J. of Korean Ind. & Eng. Chemistry,
Vol.7, No.3, June 1996, 565-572

고무종류에 따른 카본블랙의 최적 투입량에 관한 연구

윤 찬 호 · 이 인 · 조 춘 택 · 채 규 호*

(주)금호기술연구소, *전남대학교 고분자공학과
(1996년 3월 7일 접수, 1996년 4월 27일 채택)

The Study on the Optimum Loading of Carbon Black for the Different Kind of Rubber Compounds

Chan Ho Yoon, Ihn Lee, Chun Teck Cho, and Kyu Ho Chae*

Kumho & Co., Inc., Research and Development Center, Kwangju P. O. Box 180, 506-040, Korea
*Department of Polymer Engineering, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea
(*Received March 7, 1996, Accepted April 27, 1996*)

요 약 : 천연고무(NR), 부타디엔 고무(BR), 오일 투입량을 변량한 스티렌-부타디엔 고무(SBR)를 기본으로 하는 고무배합을 통하여 카본블랙의 최적 투입량에 대하여 연구하였다. 카본블랙의 최적 투입량은 Lee 이론을 기초하여 L 인자값과 카본블랙의 부피비와의 상관 관계를 통하여 결정하였다. 그리고 얻어진 최적 투입량 값을 고무 물성 시험 결과를 통하여 재검증 하였다. 고무 종류별 카본블랙의 최적 투입량값은 각각 NR 60 phr, BR 57 phr, SBR-A 65 phr, SBR-B 70 phr, SBR-C 76 phr로 얻어졌다. 또한 오일의 함량을 20 phr씩 증가시킬때 마다 약 5phr 정도의 최적 투입량이 증가함을 관찰할 수 있었다. L 인자값을 통하여 얻어진 카본블랙의 최적 투입량은 인장강도와 가장 밀접한 관계가 있었으며 최대 인장강도 값을 갖는 카본블랙의 투입량 근처에서 형성되었다.

Abstract: The optimum loading of carbon black was studied for the rubber compounds of natural rubber(NR), butadiene rubber(BR), and styrene-butadiene rubber(SBR) with different amount of oil. The optimum loading of carbon black was determined by the volume ratio of carbon black and L factor of Lee's theory. The optimum loading of carbon black was confirmed by the examination of physical properties of the rubbers. The optimum loading amounts of carbon black for the each rubber compound were 60 phr for NR, 57 phr for BR, 65 phr for SBR-A, 70 phr for SBR-B, and 76 phr for SBR-C, respectively. The optimum loading of carbon black was increased by 5 phr for every increment of 20 phr of oil content. It was revealed that the optimum loading amount of carbon black determined by L factor is closely related to the tensile strength of the rubber compounds. The optimum loading amount of carbon black was observed at the amount which shows the maximum value of tensile strength.

1. 서 론

카본블랙은 고무산업에서 빼놓을 수 없는 보강제이다. 특히 타이어 산업에서 그 중요성은 어느 고무제품보다 중요한 위치를 차지하고 있다. 이는 카본블랙이 고무완제품에서 뿐만 아니라 반제품에서도 매우 다양한 역할을 하기 때문이다. 즉, 카본블랙이 배합된 고무제품은 가황 후에 제품의 인장강도, 인열강도, 내마모성 등의 기계적 특성[1]과 경도, 강도, 반발탄성, 내탄성변화율이 높을 뿐만 아니라 내유성,

내약품성, 내수성 등도 좋다. 반면 가황 전 반제품에서는 미가황 고무의 강도를 높여 치수안정성을 높이고 반제품의 점도를 조절할 수 있어 가공성을 개선시킬 수 있다. 그리고 충진제로서 고무배합물의 단가를 인하시키는데 핵심적 역할을 해주고 있기 때문에 카본블랙에 대한 연구가 매우 다방면으로 진행되고 있다.

카본블랙은 물리적 성질과 화학적 성질의 차이에 의해서 그 특성이 달라지게 된다[2]. 물리적 성질과 관계되는 인자는 카본블랙의 입자크기와 분포도, 입자의 형상, 기공도 등의 구조, 비중, 용적, 그리고 수분 흡착력 등이 있으며 화학적 성질과 관련되는 인자로서는 입자표면의 활성관능기의 종류, 산-염기도 등을 들 수 있다[3]. 따라서 어떠한 카본블랙을 선택하느냐에 따라 고무의 성질은 크게 달라지게 된다. 그러나 동일한 종류의 카본블랙을 사용한다면 그 사용량에 따라 고무의 가황전, 후의 제품물성은 매우 민감한 영향을 받기 때문에 카본블랙의 투입량이 주요 관건이 된다. 따라서 최적 투입량을 연구하는 것은 매우 중요하다.

