

자동변속기유가 연비에 미치는 영향에 대한 연구

차상엽¹, 양시원²

1) 현대자동차(주) 연구개발본부, 2) SK 주식회사 대덕기술원

A Study for Effects of Automatic Transmission Fluid on Fuel Economy

SangYeob Cha¹, SiWon Yang²

1) Research & Development Division for Hyundai Motor Company & Kia Motors Corporation,
2) Daeduk Institute of Technology, SK Corporation

Abstract : In order to improve the fuel economy by design change of automatic transmission, various technologies such as increased shift stages, slip control of lock-up clutch and compact and low-weight design have been developed. And also many OEMs have developed their own ATFs as a part of these automatic transmissions. In this study, to investigate the effects of ATF characteristics on fuel economy, we got the worldwide OEM ATFs and made some reference fluids. And physical properties, frictional characteristics and fuel economy using dynamometer test for these fluids were evaluated. From the investigation, it was found that viscosities of ATFs are correlated with fuel economy in dynamometer test and reducing the viscosities made it possible to obtain fuel economy.

Keywords: ATF, Fuel Economy, Frictional Characteristics, Low Viscosity, LVFA and SAE No.2

1. 서론

최근 각 자동차회사나 자동변속기 전문업체에서 경쟁적으로 발표하고 있는 무단변속기의 용량 확대¹⁾, 6, 7 속 자동변속기의 개발^{2),3)}, 자동변속기의 소형화 및 경량화⁴⁾, Wet Start Clutch의 채택⁵⁾, Slip Lock-Up Clutch의 영역 확대^{6),7)} 등 자동변속기에 새롭게 적용되는 신기술들의 배경에는 연비향상을 통해 자사의 기술력을 제고하고, 소비자들의 선택을 얻기 위한 무한 경쟁의 결과라고 할 수 있다. 이와 맞물려 자동변속기의 각 부품들도 이러한 연비향상에 기여하기 위해 여러 각도의 노력을 기울이고 있다. 자동변속기유도 이러한 변화에 따라 저점도화^{8),9)}, 마찰특성의 고성능화, 내구성 강화 등이 요구되고 있다.

본 연구에서는 자동변속기유의 어떠한 특성들이 자동차의 연비향상에 기여하는지를 파악하기 위해 전 세계적으로 유명한 자동차 회사들이 개발하여 사용하고 있는 자동변속기유 순정유와 본 연구를 위해 자체 제작한 Reference 유를 대상으로 각종 물성 시험과 마찰특성 시험, 그리고 동력계를 이용한 연비시험을 통해 각 자동변속기유들이 가지고 있는 특성들이 연비와 어떠한 상관관계를 가지고 있는가를 파악하고자 하였으며, 그 과정에서 몇 가지 결론을 얻을 수 있었다.

2. 자동변속기유 및 실험

2.1 자동변속기유

Table1에 일본, 유럽 등의 자동차 회사들이 개발하여 사용하고 있는 자동변속기유 순정유와 본 연구를 위해 자체적으로 제작한 자동변속기유에 대한 성상을 나타내었다. ATF A, B, C, D, E는 현재 판매되고 있는 자동변속기유이며, Low Viscosity ATF는 ATF A에서 점도지수향상제를 제외하여

¹ 현대자동차 고분자재료연구팀
E-mail : sycha@hyundai-motor.co.kr
TEL : (031)368-7431 FAX : (031)368-7444
2 SK 주식회사 대덕기술원 윤활유 Lab
E-mail : swyang@skcorp.com
TEL : (042)866-7535 FAX : (042)866-7403

