

가교정도에 따른 고무복합체의 물리적 특성에 관한 연구

나 창 운[†] · 김 현 재* · 강 신 영*

전남도립 담양대학 화학공업과, *전남대학교 응용화학공학부

(1998년 10월 1일 접수)

A Study of the Effect of Degree of Cure on the Physical Properties of Rubber Compounds

Changwoon Nah[†], Hyeonjae Kim* and Shinyoung Kaang*

Department of Chemical Technology, Provincial College of Damyang, Damyang-gun, Chonnam 517-800, Korea

*Faculty of Applied Chemical Engineering, Chonnam National University, Kwangju 500-757, Korea

(Received October 1, 1998)

요약 : 4종류의 고무 즉, 천연고무(NR), styrene-butadiene copolymer(SBR), ethylene-propylene diene monomer(EPDM), brominated isobutylene-p-methyl-styrene copolymer(BIMS)의 영(Young) 탄성율을 비롯한 인장특성과 인열강도를 여러가지 가교도와 시험온도에서 측정하였다. 과가황(over-cure)의 영향을 조사하기 위해 과가교 고무컴파운드의 인장강도와 팽윤(swelling) 거동도 조사하였다. 모든 고무컴파운드에 대해 영 탄성율(E)은 가교도와 선형적인 비례관계를 보였다. EPDM이 가장 높은 기울기를 그리고 BIMS가 가장 낮은 기울기를 보였고, NR과 SBR은 이들 사이의 값을 나타내었다. 인열강도 Gc는 NR>BIMS>SBR>EPDM의 순으로 나타났다. 과가교에 따라 NR과 SBR의 가교도는 감소한 반면, BIMS는 오히려 증가하였고, EPDM은 거의 변하지 않았다.

ABSTRACT : Tensile properties including Young's modulus and tear strength were measured for four different rubber compounds; natural rubber(NR), styrene-butadiene copolymer(SBR), ethylene-propylene diene monomer(EPDM), and brominated isobutylene-p-methyl-styrene copolymer(BIMS) as a function of temperature and degree of cure. To see the effect of over cure, a measurement was made of the tensile strength and swelling behavior of the over-cured rubber compounds. Young's modulus, E, was found to have linear dependency on the degree of cure for all rubber compounds. EPDM and BIMS showed the highest and lowest slopes, respectively. The slope of NR and SBR lay between EPDM and BIMS. Tear strength, Gc, decreased in the order of NR>BIMS>SBR>EPDM. As the cure time was extended the degree of cure of NR and SBR decreased, while that of BIMS increased. EPDM showed little change in the degree of cure.

Keywords : physical property, rubber compound, degree of cure, aging.

[†]대표저자

I. 서 론

페타이어를 비롯한 각종 폐고무제품으로 인한 환경 오염 문제가 대두되면서 이를 재활용하려는 노력이 활발하게 진행되고 있다.^{1,2} 최근 수 마이크론(micron) 크기로 분쇄한 폐고무 분말을 원고무(virgin rubber)에 일정량 사용하려는 시도가 있고,^{3,4} 이때 원고무의 여러가지 물리적 특성에 분말이 미치는 영향에 대한 연구결과가 보고되었다.⁵⁻⁹ 특히, 폐고무 분말을 첨가할 경우 기계적강도의 하락이 필연적이다. 이와같은 기계적 강도의 하락은 두가지 측면에서 생각해볼 수 있다. 첫째는 폐분말이 제품상태로 사용중에 여러가지 노화요인을 거치고 또한 원고무와 혼합되어 가황과정을 거치는 동안 열노화등에 의해 폐분말 자체의 강도가 하락하기 때문이다. 둘째는 폐분말과 원고무간의 접착강도가 낮기 때문이다. 따라서 폐분말을 함유한 원고무의 물성하락에 대한 원인을 보다 명확히 규명하기 위해서는 고무종류별로 열노화에 따른 물리적 특성 변화에 대한 기초연구와 함께 폐분말과 원고무간 접착강도를 측정할 수 있는 모델 시험법의 개발에 관한 연구도 필수적이라 생각된다. 그러나 이에 관한 기초연구는 거의 없는 실정이다.

위와같은 연구배경에 근거하여 본 논문에서는 우선 가황과정의 열노화와 가교정도에 따른 물성변화를 4가지 고무재료에 대해 주로 살펴보고, 각 고무재료에 대한 계면 접착강도에 관한 연구결과는 추후 별도의 논문으로 다룰예정이다.

