

태양광-풍력 복합발전시스템의 경제적 운용을 위한 최적 용량 산정에 관한 연구

(Estimation of the Optimal Generation Capacity of
Solar-Wind Hybrid Power System for Economic Operations)

이승철* · 문운철 · 권병국 · 김종환

(Seung-Chul Lee · Un-Chul Moon · Byeong-Gook Kwon · Jong-Hwan Kim)

요 약

본 논문에서는 누진전력요금제도 하에서 주어진 부하에 대해 최적의 계통연계형 태양광-풍력 복합발전시스템 용량을 산정하는 기법에 대하여 논한다. 일사량 및 풍속의 확률밀도함수를 이용해 복합발전시스템 발전량의 기대치를 구하고, 총수명가 분석법에 기초하여 월별 발전단가를 산정하는 기법과 함께 월사용전력량이 증가함에 따라 전력요금이 급속히 증가하는 누진전력요금구조 하에서 전체 월 전력비용을 최소로 하기 위한 설비용량산정기법에 대하여 논한다. 제안한 기법의 적용가능성을 검토하기 위하여 실제 수도권의 기상데이터를 근거로 하여 본 대학에 설치된 prototype 복합발전시스템을 이용하여 실증연구를 수행하였다.

Abstract

In this paper, a technique that can estimate the optimal capacity of the solar-wind hybrid power system for minimizing the total monthly electric power expenses is presented. The hybrid power system is assumed to be operated in connection with the utility power system and electric bill be paid for the power not covered by the hybrid system generation. Monthly generation cost is estimated based on total life-cycle cost analysis. The monthly utility power bill is assumed to be increased quadratically in proportion with the net utility power consumption which is the difference between the total monthly load minus the hybrid system generations. Test results demonstrate applications potential of the proposed technique.

Key Words : Solar Wind Hybrid Power system, Optimal Capacity Estimation, Solar-Power Generation, Wind-Power Generation. Alternative

1. 서 론

에너지의 대부분을 수입하는 우리나라에서 태양

광 풍력에너지는 대체에너지로서의 중요성이 다른 어느 나라보다도 클 뿐만 아니라 좁은 국토와 높은 인구밀도에 따른 환경오염이 심각한 문제로 대두되고 있는 이때 무공해 청정에너지로서도 최대한의 개발과 이용을 추진해야 한다. 그러나 태양에너지는 낮에만 이용가능하고 에너지 밀도가 낮으며, 풍력에너지는 24시간 이용 가능하지만 풍속의 변화로 인해 발전전력이 매우 불규칙하여 경제성 면에서 아직까

* 주저자 : 중앙대학교 전자전기공학부 교수

Tel : 02-820-5325, Fax : 02-826-1103

E-mail : sclee@cau.ac.kr

접수일자 : 2004년 4월 19일

1차심사 : 2004년 4월 22일

심사완료 : 2004년 5월 20일

지 그 타당성이 다소 떨어지는 것이 현실이다. 하지만 사회비용의 감소를 위한 정부의 보조, 정전시의 편의성, 특히 누진전력요금의 적용시 비싼 전력요금 대의 소비전력량을 대체하여 얻을 수 있는 이득, 등을 종합적으로 고려할 경우 설비설치의 타당성이 점차 증대되고 있다. 우리나라의 기후특징을 계절적으로 살펴보면 겨울은 바람이 많고 일사량이 적은 반면, 여름은 바람이 적고 일사량이 많기 때문에 태양광-풍력 복합(Hybrid)발전시스템(이하 복합발전 시스템이라 한다)으로 구성할 경우 어느 정도 계절적인 보완이 가능하고, 풍력의 경우는 밤에도 발전할 수 있으므로 시간적인 보완도 가능하다. 본 논문에서는 복합발전시스템의 발전단가와 누진전력요금 제도하에서의 경제성 분석을 통하여 주어진 부하 전력량에 대해 최적의 발전용량을 산정하는 기법에 대하여 고찰하고자 한다.

