



CIIR 예비가교물의 니더가공이 BR/PCIIR 복합체의 물리적 특성에 미치는 영향

표경덕 · 박차철[†]

동서대학교 에너지생명공학부

접수일(2014년 4월 17일), 수정일(1차:2014년 5월 12일, 2차:5월 21일), 게재확정일(2014년 5월 22일)

The effect of the Knead Processing of the Precured CIIR on the Physical Properties of the BR/PCIIR Composites

Kyungduk Pyo and Chacheol Park[†]

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

(Received April 17, 2014, Revised May 12, 2014, May 21, Accepted May 22, 2014)

요약 : BR/PCIIR 복합체에 대한 분산상의 영향을 분석하기 위하여 예비가교된 CIIR을 BR과 함께 니더가공하여 고무복합체를 제조하였다. 분산상으로 사용된 CIIR 예비가교물을 니더에서 한번 더 가공함으로써 BR/PCIIR 복합체에서 분산상의 입자가 적어지고 균일하게 분산되었다. BR/PCIIR40의 경우 예비가교물의 니더 가공 시간이 복합체의 반발탄성 및 경도에 아무런 영향을 미치지 않았다. 예비가교된 CIIR 입자를 니더기로 가공한 후 BR에 혼합하여 복합체를 제조한 경우, 니더가공하지 않은 복합체의 인장강도에 비하여 10% 이상 현저히 향상되었다. 분산상으로 사용되는 CIIR 예비가교물을 니더로 가공함으로써 복합체의 표면마찰 특성은 그대로 유지하면서도 복합체의 내마모성 및 기계적 성질은 현저히 향상되었다.

ABSTRACT : Rubber composites were prepared by kneading the precured CIIR with BR in order to analyze the effects of the dispersed phase on the BR/PCIIR composites. The particle size of domain in BR/CIIR composites was decreased and homogeneously dispersed by kneading process the precured CIIR used as dispersed phase in kneader once again. In case of BR/PCIIR40, the kneading time of precured CIIR with BR did not have any effect on the rebound resilience and the hardness of the composite. The tensile strength of the composite prepared by kneading precured CIIR particles and then mixing them with BR increased significantly more than 10% when compared to that of the composite which was not kneaded. The composite maintained the surface friction property while increasing anti-abrasion and mechanical properties significantly by kneading the precured CIIR used as dispersed phase.

Keywords : composite, precuring, anti-abrasion, friction coefficient

I. 서론

걷거나 달릴 때 먼저 발 뒷부분이 지면에 먼저 착지된 후 발바닥 전체가 지면에 접촉한 후, 발의 뒷부분이 들려지면서 발의 앞부분으로 신체의 중심을 이동하여 추진력을 얻게 된다. 발 뒷부분이 지면에 착지하는 과정에서는 신발과 지면과의 마찰력이, 발의 앞부분에 지면으로부터의 반발력을 부여하는 과정에서는 신발의 반발특성이 매우 중요한 역할을 하게 된다.¹ 운동화 곁창의 마찰계수가 낮은 경우에는 발 뒷부분이 지면에 닿는 착지 과정에서 몸의 균형을 잃어버리고 미끄러지는 등 보행자에게 심각한 문제점이 야기된다. 또한 발 뒷부분이 들려지면서 지면에 반발력을 부여하는 과정에서도 신발과

지면과의 마찰력이 적으면 추진력이 낮아져 걷거나 달리는 동작이 힘들어지게 된다.¹ 신발 곁창용 재료는 우수한 내마모성과 높은 마찰계수가 요구되지만, 현재 사용되고 있는 고무 재료는 내마모성이 우수하면 마찰계수가 낮고 마찰계수가 높으면 내마모성이 낮은 문제점들을 지니고 있다. 특정소재가 지니는 장점을 살리면서 단점을 보강 하거나, 두 가지 이상의 소재가 지니는 성능의 중간 정도의 값을 지니는 소재를 제조하게 위하여 고무 블렌딩에 대한 연구들이 진행되고 있다.²⁻⁶ 이러한 상반되는 특성을 동시에 만족하는 소재 개발을 위한 연구들이 진행되고 있다.^{7,8}

내마모성이나 마찰특성이 우수한 범용고무로는 부타디엔 고무(Butadiene Rubber, BR), 스티렌 부타디엔 고무(Styrene Butadiene Rubber, SBR), 이소부틸렌 이소프렌고무(Isobutylene Isoprene Rubber, IIR), 클로로이소부틸렌 이소프렌 고무(Chloroisobutylene

