

## 부분부하 특성을 고려한 열원기기의 운전성능 평가

### EA Study on the Operation Performance of Central Plant Equipment According to Part Load Characteristics

이왕제(Wang-Je Lee)<sup>1</sup>, 강은철(Eun-Chul Kang)<sup>2</sup>, 이의준(Euy-Joon Lee)<sup>2</sup>,  
오병철(Byung-Chil Oh)<sup>3</sup>, 신우철(U-Cheul Shin)<sup>4†</sup>

<sup>1</sup>대전대학교 대학원 건축공학과, <sup>2</sup>한국에너지 기술연구원, <sup>3</sup>신흥대학교 건축설비설계과, <sup>4</sup>대전대학교 건축공학과

<sup>1</sup>Department of Architectural Engineering, Daejeon University, Daejeon 300-716, Republic of Korea

<sup>2</sup>Korea Institute of Energy Research, Daejeon 306-110, Republic of Korea

<sup>3</sup>Department of Mechanical System Design, Shinheung College, Uijeongbu 480-701, Republic of Korea

<sup>4</sup>Department of Architectural Engineering, Daejeon University, Daejeon 300-716, Republic of Korea

(Received April 1, 2013; revision received April 24, 2013)

**Abstract** To fulfill the demands concerning energy efficiency for zero energy buildings, various technologies of architects and engineers are required. This study aims to estimate the thermal performance of heat source equipment in which part load characteristics are considered in an office building. Overestimation of heat source equipment was reviewed through literature survey, and heating and cooling loads depending on the capacity and division of the equipment were analyzed through a simulation program (DOE-2.1E).

The conclusions gained from this study are as follows; 1) The more the division of equipment, the less the heating and cooling energy consumption. 2) When a large item of equipment is divided into two small items of equipment, the optimum application rate showed as 5 : 5 for chiller, and 7 : 3 for boiler, respectively.

**Key words** Central Plant Equipment(열원기기), Energy Saving(에너지절약), Chiller(냉동기), Boiler(보일러), Part Load(부분부하)

† Corresponding author, E-mail: Shinuc@dju.ac.kr

## 1. 서 론

국토해양부는 2009년 건축물 증장기 건설 로드맵을 설정하여 비주거용 건물은 2012년에 현재 대비 15% 절감, 2017년 30% 절감, 2020년 60% 절감, 2025년 제로에너지의무화 순으로 단계적 에너지 절감 및 목표를 제시하였다.<sup>(1)</sup> 건물에서의 에너지 절약방법은 크게 건축적인 방법과 설비적인 방법, 커미셔닝을 통한 방법 등으로 나눌 수 있다. 2000년대 이전 국내연구는 대부분 건축적인 방법에 치중되는 경향이 있었지만 최근 건물에너지 제로화를 위해 다각적인 절약요소에 대한 연구가 요구되면서 배열회수, 고효율기기, 커미셔닝 등에 관한 연구들도 활발히 진행되고 있다. 그러나 꾸준히 제기되어온 열원기기 과대산정에 관한 연구는 아직 미비한 실정으로 열원기기의 과대산정은 초기투자비와 설치공간의 증가뿐만 아니라 부분부하 특성에 따른 냉난방 에너지 증가로 이어질 수 있다. 최근 열원기기 용량 및 특성에 관한 연

구동향을 살펴보면 Kim<sup>(2, 3)</sup>은 열원기기의 특성을 자료수집과 방문조사를 통해 파악하고 다인자 실험을 바탕으로 부분부하에 따른 기종별·부하별 특성 및 SCOP와의 관계를 분석하였으며 Jung 등<sup>(4)</sup>은 실측건물의 부하계산 결과와 설치된 열원기기의 용량과의 관계를 조사하여 열원기기 용량의 증가원인인 각종 할증율을 분석하였다. Kim and Kim<sup>(5)</sup>은 순부하와 실제 적용된 열원기기의 용량과의 관계를 파악하고 업무용건물의 실측조사를 통해 냉동기의 가동현황을 분석한 결과 열원기기의 과대산정으로 인해 전체용량이 동시에 가동한 비율은 1%대로 매우 낮은 것으로 분석하였다. 그러나 이들 연구는 열원기기의 부분부하 특성·과대산정·가동율 분석에만 한정되어 부분부하 거동에 따른 열원기기의 운전성능 평가에 대한 전반적인 연구는 이루어지지 않았다.

