

대체에너지 기술개발에 대한 수익성 평가분석*

An Economic Evaluation about Research and Development for Renewable energy in Korea

전영서**, 김진오***
Young Seo Jeon, Zin Oh Kim

<목 차>

- I. 서론
- II. 기술개발에 대한 기술적 경제성 분석방법
- III. 대체에너지 공급모형 추정 및 파급효과에 근거한 경제성 분석
- IV. 결론

Abstract

This paper tried to evaluate an economic analysis about research and development for areas of renewable resource in Korea. To evaluate this validity, we tried to calculate the spillover effect of R&D investment through input-output table. In the first stage of spillover effect, we simply calculate the rate of return on R&D investment for renewable energy resources in Korea through the input-output model, which can calculate the value added as well as output based upon the price of 2000 year. According to the first stage calculation, the rate of return on R&D investment in solar heat is higher than any other renewable energy. In the second stage we tried to calculate the second round of spill over effect, which derives from the additional amount of supply of renewable resources due to the R&D investment. The overall evaluation of R&D investment including the first stage as well as second stage spillover effect shows that bio-energy and waste energy generate 14 times as well as 2.5 times in the rate of return respectively.

Key words : renewable energy, research and development, economic evaluation, spillover effect, input-output model

핵심어 : 대체에너지, 기술개발, 수익성, 파급효과, 산업연관모형

* 본 연구는 2003년 한양대학교에서 지원해 주는 교내연구비와 에너지경제연구원의 김진오 부원장님이 갖고 계신 연구자금의 지원 하에서 연구된 내용임.

** 한양대학교 경제금융대학 교수, E-mail: jeonys@hanyang.ac.kr

*** 에너지경제연구원 부원장, E-mail: jokim@keei.re.kr

I. 서론

우리나라 경제는 최근 반복적으로 30불 이상을 넘나드는 고유가상황에 직면하게 되었다. 고유가현상은 직접적으로 우리나라 무역수지 악화 및 국내물가 인상압력으로 작용하게 된다. 전문가들은 과거 2-3년 전부터 반복되고 있는 고유가 현상이 일시적인 현상이라기보다 중동지역의 정치적 불안과 더불어 지구상의 화석연료가 고갈되고 있는 현상이라고 분석하고 있다.

고유가상황에 직면한 우리나라 정부는 장기적 에너지정책으로 먼저 에너지이용기술을 개발하여 기존 에너지이용에 대한 기술적 효율성을 향상시키는 이용효율성 제고전략이 필요하겠고, 둘째 산업구조측면에서 에너지 과소비형 산업구조에서 에너지 저소비형 산업구조로 산업구조개편을 하는 것이 시급하다고 평가된다. 셋째, 국산 대체 에너지를 개발하여 국내 대체에너지원의 공급을 일정수준 이상으로 촉진하는 적극적인 대체에너지 기술개발이 필요하다.

특히, 대체에너지 기술개발은 새로운 부가가치를 창출할 뿐만 아니라 현재의 산업구조와 소비구조를 유지하는데 필요한 기존에너지수요를 감소시키고 환경친화적인 새로운 대체에너지개발을 촉진하는 순기능적인 특징을 갖고 있다. 그러나 대체에너지의 기술개발은 과다한 초기투자가 필요하고, 장기적으로 경제성을 확보하는 단점을 갖고 있다. 장기적인 비경제성의 장애요인에도 불구하고 화석에너지의 고갈성과 환경공해성 문제를 적극적으로 해결하는 유일한 선택이라는 점에서 선진국들은 대체에너지에 대해 과감한 연구개발과 보급정책 등을 추진해 오고 있다.

반면 우리나라 정부는 과거 20여년동안 대체에너지기술개발에 대한 필요성은 인식하였지만 매우 미온적으로 대체에너지 기술개발 지원정책을 추진하였다. 그 이유는 대체에너지가 화석연료에 비해 비경제적인데 있다. 대체에너지는 화석연료에 비해 가격경쟁력이 떨어지고 초기 투자비가 비싸다는 단점 때문에 민간기업들이 기술개발에 미온적일 수밖에 없는 상황이다.

최근 유가의 불안정, 기후변화협약에 따른 국제적인 압력 등 위기상황이 고조되면서 우리나라 정부는 2011년까지 총에너지의 5%를 대체에너지로 채워 나가겠다는 정책의지를 표명한 바 있다. 대체에너지 5% 목표를 제시한 우리나라 정부는 선진국처럼 대체에

너지 공급 확대를 적극적으로 추진하겠다는 의지를 읽을 수 있다. 그러나 이 정책이 실현되기까지는 재원마련이란 장벽이 제기되고 있을 뿐만 아니라 과거 정부가 대체에너지에 대한 기술개발투자가 과연 효율적으로 투자되었고, 어떤 의미에서 사회적으로 평가된 투자의 경제성을 확보하였는지를 파악하는 실증적 평가를 수립할 필요가 있다고 사료된다.

본 연구에서는 대체에너지의 기술개발촉진을 목적으로 정부가 대체에너지 기술개발을 추진하고, 이를 위해 막대한 규모의 재정자금을 투입하고자 하는 시점에서 기술개발을 국내에서 추진할 경우 과연 어느 대체에너지원을 우선적으로 기술 개발하는 것이 경제적인지를 평가하는데 그 목적이 있다.

이를 위해서 본 연구에서는 먼저 대체에너지산업에 정부가 기술개발자금을 투입하였을 때 일차적으로 부가가치 측면에서 국민경제에 얼마만큼 기여를 하였는지를 살펴보고자 하였다. 둘째, 대체에너지 산업에 투입된 연구개발자금이 대체에너지산업의 공급량을 확대하였을 때 부가적으로 발생하는 파급효과를 이차적인 파급효과로 평가하여 이러한 파급효과가 국민경제에 얼마만큼의 영향을 미치게 되는지를 살펴보고자 하였다.

본 연구에서는 일차적인 파급효과를 분석할 때 2000년도의 산업연관표에 근거하여 산업연관모형을 구축하였고, 후방연관효과로 발생된 부가가치 유발효과를 계산하여 대체에너지 기술개발자금의 일차적 파급효과에 대한 투자수익성을 계산하였다. 다음으로 이차적인 파급효과는 기술개발로 인해 부가적으로 공급되는 대체에너지 공급량의 증가분을 계산하였고, 이를 계측하기 위해 개별 대체에너지 원별로 공급함수를 계량적으로 추정했다. 대체에너지 원별 공급함수는 먼저 개별 대체에너지원별 기기산업의 생산요소가격, 대체에너지 가격, 연구개발노력의 함수로 가정하여 계량적으로 추정하였다. 특히, 대체에너지 공급함수를 실증적으로 추정함에 있어서 본 연구에서는 단순회귀모형뿐만 아니라 연립방정식으로 구축된 3단계 최소자승법 모형을 사용하여 대체에너지원별 공급함수를 추정하였다.

다음으로 추정된 대체에너지 공급함수에 근거하여 대체에너지기술개발 자금을 1억원 부가적으로 투자하였을 때 얻을 수 있는 연간 대체에너지 공급량 증가분을 추정함수로부터 계산한 후에 이를 2002년 원유가격으로 평가하고, 증가된 공급량이 모두 소비되었다는 가정 하에서 이로 인해서 파급되는 부가가치 유발효과를 이차적인 파급효과로 계

산하였다.

