

## 지열자원 부존·활용 정보의 경제적 효과

안은영<sup>1)\*</sup>

### 1. 서론

경제적 효과 분석대상인 지열자원 부존·활용정보 구축 연구는 국내 지열자원 부존량을 정량적 평가하고 천부지열을 이용한 열펌프시스템 사용으로 인한 건물 냉난방, 심부지열을 이용한 건물 냉난방 및 바이너리 발전을 실현하기 위한 것이다. 본 연구에서는 지열자원 부존·활용정보 구축 연구의 성과를 산정하고 그 화폐화된 가치를 계량화하고자 한다.

### 2. 지열열펌프산업의 사적 지반조사비용과 시추비용 저감 효과

구축된 지열자원 부존·활용정보를 통해, 지열열펌프시스템을 설치하여 이용하고자 할 때 지중열교환기 설치 시 지반조사비용과 시추비용 저감 등의 효과를 기대할 수 있다. 이러한 효과는 지열열펌프시스템 설치 비용의 저감으로 지열열펌프시스템 이용자 및 공급자에게 편익을 발생시킨다. 기존의 지질정보의 기여도 및 경제적 파급효과 분석에 대한 국내외의 연구 사례를 통해 지하수지열분야에서 지질정보의 기여도는 최소 2%에서 47%로 산정한 것을 알 수 있다. 본 연구에서는 영국지질조사소(BGS)의 D. Falvey and K. Westhead(2005)의 사례분석을 통한 지질정보의 지열열펌프 설치에 대한 기여도의 산정 결과를 이용하여 지열열펌프산업의 사적 지반조사비용과 시추비용 저감분을 산정한다.

에너지관리공단 대체에너지개발보급센터(2004)의 2004년도 대체에너지원별 기술자료에 따라 2004년 현재 기술의 지중열교환기 시공비용의 5%를 지열자원 부존·활용 정보에 의한 지반조사비용과 시추비용 저감 효과로 산정하였다. 그 결과 한 가구당 20만원(2006년 개발기술 기준 15만원)의 지반조사비용과 시추비용 저감 효과가 발생하는 것으로 나타났으며, 안은영 외(2005)의 국내 지열자원 보급 가능량을 적용한 결과 620억원의 지열열펌프산업의 사적 지반조사비용과 시추비용 저감효과가 발생할 것으로 기대된다.

### 3. 지하수 및 심부지열수 이용으로 지열열펌프 이용자의 에너지소비비용 절감 효과

미국 EPA는 지열 열펌프에 대한 입장에서 지열자원 이용 열펌프 시스템이 가정용 주택이나 빌딩의 냉난방 장치 가운데 현재까지 개발된 설비 중에서 가장 효율적이고 쾌적함을 제공해주는 시설이라고 규정한 바 있다. 이는 지열열펌프시스템이 기존의 냉난방 시설에 비해 높은 성적계수(Coefficient of Performance, COP)를 가지기 때문이다. 한정상 등(2004)에 따르면 기존의 화석연료 이용 시설의 성적계수(COP)가 1 이하인데 비해 현재 지열열펌프시스템의 COP는 3.5~4.5 정도로 화석연료 이용 시설에 비해 월등한 에너지절약효과를 기대할 수 있으며, 지하수 이용 지열열펌프시스템을 적용할 경우 COP 5.5~6.0 수준까지 향상 가능하다. 본 연구는 지하수를 이용하는 경우 지열열펌프시스템의 성적계수의 상승에 주목하여, 에너지비용의 저감분을 산출하여 지하수 및 심부지열수 이용으로 인한 경제적인 효과를 산정한다. 지하수 및 심부지열수 이용으로 인한 시설비용을 고려하는 경우에는 추가비용 및 기술의 진보로 인한 가격 하락 등 추가적인 분석을 요하는 것으로 본 연구에서는 지하수/심부지열수 이용으로 인한 추가적인 편익 부분만 고려한다. 지열열펌프시스템 사용 시 효율 90%로 난방 시 5.5, 냉방 시 6.0의 성적계수를 적용하는 경우 기존의 중앙난방식 보일러 및 에어컨/선풍기 사용 시보다 가

