

# 사무소 건물 HVAC&R 시스템의 에너지 효율화 사례연구

조진균<sup>†</sup>, 우경현, 박우평, 신승호  
삼성물산(주) 건설부문, 기술연구센터, 친환경에너지팀

## A Case Study on HVAC&R Energy Efficiency in Office Buildings

Cho, Jin-Kyun<sup>†</sup>, Woo, Kyung-Hun, Park, Woo-Pyoung, Shin, Seung-Ho  
Construction Technology Center, Samsung C&T Corporation, Seoul 137-956, Korea

### Abstract

HVAC&R systems are the most energy consuming building services representing approximately half of the final energy use in the building sector. Despite their significant energy use, there is a lack of a consistent and homogeneous framework to efficiently guide research, mainly due to the complexity and variety of HVAC&R systems but also to insufficient rigour in their energy analysis. This research reviews energy consumption of HVAC&R systems with the aim of establishing a common idea for the analysis of energy efficiency. The paper focuses on energy flow of the HVAC&R which include air-conditioning, transport and heat generation system for low-energy buildings.

**Key words:** Air-conditioning(공조설비), Heat generation(열원설비), Transport(반송설비), HVAC&R system (공조-열원-반송시스템 세트), Energy efficiency(에너지 효율화)

### 1. 서론

#### 1.1 연구의 목적 및 필요성

건물의 에너지효율화에 대한 관심은 계속 증가하고 있으며, 국가별로 관련 정책들이 발 빠르게 만들어 지고 있는 실정이다. 건물에서 열원, 공조 및 반송을 포함한 HVAC&R(Heating Ventilation Air Conditioning & Refrigeration)은 에너지와 관련하여 매우 중요하고, 지속적으로 증가하고 있는 소비처이다. 건물부분은 선진국의 에너지 소비패

턴에 있어서 20~40%를 차지하고 있어 산업 및 수송부분에 비하여 큰 비율을 차지하고 있다. 또한 건물부분에서 공조시스템이 에너지 소비량의 약 50%를 차지함으로써 전 분야의 총에너지 소비량의 10~20%를 차지한다고 볼 수 있다. 오피스 건물에서의 에너지사용량은 냉·난방 환기를 포함한 공조시스템 에너지가 전체의 51%, 조명이 25% 그리고 플러그부하가 9%를 차지하고 있다. 저에너지 건물구현을 위해서는 에너지 사용비율이 큰 공조시스템에 대한 에너지 효율화가 매우 중요하다. 따라서 공조시스템에 포함되는 공조-열원-반송설비를 모두 고려한 하나의 복합 시스템 개념으로 에너지를 산출하고 평가하는 것이 중요하다. 공조시스템 효율성에 대한 연구는 특정 주제(장비, 제어, 시뮬레이션 등)에 국한되어 왔다. 또한 에너지 분석에 대한 불확실한 범위와 공조시스템

<sup>†</sup> Corresponding author  
Tel.: +82-2-2145-6999, Fax: +82-2-2145-6456  
E-mail: jinkyun.cho@samsung.com  
접수일 : 2013년 1월 8일  
심사일 : 2013년 1월 25일  
채택일 : 2013년 2월 8일

의 에너지 소비량 산출의 복잡성 및 다양성으로 관련연구와 에너지 정책을 유도하는 체계적인 업무절차가 전체적으로 부족한 실정이다.

