

# 자연순환 자갈축열형 태양열난방시스템의 경제성 분석

Life Cycle Cost Analysis of the Solar Heating System with the Pebble Bed Storage

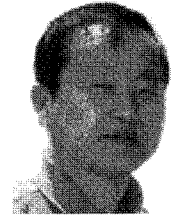
朴在林\* · 張文基\*\* · 李信昊\*\*\* · 李 劍\*\*\*\*

\*심양농업대학 정보 및 전기학원 교수

\*\*심양농업대학 공학원 강사

\*\*\*충북대학교농업생명환경대학지역건설공학과 교수

\*\*\*\*심양농업대학 공학원 석사과정



## 1. 서 론

최근 불안정한 유가와 화석에너지 사용에 의한 환경파괴 등으로 대체에너지에 대한 관심이 점점 커지고 있다. 중국도 70년대 후반 이후 대체에너지인 태양열시스템을 중심으로 많은 연구와 보급이 이루어지고 있으나, 주로 온수 급탕 분야에 머물고 있으며, 주거난방분야의 그 보급은 미비한 실정이다.

태양열난방 실용화에 있어서 태양에너지를 활용하는 것이 재래의 화석연료를 활용하는 것보다 경제성이 있는나 하는 것이 문제가 된다. 태양열난방시스템은 초기고정투자비가 큰 반면, 매년 태양열의 활용에 절약되는 연료비로 그 보상을 하게 되는 데, 이의 경제성 판별에는 주로 생애주기 비용분석(Life Cycle Cost Analysis)방법이 사용된다. 이러한 계산은 태양열난방장치의 수명연한 동안 하게 되

며, 이에 따라 경제성에 미치는 제반인자를 예측하게 된다.<sup>1),2)</sup>

본 연구에서 자연순환형자갈축열층을 이용한 태양열난방시스템의 경제성 평가를 수행하고, 태양열난방시스템의 적용성을 분석하여 에너지 절약적인 태양열난방시스템의 개발 및 보급을 위한 기초자료를 제공하는 것이다.

## 2. 자갈축열형 태양열난방시스템

자갈축열형 태양열난방시스템은 집열부와 축열부로 구성되어 있다. 집열부는 진공관형태양열집열관으로, 축열부는 자갈층과 순환관으로 구성되어 있다. 순환관에 팽창물통과 배기밸브, 배수밸브가 부착되어 있다. 그림 1은 자갈축열형 태양열난방시스템이 설치된 모델하우스이다. 그림 2는 자갈축열형 태양열난방시스템의 열순환관이다. 그림 3은 자갈축열형 태양열난방시스템의 축열부의 단면도이다.

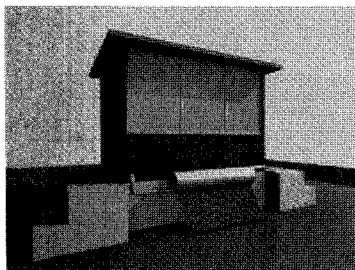


그림 1 자갈축열형 태양열난방시스템이 설치된 모델하우스

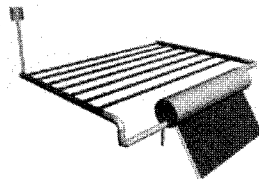
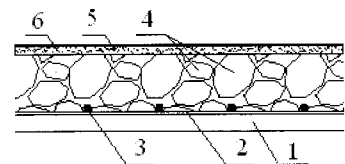


그림 2 자갈축열형 태양열난방시스템의 열순환관



1. 구조체; 2. 보온재료; 3. 열순환코일;  
4. 강자갈; 5. 시멘트모르타르; 6. 장판

그림 3 자갈축열형 태양열난방시스템의 축열부

### 3. 생애주기비용(LCC) 분석

#### 가. LCC의 개요

LCC(Life Cycle Cost)는 건물의 기획, 설계에서 시공, 사용, 폐기처분 등 건물 전생애 동안 발생하는 비용을 고려한 경제성 평가 도구이다. LCC를 평가하기 위해서 비용 항목의 모든 비용을 동일한 가치로 환산하여야 한다.<sup>1)</sup>

LCC 환산방법에 설비투자를 하는 현재시점의 가치로 환산하는 현가법과 운용기간중 1년당의 비용으로 환산하는 연가법, 사용연수가 끝난 시점의 가치로 환산하는 종가법 등이 있다. 본 연구에서 현가법을 이용하여 자갈축열형 태양열난방시스템과 재래식 석탄난방의 경제성을 비교·평가하였다.

