

## 자동차용 고무부품의 품질현황 및 대응방안

양 경 모

### 1. 개 요

최근 자동차 산업은 승객과 보행자의 안전성 강화, 연비 규제가 지속적으로 강화되고 있다. 지구 환경 문제가 대두되면서 오존층 보호를 위한 프레온 가스 규제, 일부 유기용제의 사용이 금지되었고, 지구 온난화 제어를 위한 CO<sub>2</sub> 배출저감, 대기 오염 방지를 위한 가솔린 휘발 저감 법규가 적용되고 있고, 산업폐기물 대책, 리사이클성 향상 등 자동차 산업에 대한 사회적 요구가 다양하고 가혹해 지고 있다. 자동차용 고무부품도 기존의 기능적인 품질 뿐만 아니라 최근에는 고객의 즐거움을 가져다 주는 감성적 품질을 더 중요시 하는 단계에 이르렀다. 고무부품은 메인テナンス 프리화 및 고성능, 고내구화 요구로 고무의 노화현상을 정확히 파악하는 것이 중요한 과제로 되어 있다. 최근의 자동차 시장은 글로벌화, 친환경 및 초저가 차량 개발 등 무한 경쟁을 하고 있는 상황이다. 가장 현실적인 요구는 기능향상 뿐만 아니라 비용절감

표 1. 고무부품의 종류

시스템 부품	엔진	샤시	차체
방진 고무	엔진마운트 댐퍼폴리	서스펜션 서포트 등속조인트 부트 댐퍼류 범퍼스토퍼	바다마운트 부시류 머플러행거
호스	연료호스 에어호스 에어클리너호스 인터쿨러호스 냉각계호스 PCV호스	연료호스 브레이크호스 파워스티어링호스 오일쿨러호스	에어호스 연료라인호스
셀	오일셀류 오링류 다이아프램류 가스케트류 부트류	오일셀류 다이아프램류 부트류 가스케트류 마스터실린더컵	웨더스트립 글래스런 벨트라인몰딩 윈드실드몰딩
기타		벨트 타이어	와이퍼블레이드

이다. 따라서 고무 부품의 품질은 내구성, 신뢰성 향상에 맞추어지고 있으며, 더욱이 보증기간이 사용자의 환경이나, 지역에 따라 달라지는 경우도 있어, 향후 맞춤형 신뢰성 향상의 새로운 시스템

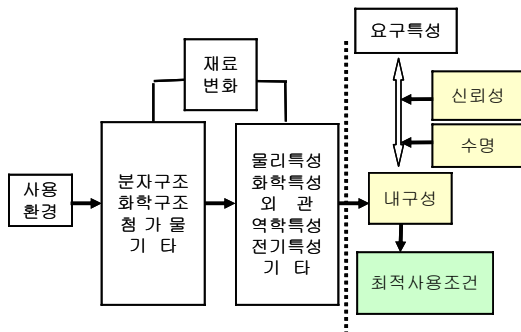


그림 1. 고무부품의 요구특성



양경모

1991 경희대학교 화학공학과 학사  
1991 ~ 현대 · 기아연구개발총괄본부  
현재 선형개발센터 재료분석팀

이 필요하다.

자동차용 고무부품은 시스템별로 다음(표 1)과 같이 분류 된다.

본문에서는 고무부품 기능 및 요구사항과 품질 개선 사례에 대하여 논하고자 한다.

## 2. 방진고무

차량용 방진고무는 하중을 지지하는 기능과 진동이 운전자에게 전달되지 않게 절연하는 역할을 한다. 방진고무는 주행거리 및 사용기간이 증가함에 따라 전체적인 성능이 저하되는데 그 원인은 크게 외부 환경요인과 기계적 요인으로 나눌 수 있다. 외부 환경요인으로는 공기(산소), 온도, 오존 등의 영향을 들 수 있는데, 공기의 침투는 산화반응을 일으켜 주 사슬의 이중결합 절단으로 이어져 내피로성 열화로 나타나고 가교밀도 증가(경화)는 경도 및 탄성계수 증가로 이어져 강성 증가로 나타난다. 온도는 고온 조건에서 산화반응을 가속시켜 물성을 기하 급수적으로 저하시키며, 오존은 주 사슬의 이중결합 절단을 일으켜 인장 시 표면의 미세 크랙을 발생시키게 된다. 기계적 요인으로는 정적 하중과 동적 하중의 영향을 받는데, 정

