

사무소 건물에서 냉동기의 부분부하율 및 냉방 에너지 성능 특성 분석

A Detailed Analysis of the Part Load Ratio and Cooling Energy Characteristics of Chiller Operation in an Office Building

서병모(Byeong-Mo Seo)¹, 유병호(Byeong-Ho Yu)¹, 이광호(Kwang-Ho Lee)^{2*}

¹국립한밭대학교 대학원 건축공학과, ²국립한밭대학교 건축공학과

¹Graduate School, Hanbat National University, Daejeon, 31458, Korea

²Department of Architectural Engineering, Hanbat National University, Daejeon, 31458, Korea

(Received July 16, 2015; revision received August 26, 2015; Accepted: September 10, 2015)

Abstract Commercial buildings account for significant portions of the total building energy in Korea, and thus, a variety of research on chiller operation has been carried out. However, most of the studies were carried out on the chiller itself, i.e., the part load ratio characteristics and the corresponding electricity energy consumption patterns were not analyzed in existing studies. In this study, the part load ratio and the operating characteristics of the vapor compression chiller were analyzed within an office building equipped with the conventional variable air volume system. As a result, significant portions of total operating hours, cooling load, and energy consumption turned out to be in the part load ratio range of 0 through 50%. Thus, energy consumption was significantly affected by the chiller COP at low part load conditions, indicating that chiller operation at the part load is an important factor in commercial buildings.

Key words Commercial building(업무용 건물), Part load ratio(부분부하율), Chiller staging(냉동기 대수제어), Coefficient of performance(성능계수), EnergyPlus(에너지플러스)

* Corresponding author, E-mail: kwhlee@hanbat.ac.kr

기호설명

<i>PLR</i>	: 부분부하율 [%]
<i>ChillerCapFTemp</i>	: 온도변화에 따른 냉동기 냉방능력 비율
<i>ChillerEIRFTemp</i>	: 온도변화에 따른 냉동기 전기에너지 소비 비율
<i>ChillerEIRFPLR</i>	: PLR 변화에 따른 냉동기 전기에너지 소비 비율

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 지구 온난화에 대한 우려가 깊어지고, 그에 따른 기후변화, 화석연료를 대체할 수 있는 신재생 에너지에 대한 문제, 인구증가에 따른 에너지 소비량 증가 등 에너지 및 환경에 대한 관심이 사회의 전분야와 일상생활에 있어서 주요한 화두로 거론되고 있다.⁽¹⁾

현재 국내에서 사용되는 에너지의 소비 분포는 산업 약 55%, 건물 약 24%, 수송 약 21% 정도이다. 이 중 도시공간의 에너지 사용의 대부분을 차지하는 건물로 인한 CO₂ 발생량은 건물의 유지관리에 필요한 에너지 소비로부터의 발생량만을 고려하여 국가 전체 발생량의 약 23% 내외로 발표하고 있으나, 건축부자재 생산, 수송 및 공사에 소비되는 총 에너지까지를 감안하면 약 38% 내외가 될 것으로 추산되고 있다.⁽²⁾ 특히, 업무용 건물에서 사용되는 전체 에너지의 약 23% 정도가 냉방 에너지로 소비되고 있는 실정이다.⁽³⁾

2000년대 이전 국내연구의 대부분은 건축적인 방법에 편중되는 연구경향을 보였지만, 최근의 연구동향은 건물에너지 제로화를 위해 다각적인 절약 방안에 대한 연구가 요구되면서 배열회수, 고효율기기, 커미셔닝 등에 관한 다방면의 연구들도 활발히 진행되고 있는 실정이다. 하지만 고질적인 문제점으로 제기되는 열원기기 과대산정에 관한 연구는 미비한 실정이며, 또한 열원기기의 과대산정은 초기 투자비와 유지 관리비, 설치

