

# 유리섬유/에폭시 복합절연재료의 계면 접착력 개선에 관한 연구(1)

논문  
8-2-2

-계면상의 젖음성 향상에 관하여-

## A Study on the Adhesive Improvement of Glass-cloth/Epoxy Composite Insulating Materials(1) - for Improvement of Wettability on the Interface -

이종호, 황영한, 이규철

(Lee Jong-Ho, Hwang Yeong-Han, Lee Kyu-Chul)

### Abstract

With the contact angle of phase dropping epoxy resin on the inorganic filler(glass plate) surface treated with air plasma, we have studied about the interfacial wettability between epoxy resin and glass plate as a simple model of glass fiber reinforced composite materials. The contact angle on the inorganic filler surface varied with surface treatment conditions. The contact angle significantly depends on plasma treating time and environment temperature in the oven. From the view point of plasma treatment condition in this work, when discharge conditions were pressure 200mtorr, voltage 800V, magnetic flux density 80Gauss, optimum treatment time were proved as 3,4 and 5 minutes for the environment of 80°C, 100°C and 120°C, respectively.

**Key Words(중요용어)** : Plasma Treatment(플라즈마 처리), Wettability(젖음성), Contact Angle(접촉 각), Silane coupling Agent(실란 결합제)

### 1. 서 론

유리섬유강화 복합재료(GFRP)는 전기적 및 기계적 특성이 우수하기 때문에 사용량이 각 분야에서 현저한 증가 추세를 보이고 있다. 그러나 유리섬유강화 복합재료의 필라(filler)로 이용되는 유리섬유와 같은 무기질재료는 높은 표면자유에너지를 가지고 있고 유기 고분자재료는 낮은 표면 자유에너지를 가지고 있기 때문에 계면에서 친화력이 낮아 젖음성이 떨어지고 원하는 계면특성을 얻을 수가 없다. 그러므로 무기질재료의 높은 표면 자유에너지를 유기 고분자재료의 낮은 임계표면에너지 정도로 낮추어야 한다.<sup>1)</sup> 이와 같이 GFRP의 필라로 이용되는 유리섬유의 젖음성 개선에 관한 체계적인 연구가 절실히 요구되고 있는 실정이다.

메트릭스(matrix)와 필라사이의 계면 결합력을 향상시키기 위해 지금까지 여러 종류의 계면 결합제(interface coupling agent)가 개발되어 왔고, 이 계면 결합제를 필라표면에 처리하거나 메트릭스에 혼입하여 사용하면 계면 젖음성을 향상시킬 수 있다.<sup>1,2)</sup> 그러나 필라표면에 계면 결합제를 처리할 때, 계면결합제의 wt% 수용액의 농도에 따라 단분자 층이 아니라 다분자 층으로 형성되고, 복합재료 제작시 유리섬유 자체의 이물질 및 수용성 결합제의 잔유를 제거하기 위하여 400°C 이상에서 장시간 고온 열처리를 하면 섬유질 표면에 미세한 손상과 크랙이 발생한다.<sup>4)</sup> 그리고 저온 열처리를 하면 수용성 결합제의 잔유가 부착되어 수분을 흡습하고 강도를 저하시킨다. 또한, 계면 결합제가 가수분해되어 실라놀(Silanol)기(基)를 형성하더라도 약 100°C 정도의 고온에서는 계면 결합제의 실라놀(Si-OH) 기가 비산작용에 의해 감소되어 에폭시 수지의 OH기와 상호작용이 저하될 수 있고 Glass표면에서 상전이(Phase Transition)가 발생하

\* : 울산대학교 공대 전기공학과  
접수일자 : 1994년 8월 22일  
심사완료 : 1994년 12월 15일

여 단위격자(Unit Cell)가 표면완화(Surface Relation)나 표면 재구성(Surface Reconstruction)을 이루기 때문에 계면 결합력을 저하시키는 원인이 될 수 있다.<sup>1-5)</sup>

이러한 계면 결합력의 결점을 개선하기 위한 한 방법으로 저온 플라즈마를 이용하여 필라표면을 처리함으로써 계면의 젖음성을 개선하여 GFRP의 계면 접착력을 향상하고자 한다. 저온 플라즈마를 이용하여 무기질표면을 처리하면 라디칼, 전자, 이온, 자외선 등에 의해서 표면 자유에너지가 감소되고 친수성이 증가하여 계면에서 젖음성과 친화력이 증가하기 때문에 역학적 측면에서는 젖음성이 향상되어 인장특성이 증가하고, 전기적 측면에서는 절연강도의 증가 및 유전손실을 감소시킬 수 있다.<sup>1-5,6,7)</sup> 단점으로는 플라즈마 표면처리 후 시편관리의 문제(대기중의 습기흡수)가 있다.

