

브이용 전력시스템 설계 및 분석

조관준* · 유희한** · 국승기*** · † 오진석****

* 한국해양대학교 대학원, **,****한국해양대학교 선박전자기계공학부 교수,
***한국해양대학교 해양경찰학과 교수

Design and Analysis of Power System for Buoy

Kwan-Jun Jo* · Hee-Han Yoo** · Seung-Gi Gug*** · † Jin-Seok Oh****

*Graduate school, Division of Mechatronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

,Professor, Division of Mechatronics Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

***Professor, Division of Maritime Police Science, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문은 브이용 PV 시스템 성능과 최대전력추적기의 알고리즘에 대하여 기술하고자 한다. 현재 운영되고 있는 브이는 대부분 태양광을 활용한 독립형 전력 시스템을 이용하고 있다. 이러한 태양광 전력 시스템은 직류 출력 특성을 가지고 있으며 직류 버스와 연결된다. 태양광 전지판의 I-V 출력 특성은 일사량, 전지판의 온도에 따라 변화하며 태양광 전지마다 그 특성이 각기 다르게 나타나기 때문에 태양광 전지는 최대전력추적방식의 알고리즘에 의해 운영되어야 한다. 이에 본 논문은 태양광 전지의 특성, 최대전력추적방식, 태양광 전지판의 최적 경사각을 논의하고자 한다.

핵심용어 : 브이, 독립형, 최대전력추적기, 재생에너지, 태양광 전지판 각도

Abstract : This paper presents the performance of PV(Photovoltaic) system, the design of MPPT(Maximum Power Point Tracker). Output of PV power system is DC, and PV power system is linked to the DC bus. The current(I)-voltage(V) output characteristic of PV cells changes with solar irradiance and cell temperature as parameters. As various PV modules respond differently to each of the parameters cited above. Maximum output of PV modules can be achieved by MPPT(Maximum Power Point Tracker) algorithm. This paper includes a discussion on the performance of PV module, MPPT algorithm and the influence of PV module angle.

Key words : Buoy, Stand-alone, MPPT, Renewable energy, PV module angle

1. 서 론

해상교통안전표지물인 브이(buoy)는 야간이나 안개 등의 악천후 상태에서 선박의 안전항해를 돕기 위하여 운영되고 있는 교통안전시설물이다. 현재 운영되고 있는 각종 항로표지물은 대부분 태양광을 활용한 독립형(stand-alone type) 전력 시스템을 이용하고 있다. 태양광 발전시스템은 일사량, 전지판의 온도, 태양광 전지판 설치조건, 태양광 전지판 상태에 따라 발생전력에 많은 차이가 난다. 그리고 축전지에 충전되는 에너지는 충전방식에 따라 충전효율이 다르다.(정 등, 2005)

본 연구에서는 태양광 전지판의 각도에 따른 발생전력의 특성을 분석하고 기술하고자 한다. 최종적으로 육상에서의 발전 특성과 해상교통안전시설물인 브이에 설치한 경우의 발전 특성을 실험을 통하여 확인하였다.(Solar Energy R&D in the European Community, 2000)

2. 태양광 발전시스템

2.1 출력 특성

태양광 전지판의 출력은 일사량, 태양광 전지판의 표면온도, 설치 및 운영 조건에 따라 차이가 있다. 해상교통안전시설물인 브이의 독립형 태양광 전력계통은 운영조건을 반영하여 설계 한다. Fig. 1은 태양광 및 납축전지의 I-V 특성을 도시한 것이다.

Fig. 1은 축전지와 PV 모듈의 최적 출력점이 완벽하게 일치하지 않음을 나타내고 있다. 여기서 축전지의 공칭전압은 12 V 이고, 축전지의 I-V 특성 곡선은 SOC(State of Charge) 영향을 받는다. 태양광 모듈의 출력(P)는 식 (1)과 같이 나타낼 수 있다.(Kaoru, 2006)

$$P = I_{ph} V_p - I_o V_p \left[\exp\left(\frac{q}{AKT} V_p\right) - 1 \right] \quad (1)$$

