

해양 시설물용 다중 레벨 방식 충전기법에 관한 연구

오진석[†] · 곽준호¹

(원고접수일 : 2010년 6월 18일, 원고수정일 : 2010년 8월 12일, 심사완료일 : 2010년 9월 15일)

A Study on Multi-Level Type Charging Technique for Ocean Facility

Jin-Seok Oh[†] · Jun-Ho Kwak¹

요약 : 최근 해양 시설물용 복합 발전 시스템 개발에 관한 많은 연구가 수행되고 있다. 일반적으로 해양 시설물에 사용되는 독립형 전력 공급 시스템은 날씨에 상당히 많은 영향을 받게 된다. 이러한 전력 공급 시스템의 효율성을 높이기 위하여 다양한 스위칭 알고리즘을 이용한 충전 기법이 연구되고 있다. 본 논문에서는 다중 레벨 방식을 적용한 전력 시스템의 충전 방식을 제안하고 실험을 통하여 결과를 제시하였다. 다중 레벨 방식의 충전기법을 시뮬레이션한 장치의 실험 결과와 기존에 사용 중인 전력 공급 시스템의 실험 결과를 비교하여 나타내었다. 그 결과, 다중 레벨 방식의 충전기법을 이용하는 경우에 기상 조건에 따라 충전 전력은 5~11%, 충전 가능 시간은 7~47% 정도 향상되었음을 확인하였다.

주제어 : 해양 시설물, 다중 레벨, 무접점릴레이(SSR), 충전 기법, 시뮬레이션

Abstract: Recently, lots of researches are carried out to develop hybrid power generation system for ocean facility. Normally, the stand-alone type power system is used in the ocean facility, which is influenced by weather condition. To improve the efficiency, a various charging strategy with switching algorithm has been studied. In this paper, the power system using multi-level type is proposed. The simulation results based on actual data of photovoltaic and wave hybrid power system are presented. The results show that the rate of charging time is increased 5~11% and 7~47% respectively to compare the conventional technique.

Key words: Ocean Facility, Multi-Level, Solid State Relay(SSR), Charging Technique, Simulation

1. 서 론

태양광, 풍력, 파력 등과 같은 재생에너지를 사용하는 전력 시스템 개발은 육상의 전력 시스템뿐만 아니라 해양 시설물에 대한 것에서도 활발하게 이루어지고 있다. 해상에서 운용되는 대부분의 장치들은 태양광을 기반으로 한 독립형 전력 시스템을 갖추고 있다. 최근에는 발전 시스템의 효율을 높이기 위해서 풍력 및 파력을 연계한 복합 발전 시스템을 적용하고 있다. 그러나 이들 재생에너지는 기상 상태에 따라 변화하므로 출력 전력을 설계

자가 임의로 조정할 수 없다. 그러므로 전력 변환 시스템 및 충전 시스템의 효율을 개선하기 위해서는 보다 많은 연구가 필요한 실정이다. 현재 연구 개발 중인 대부분의 복합 발전 시스템은 기상환경에 따라 변화하는 태양광, 풍력, 파력 전력 생산량에 따라 각각의 DC-DC 컨버터 혹은 통합된 하나의 컨버터를 제어함으로써, 최대의 출력 전력을 얻을 수 있도록 하는 것이다. 그러나 이러한 시스템에서는 각각의 재생에너지 출력 전력이 컨버터에서 요구하는 기준치 보다 낮은 경우, 해당 재생에너지

[†] 교신저자(한국해양대학교 선박전자기계공학부), E-mail: ojs@hhu.ac.kr, Tel: 051-410-4283)

¹ 한국해양대학교 메카트로닉스공학과 박사과정

의 출력을 사용하지 않고 그대로 방치해 두고 있는 단점이 있다. 즉, 기존의 충전기법은 재생에너지 발전 시스템의 전압이 축전지 보다 높은 상태일 경우에만 충전이 가능하고, 축전지 전압보다 낮은 상태인 경우에는 충전이 되지 않는다[1-4].

