

# 신·재생에너지 전원설비의 전력수요 피크 시 공급영향분석

김 수덕<sup>1)</sup> 김 영산<sup>2)</sup>

## Impact Analysis of the Power Generation Capacities of New and Renewable Energy on Peak Electricity Supply

Suduk Kim

**Key words** : 신재생에너지(New and Renewable Energy), 피크 영향(Peak Impact), 전원설비(Power Generation Capacity), 전력공급(Electricity Supply)

**Abstract** : 본 연구는 신재생전원설비가 추가적으로 전력공급설비로서의 역할을 키워감에 따라 나타날 수 있는 공급 상의 문제를 신재생에너지원별로 확률적인 분석을 시도하였다. 각 원별 패턴은 풍속, 일사량, 그리고 월력에 근거한 조수간만의 차이 등에 의해 영향을 받으며 이들은 확률적 분포를 갖는다는 점에 주목하여 피크공급에 대한 각 원별 기여도에 대한 확률적 분석을 시도하였다. 분석의 결과, 저자는 통상적인 전력수급계획에서 각 에너지원별 혹은 발전원별 설비이용률을 갖고 설비계획에 반영하는 기존의 방법론이 갖는 문제점을 지적한다.

### 1. 개요

구조개편 이후 전력수급기본계획은 사업자의 자율의향을 토대로 수립되고 있으며, 다양한 신재생에너지 발전소들이 본격적으로 전력시장에 진입하고 건설의향을 제출함에 따라, 신재생에너지에 대한 수급기본계획 반영방안 연구가 필요하다. 특히, 국가 전체적인 전력계통비용 측면에서의 신재생에너지의 적정규모를 파악하고, 실현가능한 보급전략을 수립하여야 한다.

신재생에너지원의 전원구성 반영의 이유로 (1) 경제성장과 에너지 수요의 폭발적 증가, (2) 환경을 위해하는 에너지 소비구조, (3) 취약한 에너지 수급구조, (4) 원자력의 높은 비중과 사회적 갈등의 심화 등을 들 수 있으며, 이들 이유로 추가적인 비용을 지불함에도 불구하고 정부는 신재생 에너지를 도입하려는 적극적인 정책을 펴고 있다. 원전의 안전성 및 경제성에 관한 문제 제기의 대안으로 에너지절약, 신재생대체에너지의 공급확대 방안 등이 사회단체 등을 통해 제시되었고, 정부는 신재생에너지(대수력 포함) 보급지원을 강화하는 대체에너지 개발 및 이용·보급 촉진법을 개정하기 위해 개정(안)을 입법 예고한 상태이다. 한편, 관련 기관에서는 신재생에너지 발전량

의무할당제 도입 등을 통해 신재생에너지 사업을 전략적으로 추진할 수 있는 방안을 모색하고 있다. 이는 발전사업자 또는 전기판매사업자에 대한 신재생 에너지를 이용한 발전량 의무부과는 현 개정 내용에서 제외되었으나 향후 신재생에너지 사업관련 인허가 간소화 및 의무할당제 도입 등을 위한 특별법 제정도 검토 중이다.

미래에 신재생에너지의 비중이 높아지게 되어 전원계획에서 반드시 고려해야 하는 대상이 될 수밖에 없는 경우, 각종 신재생에너지를 얼마나 보급하는 것 (penetration)이 적절한가를 검토할 수 있어야 하며, 어떤 비용수준에서 공급해야 하는가 하는 질문들이 전원계획에 면밀하게 연관되어 있음을 지적할 수 있다. 이러한 움직임은 기존의 전원구성 최적화 문제의 재검토를 필요로 하며, 관련된 객관적이고 구체적인 연구를 통해 신재생에너지 설비를 기술적, 경제적으로 평가하고 이들 설비를 이용한 전력공급의 영향을 면

1) 아주대학교 대학원 에너지학과 부교수  
E-mail: suduk@ajou.ac.kr  
Tel : (031)219-2689 Fax : (031)219-2969  
2) 한양대학교 경제금융학부 경제학과 교수  
E-mail : Email: ecyskim@hanyang.ac.kr  
Tel : (02) 2220-1021 Fax : (02) 2293-1787

밀히 분석하여 적절한 대응방안을 마련하여야 할 필요성이 대두되었다.

신재생 전원 설비는 기술적으로 신재생에너지는 주로 풍력, 태양광 등 자연조건에 따라 출력이 변동되는 비급전 전원설비로써 피크의 기여도가 낮은 편이다. 또한 신재생에너지원 중 풍력이나 태양광과 같은 신재생에너지 자원이 기존의 화석에너지 및 원자력 자원과 다른 점으로 간헐성(intermittency)과 급전지시자의 의도에 따라 dispatch 할 수가 없다는 문제를 지적하고, 신재생에너지를 전원계획에 포함할 때 고려해야 하는 사항으로 아래와 같은 지적을 하고 있다.

첫째는 가용한 신재생에너지 자원의 설정이다. 몇 가지의 신재생에너지를 고려할 것인가를 결정하여야 한다. 신재생에너지로 분류되는 자원은 다수가 있지만 전원계획에 고려하여야 할 만큼 유효한 자원을 어디까지 포함할 것인가의 문제이다. 두 번째는 신재생에너지의 한계를 설정하여야 한다. 소요되는 토지의 면적에 대한 제약을 고려하여 풍력이나 태양에너지와 같이 이용가능한 간헐적인 자원의 가용자원의 총량에 대한 추정치를 설정해야 한다. 세 번째는 전력시스템에서 신재생에너지가 차지하는 비중의 상한선을 결정하여야 한다. 시스템의 신뢰도 기준을 충족하는 한도 내에서 간헐적인 신재생에너지 자원을 얼마나 도입할 수 있는가에 대한 상한선을 제시해야 한다는 의미이다. 네 번째는 시간이 지나면서 신재생에너지에 대한 기술습득의 과정을 고려해야 한다는 점이다. 초기에는 신재생에너지의 R&D와 제작, 그리고 운영에 있어서의 지식이나 경험이 부족하여 비용이 높을 수밖에 없다. 하지만 시간이 지나면서 기술을 습득하고 체화하는 과정에서 비용의 하락이나 규모의 경제가 있을 수 있다. 이와 같은 전망을 고려하여 비용을 입력하여야 한다는 점이다. 다섯 번째는 신재생에너지 자원이 대부분 매우 간헐적으로 생산되는 특성이 있기 때문에 시스템에서 capacity value를 결정해주어야 한다는 점이다. 피크에 기여하는 정도를 신재생에너지 자원별로 설정하여 시스템 신뢰도를 높일 수 있도록 하여야 한다.

