

K56 탄약운반장갑차용 제어기 간 통신 오류 개선에 관한 연구

박주영^{1*}, 김성훈¹, 노상완¹, 박영민¹, 김경환²
¹국방기술품질원, ²한화디펜스

A Study on improvement of communication error between controllers for K56 ammunition transport vehicle

Joo-Young Park^{1*}, Seong-Hoon Kim¹, Sang-Wan Noh¹,
Young-Min Park¹, Kyung-Hwan Kim²
¹Defense Agency for Technology and Quality
²Hanwha Defence

요약 본 논문은 K56 탄약운반장갑차의 주제어기와 서보제어기간의 통신에서 발생하는 통신오류를 개선하기 위한 설계에 관한 연구이다. K56 탄약운반장갑차는 K-55A1 자주포의 탄약 보급 및 적재를 자동화하여 운용을 보조하기 위한 장비이다. 탄약운반차의 캔통신보드는 주제어기의 내부에 탑재되어 서보제어기와 통신을 위해 장착되는 핵심적인 기 능품이다. 기존의 캔통신보드에서 정의되지 않은 오류가 간헐적으로 발생하는 문제점이 확인되었으며, 이로 인하여 탄 적재 과정 중 탄약보급시스템 운용 중단 현상이 발생한 바가 있다. 본 논문은 발생한 문제를 해결하기 위하여 주제어기, 서보제어기간의 통신신호의 분석 및 기능시험을 통하여 고장 원인을 식별하였다. 또한 Read/Write 알고리즘 개선을 통한 재설계를 수행하여 오류 발생 현상을 해소하였다. 마지막으로, 제안된 원인 분석 및 설계의 유효성을 캔통신보드 단품 시험을 통하여 입증하였다. 이 연구가 캔통신보드의 신뢰성 향상을 통한 방위력 증진과 더불어, DPRAM을 이용하는 전자장치 전반의 신뢰성 향상에도 참고자료가 될 것으로 기대한다.

Abstract This paper is the study of a design to eliminate the communication error that occurs between the main controller and the servo controller of the K56 ammunition-carrying armored vehicle. The K56 assists in the operation of the K-55A1 self-propelled gun by automating the supply and loading of ammunition. The CAN communication board of the ammunition carrier is a key-function product mounted inside the main controller and installed for communication with the servo controller. It was confirmed that an undefined error would occur intermittently in the existing CAN communication board, interrupting the operation of the ammunition supply system during the loading process. In this paper, in order to solve the problem, the cause of the failure is identified through analysis and a functional test of the communication signal between the main controller and the servo controller. The error was resolved by redesigning and improving the Read/Write algorithm. Finally, the proposed cause analysis and design effectiveness were verified through the CAN communication board single item test and a system equipment application test. It is expected that this study will serve as a reference for improving defense capabilities through improving the reliability of CAN communication boards and by improving the reliability of the overall electronic equipment using DPRAM.

Keywords : K56, Main Control Unit, DPRAM, Responsibility, Data Integrity, Algorithm, CAN Communication Board

본 논문은 국방기술품질원 연구과제로 수행되었음.

*Corresponding Author : Joo-Young Park(Defense Agency for Technology and Quality)
email: jypark@dtqa.re.kr

Received July 28, 2020

Accepted February 5, 2021

Revised November 24, 2020

Published February 28, 2021

1. 서론

K56 탄약운반장갑차(이하 K56 탄운차)는 K55A1 자주포와 대등한 기동성 및 생존성을 보유하고, 탄약보급 자동화 체계를 구비하여 포대/대대 탄약집적소에서 탄약을 적재한 후 사격진지로 이동하여 야전 포병대에 신속하고 지속적인 탄약보급을 수행하기 위한 장비이다.[1] 기존의 5톤 탄약운반차량이 야지 기동성과 생존성이 취약하고, 병력들의 전투피로도가 높아 K-55 자주포 성능 개량 특성발휘가 제한됨에 따라 전투력발휘의 극대화를 위해 자동화된 탄약 보급장치와 생존성이 향상된 탄약운반차를 개발하였으며, 이로 인하여 군의 작전 수행 능력을 월등히 향상시키는 데 기여하였다.[2] 따라서 K56 탄운차의 주 기능은 탄약 및 장약을 적재하고 보급하는 시스템의 운용에 있으며, 특히 제어장치는 Fig 1에서 확인 가능하듯이 주제어기와 서보제어기와의 컨트롤러 기반 통신을 통하여 탄운차의 탄약보급 자동화 시스템을 제어 및 통제하고, 탄약 및 장약의 데이터베이스 관리, 주요 시스템의 이상 여부를 전신하는 등의 중요한 역할을 수행한다.[3]

