

# 실리콘 고무와 내열접착 향상을 위한 Polyethylene Terephthalate 섬유 접착층의 제조 및 특성

## Treatment and Characterization of Polyethylene Terephthalate Fibers with Silicone Rubber Adhesive for Heat-Resistant Adhesion

### \*Corresponding author

Jaewoong Lee  
(jaewlee@yu.ac.kr)

김지효, 이상오<sup>1</sup>, 이재웅\*

영남대학교 파이버시스템공학과, <sup>1</sup>영남대학교 의류패션학과

Jihyo Kim, Sangoh Lee<sup>1</sup> and Jaewoong Lee\*

Department of Fiber System Engineering, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

<sup>1</sup>Department of Clothing and Fashion, Yeungnam University, Gyeongsan, Korea

Received\_May 31, 2019

Revised\_June 14, 2019

Accepted\_June 19, 2019

### Textile Coloration and Finishing

TCF 31-2/2019-06/107-117

©2019 The Korean Society of Dyers and Finishers

**Abstract** In case of pure rubber materials, the initial quality of the rubber materials would be excellent, however, the durability against external impact might be poor. In order to overcome the relatively low durability, textile cord could be employed with silicone rubber. We have studied the improvement of heat-resistant adhesion properties of silicone adhesives between silicone rubber and PET fibers by applying various conditions including dip solution recipe. The silicone rubber used was a platinum catalyst curing type and platinum catalyst type silicone adhesive was used as an adhesive to obtain an optimum adhesive force. Furthermore, the bonding mechanism between silicone and PET fiber was established.

**Keywords** silicone adhesive, pet fiber, pt catalyst, coated fiber, epoxy dip, crosslinking, adhesion property, thermal properties

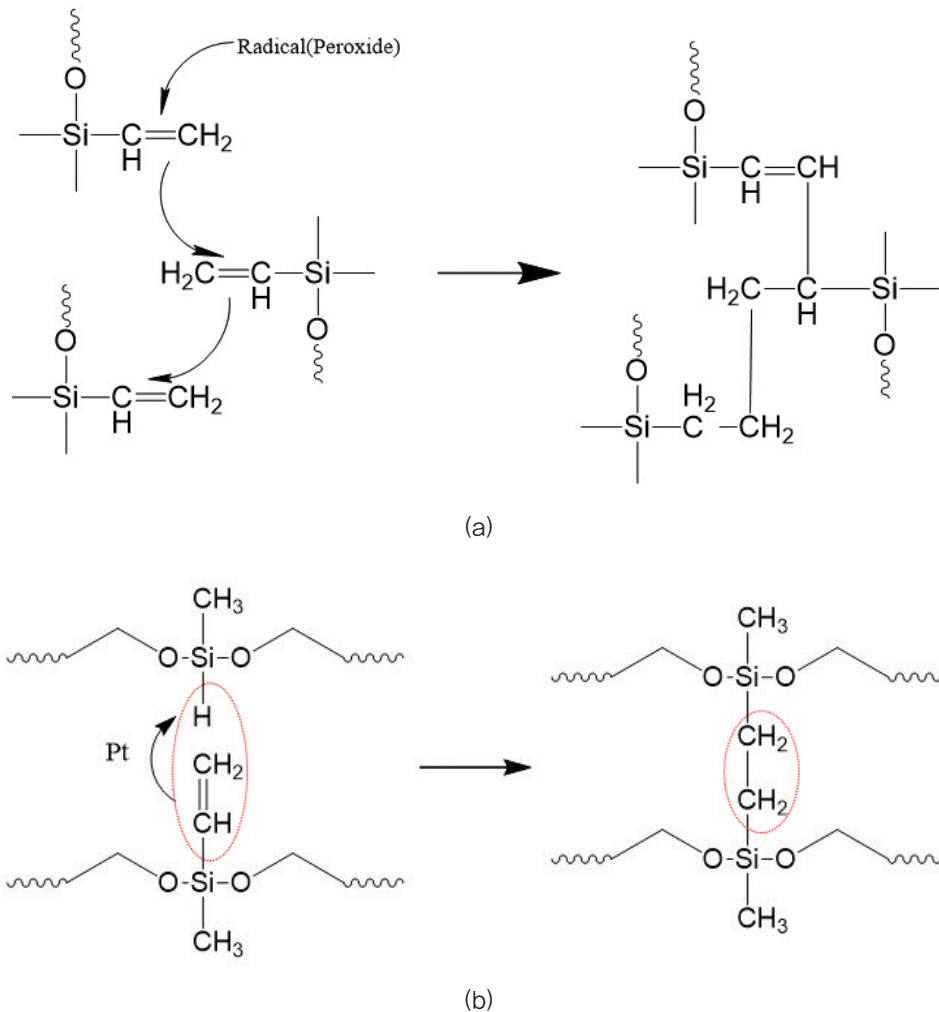
## 1. 서 론

고무 복합체는 고무와 보강제가 상호 보완적으로 결합한 형태로써 경도, 강도 및 내마모성 등 기계적 물성이 우수하여 산업적 측면에서 다양한 응용범위에 적용되고 있다. 복합체의 물리적 특성 중에서 외력에 의한 변형이 각 물질이 가지고 있는 고유의 물성보다 복합체의 계면에 나타나기 때문에 고무복합체는 구성하고 있는 요소간의 접착이 내구성 및 형태안정성에 중요한 요인이라고 할 수 있다<sup>1-3)</sup>.

섬유의 표면과 고무의 접착은 산업 분야에서 가장 선호되는 주제 중의 하나이다. 고무는 플라스틱과는 다르게 높은 점탄성을 가지고 있으며, 이러한 고무의 특성으로 인하여 연속적 변형을 지속하는 제품에 적용할 경

우 장시간 형태를 유지하는 장점이 있다. 그러나 물리적 특성 측면에서 고무는 그 자체만으로는 충분한 물성을 발현하기에 한계가 있으므로 다양한 형태의 첨가제를 사용하여 고무 복합체로 사용하는 것이 더욱 효과적이다<sup>4-7)</sup>. 통상적인 고무복합체 제품은 초기 품질이 우수하지만 외력에 의한 충격으로 발생하는 큰 변위량 또는 지속적으로 가해지는 열이 내구성과 특성 저하 등의 취약한 문제점을 발생시키고 있다. 이러한 취약한 문제점을 개선하기 위하여 내열성 등 여러가지 장점을 가지는 실리콘 고무를 점차적으로 다양한 응용범위에 적용하고 있다<sup>8)</sup>.

