

궤도차량 종감속기 누유 방지에 관한 연구

박동민^{1*}, 광대환¹, 주용원¹, 김천수²
¹국방기술품질원 기동화력센터, ²한화에어로스페이스

A Study on the Leakage Prevention for the Final Drive in Tracked Vehicle

Dong-Min Park^{1*}, Daehwan Kwak¹, Yong-won Joo¹, Cheon-So Kim²

¹Land Systems Center, Defence Agency for Technology and Quality

²Hanwha Aerospace

요약 궤도차량의 기동성은 임무수행 후 대응사격 회피와 임무수행 지역으로 신속한 이동 등 전투 중 생존성 향상과 관련한 중요한 인자이며, 고출력의 디젤엔진과 차량의 변속, 제동, 조향을 담당하는 변속기의 조합인 파워팩의 동력을 기동륜으로 전달하는 종감속기는 궤도차량의 기동을 위한 중요한 구성품이다. 종감속기는 출력축의 원활한 회전과 내부 기어의 소착 방지를 위해 오일을 주입하는데, 최근 일부 야전부대에서 운용 중인 궤도차량 종감속기의 출력축 부위에서 누유가 발생하여 종감속기 내부 기어의 열화와 마모 등 손상에 의한 궤도차량 기동성능 저하가 우려되었으며, 누유 방지를 위한 개선이 요구되었다. 특성요인도 분석기법을 활용하여 누유 발생 예상원인 및 경로를 추정한 결과 종감속기 출력부 누유 방지를 위해 장착된 페이스 실의 기능 저하로 인한 누유가 예상되었다. 페이스 실 기능저하를 방지하기 위해 패키징 치수 및 공차범위를 재설정하여 페이스 실 지지링 밀착력을 증대시켰으며, 개선안을 적용한 종감속기의 품질개선 효과성을 검증하기 위해 경운전시험 및 야전입증시험을 실시하였다. 본 연구는 종감속기의 누유 예상경로와 누유에 영향을 끼칠 수 있는 구성품에 대한 개선방안 도출을 토대로 궤도차량의 주행안정성을 확보함과 동시에 향후 유사장비의 설계 및 고장 원인분석에도 도움이 될 것으로 기대된다.

Abstract The mobility of a tracked vehicle is an essential factor that increases survivability during battle, such as avoiding counterfire after performing a mission and moving quickly to the next mission area. Therefore, the final drive, which is a power transmission device, is crucial equipment for the mobility of tracked vehicles. Recently, some field units reported oil leakage at the output shaft of the final drive of the tracked vehicle in operation, so there was concern about the deterioration of the mobility of the tracked vehicle because of damage, such as deterioration and wear of the internal gear of the final drive. Hence, improvement to prevent oil leakage was required. The expected cause and path of oil leakage were estimated using the fishbone diagram. Oil leakage caused by functional degradation of the face seal installed to prevent oil leakage at the output part of the final drive was expected. The face seal works by changing the dimensions and tolerance range to increase the adhesion of the face seal metal rings and prevent the face seal from deteriorating and changing the shape by chamfering the sharp edges of the face seal metal rings to prevent packing damage. The final drive oil with low viscosity was applied to prevent deterioration and jacking slip due to the increased driving torque of the metal ring contact part in a low-temperature environment in winter. A field proof test was conducted for the final drive to determine the cause through defect reproduction and verify the effectiveness of quality improvement. The driving test and oil leakage prevention effect of the face seal applied with the shape change were confirmed to have no effect. This study is expected to secure the driving stability of tracked vehicles based on the oil leakage expected path of the final drive and the derivation of improvement plans for components that may affect oil leakage. At the same time, it is expected to help design similar equipment and analyze the causes of failure in the future.

Keywords : Tracked Vehicle, Final Drive, Failure Analysis, Leakage, Face Seal

*Corresponding Author : Dong Min Park(Defence Agency for Technology and Quality)

email: dmpark0624@dtaq.re.kr

Received August 17, 2023

Revised September 20, 2023

Accepted October 6, 2023

Published October 31, 2023

1. 서론

복잡해진 도심 환경에 따른 미래의 전쟁양상은 기존의 산악전투, 도하작전뿐만 아니라 시가지전투 등 다양한 형태로 변화하고 있으며, 적진을 향한 신속한 병력투입 및 효과적인 정밀타격을 위해 임무에 적합한 장비의 필요성이 높아지고 있다[1,2].