태양전지 모듈과 풍력발전기에서 발생된 직류는 인버터를 통하여 교류로 변환시켜 전력을 일반부하에 공급하며, 부족전력은 계통으로부터 공급받도록 한다. 일사량과 풍속은 랜덤변수이며 일반적으로 일사량은 Beta분포, 풍속은 Weibull분포를 나타내는 것으로 알려져 있다[1-3]. 태양광-풍력복합발전시스템의 용량산정과 경제성분석에 대하여는 계통에 연계되지 않는 stand-alone 복합발전시스템의 경우 주어진 부하를 만족하기 위한 최적의 태양광 array 면적과 배터리 용량 산출에 관한연구와 경제성분석에 관한연구가 보고된바 있다[3,4]. Salameh, Borowy 와 Amin은 설비의 용량계수(capacity factor)를 산출하여 주어진 부하에 대한 필요설비용량을 산출하는 기법을 제안하였고[5], 시간별로 주어진 부하와 예상발전량과의 차이를 최소자승법에 의해 최소화시킬 수 있는 설비용량 산정기법에 대하여로 논한바 있다[6]. Ghali 등은 복합발전시스템의 Loss of Power Supply Probability(LPSP)를 적정 수준으로 유지하기위한 배터리용량산출법을 제안하였다[7]. 우리나라는 현재 누진전력요금을 적용하고 있으며 아직까지 누진전력요금제도하에서 복합발전시스템의 적정용량을 산정하는 방법에 대해서는 연구가 이루어진 바가 없다. 본 논문에서는 일사량 및 풍속의 확률밀도함수를 통해 복합발전시스템의 발전량의

기대치를 구하고, 총수명가 분석법(Total Life-Cycle Cost Analysis)에 기초하여 복합발전시스템의 월별 발전단가를 산정하는 기법과 함께 월사용전력량이 증가함에 따라 전력요금이 급속히 증가하는 누진전력요금구조 하에서 전체 월 전력비용을 최소로 하기 위한 설비용량산정기법에 대하여 논하였다. 끝으로 실제 서울지역의 기상데이터를 근거로 하여 본 대학에 설치된 prototype 복합발전시스템을 이용하여 행한 실증연구를 통하여 제안한 기법의 적용가능성을 검토하였다.

2. 태양광 발전 시스템

2.1 복합발전시스템의 구성

본 논문에서는 복합발전시스템을 다음 그림 1과 같이 계통연계시스템으로 구성하여 연구하고자 한다.

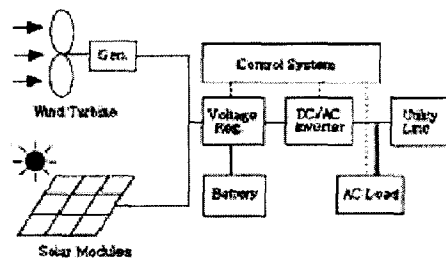


그림 1. 태양광-풍력 복합발전시스템 구성도

2.2 일사량

(1) 경사면 일사량

하루 총 수평면 일사량으로부터, 경사 혹은 추적식으로 설치된 태양전지 array로의 일사량 변환은 경사면위의 직달 일사량(r_{tb})과 수평면 산란일사량(r_{hd})의 합으로 구해지며 식(1)과 같이 나타낸다.

$$r_{tt} = r_{tb} + r_{hd} = r_{hb} \cdot R_b + r_{hd} \quad (1)$$

여기서 r_{tt} : 경사면 전체일사량

r_{tb} : 경사면 직달일사량

r_{hd} : 수평면 산란일사량

r_{hb} : 수평면 직달일사량

R_b : 직달일사량의 입사각, 위도, 적위, 방위각, 등을 반영한 기하학적 인자

(2) 일사량 확률분포

일사량 확률밀도함수(probability density function : pdf)는 일반적으로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f_s(r) = \frac{1}{B(\alpha, \beta)} \left[\frac{(r - r_{\min})^{\alpha-1} (r_{\max} - r)^{\beta-1}}{(r_{\max} - r_{\min})^{\alpha+\beta-1}} \right] = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left[\frac{r}{r_{\max}} \right]^{\alpha-1} \left[1 - \frac{r}{r_{\max}} \right]^{\beta-1} \quad (2)$$

