

# MTM OIL 의 변속성능과 내구성에 대한 연구

차상엽

양시원\*

현대자동차㈜ 연구개발본부

\*SK 주식회사 대덕기술원

## A Study for Shift Quality and Durability of Manual Transmission Oil

Cha, Sang Yeob

Yang, Si Won\*

Research & Development Division, HYUNDAI-MOTOR COMPAY

Daeduk Institute of Technology, SK Corporation

Synchronizer ring performance is strictly required in order to extend manual transmission oil drain interval. Zn type additive, which is used as dispersant and anti-wear additive instead of SP additives in manual transmission oil, is applied to improve Synchronizing function and durability. But only Zn type additive is not suitable for high torque transmission because it has not good extreme pressure characteristics. We research on the synchronizer friction and extreme pressure properties in according to change additive types. As a result, it was found that the use of non-active extreme pressure and friction modifier additives has benefit in the improvement of synchronizer friction characteristics and durability

Key Word : manual transmission oil, Synchronizer ring, durability

### 1. 서 론

최근 자동차의 보급이 확대됨에 따라 사용자들이 운전의 편의성, 안락성, 승차감은 물론 환경적인 측면과 내구성등 자동차에 대한 요구사항이 매우 다양하고 엄격해 지고 있다. 이러한 요구사항을 만족 시키기 위해 많은 연구개발이 이루어 지고 있으며 특히, 동력 전달장치 중의 하나인 수동변속기(Manual Transmission)을 장착한 차량에서 고온과 저온에서의 변속성능(Shift Quality) 향상은 오일의 교환주기 연장과 더불어 중요한 요구사항이 되고 있다.

고온에서의 변속성능은 수동변속기유 점도에 따른 영향은 적으나 저온에서는 수동변속기유의 점도 증가에 의해 변속시 기어와 베어링에서 발생하는 Drag Force 가 높아 변속성능이 저하 되는 문제점이 있다. 이러한 문

제점을 개선하기 위해서는 수동변속기유의 저점도화가 필수적이다. 씹크로나이저링 마찰특성과 저점도에 의한 변속성능 개선과 내하중성등의 내구성은 서로 상반된 관계를 가지고 있어 두가지를 동시에 만족 시키는 것은 매우 어려운 일이다.

본 연구에서는 저온 변속성능과 수동변속기의 기어 및 베어링의 내구성을 동시에 향상 시키기 위해 극압첨가제와 마찰조정제 종류에 따른 씹크로나이저링 마찰특성과 내구성에 대한 연구결과를 보고한다

### 2. 본 론

#### 2.1 수동변속기유 사용현황

국내에서 수동변속기유로 사용 되고 있는 오일은 성능상 API GL-4 급, 점도등급 SAE

75W/90, 75W/85, 80W 가 주로 사용되고 있다. 일본의 경우는 API GL-3, GL-4 급, SAE 75W/90, 75W/85, 75W/80 이 주로 사용되고 있으며, 저온점도는 -40℃에서 50,000~100,000 cP 정도이다. 유럽 및 혹한지역에서는 API GL-4, GL-5 급, SAE 75W/80 또는 ATF(Automatic Transmission Fluid) 가 주로 사용되고 있으며 저온 변속성능 향상을 위해 -40℃ 저온점도가 30,000 이하의 오일이 사용되고 있다.

최근 수동변속기유의 교환주기는 대부분 무교환이며, 변속기 특성에 적합한 오일을 개발중이거나 적용하고 있다. 국내와 일본에서 사용되고 있는 수동변속기유는 Zn 계 첨가제를 사용하고 있으며 유럽은 ATF 또는 SP 계 첨가제에서 변속성능 향상을 위해 Zn 계 첨가제의 사용이 증가하고 있다.

2.2 수동변속기 성능과 오일의 특성

통상, 공장충전용 수동변속기유는 연비개선, 기어 NOISE, 저온변속성능을 고려한 오일이 사용되고 있다.