본 연구에서는 태양광, 풍력, 파력의 복합 발전 시스템에 적합한 새로운 개념의 다중 레벨 방식 충전기법을 제안하고자 한다. 또한 제안한 구조에 적합한 스위칭 알고리즘을 개발하기 위하여 기존의 충전기법으로 사용 중인 부이의 현장실험 결과(약 200일)를 분석하고 충전가능시간을 조사하여 설계 과정에 반영하였다. 현장실험 결과 데이터는 부산 한국해양대학교 부근 해역에 설치된 해상환경 관측 실험용 부이의 실측데이터를 사용하였다. 최종적으로 제안한 기법과 알고리즘을 적용한 시뮬레이션 장치의 실험결과와 기존 방식의 충전 시스템을 비교 및 분석하여 결과를 도출하였다.

2. 다중 레벨

2.1 해양 시설물의 발전 요소 및 특성

태양광, 풍력, 파력 발전 시스템은 기상상태에 따라 각각 다른 출력 특성을 가지게 된다. 태양광 발전의 경우 비선형 특성을 가지므로, 태양전지판의 특성상 일조량이 적더라도 축전지로 충전하기 쉬운 전압범위를 가진다. 그러나 해양 시설물용 풍력 및 파력 발전 시스템은 대부분 원동형 발전기를 이용하여 전력을 생산하는 형태이므로 태양광 발전 시스템에 비하여 보다 선형적인 특성을 가지고 있다. 소출력 풍력 발전의 경우 '최소 풍속 2~3m/s 이상'과 같은 특정 조건이 만족되어야 일정전력이 출력되며, 풍속 5~6m/s 이상을 유지하여야 정격전력이 출력된다. 해양 시설물에 주로 사용되는 OWC (Oscillating water column Wave power Converter) 타입의 파력 발전 시스템 또한 풍력 발전 시스템과 유사하게 동작하는 특성을 가지고 있으며, 파고 약 4~5m가 유지될 때 정격전력이 출력된다[3-4].

해양 시설물에 활용되는 충전 시스템은 육상의 발전 및 충전 환경과 매우 상이한 점이 많다. 이점을 고려하지 않으면 실제 해상환경에서 작동 및 효율 측면에서 예상하지 못한 결과를 얻을 수 있다.

본 연구를 위하여 실제 해상에서 운용 중인 부이의 발전 데이터를 200일 정도 수집하여 하루 중 충전 가능한 시간의 비율을 조사하였다. 조사 대상의 부이에는 태양광 및 파력 발전 장치가 설치되어 있다. 이들 발전 시스템에서 축전지로 충전하는 회로에는 다이오드가 설치되어 있으므로, 태양광 및 파력 발전의 출력 전압이 축전지의 전압 + 다이오드 손실전압 보다 높은 경우에 실제로 충전이 가능하다. 하루 중 충전이 가능한 시간의 비율을 조사하여 이를 충전 가능 시간이라 정하였다. 태양광 발전의 경우 하루 중 45~65%, 파력 발전의 경우 하루 중 20~90% 범위에서 충전 가능 시간이 분포하는 것을 알 수 있었다. 다음의 Figure 1에 본 논문의 연구 대상인 해양 시설물용 하이브리드 전력공급 시스템 구성도를 나타내었으며, Figure 2에는 부이에서 200일 동안 측정된 태양광 및 파력의 충전 가능 시간을 그래프로 나타내었다.

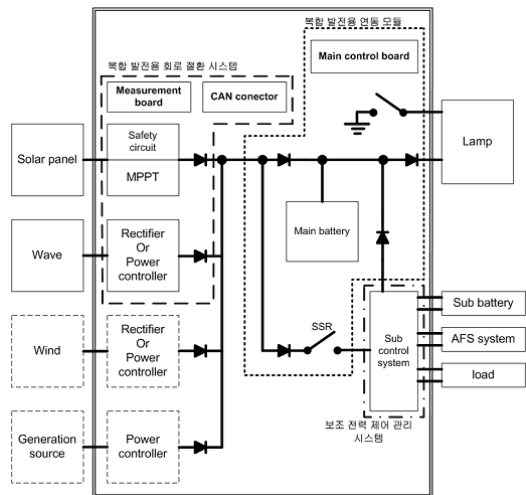


Figure 1: Hybrid power system on buoy.

