

발전소 온배수열 활용사업의 경제적 유인제도 연구 : 에너지균등화비용(LCOE) 분석을 중심으로

남태섭 · 이관영 · 김경남[†]

고려대학교 그린스쿨대학원(에너지환경정책기술대학원)

(2016년 1월 18일 접수, 2016년 2월 22일 수정, 2016년 2월 26일 채택)

A Study on the Incentive-based Strategies for Utilization of Thermoelectric Power Plant Hot Waste Water: Focusing on the Analysis of Levelized Cost of Energy(LCOE)

Tae-Sub Nam, Kwan-Young Lee, Kyung Nam Kim[†]

Green School (Graduate School of Energy and Environment), Korea University

(Received 18 January 2016, Revised 22 February 2016, Accepted 69 February 2016)

요 약

본 연구는 최근 정부의 에너지신산업 정책 중 하나인 발전소 온배수열 활용사업의 경제성을 분석하고, 동 사업의 활성화를 위한 정부의 경제적 유인 제도를 재구성하였다. LCOE 산출방법을 이용하여 발전소 온배수열 시스템의 경제성을 분석한 결과 현 수준에서는 기름보일러, 바이오매스, 발전소 보조증기보다 LCOE값이 높지만 지열 시스템과는 유사한 것으로 나타났다. 또한 온배수열 시스템의 LCOE 구성요인의 민감도를 측정한 결과, 열공급 거리에 가장 민감하게 반응하는 것으로 나타났다. 따라서 온배수열 활용사업을 확대시키기 위한 정부의 경제적 유인제도 구성 시 REC 가중치를 열공급 거리별로 차등 적용하는 것이 필요한 것으로 분석되었다.

주요어 : 온배수, 화력발전소, 에너지균등화비용, 경제성분석, 경제적 유인제도

Abstract - This study analyzes the economic efficiency of utilizing hot waste water at a thermoelectric power plant, which is part of recent projects supported by the Korean government to foster new energy industry. The author proposes an institution that provides economic incentives to promote the project. Based on a method of calculating Levelized cost of energy (LCOE), this study finds that the LCOE of using hot waste water at power plants is higher than that of oil boiler, biomass and a power plant's auxiliary steam but similar to that of the geothermal system. Also, according to sensitivity analysis on the LCOE of each element in the system of using hot waste water, a distance of heat supply is most sensitive. Therefore, this study shows that when the government devises an incentive-based institution to expand the project of utilizing hot waste water, it is necessary to establish Renewable Energy Certificate (REC) weights that are differentiated by a distance of heat supply.

Key words : Hot waste water, Thermoelectric power plant, LCOE(Levelized cost of energy), Economic analysis, Incentive-based strategies.

[†]To whom corresponding should be addressed.
Green School (Graduate School of Energy and Environment),
Korea University, 145 Anam-ro, Seongbuk-gu, Seoul
136-713, Korea
Tel : +82-2-3290-5917 E-mail: i005034@korea.ac.kr

1. 서론

발전소 온배수는 발전 과정에서 냉각용으로 사용되는 해수로, 바닷물보다 약 7~9℃ 정도 온도가 높아지는 특성을 갖는다. 발전소 온배수열 활용사업은 버려지던 온배수를 난방열원으로 재활용하는 사업이다.

온배수열 활용사업은 열수요처의 이용 유형에 따라 다양한 활용방안이 고려될 수 있다. 김동규 외(2009)와 농어촌연구원(2015)에 의하면, 수산업분야에서는 양식장활용, 농업에서는 온실과 축사 등에 쓰일 수 있으며, 이밖에 아쿠아리움과 열대식물원 같은 생태관광, 지역 난방, 수영장, 목재건조 등에 다양하게 활용될 수 있다.

국내 온배수 배출량은 563억톤으로 이는 국내 연간 강수량인 1,000억톤의 절반에 달할 만큼 풍부한 잠재량을 가진 에너지원이다. 이를 다양한 분야에 난방 열원으로 재이용 하게 되면 에너지 이용효율을 제고하고, 에너지 수입대체, 온실가스 감축 등의 효과를 기대할 수 있다. 이에 정부에서는 발전소 온배수열 활용사업을 ‘에너지 신산업’ 8대 과제 중 하나로 선정하여, 온배수열의 적극적 활용을 권장하고 있다.

하지만 발전소 온배수열 활용사업은 화력발전소가 대부분 해안가에 위치하여 열수요처와 멀리 떨어져 있다는 입지조건상의 한계를 가지고 있다. 열수요처와의 이격거리가 늘어나면 그 만큼 배관 공사비가 커져 경제성이 떨어지기 때문이다. 또한 온배수에서 열을 회수하기 위해서는 히프펌프를 포함한 각종 설비의 설치공사가 필요로 한데, 이에 따른 대규모의 초기투자비가 발생한다는 문제도 있다.

따라서 발전소 온배수열이 지열, 하수열, 태양열과 더불어 친환경 열에너지원으로써 상용화되기 위해서는, 온배수열 활용사업이 다른 열공급 방식에 비해 경제성을 가질 수 있도록 정부의 경제적 유인제도 설정이 필요하다.

이에 본 논문에서는 발전소 온배수열을 활용한 열공급 방식(온배수열 시스템)과 다른 열공급 방식으로 지열 시스템, 바이오매스CHP, 기름보일러, 발전소 보조증기를 선정하여 경제성을 비교 분석하였다. 이를 위해 비교 우위적 경제성평가방법인 에너지균등화비용(Levelized Cost of Energy, LCOE) 방법을 사용하였다.

또한 동 사업의 활성화를 위한 정부의 경제적 유인제도를 보조금 및 공급자 REC 발급 차원에서 비교 분석하였다. 활용분야에 따라 정부의 초기투자비 보조 비중이 차등적이고, 열공급 거리에 따라 경제성이 달라

진다는 점을 반영하여 적절한 REC(Renewable Energy Certificate: 신재생에너지 공급인증서) 지원수준을 추정하였다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. 제2절에서는 발전소 온배수열 에너지 부존량, 활용분야 및 정부의 경제적 유인제도에 대해 소개한다. 제3절에서는 발전소 온배수열 시스템의 경제성평가 모형을 설정한다. 제4절에서는 설정된 모형에 따라 발전소 온배수열 시스템의 경제성을 분석한다. 제5절에서는 온배수열 시스템이 경제성을 획득할 수 있는 정부의 경제적 유인제도를 활용분야별, 열공급 거리별로 제시하였다. 마지막 절에서 결론을 구성한다.

2. 발전소 온배수열 활용사업 개요 및 현황

2.1 발전소 온배수열 에너지 부존량

화력발전소는 물을 끓인 증기를 이용하여 터빈을 돌려 전기를 생산한다. 터빈을 돌리는데 쓰인 증기는 복수기에서 냉각된 후에 다시 사용된다. 이때 냉각용으로 해수가 사용되는데, 열교환을 마치고 수온이 상승된 상태로 바다로 방출되어서 이를 온배수(溫排水, Hot waste water)라고 한다. 냉각수로 사용되는 해수는 완전히 폐쇄된 관을 따라 흐르기 때문에 어떠한 물질도 첨가되지 아니한 자연 상태의 해수이다.