공간의 증가뿐만 아니라 부분부하의 특성에 따라 냉난방 에너지 증가로 이어질 수 있다는 문제점이 있다.⁽⁴⁾

최근 이와 관련된 연구동향을 살펴보면, Lee et al.⁽⁴⁾ 등은 문헌 및 실제 사례조사를 바탕으로 열원기기용량과 대산정 정도를 파악하고 사무소 건물의 부분부하 특성에 따른 연간 운전성능을 시뮬레이션을 통해 분석하여 열원장치의 용량을 차등하게 대수 분할을 할 경우 냉동기는 5 : 5, 보일러는 7 : 3으로 분할하는 것이 분할 하지 않는 것과 비교하여 에너지 절감율이 가장 높은 것으로 분석하였다. Park and Jung.⁽⁵⁾은 사무소 건물의 공조시스템을 기반으로 한 6가지 대안 열원시스템에 대해 대수제어 여부에 따른 경제성을 분석하였다. 또한 Yoon et al.⁽⁶⁾ 등은 시뮬레이션 프로그램을 이용하여 사무소건물에서의 온수보일러에 대하여 대수 분할 제어 시 에너지 사용량을 분석한 결과 보일러 용량을 7 : 3으로 분할하는 것이 분할 하지 않는 것과 비교하여 약 33%의 난방에너지 절감효과를 보인다는 것으로 분석하였다. 이처럼 열원기기의 대수제어에 따른 에너지 절감에 관련된 많은 연구가 있으나, 대부분의 연구들은 열원기기의 용량에 대한 대수제어, 분할에 초점을 맞추고 있어, 대수 분할 시 각각 열원기기에 열원을 공급하는 가장 효율적인 부하분배 제어 알고리즘 분석에 대한 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구의 최종적인 목표는 업무용 건물에서 소비되는 에너지의 가장 큰 부분을 차지하는 냉방부분의 열원기기 중 냉동기의 부분부하 특성에 따른 연간 운전성능을 건물 에너지 동적 시뮬레이션을 통해 분석하고, 선행연구를 토대로 냉동기의 대수분할 시 에너지 절감율이 가장 높은 5 : 5 비율로 대수분할 하여⁽⁴⁾ 기존의 연구에서 고려되지 않은 EnergyPlus의 부하 분배 제어 알고리즘을 통하여 업무용 건물의 냉동기 대수분할 시 최적의 냉방부하 분배 제어 알고리즘을 제시하고자 하는 것이다. 이를 위해 본 논문은 본 연구에서 산출된 2편의 논문 중 첫 번째 논문으로서, EnergyPlus를 통하여 업무용 건물의 대수분할을 하지 않은 냉동기의 부분부하 특성 및 성능분석을 하고자 한다. 본 논문을 바탕으로 최종적인 목표인 업무용 건물의 냉동기 대수 분할 시 최적의 냉방부하 분배 제어 알고리즘 제시는 두 번째 논문에서 다룰 예정이다.

1.2 연구방법 및 범위

본 연구는 궁극적으로 사무소 건물의 냉방 에너지소비 저감이 목적이며, 이미 선행연구를 통해 검증된 EnergyPlus Simulation 프로그램을 이용하여 분석을 시행하였다. 업무용 건물에서 냉동기의 부분부하 특성 및 에너지 성능 정밀 분석을 위하여 중간기와 냉방기의 대표일을 선정하여 시간별 데이터를 분석하였다. 이를 토

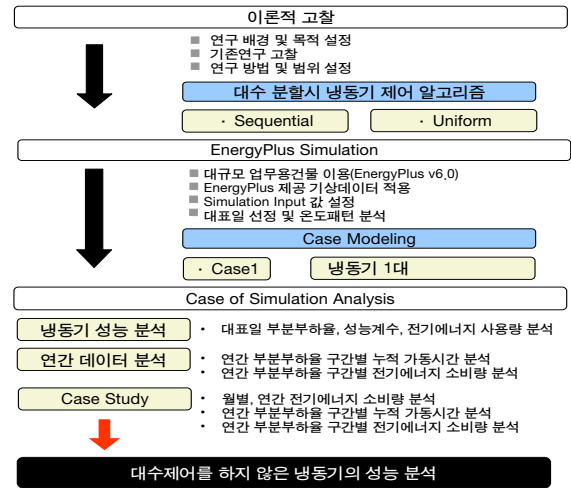


Fig. 1 Study flow chart.

대로 대수분할 하지 않은 냉동기의 에너지 소비를 산출하여 냉동기의 성능 및 부분부하의 특성, 구간별 소요 에너지에 따른 월별, 연간 에너지 소비량을 분석 하였다. Fig. 1은 본 연구의 전반적인 흐름을 나타낸다.

2. 시뮬레이션 개요

2.1 해석 도구 선정

본 연구에서 사용한 시뮬레이션 프로그램은 건물 냉난방 부하 해석 및 열 환경에 대해 수학적으로 검증이 가능한 EnergyPlus의 v6.0을 선정하였다.⁽⁷⁾ EnergyPlus는 건물의 부하를 계산하는데 있어 미국의 냉동공조학회(ASHRAE)에서 권장하는 열밸런스(Heat Balance) 방법을 사용한다.⁽⁸⁾ 또한 EnergyPlus의 경우 가장 대표적인 동적 시뮬레이션 규약인 ASHRAE 140 가이드라인을 통해 검증 받았으며,⁽⁹⁾ 건물 에너지 시뮬레이션의 주요 구성요소들인 Zone, Surface, Air Heat Balance 및 System과 Plant 모델링을 각 시간 단계별로 통합적으로 실시함으로써 각 구성요소간의 유기적인 연결 관계를 잘 묘사하는 큰 장점을 지니고 있다. 프로그램의 개발 및 검증에 대한 자세한 내용은 선행연구에서 여러 차례 서술하였다.⁽¹⁰⁾

