

고무조성물의 물리적 성질에 영향을 미치는 주요인자에 대한 통계학적 해석

이 석 · 박 남 국*

주)금호타이어연구소, *전남대학교 물질화학공학과

Statistical Analysis of Main Factors With Affecting the Physical Properties of Rubber Compounds

Seag Lee, *Nam Cook Park

Kumho Research and Development Center, Kwangju P. O. Box, 506-040, Korea

*Dept. of Material Chemical Engineering, Chonnam National Univ., Kwangju 500-757, Korea

ABSTRACT

This study have investigated the effect of various factors related to the physical properties of vulcanized rubber compounds. rubber type, carbon black type and carbon black loading were selected as main factors and evaluation were tested by tables of orthogonal arrays with 3 factors and 3 levels. rubber types have affected cure time, tensile strength, and T_g as main factor and carbon black loading have affected viscosity, scorch time, maximum torque, hardness, 300% modulus, rebound, heat build-up, 0 & 60°C tangent delta, PICO and CUT/CHIP loss as main factor but the effects of carbon black type have affected only bound rubber content.

I. 서 론

고무산업에 있어 바람직한 고무물성을 얻기 위해서는 적용되는 각종 재료에 대한 정보는 물론 적절한 재료선택이 중요하다. 특히 그중에서도 중요한 재료는 고무조성물의 최종물성을 결정하는 polymer종류, carbon black 종류 및 carbon black 배합량의 선택이다. 한편 고무산업에 있어 가장 기본적이고 중요한 공정은 카본블랙이 고무와 혼합되는 현상 및 상태에 관한 것으로서 이를 규명하기 위한 많은 연구가 진행

되고 있다.¹⁻³⁾

고무보강성은 선택된 고무성분에 적절한 카본블랙 및 배합량이 첨가됨으로서 얻어지는데 이는 선택된 카본블랙 뿐 만 아니라 고무성분도 매우 중요한 기여를 한다. 일반적으로 천연고무는 화학적으로 high cis polyisoprene이며 본질적으로 내유성이 없다는 결점을 가지고 있으나 역학적강도, 내마모성 및 탄성이 우수하여 트럭 및 버스 등의 고하중 타이어의 고무조성물로 많이 사용되고 있다. SBR은 주쇄에 이중결합을 포함하는 디엔계 불포화고무로써 화학적 반응성이 풍부

부하여 손쉽게 유황가황(sulfur cure)가 가능할 뿐만 아니라 NR 및 BR과의 blend도 용이하여 폭 넓게 사용되고 있으나 낮은 가황속도, 낮은 점착성 및 탄성, 높은 동적발열과 같은 단점을 가지고 있다. 반면 BR은 cis결합이 높은것이 대부분이며 NR 및 SBR에 비해 내한성, 내마모성이 풍부하고 고탄성으로 동적성질도 우수하나 BR을 많이 사용할 경우 chipping성, 미끄러짐(wet skid) 등의 결점이 있다.⁴⁾

카본블랙에 의한 보강성에 대해서 Donnet은 카본블랙에 의한 고무보강성은 카본블랙-고무간의 강한 상호작용에 기인한다고 하였으며,⁵⁾ Kraus는 고무보강성에 있어서 카본블랙 형태(morphology), 즉 입자 크기는 카본블랙표면의 가용한 화학적 에너지보다도 중요하나 포화고무에 대해서는 높은 수준의 보강성을 나타내지 못한다고 하였다.⁶⁾ 카본블랙-고무간 혼합에 대해 거시적인 견지에서는 카본블랙이 고무속으로 혼합되어 분산되는 단계로 생각할 수 있으나 미시적인 견지에서는 고무가 카본블랙의 빈 공간을 채우고 카본블랙 표면에 위치하는 활성기와 반응하여 결합을 형성하는 것으로 생각할 수 있다. Fielding은 카본블랙의 고무보강성이 다른 충전재와 비교하여 우수한 것은 결합고무의 생성능력에 기인한다고 하였다.⁷⁾ Dannenberg는 카본블랙의 표면적 및 구조가 결합고무에 미치는 영향을 연구한 결과 카본블랙 투입량이 증가하면 결합고무 생성량이 증가하며, 총투입량이 일정한 경우 표면적이 증가할 수록 결합고무량을 나타낸다고 하였다.⁸⁾ 이와같이 고무종류 및 카본블랙은 고무물성에 있어 가장 중요한 역할을 하고 있으나 각 재료들의 고무물성중 어느정도 영향을 미치는지 또한 물성개선을 위해서는 어느 인자를 조절해 하는지는 잘 연구되어 있지 못한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 고무종류, 카본블랙 종류 및 카본블랙 배합량을 주요인자로 하여 각 인자별로 3수준을 설정하여 실험계획법중 3인자 3수준의 직교배열법을 이용하여 각 시험조건에 따른 결합고무량, 가황특성, 인장특성, 동적특성 및 내마모특성 등의 물리적

