

태양광발전, 태양열 급탕, 지열시스템의 신재생에너지설비 조합에 관한 LCC 분석

Life Cycle Cost Analysis about Renewable Energy Facilities Combination of Photovoltaic system, Solar thermal system and Geothermal system

전 상 현* 안 장 원** 김 원 우*** 조 승 연****
Chun, Sang Hyun Ahn, Jang-Won Kim, Wonwoo Cho, Seung-Yun

Abstract

When a building is planned and designed, the design should be able to minimize the cost during the whole life cycle of the building. This study has begun to analyze LCC about the alternative design which is applicable to renewable energy facility construction. It is reviewed domestic and foreign papers about the trend of LCC technology and it is determined the analytical method to analyze the LCC of renewable energy. Regarding the review of alternatives, it is chosen the three alternatives which are able to designed combing the renewable energy facilities and it is performed the LCC analysis about each alternative. Alternative 1 is Photovoltaic + Solar Thermal + Photovoltaic /Wind Power, Alternative 2 is Geothermal + Photovoltaic, and Alternative 3 is Photovoltaic + Solar Thermal. The LCC analysis is present value method, its analytical period is 40 years and it is applied 3.2% of real discount rate. As a result, it is proved that Alternative 1 and Alternative 3 are not able to collectible the early investment cost during the analytical period and Alternative 2 is analyzed that its pay-back period of early investment cost is about 31 years. As the final outcome of this study on case analysis, it is more advantageous to use the combination of Geothermal and Photovoltaic energy than to use the other combination in LCC aspect.

키워드 : LCC, 신재생에너지, 유지관리비, 에너지절감
Keywords : Life cycle cost, Renewable energy, Maintenance Cost, Energy Saving

1. 서 론

모든 건설시설물은 기획·설계단계 및 시공단계로 구분되는 초기투자단계를 지나 운용·관리 및 해체·폐기 단계로 이어지는 일련의 과정(Life Cycle(LC);생애주기)을 거치게 된다. 그러나 과거에는 초기투자단계에서 발생하는 초기투자비용만을 고려한 설계를 하였다. 건설시설물은 수명(내용 년 수)이 수십 년에 달하며 수명이 다할 때까지 많은 운용관리비가 발생하게 되기 때문에 근래에는 이를 고려한 설계(Life Cycle Design (LCD))가 요구되고 있다. 따라서 과거와 같이 초기투자비용만을 고려한 설계가 아니라 운용관리비를 포함한 생애주기 기간 동안 발생하는 모든 비용(Life Cycle Cost(LCC);생애주기비용)을 최소화하는 설계가 되어야 한다.

또한 LCC 최소화와 동시에 각 설계안들의 VE 검토를

수행함으로써 시물의 기능을 유지·향상시키면서 공사비도 더욱 절감할 수 있는 대안이 선정되어야 한다. 시설물의 기능을 향상시키고 공사비 절감을 유도할 수 있는 다각적인 대안을 검토하고 총 생애주기비용인 LCC분석으로 시설물의 전 수명과정 동안에 발생하는 총비용을 분석할 필요가 있다¹⁻⁵⁾.

이러한 필요에 대응하여 건축물에 적용되고 있는 신재생에너지설비에 대하여 LCC분석을 하였다. 본 연구의 목적은 신재생에너지설비 공사에 있어서 적용 가능한 주요 설계 대안에 대하여 LCC분석을 하여 최적의 설계 대안을 도출하는데 있다.

2. 연구방법

본 연구에서는 먼저 문헌 고찰을 통하여 국내외의 LCC 기술동향을 알아보았다. 이어서 신재생에너지설비의 LCC를 분석하기 위한 분석방법을 결정하였다.

현재 건축물에 적용할 수 있는 신재생에너지설비는 태양광, 태양열, 태양광, 풍력 등이다. 이들 신재생에너지설비는 단독으로 또한 다양하게 조합되어 사용되고 있다⁶⁾.

* 주저자, 연세대학교 대학원 박사과정 (ddukdai@paran.com)

** 교신저자, (주)HNC건설연구소 공학박사 (cm5257@nate.com)

*** (주)HNC건설연구소 공학박사 (artkim55@hotmail.com)

**** (주)HNC건설연구소 공학박사 (hnckor@chol.com)

연구의 대안검토단계에서는 이들 신재생에너지설비를 조합하여 설계 가능한 3개의 대안을 선정하고 각각의 안에 대하여 LCC 분석을 하였다. 1안은 태양광 + 태양열 + 태양광/풍력이며, 2안은 지열 + 태양광이며, 3안은 태양광 + 태양열이다. 이들 3개의 대안을 선정 시 객관적인 선정 방법은 없었으나 현재 관공서건물에서 가장 많이 사용되고 있다고 사료되는 조합을 선정하였다.

마지막으로, 3개의 대안 중 LCC측면에서 가장 타당하다고 판단되는 안을 신재생에너지설비 조합방법으로 제안하였다.

