

## 친환경설계를 이용한 자동차 고무부품 제조

임 양 수 · 이 동 원 · 허 병 기

### 1. 서 론

20세기말부터 지구의 환경오염 정화능력의 한계로 각종 환경문제가 대두되고 있다. 특히 서유럽지역에서는 매립지 부족과 토양오염 문제 때문에 재활용규제에 대한 논의가 활발하게 진행되었으며 제품당 거의 1톤의 폐기물을 배출하는 자동차가 최우선 규제의 대상이 되었다. 이 지역에서 자동차 재활용규제는 1990년대 초부터 제안되어 1998년에는 독일에서 먼저 법제화되었고 유럽연합(EC)은 1997년에 초안을 만들어 2000년 10월에 EC ELV(End of Life Vehicle) Directive (2000/53/EC)를 확정시켰다. 이 규제의 주요내용은 폐차의 쓰레기 양을 줄이기 위해 재활용을 규제, 형식 승인(Type-Approval), 무료 폐차 회수, 회수전의 폐차 처리, 처리를 하기 위한 정보제공과 토양 및 인체에 유해한 중금속 사용제한으로 이루어져 있다.

이러한 규제 중에 시기적으로 가장 시급하고 차량제조에 영향을 미치는 것이 유해물질 규제이며 EC ELV Directive 2000/53/EC Article 4부

분 1조 2항의 “2003년 7월 1일 이후 판매되는 모든 차량의 재료와 부품은 사용금지 예외조항을 제외하고는 납(Pb), 수은(Hg), 카드뮴(Cd), 6가 크롬(Cr<sup>6+</sup>)을 함유하지 말아야 한다”는 규정에 대응해야 할 필요성이 대두되었다. 이 법령은 우선적으로 폐차 폐기물의 발생방지와 더 나아가 폐부품의 재사용(Re-Use), 재활용(Recycling), 여러 형태의 재순환(Recovery)을 통한 폐기물 감소를 목표로 하며 차량 제조 전과정에 관련되는 경제 운영자와 특히 폐차 처리에 직접적으로 관여하는 처리업자의 환경기여 향상을 목표로 하는 조치들을 규정하고 있다.

그 동안 정부나 산업체의 관심은 최종 방출



임양수

1976 경북대학교 고분자공학과 (학사)  
 1978~2002 현대자동차 수석연구원  
 1993~ 한국자동차공업협회  
 현재 자동차재활용위원회 위원장  
 2003~ 평화오일셀공업(주)  
 현재 기술연구소 연구소장



이동원

1987 영남대학교 공업화학과(학사)  
 2001 경북대학교 고분자공학과 (석사)  
 1990~ 평화오일셀공업(주)  
 현재 기술연구소 재료기술팀 수석연구원



허병기

1993 영남대학교 화학공학과(학사)  
 1995 영남대학교 화학공학과(석사)  
 1995~ 평화오일셀공업(주)  
 현재 기술연구소 재료기술팀 선임연구원

표 1. Content of EC ELV Directive for Waste Car Recycling

항 목	주 요 내 용
발효시점	• 2000. 10. 21
적용대상	• 9인승 이하 승용·승합차, 총중량 3.5톤이하 트럭 (A/S 교체부품 포함)
폐차회수	• 2002년 7월 1일 이후 모든 판매 차량 : 무상회수 • 2002년 7월 1일 이전 판매 차량 : 2007. 1. 1.부터 무상회수
리사이클 목표치	• 2006. 1. 1까지 : 80% Recycling & 85% Recovery • 2015. 1. 1까지 : 85% Recycling & 95% Recovery * Recovery = Reuse + Recycle + Energy 회수
관련정보 제공	• 신차종 출시 6개월 이내에 해체 메뉴얼 제공
폐기물 및 유해물질	• 규제대상 : 납, 카드뮴, 6가 크롬, 수은 • 법규 규정량 이상 함유 금지 : 2003년 7월 1일 이후 모든 판매 차량

되는 오염물의 후처리개발에 집중되었으나 앞으로는 오염물질의 발생방지를 위해 공정의 최적조건을 확립하고 기존공정과 완전히 다른 공정을 개발하는 청정기술을 지향해야 할 것이다. 현재 연구되고 있는 환경친화적 청정기술은 다음과 같이 크게 세 개의 분야로 구분할 수 있다.

