

## SMPS 기술을 이용한 염료감응형 태양전지 투명 전극 식각용 Nd:YAG 레이저 시스템 간략화 연구

손민규\*, 김진경\*, 최진호\*, 최석원\*, 김병만\*, 권민재\*, 김희제\*  
부산대학교 전자전기공학과\*

### A study on the simplification of the Nd:YAG laser system for scribing the transparent conductive oxide of the dye-sensitized solar cell by using SMPS

Min-Kyu Son\*, Jin-Kyoung Kim\*, Jinho Choi\*, Seok-Won Choi\*, Byung-Man Kim\*, Min-Jae Kwon\*, Hee-Je Kim\*  
Department of Electrical Engineering, Pusan National University\*

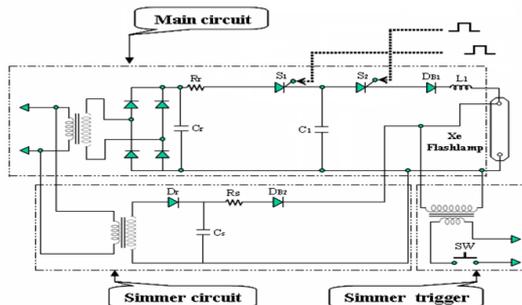
**Abstract** - Scribing the transparent conductive oxide(TCO) is an essential technology for the large scaled dye-sensitized solar cell(DSC) and the commercialization of the DSC. Laser systems are most used for scribing technology due to their precision. However, it is difficult to generalize systems because most systems are large and heavy. In this study, we tried to simplicate the Nd:YAG laser system for scribing TCO of the DSC by using switched mode power supply(SMPS) technique. The continuous conduction mode booster converter topology is applied and MC34262 power factor controller is used for the variable frequency control. Finally, SMPS circuit which specifications are 400W of capacity, 400V DC output and 98% of efficiency is fabricated. And it is demonstrated that the scribing TCO is completed by the Nd:YAG laser using this SMPS circuit.

#### 1. 서 론

염료감응형 태양전지(Dye-sensitized Solar Cell : DSC)는 저가화, 다양한 색상 창출, 유연성, 투명성, 다양한 응용성 등의 장점을 바탕으로 결정형 실리콘 태양전지를 대체할 차세대 태양전지로 각광을 받고 있다 [1-3]. 1991년 스위스 EPFL의 Michael Gratzel 교수가 DSC를 개발한 이래로 많은 연구가 진행되어 단위셀의 경우 11%이상의 고효율을 기록하였으며 현재는 상용화를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. DSC의 상용화 연구는 모듈 형태 중심으로 고효율화 및 장기안정성 확보 연구가 이루어 지고 있으며 이와 더불어 상용화 인프라 구축을 위한 관련 기술 및 제작 장비에 대한 연구도 함께 진행되고 있다. 특히 투명 전도성 기판(Transparent Conductive Oxide : TCO) 식각 기술은 DSC 모듈 각각의 내부 셀을 나누기 위한 기술로 모듈 제작에는 반드시 필요한 기술이므로 이를 위한 관련 시스템 개발 및 연구는 필수적이라고 할 수 있다. 일반적으로 많이 사용되는 TCO 식각 기술은 Sand Blast를 이용한 물리적 식각[4], 화학적 방법을 이용한 화학적 식각[5], 레이저를 이용한 식각[6] 등이 있으나 인체에 무해하고 정밀한 식각이 가능한 레이저를 이용한 방법이 보편적으로 사용되고 있다. 하지만 이러한 대부분의 레이저 식각 시스템은 고가이며 해외 의존도가 크고 크기가 커서 DSC의 원가 절감은 물론 시스템 구축 및 보편화에 어려움이 많았다. 따라서 본 연구에서는 이전 연구[7]에서 사용된 펄스형 Nd:YAG 레이저 시스템을 기반으로 스위칭 모드 전원(Switched-Mode Power Supply : SMPS) 기술을 적용하여 시스템을 간략화 함으로써 레이저 식각 시스템의 경량화 및 소형화를 실현하여 DSC 투명전극 식각 시스템의 저가화와 보편화의 기반을 마련하고자 하였다.

