

승용차 자동변속기의 고장사례에 관한 트라이볼로지적 고찰

김청균[†] · 이일권*

홍익대학교 트라이볼로지 연구센터, *대림대학 자동차과

Tribological Failure Analysis of Automatic Transmission in a Passenger Car

Chung Kyun Kim[†] and Il Kwon Lee*

Tribology Research Center, Hongik University

*Department of Automotive Engineering, Daelim College

Abstract – This paper presents a tribological study on the failure cases of automatic transmission components in a passenger car. The automatic transmission system is composed of torque converter, clutch, brake, planetary gear, and valve body controlling oil pressure of an automatic transmission fluid. The most largest influence components in an automatic transmission are a torque converter and clutch plate in which are influenced by a wear and torque converting energy loss. The failure case study of an automatic transmission indicates that the tribological design and maintenance technologies should be considered as a key design concept. This means that the failure and power energy loss come from the friction, wear and a oil leakage of an automatic transmission, which is related to the oil seal and O-ring seal failures.

Key words – automatic transmission, automatic transmission fluid, tribological failure, wear, oil leakage.

1. 서 론

자동차는 동력원을 생산하는 엔진(engine), 생산된 동력원을 차량에 적합한 속도로 변환하는 변속장치(transmission), 이들을 포함하여 모든 하중을 지지하기 위한 새시(chassis)로 구성된다[1]. 본 연구에서 관심을 갖는 변속장치는 엔진의 구동력을 차량의 주행조건에 적합하도록 속도를 바꾸어주는 역할을 하는데, 이때 마찰접촉 운동부, 변속기의 유압과 윤활성에 관련된 작동 오일의 역할은 대단히 중요하고, 이것에 의해 발생하는 트라이볼로지 고장사례에 대한 고찰을 하는 것도 큰 의미를 갖는다.

최근 승용차를 중심으로 많이 보급된 자동변속기(Auto Transmission : AT)는 기존의 수동변속기(Manual Transmission : MT)에 비하여 운전자의 편리성과 운전성에서 크게 앞서기 때문에 버스나 소형 트럭에도 널리

장착되는 경향이 있다. 특히 자동차 전자제어 시스템의 활성화 및 운전조작의 복잡성, 각종 운행정보 시스템의 연계작동은 자동변속기의 장착비율을 크게 높여주는 계기가 되었다.

자동변속기(AT)는 수동변속기(MT)에 비해 연비가 낮은 문제점은 있으나, 운행에 관련된 안전성과 편의성이 크게 향상되므로 운전자의 선호도는 크게 높아져 자동변속기의 장착율이 90%를 넘는 차종도 많이 등장하였다. 자동변속기가 폭발적으로 장착되는 이유는 대도시의 심각한 차량정체 및 차량증가로 운전자의 운행 피로도 증가, 또한 휴대폰이나 내비게이터, DVD/TV 등과 같은 첨단장비의 증가로 운전자의 운전 집중도가 떨어지는 것을 사례로 제시할 수 있다. 1990년대 후반의 첨단제어 자동차는 1980년대의 기계식 자동차에 비하여 운전자로 하여금 많은 운행정보, 시각정보, 안전정보 등을 소화하도록 요구하고, 인터넷 정보화 시대에 적합한 첨단장치의 동시사용으로 운전자의 운전 집중도가 현저하게 떨어지므로 기존의 수동변속기를 완전자동

[†]주저자 · 책임저자 : chungkyunkim@empal.com

변속기(full automatic transmission)로 대체하여 상대적으로 운행 안전성과 편의성을 확보하고자 노력하고 있다. 따라서 고효율 자동변속기는 자동차의 첨단화가 지속되면서 자연스럽게 동력전달장치의 핵심기술로 자리를 잡았다.

최근 자동변속기는 절대 다수의 승용차에 장착되고는 있지만, 중·소형차의 경우는 아직도 임의사양으로 분류되어 있으며, 아직은 차량 가격에서 큰 비중을 차지한다. 그러나 대형 승용차는 낮은 연비로 인한 문제점이 있음에도 불구하고, 운전자의 편의성과 안전성 측면에서 자동변속기를 기본사양으로 설치하고 있다. 자동변속기 탑재율 증가는 자동차 메이커의 수익성 증대에 큰 기여를 하므로 아직은 임의사양으로 처리하는 것이 좋다.

원래 자동변속기에서는 기어의 배열과 잇수, 마찰 접촉부의 가공정밀도, 사용유의 특성 등에 의해 마찰손실, 동력 전달율, 부품의 내구성, 트라이볼로지 특성으로 인한 소음과 진동 등이 결정된다. 따라서 자동변속기는 마찰에 의한 동력손실 저감, 마찰부의 마멸발생 억제, 마찰열 발생량 억제, 기어의 회전운동과 마찰운동 특성조건에 의한 소음과 진동, 마멸발생 등을 줄이기 위한 기술개발이 진행되지만, 아직도 해결되지 않은 문제점을 남기고 있다.

본 연구에서는 자동변속기에 공급되는 자동변속기유의 역할과 변속기의 운동마찰 부위에서 발생하는 트라이볼로지 문제점과 실제로 일어난 고장사례를 제시하고, 이들에 대한 고찰을 추진하고자 한다.