#### 나. 분석절차

본 연구에서 진행된 LCC 분석 절차는 그림 4와 같다.

#### 다. 가정 설정

##### 1) 이자율

본 연구에 적용된 이자율은 주요 경제지표 중에서 중국 상업은행이 최근 10년(1996~2004)동안의 평균 정기에 금금리이다.<sup>3)</sup> 그 이자율은 4.73%이다.

##### 2) 물가 상승률

일반적으로 물가상승률에 사용되는 소비자 물가지수가 이용되었다. 본 연구에 적용된 물가상승률은 중국 상업은

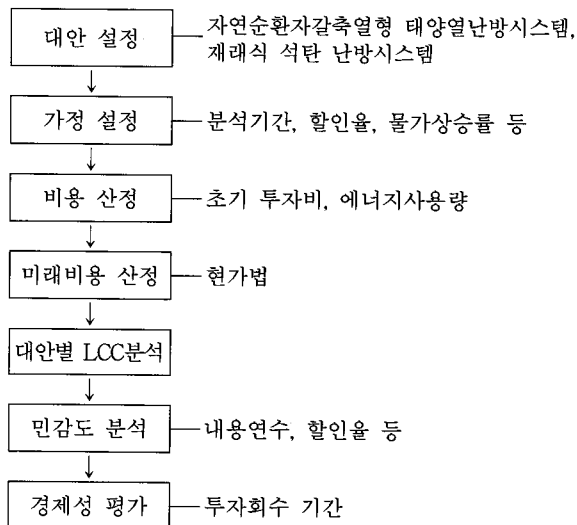


그림 4 LCC 분석 절차

행이 발표한 최근 3년(2001~2003)동안의 자료이고 그 값은 1.10%이다.

##### 3) 할인율

서로 다른 시점에서 발생하는 비용을 기준이 되는 동일 시점에서 비교할 수 있도록 조정하기 위하여 할인율을 적용한다. 그러나 일반적인 할인율과 유사하게 사용되는 용어가 실질이자율이다. 실질이자율은 식 (3.1)에 의해 계산된다.

$$i = \left( \frac{1 + \frac{i}{100}}{1 + \frac{j}{100}} - 1 \right) \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서,  $i$ : 실질이자율(%)

$i'$ : 이자율(%)

$j$ : 물가상승률(%)

따라서 중국 상업은행이 발표한 이자율과 물가상승률을 이용하여 계산한 실질이자율은 3.59%이다.

#### 라. 비용 산정

표 1은 본 연구에 사용된 LCC 비용산정 기준이며, 표 2은 실제 적용된 사항을 나타낸다.

표 1 LCC 비용 산정 기준

구 분	적 용
초기 투자비용	재료비용, 노무비용, 기타, 경비 비용
유지 및 관리비용	운영비용, 교체 비용
에너지 비용	난방

표 2 LCC 적용 사항

구 분	개발된시스템	석 탄
초기 투자 비용	3203.72	200.00
유지 및 관리 비용	운영 비용	초기 투자 비용의 1%로 가정
	교체 주기	15년 / 2~3년(2.5년)

#### 마. 비용 통합 및 민감도 분석 조건

표 3은 LCC 분석을 위한 비용 통합 및 민감도 분석 조건이다.

바. 종합 분석

본 연구에서 LCC평가에 적용한 시스템은 물순환의 자갈축열형 태양열난방시스템이다.

1) 분석

본 연구에서 개발된 시스템으로부터 자갈층에 축열된 태양열은 약 19,082 kcal/day나타났다.

