

연간 부분부하 운전특성을 고려한 모듈러 데이터센터의 냉각시스템 효율 분석

Analysis of Cooling System Efficiency in Modular Data Center by Annual Partial Load Operation Characteristics

정용호*

Yong-Ho Jung*

* Dept. of Architectural Engineering, Chungwoon Univ., South Korea (coil@chungwoon.ac.kr)

ABSTRACT

Purpose: Edge computing is indispensable as the demand for fast communication speeds such as autonomous vehicles increases. Edge computing services, which are distributed near processing units, require small and distributed data centers. Currently, in the case of distributed modular data centers, adaptation to domestic weather conditions has arisen by introducing foreign technology directly. In this study, the annual efficiency due to the partial load operation of the cooling system was identified through the energy consumption prediction when the container-type basic module was applied in each region in Korea. **Method:** E-quest was used to forecast annual energy consumption. Considering the partial load to determine the efficiency of the annual cooling system, the SEER was calculated based on the total input energy and the required energy and the energy consumption efficiency of each region was compared and analyzed. **Result:** Container-type modular data centers account for 9.2 ~ 21.8% depending on the location of the external load impact. The distribution of SEER was found to be high at 14.04 in the Central 2 region but low at 12.09 in the Jeju region where the outside air temperature was high. In the case of installing cooling facilities of the same capacity, the energy consumption efficiency is different for each region. Therefore, it is necessary to select the capacity considering the local weather conditions when selecting the cooling facilities.

KEYWORD

모듈러 데이터센터
부분부하
냉각시스템 효율
계절별 에너지효율 비율

Modular data center
Partial load
Cooling system efficiency
Seasonal Energy Efficiency Ratio

ACCEPTANCE INFO

Received Nov. 29, 2019
Final revision received Dec. 12, 2019
Accepted Dec. 17, 2019

© 2019 KIEAE Journal

1. 서론

4차 산업혁명이 경제 및 산업계의 주요 화두로서 이슈화되었던 지난 10여년의 기간 동안 IT 분야의 발전과 더불어 데이터센터 시설에 대한 요구가 증가함에 따라 관련 시설의 물리적 규모와 관련 분야의 시장은 가히 폭발적인 성장세를 보이며 오늘날에 이르고 있다. 최근에는 사물인터넷(IoT: Internet of Things)과 클라우드 컴퓨팅 서비스의 확산으로 실시간적인 응답을 요구하는 상황에 대응하기 위한 엣지(Edge) 컴퓨팅이 등장함에 따라 분산형 소형 데이터센터로 볼 수 있는 '마이크로 데이터센터'의 시장이 확대 보급되고 있는 추세이다[1]. 엣지 컴퓨팅을 위한 마이크로 데이터센터는 서버 응답속도 향상을 위하여 분산된 사용처에 설치되며, 서버 수요 증대에 대응하기 위한 확장성이 요구되므로 냉각설비 및 UPS가 내장된 모듈형 서버실로 구성되는 모듈형 컨테이너 또는 캐비닛 형태가 사용되고 있다[2]. 그러나 현재 상용화된 모듈러 데이터센터의 경우 해외 기술을 직접적으로 도입함으로써 국내 여건에 대한 적응성 문제, 기본 모듈의 냉각설비 용량 검토 등에 대한 원천기술 연구가 부족한 실정이다.

따라서 본 연구의 목적은 컨테이너 형태의 기본 모듈이 국내 각 지

역에서 적용되는 경우의 에너지 소비량 예측을 통하여 냉각시스템의 부분부하 운전에 의한 연간효율을 파악하는 것이다.

2. 데이터센터 시장 현황 및 모듈러 데이터센터

글로벌 데이터센터 시장 규모는 Fig. 1.에 나타난 바와 같이 점차 증가하고 있다. 시장조사 기업 Technavio에 따르면, 전 세계 데이터센터 시장은 2018년 약 2,006억 달러로 추정된다. 덩달아 전 세계 기업들이 데이터센터에 투자하는 비용도 증가하고 있으며, Gartner자

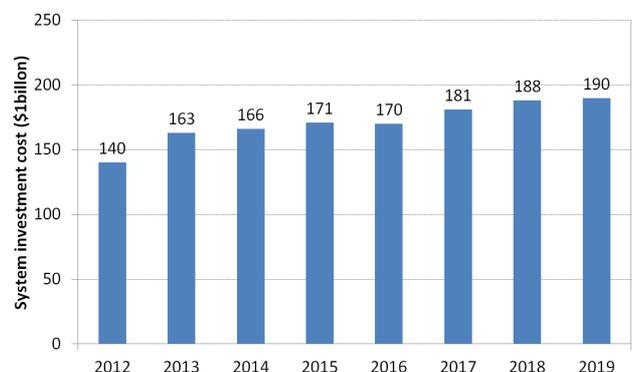


Fig. 1. Global IT Center System Investment Trends(Gartner 2018, Trends and Implications of Global Data Centers, Information, Communication and Broadcasting Policy, 2018)

