

승용차 클러치 시스템의 트라이볼로지 특성에 관련한 고장사례 연구

김형균[†] · 이일권*

홍익대학교 트라이볼로지 연구센터, *대림대학 자동차과

Failure Study for Tribological Characteristic Analysis of a Clutch System in Passenger Cars

Chung Kyun Kim[†] and Il Kwon Lee*

Tribology Research Center, Hongik University, *Department of Automotive Engineering, Daelim College

Abstract – This paper presents a case study on the tribological failure analysis of a clutch system for a manual transmission car. The clutch systems are composed of clutch disk, clutch pressure plate, flywheel rubbing surface, coil and diaphragm springs, release bearing and lever, clutch spline and shaft. The purpose of a clutch system is to transmit and disconnect the driving power of engines by frictional force from a rubbing surface of a flywheel to a clutch disk and clutch pressure plate with a minimum power loss. In this study, many tribological failure cases based on the wear phenomena and thermal distortions have been presented, which are collected from the car repair shop and maintenance center. The tribological failures are mostly come from the driving conditions, overloading of a car, and especially driving style and personal habit of a car driver.

Key words – clutch disk, pressure plate, diaphragm spring, torsion spring, release bearing, clutch fluid.

1. 서 론

클러치(clutch)는 엔진과 변속기 사이에 설치되어 엔진의 구동력을 변속기에 전달하거나 일시적으로 차단하는 역할을 하는 핵심부품으로 수동변속기(manual transmission)를 사용하는 운전자는 클러치 페달(clutch pedal)을 밟은 상태에서 변속기의 속도를 바꾸어준다. 클러치는 상대접촉 마찰운동을 하는 부품사이에서 발생하는 고마찰 작용에 의해 마찰력 전달효율을 높이고, 내구성을 확보하기 위해 내마멸성이 확보된 고경도 소재를 사용한다. 따라서 클러치는 마찰 전달력을 높이기 위한 고마찰성과 내마멸성, 열전도성이 우수한 소재를 사용하지만, 마찰력 손실을 줄이기 위해 트라이볼로지 특성을 어떻게 설계하느냐가 대단히 중요하다.

클러치 디스크는 코일 스프링으로 클러치 압력판을

눌러주는데, 유압 실린더가 클러치 압력판을 눌러주는 스프링을 뒤로 밀어서 엔진의 동력을 차단하는 방법을 사용한다. 클러치는 마찰계수가 높은 재질을 사용해서 미끄럼 마찰작용에 의한 동력손실이 일어나지 않고 동력을 모두 변속기에 전달하는 기능을 갖는 구조이다.

만약, 클러치의 마찰접촉 운동표면에 황사, 습증기, 먼지, 마멸입자 등과 같은 이물질이 침입하게 되면, 클러치 마찰표면은 마멸작용에 의한 내구성이 떨어지는 것은 물론 마찰접촉 미끄럼 회전운동을 하는 과정에서 동력 전달율이 떨어지고, 클러치 디스크의 마찰접촉 운동표면에서 편마멸에 의한 소음과 진동이 증가한다.

자동차의 승차감을 강조한 자동변속기(auto transmission)는 수동변속기에 비하여 연비와 출력이 떨어지지만, 사용과 조작성이 간편하고 안전하기 때문에 우리나라 운전자의 선호도는 90% 이상으로 크게 높아졌다. 그러나 유럽의 경우는 실용성과 경제성을 보다 강조하기 때문에 수동변속기를 사용하는 경우가 70~80%로

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

자동변속기 사용비율보다 월등히 높다[1].

한국, 일본 등과 같이 인구밀도가 높고 대도시가 잘 발달된 인구 과밀국가는 상시적인 차량의 정체현상으로 큰 문제점으로 클러치의 자동조작과 편리성, 안전성에 더 많은 관심을 갖고 있다. 자동차 엔진의 동력을 단속하는 클러치의 동력전달 효율과 밀접한 관련을 맺고 있는 클러치 핵심부품을 트라이볼로지 관점에서 고장문제를 고찰하고자 한다.

