

전술차량용 종감속기 마모패드 최적설계에 관한 연구

신현용*, 이용준*[#], 류정민*, 강태우*, 오대산*, 심정욱**, 신민수**, 손권일*

*국방기술품질원, **한화디펜스(주)

The Optimal Design of Wear Pads for the Final Reduction Drive in Tactical Vehicles

Hunyoung Shin*, Yong-Jun Lee*[#], Jungmin Ryu*, Taewoo Kang*, Dae-san Oh*, Jungwook Sim**, Minsu Shin**, Kwon-il Son*

*Defense Agency for Technology and Quality, **Hanhwa Defense

(Received 3 August 2019; Revised 17 August 2019; Accepted 26 August 2019)

ABSTRACT

The final reduction drive in tactical vehicles has a wear-pad that helps to maintain adequate end floating when the hub assay operates. The input axis and sun gear move repeatedly with the axis when tactical vehicle is operating. The hub assay is designed so that the wear pads won't seize during operation. Seizure of the wear pads during operation results in oil leakage. In our study, the fault mechanism was analyzed to prevent the seizure of the wear pads and an optimal design for the shape and material of the wear-pad was explored. We then observed the changes in temperature, shape, and material of several important parts.

Key Words : Final Reduction Drive(종감속기), Tactical Vehicle(전술 차량), Independent Suspension(독립 현가장치)

1. 서 론

최근에는 첨단 무기체계의 발달로 무기체계별 사거리, 명중률과 위력의 증대되어, 전술차량은 임무수행 후 대응사격을 회피하고, 다음 임무수행 지역으로 신속한 이동을 위한 기동성이 요구된다. 또한 책임지역의 확대, 작전지역의 확대 가능성 등 전장 환경의 변화로 뛰어난 기동성을 가진 전술차량에 대한 소요는 지속적으로 증가하는 추세이다^[1,2].

전술차량은 기존의 장점이었던 포장도로의 빠른 기동성 뿐만 아니라, 기존의 궤도형 차량의 특징인 야지 기동성 또한 필요로 한다. 야지에서서도 뛰어난 기동성을 만족시키기 위해서 독립현가시스템이 적용된 전술차량이 개발되고 있는 추세이다.^[5,6] 특히 독립현가시스템에서 종감속기는 기동성과 안전성을 높이기 위한 핵심 부품이다^[6,9].

전술차량에서 종감속기는 하우징 내부의 유성기어장치로 구성되어 엔진 변속기에서 발생된 구동력을 구동축조립체로 전달하며, 전달된 구동력을 종감속하여 타이어로 전달하는 기능을 한다. 마모패드는 종감속기에 설치되어 기어축의 축방향 이동량(플로팅량)을 결정하며 패드는 구동축이 축방

Corresponding Author : elan1012@naver.com

Tel: +82-55-279-4022, Fax: +82-55-287-4780

향 이동시 스톱퍼 역할을 수행한다. 종감속기의 마모패드는 Fig. 1과 같이 내측 마모패드와 외측 마모패드가 일정간격 플로팅 되도록 장착된다. 차량 운용 간 허브구동 시 입력축과 선기어는 설정된 플로팅 틈새만큼 축방향으로 반복적으로 움직이게 되는 구조이다. 이때 허브 내부에 주입된 기어오일 윤활작용에 따라 마모패드까지 접촉을 하더라도 소착이 되지 않고 구동되도록 한 것이 특징이다^[3,4].

종감속시 설계시, 점 접촉을 통한 윤활 및 마찰열 최적화를 위해 구면의 패드를 설계하였다. 그리고 입력축과 캐리어에 2개의 wear pad로 별도 분리 구성하였다. 이 경우 회전속도를 감속할 수 있는 장점이 있지만, 마모가 진행될수록 접촉면적이 커져 마찰열 발생 가능성이 있다.

구면의 패드 설계에 따른 최적화를 위해, 허브 내부에 주입된 기어오일 윤활작용을 원활히 하면서 플로팅 되는 마모패드간의 마모를 최소화하기 위해서 실험적으로 최적의 플로팅량이 적용되었다.