지상 무기체계의 기동성능은 임무 수행 후 대응사격 회피 및 다음 임무 수행지역으로 신속한 이동 등 전투 중 생존 가능성을 높여주는 중요한 인자이다. 궤도차량은 야지 기동성이 탁월한 궤도를 활용하여 다양한 지형조건에서도 신속한 전투 임무를 수행하도록 설계되어 있으며 [3], 디젤엔진에서 발생한 동력을 조종수가 요구하는 동력으로 변환시키는 변속기가 결합된 파워팩을 통해 차량 주행 시 변속, 조향 및 제동 기능을 수행한다. 이 중 파워팩의 동력을 차체의 기동륜으로 전달하는 동력전달장치인 종감속기는 궤도차량 기동을 위한 핵심적인 구성품이라 할 수 있다.

최근 야전에서 운용중인 궤도차량 종감속기에서 Fig. 1과 같이 누유가 발생하였다. 누유 발생 이후 궤도차량을 지속적으로 운용하게 되면 종감속기 내부 기어의 열화와 마모 등의 손상이 우려되며 이에 따른 궤도차량의 기동성능 및 운용성 저하를 야기할 수 있다. 이와 관련한 품질문제 관련 문헌검토 결과 운용중인 궤도차량 종감속기 누유에 대한 문제 발생 이력이 없어 품질문제 원인분석 및 개선에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 이에 본 연구에서는 종감속기 누유 현상 방지를 위하여 예상 누유 경로 및 누유발생 원인을 파악하고, 누유 발생이 예상되는 각 경로별 누유방지방안을 도출하였다. 또한 제시된 누유방지방안의 효과 입증시험을 통해 개선효과를 검증하고자 하였다.



Fig. 1. Leakage of Final Drive

2. 종감속기 구조

디젤엔진과 기계식 또는 정유압기계식 변속기의 결합

체인 파워팩에서 발생된 동력을 차체의 기동륜으로 전달하는 동력전달장치인 종감속기는 내부 기어비를 통해 감속 및 전달토크를 증대시킨다. Fig. 2에 궤도차량의 동력 전달 과정을 도식화하였다.

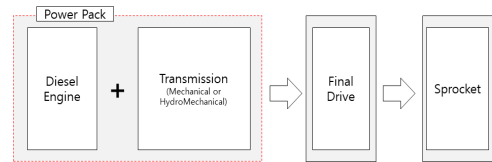


Fig. 2. Dynamics Flow Chart of Tracked Vehicles

Fig. 3에 궤도차량 종감속기의 구조를 나타내었다. 종감속기는 종감속기 입력축과 평기어가 한 쌍으로 맞물리는 1단 기어기구로 설계되어 있다. 1단 기어기구는 속도 전달비 $i > 1$ 일 때, 피동기어의 전달토크는 증대되고 회전속도는 감소하게 된다. 종감속기의 입력축에 해당하는 1단 기어기구 구동기어 잇수를 Z_1 , 종감속기의 출력축에 해당하는 피동기어 잇수를 Z_2 라고 할 때 속도전달비 i 는 Eq. (1)과 같이 계산된다.

$$i = \frac{Z_2}{Z_1} \quad (1)$$

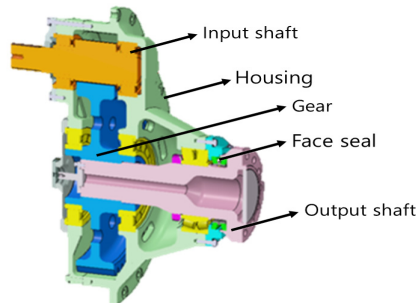


Fig. 3. Schematic Drawing of Final Drive for Tracked Vehicle

감속된 동력은 종감속기 출력축으로 전달되어 궤도차량의 기동륜을 회전시킨다. 출력축의 원활한 회전과 기어의 소착 방지를 위해 종감속기 내부에는 오일을 주유하며, 누유방지를 위해 출력축에 페이스 실을 장착한다.