2. 클러치의 작동 및 구성부품

자동차의 엔진 자체만으로는 속도 조절이나 단속을 할 수 없기 때문에 엔진이 탑재된 자동차의 변속기에 동력을 연결하고, 차단하기 위해 별도의 클러치가 필요하다[2]. 즉, 엔진의 동력을 차단하여 차량을 정지하거나, 후진하고자 할 때, 변속기의 기어위치를 변경하여 동력을 조절하고자 할 때 Fig. 1과 같은 클러치를 사용한다.

Fig. 1은 가솔린 자동차에 장착된 대표적인 클러치 시스템으로 운전자가 변속을 위해 클러치 페달을 밟으면 유압이나 케이블 등의 기구에 의해 릴리스 포크로 릴리스 베어링을 밀어 넣는다. 이것에 의해 변속기의 입력축에 있는 스플라인에서 상대접촉 마찰작용이 가능하도록 결합되어 있는 클러치 디스크를 누르는 하중이 제거되면서 클러치는 접속이 끊어진다. 반면에 밟았던 클러치 페달을 제거하면 클러치 디스크에 대하여 압착하중을 발생시키고 있는 클러치 커버내의 스프링 반력에 의해 클러치 페달은 원래대로 되돌아오고 클러치는 접속되어 엔진의 동력이 변속기에 전달된다.

동력을 단속하는 클러치는 클러치 디스크가 플라이

휠과 접촉하면서 동력을 전달하기 시작하는 구조로 작동이 확실하므로 건식 클러치를 많이 사용한다. 클러치 시스템은 클러치 데스크, 클러치 압력판, 클러치 스프링, 릴리스 레버, 플라이휠과 클러치 연결축 등으로 구성된다.

3. 고장사례 연구

3-1. 클러치 마찰부품

3-1-1. 클러치 디스크의 마멸

클러치 디스크(clutch disk)를 취급할 때 클러치의 가공표면은 손으로 만지거나 다른 물체에 의해 접촉하지 않도록 주의해야 한다. 클러치의 탈부착 과정에서 그리스나 오일이 마찰접촉 운동표면에 묻으면 마찰계수가 급격하게 떨어지고, 이물질이 침입하면 표면손상에 의해 마찰력 생성이 어려워지므로 마찰동력 전달은 크게 저하된다. 따라서 클러치 디스크의 리벳헤드가 0.3 mm 미만이면 클러치 페이스를 교환해야 한다[3].

Fig. 2에서 보여준 클러치 디스크는 주행조건이 열악한 산악지역이나 비포장도로에서 주로 운행된 차량의 클러치 디스크를 탈거한 것이다. 디스크의 마찰 접촉면에서 마멸이 전반적으로 진행된 것은 물론이고 부분적으로 마찰토크의 불안정성에 의해 생성된 연삭마멸이 크게 진행된 사례를 보여주고 있다. 주행조건이 열악한 지역에서 운행된 경우는 불가피하게 반 클러치를 반복적으로 길게 사용하기 때문에 클러치 디스크의 페이스(face)가 마멸되어 회전마찰 동력전달이 크게 약화되고, 마찰열이 발생함은 물론이고 소음과 진동이 증폭되어 채터링 현상을 경험하기도 한다.

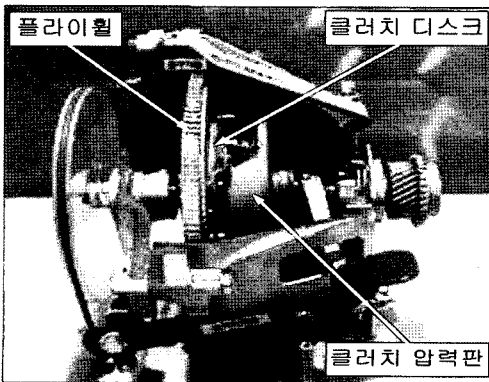


Fig. 1. Structure of clutch system.

