특 집

자동차 Engine Seal의 내구성 향상을 위한 기초연구

이 동 원

1. 서 론

엔진은 동력을 만들어 내는 자동차의 심장으로써 기본동작은 흡입 - 압축 - 폭발 - 배기의 4단계로 이루어진다. 엔진은 연료에 따라 가솔린, 디젤, LPG로 나누고 구조와 작동방식에 의해 세분화 된다. 환경보호와 경제성을 높이기 위해 compact하고 가볍고 연소효율이 좋은 방향으로 발전하고 있다. 또한 첨단의 엔진출력 강화기술, 엔진소음 극소화기술, 엔진내구성 강화기술 등의 고도의 기술들이 속속 개발되고 있는 실정이다. 그러므로 engine seal 부품 또한 엔진이 compact 화 되면서 엔진 room의 온도가 상승되어 보다 우수한 내열성이 요구되고 가혹한 사용조건들로 인하여 내구성의 향상도 필요한 조건이라 하겠습니다.

따라서 자동차 생산업체에서는 엔진에 사용되는 주요 부품인 engine oil seal에 대하여 내구성향상을 요구하게 되었고 현재는 10년 10만 마일 보증에 대한 검토가 되고 있는 단계이다. 이렇게 외부환경이 변해가는 추세속에서 업계의 요구에 대응하기 위해서는 내구성이 향상된 oil seal의 개발필요성이 대두되고 있다.

본 연구에서는 기존 또는 미래 자동차업체의 요구를 만족시키기위한 engine seal의 재료개발에 목표를 두고 기존 배합제와 polymer의 조성을 시행오차법으로 비교 연구한 것이다.

2. 본 론

2-1. 연구배경

2-1-1. Engine 변화 동향

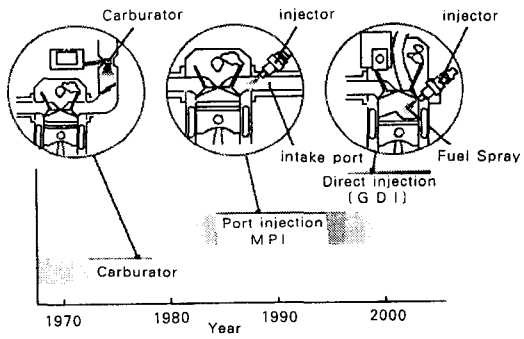


그림 1. Progress toward higher output.

엔진의 변화방향은 그림에서도 알 수 있듯이 caburator 방식에서 다점분사방식인 MPI(multi-point injection)으로 최근에는 연료직접분사방식인 GDI(gasoline direct injection)으로 변경되는 추세에 있다.

이동원

1987 영남대학교 공과대학 공업학과 졸업

1987~ 평화오일썰공업주식회사 현재 기술연구소 재료개발팀장

2-1-2. 현재 자동차용 Seal 재료 적용동향

표 1. Seal재료 적용동향

구분 / 장착개소	일 본	한 국	미 국
Engine Rear	FKM	FKM	FKM
Engine front	FKM	FKM	FKM
Cam Shaft	FKM	FKM	FKM
Valve stem seal	FKM	FKM	FKM
Transmission	ACM	ACM	ACM
Diffside	NBR	NBR	NBR

현재 세계적으로 적용되고 있는 자동차용 seal의 적용현황을 살펴보면 engine의 경우 rear, front 모두 FKM을 적용하여 사용하고 있고 cam shaft, valve stem seal 또한 FKM으로 적용되고 있다.

한편 transmission, diffside seal은 ACM, NBR 등으로 적용되고 있는 실정이다. 본 연구에서는 engine rear 및 front seal 재료로 사용되고 있는 FKM 재료의 개선을 통하여 내구성을 개선해 보고자 한다.

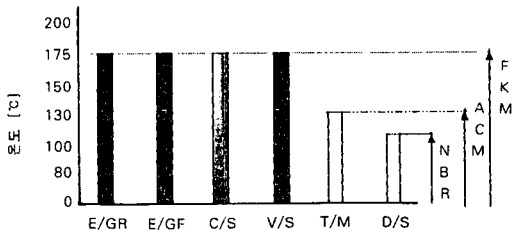


그림 2. GDI engine의 seal 종류별 온도환경.

