

미활용에너지의 경제적 효과 및 보급지원방안

안 형 준
코오롱건설(주) 차장

1. 서론

미활용에너지는 시장에서 널리 활용되지 않는 잠재에너지를 통칭하는 용어로 풍력, 태양에너지 등의 재생에너지를 포함하는 넓은 범위의 정의(신현준, 1997)에서부터 발전, 냉난방과 같은 용도로 직접 사용하기에 부족한 온도범위(혹은 온도차)를 갖는 열원으로 규정(박준택, 2005)하는 견해까지 폭넓게 자리잡고 있다. 이러한 다양성은 미활용에너지가 다양한 에너지원으로 구성되어 있기 때문이다. 즉, 미활용에너지에 포함된 에너지원 중에서 활용기술이 개발되고 경제적 활용가치가 증대되면 미활용에너지의 범주에서 분리되어 독자적인 에너지원으로 정립되는데 풍력, 소수력, 폐기물 등의 신재생에너지가 이런 과정을 거쳐 미활용에너지로부터 분리되어 나왔다고 볼

수 있다.

이렇게 분리된 에너지원은 환경친화성을 근거로 **그림 1**과 같이 신재생에너지로 분류된다.

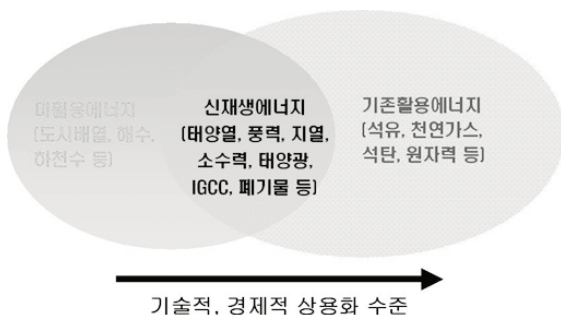
이 연구에서는 미활용에너지 중에서 최근 활용가능성이 증대되고 있는 온도차에너지에 대하여 기술적 분류를 시도하고 몇가지 모델을 설정한 후 기술적, 경제적 타당성을 분석하고자 한다. 이를 통해 온도차에너지의 활용가능성과 신재생에너지 타당성을 평가하고 온도차에너지가 신재생에너지에 포함될 경우 예상되는 기술개발, 보급지원 등의 정책지원이 어떠한 경제적 효과를 가져올 지에 대해 살펴보고자 한다.

2. 온도차에너지의 기술적 특성

2.1 개요

온도차에너지는 대기온도와 같은 기준상태와 비교하여 상당한 온도차가 있는 잠재에너지를 말하며 특히 온도차가 직접 냉난방이나 발전 등에 활용하기에는 부족한 경우를 뜻한다(박준택, 2002). 대표적인 종류로는 목욕탕의 하수, 굴뚝의 연기, 발전소의 온배수, 하천수, 지하수 등을 들 수 있다. 온도차에너지는 여러 가지 기준에 따라 분류할 수 있다.

우선 열원의 기원에 따라 자연열원과 인공열원으로 분류할 수 있다. 자연열원은 자연적으로 존재하는 온도차에너지를 의미하며 지하수나 하천



[그림 1] 미활용에너지를 감안한 에너지의 분류

수, 해수가 대표적이다. 인공열원은 인간활동에서 투입된 에너지가 사용 후 배출될 때 발생하는 것으로 발전소 온배수, 목욕탕의 폐수, 하수처리수 등을 들 수 있다.

다음으로 열원의 종류를 기준으로 공기열원과 수열원으로 나눌 수 있다. 공기열원은 굴뚝 폐열, 송풍기 냉각열과 같이 기체의 형태로 발생하며, 수열원은 지하수, 하천수, 해수와 같이 액체의 형태로 발생한다.

마지막으로 목욕탕 폐열을 이용한 온수공급과 같이 소규모 온도차에너지를 자체적으로 활용하는 자가소비방식과 하천수를 이용한 지역냉난방공급과 같이 대규모 온도차에너지를 외부에 공급하는 외부소비방식으로 나눌 수 있다.

이처럼 온도차에너지는 다양하게 분류할 수 있으나 활용기술의 특성을 고려하여 몇가지 범주로 요약하여 분류하는 것이 타당할 것이다.

2.2 온도차에너지의 분류

앞서 살펴본 여러 가지 분류기준 중에서 핵심적인 특성은 열원의 종류와 소비방법이라 볼 수 있으므로 이 연구에서는 온도차에너지를 열원의 종류와 소비지의 두가지 요소를 기준으로 다음과 같이 4가지로 분류하였다.

- ① 인공열원 자가소비 방식(Case 1)
 - 목욕탕 온배수를 이용한 온수 생산
- ② 자연열원 자가소비 방식(Case 2)
 - 지하수를 이용한 건물 냉난방공급
- ③ 인공열원 외부소비 방식(Case 3)
 - 발전소 온배수를 이용한 냉난방 공급
- ④ 자연열원 외부소비 방식(Case 4)
 - 하천수, 해수를 이용한 냉난방 공급

이 연구에서는 이러한 4가지 종류별로 대표적인 가상모델(Case 1 ~ Case 4)을 구성하여 기술적, 경제적 평가를 실시하고자 한다.

2.3 온도차에너지 활용기술

온도차에너지 활용기술은 온도차에너지를 모아

서 필요한 수준으로 온도차를 확대한 후 소비자에게 공급하는 것으로 전체적인 그림 2와 같이 세 부분으로 나눌 수 있다.