일반적인 실리콘(silicone)은 규소(organo silicone)와 산소(O)가 siloxane 결합(Si-O-Si)으로 연결된 형태이므로 분자 구조상 siloxane 결합에 의한 무



**Figure 1.** Reaction scheme of (a) peroxide curing type silicone rubber and (b) Pt catalyst curing type silicone rubber.

기적 특성 때문에 고온에서 우수한 기계적 특성과 내열성을 가져 다른 탄성체나 유기고무와 비교하였을 때 상대적으로 뛰어난 물성을 가진다<sup>9)</sup>. 실리콘 고무의 가장 중요한 특성 중 하나는 화학적 불활성이며, 주로 polydimethylsiloxane 사슬로 이루어진 고체 열경화성 탄성체로 가교결합 되어 화학약품과 열에 특히 우수한 내구성을 가진다<sup>10)</sup>. 이러한 실리콘 고무의 역학적 성질 또는 물리적 특성이 일반적인 유기 합성고무 이상으로 발현되므로 실리콘 고무는 다양한 산업에 적용하는 등 기술 응용에 많은 관심을 받고 있다. 일반적인 고무와 실리콘 고무 모두 경화의 공정을 거쳐야만 가교에 의해 고무 고유의 특성을 발현하게 된다. 현재 실리콘 고무의 경화를 위하여 적용되는 경화방법은 크게 두 가지가 있는데 그 첫 번째는 과산화물 경화이고, 두 번째는 백금촉매 경화이다. 각 경화법의 화학적 반응을

Figure 1에 나타내었다. 과산화물 경화는 과산화물에 의한 free radical이 촉매역할을 하고, 백금촉매 경화는 금속촉매인 백금에 의하여 가교를 형성한다. 그 중 백금촉매 경화 방법은 과산화물 경화보다 훨씬 효율적인데 그 이유는 시간과 온도에 대해 낮은 민감성을 가지고 비교적 저온에서 적용되므로 노화에 따른 촉매의 효율의 감소를 피할 수 있기 때문이다<sup>11,12)</sup>. 본 실험에서는 백금촉매 경화형 실리콘 고무를 사용하여 접착력을 확인하였다.

Polyethylene terephthalate(이하 PET)는 1942년에 상업적으로 도입되어 의료기기, 가정용 가구, 자동차 부품 및 의류용 섬유와 같이 광범위한 응용 분야에 적용된 합성 열가소성 고분자이다. 일반적으로 PET는 경량성과 고성능, 저렴한 단가로 인해 섬유시장에서 다양하게 적용되었으며 이러한 PET의 구조식을 Fig-

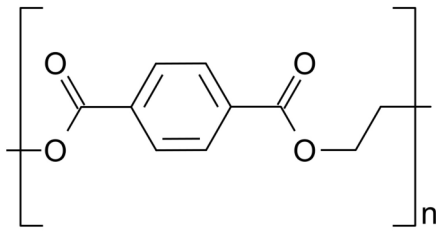


Figure 2. Structure of polyethylene terephthalate.

Figure 2에 나타내었다. 고무 복합체의 형태안정성을 증가시키기 위해 사용되던 섬유 코드로 초기에는 면섬유가 사용되었으나 다양한 합성섬유의 개발과 그 합성섬유들의 우수한 특성을 바탕으로 최근에는 rayon, nylon, polyester, aramid와 같은 합성섬유가 사용되고 있다. PET는 상대적으로 낮은 가격대비 높은 인성과 탄성계수로 인하여 타이어 제조에 이상적인 보강재로 적용되어지고 있다<sup>13-17</sup>.

PET 섬유는 본질적으로 화학적 구조상 반응성 측쇄 또는 결합기를 가지고 있지 않기 때문에 이중소재, 특히 고무와의 코팅성 및 접착 특성이 낮아서 이를 보완하기 위한 표면 개질이 필요하다<sup>18</sup>.

따라서 본 실험에서는 PET 표면에 반응기를 부여하기 위하여 에폭시(epoxy)와 아이소시아네이트(isocyanate)를 혼합한 에폭시 혼합액(epoxy dip)을 사용하였다. 일반적으로 에폭시 수지는 에폭시기(epoxy

group), 아민(amine), 무수물 및 카복실산(carboxylic acid)와의 반응에 의해 경화되어 기능에 따라 여러 고분자와 결합한다<sup>19,20</sup>. 하지만 에폭시 시스템은 경화과정에서 겔화 시간이 짧고 경화제의 첨가에 의해 경화되기까지의 시간인 가사시간이 길기 때문에 아이소시아네이트를 혼합하여 에폭시의 열 경화 시간을 단축시키며 높은 열 저항을 갖도록 한다. 에폭시/아이소시아네이트 혼합물을 사용하여 PET 섬유에 적용하게 되면 에폭시 고리에 의하여 섬유의 표면에 반응기가 증가하게 되는데 섬유의 표면에 존재하는 에폭시 고리가 고무에서 개환(ring opening)이 일어나면서 다른 고분자와 가교를 형성하게 된다<sup>21,22</sup>.

Figure 3은 본 실험에 사용한 백금촉매를 기반으로 하는 실리콘 접착제의 화학적 구조를 나타낸 것이다. 백금촉매 실리콘 접착제 base의 Si-H와 C=C(alkene group)이 가교를 형성하여 경화된다<sup>23,24</sup>.