산업부 발표에 따르면 국내 연간 총 온배수 배출량은 563.54억톤이다. 이 가운데 화력발전소 온배수는 연 286.18억톤이다. 서해안의 대표적 석탄화력발전소인 A 화력발전소의 2013년 집계에 의하면 온배수의 연평균 온도차는 8℃ 정도이다(Fig. 1). 미활용 에너지에 대한 연구가 앞서있는 일본에서는 식 (1)에 의해 온배수열의 에너지 부존량을 산출하고 있다. 본 논문에서는 지

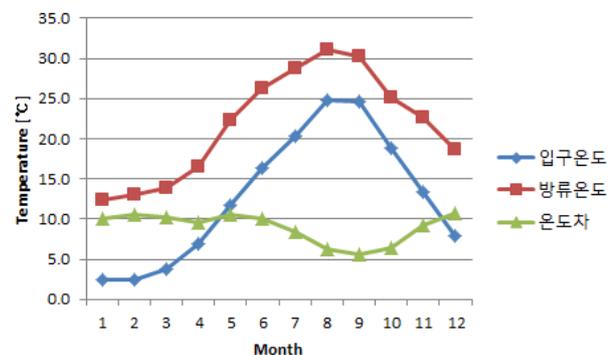


Fig. 1. Monthly average temperature of hot waste water at a thermoelectric power plant

역별, 발전소별로 온배수의 온도가 약간 차이가 있으므로 하절기 온배수 최대 배출허용기준인 7℃를 가정해 적용하였다. 식 (1)에 의해 계산하면 국내 화력발전소 온배수의 에너지 부존량은 200,326Tcal/y이다. 이는 2014년 한국지역난방공사 열 생산량인 12,125Tcal/y의 약 17배에 달하는 양이다. 또한 이를 시설원에 난방열로 활용할 경우 12,068ha를 가온할 수 있다. 우리나라 전체 시설채소 온실면적 51,787ha의 23%를 부담할 수 있는 에너지량이다.

$$E = \Delta t \times C \times W \tag{1}$$

여기서,

E = 부존량(Mcal/y)

Δ = 이용온도차(℃)

C = 비열(Mcal/m³·℃)

W = 연평균 온배수 배출량(t/y).

2.2 발전소 온배수열 활용분야

온배수열은 열수요처의 이용 유형에 따라 다양한 활용방안이 고려될 수 있다. 김동규 외(2009)와 농어촌연구원(2015)에 의하면, 온배수열은 수산업분야에서 양식장, 농업에서 온실과 축사, 지역난방 및 수영장 난방, 목재건조, 아쿠아리움과 열대식물원 같은 생태관광 등에 다양하게 활용될 수 있다.

이인희(2012)에 의하면 미국, 일본, 유럽 등 선진국에서는 정부의 투자 및 지원을 통해 수산업 및 농업 분야에 발전소 온배수를 활용하고 있다. 특히 프랑스에서는 열대식물원, 악어농장, 농업온실, 목재 건조공장 등 다양한 분야에 온배수를 활용한다. 농업분야에서는 주로 토마토, 화훼, 채소 재배에 이용되고 있다. 일본은 수산업분야에서 이용이 활발해, 원전발전소 7개소와 화력발전소 13개소에서 온배수를 기업규모의 양식에 활용하고 있다.

국내의 발전소 온배수는 Table 1.과 같이 농업분야 4개소, 수산업분야 7개소, 산업분야 1개소에서 현재 활용되고 있거나 활용 예정이다. 수산업분야에서는 1983년 영동화력 발전소에서 온배수를 넙치 양식에 활용하면서 가능성을 인정받기 시작했다. 이후 2000년대 들어서면서 동해안의 영동화력, 남해안의 하동화력과 삼천포화력 발전소에서 민간 양식업체와 온배수 공급협약을 체결하여 넙치, 돌돔 등의 양식어업에 활용하고 있다.

농업분야에서는 남제주화력 인근 ‘시설원에 시범단지(행복나눔 영농조합법인)’가 최초의 활용 사례이다. 남제주화력의 온배수를 PE파이프 송수관로를 통해 350m떨어져 있는 온실까지 이송 한 후 히트펌프를 통해 55~60℃로 승온하여 애플망고 및 감귤 등의 열대 과수 재배에 활용하고 있다. 2010년 0.5ha의 온실을 1단계로 준공하였고 2011년 1ha를 증설하여 현재 1.5ha 규모의 온실면적에 히트펌프용량은 290RT이다.

Table 1. Utilization of hot waste water at domestic power plants

활용분야	발전소	이용 유형	비고
농업	남제주화력	애플망고 및 감귤 재배	
	당진화력	고온성작물(파프리카, 토마토) 재배	예정
	하동화력	아열대 작물 및 블루베리 재배	예정
	제주화력	수출화훼전문단지	예정
수산업	영동화력	해삼종묘 및 넙치 양식	민간
	하동화력	넙치, 감성돔 양식	민간
	삼천포화력	돌돔, 점농어, 넙치 등 양식	민간
	영흥화력	어패류 치어방류	
	부산천연가스	빌딩양식	예정
	남제주화력	돌돔 양식	
	보령화력	넙치, 대하, 전복 등 종묘배양	
산업	보령화력	LNG 터미널 기화 열매체	예정

Source) MOTIE(Ministry of Trade, Industry and Energy) press release (2015. 07. 28, 11. 13)

2.3 정부의 발전소 온배수열 활용사업 경제적 유인제도

온배수열 활용사업의 이해관계자 역할과 기대효과는 Table 2.와 같다. 온배수 활용사업의 이해관계자는 크게 열의 이용주체인 지역 농어민을 포함한 지자체, 정책지원을 담당하는 정부부처, 열공급 사업자인 발전회사라 할 수 있다. 이들은 각기 온배수열 활용사업을 통해 서로 다른 기대효과를 얻는다. 정부 부처는 1차 에너지 이용 절감을 통한 온실가스 배출 감축 효과를 기대할 수 있고, 지역 농어민 및 지자체는 에너지 원가 절감을 통한 소득 증대 및 농수산업 경쟁력 향상 등을 기대할 수 있다. 발전회사는 미활용 에너지 개발로 인한 에너지 효율 향상 및 지역사회와의 상생기반 구축이라는 기대효과를 거둘 수 있다.

정부의 온배수열 활용사업 지원제도는 Table 3.와 같이 초기투자비용에 대한 보조와 공급열량에 대한 신재생에너지 공급인증서(REC : Renewable Energy Certificate) 발급으로 구분할 수 있다. 초기투자비는 농업분야에서는 「농업에너지이용효율화사업」에 근거, 지원한도 1,250백만원/ha 내에서 사업비의 80%를 보조(국고

60, 지방비20)한다. 2015년에는 충남 당진시(5ha), 경남 하동군(2ha), 제주 제주시(1.6ha), 전남 곡성군(1.3ha) 등이 선정된 바 있다. 그 외 분야에서는 「지역에너지절약사업」에 근거해 사업비의 50%를 지원하거나, 「에너지이용합리화사업」을 통해 소요자금의 80% 이내를 대출해주고 있다. 이에 근거할 경우 농어업 이외에 난방·온수·농축산용 등 다양한 목적의 시설보조사업으로 온배수열 활용을 확장할 수 있다.

또 다른 정부의 지원제도는 공급한 열량만큼 신재생에너지 공급인증서(REC)를 공급자에게 발급해주는 것이다. 우리나라는 신·재생에너지 공급의무화제도(Renewable Portfolio Standard, RPS)에 따라 500MW이상 발전설비를 보유한 발전사업자에게 자신이 공급하는 전력량 중 일정비율을 신재생에너지로 공급하도록 의무화하고 있다. 발전사업자는 직접 신재생에너지 발전설비를 도입하거나, 전력거래소를 통해 다른 발전사업자로부터 공급인증서(REC)를 구매해 할당의무를 충당해야 한다. REC(Renewable Energy Certificate)란 공급인증서의 발급 및 거래단위로서 공급인증서 발급

Table 2. The roles of stakeholder and expected effects

이해관계자	역할	기대효과
지자체	영농법인 설립지원 인허가, 재배기술 지원 지역민 사업 참여 유도	지역사회 고용 및 경제활성화 고품질 작물재배로 농가 소득증대 어족자원증가 및 어민 소득증대
정부부처	예산 및 정책적지원 (REC, 시설투자비) 사업 확산 기반 구축	1차 에너지 절감 및 온실가스 감축 에너지원가 절감으로 농어업 경쟁력 향상
발전회사	열공급 설비 설계, 건설 안정적 열공급설비 운영 저 원가 열에너지 공급	미활용에너지 개발로 효율향상 지역사회 상생으로 발전소 NIMBY해소