### 1.2 연구의 방법

건물의 에너지효율화를 구현하기 위해서 보편적으로 건축요소, 설비요소와 에너지생산에 의한 순차적인 접근을 고려한다. 특히 외피 시스템 등과 같은 건축적 요소에서 건물 에너지 요구량을 많이 줄일수록 저 에너지 건물구현 가능성이 높아진다. 감소된 에너지 요구량에 의해 설비시스템의 설치용량이 줄고 에너지 사용량도 줄어든다. 일반적으로 전체 건물사용량의 50%를 차지하는 HVAC&R 시스템 관점에서는 크게 최적 시스템 구성, 고효율 장비 적용과 제어방법 등 3단계로 에너지 효율화를 구현할 수 있다. 신·재생에너지 등을 활용하여 에너지를 충당하는 것은 후차적인 문제이며 최종단계에서 고려해야 할 사항이다. 본 연구에서는 공조시스템의 에너지효율화 방안 중에서 공조-열원-반송설비를 통합한 HVAC&R 시스템을 분석하고 최적안을 도출하는 것이 주된 목적이며 사무소 건물을 대상으로 하였다. 연구의 방법은 첫째, 공조-열원-반송시스템의 각 공종별 시스템을 정의하고, 적용 가능한 HVAC&R 시스

템을 조합하고 모든 경우의 수를 고려한다. 둘째, 시스템 에너지효율 평가를 위한 기준이 되는 공조, 열원시스템을 선정한다. 셋째, 조합 가능한 현재의 HVAC&R 시스템별로 에너지 분석, 경제성 평가 등을 수행하는 연구단계를 갖는다.

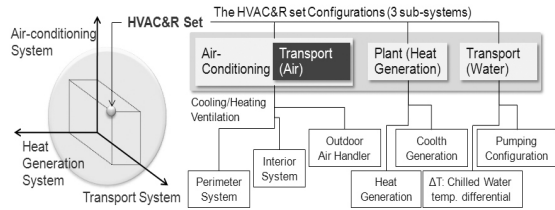


Fig. 1 The basic concept and composition of the HVAC&R system.<sup>[4]</sup>

## 2. 이론적 고찰

### 2.1 HVAC&R 구성개념

HVAC&R의 구성시스템을 보면 크게 열을 생산하는 열원시스템, 생산된 열을 열매를 통해 이송하는 반송시스템 그리고 공급받은 열을 통해 실내에 최적 환경을 제공하는 공조시스템 등으로 나눌 수 있다. 즉, Fig. 1에서와 같이 HVAC&R set은 3개의 축으로 구성된 좌표와 같이 공조-열

Table 1 Combinations of HVAC&R system for office buildings<sup>[4]</sup>

Air-conditioning System		(Heat) Plant System	
A01	CAV System(Constant Air Volume)	P01	<b>Direct-fired Absorption Chiller/Heater (Base)</b>
A02	VAV System(Variable Air Volume)	P02	Absorption Chiller+Steam Boiler
A03	UFDA(Under Floor Air Distribution)	P03	Centrifugal Chiller+Steam Boiler
A04	FCU+DOAS(Dedicat ef Outdoor Air System)	P04	Ice Thermal Storage+Steam Boiler
A05	Radiant Cooling/Heating System+DOAS	P05	Water Thermal Storage+Steam Boiler
A06	Chilled Beam+DOAS	P06	Centrifugal Chiller+Hot Water Boiler
A07	PAC(EHP)+DOAS	P07	Ice Thermal Storage+Hot Water Boiler
A08	CAV+FCU	P08	Water Thermal Storage+Hot Water Boiler
A09	VAV+FCU	P09	Centrifugal Chiller+District Heating
A10	CAV+Convactor	P10	Ice Thermal Storage+District Heating
<b>A11</b>	<b>VAV+Convactor (Base)</b>	P11	Water Thermal Storage+District Heating
A12	UFDA+FTU+DOAS	P12	District Cooling+District Heating
A13	VAV+FPU	P13	HW Driven Absorption+District Heating
A14	LTAD+FPU	P14	Geothermal Heat Pump System
A15	CAV+PAC(EHP)	P15	CHP system with HW Driven Absorption
A16	VAV+PAC(EHP)		
Total 16 systems		Total 15 systems	

원-반송시스템이 조합된 통합시스템으로 볼 수 있다(Cho et. al). 또한 하부의 공조시스템은 크게 내부와 외주부의 냉·난방 방식에 따라 구분하고 외기를 공급하는 방식에 따라 나뉜다. 신선외기 도입을 위한 외기처리방식은 전용시스템을 구성하는 DOAS와 냉·난방을 위해 설치된 공조기를 겸용하는 방식이 있다. 공조방식에 의해 결정된 공조유닛에 필요열량을 공급하는 시스템은 크게 냉방과 난방열원설비로 구분된다. 반송시스템은 물 계통에서의 열원공급방식과 공급열매체(냉수)의 온도차를 기준으로 시스템 조합이 가능하다.