적 부담하중은 영구변형(Creep)을 일으키며 강성 변화로 이어진다. 또한 동적 진동하중은 피로균열 발생 및 성장을 촉진시켜 파손을 일으키는 역할을 한다. 자동차용 방진고무의 성능과 요구특성과 고무부품의 노화 요인과 현상은 다음(표 2, 표 3)과 같다.

최근 엔진마운트의 고장 요인 분석 사례(그림 2)를 살펴보면 고무 재료의 결함과 엔진마운트의 기능 결함이 복합적으로 나타난다.

표 2. 자동차용 방진고무의 성능과 요구특성

방진고무	방진성능	주파수	진폭	고무의 요구특성
엔진 마운트	저주파 영역의 idling/shake 대책	10Hz 전후	대	tan δ up
	고주파 영역의 실내소음/진동 대책	100Hz	소	저동배율
서스펜션 부시	실내소음/진동대책 /주행안정성	100Hz 전후	대	고경도 저동배율 low friction
구동계 댐퍼류	구동계의 진동소음 대책	200~500Hz	중	고온 영역의 tan δ up

표 3. 고무부품의 노화 요인과 현상

현 상	화학적 변화						물리적 변화									
	변 색	브 루 밍	미 소 균 열	오 존 균 열	경 화	연 화	찢 김 · 파 손	피 로 균 열	치 짐	강 도 저 하	마 모 · 마 찰	팽 윤	추 출	접 착 저 하	분 리	
외 적	산소			○		○	○	○	○	○	○					
	열	○	○	○		○	○	○	○	○	○			○	○	
	오존				○											
	빛	○	○	○		○	○									
	응력			○				○	○	○	○			○	○	
	물·수분	○	○			○					○	○	○	○	○	
내 적	내유·내용제성		○	○		○	○			○	○	○	○	○	○	
	첨가물			○		○	○									
	약품	○	○	○		○	○					○	○			
	염소													○	○	
내 적	고체			○		○										
	미생물	○		○		○				○						
	배합, 혼연, 성형	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○			○	○	
내 적	가공공정	○	○					○	○	○			○	○		

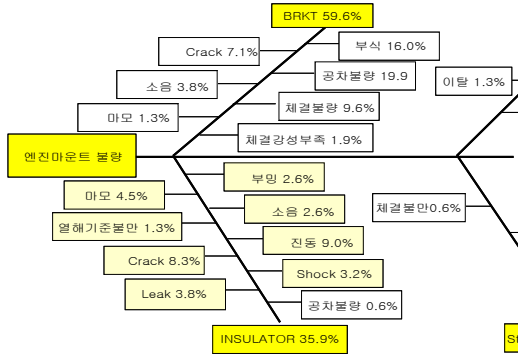


그림 2. 방진고무 고장 요인 분석(사례)

엔진마운트는 엔진에서의 진동과 소음을 차내에 전달되지 않도록 하기 위하여 사용되기 때문에 특히 다른 고무 보다도 동적 특성의 요구가 엄격하다. 또한, 엔진을 장기에 걸쳐 지지하기 위해 내구성, 내열성이 중요한 요구특성이다. 뿐만 아니라, 이러한 요구특성에 반하여 고객은 ‘차량이 떨린다’, ‘진동이 있다’, ‘밑에서 소음이 난다’. 등의 NVH(Noise Vibration Hashness)와 연관된 품질 문제가 계속 보고되고 있다. 필드 차량의 주요 품질 유형과 개선 사례는 다음과 같다.

