

<응용논문>

DOI <http://dx.doi.org/10.3795/KSME-B.2012.36.6.669>

ISSN 1226-4881

복합건물(D-Cube City) 지역에너지 공급체계 최적화[§]

이태원^{*†} · 김용기^{*} · 이건우^{**} · 이기봉^{**} · 조동호^{**}

* 한국건설기술연구원 그린빌딩연구실, ** ㈜대성정보시스템 스마트컨버전스사업부

Optimization of the Community Energy Supply System for D-Cube City, Multi Purpose Building

Tae Won Lee^{*†}, Yong Ki Kim^{*}, Kun Woo Lee^{**}, Ki Bong Lee^{**} and Dong Ho Cho^{**}

* Building Research Dept., Korea Inst. of Construction Tech.,

** Dept. of Smart Convergence, Daesung Information Systems Co. Ltd.

(Received December 21, 2011 ; Revised March 5, 2012 ; Accepted March 6, 2012)

Key Words: Multi-purpose Building(복합건물), Community Energy Supply System(CES, 지역에너지공급시스템), Optimization(최적화), Building Energy Management(건물에너지관리)

초록: 최근에 준공된 디큐브시티는 사무용, 상업용, 숙박용 및 관람집회용 등 4개의 시설이 공존하는 복합건물이다. 이 건물에는 필요로 하는 전기와 증기, 온수 및 냉수를 공급하기 위해 구역형 에너지공급시스템(Community energy supply system)이 설치되었다. 다양한 건물설비를 효과적으로 운영하기 위해 건물에너지관리시스템(Building energy management system)의 설치를 검토하고 있다. 본 연구에서는 3개의 열병합발전시스템을 비롯하여 7대의 증기보일러, 2대의 중온수보일러와 2대의 흡수식냉동기 및 4대의 터보냉동기 등으로 구성되는 구역형 에너지공급시스템의 최적 운전 및 설계방법을 검토하였다. 결과로서 에너지 수요변화에 따른 구역형 에너지공급시스템의 최적 운전방법과 계절적 운전조건의 변화가 시스템의 경제성에 미치는 영향을 규명하였다. 또 시설별 규모에 따라 결정되는 에너지 수요가 건물 전체의 에너지 소비에 미치는 영향도 분석하였다.

Abstract: D-Cube City is a recently completed multi purpose building consisting of four types of facilities; offices, a department store, a hotel, and congregation spaces. A community energy supply system(CES) has been installed to supply this building with electricity, steam, heat, and cold water. The BEMS, building energy management system, is currently being designed to reduce building energy consumption through the efficient operation of the various pieces of building service equipment. In this study the optimal methods for operating the CES of D-Cube City were considered. This system includes three combined heat and power systems, seven steam boilers, two hot water boilers, two absorption chillers, and four turbo chillers, and various other pieces of equipment. In result, the optimal methods of operating the CES for various energy demand levels were obtained along with the seasonal effects on the economic efficiency of the operation. The effect of the amount of energy demanded by the various facility areas on the total energy consumption was also analyzed.

1. 서론

최근 국제유가 급등과 에너지소비에 따른 온실가스 배출규제가 날로 강화됨에 따라 건물분야에서도 에너지의 소비절약에 관심이 크게 증가하고 있다. 이러한 맥락에서 열병합발전설비를 중심으로 전기와 열을 생산하여 건물에서 요구하는 각종 에너지를 공급

해주는 지역에너지 공급시스템(CES; community energy supply system)을 설치, 운영하는 사례가 증가하고 있다.

특히 여러 용도의 시설들이 하나의 건물에 설치되는 경우 복합건물의 경우에는 에너지 이용효율 향상의 측면에서 유리하므로 적극적으로 도입될 필요가 있다. 즉 업무시설이나 판매시설, 숙박시설 및 관람집회시설 등이 하나의 건물 또는 단지를 형성하는 경우에는 용도와 생활행태에 따라 서로 다른 부하별 수요량 및 수요패턴을 가지므로 에너지의 합리적인 공급 및 이용의 측면에서 큰 장점을 가질 수 있다. 예를 들어 주거용 건물과 비주거용 건물은 하루 중

§ 이 논문은 대한기계학회 2011년도 추계학술대회(2011. 11. 2-4., EXCO) 발표논문임

† Corresponding Author, twlee@kict.re.kr

© 2012 The Korean Society of Mechanical Engineers

전력이나 난방 또는 냉방의 시간대별 에너지 수요분포가 다르기 때문에 동일한 용도의 시설로만 건물이 구성되는 경우에 비해 에너지 생산 및 공급설비의 효과적이고 합리적인 운영을 통해 시스템의 효율향상을 꾀할 수 있는 장점이 있다.

