

학습곡선을 기반으로 한 신재생에너지 설비가격 평가

황성욱* 김정훈* 원종률**
 *홍익대학교 **안양대학교

Estimation of Equipment's Cost of New & Renewable Energy Based on Learning Curve

Hwang, Sung-Wook* Kim, Jung-Hoon* Won, Jong-Ryul**
 *Hongik University **Anyang University

Abstract - Nowadays the concern about development and diffusion strategies of new & renewable energy and its technologies is getting higher globally as Kyoto Protocol has taken effect this year and oil has been rising in price tremendously. Developed countries have already commenced the study and research for this problem and are looking for various solutions. In this paper, environment of new & renewable energy in Korea is analyzed and estimated using the learning curve, which has been powerfully used for analyses of end-use equipments' characteristics in existing studies, as a pre-study for proposing appropriate strategies and feasible methods. The sample study shows how prices of facilities affect on the penetration of new & renewable energy.

1. 서 론

교토의정서 발효 및 원유가격의 급격한 상승에 따라 국가 전반에 걸쳐 신·재생 에너지의 개발과 보급에 대한 관심이 더욱 커지고 있다. 미국, 일본, 독일 등 선진국에서는 이미 이러한 문제점에 대한 대비를 시작하였으며, 기술 개발과 보급에 다양한 방법으로 접근하고 관련 기술을 수출하기 위한 방안까지 모색하고 있다. 현재 전세계적으로 다양한 신·재생 에너지의 개발이 진행중인데, 각 나라마다 자국의 환경과 여건에 맞는 방법을 통하여 보급을 추진하고 있다. 우리나라에서는 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로 다음과 같은 11개 분야를 지정하였다. 신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법 제2조에 의하면 신·재생에너지 분야는 태양광, 태양열, 풍력, 연료전지, 바이오에너지, 폐기물에너지, 가스화 복합발전, 수소에너지, 소수력, 지열에너지, 해양에너지, 그 밖에 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로 지정되었다. 또한 신재생에너지사업에 1988년부터 2004년까지 656과제에 3,913억원 투자하고 있다. 현재 우리나라의 신재생에너지 사업은 경쟁체제가 아닌 국가지원체제를 기반으로 수행되고 있다. 즉, 신재생에너지 사업은 초기투자비가 높기 때문에 일정 수준에서 정부의 지원을 통하여 사업에 참여할 수 있도록 유도해야 한다. 이러한 정부의 지원 방안은 나라마다 다양한 형태를 취하고 있는데, 우리나라의 경우 발전차액을 보전해주는 방법이 주요 지원 수단으로서 설치 보조금 지원과 함께 활용되고 있다. 그러나, 이러한 정부의 지원은 시장 본래의 기능을 왜곡할 가능성이 있다. 즉, 신재생에너지 보급을 위한 정책으로서 발전차액 지원, 설치 보조금 지원, 자연적 시장 기능 유도 등 이러한 정책의 조합에 따라 어떠한 효과가 있는지 평가할 필요성이 있다. 이에 따라 본 논문에서는 향후 우리나라의 실정에 맞는 보급방안을 제시하기 위한 기초 작업으로서 현재 국내외 신·재생 에너지의 보급 지원 정책이 어떻게 수행되고 있는지 분석하고

시장기능에 맡기는 경우, 보조금을 지원하는 경우, 발전차액을 지원하는 경우와 이상의 경우를 조합한 경우 등으로 나누어 그 효과를 비교하고자 한다. 이를 위하여 여러 연구에서 널리 활용되고 있는 학습률 개념을 이용한다. 사례연구로는 태양광 설비 보급에 대하여 분석하였다.

