



신발 밑창용 고무 블렌드물의 점탄성적 특성에 대한 연구

박차철[†] · 표경덕

동서대학교 에너지생명공학부

접수일(2010년 11월 9일), 수정일(1차: 2010년 11월 29일, 2차: 12월 12일), 게재확정일(2010년 12월 14일)

A Study on the Viscoelastic Properties of Rubber Blends for Shoes Outsole

Chacheol Park[†] and Kyungduk Pyo

Division of Energy & Bio Engineering, Dongseo University, Pusan 608-739, Korea

(Received November 9, 2010, Revised November 29, 2010, December 12, Accepted December 14, 2010)

요약 : 신발 밑창용 CIIR에 KBR, SSBR 및 XNBR을 다양한 조성으로 혼합하여 블렌드의 인장탄성률, 반발탄성, 저장탄성률, $\tan \delta$, 크리프 특성 변화 등을 검토하였다. 인장 탄성률 측정실험에서 XNBR이 가장 높은 값을 나타내었으며, CIIR이 가장 낮은 탄성률을 나타내었다. 반발탄성은 CIIR < XNBR < SSBR < KBR 순서로 반발탄성이 높아지는 경향을 나타내었으며, SSBR, XNBR, KBR이 CIIR에 혼합됨에 따라 블렌드의 반발탄성은 산술평균적으로 증가하는 경향을 나타내었다. 크리프 실험에서 CIIR이 가장 높은 점성변형을 나타내었으며, SSBR과 KBR은 상대적으로 낮은 점성 변형을 나타내었다. CIIR의 경우는 -30°C 부근에서 $\tan \delta$ 최대 피크를 나타내었으나, XNBR과 SSBR의 경우 CIIR 보다 높은 온도인 5°C 및 0°C 부근에서 각각 뚜렷한 피크를 나타내었다.

ABSTRACT : The CIIR blends, which is use for shoes outsole, with SSBR, XNBR and KBR were prepared with various mixing ratio. The viscoelastic properties of these blends, such as tensile modulus, rebound resilience, storage modulus, $\tan \delta$, and creep properties were measured. In the rebound resilience measurement, KBR showed the highest value, which means the lowest energy absorption to stress. As SSBR, XNBR and KBR blends with CIIR, the rebound resilience of the mixtures showed tendency to increase in arithmetic average. In the creep measurement, CIIR showed the highest visconse strain to stress, SSBR and KBR showed lower visconse strain. Maximum $\tan \delta$ peak of CIIR, SSBR and XNBR appeared at -30°C , 5°C and 0°C respectively.

Keywords : rubber, blending, shoes, viscoelastic property, rebound.

I. 서 론

스포츠화는 발등을 감싸는 갑피와 바닥부분인 창으로 크게 나눌 수 있으며, 갑피는 디자인적 요소를 부여하는 기능과 발등을 외부의 자극으로부터 보호하는 역할을 한다. 반면 창 부분은 보행이나 운동과정에서 발생하는 충격이 인체에 전달되지 않도록 하는 충격흡수기능과 착화 시 발바닥에 가해지는 압력을 분산시켜 좋은 착화감을 부여하는 역할을 한다.¹

일반적으로 신발을 착화한 사람이 보행하거나 달리는 경우 발생하는 동작은, 먼저 발 뒷부분이 지면에 먼저 착지된 후 발바닥 전체가 지면에 접촉한다. 그 다음에 발의 뒷부분이 들려지면서 발의 앞부분으로 지면에 반발력을 부여하여 추진력을 얻게 된다. 발 뒷부분이 지면에 착지하는 과정과 발의 앞부분으로 지면에 반발력을 부여하는 과정에서는 신발과 지면과의 마찰력과 신발의 반발특성이 매우 중요한 역할을 하게 된

다. 신발의 마찰력이 적은 경우에는 발 뒷부분이 지면에 착지하는 과정에서 운동자세를 제어하기 힘들어 미끄러지기 쉬운 문제점이 야기된다. 또한 발 뒷부분이 들려지면서 지면에 반발력을 부여하는 과정에서도 신발과 지면과의 마찰력이 적으면 추진력이 낮아져 걷거나 달리는 동작이 힘들어지게 된다.^{2,3} 신발에서 지면과 직접 접촉하는 부분은 밑창이며, 밑창은 지면과의 높은 마찰력과 내마모성을 부여하기 위하여 주로 마찰력이 우수하고 내마모성이 좋은 고무를 소재로하여 만들어지고 있다. 신발용 밑창 소재로 많이 이용되고 있는 고무로서는, 추진력이나 마찰력이 중요한 경우 마찰계수가 상대적으로 높은 클로로부틸고무(chlorobutyl rubber, CIIR)이 많이 사용되고 있으며, 마찰력보다는 내마모성이 중요한 경우에는 내마모 특성이 우수한 부타디엔고무(butadiene rubber, BR)가 주로 사용되고 있다. 또한 중간정도의 내마모성과 마찰계수로 충분한 경우에는 스티렌부타디엔고무나 천연고무가 주로 사용되고 있다. 그러나 우수한 마찰계수와 내마모성을 동시에 요구하는 경우에는 이를 만족하는 소재가 아직까지 개발되어있지 않고

[†] 대표저자 E-mail: ccpark@dongseo.ac.kr

있다. 이와 같이 단일 고무 소재로 요구하는 물성을 만족하지 못하는 경우에는 각각의 장점을 지니는 고무들을 물리적으로 혼합하여 필요로 하는 특성을 만족하는 소재로 제조하는 블렌딩 방법이 많이 연구되고 있으며 실제 제품에 적용되고 있다.⁴⁻⁷ 최^{9,10} 등은 SBR의 응력풀립현상 및 회복거동에 대한 연구결과, 스테렌의 함량 및 버강시스템에 영향을 받는 것으로 보고하였다.