신재생에너지 자원의 공급능력을 산정하기 위해 신재생 에너지 자원의 시간대별 발전량 데이터에 기초하여 신재생 에너지 자원의 발전량을 연속 확률변수로 간주할 수 있는데, Castro 와 Ferreira(2001)는 풍속의 전력변환은 전형적인 전력곡선 (Typical power curve)을 따른다는 가정 하에 풍력 발전의 공급능력에 대한 확률적 평가를 수행하였다. 연구의 결과에 의하면, 확률적 개념의 용량크레딧<sup>3)</sup>을 구하는 것이 중요한 요인임을 확인할 수 있었지만 이 용량크레딧을 결정하게 되는 설비이용율(capacity factor)이 풍력 발전량에 의해 결정되며 그 자체가 이미 외부적인 요인 - 풍력발전의 풍속, 대기압 - 에 의한 확률적인 과정으로 해석된다는 문제가 있다.

본 연구는 신재생에너지원을 이용한 전원구성이 갖는 간헐성, 비급전용이라는 특성과 시스템신뢰도와 관련된 불확실성의 정도를 파악하는 것을 주된 목적으로 하여 각 신재생에너지원별 발전의 시간대별 패턴과 특성이 피크공급에 미치는 영향을 분석하였다. 조력발전의 경우, 시간대별 패턴을 구하기 위한 해수면과 호수면의 수두차 자료를 확보하지 못하여 대신 일정한 가정 하에 조석간의 발전량을 시간대별로 분리하는 방법을 고안하였다. 태양광 발전량 계산 알고리즘은 태양광 발전시스템의 설계시 일반적으로 사용되어지는 Duffie and Beckman(1991)과 RETScreen의 알고리즘을 이용하였고, 풍력의 시간대별 발전량 계산은 Giebel 외(2004)에서 제시된 전국평균개념의 출력커브와 풍속의 산정방법 관련 논의 등을 참조하였다.

구체적으로는 우선 2장에서는 관련된 국내외 사례연구에 대한 정리 분석, 신재생에너지 보급지원의 현황과 제도적 근거에 대해 정리하고, 이를 통해 확인된 정부제시 신재생에너지원을 이용한 발전 목표치를 기본 시나리오를 설정한다. 3장 분석방법에서는 2차전력수급기본계획 상의 발전량과 최대수요를 만족하는 시간대별 전력수요를 산출하여 분석의 기준을 삼고, 이와 함께, 주어진 외기조건 하에서 각 신재생에너지원별 시간대별 발전패턴의 산정방법에 대해 살펴본다. 분석의 초점을 신재생에너지원을 이용한 발전이 피크시의 공급에 미치는 영향에 두고, 실제 자료를 이용하여 각 신재생에너지원별 시간대별 패턴을 산정한 뒤, 시뮬레이션을 통해 신재생전원별 피크공급에 대한 확률적 기여도를 검토하고, 4장에서 결론을 도출한다.

## 2. 국내외 신재생에너지보급의 현황과 계획

주요 선진국의 개발 보급 동향을 살펴보면 OECD 국가의 신재생에너지 비중은 '99년 3.9%에서 2010년 4.9%로 증가할 것으로 보고 있으며 선진국의 공급 비중은 덴마크 10.4%, 프랑스 7.0%, 미국 4.3% 등으로 대수력 포함 시 1.9%인 우리나라보다 상당히 높은 수준이다. 선진국은 지속 가능한 경제 발전을 위해 신재생 에너지 개발 보급 목표를 정하여 중점적으로 투자하여 신재생 에너지를 개발 보급하기 위해 노력을 기울이고 있다. 우리나라 역시 최근의 유가 급등과 기후변화협약 규제 대응 등 신재생에너지의 중요성을 인식하여 신재생에너지에 대한 투자를 활발히 하고 있다.

우리나라는 신재생에너지원이 2004년 현재 1.9%에서 2011년 총에너지의 5%를 차지하도록 보급 달성 목표를 세우고 태양광, 풍력, 연료 전지 부문에 집중 지원하고 있다. 이 목표치 달성을 위해 기술개발, 성

3) 간략하게 용량크레딧= 설비용량(installed capacity) x 설비이용율(Capacity factor)로 이해할 수 있음.

능평가센터 지정 운영, 실증연구단지 조성운영, 대체 에너지설비인증제도를 실시하고 있으며 시범마을 100개소를 조성하고, 태양광 10만호사업, 풍력발전단지 조성, 연료전지자동차 3천여 대 보급을 위해 노력하고 있다. 또한 신재생에너지 보급 활성화를 위한 지원제도로 용자지원, 발전차액지원제도(2002.5), 세제지원 등을 현재 시행 중이다.

자료를 살펴보면 폐기물에 의한 신재생에너지 공급 비중이 가장 높은 것으로 나타나며 뒤이어 수력, 바이오, 태양열 순이다. 이는 대수력을 포함한 수치로 대수력을 제외하였을 경우 폐기물이 93.5%를 차지하여 신재생에너지 공급비중이 폐기물 한 분야에만 편중되어 있고 다른 분야는 미미함을 알 수 있다. 이는 대체에너지 전 분야에 대한 공모형식의 산발적인 기술개발과제 추진으로 전략적 개발, 보급이 부족하여 나타난 것으로 체계적이고 집중적인 기술개발과 효과적인 보급정책이 보완되어야 할 필요가 있다.

아래 표는 우리나라의 '연도별 대체에너지 공급비중과 증가율' 실적을 대체에너지 원별 자료와 통합하여 각각 1000TOE, TOE로 환산, 비교해 본 자료이다. 대체에너지 전체로 보아 1993년 이후 그 절대치와 1차에너지에 대한 구성비도 계속 증가를 보이는 것으로 나타난다. 그러나 그 수준은 표 1에서도 알 수 있듯이 전체발전량 대비 신재생 발전량은 0.097%, 신재생 대체에너지전체에 대해 발전량 비중은 0.89%로 매우 미미한 수준이다.4)

표 1. 2002년 대체에너지발전량 실적

(단위 : TOE)

	태양광	풍력	폐기물 소각발전	LFG	소수력	신재생전체(A)	총발전량(B)	(A/B)%
신재생전체(A)	6,735	3,720	2,732,515	116,790	27,645	2,887,405		
신재생발전(B)	510	1,279	8,221	6,086	9,598	25,695	26,352,025	0.097164
비율(B/A)(%)	7.57	34.39	0.30	5.21	34.39	0.89		
신재생발전(MWh)	5,927	14,880	95,612	70,783	110,579	297,781	306,474,064	0.097164

주 : 1MWh = 859845.2kcal = 0.08598452 TOE

자료 : 2002년 대체에너지보급관련자료집 (에너지관리공단, 2003. 4) 참조 재편집

표 2. 연도별 대체에너지 공급비중과 증가율

(단위 : TOE)

