

공공 건축물 지열에너지설비 적용에 따른 경제성 분석

Economic Analysis of Geothermal Energy Facilities Applied to Public Buildings

장 영 준¹

김 상 용²

신 윤 석¹

김 광 희^{1*}

Jang, Young Jun¹ Kim, Sangyong² Shin, Yoonseok¹ Kim, Gwang-Hee^{1*}

Department of Plant/Architectural Engineering, Kyonggi University, Yeongtong-gu, Suwon-si, 136-777, Korea ¹
School of Construction Management & Engineering, University of Reading, Berkshire, Reading, RG6 6AW, UK ²

Abstract

The aim of this study to propose an efficient method in selecting the type of new and renewable energy applied in at the planning phase of buildings. This study applied geothermal energy facilities with high adaptability to buildings. This study considered the energy reduction and reduced cost by comparing the values with the energy consumption before applying of geothermal energy facilities. In order to propose more reliable criteria of economic evaluation, maintenance costs reflecting the replacement cycles and initial construction costs by drawings and specifications for installation facilities for practical geothermal energy based on construction statement for life-cycle cost analysis. The results will help to effectively select economic types of facilities for new and renewable energy of the planning phase of buildings.

Keywords : economic analysis, geothermal energy, life-cycle cost, public building

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

삶의 질의 향상에 따른 수요자 중심의 건축환경의 요구에 대응하기 위해서는 건축물의 실내외 환경이 요구에 부합되도록 자연적, 인위적인 조절을 통한 건축환경 시스템의 구축이 필요하다. 이를 위해 설비시스템 계획과 공간계획, 구조계획 등의 건축계획적인 측면이 조화를 이루어 최적의 건축물을 생산하여야 한다. 최적의 건축물을 생산함에 있어서 건축물 에너지 수요와 관련된 온실가스 배출저감에 관한 관심이 꾸준히 증가하고 있으나 기존에 사용하던 화석에너지의 효율성을 극대화하여 에너지소비량을 감소시키는 방안

은 기술적인 한계가 있었다. 이러한 문제 해결방법 중 하나가 신재생에너지의 사용을 통한 화석연료의 소비 비율감소이다[1]. 따라서 근본적인 에너지의 효율성을 향상시키기 위해서는 자원이 풍부하고, 친환경적인 신재생에너지를 활용한 기술개발이 시급한 실정이다[2].

EU는 2019년부터 모든 신축건물을 대상으로 건물 내 소비하는 에너지보다 더 많은 에너지를 생산하도록 규정하고 있으며, 미국에서도 2025년까지 신규 건물에 대해 제로에너지 구현을 목표로 시설확대 규정 및 의무화 방안이 구축되었다[3]. 이처럼 각국에서는 신재생에너지설비 확대 및 공급비율 증대를 위해 노력하고 있으며, 국내에서도 2012년 1.6%에 그친 신재생에너지 공급비율을 계속적으로 증가시키기 위해 노력하고 있다. 따라서 건축물계획단계에서부터 에너지 소비량의 예측과 절약방안에 대한 분석이 필요하다.

따라서 본 연구에서는 건축물에 신재생에너지설비로 다수 적용된 지열시스템을 사례건축물에 적용시켜 에너지 소비량 사용비용의 절감량을 분석하고, 초기 투자비 및 주요

Received : February 26, 2014

Revision received : August 21, 2014

Accepted : August 21, 2014

* Corresponding author : Kim, Gwang-Hee

[Tel: 82-31-249-8843, E-mail: ghkim@kyonggi.ac.kr]

©2014 The Korea Institute of Building Construction, All rights reserved.

자재들의 수선주기, 교체주기 등을 반영한 생애주기비용(LCC)과 지열시스템 적용에 따른 에너지절감비용을 비교, 경제성 분석을 통해 건축물 계획단계에서 지열시스템의 효율적인 선정방안을 제시하는데 연구의 목적이 있다.

1.2 연구의 방법 및 범위

본 연구는 통계 및 선행연구 자료를 근거로 지열설비를 건축물에 적용되는 신재생에너지로 한정하였다. 분석대상 건축물은 신재생에너지를 의무적으로 설치해야 하는 공공기관시설로 기존에 설계가 완료된 규모가 상이한 건축물 3개를 선정하였다. 설계 자료를 분석하여 신재생에너지원이 적용된 용량을 사례건축물(case)에 적용되어있는 기존 에너지 부하설비의 용량으로 변경하여 신재생에너지원이 적용되지 않은 건축물로 모델링하였다. 이 case에 신재생에너지 공급의무 비율을 건축물 에너지 소비총량 평가 프로그램인 ECO2-OD로 계산하여 지열설비에 공급의무 비율의 100%와 25%의 설치규모를 산정, 설비별로 case에 적용하였다.

건축물의 에너지 소요량과 1차 에너지 소요량을 산출하여 지열에너지 적용에 따른 변화를 비교·분석하여 사용량의 변화를 도출하였다. 지열에너지 적용에 따른 경제성분석은 미적용 건축물과 적용 건축물의 에너지 절감비용을 분석하였으며, 초기 공사비는 지열에너지로 재설계된 설계 내역서에 의한 금액으로 적용하였다. 기존 에너지부하 설비의 용량이 대체가능한 경우에는 적용에 따른 기존 설비의 용량 변경, 설비의 제거 등을 검토하여 초기 투자비에 반영하였다. LCC분석 시 내용연수는 40년으로 하고 분석주기를 매 10년으로 산정 했으며 주요자재들의 수선주기, 교체주기를 반영하여 유지관리비 산정의 신뢰성을 확보하였다.

