

## 염료감응형 태양전지를 이용한 전력변환 시스템에 관한 연구

김 미정, 서 현웅, 김 진영, 심 지영, 김 희제  
부산대학교 전기공학과

### A Study of Power Conversion System using Dye-Sensitized Solar Cell

Mijeong Kim, Hyunwoong Seo, Jinyoung Kim, Jiyoung Shim, Heeje Kim  
Pusan national university electrical engineering

**Abstract** -전세계가 고유가 시대로 들어서면서 각국은 에너지 확보에 전력을 기울이고 있다. 이에 대체 에너지 개발이 미래의 중요한 과제로 여겨지고 있다. 본 연구에서는 결정질 실리콘 태양전지의 대안으로 주목 받고 있는 염료감응형 태양전지를 다루어 보았다. 유효면적 8cm<sup>2</sup>의 염료감응형 태양전지의 직병렬 조합을 이용하여 DSSC 모듈을 만들어 얻은 출력을 전력변환 시킴으로써 상용전원을 얻고자 하였다. 염료감응형 태양전지모듈을 만들기 위해 먼저 DSSC의 단위 셀을 최적화 시키고 이를 실제 광원에서 다양한 직병렬 연결 시도 끝에 모듈로부터 약 5.7V, 3A의 출력을 얻을 수 있었다. 이를 Boost converter를 이용하여 전압을 12V까지 승압하고 이 출력을 고속 스위칭 소자인 MOSFET을 이용하여 스위칭한 Push-pull converter에서 DC 310V까지 승압시켰다. 그리고 그 출력을 DSP를 이용한 20[kHz]의 PWM신호를 만들어 제어한 결과, AC 220V의 상용전원을 얻었다. 그리고 이 전원을 부하에 연결하여 그 동작 특성을 연구하였다.

#### 1. 서 론

최근 미래의 에너지 문제와 환경 문제를 극복할 수 있는 대체 에너지 원으로 태양전지에 대한 관심이 높아지고 있다. 특히 염료감응형 태양전지(DSSC : Dye Sensitized-Solar Cell)는 기존 Si계 태양전지에 비해 저렴한 제조비용, 손쉬운 제조 공정, 투명도 및 유연성 등의 장점으로 가까운 미래에 우려되는 에너지난을 해소할 수 있는 신재생 에너지 중의 하나로 주목 받고 있다[1]. 현재 태양전지 시장의 대부분을 차지하고 있는 Si계 태양전지는 고순도의 Si결정을 필요로 하고 높은 제조단가와 공정의 복잡성이 요구되어 단위 전력당 생산단가를 낮추기 위한 기술 개발이 한계에 이르렀다. 반면 DSSC는 단순한 공정과 차별화된 재료로 낮은 단가에 대량생산이 가능하고 흐린 날과 실내에서도 발전 가능한 획기적인 차별성을 지니고 있다.[3]

태양광 발전시스템 기술은 태양광 에너지를 전기에너지로 변환하는 태양전지와 태양전지로부터의 직류전력을 교류전력으로 변환하는 전력 변환 및 제어기술이라고 정의 할 수 있다. 이러한 태양광 발전시스템을 구성하는 구성요소 중에서 성능을 크게 좌우하는 것은 태양전지 모듈과 인버터를 포함한 전력변환 및 제어장치이다. 전력변환 및 제어장치의 역할은 태양전지 모듈이 발전한 직류전력을 가능한 편리하고 효율적으로, 또 안전하게 부하에 전력을 공급하는 것이다.

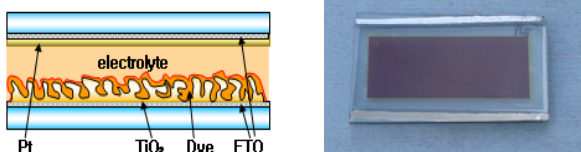
본 연구에서는 이러한 배경을 바탕으로 DSSC 모듈을 이용하여 태양 광 발전이 가능한 전력변환 시스템을 구성하고 특성을 실험했다

#### 2. 본 론

##### 2.1 DSSC 모듈

##### 2.1.1 DSSC의 제작

먼저 광전극을 준비하기 위해 TCO로 FTO를 사용하고 그 위에 닥터 블레이드 방법으로 Ti-Nanoxide HT/SP를 도포하여 450℃에서 소성 시킨다. 이러한 공정 후, Ruthenium 염료에 24시간을 담가두어 다공질의 TiO<sub>2</sub>에 염료를 흡착시킨다. 흡착되지 않고 남은 염료는 무수 에탄올로 깨끗이 세척하고 건조한다.

