

유기성폐자원에너지 인센티브제도 도입방안 연구(III): 바이오가스화 인센티브제도(안) 마련

문희성^a, 권준화^a, 이원석^b, 이동진^{c†}

A study on the introduction of organic waste-to-energy incentive system(III): Preparation of an incentive system for biogasification (proposal)

Hee-Sung Moon^a, Jun-Hwa Kwon^a, Won-Seok Lee^b, Dong-Jin Lee^{c†}

(Received: Nov. 24, 2021 / Revised: Dec. 14, 2021 / Accepted: Dec. 16, 2021)

ABSTRACT: This study was conducted to prepare an incentive system (proposal) for the activation of waste-to-energy. Weights for each type of energy use were prepared by conducting prior research and economic analysis. In addition, the waste-to-energy incentive (proposal) was calculated in consideration of energy efficiency for each type of energy use. As a result of economic analysis of 11 biogasification facilities, the B/C value was found to be very diverse, ranging from 0.16 to 1.69. In terms of benefits, imports of waste treatment import fees were very high at 68.4 to 99.3% of the total, and four facilities with a surplus (+) or higher in the management balance. In order to convert energy consumption into units of sales volume, 0.58 Nm³/KW for power generation, 0.17 Nm³/kg for steam, and 1.00 Nm³/Nm³ for external supply were calculated using the 'scale factor'. The 'weight factor' was calculated as 0.249 for power generation, 0.656 for steam, and 0.806 for external supply, respectively, by use type.

Keywords: Anaerobic digestion, Biogas, Food wastes, Waste-to-energy, Incentive system

초 록: 본 연구는 폐자원에너지 활성화를 위한 폐자원에너지 인센티브제도(안)을 마련하기 위하여 수행되었다. 선행연구와 경제성 분석을 통해 에너지이용 형태별 가중치를 마련하였고, 폐자원에너지 인센티브(안)은 에너지 이용 형태별로 에너지효율을 감안하여 산정되었다. 바이오가스화 시설 11개소의 경제성 분석 결과, B/C 수치가 0.16 ~ 1.69로 매우 다양하게 나타났다. 편익에서는 폐기물처리 반입료 수입이 전체의 68.4 ~ 99.3 %로 매우 높게 나타났고, 경영수지가 흑자(+)가 되는 '1' 이상인 시설이 4개소로 나타났다. 에너지 이용량을 판매량 Nm³ 단위로 환산하기 위해 '단위환산' 계수로 발전 0.58 Nm³/KW, 스팀 0.17 Nm³/kg, 중질가스 1.00 Nm³/Nm³으로 산정하였고, '가중치'는 이용 형태별 각각 발전 0.249, 스팀 0.656, 중질가스 0.806으로 산정하였다.

주제어: 혐기성소화, 바이오가스, 음식물류폐기물, 폐자원에너지, 인센티브 제도

^a 국립환경과학원 폐자원에너지연구과 전문위원(Researcher, Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research)

^b 국립환경과학원 폐자원에너지연구과 과장(Director, Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research)

^c 국립환경과학원 폐자원에너지연구과 연구관(Senior Researcher, Waste-to-Energy Research Division, National Institute of Environmental Research)

† Corresponding author(e-mail: dongj7@korea.kr)

1. 서론

바이오가스화는 유기성폐기물을 혐기성 소화하여 메탄이 포함된 바이오가스를 생산하는 기술로 풍력, 태양광 등의 에너지원과 더불어 신재생에너지로 각광받고 있다. 국내의 바이오가스화는 시설 설계, 운영 등의 문제점에 대해 보완과정을 거쳐 유기성폐기물 처리 및 바이오가스 생산 안정화 단계에 접어들었다. 그러나 생산된 바이오가스의 이용 측면에서는 아직 미흡하다. 2017년도 기준, 생산된 바이오가스의 약 16.5%가 이용되지 못하고 잉여소각으로 처리된다.¹⁾

유럽의 바이오가스 발전은 65,179 GWh에 이르며, 발전뿐만 아니라 수송용 연료 및 도시가스(Grid)로 이용되는 바이오메탄이 주목받고 있다.²⁾ 유럽은 2037년까지 전체 천연가스 사용량의 약 25%를 바이오메탄으로 대체하는 것을 목표로 하고 있으며, 발전차액지원제도(FiT), 프리미엄 지원제도(FiP)와 같은 지원제도를 통하여 관련 기술의 개발과 시장 확대를 유도하였다.^{3,4)} 반면에 국내의 바이오가스 기술 및 산업에 대한 지원제도는 미흡하다. 산업통상자원부의 신재생에너지 지원제도는 신재생에너지를 활용한 발전 분야만 적용되고 있으며, 국토교통부에서도 여객자동차 액화프로판가스(LPG)에 대한 지원제도에서 바이오가스를 제외하고 있다.^{5,6)} 유기성폐기물의 처리뿐만 아니라 바이오가스 생산 및 이용을 효과적으로 증대하기 위한 지원제도가 필요하다.