2. 기존연구 고찰

건축물에 적용되는 신재생에너지설비에 대해 많은 연구들이 진행되어 왔고 이를 통해 그 적용의 신뢰성과 경제성을 향상할 수 있는 방안들도 발표되어 왔다. Rezaie et al.[4]은 사례건축물을 용도별로 구분하여 건축물에 주로 적용되는 지열시스템, 태양열시스템, 태양광시스템 및 하이브리드 시스템의 경제성, 효율성, 에너지 배출량을 분석하였다. Visa et al.[5]은 태양광에너지시스템의 적용과 관련

하여 효율성과 경제성 측면에서 설치 전·후 건축물에서 요구하는 에너지 상태를 조사하고, 경제성을 분석하였다. Cucchiella et al.[6]은 건축물에 설치된 태양광에너지시스템의 성능평가를 실시하여 설치 시 경제적 측면에서 초기 투자비를 회수하는데 걸리는 시간을 분석하였으며 설치된 지역의 기후와 거주자의 에너지소비 형태에 따라서 영향을 끼치는 정도를 분석하였다. Francisco and Batlles[7]은 에너지소비량을 절감하기 위한 대안으로 태양에너지를 적용한 냉방시스템과 기존 시스템을 비교·분석하여 에너지소비량의 절감율을 예상하였다. 이렇듯 다양한 국가에서 건축물의 에너지소비량을 줄이기 위해 신재생에너지원을 활용한 연구가 진행되고 있다. 그러나 건축물계획단계에서 신재생에너지설비를 선택하여 적용하는 것에 대한 구체적인 적용기준이 마련되어 있지 않아 효과적인 에너지절약 및 경제성 확보를 위한 신재생에너지설비의 선택이 어려운 상황이다. 또한 건축물에 적용되는 신재생에너지시스템은 계획 및 설계단계에서 결정되어야 하며 건축물의 외형이나 용도에 따라서 사용되는 에너지가 상이하기 때문에 신재생에너지시스템의 적용가능성 및 특성을 고려하여야 한다.

국내의 선행연구는 건축물에 적용된 신재생에너지의 현황 및 적용에 관한 연구와 신재생에너지원의 에너지생산량 및 경제성 분석에 관한 연구로 구분할 수 있다. Jung et al.[8]은 신재생에너지 적용의 활성화를 위해 신재생에너지시스템의 건축설계요소로 통합하는 과정을 제시하고, 시스템을 특징별로 분석하여 적용 가능한 신재생에너지 시스템을 설계프로세스에 따라 적용 및 분석하였다. Kang et al.[9]은 총 건축공사비의 5%이상인 신재생에너지 설치에 투자된 공공건물을 대상으로 건물에너지 분담률을 분석하고, 기존의 신재생에너지 설비를 이용하여 추가비용 없이 효율성을 향상시킬 수 있는 방안을 제시하였다. Kim et al.[10]은 신재생에너지시스템의 건축물 적용에 따른 계획 기준 개발을 위한 기초자료의 일환으로 한국과 독일의 신재생에너지 적용 건축물 사례분석을 태양광 에너지와 지열에너지를 중심으로 국내 건축계획 방향을 제시하였다. Yoon et al.[11]은 건축물 계획단계에서부터 신재생에너지의 공급비율 및 시스템의 종류선정, 적용시기와 그 방법 등 다양한 요구조건들이 반영된 신재생에너지 계획도구의 개발을 위한 대안을 제시하였다. Seo et al.[12]은 신재생에너지의 보급실태 현황을 조사하여 기존 신재생에너지시스템의 용량변화에 따른 효율성 향상 방안을 대안별로 검토하여 최적

의 적용방안을 도출하였다. 또한 건축물에 적용된 신재생에너지원의 에너지생산량 및 경제성 분석에 관한 연구도 다양하게 진행되었다. Kim and Kim[13]은 신재생에너지 중 태양광, 풍력, 소수력, 바이오가스를 대상으로 경제성 평가를 실시하여, 신재생에너지의 적용방안을 제시하였다. Kim et al.[14]은 에너지 저감을 위한 신재생에너지 적용을 위해 LCC분석을 실시하여 신재생에너지 적용 시 초기투자비회수기간과 에너지소비비용의 감소에 따라 발생하는 비용절감 효과를 분석하고 경제적인 건축물의 계획방안을 제시하였다. Lee et al.[15]은 신재생에너지 공공기관 설치 의무화 제도의 시행으로 인해 공공건축물에 적용된 공공업무시설의 용도별 에너지 사용실태를 설문과 현장답사를 통하여 분석함으로써, 건물용도별 에너지원단위 분석을 실시하였다. 그러나 기존 연구는 건물에 설치된 신재생에너지의 이용 현황, 관리 실태 및 문제점, 이용자 만족도 등을 조사하여 향후 신재생에너지 적용을 위한 기초자료 수준에서 그 가능성을 제시하고 있으며 신재생에너지원의 효율적인 관리를 위한 개선방향을 파악하고자 하는데 그 연구의 한계가 있다. 또한 에너지생산량 및 경제성 분석 시 구체적인 분석과정과 기준이 불분명하며 건축물 생애주기 전 과정에 걸쳐 주기적인 분석이 이루어지지 않아 실질적인 문제 해결 적용 시 많은 제약이 있었다.

3. 건축물 에너지 사용량 사례분석

건축물의 에너지 사용량 등의 분석을 위해 다루어질 주요 내용은 다음과 같다; ① Case별 일반사항 및 에너지 사용량 산정을 위한 주요 에너지 부하요소를 제시; ② 신재생에너지 설비 미적용 case별 연간 총 에너지 소요량, 에너지 사용비용과 연간 단위면적당 소요량, 사용비용 및 1차 에너지 소요량 제시; ③ Case별 지열에너지설비에 적용에 따른 연간 총 에너지 소요량, 에너지 사용비용과 연간 단위면적당 소요량, 사용비용 및 1차 에너지 소요량을 제시; ④ 제시된 자료를 토대로 case별 지열에너지설비 미적용과 적용된 지열에너지설비별 연간 총 에너지 소요량, 에너지 사용비용과 소요량을 비교·분석; ⑤ Case별로 각각의 지열에너지설비 적용에 따른 에너지 절감효과 및 절감 비용을 제시하고, 건축물 규모별 지열에너지 적용에 따른 에너지 사용량과 에너지 사용비용의 절감량을 제시한다.

