

자주포용 발사지지대의 멈춤현상 방지를 위한 설계개선 연구

김성훈^{1*}, 박영민¹, 노상완¹, 박대훈²

¹국방기술품질원 기동화력센터, ²한화디펜스 체계기술팀

A Study on the Design Improvement to prevent the stoppage phenomenon of Launch Support Device for Self-Propelled Artillery

Sung Hoon Kim^{1*}, Young Min Park¹, Sang Wan Noh¹, Dae Hoon Park²

¹Land Systems Center, Defence Agency for Technology and Quality

²System Engineering Team, Hanwha Defense

요약 본 논문은 K105A1 자주포에 적용중인 발사지지대 장치에서 발생한 하강운용간 멈춤현상을 해소하기 위한 설계 개선에 관한 연구이다. K105A1 자주포는 기존의 105mm 견인곡사포를 차량에 탑재하여 기존의 궤도장비보다 신속한 기동성을 확보한 무기체계로써 사격충격력 및 부하를 지지하기 위해 발사지지대가 적용되어 있다. 이러한 발사지지대는 사격 전 지면에 단단히 고정되고 사격제원 유지, 차체 자세제어 등 사격임무 수행에 중추적인 역할을 하여 성능발휘에 대한 높은 신뢰성이 요구된다. 그러나, 야전운용시험 간 발사지지대를 설치하는 중 간헐적인 멈춤현상이 발생하여 지면에 고정되지 못하는 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 야전에서 재연시험 및 부품단위 분해검사를 통해 고장원인을 분석 및 검토하였다. 더불어 발사지지대의 운용개념, 작동 메커니즘 및 구성품 단위의 설계분석을 통해 근본적인 원인을 도출하고 이를 해소하고자 관련된 부품의 설계를 변경하여 발사지지대의 멈춤현상을 해소하였다. 마지막으로 설계변경사항의 효과성을 확인하고자 완성체계 상태에 적용하여 발사지지대 성능 및 사격임무 수행이 정상적으로 이루어짐을 확인 및 입증하였다. 이에 따라, 본 연구에서는 K105A1 자주포 발사지지대의 성능에 대한 안정성 및 신뢰성을 확보하였으며, 본 연구가 향후 군용장비 및 유사품목 개발시 많은 도움이 될 것으로 기대된다.

Abstract This paper reports a design improvement study to solve the stoppage phenomenon caused by the launch-support device applied to K105A1. The K105A1 is a weapon system equipped with an old 105 mm towed howitzer in a wheeled vehicle, which provides superior maneuverability compared to track equipment. The launch support device serves to withstand fire impact and load. In this way, this device is fixed firmly to the ground in preparation for the shooting mission and is responsible for the critical performance, such as fixing the position of the vehicle. On the other hand, during the field test, a temporary stoppage of the launch support occurred, which caused a problem of not being fixed to the ground. To solve this problem, the cause of failure was analyzed by a replay test and parts inspection. In addition, the operating concept, method, and design were analyzed to derive the cause and solve the problem by changing the parts design. Finally, the performance and firing missions were performed normally by applying the changed design to K105A1. The performance stability and reliability of the launch support device were confirmed, which are expected to be of great assistance in the development of military equipment in the future.

Keywords : K105A1, Design Improvement, Launch Support Device, Stoppage Phenomenon, Snap-ring

*Corresponding Author : Sung Hoon Kim(Defence Agency for Technology and Quality, DTaQ)
email: saven877@dtAQ.re.kr

Received January 22, 2020

Accepted May 8, 2020

Revised February 13, 2020

Published May 31, 2020

1. 서론

K105A1자주포는 기존에 야전에서 운용중이던 105밀리 견인곡사포를 차량에 탑재한 무기체계로 수동으로 포를 조준 및 고정하는 것에서 탈피하여 자동사격통제장치, 관성항법장치 등을 적용하여 자동으로 포를 정렬할 수 있는 장비이다. 특히 사격 시 차체 안정성을 향상시키기 위해 차량 중심 부에 전기식 발사지지대가 적용되어 있으나, 야전에서 발사지지대를 하강시키는 도중 정지하는 현상이 발생하여 원인 분석이 필요한 상황이었다.

