

서남 바이오가스 열병합발전 시설 건립의 경제적 타당성 분석

박소연 · 신현호 · 유승훈[†]

서울과학기술대학교 에너지환경대학원 에너지정책학과

(2016년 11월 7일 접수, 2016년 12월 15일 수정, 2016년 12월 16일 채택)

Economic Feasibility Analysis of Building Seonam Biogas Combined Heat and Power Plant

So-Yeon Park · Hyun-Ho Shin · Seung-Hoon Yoo[†]

Department of Energy Policy, Graduate School of Energy & Environment, Seoul National
University of Science & Technology

(Received 7 November 2016, Revised 15 December 2016, Accepted 16 December 2016)

요 약

전 세계적으로 폐자원 에너지화에 대한 관심이 지속적으로 상승되고 있다. 국내에서는 하수슬러지를 처리하는 과정에서 발생하는 바이오가스를 에너지로 활용하는 방안에 관심을 갖고 있다. 그 한 가지 대안으로 바이오가스 열병합발전 시설이 운영되고 있고, 이로 인한 수익이 창출되고 있다. 향후 하수슬러지의 발생량은 지속적으로 증가할 것으로 예측되고, 이에 대한 처리비용도 늘어날 것으로 예상되고 있다. 이와 같은 문제를 해결하기 위하여, 하수슬러지를 처리하면서 부생되는 바이오가스를 에너지로 활용하는 시설의 확대와 함께 많은 재원이 투자될 것으로 보인다. 따라서 이와 같은 시설에 대한 정량적인 정보가 요구되고 있다. 이에 본 연구는 하수슬러지에서 발생하는 바이오가스를 열병합발전 시설에 공급하여 수익을 창출하고 있는, 서남 바이오가스 열병합발전 시설에 대한 경제성 분석을 수행하고자 한다. 열병합발전 시설은 열과 전력을 생산하는 시설이다. 따라서 편익 항목으로 열과 전력을 생각할 수 있다. 그런데 서남 바이오가스 열병합발전 시설의 경우, 생산된 열은 서남물재생센터의 소화조 가운데 전량 공급된다. 따라서 열병합발전 시설의 편익이 아닌, 서남물재생센터의 비용절감 효과로 나타난다 할 수 있다. 결과적으로 본 연구에서는 편익 항목으로 전력만 고려하여 용도별 (주택용, 일반용, 산업용) 전력공급 편익을 산정하였다. 2015년 기준 전력의 용도별 평균 가격은 각각 123.69원, 130.46원, 102.59원으로 계산되었고, 경제적 편익은 용도별로 각각 310.21원, 378.49원, 222.87원이다. 경제성 분석 결과 순현재가치 721.82억원, 편익 비용 1.90, 내부수익률 37%로 계산되어 경제적으로 타당성이 있는 것으로 판단된다.

주요어 : 바이오가스 열병합발전 시설, 전력공급 편익, 경제적 편익, 경제성 분석, 소비자잉여

Abstract - Recently, technology for energy recovery from waste has been increasing interest globally including the Korea. In Korea, we have interested in using biogas generated from the sewage treatment process. As one alternative, there are operating biogas combined heat and power plant. The generation amount of the Sewage Sludge are expected to grow in the future. For this reason, total processing cost of Sewage Sludge will increase. To solve this problem, it seems will be invested with the expansion of facilities that use biogas as energy. Therefore, quantitative information on such facilities is required. Thus, this study attempts to economic feasibility analysis for Seonam Biogas Combined Heat and Power Plant. Meanwhile, as the benefit items for economic feasibility analysis consider electricity supply benefit except for heat supply benefit. The average prices of electricity use were residence 123.69, commercial 130.46, and industry 102.59 won per kWh for the year 2015, In addition, the economic benefit are calculated to be residence 310.21, commercial 378.49, and industry 222.87 won per kWh. The results of economic

[†]To whom corresponding should be addressed.

Tel : +82-2-970-6802 E-mail : shyoo@seoultech.ac.kr

feasibility analysis is NPV 72.18 billion won, B/C 1.90, IRR 37%, shows that economic validity of Seonam Biogas Combined Heat and Power Plant.

Key words : biogas combined heat and power plant, economic benefit, electricity supply benefit. economic feasibility analysis, consumer surplus

1. 서론

전 지구적으로 발생하고 있는 기후변화는 각국의 에너지 정책에 영향을 미치고 있다. 기후변화의 원인이 온실가스라는 사실이 알려지면서, 전 세계적으로 이를 감축하기 위한 다양한 정책들이 수립되었고 지속적으로 진행되고 있다. 그 중 온실가스의 배출이 높은 석탄, 석유 등의 사용을 줄이고, 이를 대체하는 에너지원으로 신재생에너지를 개발하고 보급하는 정책이 확대되고 있다. 특히, 폐기물 에너지화 정책은 버리던 쓰레기를 활용하여 에너지원으로 사용할 수 있기 때문에 환경오염문제와 에너지문제를 둘 다 해결할 수 있는 대안으로 떠오르고 있어 관심이 집중되고 있다.

국내에서도 폐기물을 처리하고 활용할 수 있는 폐기물 에너지화 정책을 실현하고자 많은 재원을 투입하고 있는 실정이다. 특히, 하수슬러지의 경우 그동안 해양에 투기(발생량 30~40%)했으나, 2012년부터 런던협약에 의해, 해양투기가 금지되어 이를 처리하는 비용이 상승하였다. 현재 하수슬러지는 매년 5.9%씩 지속적으로 발생량이 증가하고 있는 추세이다. 2007년 일 발생량은 7,518톤이었으며, 2025년에는 약 14,692 톤/일로 늘어날 것으로 예상되고 있다. 따라서 이를 처리하는 처리비용 또한 상승할 것으로 예상된다. 하수슬러지의 처리 비용은 2006년도 약 877억원에서 2011년도 약 1,645억원으로 급증하였는데, 이는 육상 공공처리 시설의 하수처리비용이 톤당 10만원 수준으로, 기존 해양투기에 따른 처리비용의 약 2배 수준이기 때문이다.

