

청소년 수련관의 열원설비 대안별 생애주기 비용에 관한 연구

Analysis of Life Cycle Cost for Heat Source Equipments in Buildings for Adolescent Trainees

안 창 환* 방 승 기** 백 용 규***
Ahn, Chang-hwan Pang, Seung-ki Baik, Yong-gyu

Abstract

Computer simulations were performed for Heating Ventilating and Air-Conditioning (HVAC) systems to figure out more efficient maintenance methods for the building used for adolescent trainees.

This study aims at suggesting design alternatives for optimum operation and performing life cycle cost (LCC) for each alternative.

First, the capacity of the heat source equipment was determined using annual maximum heating and cooling loads. Annual loads were calculated and applied to the alternative for the purpose of calculating annual energy cost.

Second, several types of data were collected to predict energy cost. Finally, the pay back period for each alternative was calculated using total cost estimation during standard duration period.

This study indicates that the absorption chiller that does not occupy most part of a mechanical room, and does not need much operation cost was most economical.

Keywords : Life cycle cost, Load calculation, Cooling Load, heating Load, Energy Simulation, Primary Plant Load Payback Period

1. 서 론

건축물의 설계단계에서부터 시공단계에 까지 소요되는 비용에 대한 관심은 전문가뿐만 아니라 비전문가에게도 큰 관심사항이 되어 왔다.

그러나 실제 건물을 완공한 후 유지, 관리측면에 소요되는 비용에 대한 관심은 시공단계에 소요되는 비용에 대한 관심에 비해서 상대적으로 적은 실정이다. 유지관리 비용 중 가장 큰 항목을 차지하는 것은 냉난방에 소요되는 에너지 비용이라고 할 수 있다.

실제 건물운용 시 냉난방에 소요되는 비용을 파악하기 위하여 단순히 에너지 사용량 비용만을 고려하는 것은 올바른 방법이 아니며, 실제 에너지를 사용하는 기기의

내구성 및 초기투자비등을 함께 고려하는 것이 올바른 방법이라고 할 수 있다.

본 연구에서는, 청소년을 위한 수련관에서의 에너지 절약 및 저비용, 고효율적인 유지관리가 가능한 냉난방 시스템을 선정하기 위하여 건물의 초기 설계단계에서부터 열원 및 공조시스템에 대한 시뮬레이션 실시하여 최적설계를 위한 설계 대안을 제시하고 각 대안별 LCC (Life Cycle Cost)분석을 실시하는 것을 목적으로 한다.

이를 위하여 먼저 연간 냉방부하와 난방부하를 컴퓨터 시뮬레이션을 통하여 구하고, 이 값을 이용하여 각 대안별로 연간 사용되는 에너지비용을 계산하였다.

두 번째로는 에너지 비용 산정에 필요한 각종 자료를 제시하고, 현가법 및 각 장비의 수명을 고려한 20년간의 현가누계액을 이용하여 투자회수기간을 산정하고, 각 대안별로 투자회수기간을 계산하였다.

* 대구공업대학 건축설비·소방학부 교수, 공학박사

** 경민대학 실용건축과 부교수, 공학박사

*** 서일대학 건축과 부교수, 공학박사

2. 연구방법

2.1. 분석대상 건물개요

그림 1에 대상건물의 평면과 단면을 나타내었다. 대상 건물은 시흥시에 위치하고 있으며, 지하 1층, 지상 4층의 규모로 지하1층에는 수영장, 지상 1층에는 다목적 강당, 지상 2층부터 3층은 실내체육관으로 이루어져 있으며, 각 층에 이들 시설을 지원하기 위한 사무실 및 기타 지원시설로 구성되어있다.

2.2. Simulation 모델링 및 입력변수

그림 2는 본 연구에서의 연구흐름을 나타낸 것이며 시물레이션에 사용한 프로그램은 DOE 2.1의 User Interface를 개량한 Visual DOE 3.1이다. 표 1은 시물레이션을 위한 모델링결과를 나타낸 것이며 표 2에 각 층에서의 용도, 사용시간을 고려한 조닝 결과를 나타내었다.

