

다련장 무기체계 운용성 및 신뢰성 확보를 위한 신호형태에 관한 연구

봉한울¹, 김혜은^{1*}, 함혜선², 박철순²
¹국방기술품질원, ²한화에어로스페이스

A Study on Signal Format Conversion for Ensuring Operational Performance and Reliability of Artillery System

Hanul Bong¹, Hyeeyun Kim^{1*}, Hyesun Ham², Chulsoon Park²
¹Defense Agency for Technology and Quality
²Hanwha Aerospace

요약 한국형 다련장 무기체계는 자동사격제원 산출 및 전술운용이 가능하며, 대화력집중이 가능한 강력한 포병화력 지원체계이다. 다련장 발사대의 정렬부터 발사에 이르기까지 다양한 구성품들이 신호처리를 통해 상호 동작하므로, 신호 처리 관련 신뢰성은 매우 중요하다. 그러나 발사대 본체 고각 하강시 비정상적인 소음이 발생하였으며, 하강 속도가 비정상적으로 증감 및 가감되는 현상이 식별되었다. 원인분석 결과 2MHz 주기를 가지는 클럭신호 형태의 INH와 EN신호가 입력되면서 디지털 노이즈가 RDC에 전반적으로 영향을 줌으로써 케이지의 고각 구동속도가 비정상적으로 계측됨을 확인하였다. 따라서 이를 개선하기 위해, RDB 내부에 있는 CPLD의 소스코드를 수정하여 INH와 EN신호를 각각 High, Low DC 신호형태로 입력하도록 신호처리방법을 변경하였다. 신호형태 개선사항에 대한 신뢰성은 단품시험과 체계시험을 수행하여 입증하였다. 본 연구를 통해 천무 발사대에서 식별된 비정상적인 신호처리에 대한 결함 고찰 및 원인분석이 수행되었다. 또한 신호형태 개선을 통하여 발사대의 전반적인 구동과 제어 수행에 대한 설계적 안정성을 확보할 수 있었다. 본 연구는 향후 유사한 무기체계에 대한 고장분석 및 설계에 참고자료가 될 것으로 기대된다.

Abstract The K-MLRS is a versatile weapon system capable of automatic firing, with the ability to calculate and execute tactical engagements. It serves as a potent artillery support system, allowing for concentrated firepower. The K-MLRS relies on various components, from the alignment of the launch platform to actual firing, all of which interact through signal processing. Therefore, the reliability of signal processing is crucial for ensuring the proper functioning of the system. During the system testing, abnormal noise was observed when the launcher descended at a high angle, and abnormal fluctuations in descent speed were also identified. The analysis of the causes showed that the input of the INH and EN signals, both having a clock signal shape with a frequency of 2MHz, led to overall digital noise affecting the RDC (Resolver to Digital Converter). This interference was confirmed to result in abnormal measurement of the elevation drive speed of the cage. Therefore, to address this issue, the signal processing method was modified by altering the source code of the CPLD inside the RDB. This modification involved changing the processing of the INH and EN signals to be input as HIGH and LOW signals, respectively. The reliability of the improvements was validated through individual component and system testing. This study conducted root cause analysis on the abnormal signal processing identified in K-MRLS to ensure the design stability of the overall operation and control performance of the K-MLRS. This study is expected to be a reference for future fault analysis and design of similar weapon systems.

Keywords : K-MLRS, Launcher, Signal Process, Resolver, LCU, PLCD

*Corresponding Author : Hyeeyun Kim(Defense Agency for Technology and Quality)

email: hyen@dtaq.re.kr

Received January 29, 2024

Accepted April 5, 2024

Revised March 12, 2024

Published April 30, 2024

1. 서론

한국형 전술 다련장(K-MLRS, Korea Multiple Launcher Rocket System) 천무는 미래 전장 환경에 부합하는 장사거리 사격과 정밀타격이 요구되는 무기체계의 필요성에 따라 개발되었다[1]. 따라서 정확하고 신속한 타격을 수행하기 위해서는 체계장비의 신뢰성이 필수적으로 보장되어야 한다. 이러한 무기체계의 신뢰성 검증은 필수적이며, 천무 발사대에 대한 신뢰도 개선을 위한 연구는 지속적으로 수행되고 있다[2-5].