그러나 이들 지역에너지 공급시스템의 설치사례가 적지 않음에도 불구하고 운전 및 운영결과가 체계적으로 정리, 분석되지 못함으로써 설계 및 운영단계에서 활용할 수 있는 자료는 극히 드문 실정이다.⁽¹⁾ 또 열병합발전설비를 중심으로 하는 지역에너지 공급시스템은 서로 다른 에너지원의 조합 및 새로운 형태의 에너지원으로서의 전환이 이루어지는 경우가 대부분이므로 사전 타당성 검토가 매우 중요하며, 이는 운영단계에서의 경제성 확보 여부에 결정적인 영향을 미치게 된다.⁽²⁾ 예를 들면 도시가스를 이용하여 전력과 열을 생산할 때의 경제성이 계통전력 및 지역난방을 이용할 때보다 우위를 차지하지 못할 경우에는 사업자체가 존립의 위기에 처하게 된다.

또한 운전단계에서도 에너지 형태의 변환이 이루어지므로 외부로부터 인입되는 에너지 단가와 건물이나 단지의 각 수요처에서의 사용량과 수요 패턴 그리고 끊임없이 변화하는 이들 각종 에너지 수요를 만족하기 위해 가동되는 설비의 성능 또는 운전효율 등을 종합적으로 감안한 요금부과 체계 등 설계는 물론 운영단계에서 검토, 해결해야 할 인자들이 매우 많다.

본 연구에서는 최근 준공한 서울 소재 복합건물인 디큐브시티(D-Cube City)의 지역에너지공급시스템의 설계사례를 분석하고 최적화 방안에 대한 검토를 통해 경제성 있는 시스템 구축방안에 대해 고찰해 보고자 한다.

2. D-Cube City 및 CES 개요

Fig. 1에 보인 디큐브시티(서울특별시 구로구 신도림동) 복합건물은 대성그룹이 일본 롯본기힐스의 두주역인 미국의 Jerde사와 일본의 모리도시사와 함께 기획, 시공한 역세권 복합건물로, Table 1에 보인 것처럼 대지면적 16,853 m²에 연면적 229,922 m²(51층 규모로 연면적이 120,000 m²인 주거시설 2개동 제외)인 지하 8층, 지상 42층의 철골철근콘크리트 건물이며, 각각 17층 규모의 호텔과 오피스, 8층 규모의 백화점 및 뮤지컬극장과 다목적 홀을 갖춘 관람집회시설 등이 입주하여 있고, 지난 2007년 착공하여 최근 준공(2011년 8월)한 바 있는 대형 건물이다.

Table 1 Specifications of the D-Cube City

		Specifications	
Purpose		Multi-purpose(Office, Hotel, Department store, Conference hall and so on)	
Story		B8F ~ 42F	
Ground area (m ²)		16,853	
Facilities (m ²)	Department store		114,463
	Conference hall		20,182
	Convenience(1st)		218
	Office		43,588
	Hotel		51,733
Total area		229,922 m ² (Except residential area)	
Comp. due		2011. 8	



Fig. 1 An air view of the D-Cube City, a test bed used for actual BEMS(building and energy management system) application(No. 2 ~ 4 and 6 are the object area)

디큐브시티 복합건물의 지하 8층에는 도시가스를 연료로 사용하는 열병합발전용 가스엔진 3대와, 중온수보일러 2대, 스팀보일러 7대, 스팀 이용 중온수 생산 열교환기 2대와 중온수 흡수식냉동기 2대, 터보냉동기 4대 등의 열원기기가 설치되어 있고, 이들 시스템은 상호 연계되어 복합건물 지역은 물론 주거용 건물의 에너지 수요에 따라 전력과 냉난방 열원 및 증기를 공급하는 지역에너지 공급시스템의 형태로 설치, 운영되고 있다.⁽³⁾