2. 본 론

2.1 신재생에너지 지원 정책

현재 우리나라의 신재생에너지 보급지원제도로는 에너지관리공단이 주관하여 시행하고 있는 공공의무화제도, 인증제도, 전문기업제도, 지역에너지사업, 용자지원제도, 발전차액지원제도, 보급보조사업, 태양광주택보급사업 등이 있다. 공공의무화제도는 공공기관이 발주하는 연 건축면적 3천㎡ 이상의 신축 건물에 대하여 총 건축공사비 5% 이상을 신재생에너지 설비에 투자하도록 의무화하는 제도이다. 인증제도는 신재생에너지 설비의 보급촉진을 위하여 일정기준 이상의 신재생에너지 설비(태양열집열기, 태양열온수기, 태양전지모듈, 소형풍력발전시스템 등)에 대하여 인증하는 제도이다. 전문기업제도는 신재생에너지설비에 대한 설치를 전문으로 하는 기업으로서 일정수준 이상의 신재생에너지 전문기업을 등록·육성하여 그 신뢰도를 제고하고 국내 산업발전을 도모하기 위한 제도이다. 지역에너지사업이란 지역 특성에 맞는 환경친화적인 신재생에너지 공급체계 구축, 에너지융합리화를 통한 지역경제의 발전을 위하여 지방자치단체에서 추진하는 제반사업을 뜻한다. 용자지원사업은 상용화가 완료된 분야의 신재생에너지시설 설치자 및 생산자를 대상으로 장기저리의 용자를 지원해주는 제도이다. 발전차액지원제도는 신재생에너지 설비의 투자 경제성 확보를 위해 신재생에너지 발전에 의하여 공급한 전기의 전력거래가격이 산업자원부 장관이 정하여 고시한 기준가격보다 낮은 경우 기준가격과 전력거래가격과의 차액(발전차액)을 지원해주는 제도이다. 보급보조사업은 신재생에너지 설비에 대하여 설치비의 일정부분을 정부에서 무상보조 지원함으로써 국내 개발제품의 상용화를 촉진하고 초기시장창출 및 보급활성화를 유도하는 사업이다. 태양광주택보급사업은 주택용 태양광 발전설비의 범국민적 이용을 확대하여 관련 기업의 안정적 투자환경을 조성하고 태양광 시장 창출과 확대를 유도하며, 기술발전을 통한 중장기 수출전략분야로 육성하기 위하여 설비설치비의 일부를 무상 보조하는 사업이다.

2.1.1 발전차액지원제도

발전차액지원제도의 적용대상 전원별 설비용량 및 기준가격은 다음 <표 1>과 같다. 태양광과 풍력은 상업운전 개시일로부터 15년간, 소수력, 조력, LFG, 폐기물 등은 5년간 적용된다. 이 제도에 의한 총 발전량은 2005년 현재 약 73만 1천 MWh, 차액지원금은 약 149억원이다.

<표 1> 적용대상 전원별 설비용량 및 기준가격

대상전원	설비용량기준	기준가격(원/kWh)	
		가용설비	사업용설비
태양광	3kW 이상	716.40	
풍력	10kW 이상	SMP+CP	107.66
소수력	3MW 이하	SMP+CP	73.69
조력	50MW 이상 (방조제 既설처용)	62.81	
LFG	50MW 이하	SMP+CP	20MW 미만 65.20 20~50MW 61.80
폐기물소각 (RDF포함)	20MW 이하	SMP+CP	

2.1.2 보급보조사업

시험사업의 경우 소요시설비용의 80% 이내, 일반보급사업의 경우 태양열, 지열은 50% 이내, 태양광, 풍력, 소수력은 70% 이내로 지원하고 있으며, 원별 최대 지원한도는 다음 <표 2>와 같다.

<표 2> 보급보조사업 원별 최대 지원한도

구분	지원한도
태양열이용시설	평판형 37.5만원/m ²
	단일진공관형 60만원/m ²
	이중진공관형(특수형) 45만원/m ² (55만원/m ²)
태양광발전시설	700만원/kW
풍력발전시설	350만원/kW
지열이용시설	230만원/RT

2.1.3 발전차액지원제도와 보급보조사업 비교

신재생에너지 발전사업자가 사업을 시행할 경우 초기 설비비용 조달을 위해 보급보조사업, 실제 발전을 시작한 이후에는 발전차액지원제도를 적절히 활용하여 지원받을 수 있다. 예를 들어, 500kW 용량의 태양광발전사업을 시행하는 경우 시행 첫 해의 지원액을 살펴보면 다음 <표 3>과 같다. 사업용 설비이고 가동률은 30%라고 가정한다. 사례 A는 두 제도를 모두 적용한 경우, B와 C는 각각 발전차액지원제도, 보급보조사업만을 적용한 경우이다.

