RESEARCH ARTICLE

천장복사냉방 패널의 냉방용량 설계에서 플레넘 부하의 영향

이규남[1] · 임재한[2] · 류성룡[3†]

[1]부경대학교 건축공학과, 부교수
[2]이화여자대학교 건축도시시스템공학전공, 교수
[3]국립금오공과대학교 건축학부 건축공학전공, 부교수

Effects of Plenum Load on Cooling Capacity Design of Ceiling Radiant Cooling Panels

Rhee Kyu-Nam[1] · Lim Jae-Han[2] · Ryu Seong-Ryong[3†]

[1]Associate Professor, Department of Architecture Engineering, Pukyong National University
[2]Professor, Department of Architectural and Urbans Systems Engineering, Ewha Womans University
[3]Associate Professor, Department of Architecture Engineering, Kumoh National Institute of Technology

[†]Corresponding author: archiryu@kumoh.ac.kr

Abstract

This study investigated the impact of the plenum load on the cooling capacity of ceiling radiant cooling panel (CRCP) systems. A two-dimensional simulation model using Physibel BISCO was developed to represent a small room (3.8 m (L) × 2.9 m (H)) equipped with CRCPs. To analyze the plenum load impact depending on the CRCP type (top insulation, and open- or closed-type installation), three cases were considered: closed-type with top insulation (Case 1), closed-type without top insulation (Case 2), and open-type without top insulation (Case 3). The simulation results showed that the presence of the plenum load increased the plenum air temperature and caused the CRCP to absorb part of the plenum load, consequently leading to the enhanced cooling capacity of the CRCPs. When the plenum load increased to 10% − 20% of the room load, the cooling capacity was enhanced by 7.9% ~ 16.8%, compared to the case without a plenum load. This implied that CRCPs could be undersized when they are designed without considering the plenum load. Furthermore, the cooling capacity showed a greater enhancement in the CRCPs without top insulation (Cases 2 and 3) than in those with top insulation (Case 1). Particularly, a higher cooling capacity was obtained with a higher water temperature when applying CRCPs without top insulation. The results suggested that open-type CRCPs without top insulation would be a good cooling solution for a room with a plenum because they are suitable for removing the plenum load even at relatively high water temperatures.

Keywords: 천장복사냉방패널(Ceiling radiant cooling panel), 냉방부하(Cooling load), 냉방용량(Cooling capacity), 플레넘(Plenum)

OPEN ACCESS

Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.44, No.1, pp.29-38, February 2024
https://doi.org/10.7836/kses.2024.44.1.029

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 19 December 2023

Accepted: 21 December 2023

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.

1. 서 론

천장복사냉방패널(Ceiling radiant cooling panel, 이하 CRCP) 시스템은 경량의 금속패널이 모듈형으로 천장에 설치되는 형태로써, 열쾌적과 에너지 절감성능, 시공의 편의성으로 인해 상업건물의 냉방 시스템으로 적합한 복사냉방시스템으로 알려져 있다[1,2]. 특히 CRCP는 천장 표면을 냉각시키는 방식으로 냉방시 열쾌적 측면에서 유리하며, 거주역 공간의 침해 없이 건축 디자인과의 조화도 가능하므로 국내에서도 성공적으로 시공·운영되고 있다[3,4].

CRCP의 효과적인 설계 및 운영을 위해서는 CRCP가 설치되는 건물의 냉방부하에 대응할 수 있도록 CRCP의 냉방용량을 선정하는 것이 중요하며, 이를 위해 ISO 18566[5], ASHRAE 138[6], EN 14240[7] 등의 기술 표준에서 CRCP의 냉방용량 평가 기준을 제시하고 있다. 가장 널리 활용되는 기준은 EN14240으로, 이 기준에서는 일정한 규모의 챔버 내부에 다수의 CRCP를 설치하고, 챔버 바닥에 냉방부하를 모사하는 발열체(Electrical dummies)를 배치한 상태에서 CRCP 내부를 순환하는 냉수의 엔탈피차로 냉방용량을 산출하도록 되어있다.

이러한 냉방용량은 CRCP의 water-side에서의 열흡수량을 기반으로 산출되는 것이므로, 시험 표준의 발열체처럼 CRCP의 아래쪽에 존재하는 부하 뿐 아니라 CRCP 상부에서 작용하는 부하 또한 냉방용량에 영향을 미칠 수 있다. CRCP 설치면의 하부 영역을 거주역, 상부 영역을 플레넘이라고 할 때, 플레넘에 열획득 요소가 있는 경우 패널의 상부표면이 열을 흡수하게 되어 CRCP의 냉방용량이 증가할 수 있다. 특히 단열이 취약한 건물에서는 플레넘 공간이 일사부하 또는 외벽을 투과하는 관류부하의 영향으로 온도가 상승하게 되고, 이러한 열획득 요소는 거주역의 냉방부하를 증가시키는 요인[8]이 되거나, CRCP 상부 표면에 흡수될 수도 있다. 일반적으로 CRCP 상부를 단열함으로써 패널 상부표면에서의 열취득을 최소화할 수도 있으나, 상부를 단열한다고 하여도 열전달이 완벽히 차단되는 것이 아니며, 개방형으로 설치되는 CRCP의 경우에는 단열처리 없이 상부 표면도 heat sink로 활용하는 경우[9,10]도 있다. 그러므로 상부 표면에 흡수되는 플레넘 부하를 무시하고 CRCP를 설계할 경우 패널의 under-sizing 우려가 있고, 거주역의 냉방성능이 저하될 우려가 있음[11,12]을 감안할 때, 냉방용량 산정시 CRCP 상부에 작용하는 냉방부하를 고려할 필요성은 매우 높다고 볼 수 있다.

