

타이어 트레드 컴파운드와 고무 시멘트 계면의 점착과 접착 특성

송요순 · 김건옥^{*,†}

전남대학교 신화학소재공학과, *신한유화(주)
(2018년 2월 5일 접수, 2018년 2월 25일 심사, 2018년 4월 10일 채택)

Interfacial Tacky and Adhesive Characteristics between Tire Tread Compounds and Rubber Cement

Song Yo Soon and Kim Kun Ok^{*,†}

Department of Advanced Chemicals & Engineering, Chonnam National University, 77, Yongbong-ro, Buk-gu, Gwangju 61186, Republic of Korea

*Shin Han Chemical Co. Ltd., 155, Pyeongdong-ro 803beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62413, Republic of Korea
(Received February 5, 2018; Revised February 25, 2018; Accepted April 10, 2018)

초 록

타이어 트레드 컴파운드와 천연 및 합성 고무 접착제 종류에 따른 가황 전/후의 점착력과 접착력 차이를 비교하였다. 가황 전 점착력은 모든 트레드에서 천연고무 시멘트가 가장 강하고, 시간의 경과에 따른 점착력 감소도 천연고무 시멘트가 합성고무 시멘트보다 낮았다. 가황 전 점착력은 시멘트에 사용된 고무의 유리전이온도에 영향을 받았으며, 천연고무가 합성고무에 비해 시간의 경과에 따른 점착력 감소도 적었다. 가황 후 점착력은 천연고무 시멘트가 천연고무가 주성분인 트레드에 강하게 점착하지만 합성고무가 주성분인 트레드에는 약하게 점착했다. 반면 유화중합 SBR, 용액중합 SBR 시멘트는 모든 트레드 컴파운드에 강하게 점착하였고, 시멘트 고무의 가황 속도가 느릴수록 강한 점착력을 보였다.

Abstract

This study compared the tackiness and adhesion of different tire tread compounds and rubber cements before and after vulcanization. The tackiness of natural rubber (NR) cement was the highest for all tread compounds before vulcanization, and the decrease in tackiness of NR cements over time was smaller than that of synthetic rubber cements. The tackiness before vulcanization was affected by the glass transition temperature of the rubber used in the cement and the decrease in tackiness over time of NR was smaller compared to that of using the synthetic rubber. The adhesion of NR-based cements after vulcanization was high for NR tread compounds but low for synthetic rubber tread compounds. On the contrary, the adhesion of emulsion (SBR) and solution SBR cements was high on all tread compounds which was shown to be higher when the rate of vulcanization of cement rubber was lower.

Keywords: rubber cement, natural rubber, synthetic rubber, tack, adhesion

1. 서 론

타이어의 제조 공정에서 가황 전에 시멘트를 발라주어서 끈끈한 상태에서 트레드를 붙게 하는 것은 점착이라 하고, 가황 후 트레드가 가교결합을 하여 서로 단단하게 달라붙는 것을 접착이라고 한다[1-4]. 점착과 접착은 물질을 부착한다는 점은 같지만 점착은 시간이 지나도 고화현상을 동반하지 않으나 접착은 시간이 지나면서 고화현상이 발생한다는 점이 차이가 있다.

타이어의 제조 공정 중 성형공정은 재단된 트레드를 드럼형태로 등

글게 감아서 가황 전 형태의 타이어(그린타이어)를 만드는 공정으로 그린타이어 트레드 이음부(tread joint)에는 주로 점착성이 강한 천연고무가 주성분인 시멘트를 발라서 성형하였다[5-6].

시멘트의 점착 및 점착성을 이용하여 트레드끼리 단단하게 붙어서 트레드 틈새에 이물질이나 이형체가 들어가는 것을 막아주고, 타이어 형태를 유지시켜 타이어의 균형과 관계 있는 균일성(uniformity)을 올리고 내구력을 좋게 만들어준다[7]. 완성된 타이어의 트레드 이음부는 주행시 반복되는 굴신과 충격에 벌어지지 않는 것이 안전에 매우 중요하다.