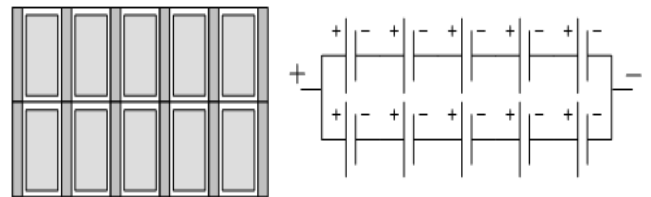


<그림 1>DSSC 구조 및 셀

그리고 FTO glass의 양끝에 sand blast로 전해질 주입을 위한 pin-hole 을 뚫어 세척하고 건조 후 13.56MHz의 고주파 전원을 인가하는 RF sputtering 방식으로 백금을 증착시켜 상대전극을 제작한다. 광전극과 상대전극을 준비한 후, 고체 접촉제를 이용하여 고온에서 광전극과 상대전극을 접합하고, 전해질을 주입한 후, 실링을 하고 마지막으로 양극을 솔더링하여 DSSC를 완성한다. 여기서 제작한 DSSC는 8cm<sup>2</sup>의 유효면적과 8:3의 가로:세로 길이 비율을 가지는 모듈 구성에 최적화된 구조를 가지는 셀이다. (그림 1 참조)

##### 2.1.2 DSSC의 모듈의 제작

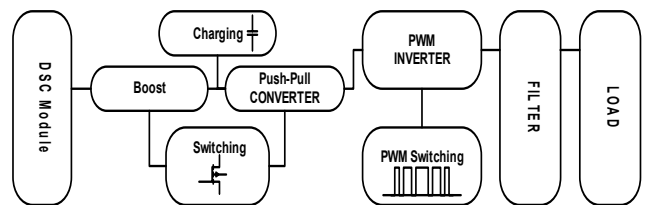
DSSC 모듈의 최적 출력을 얻기 위해 여러 가지 직병렬 조합을 시도 하였다. 그림 2와 같이 셀들을 직렬 연결함으로써 전압을 높일 수 있고, 직렬 연결된 셀들을 다시 병렬 조합함으로써 전류를 증가시켜 적절한 출력이 나오는 모듈을 구성하였다[2]. (그림 2 참조) 그 결과, 염료감응형 태양전지 모듈로부터 약 5.7V, 3A의 DC 출력을 얻을 수 있다.



<그림 2> DSSC의 모듈 개략도

##### 2.2 전력 변환 시스템

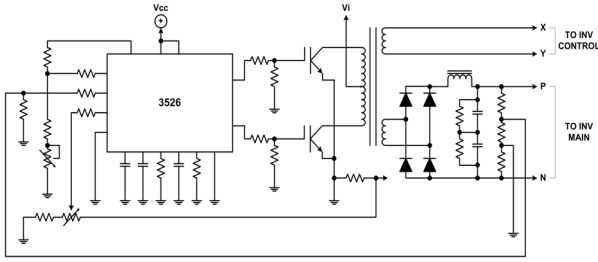
그림 3은 전력변환 시스템의 블록도를 나타낸다. 전력변환 시스템은 DSSC 모듈에서 생성되는 전류를 축전지에 저장하여 필요시에 converter와 inverter를 통해 교류전력으로 변환하여 부하에 전력을 공급하게 된다. DSSC 모듈에서는 DC 5.7V 출력 전압을 가진다. 이 출력 전압은 다시 boost converter를 통해 약 DC 12V로 승압되고 이는 Charging회로를 통해 충전된다. Push-pull converter에서는 입력 DC 12V를 이용하여 DC 310V와 DC 30V 두개의 출력을 얻을수 있다. 인버터에서는 주 전원이 되는 DC 310V를 duty 가변 PWM Full bridge 스위칭을 통해 AC 220V로 변환시킨다. 이때 inverter의 스위칭은 DSP를 통해 제어된다. 인버터의 출력은 필터를 통해 고조파가 제거되고 부하에 공급이 된다.