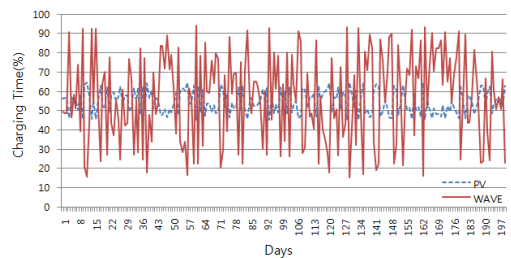


Figure 2: PV and wave charging time on buoy.

2.2 다중 레벨의 구성

일반적으로 해양 시설물에 사용되는 전력 시스템은 다음의 **Figure 3**의 (A)와 같이 구성된다. 태양광, 풍력, 파력 등의 발전 시스템은 전력 조정 장치 (Power Controller 또는 MPPT : Maximum Power Point Tracker)를 이용하여 생산된 전력을 충방전 제어 장치(Charging Controller 또는 DC-DC Converter 등)로 이송하게 되며, 충방전 제어 장치에서는 각각의 생산전력에 따라 축전지 혹은 부하를 연결하여 생산된 전력을 충전하거나 사용하게 된다. 기존에 사용되고 있는 해양 시설물용 복합 발전 충방전 제어 장치는 각각의 발전 시스템이 정격출력보다 낮은 경우, 생산된 전력을 사용하지 않고 그대로 방치해 두고 있는 상황이다[1-3,6]. 사용되지 못하는 정격 전력 이하의 생산된 전력(각 발전 요소의 출력 전압이 축전지 전압보다 낮은 경우 등)을 낭비하지 않고 효율적으로 이용하기 위하여, 본 연구에서는 **Figure 3**의 (B)와 같은 다중 레벨 방식의 전력 시스템 구성을 제안한다.

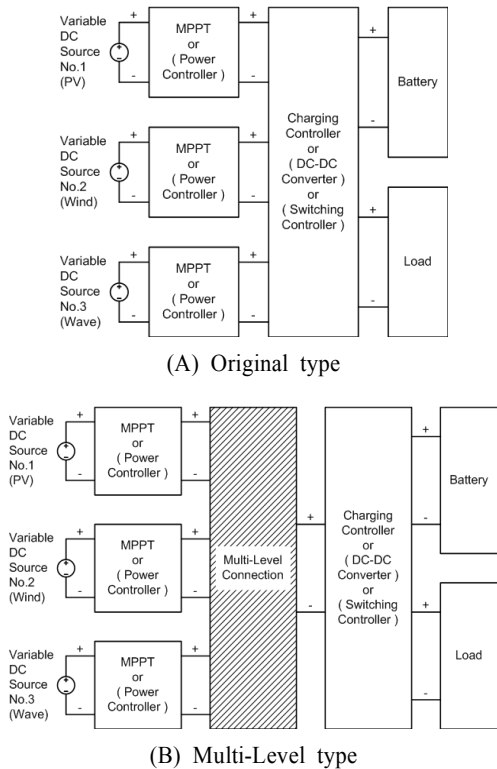
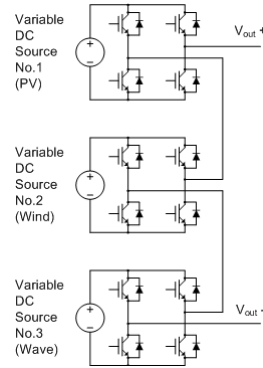


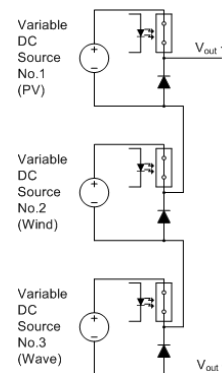
Figure 3: Diagram of hybrid power system.

즉, 정격 출력보다 낮은 전력을 출력하고 있는 경우라도 직렬연결을 통한 다중 레벨을 구성하여 충방전 제어 장치에서 사용할 수 있도록 재생에너지단의 출력 전력을 높여주는 것이 제안하고자 하는 내용의 핵심이다. 또한, 이러한 방법을 이용하면 충방전 제어 장치로 유입되는 입력 전압을 높일 수 있으므로 전력 변환 효율을 향상 시켜줄 수 있는 장점도 가지고 있다.

