

# 자동차 자동변속기의 트라이볼로지 특성에 관한 고장사례 연구

이일권 · 전윤수 · 김청관\* · 조승현\* · 김한구\* · 고영배\*\*  
대림대학 자동차과, \*홍익대학교 트라이볼로지 연구센터  
한국생산기술연구원 부천디지털금형센터\*\*

## Failure Study of Tribological Characteristics in Automotive Auto Transmissions

Il Kwon Lee · Chung Kyun Kim\* · Seung hyun Cho\* · Han Goo Kim\* · Young Bae Ko\*\*

*Department of Automotive Engineering, Daelim College*

*\*Tribology Research Center, Hongik University*

*\*\*Center of Technology Assistance for Die&Molds, Kitech*

**Abstracts** - Auto transmission system is composed by torque converter, clutch, brake, planetary gear and valve body controlling oil pressure. In the automatic transmission, the most largest influence elements are torque converter and clutch for oil performance. In this paper I studied failure of tribology causing sealing poor of the acting parts, leakage of the oil pressure and poor of the lubrication.

**Key Words** : Transmission oil, Tribological failure, Oil leakage, c.utch, brake, gear

### 1. 서론

자동차 트라이볼로지의 주요한 구성요소인 자동변속기는 미국에서 대부분의 승용차는 물론 심지어 버스에까지 약 90% 이상의 차량에 사용되고 있다.

최근 국내에서는 차량의 심한 정체 현상으로 인한 운전자들의 편의성이 강조되어 소형 승용차에서는 선택의 요구가 증가할 뿐만 아니라 고급승용차에는 기본으로 장착될 정도로 그 사용이 계속적으로 증가하고 있는 추세이다.

본 연구에서는 자동변속기 오일의 역할과 각 관련 마찰부위에서 생기는 트라이볼로지 문제가 빈번하게 발생하는 고장 사례 몇 가지를 기술하고 이에 대한 개선방향을 논의하고자 한다.

### 2. 자동변속기의 작동요소

자동변속 장치의 트라이볼로지적인 요소에는 토크컨버터(Torque converter), 클러치(Clutch), 브레이크(Brake), 유성기어(Planetary gear set) 및 유압장치인 밸브 보디(Valve body) 등으로 구성되어 있다.[1]

Fig.1은 자동변속장치의 구조를 나타낸 것이다. 자동변속기의 요소 가운데 오일의 요구성능에 가장 큰 영향을 미치는 것은 토크 컨버터와 클러치이다. 다음은 각 요소의 특징을 설명한 것이다.

#### 2-1. 토크 컨버터

엔진에서 변속장치의 힘을 전달하는 유체커플링(Hydraulic coupling)과 토크의 중간장치이다. 이것은 작동할 때 높은 열이 발생되며 연비를 향상시키기 위해 클러치를 이용하여 고정시켜준다.

## 2-2. 클러치와 밴드

클러치는 유성기어장치로 동력을 전달하기 위한 장치이다. 또한 밴드(band)는 유성기어장치의 부품이 움직이지 못하도록 방지해 주는 브레이크 장치이다. 클러치와 밴드의 표면은 복잡한 유체마찰성능이 요구되는 코팅된 종이, 흑연 및 소결 청동 등의 마찰제로 되어 있다.

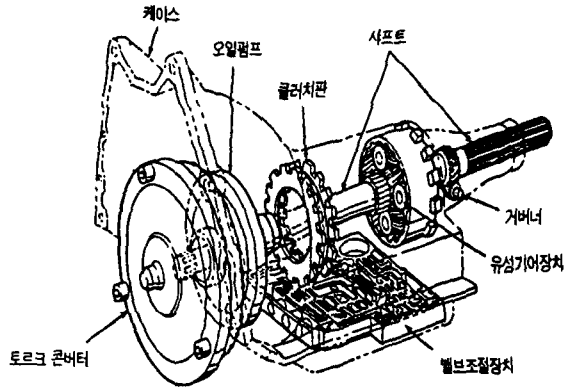


Fig. 1 Structure of the auto transmissions

## 2-3. 유성기어 장치

유성 기어 장치는 선 기어, 링 기어, 선 기어와 링 기어에 맞물려 있는 복수의 피니언 기어 및 피니언 기어를 지지하는 캐리어로 이루어져 있다. 선 기어, 캐리어, 링 기어는 각각 입력, 출력, 반력 요소로 하는 것에 의해 입력 요소에 대하여 출력 요소를 감속, 증속, 역전으로 하는 것이 가능하다. 또한 유성 기어의 3가지 요소 가운데 2가지 요소를 결합하면 일체 회전으로 된다. 특히 유성기어 장치는 극압성, 마멸방지 및 부식 방지성이 있어야 한다.