Table 3. Incentive-based strategies of government

구분	주관부서	지원내용	지원기준
농업에너지이용효율화사업	농식품부	시설원예농가 열공급 시설조성 사업비(열이송관로, 열교환기, 히트펌프 등)	사업비의 80% 보조(국고60, 지방비20)
신·재생에너지 공급의무화제도	산업부	발전소 온배수를 농업과 어업용 에너지로 공급하는 경우, 수열에너지로 인정하여 REC 발급	REC 가중치 1.5
에너지이용합리화사업		폐열에너지 회수설비(열교환장치, 히트펌프) 시설자금	소요자금 80%이내 용자
지역에너지절약사업		발전소의 폐열을 다목적(난방·온수·농축산용 등)으로 이용하거나 인근지역에 공급하기 위한 시설보조사업	사업비의 50%(서울시는 30%)

대상 설비에서 공급된 MWh기준의 신재생에너지 전력량에 대해 가중치를 곱하여 부여하는 단위를 말한다. 다만 신재생에너지의 균형발전을 도모할 목적으로 원별로 가중치의 차이를 두고 있다.

발전소 온배수열은 최근 개정된 「신에너지 및 재생에너지 개발·이용·보급 촉진법 시행령」에 따르면 신재생에너지원 중 '수열에너지'에 해당된다. 동 법 제2조2호아목은 수열에너지의 기준을 '물의 표층의 열을 히트펌프(heat pump)를 사용하여 변환시켜 얻어지는 에너지'로, 수열에너지의 범위를 '해수의 표층의 열을 변환시켜 얻어지는 에너지'로 규정함으로써 발전소 온배수열을 신재생에너지원에 포함시키고 있다. 한편 「신·재생에너지 공급의무화제도 관리 및 운영지침」은 발전소 온배수를 농업과 어업용 에너지로 이용하는 경우 REC에 가중치 1.5를 배정하고 있다. 따라서 발전소 온배수열을 공급하는 발전회사는 공급한 열량의 1.5배에 해당하는 REC를 인정받을 수 있다.

온배수열 활용사업과 기술 측면에서 유사한 지열 활용사업에 대해서는 농업에서 활용할 경우 사업비의 80%, 주택·공공·상업(산업)건물에 활용할 경우 50% 등을 정부가 보조하고 있다. 지열을 농업에 활용할 경우 「농업에너지이용효율화사업」에 근거해 사업비의

80%를 보조한다. 농업 이외에서는 「신재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정」에 근거해, 소규모 주택에 대해 10.5kW이하는 kW당 75만원, 10.5kW초과~17.5kW이하는 kW당 58만원, 그 이상 용량의 건물은 1MW이하에 한해 kW당 42만원을 지원한다. 지역난방과의 연계나 타 신재생에너지설비와의 융복합사업 등 대용량 규모 사업은 '주택·공공·상업(산업)건물 등에 신·재생에너지원의 설비를 설치하는 구역 복합사업'으로 분류하여 사업비의 50%를 지원한다.

3. 온배수열 시스템 경제성 평가 모형

3.1 선행연구

에너지기술연구원(2007)은 전국의 미활용에너지 부존량을 조사하고 활용 타당성을 평가하였다. 이 연구는 발전소 온배수를 저온의 도시 배열 미활용에너지로 분류하여 해외이용사례 및 국내 부존량을 조사하였다. 28개 발전소를 대상으로 조사한 결과, 발전소의 온배수열 발생량은 많으나 발전소의 입지여건으로 열수요처가 멀리 떨어져 있어 활용이 어려운 것을 문제점으로 지적하고 있다.

이인희(2012)는 전국에서 가장 많은 화력발전 온배

Table 4. The advanced research on utilization of hot waste water at a thermoelectric power plant

저자	제목	요약
에너지기술연구원 (2007)	미활용에너지 자원조사	발전소 온배수를 저온의 도시배열 미활용에너지로 분류하고 해외이용사례 및 국내 부존량을 조사함. 도시에 위치한 서울화력발전소를 대상으로 선정하여 배열 활용의 타당성을 분석함.
조정희외 (2010)	발전소 온배수를 활용한 저탄소 녹색양식업 발전 방향	발전소 온배수를 양식장에 활용하기 위한 정책 방향을 분석함. 온배수를 직접적으로 활용하기 보다는 히트펌프 시스템을 적용하여 온배수열을 회수하여 이용하는 방안을 대안으로 제시함.
이인희 (2012)	충남 화력발전소 온배수 배출의 실태와 활용방안	충남의 온배수 배출 실태를 밝히고 활용사업을 진행하고 있는 남제주화력(원예농업 시범단지), 영광원자력(아쿠아리움과 양식장), 영동화력(민간양식), 하동화력(섬진강 문화센터, 민간양식), 고리원자력(경주시 바다목장) 등을 소개
허태현 (2012)	발전소 폐열원 열펌프 시스템의 시설원에 적용	남제주화력 인근 시범단지의 온배수열 시설원에 적용 시스템을 소개하고 감귤과 애플망고 재배에 사용된 난방비를 면세경유 대비 절감율을 계산하여 투자비용 회수기간을 분석함
국립농업과학원 (2012)	화력발전소 폐열을 활용한 온실냉난방시스템 개발	제주 시범단지를 실증연구 재료로 발전소 폐열을 열원으로 이용하는 히트펌프 시스템 개발 및 성능시험을 수행 함. 87%의 경유난방 대비 난방에너지 비용 절감효과와 62%의 CO2 배출저감효과를 결과로 제시함.
농어촌연구원 (2015)	화력발전소 폐온수의 농촌지역 종합적 활용방안 모색	발전소 주변 농지현황을 분석하여 사업화 가능성을 평가함. 농촌지역 이용 유형을 온실, 주택, 축사유형으로 분류하여 에너지 시뮬레이션 및 경제성 분석을 시행함.

수를 배출하고 있는 충남지역의 온배수 배출 실태를 비교하고, 활용사업이 진행 중인 5개 지역에 대한 심층 조사를 수행했다. 활용사업 실태 조사 결과, 활성화 전략으로 초기 투자비용 부담에 대한 정부의 적극적 역할이 중요함을 강조하고 있다.

온배수열의 농업활용 사례로는 허태현(2012)의 연구가 있다. 제주 시범단지를 대상으로 한 이 연구에서 감귤과 애플망고 재배에 사용된 난방비의 절감율을 면세경유와 비교해 분석했다. 분석 결과, 온배수열 시설 비용을 ha당 10억원을 투입했을 때 3.19년이면 회수가 가능 한 것으로 분석하고 있다. 또한 국립농업과학원(2012)은 제주 시범단지에 대한 현장실증연구 결과, 온배수열 활용이 경유난방 대비 87%의 에너지 비용 절감효과와 62%의 CO₂ 배출저감효과가 있는 것으로 분석하였다.

농어촌연구원(2015)은 농경지 접근성, 지반특성 등 이용가능 적지분석을 통해 온실단지 조성 가능지역 타당성 조사를 하였다. 27개 발전소를 대상으로 검증한 결과, 당진화력, 하동화력, 제주화력, 삼천포화력, 영동화력 등 5개 발전소에 온실단지 조성이 가능한 것으로 분석하였다. 또한 지열시스템과의 초기투자비 및 운전비 비교를 통해 경제성도 검토했는데, 온실규모 10ha에서는 열 공급거리 7km까지, 2ha에서는 2km까지 온배수 활용이 경제성을 확보할 수 있는 것으로 나타났다. 하지만 경제성 분석시 초기투자비와 20년간 운전비 계산 시 비용의 시간가치를 고려한 기간 할인율을 적용하지 않고 단순 누계만으로 계산해, 미래의 비용이 합리적으로 반영되지 못한 한계를 갖는다.

