

## 목질계 바이오에너지 시스템의 공동주택 적용성 평가

고명진\*, 최미영\*\*, 최두성\*\*\*, 장재동\*\*\*\*, 김용식\*\*\*\*\*

\*인천대학교 건축공학과(whistlemj@incheon.ac.kr), \*\*한일엠이씨(ke\_ke\_82@nate.com),  
\*\*\*청운대학교 건축설비소방학과(trebelle@chungwoon.ac.kr),  
\*\*\*\*캔사스대학교 건축도시대학(jdchang@ku.edu), \*\*\*\*\*인천대학교 건축공학과(newkim@incheon.ac.kr)

### Feasibility Analysis of a Wood Bioenergy System in an Apartment Complex

Ko, Myeong-Jin\* Choi, Mi-Young\*\* Choi, Doo-Sung\*\*\* Chang, Jae-Dong\*\*\*\*  
Kim, Yong-Shik\*\*\*\*\*

\*Dept. of Architecture Eng., Graduate School, University of Incheon(whistlemj@incheon.ac.kr),  
\*\*Mechanical Design Division, Hanil M.E.C, (ke\_ke\_82@nate.com),  
\*\*\*Dept. of Building Equip. and Fire Protection Sys., Chungwoon University(trebelle@chungwoon.ac.kr),  
\*\*\*\*School of Architecture, Design and Planning, University of Kansas(jdchang@ku.edu),  
\*\*\*\*\*Dept. of Architecture Eng., University of Incheon(newkim@incheon.ac.kr)

#### Abstract

This study compared the feasibility of utilizing a wood bioenergy system over a conventional central heating and cooling system and a cogeneration system in an apartment complex. The performance of the three systems were compared in the following areas: energy consumption, environmental impact (output of CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, and N<sub>2</sub>O), and life cycle cost. The results showed that energy performance of the wood bioenergy system was similar to the conventional central system (just a 1% improvement) but the cogeneration system showed a 12% reduction in energy consumption compared to the conventional system. In terms of environmental impact, the bioenergy system reduced pollutants by 50% while the cogeneration system reduced pollutants by 30% compared to the conventional system. Life cycle cost analysis indicated bioenergy and cogeneration to have an 8% and 19% improvement over the conventional system. The findings of the study suggest that it is both economically and environmentally beneficial to use a wood bioenergy system in place of a conventional central heating and cooling system in apartment complexes.

Keywords : 목질계 바이오에너지 시스템(Wood bioenergy systems), 에너지 성능(Energy performance), 환경성능 (Environmental performance), 경제성(Economical efficiency), 공동주택단지(Apartment complexes)

투고일자 : 2010년 10월 12일, 심사일자 : 2010년 10월 21일, 게재확정일자 : 2010년 12월 20일  
교신저자 : 김용식(newkim@incheon.ac.kr)

## 1. 서 론

### 1.1 연구 배경 및 목적

국내 1차 에너지 소비량 및 CO<sub>2</sub> 배출량은 2008년 기준 세계 9위<sup>1)</sup>와 7위<sup>2)</sup>를 차지하며, 에너지 및 환경문제로 인한 국내경제 전반에 대한 제약은 더욱 심화될 것으로 예상된다. 이에 따라 정부에서도 기존의 화석연료를 대체할 수 있는 신재생에너지에 대한 기술개발 및 보급을 강력하게 추진하고 상황이다.

다양한 신재생에너지 중 목질계 바이오에너지는 탄소중립(carbon neutral)효과로 환경성이 우수하고 자원재순환이 가능하며 가격 대비 성능도 우수한 편이어서 관련된 기술개발이 진행되고 있다. 관련하여 목질계 바이오에너지에 대한 기존 연구를 살펴보면, 이준표 등은 에너지원으로 이용 가능한 바이오매스를 임산 및 농업부산물, 축산폐기물, 도시폐기물 바이오매스자원 등 4개로 구분하고, 이들 바이오매스의 국내 부존량 및 기술적 잠재량 추정하였다. 최돈하 등은 국내 목질계 바이오에너지 활용을 위한 생산가능량 및 연료로서의 목질칩 경제성 분석을 실시하고 보급활성화 방안을 제시하였으며, 이인구는 목질계 바이오매스를 지역난방에너지 생산에 활용함에 있어서 기술적, 경제적 타당성에 대한 기초적인 분석을 수행하여 보고하였다. 김종진 등은 기숙사 시설의 난방 및 급탕을 위해 사용된 350kW 규모의 목재 펠릿 보일러를 대상으로 펠릿 보일러의 성능 및 배기가스 분석 실험을 실시하였다.

