나타내었다.(표 3 참조) 이 경우 오차의 특징은 변곡점을 기준으로 급격한 변화를 보이는 시간대를 제외하고 어떤 시각에서 이전일/제어일/이후일의 태양 프로파일각은 미소한 편차를 나타낸다는 점, 이형 변화시 유형 변화가 변곡점을 기준으로 이전 또는 이후 시간대 중 급격한 유형변화가 나타나는 시간대에서는 태양 프로파일의 편차가

매우 크다는 점과 이전일/제어일/이후일을 고려한 태양 프로파일 곡선 변화는 3가지로 예상된다는 점이다.

동형과 이형, 두 가지 오차 유형 모두 1년의 모든 날에서 작업면으로의 직달일광 유입으로 인한 현회가 발생하였으며, 지면 제약상 면방위각 중 +10°, +30°, +50°에 대한 1년 중 제어일에서 현회가 발생하는 총 누적 시간을 그림 4에 나타내었다. 동형과 이형 변화 모두 작업면으로의 직달일광 유입이 발생하는 가장 근본적인 원인은 임의의 시각들에서 이전일 또는 이후일의 태양 프로파일각이 제어일의 블라인드 위치로 결정된 태양 프로파일각보다 더 작기 때문이었다.



(a) 동형 변화에서의 문제



(b) 이형 변화에서의 문제

그림 3. 동형 및 이형 변화에서 직달일광 유입 문제

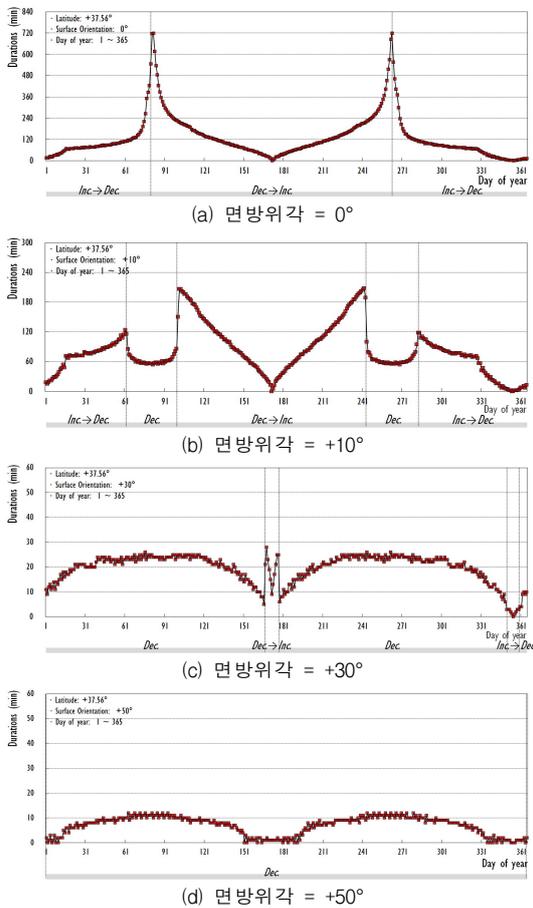


그림 4. 시간 오차에 따른 현휘 발생 총 누적 시간

동형 변화에서 직달일광 유입이 발생하는 경우는 두 가지로 나타났다. 첫째, 그림 3 (a)의 A 부분과 같이 운전구간 내에서 해당 시각의 블라인드 위치가 이전일 또는 이후일의 태양프로파일각 보다 높은 경우, 둘째, 그림 3 (a)의 B 부분과 같이 제어일의 전체 운전구간 범위 보다 이전일 또는 이후일의 제어 조건 ( $0^\circ < \text{태양프로파일각} < +90^\circ$ )에 해당되는 시각이 제어일의 운전시작시각 보다 이전 시각에 나타나거나 또는 제어일의 운전종료시각 보다 이후 시각에 나타나는 경우였다.