* 대표저자 : 조관준(정희원), 119sky1004@naver.com 051)410-4866

** 정희원, yoohh@hhu.ac.kr, 051)410-4841

*** 종신희원, cooksg@mail.hhu.ac.kr, 051)410-4227

† 교신저자 : 오진석(종신희원), ojs@hhu.ac.kr, 051)410-4283

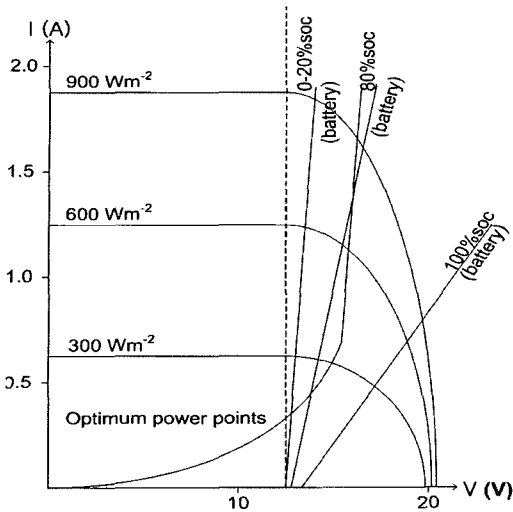


Fig. 1 I-V characteristics of a PV module and battery

식(1)에서 I_{ph} 는 셀 광전류, V_p 는 PV 출력전압, I_o 는 포화 전류, q 는 충전 전하량, K 는 볼츠만 상수(Boltzman's constant), T 는 셀 온도, A 는 PN 접합 재료 상수이다.

본 논문에서는 태양광 전지판의 최대출력지점을 추적하여 축전지를 충전하는 알고리즘으로 활용하여 충전시스템을 구현하였다. 알고리즘은 MPP(Maximum Power Point)에서 출력 전력을 전압에 대하여 미분했을 때 영(zero)과 일치하도록 동작한다.

V_p 와 출력 전력의 미분 값(dP/dV_p)의 관계는 식(2)와 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{dP}{dV_p} = I_o + I_{ph} - I_o \exp\left(\frac{q}{AKT} V_p\right) \cdot \left[1 + \frac{q}{AKT} V_p\right] \quad (2)$$

2.2 MPPT 알고리즘

본 연구에서 활용하는 MPPT 알고리즘은 최대전력지점에서 dP/dV_p 가 영(zero)과 일치하도록 동작한다. 즉, PV 모듈의 출력 전압은 제안한 MPPT 알고리즘($dP/dV_p=0$)에 의해 제어된다. 일반적으로 MPPT 알고리즘은 태양광 모듈의 단자전압과 태양광 전지판의 출력 전력간의 변화 추이를 비교하여 동작한다. Fig. 2는 일사량에 따른 MPP의 추이를 보여주고 있다.(Fanney et al., 2006)

태양광 모듈의 출력은 일사량에 따라 S_1 에서 S_2 및 S_3 로 이동한다. 일사량이 S_1 에서 S_2 로 이동하면 MPP도 ①에서 ②로 이동한다. 이때 MPPT 알고리즘을 적용하면 ②로 부터 새로운 MPP인 ②*를 추적하여 최대출력을 얻을 수 있다. 마찬가지로 일사량의 변화에 따라 ③으로 이동해도 새로운 MPP인 ③*에서 출력을 확보할 수 있다. MPP는 전압에 대한 전력 출력 곡선의 최대값이다. MPP의 왼쪽영역은 전압 증가와 더불어 출력이 증가하고, MPP의 오른쪽 영역에서는 전압 증가와 더불어 출력이 감소하는 특성을 가지고 있다.(Oh and Lee, 2003; Overstraeten and Mertens, 1986)

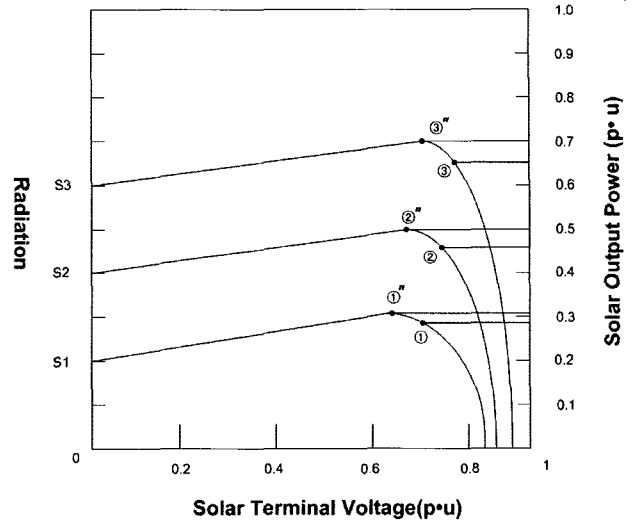


Fig. 2 MPP characteristic curves of PV array

MPP에서 전압 변화는 전류변화에 비하여 적으며, MPPT는 MPP점에서 동작하도록 하는 것이 가장 중요하다.