### 2.2 사무소건물의 HVAC&R 시스템 조합분석

HVAC&R 시스템은 각 시스템의 특성에 따라서 조합이 불가능하거나 일반적으로 구성하지 않는 시스템이 존재한다. 사무소건물에 적용 가능한 HVAC&R 구성 시스템은 Table 1과 같이 시스템 검토를 통해 공조시스템 16개와 열원시스템 15개의 조합이 가능한 것으로 선행 연구<sup>[3,4]</sup>를 통하여 분석되었다. 그리고 본 연구는 사무소건물을 대상으로 하였기 때문에 반송시스템은 냉수의 온도차와 펌프의 조닝에 국한하여 검토되었다. 따라서 사무소 건물에 적용 가능한 시스템의 조합은 총 240개(=16(공조)×15(열원))이며, 해당 시스템 조합으로 구성된 HVAC&R 시스템을 기준으로 에너지를 분석하였다.

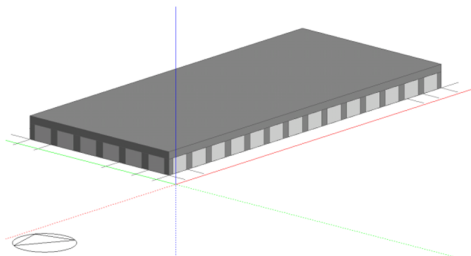


Fig. 2 Energy simulation modeling of a typical floor plan for case study

## 3. HVAC&R 시스템의 에너지 분석

### 3.1 건축 base model의 선정 및 부하분석

다양한 HVAC&R set의 효과적인 에너지 산출

방법을 제시하기 위해서 우선적으로 건축 base model을 선정하고 동적에너지 시뮬레이션을 활용하여 건물의 부하를 산출하였다. 본 연구에서의 base model은 기준층 2,200m<sup>2</sup> 면적의 10층의 규모의 건물을 선정하였다. 기준층 형태는 Fig. 2와 같다. 선정된 건축 base model을 근거로 ESP-r을 사용하여 에너지 시뮬레이션을 실시하였고 시뮬레이션을 위한 주요 경계조건은 Table 2와 같다. 서울지역의 기후대를 대상으로 HVAC&R 시스템의 에너지 분석을 수행하였고 주요 경계조건은 국내법규와 ASHRAE 기준으로 설정 하였다.

Table 2 Simulation boundary conditions

Climate	TMY2 - KR-Seoul		
Typical floor plan	Area	2,200m <sup>2</sup>	GFA: 25,000m <sup>2</sup>
	Shape	Square	In middle floor
	Aspect	1:2	Total 10 Floors
	Core	Center	-
Elevation /Section	Height	4.0m	Floor height
	Plenum	1.3m	-
	WWR	70%	-
U-value (W/m <sup>2</sup> K)	Shading	South face	-
	Ex-wall	0.36	ASHRAE 90.1
	Roof	0.273	(Metal-framing; Curtain wall)
SHGC	Slab	0.214	-
	Window	1.488	-
Airtight	Window	0.607	-
Internal heat gain (W/m <sup>2</sup> )	Infiltration	0.7	(ACH)
	Occupancy	0.11	# of people/m <sup>2</sup>
	OA/Plug	12	-
Schedule	Lighting	9.0	ASHRAE 90.1
	Set Temp.(°C)	22(H)/24(C)	-
Occupancy	Min OA	20	CMH/Person
	Occupancy	05:00~19:00	-

