〈 논문 〉

자동차용 냉각기 고무호스의 노화거동과 미소경도분석

곽승범* · 최낙삼† · 신세문** · 신외기***

(2007년 3월 6일 접수, 2007년 8월 9일 심사완료)

Degradation Behavior and Micro-Hardness Analysis of a Coolant Rubber Hose for Automotive Radiator

Seung-Bum Kwak, Nak-Sam Choi, Sei-Moon Shin and Wae-Gi Shin

Key Words : Micro-hardness, IRHD-hardness, Thermal Oxidative Aging(열가속 산소노화), Electro-chemical Degradation(전기화학적 노화), Coolant Rubber Hose(냉각기용 고무호스), EPDM(ethylene-propylene dine monmer)

Abstract

Rubber hoses for automobile radiators are apt to be degraded and thus failed due to the influence of contacting stresses of air and coolant liquid under thermal and mechanical loadings. The aging behaviors of the skin part of the hoses due to thermo-oxidative and electro-chemical stresses were experimentally analyzed. Through the thermo-oxidative aging test, it was shown that the surface hardness IRHD(International Rubber Hardness Degrees) of the rubber increased with a considerable reduction of failure strain as the aging time and temperature increased. On account of the penetration of coolant liquid into the skin part influenced by the electro-chemical degradation(ECD) test the weight of the rubber hose increased, whereas their failure strain and IRHD hardness decreased. The hardness of the hose in the side of the negative pole was the most deteriorated at the test site of the hose skin just below the coolant surface.

1. 서 론

자동차용 고무부품은 열노화, 산소노화 등 각종 스트레스에 따라 취약한 특성을 보이면서 그 성질이 달라질 수 있다. 자동차용 냉각기 고무호스는 엔진과 라디에이터를 연결하여 냉각수의 이송경로로 사용되는 고무부품으로, 냉각수는 보통 부동액을 사용한다. 부동액은 물과 에틸렌글리콜을 50대 50의 비율로 섞어서 사용하며 영하 35℃에서도 얼지 않는다.

† 책임저자, 회원, 한양대학교 기계정보경영공학부
E-mail : nschoi@hanyang.ac.kr
TEL : (031)400-5283 FAX : (031)406-5550
* 한양대학교 기계공학과
** 한국화학연구원 신뢰성 평가센터
*** 평화산업(주)

자동차용 냉각기 고무호스는 내층과 외층 모두 내오존성과 내열성, 내후성이 우수한 EPDM (ethylene-propylene diene monomer)고무를 사용하는데, 이는 에틸렌과 프로필렌 및 디엔으로 이루어진 3원공중합체로 이루어져 있어 화학적으로 안정하며, 가황한 것은 물리적 성질이 천연고무(natural rubber, NR)와 SBR(styrene-butadiene rubber)의 중간적 성질을 보인다. EPDM은 불포화도가 낮아 산화나 오존에 대한 저항성이 매우 강하고 고온에서도 안정한 절연특성을 나타내며 비극성구조로서 낮은 유전 손실 값을 갖는다. 또한 단량체들이 무질서하게 분포되어 있는 무정형의 고분자로 이루어져 있으며, 고분자 조성 내에 결정성을 보이는 에틸렌함량이 많을수록 높은 그린 강도(green strength)를 보이며 더 많은 충진 물과 가소제를 부가할 수 있으므로 사출성이 우수하게

된다. 반면에 에틸렌함량이 높은 경우 경도의 증가, 영구줄음률의 저하, 탄성회복율의 저하 및 저온특성이 떨어진다는 단점을 가진다.[1-4]

자동차 고무호스의 고장모드는 사용매체인 오일, 연료, 물, 스팀, 공기, 냉매 등에 의한 직접적인 스트레스와 열, 가압조건 등의 환경요인에 의한 스트레스로 나눌 수 있다. 여기에 매체에 의한 스트레스와 환경요인에 의한 스트레스가 상승작용을 일으켜 발생할 수 있는 고장도 생각할 수 있다.[4-19] 이에 대한 고장모드로는 균열, 파열, 부분팽창 등이 있는데 기본적인 시험방법은 일본자동차규격(JASO M 319)의 호스시험 통칙과 호스의 종류에 따른 적용항목, 시험조건, 추가 시험항목이 호스규격으로 규정되어 있다.

자동차용 냉각기 고무호스는 최근에 상대적으로 낮은 주행거리에서 예기치 않은 고장이 일어나 혼란을 야기시켰는데, 이들 고장의 대부분은 호스의 외부 변형에 어떠한 표시도 없이 발생된 것을 확인하였다. 이러한 고장의 주된 원인은 호스 고무재질의 전기화학적 노화(electro-chemical degradation, ECD)로 알려져 있으며, 이 ECD는 호스, 냉각수(에틸렌글리콜 수용액), 그리고 엔진 fitting부와 라디에이터 fitting부가 갈바니 셀 또는 "베터리"를 형성하기 때문에 발생한다.[4,5] 이 화학반응은 호스관 내부에 마이크로 크랙을 유발시키며, 냉각수가 호스 보강재를 접촉하여 약화시키고, 높은 열과 굽힘에 의하여 가속 노화된 호스는 정상 압력 하에서 냉각수의 누출 또는 호스 파열을 일으킬 수 있는 것이다.

