

자동변속기용 윤활기유

권완섭 선임연구원

(SK 대덕기술원 윤활유Lab.)

양시원 수석연구원 · 김경웅 교수*

(SK 대덕기술원 윤활유Lab., *KAIST 기계공학과)

자동변속기유(ATF)용 윤활 기유

2005. 10. 6.

권완선, SK주식회사 윤활유 Lab

양시원, SK주식회사 윤활유 Lab

김경웅, 한국과학기술원 기계공학과

Lubricants Symposium 2005, KSTLE

2005년 10월 6일 ~ 7일

목차

1. 자동변속기유(ATF) 동향
2. ATF 성능과 기유조성과의 관계
3. 사례 연구 1 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가
4. 사례 연구 2 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구
5. 결과 요약

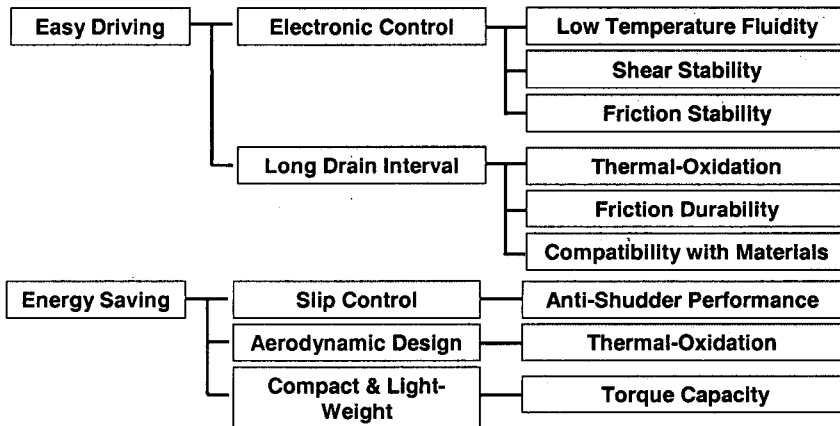
1. 자동변속기유(ATF) 동향

자동변속기 기술 동향과 ATF에 요구되는 특성

- Shift Quality Improvement
 - Slip control ----- Anti-shudder
 - Increased shift step ----- Torque capacity
 - CVT ----- Metal-metal friction
 - Shear stability
- Fuel Economy
 - Smaller transmission ----- Thermal stability
 - Load carrying capacity
 - Lock-up clutch ----- Friction characteristics
 - Low viscosity ----- Anti-wear
 - Shear stability
- Fill-for-Life
 - Longer oil drain interval ----- Oxidation stability
 - Transmission reliability ----- Anti-fatigue wear

1. 자동변속기유(ATF) 동향

자동변속기 기술 동향과 자동변속기유 에 요구되는 특성



1. 자동변속기유(ATF) 동향

- 자동변속기유 요구 성능
 - Fill-for-Life Capability
 - Improved Low Temperature Performance (< 10,000 cP)
 - Low Viscosity Fluids : (< 6.0 cSt)
 - Friction Stability
 - Anti-shudder Durability
 - Torque Capacity
 - Oxidation Stability

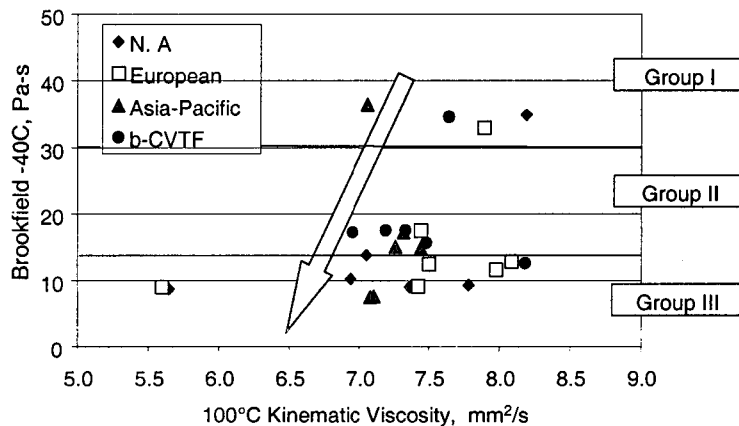
9-19-02

AT4 124

2. ATF의 성능과 기유 조성과의 상관관계

윤활 기유의 구성과 저온 점도와의 관계

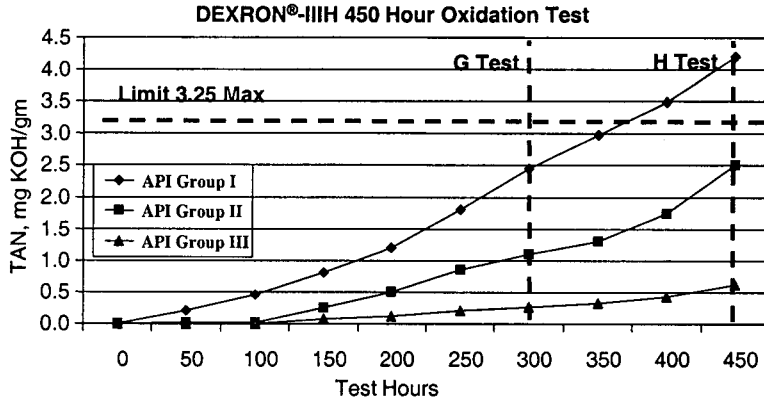
- 첨가제의 적절한 선택과 함께 윤활 기유의 성능이 매우 주요한 성능 인자임.