그러나 최적의 플로팅량 적용 후에도 전술차량 운용 중 마모패드끼리 소착은 여러 요인에 의해서 발생할 수 있다. 현재까지 발생된 마모패드 소착 문제 전체 이력을 분석한 결과, 전술차량 고속 이동 중 동력전달계통으로부터 구동력 배분이 높은 축 마모패드에 소착현상이 주로 관찰되었고, 이에 따른 마개부 손상으로 외부누유가 발생되었다. 현재까지 독립현가장치의 볼트파손이나 타이어 마모에 대한 연구는 수행되었으나, 소착현상을 발생시킬 수 있는 여러 요인에 대한 연구는 미흡하였다

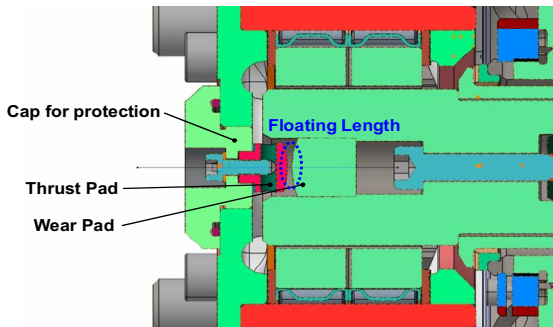


Fig. 1 Location of Pads and Floating Point

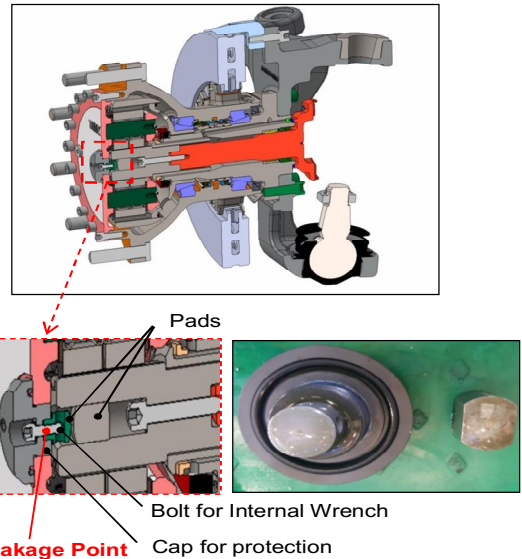


Fig. 2 Oil Leakage in Final Reduction Drive

^[4,5] 특히 마모패드와 같은 패드류 관련해서는, 압축기, 발전기와 같은 산업용 회전 기계들의 효율 향상, 하중 지지능력과 고속 안정성 향상을 위한 틸팅패드 저널 베어링의 고장과 분석에 대한 연구가 일부 수행되었을 뿐, 전술차량의 종감속기에 장착되는 마모패드에 대한 연구는 부족한 실정이다^[10-14].

본 연구에서는 최적화된 플로팅 상태에서 발생하는 소착 현상의 개선을 위해서 마모패드 형상과 열처리에 따른 종감속기 패드의 온도 영향성에 대한 연구를 수행하였다. 이를 통해 본 연구에서는 실험적으로 최적화된 플로팅 상태에서 발생하는 소착현상을 해결하고자 종감속기 마모패드 위치,

Table 1 Proposed method by material/shape^[3]

Category	Cap		Wearing Pad (Circle/Flat)	
	Material	Heat Treatment	Material	Heat Treatment
Reference	SM45C	-	SNCM220H	Carburization
Type 1 (Al-bronze Solution)	SNCM220H	Carburization	C6241	F(HB210)
Type 2 (Nitrotec Solution)	SNCM439	Nitrotec	SNCM439	Nitrotec

형상, 열처리 설계 최적화를 제안하였고, 입증 실험을 통해 제안된 마모패드 최적설계의 타당성 및 유효성을 평가하고자 하였다.