### 2.1 엔진마운트의 내열성

상기에서 기술한 엔진마운트는 각 업계의 많은 시행착오와 노력으로 과거의 파손과 같은 심각한

표 4. 재료별 엔진마운트 내구 비교

구 분		일 반	내열(I)	내열(II)
10만 km 내구 후	정스프링 상수 변화율 (%)	100(기준)	30	15
	처짐량 (%)	100(기준)	40	20



그림 3. 엔진마운트 내구 부품

문제는 다소 해결되었으나, 향후, 엔진마운트의 주요 기능인 초기 승차감이 장기적(10년 20만km)으로 어떻게 보증할 것인가는 새로운 복합적 시스템의 개발 및 연구가 필요하다.

### 2.2 다이나믹 댐퍼의 진동

다이나믹 댐퍼는 특정 시스템의 진동 저감을 위해 사용하게 되는데 일반적으로 한 차량에 2~4개 정도가 장착되어 있다. 그러나 장기간 사용함에 따라 고무의 물성이 변하여 댐퍼의 고유주파수 특성이 바뀌게 되며, 원래 목적인 진동 저감 효과는 사라지고 중량 증가 요인이 되기도 한다.

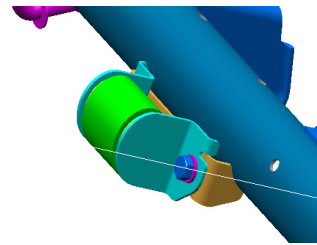


그림 4. 다이나믹 댐퍼

주로 댐퍼에 접착된 고무층(천연고무)이 경화가 촉진되어 신차 초기에 튜닝된 특정 주파수 영역대를 벗어나 진동과 부밍을 일으킨다. 스티어링 휠(운전석)의 진동, 부밍 문제를 개선하기 위하여 새

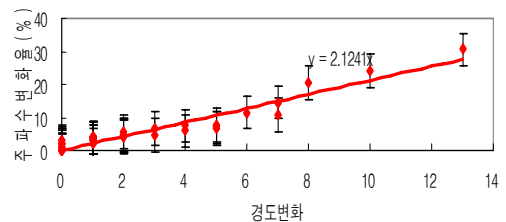
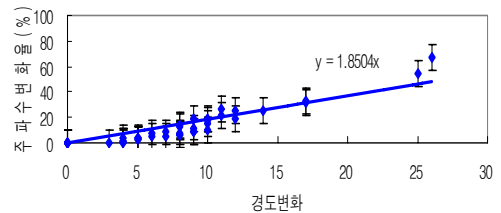


그림 5. 다이나믹 댐퍼의 부품 실차 상관성 비교

로운 고무재료(천연고무와 스티렌부타디엔고무 블렌드) 조성으로 내열성을 기존 보다 30℃ 향상시켰다. 개선된 내열 강화 재료를 실차에 장착하여 장기 주행(20만km) 후 기존의 재료와 비교한 결과 기존의 재료는 주행 후 주파수 특성변화가 너무 커서 진동절연 효과가 거의 없었으며, 내열 강화 재료는 장기 주행 후 에도 차량의 진동 영역(운전석)의 초기 튜닝 주파수 특성이 유지되는 진동절연 효과가 큰 것으로 확인(그림 5)되었다.

상기 사례는 내구 신뢰성 측면에서 재료 및 부품의 노화 정도 데이터와 실제 차량의 주행 마일리지와의 상관성을 검증한 예이다.

### 2.3 스테빌라이저 바 부시의 동절기 노이즈

스테빌라이저 바는 자동차의 전륜과 후륜에 부착되어 자동차의 코너링시 균형을 유지시키는 장치로, 이곳에 부착되어 바를 지지해 주는 역할을 하는데 스테빌라이저 바 부시가 사용되고 있다. (그림 6) 동절기 노이즈가 발생 원인으로 고무의 저온영구압축줄임율이 중요 인자로 거론되고 있다.