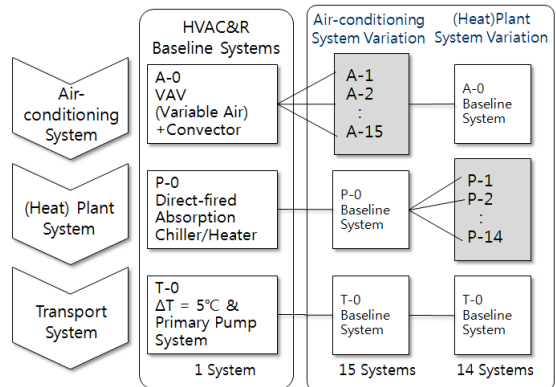


Fig. 3 A method for evaluating energy consumption of HVAC&R systems

### 3.2 HVAC&R 시스템의 에너지 소비특성 분석

Table 1에서와 같이 평가기준 시스템은 대규모 사무소건물에 적용된 가장 보편적인 시스템으로 구성하였다. 평가기준 HVAC&R 시스템의 공조 시스템은 적용사례가 가장 많고, 에너지 절약적인 공조방식으로 알려진 VAV(내부)+컨벡터(외주부) 시스템으로 선정하였다. 냉열원 시스템은 국내조건으로 흡수식냉온수기를 적용하였다. 온열원 시스템은 냉열원 시스템이 결정된 후 종속되기 때문에 흡수식냉온수기로 동일하게 구성하였고 반송시스템은 일반온도차와 1차 펌프 시스템으로

설정하였다. Fig. 3과 같이 평가기준 HVAC&R 시스템을 기준으로 영향도 분석을 하였다. 공조시스템을 평가할 때 열원설비는 기준시스템으로 고정하고 공조시스템을 변화시키면서 에너지를 평가하였다. 동일한 방법으로 열원시스템을 분석할 때는 공조시스템을 기준시스템으로 고정하여 시스템별 에너지 사용량을 비교하였다.

Fig. 4는 공조시스템별로 1차 에너지 소비량과 에너지 비용을 산출한 결과이다. 기준인 VAV+컨벡터는 이미 상당한 에너지 절약적인 시스템이다. 사무소건물의 비교 대안 시스템 중 복사냉난방 또는 칠드빔+DOAS은 가장 에너지 효율적이며

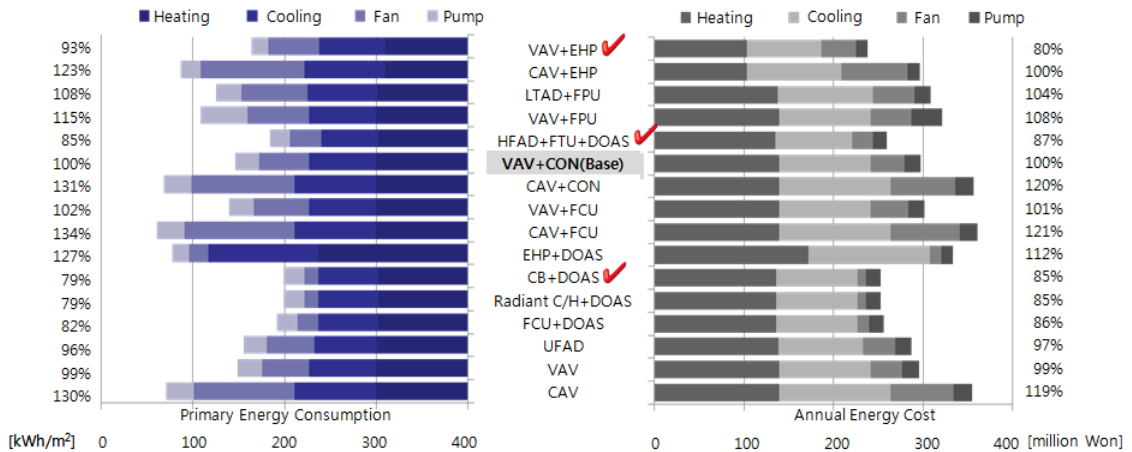


Fig. 4 Energy consumption characteristics and the effects of air conditioning systems