국내외에서 대체에너지 기술개발에 대한 투자수익성 연구는 실무적인 파급효과 면에서 의미가 크지만 학술적인 내용면에서는 적합하지 않다고 판단되어서 그런지 매우 제한적인 것으로 발표되었다. 그 중 부경진(1993)은 “대체에너지 R&D 투자지원 효율화방안”이라는 연구에서 대체에너지 R&D 투자에 대해서 비용편익분석에 기초한 투자결정모형을 제시하였다. 부경진은 대체에너지 R&D 투자로 인해 발생하는 편익과 비용에 대해서 불확실성을 고려하여 계측하고자 하였다. 특히 확률적인 개념을 투자모형에 고려하기 위하여 개별 연구개발에 대한 성공률을 사용하여 분석대상의 대체에너지의 R&D 성공여부에 따른 기대편익과 기대비용을 계측하고자 하였다. 그러나 부경진의 연구에서는 계량화가 용이한 경제적 요인만으로 제한하였는데, 특히 고용효과, 산업연관효과, 기술파급효과등과 같은 계량화하는 과정이 복잡한 요인들은 제외하였다. 부경진(1993)의 연구는 연구개발이 갖는 불확실성을 투자결정과정에서 체화하였다는 측면에서는 매우 유효한 접근이라고 볼 수 있지만 투자의 편익과 비용을 단순히 대체에너지 연구개발이 갖는 수익성개념으로 평가하는 것은 대체에너지가 갖고 있는 타화석연료에 대한 비경제성과 이에 근거한 대체에너지 기술개발의 시장실패현상을 극복하는 방안으로 제시한다고 볼 수 없다.

본 연구는 2장에서 기술개발에 대한 기술적 경제성 분석방법에 대해서 서술하면서 개별 대체에너지원별 기술개발에 대한 일차적인 파급효과를 산업연관모형을 통해 분석하고, 3 장에서는 기술개발로 인해 부가적으로 공급되는 대체에너지 공급량의 증가분을 계산하는데 초점을 맞추어 개별 대체에너지 원별로 공급함수를 계량적으로 추정했다. 대체에너지 원별 공급함수는 개별 대체에너지원별 기기산업의 생산요소가격, 대체에너지 가격, 연구개발노력의 함수로 가정하여 계량적으로 추정하였다. 다음으로 대체에너지 기술개발 자금을 1억원 부가적으로 투자하였을 때 얻을 수 있는 연간 대체에너지 공급량 증가분을 추정함수로부터 계산한 후에 이를 2002년 원유가격으로 평가하고, 증가된 공급량이 모두 소비되었다는 가정 하에서 이로 인해서 파급되는 부가가치 유발효과를 이차적인 파급효과로 계산하였다. 4장에서는 대체에너지 기술개발에 대한 투자수익성의 실증결과를 갖고 정책방안을 제시하였다.

II. 기술개발에 대한 기술적 경제성 분석방법

정부가 추진하고자 하는 대체에너지 기술개발정책에 의거하여 대체에너지 기술개발을 국내연구진에 의해 대체에너지 기기를 개발하는 것이 경제적인지를 평가하고자 본 연구에서는 산업간 직간접 파급효과를 감안한 산업연관모형을 이용하여 경제성 분석을 하고자 한다. 산업연관모형은 국내에서 생산된 재화와 용역으로 인해 파급되는 부가가치 창출, 고용창출, 국제수지 개선효과 등¹⁾을 계산하는데 유용한 도구로 사용된다.

정부가 대체에너지 산업에 연구개발을 투자할 경우 먼저 대체에너지를 구성하는 요소 기술에 대한 기술개발 투자가 발생하고, 후방 연관효과를 통해서 타산업의 산출량은 증가하게 될 것이다. 이로 인하여 정부의 대체에너지 기술개발은 국민경제의 부가가치를 증대하는데 본 연구에서는 이러한 효과를 일차적 파급효과로 정의하였다. 둘째, 대체에너지원별 기술개발자금이 투입되면 대체에너지 산업의 생산성과 제품다양성이 증가하여 대체에너지 공급이 증가하게 된다. 만약 대체에너지 공급이 바로 수요로 연결된다고 가정하면, 대체에너지 공급량과 대체에너지 기술개발과의 관계는 대체에너지 공급함수를 이용하여 추정할 수 있게 된다. 이를 이용하면 대체에너지원별 기술개발의 증가는 부가적으로 발생하는 대체에너지 공급량 증가분으로 나타나게 되고, 이를 국민경제에서 전량 소비하게 되면 산업연관모형을 통해 새로운 산업별 생산량이 창출되고, 다시 국민경제에 영향을 주는 부가가치 유발효과를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 이를 대체에너지 기술개발의 이차적인 파급효과로 정의하였다.

셋째, 부가가치를 기준으로 하여 대체에너지 기술개발이 일차적인 파급효과와 이차적인 파급효과를 모두 감안하여 과연 수익률이 정부의 투자수익률보다 밑돌게 되면 이는 경쟁력을 갖추지 못하는 대체에너지원이 되지만 만약 그 이상이면 이는 경쟁력을 갖는 대체에너지원이라고 평가할 수 있을 것이다.

1) 산업연관분석을 통한 파급효과 분석 및 경제성 분석에 대한 실증적 연구는 전영서(2000)의 논문을 참조할 수 있다.

1. 대체에너지 기술개발에 대한 일차적 파급효과

정부가 대체에너지 산업에 연구개발을 투자할 경우 연구개발투자가 곧바로 대체에너지공급을 촉진시키는 것이 아니라 먼저 대체에너지를 공급하는 기기들의 요소기술에 대한 기술투자로 연결된다. 즉 정부의 대체에너지기기산업에 대한 연구개발투자는 곧바로 요소기술별 투자수요를 유발시켜 경제전체의 개별산업들로 하여금 생산을 유발시키게 된다. 이로 인해 경제전체의 개별산업은 부가가치(노동과 자본을 포함한)를 창출하게 되는데 본 연구에서는 이 효과를 일차적인 파급효과라고 정의하고, 산업연관모형을 통해 계산하고자 한다.

정부가 어떤 대체에너지원에 투자하는 것이 효율적인지를 파악하기 위하여 본 연구에서는 각 대체에너지원에 1억원을 투자하였을 때 파급되는 부가가치 유발액을 계산해 보고자 한다. 만약 특정 대체에너지원에 1억원의 기술투자를 국내기술진에 의해 수행되지 않고, 대신 외국의 기술을 수입할 경우 국내에서 부가가치유발액은 전혀 발생하지 않게 된다.

여기에서는 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 폐기물, 소수력, IGCC, 해양, 수소, 연료전지, 바이오 등과 같은 대체에너지원에 각각 1억원의 연구개발자금을 투자할 경우 대체에너지원에 대한 요소기술에 어떤 파급효과를 미치게 되는지를 살펴보기로 한다. 먼저 대체에너지원에 연구개발을 투자하는 경우 이는 곧바로 대체에너지원의 공급을 확대하기 보다는 대체에너지 기기산업의 투자수요를 증대하게 된다. 먼저 대체에너지 기기별 관련 요소기술분야를 살펴보면 <표 1>과 같다²⁾.