<표 3> 지원액 비교(태양광)

사례	지원 기준		총지원액 (백만원)
	발전차액지원 (원/kWh)	보급보조사업 (만원/kW)	
A	716.40	700	4441
B	716.40	-	941
C	-	700	3500

2.2 학습곡선

항공기 제조업에서 반복된 작업이 지속됨에 따라 학습의 효과로 인해 제품원가가 감소하는 현상을 발견하였는데, 이를 체계적으로 이론화함으로써 학습곡선의 개념이 다른 제조업 분야에 확대 적용되기 시작하였다. 즉, 학습곡선이란 직접노동의 투입량이 누적 생산량의 증가에 따라 일정비율로 감소한다는 사실을 나타내는 곡선이다. 학습현상이 존재하면 누적생산량이 증가함에 따라 평균원가가 체계적으로 감소하게 되는데 이를 식 (1)과 같이 간단한 모형으로 수식화할 수 있다.

$$y = ax^{-b} \quad (1)$$

여기서, y, x, a, b는 각각 평균원가의 추정치, 누적생산량, 첫 번째 단위의 생산원가, 학습곡선의 계수를 나타낸다.

학습률이란 누적생산량이 2배가 되었을 때, 단위당

평균원가가 $(1-r) \times 100[\%]$ 만큼 감소한다는 의미로서, 학습률 r과 학습곡선의 계수 b 사이에는 다음과 같은 관계가 성립한다.

$$r = \frac{y'}{y} = \frac{a(2x)^{-b}}{ax^{-b}} = 2^{-b} \quad (2)$$

식(2)로부터 학습계수 b는 다음과 같이 구한다.

$$b = -\frac{\log r}{\log 2} \quad (3)$$

한편, 학습곡선의 추정은 생산량에 따른 평균원가, 총원가, 또는 한계원가에 대한 자료가 충분할 경우에는 한 변수 혹은 여러 변수가 다른 변수에 미치는 영향력의 크기를 수학적 관계식으로 추정하고 분석하는 통계적 분석 방법인 회귀분석을 통하여 학습계수 b를 추정함으로써 가능하고, 반대로 자료가 불충분할 경우에는 유사제품의 경우를 이용하여 학습률 r을 추정한 뒤에 생산원가를 추정함으로써 학습곡선을 찾아낼 수 있다.

2.3 학습률 추정방법

신재생에너지 원별 학습률을 찾아내기 위해서는 해당 설비의 누적 생산량에 따른 평균원가, 총원가, 또는 한계원가에 대한 자료를 충분히 확보하여 설비별 학습곡선을 구성한 뒤, 식(3)을 이용하여 계산하면 된다. 따라서, 관련 자료인 설비별 생산대수 자료, 설비별 가격자료 등을 분석하고, 설비별 보급현황, 물가지수 등의 자료를 활용하여 신재생에너지 원별 학습률을 찾아내기 위한 알고리즘을 제시한다.

2.3.1 원별 설비의 학습률 추정을 위한 자료

가. 에너지원별 설비 생산량
학습률 산정을 위한 첫 번째 입력자료로서 각 원별 설비의 생산량 추이를 분석해야 한다. 이 자료로부터 설비의 누적생산대수를 계산한다.

나. 기기별 규격별 보급현황

기존 부하기기의 학습곡선 분석 연구에서는 개별 부하기기의 기기별, 규격별 보급현황을 종합적으로 분석하여 각 기기의 대표규격을 정하고 학습률을 추정하였는데, 현재 신재생에너지의 경우 보급초기 단계이고 세부적인 기술의 개발 속도 및 환경이 유동적이므로 이 과정은 생략하고 차후 기술 개발 및 시장 환경이 본 계도에 오를 시점에 보다 세부적인 분석을 하기로 한다.