2. 자동변속기의 작동요소

자동변속기의 주요부품은 토크 컨버터(torque converter), 클러치(clutch), 브레이크(brake), 유성기어(planetary gear set), 유압장치인 밸브보디(valve body) 등으로 구성된다. 변속기 부품들의 구동 메카니즘은 상대접촉운동에 의한 동력전달 기구로 트라이볼로지, 최적설계, 동력학, 가공기술 등에 의해 설계·제작되고, 유지·보전된다[2,3].

Fig. 1은 자동변속기의 엔진(engine)에 의해 생산된 동력을 토크 컨버터에서 전달받아 차량의 운전조건에 적합하도록 속도변환을 조작한 다음 바퀴로 전달하는 자동변속기의 핵심부품 조립도를 보여주고 있다. 자동변속기에서 오일의 요구 성능에 가장 큰 영향을 미치는 요소로 토크 컨버터와 클러치가 있고, 이들의 핵심기술은 트라이볼로지적 운동거동에 의해 결정된다.

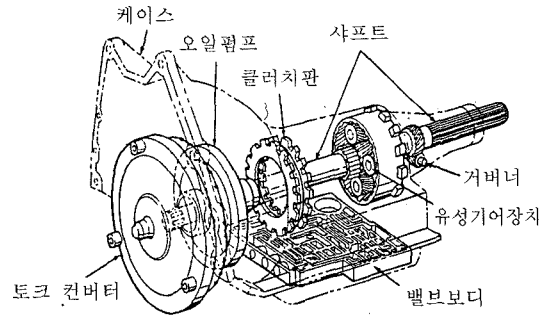


Fig. 1. Structure of the automatic transmission.

토크 컨버터는 엔진에서 생산된 회전 동력원을 유압으로 변환하는 자동변속기의 핵심장치로 동력손실이 많이 발생하고, 토크 컨버터에 의해 엔진의 동력원이 변환되는 과정에서 컨버터에는 높은 마찰열이 발생하고, 연비가 저하되는 등의 문제점이 있다.

클러치는 유성기어장치로 동력을 전달하기 위한 장치이고, 밴드(band)는 유성기어장치의 부품이 움직이지 못하도록 방지하는 일종의 브레이크 장치이다.

유성기어장치는 선기어, 링기어, 선기어와 링기어에 맞물려 있는 복수 피니언 기어 및 피니언 기어를 지지하는 캐리어로 구성된다. 선기어, 캐리어, 링기어는 각각 입력, 출력, 반력 요소로 작용하는 것에 의해 입력 요소에 대한 출력요소를 감속, 증속, 역전으로 전환하는 역할이 가능하다.

자동변속기의 유압을 제어하기 위해 오일팬, 오일펌프, 밸브기구, 유압작동 요소부품으로 구성된다.

3. 자동변속기 오일

자동변속기에는 저점도인 SAE 5W 정도의 기유(base oil)를 사용하여 마찰·윤활성이 우수하게 제조된 특수오일이 쓰이지만, 보통은 자동차 제작사가 추천하는 자동변속기 오일을 사용해야 변속기에 적합한 속도변환과 트라이볼로지 거동성을 확보할 수 있다. 변속기유는 AT 제작사의 설계 및 작동조건에 따라 트라이볼로지 특성을 다르게 제조하기 때문에 자동변속기의 변속성능에 영향을 미친다. 따라서 AT 제작사가 추천하는 변속기유를 사용하는 것이 바람직하다.

3-1. 자동변속기유의 역할

자동차에 사용하는 자동변속기유는 저점도 오일로 제조되고, 윤활유의 기능과 역할을 동시에 추구하기 때

문에 흔히 자동변속기 오일로 사용한다. 그러나 자동변속기에 사용되는 변속기유는 윤활성을 확보하기 위한 보통의 오일과는 다르게 동력전달에 관련된 유압작동유의 기능적 역할도 감당해야 하므로 작동유체라고도 한다. 또한, 자동변속기 작동유는 토크 컨버터에서의 동력전달, 기어 또는 베어링 등 회전요소에 필요한 윤활, 밸브와 클러치 및 브레이크 등을 작동시키는 역할을 한다.

3-2. 자동변속기유의 성능조건

3-2-1. 극압 및 내마멸 특성

변속기는 기어의 조합으로 구성되어 있으므로 기어가 작동할 때 기어의 맞물림 구동과정에서 극부적으로 높은 압력이 집중되고 마찰표면의 유막(oil film)이 깨지면서 금속 상호간의 마찰운동에 의한 경계마찰 또는 고체마찰, 마찰열 발생, 스커핑, 시저현상 등의 진행으로 기어는 더 이상 사용할 수 없게 된다. 결국, 기어의 마찰표면은 손상을 받아 마찰력 증가로 인한 동력손실, 표면손상에 의한 진동과 소음의 발생, 마멸증가로 인한 수명저하 등의 부작용이 발생한다. 따라서 변속기의 트라이볼로지 특성과 하중지지 능력을 증가시키기 위해 기어의 마찰표면에 유막을 형성하는 것이 중요하다.

3-2-2. 유압유의 온도특성 및 유동성

변속기유의 점도는 여러 유압밸브의 작동조건에 더 많은 영향을 준다. 고온일 경우는 오일의 점도가 너무 낮아져 컨트롤 밸브, 클러치 피스톤, 시일장치 등으로 오일 누설량이 많아져 유압이 떨어지는 문제점이 있다. 반대로 저온일 경우는 오일의 점도가 너무 높아져 밸브 등의 작동이 원활하지 않아 변속작용이 불완전해지는 문제점이 발생한다. 따라서 자동변속기유(automatic transmission fluid: ATF)는 저온에서도 낮은 점도를 적절하게 유지하는 유동성이 필요하고, 특히 변속기의 작동온도 변화에 따라 점도변화가 작은 ATF를 선정하는 것이 중요하다.