본 연구에서는 화학적 계면 결합력의 결점을 개선하여 우수한 복합재료를 제작하기 위한 기초단계로서 플라즈마 발생장치의 최적 처리조건을 규명하고, 이 장치로서 먼저 유리섬유와 성분분포가 비슷한 평판유리의 최적 젖음성특성을 규명하기 위해 표면처리조건, 플라즈마 처리시간, 경화시 주위온도, 대기노출시간을 변화하여 각각의 조건에 대한 접촉각 변화과정을 비교, 분석하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1. 실험장치

그림 1은 본 연구에서 사용한 플라즈마 발생장치의 개략도이다. 진공조의 크기는 직경 220(mm), 높이 115(mm)인 원통형이다. 인가자계는 진공조 상부에서 원판형 영구자석(내경 : 110mm, 외경 : 220mm, 두께 : 20mm)을 가감하여 자속밀도를 변화시켰다. 플라즈마를 발생시키기 위한 전극은 내부전극 형태와 무전극 형태가 있다.<sup>6)</sup> 본 연구에서는 내부전극 형태인 평대-평판전극을 사용하였고, 음극 평판전극 내부에는 냉각수를 공급할 수 있도록 하였으며 글로우 방전의 성질상 음극강하전압보다 양극강하전압이 적기 때문에 Probe와 기준전극간의 전위차가 적게되고 전압조작성이 여러가지로 편리하기 때문에 양극(진공조)을 접지하여 사용하였다.<sup>9)</sup> 직류 글로우 방전을 이용하여 균일한 플라즈마를 발생시켰으며 무기질 필라 표면을 이플라즈마로 자계, 전계, 시간을 변화하여 처리할 수 있도록 하였다.

그림 2는 복탐침 측정회로도이다. 일반적으로 플라즈마 변수(Parameter)를 측정하는 방법은 비교

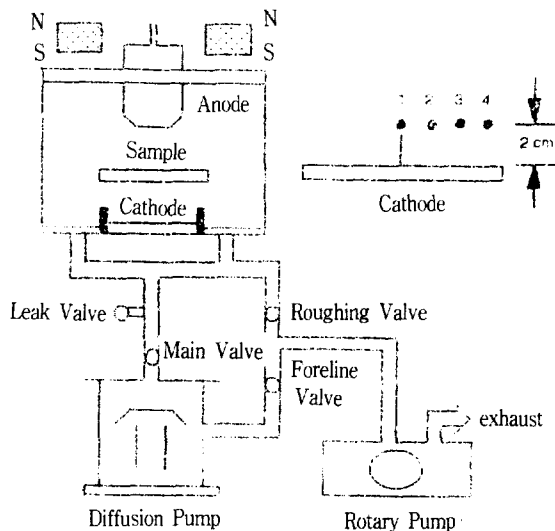


그림 1. 실험장치의 개략도

Fig. 1. Schematic diagram of experimental apparatus.

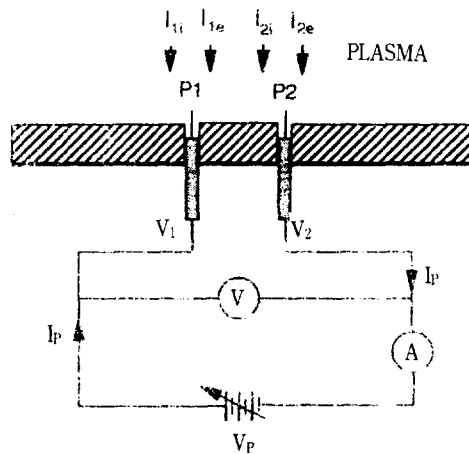


그림 2. 복탐침 측정회로도

Fig. 2. Double probe measurement circuit. Plasma

적 저온, 저밀도 플라즈마의 측정에 이용되는 탐침(Probe)법과 비교적 고온, 고밀도 플라즈마의 측정에 이용되는 전자파법이 있다. 저온 플라즈마 측정에 이용되는 탐침법 중에서도 단탐침(Single Probe)법은 R.F. 방전이나 Pulse방전과 같이 기준전극과 측정지점간의 전위차가 시간적으로 변화될 경우 정확한 전압-전류특성의 측정이 불가능하며 ECR같은 고주파 방전 플라즈마나 전리층 플라즈마 같이 처음부터 기준전극이 없는 경우에는

Probe전위를 변화시킬 수가 없기 때문에 측정은 전혀 불가능하다. 이와 같이 기준전극이 없는 플라즈마를 측정하기 위해 고안된 것이 Probe 2개를 이용하는 복탐침(Double Probe)법이다. 이 복탐침법은 플라즈마와 전위적으로 부동(Floating)된 2개의 Probe에 전압을 인가하여 플라즈마와 두 Probe사이의 전위차에 의해 측정되는 (+)전류의 변화를 해석하여 플라즈마 변수를 구하는 방식이며 전자 밀도가 단탐침법에 비하여 무시할만큼 작은 변화여서 자체의 영향을 거의 받지 않는다고 할 수 있다. 이와같은 복탐침법을 부동탐침법(Floating probe method)이라고도 한다. 그러므로 자화플라즈마의 측정에는 가능한 한 복탐침법을 이용해야 한다.<sup>9,10,11)</sup>

