Journal of KIAEBS Vol.16, No.6, December pp. 581-591

RESEARCH ARTICLE

열적으로 활성화된 광선반 시스템에 의한 냉방 성능 개선 효과 분석

최지수[1] · 김상엽[2] · 박종호[2] · 이규남[3*]

[1]부경대학교 대학원 건축·소방공학부 박사과정, [2]부경대학교 건축·소방공학부 석사과정,
[3]부경대학교 건축공학과 부교수

Analysis of Improvement Effect of Cooling Performance by Thermally Activated Light Shelf System

Choi, Ji-Su[1] · Kim, Sang-Yeop[2] · Park, Jong-Ho[2] · Rhee, Kyu-Nam[3*]

[1]Ph.D. Student, Division of Architectural and Fire Protection Engineering, Graduate School, Pukyong National University, Busan, Korea
[2]Master Student, Division of Architectural and Fire Protection Engineering, Graduate School, Pukyong National University, Busan, Korea
[3]Associate Professor, Department of Architectural Engineering, Pukyong National University, Busan, Korea

***Corresponding author:** Rhee, Kyu-Nam, Tel: +82-51-629-6090, E-mail: knrhee@pknu.ac.kr

ABSTRACT

A light shelf can be used for space cooling when its surfaces are thermally activated by chilled water. The cooling effect of thermally activated light shelf (TALS) was demonstrated by a previous study; however, its performance was evaluated without the consideration of spatial temperature distribution, air flow distribution, and main cooling system such as fan coil unit (FCU). In this context, this study was conducted to evaluate the TALS system under the condition that FCU system is implemented as main cooling system, whereas the TALS system serves as auxiliary cooling system for perimeter zone. A CFD simulation model was developed to investigate the spatial and surface temperature of the room equipped with FCU and TALS system. The developed model was validated against the mock-up test results, which yielded the discrepancy of 0.1~-0.7℃ in the vertical air temperature distribution. The validated model was used to compare the thermal environment for the cases with FCU and FCU+TALS. Compared to the FCU case, the FCU+TALS system could reduce the air temperature, radiant temperature, and PMV by 0.6℃, 1.2℃, and 0.26, respectively, which implies that the TALS can be successfully utilized to enhance the thermal environment in the perimeter zone.

주요어 : 복사냉방, 광선반, 전산유체해석, 표면온도, 복사온도

Keywords: Radiant cooling, Light shelf, CFD, Surface temperature, Radiant temperature

OPEN ACCESS

Journal of KIAEBS 2022 December, 16(6): 581-591
https://doi.org/10.22696/jkiaebs.20220049

pISSN : 1976-6483
eISSN : 2586-0666

Received: December 19, 2022
Revised: December 26, 2022
Accepted: December 27, 2022

Ⓒ 2022 Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems.

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (http://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

서 론

TALS (Thermally activated light shelf; TALS) 시스템은 광선반을 열적으로 활성화시켜

광선반 표면에서의 복사열교환을 냉난방에 활용하는 차양 장치이다(Hwang and Rhee, 2021). TALS는 Figure 1에 나타낸 바와 같이 현휘 방지, 실내 적정 조도 확보 등 기존 광선반의 빛환경 개선 기능에 더불어 복사 냉난방을 통해 외피 부하에 보다 능동적으로 대응함으로써 열환경 개선 효과도 거둘 수 있다. 특히, 여름철 과도한 일사 유입을 차단함과 동시에 복사면에서의 냉방으로 외주부 과열을 완화할 수 있어 냉방에 활용도가 높을 것으로 예상된다. 이에 TALS 가동 시 실내온도 저감, 제거열량 등을 도출하여 기초적인 성능 데이터를 제시하고자 하는 연구가 수행되었다(Kim et al., 2022; Park et al., 2022; Rhee et al., 2022).

Hwang and Rhee (2021)은 TALS 시스템의 개념을 제안하였으며, TALS가 설치된 1개 실에 대해 전열해석 시뮬레이션(Physibel)을 통해 TALS 적용에 따른 실온 저감을 분석하였다. 시뮬레이션 결과 TALS 적용 시 실온이 약 2.19 - 2.23℃ 낮아지는 것으로 나타나 TALS의 냉각 효과를 확인하였다. 그러나, 이 결과는 다른 냉방 설비 없이 오직 TALS만 가동되는 조건을 가정하여 해석된 결과이며, TALS 가동에 의한 실내 공기 유동이나 실내 표면 온도에 대한 상세한 해석은 고려되지 않았다. 또한, 해석 모델에 대한 실험적 검증이 없이 이상적 운영 조건에서의 냉각 효과만 분석된 한계가 있다.