3-2-3. 청정분산성 및 산화안정성

동력전달 유동마찰 손실에 의해 발생하는 발열 및 습식 클러치 작동에는 온도상승을 분산시켜주는 청정분산성이 있어야 하고, 오일을 오랫동안 교환하지 않고 사용하여도 ATF의 산화안정성이 우수하여 기본특성 변화가 작아야 한다.

3-2-4. 시일소재와의 적합성

자동변속기의 ATF는 특히 시일소재, 클러치 페이스(facing) 재료 등에 어떠한 화학적 변화도 일으키지 말

아야 한다. 특히 ATF에 의한 폴리머 소재의 경화, 수축, 팽창 등은 트라이볼로지 특성에 직접적으로 영향을 미치므로 반드시 ATF의 적합성을 고려해야 한다.

3-2-5. 기포발생 억제기능

변속기의 작동과정에서 ATF에 기포가 발생하면 오일펌프의 토출능력은 현저하게 저하되고, 작동유압이 떨어져 오일공급의 불완전으로 인한 마멸이 급격하게 증가하고, 마찰열과 고체마찰에 의한 스커핑이나 시저현상의 발생으로 내구성이 떨어진다. 따라서 ATF의 점도는 낮고 작동온도는 높게 유지될수록 오일의 기포 발생량이 줄어든다.

3-2-6. 클러치 플레이트 재질에 적합한 마찰특성

마찰계수에는 구동축과 피동축의 회전수차가 1 rpm 일 때에 언급하는 정지마찰계수와 회전수차가 30 rpm 일 때에 발생하는 운동마찰계수의 두 가지가 있다.

일반적으로 운동마찰계수가 작으면 클러치 접촉시간이 길어져 미끄럼마찰에 의한 발생하는 마찰열 증가로 클러치 표면의 온도가 상승하여 클러치가 타는 경우가 생기며, 정지마찰계수가 크면 변속의 최종단계에 급격한 토크변동이 일어나 충격이나 소음이 발생하는 등의 문제점이 있다.

4. 자동변속기의 오일규격 교환주기

4-1. 오일규격

자동변속기는 미국의 GM과 포드자동차에 의해 개발된 두 가지 형태가 대표적이지만, GM이 개발한 AT가 더 많이 사용된다. 이들 모델에 사용되는 자동변속기 오일이 서로 다른 것은 물론이고 트라이볼로지 특성도 다르게 개발되었다. 최근에 자동차 메이커는 독자적인 AT성능을 요구하고 있기 때문에 GM이나 Ford의 규격을 크게 구애받지 않고 사용하는 경향이 있다. 그러나 공통으로 요구되는 기본성능은 대체로 동일하다. Table 1은 국내외의 자동변속기유의 규격을 나타낸 것이다.

Table 1. Specification of ATF

항목 국가	규격	배기량	제조사
한국	Diamond ATF SP-III	2000 cc	Hyundai
미국	Dexron III	2000 cc	Ford
일본	Toyota T-IV	2000 cc	Toyota
유럽	Dexron III	2000 cc	BMW

Table 2. Exchange period of ATF

항목 국가	교환주기	가혹조건시 교환주기	제작사
한국	10만km	4만km	Hyundai
미국	48,000 km	3~4만km	Ford
일본	점검후 교환	8만km 또는 48개월	Toyota
유럽	10만km	8만Km	BMW

4.2. 교환주기

자동변속기는 자동차 메이커에 따라 약간의 차이는 있지만, 자동차를 정상적으로 운행하였을 경우 변속기 오일은 보통 100,000 km를 주행한 다음 자동차 메이커에서 권장하는 변속기 오일로 교환하는 것이 바람직하다. 그러나 자동차를 험한 비포장도로, 산길이나 언덕길이 많은 도로, 모래나 자갈들이 많은 도로, 눈이나 비가 많이 오는 지역의 도로 등과 같이 도로상태나 주행환경이 열악한 경우, 그리고 급가속이나 급정지, 고속주행처럼 운전자의 주행습관이 비정상적인 경우는 AT의 구동상태가 가혹하기 때문에 변속기유의 교환주기를 약 40,000~50,000 km 정도로 크게 단축하여 교환할 것을 권장한다[4-10].

Table 2는 자동차 메이커에서 권장하는 대표적인 자동변속기유의 교환주기를 보여준다.

5. 트라이볼로지적 고장사례

5-1. 주행성을 약화시키는 경우

5-1-1. 토크 컨버터내 터빈 스플라인의 마멸

토크 컨버터내의 터빈 스플라인은 변속기의 회전축과 연결된다. 그러나 스플라인 소재의 내구성이 떨어지거나 회전운동 과정에서 트라이볼로지적 문제로 인해 스플라인 접촉표면에 마멸이 진행되면, 주행중에 원활한 동력이 전달되지 못하면서 자동차는 전진과 후진이 불가능한 상태가 발생할 수 있다. 따라서 터빈 스플라인의 결합부는 강도와 경도를 적절하게 유지하여 동력전달과 내마멸성을 충분히 확보해야 한다. Fig. 2는 터빈 런너 스플라인의 마멸로 인해 동력전달이 원활하지 못한 고장사례를 제시하고 있다.