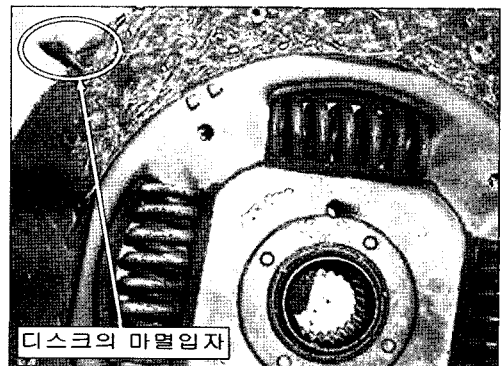


Fig. 2. Wear damage of clutch disk face.



Fig. 3. Wear damage of flywheel rubbing surface.

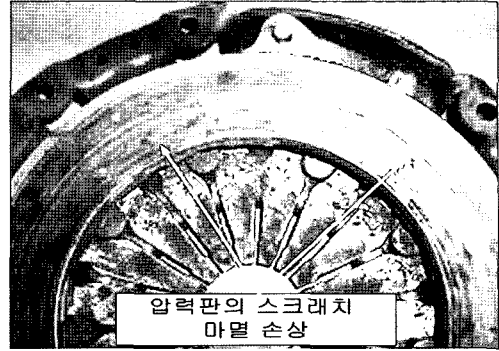


Fig. 4. Stick and wear of clutch pressure plate.

3-1-2. 플라이휠 접촉표면의 마멸

플라이휠(flywheel)은 수동변속기를 장착한 차량에서 엔진의 부조화 동력을 균질화시켜 변속기에 전달하는 역할을 담당한다. 클러칭(clutching)할 때 클러치 디스크가 플라이휠에서 완전히 떨어지지 않고 부분적으로 계속 접촉하고 있으면, 플라이휠과 클러치 디스크의 미끄럼 마찰작용에 의한 마찰열에 의해 플라이휠과 디스크 마찰표면에는 대단히 높은 마찰열이 공급된다. 이러한 클러칭 마찰현상에 의해 플라이휠의 접촉표면은 열변형과 열탄성 마멸, 연삭마멸 등이 발생되어 플라이휠의 표면은 마찰손상을 받아 동력 전달율이 크게 떨어지므로 결국은 새것으로 교체해야 한다.

Fig. 3은 클러치 디스크와의 슬립에 의한 발생된 마찰열에 의해 플라이휠 접촉표면이 과열되면서 플라이휠 마찰 접촉면이 스크래치 연삭마멸, 열탄성 마멸, 응착마멸 등에 의해 손상된 고장사례를 보여주고 있다.

3-1-3. 클러치 압력판의 마멸

클러치 압력판(clutch pressure plate)은 클러치가 작동할 때 클러치 디스크를 플라이휠에 미끄럼마찰 접촉시켜 변속기에 동력을 전달하도록 하는 핵심부품이다. 압력판에는 클러치 디스크와 미끄럼마찰 접촉운동을 하는 주물제 디스크와 릴리스 베어링에 의해 구동되는 다이어프램 스프링이 조립되어 있다.

Fig. 4는 클러치 압력판의 디스크가 클러치 디스크와의 미끄럼마찰 접촉운동을 하는 과정에서 발생된 연삭마멸, 축적된 마찰열에 의한 열탄성 마멸, 스커핑, 심지어 마멸입자의 열고착 현상에 이르기까지 압력판 마찰표면의 고장사례를 보여주고 있다.

3-1-4. 다이어프램 스프링의 변형

다이어프램 스프링(diaphragm spring)은 클러치 스프



Fig. 5. Wear damage of diaphragm spring.

링 및 릴리스 레버의 작용에 대하여 동시에 구동하도록 설계되어 있다. Fig. 5는 다이어프램 18개의 스프링이 가압력에 대하여 탄성변형을 하면서 축적된 스프링의 탄성에너지가 충격력에 의해 발생된 마멸에 의해 접촉부의 손상된 고장사례를 보여주고 있다.