료에 따르면, 데이터센터 투자비용은 2017년 기준 1,810억 달러에서 2018년에는 전년대비 3.87% 증가한 1,880억 달러, 2019년에는 1,900억 달러를 기록할 전망이다[3]. 또한 신기술의 발전으로 데이터 수요와 작업량이 확대하면서 데이터센터 트래픽은 점차 증가하고 있다. 그러나 현재 전 세계의 데이터센터는 대규모 부지 확보 어려움, 데이터 관리비용, 전력 소모량 등이 문제점이 되고 있다. 데이터센터 서버나 네트워크 등의 장비 관리를 위한 다량의 전력이 필수 조건이기 때문이다.

Cisco자료에 따르면, 데이터센터 내 작업량 대비 클라우드 작업량 비중은 점차 증가하고 있다. Fig. 2.에 나타난 바와 같이 2012년 기준 데이터센터 총 작업량 대비 39%에 불과하던 클라우드 작업량은 2021년에는 94%에 이를 전망이다. 다양한 서비스 수요의 유연한 대응을 위한 구조적 변화 과정이다.

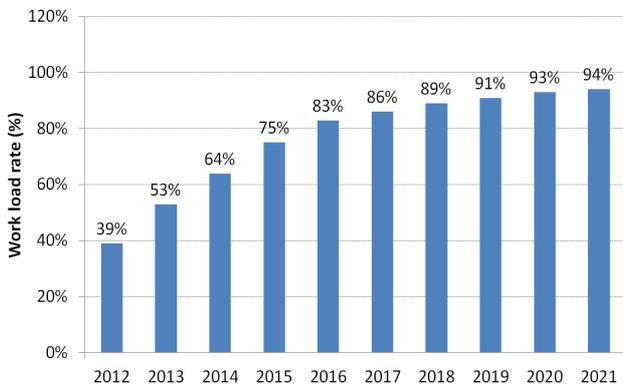


Fig. 2. Percentage of cloud workloads out of total data workload(Cisco Global Cloud Index, 2018, Trends and Implications of Global Data Centers, Information, Communication and Broadcasting Policy, 2018)

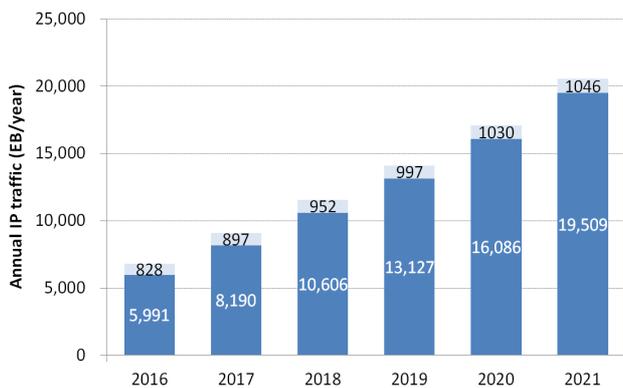


Fig. 3. Global data center IP traffic (Cisco Global Cloud Index, 2018, Trends and Implications of Global Data Centers, Information, Communication and Broadcasting Policy, 2018)

2016년 기준 글로벌 데이터센터 트래픽중 클라우드 데이터센터 트래픽이 전통적인 데이터센터 트래픽의 7배를 초과하고 있다. 클라우드 데이터센터는 2018년 기준 10,606EB, 2020년에는 16,086EB에 이를 전망이다. 데이터센터 트래픽의 범위는 데이터센터와 사용자간(data center-to-user), 데이터센터 간(data center-to-data center), 데이터센터 내(within data center)에서 발생하는 트래픽 모듈을 포함한다. 클라우드 데이터센터 트래픽의 폭발적인

증가요인은 클라우드 아키텍처 도입 및 클라우드 아키텍처로의 이전 증가, 트래픽 로드를 감당할 수 있는 클라우드 데이터센터의 탄력성 증대, 디지털화로 인한 가상화·표준화·자동화에 기인하는 것으로 판단된다[4].

