

상업지역내 건물 사이 공간에 설치된 실외기 주변 열 환경 분석

신학중* · 광인규** · 문선혜*** · 허정호****†

*서울시립대학교 건축공학과, 석사과정

**CJ대한통운 건설부문, 사원

***서울시립대학교 건축공학과, 연구교수

****서울시립대학교 건축공학과, 교수

Thermal Environment Around the Outdoor Unit Installed in the Space between Buildings in the Commercial Area

Shin Hak-Jong* · Kwak In-Kyu** · Mun Sun-Hye*** · Huh Jung-Ho****†

*Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Graduate Student

**CJ Logistics, Employee

***Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Research Professor

****Department of Architectural Engineering, University of Seoul, Professor

†Corresponding author: huhj0715@uos.ac.kr

Abstract

In commercial areas, outdoor units are typically installed close to one another in the narrow space between buildings due to insufficient regulations. This makes it difficult to ventilate the discharge airflow, which may lead to deterioration of the performance of outdoor units. This study conducted CFD simulation to analyze the thermal environment according to the installation distance of the outdoor unit. The outdoor unit was installed in the space between buildings, and the thermal environment was analyzed by changing installation distance and wind speed. The performance of the outdoor unit was evaluated by measuring the on-coil temperature. The results show that the closer the distance between outdoor units, the higher the condenser on-coil temperature. Also, the on-coil temperature appeared to rise dramatically at lower wind speed.

Keywords: 실외기(Outdoor unit), 상업지역(Commercial area), 실외기 설치 간격(Install distance of outdoor unit), 응축기 흡입 면 온도(On-coil temperature), CFD (Computational Fluid Dynamics)

기호설명

F_i : 외력 [N/m^3]

T : 온도 [$^{\circ}C$]

u, v, w : x, y, z 방향 속도성분 [m/s]



Journal of the Korean Solar Energy Society
Vol.39, No.3, pp.19-27, June 2019
<https://doi.org/10.7836/kSES.2019.39.3.019>

pISSN : 1598-6411

eISSN : 2508-3562

Received: 31 December 2018

Revised: 11 March 2019

Accepted: 20 May 2019

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.

- w_m : 풍속 (고도 10m)
- g : 중력 가속도 [m/s^2]
- Q : 열량 [W]
- P : 압력 [Pa]

그리스 문자

- ρ : 밀도
- μ : 점성계수 [$kg/m \cdot s$]
- μ_i : 난류점성계수
- Pr : 프란틀(Prandtl) 수
- Pr_τ : 난류 프란틀(Prandtl) 수

1. 서론

분리형 에어컨(Split-type air conditioning system)은 설치 및 철거가 간편하고 개별제어가 쉽다는 장점으로 아파트나 중소규모 상업용 건물에 많이 적용되고 있다. 분리형 에어컨의 성능을 확보하기 위해서는 실외기 주변 온도가 너무 높아지지 않도록 해야 한다. 실외기 주변 온도가 상승하게 되면 응축기 흡입 면 온도(On-coil temperature) 또한 상승하게 되어 COP(Coefficient of performance)가 저하될 수 있기 때문이다. 이를 방지하기 위해서는 건물 특성에 맞게끔 적절한 실외기 설치 공간을 확보하는 것이 중요하다.

실외기 설치 위치 및 실외기 주변 온도가 성능에 미치는 영향에 관하여 많은 연구들이 진행되었다. Chow 외 2인은 CFD를 이용하여 저층 주거용 건물에서의 실외기 배치 방식에 따른 성능평가를 진행하였고, 실외기의 토출기류가 다시 재유입되지 않게끔 설치해야 충분한 성능을 확보할 수 있다고 나타냈다^{1,2)}. Avara and Daneshgar은 실외기를 마주 보는 외벽 사이와 지붕에 설치했을 시 설치 위치에 따른 응축기 흡입 면 온도를 측정하여 응축기 흡입 면 온도를 최소로 하는 최적 위치를 제시하였다³⁾. Duan 외 3인은 실외기실의 설치된 루버(Louver) 각도와 실외기 설치 간격 및 배치 방식이 토출 기류 환기에 미치는 영향에 대하여 분석하였다. 그 결과 이웃 실외기 간 거리는 멀수록 실외기 성능이 높아지고, 수평 배열보다는 수직 배열 시 실외기 성능이 높아지는 것으로 나타났다⁴⁾. Xue 외 3인은 16층 주거용 건물 내 요각에서의 실외기 설치 시 공간 크기에 따른 실외기 응축기 흡입 면 온도를 측정하였다. 그 결과 실외기 설치 공간이 커질수록 실외기 성능이 높아지는 것으로 나타났다⁵⁾. 최근에 이루어진 연구로 Nada 외 1인은 건물 내 샤프트에 실외기를 설치하여 샤프트 바닥 면 개폐 여부 및 기계 환기 적용 유무에 따른 응축기 흡입 면 온도 변화를 측정하여 실외기 성능을 평가했다. 그 결과 샤프트 바닥이 닫힌 경우 열린 경우보다 실외기 성능이 낮게 나타났고, 기계 환기를 적용했을 시 자연 환기 적용에 비해 실외기 성능이 높게 나타났다^{6,7)}.