따라서 본 연구에서는 문헌 및 실제 사례조사를 바탕으로 열원기기용량 과대산정 정도를 파악하고 사무소건물의 부분부하 특성에 따른 연간 운전성능을 건물

에너지 동적 시뮬레이션을 통해 분석하여 적절한 열원기기의 대수분할 방안을 제안하고자 한다.

## 2. 열원기기의 특성 및 용량

### 2.1 열원기기의 부분부하 특성

현재 열원기기의 부분부하 특성에 관련한 제작회사의 자료는 거의 전무한 실정으로 문헌을 통해 열원기기의 특성을 조사하였다. 그 내용을 살펴보면 냉열원기기인 터보냉동기와 흡수식냉동기의 부분부하 특성은 부분부하가 40% 미만일 때 효율 저하가 크게 발생하며 특히, 터보냉동기는 흡수식냉동기에 비해 부분운전에 따른 효율 저하가 큰 것으로 보고되고 있다. 온열원기기인 증기보일러와 고온수 보일러는 부분부하 특성이 유사하며 부분부하율이 30% 미만일 때 효율저하가 발생하는 것으로 나타났다.<sup>(2, 3)</sup>

부분부하 운전에 따른 냉동기와 보일러의 운전특성은 에너지 투입비(energy input ratio, EIR)와 열 투입비(heat input ratio, HIR)로 각각 정의되며, COP나 효율의 역수로서 식(1)의 다항식(polynomial)로 근사된다.<sup>(6)</sup>

$$Z = a + bX + cX^2 \quad (1)$$

여기서,

Z: EIR or HIR

a, b, c: Coefficient

X: Part load ratio

### 2.2 열원기기의 용량산정 및 대수분할

현재 국내의 부하계산 및 장비용량 선정은 RTS(Radiant Time Series)법을 사용하고 있으며 부하계산 시 태양복사, 상당의 기온, 침기, 축열(Time-Lag) 등을 고려하고 있다. 이러한 RTS법은 최대 냉방부하 계산에는 적당하나 제한적인 가정으로 인해 연간 에너지 시뮬레이션에는 부적합한 것으로 보고되고 있다.<sup>(7)</sup>

Table 1은 실무에서 적용된 10개 사무소건물의 열원기기 용량 및 대수분할 실태를 사례조사 한 것으로 열원기기 선정과정에서 계산된 부하보다 설계자의 판단 및 안전율 등에 의해 기기용량이 19.9%까지 증가하며 시중에 판매되는 제품사양에 의해 기기용량은 더욱 증대될 수 있는 것으로 나타났다. 선행연구에 따르면 열원기기의 용량이 순 실부하 값에 50% 이상 증대될 수도 있는 것으로 연구된 바 있다.<sup>(4, 5)</sup> 한편 열원기기의 대수분할 방식은 저부하시 에너지절약을 위하여 단순히 동일용량 2대 또는 3대로 분할하는 것으로 파악되었다.

Table 1 Chiller Capacity and Redundancy Compliance

Case	Gros area (m <sup>2</sup> )	Cooling Max Capacity (kcal/h)	Unit (USRT/EA)	Safety Factor (%)
A	8,634	756,000	250×1EA	-
B	9,247	415,764	70×2EA	1.8%
C	8,031	1,048,816	200×2EA	13.3%
D	65,883	5,140,031	600×3EA	5.6%
E	35,092	3,135,283	360×3EA	4%
F	19,261	1,551,049	320×2EA	19.9%
G	16,239	1,771,836	360×2EA	18.6%
H	21,277	1,858,609	320×2EA	4%
I	10,615	1,135,643	210×2EA	10.6%
J	123,203	Office Low : 3,849,552	705×2EA	9.7%
		Office High : 2,319,408	767×2EA	8.5%
		Store : 1,605,744	266×2EA	0.2%