2-1-3. 현재 사용되는 고무재료의 부적합사항

1) 엔진오일 maker별 조성차이에 의한 부적합 사항

각 엔진오일 maker별 고무재료에 대한 영향이 일관적이지 않고 서로 다르게 나타나는 것

표2. Maker별 Engine Oil과 고무재료와의 관계

Material				Gasoline Engine Oil						Diesel Engine Oil			
재질	시험조건		항목	A사	B사	C사	D사	E사	F사	A사	B사	C사	G사
FKM	175℃	70hrs	Hs변화	+3	+1	+2	+2	+2	+2	+1	+4	+2	+2
			Vol변화(%)	+1.8	+1.5	+1.1	+1.5	+2.0	+1.1	+1.1	+1.1	+1.1	+1.3
		140hrs	Hs변화	0	0	+1	+1	+1	+2	+1	+2	+2	0
			Vol변화(%)	+2.8	+1.7	+1.9	+1.5	+1.8	+1.9	+1.4	+1.3	+1.5	+1.5
		1000hrs	Hs변화	+3	+1	+4	+3	+3	+4	+3	+3	+2	+2
			Vol변화(%)	+3.1	+2.0	+2.0	+1.4	+2.1	+2.0	+1.3	+1.1	+1.6	+1.8
NBR	120℃	70hrs	Hs변화	+1	-3	-4	-1	-3	-2	0	-1	-1	-1
			Vol변화(%)	+1.3	+1.9	+2.6	+1.0	+1.4	+1.4	+0.3	+0.5	+1.1	+0.9
		140hrs	Hs변화	+6	+1	0	+5	+2	+5	+1	0	0	+2
			Vol변화(%)	+2.2	+1.3	+2.7	+0.7	+1.5	+1.5	-0.3	+0.7	+1.2	+1.5
		1000hrs	Hs변화	+4	+3	0	+5	+2	+4	+3	+3	0	0
			Vol변화(%)	+3.4	+0.7	+2.7	+0.1	+1.5	+0.8	-0.9	+0.4	+1.4	+1.5
ACM	150℃	70hrs	Hs변화	-5	+1	0	+1	+2	+1	+2	+2	+1	-2
			Vol변화(%)	+6	+2.2	+3.1	+1	+1.8	+2.4	+1.0	+1.5	+2.1	+3.0
		140hrs	Hs변화	+6	+6	+4	+6	+6	+4	+6	+7	+6	+7
			Vol변화(%)	+0.7	+1.5	+3.0	+0.6	+1.4	+1.3	+0.4	+1.1	+1.6	+1.4
		1000hrs	Hs변화	+8	+7	+7	+8	+7	+9	+8	+8	+8	+9
			Vol변화(%)	+0.9	+1.2	+2.5	+0.6	+0.8	+0.9	-0.7	-0.2	+1.2	+0.5

으로 미루어 볼 때 엔진오일 Maker별 오일조성이 서로 다름을 알 수 있으며 이로 인하여 발생하는 업체불만족을 해소하기 위해서는 엔진오일별, maker별에 따른 충분한 검토가 이루어져야 한다는 것을 나타내고 있다.

2) 엔진오일 첨가제별 영향

엔진오일 내부첨가제는 엔진내부 즉 피스톤과 실린더등의 표면을 코팅해 윤활성을 높이고 마찰과 마모를 줄여 엔진의 수명과 성능을 높이는 재료를 말한다. 이러한 엔진오일 내부첨가제는 엔진의 연비를 증강시키고 출력을 향상시킬 뿐만 아니라 저소음, 배기가스 감소에도 효과가 있다고 할 수 있다. 그러나 이러한 내부첨가제의 오용 및 남용으로 인하여 고무 재료에 악영향을 미치는 있는데 표 3의 시험결과