2.2 시뮬레이션 해석 조건

본 연구에서 사용한 시뮬레이션 모델은 EnergyPlus에서 제공하는 ASHRAE 90.1 기반의 대규모 사무소 건물 프로토타입 모델을 통해 분석을 진행하였으며, 건물의 형상은 Fig. 2와 같다. 건물의 크기는 길이 73 m, 폭 48 m이고, 창 면적비가 45%이다. 시뮬레이션의 입력

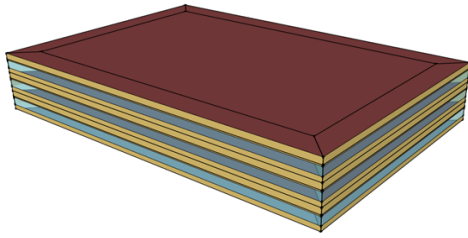


Fig. 2 Simulation office model.

Table 1 Input condition of simulation

Division	Content
Program	EnergyPlus v.6.0
Floorplate area	73(m)×48(m)
Site/Weather location	Incheon(South Korea)
Chiller Schedule	From 05 : 00 Until 18 : 00
Chiller Capacity	850 kW
Terminal Unit	Conventional VAV Box
Cooling/Heating Setpoint(°C)	Cooling : 24°C Heating : 21°C
AHU supply temperature	13°C
AHU fan design static pressure	750 Pa
AHU fan efficiency	75%
Minimum outside air rate	7.62E-04 m ³ /s/m ²
Chiller design COP	5.0
Boiler design efficiency	80%

조건은 Table 1에 나타내었다. 공조방식은 1개의 AHU 설비를 통해 각 실에 VAV 방식으로 공조된다. 최소의 기도입량은 ASHRAE 62.1 지침에 따라 7.62E-04 m³/s/m²로 설정하였다.⁽¹¹⁾ 기상 데이터의 경우 EnergyPlus에서 자체적으로 제공하는 인천기상 데이터를 사용하였으며, 인체, 조명, 전자기기의 실내발열요소는 ASHRAE 90.1 기준에 따라 인체는 9.3 m²/person을 통해 계산된 인원수에 사무소 건물에서 앉은 상태로 기본적인 업무 처리를 한다는 가정 하에 120 W/person을 곱하여 발열량을 산출하고, 조명은 9.1 W/m², 전자기기는 14.4 W/m²로 설정하였다. 또한 분석을 위해 선정된 대표기간은 업무용 건물의 경우 냉방위주의 건물이기 때문에 냉방과 난방기기를 복합적으로 사용하는 중간기(3, 4, 5, 9, 10월) 와, 냉방기기를 사용하는 하절기(6, 7, 8월)로 선정하였다. 시스템 가동시간은 업무용 건물의 스케줄에 따라 5시부터 18시 까지를 가동시간으로 선정하였고,

Table 2 Simulation input related to part load ratio

Field	Input
Minimum Part Load Ratio	0.1
Maximum Part Load Ratio	1
Optimum Part Load Ratio	1
Minimum Unloading Ratio	0.1

냉동기 용량은 850 kW 냉동기 1대를 적용하였으며 본 연구에서는 닷수제어 알고리즘은 사용하지 않는다.

3. 냉동기 모델링

3.1 Performance Curves

EnergyPlus를 이용하여 냉동기의 성능 및 부분부하의 특성, 부분부하율 구간별 소요 에너지에 따른 연간 에너지 소비에 대한 분석을 진행하기 위해서는 선행적으로 4가지 부하 설정값과 3가지 성능곡선에 대한 계수 값을 입력해야 한다. 따라서 본 연구에서는 미국의 a사에서 제공하는 카탈로그의 실측 데이터를 통해 계산식에 필요한 계수 값을 산출하였으며, 각각의 성능곡선 계산식에 대한 설명과 그에 따라 입력한 계수 값은 Table 2에 정리되어있다.⁽¹²⁾

3.1.1 Cooling Capacity Function of Temperature Curve

다음의 수식은 냉동기 냉방능력에 관한 곡선으로 연립 2차 방정식으로 정의된다. 냉동기의 냉방능력은 냉각탑 냉각수 출수 온도(냉동기의 응축기 도달온도)와 냉동기 출수 온도에 따라 변하게 되고, 따라서 다음 함수식을 통해 온도변화에 따른 냉동기의 냉방능력 변화를 매개변수화 하여 본 연구에 사용될 냉동기의 냉방능력을 정의한다. 또한 수온의 범위와 유속의 경우 시뮬레이션이 산정한 범위내의 온도와 유속 값을 사용하며, 이에 따른 함수식⁽¹²⁾과 a사 냉동기의 실측 데이터를 토대로 한 계수값은 아래와 같다.