첫 번째는 온도차에너지를 모아 에너지변환장치로 보내는 장치이다. 예를 들어 하천수의 온도차에너지를 모으기 위해서는 하천수와 열을 교환하는 열교환기와 모아진 열을 기계실로 전달하는 열배관이 필요하다.

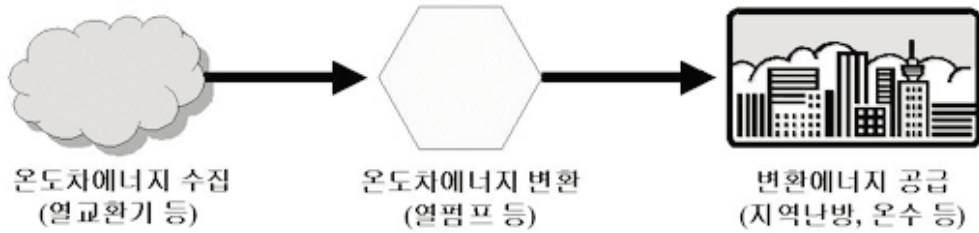
다음으로 온도차를 원하는 범위까지 확대하는 장치가 필요한데 이를 열펌프라 부른다. 열펌프는 온도를 높이거나 낮추는 역할을 수행하며 냉동기, 에어컨 등과 동일한 작동원리를 갖고 있다. 열펌프로 조절할 수 있는 온도범위는 대부분 냉난방에 적용하기 적합한 수준이 된다. 따라서 온도차에너지는 주로 건물이나 온실의 냉난방, 급탕, 저온창고 등에 이용된다. 이렇게 생산된 열을 소비 대상에 공급하는 장치가 필요한데 이때도 열배관, 열교환기가 사용된다.

이처럼 온도차에너지활용을 위한 기술요소는 열교환기, 열펌프, 열배관으로 크게 구성되는데 각각의 기술요소는 오랫동안 개발 및 사용된 성숙 기술에 해당되므로 기술적인 구현에는 어려움이 없다. 다만 열원의 상태나 소비목적에 적합하도록 기술요소를 개선하여 활용범위를 넓히고 경제성 확보를 위한 기술요소의 성능향상 및 저가화를 위한 기술개발이 진행되고 있다.

2.4 온도차에너지의 적용현황

온도차에너지는 오래전부터 기술적 구현이 가능한 상태로 이미 다양한 용도로 실용화되어왔다. Case 1의 경우 국내에도 대규모 목욕탕 및 온천에서 여러 건의 적용실적을 확보하고 있으며 안정적인 관리와 운전이 이루어질 경우 추가투자비 회수기간이 1년 이내인 것으로 보고되고 있다. (최병윤, 1997)

Case 2의 경우에도 지열냉난방기술로 분류되어 신재생에너지에 포함되어있는 상태로 공공건물 신재생에너지 의무화제도에 따라 공공건물을 위



[그림 2] 온도차에너지의 활용 순서도

<표 1> 외국의 온도차 에너지 활용 사례

국가	방식/용도	용량 (MW/h)
덴마크	하수처리수/지역난방	7.8
이탈리아	"	2.3
노르웨이	"	24.0
스웨덴	"	148.0
일본	"	40.4
핀란드	하천수/지역난방	2,850
미국	하천수/지역냉방	5,200
스웨덴	해수/지역난방	100

주로 많은 적용실적을 갖고 있다(안형준 외, 2005; 김용식 외, 2006; 박근우 외, 2007).

하수처리수나 하천수를 이용한 Case3, 4의 경우 국내에는 대규모 적용사례가 없고 실증연구(황기섭 외, 2007)가 실시되었다. 해외의 경우 북유럽, 일본 등지에서 다양한 적용사례를 갖고 있다. Case 3, 4의 대표적인 사례는 표 1과 같다.

이처럼 많은 적용사례가 존재하는 것을 살펴볼 때 시스템 구현과 상용화 기술은 실용적인 수준에 도달하였음을 알 수 있다. 따라서 현재의 에너지가격체계와 에너지환경에서 여러 가지 조건에 따른 경제적 타당성을 종합적으로 평가해야할 필요가 있다.

3. 온도차에너지원의 경제성 평가

3.1 경제성 평가방법

기존의 온도차에너지에 대한 연구에서 다양한

경제성 평가가 이루어졌는데 분석방법을 살펴보면 초기투자비 뿐만 아니라 운전비, 유지관리비 등을 모두 포함하여 생애주기비용을 비교하는 LCC 분석을 통해 투자가치를 평가하거나(박일환 외, 2005) 투자비의 회수기간을 비교하는 방법(박용부 외, 2007)이 주로 사용되었다. 이 연구의 경제성 평가는 온도차에너지의 활용에 영향을 미치는 핵심요소를 파악하기 위한 것이므로 할인율이나 유지관리비와 같은 변수를 생략하고 투자비와 연료비 절감액을 단순 비교하여 투자비회수기간을 구하는 방식을 적용하였다. 이로 인해 투자수익이 과대평가될 우려가 있으므로 개별 사업에 대한 경제성 평가에서는 할인율이나 유지관리비에 대한 분석이 요구된다.

분석에서 투자비는 온도차에너지원 활용을 위한 각종 설비비와 설치비를 반영하였으며 기술요소별 영향을 파악하기 위해 온도차에너지 수집설비, 에너지변환설비, 생산 에너지의 공급설비로 나누어 계산하였다. 다음으로 연료비 절감액은 생산된 열에너지의 가치를 기존 열기기와 연료를 사용하였을 때의 금액으로 환산하고 여기에 온도차에너지 설비의 가동에 투입된 에너지요금을 제외하여 계산하였다. 기존 열기기로 난방/온수공급용은 LNG보일러, 냉방공급용은 에어컨을 가정하였으며 2008년 서울지역에 공급되는 LNG(580원/m³)와 일반용 전력(여름:91.4원, 겨울:60.9원, 기본료 별도)을 사용하여 계산하였다.