특성을 고찰함으로써 요구되는 특성별로 고무종류, 카본블랙 종류 및 배합량을 선택할 수 있도록 각 인자들이 미치는 영향을 연구하였다.

II. 실험

1. 시험재료

본 실험에 사용된 natural rubber(SMR CV60)의 분자량(Mn)은 27만이며 화학구조는 98% 이상의 cis-1,4-polyisoprene으로 이루어져 있으며, BR-01은 분자량이 25만이며 화학구조는 96% 이상의 cis-1,4-polyisoprene이다. 한편 SBR은 분자량이 19만이며 Styrene함량이 23.5%인 금호석유화학계 SBR-1500을 재처리를 하지않고 그대로 사용하였다. 카본블랙은 시험편차를 최소화 하기위해 국제적으로 품질이 인증된 SRB 3종류(B4, C5, E4)를 사용하였으며 그외 본 연구에 사용된 주요재료는 Table 1에, 고무 및 카본블랙의 제특성은 Table 2& 3에 각각 나타내었다.

2. 시험방법

각 인자 및 수준별로 물리적특성에 미치는 영향을

Table 1. Materials

Ingredients	Description	Source
NR	SMR CV60	Malaysia
SBR	Styrene-butadiene-rubber(SBR 1500)	금호석유화학
BR	Cis 1,4 polybutadiene (cis 96%)	금호 EP
Zinc oxide	Special grade(99%)	한일야연화
Stearic acid	Acid no. 200	LG화학
Sulfur	-	미원상사
Cure NS	N-tert-butyl-2-benzothiazol sulfenamide	동양화학
SRB B4	Carbon black	Cabot
SRB C5	Carbon black	Cabot
SRB E4	Carbon black	Cabot

Remarks) SRB : standard reference black

Table 2. Characteristics of rubber

ITEM	SMR CV60	SBR 1500	BR-01
Viscosity	58	52	44
Mn	272,000	191,000	258,000
Tg, °C	-62	-45	-98
Styrene, %	—	23.5	—

Table 3. Characteristics of carbon black

ITEM	SRB B4	SRB C5	SRB E4
I ₂ NO	79.3	121.1	36.0
N ₂ SA/I ₂ NO	0.94	1.01	0.96
DBP	100	113.7	90.4
CDBP	86.6	98.7	75.7
TINT	98.5	117.5	55.2

Remarks) 1. I₂NO-Iodine adsorption number, mg/g
 2. N₂SA-Nitrogen surface area, m²/g
 3. DBP-Dibutylphthalate adsorption number, cc/100g
 4. CDBP-Crushed DBP, cc/100g
 5. TINT-Tinting strength, %

Table 4. Tables of orthogonal arrays(L₉/(3⁴형))

Test No.	No. of column				Test condition	Data
	1	2	3	4		
1	0	0	0	0	A ₀ B ₀ C ₀	Y ₀₀₀
2	0	1	1	1	A ₀ B ₁ C ₁	Y ₀₁₁
3	0	2	2	2	A ₀ B ₂ C ₂	Y ₀₂₂
4	1	0	1	2	A ₁ B ₀ C ₂	Y ₁₀₂
5	1	1	2	0	A ₁ B ₁ C ₀	Y ₁₁₀
6	1	2	0	1	A ₁ B ₂ C ₁	Y ₁₂₁
7	2	0	2	1	A ₂ B ₀ C ₁	Y ₂₀₁
8	2	1	0	2	A ₂ B ₁ C ₂	Y ₂₁₂
9	2	2	1	0	A ₂ B ₂ C ₀	Y ₂₂₀
Arrays	A	B	e	C		Total

Remarks)

