

궤도차량용 보조동력장치 품질개선에 관한 연구

배공명^{1*}, 김현수¹, 장영찬²
¹국방기술품질원, ²한화에어로스페이스

A Study on the Quality Improvement of Auxiliary Power Unit for Track Vehicles

Gongmyeong Bae^{1*}, Hyunsu Kim¹, Youngchan Jang²
¹Defense Agency for Technology and Quality
²Hanwha Aerospace

요약 본 논문은 야전에서 다수 식별된 궤도차량 보조동력장치 예열플러그 단락으로 인한 제품 손상 및 장비 운용성 저하를 개선하기 위한 연구이다. 보조동력장치는 궤도차량이 정차한 상태에서 주 엔진의 가동 없이 동력을 얻기 위해 설치된 장치로서 포탑 구동 및 차량에 탑재된 주요 장치 작동에 필요한 전원을 공급하는 기능을 수행한다. 그러나, 동계 운용 등 저온 환경에서 흡기예열을 위한 예열플러그를 작동 시간이 누적됨에 따라 예열플러그 과열 등의 원인으로 내부 코일 1차 손상 및 단락 전류에 의한 제어함 2차 손상이 발생한 바가 있다. 이에 근본 대책으로 예열플러그 내구성 개선 및 제어함 보호회로 추가 적용하였고, 개선안에 대한 효과성 검증을 통해 안정성 및 신뢰성을 확인, 입증하였다. 이러한 결과를 토대로 향후 유사 체계의 개발 시 장비 신뢰성을 증대할 수 있는 참고 자료가 될 것으로 기대한다.

Abstract This study aimed to improve product damage and the deterioration of equipment operability caused by short circuits in the glow plugs of tracked vehicle Auxiliary Power Units, which were identified in large numbers in the field. The Auxiliary Power Unit is a device that is installed to obtain power without operating the main engine when the tracked vehicle is stationary, and performs the function of supplying the power necessary to operate the turret and other major devices mounted on the vehicle. On the other hand, as the operating time of the glow plug for preheating the intake air accumulates in low-temperature environments, such as winter operation, primary damage to the glow plug coil due to overheating of the glow plug and secondary damage to the control box due to a short-circuit current have occurred. Accordingly, the durability of the glow plug was improved. An additional protection circuit within the control box was applied, and stability and reliability were confirmed by verifying the effectiveness of the improvement.

Keywords : Auxiliary Power Units, Glow Plug, Short-circuit Current, Quality Improvement, Track Vehicles

1. 서론

군에서 운용하는 궤도차량은 사격훈련 및 정비 등 포탑 운용 시에는 주엔진인 디젤엔진을 정차상태에서 장시간 사용하게 된다. 장시간 정차상태에서 공회전 시 오일,

냉각수의 순환 등이 잘 이루어지지 않아서 내부 부품의 파손 발생가능성이 존재한다. 또한 차량의 운행이 아닌 내부 장비의 운용을 위해서는 주엔진의 동력만큼 에너지가 필요하지 않다. 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위하여 Fig. 1과 같이 주엔진의 가동 없이 보조동력장치

*Corresponding Author : Gongmyeong Bae(Defense Agency for Technology and Quality)

