

냉각계통 이물질 방지를 위한 차륜형장갑차 파워팩 조립공정 개선에 관한 연구

강승주*, 김세영, 박재훈
국방기술품질원, 2현대로템

A study on the improvement of a powerpack manufacturing process to prevent sludge in cooling system

Seung Ju Kang*, Se Yeong Kim, Jae Hun Park
Defens Agency for Technology and Quality, 2Hyundai Rotem

요약 본 연구의 주요 목적은 차륜형장갑차 냉각계통 이물질 방지를 위해 원인을 파악하고 개선하는 것이다. 냉각계통의 이물질들은 냉각순환을 방해하여 엔진 과열로 인한 심각한 엔진 손상을 발생시킬 수 있다. 차륜형장갑차 냉각계통에서 발견된 이물질은 유기성분과 금속성분 두가지의 형태를 띠고 있다. FTIR 성분분석을 통해 유기성분 이물질은 호스 조립공정에서 사용되는 이형제 및 그리스로 확인되었다. 그리고 ICP-OES 성분 분석을 통해 금속성분 이물질의 주성분이 철임을 확인하였다. 철 이물질 발생원인을 검토한 결과, 파워팩 성능시험에 사용된 냉각수가 방청 성능이 없는 공업용수를 사용한 것이 원인이었다. 조립공정 및 시험절차 개선을 통해 이물질 발생을 차단하였으며, 불특정 이물질을 여과하기 위해 냉각수 플러싱 장비를 적용하였다. 이물질 제거를 통하여 원활한 냉각성능 확보와, 엔진의 부식방지를 통한 내구성 증대를 기대할수 있다.

Abstract The main purpose of this study was to identify the cause and prevent sludge build-up in the coolant of a Wheeled Armored Vehicle. Sludge found in coolant took two forms: organic and metallic. FTIR analysis showed the organic sludge was composed of release agents and grease used for hose assembly, and ICP-OES component analysis showed the main component of the metallic sludge was iron. A review of possible sources of this iron identified the use of industrial water not containing rust preventative as coolant used in the powerpack performance test. Sludge build-up in coolant was prevented by improving the assembly process and test procedure using coolant flushing equipment to remove unspecified foreign substances.

Keywords : Manufacturing Process, Sludge, Cooling System, FTIR, ICP-OES

1. 서론

현대 기술이 진보함에 따라 지상무기체계는 네트워크, 고 기동성능 등을 갖추게 되었으며, 이러한 발전으로 인해 지상전의 양상도 크게 변화하고 있다[1].

미래전장에서 널리 분산된 전력을 통합하여 집중하기 위해서는 전력의 네트워크화를 통한 신속한 지휘통제 분

만 아니라 작전을 신속하게 수행할 수 있는 기동력이 뒷받침되어야 한다. 우리군은 전장상황에 빠르게 대처하고 도심지역에서의 신속한 병력 수송을 위해 차륜형장갑차를 00년도부터 전력화하여 운용 하고 있다. 현재 전력화되어 운용 중인 장비는 K808과 K806 두 가지 형태로 개발되어 K808은 보병부대의 신속한 전투력 집중, 전환 및 하차 전투를 지원, K806은 후방작전 간 기동 타격 및

*Corresponding Author : Seung Ju Kang(Defens Agency for Technology and Quality)

email: ks11576@dtaq.re.kr

Received October 19, 2023

Accepted January 5, 2024

Revised January 4, 2024

Published January 31, 2024

중요시설을 보호하는 역할을 담당 하고 있다[2].

차륜형장갑차는 Fig. 1과 같이 000마력 엔진, 변속기 및 냉각장치가 결합 되어 전장에서 유사시 교환이 용이 하도록 설계된 파워팩이 적용되어있다. 차륜형장갑차의 파워팩은 차륜형장갑차가 고기동성을 확보하기 위한 핵심 부품으로, 높은 신뢰성을 필요로 한다. 그러나 차륜형 장갑차 전력화 이후 장비 운용 간 엔진 냉각수에서 미지의 이물질이 발생 되는 현상이 보고되었다. 냉각수는 냉각계통의 주요부품인 워터재킷(Water Jacket), 라디에이터(Radiator), 써모스텝(Thermostat), 워터펌프(Water Pump)등을 순환하게 된다.