일반적으로 고무재료를 적정가황시간 이상으로 계속하여 과가황(over-cure)시키면 가황결합의 형성속도보다 절단속도가 높아져서 물리적 강도가 하락한다고 알려져 있고,¹⁰ 그 하락정도는 적용한 가황조건(가교시스템, 가교온도등)과 고무종류에 따라 달라진다. 일반적인 가황시스템(가황촉진제와 황)에서 천연고무는 합성고무에 비해 과가황 조건에 더 크게 영향을 받는 것으로 알려졌다.¹¹ 그러나 일반적인 가황시스템이 아닌 경우에 대한 연구는 아직 미미한 수준이라고 여

겨진다. 최근 상업적으로 소개된 바 있는 BIMS(brominated isobutylene-p-methylstyrene copolymer) 고무는 알킬페놀레진(alkyl phenol resin)을 이용한 가황시스템으로 가교되는 새로운 재료이다.¹²

본 연구에서는 일반적인 가황시스템을 적용할 수 있는 3가지 고무종류 즉, NR (natural rubber), SBR (styrene-butadiene copolymer), EPDM(ethylene-propylene diene monomer)을 선택하였고, 레진가황시스템을 이용하는 BIMS(brominated isobutylene-p-methylstyrene copolymer)을 선택하여 각 고무재료의 인열강도(tear strength)을 비교하였고, 가교정도에 따른 영탄성율(Young's modulus) 변화와 그리고 과가황에 따른 물성변화를 인장특성과 팽윤특성(swelling property)을 조사하여 확인하였다.

II. 실 험

1. 재 료

고무컴파운드에 사용된 고무종류로는 말레이시아산 천연고무(SMR CV60)와 합성고무로서는 SBR(styrene-butadiene copolymer, SBR-1500, Kumho Petrochemical Co., Ltd., Korea), EPDM(ethylene-propylene copolymer, KEP-350, Kumho Polychem. Co., Korea), BIMS(Brominated isobutylene-p-methylstyrene copolymer, Exxon Chemical Co., Ltd., USA)를 사용하였고 각 고무재료의 기본특성을 Table 1에 요약하였다. 충전제로써 N-330 카본블랙(Lucky Material Co., Ltd., Korea)을 사용하였다. 가황시스템을 비롯한 기타 컴파운드 첨가제는 고무산업에서 흔히 사용하는 대표적인 등급을 사용하였다. 단, BIMS 컴파운드의 경우 고무특성상 일반 가황시스템으로는 가황이 불가하여 알킬페놀레진(alkyl phenol resin)을 이용한 가황시스템을 적용하였다. 본 연구에서 적용된 컴파운드의 조성비를 Table 2에 나타내었다.

Table 1. Basic Characteristics of Rubbers Investigated

Rubber Type	Characteristics
NR	Grade : SMR CV60 Mooney Viscosity, $ML_{1+4}@100^\circ\text{C}$: 60 Standard Malaysian Rubber
SBR	Grade : SBR-1500 Styrene Content : 23.5wt.% Mooney Viscosity, $ML_{1+4}@100^\circ\text{C}$: 52 Kumho Petrochemical Co., Ltd.
EPDM	Grade : KEP-350 Diene Type: Ethylidene Norbornene Propylene Content : 43wt.% Mooney Viscosity, $ML_{1+4}@100^\circ\text{C}$: 83 Kumho Petrochemical Co., Ltd.
BIMS	Brominated Isobutylene-p-Methyl Styrene Copolymer p-Methyl Styrene Content : 5wt.% Bromine Content : 0.8wt.% Mooney Viscosity, $ML_{1+4}@125^\circ\text{C}$: 45 Exxon Chemical Co., USA

Table 2. Mix Formulations of Rubber Compounds

(Unit : phr)

Ingredients	NR	SBR	EPDM	BIMS
SMR CV60	100	—	—	—
SBR-1500	—	100	—	—
KEP-350	—	—	100	—
BIMS ¹⁾	—	—	—	100
N330	50	50	50	50
ZnO	5	5	5	—
Stearic Acid	2	2	1	—
TBBS ²⁾	0.70	1.00	—	—
Sulfur	2.25	1.75	1.50	0.75
TMTD ³⁾	—	—	1.00	—
MBT ⁴⁾	—	—	0.50	1.40
ZnO	—	—	—	2.00
Stearic Acid	—	—	—	0.50
SP-1045 ⁵⁾	—	—	—	5.00
Cure Condition ⁶⁾ at 150°C (min)	18	50	40	24

¹⁾ Brominated isobutylene-p-methylstyrene copolymer

²⁾ Cure Accelerator : N-t-butyl-2-benzothiazole sulfenamide

³⁾ Cure Accelerator : Tetramethylthiuram disulfide

⁴⁾ Cure Accelerator : Mercapto benzothiazole

⁵⁾ Alkyl phenol curing resin

⁶⁾ Cure condition for fully cured rubber specimens

2. 배합 및 시편준비

가교제를 제외한 모든 배합 조성물을 내부혼합기 (internal mixer, model 82BR, Farrel Co., USA)를 사용하여 약 120°C 온도조건에서 충분히 배합하여 배합물의 온도가 150°C가 될 때까지 혼합하였다. 가교제는 이축밀(two-roll mill, model 8422, Farrel Co., USA)을 이용하여 ASTM D3182과 D3184의 절차를 따라 균일하게 혼합하였다.