3-1-5. 토션 스프링의 파손

클러치 디스크에 여러 개의 코일 스프링으로 제작된 토션 스프링(torsion spring)을 설치하여 플라이휠로부터 전달되는 회전력의 급격하게 변동으로 인한 회전축의 마찰 충격력을 완화시켜 마찰운동의 원활한 구동력을 보장한다.

Fig. 6은 회전동력의 전달과정에서 형성된 충격하중으로 인해 토션 스프링의 마찰 접촉부에서 발생한 마멸 고장사례를 보여주고 있다.

3-1-6. 릴리스 베어링의 고착

릴리스 베어링(release bearing)은 릴리스 포크에 의해 클러치 회전축의 길이방향으로 작동하고, 회전중에



Fig. 6. Wear damage of torsion spring.

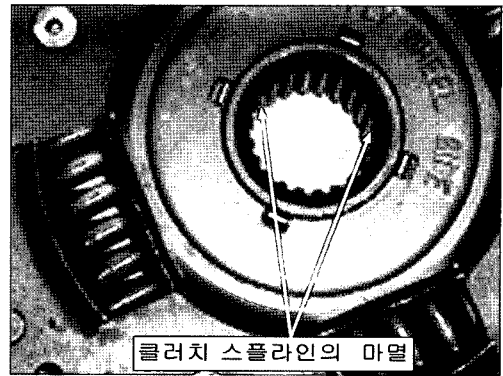


Fig. 8. Wear damage of clutch disk spline.



Fig. 7. Wear damage of release bearing.

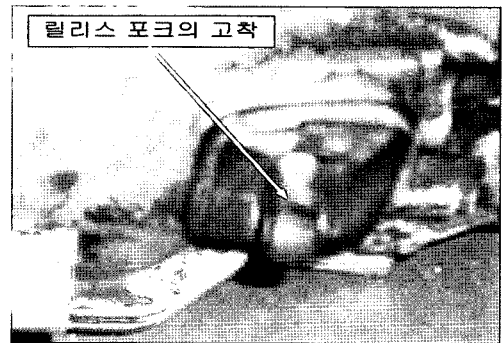


Fig. 9. Wear damage of release fork.

는 릴리스 레버를 눌러서 클러치를 개방하는 역할을 담당한다. 릴리스 베어링의 칼라에 스러스트 볼베어링이 내장된 케이스가 압입된 곳에 그리스를 충전하여 베어링의 윤활작용을 보장한다.

Fig. 7은 클러치의 릴리스 베어링에서 발생한 마멸 및 마찰열 변형에 의해 발생한 베어링의 고착현상 고장사례를 보여주고 있다.

3-1-7. 클러치 스플라인의 마멸

클러치 스플라인(clutch spline)은 변속기의 입력축과 조립되어 클러치를 작동할 때 클러치 디스크를 플라이휠과 마찰접촉 연결하여 엔진의 동력을 변속기에 전달하는 중간 매개체 역할을 한다.

Fig. 8은 클러치를 연결할 때 스플라인의 조립이 부적절하여 스플라인의 마찰접촉 표면에서 마멸흔적이 발생한 사례를 보여주고 있다. 따라서 클러치 디스크에 스플라인 회전축을 안전하게 조립하기 위해서는 스플라인 회전축 맞춤작업을 엄밀하게 진행해야 마멸발생이 줄어들고, 토크효율도 좋아진다.

3-1-8. 릴리스 포크의 고착

릴리스 포크(release fork)는 주철 또는 강판을 프레스로 성형하여 베어링 칼라에 끼워 클러치 페달의 답력을 릴리스 포크의 선단에 가하고, 이것을 레버비에 의해 증대시켜 릴리스 베어링을 미는 작용을 한다.

Fig. 9는 릴리스 포크의 과도한 마찰열과 마멸로 인해 발생한 작동불량 고장사례를 보여주고 있다.

