

# 양방향성 광전지를 이용한 전하균형을 이루는 광전지 기반 망막 보철

이재욱<sup>1\*</sup>, 정희수<sup>2</sup>, 전상범<sup>2</sup>, 엄경식<sup>3</sup>

부산대학교 전기전자공학과<sup>1</sup>

이화여자대학교 전자전기공학과<sup>2</sup>

부산대학교 전자공학과<sup>3</sup>

## Charge balanced photovoltaic retinal prosthesis using bidirectional photodiode.

Jaewook Lee<sup>1\*</sup>, Heesoo Jeong<sup>2</sup>, Sangbeom Jun<sup>2</sup>, Kyungsik Eom<sup>3</sup>

Department of Electrical and Electronics Engineering, Pusan National University, Busan, Korea<sup>1</sup>

Department of Electronic and Electrical Engineering, Ewha Womans University, Seoul, Korea<sup>2</sup>

Department of Electronics Engineering, Pusan National University, Busan, Korea<sup>3</sup>

\*wodnr5093@pusan.ac.kr

### Abstract

One of the methods to overcome retinal disease is to fabricate an array-type photovoltaic retinal prosthesis using photodiodes and insert it into the eye to restore vision. However, the conventional photovoltaic RP suffers from possible electrode and tissue damage due to the charge accumulation as a result of inevitable monophasic stimulation waveform. In this study, we demonstrated biphasic stimulation methodology using bidirectional photodiode enabling charged balanced stimulation. The Solar cells are arranged in both directions on PCB board, and biphasic stimulation can be created by switching each light exposure region Using DLP Projector. Using a micro electrode array (MEA) system, the generated stimuli were applied to the retina layer of mouse and the responses were recorded.

### 1. 연구 배경

오늘날까지 망막색소변성증(Retinitis Pigmentosa), 혹은 노인환반변성(Age-related Macular Degeneration) 등 광수용체의 기능 장애로 인한 시력저하를 극복하기 위한 여러 종류의 전기적 보철 장치가 개발되어 왔다[1]. 이러한 보철 장치는 망막 상피, 또는 망막 내에 삽입되어 망막 신경절 세포를 자극하여 시각기능을 회복시키는 것에 중점을 두고 있다. 특히 최근 연구되고 있는 광전지 소자를 기반으로 하는 장치는 외부의 유/무선 전원 공급 장치 및 부수적인 외과 수술의 생략을 통하여 삽입이 간편하며 가볍고, 후유증을 줄일 수 있는 이점을 지니게 되었다[2].

하지만 광전지 소자가 단방향으로 배열된 경우는 비에 노출되어 발생된 자극 신호는 단상(monophasic)의 형태만 출력이 가능하다. 따라서 자극으로 인해 전하 균형이 이루어지지 않고, 비가역적인 화학 반응이 발생하여 조직이 손상되는 위험성이 존재한다[3].

이러한 문제를 극복하기 위하여 직접적인 이상 자극 신호를 생성할 수 있는 망막 보철 시스템을 고안하고자 했다. 빛을 두 구역으로 나누어 제작한 광전지 장치에 위치 및 시간을 분리되도록 조사하였다. 발생된 신호는 망막층으로 인가하여 자극으로 인한 광수용체의 반응이 발생되었는지 관찰하였다.

### 2. 연구 방법

해당 실험에 이용된 시스템은 DMD(Digital Mirror Device)기반의 DLP 프로젝터(DLP2010evm-1c, Texas Instruments, 텍사스, 미국)를 광원으로 이용하였으며, 광전지 장치는 실리콘 기반 솔라셀(KXOB25-04X3F-TB, ANYSOLAR Ltd, 경기도, 대한민국)을 두 행으로 나누어 PCB기판 위에 총 4개(4-Solarcell Array, 4-SCA), 혹은 8개(8-SCA)를 솔더링 하여 제작하였다. 자극 대상인 망막층은 WT

mice의 안구로부터 절개하여 이용하였다. 기록이 이루어진 MEA 시스템(Multi Channel Systems MCS GmbH, 로이틀링겐, 독일)은 다중 전극 어레이, 60pMEA200/30iR-ITO-pr, 증폭기(MEA 1060-Inv-BC) 및 전원 공급기(PS40W), 그리고

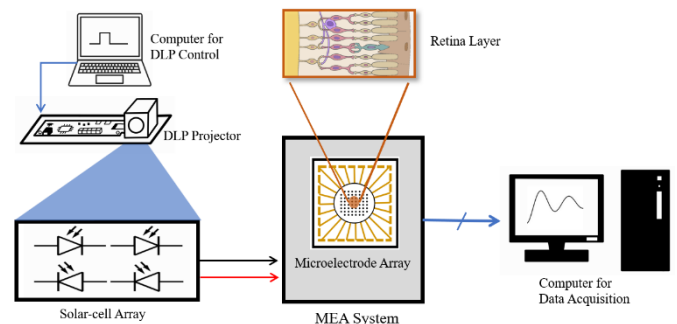


그림 1. 망막 신경 자극을 위한 신경 자극 신호 주입 및 기록 설정의 개략도.