자동차용 냉각기 고무호스의 신뢰성제고와 관련하여 국내에서는 2001년에 신뢰성인증기준 RS M0004[5]를 제정하였다. ECD시험의 평가기준은 기본신뢰성요구특성을 만족하는 제품에 대해 SAE J1684[20]에서 규정하는 시험법에 따라 DC12V로 100℃에서 168hr 동안의 노화 후 (-)극 시편의 무게 변화가 5% 미만일 것을 만족하도록 요구하고 있다.

본 저자는 자동차 냉각기 호스용 EPDM 고무재료의 열화거동과 관련한 연구로서 내ECD성이 강화된 고무재료와 그렇지 않은 기존 고무재료에 대한 정밀 노화분석을 실시하고 고무호스에 작용하는 각종 스트레스에 따른 물성변화를 연구하여 열가속노화, 산소노화, 쿨런트노화, ECD노화의 특성을 해명하였다.[21] 또한 이러한 스트레스들 중에서 고장에 영향이 컸던 열가속 산소 스트레스와 전기화학적 스트레스에 대해 표피층의 열화거동을 미크로경도분석, IRHD(International Rubber Hardness Degrees)경도분석, 화학구조 분석을 통해 미시적으로 비파괴 평가하고, 이들 결과를 거시적인 인장강도 및 신장률 데이터와 비교하여 냉각기 고무호스의 신뢰성평가를 위한 고장분석기술을 제시한바 있다.[22]

본 연구에서는 선행연구[21,22]에서 밝혀진 바와 같이 고장에 영향이 컸던 열가속 산소 스트레스와 전기화학적 스트레스를 냉각기 고무호스 부품 자체에 가하여 노화온도 및 시간에 따른 고무호스 표피층 및 내부의 열화거동을 미크로경도와 IRHD경도를 통해 분석하였다. 또한 이들 호스부품에 대해 거시적인 인장강도 및 신장률 데이터를 노화온도 및 시간에 따라 측정하여 냉각기 고무호스 부품의 신뢰성설계 관련 물성을 평가하고자 한다.

2. 실험 방법

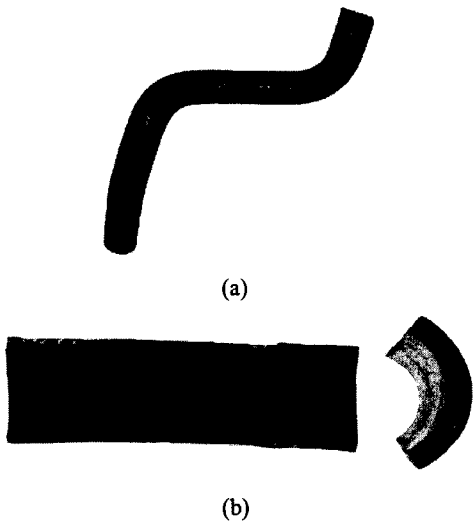
2.1 시편의 선정 및 제작

평화산업(주)이 제작한 자동차용 냉각기 고무호스 부품(외경 31mm, 내경 23mm, 두께 4mm)을 연구대상으로 선정하였다. 열가속 및 산소노화 시험은 Fig. 1(a)과 같은 호스 부품을 대상으로 하였으며, ECD 시험은 호스 부품으로부터 Fig. 1(b)과 같이 절취하여 Fig. 2의 규격 형태로 만든 시편을 대상으로 하였다. 고무호스 내부에는 강화용 섬유패브릭이 함유되어 있었다. 고무부의 기계적 성질인 인장강도 및 신장률을 측정하기 위해서 호스부품을 내층고무부와 외층고무부로 절단하여 분리하고, 내층고무부를 추가로 타발하여 아령형 시편으로 제작하였다.

2.2 노화시험

2.2.1 열가속 및 산소노화시험

열가속 및 산소노화 시험은 호스 부품을 일정한 시험온도(125℃, 180℃)에서 48hr(2일), 96hr(4일), 168hr(7일), 240hr(10일)동안 유지시킨 후 Fig. 2와 같이 절취하여 내층고무의 IRHD표면경도와 인장강도 및 신장률을 측정하였다. 또한 시편을 미세하게 절단하여 절단표면에서 두께방향의 미크로경도 분포를 측정하였다.



