

HNBR/Silicone 고무의 상용성에 관한 연구

오택수 · 류진호 · 김창희

산업과학기술연구소 고분자응용연구팀, *광성고무물(주)

Compatibility Study of HNBR/Silicone Rubber Blends

Taeg-Su Oh, Jin-Ho Ryou, and Chang-Hee Kim*

Polymer Research Team, Research Institute of Industrial Science &
Technology(IRIST), Pohang, 790-330, Korea

*Kwangsung Rubber Roll Co. LTD., Sungnam, 462-120, Korea

ABSTRACT

The characteristic of silicone rubber can be seen from its resistance to both low and high temperature, whereas HNBR is resistant only in high temperature moderately although it can be compounded to give good tensile properties, good oil resistance while silicone rubber severely lacks in these qualities. This study was initiated a balance of properties by blending HNBR and silicone rubber which is not considered for commercial blending; blends of HNBR with silicone rubber tend to show immiscible due to dissimilar nature of silicone and HNBR, the possibility of phase separation cannot be ruled out, in unfilled system after vulcanisation leading to premature failure. Attempt has been made to improve compatibility and minimise the layer separation by the use of compatibilizer. Both filled and unfilled systems, in presence and absence of compatibilizer have been studied. Improvement in tensile properties of the blends or are observed as compared to the non-blended rubber. Different ratios of HNBR and silicone rubber are represented in this study. Blends of HNBR with silicone rubber were immiscible system. The tensile strength increased with filler loading.

I. 서 론

각종 고무는 그 원료 자체 만으로도 여러 가지 목적에 맞게 사용되어 왔으나, 각각 원료 고무의 장점을 모두 갖고 있는 고무의 개발을 위해서 두가지 이상의 수지를 혼합하여 새로운 종류의 고무 블렌드를 제조하

는 방법이 제시되었다. 그러나 다른 종류의 수지를 혼합하는 데에는 수지사이에 상용성이 문제가 되며, 이를 해결하는 방법으로 상용화제를 첨가하고 있으며, 이에 대한 연구가 꾸준히 진행되고 있는 실정이다.

silicone고무는 300°C의 고온에서 견디는 내열성과 -90°C에서도 견디는 내한성을 갖고 있으며, 비점착성

이다. silicone 고무에는 이중결합이 없으므로 내후성, 내오존성, 전기적 특성이 우수하다.^{1~2)} 단점으로는 인장강도가 낮고, 가격이 고가이다. HNBR(수소화 NBR, hydrogenated Nitrile Butadiene Rubber)은 NBR의 이중결합을 수소로 치환하여 제조된 고무로서 고온에서 인장강도등의 물성이 우수하며, 내유성 또한 우수하다. 그러나 silicone 고무와 마찬가지로 가격이 일반 NBR에 비해 고가이다.^{3~7)}

HNBR과 다른 종류의 수지와 블렌딩은 주로 PVC가 주를 이루고 있다.^{8~10)} silicone 고무와 다른 수지의 블렌딩은 매우 드문 경우로서 polyolefine과의 블렌딩에 대해서 연구한 경우는 있다. 그리고 silicone 고무에 다른 고무나 수지를 블렌딩하므로서 내용제성이 향상되고, 강도가 증가하며, 내연소성이 증가한다는 연구결과도 있다. 그러나 HNBR과 silicone 고무와의 블렌딩은 근본적으로 분자구조의 차이가 크기 때문에 대부분의 경우 계면에서 분리되는 현상을 나타내고 있으므로 이에 대한 연구는 매우 어려운 분야에 속한다. 그러나 여기에 상용화제를 사용하여 HNBR과 silicone 고무를 혼합을 가능하게 할수 있다. 본 연구에 사용되는 상용화제로는 coupling agent로 시판되고 있는 silane 화합물을 사용하였다. 이것은 계면에서의 HNBR과 silicone 고무를 결합을 증대시킬수 있으며, 충전제의 첨가에 의해서도 상용성을 향상시킬수 있다.^{11~12)}

본 연구에서는 HNBR과 silicone 고무를 상용성을 상용화와 충전제를 첨가하여 각각의 가황특성, 기계적 특성, 열적 특성, 미세조직 관찰등을 통하여 연구하였다.

II. 실험

원료 : 본 연구에서 사용한 silicone 고무는 SE6140(일우 silicone), HNBR은 Zetpol 2020L (Nippon Zeon), 가교제는 dicumyl peroxide(DCP, Taiwan Oil Chemical), 가교조제는 triallyl

isocyanulate(TAIC, 일본화성), 충전제는 Zeosil 65 (한불화학), 상용화제로는 γ -methacryloyloxypropyl tri-methoxy silane(KBM 503, Shin-Etsu 화학공업)을 사용하였다.

Master Batch(M.B.) 혼련 : Table 1.과 같은 배합비에 의하여 two roll mill에서 master batch를 제조하였다. 이때 open mill의 회전속도는 앞 roll은 18rpm, 뒷 Roll은 21rpm이다.