Table 1 실험대상 ATF 의 성상

Test Items	ATF A	ATF B	ATF C	ATF D	ATF E	Low Vis. ATF	High Vis. ATF
KV 40℃, cSt	33.95	36.71	33.59	26.82	23.50	23.92	59.18
KV 100℃, cSt	7.120	7.314	7.538	5.579	5.391	4.929	10.38
VI	180	169	202	153	176	134	166
HTHS @150℃, cP	2.41	2.46	2.77	2.02	2.05	1.80	3.25
Brookfield Vis, @-40℃ cP	13700	18500	11780	8500	7900	-	-
TAN, mgKOH/g	1.70	1.72	2.20	1.06	1.64	-	-
TBN, mgKOH/g	2.96	3.82	3.05	2.45	3.33	-	-
KRL(20Hr), @100℃ Vis Loss, %	19.4	20.5	14.5	2.7	4.3	-	-
Element, ppm	B	67	72	72	135	71	-
	Ca	86	115	60	348	95	-
	P	260	287	291	362	255	-
	Zn	T	T	T	33	T	-
	N	1785	2208	2226	1161	1982	-
	S	425	1684	352	726	642	-

점도를 낮게 설계한 시료이며, High Viscosity ATF 는 ATF A 에 사용되는 기유 점도를 높게 하여 점도를 높게 만든 시료이다.

2.2 점도특성

실험대상 자동변속기유의 점도특성과 연비와의 상관관계를 파악하기 위해 40℃, 100℃ 동점도와 고온고전단(150℃)하에서의 점도를 측정하였다.

Low Viscosity ATF 와 High Viscosity ATF 는 점도가 연비에 미치는 영향을 파악하고자 각각 100℃에서의 점도가 4.93, 10.38cSt 로 일반 자동변속기유보다 각각 점도를 낮고, 높게 설계하였다.

2.3 마찰실험

실험대상 자동변속기유의 습식클러치에서의 마찰특성과 연비와의 상관관계를 파악하기 위해 자동변속기유의 마찰특성을 평가하는데 많이 사용되고 있는 SAE No.2 와 LVFA(Low Velocity Friction Apparatus) 마찰시험기를 이용하여 마찰특성을 측정하였으며, 상세한 실험방법을 Table 2, 3 에 각각 나타내었다. SAE No.2 의 경우 In-House 방법을, LVFA 의 경우 JASO M349-2001(자동변속기유의 Shudder 방지 성능시험방법)을 기준으로 하되 일부 조건을 변경하여 실시하였다.

자동변속기유의 마찰특성을 평가하기 위해서 SAE No.2 시험에서는 동마찰계수(μ_d), 종마찰계수(μ_o), 동마찰계수와 종마찰계수의 비(μ_o/μ_d) 그리고 정마찰계수(μ_s) 정지시간(Stop Time)을, LVFA 에서는 마찰계수-속도 관계, 각 저속영역에서의 마찰계수절대값을 측정하고 있다.

본 실험에서는 이러한 여러 마찰특성 중 연비와 상관관계가 높을 것으로 예상되는 SAE No.2 에서

의 μ_d , μ_s , Stop Time 과, LVFA 에서의 각 저속영역에서의 마찰계수절대값을 일정 주기 마다 측정하여 연비시험과의 상관관계를 측정하고자 하였다.

2.4 연비실험

연비실험은 실험의 반복성과 변별력을 고려하여 샤시 동력계(Chassis Dynamometer)가 아닌 엔진 동력계(Engine Dynamometer)를 이용하여 측정하였고 상세한 실험조건을 Table 4 에 각각 나타내었다.

Table 2 SAE No.2 실험 조건

항목	조건
Friction Material	BWA 4300
Friction Material Size(o.d./i.d.), mm	127/104
Plate Arrangement(F= Friction Plate, S= Steel Plate)	S-F-S- S-F-S
Fluid Volume, L	0.20
Fluid Temperature, ℃	120
Inertia, kgm ²	0.343
Dynamic Test Speed, rpm	3,000
Static(Breakaway) Test Speed,	0.7
Apply Pressure, kPa	441
Cycle Length, s	30
Test Cycle	5,000