차량에서 수동변속기에 요구되는 성능은 내구성과 Driveability 로 크게 구분 할 수 있으며 수동변속기에 요구되는 성능과 오일의 특성을 Fig.1 에 표시 하였다.

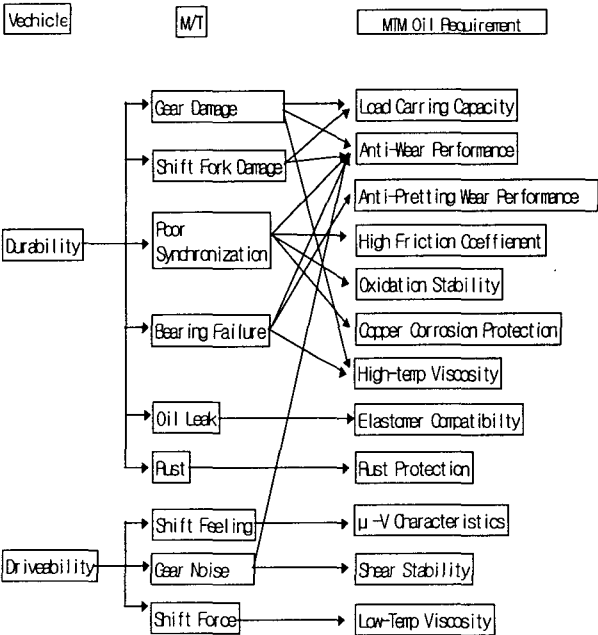


Fig.1. 수동변속기유 요구성능

수동변속기유의 내구성을 향상 시키기 위해

서는 내하중성, 고온에서의 점도특성, 전단 안정성 산화안정성등의 물성이 우수해야 하며, 통상 열안정성이 우수한 SP 계 극압첨가제와 분자량이 적은 점도지수향상제를 사용한다.

변속성능은 씹크로나이저링과 기어콘 사이의 마찰특성에 의해 큰 영향을 받는다. 변속시 서로 다른 속도로 회전하고 있는 기어와 씹크로나이저링은 같은 속도로 동기 되는데 이때 높은 동마찰계수(μ d)는 변속시간을 짧게 해주고 변속력을 낮게 해준다. 동마찰계수가 낮을 경우 SLEEVE 와 클러치 기어 TEETH 사이에 비동기 현상을 일으켜 CLASH NOISE 가 발생된다. 동기후 SLEEVE 가 기어를 고정 시킬 때 SLEEVE 는 씹크로나이저링을 가볍게 움직이는데 정마찰계수가(μ s) 높으면 강한 힘이 필요하게 되어 2 차 충돌의 원인이 되기도 한다. 저온에서 오일의 점도가 높으면 변속시 동기가 된 후 SLEEVE 와 클러치 기어 TEETH 가 치합이 되기전에 오일 점도에 의해 일시적으로 동기가 파괴되어 SLEEVE 와 클러치 기어 TEETH 가 부딪혀 CLASH NOISE 가 발생된다. 변속시 관계되는 식을 아래와 같이 나타 내었다

$$\frac{\mu d \times R_m \times F}{\sin \theta} \geq \frac{R_p \times F}{K\alpha}$$

F : SLEEVE 가 미는 힘

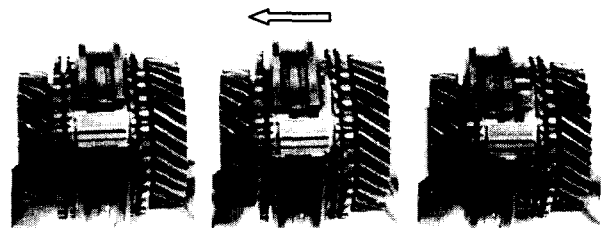
μ d : 씹크로나이저링과 기어콘의 동마찰계수

θ ; 콘각

Kα : CHAMFER 면 정수

Rm : 콘면 유효반경

Rp : CHAMFER 면 유효반경



중립                      동기                      치합

Fig.2 변속과정

변속성능과 변속내구성을 좋게 하기 위해

서는 콘각을 줄이거나 씽크로나이저링의 용량증대 또는 씽크로나이저링의 동마찰계수를 높이는 방법이 있다. 오일로 변속성능을 향상 시키기 위해서는 씽크로나이저링과 기어 콘의 동마찰계수를 높여야 한다는 것을 알 수 있다. 정마찰계수는 통상적으로 TAN(콘각) 보다 낮아야 변속성능이 좋게 유지 된다.