### 2. 2. 실험방법

본 연구에서는 계면에서 젖음의 정도를 평가하는 척도로 이용되는 접촉각을 측정하기 위하여 메트릭스로서 에폭시 수지(Epoxy resin : Seoul Epikote Co. MF#1)에 경화제 2%와 크실렌(Xylene) 30%를 혼합하여 Rotary Pump로 진공 배기한 후 액적으로 사용하였다. 무기질 필라로서는 평판유리(Superior, W. Germany)를 비눗물과 아세톤 및 알코올에 1차 세척한 후 초음파 세척기를 이용하여 2차 세척후 사용하였다. 그리고 계면 결합제는 아미노 실란 결합제(Amino silane coupling agent : Chiso Co. S330, Japan) 0.2% 수용액을 사용하였다.<sup>12)</sup> 진공조내의 진공도를 200(mtorr)로 일정하게 유지하고 전극간 인가전압을 800(V)로 인가한 후 자체 80(Gauss)를 가했을 때 전극위 2cm높이에서

Probe 위치에 상관없이 그림 3과 같은 균일한 전자온도 및 전자밀도를 가지는 평활 플라즈마가 발생하였다. 이때, 방전전류는 약 63(mA)로 일정하게 유지되었다. 이러한 평활 플라즈마내에서 시간에 따라 무기질 필라 표면을 처리한 후 에폭시 액적 1( $\mu$ l)을 떨어뜨려 접촉각 측정장치(Contact Anglemeter : Gonimeter Type, Model G-1, ERMA, Japan)를 이용하여 주위온도 및 대기노출 시간에 따른 접촉각 변화를 측정하였다. 또한, 평판유리 표면을 미처리, 고온로에서 열처리 및 계면 결합제로 처리한 시편에 대해서도 에폭시 액적을 떨어뜨려 주위온도 및 대기노출 시간에 따른 접촉각 변화를 측정하여 각 표면처리 조건에 대한 접촉각 변화를 측정하였고 5회 측정값의 평균값을 구하였다. 본 연구의 실험방법은 그림 4와 같다.

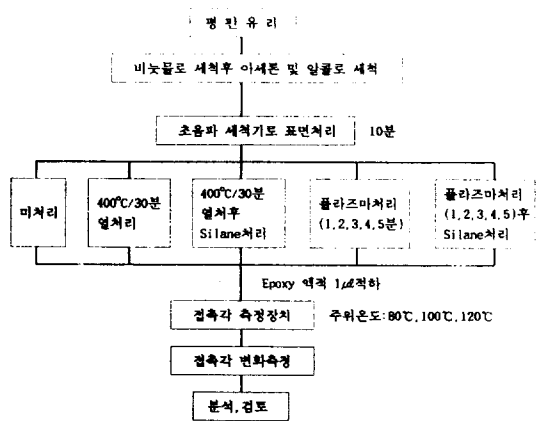


그림 4. 실험방법  
Fig. 4. Experimental method.

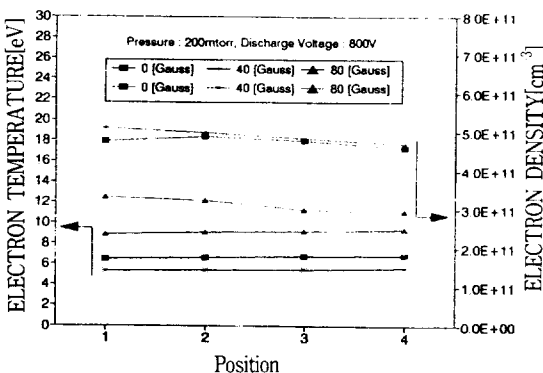


그림 3. 전극위 2cm 지점의 전자온도 및 전자밀도 분포

Fig. 3. Electron temperature and density distribution at the 2cm above the electrode.