김⁸ 등은 천연고무를 플라즈마 처리한 경우 처리시간에 따라 천연고무의 마찰계수가 현저히 감소함을 보고하였다. 그러나 스포츠화에서 내마모특성 및 마찰특성과 더불어 반발력을 좌우하는 점탄성적 특성이 매우 중요하지만 신발용 밑창재료에 대한 반발특성 및 점탄성적 특성에 대한 연구는 거의 보고되지 않고 있다.

따라서 본 연구에서는, 스포츠화의 밑창 재료로 많이 사용되는 CIIR과 BR 그리고 신발밑창용 재료로 적용을 검토하고 있는 용액중합 스티렌부타디엔고무(solution styrene-butadiene rubber, SBR) 및 카르복실화 니트릴고무(carboxylated acrylonitrile-butadiene rubber, XNBR)를 사용하여 블렌드를 제조하고 각 고무 및 블렌드 고무의 조성이 블렌드물의 인장 탄성률, 반발탄성, 저장탄성률, $\tan \delta$, 크리프 특성 등에 미치는 영향을 비교 고찰하였다.

II. 실험

1. 실험재료

CIIR은 엑손모빌사의 1066을, BR 및 SBR은 금호석유화학(주)의 KOSYN 01(KBR) 및 5270을 사용하였다. XNBR은 제온사

의 NIPOL N1072를 사용하였다. 가교제 및 가교촉진조제로는 한일화학공업(주)의 공업용 황과 ZnO, Dibenzothiazyl disulfide(DM) 등을 사용하였다. 윤활제로는 KPX Chemical의 PEG 4000과 미창석유공업의 W-1500를 사용하였으며, 산화방지제는 Sumitomo Chemical의 BHT를, 충전제로는 Rhodia사의 Zeosil175G를 사용하였다. CIIR/KBR 블렌드물 제조를 위한 기본 배합은 Table 1에 나타내었으며, CIIR/SSBR 및 CIIR/NBR 블렌드물 제조를 위해서는 KBR대신 SSBR 및 XNBR을 각각 사용하였다.

2. 시편제조

CIIR, KBR, SBR, XNBR 및 블렌드는 스코치를 방지하기 위해 1차 혼련 및 2차 혼련하여 시편을 제조하였다. 1차 혼련 공정은 고무 100 phr을 500 ml 용량의 밀폐형 혼련기에 넣고, 30 rpm의 속도에서 혼련하였으며, 초기온도 및 최종온도는 각각 60 °C 및 80 °C로 유지하였다. 2분간 전단력에 의한 고무 소련을 수행하고 이어서 충전제 및 표면처리제인 Zeosil 30 phr 와 Si 69 2 phr을 3분에 투입하고, 고무 배합약품인 가공유 10 phr 및 산화방지제인 BHT 1phr을 6분에 투입하여 1차 혼련하였다. 1차 혼련물을 40 °C의 15 cm 개방롤에서 가교제 및 가교보조제인 황 3 phr, DM 1 phr, TS 1.5 phr 및 ZnO 5 phr을 5분간 균일하게 혼련하여 2차 혼련물을 제조한 후 24시간 방치하였다. 준비된 2차 혼련물을 Rheometer (Monsanto ODR 2000)를 이용하여 ASTM D 208416 규격에 준하여 155 °C에서 최적 가황 시간을 측정하였으며, 이를 기준으로 가압 프레스로 155 °C에서 압축 성형하여 고무가황물을 제조하였다. 각 블렌드물의 조성 및 가교특성을 Table 1 및 2에 나타내었다.

3. 특성 측정

경도는 ASKER사의 Shore Durometer Type A(고무)를 사용하여 각각 5회 측정하여 평균값을 취하였다. 인장 탄성률은 만능 인장 시험기(Instron사의 Model 4466)를 사용하여 500 ± 25 mm/min 인장속도로 5회 인장시험을 하여 평균 값을 구하였다. 시편은 KSM 6518에 따라 아령형 3호로 절단하여 물성 측정용 시편을 제작하였다. 시편의 반발탄성은 DIN 53512에 준하여 측정하였고 시편의 규격은 지름 29 mm, 두께 12.5 mm ± 0.5 mm의 실린더 형태로 지침 눈금이 0 위치에서 철봉 지침 100자리 위치 이동 후 4회 낙하하여 5회부터 읽고 3회 측정된 평균치를 나타내었다. 시료의 저장탄성률 및 $\tan \delta$ 는 두께 1.2 mm, 폭 6.5 mm인 시트상의 시편을 동적점탄성 측정기(DMA, TA Instrument의 2980)를 사용하여 1 Hz에서 측정하였다. 측정 온도는 -60 °C ~ 80 °C까지로 하였으며, 승온속도는 5 °C/분으로 하였다. Creep 특성은 25 °C에서 두께 1.2 mm, 폭 6.5 mm인 시트상의 시편을 0.1 N으로 0.05 분 동안 예비 응력을