1) 반응공학적 청정생산기법

새로운 반응 경로, 원료, 반응매개물, 촉매, 반응기 또는 반응조건 개선으로 환경오염 물질의 배출을 원칙적으로 감소시키는 기법이다.

2) 공정변경에 의한 공정개선기술

현재 사용하고 있는 기존 제조공정에서 일부의 반응공정 또는 전체를 변경하여 환경오염물질의 배출을 원칙적으로 감소시키는 기술이다.

3) 유해성 원부재료의 대체공정 개발

유해하거나 환경오염을 유발하는 원부재료를 덜 유해하거나 무해한 재료로 변경하여 환경오염을 감소시키는 기술이다.

본 기술인 친환경설계는 환경적으로 차별화된 제품을 원하는 녹색소비자들의 욕구를 만족시키기 위해 제품개발 초기단계에서부터 환경을 고려하여 제품을 설계하는 기법이며 기업의 생산성 향상 및 소비자의 품질에 대한 욕구를 충족시키면서 환경적 책임을 제품개발에 반영하여 개선하고자 하는 도구이다. 궁극적으로 친

환경설계를 통하여 기업은 조직과 제품의 새로운 이미지를 창출할 수 있으며 사회적 위상을 제고함으로써 기존시장에서 전략적인 경쟁우위를 차지할 수 있다.

1.1 환경규제동향

최근 유럽에서 발표된 폐차 리사이클 법규에 따르면 2003년 7월 1일부터 판매되는 9인승 이하 승용/승합차 및 3.5톤이하 트럭에 대하여 판매자가 폐차시 무상회수토록 규정하였고 폐기물 및 유해물질(규제대상: 납, 카드뮴, 수은, 6가크롬)에 대하여 사용금지토록 규제하였다.

대한무역투자진흥공사(KOTRA)는 EU 시장무

표 2. Standard for Earth Pollution in Korea

(unit : mg/kg)

항 목	토양오염 우려기준		토양오염 대책기준	
	농경지	공장/산업지역	농경지	공장/산업지역
카드뮴	1.5	12	4	30
구 리	50	200	125	500
비 소	6	20	15	40
수 은	4	16	10	40
납	100	400	300	1000
6가 크롬	4	12	10	30

표 3. Standard for Earth Pollution in Other Country

(unit : mg/kg)

항목	주거지			농경지 / 산림지			공업 / 산업지역		
	일본	캐나다	EU	일본	캐나다	EU	일본	캐나다	EU
카드뮴	0.01	5	20	1	3	10		20	200
구 리	-	100	200	125	150	200		300	600
수 은	0.0005	2	10	-	0.8	10		10	500
납	0.1	500	100	-	375	100		1000	600
6가 크롬	0.05	250	800	-	750	400		800	20000

역 조치보고서에서 환경문제는 유럽시장을 돌파하기 위해 반드시 해결해야 할 과제라며 환경 규제조치를 사전에 면밀히 검토 대응해야 한다고 지적하였다.

국내자동차 생산업체들도 이 규제에 대응하기 위하여 상기 법규사항들에 대해 각각의 대응전략을 수립하고 2002년 말부터 규제를 만족하는 제품을 생산하기 위해 유해물질을 대체할 수 있는 방안을 모색중이다. 이를 위해 기존 적용되고 있는 부품들에 대한 유해중금속 사용량을 조사하여 기초검토를 하고 있으며 중금속 대체기술 개발 및 적용에 대한 연구가 활발히 진행중이다.

### 1.2 환경규제물질의 영향

환경유해물질의 배출로 인해 토양오염으로 인한 환경상의 오염을 유발하며 농경지에서 재배된 농산물은 카드뮴 등 유해 중금속을 고농도로 함유하고 있어 장기간 섭취시 이따이따이병 등 유해중금속의 인체흡수로 인한 피해가 발생하게 되며 중금속이 토양에 다량 함유되었을 경우 눈이나 비로 인해 주변 하천을 오염시켜 생태계에 악영향을 미치고 있다.