저온과 고온에서 변속성능을 향상 시키기 위해서는 점도특성과 동기화 되는 과정에서 씽크로나이저링과 기어 콘 사이의 동, 정마찰계수를 적절히 유지 시키는 첨가제에 대한 마찰특성이 선행 되어야 한다. 저온에서 변속성능을 향상 시키기 위해서는 저온점도를 낮추거나 낮은 온도에서 반응성이 좋은 첨가제 사용에 의해 정마찰계수를 낮추는 방법이 있다. 저온점도를 낮추는 방법이 가장 효과적인 방법이나 저온점도를 낮추면 고온 점도도 같이 낮아져 고온에서 기어 및 베어링이 파손되는 우려가 있다.

본 논문에서는 저온 변속성능과 기어, 베어링의 내구성도 향상 시킬수 있는 첨가제를 파악하기 위해 씽크로나이저링 마찰특성, 극압성 및 내구성시험을 첨가제의 종류별로 실시 하였으며 그 결과는 다음과 같다.

3. 시험결과

본 논문에서는 Non-active 극압첨가제 및 내마모첨가제를 사용하여 씽크로나이저링 마찰특성과 극압성 및 내구성 평가용 시료를 제조 하였다. Zn 계 첨가제, Mg-Sulfonate, Ca-Sulfonate, Aminposphate, 점도지수향상제에 전형적인 ZnDTP 를 추가한 오일(A), Borate 계 첨가제를 추가한 오일(B), Sb-DTC(Antimony Dithio Phosphate) 첨가제를 추가한 오일(C), Sb-DTC, Alkyl Phosphite, Dialkyl Dithio Phosphate 를 추가한 오일(D), Dialkyl Dithiophosphoric Acid, Alkyl Phosphite 를 추가한 오일(E), Dialkyl Dithiophosphoric Acid, Alkyl Phosphite,

Dialkyl Dithio Phosphate 를 추가한 오일(F)를 제조 하였으며, 표 1.에 첨가제 배합비를 나타 내었다.

3.1 씽크로나이저링 마찰특성

본 논문에서는 동합금계 씽크로나이저링과 기어를 사용하여 표 2.의 시험조건에 따라 실시 하였다. 오일 온도 80℃에서 10,000 cycle Brake-in 시험후 동마찰계수, 정마찰계수를 1,000 cycle 동안 측정한 시험결과를 Fig 4.에 표시 하였다

표 2. 씽크로나이저링 마찰특성 시험조건

시편 : 동합금계 싱크로나이저링		
마찰계수	$\mu d$	$\mu s$
기어 회전속도 rpm	1200	1
하중 N	400	
관성력 kgcmsec <sup>2</sup>	0.80	
ON/OFF Time sec	2 / 3	

