



Butyl고무와 EPDM고무 블렌드의 경화특성, 물리적 성질 및 내오존성

박찬영[†] · 황영배^{*}

부경대학교 공과대학 고분자공학과, ^{*}(주)넥센 기술연구소
접수일(2011년 10월 24일), 수정일(2011년 11월 7일), 게재확정일(2011년 11월 11일)

Cure Characteristics, Physical Properties and Ozone Resistance of Butyl Rubber and EPDM Rubber Blends

Chan Young Park[†] and Young-Bea Hwang^{*}

[†]Department of Polymer Engineering, Pukyong National University Busan 608-739, Korea

^{*}Tech Center Material Research, Nexen Corp., 262-14, Andong, Gimhae City,
Gyeongnam, 621-914, Korea

(Received October 24, 2011, Revised November 7, 2011, Accepted November 11, 2011)

요약 : 일반적으로 butyl 고무(IIR : isobutylene isoprene rubber)는 우수한 내기체투과성 및 저반발 탄성체로서 우수한 충격흡수성을 갖는다. 본 실험에서는 butyl고무에 EPDM(ethylene propylene diene monomer)을 기계적 혼련법으로 blend 혼련물을 제조하여 이들의 가교 거동, 물리적 성질 및 내오존성 등을 측정하였다. EPDM 고무량이 증가할수록 최적 가황시간이 단축되는 경향을 보였다. 기체투과속도 테스트에 의한 내기체투과성 측정 결과 butyl고무량이 50 wt% 이상일 경우에는 기체투과도가 현저히 감소하였다. 한편 butyl rubber/EPDM 블렌드의 경우에 EPDM의 함량이 25 wt.% 이상 함유될 경우 내오존성이 향상되어 50 pphm, 50 °C, 120시간 조건에서도 아무런 표면변화가 없었다.

ABSTRACT : In general, butyl rubber(IIR : isobutylene isoprene rubber) has excellent gas permeability resistance and impact absorbance property as low resilience elastomer. In this experiment butyl rubber blends with EPDM(ethylene propylene diene monomer) were prepared by mechanical mixing method. Curing behavior, physical properties and ozone resistance etc. were subsequently examined. Measurement results of gas transmission rate test shows that butyl rubber contents above 50 wt% showed significant decrease in gas permeability resistant property. However, in butyl rubber/EPDM blend, EPDM contents above 25 wt% indicates no surface change due to improvement of ozone resistance under the condition of 50 pphm, 50 °C, 120 hrs.

Keywords : mooney viscosity, butyl rubber, gas permeability property, EPDM, curing behavior, ozone resistance

I. 서 론

거의 대부분의 산업용 가황고무 제품은 블렌드에 의하여 제조되며 그것의 물성은 선택 고무의 종류, 최종적인 상의 형태학에 의존하고 있다. 효율적인 소재개발의 한 방안으로서 두 종류 이상의 기존 고분자재료를 혼련하여 물성의 다양화를 추구함으로써 새로운 고무 소재 개발에 따르는 비용과 시간을 단축시킬 수 있다. 즉 고무 블렌드 기법에 의한 고무 상호간의 물성 보완을 통하여 단독 고무가 발현하는 물성보다 더 우수한 물성을 갖는 혼련물을 얻을 수 있다.

서로 다른 두개의 고무는 구조적 거동의 관점에서는 불용이

지만 충분한 기계적 혼련에 의하여 제조된 고무 블렌드는 거시적 관점에서 균일한 것으로 여겨지고 있다. 어떤 블렌드물을 기계적으로 혼련시킨 후의 점도가 블렌드물의 전체적인 상 분리를 막을 수 있을만큼 충분한 경우 고무 블렌드는 균일한 상을 얻을 수 있게 된다.¹⁻³ 고무 산업계에서는 혼련물의 물리적 성질, 가공성 및 비용 측면에서 경쟁력을 갖추기 위하여 고무 블렌드 관련기술을 광범위하게 이용하고 있다. 고무 블렌드에 있어서 블렌딩의 용이성과 물성에 영향을 미치는 factor에 관한 연구가 알려져 있다.⁴⁻⁶ 한편 NR(natural rubber)/BR(butadiene rubber) 블렌드의 경우 개질제의 사용에 관한 연구에서 소량의 윤활제를 가함으로써 가황시간과 가교밀도가 감소하는 결과를 보여주었다.⁷ 그외에 SBR/ENR 블렌드에서 ENR고무량이 가황체의 경화특성, 팽윤거동에 미치는 영