<표 1>의 대체에너지원별 기기의 요소기술분야에 근거하여 본 연구에서는 1억원을 대체에너지원별로 각각 투자하였을 때 얼마만큼의 자금이 요소기술분야에 투입되는지를 부경진의 3인(2004)의 자료를 사용하였다. 요소기술별로 정확한 투입비율을 이론적으로 계측하는 것이 현실적으로 어렵기 때문에 이들 대체에너지 기술개발 전문가집단에 의뢰하여 설문지와 직접적인 면담을 통해 계측하였다.

대체에너지 기술개발에 대한 1차적 파급효과에 대한 경제성분석은 비용-편익분석의

2) 본 자료는 대체에너지 기술개발 담당자들에게 설문지와 직접 면담을 통해 구한 자료로서 자세한 내용은 부경진의 3인(2004)의 부록을 참고하시기 바랍니다.

〈표 1〉 대체에너지 기기별 관련된 요소기술분야

대체에너지 기기	개별 대체에너지기기에 영향을 미치는 연계기술분야
태양열	화학처리기술, 레이저기술(티타늄), 유리기술(solar glass), 열교환 기술, 소재기술(저탄소강/무기질)
태양광	반도체기술, 발전운영기술, 전력제어기술, 합성수지기술, 건축 및 토목기술, IT기술, 소재 및 유리기술, 축전기술(배터리)
지열	열교환기술, 열교환기설계기술, 냉동기기 기술, 토목기술, 설비기술
풍력	항공역학기술, 복합재료기술, 용접기술, 토목기술, 구조기술, 기계공학기술, 전력제어기술, 동작제어기술, 환경공학기술, 비파괴검사기술, 모니터링제어기술
폐기물	기계기술, 연소기술, 환경기술, 화공기술, 발전기술, 토목기술
소수력	수차 설계 및 제작기술, 발전기 제작기술, 부품설계 제작가공기술, 계통연계기술, 자동화기술, 토목 및 건축기술
IGCC	플랜트공정제어 및 설계기술, 연소기술(가스화), 용융기술, 정제(가스)기술, 환경기술(집진), 발전기술, 기계기술
해양	건설기술(고파랑), 환경영향저감기술, 발전기술, 구조물기술
수소	환경기술, 발전기술, 표면처리기술, 소재기술, 엔진기술, 촉매기술, 변환기술, 센스기술, 고압가스기술, 기계기술, 화공기술, 시스템통합기술
연료전지	기계부품기술, 열교환기술, BOP(Balance of Power)기술, 보일러기술부품기술, 전력제어기술, 전력부품기술, 화공플랜트설비기술, 소재기술, 막전극접합체기술(MEA), 공조기술
바이오	종자개량기술, 임목육종기술, 생물화학공학기술(에타놀, 바이오디젤, 용제생산), 기계공학기술(가스기술, 연소공학기술, 고형연료기술), 유전자공학기술(균주개량기술), 환경공학기술(유기물 메탄가스화, 매립지가스)

를 속에서 투자효율성을 계산하는 방식을 채택하였다. 그런데, 대체에너지에 대한 기술 개발투자(비용)와 이익(편익)의 흐름이 동일한 시기에 발생하지 않지만 본 연구에서는 이 투자와 이익흐름이 투자한 해인 당해연도에 종료된다고 가정하여 계측하였다.

일차적인 파급효과는 다음의 3가지 과정을 통해 계산하였다. 먼저, 1억원의 자금을 대체에너지원별로 투자되었을 때 소요자금이 어떤 요소기술에 투입되는지를 살펴보고,

둘째, 개별 요소기술들이 2000년 77개 산업으로 구분된 산업연관표에 근거하여 몇 번째 산업에 해당되는지를 살펴보고, 세 번째로 2000년 투입산출표를 이용해 1억원의 대체에너지 기술개발투자가 경제전반에 걸쳐 유발되는 부가가치를 계산하여 대체에너지원별 기술개발투자 대비 부가가치창출액의 투자효율을 구하고자 하였다.

대체에너지 기술개발의 1차적인 파급효과를 계측하고자 하고자 다양한 대체에너지원 중 예를 들어 태양열에 기술개발투자자금을 1억원 투입하였을 때 <표 2>와 같이 요소기술에 투자되는 것이 밝혀졌다³⁾.

<표 2> 태양열의 요소기술에 대한 투입비율

기술명	투입비율
화학처리기술	0.15억원
레이저기술(티타늄)	0.1억원
유리기술(solar glass)	0.1억원
열교환기술	0.3억원
소재기술(저탄소강/무기질)	0.15억원
제어기술	0.15억원
정밀가공기술	0.05억원
합계	1억원

본 연구에서는 <표 2>의 세부요소기술에 대한 투입금액을 산업연관표의 77개 제조업 중 43(철강1차제품), 45(금속제품), 46(일반목적용기계및장비), 48(전기기계및장치), 51(컴퓨터및사무기기), 53(정밀기기)의 산업부문으로 다시 재분류하여 1억원의 투자액을 다시 배분하였다. 그리고 다시 이들 산업들의 투자액을 국민 경제의 최종수요중 투자액으로 간주하여 이들 산업의 투자액 증가로 인해 발생하는 생산유발액과 부가가치 유발액을 계측하고자 하였다.

3) <표 2>는 <표 1>의 자료를 구하는 과정에서 조사되었으며, 부경진외 3인의 자료를 참고하시기 바랍니다.

2. 대체에너지 기술개발로 인한 1차적인 파급효과에 대한 실증결과

정부가 향후 10여년동안 대체에너지를 개발하는데 태양광, 태양열, 지열, 풍력, 폐기물, 소수력, IGCC, 해양, 수소, 연료전지, 바이오 등과 같은 대체에너지원에 1조 5천억원의 기술개발투자를 추진한다고 보도하고 있다. 이러한 대규모 기술개발투자가 과연 국민경제적 측면에서 수익성이 높은 혹은 경쟁력이 있는 대체에너지에 제대로 투자하고 있는지를 파악할 필요가 있다. 대체에너지원별로 수익성을 파악하기 위해 본 연구에서는 대체에너지 원별로 가상적으로 연구개발비용을 1억원씩 투자하였을 경우 예상되는 연구개발의 파급효과를 계산하고자 하였다. 먼저 개별 대체에너지원에 기술개발자금을 1억원 투자하였을 때 1억원은 개별 대체에너지기기에 대한 기술개발로 투자되어 연구개발용 투자수요가 요소 기술별로 증가하게 된다. 다음으로 개별 대체에너지원의 요소기술별 연구개발 투자액은 투자수요로 작용하여 77개 산업전반의 생산을 유발하게 되고, 77개 산업전반의 부가가치를 유발하게 된다.

산업연관모형을 사용하면 대체에너지원별 기술개발투자를 통하여 국내 산출량이 얼마만큼 증가할 수 있는지를 계산할 수 있다. 예를 들어보면 먼저 태양열에 대한 기술개발투자를 1억원하였을 때 개별 요소기술에 대해 <표 2>와 같이 투자가 진행될 것이고, 태양열에 대한 기술개발로 인한 생산유발액은 다음과 같이 계산될 수 있다⁴⁾.

$$\Delta X = (I - A^d)^{-1} (0, \dots, \Delta I_{\text{화학처리기술}}, \Delta I_{\text{유리기술}}, \Delta I_{\text{열교환기술}}, \Delta I_{\text{소재기술}}, \Delta I_{\text{제어기술}}, \Delta I_{\text{정밀가공기술}}, 0, \dots, 0)^t \quad (1)$$

여기에서 $\Delta I_{\text{화학처리기술}}, \Delta I_{\text{유리기술}}, \Delta I_{\text{열교환기술}}, \Delta I_{\text{소재기술}}, \Delta I_{\text{제어기술}}, \Delta I_{\text{정밀가공기술}}$ 는 태양열 기기를 구성하고 있는 요소기술에 대해서 <표 2>와 같이 투자한 금액을 의미한다. 그리고 $A^d \equiv [a^d_{ij}]$ 는 국산 투입계수행렬을, $X \equiv [X_i; i = 1, \dots, n]$, $n \times 1$ 은 산출물행렬로 정의된다.