이형 변화에서도 직달일광 유입이 발생하는 경우는 동형 변화에서의 두 가지 경우와 동일하다. 특이한 점은 동형 변화와는 다르게

제어일과 이전일 또는 이후일의 태양 프로파일 곡선이 상이함에 따라 운전구간 전체 또는 거의 대부분의 시각에서 직달일광 유입이 발생하는 경우가 있었으며, 동형 변화 보다 직달일광 유입 시간이 긴 것으로 나타났다. 그리고 면방위각인  $0^\circ$ 인 곳에서 전반적으로 직달일광 유입 시간이 가장 길게 나타났는데, 이러한 이유는 이 조건에서 좌우 대칭형 “증가→감소”, “감소→증가”의 유형만 나타남에 따라 “증가→감소” 유형 에서 “감소→증가” 유형으로의 이형변화 또는 “증가→감소” 유형 에서 “감소→증가” 유형으로의 이형변화가 나타남에 따라 형태 변화가 나타나는 시간이 길어지기 때문으로 분석되었다.

이 문제에 대하여, 기존 연구들에서 제언하는 보정치 적용 제어 방안으로 해결 가능한지에 대한 검토와 해결이 불가능한 경우 본 문제에 대한 해결 방향을 수립할 필요성이 있다.

#### 4.2 기존 보정치 적용 방안의 타당성 검토

기존 연구들에서 제언된 보정치 2%를 적용하는 방안과 5%를 적용하는 방안에 대하여, 모든 태양 프로파일 곡선 변화(“증가”, “감소”, “증가→감소”, “감소→증가”)가 나타나는 면방위각  $0^\circ$ ,  $+10^\circ$ ,  $+20^\circ$ ,  $+30^\circ$ 조건에서 잠재적 시간 오차인  $\pm 1$ 일을 고려하여 모의실험을 수행하였고, 직달일광 유입 여부를 분석하였다. 나타난 문제 사례를 그림 5와 그림 6에 나타내었고, 현휘 발생 누적 시간 즉, 직달일광이 유입되는 총 누적 시간을 그림 7과 그림 8에 나타내었으며, 지면 제약상 면방위각  $+10^\circ$ ,  $+30^\circ$ 에 대한 결과만 수록하였다.

그 결과, 동형 변화와 이형 변화에서 모두 직달일광 보정치의 적용 수치에 따라 직달일광 유입 시간은 다소 감소하였지만, 기존 작업면 이내로 직달일광 유입을 완전히 차단하지는 못하였다. 그리고 제어일의 전체 운전구간 범위 보다 이전일 또는 이후일의 제어 조건 ( $0^\circ < \text{태양프로파일각} < +90^\circ$ )에 해당되는 시

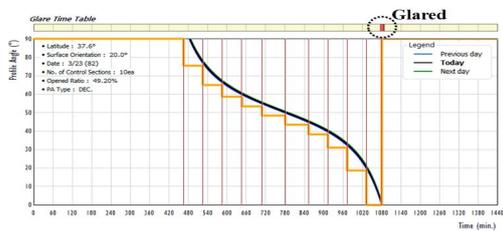
각이 제어일의 운전시작시각 보다 이전시각에 나타나거나 또는 제어일의 운전종료시각 보다 이후시각에 나타나는 경우, 보정치를 적용하는 방법으로는 직달일광 유입을 차단할 수 없는 것으로 분석되었다. 또한, 이형변화가 나타나는 구간에서 블라인드를 완전 차폐하지 않고서는 작업면으로의 직달일광 유입을 차단할 수 없는 것으로 분석되었다. 게다가 보정치를 적용함에 따라 차폐 면적이 증가

되어 개방율이 감소하는 결과를 초래하였다.

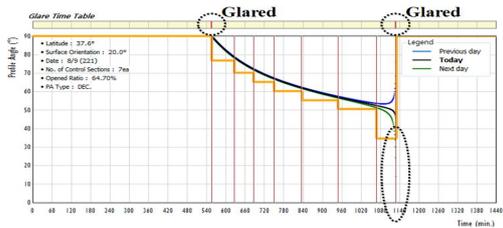
이에 어떠한 시각에서도 제어일, 이전일, 이후일의 태양 프로파일각 보다 낮게 블라인드 수직 차폐율이 결정될 수 있는 보다 근본적인 제어 방안이 필요하다.

