대학 캠퍼스 냉·난방시스템 최적화 방안 연구

A Study on the Optimization of Heating and Cooling System in University Campus

박 소 연* Park, So-Yeon
박 효 순** Park, Hyo-Soon
이 상 혁*** Lee, Sang-Hyeok
김 지 연**** Kim, Ji-Yeon
홍 성 희***** Hong, Sung-Hee

Abstract

The demands are increasing for the efficient heating and cooling system and thermal comfort environment because of changes in climate and environment, and deterioration of buildings and facilities can cause education budget to increase. So the study to apply heating and cooling system to university is urgently needed to improve an optimum energy saving system, educational environment and convenience of maintenance. For this reason, we selected a university campus in Seoul then came to understand the current situation and found some problems. We drew alternatives from comparative analysis of them. It selects representative building and carries out economic analysis to evaluate characteristics of energy consumption and economics on each type of heating and cooling system. As a result we drew the optimum system from those processes as previously stated. We studied 3 available systems, absorption chiller, EHP(Electric Heat Pump) and GHP(Gas Engine Heat Pump). According to LCC analysis suppose that the value of EHP is 1, it came out that the value of absorption chiller is 1.5 and the value of GHP is 2.2. This study, suggesting the optimum heating and cooling system, will support educational and research activities furthermore effect to maximize energy efficiency. Ultimately it is expected that it will contribute to make eco-friendly Green Campus.

키워드 : 냉·난방시스템, 최적화 설비, 흡수식 냉온수기, 전기구동히트펌프, 가스구동히트펌프
Keywords : Heating and cooling system, Optimum system, Absorption chiller, EHP, GHP

1. 서 론

1.1 연구배경 및 목적

최근 세계적으로 화석연료의 사용이 증가됨에 따라 대기오염, 지구온난화, 오존층 파괴 등 환경재해가 심화되고 있다. 우리나라에서도 급속한 산업화와 소득수준의 향상으로 에너지 수요가 크게 증가하고 있으며 실내외 환경이 오염됨에 따라 쾌적한 환경에 대한 요구가 늘어남으로써, 환경 친화적인 에너지원 및 에너지기기의 중요성이 크게 부각되고 있다.

이와 동시에 국내 각 대학 캠퍼스에서는 기후 및 환경변화에 따른 냉·난방시설 및 쾌적 온열환경에 대한 요구가 증가하고 있는 실정이다. 그리고 건물 및 설비 노후화에 따라 발생하는 운전관리비로 인해 교육예산이 증대하고 있다. 따라서 최적의 에너지절약 시스템 구축과 교육환경 개선 및 유지관리의 편리성 확보를 위해 대학건물의 냉·난방설비시스템 관련 연구수행이 시급하다.

* 인하대학교 건축공학과 석사과정(violet817@kier.re.kr)
** 교신저자, 한국에너지기술연구원 책임연구원, 공학박사 (hspark@kier.re.kr)
*** 우송정보대학 기계자동차설비계열 교수, 공학박사(hvaclee@wsi.ac.kr)
**** 한국에너지기술연구원 위촉연구원, 공학박사(jykim@kier.re .kr)
***** 한국에너지기술연구원 선임연구원(shhong@kier.re.kr)

이에 본 연구는 서울시 소재 대학교(이하 S대학교)를 선정하여 냉·난방시설현황을 파악하고 문제점을 분석하였다. 그리고 기존 냉·난방시스템에 대한 대체방안을 도출하여 적용 가능한 냉·난방시스템을 비교 분석함으로써 대학 캠퍼스에서의 최적 냉·난방시스템 개선방안을 제시하였다.

냉·난방시스템 방식의 최적화 방안 마련은 대학의 교육·연구 활동을 지원하고 에너지이용 효율을 극대화하여 궁극적으로 환경친화적인 그린캠퍼스 조성에 기여할 것으로 기대된다.

1.2 연구내용 및 범위

본 연구는 S대학교의 시설현황과 기존 건물의 냉·난방시스템에 대한 조사를 통해 문제점을 도출하였다. 그리고 흡수식 냉온수기, 전기구동 히트펌프(EHP), 가스구동 히트펌프(GHP)로 구분하여 에너지소비량을 비교분석하고, 경제성 등 관련사항을 비교분석하여 대학건물에 적합한 시스템을 제시하였다.