여기서 r, r_{\max}, r_{\min} [W/m²] : 순시, 최대 및 최소 일사량 ($r = r_{tt}$)

α, β : shape parameter

Γ : Gamma function

2.3 태양광발전 시스템의 출력

태양광발전 시스템의 출력은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_s(r) = A \cdot r \cdot \eta \cdot K_T \quad (3)$$

여기서 A : PV array의 면적

η : 표준상태에서의 태양전지 효율

K_T : 온도 보정계수

태양전지 array의 출력에 대한 확률밀도함수는

$$f_s(P_s) = \frac{\Gamma(\alpha+\beta)}{\Gamma(\alpha)\Gamma(\beta)} \left[\frac{P_s}{P_{s_{\max}}} \right]^{\alpha-1} \left[1 - \frac{P_s}{P_{s_{\max}}} \right]^{\beta-1} \quad (4)$$

식(3)으로부터 P_s 는 r 의 함수로서

$P_{s_{\max}}(r) = A \cdot r_{\max} \cdot \eta \cdot K_T$ 로 나타낼 수 있다.

주어진 시간대에서 태양전지의 기대출력 전력은

$$E(P_s) = \int P_s(r) f_s(P_s(r)) dr \quad (5)$$

3. 풍력발전시스템

3.1 풍속의 확률분포 및 기대치

풍속의 확률밀도함수 $f(V)$ 는 Weibull분포를 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$f(V) = \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \text{EXP} \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (6)$$

여기서 c : 척도정수(scale parameter)

k : 형상정수(shape parameter)

누적분포함수(cumulative distribution function: cdf) $F(V)$ 는 식(6)를 적분하여 다음과 같이 구할 수 있다.

$$F(V) = \int_0^V \frac{k}{c} \left(\frac{V}{c} \right)^{k-1} \text{EXP} \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] dV = 1 - \text{EXP} \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] \quad (7)$$

풍속의 기대치 $E(V)$ 는 풍속의 확률밀도함수를 다음과 같이 적분하여 구할 수 있다.

$$E(V) = \int_0^\infty V f(V) dV = c \int_0^\infty \left[\left(\frac{V}{c} \right)^k \right]^{\frac{1}{k}} \text{EXP} \left[- \left(\frac{V}{c} \right)^k \right] d \left[\left(\frac{V}{c} \right)^k \right] = c \Gamma \left(1 + \frac{1}{k} \right) \quad (8)$$

여기서 Γ 는 Gamma function이다.

3.2 풍력발전시스템의 평균출력 예측

풍력발전기의 출력특성은 일반적으로 보간법(Interpolation)에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_w(V) = \begin{cases} 0 & (0 \leq V < V_i) \\ a + bV & (V_i \leq V < V_r) \\ P_r & (V_r \leq V \leq V_o) \\ 0 & (V > V_o) \end{cases} \quad (9)$$

여기서, P_r : 정격 전기 출력

V_i : 시동풍속

V_r : 정격풍속

V_o : 정지풍속

$$a = \frac{P_r \cdot V_i}{V_i - V_r}, \quad b = \frac{P_r}{V_r - V_i}$$

풍력 출력의 누적확률밀도함수는 다음과 같다.

$$F_w(v) = \begin{cases} 1 - F(V_o) + F(V_i) & (0 \leq V < V_i, \quad V > V_o) \\ F(V(P_w)) - F(V_i) & (V_i \leq V < V_r) \\ F(V_o) - F(V_r) & (V_r \leq V \leq V_o) \end{cases} \quad (10)$$

여기서, $P_w = a + bV$ 이므로 $V(P_w) = \frac{P_w - a}{b}$ 이다.