표 3. 첨가제별 시험결과

시간 \ 구분			사용유						비고
			10W30	A	B	C	D	E	
NBR	70hrs	⊿Hs	-2	-4	-3	-3	-3	-3	100℃
		⊿Vol	1.2	1.4	1.9	4.4	3.1	3.9	
	500hrs	⊿Hs	1	1	0	1	-2	-2	
		⊿Vol	0.3	0.8	0.6	0.7	1.8	1.6	
	100hrs	⊿Hs	4	6	3	6	3	2	
		⊿Vol	0.2	-1.4	-0.4	0.3	1.3	1.5	
FKM	70hrs	⊿Hs	-1	-2	-2	-1	-2	-2	175℃
		⊿Vol	5.4	1.8	1.9	6.1	2.1	3.8	
	500hrs	⊿Hs	-1	0	0	3	1	3	
		⊿Vol	1.8	1.5	1.9	7.7	2.5	5.7	
	100hrs	⊿Hs	1	1	1	3	3	3	
		⊿Vol	2	1.4	2.3	8.9	2.6	5.3	
ACM	70hrs	⊿Hs	-7	-4	-6	-10	-8	-10	150℃
		⊿Vol	2.9	2.9	3.3	4.5	4.1	5.4	
	500hrs	⊿Hs	2	0	0	9	-2	3	
		⊿Vol	2.4	2.4	2.3	-3.5	3.8	-1.3	
	100hrs	⊿Hs	3	1	2	경화	0	경화	
		⊿Vol	2.5	2.3	2.7	E.G	3.3	E.G	
VMQ	70hrs	⊿Hs	-15	-17	-14	-17	-16	-23	150℃
		⊿Vol	-4.3	-4.8	-4	0.3	-1.1	1.2	
	500hrs	⊿Hs	-19	-19	-20	-29	-21	-43	
		⊿Vol	21.4	21.2	21.3	-3.2	21.8	24.2	
	100hrs	⊿Hs	-25	-27	-28	연화	-27	연화	
		⊿Vol	0.2	-1.4	-0.4	E.G	19.3	E.G	
HNBR	70hrs	⊿Hs	6	7	5	3	4	2	120℃
		⊿Vol	-4.3	-4.8	-4	0.3	-1.1	1.2	
	500hrs	⊿Hs	4	9	9	9	9	8	
		⊿Vol	-6.8	-6.1	-5.7	-4.4	-4.9	-5.2	
	100hrs	⊿Hs	11	11	9	9	10	9	
		⊿Vol	-6.8	-6.5	-5.9	-3.9	-4.9	5.5	

를 살표보면 가솔린 엔진오일 10W30을 사용한 것과 엔진오일에 각종 첨가제를 포함한 A~E의 시험유로 시험한 결과 같은 재질에서도 첨가제의 종류 및 조성에 따라 물성의 변화가 심함을 알 수 있다.

3) 엔진오일의 점도 영향

엔진오일의 경우 점도가 낮은 방향으로 변화되고 있으며 그 이유는 구동접촉부위의 마찰저하를 유도하여 연비향상을 주목적으로 하고 있다. 하지만 오일의 저점도화는 고무재료에 영향을 주어 고무의 팽윤현상을 초래하고 제품의 마모 torque를 저하시키며 조임량, 내마모성을 저하시켜 lip의 파손 및 변형을 초래하게 됩니다.

