

# 지열시스템의 경제성 분석

김 금 수 / 호서대학교

지열시스템이란 지열 에너지를 이용한 냉난방, 발전 등을 위한 설비시스템을 통칭하는 개념이다. 본고는 이러한 지열시스템을 설치하여 이용하는 것이 과연 경제적으로 의미가 있느냐에 관심을 갖는다. 아무리 좋은 자원이나 기술이라 할지라도 그것을 활용하는데 소요되는 비용이 그것으로부터 나오는 편익보다 크다면 현실적으로 큰 의미가 없다는 점에서 경제성분석의 중요성을 찾을 수 있다. 민간 기업은 경제성이 없는 자원이나 서비스를 생산하려고 하지 않을 것이며, 정부도 일반국민들로부터 지지를 받을 수 없기 때문에 경제성이 없는 사업을 지속할 수 없을 것이다.

경제성분석의 관점에서 한 에너지시스템은 그것이 만들어내는 비용과 편익의 흐름에 의해 특성화해볼 수 있다. 이런 관점에서 지열시스템의 가장 큰 장점은 기후변동에 얽매이지 않는 독립적인 에너지원이라는 점과 서비스 생산과정에서 환경적 영향이 크지 않다는 점일 것이다. 반면에 양호한 지열원이 지역적으로 불균등하게 분포되어 있고, 시스템을 설치하는 초기에 많은 고정비용이 지출된다는 단점을 안고 있다.

지열시스템이 환경적으로 큰 영향을 주지 않는다는 점을 구체적으로 설명할 필요가 있다. 먼저 지열시스템이 자연적으로 존재하는 지열에너지를 그대로 이용한다고 해서 환경적 영향이 전혀 없지는 않다는 점을 지적해야 할 것이다. 지열에너지를 채취하는 과정에서, 또

내구연한이 다 한 지열시스템을 폐기한 후의 환경적 영향이 존재하기 때문이다. 그러나 화석연료에 의한 시스템과 비교할 때 지열시스템이 갖는 환경측면에서의 이익이 부각된다. 화석연료시스템은 그 서비스생산에 있어 불가피하게 이산화탄소 등을 배출하여 지구온난화를 부추긴다는 비난을 받는 반면에 지열시스템은 전혀 그렇지 않기 때문이다.

지열시스템, 나아가 신재생에너지의 활용을 통해 얻게 되는 이산화탄소 배출저감의 이익은 앞으로 점점 더 커질 전망이다. 국제사회는 최근 목격되고 있는 불안정한 기후패턴이, 또 그로 인한 피해가 인간의 경제활동, 특별히 그 경제활동을 뒷받침하기 위한 화석연료의 사용에 기인한바 크다는 데 공감대를 형성하고 화석연료의 연소 중에 발생하는 이산화탄소의 배출을 통제하기로 한 것은 주지의 사실이다. 이것의 최종적인 결실은 1997년에 합의된 교토협약으로서 이른바 부속서1국의 2012년까지의 의무감축량을 규정하고 있다. 우리나라는 현재 의무감축국에 속해있지 않으나 교토의정서가 만료되는 2012년 이후의 협상에는 의무감축국의 대열에 속하게 될 것이 유력시되고 있다. 이산화탄소 배출을 통제하고자 하는 이 같은 국제사회의 노력을 배경으로 이산화탄소 배출권(pollution permits)이 시장에서 거래되어 바야흐로 탄소배출저감의 노력이 시장에서 화폐가치로 평가되기 시작했다. 세계은행의 보고에 의하면 2008년의 경우 전 세계적으로 48억톤, 1,260억 US 달러의 탄소배출권이 거래된 것으로 파악되고 있다.

