

# 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템의 공동주택 적용 타당성 평가에 관한 연구

고 명 진, 최 미 영\*, 최 두 성\*\*, 김 용 식†  
인천대학교 건축공학과, \*한일엠이씨, \*\*청운대학교 건축설비소방학과

## The Feasibility Analysis of Organic Waste Bioenergy System in Apartment Complex

Myeong-Jin Ko, Mi-Young Choi\*, Doo-Sung Choi\*\*, Yong-Shik Kim†  
Department of Architectural Engineering, University of Incheon, Incheon 406-772, Korea  
\*Mechanical Design Division, Hanil M.E.C, Seoul 150-103, Korea  
\*\*Dept. of Building Equip. and Fire Protection System, Chungwoon University, Hongseong 350-701, Korea

(Received October 22, 2010; revision received April 20, 2010)

**ABSTRACT:** Because international environmental and energy problems such as global warming and ozone depletion, exhausting of fossil energy sources are more serious than before, renewable energy system is attracting people's attention more and more. Organic waste bioenergy system among a variety of renewable energy system is expected to have an effect on building a society which is eco-friendly and recycles resources owing to carbon neutral effects. So this is considered as the role of an energy source of the building. Previous studies on the organic waste bioenergy are mainly bioenergy technology and activation plan of the bioenergy supply. But the performance evaluation studies of bioenergy systems installed in buildings are rarely. This study is to evaluate applicability of the organic waste bioenergy system as the building energy supply system by energy and environmental, economical analysis.

**Key words:** Organic waste bioenergy system(유기성 폐자원 바이오에너지 시스템), Energy performance(에너지성능), Environmental performance(환경성능), Economical performance(경제성)

### 1. 서 론

#### 1.1 연구 배경 및 목적

최근 전 세계적으로 화석에너지자원 고갈 및 에

너지자원 수급 불균형 등과 같은 에너지 문제와 지구온난화, 생태계 및 오존층 파괴 등과 같은 환경문제가 심화됨에 따라 신재생에너지에 대한 관심 또한 증가하고 있는 실정이다.

특히, 유기성 폐자원 바이오에너지는 탄소중립(Carbon neutral)효과로 인한 친환경성과 폐기물 재활용에 따른 자원재순환사회 구축 가능성으로 인해 건물에너지 공급원으로서 적용성이 기대되는 분야로 관련 분야에 대한 연구 및 기술개발이 요구된다. 그

† Corresponding author  
Tel.: +82-32-835-8478; fax: +82-32-835-0776  
E-mail address: newkim@incheon.ac.kr

러나, 유기성 폐자원 바이오에너지에 대한 기존의 연구는 유기성 폐기물의 자원화 정책에 관한 연구 및 보급 지원방안에 관한 연구, 유기성 폐기물의 바이오가스화 기술에 관한 연구 등이 주를 이루는 반면, 건물에너지원으로서의 가능성 및 적용성에 관한 연구는 찾아보기 힘든 실정이다.

이에 본 연구에서는 상용 에너지공급 시스템과 에너지성능 및 환경성능, 경제성 평가를 통해 건물 에너지공급 시스템으로서 유기성폐자원 바이오에너지 시스템의 적용가능성을 분석하였다.

### 1.2 연구 방법 및 범위

건물에너지 공급 시스템으로써 유기성폐자원 바이오에너지 시스템의 적용성 분석을 목적으로 하는 본 연구에서는 먼저, 유기성폐자원 바이오매스 및 유기성폐자원 바이오에너지 시스템에 대한 기본적인 고찰을 통해 적정 바이오매스와 시스템 선정에 실시하였다.

분석 대상건물은 유기성 폐자원 바이오에너지의 수송 특성과 시스템의 적용 규모 등을 고려할 때 분산된 개별건물보다는 집중된 단지 규모의 적용이 유리할 것으로 판단된다. 이에 따라 국내 건물용도 중 높은 보급률을 차지하며, 밀집된 주거 형태로 인해 높은 에너지부하 특성을 보일 뿐만 아니라 집단 에너지 공급 시스템의 적용이 많은 공동주택단지를 대상 건물로 선정하였다.

유기성폐자원 바이오에너지 시스템과의 성능평가를 위한 분석 대상 시스템으로는 화석연료를 사용하는 중앙방식의 에너지공급 시스템 중 상용 시스템으로 단지중앙 시스템(보일러+냉동기)과 최근 에너지절약형 시스템으로 적용이 증가하고 있는 소형 열병합발전 시스템을 선정하였다.