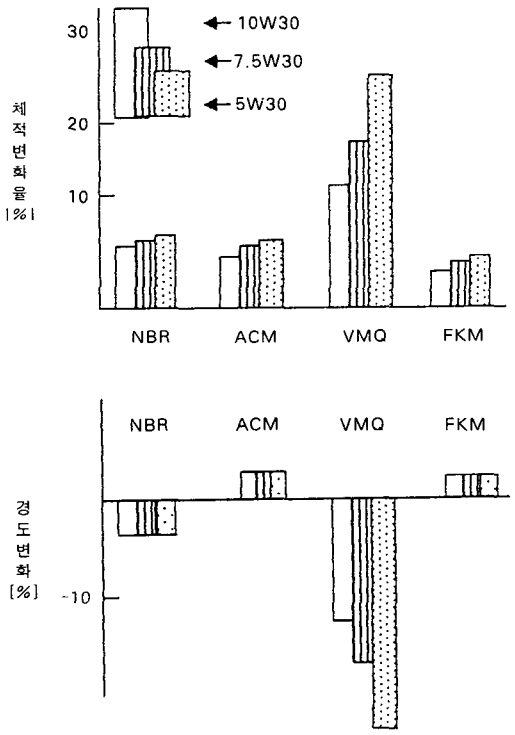


그림 3. 오일의 점도와 고무재료의 물성과의 관계

2-2. 재료개발 방향

2-2-1. 현재 동향 및 연구방향

불소를 함유한 고무는 원래 광범위한 온도에서도 내액성이 우수한 탄성체를 개발하기 위한 연구결과로서 유기불소화합물이 열안정성이 좋다는 것은 C-C의 화합결합력보다 C-F의 화학결합력이 크다는 것에서 착안된 것이다. 기존에 시판 사용되고 있는 어떠한 고무재료들보다 고온 안정성, 내화학성, 기계적 강도등이 우수하고 여러가지 좋은 특성들을 보유하고 있어 engine seal의 재료로 널리 사용되고 있다. 그러나 사용자들의 요구가 날로 높아지고 있는 실정이고 자동차 생산업체에서도 엔진의 고성능화를 추구하고 있는 상태이므로 현재의 기능에서 향상된 고내구성의 seal 특성을 가지고 있는 제품을 개발하지 않으면 안되는 처지에 있다고 할 수 있다.

불소를 함유한 탄성체의 안정성을 개선하고자 많은 연구가 진행되고 있지만은 C-H기가 없는 중합체의 개발이 그 중심에 있다고 할 수 있다. 그러나 이러한 공중합체는 가교결합이 될 수있는 가교자리가 없어 망목 구조를 형성할 수 없기 때문에 강도가 약하고 온도상승으로 인하여 더욱 약화되는 단점을 보유하고 있었다. 따라서 고온에서 고하중을 받는 응용분야에는 적합하지 못하였다. 따라서 가교될 수 있는 가교자리를 제공하는 제3의 단량체 도입이 필요하다. 기본 공중합체의 내열성, 내화학성, 내산화성을 유지하기 위해서 중합과정중에 연쇄이동과 같은 복잡성을 방지하고 가황진행을 촉진시키기 위하여 가교자리의 단량체 도입이 절실해졌다. 그래서 perfluoro-가 개발되었고 본 시험에서는 이 고무를 도입, 시험을 진행하였다.

또한 배합제로 사용하고 있는 filler들의 선택도 무척 중요한 관점에서 취급되었는데 이 중에서도 seal내구성 향상의 주요인자인 내마모성 및 마찰계수의 검토가 중점적으로 이루어졌다. 본 연구에서는 내마모성 향상 및 마찰계수의 저감을 위하여 자기윤활성 충전제, 마찰계수가 상당히 낮은 filler들을 선택하여 연구를 행하였다.

2-2-2. Polymer 변경

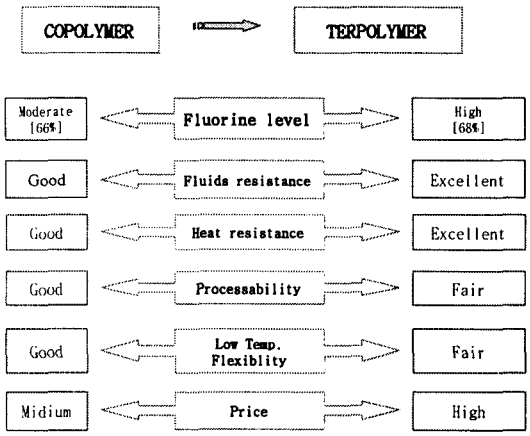


표 5. 이원계와 삼원계 Polymer의 일반물성 비교

Property	Copolymer	Terpolymer
Specific Gravity [g/cm^3]	1.81	1.86
Tensile strength[Mpa]	10 ~ 20	9 ~ 20
Elongation[%]	100 ~ 400	150 ~ 500
Compression set[%] 70hrs/200℃	10 ~ 40	20 ~ 40
⊿Hs[Point] 70hrs/250℃	+4	+2
⊿Vol[%] 70hrs/Fuel C/25℃	+5	+4
⊿Vol[%] 70hrs/MEOH/25℃	appr.100	appr.35
⊿Vol[%] 70hrs/FAM - B/50℃	appr.30	appr.25
⊿Hs[Point] 70hrs/ASTM#1/175℃	-3	0
⊿Vol[%] 70hrs/ASTM#1/175℃	+3.3	+2.5
TR - 10[℃]	-18	-14

현재 사용하고 있는 2원계 type의 polymer에서 3원계로 변경되었을 경우 여러 가지 물성들 즉, 내열성, 내유성 등의 내구성이 향상되어 엔진오일의 저점도화, 엔진의 경량화등에서 요구되는 제반 물성들을 확보할 수 있을것으로 판단이 된다.