[†] Corresponding Author. E-mail: ccpark95@hanmail.net

Isoprene Rubber, CIIR) 등이 있다. BR은 4종류의 고무 중에서 가장 우수한 내마모성을 나타내고 있으나 마찰계수는 가장 낮은 단점을 지니고 있다. 반면 CIIR은 4종류의 고무 중 우수한 마찰특성을 나타내고 있으나, 내마모성은 가장 낮은 단점을 지니고 있다.⁹ BR과 CIIR의 각각의 장점인 우수한 내마모성과 접지력을 동시에 지니는 소재를 개발하기 위하여 BR에 CIIR을 블렌딩한 경우, 블렌드물의 마찰계수는 대체로 산술평균에 해당하는 정도로 증가하는 경향을 나타내었지만 내마모성은 마이너스편차로 급격히 감소하는 경향을 나타내었다.¹⁰ BR에 CIIR이 블렌딩됨에 따라 블렌드물의 내마모성이 마이너스 편차로 급격히 감소하는 현상은 블렌드물에서 CIIR이 BR의 결정형성을 방해하는 것으로 이해되고 있다.^{10,11} BR과 CIIR을 혼합할 때 분산상으로 사용된 CIIR을 예비가교한 후 BR과 혼련하고 2차 가교하여 복합체를 성형한 경우 복합체의 마찰계수는 일정 수준을 유지하면서도 내마모성이 향상되는 것으로 알려져 있으나, 예비가교된 분산상과 연속상과의 계면 인력의 부족으로 인장강도가 저하하는 문제점이 대두되었다.¹²

따라서 본 연구에서는 BR/CIIR 복합체의 내마모특성은 그대로 유지하면서 기계적 특성을 향상시키기 위하여, 30% 및 40%로 예비가교된 CIIR 입자를 니더에서 한번 더 가공하여 BR/CIIR 복합체를 제조하고 예비가교도 및 니더가공 시간이 복합체의 인장강도, 마찰 및 내마모 등의 기계적 특성과 분산성에 미치는 영향을 고찰하였다.

II. 실험

1. 실험재료¹¹

본 실험에 분산상으로 사용된 CR은 Exxon Mobil사의 CIIR-1066을 사용하였으며, 연속상으로 사용된 BR고무는 금호 석유 화학의 KOSYN 01(KBR)을 사용하였다. 가교제 및 가교촉진제는 한일화학공업(주)에서 생산하는 공업용 약품인 Sulfur(S), ZnO, Didenzothiazole disulfide(MBTS) 및 Tetramethylthiuram monosulfide (TMTM)를 정제없이 그대로 사용하였다. Stearic acid(SA)는 (주)엘지생활건강의 ELOFAD TH100을 정제없이 그대로 사용하였다. 실란 커플링제는 예보닉 테구사의 Si-69를, 프로세스 오일은 미창석유공업의 W-1500을 사용하였으며, 윤활제는 KPX Green Chemical의 KONION PEG-4000을 사용하였다. 산화방지제는 Sumitomo Chemical의 Butylated hydroxytoluene(BHT)를, 충전제로는 Raudia사의 Zeosil 175G를 사용하였다.

2. 시편제조

2.1 연속상 및 분산상 혼련물 제조^{11,12}

연속상 및 분산상은 고무제조공정에서 발생하는 스크치를 방지하기 위해서 2단계 혼련으로 혼련물을 제조하였다. 1차

Table 1. Recipes for Domain and Matrix Rubber Compound.

Materials	Domain(phr)	Matrix(phr)
CIIR	100	-
BR	-	100
Stearic acid	1	1
Zeosil175	30	30
Si-69	2	2
White oil	3	3
BHT	1	1
PEG 4000	1	1
ZnO	5	5
Sulfur	1.5	1.5
TS	0.5	0.2
DM	1	1

혼련에서는 가교제 및 가교촉진제를 제외한 원료 고무 및 첨가제를 Table 1에 나타낸 배합비에 따라서 순차적으로 투입하였다. 1차 혼련 공정은 BR 이나 CIIR 고무 각각을 250ml 용량의 밀폐형 혼련기에 넣고, 30rpm의 속도에서 60℃ 및 80℃로 유지하면서 5 분간 전단력에 의한 소련을 한 뒤, 충전제, 프로세스 오일 및 실란 커플링제를 투입하고, PEG 4000 1부 및 산화방지제인 BHT 1부를 6분 후에 투입하여 1차 혼련을 하였다. 1차 혼련물을 40℃의 직경 15cm의 개방롤에서 가교제 및 가교촉진제인 황, MBTS, TMTM 및 ZnO를 투입하여 100회 회전하여 균일하게 혼련하여 2차 혼련물을 제조 한 후 24시간 방치하여 숙성시켰다.

2.2 분산상 제조

Table 1과 같이 배합 혼련된 CIIR을 24시간 숙성시킨 후, 3mm×3mm의 크기로 절단하여 150℃에서 Table 2에서 나타낸 바와 같이 소정 시간 동안 가교하여 가교도 30% 및 40%인 예비가교물로 제조하였다. CIIR의 예비가교 및 복합체의 후가교 시간을 Table 2에 나타내었다. 소정량의 예비가교된 PCIIR30 및 PCIIR40을 각각 밀폐형 혼련기인 니더에 넣고

Table 2. Precured and Second Curing Times of CIIR.

Code	Curing Time(min.)			
	Precured		Second Curing ^{a)}	
CIIR	-	-	T ₉₀	44
PCIIR30	T ₃₀	13	T ₉₀ -T ₃₀	31
PCIIR40	T ₄₀	17	T ₉₀ -T ₄₀	27

a) Second curing is performed during mixing with BR in composites.