## 2-4. 유압장치

자동변속기의 유압 제어 기본 장치는 오일 팬, 오일펌프, 밸브 기구 및 유압 작동 요소로 구성되어 있다. 오일 펌프가 오일 팬에서 흡입한 오일은 밸브기구에서 압력이 조정된 다음 클러치 또는 브레이크의 작동요소로 공급된다. 밸브 기구에서의 잔여 분의 오일은 리턴 회로를 경유하여 오일 팬으로 되돌아간다. 유압장치는 최소한의 온도에 따른 점도변화와 마멸이 되지 말아야 한다.

## 3. 자동변속기 오일

자동변속기는 저점도인 SAE 5W 정도의 기유(Base oil)를 사용하여 특수하게 제조된 특수 오일이므로 제작사가 추천한 오일을 반드시 사용하여야 한다. 왜냐하면 각 제작사에서 제작하는 자동변속기는 제작사 고유의 설계기능을 부여하여 일부를 변형하였기 때문에 제작사에 따라 사용되는 오일이 다를 수가 있다.

자동변속기는 일반적으로 직결형(Lock-up) 자동변속기와 비직결형(Non lock-up) 자동변속기가 있다. 비직결형 자동변속기는 록업 클러치(Lock-up clutch)를 이용하여 입력축과 출력축을 바로 연결시켜줌으로써 동력의 손실없이 엔진의 힘을 바로 전달하여 동력전달의 효율을 한층 높여준 향상된 모델이다. 그러나 이러한 직결형 자동변속기의 단점은 록업 클러치가 맞물리는 순간 충격이 발생한다는 것이다. 일반적으로 시속 80~90km/h 범위의 속도에서 4단으로 변속되는 순간 발생될 수 있는데 이는 추천하지 않은 오일을 사용할 때 발생할 수 있으며, 이에 적합한 추천된 자동변속기 오일을 사용할 경우 제현상은 제거될 수 있다. 그러므로 자동변속기가 어떠한 타입인지를 확인하고, 제작사의 차량 취급설명서에 추천된 오일을 사용하도록 하여야 한다.

### 3-1. 오일의 역할

자동변속기에 사용되는 작동유체는 엄밀하게 말하면 오일이라기보다는 작동유체라는 표현이 정확한 것이다. 그러나 이것은 우리나라에서 오랫동안 자동변속기 오일이라는 용어로 사용되어 왔다. 본 연구에서는 국내 자동차 회사의 사용기준에 맞춰 자동변속기 오일로 용어를 사용하였다. 자동변속기 오일이 (Automatic Transmission fluid) 갖는 기본적인 역할은 다음과 같다.

- (1) 토크 컨버터내에서의 작동유의 역할을 함으로써 동력을 전달하여야 한다.
- (2) 기어 또는 베어링 등의 회전 요소에 대하여 윤활작용을 하여야 한다.
- (3) 밸브, 클러치, 브레이크 등의 유압에 관련

- 된 부품의 작동유 역할을 하여야 한다.
- (4) 자동변속기 내부의 회전부에서 발생하는 열을 방지하는 냉각작용을 하여야 한다.

### 3-2. 오일의 요구 성능

#### (1) 기어 오일로서의 극압 및 내마멸 특성

기어가 작동될 때 기어 사이에서 높은 압력에 의하여 유막이 없어진다면 금속끼리의 마찰로 높은 열에 의한 늘어 붙는 현상이 발생하거나 조기에 마멸되는 현상이 발생된다. 따라서 이와 같은 마멸현상을 방지하기 위하여 오일은 고압이 발생하여도 유막이 파손되지 말고 계속 유지되어야 한다.

#### (2) 유압 작용유로서의 특성과 저온 유동성

오일의 점도는 여러 유압 밸브들의 작동에 많은 영향을 미친다. 고온일 경우 점도가 너무 낮아지면 컨트롤 밸브, 클러치 피스톤, 시일부 등으로 오일이 새는 것이 많아져 유압의 저하 등 불량 발생된다. 또한 저온일 경우에 점도가 너무 높아지면 밸브 등의 움직임이 원활하지 않아 변속불량 등이 발생한다. 그러므로 ATF는 저온시에도 적당히 낮은 점도가 요구되며 온도 변화에 따라 점도 변화가 가능하면 적은 것이 좋다.