Table 1. Basic Formulations of CIIR/BR Blends

(unit: phr)

materials	composition				
CIIR	100	75	50	25	0
KBR(SSBR or XNBR)	0	25	50	75	100
Stearic acid	1	1	1	1	1
Zeosil175	30	30	30	30	30
Si-69	2	2	2	2	2
White oil	3	3	3	3	3
BHT	1	1	1	1	1
PEG 4000	1	1	1	1	1
ZnO	5	5	5	5	5
Sulfur	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5
TS	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
DM	1	1	1	1	1
total	146	146	146	146	146

Table 2. Blend Composition and Physical Properties of CIIR, SBR, NBR, BR and Their Blend with CIIR at Various Compositions

code	t ₉₀ ^{a)} (min:sec)	Torque ^{b)} (N-M)	Hardness (Shore A)	Tensile strength (kgf/mm ²)	Rebound resilience (%)
CIIR(100)	44:12	8.43	47	50.8	14
CIIR(75)/SSBR(25)	25:15	10.90	57	65.1	25
CIIR(50)/SSBR(50)	19:11	11.33	60	79.4	32
CIIR(25)/SSBR(75)	6:23	13.86	64	90.4	44
SSBR(100)	5:15	14.43	66	79.6	51
CIIR(75)/KBR(25)	14:26	9.30	54	81.1	18
CIIR(50)/KBR(50)	8:05	12.37	58	90.9	24
CIIR25/KBR75	6:29	16.11	61	84.9	28
KBR(100)	4:26	17.52	62	53.6	32
CIIR(75)/XNBR(25)	19:34	9.35	65	77.1	16
CIIR(50)/XNBR(50)	12:43	12.44	71	113.3	19
CIIR(25)/XNBR(75)	9:00	15.08	73	153.5	25
XNBR(100)	6:03	8.43	70	153.5	29

a) Optimum cure time, b) Torque value at t₉₀.

가한 후 5 분간 회복시키고, 1 분간 1 N의 응력을 부가할 때의 변형을 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

CIIR에 KBR, SSBR 및 XNBR을 0, 25, 50, 75, 100 phr을 부가하여 제조한 CIIR/KBR, CIIR/SSBR, CIIR/XNBR 블렌드 고무의 가교특성, 인장강도, 신장율, 반발탄성률 등을 Table 2에 나타내었다. 그리고 CIIR에 KBR, SSBR 및 XNBR을 다양한 조성으로 혼합하여 제조한 CIIR/KBR, CIIR/SSBR, CIIR/

XNBR 블렌물에 있어, CIIR의 함량이 블렌드 고무의 인장탄성률에 미치는 영향을 Figure 1에 나타내었다. CIIR이 4가지 고무 중 가장 낮은 인장탄성률을 나타내었으며, CIIR < KBR < SSBR < XNBR 순으로 높은 탄성률을 나타내었다. CIIR에 SSBR 및 KBR이 블렌딩 된 경우에는 블렌드 화합물의 탄성률은 CIIR과 SSBR 및 KBR의 탄성률과 CIIR 탄성률의 산술평균값을 나타내는 경향을 보였다. 그러나 XNBR이 블렌딩 된 경우에는 두 고무의 산술평균값보다 조금 높은 탄성률을 나타내었다. CIIR/XNBR의 탄성률이 CIIR 및 XNBR보다 높은 탄성률을 나타내는 이러한 현상은, Table 2에 나타낸바와 같이 CIIR에 XNBR이 블렌딩됨에 따라 블렌드 고무의 경도 및 가교토크가 증가하는 현상과 밀접한 관계가 있는 것으로 이해된다.

CIIR에 KBR, SSBR 및 XNBR을 다양한 조성으로 혼합하여 제조한 CIIR/KBR, CIIR/SSBR, CIIR/XNBR 블렌드 고무의 반발탄성률을 Figure 2에 나타내었다. CIIR의 경우 가장 낮은 14 % 정도의 반발탄성률을 나타내었다. XNBR과 SSBR은 29 및 32 %의 반발탄성률을 나타내었으며, KBR은 가장 높은 반발탄성률인 51 %로 나타났다. KBR은 가해진 응력의 절반 이상을 탄성으로 회복하지만, CIIR의 경우 외부에서 가해지는 응력의 대부분을 소성변형으로 소실하는 것으로 나타났다. 동작에 필요한 에너지는 신발의 반발력에도 크게 의존하기 때문에, 신발 밑창이 외부에서 가해지는 응력을 재료가 흡수하여 소실하는 경우 운동역학적 에너지 효율 면에서는 불리하게 작용할 수 있다.¹¹ 따라서 신발의 운동역학적 에너지 차원에서는 KBR이 신발밑창으로 가장 효과적인 재료이며, CIIR이 가장 불리한 재료인 것으로 나타났다. CIIR/KBR, CIIR/SSBR,