Table 3 LVFA 실험 조건¹¹⁾

항목	조건
Friction Material	D0580-3
Friction Material Size(o.d./i.d.), mm	126.7/104
Fluid Volume, L	0.10
Fluid Temperature, ℃	40,60,80,100,120
Pressure, kPa	1,000
Test Speed, rpm	150
Measuring rpm for friction coefficient	30,50,100,150
Measuring rpm for μ_d/μ_v	50

본 실험을 위해 자동변속기의 출력축을 한쪽으로만 동력이 전달될 수 있도록 디퍼렌셜 기어(Differential Gear)를 개조하고 자동변속기를 모터가 아닌 엔진으로 구동하여 자동변속기가 변속이 되도록 실험장비를 제작하였다.

Table 4 엔진동력계 실험조건

항목	조건
Test Engine	New EF Sonata 2.0L DOHC
Number of cylinder	4
Swept volume, cc	1997
Compression Ratio	8.6 : 1
Test Transmission	F4A42-1(HIVEC AT)
Coolant-in Temp., °C	80 ± 2
Engine Oil Temp., °C	90 ± 2
Transmission Oil Temp., °C	92 ± 2
Intake Air Temp., °C	25 ~ 28
Break-in, Hr	8
Measuring rpm for $d\mu/dv$	50

실험 시 변속모드는 Fig.1 과 Table 5 에 나타낸 바와 같이 1 속에서 4 속으로 그리고 다시 4 속에서 1 속으로 변속이 되도록 하였으며, 각 단수에서의 시간은 1 분으로 하여, 1 cycle 에 6 분씩 실험을 하였다. 이러한 실험조건으로 한 시료에 총 80 cycle(8Hr)을 실험하였고, 이 기간 동안의 실험에 소요된 가솔린 연료를 무게로 측정하여 연비를 계산하였다.

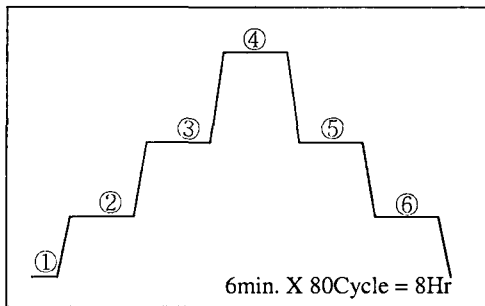


Fig.1 연비실험 모드

Table 5 연비실험모드 조건

Mode	속	Duration	E/G RPM	출력축 RPM	Torque(Nm)
①	1	60 초	1,000	90	100
②	2	60 초	1,250	230	50
③	3	60 초	1,535	300	50
④	4	60 초	2,010	650	50
⑤	3	60 초	1,340	300	50
⑥	2	60 초	1,085	230	50

3. 실험결과 및 고찰

3.1 점도특성 실험결과

Table 1 에서 ATF D, E 는 최근에 유럽과 일본에서 개발된 자동변속기유들로 100°C에서의 점도가 5.4~5.6cSt 정도로, 100°C에서의 점도가 7.0~7.5 cSt 정도인 ATF A, B, C 보다 상대적으로 낮으나, KRL 로 측정된 전단안정성에서는 상대적으로 ATF A, B, C 보다 전단비율이 적은 결과를 나타내었다. 이는 ATF D, E 가 신유에서의 40, 100°C 점도는 낮추었지만 전단안정성이 우수한 점도지수향상제를 사용하여 자동변속기내에서 사용 중, 점도 저하가 적게 되도록 설계한 것으로 판단된다.

3.2 마찰특성 실험결과

SAE No.2 시험기로 측정된 실험대상 자동변속기유에 대한 마찰계수 값들은 Cycle 이 진행되면서 변화되기 때문에 매 1,000cycle 마다 마찰계수 값들을 측정하였고, 그 결과를 Table 6 에 나타내었다.