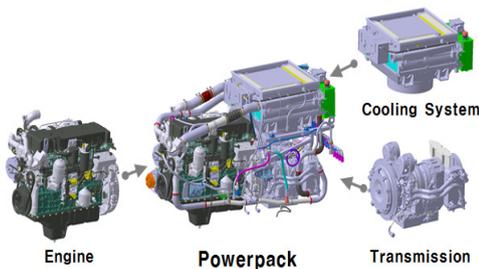


Fig. 1. Schematic diagram of powerpack

엔진 내 냉각수 이물질은 발생 즉시 엔진에 손상을 주지는 않으나 냉각수에 이물질이 오랜 기간 방치될 경우 워터재킷 및 라디에이터 내부 냉각수 유로의 막힘 현상을 유발할 수 있으며, 이로 인해 엔진냉각이 원활하게 이루어지지 않아 엔진 과열로 인한 심각한 엔진 손상을 발생시킬 수 있다.

본 연구에서는 차륜형장갑차 엔진 냉각수에서 발견된 이물질 발생을 개선하기 위해 냉각수에서 발견된 미지의 이물질의 성분을 분석하였다. 이를 통해 이물질이 발생 가능한 공정을 식별하고 엔진, 냉각장치 및 파워팩 조립 공정 중 개선이 필요한 부분의 공정개선을 수행하였다. 논문의 구성으로는 1) 이물질 성분분석 2) 발생원인 검토 3) 원인 개선 또는 제거로 구성하였다.

2. 냉각수 이물질 발생원인 검토

엔진 냉각수에서 발견된 이물질의 육안 검사결과 황색의 점액질 및 바닥부에서 찌꺼기가 확인되었으며, 그 형상은 Fig. 2와 같다.

엔진 냉각수에서 발견된 이물질은 관능검사를 통해 황

색 점액질은 유기 성분, 바닥부에서 나온 찌꺼기는 유기 성분 및 금속성의 물질이 혼합된 형태로 판단되었다. 본 연구에서는 차륜형장갑차 엔진 냉각수 이물질 발생원인 식별을 위해 이물질 발생차량의 정비 이력, 운용환경 검토, 공정차량 확인 및 이물질의 성분을 분석하여 발생 원인을 추정하고자 하였다.

먼저 차륜형장갑차 운용 중 이물질이 발생하거나 유입될 가능성을 검토하기 위해 사전에서 운용중인 차륜형장갑차 중 엔진 냉각수 이물질이 발생한 차량의 정비이력, 정비환경 등을 확인 결과 특이사항은 없었다. 공정 대기 중인 파워팩의 엔진 냉각수 이물질 발생 여부 확인을 위해 체계 조립공정대기, 체계 조립공정 중 및 조립이 완료되어 출고 대기 중인 차량 파워팩의 엔진 냉각수 확인 결과 이물질이 발견되었으며, 이를 통해 냉각수 이물질은 파워팩 조립공정 이전의 공정에서 발생하는 것으로 판단하였다.



Fig. 2. Sludge in Coolant

파워팩 제작 및 조립공정 중 유기성분 및 금속성 두 종류의 이물질이 발생가능한 공정 식별을 위해 파워팩을 구성하는 각 부품의 조립공정 검토 및 파워팩 조립공정 검토를 수행하였다. 먼저 유기성분의 이물질 발생원인 검토를 위해 공정에서 사용되는 유기 성분의 물질 식별 결과 호스 제작 공정에서 고무호스를 금형에서 쉽게 이탈시키기 위해 쓰이는 이형제와 냉각수 팽창탱크와 호스 조립 간 조립 편의성 향상을 위해 도포하는 그리스가 사용되는 것을 파악하였다.

엔진 냉각수에서 발견된 유기 성분의 이물질과 조립공정에서 사용되는 유기 성분을 포함한 이형제 및 그리스의 성분분석을 통한 비교를 위해 일반적으로 유기분석을 위해 많이 사용되는 푸리에 변환 적외선 분광법(FTIR: Fourier Transform Infrared Spectroscopy, 이하 FTIR)을[3] 사용하여 분석하였으며, 엔진 냉각수 이물질 성분을 측정된 결과는 Fig. 3과 같다.

