

FKM 고무를 내층재료로 한 연료호스의 가스 투과성 연구

김도현[†] · 도경환 · 박현호* · 이창섭
계명대학교 화학과, *화승 R&A(주) 기술연구소
(2004년 9월 15일 접수, 2005년 5월 6일 수정 및 채택)

Gas Permeation Study of Fuel Hose Composed as Inner Material of FKM Rubber

Do Hyun Kim[†], Kyung Hwan Doh, Hyun Ho Park*, Chang-Seop Lee
Department of Chemistry, Keimyung University 1000 Sindang-Dong, Dalseo-Gu, Daegu 704-701
*HS R&A Co. LTD. R&D Center
(Received September 15, 2004, Revised & Accepted May 6, 2005)

요약 : 국제 환경규제에 적합한 자동차용 연료 호스를 개발하기 위하여, 배합조건을 달리한 FKM 고무재료를 내층재료로 하였을 경우, 기본물성을 비롯한 내열성, 내유성, 내연료성 및 투과성을 측정하고 연료 호스재료로서의 적합성을 조사하였다. 불소 함량이 증가함에 따라 불소 고무재료는 기본물성, 내열성, 내유성 및 내연료성의 증가를 보였으며, 66%, 69%, 71% FKM 혼합물에서 카본의 양을 20 phr로 하였을 때 연료 호스의 규격을 만족하는 것으로 나타났다. 이소옥탄과 톨루엔 그리고 기술린과 메탄올을 혼합한 연료유로써 측정된 NBR 고무와 FKM 고무를 투과성에서 FKM 고무를 경우, 불소의 함량에 따라서 미세한 투과량의 차가 나타났으나 NBR 고무보다는 투과성이 매우 우수하였다. 또한 연료유의 성분비를 달리했을 때도 FKM 고무를 투과성에는 거의 영향이 없었으며, 투과성 실험을 거친 69% FKM 고무재료의 열적 특성에도 변화가 없었다.

ABSTRACT : To develop an automotive fuel hose suitable to the international environmental regulation, FKM rubber materials as an inner material of fuel hose were prepared with different chemical compositions. Measurement of the properties of thermal resistance, oil resistance, fuel resistance, gas permeability including fundamental properties were performed to investigate compatibility for a fuel hose material. Fundamental properties, thermal resistance, oil resistance, fuel resistance and permeability of FKM rubber materials were improved with fluorine content. When the carbon content was 20 phr, FKM compounds with fluorine contents of 66%, 69% and 71% were shown to satisfy the specification of fuel hose. The gas permeability of NBR and FKM compounds was measured on the mixed fuel oils prepared with isooctane-toluene and gasoline-methanol. FKM rubber materials showed a small difference in penetrated amount of fuel and showed a permeability superior to NBR material. The permeability of FKM rubber materials was not influenced by the contents of fuel oil. Thermal properties of 69% FKM rubber experienced by permeability testing were not varied.

Keywords : FKM elastomer, permeation, fuel hose, fuel resistance

[†]대표저자(e-mail : orga-chem@hanmail.net)

I. 서 론

현재 우리가 사용하고 있는 고무재료는 개발 당시에 사용되었던 고무물성에 비하여 물리적 특성, 유동학적 특성 또는 내열, 내화학적 특성을 개선하기 위하여 개발된 것이며, 처음 개발된 후로도 유동성 및 물성치의 수정 또는 가공 방법의 개선 등 다양한 연구개발 과정을 통하여 보다 개선된 형태로 사용되었다.^{1,2} 그러나 무분별한 고무재료의 개발은 90년대 들어 지구환경문제가 범세계적 관심사로 등장하면서 선진국을 중심으로 환경규제가 강화되고 있다. 이는 산업의 발전에 따른 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비 등 대기오염의 악화와 지구환경파괴에 대한 우려에서 비롯된 것으로 배기가스 규제, 연비 규제, 프레온가스 규제 등을 중심으로 더욱 확대되는 추세이다.

국제적인 환경규제의 강화는 환경문제를 야기시키는 모든 산업에 적용되는 것으로 자동차산업도 그 예외일 수가 없다. 자동차산업은 차의 제조, 이용, 폐차처리의 각 단계에서 배출가스에 의한 대기오염, 소음문제, 폐기물 등의 환경문제를 지니고 있기 때문이다. 특히 화석연료를 이용하는 자동차에서 배출되는 물질은 대도시의 스모그 현상, 지구온난화, 오존층 파괴, 산성비 등을 유발하는 주원인의 하나로 밝혀지면서 선진 각국의 중점 환경규

제 대상이 되고 있다.

