Journal of the Korea Academia-Industrial cooperation Society
Vol. 23, No. 5 pp. 32-39, 2022

https://doi.org/10.5762/KAIS.2022.23.5.32
ISSN 1975-4701 / eISSN 2288-4688

K200계열 기동차량용 팬 유압모터의 이중씰 적용을 통한 오일 누유 개선 연구

차지현*, 신명준
국방기술품질원 지휘정찰4팀

A Study on Improvement of Oil Leakage by Applying Double Seals in the Hydraulic Fan Motor for K200 Series Tracked Vehicles

Ji-Hyeon Cha*, Myung-Jun Shin
C4ISR Systems Team 4, Defense Agency for Technology and Quality, Korea

요 약 기동차량에는 엔진 냉각을 위한 팬이 공급되며, 일반적으로 4축 유압모터를 사용하여 냉각팬의 고속회전 구동을 가능하게 한다. 야전에 공급된 K200계열 기동 장비 및 유사 무기체계에 대해 지난 8년간 운용한 결과 100회 이상 지속적으로 팬 유압모터 부품에서 오일 누유가 발생하여 본 고질적인 사용자 불만 사항에 대한 개선안 도출이 시급하였다. 본 논문에서는 이를 개선하기 위해 기존 수입 팬 유압모터 제품과 국산화 개발품 간의 차이점를 확인하기 위해 각각의 재질 분석 및 Modal Test 결과를 상호 비교하여 검토하고, 누유가 발생한 실제 운용환경과 유사하도록 저온환경과 진동조건이 동시에 가해지는 복합환경시험의 구현을 통해 누유 현상을 재현함으로써 누유 원인을 분석하였다. 이후 팬 유압모터의 형상 변경을 통해 누유 현상을 개선하기 위해 오일씰의 사양 및 수량 변경, 베어링 추가 구성 등 총 5차에 걸친 다양한 개선안들을 도출하여 앞서 고안한 실제 운용환경의 복합환경시험 조건으로 평가를 실시하였으며, 최종적으로 FKM 재질과 NBR 재질의 이중씰을 적용하는 최적의 방안을 채택하여 개선된 장비를 복합환경시험 조건 및 야전 배치를 통한 혹한기에 운용함으로써 팬 유압모터의 오일 누유 개선 효과를 검증하였다.

Abstract Most of the tracked vehicles in the military use a four-axis hydraulic fan motor that is advantageous for high-speed rotation. However, more than 100 oil leakages of the hydraulic fan motors have occurred over the past eight years. This can cause engine fires, but there has been no clear solution because the cause has been unknown for many years. Therefore, it was necessary to come up with an improvement plan. In this paper, material characteristics were compared between imported and domestic fans, and the cause of oil leakage was confirmed by conducting a combined environmental test. The combined environmental test is proposed to apply vibration in a low-temperature chamber, unlike an environmental test performed in different conditions. Various improvement plans for the hydraulic fan motor were then reviewed, such as changing the specifications of oil seals and adding a bearing. Finally, optimal double seals (FKM+NBR) were applied to the motor, and we verified them by deploying improved equipment in the field and operating it in the cold season.

Keywords : Combined Environmental Test, Double Seals, Fluoro Rubber, Hydraulic Fan Motor, Nitrile Butadiene Rubber

*Corresponding Author : Ji-Hyeon Cha(Defense Agency for Technology and Quality)
email: jhcha@dtaq.re.kr
Received March 2, 2022 Revised March 29, 2022
Accepted May 6, 2022 Published May 31, 2022

1. 서론

K200계열 장비에 운용되는 팬 유압모터는 냉각팬 조립체 회전자와 직접 연결되어 엔진 냉각수 온도에 따라 회전속도가 조정되며, 냉각수 온도가 상승하면 유압펌프로부터 유압을 받아 냉각팬 회전자를 최대 6,200 RPM의 고속으로 회전시켜 엔진 냉각수 온도를 하강시키고, 냉각수 온도가 하강하면 회전을 멈추는 기능을 하는 제품이다.

Table 1. Oil leakage status of hydraulic fan motor

Year	K200 Series	Similar vehicles
2016	102	22
2017	71	15
2018	89	14
2019	63	22
Total	325	73

Table 1에 팬 유압모터를 장착 운용하는 장비별로 누유발생 건수를 나타내었으며, 운용환경 및 위치에 따라 누유 수준의 차이가 있으나 주로 K200계열에서 누유가 지속적으로 발생하고 있다. 본 품목은 2008년에 국산화 개발을 완료하여 수입품(Behr社(독))을 대체 적용 중이며, 누유 현상으로 인한 야전 A/S현황을 파악한 결과 수입품 및 국산품에서의 누유 현상은 동일하게 발생하는 것으로 확인하였다.