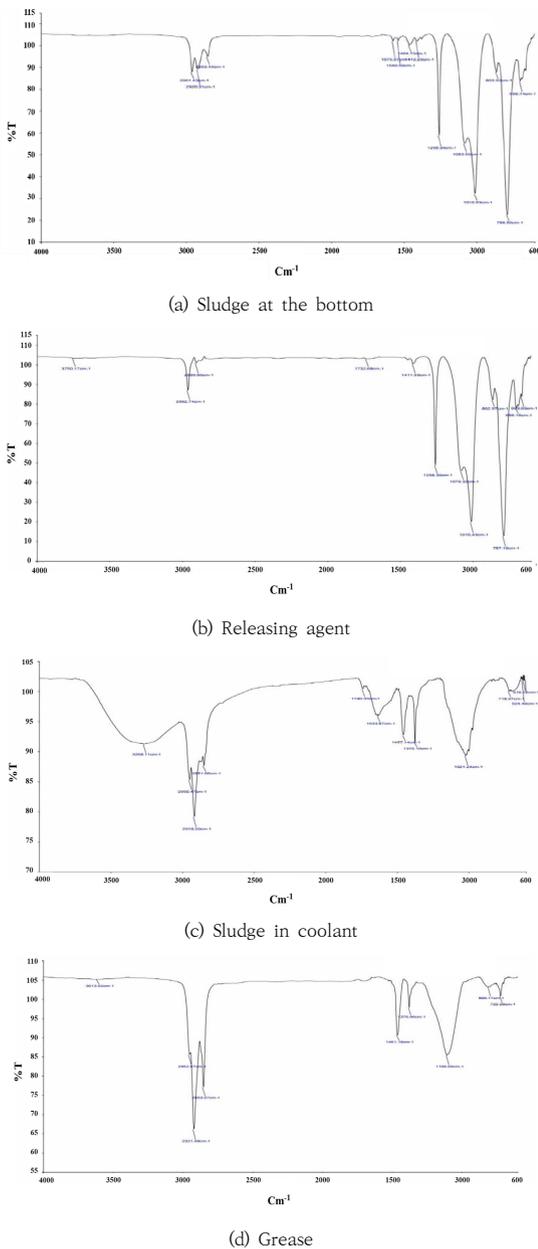


Fig. 3. FTIR Spectroscopy analysis result of sludge and organic substances used in manufacturing process

FTIR을 이용한 성분분석결과 (a) 엔진 바닥부에서 발견된 이물질 중 유기 성분은 냉각호스 제작공정에서 고무호스를 금형에서 쉽게 이탈시키기 위해 쓰이는 (b) 이형제와 동일한 것으로 측정되었으며, (c) 냉각수에서 나온 유기 성분의 이물질은 냉각수 펌프탱크와 호스 조립

간 조립편의성을 위해 도포하는 (d) 그리스와 동일한 스펙트럼을 가지는 것으로 확인되어 유기 성분의 이물질이 발생하는 공정을 특정해 낼 수 있었다.

엔진 바닥부에서 발견된 이물질 중 금속성 이물질의 성분분석을 위해 유도결합 플라즈마 분광분석기(ICP-OES: Inductively Coupled Plasma Optical Emission Spectrometer, 이하 ICP-OES)를 사용하였다. 유도결합 플라즈마 분광분석법은 고온 플라즈마 내에서 여기(Excitation)되는 원소의 방출스펙트럼에서 원소의 특정 광파장에 따라 원소조성을 정량화 하는 방법으로써[4], 야전에서 채취된 이물질 중 바닥부에서 나온 금속성 물질의 성분분석 결과는 Table 1과 같다.

Table 1. ICP-OES Analysis Result of Sludge

Element	Concentration (mg/kg)	Element	Concentration (mg/kg)
Cu	459	Na	2,540
Ni	1,570	K	5,930
Mn	426	Ca	16,200
Ba	108	Mg	2,550
Zn	7,810	Sr	199
Fe	147,000	Si	3,070
Cr	152	Mo	66.5
Al	41,000	Ti	36.6

ICP-OES를 이용한 금속성 이물질 성분 분석결과 주 성분이 철로 이루어져 있음을 확인하였으며, 이물질이 발생된 엔진 일부 부품 분해 후 육안 확인결과 Fig. 4와 같이 엔진 내부에서 부식된 일부가 이탈되어 바닥부에 모인 것으로 판단하였다.