(a)

(b)

Fig. 1 Photographs of (a) an automotive coolant rubber hose and (b) its sectioned specimens

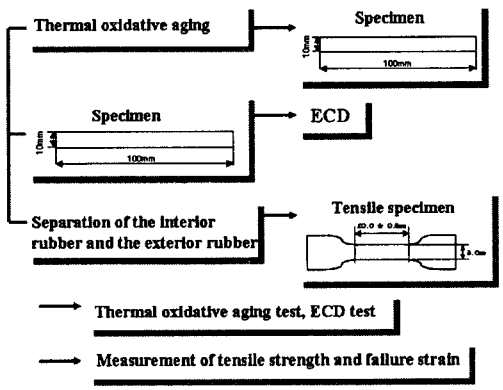


Fig. 2 Schematic of each kind of test for coolant rubber hose

2.2.2 전기화학적 노화(ECD)시험

호스 부품을 Fig. 2와 같이 가로 100mm, 세로 10mm 크기로 절취하여 ECD 시편을 만들었다. 자동차용 냉각기호스 신뢰성평가 인증기준인 RS M0004[5]와 SAE J1684[20]에서 규정하는 방법에 따라 쿨런트 액이 채워져 있는 U자형 시험관(Fig. 3)에 시편의 75%가 잠기게 하여 DC 12V, 100℃에서 48hr, 96hr, 168hr, 240hr동안 시험을 수행하였다. ECD 시험 후의 인장강도와 신장률을 평가하기 위한 시편은 고무호스의 내층고무로부터 절취하여 아령형으로 제작하였다.

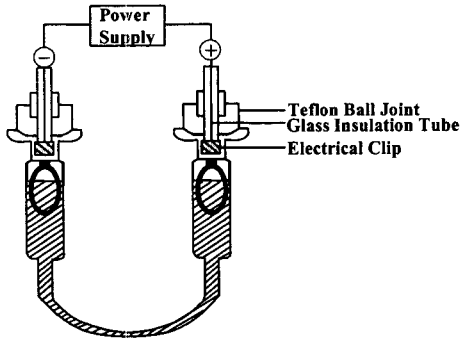


Fig. 3 U-tube type tester for ECD

2.3 고무의 노화물성 측정

2.3.1 기본 물성 측정

냉각기 고무호스 시편에 대해 RS M0004[5]에서 규정하는 스트레스 시험 및 물성시험을 하여 관련 물성값(경도, 인장강도, 신장률, 무게)을 측정했다. 인장시험에서는 분리된 내층고무로 만든 두께 2.0±0.2mm, 게이지 길이 20.0mm의 아령형 시편을 이용하여 500mm/min의 인장속도로 응력-변형률곡선을 계측하였으며, 시험편은 시험 조건당 5개의 시험편을 사용하였다. 인장강도와 신장률은 각각 최대응력값과 파단시의 변형률로 측정하였다.

2.3.2 IRHD경도 측정

ISO 48시험규격의 M법에 따라 표면굴곡이 없는 두께 1~4mm, IRHD경도 30~95 범위의 고무시편을 이용하여 모서리부분에서 적어도 2mm이상 떨어진 지점을 3회 이상 경도 측정하여 중앙값을 취하였다. 시험기로는 Hildebrand GmbH.(Germany)사의 Hildebrand Micro IRHD System[23]을 이용하였다.

2.3.3 미크로경도 측정

고무호스의 표피노화층을 두께방향으로 관찰하기 위해 미크로경도 측정용 면도날을 사용하는 작두식 절단기를 이용하여 소형시편을 절취하였다.

본 연구에서 사용한 미크로경도분석계(MD-1, capa)는 측정부의 선단에 직경 160㎛의 미소 인덴터 봉을 장착하고 시편 표면에서 미소한 부위의 경도를 일정위치만큼 이동시키면서 측정할 수 있다(Fig. 4). 이 미크로경도계는 불균질 열화한 표면근방의 경도변화를 두께방향으로 측정하여 미

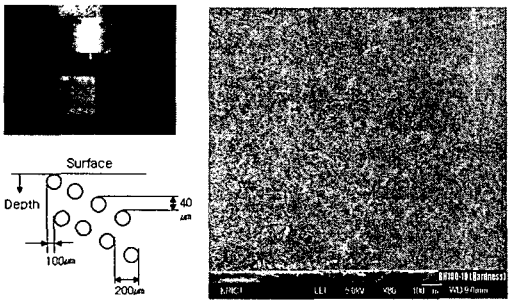


Fig. 4 Measurement of micro hardness based on the cross-section of rubber & SEM image

크로 Shore A 경도분포를 표시하게 된다. 또한, 미소경도분포를 40㎛씩 촘촘하게 측정하기 위해서 광학현미경 관찰을 하면서 인덴터의 위치를 4스텝 지그재그 패턴의 일정간격으로 미소 이동시켜 미크로경도 시험을 하였다.

3. 실험결과 및 고찰

3.1 고무호스의 열가속 및 산소노화거동

3.1.1 IRHD 경도 변화

Fig. 5는 열가속 및 산소 노화실험으로 얻은 시편의 IRHD경도 변화를 나타낸 것이다. 125℃에서는 48hr 노화에서 경도 값이 3.7% 정도 상승하였으며 240hr 까지 약하게 증가하면서 최대 5.3%까지 상승 하였다. 냉각기용 호스재료로서의 신뢰성기준은 125℃에서 168hr동안 노화시켰을 때 노화후의 경도 값이 75 IRHD 이내일 것을 요구하고 있으므로,[4,5] 이 고무호스부품의 경우 신뢰성 허용치를 약간 벗어났다고 볼 수 있다. 반면에 180℃의 가속노화에서는 48hr 노화에서 경도 값이 8.2% 상승하였으며, 168hr에서 95.6 IRHD가 되도록 급증하여 유연한 고무호스재료로서의 기능을 상실하였다고 볼 수 있다.