TALS 가동 시 냉각된 표면에 의해 TALS 설치 영역 부근에서 기류 유동이 활성화될 수 있고, TALS와 인접 표면간의 복사열교환으로 인해 실내 표면 온도가 저하될 수 있으므로 기류 유동과 표면온도의 변화를 고려한 열환경이 분석될 필요가 있다. 또한, TALS 단독으로는 실 전체의 냉방부하를 담당하지 못하고, 냉방부하의 대부분은 팬코일유닛이나 EHP와 같은 주 냉방설비가 담당하게 될 것이므로, 주된 냉방 설비가 가동되는 상태에서 TALS의 냉방 성능이 평가될 필요가 있다.

이에 본 연구에서는 주된 냉방 설비가 가동되는 조건에서 TALS가 추가적으로 운용될 때의 열환경 개선 효과를 분석하는 것을 목표로 설정하였다. 이를 위해 TALS가 적용된 사무공간의 해석 모델을 제작하고, Test-bed에서의 검증 실험을 통해 해석 모델의 유효성을 검토하였다. 해석 모델에서 실의 냉방부하 대부분을 담당하는 주 냉방 설비는 Fan coil unit (FCU)으로 설정하였으며, TALS의 추가적인 냉방효과 검토에 집중하기 위해 외기도입에 의한 환기부하와 실내 잠열부하는 분석 대상에서 제외하였다.

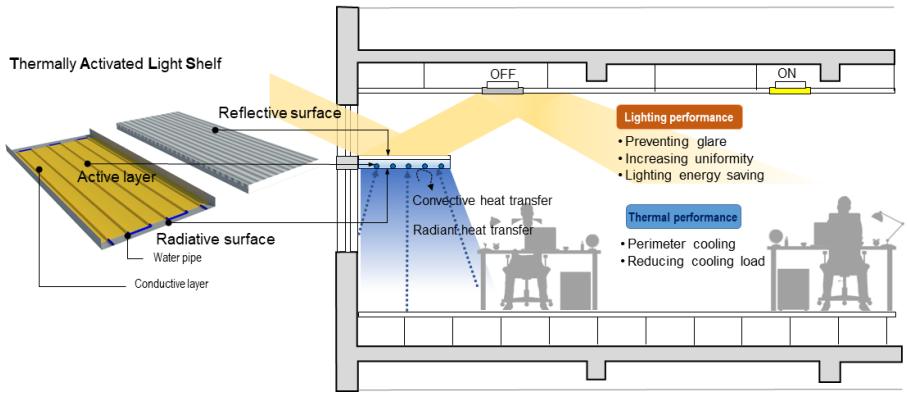


Figure 1. A schematic diagram of TALS system

TALS 시스템 냉방 성능 평가 방법

해석 모델 형상 및 경계조건

본 연구에서는 CFD 해석 프로그램(Star-CCM+)을 활용하여 TALS와 FCU가 설치된 공간을 Figure 2에 나타난 바와 같이 모델링하였다. 해석 대상 공간은 부산지역의 대학교 건물 내 실험실로, 실의 크기는 3.8 m (W) × 3.8 m (D) × 2.43 m (H)이며 남측 벽에는 1.7 m (W) × 1.7 m (H) 크기의 창 2개가 설치되어 있다. 남측 벽은 외기와 일사에 노출되어 있고, 그 외의 벽은 온도 제어가 되는 실내 공간에 면하여 있으며 각각의 벽체는 주변 공간의 온도와 벽체의 열저항에 따라 열교환이 이루어지는 것으로 설정하였다. 또한 북측 벽에는 실험 모니터링을 위한 2.0 m (W) × 2.0 m (H) 크기의 창이 설치되어 있고, 서측 벽에는 0.9 m (W) × 2.08 m (H) 크기의 출입문이 설치되어 있다.

TALS는 크기 1.7 m (W) × 0.544 m (D) × 0.053 m (H)로, 남측 창 중간 부분(바닥 위 1.79 m 높이)에 각각 1개씩 실내측으로 돌출된 패널 형태로 구현하였다. 냉각면으로 활용되는 TALS의 패널 하부면은 표면 전체가 균일한 온도를 유지하는 것으로 가정하였으며, 반사면으로 활용되는 패널 상부면은 반사율 0.9외에 별도의 경계조건은 설정하지 않았다.

FCU는 외주부에 설치되는 것이 일반적이나, FCU의 토출공기가 TALS에 차단될 수도 있는 점을 감안하여 FCU는 내주부(북측 벽 중앙)에 설치된 것으로 설정하였다. FCU의 상부면에 0.6 m (W) × 0.14 m (D)의 토출면(Outlet)과 하부면에 0.6 m (W) × 0.23 m (D)의 흡입면(Inlet)을 구현하였으며, 토출면에서 연직 방향으로 기류가 토출되도록 설정하였다.