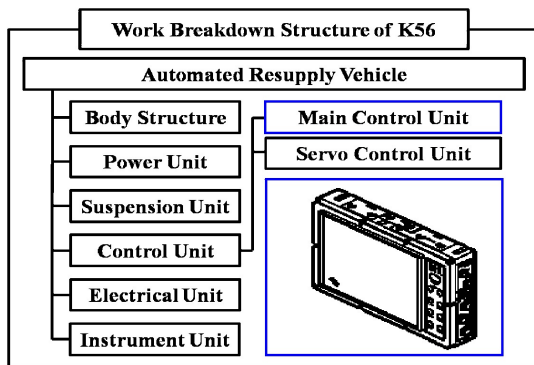


Fig. 1. The rough work breakdown structure of K56

주제어기와 서보제어기 간의 통신의 무결성이 보장되지 않는 상황에서라면, K56 탄운차의 탄약 보급 기능에 대한 동작 또한 보장이 어렵고, 나아가 K55A1 자주포의 운용성 또한 저하될 수 있다.

본 연구에서는 K56 탄운차의 탄약 보급 및 적재 중 발생한 제어시스템 오류의 고장분석을 수행하였으며, 현재 사용중인 DPRAM 접근 알고리즘에 문제가 있음을 입증하였다. 또한 고장원인인 알고리즘을 개선하는 설계 방안을 도출하여 적용하였다. 마지막으로 단품시험, 환경시험, 체계부착시험으로 개선된 개선품에서는 동일한 유형

의 고장이 발생하지 않음을 확인하였다.

2. 제어시스템 현황

2.1 탄약보급 제어시스템 및 서보제어기 소개

탄약보급 제어시스템은 주제어기와 서보제어기 간 통신을 통한 명령 송/수신으로 탄약보급시스템을 구동하여 탄약의 적재/보급을 수행하는 장치이다. 서보제어기는 CAN(Controller Area network) 데이터 통신 방식을 통하여 주제어기와 정보를 교환하며, 제어시스템은 이 정보를 바탕으로 탄약 및 장약의 데이터베이스를 관리하며 주요 시스템 이상 여부를 전신하게 된다.

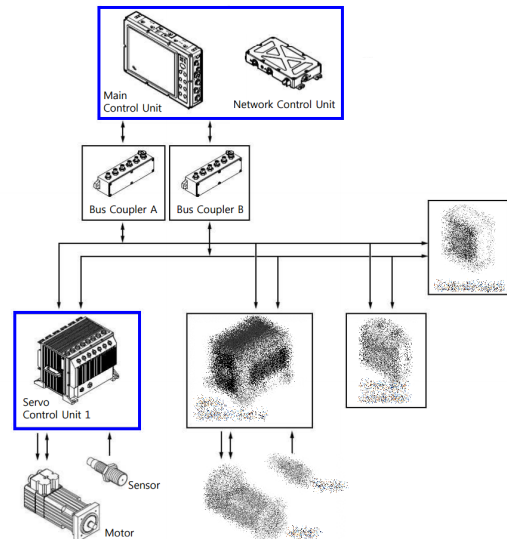


Fig. 2. Ammunition supply control system

Fig 2와 같이 주제어기는 정보를 전신하는 본체와 서보제어기와의 통신을 위한 통신유닛으로 구성되며, 주제어기와 서보제어기 간의 데이터 교환은 통신유닛 내의 캔 통신보드에 탑재된 DPRAM(Dual Port Random Access Memory)을 통하여 이루어진다. DPRAM은 각각 별개의 Data 라인 및 Address 라인을 가지고 있어 두 개의 프로세서가 강결합(Tightly coupled)되어 동시에 읽고 쓰기가 필요한 상황에 적합하다.

