

<https://doi.org/10.7236/JIIBC.2023.23.5.139>  
JIIBC 2023-5-21

# C-dump 컨버터를 이용한 BLDC 전동기 구동

## BLDC Motor Drive using C-dump Converter

정성인\*

Sungin Jeong\*

**요약** 토크, 효율 등 전동기의 최대특성을 얻기 위해 모든 전동기는 각 전동기 특성에 맞게 설계된 범용인버터를 기본적으로 사용한다. 그러나 최근 연구 결과들을 살펴보면 BLDC 범용인버터인 6-스위치 인버터를 이용한 SRM 구동 연구, 3상 BLDC 전동기를 4-스위치 인버터를 이용한 구동 연구사례들을 살펴볼 수 있다. 따라서 기존 범용인버터에서 벗어나 각 전동기를 구동할 수 있는 구동 및 제어에 대한 여러 방법에 대해 접근하여 연구 방법들을 모색할 수 있다. 이러한 연구 경향에 맞춰 본 논문에서는 SRM 구동용 컨버터인 C-dump 형태의 컨버터를 BLDC 전동기의 구동 드라이버로 적용하여 이에 대한 특성과 가능성에 관해 연구하였다.

**Abstract** In order to obtain the maximum characteristics of motors such as torque and efficiency, all motors basically use universal inverters designed for each motor's characteristics. However, if you look at the recent research results, you can see cases of SRM(Switched Reluctance Motor) driving studies using 6-switch inverters, which are BLDC(Brushless DC Motor) universal inverters, and research cases of driving 3-phase BLDC motors using 4-switch inverters. Therefore, it is possible to search for research methods by approaching various methods of driving and control that can drive each motor apart from the existing universal inverter. In line with this research trend, in this paper, a C-dump type converter, which is an SRM drive converter, was applied as a drive driver for a BLDC motor, and its characteristics and possibilities were studied.

**Key Words** : BLDC, SRM, Universal inverter, 6-switch inverters, C-dump type converter, Driving, Control

### 1. 서 론

일반적으로 역기전력이 사다리꼴 형태를 지닌 BLDC (Brushless DC Motor) 전동기의 경우, 6-스위치 인버터를 이용하여 3상 2여자 방식으로 구동하게 된다. 이 구동 방식은 전동기의 각 상당 역기전력이 반주기마다 120도의 평탄한 구간을 갖는데, 이 구간에서 구형파 전류를

인가하여 직류전동기와 유사하게 구동하는 방법이다.<sup>[1,2]</sup> BLDC 전동기의 경우 회전자에 공급하는 자속의 절대적인 위치에 제어각을 동기 시켜야 하므로 회전자에 절대적인 위치정보가 반드시 요구된다. 따라서 전동기를 제어하기 위한 여러 가지 제어 기법들은 전동기의 정확한 속도와 위치정보가 필요하므로 회전자에 절대적인 위치 정보를 얻기 위해서 일반적으로 홀센서(Hall-sensor)를

\*정회원, 광주대학교 전기공학과  
접수일자 2023년 8월 15일, 수정완료 2023년 9월 15일  
게재확정일자 2023년 10월 6일

Received: 15 August, 2023 / Revised: 15 September, 2023 /  
Accepted: 6 October, 2023

\*Corresponding Author: si.jeong@gwangju.ac.kr  
Department of Electrical Engineering, Gwangju University,  
Gwangju, Korea

사용한다.

반면에 SRM(Switched Reluctance Motor)을 구동하기 위해서는 일반적으로 상당 2개의 스위치와 2개의 환류 다이오드를 가지는 구조의 비대칭 브리지 컨버터(Asymmetric Bridge Converter)를 범용인버터로 사용하며 회전자 위치정보를 얻기 위한 위치 센서가 필요하다.

BLDC 전동기와 SRM을 통해 살펴보았듯이 토크, 효율 등 전동기의 최대특성을 얻기 위해 모든 전동기는 각 전동기 특성에 맞게 설계된 범용인버터를 기본적으로 사용한다. 그러나 최근 연구 결과들을 살펴보면 BLDC 범용인버터인 6-스위치 인버터를 이용한 SRM 구동 연구, 3상 BLDC 전동기를 4-스위치 인버터를 이용한 구동 연구 사례들을 살펴볼 수 있다.<sup>[3,4]</sup> 따라서 기존 범용인버터에서 벗어나 각 전동기를 구동할 시킬 수 있는 구동 및 제어에 대한 여러 방법에 대해 접근하여 연구 방법들을 모색할 수 있다. 이러한 연구 경향에 맞춰 본 논문에서는 SRM 구동용 컨버터인 C-dump 형태의 컨버터를 BLDC 전동기의 구동 드라이버로 적용하여 이에 대한 특성과 가능성에 관해 연구하였다.

