

자동차 드라이브 샤프트와 액슬 시스템의 트라이볼로지적인 특성에 관한 고장사례 고찰

이일권[†] · 문학훈* · 염광욱**

대림대학교 자동차공학과, *오산대학교 자동차공학과, **중앙대학교 기계공학부

Failure Examples Study for Tribological Characteristics of Drive Shaft and Axle System in Vehicles

IL Kwon Lee[†], Hak Hoon Moon* and Kwang Wook Youm**

Department of Automotive Engineering, Daelim University College

**Department of Automotive Engineering, Osan University*

***Department of Mechanical Engineering, Chungang University*

(Received November 1, 2013; Revised November 20, 2013; Accepted December 1, 2013)

Abstracts – This study examined the tribological characteristics of the drive shaft and axle system in vehicles. The first drive shaft example contained end play for a CV joint that transferred part of the transmission power to the wheel. The joint part of the drive shaft was deformed because of reduced durability due to wear. Thus, vibrations caused the body to shake and become unbalanced when the drive shaft transferred the power. The second example was the cross-section of a shaft that connected the slip-connection of the propeller shaft on the input side to the yoke flange of the output side; the durability was reduced because of corrosion. End play caused by wear between the bearing and cross-section shaft appeared to cause shaking. In the third example, a grease leak reduced lubrication and thus caused damage to the hub bearing and inside the knuckle. The failure was produced by sticking. The fourth example had noise produced by the gear and gear transfer. This was due to the backlash of the pinion and few ring gears for the differential gear. Therefore, drive shaft and axle systems must be thoroughly checked and managed to minimize and reduce failure phenomena.

Keywords – drive shaft (구동축), CV joint (등속 조인트), propeller shaft (프로펠러 샤프트), differential gear (차동기어), hub bearing (허브 베어링)

1. 서 론

자동차는 엔진에서 발생된 힘이 변속기를 통하여 구동축을 거쳐 바퀴를 회전시켜 자동차를 움직이게 한다. 이러한 변속기에서 나온 동력은 구동축을 통하여 효과적으로 전달되어야 하고, 구동축의 메커니즘이 적절하게 조화되어야 구동 효율을 최적화 시킬 수 있다. 이러

한 프로펠러 샤프트의 최적 설계는 매우 중요하다. 초기에는 이러한 프로펠러 샤프트가 동력전달시 “끼익~” 하며 발생하는 와인(whine) 소음을 감소시키기 위해 내부 진동 압소버(Internal vibration absorber)를 적용하였다[1]. 또한, 기계적인 구동을 할 때 토션 진동(Torsional vibration)이 프로펠러 샤프트, 스플라인 축, 유니버설 조인트에 고장을 일으킨다는 연구결과도 발표되었다[2].

또한, 최근의 환경오염을 감소하기 위한 목적으로 자동차의 연비효율을 높이고 차량의 무게를 경량화하는

[†]Corresponding author : iklee@daelim.ac.kr

© 이 논문은 한국윤활학회 2013년도 추계 학술대회(2013. 10. 16~18 히든베이 호텔) 발표논문임.

연구로 나일론(nylon)을 코팅한 프로펠러 샤프트에 대한 연구도 진행되었다[3]. 초기에는 자동차가 도로를 주행하면서 직선도로만 주행할 수 있었다. 실제로 많은 자동차가 도로에 있다거나 고속의 주행 필요성이 크지 않았으므로 좌우측으로 선회할 필요성이 없었다. 그러나 이후 자동차는 점차 고속의 필요성, 물류의 운반을 위한 혁신적인 기계시스템이 개발되면서 선회시 빠르게 선회할 수 있도록 하고 좌우 바퀴의 회전수 차이를 이용하여 원활하게 회전할 수 있는 차동장치(differential system)가 개발되었다. 액슬(axle)의 구동 피니언기어와 링 기어 사이에서 발생하는 소음을 감소시킬 수 있는 방법을 찾기 위한 연구도 진행되었다[4]. 바퀴가 회전할 때 휠 허브 베어링 그리스의 기능을 유지시키기 위해 적절한 수분 방지제 및 이물질이 휠 베어링 그리스 내에 들어가지 못하도록 휠 베어링을 보호하는 구조적 고려가 필요하다는 연구결과도 발표되었다[5]. 등속 조인트의 내부 마찰에 의해 발생하는 진동 발생을 예측할 수 있는 연구결과도 발표되었다[6]. 기어와 기어의 맞물리는 기어의 소재가 불량하여 마멸이 되거나 조립불량에 의한 기어의 물림 상태가 비정상적이면 소음이 발생할 수 있다는 연구사례도 발표되었다[7].

