

고무 블렌드의 특성과 응용

김 완 영 · 이 대 수 · 나 창 운*

서 론

오늘날 고무는 자동차의 타이어, 각종 설비의 콘베이어벨트, 호스 등으로부터 스포츠용품에 이르기까지 널리 쓰이는 고분자 재료중의 하나이다. 이들 고무는 동남아 등지의 열대지방 Hevea 나무에서 얻어지는 천연고무와 석유화학 공정을 통하여 단량체의 중합으로 얻어지는 합성고무로 분류할 수 있으며 천연고무는 전체 고무 사용량의 약 30%를 차지함으로써, 여전히 중요한 비중을 차지하고 있다.¹ 천연고무는 주로 cis-1, 4-polyisoprene 으로 이루어진 고분자로서 그 입체규칙성은 Hevea 나무의 효소에 의한 생합성을 통하여 얻어진 것으로 천연고무가 가지는 탄성체로서의 강도 및 내노화 특성은 고무 분자의 입체규칙성에 기인하는 것으로 설명되고 있다. 즉 천연고무 분자의 입체규칙성으로 말미암아 연신되었을 때 결정화가 용이하게 일어남으로써 스스로 강도를 높여주고 crack의 전파를 막아주는 효과가 있는 것이다.

한편 천연고무의 성분이 밝혀지고 합성고무의 개발에 대한 연구가 시작되어 20세기에 들어서면서부터 styrene-butadiene 공중합체 및 polychloroprene 등의 고무가 상업적으로 생산되기 시작하였다. 2차 대전 중 일본에 의하여 천연고무의 주요

생산지인 말레이시아가 점령되면서 미국을 비롯한 연합국들이 합성고무의 생산과 가공 기술 개발에 박차를 가하여 합성고무는 그 규모 면에서 새로운 국면을 맞이하게 되었다. 그 후 계속적인 고분자의 구조와 특성에 대한 연구에 힘입어 오늘날에는 다양한 종류의 합성고무가 개발되어 널리 쓰이고 있다. 합성고무는 출발 물질인 단량체의 특성과 중합방식에 따라 조성과 분자 구조를 비롯하여 물성에 이르기까지 다양한 특징을 가지게 되며 그 응용특성도 광범위하다.

흔히 한가지 종류의 고무는 사용 특성으로 요구되는 물리적 화학적 기계적 특성을 모두 만족시키지 못하는 경우가 많기 때문에 두가지 이상의 고무와 충전제를 섞은 복합재료를 사용하고 있다. 두가지 이상의 고무를 포함한 블렌드는 각각의 장점을 살리고 단점을 상호 보완할 수 있을 때 사용 가치가 있다. 즉 물성이나 가공성을 높여주고 비용을 절감할 수 있어야 하는데 대표적인 예로서 자동차 타이어에 쓰이는 고무 블렌드를 Table 1에 나타내었다.²

고무 블렌드에 대한 연구는 새로운 종류의 고무를 개발하는 것 못지 않게 상업적으로 그 중요성을 더해가고 있다. 두가지 이상의 고무를 포함하는 블렌드의 경우 서로 다른 고무들 간의 상용성과 충전제를 포함한 조성물들의 morphology, 가공 특

Properties and Applications of Rubber Blends

진북대학교 공업화학과 · *(주)금호 기술연구소(W. Y. Kim and D. S. Lee, Dept. of Chemical Technology, Chonbuk National University, Chonju 560-756, Korea, *C. Nah, R & D Center, Kumho & Co., Inc., Sochon-dong, Kwangju 511-040, Korea)

Table 1. Typical Elastomers in Passenger and Truck Tires(2)

	Passenger	Truck
Tread	SBR-BR	NR ^a -BR or SBR-BR
Belt	NR	NR
Carcass	NR-SBR-BR	NR-BR
Black sidewall	NR-SBR or NR-BR	NR-BR
White sidewall	NR-SBR-EPDM-IIR ^b	
Liner	NR-SBR or NR-SBR-IIR	NR-IIR

^a Includes synthetic polyisoprene IR.

^b Includes halobutyl

성, 물성 등은 고무를 각종 재료로 사용하는데 중요한 인자들이다. 본 고찰에서는 최근에 보고된 연구 결과를 포함하여 주요 고무 블렌드의 morphology, 가공 특성, 물성 등에 대하여 알아보았다.