이 같은 국제사회의 흐름에 발맞추어 우리 사회도 저탄소 녹색성장을 기치로 내걸고 경제사회구조를 변혁하고자 하는 시점에 있다. 정부는 이러한 국정관의 비전하에서 『저탄소 녹색성장기본법』을 마련하고 국회의 심의를 기다리고 있으며 『신에너지 및 재생에너지 개발 이용보급 촉진법』을 제정, 공포하고 제3차 신재생에너지 보급 기본계획을 수립해놓고 있다. 동 계획에 의하면 2030년까지 전체발전량의 약 8%를 신재생에너지가 담당토록 하고 있으며 그 중 지열에너지가 차지하는 비중은 약 7%가 된다. 또 이런 계획을 착실히 추진하기 위하여 이른바 RPS (Renewable Portfolio Standard) 제도를 2012년부터 도입하여 전력생산자로 하여금 의무적으로 지열을 포함한 신재생에너지를 사용하도록 할 계획으로 있다. 이것이 시행되면 지열을 포함한 신재생에너지에 기반한 에너지시스템이 보다 안정적으로 판매될 수 있는 환경이 조성될 것이다.

화석연료의 사용을 대체함으로써 지열에너지가 갖게 되는 이익은 환경적 영향이 적다는 것에 그치는 것이 아니다. 점차 고갈되어 가고 있는 화석연료에 대한 대외의존을 줄여줌으로써 확보하게 되는 에너지안보상의 이익을 추가적으로 생각할 수 있다. 지금까지 언급한 지열시스템의 환경적 이익, 에너지안보상의 이익을 생각할 때, 지열발전의 경우 아직은 발전단가 면에서 화석연료와 비교하여 경쟁력이 있다고 볼 수 없으나 시간이 흐를수록 점점 더 그 경제적 타당성을 확보해갈 전망이다.

## II. 경제성분석의 기본절차

경제성분석은 크게 보아 비용편익분석(benefit-cost analysis)의 하나라고 할 수 있다. 굳이 구별하자면 비용편익분석은 주로 관련시장이 존재하지 않아 비용과 편익을 객관적인 가격으로 평가하기 힘든 부분이 있는 공익사업(public project)에 적용되는 것이라고 할 수 있는 반면 경제성분석은 비용과 편익을 시장가격으로 평가할 수 있는 민간사업의 타당성분석(feasibility analysis)이라고 할 수 있다. 그러나 그 기본 절차는 동일하다.

경제성분석의 기본절차를 소개하면 다음과 같다. 첫째, 사업의 범위 또는 관점을 확인한다. 둘째, 대상 사업의 이공학적 투입물과 산출물의 흐름을 확인한다. 셋째,

모든 투입물과 산출물을 화폐가치화 한다. 넷째, 정해진 기준에 의해 결론을 내린다. 여기서 가장 어려운 단계는 세 번째 단계일 것이다. 일일이 비용과 편익을 금액으로 환산하는 것도 쉬운 작업이 아니거니와 특별히 어떤 요소의 경우 관련되는 시장이 존재하지 않아 객관적인 가격이 존재하지 않게 되면 그것을 화폐가치화하기가 매우 곤란하기 때문이다. 이 경우 그 가치를 추정하는 방법들이 개발되어 있기는 하지만 많은 왜곡이 있을 수 있는 부분이라고 할 수 있다. 마지막 단계의 경제성에 관한 최종결론을 내리기 위한 기준으로는 순현재가치, 편익-비용비율, 내부수익률 등이 있다.

가령 위 기본절차의 셋째 단계까지 분석이 진행되어 한 사업의 화폐가치화 된 비용과 편익의 흐름이 다음과 같다고 하자.

$$B_0, b_1, \dots, B_n; C_0, C_1, \dots, C_n$$

위의 수식에서  $B, C$ 는 각각 편익과 비용을,  $B_1, C_1$ 은 시스템의 내구년수(耐久年數)를 나타낸다. 따라서 는 각각 년도에 발생하는 편익과 비용을 나타낸다. 또 여기서 하첨자 0 은 현재를 나타낸다. 최종 의사결정을 위한 기준의 하나인 순현재가치(Net Present Value)란 순편익의 현재가치를 말하며 순편익은 편익에서 비용을 차감한 것을 의미한다. 예를 들면 년도의 순편익은  $B_1 - C_1$ 이다. 이것의 현재가치는  $(B_1 - C_1)/(1+r)^1$ 이다. 즉 순편익을  $(1+r)^1$ 로 나누어 그것의 현재가치를 구하였다. 현재가치란 미래에 발생하는 가치와 동등한 가치를 갖는 현재 확보할 수 있는 가치를 말한다. 현재가치를 구하기 위해  $(1+r)^1$ 로 나누어 준 것은 증식의 논리에 기반하고 있으며, 이 같이 나누어 주는 것을 할인한다고 말한다. 이제 각 년도의 순현재가치를 모두 합하면 다음 수식이 된다.