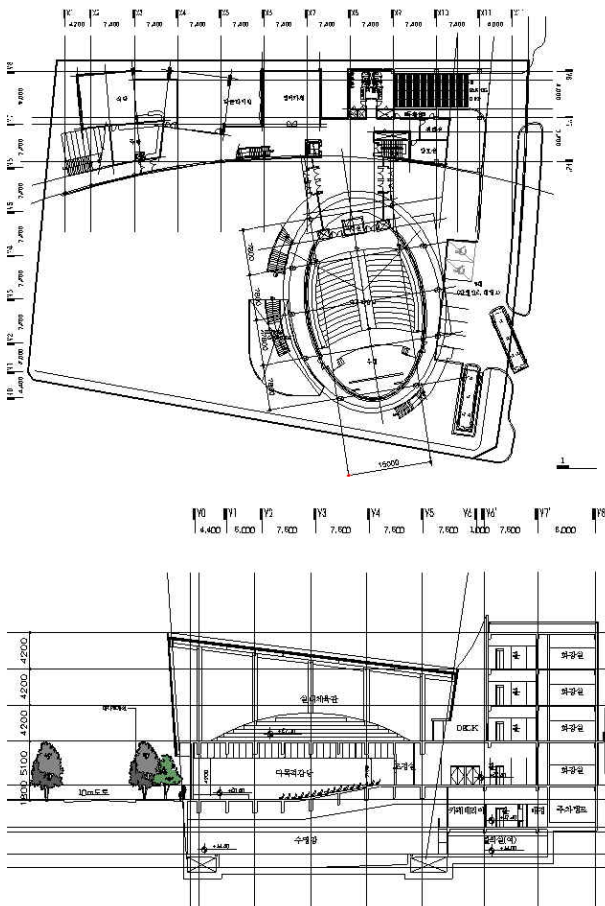


그림 1. 대상건물의 평면 및 단면

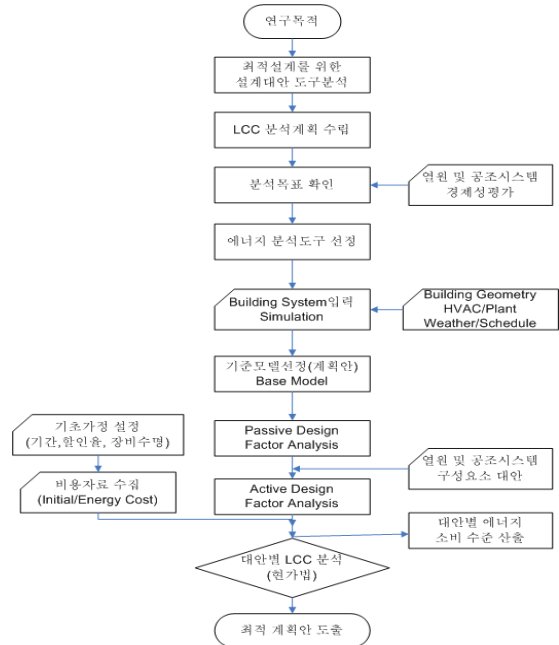
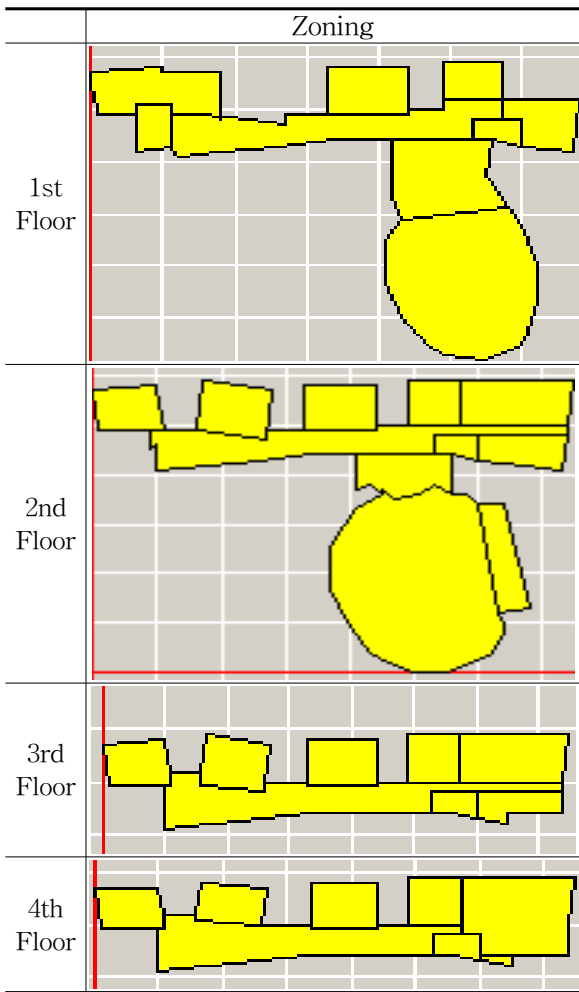


