등속조인트용 그리스 마찰특성 연구

이승욱[†] · 배대윤

현대자동차 재료분석팀

Research on Friction Characteristics of Constant Velocity Joint Grease

Lee, Sung Uk[†] and Bae, Dae Yoon

Materials Technology & Analysis Team, Hyundai Motor Company

(Received April 30, 2013 ; Revised June 2, 2013 ; Accepted June 3, 2013)

Abstract – A GAF (generated axial force) is produced at a plunging-type CVJ (constant velocity joint). A high GAF can cause vibrations in a vehicle. Grease is used to reduce friction between the roller and the track of the outer case of a CVJ. The grease performance depends on the surface conditions and operating temperature. The surface of the outer case is extremely rough and hard. In recent times, the maximum operating temperature of CVJs has crossed 140°C, because the exhaust line is now located close to the CVJ. In this study, we examined the friction characteristics of friction additives at 25-150°C and determined an optimal formulation with a low friction coefficient. This formulation can be used to develop low-friction grease that can reduce the GAF produced at a CVJ by approximately 7-26%.

Keywords - grease(그리스), drive shaft(드라이브 샤프트), constant velocity joint(CVJ, 등속조인트), friction characteristics(마찰특성)

1. 서 론

전륜 구동 차량에서 구동축(Driveshaft)은 차륜축의 Fixed CVJ와 변속기축의 Plunging CVJ 그리고 두 조인트를 연결해 주는 샤프트로 구성되어 있다. 다음 Fig. 1 참조.

Fixed CVJ는 조향시 절각이 가능하며, Plunging CVJ는 차량 서스펜션과 파워트레인의 거동에도 동력을 전달할 수 있도록 절각 및 축방향 이동이 가능한 구조로 되어 있다.

Plunging CVJ는 축방향 움직임에 따라, 절각상태에서 회전시 축력이 발생한다. 이 축력은 트랙면과 롤러의 상대운동에 의해 발생하는 축방향 마찰력으로 엔진/변속기의 진동과 공진하여 차량의 횡방향 요동을 일으키는 요인으로 알려져 있다. CVJ 설계에 있어 축력저

감은 중요한 설계요소이며, 이를 위한 방안으로 저마찰형 그리스 개발 연구가 활발히 진행되고 있다[1-4].

최근에는 배출가스 저감을 위한 촉매의 효율을 높이기 위해 배기라인의 위치가 변경되어 CVJ의 작동 온도가 기존 80°C에서 140°C 이상 상승됨에 따라 고

Fig. 1. CVJ(Constant Velocity Joint).

[†]Corresponding author : rockent@hyundai.com

Fig. 2. Change of GAF during break-in.

Fig. 3. Wear surface of CVJ housing.

온에서도 마찰계수가 낮은 그리스 개발이 요구되는 상황이다[5].

본 논문에서는 고온과 저온의 광범위한 온도범위에서 Plunging CVJ의 축력 저감이 가능한 저마찰형 그리스를 개발 하기 위해 필요한 최적의 첨가제 조합을 찾는 연구를 하였다.

2. 본 론

2-1. CVJ 마찰부(외륜 트랙부) 표면 분석

일반적으로 Plunging Type CVJ는 주조 및 고주파 열처리후 별도의 연삭 공정이 없어 경도는 높으나, 표면은 거친 상태이다.

실제 길들이기 시간에 따라 CVJ의 축력 변화를 살펴보면, 초기에는 축력이 높다가 길들이기 시간이 길어질수록 축력이 감소하는 경향을 나타내며, 일정 길들이기 이후에는 더 이상 축력이 감소되지 않는 안정화 상태가 된다. Fig. 3은 길들이기 및 축력시험 후

Table 1. Friction of specimen and grease

	SRV표준시편	등속조인트 트랙부 시편
그리스A	0.06	0.12
그리스B	0.08	0.06

Table 2. Condition of friction test

Load	80 N
Stroke	5 mm
Frequency	10 Hz
Temperature	25°C (10 min)
	25~150°C (2°C/min)

Fig. 4. Schematic of friction test and specimen.

외륜 트랙부의 표면상태이다.

이러한 표면에서는 일반적으로 마찰계수를 측정하기 위해 사용하는 시편과 전혀 다른 경향의 마찰특성을 나타낸다. Table 1은 등속조인트 트랙부에서 타발한 시편과 SRV평가용으로 사용되는 두 시편에 대하여 두 종류의 그리스가 상반된 마찰특성을 나타내고 있음을 보여준다.

따라서 등속조인트용 그리스는 트랙부와 같은 표면을 가진 시편으로 평가를 하는 것이 적합 하다.