연구의 범위는 S대학교의 전체 209개 건물 중 노후화된 건물 79개동을 1차 연구대상으로 선정하고, 이 중 특히 냉·난방시스템 개선이 시급한 56개 건물을 선택하여 사업비 분석을 수행하였다.

본 연구의 범위와 연구 진행을 위한 연구 흐름도(Flow Chart)는 다음과 같다.

· 기존 건물의 냉·난방시스템 자료수집 및 현황파악
· 기존 냉·난방시스템 문제점 도출 및 분석
· 냉·난방시스템 최적대안 도출
· 시스템 도입에 따른 경제성 분석

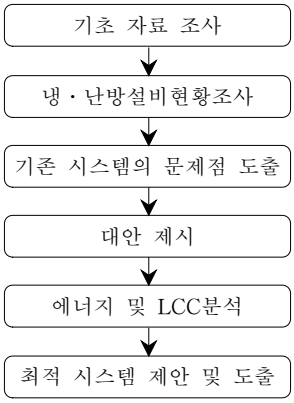

그림 1. 연구 흐름도

2. S대학교캠퍼스 냉·난방시설 현황 및 문제점 분석

2.1 연구대상 건물의 냉·난방시설현황

연구대상 79개 건물 중 파워플랜트에서 생산된 증기는 공동구를 통하여 40개 건물에 공급되고 있으며, 건물 내부에 설치된 주철제 방열기에 증기를 공급받아 간헐난방을 실시하고 있다.

증기방열기를 이용하여 난방을 하는 건물은 384,579㎡로서 연구대상 건물의 약 77.2%에 해당하며 시설관리자에 의해 외기온도를 고려하여 간헐적으로 난방을 실시하고 있다. 아래 표 1은 연구대상 건물 79동의 난방시설 현황을 나타내고 있다.

표 1. 연구대상건물 난방시설 현황

구 분	중앙난방방식			계
	파워 플랜트	보일러	냉온수기	
건물수	61	15	3	79
연면적(㎡)	384,579	54,454	62,536	501,569
비율(동수)	77.2%	19.0%	3.8%	100%

냉방시설 현황을 살펴보면, 연구대상 각 건물의 기계실에 냉동기 또는 흡수식 냉온수기를 설치하여 냉방하거나 개별식 냉방기를 설치하여 여름철 냉방을 실시하고 있다. 표 2에서 보는 바와 같이 중앙냉방 방식은 27.8%이며, 연구대상 건물의 72.2%에 개별 냉방기가 설치되어 있는 것으로 집계되었으나 중앙냉방 건물도 냉동기의 노후, 사용의 불편함 등으로 개별 냉방기가 다수 설치되어 있는 것으로 조사되었다.

표 2는 연구대상 건물 79개동의 냉방시설 현황을 나타내고 있다.

표 2. 연구대상건물 냉방시설 현황

구 분	중앙냉방		개별냉방	계
	냉동기	냉온수기	냉방기	
건물수	19	3	57	79
연면적(㎡)	205,331	62,536	233,702	501,569
비율(동수)	24.0%	3.8%	72.2%	100%

2.2 냉·난방시설의 문제점

1) 기존 시설의 노후화

S대학교캠퍼스 조성 초기에 건설된 건물 중 30년 이상 경과된 건물이 30.6%, 20년 이상 경과된 건물이 약 46.9%로 나타났다. 이와 같이 경과 연수가 큰 건물들은 건물외피, 구조물 등 건축부문이 낡은 것은 물론, 냉·난방을 위한 보일러, 배관 등 기계설비부문의 노후화가 심각한 실정이다.

S대학교에서는 2개소의 파워플랜트에서 증기를 생산하여 각 건물에 증기를 공급하고 있는데, 파워플랜트 설비뿐만 아니라 열원배관도 내구연한이 초과한 설비가 대다수이며 노후가 심하고 효율도 낮아 이에 따른 에너지비용이 증가하고 있다.

2) 중앙공급 방식의 문제점

S대학교의 중앙공급 방식은 자동제어가 미비한 관계로 시설관리자에 의해 외기온도에 따라 하루 수차례 간헐적으로 난방을 실시하고 있다. 효과적인 간헐 난방을 위해서는 다양한 기후조건이나 각 건물의 특성이 잘 고려되어야 하나 현실적으로 조건이나 특성들을 반영하여 가동하기 어려운 실정이다.