천무 발사대의 전반적인 구동과 제어는 발사대제어장치(이하 LCU, Launcher Control Unit)를 통해 수행된다. 사격통제콘솔(이하 FCC, Fire Control Console)의 명령에 따라 유압장치의 각종 구성품을 제어하여 발사대의 방위각, 고각 구동제어를 수행한다. 또한 유압장치의 각종 센서 등 발사대 상태에 대한 다양한 신호를 입력받아 운용자가 발사대의 상태를 확인할 수 있도록 한다. 즉 발사대의 정렬부터 발사에 이르기까지 다양한 구성품들이 신호처리를 통해 상호 동작하므로, 신호처리 신뢰성은 매우 중요하다. 그러나 체계 운용 중 케이지의 구동을 위한 발사대와 발사대제어장치 간의 신호처리가 정상적으로 이루어지지 않는 현상이 확인되었다. 신호처리의 불안정은 신호왜곡, 노이즈 증폭과 데이터 손실 등을 야기시킨다. 이는 발사대의 성능 저하로 이어지며 우리 군의 정상적인 작전수행 불가로 큰 문제를 발생시킬 수 있다. 따라서 정확하고 신속한 신호처리는 체계장비의 효율적인 운영과 안정성을 유지하기 위한 핵심 요소이다. 이러한 신호처리에 대한 연구는 군수분야 뿐만 아니라 민수 분야에서도 다양하게 연구되고 있으며, 신호처리에 영향을 줄 수 있는 시스템 노이즈, 시간지연, 주파수 특성, 입력신호의 특성 등 다양한 요소들을 고려하여 효과적인 신호처리 시스템을 설계해야 한다[6-10].

본 연구는 신호처리 개선을 통한 발사대 제어 관련 신뢰성 확보를 목표로 수행하였다. 신호형태 분석을 통하여 문제 현상에 대한 원인을 파악하였으며, 이를 바탕으로 개선점을 도출하고 설계방향을 수립하였다. 이후 개선안에 대한 검증을 수행함으로써 체계 적합 여부를 확인하였다.

2. 고장현상 분석

2.1 형상 및 기능

발사대제어장치(이하 LCU, Launcher Control Unit)는 Fig. 1과 같이 발사대 서브프레임장치 상부에 위치하며, 발사대의 전반적인 구동과 제어를 담당한다. 또한 발사대의 전원공급 및 발사대 구동장치, 봄 조립체 및 인양기 조립체의 제어와 상태를 감시하며, 위치 결정항법장치와 연동하여 안정화와 조정기능을 수행한다. 정확하고 정밀한 사격 성능을 가지기 위해서 발사대 본체의 방위각, 고각 제어는 중요한 요소이다.