자동차의 2만여 개의 부품 중 고무재료는 화학재료에서 가장 대표적인 것으로서 낮은 생산원가와 고무재료가 가지는 특유의 유연성, 가공성 및 탄성 등의 장점으로 다른 금속재료나 무기 재료가 가지지 못하는 기능을 가지고 있다.^{3,8} 따라서 고무재료는 자동차에서 사용되고 있는 대부분의 호스나 방진, 오일셀 등의 부품에 내연료성, 내후성, 내열성, 화학적 내식성 및 난연성 등의 기능을 향상시키는 재료로 사용되고 있다.^{9,12}

오늘날 자동차 제조회사들의 주요 관심사는 다양한 환경 규제에 대응하는 부품 및 소재의 개발이다. 한 예로, 2004년부터 실시되는 북미, 유럽 자동차 업체가 적용하기로 한 유기물을 포함하는 유체의 증발가스규제(Low Evaporated Emission)는 수입차량이 해당국의 환경 기준치를 충족시키지 못할 경우 과징금을 부과하도록 규정하고 있어, 관련기술 수준이 낮은 개도국들에게는 적어도 수출장벽으로 작용할 것으로 보인다. 따라서 세계 5위의 자동차생산국으로서 수출비중이 높은 우리나라의 자동차업체로서는 이러한 규격(Table 1)에 맞는 우수한 연료호스의 개발이 시급한 상태에 있다.

본 연구에서는 환경 규제를 고려한 자동차용 연료 호스의 개발을 목표로 FKM(Fluoroelastomer) 고무의 F합유량에 따른 영향과 첨가제의 양을 조절

Table 1. Physical Properties of Fuel Tube and Cover

properties		tube	cover
original	tensile strength(MPa)	8.27 min	6.89 min
	elongation(%)	200 min	
dry heat resistance ¹⁾	tensile strength(%)	-20 >	
	elongation(%)	-50 >	
fuel resistance ²⁾	tensile strength(%)	-30 >	not required
	elongation(%)	-30 >	not required
	volume change(%)	-5~25	not required
oil resistance ³⁾	tensile strength(%)	-40 >	not required
	elongation(%)	-40 >	not required
	volume change(%)	-5~25	0~100

1) 70h at 100℃, 2) 48h at room temperature in ASTM reference fuel B, 3) 70h at 100℃ in ASTM oil No. 3.

하여 기본물성이 유지되는 조건을 찾고, FKM(Fluoroelastomer), NBR(Acrylonitrile Butadiene rubber) 등 호스를 구성하는 각종 탄성체 재료에 대한 해석 및 내피로성, 내고온성, 압축영구 변형 및 내연료 투과성이 뛰어난 FKM 재료와 배합기술, 제품 설계 및 가공 기술을 개발하여, 환경기준에 적합한 연료 호스 제조에 사용하는 최적의 FKM 재료조건을 조사하였다.

II. 실험

1. 시편 제조

1.1 재료 및 시약

본 실험에서 고무시편의 제조에 사용한 FKM G763, G551, G621 는 각각 불소함량은 66%, 69%,

71%로 DAIKIN INDUSTRIES, LTD에서 제품을 구입하여 사용하였으며, 카본블랙은 코리아 카본 제품 Semi Reinforcement Furnace(SRF; N774)를 5 phr 과 10 phr부터 40 phr까지 10 phr씩 증량하여 첨가하였다. 첨가제로 사용한 Magnesium oxide (Maglite D)는 Merck사 제품을, Calcium hydroxide (Ca(OH)₂)는 Rhein chemical사 제품을 그대로 사용하였으며, Canaba wax는 국내 대흥상사 제품을 구입하여 사용하였다.

1.2 배합표

본 실험에서 적용한 고무재료 및 각종 첨가제의 배합비율을 Table 2에 나타내었다.

1.3 소련, 혼련 및 가황

소련작업은 FKM 폴리머만을 Banbury Mixer (KOBÉ, Japan)에서 100~110 ℃의 온도를 유지하

Table 2. Recipe of 66%, 69%, 71% FKM Compounds

1) 66% FKM(G763)

구성물질	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
FKM (66%)	100	100	100	100	100
MT	5	10	20	30	40
MgO	3	3	3	3	3
Ca(OH) ₂	6	6	6	6	6
Canaba wax	2	2	2	2	2

2) 69% FKM(G551)

구성물질	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10
FKM (69%)	100	100	100	100	100
MT	5	10	20	30	40
MgO	3	3	3	3	3
Ca(OH) ₂	6	6	6	6	6
Canaba wax	2	2	2	2	2

3) 71% FKM(G621)

구성물질	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15
FKM (71%)	100	100	100	100	100
MT	5	10	20	30	40
MgO	3	3	3	3	3
Ca(OH) ₂	6	6	6	6	6
Canaba wax	2	2	2	2	2

며 50초 동안 수행하였다. 혼련작업은 위의 소련작업 후 배합재료를 Banbury Mixer에 투입 후 140초 동안 수행하였으며, 이 때 Banbury Mixer의 충전율은 70%로 하였다.