구분	'93	'94	'95	'96	'97	'98	'99	'00	'01	'02
1차에너지(천[TOE])	126,879	137,234	150,437	165,209	180,639	163,932	181,365	192,888	198,410	209,112
증가율(%)	9.4	8.2	9.6	9.8	9.3	-8.1	9.3	6.4	2.8	5.4
신재생에너지 공급량(천[TOE])	649.6	779	908.5	1,161.90	1,421.30	1,715.70	1,900.60	2,131.00	2,457.6	2,922.30
증가율(%)	17.6	19.8	16.8	27.9	22.3	20.7	10.8	12.1	15.3	18.9
비율(%)	0.5	0.6	0.6	0.7	0.8	1	1.1	1.1	1.2	1.4
태양열	14,141	16,839	22,083	32,016	45,543	43,957	42,105	41,689	37,174	34,777
태양광	2,016	2,153	2,245	2,569	3,078	3,747	4,486	5,051	5,911	6,735
바이오	38,859	57,239	59,174	50,421	67,582	63,178	64,949	82,004	82,457	116,790
폐기물	545,550	678,832	804,496	1,056,440	1,282,457	1,577,194	1,760,510	1,977,662	2,308,001	2,732,515
소수력	28,785	22,538	20,435	20,349	22,451	27,228	27,123	20,456	20,933	27,645
풍력	313	305	108	87	202	369	1,460	4,171	3,148	3,720
지열	-	-	-	-	-	-	-	-	-	122
합계	649,635	779,004	908,541	1,161,873	1,421,313	1,715,673	1,900,633	2,131,033	2,457,624	2,922,304

자료 : 2002년도 대체에너지보급통계

표 3. 기본 시나리오 작성을 위한 신재생발전계획량 확인

(단위 : GWh)

분야	2003	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
태양광	8	16	39	88	158	262	410	76	1,363	1,793	2,153	2,474	2,765	2,820	2,904
풍력	33	153	274	304	920	1,445	2,008	3,526	6,639	7,971	9,148	10,011	10,444	10,776	
소수력	202	224	248	445	681	918	1,094	1,473	1,784	2,149	2,504	2,908	3,228	3,366	3,468
IGCC	-	-	-	-	79	79	2138	4354	6334	7604	8730	9500	9267	10,200	
LFG	616	1,233	1,849	2,465	3,081	3,384	3,698	4,001	4,314	4,616	5,341	6,301	6,965	7,242	7,483
연료전지	-	1	1	5	13	42	175	894	1,711	2,622	3,147	3,612	3,950	4,124	4,249
해양	-	-	-	3	3	573	573	843	1,724	1,724	2,072	2,378	2,694	2,715	2,797
총계	877	1,624	2,410	3,599	4,958	6,708	8,735	13,633	20,301	25,847	31,655	35,644	39,034	40,698	41,933
총발전량	288.79	290.28	311.05	321.7	339.45	339.45	347.67	355.32	362.02	369.97	395.49	401.73	407.33	412.31	416.48
1차수급계획	293.59	312.04	320.05	339.8	349.52	358.41	366.89	374.45	381.7	388.7	395.49	401.73	407.33	412.31	416.48
총발전량 비중(%)	0.30	0.50	0.80	1.10	1.50	2.00	2.50	3.90	5.60	6.90	7.85	8.87	9.58	9.87	10.07

주 : 2003년 9월 계획기준, 2012년 이후의 계획은 2차전력수급기본계획에서 제시한 자료를 그대로 사용함

## 1. 분석방법

분석의 편의를 위해 우리는 위 표 3에서 제시된 발전과 관련된 신재생에너지원들의 장기 전력생산계획을 목표치로 하고, 시뮬레이션을 통해 주어진 목표치를 달성하는 조건하에서, 즉 같은 설비 이용률 하에서 피크부하시의 공급설비에 미치는 각 신재생에너지원별 전원구성의 변동성을 확인하는 방법으로 1) 발전량목표치와 전력수급기본계획에 의거한 피크치를 만족하는 부하패턴을 산정하여 각 신재생에너지원별 발전패턴의 영향을 시뮬레이션을 통해 살펴보고, 2) 신재생에너지원을 특성별로 분류, 에너지생산함수의 검토를 통한 시간대별 발전패턴을 확인하고, 불확실성이 적은 신재생에너지원으로부터 전원구성에 미치는 영향의 크기를 따져봄으로써 연구의 편의를 도모하고, 3) 시뮬레이션의 결과는 크게 두 가지로 평가해 보고자 한다.

1. 순서에 따른 해당 신재생에너지원 단독으로 전

4) 2002년 실적에서 TOE로 표시된 신재생에너지 전체의 양이 미미한 크기이지만 서로 차이가 난다. 통계치의 취합상 관리가 필요한 부분으로 판단된다.

력수요패턴에 미치는 영향과

2. 누적된 형태에 의해 전력수요패턴에 미치는 영향 그리고 결과는 기존의 시간대별 전력수요에서 나타나는 피크시기에 대비한 새로운 피크의 크기, 크기 변화의 비율 등을 자세히 살펴본다. 특히 LDC(Load Duration Curve)에 대한 분석의 결과를 년도별, 분기별로 해당 신재생에너지원의 영향평가 시 포함하고자 한다. 또 피크에 미치는 영향의 크기를 시간대별 패턴이 있는 경우 (풍력, 태양광, 조력발전 등)에는 특히 피크시 공급여력에 대한 1000회의 시뮬레이션 결과, 피크에서 신재생전원을 고려하였을 경우 새로운 피크 공급요구량이 하위 2.5%, 상위 97.5%에 해당되는 각 전원의 패턴에 대해 추가적인 분석을 시도한다.<sup>5)</sup>

### 2.1 각 년도의 8760시간의 시간대별 부하패턴 (Load Profile)에 대한 전체

2004년도의 표준화된 시간대별 Load Profile에서

$$L_{it} : t \text{ 년도 } i \text{ 시간의 시간평균 load}$$

$$i = 1, 2, \dots, 8760$$

$$L_{Mt} : t \text{ 년도 시간대별 load profile } L_{it} \text{ 중 최댓값}$$

$$\bar{L}_t : t \text{ 년도 시간대별 load profile의 평균값}$$

$$G_t = \sum L_{it} : t \text{ 년도의 연간 발전량}$$

$$\bar{L}_t = \frac{G_t}{8760}$$

이라고 두면 2004년의 시간대별 load profile 을 이용하여

$$I = \{I_1, I_2, \dots, I_{8760}\} = \left\{ \frac{L_1}{G_{2004}}, \frac{L_2}{G_{2004}}, \dots, \frac{L_{8760}}{G_{2004}} \right\} \quad (1)$$

여기서  $\sum I_i = 1$  의 조건을 만족하는 형태로 표준화될 수 있다.