5-1-2. 터빈과 펌프 임펠러 날개간의 유격과다로 인한 마멸 간섭현상

토크 컨버터 내부의 터빈과 펌프 임펠러 날개(vane) 상호간에 설정된 유격과다로 간섭현상이 발생하게 되면 터빈과 펌프 임펠러 날개는 서로 마찰접촉 운동으

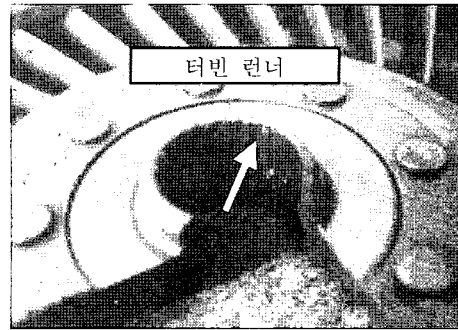


Fig. 2. Wear of turbine runner spline.

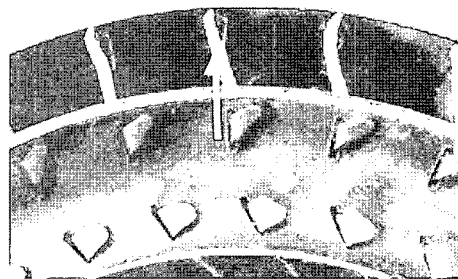


Fig. 3. Wear causing turbine runner vane.

로 변속기 하우징에서 내부를 치는 “득득~”하는 타음이 발생한다. 이러한 간섭현상이 지속되면 임펠러 날개에는 특히 연삭마멸이나 스크래칭 마멸이 진행되고, 토크 컨버터 내부에서는 엔진의 회전력을 유압동력으로 토크변환을 할 수 없게 되어 차량은 전진이나 후진의 주행과정에서 시동이 꺼지는 현상을 경험하게 된다. 결국, 차량은 날개의 간섭현상으로 마멸입자의 발생과 마멸입자의 이동비산으로 밸브가 고착될 수도 있다. Fig. 3은 터빈 런너 베인의 간섭현상으로 마멸이 발생한 고장사례를 보여주고 있다.

5-1-3. 댐퍼 클러치 플레이트의 과다 마멸

댐퍼 클러치 플레이트의 접촉표면에 과다하게 발생한 마멸로 인해 밸브가 고착되기도 한다. 따라서 차량의 주행중에 4단과 같은 고속변속이 안되는 상황이 벌어질 수도 있다. 댐퍼 클러치 플레이트에서 과다하게 발생한 마멸입자는 자동변속기유의 오염원으로 작용하여 변속기의 트라이볼로지 성능을 급격하게 떨어뜨려 변속기능에 문제가 발생하기도 한다. Fig. 4는 댐퍼 클러치 플레이트의 마멸, 특히 연삭마멸이 진행된 사례를 보여주고 있다.

5-1-4. 유성기어의 손상

유성기어를 조립할 때 니들베어링을 잘못 장착하거



Fig. 4. Wear example of the damper clutch plate.

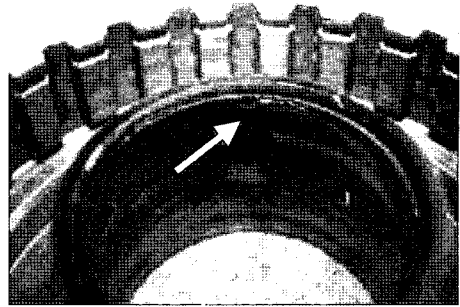


Fig. 6. Wear of front clutch retainer.

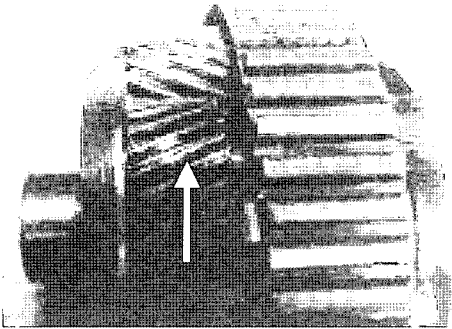


Fig. 5. Wear and crack breakage of planetary gear set.

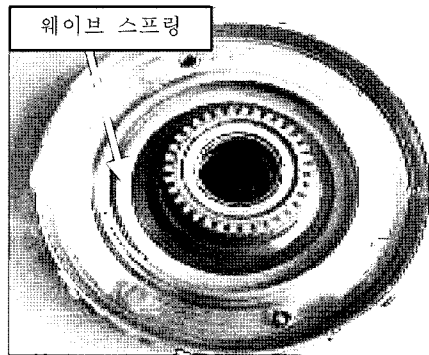


Fig. 7. Inferiority of the center support wave-spring.

나 니들베어링의 손상으로 발생한 파편이나 마멸입자들이 유성기어의 상대접촉 운동을 하는 치면(tooth face)에 끼어들면서 연삭마멸과 같은 손상이 발생한다. 유성기어의 치면에 마멸이 지속적으로 진행되면 차량은 주행중에 비정상적인 소음과 진동이 발생하고, 마멸의 진행으로 치합율이 떨어져 동력 전달력 손실이 증가하기 때문에 유성기어 손상으로 인한 자동변속기 기능은 약화된다. Fig. 5는 유성기어의 치면에 발생한 마멸 및 파단 사례를 보여주고 있다.