투자비 회수기간의 계산식은 다음과 같다.

$$PP = IC/SB$$

PP : Payback Period

IC (Initial Cost) = 수집설비 비용+변환설비비용+공급설비비용 - 기존설비대체금액

SB (Saving Benefit) = 에너지생산액 - 에너지소비액

여기서 에너지생산액은 미활용에너지설비를 통해 생산된 에너지를 기존 설비인 LNG보일러와 전기 냉동기를 이용하여 얻을 때 필요한 연료비를 말하며 에너지소비액은 미활용에너지설비의 열펌프와 순환펌프에서 소비한 전기료를 의미한다. 마지막으로 연료비의 계산은 다음과 같이 이루어진다.

$$\text{연료비} = \text{운전시간} \times \text{운전시간} \times \text{가동율} \times \text{단위열량당 투입에너지 가격}$$

3.2 경제성 분석 결과

이상의 에너지가격조건에서 Case 1 ~ Case 4 까지의 모델을 만들고 투자비회수기간을 분석한 결과는 다음과 같다.

3.2.1 인공열원 자가소비 방식(Case 1)

인공열원은 발전소의 온배수, 목욕탕의 폐수 등을 뜻한다. 이 모델(Case 1)은 목욕탕 폐열을 히트펌프로 변환하여 다시 온수를 생산하는 경우를 가정하였다. 설치용량은 50RT(50 × 3,024 Kcal/hr)로 이때 온수생산 온도는 50℃, 온배수 온도는 25℃로 가정하였다. 투자비의 경우 온도

<표 2> Case 1의 경제성 분석

분류	항 목	금액(천원)
투자비	수집 설비	30,000
	변환 설비	40,000
	기존 설비	-
	합 계	70,000
에너지 절감액 (년간)	에너지생산액	24,285
	에너지소비액	(-)10,914
	합 계	13,371
회수기간	70,000/13,371 = 5.23년	

차에너지 수집설비로 폐수 오염처리장치, 열교환기가 포함되며 온수변환설비로 열펌프(COP 4.5)가 사용되었다. 열공급설비는 자가소비이므로 별도로 고려되지 않았다. 마지막으로 운전시간은 일 10시간으로 가정하였으며 장치의 가동율은 80%로 하였다. 이러한 조건에서 표 2와 같이 투자비회수기간이 5.23년으로 나타났다. 표에서 에너지생산액은 설비에서 생산된 발생에너지를 LNG로 가동되는 보일러와 전기로 냉동기로 공급할 때의 비용을 말하며 에너지소비액은 히트펌프와 순환펌프 등의 미활용에너지설비 가동에 투입된 전기요금을 의미한다. 일반적인 에너지절약 사업에서 투자비회수기간이 5년 이내이면 사업타당성을 인정받고 있으므로 Case 1의 경우 약간의 경제성향상을 유도한다면 상업화가 가능한 수준인 것으로 볼 수 있다. 다음으로 경제성에 영향을 미치는 요소를 살펴보면 Case 1의 경우 환경에 따른 투자비의 변동이 크지 않아 가동시간이 핵심요소로 분석된다. 온도차에너지 설비의 경우 초기투자비를 연료비 절감액으로 회수하는 것이므로 가동시간이 증가하면 초기투자비회수기간이 짧아지고 경제성이 높아지게 된다.

3.2.2 자연열원 자가소비방식(Case 2)

자연열원 중 자가소비에 적합한 방식은 지하수나 지반을 이용하는 지열냉난방 기술이다. 지열냉난방은 이미 신재생에너지에 포함되어 공공건물

<표 3> Case 2의 경제성 분석

분류	항 목	금액(천원)
투자비	수집 설비	100,000
	변환 설비	50,000
	기존 설비	(-)100,000
	합 계	50,000
에너지 절감액 (년간)	에너지생산액	10,480
	에너지소비액	6,529
	합 계	3,951
회수기간	50,000/3,951 = 12.65년	

신재생에너지 의무화제도를 통해 많은 보급이 이루어지고 있으므로 이를 반영하여 Case 2의 모델은 지중열교환기를 설치하여 지열을 수집한 후 열펌프로 냉난방에 적합하도록 변환하고 사무용 건물의 냉난방을 공급하는 것으로 가정하였다. 이때 투자비는 기존설비인 보일러와 에어컨을 대체할 수 있으므로 기존설비 투자비와의 차액을 초기투자비를 산정하였다. 또한 운전과 관련된 성능은 난방시 온수 생산온도는 45℃, 지열원 온도는 7℃로 시스템 COP는 3.5이며 냉방시 냉수 생산온도는 7℃, 지열원 온도는 25℃로 시스템 COP는 4.0인 것으로 가정하였다. 또한 용량은 case 1과 같이 50RT로 가정하였다. 운전시간은 난방 5개월, 일 12시간, 가동율은 40%이며 냉방 3개월, 일 12시간, 가동율 40%로 하였다. 경제성 분석결과 표 3과 같이 추가투자비회수기간은 12.65년으로 길게 나타나는데 이는 수집설비인 지중열교환기 설치비가 큰 반면 가동시간과 가동율이 낮기 때문이다. 따라서 Case 2의 경우 경제성 개선을 위한 핵심요소는 지열교환기 투자비와 가동율로 판단된다. 특히 지중열교환기 투자비를 줄이기 위한 기술개발이나 보조금 지급을 진행하거나 가동율 증대를 위한 설비기법을 적용하는 경우에는 경제성에 변화가 있을 것으로 판단된다.