이에 정부는 하수슬러지를 처리하면서 바이오가스를 생산하고, 생산된 바이오가스는 열병합발전 시설의 열과 전기로 활용하고자 하수슬러지 처리시설과 바이오가스 생산시설을 병행하여 운영하는 시설을 확대하고자 한다. 이로 인하여 하수슬러지 처리과정에서 발생하는 바이오가스가 2011년 수준 429천톤(일)에서 2025년 약 655천톤(일)으로 늘어날 것으로 예상되고 있다. 그동안 정부는 하수슬러지를 처리하는 시설 확충

에는 집중하였으나, 바이오가스의 생산과 활용이 연계되는 시설 확대는 소홀하였다. 따라서 정부에서는 하수슬러지를 이용한 바이오가스 생산 활용에 따른 경제성 분석을 통한 사업 우선순위 등을 도출하여 체계적이고 효율적인 추진을 위한 중장기 계획수립이 필요함을 언급한 바 있다(Ministry of Environment, 2012).

이를 위해 정부는 2010년부터 2012년까지 시범사업을 통해 8개 하수처리 시설에 약 919억원을 투자하여 하루에 바이오가스 98,137m³를 생산하였다. 그리고 이를 소화조 가운에 활용하거나 도시가스 대신 사용하였고, 발전 시설과 차량 연료에도 사용하였다. 그 결과 8개 하수처리장서 평균 11%였던 에너지 자립률이 21%로 상승하였다. 따라서 정부는 2025년까지 하수슬러지를 처리하는 과정에서 발생된 바이오가스로 열병합발전 시설을 운영하거나 도시가스의 대체로 활용하고자 한다. 또한 하수슬러지 에너지화로 740,660 CO₂톤/년의 온실가스 감축 효과로 연간 43억원의 경제적 효과를 기대하고 있다(Ministry of Environment, 2012). 이를 통해 하수정책의 “국제적 온실가스 감축 사업 제도”와 연계를 통한 실질적인 온실가스 감축 발생 및 국가 “저탄소 녹색성장”에 기여하고자 한다. 이를 통해 하수처리 시설의 소화가스 부분 에너지화를 통하여 2025년까지 약 74만톤 CO₂의 국제 인증 배출권 확보가 가능해 질 것으로 예상하고 있다(Ministry of Environment, 2012).

이와 같은 정부의 정책에 따라 하수처리 시설에서 생산된 바이오가스를 활용하는 열병합발전 시설은 확대될 것으로 예상된다. 따라서 이러한 시설에 대한 편익 및 경제성 분석과 같이 경제학적인 방법론을 적용하여 추정된 정량적 정보들이 요구되고 있다.

그동안 국내에서 하수슬러지를 이용한 바이오가스와 관련된 연구는 주로 생산과 관련된 기술적인 연구가 많은 부분 차지하고 있었다(Jeong et al.; 2015, Cho et al.; 2014a, Cho et al.; 2014b, Lee et al.; 2011, Woo and Han; 2010). 또한 바이오연료를 활용하는 다수의 연구는 찾을 수 있었지만, 연구의 범위가 바이오가스로 한정된 연구는 몇 개의 연구만을 찾을 수 있

었다(Kim; 2010, Kim and Lim; 2014, Kim; 2015). 끝으로 경제적인 접근으로 수행한 연구로는 Kim et al.(2016)이 경제학적인 방법론으로 조건부 가치측정법을 적용하여 정부의 바이오가스 사용 확대 정책에 대한 편익을 추정한 바 있다. Gyeonggi Research Institute(2011)는 바이오가스 자원화 사업의 경제적 타당성을 분석하였는데, 5개의 하수처리 시설을 대상으로 실시하였다. 그러나 편익 항목 설정 및 편익 산정에 있어 경제학적인 근거가 충분히 제시되어 있지 않다. Lee et al.(2010)은 에너지 자원 정책에 관한 연구에서 하수처리장에서 발생하는 바이오가스의 판매수익과, 중유 연료대체 효과, 환경적 효과 등을 제시하였는데, 비경제학적 접근법인 대체비용접근법으로 그 값을 계산하였다. Kim and Kim(2008)은 신재생에너지 발전의 경제성 분석 연구에서 바이오가스를 다루었다. 그러나 경제적 타당성을 볼 수 있는 B/C분석, NPV, IRR 중 NPV와 IRR에 대해서만 분석하였다.

선행연구를 살펴본 결과, 하수슬러지에서 생산되는 바이오가스를 활용하는 시설에 대하여 경제학적 방법으로 연구가 진행된 경우는 부족한 편이다. 따라서 본 연구는 2014년 건립을 마치고, 2015년부터 운영을 하고 있는 서남 바이오가스 열병합발전 시설을 대상으로 경제성 분석을 수행하여, 한 사례로 그 결과를 제시해보고자 한다. 이는 분석 대상 시설의 사업성이 있고 없고를 판단하는데 의미를 두기보다, 경제학적인 방법으로 분석 과정을 제시하여 부족한 연구의 참고 자료로 제시하고자 한다. 본 연구의 이후 구성은 다음과 같다. 2절에서는 분석 대상 시설에 대하여 설명한 뒤, 3절에서 편익 항목에 대한 식별 및 추정을 위한 방법론과 연구 사례 등에 대하여 서술한다. 4절에서는 편익을 추정하고, 5절에서 경제성 분석을 실시한 뒤, 마지막 절은 결론으로 할애한다.