또한 중앙공급 방식은 예열부하가 크고 냉·난방 시 건물 전체에 걸쳐서 실시하게 되므로 실별 냉·난방 불균형 및 열 운반 경로에서의 열손실이 발생되며, 소수 야간 재실자의 냉방요구에 적절히 대응하기가 어렵다.

3. 냉·난방시스템 적용방안

3.1 시스템 유형별 에너지 소비량 분석

1) 해석건물의 개요

S대학교캠퍼스 56개 건물의 냉·난방시스템에 대한 유형별 에너지소비 특성 및 경제성을 평가하는 방법은 현장조사에 의한 방법과 계산에 의한 방법으로 구분할 수 있으나, 본 연구에서는 대표 건물을 선정하여 시스템 시뮬레이션에 의한 경제성 해석을 수행하였다.

모델 건물의 건축개요는 표 3과 같으며, 건물의 외벽은 미장 위에 수성페인트로 마감되어 있고 콘크리트 두께는

표 3. 모델 건물의 건축 개요

대지위치	서울특별시 관악구 관악로 599 서울대학교 내, 건물번호 37동		
건축면적	1130.8㎡	연면적	5,654㎡
건 폐 율	17.56%	용적률	64.39%
층 수	지하1층, 지상4층	건물층고	15.52m
향	동향	구 조	철근콘크리트조

160㎜이다. 평면은 주로 연구실 및 실험실로 구성되어 있으며 극히 일부가 강의실로 사용되고 있고 복도를 중심으로 양쪽에 실이 있는 형태이다.

우리나라의 경우 1975년에 "건축물에 있어서의 열손실방지"법을 시작으로 1979년 5월에 처음 열손실방지를 위한 단열두께 규정을 하였으며 현재는 "건축물의 에너지절약설계기준"에서 지역별 단열기준을 규정하고 있다. 1979년에 준공된 대학 건물의 경우 일반적으로 벽체는 단열을 하지 않은 상태이며 창문은 3mm 이중유리를 사용하였다. 본 연구의 해석 대상 건물은 1979년, 건축법규로 단열규제를 받기전의 건물로 벽체(벽돌+콘크리트 구조)는 단열이 없고, 창호는 12mm (3/6/3) 이중창으로 시공되어 있다. 따라서 일부 건물의 경우 냉·난방시스템 리모델링 시 건물외피시스템의 개선도 중요하다고 할 수 있다. 건물의 부하특성 및 에너지소비량 해석은 Visual DOE4.0 프로그램을 사용하였으며 건물외피시스템의 개선에 따른 비교를 하기 위하여 벽체 경우 '벽돌 + 50㎜ 단열재+콘크리트'인 경우에 대한 부하특성의 변화도 함께 고찰하였다.

2) 실내설정조건

표 5는 실내 냉·난방 온도 및 내부 발열부하 조건으로 표 4와 같이 스케줄 설정을 하였다. 방학기간 중 스케줄은 휴일(토, 일요일, 공휴일) 조건으로 설정하였다.

표 4에서 냉·난방 온도조건은 "건축물의 에너지절약설계기준" [별표7]의 '냉·난방장치의 용량계산을 위한 실내 온습도 기준'으로 설정하였으며, 내부 발열부하는 현장조사에 의한 값으로 설정하였다.

표 4. 냉·난방 온도 및 내부 발열부하의 설정

구 분	일반강의실 및 실험실	연구실 및 사무실
난방설정온도	20℃	20℃
냉방설정온도	26℃	26℃
조명부하	20.0W/㎡	20.0W/㎡
기기부하	5.0W/㎡	20.0W/㎡
인체발열부하	1.5㎡/인	5.0㎡/인

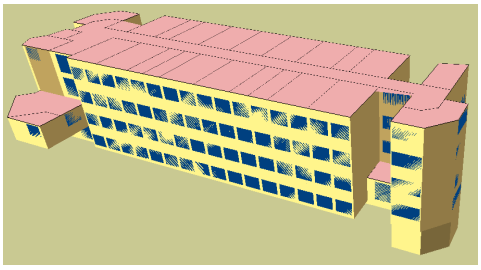

그림 2. Visual DOE 모델링

3) 건물부하특성

표 6은 해석 대상건물의 부하 요소별 냉·난방 피크부하를 나타낸 것으로 냉방부하의 경우 일사부하가 크게 나타나고 난방의 경우는 침입 외기부하와 단열이 되어 있지 않은 벽체를 통한 손실이 크게 나타나는 특성을 보이고 있다.