3.2.3 인공열원 외부소비 방식(Case 3)

<표 4> Case 3의 경제성 분석

분류	항 목	금액(천원)
투자비	수집 설비	600,000
	변환 설비	2,880,000
	공급 설비	1,100,000
	기존 설비	(-)3,600,000
	합 계	980,000
에너지 절감액 (년간)	에너지생산액	503,040
	에너지소비액	(-)313,392
	합 계	189,648
회수기간	980,000/189,648 = 5.16년	

Case 3는 신도시지역의 하수처리장 인근에 공공기관을 배치하여 하수처리수의 온도차에너지를 이용하여 공공건물에 냉난방을 공급하는 경우에 대해 분석을 실시하였다.

공공기관의 규모는 2만평으로 하수처리수 5만톤을 열원으로 총용량은 2,400RT의 시스템을 가정하였다. 투자비와 가동시간은 Case 2와 동일한 방식으로 계산하였고. 운전과 관련하여 온수 생산온도는 45℃, 하수처리수 온도는 12℃로 난방COP는 3.5, 냉수생산온도는 7℃, 하수처리수 온도는 25℃로 냉방COP는 4.0로 가정하였다. 또한 하수처리장과 사용처인 공공기관과의 거리는 1Km로 가정하였다. Case 3의 경우 Case 2와 같이 건물 냉난방에 필요한 설비를 대체하는 것이므로 대체를 위한 추가투자비용을 초기비용으로 설정하였다. 표 4에서 추가투자비 회수기간은 5.16년으로 나타났으며 경제성이 높은 편으로 판단된다.

3.2.4 자연열원 외부소비 방식(Case 4)

Case 4는 하천수를 이용하여 공공기관에 냉난방을 공급하는 것으로 가정하여 분석을 수행하였다. 공공기관의 규모와 투자비, 가동시간은 Case 3와 동일하게 적용하였다. 운전데이터는 난방시 온수온도 50℃, 하천수온도 4℃로 난방COP는 3.0을 적용하였고 냉방시 냉수온도 7℃, 하천수온도 28℃로 냉방COP는 4.0를 적용하였다. 마치

<표 5> Case 4의 경제성 분석

분류	항 목	금액(천원)
투자비	수집 설비	900,000
	변환 설비	2,880,000
	공급 설비	-
	기존 설비	(-)3,600,000
	합 계	180,000
에너지 절감액 (년간)	에너지생산액	459,265
	에너지소비액	(-)313,392
	합 계	145,873
회수기간	180,000/145,873 = 1.23년	

막으로 하천에서 소비처까지의 거리는 500m로 가정하고 냉난방대상건물에 관련설비를 설치하는 것으로 가정하였다. 표 5에서 투자비회수기간이 1.23년으로 매우 짧게 나타났는데 소비지가 하천에 인접한 경우 수집설비인 배관 및 열교환기에 대한 투자비가 적기 때문이다.

3.3 환경영향의 경제성 평가

온도차에너지는 화석연료사용에 비해 오염물질 배출을 줄이는 효과가 있으므로 이를 경제성 평가에 반영할 필요가 있다. 특히 온도차에너지에 대한 정부지원정책을 실시한다면 환경편익이 중요한 지원기준이 될 것이다.

온도차에너지사용에 따른 오염물질 저감 및 환경편익에 대한 분석은 송운호(2005)에 의해 실시되었는데 연구결과에 의하면 오염물질 저감효과와 오염물질 배출에 따른 환경비용은 표 6과 같다.

표 6의 환경비용을 앞서 살펴본 4개의 모델에 적용하면 화석연료를 사용할 때와 비교하여 환경오염물질이 저감됨으로써 얻을 수 있는 환경편익은 표 7과 같다. 이 표에서 각각의 모델에서 주어진 조건에 따라 연간 가동할 때 생산되는 열에너지를 석유환산톤으로 나타내고 이때 절감되는 오염물질을 환경편익으로 계산하였다. 또한 CO₂의 경우 환경비용을 고려하지 않았다.

이러한 결과를 Case1 ~ Case 4까지의 경제성 분석에 포함하여 투자비 회수기간을 다시 산정하면 표 8과 같다. 표에서 볼 수 있듯이 환경편익을

<표 6> 대기오염저감비율(From Song, 2005)

오염원	화석연료 대비 절감율	환경비용 (만원/Ton)
CO ₂	77.7%	-
미세먼지	60%	2170.94
SO ₂	70%	746.89
NO _x	86.7%	664.95
HC	95%	642.29
CO	83.3%	552.67

고려하면 투자비회수기간에 크게 단축되며 Case 2를 제외한 대부분의 경우에 상업화 수준인 5년 이하의 투자비 회수기간을 나타내는 것을 알 수 있다. 따라서 환경편익을 정부에서 각종 지원제도를 통해 보조한다면 경제성 확보에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다.

3.4 경제성 변동요소 평가

앞서 살펴본 4가지 사례의 경제성 평가에서 투자비와 연료비에 영향을 미치는 요인을 대상으로 영향평가를 실시하였다.

먼저 Case 1의 경우 투자비 변동요인이 없으므로 운전시간이 10시간, 12시간, 14시간, 18시간으로 변화할 때의 투자비회수기간 변화를 분석하였다. 그림 3에서 볼 수 있듯이 운전시간이 18시간인 경우 투자비 회수기간이 2.9년으로 매우 양호하게 나타난다. 따라서 운전시간의 증대를 위한 설계기법의 적용이 경제성 향상을 위한 주요 과제가 될 것으로 판단된다.