2. ATF의 성능과 기유 조성과의 상관관계

윤활 기유의 구성과 저온 점도와의 관계

- 첨가제의 적절한 선택과 함께 윤활 기유의 성능이 매우 주요한 성능 인자임.



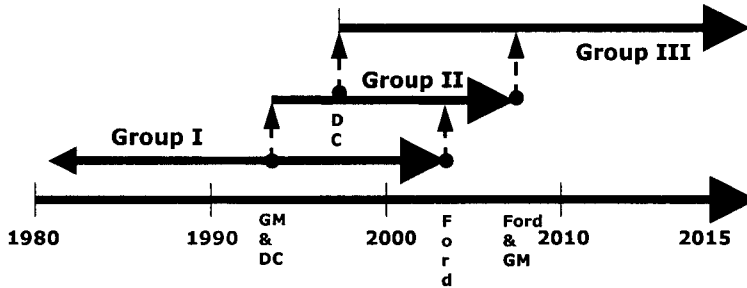
2. ATF의 성능과 기유 조성과의 상관관계

	Service Fill	Factory Fill
MERCON®	Group II	Group I (M2C 166H)
MERCON®-V	Group II or Group III	Group II+ (M2C 919E)
MERCON® SP	Group III Or Group II/IV	Group II/IV (M2C 919D)

GM Factory Fill	Base Oil
1994 Factory Fill (TX 1863)	Group I
1998 Factory Fill (RDL 2746)	Group II

2. ATF의 성능과 기유 조성과의 상관관계

ATF용 윤활기유의 성능 향상



향후 ATF

- Group II+ or Group III
- Shear Stable VM
- "Design-Specific" Custom Lubricants

3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가

목적 : 윤활기유가 ATF의 성능에 미치는 영향 파악 (API 기유 그룹간 비교)

사례 연구에 사용된 윤활기유의 성상

API Base Oil Classification	I	II	III	IV
Properties	BO-1	BO-2	BO-3	BO-4
Specific Gravity	0.864	0.855	0.834	0.819
Kinematic Vis. @ 40 ℃, cSt	20.08	20.2	19.57	17.1
@ 100 ℃, cSt	4.13	4.15	4.23	3.86
Viscosity Index	106	107	122	127
Flash Point, ℃	220	214	218	224
Pour Point, ℃	-10	-10	-15	-57
Sulfur, wt%	0.58	0.03	0	0
Aromatics by HPLC, vol%	27.7	3.5	0.6	0
Aniline Point, ℃	100	105	113	115

* Dexron III type 첨가제 사용 (Seal Swelling Agent 미포함)

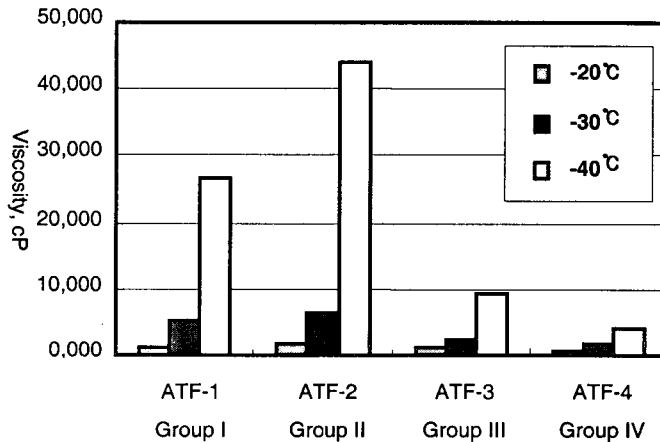
3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가