표 6. 피크부하(벽체 단열을 하지 않은 경우)

부하요소	냉방부하(kcal/h)		난방부하(kcal/h)
	현열부하	잠열부하	
외벽	55,612	0.0	-214,405
지붕	10,226	0.0	-20,141
창	26,289	0.0	-68,121
일사	111,454	0.0	8,295
인체	41,108	43,365	2,622
조명	60,196	0.0	7,451
기기	47,858	0.0	25,322
침입외기	17,365	44,061	-125,976
합계	457,534		-384,953
kcal/㎡·h	150		-126

표 7은 벽체에 단열을 하는 경우에 대한 부하특성 값으로 냉방부하의 경우 단열을 하지 않은 경우 부하량이 150kcal/㎡·h서 단열을 한 경우 144kcal/㎡·h로 4.0% 정도의 냉방부하 감소량을 보이고 있다. 실내 발열부하와 일사부하가 큰 특성을 갖고 있어 벽체 단열여부에 따른 변화가 크게 나타나고 있지 않지만 난방부하의 경우 벽체를 통한 손실부하가 크게 감소하여 부하량이 126kcal/㎡·h에서 79kcal/㎡·h로 약 37.3%의 부하 감소효과를 나

표 5. 열부하 및 냉·난방 설정온도 타임 스케줄

구분		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24
재실률	월~금	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1.0	1.0	1.0	0.2	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	0.05	0	0	0	0	0
	토~일	0	0	0	0	0	0	0	0.5	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.1	0.05	0	0	0	0	0
조명	월~금	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.8	0.9	0.9	0.35	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.1	-	-	-	-	-
	토~일	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.5	0.05	0.05	0.05	-	-	-	-	-
기기	월~금	-	-	-	-	-	-	-	0.5	0.9	0.9	0.9	0.4	0.7	0.9	0.9	0.9	0.9	0.9	0.4	-	-	-	-	-
	토~일	-	-	-	-	-	-	-	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	0.4	-	-	-	-	-
냉방	월~금	-	-	-	-	-	-	-	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	26.0	-	-	-	-	-	-
	토~일	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
난방	월~금	-	-	-	-	-	-	-	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	20.0	-	-	-	-	-	-
	토~일	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

주) 1. 재실률, 조명, 기기 설정 값의 단위는 %로, 1.0은 100%를 의미한다.
2. 난방 및 냉방은 온도조건으로 단위는 ℃이다.

표 7. 피크부하(벽체 단열을 한 경우)

부하요소	냉방부하(kcal/h)		난방부하(kcal/h)
	현열부하	잠열부하	
외벽	16,957	0.0	-67,658
지붕	10,760	0.0	-21,127
창	27,773	0.0	-71,897
일사	122,052	0.0	8,846
인체	43,655	43,365	2,768
조명	63,156	0.0	7,835
기기	50,772	0.0	26,832
침입외기	17,365	44,061	-125,976
합계	439,916		-240,377
kcal/㎡·h	144		-79

타내고 있다. 따라서 건물 외피시스템의 리모델링이 병행될 필요가 있다.

4) 월별 건물 냉·난방 부하

표 8은 월별 건물의 냉·난방부하를 나타낸 것이다.

난방부하의 경우 1월 달에 최대치가 나타나고, 냉방부하의 경우 7월이 가장 크며 8월, 9월의 순으로 큰 값을 나타내고 있다. 표 9에서 최대난방부하는 1월로 표 6에 표시한 384,953kcal/h이며, 최대냉방부하는 9월의 370,1081kcal/h로 표 6의 피크부하 457,534kcal/h에서 잠열부하를 제외한 수치이다.