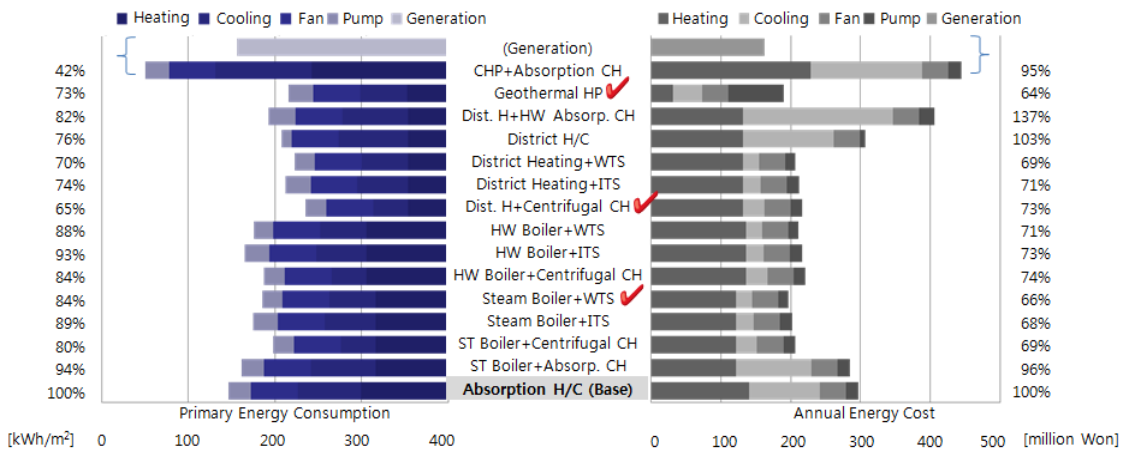


Fig. 5 Energy consumption characteristics and the effects of plant systems

약 21%의 1차 에너지 저감이 가능하였다. 그리고 바닥공조(UFAD)+FTU+DOAS이 약 15%에너지 절감이 가능한 우수한 시스템으로 분석되었다. 대부분 1차 에너지 소비량과 비슷한 경향을 보이고 있지만 EHP를 사용하는 시스템은 약간 다른 경향을 보였다. 이는 기준 열원시스템이 에너지를 가스 사용으로 사용하는 흡수식냉온수기이며 효율이 상대적으로 낮기 때문이며, VAV+EHP 시스템이 에너지비용이 기준 대비 80%로 가장 적게 드는 것으로 분석되었다.

열원시스템별로 에너지 소비량과 비용을 산출한 결과는 Fig. 5와 같다. 온열원은 지역열원과 도시가스의 1차 에너지 환산계수에 차이가 있어서 지역열원이 보다 에너지 효율적이다. 냉열원은 장비의 효율과 펌프동력 등 냉각수 순환펌프에 따라 차이가 큰 것을 분석되었다. 일반적인 시스템 구성에서는 지열히트펌프시스템이 기준시스템 대비 약 27%의 에너지 효율화가 가능하다. 이는 난방효율은 매우 높지만 냉방의 경우 압축식냉동기보다 효율이 낮고, 사무소건물 특성상 냉방부하가 큰 것을 고려하면 지역난방+압축식냉동기가 가장 에너지 효율적인 시스템으로 평가되었고 약 35%의 에너지 저감이 가능하다. 열병합발전시스템과 여기서 발생하는 폐열을 이용하여 흡수식냉동기를 구동하는 시스템의 경우, 냉동기 효율은 낮지만 발전을 통해 생산되는 전력과 지속적인

폐열의 활용이 가능하기 때문에 에너지 절감효과가 매우 크며, 약 58%에너지 절감효과가 있다. 그러나 에너지 비용은 에너지원의 종류에 따라 상반된 경향을 보이고 있다. 온열원은 지역난방보다는 가스를 사용하는 보일러가 냉열원은 심야전력을 사용하는 축열시스템이 유리하였다. 특히 열병합발전 시스템은 가스를 사용하여 전력을 생산하기