고무 블렌드의 Morphology

두가지 이상의 고무들을 혼합하기 위하여는 흔히 banbury mixer, roll mixer 또는 특수 설계된 screw extruder를 사용하여 높은 전단력을 가하는 방법이 사용되고 있다. 고무 블렌드의 morphology는 가공 특성 및 물성을 좌우하는 인자 중의 하나이기 때문에 많은 사람들이 관심을 가지고 연구해 오는 분야이다.

두종류의 고분자 A와 B가 섞이는 과정이 수반하는 Gibbs Free Energy 변화(ΔG_m)는 다음식(1)과 같이 표현된다.³

$$\Delta G_m = (n_a \ln \phi_a + n_b \ln \phi_b + \chi_{ab} n_a \phi_b)kT \quad (1)$$

식(1)에서 n_a , n_b 는 두 고분자 A, B의 분자수이며 ϕ_a , ϕ_b 는 각각의 부피 분율이고 χ_{ab} 는 두 고분자 A, B사이의 interaction parameter이다. 일반적으로 고분자의 경우 n_a , n_b 값이 저분자 물질에 비하여 작기 때문에 위 식에서 첫째 및 둘째 항의 값은 작은 음의 값을 가지게 되어 세째 항의 값이 0에 가깝거나 음의 값을 가지게 되면 ΔG_m 은 음의 값을 가지게 되고 두 고분자는 서로 상용성을 가지게 된다. 그러나 실제로 거의 대부분의 고분자들의 경우 ΔG_m 값이 음의 값을 가지는 경우가

드문 것으로 알려져 있다. 고분자들 사이의 상용성에 중요한 영향을 미치는 χ_{ab} 는 고분자의 극성이 낮은 경우 두 고분자의 solubility parameter(δ_a , δ_b)와 다음의 관계를 가진다.⁴

$$\delta_a - \delta_b = \chi_{ab} kT / V_a \quad (2)$$

식(2)에서 V_a 는 고분자 A의 molar volume이다. 여기서 χ_{ab} 값은 두 고분자 A, B의 solubility parameter 값의 차이가 작을수록 작은 값을 가지게 되고 상용성에 유리한 조건이 됨을 예측할 수 있다. Table 2에 주요 고무들의 유리전이온도와 solubility parameter 값들을 나타내었다.⁵

Walters는 천연고무(natural rubber:NR), styrene-butadiene rubber(SBR), butadiene rubber(BR), isobutene-isopropene rubber(IIR) chloroprene rubber(CR) 등의 블렌드에 대하여 위상차 현미경을 이용하여 그 morphology를 조사한 결과 solubility parameter 값의 차이가 작은 SBR/BR의 경우에도 두가지 고무들이 용해된 단일상을 보이기도는 각각의 고무들이 불균일하게 섞인 morphology를 관찰하였으며,⁶ 그후 많은 연구자들이 유사한 결과를 보고하였다.⁷ 최근에 Inoue는 SBR/BR의 경우에 대하여 light scattering 과 differential scanning calorimetry(DSC)를 이용하여 그 morphology와 열적 특성을 조사한 결과 두 고무의 혼합 조건에서는 불균일한 morphology를 가지나 155°C에서 가교 반응이 진행됨에 따라 단일상을 가지는 morphology로

Table 2. Solubility Parameters and Glass Transition Temperatures of the Rubbers Vulcanized(5)

Rubber	Microstructure of butadiene units		% Bound styrene or acrylonitrile	Dilatometric Tg	Solubility parameter δ (cale)
	% 1,2	% 1,4			
Natural rubber	—	—	—	— 68	8.25
Neoprene GNA	—	—	—	— 43	9.26
Butadiene rubber					
all cis	0	100	—	—110	8.22
Phillips	3	97	—	—106	8.21
Diene	11	89	—	—95	8.17
Emulsion	21	79	—	— 85	8.13
Buna 85	37	63	—	—72	8.06
High vinyl	71	29	—	—	7.91
All vinyl	100	0	—	— 25	7.78
SBR					
SBR 1500	21	79	23.5	— 52	8.29
Medium(I)	21	79	40	— 32	8.41
Medium(II)	21	79	48	— 20	8.47
Emulsion BR	21	79	—	— 85	8.13
PS	—	—	100	100	9.09
NBR					
Low AN	21	79	20	— 58	8.93
High AN	21	79	40	— 12	9.92
PAN	—	—	100	100	12.40
EPR (58 % ethylene)	—	—	—	— 62	7.88
Butyl rubber	—	—	—	— 70	7.60

변화함을 관찰하였다.⁸ Inoue는 이러한 morphology의 변화로 미루어 SBR / BR의 upper critical solution temperature(UCST)가 가교 온도보다 낮을 것이며 가교 반응이 진행되면서 SBR과 BR 사이의 계면에서 두 고무의 graft copolymer가 형성되어 두 고무의 상용화에 이바지하였을 것으로 해석하였다. 이러한 블렌드내의 고무들의 보이는 온도 변화에 따른 상용성의 변화와 제3의 화합물이 상용화제 역할을 하였을 때 나타나는

morphology 변화에 대한 연구는 고무 블렌드의 개발과 품질 향상을 위한 기초 연구로서 중요한 역할을 할 것으로 기대된다.