3-2. 클러치 작동유의 누설

3-2-1. 클러치 작동유의 부족

탱크에 저장된 작동유는 저장탱크 레벨이 'MAX'와 'MIN' 사이에 있어야 클러치의 정상적인 작동성을 보장한다. 만약 클러치 라인의 이상이 발견됨에도 불구하고 아직 누유가 발생되지 않았다면 클러치 작동유를 별도로 보충할 필요가 없다. Fig. 10은 클러치 작동유가 부족한 경우에 클러치 디스크에서 발생한 마멸이 빠르게 진행된 손상사례를 보여주고 있다. 클러치의 작동유가 부족하면 클러치에 가압하기 위한 유압이 부족



Fig. 10. Insufficient clutch fluids.

하게 되므로 클러치 디스크의 미끄럼 마찰표면에는 불완전한 마찰접촉 회전토크에 의해 동력전달 효율은 크게 떨어진다.

3-2-2. 마스터 실린더의 누유

클러치의 마스터 실린더(master cylinder)는 클러치 페달을 밟는 기계적 조작력을 브레이크 작동유의 유압으로 바꾸어 주는 부품이다. 보통 마스터 실린더는 주철 또는 알루미늄을 사용하고, 상부에는 오일을 공급하기 위한 오일 저장탱크가 있다. 마스터 실린더의 연결부에서 유압에 의한 누유가 발생하면 클러치 디스크의 마찰표면에 마찰접촉 면압을 충분히 공급할 수 없어 토크 회전력을 확보할 수 없다.

3-2-3. 릴리스 실린더의 누유

클러치의 릴리스 실린더는 클러치 마스터 실린더에서 보내진 유압을 피스톤과 푸시로드에 작용시켜 릴리스 포크를 미는 작용을 한다. Fig. 11은 클러치 릴리스 실린더 부트의 손상으로 클러치의 작동유가 외부로 누설된 고장사례를 보여주고 있다.



Fig. 11. Leak of clutch release cylinder.



Fig. 12. Leak of clutch line.

3-2-4. 클러치 라인의 누유

클러치 라인을 연결하는 부위에 플레어너트(flare nut)가 장착되어 있다. 그러나 이들 연결부위에 대한 조임 상태가 적절하지 않으면 클러치 작동유가 누설될 수 있다. Fig. 12는 클러치 라인의 플레어너트 조임이 불량하여 작동유가 누설된 고장사례를 보여주고 있다. 이것은 클러치 라인의 엄격한 관리로 누유를 미연에 방지할 수 있는 간단한 사례이지만 클러치 시스템의 작동에 큰 영향을 미친다.

4. 차종 및 주행거리에 따른 마멸상태

클러치 디스크의 마찰접촉 운동표면에서 발생된 마멸상태(중마멸, 경마멸, 고착)를 차종, 주행거리, 차량 운전자의 운전습관, 주행조건 등에 따라 분석·고찰하였다. 즉, 클러치 디스크에서 발생하는 미끄럼마찰 접촉특성이 상기의 운행조건에 따라 어떠한 연계성을 맺고 있는지를 실제의 고장사례를 분석하여 Table 1에서 제시한다. 또한 이들 클러치 디스크 마찰면의 손상정도를 Fig. 13에서 사진으로 제시하고 있다.

4-1. 사례분석

4-1-1. 차종 A

클러치 디스크의 마멸상태를 분석하기 위한 클러치 샘플은 모두 4가지이다. 여기서 차종 A는 종교인이 운전한 RV 차량으로 약 15,000 km를 주행한 사례이다. Fig. 13(a)의 클러치 디스크에서 발생된 마멸상태를 볼 때, 플라이휠과 클러치 압력판에 접촉하는 클러치 디스크의 두 원판에서 하나의 원판이 3.5~4.5 mm로 마멸이 많이 진행되었다. 본 사례는 클러치의 원판이 클러칭 상태에서 부하를 반복적으로 작용받기 때문에 마