그림 2. 연구진행 프로세스

표 1. 시물레이션을 위한 모델링

	Model
East Elev.	
West Elev.	
South Elev.	
North Elev.	

표 2. 부하계산을 위한 zoning



DOE 시뮬레이션의 입력 과정에서 해당변수의 특징에 따라 결과치가 다양하게 변동될 수 있는데, 본 연구에서는 각 단계에서 space에 관한 사항은 건물의 Geometry를 이용한 기본 구성값을 적용하였으며 외벽,창호, 구조체의 열적성질을 입력하였다. System에 관한 내용은 청소년 수련관의 특징인 12시간, 8시간, 간헐 등의 스케줄에 따라서 입력하였다.

3. 결과분석

3.1 최대 냉난방부하

DOE를 이용한 시뮬레이션에 이용한 외부의 기상조건을 표3에 나타내었다. 또한 표 4에서 볼 수 있는 바와 같이 최대 냉방부하는 7월 20일의 오후 2시의 853.489KW로 나타났으며, 최대 난방부하는 1월 23일의 오전 4시로 142.431KW로 나타났다.

또한 그림 3은 최대냉방부하 계산 결과와의 부하구성을 나타낸 것으로 일사투과에 의한 부하가 전체 최대냉방부하의 32%를 차지하여 가장 크게 나타났으며, 창문을 통한 전열과 내표면의 열이동이 각각 17%로 두 번째로 크게 나타났다. 또한 외벽에서의 전열이 3%로 가장 작게

나타났다. 따라서 여름철의 냉방부하를 줄이기 위한 방법은 일사에 의한 부하를 차단하는 방법이 가장 좋을 것으로 판단된다.

그림 4는 최대 난방부하일의 부하구성을 나타낸 것으로 여름철의 경우와는 달리 겨울철의 부하구성은 창문을 통한 전열이 전체의 절반에 가까운 42%를 보이고 있으며, 침기 및 일사투과에 의한 부하가 7%, 4%를 차지하는 것으로 나타났다. 따라서 겨울철의 경우 난방부하를 경감시키기 위해서는 유리창의 단열성을 높이는 것이 효과적일 것으로 판단된다.

표 3. 외부 기상조건

	최대냉방부하	최대난방부하
건구온도	31℃	-13℃
습구온도	27℃	-16℃
전천공 일사량	835 W/m ²	0 W/m ²
풍속	1.1 m/s	2.2 m/s