지지대는 산업 전반에서 널리 활용되는 장치로, 이삿짐 차량 등 대부분의 특장차에 유압구동 방식의 지지대가 사용되고 있으며, 설계개념 분야, 구조적 안전성 등 관련 연구들이 활발히 진행 중이다[1,2].

그러나 전기모터에 의해 구동되는 전기식 지지대와 관련된 연구동은 미흡한 실정이다.

이에 따라 본 연구에서는 K105A1자주포의 전기식 발사지지대 고장현상에 대해 입력전류 변화량 분석을 토대로 원인을 식별하고, 브레이크 조립체의 조립성 검토, 브레이크 패드의 기능 및 통제개념 적절성, 허브에서 견딜 수 있는 충격력에 대한 안전율 등 고장 메커니즘 분석을 수행하였다[3]. 이를 통해 근본적 개선방안을 도출하였으며 목표지점에 타격하지 못하거나 사격 정확도가 떨어지는 등의 문제를 해결하고자 수행한 연구내용에 대해 기술하였다.

본 연구는 군수품 분야에 적용된 전기식 지지대에 대한 최초의 설계개선 연구로써 큰 의미가 있으며 향후 지지대를 적용하는 무기체계 개발에 도움을 줄 수 있을 것으로 기대된다.

2. 발사지지대 특성 및 문제현상

2.1 발사지지대 형상 및 기능

발사지지대는 Fig. 1과 같이 차량 양쪽에 적용되어, 사격준비간 전자동제거를 통한 자동, 외부에 장착된 지지조종기를 통한 반자동, 수동핸들을 통한 수동동작의 형태로 상승, 하강구동이 가능하다.



Fig. 1. Mounting position of Launch Support Device (LSD)

발사지지대는 Fig. 2와 같이 크게 구동모터와 감속기 조립체, 브레이크조립체, 구동기조립체로 구성되어 있으며, 상단부의 전기식 구동모터에 의해 구동력이 발생되고 감속기조립체, 볼나사조립체로 이어지는 구동계통에 따라 상승/하강 동작이 이루어진다. 지면까지 하강이 완료되었을 경우, 지면으로부터 차량을 단단하게 지지하는 기능을 수행한다.

발사지지대의 작동 메커니즘은 전류의 변화량에 따라 구동이 제어되도록 설계되어 있으며, 세부적인 작동방식은 다음과 같다.

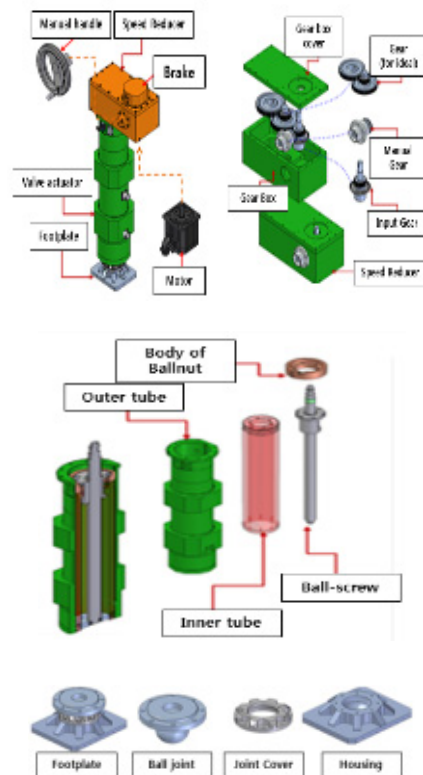


Fig. 2. Structure of LSD

발사지대 하강 명령 입력 시, 구동모터의 회전을 제동하고 있는 브레이크 조립체가 전기적으로 해제되며 구동할 수 있는 상태가 된다. 브레이크 해제 후, Fig 3과 같이 발사지대는 지면을 감지하기 전까지 약 17~20A의 전류로 하강(A구간)하고, 지면과 접촉하여 60A 이상의 전류 변화량이 감지되면(B구간) 40mm 추가로 하강시키고 정지한다[4]. 이때 40mm가 추가로 상승되는 최대 전류는 평균적으로 200~300A 의 전류가 소요되며, 장비는 전류의 변화량을 기준으로 전시통제기에 설치상태를 전시한다.