3.2 경제성평가 모형: 에너지균등화비용(LCOE)

신재생에너지원의 에너지 공급에 대한 경제성을 평가하는 방법은 두 가지 방법으로 구분할 수 있다. 하나는 비교검토 가능한 신재생에너지원별 시스템을 상정하여 생산단가 측면에서 기존 에너지 공급원과 비교하는 비교 우위적 경제성 평가방법이고, 다른 하나는 시스템 자체에 대한 투자비용과 에너지 산출량을 산정하여 이를 비용편익분석(BCA, benefit/cost analysis)하는 방법이다.

본 연구에서는 비교 우위적 경제성평가방법 가운데 하나인 에너지균등화비용(Levelized Cost of Energy, LCOE) 산출방식을 사용하여 다른 열공급설비에서 생산된 열에너지와 생산원가를 상호 비교하는 방식을 취했다.

에너지균등화비용(LCOE)은 에너지 생산설비에서 경제수명기간동안 발생하는 총비용의 순현재가치를 동일하게 할인된 에너지총생산량으로 나눈 값이다. 이는 손익분기를 감안하여 에너지를 판매해야 하는 최저 가격, 즉 생산원가를 의미한다. 이 값은 비용의 시간가치를 고려하여 미래 비용을 현재 가치화해 생산원가에 반영하기 때문에, 시스템이 장기간 운전될 때 미래 비용을 합리적으로 반영한다는 장점이 있다. 에너지균등화비용 산출식은 식 (2)와 같이 표현한다.

$$LCOE = \frac{LCC}{LCQ} = \frac{I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t}} = \frac{I_0 + \sum_{t=0}^n \frac{OM_t + F_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t}} \quad \text{식 (2)}$$

여기서,

LCOE = Levelized Cost of Energy

LCC = Life Cycle Cost

LCQ = Life Cycle Quantity

C_t = t년도의 투입된 총투자비용

Q_t = t년도의 생산물량(열에너지 kcal)

I₀ = 초기투자비용

OM_t = t년도의 운영 및 유지보수비용

F_t = t년도의 연료비용

r = 할인율

Short, W., et al. (2005), K. Branker et al.(2011) 등에 의하면, 에너지 경제성 분석방법으로서 에너지균등화비용 산출방식은 규모, 에너지 기술, 건설비용, 운전비용, 수명기간 등이 서로 다른 대체기술을 상호 비교하는데 유용해 에너지 경제성 평가 도구로 널리 사용되고 있다. 예컨대, 화석연료를 사용하여 생산된 에너지 비용과 신재생에너지원을 사용하여 생산된 에너지 비용을 비교하는데 사용할 수 있으며, 이밖에도 다양한 에너지 생산 기술을 비교해 순위를 매기는 랭킹도구로 쓰이고 있다.

4. 온배수열 시스템 경제성 산출

4.1 온배수열 시스템 구성

온배수열 시스템이란 발전소에서 나오는 저온의 온배수열을 히트펌프를 활용하여 고온의 열에너지로 변환시키는 설비를 말한다. 경제성 평가를 위한 온배수열 시스템의 설비 구성은 동서발전(2015)의 기본설계를 참조하였다. 서해안 A화력발전소 방류구에서 2km 거리에 있는 10ha 크기의 시설원에 농가에 열을 공급한다는 가정 하에 시스템을 구성하였다. 본 시스템은

고온성 작물 생육 적온인 주간 25~30℃내외, 야간 18℃ 이상으로 냉난방 동시공급이 가능하다. 2013년의 서산지방 가상측정 데이터를 기준으로 외기온도와 일사량을 반영했을 때, 난방수요 최고치는 9.3Gcal/h이다. 그러나 피크 값은 작물에 따라, 당해년도 기온에 따라 변화하기 때문에, 이런 변동성에 대비하여 축열조를 포함하였다. 축열조는 저장된 예비 열량으로 피크 부하를 감당하는 역할을 해 고가인 히트펌프의 운영효율을 높여준다. 따라서 축열조를 포함한 본 시스템의 용량은 8.4Gcal/h으로 가정하였다. 이를 기준으로 계산한 연간 총공급열량은 난방열 14,641Gcal/y 와

Table 5. Configuration of hot waste water system

구분		적용기준	단위
시스템용량		8.4	Gcal/h
공급열량	냉방열	1,959	Gcal/y
	난방열	14,641	Gcal/y
히트펌프	전기식	3	unit
	흡수식	2	unit
시스템성능 (COP)	전기식	5.84	
	흡수식	1.7	
보조열원		증기식 열교환기, 축열조	
열교환기		Plate Type, Titanium	
열공급배관	재질	이중보온관(PIP)	
	관경	300	mm
	길이	2 × 2	km

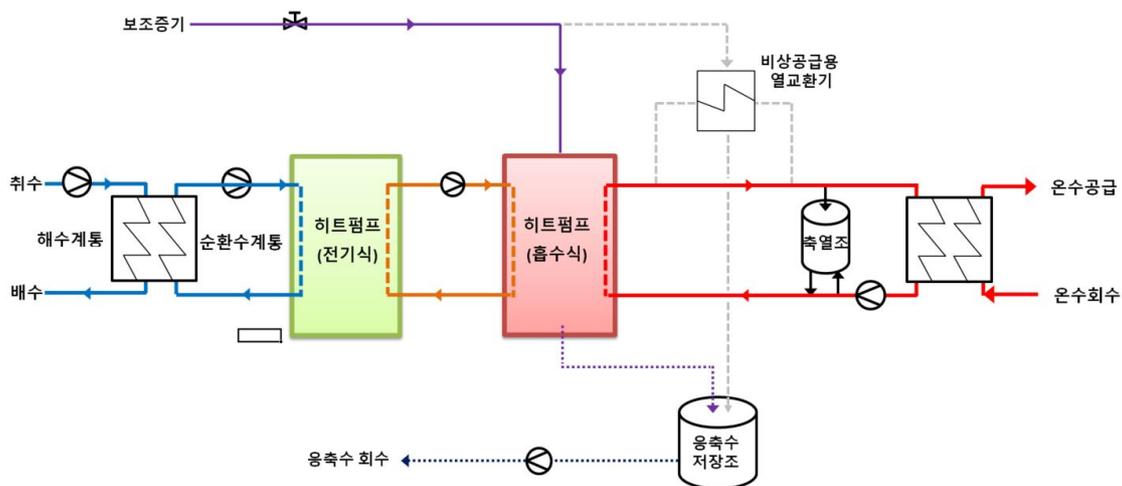


Fig. 2. Schematic of hot waste water system

냉방열 1,959Gcal/y을 합친 총 16,600Gcal/y이다.

히트펌프는 외부 보조 에너지원의 공급 방법에 따라 크게 압축식(전기식)과 흡수식으로 나뉘는데, 본 연구에서는 동서발전(2015)에서와 같이 혼합방식으로 구성하였다. Fig 2.에서처럼 저온에서 중온으로 1차 가열은 전기로 압축기를 구동하는 압축식 히트펌프로 하고, 중온에서 고온으로 2차 가열은 발전소 보조증기를 가열원으로 하는 흡수식 히트펌프를 사용하였다. 흡수식에 필요한 증기는 발전소 내에서 공용으로 사용하는 20kg/cm² 공용헤더에서 공급받는다. 열공급의 안정성을 위하여 비상공급용 증기식 열교환기를 두었다.

열교환기는 온배수시스템에서 히트펌프와 함께 중요한 장치 중 하나로, 열전달 효율 및 내부식성을 고려하여, 형식은 판형(Plate Type)을 적용하고 재질은 내식성을 갖춘 티타늄 재질을 사용하였다. 열공급배관은 단열성이 우수하고 시공기간이 단축되는 이중보온관(Pre-Insulated Pipe, PIP)으로 하고, 공급유량을 고려하여 관경 300mm를 적용하였다.(Table 5.)