3. 국내의 LCC 기법 적용현황

설계단계에서 부실하거나 과도한 설계를 방지하고, 시설물의 기능향상과 공사비 절감 및 비용/편익을 극대화할 수 있는 합리적인 분석기법이 필요하다. LCC분석은 창조적인 대안의 창출과 시설물의 총 생애주기비용을 분석하는 과학적인 분석기법이기에 때문에 우리나라에서는 공공건설사업의 원활한 추진을 도모하기 위해 적용하여 왔다.

정부에서는 「공공부문의 개혁」 차원에서 건설사업의 단계마다 내재된 비효율과 낭비요인을 제거하여 2002년까지 공공건설 사업비용 20% 절감을 목표로 "공공건설사업 효율화 종합대책"('99.3)을 마련한 바 있다. "공공건설사업 효율화 종합대책"의 기본 방향은 설계 및 공사비 등에 대한 경비절감 뿐만 아니라 주요 국가시설물에 대한 경제적 내용 년 수까지의 총비용을 절감하는데 목표를 두고 있다. 또한 낙후된 건설기술을 선진화, 합리화하고 건설사업 진행과정의 예산낭비요인과 비효율적인 요인을 제거하여 생산성 향상을 추구한다는 목표도 가지고 있다.

국내에서도 2000년부터 500억원 이상의 공사에 의무적으로 설계의 경제성 검토를 수행하도록 하고 있으며 2006년부터는 100억원 이상의 공사로 확대 실시하고 있다. 관련법령을 살펴보면 다음과 같다. 1999년 [공공공사사업 효율화 종합대책]에서 VE/LCC 도입을 발표하였다. 2002년 건설기술관리법 시행령 38조 6에 타당성조사에 대한 항목이 있다. 2011년 건설기술관리법 시행령 64조에 설계의 경제성 등 검토에 관한 항목이 있다. 설계의 경제성 등 검토는 총공사비가 100억 이상의 공사에 의무적으로 실시하도록 하였다. 또한 설계의 경제성 등 검토 실시시기 및 회수는 발주청이 적기로 판단하는 시점으로 규정하되 기본설계, 실시설계에 대하여 각각 1회 이상 실시토록 하였다.

표 1은 국내외의 LCC 선행연구동향을 정리한 것이다. 미국, 영국, 일본, 한국의 LCC 기술을 비교해 보면 미국이 가장 앞서가고 있으며 우리나라는 아직 초기단계인 것을 알 수 있다.

4. 신재생에너지설비의 LCC 분석방법 및 전제

본 연구에서 실시하는 LCC 분석은 프로젝트의 설계 및 공사단계에서부터 유지관리 단계까지를 시설물의 라이프 사이클로 보고 각 단계별로 발생하는 비용을 산정한다. 또

한 LCC의 산출을 통해 얻어진 코스트를 프로젝트의 경제성 평가에 기초자료로 활용한다.

4.1 LCC 정의

모든 건설시설물은 기획·설계단계 및 시공단계로 구분되는 초기투자단계를 지나 운용·관리 및 해체·폐기 단계로 이어지는 일련의 과정을 거치게 되는데 이 일련의 과정을 생애주기라 한다. 그리고 건설시설물의 생애주기 동안 발생하는 총비용을 LCC라 하며(식(1)), 초기투자비(기획·설계비, 건설비), 운용관리비, 해체·폐기비 등이 LCC를 구성하는 비용항목이 된다⁷⁾. 따라서, 건설사업의 총 비용의 경제성을 높이기 위해서는 생애주기 전체를 통한 비용 관리가 필요하며, 생애주기 동안 발생하는 LCC를 파악하여 투자에 대한 경제성 평가를 하는 기법이 LCC 분석이다.

$$LCC = \sum(\text{Life Cycle 각 단계에서의 총비용}) \text{ -----(1)}$$

$$= \text{계획비용} + \text{설계비용} + \text{시공단계비용} + \text{유지관리비용} + \text{해체비용}$$

표 1. LCC 기법의 적용 연혁

국가	년도	특 징
미국	1933년	·LCC 기법에 관한 최초의 참고서 발간.
	1960년대	·LCC 기법의 출현과 보급과정
	1970년대	·국방성 LCC Guide Book 발행 및 모델의 준비 과정.
	1980년대	·도로포장의 유지관리에 LCC 기법 적용. ·그 후 고속도로 교량의 유지관리에 적용되기 시작.
	1991년	·주 전체와 대도시에 계획과정에서 교량, 터널 및 포장의 설계 및 시공 시 LCC 기법 적용토록 함.
	1998년	·LCCA에 도움이 되도록 정보와 지침을 정리한 매도판 발간.
영국	1999년	·교량 LCC 소프트웨어를 개발·보급함으로써 실용화 단계에 접어들.
	1970년대	·여행시간 편익의 순환가를 평가하는데 비용편익분석(COBA)을 사용. ·LCC와 유사한 개념인 테로테크놀로지라는 용어로 시작.
	1982이후	·유지관리동안 도로사용자 비용 평가에 사용.
일본	1990년대	·교량의 도장에 대해 LCC 분석 및 교량구조물 LCC분석. ·항공기 LCC 산정에 도입.
	1979년	·LCC가 처음으로 일반인에게 소개. ·건설성 영선부에 LCC 연구회가 설치되면서 LCC기법이 보급 실용화 됨.
	1980년대	·독자적인 LCC 기법 제안.
한국	1993년	·유지관리와 내구성을 고려하는 강교의 설계 및 시공에 대한 매뉴얼 발간.
	1999년	·토목연구소를 중심으로 LCC 개념을 도입. ·200년 수명의 교량에 대한 경제성 검토 실시.
	1980년대	·처음 소개된 후 주로 건축분야 중심으로 연구가 활발히 진행.
한국	1990년대	·시설물에 LCC 예측기법 도입을 위한 연구들이 수행.
	1998년	·공공공사에 대한 LCC 분석의 중요성이 인식되기 시작.
	2000년	·공공시설물의 설계에 LCC 적용방안 검토.