Master Batch Blending : Table 2와 같은 배합비

Table 1. Composition of Master Batch

	Silicone Master Batch	HNBR Master Batch
Silicone Rubber	100	-
HNBR	-	100
DCP	0.4	4
TAIC	-	4

Table 2. Composition of HNBR/Silicone Rubber Blend System

● Unfilled Blending without Compatibilizer

Compound No.	A1	A2	A3	A4	A5
Silicone M. B.	0	25	50	75	100
HNBR M. B.	100	75	50	25	0

● Unfilled Blending with Compatibilizer

Compound No.	B1	B2	B3	B4	B5
Silicone M. B.	0	25	50	75	100
HNBR M. B.	100	75	50	25	0
KBM 503	2	2	2	2	2

● Filled Blending without Compatibilizer

Compound No.	C1	C2	C3	C4	C5
Silicone M. B.	0	25	50	75	100
HNBR M. B.	100	75	50	25	0
Zeosil 65	15	15	15	15	15

● Filled Blending with Compatibilizer

Compound No.	D1	D2	D3	D4	D5
Silicone M. B.	0	25	50	75	100
HNBR M. B.	100	75	50	25	0
Zeosil 65	15	15	15	15	15
KBM 503	2	2	2	2	2

에 의해서 two roll mill에서 blending하였다. master batch의 제조시 silicone 고무는 80℃로 가열하였으며, HNBR은 상온에서 작업하였다. 그리고 블랜드의 제조시 40℃로 가열하여 시편을 제작하였다.

가황특성실험 : Rheometer(Monsanto type, 명지산업)를 이용하여 170℃에서 60분간 진폭각도 1도로 가황특성을 측정하였다.

물성실험 : Universal testing machine(Instron 4204)를 이용하여 KS 3호형 인장시편으로 500mm/min의 속도로 인장실험을 하였다. 시편은 상온, 70℃, 150℃의 오븐에서 7일간 방치, 그리고 150℃의 KS No. 3 Oil에서 7일간 침지후 물성실험을 하였다.

열적성질 실험 : Dynamic Mechanical Thermal Analyser(DMTA, Polymer Lab. MKⅢ)를 이용하여 bending mode에서 single cantilever로서 1Hz의 주파수로 -150~100℃의 온도범위에서 측정하였다.

미세조직관찰 : 고무시편을 액체질소에 담구어 파단시킨 후에 금을 표면에 코팅하였다. 그리고 Scanning Electron Microscope(SEM, Hitachi S-570)을 이용하여 25KeV의 전압에서 500배의 배율로 고무블랜드의 표면을 관찰하였다.

Ⅲ. 결과 및 고찰

Table 3은 Rheometer로 측정한 고무블랜드의 경화반응 특성이다. 여기에서 t_{90} 은 적정가황시간을 나타낸다. HNBR보다는 silicone 고무의 가황시간이 빠른 것을 나타내고 있다. 그리고 이것을 블랜드했을때 silicone 고무의 첨가에 의해서 가황시간이 빨라지는 것을 알 수 있었다. 여기에서 충전제 첨가에 따른 적정 가황시간의 감소는 충전제가 염기성 소석회로서 가황을 촉진하는 현상을 나타내고 있기 때문이다. 즉 충전제가 첨가되었을 때 가황시간은 약간 빨라지는 현상을 나타내고 있다. 그리고 상용화제의 첨가에 의한 영향은 거의 없었으며, 오히려 적정 가황 시간이 불규칙하게 나타나는 현상을 보였다. 그리고 가장 빠른 가황

Table 3. Curing Properties of HNBR/Silicone Rubber Blends

Compound No.	ML (Nm)	MHF (Nm)	ts2 (time)	t ₁₀ (time)	t ₅₀ (time)	t ₉₀ (time)	t ₂₈₀ (time)
A1	2.3	17.5	2:34	2:14	6:48	17:58	15:44
A2	2.3	24.7	1:59	2:03	5:13	12:49	10:47
A3	1.9	29.3	2:00	2:13	4:47	11:27	9:14
A4	1.5	26.0	2:17	2:26	4:32	10:23	8:03
A5	1.3	19.5	2:41	2:36	4:29	8:56	6:20
B1	2.3	25.1	2:00	2:08	5:46	15:20	13:12
B2	2.3	28.9	1:33	1:54	6:40	18:03	16:09
B3	2.0	36.3	1:32	2:17	5:50	14:59	12:42
B4	1.5	30.7	2:21	2:54	6:27	14:06	9:12
B5	1.5	21.6	3:50	3:50	8:48	16:25	12:25
C1	2.6	21.8	2:16	2:13	6:11	15:12	12:59
C2	4.4	35.3	1:41	2:00	4:58	12:36	10:36
C3	4.7	47.0	1:39	2:07	4:28	11:19	9:12
C4	3.5	41.0	1:52	2:17	4:17	10:38	8:21
C5	3.4	36.8	2:11	2:27	4:03	8:01	5:34
D1	2.5	25.6	1:55	2:03	6:06	16:24	14:21
D2	5.0	50.1	1:26	1:58	5:02	14:50	12:52
D3	4.6	52.1	1:31	2:09	4:46	12:52	10:43
D4	3.3	45.1	1:42	2:12	4:06	9:56	7:44
D5	2.4	35.9	1:30	1:43	3:15	7:34	5:51

시간을 나타낸것은 D5로 충전제의 영향과 상용화제의 영향을 동시에 받은 것으로 나타났다.

Fig. 1은 HNBR/silicone(50/50) 블랜드의 경화반응을 170℃에서 시간에 따라 torque의 변화로 나타낸 것이다. 여기에서 아무것도 들어가지 않은 A3가 가장 낮은 torque 값을 나타내고 있었으며, 그 다음이 상용화제, 그리고 충전제, 상용화제와 충전제가 같이 들어간 조성으로 나타났다. 여기에서 상용화제의 첨가에 의해서 가황 도중에 torque의 변화가 일어나며, 증가시키는 현상을 보여주고 있었다.