4.2 전제조건 및 고려사항

Table 6.과 같이 에너지균등화비용(LCOE) 산출을 위해 필요한 파라미터는 초기투자비용, 운영 및 유지보수비용(O&M), 연료비(Fuel), 총공급열량, 할인율과 경제수명이다. 모든 열공급 시스템의 경제수명은 비교편의성을 위하여 20년으로 공통 적용하였다. 할인율은 A발전회사의 가중평균자본비용(Weighted Average Cost of Capital, WACC)인 5.15%를 적용하였다. 물가상승은 감안하지 않았다.

온배수열 시스템의 초기투자비용은 온실 신축비용과 같이 열 수요자가 부담하는 비용은 제외하고, 온배

수열 공급을 위한 공급설비 설치공사에 따른 비용으로 한정하였다. 소규모인 제주도를 제외하면 온배수열 시스템의 실제 설치공사는 사례가 없어 정확한 초기투자비용 산정에 어려움이 있다. 참고 할 수 있는 산정자료로는 정부제시 기준, 농어촌연구원(2015), 동서발전(2015)에 제시된 개략공사비 등이 있다. 정부는 「농업에너지이용효율화사업 시행지침」에서 온배수열 시스템 설치 사업비로 ha당 12억5천만원(10ha 125억원)을 제시하고 있다. 농어촌연구원(2015)에서는 비닐온실 10ha, 공급거리 2km 기준으로 93억원의 사업비를 제시하고 있다. 한국동서발전(2015)에서는 동일한 10ha에 대하여 157억원의 초기투자비용을 제시하였다. 동일 규모의 사업에 대하여 초기투자비용이 차이를 보이는 이유는 상이한 공사비 산정 적용기준 때문이다. 따라서 본 논문에서는 위 자료의 평균금액인 10ha 당 125억원을 초기투자비용으로 적용하였다.

또한 온배수열 시스템 경제성분석에서 중요하게 다루어야 할 요소는 열공급 거리이다. 열공급 거리가 길어지면 배관 공사비가 증가하고, 압송거리가 늘어남에 따라 펌프용량이 증가한다. 2km일 때 초기투자비에서 배관공사비는 23%를 차지한다. 하지만 공급거리가 1km 증가하여 3km가 되면 배관공사비는 32%로 증가한다. 다만 펌프용량 증가는 시스템 구성에 변화가 생길 수 있어 본 연구에서는 고려하지 않았다. 열배관 공사비는 ‘지역난방공사 표준 열배관 공사비 기준(2014)’에 근거하여 km당 10.7억원(관경300)을 적용하였다.

온배수열 시스템에서 연료비는 히트펌프 및 각종 펌프 구동을 위한 동력비용이다. 연료비는 히트펌프성능계수(Coefficient Of Performance, COP)를 고려하여 냉난방열량 공급을 위해 필요한 전력사용량을 도출하고,

Table 6. Standard of LCOE calculation

구분	온배수열 시스템	지열시스템	기름보일러	바이오매스	보조증기	단위
할인율	5.15 (A발전회사 가중평균자본비용)					%
경제수명	20					y
설비이용율	22.6	25.1	22.1	47.3		%
시스템용량	8.4	7.6	7.6	17		Gcal/h
총공급열량	16,600	16,600	13,674	70,828	16,600	Gcal/y
초기투자비	12,500	14,300	18.6	28,193	2,922	백만원/y
년간 O&M비	270	214	9.3	2,900		백만원/y
년간 연료비	399	306	1,137	781	495	백만원/y

여기에 A화력발전의 전력판매원가(58원/kWh)를 적용하여 산출하였다. 운영 및 유지보수비용은 인건비와 정비비를 포함하였다. 야간에도 열공급이 이루어져야 하므로, 교대근무를 감안하여 운영인력은 총 4명이 필요한 것으로 산정하고, A화력발전의 외주인력 인건비를 적용하였다. 정비비는 전문 정비업체의 견적을 받아 적용하였다.

비교 대상 열공급 시스템은 현재 활용되고 있는 지열시스템과 기름보일러, 바이오매스 CHP, 발전소 보조증기로 선정하였다. 지열시스템과 기름보일러의 설치사업비 및 연료비는 농어촌연구원(2015)에 제시된 비닐하우스 10ha에 대한 설비용량 8,775kW의 시스템 공사비와 연료비를 활용하였다. 운영 및 유지보수비용은 한국에너지기술연구원(2007)에서 제시한 기준에 따라, 지열시스템의 경우 초기투자비의 1.5%, 기름보일러의 경우 초기투자비의 5.0%를 적용하였다. 기름보일러는 겨울철 난방열 연간 14,641Gcal만 공급하는 것으로 계산하였다.

바이오매스 CHP(Combined Heat and Power plant)는 우드칩을 연료로 하는 열병합발전소에서 생산되는 열에너지를 지역난방 용도로 공급하는 설비다. 바이오매스 CHP의 원가는 서길영(2012)에서 분석한 예를 활용하였다. 순수 열공급 생산원가 산출을 위하여 전기생산량(MWh)을 열생산량(Gcal/h)으로 환산하여 적용하였다. 이때 열량환산기준은 에너지공단에서 제시한 1kWh=860kcal를 사용하였다.

발전소 보조증기란, 발전소 내에서 공용으로 사용하는 20kg/cm²의 증기를 별도장치 없이 열배관을 통해 직접 공급하는 것을 말한다. 초기투자비용으로는 열배관 공사비만 필요하지만, 대표적인 화석연료 열에너지라는 단점이 있다. 연료비는 연간 공급열량에 A화력발전

의 보조증기 생산원가(17,354원/ton)를 곱하여 산출하였다. O&M 비용(Operantion & Management : 운영 및 유지보수비)은 보조증기 생산원가에 포함된 것으로 간주하였다.

상기 비교 열에너지 에너지균등화비용(LCOE)의 경제성을 비교할 수 있는 지역난방 열공급 평균단가는 한국지역난방공사의 열생산 총괄원가인 83.5천원/Gcal을 적용하였다.

4.3 경제성 분석 결과

경제수명기간동안 투입되는 초기투자비, O&M비와 연료비를 현가화하여 구성비를 나누면 Table 7.과 같다. 상대적으로 초기투자비가 많은 비중을 차지하는 설비는 온배수열 시스템과 지열시스템이다. 지열시스템은 초기투자비가 70%에 육박할 정도로 많은 비중을 차지한다. 온배수열 시스템은 초기투자비 비중이 60%이다. 하지만 O&M비과 연료비 비중은 온배수열 시스

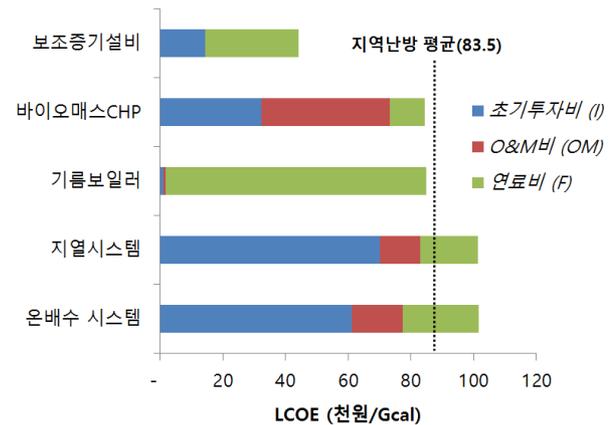


Fig. 3. Comparison of LCOE, Hot waste water and other heat supply system

Table 7. Results of calculating LCOE

구분	온배수시스템		지열시스템		기름보일러		바이오매스		보조증기		단위
	초기투자(I)	비중	초기투자(I)	비중	초기투자(I)	비중	초기투자(I)	비중	초기투자(I)	비중	
초기투자(I)	12,500	60%	14,300	69%	186	1.3%	28,193	38%	2,922	32%	백만원
O&M(OM)	3,322	16%	2,639	13%	114	0.8%	35,685	49%		0%	백만원
Fuel(F)	4,920	24%	3,765	18%	13,991	97.9%	9,610	13%	6,093	68%	백만원
LCC	20,742		20,704		14,211		73,488		9,016		백만원
LCQ	204,267		204,267		168,262		871,554		204,266		Gcal
LCOE	101.5		101.4		84.9		84.3		44.1		천원/Gcal