이에 본 연구에서는 CRCP 냉방용량 산출 시 상부 냉방부하를 고려할 필요성을 검토하기 위해, 플레넘 공간의 냉방부하가 CRCP 냉방용량에 미치는 영향을 전열해석 시뮬레이션으로 분석하였다. 이를 위해 거주역과 플레넘 공간에 소정의 냉방부하를 가정하고, CRCP의 water-side에서 흡수되는 열량을 분석하여 CRCP의 냉방용량을 도출하였다. 본 연구의 수행 방법 및 결과는 CRCP 냉방용량 산출 방법의 개선을 위한 기초 자료를 제공할 수 있을 것으로 기대된다.

2. CRCP 냉방용량 평가 방법

2.1 평가 대상 CRCP

Fig. 1은 평가 대상 CRCP의 단면을 나타낸 것으로, 600 mm × 600 mm 크기의 알루미늄 패널에 내경 7 mm의 동관이 90 mm 간격으로 패널에 부착되어 있다. 배관과 패널 표면 사이의 열전도를 원활하기 위해 구리 재질

의 열전도판이 배관 상부를 덮는 형태로 되어 있으며, 하부 방냉량을 최대화하기 위해 열전도판 상부를 18 mm 두께의 단열재(EPS)가 설치된 구조로 되어 있다. 플레넘 부하의 직접적인 처리를 위해 단열재를 제거할 수도 있으며, 이 경우 CRCP의 상부는 열전도판으로 마감되게 된다.

측정에 의한 냉방용량 평가와 최대한 근접한 결과를 얻기 위해서는 CRCP를 3차원으로 모델링하는 것이 필요하겠으나, 본 연구에서는 플레넘 냉방부하의 영향을 우선적으로 검토하기 위해, CRCP의 중앙 단면에 대한 2차원 해석을 수행하였다. Physibel BISCO 소프트웨어를 활용하여 Fig. 2와 같이 3.8 m (L) × 2.9 m (H) 크기의 실을 모사하고, 바닥 위 2.39 m 높이에 다섯 개의 CRCP가 연이어 설치된 것으로 가정하였다. 그러므로 CRCP 하부에는 약 2.4 m 높이의 거주역이, CRCP 상부에는 0.27 m 높이의 플레넘 공간이 형성되었다. 해석의 편의를 위해 거주역의 냉방부하는 바닥면 전체에서 균일한 열유속이 발생하는 것으로, 플레넘 공간의 냉방부하는 천장 슬래브 하부면에서 균일한 열유속이 발생하는 것으로 가정하였다. 거주역 냉방부하의 크기는 기존 연구[13,14]를 참고하여 60 W/m^{2}로 가정하였고, 플레넘 냉방부하는 기존 연구에서 명확하게 제시된 사례가 없어 거주역 냉방