[†] 대표저자 E-mail: parkcy@pknu.ac.kr

향이 보고되었다.⁸

한편 고무가황체의 물성은 고분자의 상호 상용성, 혼련상태, 불균일성의 성질 및 정도, 다른 고분자와의 접촉면에 형성된 interphase의 미세구조에 의해서도 크게 영향을 받는다.^{9,10} 또한 상승적인 상호작용을 활발하게 만드는 조건에서 공가교(co-crosslink)를 통한 블렌딩을 행함으로써 각 성분 상 사이의 상용성을 증가시킬 수 있다. 그리고 각 성분 간의 그래프팅에 의한 공유결합으로 두 상이 bridging되어 물성이 향상되기도 한다. 고무의 극성 및 가황속도가 비슷한 경우 블렌드물은 공가교를 일으킬 수 있으며 가성성을 나타낸다. 반면에 극성이 다른 고무 블렌드는 열악한 물성을 보이며, 결과적으로 공가교된 조성에서 기대되는 것보다 훨씬 떨어진 물성을 보인다.

Butyl rubber는 이소부틸렌과 소량의 이소프렌(0.5-3.0 wt%)을 초저온에서 용액이온 중합하여 제조하는 합성고무로 다른 고무에 비하여 불포화도가 낮아 내후성, 내유성 등이 우수하고, 내기체투과성이 매우 우수하다. 또한 저반발특성을 가지므로 충격 흡수성, 에너지 흡수성이 우수하여 충격흡수제, 방진고무, 방음제로 유용하게 사용할 수가 있다. butyl rubber는 황, 퀴노이드, 페놀포름알데히드 수지로 가황할 수 있으며 방수막이나 자동차용 inner tube, 다양한 형태의 에어백, 방진고무, 방음제 등에 사용되고 있다.

한편 EPDM(ethylene propylene diene monomer)고무는 에틸렌과 프로필렌의 랜덤 공중합체에 이중결합을 갖는 제3성분의 디엔이 결합되어 있는 구조로서 폴리올레핀계 탄성체의 충격성질을 개선한 것으로 내열성, 내오존성, 내후성이 우수하며 비교적 비중이 적고 충전제 및 오일 등의 고충진이 가능하여 경제성이 우수한 고무이다. 이러한 경제적인 특성 때문에 현재 자동차용 산업에 가장 널리 사용되고 있는 합성고무이다.

본 실험에서는 부틸고무에 대하여 EPDM고무를 블렌딩하여 얻은 혼련물(compound)의 가황특성, 영구압축축출률 등의 물성을 측정함으로써 EPDM고무량이 블렌드 가황체의 물성에 미치는 영향에 대하여 검토하였다.

II. 실험

1. 실험재료 및 시편제조

부틸고무는 Exxon제품의 IIR268(unsaturation 1.7) Grade를 사용하였다. EPDM은 Dien 함량이 2.5%인 금호폴리켄 제품의 KEP435 grade를 사용하였다. 황성제로는 산화아연을 사용하였으며, 가교 시스템은 황을 이용한 Semi-EV Cure System을 사용하였다. 가교촉진제는 N-tert-butyl-2-benzothiazoyl sulfenamide (TBBS)와 dibenzothiazyl disulfide(DM)을 함께 사용하였다. 윤활제로서는 스테아린산이 사용되었으며 충전제로는 high abrasion furnace(HAF)와 탄산칼슘(calcium carbonate)이

함께 사용되었다. 그리고 가소제로는 naphthanic oil을 사용하였다.

본 실험에서 이용된 시편은 1차 혼련과 2차 혼련으로 나누어 배합하였다. 1차 혼련에서는 용량 1.6 L Banbury Mixer를 이용하여 40 rpm의 속도로 초기온도 60 °C, 최종온도 90 °C를 유지하였다. 고무소련(mastication)은 1분 동안 행하였으며 충전제와 약품을 함께 투입하여 5분 간 더 혼련(mixing)한 후, 1차 혼련물은 상온에서 24시간 방치하였다. 2차 혼련은 6"×9"인 open roll 에서 1차 혼련물과 함께 황과 가황촉진제를 넣어 45 °C에서 5분 간 균일하게 혼련하여 최종 혼련물을 제조하였다. IIR/EPDM 혼련물의 조성비를 Table 1에 나타내었다. T1는 IIR 단독으로 하고 T2, T3, T4 및 T5는 각각 IIR/EPDM의 비를 75/25, 50/50, 25/75 및 0/100 wt%로 하여 혼련시킨 IIR/EPDM 블렌드계이다.