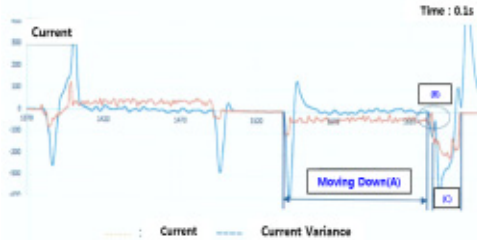


Fig. 3. Current Variance of LSD

2.2 문제발생 현상

K105A1자주포의 실제 사격을 위한 임무준비 과정에서 Fig. 4과 같이 좌측 발사지대가 중간에서 멈추는 현상이 발생하였다. 평탄한 지면에서 전시통제기를 통해 하강구동하도록 제어하였으나, 비정상적인 기계적 소음과 함께 구동이 정지되었다.

또한 자동구동시 발사지대의 상태를 확인할 수 있는 전시통제기 상태창에 설치가 완료되었다는 메시지가 전시되었다.



Fig. 4. Stoppage phenomenon of LSD

3. 문제 원인 분석

3.1 전류 변화량 관찰

2.1에서 언급한 전기적인 구동제어 방식은 산업 전반에 활용되고 있으며, 특정 현상의 고장분석 및 탐구를 위한 중요한 정보를 제공한다[5]. 원인을 도출하기 위해 문제발생 당시와 동일한 환경을 구성하고 재연시험을 통해 전류의 변화량을 관찰하였다.

해당 문제가 발생하지 않은 정상적인 장비를 평탄한 지면에 위치시키고 좌측 발사지대에 하강명령을 인가하였다. 하강 도중 발판부에 인위적으로 부하를 가하고 상용 소프트웨어인 Real DSP사의 DataMon을 활용하여 Fig. 5 분석절차를 따라 전기모터에 인가되는 전류의 크기 및 변화량의 추이를 관찰하였다.

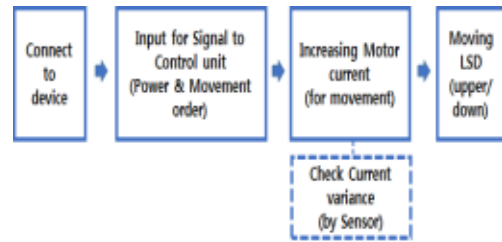


Fig. 5. Procedure for checking current variance

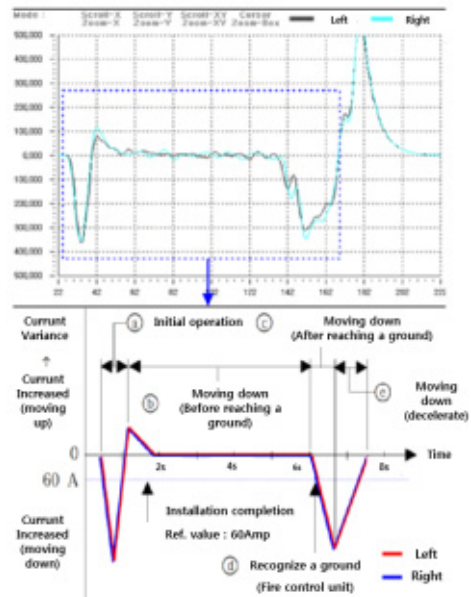


Fig. 6. Current variance(Nomal state, Flat ground)

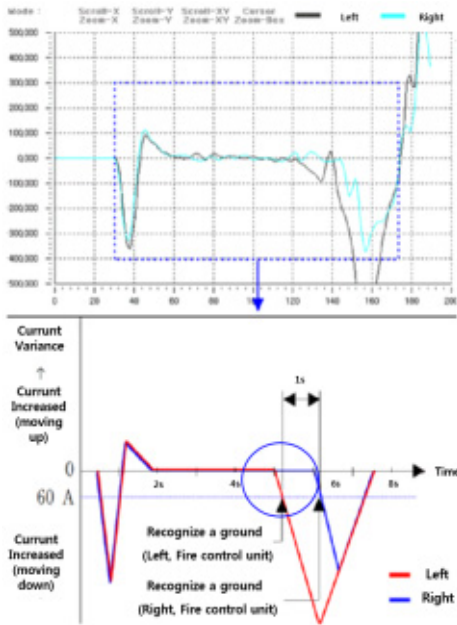


Fig. 7. Current variance(abnormal state, Flat ground)

Fig. 6와 같이 정상적인 지면인지 시점보다는 Fig. 7와 같이 이른 시점에 전류 변화가 발생함을 확인하였다. 또한 문제현상과 동일하게 발사지시대 구동이 정지되었으며, 전시통제기에는 설치완료 메시지가 전시되었다. 결국 하강시 전류가 급격하게 변하는 현상은 하강동작 중 비정상적인 부하가 인가되어 발생한 문제로 추정되었다.