본 연구에서는 타이어코드와 같은 고무복합체에 적합한 PET 섬유에 실리콘 고무기반의 접착제를 적용하여 실리콘 고무와 PET섬유간의 내열접착특성을 향상시키는 것에 대하여 연구하였다. 실리콘 접착제 코팅 PET사의 섬유단면과 표면의 분석은 주사전자현미경(SEM)으로 관찰하였으며, 코팅사의 열적 특성은 열중량분석기(TG-DTA)를 통하여 분석하였다. 또한 에폭시 혼합액(epoxy dip)이 섬유와 접착제 사이의 접착력

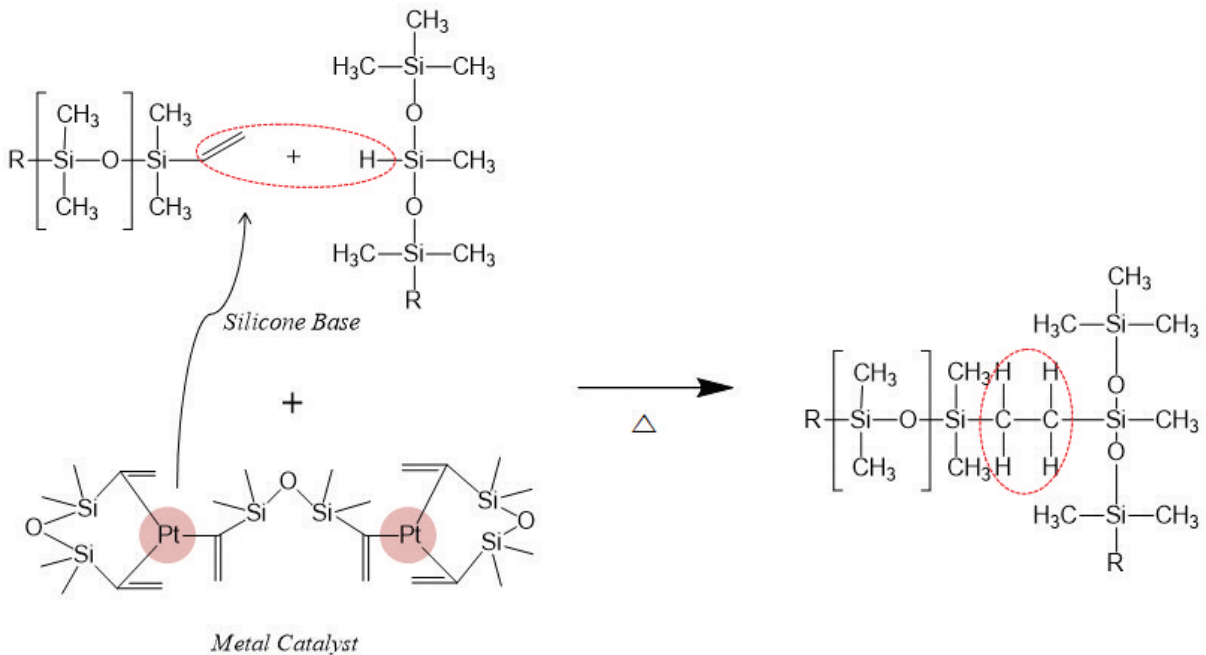


Figure 3. Suggested silicone base/Pt catalyst of silicone adhesive bonding chemical structure.

에 영향을 주는 것을 확인하기 위하여 적외선 분광기(FT-IR)를 사용하였다. 백금촉매 경화형 실리콘 고무와 PET 코팅사의 일반·내열접착력을 확인하기 위하여 유압압착기를 사용하여 가류한 시편을 인장시험기를 통하여 섬유와 고무의 박리 최대하중을 측정하였다.

## 2. 실험

### 2.1 시료 및 시약

실험에 사용한 PET 섬유는 1000de/2ply를 사용하였으며, 에폭시 혼합액은 다관능성 에폭시(KEM-128M, KUKDO Chemical Co., LTD., Korea)에서 구매하여 추가정제 없이 사용하였다. 실리콘접착제(JAIN Co., Korea)에서 구매하여 사용하였으며, 실리콘베이스와 금속촉매의 화학구조를 Figure 3에 나타내었다.

### 2.2 실험방법

#### 2.2.1 에폭시 혼합액(Epoxy dip)과 실리콘 접착제(Silicone adhesive) 코팅

PET 보강사를 제조하기 위해서 1000de/2ply의 PET 연사에 실리콘 접착제의 실리콘 베이스(silicone base)와 Pt 촉매(catalyst) 비율을 100:4(wt:wt)로 하여 사 표면에 제조한 혼합액을 도포한 후 망글(mangle)을 사용하여 패딩(padding)한 후 각 건조기에서 건조 및 경화를 진행하였으며, 80℃에서 5분간 건조 후 경화를 진행하였다. 이 때 경화시간 조건을 0, 1.5, 3, 5 및 7min으로 설정하여 시료를 제조하였다.

#### 2.2.2 Silicone adhesive base/촉매 농도 변수

1000de/2ply의 PET 연사에 에폭시 혼합액 혹은 실리콘 접착제(silicone adhesive)를 코팅하였다. 에폭

시 혼합액은 다관능성 에폭시 2.6g, 물 67.31g을 섞은 수용액과 blocked isocyanate 10.88g, 물 30g의 수용액을 혼합하여 사용하였으며, 80℃의 건조기에서 5min 건조, 230℃의 건조기에서 1min 경화하였다. 실리콘접착제는 base와 Pt catalyst를 적정한 비율로 조합하여 사용하였다. Pt catalyst의 농도를 5가지의 변수로 적용하였으며 각 조건은 3, 4, 5, 7.5 및 10wt%로 하였다. 에폭시 혼합액을 단독으로 코팅한 시료, 실리콘 접착제의 촉매 농도를 변수로 지정하여 실리콘 접착제를 단독으로 코팅한 시료와 epoxy 혼합액을 1차로 적용하여 실리콘 접착제를 코팅한 시료를 포함하여 총 11개의 시료를 제조 하였다.

#### 2.2.3 Silicone rubber/PET 접착테스트

제조한 PET 코팅사를 백금촉매 경화형 실리콘 고무 사이에 위치 시킨 후 유압압착기(AHP25-SP, YSP, Korea)를 사용하여 160℃의 온도에서 20min간 가류시켰다.

Figure 4에 실리콘 고무와 코팅사의 가류공정을 나타내었다. 완성된 고무 복합체를 인장기(Model 1000, INSTRON, Germany)를 사용하여 일반접착테스트는 T-test를 통하여 초점거리 300mm에 10cm/min의 속도로 인장하여 고무와 섬유의 박리강도인 최대하중을 측정하였고, 내열접착테스트는 고무 복합체를 120℃의 온도에 24h 노출시켜 aging 시킨 후 동일 방법으로 인장 시험을 시행하였다.