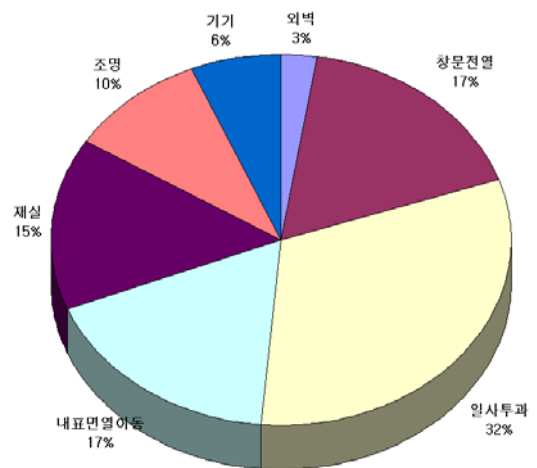


그림 3. 최대 냉방부하의 부하구성

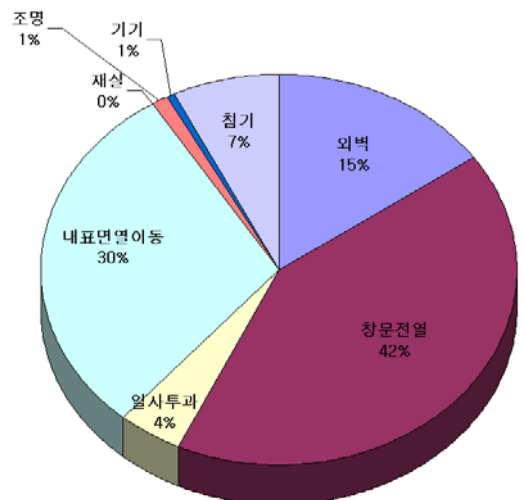


그림 4. 최대 난방부하의 부하구성

3.2 월별 냉난방부하 검토

그림 5와 그림 6은 월별 냉난방부하 분포 계산결과를 나타낸 것이다. 각 그림에서 볼수 있는 바와 같이 냉방부하는 9월이 980MWH로 가장 크게 나타났으며 난방부하는 1월이 410 MWH로 가장 적은 값으로 나타났다.

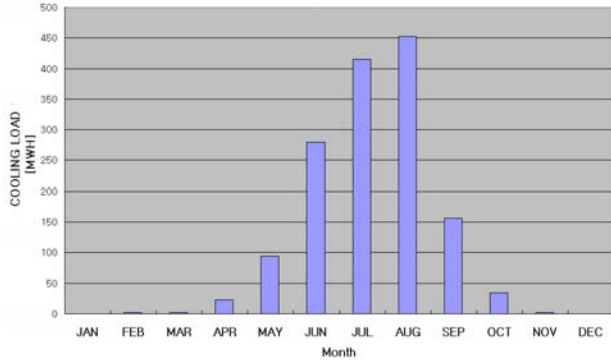


그림 5. 월별 냉방부하

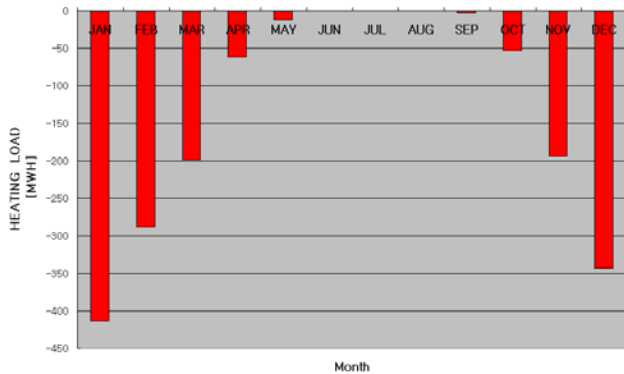


그림 6. 월별 난방부하

3.3 열원 용량검토

대상 건물은 열원설비의 형식을 3가지 대안으로 나누어 각 대안(Case I, II, III)별로 생애주기비용(LCC, Life Cycle Cost)를 계산하였다. Case I은 흡수식냉온수기(150 USRT, 2ea)를 사용하는 것으로 가정하였으며, Case II는 빙축열시스템(300 USRT, 1set)을, CASE III은 흡수식 냉동기(150 USRT, 2ea)를 사용하는 것으로 가정하였다. 냉동기 및 이에 관계한 에너지 소비량은 부분부하특성에 따라 서로 상이한 운전패턴 및 에너지 소비패턴을 보인다. 따라서, 본 연구에서는 CASE I 및 CASE 3에 대해서는 각 냉동기의 용량 보다 부하량이 작은 경우 1대 운전을 수행하고 해당부하가 1개의 냉동기로 부족한 경우 2기를 전체 가동하는 조건으로 입력하였으며 빙축열 냉동기의 경우 (저부하상으로는 축열조 우선방식, 고부하상에서는 축열조+냉동기 동시이용 방식)으로 열원시스템을 구성하였다. 각 대안별 열원의 용량 계산근거와 계산결과를 표 4에 나타내었다. 열원은 일반적인 열원시스템인 흡수식 냉동기(Case I)를 사용하는 시스템, 에너지 효율이 비교적 높다고 알려져 있는 심야전력을 이용하는 빙축열방식(CASE II)과 도시가스를 이용하는 흡수식 방식(CASE III)의 3가지로 선정하였다.