국내 바이오가스를 활용하는 방법으로는 스팀(열에너지), 발전, 중질가스(외부공급), 고질화로 구분되며, 각 공정에 따른 장단점이 존재하여 폐자원에너지의 활성화를 위한 인센티브제도가 요구되고 있다.

본 연구에서는 폐자원에너지의 인센티브제도(안)을 마련하기 위하여 국내에 운영 중인 바이오가스화 시설을 대상으로 연구를 수행하였으며, 바이오가스의 이용에 따라 발전 4개소, 스팀 2개소, 중질가스 5개소를 대상시설로 선정하였다. 선행연구로 진행된 물질·에너지수지 분석과 경제성 분석을 진행하여 에너지이용 형태별 가중치를 마련하였다.

2. 연구내용 및 방법

2.1. 국내외 현황 분석

국내·외 바이오가스를 포함한 신재생에너지 지원제도를 조사하였다. 특히, 유럽에서 바이오가스화의 급격한 성장 배경인 경제적 인센티브제도의 효과를 조사하였다.

2.2. 경제성 분석

경제성 분석은 유기성폐기물의 전처리부터 바이오가스 이용까지 전체 시설과 생산된 바이오가스의 이용 부분을 대상으로 수행되었다. 현장조사를 통해 수집된 시설 운영 자료를 활용하였다. 시설의 경제성 분석의 기준은 Table 1과 같이 설정하였다. 인력비는 조사 기관마다 상이하야 시설 유지관리 인원 1인의 인건비를 30,000 천원/년 기준으로 산정하였으며, 감가상각비는 시설비의 잔존가액을 10%로 설정하고, 내구연한 15년 기준, 정액법으로 산출하였다. 기타 비용 및 수익항목은 조사 수치를 반영하여 경제성 분석하였다.

대상 사업의 경제성 분석은 Table 2와 같이 여러 대안에 예상되는 비용과 편익을 각각 추정하고 이를 비교·평가하여 사업의 가치를 평가하는 방법으로 편익비용 분석을 통해 B/C 비율 (B/C ratio)을 분석하였다.

Table 1. Outline of Economic Analysis Calculation

경제성 분석 조사 항목			
		인력비*	
	고정비	관리비**	
		감가상각비***	
비용		유지보수비	
		협잡물처리비	
		전기비	
	변동비**		재위탁처리비
			폐수처리비
	연료비		
	용수비		
		측정 및 검사수수료	
		약품비	
		기타 비용	
		에너지 판매수익	
편익		폐기물처리 반입료 수입	
		기타수익	

* 1인 30,000 천원/년, ** 조사 수치 활용, *** 내구연한 15년 정액법으로 산출(잔존가액 10%기준)

Table 2. Economic Analysis Method

분석기법	판단	비고
편익/비용분석 (B/C Ratio)	B/C ≥ 1	이해 및 적용이 쉬움 결과나 규모가 유사 대안을 평가 할 때 이용 1.0 이상에서 사업성이 있는 것으로 판단

3. 결과 및 고찰

3.1. 국내외 현황 분석 결과

3.1.1. 국내 바이오가스 지원현황

국내 유기성폐기물을 활용한 바이오가스에 지원 방안으로는 신재생에너지 공급의무화 정책이 있다. 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급촉진법」에 따라 에너지원 간의 기술 경제성 격차를 평준화하고 정부 정책의 방향을 추구하기 위하여 가중치를 산정하여 적용한다. 신재생에너지 공급인증서(REC, Renewable Energy Certificate)의 가중치 산정은 환경, 기술개발 및 산업 활성화 영향과 발전원가, 잠재량, 온실가스 저감 등을 고려하고, 신재생에너지 기술 경제성, 발전원가 등을 활용한 정량지표와 환경 친화성, 보급 잠재량, 산업육성 효과 등을 복합적으로 고려한 정성지표를 이용하여 정책적으로 결정되고 있다.⁷⁾

2018년 기준으로, 신재생에너지 공급인증서의 가중치는 바이오가스 1.0, 태양광 0.7~5.0, 폐기물에너지 0.25 등으로 선정되어 있다. 하지만 신재생에너지 공급인증서는 발전에만 적용되며, 가스 등 기타에너지

로서 사용에는 적용되지 않는다.⁵⁾

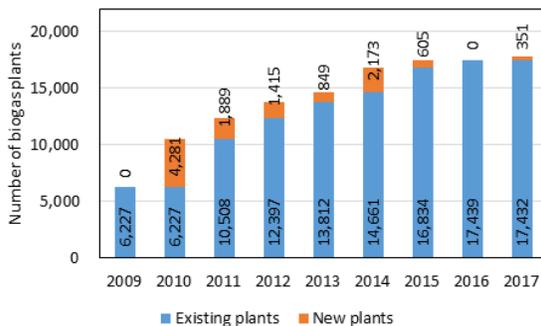
또한 산업통상자원부에서는 수송용 연료의 공급 대상자(의무대상자)에게 자신이 공급하는 연료의 일 정부분을 재생연료로 공급하도록 의무화하는 재생연료 의무혼합제도(RFS, Renewable Fuel Standard)를 도입할 예정이다.⁸⁾ 수송분야에 사용되는 화석연료(경유, 휘발유, 천연가스 등)를 바이오연료로 대체하는 것을 목표로 2015년 연도별 혼합 의무비율을 시행하고 점진적 확대하여, 2020년까지 바이오디젤의 의무 혼합 비율을 3 %로 규정하였다. 그러나 2017년부터 도입을 예상한 바이오가스는 아직 시행되지 않고 있다.