저온영구압축줄임율이 좋지 않음으로 인해 저온에서 탄성회복력이 약해져서 바와 부시 사이에 유격이 발생하여 그 사이로 이물질과 수분이 유입되어 노이즈 발생의 한 원인이 된다. 즉 영구압축줄임율이 나쁜 경우 장기간 고무가 바를 지지할 때 탄성회복력이 약해지고 그 결과 자동차의 소음에 영향을 주는 인자로 작용하여 승차감 및 내구성에 악 영향을 미치게 된다. 이를 해결하기 위하여 폴리머 함량비를 조절하였으며, 충전제 및 첨가제, 가교밀도를 조절하여 재료의 저온(-30℃ 분위기하) 영구압축줄임율을 개선하였다. -15℃ 환경 조건에서 마찰소음(dB)을 가속도계로 측정한다

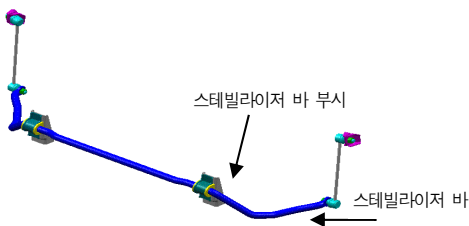


그림 6. 스테빌라이저 바 부시 장착도

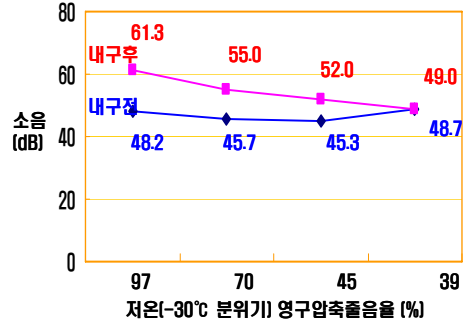


그림 7. 마찰소음 측정 결과

결과 그림 7와 같이 노이즈 개선 효과를 얻었다.

방진고무의 열화에 영향을 미치는 인자로는 열부하, 사용기간, 노면 입력하중, 엔진/변속기의 자중 등으로 내구 품질이 결정되어 지는데, 과거의 불만족 주요 요인인 고무 재료의 오존 및 열노화 부족, 기계적 강도의 부족에 의한 크랙, 파손 등의 고객 불만 사항은 현저하게 줄어들었다. 향후 방진고무는 고객의 감성적 요구 수준이 높아지고 있어 일정 사용 기간의 내구성 확보를 기준으로 장기 사용 후에도 방진의 고유 성질을 유지할 수 있도록 하는 새로운 설계 기술과 평가 시스템의 연구가 요구된다.

### 3. 셸 링

최근 셸링고무부품에 요구되는 품질은 크게 기능적 품질 및 감성적 품질로 나누어 볼 수 있는데, 기능적 품질 관점에서 보면 첫째, 석유연료를 대체해서 사용하고 있는 알코올연료, 바이오연료(Bio-Fuel)에 대한 고무재료의 기계적 요구 물성 만족 및 환경법규 대응이 요구되고 있다. 둘째, 운전자 안전과 밀접한 관련이 있는 중요 보안고무부품(브레이크호스, 파워스티어링호스 등)들의 안전법규 및 환경법규 강화에 따른 성능 만족이 요구되고 있다. 셋째, 자동차에 사용되고 있는 엔진오일, 유압시스템 작동유, 부동액의 무교환 개발에 따른 기유(Base oil) 및 첨가제 변경에 대응하는 셸링 성능이 요구되고 있다. 넷째, 지리적 위치, 문화적 차이에 따라 고무부품에 요구되는 품질이 있다.

구체적인 사례를 보면 다음과 같다.

### 3.1 연료펌프 씰 패키징 구조

연료시스템내 연료펌프 패키징이 유사연료에 포함된 메탄올 성분에 의해 팽윤이 되어 씰링 성능 저하를 유발시킨 사례이다.

그림 8을 보면 연료유에 포함된 메탄올의 함량비에 따른 연료시스템내 사용되고 있는 고무재질별 체적변화를 보여주는 그래프로 가로축은 연료유C에 함유된 메탄올 함량비(%)를 나타낸 것이고 세로축은 체적변화율(%)을 보여 준다. 그림 8에서 보는 바와 같이 고무재료별로 메탄올에 대한 영향도가 차이가 나는 것을 확인할 수 있다.