### 3. 이론적 고찰

#### 3. 1. 젖음의 정도

평평한 고체 표면에 한 방울의 액체를 놓으면 표면장력 및 계면장력의 균형에 의해 액체방울은 특정한 형태를 나타낸다. 이때 그림 5와 같이 액체의 표면 접선과 액체-고체간에 계면이 이루는 각을 접촉각이라고 한다. 일반적으로 액체의 젖음의 정도는  $\theta = 0^\circ$  일때는 액체는 고체표면에 완전히 퍼진다.  $0^\circ < \theta < 90^\circ$  일때는 젖는다.  $90^\circ < \theta < 180^\circ$  일때는 젖지 않는다.  $\theta = 180^\circ$  일때는 완전히 젖지 않는다고 말한다. 즉, 복합재료 제작시에는 적어도  $\theta < 90^\circ$  것이 바람직하며 접촉각이 적지 않으면 액체가 가느다란 섬유사이의 틈으로 들어가지 않는다. 일반적으로 고체면에 대하여 액

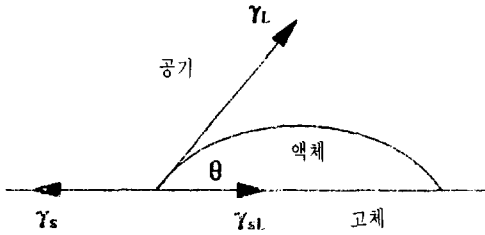


그림 5. 표면장력과 계면장력  
Fig. 5. Surface tension and Interface tension.

체를 접촉시켰을 때 일어나는 고체-액체 접촉면에서의 계면현상으로 부착젖음정도, 확장젖음정도, 침투젖음정도의 3가지 형태로 나누어진다.<sup>13,14)</sup> 이러한 젖음정도를 수량적으로 평가하기 위해서는 접촉각을 이용할 수 있으며, 또한, 접촉각을 표면 자유에너지의 변화관점에서 보면 고체면의 표면장력과 밀접한 관계가 있음을 알 수 있다.

- $\gamma_s$  : 고체의 표면장력
- $\gamma_L$  : 고체, 액체, 공기의 경계로부터 액체에 대해 잡아당긴 접선방향에 있어서 액체의 표면장력
- $\gamma_{sl}$  : 고체, 액체의 계면장력
- $\theta$  :  $\gamma_L$ 과  $\gamma_{sl}$ 이 이루는 각

그림 5와 같이 힘의 균등으로부터

$$\gamma_s = \gamma_{sl} + \gamma_L \cos \theta \quad (1)$$

표면 자유에너지  $W_a$ 는

$$\begin{aligned} W_a &= \gamma_s + \gamma_L + \gamma_{sl} \\ &= \gamma_L(1 + \cos \theta) = \gamma_L + A \quad (2) \end{aligned}$$

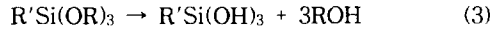
단,  $A = \gamma_L \cdot \cos \theta$

로 나타내어진다. 그리고 이 식(2)는 T.YOUNG에 의해서 증명없이 제안되어 있으므로 YOUNG 식으로 불려지고 있다.<sup>13,14,15)</sup>

### 3. 2. 계면 결합제 효과

현재 GFRP에서는 유리섬유 표면 처리제로서 실란을 사용하고 있다. 본 연구에 사용되어진 계면 결합제는 아미노 실란 결합제(Amino Silane coupling agent)로서 이 계면 결합제는  $\gamma$ -Aminopropyltriethoxysilane( $\gamma$ -APS)로 알려져 있으며,

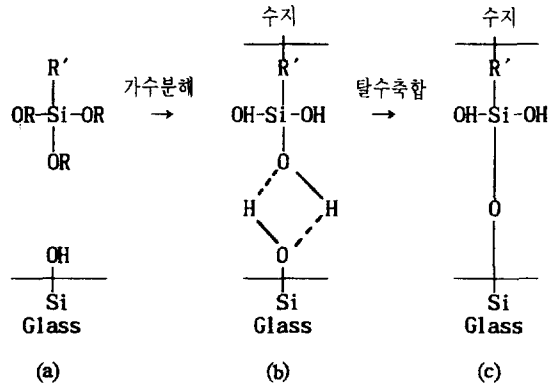
대부분 에폭시, 페놀, 나이론수지에 적용되고 있다. 이 계면 결합제를 화학적 구조식으로 간단하게  $R'Si(OR)_3$ 로 표시한다.<sup>1,2)</sup>



가수분해

$R'$  : 유기 관능기     $OR$  : 가수분해가 용이한 기(基)     $Si-OH$  : Silanol 기(基)

계면 결합제를 유리섬유 표면에 처리하면 유리섬유-수지 사이의 접촉력이 증가하는 이유는 다음과 같다.



가수분해 되어 Silanol로 생성되는  $Si-OH$ 가 (b)와 같이 Glass표면의  $Si-OH$ 와 수소결합을 한다. 그 다음  $Si-OH$ 간의 탈수축합반응으로 (c)와 같이 Glass표면과 실록산 결합( $Si-O-Si$ )을 형성한다. 한편, 계면 결합제내의 유기 관능기( $R'$ )는 수지와 반응하여 강하게 결합한다.<sup>3,4,16)</sup>