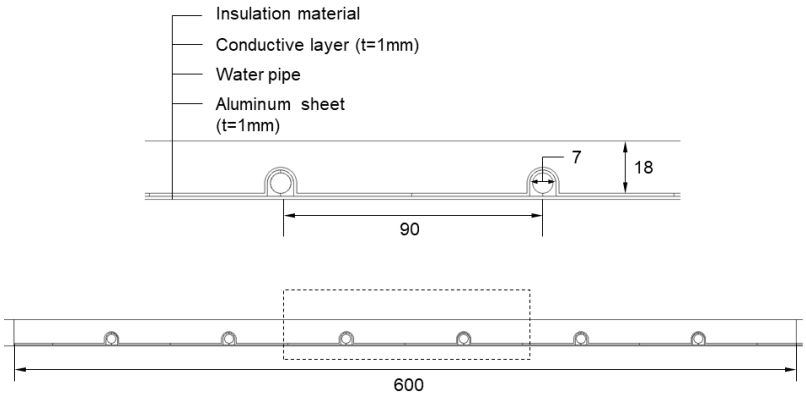
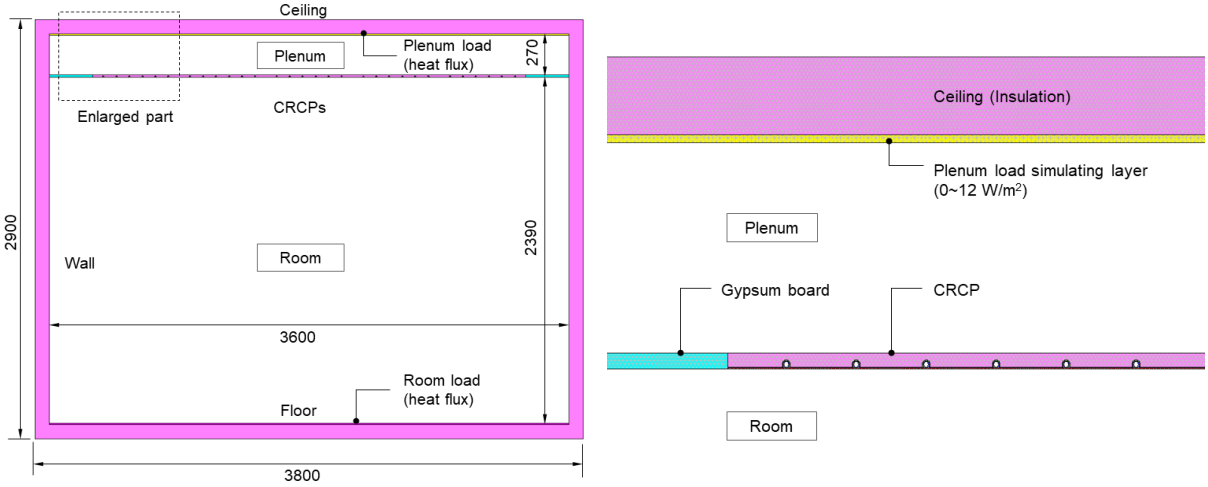


Fig. 1 Cross-section of the investigated CRCP



(a) Room model (b) Enlarged part

Fig. 2 Simulation model of a room equipped with CRCP

부하의 20% (0 ~ 12 W/m^2)까지 발생하는 것으로 가정하였다. Room 및 CRCP 모델의 치수와 물성 등의 시뮬레이션 입력조건을 정리하면 Table 1과 같다.

Table 1 Information of simulation input parameters

Component		Dimension	Thermal conductivity	Boundary conditions	BISCO Boundary type
Room	Wall/Floor/Ceiling	Thickness = 0.1 m	0.033 W/mK	Adjacent to 26°C	MATERIAL
	Room air	3.6 m × 2.39 m	-	hc = 5.5 W/m^{2}K[1)]	BC_ FRE S
	Room load simulating layer	3.6 m × 0.01 m	380 W/mK	Heat flux = 60 W/m^2	MATERIAL
Plenum	Plenum air	3.6 m × 0.27 m	-	hc = 5.5 W/m^{2}K[1)]	BC_ FRE S
	Plenum load simulating layer	3.6 m × 0.01 m	380 W/mK	Heat flux = 0 ~ 12 W/m^2	MATERIAL
CRCP	Aluminum sheet	Thickness = 1 mm	160 W/mK		MATERIAL
	Water pipe	Diameter = 7 mm	1.4 W/mK		MATERIAL
	Conductive layer	Thickness = 1 mm	380 W/mK		MATERIAL
	Insulation	Thickness = 18 mm	0.033 W/mK		MATERIAL
	Chilled water		Tw = 14 ~ 18°C[2)]	h_c = 3220 ~ 3520 W/m^{2}K[3)]	BC_SIMPL

1) Convective heat transfer coefficient
2) Chilled water inlet temperature
3) Convective heat transfer coefficient for internal flow (water flow rate = 0.033 kg/s, temperature = 14 ~ 18°C)

2.2 냉방용량 평가 Case

플레넘 부하가 CRCP 냉방용량에 미치는 영향은 패널 상부의 단열 유무에 따라 변화하므로, 상부 단열 처리가 된 CRCP를 기본 Case인 Case 1로 설정하고, 상부 단열이 제거된 CRCP를 Case 2로 설정하였다. 이 때 각 Case에서 플레넘 부하가 거주역 부하의 0%, 10%, 20%, 즉, 0 W/m^2, 6 W/m^2, 12 W/m^{2}인 경우를 Table 2와 같이 세 개의 Sub-case로 설정하였다. 한편 CRCP 및 천장마감재로 거주역과 플레넘이 단절되는 경우를 Closed type으로, 천장 일부에 개방부가 존재하여 거주역과 플레넘이 연결되는 경우를 Open type이라고 할 때, Open type에서는 CRCP 상부 표면의 냉각효과가 거주역의 냉방에 유효하게 활용될 수 있음[9)]을 감안하여, 상부 단열재가 없고 개방형으로 설치된 CRCP를 Case 3으로 설정하여 냉방용량을 평가하였다. 개방형으로 설치되면서 패널 상부에 단열재가 존재하는 경우는 실용적인 의미가 없다고 판단되어 평가 Case에서 제외하였다.