### 4.3 오차 보정을 위한 제어 전략

직달일광 유입이 발생하는 주요한 이유는 직달일광 유입이 발생하는 주요한 이유는 이전일 또는 이후일의 태양 프로파일 값이 제어

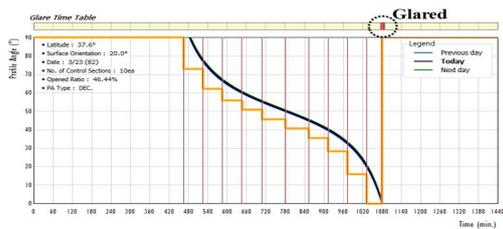


(a) 동형 변화에서의 문제

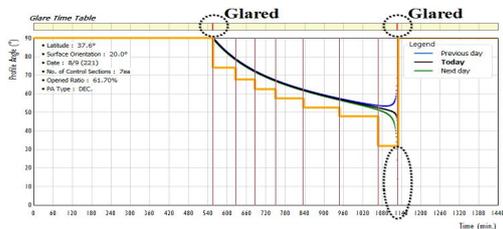


(b) 이형 변화에서의 문제

그림 5. 보정치 적용 결과와 문제(보정치 2% 적용)

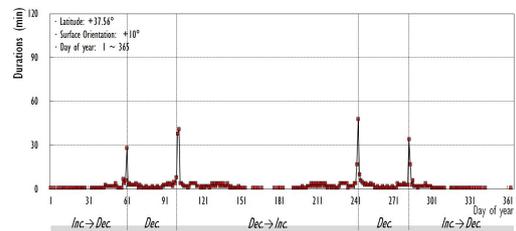


(a) 동형 변화에서의 문제

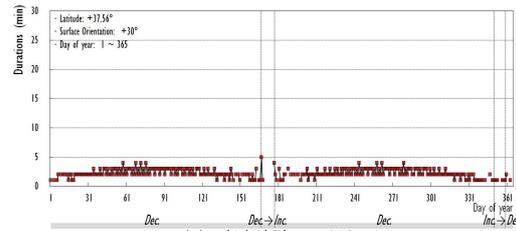


(b) 이형 변화에서의 문제

그림 6. 보정치 적용 결과와 문제(보정치 5% 적용)

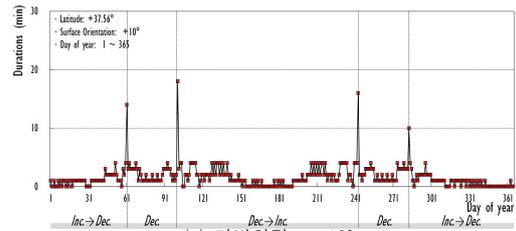


(a) 면방위각 = +10°

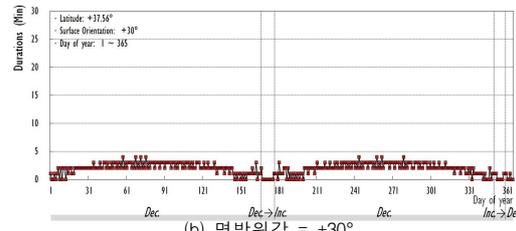


(b) 면방위각 = +30°

그림 7. 보정치 2% 적용에 따른 현휘 발생 총 누적 시간



(a) 면방위각 = +10°



(b) 면방위각 = +30°

그림 8. 보정치 5% 적용에 따른 현휘 발생 총 누적 시간

일의 블라인드 위치보다 낮기 때문이다. 따라서 제어용 곡선을 매 시각에서 제어일·이전일·이후일 태양 프로파일각의 최소값으로 정의하고, 이 곡선으로 제어한다면 문제를 해결할 수 있을 것이다. 이에 잠재적 시간 오차로 인한 3중 곡선 변화에 대한 제어 방안을 다음과 같이 수립하였다.

- (1) 제어일, 이전일, 이후일의 태양 프로파일각을 모두 계산한다.
- (2) 제어일, 이전일, 이후일의 태양 프로파일곡선 유형을 판단하고 동형, 이형 변화 인지를 판단한다.
- (3) 3 개의 곡선들에 대하여 매 시각에서 최소값으로 curve-fitting하여 제어용 곡선을 정의한다.
- (4) 동형 변화에서는 curve-fitting된 제어용 곡선으로 유형별 제어 방안(표 1)을 적용하여 제어한다.
- (5) 이형 변화에서는 유형이 급격하게 변화하는 단부에서는 태양 프로파일각이 0°에 근사하므로, 이 구간은 완전 차폐한다.