2. 바이오가스 열병합발전 시설

2-1. 분석 대상

본 연구의 분석 대상 서울시 강서구에 위치한 서남

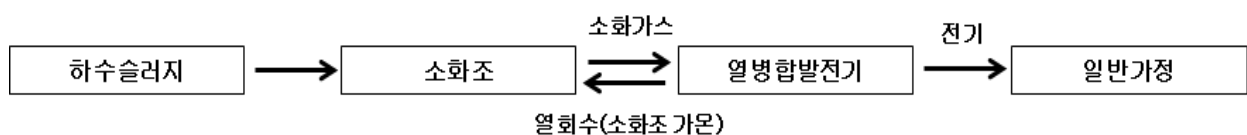
바이오가스 열병합발전 시설이다. 이 시설은 민간업체가 투자하여 건설하였고, 운영기간은 20년으로 계획되었다. 열병합발전 시설은 5.8MW급으로 바이오가스를 활용한 발전용량으로는 국내 최대 규모이다(Seoul Metropolitan Government, 2015). 또한 이 시설은 지하에 위치하고 있는데, 그동안 혐오시설로 인식되던 발전 시설에 대한 부정적 이미지를 탈피한 좋은 예라고 할 수 있다.

본 시설은 하수처리 과정에서 발생하는 부생가스인 바이오가스를 활용하여 열과 전력을 생산한다. 즉, 서남물재생센터에서 발생하는 바이오가스 중 약 52,000m³를 매일 열병합발전 시설 운영 사업자에게 공급하고, 사업자는 열병합발전 시설을 운영하여 열과 전기를 생산하게 된다. 이 사업으로 매년 36,000Gcal의 열과 38,000MWh 전력이 생산된다. 이때, 열은 무상으로 서남물재생센터에 공급하여 바이오가스를 생산하는 소화조 가운데 전량 사용하며, 생산된 전기는 전량 판매하는 구조이다. 이러한 시설운영에 대한 구조를 [Fig. 1]에 제시하였다.

2-2. 바이오가스 열병합발전 시설 운영 사례

<Table 1>에서 제시한 바와 같이 정부에서는 하수처리 시설에서 생산한 바이오가스를 활용하여 도시가스로 대체하거나 열병합발전 시설에 사용하는 시범사업을 실시하였다. 그 중 열병합발전에 바이오가스를 활용한 시설은 춘천 하수처리 시설, 부천 하수처리 시설, 아산 하수처리 시설, 문경 하수처리 시설 등이 있다. 정부의 이 사업을 통해 대상 하수처리 시설의 에너지 자급률이 상승하였고, 수익도 창출한 바 있다. 또한 본 연구의 분석 대상 시설과 유사시설로는 난지물재생센터내 바이오가스 열병합발전 시설이 있다. 이 시설은 2013년 2월에 준공되어 운영되고 있으며, 발전설비는 3MW급으로 서남 바이오가스 열병합발전 시설의 규모보다는 작다.

이외에 유기성 폐기물을 활용하여 바이오가스를 생산하고, 생산된 바이오가스를 열병합발전 시설에 공급하여 열과 전기를 생산하고 있는 고양시 바이오가스



[Fig. 1] The operating concept of biogas combined heat and power plant

<Table 1> The utilization plan and biogas generation amount from the sewage treatment facilities.

하수처리 시설 구분		하수처리 용량(㎥/일)	바이오가스 예상 최대생산량(㎥/일)	바이오가스 활용방안	소요금액 (억원)
총 계		290만	98,137	-	919
1단계 사업	소 계	117만	22,630	-	282
	수원	52만	9,790	도시가스 대체	100
	춘천	15만	6,090	열병합발전	96
	창원	50만	9,750	차량연료화	86
2단계 사업	소 계	173만	75,507	-	637
	부천	90만	42,455	열병합발전	182
	안산	53만	17,322	도시가스 대체	220
	아산	7만	2,774	열병합발전	78
	문경	3만	7,027	열병합발전	106
	군산	20만	5,929	도시가스 대체	51

열병합발전 시설이 있다. 이 시설은 화훼생산에 꼭 필요한 온실 난방을 위해 열을 공급하는데, 에너지 비용을 줄여 생산원가를 낮추고 화훼농가의 소득 향상과 산업 육성에 기여하고 있다. 또한 음폐수를 이용한 바이오가스화 시설이 수도권 매립지에서 운영되고 있으며, 그 시설에서 생산되는 바이오가스 중 10%는 바이오가스화 시설에서 사용하고, 90%는 열병합발전소로 보내져 열과 전기를 생산하고 있다(Sudokwon Landfill Site Management Corporation, www.sl.c.or.kr/).

이와 같이 국내에서 운영되는 있는 바이오가스 열병합발전 시설들은 버려지는 폐기물을 활용하여 바이오가스를 생산하고, 생산된 바이오가스를 통해 열병합발전 시설을 운영하므로 열과 전기를 생산하고 있다. 그리고 이를 활용 및 판매하여 운영비를 절감하거나 수익을 창출하고 있다.

3. 편익 추정

경제성 분석 수행 시 필요로 하는 편익의 추정을 위해서는 우선 편익이 되는 대상 항목을 식별하는 것과 그 편익을 어떻게 추정하는지가 중요하다. 따라서 ‘무엇’을 편익 항목으로 볼 것인지와 ‘어떻게’ 편익을 산정할지에 대한 방법을 결정해야 한다. 또한 중복되거나 누락되는 편익이 있어서도 안 될 것이다.