모든 평가 Case에서 냉수유량은 난류가 충분히 발생할 수 있는 유량인 2 L/min (0.033 kg/s)으로 고정하였으며, 냉수온도는 하절기 결로 방지를 위해 14℃ 이상으로 설정하였다. EN 14240에서는 실온과 냉수평균온도의 편차(이후 $\Delta\theta$로 표기)를 다르게 하여 다양한 설계조건에 따른 냉방용량을 제공하고 있음에 착안하여, 세 가지의 냉수온도(14℃, 16℃, 18℃)에 따른 냉방용량을 분석하였다. 이로써 복사냉방의 중요 변수인 냉수온도에 따른 플레넘 부하의 영향 또한 검토할 수 있을 것으로 판단된다. 이상의 냉방용량 평가 Case를 정리하면 Table 2와 같다.

Table 2 Evaluation cases for cooling capacity of CRCP considering plenum cooling load

Case 1	CRCP type	Cooling load		Water temperature
		Room load	Plenum load	
Case 1-1	Closed type, with top insulation	60 W/m^2	0 W/m^2	14/16/18°C
Case 1-2	Closed type, with top insulation	60 W/m^2	6 W/m^2	14/16/18°C
Case 1-3	Closed type, with top insulation	60 W/m^2	12 W/m^2	14/16/18°C
Case 2-1	Closed type, without top insulation	60 W/m^2	0 W/m^2	14/16/18°C
Case 2-2	Closed type, without top insulation	60 W/m^2	6 W/m^2	14/16/18°C
Case 2-3	Closed type, without top insulation	60 W/m^2	12 W/m^2	14/16/18°C
Case 3-1	Open type, without top insulation	60 W/m^2	0 W/m^2	14/16/18°C
Case 3-2	Open type, without top insulation	60 W/m^2	6 W/m^2	14/16/18°C
Case 3-3	Open type, without top insulation	60 W/m^2	12 W/m^2	14/16/18°C

3. 냉방용량 평가 결과

3.1 Case별 냉방용량 분석

Fig. 3은 상부단열 처리가 된 폐쇄형 CRCP (Case 1)를 대상으로 냉수온도 14℃ 조건에서 해석된 온도 분포 결과를 나타낸 것이다. 플레넘 부하의 증가에 따라 플레넘 온도는 18.7℃에서 24.2℃까지 상승하며, 거주역 온도 또한 작은 폭이지만 26.3℃에서 26.7℃까지 상승하여 플레넘 부하가 거주역 온도 상승에 영향을 미친다는 것을 볼 수 있다. CRCP 단면 온도 분포를 보면, 플레넘 부하가 증가할수록 단면에서의 등온선이 촘촘해지는 것, 즉 온도구배가 증가하는 것을 볼 수 있는데, 이는 CRCP 상부가 단열이 되긴 하였으나 플레넘 부하의 일부를 흡수하여 단면 내부의 온도가 상승하였기 때문으로 판단할 수 있다. 그러므로 플레넘 부하가 존재할 경우 플레넘 공기 온도가 상승하고, CRCP는 플레넘 부하의 일부를 흡수하여 패널의 제거 열량, 즉 냉방용량의 증가로 이어지는 것으로 사료된다.