다. 설비별 가격변화 추이

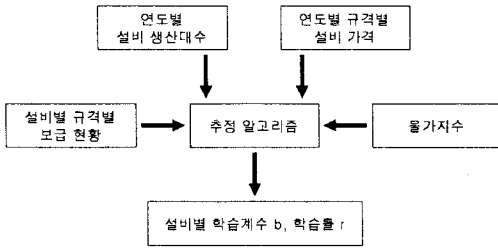
생산량에 따른 평균원가, 총원가에 대한 자료를 설비별 가격변화추이로써 찾게 된다. 원래는 생산자의 생산원가 자료를 이용해야 하나 입수가 쉽지 않으므로 설비의 가격자료를 사용하는데, 설비 가격에는 일정 이윤이 포함되어 있지만 생산원가의 추이를 반영하는 데는 문제가 없을 것으로 판단된다. 에너지관리공단, IEA 등 기관으로부터 신재생에너지 원별 설비가격을 입수한다.

라. 물가지수

설비의 가격자료를 사용하는데 있어서 물가지수의 명목가치를 실질가치를 환산하는 디플레이터 기능을 사용하게 되는데, 같은 액수의 설비 가격이라도 어떤 시점이냐에 따라 그 가치가 다르므로 물가지수를 사용하여 모든 해에 있어서의 돈의 가치를 동일하게 만들게 된다. 즉, 모든 시점에서의 가격은 물가지수를 이용하여 불변가 개념으로 환산하여 사용하는 것이다.

2.3.2 학습률 추정 알고리즘

이상의 입력자료를 바탕으로 설비의 학습률을 추정하기 위한 순서는 다음 <그림 1>과 같다.



<그림 1> 학습률 추정 절차

개별 설비의 학습률을 찾기 위한 알고리즘은, 산출된 생산량에 따른 평균 가격과 총 가격 자료를 가지고 편차 제곱의 총합의 최소화를 수행함으로써 변수를 결정하게 되는 최소자승법에 의해 식(4)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Min.} \sum_n [y - \hat{y}]^2 \quad (4)$$

여기서, y , \hat{y} , n 은 각각 설비별 실제 평균원가, 누적 생산량과 첫 번째 단위의 생산 원가로 추정된 학습곡선, 자료의 개수를 나타낸다.

2.4 신재생에너지 지원제도별 설비가격 평가

태양광 에너지 설비의 학습률 추정을 위해 보급현황과 설비가격을 정리하면 다음 <표 4>와 같으며, 태양광발전 설비 중 발전차액지원을 받고 있는 곳은 2005년 6월 현재 2개소 350kW이다. 물가지수를 고려하여 각 연도별 설비가격을 불변가로 변환한 것 역시 <표 4>에 나타나 있다.

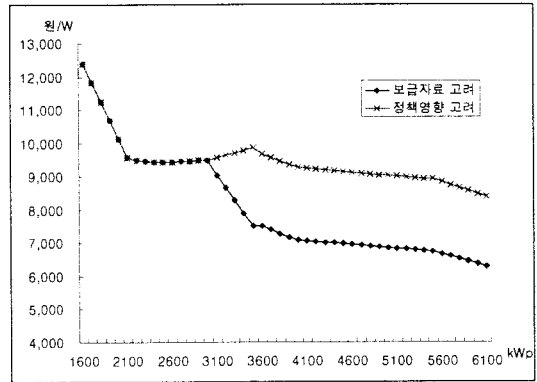
<표 4> 태양광 설비 보급현황과 가격 변화 추이

연도	보급량 (kW)	설비가격 (원/W)	소비자물가지수	불변가 (원/W)
1994	1,681	9,400	78.8	11,928
1995	1,769	9,400	82.3	11,417
1996	2,113	8,200	86.4	9,492
1997	2,475	8,500	90.2	9,421
1998	2,982	9,200	97.0	9,484
1999	3,459	7,500	97.8	7,669
2000	3,960	7,100	100.0	7,100
2001	4,757	7,200	104.1	6,916
2002	5,514	7,200	106.9	6,735
2003	6,069	7,000	110.7	6,323

