

확산모형을 이용한 신재생에너지 보급현황 평가

황성욱* 원종률** 김정훈*
*홍익대학교 **안양대학교

Diffusion State Estimation of New & Renewable Energy Using Diffusion Model

Hwang, Sung-Wook* Won, Jong-Ryul** Kim, Jung-Hoon*
*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 diffusion model as a pre-study for proposing appropriate strategies and feasible methods.

목적은 시간이 경과함에 따라 수요자의 연속적인 증가를 관측하는데 있다. 따라서, 본 연구에서 초점을 맞추고 있는 신재생에너지 보급의 증가를 관측하는데 활용하기로 한다. 대표적인 확산모형으로는 Bass모형으로서 수리적으로 표현하면 다음 식(1)과 같다.

$$n(t) = \frac{dN(t)}{dt} = p[m - N(t)] + \frac{q}{m} N(t)[m - N(t)] \quad (1)$$

여기서, m은 잠재시장의 크기를 나타내며, N(t)는 매 연도의 누적수요로서 S자 곡선 형태를 갖게 된다. 식(1)의 첫째 항은 외부영향에 의한 제품수요를 나타내며 p를 혁신계수라 부른다. 둘째 항은 내부영향에 의한 제품수요를 나타내는데 q를 모방계수라 한다. 미분방정식 형태의 식(1)은 정리하여 다시 다음 식(2)와 (3)과 같이 N(t)와 n(t)를 표현할 수 있다.

$$N(t) = m \cdot \frac{1 - e^{-(p+q)t}}{1 + \frac{q}{p} e^{-(p+q)t}} \quad (2)$$

$$n(t) = m \cdot \frac{p(p+q)^2 e^{-(p+q)t}}{(p+q \cdot e^{-(p+q)t})^2} \quad (3)$$

Bass의 확산모형을 사용하기 위해서는 m, p, q 등 3개의 계수를 추정하여야 한다. 보급초기단계인 경우에는 계수를 추정하기 위한 자료의 부족으로 유사한 품목의 계수를 사용하거나, 잠재량, 초기수요량, p+q의 값을 이용하여 추정하는 방법을 사용한다. 이 때 p+q의 값은 0.3<p+q<0.7 사이에서 결정되며, 산업계의 경우 0.66, 소비재의 경우 0.50으로 전문가들이 제안하였다. 본 논문에서는 신재생에너지의 보급이 이미 10여년 이상 진행되어 왔기 때문에 관련 자료가 있는 경우의 계수 추정 방법을 사용한다. 이 경우에도 다양한 방법이 존재하는데, 기존의 방법에서 시간간격 왜곡현상 등의 단점을 극복하고 직접 구해진 해와 비교할 수 있는 방법으로서 1986년에 Srinivass과 Mason이 비선형 최소제곱법을 사용하기로 한다. 이 방법은 다음 식(4)와 같이 실측치와 추정치의 오차를 최소화하는 방법이다.

$$\min Z = \sum_{t=1}^T [n_{rew}(t) - (N(t) - N(t-1))]^2 \quad (4)$$

2.2 신재생에너지 보급현황

OECD의 신재생에너지 보급비율은 2011년 평균 전망치로 볼 때 약 5%로서, 2003년 기준으로 우리나라가 공급하고 있는 1차에너지는 215백만TOE로 이중의 2.1%인

1. 서 론

현재, 우리나라에서는 석유, 석탄, 원자력, 천연가스가 아닌 에너지로 다음과 같은 11개 분야를 지정하였다. 신에너지 및 재생에너지개발·이용·보급촉진법 제 2조에 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. 신재생에너지는 원별로 다양한 기술 및 보급 특성을 갖고 있기 때문에 획일적이고 단순한 보급 방안이 아닌 원별 특성에 맞는 적합한 보급 방안을 수립해야 한다. 따라서, 원별 보급 실태를 파악하고 정책과 기술 개발의 환경에 따라 보급의 특성이 어떻게 변화할 수 있는지를 평가할 수 있어야 한다. 따라서, 본 논문에서는 향후 우리나라의 실정에 맞는 보급방안을 제시하기 위한 기초 작업으로서 현재 국내외 신·재생 에너지의 보급이 어떻게 이루어지고 있는지 각각의 보급특성을 분석하고 기존 연구에서 제안하여 관련된 여러 연구에서 널리 활용되고 있는 확산모형을 이용하여 보급현황을 평가한다.