#### (3) 클러치 플레이트 재질에 적합한 마찰특성

ATF의 마찰 특성은 자동변속기의 변속느낌(Shift feeling)과 밀접한 관계가 있으며 마찰계수에는 구동축과 피동축의 회전수차가 1rpm일 때인 정마찰계수와 회전수차가 30rpm일 때인 동마찰계수가 있다.

일반적으로 동마찰계수가 작으면 클러치 접촉시간이 길어져 미끌림에 의한 발열 때문에 클러치 표면 온도가 상승하여 클러치가 타는 경우가 생기며, 정마찰계수가 크면 변속 최종단계에 급격한 토크 변동이 일어나 충격이나 이음이 발생된다.

#### (4) 청정분산성 및 산화 안정성

동력 전달 손실에 의한 발열 및 습식 클러치 작동에 의한 온도 상승을 분산시키는 청정 분산성이 있어야 하고 오랜 시간동안 교환없이 사요하여도 ATF의 기본 특성 변화가 작은 산

화안정성이 있어야 한다.

#### (5) 시일재 및 냉각계통 재질에 대한 안정성

자동변속기내의 각종 시일재료, 클러치 페이스(Facing) 재료 등이 ATF에 의해서 화학적 변화를 일으키거나 경화, 수축 및 팽창 등이 발생하지 않아야 한다.

#### (6) 기포가 발생하기 어려울 것

ATF에 기포가 발생하면 오일 펌프의 토출능력 저하가 일어나고 유압이 떨어져 마멸나타서 늘어붙는 현상이 발생할 수 있다. 따라서 일반적으로 점도가 낮을수록 온도가 높을수록 기포 발생이 감소된다.

#### (7) 방청성이 있어야 한다.

## 4. 자동변속기용 오일의 규격

자동변속기 장치는 미국의 GM사에서 개발된 것과 포드사에서 개발된 두가지 대표적인 형태가 있으며, 이들중 가장 일반적인 형태는 GM사의 것이다. 위의 두가지 형태의 자동변속장치에는 사용되는 오일도 물론 서로 다르며, 이는 두 형태의 자동변속장치에 요구되는 마찰계수가 서로 다르기 때문이다.

## 5. 자동변속기 오일 교환

최근 국내 자동차 제작사에서 생산되는 차량은 제작사마다 약간의 차이는 있지만 자동변속기 오일을 정상적으로 사용할 때는 약 100,000km 주행 후 규정 오일로 교환해야 한다고 추천하고 있다. 다만 모래자갈길, 눈길, 비포장길과 같이 험한길의 주행 빈도가 높은 경우, 신길이나 오르막길 등의 주행 빈도가 높은 경우, 고속주행의 빈도가 높은 경우 등과 같이 가혹조건일 경우에는 교환주기를 앞당겨 약 40,000km 주행시마다 교환하도록 권장하고 있다.[2,3,4]

## 6. 고장에 관련된 사례

### 6-1. 주행이 불가능할 경우

### (1) 토크 컨버터내의 터빈 스플라인 마멸

자동변속기에서 토크 컨버터는 변속기내의 유체를 이용하여 동력을 전달하는 장치로서 토크를 증폭하는 기능을 한다. 일반적으로 엔진의 회전력을 2~3배로 강하게 하는 역할과 클러치 기능을 한다. 구조는 도넛 모양의 케이스 내에 마주보는 임펠러를 1조로 하여 오일을 채워 엔진의 동력에 따라 회전하는 펌프 임펠러(pump impeller), 터빈 런너(turbine runner), 임펠러와 런너 사이에 스테이터(stator)를 놓고 오일 흐름을 조정하여 펌프 임펠러의 유압을 높이는 역할을 한다.

토크 컨버터내의 터빈 스플라인은 변속기 축과 연결된다. 그러나 소재의 내구성이 떨어지거나トライ볼로지적인 문제로 인하여 스플라인이 마멸되면 주행중에 동력이 전달되지 않아 차량이 전진과 후진이 불가능한 상태가 발생할 수 있다. Fig.2는 터빈 런너 스플라인의 마멸되어 손상된 사례를 나타내는 것이다.