최근 타이어 산업에서는 젖은 도로의 조경 안정성(wet grip)과 연비 성능의 지표인 회전 저항(rolling resistance)을 개선하고자 트레드에 사용되는 폴리머 체인 말단에 스타이렌 함량을 높이고, 비닐 함량을 조절된 용액중합 SBR (solution SBR, S-SBR)을 사용하고 있다[8-13]. 용액중합 SBR은 천연고무 시멘트와 혼화성(compatibility)이 떨어져,

† Corresponding Author: Shin Han Chemical Co. Ltd., 155, Pyeongdong-ro 803beon-gil, Gwangsan-gu, Gwangju 62413, Republic of Korea
Tel: +82-62-944-8485 e-mail: mrkkn@naver.com

Table 1. Rubber and Filler Composition of Prepared Tread Specimens

(unit : phr)

Composition	Tread 1	Tread 2	Tread 3
NR/E-SBR/S-SBR/BR	90/0/0/10	0/80/0/20	0/15/70/15
Carbon black/Silica	30/0	30/30	10/70

Table 2. Composition of Prepared NR, E-SBR, S-SBR Cement Compounds

(unit : phr)

Material	NR	E-SBR	S-SBR	Maker	Characteristics
SVR CV60	100.0	0.0	0.0	HB chemical	Standard Vietnam rubber, Mooney vis. 55~65
SBR1502	0.0	100.0	0.0	KKPC	styrene; 23.5%
VSL5025HM	0.0	0.0	100	Lanxess	vinyl; 50%, SBR; 25%, TDAE oil; 27.3%
Koresin		20.0		BASF	alkyl phenolic resin
ZnO		5.0		SB Chemical	purity 99.9%
Stearic acid		2.0		LG	stearic acid 65%, palmitic acid : 35%
Carbon black		50.0		Korea Carbon black	Corax N330, iodine absorption 82 mg/g
Process oil		5.0		Michang Oil	P-2 oil, paraffin
Sulfur		2.6		Miwon Chemical	Midas SP-325, soluble, pourity 99.9%
NS		0.4		KKPC	KUMAC®NS (TBBS), m.p; 106~112 °C

접착계면에 피로가 누적되면 트레드 이음부가 분리되는 경우가 있다. 트레드 이음부분이 벌어지는 접착계면의 들뜸 현상은 자동차의 안전에 위험이 될 뿐 아니라 주행 중 차량의 떨림, 소음의 원인이 된다.

이러한 계면 들뜸을 방지하기 위해 트레드 고무의 점착성을 높이고, 성형공정에서 트레드 이음부를 물리적으로 강하게 눌러서 접착시키는데, 승용차 타이어 경우 트레드의 주성분인 SBR 고무는 합성고무의 특성상 점착력이 천연고무보다 떨어지기 때문에 트레드 고무를 배합하는 과정에서 많은 양의 점착 부여제를 첨가하거나 성형 공정에서 트레드 이음부를 강하게 압착하는 장치를 사용한다. 이때 트레드에 첨가하는 점착 부여제는 타이어 제조 비용을 올리고 고무 혼합공정에서 배합 고무가 믹싱롤에 달라붙어 작업 효율을 떨어뜨린다. 그리고 트레드 이음부를 물리적으로 강하게 압착시켜도 접착강도가 만족스럽지 않아 가황공정 전에 접합된 트레드 부위가 벌어지는 경우가 많다.

이전처럼 고무재료가 단순할 경우 타이어의 점착과 접착에 따른 공정이 복잡하지 않고 시멘트의 점착력만 고려하였지만, 최근 트레드에 사용되는 고무재료가 다양해지고, 성형공정의 정밀함이 높아지면서 시멘트는 트레드 고무에 대한 점착력과 접착력도 만족시킬 수 있는 재료의 필요성이 커졌다.

이렇듯 고무재료의 점착과 접착은 타이어 재질과, 시멘트 재질 및 가황공정에 따라 달라지기 때문에 이에 대한 많은 실험 데이터가 우수한 타이어를 제조하는데 필요하고 차종의 고급화와, 연비 및 안정성에 점점 정밀하게 대응하기 위해서는 맞춤형의 우수한 시멘트 제조가 더욱 필요하다.

이 연구는 3종의 트레드 컴파운드와 접착제 계면간의 점착과 접착에 관한 연구로서 접착제 고무재료에 따른 트레드 컴파운드의 점착강도와 접착강도를 주제로 연구하였다. 타이어에 주로 사용되는 3종의 트레드 컴파운드를 선택하고, 트레드에 사용된 동일한 고무를 시멘트로 만들었다. 그리고 트레드와 시멘트간의 점착력과 접착력을 측정하여 우수한 시멘트를 제조하기 위한 방법을 찾아보았다.

2. 실험

타이어의 트레드에 사용되는 3종의 컴파운드에 접착제의 재료를 다르게 배합하여 시편에 도포하고 가황 전 점착력과 가황 후 점착력을 측정하였다. 점착력은 점착테스터(Texture Analyzer, TA.XT plus, Stable Micro System, UK)를 사용하였고, 접착력은 만능재료시험기(Universal Test Machine, TO102, Testone, Korea)를 이용하여 측정하였다. 시편의 제조 및 가공은 일반 카본블랙 고무시험방법에 따라 배합하였다.