#### 2. 본 론

##### 2.1 기존 펄스형 Nd:YAG 레이저 회로 분석



〈그림 1〉 펄스형 Nd:YAG 레이저 동작 회로

그림 1은 기존 펄스형 Nd:YAG 레이저를 구동하기 위한 순차 충전방전(Sequential Charge And Discharge Circuit : SCADC) 회로를 나타내고 있으며 이는 Simmer Trigger 회로, Simmer 회로, Main 회로 3부분으로 나뉘어 진다. Simmer Trigger 회로는 펄스형 고전압(10~15kV)을 걸어 주어 Xenon flashlamp의 초기 무한대 저항을 줄여 주어 초기 방전을 시키는 역할을 한다. 이를 통해 펄스형 Nd:YAG 레이저 동작 준비가 완료된다. Simmer 회로의 경우 DC 고전압을 걸어주어 Simmer Trigger 회로에 의해서 시작된 Xenon flashlamp의 초기 방전을 유지 시키는 역할을 한다. 이렇게 준비된 Nd:YAG 레이저는 Main 회로에 의해 펄스형의 레이저 빔을 출력하게 된다.

Main 회로는 입력을 원하는 레벨의 전압으로 상승 시켜주는 변압기와 교류 형태의 입력을 직류 형태의 출력으로 만들어 주는 정류부, 펄스형 출력을 내보내는 스위칭 소자 부분으로 이루어져 있다. 변압기와 정류부를 거쳐 나온 출력은 교번하는 스위칭 신호에 의해서 펄스형태로 나오게 된다. S1에 스위칭 ON 신호가 들어가게 되면 커패시터 C1에 에너지가 충전되게 되며 S1의 스위칭 신호가 OFF되고 S2에 스위칭 ON 신호가 들어가게 되면 저장된 에너지가 Xenon Flashlamp에 전달되면서 레이저 빔이 나게 된다. 이 때 출력 레이저 빔의 에너지는 다음 식에 의해서 계산이 된다.

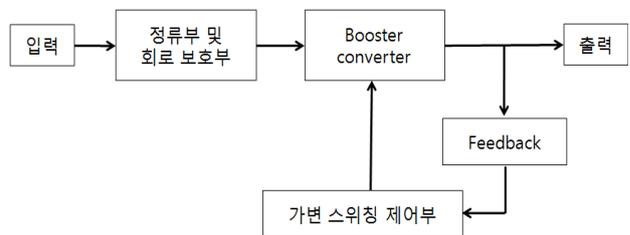
$$Energy = \frac{1}{2} CV^2(pps) \quad (1)$$

위 식에서 C는 커패시터의 용량, V는 입력 전압, pps는 pulse per second의 약자로 펄스형 레이저 빔의 반복율을 나타낸다. 이렇게 출력되는 레이저 빔의 에너지가 열에너지 형태로 변화되어 TCO의 투명 전도성 물질을 벗겨냄으로써 DSC 모듈 식각이 완성된다.

기존의 Nd:YAG 레이저 Main 회로에서는 레이저 동작에 필요한 직류 고전압 출력을 내기 위해 대용량 변압기와 정류에 필요한 브리지 다이오드 및 대용량 커패시터가 사용되었다. 이 부분은 효과적으로 원하는 직류 고전압 출력을 내는데 적합하지만 변압기와 대용량 커패시터가 크기가 크며 무게가 많이 나가는 단점을 가지고 있어 해당 시스템을 경량화하고 소형화 하는데 한계를 가지고 있다.

##### 2.2 SMPS를 이용한 Nd:YAG 레이저 회로 간략화

따라서 본 연구에서는 대용량 변압기와 대용량 커패시터가 있는 Main 회로의 앞부분을 가변 스위칭 제어기가 되는 Booster Converter 회로를 도입하여 경량화 및 소형화를 하고자 하였다. 그림 2는 Nd:YAG 레이저 회로 간략화를 위해 도입한 SMPS 기술을 적용한 고전압 DC 출력 회로의 블록도이다.