3-1. 편익 항목의 식별 및 분석 대상 편익

편익 항목의 식별은 시행 대안과 미시행 대안의 관점에서 항목을 구분해야 한다. 즉, 수요의 성격별로 적용이 가능한 편익 항목을 구분할 수 있다. 본 분석 대상이 되는 열병합발전 시설의 경우 기존의 시설을 대체하는 것이 아니라, 신규로 건립된 시설이며, 열과 전기를 생산하게 된다. 따라서 편익 항목으로 열 생산으로 인한 열공급 편익과 전력 생산으로 인한 전력공급 편익을 들 수 있다. 그런데, 이 시설은 앞서 언급한 바와 같이 열의 경우, 서남물재생센터에서 바이오가스를 생산하는 소화조를 가온하는데 전량 사용이 되고 별도의 판매가 이루어지지 않는다. 따라서 열의 경우 열병합발전 시설의 편익이라기보다 서남물재생센터의 운영비절감 효과로 나타난다고 할 수 있다. 따라서 열병합발전 시설의 편익 항목에서 열로 인한 편익은 제외하고, 전력에 의한 편익만을 분석 대상으로 하였다. 따라서 시행 대안을 전력공급 있음으로 놓고 미시행 대안으로 전력공급이 없음으로 설정을 한다. Korea District Heating Corporation(2015)는 전력 수요의 성격별 편익을 <Table 2>와 같이 정리하여 제시하였다. <Table 2>를 살펴보면, 신규 수요의 경우 전력공급 편익만 적용되고 온실가스 저감 편익 및 대기 질 개선 편익과 같은 환경개선 편익의 적용은 어렵다. 이는 시행 대안과 미시행 대안의 관점에서 편익 항목을 식별하여, 전력공급이 있는 것과 없는 것의 관점에서 판단

<Table 2> The benefit list for electricity demand of integrated-energy business (IEB)

수요구분	전력공급 편익	분산형 전원편익	온실가스 저감편익	대기질 개선편익	온배수 저감편익
신규 수요	적용	미적용	미적용	미적용	미적용
이전 수요	미적용	적용	적용	적용	적용
전화수요	적용	미적용	미적용	미적용	미적용

출처 : 한국지역난방공사(2015)

하기 때문이다.

3-3. 전력공급 편익 추정방법론

전력공급 편익을 추정할 수 있는 경제학적 방법론으로는 수요함수 접근법과 생산함수 접근법이 있다. 보통 어떤 서비스가 시장의 기능에 의해 공급되는 것에 대한 가치는 수요곡선을 통해서 도출되는데, 이를 수요함수 접근법이라고 한다. 이는 후생경제학에 근거한 경제학적 개념이며, 전력에 대한 수요곡선의 아랫면적의 소비자 잉여와 소비자 지출의 합이 총 편익이 되므로 이를 통해 전력의 가치를 추정할 수 있다. 생산함수 접근법의 경우는 생산함수를 이용하여 역수요함수를 추정하고, 아랫면적을 구하거나, 비용함수를 통해 수요함수를 추정한 뒤 아랫면적을 구할 수 있다. 이러한 방법으로 전력에 대한 질(quality)의 변화에 따른 산출물의 변화를 측정하게 된다. 한편 전력은 용도별로 나눌 수가 있는데, 주택용이나 일반용 전력의 경우 소비자가 최종사용자가 되므로 수요함수 접근법이 적절하며, 산업용 전력의 경우 순 편익에 해당하는 소비자 잉여가 아닌 경제적 편익이 추정되어야 한다 (Korea District Heating Corporation, 2015).

한편 국내에서는 전력가격의 기능이 제대로 작동하지 않아, 수요함수를 추정하는 것이 매우 어려운 실정이다. 이러한 한계에 대한 대안으로 Alexnader et al.(2000)가 제안한 식 (1)을 활용하여 소비자 잉여의 상한 값을 구할 수 있다(Kim et al.; 2015, Lim et al.; 2015, Lim et al., 2014, Ilic and Trygg; 2014, Lee and Yoo; 2013).

$$CS = - \frac{P_0 Q_0}{2\epsilon} \quad \text{식(1)}$$

여기서 CS는 소비자 잉여, ϵ 는 수요의 가격탄력성, Q_0 는 현재의 수요량, P_0 는 현재의 가격이다. 따라서

본 연구에서는 선행연구에서 추정된 수요의 가격탄력성을 활용하되, 전력판매수입 및 판매량, 평균 가격 등은 2015년 기준의 값을 활용하여 주택용과 일반용 전력의 경제적 편익을 산정한다. 산업용의 경우 후술하겠지만, 분석을 위한 비용과 시간의 문제로 인하여 자료 확보의 한계가 있어, 선행연구의 자료를 활용하였으며 다만 그 시점을 분석 대상 시점인 2015년말 기준으로 재계산하여 값을 적용하였다.

3-4. 전력공급 편익 추정 사례

전력공급 편익을 추정한 연구사례로 몇 개의 사례를 찾을 수 있었다(The Korea Development Institute; 2009, 2010, 2011, 2015). 이들 연구에서는 전력공급 편익을 산정함에 있어서 SMP(system marginal price, 계통한계가격) 또는 CP(capacity payment, 용량요금)를 적용하였는데, 이는 비용을 의미하기 때문에 경제적 편익이 아니므로 경제이론에 부합되지 않는다.

경제이론을 적용하여 전력분야의 경제적 편익을 추정한 연구로 Yoo and Lee(2012)는 주택용 전력에 대하여 가격탄력성을 이용하여 경제적 편익을 추정한다. Lim et al.(2015)는 수요함수 접근법을 통하여 2013년을 기준으로 전력 소비의 용도별 경제적 편익을 평가하였는데, 주택용, 일반용, 산업용에 대하여 제시하였다.

4. 편익 추정의 결과

본 연구에서 추정하는 전력공급 편익은 전체 전력 판매량의 91.7%를 차지하는 주택용, 일반용, 산업용에 대하여 그 편익을 산정한다. 또한 전력공급 편익은 소매와 도매기준으로 구분되는데, 본 연구에서는 도매기준 전력공급 편익에 대하여 산정한다. 그 이유는 소매기준 전력공급 편익은 구역전기 사업자처럼 최종사용자에게 전력을 공급하는 경우 발생되며, 도매기준

전력공급 편익은 한국전력거래소를 통해 한국전력공사에 판매할 때, 발생하기 때문이다. 본 연구의 분석 대상 시설인 열병합발전 시설의 경우 후자에 해당되므로 도매기준에 대한 전력공급 편익을 산정한다.