국내에서 진행된 연구의 경우 Choi 외 2인은 고층 아파트 실외기실의 응축기 적층 효과와 실외기의 배치 방식 및 바람의 영향에 따른 COP 변화 분석을 진행하였다^{8,9)}. 그 결과 30층 이상에 설치된 실외기에서 적층효과가 크게 나타났고 배치 방식 및 바람이 실외기 성능에 영향을 끼치는 것으로 나타났다. Hur 외 4인은 옥상의 밀집된 공간에 시스템 에어컨 실외기 집단 설치 시 에어 가이드 적용 유무에 따른 외부 열 환경을 분석하였다¹⁰⁾. 그 결과 에어 가이드를 적용했을 시 실외기 주변 온도가 감소하는 것으로 나타났다. 이처럼 기존 연구들을 통해 실외기 설치 공간 및 배치 방식을 실외기 토출 기류의 환기가 잘 이루어지게끔 해야 충분한 성능을 확보 할 수 있음을 알 수 있다.

하지만 국내 상업지역의 경우 실외기 토출 기류가 보행자에게 직접 영향을 주지 않도록 설치해야 하는 것 외에는 설치 규정이 미비하고, 건물 최소 이격 거리가 1 m로 굉장히 짧아 건물 간 좁은 공간에 실외기가 밀집되는 경향이 있다. 건물 사이 외부 공간은 기존 연구들에서 주로 다루어진 건물 내 샤프트 공간 또는 사방이 막힌 공간보다는 토출 기류 환기에 유리할 수 있으나, 이격 거리가 짧은 협소한 공간에서는 환기가 어려울 수 있다. 서울시는 2019년 1월 1일부터 신축 건축물은 실외기를 실내에 설치하거나 옥상에 설치하게끔 규정을 바꾸었지만, 여전히 기존의 협소한 공간에 설치된 실외기에 대한 성능 검토는 필요하다.

따라서 본 연구는 기존 실외기 성능에 관한 연구들을 참고하여 현재 상업지역 내 협소한 공간에서의 실외기 집단 설치 시 성능 저하가 발생할 수 있을 것이라 판단하였다. 이에 따라 상업지역 내 실외기 설치 시 이에 대한 가이드 라인이 필요할 것으로 보여 CFD를 통해 건물 사이 공간에서의 실외기 집단 설치 시 건물 간격에 따른 열 환경 변화를 분석하였다.

2. 연구 방법

2.1 수치 해석 방법

본 연구에서는 건물 간 좁은 공간에서의 실외기 설치에 따른 열 환경 분석을 위해 상용 프로그램 ANSYS-FLUENT 19.1을 사용하였다. 비압축성, 정상상태 유동을 가정하였고, 난류 모델로는 Standard k-ε을 사용하였다. 압력과 속도의 커플링 관계는 SIMPLE 알고리즘을 사용하여 설정하였고, 공간의 이산화율을 통한 신속하고 정확한 계산을 위해 Second order upwind-discretization을 적용하였다. 격자 의존성 연구를 진행하여 약 1300만개의 격자를 시뮬레이션에 적용하였다. 시뮬레이션에 적용된 질량, 운동량, 에너지 보존 방정식은 아래와 같다.