2.1. 트레드 선정

실험에서 피착제로 사용된 트레드 컴파운드는 타이어에 사용되는 고무 중 가장 많이 쓰이는 천연고무와 유화중합 SBR (emulsion SBR, E-SBR), 용액중합 SBR을 주성분으로 하는 컴파운드를 선택하였다. 천연고무가 주성분인 트레드 1은 버스 및 트럭 등 대형차량에 주로 사용되고, 유화중합 SBR이 주성분인 트레드 2는 일반 승용차에 주로 사용되며, 용액중합 SBR과 실리카가 주성분인 트레드 3은 연비절감과 주행안정성이 개선된 고급 승용차 타이어로 사용된다. 트레드 1은 마모를 억제하기 위한 내마모성이 강한 카본블랙(HAF, high abrasion furnace)을 필러로 사용하였고, 트레드 2는 성능과 경제성을 고려하여 카본블랙과 실리카를 같은 양으로 사용하였고, 트레드 3은 연비성능을 개선하기 위하여 용액중합 SBR과 많은 양의 실리카와 소량의 카본블랙을 사용하였다. 상기 3종의 트레드 시편에 사용된 고무와 필러의 조성은 Table 1에 정리하였다. 위의 점착 시편은 개방형 롤러믹서(2 roll mixer, Hanjin, Lab. Korea)를 사용하여 5 mm 두께로 만든 후 100 × 25 mm의 크기로 재단하였다. 시험에 사용되는 시멘트는 Table 2의 조성에 따라 배합하였다.

2.2. 시멘트 제조

시멘트 배합물의 제조는 밀폐형 고무 혼합기(KDS-1, Korea Mtec., Korea)와 개방형 롤러믹서를 사용하여 혼합하고 제조하였다. 일차로

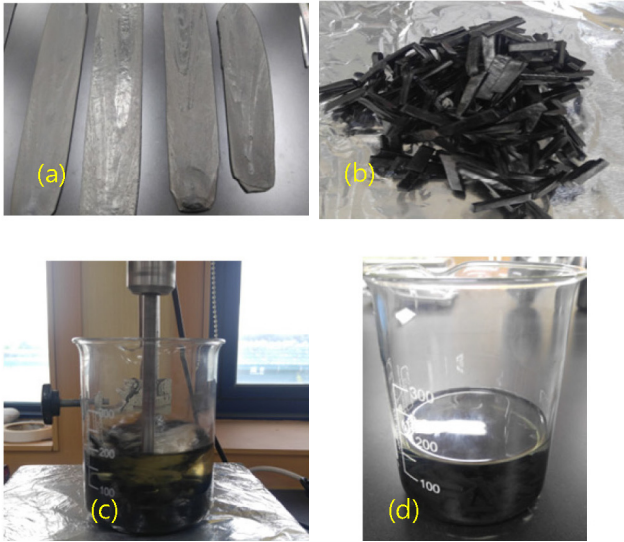


Figure 1. Procedure and preparation of the cement samples. (a) Cement master batch, (b) Cut to pieces, (c) Dispersion in solvent, (d) Completed.

고무를 밀폐형 고무 혼합기에서 3 min간 40 rpm의 속도로 내림작업 (mastication)을 하고, 이차로 카본블랙, 점착부여제, 활성화제, 공정 오일을 비롯한 나머지 재료를 40 rpm의 속도로 6 min간 배합하였다. 이때 배합온도는 120 °C를 유지하고, 150 °C을 넘지 않도록 하였다. 배합이 끝난 일차 배합물은 24 h 동안 실온에서 안정화하였다. 안정화 이후 일차 배합물을 개방형 롤러믹서를 이용하여 100 °C 롤러 온도에서 시트형태로 3 min간 가공하였다. 이후 가황제와 가황촉진제를 혼합하여 2차 배합물을 만들고, 3 mm 두께의 고무 시트로 성형하였다. 성형이 끝난 시멘트 배합물은 레오미터를 사용하여 경화 속도를 측정하고, dynamic mechanical analyzer (DMA)를 사용하여 유리전이 온도를 측정하였다.

고무 시트 성형 후 점착제를 만들기 위해 Figure 1의 과정에 따라서 시멘트 시료를 준비하였다. 먼저 노르말 헵탄(SK중합화학, 순도 95~97%) 95 wt%에 파쇄된 시멘트 배합고무를 5 wt%를 넣어 24 h 동안 팽윤시키고, 시험용 교반기를 고속으로 교반하면서 분산하였다. 이때 시멘트의 용액 점도는 브룩필드 점도계(LVT #3, 30 rpm)로 측정 시 50 cPs (centipoise) 이하로 조정하였다.