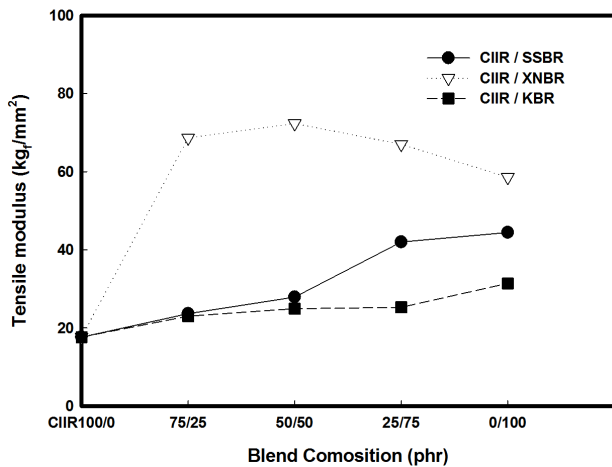


Figure 1. Tensile modulus of CIIR, SBR, NBR, BR, and their blend with CIIR at various compositions.

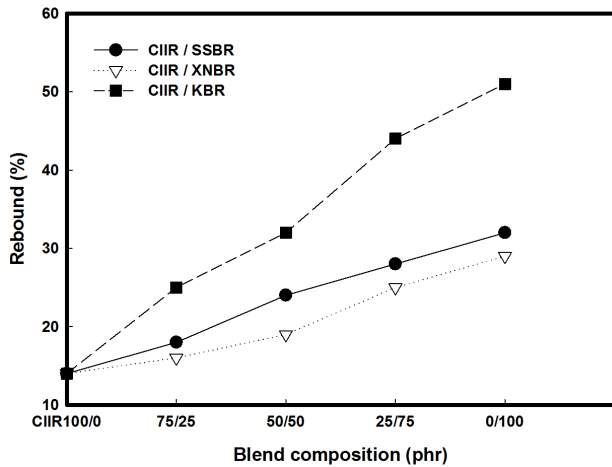


Figure 2. Rebound resilience of CIIR, SBR, NBR, BR, and their blend with CIIR at various compositions.

CIIR/XNBR 블렌드 고무의 반발탄성률은 각각 CIIR과 KBR, CIIR과 SSBR, CIIR과 XNBR 반발탄성률의 산술평균값을 나타내었다. Figure 1의 인장탄성률 거동에서 CIIR/XNBR 블렌드 고무의 인장탄성률이 CIIR과 KBR 보다 높은 값을 나타내는 것과는 다른 경향을 보였다. 압축반발탄성의 경우 측정 과정에서 재료의 각 부분의 미세구조의 차이보다는 재료의 각 부분이 지니고 있는 마크로한 특성의 평균값이 발견되기 때문에 이러한 현상이 나타나는 것으로 추정된다.

두께 1.2 mm, 폭 6.5 mm인 시트상의 CIIR, SSBR, XNBR, KBR 시편을 25 °C에서 0.1 N으로 0.05 분 동안 예비 응력을 가한 후 5 분간 회복시키고, 1 분간 1 N의 응력을 부가할 때 발생하는 변형을 Figure 3에 나타내었다. 1 N의 응력을 시편에 가할 때 발생하는 전체 변형은 CIIR이 가장 높았으며, KBR이 가장 낮았다. SSBR과 XNBR은 CIIR과 KBR의 정도의 변형을 나타내었다. 시편에 응력을 가할 때 발생하는 초기 변형은 CIIR이 가장 높고 CIIR > SSBR > XNBR > KBR 순으로 낮아지는 것으로 나타났다. 고분자에서 발생하는 변형은 탄성변형과 점성변형으로 나눌 수 있으며, Figure 3에서의 초기 변형은 탄성변형에 해당하는 것으로 1 N으로 압축하는 경우 압축 탄성률은 KBR이 가장 높은 것으로 나타났다. 그리고 1 N의 응력을 1 분 동안 지속하여 시편에 부가할 때 발생하는 변형의 변화는 CIIR과 XNBR이 KBR 및 SSBR에 비하여 현저히 큰 것으로 나타났다. 즉 CIIR과 XNBR은 높은 크리프 특성을 나타내는 것에 비하여 KBR 및 SSBR은 상대적으로 매우 낮은 크리프 특성을 나타내는 것으로 나타났다. KBR과 SSBR이 낮은 크리프 특성을 나타내는 것으로부터 KBR과 SSBR은 외부에서 응력이 가해질 경우 응력을 소실하는 비율이 낮을 것으로 예측된다. Figure 2 나타난 바와 같이 KBR 및 SSBR의 반발율이 CIIR 및 XNBR에 비하여 높게 나타나는 현상도 이러한 크리프 특성에 일부 기인하는 것으로 이해된다. 따라서 반발