Table 3. Rubber Composition in BR/CIIR Composite and Processing Time for Precured CIIR.

Code	Ratio of Rubber Compounds(phr)			Kneading Time(min.)
	BR	PCIIR30	PCIIR40	
BR/PCIIR30(0) ^{a)}	70	30		0
BR/PCIIR30(3) ^{b)}	70	30		3
BR/PCIIR30(5) ^{b)}	70	30		5
BR/PCIIR30(7) ^{b)}	70	30		7
BR/PCIIR40(0) ^{a)}	70		30	0
BR/PCIIR40(3) ^{b)}	70		30	3
BR/PCIIR40(5) ^{b)}	70		30	5
BR/PCIIR40(7) ^{b)}	70		30	7

a) PCIIR30 and PCIIR40 are only precured
 b) PCIIR30 and PCIIR40 are precured and then kneaded.

100℃에서 3분, 5분 및 7분 동안 30rpm으로 전단가공하여 분산상 PCIIR을 제조하였다. 30% 및 40% 열풍 예비가교의 경우 큐라스토메터로 측정된 적정 예비가교 시간은 13분 및 17분이었으며, 측정된 예비가교도는 각각 29% 및 39%였다.

2.3 복합체 제조

예비가교된 PCIIR 및 니더가공을 PCIIR과 연속상으로 사용된 BR을 Table 3에 나타낸 바와 같은 비율로 실험용 니더에 투입한 후 80℃에서 5분간 혼련하고, 150에서 소정 시간 가열 압축하여 고무 복합체인 BR/PCIIR를 제조하였다. T₉₀는 큐라스토메터로 측정된 최대 토크값의 90%에 해당하는 가교시간으로 Table 1과 같이 배합된 CIIR의 경우 44분으로 나타났다. 복합체의 가교 시간은 Table 2에 나타난바와 같이 T₉₀에서 예비가교시간을 제외한 값으로 31분 및 27분이었다.

3. 특성 측정¹¹⁾

예비가교도는 BR 및 CIIR을 두께 0.2 ± 0.02mm인 시편을 약 0.5g 준비하여 케이지 내에 시편을 넣고 시편의 질량(m₁)을 1mg의 정확도로 각각 측정하였다. 플라스크 내에 케이지와 시편을 위치시키고 완전하게 침지 상태를 유지하기에 충분히 시편에 대한 용매의 비가 최소한 1:500이 되도록 xylene 용액을 넣고 8시간 ± 5분 동안 용액을 끓인다. 90±2℃에서 24시간 진공건조 시킨 후 잔류물의 질량(m₂)을 1mg의 정확도로 측정 한 후 (1) 식으로 가교도를 계산하였다.

$$\text{가교도}(G) = \frac{m_2}{m_1} \times 100\% \quad (1)$$

인장강도 및 신장률은 Instron사의 만능 시험기 Model 4466을 사용하였으며, 시편을 3mm±0.2가 되도록 제조한 후 아령형 3호로 시험편을 제작하고 만능 시험기를 이용하여 500mm/min의 속도로 시험하였고, 5회 측정하여 표준편차가 큰 2개의 시험 값을 제외한 나머지를 평균으로 구하였다. 인장강도의 경우 (2)식과 같이 계산하였다.

$$T_B = \frac{F_B}{A} \quad (2)$$

T_B : 인장 강도(MPa)

F_B : 최대 하중(N)

A : 시험편의 단면적(mm²)

신장률의 경우 (3)식과 같이 인장에 의해 늘어난 길이를 처음 길이로 나눈값으로 하였다.

$$E_B = \frac{L_1 - L_0}{L_0} \times 100 \quad (3)$$

마모 시험은 NBS식에 의하여 두께 6.3mm, 한 번의 길이가 25.4mm인 정사각형 시편을 걸개에 걸어 연마지가 부착된 드럼 위에 위치시키고 45±5rpm의 속도로 회전시켜 마모가 2.54mm 될 때의 회전수를 측정하였다. 측정된 시험편의 회전수와 마모용 기준물 회전수의 비를 (4)식으로 계산하여 내마모율을 구하였다.

$$\text{내마모율}(\%) = \frac{R_1}{R_2} \times 100 \quad (4)$$

R₁ : 시험하고자 하는 시험편이 2.54mm 마모되는데 필요한 회전수
 R₂ : 기준물 시험편이 2.54mm 마모되는데 필요한 평균 회전수

마찰계수 특성은 표준상태에서 시편을 55mm×100mm의 크기로 절단하여 수평상태의 측정기면에 시편을 올린 다음, 시편이 미끄러지기 직전의 tan θ 값을 취하였다. 5회 측정 한 다음, 최대와 최소 값을 뺀 나머지를 평균값을 산출하여 최종 값으로 택하였다.