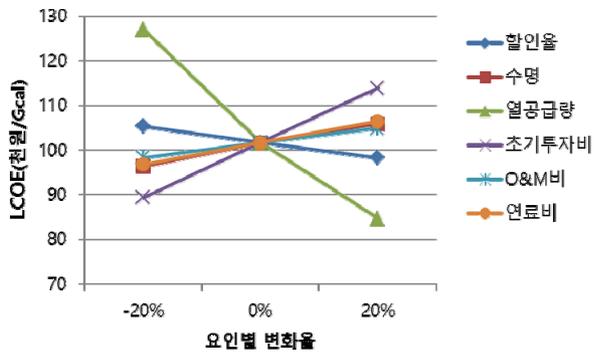


Fig. 4. Sensitivity analysis of hot waste water system

템이 지열시스템보다 높다. 이는 온배수열 시스템이 지열시스템보다 설비구성이 복잡하여 정비비 및 운영비가 많이 소요되기 때문이다.

온배수열 시스템과 다른 열공급 시스템의 에너지균등화비용(LCOE) 산출 비교 결과는 Fig. 3과 같다. 대표적인 화석연료 열공급 시스템인 발전소 보조증기(44.1천원/Gcal)가 가장 낮고, 바이오매스(84.3천원/Gcal)와 기름보일러(84.9천원/Gcal)는 지역난방평균(83.5천원/Gcal)과 유사한 수준이다. 온배수열 시스템의 에너지균등화비용(LCOE)은 101.5천원/Gcal로 지열시스템(101.4천원/Gcal)과 거의 유사하다. 그러나 기름보일러보다는 16% 정도 높고, 지역난방평균 보다도 18% 높다. 지역난방 평균값이 천연가스를 위주로 하는 화석연료 기반의 열공급 시스템의 평균 열생산 단가임을 감안하면, 온배수열 시스템은 정부의 지원 없이는 화석연료 열공급 시스템에 비해 경제성이 떨어진다고 볼 수 있다.

에너지균등화비용(LCOE)에 영향을 주는 요인들의 상대적 중요도를 비교하기 위해 각 요인들을 모두 같은 비율($\pm 20\%$)로 변화시킨 뒤 이에 따른 민감도를 분석하였다(Fig. 4.). 온배수열 시스템의 LCOE는 열공급량에 가장 민감하게 반응하였다. 열공급량이 20% 증가하면 온배수열 시스템의 LCOE는 84.6천원/Gcal 으로 17% 감소한다. 다음으로는 초기투자비의 변화에 민감하게 반응하였다. 초기투자비가 20% 감소하면 LCOE는 89.3천원/Gcal 으로 12% 감소한다. 할인율, 수명, O&M비, 연료비에 의한 LCOE 변화는 $\pm 4\%$ 정도의 변화를 보였다. 따라서 열공급량과 초기투자비가 온배수열 시스템의 LCOE 변화에 큰 영향을 미치는 주요 요인임을 확인할 수 있다. 따라서 온배수열 시스템이 경제성을 확보하기 위해서는 시스템용량 대비 공급열량 즉 설비 이용율을 높이고, 초기투자비를 줄이는 것이 관건임이 확인되었다.

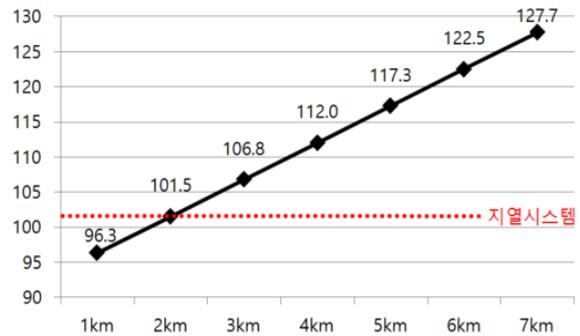


Fig. 5. LCOE of hot waste water system according to distance of heat supply

특히 열공급 거리에 따른 열공급 배관 공사비는 초기투자비를 구성하는 중요한 요소이다. 따라서 열공급 거리에 따른 온배수열 시스템의 에너지균등화비용(LCOE) 민감도 변화는 별도로 살펴볼 필요가 있다. Fig. 5.에서와 같이 열공급 거리가 1km 늘어날수록 온배수열 시스템의 LCOE는 5%씩 증가한다. 2km까지는 지열시스템과 같거나 낮은 값을 보이지만, 그 이상으로 공급거리가 길어지면 온배수열 시스템의 LCOE가 급격하게 증가한다. 따라서 지열시스템과 비교할 경우 2km 이내에서만 온배수열 시스템의 경제성이 확보됨을 알 수 있다.

5. 활용 분야별, 열공급 거리별 정부의 경제적 유인제도 재구성

발전소 온배수열 시스템은 히트펌프를 활용하여 열을 공급한다는 측면에서 지열시스템과 기술적으로 유사하다. 오히려 온배수열 시스템은 지열시스템보다 열원의 온도가 높고 열 회수 효율성이 높다는 장점이 있다. 또한 지열시스템과 같은 지하굴착공사가 필요하지 않아 환경에 미치는 부작용도 적다. 그러나 아직 정부의 지원제도가 정착되지 않았고, 열에너지를 공급하기 위해서는 히트펌프에서부터 수요처까지 열공급 배관을 별도로 설치해야 해 초기투자비가 가중되는 단점이 있다.

반면 지열시스템은 열 수요처에 바로 히트펌프를 설치할 수 있어 열공급 거리에 따른 초기투자비용이 발생하지 않는다. 또한 정부 지원제도가 일찍 정착되어 공급을 확대할 수 있었다. 그러나 지열시스템을 설치하기 위해서는 대규모 지하굴착공사가 필요해 환경 파괴의 위험이 높는데, 현재 경제성 분석에는 이런 점들이 반영되어 있지 않다.

따라서 지열 시스템에 비해 환경 친화적인 온배수열 시스템을 보다 확대하려 한다면, 지열 시스템과 경제성이 유사하도록 정부의 지원제도를 재구성할 필요가 있다.

본 연구의 분석 결과, 열공급 거리 2km 이내에서는 온배수열 시스템이 지열시스템 보다 경제성이 높음을 확인하였다. 열공급 거리 2km 이내에서는 온배수열 시스템의 이송 배관 공사비가 높지 않기 때문이다. 그러나 해안가에 위치하고 있는 발전소의 입지조건상 2km 이내에서 사용처를 찾는 것은 쉽지 않다. 한국농어촌연구원(2015) 조사에 의하면 27개 발전소 가운데 3km 이내에 온배수열 이용이 가능한 영농부지가 인접한 곳은 9개 발전소에 불과하다. 하지만 사용처 범위를 발전소 주변 5km로 확장하면 산업단지, 도시(주거), 농업 용지 등에 활용할 수 있는 곳이 23개 발전소로 늘어난다. 따라서 온배수열 시스템의 초기 시장을 성공적으로 창출하기 위해서는 정부의 경제적 유인제도를 열공급 거리에 따라 차등적으로 적용하도록 재구성하는 것이 필요하다.

현재 정부의 신재생에너지 지원제도는 크게 활용분야별 보조금과 신재생에너지 공급인증서(REC) 발급으로 나눌 수 있다. 그런데 현재 신재생에너지 공급인증서(REC) 발급의 경우 신재생에너지의 균형발전이라는 차원에서 에너지원별로만 가중치를 부여하고 있다. 온배수열 시스템은 가중치 1.5, 지열은 2, 연료전지 2 등과 같은 형태다. 하지만 동일한 에너지원이라 하더라도 경제성 확보 조건이 각기 달라, REC 가중치를 하나의 에너지원 안에서도 차등화하는 것이 합리적이라는 주장이 제기되고 있다.