각 고무컴파운드의 시편제조에 필수적인 요건인 가황특성은 진동판 레오미터(moving die rheometer, MDR, Monsanto Instrument, USA)를 이용하여 150°C 조건에서 측정하였고, 이 결과로부터 각 시편의 적정가황시간을 결정하여 시편의 가황에 적용하였다. 한편, 가교정도에 따른 영탄성을 변화를 관찰하기 위해 가교정도를 5가지로 달리하여 시편을 제조하였는데, 가교정도의 결정은 Fig. 1에 나타낸 바와 같이 가황곡선의 최대토크(maximum torque)와 최소토크(minimum torque)를 5등분하여 각 토크에

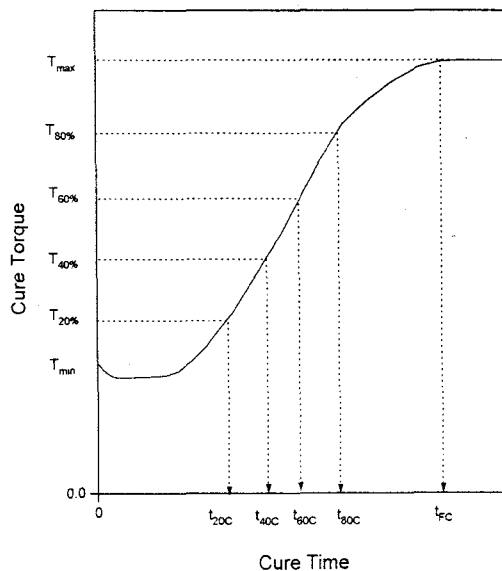


Fig. 1. A sketch of determining the cure time of rubber specimen depending on the degree of cure.

해당되는 시간만큼 가황함으로써 가교도를 대략 100% (FC, fully cured), 80% (80C), 60% (60C), 40% (40C), 그리고 20% (20C)로 조정하였다. 또한 인장 특성과 팽윤거동 (swelling behavior)에 미치는 과가황 (overcure)의 영향을 조사하기 위해 적정가황시간의 2배로 과가황된 인장시편도 준비하였다. 모든 시편의 가황은 150°C에서 약 20ton의 압력하에서 프레스 (press)를 이용하여 약 1mm 두께의 쉬트 형태로 제조하였다.

3. 물리적 특성 측정

여러가지 조건에서 가교된 고무쉬트로부터 100×10×1mm (길이×폭×두께) 크기의 고무 스트립 (strip)을 절단하여 시편중앙에 약 50mm의 I자 마크 (mark)를 하여 시편 상단은 적절한 그립 (grip)으로 고정하고 하단에 일정한 무게의 분동을 매달고 5분 후에 늘어나는 길이변화를 수직 망원 현미경을 이용하여 측정하였다. 이렇게 얻어진 응력-변형 곡선에서 초기의 기울기가 가장 선형적인 부분을 취해 그 기울기로 영 (Young) 탄성율을 결정하였다.

본 실험에서 사용된 4가지 고무 즉, NR, SBR, EPDM, BIMS의 인열강도 G_c (tear strength)를 trouser test^{10,13}를 이용하여 결정하였다. 150×15×1mm (길이×폭×두께) 크기의 고무 스트립에 시편 중앙선을 따라 약 30mm의 초기균열을 가한 후 인열강도 시험에 사용하였다. 이때 시편다리의 변형을 최대한 억제하기 위해 150×5×0.045mm (길이×폭×두께) 크기의 매우 얇은 황동판을 시편의 양쪽면에 약 5mm 간격으로 접착시키는 방법을¹⁴ 사용하였다. 시편의 양쪽 다리를 5mm/min의 속도로 인열시키면서 인장시험기 (Instron 6021, USA)에 걸리는 힘을 측정함으로써 다음과 같은 관계로부터 인열강도, G_c 를 구하였다.^{10,13}

$$G_c = \frac{2\lambda_s^2 F}{w} \quad (1)$$

여기서 w 는 파괴면의 두께로써 시험후에 측정현미경을 사용하여 실측한 값이고, λ_s 는 시편의 선형팽윤 비로써 본 실험에서는 팽윤되지 않은 시편을 사용했으므로 λ_s 는 1이다. 인열강도의 온도 의존성을 조사하기 위해 온도를 30°C, 60°C, 90°C, 120°C로 변화시키면서 측정하였다. 인장특성은 인장시험기 (Instron 6021, USA)를 사용하여 500mm/min의 속도로 상온에서 측정하였는데, 과가교의 영향을 조사하기 위해 과가교 시편에 대해서도 조사하여 이를 적정가교 시편과 비교하였다. 또한 과가황에 따른 가교도의 변화를 조사하기 위해 톨루엔 (toluene)을 이용한 팽윤거동도 관찰하였다. 평형상태에서의 팽윤비를 얻기 위해 약 120시간 (5일) 동안 충분히 팽윤시킨 후 실험결과를 얻었다. 팽윤비 (r_s)는 다음과 같이 무게비로써 정의하여 결정하였다.

$$r_s = \frac{w_s}{w_o} \quad (2)$$

여기서 w_o 와 w_s 는 팽윤시키기 전후의 시편의 무게를 나타낸다.