4-1. 수요함수를 이용한 주택용 전력공급 편익 추정

전술하였듯이 국내에서는 전력가격의 기능이 제대로 작동하지 않아, 수요함수를 추정하는 것이 매우 어려운 실정이다. 따라서 Lim et al. (2013)은 선행연구 자료를 활용하였고, 본 연구도 동일한 방법을 적용한다. 즉, 선행연구의 자료와 식(1)을 활용하여 소비자 잉여를 계산하고자 한다. 국내의 주택용 전력 수요함수를 추정한 선행연구는 다음과 같다. 우선 Korea Energy Economics Institute(1996)는 장·단기 가격탄력성을 제시하였고, Lee and Heo (1998)은 장·단기 가격탄력성과 소득탄력성을 제시하였다. Na and Son (1999)은 소득탄력성을 구하였고, Kwon et al.(2014), Park et al.(2011), Yoo et al.(2007)은 단기 가격탄력성과 소득탄력성을 구하여 제시한 바 있다. 이들 연구

에서 제시한 주택용 전력수요의 가격탄력성을 <Table 3>에 제시하였고, 본 연구에서는 이를 활용한다. 그러나 <Table 3>에 제시된 것과 같이 각 연구별로 그 값이 매우 들쭉날쭉하므로, 평균값을 사용한다.

<Table 4>에는 주택용 전력의 경제적 가치를 산출한 과정을 제시하였다. 2015년 기준 주택용 전력판매 수입은 81,162억원이며, 주택용 전력 판매량은 약 65,618,610 MWh이다. 따라서 평균 가격은 123.69원으로 계산된다. 그리고 식(1)을 활용하여 소비자 잉여가 122,394억원으로 산정되었고, 결과적으로 주택용 전력의 경제적 가치는 310.21원/kWh로 추정되었다.

4-2. 수요함수를 이용한 일반용 전력공급 편익 추정

앞서 분석한 주택용 전력공급 편익과 마찬가지로, 일반용 전력공급 편익도 수요함수 자체를 추정하는 것이 어렵다. 따라서 선행연구의 수요함수 관련 연구 사례를 통해 전력수요의 가격탄력성을 활용하여 편익을 추정한다. 활용가능한 연구로 <Table 5>의 2가지 사례를 찾을 수 있었다. 여기서도 마찬가지로, 선행연구

<Table 3> Previous studies on the price elasticities of residential electricity demand

출처	주택용 전력수요의 가격탄력성
Korea Energy Economics Institute(1996)	-0.160
Lee and Heo (1998)	-0.641
Yoo et al.(2007)	-0.246
Park et al.(2011)	-0.273
Kwon et al.(2014)	-0.338
평균	-0.332

<Table 4> The calculation process for economic benefit of residential electricity (as of 2015)

구분	값
주택용 전력판매수입(A, 억원)	81,162
주택용 전력 판매량(B, MWh)	65,618,610
주택용 평균 가격(C=A/B, 원/kWh)	123.69
본 연구에서 채택한 수요의 가격탄력성	-0.332
소비자 잉여(D, 억원)	122,394
주택용 전력의 단위당 소비자 잉여(E=D/B, 원/kWh)	186.52
주택용 전력의 경제적 가치(C+E, 원/kWh)	310.21

<Table 5> Previous studies on the price elasticities of commercial electricity demand

출처	일반용 전력수요의 가격탄력성
박준용 외(2011)	-0.105
Lim et al.(2014)	-0.421
평균	-0.263

<Table 6> The calculation process for economic benefit of commercial electricity (as of 2015)

구 분	값
일반용 전력판매수입(A, 억원)	135,264
일반용 전력 판매량(B, MWh)	103,679,346
일반용 평균 가격(C=A/B, 원/kWh)	130.46
본 연구에서 채택한 수요의 가격탄력성	-0.263
소비자 잉여(D, 억원)	257,156
일반용 전력의 단위당 소비자 잉여(E=D/B, 원/kWh)	248.03
일반용 전력의 경제적 가치(C+E, 원/kWh)	378.49

<Table 7> Previous studies on the economic benefit of industrial electricity demand (as of 2015)

구 분	값
산업용 전력판매수입(A, 억원)	293,826
산업용 전력 판매량(B, MWh)	273,547,997
산업용 평균 가격(C=A/B, 원/kWh)	107.41
일반용 전력의 경제적 가치(C+E, 원/kWh)	222.87

의 일반용 전력수요의 가격탄력성 평균값을 활용한다.

<Table 6>에는 일반용 전력의 경제적 가치를 산출한 과정을 제시하였다. 2015년 기준 일반용 전력판매수입은 135,264억 원이며, 주택용 전력 판매량은 약 103,679,346 MWh이다. 따라서 평균 가격은 130.46 원으로 계산된다. 그리고 식(1)을 활용하여 소비자 잉여가 257,156억 원으로 산정되었고, 결과적으로 주택용 전력의 경제적 가치는 378.49 원/kWh로 추정되었다.

4-3. 산업용 전력공급 편익 추정

Korea District Heating Corporation(2015)에 의하면, 산업용 전력의 경제적 가치를 2014년말 기준으로 232.08 원/kWh로 추정한 바 있다. 생산함수의 추정은 수요함수의 추정과 같이 그 값을 추정하는데 현실적인 어려움이 있다. 우선 전국의 제조업체를 대상으로 산업용 전력의 경제적 가치 추정을 위한 자료의 확보에 어려움이 있다. 이는 직접 사업체를 대상으로 매출

액, 산업용 전력 지출액 등의 조사를 실시해야 하는데, 대부분 이러한 자료는 대외비 자료이기에 공개가 되지 않는 경우가 흔하다. 따라서 현실적인 대안으로 선행연구의 편익 추정 결과를 2015년 말 기준으로 다시 계산하였으며, 2015년 기준의 전력판매수입과 판매량을 활용하여 평균 가격을 다시 계산하였다. 이렇게 계산한 결과 평균 가격은 107.41 원/kWh이고, 선행연구의 연구결과에서 제시된 전력공급 편익은 2015년말 기준 222.87 원/kWh이다.