3.4 열원설비 대안별 LCC 분석

LCC 분석대상건물의 분석기준일자는 2005년 1월을 기준으로 하였으며, 분석대상기간은 건물이 완공되고 운영이 되는 시점이라고 예상되는 2008년 1월부터 2028년 1월까지의 20년간을 대상으로 하였다.

LCC 분석을 위한 초기투자비는 표 5에 나타낸 것처럼 흡수식 냉온수기를 사용하는 CASE I이 가장 적게 나타났으며, 빙축열냉동기를 사용하는 CASE II가 초기 투자비가 가장 큰 것으로 나타났다.

표 4. 열원 용량 검토

결과	
CASE I	<p>냉온수발생기: (100%) Peak Load : 300 USRT Hot & Chiller water Generator : 150 USRT*2ea</p>
CASE II	<p>빙축열 시스템(100%) Peak Load : 300 USRT Ice Storage System: 300 USRT*1ea</p>
CASE III	<p>흡수식 냉동기 (100%) Peak Load : 300USRT Absorption Chiller : 150 USRT*2ea</p>

표 5. 각 대안별 초기투자비 [천원]

	Case 1	Case II	Case III
기기 가격	269,900	397,550	308,900
한전 지원금	0	-63,320	0
세액공제	-18,893	-27,829	-21,623
합계	251,007	306,402	287,277
Percent	100 %	122%	114.4%

나타낸 것이다. 전기소비량은 병축열 시스템을 사용하는 2안이 가장 많은 전기소비를 보이고 있으며, 흡수식 냉온수기 및 흡수식 냉동기를 사용하는 전부하(100%) 담당의 경우인 1안과 3안은 유사한 패턴을 가지는 것으로 나타났다.

그러나 2안의 경우 열원에너지가 상대적으로 다른 에

표 6. 에너지 비용

종류	구분	요 금	
전기	일반용 (갑)	기본료	계약전력(1,800kW) × 6,780(원/kW)
		사용료	사용 전력량(kWh) × 월별요금 7, 8월 : 96.5(원/kWh) 4, 5, 6, 9월 : 62.8(원/kWh) 10, 11, 12, 1, 2, 3월 : 67.2(원/kWh)
	심야전력	기본료	계약전력(kW)×6210(원/kW) × (주간및 저녁시간대 사용전력량 / 월총사용전력량)
		사용료	심야사용 전력량(kWh)×26.2(원/kW) +주간 및 저녁 사용 전력량(kWh) × 76.8(원/kWh)
도시가스	냉방용	232.72원/Nm ³	
	난방용	456.79원/Nm ³	

표 7. 초기투자비 및 열원운전비 [1,000원]

	CASE I		CASE II		CASE III	
초기투자비	392,260		435,692		399,620	
에너지 소비량	전기	16,650	전기	24,629	전기	19,756
	가스	44,010	가스	17,445	가스	49,365
	합계	60,660	합계	42,074	합계	69,121