2.2 제어시스템 오류 발생 현상

K56 탄운차의 이송능력시험 중 탄 적재 과정에서 탄 전송 긴급정지와 함께 [280 제어시스템 점검] 메시지 전

시가 발생하였다. 제어시스템 점검 오류는 주제어기와 서보제어기간 캔통신 중 명령 처리가 부적합 할 경우 발생한다.

제어시스템 점검 오류는 주제어기와 서보제어기간 통신 중 주제어기에서 존재하지 않는 명령 전송 또는 동작 명령실행 중 다른 동작명령 전송 시 발생하는 오류로, 캔통신보드, 서보제어기 동작오류 등 다양한 원인으로 발생할 수 있어 이러한 오류의 원인 파악을 위한 분석이 필요하였다.

3. 제어시스템 오류 발생 원인분석

3.1 제어시스템 점검 오류 발생 원인 파악

제어시스템 점검 오류 원인 파악을 위하여 통신오류 원인 분석을 실시하였다. 통신오류 원인 분석은 통상적으로 기능검사, 육안검사, 신호검사로 구성된다. 본 연구에서는 Fig 3 과 같이 고장분석을 수행하였으며, 그 중에서도 DPRAM의 신호분석에 중점을 두어 연구를 진행하였다.[4]

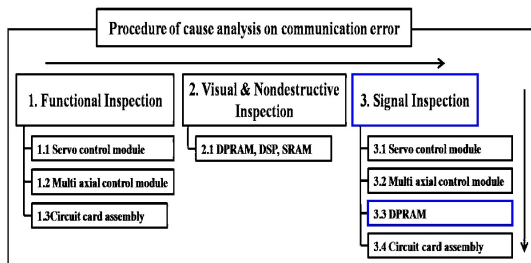


Fig. 3. Procedure of cause analysis on communication error

제어기간의 명령오류 발생 가능 요인은 Fig 4와 같이 크게 미정의 명령 전송, 동작 수행 중 명령 재전송, 명령 데이터 손상 정도로 유추할 수 있으며 케이스를 분류하여 각각의 케이스에 대응하는 검증을 실시하였다.

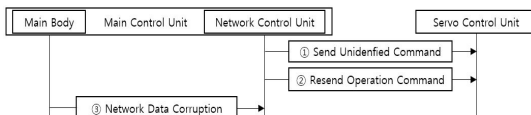


Fig. 4. Conceptual diagram of causes of control system errors

3.1.1 미정의 명령 전송

우선, 주 제어기에서 서보제어기로 정의되지 않은 명령을 전송한 경우에 대한 검증을 실시하였다. 이 경우에 대한 처리 흐름도는 Fig 5와 같다.

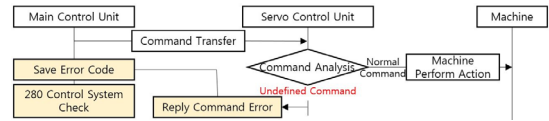


Fig. 5. Undefined command processing flow Chart

서보 제어기는 주 제어기의 명령을 분석하여 미정의 명령을 수신할 시에 명령 오류를 주 제어기로 회신하여 오류 메시지가 발생하게 되고, 주제어기는 오류코드를 저장한다. 주 제어기의 고장이력정보를 확인한 결과 명령오류 코드가 저장되지 않았으므로 이 케이스에 해당하지 않는 것을 확인할 수 있었다.

3.1.2 동작 수행 중 명령 재전송

다음으로 동작명령 수행 중 동작명령을 재전송한 경우에 대한 검증을 실시하였다. 이 경우에 대한 처리 흐름도는 Fig 6과 같다.

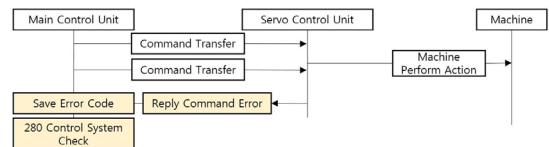


Fig. 6. Resend action command processing Flow Chart

서보 제어기에서는 동작명령이 중복될 경우 명령오류를 주 제어기로 회신하여 오류 메시지가 발생하게 되고, 주 제어기는 오류코드를 저장한다. 마찬가지로 주 제어기의 고장이력정보를 확인한 결과 명령오류 코드가 저장되지 않았으므로 이 케이스 또한 해당되지 않는다.