3.1.2 인장강도 및 신장률

Fig. 6은 125℃에서 열가속 및 산소노화 시험에 따른 시편의 인장강도 및 신장률 결과이다. 인장강도는 큰 변화를 보이지 않았으며, 신장률은 240hr 노화에서 -25.6% 만큼 낮아지고 있다. 신뢰성 평가기준 RS M0004[5]에 규정된 조건은 125℃에서 168hr 노화시켰을 때 인장강도의 변화가 20% 이내, 신장률의 변화가 -40% 이내 이므로 같은 조건에서 비교할 경우 이 고무호스가 신뢰

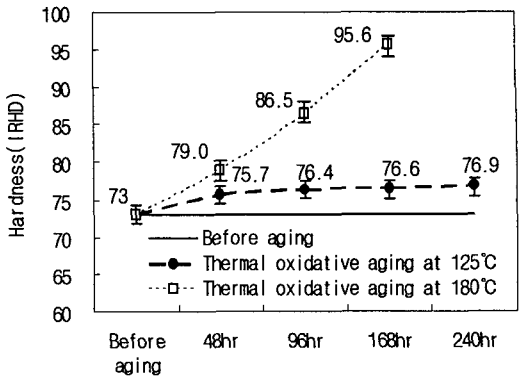


Fig. 5 IRHD hardness of coolant rubber hose before and after thermal oxidative aging

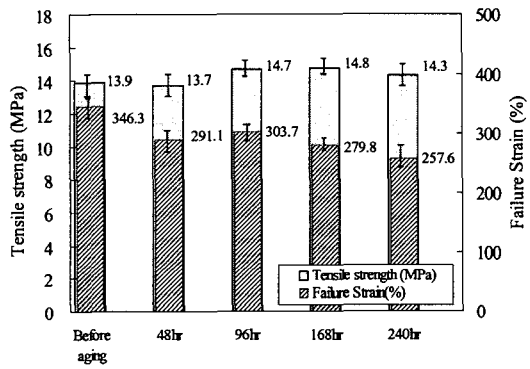


Fig. 6 Tensile strength and failure strain of coolant rubber hose before and after thermal oxidative aging at 125℃

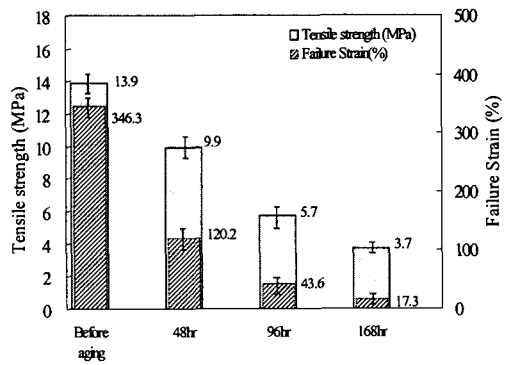


Fig. 7 Tensile strength and failure strain of coolant rubber hose before and after thermal oxidative aging at 180℃

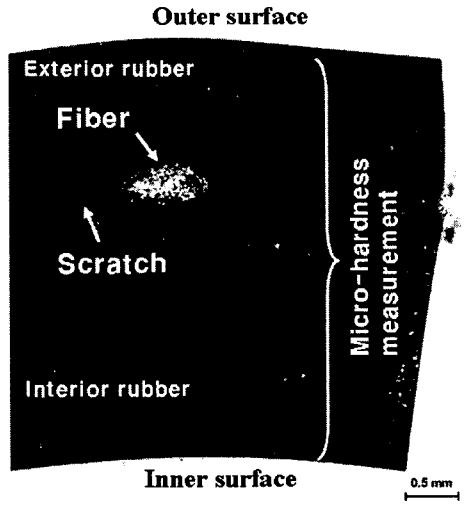


Fig. 8 A photograph of micro-hardness measurement specimen in the cross-section of coolant rubber hose

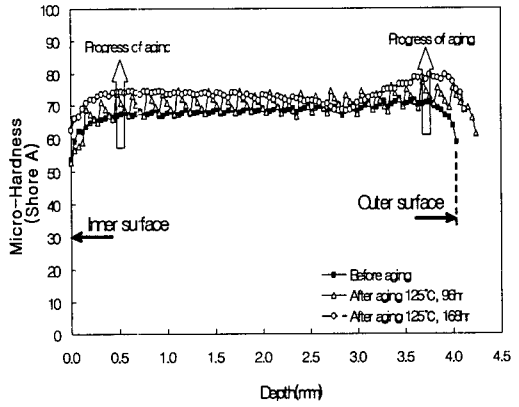


Fig. 9 Distribution behavior of micro-hardness along the depth before and after thermal oxidative aging at 125℃

Table 1 Micro-hardness(Shore A) of skin layer before and after thermal aging at 125℃

	Before aging	Thermal 125℃ 48hr	Thermal 125℃ 96hr	Thermal 125℃ 168hr	Thermal 125℃ 240hr
Interior rubber	63.6	69.0	65.4	69.3	70.0
Exterior rubber	70.9	73.5	73.9	76.1	76.7

성 인증기준을 만족하고 있음을 알 수 있다.Fig. 7은 180℃에서의 가속노화시험 결과로 인장강도와 신장률이 급격하게 낮아졌다. 인장강도의 경우 168hr 노화에서 -73.4%, 신장률은 48hr 노화에서 -65.3%, 168hr 노화에서 -95%까지 현저한 저하를 보여 신뢰성 기준을 모두 벗어났다.