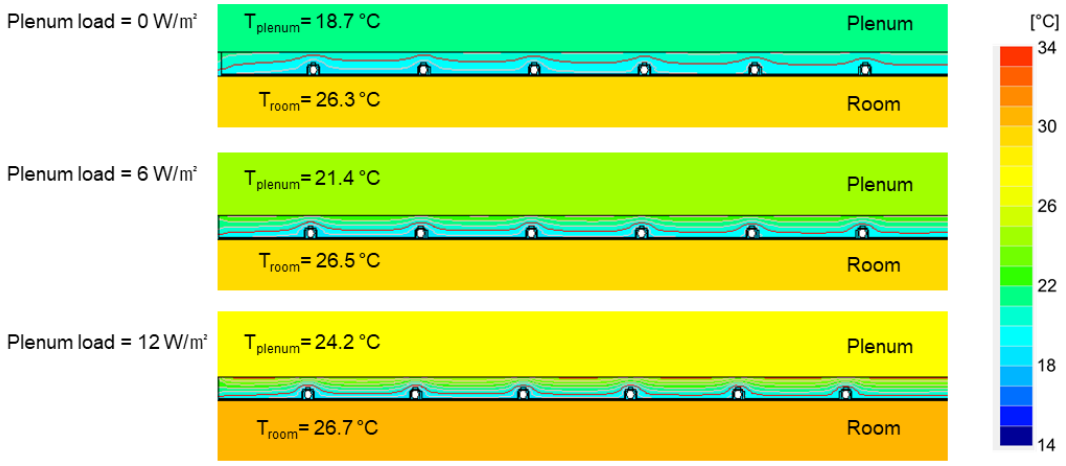


Fig. 3 Temperature distribution of CRCP with plenum load

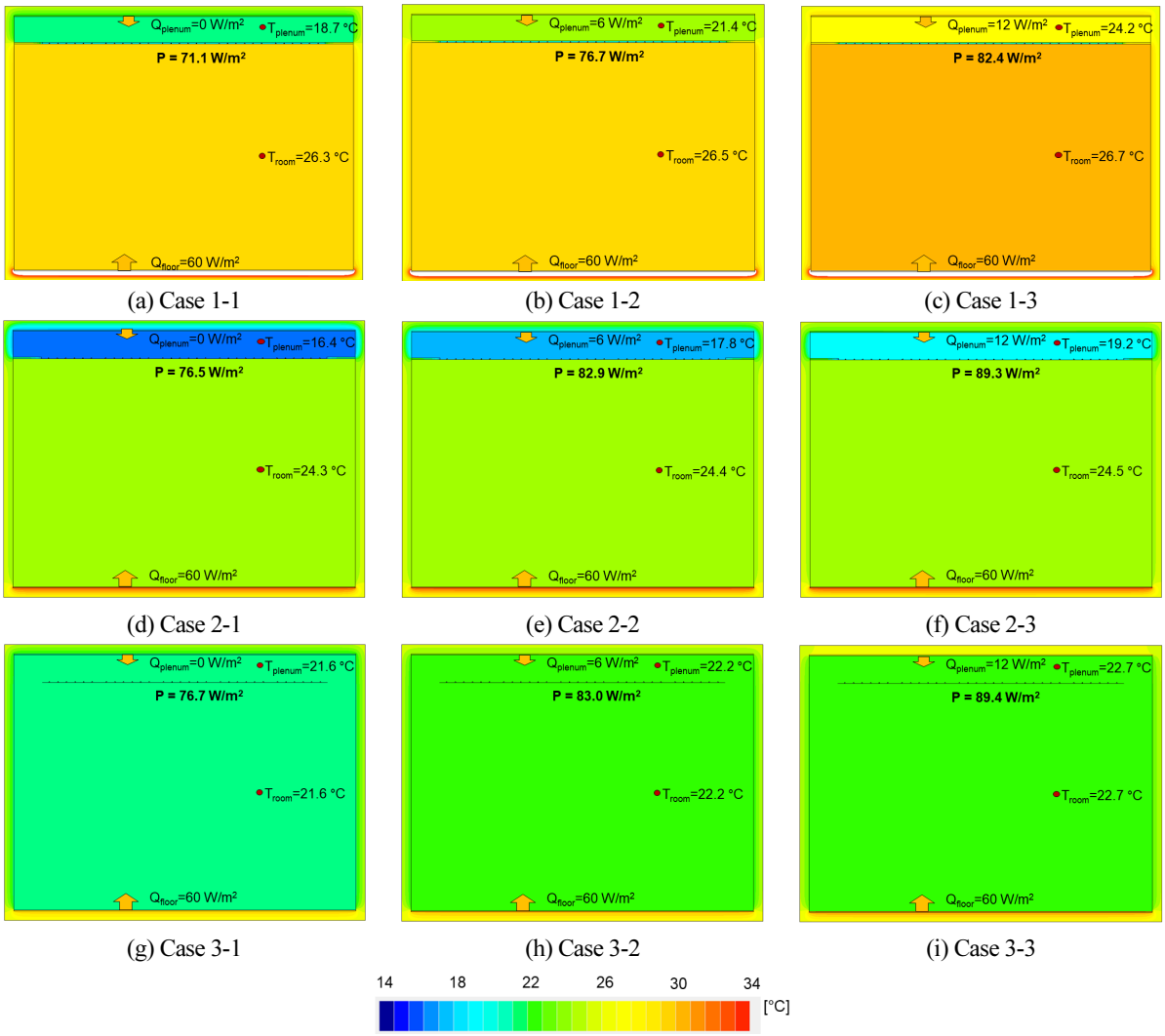


Fig. 4 Evaluation results of cooling capacity

Fig. 4는 각 Case 별 거주역과 플레넘 평균 온도, 냉방용량 해석 결과를 나타낸 것이다. 상부가 단열이 된 폐쇄형 CRCP (Case 1)의 경우, 플레넘 부하의 증가에 따라 냉방용량은 71.1 W/m^{2}에서 82.4 W/m^{2}까지 15.8% 증가하는 것으로 나타났다. 패널 상부 단열로 인해 플레넘 부하가 충분히 제거되지 않아, 플레넘 온도가 최대 5.5℃까지 증가하며 이는 거주역의 온도 상승에도 일부 영향을 미친 것으로 판단된다. 상부 단열을 제거한 Case 2의 경우, CRCP 상부 표면과 플레넘 간의 열전달이 촉진되므로 Case 1에 비해 냉방용량이 전반적으로 증가하며, 플레넘 온도와 거주역 온도 또한 Case 1에 비해 낮게 형성되는 것으로 분석되었다. 즉 플레넘 부하가 존재하는 상황에서는 상부 단열이 없는 CRCP가 부하 제거 및 거주역 냉방에 더 유리할 것으로 판단된다. Case 2에서 플레넘 부하의 증가에 따라 냉방용량은 76.5 W/m^{2}에서 89.3 W/m^{2}까지 16.8% 증가하였다.