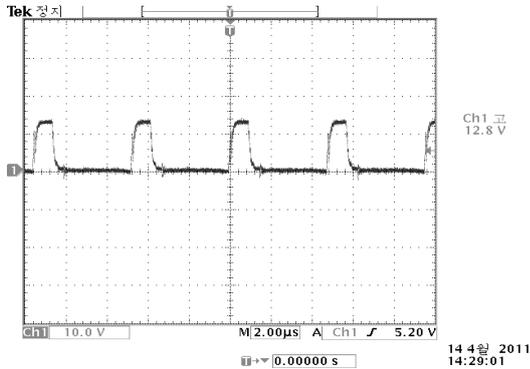


〈그림 2〉 SMPS 기술을 적용한 고전압 DC 출력 회로 블록도

기존의 Nd:YAG 레이저 회로와 같이 원하는 수준의 고전압 DC 출력을 얻기 위하여 가변 스위칭 제어부가 있는 연속 모드(Continuous Conduction Mode)의 Booster Converter Topology를 사용하였다. 또한 역률 개선(Power Factor Correction, PFC) 기술을 도입하여 SMPS형 전원 장치의 효율을 높이도록 설계하였다.

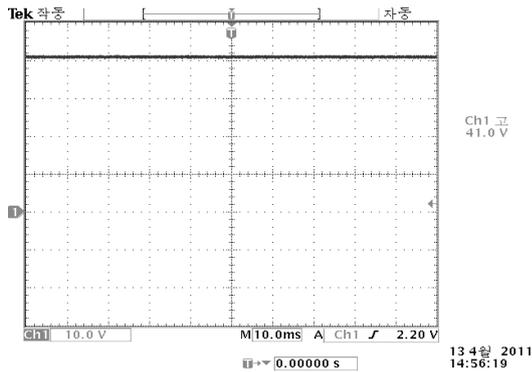
Booster Converter를 제어하기 위한 가변 스위칭 제어부는 MC34262

PFC 제어칩을 이용하여 구성하였으며 이를 통해 출력 전압, 입력 전류 및 입력 전압을 감지하여 효과적으로 원하고자 하는 출력이 안정적으로 나오게 하였다. 그림 3은 MC34262 제어칩의 출력단에서 나오는 가변 스위칭 파형으로 Feedback 신호에 따라 주파수를 가변하여 Booster Converter에 제어 신호를 넣어주어 안정적인 SMPS 출력이 나오도록 한다.



〈그림 3〉 MC34262 제어칩의 출력단의 가변 스위칭 파형

Booster Converter 이전 단계에는 회로 보호부를 넣어 급작스런 환경 변화에서 SMPS 회로를 보호할 수 있도록 설계하여 회로의 안정성을 확보하였다. 그림 4는 SMPS 전원 장치의 출력단의 출력 신호로 안정적으로 고전압의 직류 전압(40V × 배율 10배 = 400V)이 나오는 것을 확인할 수 있다.



〈그림 4〉 SMPS 전원 장치 출력단 출력 신호

그림 5는 실제 제작된 펄스형 Nd:YAG 레이저 시스템을 위한 SMPS 전원 장치 모습이다. 본 연구에서 제작된 SMPS 전원 장치는 출력 400V, 용량 400Watt 이며 입, 출력 효율은 약 98% 수준에 이른다.