3.1.2. 국외 바이오가스 생산 및 지원현황

바이오가스화는 유기성폐기물의 처리와 신재생에너지 연료생산의 목적으로 활용되며, 특히 유럽에서는 폐기물과 에너지작물을 이용해 생산된 바이오가스의 연료 사용과 발전이 활성화 되어 있다.

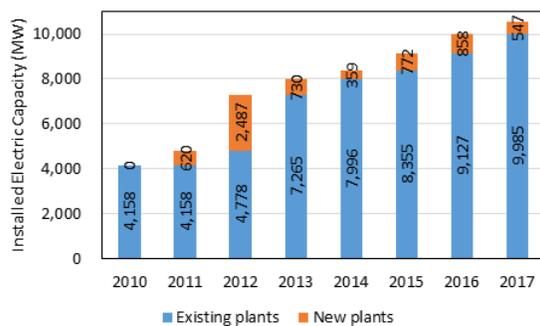
Fig. 1과 같이 유럽의 바이오가스 시설은 지속적으로 증가하는 추세이지만, 2015년부터 증가율이 둔화하는 것으로 나타났다. 2017년 기준 17,432개소에 351개소가 추가되어 2 % 증가율을 보이며, 총 17,783개소로 조사되었다. 다만, 바이오가스를 활용한 발전량의 경우 매년 증가하는 추세로, 시설의 발전 용량 증가를 확인할 수 있었다. 2017년 유럽에서 바이오가스를 이용하여 생산된 전기는 총 65,179 GWh에 이른다.²⁾

유럽의 경우 다양한 신재생에너지 지원제도를 가지고 있으며, 발전차액지원제도(FiT, Feed in Tariff), 프리미엄 지원제도(FiP, Feed in Premiums), 녹색인증



[Evolution of the number of biogas plants in Europe]

Source: Statistical report 2017



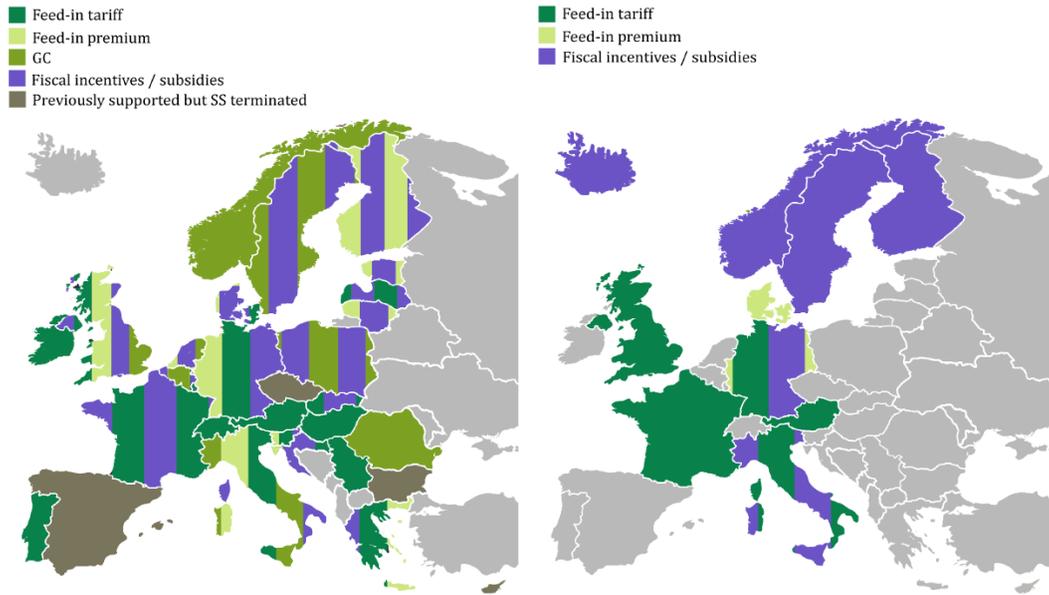
[Growth in installed electric capacity in Europe]

Fig. 1. Biogas and electricity production in Europe.