2. 본 론

2.1 확산모형

확산 모형이란 사회체제의 사람들에 의해 새로운 것으로 받아들여지는 생각, 객체, 관습 등이 시간에 따라 어떤 경로를 통해 사회체제에 속한 사람들 사이에 소통되는 것을 함수의 형태로 표현한 것으로 정의된다. 정의에서 알 수 있듯이 확산 모형은 4가지 핵심 요소, 혁신물, 소통경로, 시간, 사회체제로 구성된다. 사회학, 경제학 등의 분야에서 매우 다양한 형태의 확산모형을 연구하고 개발해왔는데 대부분의 확산모형은 대상의 누적 형태를 S자곡선으로 표현한다. S자 곡선을 보면 초기에는 확산이 천천히 진행되다가 완전히 확산이 펼쳐질 때 가장 최고의 수요를 기록하고 점차로 포화하게 되어 S자 곡선 형태가 된다. 이러한 확산모형의

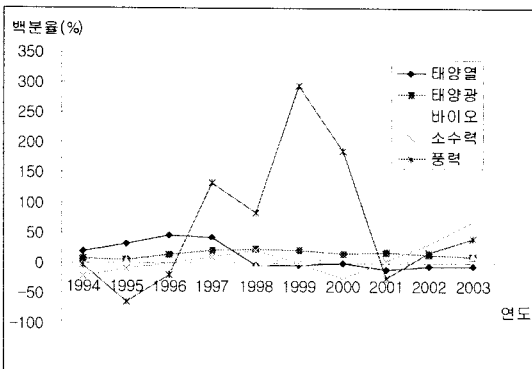
4436천TOE를 신재생에너지로 보급하고 있다. 각각의 원별로 보면 태양열 7.5%, 풍력 0.1%, 바이오 3.0%, 수력 7.6%, 폐기물 68.5% 등이다. 이에 따라, 정부는 2006년 1차에너지의 3%(7001천TOE), 2011년 5%(13335천TOE) 공급을 보급목표로 하고 있다. 1994년부터 2003년까지 10년간 신재생에너지의 각 원별 보급현황은 다음 <표 1>과 같다. 폐기물에너지의 경우에는 현재 우리나라 신재생에너지 보급량의 대다수인 68.5%를 차지하기 때문에 본 논문의 비교대상에서 제외하고 향후 보급에 주력하게 될 태양열, 태양광, 바이오, 소수력, 풍력에너지를 중심으로 비교하였다. 비교대상의 에너지원 가운데 태양열 및 바이오 에너지는 열과 전기를 모두 생산하는 특성을 갖고 있고, 태양광, 소수력, 풍력은 전기를 생산하는데 이용된다. 현재의 기술수준에서는 태양열 및 바이오 에너지는 주로 열공급을 위한 목적에서 이용하고 있는 실정이며, 현실적으로 전력공급과 관련된 에너지는 태양광, 소수력, 풍력 에너지라 할 수 있겠다.