목질계 바이오에너지에 관한 연구들은 위에 언급한 바와 같이 목질계 바이오매스의 잠재량, 활용가능성, 활용방안, 보급지원방안 등에 관련된 연구가 주를 이루고 있으며 건물 에너지원으로서의 적용성에 관한 연구는 부족한 실정이다.

이에 본 연구에서는 목질계 바이오에너지 시스템 적용 시의 에너지성능, 환경성능, 경제성 등에 대하여 기존 에너지공급 시스템과 비교 분석함으로써 시스템의 적용성에 대해 평가하는 것을 목적으로 하고 있다.

### 1.2 연구 방법 및 범위

먼저 목질계 바이오에너지 및 시스템 특성에 대한 고찰을 통해 시스템을 선정하였다. 적용 건물은 목질계 바이오매스 특성과 적용 시스템 규모, 파급효과 등을 고려하여 공동주택 단지를 선정하였다. 비교대상 시스템은 기존의 중앙공급 냉·난방 시스템과 최근 에너지절약 시스템으로 보급이 증가하고 있는 소형열병합발전 시스템을 선정하였다. 평가항목은 에너지성능, 환경성능, 경제성을 선정하였으며, 평가방법은 에너지성능의 경우 대상 건물 부하를 담당하기 위한 연료소비량으로, 환경성능은 IPCC(1996)의 온실가스 배출량 산정법을 사용하였다. 경제성은 초기투자비, 기기교체비, 에너지비, 탄소배출권 거래비용 등을 포함한 생애비용 분석법을 사용하였다.

## 2. 목질계 바이오에너지 및 시스템

목질계 바이오에너지는 폐기목재나 벌목재 등을 직접 또는 변환과정을 거쳐 액체, 가스, 고체 등의 연료로 만들어 사용하는 것이다. 임산 바이오매스의 국내 가용 잠재량은 연간 6,760천TOE<sup>3)</sup> 정도로 국내 건물부분 최종 에너지 소비의 20%를 담당할 만큼 풍부하며, 함수율에 따른 발열량 저하나 불순물 문제 때문에 목재 펠릿이나 목질 칩과 같이 가공된 형태로 이용된다. 표 1은 목질계 바이오매스의 종류 및 특징을 나타낸다. 목질 칩은 원료를 단순 파쇄 사용하여 가격은 저렴하나 부피 때문에 운송이 불리하고 큰 저장 공간이 필요

1) BP Statistical Review of world Energy June 2009

2) IWR Research 2009

3) 이준표, 황경란, 박순철, 국내 바이오매스 자원 잠재량 산정방법, 한국태양에너지학회 2008년도 추계학술발표대회 논문집, pp. 334, 2008

표 1. 목질계 바이오매스 종류 및 특성

구분	상세 내용	
 목재 펠릿	개요	톱밥을 압축하여 작은 알갱이 형태로 가공한 연료
	특성	- 함수율 10% 미만 - 고밀도로 운송비용 절감 - 목질 칩의 1/4 수준 저장 규모
 목질 칩	개요	나무껍질을 제거한 수간부분을 잘게 가공한 연료
	특성	- 높은 함수율로 낮은 발열량 - 목재 펠릿에 비하여 높은 운송비용 - 대형의 저장시설
 목질 브리켓	개요	느슨한 바이오매스 원료를 일정한 밀도로 압축하여 생산한 고품질의 연료
	특성	- 효율을 향상 - 운반 및 저장에 용이 - 설비기기 다루기가 수월
 목탄	개요	목재를 가열하여 수분과 휘발성물질을 제거, 탄소만 남기는 방법으로 제조된 고체 생성물
	특성	- 연기나 오염원 배출이 적음 - 에너지 밀도가 높으며 - 운반 및 저장에 용이