email: gmbae@dtaq.re.kr

Received February 1, 2024

Accepted April 5, 2024

Revised March 11, 2024

Published April 30, 2024

(Auxiliary Power Unit)를 사용하여 포탑 구동 및 차량에 탑재된 장비 작동에 필요한 전원을 공급한다[1,2]. 또한 보조동력장치 제어장치는 출력 전압/전류 및 엔진회전속도를 감지하여 정전압 출력 제어를 수행하고 과부하, 과전압 등과 같은 장비에 영향을 미치는 요소들을 감지하여 장비를 보호하는 기능을 한다. 따라서 보조동력장치가 장착된 궤도차량은 야전 운용 간에 체계의 엔진을 작동시키지 않고 장시간 작전 대기가 가능하도록 한다. 이러한 보조동력장치는 궤도차량의 정차상태의 운용능력을 향상시키는 핵심 구성품으로서 고장 시에 탑재장비 운용에 심각한 영향을 미치게 된다. 그러므로 본 연구에서는 궤도차량 운용 중에 다수 발생한 보조동력장치의 고장 현상을 분석하였고, 개선 안을 제시 및 검증하였다. 보조동력장치 고장의 주요원인은 운용 중 Fig. 2와 같이 보조동력장치 내부의 예열플러그 단락으로 인해 발생한 과전류가 제어장치(Control box)로 유입되어 발생하였다. 따라서 본연구에서는 주요 원인인 예열플러그의 고장 현상을 분석하였고, 이에 대한 개선방안을 제시하였다. 그리고 개선방안에 대하여 환경시험, 내구도 시험 및 체계 적합성 시험을 통해 검증하여, 제안한 품질개선안의 타당성을 입증하였다.

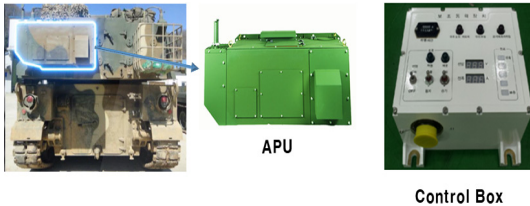


Fig. 1. APU and control box

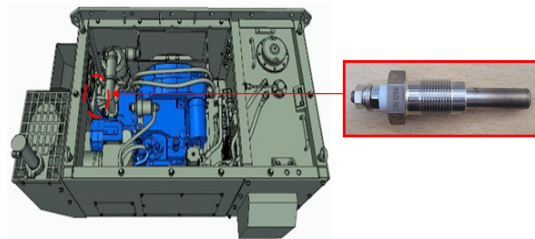


Fig. 2. Glow plug location on APU

2. 원인분석

2.1 예열플러그

궤도차량에 사용되는 디젤엔진은 겨울철과 같이 흡입

온도가 낮아지게 되면 연료 증발 및 미립화 특성의 악화로 고온 고압에 노출된 공기와 연료의 혼합을 통한 자발화(Autoignition)가 어려워진다[3]. 따라서 시동 걸림이 어려울 뿐만 아니라 시동초기에 유해 배기가스의 발생이 증가한다. 또한 배기가스 배출물은 주로 엔진 시동 초기 90~120초 운전 기간에 약 80%가 배출된다[4]. 따라서 디젤엔진은 동절기와 같은 저온환경에서 압축착화가 잘 일어나도록 하는 보조장치가 필요하며 공기예열플러그(Glow plug)가 이러한 역할을 한다[5]. 디젤 엔진의 저온시동성 향상을 위하여 공기예열플러그에 요구되는 주요 성능은 시동대기 시간의 단축을 위한 빠른 승온특성과 연소실 내에 고온, 고압 부식환경에 견딜 수 있는 내구성이다.

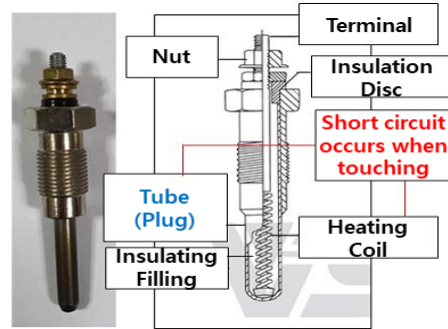


Fig. 3. The structure of a glow plug

공기예열플러그는 Fig. 3과 같이 발열코일, 외부 튜브(플러그), 절연체 및 전원선 연결을 위한 터미널 등으로 구성되어 있다. 튜브의 내부는 단선될 경우를 대비하여 절연체로 채워지게 된다. 절연체는 급속 승온성능과 고온에 대한 내구성이 요구된다. 그럼에도 불구하고 발열코일이 단선될 경우에는 튜브와 접촉하여 과전류가 흐르게 된다.