Fig. 2는 조성 A의 인장강도를 각종 온도 및 열처리조건에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 상온에서의 경우보다 70℃에서 높은 경향을 나타내고 있었으며, 150℃의 경우 오븐에서 7일간 방치 했을 경우 높은 인장강도 값을 나타내는 것을 보여주고 있었으며,

HNBR과 silicone 고무의 조성비가 50/50의 경우에 가장 높은 인장강도의 값을 나타내고 있었다. 그리고

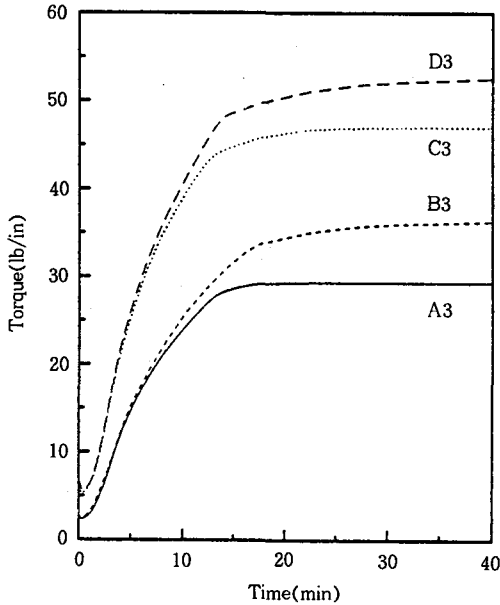


Fig. 1. Cure Characteristics of HNBR/Silicone Rubber(50/50) Blends at 170°C.

silicone 고무가 75%와 100%들어가는 A4와 A5의 경우 150°C의 oil에 7일간 침지시킨 시편의 인장강도가 가장 높게 나타나고 있었다. 즉 silicone 고무의 내유성이 우수하다는 것을 나타내고 있었다.

Fig. 3은 상용화제를 사용한 조성 B의 인장강도를 각종 온도 및 열처리조건에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 상온에서의 경우보다 70°C에서 높은 경향을 나타내고 있었으며, 150°C의 경우 오븐에서 7일간 방치했을 경우 가장 낮은 인장강도를 나타내었다. 그리고 150°C의 oil 침지시켰을 때는 상온과 150°C 오븐에서 7일간 방치했을 경우보다 높은 인장강도 값을 나타내는 것을 보여주고 있었다. HNBR과 silicone 고무의 조성비가 50/50의 경우에 가장 높은 인장강도의 값을 나타내고 있었으며, 상용화제를 사용하지 않은 A의 경우보다 다소 높은 인장강도를 나타내고 있었다.

Fig. 4는 충전제를 사용한 조성 C의 인장강도를 각종 온도 및 열처리조건에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 상온에서의 경우보다 70°C에서 높은 경향을 나타

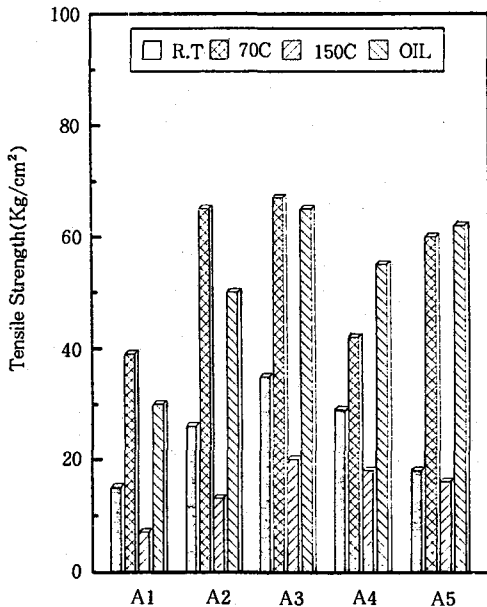


Fig. 2. Tensile Strength of A Systems.

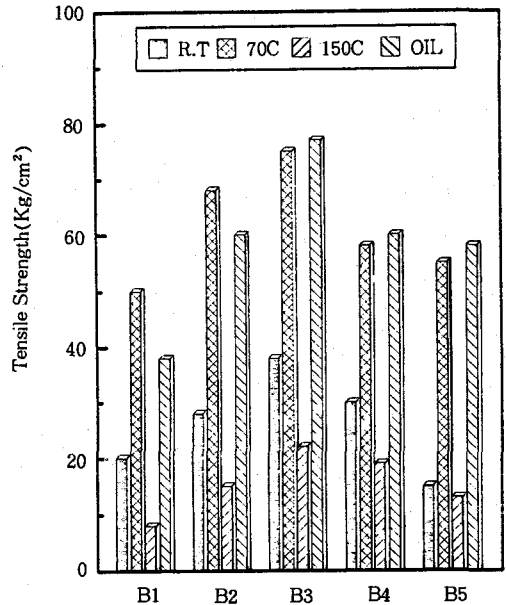


Fig. 3. Tensile Strength of B Systems.

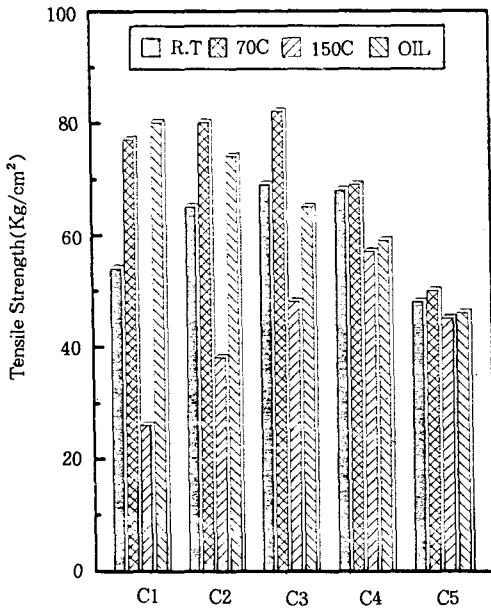


Fig. 4. Tensile Strength of C Systems.