$$\sum_{t=0}^n (B_t - C_t)/(1+r)^t$$

이것이 정(正)의 값이면 사업은 경제적 타당성을 갖는다고 판단한다. 이 기준을 가지고 경제적 타당성이 확보되는 사업의 적정규모를 정하는데 도움을 받을 수도 있으며, 또 여러 대안이 되는 사업 가운데 하나를 선택하는 기준으로 활용할 수도 있다.

다음으로 편익-비용비율(Benefit-Cost Ratio)의 기준이 있다. 이는 다음 수식과 같은 할인된 편익의 흐름의 합과 할인된 비용의 흐름의 합의 비율이 1보다 크면 사

업의 경제적 타당성이 확보된 것으로 본다.

$$\left(\sum_{i=0}^n B_i / (1+r)^i\right) / \left(\sum_{i=0}^n C_i / (1+r)^i\right)$$

마지막으로 내부수익률(internal rate of return)에 의해 판단을 내릴 수 있다. 내부수익률이란 사업의 내구년수 동안 순현재가치 흐름의 합을 0으로 만드는 할인율을 말한다. 즉 다음의 식을 만족시키는 할인율을 이라고 부른다.

$$\sum_{i=0}^n (B_i - C_i) / (1+IRR)^i = 0$$

이때 시장이자율이 내부수익률보다 작다면 사업은 경제적 타당성을 확보한 것으로 판단할 수 있다. 왜냐하면 보통 시장이자율로 할인하여 현재가치를 구하기 때문이다. 만약 대안이 되는 여러 사업 가운데 하나를 선택하고자 한다면 내부수익률이 가장 큰 사업을 선택하면 될 것이다.

만약 다루고자 하는 분석이 한 시스템의 도입여부를 결정하기 위한 타당성분석이 아니라 두 시스템, 즉 기준이 되는 시스템과 새로이 도입하고자 하는 시스템을 비교하기 위한 타당성분석이라면 약간의 주의가 필요하다. 즉, 한 시스템이 그 자체로 경제적 타당성을 확보하고 있다 하더라도 다른 시스템에 비해 실현할 수 있는 순편익이 작다면 이는 실질적으로 타당성이 없는 것으로 볼 수 있기 때문이다. 가령, 기준이 되는 시스템과 새로이 도입되는 시스템을 각각 A라고 하고 두 시스템의 내구년수는 모두 n이라고 하자. 또 내구년수 안의 임의의 년도 t에 발생하는 A로부터의 편익과 비용을 각각 a\_t라고 하자. 이 때 두 시스템의 상대적 순현재가치(Net Present Value)의 흐름의 합은 다음과 같이 정의된다.

$$\sum_{i=1}^n ((B_i^E - B_i^O) - (C_i^E - C_i^O)) / (1+r)^i$$

여기서 E는 할인율이다. 위의 값이 0보다 크면 새로이 도입되는 시스템은 기준이 되는 시스템과 비교하여 상대적으로 경제적 타당성을 갖는다고 판단한다. 또 내구년수 안에 위의 순현재가치를 0으로 만들어 주는 내부수익율을 계산하여 상대적 타당성을 판단할 수도 있다. 위의 상대적 순현재가치는 다음의 식으로 다시 표현할 수 있으며 그 의미를 보다 명확하게 보이게 한다.

$$\sum_{i=0}^n (B_i^E - C_i^E) / (1+r)^i - \sum_{i=0}^n (B_i^O - C_i^O) / (1+r)^i$$