IoT(Internet of Things)와 클라우드 컴퓨팅 시스템이 주목받고 있는 현재의 상황에서 각 분야의 데이터 요구 수요는 폭발적인 증가세를 보이고 있다. 최근 연구 중인 자율주행차는 주행을 위해 복잡한 실시간 위치추정 데이터 처리가 요구되나 물리적으로 원거리인 클라우드에서 처리하는 경우 통신속도 문제로 인하여 고속주행에 대한 응답처리가 불가능하므로 Fig. 4.에 나타난 바와 같은 개념의 엷



Fig. 4. Internal space of container type server room space example (Schneider electric)

지 컴퓨팅이 필수적으로 요구되는 대표적인 예로서 추후 다양한 분야에서 분산형 근거리 처리장치인 엷지 컴퓨팅 서비스의 지속적인 수요 증대가 예상된다. 이러한 클라우드 컴퓨팅의 문제 해결을 위한 엷지 컴퓨팅 서비스 방식은 송신횟수가 대량으로 발생함과 동시에 클라우드 서비스의 1/10 수준인 10ns 이하의 극도로 낮은 지연속도가 요구되므로 Fig. 5.와 Fig. 6.에 나타난 형식의 모듈러 형태의 수요

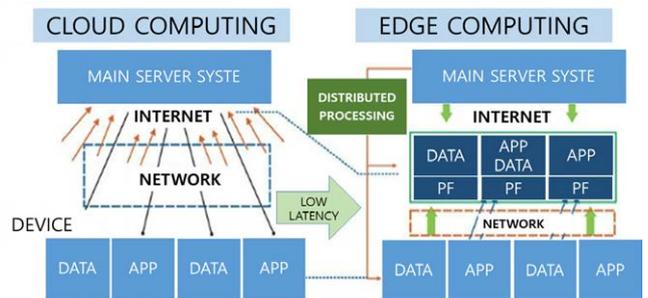


Fig. 5. Cloud-different-edge-iot-environment(www.cognixia.com)

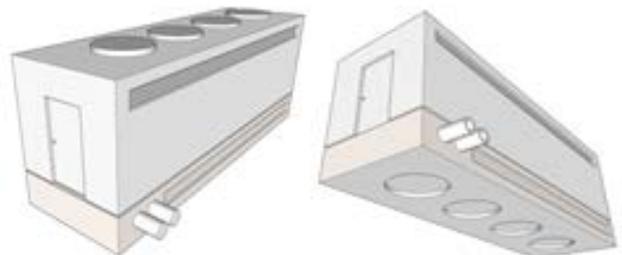


Fig. 6. Modular micro data center basic schematic module

가 증대될 것으로 전망되고 있으며 고밀도 발열 및 외부 조건 등에 의한 냉방에너지의 수요 변동이 크게 나타날 것으로 예측되고 있다. 따라서 엷지 컴퓨팅을 위한 효율적 데이터센터 냉각설비 구축을 위해서는 적정한 냉각용량과 제어성능 검토 및 경제성 확보를 위한 연구가 필요한 실정이다.

3. 냉각시스템의 성능 평가 방법

냉각시스템의 평가방법은 국가별로 다양한 지표와 형식으로 제시되고 있다. 단순지표로서 COP, EER 등이 적용되고 있으며 시간 가중치를 적용하여 종합성능을 표현할 수 있는 IPLV, SEER 등의 성능지표 등이 사용되고 있다[5]. 성능계수로 호칭되는 COP는 냉각 또는 가열 대 에너지 소비의 비율이며 다음과 같이 COP = 시간당 시스템으로 전송되는 유용한 에너지 / 시간당 시스템에 적용된 에너지로 나타내며 에너지효율비율로 지칭하는 EER은 이 값의 최대 용량으로 작동 할 때의 효율성을 나타내는 것으로 전원 입력(와트)에 대한 장치의 냉각 용량(시간당 Btu) 비율로 나타낸다[6]. 기본적인 개념은 동일하다.

$$COP = \frac{Power\ Output\ (W)}{Power\ Input\ (W)} = EER \times 0.293 \quad (식\ 1)$$

$$EER = \frac{Output\ cooling\ energy\ (BTU)}{Input\ electrical\ energy\ (Wh)} = COP \times 3.41 \quad (식\ 2)$$

주로 칠러 등의 효율 표기에 사용되는 IPLV(Integrated part load value)는 실제운전에 가까운 운전조건과 부분부하의 가중치를 반영하고 있다. 이 지표는 단일 등급 조건이 아닌 부분 부하 용량에서 가중 평균 효율을 결정하여 계산된다. ASHRAE Standard 90.1 (ARI 참조 표준 사용)은 IPLV라는 용어를 사용하여 계절별 COP 및 계절별 EER (Btu/Wh)에 대한 계절별 냉각 효율을 나타내고 있다[7]. 장비 용량 범주에 따라 대부분의 냉각기 제조업체는 kW/ton 단위를 사용하여 대형 냉동기의 계절 효율을 IPLV로 본다. 냉각시스템의 로딩 및 언로딩 (또는 사이클) 방법에 따라 IPLV는 표준 정격 조건에서 EER보다 5 ~ 50 % 더 높을 수 있으며 산정방식은 다음과 같다.

$$IPLV = (0.01A) + (0.42B) + (0.45C) + (0.12D) \quad (식\ 3)$$

- 여기서: A = COP 또는 EER @ 100 % 부하
- B = COP 또는 EER @ 75 % 부하
- C = COP 또는 EER @ 50 % 부하
- D = COP 또는 EER @ 25 % 부하

SEER은 일반적인 냉각기간 동안의 냉각 출력을 동일한 기간 동안의 총 전기 에너지 입력으로 나눈 값으로서 장치의 SEER 등급이 높을수록 더 에너지 효율적임을 직접적으로 나타낸다.