Table 1. The description of cases

		Case 1	Case 2	Case 3
Type of cases			Public building	
Structure		Reinforced concrete		
N.of floors		Basement floor=1, Ground floors=3		
Size of the building	Building areas	774.42m ²	1,495m ²	2,786.57m ²
	Total areas	1,997.83m ²	4,006.58m ²	12,690.79m ²
Heating&air-conditioning areas		1,421.58m ²	2,699.4m ²	7,292.16m ²
Outer wall area/window area		20.45%	18.81%	32.67%
Main energy facilities	Heating(kW)	EHP 339.6	EHP 420.1	EHP 2,358
	Air-conditioning	EHP 301.6kW	EHP 377kW	EHP 2,289.6kW
	Hot-water supply(kW)	Gas boiler 41.86	Lamp oil boiler 116.28	Gas boiler 244kW×2
	Ventilation (kW)	Exhaust fan lamp6.706	Exhaust fan lamp5.47	Air-conditioning equipment lamp35.72
	Lighting	6.64W/m ²	8.02W/m ²	8.00W/m ²

Table 1과 같이 분석 대상 case는 에너지 사용형태가 비슷하고 신재생에너지설비를 의무적으로 설치하여야 하는 3개의 공공업무시설을 선정하였다. Case의 에너지 사용량과 에너지 사용비용의 분석을 실시한 후, 지열시스템의 적용에 따른 에너지 사용량 및 에너지 사용비용을 분석 후 그 결과를 생애주기비용 산출 및 분석 시 적용토록 하였다.

4. 에너지 사용량 및 비용 분석

Table 2는 ECO2-OD를 활용한 case별 연간 총 에너지 소요량 및 사용비용이다. 지열에너지설비 적용 시 case별 비교자료로 사용될 연간 총 에너지 사용량과 사용비용은 건축물의 냉난방 면적을 적용한 난방, 냉방, 급탕부하와 전체 연면적을 적용한 조명, 환기부하 및 합계로 산출하였다. 사용비용의 경우 case별로 동일하게 적용되는 전력 계약용량에 따른 기본요금은 고정된 금액이므로 연간 총 에너지 사용비용에서 제외하였다. 연간 총 에너지 소요량 및 사용비용 분석에서는 부하별로 적용되는 면적의 경우 냉난방면적 적용 및 조명, 환기부하 전체 연면적을 곱하여 산출하므로 이에 따른 총 에너지 소요량 및 사용비용의 차이가 발생한다. 따라서 case별 비교는 그 평가기준을 정하기 어려워 비교자료로 활용하지 않으며, 신재생에너지설비 적용에 따른 비용 산출에서도 중요한 변수가 될 수 있다.

Table 2. Annual energy demand quantity and use cost of cases

		Case 1	Case 2	Case 3
Energy demand quantity (kWh/yr)	Heating	68,981.18	118,053.14	365,861.47
	Air-conditioning	26,977.01	60,118.07	201,622.22
	Hot-water supply	18,091.80	35,867.80	66,520.70
	Lighting	31,160.87	75,762.22	238,485.33
	Ventilation	31,155.86	12,350.45	145,950.22
	Total	176,366.72	302,151.68	1,018,439.93
Energy use cost (Won/yr)	Heating	6,044,821	11,415,739	35,378,804
	Air-conditioning	2,363,995	5,813,417	19,496,869
	Hot-water supply	1,440,518	4,040,650	5,264,658
	Lighting	2,730,627	7,326,207	23,061,531
	Ventilation	2,730,188	1,194,289	14,113,386
	Total	15,310,149	29,790,302	97,315,248

5. 지열에너지설비 사용량 및 비용 분석

지열에너지설비의 적용에 있어 설비별 적용용량의 산정은 먼저 2013년 공급의무 비율인 건축물의 예상에너지 사용량의 11%에 해당하는 지열에너지의 에너지 생산량을 구한 후 그 용량을 기준용량으로 하여 100%와 25%에 해당하는 지열시스템의 설치용량을 산정 하였다. 지열에너지 설비의 적용용량 산정순서는 다음과 같다; ① 해당 건축물의 예상 에너지사용량의 산정; ② 예상 에너지사용량에 지열에너지 공급의무 비율을 곱하여 지열에너지 생산량 산정; ③ 지열에너지별 단위 에너지생산량과 원별 보정계수를 곱하여 단위 용량 당 에너지생산량 산정; ④ 지열에너지 생산량을 지열에너지별 단위용량 당 에너지생산량으로 나누어 설치용량 산정. 즉, 지열에너지 생산량은 지열에너지설비를 이용 생산 되는 연간 에너지양을 보정한 값이며, 예상 에너지사용량은 연간 사용이 예측되는 에너지양을 보정한 값이다.

예상에너지 사용량 및 지열에너지 생산량은 공공 업무시설의 단위 에너지사용량 $371.66(\text{kWh}/\text{m}^2 \cdot \text{yr})$ 과 용도별 보정계수 1.73을 지역계수는 case 1은 경기지역으로 0.99, case 2는 대전지역으로 1, case 3의 경우는 경북지역의 0.98을 적용하여 예상에너지 사용량을 산정하였다. 이를 기준으로 선정된 실제 설치용량은 각 설비의 규격, 형식 등을 고려해 에너지 소요량 등의 산정 시 적용하였다. 지열에너지 생산량은 예상에너지 사용량에 의무공급비율 11%를 적용한 값이며, 기준용량은 지열에너지 생산량을 충족시키기 위해 필요한 지열에너지설비의 용량을 나타낸다. Table 3은 지열에너지설비별 적용용량을 나타내고 있다.