혼련작업 후 내림작업은 지름 8", 길이 20", 회전비 1:1.25의 고무용 roll mill(DAEJUNG, Korea)을 사용하였고, 회전속도 18 rpm, 온도 60~70 °C를 유지하였다. 이 때 로올러 간격은 2.5~3 mm로 조정하였다. 이 배합물을 sheet로 뽑아서 24시간 숙성시켰다. 1회 배합하는 데 걸리는 소요시간은 20분으로 통일하였으며, Oscillating Disk Rheometer (ODR, 명지산업)로 측정된 적정 가황 시간에 따라 1차 가황을 160 °C에서 수행 후 물성 실험을 위한 시험편을 140×120×2 mm로 제조하였다. 2차 가황은 150 °C에서 3시간 동안 수행하였다.

2. 고무시편의 물성 및 특성 분석

2.1 가황 특성

본 실험에서는 불소함량을 66~71%범위에서 FKM 원료고무에 첨가 시 나타나는 배합고무의 가황특성을 ASTM D 2084의 실험방법에 따라 Rheometer (Myung ji, Korea)와 Mooney Viscometer(Dae kyung, Korea)를 사용하여 가황 온도를 160 °C로 설정하고 최대토크, 최소토크, 가황개시시간(t_{90}), 최적가황시간(T90) 값들을 측정하였다.

2.2 물리적 성질

각 재료의 시험편은 160 °C에서 10분간 1차 가황한 후, 150 °C에서 3시간 2차 가황하였으며, 시험편에 대하여 불소함량에 따른 배합고무의 인장강도, 신장율, 경도, 100% 모듈러스 값을 ASTM D 412의 방법에 따라 인장시험기(Monsanto, Japan)와 스프링식 경도계(Kobunshi Keiki Co, LTD, Japan)를 사용하여 시험하였다.

2.3 내열성 측정

가황고무를 고무노화 시험기(Chunsoo Machinery & Electronic Co., LTD, Korea)에 넣고 내열온도를 230 °C로 설정하여 70시간 방치한 후, 경도, 인장강도, 신장율, 비중, 체적감소율을 측정하여 기본 물성과 비교함으로써 내열성을 평가하였다.

2.4 내유성 시험

내유성 시험기 (DOB-200, Chunsoo Machinery & Electronic Co., LTD, Korea)를 사용하여 가황고무를 ASTM No3 오일 속에서 175 °C, 70시간 방치 후 경도, 인장강도, 신장율, 비중, 체적감소율을 측정하여 기본물성과 비교함으로써 내유성 실험을 거친 후 결과를 평가하였다.

2.5 내연료성

배합고무의 내연료성은 전형적인 연료성분으로 사용되는 이소옥탄과 톨루엔을 사용한 ASTM Fuel C에 대하여 각각 40 °C에서 70시간 동안 침적 후, 경도, 신장율, 인장강도를 측정하여 기본 물성과 비교하였다.

2.6 투과성 시험

투과성 실험은 ASTM Fuel C를 기본으로 연료호스로 쓰이는 FKM과 NBR을 대상으로 SAE J1737에 따라 실험하였으며, 또한 실제 연료로 쓰이는 가솔린을 메탄올과 비를 달리하여 혼합한 후 증발되는 양과 체적의 변화를 시간에 따라 측정하였다.

2.7 열분석

배합고무의 열무게 분석은 STA-1500(Shimadzu Instruments Inc., Japan)로 N₂ 분위기에서 승온속도를 20 °C/min로 하여 600 °C까지, O₂ 분위기에서 900 °C까지 측정하였다. 시차주사열량분석은 Differential Scanning Calorimeter(Shimadzu Instruments Inc., Japan)로 N₂분위기에서 수행하였고, 승온 속도는 10 °C/min으로 하여 -50 °C에서 200 °C까지 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 가황 특성

Table 3에서 볼 수 있듯이, 각 불소함량별 보강제인 카본(MT)함량이 증가할수록 점도가 상승하는 경향을 나타내고 있으며, 적정가황시간인 T90 시간은 카본함량이 증가할수록 69%, 71% FKM에서는 소폭으로 빨라지는 것으로 나타나는데 이는 염기성인 카본성분으로 인해 가황작용이 촉진되기 때문인 것으로 생각된다.