시장에서 불법으로 유통되고 있는 유사연료내 메탄올 함량비가 16~20% 내외로 연료에 포함되었고 씰 패키지 재질은 2 원계 불소고무로 그림8.의 그래프와 같이 40℃, 70시간 침적 후 체적변화율은 약 30~40% 정도로 그로멧 타입 패키징이 스페이서에 안착되지 못하고 이탈되는 문제가 발생하였다. 다른 차종의 유사 사례를 조사한 결과 연료펌프내 씰 패키징의 구조가 오링(O-ring) 타입으로 메탄올에 의해 팽윤이 발생하더라도 씰링 성능 저하에 영향이 없는 구조로 되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 따라서 개선방향은 기존 2원계 불소고무로 제작된 그로멧 타입의 씰 패키징의 재질을 3원계 불소고무로 변경하기 보다는 고무 씰의 팽윤이 일정 부분 있더라도 씰링 성능에 영향이 적은 오링 타입의 패키징 구조 변경으로 비용 손실 없이 개선되었다.

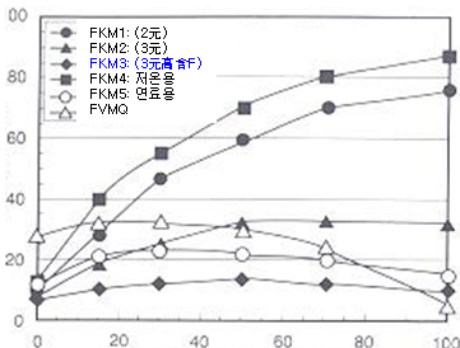


그림 8. 메탄올 함유 연료에 대한 고무재료 거동

### 3.2 클러치 마스터 실린더 컵 씰 팽윤

클러치 시스템은 다수의 고분자부품으로 복합적으로 구성되어 있으며, 일반적으로 고무로 성형된 호스류, 씰류, 그리고 플라스틱으로 성형된 피스톤, 실린더 바디 등으로 구성되어 있다. 실린더 내부에는 2개의 컵 씰이 있으며, 이 컵 씰의 내주면에 있는 주립(main lip)에 의해 씰링을 하는 구조로 되어 있다. 장기 사용시 클러치 마스터 실린더 내부에 액압이 부족하여 압력 전달이 원활하지 않아 클러치 페달이 원래 위치로 회복 되지 않는 경우가 있다. 액압이 전달되지 않은 원인을 조사한 결과 실린더 내부에 있는 컵 씰의 팽윤으로 컵 씰 내경이 증대되어 피스톤과 컵 씰 내주면 주립 사이에 미세 틈이 일어나 압력 전달이 원활하지 않는 현상을 확인하였다. 컵 씰의 팽윤을 유발시키는 인자를 찾아 내기 위하여 클러치 마스터 실린더 작동유로 사용되고 있는 브레이크 오일과 컵 씰의 적합성 시험으로 컵 씰의 팽윤과 내경 변화는 없는 결과를 얻었다. 시스템내 타 고분자부품과의 적합성을 확인하는 과정에서 리저버 탱크와 클러치 마스터 실린더를 연결시켜주는 EPDM (ethylene propylene diene rubber) 고무호스에서 가소제, 오일 성분이 빠져나와 컵 씰을 팽윤시키는 시험 데이터를 얻었다. 일반적으로 고무 부품을 성형할 경우에는 고무 분자간 윤회제로 가소제를 고무혼연시 소량 투입하는데, 적절한 선정을 위해 원소재 종류 및 성형 부품의 요구조건(경도, 내한성, 접촉유체, 타부품 영향도 등)을 확인하는 것이 필수적이다. EPDM 고무호스에서 가소제로 사용하고 있는 오일은 석유계 탄화수소로 비극성인 EPDM 고무호스와 상용성은 좋으나, 호스로부터 소량 추출이 될 경우 EPDM 재질의 컵 씰을 팽윤시킨다. 일반적으로 브레이크 및 클러치 시스템내 EPDM 고무부품의 혼연에는 광물유계 가소제를 사용하지 않는 것으로 보고되고 있다. 따라서 개선방향은 EPDM 고무호스 배합시 투입되는 가소제를 삭제함으로써 컵 씰의 팽윤을 개선시킨 사례이다.