## II. 6-스위치 인버터를 이용한 BLDC 전동기 구동

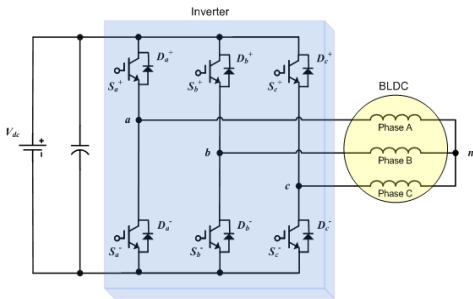


그림 1. BLDC 전동기와 구동 인버터  
Fig. 1. BLDC motors and drive inverters

일반적으로 역기전력이 사다리꼴 형태를 지닌 BLDC 전동기의 경우, 그림 1과 같이 6-스위치 인버터를 이용하여 3상 2여자 방식으로 구동하게 된다. 또한 BLDC 전동기를 제어하기 위해서는 회전자의 회전속도와 회전위치에 대한 정보가 필요하다.

그림 2(a)는 BLDC 전동기 각상의 전류 파형으로 스위칭 소자가 120도 기간 동안 온 되는 정류작용이 완료 되면 다음 60도 기간은 오프 상태를 유지하는 특성이 있다.

또한 위치판별용 센서로 사용하는 홀센서(Hall-sensor)는 그림 2(b)와 같이 120도의 위상차를 가지고 발생하며, 각상은 서로 60도씩 교차하게 되어있다. 이 신호를 기준으로 각 신호의 상승부와 하강부 부분을 검출하여 60도마다 발생하는 펄스를 이용하여 저(低) 분해능의 엔코더(encoder)를 구성할 수 있다.

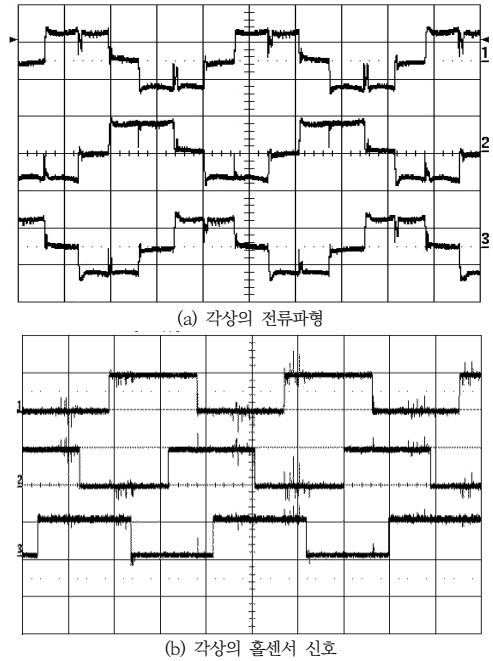


그림 2. BLDC 전동기 각상의 전류파형과 홀센서 신호  
Fig. 2. Current waveform and hall sensor signal of each phase of BLDC motor

## III. C-dump 컨버터를 이용한 SRM 구동

일반적으로 SRM을 구동시키기 위하여 사용되고 있는 구동용 컨버터로 비대칭 브리지 컨버터(Asymmetric Bridge Converter)를 많이 사용하고 있다. 상당 2개의 스위치와 2개의 환류 다이오드를 가지는 구조로 효율이 높고 다양한 제어가 가능하며, 각 상의 전류제어가 독립적이어서 두 상의 전류 중첩이 가능하고, 상의 수와 관계 없이 사용할 수 있는 컨버터이다. 또한 한 상의 고장 발생 시에도 다른 상에 큰 영향이 없으며, 소자의 정격 전압이 상대적으로 낮고 제어능력이 가장 우수하다. 단점으로는 소자 수가 상대적으로 많고 그에 따르는 제어 및 구동회로가 복잡해지는 문제점을 가지고 있다.