상부가 단열되지 않은 CRCP 적용 시, 플레넘이 충분히 냉각되어 이를 거주역 냉방에도 활용할 수 있으므로 개방형 CRCP의 적용을 고려할 수 있다. 이러한 관점에서 Case 3에 대한 시뮬레이션을 수행한 결과, Fig.

4(g)-(i)에서 보는 바와 같이 Case 2와 냉방용량은 거의 유사한 수준이나, 플레넘의 냉각 공기가 거주역 냉방에 활용되어 거주역 온도가 Case 2에 비해 1.8 ~ 2.7℃ 낮아지는 것을 볼 수 있다. 그러므로 상부 단열이 없는 개방형 CRCP는 플레넘 부하의 제거 및 거주역 냉방에 유효하게 활용될 수 있을 것으로 판단된다.

Fig. 5와 Table 3은 각 Case 별 거주역 및 플레넘 온도, 냉방용량 해석 결과를 종합한 것으로, 플레넘 부하가 존재하지 않는 경우와 비교하여 플레넘 부하가 거주역 부하의 10 ~ 20%로 늘어날수록 패널의 용량은 7.9% ~ 16.8%까지 증가하는 것을 볼 수 있다. 이는 플레넘 부하의 고려 없이 CRCP의 냉방용량을 산정할 경우 패널이 under-sizing 될 수 있음을 시사한다. 또한 패널 상부 단열이 없을 경우, 플레넘 부하로 인한 냉방용량의 증가율이 더 큰 것으로 보아 플레넘 부하의 효율적인 제거를 위해서는 상부 단열이 되지 않은 패널을 고려할 필요가 있다고 판단된다.

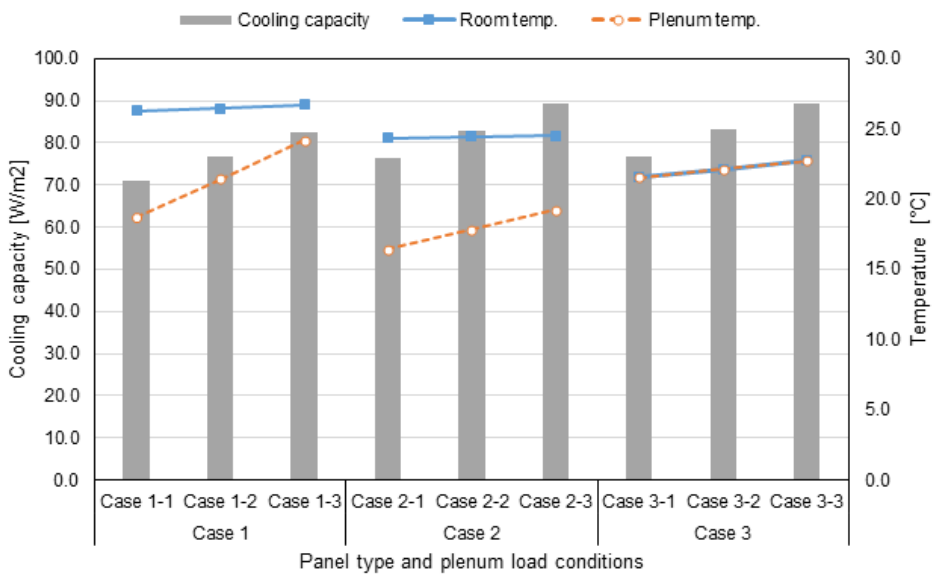


Fig. 5 Cooling capacity, room and plenum temperatures

Table 3 Summary of simulation results

Case		Room temperature	Plenum temperature	Cooling capacity	Capacity increase ratio
Case 1	Case 1-1	26.3°C	18.7°C	71.1 W/m^2	Baseline
	Case 1-2	26.5°C	21.4°C	76.7 W/m^2	+7.9%
	Case 1-3	26.7°C	24.2°C	82.4 W/m^2	+15.8%
Case 2	Case 2-1	24.3°C	16.4°C	76.5 W/m^2	Baseline
	Case 2-2	24.4°C	17.8°C	82.9 W/m^2	+8.4%
	Case 2-3	24.5°C	19.2°C	89.3 W/m^2	+16.8%
Case 3	Case 3-1	21.6°C	21.6°C	76.7 W/m^2	Baseline
	Case 3-2	22.2°C	22.2°C	83.0 W/m^2	+8.3%
	Case 3-3	22.7°C	22.7°C	89.4 W/m^2	+16.5%

3.2 냉수온도의 영향

복사냉방 시스템의 설계변수 중 냉수온도는 냉방용량의 결정 뿐 아니라 패널 표면 결로 방지를 위해서도 매우 중요한 변수이다. 3.1에서는 냉수온도를 14℃인 경우 냉방용량을 분석하였는데, 저부하 상태 또는 결로 위험에 대비하기 위해 냉수온도를 높여서 운전하는 경우가 많음을 감안하여 냉수온도를 16℃, 18℃까지 증가시킬 경우의 냉방용량을 추가적으로 분석하였다. Fig. 6은 냉수온도의 변화, 즉 $\Delta\theta$의 변화에 따른 냉방용량의 변화를 CRCP의 유형별로 분석한 결과를 나타낸 것이다.