2.2 발생원인

궤도차량 보조동력장치의 동계 운용을 위해서는 보조동력장치 시동 시에 공기예열플러그를 통해 흡기공기를 가열시킨다. 그러나 Fig. 4와 같이 공기예열플러그 내부 코일이 단선이 발생하면, 간헐적으로 코일이 플러그 외부와 접촉되어 과전류가 흐르게 된다.

발생한 과전류는 Fig. 5와 같이 회로를 구성하고 있는 보조동력장치의 제어장치 내부 배선까지 유입되어 2차 손상으로 이어진다. 공기예열플러그 단선이 발생하면 제어장치 내에 배선용량이 작은 배선부터 손상되며, 이후 Fig. 6과 같이 회로카드조립체, 연결케이블 및 주요기능품으로 손상이 이어진다.

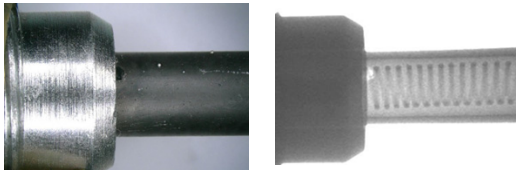


Fig. 4. The comparison of internal structure of glow plug coils

이때 공기예열플러그의 손상으로 인해 제어장치의 2차 손상이 발생하게 되면 보조동력장치의 출력을 이용하는 주요 장비들까지 운용이 제한되기 때문에 체계의 운용에 심각한 문제가 발생하게 된다.

3. 개선 및 검증

3.1 개선방안

공기 예열플러그의 단락은 Fig. 4와 같이 예열플러그 내부코일과 절연체가 누적된 열에 의해 성능이 저하되어 단선된 코일이 플러그 외부와 접촉되어 발생한다. 따라서 본 연구에서는 발열부의 열손상을 감소시키기 위하여 Fig. 7와 같이 개선품과 같이 발열부 직경을 약 30% 증가시켜 열배출을 쉽게 하였고, 플러그 내벽과 코일의 간격을 기존 대비 약 3배 정도 증가시켜 단선 시 플러그 외부와 접촉 가능성을 감소시켜 단락을 막고자 하였다. 충전제는 우수한 절연성능을 가지고 있는 산화마그네슘(MgO)을 사용하였다. 산화마그네슘은 고온에서 물리적 및 화학적으로 안정하고, 또한 높은 열전도율과 낮은 전기전도율을 가진다[6,7]. 발열부 직경 증가에 따라 충전제의 체적은 기존 대비 약 2배 이상 증가하였다.