본 절에서는 SRM 구동용 컨버터로 비대칭 브리지 컨

버터 대신 그림 3과 같이 C-dump 형태의 컨버터 특성은 다음과 같이 정리할 수 있다.

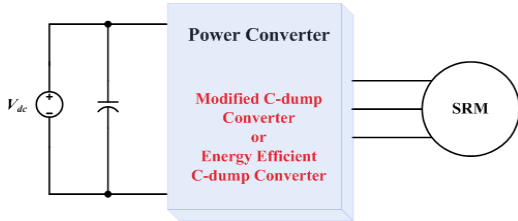


그림 3. SRM과 구동용 C-dump 컨버터  
 Fig. 3. Driving C-dump converter and SRM

### 1. Modified C-dump 컨버터

그림 4는 기존의 C-dump 컨버터를 보완한 modified C-dump 컨버터로 상수보다 하나 더 많은 스위치와 다이오드를 가지는 구조이다. 커패시터가 추가되는 구조로 기존의 인덕터를 제거하여 에너지를 커패시터에 저장하였다가 바로 다음 상의 여자 시에 전달하는 방식의 컨버터로서 제어의 복잡성을 개선하였다.<sup>[5,6]</sup>

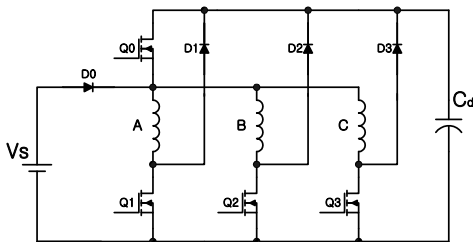


그림 4. Modified C-dump 컨버터  
 Fig. 4. Modified C-dump converter

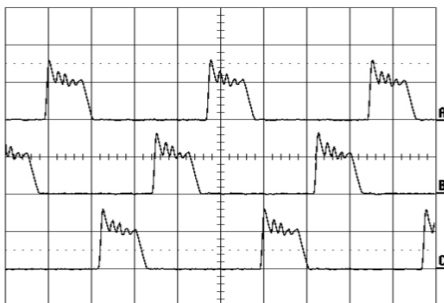


그림 5. SRM 각상의 전류파형  
 Fig. 5. Current waveform of each phase of SRM

또한 전류 확립 시 인가전압의 2배의 덤프 커패시터 전압을 이용하므로 빠른 전류의 확립을 가져올 수 있는 장점이 있다. 반면에 한 상의 전류가 완전히 소호된 후

다음 스위치를 여자 시켜야 하므로 상전류의 중첩을 시킬 수 없어 토크 발생영역을 충분히 활용하지 못하고 공통 스위치의 높은 정격과 발열 문제를 안고 있다. 그림 5는 Modified C-dump 컨버터를 이용하여 SRM을 구동 시 각상에 흐르는 전류 파형을 보여주고 있다.

### 2. Energy efficient C-dump 컨버터

그림 6은 Energy efficient C-dump 컨버터로 상수보다 하나 더 많은 스위치와 다이오드, 덤프 커패시터 그리고 전원 측에 직렬로 블로킹 다이오드가 추가되는 구조를 보여주고 있다. 전동기의 초핑모드 동안에 다른 복잡한 제어 없이 상전류의 환류가 가능하다. 그 결과로써 제어의 단순함을 가져오고 스위칭 소자의 전압정격은 기존의 C-dump 컨버터나 modified C-dump 컨버터에서 공급전압의 2배( $2V_{dc}$ )가 걸리는 것에 비해 1배( $V_{dc}$ )가 걸리므로 컨버터 파워 소자에 드는 비용을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다. 또한 modified C-dump 컨버터에서 가능하지 않았던 각 상전류를 중첩할 수 있게 함으로써 토크 발생영역을 충분히 활용할 수 있다.

그림 7은 Energy efficient C-dump 컨버터를 이용하여 SRM을 구동 시 각상에 흐르는 전류 파형을 보여주고 있다.