<표 1> 신재생에너지 연도별 보급현황
(단위 : TOE)

연도	태양열	태양광	바이오	소수력	풍력
1994	16,839	533	57,239	22,538	303
1995	22,083	557	59,174	20,435	108
1996	32,016	639	50,421	20,349	87
1997	45,543	775	67,582	22,451	202
1998	43,957	949	63,178	27,228	369
1999	42,105	1,143	64,949	27,123	1,460
2000	41,689	1,321	82,004	20,456	4,171
2001	37,174	1,546	82,457	20,933	3,148
2002	34,777	1,761	116,790	27,645	3,720
2003	32,914	1,938	131,068	46,903	5,216

<표 2> 신재생에너지 연도별 증가율
(단위 : %)

	태양열	태양광	바이오	소수력	풍력
1994	19	7	-3	-22	-3
1995	31	5	3	-9	-64
1996	45	15	-15	0	-19
1997	42	21	34	10	132
1998	-3	22	-7	21	83
1999	-4	20	3	0	296
2000	-1	16	26	-25	186
2001	-11	17	1	2	-25
2002	-6	14	42	32	18
2003	-5	10	12	70	40



<그림 1> 신재생에너지 연도별 증가율

각 에너지원별 보급량의 연도별 증가율을 비교해보면 <표 2>와 같다. 태양열에너지의 경우 1997년까지 매우 빠르게 보급량이 증가해오다가 그 이후로 보급량이 갑자기 줄어들고 예전의 상태를 유지하는 경향을 보인다. 바이오, 소수력, 풍력 에너지의 경우 매우 불규칙한 증가를 보이고 있으며, 태양광에너지의 경우에만 꾸준한 성장을 나타내고 있다. <그림 1>에서 볼 수 있듯이 에너지원별로 증가추이가 매년 급격하게 변화하는 이유는 보급과 관련된 정책이나 법규 또는 보급을 위한 제반 환경이 일관성 있게 적용되고 있지 않다는 것을 암시한다.

2.3 확산모형을 이용한 보급현황 평가

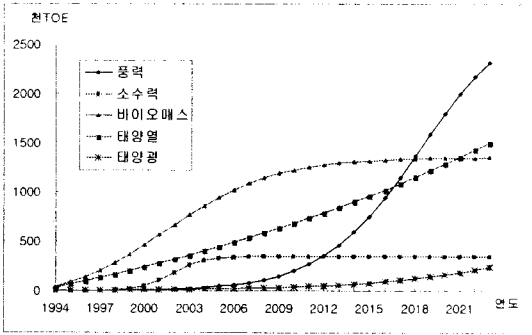
신재생에너지 원별 확산모형을 산출하기에 앞서 우선적으로 필요한 혁신계수(p)와 모방계수(q) 추정에는 최소자승법을 사용하였고, 그 결과는 <표 3>과 같다. 잠재량 추정은 기술 개발 정도, 추진 정책의 성격 등에 따라 매우 다르게 나타나기 때문에 또 하나의 비경 높은 연구과제로 다루어야 하며, 또한 현재까지 국내에서 신재생에너지에 대하여 체계적이고 정밀도 있는 잠재량이 평가된 바가 없기 때문에 기존 연구자들 혹은 정부기관이 발표한 수치를 활용하였다. 일반적으로 잠재량은 기술적 잠재량, 경제적 잠재량, 도달가능 잠재량, 프로그램 잠재량, 자연발생 잠재량 등이 있는데, 본 논문에서는 이중 기술적 잠재량을 고려하였다.

잠재량에 따라 계수 추정의 결과는 매우 상이하다. 각 원별로 잠재량 A는 A기관에서 2004년 발표한 기술적 잠재량이고, 잠재량 B는 B기관에서 2001년 발표한 가용자원량이다. 비교를 위해 kWh, TOE 등 서로 다른 단위를 환산하여 TOE로 통일하였다. 계수추정을 위한 프로그램의 한계치는 소수점 넷째자리까지 허용하였는데, 이에 따라 표에서 0.0001로 산출된 계수는 실제적인 의미는 없는 것으로서 실제적으로는 0이라고 보아야 한다. 예를 들어 태양열에너지의 잠재량을 A로 할 경우에 <표 1>의 2003년 보급량 32.9천TOE는 매우 미미한 값이다. 따라서, 잠재량 A는 현재로서는 현실성이 없는 잠재량이라고 할 수 있다. 이는 보다 구체적이고 현실적인 잠재량 평가를 필요로 한다는 것을 시사한다.