## 2. 본 론

### 2.1 유해물질의 특징

#### 2.1.1 납(Pb)

납은 주로 금속이나 플라스틱의 도장부품에

많이 사용되고 있으며 고무부품 제조시 필요한 가황보조제로 사용되고 있다. 자동차용으로 주로 적용되는 곳은 연료탱크, 휠발란스, 배터리 케이블단자, 하부차체코팅, 전착도료등과 연료호스, 오일셀등의 고무부품의 배합제의 성분으로 사용되고 있다. 화학적 특징은 원자량이 207.19이고 비중은 11.3437(16℃)이며 융점은 327℃, 미색의 등축결정상으로 질산과 진한황산에 녹는 성질을 보유하고 있다. 금속납은 청백색의 부드러운 금속으로 절삭면은 광택이 있다. 공기중에서는 신속히 산화막을 형성하며 연색이 된다. 가열하면 산화되며 이산화납(황색), 삼산화납(동색)을 거쳐 사산화납(적색)이 된다. 화합물은 1, 2, 3, 4가가 있으며 4가보다 2가가 안정하다. 할로젠 원소와는 잘 반응하지만 물은 산에는 녹기 어렵다. 고무용 배합제 성분으로 사용되는 형태는 주로 PbO나 Pb<sub>3</sub>O<sub>4</sub>로 그 기능은 강력한 환원력으로 고무부품의 내후성, 내노화성을 향상시키거나 가교반응시 반응을 촉진하기 위한 산 받개(Acid Acceptor)로 사용되고 있다.

#### 2.1.2 카드뮴(Cd)

카드뮴은 PVC등의 플라스틱이나 각종 고무부품의 제조시 안정제로 주로 사용되며 원자량은 112.4, 비중은 8.642며 융점은 320.9℃이며 백색의 육방형의 결정체로 물에 불용성인 원소이다. 상온, 공기중에서 산화피막으로 보호되고 내부는 침해받지 않으나 용이하게 산화카드뮴

이 된다. 할로젠과 산에는 반응하기 쉽고 알칼리와는 반응되기 어려우며 화합물중에는  $Cd^{2+}$ 로 존재하고 아연아암시 부산물로 전해에 의해 최근 99.99%이상의 카드뮴 순품을 얻는다. 카드뮴은 아연광과 황화카드뮴 중에서 발견된다. 이 물질을 아연광의 제련시 증기중이나 황산아연을 정제할 때 슬러지로써 얻어진다. 주요 화합물로서는 산화카드뮴, 질산카드뮴, 염산카드뮴, 스테아린산 카드뮴등이 있다.

### 2.1.3 6가 크롬

6가 크롬은 볼트, 너트, 래치(Latch)등의 다크로 처리부품과 아연도금부품 그리고 도장하지 용 인산염 피막처리 부품, 알루미늄 부품의 아노다이징 처리부품, 기타 내식성을 위한 표면처리등에 사용되며 원자량은 61.99, 융점은 1905℃이며 비중은 6.92의 은백색광택이 있는 금속이다. -2부터 +6까지의 산화수를 가지고 있지만 보통 +2, +3, +6이며 상온에서는 안정해서 공기중이나 수중에서 산화되지 않는다. 크롬은 자연계에 널리 분포되어 있으며 화학공업에 널리 사용된다. 은백색의 백금과 유사한 광택이 있고 경도가 높은 금속으로서 내식성, 내마모성이 풍부해서 도금에 쓰이는 것외에 합금재료로 스텐레스강, 니크롬선 등에 쓰인다. 크롬 화합물중에 6가 크롬은 특히 독성이 강하여 3가 크롬의 100배정도 유해하다는 것이 알려져 있다.