페이스 실은 극도의 험한 환경에서 심한 마모에 견딜 수 있는 특성으로 고압, 고온 등 고부하 상태에서 누유를 방지하기 위해 다양한 산업분야에서 사용되고 있으며 [4-7], 그 형상을 Fig. 4에 나타내었다. 페이스 실은 설치

시 동일한 지지링이 서로 맞대어지며, 지지링에 안착된 고무 소재의 패킹을 통해 하우징 센터에 맞게 된다. 따라서 페이스 실의 기능 발휘를 위해서는 패킹의 외경과 자유높이가 고려되어야 한다.

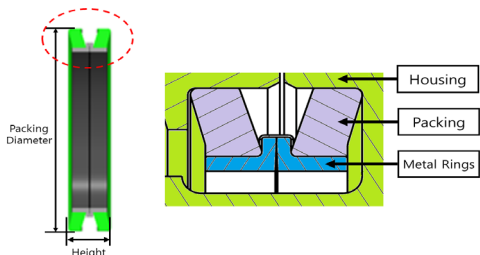


Fig. 4. Schematic drawing of Face Seal

3. 원인분석

3.1 특성요인도 분석 및 누유경로 추정

궤도차량 종감속기 누유 발생원인을 식별하기 위하여 품질특성요인도 분석기법을 활용하여 종감속기 누유의 발생원인과 예상경로를 추정하고자 하였으며, 이를 바탕으로 도출된 결과는 Fig. 5와 같다.

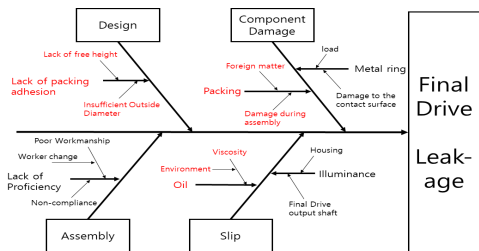


Fig. 5. Fishbone diagram for Cause Analysis

품질특성요인도 분석기법을 통해 종감속기의 누유 발생원인과 예상경로를 세 가지로 추정하였다. 첫 번째 추정원인은 패킹의 외경이나 자유높이가 부족한 경우인데, 페이스 실이 고정되지 않게 되고 페이스 실 지지링 사이 발생한 유격을 통해 오일이 누유 될 수 있다. 종감속기에 적용되는 페이스 실 패킹의 외경과 자유높이 치수 공차 범위는 ± 1.0 mm로, 패킹의 외경이나 자유높이의 치수가 하한 공차값에 근사한 경우에는 밀착력 부족에 따른 페이스 실 지지링이 충분히 맞대어지지 않을 가능성이 있다. 두 번째 추정원인으로는 종감속기 조립 간 페이스 실 패킹 손상에 의한 페이스 실의 기능저하다. 특히 패킹

이 손상되면 외부 이물질의 유입으로 2차 고장을 유발할 수 있다. 마지막으로 패킹 슬립 발생 시 패킹과 지지링 사이로 누유가 발생할 수 있다. 궤도차량 초기 기동 시 종감속기 페이스 실의 지지링 접촉부의 구동토크의 증가로 패킹의 슬립을 유발할 수 있으며, 특히 오일의 점도가 높아지고 패킹의 탄성이 낮아지는 동절기 운용환경에서는 패킹 슬립 가능성이 더욱 높아진다. 이를 토대로 예상한 누유경로는 Fig. 6과 같다.

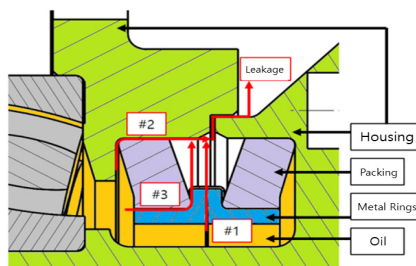


Fig. 6. Expected oil leakage route in final drive

3.2 종감속기 분해점검

누유가 발생한 종감속기 출력축 부위는 누유 방지를 위해 페이스 실을 장착하며, 해당 부위에서의 누유는 페이스 실의 기능저하에 의한 것으로 추정하였다. 누유 발생 종감속기에 대한 분해점검 실시 결과, 일부 종감속기 페이스 실 패킹 외관의 찌힘 등 부분적 손상이 식별되었다. 누유가 발생한 종감속기 분해점검 간 식별된 페이스 실과 손상 정도를 Fig. 7 및 Table 1에 나타내었다.