Table 3. Cure Characteristics for 66%, 69%, 71% FKM Compounds

1) 66% FKM(G763)

구 분	JSR CURELASTOMETER TYPE 5, 170℃				
	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
최저토크(kgf · cm)	1.25	1.39	1.78	2.11	2.55
최고토크(kgf · cm)	10.49	11.52	14.20	16.63	19.52
T10(분)	3.14	3.09	3.17	3.17	3.32
T50(분)	4.29	4.34	4.65	4.81	5.20
T90(분)	4.96	5.09	5.54	5.82	6.34

2) 69% FKM(G551)

구 분	JSR CURELASTOMETER TYPE 5, 170℃				
	T-6	T-7	T-8	T-9	T-10
최저토크(kgf · cm)	2.06	2.20	2.64	3.11	3.63
최고토크(kgf · cm)	15.00	16.14	18.70	22.28	25.96
T10(분)	4.28	4.17	3.39	3.15	3.07
T50(분)	4.96	4.89	4.06	3.90	3.96
T90(분)	5.43	5.42	4.46	4.34	4.37

3) 71% FKM(G621)

구 분	JSR CURELASTOMETER TYPE 5, 170℃				
	T-11	T-12	T-13	T-14	T-15
최저토크(kgf · cm)	2.03	2.25	2.77	3.16	3.49
최고토크(kgf · cm)	10.50	10.89	13.58	15.56	18.49
T10(분)	3.70	3.40	3.43	3.15	3.01
T50(분)	4.25	3.92	4.09	3.90	3.85
T90(분)	5.48	5.25	5.50	5.40	5.35

2. 기본 물성

불소함량에 따른 배합고무의 경도, 신장율, 인장강도를 측정된 결과를 각각 Figures 1~3에 나타내었다. Figures 1~3에 나타난 것과 같이, 경도는 불소함량이 증가함에 따라 크기가 증가함을 보이는데 반해, 신장율은 66% FKM과 71% FKM에서 카본(MT)의 양이 20~40 phr정도일 때 유사한 값을 보이고 있다. 또한 인장강도에서는 69% FKM과 71% FKM에서 카본(MT)의 양이 20 phr과 40 phr일 때 비슷하게 나타났다. 일반적으로 연료 호스로 쓰이는 FKM의 규격(Table 1 참조)을 만족하는 경우는 T3, T8, T13 으로서 카본(MT)의 양이 20 phr

인 경우와, 66% FKM는 카본의 양이 30 phr인 T4와, 71% FKM는 카본의 양이 10 phr인 T12 였다.

3. 내열 특성

불소함량이 66%, 69%, 71%인 FKM 고무시편의 내열특성을 시험한 결과를 각각 Figures 4~6에 나타내었다. 불소함량에 따른 기본물성에서 변화는 비교적 적었으며, 경도 변화는 +1 정도였고, 신장율은 -12~+4% 였으며 인장강도는 -15~+9 MPa 정도였다.

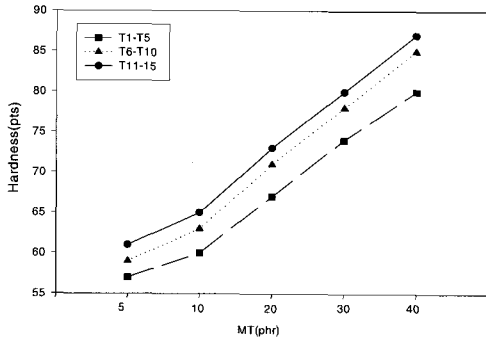


Figure 1. Hardness of 66%, 69%, 71% FKM compounds cured in oven for 3 hours at 150°C.

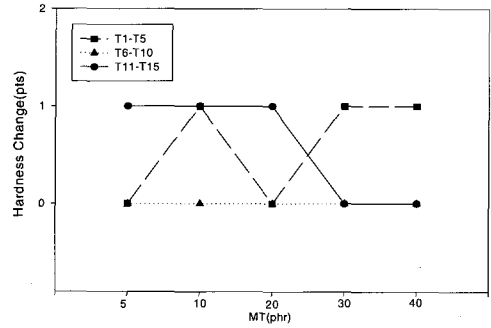


Figure 4. Hardness change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 230°C.

