

## 실리콘 복합체의 내화 및 전기 특성에 관한 연구

이 해 준<sup>†</sup> · 이 성 일\*

<sup>†</sup>(주)해룡실리콘, \*충주대학교

(2003년 4월 23일 접수, 2003년 6월 25일 수정, 2003년 7월 21일 채택)

### A Study on the Flame Retardance and Electrical Properties of Silicone Composites

Hae Joon Lee<sup>†</sup>, Sung Ill Lee\*

<sup>†</sup>Hae Ryong Silicone Co., Ltd, \*Dept. of Safety Eng., Chungju National University

(Received April 23, 2003, Revised June 25, 2003, Accepted July 21, 2003)

요 약 : 배합고무에 각종 표면처리제로 처리한 수산화 알루미늄을 무게비 100:20, 100:40, 100:60, 100:80 및 100:100으로 배합하여 고압에사용 실리콘 복합체(HVI SC)를 제조하였다. 배합 공정에서 지방산, 아크릴 실란 및 비닐 실란등의 표면처리제로 수산화 알루미늄을 표면처리 하였다. 수산화알루미늄의 첨가량 및 표면처리제의 종류에 따른 기계적 특성 및 전기적 특성을 연구하였다. 수산화 알루미늄의 첨가량이 증가하면서 인장강도, 신장율 및 인열강도는 감소하였으며, 비닐 실란으로 표면처리한 수산화 알루미늄을 첨가한 HVI SC의 인장강도 및 탄성율은 지방산 및 아크릴 실란을 사용한 HVI SC 보다 우수하였다. 또한 비닐 실란을 사용한 HVI SC의 체적저항, 절연파괴강도 및 내트래킹 특성이 지방산 및 아크릴 실란을 사용한 HVI SC 보다 우수하였다. 표면처리제의 종류에 따른 실리콘 복합체의 고분자 충전작용은 결합고무 함량으로 검토하였다. 실험의 결과로는 비닐 실란을 표면처리제로 사용한 실리콘 복합체의 결합고무 함량이 다른 표면처리제를 사용한 것 보다 높았다. 표면처리제의 종류에 따른 실리콘 복합체의 가교밀도는 Rheometer로 측정하였다. 비닐 실란을 표면처리한 수산화 알루미늄을 충전한 실리콘 복합체의 최대토크가 다른 표면처리제를 사용한 것들 중에 가장 높았다.

**ABSTRACT** : Silicone composites for high voltage insulator (HVI SC) were prepared by adding aluminum trihydrate(ATH) treated by surface treatment agent to base silicone compound at the ratio of 100:20, 100:40, 100:60, 100:80, and 100:100, respectively. And also, ATH was treated by various surface treatment agents, such as stearic acid, acryl silane, and vinyl silane under compounding process. Mechanical properties and electrical properties were investigated for the various contents of ATH and surface-treatment agents. Mechanical properties such as tensile strength, elongation, and tear strength decreased as the load of ATH increased. Volume resistivity, AC break down strength, and tracking resistance for HVI SC containing ATH treated by vinyl silane were better than those for HVI SC containing ATH treated by other surface treatment agents, such as stearic acid and acryl silane. Polymer-filler interaction of silicone composites according to surface treatment agents was studied by measuring bound rubber contend(BR). From the experimental results, BR of silicone composite containing ATH treated with vinyl silane was higher than that of the others. The degree of cure for silicone composite was investigated using Rheometer. Maximum

<sup>†</sup>대표저자(e-mail : ltggood@hanmir.com)

torque of silicone composites containing ATH treated with vinyl silane was higher than that of silicone composite containing ATH treated with other surface agents.

*Keywords* : high voltage insulator, aluminum trihydrate, silicone composites

## I. 서 론

산업이 발전하면서 우리나라의 전력수요는 양적인 면에서 급성장하였을 뿐만 아니라 부하의 성격도 집중화되는 추세에 있다. 따라서 이런 수요에 대응하기 위해 송배전 전압을 꾸준히 높이는 작업을 추진하고 있으며 각종 전력계통에 연결되어 있는 각종 전력기기의 조건도 보다 높은 전압에 견딜 수 있게 설계될 것이다.