### 2.2 2004년도 이후 년도의 표준화된 시간대별 Load Profile 작성

2004년 이후 어떤 연도  $t$  시점의 발전량  $G_t$  과 최대전력수요  $L_{Mt}$ 를 충족시키는 시간대별 load profile은 일단,  $t$  시점의 발전량  $G_t$ 를 만족하는 load profile  $\hat{L}_t$  를

$$\hat{L}_t = G_t \times I \quad (2)$$

와 같이 구하고,

$$d\hat{L}_{it} = \hat{L}_{it} - \bar{L}_t \quad (3)$$

$$d\hat{L}_{\max} = \max \{d\hat{L}_{it}\},$$

$$i = 1, 2, \dots, 8760$$

으로 정의하여 새로운 시리즈

$$\hat{L}_{it} = \frac{d\hat{L}_{it}}{\max \{d\hat{L}_{it}\}} \times (L_{Mt} - \bar{L}_t) + \bar{L}_t$$

를 생성해 낼 수 있으며 이는 우리가 요구하는 연간 발전량, 최대피크를 동시에 만족시키는 새로운 수요패턴을 만들어내는 여러 가지 중의 한 가지 방안이 될 수 있다.<sup>6)</sup>

### 3. 신재생에너지원의 특성별 분류

서로 다른 신재생에너지원의 시간대별 발전패턴의 변화가 전력수요패턴에 미치는 연구의 편의를 위해 시간대별 발전패턴을 달리 할 인센티브가 특별히 없는 에너지원의 분석을 우선적으로 고려한다. 여기에는 IGCC(Integrated Gasification Combined Cycle, 석탄가스화복합발전), LFG(Land Fill Gas), 연료전지 등을 포함한다. 이들 신재생에너지원의 경우 현재와 같은 발전차액지원제도 하에서는 피크설비로서의 운영은 비용의 문제일 뿐 가능하지만 이를 고민하여야 할 하등의 인센티브가 없다는 데 주목한다. 참고로 IGCC의 경우 DME(Dimethyl Ether) 동시 생산을 통한 전력부하적용성 검토<sup>7)</sup>의 자료가 이러한 근거를 제공하여 준다고 하겠다.

이러한 고려에 입각하여 표 3에 나타나 있는 신재생에너지원을

1. IGCC, LFG, 해양에너지(조류발전), 소수력<sup>8)</sup>, 연료전지,
2. 해양에너지(조력발전)
3. 태양광
4. 풍력

의 그룹으로 나누고, 1. IGCC, LFG, 해양에너지(조류발전), 소수력, 연료전지의 경우는 일년 8760시간의 시간대별 패턴에 특별한 변화가 없다고 가정<sup>9)</sup> 하고, 이어 그 규칙성이 상대적으로 예측 가능한 순서에 따라 2. 해양에너지, 3. 태양광, 4. 풍력의 순서를

5) x%라고 하면 이는 기존의 load pattern에서 신재생에너지원을 통해 발전을 감당하고 난 나머지에 대해 상하위 x%를 평가한 것이기 때문에 하위 x%는 상위 y%의 경우보다도 신재생에너지원을 통한 수요충족의 규모가 크다는 것을 의미함.

6) 본 연구에서는 이 방안을 사용함.

7) 신재생전원설비의 전력수급계획 적용방안, 산업자원부 2005

8) 국내 2003년 말 기준 국내 소수력 발전소는 총 35개소이며, 이중 10개소가 한국수자원공사와 한국수력원자력에서 운영하는 발전소. 이들 35개 소수력발전소 중 발전차액보전을 염두에 두고 전적으로 전력판매용으로 생산되는 소수력의 숫자를 파악하거나, 또 각 지점의 시간대별 유량곡선 등 분석에 필요한 막대한 자료가 부재하다는 어려움이 있음.

9) 이들 신재생에너지원의 경우 피크설비로서의 운영은 비용의 문제일 뿐 가능한 하지만 현재와 같은 발전차액지원제도 하에서는 이를 고민하여야 할 하등의 인센티브가 없음.

선택하였다.

### 3.1 해양에너지

해양에너지는 그 중 20%가 조류발전, 나머지 80%의 조력발전으로 해수면과 호수면의 높이차에 의한 수두차 (Head Difference)가 기본적인 에너지발전패턴을 결정하고 이 수두차를 결정하는데 중요한 역할을 하는 해수면의 높이는 월력에 따라 월 29.53059일의 각 조석(아침, 저녁) 패턴을 갖는다. 본 연구에서는 수차발전기 12대(21천kW), 수문 6대(12m×12m) 설치시의 발전량을 조석별로 산정한 결과<sup>10)</sup>를 연구에 필요한 시간대별 패턴으로 변환하여 사용하였다. 최대출력은 12대 x 22.29(MW)=267.48(MW)이므로 시간대별 피크는 이 크기를 넘지 못한다는 전제하고, 조석별 발전시간, 발전개시 수두차, 조석별 발전량의 관계를 참고로 시간에 따른 발전량의 패턴을 아래와 같은 함수로 표시하여 회귀분석을 통한 추세를 분석하였다.

$y$  : 시간에 따른 발전량  
 $Y$ : 시간에 따른 발전량의 적분값  
 $t$  : 시간  
 $T$ : 발전이 지속되는 시간  
 $H$ : 발전개시 수두차  
 $y - cH = -a(t - T)t$

$$y = -at^2 + aTt + cH$$

$$Y = \int (-at^2 + aTt + cH)dt$$

$$= \left( -a\frac{t^3}{3} + aT\frac{t^2}{2} + cHt \right) \Big|_0^T$$

위에서 주어진 조석내 시간대별 발전패턴과 조석별 발전량과의 관계를 이용하여 모집단 회귀식을 다음과 같이 설정하여 주어진 파라미터  $a, c$ 에 대한 통계적으로 유의한 추정치를 구하였다.

$$Y = \left( -a\frac{T^3}{3} + aT\frac{T^2}{2} + cHT \right) + \epsilon$$

$$= \frac{a}{6} T^3 + cHT + \epsilon$$

이를 통해 시간대별 발전패턴을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\hat{y} = -\hat{a}t^2 + \hat{a}Tt + \hat{c}H$$

	추정치	표본오차	t-값
$\hat{a}$	12.349	0.195	63.320
$\hat{c}$	35.645	0.360	99.065

아래 그림은 모의 산출된별 조력발전의 패턴이다. 시뮬레이션을 행하는 기준으로는 주어진 미래 전력

수요패턴에 대해 거꾸로 조력발전의 패턴이 가변적인 형태인 경우를 상정하여 보기로 하였다. 그러나 이 경우에도 대략 최대전력수요가 7-8월에 나타나는 것을 감안, 2004년의 경우 5월부터 10월말까지의 조력발전 패턴을 최대전력수요에 비교하여 가면서 다양한 조합의 결과를 찾아내고, 이후 1년씩 진행됨에 따라 연간 10.63일 정도의 월력의 지연이 생김을 감안하여 5월1일 + 10.63일과 10월31일 + 10.63일의 새로운 구간에 대한 비교분석을 시도하였다.