3.1.3 호스 단면의 Shore A 미크로경도 분석

Fig. 8은 두께 약 4mm의 냉각기 고무호스를 작두형 절단기에 장착된 깨끗한 면도칼로 절단한 단면에서 내층고무의 노화표면에서 외층고무의 노화표면에 이르기 까지 미크로경도를 측정한 시편의 광학현미경 사진을 보여주고 있다. 미크로경도는 보강사 부위를 피해 40㎛의 좁은 간격으로 측정하였다.

Fig. 9는 125℃에서의 열가속 노화시간에 따른 호스 시편 내부의 미크로경도분포의 변화를 나타내고 있다. 그림의 좌측에서 깊이 약 2.8mm까지는 내층고무 영역이고, 그 오른쪽 부분이 외층고무 영역에 해당한다. 노화시간이 깊어질수록 내층고무의 경도 값이 전체 깊이에 걸쳐 증가하였으며 표피근처가 고무호스 두께의 가운데(깊이 2.2~3.0mm)보다 증가폭이 컸다. 외층고무 영역에서 경도 값이 내층고무보다 높게 나타나는 것은 노화전의 초기에 외층고무의 경도 값이 높았기 때문으로 보인다. 경도 값이 노화시간에 따라 전체적으로 조금씩 증가한 것으로 보아 열가속에 의한 노화가 내부까지 깊숙이 진행했음을 알 수 있다. 좌우측 표면 근방에서 경도 값의 하락이 큰 이유는 미크로경도 측정용 고무시편의 측면이 자유응력단 이어서 인덴터 봉의 하중에 대한 저항력이 작아져 큰 변형이 용이하였기 때문이다.

Table 1은 시편의 노화표면에서 자유응력단의 영향을 받지 않고 수직하게 측정한 경도를 나타낸다. 내층고무는 외층고무보다 미크로 경도 값이 약 6.0정도 낮았으므로 초기재질이 약간 달랐음을 알 수 있다. 하지만 열가속 노화의 증가율은 서로 유사하였다.

Fig. 10은 180℃에서 열가속 노화 후 호스내부의 미크로경도분포의 변화를 나타낸 것이다. 그림의 좌우측 노화표면으로부터 깊이 약 1mm이내에서 경도 값이 크게 증가하였으며 Table 2에 보인바와 같이 내층고무와 외층고무에서 노화표면의 경도 값이 크게 증가한 것으로 보아 열가속에 의한 노화가 매우 심각했음을 알 수 있다. 하지

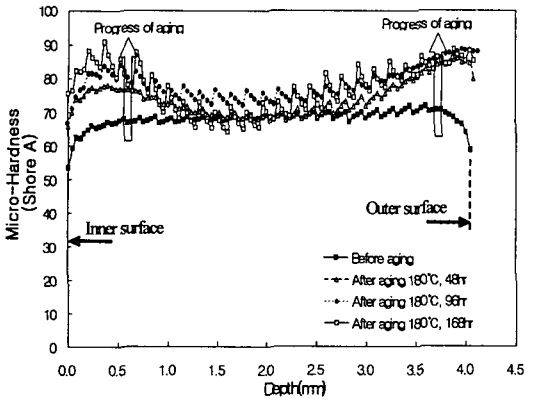


Fig. 10 Distribution behavior of micro-hardness along the depth before and after thermal oxidative aging at 180℃

Table 2 Micro-hardness(Shore A) of skin layer before and after thermal aging at 180℃

	Before aging	Thermal 180℃ 48hr	Thermal 180℃ 96hr	Thermal 180℃ 168hr
Interior rubber	63.6	74.0	78.1	90.1
Exterior rubber	70.9	82.5	87.3	96.0

만 중간부근에서 경도 값의 증가가 적은 것으로 보아 열가속에 의한 노화가 표피층에 크게 집중되고 내부 깊숙이는 별로 진행하지 못했음을 알 수 있다. 표피층과 내부 경도 값의 현저한 차이로부터 노화 층의 두께가 표피로부터 약 1.4mm 정도로 확연히 관찰할 수 있었다. 그래프에서 데이터 값이 물결모양의 파동을 보이는 것은 절단면이 평면이지 못하고 국부적인 단차나 경사가 있었기 때문으로 생각된다. 냉각기 고무호스는 내부에 보강사가 있기 때문에 일반 고무시편보다 미세단차가 없는 절단면을 만들기 어렵다.