4.2 LCC 분석 비용항목의 범위

어떤 비용을 LCC 분석에 포함시킬 것인가의 판단은 고려하고 있는 대안과 관련이 있는냐의 여부와 다른 대안과 비교할 경우 의미가 있는냐의 여부에 의하여 결정한다. LCC 분석의 목적이 복수의 대안을 비교하여 최적의 대안을 선택하는 것일 경우에, 각각의 대안에 공통적이고 금액이 통일되어 있는 공통비용은 LCC 분석에서 제외한다. 공통된 비용항목이더라도 금액이 다른 경우에는 각 대안들의 LCC 분석에 포함시켜야 한다⁸⁾. 일반적인 LCC 비용항목은 표 2와 같다.

표 2. LCC 비용 구성항목

구성항목	세부항목
초기투자 비용	·설계비용(감리비 포함)
	·직접공사비용(자재비, 노무비, 경비)
	·간접공사비용(보험료, 안전관리비, 기타 경비 등)
	·일반관리비용 및 이윤
	·신기술도입비용
유지관리 비용	·일반관리비용
	·점검 및 진단비용
	·에너지비용(가스비, 전력비, 상수도비 등)
	·수선, 교체, 보수·보강·개축비용
	·사용자 비용(차량운행비용, 시간가치비용, 교통사고 비용, 환경비용)
해체/폐기 비용	·해체비용
	·폐기비용
	·잔존가치비용

4.3 LCC 분석 절차

LCC분석 절차는 적용대상에 따라 조금씩 차이는 있으나 일반적인 절차는 그림 1과 같은 절차를 가진다⁹⁾. 우선 분석 목표를 명확히 하고 LCC 구성항목을 결정한다. 이어서 분석 기간을 가정하고 구성항목별 비용을 산정한다. 구성항목별 비용산정이 완료되면 전체비용을 종합한다. 총비용을 기초로 각종분석을 실시하여 최종의사결정을 한다.



그림 1. LCC 분석절차

4.4 할인율 및 실질할인율

LCC 분석 시 미래금액을 현재금액으로 환산하기 때문에 과거비용에 대해서는 물가상승율 또는 이자율을 적용하며, 미래비용을 현재비용으로 환산할 때에는 할인율(discount rate)을 적용해야 하며 할인율은 이자율로 대체하여 사용하기도 한다^{10,11)}.

LCC 분석에서는 물가상승율과 이자율(할인율)을 동시에 고려하여 하나의 실질할인율로 나타낸다. 이 실질할인율을 이용하여 미래에 발생하는 금액을 현재의 가치로, 또는 현재의 금액을 미래의 가치로 등가 환산한다. 이때 물가상승률과 이자율에 의해 실질할인율을 산출하는 방법은 식(2)와 같다.

$$i = \frac{1+i'}{1+j} - 1 \quad \text{-----}(2)$$

여기서, i는 실질할인율이고, i'는 이자율이고, j는 물가상승율이다. 표 3에 실질할인율 변화 추이를 나타낸다. 표 4 외국에서 사용하는 실질할인율을 보여주고 있으며, 표 5 우리나라 할인율 적용기준을 보여주고 있다. 표 4의 실질할인율과 표5의 할인율을 살펴보면 우리나라는 4.5%를 사용하고 있지만 이는 1999년과 2001년 등 과거의 자료라는 것을 알 수 있다.

실질할인율은 최근의 자료를 이용해야 하기 때문에 본 연구에서는 국토해양부의 생애주기비용분석 및 평가요령(2008)¹²⁾에서 실질할인율 변화추이를 고려하여 평균값인 3.2%를 적용하여 LCC를 분석한다(표 3).

표 3. 실질할인율 변화 추이

연도	금리	소비자 물가지수 (2005=100)	물가 상승율	실질할인율
1993	8.5%	62.9	4.7%	3.5%
1994	9.3%	66.9	6.4%	2.8%
1995	8.8%	69.9	4.5%	4.1%
1996	10.8%	73.3	4.9%	5.7%
1997	11.3%	76.6	4.5%	6.5%
1998	13.3%	82.3	7.4%	5.5%
1999	6.9%	83.0	0.9%	6.0%
2000	7.0%	84.9	2.3%	4.6%
2001	5.4%	88.3	4.0%	1.4%
2002	4.7%	90.8	2.8%	1.8%
2003	4.2%	93.9	3.4%	0.7%
2004	3.8%	97.3	3.6%	0.1%
2005	3.6%	100.0	2.8%	0.8%
2006	4.4%	102.2	2.2%	2.2%
2007	5.1%	104.8	2.5%	2.5%
평균('93~'07)	7.1%		3.8%	3.2%