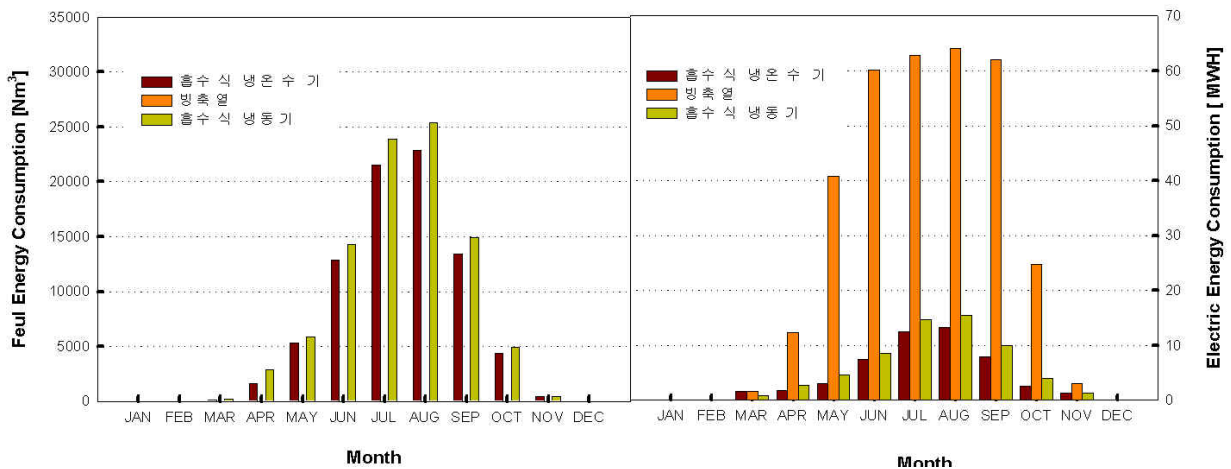


그림 7. 월별 전기 및 가스 소비량

그림 7은 앞에서 구한 부하계산결과를 이용하여 각 열원대안별 냉방용 전기 및 가스 소비량을 계산한 결과를

너지에 비해 값이 싼 심야전력요금을 사용하므로 실제 원가를 환산할 경우에는 에너지 비용이 상대적으로 저감

될 것으로 사료된다.

가스 사용량의 경우에는 3안이 가장 사용량이 많은 것으로 나타났으며 빙축열을 사용하는 2안이 가장 소비량이 적은 것으로 나타났다. 이는 냉동기의 형식 및 용량에 기인한 것으로 판단된다.

3.5 대안별 LCC 비용분석(현가법)

표 6은 연간에너지 운전비용을 나타낸 것이며, 각 대안별 초기투자비 및 열원운전비에 대한 초기원가는 표 7과 같다. 또한 표 8은 운전비용을 계산하기 위한 기준 원가 및 계산 방법을 나타내었다.

초기투자비와 연간에너지 사용에 따른 단순투자회수 기간을 계산한 결과를 그림 8에 나타내었다. 그림 8에서 볼 수 있는 바와 같이 흡수식 냉온수기, 빙축열, 흡수식냉동기를 사용하는 3가지 방안을 비교한 결과 초기투자비는 흡수식 냉온수기를 사용하는 것이 가장 저렴하나, 12년을 경과하면서 부터는 빙축열을 사용하는 방안이 가장 경제적인 것으로 나타났다.

그림 9는 초기투자비, 연간에너지 사용에 따른 에너지 비용 및 장비의 수명을 고려한 현가법을 이용한 투자회수 기간 산정 결과를 나타낸 것이다. 그림 8의 단순 회수기간법에 의한 투자회수기간 산정결과와는 달리 흡수식냉온수기를 사용하는 경우가 가장 유리한 것으로 나타났다. 이는 초기투자비와 연간운전비용에 비반복 비용과 반복 비용을 함께 고려하였기 때문인 것으로 판단된다.

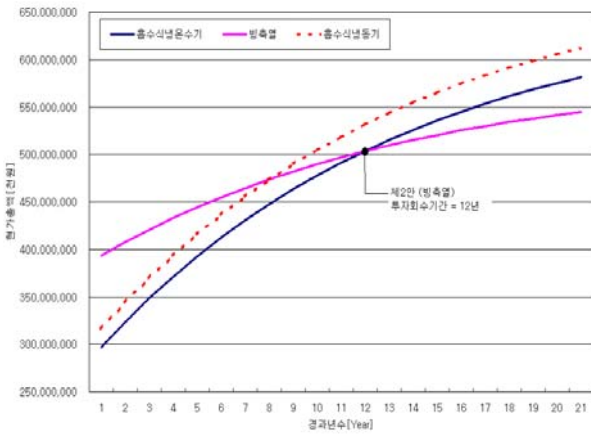


그림 8. 초기투자비 회수기간 (단순 투자회수기간)

3.6 대안별 LCC 비용분석(현가누계)

각 대안별 열원장비의 수명을 고려한 20년간의 현가누계액을 이용하여 투자회수기간을 산정하였다. 그림 9는 현가누계법에 의한 투자회수기간을 계산한 결과를 나타낸 것이다. 장비의 수명은 동일하게 가정하고, 장비내구연한인 20년간의 생애비용 현가누계증가추이를 분석한 결과 20년 후에 가장 현가누계총액이 저렴한 시스템은 흡수식 냉온수기를 사용하는 CASE I 이 가장 경제적인 것으로 나타났다.