3.2 고무호스의 전기화학적 노화거동(ECD)

3.2.1 인장강도 및 신장률 변화

Fig. 11은 ECD시험 전 후에 (-)극 시편의 인장강도와 신장률을 나타내고 있다. 인장강도는 그다지 변화하지 않았으며, 신장률은 노화시간이 길어짐에 따라 약간의 감소를 보이다가 240hr에서 급격하게 상승하고 있다. 그러나 (+)극 시편은

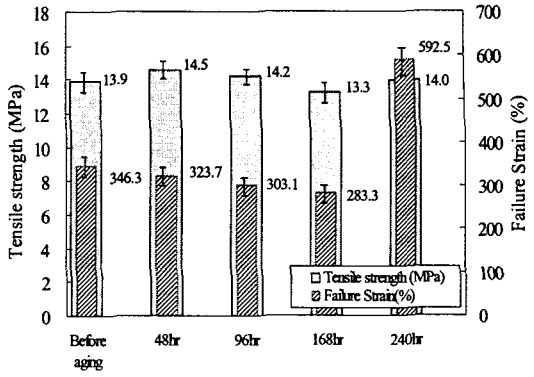


Fig. 11 Tensile strength and failure strain of coolant rubber hose in the negative pole as a function of ECD test time

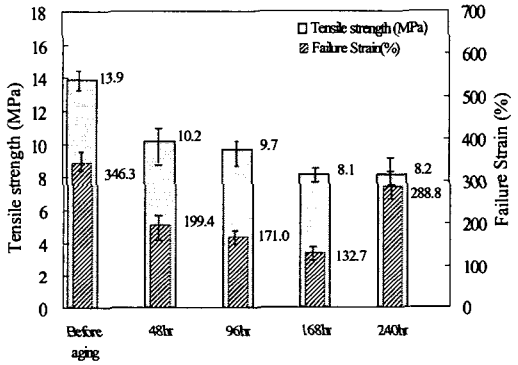


Fig. 12 Tensile strength and failure strain of coolant rubber hose in the positive pole as a function of ECD test time

Fig. 12와 같이 인장강도가 노화 시간에 따라 약 -41%만큼 감소하였고, 신장률은 급격한 감소를 보이며 168hr의 노화시험에서 -61.7%정도 감소하였으나, 240hr에서는 -16.6% 감소하는데 그치고 있다. (-)극과 (+)극 모두 240hr의 노화에서 신장률이 오히려 증가한 것은 냉각기 고무호스의 고무재료 상태가 노화시간 168hr과 240hr 사이에서 크게 변화하였기 때문으로 생각된다.

3.2.2 무게변화율

Fig. 13과 같이 ECD시험 후, (-)극 시편의 무게는 노화전의 무게에 비해서 크게 증가하였으며, 96hr 이상 노화에 대한 시편의 무게변화율이 SAE J1684[20]의 신뢰성인증 한계 +5%를 초과하

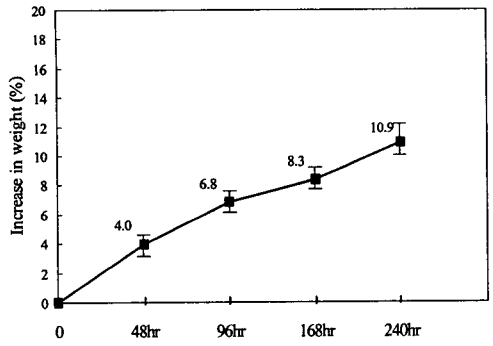


Fig. 13 Increase in weight of coolant rubber hose in the negative pole as a function of ECD test time

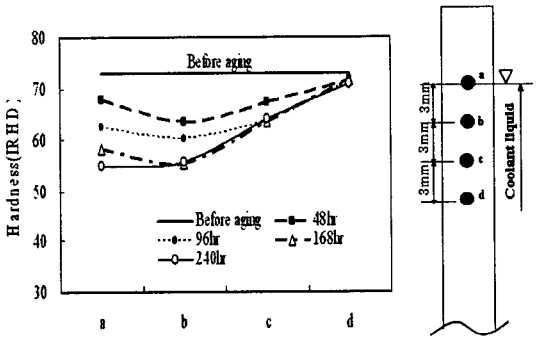


Fig. 14 IRHD hardness of coolant rubber hose in the negative pole as a function of ECD test time

여 불합격품에 해당하였다. 그리고 시편의 무게 변화율은 노화시간에 따라 거의 선형적으로 증가하고 있음을 알 수 있다.

3.2.3 호스표면의 IRHD 경도에 대한 ECD영향

Fig. 14는 ECD시험 전 후에 (-)극 시편에서의 IRHD 경도변화를 나타내고 있다. 여기서 a, b, c, d는 시편에서 경도 측정의 위치를 나타낸다. 시편을 침지시킨 쿨런트액의 수면을 기준으로 해서 수면 위치를 a, 수면하의 깊이 방향으로 3mm씩 떨어진 위치를 각각 b, c, d로 정하여 측정하였다. 측정위치 a와 b에서의 경도 값은 노화 전에 비해 크게 저하되었으며 그 저하 폭이 컸음을 알 수 있다. 측정위치 c에서는 경도의 저하 폭이 줄었으며, 위치 d에서는 노화전과 거의 일치하여 변화가 없었다. 이러한 현상은 전극을 가해주는