표 4. 여러 국가들의 실질할인율¹³⁾

국가	미국	영국	호주	유럽
실질할인율	3.5~7%	3.5%	8%	5%

표 5. 우리나라 할인율 적용기준 예

구 분	통계청 (1999)	교통개발연구원 보고서	한국개발연구원 (1999)	시설안전기술공단 (2001)
할인율	4.5%	7%	7.5%	4.5%

4.5 LCC 분석방법

LCC 분석에 있어 가장 중요한 것은 각 대체안의 경제성 평가를 시간적으로 등가환산을 하는 것이다. 따라서 LCC 분석에 있어서 계획한 대안을 비교하려면, 우선 동일한 기준 시점을 정하고, 각 대안에 의하여 발생하는 현재비용과 미래비용을 공통의 시점으로 환산해야 한다. 이와 같이 발생한 시점이 상이한 비용을 일정한 기준을 정하여 환산하는 방법에는 현재가치법(net present value method:NPV)과 연등가액법(equivalent uniform annual cost method)이 있다.

현재가치법은 시설물의 생애주기에 발생하는 모든 비용을 일정한 시점을 기준으로 환산하는 방법이다. 단 현재시점에서 초기투자자가 이루어지는 경우 초기투자 비용은 이미 현재가치로 표시되어 있기 때문에 환산할 필요가 없다. 본 연구에서는 현재가치법을 적용하여 LCC를 분석한다.

매년 동일하게 반복하여 발생하는 반복 비용을 A, 할인율이 i, 분석기간이 n년이면, 이 반복비용의 현재가치(P)는 식(3)과 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{A}{1+i} + \frac{A}{(1+i)^2} + \dots + \frac{A}{(1+i)^n} = \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n} \times A \quad \text{---(3)}$$

여기서, $\frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$ 을 연금현재가치(PWA: Present Worth of Annuity)계수이다.

한편, n년 후에 1회만 발생하는 비반복 비용을 F, 할인율이 i이면, 이 비용의 현재 가치(P)는 식(4)와 같이 나타낼 수 있다.

$$P = \frac{1}{(1+i)^n} \times F \quad \text{---(4)}$$

여기서, $\frac{1}{(1+i)^n}$ 을 현재가치(PW:Present Worth)계수이다.

연등가액법이란 생애주기에 발생하는 모든 비용이 매년 균일하게 발생한다고 가정할 경우, 이와 대등한 비용은 얼마인가라는 개념을 이용하여, 균일한 연간 비용으로 환산하는 방법이다.

연등가액법에서 반복 비용은 이미 연등가액으로 표시되어 있기 때문에 환산을 필요로 하지 않는다. 일정한 시점에서 발생하는 비반복 비용을 연등가액으로 환산하기 위해서는 먼저 비반복 비용을 현재가치로 환산하는 공식에 의해서 그 비용을 현재가치(P)로 환산하고, 이것을 다시 위에서 설명한 초기투자 비용을 연등가액으로 환산하는 공식에 의해서 연등가액을 환산하면 된다.

4.6 분석기간

시설물 생애의 개념은 기술적 생애, 유용 생애, 경제적 생애로 구분할 수 있는데, 이 가운데 경제성 분석에서 유

용한 개념은 경제적 생애 개념이다. 기술적 생애는 시설물이 기술적인 문제로서 쓸모가 없어질 때까지를 시설물의 생애로 보는 개념이다. 유용 생애는 시설물의 성능이 확립된 성능 기준을 만족시킬 때까지를 생애로 보는 개념이다. 경제적 생애는 시설물이 다른 대안에 비해서 경제적으로 가장 효율적인(가장 비용이 적게 드는) 방법으로 기능을 수행할 수 있는 때까지를 생애로 보는 개념이다.

본 연구에서 적용한 신재생에너지설비는 건축물에 설치하므로 건축물의 생애를 분석기간으로 설정하고자 한다. 법인세법 및 지방공기업법 시행규칙에 의한 건축물의 내용연수는 표 6과 같다. 본 연구에서는 건축물의 수명을 고려하여 분석기간은 40년으로 가정한다.

이상에서 결정한 신재생에너지설비의 LCC 분석을 위한 전제를 정리하면 표 7과 같다.

표 6. 건축물 등의 내용연수표(제19조제1항제1호관련)

구분	내용연수	구조 또는 자산명
1	5년	차량 및 운반구(운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 차량 및 운반구를 제외한다), 공구, 기구 및 비품
2	12년	선박 및 항공기(어업, 운수업, 기계장비 및 소비용품 임대업에 사용되는 선박 및 항공기를 제외한다)
3	20년	연와조, 블럭조, 콘크리트조, 토조, 토벽조, 목조, 목골모르타르조, 그 밖의 구조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 구축물
4	40년	철골·철근콘크리트조, 철근콘크리트조, 석조, 연와석조, 철골조의 모든 건물(부속설비를 포함한다)과 구축물