상대적인 변위에 관련된 이러한 기계적인 시스템은 회전부에 연결하여 원활하게 회전할 수 있는 기계요소 베어링, 축, 기어, 각종윤활유 등과 같은 다양한 기계요소들과 재료들의 개발에 따라 회전시 발생하는 열에 견딜 수 있는 내구성의 확보로 인해 고속 회전이 가능하게 되었다. 또한, 회전력을 원활하게 편심된 축이나 수평이 아닌 각도를 가진 축 등에 전달하는 기계요소의 개발로 다양한 구동력의 구현이 가능하게 되었다.

따라서 이 논문은 회전력이 구동축과 차동기어, 액슬부에 전달되는 과정에서 발생하는 트라이볼로지적인 고장사례에 대하여 자동차에서 발생하는 고장사례를 수집하여 이것을 분석하고 고찰하고자 한다.

2. 이론적 배경

2-1. 구동 축(drive shaft)

일반적으로 자동차 엔진의 동력은 변속시스템을 통하여 전륜구동 자동차는 드라이브 샤프트(drive shaft)로 등속조인트(CV joint; constant velocity joint)를 사용한다. 후륜의 자동차는 프로펠러 샤프트(propeller shaft)에 의해 바퀴까지 동력을 전달하며, 요철 도로를

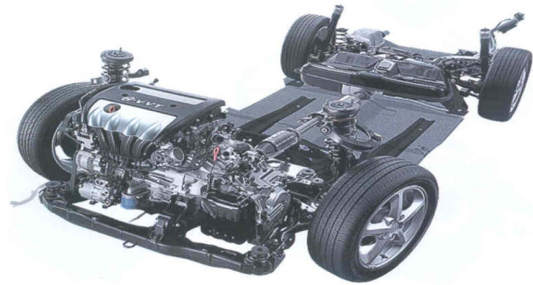


Fig. 1. Installing example of propeller shaft.

운행할 때는 차축이 아래위로 움직이기 때문에 추진축의 길이에 대한 신축성이 떨어지고 변속기와의 각도 변동에 따라서도 엔진의 동력을 원활하게 차축에 전달하기 위해서는 추진축 양 끝에 유니버설 조인트(universal joint)가 있고, 추진축의 양쪽 또는 중간부분에는 슬립 요크(slip yoke)가 있다[8]. Fig. 1은 프로펠러 샤프트가 적용되는 자동차 사례를 보여주는 것이다.

2-2. 종감속 기어와 차동장치

2-2-1. 종감속 기어

종감속 기어는 추진축의 회전력을 직각으로 전달하며, 엔진의 회전력을 최종적으로 감속시켜 구동력을 증가시킨다. 구조는 구동 피니언과 링 기어로 되어 있으며, 종류에는 워م과 워م기어, 베벨기어, 하이포이드 기어가 있다. 종감속 기어는 FF(front engine front wheel) 자동차의 트랜스 액슬인 경우에는 헬리컬 기어를 사용하고 있고, FR(front engine rear wheel)자동차의 리어 액슬인 경우에는 하이포이드 기어를 사용하고 있다.

2-2-2. 차동장치

차동장치는 자동차가 선회할 때 양쪽 바퀴가 미끄러

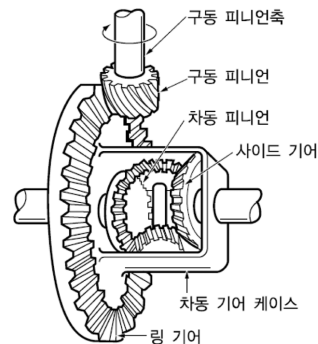


Fig. 2. Structure of differential gear system.

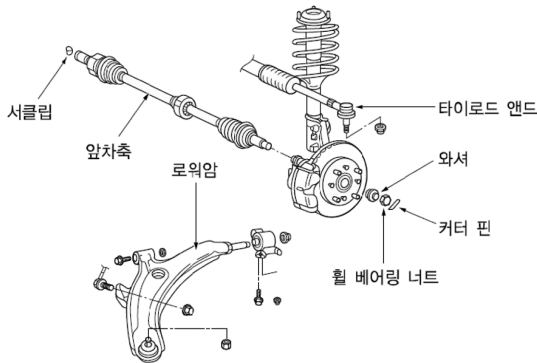


Fig. 3. Front axle example of front wheel drive type.