$$ChillerCapFTemp = a + b(T_{cw,l}) + c(T_{cw,l})^2 + d(T_{cond,e}) + e(T_{cond,e})^2 + f(T_{cw,l})(T_{cond,e}) \quad (1)$$

a = 0.9226438, b = 0.02878831, c = 0.0003756957, d = -0.001963636, e = -0.00008415584, f = -0.0001262338

3.1.2 Electric Input to Cooling Output Ratio Function of Temperature Curve

다음의 수식은 온도에 따른 효율 곡선으로 연립 2차

방정식으로 정의된다. EIR(Energy Input to cooling output Ratio)은 COP의 역수로서 용량과 마찬가지로 냉각탑 냉각수 출수 온도(냉동기의 응축기 도달온도)와 냉동기 출수 온도에 따라 효율이 변하게 된다. 따라서 다음 함수식을 통해 온도변화에 따른 냉동기의 효율의 변화를 매개변수화 하여 본 연구에 사용될 냉동기의 효율을 정의한다. 또한 수온의 범위와 유속의 경우 시뮬레이션이 산정한 범위 내의 온도와 유속 값을 사용하며, 이에 따른 함수식⁽¹²⁾과 a사 냉동기의 실측 데이터를 토대로 한 계수값은 아래와 같다.

$$ChillerEIRFTemp = a + b(T_{cw,l}) + c(T_{cw,l})^2 + d(T_{cond,e}) + e(T_{cond,e})^2 + f(T_{cw,l})(T_{cond,e}) \quad (2)$$

a = 0.4953775, b = -0.0135934, c = 0.0005784637,
d = 0.02778142, e = 0.0001747259, f = -0.0008590768

3.1.3 Electric Input to Cooling Output Ratio Function of Part Load Ratio Curve

다음의 수식은 부분부하율에 따른 효율으로 2차 방정식으로 정의된다. 부분부하율은 냉동기에 요구되는 냉방 부하를 냉동기 용량으로 나눈 값으로 정의된다. 또한 냉동기의 효율은 앞서 설명한 온도의 변화뿐만 아니라 냉동기의 용량, 냉방부하의 변화에 따라서도 효율이 변하게 되는데, 다음 함수식을 통해 부분부하율에 따른 냉동기의 효율의 변화를 매개변수화하여 앞선 온도변화에 따른 곡선과 병용하여 본 연구에 사용될 냉동기의 효율을 정의한다. 부분부하율의 경우 시뮬레이션이 산정한 범위내의 값을 사용하며, 이에 따른 함수식⁽¹²⁾과 a사 냉동기의 실측 데이터를 토대로 한 계수값은 아래와 같다.

$$ChillerEIRFPLR = a + b(PLR) + c(PLR)^2 \quad (3)$$

a = 0.3057645, b = -0.1548084, c = 0.8484536

4. 결과분석

4.1 Analysis of Outdoor Air Temperature

Fig. 3은 인천광역시의 연간 외기온도를 나타낸 것이다. 인천광역시는 Latitude 37.48°, Longitude 126.55°에 위치하고 있으며, 이에 대한 기상데이터는 Energy Plus에서 제공하는 기상 데이터를 사용하였다. 분석 결과 연중 평균 외기온도는 11.9로 나타났으며, 최저기온은 12월 15일에 -9.7로 가장 낮았고, 7월 23일에 32.6로 최고기온을 기록하였다. 또한, 본 연구에서는 3, 4, 5, 9, 10월을 냉, 난방 혼용기간인 중간기로, 6, 7, 8월을 냉방위

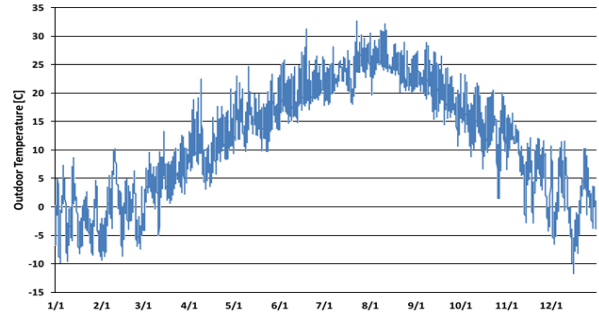


Fig. 3 Outdoor air temperature of Incheon city.