이중에서도 절연체의 절연 및 난연은 전력기기의 수명과 안정성을 결정짓는 중요한 요소이고 따라서 보다 절연성능과 난연 특성이 뛰어난 절연체의 개발이 시급한 실정이다.

실리콘은 C. Friendel과 J. M. Crafts가 1863년에 분자 내에 규소와 탄소의 결합을 갖는  $(C_2H_5)_2Si(C_2H_5)_2$ 에 대하여 "실리콘(silicone)" 혹은 실라놀(silanol)로 명명된 것에서 시작된 실리콘은 20세기에 들어서 F. Kipping과 W. Dilthey의 광범위한 연구가 있었으며 1930년대부터 1940년대에 걸쳐 미국에서 Corning Glass사의 J. F. Hyde와 GE사에 의해 실용화 연구가 행해졌다.<sup>1-3</sup> 1941년에 E. G. Rochow가 직접법이라 칭하는 우수한 방법으로 메틸(methyl) 및 페닐클로로실란(phenylchlorosilane)을 합성하는데 성공하여 상업화가 시작되었다.<sup>4,5</sup>

실리콘 고분자는 축쇄의 종류에 Oil, Resin 및 Rubber 등으로 분류되는데, 특히 시료로 선정된 실리콘 고무는  $-70^\circ C$ 의 대단히 낮은 저온에서도 유연성이 우수하며  $200^\circ C$  이상의 고온에서도 내 코로나성, 내 오존성, 내후성, 내열성 및 전기 특성이 대단히 우수하여 전기 전자산업에서는 절연체재료로 그리고 자동차, 항공기, 의료 및 생활용품 등에서도 광범위하게 사용되며 또한 도전성 실리콘 고무는 최근 컴퓨터 산업의 발달과 함께 각광을 받고 있다.<sup>6,7</sup> 이러한 실리콘 고무의 특성은 충전제, 가황제 및 첨가제의 종류나 배합 방식에 따라 그 특성

이 다양하게 변화한다.

그러나 이 실리콘 고무의 전기적 성질을 물성론적으로 연구함에 있어서는 분자 구조, 조직양상이 매우 복잡할 뿐 만 아니라 제조과정에서 많은 불순물이 포함하게 되므로써 물질내부의 본래의 특성을 규명한다는 것은 쉬운 일이 아니다. 일반적으로 전기 절연 재료로서의 실리콘 고무에 요구되는 성질은 여러 가지가 있으나 체적고유저항이 높고 절연 파괴 전압이 큰 것이 기본적인 요구사항이다.<sup>8-11</sup>

또한 고압 절연체재료로 응용되기 위해서는 절연 특성 뿐만 아니라 방화 특성 및 내 트래킹 특성이 필수적이다.

고압 절연체재료용 실리콘 복합체의 경우 내 트래킹 특성을 부여하기 위해 많은 량의 aluminium trihydrate(ATH)를 사용하고 있으나 ATH의 첨가에 따른 기계적 특성이 급격히 하락하는 문제가 제기되고 있다. 따라서 본 논문에서는 ATH를 컴파운드하는 과정에서 표면처리제의 종류를 달리하여 컴파운드함으로써 ATH와 silicone 고분자재료와의 유기-무기 결합을 유도함으로써 기계적 특성을 개량하고 전기특성에 미치는 영향을 연구하였다.

## II. 실험

### 1. 시 료

실리콘 고무는 VMQ형 실리콘 폴리머에 보강성 실리카를 이용하여 기계적 강도를 높여서 실제 산업 분야에 사용된다. 본 실험에 사용된 실리콘 고무분자는 Figure 1과 같은 구조를 갖는 것으로 Bayer사에서 공급받아 그대로 사용하였다.

보강성 실리카는 건식법으로 제조된 실리카를 사용하였다. 이를테면 수소와 산소의 존재하에서 사염화 규소를 고온으로 반응시켜 제조하는 방식

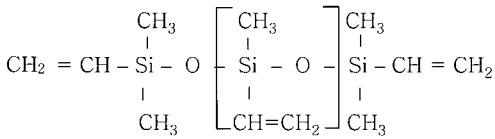


Figure 1. A chemical structure of VMQ type - silicone polymer.