4) 여기에서 계산된 생산유발액은 후방연관만을 고려한 것으로서 전후방 연관효과를 계산하기 위해서는 향후에 추가적으로 계산하여야 한다.

식(1)에 의해 계산된 생산유발액을 산업연관모형을 이용하면 부가가치 유발액을 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$\Delta V = v(I - A^d)^{-1}(0, \dots, \Delta I_{\text{화학처리기술}}, \Delta I_{\text{유리기술}}, \Delta I_{\text{열교환기술}}, \Delta I_{\text{소재기술}}, \Delta I_{\text{제어기술}}, \Delta I_{\text{정밀가공기술}}, 0, \dots, 0)' \quad (2)$$

여기에서 $v \equiv \text{diag}(v_i)$, $n \times n$ 은 부가가치계수행렬을 의미한다.

다른 개별 대체에너지 원별로 1억원의 기술개발투자를 하였을 경우 식(1)과 식(2)에 근거하여 계산된 대체에너지 원별 생산유발액과 부가가치 유발액은 다음과 같다.

<표 3> 개별 대체에너지기술에 대한 부가가치 유발액

(단위: 원)

에너지원	기술개발 투자액	생산유발액	부가가치 유발액	부가가치 유발액 비중
태양열	1억원	305,778,146	126,664,985	26.66%
태양광	1억원	288,048,518	142,511,657	42.51%
지열	1억원	293,389,104	119,092,407	19.09%
풍력	1억원	289,855,690	119,472,238	19.42%
폐기물	1억원	291,614,944	115,046,242	15.05%
소수력	1억원	294,775,096	124,296,257	24.30%
IGCC	1억원	291,877,216	122,228,130	22.23%
해양	1억원	289,696,474	116,371,381	16.37%
수소기술	1억원	294,765,329	139,137,494	39.14%
연료전지	1억원	291,158,858	119,917,873	19.92%
바이오	1억원	264,718,362	98,983,769	- 1.02%

<표 3>의 개별 대체에너지기술에 대한 부가가치 유발액을 살펴보면, 부가가치 유발액에 근거한 투자수익율이 가장 높은 대체에너지원은 태양광이고, 다음으로 수소기술, 태양열 순으로 나타났다. 한편 바이오기술은 부가가치 유발액 측면에서 투자수익율이 가장 낮은 대체에너지원으로서 - 1.02%를 보이고 있다.

Ⅲ. 대체에너지 공급모형추정 및 파급효과에 근거한 경제성분석

대체에너지산업은 재생 가능한 에너지원이므로 대체에너지공급량은 대체에너지기기 보유대수에 의해 결정된다고 해도 과언이 아니다. 대체에너지기기에 내포된 대체에너지 공급량은 대체에너지기기에 개별대체에너지기기에 생산할 수 있는 에너지양에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 따라서 대체에너지공급량은 대체에너지 기기에 에너지 환산계수(즉 대체에너지기기별로 최대한 생산할 수 있는 에너지산출가능량)를 곱함으로써 계산된다. 마찬가지로 일반 가정에서 대체에너지를 사용하고자 하는 개별 소비자나 혹은 재화와 용역을 생산하는 일반 생산자들이 대체에너지를 사용하고자 할 경우 대체에너지기기를 구입하여 대체에너지에서 발생하는 에너지양을 소비하게 된다. 그러므로 대체에너지의 수요와 공급은 직접적으로 대체에너지기기의 공급량과 수요량에 의해 결정된다고 볼 수 있다.

1. 대체에너지 수급모형 설정

대체에너지 산업에 투입된 연구개발자금이 국민경제에 미치는 파급효과는 앞에서 언급한 일차적 파급효과뿐만 아니라 대체에너지원별 요소기술측면에서 기술혁신이 발생하거나 신제품이 소개됨으로 대체에너지산업의 공급량을 확대하였을 때 부가적으로 발생하는 파급효과를 동시에 고려하여야 한다. 본 연구에서는 이러한 효과를 이차적인 파급효과로 정의하였다. 즉 이차적인 파급효과는 기술개발로 인해 대체에너지기기산업에서의 부가적인 효율성 증가효과 혹은 부가적인 차별화된 제품 소개 등으로 인하여 부가적으로 공급되는 대체에너지 공급량의 증가분에서 유발되는 부가가치로서 이를 계측하

기 위해 본 연구에서는 먼저 개별 대체에너지 원별로 공급함수모형을 설정한 이후 이를 계량적으로 추정하고자 하였다. 대체에너지 원별 공급함수는 먼저 개별 대체에너지원별 기기산업의 생산요소가격, 대체에너지 가격, 연구개발노력의 함수로 가정하여 모형화하였다. 또한, 계량적으로 추정상의 효율성을 높이기 위해 본 연구에서는 대체에너지에 대한 공급함수에 대한 단순회귀모형뿐만 아니라 대체에너지의 수요와 공급을 고려한 수요공급모형을 구성하여 연립방정식으로 구축된 3단계 최소자승법 모형을 사용하여 대체에너지원별 공급함수를 추정하였다.

먼저 대체에너지수요는 대체에너지기기의 수요로부터 발생한다고 가정하였다. 대체에너지기기의 수요주체는 태양열과 태양광과 같은 대체에너지원의 경우 가정용으로서 개별 주택에서 난방과 전력공급을 목적으로 설치하였으므로 개별소비자의 소득과 대체에너지 가격 및 대체에너지 기기구입 보조금에 의해 결정된다고 볼 수 있다. 즉 j 번째 대체에너지 기기의 수요(Q_j^D)는 j 번째 대체에너지 기기의 수요에 영향을 미치는 j 번째 대체에너지기기의 가격, 개별가정의 소득, j 번째 대체에너지기기에 대한 보조금의 함수로 다음과 같이 가정하였다.

$$Q_j^D = Q_j^D(P_j, Y, S_j) \quad (3)$$

여기에서 P_j 는 j 번째 대체에너지기기의 가격을, Y 는 개별소비자의 소득을, S_j 는 j 번째 대체에너지가격에 대한 보조금을 의미한다. 대체에너지 수요는 대체에너지기기를 가정용으로 설치하게 되면서 소비되는 재생에너지의 수요로서 대체에너지 수요는 바로 대체에너지 기기의 수요함수에 대체에너지의 개별기기에 대한 대체에너지별 환산계수(Kcal/1단의 기기)인 C_j 를 곱하면 유도할 수 있다. 여기에서 C_j 는 j 대체에너지원에 대한 에너지 환산계수를 의미한다. 따라서 식(3)의 대체에너지기기 수요량에 대체에너지 환산계수 C_j 를 곱함으로써 대체에너지 수요는 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$A_j^D = Q_j^D * C_j = Q_j^D(P_{A_j}, Y, S) \quad (4)$$

식(4)에서 P_{A_j} 는 j번째 대체에너지 가격으로서 대체에너지기기가격인 P_j (원/1단위의 기기)에 j번째 대체에너지의 환산계수 C_j 를 나누면 (원/ Kcal)의 단위로 변환되며, 이 값인 $P_{A_j} = \frac{P_j}{C_j}$ 는 대체에너지의 가격이 된다.