## 2.3 분석

### 2.3.1 적외선분광기(Fourier transform infrared spectroscopy, FT-IR)

PET 섬유와 실리콘 접착제의 접착을 용이하게 하는 epoxy의 curing에 따른 변화를 관찰하기 위해 FT-IR

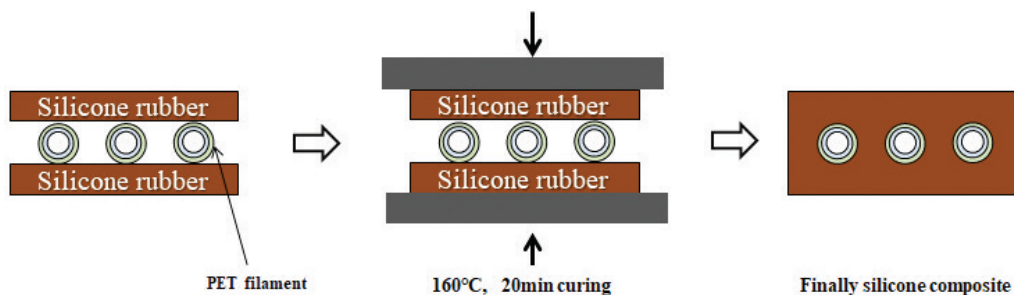


Figure 4. Curing process of silicone rubber/coated PET fiber.

(Spectrum100, Perkin Elmer, USA)을 이용하여 측정하였다.

### 2.3.2 주사전자현미경(Scanning Electron Microscope, SEM)

실리콘 접착제가 코팅된 PET 섬유 표면의 성분 분석 및 코팅된 섬유의 형태를 확인하기 위하여 코팅사의 단면 및 표면을 백금으로 코팅한 뒤, 주사전자현미경(S-4100, Hitachi, Japan)을 사용하여 15.0kV의 가속 전압 하에서 여러 배율로 관찰하였다.

### 2.3.3 열중량분석기(Thermogravimetric Analysis, TG-DTA)

실리콘 접착제가 코팅된 PET 섬유의 열분해온도를 측정하기 위해 TG-DTA(SDT Q600, TA Instruments, USA)를 사용하여 질소 분위기에서 속도 10°C/min로 600°C까지 설정하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 Silicone rubber/PET fiber 접착

1000de/2ply PET 필라멘트사에 실리콘 접착제를 표면코팅 하면서 경화시간을 변화시킨 시료와 백금촉매 경화형 실리콘 고무를 가류하였다. 이 때 가류된 복합체를 인장 시험기를 통하여 박리 시 평균 최대하중을 Figure 5와 Table 1에 나타내었다.

Figure 5 (a), (b)의 그래프에서 실리콘 접착제를 3min간 경화시킨 시료와 실리콘 고무의 접착력이 가장 우수한 것을 확인할 수 있었다. 이는 경화시간이 비교적 짧으면 실리콘 접착제와 섬유의 접착층이 충분한 접착에 이르지 않은 것으로 여겨진다. 또한 상대적으로 경화시간이 길 경우에는 실리콘 고무와 섬유 사이에 충분한 접착층이 형성된 후 오히려 추가적인 열에 의해 일부 결합이 소폭 끊어진 것으로 여겨진다<sup>24)</sup>.

미코팅 PET 필라멘트(control)(1로 표기)를 포함하여 에폭시 혼합액만 코팅한 PET 보강사(2로 표기), 실

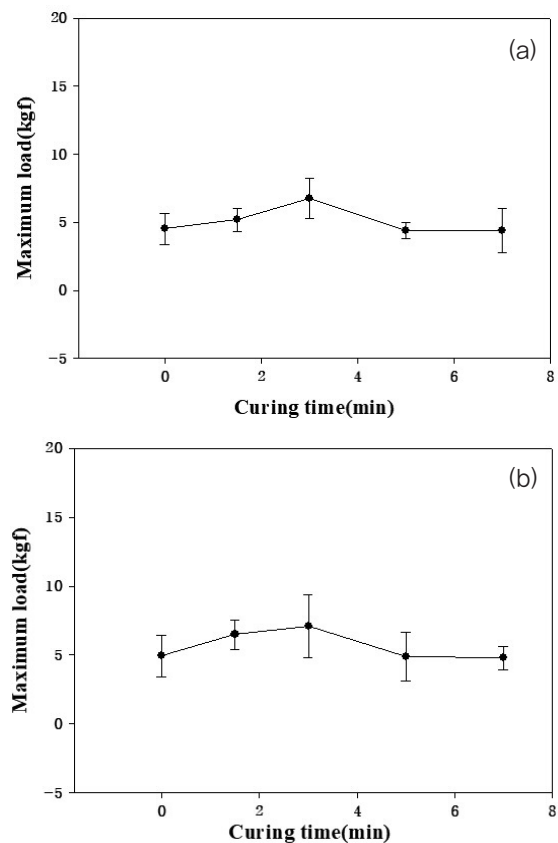


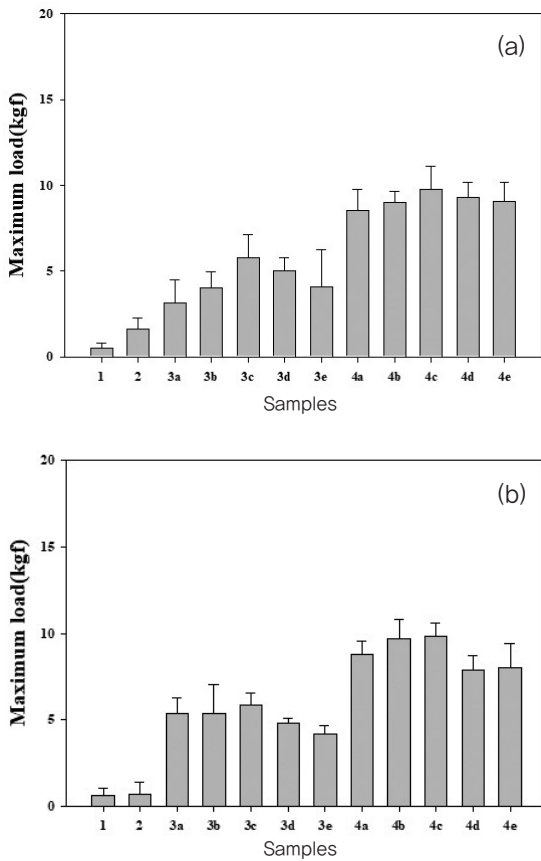
Figure 5. Average maximum load with silicone adhesive under diverse curing time: (a) without heat exposure and (b) with heat exposure(120°C, 24h).