3.2 기구적 손상 확인

발사지시대가 멈추기 직전 비정상적인 소음이 발생하였고, 전류 변화량 분석을 통해 비정상 부하가 발생한 것으로 추정되어 Fig. 8의 분해 및 분석절차에 따라 동력계통의 부품검사와 설계측면의 검토를 수행하였으며 주요 결과는 다음과 같다.

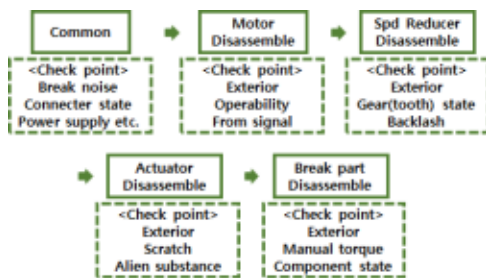


Fig. 8. Procedure for checking LSD state

3.1.1 감속기조립체 확인

2.1에서 서술한 감속기조립체는 구동모터에서 입력되는 구동력을 볼나사조립체로 전달하고, 기어비에 따라 구동력을 발생시키는 역할을 한다.

문제가 발생한 발사지시대를 분해점검한 결과 감속기조립체 구성품 간 간섭, 손상 및 이물질 유입 등 기계적 결함은 발견되지 않았으며, 각 부품을 분해하여 확인한 결과 특이사항은 발견되지 않았다.



Fig. 9. Result of inspect gear speed reducer

3.1.2 구동기조립체 확인

구동기조립체는 튜브형태로 모터 및 감속기로부터 전달받은 동력으로 차체를 상승시킨다. 외부 이물질로 인한 끼임 등의 유무를 확인하기 위해 육안검사를 실시하였으나, 특이사항은 발견되지 않았다.



Fig. 10. Result of inspect valve actuator

3.1.3 브레이크 조립성 확인

좌측 브레이크 조립성 확인 결과, Fig. 11과 같이 브레이크의 멈춤/구동과 같은 구동력을 발사지시대로 전달하는 역할을 하는 기어축, 허브, 핀이 비정상적으로 이탈된 것을 확인하였다. 더불어 키에는 외력에 의한 손상이 함께 발견되었다.

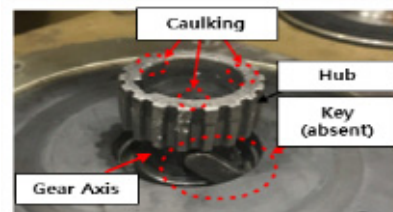


Fig. 11. Abnormal assemble state of Hub (Key absent)



Fig. 12. Damaged key shape

발사지지대가 하강하기 위해 브레이크가 해제됨과 동시에 허브는 회전운동을 통해 구동력을 전달하여야 하지만 허브가 상부로 이탈되고 허브와 기어축을 고정하는 키가 이탈됨에 따라 부품간의 끼임이 발생하였음을 확인하였다.

이로 인해 부품끼임으로 인한 과부하가 발생하였고 급격한 전류값의 변화로 인해 전신통제기는 지면도달이 완료된 것으로 인지하여 발사지지대에 구동정지 명령을 하달한 것으로 확인하였다.

3.1.4 설계분석

K105A1 자주포의 발사지지대를 수동으로 작동하기 위해서는 Fig. 13과 같이 손잡이를 통해 운용자가 직접 브레이크를 해제(브레이크 패드 상승)시켜주어야 한다.