III. 결과 및 고찰

BR에 CIIR을 단순 블렌딩한 BR/CIIR의 경우 내마모 특성이 현저히 저하하며 이를 해결하기 위하여 CIIR을 예비가교하여 BR에 혼합하여 BR/PCIIR 복합체를 제조하는 경우에는 접지력은 그대로 유지되면서 내마모성이 현저히 향상되지만, BR/PCIIR 복합체에서는 분산상인 PCIIR 입자의 예비가교반응에 의해 강도가 저하되는 것으로 알려져 있다.¹²⁾ 복합체내에서

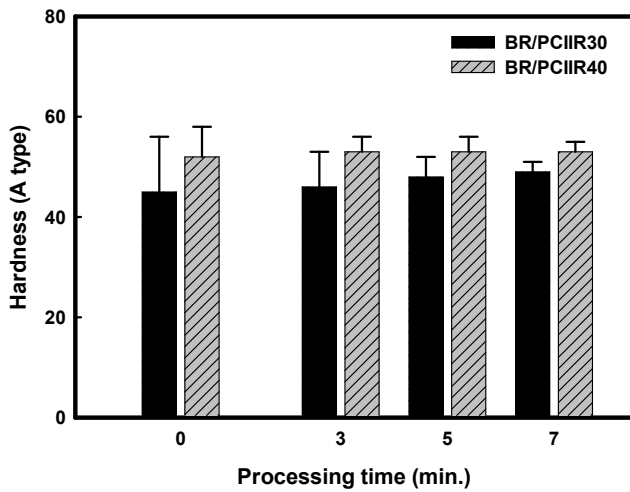


Figure 1. Hardness of BR/PCIIR composites with shear processing time of pre-cured CIIR particles.

예비가교된 PCIIR 입자에 의해 강도가 저하하는 이러한 문제를 개선하기 위하여 예비가교된 CIIR 입자를 니더기로서 한번 더 가공하여 분산상 입자의 형태 및 표면을 변형시킨 후 BR에 첨가하여 혼련 및 성형하였다.

30% 및 40% 예비가교물을 100°C의 니더에서 3분, 5분 및 7분간 니더로 가공한 PCIIR30 및 PCIIR40을 BR과 혼련하여 제조한 BR/PCIIR 복합체의 경도를 Figure 1에 나타내었다. 예비가교물을 전단가공하지 않은 경우 예비가교도가 높은 PCIIR40을 사용한 복합체의 경도가 PCIIR30을 사용한 경우 보다 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 경도가 높은 BR 연속상에 경도가 낮은 CIIR 예비가교물을 분산상으로 혼합한 경우에는 예비가교도가 낮을수록 경도 저하되는 선행연구의 결과와 일치하는 것으로 이해할 수 있다.¹² 그리고 40% 예비가교물이 혼합된 BR/PCIIR40의 경우 전단혼련시간에 무관하게 일정한 경도 값을 나타내었다. 그러나 30% 예비가교물이 혼합된 BR/PCIIR30의 경우에는 전단혼련 시간이 길어짐에 따라 복합체의 경도가 미소하게 증가하는 경향을 나타내었다. 30% 예비가교물을 전단혼련한 후 BR 연속상에 부가하여 제조한 BR/PCIIR30 복합체의 경도가 예비가교물의 전단가공 시간에 따라 증가하는데, 이러한 현상은 전단혼련 시간이 길어짐에 따라 분산상의 입자 크기가 감소하고 균일하게 분산됨으로서 복합체에서 CIIR과 BR과의 독립적인 영역이 감소하고 CIIR과 BR과의 계면영역이 많이 존재하게 됨에 따른 현상으로 이해된다.

예비가교물을 BR에 부가하여 제조한 BR/PCIIR의 반발탄성 특성을 Figure 2에 나타내었다. 니더로 가공하지 않은 예비가교물을 혼합하여 제조한 복합체의 경우, 예비가교도 40%인 CIIR을 사용한 복합체의 반발탄성이 30%를 사용한 경우 보다 높은 것으로 나타났다. 40% 예비가교된 CIIR을 사용한 BR/PCIIR40의 반발탄성은 예비가교물의 전단혼련시간에 무관하

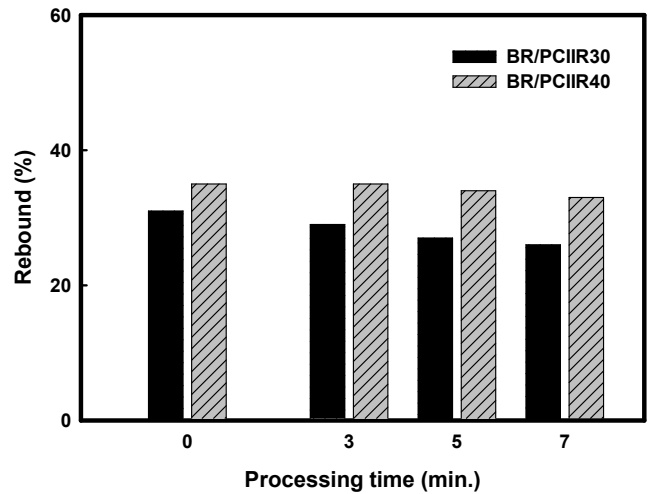


Figure 2. Rebound of BR/PCIIR composites with shear processing time of pre-cured CIIR particles.