내부 발열 부하 모사를 위해 실 중앙을 기준(Figure 2에서 Center line으로 표시)으로 외주부(Perimeter)와 내주부(Interior)로 구분하고 각 영역에 EN 14240에서 제시하는 부하발열체(Load simulator)를 일정 간격으로 2개씩 총 4개 구현하였으며, 천장면에 1.28 m (W) × 0.32 m (D) 크기의 조명 2개가 있는 것으로 설정하였다(CEN, 2004). 부하발열체와 조명에 의한

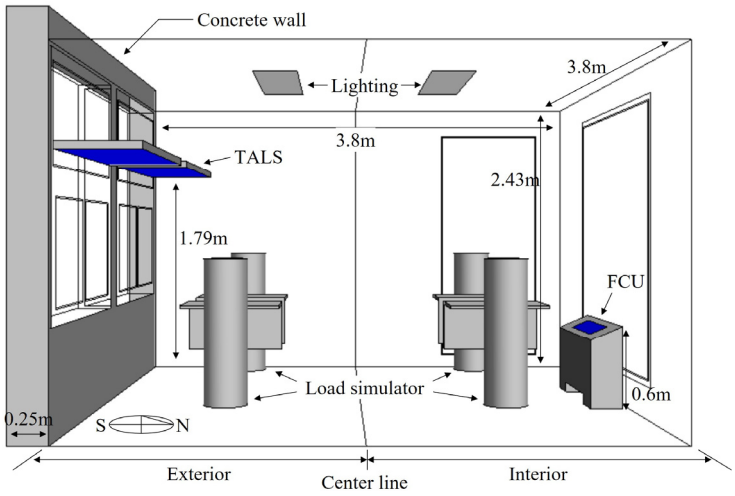


Figure 2. A numerical model for evaluating TALS cooling performance

Table 1. Physics for the developed numerical model

Region	Air	Concrete
Space	3 dimensions	
Time	Steady	
Material	Gas	Solid
Flow	Segregated flow	-
Equation of state	Ideal gas	Constant density
Energy	Segregated fluid temperature	Segregated solid energy
Viscous regime	Turbulent	-
Reynolds-averaged turbulence	K-Epsilon turbulence	-
Radiation	Surface to surface radiation Grey thermal radiation Solar radiation	

발열부하는 각각 480 W, 64 W(바닥면적당 33.2 W/㎡, 4.4 W/㎡)로 가정하였다.

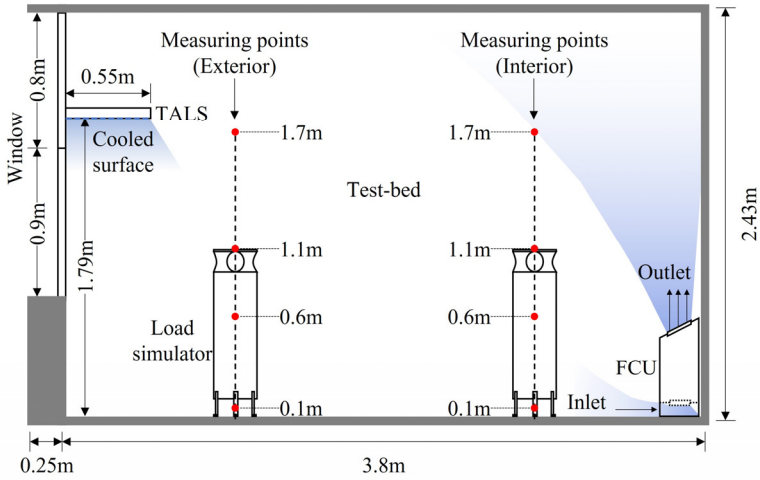
TALS 설치 공간의 해석을 위해서는, 일사 에너지가 외벽과 창문 외표면에 도달하여 전도를 통해 실내로 전달되는 한편, 일사 에너지의 일부가 유리를 투과하여 실내 표면에 흡수되는 것을 재현할 수 있어야 한다. 또한 일사에 의한 국부적 가열 및 TALS에 의한 냉각으로 서로 다른 영역의 공기 간 밀도차로 자연대류가 형성되는 것을 모사하는 한편, FCU 토출공기에 의한 강제대류 또한 재현되어야 한다. 즉, 해석 모델 내 고체 및 유체, 그리고 영역 간 전도, 대류, 복사 열교환이 모두 모사되어야 하므로 고체, 유체 영역에 대해 이를 모사할 수 있는 물리 조건(Physics)을 Table 1과 같이 설정하였다.

