

차량 운행에 따른 자동변속기유(ATF) 금속분 분석평가 연구

이정민^{*,**} · 임영관^{**} · 도진우^{**} · 정충섭^{**} · 한관욱^{**} · 나병기^{*,†}

^{*}충북대학교 화학공학과, ^{**}한국석유관리원 석유기술연구소

(2013년 12월 8일 접수, 2014년 4월 11일 수정, 2014년 4월 18일 채택)

A study on the evaluation of metal component in automatic transmission fluid by vehicle driving

Joung-Min Lee^{*,**} · Young-Kwan Lim^{**} · Jin-Woo Doe^{**} · Choong-Sub Jung^{**} · Kwan-Wook Han^{**} ·
Byung-Ki Na^{*,†}

^{*}Department of Chemical Engineering, Chungbuk National University,

^{**}Research Center, Korea Petroleum Quality & Distribution Authority

(Received 8 December 2013, Revised 11 April 2014, Accepted 18 April 2014)

요약

자동변속기유는 자동차의 자동변속기의 성능을 유지시키기 위해 사용되는 유체이다. 최근 자동차 제조사에서는 일반적으로 자동변속기유를 80000~100000 km 주행후 교환 또는 무교환을 보증하고 있지만 국내에서는 많은 운전자들이 50000 km 이하에서도 자동변속기유를 교환하고 있는 것으로 조사되었다. 빈번한 자동변속기유의 교환은 환경오염과 차량유지비용을 상승시키는 원인으로 작용되고 있다.

본 연구에서는 사용하지 않은 신유와 50000 km와 100000 km를 각각 주행한 뒤 회수된 자동변속기유를 대상으로 인화점, 연소점, 유동점, 동점도, 저온겔보기점도, 전산가, 금속분과 같은 물리적 특성을 분석하였다. 연구결과, 신유에 비해 사용유는 전산가, 유동점, 금속분이 증가되는 것을 확인하였지만, 두 종류의 사용유(50000 km, 100000 km)의 물리적 특성과 금속분 함량의 차이는 크지 않음을 알수 있었다.

주요어 : 자동변속기유, 교환주기, 유도결합플라즈마, 신유, 사용유, 금속분

Abstract - Automatic transmission fluid (ATF) is used for automatic transmissions in the vehicle as the characterized fluid. Recently, the vehicle manufacture usually guarantee for fluid change over 80000~100000 km mileage or no exchange, but most drivers usually change ATF below every 50000 km driving in Republic of Korea. It can cause to raise environmental contamination by used ATF and increase the cost of driving by frequently ATF change.

In this study, we investigate the various physical properties such as flash point, fire point, pour point, kinematic viscosity, cold cranking simulator, total acid number, and metal component concentration for fresh and used ATF after driving (50000 km, 100000 km). The result showed that the total acid number, pour point, Fe, Al and Cu component had increased than fresh ATF, but 2 kind of used oil (50000 km and 100000km) had similar physical values and metal component concentration

Key words : automatic transmission fluid, exchange cycle, ICP(inductively coupled plasma), fresh oil, used oil, metal component

[†]To whom corresponding should be addressed.

Dept. of Chemical Engineering, Chungbuk National University,
361-763, Republic of Korea

Tel : 043-261-2373 E-mail : nabk@chungbuk.ac.kr

1. 서 론

1796년 Cugnot에 의해 처음으로 증기엔진형태의 자동차가 개발된 이후 꾸준히 기술발전이 이루어지고 있으며, 우리 나라의 경우 1955년 시발자동차를 시작으로 자동차 산업이 급속도로 발전되어 현재(2013년도 기준) 1900만대 이상의 자동차 보급률을 보이고 있다[1,2]. 자동차의 생산, 판매량이 증가되면서 이와 함께 자동차 운행에 필요한 소모품 또한 증가되고 있으며, 자동변속기유(Automatic transmission fluid)는 엔진오일 다음으로 자동차 사용에 있어 대표적 소모품 중 하나이다[3].