제도(GC, Green Certificates)등이 존재하고 있다. 이러한 지원제도는 생산 에너지(전기, 열, 수송연료 등)에 따라 다르게 적용되거나 중복 적용되어 기술발전과 산업 확대를 기대할 수 있다. Table 3, Fig. 2와 같이 나라별로 지원하는 정책이 다양하며, 중복되어 진행되는 것을 확인하였다.^{2,9)}

경제적 지원 정책에 따른 바이오가스 산업의 발전

은 유럽을 통해 확인 할 수 있다. 독일의 예를 들면, 2000년 재생에너지원법(EEG, Erneuerbare-Energien-Gesetz)에 의해 FiT(Feed in Tariff) 지원금이 부과됨에 따라 바이오가스를 이용한 전력생산량이 증가하는 것을 확인할 수 있다. Fig. 3와 같이 2000년 재생에너지원법(EEG)에 의해 FiT 지원금이 부과됨에 따라 바이오가스를 활용한 전력생산량이 증가하기 시작하였으며,



Source: Statistical report 2017

Fig. 2. Geographical distribution of the support schemes in force in the EU for biogas(left) and biomethane(right) in 2016.

Table 3. Biogas Support Policy in Europe

생산 에너지	지원제도	덴마크	스웨덴	독일	네덜란드	오스트리아	영국	벨기에	프랑스	이탈리아	스페인
전기	발전차액지원 (FIT)			○		○	○	○	○	○	○
	프리미엄	○			○						○
	할당의무(RPS)		○				○	○		○	
	투자보조금							○			
	세금 면제		○		○		○	○			○
열	재정 인센티브			○	○						
	투자보조금		○	○	○	○	○	○	○		
	세금 면제	○	○		○	○	○	○	○		
수송 연료	재정 인센티브			○					○		
	할당의무(RPS)	○		○	○	○	○		○		○
	세금 면제	○	○	○		○	○	○	○	○	○

Source: 박상우 (2014)



Source: Statistical report 2017

Fig. 3. Evolution of FiT and electricity production from biogas in Germany.

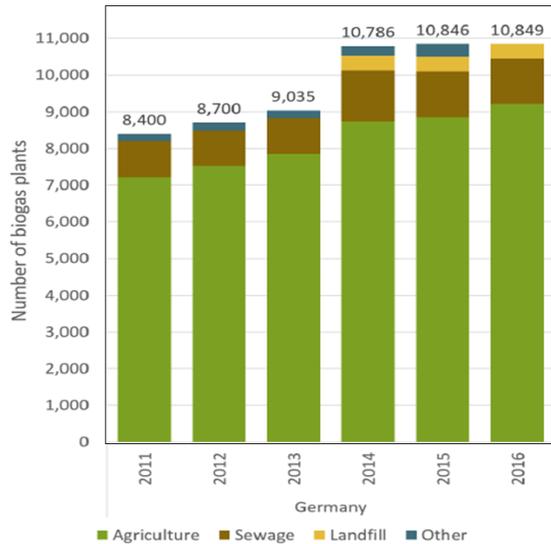
2004년 재생에너지지원법(EEG)개편에 따른 FiT 최대 지원금이 재설정 되어 점차적 증가함에 따라 바이오 가스를 활용한 전력생산량이 증가하였다.³⁾ 2014년 소 규모 바이오가스 육성 지원이 종료됨에 따라 2012년부터 FiT 지원금이 하향 조정되고, 이에 따라 발전량의 증가도 점차 감소하게 되었다. 2014년 이후 Fig.4 와 같이 신규 바이오가스시설의 증가수가 대폭 감소하였다.¹⁰⁾ 독일의 바이오가스화 시설에 투입되는 유기성폐기물은 에너지작물의 비중이 가장 높으며, 하수슬러지의 처리 목적으로도 운영하고 있다.

3.2. 경제성 분석 결과

3.2.1. 시설 전체 경제성 분석

시설 전체에 대한 경제성 분석의 결과는 Table 4 와 같다. 발전 시설 전체에 대한 경제성 분석 결과, 경영수지는 편익에서 비용을 제한값으로 대부분은 (-)값으로 나타났다.

B/C 분석 결과는 반입료 및 기타수익을 포함하는 경우 평균 0.831으로 나타났다. CJ 시설의 경우 반입료와 기타수익을 포함할 때 경영수지가 흑자로 나타나는 것을 확인할 수 있었다. 스팀 시설 전체에 대한 경제성 분석 결과, 경영수지도 (-)값을 나타내었다. B/C 분석 결과는 반입료 및 기타수익을 포함



Source: Statistical report 2017

Fig. 4. Number of biogas plants in Germany.

하는 경우 평균 0.589로 나타났다.

스팀 시설과 발전시설은 폐기물처리 반입료 수입이 수익에 대부분을 차지하고 있음을 확인할 수 있었다. 중질가스 시설 전체 부분에 대한 경제성 분석 결과 반입료 및 기타수익 포함에서 평균 1.03의 B/C ratio를 나타내었다.