미국에서 SEER은 영국 열 단위 (BTU)의 냉각 대 와트시 소비 에너지의 비율로서 65,000BTU/h 이하의 주거용 건축물을 대상으로 하는 경우에 적용되는 효율지표로 제시되고 있으나 본 연구에서는 시스템의 개념적 상대평가를 목적으로 하므로 용량 규모에 상관없이 적용하는 것이 가능할 것으로 판단되었다.

$$SEER = \frac{Annual\ cooling\ energy\ (BTU/Y)}{Annual\ electrical\ energy\ (Wh/Y)} \quad (식4)$$

본 연구에서는 기존의 냉각설비 제조업체(Carrier)에서 제공하는 기기특성 기술자료 중 외기온도에 따른 COP 변화특성을 기준으로 표준기상데이터의 건구온도를 기준으로 단일조건에서의 성능을 나타내는 COP 지표를 우선적으로 검토를 실시하였고 이를 기초로 냉

방운전기간에 대응하는 SEER 지표를 평가하였다. 외기 건구온도의 연중 변화에 대하여 적용된 기기성능 특성식은 다음의 (식 5)에 나타낸다.

$$Y = 0.0014X^2 - 0.01049X + 4.8486 \quad (식\ 5)$$

여기서: Y = 외기 건구온도에 의한 성능계수
X = 외기 건구온도(°C)

4. 냉각시스템의 연간 에너지 시뮬레이션

모듈러 데이터센터의 연간 에너지 소비량과 부분부하 특성에 따른 연간 기기 효율의 분석을 위하여 연간 에너지 시뮬레이션을 실시하였다. 시뮬레이션은 상용 소프트웨어인 E-quest(ver. 3.65)를 사용하였다. 기본적인 입력 조건 및 사양 등은 Table 1.에 나타낸 바와 같다. 서버를 내장하는 컨테이너는 국내에서 지역별 운송 및 설치에 적합한 수준으로서 12.2m × 2.44m의 바닥면적을 가지고 있는 형상을 선정하였다.

Table 1. Summary of E-quest energy simulation

Items	Value and specifications
Area of server container	320 sqft.
Shape of outer structure	Rectangle shape
Space usage type	Computer server room
Ceiling height	9 ft
Cooling system	Package unit 20USRT × 1EA DX coil system Variable speed scroll type
Heating system	N/A
Economizer system	N/A(dust and humidity control)
Operation schedule	24hours (high use condition)
Exterior wall	0.3 W/m ² K
Internal heat source	Rack 5kW/rack × 8EA Distribution board 55kW × 1EA UPS system
Region	Central region 1 (Seoul) Central region 2 (Daegallyung) Southern region (Gwangju) Jeju region (Jeju)

E-quest 프로그램의 최근 버전은 해석 대상공간의 실 사용 용도 지정 모듈에서 데이터센터의 서버룸 지정 기능을 추가적으로 제공하고 있으며 서버 설치공간의 발열밀도 등을 단위 바닥면적 기준으로 입력하는 것이 가능하도록 구성되어 있다. 본 연구에서는 서버룸 내부의 랙당 발열밀도를 5kW/rack로 추정하였으며 설치공간 전체 면적으로 환산하여 단위바닥면적에 해당하는 내부 발열은 150W/ft²로 입력하였다.

컨테이너 서버실 내부의 구성은 기본적으로 서버랙 8대, 분전반, UPS(Uninterruptible Power Supply system:무정전 전원장치) 등이 설치되는 것으로 구성하였으며 냉각설비는 별도 공간으로 구획하는

것으로 설정하였다. 냉각설비로는 내부 발열부하를 고려하여 20USRT의 공랭식 패키지를 선정하였으며 시스템의 가동시간은 24시간을 지정하여 실시하였다.

시뮬레이션은 국내 각 지역의 기상데이터가 제공되는 지역 4개 권역으로 구분하여 중부 1, 2 지역, 남부지역, 제주 지역으로 선정하였다. 사용된 기상데이터는 한국패시브건축협회에서 제공하는 2017년 버전의 전국 70개 지역 중 중부 1지역은 서울, 중부 2지역은 대관령, 남부지역은 광주, 제주 지역은 제주를 선정하였다. 시뮬레이션은 우선적으로 건물 기본조건과 내부발열 조건 등을 입력하였고 지역별 냉방에너지 요구량의 산정을 위하여 EER=3.41을 입력하여 순수 냉방 요구부하를 산정하였으며 계산 결과에 외기 건구온도에 따른 연중 성능계수를 적용하여 연간 전체 입력전력량 총계를 산정하였다.