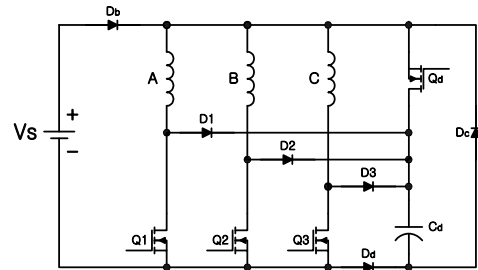


그림 6. Energy efficient C-dump 컨버터  
 Fig. 6. Energy efficient C-dump converter

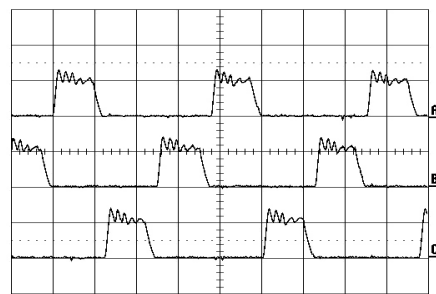


그림 7. SRM 각상의 전류파형  
 Fig. 7. Current waveform of each phase of SRM

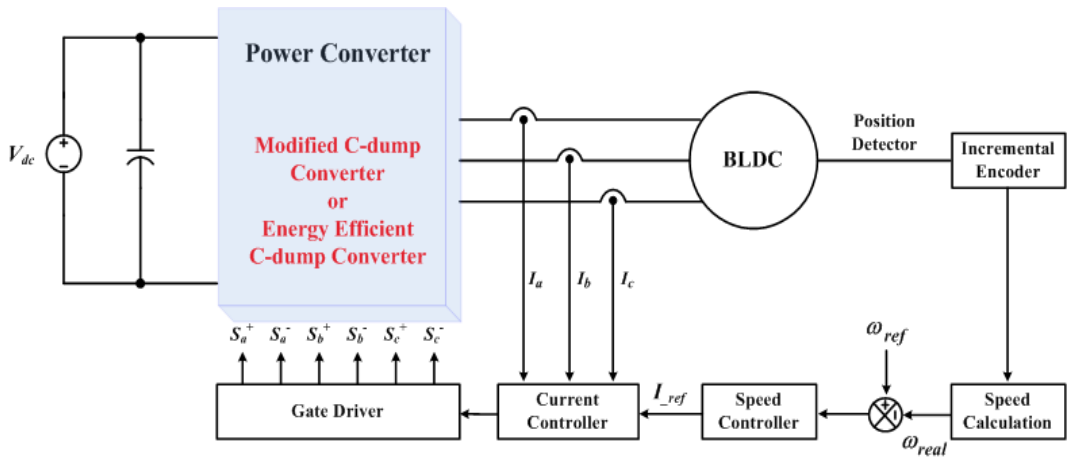


그림 8. C-dump 컨버터를 이용한 BLDC 전동기 구동  
Fig. 8. BLDC motor drive using C-dump converter

#### IV. C-dump 컨버터를 이용한 BLDC 전동기 구동

II 절 “6-스위치 인버터를 이용한 BLDC 전동기 구동”, III절 “C-dump 컨버터를 이용한 SRM 구동”에서 서술한 내용과 같이 BLDC 전동기 경우 보편적으로 6-스위치 형태의 3상 인버터, SRM 경우 비대칭 브릿지 컨버터 또는 C-dump 형태의 구동용 컨버터를 사용하는 것이 일반적이다. 각 전동기에 해당하는 범용인버터를 사용함으로써 전동기의 속도, 토크, 효율 등의 특성을 최대화할 수 있다.

본 논문에서는 해당 전동기의 범용인버터가 아닌 SRM 구동용 컨버터인 C-dump 형태의 컨버터를 BLDC 전동기의 구동 드라이버로 적용하여 이에 대한 특성에 관해 연구하였다.<sup>[7,8,9]</sup>

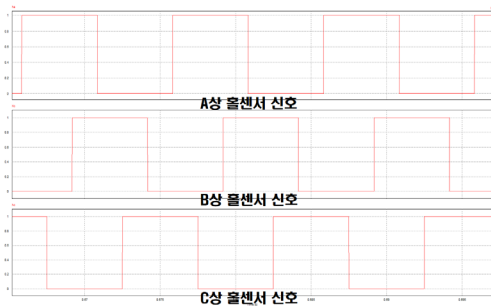


그림 9. BLDC 전동기 구동 시 각상의 홀센서 신호  
Fig. 9. Hall sensor signal of each phase when driving BLDC motor