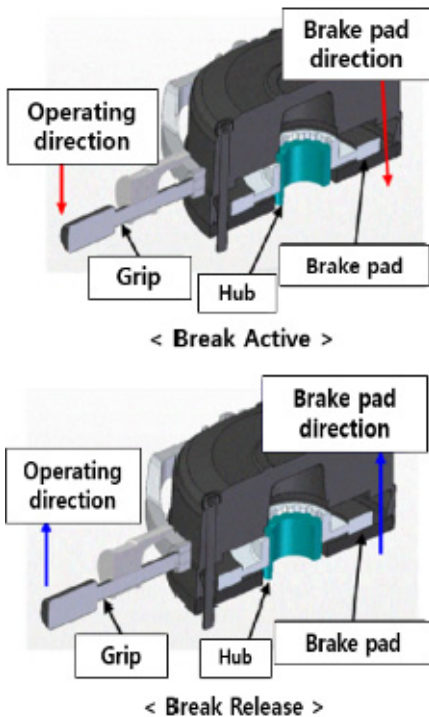


Fig. 13. Active/Release of Brake part

기존의 설계는 브레이크를 해제할 경우 허브를 감싸고 있는 브레이크 패드가 상승방향으로 작동하게 되어 브레이크 패드와 허브 간의 마찰로 인해 허브가 상승하는 구조임을 확인하였다.

그러나 위와 같이 문제가 내재된 설계임에도 불구하고 도면 등 기술자료에 이탈방지를 위한 사항이 반영되어 있지 않은 실정이었다.

더불어 최초에는 허브의 이탈방지를 위해 코킹(Caulking) 작업을 실시하여 허브가 이탈되지 않도록 부품을 제작하였으나, Fig. 14과 같이 코킹작업이 미흡하게 되어 허브를 고정시키지 못하는 것을 추가적으로 확인하였다[6].



Fig. 14. Shape of caulking work for hub

Table 1. Result of caulking work

	Width(mm)	Depth(mm)	Fixed condition
#1	2.4	1.1	Fine
#2	2.7	1.2	Fine
#3	2.9	1.2	Fine
#4	2.1	1.1	Fine
#5	2.7	1.1	Fine
#6	2.4	1.3	Fine
#7	2.5	1.2	Fine
#8	2.6	1.2	Fine
#9	1.1	0.7	Poor
#10	2.6	1.0	Fine
#11	2.7	1.1	Fine
#12	2.8	1.0	Fine

Table. 1과 같이 발사지지대가 정상동작하는 장비의 경우, 허브 코킹은 너비 2.1~3.0mm, 깊이 1.0~1.2mm였다. 하지만 문제가 발생한 허브의 경우 너비 1.1mm, 깊이 0.7mm로 고정되기에 충분하지 않은 것으로 확인하였다. 이에 따라 브레이크 수동 해제로 인한 허브의 이탈을 근본적으로 예방하고자 설계개선을 수행하였다.

4. 설계개선 및 입증시험

4.1 설계개선 방안 수립

기존의 수행되었던 코킹작업은 도면에 반영되어 있지 않을 뿐만 아니라, 작업자의 일손씨에 따라 제작편차가 불가피하게 발생한다. 이에 따라 품질이 동일하게 확보되고 야전에서의 정비성 등을 고려하여 설계개선 방안을 수립하였다.

브레이크 해제로 인한 상승력이 작용하더라도 패드로 인한 허브의 이탈을 방지 할 수 있도록 개선하였다. Fig. 15와 같이 기어 축에 자리를 내고 스냅링을 장착하여 상승현상을 방지할 수 있도록 하였다.

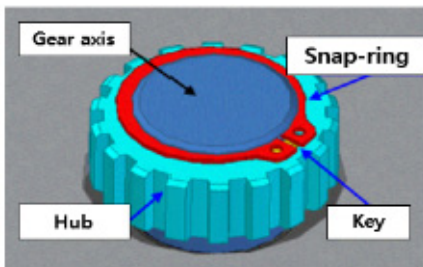


Fig. 15. Shape applied snap-ring

4.2 타당성 검토

수동으로 운용자가 브레이크를 해제할 경우, 브레이크 패드의 상승력이 상대품인 허브에 모두 전달된다는 조건에서 Fig. 17의 부품제원과 지렛대의 원리를 적용하여 Eq. (1)과 같이 허브에 미치는 최대상승력을 계산하였으며, 최대 1,254.3N으로 확인되었다.