신재생에너지의 학습곡선은 순수하게 시장기능에 의해서 이뤄지는 것이 아닌 보급정책의 영향을 받고 있으므로, 정책 영향이 곡선에 어떻게 반영되는지를 분석하고 원래의 곡선 형태로 환원하는 작업을 수행한다. 2000년을 전후로 학습곡선(소비자물가지수 기준)의 형태가 왜곡을 보이는데, 즉 가격이 상승하고 있는데, 2000년을 전후로 본격적으로 신재생에너지 사업 지원이 시작되었다는 것을 고려하여, 본래 설비가격의 추이가 어떻게 평가되어야 하는지를 추정해본다. 2003년 현재 보급보조사업의 지원금은 700만원/kW로서 위의 표에서 설비가격 7,000원/W와 단위상 동일하다. 전액 지원을 받을 경우 무상으로 설치가 가능하다. 그러나, 일반적으로 70% 선에서 지원을 받고 있다는 것을 고려하면 실제 설비가격은 2,100원/W으로 평가해야 한다. 또한, 500kW 설비가 약 30%의 가동률을 보인다고 하면 발전차액지원제도의 경우 $500 \times 0.3 \times 716.40 = 107,460$ 원/kWh를 지원받는

다.

<그림 2>에서 볼 수 있는 바와 같이 1998년 IMF 사태로 인한 일시적인 가격 상승을 제외하고는 보다 완만하게 가격이 하락하는 형태가 자연스러운 학습곡선인데(정책영향 고려 곡선), 갑작스런 가격의 하락을 보이는 곡선(보급자료 고려) 보급보조제도 등의 영향에 의한 것이라고 추정할 수 있다.<표 5>는 추정된 학습계수이다.



<그림 3> 정책영향을 고려한 학습곡선

<표 5> 학습계수 비교

구분	보급자료 고려	정책영향 고려
a	14,179	93.5
b	0.2010	0.0785

3. 결 론

본 논문에서는 우리나라 신재생에너지 보급지원제도가 설비가격에 어떠한 영향을 미치는지 학습률 개념을 이용하여 평가하였다. 보급보조사업 등에서 지원하는 설치보조금은 설비가격의 본래 시장 기능을 왜곡하는 경향을 보이고 있으며, 적정 보조금 평가가 수행되어야 할 필요성을 시사한다. 아울러 본 논문의 결과를 바탕으로 보급지원제도 전체와 다른 신재생에너지원의 학습률을 종합적으로 비교 분석하여 신재생에너지 원별로 적합한 보급지원제도를 결정하기 위한 정밀한 연구가 요청된다.

감사의 글

본 논문은 에너지관리공단의 에너지자원기술개발사업으로 수행된 결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황성욱 외, "확산모형을 이용한 신재생에너지의 보급현황 평가", 대한전기학회 EMECS 추계학술대회 논문집, pp. 320-322, 2005
- [2] 황성욱 외, "신기술 보급 및 DSM 정책이 부하기기 학습곡선에 미치는 영향", 대한전기학회 전력기술부분회 추계학술대회 논문집, pp. 435-437, 2001
- [4] 통계청, 2004년 물가연보, 2005
- [5] 에너지관리공단, 2004년도 신재생에너지기술개발 자료집, 2005
- [6] 산업자원부, 신재생에너지발전 의무비를 할당제 도입 연구 최종보고서, 2004
- [7] 기초전력공학공동연구소, 전력산업 경쟁도입에 따른 요금변화에 대한 부하모델 수립 및 DSM 프로그램에 미치는 영향 평가에 관한 연구 최종보고서, 2001
- [8] www.ica-pvps.org