5-1-5. 프론트 클러치 리테이너의 부상마멸

프론트 클러치 리테이너 내부의 부상에 과다한 마멸이 발생되면 높은 유압으로 인해 ATF는 누설된다. 유압 작동유의 누설은 프론트 클러치의 디스크를 고착하는 원인으로 작용하고, 차량은 작동조건에 따라서 후진할 수 없는 중대한 변속기 사고를 경험하기도 한다. Fig. 6은 프론트 클러치 리테이너의 부상(bushing)에 발생한 마멸 사례를 보여주고 있다.

5-1-6. 센터 서포트 웨이브 스프링의 파손

변속 범위에서 센터 서포트 스프링(center support spring)이 제기능을 발휘하지 못함으로써 충격이 발생하거나 웨이브 스프링 조각에 의해 애놀러스 기어(annulus

gear)에 고착이 진행된 경우는 변속을 할 때에 충격력이 발생되고, ‘덜컹’하는 소리가 나면서 주행할 수 없게 된다. 이 때에는 센터 서포트 어셈블리를 교환하여 문제점을 해결한다. Fig. 7은 센터 서포트 웨이브 스프링의 파손된 사례를 보여주고 있다.

5-1-7. 리어 클러치 배기밸브의 고착

리어 클러치 배기밸브가 고착되면 리어 클러치의 통로가 막히는 경우가 발생하기도 한다. 따라서 리어 클러치의 통로가 막히는 상황이 벌어지면, 자동변속기는 진행주행을 할 수 없는 상태가 된다. Fig. 8은 리어 클러치 배기밸브가 막혀 고착된 고장사례를 보여주고 있다.

5-2. 변속기유의 누설과 고장사례

변속기유의 누설을 차단하기 위해 사용하는 오일시일(oil seal)이나 O-링(O-ring)이 손상을 받아 밀봉기능을 담당하지 못하면, 자동변속기의 오일은 외부로 누설하게 된다. 또한, 규격에 맞지 않는 밀봉제(sealant)를 사용한 경우에도 접합 조립부의 미세한 간극으로 인해 변속기 오일은 누설될 수 있다.

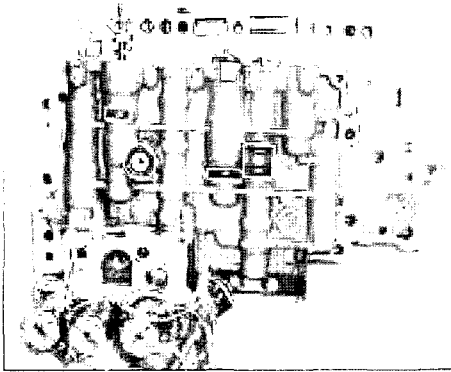


Fig. 8. Stick of the rear clutch exhaust valve.

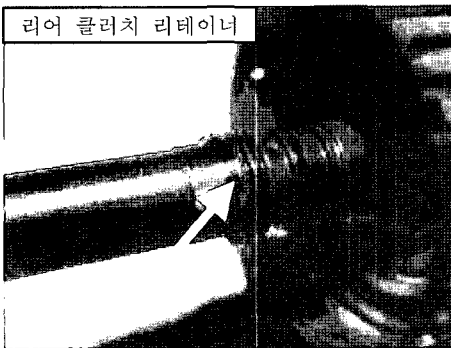


Fig. 9. Damage of rear clutch retainer.

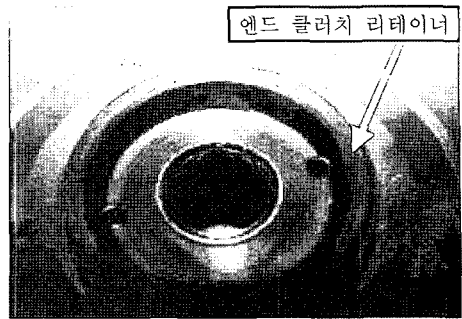


Fig. 10. Damage of oil seals in clutch retainer.

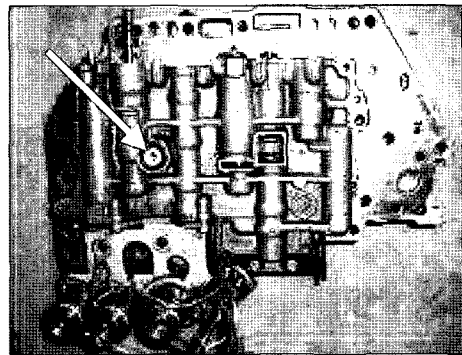


Fig. 11. Example of the O-ring damage.

5-2-1. 리어 클러치 시일 손상으로 인한 누설

리어 클러치에 설치된 테프론 시일이 손상되면 작동 유압유가 누설되면서 리어 클러치 디스크에는 손상이 발생된다. 따라서 오일의 누설은 클러치 디스크의 손상으로 이어져 결국 차량은 전진이 되지 않는 심각한 고장으로 발전하게 된다. Fig. 9는 리어 클러치 리테이너에 설치된 테프론 시일의 손상사례를 보여주고 있다.

5-2-2. 엔드 클러치 리테이너의 오일시일 손상

엔드 클러치의 리테이너에 설치된 오일시일(oil seal)의 손상으로 유압작동유가 누설되면 엔드 클러치 디스크가 마멸되어 소착되는 문제점이 발생한다. 이 때, 차량의 주행중에 4단으로 변속하면 동력이 걸리지 못하고 공회전을 하게 된다. Fig. 10은 엔드 클러치 리테이너의 오일시일이 소착되어 손상된 고장사례를 보여주고 있다.