A₀ : SMR CV60 A₁ : SBR 1500 A₂ : BR-01
 B₀ : SRB C5 B₁ : SRB B4 B₂ : SRB E4
 C₀ : 20 PHR C₁ : 40 PHR C₂ : 60 PHR

파악하기 위하여 고무종류, 카본블랙종류, 카본블랙 배합량을 3인자 3수준 직교배열법을 이용하여 시험을 실시 하였으며, 각 인자별 수준은 rubber type(A₀ : SMR CV60, A₁ : SBR 1500, A₂ : BR-01), carbon

black type(B₀ : SRB C5, B₁ : SRB B4, B₂ : SRB E4), carbon black loading(C₀ : 20phr, C₁ : 40phr, C₂ : 60phr)으로 하였다. 각 수준 및 인자배치에 따른 시험방법은 Table 4에 나타내었다.

3. 시편제조

본 연구에 이용된 모든 시편은 ASTM D3184-80에 의해 기본배합조건(ASTM D3182)의 배합하였다. 혼합기는 용량 1.6L 밀폐식 혼합기(BR Lab banbury mixer, Farrel Co.)를 이용하여 40rpm 속도 초기온도 50°C, 최종온도 110°C를 유지하였으며, 투입 순서는 고무, 카본블랙 그리고 약품순으로 넣어 4.5분 동안 혼합하였다. 최종배합물은 고무의 탄성구조적인 열적안정성을 고려하여 혼련 후 상온에서 24시간 이상 충분히 방치하였으며, 여러 물성측정을 위한 각 시편은 160°C Rheometer에서 최종 가교점(end point)을 기준으로 적정 가교시간을 선정하여 고압력평판식 전열기(한일종합)를 사용하여 제조하였다. 이때 가해진 압력은 단위면적당 500psi이었다. 본 연구의 실험에 사용한 각 고무배합물의 배합구성은 Table 5에 나타내었다.

4. 물성측정

4.1 결합고무량

결합고무량은 시료를 0.1g까지 평량한 다음 200ml

Table 5. Basic recipe for testing

Ingredients	T-1	T-2	T-3	T-4	T-5	T-6	T-7	T-8	T-9
SMR CV60	100	100	100	—	—	—	—	—	—
SBR 1500	0	—	—	100	100	100	—	—	—
BR 01	—	—	—	—	—	—	100	100	100
Zinc oxide	3	—	—	—	—	—	—	—	—
Searic acid	1	—	—	—	—	—	—	—	—
SRB C5	20	—	—	60	—	—	40	—	—
SRB B4	—	40	—	—	20	—	—	60	—
SRB E4	—	—	0	60	—	40	—	—	20
Sulfur	1.75	—	—	—	—	—	—	—	—
Cure NS	1	—	—	—	—	—	—	—	—

비이커에 톨루엔을 100ml 정도 부은 다음 완전히 밀봉하여 7일 동안 팽윤 시킨 후 105°C 건조기에서 1일 동안 완전히 건조후 건조된 시료의 무게를 0.01g 평량하여 다음의 식에 의해 결합고무량을 측정하였다.

$$\text{결합고무량, \%} = \frac{W_e - W_s * M_f / W_t}{W_s * M_r / W_t}$$

W_e: 팽윤후 건조된 시료무게

W_s: 팽윤전 시료무게

M_f: 배합물중(무기물+카본블랙)을 포함한 충전재량, phr

M_r: 배합물중 고무량, phr

W_t: 배합물 총량, phr

4.2 가황특성

고무종류, 카본블랙종류 및 카본블랙 배합량이 고무물성에 미치는 영향을 조사하기 위해 레오미터(Rheometer 100, Monsanto)을 이용하여 최적가황시간(t₉₀) 등 가황특성을 측정하였으며, 배합물의 공정안정성, 스크치시간 및 점도는 무니점도계(Mooney viscometer 1500)를 이용하여 측정하였다.

4.3 인장특성

인장특성은 ASTM D-412에 따라 인장시험기(Instron 6012)를 사용하여 상온에서 500mm/min의 crosshead속도와 100kgf의 load cell조건으로 측정하였다.

4.4 발열 및 반발탄성

발열특성은 가황체의 진동피로에 따른 온도상승을 발열시험기(BFG flexometer, Ferry Co.)를 이용하여 ASTM D623-78의 방법으로 측정하였으며, 반발탄성은 plunger형 시편을 제조하여 vertical steel ball을 낙하시켜 충돌시 단단한 고무의 충격탄성을 반발탄성시험기(steel ball rebound tester)를 이용하여 ASTM D2632-92 방법으로 측정하였다.