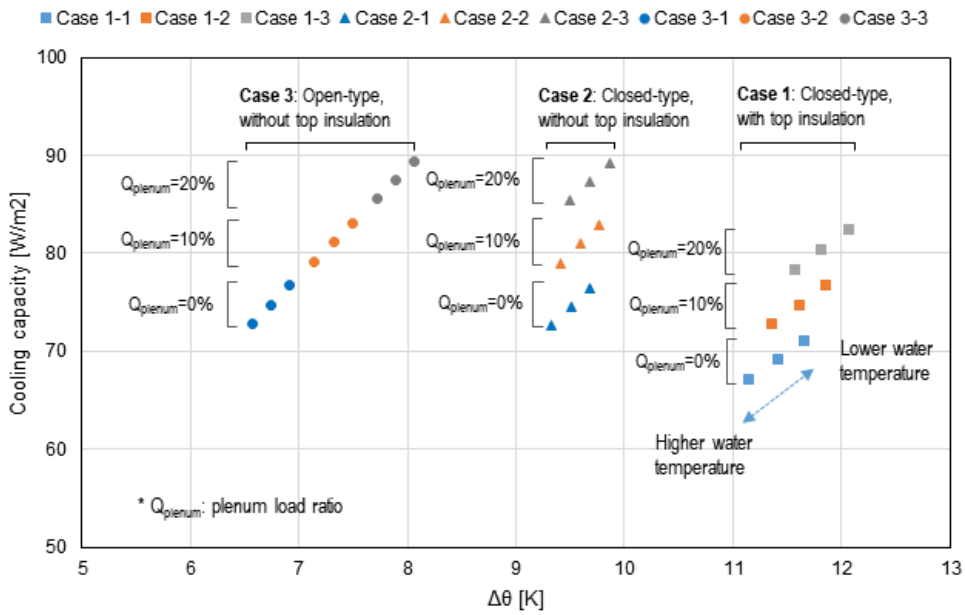


Fig. 6 Cooling capacity of CRCPs with Δθ (difference between room and mean water temperature)

전체적인 경향을 보면 모든 CRCP 유형에서 냉수온도의 감소에 따라 냉방용량이 증가하는 경향과, 플레넘 부하 비율의 증가에 따라 냉방용량의 증가 경향을 확인할 수 있다. 또한 Case 1 → Case 2 → Case 3으로 갈수록 작은 $\Delta\theta$로도 동등 이상의 냉방용량을 확보하는 것으로 나타나, 플레넘 부하에 효율적으로 대응하기 위해서는 상부단열이 없는 CRCP를 개방형으로 설치하는 것이 유리하다고 판단된다.

또한 플레넘 부하가 없을 때의 냉방용량은 플레넘 부하의 비율이 10% ~ 20%인 경우의 냉방용량보다 낮게 나타나며, 이러한 경향은 CRCP의 유형과 상관없이 모든 냉수온도 범위에서 공통적으로 나타났다. 달리 말하면 플레넘 부하를 무시하고 CRCP를 설계할 경우, 거주역의 냉방부하를 충분히 제거하지 못하여 실내 냉방이 원활하게 되지 않는 문제가 발생할 수 있다.

이상에서 살펴본 바와 같이, 플레넘 부하의 유무에 따라 CRCP의 냉방용량이 변화할 수 있고, 그 변화의 정도는 패널의 유형, 즉 상부 단열의 유무 및 개방형·폐쇄형 설치 여부에 따라 달라질 수 있다. 그러므로 기존의 CRCP 냉방용량 평가 기준은 패널 상하부에 가해지는 냉방부하 및 패널의 설치 형태를 감안하여 확장·보완될

필요가 있으며, 이를 위한 다양한 CRCP 성능평가 데이터가 축적될 필요가 있다고 판단된다.

본 연구에서 분석된 냉방용량은 시뮬레이션 결과에 의한 것으로, 기존 연구[15] 또는 제품 데이터[16]에서 제시된 냉방 용량과 유사한 수준이나 실험적 방법으로 실증되지 않은 상황이므로 추후 Mock-up 또는 Full-scale 실험을 통해 플레넘 부하의 영향을 고려한 냉방용량 실증 연구가 필요하다. 아울러 건물의 종류 또는 외피 유형, 공조 시스템 방식에 따라 어느 정도의 플레넘 부하가 발생하는지에 대한 추가 연구도 수행될 필요가 있다. 또한 개방형 CRCP는 개방부를 통한 공기 유동이 고려되어야 하나, 본 연구에서 적용한 시뮬레이션 방법은 공기 유동과 그로 인한 냉각 효과가 상세하게 해석될 수 없으므로 냉방용량 해석 결과에 오차가 존재함을 감안해야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 천장복사냉방패널(CRCP)의 상부에 작용하는 플레넘 부하가 CRCP의 냉방용량에 미치는 영향을 전열해석 시뮬레이션으로 분석하여 CRCP 설계 시 플레넘 부하를 고려해야 하는 필요성에 대해 검토하였다. 본 연구를 통해 도출된 주요 결론은 다음과 같다.

