열적으로 활성화된 광선반 시스템의 냉방 효과 시뮬레이션 연구

이규남¹ · 황태연^{2†}

¹부경대학교 건축공학과, 부교수

²조선대학교 건축공학과, 부교수

Simulation Study on Cooling Effect of Thermally Activated Light Shelf (TALS) System

Rhee Kyu-Nam¹ · Hwang Taeyon^{2†}

¹Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Pukyong National University

²Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Chosun University

[†]Corresponding author: taeyon.hwang@chosun.ac.kr

Abstract

A light shelf is commonly used to mitigate glare discomfort and overheating by preventing solar radiation from penetrating the indoor space. If the light shelf can be thermally activated, it can also be used for space cooling, particularly for the perimeter zone in buildings. In this study, a thermally activated light shelf (TALS) system was proposed, where the light shelf was integrated with a radiant cooling panel system. To examine the applicability of the TALS system, heat transfer simulations were conducted using the Physibel software. Based on the simulation results, the layer of TALS was determined to maximize cooling capacity at the lower panel surface while minimizing the lower surface temperature. Transient simulations were also conducted to evaluate the cooling effect of the TALS system during the summer season. Simulation results showed that the TALS system could reduce the average perimeter and interior zone temperature by 2.23°C and 2.19°C, respectively. With the TALS system, the maximum temperature was reduced by 3.2°C in both the perimeter and interior zones. It was found that the TALS system could effectively reduce the room air temperature, which could lead to cooling energy savings. The impact of the TALS system on cooling energy consumption needs to be investigated in future studies.

Keywords: 광선반(Light shelf), TALS 시스템(TALS system), 복사냉방(Radiant cooling), 자연채광(Daylighting), 냉방부하(Cooling load), 피지벨(Physibel)

1. 서론

광선반(Light Shelf)은 건물의 외피에 설치되어 직사일광의 유입을 차단하고 현휘를 방지하는 한편, 자연광을 천장면으로 반사시켜 실내에 유입되는 자연광을 증가시킴으로써 자연채광의 효과를 개선시킬 수 있는 친환경 설계 요소이다. 이러한 특성으로 인해 광선반은 업무용 건물¹⁾, 주거 건물²⁾, 병원³⁾ 등 다양한 건물의 빛환경 조절 및 에너지 절약기법

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.41, No.6, pp.39-50, December 2021
<https://doi.org/10.7836/kjes.2021.41.6.039>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 27 October 2021

Accepted: 5 November 2021

Copyright © Korean Solar Energy Society

This is an Open-Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution NonCommercial License which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

으로 활용되고 있다.

광선반은 본래 자연채광 성능의 향상이 주목적으로 빛환경 개선이나 조명에너지 절감 관점에서 많은 연구개발 및 실용화가 이루어져왔다. 광선반의 설계변수인 폭, 설치 각도, 공간 깊이에 따른 계절별 조도와 균제도를 분석하여 빛환경 측면에서 광선반을 최적화하는 연구가 진행된 바 있으며⁴⁾, 광선반 성능 개선을 위해 광선반 표면에 PV⁵⁾ 또는 프리즘 시트⁶⁾를 부착하여 채광성능 및 조명에너지 절감 성능을 향상시키기 위한 새로운 형태의 광선반이 제안된 바 있다. 또한 천공 조건, 시간, 계절 및 방위에 따라 광선반의 수직위치와 반사면 개수를 변경시켜 실내 균제도를 향상시키는 동적 광선반(Dynamic internal light shelf)도 제안되었다¹⁾.

광선반에 대한 대부분의 기존 연구는 자연채광 극대화, 시환경 개선, 조명에너지 절감 등 빛환경 중심으로 수행되었으나, 빛환경 관점 외에 열환경 관점에서의 광선반 성능 평가에 대한 연구도 진행된 바 있다. 광선반 설치 공간의 냉난방 에너지를 분석하여, 조명 및 냉난방 에너지를 최소화할 수 있는 광선반의 적정 각도 산출에 대한 연구가 수행되었다⁷⁾. 또한 광선반의 설치 높이와 각도, 내외부 돌출 깊이에 따른 불쾌 glare 지수와 냉난방 에너지를 분석하여 빛환경 및 열환경 관점에서 광선반 설계를 최적화하기 위한 연구도 수행되었다⁸⁾. 다만 이러한 연구는 냉난방 관점에서 광선반의 효과를 분석하였으나, 광선반 자체를 열환경 제어 요소로 활용하지는 않았던 측면이 있다.