각각의 기유로 제조된 ATF의 일반 물성

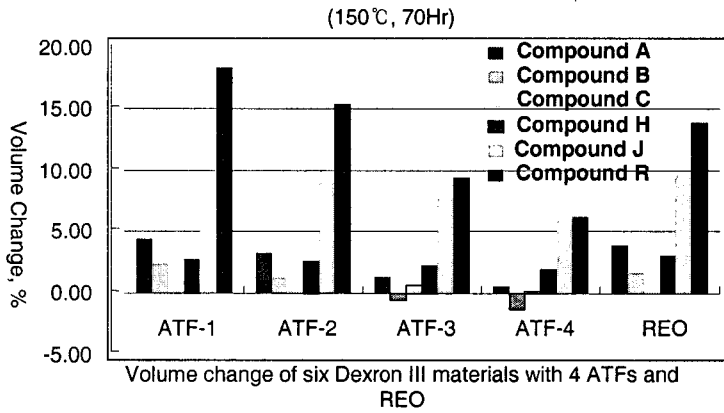
Properties	ATF-1	ATF-2	ATF-3	ATF-4	Dexron III Spec.	Mercon Spec.
Specific Gravity	0.8649	0.8605	0.8438	0.8309		
Kinematic Viscosity @40℃, cSt	37.65	36.73	33.42	29.41		
@100℃, cSt	7.67	7.647	7.382	6.836		Min. 6.8
Viscosity Index	179	184	196	204		
Brookfield Viscosity @-20℃, cP	1420	1570	1070	670	Max. 1,500	Max. 1,500
@-30℃, cP	5230	6140	2570	1520	Max. 5,000	
@-40℃, cP	26500	44250	9360	4150	Max. 20,000	Max. 20,000
Pour Point, ℃	-47.5	-45.0	-52.5	<- 52.5		
Aniline Point, ℃	100.8	106.6	115	119.8		
TAN, mgKOH/g	0.78	←	←	←		

3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가

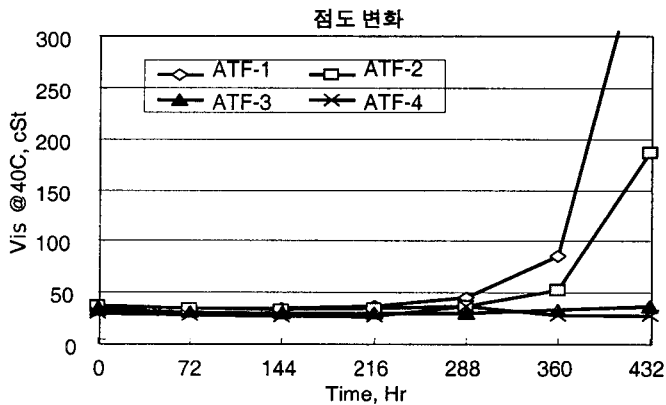
저온 점도 특성



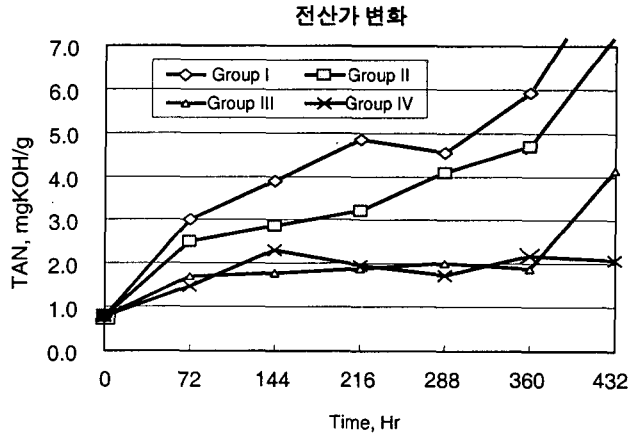
3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가
고무 적합성 평가 (Dexron III material 사용)



3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가
산화안정도 평가 (Beaker Oxidation Test)



3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가
산화안정도 평가 (Beaker Oxidation Test)



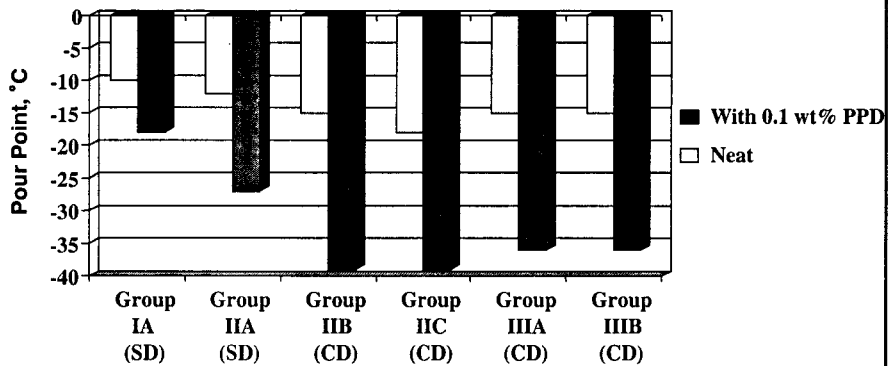
3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가

ATF 일반 일반 물성 평가 (Dexron VI급 첨가제 사적용)

기유 첨가제	Group IIA	Group IIB	YUBASE-4	PAO-4
Process	HT/ SDW	H.T/ CDW	H.C/ CDW	synthetic
KV @ 40°C, mm2/s	30.5	29.22	29.9	23.93
KV @ 100°C, mm2/s	6.031	5.909	6.066	5.315
VI	149	152	156	165
CCS, -30°C, cP	4590	3180	2830	1180
Pour Point, °C	-30	-48	-45	<50
BF, -40°C, cP	>100000	14500	11000	3200
BF, -30°C, cP	19800	3530	2900	1240