일반적으로 다중 레벨 구성 방식은 주로 직류전압을 교류전압으로 변환하는 인버터에 주로 사용되며, MOSFET 혹은 IGBT 등과 같은 반도체소자로 구성된 H-bridge 모듈을 구성한 다음의 **Figure 4**의 (A)와 같은 형태를 일컫는다. 그러나 제안하는 다중 레벨 구성에서는 직류전압을 교류전압으로 변환하지 않으며, 각 소자에 인가되는 스위칭 주파수가 크지 않으므로, 무접점 스위칭 소자인



(A) Universal type (AC out)



(B) Proposal type (DC out)

Figure 4: Connection diagram of multi-level input.

전자식 릴레이(SSR)와 다이오드를 이용하여 Figure 4의 (B)와 같은 형태로 다중 레벨을 구성한다.

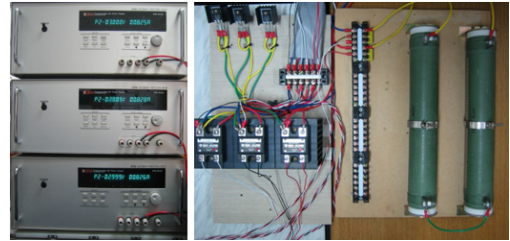
다중 레벨을 구성함에 있어서 일반 릴레이나, MOSFET, IGBT 같은 소자를 사용하지 않고, SSR을 사용하는 것은 해양 시설물의 설치환경에 주목한 것이다. 부이와 같은 해양 시설물에서는 기계적 접점을 사용하지 않는데, 이는 진동이나 습기 등으로 인하여 기계적 수명이 짧아지고, 오동작이 빈번하여 시스템이 정상동작 하는데 어려움이 많기 때문이다. 또한 MOSFET, IGBT 같은 소자는 무접점소자이나 이들을 구동하기 위해서는 별도의 드라이버 회로가 구성되어야 하며, 더욱이 다중 레벨 형태를 구동하기 위해서는 전기적으로 독립된 DC 전원이 필요하게 된다. 그러나 대부분의 해양시설물은 축전지를 기반으로 한 독립형 전력 시스템으로 이용 가능한 전원이 한정되어 있기 때문에 드라이버 회로 구성이 어려운 환경이다. 그러므로 본 연구에서는 SSR을 이용하여 다중 레벨을 구성하는 회로를 제안하였다.

3. 실험 및 분석

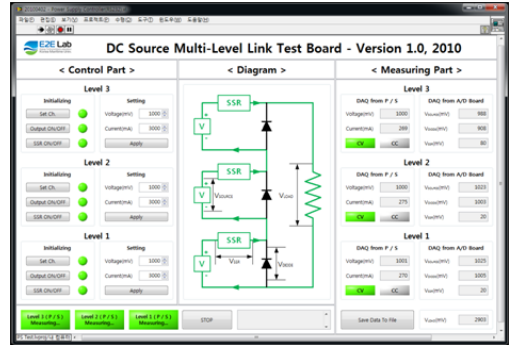
3.1 실험장치의 구성 및 개요

다중 레벨 구성 방식의 전기적 특성을 파악하기 위하여 프로그래머블 직류전원 장치를 이용, 다중 레벨 실험 장치를 구성하고 출력 특성을 파악해 보았다. 3대의 직류전원 장치의 출력 전력이 태양광, 풍력, 파력 발전 시스템의 출력 전력과 유사한 형

태로 출력되도록 제어하고, 각각의 출력 전력 조합에 따라 SSR이 동작하도록 실험 장치를 구성하였다. 부하로는 10Ω/500W의 저항을 사용하여 다중 레벨 구성 이후의 출력 전력을 계산할 수 있도록 하였다. 직류전원 장치 및 SSR은 National Instruments 사의 NI-PCI 6251 Multi-function DAP Board 와 LabVIEW를 이용하여 제어하고 각각의 출력 전압과 전류를 계속 할 수



(A) Hardware



(B) Software

Figure 5: Multi-Level test system.

Table 1: Relation of mode and output voltage(V_{Load}).