2.3 최적 경사각

PV 모듈의 경사도에 따른 출력 특성을 파악하기 위하여 PV 모듈을 지면에 대하여 다양한 각도로 변경하면서 PV 모듈의 출력 특성을 실험하고 분석하였다. 표면에서 BR(Beam Radiation)의 입사각 θ_{BR} 는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$\theta_{BR} = \cos \theta_z \cos \beta + \sin \theta_z \sin \beta \cos (\gamma_s - \gamma) \quad (3)$$

여기서 θ_z 는 정점 각(zenith angle), β 는 경사 각, γ_s 는 태양방위 각(solar azimuth angle), γ 는 표면 방위 각(surface azimuth angle)이다. 브이용 태양광 전지판의 경우 해수면에 대한 입사각이 지속적으로 변하는 환경이므로 최적의 입사각을 확보하기 힘들다. 그러므로 본 연구는 육상에서 다양한 각도에 대한 실험을 수행하고, 그 결과를 근거로 해상에 설치된 브이에 적용할 수 있는 최적의 태양광 전지판 각도를 실험을 통하여 결정하였다.

3. 실험 및 고찰

3.1 하드웨어 구성

해상교통안전시설물인 브이에 적용하기 위해서는 실용화 실험이 필요하다. 본 연구에서는 연구결과를 검증하기 위하여 해양수산부의 도움을 받아 실제 해상에 브이를 설치하고, 다양한 성능실험을 수행하였다. 특히, MPPT 알고리즘 성능 실험 및 태양광 전지판의 각도별 출력특성을 실험하고, 그 결과를 분석하였다. 실험에 사용한 브이용 전력 장치 구성도는 Fig. 3과 같다. 실험에 활용한 컨버터, CPU 및 주변기기의 블록선도는 Fig. 4와 같다.

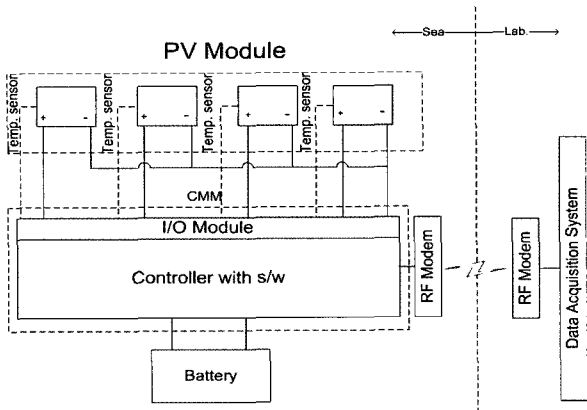


Fig. 3 Schematic diagram of experimental apparatus

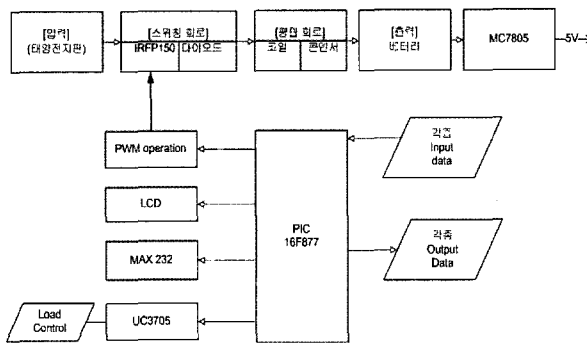


Fig. 4 Block diagram of converter for MPPT algorithm

PV 모듈은 각도별로 설치하고, 각각의 PV 모듈에서 전류, 전압 및 온도 데이터를 검출하여 데이터베이스화 하였다. 해상에서 수집된 데이터는 RF 모뎀을 통해 약 5 km 떨어진 실험실에서 실시간으로 데이터를 전송될 수 있도록 무선원격 감시시스템을 구축하였다. 또한 MPPT 알고리즘 성능을 실험하기 위하여 CMM(Controll and Monitoring Module) 제작하여 실험에 활용하였다. CMM에는 MPPT 알고리즘을 수행할 수 있는 제어시스템 및 컨버터가 내장되어있다.

컨버터의 스위칭 소자는 MOSFET을 사용하였으며, PV 모듈, MOSFET 및 CPU의 사양은 Table 1과 같다.