Table 3. Geothermal energy application capacity of cases

Case 1	Anticipated energy usage	1,271,703 kWh/yr
	Geothermal energy production	139,887 kWh/yr
	Standard capacity	99.00kW
	100% installation capacity of standard capacity	105.80kW
Case 2	25% installation capacity of standard capacity	25.65kW
	Anticipated energy usage	2,524,596 kWh/yr
	Geothermal energy production	277,706 kWh/yr
	Standard capacity	194.00kW
Case 3	100% installation capacity of standard capacity	208.38kW
	25% installation capacity of standard capacity	53.80kW
	Anticipated energy usage	8,159,820 kWh/yr
	Geothermal energy production	897,580 kWh/yr
Case 3	Standard capacity	628.00kW
	100% installation capacity of standard capacity	658.80kW
	25% installation capacity of standard capacity	167.20kW

Table 4. Annual total energy demand quantity & use cost of case 1

		100% application of Standard capacity	25% application of standard capacity
Energy usage (kWh/yr)	Heating	59,109.30	66,188.76
	Air-conditioning	25,062.46	23,868.33
	Hot-water supply	18,096.71	18,096.71
	Lighting	31,166.15	31,166.15
	Ventilation	31,146.17	31,146.17
	Total	164,580.78	170,466.12
Energy use cost (Won/yr)	Heating	5,179,748	5,800,121
	Air-conditioning	2,196,223	2,091,582
	Hot-water supply	1,440,909	1,440,909
	Lighting	2,731,090	2,731,090
	Ventilation	2,729,339	2,729,339
	Total	14,277,308	14,793,041

Case 1은 기본적인 단열기준인 외벽의 평균 열관류율이 가장 뛰어난 $0.619\text{W}/\text{m}^2 \cdot \text{K}$ 인 건축물로 급탕설비용 도시 가스 보일러를 제외한 나머지 부하설비의 에너지원으로 전력을 사용하였다. 기준용량 100% 적용 시 25% 적용 시 보다 높은 냉방소요량을 나타냈다. 이는 지중열교환용 순환펌프의 동력이 다른 냉방설비에 사용되는 동력부하설비 보다 지열히트펌프 용량대비 크기 때문에 파악된다. 냉방용 EHP의 총 용량은 191.4kW에 부속기기 소요동력 3.75kW로 지열의 105.8kW에 순환펌프 동력 4.4kW로 적용되었다. Table 4는 대표적으로 case 1의 지열에너지설비별 연간 총 에너지 소요량 및 사용비용을 나타낸다.

연간 단위면적당 에너지소요량 및 사용비용의 절감율은

지열에너지설비 미적용 경우와 비교하여 의무설치용량의 100%적용 시 소요량은 7.44%, 사용비용은 7.52%로 나타났다. 지열의 절감율은 25%적용 시 100%적용의 50%를 나타냈다. 이는 지열시스템의 적용 시 전력소모의 주된 부분인 지열순환펌프의 용량의 차에서 발생된 것으로 사료된다. 지열시스템에서의 순환펌프는 시스템의 사용 시 항시 작동되는 부속장비로 지열설치용량에 따라 그 적용용량이 결정되며, 많은 용량을 적용할 경우 그 값이 증가되나 증가비용은 설치용량과 비례하여 증가되지 않는다. 따라서 지열시스템의 순환펌프의 적정용량 선정은 지열시스템적용 시 에너지 절감 효율을 높일 수 있는 하나의 변수라 판단된다.

Table 5. Annual energy demand quantity per unit area & use cost of cases

		100%	25%
		application of application of	
		Standard	standard
		capacity	capacity
Case 1	Energy usage	Does not apply	111.42
		Apply	103.13
	Reduction capacity	8.29 kWh	4.15 kWh
		Reduction rate(%)	7.44
Use cost	Does not apply	9,662	
		Apply	8,935
	Reduction capacity	727 Won	364 Won
		Reduction rate(%)	7.52
Case 2	Energy usage	Does not apply	101.28
		Apply	91.15
	Reduction capacity	10.13 kWh	1.58 kWh
		Reduction rate(%)	10.00
Use cost	Does not apply	10,007	
		Apply	9,027
	Reduction capacity	980 Won	153 Won
		Reduction rate(%)	9.79
Case 3	Energy usage	Does not apply	117.23
		Apply	108.68
	Reduction capacity	8.55 kWh	3.28 kWh
		Reduction rate(%)	7.29
Use cost	Does not apply	11,177	
		Apply	10,349
	Reduction capacity	828 Won	319 Won
		Reduction rate(%)	7.41

단위면적당 에너지소요량은 총 에너지 소요량의 산정 시 기준이 되기는 하나 조명 및 환기부하 계산 시는 전체 연면적을 냉방, 난방, 급탕부하 산정 시는 냉난방 면적을 적용하기 때문에 연면적 대비 냉난방면적 비에 의해 건축물 전체의 에너지소요량의 값은 다르게 나타난다. 하지만 단위면적당의 소요량은 냉난방면적에 관계없이 적용된 지열에너지설비의 에너지 절감효과만을 나타내므로, 지열에너지설비별 평가 시 좋은 기준이 될 수 있다. 연간 단위면적당 에너지소요량 및 사용비용은 Table 5에 나타났다. 다음 Table

6은 연간 총 에너지 소요량 및 사용비용의 비교를 나타낸다. 신재생에너지설비별 연간 단위면적당 1차 에너지 소요량은 Table 7과 같다.

Table 6. Annual energy demand quantity & use cost of cases

		100%	25%
		application of application of	
		Standard	standard
		capacity	capacity
Case 1	Energy usage	Does not apply	176,366.72
		Apply	164,580.78
	Reduction capacity	11,785.94 kWh	5,900.60 kWh
		Reduction rate (%)	6.68
Use cost	Does not apply	15,310,149	
		Apply	14,277,308
	Reduction capacity	1,032,841 Won	517,108 Won
		Reduction rate (%)	6.75
Case 2	Energy usage	Does not apply	302,151.68
		Apply	274,793.40
	Reduction capacity	27,358.28 kWh	4,278.41 kWh
		Reduction rate (%)	9.05
Use cost	Does not apply	29,790,302	
		Apply	27,144,843
	Reduction capacity	2,645,459 Won	413,636 Won
		Reduction rate (%)	8.88
Case 3	Energy usage	Does not apply	1,018,439.93
		Apply	956,066.67
	Reduction capacity	62,373.26 kWh	22,434.59 kWh
		Reduction rate (%)	6.12
Use cost	Does not apply	97,315,248	
		Apply	91,283,753
	Reduction capacity	6,031,495 Won	2,169,426 Won
		Reduction rate (%)	6.20