자동변속기유는 엔진에서 발생하는 동력을 속도에 따라 필요한 회전력으로 바꾸어 전달하는 변속기(transmission)에 사용되는 윤활유로써 차량의 연비[4]와 변속기 성능에 영향을 미치기 때문에 변속기의 개발과 함께 개발된 변속기에 최적화된 자동변속기유 역시 개발, 적합화시키고 있다.

이러한 자동변속기유는 제품마다 일정한 교환주기를 명시하고 있으며, 장기간 교환하지 않을 경우, 오일 소모로 인한 오일 부족현상이 발생하여 적절한 동력전달과 윤활작용을 할 수 없으며, 오일을 구성하고 있는 기유의 전단에 의해 물성이 변해 자동변속기유의 성능이 저하될 수 있다[5]. 또한 장기간 산소와 수분에 노출된 자동변속기유는 쉽게 산화되며, 산화된 자동변속기유는 변속기를 구성하고 있는 금속의 부식과 고무류의 노화를 촉진시키며, 슬러지 형성에 의해 급격한 점도 변화를 유발시켜 변속기에 최적화 시킨 품질에 영향을 미칠 수 있다[6]. 하지만 자동변속기유를 적정 교환시기보다 빨리 교환할 경우 에너지 낭비와 함께 폐오일에 의한 환경오염이 유발될 수 있다[7].

최근 자동차기술과 자동차용 윤활유 성능의 비약적 발전으로 외국 자동차사 뿐만 아니라 국내 자동차사에서도 80000~100000 km주행 후 자동변속기유를 교환하거나, 무점검·무교환을 권장하고 있다[8]. 하지

만 한국석유관리원의 설문조사에 의하면 국내 자동차 사용자들의 76% 정도가 자동변속기유 교환주기에 대한 잘못된 정보 또는 자동차사가 권장하는 교환주기보다 빨리 자동변속기유를 교환하는 것으로 조사되었다[9].

자동변속기유를 2년에 1회 교환, 1회 교환 시 폐 자동변속기유가 10 L 발생된다고 가정할 경우, 국내 등록차량대수(2013년 기준 1900만여대 이상)를 고려, 연간 약 9천만 L의 폐 자동변속기유가 생성되며, 이렇게 생성된 폐 자동변속기유는 토양 및 지하수 등의 환경오염을 초래할 수 있다[10]. 또한 1회 교환비용을 100000원으로 가정할 경우, 국내 등록차량이 2년에 한번씩 오일교환을 할 경우, 연간 국내에서 약 900억원의 자동변속기유 교환비용이 소요된다. 현재 일반적인 자동변속기유 교환주기인 50000 km를 100000 km로 연장하였을 경우, 국가적으로 연간 약 450억원 이상의 비용이 절감되며, 폐 자동변속기유 생성량은 4500만 L를 줄일 수 있다. 이와 같이 짧은 자동변속기유 교환주기를 적정교환주기로 연장할 경우, 국가적인 비용절감 및 폐 자동변속기유에 의한 환경오염방지에 기여할 수 있다.

우리 연구팀은 이러한 이유로, 차량을 이용하여 실제 주행한 뒤, 회수된 자동변속기유(50000 km, 100000 km)와 사용하지 않은 신유에 대한 물성비교를 한 결과 신유에 비해 자동변속기유의 특성변화가 있었지만, 50000 km 주행 후 회수된 자동변속기유와 100000 km 주행 후 회수된 자동변속기유의 물성변화는 거의 미미했다고 보고하였다[12].

본 연구에서는 자동변속기유의 물성도 중요하지만 자동변속기유 내에 함유된 금속분도 자동변속기의 마모, 마찰을 증가시킬 뿐만 아니라, 산화를 가속화시키는 촉매역할을 하기 때문에 중요한 분석항목이라고 판단하였으며, 따라서, 본 연구에서는 신유와 사용 자동변속기유(50000 km, 100000 km)에 대한 금속분을 ICP를 이용해 분석하였다.