3.1.3 명령 데이터 손상

마지막으로 주 제어기가 캔통신 데이터 분석 중 명령 데이터가 손상된 경우에 대한 검증을 실시하였다. 이 경우에 대한 처리 흐름도는 Fig 7과 같다.

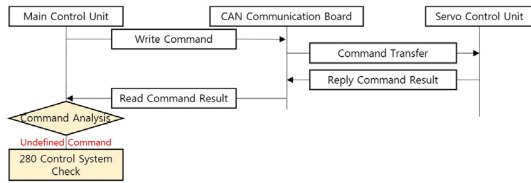


Fig. 7. Corrupted command processing flow Chart

두 케이스를 배제한 상태에서 제어시스템 점검 오류 발생시 SW 시퀀스를 확인한 결과 주제어기와 서보제어기의 통신 중 명령 데이터가 손상된 경우 오류코드가 정의되지 않은 오류가 발생함을 확인하였고, 데이터 손상이 제어시스템 점검 오류의 원인일 수 있음을 추정하였다.

3.2 캔통신보드 조립체 고장분석

캔통신보드 조립체는 크게 DPRAM(Dual-ported Random Access Memory), DSP(Digital Signal Processor), PCI bridge, 발진회로, 전원회로 등으로 구성되어 있다. DPRAM은 운용 소프트웨어와 DSP간 정보 교환용 저장을 위한 장치이며, DSP는 서보제어기 간의 캔통신 제어를 위한 프로세서로 DPRAM에 통신결과를 저장하는 역할을 한다. 또한 PCI bridge는 운용소프트웨어와 DPRAM 간 Data Access용 제어부품으로써 세 장치의 상호작용을 통하여 통신 데이터를 처리한다.

캔통신보드 조립체의 고장으로 예상할 수 있는 요인은 여러 가지가 있다. 납이나 코팅상태의 이상, 온도조건에 따른 동작 이상, DPRAM R/W 시 데이터 깨어짐, 설계 오류 등이 있다. 문제점이 발생한 부분을 파악하기 위하여 예상되는 원인들을 도출하였으며, 검토 결과는 다음과 같다.

3.2.1 외관 검사

납 상태, 코팅 상태, 이물 유무 등의 확인을 진행하였다. Fig 8과 같이 확인한 결과에서 특이사항은 발견되지 않았다.

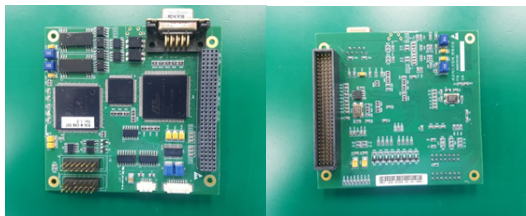


Fig. 8. Visual inspection

3.2.2 캔통신 기능시험

63 ℃, -32 ℃에서 각각 24시간동안 기능시험을 진행하였으며, 특이사항은 발견되지 않았다.

3.2.3 캔통신보드 DPRAM R/W 무한 반복시험

DPRAM HW 데이터 깨어짐 기능검사 진행을 Fig 9와 같이 진행하였다. 그 결과 Table 1에서 확인할 수 있듯이 특이사항은 발견되지 않았다.

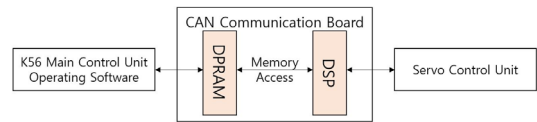


Fig. 9. CAN Board processing structure

Table 1. Repeated test results

Numbers of SW Tests	Result
About 429,000 times	Clear
Numbers of DSP Tests	Result
About 687,000 times	Clear

3.2.4 설계오류 검사

캔통신보드에서 통신 데이터를 처리하는 주요 부품에 대한 신호선의 노이즈 유무, 데이터 R/W 기능처리, 발진 신호 및 전원 검사를 통한 설계의 타당성을 검증한다. 신호선 노이즈 유무 검사, 신호 처리 기능 검사, 발진회로 검사, 전원회로 검사의 네 가지 설계오류 검사 항목을 설정하였고, 확인시험을 진행하였다.