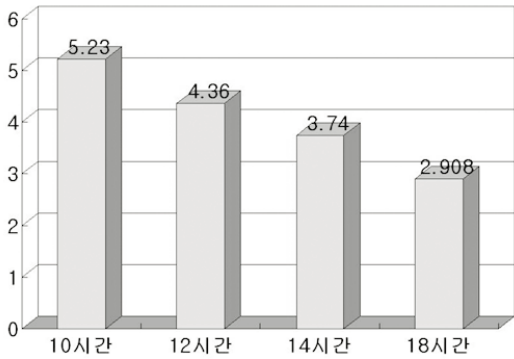
다음으로 Case 2의 경우 투자비에서 큰 비중을 차지하는 지중열교환기 설치비와 연료비 절감에 영향을 미치는 가동시간을 대상으로 변화를 측정

<표 7> 온도차에너지의 환경편익

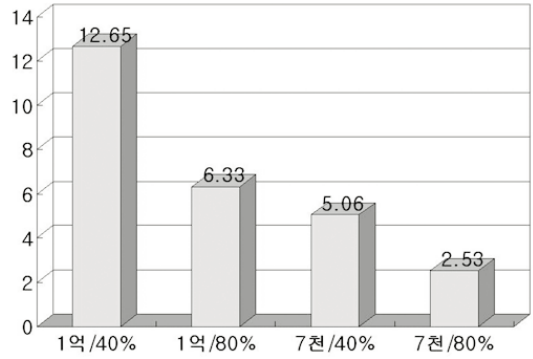
	연간 사용량 (TOE)	환경편익 (만원)
Case 1	43.5	206.2
Case 2	25.4	120.4
Case 3	1219.2	5,779.8
Case 4	1219.2	5,779.8

<표 8> 환경편익을 고려한 투자비회수기간

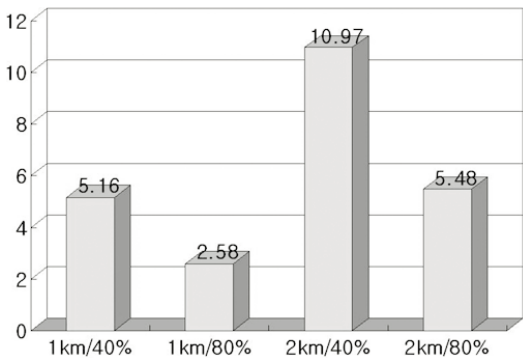
	기존 분석결과	환경편익 포함결과
Case 1	5.23	4.53
Case 2	12.65	9.70
Case 3	5.16	3.96
Case 4	1.23	0.88



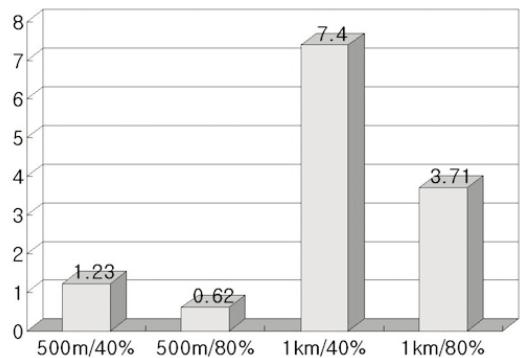
[그림 3] Case 1의 조건에 따른 투자비회수기간변화



[그림 4] Case 2의 조건에 따른 투자비회수기간



[그림 5] Case 3의 조건에 따른 투자비회수기간



[그림 6] Case 4의 조건에 따른 투자비회수기간

하였다. 그림 4에서 지중열교환기 투자비가 1억 원에서 7천만원으로 30% 줄어들면 투자비회수기간이 60% 이상 단축되어 그 효과가 매우 큰 것으로 나타난다. 따라서 보급확대를 위해서는 지중열교환기 설치비를 줄이기 위한 기술개발이나 보조금지급이 효과적인 것으로 판단된다.

Case 3의 경우 투자비에서 열배관비용이 큰 비중을 차지하므로 열배관비용과 가동율을 대상으로 변화를 측정하였다. 열배관 거리가 1Km에서 2Km로 증가되면 투자비회수기간도 5.16년에서 10.97년으로 증가되며 가동율을 높여도 표준모델에 비해 투자비회수기간이 여전히 높은 값을 나타냈다.

Case 4의 경우에도 Case 3의 경우와 유사하게

열배관거리가 핵심요소로 나타나는데 열배관거리가 500m에서 1Km로 증가하면 투자비회수기간이 1.23년에서 7.4년으로 급격히 증가한다. 따라서 Case 3 ~ 4의 경우 경제성확보를 위해서는 열배관거리를 최소화하는 활용처 발굴하고 열배관거리가 증가하는 경우에는 일정거리 이상의 열배관 설치비용을 정부에서 지원하는 방안이 필요하다.