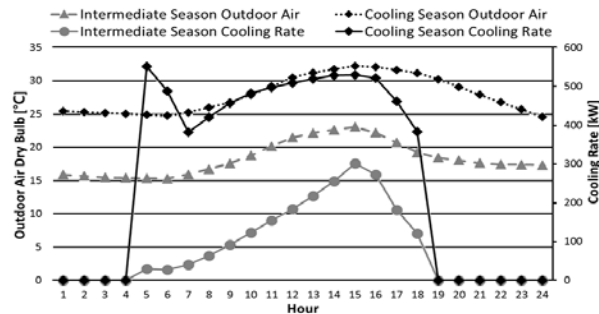


Fig. 4 Representing day AHU cooling coil cooling rate and outdoor air temperature variations.

주의 냉방기로 선택하였으며, 냉동기를 사용하는 기간에 대한 분석을 진행하기 위해 중간기, 여름철 중 온도 패턴과 부하가 평균치인 5월 3일과, 8월 11일을 대표일로 선정하였다.

4.2 Cooling Load of Chiller on the Representative Days

본 연구에서는 중간기, 냉방기를 대표 할 수 있는 5월 3일과 8월 11일을 각각의 대표일로 선정하고 분석을 진행하였다. Fig. 4는 대표 일의 AHU 냉방 코일 부하와 동시간대 외기온도 변화를 나타낸 것이다. 중간기 대표일은 15~23°C의 외기 온도 분포를 보이고 있으며, 냉방기 대표일은 25~32°C의 온도 분포를 보인다. 대표일의 부하 패턴은 중간기는 30~300 kW의 분포를, 냉방기엔 360~550 kW의 분포를 보이며, 사무실의 스케줄과 거의 유사한 패턴을 나타내는 것을 확인 할 수 있다. 건물의 주 사용시간이 아닌 19:00~4:00시는 냉동기가 가동하지 않기 때문에 냉방 부하발생량이 없고 주 사용시간인 5:00~18:00시는 냉방 부하가 발생하는 것을 확인 할 수 있다. 또한 냉방기 대표 일의 5:00~7:00시에는 사무실 스케줄과는 관계없이 부하량이 급증하는 것을 확인할 수 있다. 이는 야간 시간에 시스템을 꺼놓은 상태에서 건물 내에 축적되어있던 열을 제거

하면서 설정온도인 24°C까지 실내온도를 낮추기 위하여 판단된다.

4.3 Condenser Water Temperature and Flow Rate

본 연구는 850 kW의 대수분할을 하지 않은 냉동기 1대를 적용하였으며 부하제어 알고리즘은 사용하지 않는다. 다음 Fig. 5는 COP 및 냉동기 전기 소비량과 밀접한 관련이 있는 대표일 냉각탑 출수 온도(냉동기의 응축기 도달온도)와 유량을 나타낸다. 냉동기 가동시간인 05:00~18:00시의 평균 출수 온도는 중간기 21.1°C 냉방기 27.8°C의 평균값을 보였으며 유량은 대표일로 선정된 기간에 0.0429 m³/s의 일정한 값을 보였다. 냉각수 정유량 제어방식으로 작동하기 때문에 시간에 관계없이 일정한 유량을 보임을 확인할 수 있다. 무엇보다, 냉각탑 출수 온도는 외기 습구온도의 영향을 많이 받음을 확인할 수 있다. 냉동기 가동시간중의 외기 습구온도와 냉각탑 출수 온도의 차이인 Approach는 냉동기가 최소 부분부하율로 가동하는 중간기 일부를 제외하고 평균적으로 3~5°C 정도인 것을 알 수 있다.

4.4 Part load ratio variations

Fig. 6은 대표일 Part Load Ratio를 나타낸다. 냉동기

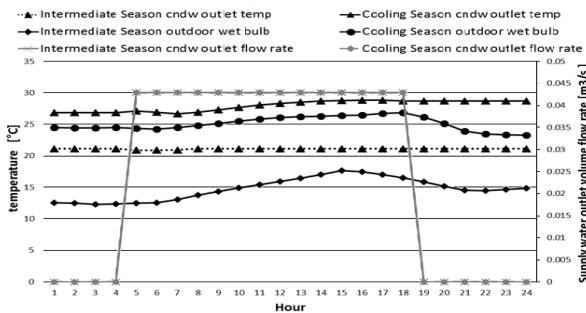


Fig. 5 Representing day condenser supply water outlet temperature and volume flow rate.

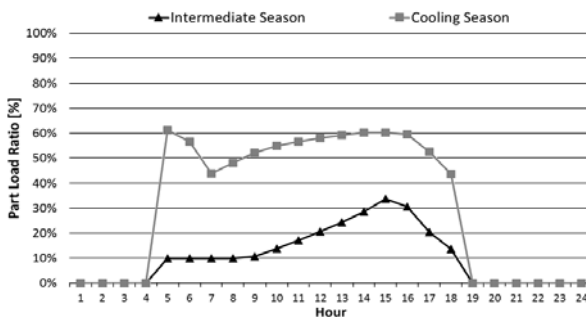


Fig. 6 Representing day part load ratio variations.