따라서 본 절에서는 온배수열 시스템이 경제성을 획득할 수 있도록 신재생에너지 공급인증서(REC) 발급시, 가중치를 열공급 거리별로 차등화하는 방안 대해 분석해 보고자 한다. 이를 위해 지열시스템의 LCOE를 산출한 뒤, 이와 유사한 수준의 LCOE를 나타낼 수 있는 온배수열 시스템의 공급인증서(REC) 가중치를 열공급 거리별로 추정하였다. 또한 신재생에너지에 대한 정부 보조금이 활용분야에 따라 다르므로, 각 활용분야별 보조금을 반영하여 가중치를 별도 추정해 보았다.

이때 보조금과 신재생에너지공급인증서(REC)에 의한 수익을 반영하면, 에너지균등화비용(LCOE)은 식 (3)과 같아진다. REC 단가는 박종배 외(2013)에서 제시하고

있는 장기예측 평균가격인 kWh당 63원을 적용한다.

$$LCOE = \frac{I_0(1-s) + \sum_{t=0}^n \frac{OM_t + F_t - REC_t}{(1+r)^t}}{\sum_{t=0}^n \frac{Q_t}{(1+r)^t}} \tag{3}$$

여기서,

$$s = \text{보조금 비중}, \frac{\text{정부 보조금}}{\text{초기투자비용}}$$

$$REC_t = t\text{년도의 공급열 환산량(kWh)} \times \text{REC 단가} \times \text{REC 가중치}$$

정부는 농업분야의 경우 지열시스템 도입 시 초기투자비의 80%를 보조한다. 이를 적용한 지열의 LCOE는 35천원/Gcal에 해당한다. 농업분야에서는 온배수열 시스템에도 지열 시스템과 같이 정부가 시설투자 보조금 80%를 제공하고 있으므로 열공급 거리별 LCOE는 Fig. 6.과 같다. 그런데 온배수열 시스템에는 현재 지열 시스템에는 부여하고 있지 않은 REC 가중치 1.5가 적용될 수 있기 때문에, 6km 이내에서는 지열 시스템 대비 경제성이 확보된다. 그러나 7km 이상에서는 더 높은 가중치가 있어야 경제성을 확보할 수 있다. 또한 3km 이내에서는 현재 가중치 1.5보다 낮아도 지열 시스템만큼의 경제성이 확보될 수 있어, 현재보다 가중치 수준을 낮추는 것이 합리적이라는 것을 확인할 수 있다.

농업이외에 수산업, 산업용, 주택·공공·상업(산업) 건물 등과 같은 활용 분야에서는 신재생에너지 시스템에 사업비의 50%를 보조하고 있다¹⁾. 이 보조금을 적

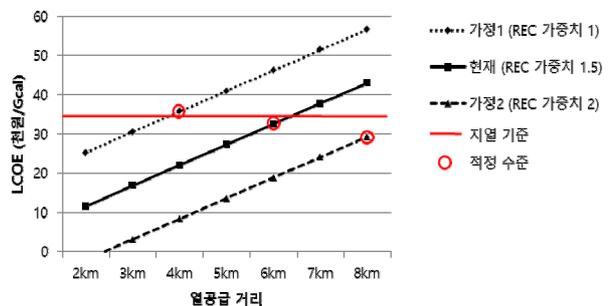


Fig. 6. LCOE according to distance of heat supply, in the case of subsidy rate 80%

1) 산업부 2015년 신재생에너지보급(융복합지원)사업의 주택·공공·상업(산업)건물 등 지원대상이 혼재되어 있는 특정지역에 1종 이상 신·재생에너지원의 설비를 동시에 설치하는 「구역 복합사업」에 해당할 경우

Table 8. Reasonable REC weight according to distance of heat supply

활용분야	보조금 (초기투자비 비중)	열공급 거리						
		2km	3km	4km	5km	6km	7km	8km
농업	80%	1			1.5		2	
수산업, 산업용, 주택· 공공·상업건물	50%	1				1.5		
	0%	2	2.5		경제성 없음			

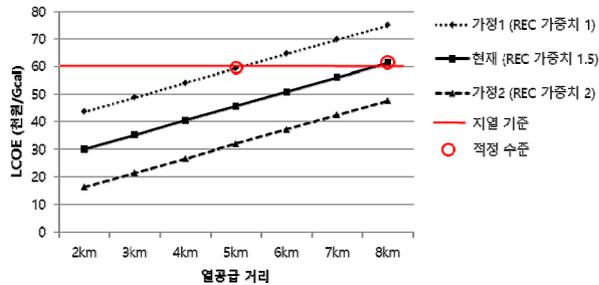


Fig. 7. LCOE according to distance of heat supply, in the case of subsidy rate 50%

용받을 때 지열 시스템의 LCOE는 59.9천원/Gcal에 해당한다. 온배수열 시스템도 동일한 지원을 받아 보조금 50%를 받을 경우 열공급 거리별 LCOE 변화는 Fig. 7.과 같다. 이 때에는 현재의 REC 가중치 1.5를 적용받으면 8km 이내에서는 모두 지열 시스템 대비 경제성이 확보된다. REC 가중치를 1로 낮추었다 해도 5km이하에서는 지열 시스템 대비 경제성을 확보할 수 있다.

그런데 정부의 경제적 유인제도에서 보조금 지급과 REC 가중치 제공이 중복 적용된다는 문제를 제기할 수도 있다. 이럴 경우 보조금 지급이 없이 REC 가중치만으로 온배수열 시스템의 경제성을 확보해야 한다. 이와 같이 정부 보조금 비중이 0%로 가정한 경우 열공급 거리별 LCOE는 Fig. 8.과 같다. 이 경우에는 현재와 같은 REC 가중치 1.5에서는 온배수열 시스템이 지열시스템에 비해 경제성을 확보할 수 없다. REC 가중치를 2로 높였을 때에는 2km에서만 경제성을 확보하고, REC 가중치를 2.5까지 높여도 4km 내에서만 경제성을 확보하게 된다. 따라서 정부 보조금 없이 REC 가중치 부여만으로는 온배수열 시스템의 확산을 기대하기 어렵게 된다.

위의 분석에서와 같이 온배수열 시스템이 지열시스템 대비 경제성을 확보하기 위해서는 열공급 거리별로 REC 가중치를 차등적으로 적용하는 것이 필요하다.

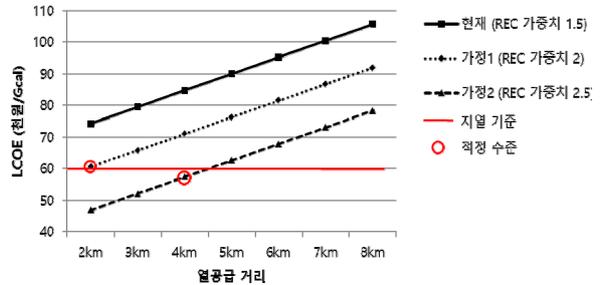


Fig. 8. LCOE according to distance of heat supply, in the case of subsidy rate 0%

일정거리 이상은 현행 보다 높은 REC 가중치를 주어야 경제성이 확보되고 초기단계 시장 창출이 가능하다. 반대로 일정 열공급 거리 이내에서는 REC 가중치 부여를 낮추어도 경제성을 확보할 수 있다. 따라서 발전소 온배수열 활용사업에 대한 정부의 경제적 유인제도는 활용분야에 따라 열공급 거리별로 REC 가중치를 차등 적용하는 형태로 재구성되어야 한다.

열공급 거리별 적절한 REC 가중치를 정리하면 Table 8.과 같다. 설비투자 보조금이 80%가 제공되는 농업 분야에서는 REC 가중치를 4km까지는 1, 5~6km는 1.5, 7~8km는 2를 주어야 한다. 농업 이외의 분야에서는 보조금 비중이 50%이므로 5km까지는 REC 가중치 1, 6~8km는 1.5를 주어야 경제성을 확보할 수 있다.