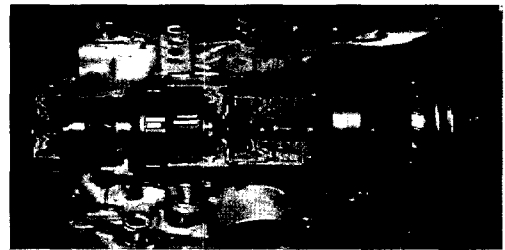
### 2.1.4 수 은

금속상태로 한관계, 혈압계, 기압계등의 여러 가지 이화학 기계와 수은등, 특수주형, 도금, 펌프등에 사용되며 그 용도가 넓다. 공업적으로는 식염수를 전해하여 수산화나트륨을 만들 때 수은법으로 사용되고 의약품의 제조 원료, 치과용 아말감으로도 사용된다. 수은은 페인트, 부서진 온도계, 물고기, 수은함유 살균제, 수은함유 이노제나 연고나 소독약, 목재 방부제, 화장품, 필름, 산업쓰레기, 공장주위의 연기나 물등에 다양하게 존재한다. 원자량은 200.59, 녹는점은  $-38.86^{\circ}C$ , 비중은 13.5이며 상온에서 유일

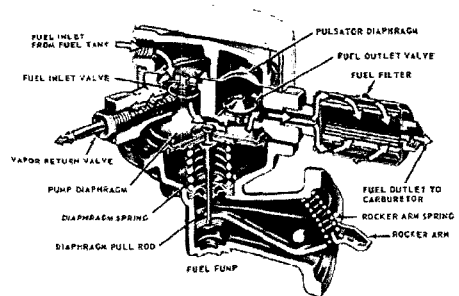
하게 액체인 금속이다. 특성은 은백색의 금속광택이 나는 무거운 액체이다. 고체로는 주석백색의 금속광택이 되며 전성, 연성이 크고 칼로자를 수도 있다. 팽창율이 크며 또한 상당히 넓은 온도범위에서 일정하다. 철, 니켈, 코발트, 마그네슘등을 제외한 대부분의 금속과 아말감을 만들며 저장할 때는 흔히 철로 만든 그릇을 사용한다. 염산에는 녹지 않지만 질산에는 녹아 질산수은이 된다. 공기중에서 건조할 경우에는 안정하지만  $300^{\circ}C$ 이상에서 산화수은이 되고  $400^{\circ}C$ 를 넘으면 다시 분해하여 수은이 된다.

## 2.2 유해물질의 적용대상

자동차용 고무부품을 제조할 때 사용되는 유해중금속은 주로 납(Pb)과 카드뮴(Cd)이다. 고무재료는 그 충분한 성능을 발휘하기 위해서는 일정온도에서 가교(Crosslinking)라는 반응이 이루어져야 한다. 납(Pb)은 그 가교반응시 조제의 역할을 하여 우수한 물성이 발현될 수 있도록 돕는 역할을 한다. 자동차용 고무부품은 장착개



Transmission System



Fuel Pump

그림 1. Sealing parts of vehicle.

소에 따라 그 종류가 달리 적용되며 사용환경도 서로 다르다. 특히 유해중금속이 배합제로 이용되는 고무부품이 적용되는 사용부위는 크게 변속기(Transmission)과 연료시스템(Fuel system)등이 있다.

변속기는 자동차의 구동력을 변환시켜주는 장치로써 여러 가지 금속의 기계요소들이 축위를 이동하여 맞물리면서 작동하게 된다. 이 경우 금속재들의 마찰과 마모, 발열등이 발생하게 되는데 이런 문제점들을 해결하기 위하여 변속기오일을 필요로 하게 된다. 이러한 역할을 하는 오일의 누유를 방지하는 고무제품을 변속기용 O-Ring, D-Ring이라 부르고 이 제품들은 아크릴 고무(Acrylic Rubber)로 제조 되는데 아크릴고무는 우수한 내유성을 보유하고 있고 150℃정도에서 상용된다. 이 아크릴고무의 제조시 가교조제로서 납을 함유한 배합제가 사용되어지고 있다.

연료시스템은 자동차용 연료가 이동되고 연소되는 일련의 과정으로 연료펌프, 인젝터, 연료파이프, 연료필터 등으로 구성되고 그 구성요소들에 연료의 누출방지 및 씰링을 목적으로 여러 형태의 고무제품이 적용되는데 주로 불소고무(Fluoro Rubber)가 이용된다. 불소고무는 탁월한 내열성 및 내 화학성으로 고온저항성이 요구되어지는 부위에 적용되고 있다. 이 불소고무의 제조시 가교조제로서 납을 함유한 배합제가 사용되어지고 있다.