III. 결과 및 고찰

1. 가황특성

본 실험에서 선택한 4가지 고무복합체에 대해 진동판 레오미터 (rheometer)를 사용하여 150°C에서 측정된 가황특성을 Fig. 2에 나타내었다. 고무종류에 따라 가황특성이 많은 차이를 나타내었다. 천연고무인 NR은 약 15분에서 최대토크 (maximum torque)를 나타낸 후 토크가 하락하는 전형적인 역가황 (cure reversion) 거동을 보인 반면, 합성고무인 SBR, EPDM, BIMS는 역가황 거동을 보이지 않았다. 역가황 현상은 고무내에 존재하는 촉진제 착물 (complex)이 가교사슬 (network chain)내 황을 공격함으로써 결합을 절단시키기 때문이고, 이 현상은 고무의 분자구조에 따라 달라지는데 일반적으로 천연

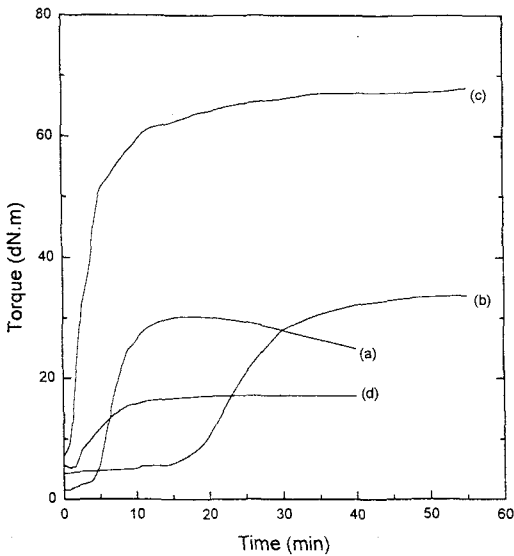


Fig. 2. Cure characteristics of (a) NR, (b) SBR, (c) EPDM, and (d) BIMS at 150°C.

고무의 경우 역가황 현상이 많이 나타나는 것으로 알려져 있다.¹¹ 최대토크는 EPDM>SBR>NR>BIMS 순으로 나타났다. 따라서 본 연구에서 조사한 여러가지 물리적 특성은 고무종류와 가황정도에 따라 크게 다를 것으로 예상할 수 있다.

2. 영탄성율 (Young's modulus)

일반적으로 고무와 같이 신율이 높은 재료의 응력-변형 곡선(stress-strain curve)은 비선형 거동을 나타내기 때문에 영탄성율은 변형초기 즉, 선형성을 나타내는 범위에서 곡선의 기울기로써 정의되어 사용되고 있다.¹⁰ 영탄성율을 보다 정확히 측정하기 위해 전술한 바와 같이 고무스트립(rubber strip)에 일정한 무게추를 매달고 늘어나는 길이를 측정하는 방법으로 결정된 대표적인 결과를 Fig. 3에 도시하였다. 대체적으로 변형이 약 10% (strain=0.1)까지는 선형적인 관계를 나타낸 반면, 그 이상의 변형에서는 직선의 관계에서 벗어났다. 따라서 모든 시편에 대해 10% 이내의 변형조건에서 기울기를 구하여 영탄성율을 얻었다. Fig. 4는 4가지 고무에 대한 영탄성율을 가교도

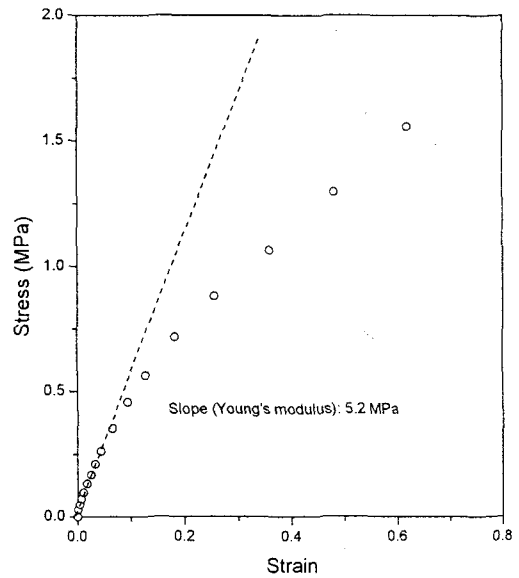


Fig. 3. A typical stress-strain relation of NR for the determination of Young's modulus.