(1) 플레넘 부하가 존재할 경우 플레넘 공기 온도가 상승하고, CRCP는 플레넘 부하의 일부를 흡수하여 패널의 제거 열량, 즉 냉방용량의 증가로 이어지는 것으로 분석되었다.

(2) 플레넘 부하가 거주역 부하의 10 ~ 20%인 경우, 플레넘 부하가 없는 경우와 비교하여 패널의 용량은 7.9% ~ 16.8%까지 증가하는 것으로 나타나, 플레넘 부하의 고려 없이 CRCP 냉방용량을 산정할 경우 under-sizing 문제가 유발될 수 있음을 확인하였다.

(3) CRCP의 상부단열 및 설치유형에 따른 냉방용량을 분석한 결과, 상부 단열이 없는 경우 플레넘 부하로 인한 냉방용량의 증가율이 더 큰 것으로 나타났으며, 더 적은 냉수온도차로도 동등 이상의 냉방용량을 확보할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한 CRCP를 개방형으로 설치할 경우 플레넘 부하를 효과적으로 제거하여 냉각된 플레넘 공기를 거주역 냉방에 활용할 수 있는 것으로 분석되었다.

후 기

이 논문은 금오공과대학교 교수연구년제에 의하여 연구된 실적물임.

REFERENCES

1. Babiak, J., Olesen, B. W., and Petras, D., Low Temperature Heating and High Temperature Cooling: REHVA GUIDEBOOK No 7, REHVA, 2007.
2. Rhee, K. N. and Kim, K. W., A 50 Year Review of Basic and Applied Research in Radiant Heating and Cooling Systems for the Built Environment, Building and Environment, Vol. 91, pp. 166-190, 2015.

3. Lee, J. and Lee, A., Case Study of HD Global R&D Center: Energy Efficiency Improvement Measures for a Large-Scale Office/Research Facility (in Korean), Green Buildings, Vol. 24, No. 3, pp. 21-31, 2023.
4. Chung, J., Case Study of Mechanical Systems of New LH Headquarters (in Korean), Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems, Vol. 10, No. 1, pp. 30-35, 2016.
5. Lim, J. and Kim, K., ISO 18566, the International Standard on the Design, Test Methods and Control of Hydronic Radiant Heating and Cooling Panel Systems, REHVA Journal, Vol. 5, pp. 64-72, 2016.
6. ANSI/ASHRAE, Standard 138-Method of Testing for Rating Ceiling Panels for Sensible Heating and Cooling, ANSI/ASHRAE, Atlanta, US, 2013.
7. CEN, EN 14240: Ventilation for Buildings − Chilled Ceilings − Testing and Rating, CEN: Brussels, Belgium, 2004.
8. ASHARE, ASHRAE Handbook − Fundamental. 18.42, ASHRAE, Atlanta, US, 2021.
9. Shin, M. S., Rhee, K. N., Park, S. H., Yeo, M. S., and Kim, K. W., Enhancement of Cooling Capacity through Open-Type Installation of Cooling Radiant Ceiling Panel Systems, Building and Environment, Vol. 148, pp. 417-432, 2019.
10. Choi, J. S., Jung, G. J. and Rhee, K. N., Cooling Performance Evaluation of a Fan-Assisted Ceiling Radiant Cooling Panel System, Energy and Buildings, Vol. 281, 112760, 2023.
11. Shinoda, J., Kazanci, O., Tanabe, S. I., and Olesen, B., Improved Cooling Performance Testing of Radiant Ceiling Panels, The REHVA European HVAC Journal, Vol. 59, No. 3, pp. 30-34, 2022.
12. Shinoda, J., Kazanci, O. B., Hidari, K., Watanabe, H., Takahashi, Y., and Tanabe, S. I., Improvements to the Cooling Capacity Measurements of Suspended Radiant Ceiling Panels to Prevent Under-Sizing, Journal of Building Engineering, Vol. 51, 104242, 2022.
13. Cho, J., Kim, J., Lee, S., and Koo, J., A Bi-directional Systematic Design Approach to Energy Optimization for Energy-Efficient Buildings, Energy and Buildings, Vol. 120, pp. 135-144, 2016.
14. 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.
15. Park, S., Kim, D., Yeo, M., and Kim, K., A Study on the Evaluation of the Cooling Capacity of Radiant Ceiling Panel According to the Panel Type, Journal of Architectural Institute of Korea, Vol. 30, No. 12, pp. 299-306, 2014.
16. Giacomini S.p.A, 2023. https://switzerland.giacomini.com/sites/giacomini.ch/files/R004EN_Catalogo_soffitti.pdf. last accessed on th 17th December 2023.