건물에너지 공급 시스템으로써의 유기성폐자원 바이오에너지 시스템의 적용성 분석은 에너지성능 및 환경성능, 경제성에 대한 성능평가를 바탕으로 실시하였다. 각 항목에 대한 성능평가 기준을 살펴보면, 에너지성능은 대상건물의 에너지부하를 담당하기 위해 소비한 연료량으로 평가를 하였다. 환경성능은 IPCC(1996)의 온실가스 배출량 산정법을 이용하여 분석하였으며, 경제성은 공동주택 내용연수를 40년으로 설정하고, 초기투자비, 기기교체비, 에너지비, 탄소배출권 거래비용을 포함한 총 생애비용 분석법으로 평가하였다.

## 2. 기본적 고찰

### 2.1 유기성 폐자원 바이오매스

유기성 폐자원 바이오매스는 주로 축산분뇨, 음식물 쓰레기, 하수슬러지, 매립지 가스 등을 말하며, 이러한 유기성폐자원은 혐기성소화과정(Anaerobic Digestion)을 통해 에너지원으로 사용가능한 바이오가스로 변환된다. Table 1은 유기성 폐자원 바이오매스 종류에 따라 혐기성소화과정을 통해 생산되는 바이오가스 발생량을 나타내는 것으로 음식물 쓰레기를 통한 바이오가스 생산량이 가장 많아 에너지원으로서의 가능성이 가장 큼을 알 수 있다. 또한 축산분뇨 및 하수슬러지 바이오매스의 경우 바이오매스 발생원의 위치적 제약 및 수집, 수송 시스템의 구축비, 이용과정상의 혐오적 이미지 등으로 인해 도심지역에서의 적용성이 낮은 것으로 판단되며, 이에 따라 본 연구에서는 도시에서 확보가 유리한 음식물쓰레기 바이오매스를 주된 분석 에너지원으로써 선정하였다.

### 2.2 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템

유기성 폐자원 바이오에너지 시스템은 유기성폐자원 바이오매스의 혐기성소화과정을 통해 생산한 바이오가스를 원료로 구동하여 열 및 전기에너지를 생산하는 열병합발전 시스템을 말한다. 이런 바이오가스 열병합발전 시스템은 기존의 천연가스엔진 발전기나 디젤엔진 발전기를 개조한 형태로, 시스템의 구성은 크게 전기를 생산하는 바이오가스 발전기와 전기를 생산하는 과정에서 발생하는 배열을 이용하는 보일러로 구성된다.

현재, 국내에 설치되어 운영 중인 대표적 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템의 설치사례로는 생곡자원화시설, 수영하수병합처리시설, 파주시설관리공단 등이 있다. 이 중 생곡자원화시설은 음식물 쓰

Table 1 Amount of biogas according to the type of organic waste biomass

| Categories                     | Amount of Biogas         |                          |
|--------------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Food waste <sup>(1)</sup>      | 60.9 m <sup>3</sup> /ton |                          |
| Livestock Waste <sup>(2)</sup> | Pig manure               | 25 m <sup>3</sup> /ton   |
|                                | Cattle manure            | 17.5 m <sup>3</sup> /ton |
|                                | Poultry manure           | 28.5 m <sup>3</sup> /ton |
| Sewage sludge <sup>(3)</sup>   | 0.42 ℓ/m <sup>3</sup>    |                          |

레기만을 단독 처리하는 시설로 하루 200 ton의 음식물 쓰레기를 혐기성소화 처리하고 이때 생산된 바이오가스를 이용하여 하루 34 MWh 전력을 생산한다. 이 중 9.5 MWh는 자체 소비하고 잔여 생산 전력은 한전에 매전하고 있다. 또한 생산되는 열의 일부는 소화조의 가온에 이용된다. 이와 같은 생곡자원화시설의 사례를 통해 건물에너지 공급 시스템으로써 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템의 적용가능성을 확인할 수 있다.

### 3. 시스템 성능평가 모델 구축

#### 3.1 대상 공동주택 단지 모델링

##### 3.1.1 대상건물 에너지부하 분석조건

신재생에너지 시스템 중 하나인 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템의 건물 적용성 분석을 목적으로 하는 본 연구에서는 신재생에너지 시스템의 건물 적용 초기 타당성 분석에 적합하여 널리 사용되고 있는 RETScreen을 이용하여 분석을 실시하였다.

본 연구의 대상건물은 인천광역시 동구 송림동에 위치한 10개동, 1,076세대로 구성된 연면적 111,123 m<sup>2</sup> 규모의 공동주택 단지로 대상건물의 개요는 Table 2와 같다.