최근까지 팬 유압모터에서 지속적인 누유 발생에 따른 사용자불만 발생이 빈번하고 여러 체계장비에서 동일현상이 발생함에 따라 근본적인 원인분석 및 개선이 필요함을 인식하였으나, 수입품 및 국내 개발품 모두 누유가 발생하고 있고, 유압 제품 특성상 다양한 야전 운용조건을 만족할 제품을 새로 설계하여 개발하지 않는 한 어려울 것으로 판단되었다.

이에 개선방안 도출을 위해 누유 발생 건수가 많은 K200계열에 장착된 팬 유압모터를 대상으로 운용 환경을 고려한 체계적인 원인분석과 저온 운용성 향상, 그리고 이를 입증하기 위한 시험평가 방안을 제시하고자 한다.

2. 본론

2.1 원인분석 및 시험평가 방안 수립

Table 2. Hydraulic motor localization development test items

List	Test item	Spec.
General	Characteristic, Performance, Vehicle mounting	QAR
Environmental Test	High/Low Temp.(Fig. 2), Humidity, Shock, Vibration	MIL-STD-810[2]
Endurance Test	400 CYCLE (more than 400 hr)	Defense Standard

Table 1에서 살펴본 바와 같이 기동횟수가 많은 K200계열 차량에서는 2016년부터 4년간 약 325여 건의 누유가 발생하였으며, 타 유사 장비에서의 발생 건수까지 포함하면 연평균 약 100여건 이상의 누유가 발생하였다. 장거리 기동 중 다량의 누유가 발생 시 엔진과열에 따른 화재로 인명피해, 차량 전소 및 전투력 저하가 우려되어 군에서는 차량 이동 시 항상 주의하면서 운행하고 있는 상황이다[1].

또한, 관련 업체는 A/S에 따른 인력 및 경비 등 비용손실을 감수하고 수년 동안 Fig. 1과 같은 누유 제품을 무상으로 교체하여 주고 있으며 자체적으로 군과 함께 수차례 누유 개선을 시도하였으나 개선안에 대한 명확한 누유 감소 효과를 얻지 못하였다. 사용군 또한 혹한기 훈련 간 발생하는 팬 유압모터 누유로 인한 잦은 정비 소요로 불만을 토로하고 있으며, 근본적인 해소방안을 요구하였으나 방안을 찾지 못해 답답함을 호소하였다.

대부분의 기동차량용에 사용하는 고속회전용 사축식 팬 유압모터는 해외 도입품을 역설계하여 체계업체 및 해외 원 제조사에서 요구하는 국방 규격을 모두 충족시켜 국산화가 완료된 제품이다. 또한, Table 2에 명기 되어있는 방산 제품에 일반적으로 적용하는 환경시험 및 성능시험을 모두 만족하는 제품임에도 불구하고 누유 현상이 빈번하게 발생하였다.

Fig. 1. Hydraulic fan motor and oil leakage

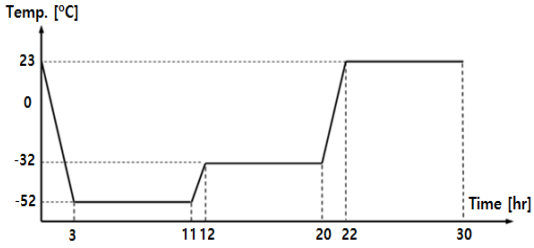


Fig. 2. Low temperature test cycle of hydraulic fan motor

Table 3. Check list for leakage cause analysis

No.	Check list	Result
1	Hydraulic system review	Confirmed
2	Oil leakage check at air inflow operating	No leakage
3	Oil leakage check at ambient temp. after 4hr storage at -25°C	No leakage
4	Oil seal & oil spec. review	Confirmed Oil seal: FKM(-25~160°C) Oil: 5W40(-35~150°C)
5	Material comparison between imported and domestic	Confirmed

따라서 기존의 규정된 환경시험으로는 누유 원인을 찾는 데 한계가 있다고 판단하고 실제 운용환경을 재분석하였다. Fig. 3에 누유 발생 시점의 주행거리와 월별 유압모터 교체 수량을 나타내었듯이 누적 주행거리는 누유 현상과 연관이 없음을 알 수 있다. 이는 장비 운용 시간이 많아진다고 하여도 장비의 노후화로 누유가 발생하지는 않는다는 뜻이다. 그러나 월별 유압모터의 교체 현황을 보면 특이한 점을 발견할 수 있다.