디큐브시티 복합건물의 지역에너지 공급시스템은 건물에서 필요로 하는 전기와 열에너지를 안정적으로 공급하기 위해 열병합발전설비를 설치, 운영함으로써 정부의 집단에너지 보급 확대정책

에 부응하고, 에너지 이용효율 향상을 통한 에너지절감 및 대기환경 개선은 물론, 천연가스를 이용한 자연친화적인 미래형 주거단지의 구현을 목적으로 하여 계획되었다.⁽³⁾

복합건물의 냉난방을 위해서는 4관식 배관계통이 채택되어 공기조화기(AHU; air handling unit)와 팬코일유닛(FCU; fan coil unit)에 온수와 냉수가 따로 공급된다. 가습을 위한 증기도 따로 공급되는데, 증기는 가습뿐 만 아니라 취사와 세탁 등을 위해서도 사용된다. 기타 위생설비로 급수와 급탕 및 하수도는 물론 중수와 우수를 생산하여 재활용하는 시스템도 갖추고 있다.

디큐브시티 복합건물에 대한 난방부하와 냉방부하 및 전력부하 수요예측 결과는 Table 2에 보인 바와 같다. 여기서 연결 열부하(heat load, Mcal/h)는 냉난방 면적에 단위 열부하(unit heat load, kcal/m²·h)를 곱한 값이고, 최대 열부하(peak heat load, Gcal/h)는 연결 열부하에 최대 부하율(여기서는 80%를 적용)을 곱한 값이다.

전력은 상용과 비상용 2개의 계통이 분리되어 공급되고, 지역에너지공급시스템의 운영을 도와주는 관제시스템과, 기계, 전기, 조명, 소방 등 분야별 건물자동제어시스템(BAS; building automation and control system) 및 이를 통합 감시하는 지능형 건물관리시스템(IBS; intelligent building system)이 설치되어 있으며, 건물에 입주하는 각 수용가에 요금을 부과하기 위한 검침용 계량기 및 원격검침시스템이 구비되어 있다.

디큐브시티 복합건물의 지역에너지 공급시스템은 Table 3에 보인 바와 같이 가스엔진 발전기를 이용하여 열과 전기를 생산, 공급하는 열병합발전설비와 취사와 세탁, 가습 및 부족한 열원의 공급을 위한 증기보일러(관류형), 냉난방용 중온수를 생산, 공급하는 중온수 보일러(노통연관식) 그리고 냉열원의 공급을 위한 터보냉동기 및 흡수식냉동기 등으로 구성된다.

즉 도시가스를 사용하여 3 MW의 전력과 열을 각각 생산하는 가스엔진 열병합발전설비 3대와 역시 도시가스를 사용하여 증기를 생산하는 3 t/h(전열면적 25 m²) 용량의 증기보일러 6대와 1.6 t/h(전열면적 10 m²) 1대, 도시가스를 연료로 하여 중온수를 생산하는 6,000 Mcal/h 용량의 중온수 보일러 2대, 열병합발전설비 및 중온수 보일러 또는 증기와 열교환을 통해 생산된 중온수를

Table 2 Various energy loads in D-Cube City

Facilities	Area (m ²)	Unit heat load (kcal/m ² ·h)	Heat load (Mcal/h)	Peak heat load (Gcal/h)
Heating load				
Dep.store	54,746	184.3	10,090	8.07
Conf.Hall	15,671	135.6	2,125	1.70
Convenience	3,780	560.6	2,119	1.70
Office	18,544	117.5	2,179	1.74
Hotel	17,242	239.8	4,135	3.31
Sum.	109,983	-	20,648	16.52
Cooling load				
Dep.store	54,746	254.0	13,905	11.1
Conf.Hall	15,671	188.0	2,946	2.4
Convenience	3,780	207.0	782	0.6
Office	18,544	169.0	3,134	2.5
Hotel	17,242	204.0	3,517	2.8
Sum.	109,983	-	24,284	19.4
Electricity load				
Facilities	Area (m ²)	Elec. density (VA/m ²)	Peak load (kW)	Gen. peak load (kW)
Dep.store	101,371	93	8,485	7,378
Conf.Hall	35,266	64	2,031	1,766
Convenience	10,584	63	600	522
Office	40,321	54	1,960	1,704
Hotel	42,453	63	2,407	2,093
Sum.	350,058	-	16,888	14,685