Table 3은 대상 건물 에너지부하 산정을 위한 입력조건을 나타내며, 에너지부하 발생 면적인 유효면적은 연면적의 약 80%인 90,503 m<sup>2</sup>로 계산되었다. 부하 산정을 위한 단위부하 중 난방과 급탕은 지식경제부(2009)의 「에너지사용계획 수립 및 협의 절차 등에 관한 규정」의 기준<sup>(4)</sup>을 사용하였으며, 냉방과 전력은 각각 이규남 외 3인(2003)의 연구<sup>(5)</sup>와 에너지 총 조사보고서(2005)<sup>(6)</sup>의 값을 이용하였다.

또한, 기상 데이터는 한국태양에너지학회 제공 대한민국 표준 기상데이터를 사용하였으며, 냉난방 설계외기온도는 국토해양부(2008) 「건축물의 에너지절약설계기준」의 기준<sup>(7)</sup>을 이용하였다. 냉·난방도일 산정을 위한 냉·난방 기준온도는 에너지경제연구원 도일산정 기준온도인 18℃로 하였다.

위와 같은 입력조건을 바탕으로 냉·난방도일을 산정한 결과 각각 1,936과 2,767도일로 나타났으며, 이는 국가통계포털에서 제공하는 1991년부터 2007년까지 총 17년 간 평균 냉·난방도일과 비교한 결과와 큰 차이를 보이지 않아 도일법을 이용한 RETScreen 부하계산의 입력조건과 도일산정결과는 타당한 것으로 판단된다.

##### 3.1.2 대상건물 에너지부하 분석결과

대상 공동주택 단지에서 연간 발생한 에너지부하는 난방 9,616 MWh, 급탕 3,814 MWh, 냉방 4,712 MWh, 전력 3,213 MWh로 분석되었으며, 연간 에너지부하 발생 패턴은 Fig. 1과 같다.

에너지부하 분석결과 대상건물의 연간 난방과 급탕 부하의 합은 13,430 MWh로, 이는 에너지 총 조사보고서(2005)의 사용면적별 가구당 에너지소비량을 이용하여 대상건물의 단위세대 구성별 난방과 급탕부하를 산정한 결과인 12,942 MWh와 유사하게 분석되어 에너지부하의 분석결과는 타당한 것으로 판단된다.

일반적으로 공동주택의 에너지부하를 산정함에 있어 냉방부하는 전력부하에 포함되어 산정하나, 본 연구에서는 전력수요 중심의 하절기 냉방부하에 대응하기 위해 가스 냉방을 장려하는 국가적 상황과 하절기 시스템을 통한 잉여 폐열 이용을 위해 냉방부하를 흡수식 냉동기를 이용한 열에너지 부하로 산출하였다.

Table 3 Load calculation condition of Target Buildings

| Categories                      |             | Contents |
|---------------------------------|-------------|----------|
| Unit Load(W/m <sup>2</sup> · h) | Heating     | 57.0     |
|                                 | Cooling     | 62.6     |
|                                 | DHW         | 17.4     |
|                                 | Electricity | 4.0      |
| Design Temperature(℃)           | Heating     | -10.4    |
|                                 | Cooling     | 30.1     |
| Balance Point Temperature(℃)    | Heating     | 18.0     |
|                                 | Cooling     | 18.0     |
| Degree Day(℃ · d)               | Heating     | 2,767    |
|                                 | Cooling     | 1,936    |

Table 2 Target building

| Categories               | Contents                                   |
|--------------------------|--|
| Building Type            | Apartment                                  |
| Location                 | Songnim-dong, Incheon                      |
| The number of households | 1,076                                      |
| Unit Type                | 59, 67, 84, 114, 121(m <sup>2</sup> )      |
| Plottage                 | 47,502 m <sup>2</sup>                      |
| Building area            | 6,546 m <sup>2</sup>                       |
| Gloss floor area         | 113,129 m <sup>2</sup>                     |
| Structure                | Reinforced Concrete Structural Wall System |

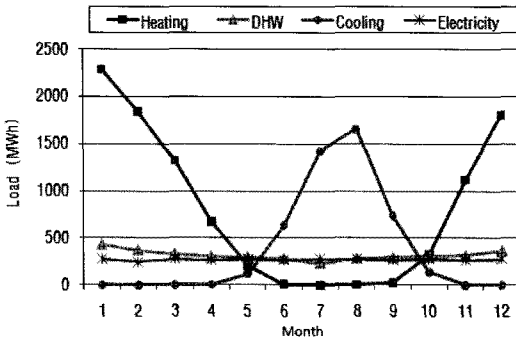


Fig. 1 Annual load of target building.