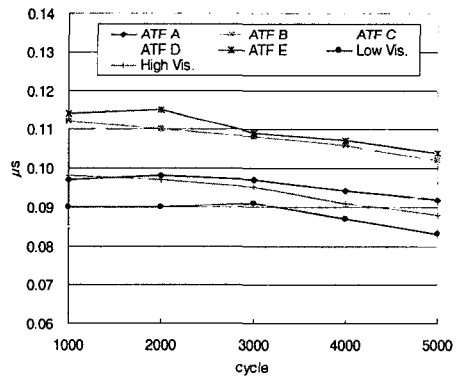


Fig.2 SAE No2 에서의 μs 변화

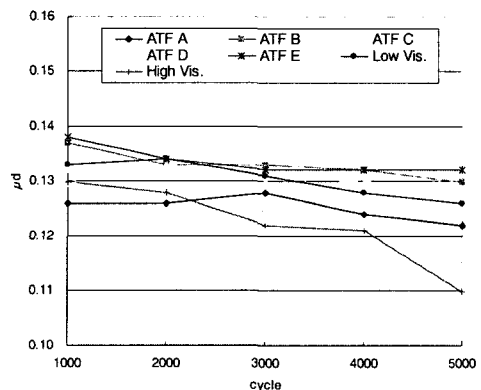


Fig.3 SAE No2 에서의 μd 변화

전반적으로 μs 값이 높으면, μd 값이 높으며, 아울러 Stop Time 도 짧아지는 경향을 나타내었다.

ATF A 에서 기유의 점도를 올려 제작한 High Viscosity ATF 의 경우 ATF A 대비 μs 에서는 변화가 없었으나 μd 에서는 Cycle 이 증가하면서 감소하는 경향을 나타내어, Stop Time 도 증가하는 경향을 나타내었다.

반면, ATF A 에서 점도지수향상제의 사용을 배제하여 제작한 Low Viscosity ATF 의 경우, ATF A 대비 마찰계수절대값이 μs 에서는 낮은 경향을 μd 에서는 높은 경향을 나타내어 전반적으로 Stop Time 에서는 감소하는 경향을 나타내었다.

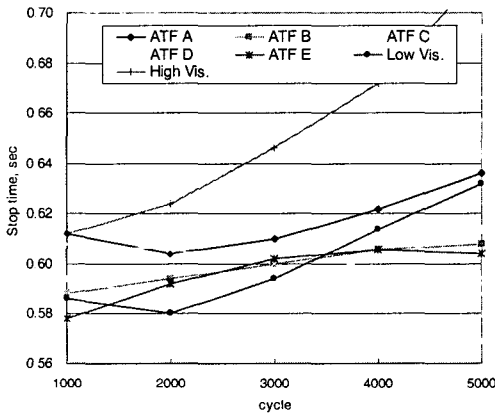


Fig.4 SAE No2에서의 Stop Time 변화

Table 6 LVFA에서의 마찰계수절대값

°C	m/s	ATF A	ATF B	ATF C	ATF D	ATF E
120	0.18	0.1195	0.1231	0.1330	0.1004	0.1168
	0.30	0.1221	0.1252	0.1359	0.1050	0.1193
	0.60	0.1255	0.1256	0.1359	0.1070	0.1201
	0.90	0.1252	0.1256	0.1354	0.1094	0.1195
100	0.18	0.1234	0.1198	0.1355	0.1049	0.1152
	0.30	0.1255	0.1232	0.1369	0.1093	0.1175
	0.60	0.1272	0.1244	0.1377	0.1118	0.1202
	0.90	0.1289	0.1250	0.1377	0.1115	0.1208
80	0.18	0.1271	0.1208	0.1363	0.1094	0.1166
	0.30	0.1297	0.1243	0.1384	0.1116	0.1198
	0.60	0.1297	0.1256	0.1380	0.1125	0.1218
	0.90	0.1252	0.1266	0.1390	0.1122	0.1225
60	0.18	0.1321	0.1265	0.1382	0.1137	0.1224
	0.30	0.1300	0.1296	0.1404	0.1144	0.1255
	0.60	0.1329	0.1287	0.1390	0.1127	0.1260
	0.90	0.1335	0.1327	0.1382	0.1111	0.1256
40	0.18	0.1351	0.1358	0.1438	0.1173	0.1307
	0.30	0.1372	0.1353	0.1427	0.1162	0.1315
	0.60	0.1349	0.1368	0.1455	0.1143	0.1321
	0.90	0.1380	0.1410	0.1483	0.1129	0.1275