$$F(2) = [F(1) \times (L1 + L2)] / L2 \quad (1)$$

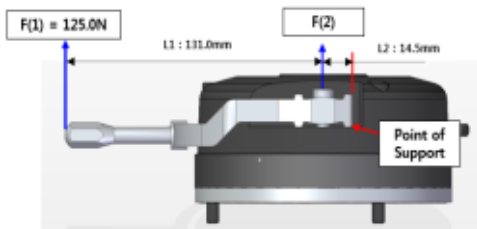


Fig. 16. Schematization of Brake part

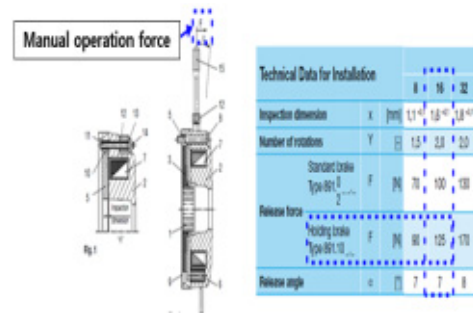


Fig. 17. Catalog of brake part (producer)

실제로는 힘이 전달되는 과정 중 마찰로 인한 손실 등으로 인해 상승력은 최대치보다 작을 것으로 판단되나, 설계적인 안전성을 고려하기 위해 최대값을 우선적으로 적용하여 안전율을 도출하였다.

시뮬레이션 S/W(ANSIS Mechanical 2019 R2)를 활용하여 축에 의해 구속되는 스냅링의 Z방향 변위를 구속한 뒤, 최대상승력(1,254.3N)이 접촉부에 모두 작용하는 조건에서 스냅링에 작용하는 최대 응력은 Fig. 18과 같이 130Mpa 수준임을 확인하였다. 이를 바탕으로 허브로부터 스냅링에 가해지는 축방향 상승력을 전달 수 있고 부품이 장착될 수 있는 구조와 시중에 널리 활용되는 제품을 확인한 결과 KS B 1336 규격에서 쓰이는 스냅링 제품이 적합한 것으로 판단되었다[7]. 해당되는 소재의 항복 전단응력(약 730Mpa)과 스냅링의 최대응력을 비교하였을 때 상당한 안전율을 확보하는 것으로 확인되었다[8,9].

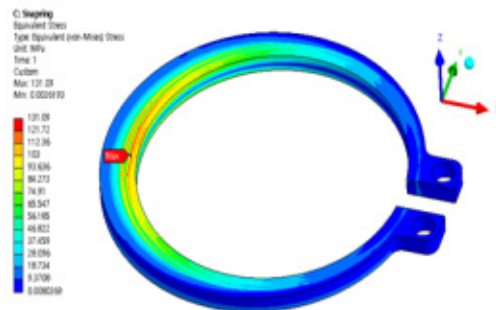


Fig. 18. Result of Simulation for Snap-ring

4.3 체계장착 입증시험

설계개선된 사항에 대해 야전에서 실제 운용중인 장비에 적용하여 브레이크 작동성 및 발사지지의 상승, 하강 여부에 대해 Table. 2와 같이 확인하였다. 발사지지

대의 상승 및 하강상태, 수동구동 작동력 등 규격에 명시된 요구항목에 대해 성능을 만족하는 것으로 확인되었다. 이에 따라 설계개선사항이 기존에 발생했던 발사지대대 멈춤현상 문제가 재발되지 않는 것을 입증하였다.

Table 2. Result of LSD Test for Vehicle

	Moving Up	Moving Down	Force for Manual	Fixed states at Ground
#1	O	O	9.1kgf≤	Fine
#2	O	O		Fine
#3	O	O		Fine
#4	O	O		Fine
#5	O	O		Fine
#6	O	O		Fine
#7	O	O		Fine
#8	O	O		Fine
#9	O	O		Fine
#10	O	O		Fine
#11	O	O		Fine
#12	O	O		Fine

5. 결론

본 연구는 K105A1 자주포 발사지대대 정지현상을 개선하기 위한 설계 최적화 방안에 대해 연구하였다. 재현 시험, 부품검사 및 설계분석을 통해 원인을 도출하고 분석하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

K105A1 자주포 발사지대대 정지현상은 브레이크의 조립성을 확인한 결과, 주요 부품의 이탈 및 끼임으로 인해 발생하였음을 확인하였다.