### 3.3 차체 웨더스트립 마모

비와 물, 먼지 등의 실내로의 유입을 방지하며 주행 중 바람소리와 진동을 저감시켜주는 웨더스트립은 차량의 차체에 장착되어 도어를 닫았을 때 밀폐 기능을 수행한다. 이러한 웨더스트립류의 주요 이슈중 하나는 바디사이드부 웨더스트립의 조기 마모 현상이다. 특히, 승객의 승/하차가 빈번한 택시에서 나타나며, 운전자의 체구가 크고 승/하차 습관이 웨더스트립에 엉덩이를 걸치고 승차하는 경우가 북미 지역에서 많이 일어난다. 웨더스트립은 크게 스폰지부와 캐리어부로 구성되며 주로 고무배합에 발포제를 첨가하여 압출과정에서 스폰지 타입으로 발포시킨다. 자동차용 웨더스트립은 발포 처리된 스폰지 표면에 코팅층이 도포되며, 코팅층은 웨더스트립의 내구성을 결정하는 요소 중의 하나이다. 기존의 코팅제는 웨더스트립의 동결방지를 위하여 도포된 것으로 실리콘 계열을 사용하였다. 실리콘 계열은 저온에서 웨더스트립이 동결에 의한 찢어짐, 파열되는 현상과 노이즈를 방지하는 역할을 한다. 실리콘 계열은 내마모성이 취약하므로 기존 웨더스트립 제품들은 외부의 마찰에 의하여 쉽게 마모되어 찢어지는 취약점이 있다. 이러한 현상을 개선하기 위하여 시험 조건 및 품질 규제치를 재설정하였으며, 우레탄과 불소 성분을 혼용하여 코팅제에 마모성능을 추가하였다. 코팅제의 개선전과 개선후의 웨더스트립 내마모성 비교 결과 30배 이상의 내마모성이 향상되었다.

### 3.4 고무 부품의 변색

첫째, 육안으로 쉽게 볼 수 있는 엔진룸, 차체부에 부착된 고무부품의 변색과 이러한 부품과 접촉하고 있는 상대 부품의 오염도 품질의 주요 요인이다. 구체적인 예를 보면, 주로 EPDM고무가 적용되는 라디에이터 호스, 리저버 호스와 엔진룸 및 차체 와이어링 보호용 그로멧류가 일정 시간 경과 후 백화(Blooming)현상으로 나타난다. 호스 및 그로멧은 기능에는 별 문제가 없지만 감성적 측면에서 보면 품질의 하나다. 라디에이터 호스와 그로멧 표면에 흰색 계열의 이물질은 가황제, 촉진제, 활성화제, 노화방지제, 오일 등으로 분석된

다. 일반적으로 블루밍(Blooming)은 미가황 혹은 가황고무 중 배합약품의 일부가 고무의 표면으로 석출하여 고무의 표면에 피어나는 현상으로 황, 파라핀계 오일, 스테아린산, 및 어떤 종류의 노화방지제 등은 블루밍되기 쉽다. 블루밍에 영향을 주는 인자는 일반적으로 i) 가황제, 촉진제의 종류 및 투입량 ii) Polymer 구조에 의한 배합제의 용해성 iii) 블루밍의 속도 iv) 가류 활성화제 사용 v) 가류조건 vi) 미가황고무의 표면 Blooming vii) 유효가황과 Blooming 등과 관련이 있다고 할 수 있다. 따라서, 다양한 인자를 동시에 고려하여 개선하는 것이 곤란하여 시장에서 일정 마일리지 별로 부품을 수거하여 표면의 이물질을 정밀 분석하였다.

상기의 이물질 성분들은 고무내부에서 용해되지 않고 과포화 상태로 잔존해있다가 표면으로 석출되는데 그림 9와 같은 메커니즘으로 진행된다.