만약 광선반의 반사면으로서의 본래 기능에 더하여, 광선반을 열적으로 활성화(Thermally Activated)시켜 광선반의 표면을 냉각면으로 활용한다면 하절기 냉방부하의 증가도 완화할 수 있으며, 빛환경과 열환경을 모두 개선시킬 수 있으므로 광선반의 설치로 외주부 공간의 활용도를 높일 수 있을 것으로 판단된다. 특히 광선반이 설치되는 외주부는 현회에 의한 불쾌적 뿐 아니라, 일사 유입으로 인한 과열, 창면 온도 상승으로 인한 실내 작용온도 상승 등 열환경이 악화될 우려⁹⁾가 있다. 또한 커튼월 외피로 마감되는 사무소 건물의 경우 내주부 부하가 20 ~ 40 W/m²인데 반해, 외피부하의 영향으로 외주부 부하는 40 ~ 120 W/m²로 매우 높게 나타나¹⁰⁾ 외주부 부하 처리를 위한 공조시스템의 부담이 증가될 수 있다.

이러한 관점에서 광선반을 외피 실내측에 부착하여 냉각면으로 활용할 경우, 빛환경 개선의 기본적인 기능 외에, 외주부 냉각 효과와 그로 인한 열환경 개선, 냉방 에너지 절감 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 이에 본 연구에서는 광선반에 복사냉방 시스템을 통합한, 열적으로 활성화된 광선반(TALS: Thermally Activated Light Shelf) 시스템을 제안하였으며, 이를 일반적인 업무공간에 적용하였을 경우 냉방 효과를 평가하고자 하였다. 이를 위해 실제 공간에 TALS 시스템을 적용하기에 앞서, 전열해석 시뮬레이션으로 TALS 시스템의 기본적인 성능인 냉방용량과 하절기 실내온도 저감효과를 분석하여 TALS 시스템의 적용 가능성을 검토하는 것을 연구의 목표로 설정하였다.

2. TALS 시스템 개념과 기본 구조

TALS 시스템은 일반적인 광선반에 복사냉방 시스템을 결합시킨 것으로, 상부표면은 반사율이 높은 표면으

로, 하부표면은 열전도율과 방사율이 높은 복사면으로 처리하여 복사열전달을 촉진시킬 수 있는 표면으로 구성된다. 개념적으로는 천장복사냉방패널의 상부를 막아 반사면으로 처리한 것으로 볼 수 있다. 이를 개념도로 나타내면 Fig. 1과 같다.

Fig. 2는 TALS 시스템의 기본적인 구조를 나타낸 것으로, 상부표면과 하부표면의 사이 공간에는 냉수가 순환할 수 있는 배관이 삽입되며, 이 배관은 하부표면의 위쪽으로 부착되어 하부표면을 냉각시키는 역할을 하게 된다. 하부표면의 온도를 균일하게 낮추는 것은 냉방용량 증대에 매우 중요한 인자임을 감안¹¹⁾하여, 구리 재질의 열전도 레이어로 배관과 하부표면이 밀착되도록 하였다. 또한 천장복사냉방패널과 마찬가지로 TALS의 하부방냉량을 극대화하기 위해서 상부표면과 하부표면의 사이 공간은 기본적으로 단열재를 충전하도록 하였다. 그러나 TALS 시스템의 경우 천장복사냉방패널과 달리 천장면에 설치되지 않고 상하부가 실내공기에 노출되어 설치되는 점, 또한 상부표면에 일사에너지가 유입되어 상부표면을 냉각할 필요성도 있다는 점도 고려하여, 사이 공간에 공기층을 두는 방안도 대안으로 설정하였다.