4. 온도차에너지의 보급지원방안

앞서 2, 3장에서 살펴본 바와 같이 온도차에너지는 기술적인 완성도가 높고 환경친화적이며 적절한 정책적 지원이 실시될 경우 현재의 에너지

가격체계에서 경제성을 확보하고 있는 것으로 나타났다. 따라서 친환경 및 에너지 자립이라는 에너지 정책 목표의 달성을 위해 온도차에너지를 신재생에너지에 포함시켜 정책적 지원을 실시하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

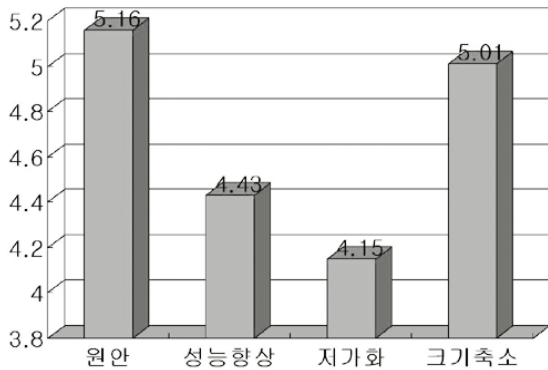
그런데 4가지 경우에서 Case 1의 경우 이미 에너지 절약설비로 포함되어 있고 Case 2의 경우에도 신재생에너지에 포함되어 보급지원이 원활히 이루어지고 있으므로 Case 3, 4에 대해 기술적, 경제적 개선방안을 살펴보고 이를 근거로 정책적 지원방안을 검토하고자 한다.

4.1 정책지원방안 검토 개요

온도차에너지가 적용되기 위해서는 기술적, 경제적, 제도적 여건이 중요하다. 따라서 정책적 지원방안은 기술적, 경제적, 제도적인 개선요소를 분석하여 그 영향에 따라 결정되는 것이 타당할 것이다. 따라서 이 연구에서는 온도차에너지의 활용에 영향을 미치는 핵심요소를 기술적, 경제적 요인에 따라 다음과 같이 분류하고 정량적인 분석을 시도하였다.

□기술적 요소

- 열펌프의 성능 향상
- 열펌프 가격 저가화
- 설비크기 및 설치면적 축소



[그림 7] 기술적 요소의 영향

□경제적 요소

- 에너지요금 변화
- 배관거리 변화
- 가동시간(율) 변화
- 설비 규모 변화

이상의 7가지 요소는 기술개발이나 보급지원에서 고려해야 할 핵심 변동요소로 Case 3을 대상으로 각각의 요소가 10% 변화할 때 투자비회수기간의 변화를 측정하여 우선순위를 비교할 수 있도록 하였다.

4.2 요소 별 영향 평가

4.2.1 기술적 요소의 영향 분석

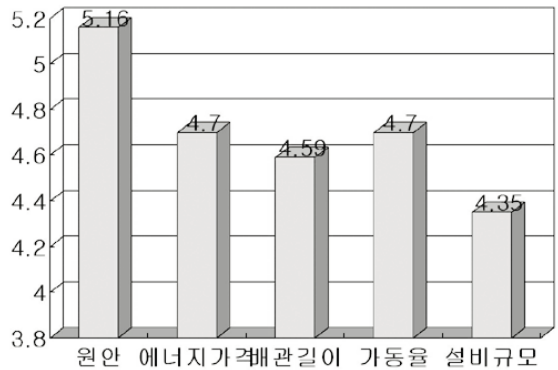
기술적 요소로 제안된 3가지 항목을 10% 개선할 경우 영향을 분석한 결과는 그림 7과 같다.

• 열펌프의 성능계수 향상

열펌프의 성능계수는 일반적인 상용제품의 경우 3.5로 제안되고 있으며 효율증대를 통해 10% 향상되는 경우 3.85로 증대되는 것으로 볼 수 있다. 이 경우 에너지소비량이 감소하게 되므로 이를 반영하여 투자비회수기간을 계산하면 4.43년으로 0.73년 단축된다.

• 열펌프 가격 저가화

열펌프설비의 가격(설치비 포함)이 10% 낮



[그림 8] 경제적 요인의 영향

아지는 경우에 대해 투자비 회수기간을 살펴보면 4.15년으로 나타나 1.01년이 단축되는 것으로 나타났다. 따라서 열펌프 가격 저가화가 기술개발항목에서 경제성에 가장 큰 영향을 미 것으로 판단된다.

- 설비 크기 및 기계실 면적
기계실의 면적이 500m²인 경우 면적이 10% 축소되면 450m²으로 축소되고 m²당 기계실 건축비를 60만원으로 가정하면 3천만원의 건축비가 줄어든다. 따라서 투자비 절감으로 인해 투자비 회수기간은 5.01년으로 0.15년으로 단축되어 큰 영향은 없는 것으로 나타났다.

위에서 볼 때 기술적 요소 중에서는 열펌프의 저가화가 미치는 영향이 큰 것을 알 수 있다.

또한 성능향상도 상당한 영향을 미치고 있어 열펌프의 성능과 가격을 동시에 10% 개선할 경우 보급 확대에 큰 기여를 할 수 있을 것으로 판단된다. 열펌프의 경우 오랜 기간 기술개발이 진행된 성숙기술로 급격한 성능향상이나 저가화는 쉽지 않을 것으로 예상되므로 특화된 사업모델에 적합한 맞춤형 기술개발을 통해 여러 기술적 요소를 복합적으로 개선하는 것이 타당할 것으로 판단된다.

4.2.2 경제적 요소의 영향

모델의 구성 및 에너지요금변화가 미치는 변화 영향을 분석하면 그림 8과 같다.

- 에너지요금 변화
에너지 요금의 변화를 전기요금과 LNG요금이 모두 10% 증가하는 경우에 대하여 살펴보면 에너지판매액과 에너지투입액이 모두 증가하지만 에너지비용의 규모가 커짐에 따라 절감액도 함께 증가하게 된다. 이를 반영하여 투자비회수기간을 구하면 4.7년으로 0.46년이 단축되어 에너지요금이 동일하게 증가할 경우 경

제성이 향상되는 것으로 나타났다. 보다 상세한 평가를 위해서는 LNG와 전기요금의 유가 변동에 따른 가격 변화추이를 분석할 필요가 있을 것으로 판단된다.