표 8. 월별 냉·난방부하 최대부하

	난방부하 (Mcal)	최대난방부하 (kcal/h)	냉방부하(Mcal)		최대냉방부하 (kcal/h)
			현열	잠열	
1월	122,743	384,953	-	-	-
2월	78,994	267,069	-	-	-
3월	57,397	233,600	-	-	-
4월	-	-	-	-	-
5월	-	-	-	-	-
6월	-	-	90,845	14,468	344,682
7월	-	-	109,758	24,132	334,224
8월	-	-	107,096	23,976	313,108
9월	-	-	91,237	16,373	370,108
10월	-	-	-	-	-
11월	59,262	231,318	-	-	-
12월	94,120	269,416	-	-	-
합계	412,516		477,885		

5) 유형별 냉·난방시스템 에너지소비량

냉·난방시스템에 대한 에너지소비 특성 및 경제성을 평가하기 위해서는 우선적으로 정확한 연간 에너지소비량이 산출되어야 한다. 앞서 언급한 바와 같이, 현재 연간 에너지소비량을 추정 방법에는 현장조사에 의한 방법과 계산에 의한 방법이 있으나, 본 연구에서와 같이 시스템별 운전특성을 정확히 추정할 수 없는 경우에는 시스템 시뮬레이션 등과 같은 계산에 의한 방법이 유효하다.

분석대상 건물에 적용 가능한 냉·난방시스템으로 흡수식냉온수기(Absorption Chiller), 전기구동히트펌프(Electric Heat Pump), 가스히트펌프(Gas Engine Heat Pump)를 설정한 후 에너지소비량 해석을 수행하였다.

아래 표 9는 냉·난방기기의 성적계수를 나타낸 것으로서 냉·난방 사이클의 성적계수(COP)가 높을수록 소비전력의 절감과 효율향상을 기대할 수 있다.

표 9. 냉·난방기의 성적계수

구 분		흡수식 냉온수기	가스히트펌프 GHP)	전기구동 히트펌프 (EHP)
성적계수 (COP)	냉방	1.1	1.2	3.9
	난방	0.9	1.4	4.4

본 연구에서 냉·난방시스템 에너지소비량 산정에서는 4월, 5월 및 10월은 비공조기간으로 설정하였다.

냉·난방시스템에 따른 에너지소비량 결과는 표 10과 같이 계산되었으며 그 결과를 그림 3과 그림 4에 나타내었다. 표 10에서 가스히트펌프와 흡수식 냉온수기는 전기구동히트펌프에 비해 연간 냉방에너지는 각각 3.2배와 6.4배, 연간 난방에너지는 2.8배와 3.2배가 많은 것으로 계산되어 에너지소비량에서 큰 차이를 보이고 있다.

표 10. 냉·난방시스템에 따른 에너지 소비량 예측

월	냉방에너지(Mcal)			난방에너지(Mcal)		
	전기구동 히트펌프	가스 히트펌프	흡수식 냉온수기	전기구동 히트펌프	가스 히트펌프	흡수식 냉온수기
1월	-	-	-	23,059	70,919	83,868
2월	-	-	-	15,543	45,090	49,985
3월	-	-	-	11,102	28,675	31,107
4월	-	-	-	-	-	-
5월	-	-	-	-	-	-
6월	15,816	49,243	101,595	-	-	-
7월	18,658	60,923	118,845	-	-	-
8월	19,932	64,764	126,855	-	-	-
9월	16,865	53,915	107,055	-	-	-
10월	-	-	-	-	-	-
11월	-	-	-	12,010	30,762	32,592
12월	-	-	-	16,662	47,672	51,917
합계	71,271	228,845	454,350	78,376	223,118	249,469
비율	1.0	3.2	6.4	1.0	2.8	3.2