Table 1. Characteristics of clutch disk wear

Model	Spec.	차종	주행거리(km)	디스크세원(mm)	운전자직업	주행조건	디스크마멸상태
A		RV	15,000	7.0~9.0	종교인	산악길, 비포장	중마멸
B		승합차	32,057		회사원	산악길, 비포장	중·경 마멸
C		화물차	2,500		화물 기사	과적	중마멸/고착
D		승용차	132,926		전문직 종사자	정상 주행	경마멸/사용가능

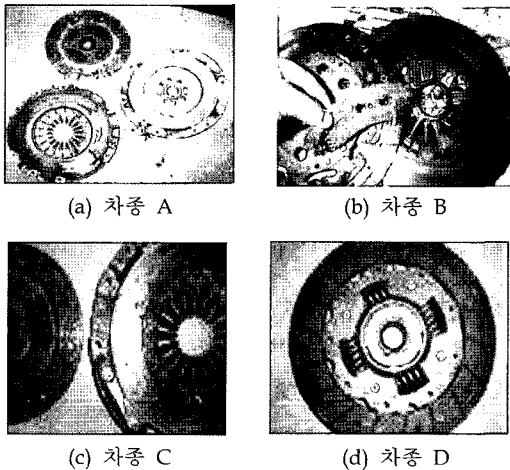


Fig. 13. Clutch disk wear of various vehicles.

찰열에 의해 마찰접촉 슬라이딩 운동을 하는 클러치 디스크 페이스에서 마멸작용에 의해 표면의 대부분이 닳아 없어지고, 디스크 압력판에는 마멸입자들이 고착되어 디스크 마찰표면은 손상을 크게 받았다.

4-1-2. 차종 B

차종 B는 회사원이 운전한 승합차로 클러치 문제를 대표할 수 있는 데이터라 생각된다. 차종 B의 차량 정비력을 확인한 결과 출고된 이후로 18,000 km에서 클러치 디스크를 한번 교환하였고, 이후로 주행거리 32,057 km에서 클러치 디스크를 다시 한번 교환하여 정상적인 클러칭 작동성을 확보한 차량이다. 이 차량의 특징은 운전자의 주책이 일반도로를 벗어나 짐으로 가는 도중에 언덕이 많았기 때문에 차량이 과부하를 받을 뿐만 아니라 정체가 심해 반복적으로 클러칭을 해야 하는 열악한 주행조건으로 클러치의 조기마멸에 이은 마멸상태가 좋지 않은 것으로 분석되었다.

4-1-3. 차종 C

차종 C는 화물 전문기사가 운전한 화물차로 출고된

이후 2,500 km 주행한 차량이다. 본 차량의 적재량은 1.25 Ton으로 제한되었으나, 화물을 운송하는 실제상황에서는 보통 과적하여 운행하기 때문에 클러치 디스크는 과다부하로 인해 클러치 디스크의 마찰표면이 완전히 마멸되어 클러치의 회전력 단속기능을 상실한 고착 상태로 차량의 안전성에 위협을 주고 있었다.

4-1-4. 차종 D

차종 D는 전문직종에 종사하는 사람이 운전한 승용차로 출고된 이후 132,926 km를 주행한 차량이다. Table 1에서 보여준 마멸상태 데이터처럼 차량의 높은 주행거리에 비하여 아직도 사용이 가능하고, 특히 정상적인 마멸이 진행되고 있다는 사실이다. 따라서 클러치 디스크의 마찰접촉 전달효율도 우수하고, 차량의 주행상태도 안정적이라는 분석결과를 제시할 수 있다.

상기의 4가지 차종에 대한 마멸특성 고찰에서 엔진의 회전동력을 단속하는 클러칭 작동이 정상적으로 이루어질 경우는 과도한 주행거리에 비하여 아직도 사용할 수 있는 것에 반하여, 고갯길/비포장 도로주행, 과적 및 과속 등 비정상적인 운행은 주행거리가 대단히 짧음에도 불구하고 클러치의 상대접촉 마찰표면의 마멸손상에 의해 더 이상 사용하지 못하거나 동력 전달율이 나빠 교체해야 하는 문제점이 있다.