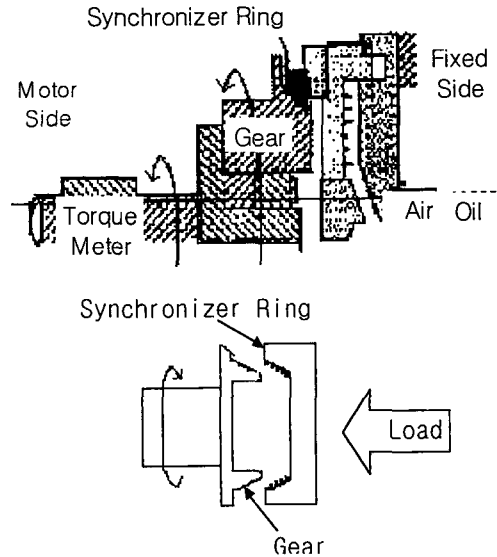


Fig3. 씽크로나이저링 마찰특성 시험기

표1. 첨가제별 배합비

첨가제	75W/90	75W/85				
	A	B	C	D	E	F
ZnDTP	2.0					
Borate		2.0				
Antimony Dithio Phosphate			2.0	2.0		
Dialkyl Dithiophosphoric Acid					2.0	1.5
Alkyl Phosphite				1.0	1.0	0.8
Dialkyl Dithio Phosphate				0.5		0.3