Table 7. Annual primary energy demand quantity of cases

		100%	25%	
		application of application of		
		Standard	standard	
		capacity	capacity	
Case 1	Energy usage	Does not apply	293.41	
		Apply	270.61	
		Reduction capacity	22.80 kWh	11.43 kWh
Case 2	Energy usage	Does not apply	244.91	
		Apply	212.60	
		Reduction capacity	32.31 kWh	4.08 kWh
Case 3	Energy usage	Does not apply	307.98	
		Apply	284.46	
		Reduction capacity	23.52 kWh	9.05 kWh
		Reduction rate (%)	7.64	2.94

단위 면적당 에너지 소요량 및 사용비용의 비교는 에너지 부하설비의 설치상황과 같은 설비적 특성 및 창 면적비, 벽체의 단열성능 등 건축적 특성 차이로 인해 완벽한 비교의 수단은 될 수 없지만, 냉난방면적의 적용이 필요하지 않으며 에너지 소비특성이 일정부분 동일한 공공업무시설의 cases의 비교를 통해 규모별로 지열에너지설비 적용에 따른 건축물 적용 시 종류를 선정하는 참고자료로서의 가치가

있을 것으로 판단하였다. 기준용량의 100%적용 시 지열의 경우 case 2에서 가장 높은 효과를 나타냈다. 이는 설치규모와는 별개로 건축물자체의 에너지 소비형태 등의 영향을 받으며, 부속설비인 순환펌프 등의 영향도 무시할 수 없는 사항이라 사료된다. 다음 Table 8은 case별 신재생에너지 설비 적용에 따른 소요량 및 비용을 나타낸다.

Table 8. Annual energy demand per unit area of cases

		Case 1	Case 2	Case 3
100% application of Standard capacity	Demand quantity reduction(%)	6.68	10.00	7.29
	Use cost reduction(%)	6.75	9.79	7.41
25% application of standard capacity	Demand quantity reduction(%)	3.35	1.56	2.80
	Use cost reduction(%)	3.38	1.53	2.85

현재 국내의 건축물 에너지 효율등급의 기준이 되는 단위면적당 1차 에너지 소요량의 비교에서는 case 2의 경우 100%적용과 case 3의 25%적용 시 높은 절감율을 보이고 있다. 이는 건축물의 기본적인 에너지소요량 특성 즉, 외벽면적의 창호의 비율의 감소에 따른 난방에너지 요구량의 현저한 감소로 인한 지열난방설비의 효과의 극대화 등과 지열시스템의 냉난방에너지 절감에 따른 EHP시스템의 전력사용량의 감소폭 증가에 기인된 것으로 판단된다. Case별 신재생에너지설비 적용에 따른 연간 단위 면적당 1차 에너지 소요량은 Table 9에 나타났다.

Table 9. Annual primary energy demand per unit area of cases

		Case 1	Case 2	Case 3
100% application of Standard capacity	Demand quantity reduction(%)	7.77	13.20	7.64
	Demand quantity reduction(%)	3.90	1.67	2.94

6. 지열에너지설비별 생애주기비용 분석

6.1. 적용 지열에너지설비 수선 및 교체주기

LCC분석에서 지열에너지 수선 및 교체주기 분석은 내용연수 40년을 기준으로 하였으며, 분석기간에 따른 다양한 결과 값의 산출을 위해 10년 주기로 분석을 실시하였다. 내

역의 품목은 수선율, 수선주기 및 교체주기를 적용하였으며, 위 기준에 게재되지 않은 품목은 유사분류 물품의 내용연수를 적용하였다. 본 연구는 건축물 전체의 생애주기비용 분석이 아닌 지열에너지설비에 따른 LCC분석이므로 지열에너지설비의 구성품목만을 LCC분석의 대상으로 하였다.

유지관리비용 산정 수선주기에서 지열히트펌프는 5년 수선율 10%, 교체주기 10년 교체율 100%, 교체주기 11년에 교체율 100%인 팽창탱크로 나타났으며, 신재생에너지설비 설치 시 지지대 및 펌프 등의 고정을 위한 구조물 설치, 일반적인 설비공사에서 적용되는 보편적인 공정부분도 다수 포함되어 있으며, 이 부분 역시 비용분석을 하였다. 주요 구성품인 장비들의 수선율은 많은 품목들이 히트펌프를 사용하는 일반 설비공사의 장비, 자재와 동일하고 수선주기가 짧은 구성품들이 다수 존재하여 수선비용이 크게 나타났다. Table 10은 지열에너지설비의 주요공정별 구성품 등의 수선주기와 교체주기를 나타내고 있다.

Table 10. Repair and replacement period of geothermal system

Product	Repair period(year)	Replacement period(year)
	Repair rate(%)	Replacement rate(%)
Geothermal heat pump	5	10
	10	100
Equipment install construction	Geothermal circulating pump	10
	Expansion tank	11
Machine room plumbing construction	Stainless pipe	15
	Polyethylene pipe	25
Outdoor plumbing construction	5	100
	10	100
Structure install construction	Square-shape steel pipe	15
	100	100
Boring and grouting construction	Boring	-
	-	-

6.2. 지열에너지설비 LCC 산출

LCC의 산출은 현가법을 사용하여 지열에너지설비 장비 중 교체주기만 있는 품목에 대해서는 교체주기년에 비반복 비용으로 환산하였고, 주기적인 수선과 교체주기가 정해진 품목은 수선주기년마다 비반복비용으로 환산 후 그 값들의 합과 교체주기년 비반복비용을 합하여 유지관리를 산정 하였다. 유지관리비 환산을 위해 적용되는 할인율은 7년간의 예금금리를 기준으로 한 명목할인율과 물가상승율을 조

사하여 1.02%의 실질할인율을 산출 적용하였다. 에너지 절감액의 산정을 위한 실질할인율은 2006~2012년의 전력 평균요금의 상승률을 물가변동률로 하고 금리인상율과 계산을 통해 에너지 절감액 산정 시 실질할인율은 1.06%로 하였다. 초기투자비는 적용된 지열에너지설비 산출 공사내역서 상의 금액과 지열시스템 적용에 따른 기존 설비의 교체, 제거 등 장비공사의 증감액을 가산하였다.