내고 있었으며, 150°C의 경우 오븐에서 7일간 방치했을 경우 가장 낮은 인장강도를 나타냈다. 그리고 150°C의 oil에 침지 시켰을 때는 상온과 150°C 오븐에서 7일간 방치했을 경우보다 높은 인장강도 값을 나타내는 것을 보여주고 있었다. HNBR과 silicone 고무의 조성비가 50/50의 경우에 가장 높은 인장강도의 값을 나타내고 있었다.

Fig. 5는 상용화제와 충전제를 사용한 조성 D의 인장강도를 각종 온도 및 열처리조건에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 상온에서의 경우보다 70°C에서 높은 경향을 나타내고 있었으며, 다른 경우에는 다르게 HNBR의 함량이 많은 경우에 다른 조성에 비하여 높은 인장강도의 값을 나타내고 있었다. 그리고 4가지의 조성을 모두 비교하여 보면, 충전제의 첨가가 상온에서의 인장강도를 높이는 주요한 원인인 것으로 판단된다. 그리고 상용화제로 사용된 것은 γ -methacryloyloxypropyl trimethoxy silane(coupling agent의 한종류)로서 충전제와 고무 matrix 사이에 결합을 증가시켜 주기 때문에 조성 D의 경우 다른 조성에 비하여 인장강도가 모두 높은 값을 보여주고 있었다.

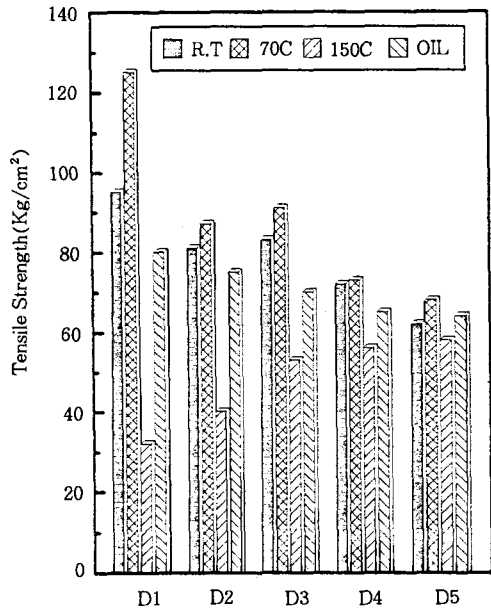


Fig. 5. Tensile Strength of D Systems.

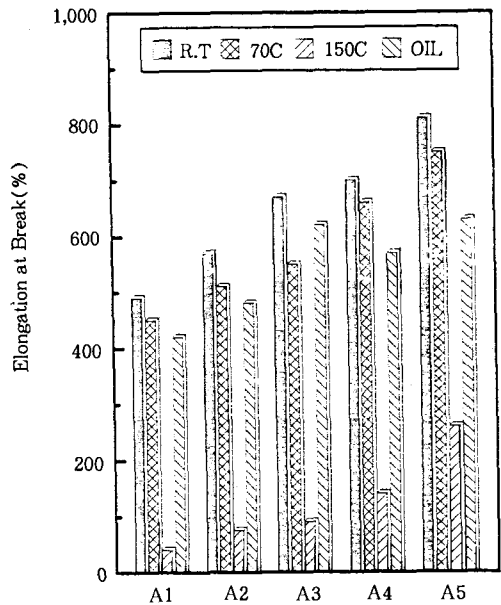


Fig. 6. Elongation at Break of A Systems.

Fig. 6은 조성 A의 신장률을 각종 온도 및 열처리 조건에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 silicone 고무의 함량이 증가함에 따라 신장률은 증가하는 현상을 나타내고 있었으며, 150°C의 경우 오븐에서 7일간 방치

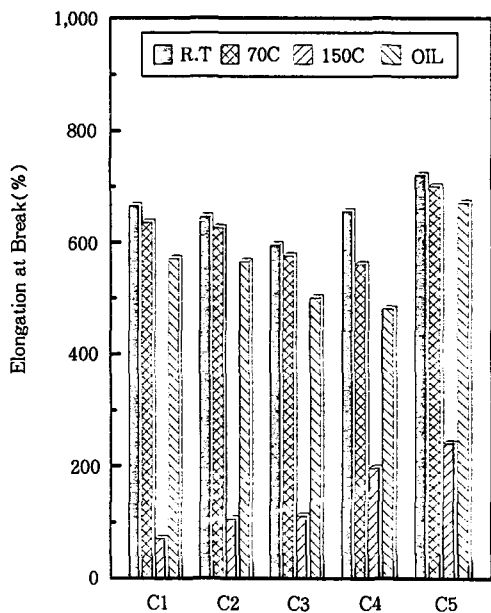


Fig. 7. Elongation at Break of C Systems.