2-2. 마찰계수의 측정 방법

SRV(Schwingungs Reibungs und Verschleiss)마찰 특성 시험기를 사용하였으며, 시험조건은 아래의 Table 2과 같다.

상부시편은 10 mm 볼을 사용하였으며, 하부시편은

Table 3. Condition of GAF test

	토크 Nm	회전수 rpm	가진
주행상태	300	150	-
정지상태	300	5	30 Hz 0.07 mm

Fig. 5. Schematic of GAF test.

<금속염에 의한 윤활> <유기계 피막에 의한 윤활>

Fig. 6. Lubrication mechanism.

CVJ외륜의 트랙부를 Cutting하여 사용하였다.

2-3. 축력의 측정 방법

축력은 CVJ에 토크를 주고 절삭상태의 회전을 통해 축방향으로 인가되는 힘을 측정함으로써 얻을 수 있다. 운전 조건에 따라 주행중의 축력과 정지상태의 축력을 측정하는데 시험조건은 Table 3와 같다.

2-4. 첨가제별 마찰특성 고찰

2-4-1. 그리스의 제조

일반적으로 첨가제가 금속표면에 작용하여 윤활성을 향상시키는 Mechanism으로 Fig. 6와 같이 금속염 피막을 형성하는 것과 유기계 피막을 형성하는 것 크게 두가지가 알려져 있다.

본 논문에서는 2.1에서 분석한 CVJ 하우징의 표면의 특이성에 기인하여 금속염 피막과 유기계 피막의 적절할 조합이 마찰계수를 낮출 수 있으리라는 가정하에 대상 첨가제를 설정 하였다.

우선 금속염 피막을 형성하여 윤활을 하는 대표적인 첨가제로 ZnDTP와 MoDTC를 조합하는 방법이 있다. ZnDTP 와 MoDTC는 금속표면에 판상구조를 가진

Fig. 7. Structure of MoDTC.

Fig. 8. Structure of ZnDTP.

Fig. 9. Structure of Zn-Stearate.

MoS₂, MoO₃등의 금속염을 형성해 마찰저감 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다[6-8,10].

1) MoDTC(Molybdenum dithio carbamate)

몰리브덴(Mo)을 포함한 유기계 첨가제로 제조방법에 따라 알킬기의 탄소수를 조절할 수 있다. 단독으로 사용시에도 금속표면에 금속염을 형성하여 마찰저감이 가능하며, 특히 ZnDTP등과 같이 사용시에 마찰계수를 0.04 이하로 낮출 수 있는 다용도 첨가제로 알려져 있다[5-7]. 다음 Fig. 7 참조

2) ZnDTP(Zinc dialkyl dithio phosphate)

단독으로 사용시 마찰계수가 0.09~0.13으로 다소 높으나, 위에서 설명한 것처럼 MoDTC와 같이 사용시 마찰계수를 0.04 이하로 낮출 수 있는 것으로 알려져 있다[4-6]. 다음 Fig. 8 참조

R-OH, P₂S₅, ZnO를 반응시켜 제조하며, R-OH의 분자구조에 따라 Primary Type, Secondary Type으로 구분된다[8]. Secondary Type은 열 안정성이 낮아 보조첨가제로 소량 사용된다.

그리고 유기계 피막을 형성하기 위한 첨가제로 Zn-Stearate를 사용하였다. Zn-Stearate와 같은 첨가제는 한 분자구조에 극성부분과 비극성부분(알킬기 또는 페닐기)이 공존하여 Fig. 9의 오른쪽 그림과 같이 극성부분이 금속표면에 부착되고, 비극성부분이 윤활작용을 하여 마찰을 저감 한다.

Table 4. Additives content of grease sample

No.	MoDTC	ZnDTP	ZnStearate
1	3	-	-
2	-	2	-
3	-	-	2.5
4	3	2	-
5	3	-	2.5
6	3	2	2.5

Fig. 10. Friction of No.1,2,3.

Fig. 11. Friction of No.4,5,6.

일반적으로 유기계 첨가제는 저하중에서의 마찰계수를 저감하기 위해 사용되며, 특히 마찰면이 거친 경우에 마찰계수를 저감하는 효과가 있는 것으로 알려져 있다[8,9].

MoDTC, ZnDTP, Zn-Stearate 3가지 첨가제에 대하여 함량별로 Table 4와 같이 제조하였다. 그리스의 제조시 기유는 광유계 Oil을 사용하였으며, 증주제는 Urea를 사용하였다. 본 연구를 위해 기유의 종류 및 점도, 증주제의 종류 및 함량은 고정하였다.

Fig. 12. Friction of optimized sample.

Fig. 13. GAF of driving state.