한 단점이 있다. 목재 펠릿은 압축과정을 통해 생산되어 상대적으로 생산 비용이 높지만 발열량이 높고 운송비가 저렴한 특징이 있다. 본 연구에서는 수송성, 저장성, 발열량 등을 감안하여 목재 펠릿을 시스템 연료로 선정하였다.

목질계 바이오에너지 이용 시스템 방식은 바이오매스보일러와 증기터빈발전기를 결합시킨 열병합발전 공급방식과, 바이오매스보일러 열병합발전 공급방식이 있다. 열병합발전 공급방식은 증기터빈의 특성상 약 1MW 이상의 대규모 용량으로 적용하는 것이 바람직하여 주로 산업용으로 적용되고 있는 실정이다. 목질계 바이오매스보일러는 약 2만kcal/h~80만kcal/h 용량의 제품이 생산되고 있으며 가정용에서 산업용까지 다양한 규모로 적용이 가능한 상황이다. 본 연구에서는 건물의 특성 및 활용성 등을 고려하여 목질계 바이오매스 보일러시스템 방식을 선정하였다.

### 3. 시스템 성능평가 모델 구축

#### 3.1 에너지 부하 모델링

표 2에 건물 개요를 나타낸다. 대상 건물은 인천광역시 소재 공동주택 단지이며 총 10개

표 2. 대상 건물 개요


	용도	공동주택
	위치	인천광역시 송림동
	세대수	1,076 세대
	단위세대	59, 67, 84, 114, 121(m <sup>2</sup> )
	대지면적	47,502 m <sup>2</sup>
	건축면적	6,546 m <sup>2</sup>
	연면적	113,129 m <sup>2</sup>
	구조	철근 콘크리트 벽식 구조

표 3. 대상 공동주택 부하분석 조건

항목	내용	
	설계 외기온도 <sup>4)</sup> (℃)	난방
	냉방	30.1
단위에너지부하 (W/m <sup>2</sup> ·h)	난방 <sup>5)</sup>	57.0
	급탕 <sup>5)</sup>	17.4
	냉방 <sup>5)</sup>	62.6
	전력 <sup>6)</sup>	4.0
도일 기준온도 <sup>7)</sup> (℃)	난방	18.0
	냉방	18.0
도일(℃·d)	난방	2,767
	냉방	1,936

동 1,076세대로 구성된다. 표 3은 대상 건물의 에너지부하 산정을 위한 분석조건을 나타낸 것이며, RETScreen<sup>8)</sup> 프로그램을 이용하여 대상 건물의 에너지부하 모델링을 실시하였다. RETScreen 프로그램에서는 도일법이 사용되는데, 본 연구에서는 보다 정확한 냉·난방도일 산정을 위해 에너지경제연구원 제공 도일기준온도 18℃와 한국태양에너지학회 제공 표준년기상데이터<sup>9)</sup>를 사용하였다. 산정된 냉·난방도일은 각각 1,936과 2,767 도일로 국가통계와 유사하게 나타나 분석 조건은 타당한 것으로 판단된다.

4) 지식경제부, 에너지사용계획 수립 및 협의절차 등에 관한 규정, 2009  
 5) 이규남 외 3인, 공동주택 단위세대의 냉방부하 산정에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 계획계 Vol. 23, No. 2, 2003.  
 6) 산업자원부, 에너지 총 조사보고서, 2005  
 7) 에너지경제연구원, 에너지통계월보  
 8) www.retscreen.net  
 9) 표준기상데이터 (태양학회 등록번호 2009-Incheon\_R-004)