4.5 동적특성

가황고무에 강제적인 변형이나 응력을 반복적으로 가했을때 나타나는 응답은 동적점탄성시험기(GABO Qualimeter, Eplexor-150)을 이용하여 ASTM D2231-87 방법으로 측정하였다.

4.6 PICO 및 CUT/CHIP 손실량

고무조성물의 내마모성은 마모시험기(Pico abrasion tester, B Model)에 의한 마모손실량을 ASTM D-2228 방법으로 시편의 무게감소에 의한 마모손실량을 측정하여 내마모성을 평가하였으며, 컷 앤 칩(cut & chip)특성은 컷앤칩시험기(Flexometer, BF Goodrich)를 이용하여 일정 사이클 동안의 손실량을 측정하여 컷앤칩특성을 평가하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 가황특성에 대한 영향

가황특성에 대한 고무종류, 카본블랙종류, 카본블랙 배합량의 영향을 Table 6, 7 및 Fig. 1에 나타내었다.

Table 6. Analysis of variance for cure properties

Item	Factor	S	ϕ	V	F ₀	F(0.05)	Remarks
Viscosity	A	1963	2	981	11.2		
	B	1906	2	953	10.9		
	C	7085	2	3542	40.6	19	
	E	175	2	87	—		
Scorch time	A	1760	2	880	12.7		
	B	461	2	230	3.3		
	C	1973	2	986	14.3	19	
	E	138	2	69	—		
Cure time	A	249	2	124	103.3		
	B	3	2	2	1.4		
	C	31	2	16	13.0	19	
	E	2	2	1	—		
Max. torque.	A	46	2	23	2.1		
	B	17	2	8	0.8		
	C	653	2	327	30.3	19	
	E	22	2	11	—		

Remarks) S: Factor variance ϕ : Degree of freedom V: S/ ϕ F₀: V_A/V_E

가황특성중 점도 및 최대토크(Lmax.)변화는 카본블랙 배합량이 지배적인 주인자로 나타났으며, 변화크기는 배합량이 증가할 수록 크게 나타났다. 그러나 고무종류 및 카본블랙 종류는 점도 및 최대토크에 미치는 영향이 매우 작게 나타났다. 점도 및 최대토크에 미치는 영향을 각 인자의 수준별로 살펴보면 카본블랙 배합량 경우 60phr>40phr>20phr이며, 카본블랙종류는 SRB C5>SRB B4>SRB E4이다. 카본블랙 종류는 점도 및 최대토크에 미치는 영향은 작게 나타났으나 비표면적에 의존한다는 것을 알 수 있다. 그러나 고무종류는 점도에 대해서는 BR>SBR>NR이나, 최대토크에 대해서는 SBR>BR>NR으로 나타났는데 이는 카본블랙과의 친화성이 NR보다는 SBR이나 BR이 높기 때문에 판단된다.

스코치시간(t5)은 카본블랙 배합량이 주인자이며, 배합량이 증가할 수록 스코치시간이 짧게 나타났는데 이는 카본블랙 배합량이 증가할 수록 표면에 존재하는 산성관능기들이 가황을 촉진하는 때문으로 판단된다. 한편 고무종류는 NR>BR>SBR순으로 짧게 나타

났으며 그 영향은 카본블랙 배합량이 미치는 영향과 비슷한 수준이었다. 그러나 카본블랙종류는 스코치시간에 대해 매우 작은 영향을 나타냈을 뿐이다.

최적가황시간은(t90)은 다른 인자보다도 고무종류가 지배적인 주인자로 나타났으며, 보조인자는 카본블랙 배합량으로 나타났다. 고무종류에 따른 최적가황시간의 영향 정도는 SBR>BR>NR순이었는데 이는 가교결합이 주로 황성분과 고무사슬간에 이루어지기 때문으로 판단된다. 한편 카본블랙종류는 최적가황시간에 미치는 영향이 거의 없는 것으로 나타났는데 이는 Wamper의 연구결과와 매우 잘 일치된다.⁹⁾