해석 모델 검증

해석 모델을 검증하기 위해, Figure 3과 같이 구축된 Test-bed를 활용하여 CFD 해석 결과와 실험 결과를 비교분석하였다. Test-bed는 해석 모델과 형상 및 구조, 부하 요소 및 냉방 시스템이 동일하게 구현되었다. 검증 실험은 2022년 8월 27~28일에 9~18시까지 총 9시간씩 수행되었다. FCU 및 TALS가 병행 가동되는 조건으로 수행되었으며, 실내온도 26℃를 유지하도록 FCU와 TALS의 냉수공급을 On/Off 방식으로 제어하였다. FCU에는 10.5℃의 냉수가 10 L/min, TALS에는 13.1℃의 냉수가 각 2개 패널에 1 L/min씩 공급되도록 설정하였다.

검증 실험시 측정된 외기온 및 일사, 내부발열 조건 및 TALS 표면온도, FCU 토출공기 온도를 활용하여 해석 모델의 입력값으로 적용하였다. 외기온 및 일사량은 웨더스테이션(Davis Vantage Pro2, USA)으로 측정된 29.4℃, 1,037 W/㎡(수평면전일사량)를 적용하였다. 내부 발열은 조명 각 1개소당 32 W로 총 64 W, 부하발열체 1개 당 120 W로 총 480 W의 열이 공급되도록 설정하였다. TALS의 표면온도는 16.0℃, FCU 토출공기 풍량은 447 ㎥/h 온도는 16.0℃로 측정되어 이를 해석모델에 반영하였다. FCU 풍량은 토출면의 면풍속을 열선 풍속계로 세 지점에서 측정하여 평균값을 산출하고, 이를 토출구 면적과 곱하여 산출하였다. 해석 모델에 반영된 입력 조건을 종합하여 Table 2에 나타내었다.

(a) Interior view of test-bed



(b) Sectional diagram of test-bed

Figure 3. Mock-up test chamber of TALS

Figure 2에서 정의한 외주부, 내주부 각 영역 중앙에서 높이 0.1 m, 0.6 m, 1.1 m, 1.7 m에서의 실온(건구온도)을 측정하여 해석 결과와 비교하였으며 그 결과는 Table 3, Figure 4와 같다. Table 3의 실험값은 실온이 안정적으로 유지된 11시~16시 간의 평균값이며, 실험 기간 중 On/Off 제어에 의해 FCU 및 TALS가 운전되었으므로, 평균온도를 중심으로 한 온도 편차는 Figure 4의 수평 오차 막대로 표시하였다.

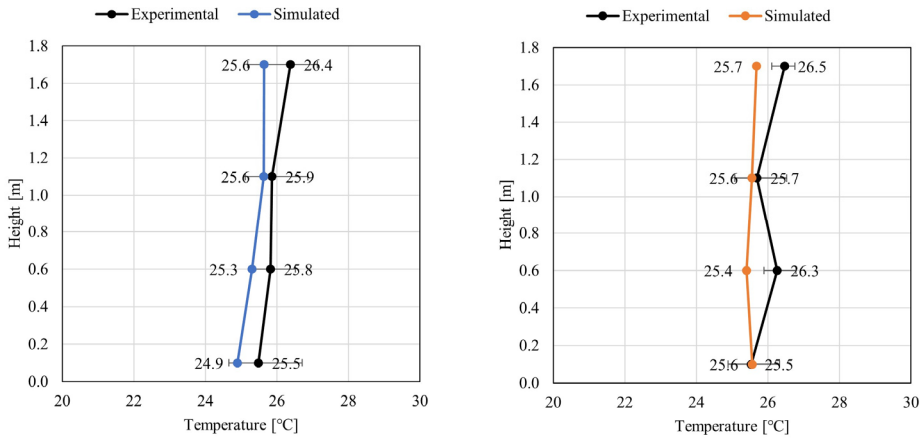
실험과 해석 결과의 높이별 온도차는 내주부에서 약 -0.7 ~ 0.2℃, 외주부에서 -0.8 ~ 0.0℃로 나타났다. 외주부의 경우 TALS 표면, 부하발열체 부근 에서 공기 유동의 차이로 추정되는 영향으로 일부 높이에서 실험값과 다소 차이가 발생하였으나, 내주부의 경우 상대적으로 영향을 덜 받아 해석 결과가 온도 편차 이내에 형성되는 것으로 판단된다. 본 연구의 해석 모델에서 TALS나 부하발열체는 해당 표면 전체에서 동일한 온도를 유지(TALS)하거나, 균일한 열량이 발생하도록 설정(부하발열체)되어 실제 공간에서의 열환경을 완벽하게 재현하는데에는 한계가 있으나, TALS 가동 유무에 따른 열환경의 변화는 충분히 평가할 수 있는 것으로 판단된다.