이상에 근거하여 “제어용 곡선”을 제어일, 이전일, 이후일의 세 가지 곡선들에 대하여 매 시각에서의 최소 태양 프로파일각으로 curve-fitting된 곡선으로 정하였으며, 매 시각에서의 최소

태양 프로파일각은 다음 수식 (6)과 같이 정의된다. 수식 (6)에 의한 curve-fitting된 제어용 곡선 결과는 표 4에 나타내었다.

$$y = \min [f(t_{Day-1}), f(t_{Day}), f(t_{Day+1})] \quad (6)$$

이상과 같이 정의된 “제어용 곡선”을 이용하여, 다음의 과정을 통해 제어구간을 분할한다.

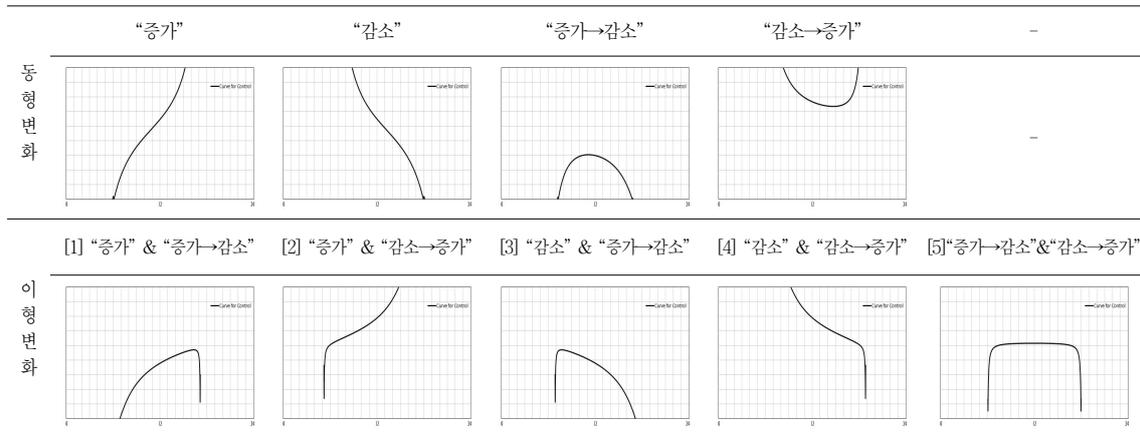
이형 변화 중, 표 4에서 [1] “증가&증가→감소”, [2] “증가&감소→증가”, [3] “감소&증가→감소”, [4] “감소&감소→증가”에 해당하는 이형 변화는 다음의 원칙으로 제어구간을 분할한다.

- i) 변곡점 기준으로 유형 변화가 있는 방향을 1개의 기준 제어구간으로 정하고, 기준 제어구간에서의 블라인드 위치는 “완전차폐(or 최소 y 값으로 차폐율 결정)”로 설정한다.
- ii) 이후, 기준 제어구간의 시작·종료 시각으로부터 운전 시작·종료 시각까지 제어구간을 분할한다.

이형 변화 중, 표 4에서 [5] “증가→감소&감소→증가”에 해당하는 이형 변화에서는 다음의 원칙으로 제어구간을 분할한다.

- i) “제어용 곡선”을 모든 시각에서 태양

표 4. 잠재적 시간 오차 고려한 이전일·제어일·이후일 3 가지 태양 프로파일 곡선들의 Curve-fitting 결과  
이전일·제어일·이후일 태양 프로파일 곡선의 Curve-fitting 결과



프로파일각이 최소인 “증가→감소” 유형으로 제어구간을 분할한다.

- ii) 양단부 제어구간에서의 블라인드 수직 차폐율은 “완전 차폐”로 설정한다.

#### 4.4 결과 분석

제시한 제어 방안의 적용으로 현휘 발생 문제에 대한 개선 여부와 제어 방안의 적용 타당성을 판단하기 위하여, 4.2절과 같은 조건으로 모의실험을 수행하여 직달일광 유입 여부와 직달일광 유입량을 판단하였고, 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다. 그림 9는 동형