<그림 3> 전력변환 시스템의 블록도

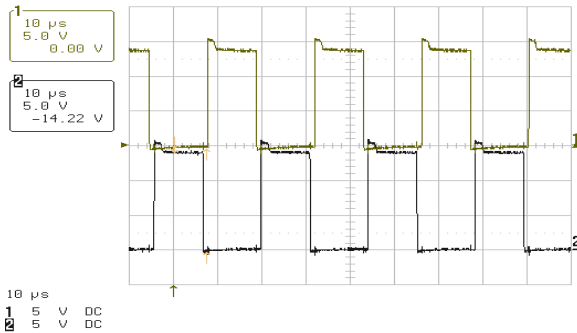
##### 2.2.1 Push-pull converter

그림 4는 Push-pull converter의 회로도이다. Push-pull converter는 DSSC 모듈의 출력이 Boost converter를 거쳐 12V로 승압된 것을 입력으로 받아 DC 30V, DC310V의 전압으로 승압시키게 된다. 본 연구에서는 리플제거 및 고효율을 위해 MOSFET을 이용한 고주파 스위칭을 구성하였다. 제안하는 Push-pull converter의 스위칭은 25μs의 주기로 2개의 MOSFET을 교대로 on, off하게 된다. MOSFET의 제어는 SG3526



〈그림 4〉 Push-pull converter의 회로구성

소자를 사용하여 스위칭 하였다. 그림 5는 Push-pull converter의 스위칭 신호를 보여준다. 두 개의 MOSFET 스위치는 약 40kHz의 주파수로 교대로 on, off 동작을 하여, Push-pull converter의 DC 입력전압이 AC 전압으로 변환이 된다. 회로의 1차측 short를 방지하기 위해 약 1μs의 dead time을 각각 주었다.



〈그림 5〉 Push-pull converter의 스위칭

이렇게 나온 AC의 출력 전압을 변압기를 사용하여 입력 전압을 상용 전압 레벨로 승압을 하였다. 이를 위해 가장 일반적으로 사용되는 변압기 설계법을 이용하여 설계하였으며, 실험을 통해 보정하는 방법을 사용하였다. 본 실험에서 적용한 C-core는  $B_{max} = 1500$  [Gauss]이며  $A_c = 1.34$  [Wb/cm<sup>2</sup>]이다. 1차측 권선수  $N_1$ 은 다음식

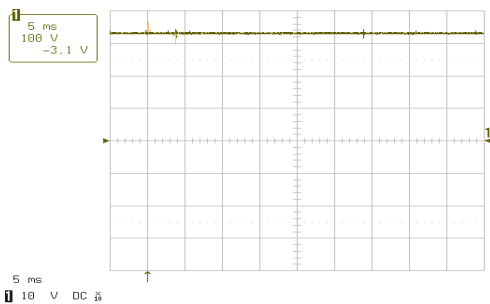
$$v_1 = 4.44N_1f_s\Phi_{max} = 4.44N_1f_sA_cB_{max}$$

( $A_c$ 는 core의 단면적,  $B_{max}$ 는 최대자속밀도)

에 의해 4[T]로 구해진다. 그리고 얻고자 하는 2차측 전류와 전압은  $I_2=1$ [A],  $V_{21}=310$ [V],  $V_{22}=30$ [V]이다. 따라서, 다음 식에 의해

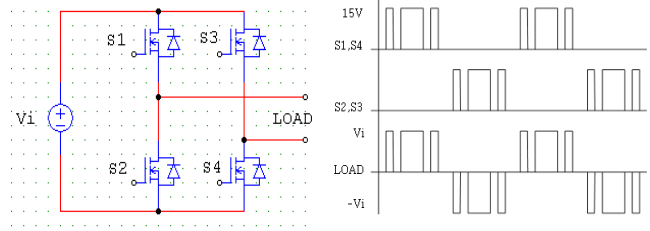
$$N_{21} = \frac{v_{21}}{v_1} = \frac{310}{12} = 104 [T] \quad N_{22} = \frac{v_{22}}{v_1} = \frac{30}{12} = 10 [T]$$

2차측 첫 번째 권선수 104[T], 두 번째 권선수 10[T]으로 구해지고, 용량  $P_o=1*310=310$ [W],  $Z_o=V_2/I_2=310/1=310$ [Ω]과 같다. 이 값으로 설계된 변압기의 2개의 출력 중 AC 220V와 AC 21V의 값을 얻을 수 있게 설계되었다. AC 220V는 보다 정교한 파형을 위해 Peak Detector에 의해 DC 310V로 변환되어 PWM 제어를 위한 인버터의 입력이 되고(그림 6), AC 21V는 DC 5V와 DC 15V로 변환되어 인버터를 제어하는 DSP의 전원과 DSP에서 출력되는 PWM 신호를 증폭시키는 전원이 된다.