Sircar는[4] 최적 투입량에 대한 연구에서 최적 투입량의 정의를 고무와 카본블랙의 최대 결합정도로 표현했다. 즉 최적투입량 이하에서는 카본블랙과 고무사이의 접촉점이 너무 적기 때문에 체적 변화가 크며 낮은 마모성능이 나타난 반면 최적투입량을 넘어서면 고무분자가 충진된 카본블랙 사이의 빈 공간들을 모두 채우지 못하기 때문에 카본블랙 사이의 접촉이 고무-카본블랙 사이의 접촉보다 더 많아져 기계적, 화학적 물성이 저하되게 된다고 보고하였다. Sircar의 이러한 연구결과는 카본블랙의 분산정도와 밀접한 관계가 있다.

Lee는[5] 분산성을 측정하는 간접지표의 수식을 제시하였는데 레오미터의 최대 및 최소 토크값을 상관지어 충진제의 미분산된 덩어리들을 추정하는 계산식으로부터 L-인자값을 구하였으며 이 L값을 카본블랙의 첨가량과 함께 도시함으로서 적정 첨가량을 추정할 수 있다는 이론을 제시하였다. 그는 최적 투입량 이상이 되면 L-인자 값의 기울기가 급격히 증가하기 때문에 이 L값을 카본블랙의 분산도를 측정하는 수치로서 사용할 수 있다고 제안했다. 그의 제안을 근거로 하였을 때 L값의 급격한 증가는 고무속에서 분산되지 않은 상태로 남아있는 응집체가 현저히 증가하고 있다는 것을 말해준다.

또한 Patel은[6] capillary 레오미터를 이용하여 이러한 현상에 대한 유사한 연구를 수행하였다. 그 역시 보강인자 값과 충진제의 첨가량을 도시하였을 때 보강인자의 급격한 기울기 상승이 일어나는 현상이 발생하였으며 그 변곡점을 최적 투입량의 예측에 이용하였다. Lee가 제안한 L값과 Patel이 제안한 보강인자 값은 카본블랙의 투입량과 상관관계에 있어 충진제의 최적 투입량의 추정에 이용할 수 있는 좋은 제안이라고 생각된다.

본 논문에서는 Lee의 제안을 바탕으로 하여 타이어 산업에서 가장 많이 사용되는 고무 즉 천연고무(NR), 부타디엔 고무(BR), 스티렌-부타디엔 고무(SBR)에 카본블랙과 오일을 변량하여 고무시편을 제조하여 물성을 평가하였고 각 고무배합물에 대해 레오미터의 가류거동을 통해서 얻은 L값으로부터 최적투입량을 예측하여 이를 고무물성, 즉 점도변화, 인장특성변화, 발열등의 결과와 상호관계를 규명함으로서 카본블랙의 최적 투입량 예측에 대하여 고찰하였다.

2. 실 험

2. 1. 재료

천연고무는 말레이시아산 SMR-5CV를 사용하였고, 부타디엔과 스티렌-부타디엔고무는 각각 금호석유화학에서 제조한 BR-01(cis 함량이 98%이상)과 SBR-1500을 사용하였다. 카본블랙은 럭키소재에서 제조한 N-234를 사용하였다. 기타 첨가제는 미창석유에서 제조한 A#2 오일, 한일아연화에서 제조한 아연화 KS-2호, 미원상사에서 제조한 스테아린산, 금호몬산토에서 제조한 노방제 6 PPD, 미원상사에서 제조한 유황, 그리고 동양화학에서 제조한 촉진제 CBS를 시판 상태로 사용하였다.