으로 이런 제조공정으로 얻어진 실리카는 7~40 nm의 작은 입자경을 갖고 있으며 SiO<sub>2</sub>의 순도가 99.9%의 고순도인 건식실리카를 Degusa에서 공급받아 그대로 사용하였다. 가교제로 사용한 과산화물은 Aldrich에서 공급하는 2,5-dimethyl 2,5-t-butyl peroxy hexane(DMTBPH)을 사용하였다.

2. 배 합

실리콘 고무의 전기적 특성 및 난연 특성을 연구하기 위해 Table 1과 같이 배합하였다. 각각의 폴리머에 실리카의 함량을 달리 첨가하여 상온 25 °C에서 2시간동안 혼합한 후 180°C에서 8시간 동안 반응시켰으며 마지막 공정에 150°C에서 1시간 동안 진공으로 미반응된 불순물들을 제거한 후 실온(20~30°C)에서 24시간 숙성시켜 실리콘 배합 고무를 제조하였다.

Table 1. Formulation of Compounds (단위 : phr)

시료 성분	SO	SS	SA	SV
Silicone Base	100	100	100	100
ATH	20~100	20~100	20~100	20~100
표면 처리제	0	2 Stearic acid	2 Acryl silane	2 Vinyl silane
Process oil	2	2	2	2

\*표면처리제의 량은 ATH 100phr에 대한 phr임.

3. 시편의 제작

숙성된 실리콘 컴파운드 1 kg을 밀링롤에 투입한 후 5분 동안 연질화 시킨다. 연질화된 컴파운드에 과산화물(DMTBPH) 0.5 phr를 투입하여 15분동

Table 2. Dimensions of Test Specimen (단위 : mm)

시 편	크 기	두께	길이	폭
절연파괴강도		1	60	60
체적저항 측정		1	40	40
트래킹 측정		6	50	120
기계적 강도		2	130	130

안 혼련하여 2 mm의 두께로 준비한다. 150 kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 가하는 가황프레스에 일정한 금형에 놓고 175 °C에 10분 동안 가교시켜 시편을 제조한다. 시편의 규격은 Table 2와 같다.

4. 실 험

4.1 기계적 강도 측정

ATH가 첨가된 실리콘 고무의 기계적 강도를 측정하기 위해 Instron 사의 Model 4411을 사용하였다. 인장강도 시험은 ASTM D 412의 시험 절차에 따라 시험하였으며 시편은 아령형 3호를 사용하였으며 인열강도는 ASTM D 624의 C형 시편으로 시험하였다.

4.2 체적저항

실리콘 폴리머 및 실리카의 종류에 따르는 전기 특성의 상관관계를 알아보기 위하여 체적저항 시험을 행하였다. 체적저항기는 TOA Electronics 사의 모델 SM-10E를 사용하였다. 시료는 1 mm 두께로 가교된 시험편을 사용하였다. ATH의 함량을 20~100phr까지 20phr 단위로 배합한 것을 가지고 체적저항을 측정하였고, ATH의 표면처리에 따른 체적저항을 측정하였다.

4.3 절연파괴 강도

실리콘 폴리머의 절연파괴 강도를 측정하기 위해 교류전압 파괴 시험을 ASTM D149 사양에 준하여 1 mm 두께의 시험편을 구 대 구 전극에 삽입한 후 전압을 인가하여 절연파괴 강도를 측정하였다. 시험 방법은 0 V 에서 시작하여 파괴가 발생할 때까지 시험전극에 일정한 전압을 인가시켜 단 시간 동안 측정하였다.

#### 4.4 Tracking 특성

트래킹 시험용 오손액은 증류수에 도전성 첨가제  $\text{NH}_4\text{Cl}$  ( $0.2 \pm 0.004 \text{ wt}\%$ )과 계면 활성제 Triton X-100 ( $0.02 \pm 0.002 \text{ wt}\%$ )을 첨가하여 준비하였다.