리온 접착제만 코팅한 PET 보강사(큐어링 시간에 따라 3(a)~3(e)로 표기), 그리고 에폭시 혼합액 코팅 후 실리콘 접착제를 코팅한 PET 보강사(4(a)~4(e)로 표기)까지 촉매 농도 변수를 적용하여 총 12가지 샘플을 백금촉매 경화형 실리콘 고무와 가류한 후 측정된 평균 최대하중을 Figure 6에 나타내었다.

Figure 6 (a), (b)를 통하여 PET 필라멘트에 1차로 에폭시 혼합액을 코팅한 후 실리콘 접착제를 적용한 경우에 최대 접착력을 확인하였다. PET에 에폭시 혼합액을 처리하지 않고 실리콘 접착제만 코팅한 샘플(3-a, b, c, d, e)의 일반·내열 접착테스트 결과 평균 접착력이 각각 5.78, 5.87kgf로 나타났으며, 에폭시 혼

Table 1. Average maximum load with curing time[Unit: kgf]

Curing time(mim)		0	1.5	3	5	7
Max. lad(kgf)	(a)	4.51	5.19	6.77	4.40	4.39
	(b)	4.93	6.48	7.08	4.89	4.79

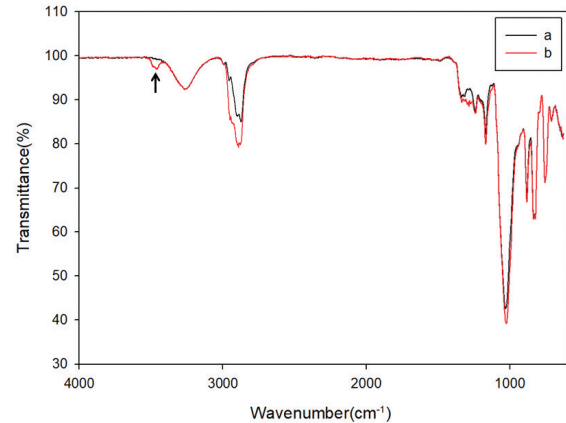


**Figure 6.** Average maximum load of silicone adhesive: (a) without heat exposure and (b) with heat exposure (120°C, 24h).

합액 코팅후 실리콘접착제를 코팅한 샘플(4-a, b, c, d, e)의 평균 최대접착력은 각각 9.77, 9.82kgf로 실리콘 접착제만 코팅한 샘플(3)의 조건보다 우수한 것을 확인하였다. PET에 에폭시 혼합액을 코팅함으로써 섬유와 백금촉매 실리콘 접착제가 강한 접착을 형성한다는 것을 확인 하였다.

### 3.2 PET fiber/silicone adhesive 접착 특성

섬유에 적용하는 에폭시 혼합액의 역할을 확인하기 위해 FT-IR을 통해 섬유상에 코팅된 접착제의 경화 전후의 변화를 측정하여 Figure 7에 나타내었다. 즉, 표면에 반응기를 제한적으로 가지고 있는 PET의 취약점을 보완하기 위하여 에폭시와 blocked isocyanate 혼합수용액을 코팅한 점을 고려할 때, 이러한 혼합 수용액으로 처리한 PET 표면의 말단에 존재하는 O-H(hydroxyl group)와 에폭시를 결합하여 반응성이 증가된 것으로 사료된다. 에폭시를 230°C 열처리한 시



**Figure 7.** FT-IR spectra of epoxy resin before and after curing: (a) non-cured epoxy(only dry) and (b) cured after drying.

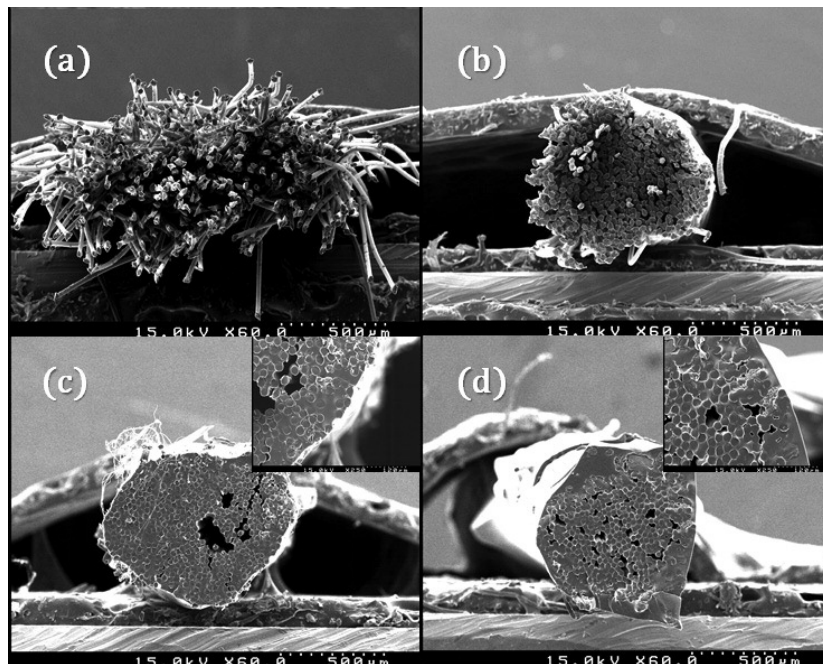
료에서 3500cm⁻¹ (hydroxyl O-H peak)에서 peak가 생성된 것을 확인할 수 있었으며 이는 230°C의 고온에 의하여 에폭시 링이 개환하면서 -OH(hydroxyl group)이 추가적으로 생성된 것임을 알 수 있다<sup>25</sup>.