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) = 0 \tag{1}$$

$$\rho \left(\frac{\partial u}{\partial t} + \frac{\partial (u^2)}{\partial x} + \frac{(\partial v u)}{\partial y} + \frac{\partial (w u)}{\partial z} \right) = - \frac{\partial P}{\partial x} + \rho g_u + F_u + \frac{\partial}{\partial x} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial u}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial u}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial u}{\partial z}] \tag{2}$$

$$\rho \left(\frac{\partial v}{\partial t} + \frac{\partial(uv)}{\partial x} + \frac{\partial(v^2)}{\partial y} + \frac{\partial(wv)}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial y} + \rho g_v + F_v + \frac{\partial}{\partial x} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial v}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial v}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial v}{\partial z}] \quad (3)$$

$$\rho \left(\frac{\partial w}{\partial t} + \frac{\partial(uw)}{\partial x} + \frac{\partial(vw)}{\partial y} + \frac{\partial(w^2)}{\partial z} \right) = -\frac{\partial P}{\partial z} + \rho g_w + F_w + \frac{\partial}{\partial x} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial w}{\partial x}] + \frac{\partial}{\partial y} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial w}{\partial y}] + \frac{\partial}{\partial z} [(\mu + \mu_\tau) \frac{\partial w}{\partial z}] \quad (4)$$

$$\frac{\partial T}{\partial t} + \frac{\partial(uT)}{\partial x} + \frac{\partial(vT)}{\partial y} + \frac{\partial(wT)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left[\left(\frac{\mu}{\rho Pr} + \frac{\mu_\tau}{\rho Pr_\tau} \right) \frac{\partial T}{\partial x} \right] + \frac{\partial}{\partial y} \left[\left(\frac{\mu}{\rho Pr} + \frac{\mu_\tau}{\rho Pr_\tau} \right) \frac{\partial T}{\partial y} \right] + \frac{\partial}{\partial z} \left[\left(\frac{\mu}{\rho Pr} + \frac{\mu_\tau}{\rho Pr_\tau} \right) \frac{\partial T}{\partial z} \right] + Q \quad (5)$$

2.2 시뮬레이션 모델

Fig. 1은 본 연구에서 해석한 공간을 나타내고 있다. 상업지역 내 건물 간 공간을 나타내기 위하여 높이 20 m 인 건물 2개를 나란히 모델링 하였고, 서로 마주보고 있는 벽면에는 각각 10개의 실외기를 설치하였다. 실외기 간 x방향 간격은 3 m, y방향 간격은 2 m로 배치하였다. 건물 외벽은 전부 단열 처리 하여 해석 공간 열 환경에 영향을 끼치지 않게 하였다. 외풍의 영향을 고려하기 위하여 건물 x방향으로 17 m, y방향으로 50 m, z방향으로 250 m 만큼 해석영역을 확대하였다¹¹⁾.

해석 조건으로는 일사는 고려하지 않고 여름철 7,8월 오후 실외 온도 31°C, 외부 압력은 대기압 조건으로 설정하였다. 총 20대의 실외기 모두 동시에 작동이 되게끔 가정하였고 각 실외기 방열량은 9.12 kW로 설정하였다. 방열량의 전부가 실외기 팬에 의해 실외로 방열된다고 가정하였고 실외기 팬의 송풍량은 44 m³/min으로 설