위의 식(10)을 P_w 에 대하여 미분하여 풍력 출력의 확률밀도함수를 구하면

$$f_w(P_w) = [1 - F(V_o) + F(V_i)] \delta(P_w - 0) = \frac{k(P_w - a)^{k-1}}{b^k c^k} \exp \left[- \left(\frac{P_w - a}{b} \right)^k \frac{1}{c^k} \right] \quad (0 \leq P_w < P_r) = [F(V_o) - F(V_r)] \delta(P_w - P_r) \quad (P_w = P_r) \quad (11)$$

이 되고, 따라서 주어진 시간동안의 기대출력전력은

$$E(P_w) = \int_0^{\infty} P_w(V) f_w(V) dV \quad (12)$$

이 된다. 식(9)와 (11)을 식(12)에 대입하면 주어진 시간대 동안의 풍력발전 시스템의 기대출력 전력을 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E(P_w) = P_r \cdot \left\{ \frac{\exp\left[-\left(\frac{V_c}{c}\right)^k\right] - \exp\left[-\left(\frac{V_t}{c}\right)^k\right]}{\left(\frac{V_t}{c}\right)^k - \left(\frac{V_c}{c}\right)^k} - \exp\left[-\left(\frac{V_t}{c}\right)^k\right] \right\} \quad (13)$$

4. 복합발전시스템의 최적용량산정

4.1 태양광-풍력 복합발전시스템의 출력

기대치의 선형성에 의해 태양광-풍력 복합발전 시스템의 1일 발전전력량기대치는 식(8)과 식(12)로부터 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E(P_{h, day}) = \sum_{t=1}^{24} [E(P_{s,t}) + E(P_{w,t})] \quad (14)$$

여기서 $E(P_{h, day})$: 복합발전시스템의 1일출력 기대치
 $E(P_{s,t})$: 시간 t에서의 태양광발전 출력 기대치
 $E(P_{w,t})$: 시간 t에서의 풍력발전 출력의 기대치

4.2 최적용량산정

주어진 시설용량으로부터 가능한 복합발전시스템의 출력은 식(14)로부터 구할 수 있다. 복합발전 시스템의 월총소요비용은 월간고정비와 월투자회수비의 합으로 나타내어지고 월투자회수비는 총시설투자비에 다음과 같이 주어지는 월간자본회수계수(capital recovery factor: crf)를 곱하여 얻을 수 있다.

$$crf = \frac{r(1+r)^{12n}}{(1+r)^{12n}-1} \quad (15)$$

여기서 n: 설비수명기간(년)
 r: 연 할인율

따라서 단위 출력당 발전원가는 월총소요비용을 월총출력량의 기대치로 나눈값이 된다. 도시지역상의 수용가의 경우 풍력발전은 소음과 미관문제가 있으므로 본 논문에서는 풍력은 소형발전기 1대로 고

정하고, 나머지는 태양광발전으로 구성하는 것으로 가정하여 분석하기로 한다. 이 경우 출력의 증가는 태양광 array 수의 증가에 정비례하며 따라서 복합발전시스템의 발전비용은 대략 발전량에 선형적으로 비례하여 증가하는 것으로 가정하였다.

우리나라와 같이 누진전력요금을 적용하여 전력 사용량이 늘어날수록 높은 전력요금을 적용하는 경우 전력요금은 월간 총사용전력량에 대해 대략 2차 곡선으로 나타낼 수 있다. 따라서 주어진 월간 총사용전력량 중 복합발전전력량으로 그 일부를 충당할 경우 월간 총전력비용 $C_{tm}(P_h)$ 는

$$C_{tm}(P_h) = a + b(P_1 - P_h) + c(P_1 - P_h)^2 + d + eP_h \quad (16)$$

로 나타낼 수 있고,

여기서 P_1 : 월간 총사용(kWh)