4-4. 전력공급 편익 추정의 종합화

앞서 논의한 것과 같이 전력은 소비로부터 그 가치가 발생된다. 따라서 전력의 경제적 가치가 전력공급으로 발생되는 편익이라 할 수 있다. 추정된 전력공급 편익의 결과를 종합화하면 <Table 8>과 같다. 2015년 말 기준 주택용, 일반용, 산업용 전력공급 편익은 각각 310.21(원/kWh), 378.49(원/kWh), 222.87(원/kWh)

<Table 8> Estimation results of economic benefits of electric supply : retail price (as of 2015)

용도별	평균 가격 (A, 원/kWh)	전력공급 편익 (B, 원/kWh)
주택용	123.69	310.21
일반용	130.46	378.49
산업용	102.59	222.87

<Table 9> The electricity purchasing cost of Korean electric power corporation (as of 2015)

구분	전력구매 비용 (A, 백만원)	총비용 (B, 백만원)	전력구매 비용 비중 (A/B)
값	43,287,813	47,719,838	90.71%

출처: 한국전력공사(2016), 한국전력통계

<Table 10> Estimation results of economic benefits of electric supply: wholesale price (as of 2015)

구분	전력공급 편익 (A, 원/kWh)	전력 구매비용 비중 (B, %)	도매기준 전력공급 편익 (A×B, 원/kWh)
주택용	310.21	90.71	281.41
일반용	378.49	90.71	343.34
산업용	222.87	90.71	202.17
가중평균	349.68	90.71	317.20

이다. 평균 가격 대비 전력공급 편익의 비율은 각각 2.51배, 2.90배, 2.07배이다. 이 값은 소매기준의 전력공급 편익이 된다.

4-5. 도매기준 전력공급 편익

전력의 구매처인 한국전력공사의 총비용에서 전력구매 비용이 차지하는 비중을 소매기준 전력공급 편익에 곱하게 되면, 도매기준 전력공급 편익이 계산된다. <Table 9>에 제시된 총비용에는 매출원가, 판매비와 관리비, 기타비용이 포함된다. 제시된 전력구매 비용은 발전사로부터 전력을 구매해오는 비용을 의미하는데, 이 자료는 가장 최근에 발간된 2016 전력통계자료에 제시된 2015년 통계를 사용하였다. 그리고 <Table 9>에서 90.71%가 총 전력공급 편익 중 송배전을 제외한 도매 기준의 전력공급 편익이 될 것이다.

앞서 구한 각각의 소매 기준의 전력공급 편익에 도매기준 전력공급 편익의 비중을 곱해주면 각각의 도매기준 전력공급 편익이 계산된다. 그리고 용도를 구분하기 어려운 경우에는 가중평균값을 사용하여 전력공급 편익을 구할 수 있을 것이다. 한편 본 시설은 서

울시에 위치한 열병합발전 시설이다. 따라서 이 전력이 서울시에 공급된다고 가정하고, 각각의 용도별 전력 판매량에서 서울시에 대한 판매 비중(주택용 20%, 일반용 26%, 산업용 1%)을 곱하여 산정하였다. 또한 이 시설에서 생산되는 전력의 구체적인 용도를 알 수 없기 때문에 3가지 용도의 가중평균값을 구하여 서남바이오가스 열병합발전 시설에 대한 전력공급 편익을 도매기준의 값으로 구하였다. 그리고 결과는 <Table 10>에 제시하였다.

4-6. 바이오가스 열병합발전 시설의 전력공급 편익

서남 바이오가스 열병합발전 시설의 전력공급 편익은 우선, 열병합발전 시설을 통한 전력 공급량에 대하여 1kWh 당 전력공급 편익 값에 연간 전력 공급량을 곱하여 산정한다. 본 연구대상의 시설은 연간 38,000,000kWh의 전력을 생산하고 있다. 본 시설은 신재생에너지를 사용하는 사업자의 전기 생산시설에 해당된다. 정부의 신재생에너지를 이용하여 생산된 전기의 우선구매 정책에 따라, 생산되는 전력이 전량 구매된다고 가정할 때 연간 편익은 120.5억원이다.

5. 경제성 분석

5-1. 경제성 분석의 주요 전제

본 연구는 The Korea Development Institute (2008)의 『예비타당성조사 수행을 위한 일반지침 수정·보완 연구(제5판)』에 따라 비용편익분석을 진행한다. 첫째, 본 연구의 경제성 분석 시 사용되는 비용과 편익은 분석 전년도 말 기준 불변가격으로 산정한다. 둘째, 편익의 발생기간은 사업운영기간인 20년으로 가정한다. 셋째, 본 연구에서의 사회적 할인율을 『예비타당성조사 일반지침(제5판)의 수정·보완: 사회적 할인율의 조성』의 지침에 따라 5.5%로 적용한다.

본 시설은 2013년부터 2014년까지 공사를 시행하였으며, 2015년부터 운영을 시작하였고 운영기간은 20년이다. 따라서 본 시설의 경제성 분석 대상기간은 2015년~2034년으로 하며, 편익과 비용은 현재가치는 2015년말 기준으로 한다.

5-2. 경제성 분석 결과

본 시설의 초기 투자비는 조사비, 설계비, 공사비, 부대비, 예비비 등을 합하여 2년간 총 사업비는 21,041백만원이다. 경제성 분석에서 적용되는 비용은 부가가치세를 포함하지 않는다. 또한 토지에 대하여 잔존가치를 적용함에 있어, 본 시설은 부지사용료를 따로 지출하기 때문에 잔존가치를 음의 비용으로 처리하지 않았다. 20년의 운영기간 동안 운영비에는 인건비, 관리비, 유지관리비, 대수선비, 소화가스사용료 등이 포함되며, 매년 약 4,701백만원이 발생한다. 서남물재생센터는 하수슬러지를 처리하면서 발생하는 소화가스 중 약 52,000m³를 매일 열병합발전 시설에 가스사용료를 받고 제공한다. 그러나 실제로 얼마를 제공하는지에 대한 자료는 공개되지 않아 본 연구에서는 공급량에 공급단가를 곱하여 소화가스사용료를 산정하였다. 공급단가는 이와 비슷한 시설인 중량물재생센터의 에너지진단 결과보고서(Jungnang sewage treatment center, 2007)에 제시되어있는 177원/m³을 적용하되, 2015년 기준으로 시점을 맞춰 계산하였고, 결과적으로 196.51원/m³을 적용하였다. 따라서 20년간 총 운영비용은 매년 94,023백만원이 발생된다.