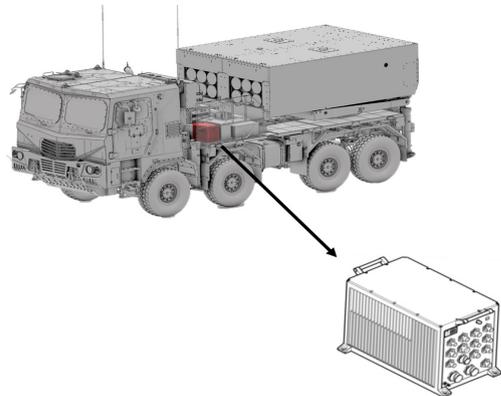


Fig. 1. Configuration Launcher Control Unit

2.2 발사대 구동 작동원리

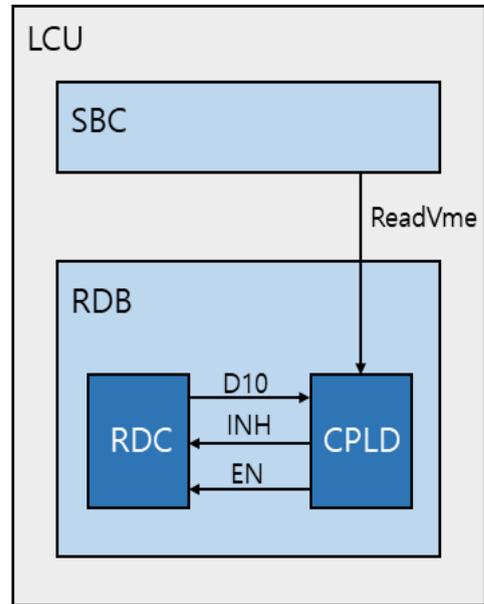


Fig. 2. Structure of Launcher Control Unit

천무 발사대는 발사대 제어를 위해 발사대의 위치 및 유압모터 각도, 회전속도를 위치 센서인 요크레졸버, 샤프트 레졸버를 이용한다. 레졸버는 기계적 강도가 높고 내환경성이 우수한 장점이 있어 천무 체계뿐만 아니라 높은 신뢰성이 요구되는 군사용과 항공용 센서로 주로 사용된다[11]. 레졸버 신호를 위치 신호로 사용하기 위해서는 디지털 값으로 변환되어야 한다[12]. 디지털 신호로의 변환은 발사대제어장치 내부의 레졸버 변환용 회로카드 조립체(이하 RDB, Resolver to Digital Board)를 통하여 수행되며, 변환된 값을 이용하여 발사대의 전반적인 구동과 제어를 수행한다. Fig. 2를 통해 RDB의 핵심 부품으로는 RDC (Resolver to Digital Converter)와 CPLD(Complex Programmable Logic Device)를 확인할 수 있다.

2.3 고장 현상

체계 운용 중 발사대가 고각 상승 후, 다시 원위치로 복귀하기 위한 고각 하강 시 일정한 속도로 하강하지 않고 속도가 비정상적으로 증감하는 현상이 확인되었다. 이는 케이지의 구동 중 신호처리가 원활하게 이루어지지 않았음을 의미한다. LCU의 외부 인터페이스를 포함하는 사격통제시스템 인터페이스는 각 구성품들 간에 상호 연결되어 통신하므로, 그중 한 부분에서의 고장이 발생하는 경우 연쇄적인 영향으로 체계장비 전체에 치명적인 고장을 미칠 수 있다. 따라서 무기체계에서 발생하는 통신과 제어시스템에서의 신호처리 오류를 최소화하기 위한 연구를 수행하였다.

2.4 단품시험 검토

체계시험 중 발사대 본체 고각 하강 시 비정상적인 소음이 발생하였다. 원인검토를 위해 단품 모의시험 장비를 구성하여 시험을 진행하였으며, Fig. 3과 같이 단품 모의시험 장비를 구성하였다. 시험은 전압에 의한 속도 변경을 통해 레졸버 값을 확인하였다. 이때 CPLD에서의 Count 주기는 10ms로 하였다.

케이징 구동 속도는 케이징 내부 유압모터 회전축에 설치된 위치 센서인 고각 샤프트 레졸버를 통해 계측된다. 샤프트 레졸버 데이터 분석 결과 Fig. 4와 같이 데이터 로그의 샤프트 레졸버 속도값이 비정상적으로 감소 및 가속되는 것을 확인하였다.

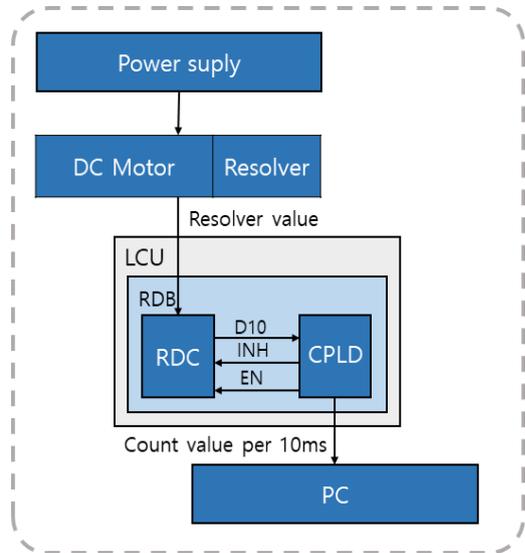


Fig. 3. Configuration of simulation test

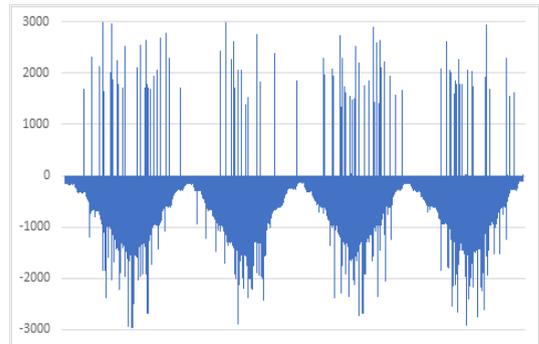


Fig. 4. Resolver abnormal operating speed

2.5 속도 계측 방법 검토

데이터 속도가 비정상적으로 계측되는 현상을 단품 시험을 통하여 확인하였으므로, 속도 계측 방법에 대한 검토를 수행하였다. 현재 RDC 입력 신호는 Fig. 5와 같이 RDC에 INH신호와 EN신호를 클럭신호 형태로 입력하여 레졸버 신호를 디지털 신호로 변환되도록 펄웨어가 구현되어 있다. 여기서 INH신호는 레졸버에서 디지털 값으로 변환된 데이터를 고정하는 신호로 레졸버 각도를 읽을 때 필요하다. EN 신호는 비트값을 읽어오라는 신호이며, 레졸버 신호를 디지털 신호로 변환하는 역할을 한다.