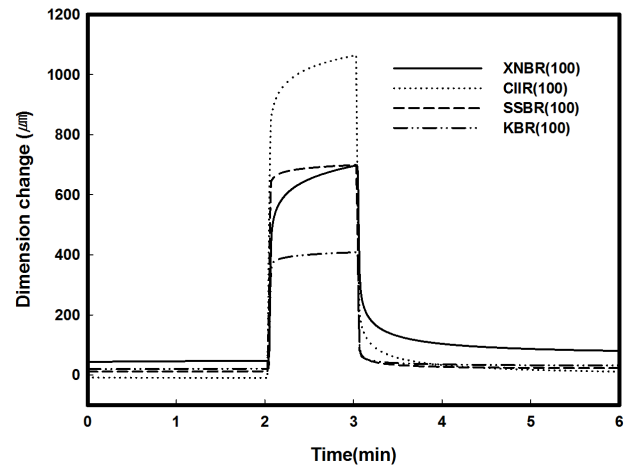


Figure 3. Dimension change of CIIR, SBR, NBR, BR and their blends with CIIR at various compositions.

특성이 우수한 제품을 개발하기 위해서는 크리프 특성이 낮은 재료를 개발하는 것이 필요한 것으로 사료 된다.

CIIR, SSBR, XNBR, KBR를 -60 °C에서 80 °C 까지 DMA로 측정된 저장탄성률을 Figure 4(a)에 나타내었다. 유리전이온도 이하의 낮은 온도에서는 CIIR과 KBR의 경우가 가장 낮은 저장탄성률을 나타내었으며, SSBR이 가장 높은 저장탄성률을 갖는 것으로 나타났다. 유리전이 온도 이하의 저온에서의 저장탄성률이 SSBR과 XNBR이 높은 현상은 고무분자 구조적인 차이에 기인하는 것으로 이해할 수 있다. CIIR과 KBR의 경우 고무분자내에 응집력이 높은 구조를 지니지 않지만, SSBR과 XNBR의 경우 고무분자내에 높은 응집력을 지니는 스티렌 단위와 아크릴로니트릴 단위를 지니기 때문에 유리전이온도 이하의 저온에서의 저장탄성률이 급격 증가하는 현상을 나타내는 것으로 이해할 수 있다. 따라서 SSBR과 XNBR의 경우 -40 °C의 극저온 환경에서는 재료의 높은 저장탄성률로 인하여 우수한 곱힘 유연성과 높은 내굴곡 피로 특성을 요구하는 신발 밑창으로의 사용에는 제한이 따를 것으로 예상된다. CIIR/SSBR 블렌드 고무를 -60 °C에서 80 °C 까지 DMA로 측정된 저장탄성률을 Figure 4(b)에 나타내었다. CIIR에 SSBR이 75 %, 50 %, 25 %로 블렌딩됨에 따라 유리전이온도 이하에서의 저장탄성률이 저하하는 경향을 나타내었다. Figure 4(c)에 CIIR/KBR 블렌드 고무의 저장탄성률을 나타내었다. CIIR/KBR 블렌드 고무의 경우에는 전반적으로 낮은 저장탄성률을 갖는 것으로 나타났다. 따라서 -40 °C 이하의 저온환경에서 사용하는 신발의 밑창 재료로는 CIIR/KBR 블렌드 고무가 CIIR/SSBR, CIIR/XNBR에 비하여 저온 굴곡 특성에서 유리할 것으로 예상된다.

CIIR, SSBR, XNBR, BR를 -60 °C에서 80 °C 까지 DMA로 측정된 $\tan \delta$ 를 Figure 5(a)에 나타내었다. CIIR, SSBR, XNBR의 경우 뚜렷한 $\tan \delta$ 최대 피크를 나타내었으나, KBR의 경우