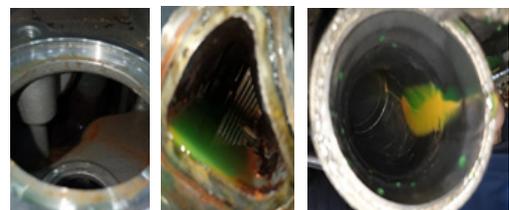


Fig. 4. Corrosion inside the engine cooling system

3. 파워팩 조립공정 개선

3.1 유기성분 이물질 발생공정 개선

FTIR을 이용한 유기 성분 이물질 성분 분석결과 냉각 호스 제작공정에서 사용되는 이형제와 냉각수 팽창탱크와 호스를 조립하는 과정에서 조립 편의성을 위해 도포한 그리스로 인해 냉각수 이물질이 발생하는 것을 확인하였다. 이형제에 의한 이물질 발생 경로를 파악하기 위해 냉각호스 제작공정을 검토하였으며, 제조공정은 Fig. 5과 같다.

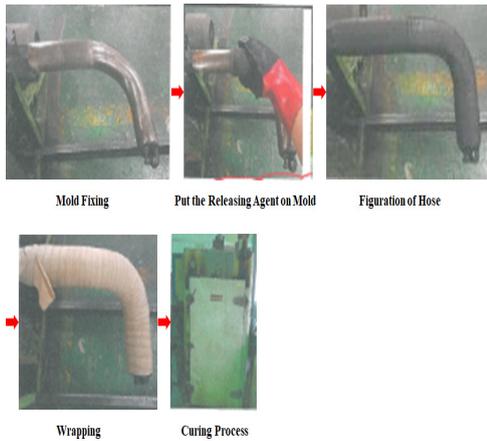


Fig. 5. Manufacturing process of hose for cooling system

냉각호스 제작공정 확인 결과 금형과 호스를 원활하게 이탈시키기 위해 유성 실리콘이 포함된 이형제를 사용하고 있었으며, 제작 후 세척 공정이 없어 호스에 남아있던 이형제가 냉각수 순환에 의해 씻겨 나와 엔진 내부에 묻힌 것으로 확인되었다. 기존에 사용하던 유성 실리콘 성분의 이형제는 탁월한 이형, 윤활 효과의 강점은 있으나 유성 실리콘 성분으로 인해 쉽게 세척이 되지 않아 이물질 발생시킴으로, 이형제에 의한 이물질 발생요인을 완전히 제거하기 위해 호스 제작 공정에 사용되는 이형제의 변경이 필요한 것으로 판단되었다. 이를 위해 기존 유성 실리콘이 포함된 제품에서 세척성이 우수한 무성 실리콘 제품으로 변경하고 기존에 제작공정에 없었던 세척 및 건조 공정을 추가하는 것으로 작업 절차서를 개선하여 이형제에 의한 이물질 발생 요인을 제거하였다.

냉각수 팽창탱크와 호스의 조립공정 검토 결과 조립 용이성을 확보하기 위해 그리스를 도포하는 대신 냉각수 도포로 대체가 가능한 것으로 판단되었다. 파워팩 조립 공정 간 그리스를 사용하는 공정을 삭제함으로써 그리스로 인해 냉각수 이물질이 발생하는 일이 없도록 작업절차서를 수정하였다.

개정된 호스 제작 공정 및 냉각수 팽창탱크 조립공정 작업절차서를 활용하여 파워팩 조립 후 파워팩 가동 시험 결과 냉각수 내 이물질이 발생하지 않는 것을 확인하였으며 그 결과는 Fig. 6과 같다.