2) 연간 에너지 사용량

그림 5는 물순환의 자갈축열형 태양열난방시스템의 연간 난방부하 및 집열관에 의한 취득열량과 그 열에 의한 자갈층의 축열량을 나타낸 것이다. 연간 난방부하, 태양열 집열관에 의한 획득 열 그리고 자갈층에 저장되는 열은 각각 2,578,551 kcal, 822,491 kcal 및 2,794,845 kcal이다.

표 4는 본 연구에서 개발된 시스템과 대안 에너지의 연간 비용이다. 개발 시스템의 비용은 RMB11.33원/년, 석탄의 비용은RMB429.8원/년이다.

3) LCC분석 결과

본 연구에서 개발된 자갈축열형 태양열난방시스템과 석탄을 이용한 대안시스템에 대한 LCC를 수행한 결과는 다

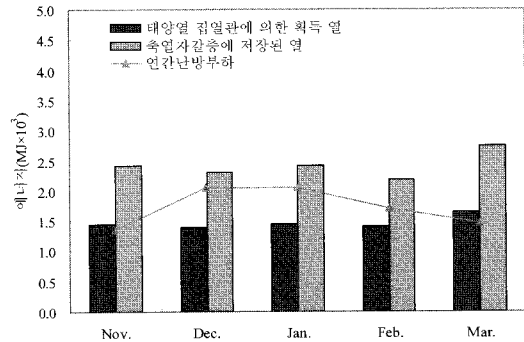


그림 5 연간 난방부하 및 태양열 취득량

표 4 대안별 연간 에너지의 비용

(단위: RMB)

	개발 시스템	석 탄
비 용	11.3	429.8

음과 같다. 표 5는 물 순환의 자갈축열형 태양열난방시스템과 대안시스템의 LCC분석 결과이다.

표 5와 그림 6은 LCC 적용 항목 별 그 결과를 나타낸다. 그림에서 보듯이 본 연구에서 개발된 시스템의 초기투자외 보수 및 교체 비용은 대안시스템의 그것보다 많지만 전체

표 3 비용 통합 및 민감도 분석 조건

구 분	적 용	내 용
비용통합	현가법	· 비반복 비용: n년 번째 1회 발생 비용 $P = F \frac{1}{(1+i)^n}$ · 반복 비용: 매년 균등 발생 비용 $P = A \frac{(1+i)^n - 1}{i(1+i)^n}$ 여기서, P: 현가 환산, F: 미래 가격, A: 연간 등가 발생 비용 i: 실제 할인률, n: 분석 기간 부위별 총생애 비용의 산정 $LCC = \sum_{i=1}^n NPVi$
민감도 분석	내용연수 할인률	여기서, i: 초기 건축비, 보수 교체비, 운영및 관리비용 LCC 분석에서 여러 지표들은 대부분 추정치 값이므로 잘못 예측되었을 때, LCC 분석 결과에 영향이 있다.

표 5 LCC 결과 (단위: RMB원)

	개발된 시스템	석탄
초기 투자 비용	3,203.72	100.00
총 에너지 비용	452.00	17,621.80
보수 및 교체 비용	6,407.44	1,500.00
유지 및 관리 비용	32.04	1.00
총생애 주기 비용	10,095.20	19,222.80

- 석탄의 초기 투자 비용은 근사치이다.
- 석탄의 초기 투자 비용 계산할 때 석탄을 이용한 난방방식이 개발된 시스템과 동일하다고 가정했기 때문에 시멘트나 노동 비용이 같다고 가정한다.
- 보수 및 교체 비용은 모두 초기 투자 비용의 100%로 가정한다.
- 유지 및 운영 비용은 초기투자비의 1%로 가정한다.