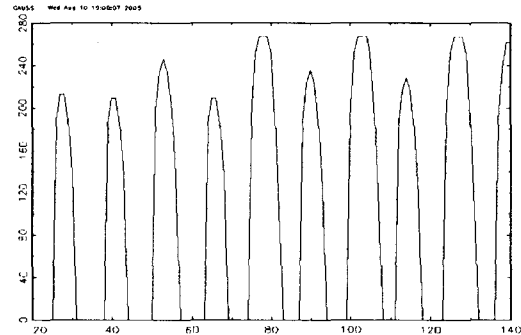


그림 1. 모의 산출된 조력발전의 시간대별 발전패턴

### 3.2 태양광

태양광의 경우는 외기 온도등의 기본적인 조건에도 영향을 받지만 기본적으로는 매일의 일사량 패턴이 계절에 따라 10 내지 12시간 정도의 매일의 패턴을 갖고 이에 의한 에너지의 생산결정과정을 거치기 때문에 해양에너지에 버금가는 정도의 규칙성을 갖는다고 하겠다. 태양광발전과 풍력발전은 각각 평면 일사량을 경사면 일사량으로 변환하여 시간대별 발전량을 산정하고, 주어진 대기압 또는 공기밀도조건하에 풍속자료와 출력커브를 감안하여 발전량을 산정하였다. 발전량 산출은 2004-2005년에 걸쳐 진행한 '신재생에너지시스템 경제성분석 프로그램개발 및 적용방안 연구(산업자원부)'에서 GAUSS 통계패키지로 작성하여 분석에 사용하였던 프로그램을 변환하여 이용하였고 지면관계상 자세한 내용은 여기서는 생략하기로 한다.

분석에 이용한 자료는 에너지기술연구원의 풍력유체기연구센터에서 발간된 '풍력자원측정결과 데이터베이스 시스템'에 담겨 있는 지역 중 1년간의 연속적인 자료가 공통적으로 존재하며 태양광관련 연도별 보급현황을 참조하여 지역을 기간과 선택하였다. 2000년 9월 12일 0시부터 2001년 9월 11일 24시까지, 남해<sup>11)</sup>, 제주한림, 새만금, 서산, 그리고 삼척의 자료가 본 연구에 사용되었으며 이들 5개 지역의

10) 한국수자원공사(2002.11)의 제 5장 참조

11) 풍력의 경우와 달리 영덕대신 남해를 이용한 이유는 영덕의 일사량 값이 다른 지역에 비해 매우 적은 것으로 나타나 태양광시설이 들어설 조건이 되지 않는다고 판단하였다.

평균이 전국을 대표하는 일사량으로 전제하였다.

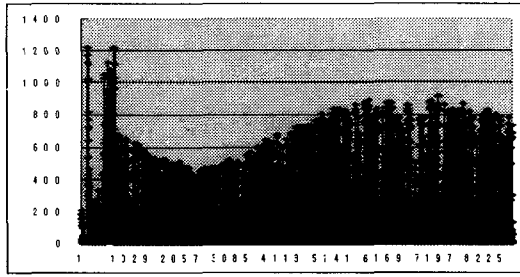


그림 2. 남해의 일사량 패턴 (2000년 9월 12일 0시부터 2001년 9월 11일 24시)

### 3.3 풍력

풍력의 경우도 많은 불확실성을 갖고 있으며 지역에 따라 다른 풍속자료, 설비규모의 특징을 갖는다. 그러면서도 2011년 기준 신재생에너지원 모두 중에서, 즉, 시간대별로 서로 다른 발전패턴을 갖는 것으로나 그렇지 않은 것으로나 단연 최대발전량을 목표로 하고 있다.

시간대별 풍력발전량은 주어진 시점에서의 전국 평균적인 풍속에 대해 전국의 누적설비규모에 의한 출력커브를 확인하여 발전량을 산정하거나 전국평균적인 풍속에 대해 전국의 평균적 설비규모에 의한 출력커브를 확인하여 이를 전체에 대해 발전량으로 환산하는 방법을 사용해 볼 수 있다. 본 연구에서는 전국평균적인 풍속에 대해 전국의 평균적 설비규모에 의한 출력커브를 확인하는 방법을 사용하였다<sup>12)</sup>. 현재까지 우리나라에 보급된 실적과 예측가능한 미래의 설비구성 전망을 통해 전국의 평균적 설비패턴이 어떤 형태로 나타날 것인가를 상정하여 보기 위한 것이다. 2003년, 2005년의 실적(예상)과 2008년의 계획을 기초로 각 터빈의 구성비를 고려하여 각 해당년도의 평균적인 출력커브를 산정하여 보았다.<sup>13)</sup> 다른 년도의 출력커브는 구체적으로 산정할 필요가 없게 되며 그 이유는 다음과 같다.  $T$  년도의 시간대별 출력패턴과 이를 이용한 시뮬레이션을 상정하여 보자.

$$\begin{aligned} \text{시간대별 풍속: } & w_1, w_2, \dots, w_t \\ \text{시간대별 출력: } & aP_1, aP_2, \dots, aP_t \end{aligned}$$

\*  $P_i$  는 2005년 기준으로 시간평균 풍속이  $w_i$  인 경우 해당되는 출력

\*  $a$  는 모르는 상수

여기서 이렇게 얻어진 시간대별 출력이 연간 풍력발전의 목표치와 맞게 되도록 하기 위해 출력을 정규화할 필요성이 있다. 이는 모든 시간대별 출력의 합 ( $= \sum_{i=1}^t (aP_i) = a \sum_{i=1}^t P_i$ ) 으로 각 시간대별 출력을 나

누어 주면 모르는 미지수인 상수  $a$ 를 몰라도 된다는 결론을 얻게 된다.

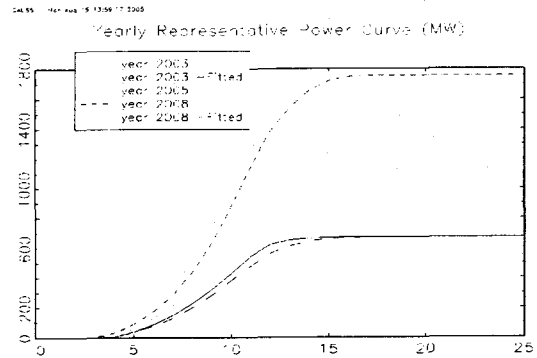


그림 3. 년도별 풍속에 따른 출력커브 산출결과

분석에 이용한 자료는 에너지기술연구원의 풍력 유체기연구센터에서 발간된 ‘풍력자원측정결과 데이터베이스 시스템’에 담겨 있는 지역 중 1년간의 연속적인 자료가 공통적으로 존재하며 별첨자료에 나타난 풍력단지의 연도별 보급현황을 참조하여 지역을 기간과 선택하였다. 2000년 9월 12일 0시부터 2001년 9월 11일 24시까지, 영덕, 제주한림, 새만금, 서산, 그리고 삼척의 자료가 본 연구에 사용되었으며 이들 5개 지역의 평균이 전국을 대표하는 풍속으로 전제하였다<sup>14)</sup>.