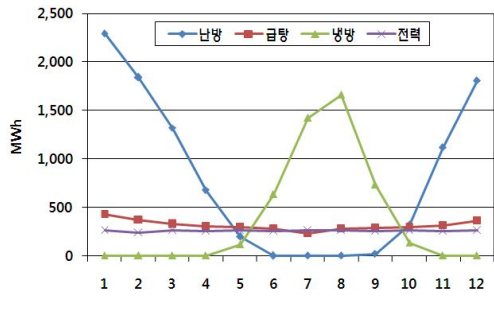


그림 1. 대상 공동주택 단지 부하

그림 1은 에너지부하 산정 결과를 나타낸다. 연간 에너지부하는 난방 9,616 MWh, 급탕 3,814 MWh, 냉방 4,712 MWh, 전력 3,213 MWh로 나타났으며 정부의 에너지총조사보고서(2005) 사용면적별 가구별 에너지소비량과는 3.6% 미만의 차이를 보여 타당한 것으로 판단된다.

### 3.2 에너지 시스템 모델링

검토대상 시스템에 대한 모델링을 실시하였다. 표 4~표 6은 각 시스템의 구성, 주요 구성기기용량 및 효율 등을 나타낸 것이다. 아울러 각 시스템은 대상건물의 에너지 부하에 대응이 가능하도록 계획하였다.

목질계 바이오에너지 시스템은 바이오매스 보일러에서 생산한 증기를 열교환하여 난방 및 급탕용 온수를 공급하고, 흡수식냉동기를 이용하여 냉방용 냉수를 공급하는 것으로 하였으며, 전력은 계통전력을 사용하는 것으로 하였다. 중앙 냉·난방 시스템은 증기보일러를 이용하여 난방 및 급탕용 온수를 공급하고, 냉방용 냉수는 흡수식냉동기로 공급하며, 전력은 계통전력을 사용하는 것으로 하였다. 소형열병합발전 시스템은 가스엔진발전기를 통해 생산되는 전력과 열을 우선 공급하고 부족분은 보조보일러, 흡수식냉동기, 계통전력을 통해 공급하는 것으로 하였다. 가스엔진발전기 용량은 기존 사례의 전력부하담당율을 참고하여 75%로 설정하였다. 이 경우 열공급량은 전체 열에너지 부하의 약 18.8%를 담당하는 것으로 나타났다.

표 4. 목질계 바이오에너지 시스템

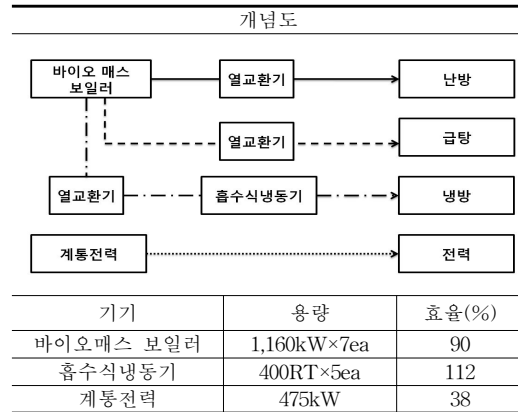


표 5. 중앙 냉·난방 시스템

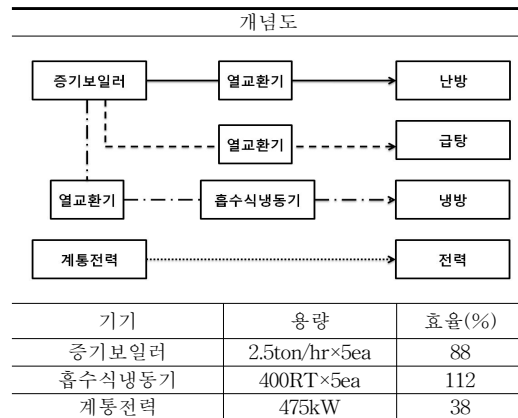
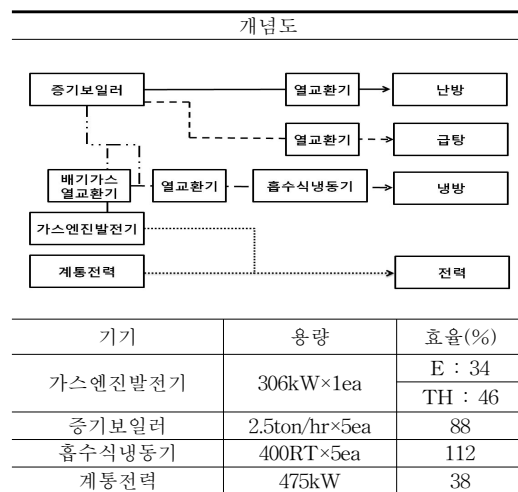