Table 3 Specifications of the CES for D-Cube City

Apparatus	Capacity	Energy consumption	Number of units
Gas engine & generator	3 MWe 1.367 MWt (Flue gas) 1.643 MWt (Cooling water)	LNG 676 Nm ³ /h	3
Steam boiler	3 t/h, 25 m ²	LNG 203.2 Nm ³ /h	6
	1.6 t/h, 9.99 m ²	LNG 101.6 Nm ³ /h	1
Hot water boiler	6,000 Mcal/h	LNG 679 Nm ³ /h	2
Absorption chiller	1,050 USRT	18.2 kW	2
Turbo chiller	1,600 USRT	1.1 MW	4

이용해 냉수를 만드는 1,050 USRT(18.2 kW) 용량의 흡수식냉동기 2대, 그리고 전기를 이용해 냉수를 생산하는 1,600 USRT(1.1 MW) 규모의 터보냉동기 4대를 구비하고 있다.

3. CES 최적화 방안 검토

3.1 분석방법

본 연구에서는 디큐브시티 복합건물의 에너지 부하 및 CES의 최적화 방안을 검토하기 위해 먼저 건물의 용도별 부하패턴을 작성하여 건물 전체의 연간 에너지 수요를 파악하였다. 여기서 얻어진 에너지원별 부하율에 따라 각종 설비의 성능을 고려하여 연간 시물레이션을 수행하는 프로그램을 작성한 후, 각종 설계 및 운전변수의 변화에 따라 시행착오법으로 얻은 다양한 계산결과를 통해 건물 전체의 에너지소비 및 비용이 최소가 되는 결과를 얻을 수 있었다.

3.2 설계단계 CES 도입효과 분석

Table 4는 디큐브시티 복합건물의 에너지 수요를 충족하기 위해 지역에너지공급시스템에 의해 전기와 열을 공급하는 경우 개괄적인 에너지 밸런스를 검토한 결과이다. 먼저 전력의 경우 자가 발전에 의해 약 85%의 전력을 충당하고 계통으로부터 15% 정도를 구입함을 알 수 있다. 한편 열병합발전설비로부터 82.5%를 생산하고 나머지 17.5%를 보일러에 의해 충당되는 열은 난방을 위해 65%를 사용하고 냉방용으로는 14%를 사용해서 78.7%만을 사용하고 21.3% 정도의 열은 사용하지 못하고 버려지는 것으로 분석되었다. 이와 같이 생산된 열이 버려지는 이유는 난방 또는 냉방에 사용되는 온열의 수요가 발전 후 회수되는 배열량에 미치지 못하기 때문이며, 이는 주로 봄이나 가을과 같은 중간기에 해당된다.

Fig. 2는 지역에너지 공급기그템의 도입에 따른 에너지소비량과 기존의 방식과 비교시 에너지 절감율을 도시한 것으로, 여기서 기존의 공급방식이란 도시가스를 연료로 하는 냉온수기(또는 별도의 보일러 및 흡수식냉동기)에 의해 냉난방을 수행하고 계통전력에 의해 전기를 공급받는 경우이다. 지역에너지 공급시스템의 경우에는 기존 방식에는 없는 발전용 도시가스의 수요가 매우 큰 비중을 차지하는 반면, 보일러용 도시가스 수요나 터보냉동기의 사용전력 및 전력수요에 대응하기 위한 계통 전력망으로부터의 수전량이 상대적으로 크게 감소했음을 볼 수 있다. 기존 방식에서의 에너지 소비량은 22,667 TOE이고, 지역에너지 공급시스템에 의한 에너지 소비량은 19,572