2.3. 시멘트 도포 후 점착성 측정(Tack test of uncured rubber)

점착시편은 가로, 세로, 두께를 100 × 25 × 5 mm 크기로 2조씩 재단하여 0.5 g/cm²의 시료를 도포하였다. 시멘트가 도포된 시편은 용제를 휘발시키기 위해 24 h 동안 상온에 방치하였다. 시멘트가 도포된 미가황 시편의 점착성 평가는 pressure sensitive adhesive (PSA) 평가 방법인 Avery Adhesive Test를 응용하여 평가하였다. 평가방법은 점착 테스트의 테이블에 양면 테이프를 이용하여 점착 시편을 고정하고 상측 probe에 25 × 20 mm의 넓이의 다른 점착 시편을 고정시킨 후 probe가 0.05 mm/sec의 속도로 내려오다가 500 g의 하중으로 시편을 10 s 동안 시멘트 도포면끼리 접촉시켰다. 10 s 후 probe를 10 mm/sec의 속도로 상승시킨 후 점착면이 떨어질 때 생기는 힘을 측정하였다.

2.4. 가황 후 점착 강도 측정(T-peel test of cured rubber)

가황 고무의 점착강도 평가는 점착성 측정평가에 사용된 동일한 시

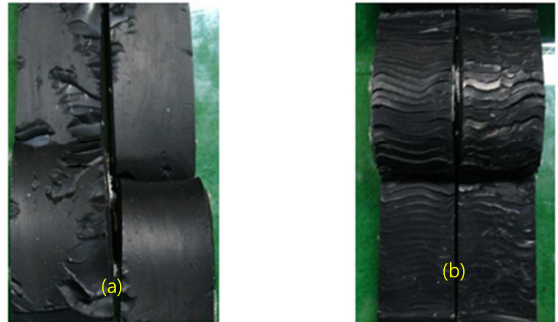
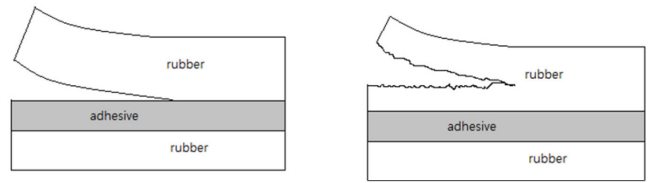


Figure 2. Decision of cured rubber 180° peel test result : (a) weak, (b) strong.

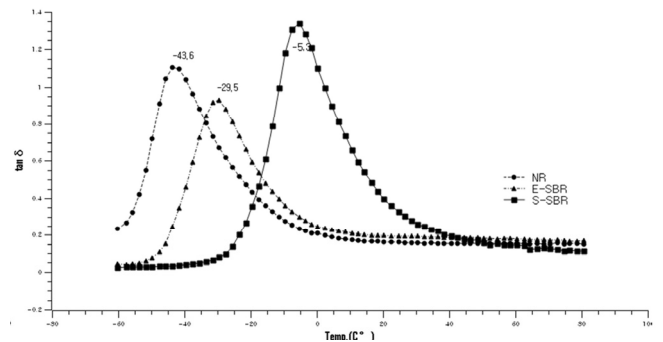


Figure 3. Tan δ curves of cured NR, E-SBR, S-SBR cement compounds by DMA.

료를 사용하였으며 시편의 마주보는 부위에 각 시료를 동일한 양을 도포하고 4 h 방치한 후 실험실용 가황 프레스를 이용하여 가황하였다. 시편을 가황하기 위해 100 × 25 × 10 mm 크기의 캐비티(cavity)를 갖는 금형을 이용하였다. 모든 가황 시편은 클램프를 물릴 수 있게 끝 부분에 받침천(baking cloth)을 틈새에 넣어두었다. 시편은 순수 천연 고무의 가황 조건인 160 °C에서 20 min 동안 100 kgf의 하중으로 가황하였고, 가황 시편은 만능재료시험기를 이용하여 점착강도를 측정하였다.