〈그림 5〉 실제 제작된 펄스형 Nd:YAG 레이저 SMPS 전원 장치

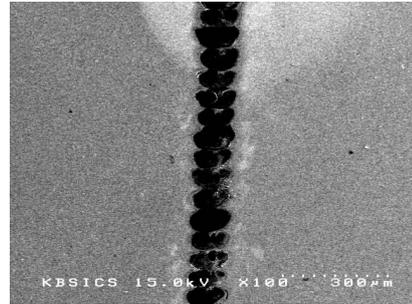
표 1은 기존의 전원 장치 및 본 연구에서 제작된 SMPS형 전원 장치의 크기를 나타낸 것이다. 표 1의 데이터를 바탕으로 판단 할 때, SMPS형 전원 장치가 기존의 전원 장치에 비해 크기 및 무게가 크게 줄어들었음을 알 수 있다. 이를 통해 DSC의 TCO 식각을 위한 펄스형 Nd:YAG 레이저 회로의 간략화 및 경량화를 실현할 수 있었다.

〈표 1〉 전원 장치의 크기 비교(기존/SMPS형)

	기존 전원 장치	SMPS형 전원 장치
크기	40(L) × 40(W) × 30(H) cm	14(L) × 8(W) × 7(H) cm

### 2.3 Nd:YAG 레이저 회로 동작 확인 및 식각에의 적용

SMPS 기술에 의해 간략화된 회로를 이용하여 펄스형 Nd:YAG 레이저 동작을 확인한 결과 1pps의 펄스 반복율로 레이저 빔이 출력됨을 확인할 수 있었다. 아울러 이를 이용하여 DSC에 사용되는 TCO 중 하나인 FTO(Fluorine doped Tin Oxide)의 식각을 처리한 결과 그림 6과 같이 레이저 빔의 출력 에너지에 의해 투명 전도성 막이 벗겨져 식각이 되었음을 확인할 수 있었다.



〈그림 6〉 FTO 식각면 SEM(Scanning Electron Microscope) 이미지

## 3. 결 론

본 연구에서는 SMPS 기술을 도입하여 기존의 무겁고 큰 펄스형 Nd:YAG 동작 회로를 간략화 함으로써 DSC 투명 전극 식각용 Nd:YAG 레이저 시스템의 경량화 및 소형화를 실현하고자 하였다. 이를 위해서 연속 모드형 Booster Converter Topology를 도입하고 MC34262 PFC 제어칩을 이용하여 가변 주파수 제어를 구현하여 SMPS 회로를 제작하였다. 이를 통해 400W 용량과 DC 400V 출력, 입·출력 효율이 약 98% 수준에 이르는 성능을 가진 SMPS 회로를 제작하는데 성공하였다. 이와 더불어 이를 Nd:YAG 레이저 동작에 적용하여 TCO 식각을 성공함으로써 DSC 투명 전극 식각용 Nd:YAG 레이저 시스템의 경량화 및 소형화를 성공적으로 실현할 수 있었다.

### [참 고 문 헌]

- [1] B. O'Regan, M. Gratzel, "A low-cost, high efficiency solar cell based on dye-sensitized colloidal TiO<sub>2</sub> films", Nature, 353, pp. 737-740, 1991
- [2] M. Gratzel, "Photochemical cells", Nature, 414, pp. 338-344, 2001
- [3] M. Gratzel, "Solar energy conversion by dye-sensitized photovoltaic cells", Inorganic Chemistry, 44, pp. 6841-6851, 2005
- [4] M. Biancardo, K. West, F.C. Krebs, "Optimizations of large area quasi-solid-state dye-sensitized solar cells", Solar Energy Materials and Solar Cells, 90, pp. 2575-2588, 2006
- [5] H. Wang, Y. Liu, H. Xu, X. Dong, H. Shen, Y. Wang, H. Yang, "An investigation on the novel structure of dye-sensitized solar cell with integrated photoanode" Renewable Energy, 34, pp. 1635-1638, 2009
- [6] 서현용, 손민규, 이경준, 김정훈, 홍지태, 김희제, "레이저 식각 및 그리드 전극을 적용한 염료감응형 태양전지의 효율 향상 연구", 대한전기학회논문지 57권 10호, pp. 1802-1806, 2008
- [7] 김희제, 박성준, 손민규, 이동길, 이경준, "펄스형 Nd:YAG 레이저를 이용한 FTO 식각에 대한 연구", 대한전기학회논문지 57권 8호, pp. 1407-1411, 2008