Table 1 Specification of the power system for buoy

(a) Specification of solar module

Irradiance and cell Temperature	1000Wm ⁻² AM 1.5 , 25°C	800Wm ⁻² AM 1.5 , 47°C
	Pmax	60W
Vpmax	16.9V	15.2V
Ipmax	3.55A	2.87A
Voc	21.5V	
ISC	3.73A	

(b) Specification of MOSFET for converter

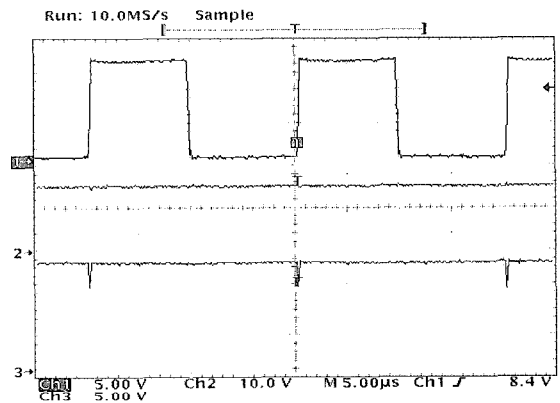
Parameter	Min.	Typ.	Max.	Unit
Drain to source breakdown voltage	-100	-	-	V
Gate threshold voltage	-2.0	-	-4.0	V
Zero gate voltage drain current	-	-	25	uA
On-state drain current	-19	-	-	A
Gate to source leakage current	-	-	± 100	A
Drain to source on resistance	-	0.14	0.2	Ω

(c) Specification of CPU for converter

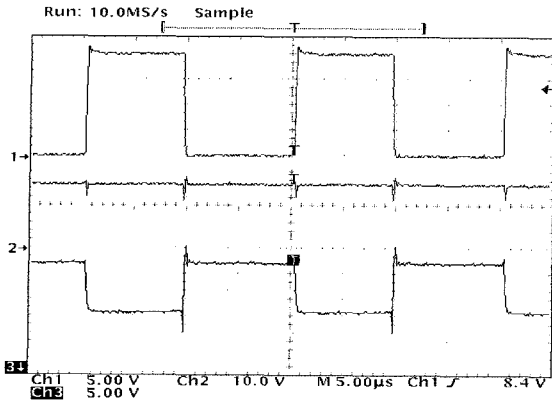
High -performance RISC CPU	
Programable-code protection	
Program memory	8K × 14 words
Data RAM	368 bytes
Max. speed	20MHz
I/O	33 Ports (port a,b,c,d,e)
10-bit A/D converter	8 input channels
Serial communications	MSSP, USART
Parallel communications	PSP
Capture/Compare/PWM	2 EA
Timer	3 (timer 0, 1, 2) + WDT
Interrupt capability	up to 14 sources

3.2 MPPT 동작 실험

해상교통안전시설물인 브이를 실용화하기 위하여 다양한 실험을 수행하였다. Fig. 6은 MPPT 알고리즘을 실험한 파형이다.



(a) First waveform of circuit with MPPT operation



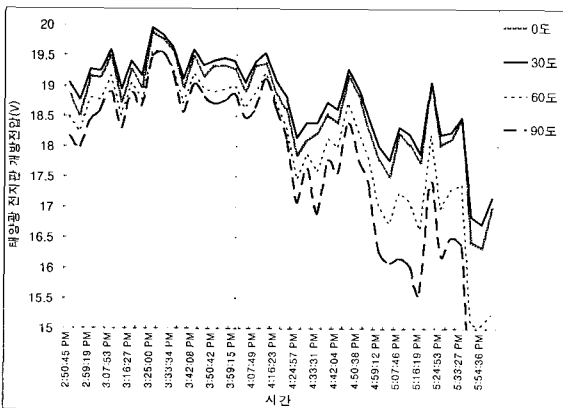
(b) Second waveform of circuit with MPPT operation
 Fig. 5 Test results of MPPT algorithm with converter

Fig. 5의 (a)에서 1번 채널은 듀티비(Duty Ratio)가 50%인 PWM(Pulse Width Modulation) 동작을 나타낸다. 2번 채널은 태양광 전지판의 전압으로 약 15V를 지시하고 있다. 3번 채널은 콘덴서와 코일에 의해 평활된 출력 전압으로 약 13.3V를 지시하고 있다. 다음 Fig. 5의 (b)를 살펴본다. 1번 채널과 2번 채널은 Fig. 5의 (a)의 각 채널과 동일하다. 3번 채널은 MOSFET 이 후 평활 회로 이전의 지점에서 측정하였다.