Mode	Level 1 SSR	Level 2 SSR	Level 3 SSR	Multi-Level Output Voltage(V_{Load})
1	ON	ON	ON	$V_{LEVEL1} + V_{LEVEL2} + V_{LEVEL3} - (V_{SSR1} + V_{SSR2} + V_{SSR3})$
2	ON	ON	OFF	$V_{LEVEL1} + V_{LEVEL2} - (V_{SSR1} + V_{SSR2}) - V_{DIODE3}$
3	ON	OFF	ON	$V_{LEVEL1} + V_{LEVEL3} - (V_{SSR1} + V_{SSR3}) - V_{DIODE2}$
4	OFF	ON	ON	$V_{LEVEL2} + V_{LEVEL3} - (V_{SSR2} + V_{SSR3}) - V_{DIODE1}$
5	ON	OFF	OFF	$V_{LEVEL1} - V_{SSR1} - (V_{DIODE2} + V_{DIODE3})$
6	OFF	ON	OFF	$V_{LEVEL2} - V_{SSR2} - (V_{DIODE1} + V_{DIODE3})$
7	OFF	OFF	ON	$V_{LEVEL3} - V_{SSR3} - (V_{DIODE1} + V_{DIODE2})$

있도록 구성하였다. 다음의 **Figure 5**의 (A)와 (B)는 각각 실험 장치의 하드웨어, 제어 및 계측을 위한 소프트웨어를 나타낸다.

다중 레벨 시스템은 스위칭 조합에 따라 다양한 출력 특성을 얻을 수 있다. 다음의 **Figure 6**에 다중 레벨 스위칭 조합에 따른 회로 연결도를 간략하게 나타내었으며, **Table 1**에는 스위칭 조합에 따른 출력 전압을 정리하였다.

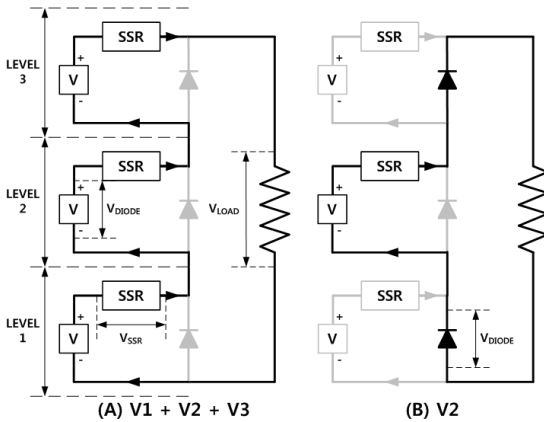


Figure 6: Connection diagram of switching circuit.

Figure 6의 (A)는 **Table 1**의 Mode 1에 해당하고, (B)는 Mode 6에 해당한다. 이러한 스위칭 모드는 각 레벨에 해당하는 재생에너지의 출력 전압 및 전력에 따라 결정된다. 본 논문에서는 태양광과 파력의 2 레벨만을 사용하여 실험하였고, 각각의 출력 전압의 합이 축전지 전압(12.5~14.5) + 1V 이상, 출력 전력이 2W 이상 예상될 때 SSR이 동작하도록 구성하였다. 예를 들어 태양광 전압이 10V, 파력 전압이 5V 정도 출력되고 이들 발전 전압의 합이 축전지 전압보다 1V 이상 높고, 각 출력 전력이 2W 이상 예상되는 경우에 두 전원을 직렬 연결하도록 SSR을 동작하였다.

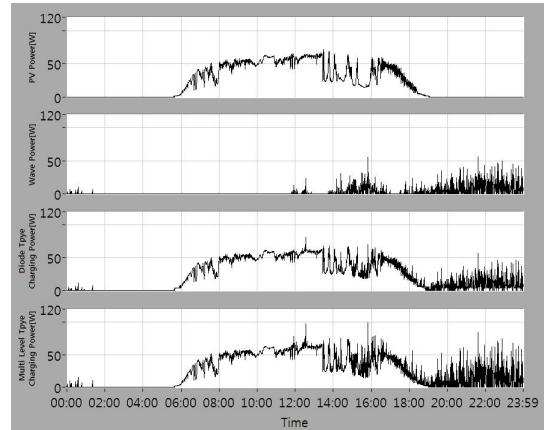
3.2 시뮬레이션 실험

태양광 및 파력 발전 장치가 설치된 부이에서의 실제 측정데이터를 기반으로 시뮬레이션 실험장치의 Level 1, 2에 태양광, 파력 발전장치의 출력 전력을 매칭하고, 출력 전력에 따라 다중 레벨의