**Table 3. Test Conditions of Tracking Measurements**

항목	내 용
인가전압 (kV)	AC 4.5
시료크기 (mm)	50×120×6
시편설치각도 (°)	45
오손액 유속량 (ml/min)	0.9
직렬저항 (kΩ)	33
시험시간 (hrs)	6

시험 시에 오손액을 8장의 거름종이 위에 떨어 뜨려 거름종이를 거쳐 시료의 표면을 타고 흘러내리도록 하였으며 오손액의 유량은 시험에 앞서 연동펌프를 동작하여 유량을 측정한 후 원하는 유속에 맞추도록 펌프속도를 조정하였다. 오손액의 유속은 IEC 기준에서는  $0.6 \text{ ml/min}$ 이지만, 이 실험에서는 시험시간의 단축과 시료간의 상대 비교를 원활히 하기 위해  $0.9 \text{ ml/min}$ 로 하였다.

#### 4.5 결합고무(Bound Rubber) 측정

결합고무의 형성은 화학적인 결합과 물리적인 결합으로 이루어진다. 가교전의 액상 실리콘 고무에 존재하는 결합고무의 함량은 extraction 방법을 이용하였다. 즉, 가교전의 액상실리콘 고무를  $100 \text{ cm}^3$ 의 유기용매(순수 톨루엔)에 상온에서 7일 동안 침지시킨 전후의 무게 변화를 측정하였다. 결합고무 함량은 식 (1)에 따라 계산하였다.

$$BR = \frac{(M_B - M_F - M_D)}{M_B} \times 100\% \quad (1)$$

여기서,  $M_B$ 는 침지전의 무게,  $M_F$ 는 액상실리콘의 충전제의 무게,  $M_D$ 는 유기용매에 녹은 고무의 무게이다.

### III. 결과 및 고찰

#### 1. 기계적 강도

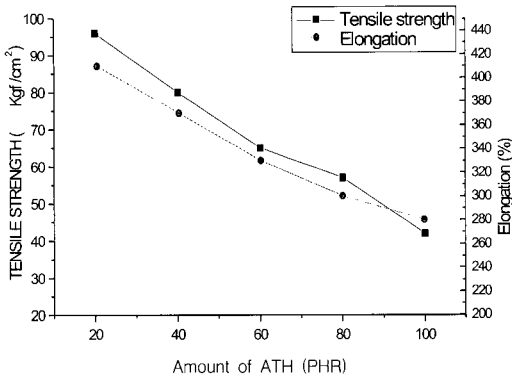
난연성과 내 트래킹 특성을 향상시키기 위해서는 무기계 충전제를 다량 사용해야 한다. 그러나 난연성 및 내 트래킹에 가장 많이 사용하고 있으나  $\text{Al}(\text{OH})_3$ ,  $\text{Mg}(\text{OH})_2$  및  $\text{CaCO}_3$  등을 사용되고 silicone 고무에 다량 사용하면 기계적 특성이 크게 감소하는 단점이 있다.

본 연구에서는 이런 단점을 보완하기 위해 ATH의 표면을 각종 표면처리제를 이용하여 처리한 후 기계적 강도의 변화를 비교하였다. 또한 ATH의 첨가량은 20phr에서 100phr까지 20phr 씩 증량시키면서 배합하였다.

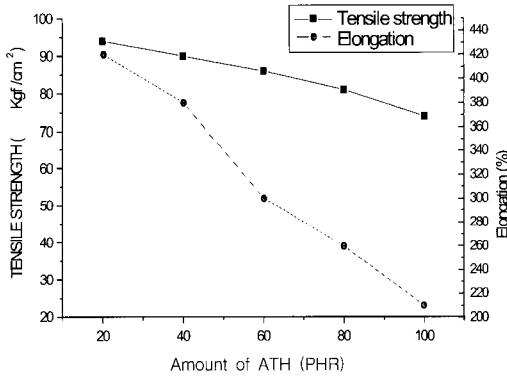
표면처리제를 사용하지 않은 실리콘 배합고무의 물리적 특성을 Table 4 및 Figure 2에 나타내었다. Table 4에서 보면 ATH가 증가하면서 경도가 증가하였으며 인장강도는 20phr의 ATH가 충전되었을 때  $9.4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 에서 60phr인 경우  $6.4 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ , 100phr인 경우  $4.1 \times 10^6 \text{ N/m}^2$ 으로 크게 하락하였다. 또한 신장율의 경우 20phr의 ATH를 충전한 SO-20의 경우 410%에서 60phr을 충전한 SO-60의 경우 330%로 100phr의 ATH를 충전한 경우 280%로 감소하였다. ATH의 함량이 증가하면서 인장강도 및