Fig. 1 Conceptual diagram of thermally activated light shelf

Fig. 2 Structure of thermally activated light shelf

3. TALS 시스템 해석 시뮬레이션 모델

TALS 시스템을 적용할 경우 기본적인 광선반의 기능 외에 외주부 열환경 개선 효과가 있을 것으로 기대되나, 이러한 효과를 실제로 거둘 수 있는지 판단하기 위해서는 먼저 TALS의 표면온도 및 냉방용량이 적정 수준으로 확보될 수 있는지를 확인해야 할 필요가 있다. 그 다음으로 TALS 시스템의 설치로 인해 일반적인 광선반에 비해 외주부 및 내주부의 실내온도를 낮출 수 있는지도 검토할 필요가 있다. 이에 3차원 전열 해석 시뮬레이션을 통해 적정 표면온도 및 냉방용량을 확보할 수 있는 TALS 시스템의 단면구성을 우선적으로 검토하고, 도출된 TALS 시스템을 실내 공간에 적용하여 외주부 및 내주부의 온도 저감 효과를 분석하였다.

3.1 TALS 시스템 기본 열성능 해석

TALS 시스템의 기본적인 열성능 해석을 위해서는 단면 및 표면에서의 전도, 복사, 대류 열전달의 해석이 필요하므로, 전열해석 도구로 널리 활용되고 있는 Physibel 프로그램을 활용하여 TALS 시스템의 표면온도 및 냉방용량을 해석하였다. TALS의 크기는 1.5 m (W)×0.6 m (D)×0.05 m (H)로 설정하였고, 상하부표면은 메탈 시트 1 mm (열전도율 50 W/mK)로 하되 하부표면은 방사율 0.9, 상부표면은 방사율 0.1 (반사율 0.9)로 설정하여 상하부 표면의 기능을 다르게 부여하였다. 배관은 PVC 재질(열전도율 0.35 W/mK)로 가정하였고, 원형 배관은 수력학적 직경이 동일한 정사각형의 배관으로 모델링해도 무방하다는 기존 연구¹²⁾를 참조하여 두께 1 mm, 내경 6 mm의 정사각형 단면으로 모델링하였다. 배관의 열전도 축진을 위해 두께 1 mm의 구리판(열전도율 160 W/mK)으로 열전도 레이어를 형성하였다. 상하부 표면 사이의 단면 구성은, Fig. 3과 같이 모두 단열재로 충전된 안(Insulation)을 기본으로 하여, 단열재와 공기층을 절반씩 적용한 안(Insulation+Air cavity), 모두 공기층을 적용한 안(Air cavity)으로 구분하였다. 단열재는 열전도율 0.035 W/mK의 압출법 보온판을 설치하는 것으로 가정하였다.

Fig. 3 Boundary condition of Physibel simulation

시뮬레이션을 위한 경계조건으로, 실내온도는 하절기의 일반적인 조건을 감안하여 26°C로 설정하였고, 상하부 표면의 총합열전달계수의 경우 상부표면은 일사유입으로 인한 바닥면 가열 조건으로 11 W/m²K로, 하부표면은 천장면 냉각 조건으로 11 W/m²K로 가정¹³⁾하였다. 상부표면에 유입되는 일사에너지는 서울지역의 수평면 전일사량의 최대값이 약 1,000 W/m²¹⁴⁾이고, 창호의 일사열획득계수를 0.7, 광선반 표면 반사율을 0.9로 가

정하였을 경우 70 W/m^2 의 열량이 상부표면으로 흡수되는 것으로 가정하였다. TALS 시스템에 공급되는 냉수의 온도는 결로방지를 위해 하절기 설계조건(26°C , 50%)에서의 노점온도인 14.8°C 보다 높은 15°C 로, 유량은 2.0 lpm 으로 설정하였다.

Table 1은 대안별 상하부표면의 온도 분포 해석 결과로, 냉수공급으로 인해 하부표면온도가 $16 \sim 18^\circ\text{C}$ 범위에서 형성되는 것을 볼 수 있다. 하부표면온도가 가장 낮게 형성되는 것은 TALS 내부를 단열재를 모두 충전한 경우(Insulation)이며, 이는 단열재로 인해 하부 방냉량이 최대화된 것이기 때문으로 판단된다. 그 다음으로 단열재를 절반만 충전한 경우(Insulation+Air cavity), 공기층으로 전체를 처리한 경우(Air cavity) 순으로 하부표면온도가 낮게 나타났다.