백금촉매 경화형 실리콘 고무는 백금(Pt) 촉매를 사용하는 실리콘계 접착제와 동일한 금속촉매와 실리콘 base로 존재하기 때문에 접착제와의 가교가 쉽게 생성되는 것으로 알려져 있다<sup>12</sup>. 그에 반하여 PET와 실리콘 접착제는 낮은 접착력을 가지고 있으며, 이러한 낮은 PET의 접착력 조건을 보완하기 위하여 에폭시 혼합액을 사용하였다. 백금 촉매가 첨가된 실리콘 접착제와 PET 섬유의 접착 메커니즘을 도식화하여 Figure 8에 나타내었다. 실리콘 접착제의 base에 존재하는 -H (hydrogen group)과 에폭시 혼합에 의해 PET 섬유 표면에 제공된 -OH(hydroxyl group)이 Pt에 의해 H₂를 제거하며 가교를 형성하는 것으로 추측된다. 동시에 실리콘 접착제 base의 -H(hydrogen group)과 C=C(alkene group)이 가교를 형성하여 경화된다.

에폭시 혼합에 의하여 표면이 개질되어 -OH기가 많이 형성된 PET 섬유의 표면에서, 과산화물에 의해 경화되는 실리콘 접착제를 사용하여 코팅할 때의 접착 메커니즘을 Figure 9에 추가적으로 제시하였다.

기본적으로 과산화물에 의해 경화되는 접착제의 silicone base는 C=C(alkene group)의 이중결합을 가지고 있으며, 유기 과산화물에 의해 존재하는 free radicals를 통하여 경화되는 것으로 알려져 있다<sup>26,27</sup>. 과산화물 실리콘 접착제의 peroxide(R-O-O-R)가

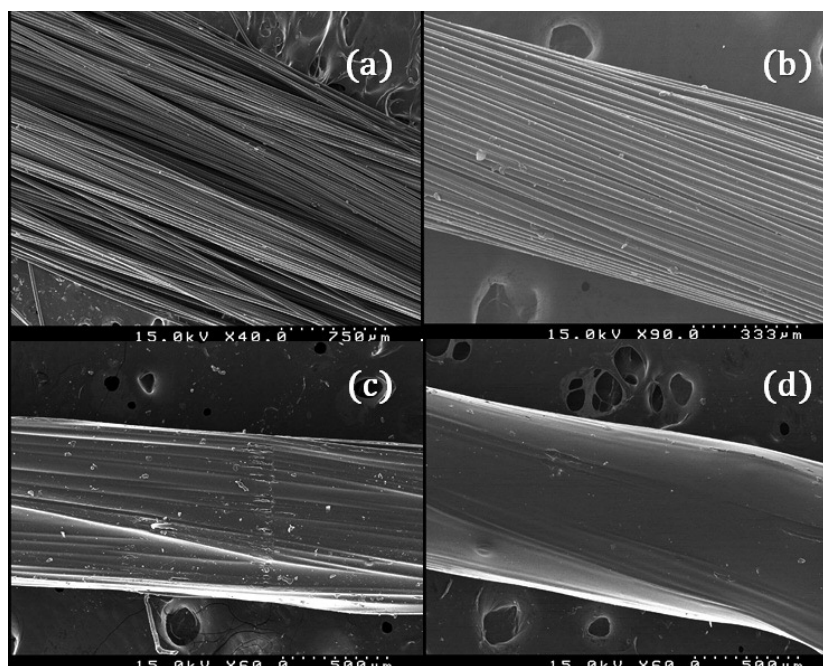




**Figure 10.** Cross-section of PET coating under different dip solution condition: (a) untreated PET, (b) only epoxy dip coated, (c) only silicone adhesive coated and (d) epoxy dip and silicone adhesive coated.

Figure 10(a) 이미지에서 미처리 PET사의 단면은 응집이 없이 흐트러져 있는 것을 확인 할 수 있으며, (b)의 에폭시 혼합단독 코팅사는 미처리 PET에 비하여 응집한 것을 확인하였다. 다만 Figure 10 (c), (d)에서

실리콘 접착제를 처리한 단면이 월등하게 응집되는 것을 확인하였다. 실리콘 접착제 단독으로 코팅한 (c)는 접착제가 섬유로 다량 침투한 형태를 보인 반면, 에폭시 혼합액과 실리콘 접착제를 코팅한 PET 코팅사 (d)



**Figure 11.** Surface images of PET coating according to dipping condition: (a) untreated PET, (b) only epoxy dip coated, (c) only silicone adhesive coated and (d) epoxy dip and silicone adhesive coated.

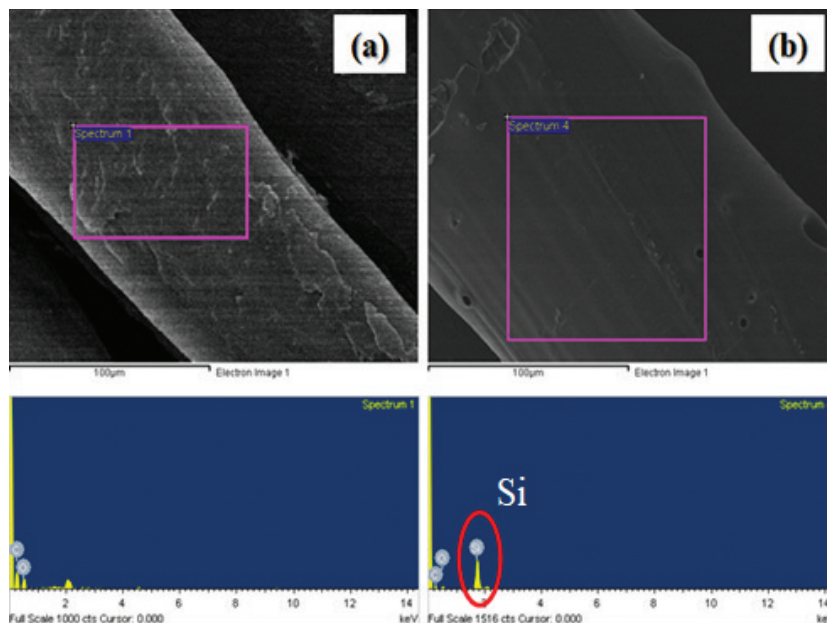


Figure 12. Surface element analysis of PET fibers: (a) untreated PET and (b) silicone adhesive coated PET.