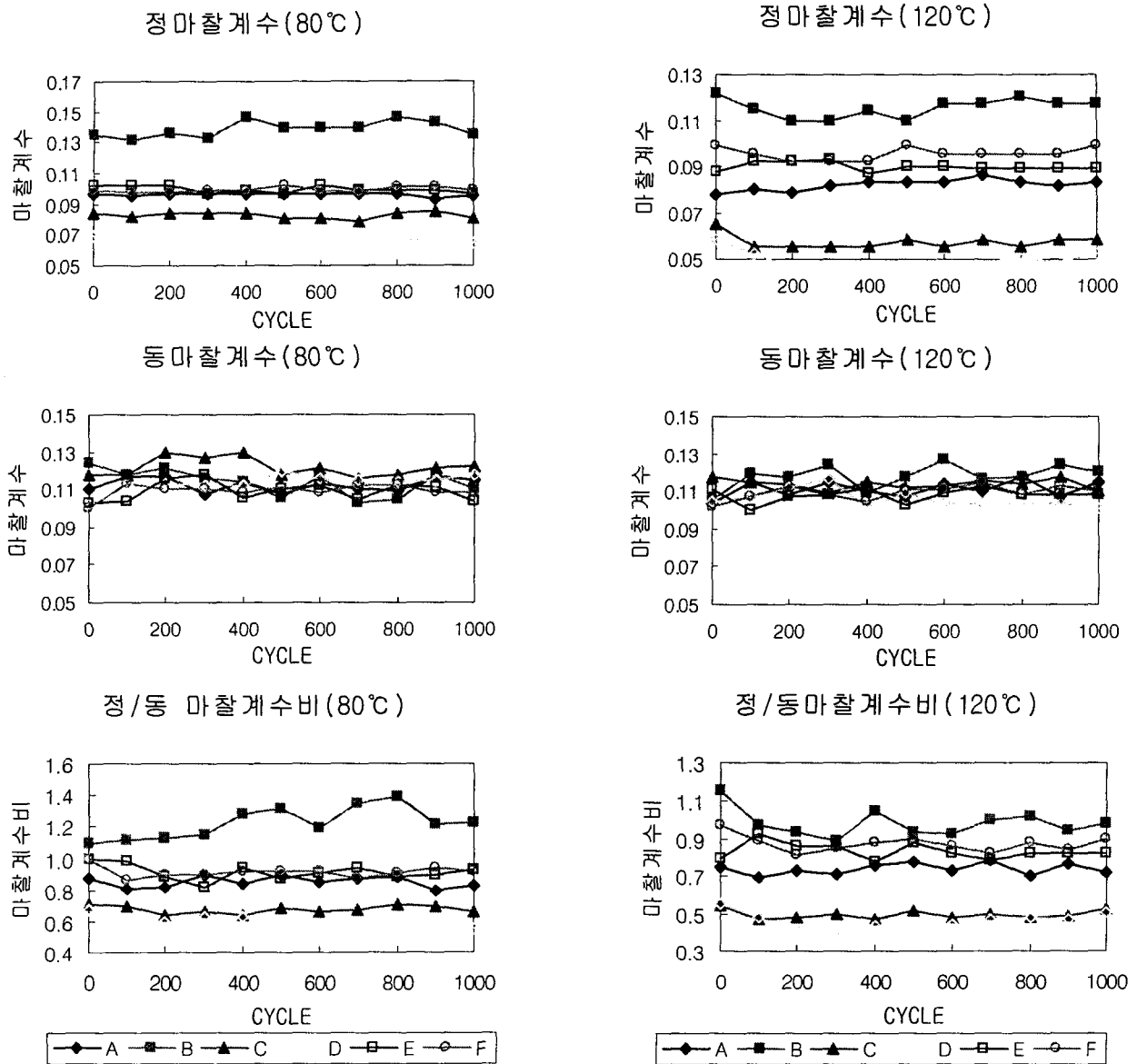


Fig. 4 씽크로나이저링 마찰특성 GRAPH

80°C 씽크로 마찰특성 시험결과 Borate 계 첨가제를 추가한 오일 B는 동마찰계수는 높게 적절히 유지되나 정마찰계수가 높아 변속시 2차 충격이 발생되기 쉬우나 120°C에서는 동, 정마찰계수가 적절히 유지된다. 오일 A, C, D, E, F는 80, 120°C에서 동마찰계수가 높고 정마찰계수가 낮아 씽크로나이저링 마찰특성은 양호하다고 평가된다.

수동변속기유에 사용되는 사용되는 active S 계 극압첨가제(Polysulfide, Sulfurized fat 등)는 씽크로나이저링의 부식마모를 촉진시켜며, 동시기 동마찰계수가 낮아 CLASH Noise를 발생시키기 때문에 씽크로나이저링마찰특성이 우수한 ZnDTP와 Mg과 Ca 금속

염 청정분산제를 사용한 Zn 계 오일을 사용한다. ZnDTP는 Pri-ZnDTP, Sec-ZnDTP, Ter-ZnDTP로 구분되는데 Pri-ZnDTP는 정마찰계수를 낮추는 효과가 있으나 극압성이 Sec-ZnDTP보다 낮으며, Sec-ZnDTP는 좋은 극압성을 가지고 있어 기어오일의 극압성 향상에 효과적이거나 동점도를 높게 유지시키는 특성이 있으며 분해온도가 낮아 산화안정도가 Pri-ZnDTP보다 열세이다. 특히 동합금계 씽크로나이저링에서는 정마찰계수를 높이는 단점이 있으며, Ter-ZnDTP는 동, 정마찰계수를 일정하게 유지시키는 역할을 한다. 씽크로나이저링 마찰특성과 극압성을 동시에 향상시키기 위해서는 Pri-ZnDTP, Sec-ZnDTP, Ter-ZnDTP의 적절한 조합이 필요하다. 금속

염 청정분산제는 씹크로나이저링과 기어콘면에 CaCO<sub>3</sub>, MgCO<sub>3</sub> 가 흡착되어 정마찰계수를 낮추는 역할을 한다.

마찰조정제는 저온에서 씹크로나이저링의 정마찰계수를 낮추기 위해 아민포스페이트, 디라우릴포스파이트, 고급알코올, 에스테르, 지방산 금속염, 아민, 아마이드등의 마찰조정제(Friction Modifier)가 사용 되는데 관능기와 분자구조에 따라 영향이 서로 다르며 마찰재 종류에 따라 성능이 다르므로 수동변속기유 제조시 세심한 주의가 요구 된다. 상기 오일 모두 Zn-DTP, 금속염 청정분산제, P 계 마찰조정제가 적절히 배합된 시료임으로 Borate 계, Sb-DTC, Alkyl Phosphite, Dialkyl Dithio Phosphate, Dialkyl Dithiophosphoric Acid 첨가제를 수동변속기유 제조시 사용하면 내구성을 향상시키며, 씹크로나이저링 마찰특성에 영향을 최소화할 수 있다는 것을 알 수 있다.