Table 1. Specification of ATF in Korea[11]

Item		Specification	
Flash point (°C)		Over 170	
Fire point (°C)		Over 185	
Kinematic viscosity (100 °C, mm ² /s)		Over 5.5	
Dynamic viscosity at -30 °C (g·m/s)		Below 5000	
Viscosity index		Over 120	
Pour point (°C)		Below -40.0	
Copper corrosion		Below 2	
Rust prevent (60 °C, 24 h, distilled water)		No rust	
Foaming characteristics	Sequence I (24 °C)	Foaming tendency	Below 100
		Foam stability	Below 0
	Sequence II (93.5 °C)	Foaming tendency	Below 100
		Foam stability	Below 0
	Sequence III (93.5 °C → 24 °C)	Foaming tendency	Below 100
		Foam stability	Below 0
Oxidation stability (150 °C / 96 h)	Ratio of viscosity	Below 1.2	
	Increase of TAN (mg KOH/g)	Below 2.0	
	Lacquer	No attachment	

2. 실험

2-1. 사용 자동변속기유 및 차량

본 연구에서 사용한 자동변속기유는 SK루브리컨츠에서 생산되는 ZIC ATF III를 이용하였다. 차량은 AJ렌터카에서 운영하고 있는 차량(소나타, 그랜저, 로체, 에쿠스, 스타렉스) 중 생산된 지 3년 이하(2011년 ~ 2009년)의 차량을 이용하였다.

2-2. 자동변속기유 물성분석[12]

동점도는 Cannon Instrument Company사의 CAV 2000 series의 Cannon 1257 유리제 모세관식 튜브를 이용하여 40 °C와 100 °C에서 ASTM D 445 방법에 따라 측정하였다. 모세관식 튜브에는 3개의 벌브(bulb)가 있으며, 벌브사이에 온도센서가 있어 시료 약 15 mL를 흡입 상승시킨 뒤, 시료가 중력에 의해 하강하는 시간을 온도센서로 감지함으로써 동점도가 측정된다.

저온점도특성은 Tannas Co Instrument사의 PLS 20312를 이용하여 13 mL의 시료를 취해

-30 °C에서 16시간 방치한 뒤, 회전자를 회전시켜, 회전자의 속도와 점도와의 함수관계를 이용하여 저온 점도 특성을 측정하였다.

인화점은 용기에 시료 70 mL를 채운 뒤, TANAKA사의 ACO-T601장비를 이용하여 클리브랜

드 개방컵(Cleveland open cup), KS M ISO 2592 방법에 준하여 분석하였다. 시료의 온도를 높이면서, 가열된 전기코일에 의해 인화되는 최저온도를 인화점으로 측정하였다. 연소점은 동일 장비를 이용하여 인화점을 측정 후, 가열을 계속하여 발생된 증기가 점화하면서 연소가 계속되는 온도를 연소점으로 측정하였다.

유동점(Pour point)은 ASTM 2500 방법에 의해 TANAKA사의 MPC-602를 이용하여 측정하였다. 4 mL의 시료를 용기에 채운 뒤, 45 °C로 가온한 후, 분당 1 °C의 속도로 냉각하면서 시료가 고체상으로 전환되어 유동되지 않는 온도를 유동점으로 측정(2.5 °C 단위로 측정)하였다.

전산기는 Metrohm사의 805 Dosimat을 이용하였으며, KS M ISO 6618방법에 의거해 분석하였다. 시료 1~2 g의 시료를 유리컵에 취한 뒤, 50 mL의 용매(Toluene : IPA : Water = 50 : 49.5 : 0.5)로 시료를 녹인 후, 0.1 N KOH를 이용하여 적정하여 전류값의 변환지점을 당량점으로 인식하여, 시료중의 전산가(TAN)를 분석하였다.

2-3. 유도결합플라즈마 분광광도계(ICP, inductively coupled plasma)를 이용한 금속분 분석

시료의 중금속 함량을 측정하기 위해 ICP-OES (Optima 2100DV, Perkin Elmer, USA)분석을 실시하였다. 표준용액(Multi element S-21, Conostan,

Canada) 0.5 ppm, 1.0 ppm, 5.0 ppm으로 검량선을 작성하였으며, 시료는 Kerosene (95%, Samchun Chemicals)을 사용하여 각각 10배 희석하여 측정하였다. 분석조건은 Table 2와 같다.