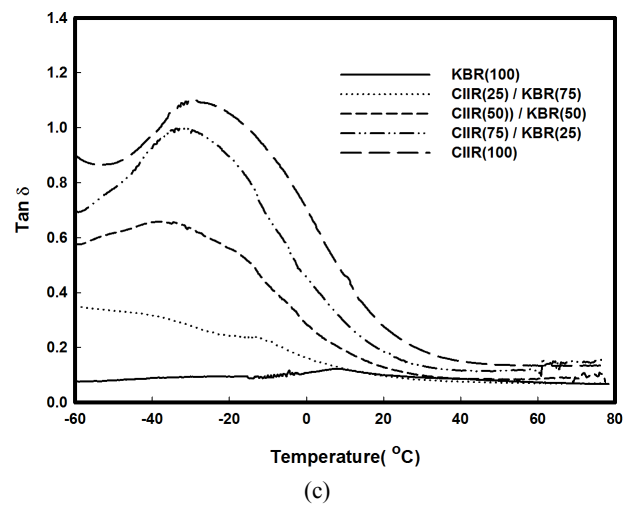
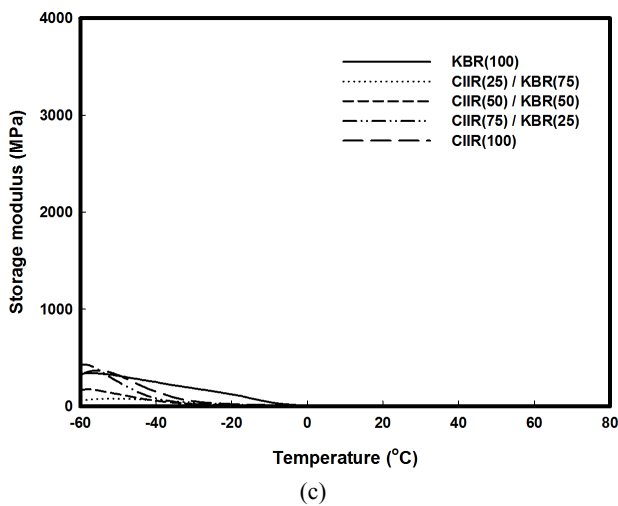
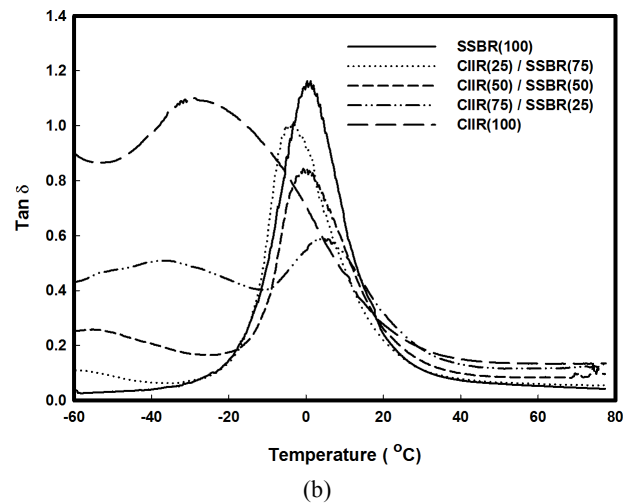
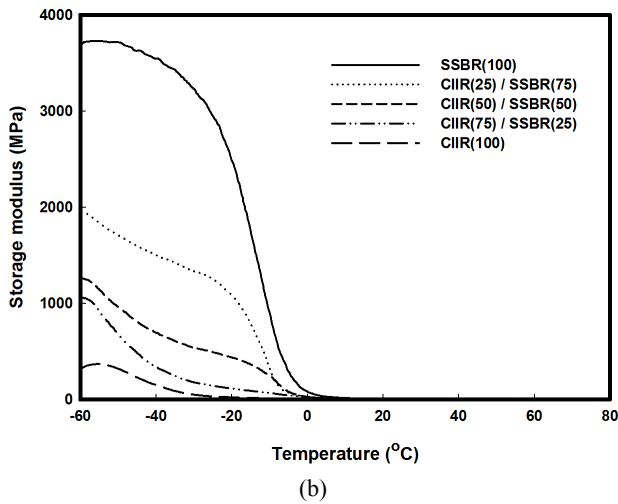
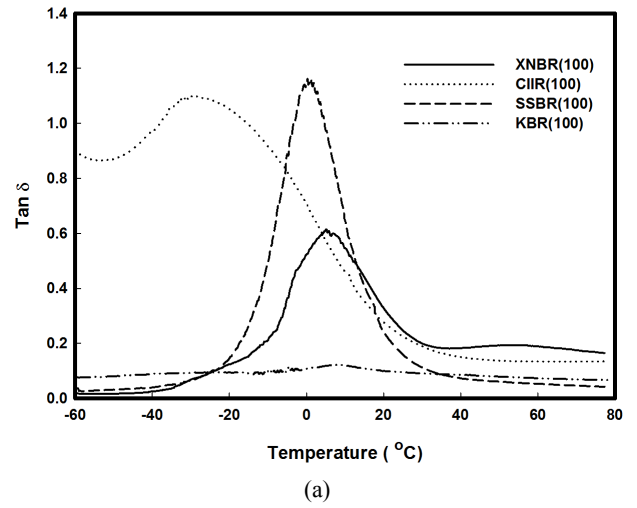
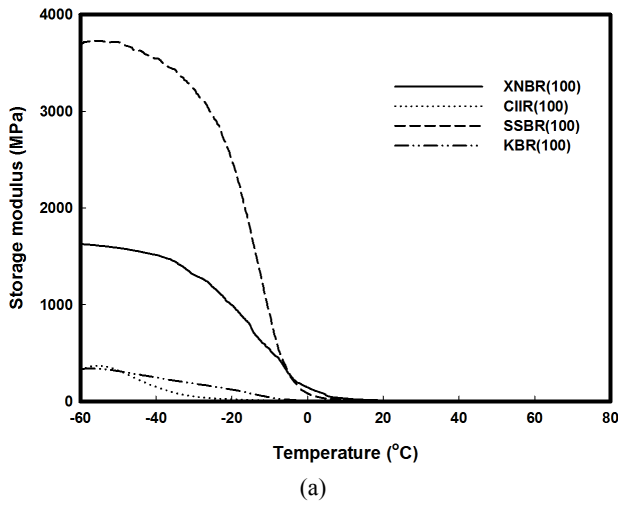


Figure 4. Tan δ of CIIR, SBR, NBR, BR and their blends with CIIR at various compositions; (a)CIIR, SBR, NBR, BR : (b) CIIR/SSBR Blends : (c) CIIR/KBR Blends.