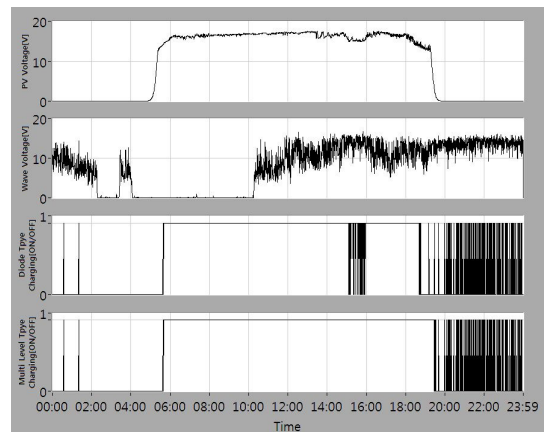
스위칭 조합을 변경하였다. 200일간의 실험 데이터 중 맑은 날, 흐린 날, 비오는 날의 데이터를 기반으로 기존 방식(Diode Type)과 다중 레벨 방식의 충전 전력, 충전 시간등을 비교하여 보았다. 기존 방식의 충전 전력은 10초 단위로 측정된 1일간의 데이터에서 다음의 식 (1)을 이용하여 계산하였으며, 다중 레벨 방식의 충전 전류는 식 (2)를 이용하여 계산하였다.

$$P_{Diode} = (V_{MB} \times A_{MB}) + (V_{SB} \times A_{SB}) \tag{1}$$

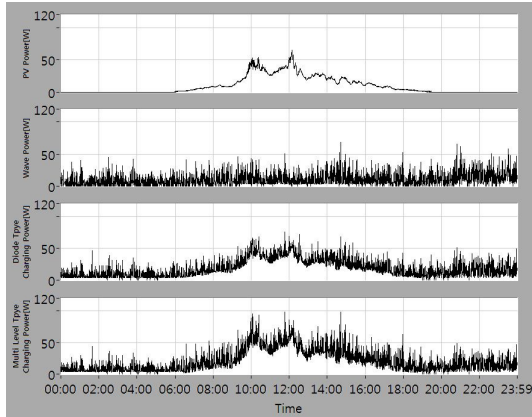
$$P_{Multi-Level} = V_{Load} \times A_{Load} \tag{2}$$



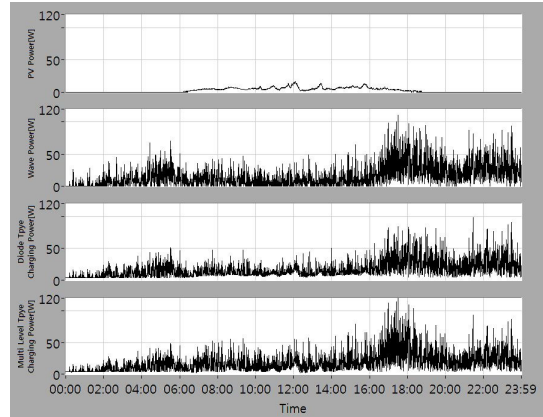
(A) Output Power & Charging Power



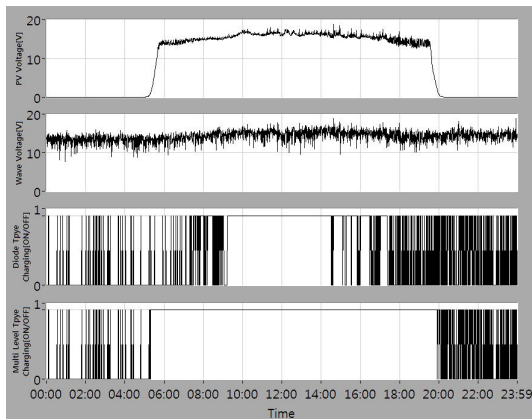
(B) Output Voltage & Charging Status
Figure 7: Waveforms of sunny day.