Table 4. Economic Analysis Results about the Whole Facilities

Criteria	Electricity				Steam				Biogas(External supply)			
	DM	NS	CJ	JU	OS	GJ	GY	DJ	YY	IC	BN	
Utilization												
시설 감가상각비	3,715,860	172,389	219,047	3,171,486	1,383,000	4,147,920	138,600	3,156,000	1,260,000	2,657,400	56,652	
인건비	690,000	810,000	420,000	810,000	510,000	780,000	300,000	690,000	600,000	660,000	210,000	
관리비	317,339	99,296	118,931	313,384	56,986	88,384	567,549	500,198	84,144	22,230	-	
소계	4,723,199	1,081,685	757,978	4,294,870	1,949,986	5,016,304	1,006,149	4,346,198	1,944,144	3,339,630	266,652	
유지보수비	166,361	325,748	425,844	771,039	290,182	133,408	1,509,450	306,332	290,182	1,730,224	183,693	
전기비	520,756	257,733	28,755	992,633	453,512	236,367	1,494,594	990,720	453,512	436,612	208,905	
연료비	62,484	90,701	-	14,860	-	442,219	264,998	60,790	-	1,861	-	
용수비	82,044	-	19,845	397,262	44,702	72,899	139,869	64,887	44,702	53,534	29,349	
약품비	525,479	40,007	463,980	585,992	512,397	50,129	1,144,200	688,779	512,397	579,820	21,381	
협잡물처리비	571,167	52,731	0	13,267	813,250	7,005	453,799	120,505	479,843	-	-	
재위탁처리비	372,885	-	296,531	1,062,631	678,554	-	706,811	-	611,626	-	-	
폐수처리비	-	-	-	-	150,000	-	582,825	209,578	-	-	-	
측정 및 검사수수료	142,444	27,466	17,030	11,927	15,103	23,344	12,708	30,196	69,091	28,491	5,997	
기타 비용	2,249,554	30,231	48,502	-	997,035	51,878	329,076	352,436	72,932	-	-	
소계	4,693,174	824,617	1,300,487	3,849,611	3,954,735	1,017,249	6,638,330	2,824,223	2,534,285	2,830,542	449,325	
에너지 판매수익	12,528	351,076	124,514	1,070,000	353,086	427,896	234,437	1,710,975	1,994,070	3,300,000	88,276	
폐기물처리 반입료 수입	3,426,837	1,240,000	2,365,697	5,660,259	2,333,177	3,877,135	990,825	3,741,553	4,620,416	7,154,782	664,709	
기타수익	-	-	179,475	-	49,578	-	-	-	-	-	5,580	
소계	3,439,365	1,591,076	2,669,686	6,730,259	2,735,841	4,305,031	1,225,262	5,452,528	6,614,486	10,454,782	758,565	
반입료 및 기타수익 포함	-5,977,008	-315,226	611,221	-1,414,222	-3,168,880	-1,728,522	-6,419,217	-1,717,893	2,136,057	4,284,610	42,588	
B/C ratio	0.365	0.835	1.297	0.826	0.463	0.714	0.16	0.76	1.477	1.694	1.059	
반입료 및 기타수익 미포함	-9,403,845	-1,555,226	-1,933,951	-7,074,481	-5,551,635	-5,605,657	-7,410,042	-5,459,446	-2,484,359	-2,870,172	-627,700	
B/C ratio	0.001	0.184	0.06	0.131	0.06	0.071	0.031	0.239	0.445	0.535	0.123	

바이오가스화 시설의 B/C분석에서 폐기물 반입료가 수입에서 차지하는 비중이 매우 크게 나타남에도 불구하고 스팀과 발전 시설에 대한 B/C분석이 1을 넘지 못하였다. 이것은 사료화 또는 퇴비화 시설과 같은 민간 처리시설보다 공공 처리시설인 바이오가스화 시설의 폐기물 반입료가 매우 낮게 책정되어 있기 때문이다. 반입료 및 기타수익을 포함하지 않을 때의 B/C 분석 결과는 발전 0.094, 스팀 0.066으로 나타났다으며, 중질가스는 0.275로 비교적 높은 값을 나타내었다.

3.2.2. 바이오가스 이용 부분 경제성 분석

바이오가스를 발전, 스팀, 중질가스로 이용하는 부분에 대한 경제성 분석을 수행하였다. 이용시설에 대한 경제성 분석으로 비용 부분에서 협잡물처리비, 재위탁처리비, 폐수처리비 등을 제외하여 비용을 산출하였고, 폐기물 반입료 및 기타수익을 제외한 에너지 판매수익을 편익으로 산출하여 Table 5와 같이 나타냈다.

발전 시설의 이용부분 경제성 분석 결과, NS시설의 경우 경영수지가 (+)로 나타났으나, 일부 시설에

서 전기, 용수 등의 비용을 별도 추정 또는 추측이 어려워서 추가하지 못하였다. 발전 시설의 평균 B/C ratio는 0.379이다.

바이오가스화를 이용한 스팀 시설의 경제성 분석 결과로 평균 B/C ratio는 0.304이다.

중질가스 시설의 이용 부분 경제성분석 결과, 평균 B/C ratio는 3.657에 이른다. GY 시설은 기타비용이 다른 시설에 비하여 높게 조사되어 경영수지가 (-)로 산정되었다.