### 3.2 검토대상 시스템 모델링

건물에너지 공급 시스템으로써 유기성폐자원 바이오에너지 시스템의 적용성 분석을 위한 검토대상 시스템은 보일러와 흡수식 냉동기로 구성된 중앙난방 시스템과 소형열병합발전 시스템으로 하였으며, 각 시스템은 대상건물의 난방, 냉방, 급탕, 전력 에너지부하를 담당하도록 모델링하였다. Table 4는 각 시스템의 주요 구성기 및 용량, 특성에 대한 내용을 나타내며, Fig. 2~Fig. 4는 각 분석대상 시스템의 개괄적 에너지 공급 계통을 나타낸다.

유기성 폐자원 바이오에너지 시스템은 바이오가스 발전기를 통해 필요 전력의 75%를 담당하고, 부족분은 계통전력을 통해 공급하는 것으로 계획하였다. 전력 생산과정에서 발생하는 폐열은 열에너지공급원으로 이용되며, 부족분은 증기보일러를 통해 공급된다. 또한 여름철 대상건물의 냉방을 위해 폐열 및 보조보일러를 이용한 흡수식 냉동기가 설치되는 것으로 계획하였다.

소형열병합발전 시스템은 도시가스를 이용하는 가스엔진발전기를 통해 열과 전력을 생산하여 공급하는 것으로 계획하였고, 시스템의 기타 부분은 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템과 동일하다. 단지 중앙방식은 난방 및 급탕, 냉방의 열원으로 증기보일러를 설치하며, 전력은 100% 계통전력을 통해 공급하는 것으로 계획하였다.

## 4. 공동주택 바이오에너지 시스템 성능평가

### 4.1 에너지성능 평가

#### 4.1.1 평가방법

에너지성능은 대상건물인 공동주택 단지에서 발생하는 에너지부하에 대응하기 위해 소비된 시스템

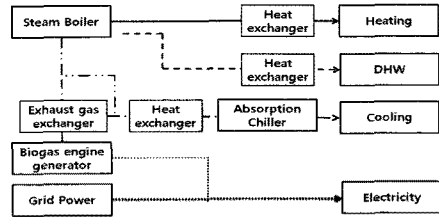


Fig. 2 Organic Waste Bioenergy system diagram.

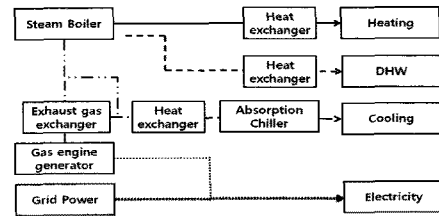


Fig. 3 Co-Generation system diagram.

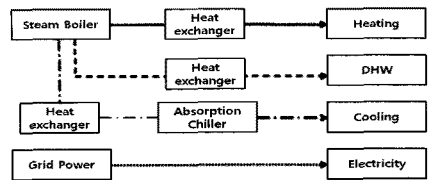


Fig. 4 Central Heating and Cooling system diagram.

Table 4 Main components feature of Proposed systems

| Categories                  | Equipment               | Capacity     | Efficiency (%)    |
|-----------------------------|-------------------------|--------------|-------------------|
| Organic Waste Bioenergy     | Biogas engine generator | 306 kW×1     | E : 27<br>TH : 48 |
|                             | Steam boiler            | 2.5 ton/hr×5 | 88                |
|                             | Absorption Chiller      | 400 RT×5     | 112               |
|                             | Grid Power              | 475 kW       | 38                |
| Co-Generation               | Gas engine generator    | 306 kW×1     | E : 34<br>TH : 46 |
|                             | Steam boiler            | 2.5 ton/hr×5 | 88                |
|                             | Absorption Chiller      | 400 RT×5     | 112               |
|                             | Grid Power              | 475 kW       | 38                |
| Central Heating and Cooling | Steam boiler            | 2.5 ton/hr×5 | 88                |
|                             | Absorption Chiller      | 400 RT×5     | 112               |
|                             | Grid Power              | 475 kW       | 38                |

의 연료소비량 산출결과를 이용하여 평가하였다. 에너지성능 평가의 중요 변수로는 에너지손실률, 연료의 발열량, 각 에너지공급 시스템의 기기효율로 가정하였으며, 세부적인 에너지성능 평가방법 및 내용은 Table 5에 정리하여 나타내었다.

검토대상 시스템은 모두 중앙공급방식으로 계획되었으며, 이때 배관을 통해 각 세대에 공급되는 열에너지의 배관 열손실률은 11%로 동일하게 적용하였다. 전력손실률의 경우 모든 전력을 계통전력이 담당하는 것으로 가정된 중앙냉난방 시스템의 전력손실률은 4.5%의 가정 평균 전력손실률을 적용하였으며, 시스템을 통해 전력을 생산하는 유기성폐자원 바이오에너지 시스템과 소형열병합발전 시스템은 자체 생산의 부족분에 한하여 4.5%의 전력손실률을 적용하였다.