P_h : 월간 총복합발전전력량(kWh)

a, b, c: 누진전력요금을 반영한 전력량전력요금환산을 위한 2차식의 계수

d, e: 복합발전설비의 출력을 발전원가로 환산하기 위한 1차식의 계수

식(16)에서 a, b, c는 실제 누진전력요금을 plot하여, d, e는 발전설비의 설비비, 월자본회수계수와 월고정비로부터 최소자승법으로 구할 수 있다. 월간 총전력비용을 최소화하기 위한 복합발전설비 용량을 구하기 위하여 $df(P_h)/dP_h = 0$ 로 놓고, P_h 를 구하면

$$P_h = P_1 - \frac{e-b}{2c} \quad (17)$$

가 된다. 이 경우 소형복합발전설비가 계통에 전력을 내보내지 않을 경우 제약조건은 $0 \leq P_h \leq P_1$ 이 된다. 따라서 누적 전력요금의 상승이 가파를수록, 복합발전설비용량증가에 따른 투자비의 증가가 완만할수록, P_h 가 P_1 에 접근해 감을 알 수 있다.

5. 실증연구

표 1은 수도권 지역의 시간별 연평균 일사량, 태양광 array를 40°경사면으로 설치했을 때의 보정된 일사량, 그리고 식(5)에 대입하여 구한 태양광 array 단위면적당의 출력을 나타내었다.

그림 2는 3~5월중 전형적인 날의 12시경의 일사량

태양광-풍력 복합발전시스템의 경제적 운용을 위한 최적 용량 선정에 관한 연구

을 plot한 히스토그램이고 그림 3에 히스토그램에 기초하여 산출한 Beta분포 확률밀도함수의 형태를 보였다. 이때 $\alpha=4$, $\beta=1.5$ 로 나타났다.

표 1. 전형적인 날(2000년)의 시간별 수평면 및 경사면 일사량과 단위 면적당 출력

time	수평면 일사량 [W/m ²]	40°경사면 일사량	태양전지 출력 [W/m ²]
6	10.59	11.97	0
7	21.12	23.87	0
8	66.76	75.43	0.13
9	151.32	170.99	3.70
10	241.49	272.88	20.45
11	332.54	375.77	51.26
12	392.36	443.37	69.75
13	410.76	464.16	80.22
14	401.04	453.18	74.11
15	355.01	401.16	56.52
16	279.66	316.02	32.76
17	175.85	198.71	6.55
18	86.44	97.67	0.39
19	27.45	31.02	0
20	5.41	6.12	0

표 2는 서울지역의 최소 10년간의 풍속자료를 근거로 하여 c와 k값, 그리고 Weibull분포로 구한 기대풍속과 단순한 산술적 평균값을 나타낸다.

표 2. c와 k 값 및 평균풍속

Area No.	c	k	산술평균 풍속[m/s]	Weibull 평균풍속[m/s]
108 서울	3.02	1.57	2.41	2.61

그림 4에 풍속의 확률밀도함수 $f_w(v)$ 보인다.

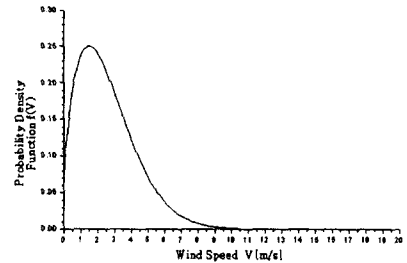


그림 4. 서울지역 풍속의 Weibull 확률밀도 함수

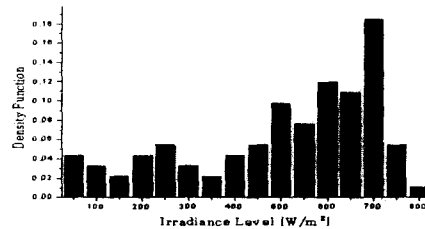


그림 2. 봄(3,4,5월) 전형적인 날 12시경 일사량 분포 히스토그램

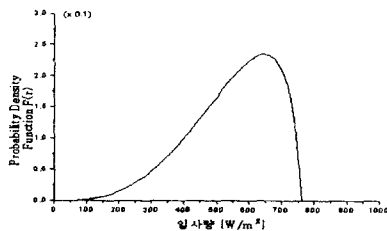


그림 3. 전형적인 봄날(3,4,5월) 12시경 일사량 확률밀도함수

표 3은 식(5), 식(12), 식(14)로부터 전형적인 날의 시간별 태양광 array 단위면적당의 출력, 풍력발전기의 출력 및 복합발전 시스템의 출력을 나타낸 것이다.