3.2.4.1 신호선 노이즈 유무 검사

DPRAM Access 관련 신호 측정을 진행하였다. . 특이한 파형의 노이즈 등은 발생되지 않았으며, 기타 특이사항 또한 발견되지 않았다.

3.2.4.2 신호 처리 기능 검사

DPRAM Access 관련 신호 타이밍 측정을 진행하였다. 데이터시트의 값과 측정값을 비교하였고 특이사항은 발견되지 않았다.

3.2.4.3 발진회로 검사

DSP/PIC9030 Controller 관련 발진 신호 측정을 진행하였다. 특이사항은 발견되지 않았다.

3.2.4.4 전원회로 검사

+3.3 V / +1.9 V 전원 측정을 진행하였다. 특이사항은 발견되지 않았다.

3.2.5 캔통신보드의 DPRAM R/W 중첩 검사

3.2.5.1 DPRAM Read/Write 중첩 시험

주제어기 운용 SW와 캔통신보드의 DSP가 동시에 DPRAM 데이터를 Read(R) or Write(W) 할 경우 데이터 상태 변화를 점검하였다.

체계장비 적용 시험에 앞서 주제어기와 캔보드DSP에 대응하는 시험용 SW를 설치하여 데이터의 정상 유무를 확인하였다. 데이터 R/W 절차는 Fig 10과 같으며, 두 개의 점검용 SW에서 동시에 R/W를 반복하여 DPRAM 데이터의 정상 유무를 확인하였다.



Fig. 10. DPRAM Data Read/Write procedure

Fig 11의 붉은 네모박스에서 BUSY 신호가 다수 발생함을 확인할 수 있다. 측정 결과 양방향 DPRAM 데이터 R/W 중첩은 약 160회/초 발생되었으며, 29203회 수행 시 데이터 변화 발생을 Fig 12와 같이 확인하였다. 이를 근거로 Read/Write가 동시에 이루어질 때 문제가 있는 것으로 판단하였다.

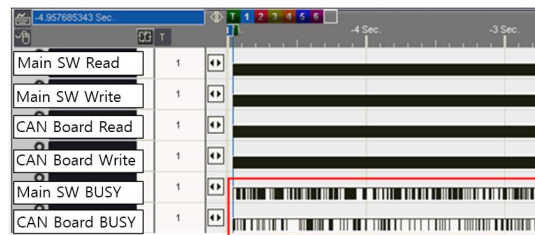


Fig. 11. DPRAM R/W busy measurement Signal



Write : 0x5A5A

Read : 0x0080, 0x85C2

Fig. 12. Data change measurent

3.2.5.2 체계장비 DPRAM R/W 중첩 검사

체계장비의 동작조건에서 캔통신보드의 DPRAM R/W를 점검하여 양방향에서 동시에 R/W를 수행할 시의 중첩 발생 여부를 검증하였다. 각 동작 조건별 R/W 동시 접속 빈도수는 Table 2와 같으며, 시험 결과 DPRAM R/W 중첩 현상이 빈번하게 발생함을 Fig 13과 같이 확인하였다.

Table 2. DPRAM R/W busy measurement data

Operating Condition	R/W Busy(times/second)
Standby	About 0.69
Prehiting	About 0.07
Bullet Loading	About 0.18
Bullet Supply	About 0.06



Fig. 13. DPRAM R/W busy measurement signal

3.2.5.3 제조업체 데이터시트 점검

주제어 SW와 DSP에서 동일 Address에 동시 DPRAM Access 수행 시 BUSY 신호 발생함에 대한 기술을 데이터시트에서 Fig 14와 같이 확인할 수 있었으며, 유효하지 못한 데이터를 획득할 수 있음을 Fig 15(데이터시트에서 발췌)에서 언급함을 확인하였다.