2. 2. 시편제조 및 실험

2. 2. 1. 시편 제조 및 물성 측정

각 재료를 배합하기 위한 배합기는 미국의 Farrel사 Banbury type의 internal mixer 모델 BR 82를 사용하여 ASTM D3184의 배합방법에 의해 1, 2차로 나누어 실시하였으며 1차 카본배합 후 24시간 이상 충분히 숙성시키고 유황배합을 실시하였다. 본 실험에서 사용한 고무배합물의 조성은 Table 1에서 5와 같다. 배합된 고무의 점도는 미국 몬산토사 Mooney viscometer 모델 1500을 사용하여 점도와 스코치 시간을 측정하였다. 가황특성을 고찰하기 위한 레오미터는 몬산토사의 Rheometer 100을 사용하

Table 1. Recipe for NR Compounds (phr)

Ingredient	Sp.Gr.	NR-1	NR-2	NR-3	NR-4	NR-5	NR-6
SMR-5CV	0.92	100	100	100	100	100	100
N234 Carbon	1.8	0	40	50	60	70	80
A#2 Oil	0.98	10	10	10	10	10	10
Zinc Oxide	5.6	5	5	5	5	5	5
Stearic acid	0.82	2	2	2	2	2	2
6 PPD	1.05	1	1	1	1	1	1
Sulfur	2.08	2	2	2	2	2	2
CBS	1.27	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5	1.5

여 160℃에서 가황을 실시하였으며 최대, 최소 토크를 측정하였다. 가황 후 인장특성은 미국 Instron사 Tensometer 모델 6021을 사용하여 cross head 속도 500mm/min, 그리고 load cell을 500 kgf 조건에서 측정하여 300% 모듈러스 값과 인장강도 값을 얻었다. 발열특성은 미국 B.F. Goodrich 회사제 Flexometer를 이용하여 stroke 1700 rpm, load 53 lbs, 그리고 초기 챔버온도를 50℃로 설정하였으며 25분동안 실험 후 발열 상승 온도를 측정하였다.

2. 2. 2. 카본블랙의 부피 분율과 L 인자 계산

각 고무의 배합비에 따른 카본블랙의 부피 분율의 계산은 각 재료의 투입량을 각각의 비중으로 나누어 전체 부피를 계산하여 다음식과 같이 구하였다.

$$\text{카본블랙의 부피분율}(\Theta),\ \% = \frac{\text{카본블랙 부피}}{\text{전체 재료 부피}} \times 100$$

그리고 L 인자 값은 레오미터에서 얻은 최대 및 최소 토크값을 사용하여 Lee가 제시하였던 다음과 같은 계산식에 의해 얻었다.

$$\eta_r = T^c min / T^p min$$
$$M_r = T^c max / T^p max$$
$$L = \eta_r - M_r$$

앞의 식에서 첨자 c와 p는 각각 카본블랙이 충진된 고무와 미충진된 고무를 나타낸다. 그리고 Tmin은 레오미터의 최소토크, Tmax는 최대토크 값이다. η_r, M_r는 각각 카본블랙이 충진된 고무와 미충진된 고무의 상대점도와 상대 모듈러스로서 레오미터를 이용하여 얻은 가황곡선에서 최대 토크와 최소 토크값에서 계산된 값이다. 이때 η_r는 항상 M_r값보다 크다.

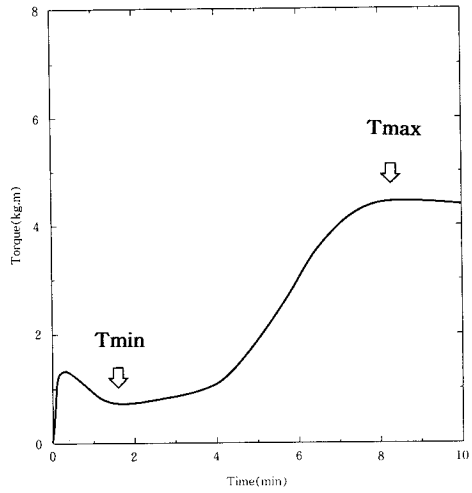

Fig. 1. The rheography of NR-5 compound and the definition of Tmin and Tmax.

2. 2. 3. 적정 카본블랙의 투입량 측정

먼저 카본블랙의 부피분율을 계산하고 앞에서 구한 L 인자를 각 배합비별로 X-Y 그래프를 그린후 곡선양 접선 연장선을 그리고 맞닿은 꼭지점(변곡점)에 해당하는 카본블랙의 부피분율을 측정하여 phr 값으로 환산하였다.

3. 결과 및 고찰

3. 1. 카본블랙의 투입량과 고무 물성

고무속에 충진된 카본블랙의 분산상태는 일차 카본입자 또는 응집된 상태로 존재하는 것으로 알려져 있다. 이는 응집체(agglomerate)가 배합중에 깨져 분산되는데 분산성이 좋은 배합물과 좋지 않은 배합물

Table 2. Recipe for BR Compounds (phr)*

Ingredient	BR-1	BR-2	BR-3	BR-4	BR-5
BR-01	100	100	100	100	100
N234 Carbon	0	40	50	60	70
A#2 Oil	10	10	10	10	10

* The other ingredients are the same as NR compounds.