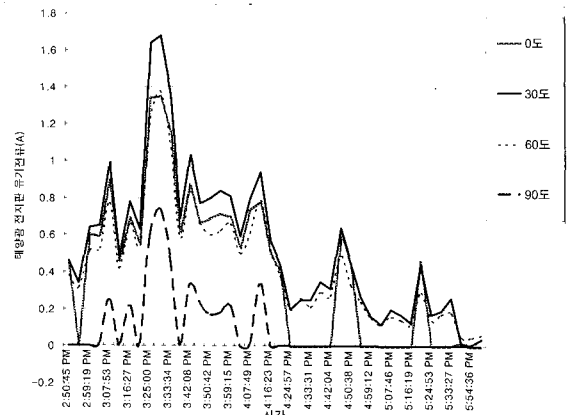
태양광 전지판의 전압은 PWM(Pulse Width Modulation) 방식 MPPT제어로 약 15V가 되고, 충전되는 배터리 전압은 약 13.3V가 되었다. 충전되는 전류는 전류계로 계측하여 약 3A였다. MPPT 알고리즘을 적용하지 않고 태양광 전지판에서 배터리로 직결해 보았다. 태양광 전지판의 전압은 약 13.7V가 되었으며 전류는 약3A에서 크게 변화하지 않았다. 따라서 전력을 비교하였을 때 약 9%정도 효율이 증가되는 효과를 보았다.

3.3 최적 경사각 실험

태양광 모듈의 설치각도에 따른 특성을 파악하기 위하여 태양 전지판을 육상에 각각 0도, 30도, 60도, 90도로 설치하여 실험하였다. 실험결과는 Fig. 6에 도시하였다.



(a) Waveform of voltage output



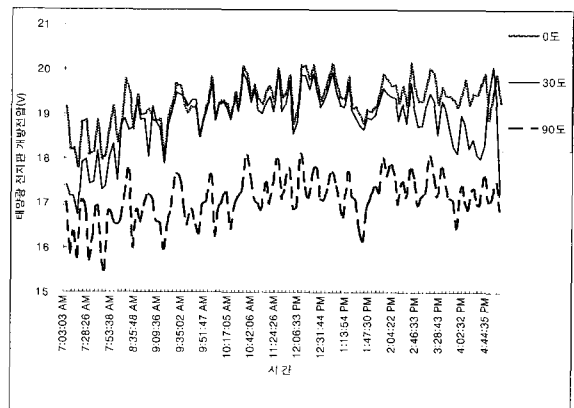
(b) Waveform of current output

Fig. 6 Output characteristics of PV in different angle on the ground

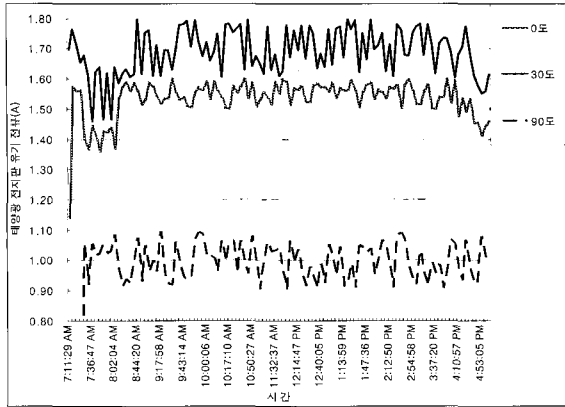
Fig. 6은 7월 16일 육상에서 기록한 것으로 0도, 30도, 60도, 90도로 설치된 태양광 전지판의 개방전압과 유기 전류를 나타낸 그림이다. Fig. 6의 (a)는 태양광 전지판의 개방 전압을 나타낸 것이고, Fig. 6의 (b)는 태양광 전지판에서 유기되는 전류를 나타낸 것이다. 그림 Fig. 6로 다음과 같은 실험 결과를 얻을 수 있었다.