최종 배합 시편은 Rheometer(Monsanto ODR 2000)를 이용하여 ASTM D 2084에 준하여 180 °C에서 가황체를 실험하였으며, 무우니점도계(Monsanto MV100)를 이용하여 125 °C에서

Table 1. Basic Formulation of IIR/EPDM Blends

Ingredient	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
IIR	100	75	50	25	-
EPDM	-	25	50	75	100
HAF	40	40	40	40	40
Oil	10	10	10	10	10
ZnO	4	4	4	4	4
S/A	2	2	2	2	2
CaCO ₃	10	10	10	10	10
40MSF	5	5	5	5	5
Sufur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
TBBS	2	2	2	2	2
DM	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Total	175	175	175	175	175

Table 2. Cure Characteristics of IIR/EPDM Blends

Item/Code	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5
T _{min} ^{a)}	5.2	5.3	5.3	5.1	4.8
T _{max} ^{b)}	28.0	31.6	35.5	39.6	42.3
t _{s1} ^{c)}	1:32	1:28	1:26	1:17	1:14
t ₉₀ ^{d)}	5:13	4:54	4:41	4:11	3:56
MV ^{e)}	66.6	65.5	63.8	62.7	62.1

a): minimum torque value (lb.in)

b): maximum torque value (lb.in)

c): scorch time (min:sec)

d): optimum cure time (min:sec)

e): ML₁₊₄(100 °C)(dn.m)

scorch time을 조사하였다. 180 °C에서 적정 가황시간을 산출하여 hot press에서 압축성형법으로 시험시편을 제조하여 물성을 측정하여 그 결과를 Table 2에 나타내었다.

2. 인장 영구변형률

인장 영구변형률 시험은 ASTM D 395에 따라 행하였으며, 정적인장이나 전단력을 받는 부분에서 가황고무의 가열 인장에 의하여 잔류 줄음률을 측정하였다. 시험편의 두께는 2.0 ± 0.2 mm, 인장강도 시험용 아령3호 시편을 사용하였다. 표선간 거리는 20 mm이며 한 쪽을 고정 한 후 다른 쪽을 5 mm/sec 속도로 50% 변형을 주고 열처리를 하였다. 열처리는 노화시험기 중에서 70 °C에서 24 시간, 100 °C 에서 24시간을 행하고 열처리가 끝난 후 곧 압축장치에서 시험편을 꺼내어 30분 간 실온에 방치하여 냉각시켰다. 계산은 다음 식에 따랐다.

$$L_s = (l_0 - l_1) / (l_0) \times 100(\%) \quad (1)$$

여기서 L_s 는 인장 영구변형률(%), l_0 는 인장전 표선간 거리(mm), l_1 은 노화(가열)후 인장 장치에서 꺼낸 후 30분 경과시의 시험편의 표선간 거리(mm)를 나타낸다.

3. 발열특성

블렌드 가황체의 진동피로에 따른 온도상승은 BF GoodRich의 Flexometer를 이용하여 ASTM D623-78 방법으로 측정하였다. oven 온도는 97 °C, 힘은 245 N, cycle rate 는 30 Hz 에서 시험시간은 25분으로 행하였다.

4. 기체투과도

IIR/EPDM 블렌드 가황체의 기체투과도 시험은 hot press에서 압축성형법으로 2.0 mm ± 0.5 두께로 제작된 시편을 이용하여 KS M ISO 2782:2009에 따라 측정범위가 10~10,000 cm³/m²·day·atm인 Gas Transmission Rate Tester (Toyoseiki Model MT-C)를 사용하여 25 °C에서 산소를 투과시켜 측정하였다.