## 3. 열원기기의 운전성능평가

### 3.1 분석방법

전술한 바와 같이 본 연구에서는 부분부하 작동에 따른 열원기기의 연간 운전성능 평가를 위해 서울지역의 사무소 건물을 대상으로 동적 시뮬레이션 분석을 실시하였다. Fig. 1은 이 건물의 조감도를 나타낸 것으로 커튼월 구조의 지상 4층에 연면적 4,520 m<sup>2</sup>을 갖고 있다.

분석방법은 RTS법으로 계산된 열원기기의 용량을 건물에너지 동적해석 프로그램인 DOE-2.1E에 적용시켜 열원기기 대수분할에 따른 연간 에너지 소비량을 분석하였다. 이때 기상자료는 태양 에너지학회에서 제공하는 TRY 방식의 서울지역 데이터를 사용하였다.<sup>(9)</sup> Table 2는 RTS-SAREK와 DOE-2의 시뮬레이션에 적용된 입력 자료를 정리한 것이다. 열원기기의 부분부하 특성은 제작회사별 기기종류 및 제원에 따라 상이한 것으로 나타나 본 연구에서는 DOE-2에서 제공하는 터보냉동기와 고온수 보일러의 부분부하 특성을 사용하였다.

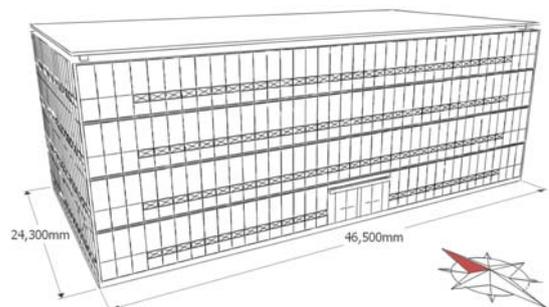


Fig. 1 Bird's-eye View of Simulation Building.

Table 2 Simulation Data<sup>(8)</sup>

Category	Purpose	Input
Light density	Office	30 W/m <sup>2</sup>
	Hall	20 W/m <sup>2</sup>
	Toilet	15 W/m <sup>2</sup>
Equipment density	Office	35 W/m <sup>2</sup>
	Hall	5 W/m <sup>2</sup>
People density	Office	0.2 p/m <sup>2</sup>
	Hall	0.05 p/m <sup>2</sup>
	Meeting Room	0.5 p/m <sup>2</sup>
Ventilation	Office	30 m <sup>3</sup> /h·p
	Meeting Room	25 m <sup>3</sup> /h·p
	Lobby	20 m <sup>3</sup> /h·p
Heating	Temperature	20°C
	Hours of Operation	07 : 00~18 : 00
	Period	Nov~Apr
Cooling	Temperature	28°C
	Hours of Operation	07 : 00~18 : 00
	Period	June~Sep

Table 3 Load Calculation and Equipment Capacity by RTS Method

Category	Cooling Load (W)	Heating Load (W)
External Load	Glass	177,016
	Roof	3,746
	Wall	4,484
	Partition Wall	3,146
	Infiltration	6,568
Internal Load	People	72,984
	Light	136,292
	Equipment	104,656
Ventilation	170,872	218,067
Fan Load	94,113	-
AHU Load	773,877 (220.1 USRT)	368,782 (104.9 USRT)
Safety Factor	10%	10%
Equipment Capacity	851,265 (242.1 USRT)	405,660 (115.4USRT)

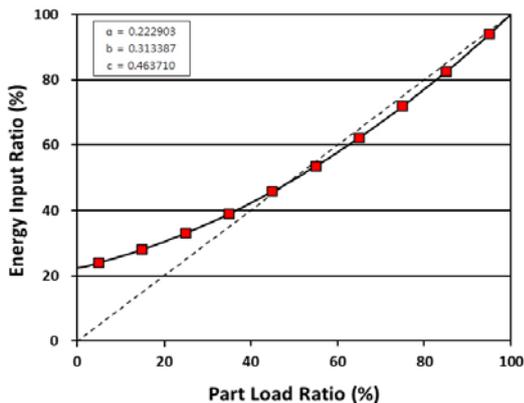


Fig. 2 EIR of Chiller on DOE-2.