### 3. 3. 저온 플라즈마의 원리 및 효과

플라즈마는 하전입자와 중성입자로 구성되어 집단적 거동을 하는 준중성기체이고 전체적으로는 전기적중성을 나타내는 것이다.<sup>17)</sup> 플라즈마의 입자들이 갖는 에너지가 비교적 낮은 경우에 이를 저온플라즈마라 하며 대표적인 예로는 우주공간, 지구의 이온층, 그리고 글로우 방전(Glow Discharge) 등이 있다. 글로우 방전의 원리는 낮은 압력의 기체에 비교적 강한 전계를 인가하여 기체내에 존재하는 자유전자를 가속시켜 고속도의 에너지를 부여하고 이 운동에너지를 가진 전자가 다른 원자나 분자에 충돌함으로써 해리, 전리, 여기시켜 높

은 에너지 상태의 활성종을 만든다. 이러한 글로우 방전을 이용하여 저온 플라즈마 상태를 형성한다. 플라즈마내의 활성종으로는 전자, 이온, 라디칼(Radical), 여기된 상태의 원자 또는 분자, 그리고 자외선과 가시광선등이 있다.<sup>6,7,8,17)</sup> 상온에서 기체 방전의 주된 생산물이 H<sub>2</sub>와 O<sub>2</sub>로 이루어져 있더라도 많은 수의 자유 라디칼은 Glow방전 플라즈마에서 존재한다는 것이 증명되어졌다. 일반적인 Glow 방전에 있어서 자유 라디칼은 기체분자에서 원자를 해리, 전리, 여기시키므로서 대부분 형성되어지고 자유 라디칼을 형성하는데 필요한 에너지는 Glow방전에서 정상적으로 얻을 수 있는 전자볼트(eV)범위에 있고 Glow방전에서 전자 : 0-20 eV, 이온 : 0-2 eV, 준안정/여기 : 0-20eV, 자외선/가시광선 : 3-40eV의 에너지를 얻는다.<sup>7,8)</sup> 이러한 플라즈마를 이용하여 표면을 처리하면 젖음성이 증가하는 이유를 다음과 같이 요약해 볼 수 있다. 첫째는 유리섬유 표면의 자유 라디칼(OH·)은 처리 시간에 따라 증가하고 일정한 처리시간 이후는 포화상태에 도달하게 된다. 그리고 대기노출시간에 따라 자유 라디칼은 기중수분과 접촉하면 서서히 감소되고 일정시간이후는 거의 변화가 없다.<sup>8,9)</sup> 두 번째는 유리섬유 표면에 충돌전자가 직접 반응하거나 에너지를 전달함으로써 유리섬유 표면의 자유에너지가 감소하게 된다는 것이다.<sup>1,5,6,8)</sup> 세 번째는 플라즈마내의 자외선이 유리섬유 표면에 복사되면 자유 라디칼이 생성될 수 있다는 것이다.<sup>6,8)</sup> 이와같이 플라즈마를 이용하여 무기질 표면을 처리하면 젖음성과 인쇄성이 증대하기 때문에 플라즈마를 이용한 표면개질 개선기술은 항공우주, 섬유, 금속, 자동차, 화학 등 다방면에서 많은 연구가 이루어지고 있는 실정이며 플라즈마에 의한 표면처리는 자동차 범퍼 도장, 필름의 인쇄성을 개선하기 위하여 이미 산업분야에 이용되고 있다.<sup>3,6,7)</sup> 전기, 전자분야에서 유리섬유강화 복합재료로 젖음성이 개선되면 전기기기, 차단기, 회로기판, 음향기기 등의 절연향상과 가장 큰 특징은 재료의 전체적인 물성에는 변화를 주지않고 표면층만을 개질할 수 있다는 점이다. 그외의 장점은 모든 운용 변수를 외부에서 손쉽게 제어할 수 있고, 화학적 방법에 비하여 환경 오염의 문제가 없다는 점이다.<sup>18)</sup>

#### 4. 실험결과 및 고찰

그림 6은 진공도가 200(mtorr)일때 인가자계 변화에 따른 방전전압과 방전전류의 상관관계를 나타내고 있다. 이 그림에서 방전전압이 증가함에 따

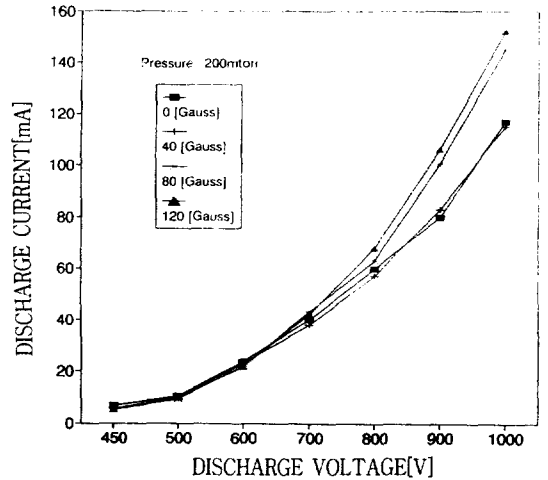


그림 6. 방전전압-방전전류 특성곡선

Fig. 6. Discharge voltage-Discharge current characteristics as parameter of the magnetic flux density.