Table 1 Simulation result of surface temperature

상부표면온도 분포를 보면, 단열재를 모두 충전한 경우 상부표면으로 흡수된 일사 에너지가 냉수에 의해 제거되기 어려우므로 가장 높은 표면온도를 나타내었다. 내부 전체가 공기층으로 처리된 경우에는 냉수에 의해 흡열량 일부가 제거되는 효과가 있으므로, 상부표면온도가 가장 낮은 것으로 분석되었다. 단열재와 공기층이 절반씩 존재하는 경우에는 하부표면온도와 마찬가지로 상부표면온도 또한 나머지 두 대안의 중간 정도 수준을 나타내었다.

Fig. 4는 광선반의 중심축에서 표면온도 분포를 비교한 것으로, 상부표면온도가 가장 낮게 나타나는 것은 단열

재로 전체를 충전한 경우, 하부표면온도가 가장 낮게 나타나는 것은 전체를 공기층으로 처리한 경우임을 보다 정량적으로 보여주고 있다. 그러나 거주역의 열환경 제어를 위해서는 TALS의 하부표면온도를 가능한 낮추는 한편, 하부 방냉량을 극대화하는 것이 바람직하다고 볼 수 있으므로, TALS의 내부를 단열재로 모두 충전하는 안이 가장 적합하다고 판단된다. Fig. 5는 각 대안별 냉방용량을 비교한 것으로, 전체 냉방용량은 Insulation, Insulation+Air cavity, Air cavity안이 각각 116 W/m^2 , 121 W/m^2 , 138 W/m^2 로 분석되었다. 전체 냉방용량 측면에 있어서는 Air cavity안이 가장 유리하다고 하겠으나, 하부 방냉량 측면에 있어서는 Insulation 안이 가장 유리하며, 또한 가장 낮은 표면온도를 얻을 수 있는 관계로 본 연구에서는 Insulation안을 TALS 시스템의 최종 대안으로 선정하였다.

Fig. 4 Simulation result on surface temperature distribution

Fig. 5 Cooling capacity of TALS alternatives

3.2 TALS 시스템 적용 공간의 실온 해석

3.1에서 도출된 TALS 시스템의 최적대안을 Fig. 6과 같은 일반적인 업무 공간에 적용하여 TALS 시스템의 냉방효과를 분석하고자 하였다. 해석 대상공간은 4.0 m (W)×6.0 m (D)×2.6 m (H) 규모의 남향 건물이며, 남쪽에 1.5 m (W)×1.8 m (H) 크기의 창이 두 Set 설치되어 있다. 분석대상 건물은 추후 모델 검증을 위해 1990년대에 건축된 실제 건물을 재현한 것으로, 외벽과 창호의 성능은 최근 기준에 비해 다소 낮은 수준으로 모델링하였다. 외벽의 열관류율은 0.62 W/m²K로, 창호는 6 mm 단창+88 mm 중공층+6 mm 단창으로 구성되어 열관류율은 2.72 W/m²K로 가정하였으며, 일사열취득은 Physibel 내부에서 자체적으로 계산되도록 하였다.

냉수온도와 유량은 3.1절에서 적용된 것과 동일한 조건을 적용하였으며, 주간시간대(8시 ~ 17시)에만 냉수가 공급되는 것으로 가정하였다. TALS 시스템 성능평가를 위해 TALS 하부표면온도, 실내온도를 출력변수로 지정하였으며, 실내온도는 외주부와 내주부로 구분하여 평가하기 위해, 외벽으로부터 0.45 m와 2.7 m 이격된 지점에서 바닥으로부터 1.1 m 높이에 가상의 센서를 모델링하였다. 또한 광선반이나 TALS 적용 시, 일사유입 차단 및 냉각효과로 인해 실내 바닥표면의 온도가 낮아지는 것을 평가하기 위해 실의 중심축(외벽에 수직인 방향)에서의 바닥표면온도를 출력변수로 지정하였다.

이렇게 모델링된 실내 공간에 대하여, 창호에 아무런 장치도 설치하지 않은 경우(Baseline), 광선반을 설치한 경우(Light Shelf), TALS 시스템을 설치한 경우(TALS system)의 외주부 및 내주부 실내온도, 바닥표면온도를 분석하였다. 또한 TALS 시스템에 의한 냉각 효과를 평가하기 위해, 에어컨과 같은 냉방 시스템의 가동 없이 자연상태의 실온변화를 분석하였다. 분석대상 기간은 하절기(6월 ~ 9월) 4달로 설정하였고, 계산 시간간격은 1시간, 기상데이터는 Physibel에서 제공하는 서울지역 기상데이터(Meteonorm 포맷)를 적용하였다.