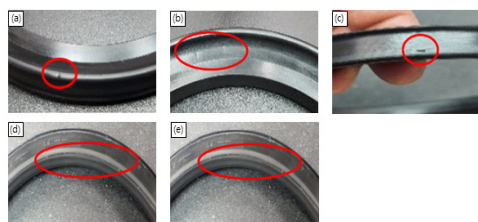


Fig. 7. Damaged packing of face seal

Table 1. Damage of Face Seal

No	Face Seal	
	Metal Rings	Packing
(a)	Undamaged	Damaged (Dented)
(b)	Undamaged	Damaged (Dented)
(c)	Undamaged	Damaged (Torn)
(d)	Undamaged	Damaged (Dented)
(e)	Undamaged	Damaged (Dented)

3.3 개선방안 도출

종감속기 누유발생 원인인자 식별을 위한 특성요인도 분석 및 종감속기 분해점검을 수행하였으며, 종감속기 누유는 페이스 실 밀착력 저하, 패키징 손상, 높은 오일점성에 따른 패키징슬립을 원인으로 지목하였다. 이를 바탕으로 추정된 누유 예상경로는 페이스 실 지지링 사이, 패키징과 하우징 사이, 패키징과 지지링 사이이며 분석된 내용을 바탕으로 Table 2와 같은 개선방안을 도출하였다.

먼저, 페이스 실 밀착력 저하를 예방하기 위하여 패키징의 외경과 자유높이의 공차범위를 조정하였다. 기존 공차범위인 ± 1.0 보다 좁게 자유높이 공차를 ± 0.4 , 외경 공차를 ± 0.2 로 조정하였으며, 조립 공정 간 패키징 손상 방지 방안으로 페이스 실 지지링 모서리에 모따기를 반영하였다. 또한 기존 종감속기 오일인 15W40보다 점성이 낮은 오일을 적용하여 혹한기 저온환경에서 오일 점성 증가 시 발생할 수 있는 패키징 슬립을 방지하고자 하였다.

Table 2. Proposed method for leakage prevention

Leakage Route	Cause	Improved
#1	Decreased Face seal adhesion	Packing diameter, Free height tolerance range change Free height $\pm 1.0 \rightarrow \pm 0.4$ Diameter $\pm 1.0 \rightarrow \pm 0.2$
#2	Damaged Face seal packing during assembly	Change the face seal Metal ring edge chamfer (C 1.0 ~ 2.0)
#3	Packing slip due to high Oil viscosity	Change low viscosity Oil (15W40 \rightarrow 5W40)

Table 3. Oil properties of SAE J300

SAE Viscosity Grade	Cranking Viscosity mPa·s (Max)	Pumping Viscosity with No Yield Stress mPa·s (Max)
0W	6200 @ -35°C	60000 @ -40°C
5W	6600 @ -30°C	60000 @ -35°C
10W	7000 @ -25°C	60000 @ -30°C
15W	7000 @ -20°C	60000 @ -25°C
20W	9500 @ -15°C	60000 @ -20°C
25W	13000 @ -10°C	60000 @ -15°C

오일의 점성특성을 분류한 SAE J300 규격에 따르면, 오일의 점성은 크게 고온점성과 저온점성으로 나뉘며 저온점성의 등급은 숫자와 W로, 고온점성의 등급은 숫자 로만 표기한다. Table 3과 같이 오일 점도 규격인 SAE

J300의 오일특성을 참조로 하여, 기존의 종감속기 오일인 15W40과 고온점성특성이 같고 저온 상태에서 점도가 낮은 사계절용 오일인 5W40을 선정하여 오일 점도에 의한 종감속기 누유를 방지하고자 하였다.