라 방전전류는 지수함수적으로 증가함을 알 수 있다. 일반적으로 인가자계를 전극과 같은 방향으로 인가하면 관벽쪽으로 전자의 확산손실이 감소하여 중심축상의 전자밀도가 증가하고 방전전압이 높을수록 2차 전자방출 및 전자의 충돌 전리가 왕성하게 이루어지기 때문에 방전전류가 증가함을 알 수 있다.<sup>9)</sup> 본 연구에서 플라즈마 표면처리 조건은 인가전압 800(V), 인가자계 80(Gauss)일때의 방전전류하에서 시간변화에 따라 표면 처리를 하였다.

그림 7은 주위온도를 80℃로 일정하게 유지했을 때 처리조건에 따른 접촉각 변화특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 열처리 시료는 시료표면의 수산기(OH)가 기중수분과 결합하여 친수성기가 증가하여 접촉각이 감소하고, 열처리 시료는 시료표면의 수분이 증발하여 dangling bonding이 노출되고 유리표면의 Si-OH기가 감소함으로써 접촉각이 높게 나타나는 것으로 생각한다. 열처리 후  $\gamma$ -APS처리 했을 때는 식 (3)에서와 같이-Si(OH)<sub>3</sub>기가 시료표면과 탈수축합 반응에 의하여 실록산(Si-O-Si)결합을 함으로서 접촉각이 감소함을 알 수 있다. 3분 동안 플라즈마처리 했을 때는 시료표면에 자유 라디칼이 증가하였고, 충돌전자가 표면 자유에너지를 감소시키므로서 접촉각이 낮게 나타남을 알 수 있다.<sup>1,6)</sup> 그리고 3분 동안 플라즈마처리 후  $\gamma$ -APS처리 했을 때는 열처리 후  $\gamma$ -APS 처리 했을 때와 같은 반응에 의해 접촉각이 더욱 낮게 나타남을 알 수 있다.

그림 8은 주위온도를 80℃, 100℃, 120℃로 유지

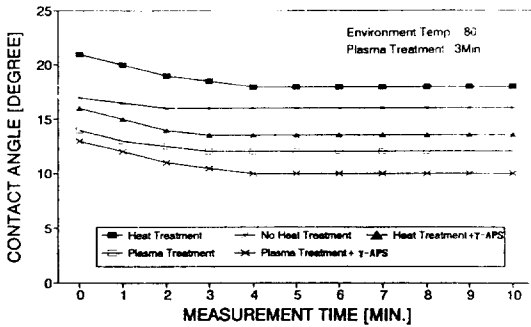


그림 7. 처리조건에 따른 유리표면의 접촉각 변화 특성

Fig. 7. Contact angle characteristics of glass surface by surface treatment conditions.

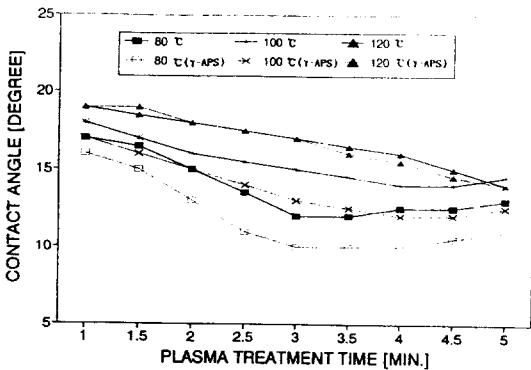


그림 8. 플라즈마 처리시간에 따른 접촉각 변화 특성.

Fig. 8. Contact angle characteristics as plasma treatment time

했을 때 플라즈마 표면처리 시간에 따른 접촉각 변화특성을 나타내고 있다. 이 그림에서 주위온도에 상관없이 처음에는 처리시간에 따라 급격히 감소한 후, 일정시간 이후 서서히 증가하는 경향을 보이고 있음을 알 수 있다. 이때 주위온도가 80°C 일때는 3분, 100°C 일때는 4분, 120°C 일때는 5분일 때 가장 우수한 특성을 나타남을 알 수 있고 계면 결합제를 처리함으로써 접촉각특성을 더욱 향상시킬 수 있다. 그러나 계면 결합제는 100°C 이상의 고온에서 상전이 또는 비산작용이 일어나므로 플라즈마만 처리한 시료와 차이가 없음을 알 수 있다.<sup>4,5)</sup> 이와 같이 주위온도에 따라 최저 접촉각이 다르게 나타나는 이유는 에폭시 수지의 임계표면 자유에너지가 주위온도에 따라 점성 및 젤화(Cel-