따라서 클러치의 미끄럼마찰 접촉면의 마멸에 의한 내구성 감소나 고장은 특히 운전자의 안전운행 습관과 주기적인 차량관리, 정상적인 주행조건 등에 의해 결정된다. Table 1에서 제시한 클러치 디스크의 마멸현상은 클러치와 같은 차량의 소모품 교환주기 및 내구성에 큰 영향을 미친다는 하나의 좋은 트라이블로지적 고장사례를 제시하고 있다.

4.2. 고찰

엔진의 동력을 변속장치에 안전하게 전달하거나 차단하는 클러치는 회전 구동부의 마찰접촉 운동에 따

른 마찰손실과 마멸손상이 발생되면서 동력 전달효율은 떨어진다. 특히 클러치의 미끄럼마찰 작동에 의한 트라이볼로지적 고장발생은 수명단축이라는 문제점을 제기하고 있다. 상기의 클러치 고장사례에서 알 수 있듯이 클러치 부품에 대한 내구 안전성을 균일하게 보장할 수 없기 때문에 자동차 메이커는 클러치 디스크의 교환주기를 별도로 명시하지 않는 것이 관례이다.

따라서 클러치를 교체해야 하는 정비업체에서는 운전자의 평균적인 운전성향에 비추어 타이밍 벨트의 교환주기와 비슷하게 클러치 디스크 및 클러치 압력판의 교환주기를 70,000~80,000 km에서 교환할 것을 권장하지만, 정확한 교체시기를 명시할 수 있는 데이터는 아니다. 그 이유는 앞의 실제 데이터에서 제시한 것처럼 운전자의 운전습관이나 도로의 주행조건에 따라 마멸이나 고장유형 및 정도가 크게 다르기 때문이다.

일반적으로 운전자가 반 클러치를 과도하게 사용하는 경우와 난폭한 운전, 열악한 도로상태 등은 클러치의 접촉조건을 악화시켜 마찰접촉 상대운동 표면에 대한 마멸 및 열변형 현상이 급격하게 진행되어 클러치 부품을 조기에 교환해야 한다. 따라서 수동변속기 차량의 운전자는 특히 운전중에 반 클러치 사용시간을 줄여서 디스크 마찰 접촉면을 보호하고, 불필요하게 습관적으로 클러치 페달을 밟는 동작을 자제해야 클러치의 교체시기를 연장할 수 있다.

5. 결 론

자동차에서 가끔 교체하는 클러치 시스템의 마멸 및 고장문제를 트라이볼로지 관점에서 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1) 산악지역에서 운전해야 하는 차량이나 과적차량은 과부하의 가혹한 클러칭 조건에서 운전해야 하기 때문에 정상적인 차량의 클러치보다 마멸이 빠르게 진행되어 조기에 교환해야 안전하다.

2) 운전중에 클러치 페달을 밟아 변속한 다음 밟고 있던 클러치 페달을 놓을 때, 페달을 갑자기 놓을 경우는 토션 스프링과 클러치 디스크가 손상되는 경우가 발생할 수 있으므로 클러치 페달을 서서히 놓아준다.

3) 클러치 디스크의 과다마멸은 엔진에서 변속장치로 전달하는 효율을 떨어뜨리는 원인으로 작용하고 있음을 알 수 있다.

4) 클러치 디스크의 마멸상태는 운전자의 운전성향에 따라 커다란 차이가 날 수 있으며, 정상적인 운전습관과 철저한 차량관리는 클러치 디스크의 교환주기에 큰 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

참고 문헌

1. 수동변속기 차량 안쓰는, SBS 뉴스, Aug. 8, 2006.
2. 김청균, 자동차엔진공학, 복두출판사, 2004.
3. 이일권 외 다수, "Automotive Failure Diagnosis," SunHak, 2002.