이를 감안하였을 때, 발전과 스팀은 시설 대부분이 경영수지에서 적자를 보이고 있음을 알 수 있으며 중질가스 시설의 경우 에너지 판매로 수익을 창출하고 있음을 확인할 수 있다.

유기성폐기물 처리를 기준으로 경영수지를 산정한 결과는 Table 6에 나타내었다. 일부 시설을 제외하고, 유기성폐기물의 처리만으로 바이오가스화 시설 운영의 사업성이 있음을 확인할 수 있다.

Table 5. Economic Analysis Results about the Usage Facilities

(Unit: 1,000 Won)

Criteria	DM	NS	CJ	JJ	OS	GJ	GY	DJ	YY	IC	BN	
Utilization	Electricity				Steam		Biogas(External supply)					
고정비	시설 감가상각비	464,483	21,549	27,381	396,436	152,130	456,271	11,088	252,480	100,800	212,592	4,532
	인건비	60,000	30,000	90,000	90,000	60,000	60,000	120,000	60,000	90,000	60,000	30,000
	관리비	24,203	3,678	25,485	34,820	6,704	6,799	26,747	5,000	12,622	777	-
	소계	548,686	55,226	142,866	521,256	218,834	523,070	157,835	317,480	203,422	273,369	34,532
비용	유지보수비	78,757	47,700	425,844	1,540,529	290,182	1,480	8,525	20,000	67,000	12,969	4,493
	전기비	13,874	-	28,754	977,500	453,512	488,390	34,255	176,872	57,413	131,568	6,017
	연료비	93	-	-	14,860	-	-	-	-	-	-	-
	용수비	10,706	-	11,020	397,262	44,702	-	782	42,000	-	7,358	-
변동비	약품비	61,538	90,000	463,979	585,992	512,397	4,471	-	1,600	20,328	8,655	19,034
	측정 및 검사수수료	8,712	-	17,030	11,927	69,091	990	20,651	1,500	332	-	-
	기타 비용	127,313	100,000	277,932	1,062,631	299,501	-	156,250	1,000	-	-	4,723
	소계	300,993	237,700	1,224,559	4,590,701	1,669,385	495,331	220,463	242,972	145,073	160,550	34,267
편익	에너지 판매수익	12,528	351,076	124,514	1,070,000	353,086	427,896	234,437	1,710,975	1,994,070	3,300,000	88,276
	소계	12,528	351,076	124,514	1,070,000	353,086	427,896	234,437	1,710,975	1,994,070	3,300,000	88,276
반입료 및 기타수익 미포함	경영수지	-837,151	58,150	-1,242,911	-4,041,957	-1,535,133	-590,505	-143,861	1,150,523	1,645,575	2,866,081	19,477
	B/C ratio	0.015	1.199	0.091	0.209	0.187	0.42	0.62	3.053	5.722	7.605	1.283

Table 6. Calculation of Management Balance per Waste Disposal

Facility	Amount of Inflow waste (ton/day)	반입료 및 기타수익 포함 (1,000 Won)	
		경영수지	폐기물당 경영수지
DM	92.8	-1,316,293	-41,864
NS	62	675,758	10,891
CJ	86.5	1,369,199	15,820
JJ	260.1	2,865,788	11,016
OS	86.8	-1,218,894	-14,039
GJ	241.3	2,845,563	11,792
GY	159.1	-5,678,066	-35,693
DJ	261.7	2,567,515	9,810
YY	284.8	4,080,201	14,328
IC	261.8	7,622,379	29,120
BN	18.2	309,240	17,033

4. 폐자원에너지 인센티브(안)

본 연구에서는 유기성폐기물 처리 효율, 바이오가스 생산 효율, 바이오가스의 이용량 증가를 위해 바이오가스화의 기술개발과 산업의 성장을 유인하기 위한 폐자원에너지 인센티브(안)을 제시하고자 한다.

4.1. 에너지 이용량 산정

에너지 이용량은 바이오가스화 시설에서 생산된 에너지 형태별 판매량(전기: kW, 스팀 kg, 중질가스: Nm³)을 단위환산 계수를 곱해 나타낸 값이다. 생산된 에너지의 종류에 따라, 사용된 바이오가스 이용량을 인센티브(안)에 적용하기 위해 Eq.1 같이 단위환산 계수를 정의하였다.

$$\begin{aligned} & \text{단위환산 계수 (Nm}^3\text{/kW, Nm}^3\text{/kg, Nm}^3\text{/Nm}^3\text{)} \\ & = \frac{\text{투입 바이오가스량 (Nm}^3\text{)}}{\text{생산에너지 (kW or kg or Nm}^3\text{)}} \end{aligned} \tag{Eq. 1}$$

각 시설의 바이오가스 이용량과 생산된 에너지양을 검토하여 산정된 발전, 스팀, 중질가스의 생산에 따른 단위환산 계수를 Table 7에 나타내었다.