끝으로 경제성 분석 결과 순현재가치는 70,384백만원으로 0을 상회하며, 편익/비용 비율은 1.86으로 1.0을 초과하며, 내부수익률은 34%로 기획재정부와 한국개발연구원이 공식적으로 적용하는 사회적 할인율인 5.5%보다 크므로 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

6. 결론

정부는 폐자원 에너지화 정책과 관련하여, 향후 지속적으로 증가될 것으로 보이는 하수슬러지의 양을 감량화하고, 처리과정 중 발생하는 바이오가스를 활용하여 수익을 창출할 수 있는 시설을 확대하고자 하고 있다. 따라서 이와 관련하여 많은 재원을 투입하고 있는 실정이다. 그동안 하수슬러지는 해양에 투기(발생량 30~40%)해 왔으나, 런던협약에 따라 2012년부터, 해양투기가 금지되어 이를 처리하는 비용이 상승하였다. 현재 하수슬러지는 매년 5.9%씩 지속적으로 발생량이 증가하는 추세에 있다. 따라서 이를 처리하는 처리비용 또한 상승할 것으로 예상된다. 하수슬러지의 처리 비용은 2006년도 약 877억원에서 2011년도 약 1,645억원으로 급증하였는데, 이는 육상 공공처리 시설의 하수처리 비용이 톤당 10만원 수준으로, 기존 해양투기에 따른 처리비용의 약 2배 수준이기 때문이다.

이러한 문제를 해결하고자 정부는 2025년까지 하수슬러지 바이오가스화 사업을 추진 중에 있으며, 생산된 바이오가스를 열병합발전 시설 및 도시가스 대체연료로 사용하므로 수익을 창출하고자 한다. 향후 정부의 정책에 따라 하수처리 시설에서 생산된 바이오가스를 활용하는 열병합발전 시설은 확대될 것으로 예상된다. 따라서 관련 시설에 대한 경제성 분석이 중요한 정책의 기초자료로 활용될 수 있다. 이에 본 연구에서는 2014년 건립을 마치고, 2015년부터 운영을 하고 있는 서남 바이오가스 열병합발전 시설을 대상으로 경제성 분석을 수행하여, 한 사례로 그 결과를 제시해보고자 했다.

이를 위해 전력의 구매처인 한국전력공사의 총비용에서 전력구매 비용이 차지하는 비중을 소매기준 전력공급 편익에 곱하여 도매기준 전력공급 편익을 도출하였다. 그리고 주택용, 일반용, 산업용 등 용도별 전력공급 편익을 산정하였다. 이는 전력을 공급받는 자에 따라서 전력의 생산비용이 다르고 이에 따른 편익도 다르기 때문이다. 최종수용가 입장에서 발생한 도매기준 전력공급 편익의 비중은 90.71%였으며, 주택용, 일반용, 산업용의 각각의 도매기준 전력공급 편익은 각각 281.41(원/kWh), 343.34(원/kWh), 210.61(원/kWh)으로 계산되었고, 가중평균 한 값은 251.69(원/kWh)으로 산정되었다. 이 값은 본 시설이 서울시에 위치한 시설이므로, 전체 전력 판매량에서 서울시의 비중을 곱하여 산정한 값이다. 그리고 이 시설에서 생산된 전력이 어떤 용도로 사용되는지 알 수 없기 때문에 가중

평균 한 값을 통해 연간 전력공급 편익을 산정하였다. 본 연구의 대상 시설은 연간 38,000,000kWh의 전력을 생산하고 있다. 정부의 신재생에너지를 활용 생산된 전력의 우선구매 정책에 따라, 생산되는 전력이 전량 구매된다고 가정하였고, 결과적으로 이 시설에 대한 연간 편익은 120.5억원이다.

다음으로 사업비와 20년간 운영비용을 합하여 비용을 산정한 결과 1,519.63억원으로 산정되었으며, 이와 같은 자료를 활용하여 서남 바이오가스 열병합발전 시설의 경제성을 분석하였다. 그 결과 순현재가치는 703.84억원으로 0을 상회하며, 편익/비용 비율은 1.86으로 1.0을 초과하며, 내부수익률은 34%로 기획재정부와 한국개발연구원이 공식적으로 적용하는 사회적 할인율 5.5%보다 크므로 경제성이 있는 것으로 분석되었다.

본 연구는 향후 정부 정책에 따라 이와 같은 시설이 확대될 것을 예상되어, 바이오가스 열병합발전 시설을 선정하여 경제성 분석을 실시하였다. 연구의 결과는 바이오가스 열병합발전 시설의 사업성이 있고 없고를 판단하는데 의미를 두기보다, 경제학적인 방법으로 분석 과정을 제시하여 관련 시설들의 경제성 분석 시 참고 자료로 활용될 것으로 기대한다.

사 사

이 논문은 2016년도 SL공사의 환경에너지대학원 인재양성 프로그램에서 지원받아 수행된 연구입니다.