그림 8은 앞서 설명한 내용을 바탕으로 C-dump 컨버터를 이용하여 BLDC 전동기를 구동하기 위한 피드백 제어 블록도를 보여주고 있다. 회전자 위치정보를 위한 홀센서 신호와 이 신호를 이용한 저(低) 분해능의 엔코더, 속도제어기, 전류제어기 등의 정보를 적용한 C-dump 컨버터의 Gate driver 신호로 이용하여 최종적으로 BLDC 전동기를 피드백제어를 할 수 있는 구조를 보여주고 있다. 또한 C-dump 컨버터를 BLDC 전동기의 구동용 컨버터로 적용하기 위해서는 회전자 위치검출을 통해 얻은 신호를 이용하여 최종적으로 C-dump 컨버터의 스위치별 게이트(Gate) 신호 생성이 필요하다.

그림 8과 같이 BLDC 전동기를 구동 시 6-스위치 형태의 3상 인버터 대신 C-dump 컨버터를 이용하여 3상의 홀센서 신호가 120도의 위상차를 가지면서 각상마다 60도씩 교차하는 신호를 그림 9를 통해 확인할 수 있다.

따라서 BLDC 전동기의 구동에 따른 홀센서 신호를 이용하여 회전자 위치정보를 검출하고 있음을 알 수 있다.

회전자 위치정보 검출을 통해 속도제어기, 전류제어기를 이용하여 기준속도 6,000rpm 시 그림 10을 통해 응답속도가 기준속도를 추종하여 속도제어기 정상적으로 이루어지고 있는 속도응답 특성을 보여주고 있다. 또한 그림 11과 같이 기준속도 변화(3,000→6,000rpm)에 따른 BLDC 전동기의 실제속도 응답과 이에 따른 회전자 위치정보 신호인 홀센서 신호를 확인할 수 있다. 기준속도 변화에 따른 실제속도의 응답성과 위치검출을 통해 얻은 홀센서 신호의 결과를 통해 기존 SRM에서 사용되었던 C-dump 컨버터를 BLDC 전동기에 구동용 컨버터

로 적용할 수 있음을 보여주고 있다.



그림 10. 기준속도에 따른 응답속도 특성(6,000rpm)  
 Fig. 10. Response speed characteristics according to Ref. speed

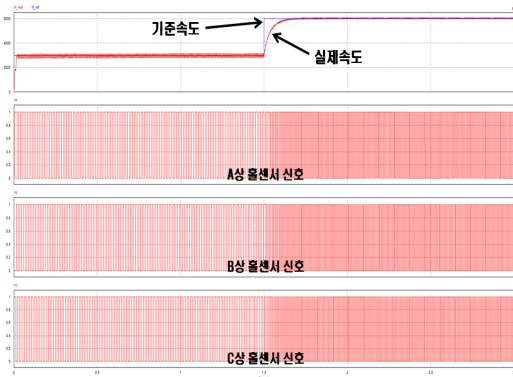


그림 11. 속도변화에 따른 BLDC 전동기 응답특성 및 홀센서 신호  
 Fig. 11. Response characteristics of BLDC motors and hall sensor signals according to speed changes

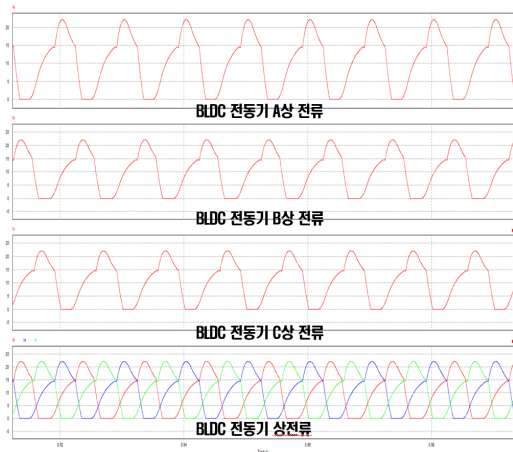


그림 12. BLDC 전동기 각상의 전류파형  
 Fig. 12. Current waveform of each phase of BLDC motor

그림 12는 그림 11에서 설명한 내용과 같이 BLDC 전동기의 속도가 6,000rpm으로 구동 시 각상에 흐르는 전류의 파형을 보여주고 있다. BLDC 전동기의 일반적인 상전류는 그림 2(a)에 도시된 내용과 같이 120도 기간 동안 온 상태 유지 후 다음 60도 기간은 오프 상태를 유지하는 특성이 있다. 반면에 C-dump 컨버터를 이용 시 각 상의 전류 파형은 그림 5, 7을 통해 나타낸 SRM 구동 시의 전류 파형의 특성과 유사한 결과를 보여주고 있다. 따라서 C-dump 형태의 컨버터를 이용하여 BLDC 전동기를 구동 시 기존 BLDC 범용인버터를 사용한 결과와 다르게 SRM 구동 방식과 유사하게 BLDC 전동기를 구동 및 제어할 수 있다.