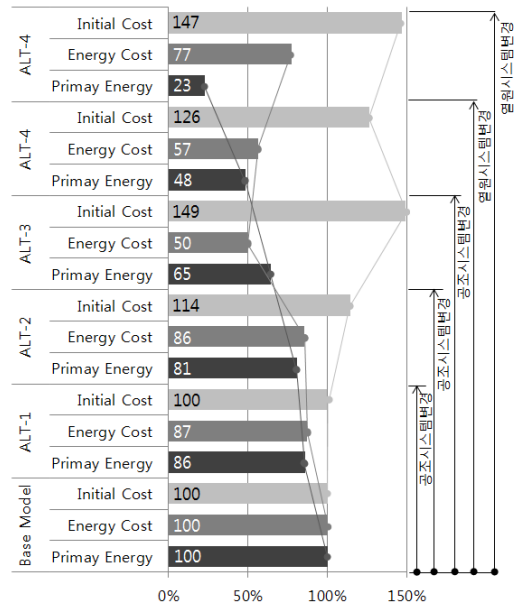


Fig. 6 Energy Performance Optimization of HVAC&R Set

Table 3 A comparison of HVAC&R systems' energy efficiency for office buildings

	Base Model	ALT-1	ALT-2	ALT-3	ALT-4	ALT-5
Air-conditioning System	VAV+CON	UFDA+FTU+DOAS	Chilled Beam+DOAS	Chilled Beam+DOAS	<b>Chilled Beam+DOAS</b>	Chilled Beam+DOAS
(Heat)Plant System	Direct-fired Absorption Chiller/Heater	Direct-fired Absorption Chiller/Heater	Direct-fired Absorption Chiller/Heater	Water Thermal Storage+Steam Boiler	<b>Centrifugal Chiller+District Heating</b>	CHP system with HW Driven absorption
Energy Consumption (kWh/m <sup>2</sup> )	203	174 (14% ↓)	164 (19% ↓)	131 (35% ↓)	<b>98 (52% ↓)</b>	46 (77% ↓)
Energy Cost (Won)	235,000,000	205,000,000 (13% ↓)	201,000,000 (14% ↓)	117,000,000 (50% ↓)	<b>133,000,000 (43% ↓)</b>	182,000,000 (23% ↓)
Initial Cost (Won)	2,954,000,000	2,948,000,000	3,375,000,000 (14% ↑)	4,407,000,000 (49% ↑)	<b>3,728,000,000 (26% ↑)</b>	4,337,000,000 (47% ↑)
Simple Payback Period (year)	-	0	12.4	12.3	<b>7.6</b>	26.1

때문에 운전비 측면에서는 큰 장점이 없었다. 따라서 증기보일러와 수축열 또는 빙축열 시스템의 조합 그리고 압축식냉동기의 조합이 운전비 측면에서 우수한 시스템으로 평가 되었다. 지열히트펌프 시스템은 기준안 대비 64%의 에너지 비용 측면에서 가장 우수하였다. 그러나 대규모 건물에서 100% 열원으로 적용하기에는 한계가 있는 것으로 사료된다.