5-2-3. O-링 손상으로 인한 오일의 누설

밸브보디의 변속기 케이스 사이에는 로우 및 리버스(low and reverse) 브레이크 오일의 압력을 공급하는 연결부에 O-링이 장착되어 있다. 그러나 오일의 누설

을 차단하기 위해 설치된 O-링이 파손되면 변속기 오일은 외부로 누설하게 된다. 밸브보디와 변속기 케이스 사이에 설치된 O-링의 결함이나 손상으로 인해 오일의 외부유출이 진행되면 오일은 로우 및 리버스 브레이크로 공급되지 않아 차량의 변속기 오일은 검게 타고 냄새가 난다. 결국 오일의 작동이 원활하지 못하면서 차량의 후진도 불가능하게 된다. Fig. 11은 O-링의 결함 사례를 보여주고 있다.

5-3. 변속기에 발생하는 충격현상

5-3-1. 강구의 잘못된 장착

자동차를 운전을 할 때, 자동변속기에 2속에서 3속으로 변속신호를 주면, 변속 조절밸브는 3속 위치가 되어 3속압을 발생하게 된다. 이 때 3속으로 유압이 발생하면 변속 충격이 발생하는데, 이러한 충격을 방지하기 위해 사용하는 강구(steel ball)는 체크밸브의 역할을 하며, 강구를 사용하여 3속압을 지연시켜 라인압과 동일하게 유지하면 엔드 클러치를 작동하여 3속압을 발생시킨다. 이와 같이 강구는 자동변속기의 변속충격을 감소시키는 역할을 한다. 그러나 자동변속기

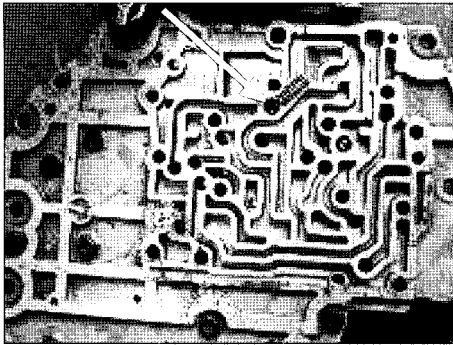


Fig. 12. Bad assembly example of steel balls.

밸브보디의 중간 플레이트에 장착되는 강구를 잘못 설치하면 엔드 클러치에 고압이 걸리게 된다. 이러한 고압은 2단에서 3단으로 변속을 할 때 충격이 발생하게 된다. Fig. 12는 밸브보디 강구를 잘못 장착한 고장사례를 보여준다.

5-3-2. 변속 후에 발생하는 충격

리어 클러치 D링에 결함이 있거나, 리어 클러치가 타 디스크에 의해 소손되었을 경우는 리어 클러치가 영키게 된다. 이런 현상이 생기면 전진기어로 변속한 다음 2~3초 후에 갑작스러운 충격이 발생하거나 D단에서 로우 및 리버스 브레이크 압력이 비정상적인 상태가 된다. Fig. 13은 리어 클러치 디스크의 소손된 고장사례를 보여주고 있다.

6. 고장사례 고찰

자동변속기는 수동변속기와는 달리 운전자가 차량의 변속레버를 원하는 범위에 위치시킨 다음 가속페달을 이용하여 쓰로틀 밸브의 열림 정도에 따라 유압에 의해 자동으로 변속되는 매우 편리한 시스템이다. 최근

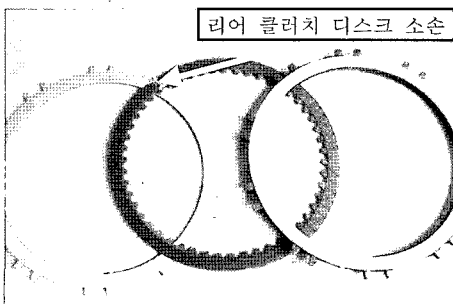


Fig. 13. Damage examples of the rear clutch disk.

에는 차량의 정체가 심하고 누적된 스트레스에 의해 피곤한 현대인들에게는 자동변속기 시스템이 각광을 받고 있다.

Table 3. Failure case study and diagnosis

고장 사례	고장분류	내용
A	손상부품	댐퍼 클러치
	손상부위	프런트 커버와 접촉되는 댐퍼클러치 표면
	현상	4단 변속불량 또는 자동변속기불량
	주행거리	56,000 km
	손상원인	댐퍼 클러치의 리턴볼량
	운행조건	부하를 받는 언덕길을 자주 운행함
	손상부품	유성기어
B	손상부위	선기에 연결되는 유성기어
	현상	주행중 소음/진동 발생 또는 동력전달 효율이 떨어짐
	주행거리	142,000 km
	손상원인	니들 베어링 마멸입자에 의한 기어물림 간섭발생
	운행조건	정상도로를 운행함
	손상부품	리어 클러치
	손상부위	시일
C	현상	차량 전진불량
	주행거리	182,000 km
	손상원인	시일의 경화로 인해 손상됨
	운행조건	정상도로를 운행함
	손상부품	리어 클러치
	손상부위	디스크
	현상	변속중에 충격발생
D	주행거리	8,450 km
	손상원인	변속기유 부족으로 인한 고찰
	주행조건	변속기유가 부족한 상태로 운행함
	손상부품	밸브보디
	손상부위	O-링
	현상	로우 및 리버스 브레이크 작동불량으로 인한 후진 어려움
E	주행거리	6,820 km
	손상원인	조립불량으로 O-링이 찢어짐
	주행조건	정상도로를 운행함

자동변속기는 시스템에 문제가 발생하면 정확한 원인을 찾기가 쉽지 않을 뿐만 아니라 AT 전문가가 아니면 정비하기가 어렵다. 본 연구에서는 AT의 고장진단의 문제점을 정형화하기 위해 현장에서 수집한 고장 사례를 Table 3에서 정리하였다. 자동변속기가 마찰에 의한 마멸, 유압라인의 막힘과 ATF의 공급불량으로 인하여 윤활불량 현상이 생길 경우 자동변속기는 작동을 멈추게 된다. 본 고찰에서는 자동변속기의 고장사례를 몇 가지 방향으로 분석하여 보았다.