5. 내오존성

내오존성 시험은 65.5~81.9 cm³의 용적을 가지는 시험조 내에 석영 수은램프에서 발생된 오존을 보내어 수행하였다. 그리고 회전날개의 직경이 152.4 mm, 날개의 경사가 20~30°인 팬을 1700 rpm의 회전속도로 작동시켜 내부의 풍속을 30.5 cm/sec로 하여 1분 동안 용적의 3/4를 교체함으로써 내부의 공기를 교반 및 혼합시켰다. 한편 오존농도는 50 pphm, 온도는

50 °C로 하였다. 직사각형(1"×6")의 시험편을 20% 신장시켜 120시간 동안 방치한 후 오존탱크내에 넣어두고 균열 발생시간 및 균열상태를 관찰하여 기록하였다.^{11,12} 일반적으로 고무 제품은 동적 또는 정적이거나 신장시에는 공기중에 미량 존재하는 오존에 의하여 장시간 후에는 신장된 방향과 직각으로 균열이 생긴다. 이 경우에 신장방향에 따라 균열의 크기, 깊이 및 발생시간이 변한다.

III. 결과 및 토론

Figure 1에는 ASTM D 2084 에 따라서 IIR/EPDM 블렌드 조성을 달리하여 제조한 가황체의 가황반응을 진동디스크 Rheometer를 이용하여 측정한 실험결과를 나타내었다. 가황 곡선은 시간이 지남에 따라 토크가 증가하는 경향을 보여준다. 고무배합물은 황의 용점보다 높은 온도에서 황의 분해가 일어나 고무에 첨가된 황에 의한 가교결합이 생기고, 배합물의 점도가 증가함으로써 torque가 커지고 시간이 경과함에 따라 가황이 더욱 진행되어 가교밀도가 증가하게 된다. 따라서 가교결합에 의해 배합물이 망상구조를 형성함으로써 가황반응이 더욱 진행하게 된다.

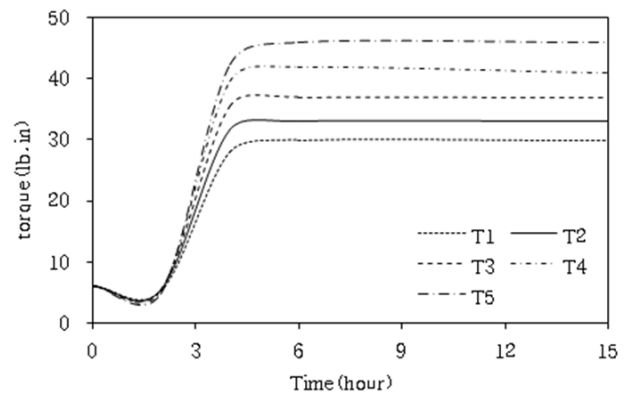


Figure 1. Cure Curve of IIR/EPDM Blends.

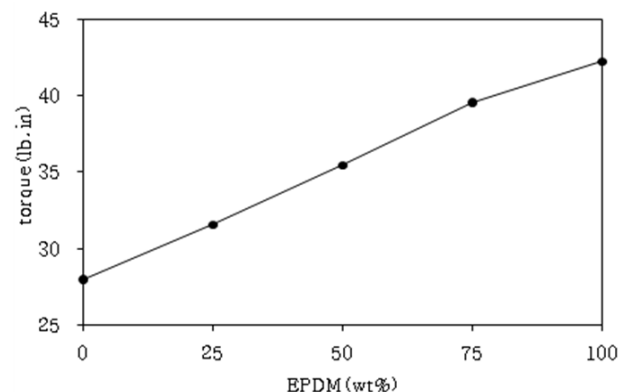


Figure 2. Maximum torque value of IIR/EPDM Blends.

IIR/EPDM 블렌드계에 있어서 블렌드 조성비에 따른 최대 torque값의 변화를 Figure 2에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 것처럼 EPDM고무 함량이 증가함에 따라 최대 torque값이 증가하는 경향을 보이다가 EPDM고무 단독의 경우에 최대 torque값이 얻어지는데 이것은 이 조성에서 EPDM고무내의 불포화 이중결합의 반응성이 가장 크고 또한 가장 광범위한 가황반응이 일어났음을 의미한다.

Table 2에서 보여지는 것처럼 무우니 점도는 EPDM고무의 함량이 증가함에 따라 감소하는 경향을 보이며, 이는 순수한 IIR고무의 무우니 점도는 IIR matrix 내의 보다 강한 입자간 상호작용 때문에 EPDM고무 단독의 점도값 보다도 더 큰 값을 갖는 것으로 생각된다.