시편 계면의 점착강도 측정은 T 테스트(T-peel test)라는 방법으로 점착시편의 끝을 클램프에 물려 180° 방향으로 끌어당겨 점착 계면이 파괴될 때 걸리는 힘을 측정하였다. 시험 조건은 500 mm/min의 속도로 당길 때 벌어지는 시편의 정중양에 칼을 사용하여 점착계면이 드러나도록 절단해가면서 점착강도를 측정하였다. 점착력이 약하면 Figure 2의 (a)와 같이 점착면이 벌어지게 되며, 점착력이 강하면 Figure 2의 (b)과 같은 형태로 점착면이 아닌 고무 층에서 벌어지게 된다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 시멘트 배합고무의 유리전이 온도

시멘트 배합고무의 유리전이온도(Tg)를 점탄성 측정기(Dynaamic

Table 3. Cure Properties of NR, S-SBR, E-SBR Cement Compounds at 160 °C

Cement	ML (dNm)	MH (dNm)	ts 1 (min)	ts 2 (min)	tc 50 (min)	tc 90 (min)	Shore A
NR	3.8	24.6	00:49	01:08	02:29	04:59	55
E-SBR	4.1	19.0	01:43	03:08	06:17	09:11	63
S-SBR	3.6	10.4	02:37	05:07	06:51	09:12	43

ML : Minimum torque, MH : Maximum torque, ts1, ts2 : scorch time to 1 unit, 2 unit, tc50, tc90 : cure time to 50%, 90%, Shore A : Hardness of rubber by Shore A type.

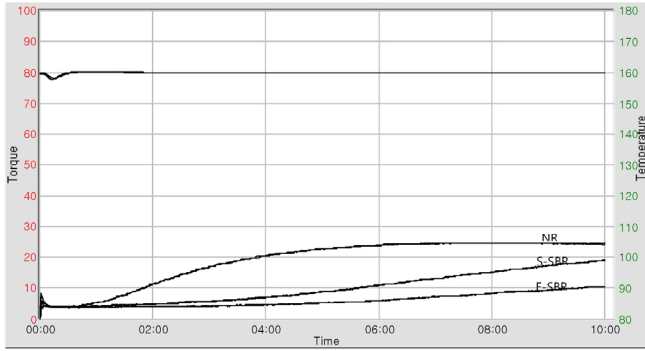


Figure 4. Cure time graph of NR, S-SBR, E-SBR cement compounds at 160 °C.

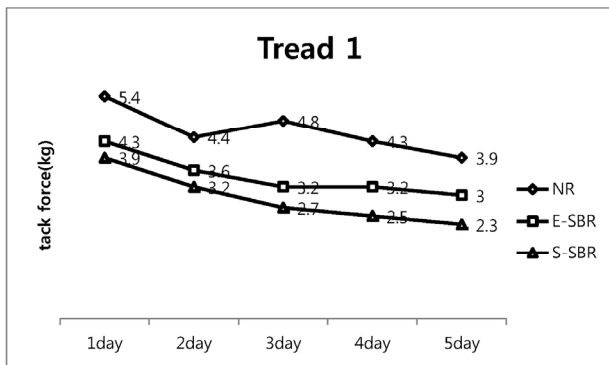


Figure 5. Tack force of applied cements on Tread 1 with time.

Mechanical Analyzer, EPLEXOR®500N, GABO GmbH, Germany)를 사용하여 측정하였고, 결과는 Figure 3과 같다. 고무와 같은 점탄성 물질은 외부 힘의 변형을 주면 시간에 따라 반응이 90°만큼 시간지연반응으로 나타난다. 이 경우 진동에너지가 열로 변형되어 복합 탄성 모듈러스로 표시되는데, 동적 탄성률은 고분자 사슬운동과 밀접한 관계가 있어, 유리전이온도 부근에서 탄젠트델타($\tan \delta$) 값이 급격히 변하게 된다[14,15].

천연고무 배합물의 유리전이온도가 -43.6 °C로 가장 낮고, 유화중합 SBR 배합이 -29.5 °C, 용액중합 SBR은 -5.3 °C로 가장 높다. 통상 고분자 물질의 유리전이온도가 낮을수록 또는 범위가 넓을수록 고분자 물질은 점착력이 강하다. 상기의 결과는 천연고무 배합물의 점착력이 다른 합성고무 배합물보다 강하다는 것을 예상할 수 있다.

3.2. 시멘트 배합고무의 경화 특성

배합된 시멘트 고무를 레오미터(Rheometer, MDR2020, Myungji, Korea)를 사용하여 경화 특성을 측정하였다. 레오미터 곡선은 Figure 4와 같고, Table 3에 결과값과 고무경도를 정리하였다. 시멘트 배합고

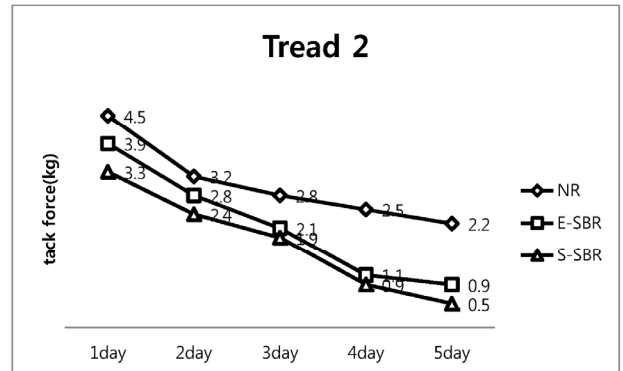


Figure 6. Tack force of applied cements on Tread 2 with time.