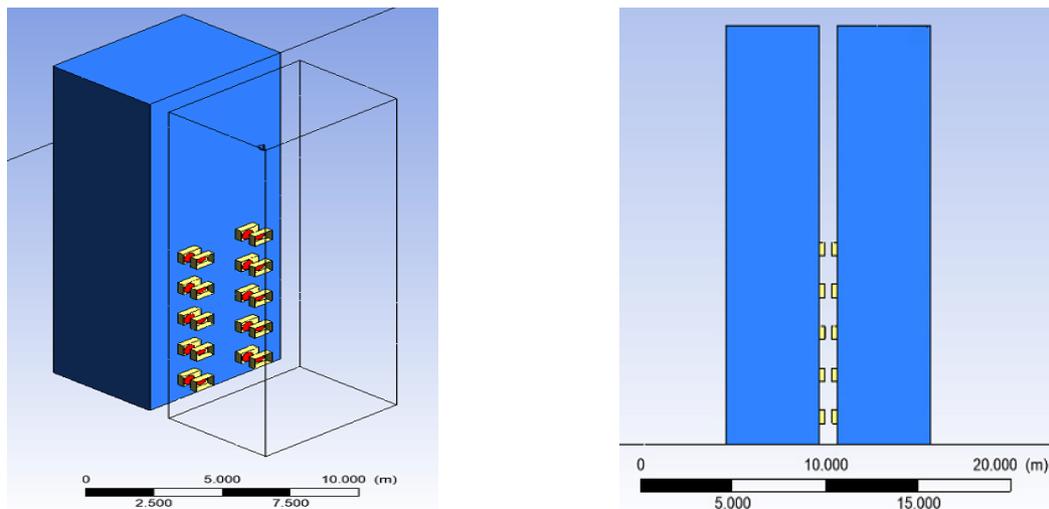


Fig. 1 Physical model

정하였다. 실외기 작동 범위(Operation range)는 $-5 \sim 48^{\circ}\text{C}$ 로 설정하였다. 방열량, 송풍량, 작동 범위는 L사의 분리형 에어컨 실외기 성능을 토대로 설정하였다.

2.3 케이스 분석

본 연구에서는 건물 간격과 풍속을 변인으로 두어 Table 1처럼 총 9가지 Case로 나누어 CFD 분석을 하였다. 건물 간격은 상업지역내 최소 이격 거리인 1 m부터 1.5 m, 2 m로 설정하였다.

풍속의 경우 기상청 자료를 통해 2018년 7, 8월 동안의 오후 12~6시 사이의 풍속을 분석하여 가장 낮은 수치를 기록한 0.3 m/s, 기간 전체 평균인 2.1 m/s 그리고 이 둘을 평균치 한 1.2 m/s로 총 3개의 풍속을 Low wind, Mean wind, High wind로 나누어 케이스를 구분하였고, 데이터 분석 기간의 30%가 1.2 m/s 이하의 풍속을 나타냈다. 외풍에 의한 실외기 설치 공간의 환기 효과를 보기 위해 건물 정면에서 바람이 불어온다고 가정하였고, 풍향은 +z 방향으로 설정하였다. 외기 풍속은 고도에 따라 다르므로 속도분포는 다음 식과 같이 가정하였다.

Table 1 Case classification according to building distance and wind speed

Wind (m/s)	Distance (m)		
	1	1.5	2
Low wind (0.3)	L1	L1.5	L2
Mean wind (1.2)	M1	M1.5	M2
High wind (2.1)	H1	H1.5	H2

$$w = 0.35w_m y^{0.25} \tag{6}$$

3. 결과 분석

3.1 응축기 흡입 면 온도

Fig. 2는 Case 별로 총 20개의 실외기의 응축기 흡입 면 온도를 평균한 값을 나타내고 있다. 가장 높은 온도를 나타낸 Case는 L1으로 63°C 를 나타냈고, 가장 낮은 온도를 나타낸 Case는 H2로 38°C 를 나타냈다. 풍속이 같은 경우에는 건물 간격이 커질수록 응축기 흡입 면 온도가 감소하는 것으로 나타났고, 건물 간격이 같은 경우에는 풍속이 높아질수록 응축기 흡입 면 온도가 감소했다. 이는 건물 간격이 가까울수록 토출 기류의 환기가 어렵고, 풍속이 높아질수록 환기가 활발히 일어났기 때문으로 분석된다.

건물 간격이 가장 큰 M2, H2의 경우는 응축기 흡입 면 온도가 40°C 이하로 비교적 낮게 나타났지만, L2의 경우 52.8°C 를 나타냈다. 이는 작동범위 48°C 를 초과하는 수치로 건물 간격이 2 m인 공간에서도 풍속에 따라 실외기 운전이 적합하지 않은 열 환경이 발생할 수 있음을 알 수 있다.