6.2.1. 지열에너지설비 초기투자비 산출

초기투자비 산정 시 기존설비의 용량변경을 반영해야하는 지열시스템의 경우, case 1의 기준용량 100%적용 시 기존 EHP 냉난방설비 중 116kW용량의 실외기 1대를 삭제하고 용량보존을 위해 23kW용량의 실외기를 신설하기로 하였다. EHP의 실내기와 지열 냉매방식의 실내기는 호환이 가능하여 실내기 부분의 공사비에는 영향이 없으며, 설치비를 포함한 116kW와 23kW 실외기의 가격을 가감한 하였고, 25% 적용 시 75.4kW 실외기 철거 후 52.2kW 실외기로 교체하였다. Case 2는 기준용량의 100% 적용 시 52.2kW, 71.8kW, 78.4kW의 EHP를 대체하여 초기투자비 절감이 나타났으며, 25%적용 시는 52.2kW의 EHP 대체 효과로 초기투자비가 절감되었다. Case 3는 용량 46.4kW EHP실외기 7대와 58kW 4대, 75.4kW 1대의 비용을 반영하였다. 지열설비 공사비 내역은 2013년부터 기준단가의 공시가 없어지면서 실제 설계내역비용 산출로 금액이 상승된 것으로 판단된다. 지열에너지설비에서 히트펌프설치가 포함된 지열장비 설치공사 보다 천공 및 지중열교환기 설치공사가 높은 공사금액을 나타냈다. 지열에너지설비는 적용용량만큼 기존 냉난방설비의 용량을 조정할 수 있으므로, 지열시스템 적용용량에 따라 case별로 조정되는 EHP의 장비 가격 및 설치비를 지열시스템 초기투자비 산출 시 적용하였으며, 부가가치세를 반영하지 않았다. 설계도서에 의해 산출된 적용 지열에너지별 공사비에 기존 부하설비 용량조정 등의 금액을 적용한 초기투자비는 Table 11에 나타났다.

Table 11. Initial investment of geothermal energy facilities of cases

	100% application of Standard capacity	25% application of Standard capacity
Case 1	177,413,214	57,481,291
Case 2	282,115,135	87,934,371
Case 3	684,896,176	206,499,483

6.2.2. 지열에너지설비 유지관리비용 산출

유지관리비는 교체비용과 수선비용의 합으로 하였으며, 지열에너지설비 장비의 수선주기 및 교체주기 중 교체주기만 있는 품목에 대해서는 교체주기에 비반복비용으로 환산하였고, 주기적인 수선과 교체주기가 정해진 품목은 수선주기마다 비반복비용으로 환산 후 그 값들의 합과 교체주기년 비반복비용을 합하여 분석기간별 유지관리비를 산정하였다. 적용된 지열시스템의 유지관리 비용이 모두 100% 적용 시 높게 산출되었다. 유지관리 비용분석에서 case의 지열설비는 천공작업을 제외한 대부분의 공정이 히트펌프를 적용하는 일반 냉·난방공사와 유사하고 자재의 수선주기 및 교체주기도 수선주기 5년, 교체주기 10년의 히트펌프 등의 사용으로 인해 수선비용 및 교체비용의 증가에 따른 높은 유지관리 비용이 산출된 것으로 판단된다.

6.2.3. 지열에너지설비의 생애주기비용 산출

Case별 지열에너지설비의 초기투자비, 유지관리비용을 이용하여 매 10년 단위의 분석기간들의 생애주기비용을 산출하였다. 모든 case에서 기준용량의 100% 적용 시 지열의 생애주기비용이 분석기간의 증가에 따라 생애주기비용도 증가하는 것으로 나타났다. Case별 분석기간에 따른 지열에너지설비의 생애주기 비용은 Table 12에 나타났다.

Table 12. Initial investment of geothermal energy facilities of cases

Case	Analysis year	Application %	Initial investment	Maintain cost	LCC	
Case 1	10	100	177,413,214	45,082,942	222,495,156	
		25	57,481,291	22,929,864	80,411,155	
	20	100	177,413,214	114,814,736	292,227,950	
		25	57,481,291	52,607,724	110,089,015	
	30	100	177,413,214	170,715,471	348,128,685	
		25	57,481,291	78,901,211	136,382,502	
	40	100	177,413,214	182,417,96	359,831,181	
		25	57,481,291	86,793,300	144,274,591	
	Case 2	10	100	282,115,135	78,591,384	360,706,519
			25	87,934,371	29,083,243	89,533,243
20		100	282,115,135	201,614,252	483,729,387	
		25	87,934,371	70,780,448	158,714,819	
30		100	282,115,135	303,539,695	585,654,830	
		25	87,934,371	106,299,141	194,233,512	
40		100	282,115,135	321,713,745	603,828,880	
		25	87,934,371	114,652,882	202,587,253	
Case 3		10	100	684,896,176	176,172,862	861,069,038
			25	206,499,483	64,219,177	270,718,660
	20	100	684,896,176	447,156,081	1,132,052,257	
		25	206,499,957	157,211,330	363,710,813	
	30	100	684,896,176	708,458,855	1,393,355,031	
		25	206,499,483	236,056,719	442,556,202	
	40	100	684,896,176	743,348,843	1,428,245,019	
		25	206,499,483	248,408,375	454,907,858	

6.2.4. 지열에너지설비별 LCC 비교·분석

지열에너지의 경우 설치되는 용량에 비례하여 그 절감효과가 보이지 않고 case별로 그 절감비율이 상이한 특성을 나타냈다. 지열에너지설비 적용에 따른 case별 에너지절감액은 Table 13에 나타냈다. 분석결과 지열에너지설비의 적용 시에는 단순한 경제적 이익을 기대하기는 어려운 것으로 나타났다. 특히 기존 에너지부하설비의 용량을 조정하여 초기투자비를 절감할 수 있는 지열시스템은 높은 초기투자비 및 유지관리비와 낮은 에너지절감비용으로 인해 낮은 경제성을 나타냈다. 이는 지열시스템의 가동을 위해 필요한 순환펌프 등의 전력소모 장비의 전기에너지 사용에 따른 에너지 절감효과 저하 및 높은 초기투자비에 기인한다. 따라서 지열에너지시스템의 경제성 향상을 위해서는 적용 시 적은 동력의 순환펌프 선정과 전력소모가 적은 기기의 사용 그리고 초기투자비의 절감이 필요할 것으로 생각된다.