지지 않고 원활하게 선회하려면 바깥쪽 바퀴가 안쪽 바퀴보다 더 많이 회전하여야 하며, 또한, 울퉁불퉁한 도로면을 주행할 때에도 양쪽 바퀴의 회전속도가 달라져야 한다. 즉, 차동장치는 도로면의 저항을 적게 받는 구동바퀴 쪽으로 동력이 전달될 수 있도록 하며 차동 사이드 기어, 차동 피니언, 피니언 축 등 및 케이스로 구성되어 있다[9, 10]. Fig. 2는 차동장치의 구성도를 보여주는 것이다.

2.3. 차축

차축은 바퀴를 통하여 자동차의 중량을 지지하는 역할을 하며, 이러한 구동차축은 종감속기어에서 전달된 동력을 바퀴로 전달하고, 도로면에서 받는 힘을 지지하는 일을 한다. 구동차축의 종류에는 앞바퀴 구동 방식의 앞차축, 뒷바퀴 구동방식의 뒷차축, 네 바퀴 구동 방식의 앞·뒷 차축이 있다. Fig. 3은 앞바퀴 구동방식의 앞차축 사례를 보여주는 것이다.

3. 추진축, 액슬 시스템의 고장 사례

3-1. 등속조인트의 변형으로 인한 차체떨림 현상사례

3-1-1. 현상

운전자가 자동차를 운전하던 중 고속주행에서 자동차가 떠는 현상이 발생하였다.

3-1-2. 분석

이 자동차는 2006년에 출고되어 운행한지 7년 정도 경과된 자동차로 시운전한 결과 고속도로에서 100 km/h 정도의 속도에서는 떨림의 현상이 발생되지 않았으나, 120 km/h의 속도가 되었을 때 떨림 현상이 발



Fig. 4. Deformation example of constant velocity joint.

생되었다. 130 km/h의 속도가 되었을 때는 떨림 현상이 점차적으로 더 심해졌다. 엔진의 구동 토크(torque)는 변속기에서 드라이브 샤프트를 거쳐 액슬 허브로 전달된다. 그러나 엔진의 진동에 의해 드라이브 샤프트 자신의 굽힘(bending) 진동이 발생될 수 있다. 이 때 엔진의 진동과 샤프트의 진동이 공진하게 되면 샤프트의 진동은 점점 커지게 된다. 또한, 이 샤프트의 진동이 너클(knuckle) 및 서스펜션 부싱(bushing)을 통해 차체에 전달되어 이상음이 발생할 수 있다. 따라서, 이러한 진동을 고려하여 드라이브 샤프트의 시스템을 설계하여야 할 것이다. 이러한 진동에 관련된 드라이브 샤프트의 휨에 의한 밸런스가 맞지 않게 되면 드라이브 샤프트는 진동하게 되고 이러한 진동이 자동차가 운행할 때 차체로 전달될 수 있다. 이 자동차는 점검한 결과 타이어의 평형상태는 정상이었다. 드라이브 샤프트를 확인한 결과 변속기의 동력을 바퀴로 전달하는 드라이브 샤프트인 등속조인트의 유격의 차이는 없었으나, 등속조인트의 조인트부가 미세하게 마모되어 내구성이 떨어져 밸런스 불평형에 의한 차체진동으로 확인되었다. 따라서, 드라이브 샤프트를 교환한 다음 동일한 속도에서 자동차의 떨림 현상이 제거되었다. Fig. 4는 드라이브 샤프트인 등속조인트의 변형사례를 보여주는 것이다.

3-1-3. 고찰

구동부에서 등속조인트의 회전평형은 대단히 중요하다. 즉, 밸런스가 맞지 않으면 운행 중 진동이 발생하게 되어 이러한 진동은 차체에 전달되어 운행중 차체 진동의 원인이 되다. 또한, 출발할 때나 후진할 때 엔진의 동력이 바퀴에 전달될 때 밸런스 차이에 의해 구동충격이 발생할 수 있으므로 볼 조인트의 작동 상태

및 다이내믹 댐퍼의 균열과 마모를 점검하여 품질 확보에 철저하게 대비하여야 한다.

3-2. 프로펠러 샤프트의 십자축 마모현상으로 떨림 현상사례

3-2-1. 현상

자동차를 주행하던 중 차체의 떨림현상이 발생하였다.