대부분의 교체 시기가 12월 ~ 3월에 집중되어 있으며 여름철에는 대부분 교체한 이력이 없고 겨울철에만 집중적으로 교체가 이루어졌다는 것을 알 수 있었다. 이는 저온환경이 유압모터의 누유와 밀접한 연관이 있다는 것을 의미한다고 하겠다. 그러나 유압모터 단품의 저온시험 결과에서는 누유가 전혀 발생하지 않았다.

따라서 저온 환경뿐만 아니라 추가적인 원인이 있을 것으로 판단하고 체계 장착 시 발생할 수 있는 여러 조건을 Table 3과 같이 추가 분석하였다. Fig. 4와 같이 도입품과 국산품 오일씰의 재질 비교 분석을 수행하고, Fig. 5와 같이 Modal Test로 원제작사 제품과의 차이점을 확인하였다.

또한, 유압모터 부품을 하나씩 조립해 가며 도입품과 국산화품의 차이를 비교하였으나, 재질, 주조방법, 열처리 방법 등의 차이에 의한 Damping 값의 차이는 있지만 거의 유사한 특성을 보이는 것을 확인하였다. 이상의 결과를 종합해 볼 때 조립공차 및 조립상태, 오일씰 재질의 차이로는 누유가 발생하지는 않는 것으로 확인하였다.

이와 같은 원인분석 결과 유압모터의 단품 상태는 양호하였으며, 도입품과 비교시험을 해 봐도 문제점을 발견할 수 없었다. 단, 저온환경에서 누유가 발생한다는 점과 FKM재질[3]의 오일씰 온도 조건이 -25 ℃ ~ 160 ℃로 체계 운용 온도 조건을 모두 만족시키지 못하는 사항이 있었으나, 이는 고속 고온 동작 유압모터의 특성에 맞도록 선정된 것이며 도입품도 마찬가지로 동일한 재질로 구성되어 있다.

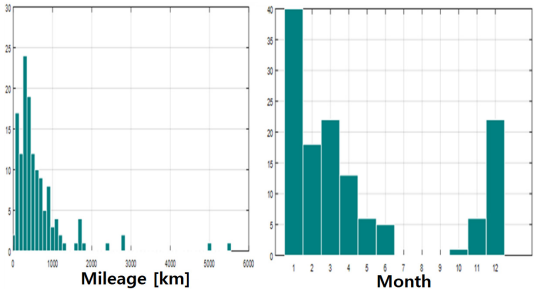
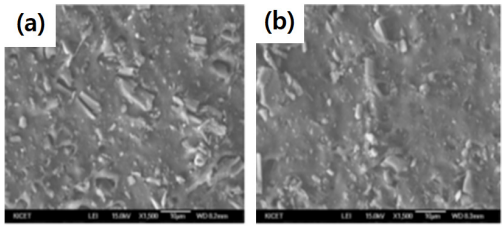


Fig. 3. Hydraulic motor replacement by mileage and monthly



No.	(a) Imported				(b) Domestic			
	#1	#2	#3	Avg.	#1	#2	#3	Avg.
F	33.5	33.3	34.3	33.7	34.7	35.3	34.3	34.8
Mg	3.0	2.7	2.8	2.8	2.8	3.2	2.8	2.9
Si	6.0	6.6	6.9	6.5	6.5	6.8	6.5	6.6
Ca	10.4	11.2	12.2	10.9	9.6	9.5	10.7	9.9
C,O	No marked with trace ingredients							

Fig. 4. Oil seal structure ingredient analysis
(a) Imported products (b) Domestic products

또한 -32 ℃의 저온시험에서 아무런 문제가 없었던 점으로 미뤄보아 오일씰의 저온 특성이 좋지 않은 점이 누유와 연관이 있을 것으로 추측은 하지만, 단순히 이와

같은 한 가지 원인으로만 누유가 발생한다고는 볼 수는 없다.

실제 운용환경과 단품 저온시험 환경 간 다른 점을 유추해 보면 저온 환경뿐만 아니라 차량 주행 간 및 엔진으로부터 진동 및 충격에 노출된다는 점이다. 따라서 최대한 유사한 환경을 모사하고자 저온과 진동을 동시에 가할 수 있는 시험 방법을 고안하여 원인분석을 하였으며[4], 이를 위해 Fig. 6과 같이 저온과 진동환경에서 유압모터가 동작할 수 있는 시험환경을 구축하였다[5].