IIR/EPDM 블렌드계에 있어서 블렌드 조성비에 따른 스코오치 시간 및 최적 가황시간의 변화를 Figure 3에 나타내었다. 그림에서 보여지는 것처럼 EPDM 고무량이 증가함에 따라 최적 가황시간이 짧아지는 경향을 보이고 있다. 이것은 EPDM 고무가 반응성이 크고 가황반응에 참여하는 불포화 이중결합을 보다 많이 포함하고 있어 이것이 가황을 촉진한데 기인한 것으로 판단된다. 스코오치 시간의 경우 또한 최적 가황시간과 유사한 거동을 보였다.

Figure 4에는 IIR/EPDM 블렌드계에 있어서 EPDM 고무량의 변화에 따른 인장 영구줄임율의 변화를 나타내었다. 고무 시편은 일정시간 동안 인장변형이 주어지는데, 시험이 끝난 후 시편이 최초의 길이로 회복되지 않는 양을 측정하여 인장 영구줄임율로 표시하고 있다. 인장 영구줄임율이 감소하는 것은 반발탄성이 개선됨을 의미한다. 공기 중에서의 가열온도가 증가함에 따라 인장 영구줄임율은 전반적으로 커지는 경향을 보이는데 이것은 산화반응에 따른 chain scission으로 인하여 탄성이 감소한 데 기인한 것으로 판단되어진다. 그리고 블렌드 조성비에 있어서 EPDM 고무의 함량이 증가함에 따라 인장 영구줄임율은 감소하는 경향을 보이는 데 이것은 EPDM 고무량이 늘어남에 따라 탄성이 증가한 데 기인한 것으로 판단된

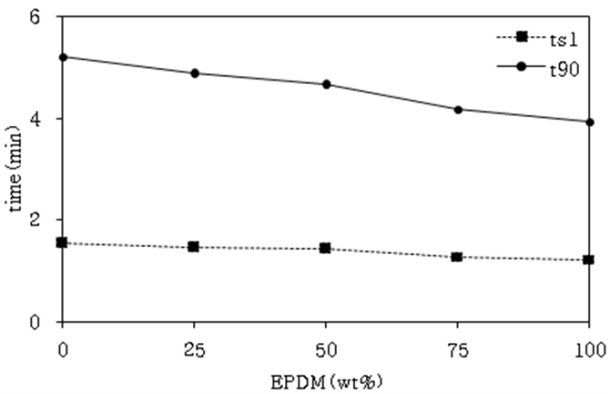


Figure 3. Scorch time(t_{s1}) and optimum cure time(t_{90}) of IIR/EPDM blends.

다. 이러한 결과는 Figure 1에서 보이는 것처럼 EPDM 고무의 함량이 증가함에 따라 가교밀도가 높아지는 것과 잘 일치하고 있음을 알 수 있다.

고무는 변형에너지를 흡수하고, 점탄성 거동의 결과로서 흡수된 에너지를 열로 변환한다. 이러한 열 발생은 고무재료의 점탄성 특성에 기인한 것으로, 점성효과에 의해 변형시의 기

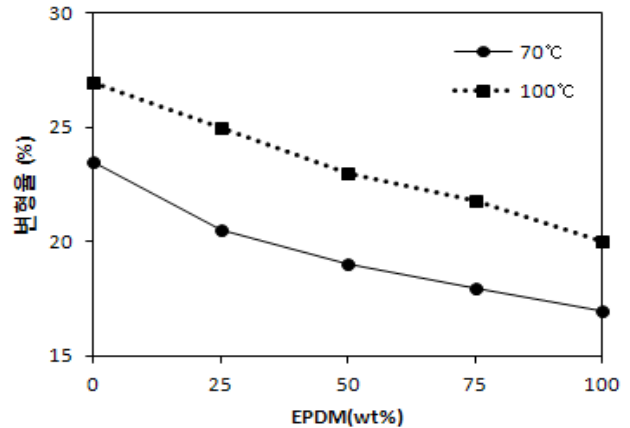


Figure 4. Tension set of IIR/EPDM blends.

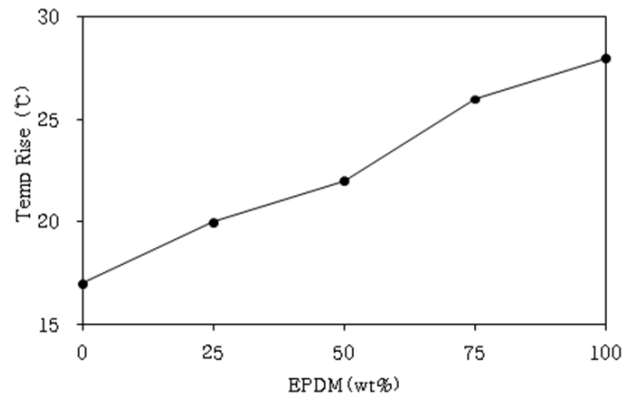


Figure 5. Heat build up of IIR/EPDM blends.