Fig. 6 Simulation model for room temperature analysis

4. 결과 및 논의

Fig. 7은 TALS 시스템 적용 시 실내 표면온도의 분석결과로, 전형적인 하절기(8월 5일, 외기온 21.2 ~ 28℃,

수평면전일사량 $0 \sim 511 \text{ W/m}^2$ 의 오후 12시의 실내 표면온도를 나타낸 것이다. Baseline의 경우 창면의 온도가 32°C 까지 상승하고 벽체의 표면온도 또한 28°C 에서 형성되는 것으로 나타났다. Light shelf의 경우 일사유입량의 저감으로 창면의 하부 표면온도가 약 30°C 까지 낮아졌으며, 그로 인해 벽체 표면온도가 소폭 저하되는 것으로 분석되었다. TALS 시스템의 경우에는 창면의 온도가 전반적으로 더 낮아지고, TALS 하부표면이 약 17°C 정도로 유지됨에 따라 외벽과 실내벽, 바닥 표면온도가 모든 경우 중 가장 낮아지는 것으로 분석되었다.

Fig. 7 Simulation result on room surface temperature (at 12PM, August 5th)

Fig. 8은 TALS 시스템 적용에 따른 동적 실온 거동을 분석하기 위해 하절기 중 3일간(8월 3일 ~ 5일)의 시물레이션 결과를 나타낸 것이다. 일사가 유입되는 주간 시간대에 TALS 시스템에 냉수가 공급되어 하부표면 온도가 17°C 내외로 유지되며, 냉수 공급이 중단되는 야간 시간대에 표면온도가 실온에 가깝게 상승하는 경향이 나타나, TALS 시스템의 열적 거동이 타당하게 해석된 것으로 판단된다.

외주부(Fig. 8(a))는 일사 유입의 영향을 많이 받아 내주부(Fig. 8(b))에 비해 실내온도가 전반적으로 높게 나타나는 경향을 보였다. 외주부 실내온도는 광선반만을 적용한 경우(Light shelf), Baseline에 비해 $0.30 \sim 0.42^\circ\text{C}$, TALS 시스템을 적용한 경우 $1.07 \sim 2.44^\circ\text{C}$ 낮아지며, 내주부 실내온도는 Light shelf의 경우 평균 $0.32 \sim 0.42^\circ\text{C}$, TALS 시스템의 경우 $1.11 \sim 2.14^\circ\text{C}$ 낮아지는 것으로 분석되었다.

이와 같이 광선반이나 TALS 시스템이 실내온도를 낮추는 원인 중 하나는 일사유입을 차단하여 바닥표면 온도를 낮추는데 있을 것으로 판단하여, 바닥표면 온도를 외벽으로부터 실내측 방향으로 분석하였다. Fig. 9는 각 대안별 바닥표면 온도의 최대-평균-최소값을 나타낸 것으로, 최소표면온도는 야간시간대에 나타나므로 대안별로 차이가 거의 없으나, 주간 시간대에 나타나는 최대 표면온도는 Light shelf의 경우 소폭(0.46°C) 감소되며, TALS 시스템의 경우 2.9°C 감소된 것을 볼 수 있다. 바닥표면 평균온도는 Baseline의 경우 평균 27.28°C , Light Shelf의 경우 26.94°C , TALS 시스템의 경우 25.13°C 로 나타나, TALS 시스템 적용 시 바닥표면 저감 효과를 충분히 얻을 수 있고, 이것이 실온 저감 효과에 기여하는 것으로 판단된다.