일반적으로 고무 블렌드의 morphology는 고무의 화학구조 뿐만이 아니라 두 고무의 혼합 비율, 점도 차이, 혼합 시간, 혼합 온도 등에 따라 달라지는 것으로 알려져 있다.⁹ 고무 블렌드 내에 분산된 고무의 입경은 혼합 시간이 길어질수록 작아져 평형에 이르게 되고, 두 고무의 화학 구조가 유사하고 점도

차이가 작을수록 작아지며, 점도가 낮은 고무가 연속상을 이루는 경향을 보인다. 한 예로서 Fig. 1에 EPDM/BR의 경우 조성 및 두 고무의 점도 차이에 따라 morphology가 달라지는 것을 나타내었다.

Tokida는 고무 블렌드에 분산된 고무의 입경(R)을 다음 식(3)과 같이 나타내었다.¹⁰

$$R = \frac{12P\sigma\phi_d}{\pi\eta\gamma} \left(1 + \frac{4P\phi_d E_{dk}}{\pi\eta\gamma}\right) \quad (3)$$

식(3)에서 P는 분산된 고무 입자들이 서로 부딪혔을 때 합쳐지는 확률이며 σ 는 두 고무 사이의 계면장력이고 ϕ_d 는 분산된 고무의 부피 분율, η 는 고무 블렌드의 점도이며, γ 는 전단 속도, E_{dk} 는 분산된 고무를 잘게 부수는데 필요한 에너지이다. 여기서 두 고무 사이의 계면장력이 낮거나 분산된 고무의 양이 적어질수록 입자 크기가 작아짐을 예측할 수 있다. Tokida는 NBR/EPDM에 대하여 배합 온도 및 mixer 회전 속도에 따라 고무 입자장의 크기가 식(3)에 따라 변화함을 정성적인 실험으로 확인하였다.

고무 블렌드 내의 두 고무 사이의 계면특성은 상용성의 정도에 따라 상호 침투된 계면의 두께로

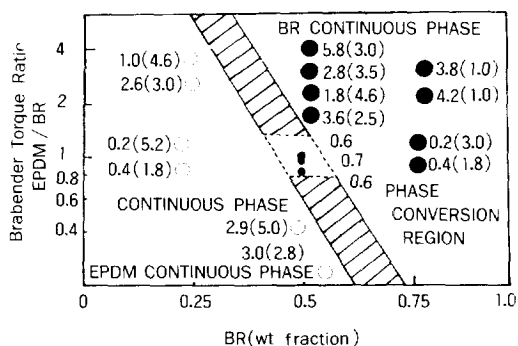


Fig. 1. Morphology changes as a function of viscosity (Brabender torque ratio) and composition of EPDM-BR blends. The numbers show the mean domain diameter in microns and the length to diameter ratio (in parentheses). Shaded symbols indicate EPDM as the disperse phase; open symbols indicate BR(9).

특징지워지며 두 고무가 가교 반응을 통하여 graft copolymer형성을 가능하게 한다. 한편 동일한 고무의 경우 분자간에 상호 침투된 정도는 tackiness 척도로 해석할 수 있음을 Skewiss는 지적하였다.¹¹

두 고무가 상호 침투된 계면 두께를 이론적으로 표면장력으로부터 계산된 결과를 Fig. 2에 나타내었다.⁸

Fig. 2에서 solubility parameter 차이가 작을수록 두 고무사이의 계면장력의 차이가 작고 상호 침투된 층의 두께가 증가함을 알 수 있다. Bauer는 NR/BR 및 BR/IIR의 경우 경화 반응이 일어난 후에 계면에서 graft copolymer가 형성됨으로 인하여 두 고무의 tan δ peak가 가까워지고 swelling 특성이 변화함을 관찰하였다.¹² 특히 solubility의 차이가 작은 NR/BR의 경우 그 경향이 크게 나타남은 Fig. 2에 볼 수 있는 바와 같이 고무 블렌드내 두 고무 사이에 상호 침투된 계면 특성에도 기인하는 것으로 볼 수 있을 것이다. 이러한 두 고무 사이의 계면 특성은 블렌드의 침투성을 비롯하여 각종 물성에 중요한 영향을 미칠 것으로 판단된다.