6-1. 고장사례 A

고장사례 A의 경우는 댐퍼클러치 부위의 리턴불량으로 인해 마멸이 과다하게 발생한 고장사례이다. 일반적으로 댐퍼클러치에는 변속기의 클러치 디스크에 부착되어 있는 것과 같은 면(face)이 부착되어 있고, 댐퍼클러치 외주에 설치되어 있는 홈에 터빈 셸 외주의 록킹 고리가 끼워져 댐퍼 클러치와 터빈을 연결하고 있다. 댐퍼클러치가 작동할 때는 토크 컨버터 작동유압은 토크 컨버터 허브와 리액션 샤프트 사이를 통해 토크 컨버터내로 들어간다. 이 때 댐퍼 클러치와 터빈사이에 유압이 작용하기 때문에 댐퍼클러치가 프런트 커버에 의해 밀착되어 미세한 슬립량을 지닌 접촉상태로 된다. 그러나 댐퍼클러치가 작동하지 않을 때는 입력축의 오일통로를 통하여 댐퍼클러치와 프런트 커버의 사이로부터 토크 컨버터 내부로 오일이 들어가기 때문에 댐퍼클러치는 프런트 커버로부터 떨어지게 된다. 이 때 댐퍼클러치가 댐퍼클러치 작동부의 작동불량으로 인하여 리턴되지 않고 계속 접촉되어 있으면 두 면의 마찰로 인하여 마멸이 발생하게 된다. 이 마멸현상은 결국 4단변속이 되지 않거나 변속기 불량현상으로 나타나게 된다. 이러한 고장사례의 대표적인 것이 Fig. 4이다.

6-2. 고장사례 B

고장사례 B의 경우는 선기어와 유성기어에 연결되는 기어부의 마멸작용에 의해 주행 중 소음이나 진동 또는 동력전달 효율이 극히 나빠진 사례이다. 유성기어 장치는 선기어, 링기어, 선기어와 링기어에 맞물려 있는 복수의 피니언 기어 및 피니언 기어를 지지하는 캐리어로 구성된다. 선기어, 캐리어, 링기어는 각각 입력, 출력, 반력의 요소로 하는 것에 의해 입력 요소에 대하여 출력 요소를 감속, 증속, 역전으로 하는 것이 가능하다. 또한 유성기어의 3가지 요소 가운데 2가지

요소를 결합하면 일체 회전으로 된다. 일반적으로 선기어에 전달되는 회전력은 피니언 기어를 거쳐 링기어에 전달된다. 이 때 선기어의 입력축은 캐리어 내부에 있는 니들베어링과 접촉되어 회전하게 된다. 이 사례는 선기어 입력축을 원활하게 회전시켜 주는 니들베어링의 재질불량으로 내구성이 떨어져 마멸에 의해 이탈된 마멸 조각이 피니언 기어부로 유입되어 선기어와 피니언 기어부를 손상시킨 사례이다. 결국 이러한 마멸입자로 인하여 차량이 주행하는 동안 진동이나 소음이 발생하고, 원활한 동력전달이 되지 않아 증속과 감속이 되지 않는 변속불량 현상을 가져오게 된 것이다. 이러한 고장사례의 대표적인 것이 Fig. 5이다.

6-3. 고장사례 C

고장사례 C의 경우는 리어클러치와 연결되는 유압을 공급하는 부위에 장착되는 시일부의 경화로 인해 차량이 전진이 되지 않는 고장사례를 보여주는 것이다. 일반적으로 리어 클러치는 다판식으로 리어 클러치 리테이너, 디스크, 플레이트, 피스톤 등으로 구성된다. 변속시 작동되는 범위는 1단에서 3단까지 작동하며, 입력 축으로부터 구동력을 유성기어 세트의 포워드 선기어에 전달한다. 일반적으로 변속기 오일은 메이커에 따라 차이는 있지만 정상적인 주행조건에서 100,000 km, 가혹조건에서는 40,000 km를 주행한 다음 교환하는 것으로 추천하고 있다. 이러한 차량의 주행거리가 182,000 km 정도를 주행한 차량으로 변속기 오일은 160,000 km에 교환하였으며, 교환오일은 검은 색상으로 상당히 오염이 심하였던 것으로 확인되었다. 이러한 오일의 오염도에 비추어 볼 때 내부의 오일 시일이 오일의 성상 변화에 영향을 받아 경화된 것으로 판단된다. 이러한 고장사례의 대표적인 것이 Fig. 9이다.