Table 4 Electric and heat energy balances for D-Cube City

	Electricity (MWh/yr)		Heat produced (Gcal/yr)		Heat sold (Gcal/yr)			
CHP	66,640	85.1%	CHP	58,749	82.5%	Heating	45,961	64.6%
Inlet	11,640	14.9%	Boiler	12,422	17.5%	Cooling (Abs.)	10,020	14.1%
Sum	78,280	100%	Sum.	71,171	100%	Sum.	55,981	78.7%
-	-	-	-	-	-	Heat loss	15,190	21.3%

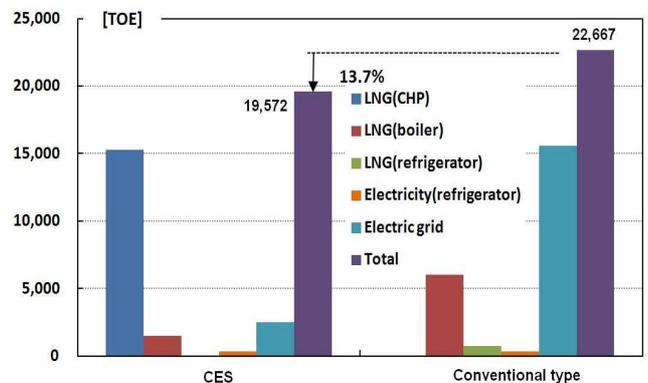


Fig. 2 Comparison of the energy consumption and energy saving ratio through the community energy supply system with the conventional one

TOE로, 지역에너지공급시스템을 도입함으로써 연간 약 13.7%(3,095 TOE/년)의 에너지를 절감할 수 있음을 보여주고 있다.

3.3 CES 운영방법 개선에 따른 효과분석

앞 절에서 기술한 내용은 설계 자료⁽³⁾를 기초로 하여 배열 이용률에 관한 일부 오류 등을 수정하여 산출한 것으로, 열병합발전설비를 이용하는 경우 일반적으로 저렴한 국내 전력요금과 상대적으로 비싼 가스요금으로 인해 배열이용을 위한 체계적이고 엄격한 운영을 하지 않으면 경제성의 측면에서 불리한 경우가 많다. 본 절에서는 운영단계에서 지역에너지공급시스템의 성능을 극대화하는 방안에 대해 검토해 보고자 한다. 단 여기서의 검토결과는 지역에너지 공급시스템 설계보고서를 기준으로 한 최적화 방안에 대한 것이며, 보다 구체적인 결과를 얻기 위해서는 설비 및 시스템의 실제 운전성능과 각종 에너지원별

부하패턴 등에 관한 세부자료를 이용한 검토를 필요로 한다.

Table 5는 지역에너지 공급시스템에 대한 연간 시뮬레이션을 통한 운전 최적화에 따른 시스템 성능인자들의 변화를 설계 자료와 비교하여 정리한 것으로, 연간 열병합 발전설비의 가동률은 77.6%로 설계결과보다 오히려 감소하는 것으로 나타났다. 즉 디큐브시티 복합건물의 에너지 부하량과 부하패턴을 고려할 때 동절기나 하절기 등 열수요가 큰 기간 이외의 중간기에 열병합발전설비를 가동함에 따른 시스템 성능저하와 그에 따른 경제성 감소로 인해 가동률이 감소한 것으로 판단된다. 그 결과로 발전배열의 이용률은 당초 66.5%에서 86.8%로 20% 이상 상승하였고, 이에 따라 총 에너지절감율도 1.2% 상승하는 결과를 보여주었다. 또 연간 지출해야 할 에너지 구입비용도 1.8억이 감소하였고 연간 이산화탄소 배출량도 0.8%만큼 낮아졌다.