2. 전술차량 종감속기 마모패드 개선

2.1 종감속기 마모패드 고장메커니즘 분석

전술차량 운행간 종감속기 마모패드에 소착현상이 관찰되었고, 종감속기 확인시 Fig. 2와 같은 위치에서 누유가 확인되었다. 마모패드가 소착되는 예상 원인은 마모패드의 접촉 부위가 선기어 내부 및 허브센터부에 위치하기 때문에 윤활성 미흡, 고속회전에 따른 오일 원심력 영향에 따른 허브 센터부 윤활성 미흡, 구면 점접촉에 따른 소착 가능성 및 동일한 재질이 적용된 마모패드 상호간의 접촉에 따른 소착 가능성 등 여러 원인으로 분석되었다^[3].

Fig. 3과 같이 고장 메커니즘을 분석한 결과, 마모패드가 소착되기 위해서는 2종의 마모패드가 지속적인 접촉상태에서 과도한 마찰열 발생으로 소착

되고, 이로인해 볼트가 파손되면서 누유가 되는 것으로 분석되었다. 전술차량 운행간 입력축 축방향 하중이 발생하고, 이로 인해서 패드 2종이 고착되어 열이 발생하게 된다. 볼트부에 과도한 조임토크가 발생하여, 볼트가 파단되고 누유가 발생하게 된다. 이로 인해서 선기어/캐리어 틈새 유지가 불가하게 되어, 마찰 및 마모가 발생하게 된다. 그래서 입력축/스핀들 틈새 유지가 불가하게 되어 마찰과 마모가 야기되는 것으로 분석되었다.

고장 분석 결과 마모패드의 지속적인 접촉과 마찰열로 인해서 소착이 발생하는 것으로 추정되었고, 이를 바탕으로 개선 방안을 Table 1과 같이 도출하였다. 종감속기 마모패드의 소착현상 개선을 위해서, 형상은 동일하나 재질과 열처리 부분을 다르게 적용한 개선 1안(Al-bronze solution)과 개선 2안(Nitrotec solution)으로 도출하였으며, 상호 비교시험 후 비교 분석을 수행하였다.

우선, 윤활성 개선을 위해 마모패드 접촉부를 선기어 외부로 이동 설계하였고, 또한 이중재질 적용으로 소착방지를 위한 두가지 방안을 도출하였다. 첫째로, Al-bronze Solution은 유사 전술차량의 기검증된 설계방안으로 소착 사례가 없는 방안을 적용하였다. 둘째로, Nitrotec Solution은 Nitrotec 처리 시 표면층 미세 기공 형성 및 오일 침투로 윤활성 향상하였다. Nitrotec은 자동차용 피스톤, ball stud, pivot pin 등 윤활이 요구되는 부위 적용하는 방안으로, 이를 통해 마모패드 자체 윤활성을 극대화하고자 하였다.

2.2 종감속기 경운전 시험

개선방안의 검증과 고장재현을 위해서 종감속기 단품 상태에서의 경운전 시험을 통해서 그 효과를 검증하고자 하였다. 4가지 개선안에 대한 단품시험을 통해 마모패드 소착 및 누유 개선에 가장 적합한 방안을 찾고자 하였다.

경운전 시험을 양산품 시험과 동일한 조건에서 수행을 하였고, 종감속기 외부 온도변화를 측정을 통해서 시험조건에 따른 영향을 파악하였다.