2. 인장특성에 대한 영향

가황조성물의 인장특성에 대한 제인자가 미치는 영향을 Table 8, 9 및 Fig. 2에 나타내었다. 인장특성중 경도, 300% 모듈러스 및 신장율은 카본블랙 배합량이 지배적인 주인자로 나타났으며, 인장강도는 고무종

Table 7. Total sum of each factors for cure properties

구 분	A			B			C		
	A ₀	A ₁	A ₂	B ₀	B ₁	B ₂	C ₀	C ₁	C ₂
Viscosity	160	224	268	268	224	161	121	195	330
t5	52	154	111	76	116	126	163	101	54
t90	17	55	30	31	35	35	41	32	28
L max.	133	149	138	146	139	136	111	137	173

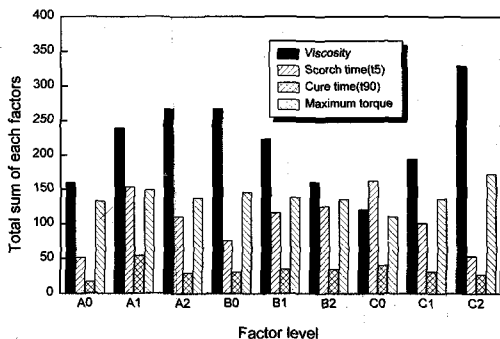


Fig. 1. Effect of factor and level for cure properties.

Table 8. Analysis of variance for tensile properties

Item	Factor	S	φ	V	Fo	F(0.05)	Remarks
Hardness	A	38	2	19	2.4		
	B	24	2	12	1.5		
	C	891	2	445	54.9		19
	E	16	2	8	-		
300% modulus	A	3575	2	1787	1.2		
	B	2194	2	1097	0.8		
	C	36934	2	18467	12.8		19
	E	2881	2	1440	-		
Tensile strength	A	50721	2	25360	6.6		
	B	12121	2	6060	1.6		
	C	1942	2	971	0.3		19
	E	7633	2	3816	-		
Elongation	A	38006	2	19003	4.5		
	B	4327	2	2163	0.5		
	C	85595	2	42797	10.1		19
	E	8448	2	4224	-		
Bound rubber	A	87	2	44	3.3		
	B	320	2	160	12.1		
	C	143	2	71	5.4		19
	E	26	2	13	-		

류가 가장 큰 인자로 나타났다.

각 물성에 대한 인자별 영향 정도를 살펴보면 경도, 300% 모듈러스는 카본블랙 배합량이 증가할 수록 높아졌으며, 고무종류 및 카본블랙종류는 미치는 영향이 매우 작게 나타났다. 신장율은 경도 및 300% 모듈러스와는 다르게 카본블랙 배합량이 감소할 수록 증가하였으며, 고무종류 및 카본블랙종류에 의한 영향 역시 작게 나타났다.

그러나 인장강도는 경도, 모듈러스 및 신장율과는 달리 고무종류가 가장 큰 인자로 나타났는데 그 순서는 NR>SBR>BR순이었다. 이는 카본블랙에 의한 고무성분의 보강성증대 보다는 고무자체의 분자량 의 존성 및 화학적구조가 더 큰 영향을 미치는 것으로 판단된다. 카본블랙 경우 비표면적이 클 수록 배합량이 증가할 수록 인장강도는 크게 증가하였다.

한편 고무성분과 카본블랙의 상호작용에 의해 생성 되는 결합고무량은 카본블랙종류>카본블랙 배합량>

고무종류 순으로 나타났으며, 카본블랙종류 및 배합량에 의한 영향은 비표면적이 클 수록 배합량이 증가할 수록 결합고무량이 증가하였다. 따라서 결합고무량의 증가가 직접적으로 인장강도를 증가시키지는 않으나 인장강도에 미치는 인자의 영향으로 보아 카본블랙 종류 및 배합량이 인장강도 증가에 간접적으로 기여함을 알 수 있다.

3. 동적특성에 대한 영향

고무종류, 카본블랙종류 및 카본블랙 배합량이 동적 특성에 미치는 영향을 Table 10, 11 및 Fig. 3, 4 및 5에 나타내었다. 동적특성중 반발탄성, 발열특성, 0 & 60°C tangent delta 모두 카본블랙 배합량이 주인 자이며 고무종류가 보조인자로 나타났으나 유리전이 온도(Tg)는 고무종류가 지배적인 주인자로 나타났다.