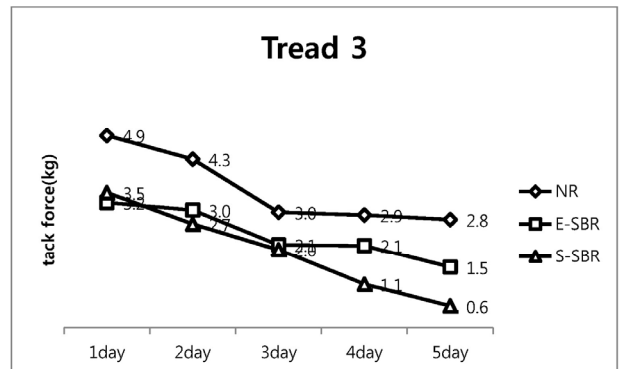


Figure 7. Tack force of applied cements on Tread 3 with time.

무의 경화 속도는 천연고무 배합물이 90% 가황(tc90)에 도달하는 시간이 가장 짧다. 이는 천연고무가 자연에서 채취되기 때문에 주성분인 순수한 폴리 이소프렌(polyisoprene) 외 가황촉진제 역할을 하는 지방산, 단백질, 천연수지를 포함하고 있기 때문이다. 천연고무 배합물은 가장 낮은 토크(ML)가 다른 합성고무보다 낮지만 가장 높은 토크(MH)는 오히려 높게 나타나는데 이는 결정성(crystalline) 고무인 천연고무가 비결정성(amorphous) 고무인 SBR보다 기계적 강도가 높기 때문이다. 반면 쇼어 A 경도는 유화중합 SBR이 천연고무와 용액중합 SBR보다 높게 나타났다

3.3. 시멘트 종류에 따른 미가황 트레드의 점착력

천연고무가 주성분인 Tread 1의 가황 전 점착력은 Figure 5의 결과처럼 천연고무 시멘트 적용 시 가장 높게 나타났다. 시간이 경과하면서도 점착력은 크게 감소하지 않고 성형작업이 가능한 점착력을 보였다. 고분자 물질의 점착성은 유리전이 온도와 관련이 있는데, 3종의 점착제의 유리전이 온도는 Figure 3에서 천연고무 배합물이 가장 낮고, 다음은 유화중합 SBR, 용액중합 SBR 순이다. 고분자 물질의 유리

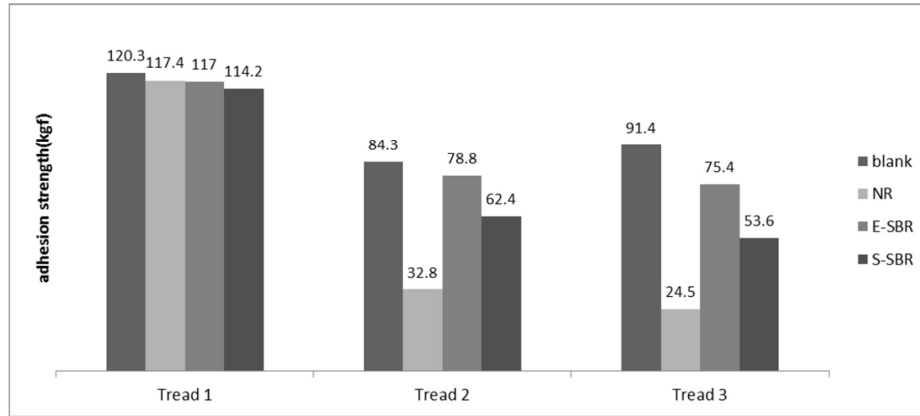


Figure 8. Adhesion force between cured rubbers and applied cements.

전이 온도가 낮을수록 점탄성 영역(viscoelastic region)이 크기 때문에 대체로 접착력이 높다는 것을 의미한다. Tread 1에 대한 시멘트의 접착력 차이는 시멘트 배합물의 유리전이온도에 비례하고 있다.