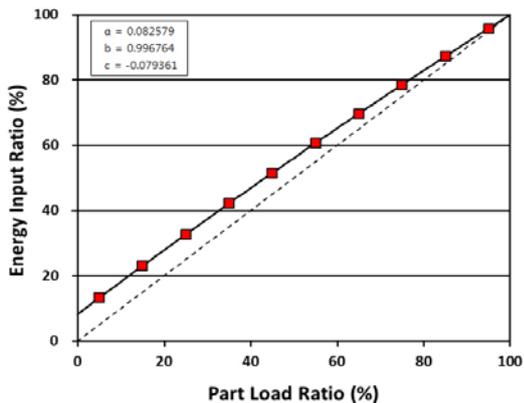


Fig. 3 HIR of Boiler on DOE-2.

Fig. 2와 Fig. 3은 이들 기기의 EIR과 HIR을 나타낸 것으로 냉동기는 부분부하 50% 미만일 때 효율이 급격히 저하되고 부분부하 50% 이상에서는 오히려 정격효율보다 향상되는 것으로 나타났다. 보일러는 상대적으로 저부하시 효율이 점차 낮아지는 것을 알 수 있다.

### 3.2 장치용량 설계

Table 3은 RTS-SAREK Ver. 3.3을 이용하여 계산한 사무소건물의 냉·난방부하를 나타낸 것이다. 총 냉방부하는 773.9 kW(171.2 W/m<sup>2</sup>)로 요소별로 살펴보면 내부부하가 가장 많은 40.6% 차지하고 외부부하와 환기부하는 각각 24.3%와 22.1%로 나타났다. 난방부하는 총 368.8 kW(81.6 W/m<sup>2</sup>)로 환기부하가 가장 많은 59.1% 차지하고 외부부하와 틈새바람에 의한 부하가 각각 32.1%와 8.8%로 나타났다. 계산된 냉·난방 최대부하에 안전율 10%를 적용하여 최종 열원기기의 용량은 터보 냉동기는 851 kW(242.1USRT)이고 고온수 보일러는 406 kW(115.4USRT)로 결정되었다.

### 3.3 열원기기 용량 설계 및 제어조건

Table 4와 Table 5는 대수분할에 따른 운전성능을 평가하기 위해 열원기기의 대수 및 용량을 정리한 것으로 사례①은 부분부하대별 가동시간비를 및 대수분할방식에 따른 운전성능을 비교하기 위해 보일러와 냉동기를

Table 4 Ciller Capacity Design

Simulation	EA	Ratio	Capacity(kW)
Case ①	1	-	852
Case ②	2	5 : 5	426, 426
Case ③	2	6 : 4	511, 341
Case ④	2	7 : 3	596, 256
Case ⑤	3	equal	284×3EA

Table 5 Boiler Capacity Design

Simulation	EA	Ratio	Capacity(kW)
Case ①	1	-	406
Case ②	2	5 : 5	203, 203
Case ③	2	6 : 4	243, 162
Case ④	2	7 : 3	284, 122
Case ⑤	3	equal	135×3EA

각각 1대씩 운전하는 모델로 설정하였다. 사례②와 사례③, 사례④는 열원기기의 용량을 차등하게 대수분할할 경우의(이하, 용량차등 대수분할)조건이며 사례⑤는 열원기기 용량을 균등하게 3대로 분할 한 조건이다. 용량차등 대수분할 할 경우 제어조건은 부하가 적을 때 먼저 저용량의 기기가 가동 하고 건물부하가 기기용량을 초과하면 저용량의 기기는 정지하고 고용량의 기기가 작동하는 방식이다. 이러한 용량차등 대수분할 방식(분할비율 6 : 4)은 저용량을 초과하는 부하에 대해서는 고용량 기기작동 시 부분부하율이 최소 50% 이상 범위에서 가동하는 효과를 볼 수 있다.