Table 3. Recipe for SBR-A Compounds (phr)

Ingredient	SBR-1	SBR-2	SBR-3	SBR-4	SBR-5	SBR-6	SBR-7
SBR-1500	100	100	100	100	100	100	100
N234 Carbon	0	40	50	60	70	80	90
A#2 Oil	10	10	10	10	10	10	10
Zinc Oxide	3	3	3	3	3	3	3
Stearic acid	2	2	2	2	2	2	2
6 PPD	1	1	1	1	1	1	1
Sulfur	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8	1.8
CBS	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7	1.7

Table 4. Recipe for SBR-B Compounds (phr)*

Ingredient	SBR-8	SBR-9	SBR-10	SBR-11	SBR-12	SBR-13	SBR-14	SBR-15
SBR-1500	100	100	100	100	100	100	100	100
N234 Carbon	0	40	50	60	70	80	90	100
A#2 Oil	30	30	30	30	30	30	30	30

* The other ingredients are the same as SBR-A compounds.

Table 5. Recipe for SBR-C Compounds (phr)*

Ingredients	SBR-16	SBR-17	SBR-18	SBR-19	SBR-20	SBR-21	SBR-22	SBR-23
SBR-1500	100	100	100	100	100	100	100	100
N234 Carbon	0	40	50	60	70	80	90	100
A#2 Oil	50	50	50	50	50	50	50	50

* The other ingredients are the same as SBR-A compounds.

간에는 카본블랙의 응집도(agglomeration)의 차이가 있어 큰 응집체가 많이 존재할 때는 물성이 하락한다고 보고되었다[7]. 이와 같은 응집체의 분산도를 측정하기 위하여 본 연구에서는 간접적인 방법으로서 레오미터의 최대, 최소 토크값을 이용하여 관찰하였다. Fig. 1에 대표적으로 SBR-1 고무에 대하여 레오미터의 레오그램과 최소토크(Tmin), 최대토크(Tmax)의 위치를 보였다. 각 고무 배합종류에 따른 카본블랙의 최적투입량을 구하기 위하여 Table 1, 2, 3, 4, 5의 배합비에 따라 배합된 고무를 레오그램으로부터 측정한 최소와 최대토크 값으로부터 Lee가 제시하였던 계산식에 따라 η_r, M_r, L값, 그리고 카본블랙 분율을 계산하였다.

배합물들의 카본블랙 투입량에 따른 레오미터의 최대토크 값은 Fig. 2와 같다. 카본블랙의 투입량이 많아질수록 최대 토크값은 계속하여 증가하였는데 합성고무(SBR, BR)는 비교적 선형으로 안정되게 증가한 반면 천연고무는 약간 불규칙적으로 증가하는 경향을 보였다. 오일의 첨가량에 따른 변화를 보기 위하여 SBR-A는 오일 10 phr, SBR-B는 오일 30 phr 그

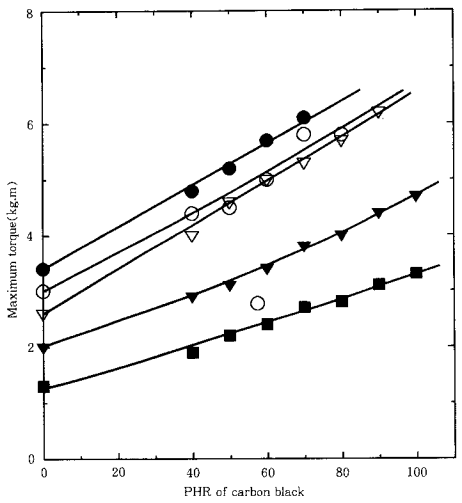

Fig. 2. Maximum torque of each compound;
(○) NR base, (●) BR base,
(▽) SBR-A base, (▼) SBR-B base,
(■) SBR-C base.