### 4. 주요 신재생에너지원의 피크공급에 미치는 영향분석 결과

다음에서 시뮬레이션을 통해 신재생에너지원이 피크 공급설비에 미치는 영향을 점검한 결과를 각 신재생에너지원별로 구분하여 표와 그림을 통해 정리하였다. 조류발전의 경우 2011년 기준으로 95%의 신뢰구간에서 0.25-0.81% 정도의 피크기여도를 보이고 있고, 태양광의 경우 0.47-0.95%, 그리고 풍력의 경우는 0.16-1.88%로 그 변동성의 측면에서 풍력이 가장 큰 것으로 파악된다. 연구의 편의를 위해 시간대별 변동성이 전혀 없는 것으로 가정한 IGCC, LFG, 연료전지 그리고 해양에너지의 20%로 가정한 조류발전의 피크기여도는 같은 2011년 기준으로 각각 0.73, 0.72, 0.16, 그리고 0.029%로 나타났으며, 이들의 합계는 대략 1.8% 정도의 크기로 나타났다.

그렇지만 이들 개별 신재생에너지원의 피크기여도의 누적합과 표 9에서 보이는 원별 기여도는 서로 일대일 대응이 되지 않음을 주목할 필요가 있다. 각

12) 분석을 위한 구체적인 자료수집에 아주대 대학원 에너지학과 하정우씨가 도움을 주었음.

13) 주어진 풍속에 따른 정확한 출력을 산정하기 위해 8차다항식으로 fitting하여 사용하였음.

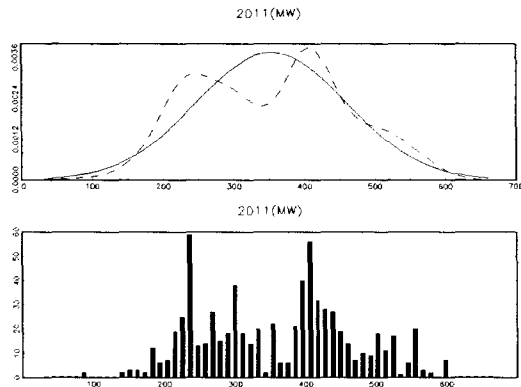
14) 향후 풍력발전규모가 점점 커지고 전원구성에 미치는 영향이 커지는 것을 감안하여, 외국의 경우처럼 지점별 풍속에측을 통한 발전량의 예측력을 높이는 방법에 대한 연구가 매우 필요할 것으로 판단됨.

신재생원별 기여도는 축차적으로 그 영향을 분석할 경우, 같은 시점에 같은 기여도가 항상 누적되어야 할 필요는 없다. 좀 더 정확하게는 이들 외기조건 상호연관성이 고려될 수 있다면 더 정확한 시뮬레이션이 될 것이다. 또 피크의 시점이 시뮬레이션 결과 각 신재생원에 따라 다르게 나타날 수 있으며, 특히 풍력의 경우 이러한 현상은 매우 변화가 심한 편이다. 향후의 연구는 기상조건이 서로 독립적이지 아니라는 것을 감안하여, 외기조건을 이용한 시뮬레이션에서 조건부 확률분포를 고려할 수 있는 모형이 바람직할 것이다.

표 4. 각 년도별 신재생에너지원별 최대피크에 대한 영향과 그 크기의 퍼센티지 - 조류발전 포함

(단위: MW)

	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017
KEL	0.01	0.01	0.01	0.01	9.08	9.08	9.08	24.11	47.24	73.24	86.24	96.54
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.31	0.73	1.08	1.24	1.34	1.44
LUC	71.35	140.71	211.07	281.43	351.79	422.15	492.51	562.87	633.23	703.59	773.95	844.31
	0.14	0.27	0.38	0.49	0.59	0.69	0.79	0.89	0.98	1.07	1.17	1.26
양산	0.01	0.01	0.01	0.01	1.43	4.87	10.02	15.53	20.23	25.23	30.23	35.23
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.23	0.42	0.59	0.76	0.93
진해	0.01	0.01	0.01	0.01	13.08	13.08	19.24	34.40	34.40	47.01	54.23	59.45
	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01	0.01
합	71.35	140.71	211.11	281.93	352.31	422.44	492.54	562.89	633.24	703.63	773.98	844.33
	0.14	0.27	0.38	0.49	0.69	0.79	0.89	0.98	1.07	1.17	1.27	1.37



[그림 4] 2011년 조류발전으로 인한 피크 공급량 변동성의 시뮬레이션 결과 분포

표 5. 조력발전의 피크공급 기여도분석 결과 (단위: MW)

	최소 기여도(%)	2.50% 기여도(%)	97.50% 기여도(%)	최대 기여도(%)
2006	0.20	0.00	0.29	0.00
2007	0.20	0.00	0.30	0.00
2008	26.02	0.04	49.44	0.08
2009	26.02	0.04	49.44	0.08
2010	38.28	0.06	68.91	0.10
2011	7.58	0.12	172.44	0.25
2012	7.58	0.11	172.44	0.25
2013	94.09	0.13	206.99	0.29
2014	182.82	0.25	537.59	0.32
2015	200.20	0.26	772.04	0.36
2016	208.73	0.27	283.59	0.37
2017	215.06	0.27	292.19	0.37

주: 조력의 경우 기여도분석결과는 피크에 전혀 영향을 미치지 않는 경우를 제외함

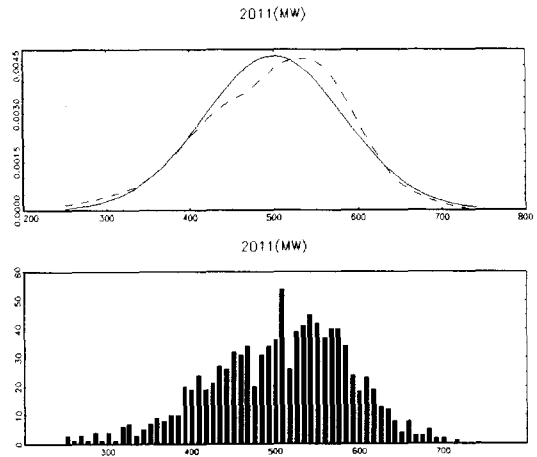


그림 5. 2011년 태양광발전으로 인한 피크 공급량 변동성의 시뮬레이션 결과 분포

표 6. 태양광의 피크공급 기여도분석 결과 (단위: MW)