바이오가스를 이용한 발전으로 생산된 전기의 단

위환산 계수는 대상시설의 생산 전력 당 바이오가스 이용량 평균인 0.58 Nm³/kW으로 산정되었다. 스팀의 단위환산 계수는 생산된 스팀 당 바이오가스 이용량 평균인 0.17 Nm³/kg으로 산정되었으며, 중질가스는 1.00 Nm³/Nm³으로 산정되었다. 열병합 발전 시설인 CP 시설을 참고로 추가하였으며, CP 시설의 단위환산 계수는 0.45 Nm³/kW 산정되어 일반 발전 시설과는 약간의 차이를 보였다.

검증시설 중에서 JJ 시설의 단위 환산계수는 가스 전처리 설비의 미흡으로 바이오가스 이용량 대비 가스생산량이 적어 대상시설과 많은 차이를 보였다.

4.2. 에너지 이용 형태별 가중치 산정

가중치는 에너지효율에 지급율을 곱한 값으로 에너지효율은 Eq 2.와 같다. 지급율이란, 경제적 인센티브의 총예산을 감안하여 정책 기본방향에 따라 지급되는 비용을 뜻한다. 발전, 스팀, 중질가스 시설의 이용 형태별 에너지효율의 산정 범위는 Fig. 5와 같이 설정되었다.

$$\text{에너지 효율} = \frac{\text{생산에너지 (kcal/year)}}{\text{유입 바이오가스량 (kcal/year)}} \tag{Eq.2}$$

Table 7. Calculation Results of Unit Conversion Constant

Criteria	Facility	Biogas used (Nm ³ /yr)	production of energy			Scale factor [A]/[B]	Unit
			Electricity (kW/yr)	Steam (kg/yr)	External supply (Nm ³ /yr)		
			[A]	[B]	[A]/[B]		
Electricity	DM	811,151	1,412,000	-	-	0.57	Nm ³ /kW
	NS	2,529,918	3,904,121	-	-	0.65	Nm ³ /kW
	CJ	1,932,018	3,656,232	-	-	0.53	Nm ³ /kW
	JJ	3,644,194	2,621,130	-	-	1.39	Nm ³ /kW
Steam	OS	2,796,396	-	16,004,000	-	0.17	Nm ³ /kg
	GJ	3,388,885	-	19,634,958	-	0.17	Nm ³ /kg
External supply	GY	1,304,311	-	-	1,304,311	1.00	Nm ³ /Nm ³
	DJ	9,101,190	-	-	9,101,190	1.00	Nm ³ /Nm ³
	YY	8,982,297	-	-	8,982,297	1.00	Nm ³ /Nm ³
	IC	8,432,886	-	-	8,432,886	1.00	Nm ³ /Nm ³
	BN	283,374	-	-	283,374	1.00	Nm ³ /Nm ³
Combined heat	CP	1,583,664	3,522,825	194,984	-	0.45	Nm ³ /kW



Fig. 5. Energy efficiency boundary by energy usage type.

검증시설을 제외한 대상시설에 대한 에너지효율은 발전 시설 평균 24.9 %, 스팀 시설 평균 65.6 %로 산정되었다. 중질가스 시설의 에너지효율은 가스 전처리 전후의 에너지량을 검토하여 평균 80.6 %로 산정되었다.

Table 8은 각 대상시설의 에너지효율 산정 결과이다. 검증시설에서의 에너지효율은 JJ시설의 제습, BN시설의 탈황처리가 거의 이루어지지 않아서 산정된 에너지효율보다 비교적 낮게 산정되었다. 정상적인 바이오가스 전처리가 이루어지는 GJ시설과 IC시설에 대한 에너지효율 검증에서는 대상시설에 대한 에너지효율과 같거나 비슷하였다.

4.3. 폐자원에너지 인센티브(안)_발전, 스팀, 중질가스 이용 부문

본 연구 결과를 통해 마련한 폐자원에너지 인센티브(안)은 Eq. 3과 같다. 폐자원에너지 인센티브는 에너지 판매량을 바이오가스 이용량으로 환산한 에너지 이용량과 바이오가스 이용 형태별 에너지효율에 따른 가중치의 곱으로 산정된다.

$$\begin{aligned} \text{폐자원에너지 인센티브} &= \text{에너지 이용량} \times \text{가중치} \\ &= \text{에너지 이용량} \times \text{판매량} \times \text{단위환산 계수} \\ &= \text{에너지 이용량} \times \text{에너지효율} \times \text{지급율} \end{aligned}$$

Eq. 3

폐자원에너지 인센티브(안)은 에너지 이용 형태별 산정된 단위환산 계수 및 에너지효율을 적용하여 Table

Table 8. Energy Efficiency of Biogasification Facilities

Facility	Criteria	production of Biogas (gcal/year)	Biogas used (gcal/year)	production of energy (gcal/year)	energy efficiency(%)	
					Electricity, Steam	External supply (%)
					[C]/[B]	[C]/[A]
DM	Electricity	-	4,822	1,214	25.2	-
NS		-	14,996	3,358	22.4	-
CJ		-	11,610	3,144	27.1	-
JJ		-	156	16	10.3	-
OS	Steam	-	16,224	10,639	65.6	-
GJ		-	19,885	12,925	65.0	-
GY	External supply	9,872	-	7,228	-	73.2
DJ		70,608	-	56,916	-	80.6
YY		60,127	-	52,831	-	87.9
IC		63,770	-	50,681	-	79.5
BN		15	-	4	-	30.4
CP		Combined heat	-	9,517	4,352	45.7