3. 사례 연구 : API 기유 분류에 따른 ATF 성능 평가

윤활 기유 제조공정이 유동점강하에 응답특성에 미치는 영향



4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

목적

- 자동 변속기유 배합식 설계시 기유 선정 방향 제시

연구 범위

- 저점도 및 고점도 수첨 분해 기유가 ATF 성능에 미치는 영향
 - Base oil slate includes 55N, 70N, 100N, 150N and 250N
 - API Group II, III
 - Constant feed source and process
- 100N 점도 등급에 맞게 **Dumbbell Blending**
 - Three prototypes identified
- 점도 특성 및 산화안정성에 중심
 - Base Oil with VM/PPD and fully formulated ATF
 - Diamond SP-III performance package
- 고무 적합성 및 마찰 특성 평가
 - Fully formulated ATF

4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

Properties of base oils

	YU-2	YU-3	YU-L3	YU-4	YU-6	YU-8
API Base Oil Classification	II	II	II	III	III	III
Specific Gravity (15°C/4°C)	0.8324	0.8324	0.8324	0.8364	0.8433	0.8454
KV* @ 40°C	7.618	12.73	13.34	20.58	38.11	47.3
KV* @100°C	2.228	3.138	3.031	4.345	6.615	7.668
Viscosity Index	97	108	100	120	129	129
Sulfur, mg/kg	< 3	< 3	<3	< 3	< 3	< 3
Aniline Point, °C	99.9	109.5	108.6	116.6	124.9	128.1
Pour Point, °C	-42	-24	-45	-12	-12	-15
Flash Point, °C	160	208	208	230	238	256

* KV : kinematic viscosity in mm²/s

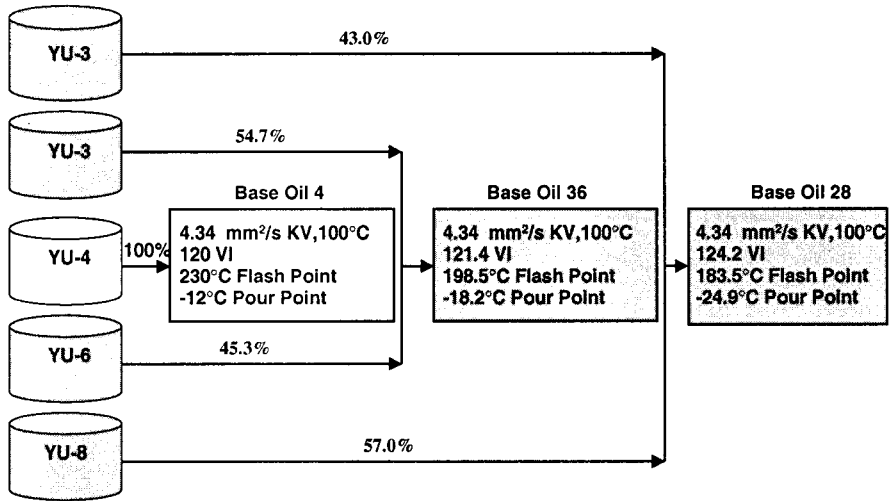
4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

- 수첨 분해 기유중 저점도 기유는 용제추출, 수첨 개질 파라핀 기유 및 나프텐 기유와 비교하여 장점이 있음.
- 저유동점, 고인화점, 고점도지수 및 안정성

API Group	I	II	V ⁽¹⁾	II ⁽¹⁾	V	V
Specific Gravity, 15.6°C	0.8514	0.8514	0.8719	0.8324	0.8883	0.9013
KV @ 40°C, mm ² /s	11.10	8.73	8.19	7.62	9.60	9.65
KV @ 100°C, mm ² /s	2.770	2.390	2.244	2.228	2.400	2.390
KV @ 100°F, SUS	65.8	56.6	54.6	52.5	60.0	60.2
Viscosity Index	86	87	72	97	50	45
Aniline Point, °C	-	96.0	84.5	99.9	71.1	69.0
Pour Point, °C	-18	-18	<-40	-42	-57	-57
Flash Point, °C	179	170	158	160	152	138

⁽¹⁾ Base Oil H part of API Group II slate; Base Oil A part of API Group III slate.