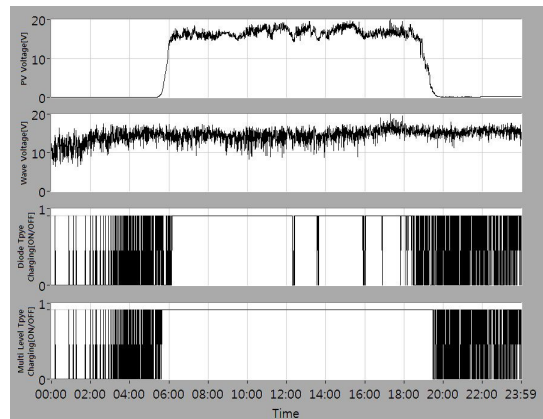
(A) Output Power & Charging Power



(A) Output Power & Charging Power



(B) Output Voltage & Charging Status



(B) Output Voltage & Charging Status

Figure 8: Waveforms of cloudy day.

Figure 9: Waveforms of rainy day.

여기서 P_{Diode} , $P_{Multi-Level}$ 은 기존 방식, 다중 레벨 방식의 충전 전력을 의미하고, V_{MB} , A_{MB} 는 주 축전지의 충전 전압 및 전류, V_{SB} , A_{SB} 는 보조축전지의 충전 전압 및 전류, V_{Load} , A_{Load} 는 다중 레벨 실험 장치의 부하에 걸리는 전압 및 전류를 의미한다. 다음의 Figure 7 ~ 9는 각각 맑은 날, 흐린 날, 비오는 날의 태양광, 파력의 발전 전력 및 충전 전력, 각각의 출력 전압 및 충전 상태 등을 나타낸 것이다.

각 그림에서 (A)는 실제로 측정된 태양광 및 파력의 출력 전력과 기존 방식에서의 실제 충전 전력, 다중 레벨 구성 시 예상되는 충전 전력을 나타낸다. (B)는 이때 태양광, 파력의 출력 전압과 기

존 방식, 다중 레벨 방식의 충전 가능 여부를 그래프로 나타낸 것이다. 충전 가능 여부는 충전 중인 경우 '1' 충전이 되지 않는 경우를 '0'으로 표기하였다. 다음의 Table 2는 Figure 7 ~ 9의 그래프를 수치화 한 것으로 충전 전력은 하루의 데이터를 평균하여 표시하였고, 충전 시간은 충전이 되는 시간을 백분율로 환산하여 나타낸 것이다.

Figure 8과 Table 2에 나타나듯이, 흐린 날씨의 경우 태양광과 파력 발전 시스템이 모두 적정 수준으로 기동하고 있을 때, 기존의 방식을 사용하는 경우 보다 약 11% 많은 전력이 출력되고 있으며, 충전 가능한 시간은 약 47% 정도 늘어난 것을 확인 할 수 있다.

Table 2: Charging power and time per day according to weather condition.

Index		Day		
		Sunny	Cloudy	Rainy
Charging Power [W]	Diode	24.05	18.54	16.41
	Multi-Level	25.30	20.70	17.88
	Incr.Rate[%]	5.19	11.62	8.95
Charging Time [%]	Diode	58.28	47.26	66.81
	Multi-Level	62.50	69.52	71.78
	Incr.Rate[%]	7.24	47.10	7.43

Figure 8에 나타나듯이, 기존 방식을 사용하는 경우에는 태양광 출력이 일정 범위 이상인 09시부터 15시 사이의 불과 6시간 동안 지속적인 충전이 가능했으나, 다중 레벨 방식을 이용하였을 경우에는 05시부터 20시 사이의 15시간 정도 지속적인 충전이 가능함을 알 수 있다. 실제 측정 데이터 및 시뮬레이션 실험 데이터가 매 10초 마다 측정된 것으로 실제 충전 시간을 표기하기에는 다소 어려움이 있지만, 기존 방식의 경우 약 11시간, 다중 레벨 방식의 경우 약 16시간으로 5시간 정도 늘어난 것을 확인 할 수 있다. 반면에 Figure 7과 Figure 9의 그림에 보이는 것처럼, 하나의 발전 시스템에만 출력 전력이 집중되는 경우에는 다중 레벨의 구성 방식이 큰 효과를 거두지 못하고 있는 것을 알 수 있다. 하지만 본 실험은 태양광과 파력 2가지 입력 전원만을 대상으로 한 것으로, 다중 레벨 구성 방식의 특성상 입력 전원의 수가 늘어날수록 효과는 증대될 것으로 예상된다.