시험 방법으로는 차량 최고 속도시 허브 회전 속도를 선정하여 최적의 플로팅량으로 세팅후, 좌우 반복하여 시험을 수행하였다. 시험 결과, 소착

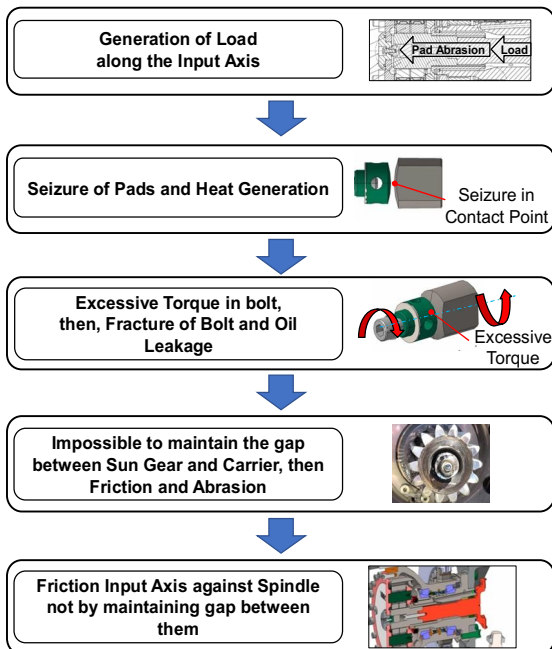


Fig. 3 Analysis of fault mechanism



Fig. 4 Experiment Setting for Operation Test

현상 발생여부 확인 및 최고 발생온도를 측정하였다. 4가지 개선안에 대해 각각 허브 경운전 시험을 실시하였다. 시험 수행후, 소착 현상 발생 여부 확인 및 최고 발생 온도를 측정하였다. 또한 마모패드 최대 마모량을 측정하여 접촉에 따른 영향도 확인하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 실험결과

Al-bronze solution과 Nitrotec solution을 상호 비교시험 후, 분석을 수행하였다. Table. 2와 같이 개선안에 대한 시험 결과, 기존품 마모패드 경운전시 발생한 최고 온도에 비해 개선된 마모패드의 온도가 낮게 측정되었고, 평면형 마모패드의 온도가 원형 마모패드에 비해 낮게 측정되었다^[3].

Table 2 Highest temperature and Wearing quantity

Category	Reference	Al-Bronze &Round	Al-Bronze &Flat	Nitrotec &Round	Nitrotec &Flat
Max Temp.(°C)	78.3	67.5	53.7	70.3	71.1
Mean of Max Temp.(°C)	75.8	61.8	51.9	68.3	67.1
Wearing (mm)	0.00	0.01 ~0.03	0.00	0.00	0.00

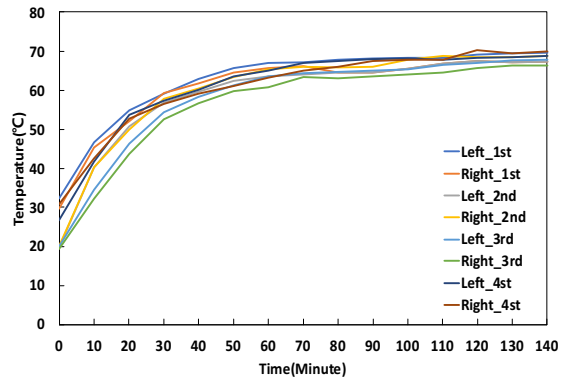


Fig. 5 Al-bronze flat type solution

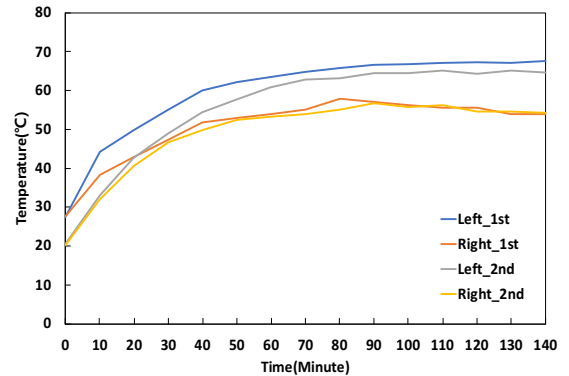


Fig. 6 Al-bronze round type solution

Al-bronze solution의 경우, Table. 2와 같이 평면형이 구형보다 최고온도와 각 시험 최고온도의 평균이 낮았다. 원형의 경우, Fig. 6과 같이 장착 위치에 따라서 최고온도 차이가 발생하였으나, 평면형은 Fig. 5와 같이 차이가 관찰되지 않았다.