게 일정한 값을 나타내었으나, 30% 예비가교된 CIIR을 사용한 경우에는 전단혼련 시간이 길어짐에 따라 반발탄성이 감소하는 경향을 나타내었다. BR/PCIIR30 복합체의 반발탄성이 전단혼련 시간이 길어짐에 따라 감소하는 경향을 보이는 데 이러한 현상은 앞 절에서 언급한 바와 같이 예비가교물의 균일한 분산효과에 따른 현상으로 이해된다.

예비가교된 CIIR 입자를 100°C의 니더에서 추가로 가공하여 BR과 혼련하여 제조한 BR/PCIIR 복합체의 인장강도를 Figure 3에 나타내었다. 전반적으로 30% 예비가교물을 사용한 BR/PCIIR30 복합체의 경우가 40% 예비가교물을 사용한 경우 보다 인장강도가 높은 것으로 나타났다. 예비가교된 CIIR 입자를 전단가공하지 않고 BR에 혼합하여 복합체를 제조한 경

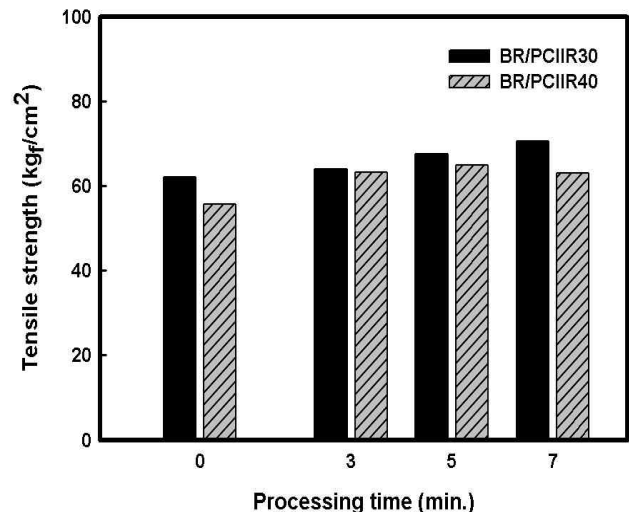


Figure 3. Tensile strength of BR/PCIIR composites with shear processing time of precured CIIR particles.

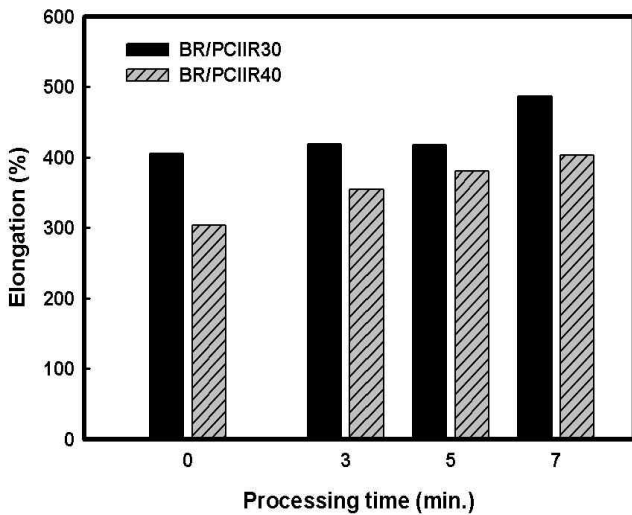


Figure 4. Elongation of BR/PCIIR with shear mixing time for precured CIIR particles.

우에 비하여 예비가교물을 니더기로 가공한 후 BR에 혼합하여 복합체를 제조함에 따라 복합체의 인장강도가 10% 이상 향상되는 것으로 나타났다. 예비가교된 CIIR 입자를 니더기로 가공한 후 BR과 혼합하여 제조한 복합체의 경우가 니더 가공하지 않은 경우에 비하여 인장강도가 높게 나타나는 이러한 현상은, 니더가공에 의해 예비가교된 CIIR입자의 크기가 줄어들고 표면적이 증가되며 형성된 분산상의 표면은 계속 진행되는 니딩 과정에서 소련 현상이 발생하여 연속상과 균일하게 혼합되기 용이한 상태로 되었기 때문으로 추측된다.

Figure 4에 예비가교 후 니더로 가공하여 제조된 PCIIR30 및 PCIIR40을 배합된 BR과 혼련하여 제조한 BR/PCIIR 복합체의 신장율을 Figure 4에 나타내었다. 전반적으로 BR/PCIIR30 복합체의 경우가 BR/PCIIR40의 경우 보다 신장율이 높은 것으로 나타났다. 예비가교물을 그대로 BR에 혼합하여 제조한 BR/PCIIR30 복합체의 경우 신장율이 400%였으나, 예비가교물을 니더로 가공한 경우 고무복합체의 신장율이 향상되는 것으로 나타났다. 그리고 40% 예비가교된 CIIR40 입자를 니더로 가공하지 않고 BR에 혼합한 복합체의 경우에는 약 300%의 신장율을 나타내었다.