Table 2. Instrumental parameters and measurement conditions

Parameter	Condition
R.F.Power	1.3 kW
Gas flow rates	Plasma argon : 15 L/min
	Auxiliary argon : 1.0 L/min
	Nebulizer argon : 0.5 L/min
Solution uptake rate	0.8 mL/min
Number of replicates	2
Sample uptake time	15 sec
Post-wash time	50 sec

3. 결과 및 고찰

3-1. 저온점도특성, 동점도, 동점지수 분석

본 연구에서 사용된 6대의 차량에서 회수된 자동변속기유와 신유의 저온점도특성, 동점도, 점도지수를 측정하였다. Table 3에서 보는 바와 같이 저온에서 비뉴턴 유체(non-Newtonian fluid)인 자동변속기유의 저온점도특성 분석결과, 신유는 2260 g·m/sec를 보였으며, 사용유는 1627~2301 g·m/sec의 저온점도특성 분석값을 보였다. 자동차의 운전과정에서 변속기의 작동에 따른 자동변속기유의 전단(shear)에 의해 기유의 탄화수소화합물이 짧게 변하며, 이로 인해

낮은 저온점도특성을 보이는 것으로 판단된다. 점도지수는 온도변화에 따른 동점도 변화값을 지수화한 것으로 점도지수가 높을수록 온도변화에 따른 동점도 변화가 낮은 것을 의미한다. 따라서 온도변화가 심한 자동변속기유의 경우, 온도에 따른 동점도 변화를 최소화하기 위해 대부분 자동변속기유 내에 점도지수 향상제(viscosity index improver)를 일정 비율로 혼합하고 있다. 본 연구에 사용된 신유의 점도지수는 149값을 보였으며, 50000 km와 100000 km에서 회수된 사용자동변속기유의 경우 134~155로 신유와 큰 차이를 보이지 않음을 알 수 있었다. 하지만 동점도는 전단에 의한 효과로 신유에 비해 낮은 값이 분석되었다.

3-2. 인화점, 연소점, 전산가 및 유동점 분석

본 연구에서 사용된 6대의 차량에서 회수된 자동변속기유와 신유의 인화점, 전산가 및 유동점을 분석하였다. 분석결과 인화점의 경우, 신유는 210 °C를 보였지만 사용 자동변속기유는 192 ~ 208 °C를 보였으며, 신유의 연소점은 237 °C를 보인 반면 사용 자동변속기유는 213~228 °C를 보였다. 이처럼 신유에 비해 사용 자동변속기유의 인화점 및 연소점이 낮아지는 현상을 관찰할 수 있었는데, 이는 앞서 설명한 것과 같이 기유의 전단에 의해 저비점 물질들이 생성됨으로 인해 인화점이 낮아진 것으로 판단된다. 전산가는 오일 1 g에 함유된 산을 중화시키는데 필요한 KOH의 양(mg)을 의미하며, 전산가가 높을수록 오일 내에 함유된 산 함량이 높아, 금속과 고무류에 대한

Table 3. Specification of ATF in Korea[11]

Vehicle	Production Year	Mileage (km)	Low-temperature viscosity(g·m/sec)	Kinematic Viscosity(mm ² /s)		Viscosity Index
				40 °C	100 °C	
New oil	-	0	2260	39.07	7.196	149
NF SONATA	2009	100000	2149	26.37	5.309	139
		50000	2060	29.61	5.744	139
YF SONATA	2010	100000	2301	24.40	4.987	134
		50000	2050	26.87	5.442	143
GRANDEUR	2009	100000	2283	26.62	5.290	135
		50000	2080	30.14	5.826	140
Lotze	2009	100000	1922	26.84	5.382	140
		50000	1790	29.03	5.887	153
Equus	2010	100000	1627	27.37	5.386	135
		50000	1837	26.35	5.448	149
Starex	2010	100000	1907	31.42	6.212	151
		50000	1830	30.77	6.178	155