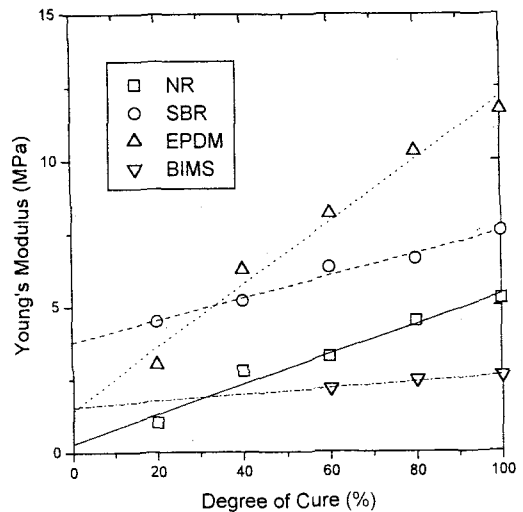


Fig. 4. Young's modulus versus degree of cure.

의 함수로 도시한 결과이다. 모든 경우에 있어서 선형적인 비례관계를 나타내었고, 완전가교의 경우 영탄성율은 EPDM>SBR>NR>BIMS 순으로써 전술한 가황특성의 최대토크와 일치하였다. 각 곡선의 기울기는 범용고무재료인 NR과 SBR이 비교적 유사한 값

을 보였고, EPDM과 BIMS가 각각 가장 큰 값과 가장 낮은 값을 나타내었다. 이 결과는 각 고무에 적용한 가교시스템이 다르고 고무마다 가교거동이 다르기 때문에 비교평가가 어렵다고 판단된다. 한편 가교되지 않은 고무시편(NC, no cured)의 경우 시편에 무게추를 가하면 흐름현상(flow behavior) 때문에 영탄성을 측정하기 불가능하였다. 따라서 Fig. 4에서와 같이 외삽법에 의해 영탄성을 유추하였고, 필요한 경우 이 값을 사용하였다. 모든 경우 0보다 큰 값의 영탄성을 나타내었다.

3. 인열강도, G_c

완전가교 상태의 각 재료에 대한 강도를 비교하기 위해 온도를 달리하여(30°C~120°C) trouser tear 시험법을^{10,13} 이용하여 인열강도를 측정하였다. Fig. 5는 4종류의 고무에 대한 인열힘, F (tear force)을 변위, d (displacement)에 대해 도시한 결과를 보여주고 있다. NR의 경우 톱날형 곡선 모양이 두드러져 노티인열(knotty tear)^{14,15} 거동이 주도적으로 나타난 반면, SBR, EPDM, BIMS의 경우는 NR의 경우보다 매끄러운 곡선모양을 나타내어 상대적으로 노티인열 현상이 작게 나타난 것을 알 수 있었다. NR의 경우 변형유도 결정화(strain-induced crystallization) 현상에 기인된 균열진행 방향의 변경, 즉, 노티인열 현상이 두드러지게 나타난 것으로 판단된다.¹⁴ Gent와 Henry는¹⁴ NR, SBR, BR 고무가 노티인열 현상을 일으키는 시험조건(온도 및 인열속도)을 조사하였는데, NR 고무가 비교적 넓은 영역의 시험조건에서 노티인열을 나타낸다고 보고한 바 있어 본 연구에서 천연고무의 두드러진 노티인열 거동을 뒷받침하고 있다. 그러나 SBR의 경우 문헌상의 노티인열 발생조건(온도구간 : 50°C~100°C, 인열속도 : 0.008cm/sec)¹⁴에서 노티인열 현상이 관찰되지 않았다. 이는 본 실험에서 인열시편의 변형을 최대한 줄이고 동시에 균열경로(crack path)를 일정하게 유지시킬 목적으로 부착한 받침판(backing plate) 사이의 간격이 약 5mm로써

비교적 좁기 때문에 노티인열의 발생을 어느정도 억제하였기 때문으로 판단된다. Gent와 Henry의 설명에 의하면¹⁴ 받침판 간격에 따라 인열강도가 약 10배 차이를 보일수 있다고 하였다.