**Table 4. Mechanical Properties of Silicone Compounds Mixed with Untreated ATH**

특성	시료	SO-20	SO-40	SO-60	SO-80	SO-100
ATH의 양 (phr)		20	40	60	80	100
비 중 ( $\text{g/cm}^3$ )		1.23	1.28	1.34	1.43	1.50
가 소 도		210	230	255	280	320
경 도 (Shore A)		50	53	57	63	70
인장강도 ( $\text{kgf/cm}^2$ )		96	80	65	57	42
신 장 율 (%)		410	370	330	300	280
인열강도 ( $\text{kgf/cm}$ )		27	24	18	15	14



**Figure 2.** Plots of tensile strength and elongation as a function of ATH amount for silicone compounds mixed with untreated ATH.



**Figure 3.** Tensile strength of elongation as a function of ATH amount for silicone compounds mixed with ATH treated with vinyl silane.

신장율이 크게 감소하였다.

Figure 3은 vinyl silane으로 ATH를 표면처리한 실리콘 컴파운드의 기계적 강도를 정리한 것으로 20phr의 ATH를 충전한 SV-20의 인장강도는  $9.2 \times 10^6 [N/m^2]$ 이었으며 60phr의 ATH를 충전한 SV-60의 인장강도는  $8.4 \times 10^6 N/m^2$ , 충전한 SV-100의 인장강도는  $7.2 \times 10^6 N/m^2$ 으로 약간 감소하였다. 이는 ATH 표면에 도입된 vinyl group이 과산화물에 의한 가교 시 silicone 고분자의 가교가 이루어짐으로 가교밀도가 증가하여 인장강도는 거의 변화가 없는 반면 신장율은 감소하였다. 또한 신장율은 SV-20이 420%이며 SV-60은 300%, SV-100의 신장

율은 210%로 감소하였다.

## 2. 실리콘 배합고무의 전기적 특성

건식 실리카만 사용된 실리콘 고무는 아주 우수한 절연재료이다. 체적저항은  $1 \times 10^{16} \Omega \cdot cm$  정도이며 절연파괴 강도는 25~30kV/mm의 높은 내압강도를 나타내기 때문에 내열 절연재료로 많이 사용되고 있다. 그러나 난연 특성 부여제인 ATH를 투입함으로써 전기특성이 하락한다. 따라서 본 연구에서는 ATH의 표면처리에 따른 전기특성을 실험하여 최적으로 절연재료용 ATH를 선정하고자 한다. ATH의 표면을 다양한 표면 처리제로 처리하여 배합한 실리콘 고무의 절연파괴 강도 및 체적

**Table 5. Electrical Properties of Silicone Compounds as a Function of ATH Amount.**

시료	특성	체적저항 ( $\Omega \cdot cm$ )	절연파괴 강도 (kV/mm)	Tracking resistance (min)
SO (실란으로 처리 안된 것)	SO-20	$8 \times 10^{15}$	28	48
	SO-40	$4 \times 10^{15}$	26	78
	SO-60	$9 \times 10^{14}$	24	280
	SO-80	$5 \times 10^{14}$	23	340
	SO-100	$1 \times 10^{14}$	22	370
SS (스테아르산으로 코팅된 것)	SS-20	$9 \times 10^{15}$	27	51
	SS-40	$6 \times 10^{15}$	24	76
	SS-60	$8 \times 10^{14}$	22	310
	SS-80	$5 \times 10^{14}$	20	330
	SS-100	$8 \times 10^{13}$	19	390
SA (아크릴실란이 코팅된 것)	SA-20	$7 \times 10^{15}$	27	40
	SA-40	$1 \times 10^{15}$	25	80
	SA-60	$4 \times 10^{14}$	23	290
	SA-80	$8 \times 10^{13}$	21	350
	SA-100	$2 \times 10^{13}$	18	370
SV (vinyl silane으로 코팅된 것)	SV-20	$2 \times 10^{16}$	27	52
	SV-40	$8 \times 10^{15}$	28	84
	SV-60	$4 \times 10^{15}$	27	340
	SV-80	$8 \times 10^{14}$	26	410
	SV-100	$4 \times 10^{14}$	26	490