Table 4. Analysis of ATF Characteristics

Vehicle	Production year	Mileage (km)	Flash point (°C)	Fire point (°C)	TAN (mgKOH/g)	Pour point (°C)
New oil	-	0	210	237	1.0019	-52.5
NF SONATA	2009	100000	204	228	1.7574	-52.5
		50000	200	226	2.0843	-47.5
YF SONATA	2010	100000	200	219	2.0776	-50.0
		50000	194	223	4.6982	-47.5
GRANDEUR	2009	100000	202	217	3.8142	-55.0
		50000	192	217	5.8482	-50.0
Lotze	2009	100000	198	224	1.1251	-55.0
		50000	208	226	2.4356	-52.5
Equus	2010	100000	192	216	2.8423	-50.0
		50000	198	213	1.7479	-52.5
Starex	2010	100000	206	226	2.6115	-47.5
		50000	194	214	2.0678	-47.5

Table 5. Analysis of ATF Characteristics

Vehicle	Mileage (km)	P (mg/kg)		Ca (mg/kg)		Fe (mg/kg)		Cu (mg/kg)		Al (mg/kg)	
New oil		181		153		2		0		0	
NF SONATA	100000	142	▲	84	▲	192	▼	79	▲	55	▼
	50000	138		78		98		54		67	
YF SONATA	100000	143	▲	134	▲	25	▼	27	▼	13	▼
	50000	134		114		84		38		36	
GRANDEUR	100000	128	▼	123	▲	124	▲	34	▼	27	▲
	50000	137		96		98		43		21	
Lotze	100000	117	▼	134	▲	79	▼	72	▼	38	▲
	50000	134		120		94		81		24	
Equus	100000	138	▼	116	▼	134	▲	54	▲	34	▲
	50000	149		127		79		41		29	
Starex	100000	119	▼	98	▼	74	▼	64	▲	27	▼
	50000	137		124		97		39		34	

부식 정도를 높일 수 있다. Table 4에서 보는 것과 같이 신유에 비해 사용 자동변속기유는 산화에 의해 전산가가 증가됨을 볼 수 있었지만 50000 km와 100000 km에서 회수된 사용 자동변속기유의 경우 큰 차이를 보이지 않았다. 일반적으로 사용 윤활유의 전산가는 실온에서 방치할 경우, 계속적으로 산가의 증가가 관찰되는 것으로 알려져 있으며, 본 연구에서는 사용 자동변속기유 회수과정에서 다소 시간이 지연되어 실제 산가보다 좀 더 높게 분석되었을 것으로 추측된다. 저온에서 유동되지 않는 온도인 유동점은 신유는 -52.5 °C를 보였으며, 사용유는 -55.0 ~ -47.5

°C로 다소 높아지는 경향을 보였다.

3-3. 금속분 분석[13]

본 연구에서 사용된 6종의 차량에서 회수된 자동 변속기유와 신유 내에 함유된 금속성분을 ICP를 이용하여 분석하였다. 대상금속 성분은 윤활성향상제와 극압제로 사용된 Zinc dialkyldithio phosphate 내 P 과 Phenate나 sulfanoate의 금속계 청정분산제를 구성하는 Ca, 그리고 운전과정에서 변속기 구성품의 마찰로 형성된 마모성분으로써 Fe, Cu, Al를 분석하였다.

Table 5는 신유와 회수된 사용유 내 금속분을 ICP를 이용해 분석한 결과를 보여주고 있다. 사용하지 않은 신유에서 P는 측정과장 178.283에서 181 mg/kg, Ca는 317.933 nm에서 153 mg/kg을 보였으며, 사용유의 경우, 고온에서 P와 Ca의 파괴 또는 벽면에 코팅됨으로서 신유보다 낮은 농도를 보였다. 하지만 50000 km와 100000 km에서의 P와 Ca의 뚜렷한 변화는 찾아볼 수 없었다.