한편, 폐열, 바이오, 지열, 수소 등과 같은 대체에너지는 일반 산업체의 산출물을 생산하기 위하여 소요되는 노동, 자본, 재료 및 에너지와 같은 생산요소로서 소비되는데, 대체에너지를 사용하고자 하는 일반 기업에서는 가정용과 마찬가지로 대체에너지기기를 구입하여 이를 생산현장에 투입하면서 이 재생에너지인 대체에너지를 이용하여 대체에너지를 소비하게 된다. 일반기업체에서 소비하는 j번째 대체에너지 기기의 수요(Q_j^D)는 j번째 대체에너지 기기의 수요에 영향을 미치는 j번째 대체에너지기기의 가격, 개별기업의 산출량, 개별기업들의 생산요소가격 및 j번째 대체에너지기기에 대한 보조금의 함수로 다음과 같이 가정하였다.

$$Q_j^D = Q_j^D(w, r, P_j, Q, S_j) \quad (5)$$

여기에서 w 는 이들 기업에 투입된 노동력의 임금, r 은 자본가격, Q 는 개별기업의 생산량을, S_j 는 j번째 대체에너지가격에 대한 보조금을 의미한다. 산업용으로 소요되는 대체에너지 수요는 산업용으로 사용되는 대체에너지기기에 대체에너지의 개별기기에 대한 대체에너지별 환산계수(Kcal/1단의 기기)인 C_j 를 곱하면 유도할 수 있다. 따라서 산업용 대체에너지 수요는 산업용으로 사용되는 대체에너지기기 수요량에 대체에너지 환산계수 C_j 를 곱함으로 인하여 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$A_j^D = Q_j^D * C_j = Q_j^D(w, r, P_{A_j}, Q, S_j) \quad (6)$$

한편, 대체에너지 수요와 비슷하게 대체에너지공급은 대체에너지기기공급으로 발생하는 에너지공급량으로 정의될 수 있다. 본 연구에서는 j번째 대체에너지기기를 생산하는

기업들이 완전 경쟁적 시장에서 공급을 하고 있다고 가정한다. 그리고 이들 기업들은 비용 최소화하는 전략 하에서 대체에너지 기기에 대한 기기공급함수를 추정할 수 있다. j 번째 대체에너지 기기의 공급(Q_j^S)은 대체에너지 기기의 한계비용에 의존하는데, 생산요소(w, r), 연구개발투자액(RD) 및 대체에너지 기기가격의 함수로 다음과 같이 가정하였다.

$$Q_j^S = Q_j^S(w, r, P_j, RD_j) \quad (7)$$

식(7)에서 w 는 j 번째 대체에너지기기산업에 투입된 노동력의 임금, r 은 자본가격, P_j 는 j 번째 대체에너지기기가격, RD_j 는 j 번째 대체에너지기기에 투입된 연구개발투자액을 의미한다. 대체에너지는 대부분 재생가능한 에너지이므로 대체에너지 공급은 바로 대체에너지 기기의 공급함수에 의존된다. 따라서 대체에너지수요와 마찬가지로 대체에너지 공급은 j 번째 대체에너지기기에 j 번째 대체에너지별 환산계수(Kcal/대체에너지기기)인 C_j 를 곱하면 유도할 수 있다. 여기에서 C_j 는 j 대체에너지원에 대한 환산계수를 의미한다. 따라서 식(7)에 대체에너지 환산계수 C_j 를 곱함으로써 인하여 대체에너지 공급함수를 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$A_j^S = Q_j^S * C_j = A_j^S(w, r, P_{A_j}, RD_j) \quad (8)$$

식(2)과 식(4)의 대체에너지 수요함수와 식(6)의 대체에너지공급함수를 모두 Cobb-Douglas 형태로 가정하여 선형함수로 표현하면 다음과 같이 유도할 수 있다.

$$A_j^D = \alpha_{10} + \alpha_{11}P_{A_j} + \alpha_{12}Y + \alpha_{13}S_j + \epsilon_1 \quad (9)$$

$$A_j^D = \alpha_{20} + \alpha_{21}w + \alpha_{22}r + \alpha_{23}P_{A_j} + \alpha_{24}Q + \alpha_{25}S_j + \epsilon_2 \quad (10)$$

$$A_j^S = \beta_0 + \beta_1w + \beta_2r + \beta_3P_{A_j} + \beta_4RD_j + \epsilon_3 \quad (11)$$

식(11)에서 ε_i ($i = 1, 2, 3$)은 대체에너지 수요함수와 공급함수의 예측오차를 의미한다⁵⁾.

2. 대체에너지원별 공급함수의 추정모형

(1) 추정자료의 특징

대체에너지 공급함수를 추정하기 위하여 본 연구에서는 분석기간을 1987년부터 2001년까지 14년으로 설정하였는데 이는 대체에너지기기사업자 혹은 대체에너지원에 대한 연구개발자금투자 혹은 가격자료 등이 한정되었기 때문이다. 다음으로 대체에너지 기기사업자들이 고용하는 노동과 자본가격 자료는 통계청과 한국은행 자료를 사용하였다. 물론 대체에너지기기 생산과 일반 제조업에 고용되는 노동자들은 학력 면에서, 질적으로 차별화되어 있지만 차별화된 노동에 따라 차별화된 임금수준을 계산하는 것은 자료의 한계로 계산할 수 없었다. 따라서 본 연구에서는 노동을 단순화하여 제조업 평균임금을 사용하기로 하였다. 87년부터 2001년까지 구한 평균임금은 물가상승에 변동하므로 시계열자료를 구한 후 실질임금을 계산하기 위하여 GNP 디플레이터로 불변화하였다. 생산요소가격 중 자본가격은 실증연구마다 서로 다른 대리변수를 사용하고 있으므로 바람직한 자본가격을 실물변수로 선택하기가 매우 어려운 점이 있다. 일반적으로 자본가격은 자기자본에 대한 이자율과 타인자본(부채)에 대한 이자율의 가중평균치로 정의하고 있다. 대체에너지 기기산업에서의 자본가격으로는 이들 기업들이 사용하고 있는 자기자본과 타인자본에 대한 가중 평균한 이자율을 사용하는 것이 바람직하겠지만 이들 기업들에 대한 자기자본에 대한 이자율을 평가하기가 어려울 뿐만 아니라 시계열자료로 이용 가능한 자료원이 없으므로 본 연구에서는 제조업에 대한 대출이자율 자본비용으로 사용하였으며, 이를 불변화하기 위하여 GNP 디플레이터를 사용하였다.

또한 대체에너지 공급량은 에너지경제연구원의 내부자료에 근거하여 사용하였다. 한

5) 여기에서는 대체에너지 수요함수를 제시하였지만 구체적으로 추정결과를 제시하지 않았다. 그 이유는 본 연구에서는 대체에너지원별로 공급함수만 필요하기 때문이다. 특히 여기에서 수요함수를 동시에 고려한 이유는 연립방정식체계로 수요와 공급모형을 만들고, 축약형태(Reduced form)로 모형을 추정하는 것이 독립적인 수요, 공급함수를 추정하는 것보다 더 효율적인 추정치를 유도할 수 있기 때문이다.