2-2-3. Filler 변경

1) $K_2O.TiO_2$

Seal의 내마모성 향상을 위해 종래의 내열성, 내유성등을 손상시키지않고 자기윤활성 충전제를 첨가하여 내마모성을 향상시킨 재료 개발.

2) MoS_2

마찰계수가 0.04~0.09 μm로서 매우 낮으며 내약품성과 내마모성이 우수한 구조로 비중이 4.8이고 내하중성이 35000kg/cm^{2}임.

3) 탄소화합물

내윤활성우수, 마찰계수 저감 탄소원자의 6원자고리가 평면적으로 무한히 연결된 평면형 거대분자(폴리센)가 층을 이루어 포개어진 구조임.

- 층상구조 : 유연, 활성(滑性)
- 거대분자 : 작은 반응성

4) 표면처리된 Filler

- 우수한 내화학성
- 기계적강도 증가
- 탄성모듈러스와 압축강도의 개선
- 충전효과가 좋음

2-3. 시험재료 및 방법

2-3-1. Polymer

본 연구에서는 현재 사용중인 2원계 A type의 polymer와 B type, C type, 그리고 D type polymer등 4가지 종류의 polymer를 상호비교하면서 시험을 진행시켰다.

표 6은 시험에 사용한 polymer들의 특성을 비교분석한 자료이다.

표 6. Type별 Polymer비교

구분 / 항목	A type	B type	C type	D type
조 성	2원계	3원계	3원계 + X	3원계 + Y
TR -10[℃]	-18	-16	-24	-30
Cure Type	Bisphenol	Bisphenol	Peroxide	Peroxide

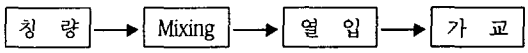
2-3-2. Filler

표 7. Filler별 비교

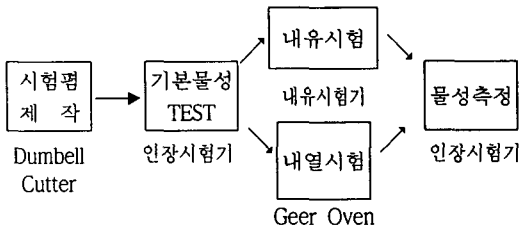
항 목	A	B	C	비 고
조 성	$K_2O \cdot TiO_2$	$CF_2 - CF_2$	MoS_2	
특 징	자기윤활성 충전제	마찰계수 저감	내윤활성 우수 마찰계수 저감	

2-3-3. 혼련 및 물성시험

1) 혼 련



2) 물성시험(KSM 6518)

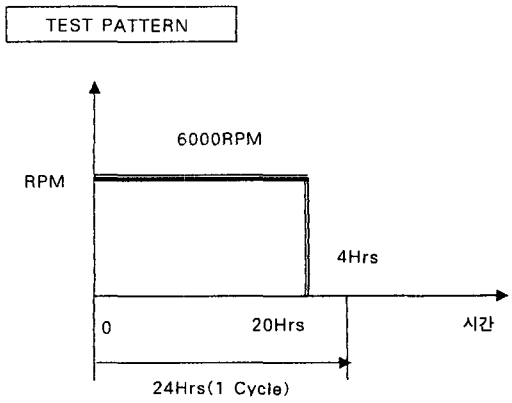


본 연구에서 사용한 혼련방법은 시험실 보유의 3L Lab Kneader와 8″ open mill을 이용하였고 혼련조건은 일반적인 불소 oil seal 고무재료의 조건으로 행하였다. Mixing이 완료된 고무의 물성시험은 한국공업규격에 준하여 시험을 실시하였고 물성은 만능인장시험기로 측정 하였다.

2-3-4. 내구시험

1) 고무재료의 내구성능을 test하기 위하여 내구시험을 다음 도표와 같이 실시하였다. 내구시험 1 cycle을 24시간으로 하여 20시간은 6000 rpm으로 시험하고 4시간은 정지시키고 다시 시험을 하는 방식을 채택하였다. 총 cycle은 상기조건으로 10 cycle을 실시하여 비교분석하였다.