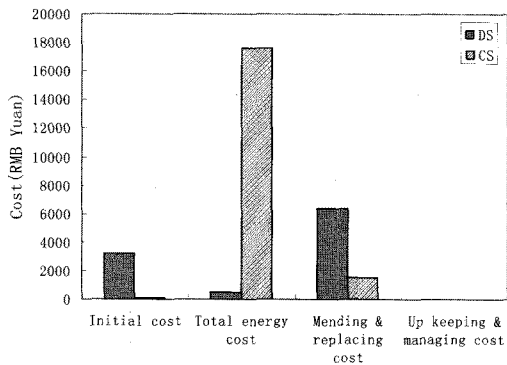


그림 6 LCC 적용 항목 별 결과

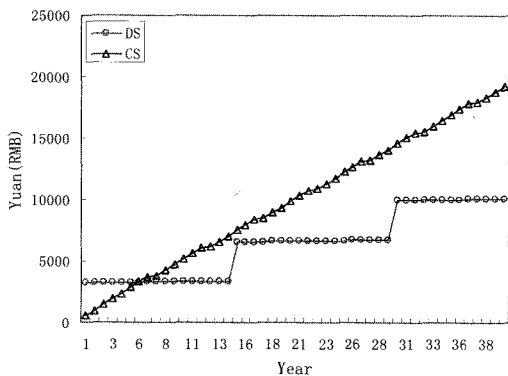


그림 7 LCC 누적 분포

에너지 소비 비용에서 38배 낮다.

그림 7는 두 시스템의 LCC누적 결과를 나타낸다. 표 5와 같이 두 시스템의 LCC분석 결과로 생애 주기가 40년이라면 개발된 시스템과 석탄시스템의 총생애 주기의 비용은 각각RMB 10,095.2Yuan, RMB 19,222.80Yuan이다.

그리고 본 연구에서 개발된 시스템의 투자 회수기간은 약 6년이다.

LCC분석에서 할인율, 내용연수 등은 예측값임로 입력 값이 잘못 추정되었을 경우 결과에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 민감도 분석을 실시하여 LCC분석 결과의 신뢰성을 확인하였다. 할인율, 내용연수에 따른 민감도 분석 결과로 대안에 대해 각각 실제 할인율을 2~6%, 내용연수를 2~60년까지 변화시켰을 경우에 비용의 변화를 분석하였다. 수행 결과 추정치 범위내에서 할인율 및 내용연수의 변화는 각 대안의 순위의 변화에 영향이 없는 것으로 나타나 LCC 분석의 신뢰도를 확보할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구에서 자연순환자갈축열형 태양난방시스템과 재래식 석탄난방시스템과의 경제성 분석 내용을 요약하면 다음과 같다.

1) 연간 난방부하 및 태양열 집열관에 의한 획득 열, 축열자갈층에 저장되는 열은 각각 257,8551 kcal, 82,2491 kcal, 2,794,845 kcal이었다.

2) 개발된 시스템과 대안 에너지의 연간 비용은 각각 RMB 11.33원/년, RMB 429.80원/년이다. 총생애 주기가 40년이라면 개발된 시스템의 에너지 소비 비용이 대안 에너지의 그것보다 38배 낮았다.

3) 생애 주기가 40년이라면 개발된 시스템과 석탄시스템의 총생애 주기의 비용은 각각RMB 10,095.20원, RMB 19,222.80원이다. 그리고 본 연구에서 개발된 시스템의 투자 회수기간은 약 6년이었다.

4) 할인율, 내용연수에 따른 민감도 분석 결과로 대안에 대해 각각 실제 할인율을 2~6%, 내용연수를 2년에서 60년까지 변화시켰을 경우 비용의 변화를 분석하였다. 분석 결과 추정치 범위내에서 할인율 및 내용연수의 변화는 각 대안의 순위의 변화에 영향이 없는 것으로 나타나서 LCC 분석의 신뢰도가 확보될 수 있다.

#### 참 고 문 헌

1. 유지용의 5인, 설비형태양열주택의 라이프사이클코스트 분석, 한국태양에너지학회 학술발표대회논문집
2. 魯楠, 新能源概論, 中國農業出版社

3. [www.icbc.com.cn](http://www.icbc.com.cn)
4. 李元哲, 被動式太陽房的原理及其設計
5. Lu Nan, Integrated Energy Systems in China, FAO
6. Liu Ronghou, Li Yongjian, Practical Technologies of Integrated Energy, Liaoning Science and Technology Press