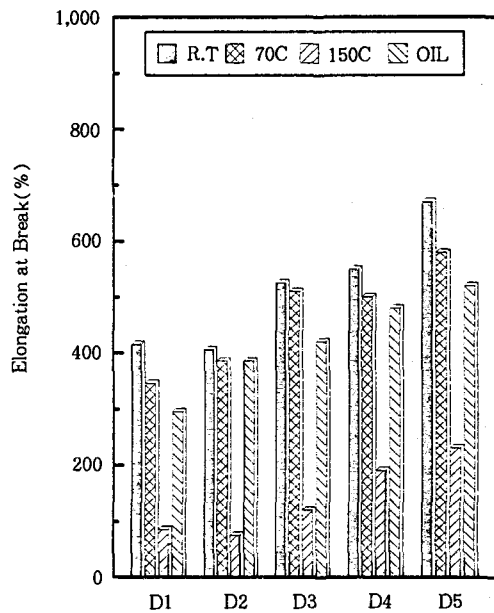


Fig. 8. Elongation at Break of D Systems.

했을 경우 가장 낮은 신장률을 나타냈다. 그리고 상온에서의 신장률이 어떤 경우에도 가장 높은 값을 보여주고 있었다. 그리고 이와 같은 현상은 B와 같이 상용화제를 첨가한 경우에도 비슷한 경향을 나타내고 있었다.

Fig. 7은 충전제를 사용한 조성 C의 신장률을 각종 온도 및 열처리조건에 따라 나타낸 것이다. 이 경우에도 Fig. 5와 마찬가지로 상온에서의 경우 다른 처리조건과 비교하여 높은 신장률을 나타내고 있었으나, 50/50의 경우에 다른 조성에 비하여 낮은 값을 나타내고 있었다. 그리고 충전제의 첨가가 HNBR이 많은 부분에서는 신장률에 유리하나 silicone 고무가 많은 경우에는 그다지 도움이 되지 않는 것을 나타내고 있었다.

Fig. 8은 상용화제와 충전제를 사용한 조성 D의 신장률을 각종 온도 및 열처리조건에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 silicone 고무를 함량이 증가함에 따라 신장률이 증가하는 현상을 보이고 있으며, 조성 C와는 다른 경향으로 A와 B에서와 유사한 현상을 나타내고 있다. 그리고 상온, 그 다음에 70°C 오븐 방치,

150°C oil 침지, 150°C 오븐 방치의 순으로 신장률이 나타나고 있었다.

Fig. 9는 조성 A의 storage modulus를 온도에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 HNBR이 100%인 A1의 경우 HNBR의 Tg인 -15°C 근처에서 storage modulus의 급격한 감소가 나타나는 것을 보여주며, A5의 경우 silicone 고무를 Tg인 -40°C에서 storage modulus의 급격한 감소가 나타나는 것을 보여주고 있다. 그리고 HNBR과 silicone 고무를 블렌드인 A2, A3, A4는 함량비에 따라서 중간에 전이가 나타나고 있었다. 이와 같은 사실로서 NBR/silicone 고무 블렌드의 상용성은 없는 것으로 판단된다.

Fig. 10은 조성 A의 loss tangent를 온도에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 HNBR이 100%인 A1의 경우 HNBR의 Tg인 -15°C 근처에서 날카로운 피크가 나타나는 것을 보여주며, A5의 경우 silicone 고무를 Tg인 -40°C에서 아주 적은 피크가 나타나는 것을 보여주고 있다. 그리고 HNBR과 silicone 고무를 블렌드인 A2, A3, A4는 함량비에 따라서 HNBR의 Tg인 -15°C 근처에서 피크의 높이가 낮아지고 있었

다. 이와 같은 사실로서도 NBR/silicone 고무 블렌드의 상용성은 없는 것으로 판단된다. 그리고 sili-

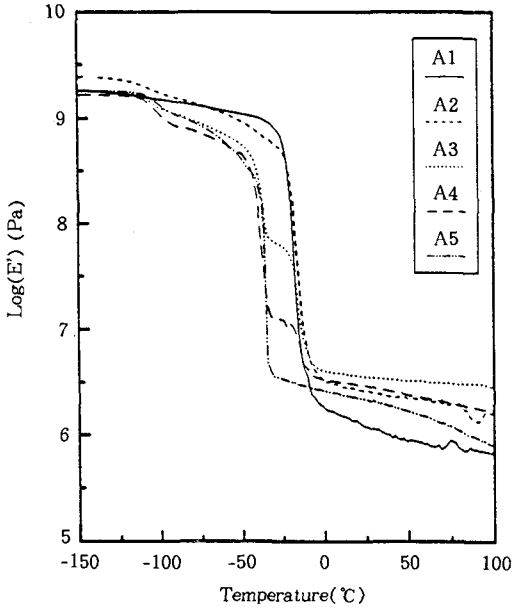


Fig. 9. Storage Modulus of A Systems.

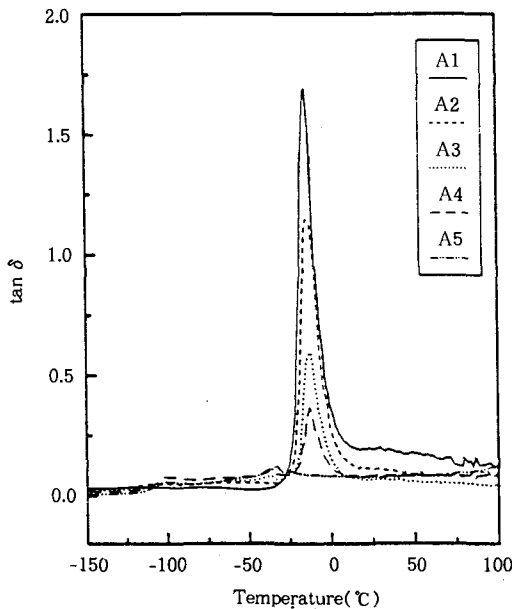


Fig. 10. Loss Tangents of A Systems.

cone 고무를 Tg인 -40°C에서는 원래 피크의 크기가 적기 때문에 함량에 따른 피크의 높이 변화를 확인할 수 없었다.