한편, LVFA 로 측정된 각 온도와 속도에 따른 각 자동변속기유들의 마찰계수절대값을 Table 6 에 나타내었다. 전체적으로 온도가 낮아질수록 마찰계수절대값이 높아지는 경향을 나타내었으며, 속도에 따른 영향은 높은 온도에서는 속도가 빨라질수록 마찰계수절대값이 높아지는 경향을 많으나, 온도가 낮아지면서 이러한 경향은 적게 나타났다.

3.3 연비특성 실험결과

엔진동력계를 이용하여 측정된 각 자동변속기유들과 Reference Oil 에 대한 연비실험결과를 Fig.5 에 나타내었다. 각 자동변속기유에 대해 적어도 3 번 이상의 연비실험을 실시하였고, 그 평균값을 나타내었으며, 전체적으로 8Hr 당 11.3~12.4kg 정도 의 연료 소모량을 나타내었다.

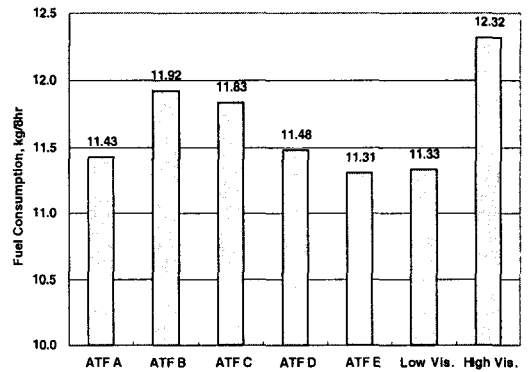


Fig.5 연비실험결과

3.4 각 특성과 연비실험결과와의 관계

자동변속기유의 각 특성이 연비에 미치는 영향을 파악하기 위해 먼저 점도특성과 연비와의 상관관계를 Fig.6, 7, 8 에 나타내었다.