즉 상대적 순현재가치란 두 사업의 순현재가치의 차이를 의미하는 것이다. 따라서 상대적 순현재가치가 0보다

크다는 것은 한 사업의 순현재가치가 다른 사업의 그것보다 큰 것을 의미하기 때문에 앞의 사업이 다른 사업보다 상대적 타당성을 확보하고 있다고 판단할 수 있는 것이다. 상대적 타당성분석에서 추가로 언급할 필요가 있는 것은 사업 시행전에 대안이 되는 두 사업을 비교하는 것인지 혹은 이미 설치된 기존의 사업을 철회하고 새로운 사업을 시행하기 위해 두 사업을 비교하는 것인지를 구분할 필요가 있다는 점이다. 후자의 경우 비용항목에 기존 사업을 철회하는데 따른 매몰비용(sunk cost)을 계상해야 하기 때문이다. 매몰비용이란 회수할 수 없는 비용을 말하는 것으로서 예를 들면 사업철회에 따라 철거된 기계 또는 시설 중에서 회수할 수 없는 비용을 말한다.

위에서 정리한 경제성분석의 기본절차에 따라 지열 시스템을 구축하는 것의 경제성분석을 일반적인 수준에서 정리해보면 다음과 같다.

첫째, 사업의 범위 또는 관점을 확인한다. 이 단계에서 언급할 필요가 있는 것은 관점이다. 사업의 주체가 사적 이익을 추구하는 민간기업의 입장인가 아니면 사회전체의 후생을 추구하는 정부의 입장인가에 따라 경제성분석의 결과가 다르게 나올 수 있다. 환경영향의 비용과 편익의 어떤 부분은 민간 기업이 감안하지 않을 수도 있기 때문이다. 또, 이미 언급한 것이지만 한 독립적인 지열시스템의 경제성을 분석하는 것이냐 혹은 기존의 화석연료시스템과 비교한 지열시스템의 상대적인 경제성을 분석하는 것이냐를 명확히 구분할 필요가 있다. 대부분의 경우 후자 즉 기존의 시스템을 지열시스템으로 대체했을 때의 상대적 타당성분석에 관심을 갖는다.

둘째, 대상 사업의 이공학적 투입물과 산출물의 흐름을 확인한다. 이 단계는 화폐가치화(貨幣價値化)로 가기 전 단계로서 시스템 설치와 관련된 모든 이공학적, 자연과학적 요소를 나열하는 순서이다. 시설의 설치에 필요한 자재, 원료, 인력, 에너지 등이 포함되어야 할 것이며 뿐만 아니라 시설 설치로 인한 주변환경에의 영향을 포함해야 한다. 가령 지열발전소를 건립하는 예를 든다면 지질탐사, 천공, 발전시설의 건축 및 운영, 유지 및 보수 등에 투입된 모든 자재, 원료, 인력, 에너지 등이 투입물이 될 것이며, 산출물은 생산된 전기에너지, 천공과 시

## ● 기 획 시 리 즈

설의 운영 중에 발생하는 대기 및 수질오염물질, (절약된 화석연료로 말미암는) 이산화탄소의 저감량 등으로 나열할 수 있다. 이와 같은 투입물과 산출물은 시스템의 내구연한 내에서 흐름으로 계속되다가 시스템이 수명을 다하면 정지된다. 따라서 마지막으로 생각해야 하는 요소는 내구연한이 어느 정도 될 것인가와 폐기 시 회수할 수 있는 시설과 폐기후의 환경비용이 될 것이다.

셋째, 모든 투입물과 산출물을 화폐가치화 한다. 한 독립적인 지열시스템의 경제성 분석이라면 시스템설치의 공학적 비용, 생산된 전기의 가치, 개선된 환경의 가치 등을 모두 계산해야 할 것이다. 공학적 비용의 경우 지열발전은 예로 든다면 발전소가 건설되는 지역의 지질구조, 채택되는 발전기술 등에 의해 영향을 받게 된다. 경제성 분석이 대개 사업 전에 시행되므로 천공 중에 기대하지 않은 암반층의 발견으로 말미암아 공사자재를 중단할 수 있는 가능성은 경제성분석을 복잡하게 만드는 한 요소이다. 생산된 전기의 가치, 개선된 환경의 가치는 전기시장과 탄소시장의 구조에 의존하게 되며, 이들은 다시 국내외의 환경규제에 영향을 받게 되므로 이들의 가치평가에는 상당한 불확실성이 개재된다고 보아야 할 것이다. 한편 분석의 초점이, 기준이 되는 화석연료시스템에 대비되는 지열시스템의 상대적 타당성분석이라면 냉난방서비스, 전기에너지와 같은 직접적인 산출물의 화폐가치는 서로 상쇄되므로 계산할 필요가 없다. 다만 동일 발전능력을 갖는 두 시스템의 초기 건설비용 및 운영비용, 유지보수비용의 차이를 계산하는 것과, 지열시스템으로의 교체로 말미암아 절약된 화석연료 사용량의 환경적 이익, 에너지안보상의 이익 등을 계산하는 것이 어려운 과제로 남는다. 이 외에도 비용과 편익을 계산함에 있어 미리 정하기 곤란한 요소들이 있는데, 실질가치 환산을 위한 물가, 현재가치계산을 위한 할인율 (보통 시장이자율로 대체)에 대한 전망의 문제가 그것이다. 이들 요소들은 경제의 여러 복잡한 요인에 의해서 결정되므로 일정한 가정 하에 경제성분석이 진행될 수밖에 없다.