가동시간인 05:00~18:00시의 분포를 보면 중간기의 경우 10~34%, 여름철의 경우 44~61%의 분포를 보였다. 중간기 5:00~9:00시까지 10%를 일정하게 유지하는데 이는 Table 2에서 언급한 것과 같이 Minimum Part Load Ratio가 10%이기 때문으로 사료된다. 실제로 냉동기에 걸리는 부하가 10% 이하이더라도 냉동기가 작동하는 부분부하율이 Minimum Part Load Ratio인 10%에 고정되어서 나타남을 확인할 수 있다. 일사의 영향과 실내 발열 요소 등으로 인하여 냉방부하가 급증하는 14:00~15:00시 경에는 수치가 최대값인 32%를 기록하고 이후로는 점차 줄어들어 냉동기가 작동하지 않는 19:00~04:00시에는 PLR이 0을 유지한다. 여름철의 경우 Fig. 4의 부하패턴과 유사한 분포를 나타내며, 냉동기를 처음 가동하는 05:00시에 실의 설정온도를 맞추기 위하여 PLR이 61%로 가장 높고 그 이후로는 점차 낮아져 7:00시에 44%로 최저값을 보인 뒤 일사의 영향과 실내 발열 요소 등으로 인하여 14:00~15:00시에 다시 60% 근처의 PLR을 보인다. 그 이후로 점차 줄어들어 냉동기가 작동을 멈추는 19:00~04:00시에 0%가 되는 것을 확인할 수 있다.

4.5 COP variations

다음 Fig. 7은 대표일 COP를 나타낸다. 냉동기 가동시간인 05:00~18:00시의 분포를 보면, 중간기의 경우 1.7~5.5, 여름철의 경우 5.6~6.1의 분포를 보인다. 중간기 05:00~09:00시까지 약 1.7로 일정하게 유지하는데 이는 앞선 설명과 마찬가지로 Minimum Part Load Ratio에 따라 가동량이 정해지기 때문으로 사료된다. 일사의 영향과 실내 발열 요소 등으로 인하여 냉방부하가 하루 중 가장 높은 14:00~15:00시경에는 수치가 5.5를 기록하고, 그 이후로는 점차 줄어들어 냉동기가 작동하지 않는 19:00~4:00시에는 COP값이 0을 유지한다. 여름철의 경우 07:00시 5.7, 18:00시 5.6을 제외한 나머지 시간대는 평균 6.0의 값을 일정하게 보인다.

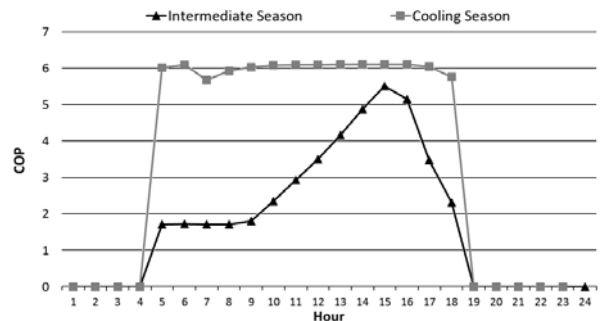


Fig. 7 Representing day chiller COP variations.

4.6 Chiller Electric Consumption

Fig. 8은 대표일 냉동기 전기 소비량을 나타낸다. 냉동기 가동시간인 05 : 00~18 : 00시의 분포를 보면, 중간기의 경우 16.3~54.7 kWh, 여름철의 경우 66.5~89.9 kWh의 분포를 보였다. 냉동기 전기 소비량은 중간기의 경우 가동을 시작하는 05 : 00시에 전기소비량이 발생한 뒤 06 : 00시에 소폭 감소한다. 06 : 00~09 : 00시 구간에서 시간이 지남에 따라 급격한 상승곡선을 그리는데, 이후 18 : 00까지 일정한 소비량을 보인다. 여름철에는 Fig. 4의 여름철 대표일 부하패턴과 유사한 형태의 곡선을 보인다. Fig. 9의 전기 소비량 패턴은 부분부하율(Fig. 8), COP(Fig. 7) 및 냉동기 부하와(Fig. 4) 밀접한 관련이 있다. 중간기와 여름철의 전기 소비량 그래프는 앞선 PLR, COP 그래프와 마찬가지로 유사한 패턴을 보인다.