고무 블렌드의 morphology를 좌우하는 중요한 요인으로 충전 강화제로 널리 사용되는 카본블랙의 분산을 들 수 있다. 카본블랙의 분산을 좌우하는

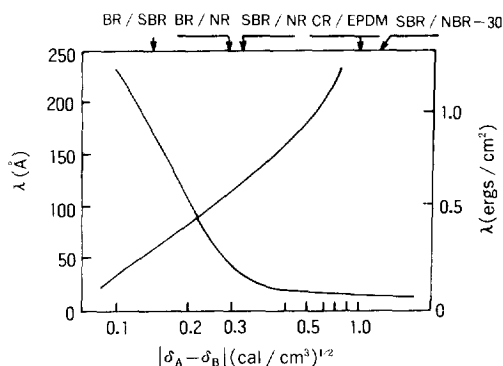


Fig. 2. Boundary surface tension (γ) and thickness (λ) of the boundary surface versus solubility parameter difference ($|\delta_A - \delta_B|$) for typical elastomer blends(8).

특성으로서 고무 분자의 포화도 및 극성, 고무의 점도, 혼합 방식 등을 들 수 있으며 일반적으로 고무의 카본블랙에 대한 친화성은 다음과 같은 순서를 가지는 것으로 알려져 있다.¹³

BR>SBR>CR>NBR>NR>EPDM>IIR

한편 혼합시 카본블랙의 한 고무상으로부터 다른 고무상으로의 이동은 용액상태에서의 혼합 또는 분자량이 낮거나 고무의 불포화도가 낮은 경우에만 일어나고 일반적으로 banbury mixer 나 roll mixer를 사용할 때는 일어나지 않는 것으로 알려져 있다.¹³

고무에 카본블랙을 분산시켰을 때 카본블랙 표면에 형성되는 bound 고무는 화학적 공유결합으로 연결이 되어 있으며 고무의 물성에 중요한 영향을 미치는 요인 중의 하나이다. Hess와 그의 공동 연구자들은 NR/BR 블렌드에 있어서, 일정량의 카본블랙을 NR 및 BR에 분산시킨 후 NR과 BR을 혼합하는 경우 bound 고무의 양을 조사한 결과 NR에서 bound 고무의 형성이 많이 일어나며, NR에 많은 량의 카본블랙을 분산시킬수록 bound 고무의 함량이 증가함을 관찰하였다.¹⁴ Cameron은 NR이 보이는 우수한 green strength는 bound rubber의 stress induced crystallization에 의한 것임을 지적하였다. bound rubber는 고무의 가공 특성과 물성에 미치는 영향이 지대하므로 고무 및 카본블랙의 종류와 가공 조건에 따른 영향이 중요시 된다.

고무 블렌드의 가공특성

고무 블렌드의 가공 특성은 조성물을 혼합한 후 경화를 시키기 전에 일정한 형상으로 가공하기까지 고려해야 하는 유변 특성과 경화를 통하여 가공 구조를 형성하는 화학 반응을 수반하는 경화 특성으로 나누어서 볼 수 있다.

Folt는 카본블랙을 포함하지 않은 NR/transpolybutadiene (TPB) 및 NR/BR 블렌드의

경우 두 고무의 조성비가 변화함에 따른 점도 변화는, 블렌드 이전에 각각의 고무가 가지는 점도에 따라 선형적으로 변화하기 보다는 극대치 또는 극소치를 보이며, shear rate에 따라 그 경향이 크게 달라짐을 보고하였다.

Sircar는 카본블랙을 포함한 NR/BR, SBR/BR, NR/SBR의 경우 mooney 점도와 die swell을 실험적으로 조사한 결과, 카본블랙을 첫번째 고무에 분산시킨 후 두번째 고무를 분산시키는 경우 한꺼번에 두 고무와 카본블랙을 분산시킨 경우보다 점도가 낮게 나타나며, die swell의 경우, Fig. 3에 나타난 각각의 고무의 특성에 비추어 예상할 수 있는 바와 같이 SBR/BR의 경우 BR이 바깥층을 형성하는 경우 낮게 나타났으며, NR/SBR 및 NR/BR의 경우는 오히려 NR이 바깥층을 형성하는 경우 낮게 나타났다.¹⁶