검토대상 시스템의 연료 발열량은 기본적으로 도시가스 저위발열량을 기준으로 하였으며, 바이오가스의 발열량은 수도권매립지관리공사 「자원화사업 기본계획(2008)」에 제시된 음폐수 바이오가스 발열량을 적용하였다.

4.1.2 에너지성능

연료소비량으로 평가된 검토대상 시스템의 열에너지 및 전력에너지 성능 분석결과는 Fig. 5와 같다. 먼저, 열에너지성능을 살펴보면 중앙냉난방 시스템의 연료소비량을 100%로 가정할 경우 소형열병합발전시스템은 82%, 유기성폐자원 바이오에너지 시스템은 76%의 연료를 소비하는 것으로 나타나 열에너지성능이 우수함을 알 수 있으며, 이는 소형열병합발전 및 바이오에너지 시스템은 전력 생산과정에서 발생하는 배열을 열에너지로 활용하기 때문으로 판단된다.

반면, 전력에너지 성능의 경우 중앙냉난방 시스템의 전력에너지 소비량을 100%로 기준할 경우, 소형열병합발전 및 유기성폐자원 바이오에너지 시스템의 전력에너지 소비량은 각각 105%와 126%로 나타나, 중앙냉난방 시스템이 우수한 것으로 분석되었으며, 전력손실률을 고려한 계통전력의 발전효율이 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템 및 소형 열병합발전 시스템의 발전기 효율보다 우수하기 때문인 것으로 판단된다. 특히, 바이오에너지 시스템은 전력생산효율이 상대적으로 낮은 바이오가스 스택링엔진을 사용하기 때문으로 사료된다.

열과 전력의 전체 에너지성능에 있어서는 중앙냉난방 시스템을 기준으로 소형열병합발전 시스템은 88%,

Table 5 Energy performance assessment method

| NO | Categories           | Contents                |                           |     |
|----|----------------------|-------------------------|---------------------------|-----|
| ①  | Energy Load          | Calculated load         |                           |     |
| ②  | Energy loss ratio    | Heat                    | 11%                       |     |
|    |                      | Electricity             | 4.5%                      |     |
| ③  | Heating value        | LNG                     | 9,550 kcal/m <sup>3</sup> |     |
|    |                      | Biogas                  | 5,500 kcal/m <sup>3</sup> |     |
| ④  | Equipment efficiency | Steam boiler            | 88%                       |     |
|    |                      | Absorption Chiller      | 112%                      |     |
|    |                      | Gas engine generator    | E                         | 34% |
|    |                      |                         | Th                        | 46% |
|    |                      | Biogas engine generator | E                         | 27% |
| Th | 48%                  |                         |                           |     |
|    |                      | Electricity : 38%       |                           |     |
| ⑤  | Fuel consumption     | ⑤ = ①×(1+②)+(③×④)       |                           |     |

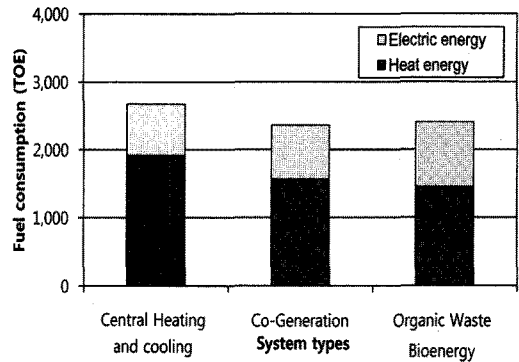


Fig. 5 Total energy performance of Proposed systems.

유기성 폐자원 바이오에너지 시스템은 90% 정도의 연료를 소비하는 것으로 나타나 두 열병합발전 시스템이 중앙냉난방 시스템에 비해 약 10%의 에너지성능 및 에너지절약 가능성이 우수한 것으로 분석되었다.

4.2 환경성능 평가

4.2.1 평가방법

환경성능은 대상건물의 에너지부하에 대응하기 위한 검토 대상 시스템의 연료소비량에 따른 온실가스 배출량으로 평가하였다. 구체적인 평가방법은

로는 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories : Reference Manual의 방법을 적용하였다. 또한 본 연구에서는 총 8종의 온실가스 중 열원 시스템의 에너지소비 과정 중 발생하는 CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O에 대해 분석하였으며 각 온실가스들의 온난화지수를 고려한 온실가스량(TCO<sub>2</sub>)으로 환경성능을 평가하였다.