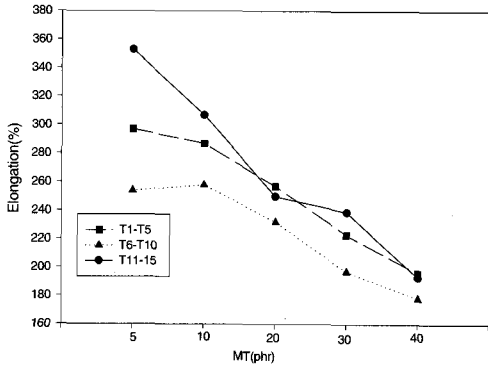


Figure 2. Elongation of 66%, 69%, 71% FKM compounds cured in oven for 3 hours at 150°C.

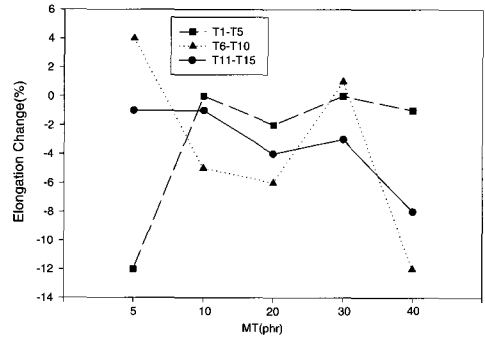


Figure 5. Elongation change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 230°C.

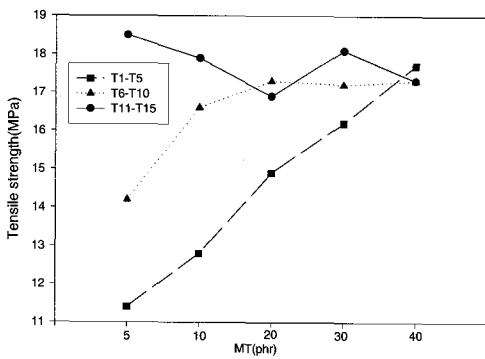


Figure 3. Tensile strength of 66%, 69%, 71% FKM compounds cured in oven for 3 hours at 150°C.

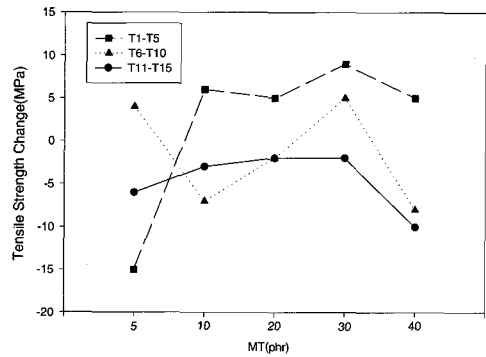


Figure 6. Tensile strength change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 230°C.

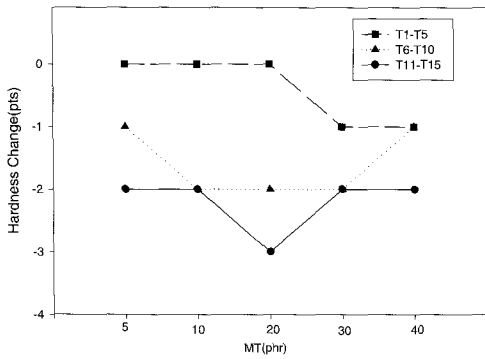


Figure 7. Hardness change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 175°C in oil.

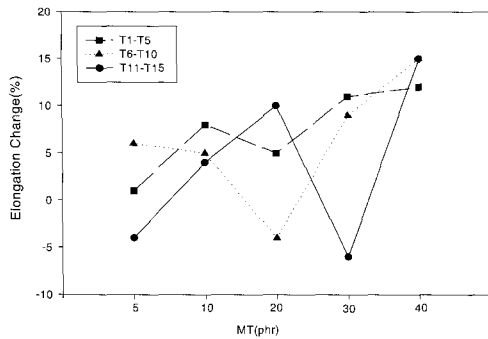


Figure 8. Elongation change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 175°C in oil.

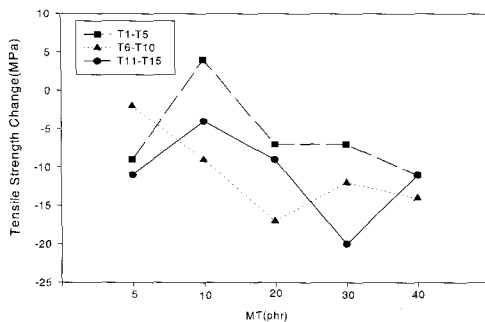


Figure 9. Tensile strength change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 175°C in oil.