Fig. 11은 HNBR/Silicone(50/50) 고무의 storage modulus를 온도에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 A3와 B3의 경우 확실한 전이가 나타나는 것을 알 수 있으나, C3와 D3의 경우 약간의 상용화에 대한 가능성을 보여주고 있다. 그러나 이것은 상용화제에 의한 영향이라기 보다는 충전제에 의한 영향으로 판단된다.

Fig. 12는 HNBR/silicone(50/50) 고무의 loss tangent를 온도에 따라 나타낸 것이다. 여기에서 HNBR의 Tg인 -15°C 근처에서 날카로운 피크가 나타나는 것을 보여주며, silicone 고무의 Tg인 -40°C에서 아주 적은 피크가 나타나는 것을 보여주고 있으나 상용화제의 첨가에 의한 영향을 확인할 수는 없었다.

Fig. 13은 HNBR과 silicone(75/25) 고무 블렌드의 파단 표면 형상을 SEM으로 관찰하였다. 여기에서

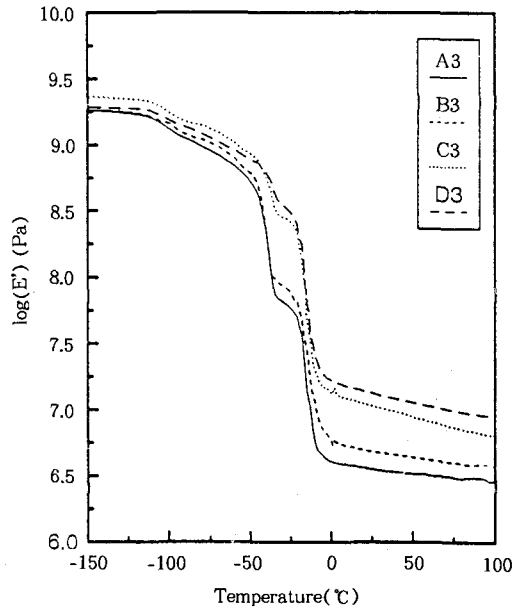


Fig. 11. Storage Modulus vs. Temperature of HNBR/Silicone Rubber(50/50) Blends.

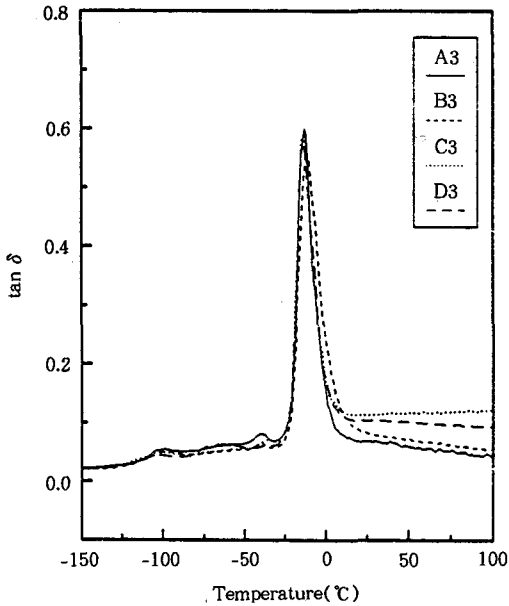


Fig. 12. Loss Tangent vs. Temperature of HNBR/Silicone Rubber(50/50) Blends.

A2의 경우 HNBR과 Silicone 고무의 상용성이 없기 때문에 두개의 상이 확실하게 나타나고 있는 것을 보여 주고 있다. 그러나 상용화제가 첨가된 B2의 경우 두 상사이의 경계가 흐릿해 지는 것을 볼 수 있었으며, 이것은 약간의 상용성이 있다는 증거이다. 그리고 충전제만이 첨가된 C2의 경우 충전제의 영향으로 두상 사이의 경계가 없는 것과 같이 보이나, 이것은 충전제의 첨가에 의해서 경계가 잘 나타나지 않는 것으로 생각된다. 그리고 D2의 경우 상용화제의 첨가에 의해서 이와 같은 현상이 심해지는 것으로 판단된다.

Fig. 14는 HNBR과 silicone(50/50) 고무 블렌드의 파단 표면 형상을 SEM으로 관찰하였다. 여기에서 A3의 경우 HNBR과 silicone 고무의 상용성이 없기 때문에 두개의 상이 약간 흐릿하게 나타나고 있는 것을 보여주고 있다. 그러나 상용화제가 첨가된 B3의 경우 두상사이의 경계가 더욱 흐릿해 지는 것을 볼 수