Table 6은 검토 대상 시스템에서 소비된 연료의 종류별 온실가스 배출계수를 정리하여 나타낸 것이다. 이 중 바이오가스의 경우 연소시 발생하는 CO<sub>2</sub>의 배출은 바이오에너지의 탄소중립효과로 온실가

Table 6 GHG emission factor of fuel types

| Fuel types  | GHG emission factor[kg/GJ] |                 |                 |
|-------------|----------------------------|-----------------|-----------------|
|             | CO <sub>2</sub>            | CH <sub>4</sub> | NO <sub>2</sub> |
| LNG         | 54.5                       | 0.0040          | 0.0010          |
| Biogas      | 0.0                        | 0.0320          | 0.0040          |
| Electricity | 128.4                      | 0.0016          | 0.0008          |

Table 7 Environmental performance assessment method

| NO | Categories                      | Contents  |
|----|---------------------------------|---|
| ①  | Fuel consumption                | Fuel consumption based on system type   |
| ②  | GHG emission factor             | Emission factor of fuel types(CO <sub>2</sub> , N <sub>2</sub> O, CH <sub>4</sub> ) |
| ③  | Global warming potential of GHG | CO <sub>2</sub> : 1   |
|    |                                 | CH <sub>4</sub> : 21  |
|    |                                 | N <sub>2</sub> O : 310  |
| ④  | GHG emission                    | ④ = ① × ② × ③   |

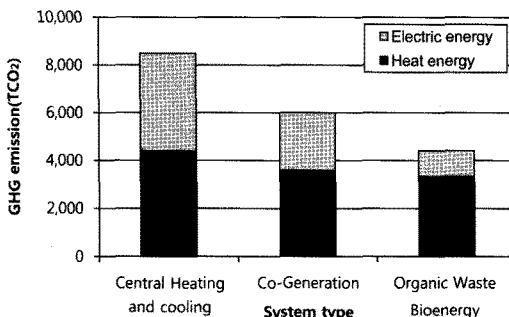


Fig. 6 Environmental performance of Proposed systems.

스 배출계수로 산정하지 않는다. 또한 전력에너지의 경우 국가별 발전소의 연료 구성비 차이에 따른 환경성능 결과의 편차를 감안하여 본 연구에서는 한국전력거래소에서 제공하는 2007년 온실가스 배출계수를 적용하였다. Table 7은 환경성능 평가를 위한 온실가스 배출량 산정과정을 나타낸다.

#### 4.2.2 환경성능

검토대상 시스템의 에너지소비원별 온실가스 배출량 산정결과는 Fig. 6과 같으며, 중앙냉난방 시스템을 기준으로 유기성폐자원 바이오 에너지시스템과 소형열병합발전 시스템의 총 온실가스 배출량을 살펴보면 각각 52%와 71%로 나타났다. 또한 중앙냉난방 시스템을 기준으로 에너지소비원별 온실가스 배출량을 살펴보면, 바이오에너지 시스템과 소형열병합발전 시스템이 열에너지 부분에서 각각 76%와 82%, 전력에너지 부분에서 27%와 59%로 낮게 나타났다.

이는 온실가스 발생량 산정에 가장 큰 영향을 미치는 CO<sub>2</sub>의 발생이 바이오에너지 시스템에는 해당되지 않기 때문이며, 이를 통해 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템의 환경성능이 상용 열원 시스템에 비해 우수함을 확인할 수 있다.

#### 4.3 경제성 평가

##### 4.3.1 평가방법

본 연구에서는 다양한 경제성 분석방법 중 생애비용(Life Cycle Cost) 분석법을 이용하여 경제성을 평가하였다. 경제성 분석기간은 「인천광역시 도시 및 주거환경 정비 조례」의 노후·불량 건물 산정근거에 따라 40년으로 설정하였으며, 분석항목은 에너지비용, 기기교체비, 에너지 사용에 따른 탄소배출에 따른 탄소배출권 거래비용 등으로 산정하였고 이를 토대로 현금법으로 경제성을 산출하였다.

LCC 분석과정에서 필요한 각종 변수 및 비용항목은 Table 8과 같다. 할인율은 IMF의 영향에 의한 불안정한 변화가 보이지 않는 2004년부터 5년 간의 한국은행의 기업일반 대출금리와 물가 상승률을 이용하여 산정하였으며, 각 검토대상 시스템의 주요 열원설비에 대한 내구연한은 국내 기준의 미흡으로 인해 미국 및 일본의 내구연한 기준과 국내 관련 설비 업체에서 제시하는 기준을 참조하였다.