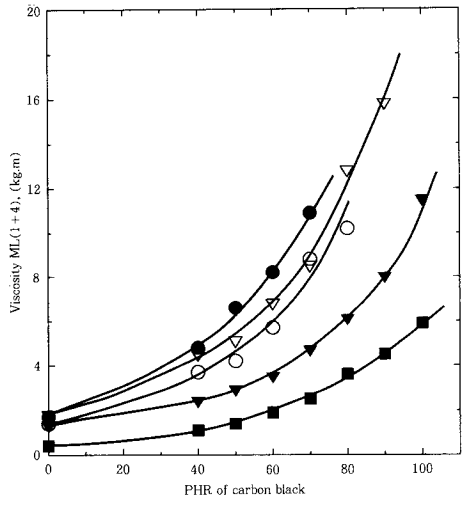

Fig. 3. Moomey viscosity of each compound;
(○) NR base, (●) BR base,
(▽) SBR-A base, (▼) SBR-B base,
(■) SBR-C base.

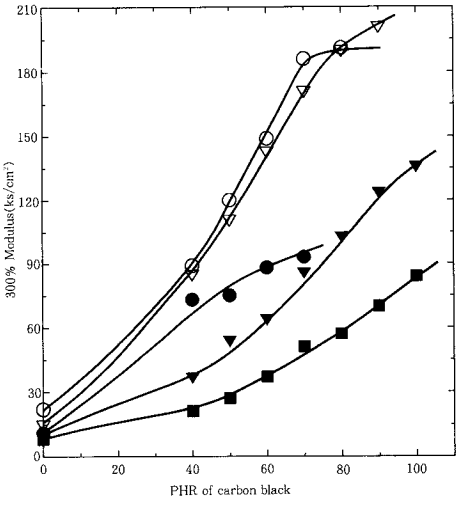

Fig. 4. 300% Modulus of each compound;
(○) NR base, (●) BR base,
(▽) SBR-A base, (▼) SBR-B base,
(■) SBR-C base.

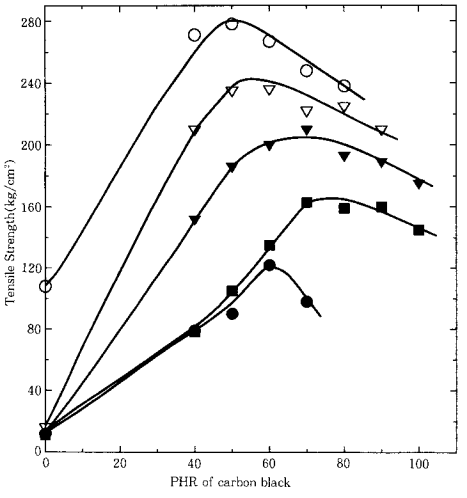

Fig. 5. Tensile strength of each compound;
(○) NR base, (●) BR base,
(▽) SBR-A base, (▼) SBR-B base,
(■) SBR-C base.

리고 SBR-C는 오일 50 phr을 투입한 후 최대 토크값을 관찰하였다. 오일의 양이 서로 다른 3종류의 SBR 고무를 비교해 볼 때 오일의 투입량이 증가하면 카본블랙 투입량이 증가함에 따라 기울기가 감소하였으며 최대 토크값도 크게 감소하였는데 이것은 카본블랙의 양이 증가할수록 오일의 양에 의해서 최대 토크값이 더 큰 영향을 받게 된다는 것을 보여준다.

점도값은 충진제의 투입에 따라 크게 영향을 받는

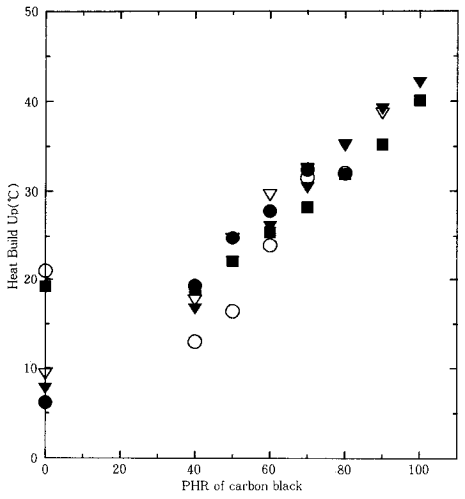

Fig. 6. Heat build up of each compound;
(○) NR base, (●) BR base,
(▽) SBR-A base, (▼) SBR-B base,
(■) SBR-C base.