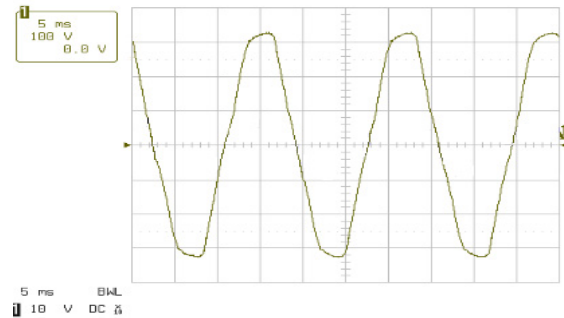
〈그림 6〉 Push-pull converter의 출력 파형

## 2.2.2 PWM inverter



〈그림 7〉 PWM 제어 방식

Push-pull converter의 출력 DC 310V를 입력으로 받아 DSP에서 출력되는 20kHz의 duty 가변형 Pulse를 이용해 그림 7과 같은 인버터의 Full Bridge를 제어하게 된다[4],[5],[6]. Full Bridge의 스위칭에 의해 Push-pull converter 출력 전압이 그림 8과 같이 duty 50%의 AC 220V로 변환된다.



〈그림 8〉 전력변환 시스템의 출력 파형

## 3. 결 론

본 연구에서는 DSSC module과 DSP 마이크로프로세서를 이용한 전력 변환 시스템의 특성을 연구하였다. 먼저 DSSC의 단위셀의 크기를 최적화시키고 그 셀들을 이용하여 다양한 직, 병렬 조합을 통해 다시 한번 모듈을 최적화시킨 결과, 출력전압 5.7V, 출력전류 3A의 모듈을 완성하였다. 이 전원을 이용하여 실생활에 이용할 수 있는 상용전원으로 만들기 위해 Boost converter 및 Push-pull converter를 적용하였고 DSP로부터 얻어진 20kHz의 PWM신호를 이용해 converter의 출력을 PWM 제어함으로써 인버터의 안정된 스위칭 동작 특성을 확인하였다. 결과적으로 얻어진 상용 전원 60Hz, AC 220V로 12W 스탠드 램프를 구동하는데 적용시켜 동작을 확인하였다. 이로 미루어 보아 태양광에너지를 전기에너지로 변환시킴으로서 실용적인 대체 에너지로서의 DSSC의 가능성을 확인할 수 있었다.

## 후기

본 연구는 한국과학재단 기초과학연구사업기금 (No. R01-2004-000-10318-0)에 의한 염료 감응형 태양전지 연구의 일환으로 수행되었습니다.

## 참고 문헌

- [1] B. O'Regan, M. Grätzel, "Optical electrochemistry I: steady-state spectroscopy of conduction band electrons in a metal oxide semiconductor electrode", Chemical Physics Letters, Volume, 1991
- [2] Naoki Koide, "Improvement of efficiency of dye-sensitized solar cells based on analysis of equivalent circuit", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry, Volume 164, Issues 1-3, 193-198, 2006
- [3] Tatsuo Toyoda, Toshiyuki Sano, Junji Nakajima, Syouchi Doi, Syungo Fukumoto, "Outdoor performance of large scale DSC modules", Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry 164, 203-207, 2004
- [4] C. Hua, J. Lin, C. Shen, Implementation of a DSP-controlled photovoltaic system with peak power tracking, IEEE Trans. Ind. Electron. 45, 99-107, 1998
- [5] R.Wu, S.B Dewan, and G.R.Slemon, "A PWM ac to dc converter with fixed switching frequency," in Conf. Rec. IEEE-IAS, pp.706-711, 1988
- [6] "TMS320LF/LC240xA DSP Controllers Reference Guide" Literature Number: SPRU3578B Revised December 2001