3-2-2. 분석

출고한지 11년 정도 경과한 RV(recreation vehicle) 자동차로 시운전한 결과 운전을 할 때 40 km/h 정도의 속도에서부터 자동차의 진동이 느껴져, 떨림이 유지되다가 100 km/h 이상에서부터는 떠는 현상이 약간 감소하였다. 저속에서는 전진과 후진을 할 때 ‘쿵’하면서 운전가가 울컥하는 증상을 느낄 수 있었다. 일반적으로 프로펠러 샤프트는 출발할 때 진동현상이 발생되며 플로워 패널과 시트의 상하진동현상이 발생한다. 이것은 프로펠러 샤프트와 연결된 조인트의 굽어진 각에 의한 물체의 회전운동을 일으키는 우력(couple of force), 즉, 물체에 작용하는 서로 반대방향의 평형인 짝힘에 의해 발생된다. 이 자동차의 경우에는 프로펠러 샤프트를 분해하여 확인한 결과 프로펠러 샤프트의 입력축 슬립이음과 출력축 요크 플랜지를 연결하는 십자축이 부식으로 인해 작동할 때 마찰에 의해 베어링과 십자축 연결부 사이의 마찰이 발생되어 유격발생으로 인해 떨림 현상이 나타난 것을 확인하였다. Fig. 5는 프로펠러 샤프트의 십자축이 마모된 사례를 보여주는 것이다.

3-2-3. 고찰

십자축이 요크에 들어가는 부분에는 롤러베어링



Fig. 5. Cross-section shaft wear example of propeller shaft.

(roller bearing)이 끼워져 저항을 적게하고 봉입된 그리스에 의해 운환되고 있다. 후크식 조인트에서는 입력축의 회전속도가 일정하더라도 출력축의 회전 속도는 1회전에 2회의 변동이 발생하고 이 변동은 굴곡각이 클수록 크게 된다[10]. 따라서, 이러한 부품과 시스템의 내구성 확보를 위해 자동차 관리에 철저를 기해야 한다.

3.3 허브베어링 열화로 인한 소음 발생 사례 떨림 현상사례

3-3-1. 현상

운전자가 운전을 하던중 자동차 하부에서 무엇인가 긁는 소음이 발생하였다.

3-3-2. 분석

이 자동차는 18,953 km를 주행한 소형 화물 자동차로 시운전한 결과 40 km/h 정도가 되었을 때 하체에서 ‘스~스’하면서 긁는 듯한 마찰음이 발생하는 것을 확인하였다. 속도가 증가하면서 이 소음은 점점 커졌다. 자동차를 리프트에 올려 하부를 점검한 결과 하체는 이상이 없었다. 바퀴를 돌리면서 점검한 결과 이상음이 좌우바퀴에서 발생하는 것을 확인하였다.

일반적으로 자동차의 엔진 구동력은 변속기를 통해 바퀴로 전달된다. 이 때 구동축은 바퀴에 끼워지는 데 이 때 바퀴를 장착하는 허브와 연결된다. 이 바퀴의 허브에는 구동축이나 바퀴가 원활하게 회전할 수 있도록 허브 베어링이 삽입된다. 이 허브 베어링에는 내부에 볼이 삽입되고 그리스가 주입되어 회전바퀴의 고하중에 견딜 수 있도록 회전하는 기계요소이다. 그러나 이 베어링이 내구성이 떨어지거나 내부의 그리스가 누설되어 열화현상이 발생되면 내부의 볼과 베어링부는



Fig. 6. Hub-bearing example stuck by leakage lubrication.

윤활역할을 할 수 없게 된다. 이 때 운행 중 소음으로 발생이 되고 이것이 점차 진행됨으로써 베어링이 고착되어 자동차의 운행을 할 수 없는 경우가 발생될 수도 있다. 따라서, 이 자동차의 사례는 허브 베어링 내부에서 윤활작용을 하던 그리스가 유출되면서 윤활역할을 하지 못하게 됨으로써 허브 베어링이 열화현상이 증가하면서 고착현상에 의해 고장이 발생된 것을 확인하였다. Fig. 6은 윤활부족으로 고착된 허브 베어링의 사례를 보여주는 것이다.

3-3-3. 고찰

허브 베어링은 구동축의 동력을 전달받아 회전시 발생하는 열을 감소시키고, 볼과 베어링 리테이너 사이의 윤활작용을 함으로써 바퀴를 원활하게 회전하게 하는 역할을 한다. 시스템의 안정성을 확보하기 위해 허브 및 너클 시스템에 대한 허브의 균열을 점검한다. 또한, 오일실의 균열과 손상을 점검, 브레이크 디스크의 굽힘과 손상 및 베어링의 결함을 수시로 점검하여 시스템의 최적화 관리를 하도록 한다.

3.4 주행시 차동 링 기어 소음 발생사례

3-4-1. 현상

운전자가 운전을 하던 중 자동차의 하부에서 “웅” 하는 소음이 발생하였다.