4. 입증시험

4.1 종감속기 경운전시험

종감속기 누유방지 개선방안의 검증을 위해 종감속기 단품 상태에서 경운전시험을 실시하였다. 경운전시험 간 상호 비교를 위해 Table 4와 같이 제시된 A~D의 네 가지 그룹의 종감속기 단품 경운전시험 간 누유 상태를 확인하였다. A그룹과 B그룹은 기존의 페이스 실을, C그룹과 D그룹은 Table 2의 개선내용을 반영한 페이스 실을 적용하였다. 또한 오일 점성이 패키징 슬립에 미치는 영향을 확인하기 위해 A그룹과 C그룹에는 저온에서 점성이 기존보다 낮은 5W40을, B그룹과 D그룹에는 기존 15W40 오일을 적용하였다.

경운전 시험은 양산품 시험과 동일하게 규정된 회전방향에 따른 회전수, 시간 조건을 적용하였다. 또한, 제품 수명에 따른 영향성을 배제하기 위해 기존품 및 개선품 페이스 실과 종감속기 오일(5W40 및 15W40)은 모두 신품을 적용하였다.

각각의 개선안이 적용된 종감속기의 경운전시험 수행 후, 백색 현상액을 도포하여 누유 발생에 대한 육안확인을 실시하였으며, 4가지 그룹 모두에서 누유는 발생하지 않음을 확인하였다.

경운전시험을 통한 종감속기 누유가 미발생함에 따라, 누유 고장재현 및 개선입증을 위한 확인이 필요함에 따라 추가 입증시험을 수행하였다.

Table 4. Test conditions of each group

Type	Group A	Group B	Group C	Group D
Face Seal	Current	Current	Improved	Improved
Final Drive Oil	5W40	15W40	5W40	15W40

4.2 야전 입증시험

종감속기 경운전시험은 시험장비에 장착되어 무부하 상태에서 수행되므로, 보다 가혹한 조건으로 추가 입증 시험을 수행하기 위하여 야전 입증시험을 실시하였다.

다양한 지형조건과 극한의 기후환경에서 임무를 수행하는 궤도차량에 경운전시험과 마찬가지로 4가지 그룹으로 구분된 종감속기를 장착하여, 궤도차량 운용 전/후 및 주간점검을 통해 종감속기 출력축 누유여부를 관찰하였다. 또한 운용환경에 따른 누유 발생여부 관찰을 위하여 혹서기 및 혹한기 환경에서도 동일한 방식으로 야전 입증시험을 수행하였다.

야전 입증시험결과, 혹한기 환경에서 운용된 궤도차량 중 기존품 페이스 실이 적용된 A그룹과 B그룹에서 Fig. 8과 같이 누유가 발생하였다. A그룹에는 점성이 낮은 5W40을, B그룹에는 점성이 높은 15W40을 적용하였기 때문에 야전 입증시험 결과를 바탕으로 오일 점성에 의해 발생가능한 페이스 실 패킹 슬립은 종감속기 누유의 직접적인 인자가 아닌 것으로 판단하였다. 개선품 페이스 실을 적용한 C그룹과 D그룹은 야전 입증시험 결과 누유가 발생하지 않았다. 패킹의 외경과 자유높이 치수 조정으로 페이스 실 밀착력을 강화하고, 패킹 손상 방지를 위한 모따기 반영은 누유 방지에 영향을 미치는 것으로 판단되었다.



Fig. 8. Leakage of Final Drive Field Verification Test

5. 결론

본 연구는 궤도차량 기동의 주요한 구성품인 종감속기 누유현상 방지를 위한 연구로써 특성요인도 분석을 통한 누유 경로 추정으로 누유의 원인분석을 하였으며, 이를 바탕으로 누유 방지를 위한 개선사항을 도출하였다. 페이스 실 기능 저하 및 손상 방지를 위한 페이스 실의 설

계를 변경하였고, 오일 점성에 의한 슬립 방지를 위해 저온 상태에서 점도가 낮은 오일을 선정하였다. 종감속기 경운전시험 및 야전입증시험을 수행하여 기존 페이스 실 대비 누유 방지 효과성을 입증하였으며 그 결과를 아래와 같이 요약하였다.