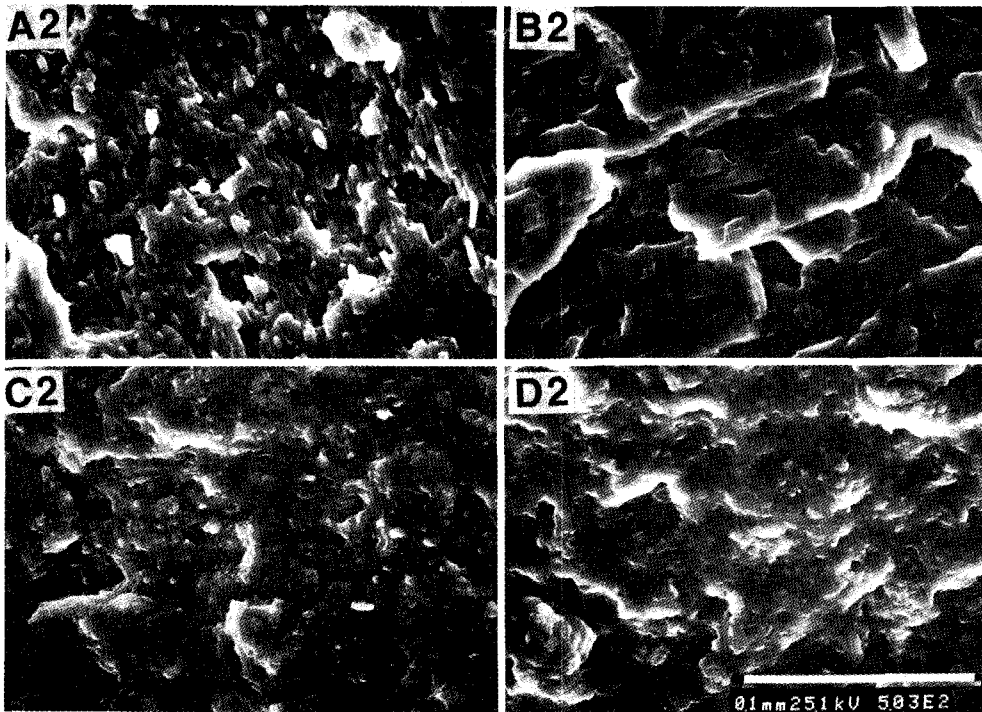


Fig. 13. SEM Photograph of HNBR/Silicone Rubber(75/25) Blends.

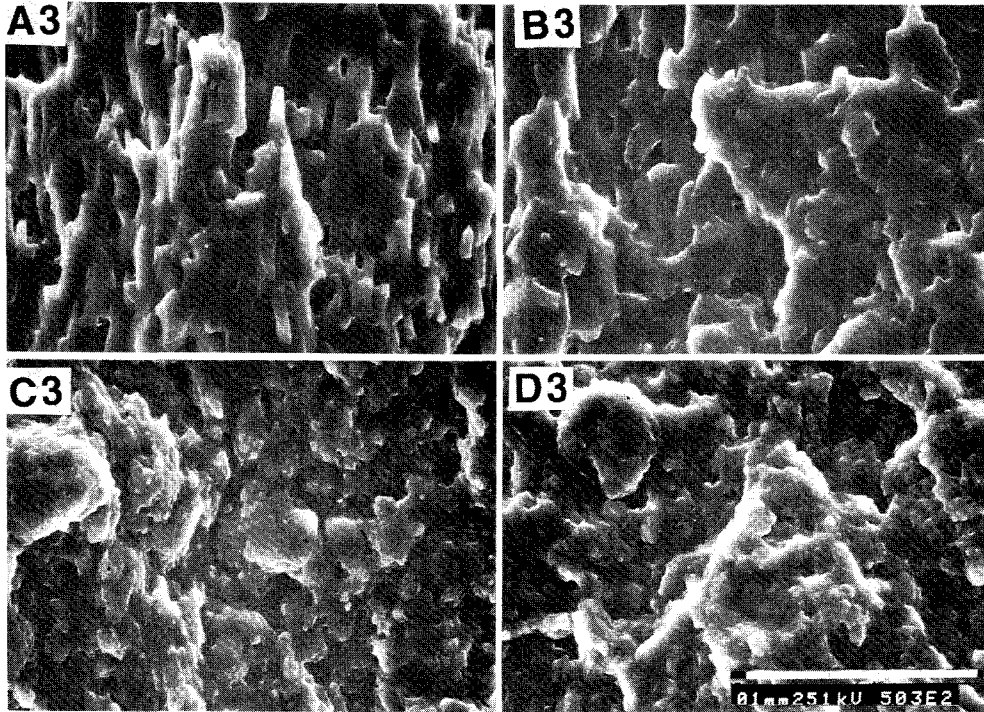


Fig. 14. SEM Photograph of HNBR/Silicone Rubber(50/50) Blends.

있었으며, 이것은 약간의 상용성이 있다는 것을 알 수 있었다. 그리고 충전제만이 첨가된 C3의 경우 충전제의 영향으로 두상사이의 경계가 없는 것과 같이 보이나, 이것은 충전제의 첨가에 의해서 경계가 잘 나타나지 않는 것으로 생각된다. 그리고 D3의 경우 상용화제의 첨가에 의해서 이와 같은 현상이 심해지는 것으로 판단된다.

Fig. 15는 HNBR과 silicone(25/75) 고무 블렌드의 파단 표면 형상을 SEM으로 관찰하였다. 여기에서 A4와 B4의 경우 두상사이의 경계가 흐릿해 지는 것을 볼 수 있었으며, 이것은 약간의 상용성이 있다는 것을 알 수 있었다. 그리고 충전제가 첨가된 C3와 D4의 경우 충전제의 영향으로 두상사이의 경계가 없는 것과 같이 보이나, 이것은 충전제의 첨가에 의해서 경계가 잘 나타나지 않는 것으로 생각된다.