초기투자비 회수기간의 산정은 분석된 자료로 판단하기에는 절감액과 초기투자비와의 차가 커 경제성 분석 시 효과적이지 않아, 에너지절감액을 통한 투입된 생애주기비용의 회수비율을 사용 LCC 회수율로 표현했다. Case 1에서는 분석기간의 증가에 따라 신재생에너지설비의 회수율 역시 증가하였다. 이는 지열설비의 생애주기비용의 증가보다 에너지절감비용의 증가가 더 크다는 것을 나타내는 것으로 지열에너지설비의 초기투자비 및 유지관리비용을 개선할 경우 경제적 효과는 더 커진다는 것을 의미한다. 각 Case별 적용 지열에너지설비의 LCC 분석은 Table 14에 나타냈다.

Table 13. Energy saving cost by applying geothermal energy facilities of cases

Case	Analysis year	100%	25%
Case 1	10	9,750,941	4,881,961
	20	18,526,071	9,275,367
	30	26,423,043	13,229,110
	40	33,529,739	16,787,188
Case 2	10	24,975,493	3,905,093
	20	47,451,603	7,419,390
	30	67,678,450	10,581,999
	40	85,881,127	13,428,114
Case 3	10	56,942,694	20,481,317
	20	108,186,936	38,912,998
	30	154,302,990	55,500,157
	40	195,804,051	70,427,381

Table 14. LCC of geothermal energy facilities of cases

Case	Analysis year		100%	25%
Case 1	10	LCC	222,496,156	80,411,155
		Energy saving cost	9,750,941	4,881,961
		LCC collection ratio	4.38%	6.07%
	20	LCC	292,227,950	110,089,015
		Energy saving cost	18,526,071	9,275,367
		LCC collection ratio	6.36%	8.43%
	30	LCC	348,128,685	136,382,502
		Energy saving cost	26,423,043	13,229,110
		LCC collection ratio	7.59%	9.70%
	40	LCC	359,831,181	144,274,591
		Energy saving cost	33,529,739	16,787,188
		LCC collection ratio	9.32%	11.64%
Case 2	10	LCC	360,706,519	428,982,726
		Energy saving cost	24,975,493	3,905,093
		LCC collection ratio	6.92%	3.32%
	20	LCC	483,729,387	158,714,819
		Energy saving cost	47,451,603	7,419,390
		LCC collection ratio	9.81%	4.67%
	30	LCC	585,654,830	194,233,512
		Energy saving cost	67,678,450	10,581,999
		LCC collection ratio	11.56%	5.45%
	40	LCC	603,828,880	202,587,253
		Energy saving cost	85,881,127	13,428,114
		LCC collection ratio	14.22%	6.63%
Case 3	10	LCC	861,069,038	270,718,660
		Energy saving cost	56,942,694	20,481,317
		LCC collection ratio	6.61%	7.57%
	20	LCC	1,132,052,257	363,710,813
		Energy saving cost	56,942,694	20,481,317
		LCC collection ratio	6.61%	7.57%
	30	LCC	1,393,355,031	442,556,202
		Energy saving cost	154,302,990	55,500,157
		LCC collection ratio	11.07%	12.54%
	40	LCC	1,428,245,019	454,907,858
		Energy saving cost	195,804,051	70,427,381
		LCC collection ratio	13.71%	15.48%

7. 결 론

본 연구는 공공기관의 신재생에너지 의무사용 시 적용되는 기준을 근거로 공공 업무시설의 신재생에너지설비 적용에 따른 에너지소요량 등의 분석 및 이에 따른 에너지 절감비용과 신재생에너지설비의 생애주기비용을 비교·분석하여 경제성을 고려한 신재생에너지설비의 효율적인 선정방안을 도출하는데 그 목적을 두었다. 연구의 목적을 달성하기 위해 우선 공공업무 용도의 case를 규모별로 3가지 샘플을 선택하여 신재생에너지가 적용되지 않은 형태의 건축물로 모델링하였고, 여기에 건축물에 적용성이 뛰어난 지열시스템을 적용하여 이로 인한 에너지 소요량과 에너지 사용비용의 절감효과로 발생하는 경제적인 효과를 파악하였다. 분석

된 자료는 에너지 소요량 등의 평가로 산출된 각 설비별 에너지 절감량에 따른 절감비용과 비교 경제성평가의 도구로 사용하였다. 또한 에너지 분석과정에서 도출된 에너지 소요량, 소요비용과 1차 에너지 소요량은 분석 에너지 절감량에 따른 지열에너지설비의 효율적 선정방안을 제시하였다. 이러한 연구과정을 통해 도출된 연구의 결과는 크게 2가지로 정리할 수 있다. 첫째, case별 지열에너지설비 적용에 따른 에너지 소요량 및 에너지 사용비용의 절감효과를 분석, 지열에너지설비 종류의 효율적 선정 자료를 도출하였다. 둘째, case별 지열에너지설비 적용에 따른 에너지 비용절감 효과를 파악하였고, 지열에너지설비 초기투자비와 각 설비별 공사 내역서에 기초한 수선율, 보수율을 적용한 유지관리비용으로 생애주기비용을 산출하여 에너지 절감비용과 비교 경제성을 분석 지열에너지설비 선정 시 효율적 방안을 제시하였다. 본 연구에서 얻어진 결과는 의무설치 대상의 공공기관에서 지열에너지설비의 종류를 결정하는 데 경제성을 바탕으로 한 효율적인 선정방안이 될 수 있다고 판단한다. 또한 에너지 소요량과 1차 에너지 소요량의 절감효과 등에 대한 결과 제시로 지열에너지설비의 이해와 선정의 판단을 위한 기초 자료로 활용 될 수 있을 것이다.