다음으로는 자동변속기유 내에 함유된 첨가제를 구성하고 있는 원소 외에 차량운행에 따른 변속기의 마모, 마찰을 통해 형성된 철, 구리, 알루미늄에 대한 분석을 하였다. 신유에서는 259.940 nm에서 2 mg/kg의 Fe이, 327.396 nm에서 Cu가 불검출, 396.153 nm에서 Al이 불검출되었으며, 사용 변속기유를 분석한 결과, 신유보다 많은 양의 Fe, Cu, Al이 검출됨을 확인하였다. 하지만 이들 금속 원소 역시 주행거리에 따른 차이는 볼 수 없었다. 따라서 자동변속기유의 물리적 특성뿐만 아니라 운행거리에 따라 생성되는 금속마모분 분석에 있어서도 주행거리(50000 km, 100000 km)에 따라 크지 않음을 알 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 자동변속기유 적정 교환주기를 유지하기 위해 6대의 차량을 이용해 50000 km와 100000 km를 주행한 뒤, 회수된 자동변속기유의 물성을 분석하였다.

분석결과, 신유에 비해 사용 자동변속기유의 저온점도특성, 동점도, 인화점, 연소점은 감소하였으며, 이는 자동변속기유의 전단에 의해 짧은 탄화수소화합물이 생성되었기 때문으로 판단된다. 전산가의 경우, 사용유의 산화에 의해 전산가의 증가가 측정되었으며, 유동점은 신유에 비해 다소 높아지는 경향을 보였다. 하지만 50000 km와 100000 km를 주행한 차량에서 회수된 사용 자동변속기유의 경우, 여러 물성(저온점도특성, 동점도, 인화점, 연소점, 전산가, 유동점)에서 주행거리와 큰 차이가 없다는 결과를 얻을 수 있었다.

자동변속기유 물성 외에 자동변속기유에 함유된 금속성분을 ICP를 이용해 분석한 결과, 자동변속기유의 첨가제에 함유된 금속원소는 신유에 비해 낮아지는 반면, 변속기를 구성하고 있는 Fe, Cu, Al성분은 증가하는 결과를 얻을 수 있었다. 하지만 이들 금속

원소 분석값에 있어서도 50000 km와 100000 km의 주행 후 회수된 자동변속기유에서 큰 차이점을 얻지 못했다.

따라서 현재 해외의 자동변속기유보다 뒤지지 않는 국내 자동변속기유의 성능을 고려할 때, 많은 운전자들이 50000 km 이하에서 교환하고 있는 자동변속기유를 자동차사에서 권장하고 있는 80000 ~ 100000 km까지 사용하더라도 큰 문제점이 없을 것으로 보이며, 이로 인해 국가적 비용절감 및 폐오일 절감에 따른 환경오염 방지에 큰 기여를 할 것으로 기대된다.

References

1. D. Antoni, V. V. Zverlow and W. H. Schwarz, *Applied microbiology and biotechnology*, 77, 23 (2007).
2. Korea Automobile Manufacture Association (<http://www.kama.or.kr/>)
3. Korea Lubricating Oil Industries Association (<http://www.kloia.or.kr/>)
4. S. Y. Cha and S. W. Yang, *Journal of the KSTLE*, 21(3), 12-148 (2005).
5. F. Qureshi, C. D. Tipton and M. E. Huston, *Tribology Series*, 39, 219 (2001).
6. F. Owrang, H. Mattsson, J. Olsson and J. Pedersen, *Thermochemica Acta*, 413, 241 (2004).
7. P. Agamuthu, O.P. Abioye and A. Abdul Aziz, *Journal of Hazardous Materials*, 179, 891 (2010).
8. Manual for regular inspection in Hyundai motor company (<http://www.hyundai.com/kr>)
9. Korea Petroleum Quality & Distribution Authority (www.kpetro.or.kr)
10. A. S. Abdul, T. L. Gibson, and S. F. Kia, *J. of Hydrology*, 121, 133 (1990).
11. Business act for quality standard, inspection method and inspection fee of petroleum product, Ministry of Commerce, Industry and Energy, 2011-302.
12. Y. K. Lim, C. S. Jung, J. M. Lee, K. W. Han, and B. K. Na, *Appl. Chem. Eng.*, 24(3),

274-278 (2013).

13. R. K. Winge, V. A. Fassel, V. J. Peterson, and M. A. Floyd, Inductively coupled plasma atomic emission spectrometry.