Nitrotec Solution의 경우, 평면형의 최고온도는 Fig. 7, 8과 같이 구형보다 높으나, 각 시험 최고온도의 평균은 구형보다 낮게 측정되었다. 그리고 마모는 원형 마모패드에서만 미세하게 발생하였다. 기존품은 원형 마모패드임에도 불구하고 마모는 발생하지 않았다.

3.2 실험결과 분석

실험결과 Table 2와 같이 기존품과 개선품 경운전 시험결과, 마모패드에서 발생하는 온도 개선이

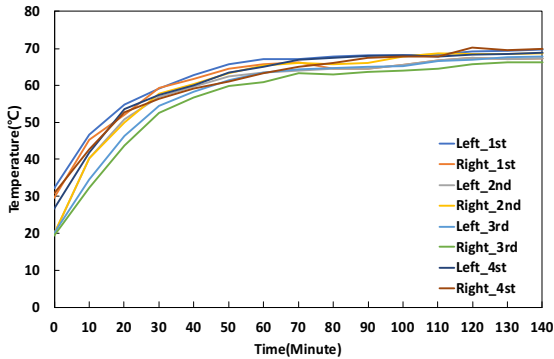


Fig. 7 Nitrotec round type solution

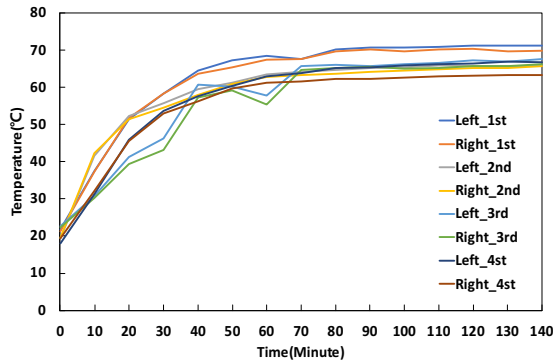


Fig. 8 Nitrotec flat type solution

관찰 되었다. 개선품 보완 설계시 접촉면이 선기어 밖으로 이동하여, 외부와의 열이동이 용이하도록 하여 내부 열을 줄일 수 있는 구조로 설계되었기 때문에 패드 재질과 형상에 관계없이 개선품이 온도가 낮게 나타나는 것을 분석되었다. 그리고 재질과 형상에 따른 측면에서는 평면형 Al-bronze solution의 온도가 가장 낮게 측정되었고, Al-bronze와 Nitrotec solution에 대한 경운전 시험결과 평면형이 온도가 낮고, 마모가 없기 때문에 평면형이 개선 효과가 뛰어난 것으로 관찰되었다. 평면형 Al-bronze solution이 평면형 Nitrotec solution보다 온도가 낮게 측정되므로 평면형 Al-bronze solution이 더 적합할 것으로 관찰되었다. 그러나, 단품 레벨에서는 실험에서는 평면형 Al-bronze solution이 좀 더 적합한 것으로 판단되지만, 차량 장착시험을 통해 두 제품간의 뚜렷한

차이점은 없는지 추가 실험을 통해서 확인 필요할 것으로 판단되었다.

4. 결론

본 연구에서는 전술차량용 종감속기의 최적화된 플로팅 상태에서 발생하는 마모패드간 소착현상에 대한 고장 메커니즘을 분석하였다. 이를 바탕으로 소착현상 개선을 위해서 마모패드 위치, 재질, 형상, 그리고 열처리를 다르게 적용하였고, 이에 따른 종감속기 마모패드의 온도 영향성에 대한 연구를 수행하였다. 경운전 시험조건에서의 온도 측정결과를 바탕으로 마모패드 최적설계 방안을 도출하고자 하였다.

전술차량용 종감속기 마모패드 최적화를 위해 마모패드 접촉위치를 외부로 변경하였고, 또한 형상과 열처리에 따른 종감속기 마모패드 온도 변화에 대한 시험과 분석을 통해서 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 개선 솔루션에 대한 시험결과 기존품과 개선품 시험결과, 마모패드에서 발생하는 온도에 개선이 있었음을 일부 확인할 수 있었다. 접촉면이 선기어 밖으로 이동되고, 열 발생을 줄일 수 있는 구조의 설계가 개선품의 온도를 낮추는 영향을 주었을 것으로 분석되었다.
2. 평면형 Al-bronze solution의 온도가 가장 낮게 측정되었고, Al-bronze와 Nitrotec에 대한 시험결과 평면형이 구형 마모패드보다 온도가 낮았고, 마모 또한 없는 것으로 관찰되었다.