는 접착제가 깊게 침투하지 않고 표면에 코팅층을 형성한 것을 확인하였다. 이는 에폭시 혼합액이 최초 PET 필라멘트 층에 코팅된 후 필라멘트사 표면층에서 경화된 것으로 여겨지며, 이로 인해 추가적으로 적용된 실리콘 접착제는 PET 필라멘트사 내부로의 침투가 차단되어, 경화된 에폭시 혼합액 표층에 머무르게 된 것으로 여겨진다.

동일한 시료들의 표면을 Figure 11에 나타내었다. 에폭시 혼합액만을 코팅한 Figure 11(b) 이미지에서 알 수 있듯이 미처리 시료인 (a)보다 균일하게 정렬된 것을 확인할 수 있다. 또한 실리콘 접착제를 처리한 (c)와 (d)를 비교하였을 때 표면 이미지는 큰 차이가 없으나 (d)의 표면에 섬유 다발의 형태가 비교적 덜 드러나는 것을 확인하였고, 이는 (d)시료에 실리콘 접착제를 코팅하기 전 에폭시 혼합을 처리하여 실리콘 접착제가 섬유의 내부로 비교적 많이 침투하지 못했기 때문에 섬유의 표면에 두껍게 코팅되었기 때문으로 추정된다.

미처리 PET와 실리콘 접착제를 코팅한 PET의 표면을 SEM-EDS를 통해 원소분석 한 결과를 Figure 12에 나타내었다. (a)의 미처리 PET 표면에는 C, O의 고분자를 구성하는 기본 원소를 확인할 수 있었고, (b)의 실리콘 접착제를 코팅한 코팅사에서는 C, O를 포함한 Si 원소를 확인할 수 있었다. 실리콘 접착제가 Si 원소를 포함하고 있으므로 코팅사의 표면에 실리콘 접착제

가 코팅된 것을 확인하였다.

### 3.4 Epoxy dip/silicone adhesive에 따른 PET fiber의 열적 특성

실리콘 접착제가 코팅된 PET 섬유의 내열 특성을 확인하기 위해 열중량분석기(TG-DTA)로 초기분해온도(Initial Degradation Temperature, IDT)를 측정하여 Figure 13에 나타내었다.

미처리 PET의 경우 섬유의 초기분해온도가 404°C로 나타났으며, 실리콘 접착제를 코팅한 PET의 초기

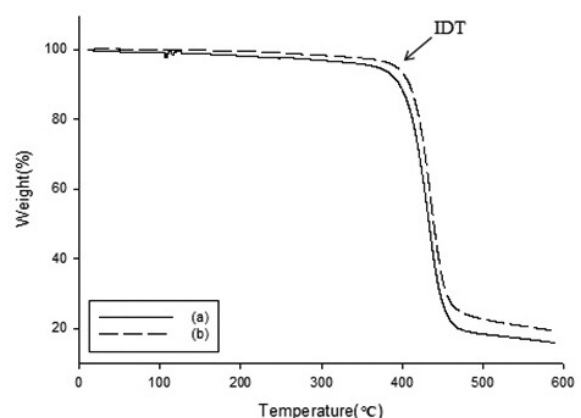


Figure 13. Thermal characterization of untreated PET and silicone coated PET: (a) untreated PET and (b) silicone coated PET.

분해온도가 미처리 PET에 비하여 10°C 상승한 414°C로 나타났다. 이를 통하여 실리콘 접착제를 PET에 코팅함으로써 코팅사 자체의 내열특성이 증가한 것을 알 수 있었다. 이는 C-C 결합에 비하여 결합력이 더 큰 것으로 알려진 Si-O 결합이 주를 이루는 실리콘 접착제가 C-C 결합이 주축인 PET 섬유에 코팅되면서 나타난 예측 가능한 결과로 사료된다.

#### 4. 결 론

백금촉매 경화형 실리콘 고무와의 가교력이 우수한 실리콘 접착제를 선택하여 PET 섬유와 고무의 접착을 시도하였다. 실리콘 접착제의 경화시간과 접착제에 혼합되는 백금(Pt) 촉매의 농도를 변화시켜 최적의 내열 접착 발현 조건을 확립하였다.

결과적으로 5%의 촉매를 혼합한 실리콘 접착제를 3min동안 경화시킨 조건에서 각각 9.77 및 9.82kgf의 높은 일반·내열 접착력을 나타내었다. 실리콘 접착제와 PET 섬유 사이의 접착 특성을 증가시키기 위하여 에폭시와 blocked isocyanate 수용액을 접착액으로 사용하여 PET 섬유의 반응성을 증가시켜 실리콘 접착제와 섬유의 가교를 원활하게 하였으며, 그 결과 실리콘 접착제만 코팅한 샘플에 비하여 확연히 증가한 내열 접착력을 보였다. 고무복합체에 적용 가능한 실리콘 접착제의 조건을 확립하였으며, 혼합액과 접착제의 적용에 의한 PET 섬유와 실리콘 고무의 접착 메커니즘을 제시하였다. 이러한 접착 메커니즘의 제시가 향후 고무 복합체 및 여러 산업분야에 적용하기 위한 연구에도 크게 기여할 것으로 기대된다.