4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구



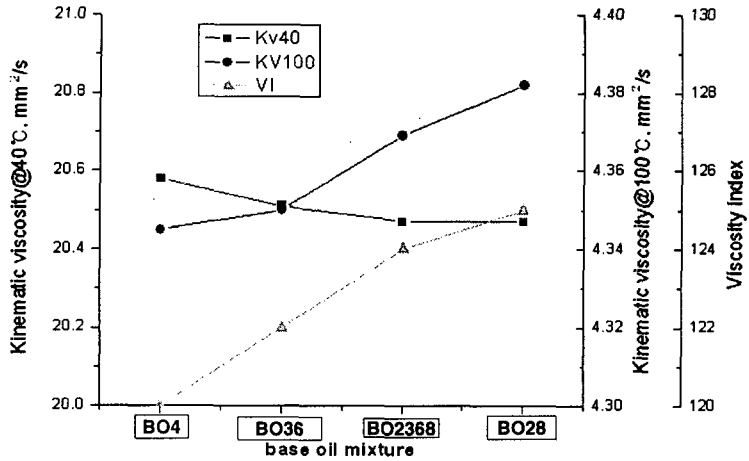
4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

Base Oil Blend의 성상

	BO4	BO 36	BO 2368	BO 28
YUBASE 2, 55N, wt%			21.7	43.4
YUBASE 3, 70N, wt%		55	27.5	
YUBASE 4, 100N, wt%	100			
YUBASE 6, 150N, wt%		45	22.5	
YUBASE 8, 250N, wt%			28.3	56.6
KV @ 40°C	20.58	20.51	20.47	20.47
KV@100°C	4.345	4.350	4.369	4.382
Viscosity Index	120	122	124	125
Aniline Point, °C	116.6	116.5	116.6	116.6
Pour Point, °C	-12	-18	-24	-21
Flash Point, °C	230	218	206	194

- Dumbbell blending : Higher VI (VI hop), lower pour point
- 아닐린점은 Dumbbell blending하여도 크게 변하지 않는다.

4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구



4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

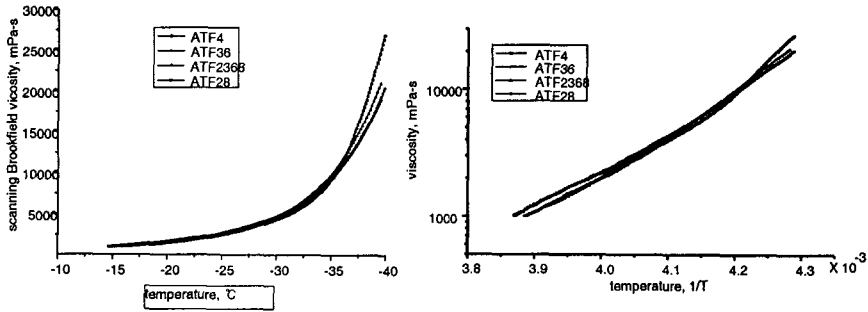
Dumbbell Blending 방법을 이용한 ATF 제조 (Diamond SP-III급)

- 저온 점도 특성 개선과 증발 감량 증가는 Trade-off 문제임.
- 어느 정도 수준의 수준의 Dumbbell blending 을 할 것인가 ?

	ATF-4	ATF-36	ATF-2368	ATF-28
Specific Gravity, 15.6°C	0.8459	0.8469	0.8479	0.8489
KV @ 40°C, mm²/s	36.41	36.39	36.28	36.33
KV @ 100°C, mm²/s	7.570	7.566	7.565	7.604
Viscosity Index	183	183	183	185
Flash Point, °C	224	220	210	196
Pour Point, °C	<-45	<-45	<-45	<-45
BF @ -40°C, mPa-s	11960	10340	9300	8800
BF Improvement vs Ref, %	0 (Ref)	13.5	22.2	26.4

4. 사례 연구 : 수침 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

저온 점도 특성 평가 : Scanning Brookfield viscosity 측정



4. 사례 연구 : 수침 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

점도지수 향상제 응답 특성

Base Oil Identification	BO4	BO36	BO2368	BO28
1. DPMA @ 5.9 wt%				
KV @ 40°C, mm ² /s	31.71	31.63	31.57	31.61
KV @ 100°C, mm ² /s	6.972	6.981	7.025	7.026
Viscosity Index	190	191	194	194
Specific Viscosity @ 40°C	0.5408	0.5422	0.5422	0.5442
BF @ -40°C, mPa-s	7660	7480	6500	5560
2. PMA @ 7.1 wt%				
KV @ 40°C, mm ² /s	27.33	27.32	27.33	27.39
KV @ 100°C, mm ² /s	6.168	6.171	5.186	6.225
Viscosity Index	186	186	188	188
Specific Viscosity @ 40°C	0.3279	0.3320	0.3351	0.3381
BF @ -40°C, mPa-s	10100	8680	6600	5700

4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 **Dumbbell Blending** 연구

증발감량(NOACK) 시험후 ATF Blend의 점도 특성

- NOACK 증발 감량은 저점도 기유의 투여량과 Chemical type에 의해 결정된다.
- NOACK 증발 감량 시험후의 점도를 고려한 Base Oil 혼합비 최적화가 요구된다.