- * 태양광 전지판 개방 전압 출력 크기
 (30도 설치 > 0도 설치 > 60도설치 > 90도 설치)
- * 태양광 전지판 유기 전류 출력 크기
 (30도 설치 > 0도 설치 > 60도설치 > 90도 설치)

상기와 같은 결과는 육상 실험기간 동안 모든 날짜에서 비슷한 추이였다. 태양광 전지판의 각도가 30도일 때 다른 태양광 전지판에 비하여 높은 개방전압과 전류를 기록한 것을 알 수 있다. 다음으로 0도의 태양광 전지판이 충전효율이 좋았으며 60도, 90도의 태양전지판 순이었다.



(a) Waveform of voltage output



(b) Waveform of current output

Fig. 7 Output characteristics of PV in different angle on the sea

Fig. 7은 9월 22일 해상 브이에서 실험한 것으로 0도, 30도 90도로 설치된 태양광 전지판의 개방전압과 유기 전류를 나타낸 그림이다. Fig. 6과 동일하게 Fig. 7의 (a)는 태양광 전지판의 개방 전압을 나타낸 것이고, (b)는 태양광 전지판에서 유기 되는 전류를 나타낸 것이다. 그림 Fig. 7로 다음과 같은 실험 결과를 얻을 수 있었다.

- * 태양광 전지판 개방 전압 출력 크기
(0도 설치 ≒ 30도 설치 > 90도 설치)
- * 태양광 전지판 유기 전류 출력 크기
(30도 설치 > 0도 설치 > 90도 설치)

해상 실험에서는 태양광 전지판의 각도가 0도일 때와 30도 일 때 육상 실험에서와 달리 개방 전압이 비슷하게 일치하는 것을 볼 수 있었다. 그러나 전류 특성은 30도 일 때 가장 높게 나타났으며 다음으로 0도, 90도의 순이기 때문에 충전효율은 육상에서의 실험과 같이 30도 일 때 가장 높다. 즉, 태양광 전지판을 설치할 때 충전 효율이 우수한 최적의 각도는 육상과 해상을 불문하고 30도라는 결론을 내릴 수 있었다.

4. 결 론

본 연구는 해상교통안전시설물인 브이의 최적 전력시스템을 구축하기 위해 수행한 실험이다. 실험과정에서 통하여 도출된 결과를 정리하면 다음과 같다.

첫째, 태양광 전지판으로부터 축전지를 충전할 때 직결 연결 보다는 MPPT 알고리즘을 가진 충전제어기로 충전하는 것이 우수한 충전 특성을 가지며, 실험 결과 9%내외로 효율이 좋아지는 것을 확인할 수 있었다.

둘째, 태양광 전지판의 충전 효율이 우수한 최적 각도는 30도이다. 실험 결과는 30도>0도>60도>90도 순이며, 육상과 해

상에서 모두 적용된다.

더불어 해상교통안전시설물용 최적의 전력시스템을 확보하기 위해서는 태양광 전지판의 온도, 관리 상태에 따른 출력 특성 변화, 출력상태를 실시간으로 제어 및 감시할 수 있는 무선원격 제어감시시스템에 대한 연구도 수행되어야 한다.

후 기

본 연구는 한국해양수산기술 진흥원의 지원으로 수행 됨.

참 고 문 헌

- [1] 정재훈, 김종국, 김종욱, 이희준, 김훈(2005), “항로표지용 전원공급시스템 실태조사”, 한국조명·전기설비학회 추계 학술대회 논문집, pp. 137-140.
- [2] Fanney, A. H. et al.(2006), “Comparison of Photovoltaic Module Performance Measurement”, Journal of the American Society of Mechanical Engineers, Vol. 128, pp. 152-159.
- [3] Kaoru, F. and Yutaka, N. (2006), “Performance Evaluation of Photovoltaic Power-Generation System Equipped with a Cooling Device Utilizing Siphonage”, Journal of the American Society of Mechanical Engineers, Vol. 128, pp. 146-151.
- [4] Oh, J. S. and Lee, J. Y.(2003), “Fluctuating Reduction Method for Generation Power of the Wind-PV Hybrid System”, Journal of the Korean Institute of Electrical Engineers, Vol. 27, No. 4, pp. 80-85.
- [5] Overstraeten, R. J. and Mertens, R. P.(1986), “Physics, Technology and Use of Photovoltaics”, pp. 197-212.
- [6] Solar Energy R&D in the European Community(1983)“Photovoltaic Power Generation”, Proceedings of the EC Contractors’ Meeting held in Hamburg/Pellworm, Vol. 4, Series C, pp. 155-162.

원고접수일 : 2007년 3월 12일
원고채택일 : 2007년 4월 30일