	최소 기여도(%)	2.50% 기여도(%)	97.50% 기여도(%)	최대 기여도(%)
2006	15.17	0.03	21.88	0.04
2007	25.77	0.04	38.89	0.07
2008	40.51	0.07	67.41	0.11
2009	43.39	0.07	101.49	0.16
2010	110.67	0.17	185.75	0.28
2011	174.86	0.26	318.33	0.47
2012	308.01	0.44	425.21	0.61
2013	144.72	0.20	310.40	0.71
2014	372.62	0.51	399.11	0.81
2015	421.95	0.56	626.06	0.83
2016	518.28	0.67	671.92	0.87
2017	318.23	0.40	690.78	0.87

주: 태양광의 경우 기여도분석결과는 피크에 전혀 영향을 미치지 않는 경우를 제외함

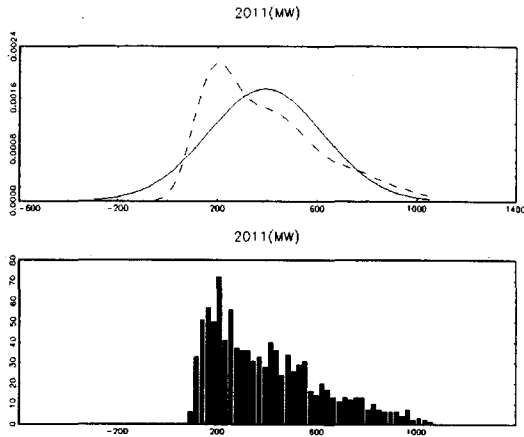


그림 6. 2011년 풍력발전으로 인한 피크 공급량 변동성의 시뮬레이션 결과 분포

표 7. 풍력의 피크공급 기여도분석 결과 (단위: MW)

	최소	기여도(%)	2.50%	기여도(%)	97.50%	기여도(%)	최대	기여도(%)
2006	10.06	0.02	11.87	0.02	117.11	0.20	175.86	0.31
2007	16.12	0.03	19.52	0.03	194.57	0.33	310.84	0.52
2008	25.61	0.04	31.45	0.05	276.03	0.45	458.58	0.74
2009	45.66	0.07	57.39	0.09	505.68	0.79	722.77	1.13
2010	58.58	0.09	75.14	0.11	628.13	0.95	954.74	1.45
2011	88.06	0.13	111.20	0.16	940.19	1.38	1328.12	1.95
2012	120.17	0.17	139.83	0.20	1123.61	1.61	1590.73	2.28
2013	136.78	0.19	165.40	0.23	1343.55	1.87	1746.33	2.43
2014	156.90	0.21	184.98	0.25	1404.31	1.91	2100.58	2.85
2015	167.50	0.22	208.85	0.28	1594.51	2.11	2124.65	2.81
2016	178.78	0.23	218.29	0.28	1566.72	2.02	2550.54	3.30
2017	184.07	0.23	219.69	0.28	1712.82	2.16	2308.48	2.91

표 8. 시나리오 분석결과 기준안대비 피크 공급시의 신재생에너지발전의 영향 (단위: GW)

	(1-1)	(1-2)	(1-3)	(1-4)	(1-5)	(2-3)	(2-4)	(2-5)
2006	57413	57080	57058	57057	57045	57036	57036	56913
2007	59697	59257	59218	59217	59196	59179	59178	58970
2008	61916	61398	61330	61139	61105	61267	61241	60940
2009	63981	63380	63276	63085	63021	63178	63152	62610
2010	66028	65038	64849	64567	64486	64703	64703	64092
2011	67995	66567	66214	65626	65498	65892	65848	64936
2012	69921	68088	67627	67039	66887	67215	67215	66039
2013	71748	69547	68987	68295	68108	68448	68448	66951
2014	73619	71093	70435	69624	69416	69980	69673	68148
2015	75553	72787	72093	71205	70967	71714	71243	69647
2016	77397	74513	73788	72879	72630	73120	72898	71744
2017	79266	76295	75552	74616	74364	74844	74616	72709

표 9. 시나리오 분석결과 기준안대비 피크 공급시의 신재생에너지발전의 영향 (단위: %)

	(1-1)	(1-2)	(1-3)	(1-4)	(1-5)	(2-3)	(2-4)	(2-5)
2006	100	99.42	99.38	99.38	99.36	99.34	99.34	99.13
2007	100	99.26	99.20	99.20	99.16	99.13	99.13	98.78
2008	100	99.16	99.05	98.75	98.69	98.95	98.91	98.42
2009	100	99.06	98.90	98.60	98.50	98.74	98.70	97.86
2010	100	98.50	98.21	97.79	97.66	97.99	97.99	97.07
2011	100	97.90	97.38	96.52	96.33	96.91	96.84	95.50
2012	100	97.38	96.72	95.88	95.66	96.13	96.13	94.45
2013	100	96.93	96.15	95.19	94.93	95.45	95.40	93.31
2014	100	96.57	95.68	94.57	94.29	95.06	94.64	92.57
2015	100	96.34	95.42	94.25	93.93	94.92	94.30	92.18
2016	100	96.27	95.34	94.16	93.84	94.47	94.19	92.70
2017	100	96.25	95.31	94.13	93.82	94.42	94.13	91.73

주:  
 (1-1): 기준안  
 (1-2): 기저 신재생에너지발전 고려시  
 (1-3): 기저 신재생에너지 + 조력발전 고려시 (97.5%)  
 (1-4): 기저 신재생에너지 + 조력 + 태양광발전 고려시 (97.5%)  
 (1-5): 기저 신재생에너지 + 조력 + 태양광 + 풍력발전 고려시 (97.5%)  
 (2-3): 기저 신재생에너지 + 조력발전 고려시 (2.5%)  
 (2-4): 기저 신재생에너지 + 조력 + 태양광발전 고려시 (2.5%)  
 (2-5): 기저 신재생에너지 + 조력 + 태양광 + 풍력발전 고려시 (2.5%)

## 5. 결론

본 연구는 신재생전원설비가 추가적으로 전력공급설비로서의 역할을 키워감에 따라 나타날 수 있는 공급상의 문제를 신재생에너지원별로 확률적인 분석을 시도하였다. 각 신재생에너지원의 시간대별 패턴의 결정과정에서 이미 살펴 본 것처럼, 각 에너지원별로 보다 자세히 진행되어야 할 연구과제가 산적해 있음을 보여준다. 각 원별 패턴은 풍속, 일사량, 그리고 월력에 근거한 조수간만의 차이 등에 의해 영향을 받으며 이들은 조건부 확률분포를 가질 것이기 때문에 본 연구에서 진행한 바와 같은 단순한 시뮬레이션으로는 정확한 기여도를 확인하지 못함은 당연하다. 이러한 연구는 기상관측과 이를 통한 외기조건들의 상호연관성 등에 대한 보다 정확한 이해를 필요로 하고 있다.