Figure 5. Storage modulus of CIIR, SBR, NBR, BR and their blends with CIIR at various compositions; (a)CIIR, SBR, NBR, BR : (b) CIIR/SSBR Blends : (c) CIIR/KBR Blends.

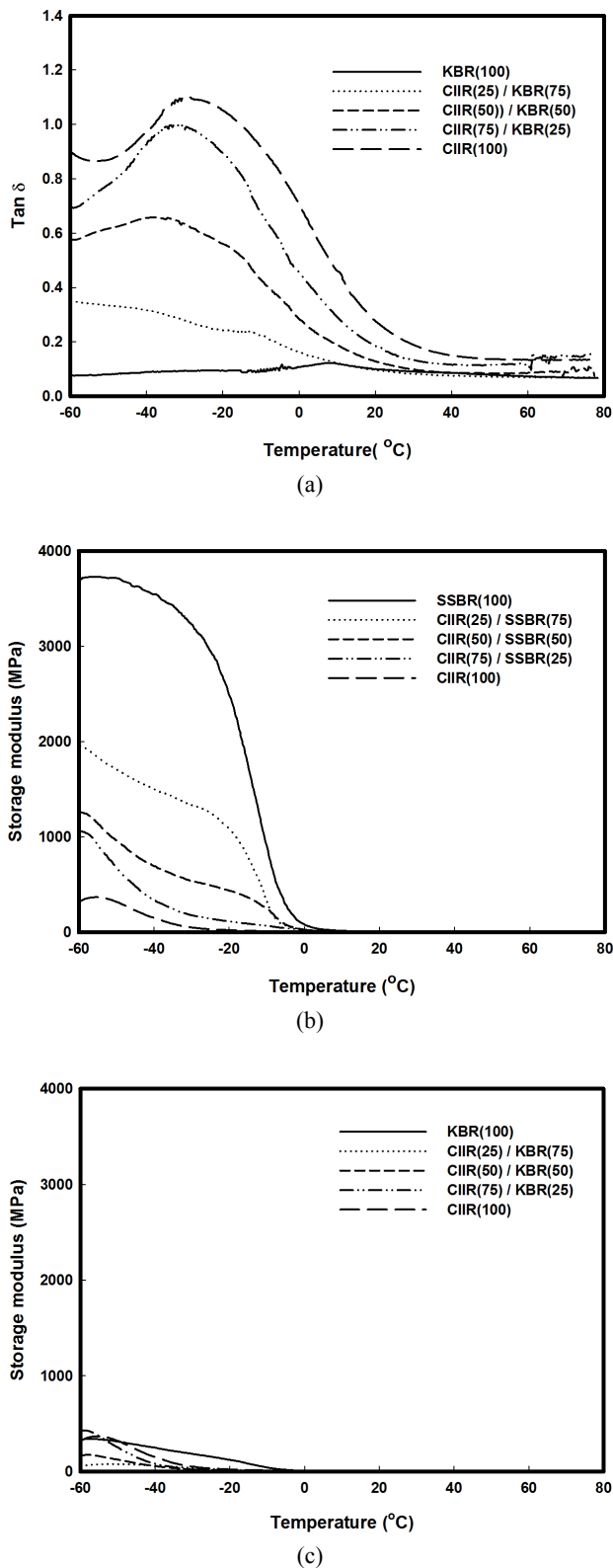


Figure 6. Loss modulus of CIIR, SBR, NBR, BR and their blends with CIIR at various compositions; (a)CIIR, SBR, NBR, BR : (b) CIIR/SSBR Blends : (c) CIIR/KBR Blends.

에는 측정온도 범위에서는 뚜렷한 피크를 나타내지 않았다. CIIR의 경우는 -30 °C 부근에서 $\tan \delta$ 최대 피크를 나타내었으나, XNBR과 SSBR의 경우 CIIR 보다 높은 온도인 5 °C 및 0 °C 부근에서 각각 뚜렷한 피크를 나타내었다. SSBR과 XNBR이 CIIR에 비하여 높은 유리전이온도를 나타내는 이러한 현상은, SSBR과 XNBR분자내에 강직성 그룹인 벤젠환과 극성기인 니트릴기를 지니고 있어 벤젠환과 극성기를 지니지 않은 CIIR에 비하여 세그먼트 단위의 운동성이 상대적으로 적은 것에 기인하는 것으로 이해할 수 있다. Figure 5(b)에 CIIR/SSBR 블렌드 고무를 -60 °C에서 80 °C 까지 DMA로 측정된 $\tan \delta$ 를 나타내었다. CIIR/SSBR 블렌드 고무에서는 두 개의 $\tan \delta$ 피크를 나타내었다. 두 개의 $\tan \delta$ 피크 중 저온에서의 피크는 CIIR에 대응되는 -30 °C 이하 온도영역에서, 그리고 고온에서의 피크는 SSBR에 대응되는 0 °C 부근에서 나타났다. 일반적으로 상용성이 우수한 2성분 블렌드계에서는 $\tan \delta$ 피크가 두 개로 나타나지 않고 중간온도 영역에서 1개의 $\tan \delta$ 피크를 나타내게 되며, 상용성이 낮은 2성분 블렌드계에서는 각각 성분의 $\tan \delta$ 피크에 해당하는 2개의 피크를 나타내게 된다. CIIR/SSBR, CIIR/XNBR 블렌드 고무에서는 CIIR에 대응되는 $\tan \delta$ 피크와 각각 SSBR 및 XNBR에 대응되는 2개의 피크를 나타내는 것으로부터 상용성이 낮은 블렌드계임을 유추할 수 있다. Figure 5(c)에 나타난 CIIR/KBR 블렌드 고무에서는 CIIR의 $\tan \delta$ 피크는 뚜렷하게 나타났으나 BR의 $\tan \delta$ 피크는 뚜렷하게 나타나지 않았다.