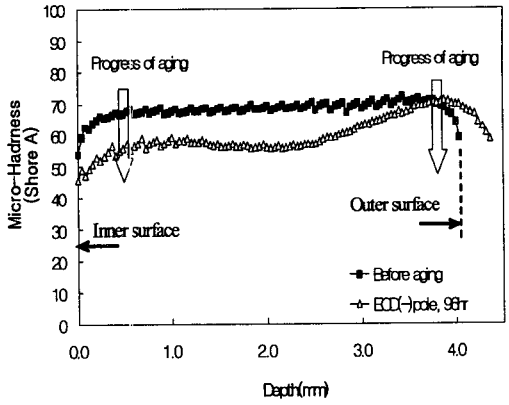


Fig. 15 Distribution behavior of micro-hardness of coolant rubber hose in the negative pole along the depth as a function of ECD test time

Table 3 Micro-hardness(Shore A) of skin layer before and after ECD test

	Before aging	ECD(-) pole 48hr	ECD(-) pole 96hr	ECD(-) pole 168hr	ECD(-) pole 240hr
Interior rubber	63.6	62.7	56.9	59.8	60.7
Exterior rubber	70.9	69.6	62.2	64.2	60.2

금속집게 끝단으로부터 일정거리(약 5mm)에 수면이 위치하고 있어 여기에서 갈바니셀회로 형성에 의한 노화가 집중적으로 일어났기 때문에 나타난 것으로 생각된다. 이는 실제로 자동차에서 냉각기 호스가 엔진접합부나 라디에이터 접합부로부터 20~50mm 범위 내에서 ECD에 의한 고장이 일어난다는 사례[5]에 대응한다고 볼 수 있다.

3.2.4 호스단면의 Shore A 미크로경도 분포에 대한 ECD영향

Fig. 15는 ECD시험 후 (-)극 시편 내부의 미크로경도분포를 나타낸 것이며, 내층고무의 표면과 외층고무의 표면에서의 미크로경도값을 별도로 측정하여 Table 3에 나타낸다. ECD시험 후 경도값이 내부 전체적으로 저하하고 있어 깊이에 따른 변화폭이 작고, 노화시간에 따른 영향을 내층고무에서만 뚜렷하게 보여주고 있다. 하지만 미크로경도 측정값의 편차가 시편에 따라 컸으며, 이는 쿨런트액이 ECD시편의 표면 부를 통해 내부에 침투함으로써 전체적으로 통통하게 되어 절

단면이 평탄하지 못해서 미크로경도 측정시 데이터의 오차가 생겼던 것으로 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 자동차용 냉각기 고무호스에 대한 열가속 및 산소노화 시험과 ECD 시험을 하였다.

125℃에서의 열가속 및 산소 노화 시험에서는 냉각기용 호스재료의 IRHD 경도는 신뢰성기준 이내로 유지되었으나, 180℃의 가속노화 시험에서는 IRHD경도가 급증하여 노화시간 168hr 후에는 유연한 고무호스재료로서의 기능을 상실하였다. 인장강도와 신장률의 해석 결과도 위와 일치하였다. 180℃의 열가속 노화 후 시편내부의 미크로경도분포를 보면, 가속에 의한 노화 표피층이 내부로 약 1.4mm 정도까지 형성되어 미크로경도값이 집중적으로 높아졌음을 알 수 있다. 하지만 고무호스의 두께가 약 4mm임을 감안할 때 열가속 및 산소노화가 호스 내부 층까지 완전히 침투하지 못하였으므로 고무호스부품의 강도와 신장률 저하의 정도는 위의 시편 레벨에서의 평가 값보다 훨씬 적어 안전했을 것으로 사료된다.

전기화학적 노화(ECD)시험 후에는 (-)극 시편에서 인장강도는 별로 변화하고 있지 않으며, 신장률은 노화 시간에 따라 다소의 감소를 보였다. 노화시간에 따른 무게 증가율이 거의 선형적으로 증가하여 96hr 이상의 노화시험에 의해 무게변화율이 SAE J1684[20]의 신뢰성인증 한계 +5%를 초과하였다. 시편을 침지시킨 쿨런트액의 수면을 기준으로 해서 깊이 방향으로 일정간격씩의 위치에서 측정한 결과, 쿨런트액 수면 직하 3mm까지는 경도의 저하 폭이 컸으며 12mm 보다 더 깊은 위치에서는 노화정도가 매우 약해졌다. 이것은 갈바니셀 회로가 엔진과 라디에터 금속접속부 근처의 고무호스에서 쿨런트액을 매체로 국부적으로 일어났음을 가리킨다. 시편 절단면에서의 미크로경도분포를 측정한 결과 노화층은 내부 깊숙이까지 진행되었으며 단면 전체적으로 상당한 경도저하를 유발시켰다.

결론적으로 본 냉각기 고무호스부품의 내ECD성을 향상시키기 위해서는 호스와 금속(엔진부, 냉각기부)의 접속부의 설계를 개선하여 전기적인 갈바니셀회로의 세기(전압)가 접속부에서 매우 적도록 설계하거나 고무재질 자체를 내ECD성이 강하도록 배합하여 쿨런트액이 고무층에 흡입되지 않도록 설계할 필요가 있는 것이다.