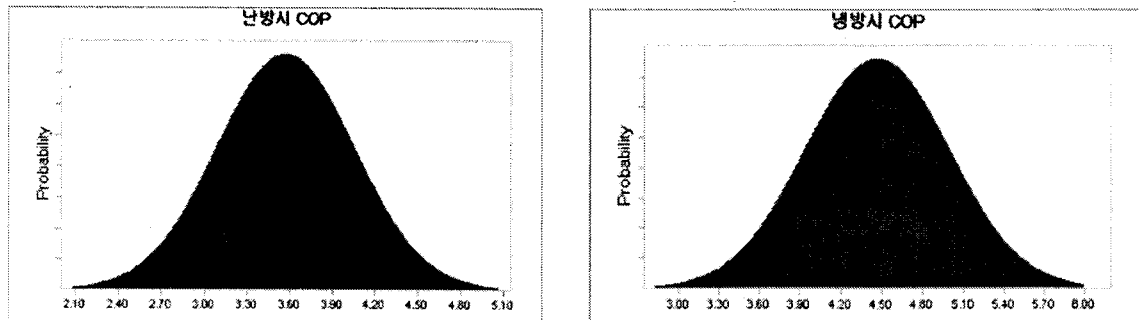
주요어 : 지열, 분포도, 경제적 효과

1) 한국지질자원연구원 정책연구부 연구원(eyahn@kigam.re.kr)

구당 연간 에너지비용이 113.07만원 저감되는 것으로 나타나, 보수적으로 효율 90%의 성적계수 3.5의 지열열펌프시스템을 사용하는 경우보다 가구당 연간 6.99만원의 추가적인 저감이 가능함을 확인할 수 있다. 국내 지열자원 보급 가능량을 적용한 결과, 지열자원 부존·활용정보를 활용한 지하수 및 심부지열수 이용으로 25년 분석기간 동안 216억 69백만원의 효과가 발생할 것으로 기대된다.

#### 4. 지열열펌프시스템 최적화로 인해 지열열펌프 이용자의 에너지소비비용 불확실성 감소 효과

기존의 안은영 외(2005)에서는 지열열펌프시스템 이용에 따른 사적 경제적 파급효과로 에너지 소비비용 절감을 통한 화폐비용을 산정하였다. 기존의 분석 시 지열열펌프시스템의 성적계수는 2003년 현재 기술 수준으로 보수적으로 효율 90%의 성적계수 3.5를 가정하였으나 신현준(2003)의 성능 측정 결과와 같이 시스템의 적정설계 및 시공여부에 지열열펌프시스템의 성능이 바뀔 수 있으므로 지열열펌프시스템의 성적계수에 대해 불확실성을 도입하여 확률함수를 적용한다. 냉방과 난방 시의 지열열펌프시스템의 성적계수는 정규분포로 가정하되 신현준(2003)의 성능 측정 결과를 통해 산정한 냉방 시 성적계수의 평균 4.47과 표준편차 0.53을, 난방 시 평균 3.57, 표준편차 0.49를 각각 적용한다(난방 시 5.5, 냉방 시 6.0의 성적계수 상한 적용)(그림 1). 냉방과 난방 시의 성적계수(COP)는 작용 방향이 반대이지만, 같은 시스템을 사용하므로 하절기와 동절기의 이용 시의 성능이 상관관계가 높다고 볼 수 있으므로 서로 0.8의 상관관계를 가정한다.



[그림 1] 지열열펌프시스템의 성적계수의 분포

위와 같은 냉방 시와 난방 시의 성적계수에 확률함수를 도입하여, 가구당 지열열펌프시스템 사용으로 인한 연간 에너지비용의 저감액을 시뮬레이션한 결과는 다음 표와 같다(표 1).

<표 1> 지열열펌프시스템 사용으로 인한 연간 에너지비용의 저감액(단위 : 만원, 가구 당)

구분	결과	구분	결과
평균	108.13	95% 신뢰구간	하한 102.43
중앙값	108.45		상한 111.94
최소값	81.88	99% 신뢰구간	하한 99.63
최대값	114.25		상한 112.76

기존의 분석 시와 달리 냉난방 시의 성적계수의 차이가 나타날 가능성을 고려하고 확률함수 도입으로 보수적으로 결정적인 값을 적용하지 않았으므로 가구당 평균 108.13만원, 중앙값 108.45만원으로 기존 안은영 외(2005)의 106.08만원의 확정적인 값보다 높게 나왔다. 그러나 95%의 신뢰수준으로 볼 때 102.43만원에서 111.94만원의 가구 당 지열열펌프시스템 사용으로 인해 연간 에너지비용의 저감액을 기대할 수 있어서, 기존의 확정적인 분석값도 받아들일 수 있는 값을 확인할 수 있다. 또한 국내 지열자원 보급 가능량 31만 가구를 적용하여 시뮬레

이전하여, 위와 같이 지열열펌프시스템의 성적계수에 따른 불확실성을 고려한 기대함수를 나타내었다. 그 결과 확률적으로 최소 81.88만원, 최대 114.25만원을 기대할 수 있어서 지열열펌프시스템의 발현되는 성적계수에 따라 최대 연간 32.37만원의 불확실성이 존재함을 알 수 있다. 불확실성의 크기는 확률적으로 정해지는 것으로, 이에 따른 국내 지열자원 보급 가능량을 적용한 불확실성의 크기는 연간 9억 63백만원으로 나타났다.