가진 조건은 우선 0.5 g의 10 ~ 500 Hz 범위에서 Sinesweep 진동을 가하여 약 70 ~ 80 Hz 사이에서 공진이 발생함을 확인하여 이 공진 주파수 범위를 포함하여 가진 조건을 결정하였다. 온도 조건은 체계의 저온 온도 조건인 -32 ℃를 기준으로 하고 이

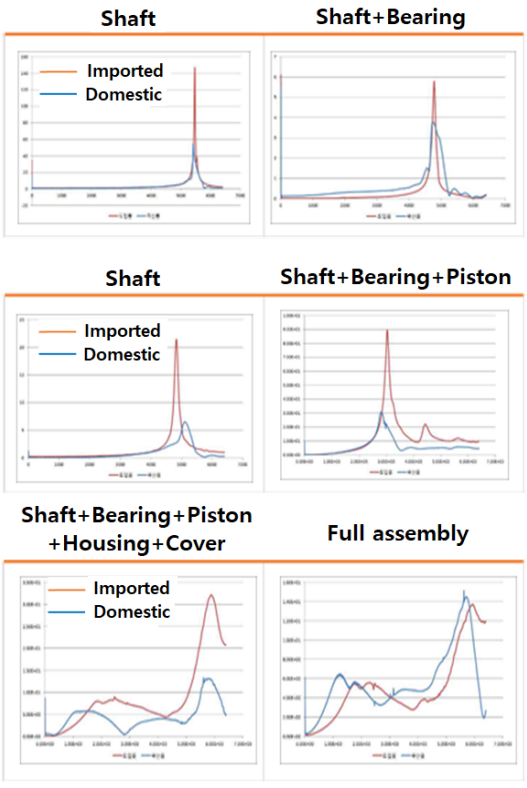


Fig. 5. Modal test comparison of imported and domestic hydraulic motor

동식 유압 공급 장치를 이용하여 약 200 RPM으로 더미팬을 회전시켰다. 실제 냉각팬의 회전속도는 4000 RPM 이상이지만 회전속도와 상관없이 케이스 압력은 약 0.5 bar로 200 RPM으로 회전할 때와 거의 동일하다. 따라서 최종 고안한 복합환경시험의 조건은 200 RPM으로의 팬을 회전시키며 -32 ℃ 온도에 15분간 2 g, 10 ~ 100 Hz 구간의 Sinesweep 진동을 가하는 조건이다.

이렇게 실제 운용환경과 동일하게 온도, 진동, 내부압력 세 가지 조건을 동시에 부여한 결과 오일씰 부위에서 다량의 누유가 발생하였다. 재현한 누유 현상의 원인을 살펴보니 추측했던 바와 같이 각각의 환경조건에서는 누유가 발생하지 않고 저온, 진동, 내부압력 조건이 동시에 가해질 때 누유가 발생한다는 것을 확인하였다. 이러한 복합적인 환경요소로 인하여 모든 단품 시험을 통과한 제품도 야전에서 혹한기에 운용하면 지속적인 누유가 발생했던 것이다.

Fig. 7에 누유의 원인을 상세히 나타내었는데 회전축에 공진이 발생하면 약 20 kg의 팬을 장착한 회전축이 흔들리게 된다. 구조적으로 사축식 모터는 회전축에 횡방향으로 힘이 작용하고 끝부분에 무거운 물체가 매달려 있는 형태이기 때문에 공진이 발생하게 되면 흔들림이 증폭된다.

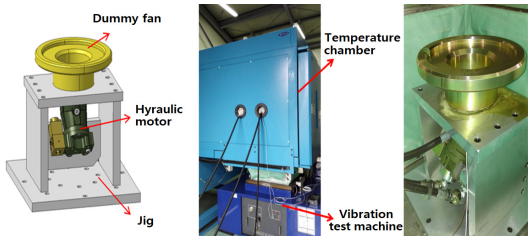


Fig. 6. Combined environmental test configuration

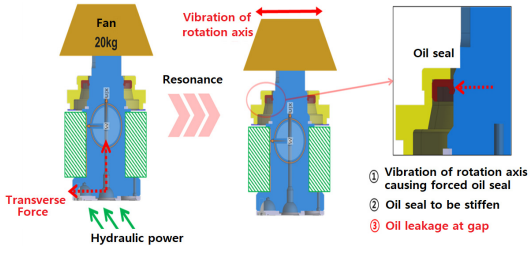


Fig. 7. Oil leakage process of hydraulic fan motor

공진으로 인해 흔들림이 저온 상태에서 발생하면 탄성을 잃은 오일씰의 복귀가 늦어지면서 틈이 발생하고 케이스 내압에 의하여 오일이 밖으로 밀려 나오게 된다. 본 세 가지 조건 중 한 가지만 발생하지 않아도 유압모터 내부 오일은 누유되지 않는다.