본 연구에서는 이러한 연구상의 한계에도 불구하고, 피크공급에 대한 각 원별 기여도를 확률적 분석을 통해 진행함으로써 통상적인 전력수급계획에서 각 에너지원별 혹은 발전원별 설비이용율을 갖고 설비계획에 반영하는 형태의 분석을 지양하고 있다. 앞서의 표에서도 알 수 있듯이 각 신재생에너지원별 피크 기여율을 단순누적한 값이 피크에 대한 각 신재생에너지원별 기여분의 합이 아님을 쉽게 알 수 있다.

이는 신재생에너지원을 이용한 발전원이 전력수급이라는 큰 틀 속에서 고려되게 된다면 피크부하에 대한 담당주체가 모호해지는 문제를 갖게 될 수 있고, 장기적으로 다른 나라와 전력계통연계가 없는 경우에는 이중적인 설비를 고스란히 소비자가 부담할 수도 있다는 것을 의미하기도 한다. 전력계통이 연계되어 있는 다른 지역과 달리 우리나라는 부족한 전력의 공급을 자체설비로 조달해야 하기 때문에, 신재생전원의 보급이 활발하면서도 공급상의 문제가 상대적으로 적은 유럽 등과는 달리 판단하여야 할 여러 가지 문제점들이 있다. 본 연구의 결과는 신재생전원



설비의 확대공급이 가져올 수 있는 전원설비상의 불확실성의 문제를 보다 정확히 이해하고, 설비계획에 반영하는데 고려하여야 할 다양한 방법론이 시급히 연구되어야 함을 지적하는데 그 의의를 갖는다.

### 참고문헌

- [1] Alnatheer O., The Potential Contribution of Renewable Energy to Electricity Supply in Saudi Arabia, Energy Policy 33, 2005
- [2] Anderson D. and M. Leach, Harvesting and Redistributing Renewable Energy: on the Role of Gas and Electricity Grids to Overcome Intermittency Through the Generation and Storage of Hydrogen, Energy Policy 32, 2004
- [3] British Wind Energy Association; BWEA, Can We Rely on the Wind?, <http://www.britishwindenergy.co.uk/ref/rely.html>, 2001.
- [4] Milligan M. and K. Porter, Determining the Capacity Value of Wind: A Survey of Methods and Implementation, National Renewable Energy Laboratory, mimeo, 2005
- [5] Rosekrans S. D. Kirshner, and C. Marnay, Issues in Electricity Planning with Computer Models: Illustrations with Elfin and WASP, Utility Policy 7, 1998
- [6] Castro, Rui M. G. and Luis A. F. M. Ferreira, A Comparison Between Chronological and Probabilistic Methods to Estimate Wind Power Capacity Credit," IEEE Transactions on Power Systems, Vol. 16, No. 4, November 2001
- [7] Duffie, J., A., Beckman, W., A., 1991, "Solar Engineering of Thermal Process" John Wiley & Sons, Inc.
- [8] EWEA, 2003, "Wind Energy - The Facts Vol.2 Costs & Price
- [9] EWEA, 2004, Wind Force 12.
- [10] Geweke, John, 1996, "Monte Carlo Simulation and Numerical Integration, in Hans M. Amman, David A. Kendrick and John Rust, eds., Handbook of Computational Economics", Volume I, Elsevier, Chapter 15.
- [11] Giebel, Gregor, Hannele Holttinen, VTT Lennart Söder, KTH Astrid Petterteig, SINTEF, 2004, Fluctuations and predictability of wind and hydropower Deliverable, Risø-R-1443(EN), WILMAR.
- [12] ISET, <http://www.iset.uni-kassel.de>
- [13] ISSN, 2002, "'Out of the Laboratory and into the Market Place.' PV Systems' Goal is to Become Appliances", 1473~8325
- [14] Jaramillo, O.A. and M.A. Borja, 2004, Wind speed analysis in La Ventosa, Mexico: A Bimodal Probability Distribution Case. Renewable Energy, Volume 29, 1613~1630.
- [15] RETScreen 매뉴얼, <http://www.retscreen.net/>
- [16] Silverman, B.W., 1986. Density Estimation for Statistics and Data Analysis. London: Chapman and Hall
- [17] Stine, W., B., Geyer M., Power From The Sun, 2001 (<http://www.power-fromthesun.net/book.htm>)
- [18] 기상청, 홈페이지(<http://www.kma.go.kr>).
- [19] 덴마크 풍력산업 협회, <http://www.windpower.org>
- [20] 독일 풍력협회, <http://www.wind-energie.de>
- [21] 박완순, 이철형, 2003, "소수력발전소의 성능예측 기법", 한국 수소 및 신에너지 학회 논문집 제 14권 제 1호, pp. 61~68
- [22] 산업자원부, 2002, "주택용 3kW 급 PV 시스템 및 가정용 태양열온수기 실증연구"
- [23] 산업자원부, 2003, "대체에너지 보급통계", <http://www.mocie.go.kr/>
- [24] 산업자원부, 2004, "산업통계자료-대체에너지 보급 촉진 지원현황"
- [25] 산업자원부, 2004, "신·재생에너지 원별 경제성 분석과 통계체계 개선 방안 연구"
- [26] 산업자원부, 2004, "신·재생에너지 이용 의무화를 위한 적용 모듈 개발 연구"
- [27] 산업자원부, 대체에너지 개발 및 이용 보급촉진법, 2003년 5월 27일 제정(법률 제06885호), 2004년 3월 29일 개정(대통령령 제18344호)
- [28] 산업자원부, 대체에너지이용 발전전력기준가격지침 2002년 5월 27일 제정(산업자원부고시 제 2002-108호) 2004 10. 20일 개정(산업자원부고시 제 2004-104호)
- [29] 안교상, 임희천, 강병삼, 2000, "중규모 태양광 발전 시스템의 운전특성 분석", 전력연구원
- [30] 조덕기, 강용혁, 이의준, 오정무, 2004, "국내 태양광 발전시스템의 최적 설치에 관한 연구", 한국태양에너지학회, Vol.24, No.3
- [31] 하정우, 김수덕, "대관령 풍력단지의 풍력발전량 및 경제성 분석", 에너지공학, 제14권 2호, pp. 82-97, 2005.
- [32] 한국과학기술정보연구원 홈페이지 <http://www.portalenergy.com/>
- [33] 한국수자원공사, 2002.11, 시화호 조력발전 건설사업 타당성조사 및 기본계획 보고서
- [34] 한국에너지기술연구소, 1999, "태양광발전기술개발" <http://www.kier.re.kr/>
- [35] 한국전력거래소, 2004.4, 전력시장 운영실적 보고서.