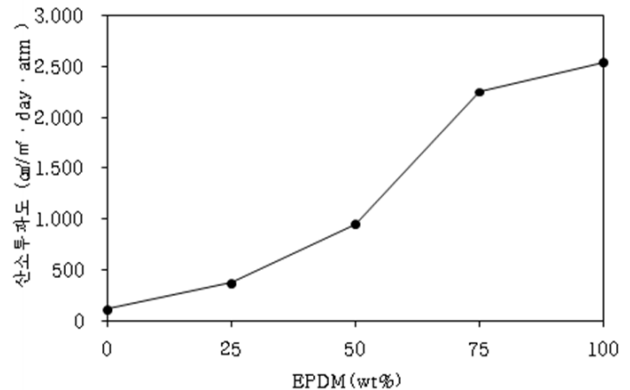


Figure 6. Oxygen permeabilities of IIR/EPDM blends.

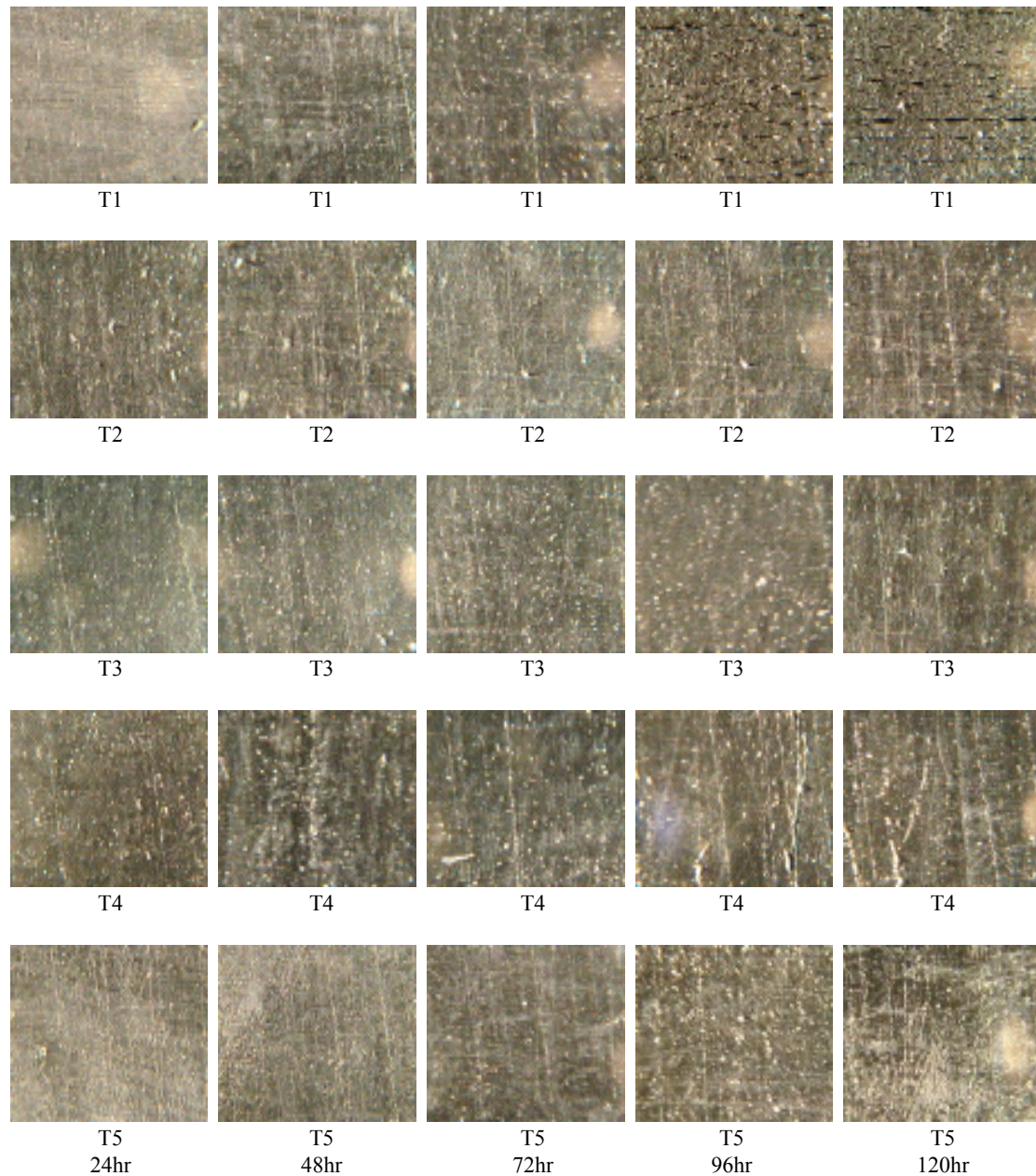


Figure 7. Photographs representing ozone resistance test of IIR/EPDM blends at 50°C & 120 hours.

계적 에너지의 일부가 히스테리시스 루프의 면적에 해당하는 열에너지로 변환되기 때문이다. 또한 고무의 낮은 열전도도 때문에 발생한 열을 외부로 유출시키지 못하고 내부에 응축되어 피로파괴로 이어진다. Figure 5에는 반복굴곡에 의한 블렌드 가황체의 발열특성을 나타내었다. EPDM 함량이 증가함에 따라 선형적으로 발열이 증가하며 EPDM고무 단독의 경우에 가장 높게 나타났다. 이는 IIR고무가 분자 구조적으로 *dampening property*가 우수하고, IIR고무 함량이 적을수록 가교밀도가 높아져 가황체의 주쇄분자 운동의 속박이 커지게 되어, 가교 지점에서 가까운 분자사슬의 진동운동을 억제함으로써 진동

변형에 의한 분자간의 마찰이 증가한 데 기인한 것으로 판단된다.

Figure 6에는 EPDM의 함량에 따른 가황체의 산소 투과도를 나타내었다. 기체투과도는 확산도와 용해도의 곱으로 나타내며, 기체가 고무층을 통과하는 메카니즘은 분자사슬 사이의 결합부에 기체가 흡착되고 고무분자의 열진동을 전달받아 활성화에너지를 얻어 그 다음의 결합부로 이동해 가는 확산 현상으로 설명된다. 일반적으로 상온에서 기체를 투과시켰을 때 순수한 IIR의 내기밀성은 EPDM에 비하여 약 20배 정도가 우수하다고 알려져 있는데, 이는 IIR의 이소부틸렌에 있는 메틸