Fig. 5의 인열힘에 대한 평균값으로부터 인열에너지, G_c 를 계산하여 표준편차와 함께 Fig. 6에 온도의 함수로 도시하였다. 온도증가에 따라 전체적으로 인열에너지가 감소하는 경향을 보였고, 감소폭은 고무종류에 따라 다른 경향을 나타내었다. 즉, 본 실험의 온도 범위(30~120°C)에서 NR과 EPDM은 약 8~9배, BIMS가 3배의 감소폭을 보인 반면, SBR의 경우는

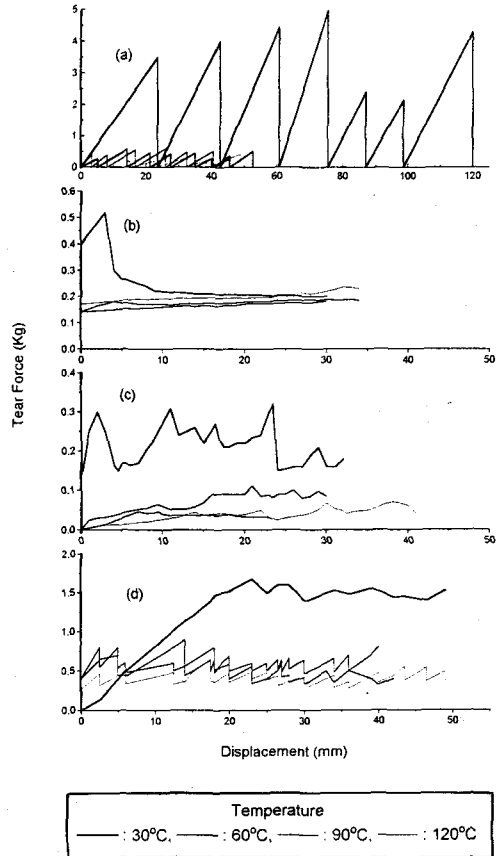


Fig. 5. Relations between tear force, F and tearing distance of the fully cured rubber compounds.; (a) NR, (b) SBR, (c) EPDM, and (d) BIMS.

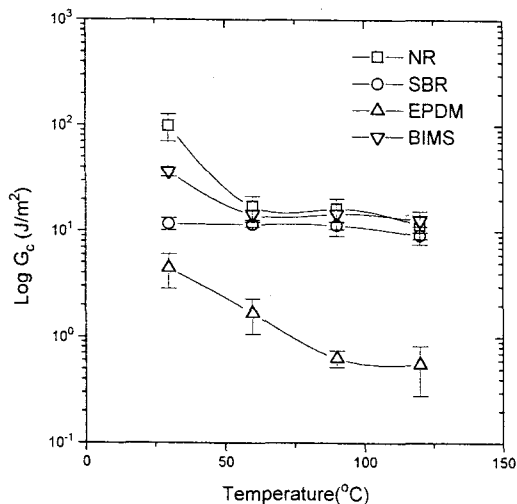


Fig. 6. Tear energy, G_c versus test temperature of the fully cured rubber compounds.

미세한 변화만을 나타내었다. SBR이 가장 작은 감소 폭을 보이는 현상은 Fig. 5에서와 같이 본 실험의 온도구간에서 노티인열 현상이 작았기 때문으로 생각된다. 한편 인열강도, G_c 는 $NR > BIMS > SBR > EPDM$ 의 순으로 나타나서 천연고무 재료가 본 실험 조건에서는 가장 강한 재료인 것으로 나타났는데, 이는 천연고무의 높은 노티인열 거동에 기인된 것으로 판단된다. 또한 EPDM은 가장 낮은 인열강도를 나타내었는바, 이는 EPDM이 다음절에서 언급될 인장특성에서와 같이 상대적으로 낮은 파괴신율(strain at break)로 인한 낮은 변형에너지밀도(strain energy density)와 Fig. 4에서 볼 수 있는바와 같이 영탄성율이 가장 높아서 상대적으로 균열선단직경이 작기 때문에¹⁶ 기인된 현상으로 판단된다. 이와같은 결과로 미루어 고무재료의 강도는 노티인열 현상과 균열선단직경에 크게 의존하는 것으로 나타났다. 따라서 각 재료에 대한 노티인열 거동이 발생하는 조건과 정도에 따른 균열선단직경에 대한 보다 체계적인 연구가 절실히 요구된다.

4. 인장특성 및 팽윤거동

각 고무재료의 인장특성에 미치는 과가황(over-

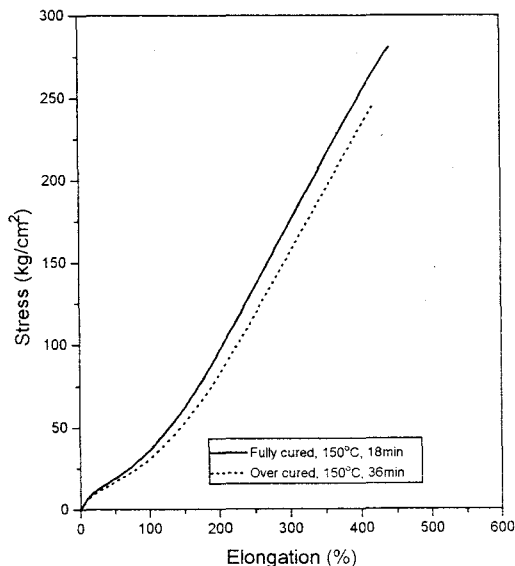


Fig. 7. Stress versus elongation of NR.