그러나 신재생에너지산업의 전반적인 발전을 위해 필요한 사항이기는 하나 이로 인해 현재 의무설치 대상 공공 건축물에 적용되는 신재생에너지설비 용량은 각 설비의 에너지 생산량만으로 계산된 것이 아니다. 따라서 좀 더 실제적인 에너지 효율성 및 경제성 등을 분석하기 위해서는 각 신재생에너지설비별 에너지생산량 및 사용효율 등을 이용하여야 할 것이다. 향후 각 신재생에너지설비의 특성에 의한 에너지생산량의 산출과 이를 통한 에너지 절감량 등의 분석이 이루어져야 할 것이며, 신뢰성있는 평가프로그램의 개발을 위해 좀 더 세밀한 건축물의 에너지특성을 분석하여 에너지 평가프로그램에 적용하여야 할 것이다. 또한 이러한 정확한 자료와 틀을 사용하여 실제 에너지 사용특성에 부합되는 건축물 에너지 소비특성 등을 평가하여 에너지 사용효율의 극대화를 이룰 수 있는 연구가 계속되어야 할 것이다. 신재생에너지설비가 적용된 건축물의 에너지 사용특성 및 사용비용 분석을 실 사용 건축물에서 실시하여 설계도서를 기반으로 평가된 건축물의 에너지사용특성 등과 비교하여 신뢰성을 확보할 수 있는 후속 연구가 진행되어야 할 것이며, 신재생에너지설비별 실제적 성능을 기반으로 건축물의 용도별, 규모별, 특성별로 적합한 설비의 선택기준 마련을

위한 연구도 진행되어야 할 것이다.

요 약

본 연구는 건축물 계획단계에서 적용될 지열에너지설비 적용에 있어 효율적인 방안을 제시하려한다. 보다 신뢰성 있는 경제성 평가의 기준제시를 위해 신재생에너지 설비의 공사 내역서를 바탕으로 수선주기, 교체주기를 반영한 유지관리비용과 실질적인 신재생에너지설비 설치를 위한 설계 도서에 의한 초기공사비를 산출하여 생애주기비용분석에 사용하였다. 도출된 결과는 건축물 계획단계에서 경제적인 지열에너지설비를 선정하는데 도움이 될 것이라 생각한다.

키워드 : 경제성 분석, 지열에너지, 생애주기비용, 공공 건물

References

1. Furundzic AK, Kosoric V, Golic K, Potential for reduction of CO2 emissions by integration of solar water heating systems on student dormitories through building refurbishment, *Sustainable Cities and Society*, 2012 Feb;2(1):50-62.
2. Kim IM, Kim CS, Park SK, Forecasting the energy demand responses to relative price changes, *The Korean Economic Review*, 2011 Dec;59(4):199-228.
3. Song JY, A study on analysis of energy consumption for air-conditioning energy reduction of large office buildings [master's thesis], [Daegu (Korea)]: Kyungpook National University; 2013, 69 p.
4. Rezaie B, Esmailzadeh E, Dincer I, Renewable energy options for buildings: case studies, *Energy and Buildings*, 2011 Jan;43(1):56-65.
5. Visa I, Moldovan MD, Comsit M, Duta A, Improving the renewable energy mix in a building toward the nearly zero energy status, *Energy and Buildings*, 2014 Jan;68:72-8.
6. Cucchiella F, D'Adamo I, Gastaldi M, Koh SCL, Renewable energy options for building: performance evaluations of integrated photovoltaic systems, *Energy and Buildings*, 2012 Dec;55:208-17.
7. Francisco SS, Batlles J, Renewable energy solutions for building cooling, heating and power system installed in an institutional building: case study in south spain, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 2013 Oct;26:147-68.

8. Jung MH, Park JC, Lee EG. A study on the application of renewable energy systems to apartment houses. Proceeding of Fall Annual Conference of Architectural Institution of Korea; 2008 Oct 25; Gwangju, Korea, Seoul (Korea): Architectural Institution of Korea; 2008. p. 591-4.
9. Kang SH, Ryu SW, Hwang JH, Cho YH. An application analysis of renewable energy for public building and an analysis of building energy substitution rate. Proceeding of Fall Annual Conference of The Korean Solar Energy Society; 2011 Nov 24; Seoul, Korea, Seoul (Korea): The Korean Solar Energy Society; 2011. p. 348-53.
10. Kim MR, Lee KJ, Park HS. A study on the cases of new renewable energy applied buildings in Korea and Germany—focused on solar and geothermal energy cases. Journal of Architectural Institution of Korea. 2012 Mar;28(3):29-37.
11. Yoon DI, Ko MJ, Cho YH, Cho JH, Jang JD, Kim YS. A study on the current status and feasibility of new & renewable energy system with survey. Journal of The Society of Living Environment System, Korea, 2013 Apr;20(2):225-32.
12. Seo SH, Hong JH, Lee YH, Cho YH, Hwang JH. A study on the analysis of the efficiency of new and renewable energy applied to complex government office buildings. Proceeding of Spring Annual Conference of The Korean Solar Energy Society; 2013 Apr 4-5; Daegu, Korea, Seoul (Korea): The Korean Solar Energy Society; 2013. p. 356-61.
13. Kim JM, Kim KY. A study on economic analysis of new renewable energy power (photovoltaic, wind power, small hydro, biogas). Journal of The Korean Solar Energy Society. 2008 Dec;28(6):70-7.
14. Kim HG, An GH, Choi YS. LCC analysis for optimized application of renewable energy of eco-friendly school. Journal of Architectural Institution of Korea, 2011 Nov;27(11):83-90.
15. Lee YH, Seo SH, Kim HJ, Cho YH, Hwang JH. Analysis of new & renewable energy application and energy consumption in public buildings. Journal of The Korean Solar Energy Society. 2012 Jun;32(3):153-61.
16. Lee TJ. Development and application of geothermal energy. Transactions of the Korea Society of Geothermal Energy Engineers, 2009 Jun;4(2):6-14.
17. Na SM. Current state of world geothermal development and EGS geothermal development, Transactions of the Korea Society of Geothermal Energy Engineers. 2008 Jun;4(2):6-14.
18. Park JK. A study on field construction and improvement for high efficiency geothermal system [dissertation]. [Jinju (Korea)]: Gyeongsang National University; 2011. 169 p.