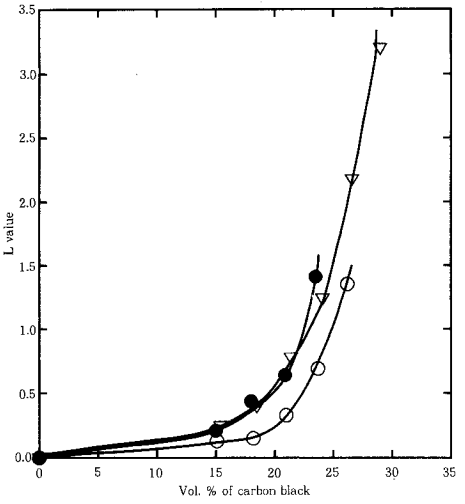

Fig. 7. L vs volume percent loading of carbon black; (○) NR base, (●) BR base, (▽) SBR-A compounds.

인자들 중의 하나인데 그 경향은 투입된 카본블랙의 분산성과 관계가 깊다. Fig. 3에 보인 무늬점도의 경향을 보면 카본블랙의 투입량이 증가할수록 점도는 점점 더 증가하였으며 투입량이 많아질수록 기울기 증가폭은 BR>NR>SBR 순서를 보였다. 이것은 BR이 카본블랙의 양에 따라 점도에 가장 큰 영향을 받는 것을 알 수 있으며 따라서 BR이 가장 카본블랙에 대한 친화성이 좋지 않음을 말해준다.

카본블랙의 분산성 및 보강성에 의해서 가장 영향을 크게 받는 인자인 모듈러스 및 인장강도의 결과를 Fig. 4, 5에 보였다. 이들은 모두 카본블랙의 함량이 증가함에 따라 고무 배합물의 종류에 상관없이 거의 선형적으로 증가하였으나 인장강도는 일정량 이상 증가하다가 모두 하락하는 경향을 보였는데 각 고무종류별로 그 경향이 다르게 나타났다. 즉 오일의 양이 동일할 때 최대의 인장강도를 보여주는 카본블랙의 투입량 범위는 천연고무가 50~60 phr, SBR-A, BR은 60~70 phr 사이에서 증가하다가 하락하는 경향을 보였다. 이 현상은 Sircar의 카본블랙의 최적 투입량에 대한 연구에서[4] 최적 투입량은 고무와 카본블랙간의 최대 결합량에서 형성된다는 견해로 볼 때 그 이상의 카본블랙이 투입되면 카본-카본 간의 접촉이 고무-카본블랙 간의 접촉보다 더 많아짐으로서 기계적 물성이 저하되게 된다는 것과 일치한다. 오일이 증량되었을때는 모듈러스와 인장강도 값은 낮아지나 오일투입량이 많아질수록 더 많은 양의 카본블랙을 투입하여야 최대 토크값을 갖을 수 있는 것으로 나타났다.

카본블랙과 발열과의 관계에 대하여 그동안 많은 연구들이 진행되었는데 Chirico와 Scott는[8] 카본블랙의 유형과 투입량에 따른 고무의 발열정도를 연구하였고 Neogi는[9] 카본블랙에 따른 모듈러스, 발열 등의 관계를 연구했었다. 본 연구에 대한 카본블랙 투입량과 발열관계는 Fig. 6과 같다. 그 결과 일반적인 현상대로 카본블랙의 투입량이 증가할수록 비례하여 발열이 상승하는 것을 볼 수 있었으며 본 실험 범위 내에서 특별한 변곡점을 보이지는 않았다.

3. 2. L 인자값과 카본블랙의 투입량

각 배합표별로 계산된 카본블랙의 부피 분율(Θ)과 L 인자와의 관계를 Fig. 7과 8에 나타내었다. 모든 배합비에서 카본블랙량이 많아 질수록 모두 급격한 증가를 보였는데 이는 카본블랙이 일정량을 넘어서면 고무속에서 미분산된 응집체가 많이 존재한다는 것을 말해준다. Fig. 7에서 고무종류에 따른 L 인자 값을 비교해 볼때 23% 이하의 동일한 양의 카본블랙을 첨가하였을 때는 BR≥SBR>NR로서 BR과 SBR이 거의 유사한 반면 그 이상에서는 BR>NR>SBR 순으로 명확하게 기울기의 차이가 생겼다. 이 결과는 L

Table 6. The Results of Optimum Carbon Black Loading

Recipe	NR	BR	SBR-A	SBR-B	SBR-C
Oil loading (phr)	10	10	10	30	50
Optimum carbon black (vol. %)	21.0	20.1	22.0	21.5	20.7
Optimum carbon black (wt. %)	33.3	31.8	36.6	39.1	42.6
Optimum carbon black (phr)	60.0	57.2	65.8	70.3	76.7