표 6. 소형열병합발전 시스템



#### 4. 검토대상 시스템 성능평가

##### 4.1 에너지성능 평가

표 7은 시스템의 에너지성능 평가 방법을 나타낸다. 에너지성능은 에너지부하에 대응하여 소비된 연료소비량으로 평가하였으며 변수로는 에너지손실률, 연료의 발열량, 기기 효율 등을 고려하였다.

그림 2는 검토대상 시스템의 에너지성능 분석결과를 나타낸다. 총 연료소비량은 중앙 냉·난방 시스템과 비교하여 열병합발전 시스템이 12%, 목질계 바이오에너지 시스템이 1% 저감되어 열병합발전 시스템의 우수성이 입증되며 목질계 바이오에너지 시스템은 기존 시스템과 동등 이상의 성능을 보였다. 에

너지소비 종류별로 보면, 열에너지 소비량은 기존 시스템과 비교하여 열병합발전 시스템 18%, 목질계 바이오에너지 시스템 1% 저감되었다. 열병합발전 시스템의 열에너지 성능이 우수한 것은 전력 생산 시 발생하는 배열을 활용하기 때문이다. 목질계 바이오에너지 시스템의 열에너지 성능은 기존 시스템에 비해 떨어지지 않으며 연료 공급의 안정성이 확보된다면 기존 시스템을 대체할 수 있을 것으로 판단된다. 전력에너지 소비량은, 기존시스템과 목질계 바이오에너지 시스템 모두 계통전력을 이용하므로 동일한 성능을 보였고, 열병합발전 시스템은 기존 시스템 보다 5% 정도 많이 소비하는 것으로 나타났다. 이는 전력 생산효율이 낮기 때문이다.

표 7. 에너지성능평가 방법

NO.	항 목	세부 내용
①	부하	각 에너지원별 산출 결과
②	손실률	열 배관 손실률 : 11%
		송배전 손실률 : 4.5%*
③	LNG	9,550kcal/m <sup>3</sup>
	펠릿	4,500kcal/kg
④	기기효율	중앙 냉·난방 시스템
		소형열병합발전 시스템
		목질계 바이오에너지 시스템
⑤	연료 소비량	⑤ = ①×(1+②)÷(③×④)

\* 소형열병합발전 시스템 생산하는 전력은 손실율을 고려하지 않음

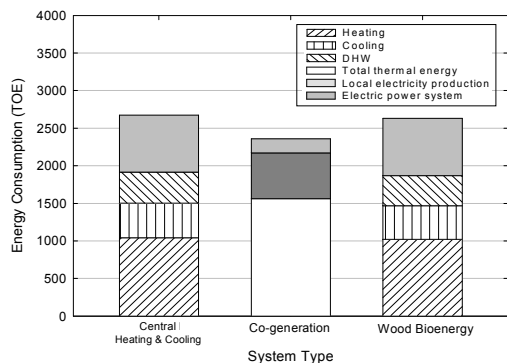


그림 2. 검토대상 시스템 에너지성능

##### 4.2 환경성능 평가

표 8은 시스템의 환경성능 평가방법을 나타낸 것이다. 환경성능은 각 시스템의 연료소비에 따른 온실가스 배출량으로 평가하였으며, 대상 온실가스로는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O을 선정하였다. 배출량 산정은 IPCC10)의 산정방법을 적용하였으며 각 온실가스가 지구온난화에 미치는 영향력을 고려한 온난화지수를 반영하여 온실가스배출량(TCO<sub>2</sub>)를 산정하였다. 표 9는 각 시스템의 사용연료 종류별 온실가스 배출계수를 나타낸다. 바이오매스는 탄소중립효과에 의해 CO<sub>2</sub> 배출이 없는 것으로 설정하였다. 계통전력의 온실가스 배출계수는 한국전력거래소 제공 2007년 온실가스 배출계수를 적용하였다.