REFERENCES

1. Cho, K. H., "A Study on the Development Method of the Domestic New Generation Multiple Launcher Rocket System", Journal of the Korea Institute of Military Science and Technology, Vol. 11, No. 6, pp.21-29, 2008.
2. Lee, B., Son, J., Jung, D. and Kim, K., "Study on the development of military vehicles for future warfare", Korean Society of Automotive Engineers

- 2012 Annual Conference, pp.2623-2626, 2012.
3. Shin, H., Lee, Y. J., Shim J., Lee, H. J., Kim S. K. and Heo, Y., "Research of Temperature Characteristics of Final Reduction Drive for Tactical Vehicle", Korea Institute of Military Science and Technology Annual Conference Proceedings, pp.1949-1950, 2018.
 4. Lee, H. J. and Kim, J. S., "A Study on the Failure of the Final Reduction Gear Pad Bolt in the Tactical Vehicle", Journal of the Korean Society of Mechanical Technology, Vol. 18, Issue 2, pp.281-287, 2016.
 5. Shin, M. and Sim, J., "Analysis of Tire Wear on Wheeled Vehicles", Korean Society of Automotive Engineers Annual Autumn Conference and Exhibition, pp.2656-2662, 2012.
 6. Lim, H. K., Kim, J. H. and Lee, J. Y., "Configuration of Independent Axle for Wheeled Armored Vehicle to Retain Operational Mobility". Journal of the Korean Association of Defense Industry Studies, Vol 19, No. 1, pp.168-180, 2012.
 7. Jo, Y. J., Jeon, E. C. and Kang, J. H., "A Study on the Optimum Design of Independent Suspension Final Reduction Gear", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol 7, No. 4, pp. 135-141, 2008.
 8. Lee, J. H, Kwon, H. J. and Kang, J. H., "A study on structure analysis and material improvement lightweight of special-purpose vehicles axle", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 8, No. 4, pp.136-142, 2009.
 9. Jang, J. Y., Shin J. R., Park, S. T., Yum, Y. J., Yang S. Y., Son, J. H. and Joung C. S., "A Development of Independent Suspension Axle System for Special Purpose Vehicle", Korean Society of Automotive Engineers 2008 Fall Conference in Busan · Ulsan · Kyungnam Division, pp.86-93, 2008.
 10. Lee, D. H. and Sun, K. H., "Thermohydrodynamic Analysis and Pad Temperature Measurement of a Tilting Pad Journal Bearing for a Turbine Simulator", Journal of The Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol. 33, No. 3, pp.112-118, 2017.
 11. Lee, D., Sun, K., Kim, B. and Kang, D., "Thermohydrodynamic Analysis and Pad Temperature Measurement of Tilting Pad Journal Bearing with Worn Pad", Journal of The Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers, pp.134-140, 2017.
 12. Lee, D., Kim B. and Lim H., "Thermal Analysis and Temperature Measurement of Tilting Pad Bearings Supporting a Power Turbine for the Supercritical CO2 Cycle Application", Journal of The Korean Society of Tribologists and Lubrication Engineers, Vol 34, No. 2, pp.43-48, 2018.
 13. Lee, D. G., Zhen, Q., Kim, L. S., and Lyu, S. K., "A Study on Optimum Design of Worm Gear Reducer Output Pinion", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 16, No. 6, pp.153-158, 2017.
 14. Kim T. H., Jang J. H., Lee D. G., Kim L. S., and Lyu S. K., "Study on Optimal Design and Analysis of Worm Gear Reducer for High Place Operation Car", Journal of the Korean Society of Manufacturing Process Engineers, Vol. 14, No. 6, pp.98-103, 2015.