### 3.3 사무소 건물 HVAC&R 시스템의 에너지 최적화 및 경제성 검토

앞에서 HVAC&R 구성시스템인 공조 및 열원 시스템의 변경에 따른 에너지 소비특성 및 영향 정도를 분석하였으며, 에너지 효율이 우수한 시스템 도출이 가능하였다. 그 결과로 공조시스템은 칠드빔+DOAS와 바닥공조+FTU+DOAS 시스템으로 선정하고 열원시스템은 압축식냉동기+지역난방, 수축열시스템+증기보일러와 열병합발전+흡수식냉동기를 기준으로 총 6개의 HVAC&R 시스템 조합을 도출하였다. Table 3은 에너지 사용량 또는 운전비 분석을 통해 도출된 열원 및 공조시스템으로 조합된 HVAC&R 시스템의 종합적인 에너지 효율화 및 경제성 분석 상세결과를 보여준다. 6개의 분석 HVAC&R 시스템은 VAV+컨벡터/흡수식냉온수기의 조합인 기준시스템에서 공조시스템만 변경한 ALT-1(바닥공조+FTU+DOAS/흡수식냉온수기)과 ALT-2(Chilled Beam+DOAS/흡수식냉온수기) 그리고 열원시스템까지 동시에 변경한 ALT-3(Chilled Beam+DOAS/수축열시스템+증기보일러), ALT-4(Chilled Beam+DOAS/압축식냉동기+지역난방) 및 ALT-5(Chilled Beam+DOAS/열병합발전+흡수식냉동기)이다. Fig. 6은 기준시스템 대비 6개의 대안 시스템의 에너지 사용량, 운전비용 및 초기투자비의 증감을 종합적으로 보여준다. 에너지사용량 기준으로는 ALT-5, 운전비 기준으로는 ALT-3 그리고 초기투자비 측면에서는 ALT-1이 최적의 시스템이다. 그러나 종합적인 에너지 성능 및 경제성을 고려한다면 ALT-4인 Chilled Beam+DOAS/압축식냉동기+지역난방이 가장 우월한 시스템으로 평가되었다. 그러나 ALT-4의 경우 국내의 법규에서는 적용이

불가능한 시스템이다. 결론적으로 에너지원의 종류에 따라 1차 에너지 소비량과 같은 패턴을 보이는 않으므로 최적화의 관점을 에너지소비량과 에너지 비용 중 어디에 두는가에 따라 선택은 달라진다.

## 4. 결론

본 연구는 시스템 구성과 조합에 초점을 둔 통합된 개념에서 HVAC&R 시스템의 에너지 성능을 분석하고 공조, 열원 등 각 구성시스템의 변경에 따른 에너지 영향도 분석을 수행하였다.

- (1) 특정 건물을 대상으로 에너지 시뮬레이션을 실시한 결과, 공조시스템은 칠드빔+DOAS가 가장 에너지 효율적 시스템으로 기준시스템 대비 약 21%의 에너지저감이 가능하고, 바닥공조+FTU +DOAS가 약 15%에너지 저감이 가능하였다.
- (2) 열원의 일반적인 시스템 구성에서는 지역난방+압축식냉동기가 가장 에너지 효율적인 시스템으로 기준시스템 대비 약 35%의 에너지 저감이 가능하다. 그러나 에너지 비용 측면에서는 지열히트펌프가 36% 절감이 가능한 것으로 평가되었다.
- (3) 본 연구의 결과를 통해 HVAC&R 시스템의 소비구조가 파악되면, 각 시스템 소비특성의 고려하여 공조, 열원, 반송 시스템 중 어디에 고효율 장비를 우선 적용해야하는가 등의 검토가 가능하다.

공조, 열원, 반송시스템의 각 구성시스템별 에너지 특성을 파악하고 에너지 최적화된 HVAC&R 시스템의 구성을 우선적으로 규명하는 것이 건물의 에너지 효율화에서 매우 중요한 선행업무이다. 또한 에너지소비 특성에 대한 정보는 각 시스템이 소비하는 에너지의 항목별 정보를 알 수 있으므로 전략적인 에너지 효율화가 가능하다.

## 참고문헌

1. Perez-Lombard L., Ortiz J., Pout C., 2008, A

- review on buildings energy consumption information, Energy and Buildings Vol.40, No.3, pp. 394-398.
2. Lu L., Cai W., Xie L., Li S., Soh Y.C., 2005, HVAC system optimization: in-building section, Energy and Buildings Vol.37, No.1, pp. 11-22.
  3. Cho J.K., Lee S.J., Kim J.H., Shin S.H., 2012, Energy consumption characteristic of office building HVAC&R systems, Journal of the Architectural Institute of Korea Vol.28, No.9, pp. 251-260.
  4. Cho J.K., Shin S.H., Kim J.H., 2012, System Impact Assessment for Energy Consumption Characteristic of Office Building HVAC&R Systems, Journal of the Architectural Institute of Korea Vol.28, No.11, pp. 393-400.