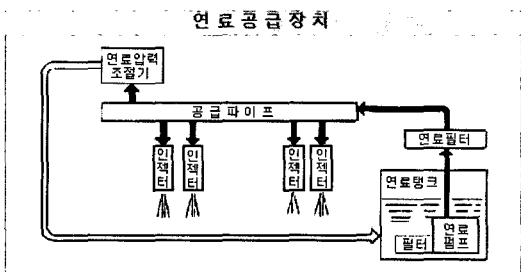


그림 2. Schematic diagram of fuel delivery system.

### 2.3 친환경 배합설계

자동차 산업에서의 규제대상 유해중금속은 여러 가지가 있지만 고무부품이 사용되어지는 경우 그것은 제한적이라 할 수 있다. 고무재료의 배합시 적용되는 유해중금속은 의도적으로 투입되는 경우는 납화합물이 대부분을 차지하고 있다. 고무산업에서 살펴보면 고무를 제조하기 위하여 투입되는 물질은 원료폴리머, 충전제, 가교제, 가소제, 촉진제, 가교조제 등으로 구성되는데 각각의 목적에 맞는 작용을 하게 된다. 여기서 주로 중금속이 함유되어 있는 물질은 가교조제로서 납화합물의 강력한 환원력으로 가교반응을 도와주는 역할을 하고 있다. 불소고무의 가교반응시 작용하는 메카니즘을 살펴보면 다음과 같다.

가교반응시 사용되고 있던 여러 가지의 납화합물들을 그 결과특성은 손상시키지 않고 다른 물질로 대체하는 연구가 다양하게 진행되었는데 본 연구에서는 불소고무와 아크릴고무의 가교반응시 사용되어지던 납화합물들을 대체할 수 있는 기술을 개발하고자 하였다. 먼저 불소고무를 살펴보면 사용되어지는 가교반응을 크게 세가지로 나눌 수가 있다. 전통적으로 실시되던 아민가교방식은 그 우수한 내열성 및 기계적물성으로 인해 많이 사용되어졌으나 유해중금속인 납화합물을 안정제로 사용해야만 하는 단점을 안고 있고 반응시간이 다소 긴 불리한 점을 보유하고 있다. 이 점을 보완하기 위하여 가교시간을 단축시키고 가공성을 개량시

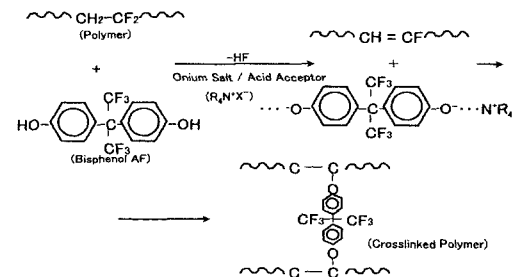
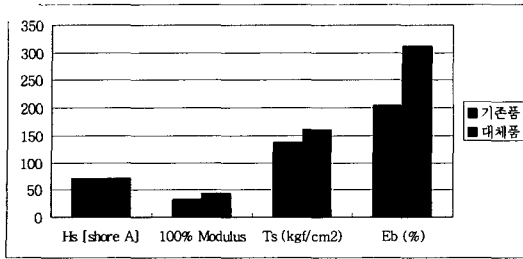
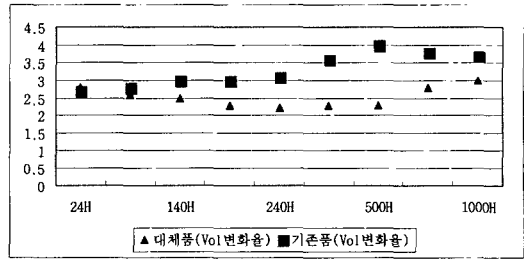


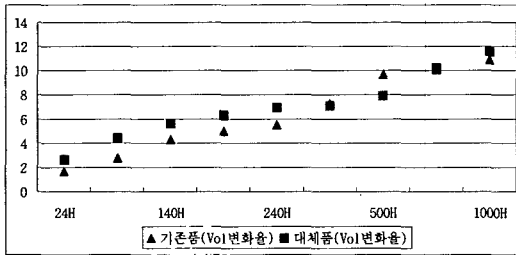
그림 3. Mechanism of FKM crosslinking reaction.