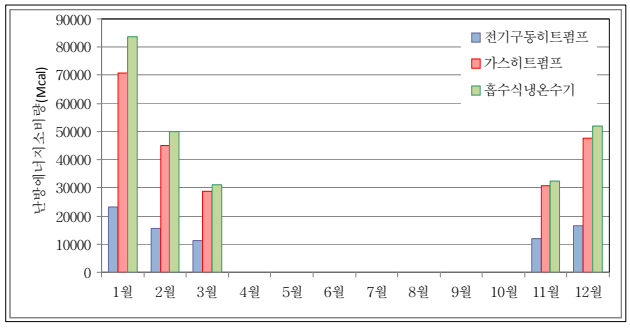

그림 3. 냉·난방시스템에 따른 월별 난방 에너지소비량

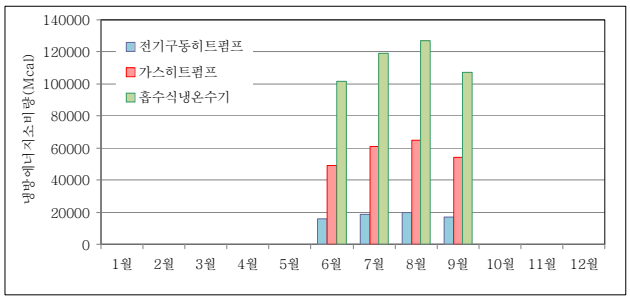

그림 4. 냉 · 난방시스템에 따른 월별 냉방 에너지소비량

3.2 시스템 유형별 경제성 해석

기획, 설계, 시공, 운용관리, 폐기처분 및 환경비용에 이르는 건물의 생애 동안에 필요한 모든 비용을 고려하는 생애 총비용(LCC: Life Cycle Cost) 분석기법은 건물시스템의 설계 단계에서 뿐만 아니라 구조 변경을 하는 경우에 에너지절약 및 환경비용에 관련된 투자규모를 결정하는데 매우 합리적인 방법으로, 건물 에너지절약의 효용성과 경제적 가치를 평가하여 가장 경제적인 대안을 선정하는 데 유용하게 활용될 수 있다. 본 연구에서는 LCC 분석의 관점에서 각 시스템별 즉, 전기구동히트펌프, 가스히트펌프방식, 흡수식냉온수기의 3가지 냉 · 난방시스템에 대한 생애 총에너지비용을 구하였다.

그리고 각 공조 방식별로 시설물의 초기투자비, 에너지비용, 유지관리비, 최종적인 처분비용 및 환경비용[1] 등을 이용하여 대상건물에 대한 에너지가 효율적이고 경제적이면서 환경 친화적인 대안(최소 생애총에너지비용을 갖는 안)을 선정하였다. 에너지 소모량 계산은 Visual DOE4.0을 이용하였으며, 생애주기비용 분석은 BLCC(Ver 5.1) 프로그램을 이용하였다.

① LCC 분석 수행

· 분석 기준일자: 2009. 1

· 분석 대상기간: 2009. 1~2024. 1 (15년)[2]

· 초기 투자비: 초기투자비의 산출은 분석시점에서의 현재가격으로 이루어지며 전기구동히트펌프(EHP)의 경우 견적자료를 기준으로 산출하였으며, 가스히트펌프(GHP) 방식과 흡수식냉온수기 방식은 단위면적당 기계설비공사비[3] 기준에 따라 계산한 전기구동히트펌프(EHP)의 초기투자비를 기준으로 비례식으로 산정하였다. 초기투자비는 아래 표 11과 같다.

· 정기적인 운영비용: 정기적인 운영비용에는 수리비, 점검비, 청소비, 운영인건비, 일반관리비 등이 포함되며

표 11. 초기투자비 (단위 ; 원)

구분	전기구동히트펌프 (EHP)	가스히트펌프 (GHP)	흡수식냉온수기
초기투자비	810,963,249	1,100,029,154	1,258,511,775

1) 본 연구에서 환경비용은 지구온난화비용의 개념으로써, 이산화탄소 배출량을 기준으로 산출하였음

2) 일본의 공조설비 법정 내구연한(15년)

3) 송승영 외 2인, 실적자료 분석에 의한 기계설비 공사비 영향인자 분석 및 공사비예측에 관한 연구, 대한건축학회논문집, 2008. 2.

표 12. 냉 · 난방시스템별 유지관리비 (단위 ; 원)

분류	전기구동히트펌프 (EHP)	가스히트펌프 (GHP)	흡수식냉온수기
운전관리비	5,397,256	6,300,146	32,877,677

건물 시스템의 특성과 관리능력에 따라 상당한 차이가 있을 것이라 예상된다. 본 연구에서 흡수식냉온수기의 경우 초기투자비의 1.5%[4]를 적용하였으며 전기구동히트펌프(EHP)와 가스히트펌프(GHP)는 필요비용에 초기투자비의 0.5%를 가산[5]하여 적용하였다. 각 시스템별 유지관리비는 표 12와 같이 적용하였다. 또한 시스템 유지를 위한 인건비는 흡수식냉온수기 방식에만 가스안전 관리자를 법적으로 선임해야하기 때문에 이에 필요한 1인 인건비로 1,400만원을 추가로 책정하였다.

· 비정기적인 운영비용: 이 항목은 건물의 운영에서 비정기적으로 발생하며 본 연구에서는 운전기간 내에 돌발적인 고장 없이 사용연한 후 전량 시설을 교체하는 것으로 보고 비정기적인 운영비용은 없는 것으로 가정하였다.