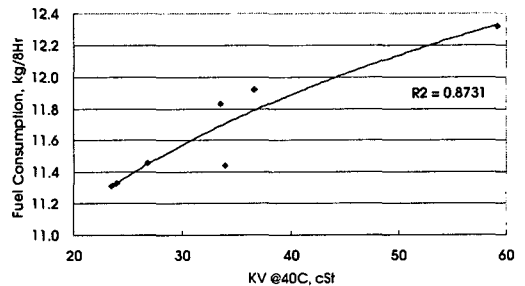


Fig.6 40°C 동점도와 연비와의 상관관계

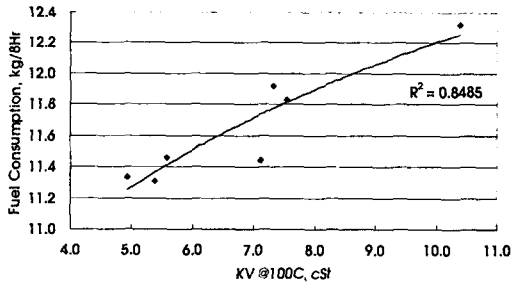


Fig.7 100°C 동점도와 연비와의 상관관계

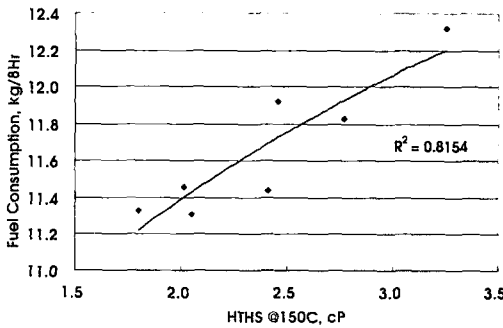


Fig.8 150°C HTHS 점도와 연비와의 상관관계

그림에서 보는 바와 같이 40°C, 100°C 동점도와 150°C HTHS 점도와는 각각 $R^2=0.8731$, 0.8485 , 0.8154 의 상관계수를 나타내었다. 전반적으로 점도특성과는 상관계수 $R^2=0.8$ 이상의 상관관계를 나타내었으며, 엔진 동력계로 연비를 측정시 Transmission의 온도가 $92\pm 2^\circ\text{C}$ 가 되도록 Control 하였으나, 40°C 동점도와의 상관관계도가 가장 높게 나타났다. 따라서 점도가 낮게 설계된 ATF D, E 그리고 Low Viscosity ATF는 상대적으로 연비에 유리함을 알 수 있었다.

ATF A의 점도를 조절한 Low Viscosity ATF와 High Viscosity ATF는 연비 실험에 각각 11.33과 12.32의 연료소모량을 나타내어 자동변속기유의 점도 조절을 통해 연비를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.

다음은 마찰특성과의 상관관계 여부를 파악하기 위해 SAE No.2로 측정한 각 Cycle에서의 마찰계수절대값과 Stop Time의 평균값과 연비와의 상관관계를 각각 Fig.9, 10, 11에 나타내었다.

그림에서 보는 바와 같이 연비와 SAE No.2로 측정한 마찰계수절대값인 μ_s , μ_d 와 Stop Time과 연비와의 상관관계도는 각각 $R^2=0.0196$, 0.2436 , 0.4516 으로 매우 낮았고, 그 중에서는 Stop Time과의 상관관계도가 상대적으로 높았다.

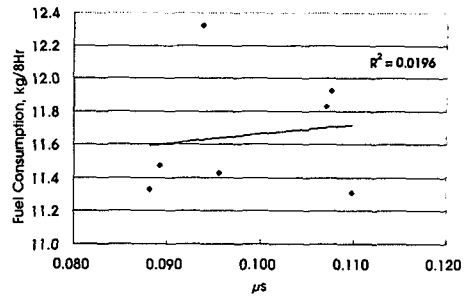


Fig.9 SAE No.2의 μ_s 와 연비와의 상관관계

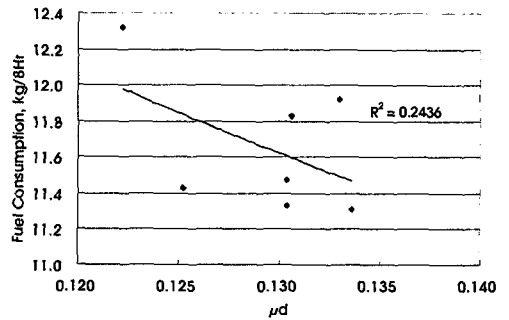


Fig.10 SAE No.2의 μ_d 와 연비와의 상관관계

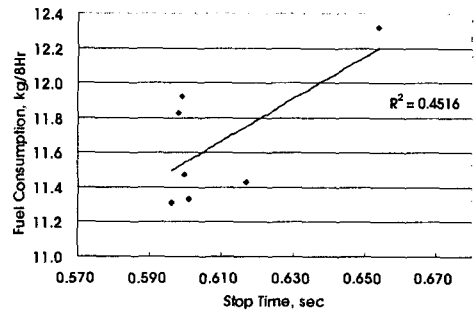


Fig.11 SAE No.2의 Stop Time와 연비와의 상관관계

끝으로, LVFA로 각 온도와 속도에서 측정한 마찰계수절대값과 연비와의 상관관계를 Table 7에 나타내었다. 상관계수값이 전반적으로 전 영역에 걸쳐 $0.1013\sim 0.1064$ 로 매우 낮았으며, 속도나 온도에 따른 상관계수값의 변화 경향도 보이지 않았다.