그림 3은 각 시스템의 환경성능 분석결과를 나타낸다. 검토대상 시스템의 온실가스 배출량을 기존의 중앙 냉·난방 시스템 배출량과 비교하여 보면, 목질계 바이오에너지 시스템이 50%, 열병합발전 시스템이 70% 정도 저감되는 결과를 나타냈다. 에너지소비 종류

10) Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual, Vol. 3.

별 온실가스 배출량을 보면, 열에너지소비에 따른 각 시스템의 온실가스 배출량은 기존의 중앙 냉·난방 시스템과 비교하여 목질계 바이오에너지 시스템이 96.6%, 열병합발전 시스템이 18.5%저감되는 결과를 보였다. 그 이유는 목질계 바이오에너지 시스템의 열에너지 생산과정에서 발생하는 CO<sub>2</sub>가 탄소중립

효과로 인해 반영되지 않기 때문이다. 전력에너지 소비에 따른 각 시스템의 온실가스 배출량은, 기존의 중앙 냉·난방 시스템과 비교하여 목질계 바이오에너지 시스템이 0%, 열병합발전 시스템이 31% 저감되는 결과를 나타내며, 이는 목질계 바이오에너지 시스템은 기존 시스템과 동일한 계통전력을 사용하는데 비해, 열병합발전 시스템은 천연가스의 배출계수가 낮은 까닭이다.

표 8. 환경성능 평가 방법

NO.	항 목	세부항목	
①	연료소비량	검토대상 시스템별 에너지 소비량	
②	배출 계수	LNG	연료별 CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O 온실가스 배출계수
		전력	
		목재 펠릿*	
③	온난화 지수	CO <sub>2</sub>	1
		CH <sub>4</sub>	21
		N <sub>2</sub> O	310
④	온실가스 배출량	④ = ① × ② × ③	

\* 바이오메스는 CO<sub>2</sub> 배출량 평가하지 않음.

표 9. 연료별 온실가스 배출계수

연료유형	배출계수[kg/GJ]		
	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>	NO <sub>2</sub>
천연가스	54.5	0.0040	0.0010
목재 펠릿	0.0	0.0320	0.0040
전력	128.4	0.0016	0.0008

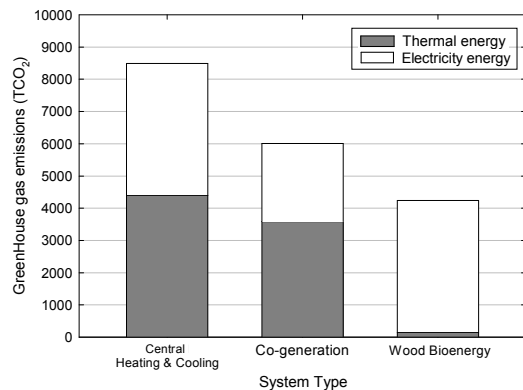


그림 3. 검토대상 시스템 환경성능

### 4.3 경제성 평가

검토대상 시스템의 경제성 평가는 생애주기비용(Life Cycle Cost; LCC) 분석법 중 현가법을 이용하여 산정하였으며, 비용 항목은 초기투자비, 에너지비, 기기교체비, 탄소배출권 거래비 등을 설정하였다.