3-4-2. 분석

이 자동차는 35,685 km를 주행한 RV(recreation vehicle) 자동차로, 시운전한 결과 45 km/h 이상 주행을 할 때 차동기어(differential gear) 소음(noise)이 발생하는 것을 확인하였다. 이러한 소음은 60~80 km/h에서 심하게 발생하였다. 감속(coast)시 45 km/h 이상에서도 전구간에서 소음(noise)이 발생하였다. 차동기어를 분해하여 점검한 결과 링 기어(ring gear)와 피니언 기어(pinion gear)의 치면이 불량하였다. 또한 링 기어의 드라이브 기어(drive gear) 면이 안쪽으로 치우쳐 마모된 것을 확인하였다. 링 기어의 감속면(coast surface)이 바깥(out)쪽으로 치우쳐 마모된 것을 확인하였다. 사이드 기어(side gear) 및 사이드 베어링(side bearing)은 양호한 상태로 확인되었다. 피니언기어(pinion gear)와 링기어(ring gear), 사이드기어(side gear) 및 베어링(bearing)을 교환하였으며, 백래시가 규정값인 0.11~0.16 mm[11]보다 훨씬 작은 값으로 측정되었다. 따라서, 백래시의 값을 규정값으로 재조정한다.



Fig. 7. Wear example of differential ring gear.

다음 조립하여 시운전한 결과 소음 현상이 제거되었다. 이 현상에 대한 원인은 피니언 기어(pinion gear)와 링 기어(ring gear)의 백래시(backlash) 지나치게 작아 이러한 소음이 발생된 것으로 확인되었다. Fig. 7은 차동기어의 치면이 마모된 사례를 보여주는 것이다.

3-4-3. 고찰

차동 장치 작동부는 미끄럼 마찰의 부분이 많아, 윤착, 마멸을 방지하기 위해 표면처리, 윤활을 배려할 필요가 있다. 이러한 관리가 철저하게 되지 않으면 차동 장치의 소음이 발생하거나 시스템의 고장을 발생할 수 있으므로 철저한 관리를 하여야 한다.

4. 결 론

자동차 구동축 및 액슬 시스템의 고장사례를 사례별로 분석하고 이를 고찰하여 봄으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 첫 번째 사례는 등속조인트의 조인트부가 마모되어 내구성 떨어지 제품의 밸런스 불평형에 의한 차체진동을 확인하였다.
- 2) 두 번째 사례는 프로펠라 샤프트에의 입력축 슬립이음과 출력축 요크 플랜지를 연결하는 십자축이 부식으로 베어링과 십자축 연결부 사이의 마멸이 발생되어 유격발생으로 인해 떨림 현상이 나타난 것을 확인하였다.
- 3) 세 번째 사례는 허브 베어링 내부에서 윤활작용을 하던 그리스가 유출되면서 허브 베어링이 열화현상이 증가하면서 고착현상에 의해 고장이 발생된 것을 확인하였다.
- 4) 네 번째 사례는 피니언 기어(pinion gear)와 링기

어(ring gear)의 백래시(backlash) 지나치게 작아 소음이 발생된 것을 확인하였다.

References

- [1] Walter, M. Esser, "Axle Noise Control - IVA Propeller Shaft," SAE paper 690259.
- [2] George, R. Doyle and Lynn, L. Faulkner, "Torsional Vibration in a mechanical Drive," SAE paper 821029.
- [3] Kimimasa Murayama, Shuji Ikawa and Katsuya Murakami, "Development of Propeller Shaft with a New Nylon Coating," SAE paper 920612.
- [4] Naoto Hirasaka, Hiroshi Sugita and Makoto Asai, "A simulation Method of Rear Axle Gear Noise," SAE paper 911041.
- [5] Lim, Y.-K., Lee, E.-H., Lee, J.-M. and Jeong, C.-S., "Performance of Automotive Wheel Bearing Grease by Water Contents," Journal of the KSTLE Vol. 27, No. 5, pp. 275-280, 2011.
- [6] Lee, C.-H. and Jang, M.-G., "Development of Internal Friction Model in Automotive Constant Velocity Joints," Journal of the KSTLE Vol. 24, No. 5, pp.215-220, 2008.
- [7] Kim, C. K. and Lee, I. K., "Tribological failure Study of Manual Transmission in Front Engine and Front Wheel Vehicle," Journal of the KSTLE Vol. 24, No. 6, pp. 285-290, 2008.
- [8] Hyun-dai motor company, "Structure of Vehicle," 2010.
- [9] Kang, H.-I. and Kook, C.-H., "Chassis of Vehicle," 2012, golden-bell.
- [10] The Korean Society of Automotive Engineering, "Automotive Technical Hand-book - Design part," 1996.
- [11] Lee, I.-K. et al., "Practice Master of Car," 2010, golden-bell.