(a) Perimeter zone temperature

(b) Interior zone temperature

Fig. 8 Comparison of temperature variation (August 3rd ~ 5th)

(a) Baseline

(b) Light shelf

(c) TALS system

Fig. 9 Comparison of floor surface temperature during summer season

Fig. 10은 하절기 전체 기간 중의 실내온도 해석 결과를 외주부와 내주부로 구분하여 나타낸 결과이다. 외주부와 내주부 모두 Light shelf와 TALS 시스템의 온도 저감 효과를 볼 수 있으며, 특히 TALS 시스템의 온도 저하효과는 Baseline에 비해 외주부에서 평균 2.23°C, 내주부에서 2.19°C로 나타났다. 최대온도의 경우에는

Baseline 대비 내·외주부 모두 3.20°C 가 저감되는 것으로 나타나 TALS 시스템 적용으로 인한 냉방효과를 충분히 거둘 수 있을 것으로 판단된다. 실내 냉방효과 관련 기존 연구¹⁵⁾에서, 별도 냉방설비의 가동 없이 창면 코팅, 물문부 등의 방법으로 실내온도를 2.2°C 까지 하강시켜 냉방효과를 얻을 수 있었다는 결과를 감안하면, TALS 시스템에 의한 냉방효과를 충분히 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

그러므로 TALS 시스템을 적용할 경우, 단순히 광선반을 적용하는 경우보다 더 뚜렷한 실온 저감효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다. 다만 TALS 시스템은 광선반과는 달리 냉수 생산과 순환을 위한 별도의 에너지가 투입되므로, TALS 시스템의 적용 가능성을 검토하기 위해서는 냉방 에너지 관점에서의 분석이 추가적으로 필요하다.

냉방 에너지 성능 분석 시 유의할 점은 TALS 시스템 단독으로 실내 전체를 냉방하는 것은 아니므로, TALS 시스템과 기존 냉방 시스템에 소요되는 에너지를 모두 고려해야 한다는 것이다. 다만 TALS 시스템 적용 시 $2 \sim 3^{\circ}\text{C}$ 정도의 온도 저하 효과가 있으므로, 냉방 시스템의 운전 부담을 그만큼 낮출 수 있을 것이며, 그에 따라 냉방 시스템이 단독으로 운전되는 경우보다 더 많은 냉방에너지를 절감할 수 있을 것으로 기대된다. 이를 규명하기 위해 기존 냉방시스템과 연계된 TALS 시스템의 에너지 성능을 추후 연구로써 분석할 필요가 있다.

또한 TALS 시스템은 일반적인 천장복사냉방패널과 달리 바닥과 천장 사이에 설치되므로, 하부표면 뿐 아니라 상부 표면에서의 방냉량 또한 실내 냉방에 활용할 수 있는 가능성이 있다. 본 논문에서는 거주역의 직접적인 냉방에 초점을 맞추어 하부 방냉량을 최대화하는 것을 목표로 TALS 시스템을 평가하였으나, 상부 방냉량을 증가시킬 수 있는 TALS 단면 도출 및 그에 따른 냉방효과에 대한 연구도 수행할 예정이다.

Fig. 10 Comparison of room temperature during summer season

5. 결론

본 연구에서는 일반적인 광선반에 복사냉방의 기능을 결합한, 열적으로 활성화된 광선반(Thermally Activated Light Shelf: TALS) 시스템을 제안하고, 이의 적용 가능성을 검토하기 위해 전열해석 시뮬레이션을 통해 냉방 용량과 실내 온도 저감효과를 분석하였다. 본 연구를 통해 도출된 주요 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 일반적인 광선반의 상부표면은 반사면의 기능을 그대로 유지하고, 하부면은 열전달을 촉진시킬 수 있는 복사면의 기능을 부여한, TALS 시스템의 기본 개념을 제안하였다.
- (2) TALS의 상부 반사면과 하부 복사면의 사이를 단열재로 모두 충전한 경우(Insulation), 단열재와 공기층 절반씩 충전한 경우(Insulation+Air cavity), 모두 공기층으로 처리한 경우(Air cavity)로 구분하여 전열해석 시뮬레이션을 수행한 결과, 하부방냉량을 극대화하고 하부표면 온도를 가장 낮출 수 있는 Insulation 대안이 TALS의 단면 구성으로 적합한 것으로 분석되었다.
- (3) TALS 시스템 모델을 Physibel로 모델링하여 가상의 업무공간에 적용한 결과, 하부 표면온도가 약 17℃로 유지하면서 Baseline이나 광선반만 설치한 경우에 비해 바닥표면온도와 내·외주부 실내온도를 모두 저감시킬 수 있는 것으로 분석되었다.
- (4) TALS 시스템으로 인해 Baseline 대비 외주부 평균온도는 2.23℃, 내주부 평균온도는 2.19℃ 낮아지며, 최대온도의 경우에는 Baseline 대비 내·외주부 모두 3.20℃가 저감되는 것으로 나타나 TALS 시스템 적용으로 인한 냉방효과를 충분히 거둘 수 있는 것으로 나타났다.