연간 냉방요구부하 총계와 연간 전력소비량 총계를 이용하여 SEER을 산정하였고, 산정된 SEER을 기준으로 각 지역별 부분부하 특성에 의한 냉각시스템의 상대적 연간 에너지소비 효율 평가가 실시되었다.

5. 결과 분석 및 고찰

Fig. 7. ~ 10.은 국내 4개 지역의 기상데이터를 적용하여 연간 냉각부하 요구량을 산정한 결과이다. 순수 냉각부하의 요구량 산정을 위해서는 전술한 바와 같이 기기의 성능계수 COP 효율을 1로 설정한 결과이다. E-quest의 서버실 냉각설비 입력모델에서 COP 입력을 제공하지 않으므로 EER=3.41로 입력하였으며 기본적인 계산방식은 동일하게 구성되었다. Fig. 7. ~ 10.의 각 지역 연간 냉각부하

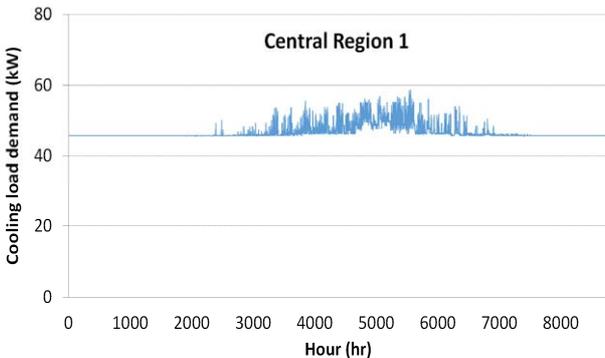


Fig. 7. Central region 1 cooling load demand

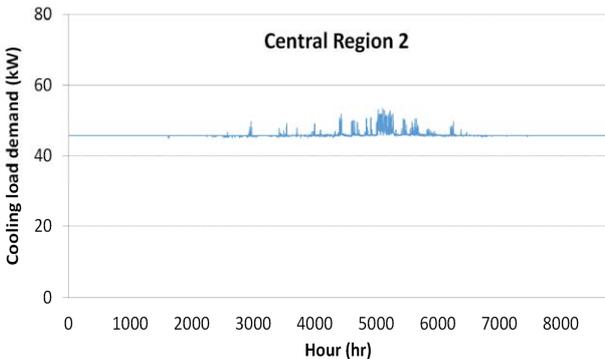


Fig. 8. Central region 2 cooling load demand

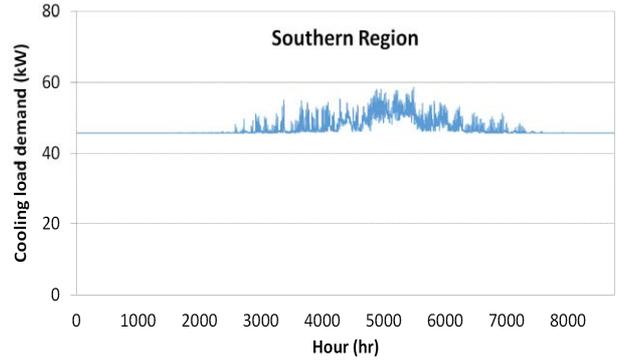


Fig. 9. Southern region cooling load demand

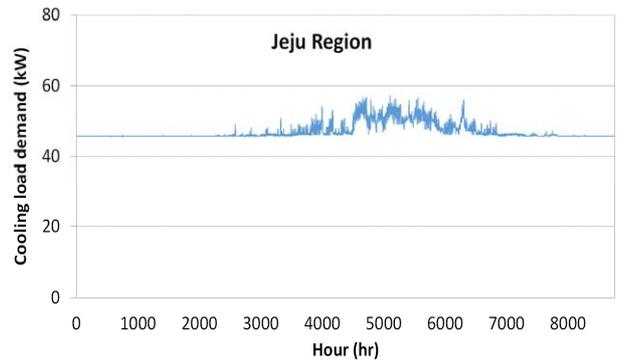


Fig. 10. Jeju region cooling load demand

요구량은 내부 서버의 발열로 인하여 연간 거의 일정한 수준으로 나타나고 있으나 여름철 외기온도가 높은 경우 외피부하 등이 크게 작용하는 것으로 나타났다. 기본적으로 기존의 하이퍼스케일 데이터센터의 경우 내부의 고밀도 서버랙이 집중적으로 설치되며, 외피의 면적 자체가 전체 건축물의 용적에 비하여 작은 상태이고 동시에 이중벽 시스템 등이 적용되므로 전체적인 외피부하는 전체 냉각부하의 3% 이하인 수준으로 알려져 있다[8].