접착력을 높여주는 다른 요인은 시멘트에 사용된 유기용제의 역할인데, Tread 1의 주성분이 접착력이 높은 천연고무이고, 시멘트에 사용된 유기용제에 표면이 용해되면서 접착력을 높여주는 효과를 보여준다. Figure 6에서 유화중합 SBR이 주성분인 Tread 2의 가황 전 접착력은 천연고무 시멘트에서 가장 높고, 유화중합 SBR이 용액중합 SBR보다 높게 나타난다. 시간의 지나면서 접착력은 유사한 수준으로 감소하지만 천연고무의 경우 접착력의 감소가 합성고무 시멘트에 비해 급격하지 않다. Figure 7에서 Tread 3의 가황 전 접착력은 Tread 2와 유사한 경향을 보이므로 결과적으로 천연고무 시멘트가 가장 높은 접착력을 보여준다고 볼 수 있다. 다른 합성고무 시멘트는 천연고무 시멘트에 비해 접착력도 낮고, 시간이 지나면서 접착력의 감소경향도 심하다.

Figure 6과 Figure 7에서 보듯이 시간의 경과에 따라 시멘트 배합물의 접착력이 감소하는 것은 피착제인 트레드에 포함된 유기물질, 구체적으로 배합오일, 유동 왁스, 가황 조제들이 시간이 지나면서 컴파운드 표면으로 이동하는 블루밍(blooming)이 원인이다. 고무에 포함된 유기물질이 도포된 접착제의 표면으로 이동하는데 특히 비결정성 고무인 유화중합 SBR, 용액중합 SBR의 경우 분자사슬이 결정성 고무인 NR에 비해 느슨하기 때문에 유기물질이 표면으로 이동이 쉽고, 시멘트 도포면의 오염으로 시간의 경과에 따라 접착력이 줄어든다[16].

3.4. 시멘트 종류에 따른 가황한 트레드의 접착력

시멘트를 도포 한 트레드 고무를 가황조건에 따라 가황 후 접착계면을 T-peel test 하였을 때 걸리는 힘을 측정하였다. Figure 8에서 시멘트를 도포하지 않은 트레드의 계면접착력을 블랭크(blank)로 표시하였다. Tread 1과 Tread 2, Tread 3의 블랭크 계면 접착력은 거의 트레드의 인장강도와 동일 수준의 접착강도를 보인다. Tread 1번의 경우 시료에서 블랭크를 제외하면 천연고무 시멘트의 접착강도가 가장 높지만 나머지 합성고무 시멘트도 유사한 수준의 접착강도를 보인다.

유화중합 SBR의 함량이 높은 Tread 2에서는 동일한 폴리머를 사용한 유화중합 SBR 시멘트의 접착 강도가 다른 고무 시멘트보다 높게 나타난다. 서로 같은 고무를 사용할 경우 계면의 분자 사슬이 확산되는 힘이 크기 때문에 서로 섞이기 쉽다. 결정성이 없는 유화중합 SBR의 경우 천연고무보다 시멘트의 확산을 방해하는 힘을 덜 받고 트레

드 계면끼리 접착(또는 확산)하는 것으로 판단된다. 이는 천연고무 시멘트가 Tread 1에서 접착강도가 가장 높지만 합성고무가 많은 Tread 2, Tread 3의 계면 접착력이 가장 낮은 결과를 보면 알 수 있다. 천연고무 시멘트의 경우 Figure 2의 가황 곡선을 보면 다른 2종의 합성고무보다 더 빠른 가황 속도를 보인다. 이 때문에 천연고무 시멘트의 경우 가황이 시작되면 트레드 계면에서 아직 SBR 고무를 가황이 완료되지 않은 상태에서 천연고무의 가황이 끝나고, 일종의 계면 사이에 천연고무의 벽이 생기면서 가황 단계의 트레드의 SBR 분자사슬끼리 서로 결합하는 것을 방해한다고 여겨진다. 이 때문에 가황이 끝난 SBR 고무 속에서 천연고무가 섞이지 않고 분리되어 접착력을 낮추는 이유가 된다.

Tread 3의 경우 같은 종류의 폴리머가 사용된 용액중합 SBR보다 유화중합 SBR 시멘트의 접착강도가 더 높게 나타나는데 분자량 분포 폭이 좁은 용액중합 SBR이 상대적으로 유화중합 SBR보다 다른 고무와 섞일 때 혼화성이 떨어지는 것으로 추측된다.

4. 결 론

이 실험에서 3종의 고무 배합물을 시멘트로 만들고 3종의 트레드에 적용하여 가황 전 접착력과 가황 후 접착력차이를 비교하였다.

트레드 3종에 대한 고무 시멘트의 가황 전 접착력은 천연고무 시멘트가 가장 높고, 시간의 경과에 따른 접착력 감소도 다른 2종의 합성고무 시멘트에 비해서 적었다. 시멘트의 가황 전 접착력은 시멘트 고무를 유리전이 온도가 낮고 범위가 클수록 높게 나타났고, 천연고무가 합성 고무인 SBR보다 시간의 경과에 따른 접착력 감소도 적었다. 이는 천연고무가 합성고무보다 배합물 속의 약품의 블루밍에 의한 오염에 영향을 덜 받기 때문이다.