4. 내유성

본 실험에서는 66%, 69%, 71%의 불소함량을 가

진 FKM 고무시편의 내유특성(경도, 신장율, 인장 강도의 변화)을 시험한 결과를 각각 Figures 7~9에 나타냈다. 불소함량에 따른 기본물성의 변화는 적었는데, 경도 변화는 -3정도였으며, 신장율과 인장 강도의 변화는 각각 -6~+15%와 -20~+4 MPa 였다.

5. 내연료 특성

본 연구에서 수행한 배합고무의 내연료성 실험 결과, 경도, 신장율, 인장강도를 측정하였으며, 측정된 기본물성의 변화를 각각 Figures 10~12에 나타내었다. ASTM Fuel C에서, 각 불소함량에 따른 카본(MT)양의 변화를 주었을 때, 경도의 변화는 -3~-7 pts 정도였고, 신장율과 인장강도의 변화는 각각 -19~+4와 -45 MPa 범위에서 나타났다.

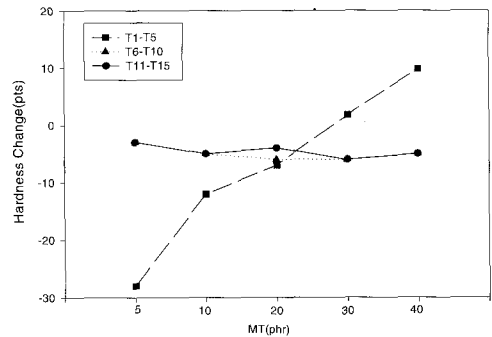


Figure 10. Hardness change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 40°C in Fuel C.

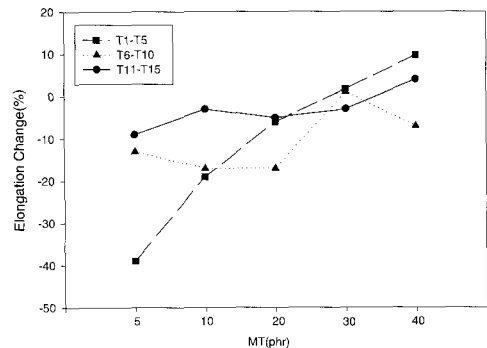


Figure 11. Elongation change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 40°C in Fuel C.

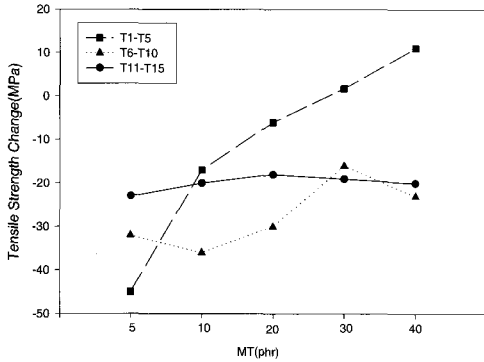


Figure 12. Tensile strength change of 66%, 69%, 71% FKM compounds for 70 hours at 40°C in Fuel C.

6. 투과성

본 실험에서는 내열성과 내유성, 내연료성 실험을 거쳐 입증된 연료 호스로 적합한 각 FKM고무에 카본(MT)의 양이 20 phr인 T3, T8, T13을 고무재료 시편으로 선정하여 실험하였다. 또한 연료 호스로 사용되는 다른 고무재료인 NBR의 투과성을 측정하여 FKM 고무 시료와의 투과성을 비교하였다.

Figure 13은 69%의 FKM 고무시료와 NBR 고무시료를 8일 동안의 Fuel에 대한 질량의 감소량을 나타내었다. 69%의 FKM 고무시료는 이소옥탄 : 톨루엔의 비를 5:5, 6:4, 7:3으로 달리하였을 때 연료유에 상관없이 일정하게 유지됨을 보이는데 반해, NBR 고무시료는 FKM에 비해 많은 양의 질량감소를 보였을 뿐 아니라, 연료유의 비에 따라 증발량의 차이가 나타났다. Figure 14에는 66%, 69%, 71%의 FKM 고무시료인 T3, T8, T13으로 각 불소 함량에 따른 투과정도를 1일~7일까지의 질량변화로 나타내었는데, 불소함량이 증가할수록 감소량은 적게 나타났다. Figure 15~16은 69% FKM 고무시료인 T8과 NBR 고무시료의 질량과 두께변화를 1일, 2일, 4일, 7일 간격으로 측정하여 나타내었으며, 연료유의 비를 달리하였을 때, NBR 고무시료는 69% FKM 고무시료에 비해 투과량이 10배 이상 증가하였다. 이는 FKM 고무시료가 더욱 단단하게 결합되어 있어 가스 상의 연료들이 고무 폴리머 사이로 침투하기가 어렵다고 생각되어진다. 이런 사실은 Figure 16의 두께변화로도 알 수 있었다.