표 7. 분석의 전제

구 분	내 용	
LCC 분석 전제	분석방법	현재가치법(NPV)
	분석기간	40년 -> 법인세법 및 지방공기업법 시행규칙
	실질할인율	3.2% -> 국토해양부의 생애주기비용분석 요령(2008)
	교체/수선	주택법 및 조달청 내용연수를 바탕으로 교체주기 적용
비용항목	초기투자비(직접공사비), 교체비, 연간 생산된 에너지비(전력비)	

5. 신재생에너지설비의 LCC 분석

5.1 분석대상

분석대상은 신재생에너지설비 중 조합하여 적용이 가능한 3개의 안이다. 대안 1은 태양광 + 태양열 + 태양광/풍력 조합이며, 대안 2는 지열 + 태양광 조합이며, 대안 3은 태양광 + 태양열 조합이다. 이들 3개의 대안은 현재 관공서건물에서 가장 많이 사용되고 있다고 사료된다. 표 8에 선정한 3개의 안을 나타낸 것이며 각각의 설비를 설명하면 다음과 같다.

1) 태양광 발전 시스템

태양광 발전은 태양광을 직접 전기에너지로 변환시키는 기술로써 햇빛을 받으면 광전효과에 의해 전기를 발생시키는 태양전지를 이용한 발전방식이며, 태양광 발전시스템은 태양전지(solar cell)로 구성된 모듈(module) 축전지 전력 변환장치로 구성된다.

2) 태양열 시스템

태양광선의 파동성질을 이용하는 태양에너지 광열학적 이용분야로 태양열의 흡수·저장·열변환 등을 통하여 건물의 냉난방 및 급탕 등에 활용하는 기술로써, 태양열 이용 기술의 핵심은 태양열 집열기술, 축열기술, 시스템 제어기술, 시스템 설계기술 등이 있다.

3) 지열 시스템

지열에너지는 물, 지하수 및 지하의 열 등의 온도차를 이용하여 냉·난방에 활용하는 기술로써, 태양열의 약 47%가 지표면을 통해 지하에 저장되며, 이렇게 태양열을 흡수한 땅속의 온도는 지형에 따라 다르지만 지표면 가까운 땅속의 온도는 개략 10℃~20℃ 정도 유지해 열펌프를 이용하는 냉난방시스템에 이용된다.

표 9와 표 10은 2010년 공공기관 에너지합리화 추진지침¹⁴⁾에 따른 신재생에너지 원별 상한 설치단가와 단위에너지 생산량을 나타낸 것이며 신재생에너지설비 조합의 초기투자비 산정시 설치용량당 적용한 단가와 에너지생산량 산정시 적용한 표이다.

표 11은 생산된 에너지량에 의한 연간 절감액을 환산하기 위한 한국전력공사의 전기요금 기준(300kw 이상)¹⁵⁾이며, 본 연구에서 적용한 업무용시설은 이에 해당되기에 적용하였다.

또한 업무용시설은 중간부하와 최대부하사용시간에만 사용하는 시설이기에 계절별, 부하시간대별을 평균하여 산출한 결과 108원이 산출되었으며 신재생에너지설비에 의한 연간 생산에너지 절감액의 기준단가로 적용한다

5.2 분석대상의 초기투자비 및 연간 생산된 에너지비

표 12에 각각의 대안에 대한 초기투자비 및 연간 절감액을 나타낸다. 표에서 절감액은 연간 생산 전력량에 전력비 108원/kWh을 곱한 값이다. 대안 1은 연간 20,359,286원을 절감할 수 있고, 대안 2는 94,850,952원을, 대안 3은 21,094,649원을 절감할 수 있다. 대안 2가 가장 절감액이 많은 것으로 산정되었다.

5.3 LCC 분석 결과

그림 2는 현금 흐름도를 나타낸다. 40년을 LCC기간으로 보았다. 대안 1은 초기 투자비가 9.5억 원이고 매년 0.2억 원의 유지관리비가 들며 20년당 9.5억 원이 소요된다. 그리고 태양열설비의 교체주기는 10년이므로 사이에 0.8억 원이 소요된다.

대안 2는 초기 투자비가 10.6억 원이고 매년 0.9억 원의 유지관리비가 소요된다. 20년 단위로 태양광설비 교체비 5.9억 원이 들며 15년 단위로 4.7억 원이 든다. 대안 3는 초기 투자비가 8.5억 원이고 매년 0.2억 원의 유지관리비가 소요된다. 20년 단위로 교체비 8.5억 원이 들며 사이 10년 당 태양열설비 교체비 0.8억 원이 든다.

표 13은 LCC 분석모델을 정식화한 것이다. 유지관리비용은 비반복비용과 반복비용으로 나누어 계산하였다. 비반복비용은 (4)식으로 계산하였고, 반복비용은 (3)식에 의해 계산하였다. 연등가액은 대안 1,2,3이 각각 0.2억 원, 0.9억

원, 0.2억 원으로 계산되었으며 그림 2의 현금 흐름도에 이것이 적용되어 있다.

표 14는 LCC분석을 종합한 것으로 대안 1,2,3의 LCC는 각각 -1,370,254천원, 104,320천원, -1,172,176천원으로 계산되었다. 결국 대안 2가 가장 좋은 신재생에너지설비 조합방법이라고 할 수 있다.