6-4. 고장사례 D

고장사례 D의 경우는 리어클러치의 디스크가 오일이 부족하여 열화되어 고착된 고장사례를 보여주는 것이다. 디스크(disk)는 흔히 마찰판이라고 하며, 디스크에는 마찰재가 강판으로 제작된 코어 플레이트(core plate)의 양면에 특수 접착제에 의해 접착되어 있고, 코어 플레이트의 내경에는 스플라인이 가공되어 있다. 디스크와 연결되는 클러치 허브에도 스플라인이 가공되어 있어, 디스크로부터 토크를 전달받아 유성기어 장치 등에 동력을 전달한다. 각 디스크의 사이에는 클러치 플레이트 또는 분리판(separate plate)이 한 매씩

삽입되며, 클러치 플레이트는 외경에는 러그(lug)나 스플라인이 가공되어 있어, 이를 통해 클러치 리테이너(retainer)로부터 동력을 전달받도록 되어 있다. 클러치 플레이트는 디스크의 마찰재와 항상 접촉을 하므로 표면 조도 및 평면도가 정밀하게 유지되어야 하며, 클러치가 작동할 때 발생하는 열을 흡수할 수 있도록 충분한 두께를 가지고 있어야 한다. 이 차량의 주행거리는 8,450 km 정도 주행한 차량이나, 변속기 오일 쿨러의 조립부의 밴드가 이탈되어 오일이 누설된 상태로 주행을 함으로써 유회함에 변속기 오일이 공급되지 않아 클러치부의 디스크가 플레이트와의 마찰로 인하여 디스크가 손상된 것으로 확인되었다. 이러한 고장사례의 대표적인 것이 Fig. 10이다.

6-5. 고장사례 E

고장사례 E의 경우는 밸브보디와 변속기 케이스 사이에 끼워져 있는 O-링이 찢어져 1단이나 후진으로 변속되지 않는 고장사례이다. 자동변속기의 유압제어 시스템을 구성하는 각종 밸브와 스프링 및 솔레노이드 밸브 등은 밸브보디에 장착되어 있고, 각종 입출력 장치도 밸브보디와 기계적으로 또는 전기적으로 연결되어 있다. 밸브보디는 자동변속기내에서 차지할 수 있는 공간과 변속기의 외부와 기계적 또는 전기적으로 연결되는 부품의 수와 위치에 따라 형상이 달라진다. 그래서 밸브보디의 구조나 형상은 변속기 종류마다 다르며, 변속기내에서 장착되는 위치도 다양하다. 또한, 밸브보디는 대부분의 경우 조립성을 향상시키기 위해 여러 개의 서브 밸브보디로 나누어서 설계해야 한다. 밸브보디의 사이에는 얇은 강판으로 제작된 분리판을 설치하여 각 밸브보디에 형성된 유로를 서로 연결해 주거나 분리해 준다. 또한, 분리판에는 오리피스(orifice) 기능을 하는 여러 개의 작은 구멍들이 만들어져 있다. 밸브보디와 분리판 사이에는 밀봉을 위해 O-링을 끼운다. 이러한 차종의 경우는 O-링을 오장착하여 O-링이 찢어져 변속기 케이스로의 오일이 제대로 공급되지 않아 유압이 저하되어 1단과 후진으로 변속되지 않는 현상이 발생된 것을 확인할 수 있었다. 이러한 고장사례의 대표적인 것이 Fig. 11이다.

7. 결 론

자동변속기 내부에 공급된 작동유체인 오일이 각종 시일장치의 불량으로 오일이 외부로 누설되고, 그 결과로 작동유압이 제대로 발생하지 못하면 변속기 내부의 상대접촉 마찰운동을 하는 부품들은 고착되거나 마멸이 발생되어 변속기의 정상적인 운전을 보장할 수 없게 된다. 특히, 자동변속기유의 누설로 인해 트라이볼로지 특성이 떨어지고, 유압이 제대로 걸리지 못하여 회전동력을 충분하게 변환할 수 없게 되는 문제점이 발생한다. 누설에 의해 발생하는 효율성과 안전성 문제는 오일의 누설은 물론, 자동변속기 내부에서 발생하는 소음과 진동, 특히 변속기의 작동 불능이라는 현상이 노출되면서 변속기유 및 시일장치를 교환해야 변속기의 성능을 보장하게 된다.

자동변속기에서 발생하는 트라이볼로지 문제를 해결하기 위해서, 자동차나 변속기유 메이커에 의한 기술 개발은 물론이고, 변속기유를 직접 교환하는 자동차 정비업체와 차량을 사용하는 운전자의 이해와 협조가 더 큰 문제점이다. 따라서 자동차 메이커는 소비자에 대한 자동변속기 차량의 운전방법, 유지관리 등에 대한 교육과 홍보에 보다 많은 투자를 해야 한다.

참고 문헌

1. 김청균, “자동차전자제어공학,” 북두출판사, 2005.
2. Il Kwon Lee, Yoon Soo Chun, Chung Kyun Kim, et al., “Failure Study of Tribological Characteristics in Auto Transmissions”, *Proceedings of the KSAE*, Vol. 3, pp.1286-1291, 2004.
3. Il Kwon Lee, Yoon Soo Chun, Chung kyun Kim, et al., “Failure Study of Tribological Characteristic in Automotive Engines”, *Proceedings of the KSAE*, Vol. 1, pp.97-102, 2004.
4. Il Kwon Lee, et al., “Automotive Failure Diagnosis”, Sun Hak Publishing Co., 2002.
5. Maintenance manual of Hyundai Motors.
6. Maintenance manual of Kia Motors.
7. Maintenance manual of GM Daewoo Motors.
8. Maintenance manual of Ford Motors.
9. Maintenance manual of Toyota Motors.
10. Maintenance manual of BMW Motors.