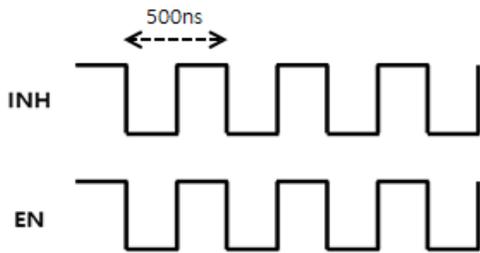


Fig. 5. Structure of Launcher Control Unit Figure

LCU는 출력 최하위 비트 변화를 감지하여 비트 변화 시 카운트를 하도록 펌웨어가 구현되어 있으며, 이때 발사대 제어장치의 SBC에서 Count 값을 읽어 Count 변화 값으로 속도를 계산한다. 현재 RDB 펌웨어상 RDC로 입력되는 INH 신호와 EN 신호를 2MHz 주기의 클럭 신호 형태로 입력하도록 구현되어 있다. 이 과정에서 RDC로 입력되는 2MHz의 클럭신호가 빈번하게 변화하면서 주변 회로에 잡음을 유발하게 된다. 해당 잡음으로 인해 Count 비트와 아날로그 신호인 VEL 등 전반적인 신호에 잡음을 유발하도록 영향을 미쳐 비정상적인 데이터가 계속되는 것으로 판단된다.

3. 개선방안 및 검증

3.1 개선방안

LCU는 최하위 비트의 변화를 카운트하여 속도를 계산한다. 각도를 읽을 때는 읽는 순간 데이터를 임시 저장해 데이터가 변화가 없도록 하여야 하지만, 최하위 비트의 변화를 카운트해 속도를 계산할 경우 회전각도 매 순간 변화시켜 카운트에 반영해야 한다. 빠른 주기로 변화하는 클럭 신호는 입력신호가 출력으로 바로 전해지기 때문에 과도한 노이즈를 발생시킬 수 있다. 따라서 시스템의 안정성을 유지하고 효율적인 동작이 가능하도록 신호형태를 개선하였다. 논리 레벨의 안정성을 유지하기 위하여 INH신호는 VCC(High), EN신호는 GND(Low)로 각각 신호형태를 DC로 변경하였다.

3.2 단품검증

신호처리방법 변경에 대한 RDB 검증을 수행하였다. 변경에 대한 검증을 위하여, 기존 클럭신호 형태와 GND 신호 형태로 입력했을 때의 데이터 출력값을 확인하였다. 여기서 CH1(Yellow)는 INH신호, CH2(Green)는

EN신호, CH3(Purple)은 D10(최하위비트), CH4(Pink)는 VEL신호이다. 모터 속도는 2400rpm의 조건으로 시험하였다. 시험결과 Fig. 5의 (a)와 같이 클럭신호를 입력하였을 때 하위비트 출력 파형에서 이상신호가 발생 하는 것이 확인되었다. 반면 GND신호 입력결과는 Fig. 6의 (b)와 같이 이상신호가 계속되지 않았다.



Fig. 6. Observation of abnormal signal at RDC single Test (a) Abnormal signal with Clock signal (b)Normal signal with High and Low signal

추가적으로 기존 신호와 개선된 신호 처리방법에 대한 속도데이터를 확인하였다. 기존 클럭신호 형태에서의 확인결과는 Fig. 7의 (a)와 같다. 레졸버 데이터에서 데이터 노이즈로 인한 다발적인 데이터 튜핑 현상을 확인할 수 있다. 신호처리 변경 후, 레졸버데이터 값 확인결과는 Fig. 7의 (b)와 같다. 비정상적인 데이터 노이즈가 사라지고, 정상적으로 데이터가 계단 형태를 띄며 값이 변하는 것을 확인할 수 있다.