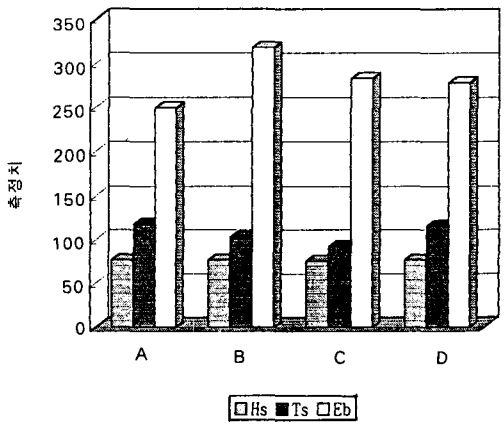
2) 성능시험방법은 KS B2804-1991(JIS B 2402-1996)에 준하여 시험하였다.



2-4. 시험내용 및 결과

2-4-1. 기본물성 비교

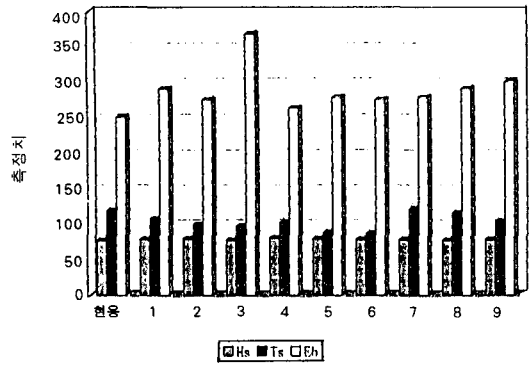
1) Polymer 변경시험



Oil seal의 기능발휘를 위해 기본물성중 인장강도는 90 kgf/cm^2 이상 신율은 100 kgf/cm^2 이상이 될 경우 성능을 나타낼 수 있는데 본 실험에서는 polymer를 여러 가지 type으로 변경 시험하여 기본 물성 즉, 인장강도, 신율, 경도 등을 비교하여 보았다. 그 결과 각각의 시험품들이 거의 다 현용과 대등한 수준의 물성을 보여주고 있으나 D type의 polymer를 채용한 시험품의 물성이 상대적으로 우수하게 나타나는 것을 알수 있었다.

2) Filler 변경시험

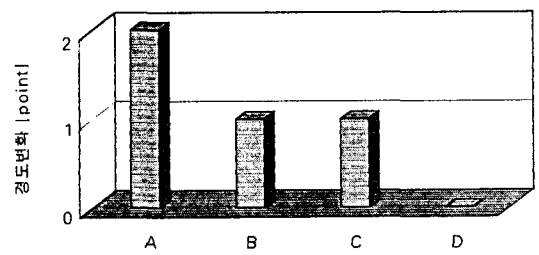
자기윤활성 filler 및 PTFE, MoS_2 등의 여러



1 : B type Polymer + A type Filler
2 : B type Polymer + C type Filler
3 : B type Polymer + B type Filler
4 : C type Polymer + A type Filler
5 : C type Polymer + C type Filler
6 : C type Polymer + B type Filler
7 : D type Polymer + A type Filler
8 : D type Polymer + C type Filler
9 : D type Polymer + B type Filler

가지 filler를 사용하여 시험한 결과 기본물성은 자기윤활성 filler(K.Ti계열)를 채용한 시험품이 가장 우수한 결과치를 보이는 것을 알 수 있다.

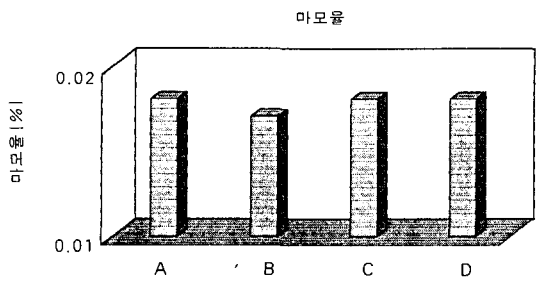
2-4-2. 내열성 비교



내열성시험에서 경도변화는 그 변화폭이 적은 것이 우수한 seal성을 발휘할 수 있다.