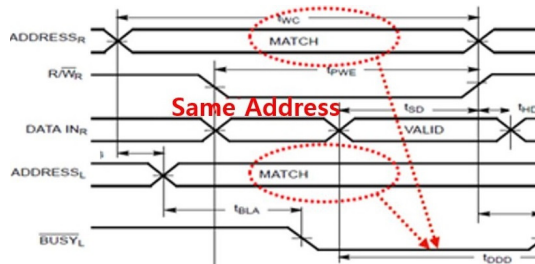


Fig. 14. Dpram Access Timing Diagram

Operation			Result of Operation after Arbitration (Master)
Case	Left Port	Right Port	
1	Read	Read	Both ports read.
2	Read	Write	Loser is prevented from writing. If loser is reading and ports are asynchronous, data read might not be valid.
3	Write	Read	
4	Write	Write	

Fig. 15. Functional Operation of DPRAM Access

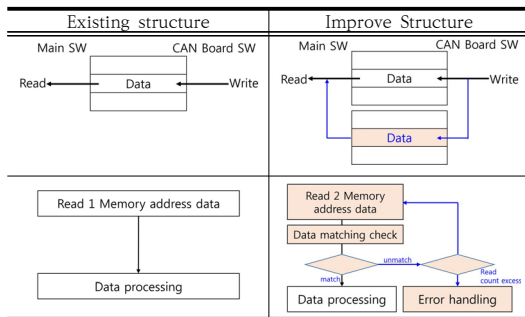
4. 소프트웨어 개선 및 입증시험

앞의 SW 분석에 따라, 현재 CAN 통신보드의 DPRAM Read/Write 알고리즘은 양방향 동시 R/W 상황을 고려하지 않았으며, 실험 결과 양방향 동시 R/W 시에 데이터에서 변화가 발생함을 확인하였다. 이 현상의 개선을 위해서 새도우 페이징 기법을 응용하였으며 소프트웨어 개선 방안에 참조하여 통신 수행에 문제가 없도록 하였다.[5,6]

4.1 주제어기 운용 SW와 캔통신보드 SW 보완

현 상태에서의 알고리즘은 캔통신보드가 단일 메모리 번지에 데이터를 쓰기 처리 한 후에 그 데이터를 주운용 SW에서 읽어 오는 방식이다. 이 방식은 별도의 검증 과정 없이 데이터를 처리하도록 설계 되어 있다. 이에 따른 개선안으로 새도우 페이징의 기본 원칙인 쓰기 시 복사(Copy On Write,COW) 방식을 응용하여 아래와 같은 개념도를 작성하였으며 이에 맞춘 검사용 SW를 설계하여 검증을 실시하였다. COW 방식은 CAN 통신보드가 쓰기 처리를 할 때 추가로 복사본을 생성하는 방식으로, 메모리의 2개 번지에 같은 데이터를 중복하여 쓰기 작업을 수행한다. 주운용 SW에서 읽기 작업을 수행 시 각 번지에서 데이터를 읽어오게 되며, 일치 시 정상 처리, 불일치 시 일정 횟수 재시도 후 오류처리를 하는 형태로 알고리즘을 Table 3과 같이 개선하였다.

Table 3. Memory R/W conceptual diagram



4.2 결과

SW 개선을 진행 후 양방향 R/W 테스트를 진행하였다. 적용 시험 세부 결과는 Table 4와 같다.

Table 4. Test result for application of inspection SW

Test content	R/W repeat count	Busy Signal	Result
bi-direction simultaneous R/W	about 10,000,000 times	160times/sec	No error occurred

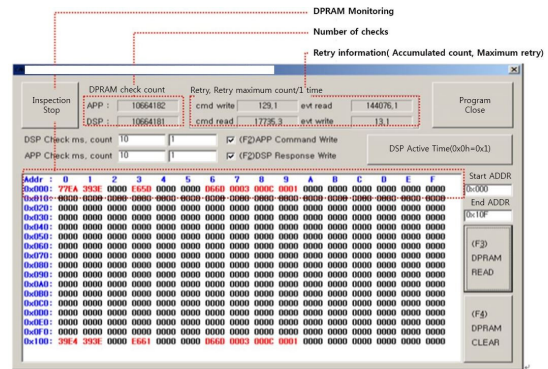


Fig. 16. Inspection Results

약 1000만회의 R/W 테스트를 실시한 결과 Fig 16에서 확인할 수 있듯이, Busy 신호 발생 빈도에 변화는 없으나 데이터의 왜곡 현상은 발생하지 않는 것으로 확인되었다.