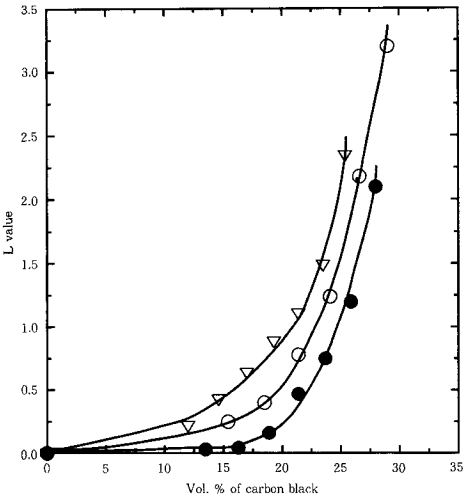

Fig. 8. L vs volume percent loading of carbon black; (○) SBR-A base, (●) SBR-B base, (▽) SBR-C base compounds.

인자 값의 기울기가 가장 낮은 SBR 고무에 카본블랙을 첨가했을 때 가장 좋은 분산성을 보인다는 것을 의미한다. 그러나 동일량의 카본블랙이 투입되었을 때는 NR이 가장 낮은 L 인자 값을 보였다. SBR과 BR에서 L 인자값을 비교해 볼 때 카본블랙의 첨가량이 낮을때는 고무와 카본블랙 사이의 혼합성이 유사하나 카본블랙의 투입량이 높아질수록 SBR의 혼합성이 더 우수하기 때문에 SBR의 L 인자값이 낮아졌다고 생각된다.

오일의 증량에 따른 상호관계를 SBR-A, SBR-B, SBR-C에 대하여 나타낸 Fig. 8을 볼 때 오일의 투입량이 증가 될수록 L 값의 기울기는 낮아지고 절대값도 낮아지는 것을 볼 수 있었는데 이는 오일이 카본블랙의 미분산된 응집체를 줄이는 역할을 하기 때문인 것으로 생각된다. 그러나 가장 낮은 L인자 값을 보인 배합비는 30 phr의 오일을 투입한 SBR-B로 나타났다. 이러한 낮은 L인자 값과 기울기의 결과는 투입한 오일량이 30phr에서 카본블랙의 적정 투입량에 도달 할 때까지 다른 투입량에 비해서 카본블랙의 미분산된 응집체를 더 줄이고 분산성이 가장 우수할 것임을 보여주는 것이다. 즉, 카본블랙의 투입량에 비해서 너무 부족하거나 너무 많이 투입된 오일은 카본블랙의 분산에 도달하는 경향에 영향을 미치며 본 연구에서는 30phr의 오일일 때 카본블랙이 수용할 수 있는 최적치임을 보여주는 것이다. 그러나 동일량을 첨가하였을때 카본블랙보다 오히려 오일이 모듈러스나 인장강도등의 고무 보강물성의 고유값에는 더 크게 영향을 미치기 때문에 카본블랙량이 증가하는 것보다 오일량이 증가하였을때 고무보강성의 절대값은 하락하게 된다.

3. 3. 카본블랙의 최적 투입량 결정

카본블랙의 최적 투입량 결정을 위해 카본블랙의 부피분율에서 부터 phr로의 환산은 다음과 같이 계산하였다.

$$V_{opx}=\frac{V_c}{V_t+V_c}\times 100$$

여기서 Vopx는 L 인자와 Θ의 그래프에서 얻은 최적 투입량에 해당하는 부피 분율값이고 Vc는 카본블랙의 부피, 그리고 Vt는 카본블랙을 넣지 않은 전체 투입재료의 부피이다. 이식으로부터 카본블랙의 부피 Vc를 구하여 비중 1.8을 곱하여 phr로 환산하였다. Table 6에 이와 같은 방법으로 계산된 고무 배합비별로 최적 투입량 산출 결과를 나타내었다. 본 실험으로부터 천연고무의 카본블랙의 최적 투입량은 60.0 phr, BR은 57.2 phr, SBR-A는 65.8 phr, SBR-B는 70.3 phr, SBR-C는 76.2 phr을 얻었다. 이 결과를 볼때 오일이 20phr 증가될때마다 카본블랙의 최적 투입량은 약 5 phr정도씩 증가함을 알 수 있었다. 이를 다시 말하면 카본블랙의 투입량을 증가시키기 위해서는 4배의 오일을 증가시켜 주어야 한다는 말이 된다. 이 결과는 오일이 카본블랙이 충진된 고무물성에 크게 영향을 미치며 카본블랙의 분산성 역시

크게 영향을 미친다는 것을 재 확인해 주었다.