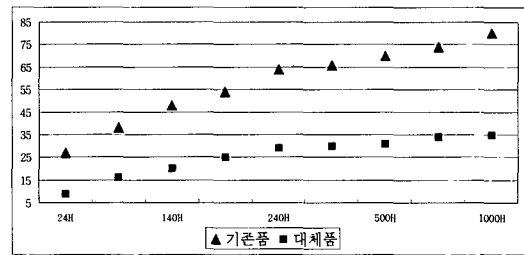
Basic State



Oil Resistance Test(ASTM #3, 175°C)

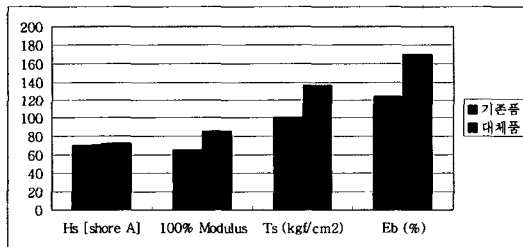


Fuel C Test(RT)

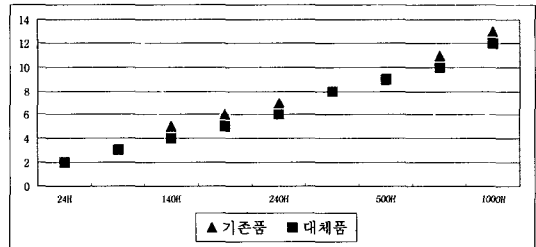


Compression Set Test(175°C)

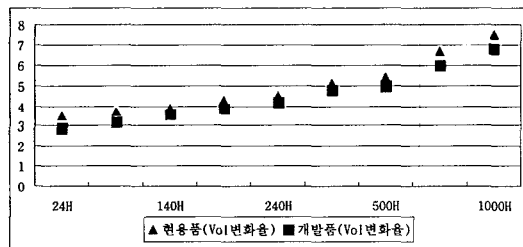
그림 4. Relative properties of FKM rubber(current vs test).



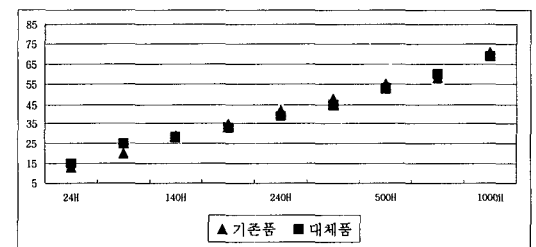
Basic State



Heat Resistance(150°C)



Oil Resistance Test(ATF, 150°C)



Compression Set(150°C)

그림 5. Relative properties of ACM rubber(current vs test).

킨 비스페놀 가교방식을 이용하고 과거의 납화 합물을 다른 금속화합물로 대체할 수 있는 기

술들을 적용하여 우수한 물성을 발현시키고 장 착개소의 특성을 향상시킬 수 있는 특성들을

확보할 수 있었다. 본 기술에서 도출된 결과물성을 비교하면 다음과 같다. 기본특성면에서는 과거방식보다 인장강도와 신장율의 물성발란스가 비교적 안정적으로 나타나며 O-Ring에서 가장 중요한 특성물성인 압축영구줄음율도 개선 효과가 있는 것으로 나타났다. 또한 상대유로 사용되어지는 연료유에 대한 침적시험의 결과도 대등한 것으로 측정되었다.

아크릴고무에 대하여 살펴보면 전통적으로 실시되던 염소계의 가교제를 이용하여 가교반응을 진행시켜서 적합물성을 확보하는 방법이 주종을 이루었으나 이 경우 유해중금속인 납화합물을 가교조제로 사용해야하는 부담이 있었

표 4. Formulation of Conventional vs. New Type ACM Compounds

Ingredient	Compound I	Compound II	Compound III
polymer	100 (Conventional)	100 (New type)	100 (New type)
carbon black	30~50	←	←
dibasic lead phosphite	5	-	-
stearic acid	1	1	1
anti-oxidant	1~3	1~3	1~3
cross-linking agent	1~3 (Conventional)	2~5 (New type)	2~5 (New type)
sulfur		0~1	-