Fig. 2 Wear of turbine runner spline

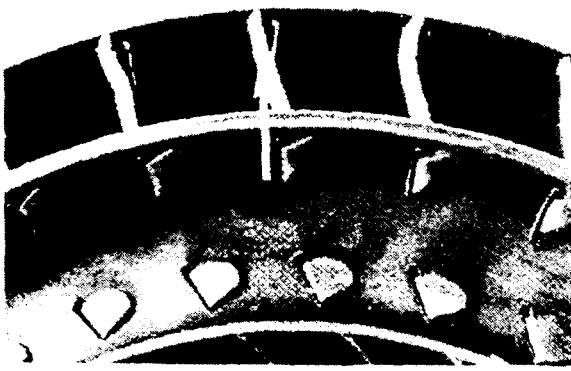


Fig. 3 Wear causing turbine runner vane

### (2) 터빈과 펌프 임펠러 날개(Vane) 간의 유격과다로 간섭현상 발생

일반적으로 토크 컨버터 내부의 터빈과 펌프 임펠러 날개간의 유격과다로 간섭현상이 발생하게 되면 터빈과 펌프 임펠러 날개와의 마찰로 인하여 변속기 하우징에서 “득득~”하는 내부를 치는 타음이 발생하게 된다.

이러한 현상이 발생하게 되면 토크 컨버터 내부에서는 토크 변환 기능을 할 수 없게 되어 차량은 전진이나 후진의 주행조건에서 시동이 꺼지게 된다. 결국 차량은 날개 간섭으로 인한 쇳가루 발생으로 밸브가 고착될 수가 있다. Fig.3은 터빈 런너 베인의 간섭으로 인한 사례를 보여 주는 것이다.

### (3) 댐퍼 클러치 플레이트 과다 마멸 발생

댐퍼 클러치는 자동변속기의 클러치 디스크에 부착되어 있는 것과 같은 페이스(Facing)에 부착되어 있고, 댐퍼 클러치 외주에 설치되어 있는 홈에 터빈 셸 외주의 로킹 고리가 끼워져 댐퍼 클러치와 터빈을 연결하고 있다. 일반적으로 댐퍼 클러치 플레이트의 과다마멸로 인해 쇳가루가 다량 발생하면 밸브가 고착되어 주행중 차량이 4단과 같은 변속이 안되는 현상이 발생할 수 있다. 또한 쇳가루에 의한 변속기 오일의 오염으로 인하여 변속기 성능이 현저하게 떨어진다. Fig.4는 댐퍼 클러치 플레이트의 마멸된 상태를 보여주는 것이다.

### (4) 유성기어 파손현상 발생

자동변속기의 유성 기어는 대부분 복합 유성 치차 세트(Compound planetary gear set)를 사용하고 있다. 즉 이것은 단순 유성치차를 2개 이상 조합하여 여러 개의 변속비를 낼 수 있다는 이점 때문이다.

유성 기어를 조립할 때 니들 베어링을 오장착하거나 니들 베어링에 손상이 있을 경우 니들 베어링이 파손되어 파편이 기어 치면에 끼어 손상된다. 이러한 경우 차량은 주행중 비정상적인 이상 소음을 발생할 수 있으며 유성기어의 손상으로 자동변속기는 제기능을 할 수 없게 된다. Fig.5는 유성기어 파손사례를 보여주는 것이다.

**(5) 프론트 클러치 리테이너 부상 마멸**

프론트 클러치는 다판식으로 프론트 클러치 리테이너, 디스크, 플레이트, 피스톤, 리턴 스프링으로 구성되어 있으며, 3속이나 후진을 할 때 작동하며 입력축으로부터 구동력을 유성기어 세트의 리버스 선 기어에 전달한다.

프론트 클러치 리테이너 내부의 부상이 과다 마멸하게 되면 작동 유압이 누설하게 된다. 작동 유압의 누설은 프론트 클러치의 디스크를 소착하는 원인을 제공한다. 이 때 차량은 후진을 할 수 없게 된다. Fig.6은 프론트 클러치 리테이너가 마멸된 사례를 보여주는 것이다.

**6-2. 변속기 오일의 누설**

오일 시일 또는 O링이 파손되거나 손상되어 변속기 오일이 누설되는 경우가 있다. 또는 규격에 맞지 않는 씰런트를 사용한 경우에도 오일이 누설될 수 있다.