저항을 측정한 결과를 Table 5에 나타내었다.

표면 처리하지 않은 배합고무의 경우 SO-20의 절연파괴강도는 28kV/mm, SO-60의 절연파괴강도는 24kV/mm, SO-100의 절연파괴강도는 22kV/mm로 감소하였다. 지방산으로 처리한 컴파운드 역시 ATH의 양이 증가하면서 절연파괴강도 27kV/mm에서 19kV/mm로 감소하였으며 acryl silane으로 표면처리한 경우 SA-20이 27kV/mm에서 SA-100은 18kV/mm로 감소하였다. 반면 vinyl silane으로 표면처리한 경우 SV-20의 절연파괴강도는 27kV/mm, 60phr의 ATH를 충전한 SV-60의 절연파괴강도는 27kV/mm, 100phr의 ATH를 충전한 SV-100의 절연파괴강도는 26kV/mm로 거의 일정한 값을 나타내었다. 이는 silica 표면에 도입된 vinyl기에 가교밀도가 증가하였으며 이로 인해 절연파괴강도가 하락하지 않은 것으로 사료된다.

### 3. ATH의 표면처리에 따른 Tracking 특성

ATH의 함량과 표면처리제의 종류에 따른 내 트래킹 특성은 표면 처리제를 사용하지 않은 ATH를 충전한 실리콘 고무의 내 트래킹 특성은 ATH가 60phr 이상에서부터 내 트래킹 특성이 현격히 개선되었으며 ATH가 100phr 충전된 경우 370분까지 견딘다. 지방산으로 표면처리한 ATH를 충전한 실리콘 고무의 내 트래킹 특성은 60phr의 ATH가 충전되면서 내 트래킹 특성이 향상되었으며 100phr의 ATH가 충전되었을 때 390분 동안 견디었다. 아크릴 실란으로 표면처리한 것으로 ATH가 100phr 충전된 SA-100의 내 트래킹 특성은 370분 이었다. 또한 vinyl silane으로 표면 처리한 ATH를 충전한 실리콘 고무의 내 트래킹 특성은 80phr의 ATH를 충전한 경우에도 내 트래킹 특성이 410분을 나타내어 IEC-587 규격을 만족시켰으며 100phr의 ATH를 충전시킨 경우 490분을 나타내어 내 트래킹 특성이 우수함을 알 수 있었다. 이는 역시 표면처리제로 사용한 vinyl기에 의해 가류밀도가 증가되었기 때문으로 사료된다.

### 5. 표면처리제에 따른 결합고무 함량

무기 충전제의 표면에 존재하는 -OH기가 컴파운

드 과정에서 완전히 반응하지 않고 고무 속에 잔존할 경우 기계적 특성은 물론 전기특성을 저해하는 요인이 된다.

따라서 무기 충전제의 -OH기를 제거하는 것이 절연재료에서는 중요하며 이를 위해 커플링제가 많이 이용되고 있다. 무기 충전제와 커플링제가 반응한 정도를 측정하는 방법 중의 가장 대표적인 것은 결합고무의 함량을 측정하는 것이며 결합고무의 함량이 많을수록 무기 충전제에 결합한 유기 폴리머의 양이 많은 것을 의미한다.