후 기

본 연구는 부품 · 소재 산업진흥원 2005년도 부품 · 소재 신뢰성 기반 기술 확산 사업으로 수행되었습니다.

참고문헌

(1) Lee, K. J., Bae, H. J., No, S. T. and Kim, W. T., 1987, "Studies on the Mechanical Properties of Silane Crosslinked EPDM," *Polymer*, Vol. 11, No. 6, pp. 547~556.

(2) Yeong-Soon Gal, 1999, "EPDM Rubber and Its Applications," *Polymer Science and Technology*, Vol. 109, No. 3, pp. 325~333.

(3) Kim, J. K. and Lee, H. K., 2001, "Study on Manufacturing and Characteristics of Silicone/EPDM Rubber Blend," *Polymer*, Vol. 25, No. 3, pp. 406~413.

(4) 2001, *Coolant hose for automotive radiator guide book RS M0004*, Korean Agency for Technology and Standards.

(5) 2001, *Coolant hose for automotive radiator reliability standards RS M0004*, Korean Agency for Technology and Standards.

(6) 1994(E), *Rubber and plastics hoses and hose assemblies - Hydrostatic testing*, INTERNATIONAL STANDARD ISO 1402.

(7) 1999(E), *Rubber, vulcanized - Determination of the effect of liquids*, INTERNATIONAL STANDARD ISO 1817.

(8) 1987(E), *Rubber - Coolant hoses and tubing for use on private cars and light commercial vehicles - Specification*, INTERNATIONAL STANDARD ISO 4081.

(9) Hideo Nakauzi, 2004, "Failure Analysis and Life Prediction of Automobile Rubber Part." Korea Matsusita Consulting.

(10) 1998(E), *Rubber, Vulcanized or Thermoplastic - Accelerated ageing and Heat Resistance Tests*,

INTERNATIONAL STANDARD ISO 188.

(11) Clint D. Gamlin, Naba K. Dutta, Namita Roy Choudhury, 2003, "Mechanism and Kinetics of the Isothermal Thermodegradation of Ethylene-propylene-iene (EPDM) Elastomers." *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 80, pp. 525~531.

(12) Traian Zaharescu, Viorica Meltzer, Rodica Vilcu, 2000, "Thermal Properties of EPD/MNR Blends." *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 70, pp. 341~345.

(13) Roger A. Assink, Kenneth T. Gillen, Briana Sanderson, 2002, "Monitoring the Degradation of a Thermally Aged EPDM Terpolymer by 1H NMR Relaxation Measurements of Solvent Swelled Samples." *Polymer*, Vol. 43, pp. 1349~1355.

(14) Rajeev, R.S., De, S.K., Anil K. Bhowmick, Baby John, 2003, "Studies on Thermal Degradation of Short Melamine Fibre Reinforced EPDM, Maleated EPDM and Nitrile Rubber Composites." *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 79, pp. 449~463.

(15) Raluca Nicoleta Darie, Mihai Brebu, Cornelia Vasile, Marek Kozlowski, 2003, "On the Compatibility of the IPP/PA6/EPDM Blends with and Without Functionalized IPP I. Thermo-oxidative Behaviour." *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 80, pp. 551~566.

(16) 1989(E), *Rubber, Vulcanized or Thermoplastic - Resistance to ozone cracking, Part1: Static strain test*, INTERNATIONAL STANDARD ISO 1431-1.

(17) Teissedre, G., Pilichowski, J.F., Chmela, S., and Lacoste, J., 1996, "Ageing of EPDM--I Photo and Thermal Stability of EPDM Hydroperoxides" *Polymer Degradation and Stability*, Vol. 53, pp. 207~215.

(18) Zaharescu, T. and Podina, C., 2001, "Radiochemical Stability of EPDM." *Polymer Testing*, Vol. 20, pp. 141~149.

(19) Mihaly Kadar, Zoltan Nagy, Tamas Karancsi, Gyorgy Farsang, 2001, "The Electrochemical Oxidation of 4-bromoaniline, 2,4-dibromoaniline, 2,4,6-tribromoaniline and 4-iodoaniline in Acetonitrile Solution." *Electrochimica Acta*, Vol. 46, pp. 3405~3414.

(20) 2000, *Test Methods for Evaluating the Electrochemical Resistance of Coolant System Hoses and Materials*, SAE J1684.

(21) Kwak, S. B., Choi, N. S., Kang, B. S. and Shin, S. M., 2005, "Reliability Analysis and Failure Mechanisms of Coolant Rubber Hose Materials for Automotive Radiator" *Transactions of KSAE*, Vol. 13, No. 5, pp. 152~162.

(22) Kwak, S. B., Choi, N. S., Choi, Y. J. and Shin, S. M., 2005, "Nondestructive Characterization of Degradation of EPDM Rubber for Automotive Radiator Hoses" *Journal of the Korean Society for Nondestructive Testing*, Vol. 25, No. 5, pp. 368~376.

(23) 2001, *Hilderbrand Micro IRHD System Manual*