기의 입체장애에 의해서 열운동이 작아 기체투과도가 현저히 낮은 데 기인한다. 그림에서 보여지는 바와 같이 EPDM 함량이 증가함에 따라 가스투과도가 선형적으로 증가하다가 EPDM 함량이 60% 전후에서는 IIR상에서 EPDM상으로 상전이 현상을 보여 가스투과도가 다소 급격히 증가하는 경향을 보이고 있다. 한편 IIR고무의 량이 50% 이상인 경우에는 기체투과도가 현저히 낮아짐을 알 수 있으며 이를 토대로 내기체투과성을 요구하는 가황체를 제조시에는 IIR의 블렌드 비율을 50 wt% 이상으로 하는 것이 바람직함을 보여준다.

Figure 7에는 일정농도의 오존에 대한 노출시간이 시편의 환경 저항성에 끼치는 영향을 나타내었다. 본 실험에서는 오존농도 50 pphm, 분위기 온도 50 °C의 조건하에서 20% 신장된 시편을 사용하여 내오존시험을 행하였다. 일반적으로 오존의 존재는 고무의 표면에서 뚜렷한 기계적 손상을 일으켜 crack을 만든다. 한편 EPDM고무는 불포화를 갖는 EPM고무로서 불포화의 도입은 에틸렌과 프로필렌을 비공액 디엔성분을 갖는 3성분의 공단량체와의 공중합에 의하여 행해진다. 디엔은 구조적이어서 이중결합들 중에 일부분만 중합에 관여하고 나머지의 미반응 이중결합은 황가교를 위한 반응점으로서의 역할을 한다. 이 미반응 이중결합은 또한 중합체 backbone의 일부분이 되는 것이 아니라 측쇄기가 되도록 설계되어져 있다. 결과적으로 terpolymer인 EPDM은 copolymer가 갖는 우수한 내오존성을 보유하게 된다. IIR과 EPDM 모두 기본적인 내오존성이 좋은 고무로서 시험시작 72시간이 경과하기 전까지는 표면 변화가 관찰되지 않았다. 하지만 96시간 이상의 경우 IIR 고무 단독의 시편에서 crack이 관찰되었다. EPDM 함량이 25% 이상인 시편 표면은 시험완료 120시간이 경과한 후에도 어떠한 변화도 보이지 않아 EPDM 고무의 우수한 내오존성이 입증되었다.