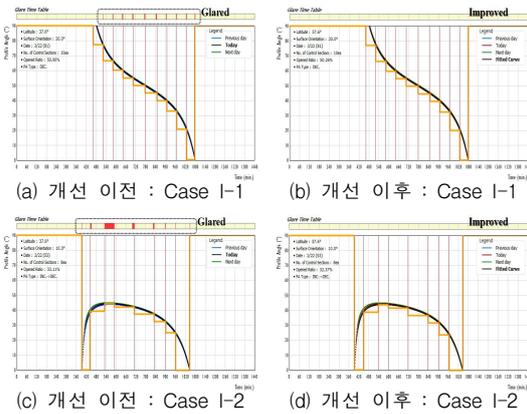


그림 9. 잠재적 시간오차 고려 제어 방안 적용에 따른 개선 결과 (동형 변화)

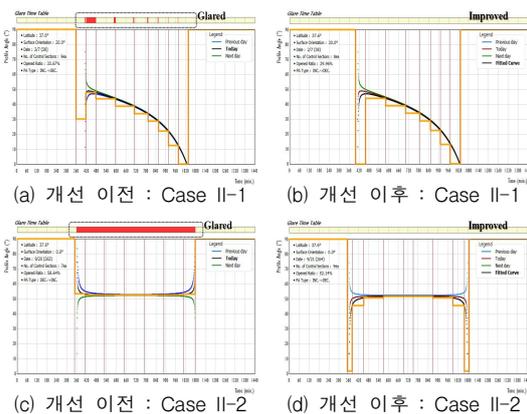


그림 10. 잠재적 시간오차 고려 제어 방안 적용에 따른 개선 결과 (이형 변화)

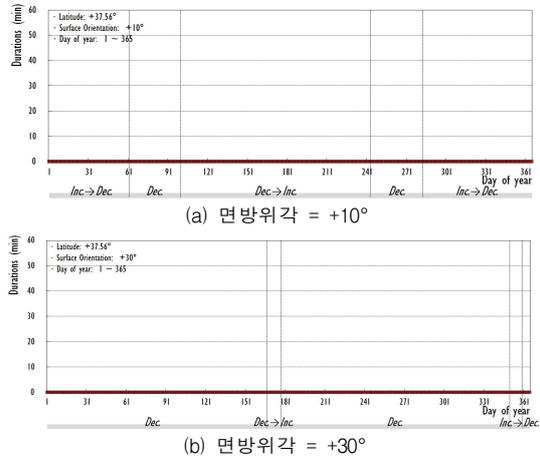


그림 11. 잠재적 시간 오차를 고려한 제어 방안 적용 이후 현휘 발생 총 누적 시간

변화에서의 개선 결과를, 그림 10은 이형 변화에서의 개선 결과를, 그림 11은 현휘 발생 누적 시간 즉, 직달일광이 유입되는 총 누적 시간을 보여준다.

- (1) 동형 변화와 이형 변화에서 모든 시각에서 블라인드 수직 차폐율이 제어일·이전일·이후일의 태양 프로파일각 보다 낮게 설정되어 기존 작업면으로의 직달일광 유입, 즉 현휘가 전혀 발생하지 않았다.
- (2) 이형 변화가 나타나는 태양 프로파일 변화가 급격한 시간대에서 블라인드 수직 차폐율이 완전 차폐됨에 따라 현휘가 전혀 발생되지 않았다.
- (3) 아울러 제안하는 제어 방안은 기존의 보정치 적용 방안에 비해 보정치를 적용하지 않음에 따라 불필요한 차폐 면적이 발생되지 않기 때문에 주광 및 일사 유입의 향상에도 효과적이었다.

#### 5. 결 론

본 연구에서는 블라인드 제어시 주광 유입에 의한 현휘 발생 방지를 궁극적인 목표로,

태양 프로파일 예측 과정에서 발생할 수 있는 오차로 인한 문제점과 원인을 분석하였고, 오차 최소화를 위한 제어 방안을 도출하고 타당성을 검증하였다. 주요 결론은 다음과 같다.