### 3.4 운전성능평가

Fig. 4는 DOE 2.1E을 통해 계산된 사무소 건물의 연간 냉·난방공급열량을 나타낸 것으로 연간 냉방공급열량은 266 MWh이고, 난방공급열량은 73 MWh로 냉방이 난방보다 3.3배 많은 것으로 분석되었다.

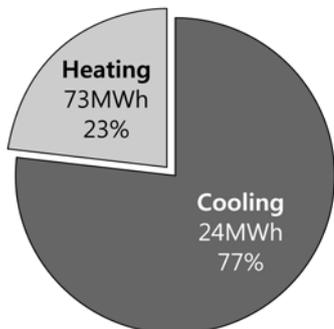


Fig. 4 Annual Heating and Cooling Load.

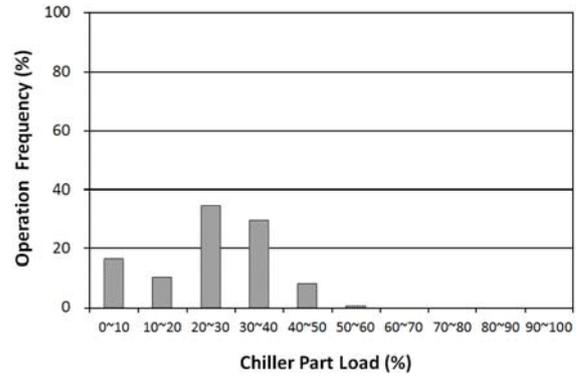


Fig. 5 Operation Frequency according to Part load Range of Chiller.

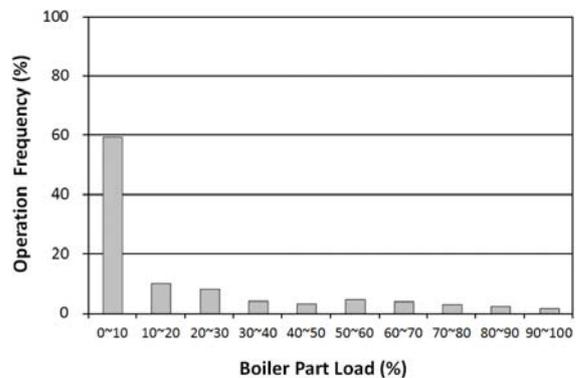


Fig. 6 Operation Frequency according to Part load Range of Boiler.

Fig. 5와 Fig. 6은 냉동기와 보일러가 1대씩 운전하는 사례①의 부분부하대별 가동시간비율을 나타낸 것으로 냉동기는 부분부하 60% 이하 범위에서 모두 가동하는 것으로 나타났다.

이는 DOE -2.1E에 의한 냉방부하 계산 결과보다 RTS 법에 의한 냉방부하계산 결과가 크다는 것을 의미한다. 보일러는 일일 초기 가동 시 예열부하에 의해 난방부하가 증가하여 부분부하 60% 이상에서도 기기가 가동하지만 오후에 일사와 내부발열 등의 영향으로 난방부하가 감소하여 부분부하 10% 미만의 범위에서 60% 가까이 가동하는 것으로 나타났다. 이처럼 냉동기와 보일러를 일정규모의 사무소건물에서 1대씩만 운영할 경우 효율이 낮은 저부하대에서 대부분 가동되기 때문에 열원기기의 대수분할은 에너지 효율측면에서 필요한 것으로 판단된다.

Fig. 7과 Fig. 8은 냉동기와 보일러의 대수분할 조건에 따른 부분부하대별 가동시간비율을 나타낸 것이다. 냉동기는 용량차등 대수분할 할 경우 사례④에서 사례②로 갈수록 부분부하 50% 미만 가동시간은 감소하고 부분부하 50% 이상 가동시간은 증가하는 것으로 나타났다.