본 연구에서 사용된 커플링제의 종류에 따른 결합고무의 함량을 정리한 결과를 Table 6과 Figure 4에 나타내었다. 그림에서 보면 커플링제를 사용하지 않은 경우의 결합고무의 함량은 10% 이하였으며 지방산으로 표면 처리한 실리콘 고무의 경우 ATH가 100phr 충전된 SS-100의 경우 16%, 아크릴 실란으로 표면 처리한 실리콘 고무의 경우 ATH가 100phr 충전된 SA-100의 경우 16%이다. 반면 vinyl silane으로 표면 처리한 경우 ATH가 100phr 충전된 SV-100의 경우 24%로 결합 함량이 증가하였다.

### 6. 가교 밀도

ATH가 충전된 실리콘 고무의 가류밀도를 측정

Table 6. Bound rubber contents of silicone compound according to ATH treatment

시 료	SO				
	SO-20	SO-40	SO-60	SO-80	SO-100
Bound Rubber	8	7	8	8	10
시 료	SS				
	SS-20	SS-40	SS-60	SS-80	SS-100
Bound Rubber	9	10	12	13	16
시 료	SA				
	SA-20	SA-40	SA-60	SA-80	SA-100
Bound Rubber	11	13	14	16	19
시 료	SV				
	SV-20	SV-40	SV-60	SV-80	SV-100
Bound Rubber	13	16	20	22	24

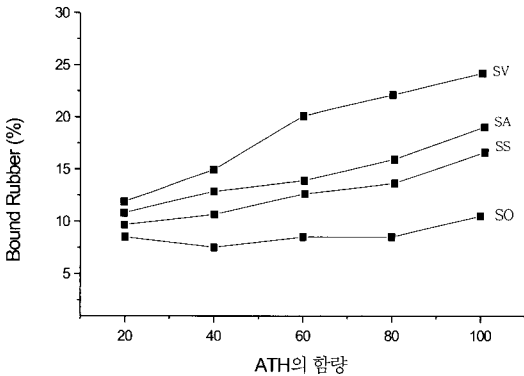


Figure 4. Plots bound rubber contents of silicone compound according to ATH treatment

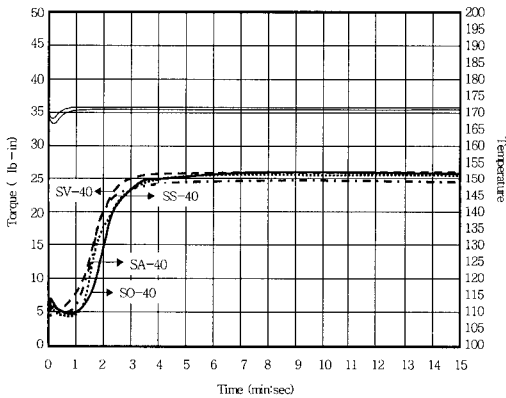


Figure 5. Rheographs of silicone compounds with various silicone coupling agents.

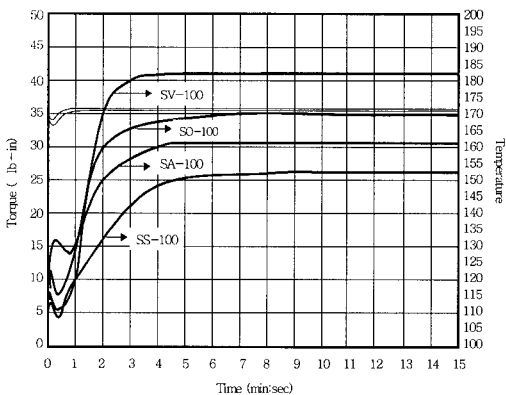


Figure 6. Rheograph of silicone compound extended with 100[phr] of ATH.