· 에너지비용: 에너지비용의 산출은 전기의 경우 건물용도, 계약전력, 계절, 사용시간대(주간/야간), 월별 총 사용전력량 등에 따라 달라지며, 도시가스(LNG)의 경우는 지역과 건물용도, 사용용도(냉방/난방)에 따라 달라진다.

본 분석에서는 전기 및 도시가스 요금은 2009년 7월 값을 사용하였으며, 전기 요금체계는 학교(고압A, 선택요금Ⅱ)에 따라 월별로 에너지비용을 산출하였다.

② 시설의 잔여가치

일반적으로 시설의 잔여가치는 분석기간 종료 시점에서의 시설의 가치가 수명주기 동안 100%에서 0%까지 매년 일정비율로 감소한다고 설정하지만 본 연구에서는 잔여가치가 교체시점에서 0%가 되는 것으로 설정하였다.

③ 각종 비용변동요소의 고려

건물의 생애주기비용 분석에 있어서는 여러 가지 가격변동요소에 대한 고려가 필요하다. 본 분석에서는 물가상승률을 고려한 실제할인율을 사용하여 비용을 계산하였다. 실제할인율을 산출하기 위한 식은 다음과 같다.

$$\text{실질할인율} = \frac{1+\text{공칭할인율}}{1+\text{물가상승율}} - 1$$

본 연구에서의 공칭할인율은 1999년부터 2008년도까지의 은행대출이자율의 평균값인 5.31%[6]를 사용하였다. 소비자 물가변동율의 평균값 2.9%로 적용하였으며 위 식에 따라 실질할인율은 2.35%를 적용하였다. 에너지가격변동률(energy price escalation rate)의 경우는 2009년 6월(정부발표자료) 교육용전기 및 가스요금 상승률에 따라 매년 전기와 가스 각각 6.9%, 7.9%씩 상승하는 것으로 설정하였다.

4) 공조냉동 위생편람 1권, 2편 운영관리비 산정기준

5) 공조냉동 위생편람 1권, 2편 운영관리비 산정기준
GHP의 운영비용=엔진오일교환비용+초기투자비의 0.5%,
EHP의 운영비용=전기안전관비용+초기투자비의 0.5%,
0.5%=냉동기(0.35%)+냉매보급(0.15%)

6) 한국은행(한국은행 경제통계시스템, ECOS 웹사이트)제시

④ LCC분석결과

표 13은 15년간의 LCC 결과이고 표 14는 냉·난방시스템에 따라 전기구동히트펌프(EHP)를 1로 하였을 때의 각 항목별 상대 비율을 나타낸 것이다.

표 13. LCC결과(15년)

항목	전기구동히트펌프 (EHP)		가스히트펌프 (GHP)		흡수식냉온수기	
	비용(원)	%	비용(원)	%	비용(원)	%
초기 투자비	810,963,249	75.2	1,100,029,154	66.8	1,258,511,775	54.1
에너지 비용	198,339,172	18.4	461,875,031	28.0	658,891,821	28.3
운전 관리비	64,380,840	6.0	75,150,908	4.6	392,179,369	16.9
환경 비용	4,816,381	0.4	10,393,857	0.6	14,713,479	0.6
Total LCC	1,078,499,642	100	1,647,448,950	100	2,324,296,444	100

표 14. 방식별 비용항목별 상대 비율

항 목		전기구동히트펌프 (EHP)	가스히트펌프 (GHP)	흡수식냉온수기
초기 투자비	(원)	810,963,249	1,100,029,154	1,258,511,775
	비율	1.0	1.4	1.6
에너지 비용	(원)	198,339,172	461,875,031	658,891,821
	비율	1.0	2.3	3.3
운전 관리비	(원)	64,380,840	75,150,908	392,179,369
	비율	1.0	1.2	6.1
환경 비용	(원)	4,816,381	10,393,857	14,713,479
	비율	1.0	2.2	3.1
Total LCC	(원)	1,078,499,642	1,647,448,950	2,324,296,444
	비율	1.0	1.5	2.2

Total LCC 측면에서는 전기구동히트펌프(EHP)를 1로 가정할 때 가스히트펌프(GHP)는 1.5, 흡수식냉온수기는 2.2배로 전기구동히트펌프(EHP)가 에너지절약적인 대안이라고 할 수 있다. 에너지 비용은 흡수식냉온수기가 전기구동히트펌프(EHP)에 비해 3.5배 비용이 더 드는 것으로 계산되었다. 가장 큰 차이를 보이는 비용은 운전관리비로 흡수식냉동기가 전기구동히트펌프(EHP)에 비해 6.1배 더 비용이 큰 것으로 나타났다.