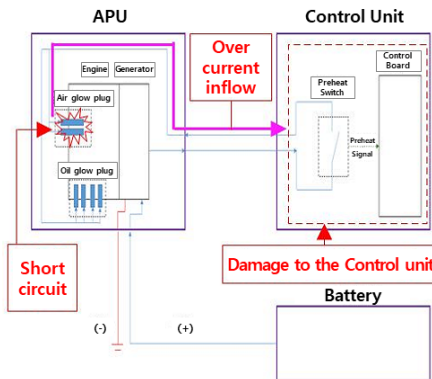


Fig. 5. The schematic diagram of an overcurrent flow

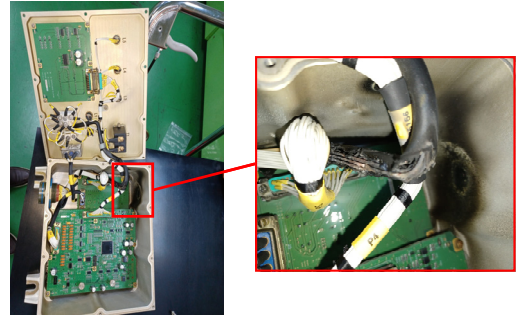


Fig. 6. The damage of control box cable

공기 예열플러그 개선에도 불구하고 예열플러그 단락에 따른 과전류로 보조동력장치 제어장치 내부 회로로 이어지는 장비의 추가적인 손상을 방지하고자 보호회로를 추가하였다. Fig. 8과 같이 보호회로로 공기예열플러그와 예열스위치 사이에 회로차단기를 추가함으로써 제어장치 내부 2차 소손 발생을 예방하고자 하였다. 보조동력장치 공기예열플러그는 개발 당시에 제어장치의 설계상의 이유로 제어장치의 주전원과 별도로 분리하여 회로를 구성하였다. 그로 인해 제어장치 주전원 회로에는 회로차단기가 설치되어 있으나, 공기예열플러그의 회로에는 회로차단기가 설치되어 있지 않다. 따라서 Fig. 8과 같이 해당 회로의 공기예열플러그 용량에 해당하는 10A 차단기를 추가하였고, 공기예열플러그의 단락에 의해 과전류가 유입되면 회로차단기가 작동하여 제어장치 내부 회로를 보호할 수 있도록 개선하였다. 또한 제어장치 전면 좌측상단부에 회로차단 스위치를 장착하여, 과전류 입력 시에 회로차단 기능이 작동하여 스위치가 상승한다. 복귀 시에는 스위치를 하강하여 재작동할 수 있게 하였다.

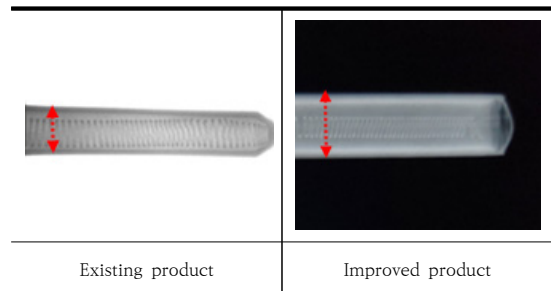


Fig. 7. The comparison of internal structure of glow plug coils

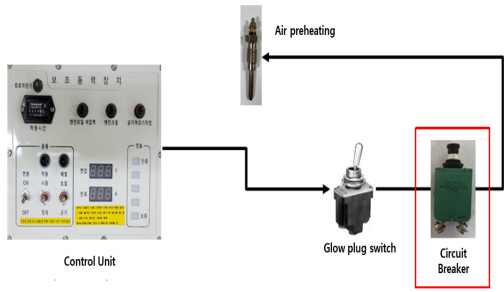


Fig. 8. The comparison of internal structure of glow plug coils

3.2 검증시험

개선된 예열플러그의 성능을 확인하기 위하여 보조발전기의 국방규격에 따라 온도성능시험, 내구성시험, 저온작동시험을 실시하였다. 온도성능시험은 전원공급기로 120W 전원을 공급하고, 예열플러그에 부착된 열전대(Thermocouple)로 온도의 변화를 확인하였다. 온도성능시험 결과는 Fig. 9와 같다. 약 200초 간 전원공급 하였을 때, 두 예열플러그의 온도변화 그래프는 최대 온도에 도달하여 포화상태에 이를 때까지 전반적으로 유사한 형태를 보인다. 다만, 약 25초 이후부터 개선된 예열플러그가 약 10℃ 이상 높은 온도를 보여준다. 그리고 개선된 예열플러그의 최고온도는 기존보다 18.2℃ 높고, 8.5초 빠르게 도달하였다. 이는 예열플러그의 발열부 직경을 증가시켜 산화마그네슘 충전제의 체적이 기존보다 증가하였기 때문에 열용량이 커져서 기존보다 개선된 것으로 판단된다. 예열플러그의 성능시험 결과는 Table 1과 같다.

내구도 시험은 동계 보조발전기 시동절차를 참고하여 90시간 연속 사용조건을 가정하여 수행하였다. 90시간은 동계의 월 사용 시간과 보증기간 3년을 고려하여 설정하였다. 동계 시동절차는 1회 최대 8분간 예열플러그 작동 후에 시동시킨다. 그러나 좀 더 가혹한 조건에서 테스트를 위하여 30분 예열플러그 작동 후, 30분 휴식을 1 사이클로 정하여, 90시간 연속 수행하였다.