- 1) 페이스 실 패킹 외경과 자유높이 치수 및 공차범위를 조정하여 페이스 실을 구성하는 지지링의 밀착력 저하 방지와 조립 시 패킹의 손상을 방지를 위한 지지링의 모따기를 적용하는 설계변경을 수행하였으며, 이는 종감속기 누설 방지에 효과적이었다.
- 2) 동절기 운용환경에서 궤도차량 초기 기동 시 패킹 탄성 저하 및 오일 점도 증가로 인한 슬립 발생이 우려되었으나 야전입증시험 결과 오일 점도가 종감속기 누유에 미치는 영향은 적은 것으로 관찰되었다.

향후 본 연구의 결과는 고부하 상태에서 작동하는 유압장비에서의 누유방지를 위한 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] T.W. Kang, H.Y. Shin, J.M. Ryu, K.C. Park and H.K. Lee, "A Study on the Improvement of the Separation Phenomenon of Coolant Hose in the Tracked Combat Vehicle", *Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers*, Vol.17, No.3, pp.59-46, Jun. 2018. DOI: <https://doi.org/10.14775/ksmpe.2018.17.3.059>
- [2] S.H. Jeong, J.U. Heo, Structure and principle of tank and armoured vehicle. p.404, Yang Seo Publishers, 2013, pp.149-152.
- [3] J. Y. Kim, M. S. Seo, "Introduction of tracked vehicles and design features of military tracked vehicle suspension", *Journal of the Korean Society of Automotive Engineers*, Vol 22, No.3, pp.23~27, Jun. 2000.
- [4] S. H. Choi, K. Ryu, "Face Seals for High Speed Turbomachinery: Design, Fabrication, and Test Rig Development", *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol.2020, No.11 pp.515-516, 2020.
- [5] J. H. Bae, H. D. Kwak, C. H. Lee and J. S. Choi, "Development of Mechanical Face Seal in 75-ton of Turbopump for Leakage Reduction", *Journal of the KSTLE*, Vol 36, Issue 2, pp.75-81. 2020.
- [6] D. W. Kim, S. S. Jin, J. H. Kim and K. W. Kim, "Static Characteristic Analysis of Mechanical Face Seal Used for Boiler Feedwater Pump", *Journal of the KSTLE* Vol.26, No.4, pp.230-239, Aug. 2010.

[7] H. D. Kwak, S. M. Jeon and J. h. Kim, "Acceptance Test of a Mechanical Face Seal for Turbopumps", *Journal of fluid machinery*, Vol.10, No.1, pp.20-25, 2007.

박 동 민(Dong Min Park)

[정회원]



- 2015년 2월 : 창원대학교 기계공학전공 (공학사)
- 2015년 9월 ~ 2016년 9월 : Sulzer Pump Korea 설계팀 엔지니어
- 2017년 9월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방, 기계/재료, 열역학

김 천 수(Cheon-Soo Kim)

[정회원]



- 1995년 2월 : 부산대학교 기계설계학전공 (공학사)
- 1995년 4월 ~ 현재 : 한화에어로스페이스 부장

<관심분야>

국방, 기계/재료, 유체역학

곽 대 환(Daehwan Kwak)

[정회원]



- 2012년 2월 : 강원대학교 전기전자공학전공 (공학사)
- 2017년 2월 : 과학기술연합대학원대학교 에너지변환공학전공 (공학박사)
- 2017년 4월 ~ 2017년 12월 : 한국전기연구원 연구원
- 2018년 12월 ~ 현재 : 국방기술품질원 선임연구원

<관심분야>

국방, 전기전자, 펄스전원

주 용 원(Yong-Won Joo)

[정회원]



- 2013년 2월 : 창원대학교 기계설계공학전공 (공학사)
- 2012년 12월 ~ 2014년 4월 : LG 전자 에어컨연구소 연구원
- 2015년 1월 ~ 2022년 6월 : 퍼스텍 주식회사 선임연구원
- 2022년 7월 ~ 현재 : 국방기술품질원 연구원

<관심분야>

국방, 기계/재료, 유공압