마지막으로, 모든 요소가 화폐가치화 되면 이미 설명한 여러 기준에 의해 최종 결론을 내리게 된다. 내부수익률은 계산하기 힘든 면이 있지만, 현실에 존재하는 여러 종류의 이자율 가운데 과연 어느 것을 할인율로 선택할 것이냐를 고민할 필요가 없어 편리하다.

RetScreen은 인터넷을 통해 무료로 얻을 수 있는 에너

지시스템의 경제성분석을 위한 유용한 Software 이다. RetScreen 4.0을 참고로 설명하면 초기화면에서 에너지 효율, 냉방, 난방, 냉난방 복합, 발전 등의 분석영역을 선택할 수 있으며 기본적으로 기준 시스템 (base case) 과 제안 시스템 (proposed case)을 비교할 수 있도록 프로그램 되어 있어, 위에서 설명한 상대적 타당성분석에 적합한 Software라고 할 수 있다. 제안 시스템이 지열을 포함한 신재생에너지를 활용하는 것일 경우 에너지원 별로 각 회사의 제품이 미리 입력되어 있어 선택하면 각 제품의 성능 등이 자동으로 입력되도록 프로그램 되어 있다. 타당성분석을 위해서 RetScreen 이 입력을 요구하는 몇 가지 지표들이 있다. 기술적 지표와 경제적 지표로 나누어 볼 수 있는데, 먼저 기술적 지표로는 지열을 이용한 냉난방시스템의 경우를 예로 든다면 냉방이 필요한 건물면적, 시스템의 에너지효율 향상조치 (Energy Efficiency Measure), 단위면적당 냉방부하, 기후후의 냉방필요 비율, 시스템의 냉방능력, 시스템의 생애주기(project life), 냉방성능(COP) 등이다. 경제적 지표로는 물가상승율, 이자율, 환율과 같은 거시경제지표 및 전력단가에 대한 장기전망자료이다. RetScreen은 암묵적으로 위 전망치가 분석기간 동안 불변인 것으로 가정하고 있음을 유의해야 한다.

## IV. 맺는말

지열에너지는 지하에 존재하여 기후변화에 독립적으로 항상 접근할 수 있는 지속가능한 에너지원이다. 더구나 이를 이용하는데 화석연료와 달리 이산화탄소 같은 대기오염물질을 배출하지 않아 최근 전 세계적으로 각광을 받고 있는 신재생에너지의 하나이다. 그러나 다른 신재생에너지와 비교하여 양호한 지열원이 특정 지역에 집중되어 있어, 지열원이 심부에 존재하는 지역의 경우 탐사와 천공에 불확실성이 존재하며, 시스템의 설치 및 운영비용이 적지 않게 소요된다는 단점이 있다. 향후 화석연료가 점차 고갈되어가고, 기후변화와 같은 환경 문제에 관심이 더욱 깊어짐에 따라 화석연료시스템에 대비된 지열시스템의 상대적 경제성은 점차 커질 것으로 전망된다. 지금까지 소개한 경제성분석은 이 같은 주장을 계량화함으로써 지열시스템 도입을 위한 의사결정에 유용한 정보를 제공하고 있다.