편, 대체에너지원별 가격을 시계열로 구하는 것이 바람직하겠지만 대체에너지가격 역사 자료가 허용되지 못하므로 부경진의 4인(2004)의 대체에너지가격자료를 사용하였다. 당시에 사용되었던 대체에너지가격자료는 태양광, 풍력, 소수력, 매립가스, 바이오/폐기물 등과 같이 다양한 대체에너지 발전 역시 이들 대체에너지들이 생산한 대체에너지 발전량(Kwh)을 1차 에너지원(1000kcal)으로 환산한 후 대체에너지 발전에 투입된 총연료비용에 대해서 나눈 평균가격개념으로 대체에너지 연료가격(원/1000Kcal)을 계산하였다.

(2) 추정방법

대체에너지원별로 공급함수는 식(11)과 같이 선형으로 가정하여 추정하였다. 추정시 단순 OLS를 사용하는 방법과 수요와 공급을 동시에 고려하는 3단계 최소자승법 방법을

<표 4> 대체에너지 공급함수 추정결과

추정입수	상수				R ²	R _{adj}	DW
태양열	58348.288 (1.589)	-0.014 (-1.452)	1292.01** (-5.176)		3.5093** (2.958)	0.763	1.484
태양광	-297.194 (-0.124)	0.039** (3.089)	-95.392 (-1.327)		0.047** (2.049)	0.893	1.911
바이오	1231497.57 (1.110)	-8501* (-1.942)	-10834.37 (-1.040)		74.324** (2.089)	0.714	.837
소수력	-796.92 (-0.194)	0.0059 (0.152)	20.088* (1.990)		0.623** (2.330)	0.762	1.726
소수력	35343.60** (3.110)	-0.056 (-1.797)	-31.272 (-0.183)	-0.000002* (-1.800)	1.493* (1.885)	0.954	1.8466
폐열	-196645.99 (-0.174)	1.434 (1.754)	-35914.17* (-1.843)		12.471** (1.227)	0.760	1.302
폐열	-989598.63 (-0.448)	1.663* (1.861)	-38065.22 (-1.036)	2.118 (0.377)	15.079 (1.247)	0.846	1.714
풍력	278.150 (0.082)	-0.007 (-0.217)	-21.245** (-2.55)	0.000003 (1.545)	0.647** (3.007)	0.791	1.7440
총대체 에너지	536746.81 (0.470)	1.083 (1.158)	-48275.85** (-5.494)		47.198** (2.895)	0.903	1.467
총대체 에너지	676230.75 (0.665)	0.9109 (1.064)	-56389.99** (-3.852)	0.00005 (1.650)	46.189** (3.237)	0.9003	1.4338

주 1: ()는 t 값을 의미.

2: *와 **는 각각 5% 및 1% 유의수준에서 통계적으로 유의함을 의미함.

사용하였다.

<표 4>에 따르면 대체에너지원 중 태양광과 소수력의 경우 적합도가 비교적 높게 나타났지만 대부분의 대체에너지원의 공급함수의 적합도가 80에서 90% 수준이하로 나타났다. 더구나 태양열, 태양광, 바이오와 같은 대체에너지 공급함수는 요소가격과 연구개발에 의해 영향을 받는 것으로 나타났지만 나머지 대체에너지원인 소수력, 풍력, 폐열 등은 요소가격뿐만 아니라 연구개발, 대체에너지 가격에 대해서도 통계적으로 유의적인 것으로 나타났다.

3. 대체에너지 기술개발로 인한 대체에너지공급에 미치는 효과분석

정부가 대체에너지 기술개발을 시행할 경우 정부의 기술개발자금은 대체에너지 기기 산업으로 투입되어 기술개발을 추진하게 된다. 정부가 이들 대체에너지원별로 1억의 연

<표 5> 대체에너지 원별 기술개발로 인한 공급확대의 효과분석

에너지원	1백만원당 TOE	1억원당 TOE	연구개발 1억원당 대체에너지공급가치(원)
태양열	3.5093	350.93	75,082,753
태양광	0.047	4.70	1,005,582
바이오	74.324	7,432.40	1,590,189,086
소수력	0.623	62.30	13,329,312
소수력	1.493	149.30	31,943,280
폐기물	12.471	1,247.10	266,821,593
폐기물	15.079	1,507.10	322,449,541
풍력	0.647	64.70	13,842,801
전체대체에너지	46.189	4,618.90	1,009,818,423

주 1: 원유 1bbl= 0.136toe

2: 원유도입단가(2002년 평균)=24.24불(수송비용+ F.O.B) /bbl

3: 대미환율(2002년평균) =1200.4원/불

구개발자금을 투입하였을 때 대체에너지 공급량이 기술혁신을 통해서 어느 정도 더 많이 공급될 수 있는지를 대체에너지 공급함수에서 연구개발자금(RD)의 계수에 의해서 결정된다고 볼 수 있다. 예를 들면 태양열에 대해서 정부가 연구개발을 1억원 투자하였을 경우 이로 인하여 태양열이 약 350.93TOE/년이 발생하게 된다. 이를 2002년말 원유수입 가격으로 평가하면 태양열에 대한 기술개발로 인해 대체에너지 공급가치는 약 75,082,753원에 해당된다.

유사하게 정부가 1억원의 대체에너지 기술개발자금을 국내 대체에너지원별로 투입되어 대체에너지 기기업체에 전달되었을 경우 기술혁신을 통해 효율성증대 혹은 제품 다양성 등으로 인해 가장 연구개발투자가치가 큰 대체에너지원은 바이오와 폐열, 소수력 순으로 부가가치 유발액이 높게 나타났다.

4. 대체에너지 공급 확대에 의한 경제성분석 효과

다음으로 대체에너지원 별로 기술개발자금을 투입하여 대체에너지공급이 확대되고, 이를 가정과 산업부문에서 기존 화석에너지인 석유와 석탄, 전력등에 대해서 대체에너지로 소비된다면, 대체에너지원별 기술개발 자금의 증액으로 인한 대체에너지원별로 최종수요의 증가는 새로운 산업별 산출량을 창출하게 되면서 부가가치를 유발하게 된다.

본 연구에서는 대체에너지원 중에서 태양광, 소수력, 풍력의 경우 전력부분(77산업부문중 수력, 화력, 원자력 및 자가발전 포함한 59번째 산업으로 간주함)의 수요창출로 간주하고, 태양열, 바이오, 폐열과 같은 대체에너지원은 열에너지에 대한 수요창출로 간주하여 이를 산업연관모형의 60번째 산업인 도시가스 및 수도산업(도시가스, 열공급업, 수도로 구분된 60번째 산업으로 간주함)의 최종수요의 증가로 고려하였다.

먼저 대체에너지원 중에서 태양광, 소수력, 풍력의 경우 전력부문에서 최종수요 증 소비 증가, $\Delta C_{\text{전력}}$, 로 인하여 생산유발액과 부가가치 유발액이 얼마만큼 발생하게 되는지를 다음 식들을 이용하여 계산해 보았다.

$$\Delta X = (I - A^d)^{-1} (0, 0, 0, \dots, \Delta C_{\text{전력}}, 0, \dots, 0)'$$

$$\Delta V = v(I - A^d)^{-1}(0, 0, 0, \dots, \Delta C_{\text{전력}}, 0, \dots, 0)'$$

여기에서 $\Delta C_{\text{전력}}$ 는 대체에너지원 중에서 태양광, 소수력, 풍력의 경우 수요창출로 인한 소비증가액을 의미한다.