이러한 현상을 Sircar는 mastication을 거치면서 NR의 분자량이 낮아졌기 때문인 것으로 추측하였다. 최근에 Hess는 카본블랙을 포함한 NR/BR

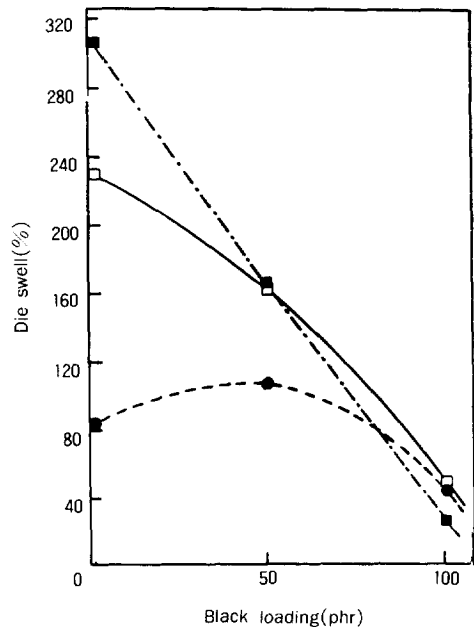


Fig. 3. Effect of carbon black loading on die swell: (· · ·) NR; (—) SBR; (---) BR(16).

의 경우 점도는 카본블랙을 포함한 NR 및 BR 보다 높게 나타나며, 카본블랙을 포함하지 않은 경우보다 점도의 증가는 적게 나타남을 관찰하였다.¹⁴ 앞에서 살펴본 문헌에 나타난 고무 블렌드의 유변 특성은 경우에 따라서 매우 복잡하게 나타나고 있다. 고무자 블렌드의 유변 특성에 대하여 Han은 실험적인 관찰과 이론적인 해석을 병행하여 여러 경우에 대하여 연구한 결과 고무자 블렌드의 유변 특성은 각각의 고무자의 특성은 물론이고, 블렌드의 morphology와 분산 상태로 존재하는 고무자가 얼마나 용이하게 변형될 수 있는가에

따라 달라지는 것으로 설명하고, 고무자 블렌드의 조성에 따른 점도 변화를 Fig. 4에 나타낸 바와 같이 4가지로 분류하였다.¹⁷

Fig. 4에서 Type-I은 점도가 높은 분산된 고무자와 연속상의 고무자 사이에 상호작용이 아주 적은 경우이며, Type-II는 분산상의 고무자와 연속상의 고무자가 상호작용이 아주 적은 가운데 상전이가 일어나는 경우이고, Type-III는 분산상의 고무자가 연신되어 실과 같은 구조를 가지는 경우이며, Type-IV는 두 고무자가 높은 상호작용이 있어 서로 얽힌 구조를 가지는 것으로