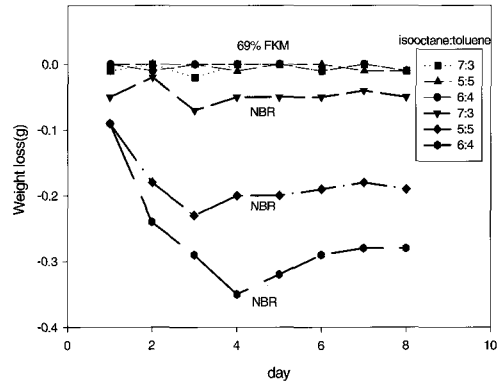


Figure 13. Permeation of 69% FKM and NBR rubber for 8 days at room temperature.

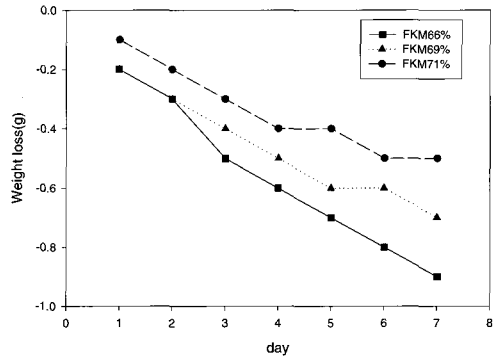


Figure 14. Comparison of weight loss in different fluoro-content FKM for 7 days at room temperature.

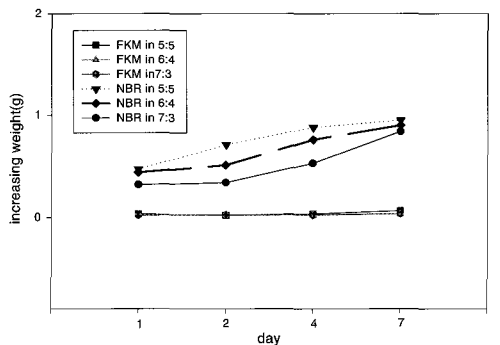


Figure 15. Increasing weight of 69% FKM compounds and NBR compounds for 7 days at room temperature.

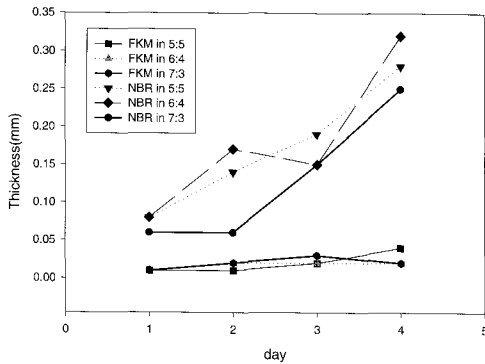


Figure 16. Thickness of 69% FKM compounds and NBR compounds for 4 days at room temperature.

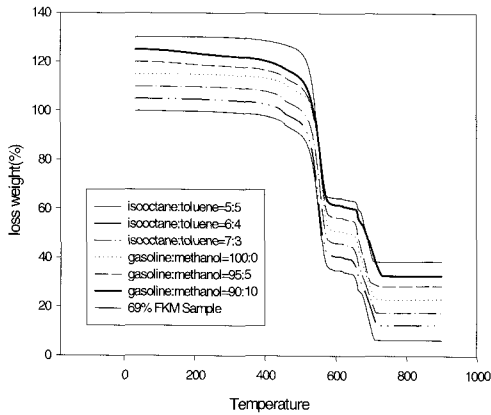


Figure 17. Thermal decomposition curves of 69% FKM compounds after permeation.

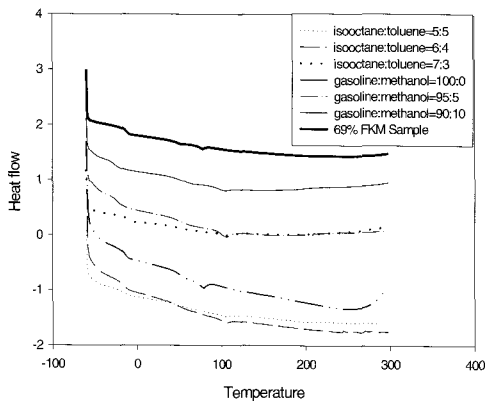


Figure 18. DSC curves of 69% FKM compounds after permeation.