Table 6은 하절기 발전 수행에 따른 배열의 이용율을 증가시키기 위한 냉방설비 용량의 최적화 결과를 정리한 것으로, 설계결과로 얻은 열병합 발전설비와 중온수 보일러를 그대로 적용하여 연간 시뮬레이션을 수행한 결과이다. 계통전력 요금과 도시가스 요금(하절기 발전용 적용) 및 건물에서의 에너지 수요를 반영한 운전결과 발전배열을 이용하는 흡수식 냉동기의 용량은 3,200 RT로, 동일한 냉방부하를 만족하면서 설계결과에 비해 50% 이상 설비용량이 증가하는 결과를 얻었다. 이에 반해 전기를 이용해서 구동하는 터보 냉동기의 설비용량은 5,300 RT로 17.2% 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 전력수요가 큰 하절기에 발전량을 증가시키는 한편, 배열을 이용해 냉방을 수행함으로써 하절기 최대전력수요 발생의 주원인이 되는 냉방용 전력수요를 근본적으로 삭감하는 결과가 되므로 일석이조의 효과를 거둘 수 있는 것으로 판단된다.

3.4 에너지 부하 변경에 따른 효과분석

앞에서 기술한 바와 같이 건물에서의 주어진 에너지 수요에 대해 에너지공급시스템의 운영을 최적화함으로써 설비 및 시스템의 성능 및 효율 향상과 그에 따른 에너지 비용절감 등 경제성 향상이 가능하지만, 에너지 부하를 변화하는 경우에도 적지 않은 효과를 거둘 수 있다.

Table 5 Variation of economic efficiency after optimization

	Designed	Optimized	Variation
Annual CHP running rate(%)	85	77.6	-7.4
Waste heat using rate(%)	66.5	86.8	20.3
Rate of energy saving(%)	13.7	14.9	1.2
Fuel cost saving (Billion Won)	1.14	1.32	0.18
Reduction of CO ₂ emission(%)	12.8	13.0	0.8

Table 6 The variation of chiller capacity with the increment of waste heat usage

	Designed	Optimized	Ratio(%)
CHP(MW)	9	9	-
Hot water boiler(Gcal/h)	23	23	-
Absorption chiller(USRT)	2,100	3,200	52.4
Turbo chiller(USRT)	6,400	5,300	-17.2

즉 Fig. 3에 보인 바와 같이 기존의 설계내역에서는 판매시설의 난방면적이 가장 넓고 숙박시설과 업무시설 및 문화집회시설의 순으로 구성되어 있는데, 이들 시설은 각각 서로 다른 용도별 에너지 수요를 가지기 때문에 시설별 점유면적이 달라짐에 따라 에너지 공급시설들의 종합 이용효율과 경제성에도 적지 않은 차이가 있게 된다. 물론 이미 설계에 반영된 용도구분을 에너지 이용효율 향상을 위해 변경할 수는 없겠지만, 추후 용도가 서로 다른 시설이 하나의 건물에 같이 설치되는 복합건물이나 용도가 다른 여러 개의 건물이 공존하는 주거단지를 설계하는 경우 등에는 이와 같은 사항을 적극적으로 반영하는 것이 바람직할 것이다.

Fig. 4는 디큐브시티 복합건물에서 설계내역의 용도별 시설의 점유면적의 변화가 에너지 이용효율 및 경제성에 미치는 영향을 고찰하기 위해 점유면적이 가장 넓은 판매시설의 35%를 숙박시설로 변경하는 경우를 가정할 때 동절기 대표적인 날의 일간 난방부하패턴의 변화를 도시한 것으로, 전체 건물의 시간에 따른 패턴에는 변화가 없으나 시간변화에 따른 시간대별 에너지 수요 편차는 상당히 감소함을 볼 수 있다.