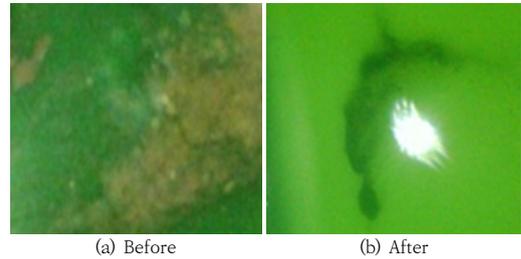


Fig. 6. Visual inspection result after the improvement of manufacturing process

3.2 금속성 이물질 발생절차 개선

엔진 바닥부에서 발견된 금속성 이물질은 ICP-OES를 이용한 성분 분석결과 주요성분은 철로 측정되었으며, 이물질이 발생한 엔진을 분해 및 절개하여 육안검사를 수행한 결과 Fig. 7과 같이 실린더 헤드 내 냉각수 이동 경로를 따라 전체적으로 ISO-8501-1에 명시된 B등급 이상의 부식이 진행되었음을 확인할 수 있었다.



Fig. 7. Rust inside the cylinder head

엔진 제작 공정 및 시험 간 부식이 발생 가능한 공정을 확인한 결과 엔진 제작공정 간에는 부식을 유발할만한 요인은 없었으며, 엔진 제작 이후 수행되는 성능시험 검토 결과 성능시험에서 사용되는 냉각수가 방청 기능을 가지고 있지 않은 공업용수인 것을 확인하였으며, 시험이 진행된 이후 출고 대기상태로 보관되는 도중 산소와 반응하여 부식된 것으로 판단하였다. 이를 확인하기 위해 입고된 엔진 내부 육안확인 결과 엔진 실린더헤드, 냉각펌프 결합부 등 엔진 내부 냉각수 이동경로를 따라 부식이 진행된 것을 확인할 수 있었다.

성능시험 간 부식을 방지하기 위해 기존에 공업용수를

사용하던 엔진 성능 시험 장비 냉각수에 방청액 투입을 위한 시스템을 설치하고 개선된 시험절차에 따라 맞추어 시험절차서를 개정하였다.

방청액이 추가된 냉각수가 사용된 엔진 성능시험 후 엔진 분해 및 육안 확인결과 Fig. 8과 같이 엔진 내부 부식은 발견되지 않았다.

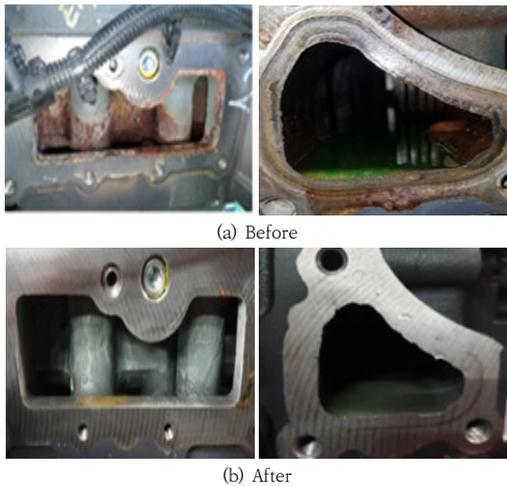


Fig. 8. Visual inspection result after the improvement of test procedure

엔진 냉각수 이물질 발생 방지를 위한 공정개선 및 시험절차 개선과 함께 공정 간 이물질이 유입될 경우를 대비하여 체계 성능시험 이후 최종적으로 냉각수 필터링 공정을 추가하여 차륜형장갑차 파워팩 내 이물질이 유입되더라도 출고 전 이물질이 없는 상태를 유지할 수 있도록 하였다. 공정개선 이후 사용군 VOC(Voice Of Customer, 이하 VOC) 청취 결과 엔진 냉각수 관련 불만사항이 없는 것을 확인하여, 공정 및 시험절차 개선이 잘 된 것으로 판단하였다.

4. 결론

본 연구에서는 차륜형장갑차 엔진 냉각수에서 발견된 냉각수 이물질 발생 원인을 식별하고 이물질 발생 방지를 위한 공정개선을 수행하였다.