그러나 컨테이너 형태의 모듈형 데이터센터는 외피부하의 영향이 설치되는 지역에 따라 9.2 ~ 21.8% 정도의 비율을 차지하는 것으로 나타났다. 이는 실내 용적에 비하여 외피면적 비율이 상대적으로 높게 나타나며 동시에 운반 설치를 위한 프레임 구조가 철재로 구성되므로 단열성능 자체를 높은 수준으로 구성하기 어려운 사항에 기인하는 것으로 판단된다.

기존의 하이퍼스케일 데이터센터는 연중 냉방을 실시하는 기간에 부분부하가 거의 나타나지 않는 특징을 나타냈으나 분산형 모듈러 데이터센터는 외기에 노출되는 설치조건으로 인하여 부분부하를 고려한 냉각설비의 선정이 필요한 것으로 판단된다. 4개 지역 모두 기본적 기저 냉각부하 요구량은 실내 발열부하로 인한 냉각열량으로서 45.7 kW의 최소부하를 나타냈고 최대 냉각부하 요구량은 중부 1지역의 경우 58.3 kW, 중부 2지역 냉각부하 요구량은 51.9 kW, 남부 지역 59.2 kW, 제주 지역 57.8 kW로서 지역별 차이를 나타냈다. 따라서 지역별 편차를 고려할 때 냉각시스템의 일률적 선정 및 적용이 비효율적임을 확인할 수 있었다.

Fig. 11. ~ 14.는 캐리어사의 기술자료 중 연중 외기온도에 따른 성적계수 변화 특성곡선을 적용하여 각 지역의 연중 외기온도를 기

준으로 산정한 성적계수 분포를 나타낸 것이다. 중부 1지역의 경우 연중 성적계수는 2.9~7.2, 중부 2지역은 3.0~8.1, 남부 지역은 2.8~6.3, 제주 지역은 2.9~5.8의 범위에 분포하는 것으로 나타났다. 일반적으로 외기온도가 상승할수록 압축일이 증가하므로 냉각설비의 성적계수는 감소하게 된다.