설계측면에서 분석한 결과 발사지대대의 수동구동을 위해 운용자가 직접 브레이크 해제할때 발생하는 상승력으로 인해 그 힘이 허브에 영향을 미쳐 부품이 이탈됨을 확인하였으며, 이를 물리적으로 개선하기 위해 스패링을 적용하였다.

개선된 설계를 발사지대대에 적용한 결과 단품상태에서의 모든 성능시험 규격을 만족하며, 체계장비에 장착한 상태에서도 발사지대대가 정상적으로 작동하여 운용 및 성능에 대한 신뢰성을 확보하였다.

본 연구결과는 향후 개발되는 군용장비 및 유사한 지대 설계 최적화에 대한 자료로 활용될 것으로 기대한다.

References

- [1] W. C. Kim, T. J. "Concept design of high aerial-range lift vehicle out-trigger", *Proceedings of KSME 2014 Spring Annual Meeting*, The Korean Society of Mechanical Engineers, Jeju, Korea, pp.56-57, May 2014.
- [2] B. R. Ha, B. C. Chang, I.H. Baek, Y. K. Kim, K. M. Park, S. H. So, "Study on structural Stability for Boom and Outtrigger of Demolition Fire Apparatus", *Journal of Korean Society of Mechanical Technology*, Vol.15, No.3, pp.357-363, June 2013.
DOI: <https://doi.org/10.17958/ksmt.15.3.201306.35>
- [3] H. J. Yoon, Y. W. Nam, K. S. Park, "A Study on Reliability Improvement of BLDC Motor for Combat Vehicle in High Temperature Environment", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.17, No.5, pp.97-102, Oct. 2018.
DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.5.09>
- [4] J. H. Kim, *Electrical Characteristic and thermal aging analysis of motor by durability overcurrent*, Ph.D dissertation, Graduate School of Hanyang University, pp.10-11, Feb. 2012.
- [5] J. H. Han, J. H. Song, K. H. Choi, "Diagnosis of Induction Motor Faults Using Inverter Input Current Analysis", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol.17, No.7, pp.492-498, July 2016.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2016.17.7.492>
- [6] S. C. Hwang, J.G. Kim, "Caulking and Gap Analysis for a Ball Joint", *Journal of the Korean Society of Mechanical Engineers*, Vol.35, No.9, pp.1077-1082, Sep. 2011.
DOI: <https://doi.org/10.3795/KSME-A.2011.35.9.1077>
- [7] KS B 1336, C-type Snapring, Korean Standard, pp.2-6, 2017
- [8] J. H. Park, J. H. Song, "Detailed Evaluation of Methods for estimation of Fatigue properties", *International Journal of Fatigue*, Vol.17, No.5, pp.365-373, July 1995.
DOI: [https://doi.org/10.1016/0142-1123\(95\)99737-U](https://doi.org/10.1016/0142-1123(95)99737-U)
- [9] K. S. Lee, J. H. Song, "Estimation Methods for strain-life fatigue properties from hardness", *International Journal of Fatigue*, Vol.28, No.4, pp.386-400, April 2006.
DOI: <https://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2005.07.037>

김 성 훈(Sung Hoon Kim)

[정회원]



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

〈관심분야〉

국방, 재료공학, 기계공학

박 대 훈(Dae Hoon Park)

[정회원]



- 2003년 2월 : 한국해양대학교 제어계측공학과 (공학사)
- 2003년 6월 ~ 현재 : 한화디펜스 (구 삼성테크윈) 체계기술팀 차장

〈관심분야〉

자동화시스템, 무기체계

박 영 민(Young Min Park)

[정회원]



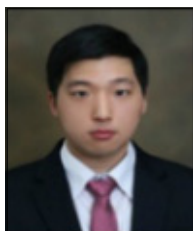
- 2013년 2월 : 울산대학교 조선공학과 (공학사)
- 2013년 1월 ~ 2017년 1월 : STX 조선해양 대리
- 2017년 2월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉

국방, 기계/조선, 진동/소음

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, 재료공학, 기계공학