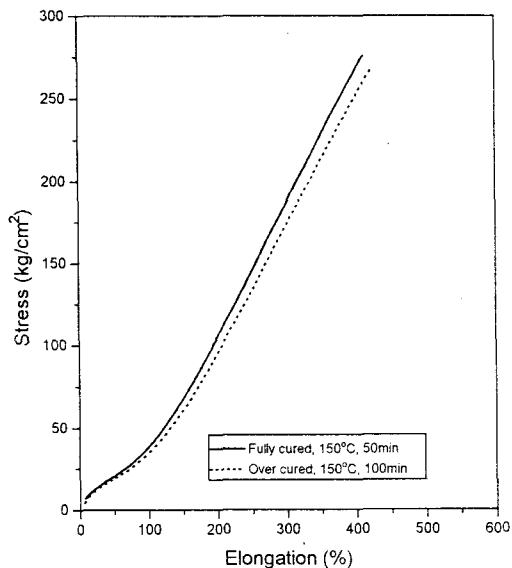


Fig. 8. Stress versus elongation of SBR.

cure) 영향을 조사하기 위해 적정가황 조건으로 가황시킨 시편과 과도한 가황조건(적정가황시간의 2배)에서 가황시킨 시편을 준비하였고 이에대한 인장특성 결과를 Fig. 7-10에 도시하였다. 과가황 조건에서 NR은 비교적 큰 인장특성 변화(모듈러스, 인장강도,

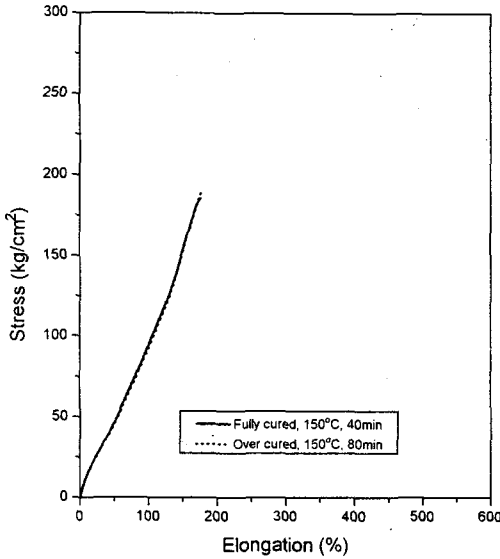


Fig. 9. Stress versus elongation of EPDM.

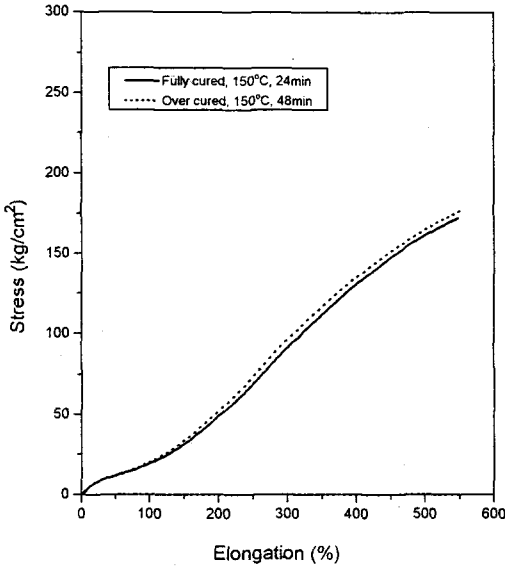


Fig. 10. Stress versus elongation of BIMS.

신율 등의 하락)를 나타내었다. 이는 Fig. 2에서와 같이 천연고무가 합성고무에 비해 역가교반응(reversion reaction)이 크게 나타나기 때문에 기인된다. 한편, SBR은 150% 이상의 비교적 높은 신율조건에서 모듈러스가 미세하게 감소하였고, EPDM의 경우 과

Table 3. Linear Swelling Ratio(r_s) and Difference Between Fully-cured Rubber (FC) and Over-cured Rubber (OC).