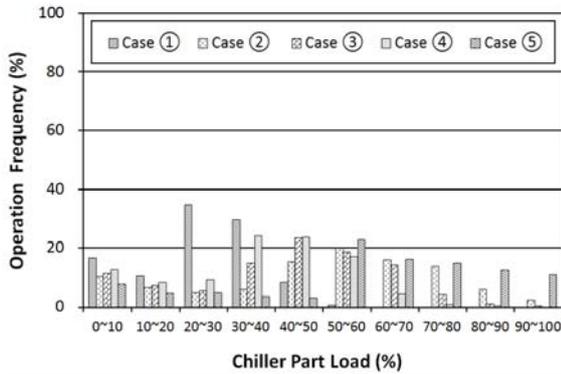


Fig. 7 Operating Frequency According to Redundancy Compliance of Chiller.

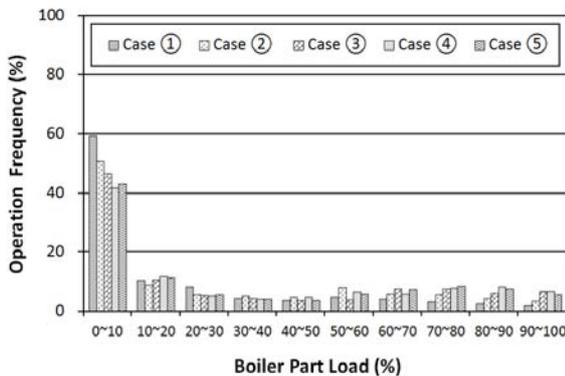


Fig. 8 Operating Frequency According to Redundancy Compliance of Boiler.

사례⑤는 용량을 균등하게 3대 분할한 조건으로 부분 부하 50% 이하의 가동시간은 크게 감소하고 부분부하 50% 이상의 가동시간은 큰 폭으로 증가한 것을 알 수 있다. 보일러는 용량차등 대수 분할 시 냉동기와 달리 사례②에서 사례④로 갈수록 부분부하 50% 미만 가동시간은 감소하고 부분부하 50% 이상 가동시간은 증가하는 것으로 나타났다. 보일러는 용량을 균등하게 3대 분할한 사례⑤에 경우 부분부하대별 가동시간비율은 용량차등 대수분할 조건들과 큰 차이가 없는 것으로 나타났다.

Table 6은 냉동기 및 보일러 대수분할에 따른 사례별 냉·난방에너지를 비교한 것이다. 난방에너지는 경우 냉동기가 1대인 사례① 대비 사례②는 18.5% 절감되고 사례③은 15.7% 절감, 사례④는 12.0% 절감, 사례⑤는 20.6% 절감되는 것으로 나타났다. 냉동기를 용량차등 대수분할 한 경우 에너지성능을 비교하면 용량을 5 : 5로 분할 한 사례②가 가장 높은 절감율을 보였으며 용량 균등 대수분할 한 경우에는 냉동기를 2대로 분할한 사례②보다 3대로 분할한 사례⑤의 절감율이 2.1% 높은 것으로 분석되었다. 난방에너지의 경우 보일러가 1대인

Table 6 Cooling · Heating Energy for the Redundancy Compliance

Simulation	Energy(MWh)		Saving Ratio(%)	
	Cooling	Heating	Cooling	Heating
Case ①	69.2	106.1	-	-
Case ②	56.4	99.6	18.5	6.1
Case ③	58.3	97.3	15.7	8.3
Case ④	60.9	96.2	12.0	9.3
Case ⑤	55.0	96.5	20.6	9.0