- 배관거리 변화
배관거리가 1Km에서 0.9Km로 변경되는 경우 투자비 회수기간은 4.59년으로 기본모델에 비해 0.57년 증가하는 것으로 나타났는데 배관거리의 영향이 큰 것을 확인할 수 있다.
- 가동시간(율) 변화
가동율을 40%에서 44%로 4%증가시킬 경우의 투자비 회수기간을 살펴보면 4.7년으로 0.46년이 단축되는 것으로 나타나는데 이는 에너지요금이 10%인상되는 것과 동일한 결과로 가동율의 증가에 따라 에너지생산과 에너지 소비가 동일하게 10% 증가하기 때문이다. 따라서 가동율의 증가도 높은 효과를 나타내는 것으로 나타났다.
- 설비규모 변화
기준 모델에서 2,400RT로 제안되어 있는 설비규모를 10% 증대하면 투자비가 오히려 감소하고 에너지 절감액은 증가하게 되는데 이를 종합하여 투자비 회수기간을 살펴보면 4.35년으로 나타나며 기준모델 대비 0.81년 감소하는 것으로 나타났다. 투자비 측면에서 배관공사비가 매우 큰 비중을 차지하는데 배관공사비가 고정되고 기존설비를 대체하여 투자비가 오히려 감소하는 효과가 발생하기 때문이다.

이상의 결과를 종합하면 그림 8에서 볼 수 있듯이 경제성에 가장 큰 영향을 미치는 요소는 설비 규모인 것으로 나타났는데 이는 수집설비 및 공급설비에 사용되는 배관공사비가 고정된 경우 히트펌프 설비를 추가하는데 드는 비용이 기존의 냉동기와 보일러를 설치하는 비용보다 작아서 오

히려 초기투자비가 감소하는 효과가 있기 때문이다. 따라서 하수처리수나 하천수를 이용하여 온도차에너지를 공급할 때에는 적절한 도시공간배치를 통해 용량을 높이는 것이 경제성확보를 위한 유용한 방법이 될 것으로 판단된다.

이상과 같이 대량 온도차에너지원인 하수열원을 이용하여 공공건물에 냉난방을 공급하거나 지역 난방에 공급하는 경우에 대하여 기술적 경제적인 영향을 분석한 결과 기술개발부문에서 성능개선과 저가화를 추진하고 보급지원 부문에서 충분한 수요처발굴과 열배관비용의 보조가 이루어지면 보급활성화가 가능할 것으로 판단된다.

특히 향후 에너지가격이 상승하는 경우 경제성이 높아지므로 유리한 조건을 갖고 있다고 볼 수 있다. 이처럼 온도차에너지는 기술개발과 보급지원을 통해 에너지 가격상승으로 인한 경제적, 환경적 위기를 해결하는 좋은 수단이 될 수 있으므로 신재생에너지에 포함시켜 포괄적인 지원이 이루어져야 할 것이다.

4.3 분야별 보급지원 방안

앞서 살펴본 Case 1 ~ Case 4모델에 대해 분석결과를 종합하여 살펴보면 각각에 적합한 보급지원 방안은 다음과 같다.

우선 Case 1은 표준모델의 경우 투자비회수기간이 5.23으로 환경편익을 포함할 경우 4.53년으로 충분한 경제성확보가 가능하며 가동시간의 증대에 따라 유지관리비 증가의 영향을 제외하면 경제성이 더욱 개선된다. 따라서 보급을 위해서는 직접적인 자금지원보다 기술에 대한 신뢰를 확보하고 가동시간의 증가를 위한 설계모델을 개발하는 것이 우선되어야 할 것이다. 이에 적합한 방법으로는 설계 및 성능평가를 위한 실증연구와 설비인증제도가 제안될 수 있다. 또한 장기간의 운전을 통해 투자비를 회수하는 사업의 특성상 안정적인 운영에 필요한 사후관리체계와 운전성능보증제도의 구축이 요구된다. Case 2의 경우 현재 지열냉난방시스템으로 신재생에너지에 포함

하여 공공기관을 중심으로 보급이 확대되고 있으나 경제성분석결과 투자비회수기간이 12.65년으로 나타나 경제성이 부족하다. 하지만 지중열교환기 설치비를 30% 절감하면 5.06년으로 투자비회수기간이 줄어들어 경제성 확보가 가능하므로 지중열교환기 설치비를 줄이기 위한 기술개발 및 보조금지급이 타당할 것으로 판단된다. 또한 Case 1, 2의 경우 가동시간이나 가동율에 따라 경제성이 크게 좌우되므로 적용사례별로 표준화된 적정설계안을 마련하여 제공하는 것도 중요한 지원방안이 될 것이다.

다음으로 case 3, 4의 경우 소비지와 열원과의 거리가 경제성을 좌우하는 중요한 요소로 나타나며 근거리에 소비지를 확보할 경우 투자비회수기간이 5.16년, 1.23년으로 충분한 경제성을 가지는 것을 확인할 수 있다. 특히 소비처와 미활용에너지원의 거리와 적정규모의 확보가 경제성에 미치는 영향이 크기 때문에 신도시개발과정에서 온도차에너지의 활용을 감안한 공간배치가 이뤄져야 함을 알 수 있다. 또한 거리에 따른 투자비 증가문제를 해결하기위해 열배관 투자비를 정부에서 보조하는 방안이 강구될 필요가 있다. 마지막으로 Case 3, 4의 경우 하수처리수나 하천수는 공공자원으로써 별도의 법규에 의해 관리되기 때문에 활용을 위한 법제도 개선이 요구된다.