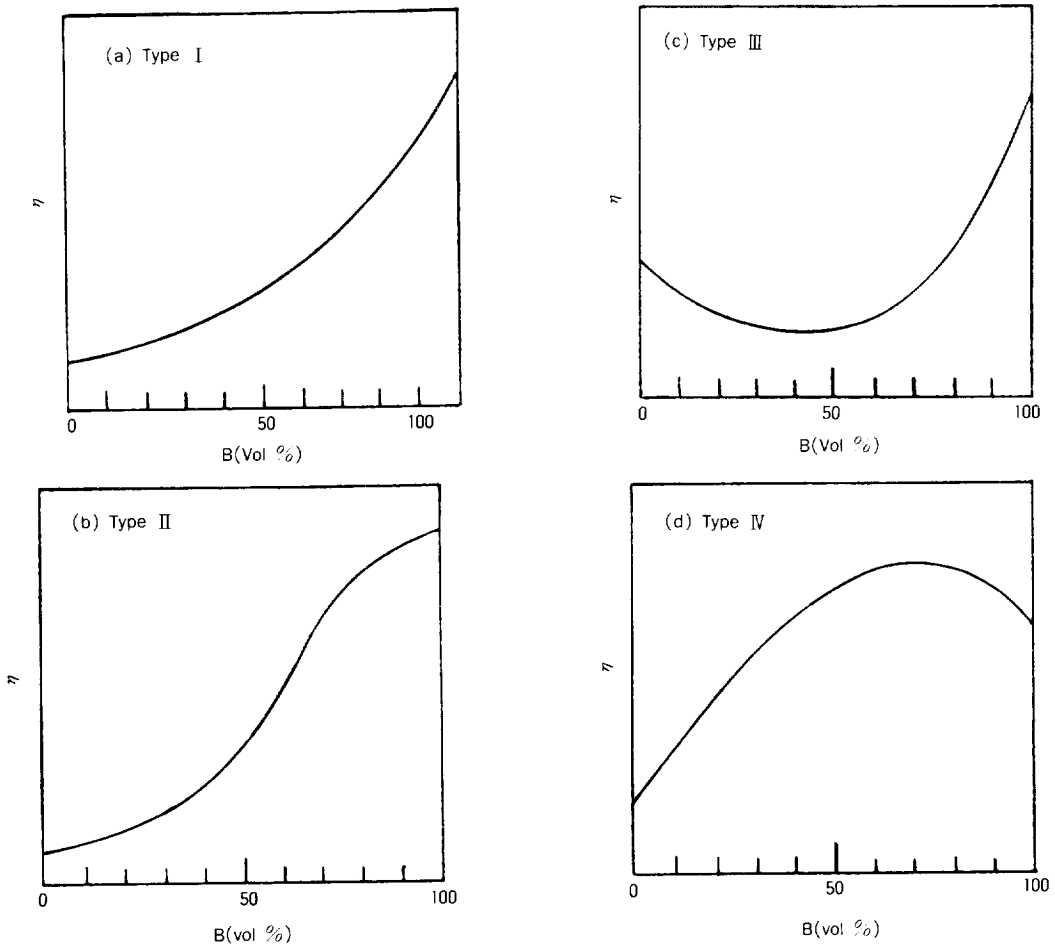


Fig. 4. Schematic summarizing various shapes of blend viscosity curve: (a) viscosity increase monotonically with blend composition; (b) viscosity increases with blend composition, exhibiting an S-shaped curve; (c) viscosity goes through a minimum; (d) viscosity goes through a maximum(17).

설명하였다. 한편 고분자 블렌드가 가지는 탄성에 의한 die swell은 조성의 변화에 따른 점도의 변화 경향과는 반대 경향을 보임을 지적하였다. Folt나 Sircar가 관찰한 복잡한 유변 특성은 고무 블렌드의 morphology와 카본블랙의 분산 및 각각의 고무 특성을 보다 면밀히 조사해야만 보다 체계적으로 해석이 가능하고, 가공 특성과 물성의 향상이 가능한 배합 방식과 가공 조건의 결정을 위한 지침이 될 수 있을 것으로 판단된다.

타이어나 벨트에 사용하는 고무들의 경우 가공 시 요구되는 특성 중의 하나가 tackiness이다. 일반적으로 고무의 tackiness는 분자 수준의 밀착 및 상호 침투와 자체의 강도에 의해 부여되는 것으로 알려져 있다.¹⁸ NR은 strain hardening에 의한 결정화로 높은 green strength를 부여함으로써 합성고무에 비하여 tackiness가 우수하여 고무 블렌드의 경우 최소한 30%의 NR이 포함되기도 하고 phenolic resin등의 tackifying agent를 첨가하여 합성고무의 tackiness를 향상시키기도 한다.

고무 블렌드의 경화 반응에서 일반적으로 요구되는 특성은 블렌드를 형성하는 고무들이 경화 조건에서 각각 적절한 수준의 가교 반응이 동시에 일어나고 두 고무 사이에 접착력이 있어야 하는 것이다. 그러나 경화제의 고무에 대한 친화성의 차이와 경화 반응이 빨리 일어나는 고무상의 경화제가 소진됨에 따라 반응이 느린 고무상의 경화제가 반응이 빠른 고무상으로 이동하는 현상이 발생하여, 불균일한 가교 밀도를 가지는 고무 블렌드가 얻어지고 블렌드의 특성이 기대할 수 있는 것 이하로 나타나는 것으로 알려져 있다.¹⁹ Woods는 경화제의 극성을 고무 특성에 가깝도록 개질을 하고, 각각의 고무의 경화 속도를 유사하도록 조절함으로써 두 고무 사이의 계면 특성이 향상되고 물성의 열화를 방지할 수 있음을 확인하였다. 경화제가 경화가 일어나는 동안 이동할 수 있는 가능성에 대하여는 이들의 확산계수가 $10^{-8} \sim 10^{-6} \text{cm}^2/\text{S}$ 이고 두 고무 사이의 계면 두께가 수백 Å 이내이므로, 수초 이내에 이동이 가능할 것으로 설명되고

있다.⁸ Leblanc은 경화제 중 고무에 대한 용해성이 없는 것은 고무들과 한꺼번에 섞는 경우, 균일한 분산이 어려워 경화된 고무 블렌드의 물성이 만족스럽지 못하나, 각각의 고무에 미리 분산시킨 후 혼합하는 경우 물성의 향상이 관찰됨을 보고하였다.²² 고무 블렌드 내의 각각의 고무가 균일하게 경화가 이루어지기 위해서는 경화제의 특성과 고무들의 경화 특성에 대한 면밀한 검토가 이루어져야만 할 것으로 볼 수 있다.