에너지요금의 경우, 도시가스 요금은 열병합발전 에 사용되는 도시가스와 열전용설비용 도시가스를

구분하여 적용하였다. 하지만 바이오가스의 경우 현재까지 요금 설정에 대한 정확한 기준이 존재하지 않아 본 연구에서는 2010년 3월부터 서울시 강서구 마곡동 서남물재생센터에서 발생하는 바이오가스를 천연가스의 85% 정도의 요금수준으로 공급할 예정이라는 점을 준용하여 산정하였다. 전력요금은 일반적으로 공동주택의 세대에 적용되는 저압전력요금을 적용하였다. 탄소 배출권거래가격의 경우 의무감축국과 비의무감축국의 거래비용의 비용차이가 크게 발생함에 따라, 향후 의무감축 대상국으로 지정될 것이 확실시되는 국내 상황을 감안하여 의무감축 대상국의 탄소 배출권 거래가격으로 산정하였다.

4.3.2 경제성

내용연수 40년 동안 검토대상 시스템의 총 생애비용 산출결과는 Fig. 7와 같다. 분석기간 동안의 총생애비용은 단지 중앙방식을 기준으로 소형열병합발전 시스템이 81%, 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템이 103% 정도의 비용이 발생하는 것으로 나타나 소형열병합발전 시스템의 경제성이 가장 우수했으며, 바이오에너지 시스템의 경제성은 다소 낮은 것으로 나타났다.

검토 대상 시스템의 비용항목별 생애비용을 정리

Table 8 Economical performance analysis condition

| Categories                                  | Contents                |        |
|---|-------------------------|--------|
| Analysis Period                             | 40(years)               |        |
| Discount rate                               | 3.26(%)                 |        |
| Life expectancy (Year)                      | Steam boiler            | 20     |
|   | refrigerator            | 20     |
|   | Cooling tower           | 15     |
|   | Pump                    | 15     |
|   | Heat exchanger          | 5      |
|   | Gas engine generator    | 5      |
|   | Biogas engine generator | 5      |
| Fuel prices (Won/Nm <sup>3</sup> )          | LNG(Heat only)          | 722.18 |
|   | LNG(Co-generation)      | 683.23 |
|   | Biogas                  | 364.46 |
| Electric rate                               | Low electric rate       |        |
| Carbon credit price (Won/TCO <sub>2</sub> ) | EUA (EU Allowances)     | 23,871 |

하면 Table 9와 같다. 모든 시스템에 대해 에너지비용이 가장 큰 비중을 차지하고 있으나, 바이오에너지 시스템의 비중은 타 시스템에 비해 약 10% 정도 낮은 비용을 보이는 것으로 분석되었다. 반면, 유기성폐자원 바이오에너지 시스템의 초기투자비 및 기기교체비는 각각 약 5%와 13%의 비중을 보여 타 시스템에 비해 매우 높은 생애비용을 갖는 것으로 분석되었다. 또한 탄소배출권 비용항목의 경우 중앙냉난방 시스템 및 소형열병합발전 시스템은 유기성폐자원 바이오에너지 시스템에 비해 각각 약 1.9배와 1.4배 높게 나타났다.

이와 같은 경제성 분석을 통해 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템은 아직까지는 시스템의 높은 초기투자비 및 짧은 교체 주기로 인한 높은 교체비용으로

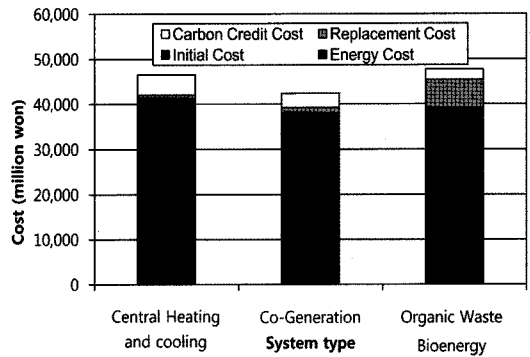


Fig. 7 Comparison of total present value of LCC of proposed systems.

Table 9 Total present value of LCC for proposed system

(unit : 1,000 Won)

| System Cost   | Central Heating and Cooling | Co-Generation     | Organic Waste Bioenergy |
|---------------|-----------------------------|-------------------|-------------------------|
| Initial       | 1,185,474 (3%)              | 1,267,739 (3%)    | 2,590,739 (5%)          |
| Energy        | 40,025,212 (86%)            | 36,818,870 (87%)  | 36,552,559 (77%)        |
| Replacement   | 824,751 (2%)                | 1,137,621 (3%)    | 6,267,742 (13%)         |
| Carbon credit | 4,483,905 (10%)             | 3,172,051 (7%)    | 2,330,724 (5%)          |
| Life cycle    | 46,519,342 (100%)           | 42,396,281 (100%) | 47,741,764 (100%)       |

( ) : component ratio of LCC.