표 5. Formulation of Conventional vs. New Type FKM Compounds

Ingredient	Compound I	Compound II	Compound III
polymer	100 (Conventional)	100 (New type)	100 (New type)
carbon black	30~50	←	←
dibasic lead phosphite	20	-	-
cross-linking agent	1.5	2	2
MgO		6	3
Ca(OH) <sub>2</sub>		3	6
accelerator		0.5~2	0.5~2

다. 본 연구에서 실시한 가교방식은 가교제의 형태를 변경시켜 활성이 부여된 가교방식을 채택함으로써 가교조제로서 유해중금속을 사용하지 않고도 요구물성을 발현시킬 수 있었다. 본 기술에서 도출된 결과를 다음에 나타내 보았다. 납화합물을 사용하지 않는 신기술을 사용한 고무재료의 물성이 기존방식의 고무재료에 비해 기계적인 물성이 향상되었고 가교반응의 속도도 다소 빨라지고 있는 것을 알 수 있다. 사용유인 변속기 오일의 침적시험에서도 우수한 결과를 보이고 있어 변경 적용시 다소 향상된 물성을 발현할 수 있을 것이라는 예상을 할 수 있다. 표 4, 5는 전통적인 컴파운드 대신 유해물질이 사용되지 않은 자동차 트랜스미션에 적용되는 고무조성 및 연료시스템용 고무조성의 변화내용을 나타내었다.

## 2.4 유해물질의 분석

본 기술로 제조된 고무재료의 유해중금속 함유여부를 확인하기 위하여 ICP (Inductively Coupled Plasma)를 이용, 분석하였다. ICP는 원자발광계로 여기상태의 원자나 이온이 방출하는 빛을 측정하여 정량분석하는 기기이다. 즉, 열적 또는 전기적 에너지에 의해 불안정한 상태로 여기된 자유원자나 이온이 안전한 배열이나 기저상태로 떨어질 때 고유 파장의 빛이 방출되며 그 에너지는 농도에 비례하는 점을 이용한다. ICP의 검출한계는 ppb 범위까지로 AAS보다 우수하며 분석작업의 영역도 1000배 가량 넓은 것으로 알려져 있다. 20~30가지의 다중원소 분석으로 각 시료에 대해 15초당 40여개의 시료분석이 가능하며 이로 인해 시간과

표 6. Results of ICP Analysis

(unit : ppm)

구 분	FKM용 O-RING		ACM용 O-RING	
	기존재료	대체재료	기존재료	대체재료
Pb	30.3	검출안됨	2.21	검출안됨
Cd	1.88	검출안됨	0	검출안됨

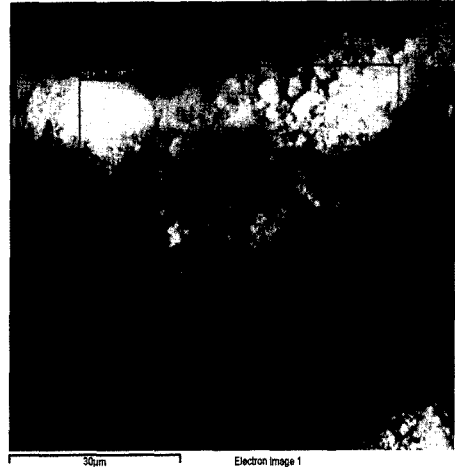


Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Spectrum	C	O	P	Pb	Total
Spectrum 1	11.83	13.91	3.63	70.63	100.00
Max.	11.83	13.91	3.63	70.63	
Min.	11.83	13.91	3.63	70.63	

All results in Weight Percent

기존재료



Processing option : All elements analyzed (Normalised)

Spectrum	C	O	Mg	Si	P	S	Cl	Ca	Cu	Zn	Total
Spectrum 1	10.48	41.71	44.99	0.13	0.20	0.48	0.14	0.35	0.92	0.60	100.00
Max.	10.48	41.71	44.99	0.13	0.20	0.48	0.14	0.35	0.92	0.60	
Min.	10.48	41.71	44.99	0.13	0.20	0.48	0.14	0.35	0.92	0.60	

All results in Weight Percent

대체재료

그림 6. Results of SEM & EDS.