고무 컴파운드내에 용해도 이상의 농도로 존재하는 약품은 용해도 이상의 양에 대해서 결정화하려는 경향이 있다. 그리고 배합물 내에 과포화 상

표 5. 이물질 성분

유 기 물	무 기 물
Paraffin Oil, DISPER, CZ, BZ, DTD, TT	Zn, S, Si, Al, Ca, K, Cl

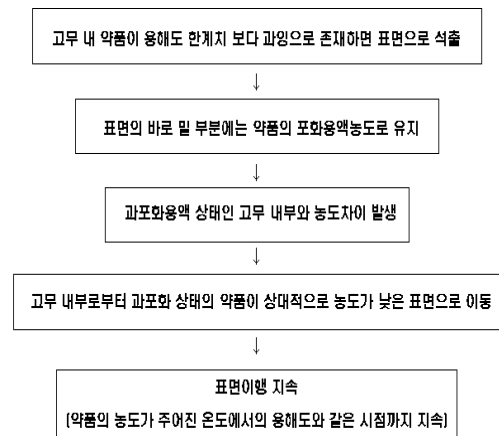


그림 9. 블루밍 현상 메커니즘

태로 존재하는 과잉 성분이 확산에 의하여 표면으로 이동하여 결정으로 석출된다. 따라서 개선방향은 고무 배합시 투입되는 가황제, 촉진제, 노화방지제, 산화아연 등의 투입량을 조절하여 과포화상태로 고무내부에 잔존하지 않도록 하였으며, 또한 배합제 선정시 Polymer와의 용해도를 고려하였다. 재현 조건에 온도, 습도, 오존 stress를 부여하여 장시간 시험(건식, 습식, 복합환경 조건)을 실시한 결과 양호한 결과를 얻었다. 향후, 고무부품이 차량에 장착되어 일정 기간 경과 후 Lab. 시험결과와 필드 조건과의 상관성 있는 데이터와 재배방지 프로세스를 정립 해야 하는 과제가 있다.

#### 4. 결 론

자동차용 고무부품은 자동차의 기술동향(안전성, 연비, 환경, 저가차)에 따라 변하게 되는데 최근 사회적, 환경적 요구와 고객의 요구 조건이 더 엄격해 지고 있다. 고무부품은 과거 10여년 동안 많은 노력과 신소재, 신기술 도입, 고무 컴파운드 개량으로 재료의 내열성, 내오존성, 내유성, 내연료투과성, 내화학성, 내마모성 등의 측면에서 품질이 획기적으로 개선되었다고 판단된다. 그러나, 차량 사용 환경 및 작동 조건을 고려한 시스템적 기능과 고내구성이 지속적으로 요구된다. 또한, 지역

및 국가별(북미, 유럽, 중국, 인도, 러시아 등) 요구 품질과 환경조건의 현격한 차이를 충족 시킬 고무품질 확보가 필요하며, 이를 검증 가능한 신뢰성 향상과 예측 기술이 과제로 남아 있다.

#### 참 고 문 헌

1. Jeon, Young Sik "Insulating Rubbers for the Car", *Rubber Technology*, 1, 1 (2000).
2. E. E. Ehab and S. A. Farid, "Chemical Kinetics of Vulcanisation and Compression Set", *European Polymer Journal*, 37, 329 (2001).
3. Khairi Nagdi, "Rubber as an Engineering Material : Guideline for Users". Carl Hanser Verlag, Munich/FRG. 1993.
4. William H. Crouse, "Automotive Mechanics", McGraw-Hill, 2001
5. 日本ゴマ協會編 "ゴマ技術の基礎" 平成14年.
6. NOK株式會社, "これでわかるシール技術", 工業調査會, 2005
7. Gent, A. N., "Engineering with Rubber", Hanser Pub., 1992.
8. 김진국, "자동차 고무부품", 2005.
9. R. P. Brown, "Physical Testing of Rubber", Chapman & Hall, 3<sup>rd</sup>, 1996.
10. R. P. Brown, T. Burtler, and S. W. Hawley, "Ageing of rubber-accelerated Heat ageing test results", *Rapra Technology*, 2001.