4.7 Detailed analysis on annual data

Fig. 9과 Table 3은 10개의 Part Load Ratio 구간별 연간 누적 가동시간, 연간 누적 Cooling coil rate 및 연간 총 냉동기 전기 소비량을 나타낸 그래프와 표이다. 구간별 가동시간은 PLR 0% 이상 10% 미만의 구간이

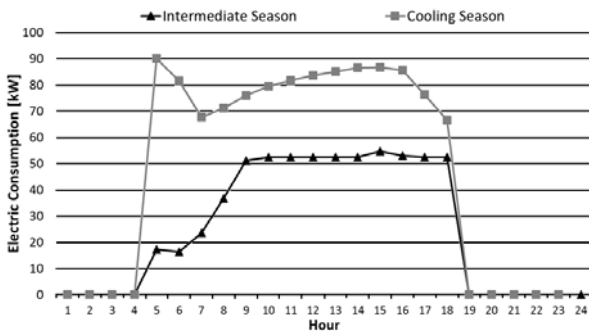


Fig. 8 Representing day chiller electric consumption.

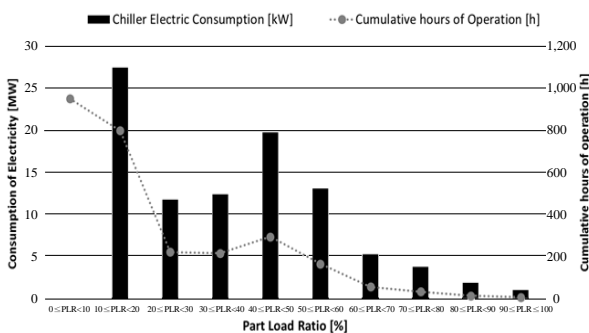


Fig. 9 Cumulative operation hours, electricity in each PLR.

Table 3 Annual chiller operation data

Part Load Ratio [%]	Cumulative hours of Operation [h]	Chiller Electric Consumption [kWh]	Total Cooling Coil Rate [kW]
0 ≤ PLR < 10	951	60.4	83.3
10 ≤ PLR < 20	800	27489.9	59130.2
20 ≤ PLR < 30	222	11773.1	49375.9
30 ≤ PLR < 40	217	12409.0	67833.2
40 ≤ PLR < 50	295	19773.3	116886.2
50 ≤ PLR < 60	166	13087.0	79347.8
60 ≤ PLR < 70	57	5288.4	32009.9
70 ≤ PLR < 80	34	3806.5	22422.5
80 ≤ PLR < 90	14	1869.4	10556.8
90 ≤ PLR ≤ 100	7	1060.8	5764.6

951시간으로 가장 많았고, 90% 이상 100% 이하 구간이 7시간으로 가장 낮았다. Cooling coil rate는 40% 이상 50% 미만 구간이 116886.2 kW, 50% 이상 60% 미만 구간이 79347.8 kW순으로 높게 나타났으며, 0% 이상 10% 미만 구간이 83.3 kW로 가장 낮은 값을 보였다. 냉동기의 전기 사용량은 PLR 10% 이상 20% 미만 구간이 27479.9 kWh, 40% 이상 50% 미만 구간이 19773.3 kWh순으로 높게 나타났으며, 0% 이상 10% 미만 구간이 83.3 kWh로 가장 낮았다.

즉, 0% 이상 10% 미만 구간이 가장 많은 냉동기 가동시간을 나타낸 반면 부하량과 냉동기 전기 에너지 소비량은 가장 낮은 값을 나타내었다. 이는 가동시간이 많고 부분부하율이 낮아서 COP가 낮기는 하지만, 냉동기가 처리해야하는 부하가 워낙 낮고 그로 인해 전기 에너지 소비량 또한 낮기 때문이다. 10% 이상 20% 미만 구간이 누적 가동시간과 냉방 부하량에 비해 전기 에너지 소비량이 높은 이유는, 냉동기는 Minimum Part Load Ratio의 설정 값에 따라 냉동기를 On/Off 제어하기 때문에 설정 값인 10% 구간의 전기 사용량이 부하에 대비하여 높게 발생하는 것으로 판단된다. 또한 냉동기의 PLR 구간이 50% 이상 60% 미만을 기점으로 가동 시간, 전기 사용량, 부하량이 현저하게 감소하는 것을 확인 할 수 있으며, PLR 0% 이상 50% 미만 구간의 전기 사용량이 냉동기의 연간 전기 사용량의 74%를 차지한다. 이는 Fig. 10의 본 연구에 사용된 냉동기의 부분부하 구간별 COP 그래프에서 보면 냉동기가 작동하는 부분부하율이 낮으면 COP가 낮아지고 그로 인해 전기 소비량이 늘어나는 결과를 초래하는데, 따라서 본 연구와 같이 1대의 냉동기만을 작동시키기 보다는 용량을 나누어 2대 이상의 냉동기를 작동시키

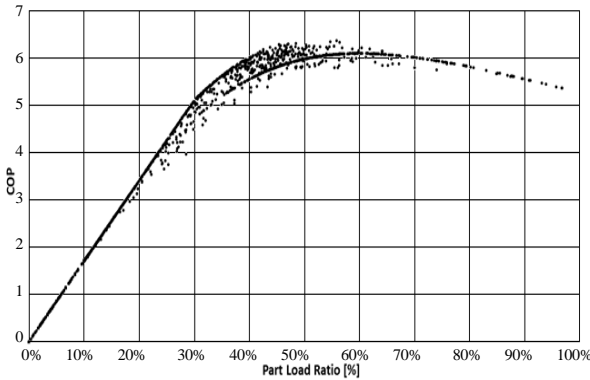


Fig. 10 Chiller COP in each PLR.