- (1) 지역의 경도와 지방표준자오선이 다른 지역에서는 0시와 24시 무렵에 지방시에서 진태양시로의 변환 오차 가능성이 있었으며, 날짜와 균시차를 보정한 후 진태양시를 재계산하는 방법으로 개선이 가능하였다.
- (2) 태양 프로파일각 계산에 영향을 미치는 결정적인 변수들은 위도, 면방위각, 시간이다. 시간 변수의 경우, 대부분의 제어에서는 1년을 365일로 가정하여 제어하지만, 실제 정확한 1년은 365.25일로 매일  $\pm 0.25$  일, 즉  $\pm 1$ 일의 잠재적 시간 오차 발생의 문제를 내포하고 있다. 결국, 이러한 오차는 현휘를 유발하는 원인이었다.
- (3) 태양 프로파일 예측시 잠재적 시간 오차 ( $\pm 1$ 일)를 고려할 때 제어일에서는 제어일/이전일/이후일의 세 가지 곡선 변화가 나타난다. 이에 따른 태양 프로파일 곡선 오차는 동형(同形) 변화와 이형(異形) 변화 형태로 나타났다. 동형 변화에서 직달일광 유입이 발생하는 상황은 첫째, 어떤 시각의 블라인드 수직차폐율이 이전일 또는 이후일의 태양프로파일각 보다 높은 경우, 둘째, 제어일의 전체 운전 시간 범위를 벗어난 시각에서 이전일 또는 이후일은 제어 조건이 발생된 상황이었다. 이형 변화에서도 직달일광 유입이 발생하는 상황은 동형 변화와 같았으나, 동형 변화와 달리 제어일과 이전일 또는 이후일의 곡선 유형이 상이함에 따라 직달일광 유입 시간이 증가하였으며, 특히 “증가→감소”에서 “감소→증가”으로 또는 “증가→감소”에서 “감소→증가”에서는 거의

모든 시각에서 직달일광 유입이 발생하였다.

- (4) 기존에 제안된 보정치 적용 방법으로 직달일광 유입 문제의 해결 가능 여부를 검토하고자 보정치 2%와 5%를 적용하여 분석한 결과, 다소 직달일광 유입 시간을 감소시킬 수는 있었지만, 제어일의 전체 운전 시간 범위를 벗어난 시각에서 이전일 또는 이후일은 제어 조건이 발생된 경우에는 직달일광 유입을 차단할 수는 없는 것으로 분석되었으며, 보정치를 적용함에 따라 차폐 면적 증가로 주광 및 일사 유입 감소를 초래한다.
- (5) 모든 시각에서 기준 작업면으로의 직달일광 유입 차단, 즉 현휘 방지를 목표로 동형(同形)과 이형(異形) 변화에서의 오차 보정을 위하여, 제어용 곡선을 매 시각에서 이전일·제어일·이후일의 태양 프로파일각 최소값으로 정의하고, 이 제어용 곡선으로 제어구간을 분할하는 제어 방안을 제시하였다. 개선 방안 적용 결과, 동형과 이형 변화에서 모든 시각에서 블라인드 수직차폐율이 이전일·제어일·이후일의 태양 프로파일각 보다 낮게 위치되어 작업면으로의 직달일광 유입이 전혀 발생하지 않았다. 아울러 보정치를 적용하지 않음에 따라 불필요 차폐 면적이 발생되지 않아 개방을 항상 측면에도 효과적이었다.

## 참 고 문 헌

1. 구소영, (2011), 작업면 현휘 방지와 일사 유입 최대화를 위한 최적 블라인드 제어, 서울대학교대학원 건축학과 박사학위논문.
2. 김지현, (2007), 사무소 건물의 환경성능 향상을 위한 베네시안 블라인드 자동제어 방법, 서울대학교대학원 건축학과 박사학위논문.

3. 성윤복, (2011), 현휘 방지와 주광 및 일사 유입 최대화를 위한 블라인드 제어, 서울대학교대학원 건축학과 박사학위논문.
4. ASHRAE, (2009), ASHRAE Handbook 2009 Fundamentals. American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers, Inc.
5. Chauvel, P., Collins, J.B., Dogniaux, R., Longmore, J., (1982), Glare from windows: current views of problem, Lighting Research and Technology, 14(1), pp.31-46.
6. Koo, S. Y., Yeo, M. S. and Kim, K. W., (2010), Automated blind control to maximize the benefits of daylight in buildings, Building and Environment 45(6), pp.1508-1520.
7. Osterhaus, W.K.E., (2005), Discomfort glare assessment and prevention for daylight applications in office environments, Solar Energy, 79(2), pp.140-158.
8. Tzempelikos, A., (2008), The impact of venetian blind geometry and tilt angle on view, direct light transmission and interior illuminance, Solar Energy 82(12), pp.1172-1191.
9. 金會瑞, (1986), 루버형 일사 차단 장치의采光特性에關する研究, 博士論文, 國立京都大學.