Table 9. Proposal of Waste-to-energy Incentive(WEI) System

구분	Energy usage (Nm ³)			Weight factor (Won/Nm ³)		
	Amount of sales		Scale factor		Energy efficiency	Payment
	[A]	[B]	[C]	[D]	[C]	[D]
Electricity	Electricity sales	kW	0.58	Nm ³ /kW	0.249	00 Won/Nm ³
Steam	Steam sales	kg	0.17	Nm ³ /kg	0.656	00 Won/Nm ³
External supply	External supply sales	Nm ³	1.00	Nm ³ /Nm ³	0.806	00 won/Nm ³

9와 같이 설정되었다. 바이오가스 100만 Nm³를 이용하여 발전, 스팀, 중질가스를 생산할 때 지급율을 100 원/Nm³로 가정하면, 발전 약 2,600 만원, 스팀 약 6,500 만원, 중질가스 약 8,000 만원의 인센티브가 지급되는 것으로 산정되었다.

5. 결론

본 연구는 폐자원에너지 생산 및 이용의 효율을 높이기 위한 폐자원에너지 인센티브제도(안)을 마련하기 위하여 수행되었다. 폐자원에너지 인센티브(안)은 에너지 이용 형태별로 에너지효율을 감안하여 산정되었으며, 경제성 분석 대상시설은 발전 4개소, 스팀 2개소, 중질가스 5개소로 총 11개소이며, 혐기

소화를 통해 생산한 바이오가스를 에너지원으로 이용하는 시설을 선정하였다.

1. 경제성 분석 결과, B/C 수치가 0.16 ~ 1.69로 매우 다양하게 나타났다. 편익에서는 폐기물처리 반입료 수입이 전체의 68.4 ~ 99.3 %로 매우 높게 나타났다.
2. 비용은 시설 특성에 따라 연계처리수 처리비, 협잡물 처리비 등을 절감할 수 있는 하수처리장 및 폐기물매립장 등의 입지 시설이 저렴하였다. B/C 분석에서 경영수지가 흑자(+)가 되어 '1' 이상인 시설이 4개소로 나타났다.
3. 폐자원에너지 인센티브(안)는 에너지 이용량에 이용형태별 가중치를 곱하여 산정된다. 에너지 이용량은 에너지 이용 형태별(발전, 스팀, 중질

가스) 판매량을 Nm^3 단위로 환산하기 위한 단위 환산 계수의 곱이다. 산정된 단위환산 계수는 각각 이용 형태별 $0.58 \text{ Nm}^3/\text{KW}$, $0.17 \text{ Nm}^3/\text{kg}$, $1.00 \text{ Nm}^3/\text{Nm}^3$ 이다.

4. 가중치는 에너지효율에 Nm^3 당 지급액의 곱이며, 에너지효율은 이용 형태별 각각 발전 0.249 , 스팀 0.656 , 중질가스 0.806 이다.

본 연구를 통하여, 신재생에너지 지원제도에서 소외되는 폐자원에너지의 지원제도를 검토할 수 있었다. 연구 결과로 도출된 폐자원에너지 인센티브(안)에 따라 바이오가스의 이용에 대한 지원이 이루어질 때, 관련 기술의 개발과 산업의 활성화를 끌어낼 것으로 기대된다.

사 사

본 논문은 2019년도 환경부의 재원으로 국립환경과학원의 지원을 받아 수행된 연구임(NIER-2019-01-01-080)

References

1. Ministry of Environment (MOE), "The current status of biogasification facilities for organic waste resources in 2019". (2020).
2. European Biogas Association, "Statistical report 2018". (2018).
3. European Biogas Association, "Statistical report 2017". (2017).
4. ENTASOG, "Ten-Year Network Development Plan (TYNDP) 2017". (2017).
5. Ministry of Industry and Energy(MOTIE), "Management and operation guidelines for the mandatory supply of new and renewable energy and the mandatory fuel mixing system", Notification 2019-157, (2019).
6. Ministry of Land, Infrastructure and Transport (MOLIT), "Guidelines on subsidy for fuel subsidies for passenger vehicles", Notification 2019-439. (2019).
7. Korea Electrotechnology Research Institute, "A study on the weight of the new and renewable energy supply certificates in 2014". (2014).
8. Korea Environment Institute, "A foreign case study of renewable fuel standard with respect to biogas". (2013).
9. Park, S. W., "Energy recovery of organic waste: Upgrading technology and policy trends", J. of Korea Society of Waste Management, 31(4), pp. 366~374. (2014).
10. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe(FNR), "Bioenergy in Germany facts and figures 2019". (2019).