CIIR, SBR, NBR, BR 및 이들 고무로부터 제조된 CIIR/BR, CIIR/SBR 및 CIIR/NBR 블렌드 고무를 -60 °C에서 80 °C 까지 DMA로 측정된 손실탄성률 Figure 6에 나타내었다. 전반적으로 Figure 4의 저장탄성률 곡선과 유사한 경향을 나타내었다.

IV. 결 론

신발용 밑창 재료로 많이 사용되고 있는 CIIR과 KBR 및 새로운 신발 밑창 재료로 사용이 검토되고 있는 SSBR 및 XNBR 고무 및 CIIR 기재의 고무 블렌드에 대한 점탄성적 특성 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) CIIR/SSBR, CIIR/XNBR 및 CIIR/KBR 블렌드의 인장탄성률은 XNBR이 가장 높은 값을 나타내었으며, CIIR이 가장 낮은 탄성률을 나타내었다.
- 2) 반발탄성은 CIIR < XNBR < SSBR < KBR 순서로 반발탄성이 높아지는 경향을 나타내었으며, SSBR, XNBR, KBR이 CIIR에 혼합됨에 따라 블렌드의 반발탄성은 산술평균적으로 증가하는 경향을 나타내었다.
- 3) 크리프 실험에서 1 N 하중 부가시 변형은 CIIR이 가장 높은 점성변형을 나타내었으며, SSBR과 KBR은 상대적으로 낮은 점성 변형을 나타내었다.
- 4) CIIR의 경우는 -30 °C 부근에서 $\tan \delta$ 최대 피크를 나타

내었으나, XNBR과 SSBR의 경우 CIIR 보다 높은 온도인 5 °C 및 0 °C 부근에서 각각 뚜렷한 피크를 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 “산업원천기술개발사업”의 지원으로 수행된 결과입니다.

참고 문헌

1. 곽창수, “운동화 중저의 경도가 주행시 발바닥의 압력분포와 충격흡수에 미치는 영향”, 서울대학교대학원 박사학위논문, p. 25-42 (1993).
2. 김태형, “에어로빅스 하이킥시 운동화 중저의 경도에 따른 지면반력의 변화 및 발의 안정성에 관한 연구”, 서울대학교 대학원 석사학위논문, p. 7-17 (1996).
3. 오준석, “운동화의 기능학적 특성에 관한 연구”, 연세대학교 대학원 석사학위논문, p. 9-16 (1984).
4. C. Sirisinha, S. Limcharoen, and J. Thunyarittikom, “Oil resistance controlled by phase morphology in natural rubber/nitrile rubber blends” *J. Appl. Poly. Sci.*, **87**, 83 (2003).
5. 박찬영, 이원기, 민성기, “BR고무/결정성고무 블렌드의 물성에 미치는 온도 및 오존농도 등의 환경인자의 영향” *Elastomer*, **45**, 44 (2010).
6. 나창운, 손봉영, “NR/NBR 블렌드의 기계적 물성과 강선과의 접착거동”, *Elastomer*, **36**, 111 (2001).
7. 박현호, 이창섭, “재생 FKM rubber/신재 FKM rubber 블렌드 물의 특성 및 응용”, *Elastomer*, **40**, 104 (2005).
8. D. H. Kim, G. Mathew, D. J. Jeon, B. Jurkowski, B. Jurkowska, and C. Nah, “The influence of Palsama surface modification on frictional property of natural rubber vulcanization”, *Elastomer*, **39**, 12 (2004).
9. 최성신, 한동수, 우창수, “SBR의 미세구조와 보강시스템이 SBR가황물의 응력풀림 효과에 미치는 영향”, *Elastomer*, **41**, 164 (2006).
10. 최성신, 우창수, 장동호, “SBR 가황물의 회복거동에 미치는 스테렌 함량의 영향”, *Elastomer*, **40**, 273 (2005).
11. 박차철, “발포체의 경도가 신발 중창의 압축-반발 특성에 미치는 영향”, *Elastomer*, **39**, 186 (2005).