ATF Identification	ATF-4	ATF-36	ATF-2368	ATF-28
Evaporation Loss, wt%	0.81	1.56	3.16	5.06
KV @ 40° C, mm ² /s	36.08	36.87	38.48	40.12
KV @ 100° C, mm ² /s	7.921	8.002	8.488	8.856
Viscosity Index	200	198	207	210
BF @ -40° C, mPa-s	12400	10800	10140	10340
BF increase @ -40° C, mPa-s	440	460	840	1540

NOACK test condition : 150° C, 20mm H₂O, 2h

4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 **Dumbbell Blending** 연구

ATF 산화안정성 평가

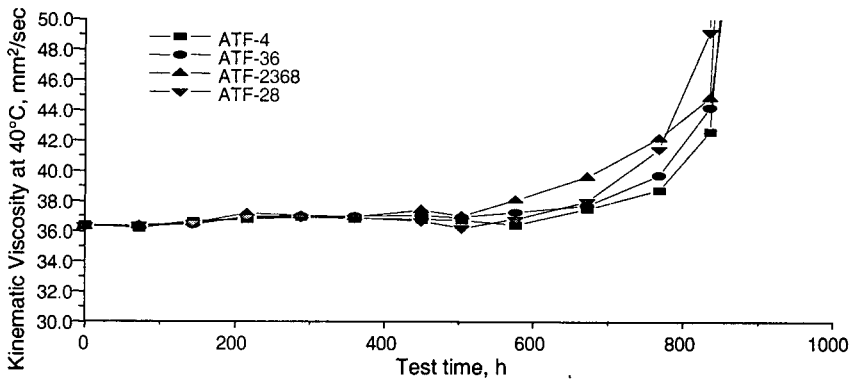
- BOT : Ford사의 ABOT procedure에 기초를 시험 방법
 - 윤활유의 추가적인 보충 없이 정기적으로 샘플링
 - 채취된 시료는 동점도와 전산가 및 적외선분광분석법으로 Absorbance 측정
 - 시험 기간 연장을 통한 시료간 성능 차이 확인

	BOT	ABOT
Temperature, °C	155	155
Catalyst	Cu/Fe Wire	Aluminum Beaker Cu/Al Strip
Air, L/h	10	0.3
Oil Volume, ml	300	250
Time, h	432/1004	300/450



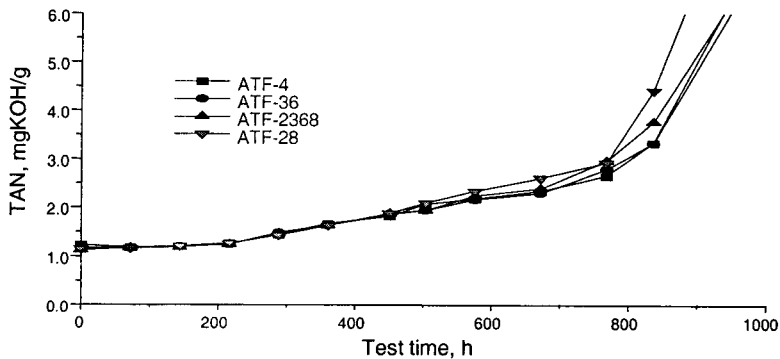
4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구
ATF 산화안정성 평가

- 4개 시료 모두 432시간(규정시험기간)까지 양호한 상태 유지
- 500시간 이후 시료간 차이가 관찰 됨.
 - 55N의 투입이 산화안정성에 영향을 주고 있으나 차이는 영향은 크지 않음.

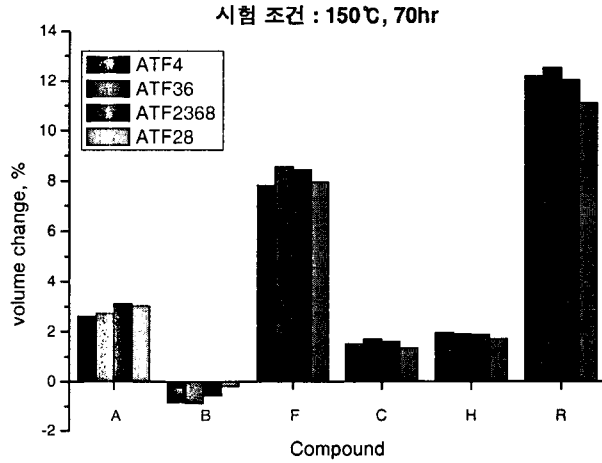


4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구
ATF 산화안정성 평가

- 4개 시료 모두 432시간(규정시험기간)까지 양호한 상태 유지
- 500시간 이후 시료간 차이가 관찰 됨.
 - 55N의 투입이 산화안정성에 영향을 주고 있으나 차이는 영향은 크지 않음.