각 인자 수준별 영향을 살펴보면 반발탄성 및 발열 특성은 주인자인 카본블랙 배합량이 작을 수록 반발탄

Table 9. Total sum of each factors for tensile properties and bound rubber

구 분	A			B			C		
	A ₀	A ₁	A ₂	B ₀	B ₁	B ₂	C ₀	C ₁	C ₂
Hardness	182	194	180	191	186	179	150	183	223
300% modulus	358	421	275	417	311	326	146	309	605
Tensile	948	710	398	2828	668	560	625	702	729
Elongation	1706	1511	1231	1479	1565	1404	1794	1563	1091
Bound rubber	81	71	58	88	75	46	60	63	87

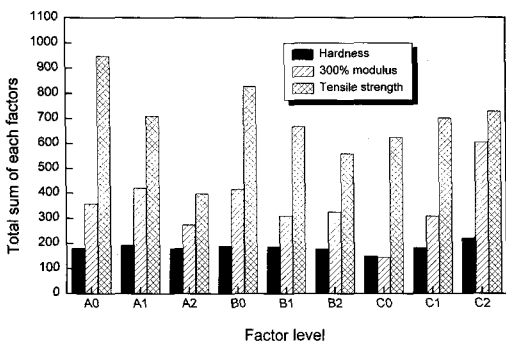


Fig. 2. Effect of factor and level for tensile properties.

Table 10. Analysis of variance for dynamic properties

Item	Factor	S	ϕ	V	Fo	F(0.05)	Remarks
Rebound	A	299	2	149	11.5		
	B	59	2	30	2.3		19
	C	467	2	233	17.9		
	E	26	2	13	-		
Heat buile-up	A	71	2	36	3.0		
	B	14	2	7	0.6		19
	C	88	2	44	3.8		
	E	23	2	12	-		
0°C tan δ	A	0.005	2	0.0024	19.7		
	B	0.001	2	0.0003	2.1		19
	C	0.007	2	0.0035	28.5		
	E	0.0002	2	0.0001	-		
60°C tan δ	A	0.006	2	0.0028	8.3		
	B	0.002	2	0.0009	2.6		19
	C	0.007	2	0.0034	9.9		
	E	0.001	2	0.0003	-		
Tg	A	5467	2	2733	1562		
	B	3.13	2	1.56	0.9		19
	C	0.33	2	0.16	0.1		
	E	3.50	2	1.75	-		

Table 11. Total sum of each factors for dynamic properties

구분	A			B			C			
	A ₀	A ₁	A ₂	B ₀	B ₁	B ₂	C ₀	C ₁	C ₂	
Rebound	162	127	165	143	150	162	180	147	128	
Heat build-up	58	74	77	70	75	66	57	74	79	
Dynamic	0℃	0.28	0.45	0.36	0.39	0.36	0.34	0.26	0.36	0.47
	60℃	0.17	0.35	0.28	0.29	0.3	0.21	0.17	0.27	0.37
	Tg	-154	-111	-285	-186	-182	-182	-183	-184	-183

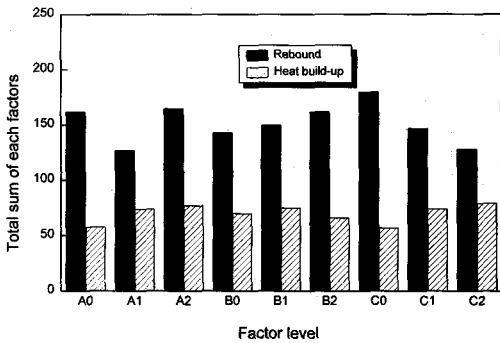


Fig. 3. Effect of factor and level for dynamic properties.

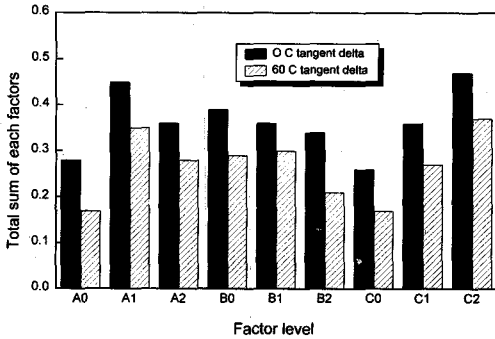


Fig. 4. Effect of factor and level for tangent delta.