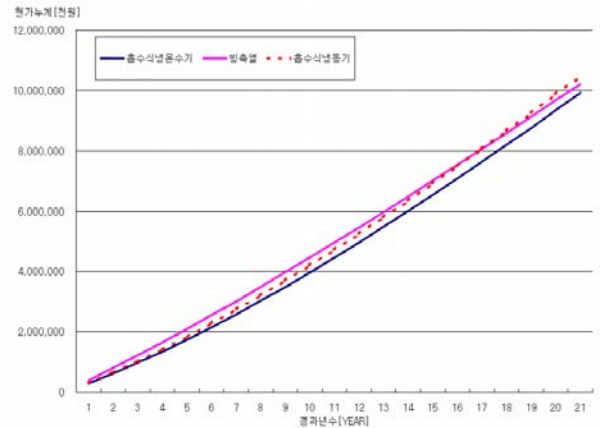


그림 9. 초기투자비 회수기간(현가누계)

표 8. 기준 원가 및 계산방법

구분	기준값	비고
이자율	8%	한국은행 발표에서 발표한 주요 경제지표 중에서 국내 시중은행 최근 4년간 평균 대출금리 (4년간의 안정화 추세반영) 민감도 분석에서 불확실성에 대한 검토
물가 상승률	3.2%	한국은행에서 발표한 주요 경제지표중에서 최근 10년간의 소비자 물가 상승률 민감도 분석에서 불확실성에 대해 검토
실제 할인율	8.72%	$l = \frac{1-i}{1+j} - 1$ l:실제할인율 i : 이자율 j : 물가상승률
초기 투자비	재료비	건물 자재의 자재비용만 포함
에너지 비용	DOE	프로그램을 이용, 에너지 소비량을 산정 후, 연간 에너지비를 산출
비용 통합	현가법	비반복 비용의 환산 $P = F \frac{1}{(1+i)^n}$ 반복 비용의 환산 $P = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$ P:현가환산, F:미래가, A:년간등가 발생비용, i:실제할인율, n:분석기간

4. 결 론

청소년 수련관을 대상으로 에너지해석프로그램을 이용하여 년간열부하 해석 및 생애주기 비용분석을 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 현가누계총액법을 사용한 LCC 분석 결과 적정 연간 운영비를 나타내는 흡수식냉온수기를 사용하는 CASE I

의 적용이 가장 경제적인 것으로 나타났다.

2) 단순 투자회수기간을 이용한 LCC 분석 결과 CASE II인 빙축열을 사용하는 방안은 연간운용비는 상당부분 절감이 가능하나 초기투자비가 커서 투자회수기간이 12년으로 나타나 흡수식 냉온수기를 사용하는 CASE I에 비해 상대적으로 긴 것으로 나타났다.

3) 헨가법 및 헨가누계법을 사용하여 열원대안별 LCC 분석 결과, 도시가스를 사용하는 흡수식방식의 경우 투자비 및 연간운용비가 흡수식냉온수기를 사용하는 경우보다 커서 경제성이 없는 것으로 판단된다.

본 연구에서는 설계도면을 이용한 시뮬레이션 결과이므로 실제 건물이 완공된 후 시뮬레이션에 의한 결과와 실제 건물을 운영하여 얻어진 결과를 비교할 필요가 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

1. 손보식, 장명훈, 이현수(2005) LCC 분석을 이용한 공동주택 개보수의 경제성 분석방법, 대한건축학회 논문집, 21권 7호, pp.73-82.
2. 손보식, 안선주, 이현수(2005) 공동주택의 유지관리 적정성 평가 방법, 대한건축학회 논문집, 21권 5호, pp.113-122.
3. 이갑원(2005) 공공 프로젝트에서의 CM 도입에 따른 효과 및 개선 방향, 대한건축학회지, 49권 4호, pp.29-35.
4. 김학길, 윤승현, 김용수 (2005) LCC 기법을 이용한 리모델링 및 재건축 대상 수원시 지역 5층 공동주택의 경제성 분석에 관한 사례 연구, 대한건축학회 논문집, 제 21권 2호, pp.131-137.
5. 정순성(2004) 개별식 공조방식과 중앙식 공조방식의 LCC 계산을 위한 비용분석 구조에 관한 연구, 대한건축학회 논문집, 제 20권 제 1호, pp.277-276.