이러한 마찰특성과 연비시험결과와의 상관관계로부터 점도 변경이나 Hardware의 개선 없이 자동변속기유의 마찰특성 변경만으로 연비를 개선하기는 어렵다는 것을 알 수 있었다.

다만, SAE No.2로 측정한 Stop Time의 경우 다소 연비와 상관관계를 나타내고 있어 이 Stop

Time 이 작게 나타나는 자동변속기유가 연비 향상에 다소 기여할 가능성이 있음을 나타내었다.

Table 6 LVFA 에서의 마찰계수절대값과 연비와의 상관관계

온도, °C	속도, m/s	상관계수(R^2)
120	0.18	0.1045
	0.30	0.1041
	0.60	0.1030
	0.90	0.1028
100	0.18	0.1030
	0.30	0.1029
	0.60	0.1020
	0.90	0.1018
80	0.18	0.1018
	0.30	0.1019
	0.60	0.1015
	0.90	0.1027
60	0.18	0.1011
	0.30	0.1021
	0.60	0.1009
	0.90	0.1025
40	0.18	0.1022
	0.30	0.1013
	0.60	0.1030
	0.90	0.1064

4. 결론

자동변속기유가 연비에 미치는 영향을 파악하고자 점도를 포함한 물성실험, SAE No.2 마찰특성실험, LVFA 마찰특성실험, 그리고 엔진동력계 연비 실험을 실시한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

- (1) 자동변속기유의 점도특성과 엔진동력계로 측정한 연비와는 상관관계가 높아 자동변속기유의 점도특성이 자동차의 연비에 미치는 영향은 매우 크다는 것을 알 수 있었다.
- (2) 해외에서 새로 개발된 저점도형 자동변속기유는 연비에 유리함을 알 수 있었다.
- (3) 자동변속기유의 점도만을 조정하여 자동차의 연비를 향상시킬 수 있음을 알 수 있었다.
- (4) 자동변속기유의 마찰특성 차체는 연비와 상관관계가 매우 낮을 것을 알 수 있었으며, SAE No.2 로 측정된 μ_s 와 μ_d , 그리고 LVFA 의 마찰계수절대값보다 SAE No.2 의 Stop Time 이 상대적으로 연비와의 상관관계가 높은 것으로 나타났다.

참고문헌

1. G.Wagner, "CFT30-A Chain Driven CVT for FWD 6 Cylinder Application", SAE Paper 2004-01-0648.
2. Yoshinobu Nozaki, "Toyota's New Six-Speed Automatic Transmission A761E for RWD Vehicles", SAE Paper 2004-01-0650.
3. Juergen Greiner, "The new "7G-TRONIC" of Mercedes-Benz: Innovative Transmission Technology for Better Driving Performance, Comfort and Fuel Economy", SAE Paper 2004-01-0649.
4. Heribert Scherer, "ZF 6-Speed Automatic Transmission for passenger Cars", SAE Paper 2003-01-0596.
5. Chi-Kuan Kao, "Fuel Economy and Performance Potential of a Five-Speed 4T60-E Starting Clutch Automatic Transmission Vehicle", SAE Paper 2003-01-0246.
6. Ryo Ashikawa, "ATF Characteristics Required for the Latest Automatic Transmissions", SAE Paper 932849.
7. Takeo Hiramatsu, "Control Technology of Minimal Slip-Type Torque Converter Clutch", SAE Paper 850460.
8. Kazuo Yamamori, "Development of New Automatic Transmission Fluid for Fuel Economy", SAE Paper 2003-01-3258.
9. Osamu Kurosawa, "Development of the Fuel Saving Low Viscosity ATF", SAE Paper 2003-01-3257.
10. Nobuharu Umamori, "Study of Viscosity Index Improver for Fuel Economy ATF", SAE Paper 2003-01-3256.
11. JASO M349-2001 자동변속기유의 Shudder 방지 성능시험방법