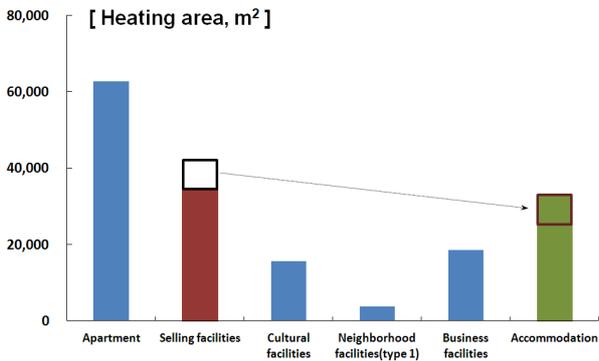


Fig. 3 The occupied areas of each facilities of the D-Cube City

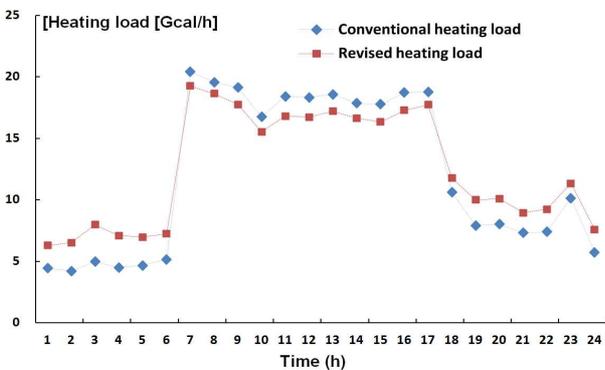


Fig. 4 The effect of the areas of each facilities on the heating load per day

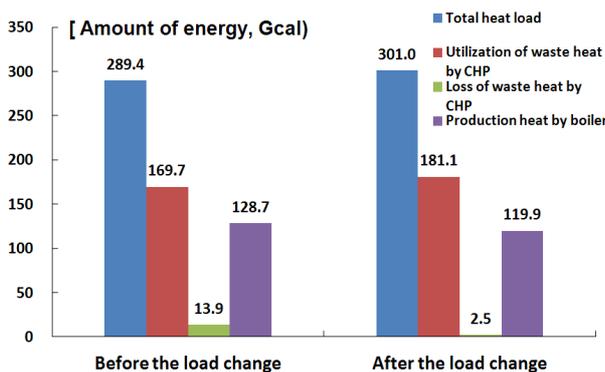


Fig. 5 The variation of energy consumption with heating load in building

Fig. 5는 앞에서 기술한 바와 같은 부하의 변경 시 일간 에너지 생산 및 이용현황을 비교, 도시한 것으로, 동일한 면적 대비 숙박시설의 일간 에너지 부하량이 판매시설의 경우보다 커서 총 열부하와 배열 이용량은 다소 증가하는 반면, 보일러에서의 열생산량과 배열 손실량이 감소하여 결과적으로 시스템 효율이 75%에서 78%로 3%

향상하는 결과를 가져왔다. 여기서 고찰한 내용은 건물의 매우 다양한 용도에 대한 극히 부분적인 예에 불과하며, 향후 이에 대한 체계적인 검토를 통해 건물이나 단지의 설계시 에너지 이용 효율 향상의 측면에서 바람직한 시설용도별 구성에 관한 자료가 제공될 필요가 있는 것으로 판단된다.

4. 결론

(1) 지역에너지 공급시스템의 열병합발전설비에 서 발생하는 배열 손실을 최소화하기 위해서 열 수요가 감소(설계 대비 7.4%)하는 중간기 열병합 발전설비의 가동률을 낮출 필요가 있다.

(2) 시스템 운전 최적화를 통해 전력수요가 큰 하절기에 발전량을 증가시키고 냉방용 배열 이용률을 증가(20% 이상)시킴으로써 전력수요 감소와 발전시스템 효율증가라는 일석이조의 효과를 거둘 수 있는 것으로 판단된다.

(3) 건물이나 단지의 용도별 시설면적은 에너지 공급시스템의 에너지 소비에 직접적인 영향을 미치며, 향후 시설용도별 구성이 건물이나 단지의 에너지 이용효율에 미치는 영향에 관한 체계적인 검토가 필요하다.

후 기

본 연구는 2010년도 지식경제부의 재원으로 한국에너지기술평가원(KETEP)의 지원을 받아 수행된 연구결과 중 일부 내용입니다(과제번호: 2010 100040).

참고문헌

- (1) Korea Institute of Construction Technology, 2004, "Design of the Integrated System Model of the Individual Urban Utility Plants Using Underground Space," *Report of the MLTM, R&D/99S01-01*, pp. 43~98.
- (2) Kim, Y. K., Lee, T. W. and Woo, N. S., 2009, "A Study on the Optimal Design of Urban Energy Systems," *Trans. of the KSME (B)*, Vol. 33, No. 6, pp. 396~402.
- (3) Daesung Industrial Co. Ltd., 2010, "A Plan of the Community Energy Supply System," *Report of the Daesung Industrial Co. Ltd.*, pp. 8~64.