4. 사례 연구 : 수점 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구
고무 적합성 평가



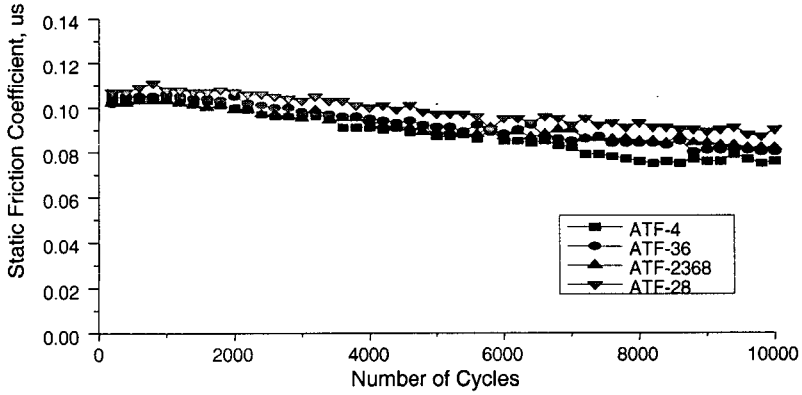
마찰 특성 평가 : SAE #2 시험 조건

Item	Condition
Friction Material	BWA4300
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
Energy, J	16,909
Inertia, kgm ²	0.343
Dynamic Test Speed, rpm	3,000
Static(Breakaway) Test Speed, rpm	0.7
Apply Pressure, kPa	441
Gross Friction Area, mm ² (per surface)	12,503
Net Friction Area, mm ²	13,228
Test Cycle	10,000
Energy per Total Net Friction Area, J/mm ²	1.013
Cumulative Energy Absorbed During Complete Test, kJ	169,090
Test Severity Index	2.56

4. 사례 연구 : 수침 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

마찰 특성 비교

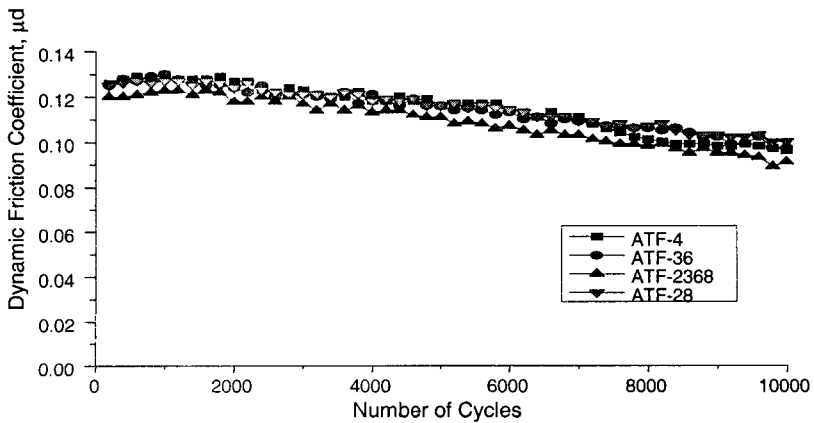
Dumbbell blending은 마찰 특성에 큰 영향을 미치지 않음.



4. 사례 연구 : 수침 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

마찰 특성 비교

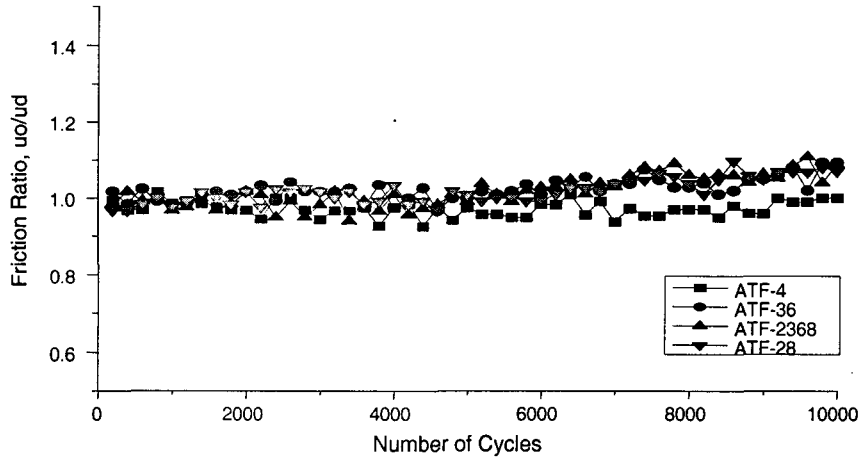
Dumbbell blending은 마찰 특성에 큰 영향을 미치지 않음.