**(1) 리어 클러치 시일 손상으로 오일 누설**

리어 클러치는 다판식으로 리어 클러치 리테이너, 디스크, 플레이트, 피스톤 등으로 구성되며

1단에서 3단까지 작용하며 입력축으로부터의 구동력을 유성기어 세트의 포워드 선 기어에 전달한다. 일반적으로 리어 클러치 테프론 시일이 손상되면 작동압이 누설되어 리어 클러치 디스크가 손상된다. 이 때 차량은 전진이 되지 않는 현상이 생긴다. Fig.7은 리어 클러치 리테이너 테프론 시일의 손상사례를 보여주는 것이다.

**(2) 엔드클러치 리테이너부 오일 시일손상**

엔드 클러치는 다판식으로 엔드 클러치 리테이너, 디스크, 플레이트, 피스톤 등으로 구성되어 있으며 입력축 후단부에 조립되어 있다. 엔드 클러치는 3속, 4속 주행시에 작동을 하며 입력축으로부터의 구동력을 유성기어 세트의 캐리어에 전달하는 기능을 한다. 일반적으로 엔드 클러치의 리테이너부 오일 시일이 손상되어 유압이 새게 되면 엔드 클러치 디스크는 마멸되어 소착되게 된다. 이 때 차량은 주행중 4단으로 변속할 때 공회전만 하게 된다. Fig.8은 엔드 클러치 리테이너부 오일 실의 손상사례를 보여주는 것이다.

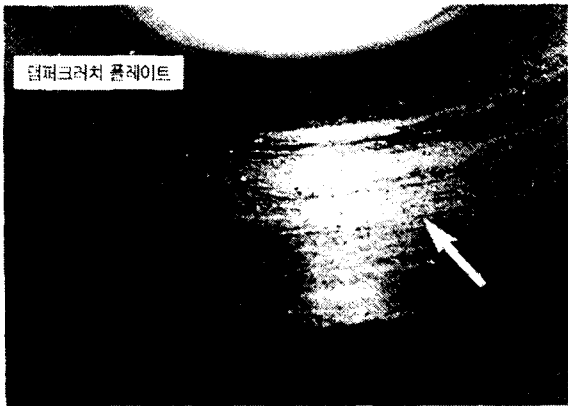


Fig. 4 Wear example of the damper clutch plate

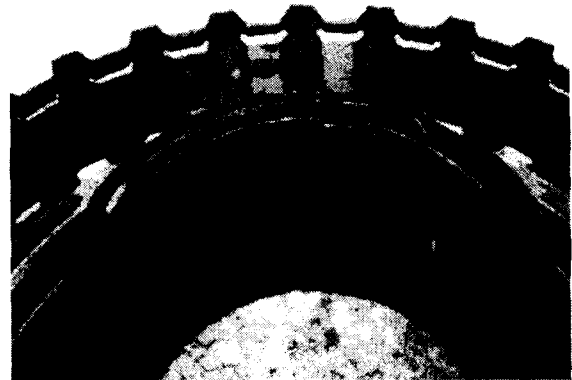


Fig. 6 Wear of front clutch retainer

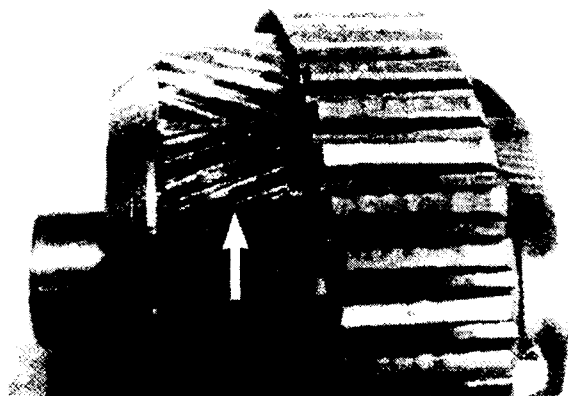


Fig. 5 Breakeage of planetary gear set

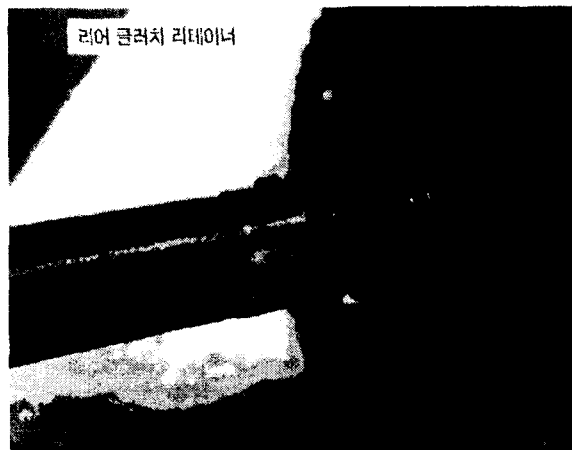


Fig. 7 Damage of rear clutch retainer

**(3) 오일 팬 파손으로 인한 오일 누설**

자동변속기의 오일 팬은 자동변속기 오일을 저장하는 기능과 함께 자동변속기의 유압장치인 밸브보드를 보호하는 기능을 한다.