또한 민감도 분석 결과, 전기세 인상률을 6.9%에서 7.9%로 하는 경우 전기구동히트펌프(EHP)의 변동폭이 1.47%로 가장 크고, 가스히트펌프(GHP)는 0.25%, 흡수식냉온수기는 0.18%순으로 나타났다. 그러나 적용값의 변화에 대하여 LCC값의 순위에는 영향을 주지 않는 것으로 분석되었다.

4. 결 론

본 연구의 목적은 국내 대학 건물의 기존 냉·난방시설에 대한 최적 대체방안을 도출함으로써 에너지이용 효율을 극대화하여 궁극적으로 지속가능하고 환경친화적인 대학 캠퍼스를 조성하는데 있다.

이를 위해 분석대상으로서 서울시에 소재한 S대학교의 기존 냉·난방설비의 현황 및 문제점을 조사·분석하였으며, 이를 토대로 적용 가능한 냉·난방시스템을 선정하고, 대표건물의 시스템 시뮬레이션에 의한 경제성 해석으로 이를 비교·분석하여 최적의 대안을 도출하였다.

연구결과는 아래와 같다.

적용 가능한 냉·난방시스템 3가지, 즉 전기구동히트펌프(EHP), 가스히트펌프(GHP), 흡수식냉온수기를 비교·분석한 결과, 개별제어가 우수하고 설치공사가 간단한 방식은 전기구동히트펌프(EHP)와 가스히트펌프(GHP) 방식이었으며, 냉매배관으로 유지 및 보수비용이 적게 드는 장점이 있다. 그리고 교육·연구시설과 같이 냉·난방시설의 운영이 다양하고 복잡한 구조에는 하나의 실외기에 여러 개의 실내기를 연결할 수 있는 전기구동히트펌프(EHP)가 적합한 것으로 조사되었으며, 설치비와 유지관리비가 저렴한 전기구동히트펌프(EHP)를 설치한다면 에너지비용과 온실가스배출량을 감소시킬 수 있는 것으로 분석되었다.

초기투자비, 에너지소비량, 운전관리비, 환경비용을 포함한 LCC 분석결과 전기구동히트펌프(EHP) 방식을 1.0으로 기준 할 때, 가스히트펌프(GHP)방식은 1.5, 흡수식냉온수기방식은 2.2로, 전기구동히트펌프(EHP) 방식이 가장 효율적인 것으로 분석되었다.

본 연구로 인해 국내 각 대학이 에너지 절약 시스템 구축의 필요성을 인지하고 최적의 냉·난방시스템을 마련함으로써 친환경적 그린캠퍼스로 발전할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

1. 교육부, 에너지기술연구소, 학교건물의 에너지절약 신기술 세미나, 2000. 12
2. 대한건축학회, 건축설비, 기문당, 2001. 01
3. 박효순 외 2명, 학교건물의 최적 냉·난방 설비시스템 선정 방안 연구, 한국교육시설학회, 1999. 09.
4. 서승직, 건축설비계획, 일진사, 2004
5. 에너지관리공단, 에너지기술DB 구축사업, 2005. 11
6. 윤용진 외 4명, 학교건물의 에너지절약형 냉·난방시스템 모델 개발, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2001. 07
7. 한국에너지기술연구소, 학교 건물의 환경개선을 위한 냉·난방시스템 연구, 1998.09
8. 한국에너지기술연구원, 학교건물의 천장형 인버터 냉·난방기 난방성능실증 및 평가연구, 2002. 05
9. 한국에너지기술연구원, 소규모 사무소건물의 인버터 냉·난방설비시스템을 이용한 Remodeling기법 연구, 2002. 11
10. 한국에너지정보센터, 에너지총설 (하), 2003
11. International Energy Agency, Key World Energy Statistics, 2008

투고(접수)일자: 2010년 9월 24일
심사일자: 2010년 9월 28일
게재확정일자: 2010년 11월 19일