그림 3과 그림 4는 LCC 분석결과와 누적분포를 나타낸다. 대안 1 및 대안 3은 분석기간 내 초기투자비 회수가 불가하며, 대안 2의 초기투자비 회수기간은 약 31년으로 분석되었다. 따라서 LCC측면에서 대안2를 선택하는 것이 타당하다고 판단된다.

그림 5는 LCC 분석결과에 대하여 할인율에 대한 민감도 분석을 수행한 것이다. 민감도 분석 결과, 할인율이 4%를 넘어가게 되면 대안 2도 초기투자비를 회수하기가 어려울 것으로 분석되었다. 그러나 국내의 2001년 이후의 물가 및 이자율을 감안하면 실질이자율이 3%에 미치지 못하고 있기 때문에 민감도에는 영향이 없을 것으로 판단 된다.

표 8. 분석대상

구 분	【 대안1 】	【 대안 2 】	【 대안 3 】
		태양광 + 태양열 + 태양광/풍력	지열 + 태양광

표 9. 신재생에너지 원별 상한 설치단가

구 분		설 치 단 가	
태양광	일반건물	고 정 식	7,180/kW
		추 적 식	8,220/kW
		B I P V	14,420/kW
	태양광주택	고정식	5,650/kW
		추적식	6,710/kW
		B I P V	13,290/kW
태양열	평 판 형	1,020/㎡	
	단일진공관형	1,160/㎡	
	이중진공관형	1,030/㎡	
지열	수직밀폐형(일반건물)	1,250/ kW	
	수직밀폐형(주택)	1,870/ kW	
집광채광	프리즘형	9,440/ ㎡	
	광덕트형	5,040/ ㎡	

표 10. 신재생에너지 원별 상한 설치단가

신재생에너지원		단위 에너지 생산량	
태양광	고정식	1,358	kwh/ kw · yr
	추적식	1,765	kwh/ kw · yr
태양열	평판형	596	kwh/ ㎡ · yr
	단일진공관형	745	kwh/ ㎡ · yr
	이중진공관형	745	kwh/ ㎡ · yr
지열(수직밀폐형)		2,045	kwh/ kw · yr

표 11. 한국전력 전기요금 단가(일반용전력을 기준)

구분		전력량 요금(원/kWh)			
		시간대	여름철(7~8월)	봄,가을철(3~6,9~10월)	겨울철(11~2월)
고압A	선택 I	경 부 하	49.3	49.3	53.8
		중간부하	96.5	65.7	94.7
		최대부하	168.2	89.1	137.7

표 12. 초기투자비 및 연간 절감액
(a) 대안1

구분	설치금액(원)	용량(kW)	교체주기	단위면적당 생산량	연간 생산 에너지	
					전력량(kWh)	절감액(원)
지 열	-	-	15년	-	-	20,359,286
태양광	732,000,000	101.95	20년	1,358	138,447.91	
태양열	85,000,000	84.00	10년	596	50,064.00	
태양광 + 풍력	136,000,000	-	20년	-	-	
합 계	953,000,000	-	-	-	188,511.91	

(b) 대안2

구분	설치금액(원)	용량(kW)	교체주기	단위면적당 생산량	연간 생산 에너지	
					전력량(kWh)	절감액(원)
지 열	472,600,000	375.08	15년	2,045	767,037.30	94,850,952
태양광	588,000,000	81.89	20년	1,358	111,212.26	
태양열	-	-	10년	-	-	
합 계	1,060,600,000	-	-	-	878,249.56	

(c) 대안3

구분	설치금액(원)	용량(kW)	교체주기	단위면적당 생산량	연간 생산 에너지	
					전력량(kWh)	절감액(원)
지 열	-	-	15년	-	-	21,094,649
태양광	768,000,000	106.96	20년	1,358	145,256.82	
태양열	85,000,000	84.00	10년	596	50,064.00	
합 계	853,000,000	-	-	-	195,320.82	