구체적인 개선방안 모색을 위해 유압모터의 구조를 살

펴보면 Fig. 8과 같이 사축식 유압모터는 공급되는 유압원에 의하여 구동축이 회전하면서 일을 하는 엑츄에이터이다. P(입구)로 유압유를 공급하면, 유압유는 피스톤을 밀면서 구동축을 회전시키는데, 이 과정에서 유압유는 T(출구)로 복귀도 하지만, 일부는 하우징 내부를 채운 후 C/D(케이스 드레인)로 표시된 경로를 통해서 나오게 된다. C/D를 통해서 나오는 과정에서 하우징 내부에 유압유가 가득 차게 된다.

이때, 외부로의 누유를 차단하기 위해서 두 부품이 조립되는 위치에 오링 또는 오일씰을 사용하는데, 구동축과 같이 회전하는 부품과 고정되어있는 하우징 사이에는 오일씰을 적용하여 외부로의 누유를 방지하며 일반적으로 오일씰은 조립 편의상 씰커버에 조립된다. 오일씰은 고속으로 회전하는 구동축에 직접 접촉하면서 내부 유체를 밖으로 새지 않도록 한다. 오일씰의 재질은 일반적으로 NBR을 사용하지만, 사용 환경 및 조건에 따라 테프론 또는 불소고무를 사용하기도 한다.

유압모터는 구동축의 회전력을 사용하여 일을 하며, 구동축 끝에 팬을 부착하여 사용하기도 한다. 팬은 고속으로 회전하는 구동축에 의하여 회전하면서 유체(공기)를 이동시키는 역할을 한다. 이와 같이 유압모터의 구동축에 팬이 조립되어 고속으로 회전하면서 일을 하는 장치가 차량용 냉각기에 많이 사용

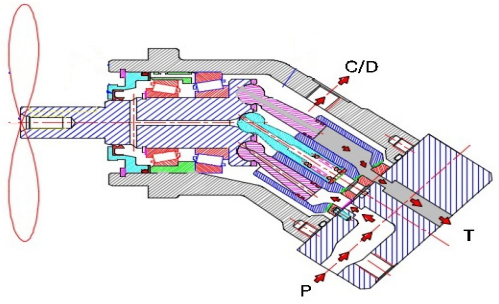


Fig. 8. Hydraulic fan motor detailed structure diagram

된다. 그런데 팬의 회전에 대한 무게 밸런스, 그리고 차량에서 발생하는 진동 등의 요인으로 인해 팬이 회전할 때 구동축에 진동을 유발시킨다. 특히, 혹한기인 동절기에 초기 구동할 때에는 저온 환경에서 다소 경화된 오일씰에 진동이 가해져서 구동축과의 틈새를 만들고, 이 틈새를 통해서 작동 유체를 외부로 흘러나오게 만드는 것으로 보여진다.

일반적으로 오일씰의 재질은 온도 조건에 크게 의존하며, 저온에는 NBR, 고온에는 불소고무를 주로 사용한다. 저온에서의 누유를 방지하기 위하여 NBR을 사용하여도 유압모터가 조립된 조건, 즉 구동축에 가해지는 진동의 크기와 공진 등의 요인으로 누유가 발생하는 사례가 있다.

구동축과 오일씰 조립부에서 발생하는 누유는 특히 동절기에 많이 발생한다. 이를 해소하기 위해서는 근본적인 진동 및 회전 밸런스 등 구조적인 문제를 근본적으로 해결해야 하기 때문에 현실적으로 어려움이 있으며 비용 또한 많이 들게 된다.

이상 기술한 문제를 해결하기 위해서는 구조적으로 차량 프레임을 변경하여 근본적인 진동요인을 제거하는 것이 원안이지만, 많은 비용이 필요하며 현실적으로 불가능하다. 따라서 개선방안은 진동 조건에서도 누유가 되지 않는 오일씰이 필요하며, 특히 저온 상태에서도 기밀 기능을 유지할 수 있어야 한다.