운전 중 운전자가 비포장도로나 바운드가 심한 도로, 도로의 돌기부에 부딪히게 되면 오일 팬은 파손되는 경우가 있다.

이러한 경우 오일이 누유되게 되면 변속기 클러치 부의 디스크는 소착되고 차량은 주행할 수 없게 된다. Fig.9는 오일 팬의 파손된 사례를 보여주는 것이다.

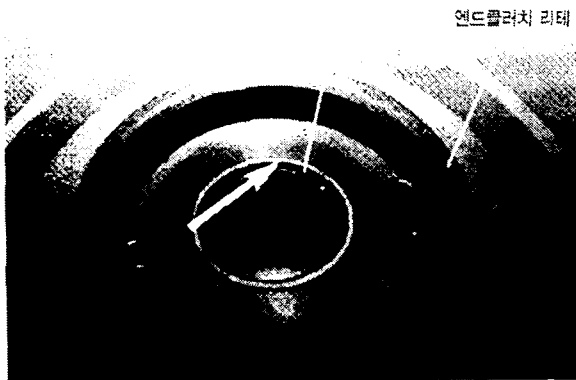


Fig. 8 Damage of clutch retainer oil seal



Fig. 9 Breakedown of auto transmission oil pan

**7. 결론**

자동변속기는 엔진의 동력을 받아 운전자의 의지에 맞춰 구동력을 추진축으로 전달하는 장치이다. 만약 변속기가 제기능을 충분히 발휘하지 못한다면 자동차는 움직이지 못할 것이다. 자동변속기가 원활하게 구동되기 위해서는 자동변속기 각부의 미끄럼 마찰 운동부에 적정량

의 자동변속기 오일을 적기에 공급하여 마찰력 감소, 마찰열 제거, 내마멸성 유지, 청정작용 등의 윤활유 기능을 발휘해야 한다.

자동변속기 내부의 오일이 각종 시일의 불량으로 인해 오일이 외부로 누설되거나 작동유압이 제대로 발생하지 못하면 변속기 내부의 상대 운동을 하는 부품들이 고착되거나 비정상적인 운전상태가 될 것이다. 그렇게 됨으로써 변속기 내부에서는 소음이 발생하고, 변속기의 작동 불능 현상이 되어 변속기를 교환해야 할 것이다.

이러한 현상을 최소화시키기 위해서는 설계자는 적정 주행거리에 변속기 오일의 특성과 점도의 변화를 최적화시킬 수 있도록 변속기를 설계해야 하고, 변속기 생산자는 각각의 부품의 정밀도 및 품질을 최상으로 끌어올릴 수 있도록 해야 할 것이다. 마지막으로 자동차 운전자는 제작사에서 추천하는 변속기 관리 사항을 바탕으로 오일의 상태를 점검하여 차량의 상태를 최상의 상태로 유지해야 할 것이다. 그리고 변속기 오일을 생산하는 업체에서는 오일의 역할을 획기적으로 향상시킬 수 있는 오일 개발을 위해 노력해야 할 것이다.

변속기에서 생기는 문제점을 적극적으로 해결하기 위해서는 자동차나 변속기 오일 메이커는 물론이고, 자동차 정비 업체와 운전자의 이해와 협조가 더 큰 문제점이라는 사실에 비추어 자동차 메이커는 소비자에 대한 자동변속기 차량의 운전방법에 대한 교육과 홍보에 보다 많은 투자를 해야 할 것으로 생각된다.

우리나라에서 자동차가 대중적으로 보급된지도 15년이상 지났다는 사실을 고려하면 우리도 선진국의 운전, 간단한 정비와 자동차 종합관리 추세를 따라가야 할 것으로 생각된다.

**참 고 문 헌**

[1] Chung Kyun Kim, Nickolai K Myshkin, Mark I. Petrokovets, "Introduction to Tribology" Cheong Moon Gak, 1997  
 [2] 현대자동차 정비 매뉴얼  
 [3] 기아자동차 정비 매뉴얼  
 [4] GM 대우자동차 정비 매뉴얼