다음으로 대체에너지원 중에서 태양열, 바이오, 폐열의 경우 도시가스 및 수도산업에서 최종수요 중 소비 증가, $\Delta C_{\text{도시가스및수도}}$, 로 인한 생산유발액과 부가가치 유발액이 얼마만큼 발생하게 되는지를 다음 식들을 이용하여 계산해 보았다.

$$\Delta X = (I - A^d)^{-1}(0, 0, 0, \dots, \Delta C_{\text{도시가스및수도}}, 0, \dots, 0)'$$

$$\Delta V = v(I - A^d)^{-1}(0, 0, 0, \dots, \Delta C_{\text{도시가스및수도}}, 0, \dots, 0)'$$

여기에서 $\Delta C_{\text{도시가스및수도}}$ 는 대체에너지원 중에서 태양열, 바이오, 폐열의 수요창출로 인한 소비증가액을 의미한다.

위의 식들을 이용하면 1억원의 기술개발로 인해 증가된 대체에너지원별 추가적인 공급량으로 비롯된 대체에너지 원별 추가적인 생산유발액과 부가가치 유발액을 계산할 수 있으며, 그 결과는 <표 6>과 같다. <표 6>의 부가가치 유발액이 바로 본 연구에서 정의한 2차적 파급효과를 의미한다.

<표 6> 대체에너지 기술개발로 인한 효율성 증대효과

대체에너지 기술	소비규모 (toe)	생산유발액	부가가치유발액
태양열	350.93	208,532,177	68,421,253
태양광	4.70	2,691,299	839,865
바이오	7,432.40	4,508,652,957	1,449,104,150
풍력	64.70	37,048,318	11,561,550
폐기물	1,247.10	741,060,836	243,148,617
소수력	62.30	35,674,036	11,132,683

앞에서의 계산된 대체에너지원별 기술개발투자액의 일차적인 파급효과와 이차적인 파급효과를 계산하여 보았을 때 <표 7>과 같이 종합적으로 정리된다. 정부가 투자한 대체에너지원별 기술개발자금이 일차적으로 대체에너지기기산업에 투입됨으로 인해 발생하는 부가가치파급효과와 둘째, 대체에너지기기산업의 기술혁신으로 인하여 새롭게 공급되는 대체에너지원의 공급증가분과 이를 소비함으로 발생하는 부가가치파급효과를 합한 종합적인 부가가치 파급효과를 감안하여 대체에너지 원별 기술개발사업의 종합적인 경제성 분석을 해 보았다. 대체에너지 기술개발을 대체에너지원별로 1억씩 각각 투자 되었을 때 발생할 부가가치유발액은 <표 7>과 같으며, 1차와 2차의 파급효과를 감안하여 이익률법에 근거한 대체에너지 기술개발에 대한 경제성 분석은 <표 7>과 같다. 예를 들면 태양열에 대해서 투자수익율을 계산해 보면

$$\text{순수익/투자액} = (195,086,238 - 100,000,000) / 100,000,000 = 95.09\%$$

<표 7> 개별 대체에너지기술에 대한 부가가치 유발액

(단위: 원)

대체에너지 기기	연구개발 투자액	1차 파급효과	2차 파급효과	총 파급효과	부가가치속달에서 투자수익률
태양열	1억원	126,664,985	68,421,253	195,086,238	95.09%
태양광	1억원	142,511,657	839,865	143,351,522	43.34%
바이오	1억원	98,983,769	1,449,104,150	1,548,087,919	1,448.09%
풍력	1억원	119,472,238	11,561,550	131,033,788	31.03%
폐기물	1억원	115,046,242	243,148,617	358,194,859	258.19%
소수력	1억원	124,296,257	11,132,683	135,428,940	35.43 %
IGCC	1억원	122,228,130			22.23%
지열	1억원	119,092,407			19.09%
해양	1억원	116,371,381			16.37%
수소기술	1억원	139,137,494			39.14%
연료전지	1억원	119,917,873			19.92%

와 같이 된다. 마찬가지로 <표 7>에서 다른 대체에너지원에 대한 부가가치 측면에서 본 투자 수익률을 계산하여 보았다.

간단하게 투자수익율에 근거하여 대체에너지 기술개발사업에 대한 경제성 분석을 하면 바이오와 폐기물과 같은 대체에너지원이 투자액에 무려 14배와 2.5배의 사회적 편익을 제공하는 것으로 나타났다. 대체에너지원 중 바이오에너지와 폐기물에너지는 1차 파급효과 면에서 부가가치 유발효과가 적는데 그 이유는 타 대체에너지원에 비하여 기술적 난이도와 전후방 연관효과가 비교적 적기 때문으로 풀이된다. 특히 이들 에너지원은 타 대체에너지에 비하여 자체의 높은 발열량을 갖고 있어 기술적 효율성을 높이고 환경오염을 제어할 수 있는 연소 및 소각 기술만 개발되면 쉽게 보급이 가능한 대체에너지원이기 때문이다. 그럼에도 불구하고 2차파급효과 면에서 부가가치유발효과가 높은 것은 미활용되는 버려질 폐기물을 회수하여 이용하기 때문에 낮은 가격으로 높은 공급량 확보가 가능하기 때문이다. 그리고 기술도 이미 상용화단계에 와 있기 때문에 적은 R&D자금 지원으로도 많은 양의 산출물을 얻을 수 있는 장점을 소지하고 있다.

IV. 결 론

본 연구에서는 정부가 대체에너지의 기술개발촉진과 보급정책을 추진하면서 막대한 규모의 재정자금을 투입하고자 하는 시점에서 기술개발을 국내에서 추진할 경우 과연 어떤 대체에너지원을 우선적으로 기술개발하는 것이 경제적으로 효과적인지를 평가하고자 하였다. 이를 위해서 본 연구에서는 먼저 대체에너지산업에 정부가 기술개발자금을 투입하였을 때 일차적으로 부가가치 측면에서 국민경제에 얼마만큼 기여를 하였는지를 살펴보고, 둘째, 대체에너지 산업에 연구개발자금이 투입됨으로 인하여 대체에너지원 별로 기술혁신이 발생하여, 신제품이 소개됨으로 대체에너지산업의 공급량을 확대하였을 때 부가적으로 발생하는 파급효과를 이차적인 파급효과로 평가하여 이러한 파급효과가 국민경제에 얼마만큼의 영향을 미치는지를 살펴보았다.

특히 본 연구에서는 일차적인 파급효과를 분석할 때 2000년도의 산업연관표에 근거하여 산업연관모형을 구축하였고, 후방연관효과로 발생된 부가가치 유발효과를 계산하여

대체에너지 기술개발자금의 일차적 파급효과에 대한 투자수익성을 계산하였다. 산업연관모형을 이용하여 개별 대체에너지기술에 대한 부가가치 유발액을 살펴보면, 부가가치 유발액에 근거한 투자수익율이 가장 높은 대체에너지원은 태양광이고, 다음으로 수소기술, 태양열 순으로 나타났다. 한편 바이오기술은 부가가치 유발액 측면에서 투자수익율이 가장 낮은 대체에너지원으로서 -1.02%를 보이고 있다. 그런데 만약 정부가 대체에너지 공급을 확대하기 위해 국내연구진을 통해 기술개발을 하기보다 해외로부터 선진 대체에너지 기술을 구입할 경우 대체에너지 기술개발로 인한 생산 및 부가가치 파급효과는 전혀 발행하지 않게 된다.