Table 2. Boundary conditions and input values of numerical model

Region		Boundary condition	Input value	
TALS	Top	Adiabatic	Reflectivity	0.9
	Bottom	Adiabatic	Temperature	16.0℃
FCU	Outlet	Mass flow inlet	Mass	0.144 kg/s (447 m^3/h)
			Temperature	16.0℃
	Inlet	Pressure outlet	Pressure	0 Pa
Load simulator		Adiabatic	Heat	120 W (Per each)
Lighting		Adiabatic	Heat	32 W (Per each)
Wall	Inner	Adiabatic	Heat transfer coefficient	9.09 W/m^2K
			Ambient temperature	28.0℃
	Exterior	Adiabatic	Thermal resistance	2.89 m^2K/W
			Heat transfer coefficient	23.3 W/m^2K
			Ambient temperature	29.4℃
Win-dow	Inner	Adiabatic	Heat transfer coefficient	9.09 W/m^2K
			Ambient temperature	28.0℃
			Transmittance	0.7
	Exterior	Adiabatic	Heat transfer coefficient	9.09 W/m^2K
			Ambient temperature	28.0℃
			Transmittance	0.7
Slit (For infiltration)	Inlet	Pressure outlet	Temperature	28.0℃
			Pressure	0 Pa
	Outlet	Mass flow inlet	Temperature	28.0℃
			Mass flow rate	0.0112 kg/s (1 ACH)
Outdoor		Temperature	Ambient temperature	29.4℃
		Solar radiation	Azimuth	226.4°
			Altitude	57.1°
			Radiation: Total	1,240 W/m^2
			Radiation: Horizontal	1,037 W/m^2

Table 3. Comparison of vertical air temperature distribution

Height	Interior zone			Perimeter zone		
	Experimental	Simulated	Discrepancy	Experimental	Simulated	Discrepancy
1.7 m	25.5℃	25.6℃	-0.7℃	25.5℃	25.7℃	-0.7℃
1.1 m	25.8℃	25.6℃	-0.2℃	26.3℃	25.6℃	-0.3℃
0.6 m	25.9℃	25.3℃	-0.5℃	25.7℃	25.4℃	-0.4℃
0.1 m	26.4℃	24.9℃	-0.6℃	26.5℃	25.6℃	0.1℃



(a) Interior zone (b) Perimeter zone

Figure 4. Comparison of vertical temperature distribution between experiment and simulation results

TALS 시스템 냉방 성능 평가 결과

검증된 해석 모델을 활용하여 TALS의 냉방 성능을 평가하기 위해, TALS 가동 없이 FCU만 가동되는 경우(FCU Case), FCU와 TALS가 가동되는 경우 (FCU+TALS Case)로 나누어 해석을 수행하였다. 각 해석 Case의 경계 조건은 앞서 설명된 해석 모델과 동일한 조건을적용하되, FCU Case에서의 TALS 하부 표면에는 별도의 경계조건을 적용하지 않고 일반 벽면과 같이 주변 온도 및 기류에 따라 온도가 해석되도록 설정하였다.

TALS의 냉방 성능은 TALS 가동 유무에 따른 열환경 및 열쾌적 지표를 분석하여 평가하였으며, 열환경 지표로는 실내온도, 복사온도, 기류속도, 실내표면온도를 평가하였다. 실내온도는 높이 1.1 m 수평면에서의 평균온도와 외주부, 내주부 각 영역의 체적 평균온도를 도출하였다. 복사 온도는 실내 각 표면 온도의 면적 가산 평균으로 계산되었다. 기류속도는 실내온도와 마찬가지로 높이 1.1 m 수평면에서의 평균 기류속도로 평가하였다.

열쾌적 지표로는 ISO 7730 (2005)에 따라 전반적 열쾌적, 국부적 열쾌적을 평가하였으며, 전반적 열쾌적은 PPD (Predicted Percentage Dissatisfied), PMV (Predicted Mean Vote), 국부적 열쾌적은 DR (Draught Rate), 0.1 m − 1.1 m 수직온도차, 각 표면에서의 복사불균형(Radiant Asymmetry)으로 평가하였다. 복사불균형은 모든 실내 표면에 대해 냉각되거나 가열된 면에서의 복사로 인한 불만족률(Percentage dissatisfied: PD)의 최댓값으로 계산하였다. 본 해석은 현열 성분에 대한 해석이 수행되었으므로 PMV 산출 시 상대 습도는 50%로 가정하였으며, clo와 Met값은 ISO 7730에서 제시하는 전형적 여름철 clo 값 0.5와 사무실 건물에 앉아 있는 상태 기준 Met 값 1.0을 적용하였다.