내마모성이 우수한 BR의 마찰특성을 개선하기 위하여 마찰특성이 우수한 CIIR을 단순 블렌딩하는 경우에는 마찰특성은 다소 개선되지만 블렌드물의 내마모특성이 현저히 저하되며, 이를 개선하기 위해 가교되지 않은 CIIR이나 20% 이하로 예비가교한 CIIR을 BR에 혼합한 블렌드물이나 복합체의 내마모율은 BR과 CIIR의 내마모율의 산술평균 보다 현저히 낮아지는 것으로 알려져 있다.^{10,12}

예비가교 후 니더로 가공하여 제조된 PCIIR30 및 PCIIR40을 분산상으로 하여 제조한 BR/PCIIR 복합체의 내마모특성을 Figure 5에 나타내었다. 분산상의 예비가교가 많이 이루어진

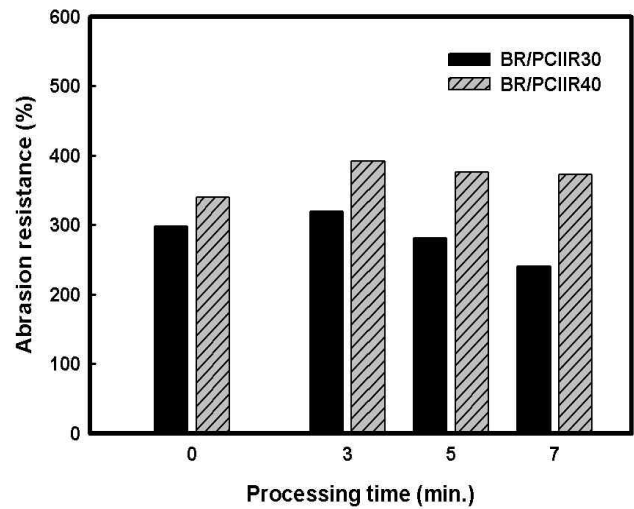


Figure 5. Abrasion resistance of BR/PCIIR with shear mixing time for precured CIIR particles.

BR/PCIIR40 복합체의 경우가 예비가교가 적은 BR/PCIIR30의 경우 보다 내마모특성이 우수한 것으로 나타났다. 이러한 현상은 예비가교물의 가교도가 10%에서 40%로 증가할수록 복합체의 내마모특성이 향상되는 것으로 보고한 선행연구결과와도 일치하는 결과로 볼 수 있다.¹² 예비가교가 많이 이루어진 BR/PCIIR40 복합체의 내마모특성이 BR/PCIIR30 보다 우수한 이러한 현상은 예비가교가 많이 이루어질수록 분산상이 복합체에서 연속상의 결정형성의 방해를 적게 하는 것에 기인하는 것으로 이해할 수 있다. 40% 예비가교된 CIIR40으로 복합체를 제조한 BR/PCIIR40의 경우 예비가교물을 니더로 가공함에 따라 내마모율이 오히려 향상되는 것으로 나타났다. 예비가교물을 니더로 가공함에 따라 BR/PCIIR40 복합체의 내마모율이 증가하는 현상은, 니더로 가공함에 따라 예비가교물의 크기가 감소하고 연속상과 계면인력이 증대할 수 있도록 표면의 특성이 개선되지만 40%로 진행된 예비가교에 의해 분산상이 연속상의 응집력에는 크게 영향을 미치지 않기 때문으로 이해된다. 따라서 BR/PCIIR 복합체에서 내마모특성을 향상시키기 위하여 CIIR을 예비가교 후 전단가공후 복합체를 제조하는 경우 최소한 30% 이상의 예비가교도를 유지하는 것이 바람직할 것으로 예상할 수 있다.

예비가교된 CIIR을 니더에서 추가로 가공한 후 BR과 혼련하여 제조한 BR/PCIIR의 마찰계수를 Figure 6에 나타내었다. 40% 예비가교된 CIIR을 사용한 BR/PCIIR40의 경우가 30% 예비가교물을 사용한 BR/PCIIR30보다 마찰계수가 다소 높은 것으로 나타났다. 이러한 현상은 분산상으로 사용된 CIIR의 예비가교도가 높을수록 복합체에서 상분리 현상이 뚜렷하고 따라서 분산상인 CIIR의 우수한 접지력 특성에 영향을 적게 미치는 것에 기인하는 것으로 이해할 수 있다. BR/PCIIR40 복합체의 마찰계수는 예비가교물의 니더 가공 시간에 무관하