온도 제어기(TC02)와 데이터 획득을 장치(USB-ME64-System)를 포함하며 이는 제공되는 소프트웨어(MC\_Rack)를 이용해 확인하였다.

광원은 광전지 장치로부터 수직으로 약 14cm 떨어진 지점에 배치되었으며 광량은 파란색 ( $\lambda = 450nm$ ) 광원을 기준으로 전류공급량을 8단계(101, 200, 300, 400, 500, 600, 700, 769 mA)로 나누어 조절되었다. 광전지 장치에 빛이 조사되는 시간은 각 광전지 소자 열 당 500us씩, 260us의 간격을 두어 할당하였다

제작한 광전지 장치와 연결된 다중 전극 어레이 위에 망막층이 비치되었으며 자극을 인가할 때 MEA 시스템에서 2차 버터워스 유형의 고역 통과 필터( $f=1Hz$ ) 및 저역 통과

필터( $f=5\text{kHz}$ )를 거쳐 기록되도록 설정하였다. 획득된 신경자극 기록은 소프트웨어 상에서 추가적인 고역 통과 필터( $f=0.5\text{kHz}$ ) 및 감지기능을 통해 자극 유무를 확인하였다.

### 3. 연구 결과

기록된 실험 결과로부터 자극과 반응의 관계를 추정하였다. 모든 조합 중 8-SCA에서 광원전류가 101mA일 때, 4-SCA에서 101mA, 200mA, 300mA일 때의 전류에서 망막층의 반응이 기록되었다. PSTH(Peristimulus Time Histogram)를 작성해 그려본 결과 8-SCA는 자극의 약 75%가 자극 직후 시간대에 집중 되어있으나 4-SCA에는 시간대 전체에 고르게 분포된 것을 관찰하였다[그림 2].

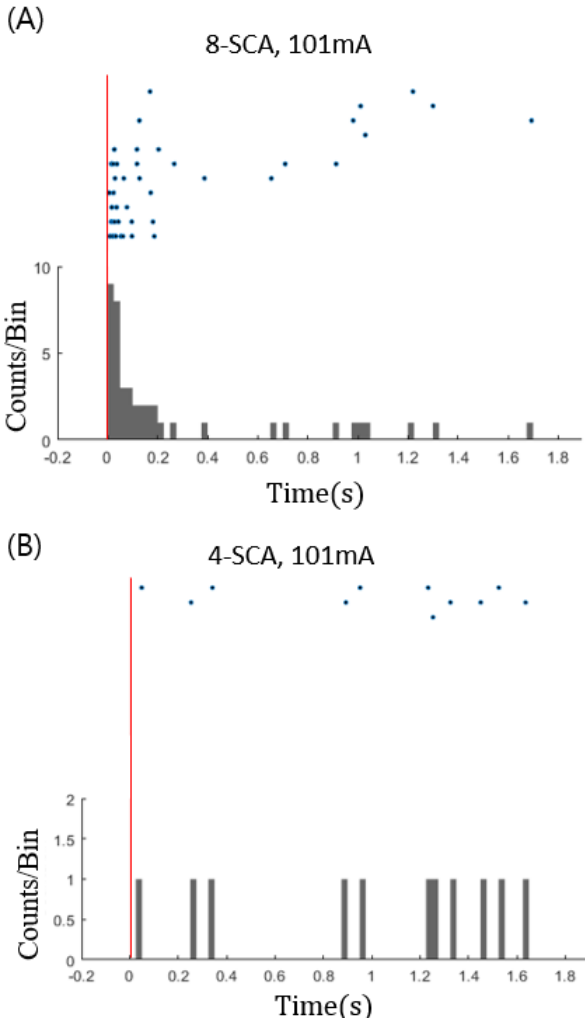


그림 2. 101mA를 인가한 경우 기록된 신경기록 데이터 (A). 8-SCA, (B)4-SCA

8-SCA를 이용한 경우 자극에 대한 신경반응이 관찰되었기에 이 때 주입된 전하량을 추정하고자 다중 전극 어레이의 임피던스 크기와 광전지의 전류를 구하였다. 다중 전극 어레이의 임피던스 성분은 전기화학 임피던스 분광법을 통하여 주파수에 따른 등가 임피던스 성분을 획득하였으며 그 중 자극 주파수인 1kHz 지점 부근에서 약 250k $\Omega$ 의 크기를 가지는 것을 파악하였다[그림 3].