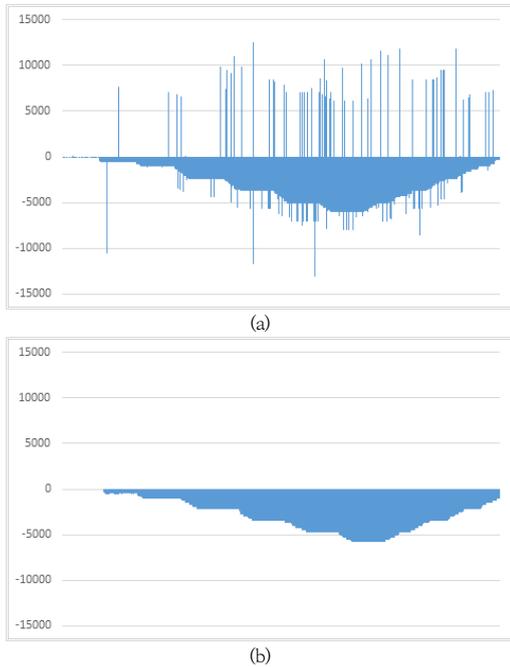


Fig. 7. Results of the RDB Test (a)Abnormal signal with Clock signal (b) Normal signal with High and Low signal

3.3 체계검증

신호처리방법 변경에 대한 체계검증을 수행하였다. 체계검증은 장비특성을 고려하여 고각 900mil까지 상승 후, 원래의 위치로 복귀하는 레졸버 데이터 값을 확인하였다. 기존 클럭신호 형태에서의 데이터 값은 Fig. 8의 (a)와 같다. 고각모터 속도가 일정하지 않으며, 제어가 안정적으로 이루어지지 않음을 확인할 수 있다. 개선안에 대한 체계검증 결과는 Fig. 8의 (b)와 같다. 제어가 정상적으로 이루어지며, 고각모터 속도가 정상적으로 확인된다.

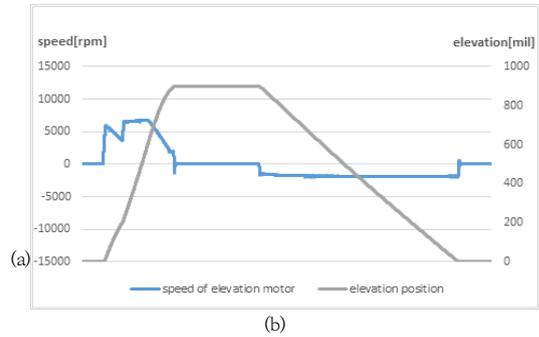
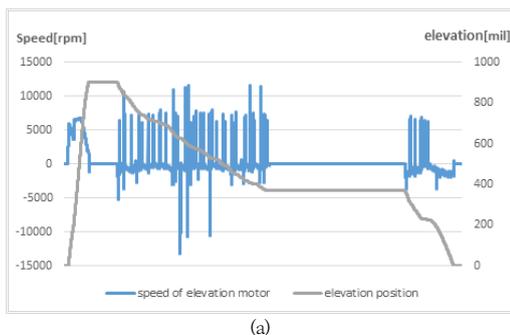


Fig. 8. Results of the System Test (a)Abnormal signal with Clock signal (b)Normal signal with High and Low signal

4. 결론

본 연구에서는 천무 발사대제어장치의 고각 샤프트 레졸버의 비정상적으로 발생하는 속도제어를 개선하기 위해 원인분석 및 개선방안을 제시하였다. 발사대 고각 움직임 속도를 제어하는 INH과 EN신호에 2MHz 주기의 클럭형태의 신호가 RDC 제어신호로 입력되고 있었고, 이로 인해 주변회로에 디지털 노이즈가 발생하여 전반적인 신호에 영향을 주어 신호 고각 구동 속도가 비정상적으로 계측되었다. 이를 개선하기 위해 RDB 내 CPLD 소스에서 INH과 EN신호를 클럭형태가 아닌 각각 High(VCC), Low(GND) DC 신호출력 형태로 변경하여 펌웨어를 수정하였다. 이후 단품시험 및 체계시험에서 발사대 구동 속도가 정상으로 계측되는 것을 확인할 수 있었다.