#### References

1. K. Stockelhuber, A. Svistkov, A. Pelevin, and G. Heinrich, Impact of Filler Surface Modification on Large Scale Mechanics of Styrene Butadiene/silica Rubber Composites, *Macromolecules*, **44**(11), 4366(2011).
2. S. Park and M. Seo, Interfacial Characteristics of Polymeric Composite Materials, *Polymer(Korea)*, **29**(3), 221 (2015).
3. N. Mahyar, M. H. Sayyed, S. Mohammad, and A. Azam, Pull-out Analysis of Laser Modified Polyamide Tire Cords through Rubber Matrix, *Engineering Failure Analysis*, **80**, 431(2017).
4. R. Mahmoud and J. Masoud, Adhesion of Nitrile Rubber(NBR) to Polyethylene Terephthalate(PET) Fabric, Part 1: PET Surface Modification by Methylene-diphenyldi-isocyanate(MDI), *Engineering Failure Analysis*, **360**(1), 429(2016).
5. S. Park and M. Kang, A Study on Mechanical Interfacial Behaviors of Carbon Black-filled Elastomeric Materials via Adhesion Improvement, *Rubber Technology*, **18**(1), 13(2017).
6. S. Ata, T. Mizuno, A. Nishizawa, C. Subramaniam, D. N. Futaba, and K. Hata, Influence of Matching Solubility Parameter of Polymer Matrix and CNT on Electrical Conductivity of CNT/rubber Composite, *Sci. Rep-UK*, **4**, 7232(2014).
7. I. M. Ulfah, R. Fidyarningsih, S. Rahayu, D. A. Fitriani, D. A. Saputra, D. A. Winarto, and L. A. Wisojodharmo, Influence of Carbon Black and Silica Filler on the Rheological and Mechanical Properties of Natural Rubber Compound, *Procedia Chem*, **16**, 258(2015).
8. S. Kim, Y. Kim, and J. Choi, Silicones for Coating, Present and Future, *Prospectives of Industrial Chemistry*, **3**(6), 14(2000).
9. A. L. Bloomfield, Primer System for Bonding Conventional Adhesives and Coatings to Silicone Rubber, *International J. of Adhesion and Adhesives*, **68**, 239(2016).
10. T. Kim, H. Kim, S. Lee, and M. Park, Single-walled Carbon Nanotube/silicone Rubber Composites for Compliant Electrodes, *Carbon*, **50**(2), 444(2012).
11. J. Lee, T. Lee, K. Shim, J. Park, H. Kim, and Y. Kim, Adhesion Performance and Recovery of Platinum Catalyzed Silicone PSAs under Various Temperature Conditions for Flexible Display Applications, *Materials Letters*, **208**(1), 86(2017).
12. D. Satas, "Handbook of Pressure Sensitive Adhesive Technology", 3rd Ed., Van Nostrand Reinhold, New York, 1999.
13. S. Vecchiato, J. Ahrens, A. Pellis, D. Scaini, B. Mueller, E. H. Acero, and M. G. Guebitz, Enzymatic Functionalization of HMLS-Polyethylene Terephthalate Fabrics

- Improves the Adhesion to Rubber, *ACS Sustainable Chem. Eng.*, **5**(8), 6456(2017).
14. J. Won, D. Jin, H. Son, Y. Hong, and S. Lee, Interfacial Adhesion and Fatigue Resistance of Polyketone Fiber/Natural Rubber Composites with Primer Treatment, *Textile Science and Engineering*, **51**(2), 63(2014).
  15. W. B. Datta, R. N. Noordermeer, and J. W. M. Elkink, Fibers Adhesion to Rubber Compound, *Rubber Chem. Technol.*, **81**(3), 523(2008).
  16. F. Colbric, G. Heumann, S. Liebminger, S. Almansa, E. C. Paulo, A. Guebitz, and G. M. Wennekes, New Enzymes with Potential for PET Surface Modification, *Bio-catal. Biotransform.*, **22**(5-6), 341(2004).
  17. R. A. Meyers, "Encyclopedia of Physical Science and Technology Polymer", Academic Press, Cambridge, 2001.
  18. W. Ma, C. Zhao, S. Okubayashi, I. Tabata, K. Hisada, and T. Hori, A Novel Method of Modifying Poly(ethylene terephthalate) Fabric Using Supercritical Carbon Dioxide, *J. of Applied Polymer Science*, **117**(4), 1897 (2010).
  19. E. Alyamac, H. Gu, and M. D. Soucek, Alkoxysilane Oligomer Modified Epoxide Primers, *Progress in Organic Coatings*, **74**(1), 67(2012).
  20. B. X. Qiana, L. Songa, Y. Hua, B. K. Richard, and K. Yuen, Thermal Degradation and Flammability of Novel Organic/inorganic Epoxy Hybrids Containing Organophosphorus-modified Oligosiloxane, *Thermochim Acta*, **552** (20), 87(2013).
  21. R. Pilawka, K. Goracy, and K. Wilpizewska, High-performance Isocyanate-epoxy Materials, *Pigment and Resin Technology*, **43**(6), 332(2007).
  22. M. Flores, X. F. Francos, J. M. Morancho, A. Serra, and X. Ramis, Ytterbium Triflate as a New Catalyst on the Curing of Epoxy-isocyanate based Thermosets, *Thermochimica Acta*, **543**(10), 188(2012).
  23. W. Chen, X. Zeng, X. Lai, H. Li, W. Fang, and F. Hou, Suppression Effect and Mechanism of Platinum and Nitrogen Containing Silane on the Tracking and Erosion of Silicone Rubber for High-Voltage Insulation, *ACS Appl. Mater. Interfaces*, **8**(32), 21039(2016).
  24. K. Indulekha, S. Monishab, D. Thomasc, R. S. Rajeeva, D. Mathewa, K. N. Ninand, and C. Gouri, Polycyclic Siloxanes: Base Resins for Novel High Temperature Resistant Platinum Curing Transparent Silicone Adhesives, *International J. of Adhesion and Adhesives*, **82**, 254 (2018).
  25. M. Gonzalez, J. Cabanelas, and J. Baselga, Applications of FTIR on Epoxy Resins -Identification, Monitoring the Curing Process, Phase Separation and Water Uptake, Infrared Spectroscopy- Materials Science, *Engineering and Technology*, **13**, 261(2012).
  26. E. Park, Mechanical Properties and Antibacterial Activity of Peroxide-Cured Silicone Rubber Foams, *J. of Applied Polymer Science*, **110**(3), 1723(2008).
  27. T. Chatterjee, S. Wiessner, K. Naskar, and G. Heinrich, Exploring a Novel Cyclic Mono Functional Peroxide for Curing of Silicone Rubber at Elevated Temperature, *Polymer Engineering and Science*, **57**(10), 1073(2017).

## Authors

- 김지호 영남대학교 파이버시스템공학과 석사  
 이상오 영남대학교 의류패션학과 교수  
 이재웅 영남대학교 파이버시스템공학과 교수