고무 블렌드의 물성

고무 블렌드의 물성은 일반적으로 각각의 고무의 물성을 반영하지만 morphology 및 가공 조건에 따라 차이를 보인다. 인장 강도 및 인열 강도의 경우 카본블랙 및 경화제의 분산 및 경화에 영향을 받는다. 예를 들면 NR/SBR의 경우 60%의 카본블랙이 SBR에 분산된 경우 강도가 가장 높게 나타나며, 극성의 차이가 큰 고무들로 이루어진 고무 블렌드의 경우 경화제의 균일한 분산이 강도의 향상에 중요한 역할을 하는 것으로 보고되어 있다.²³

고무의 내마모성은 일반적으로 고무의 유리전이 온도가 낮을수록 높은 경향을 보이며, 유리전이 온도가 낮은 BR을 포함한 NR/BR 또는 SBR/BR 등의 고무 블렌드를 내마모성이 요구되는 타이어 트레드에 적용하고 있다. 한편 고무 블렌드 내의 카본블랙의 분산도 내마모성에 영향을 미치는 바, NR/BR의 경우 BR에 카본블랙이 분산된 경우 내마모성의 향상을 보이는 것으로 알려져 있다. 타이어 트레드에 쓰이는 고무의 내마모성은 흔히 견인력의 감소를 보이는 경향이 있어 균형을 이루도록 조성을 최적화 하는 것이 고무 블렌드의 개발에 있어 중요한 사항 중의 하나이다.

고무의 동적 기계적 특성은 타이어에 쓰이는 경우 주행 시 회전 저항 및 발열 특성, 반발 탄성 등과 관련이 있는 것으로 알려져 있다. Fig. 5에 SBR 고무의 $\tan \delta$ 특성과 타이어의 요구 성능과의 관련

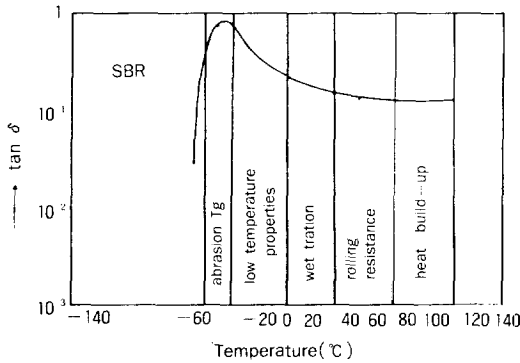


Fig. 5. $\tan \delta$ of a SBR and informations for the properties of tire tread(24).

성을 나타내었다.²⁴

고무의 실용 특성으로 요구되는 여러 특성을 가능한 한 충족시키기 위하여는 고무 블렌드의 사용이 불가피하다. 최근에는 용액 중합을 통하여 분자 구조를 조절한 BR 및 SBR의 경우 견인력, 내마모성의 균형 위에 주행시 회전 저항을 줄일 수 있는 것으로 보고되었다.²⁵ 한편 카본블랙의 특성도 타이어의 성능에 많은 영향을 미치는바, 카본블랙의 입자 크기가 작을수록 damping은 증가하여 견인력 및 내마모 특성의 향상을 가져오나, 회전 저항은 증가하며, 카본블랙의 구조가 발달할수록 보강 효과가 증가하고 견인력에는 불리하지만 회전 저항에는 유리한 것으로 알려져있다. 또한 Hess에 의하면 bound rubber의 함량은 카본블랙의 표면적 및 구조 발달에 비례하며, 내마모 특성을 높여주는 효과가 있는 것으로 밝혀졌다.¹⁴ NR/BR 블렌드의 경우, BR에 카본블랙이 분산된 경우 회전 저항도 적고 발열이 적은 것으로 나타나 있다. 고무의 노화 특성도 고무 블렌드의 조성과 카본블랙의 분산에 따라 차이를 보인다. 최근에 Lee는 SBR/BR, NR/BR, SBR/NBR의 경우 고무의 화학적 구조에 관계없이 연속상의 고무에 많은 양의 카본블랙이 분산될수록 노화가 적어지고 crack의 성장이 지연되며, 발열도 낮게 나타남을 관찰하였다.²⁶

이러한 현상은 분산된 고무의 모듈러스가 연속상의 고무에 비하여 상대적으로 낮을수록 마치

고무를 첨가한 플라스틱의 경우와 같은 에너지를 소모할 수 있는 기구가 존재하기 때문인 것으로 설명하였다.