References

- Alexander, D.I., Kern, W., and Neil, J., 2000, Valuing the consumption benefits from professional sports franchises, *Journal of Urban Economics*, Vol. 48, pp. 321-337.
- Cho, I. H., Ko, I. B., and Kim, J. T., 2014a, Technology trend on the increase of biogas production and sludge reduction in wastewater treatment plants: sludge pre-treatment techniques, *Korean Chemical Engineering Research*, Vol. 52, No. 4, pp. 413-424.
- Cho, S. S., K, H., and Lim, B. S., 2014b, Anaerobic digestion biochemical sludge produced from municipal sewage treatment process, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 36, No. 8, pp. 561-569.
- Gyeonggi Research Institute, 2011, Improvement of digestion tank efficiency and feasibility study on biomass gas use
- Ilic, D. D., and Trygg, L., 2014, Economic and environmental benefits of converting industrial processes to district heating. *Energy Conversion and Management*, Vol. 87, 305-317.
- Jungnang Sewage Treatment Center, 2007, Report for energy diagnosis of the Jungnang sewage treatment center.
- Jeong, S. Y., Yeon, H. S., Lee, C. Y., Lee, J. I., and Chang, S. W., 2015, A study on characteristics of solubilization and biogas production for sewage sludge using thermal pretreatment, *Journal of Korean Institute of Resources Recycling*, Vol. 24, No. 2, pp. 46-54.
- Kim, J. M., and Kim, K. Y., 2008, A study on economic analysis of new renewable energy power(photovoltaic, wind power, small hydro, biogas), *Journal of the Korean Solar Energy Society*, Vol. 28, No. 6, pp. 70-77.
- Korea Energy Economics Institute, 2009, Price elasticity and rate adjustment plan of electricity demand.
- Kim, S. S., 2010, Applications and technical standards for biogas, *Journal of The Organic Resource Recycling Association*, Vol. 18, No. 3, pp. 38-49.
- Kwon, O. S., Kang, H. J., Kim, Y. G., 2014, Electricity demand and the impact of pricing reform: and analysis with household expenditure data, *Environmental and Resource Economics Review*, Vol. 23, No. 3, pp. 409-434.
- Kim, K. D., and Lim, L. T., 2014, The state of art on biogas for vehicle technologies, *Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol. 36, No. 4, pp. 36-40.
- Kim, C. M., 2015, A basic study on greenhouse gas emission reductions by the use of bio-gas, *Journal of Korean Institute of Architectural Sustainable Environment and Building Systems*, Vol. 9, No. 1, pp. 18-24.

14. Korea District Heating Corporation, 2015, The study for benefit calculation of integrated-energy business.
15. Kim, S. K., Kim, L. H., and Yoo, S. H., 2015, Economic feasibility analysis of the metropolitan area green heat project, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 24, No.1, pp. 32-41.
16. Korea Electric Power Corporation, 2016, Statistics of electric power in Korea.
17. Kim, H. Y., Park, S. Y., and Yoo, S. H., 2016, Public acceptability of introducing a biogas mandate in Korea: a contingent valuation study, *Sustainability*, Vol. 8, p. 1087.
18. Lee, J. S., and Heo, E. Y., 1998, The long-term and short-term elasticity of electricity demand in Korea, *Geosystem Engineering*, Vol. 35, pp. 149-156.
19. Lee, J. H., Lee, T. J., and Bae, T. Y., 2010, A case study of energy resource policy, *Korean Policy Sciences review*, Vol. 14, No. 2, pp. 111-130.
20. Lee, B. S., Nam, S. C., and NamKoong, W., 2011, An evaluation of biogas Production efficiencies from mechanically pretreated food waste and primary sewage sludge mixture by food waste mixing ratio through single stage anaerobic co-biogasification, *Journal of Korea Society of Waste Management*, Vol. 28, No. 6, pp. 648-660.
21. Lee J. S. and Yoo S. H. 2013. The economic value of residential natural gas consumption: the case of Korea, *Energy Sources Part B: Economics, Policy, and Planning*, Vol. 8, No. 4, pp. 313-319.
22. Lim K. M., Lim S. Y., and Yoo S. H., 2014, Short- and long-run elasticities of electricity demand in the commercial sector in Korea, *Energy Policy*, Vol. 67, pp. 517-521.
23. Lim, S. Y., Park, J. H., and Yoo, s. H., 2015, Assessment of the economic benefits from electricity consumption, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 24, No.2, pp. 9-16
24. Ministry of Environment, 2012, The sewage sludge volume reduction and biogas application plan 2030.
25. Na, I. G., and Son, Y. H., 1999, A self selection bias model for the analysis of demand for air conditioner and its utilization, *Korea Review of Applied Economics*, Vol. 1, No. 1, pp. 101-120.
26. Park, J. Y., Kim, I. M., Kim, C. S., and Lee, S. R., 2011, A novel forecasting procedure based on gap and catch-up: case of the long-run forecast of electricity demand in Korea, *The Korean Economic Review*, Vol. 53, No. 3, pp. 113-147.
27. Seoul Metropolitan Government, Press releases (23-APR-2015), <http://safe.seoul.go.kr/>.
28. Sudokwon Landfill Site Management Corporation, www.slc.or.kr/.
29. The Korea Development Institute, 2008, A study on general guidelines for pre-feasibility study (5th).
30. The Korea Development Institute, 2009, The pre-feasibility study for construction business of wind cluster at Saemangeum.
31. The Korea Development Institute, 2010, The pre-feasibility study for technology development business of IGCC verification plant the type of Korean 300MW.
32. The Korea Development Institute, 2011, The pre-feasibility study for heat transaction business of between Korea Midland Power Co., Ltd. and GS Power.
33. The Korea Development Institute, 2015, The pre-feasibility study for integrated-energy business of area for Mulgeum-residential-development in Yangsan.
34. Woo, M. H., Han, G. B., 2010, A study on the sludge reduction and biogas production through a two-phase anaerobic digestion process, *Journal of Korean Society of Environmental Engineers*, Vol. 32, No. 9, pp. 894-899.
35. Yoo S. H., Lee J. S., and Kwak S. J., 2007, Estimation of residential electricity demand function in Seoul by correction for sample selection bias, *Energy Policy*, Vol. 35, No. 11, pp. 5702-5707.
36. Yoo, S.-H., and Lee S.-R (2012). The economic value of residential electricity consumption in Seoul, *Journal of Energy Engineering*, Vol. 21, No. 1, pp. 81-85.