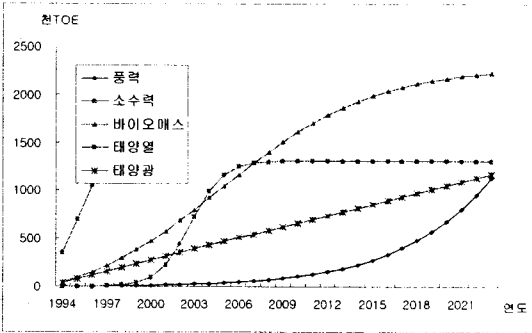
<표 3> 혁신계수 및 모방계수 추정결과

구분	잠재량 (천TOE)	혁신계수 (p)	모방계수 (q)	p+q	
태양열	A	3,500,000	0.0001	0.0001	0.0002
	B	50,167	0.0006	0.0318	0.0324
태양광	A	390,000	0.0001	0.0001	0.0002
	B	5,332	0.0001	0.1378	0.1379
바이오	A	2,316	0.0159	0.1786	0.1945
	B	1,371	0.0217	0.2518	0.2735
소수력	A	1,314	0.0001	0.8868	0.8869
	B	344	0.0001	0.9805	0.9806
풍력	A	8,000	0.0001	0.1881	0.1882
	B	2,838	0.0001	0.3125	0.3126

추정한 p와 q 그리고 보급현황자료를 바탕으로 각 잠재량별로 신재생에너지의 보급곡선을 산출하면 다음 <그림 2>, <그림 3>과 같다. 1994년~2003년의 보급실적 자료를 바탕으로 1994년부터 2023년까지 30년간의 보급추이를 추정하였다. 소수력 및 바이오 에너지의 경우 <그림 2>와 <그림 3>에서 모두 2006년 이후 보급이 포화되는 경향을 나타내고 있고, 풍력의 경우에는 2010년을 전후로 보급이 빠른 속도를 증가할 것이라는 예측을 보여준다. 한편, 태양열 및 태양광 에너지의 경우에는 잠재량의 현실성이 떨어지기 때문에 그래프상에서 단순히 단조증가하는 형태로 표현되었다.



<그림 2> 신재생에너지 누적보급곡선(가용자원량)



<그림 3> 신재생에너지 누적보급곡선(기술적잠재량)

전문가들이 제안한 $p+q$ 의 값은 $0.3 < p+q < 0.7$ 사이에서 결정되며 산업재의 경우 0.66, 소비재의 경우 0.50이지만, 이번 사례연구에서는 <표 3>에서 볼 수 있는 바와 같이 소수력의 경우에는 0.8869(잠재량 A), 0.9806(잠재량 B)으로 너무 크고, 다른 에너지원의 경우에는 0.0002~0.3126으로 작은 편이다. 이는 신재생 에너지원이 일반 산업재나 소비재와는 다른 성격을 갖고 있다는 것을 보여주며, 바이오매스와 풍력의 경우에는 다른 에너지원들과는 달리 어느 정도 보급이 진행되어 일반적인 산업재와 같은 경향과 가까워지고 있는 경향을 보인다. 추정된 계수들이 적합한지를 확인하기 위해 IEA 자료를 바탕으로 전세계의 신재생에너지 보급추이와 비교를 해보았다. 바이오매스의 경우 다음 <표 4>와 같은 계수 추정결과를 보이는데, 이로 보아 국내와 마찬가지로 신재생에너지의 혁신 및 모방계수는 일반적인 경우와는 성격이 다르다고 판단된다.