5. 열분석 결과

Figures 17~18에는 연료유의 종류와 비를 달리 하여 투과성 실험을 거친 69% FKM 고무시료의 열무게분석 및 시차주사열량분석 결과를 비교하여 나타내었다. Figure 17에서 볼 수 있듯이, FKM의 열분해 개시온도는 450 °C 근처에서 시작되고 500 °C에서 급격한 열분해가 나타나며, 640 °C 부근에서는 카본(MT)의 산화에 의한 무게 감소가 나타났다.

Figure 18의 DSC curve를 보면, 69% FKM 고무 재료의 유리전이온도(T_g)는 연료유의 종류와 비에 상관없이 실험전의 유리전이온도와 같은 -11~ -10 °C 부근에서 나타났다.

IV. 결 론

환경 규제에 적합한 자동차용 연료 호스를 개발 하기 위하여, 연료 호스로 쓰이는 FKM 고무재료의 배합을 달리하여 기본물성뿐만 아니라 내열성, 내유성, 및 내연료성과 투과성을 향상시키는데 적합한 조건을 조사하였으며, 이를 바탕으로 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 불소의 함량이 증가함에 따라 FKM 고무시편의 기본물성 이외에도 내열성 및 내유성, 내연료성이 증가함을 보였다.
2. 카본(MT)의 함량을 20 phr로 하고 불소함량을 66%이상으로 한 FKM 혼합물에서 연료호스의 SAE 규격인 경도 65~75(shore A)와 신장율 200%, 인장강도 8.27 MPa를 만족하였다.
3. 여러 가지 불소함량의 FKM 혼합물에서 연료유가 투과되는 비율은 불소함량이 증가함에 따라 미세한 감소를 보였지만, NBR 혼합물 보다는 큰 폭의 감소함을 나타내었다.
4. 열분석의 결과로 연료유의 종류와 함량 비를 달리하여 투과성 실험을 한 69% FKM 혼합물의 TGA와 DSC 곡선에는 거의 변화가 없는 것으로 나타났다. 이는 연료유의 종류와 불소의 함량을 달리하여도 FKM 혼합물의 기본 성질에는 거의 변화가 없는 것을 의미했다.

감사의 글

본 연구는 과학기술부·한국과학재단 지정 계명대학교 저공해자동차부품기술개발센터(CAPT) 및 계명대학교 대학원 학생학술논문 장학금 지원에 의한 것입니다.

참고문헌

1. D. K. Kim, S. D. Seul, and J. E. Sohn, "내열 및 난연성 polymethyl Methacrylate의 최적반응속도 모델에 관한 연구", *J. Kor. Ins. of Rubb. Ind.*, **22**, 324 (1987).
2. D. J. Moon, D. K. Kim, and S. D. Seul, "Poly (methyl methacrylate)와 poly(acrylonitrile butadiene styrene)와의 혼합에 의한 열분해속도에 관한 연구", *J. Kor. Ins. of Rubb. Ind.*, **24**, 11 (1989).
3. B. Ameduri, B. Boutevin, and G. Kostov, "Fluoro-elastomer", *Prog. Polym. Sci.*, **26**, 105 (2001).
4. J. U. Lee, W. K. Kim, and B. H. Kim, "A Study on the electrical property of polypropylene thin film", *J. Kor. Ins. of Rubb. Ind.*, **21**, 121 (1986).
5. J. B. Thomas. "Permeation tube approach to long-term use of automatic sampler retention index standards", *J. Chromatography A.*, **704**, 157 (1995).
6. G. Peter, L. Göran, and S. Göran, "In-situ measurements of gas permeability in fuel cell membranes using a cylindrical microelectrode", *J. Electroanalytical Chemistry*, **158**, 115 (2002).
7. L. A. Wood, "Standard ozone resistance testing of wax protected rubbers", *Rubber Chemistry and Technology*, **53**, 116 (1980).
8. A. I. Medalia, "Evaluation of result of tension fatigue resistance tests on vulcanized rubber", *Rubber Chemistry and Technology*, **53**, 988 (1980).
9. P. Maccone, M. Apostolo, and G. Akroldi, "Thermal degradation studies of electron beam cured terpolymeric fluorocarbon rubber", *Macromolecules*, **33**, 1656 (2000).
10. P. B. Jana and S. K. De, "Thermal aging, degradation and swelling of fluororubber", *Polym. Comm.*, **32**, 376 (1991).
11. K. H. Lee, S. J. Kim, B. K. Kim, I. S. Park, and C. Y. Park, "가황도의 예측", *J. Kor. Ins. of Rubb. Ind.*, **29**, 5 (1994).
12. J. S. Dick and A. T. Worm, "Storage stability of FKM compound based on a bisphenol AF/onium cure system", *Rubber World*, **219**, 22 (1999).