표 10은 LCC 분석을 위한 각종 변수 조건을 나타낸다. 분석기간은 「인천광역시 도시 및 주거환경 정비 조례」에 근거하여 40년으로 설정하였으며, 할인율은 한국은행 기업일반 대출금리와 물가상승률을 반영하여 산정하였다. 주요 기기의 내구연한은 국내외 관련 기준 및 기술자료를 참고하였다. 에너지 요금 중 도시가스요금은 열전용요금 및 열병합 요금으로 구분하였으며, 전력요금은 공동주택

표 10. 경제성 분석 조건

항 목	세부 내용	
분석 기간	40 년	
기업일반 대출금리	6.52 %	
물가상승률	3.15 %	
할인율	3.26 %	
내구연한	보일러	20 년
	냉동기	20 년
	냉각탑	15 년
	펌프	15 년
	열교환기	5 년
	가스엔진발전기	5 년
	바이오가스엔진발전기	5 년
연료요금	LNG(열전용)	722.18 원/Nm <sup>3</sup>
	LNG(열병합)	683.23 원/Nm <sup>3</sup>
	목재 펠릿	320 원/kg
계통전력요금	저압전력요금	
탄소배출권	EUA(의무감축대상국)	23,871 원

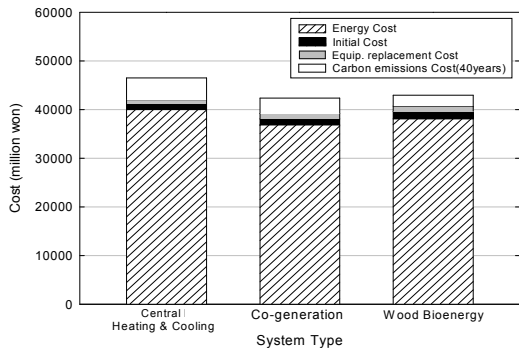


그림 4. 검토대상 시스템 총생애비용

표 11. 검토대상 시스템 총생애비용 및 구성

시스템 비용	중앙 냉·난방 시스템	소형열병합발전 시스템	목질계 바이오에너지 시스템
초기 투자비	1,185,474 (3%)	1,267,739 (3%)	1,604,424 (4%)
에너지 비용	40,025,212 (86%)	36,818,870 (87%)	38,100,755 (89%)
교체비	824,751 (2%)	1,137,621 (3%)	1,045,308 (2%)
탄소 배출권	4,483,905 (10%)	3,172,051 (7%)	2,240,841 (5%)
총생애 비용	46,519,342 (100%)	42,396,281 (100%)	42,991,328 (100%)

※괄호안의 숫자는 총생애비용의 구성비율

세대에 적용되는 저압전력요금을 사용하였다. 목재 펠릿의 비용은 2009년 10월 기준하여 운송비를 제외한 320원/kg으로 적용하였다. 탄소배출권 거래가격은 향후의 의무감축대상국 지정에 대비하여 의무감축대상국의 탄소배출권 거래가격으로 설정하였다.

그림 4는 검토대상 시스템의 총생애비용 산정결과를 나타낸다. 총생애비용은 기존의 중앙 냉·난방 시스템과 비교하여 열병합발전 시스템이 19%, 목질계 바이오에너지 시스템이 8% 저감되어 열병합발전 시스템의 경제성이 가장 우수하고, 목질계 바이오에너지 시스템도 경제적 타당성이 있는 것으로 나타났다.

표 11은 검토대상 시스템의 비용항목별 분석 결과를 나타낸다. 총생애비용에서 차지하는 각 항목별 비율을 보면, 모든 시스템에서

에너지비용 비율이 86~89%로 가장 높고, 초기투자비 비율이 3~4%, 기기교체비 비율이 2~3% 정도로 유사하게 나타난 반면 탄소배출권 거래비용의 비율은 환경성능 면에서 우수한 목질계 바이오에너지 시스템이 5%로 가장 낮게 나타남을 알 수 있다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 목질계 바이오에너지 시스템의 적용성 분석을 위해, 공동주택 단지를 대상 건물로 하고, 기존의 중앙 냉·난방 시스템과 최근 적용이 증가하고 있는 소형열병합발전 시스템을 비교대상 시스템으로 하여 시스템의 에너지성능, 환경성능, 경제성에 대하여 평가를 실시하였다. 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 에너지 성능: 시스템의 연료소비량으로 평가한 에너지 성능은, 기존의 중앙 냉·난방 시스템에 비해 목질계 바이오에너지 시스템은 1% 저감, 소형열병합발전 시스템은 12% 저감되는 효과를 보였다.
- (2) 환경 성능: 시스템의 온실가스 배출량으로 평가한 환경 성능은, 기존의 중앙 냉·난방 시스템에 비해 목질계 바이오에너지 시스템은 탄소중립효과에 따른 효과로 50% 저감, 열병합발전시스템은 30% 저감 되는 효과를 보였다.
- (3) 경제성: 총생애비용으로 평가한 경제성은, 기존의 중앙 냉·난방 시스템에 비해 목질계 바이오에너지 시스템은 8% 저감, 소형열병합발전은 19% 저감되는 효과를 보였다.