위와 같이 계량화한 지열열펌프시스템 성능의 불확실성은 시스템의 적정설계 및 시공여부에 따른 것으로, 지열열펌프시스템 최적화로 인해 지열열펌프 이용자의 에너지소비비용의 불확실성 감소의 효과를 기대할 수 있다. 따라서 본 연구에서는 지열열펌프시스템 최적화에 대한 지열자원 부존·활용정보의 기여도를 산정하는 것이 필요하다. 지열열펌프시스템의 최적화에 영향을 미치는 요소를 도출하고 각각에 대한 지열자원 부존·활용정보의 기여도를 산정하여 총 기여도를 도출한다. KS C 9306 "에어컨디셔너"의 부속서 1 「냉방능력 및 히트펌프 난방 능력 측정」을 통해 시스템의 성능을 평가한 신현준(2003)의 지열열펌프시스템의 설계와 시공 프로세스에 부산대학교 기계공학과(2006)의 지중열교환기의 선정 과정을 종합하여, 지열열펌프시스템 최적화에 영향을 미치는 세부 요소와 그 위계를 도출하였다. 그리고 각각의 세부 설계 및 시공의 요소에 대한 기여도를 수치화한 다음, 표준화과정을 거쳐 계량화하였다. 그 결과 지열열펌프시스템 최적화에 대한 지열자원 부존·활용정보와 지열열펌프시스템 산업의 설계/시공산업 기술의 기여도를 각각 0.16과 0.84로 나타났다. 따라서 국내 지열자원 보급 가능량을 적용한 지열열펌프시스템 최적화로 인해 불확실성의 크기 감소의 효과는 1억 54백만원으로 나타났다.

### 5. 지열자원 부존·활용 정보의 경제적 효과 종합 및 결론

위와 같이 지열자원 부존·활용정보 구축으로 지열열펌프시스템의 산업 및 이용자에 대한 경제적 효과는 271억 35백만원으로 나타났다(표 2).

<표 2> 지열자원 부존·활용정보의 지열열펌프시스템 산업 및 이용자에 대한 경제적 효과

구분		내용
지열열펌프산업의 사적 기반조사비용/시추비용 저감 효과	분석기간	620억원
	연간	53억 12백만원
지하수/심부지열수 이용으로 인한 지열열펌프 이용자의 에너지소비비용 절감의 향상분(연간)		216억 69백만원
지열열펌프시스템 최적화로 인해 지열열펌프 이용자의 에너지소비비용의 불확실성 감소의 효과(연간)		1억 54백만원
합계(연간)		271억 35백만원

이 결과는 지열열펌프시스템을 통한 천부지열 이용과 지하수/심부지열수를 이용한 효과를 산정한 것으로, 지열열펌프시스템 외에 바이너리 발전 등의 다른 활용처에 지열자원 부존·활용정보가 이용되는 효과를 고려하지 않은 것이다.

#### 참고문헌

- 에너지관리공단 대체에너지개발보급센터, 2004, 대체에너지원별 기술자료, p. 600.
- 신현준, 2003, 지열 냉난방 시스템 성능 측정 용역 보고서, 한국건설기술연구원, p. 95.
- 부산대학교 기계공학과, 2006, 지열 이용 열펌프 시스템의 설계 및 성능평가 기법, p. 49.
- 안은영, 김성용, 송윤호, 2005, 지열자원 활용에 대한 사적, 공공적 관점에서의 비용편익분석, 한국지구시스템공학회지 제 42권 제 4호 pp. 318-329.
- 한정상 외, 2004, 지열펌프 냉난방 시스템, 도서출판 한림원. p. 180.
- D. Falvey and K. Westhead, 2005, Translating Geological Data into Information for Land and Property Owners, Cost-Benefit-Analysis of Geological Expertise, International Symposium October 15-16, 2005, Vienna, Austria(현장발표 자료).