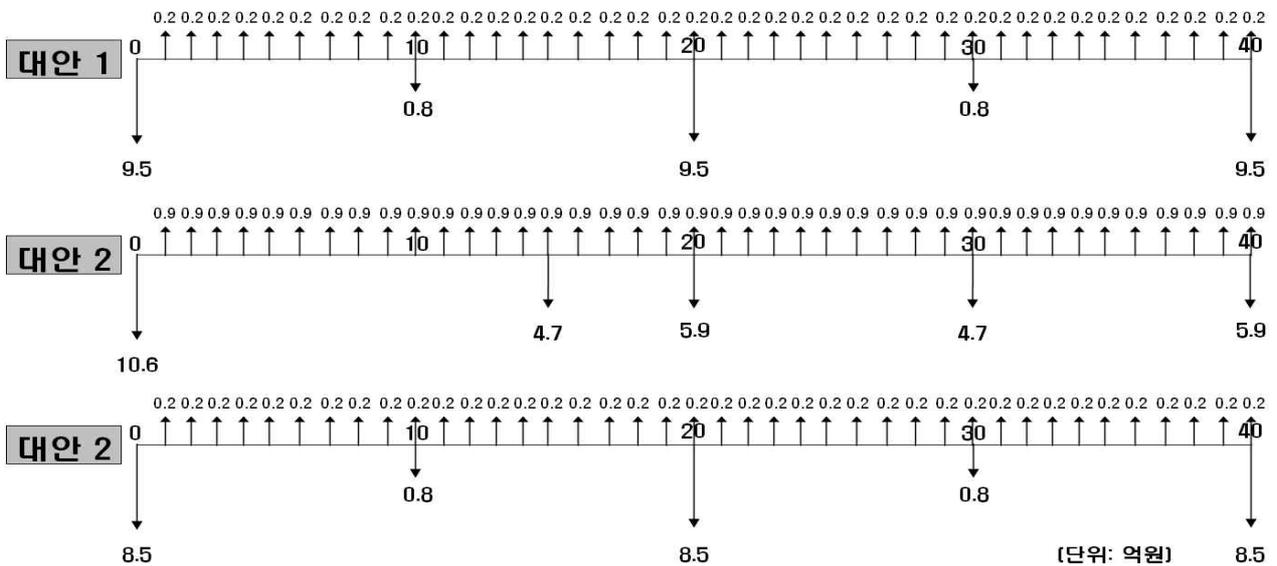


그림 2. 현금흐름도

표 13. LCC 분석모델의 정식화

구 분	초기투자비 (억원)	유지관리비(억원)		
		교체주기	교체비 (비반복비용)	에너지생산 절감액 (반복비용)
대안 1	9.5	10년	$P_{1(\text{교체}10)} = 0.8 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{10}}$	$P_{1(\text{에너지생산})} = 0.2 \times \frac{(1+3.2\%)^{40} - 1}{3.2\%(1+3.2\%)^{40}}$
		20년	$P_{1(\text{교체}20)} = 9.5 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{20}}$	
		10년	$P_{1(\text{교체}30)} = 0.8 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{30}}$	
		20년	$P_{1(\text{교체}40)} = 9.5 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{40}}$	
대안 2	10.6	15년	$P_{2(\text{교체}15)} = 4.5 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{15}}$	$P_{2(\text{에너지생산})} = 0.9 \times \frac{(1+3.2\%)^{40} - 1}{3.2\%(1+3.2\%)^{40}}$
		20년	$P_{2(\text{교체}20)} = 5.7 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{20}}$	
		30년	$P_{2(\text{교체}30)} = 4.5 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{30}}$	
		40년	$P_{2(\text{교체}40)} = 5.7 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{40}}$	
대안 3	8.5	10년	$P_{3(\text{교체}10)} = 0.8 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{10}}$	$P_{3(\text{에너지생산})} = 0.2 \times \frac{(1+3.2\%)^{40} - 1}{3.2\%(1+3.2\%)^{40}}$
		20년	$P_{3(\text{교체}20)} = 8.5 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{20}}$	
		10년	$P_{3(\text{교체}30)} = 0.8 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{30}}$	
		20년	$P_{3(\text{교체}40)} = 8.5 \times \frac{1}{(1+3.2\%)^{40}}$	

표 14. LCC 분석 종합

구 분	초기투자비 [천원]	유지관리비 [천원]		LCC [천원]
		교체비	에너지생산 절감액	
대안 1	-953,000	-872,980	455,726	-1,370,254
대안 2	-1,060,600	-958,310	2,123,230	104,320
대안 3	-853,000	-791,352	472,170	-1,172,176

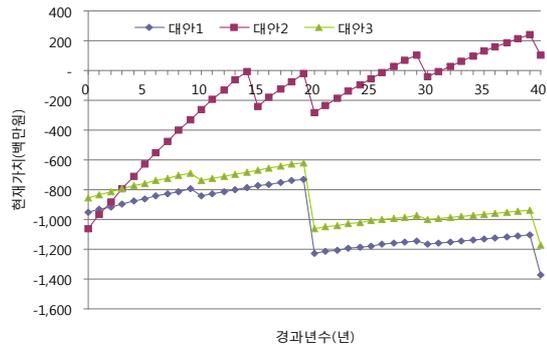


그림 4. LCC 누적분포

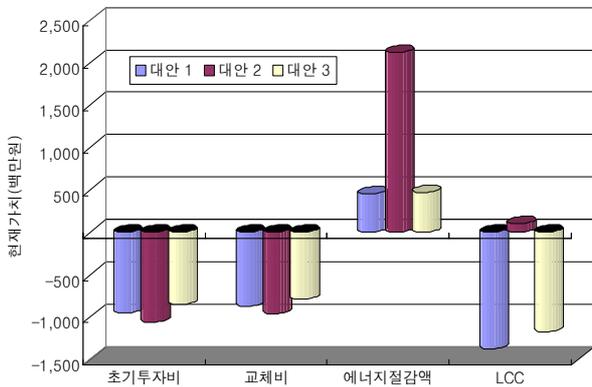


그림 3. LCC 분석결과

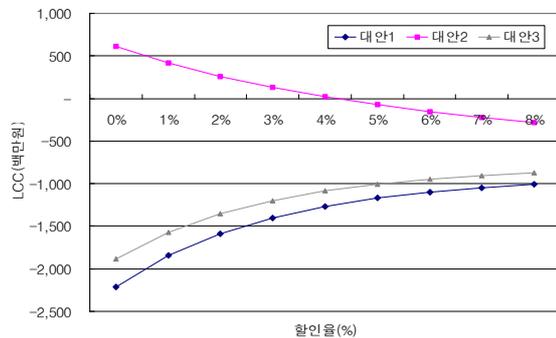


그림 5. LCC 민감도 분석

6. 결 론

건물의 전 생애주기 동안 발생하는 비용을 최소화할 수 있는 설계가 이루어져야 한다. 본문에서는 신재생에너지설비 공사에 있어서 적용 가능한 설계 대안에 대하여 LCC를 분석하였다.