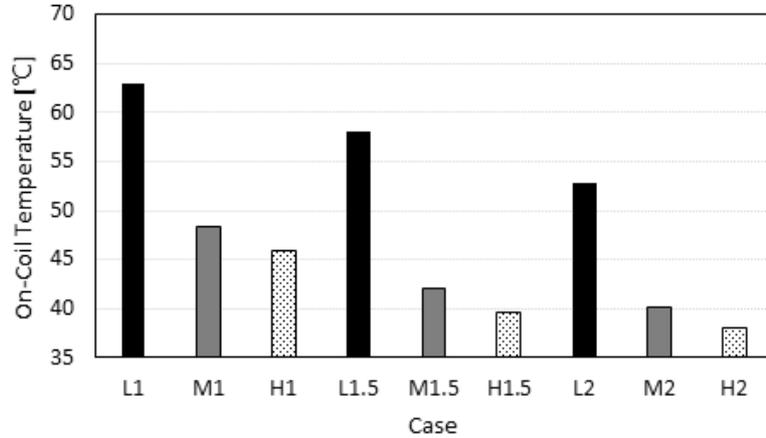


Fig. 2 Comparison of on-coil temperature

3.2 실외기 작동 범위

실외기 주변 온도가 높아지게 되면 과열로 인한 고장 및 화재가 발생 할 수 있기 때문에 제조사에서는 실외 온도에 따른 실외기 작동 범위를 제공하고 있다. 이에 따라 본 연구는 실외기 주변 온도를 측정하여 실외기의 작동 범위 초과 여부를 분석하였다.

Fig. 3은 케이스별 실외기 주변 온도가 작동 범위 내에 있는 실외기 비율을 나타내고 있다. 평균 응축기 흡입 면 온도가 가장 높게 나타났던 L1의 경우 모든 실외기 주변 온도가 최대 작동 범위 온도 48°C를 초과하여 작동 범위 내 실외기 비율이 0%로 나타났다. 평균 응축기 흡입 면 온도가 가장 낮았던 H2를 비롯하여, 평균 응축기 흡입 면 온도가 48°C 이하였던 H1.5, M2, M1.5는 100% 비율을 나타냈다. 이는 응축기 흡입 면 온도가 주변 온도에 크게 영향을 받아 비슷한 거동을 보이기 때문으로 분석된다. 풍속이 가장 낮은 L1, L1.5, L2의 경우에는 각각 0%, 15%, 35%로 절반도 못 미치는 비율을 나타냈고, M1과 H1는 각각 35%, 45%로 절반에 못 미치는 수치를 나타냈다.

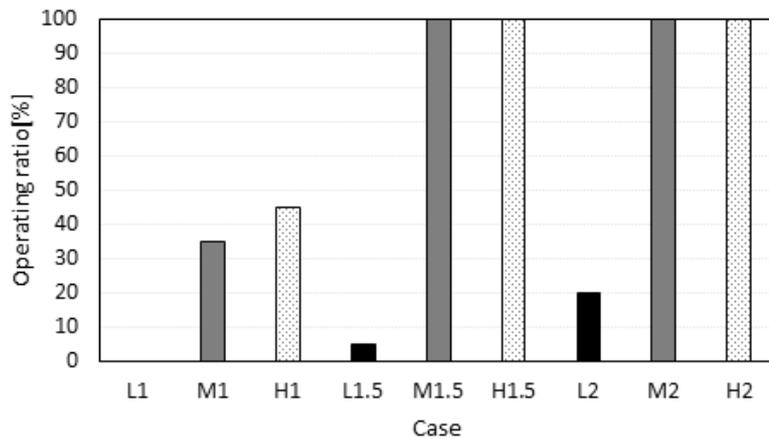


Fig. 3 Comparison of ratio within operation range

3.3 굴뚝 효과

실외기가 집단 설치된 협소한 공간에서 환기가 잘 이루어지지 않으면 열 정체 현상(Thermal stagnation)이 지속되고 대류 현상으로 인해 굴뚝 효과(Stack effect)가 발생할 수 있다. 이에 따라 본 연구에서는 케이스별로 높이 별 실외기 응축기 흡입 면 온도를 측정하여 굴뚝 효과가 발생하는지를 분석하였다. 그 결과 풍속이 가장 느린 L1, L1.5, L2에서 굴뚝 효과가 두드러지게 나타났고 나머지 케이스에서는 높이 별 온도 차이가 크게 나타나지 않았다.

Fig. 4는 왼쪽부터 L1, L1.5, L2의 열 환경 분포를 나타낸 그림이다. 저층부에 설치된 실외기보다 고층부에 설치된 실외기의 주변 온도가 높게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 풍속이 낮은 경우 고온의 실외기 토출기류가 제대로 환기되지 않아 열 정체 현상을 불러일으킬 수 있기 때문으로 분석된다. 정체 된 열이 대류 현상으로 인해 고층부로 이동하게 되면서 굴뚝효과가 발생한다.