Table 1. The results of glow plug performance

	Existing product	Improved product
Power	120W(24V@5A)	120W(24V@5A)
Maximum Temp. / Time	820.1℃ / 202.5 sec	838.3℃ / 193.5 sec
Durability	103 Hr	205 Hr

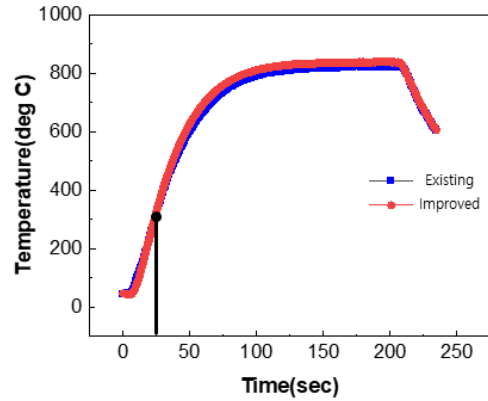


Fig. 9. The comparison of internal structure of glow plug coils

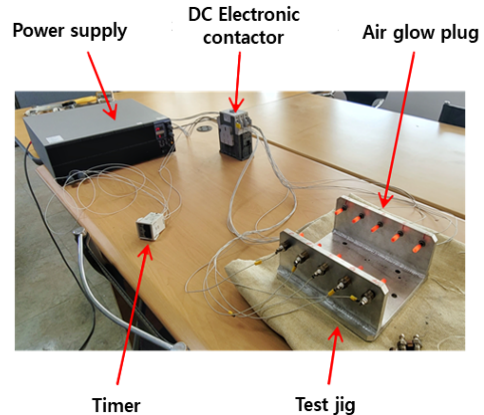


Fig. 10. Durability test of Glow plugs

내구도 시험을 위해 Fig. 10과 같이 내구성 시험 치구를 이용하여 예열플러그 10개에 대하여 동시에 테스트할 수 있게 구성하였다. 기존품, 개선품 모두 90시간까지 정상 작동하였다. 그러나 내구도 시험을 추가로 진행하였을 때 기존 예열플러그는 103시간에서 단선이 발생했고, 개선품은 205시간에서 단선이 발생했다. 개선품이 약 2배 이상 오래 견딜 수 있었던 주요 이유는 단선의 주요 원인인 발열부 열손상을 감소시키기 위하여 개선품 발열부의 직경을 증가시켜서 열배출이 용이했기 때문으로 판단된다.

개선된 예열플러그와 보호회로가 추가된 보조동력장치 개선방안에 대한 검증을 위하여 보조동력장치를 국방규격에 따라 성능시험(접속저항, 회로동작검사 등)을 수행하였고, 정상작동 되는 것을 확인하였다. 또한 시험장

비에서 과전류 인가 시에 제어장치 내에 추가한 회로차단 기능이 정상적으로 수행되는 것을 확인하였다. 보조동력장치(제어장치)의 내부 회로 구성 변경에 따라 환경영향성을 확인하기 위하여 국방규격에 따라 고온저장, 고온운용, 저온저장, 저온운용, 습도, 진동, 충격시험을 수행하였고 이상 없는 것을 확인하였다. 최종적으로 궤도차량에 장착하여 보조동력장치와 제어장치가 주요장비들과 체계에서 정상적으로 작동하는 것을 확인하였다.

4. 결론

본 연구에서는 동계에 궤도차량을 정차상태에서 운용하기 위한 보조동력장치 사용 간에 발생한 고장현상에 대한 분석을 수행하였고, 이에 대해 개선 및 입증하였다. 보조동력장치의 동계 시동을 원활하게 하기 위한 공기에 열플러그의 단선으로 인해 과전류가 유입되었고, 제어장치 2차 손상이 발생하였다. 이로 인하여 제어장치에서 주요 탑재장비로 전원공급이 제한되어 체계 운용에 영향을 미치게 되었다.