트레드 3종의 가황 후 접착력은 천연고무 시멘트는 천연고무가 주성분인 트레드에는 높게 나타나지만, 합성고무가 주성분인 트레드에는 낮게 나타났다. 반면 유화중합 SBR, 용액중합 SBR 시멘트는 모든 트레드 컴파운드에서 높은 값을 나타냈고, 특히 유화중합 SBR 시멘트가 강한 접착력을 보여주었다. 또한 가황속도가 느린 시멘트의 접착력이 커지는 경향을 보였다.

상기의 결과에서 합성고무를 사용하는 트레드는 유화중합 SBR, 용액중합 SBR이 주성분인 시멘트를 사용하면서, 가황 전 접착력을 높이기 위한 수단으로 시멘트 배합 시 접착성이 있는 접착 부여제를 사용하거나, 성형작업 시 트레드의 온도를 높여서 고무를 가지고 있는 접

착력을 자연적으로 올리는 방법 등을 고려하여야 한다. 그리고 시멘트를 도포하고 장기간 방치하면 트레드의 블루밍으로 접착력이 떨어지기 때문에 트레드 압출에서 성형까지의 작업시간을 관리하여야 한다.

천연고무 시멘트를 사용하는 경우는 가능한 합성 고무 함량이 높은 트레드에 적용을 피하거나, 사용 시 가황속도를 늦출 수 있는 적당한 가황지연제 사용을 고려하여야 한다.

References

1. H. O. Lee, Green strength, *Elastomers and Composites*, **8**(1), 92-96 (1973).
2. S. Y. Kaang, C. K. Hong, and D. G. Kweon, Diffusion of solvents in natural rubber networks, *Polymer (Korea)*, **18**(4), 491-501 (1994).
3. R. J. Chang and A. N. Gent, Effect on interfacial bonding on the strength of adhesion of elastomers. I. Self-adhesion, *J. Polym. Sci. B*, **19**(1), 1619-1633 (1981).
4. S. Y. Kaang, G. Seo, and S. Y. Lee, Effect of solvent on adhesion of natural rubber, *Polymer (Korea)*, **18**(4), 481-491 (1994).
5. C. T. Ansonia, Rubber processing and equipment, In: R. F. Ohm (ed.), *The Vanderbilt Rubber Handbook*, 13th Ed., pp. 500-511, R.T. Vanderbilt Company, USA (1990).
6. K. M. Jeong, K. W. Kim, and T. W. Kim, Finite element analysis for building process of PCR tires, Annual Conference of Korean Society of Automotive Engineers, pp. 1230-1231 (2012).
7. D. I. Hwang and I. H. Han, A study on the tire uniformity according to speed, Annual Conference of Korean Society for Noise and Vibration Engineering, pp. 472-473 (2013).
8. S. L. Lee and C. Y. Shon, Navigating of EU environmental regulation for tire, *J. Korean Soc. Automot. Eng.*, **31**, 15-27 (2009).
9. S. K. Jeoung, P. C. Lee, Y. K. Ko, and J. U. Ha, Trends of chemical materials in automotive, *KIC (Korean Industrial Chemistry) News*, **16**, 37-43 (2013).
10. D. W. Kim, B. H. Seo, H. J. Kim, H. J. Paik, J. W. Kang, and W. H. Kim, Mechanical properties of acrylonitrile functionalized emulsion SBR/silica compounds, *Elastomers and Composites*, **47**(1), 54-64 (2012).
11. D. Sarkar and B. Howmick, Influence of styrene content on the hydrogenation of styrene-butadiene copolymer, *J. Appl. Polym. Sci.*, **71**(10), 1581-1595 (1999).
12. G. Thielen, Chemically modified emulsion SBR in tire treads, *Rubber Chem. Technol.*, **81**, 625-637 (2008).
13. H. A. Colvin and M. L. Senyck, Emulsion styrene-butadiene rubber, US Patent 6455655B1 (2002).
14. 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, *Elastomers and Composites*, **39**(2), 95-104 (2004).
15. K. D. Kim, T. Pernecker, and T. Sadow, Styrene-butadiene rubber latex polymers with improved auto-adhesion, TECH 32 Technical Seminar, pp. 239-250, Pressure Sensitive Tape Council, IL, USA (2009).
16. S. H. Nah and A. G. Thomas, Migration and blooming of waxes to surface of rubber vulcanization, *Rubber Chem. Technol.*, **54**(2), 255-265 (1981).