6. 결론

국내 화력발전소 온배수열의 에너지 부존량은 연간 200,326Tcal이다. 이는 2014년 한국지역난방공사 연간 열 생산량인 12,125Tcal의 약 17배에 달하는 양이다. 이를 에너지원으로 재활용한다면 에너지 이용 효율화 제고, 에너지 수입 대체, 온실가스 감축 등의 효과를 기대할 수 있다. 온배수열 활용사업의 활성화를 위해 본 논문에서는 에너지균등화비용(LCOE) 산출방법을 이용하여 발전소 온배수열 시스템의 경제성을 분

석하고 정부의 경제적 유인제도를 연구하였다.

분석 결과 대표적인 화석연료 열공급시스템인 화력발전 보조증기(44.1천원/Gcal)의 에너지균등화비용(LCOE)이 가장 낮고, 바이오매스(84.3천원/Gcal)와 기름보일러(84.9천원/Gcal)는 지역난방평균(83.5천원/Gcal)과 유사한 수준이다. 온배수열 시스템의 에너지균등화비용(LCOE)은 101.5천원/Gcal로 지열 시스템(101.4천원/Gcal)과 거의 유사하나, 보조증기, 바이오매스, 기름보일러보다는 높은 것으로 나타났다. 따라서 현재 수준에서는 온배수열 시스템의 LCOE가 화석연료보다 높아 이를 확산하기 위해서는 정부의 경제적 유인제도가 필요함을 확인할 수 있다.

특히 온배수열 시스템의 LCOE 구성요인의 민감도를 측정한 결과, 열공급 거리에 가장 민감하게 반응하여 공급거리가 1km 늘어날수록 LCOE는 5%씩 증가하는 것으로 분석되었다. 따라서 정부의 경제적 유인제도를 디자인할 경우 열공급 거리를 중심으로 인센티브를 제공하는 것이 중요함을 확인하였다.

온배수열 시스템과 기술적으로 유사한 지열시스템과 비교할 경우, 경제성확보를 위해 열공급 거리별로 필요한 REC가중치를 산출하면 다음과 같다. 설비투자 보조금이 80%가 제공되는 농업분야에서는 온배수열 시스템에 REC 가중치를 4km 까지는 1, 5~6km는 1.5, 7~8km는 2를 주어야 한다. 농업 이외의 분야에서는 보조금 비중이 50%이므로 5km 까지는 REC 가중치 1, 6~8km는 1.5를 주어야 지열 시스템 대비 경제성을 확보할 수 있다. 따라서 현재와 같이 온배수열 시스템에 REC 가중치 1.5를 일률적으로 적용하기 보다는 열공급 거리별로 차등 적용하는 형태로 REC 가중치 부여를 재구성하는 것이 필요한 것으로 분석되었다.

본 연구는 온배수열 활용 사업의 활성화를 위해 필요한 정부의 경제적 유인제도 기준을 최초로 도출해냈다는 점에서 의의가 있다. 지열 시스템도 초기 투자비가 커 보급에 한계가 있었으나, 정부의 보조금 지원과 같은 경제적 유인제도로써 보급을 확대할 수 있었다. 정부의 경제적 유인제도를 해당 기술의 특성에 기반하여 재구성함으로써 발전소 온배수열 활용사업이 안정적으로 정착된다면 지열, 태양열, 하수열과 더불어 친환경 신재생열원을 다양화 하는 계기가 될 것으로 기대된다.

후 기

이 논문은 미래창조과학부의 재원으로 한국연구재단의 지원(2015, 특화전문대학원 연계 학연협력지원사업)을 받아 수행되었음.

References

1. 에너지신산업 홈페이지, <http://www.energynewbiz.or.kr>
2. 국립농업과학원, 2012, “화력발전소 폐열을 활용한 온실냉난방시스템 개발”, 과제 보고서.
3. 산업통상자원부, 2015.07.28, “신재생에너지로서의 온배수열 활용사업 추진을 위해 관계 부처 적극 나선다.”, 보도자료.
4. 산업통상자원부, 2014, “발전소 온배수 활용한 영농단지 조성사업”, 발전소온배수 활용 촉진방안 세미나 자료집.
5. 해양수산부, 2007, “해양 생태계 보전을 위한 온배수 관리 방안 연구”.
6. 박준택, 장기창, 2002, “온도차에너지를 열원으로 하는 미활용에너지의 부존량과 이용가능성에 관한 조사연구”, 에너지 공학, 11(2), 106-113.
7. 한국지역난방공사 홈페이지, “<http://www.kdhc.co.kr/> 생산정보자료/월별생산량”
8. 농림축산식품부, 2015, “2014 시설채소 온실현황 및 채소류 생산실적”.
9. 김동규, 강대석, 정용현, 2009, “온배수를 열원으로 활용하는 생태산업단지 조성에 관한 기초 연구”, 수산해양교육연구, 21(3), 400-408.
10. 농어촌연구원, 2015, “화력발전소 폐열수의 농촌 지역 종합적 활용방안 모색”.
11. 산업통상자원부, 2015.11.13., “발전소 온배수열, 양식장 활용 위해 적극 나선다”, 보도자료.
12. 농림축산식품부, 2015, “15년 농업에너지이용효율화사업 시행지침”.
13. 농림축산식품부, 2015.07.28, “화력발전소 온배수 폐열로 농업용 온실 냉난방”, 보도자료.
14. 산업통상자원부, “신에너지 및 재생에너지 개발·이용보급 촉진법 시행령”, 대통령령 제26316호.
15. 산업통상자원부, 2015.07.23, “신·재생에너지 공급의무화제도 및 연료 혼합의무화제도 관리·운영 지침”, 고시 제2015-155 호.

16. 지식경제부, 2012.03.26., “지역에너지절약사업 운용 지침”, 공고 제2012-163호.
17. 산업통상자원부, 2015.01.28., “에너지이용합리화 사업을 위한 자금지원 지침”, 공고 제2015-45호.
18. 산업통상자원부, 2014.01.27., “신·재생에너지 설비의 지원 등에 관한 규정”, 고시 제2014-19호.
19. 에너지기술연구원, 2007, “미활용에너지 자원조사”, 연구조사 보고서.
20. 이인희, 2012, “충남 화력발전소 온배수 배출의 실태와 활용방안”, 충남발전연구원.
21. 허태현, 2012, “발전소 폐열원 열펌프 시스템의 시설원에 적용”, 제주대학교 대학원.
22. 농어촌연구원, 2015, “화력발전소 폐온수의 농촌 지역 종합적 활용방안 모색”. 연구 보고서.
23. 조정희, 김대영, 이정삼, 2010, “발전소 온배수를 활용한 저탄소 녹색양식업 발전 방향”, 한국해양수산개발원.
24. K. Branker, M.J.M. Pathak, J.M. Pearce, 2011, “A review of solar photovoltaic levelized cost of electricity”, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol.15, 4470-4482.
25. Walter Short, Daniel J. Packey, Thomas Holt, 2005, “A manual for the economic evaluation of energy efficiency and renewable energy technologies”, NREL(National Renewable Energy Laboratory).
26. 동서발전, 2015, “당진화력 온배수를 활용한 시설원에 열공급 기본설계 검토서”
27. 한국에너지기술연구원, 2007, “신재생에너지 경제성 분석”
28. 서길영, 김성현, 2012, “우드칩 바이오매스를 이용한 열병합발전 운영 사례 분석”, 신재생에너지, 8(4), 21-29.
29. <http://co2.kemco.or.kr/toe/toe.aspx>
30. 오상철, 2014, “지역냉난방사업의 회계분리기준 및 원가분석 연구”, 한국산업기술대학교.
31. 박종배 외, 2013, “관련사업의 타당성평가를 위한 전력시장모델 분석”, 건국대학교.