해석 결과

Figure 5는 2개 Case의 실내 표면온도를 나타내고 있다. 두 경우 모두 TALS가 설치된 조

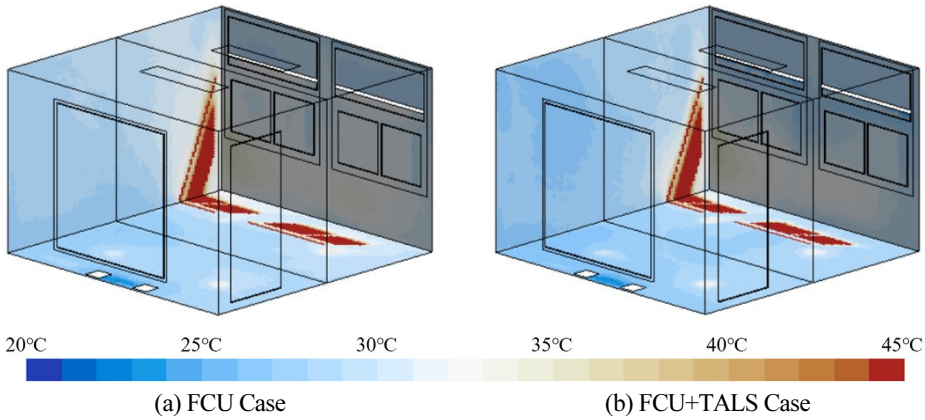


Figure 5. Surface temperature distribution

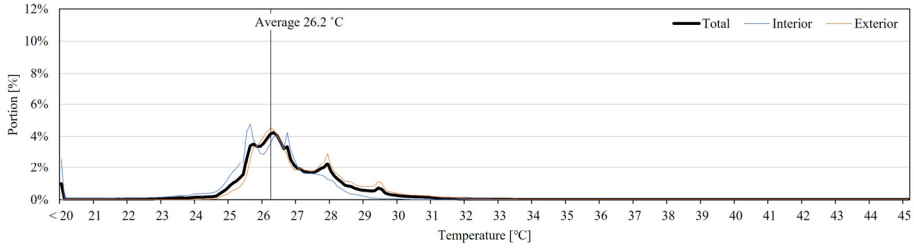
Table 4. Simulation results of thermal environment

Case	Indoor temperature	Mean radiant temperature	Air velocityy
FCU	26.2℃	31.7℃	0.13 m/s
FCU+TALS	25.6℃	30.5℃	0.11 m/s

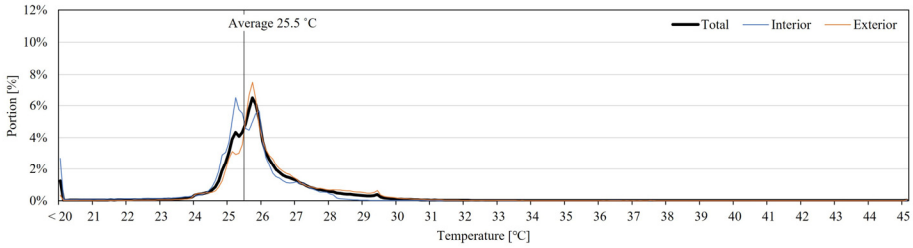
건이나, 일사를 완벽하게 차단하는 것은 아니어서 일사가 도달하는 영역에 높은 온도가 형성된 것을 볼 수 있다. 그러나 내주부 FCU 가동으로 인해 외벽에서 멀어질수록 표면 온도가 전반적으로 감소하는 경향을 확인할 수 있다. Table 4는 각 Case의 열환경 해석 결과로, FCU Case (Figure 5(a))의 실내온도는 26.2℃, 복사온도는 31.7℃로, 바닥면에 흡수된 일사에너지와 창면, 내부발열체의 열방출로 인해 복사온도가 다소 높게 형성된 것으로 판단된다.

FCU+TALS Case (Figure 5(b))에서는 냉각된 TALS 하부표면에서의 복사열교환으로 인해 복사온도가 1.2℃ 감소한 30.5℃로 나타났고, 실내온도는 0.6℃ 감소한 25.6℃로 분석되어 TALS에 의한 냉각 효과를 확인할 수 있다. TALS 가동 시 복사 냉방효과에 의한 실온 저감 효과는 나타났으나 기류속도에는 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. 이는 TALS 하부 표면 부근에서의 냉각된 공기가 하강하면서 기류 유동에 변화를 유발할 수는 있으나, 기류속도를 증대시킬 정도의 강한 유동은 형성하지 않았기 때문으로 판단된다.