문헌 고찰을 통하여 국내외의 LCC 선행연구동향을 알아보고, 신재생에너지설비의 LCC를 분석하기 위한 분석 방법을 결정하였다. 대안검토에서는 신재생에너지설비를 조합하여 설계 가능한 3개의 대안을 선정하고 각각의 안에 대하여 LCC 분석을 하였다. 대안 1은 태양광 + 태양열 + 태양광/풍력이며, 대안 2는 지열 + 태양광이며, 대안 3은 태양광 + 태양열이다.

LCC는 현재가치법으로 분석하였으며 분석기간은 40년으로 하였고 실질할인율 3.2%를 적용하였다. 분석 결과 대안 1과 대안 3은 분석기간 내 초기투자비 회수가 불가능한 것으로 나타났으며, 대안 2의 초기투자비 회수기간은 약 31년으로 분석되었다. 본 사례연구에서는 신재생에너지 사용 시 지열과 태양광을 조합하여 사용하는 것이 여타의 조합보다 LCC측면에서 유리한 것으로 나타났다.

본 연구에서는 평판형 태양열 설비를 사용하였다. 그러나 진공관형의 경우는 에너지 생산량, 설치기간, 초기투자비 등에 차이가 있기 때문에 반드시 태양열 설비의 투자회수 기간이 20년 이내가 될 수 없다는 것은 아님을 밝힌다.

참고문헌

- 정순성, 의사 결정자를 위한 HVAC 시스템의 LCC 분석 방법론 개발에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 Vol.24(4), 2004.12, pp.1-87
- 이춘경, 이미혜, 박태근, BTL 민간투자사업의 LCC분석 시스템 개발을 위한 기초연구, 대한건축학회지회연합회 학술발표대회 논문집 제2권 제1호 통권 제2집, 2006년 11월, pp.571-574.
- 이한명, 오민석, 김희서, 투광형 비정질 BIPV 시스템의 LCC 평가에 관한 연구, 한국태양에너지학회 논문집 제29권 제1호, 2009.2, page(s): 1-75
- 나연정, 양인호, LCC 분석을 이용한 공동주택에서 고가수조와 부스터펌프 급수방식의 비교, 한국생활환경학회지 제15권 제2호, 2008.6, page(s): 145-306
- 조승연, 안장원, 김용수, 지구온난화에 대한 환경비용 모델개발 및 사례분석, 한국건설관리학회 학술발표대회 논문집, 2009.11, pp.274-279.
- 강을호, 구분철, 황유진, 송재도, 정성일, 이재근, LCC 분석을 고려한 일반 시설물에서 소형열병합발전의 최적 설계, 설비공학논문집 제21권 제8호, 2009.8, page(s): 425-476.
- 최성호, 차병주, 김상민, 이승복, LCC분석에 의한 설비시스템의 최적화 방안에 관한 연구, 설비공학논문집 제4호 제2호, 2002, pp.134-142
- 박률(Yool Park), 정순성(Soon-Sung Jung), 사무소 건축물의 공조시스템 대수제어 여부에 따른 LCC 분석, 설비공학논문집 제14권 제11호, 2002.11, page(s): 871-989
- 김용수(1998), 건축물의 라이프 사이클 코스팅-방법과 활용 그리고 문제점, 월간 건축, 대한건축학회, p.48
- 이상훈, 박종우, 조성환, LCC 분석을 이용한 중앙공급식 공동주택의 수축열식 지열원 히트펌프시스템의 적용연구, 대한설비공학회 2009년도 하계학술발표대회, 2009.6, page(s): 3-1535.
- 박일환, 장기창, 윤형기, 온도차에너지 이용 공동주택 열공급 시스템의 LCC 분석, 대한설비공학회 2009년도 동계학술발표대회, 2009.11, page(s): 3-793.
- 국토해양부, 생애주기비용 분석 및 평가요령, 2008.12, page(s): 14.
- 이한록, 하수도시설에 적합한 설계VE 및 LCC모델 개발, 2010년 지역순회 VE전문가 초청 세미나, 한국건설학회, VE/LCC전문위원회, 2010.06, page(s): 50-70.
- 국무총리실, 2010년 공공기관 에너지합리화 추진지침 및 해설서, 2010.3, page(s): 136.
- 한국전력공사, <http://www.kepco.co.kr>

투고(접수)일자: 2011년 11월 24일

수정일자: (1차) 2012년 1월 30일

(2차) 2012년 2월 20일

게재 확정일자: 2012년 2월 23일