본 연구를 통해 효과성이 입증된 신호형태 변경은 천무 발사대의 신뢰성 및 운용성 향상에 기여할 것으로 기대된다. 이와 같은 소요군의 작전 수행 능력 기여를 위한 안정적인 신호처리에 대한 연구는 지속적으로 필요하다. 본 연구는 향후 유사무기체계에 대한 고장분석 및 설계방안의 참고자료로 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] K. H. Cho, "A Study on the Development Method of the Domestic New Generation Multiple Launcher rocket System", *Journal of the KIMST*, Vol.11, No.6, pp.21-29, 2008.
- [2] H. Kim, M. Kim, H. Yu, G. Bae, E. Oh, "A Study on Improvement of Directional Errors for K-MLRS Launcher", *Journal of the Korea Academia-Industrial*

cooperation Society, Vol.22, No.2, pp.705-713, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2021.22.2.705>

- [3] H. Lee, J. Kim, "A Study on Friction Noise Reduction of Elevation Clutch in the Multiple Launcher Rocket System", *Journal of the Korean Society of Mechanical Technology*, Vol.18, No.5, pp.813-818, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.17958/ksmt.18.5.201610.813>
- [4] H. Kim, G. Bae, E. Oh, J. Sakong, "A Study on the Structural Strength Improvement of Hydraulic System for Combat Vehicle using ANSYS", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.23, No.11, pp.514-521, 2022.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.11.514>
- [5] Y. Lee, J. Ryu, K. Son, S. Song, S. Kim, W. Park, "A Study on the Reliability Growth of Multiple Launch Rocket System Using Accelerated Life Testing", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.22, No.2, pp.241-248, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2019.22.2.241>
- [6] C. Eun, Y. Lee, "Compensation of the Non-linearity of the Audio Power Amplifier Converged with Digital Signal Processing Technic", *Journal of the Korea Convergence Society*, Vol.7, No.3, pp.77-85, 2016.
DOI: <http://dx.doi.org/10.15207/JKCS.2016.7.3.077>
- [7] J. Choi, C. Park, Y. Kim, H. Kim, J. Kwon, G. Kim, "Design Study of Signal Processor for Small Tracking Radar", *The Journal of the Institute of Inter, Brocating and Communication(IIBC)*, Vol.20, No.5, pp.71-77, 2020.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2020.20.5.71>
- [8] M. Kim, K. Ko, C. Lee, J. Jeong, N. Heom, "Development of a Commuication Protocol for a Digital Traffic Signal Controller", *The Journal of The Korea Institute of Intelligent Transport Systems*, Vol.12, No.3, pp.01~10, 2013.
DOI: <http://dx.doi.org/10.12815/kits.2013.12.3.001>
- [9] J. Choi, K. Na, Y. Shin, S. Hong, C. Park, Y. Kim, H. Kim, J. Joo, S. Kim, "Research on Broadband Signal Processing Techniques for the Small Millimeter Wave Tracking Radar", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC)*, Vol.21, no.6, pp.49-55, 2021.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2021.21.6.49>
- [10] H. Kim, M. Lee, Y. Kim, S. Park, "Design of EMC countermeasures for radar signal processing board", *The Journal of The Institute of Internet, Broadcasting and Communication(IIBC)*, Vol.23, No.5, pp.41-46, 2023.
DOI: <https://doi.org/10.7236/IIBC.2023.23.5.41>
- [11] K. Kim, "A Method to Adjust the Optimal Phase Angle of Resolver Excitation Signal", *The Transactions of the Korean Institute of Power Electronics*, Vol.15, no.3, pp.252-228, 2010.
DOI: <https://doi.org/10.6113/TKPE.2010.15.3.252>
- [12] N.C. Park, S.H Kim, H.S. Mok, "Vector Control of IPMSM Using Resolver Sensor", *Power Electronics Annual Conference, The Korean Institute of Power Electronics*, pp.4-7, Sokcho, Korea, July 2007.

봉 한 울(Hanul Bong)

[정회원]



- 2018년 2월 : 충북대학교 정보통신공학부 (공학학사)
- 2020년 2월 : 충북대학교 정보통신공학과 (공학석사)
- 2022년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 정보통신

김 혜 은(Hyeun Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 전북대학교 전자공학부 (공학학사)
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 전기/전자

함 혜 선(Hyesun Ham)

[정회원]



- 2011년 2월 : 경북대학교 전자전기컴퓨터학부 (공학학사)
- 2020년 2월 ~ 현재 : 한화에어로스페이스

<관심분야>

국방, 전기/전자

박 철 순(Chulsoon Park)

[정회원]



- 1998년 2월 : 창원대학교 전기전
자제어공학 (공학석사)
- 2009년 2월 ~ 현재 : 한화에어로
스페이스

〈관심분야〉

국방, 전기/전자