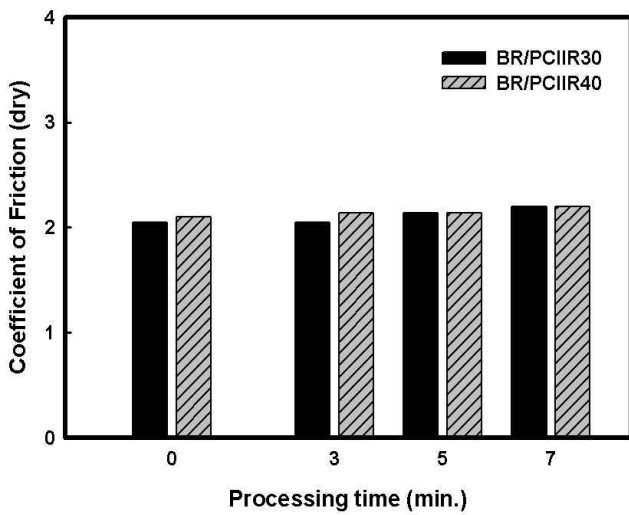


Figure 6. Friction coefficient of BR/PCIIR with shear mixing time for precured CIIR particles.

계 거의 일정한 값을 나타내고 있으나, BR/PCIIR30의 경우 예비가교물의 가공 시간이 길어짐에 따라 마찰계수가 다소 증가하는 경향을 나타내었다. 이러한 현상은 앞 절에서 언급한 바와 같이 전단가공에 의해 예비가교물이 미세하고 균일하

게 분산된 것에 기인하는 것으로 이해된다.

100°C의 니더에서 5분간 가공한 PCIIR30 및 PCIIR40을 사용하여 제조한 BR/PCIIR 복합체의 현미경사진을 Figure 7에 나타내었다. Figure 7(c)에 나타난바와 같이 40% 예비가교물을 전단가공 하지 않고 분산상으로 사용한 BR/PCIIR40(0)의 경우에는 첨가한 분산상의 형태가 거의 그대로 유지되고 있으나 니더로 5분간 가공한 경우에는 Figure 7(d)에 나타난 것처럼 분산상의 크기가 적어지고 균일하게 분산되어 있는 것을 확인할 수 있었다. 그러나 30% 예비가교물을 사용한 복합체에서는 Figure 7(a)에 나타난 것처럼 예비가교물을 전단가공을 하지 않더라도 연속상과의 혼련과정에서 분산상의 크기가 다소 감소하였으며, 5분간 니더 가공한 경우에는 Figure 7(b)에서와 같이 CIIR이 균일하게 분산되어 있는 것으로 나타났다. 즉 분산상으로 사용하는 CIIR 예비가교물을 니더에서 가공함으로써 복합체에서 분산상의 입자를 현저히 작게하며 분산상태를 양호하게 하는 것을 확인할 수 있었다.