3.3 극압성 및 내구성

수동변속기는 고토크 저속과 저토크 고속으로 작동하게 되는데 고토크 저속에서는 경계윤활과 극압윤활을 하게 되며 저토크 고속에서는 오일 점도에 의한 유체윤활과 경계윤활을 하게 된다. 최근 엔진의 고토크화가 이루어지는 추세이므로 수동변속기에 받는 STRESS 도 증가 되고 있으며, 저온변속성을 향상 시키기 위해 저점도화 되는 추세이다. 따라서 이러한 요구에 대응하기 위해 수동변속기유의 극압성과 내마모성이 한층 요구 되고 있다.

따라서, 위의 씹크로나이저링 마찰특성에서 사용한 오일로 4-BALL 극압성 및 내마모, TIMKEN 극압성 시험과 FZG 와 대상내구시험에 의한 내구성을 평가 하였다. 4-BALL 시험은 ASTM D 2783 에 따라 평가 하였으며 내마모 시험은 120°C, 1200rpm 으로 하중을 증가시키면서 평가 하였으며, TIMKEN 극압성 시험은 ASTM D 2782 에 따라 평가 하였다.

Fig.5,6 의 TIMKEN, 4-BALL 극압성 및 내마모성 시험결과 극압첨가제를 사용한 오일 B, C, D, E, F 는 Zn-DTP 를 사용한 오일 A 대비 극압성이 우수하다는 것을 알 수 있다. 오일 C, D, E 는 내마모성은 오일 A 대비 저하 되었으며, 오일 B, F 는 오일 A 대비 극압성과 내마모성이 모두 우수한 결과를 얻었다. 극압성과 내마모성을 동시에 향상 시키기 위해

서는 첨가제 종류와 함량이 동시에 고려 되어야 한다.

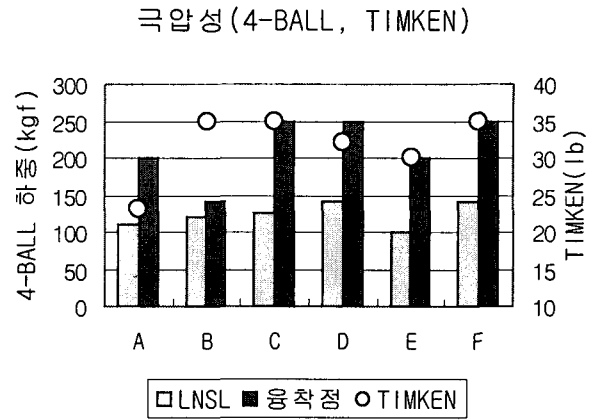


Fig.5 극압성 시험

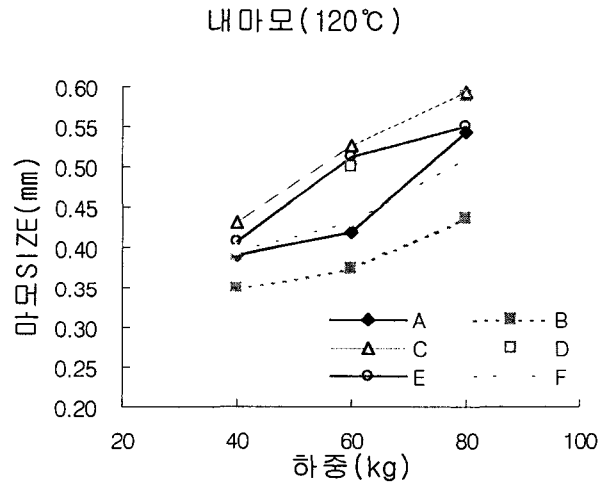


Fig.6 내마모 시험

수동변속기 기어와 유사한 조건에서 오일을 평가하기 위해 기어오일 시험방법인 FZG 시험을 ASTM D 5182 에 준하여 오일 A,E,F 를 평가 하였으며, 시험조건은 10 단, 120°C 온도