ling)시작시간이 변화되고 플라즈마 처리시간에 따라 평판유리의 표면 자유에너지가 변화되기 때문에 주위온도에 따른 에폭시 수지의 임계표면 자유에너지는 평판유리 표면의 표면장력과 밀접한 관계가 있는것으로 생각된다.<sup>1,8,12)</sup> 그리고 플라즈마 처리시간에 따라 접촉각이 다르게 나타나는 이유는 시료 라디칼은 초기에 증가하고 충돌전자가 표면 자유에너지를 감소시키지만 일정시간 이후 포화상태에 도달하게 된다. 또한, 자외선 및 충돌전자가 시료표면의 자유에너지를 변화시키므로서 다르게 나타나는 것으로 생각된다.<sup>8,10)</sup> 즉, 무기질 재료의 표면 자유에너지와 유기 고분자재료의 임계표면에너지가 같을 때 최적의 젖음성 특성을 얻을 수 있다.<sup>1)</sup>

그림 9은 표면처리 조건에 따라서 유리표면의 대기노출 시간변화에 따른 접촉각특성을 나타내고 있다. 이때 실험조건은 표면처리한 시료를 각각 주어진 온도로 유지한 후 각 노출시간마다 에폭시 액적을 한 방울 떨어뜨린 후 접촉각 특성을 측정 한 결과이다. 이 그림에서 대기노출 시간에 따른 접촉각 변화특성은 표면처리 조건에 상관없이 초기에는 약간 증가한 후 일정시간 이후 포화상태에 도달함을 알 수 있고 실리카겔을 넣은 데시케이터에 보관하면서 24시간 마다 측정하여도 큰 변화가 없음을 알 수 있었다. 특히, 유리표면을 플라즈마로 3분 동안 처리함으로써 접촉각 특성이 우수하게 나타남을 알 수 있다. 이와 같이 유리표면을 플라즈마로 처리함으로써 접촉각 특성이 우수하게 나타나는 이유는 시료표면에 자유 라디칼층이 형

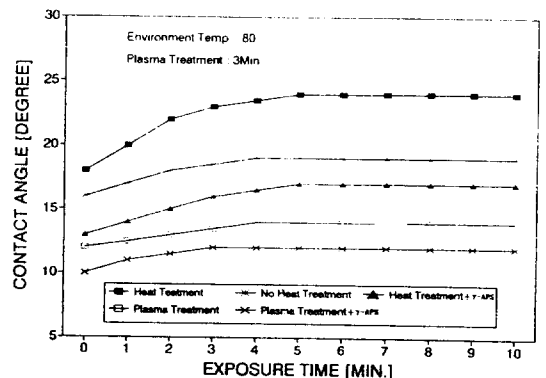


그림 9. 표면처리 조건에 따른 유리표면의 대기 노출시간-접촉각 특성

Fig. 9. Exposure time-contact angle characteristics of glass surface by surface treatment conditions.

성되었고, 충돌전자가 표면 자유에너지를 감소시키므로써 접촉각이 낮게 나타나는 것으로 생각된다.

그림 10은 표면처리 조건을 다르게 했을 때, 유리표면의 주위온도 변화에 따른 접촉각 특성을 나타내고 있다. 이때 실험조건은 각 온도에 따라 에폭시 액적을 떨어뜨린 후 접촉각 변화를 측정하였다. 이 그림에서 3분 동안 플라즈마를 처리함으로써 접촉각을 향상시킬수 있고 플라즈마처리 후  $\gamma$ -APS처리 했을 때 특성은 플라즈마만 처리 했을 때 특성과 거의 비슷하게 나타남을 알 수 있었다. 그리고 표면처리 조건에 상관없이 측정 주위온도가 40°C~50°C일때 최적의 접촉각 특성을 나타내고 있음을 알 수 있었다.

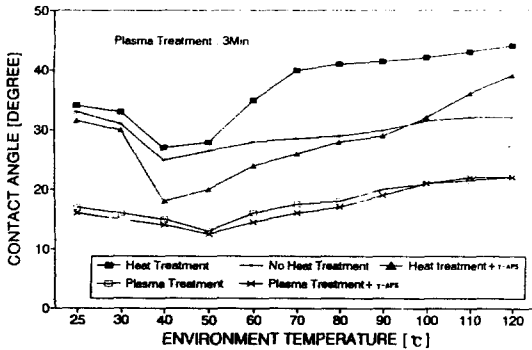


그림 10. 표면처리 조건에 따른 유리표면의 주위 온도-접촉각 특성

Fig. 10. Environment temperature-contact angle characteristics of glass surface by surface treatment conditions.