3. 4. 카본블랙의 최적 투입량과 물성과의 관계

카본블랙의 최적 투입량을 구한 값과 Fig. 2에서 6까지 물성과의 상관관계를 고찰해 볼때 최적 투입량의 산출값은 인장강도의 경향에 가장 밀접하게 관계한 것을 볼 수 있었다. 모든 고무의 인장강도는 카본블랙의 투입량 증가에 따라 상승하다가 점점 감소하는 경향을 보였다. 각 고무별로 카본블랙의 최적 투입량의 형성과 인장강도와의 관계를 살펴 볼때 NR과 SBR-A는 인장강도 최대점을 막 지나고 하향되기 시작하는 지점에서 형성되었고, BR은 최대점으로 상승하는 지점에서 최대의 적정투입량이 형성되었으며 또한 SBR-B, C는 최대 지점에서 형성되는 것을 볼 수 있었다. 이는 본 실험에서 투입한 카본블랙의 범위내에서 레오미터 최대 토크, 경도, 모듈러스, 발열 등이 모두 변곡점 없이 일률적으로 증가하는 경향을 보이는 것과 비교해 볼때 Lee의 L 인자에 의한 최적 투입량 결정에 대한 제안은 인장강도와 가장 밀접한 관계가 있었으며 이는 카본블랙의 최적 투입량 예측 지점 근처에서 인장강도값의 최대 봉우리가 형성되는 것으로 보아 최적 분산성으로 인하여 고무에 대한 카본블랙의 보강성능이 향상된 것으로 생각된다.

4. 결 론

Lee의 제안에 기초하여 NR, BR, SBR의 고무 종류, 카본블랙, 그리고 오일의 투입량을 변량함으로서 카본블랙의 투입량과 물성과의 관계를 고찰하고 레오메타를 이용하여 최저 토크와 최대 토크값으로 카본블랙 투입량의 최적화에 대하여 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 카본블랙의 투입량이 증가함에 따라 모두 레오미터의 최대토크와 경도, 점도, 모듈러스, 발열, 내마모 정도는 모두 지속적으로 증가하였으며 이러한 경향은 최적 투입량을 넘어서도 크게 변화되지 않았다.

2. 카본블랙의 최적 투입량은 SBR>NR>BR순으로 증대되었으며 SBR 고무에서 오일의 투입량이 20 phr씩 증가할 때마다 약 5 phr씩 카본블랙의 적정 투입량이 증가하였다.

3. 오일을 변량한 SBR 고무 배합에서 30 phr 오일을 투입하였을 때 가장 낮은 L 인자 값을 보여 최적의 카본블랙 분산성을 나타내었다.

4. L-인자에 의하여 결정된 최적 투입량은 인장강도 값과 가장 밀접한 관계가 있었다. NR과 SBR-A는 최대 인장강도값을 지나 하향이 시작되는 지점에서 형성되었으며 BR, SBR-B, C는 최대 인장강도값을 갖는 카본블랙의 투입량에서 형성되었다.

감 사

본 연구의 일부는 주식회사 금호의 산학협동 연구비에 의해 수행되었으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Z. V. Chernykh and V. G. Epshtein, *Rubber Chem.. Technol.*, **32**, 1185 (1959).
2. C. J. Stacy, P. H. Johnson, and G. Krays, *Rubber Chem.. Technol.*, **48**, 538 (1975).
3. A. M. Gesster, W. M. Hess and A. I. Medalia *Plastics and Rubber*, paper No. 1164 (1978).
4. A. K. Sircar, *Rubber World*, Nov. 30 (1987).
5. B. L. Lee, *Rubber Chem.. Technol.*, **52**, 1019 (1979).
6. A. C. Patel and J. T. Byers, *Elastomerics*, **114**, 29 (1982).
7. A. Y. Coran, *Rubber Chem.. Technol.*, **67**, 237 (1994).
8. J. D. Ulmer, U. E. Chirico, and C. E. Scott, *Rubber Chem. Technol.*, **46**, 729 (1973).
9. C. Neogi, A. K. Bhattacharya, and A. K. Bhowmick, *Rubber Chem. Technol.*, **63**, 652 (1990).