경비를 절감할 수 있으나 발광선들의 간섭장이나 매트릭스의 장애가 있는 것으로 평가되고 있다. 본 기술에서 개발된 고무재료와 기존 재료의 비교분석 결과를 다음에 나타내었다.

### 3. 결 론

국내의 자동차 생산업체들은 2002년을 기준으로 환경선진국들의 환경전문컨설팅업체로부터 환경경영에 대한 컨설팅을 받거나 환경관련 위원회를 구성하고 제조공정에서 발생하는 에너지의 흐름을 정량화하는 전과정 평가시스템을 강화해 폐기, 재활용도를 높인다는 방침을 내세우고 있다. 이처럼 완성차 업체들의 움직임에 따라 부품업체들도 유해중금속의 함유를 조사하는 등 분주한 움직임을 보이고 있는 실정이다.

본 연구에서는 자동차의 변속기부분과 연료시스템에 적용되는 씰링부품에 대한 유해중금

속의 사용을 대체할 수 있는 기술을 개발하고 그 특성을 평가하였다. 우수한 내열성 및 내화학성을 요구하는 장착부위인 연료시스템용 불소고무 재료는 최적의 물성балан스를 유지하는 배합설계의 개발이 상당히 중요한 항목이다. 이 불소고무의 가교반응시 산받개(acid acceptor)로 사용되던 납화합물을 유해하지 않은 금속화합물로 변경, 시험하여 우수한 결과를 확보하였다. 내마모성이 상당히 요구되어지는 변속기 부분의 아크릴 고무재료는 우수한 내유성 및 기계적 물성이 요구되는 바 현재의 기계적 물성을 저해하지 않는 상황에서의 유해중금속의 대체가 필요하였고 결과적으로 우수한 물성을 보유하는 대체재료의 개발을 실시할 수 있었다. 수출지향적인 국내의 자동차 산업의 특성을 볼 때 환경규제에 대응 할 수 있는 자동차부품 제조기술의 개발은 아주 중요하며 국내 고무산업의 진일보에도 일조를 할 수 있을 것이라 판단



된다.

### 참 고 문 헌

1. G. Green and C. English, "Stress and Deformation of Compressed Elastomeric O-Ring Seals", 14th Int. Conf. on Fluid Sealing, BHRA, pp.83-95, 1994.
2. Kazimerz T. Ksieski, "Seal Extrusion", Lubrication Engineering, pp.198-205, 1970.
3. A. T. J. Hayward, Hydraulic Pneumatic Power, 11, 642 (1965).
4. A. T. J. Hayward, Hydraulic Pneumatic Power, 16, 28 (1970).
5. A. T. J. Hayward, Aeration in Hydraulic System-Its Assessment and Control, Oil Hydraulic Power Transmission and Control, Inst. of Mech. Engrs., London, pp.216-224, 1961.
6. W. M. J. Schlosser, "Mathematical Model for Displacement Pumps and Motors", Hydraulic Power Transmission, 7, 252 (1961).
7. W. Ernst, "Oil hydraulic Power and its Industrial Application", 2nd ed., McGraw Hill, p.137, 1960.
8. Hydraulic and Pneumatic Fluid Power-Vocabulary, ISO/DIS 5598.
9. ISO STANDARDS HANDBOOK, 25, Fluid Power Systems, 1985.
10. J. H. Brown, Annual Report on the Progress of Rubber Technology, Plastics and Rubber in Stitue, London. p.31, 1976.
11. L. A. Wall, Fluoropolymer Interscience, New York, 1972.
12. J. C. Montemerso, Rubber Chem. Technol., 34, 1521 (1961).
13. R. K. Matthan, Rubber Engineering Indian Rubber Institute, 608 (2000).
14. 西家正起 고무재료의 선택 포인트, 일본규격협회, 47 (1991).
15. 화학공업일보사 9887의 화학약품, 812 (1987).
16. 성능시험방법, KS B 2804, 1991.
17. 가황고무 물리시험 방법, KS B 6518, 1996.
18. 유기탄성체연구회, "고무과학과 기술", pp.258-271, 2001.
19. 김명웅, 고무공업화학, 선진문화사, pp.15-16, 2001.