Figure 6 및 Table 5는 해석 대상 공간에서 모든 체적의 온도 분포(빈도)를 나타낸 것으로, FCU Case (Figure 6(a))의 경우 각 체적의 온도는 약 25~30℃ 범위에서 형성되며, 전체 체적의 평균온도는 26.2℃로 나타났다. 내주부와 외주부 영역의 체적 평균온도는 각각 25.9℃, 26.6℃로, FCU로 전체 공간이 냉방되더라도 외주부 일사 및 관류열로 인해 외주부 영역의 실온이 약 0.7℃ 높게 나타난 것으로 판단된다. 외주부에 TALS를 적용할 경우 (Figure 6(b)), 추가적인 냉방 효과로 인해 실 전체 영역에서 0.7℃ 온도가 감소하였으며, TALS 부근의 냉각된 공기로 인해 외주부와 내주부의 온도가 각각 0.8℃ 감소하였다. 즉, TALS가 창면에 설치됨에도 내주부에서도 외주부와 같은 수준의 온도 저감 효과를 얻을 수 있을 것으로 사료된다.



(a) FCU Case



(b) FCU+TALS Case

Figure 6. Frequency of spatial temperature distribution

Table 5. Average temperature of each region

Case	Total	Interior zone	Perimeter zone
FCU	26.2℃	25.9℃	26.6℃
FCU+TALS	25.5℃	25.1℃	25.8℃

Table 6. Simulation results of thermal comfort

Case	General		Local discomfort		
	PPD	PMV	Draught Rate	Vertical temperature difference	PD (Radiant asymmetry)
FCU	23.38%	0.83	4.5%	0.58 K	1.63%
FCU+TALS	14.44%	0.67	4.2%	0.41 K	1.21%

Table 6은 Case별 열쾌적 평가 결과로, 전반적 열쾌적 지표인 PPD/PMV는 FCU Case에서 23.38%/0.83, FCU+TALS Case에서 14.44%/0.67로 분석되었다. 비록 두 Case 간 기류속도에 큰 차이는 없으나, TALS 복사면이 인접 표면을 냉각시키면서 복사온도 및 실온저감으로 이어져 전반적 열쾌적 지표가 소폭 개선된 것으로 판단된다.

국부적 불쾌적 지표인 DR의 경우, FCU 토출면 부근을 제외하고 기류속도가 크지 않으므로 FCU, FCU+TALS Case에서 각각 4.5%, 4.2%로 낮게 나타났다. 수직 온도차는 FCU, FCU+TALS Case에서 각각 0.58 K, 0.41 K로, TALS 가동 시 수직적 온도차를 소폭 완화하는 것으로 확인되었다. 불균등 복사에 의한 불만족율 또한 쾌적 범위 내에 있으며, FCU, FCU+TALS Case에서 1.63%, 1.21%로 일사로 인해 가열된 창 표면온도를 TALS가 저감시키면서 복사 불균등이 소폭 완화된 것으로 판단된다. 이상의 결과에서 볼 때, TALS는 하부 냉각면에 의한 인접 표면온도의 감소, 하부 공기 온도의 감소 효과를 통해 외주부 영역의 열

쾌적 개선에 기여할 수 있을 것으로 판단된다.

그러나, 현재 해석에서 적용된 조건은 언제까지나 TALS 자체의 냉방성능을 평가하기 위해 임의로 설정된 것임을 고려해야 한다. 주 냉방설비인 FCU가 사무용 건물에 설치되는 경우 높은 창면적비로 인해 외주부가 과열됨을 고려하여 외피 부근에 설치되는 것이 일반적이나, 본 연구에서는 FCU을 외벽의 반대 벽면인 내주부에 설치하였는데, 이는 TALS 시스템에 의한 냉방효과 증대 효과에 주목하기 위해 TALS와 FCU의 간섭이 최소화될 수 있는 위치를 고려하였기 때문이다. 이로써 FCU에서 토출된 기류가 TALS에 직접 도달하지 않아, TALS 부근의 기류속도는 상대적으로 낮게 유지되었다. 만약, 대류형 냉방설비가 외피 부근에 설치되어 가동될 경우, 기류속도 증가로 천장복사냉방패널 시스템의 냉방용량이 증대될 수 있다는 기존 연구(Shin et al., 2019; Shin et al., 2020)에서 규명된 바와 같이, TALS 표면에서의 기류속도 증가를 통해 냉방효과를 더 증대시킬 수 있을 것으로 판단된다.

TALS는 실제로 패널 내부 배관, 단열재 구성과 물성에 따라 다양한 온도 분포를 나타내나 현재 모델에서는 해석의 용이성과 TALS의 냉방효과를 검토하기 위해 하부면만 냉각면으로 간주하고 면 전체가 동일한 온도를 유지하는 것으로 해석되었다. TALS 자체가 가져오는 열환경 개선은 주로 실 표면과의 복사열교환에 의한 것이므로, TALS의 표면 평균온도가 유사하다면 보다 사실적으로 구현된 모델과 해석 결과에서 큰 차이가 없을 것으로 사료된다.