HNBR과 silicone 고무 블렌드는 상용성이 거의 없는 고무로서 이것에 상용성을 부여하기 위해서는 여러

가지 상용화제의 첨가가 필요하다. 본 연구에서는 상용화제로서 γ -methacryloyloxypropyl trimethoxy silane을 사용하였으나 coupling agent로서의 성능이 강력하여 충전제가 들어 갔을 경우에 효과를 나타내고 있음을 나타내고 있었다. 그러므로 다른 종류의 상용화제를 찾아서 이와 같은 실험을 해보면 HNBR과 silicone 고무 블렌드의 상용성을 증대시켜서 양쪽 고무의 장점을 살릴 수 있는 새로운 고무 시스템을 개발할 수 있을 것이다.

V. 결 론

HNBR과 silicone 고무 블렌드의 상용성에 대하여 연구한 결과의 결론은 다음과 같았다.

1. 충전제의 사용에 의하여 스코치 시간과 최적 가황시간이 빨라졌으며, 상용화제와의 혼용은 스코치 시간과 가황시간의 단축을 촉진 시켰다.

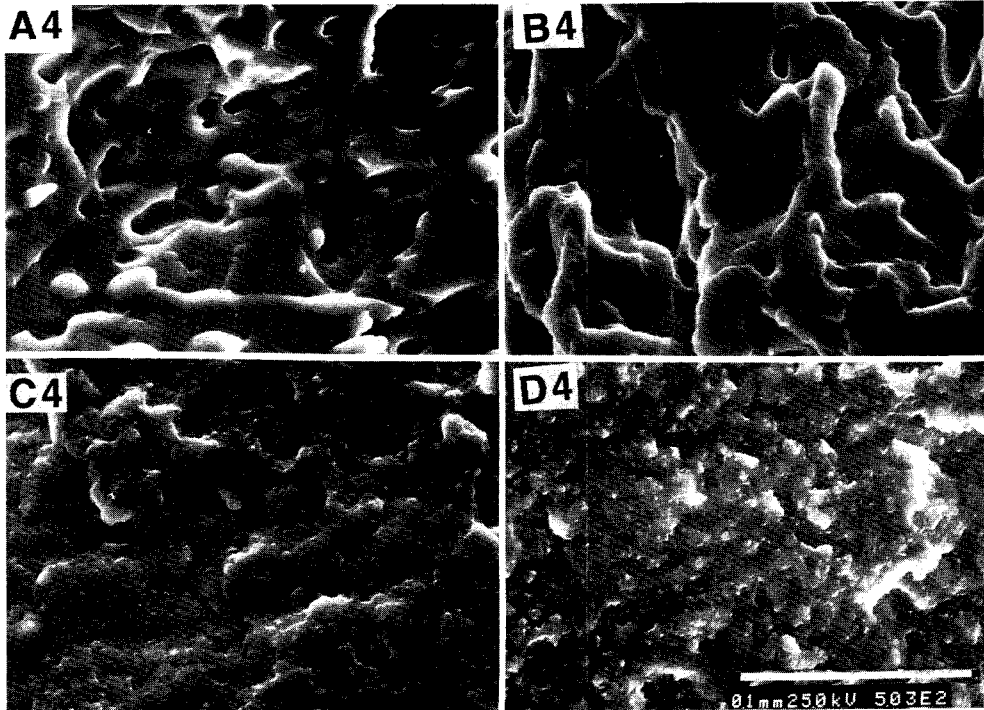


Fig. 15 . SEM Photograph of HNBR/Silicone Rubber(25/75) Blends.

2. 본 연구에서 사용한 γ -methacryloyloxypropyl tri-methoxy silane은 HNBR과 silicone 고무 블랜드의 상용화제로서의 효과가 미흡하였다.

3. HNBR과 silicone 고무를 기계적 물성은 충전제의 첨가에 의하여 인장강도가 급격히 향상되었다.

4. 열분석 및 미세조직관찰을 통하여 HNBR과 Silicone 고무 블랜드는 상용성이 없는 계라는 것을 알았다. 그러나 충전제의 첨가가 상용성 증대에 영향을 주며, 충전제와 상용화제를 동시에 사용했을 때 그 효과가 더욱 발휘되었다.

참 고 문 헌

1. P. R. Johnson, *Rubber Chem. & Tech.*, **40**, 650 (1976).
2. 韓國고무學會, “基礎고무技術”, (1983).
3. P. Thavamani and A. K. Bhowmick, *Rubber*

Chem. & Tech., **67**, 129 (1994).

4. J. G. Sommer, *Rubber Chem. & Tech.*, **58**, 662 (1985).
5. P. Thavamani and A. K. Bhowmick, *J. of Material Sci.*, **27**, 3243 (1992).
6. P. Thavamani, D. Khastgir, and A. K. Bhowmick, *J. of Material Sci.*, **28**, 6318 (1993).
7. P. Thavamani and A. K. Bhowmick, *Rubber Chem. & Tech.*, **65**, 31 (1992).
8. D. D. Sotiropoulou, O. E. Avramidou, and N. K. Kalfoglou, *Polymer*, **34**, 2297 (1993).
9. N. R. Manoj and P. P. De, *Polymer Degradation and Stability*, **44**, 43 (1994).
10. N. R. Manoj, S. K. De, and P. P. De, *Rubber Chem. & Tech.*, **60**, 550 (1993)
11. A. K. Bhowmick, T. Chiba, and T. Inoue, *J. of*

Appl. Polym. Sci., **50**, 2055 (1993).

12. M. S. Banerji, K. R. Krishnan, S. W. Millns,
and C. S. Harindranath, ACS Rubber Division

Meeting Paper No. 145, Orlando, Florida, Oc-
tober 26-29 (1993).