이러한 보급지원방안을 간략히 정리하면 표 9와 같다.

<표 9> 부문별 보급지원정책 방안

분류	주요 열원	핵심요소 및 주요 지원방안
Case 1	온배수	- 가동 시간 및 성능신뢰성 - 품질인증 및 성능보증
Case 2	지하수	- 지중열교환기, 가동시간 - 기술개발, 보조금
Case 3	하수처리수	- 소비처와의 거리 - 실증평가, 열배관보조금
Case 4	하천수	- 소비처와의 거리 - 실증평가, 열배관보조금

앞에서 살펴본 바와 같이 온도차에너지의 분류에 따라 필요한 사항이 각각 다르게 나타나지만 이를 종합하면 다음과 같은 단계로 구성되는 것이 타당할 것이다.

- ① 실증연구를 통한 적용모델 개발
 - 가동율에 따라 경제성변화가 크기 때문에 가동율과 시스템 신뢰성을 높일 수 있는 모델을 개발하고 운전성능을 평가하는 실증연구 수행
- ② 적용모델의 요소기술 개발
 - 실증연구를 통해 얻은 적용모델의 장단점을 분석하여 기술개선방안 도출 및 개발 추진
- ③ 보급지원을 위한 보조금제도 개발
 - 기술개발성과, 적용성능평가에 따른 경제성, 환경기여도를 분석하여 적절한 보조금 지원제도 개발, 사후관리체계 및 운전성능보증제도 도입

이상의 과정은 현재 신재생에너지 지원제도에 포함되어 있는 것으로 온도차에너지를 신재생에너지에 포함하여 지원을 실시할 경우 보급지원에는 문제가 없을 것으로 판단된다.

5. 결론

미활용에너지중 기술적, 경제적으로 활용도가 높은 온도차에너지를 4가지로 분류하고 개략적인 경제성 분석을 수행하였다. 이를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) Case 1의 경우 경제성에 영향을 미치는 요인이 적고 투자비회수기간이 5.23년으로 짧아 소비자의 신뢰를 확보하기 위한 성능인증 및 보증제도 확립이 가장 적합할 것으로 판단된다.
- 2) Case 2의 경우 신재생에너지로 보급이 진행되고 있으나 투자비회수기간이 12.65년으로 나타나 경제성 개선이 필요하며 지중열교환기 저가화를 위한 기술개발과 보조금 지급이

요구된다.

- 3) Case 3, 4의 경우 소비처와의 거리가 핵심요소로 온도차에너지 사용에 적합한 도시공간 배치가 요구되며 온도차에너지의 사용범위확대를 위해 열배관 투자비에 대한 보조금지원이 필요하다.
- 4) 온도차에너지의 환경편익을 감안할 때 경제성이 크게 향상되며 기술개발을 통해 추가로 사업화가 가능한 수준으로 경제성을 향상시킬 수 있을 것으로 판단된다.

이상과 같이 온도차에너지를 분류하고 경제성에 영향을 미치는 핵심요소에 대해 분석하여 타당한 지원정책을 분류하였다. 온도차에너지의 경제적, 환경적 가치를 감안할 때 향후 온도차에너지에 대해 엄밀한 규정마련과 함께 온도차에너지원의 구체적인 적용 사례별로 보급 확대를 위한 경제적 효과 연구가 지속적으로 수행되어야 할 것이다.

참고문헌

1. 김용식, 김중현, 황광일, 2006, 주상복합 건축물에 적용된 지열이용 히트펌프 시스템의 냉방성능 평가, 한국태양에너지학회 논문집, 제 26권, 제4호, pp. 9-16.
2. 박근우, 남현규, 강병찬, 2007, “유출지하수 열원 지열히트펌프의 냉난방성능”, 대한설비공학회 동계학술발표회 논문집, 서울, 11월 30일, pp. 434-440.
3. 박용부, 백성권, 안형준, 2007, 공동주택 지열 냉난방 시스템 적용에 관한 연구, 주택도시연구원.
4. 박일환, 윤형기, 장기창, 박준택, 박성룡, 2005, “LCC분석에 의한 하천수 미활용에너지 이용시스템의 경제성 평가”, 설비공학논문집, 제 17권, 제 6호, PP.506~604.
5. 박준택, 2005, “미활용에너지 이용기술동

- 향”, 에너지절약기술동향, 제32호, 한국에너지기술연구원, pp.116 - 156.
6. 박준택, 2004, “온도차에너지 이용 냉난방기술”, ESCO, 통권 제27호 pp.26-43, 에너지절약전문기업협회.
 7. 송윤호, 김형찬, 이철우, 황세호, 조병욱, 이태중, 심병완, 안은영, 2005, 국내 지하 열 자원 활용기술 개발의 중장기 계획, 산업자원부.
 8. 신현준, 조정식, 김세동, 이태원, 김태형, 최도혁, 안철홍, 이세권, 도시 미활용에너지 이용 열펌프시스템 개발에 관한 최종보고서, 통상산업부, 1997.
 9. 임성균, 안형준, 백성권, 지열냉난방실증연구 최종보고서, 산업자원부, 2005
 10. 최병윤, 1997, “온천숙박시설에서의 히트펌프 적용사례”, 공기조화냉동공학회 냉동부문강연회 자료집, pp. 13-38.
 11. 황우섭, 정우성, 안영섭, 황기섭, 2007, “강변여과수(충적층 및 하상)를 이용한 열펌프 냉난방시스템의 실증연구Ⅱ”, 대한설비공학회 하계학술발표회 논문집, 용평, 6월20 - 22일, pp. 1207-1212