4. 결 론

본 연구는 기존의 해양 시설물에 사용되고 있는 복합 발전 시스템의 충전 효율을 높이기 위하여 다중 레벨 방식이라는 새로운 구성을 제안하고, 이를 검증하기 위한 시뮬레이션 실험을 수행한 것이다. 태양광과 파력 발전 시스템이 설치된 부이의 실제 측정 데이터를 기반으로 한 시뮬레이션 실험 결과, 날씨 조건에 따라 충전 가능 시간은 7~47%, 하루 평균 충전전력은 5~11% 증가함을 알 수 있었다. 또한 두 개 이상의 재생에너지가 동시에 출력되고

있을 때, 더욱 확연한 효과를 확인할 수 있었다. 향후 3레벨(태양광, 풍력, 파력)이상에 대한 시뮬레이션 및 실험, 충방전 제어 장치와 연계하였을 때의 효과 등에 대한 체계적인 연구를 수행하여 다중 레벨에 따른 복합 발전 시스템의 충전 특성에 대한 분석이 필요할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 국토해양부 “해양시설물용 Hybrid 전력 생산 시스템 기술 개발”사업으로 수행된 연구결과임.

참고문헌

- [1] Ji-Young Lee, Jong-Do Kim, Jong-Ho Lee, Jin-Yeol Lee, and Jin-Seok Oh, "Research into the future development of the hybrid system for buoy", Journal of the Korean Society of Marine Engineering, vol. 31, no. 5, pp. 583-591, 2007.
- [2] Byung-Hwan Jeong, Jun-Seok Cho, Jae-Seok Gho, Gyu-Ha Choe, Eung-Sang Kim and Chang-Sung Lee, "A study on photovoltaic/wind/diesel hybrid power system", Journal of Power Electronics, vol. 3, no. 1, pp. 40-48, 2003.
- [3] 오진석, 조관준, "태양광 및 풍력 하이브리드 발전 시스템에 관한 연구", 한국마린엔지니어링학회지, 제33권, 제8호, pp. 1226-1231, 2009.
- [4] 성화창, 주영훈, 박진배, "풍력과 태양 에너지를 이용한 하이브리드 발전시스템 구현을 위한 스위칭 디지털 퍼지 제어기 개발", 퍼지 및 지능 시스템학회 논문지, 제16권, 제6호, pp. 753-758, 2006.
- [5] 정영석, 유권중, 강기환, 송진수, 김홍성, "태양광·풍력 복합발전용 PCS시스템 제어특성 분석", 전력전자학회 논문지, 제5권, 제1호, pp. 19-25, 2000.

- [6] 박세준, 윤정필, 강병복, 윤형상, 차인수, 임중열, “독립형 소형 태양광/풍력 복합발전시스템의 출력안정화를 위한 보조 전력보상장치개발에 관한 연구”, 한국태양에너지학회 논문집, 제 24권, 제3호, pp. 47-54, 2004.

저 자 소 개



오진석(吳珍錫)

1960년 3월생. 한국해양대 졸업.공학박사, 일본 큐슈대학 대학원 수료(공학박사), 1983년~1986년 영국 ZODIAC 선박회사엔지니어. 1989년~1992년 국방과학연구소 연구원. 1992년~1996년 양산대학 교수, 1996년~현재 한국해양대 교수. 2001년~2002년 영국 CARDIFF 대학 교환 교수, 2002년~2009년 중소기업산학협력단 단장, 2004년~2006년 한국마린엔지니어링학회 기획이사, 2001년~2006년 영국 K.O.Tech. 컨설턴트, 2005년~2006년 부·울 산학연 협의회 회장, 2009년~현재 산학연 ETRS 센터 소장, 2009년~2011년 선박전자기계공학부장



곽준호(郭俊浩)

1980년 7월생. 2003년 한국해양대학교 기관시스템공학부 전기전자제어전공 졸업(공학사), 2005년 동대학원 졸업(공학석사), 2010년 동대학원 박사수료.