보조동력장치 운용 간에 발생하는 공기예열플러그의 고장 현상을 개선하기 위하여 발열부의 직경 및 충전제의 양을 증가시켜 발열성능 및 내구성을 향상시켰다. 그러나 개선사항에도 불구하고 공기예열플러그의 단선으로 발생하는 과전류는 제어장치로 유입되어 2차 손상을 일으킬 수 있다. 따라서 과전류를 차단하기 위하여 공기예열플러그와 예열스위치 사이에 회로차단기를 추가하여 제어장치 내부 회로의 2차 손상을 예방하고자 하였다. 공기예열플러그와 같은 소모품도 단선으로 인해 과전류가 회로로 유입되게 되면 전체 체계 운용에 증대한 영향을 줄 수 있기 때문에 개발과정에서 적절한 보호회로의 반영이 필수적이다.

본 연구를 통해 보조동력장치의 공기예열플러그의 품질개선 사례 제안하였고, 보조동력장치 설계 시 추가적인 보호회로 적용의 필요성에 대해 제시하였다. 이는 보조동력장치가 적용될 수 있는 유사 체계 개발 시에 반드시 고려되어야 할 요소라고 판단된다.

for K55A1 APU Engine Mounts”, *Journal of the KIMST*, Vol.19, No.3, pp.281-287, 2016.

DOI: <https://doi.org/10.9766/KIMST.2016.19.3.281>

- [2] S. W. Noh, Y. M. Park, S. H. Kim, J. D. Lee, B. H. Kim, "A Study on the Optimization of Heat Flux in Engine Room of Auxiliary Power Unit for Self Propelled Artillery", *Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society*, Vol. 20, No. 12, pp.629-635, 2019.
DOI: <https://doi.org/10.5762/KAIS.2019.20.12.629>
- [3] D. H. Shin, S. H. Park, "Combustion and Exhaust Emissions Characteristics of Single Cylinder Diesel Engine under Low Intake-Air Temperature Conditions", *Transaction of KSAE*, Vol.25, No.3, pp.336-343, 2017.
DOI: <https://doi.org/10.7467/ksae.2017.25.3.336>
- [4] M. E. Crame, R. H. Thring, D. J. Ponder, L. G. Dodge, "Reduce Cold-start Emission Using Rapid Exhaust Port Oxidation (REPO) in a Spark-ignition Engine", SAE 970264, 1997.
DOI: <https://doi.org/10.4271/970264>
- [5] K. H. Kim, Y. S. Lee, S. E. Yoo, Y. M. Choi, G. C. Jung, "Development of the Ceramic Glow Plug for the Diesel Engine", *The Korean Society of Automotive Engineers, Annual Conference*, 1996.
- [6] H. Hirose, *IEEEJ, Trans*, 107-A, 185(1987)
- [7] S. Okuzumi, Y. Murakami, M. Nagao, Y. Sekiguchi, C. C. Reddy and Y. Murata, *IEEE, An Annual Report Conference on Electrical Insulation Dielectric Phenomena*, 722, 2008.

배 공 명(Gongmyeong Bae)

[정회원]



- 2006년 8월 : 부산대학교 기계공학부 (공학학사)
- 2008년 8월 : 부산대학교 기계공학부 정밀가공시스템전공 (공학석사)
- 2014년 2월 : 부산대학교 기계공학부 정밀가공 시스템전공 (공학박사)
- 2015년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방, 항법, 기계/재료

References

- [1] B. H. Kim, J. H. Seo, Y. I. Park, Y. W. Kim, B. H. Kim "A Study on Improvement of Strength Safety Factor

김 현 수(Hyunsu Kim)

[정회원]



- 2017년 8월 : 경상대학교 항공우주시스템공학과 (공학학사)
- 2022년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 항공, 기계/재료

장 영 찬(Youngchan Jang)

[정회원]



- 2011년 2월 : 영남대학교 전기공학과 (공학학사)
- 2011년 7월 ~ 현재 : 한화에어로스페이스

<관심분야>

국방, 전기, 기계/재료