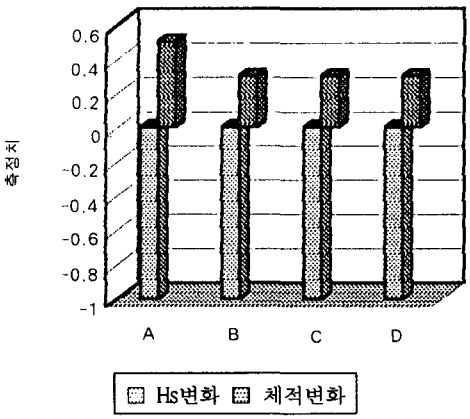
2-4-3. 내마모성 비교

내마모성은 마모율이 적은 것이 우수한 seal성을 발휘할 수 있다. 상대적으로 비교하면 D type이 약간 우수한 수치를 보이고 있다.



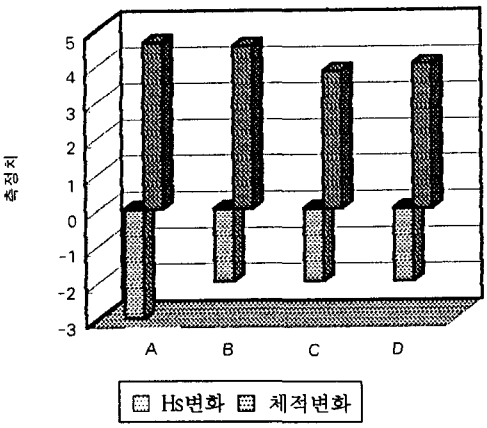
2-4-4. 내유성 비교(175℃ × 70hrs)

ASTM NO. 1



ASTM No. 1 및 No. 3 시험에서 그 효과 파악은 No. 1과 No. 3의 변화폭의 절대값으로 산정하여 그 값이 적을수록 내유성이 우수한 재료라고 할 수 있다. 내유시험 역시 거의 대등

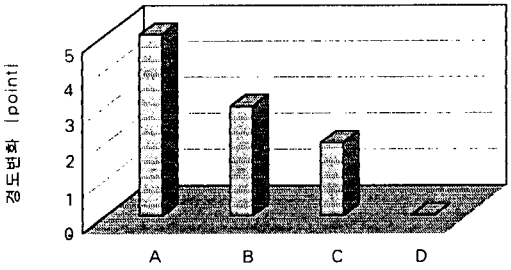
ASTM NO. 3



한 수준을 보이고 있으며 D-type의 polymer를 사용한 시험품의 물성이 만족할만한 수준을 보이고 있다.

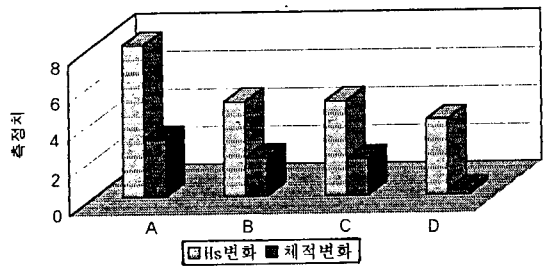
2-4-5. Long term test

-내열시험



경도변화폭이 적은 재질이 seal특성상 유리한 조건에 있다.

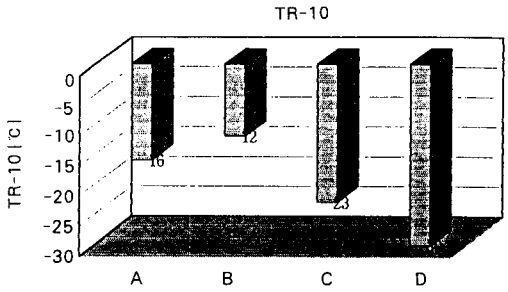
-내유시험(SJ 10W30)



내유시험에서의 체적변화폭이 적은 재질이 seal 특성이 유리하다.

각 시험품들의 장기내구성을 비교하기 위하여 내열 및 내유시험을 각각 200℃, 175℃에서 1000시간동안 실시한 결과 D type polymer를 사용한 시험품의 물성이 다른 시험품에 비해 우수함을 알 수 있었다.