또한, 현재 광선반은 창 외피에 고정된 상태로 가정되었으나 패널 각도를 조절하는 것으로 복사면과 마주하는 면적을 늘리면서 반사각을 높게 형성하여 일사를 보다 차단하는 방식으로 냉방에 활용 가능성이 높을 것으로 판단된다. 차후 자연광에 의한 실내 조도, 자연광 반사 정도에 따른 열환경, 복사면 각도에 따른 열교환 효율 등을 고려하여 계절, 시간, 외기 조건에 대한 최적 운용 방안에 대한 연구를 수행할 예정이다.

결 론

본 연구에서는 열적으로 활성화된 광선반(TALS)이 주 냉방 설비(FCU)와 병행 가동되는 경우의 TALS 냉방 성능을 평가하기 위해 CFD 시뮬레이션 프로그램을 통해 TALS가 적용된 공간의 열환경을 분석하였다. FCU와 TALS가 적용된 사무실 공간을 해석 모델로 구현하였으며, 해석의 유효성을 검증하기 위해 해석 모델과 동일한 조건의 Test-bed를 제작하였다. Test-bed로 TALS와 FCU가 병행 가동되는 경우의 실험이 수행되었으며, 이 때의 부하, TALS 및 FCU 운전 조건을 해석 모델의 경계 조건 및 입력값으로 대입하였다. 외벽과 평행한 실 중심선을 기준으로 공간을 외주부, 내주부로 구분하고 각 영역에서의 실내온도를 비교하였다. 검증 실험 결과, 해석 모델과 실험 결과의 온도차는 외주부에서 0.1~−0.7℃, 내주부에서 −0.2~−0.7℃로 소정의 차이는 있으나 TALS 적용 공간의 열환경을 충분히 모사할 수 있는 것으로 판단되었다.

검증 실험의 해석 모델을 기반으로 FCU만 가동되는 경우를 해석하여 TALS 가동 여부에 따른 열환경을 비교분석하였다. 비교 결과, FCU와 TALS 가동 시 FCU만 가동되는 경우 대비 실내온도 0.6℃, 복사온도는 1.2℃, PMV는 0.26 감소하였으며, 보다 개선된 냉방 효과로

일사로 인한 외주부 과열을 완화할 수 있는 것으로 나타났다.

본 연구는 다소 제한된 규모의 Test-bed에서 특정 냉방부하 및 운전조건에서 평가된 결과에 기반하고 있다는 한계가 있다. FCU외의 다양한 냉방시스템과의 조합, 다양한 부하조건 및 그에 따른 운전 조건 변화를 고려한 성능평가 결과가 종합된다면 TALS 시스템의 설계 및 운전 가이드라인 수립에 필요한 일반화된 데이터를 도출할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

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

References

1. Hwang, T.Y., Rhee, K.N. (2021). Simulation Study on Cooling Effect of Thermally Activated Light Shelf (TALS) System. Journal of The Korean Solar Energy Society, 41(6), 39-50.
2. Rhee, K.N., Park, J.H., Kim. S.Y., Jung. G.J. (2022). Evaluation of Cooling Capacity of Radiant Cooling Panel Integrated with Light Shelf Function. Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, 16(3), 231-240.
3. Shin, M.S., Choi, J.S., Rhee, K.N. (2020). Cooling Capacity and Energy Performance of Open-Type Ceiling Radiant Cooling Panel System with Air Circulators. Energies, 14(1), 5.
4. Shin, M.S., Rhee, K.N., Park, S.H., Yeo, M.S., Kim, K.W. (2019). Enhancement of cooling capacity through open-type installation of cooling radiant ceiling panel systems. Building and Environment, 148, 417-432.
5. Kim, S.Y., Park, J.H., Rhee, K.N., Jung, G.J. (2022). Cooling Capacity Evaluation of Thermally Activated Light Shelf (TALS) System with the Configuration of Panel Section. Proceedings of the Spring Conference of the Korean Solar Energy Society, 73-73.
6. Park, J.H., Kim, S.Y., Rhee, K.N., Jung, G.J. (2022). Cooling Capacity Evaluation of Thermally Activated Light Shelf (TALS) System. Proceedings of the Spring Conference of Architectural Institute of Korea, 721-722.
7. CEN. (2004). EN 14240: Ventilation for Buildings – Chilled Ceilings – Testing and Rating. Brussels, Belgium: CEN.
8. ISO 7730. (2005). Ergonomics of the thermal environment-Analytical determination and interpretation of thermal comfort using calculation of the PMV and PPD indices and local thermal comfort criteria.