IV. 결론

CIIR 분산상 입자에 대한 니더 가공이 BR/PCIIR 복합체의 특성에 미치는 영향을 고찰하기 위하여 예비가교된 CIIR을

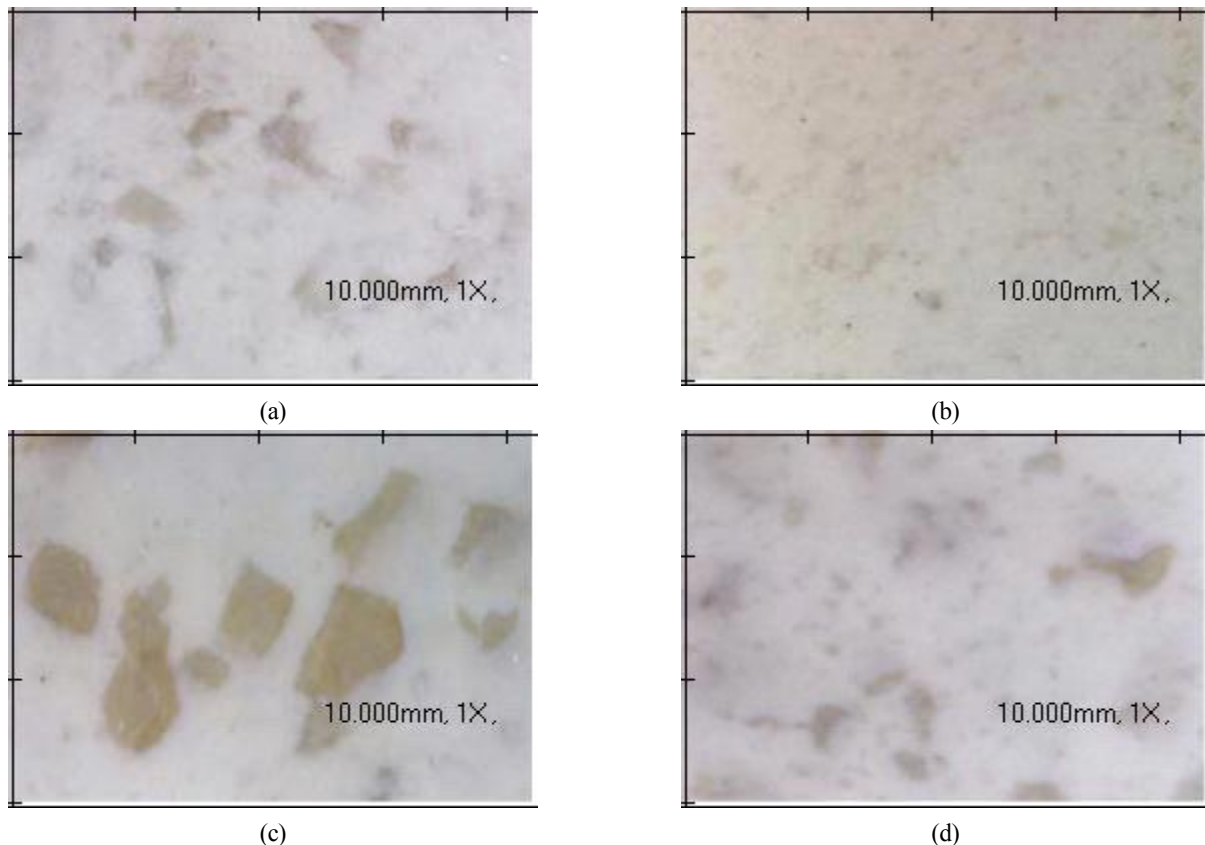


Figure 7. Photographs($\times 10$) of rubber composites; BR/PCIIR30-0(a), BR/PCIIR30-5(b), BR/PCIIR40-0(c), BR/PCIIR40-5(d).

니더로 가공한 후 BR에 혼합하여 제조한 BR/PCIIR 복합체를 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

분산상으로 사용된 CIIR 예비가교물을 니더에서 한번 더 가공함으로써 복합체에서 분산상의 입자 크기가 작아지고 보다 균일하게 분산되었다. BR/PCIIR40의 경우 예비가교물의 니더가공 시간이 복합체의 경도 및 반발탄성에 영향을 미치지 않는 것으로 나타났다. 예비가교된 CIIR 입자를 니더기로 가공한 후 BR에 혼합하여 복합체를 제조한 경우, 가공하지 않은 복합체의 인장강도에 비하여 10% 이상 현저히 향상되는 것으로 나타났다. 예비가교물을 니더에서 가공함으로써 복합체의 표면마찰 특성은 그대로 유지하면서도 복합체의 기계적 및 내마모 특성이 현저히 향상되었다.

감사의 글

본 연구는 지식경제부의 “산업원천기술개발 사업”의 지원으로 이루어진 결과입니다.

References

1. C. C. Park, “The effects of hardness and thickness of midsole on the bending properties of footwear”, *Elastomer*, **41(2)**, 125-130 (2006).
2. C. Y. Park, W. K. Lee, and S. K. Min, “Effects of environmental factor such as temperature and ozone concentration on the properties of BR/crystalline rubber blend” *Elastomer*, **45(1)**, 44-50 (2010).
3. H. H. Park, and C. S. Lee, “The characterization and application of virgin FKM rubber/recycled FKM rubber blend”, *Elastomer*, **40(2)**, 104-111 (2005).
4. C. C. Nah, and B. Y. Sohn, “Mechanical properties of NR/NBR blends and their adhesion behavior with steel cords”, *Elastomer*, **36(2)**, 111-120 (2001).
5. Cong Li, Shi-Ai Xu, Fang-Yi Xiao, and Chi-Fei Wu, “Dynamic mechanical properties of chlorinated butyl rubber blends”, *Eur. Polym. J.*, **42**, 2507-2514 (2006).
6. J. H. Kim, and G. H. Lim, “Thermoplastic Polyurethane (TPU)/ Ethylene-Propylene-Diene Monomer Rubber(EPDM) and TPU/Polybutadiene Rubber (BR) blends for the application of footwear outsole materials”, *Elast. Compos.*, **48(3)**, 195-200 (2013).
7. P. Tangudom, S. Thongsang, and N. Sombatsompop, “Cure and mechanical properties and abrasive wear behavior of natural rubber, styrene-butadiene rubber and their blends reinforced with silica hybrid fillers”, *Mater. Design*, **53**, 856-864 (2014).
8. C. Sirisinha, S. Limcharoen, and J. Thunyarittikom, “Oil resistance controlled by phase morphology in natural rubber/nitrile rubber blends”, *J. Appl. Poly. Sci.*, **87**, 83-90 (2003).
9. C. C. Park, and K. D. Pyo, “A study on the viscoelastic properties of rubber blends for shoes outsole”, *Elast. Compos.*, **45(4)**, 309-315 (2005).
10. C. C. Park, and K. D. Pyo, “A Study on the friction and anti-abrasion properties of rubber blends for shoes outsole”, *Elast. Compos.*, **46(4)**, 324-328 (2011).
11. C. C. Park, and K. D. Pyo, “Effect of chlorobutyl rubber on the mechanical properties of chlorobutyl rubber blends”, *Elast. Compos.*, **45(4)**, 280-285 (2010).
12. K. D. Pyo, J. C. Choi, J. N. Lee, and C. C. Park, “Improvement of frictional property of BR/CIIR composite rubber for shoe outsole”, *Polymer(Korea)*, **37(3)**, 255-261 (2013).