는 댛수제어의 필요성을 입증하는 결과이다.

5. 결 론

본 연구는 대규모 사무소 건물을 EnergyPlus로 모델링 하였으며, 냉동기의 부분부하 특성에 따른 연간 운전성능을 정밀 분석하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

- (1) 냉동기의 부분부하 특성에 따른 연간 운전성능을 분석한 결과, 0% 이상 10% 미만 구간이 가장 많은 냉동기 가동시간을 나타낸 반면 부하량과 냉동기 전기에너지 소비량은 가장 낮은 값을 나타내었다.
- (2) 본 연구에 사용된 대수분할을 하지 않은 1대의 냉동기는 0 이상 50 미만의 낮은 PLR 구간에서 연간 전기 에너지 사용량의 70%를 사용하였다.
- (3) 부분부하와 COP의 특성으로 인하여 한 대의 냉동기를 사용하게 될 경우 낮은 부분부하에서 효율이 낮은 것을 확인하였다.

본 연구는 EnergyPlus의 부하 분배 제어 알고리즘을 이용하여 업무용 건물의 냉동기 대수분할 시 최적의 냉방 부하 분배 제어 알고리즘을 제시하고자 하는 연구의 초기 연구로서, 이를 위해 우선적으로 본 논문에서는 대수분할을 하지 않은 냉동기의 성능을 분석하였다. 최종적인 목표인 대수분할시 부하분배의 최적 제어 알고리즘에 대한 나머지 사항들은 후속논문에서 다룰 예정이다.

후 기

본 연구는 중소기업청에서 지원하는 2015년도 산학연협력 기술개발사업(“바닥 공조 적용 에너지 절약형 성층화 기술 및 디퓨저 개발” No. S2223127)의 연구수행으로 인한 결과물임을 밝힙니다.

References

1. Seo, B. M., Lee, D. E., Lee, K. H., and Jin, G. I., 2014, Economic Analysis of Geothermal Heat Pump System in an Office Building, Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems (KIAEBS), pp. 77-78.
2. Um, G. H., 2006, A study on the energy consumption and the capacity of the HVAC system in office buildings, PhD's Dissertation, Chungwoon University, HongSeong.
3. Korea Energy Economics Institute, 2012, 2011 Energy Consumption Survey, Ministry of Knowledge Economy.
4. Lee, W. J., Kang, E. C., Lee, E. J., Oh, B. C., and Shin, U. C., 2013, A Study on the Operation Performance of Central Plant Equipment According to Part Load Characteristics, Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 25, pp. 392-397.
5. Park, Y. and Jung, S. S., 2002, Life Cycle Costing through Operating Number Control of Air Conditioning Systems in Office Buildings. Korean Journal of Air-Conditioning and Refrigeration Engineering, Vol. 14, pp. 981-988.
6. Yoon, K. C., Part, D. Y., Yun, G., Kim, Y. M., Kim, Y. S., and Kim, K. S., 2013, The Heating Energy Saving Effect by Operating Number Control of Boilers in Office Building. Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems(KIAEBS), Vol. 7, pp. 120-125.
7. Crawley, D. B., Lawrie, L. K., Winkelmann, F. C., Buhl, W. F., Huang, H. J., Pedersen, C. O., Strand, R. K., Liesen, R. J., Fisher, D. E., Witte, M. J., Glazer, J., 2001, EnergyPlus : creating a new-generation building energy simulation program, Energy and Buildings, Vol. 33, No. 4, pp. 319-331.
8. ASHRAE Fundamentals Handbook, 2009, American Society of Heating, Refrigerating and Air-Conditioning Engineers, Inc.
9. Kim, S. U., 2014, Technology of Energy Simulation, International Journal of Air-Conditioning and Refrigeration, Vol. 43, pp. 23-38.
10. EnergyPlus, Testing and Validation, <http://apps1.eere.energy.gov/buildings/energyplus/testing.cfm>.
11. ASHRAE, 2013, ANSI/ASHRAE Standard 62.1-2013-Ventilation for Acceptable Indoor Air Quality.
12. EnergyPlus Engineering Reference, 2011, Simulation Models and Encyclopedic Reference.