성은 증가하고 발열특성은 감소하였으며, 고무종류에 의한 영향은 반발탄성의 경우 BR>NR>SBR 순이었으나, 발열특성은 BR>SBR>NR 순으로 높게 나타났다.

타이어 트래드의 견인력 및 회전저항과 밀접한 관련이 있는 0 & 60℃ tangent delta는 카본블랙 배합량

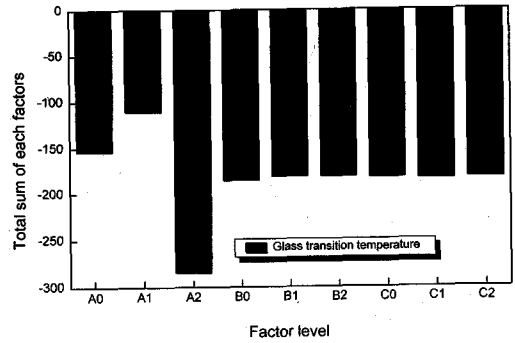


Fig. 5. Effect of factor and level for glass transition temperature.

이 증가할 수록 증가 하였으며, 고무종류는 SBR>BR>NR 순으로 높게 나타났다. 그러나 미치는 영향이 작은 카본블랙종류는 각각 다르게 나타났다. 즉 0℃ tangent delta 경우 SRB C5>SRB B4>SRB E4 순으로 높게 나타났으나, 60℃ tangent delta는 SRB B4>SRB C5>SRB E4순으로 나타났다.

한편 유리전이온도(Tg)는 고무종류가 지배적인 인자로서 BR>SBR>NR 순으로 나타났으며, 카본블랙 배합량 및 종류는 미치는 영향이 무시할 정도로 매우 작게 나타났다. 카본블랙과 고무성분간에 물리, 화학적인 결합에 존재하는 것을 가정할 경우 이는 매우 이례적인 현상이다. 일반적으로 유리전이온도는 결정화도가 증가하거나 고무성분의 주쇄(main chain)에 측쇄(pendent group)나 방향족성분이 결합하면 높아지기 때문이다.

4. 내마모 및 기타물성에 대한 영향

마모특성을 나타내는 PICO손실량, 공정성을 나타내는 DSR값, 보강성과 밀접한 관련이 있는 분산특성 및 CUT/CHIP손실량을 Table 12, 13 및 Fig. 6, 7에 나타내었다. 시험결과에 의하면 DSR값은 고무종류 및 카본블랙 배합량이 비슷하게 주인공으로 나타났으며, 분산특성은 3인자 모두 매우 작은 영향을 나타냈으나 그중에서도 카본블랙 배합량이 주인공으로, PICO 및 CUT/CHIP손실량은 카본블랙 배합량이 지배적인 주

Table 12. Analysis of variance for PICO and other properties

Item	Factor	S	ϕ	V	Fo	F(0.05)	Remarks
DSR	A	29110	2	14555	7.7	19	
	B	14361	2	7180	3.8		
	C	30027	2	15013	7.9		
	E	3800	2	190	-		
Dispersion	A	67	2	33	0.6	19	
	B	115	2	57	1.0		
	C	248	2	124	2.2		
	E	115	2	57	-		
PICO	A	471	2	236	13.3	19	
	B	664	2	332	18.8		
	C	1377	2	689	38.9		
	E	35	2	18	-		
CUT/CHIP	A	4	2	1.76	7.0	19	
	B	5	2	2.43	9.7		
	C	6	2	2.91	11.6		
	E	1	2	0.25	-		

Table 13. Total sum of each factors for PICO and others properties

구분	A			B			C		
	A ₀	A ₁	A ₂	B ₀	B ₁	B ₂	C ₀	C ₁	C ₂
DSR	217	563	593	595	475	303	274	409	690
PICO/Dispersion	241	251	231	229	239	255	227	233	263
Others PICO	136	97	85	82	94	142	155	97	66
CUT/CHIP	6.4	10.4	6.4	5.6	6.8	10.8	11.0	6.7	5.4

인자로 카본블랙종류 및 고무종류는 보조인자로 나타났다.

각 물성에 대해 인자들이 미치는 수준은 DSR 경우 카본블랙 배합량이 높을 수록 높고, 고무종류는 BR > SBR > NR 순으로 높게 나타났다. 카본블랙종류는 미치는 영향이 매우 작으나 비표면적이 클 수록 높은 DSR 값을 보였다.