후기

본 연구는 국토교통과학기술진흥원의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호: 21CTAP-C164253-01).

REFERENCES

1. Lim, Y. W. and Heng, C. Y. S., Dynamic Internal Light Shelf for Tropical Daylighting in High-rise Office Buildings, Building and Environment, Vol. 106, pp. 155-166, 2016.
2. Ebrahimi-Moghadam, A., Ildarabadi, P., Aliakbari, K., and Fadaee, F., Sensitivity Analysis and Multi-objective Optimization of Energy Consumption and Thermal Comfort by Using Interior Light Shelves in Residential Buildings, Renewable Energy, Vol. 159, pp. 736-755, 2020.
3. Mangkuto, R. A., Feradi, F., Putra, R. E., Atmodipero, R. T., and Favero, F., Optimisation of Daylight Admission Based on Modifications of Light Shelf Design Parameters, Journal of Building Engineering, Vol. 18, pp. 195-209, 2018.
4. Lee, H. W., Kim, D. S., and Kim, Y. S., Simulation Study on the Performance Evaluation of Light-shelf focused on the Depth of Space and the Dimensions and Angles of Light-shelf, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 29, No. 3, pp. 335-344, 2013.
5. Kim, J. M., Lee, H. W., Seo, J. H., and Kim, Y. S., A Preliminary Study on Lighting Performance and Energy Savings of a PV-Attached Light Shelf, Journal of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 30, No. 8, pp. 376-387, 2018.
6. Jang, M. W., Lee, H. W., Seo, J. H., and Kim, Y. S., A Study on the Application of the Prism Sheet to Improve the Daylighting Performance of the Light Shelf, Journal of the Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Vol. 30, No. 9, pp. 401-412, 2018.
7. Jeon, G. M., Lee, H. W., Seo, J. H., and Kim, Y. S., Performance Evaluation of Light-Shelf based on Light Environment and Air Conditioner Environment, Journal of Korea Institute of Ecological Architecture and

- Environment, Vol. 16, No. 5, pp. 47-55, 2016.
8. Bahdad, A. A. S., Fadzil, S. F. S., Onubi, H. O., and BenLasod, S. A., Sensitivity Analysis Linked to Multi-objective Optimization for Adjustments of Light-shelves Design Parameters in Response to Visual Comfort and Thermal Energy Performance, *Journal of Building Engineering*, Vol. 44, 102996, 2021.
 9. Chaloeitoy, K., Ichinose, M., and Sasaki, R., Comparing the Occupants' Comfort between Perimeter Zone and Interior Zone in Asian Office, In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 294, No. 1, p. 012075, 2019.
 10. Schiavon, S., Lee, K. H., Bauman, F., and Webster, T., Influence of Raised Floor on Zone Design Cooling Load in Commercial Buildings, *Energy and Buildings*, Vol. 42, No. 8, pp. 1182-1191, 2010.
 11. Ning, B., Chen, Y., Liu, H., and Zhang, S., Cooling Capacity Improvement for a Radiant Ceiling Panel with Uniform Surface Temperature Distribution, *Building and Environment*, Vol. 102, pp. 64-72, 2016.
 12. Shin, M. S., Rhee, K. N., Ryu, S. R., Yeo, M. S., and Kim, K. W., Design of Radiant Floor Heating Panel in View of Floor Surface Temperatures, *Building and Environment*, Vol. 92, pp. 559-577, 2015.
 13. Babiak, J., Olesen, B. W., and Petras, D., Low Temperature Heating and High Temperature Cooling: REHVA Guidebook, No. 7, 2007.
 14. KSES (Korean Solar Energy Society), Climate Data of Seoul, Korea, 2015.
 15. Jeong, K. B. and Choi, S. G., Cooling Energy Saving System using Solar Heat Protection Devices, *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 30, No. 3, pp. 108-11, 2010.