한 Rheometer graph를 Figure 5와 6에 나타내었다. Figure 5는 ATH를 40phr 충전 시킨 실리콘 고무의 커플링제의 종류에 따른 가류밀도를 나타낸 것이며 Figure 6은 100phr의 ATH를 충전시킨 실리콘 고무의 커플링제의 종류에 따른 가류밀도를 Rheograph로 나타낸 것이다. ATH가 40phr 충전된 경우는 커플링제의 종류에 관계없이 거의 유사한 값을 나타내었다. 이는 ATH의 양이 적기 때문에 커플링제에 따른 영향을 거의 받지 않았기 때문으로 사료된다. 반면 ATH가 100phr 충전된 경우 커플링제의 종류에 따른 가류밀도의 차이가 상당히 크게 나타났다. 특히 지방산으로 표면 처리된 SS-100의 경우 Max. Torq.가 26lb·in으로 커플링제를 사용하지 않은 경우보다 낮게 나타났다. 이는 지방산이 과산화물 가류 시 가류장애를 일으킴을 알 수 있다. 반면 비닐실란으로 표면 처리한 SV-100의 Max. Torq.는 41lb·in로 높게 나타났다. 이는 ATH 표면에 vinyl group이 도입되어 가류밀도가 높아졌음을 나타낸다.

#### IV. 결 론

고압 절연용 전기재료로 응용하기 위한 실리콘 고무의 배합 조건 중에서 난연제로 사용한 ATH의 표면처리에 따른 특성을 비교한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 결합고무의 함량은 vinyl silane으로 표면 처리한 ATH를 충전한 실리콘 컴파운드가 가장 높았다
2. 과산화물 가류시의 가류밀도는 지방산으로 표면 처리한 ATH를 첨가한 경우 가황장애현상으로 가류밀도가 낮아졌으며 vinyl silane으로 표면 처리한 ATH를 충전한 실리콘 배합고무는 ATH의 표면에 도입된 vinyl기에 의해 가교밀도가 가장 높았다.
3. 체적저항 및 절연파괴강도도 vinyl silane으로 표면 처리한 ATH를 충전한 silicone 배합고무가 가장 우수하였다.
4. 기계적 강도 역시 vinyl silane으로 표면 처리한 ATH를 충전한 경우 가장 우수 하였다.

본 연구의 결과를 종합하면 ATH의 표면처리제

의 선택이 전기특성에 많은 영향을 끼치는 것을 알 수 있었으며 vinyl silane으로 표면 처리한 경우가 모든 특성에서 가장 우수한 결과를 나타내었다.

### 참 고 문 헌

1. J. Turnhout, "Thermally Stimulated Discharge of Polymer Electrets" *Polym. J.*, **2** (2), 173 (1971).
2. S. Kobayashi and Yahagi, "Thermally Stimulated Current in Elongated Low Density Polyethylene Films", *J. Appl. Phys.*, **18**, 261 (1979).
3. W. Lynch, "Handbook of Silicone Rubber Fabrication", Litton Educational Publishing Inc., pp.1-6, 1978.
4. J. M. Zeigler and F. W. Gordon Fearon, "Silicon-Based Polymer Science A Comprehensive Resource", American Chemical Society, Washington, pp.47-62, 1990.
5. M. F. Lewis, "The Science and Technology of Silicone Rubber", *Rubber Chemistry and Technology*, **XXXV**, 5 (1962).
6. W. Lynch, "Handbook of Silicone Rubber Fabrication", Litton Educational Publishing Inc., pp.7-12, 1987.
7. W. Noll, "Chemistry and Technology of Silicones", pp.138-431, 1968.
8. D. H. Han, H. Y. Park, D. P. Kang, and K. E. Min, "Tracking and Erosion Resistance and Hydrophobicity of HTV Silicone Rubber for Outdoor Insulators", *Proceedings of 6th ICPADM*, pp.354-357 (2000).
9. R. S. Gorur, J. Montesinos, L. Varadadesikan, S. Simmons, and M. Shah, "A Laboratory Test for Tracking and Erosion Resistance of HV Outdoor Insulation", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, **4** (6), 767 (1997).
10. J. G. Wankowicz, S. M. Gubanski and W. D. Lampe, "Loss and Recovery of Surfaces Hydrophobicity on RTV Coating Surface", *IEEE Trans. on Dielectrics and Electrical Insulation*, **1** (4), 604 (1994).
11. W. Wang and N. Yoshimura, "Fractal Phenomena Dependence of Hydrophobicity on Surface Appearance and Structural Features of SIR Insulators", *IEEE Trans. on Dielectric and Electrical insulation*, **6** (6), 781 (1999).