먼저 냉각수에서 발견된 유기성 이물질과 공정에서 사용되는 유기성 물질들을 FTIR 성분분석 비교를 통해 냉각수 이물질이 발생한 공정을 식별하였다. 이물질 발생 공정 식별 결과 냉각 호스 제작 간 금형과 호스의 이탈을

위한 유성 실리콘 성분의 이형제와 냉각수 팽창탱크와 호스 결합 시 조립 용이성을 위해 도포하던 그리스로 확인되어 공정 개선을 통해 이물질 발생 요인을 완전히 제거하였다.

금속성 이물질은 ICP-OES를 이용하여 성분을 분석한 결과 이물질의 주성분이 철인 것으로 측정되었다. 철이 주성분인 이물질의 발생 원인을 검토하기 위해 엔진 내부 육안 검사 결과 엔진의 내부 냉각수 이동 경로를 따라 부식이 발생한 것을 확인하였다. 엔진 제작과정 중 부식이 가능한 공정 식별 결과 제작과정에는 문제 사항이 발견되지 않았으나, 엔진 제작 후 성능시험 과정에서 공업용수를 냉각수로 사용하는 것이 식별되었으며, 방청 성능이 없는 공업용수가 완전히 건조되지 않은 상태에서 엔진 출고 대기 중 공기와 반응하여 부식이 발생하는 것으로 판단하였다. 엔진 내부 워터재킷 등 냉각수 이동 경로의 부식방지를 위해 엔진 성능시험에 사용되는 시험장비에 방청제를 추가할 수 있는 시스템을 추가하였으며, 이를 반영하여 시험절차서를 개정하여 금속성 이물질 발생요인을 제거하였다.

추가로 차륜형장갑차 파워팩 제작 간 유입될 수 있는 불특정 이물질에 대비하기 위해 완성차 성능시험 이후 군에 인도되기 전 플러싱 공정을 추가하여 장비의 제작 공정 또는 성능 시험 간 이물질이 유입되더라도 플러싱 공정을 통해 필터링이 가능하도록 작업절차서를 개정하였다.

차륜형장갑차 엔진 냉각수 이물질은 문제 발생 이후 공정개선을 통해 해소되었으나, 운용군의 불만이 발생하였다. 개선 활동 이후 엔진 냉각수 이물질 관련 동일한 문제점이나 군의 불만사항은 발생하지 않았으나 최선의 품질보증 활동은 사전적 예방이므로, 향후 문제점 공유를 통해 유사체계 최초생산품 검사 시 5M1E(Man, Method, Machine, Material, Measurement, Environment)관점에서 공정검토 수행하여 양산 초기 품질문제발생 최소화를 위한 노력이 필요할 것으로 판단된다.

References

- [1] M. J. Choi, E. S. Joo, "A Study on Tank Military Strength Organization and Development Plans Suitable for Future Battlefield Environments", *Strategic Studies*, Vol.28, No.3, pp.295-345, 2021
DOI: <https://doi.org/10.1007/s00163-010-0086-1>
- [2] wheeled Armored Vehicles, From:

<https://www.hyundai-rotam.co.kr/ko/business/defense>

- [3] J. S. Jang, C. R. Choe, "FT-IR Application for Polymer Analysis", *Polymer science and technology*, Vol.2, No.1, pp.14-22, 1991
- [4] H. B. Lim, M. S. Cho, M. S. Han, K. W. Lee, Y. S. Kim, "Introduction of Organic Sample with Extended Torch and Modified Sample Injector in Inductively Coupled Plasma Atomic Emission Spectrometry", *Analytical Science & Technology*, Vol.4, No.3, pp.267-272, 1991

박 재 훈(Jae Hun Park)

[정회원]



- 2014년 2월 : 한국해양대학교 기계소재공학과 (공학사)
- 2015년 8월 ~ 2018년 1월 : 디아이씨 기술연구소
- 2018년 2월 ~ 현재 : 현대로템 방산시스템기술1팀

강 승 주(Seung Ju Kang)

[정회원]



- 2018년 2월 : 경상대학교 기계공학부(공학사) 졸업
- 2019년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 기계, 유압

<관심분야>

국방, 기계, 소재

김 세 영(Se Yeong Kim)

[정회원]



- 2017년 2월 : 경상대학교 전자공학과 (공학사)
- 2021년 8월 : 경상국립대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2022년 1월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

정보경영, 정보통신