PICO 손실량은 카본블랙 배합량이 증가할 수록 작게 나타났으며, 카본블랙 종류는 SRB C5 > SRB B4 > SRB E4 순으로, 고무종류의 영향은 BR > SBR > NR 순으로 손실량이 작게 나타났다.

한편 CUT/CHIP 손실량은 카본블랙 배합량이 증가

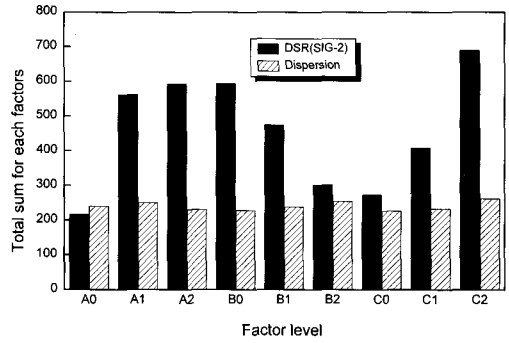


Fig. 6. Effect of factor and level for DSR and dispersion

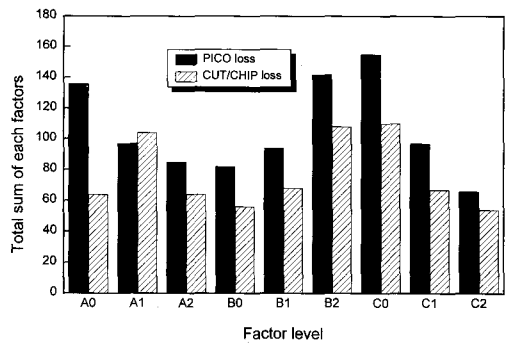


Fig. 7. Effect of factor and level for PICO and CUT/CHIP loss

할 수록, 카본블랙 비표면적이 클수록 작게 나타났으며, 고무종류 경우 BR ≈ NR > SBR 순으로 CUT/CHIP 손실량이 작게 나타났다.

IV. 결론

고무물성에 대한 인자들의 영향을 파악하기 위해 고무종류, 카본블랙종류 및 카본블랙 배합량을 주인자로 하여 각 수준별로 평가한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 가황특성중 점도, 스코치시간 및 최대토크는 카본블랙 배합량이 주인자로, 가류시간은 고무종류가 주인자로 작용함.

2. 인장특성중 경도, 300% 모듈러스, 신장율은 카본블랙 배합량이 주인자로, 인장강도는 고무종류가 주

인자로 나타났으나, 결합고무량은 카본블랙 종류가 주
인자로 작용함.

3. 동적특성중 반발탄성, 발열특성, 0 & 60°C tan-
gent delta는 카본블랙 배합량이 주인자로, 고무종류
가 보조인자로 나타났으나, 유리전이온도(Tg)는 고무
종류가 지배적인 주인자로 나타남.

4. PICO 및 CUT/CHIP손실량은 카본블랙 배합량
이 주인자로, 카본블랙 종류가 보조인자로 작용함.

5. 공정성지표인 DSR(dynamic stress relaxation)
값은 고무종류 및 카본블랙 배합량이 주인자로 나타났
으나, 분산특성에 대한 인자들의 영향은 크게 나타나
지 않음.

참 고 문 헌

1. S. C. Einhorn, *Rubber World*, **148**, 5, 40 (1963).
2. W. Mills, F. Giurco, *Rubber Chem. Technol.*, **49**,
291 (1976).
3. B. L. Lee, *Rubber Chem. Technol.*, **52**, 1019
(1979).
4. 한국고무학회 “기초 고무기술”, p. 127 (1983).
5. J. B. Donnet and A. Vidal, *Adv. Polym. Sci.*,
76, 103 (1986).
6. G. Kraus, in science and Technology of Rub-
ber, F. R. Eirich, Ed., Academic Press, New
York, 1978, p. 339.
7. J. H. Fielding, *Ind. Eng. CHEM.*, **29**, 880
(1937).
8. E. M. Dannenberg, *Rubber Chem. Technol.*, **59**,
512 (1986).
9. W. A. Wamper, M. Gerspacher, H. H. Yang.
ACS 143th, paper No. 26 (1993).