인해 경제성이 다소 낮은 것으로 나타났지만, 에너지 및 환경성의 우수함으로 인해 낮은 에너지 비용 및 탄소배출권 거래 비용을 보여 관련 기술 및 제품이 개발되고 정부의 지원 대책이 확대되면 건물에너지 공급 시스템으로서 경제성이 확보될 것으로 판단된다.

## 5. 결 론

본 연구에서는 건물에너지 공급 시스템으로써 유기성 폐자원 바이오에너지 시스템의 적용성 분석을 목적으로 공동주택 단지를 대상건물로, 중앙냉난방시스템과 소형열병합발전 시스템을 검토대상 시스템으로 하여 에너지 및 환경 성능, 경제성을 평가하였다.

유기성 폐자원 바이오에너지 시스템은 열에너지성능에서는 시스템의 열병합발전 특성으로 인해 중앙냉난방 시스템에 비해 약 10% 정도 높은 에너지 성능을 보였고, 소형열병합발전 시스템과는 약 2% 정도의 근소한 성능차이를 보여 상용 시스템과 비교했을 경우 우수한 에너지성능을 나타내는 것으로 판단된다.

온실가스 배출량으로 평가된 환경성능에서는 화석연료인 천연가스를 이용하는 중앙냉난방 시스템과 소형열병합발전 시스템에 비해 각각 48%와 21% 정도 낮은 온실가스 배출량을 보여 환경적으로 우수한 시스템임이 확인되었다.

LCC 분석을 통한 경제성 평가에서는 타 검토대상 시스템에 비해 에너지 비용과 탄소 배출권 비용 항목에서 낮은 생애비용을 보였지만, 상대적으로 높은 초기투자비 및 기기교체 비용을 보여 아직까지는 경제성이 다소 낮은 것으로 분석되었다.

이를 통해 앞으로 더욱 심화될 에너지 및 환경문제 속에서 상용 시스템에 비해 높은 에너지 및 환경성능을 갖는 것으로 분석된 유기성폐자원 에너지시스템에 대한 관련 기술과 제품의 개발 및 국산화를 통한 비용 절감, 기기의 내구연수 증가, 정부의 지원 등이 확대된다면 건물에너지 공급 시스템으로서의 적용성이 더욱 확보될 수 있을 것으로 판단되며, 이에 대한 연구가 진행되어야 할 것으로 사료된다.

## 후 기

본 연구는 국토해양부가 주관하고 한국건설교통기술평가원이 시행하는 2009년도 첨단도시개발사업(과제번호 : 07도시재생B04) 지원 사업으로 이루어진 것으로 이에 감사를 드립니다.

## 참고문헌

1. Jung, J. C., Lee, J. U., Park, C. H., Kim, Y. J., and Choi, S. S., 2003, The economic analysis base on processing type for the city waste and food waste, J. of KOWREC, Vol. 11, No. 2, p. 13.
2. NAAS, NLRI, Kolon Engineering and Construction Co., Ltd., 2002, Development of biogas utilization technology for treating methane fermentation of livestock manure, Rural development administration, p. 227.
3. KNREC, 2008, Renewable energy RD&D statistical 2030(Organic waste bioenergy), Book-shill Inc.
4. Ministry of Knowledge Economy, Notice 2009-29.
5. Lee, K. N., Lim, J. H., Yeo, M. S., and Kim, K. W., 2003, A Study on the Cooling Load Estimation for the Housing Unit of Apartment Building, Proceedings of the Architectural Institute of Korea 2003 Annual Conference, Vol. 23, No. 2, pp. 873-877.
6. Korea energy economics institute, 2005, Energy Consumption Survey.
7. Ministry of Land, Transport and Maritime Affairs, Notice, 2008-652.
8. Intergovernmental Panel on Climate Change, 1997, Revised 1996 IPCC Guidelines for National Greenhouse Gas Inventories Reference Manual, Vol. 3.
9. Choi, M. Y., Lee, S. A., Ko, M. J., and Kim, Y. S., 2009, A Study on the Energy Performance Analysis of Wood Bioenergy System in Apartment Complex, Proceedings of the KIAEBS 2009 Autumn Annual Conference.
10. Im, Y. H., Kim, H. J., 2007, Assessment for the effect of heating systems on the energy consumption and environment, Proceedings of the SARAK 2003 Winter Annual Conference, pp. 466-474.
11. Lee, J. H., 2005, Status of Development of Biogas Engine in Korea, Proceedings of the KSNRE 2005 Spring Annual Conference.
12. KESE Registration Number 2009-incheon-R-004, (2009.9.25).
13. www.retscreen.net.
14. www.pointcarbon.com.