4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

마찰 특성 비교

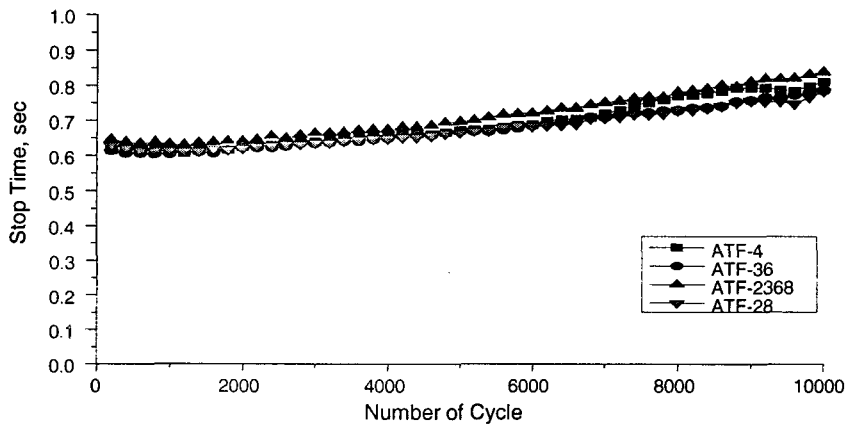
Dumbbell blending은 마찰 특성에 큰 영향을 미치지 않음.



4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

마찰 특성 비교

Dumbbell blending은 마찰 특성에 큰 영향을 미치지 않음.



4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

SAE #2 평가 전후의 점도 특성 변화

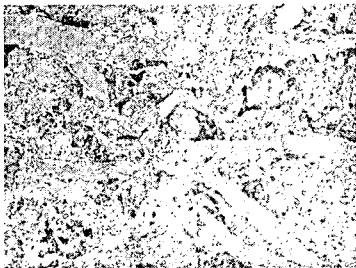
- Dumbbell blend ATF(SAE-O, SAE-P) 의 점도 변화가 제일 적음.
- 증발에 의한 점도증가와 점도지수항상제 파단에 의한 점도감소가 서로 보상됨.

	SAE-4	SAE-36	SAE-2368	SAE-28
KV @ 40°C, m ² /sec	29.97	30.70	30.63	31.13
KV@100°C, m ² /sec	6.17	6.32	6.41	6.48
Viscosity Index	161	163	169	168
TAN, mg KOH/g	0.91	0.88	0.91	0.89
BF @ -40°C, mPa-s	9680	8020	7860	7600
BF Change, mPa-s (%)	-2280(19.1)	-2320(22.3)	-1440(15.5)	-1200(13.6)

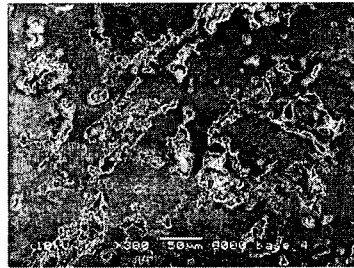
4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

마찰 시험 전후의 Friction Plate 표면 상태

- 마찰 시험후의 Friction Plate의 표면은 공극이 막힌 상태임.
- 표면의 일부는 검은색으로 변화하였으며 이로부터 고온에 노출 되었음을 알 수 있음.
- 미사용 Friction Plate의 표면은 공극이 매우 많은 상태임.



Fresh friction plate



Worn surface after
SAE No.2 test, ATF-4

4. 사례 연구 : 수첨 분해 기유를 적용한 Dumbbell Blending 연구

결과 요약

수소 첨가 분해 반응 기유의 Dumbbell Blending 연구 결과는 다음과 같다.

1. 저점도 기유와 고점도기유의 Dumbbell Blending을 통하여 제조된 ATF는 Dumbbell Blending 방법을 적용하지 않는 경우(기준유)와 비교하여 점도 특성이 우수하였다.
2. 저점도 기유 적용은 점도 특성 측면에서 우수하나 증발 감량 측면에서 열세이므로 Dumbbell blending 의 정도(Severity)는 목표로 하는 ATF 성능에 맞게 최적화 되어야 한다.
 - 수소첨가분해반응으로 제조된 저점도 기유는 다른 제조공정으로 제조된 기유와 비교하여 높은 인화점, 낮은 증발성 및 우수한 점도 특성을 나타내어 ATF적용이 용이하다.
3. Dumbbell Blending 을 통하여 제조된 ATF는 기준유와 유사한 고무적합성 및 마찰 특성을 나타내었다.
 - Dumbbell Blending 을 통하여 제조된 ATF는 기준유와 비교하여 산화안정성이 우수하지 못하나 API Group I 또는 group II 기유를 적용한 경우와 비교하여 매우 우수한 성능을 나타내었다.

5. 결과 요약

1. 자동변속기유에 요구되는 점도 특성 및 산화안정성이 강화됨에 따라 고급 기유의 적용이 필요하다.
2. API 기유 분류에 따른 성능을 비교함으로써 API Group III 기유의 우수성을 확인하였다.
 - API Group III 기유는 우수한 점도 특성 및 산화안정성을 나타내었다.
3. 수소첨가반응기유의 Dumbbell Blending 연구를 통하여 보다 우수한 성능의 자동변속기유를 제조 할 수 있는 방법을 제시하였다.