다음으로 이차적인 파급효과는 기술개발로 인해 부가적으로 공급되는 대체에너지 공급량의 증가분을 계산하는데 초점을 맞추었으며, 이를 계측하기 위해 개별 대체에너지원별로 공급함수를 계량적으로 추정했다. 대체에너지 원별 공급함수는 먼저 개별 대체에너지원별 기기산업의 생산요소가격, 대체에너지 가격, 연구개발노력의 함수로 가정하여 계량적으로 추정하였다. 특히, 대체에너지 공급함수를 실증적으로 추정함에 있어서 본 연구에서는 단순회귀모형뿐만 아니라 연립방정식으로 구축된 3단계 최소자승법 모형을 사용하여 대체에너지원별 공급함수를 추정하였다.

추정결과에 따르면 대체에너지원 중 태양광과 수소력의 경우 적합도가 비교적 높게 나타났지만 대부분의 대체에너지원의 공급함수의 적합도가 80에서 90% 수준이하로 나타났다. 더구나 태양열, 태양광, 바이오와 같은 대체에너지 공급함수는 요소가격과 연구개발에 의해 영향을 받는 것으로 나타났지만 나머지 대체에너지원인 수소력, 풍력, 폐열 등은 요소가격뿐만 아니라 연구개발, 대체에너지 가격에 대해서도 통계적으로 유의적인 것으로 나타났다.

다음으로 추정된 대체에너지 공급함수에 근거하여 대체에너지기술개발 자금을 1억원 부가적으로 투자하였을 때 얻을 수 있는 연간 대체에너지 공급량 증가분을 추정함수로부터 계산한 후에 이를 2002년 원유가격으로 평가하고, 증가된 공급량이 모두 소비되었다는 가정 하에서 이로 인해서 파급되는 부가가치 유발효과를 이차적인 파급효과로 계산하였다.

결국 1차적 파급효과와 2차적 파급효과를 종합하여 전체적 파급효과를 이익률 법에 근거하여 경제성 분석을 해 본 결과에 따르면 바이오와 폐기물과 같은 대체에너지원이

투자액에 무려 14배와 2.5배의 사회적 편익을 제공하는 것으로 나타났다. 대체에너지원 중 바이오에너지와 폐기물에너지는 1차 파급효과 면에서 부가가치 유발효과가 적은 데 그 이유는 타 대체에너지원에 비하여 기술적 난이도와 전후방 연관효과가 비교적 적기 때문으로 풀이된다. 특히 이들 에너지원은 타 대체에너지에 비하여 자체의 높은 발열량을 갖고 있어 기술적 효율성을 높이고 환경오염을 제어할 수 있는 연소 및 소각 기술만 개발되면 쉽게 보급이 가능한 대체에너지원이기 때문이다. 그럼에도 불구하고 2차 파급효과 면에서 부가가치유발효과가 높은 것은 미활용되는 버려질 폐기물을 회수하여 이용하기 때문에 낮은 가격으로 높은 공급량 확보가 가능하기 때문이다. 그리고 기술도 이미 상용화단계에 와 있기 때문에 적은 R&D자금 지원으로도 많은 양의 산출물을 얻을 수 있는 장점을 소지하고 있다.

참 고 문 헌

- 부경진, 김진오, 전영서, 안일환, 「WSSD 후속조치연구-WSSD 이행계획에 따른 신·재생에너지 대응전략을 중심으로」, 에너지경제연구원, 정책연구보고서, 2004, 1.
- 부경진, 대체에너지 R&D 투자지원 효율화 방안연구, 에너지 경제연구원, 1993
- 목영일 외, 「연구개발투자 효과분석의 실증연구」, 한국과학기술재단, 1990.
- 이종욱 외, 「산업기술연관표의 개발 및 이용」, 과학기술정책연구 평가센터, 한국과학기술원, 1987. 2.
- 최원일, 김상조, “신제품개발전략, 과정 및 구조와 성과에 관한 연구”, 기술혁신연구, 제6권 제1호, 1998. 6, pp.128-162.
- 홍순기 외, 「산업기술투자의 경제효과분석에 관한 연구」, 과학기술정책연구평가센터, 1987.
- 홍순기, 홍사균, 안두현, 「연구개발투자의 산업부문간 흐름과 직·간접 생산성증대효과 분석에 관한 연구」, 과학기술정책연구소, 정책연구 91-14, 1991.
- 허은영, “환경오염 저감의 경제적 가치분석”, 한국기술혁신학회 하계 콜로퀴엄 - 기술혁신의 경제성 분석 -, 한국기술혁신학회, 1998. 7. 10.

- 현병환, “임의가치평가법(CVM)을 이용한 생명공학기술의 경제적 가치평가 연구”, 기술혁신연구, 제5권 제2호, 1997. 12.
- _____, “신제품의 전주기 경제성 분석”, 한국기술혁신학회 하계 콜로кви엄 - 기술혁신의 경제성 분석 -, 한국기술혁신학회, 1998. 7. 10.
- Bright, James. R., *Research, Development and Technological Innovation*, Richard D. Irwin, Homewood, IL, 1964.
- Hohmeyer, O.Lav, "Renewables and the Full Cost of Energy," *Energy Policy*, April 1922
- Day, E. D., "Expected Utilities and Substitution Rates," *Technological Forecasting & Social Change*, 24:299-312, 1983.
- Englander, A., R. Evenson and M. Hanazaki, "R&D, Innovation and the Total Factor Productivity Slowdown," *OECD Economic Studies*, Vol. 11, pp. 7-42.
- Lee, Jinjoo & Hong-bumm Kim, “Determinants of New Product Outcome in a Developing Country: A Longitudinal Analysis”, *International Journal of Research in Marketing*, vol. 3, no. 3, 1986.
- Levin, R. C., “Appropriability, R&D Spending and Technological Performance,” *American Economic Review Proceedings*, Vol. 78, No. 2, 1988, pp.424-428.
- Mahajan, Vijay & Jerry Wind, “New Product Models: Practice, Shortcomings and Desired Improvements”, *Journal of Product Innovation Management*, vol. 9, 1992.
- Marchetti, C., "Primary Energy Substitution Models: On the Interaction Between Energy and Society," *Technological Forecasting & Social Change*, 10:345-356, 1977.
- Millson, Murray R., S. P. Raj & David Wilemon, “A Survey of Major Approaches for Accelerating New Product Development”, *Journal of Product Innovation Management*, vol. 9, 1992.
- Miyagiwa, K. and Y. Ohno, Strategic R&D policy and appropriability, *Journal of International Economics*, Vol. 42, 1997.
- Rothwell, Roy, “Successful Industrial Innovation: Critical Factors for the 1990s”, *R&D Management*, vol. 23, no. 3, 1992.
- Sahal, D., "Invention, Innovation, and Economic Evolution," *Technological Forecasting &*

Social Change, 23:213-235, 1983.

Wind, Jerry & Vijay Mahajan, "Issues and Opportunities in New Product Development: An Introduction to the Special Issue", *Journal of Marketing Research*, vol. 34, no. 1, 1997.

Zwicky, F., *Discovery, Invention, Research*, Macmillan, New York, 1969.