표 3. 전형적인 날의 복합발전시스템 출력

시간	태양광[W/m ²]	풍력[W]	복합출력[W]
1		7.49	7.49
2		6.97	6.97
3		6.31	6.31
4		4.99	4.99
5		3.26	3.26
6		3.26	3.26
7		5.65	5.65
8	0.13	9.59	9.72
9	3.7	11.68	15.38
10	20.45	18.00	38.45
11	51.26	24.07	75.33
12	69.75	32.77	102.52
13	80.22	39.09	119.31

14	74.11	44.89	119.00
15	56.52	46.00	102.52
16	32.76	47.26	80.02
17	6.55	45.42	51.97
18	0.39	39.88	40.27
19		33.03	33.03
20		25.39	25.39
21		19.85	19.85
22		14.05	14.05
23		9.04	9.04
24		6.35	6.35
계	395.84	504.31	900.15

본 연구를 위하여 그림 5와 같이 실험용으로 1.9kW(태양광 1.5kW, 풍력 400W) 규모의 복합발전 시스템을 설치하였다.

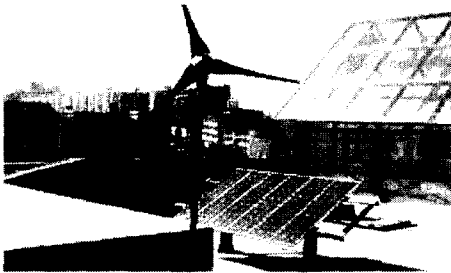


그림 5. 태양광-풍력 복합발전시스템

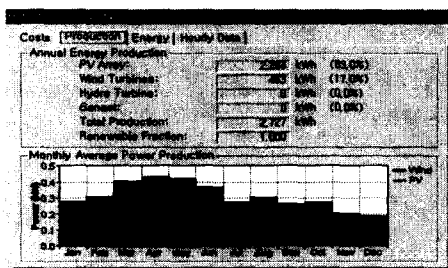


그림 6. 복합발전 시스템의 연간 출력 시뮬레이션

그림 6은 복합발전시스템의 연중 분포를 시뮬레이션한 결과이다. 태양전지 array의 연간 총 발전량은 2,264kWh(약83%), 풍력발전기의 총 발전량은 463kWh(약17%)이며 복합발전 시스템의 연간 총 발전량은 2,727kWh임을 나타내고 있다. 따라서 월별 총 발전량은 약 227.3kWh가 된다.

전체 설비투자비는 1960만원이며 월평균출력은 227.3kWh로서 할인율은 연 8%, 정부의 사회비용절감을 위한 시설비 투자 보조를 50%로 하고 월고정비를 5만원으로 할 경우, 기대 출력 P_h 인 복합전력의 월간 전력원가 $C_{hm}(P_h)$ 는 대략

$$C_{hm}(P_h) = 50,000 + 365P_h \quad (18)$$

로 나타났다. 월 전력요금은 2003년도 우리나라 누진전력요금을 월총사용전력 P_1 에 대한 2차함수로 개략화하면

$$C_{lm}(P_h) = 1000 + 3.5P_1 + 0.5P_1^2 \quad (19)$$

로 추정된다. 따라서 월 총사용 전력량 P_1 중 P_h 만큼을 복합발전설비로 충당한다고 할 경우, 월 총 전력비용은 다음과 같이 P_h 의 함수로 나타낼 수 있다.

$$C_{lm}(P_h) = 1000 + 3.5(P_1 - P_h) + 0.5(P_1 - P_h)^2 + 50,000 + 365P_h \quad (20)$$

위의 전력비용을 최소로 하기 위한 복합발전 전력량을 구하기 위하여 $dC_{lm}(P_h)/dP_h = 0$ 로 놓아 P_h 값을 구하면, $P_h = P_1 - 361.5$ (kWh)이 된다. 따라서 본 연구에서 사용된 1.9kWh설비의 경우에는 정부가 시설투자비의 50%를 보조하는 경우 월평균 사용전력량이 $361.5 + 227.3 = 588.8$ (kWh) 이상이 되어야 경제적으로 유리하다는 결과를 나타났다.