결과를 종합해 볼 때, 목질계 바이오에너지 시스템의 공동주택 에너지 공급 시스템으로서의 적용 가능성을 확인할 수 있었다. 한편, 환경성능의 우수성에 비해 에너지 성능 및 경제성 면에서는 개선의 여지도 있는 것으로 판단되며 관련 기술의 개발이 필요하다고 생각된다.

## 후 기

본 연구는 인천대학교 2010년도 자체연구비 지원에 의해 수행되었음.

## 참 고 문 헌

1. BP Statistical Review of world Energy June 2009
2. IWR Research 2009
3. 이준표, 황경란, 박순철, 국내 바이오매스 자원 잠재량 산정방법, 한국태양에너지학회 2008년도 추계학술발표대회 논문집, pp. 334, 2008
4. 지식경제부, 에너지사용계획 수립 및 협의 절차 등에 관한 규정, 2009
5. 이규남, 임제한, 여명석, 김광우, 공동주택 단위세대의 냉방부하 산정에 관한 연구, 대한건축학회 학술발표대회 논문집 - 계획계, Vol. 23, No. 2, 2003
6. 산업자원부, 에너지 총 조사보고서, 2005
7. 에너지경제연구원, 에너지통계월보
8. www.retscreen.net
9. 표준기상데이터 (태양학회 등록번호 2009-Incheon\_R-004)
10. Intergovernmental Panel on Climate Change, Revised 1996 IPCC guidelines for national greenhouse gas inventories reference manual, Vol. 3, 1997
11. 고명진, 최미영, 최두성, 김용식, 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템의 공동주택 적용 타당성 평가에 관한 연구, 설비공학논문집, Vo. 22, No. 7, 2010
12. 김동우, 이동훈, 주동한, 서기원, 난방방식별 에너지 효율성과 환경오염에 관한 비교 연구, 한국설비기술협회지, 2003
13. 김상훈, 변운섭, 지역냉방 공동주택 적정 냉방부하 산정, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2008
14. 김정곤, 소형열병합 발전방식 도입을 고려한 공동주택의 중앙난방 방식 경제성 비교연구, 2006
15. 김종진, 강재별, 350kW(300,000kcal/h)급 우드 펠릿 보일러 운전 특성 및 성능 평가, 대한설비공학회, 하계학술발표대회 논문집, 2009
16. 오운식, 우드칩을 이용한 집단에너지 열공급 사례, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2008
17. 이인구, 바이오매스를 이용한 지역난방 에너지생산 시스템의 국내도입 타당성 기초검토, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2005
18. 에너지관리공단, 신·재생에너지 RD&D 전략 2030 - 목질계 바이오에너지, 2007
19. 임용훈, 박화춘, 아파트단지 리모델링에 따른 난방시스템별 편익분석, 대한설비공학회 하계학술발표대회 논문집, 2007
20. 임용훈, 박화춘, 노후된 아파트단지 리모델링시 경제성 분석에 의한 난방시스템 비교검토, 대한설비공학회, 동계학술발표대회 논문집, 2006
21. 최돈하, 이성연, 손영모, 박경석, 국내 목질 바이오에너지의 경제적 타당성과 도입 전략, 한국태양에너지학회지, Vol. 4, No. 1, 2005