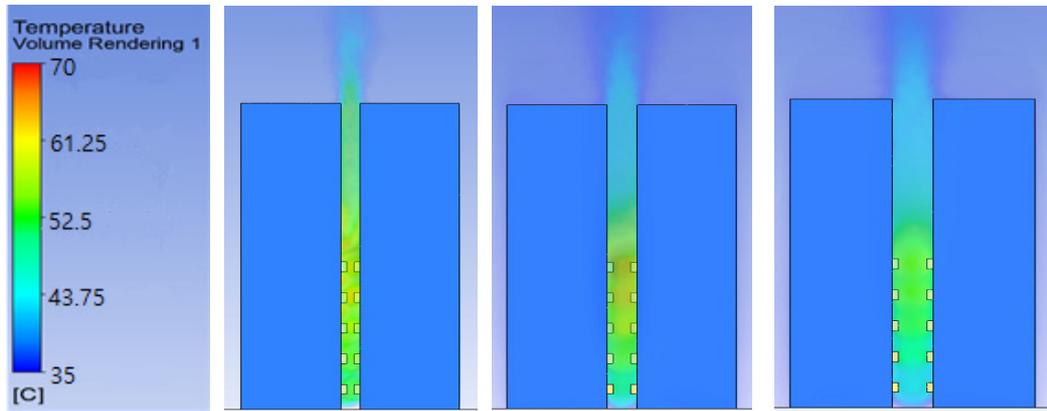


Fig. 4 Comparison of thermal environment of the different cases

Fig. 5는 L1, L1.5, L2의 층수별 응축기 흡입 면 온도를 나타내고 있다. 3개의 Case 모두 설치위치가 높아짐에 따라 응축기 흡입 면 온도가 증가하는 것을 알 수 있다. 최저층과 최고층의 온도 차이가 가장 큰 Case는 L1으로

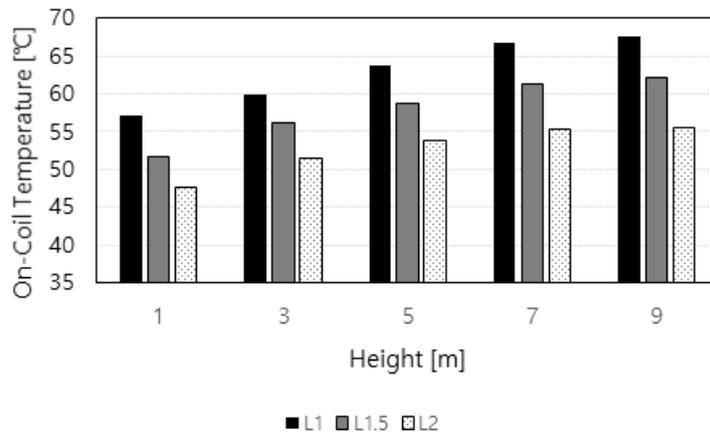


Fig. 5 Comparison of on coil temperatures of different heights

10.6°C 차이를 나타냈고, 가장 낮은 차이를 나타낸 Case는 L2로 7.9°C 차이를 나타냈다. 3층 이상에 설치된 실외기들의 경우 각 Case의 전체 평균 응축기 흡입 면 온도보다 더 높은 값을 나타냈다.