2-4-2. 마찰시험 결과

MoDTC, ZnDTP, ZnStearate를 단독으로 사용한 경우 ZnStearate와 ZnDTP는 0.11 이상의 높은 마찰계수를 나타내었으며, MoDTC는 0.08 수준으로 마찰저감 효과가 낮았다.

ZnDTP와 MoDTC를 조합시 Fig. 11의 No.4결과와 같이 낮은 온도에서 마찰저감 효과가 있으나, 고온 150°C에서는 마찰저감 효과가 떨어졌다.

ZnStearate와 MoDTC를 조합시 Fig. 11의 No.5결과와 같이 60°C 이상의 온도에서는 마찰저감 효과가 있으나, 상온 25°C에서는 마찰저감 효과를 확인할 수 없었다.

MoDTC, ZnDTP, ZnStearate 3가지 첨가제를 조합시 Fig. 11의 No. 6 결과와 같이 전 온도구간에서 마찰저감 효과를 확인할 수 있었다.

2-4-3. 첨가제 함량 최적화

MoDTC, ZnDTP, ZnStearate 3종의 첨가제의 최적

Fig. 14. GAF of idle state.

함량을 찾기 위해 DFSS(Design for Six Sigma)기법을 활용하였다. 최적 함량은 MoDTC 3%, ZnDTP 2% ZnStearate 2%이며, 25~150°C 온도구간에서 0.06 이하의 낮은 마찰계수를 나타내었다.

2-5. 마찰저감에 따른 축력감소 효과

축력의 측정은 가장 일반적으로 사용되고 있는 Tripod Type의 CVJ를 사용하였다. 개선하기 전 그리스 대비 개발품 그리스의 주행상태 축력은 10~15%, 정지상태의 축력은 7~26% 감소되었다.

3. 결 론

가혹해진 주행조건에 적합한 CVJ용 그리스 개발을 위해 고온 및 고주파 열처리 거친 표면에서 최적 윤활 특성을 나타내는 첨가제 조합에 대한 연구를 진행하여 아래와 같은 결론을 얻었다.

1. MoDTC, ZnDTP, ZnStearate등의 첨가제를 단독으로 사용시 보다 첨가제를 조합 하여 사용시 마찰저감 효과를 얻을 수 있다.
2. MoDTC, ZnDTP, ZnStearate 첨가제를 조합하여 CVJ의 작동온도 25~150°C 및 고주파 열처리된 거친 표면에 최적 윤활특성을 나타내는 조합을 찾을 수 있었다.
3. 축력시험 결과 7~26%의 축력저감이 있어 NVH

개선이 가능한 그리스 개발이 가능하였다.

References

1. J. Park, "A Study on Axial Force of Tripod Constant Velocity Joint," *KSAE Fall Conference Proceedings*, pp.1008-1013, 2007.
2. S. T. Oh, "Vehicle Shudder Associated with Axial Thrust Force of C.V.Joint for Automobile," *Transactions of KSAE*, Vol.4, No.2, pp.198-208, 1996.
3. S. T. Oh, "A Study on the Vehicle Shudder Associated with Axial Force of Tripod Joint for Automobile," *Transactions of KSAE*, Vol.5, No.6, pp.53-63, 1997.
4. Gareth Fisf and James Cole, "Tribology and Lubrication Requirement of Constant Velocity Joint," *SAE 980835*, 1998.
5. Chul-Hee Lee, Jae-Young Choi, In-Sik Jeon, Won-Ho Cho, and Hyuk-Chae Yun, "Grease Degradation in Constant Velocity (CV) Joints," *STLE, Tribology Transaction*, Vol. 54, 825-831, 2011.
6. Masayoshi Muraki, "Synergistic Effect on Frictional Characteristics Under Rolling-sliding Conditions due to a Combination of Molybdenum Dialkylthiocarbamate and Zincdialkylthiophosphate," *Tribology international*, Vol. 30, No.1 pp. 69-75, 1997.
7. R. Unnikrishnan, "Additive-additive interaction : an XPS study of ZDDP on AW/EP characteristics of molybdenum based additives," *Wear*, Vol. 252 pp. 240-249, 2002.
8. Young Whan Kim, "Friction Reduction with oil-soluble Molybdenum Dialkyle Dithio Carbamate and Environmental Effect," *KSTLE*, Vol. 6, No. 1, pp. 68-73, 1990.
9. J Crawford, A Psaila, In RM Mortier and ST Orszulik, eds. "Chemistry and Technology of Lubricants," *Miscellaneous Additives*. London, pp. 160-165, 1992.
10. Jian-Huei Choo, "Influence of Organic Friction Modifier on Liquid Slip : A New Mechanism of Organic Friction Modifier Action," *Tribo lett.*, Vol. 27, pp. 239-244, 2007.