광전지의 전류는 밝기와 바이어스 전압에 따라 광전류가 생성되는 크기를 측정하여 기존 포토 다이오드의 방정식의 형태로 표현하였다. 이를 통하여 8-SCA에 대해 101mA의 밝기가 조사되는 경우 다중 전극 어레이의 임피던스 값으로

인해 1 $\mu\text{A}$ 의 전류가 생성되며, 3.4V의 전압이 형성되는 것을 알 수 있다. 이를 바탕으로 한 위상에 대해 다중 전극 어레이를 통해 흐르는 전류는 최대 약 1 $\mu\text{A}$ , 주입되는 전하량은 2.1nF인 것을 알 수 있다[그림 4].

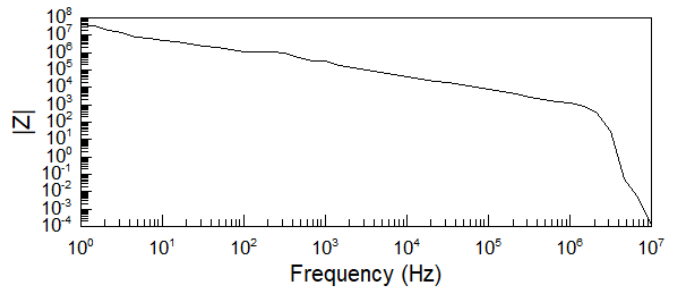


그림 3. 사용된 다중 전극 어레이의 주파수에 따른 임피던스 성분의 크기

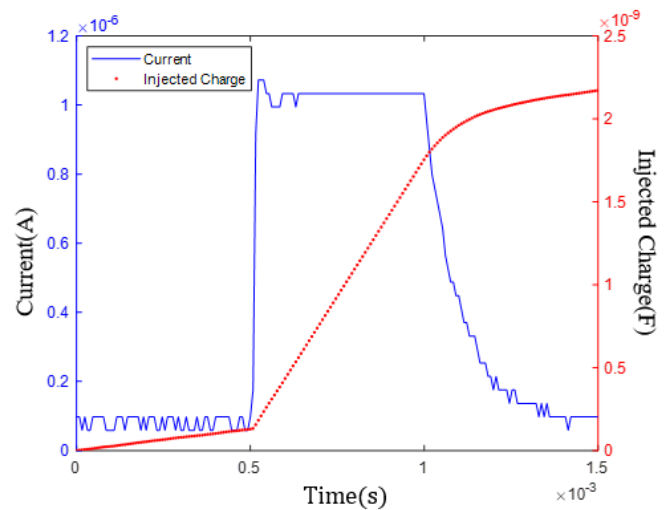


그림4. 시간에 따라 다중 전극 어레이에 흐른 전류와 주입된 전하량

4-SCA는 이보다 전압, 전하공급량이 작기 때문에 위 결과를 바탕으로 삽입가능한 인공 망막 보철을 제작할 시 요구되는 기준을 8-SCA를 기준으로 설정할 수 있을 것이다.

### 4. Acknowledgements

이 성과는 2020년도 정부(과학기술정보통신부)의 재원으로 한국연구재단 (MSIT) (2020R1C1C1010505)과 BK21PLUS, 4차 산업혁명 ICT융합을 위한 창의적 인재 교육 및 연구프로그램의 지원을 받아 수행하였음.

### 5.참고 문헌

[1] Sachs, H. G. & Gabel, V. P. Retinal replacement the development of microelectronic retinal prostheses - Experience with subretinal implants and new aspects. *Graefe's Archive for Clinical and Experimental Ophthalmology* vol. 242 717–723 (2004).  
 [2] Mathieson, K. *et al.* Photovoltaic retinal prosthesis with high pixel density. *Nature Photonics* **6**, 391–397 (2012).  
 [3] Merrill, D. R., Bikson, M. & Jefferys, J. G. R. Electrical stimulation of excitable tissue: Design of efficacious and safe protocols. *Journal of Neuroscience Methods* vol. 141 171–198 (2005).