사례① 대비 사례②는 6.1% 절감되고 사례③은 8.3% 절감, 사례④는 9.3% 절감, 사례⑤는 9.0% 절감되는 것으로 나타났다. 보일러를 용량차등 대수분할 경우 에너지 성능을 비교하면 용량을 7 : 3으로 분할한 사례④가 가장 높은 절감율을 보였다. 용량균등 대수 분할 한 경우에는 보일러를 2대로 분할한 사례②보다 3대로 분할한 사례⑤의 절감율이 2.9% 높은 것으로 분석되었지만 2대를 7 : 3으로 분할한 사례④의 절감율 보다는 낮게 나타났다. 그 원인을 살펴보면 보일러의 부분부하 특성은 상대적으로 저부하 가동 시 효율저하가 커지는데 총 난방 가동시간 중 약 80%가 부분부하 30% 이하 범위에서 가동되기 때문에 상대적으로 저용량을 갖고 있는 사례④의 난방에너지 절감량이 높은 것으로 분석되었다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 서울지역 사무소 건물을 대상으로 열원기기의 대수분할에 따른 부분부하대별 가동 시간 및 운전성능 비교·분석하였다. 분석방법은 RTS법을 이용하여 기기용량 산정 후 동적시뮬레이션에 프로그램에 적용시켜 평가하였으며 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 냉동기를 용량차등 대수분할 할 경우 에너지 절감율이 가장 높은 분할비율은 5 : 5로 나타났다. 냉동기의 경우 전체용량(1대)을 운전할 경우 부분부하 30% 범위에서 65% 이상 가동하는데 5 : 5분할 시 정격효율보다 높은 70% 범위에서 냉동기가 주로 가동되기 때문인 것으로 분석되었다.
- (2) 보일러를 용량차등 대수분할 할 경우 에너지 절감율이 가장 높은 분할비율은 7 : 3으로 나타났다. 이는 일일 초기 가동 시 예열부하에 의해 기기용량은 증대되고 오후에는 일사와 내부발열 등에 의해 난방부하가 감소하여 부분부하 10% 이하에서 대부분 가동하기 때문에 상대적으로 저용량을 갖고 있는 분할비율 7 : 3의 절감율이 가장 높은 것으로 분석되었다.

따라서 건물에서의 열원기기 운전성능 향상을 위해서는 전체용량(1대 제어)가동 시 부분부하대별 가동시간과 열원기기의 부분부하 특성을 파악하여, 열원기기 대수분할 시 그에 맞는 적절한 분할비율 적용이 필요하다. 이 때, 펌프를 포함한 반송장비도 보다 작은 여려 대로 분할되므로 반송동력도 감소되는 효율적인 운전이 가능할 것으로 판단된다. 차후 건물에너지 소비량에서 큰 비중을 차지하는 반송동력을 포함한 연구가 진행되어야 할 것이다.

## 후 기

본 연구는 2011년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구 과제입니다(과제번호 : 20118520010010).

## 참고문헌

1. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010, Green Cities and Buildings Activation Plan.
2. Kim, Y. S., 1998, Evaluation for the Energy Conservation Design Requirement of Building Chilling System,

- Architectural Institute of Korea, Vol. 14, No. 10, pp. 219-228.
3. Kim, Y. S., 1998, Evaluation for the Energy Conservation Design Requirement of Building Heating System, Architectural Institute of Korea, Vol. 14, No. 12, pp. 231-238.
4. Jung, J. R., Kim, S. H., and Lee, K. H., 2000, A Study on the Application of Safety Factors for Optimal Sizing of Central Plant Equipment, Architectural Institute of Korea, Vol. 16, No. 3. pp. 77-84.
5. Kim, S. H and Kim, D. G., 2007, A survey Study on Optimal Cooling Equipment Capacity in Office Buildings, Architectural Institute of Korea Vol. 23, No. 8, pp. 247-254.
6. DOE-2.1E manual
7. Kim, K. S., Kim, Y. C., and Oh, M. D., 2006, Introduction of RTS Method and Load Calculation Program, SAREK, pp. 1067-1072.
8. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, 2010, Energy-saving Design Guidelines of Innovation City Public building.
9. Http : //www.kses.re.kr(The Korean Solar Energy Society)