6. 결 론

본 논문에서는 주어진 일사량과 풍량조건하에서 태양광-풍력 복합발전시스템의 기대출력을 일사량과 풍속의 통계적분포와 기대치의 선형성을 이용해 구하는 방법에 대하여 논하고, 누진전력요금이 적용될 경우 주어진 월 사용전력량에 대하여 전력요금과 복합발전설비용의 합이 최소가 되는 복합발전설비의 용량산정기법에 대하여 논하였다. 복합발전설비의 수명이 비교적 장기간인데 비해 누진전력요금은 보다 짧은 기간 동안에 변동될 가능성이 크므로, 앞으로 전력요금의 추이를 예상하여 보다 정확하게 전력요금함수를 도출하는 연구가 필요하다.

본 논문은 2002년도 중앙대학교 학술 연구비 지원에 의한 것임.

References

- [1] Imad Abouzahr, "Loss of Power Supply Probability of Stand-Alone Photovoltaic Systems", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 6, No. 1, March 1991.
- [2] S. H. Karaki, "Probabilistic Performance Assessment of Autonomous Solar-Wind Energy Conversion Systems", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol.14, No.3, Sep. 1999.
- [3] Bogdan S. Borowy, and Ziyad M. Salameh, "Methodology for Optimally Sizing the Combination of a Battery Bank and PV Array in a Wind/PV Hybrid System", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 11, No. 2, June 1996.
- [4] W. D. Kellogg, M. H. Nehrir, G. Venkataramanan, and V. Gerez, "Generation Unit Sizing and Cost Analysis for Stand-Alone Wind, Photovoltaic, and Hybrid Wind/PV Systems", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 13, No. 1, March 1998.
- [5] Ziyad M. Salameh, "Photovoltaic Module-Site Matching Based on the Capacity Factors", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 10, No. 2, June 1995.
- [6] Bogdan S. Borowy, Ziyad M. Salameh, "Optimum Photovoltaic Array Size for Hybrid Wind/PV System", IEEE Trans. on Energy Conversion, Vol. 9, No. 3, Sep. 1994.
- [7] Fadia MACHALL, "Simulation and Analysis of Hybrid Systems using Probabilistic Techniques", Power Conversion Conference-Nagaoka 1997., Proceedings of the, Vol 2, 1997.
- [8] 이준식 외, "한·독 태양-풍력 복합발전제에 관한 연구", 한국과학기술원, 1986년 5월.
- [9] Byeong-Gook Kwon, Seung-Chul Lee "A Capacity Estimation Technique of Solar-Wind Hybrid Power System for an Urban Residential Load", IFAC, July, 2003.

◆저자소개◆

이승철 (李承哲)

1946년 6월 16일생. 1969년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1972년 재무부 전매청 신탄진 연초제조창 전력과장. 1977년 현대엔지니어링 기전사업부 차장. 1982년 미국 Univ. of Florida 전기공학과 졸업(석사). 1985년 동대학원 졸업(박사). 1985년 미국 테네시대 우주항공대학원 전기 및 컴퓨터공학과 부교수. 1995년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수.

문운철 (文雲哲)

1968년 10월 1일생. 1991년 서울대학교 전기공학과 졸업. 1993년 동대학원 석사과정 졸업. 1996년 동대학원 박사과정 졸업. 2000년 삼성 SDS 과장. 2002년 우석대학교 전기공학과 교수. 2002년~현재 중앙대학교 전자전기공학부 교수.

권병국 (權秉國)

1966년 4월 17일생. 1992년 2월 중앙대학교 전기공학과 졸업. 2002년 동대학원 석사과정 졸업. 현재 동대학원 박사과정 재학.

김종환 (金宗煥)

1975년 2월 1일생. 2002년 2월 중앙대학교 전기공학과 졸업. 현재 동대학원 석사과정 재학.