Rubber Type	r_s	Difference(%) ¹⁾
NR(Fully Cured)	2.78	0
NR(Over Cured)	2.91	+5
SBR(Fully Cured)	2.71	0
SBR(Over Cured)	2.75	+1
EPDM(Fully Cured)	1.93	0
EPDM(Over Cured)	1.93	0
BIMS(Fully Cured)	2.56	0
BIMS(Over Cured)	2.51	-2

¹⁾ Percentage of increase (+) or decrease (-) in swelling ratio of over-cured specimen with respective to that of fully-cured one

가황에 거의 영향을 받지 않았으며 BIMS는 150% 이상의 신율에서 오히려 미세한 모듈러스의 증가를 나타내었다. 이는 각 재료마다 과가황 조건에서 가교밀도의 변화경향이 다르기 때문으로 유추할 수 있다. 따라서 이를 확인하기 위해 톨루엔을 용매로한 팽윤실험을 통하여 평형상태의 선형팽윤비(linear swelling ratio)을 결정하였고 그 결과를 Table 3에 정리하였다. 선형팽윤비는 고무재료에 따라 1.9~2.9(실험오차: ± 0.01)의 범위를 나타내었다. NR과 SBR은 팽윤비가 증가하였고 EPDM은 거의 차이가 없었고 BIMS는 오히려 팽윤비가 감소하였다. 즉, 과가황에 따라 NR과 SBR은 가교밀도의 감소를 BIMS는 가교밀도 증가 경향을 의미한다. 이와같은 결과는 앞에서 언급한 인장실험 결과와 일치하는 결과이다. EPDM의 경우 과가황에 가장 안전한 재료인 것으로 나타났는데 이는 EPDM 고무 주사슬내의 이중결합이 없어 상대적으로 역가교반응이 작게 일어났기 때문에 기인된 현상으로 판단된다. 한편 EPDM과 마찬가지로 BIMS도 주사슬에 이중결합이 없기 때문에 과가황에 안정적일 것으로 예상되었지만 이 경우는 오히려 가교밀도가 미세하게 증가하는 결과를 나타내었다. 이는 BIMS 고무가 다른 고무재료와 달리 일반적인 가황시스템이 금속산화물 가황시스템을 적용하였기 때문에

기인된다고 판단되나 이에 대한 추가적인 연구가 필요 하리라 생각된다.

IV. 결 론

1. 완전가교 시편의 영탄성율은 EPDM>SBR>NR>BIMS 순으로써 가황특성의 최대토오크와 일치 하였다. 또한 영탄성율은 가황정도(가교도)에 선형적 으로 비례하였으며 그 기울기는 범용고무재료인 NR 과 SBR이 비교적 유사한 값을 보인 반면, EPDM이 가장 높은 값을 BIMS가 가장 낮은 값을 나타내었다.

2. 각 재료의 인열강도, G_c 는 NR>BIMS>SBR>EPDM의 순으로 나타났다. NR의 높은 인열강도는 두드러진 노티인열(knotty tearing) 현상에 기인되는 것으로 설명하였고, EPDM의 낮은 인열강도는 낮은 변형에너지밀도(strain energy density)와 높은 영탄 성율에 기인된다고 설명하였다.

3. 인장실험과 팽윤실험을 통하여 과가황 조건에서 NR과 SBR은 가교밀도가 감소한 반면 BIMS는 가교 밀도가 오히려 증가함을 확인하였다. EPDM은 고무 주사슬내 이중결합의 기여로 과가황에 가장 안정한 재 료인 것으로 나타났다.

참 고 문 헌

1. P. W. Dufton, *Inter. Rubber Conf.* '96, June 17-21, Manchester, England (1996).
2. W. Michael, *Rubber World*, **206**(3), 25 (1992).
3. J. Lynch and B. D. LaGrone, *The 130th Meeting of the Rubber Division, American Chemical Society*, October 7-10, Atlanta, Georgia, USA

- (1986).
4. W. C. Warner, *Rubber Chem. Technol.*, **67**, 559 (1994).
5. C. Nah and S. Kaang, *J. Polym. Eng.*, **17**(4), 323 (1997).
6. C. Nah and H. Kim, *Polymer (Korea)*, **21**(4), 648 (1997).
7. W. E. Nicholas, *Rubber Chem. Technol.*, **55**, 1499 (1982).
8. R. A. Swor, L. Jensen, and M. Budzol, *Rubber Chem. Technol.*, **53**, 1215 (1980).
9. A. A. Phadke, S. K. Chakraborty, and S. K. De, *Rubber Chem. Technol.*, **57**, 19 (1984).
10. H. W. Greensmith, L. Mullins, and A. G. Thomas, "The Chemistry and Physics of Rubber-like Substances", ed. by L. Bateman, Wiley (New York), Chap. 10 (1963).
11. D. H. Chang, Ph. D. Dissertation, Chonnam National University (1996).
12. Exxon Chemical Product Catalogue (1997).
13. R. S. Rivlin and A. G. Thomas, *J. Polym. Sci.*, **10**, 291 (1953).
14. A. N. Gent and A. W. Henry, *Proc. Inter. Rubber Conf.*, Maclaren and Sons, London, 193 (1968).
15. H. W. Greensmith, *J. Polym. Sci.*, **21**, 175 (1956)
16. A. K. Bhowmick, A. N. Gent and C. T. R. Pulford, *Rubber Chem. Technol.*, **56**, 226 (1982).