표 2. FZG 시험결과

구분	A	E	F
Pitting 발생시간	72h 이상	48h	72h 이상

조건으로 실시 하였으며 12h 마다 Pitting 발생 여부를 확인 하여 표 2 에 나타 내었다. 오일 A,F 의 첨가제로 최적 배합한 수동변속기유 75W/90 과 저점도형 75W/85 로 EF 2.7

HMC 대상내구 시험방법인 정속내구 시험을 실시 하였으며, 정속내구후 기어치면은 모두 Pitting 발생없이 양호한 결과를 얻었다. 물성과 정속내구 시험결과를 표 3 에 나타 내었다

표 3. 수동변속기유 물성시험

항 목	A	F
SAE 등급	75W/90	75W/85
100℃ 동점도 cSt	14	11
-40℃ 점도 cP	46,000	26,000



Fig. 7 정속내구후 1 단 기어치면

상기 시험결과 적절한 극압첨가제의 종류와 함량을 선정 함으로써 저점도화에 따른 내구성 저하를 억제 할 수 있다는 것을 알 수 있으며, 향후 수동변속기유 개발시 첨가제 측면에서는 극압첨가제와 마찰조정제의 선택이 중요한 인자가 될 것 같다.

### 3. 결 론

위의 시험결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다

- 1)씽크로나이저링 마찰특성과 내구성을 동시에 향상 시키기 위해서는 극압첨가제와 마찰조정제의 적절한 배합에 의해 가능하다..
- 2)non-active SP 계 첨가제인 Borate 계, Sb-DTC, Alkyl Phosphite, Dialkyl Dithio Phosphate, Dialkyl Dithiophosphoric Acid 는 씽크로나이저링 마찰특성에 악영향이 적으며, 내구성을 향상 시킬 수 있다.
- 3)저온에서의 변속성능을 향상 시키기 위해서는 낮은 저온점도가 가장 효과적이거나 내구성이 저하 되는 문제점이 있어 수동변속기유 제조시 첨가제에 종류와 함량에 대한 검토가 필요하다..

4)변속성능과 내구성을 동시에 향상 시킬 수 있는 연구를 토대로 저점도 무교환 수동변속기유를 개발할 수 있었다.

향후 개발되는 수동변속기는 소형화 고토크화 되며, 변속성능 향상이 요구되는 추세이므로 이에 대응하기 위해서는 적절한 기유의 선정과 극압성능과 씽크로마찰특성을 동시에 만족 시킬 수 있는 첨가제의 개발이 선행 되어야 할 것이다.

### 참고문헌

- 1.Shinichi Shirahama, Tetsuo Ohkawa, Development of Manual Transmission, '98 TVT Symposium, Yokohama.
- 2.K, Kubo, Tribology International, 19,(1986)
- 3.Kitanaka, M., Friction Characteristics of Some Additives in ATFs, 8th International Colloquium Tribology 2000,(1992)22.8-1
- 4.Hyun-Soo Hong, Yukio Kurihara, Nobuaki Kojima, Manual Transmission Fluid to Satisfy Global Market Need, Fuel & Lubes Asia Conference.(1999)

## 논문 발표

### Session III(A) 윤활공학 및 트라이볼로지 설계

깊은 직선 홈 시일의 윤활 성능해석 .....	193
비정규 높이 분포 표면의 탄성변형을 고려한 Flow Factor .....	201
Dynamic Characteristics of HDD Slider by Perturbated Direct Numerical Method .....	210
Shear thinning effects by Vll aced lubricant with in-situ optical viscometer .....	215
On-line Monitoring of Tribology Parameters and Faault Diagnosis for Disc Brake System .....	224
고속 전단유동에서 ER유체의 전기유변 특성 .....	229
자동차 자동변속기의 트라이볼로지 특성에 관한 고장 사례 연구 .....	235
다구짜 실험법을 이용한 O-링 형상의 최적설계 .....	241
A Study of Instrumented by Finite Elments Anaysis .....	248