2.2 개선방안 수립 및 시험평가

이상의 원인분석 결과 유압모터의 누유 현상은 공진, 저온, 압력의 세 가지 조건이 동시에 작용할 때 발생한다는 것을 알아냈다. 반대로 말하면 세 가지 조건 중 한 가지만 작용하지 않아도 누유가 발생하지 않는다는 뜻으로 해석할 수 있다. 제품 누유에 악영향을 미치는 조건들을 줄임으로써 구조개선을 최소화하기 위하여 Table 4와 같이 3차에 걸쳐 오일씰의 특성을 고려한 개선안을 검토하였으며, 복합환경시험으로 누유 여부를 확인하였다.

1차 개선안으로 FKM재질의 오일씰을 온도특성이 우수한 테프론 재질로 변경하여 복합환경시험을 실시한 결과 누유 특성은 우수하였으나 고속회전 시 소재가 과열되는 결과가 나왔다. 2차, 3차 개선안으로 FKM재질 오일씰과 NBR재질 오일씰을 베어링과

Table 4. Oil leakage improvement plans(1st~3rd)

No.	Method	As-is	To-be	Remark
1st	Oil seal material change	FKM oil seal (-25~160°C)	Teflon oil seal (-100~200°C)	Increase operating temp. range
2nd	Add bearing	FKM oil seal (-25~160°C)	FKM oil seal (-25~160°C) + bearing	Prevention of shaft vibration
3rd	Oil seal material change + Add bearing	FKM oil seal (-25~160°C) + bearing	NBR oil seal (-40~100°C) + bearing	Prevention of shaft vibration and increase of oil seal elasticity at low temp.

Table 5. Oil leakage test result(2nd~3rd)

Condition		FKM+bearing		NBR+bearing		Remark
Temp.	Vib.	#1	#2	#1	#2	
-32°C	2g	◕	◕	◕	◕	Similar
-15°C	2g	●	●	◔	◑	NBR is superior to FKM.
-10°C	2g	●	●	○	○	
-5°C	2g	●	●	○	○	
Ambi-ent	2g	○	○	-	-	Similar
	5g	◔	◔	○	○	
Leakage class: ●Large ◕Medium ◑Small ○None						

Table 6. Characteristic of FKM and NBR seal

Material	Operating Temp.	RPM
FKM	-25 °C ~ 160 °C	12,000
NBR	-40 °C ~ 100 °C	3,500

이중으로 조합 구성하여 복합환경시험을 실시하였고, Table 5에서 보는 것과 같이 FKM재질의 오일씰보다 NBR재질의 오일씰이 누유 특성은 더 우수함을 확인하였다. -15 ℃ ~ -5 ℃에서의 누유 특성이 NBR재질이 더 우수했으며 -32 ℃이하에서는 두 제품 다 증량 누유 발생으로 누유 방지에 한계가 있음을 확인하였다. 그러나 베어링 틈새로 누유가 발생되는 특성의 한계뿐만 아니라 추후 제품 내구성에 따른 신뢰성 문제가 제기될 수 있으므로 개선안에서 제외시키고 추가 개선안을 검토하였다. 앞에서 기술된 개선안에 대한 복합환경시험 결과를 토대로 추가 개선안을 검토하면서 세 가지 착안 사항을 고려하여 개선안을 검토하였다.

첫 번째로 세 가지 조건 중 '공진'조건을 제거하기 위해서는 하위 구성품을 변경하거나 또는 진동이 전달되지 않도록 댐퍼를 장착하는 방안도 있지만 이 또한 구조적인 변경이 필수적으로 야전에 운용하는 장비에 모두 적용하기에는 제한적인 측면이 있다.

두 번째로 '회전'조건을 제거하는 것은 냉각팬을 정지한다는 뜻이다. 저온 영역에서는 약 200 RPM으로 회전하며 온도가 올라감에 따라 냉각팬은 최대 약 6,200 RPM까지 회전한다. 초기 일정 온도까지 냉각팬의 회전을 멈추면 유압모터 누유 방지에 큰 효과가 있지만 수정하기 위해서는 새로운 제어시스템을 적용해야 한다. 이 또한 발생하는 비용을 감당하기 어려운 측면이 있다.

세 번째로 '저온'조건을 제거하기 위해 날씨 조건을 바꿀 수는 없다. 그러나 저온 조건에서 나타나는 현상은 제거할 수는 있다. 즉, 저온 특성이 좋은 오일씰을 사용하게 되면 '저온'조건을 제거하는 효과를 볼 수 있다.