## V. 결 론

BLDC 전동기를 구동하기 위해서는 6-스위치의 인버터를 이용하여 3상 2여자 방식으로 구동을 하는 것이 일반적이다. 또한 SRM의 경우 비대칭 브릿지 컨버터 또는 C-dump 형태의 구동용 컨버터를 범용인버터로 사용한다. 그러나 본 논문에서는 C-dump 형태의 구동용 컨버터를 이용하여 BLDC 전동기를 구동함으로써 다음의 내용으로 정리할 수 있다.

- (1) BLDC 전동기를 구동 및 제어하기 위해 회전자 위치검출을 통해 얻은 신호를 이용하여 C-dump 컨버터의 스위치별 게이트(Gate) 신호를 설계하였다.
- (2) 피드백제어기 설계를 통해 기준속도 변화에 따라 BLDC 전동기의 실제 속도가 응답 및 제어 특성이 우수함을 보여주고 있다.
- (3) 기존 BLDC 범용인버터를 사용한 결과와 다르지만, SRM 구동 방식과 유사하게 BLDC 전동기를 구동 및 제어할 수 있다.

## References

- [1] T.J.E Miller, "Design of Brushless Permanent Magnet Motors", Clarendon Press. Oxford, 1994.
- [2] Takashi Kenjo, D. Eng, "Permanent Magnet and Brushless DC Motor", Sogo Electronics Publishing Company, 1984.
- [3] Y. C. Kim, Y. H. Yoon, W. C. Lee, B. K. Lee, and C.

- Y. Won, "SRM Drive System Using 6-switch IGBT Module," Trans. on KIPE, vol. 10, no. 6, pp. 569~577, 2005.
- [4] B. K. Lee, T. H. Kim and Mehrdad Ehsani, "On the feasibility of four-switch three-phase BLDC Motor drives for low cost commercial applications: topology and control," IEEE Trans. Power Electron., vol. 18, pp.164-172, 2003.
- [5] Y. H. Yoon, "Characteristic Analysis of C-dump Converter Topology for SRM of Electric Multiple Unit Door Driving," Trans. on KIEE, vol. 65, no. 9, pp. 1597~1604, 2016.  
DOI: <https://doi.org/10.5370/KIEE.2021.70.6.918>
- [6] Slamet Riyadi, "Analysis of C-Dump Converter for SRM Drives," 2018 International Conference on Electrical Engineering and Informatics (ICELTICS).  
DOI: <https://doi.org/10.1109/ICELTICS.2018.8548791>
- [7] M. Bala Krishna, M. Kiran Kumar, "New C-dmp Converter with Power Factor Correction Feature for BLDC Drive," International Journal of Electrical and Electronics Engineering Research, vol. 3, no. 3, pp. 59-70, 2013.
- [8] M. Bharani Lakshmi, A. Marimuthu, S. Priyanka, M. Pon Sarumathi, "Energy Efficient BLDC Drive with Constant Torque using C-Dump Technology," International Journal of Science Technology & Engineering, vol. 3, no. 10, pp. 138~144, 2017.
- [9] Maged N. F. Nashed, "Four-quadrant control of C-dump converter-fed PMBDC motor drive system," 13th IFAC Symposium on Large Scale Complex Systems: Theory and Applications, pp. 545~550, 2013.

### 저 자 소 개

#### 정 성 인(정회원)



- 2001년 : 동국대학교 전기공학과 (공학사)
- 2003년 : 한양대학교 전기공학과 (공학석사)
- 2015년 : Technical University Braunschweig 전기정보물리 공학과 (공학박사)
- 2018년 3월 ~ 현재 : 광주대학교 전기공학과 조교수
- 주관심분야 : 전기구동 퍼스널 이-모빌리티 부품 및 시스템

※ 이 연구는 2023년도 광주대학교 대학 연구비의 지원을 받아 수행되었음.