#### 4. 결 론

직류 Glow 방전 플라즈마 표면처리 기법을 이용하여 복합재료의 보강제인 무기물 표면에서 수지의 젖음성 특성을 개선하기 위해 플라즈마 발생 장치의 플라즈마 진단을 행하였고 유리섬유와 성분분포가 비슷한 평판유리 표면을 플라즈마로서 시간변화에 따라 처리한 후, 에폭시 액적을 떨어뜨려 주위온도 및 대기노출시간에 따른 젖음성 변화를 측정한 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- (1) 저온 플라즈마의 전자온도 및 전자밀도는 인가 자계에 따라 다르게 나타남을 알 수 있었다. 본 연구에서는 진공도가 200(mtorr), 인가전압

800(V) 그리고 인가자계 80(Gauss)일때, 전극 위 2cm 높이에서 전자온도는 약 9(eV), 전자 밀도는 약  $3 \times 10^{11}(\text{cm}^{-3})$  범위로 나타났다.

- (2) 평판유리를 플라즈마로 표면처리함으로써 각 표면처리 조건에 따라 접촉각 특성은 플라즈마 +  $\gamma$ -APS처리, 플라즈마 처리, 열처리 +  $\gamma$ -APS처리, 미열처리, 열처리 순서로 접촉각이 나타남을 알 수 있었다.
- (3) 플라즈마 처리시간에 따라 주위온도가 80°C일 때는 3분, 100°C일 때는 4분, 120°C일 때는 5분 일때 접촉각 특성이 우수하게 나타남을 알 수 있었다.
- (4) 최적의 접촉각특성은 진공도 200(mtorr), 방전 전압 800(V)에서 3분 동안 처리한 후 주위온도가 80°C일때 가장 우수하게 나타났다.

#### 참 고 문 헌

1. R. Yosomita, K. Morimoto, A. Nakajima, Y. Ikada and T. Suzuki, "Adhesion and Bonding in Composites" Marcel Dekker Inc., 1989.
2. Edwin P. Plueddemane, "Interface in Polymer Matrix Composite" Academic Press, New York & London, Vol. 6, 1974.
3. P. Ehrburger and J. B. Donnet, "Interface in Composite Materials" Phil. Trans. R. Soc. Lond., A294, pp. 495-505, 1980.
4. Kazumune NAKAO "Interface, Adhesion, Composite" 表面技術, Vol. 42, No. 10, 1991.
5. Andrew Zangwill, "Physics at Surface "Cambridge University Press, 1988.
6. 井手文雄 "高分子 表面改質" 近代編集社, 1987.
7. B. Champan, "Glow Discharge Processes" John Wiley & Sons, N. Y. 1980.
8. Herman V. Boenig "Fundamentals of Plasma Chemistry and Technology" Technomic Publishing Co., Inc., 1988.
9. 박성후 "Introduction to Plasma" 완성사, 1992.
10. Orlando Auciello, Daniel L. Flamm "Plasma Diagnostics" Academic Press, Vol. 1, 1989.
11. I. H. Hutchinson, "Principles of Plasma Diagnostics" Cambridge University Press, 1987.
12. J. H. Lee, Y. H. Hwang, J. K. Kim, J. S. Cho, "A Study on the Development and Dielectric Properties of Thermal-resistance composite Insulating Materials -For Optimum

fabrication Conditions and Effect of Silane Coupling Agent of Composite Materials~" KIEE, Vol. 41, No. 6, pp.673-686, 1992.

- 13. 渡邊信淳, 渡邊 昌, 玉井康勝“表面および界面”共立出版株式會社, 1988.
- 14. D. P. Woodruff, "The Solid-Liquid Interface" Cambridge University Press, 1973.
- 15. H. Yildirim erbil and R. Alsan Meric "Determination of Surface Free Energy Components of Polymers from Contact Angle Data using Nonlinear Programming Meth-

ods" Colloids and Surface, Vol. 33, pp. 85-95, 1988.

- 16. 堂山昌男, 山本郎一編, "複合材料" 東京大學出版會, 1984.
- 17. Dwight R. Nicholson, "Introduction to Plasma Theory" John Wiley & Sons, Inc. 1983.
- 18. D. T. Clark, A. Dilks and D. Shuttleworth "The Application of Plasmas to the Systhesis and Modification of Polymers" in "Polymer Surface" ed. by D. T. Clark and W. J. Feast, John Wiley & Sons, N. Y. 1978.

저자소개

황영한



1965년 4월 29일생. 1990년 2월 울산대학교 공대 전기공학과 졸업. 1992년 2월 울산대학교 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 현재 울산대학교 대학원 전기공학과 박사과정.

이종호



1953년 10월 16일생. 1979년 2월 부산대학교 전기공학과 졸업. 1982년 2월 부산대학교 전기공학과 석사. 1987년 2월 부산대학교 전기공학과(공박). 1995년 현재 울산대학교 전기공학과 부교수.

이규철



1947년 11월 22일생. 1973년 2월 연세대학교 전기공학과 졸업. 1975년 2월 연세대학교 전기공학과 석사. 1981년 2월 연세대학교 전기공학과(공박). 1983년 7월 버지니아 주립대학 객원 연구원. 1995년 현재 울산대학교 전기공학과 교수.