Table 6에서 보는 바와 같이 현재 사용하는 오일씰의 재질은 불소계열의 오일씰로 저온보다는 고온과 고속회전에 특화되어 있다. 이보다 저온에서 뛰어난 성능을 보이는 NBR 재질의 오일씰을 적용하면 저온 특성은 좋으나 고온특성이 나빠진다. 따라서 불소계열 FKM 오일씰과 NBR의 오일씰의 장점을 살려 동시에 적용시키는 방안을 고안하였다. 또한, Fig. 9와 같이 이중복합씰의 외부마감으로 스냅링을 추가하였는데, 이는 구조 안전성을 사전확인하기 위해 실시한 충격시험에서 씰 커버에 전달된 충격으로 외부 씰이 약간 튀어 올라오는 현상이 발생하여 이를 개선하고자 스냅링을 적용하였으며, 재시험 결과 양호한 상태를 유지하며 문제가 없음을 확인하였다. 최종 5차까지 개선품에 대한 평가를 수행하였으며, 효과가 입증된 4차, 5차의 결과는 Table 7과 같다.

Table 7. Oil leakage improvement plans(4th~5th)

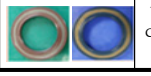
No.	Method	As-is	To-be	Remark
4th	Double seals	1ea FKM oil seal	2ea FKM oil seal	Double seals with same temperature characteristic
5th	Double seals	1ea FKM oil seal	1ea FKM oil seal & 1ea NBR oil seal 	Double seals with different temperature characteristic

Table 8. Oil leakage test result(4th~5th)

Condition		FKM+FKM				FKM+NBR			
Temp.	Vib.	#1	#2	#3	#4	#1	#2	#3	#4
-32°C	2g	◑	◑	◑	-	◕	◕	◕	◕
-25°C	2g	◑	◑	●	-	◑	◑	◑	◑
-20°C	2g	◑	◑	-	-	◔	◔	◔	◔
-15~ -5°C	2g	◕	◕	●	●	○	◔	○	○
Leakage class: ●Large ◕Medium ◑Small ○None									

K200계열 팬 유압모터에 이중씰을 적용하여 복합환경시험을 실시한 결과 Table 8과 같이 -32 ℃에서는 적용된 이중 오일씰 두 종류 모두 소량 누유되었으며 -25 ℃에서는 적용 이중 오일씰 두 종류 누유 특성이 유사했다. 그러나 -15 ℃ ~ -5 ℃에서는 FKM + NBR 이중 오일씰의 누유 특성이 월등히 뛰어난 것을 확인할 수 있었

으며, 진동 세기가 5 g를 넘어가도 누유가 없거나 경우에 따라 약간의 비침이 발생하는 정도로 도입품 대비 매우 우수한 개선효과를 보였다.

개선품으로 최종 결정된 이중씰의 구조는 Fig. 9와 같으며, 공학적으로 분석해 보면 구조 측면에서는 하우징 내부에 회전이 가능하게 설치된 하우징과 구동축 사이에 설치된 씰 커버와 구동축과 씰 커버 사이에 설치되는 FKM 재질의 제 1오일씰은 내측으로 설치되어 있고, 이와 다른 재질을 갖는 NBR의 제 2오일씰을 포함하고 있는 구조이다. 각각의 오일씰의 간섭을 방지하기 위해 칼라를 삽입하였다.

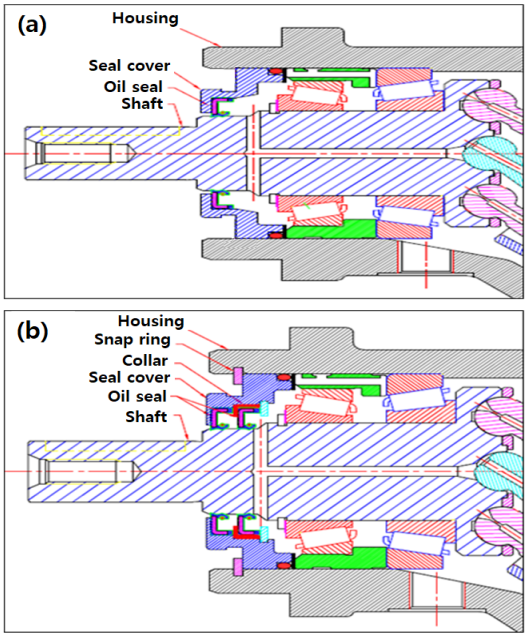


Fig. 9. Final improvement product (FKM+NBR)
(a) As-is (b) To-be

제안된 이중 오일씰 구조는 유압모터에 의해 차량의 팬이 구동할 때, 특히 작동유 및 오일씰이 저온 상태에서 구동하는 겨울에 진동으로 인해 구동축과 오일씰 사이로 작동유가 유출되던 사항을 방지할 수 있다. 더욱이 유압모터의 구조적 설계변경 시 발생할 수 있는 과다한 비용 문제도 해소할 수 있겠다. 따라서 우리나라 야전 혹한기 기동차량 운용 환경 온도가 대부분 −15 ℃ ~ −5 ℃인 것을 감안할 때 FKM + NBR 이중복합 오일씰 적용이 매우 유리할 것으로 사료된다.