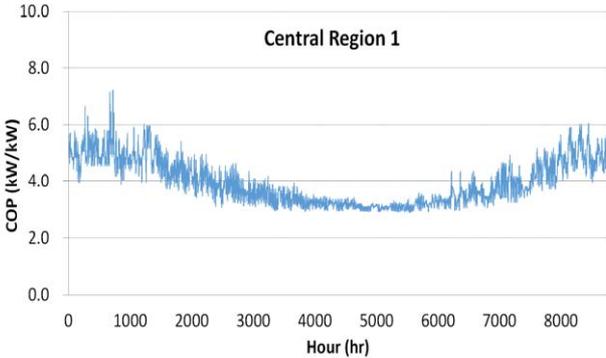


Fig. 11. Central region 1 annual COP distribution

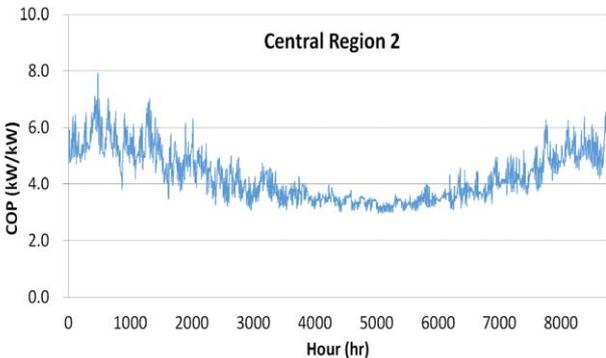


Fig. 12. Central region 2 annual COP distribution

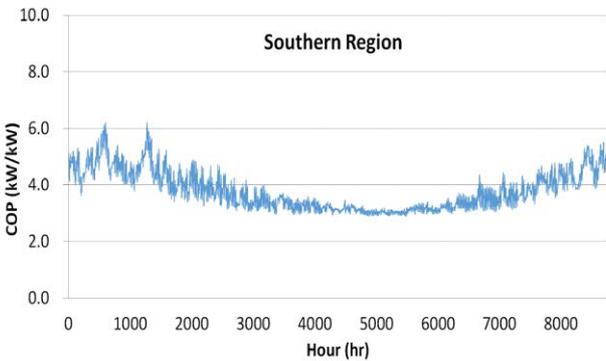


Fig. 13. Southern region annual COP distribution

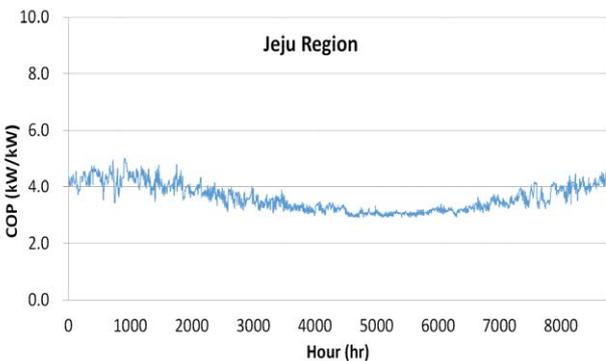


Fig. 14. Jeju region annual COP distribution

Fig. 15.는 연간 냉각부하 요구량의 총계와 식 5의 성적계수를 기준으로 산정한 연간 입력에너지 총계를 이용하여 계절별 에너지효율 SEER을 산정한 결과이다. Fig. 20.에 나타난 바와 같이 연간 냉각부하 요구량의 총계는 중부 1지역 1.401E+09 BTU/Y, 중부 2지역 1.373E+09 BTU/Y, 남부 지역 1.409E+09 BTU/Y, 제주 지역 1.409E+09 BTU/Y의 분포를 나타냈으며, 연간 냉각입력 에너지 총계는 중부 1지역 1.072E+08 Wh/Y, 중부 2지역 9.781E+07 Wh/Y, 남부 지역 1.127E+08 Wh/Y, 제주 지역 1.165E+08 Wh/Y의 분포를 나타냈다.

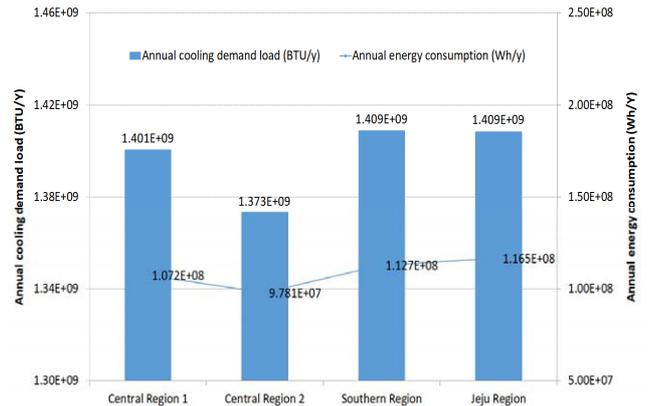


Fig. 15. Annual demand load and energy consumption

Fig. 16.은 Fig. 15.의 계산 결과를 기준으로 산정한 SEER을 나타낸다. 지역별 SEER의 분포는 12.09~14.04의 분포를 나타냈다. 연중 외기건구온도의 분포가 낮은 중부 2지역의 경우 14.04의 높은 수준을 나타냈으나 상대적으로 외기온도 분포가 높은 제주 지역의 경우 12.09의 낮은 수준을 나타냈다. 일반적으로 SEER의 경우 13 이상으로 산정되는 경우 에너지 소비효율이 양호한 수준으로 인식되고 있는 사항을 감안하면 제주 지역과 남부 지역의 경우 압축방식의 개선 또는 용량 분할 등을 통하여 부분부하 대응능력 향상을 통한 시스템 효율 향상이 필요할 것으로 판단된다.

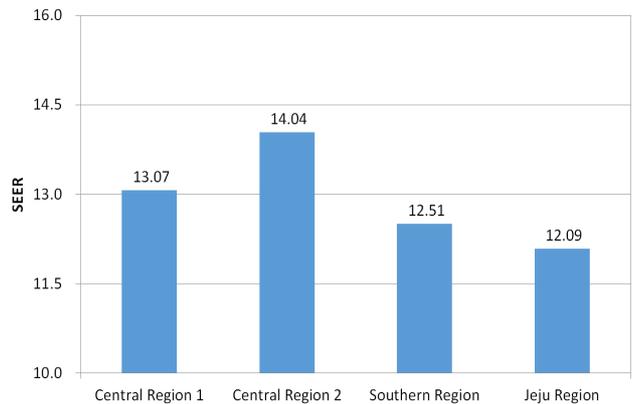


Fig. 16. Seasonal energy efficiency ratio for each region

Fig. 16.에 나타난 바와 같이 동일한 용량의 냉각설비를 설치하는 경우 지역별로 에너지 소비효율의 차이가 극명하게 나타나므로 냉각설비의 선정 시에는 지역별 기상조건을 고려한 차등적 용량 선정이 필요한 것으로 판단된다.

6. 결론

본 연구에서는 외부 기상조건이 상이한 조건 하에 설치되는 분산형 모듈러 데이터센터를 대상으로 지역별 에너지 시뮬레이션을 실시하여 분석한 결과 다음과 같은 결론을 도출하였다.