5. 결론

본 연구는 K56 탄운차의 캔통신보드에서 발생하는 통신오류를 개선하기 위한 소프트웨어 알고리즘 변경에 관하여 연구하였다. 통신보드의 주요 부분품인 DPRAM의 R/W 알고리즘을 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 탄 적재 중 발생한 280 제어시스템 점검 오류 중 기존에 정의된 오류가 아닌 미정의된 오류 현상이 발생함을 확인하였다.
2. 캔통신보드 조립체의 DPRAM Read/Write 중첩 시험 결과, 양방향에서 동시에 Read /Write 수행 시 데이터 왜곡이 발생함을 확인하였고, 처리 알고리즘을 개선함으로써 데이터 왜곡에 의한 영향을 제거하도록 설계하였다.
3. 개선된 알고리즘을 점검용 SW에 구현하여 시험 한 결과 데이터 왜곡이 발생하지 않음을 확인하였다. 캔 통신보드 단품에 대한 SW 수정을 완료하였으며 단품 시험 및 체계장비 적합성 시험에서의 정상 작동을 확인하여 신뢰성을 확보하였다.

References

- [1] M. J. Lee et al., "The Report on Results of Quality Assurance Activities for the Initial Product of K56" *DTaQ Technical Reports*, 2015
- [2] C. Y. Jung, J. M. Lee, J. Y. Lee, Y. K. Park, "Operational Effectiveness Analysis of Field Artillery Ammunition Support Vehicle for K-55 Self-Propelled Artillery Using Simulation" *Journal of The Korea Society for Simulation*, Vol.20, No.3 pp.11-18, 2011
DOI : <http://dx.doi.org/10.9709/JKSS.2011.20.3.011>
- [3] H. J. Kang, S. Y. Choi, "The Report on the Quality Assurance Activities for Main Controller of Equipped in 155mm Ammunition, Automated Resupply K56" *DTaQ Technical Reports*, 2015
- [4] N. S. Ahn, "Suggestion for Change in Risk Management Based Government Quality Assurance Activities of Military Supplies" *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.16, No.9 pp. 5914-5923, 2015
DOI : <http://dx.doi.org/10.5762/KAIS.2015.16.9.5914>
- [5] S. T. Ryu, H. J. Kim, H. S. Han, "Analysis on File Write Performance of Reliability Techniques for Non Volatile Memory File System" *The Korean Institute of Information Scientists and Engineers*, Vol 6, pp 91-93, 2013
- [6] F. Muehlegg, A. Schuetz, "A Highly Flexible DUAL-PORT-RAM Compiler", *Euro ASIC '90*, Paris, France, 1990, pp. 277-281.

박 주 영(Joo-Young Park)

[정회원]



- 2015년 2월 : 숭실대학교 전기공학(공학사)
- 2019년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

국방, 전기, 전자

김 성 훈(Sung-Hoon Kim)

[정회원]



- 2014년 12월 : 한양대학교 재료공학과 (공학사)
- 2014년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

재료공학, 열역학

노 상 완(Sang-Wan Noh)

[정회원]



- 2012년 7월 : Tsinghua University 정밀기계과 (공학사)
- 2015년 6월 : 연세대학교 기계공학부 (공학석사)
- 2015년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계/재료, 열/유체

박 영 민(Young-Min Park)

[정회원]



- 2013년 2월 : 울산대학교 조선공학과 (공학사)
- 2013년 1월 ~ 2017년 1월 : STX 조선해양 대리
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계/조선, 진동/소음

김 경 환(Kyung-Hwan Kim)

[정회원]



- 2008년 2월 : 한국항공대학교 공과대학 정보통신공학과 (공학학사)
- 2007년 12월 ~ 2017년 12월 : 쌍용정보통신 국방사업팀 과장
- 2018년 8월 ~ 2019년 10월 : 에이치케이씨 화생방팀 선임연구원
- 2019년 11월 ~ 현재 : 한화디펜스 체계기술1팀 과장

〈관심분야〉

응용 프로그램 및 임베디드 시스템 개발, 정보통신