또한, 개선품에 대한 야전체계장비 적합성 시험을 위해 K200계열 장갑차에 30개의 시제품을 배치하여 2018년 11월부터 2019년 05월까지 야전 혹한기 운용을 실시하였으며, 수차례에 걸친 부대 방문을 통하여 누유 여부를 점검 및 확인한 결과 누유가 전량 발생하지 않았음을 확인하여 효과를 입증하였다.

특히 개선 전 K200계열 장갑차의 연도별 평균 장비가동률은 '17년, '18년, '19년에 각각 41 %, 39 %, 34 %에 불과하였으나, 개선품이 본격적으로 적용된 '20년 이후부터는 82 %로 향상되었다. 이로 인해 팬 유압모터 교체에 따른 정비비용(인건비+재료비+운송비) 등 연간 약 5억 원가량의 운용유지비용이 절감될 것으로 기대된다.

3. 결론

야전 운용간 고질적으로 발생했던 K200계열 장비의 팬 유압모터 누유 문제를 해결하기 위해 복합환경시험을 고안하여 원인분석을 수행하였으며, 최종적으로 이중씰 적용을 통한 개선안을 도출하였다. 본 연구의 주요 결과를 요약하면 아래와 같다.

(1) 누유 발생 경향 분석 및 팬 유압모터의 도입품과 국산품 제품 특성 비교를 통해 누유의 원인은 혹한기 운용 시 불규칙한 진동 및 충격에 의해 발생할 수 있음을 확인하였다.

(2) 실제 운용환경과 유사하도록 저온 환경과 진동 조건을 동시에 가할 수 있는 복합환경시험을 수행하여 누유현상을 재현함으로써 원인분석을 실시하였으며, 진동 조건에서도 회전 밸런스와 기밀기능을 유지할 수 있는 방안이 요구됨을 식별하였다.

(3) 팬 유압모터의 오일씰 사양 변경과 베어링 추가 등 5차에 걸친 개선안 시험을 통해 FKM과 NBR재질의 특성을 이용한 이중복합씰을 적용하는 최적안을 선정하였으며, 혹한기 야전에 배치하여 체계장착시험을 수행한 결과 누유가 미발생 되어 효과를 입증하였다.

(4) 이상의 개선결과는 유압모터의 개발이나 개선 시 평가하는 일반적인 환경시험으로는 한계가 있으며, 개발 시에 평가하는 각각의 온도시험, 습도시험, 진동시험, 충격시험 등 환경시험을 모두 합격하여도 복합적인 요인에 의한 문제점이 발생할 수 있다는 것을 의미한다. 특히 유압 관련 제품 개발 시 본 논문에서 제시한 복합환경시험을 참조하여 향후 개발되거나 현재 누유 관련 문제점을 갖고 있는 제품들에 대해 신뢰성을 평가할 필요가 있다.

References

[1] D. M. Park, D. G. Im, J. K. Park, "A Study on the Selection of Oil seals to Prevent Oil Leakage - Focusing on Cases in the Automotive and Defense Sectors", *Proceedings of the KSME Conference*, pp.14-15, 2021.

[2] MIL-STD-810E, Environmental Engineering Consideration and Laboratory Tests, *Department of Defense*, DC, USA, pp. 501.3-516.4, 2014.

[3] ASTM D1418, Standard Practice for Rubber and Rubber Latices-Nomenclature, p.2, 2021.

[4] IEC 60068-2-53, Tests and guidance - Combined Clima- tic(Temperature/Humidity) and Dynamic (Vibration/ Shock) Tests - Edition 2.0, 2010.

[5] Izumi Juro, Vibration and Temperature/Humidity Combined Environmental Test of Electrical and Electronic Devices, p.178, Sungandang, 2012, pp. 45-46.

차 지 현(Ji-Hyeon Cha) [정회원]

- 2011년 8월 : 창원대학교 전자공학과 (공학학사)
- 2020년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉
전기/전자, 신뢰성공학

신 명 준(Myung-Jun Shin) [정회원]

- 2015년 2월 : 한국해양대학교 전파공학과 (공학학사)
- 2016년 8월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

〈관심분야〉
전파공학, 전자공학