IV. 결 론

먼저 Mechanical Mixing 방법으로 IIR과 EPDM을 다른 배합약품들을 함께 polymer blend법에 따라 혼련하였다. 그리고 나서 가열프레스에 의한 압축성형법으로 고무가황체를 제조하여 가황특성, 물리적 성질 및 내오존성 등의 물성을 측정함으로써 아래와 같은 결과를 알 수 있었다. 즉 IIR과 EPDM의 blend에 있어서

- 1) EPDM의 함량이 증가할수록 최적 가황시간은 5분 13초에서 3분 56초로 짧아지는 데 비하여 최대 torque값은 28.0 lb-in에서 42.3 lb-in로 증가하는 경향을 보였다.
- 2) EPDM의 함량이 증가할수록 인장 영구줄임율이 증가하였다.
- 3) IIR의 함량이 증가할수록 내기체투과성이 향상되었으며 IIR 50 wt% 이상일 때 기체투과도가 현저히 감소하였다.

4) EPDM의 함량이 25 wt.% 이상 함유될 경우 내오존성이 향상되어 50 pphm, 50 °C, 120시간 조건에서도 아무런 표면변화가 없었다.

감사의 글

이 논문은 2010학년도 부경대학교 연구년 교수 지원사업에 의하여 연구되었으며 이에 감사드립니다 (PS-2010-020)

참 고 문 헌

1. J. K. Kallitsis and N. K. Kalfoglou, "Compatibility of epoxidized natural rubber with thermoplastic and thermosetting resins", *J. Appl. Polym. Sci.*, **37**, 453 (1989).
2. P. Sae-oui, C. Sirisinha, U. Thepsuwan, and P. Thapthong, "Influence of accelerator type on properties of NR/EPDM blends", *Polymer Testing*, **26**, 1062 (2007).
3. C. W. Nah and B. Y. Sohn, "Mechanical Properties of Natural Rubber/Acrylonitrile Butadiene Rubber Blends and Their Adhesion Behavior with Steel Cords", *Elastomer*, **36**, 111 (2001).
4. T. Marinovic, M. Sustar, A. Pertot, and Z. Susteric, "Properties and morphology of crosslinked butadiene-acrylonitrile rubber and polysulphide rubber (NBR/TM) blends", *Polymer International*, **45**, 77 (1998).
5. S. H. Botros and Abdel-Nour, "Preparation and characterization of butyl/NBR vulcanizates", *Polymer Degradation and Stability*, **62**, 479 (1998).
6. S. Chakrit, S. B. Limcharoen, and J. Thunyarittikom, "Relationships among blending conditions, size of dispersed phase, and oil resistance in natural rubber and nitrile rubber blends", *J. Appl. Poly. Sci.*, **82**, 1232 (2001).
7. B. Jurkowska, K. Nadolny et al., "Influence of fluorine-containing lubricant on properties of NR/BR rubber", *European Polymer Journal*, **42**, 1676 (2006).
8. H. Ismail and S. Suzaimah, "Styrene butadiene rubber/epoxidized natural rubber blends: dynamic properties, curing characteristics and swelling studies", *Polymer Testing*, **19**, 879 (2000).
9. Bauer R. F. and E. A. Dudley, "Compatibilization of Rubber Blends through Phase Interaction", *Rubber Chem. Technol.*, **50**, 35 (1977).
10. W. S. Kim, W. D. Kim, C. S. Woo, and S. S. Choi, "Effect of NR/BR Blends ratio and Oil Content on the Mechanical Properties of Rubber Isolator at Low Temperature", *Elastomer*, **39**, 95 (2004).
11. Brown R. P., "Physical Testing of Rubber", 2nd ed. *Elsevier Appl. Sci., London & New York*, 291 (1986).
12. D. J. Buckley and S. B. Robinson, "Ozone attack on rubber vulcanizates", *J. Polym. Sci.*, **19**, 145 (1956).