<표 4> 바이오매스의 추정계수(세계)

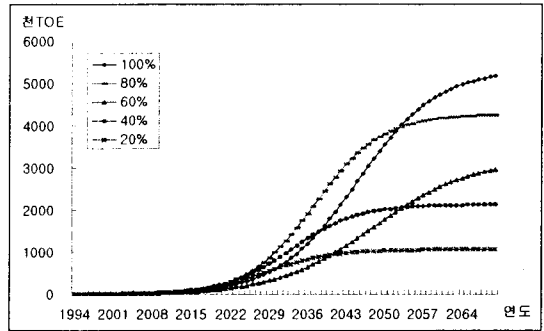
구분	잠재량 (천TOE)	혁신계수 (p)	모방계수 (q)	$p+q$
시나리오 A	4,488,372	0.0001	0.0961	0.0962
시나리오 B	1,209,302	0.0001	0.2370	0.2371

다음으로 태양광 에너지의 잠재량 변화에 따른 보급추이를 추정해보았다. <표 5>는 기술적잠재량을 100%, 80%, 60%, 40%, 20%로 변화시켜가며 추정한 계수이고, 이에 따라 <그림 4>에 그 결과를 나타내었다. <그림 4>에서 초기(2029년)에는 기술적 잠재량의 80%, 40%, 20%, 100%, 60%의 순으로 보급이 이루어지다가 이후에 촉진되는 특징을 나타내고 있는데, 이는 잠재량의 변화가 보급추이에 반드시 비례하지는 않는다는 것을 보여준다. 즉, 혁신계수 및 보급계수의 크기에 따라 보급초기, 중기, 후기로 갈수록 추이가 달라지는 경향을 보인다. 이는 잠재량 평가에 따라 보급정책 전략을 어떻게 잡아야

할 것인가를 시사한다.

<표 5> 잠재량에 따른 추정계수

구분	잠재량 (천TOE)	혁신계수 (p)	모방계수 (q)
태양광	5,332 (100%)	0.0001	0.1378
	4,266 (80%)	0.0001	0.1658
	3,199 (60%)	0.0002	0.1143
	2,133 (40%)	0.0002	0.1661
	1,066 (20%)	0.0004	0.1669



<그림 4> 잠재량에 따른 보급추이(태양광)

3. 결 론

본 논문에서는 우리나라 신재생에너지 원별 보급특성을 분석하여 일관성과 시의성이 낮은 정책이 보급에 부정적인 영향을 줄 가능성이 있음을 확인하였고, 확산모형을 이용하여 원별 보급추이를 추정하였다. 확산모형의 계수추정을 위하여는 비선형 최소자승법을 사용하였는데, 잠재량의 신뢰도에 따라 확산모형의 곡선이 달라짐을 확인하였다. 소수력, 바이오, 풍력의 순으로 보급포화시점이 도래할 가능성이 있기 때문에 보급정책 수립시 이를 고려해야 하고, 태양열 및 태양광 에너지의 경우에는 보다 정밀한 잠재량 평가가 요구된다. 아울러 신재생에너지에 대한 경제적 잠재량, 도달가능 잠재량 등의 보다 상세한 잠재량 평가에 관한 연구가 요청된다.

감사의 글

본 논문은 에너지관리공단의 에너지자원기술개발사업으로 수행된 결과입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] 황성욱 외, "고효율기기의 보급확산을 고려한 전력수요관리 모니터링시스템의 방법론 개발", 전기학회논문지, 제48권 제 8호, pp. 941-950, 1999
- [2] F. M. Bass, "New Product Diffusion Models in Marketing: A Review and Directions for Research", Journal of Marketing, Vol. 54, pp. 1-26, 1990
- [3] V. Majajan, Models for Innovation Diffusion, Sage Publications, 1985
- [4] 산업자원부, DSM 잠재량 평가와 모니터링을 위한 기법 개발 및 활용방안 연구 최종보고서, 1998
- [5] 에너지관리공단, 고효율 조명기기 보급촉진을 위한 조명기기 효율관리 방안, 2005
- [6] 에너지관리공단, 2004년도 신재생에너지기술개발 자료집, 2005
- [7] 산업자원부, 신재생에너지발전 의무비를 할당제 도입 연구 최종보고서, 2004
- [8] IEA, Energy to 2050: Scenarios for a Sustainable Future, 2003