- 1) 컨테이너 형태의 모듈형 데이터센터는 외피부하의 영향이 설치되는 지역에 따라 9.2~21.8% 정도의 비율을 차지하는 것으로 나타났으며 냉각부하 요구량은 45.7~59.2 kW의 범위로 나타나 지역별 편차를 고려하면 냉각시스템의 일률적 선정 및 적용이 비효율적임이 확인되었다.
- 2) 지역별 SEER의 분포는 중부 2지역의 경우 14.04의 높은 수준을 나타냈으나 상대적으로 외기온도 분포가 높은 제주 지역의 경우 12.09의 낮은 수준을 나타냈다.
- 3) 동일한 용량의 냉각설비를 설치하는 경우 지역별로 에너지 소비 효율의 차이가 나타나므로 냉각설비의 선정 시에는 지역별 기상 조건을 고려한 차등적 용량 선정이 필요한 것으로 나타났다.

본 연구 결과는 향후 지역별로 분산 설치되는 소규모 데이터센터 계획 시 냉각설비 용량 산정의 기초 자료로 활용될 수 있을 것으로 판단되며 추후 서버 트래픽 변동에 의한 다양한 조건의 발열밀도 조건을 대상으로 한 분석을 실시할 예정이다.

Acknowledgement

이 성과는 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구 결과입니다. (과제번호 NRF- 2019 R1F1A1063388)

Reference

- [1] PUE 1.5이하를 위한 에너지 절감형 모듈러 데이터센터 기술 개발, 대한민국: 미래창조과학부, 2018, pp.43-44. // (Development of energy-saving modular data center technology for PUE 1.5 and below, Korea: Ministry of Science, ICT and Future Planning, 2018, pp.43-44.)
- [2] 냉난방공조 신재생 녹색건축 전문채널 칸, 4차 산업혁명시대 데이터센터 진화론, <http://www.kham.kr/mobile/article.html?no=7505>, 2018.08.12. // (Cooling & Air Conditioning New Renewable Green Architecture Channel Kham, The 4th Industrial Revolution Evolution Data Center, <http://www.kham.kr/mobile/article.html?no=7505>, 2018.08.12.)
- [3] 황혜인, 글로벌 데이터센터 변화 추세 및 시사점, 정보통신방송정책, 2018, pp.8-16. // (Hwang, Hye-in, Trends and Implications of Global Data Centers, Information, Communication and Broadcasting Policy, 2018, pp.8-16.)
- [4] 임중철, 김상하, 금창섭, 모바일 엣지 컴퓨팅 환경에서의 개인화 서비스 추천, 한국통신학회논문지, 제42권 제6호, 2017, pp.1009-1019. // (Yim, Jong-choul, Kim, Sang-ha, Keum, Chang-sup, Personalized Service Recommendation for Mobile Edge Computing Environment, The Journal of Korean Institute of Communications and Information Sciences, Vol.42, No.6, 2017, pp.1009-1019.)
- [5] 박윤철, SEER / IPLV의 멀티에어컨 적용, 대한설비공학회 하계학술발표대회논문집 : v.2004 No.01, 2004.06, p184. // (Park, Youn -Cheol, Application of SEER / IPLV on Multi Air Conditioner, Conference Journal of The Society Of Air-Conditioning And Refrigerating Engineers Of Korea, 2004.06, p184.)
- [6] 최성경, 이상현, 김선재, 김용찬, 부분부하 조건에서 히트펌프의 운전변수 최적화를 통한 냉방계절성능(SEER) 향상에 관한 실험적 연구, 설비공학논문집, 제29권 제3호, 2017, pp.111-118. // (Sungkyung Choi, Sang Hun Lee, Sunjae Kim, Yongchan Kim, An Experimental Study on the

- Performance Improvement of the Seasonal Energy Efficiency Ratio (SEER) of a Heat Pump by Optimizing Operating Parameters under Partial Load Conditions, Vol.29, No.3, 2017, pp.111-118.)
- [7] 박윤철, 문계명, 홍주태, 멀티형 에어컨의 기간에너지소비효율 평가규격에 관한 연구, 설비공학논문집, 제16권 제1호, 2004, pp.91-101. // (Youn Cheol Park, Je-Myung Moon, Ju Tae Hong, An Overview on Standards for Seasonal Performance Evaluation of Multi - type Air Conditioners, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol.16, No.1, 2004, pp.91-101.)
 - [8] 조진균, 정차수, 김병선, 최적 IT환경제어를 위한 데이터센터의 부하패턴 분석 및 에너지소비량 산정을 위한 실험적 연구, 대한건축학회 논문집 - 계획계, 제23권 제2호, 2007, pp.209-216. // (Cho, Jin-Kyun, Jeong Cha-Su, Kim Byung-Seon, A Study on Load-profiles and Energy Consumption for the Optimal IT Environment Control in the Internet Data Center, Journal of the Architectural Institute of Korea - Planning & Design Vol.23, No.2, 2007, pp.209-216.)