4. 결론

상업지역 내 건물 간 협소한 공간에서 실외기 집단 설치 시 실외기 성능을 평가하기 위해 CFD를 이용하여 건물 이격 거리에 따른 실외기 설치 간격 및 풍속에 따른 열 환경 변화를 분석한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 건물 간격과 풍속이 증가할수록 응축기 흡입 면 온도가 감소하였다. 가장 높은 평균 응축기 흡입 면 온도를 나타낸 케이스는 L1으로 57.6°C를 나타냈고 가장 낮은 온도를 나타낸 H2보다 11°C 높게 나타났다. 이는 건물 간격과 풍속이 증가할수록 토출 기류의 환기가 잘 이루어지기 때문인 것으로 분석된다. 실외기가 여러 대 설치 될 시에는 성능 확보를 위하여 실외기 설치 간격에 대한 고민이 필요할 것으로 보인다.
- (2) L 케이스 전부와 M1, H1 Case 다수의 실외기 주변 온도가 작동 범위를 초과하였다. L1의 경우 모든 실외기가 작동 범위를 초과하였고 L1.5, L2의 경우 각각 5%, 20% 비율의 실외기만이 작동 범위 안에 들었다. 9개의 케이스 중 총 5개의 케이스에서 실외기 작동 비율이 50%에 못 미치는 수치를 나타냈고, 이는 건물 사이 좁은 공간이 실외기 집단 설치에 적합하지 않음을 의미한다.
- (3) L1, L1.5, L2의 경우 굴뚝 효과로 인해 저층부의 실외기보다 고층부 실외기의 응축기 흡입 면 온도가 높게 나타났다. 최저층과 최고층의 온도 차이가 가장 큰 케이스는 L1으로 10.6°C 차이를 나타냈고, 가장 낮은 차이를 나타낸 케이스는 L2로 7.9°C 차이를 나타냈다.

본 연구를 통해 상업지역 내 건물 사이 협소한 공간에서의 실외기 집단 설치 시 응축기 흡입 면 온도 상승에 따른 실외기 성능 저하가 발생할 수 있음을 알 수 있었다. 상업지역 내 실외기 설치 시 성능 확보를 위해서는 충분한 공간 확보를 위한 설치 간격에 대한 규정이 필요할 것으로 보인다. 설치 간격 조정이 힘든 공간에 대해서는 토출기류의 환기를 도울 수 있는 전략이 필요할 것이다.

후기

본 연구는 한국연구재단의 연구비지원으로 수행되었음(과제번호 : NRF-2017R1A2A2A05001443).

REFERENCES

1. Chow. T.T., Lin. Z., and Yang. X.Y., Placement of Condensing Units of Split-type Air-conditioners at Low-rise Residences, Applied Thermal Engineering, Vol. 22, pp.1431-1444, 2002.
2. Chow. T.T. and Lin. Z., Prediction of On-coil Temperature of Condensers Installed at Tall Building Re-entrant, Applied Thermal Engineering, Vol. 19, pp.117-132, 1999.
3. Avara. Abdollah. and Daneshgar. Ehsan., Optimum Placement of Condensing Units of Split-type Air-conditioners by Numerical Simulation, Energy and Buildings, Vol. 40, pp.1268-1272, 2008.

4. Duan. R., Wang. X., Song. Y., and Liu. J., Influence of Air-conditioning Outdoor Unit Arrangement Strategy on Energy Consumption, *Procedia Engineering*, Vol. 146, pp.350-358, 2016.
5. Xue. H., Xu. B., Wu. J., and Wei. Y., Prediction of Temperature Rise Near Condensing Units in the Confined Space of a High-rise Building, *Building and Environment*, Vol. 42, pp.2480-2487, 2007.
6. Nada. S.A. and Said. M.A., Performance and Energy Consumptions of Split Type Air Conditioning Units for Different Arrangements of Outdoor Units in Confined Building Shafts, *Applied Thermal Engineering*, Vol.123, pp.874-890, 2017.
7. Nada. S.A. and Said. M.A., Solutions of Thermal Performance Problems of Installing AC Outdoor Units in Buildings Light Wells Using Mechanical Ventilations, *Applied Thermal Engineering*, Vol.131, pp.295-310, 2018.
8. Choi. S.H., Lee. K.S., and Kim. B.S., Analysis of the Condenser Performance Installed in the Air-Conditioning Plant Room of a High-Rise Building, *Korea Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering*, Vol.15, No.7, pp.586-894, 2003.
9. Choi. S.H., Lee. K.S., and Kim. B.S., Effects of Stacked Condensers in a High-rise Apartment Building, *Energy*, Vol. 30, pp.968-981, 2004.
10. Hur. H., Seo. Y.M., Jeong. M., and Ha. M.Y., Effect of the Air-guide on Thermal Environment with Group Installation of System Air-conditioner Outdoor Unit, *Journal of Computational Fluids Engineering*, Vol.22, No.2, pp.21-27, 2017.
11. Reiter. S., Validation Process for CFD Simulations of Wind Around Buildings, *EUROPEAN BUILT ENVIRONMENT CAE CONFERENCE*, 2008.