2-4-6. 내한성 시험

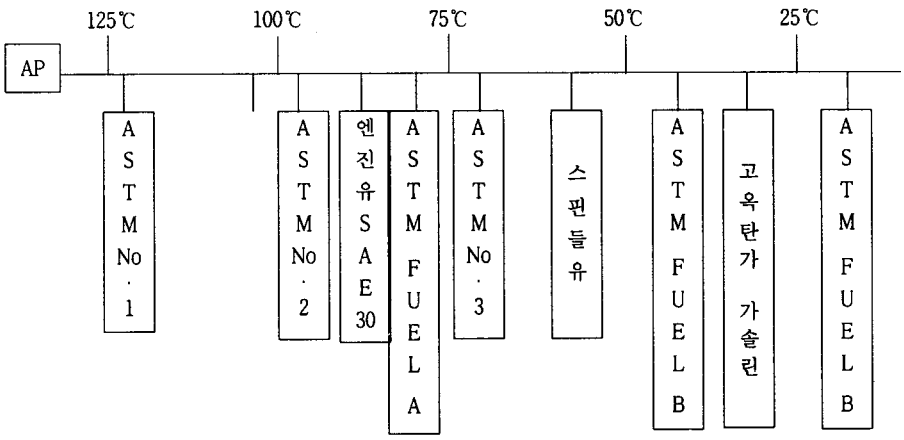


TR이란 Temperature-Retraction의 약자로서 ASTM D 1329에 규정되어있는 저온영역에서의 변형회복성을 표시하며 고무탄성상의 회복정도와 거의 일치하는 것다. TR-10은 미리 가해놓은 50%의 변형이 10% 회복할때의 온도를 말한다.

2-4-7. 내구 시험

구 분	A type	B type	C type	D type
누유상태	없음	←	←	←

표준유의 위치도



내한성 시험결과는 D type polymer를 사용한 시험품이 -30℃로서 가장 우수한 측정치를 보이며 내구시험결과는 상호 대등하게 누유가 없는 것으로 나타났다.

3. 결 론

첨단의 엔진 출력강화기술, 소음 극소화 기술, 엔진의 compact화에 따른 engine seal의 내구성 향상 필요성에 대응하기 위한 본 연구에서 아래와 같은 내용을 도출할 수 있었다.

1) 기본물성의 경우 인장강도, 신율, 경도등의 물성에서 D type polymer를 채용한 시험품의 물성이 상대적으로 우수한 것으로 나타났다.

2) Filler변경시험의 경우 자기윤활성 충진제인 K,Ti계열의 filler를 충전한 시험품이 가장 우수한 물성을 나타내고 있다.

3) 내열성 및 내마모성은 polymer 변경의 경우는 상호 대등하게 측정되었으나 filler의 경우에는 K,Ti 계열의 충전제를 사용한 시험품이 가장 우수하게 나타났다.

4) 제품의 성능평가에서 가장 중요한 long term test에서 D type polymer를 채용한 시험품이 내열경도변화가 없는 것으로 측정되었고 SJ급 10W30 엔진오일에서의 내유 시험결과는 다른 시험품에 비해 약 50% 수준으로 변화됨을 볼 수 있었다.

5) 내한성은 D type polymer 채용품이 -30℃로서 불소고무의 취약점인 저온특성에서 우수하게 나타났다

6) 제품 내구시험에서는 시험품 공히 누유는 발생되지 않아 만족스러운 결과를 보여주었다.

7) 최종 확정된 재료는 polymer는 D type이며 filler는 A type, 가교 type은 peroxide 가교를 채용한 재료가 우수한 결과를 나타내었다.

참 고 문 헌

1. 고무물성기초 ..... 일본NoK(주)
2. 고무, 플라스틱 배합약품 ..... 일본고무협회
3. 고무공업편람 ..... 일본고무협회
4. '9887의 화학약품 ..... 화학공업일보사
5. 첨가제 실용편람 ..... 화학공업사
6. 윤활제 실용성능 ..... 일본고무협회
7. 자동차 구조학 ..... 동신출판사
8. 고무재료 선택의 Point ..... 일본규격협회
9. 신고무기술 입문 ..... 일본규격협회
10. トライボロヅ ..... 산업도서