맺음말

고무 블렌드의 특성은 그들이 가지는 morphology 와 서로 다른 고무 사이의 적절한 동시 가교 결합이 그 응용 특성에 많은 영향을 미치는 것으로 요약할 수 있다. 특히 카본블랙과 같은 충전 강화제의 분산은 물론이고, 경화제의 서로 다른 고무에 대한 분포 역시 적절히 조절됨으로써 고무 블렌드의 성능이 충분히 발휘될 수 있을 것이다. 본 고찰에서는 기존의 고무 블렌드를 중심으로 이제까지의 연구 결과를 살펴보았지만, 오늘날 많은 종류의 새로운 고무들이 개발되고 있는 점을 감안하면, 향후 고무 블렌드의 종류는 더욱 다양해 지고 이에 대한 연구 역시 활발해 질 것으로 기대 된다.

본 총설의 문헌 조사는 (주) 금호 기술연구소의 지원에 의한 것으로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. C. M. Blow, "Rubber Technology and Manufacture", Butterworth Scientific, London, 1982.
2. E. T. McDonel, K. C. Baranwall, and J. C. Andries, in "Polymer Blends", D. R. Paul and S. Newmann ed., Vol. 2., Chap. 19, Academic Press, New York, 1978.
3. P. J. Flory, "Principles of Polymer Chemistry", Cornell Univ. Press, New York 1953.
4. J. H. Hildebrand and R. L. Scott, "Regular Solutions", Prentice-Hall, Englewood Cliffs, New Jersey, 1962.

5. P. J. Corish, *Rubber Chem. and Tech.*, **40**, 324(1967).
6. M. H. Walters and D. N. Keyte, *ibid.*, **38**, 62(1968).
7. R. W. Smith and J. C. Andries, *ibid.*, **47**, 64(1974).
8. T. Inoue, *Int. Polym. Sci. and Tech.*, **14**, T/57(1987).
9. G. N. Avgeropoulos, F. C. Weissert, P. H. Biddison, and G. G. A. Bohm, *Rubber Chem. and Tech.*, **49**, 93(1976).
10. N. Tokida, *ibid.*, **50**, 292(1977).
11. J. D. Skewis, *ibid.*, **39**, 217(1966).
12. R. F. Bauer and E. A. Dudley, *ibid.*, **50**, 35(1977).
13. J. E. Callan, W. M. Hess, and C. E. Scott, *ibid.*, **58**, 350(1985).
14. W. M. Hess, P. C. Vegvari, and R. A. Swor, *ibid.*, **58**, 350(1985).
15. V. L. Folt and R. W. Smith, *ibid.*, **46**, 1193(1973).
16. A. K. Sircar, T. G. Lamond, and P. E. Puite, *ibid.*, **47**, 48(1974).
17. C. D. Han, "Multiphase Flow in Polymer Processing", Academic Press, New York, 1981.
18. G. R. Hamet, *Rubber Chem. and Tech.*, **54**, 576(1981).
19. J. B. Gardiner, *ibid.*, **41**, 1312(1968).
20. J. B. Gardiner, *ibid.*, **43**, 370(1970).
21. M. E. Woods and T. R. Mass, in "Copolymers, Polyblends, and Composites", N. A. J. Platzler ed., Chap. 33, Advances in Chemistry Series 142, ACS, Washington D.C 1975.
22. J. L. Leblanc, *Plast. and Rub. Proc. and Appl.*, **2**, 361(1982).
23. P. J. Corish, *Rubb. Chem. and Tech.*, **40**, 324(1967).
24. K. H. Nordsiek, *Kautschuk Gummi kunststoffe*, **38**, 178(1985).
25. S. C. Aggarwal, H. J. Fabris, I. G. Hargis, and R. A. Livigni, *Polym. Preprint*, **26**, No. 2, 3(1985).
26. B. L. Lee, in "Polymer Blends and Composites in Multiphase Systems", C. D. Han ed., Chapt. 12, Advances in Chemistry Series 206, ACS, Washington D.C. 1984.