

論文2002-39TE-3-2

접촉각 특성을 이용한 고분자복합재료의 표면열화 해석

(The analysis of surface degradation on polymer material
by contact angle properties)

—朴鍾官*

(Jong-Kwan Park)

요 약

본 연구는 고분자 재료의 표면열화 발생 및 진행경로를 해석하기 위한 일환으로 열, 자외선 및 방전에 의한 열화를 각각 임의로 모의하여 접촉각 특성을 측정하여 열화 발생메커니즘을 해석하였으며, 특히 기존의 열화 연구와 달리 화학적 측면과 정전적 측면을 연계시킨 상관적 특성분석을 수행하였다. 표면활성화 상태를 측정한 접촉각 변화에 있어서, 일반적인 고분자의 표면은 73°~91°의 약소수성을 나타낸다. 그러나, 방전처리 및 350 nm 이하의 자외선 파장에 노출된 표면은 13.8° 및 20°로 급격한 친수화를 나타내었고, 열처리 및 430~500nm 파장의 가시광 파장에 노출된 표면은 90°와 80.1°의 최대 접촉각 상승을 보이며 소수화를 나타냈다.

Abstract

UV, heat, and discharge treatments are arbitrary simulated for finding out the initiations and processes of surface degradation on the polymer surface. Especially, this study is focused on the inter-relation between chemical changes and electrical properties. In contact angle to measure the change of activated degree, that of polymers surface shows a slight hydrophobicity of 73°~91°. But, discharge treatment and UV treatment of 300 nm wavelength changed it to the hydrophilic one with the decrease of contact angle, 13.8° and 20° respectively. Thermal-treatment and UV treatment of 430~500 nm wavelength changed the surface to the hydrophobic one with the increase of contact angle, 90° and 80.1° respectively.

Keyword : Surface degradation, Contact angle, Hydrophobicity

I. 서 론

절연재료 중 유리섬유 강화 복합재료(FRP : fiber reinforced plastics)는 전기적 및 화학적으로 우수한 특

성을 갖는 에폭시수지에 기계적 강도를 보강하기 위해 유리섬유를 포함시킨 하이브리드 재료로서 전기·전자 부품, 전력·통신케이블 및 전자 device 등의 전기 절연분야에서 폭 넓게 사용되고 있다.^[1,2] 그러나 FRP를 전기절연재료로서 외부환경에 사용하는 경우, 태양의 복사열, 자외선, 방전, 습기 및 온도의 극한적 변화, 염분, 오염물의 부착 등 다양한 물리·화학적 열화요인에 노출된다. 이러한 외적 요인으로 발생하는 열화는 전기적·기계적 성능저하에 중대한 영향을 미쳐, 최종적으로 절연파괴를 야기하게 된다.^[3]

* 正會員, 柳韓大學 情報通信科
(Yuhan college)

※ 본 연구는 2001년도 유한대학 학술연구비 지원에 의하여 수행되었습니다.

接受日字:2002年7月8日, 수정완료일:2002年8月14日

특히, 표면을 대상으로 한 열화연구는 내트랙킹성, 표면 누설전류로 인한 단락사고 및 PCB회로의 절연불량 등 다양한 표면 절연성능과 직결되는 문제로 열화구명이 시급한 실정이다. 따라서 이러한 경년 열화의 발생메커니즘을 명확히 규명하는 것은 고분자 절연재료의 안전성 향상, 신뢰성 확보와 성능향상 및 수명예측에 중요한 정보를 제공할 것으로 생각된다.

고체 표면에 있는 원자 또는 전자는 고체 내부에 있는 원자 또는 분자에 비하여 과다한 에너지를 갖고 있다. 이 표면에 액체가 접촉하면 이러한 과잉 에너지를 작게 하려고 하는 힘이 작용한다. 이 때 액체와 기체 및 고체가 만나는 지점에 각각의 힘이 작용하여 고체와 액체간의 접촉각이 생기게 된다. 접촉각의 특징은 친수성이 양호한 물질에서는 각이 작아지고, 소수성이 강한 물질에서는 각이 커지게 된다. 또한, 표면장력은 온도의 함수로서 온도가 높아질수록 작게된다. 이러한 현상에 기초한 접촉각 변화의 조사는 고분자 표면의 활성화 정도 및 라디칼 발생유무를 포함하는 전반적인 표면변화의 정보를 얻을 수 있고, 이를 통해 열화발생 경로의 초기 추적이 가능하다.

따라서 본 논문에서는 고분자 절연재료의 표면열화의 규명을 위해 PCB 보드용 FRP 적층판을 자외선, 열 및 방전열화를 임의 조건으로 모의하여 표면에서의 접촉각 변화를 측정하여 발생된 화학적 변화와 정전적 특성변화를 상관적으로 분석함으로써, 고분자 표면에서 발생된 열화메커니즘을 규명하고자 한다.

II. 실험방법

1. 시료의 작성

본 실험에서 사용한 시편은 프레스 성형법으로 제작된 글라스크로스 적층판으로서 에폭시 수지에 유리섬유를 이축방향으로 직조하여 배열시킨 것이다. 유리섬유의 직경은 10 μm 이고, 함유량은 체적비로 52%의 시료를 사용하였다.

또한, 함침된 유리섬유는 E-glass가 사용되었고, 수지의 종류는 Bisphenol A형의 에폭시 수지로 phenol 및 glycidyl기가 주쇄축을 이루고 있다. 열 경화 시, 측쇄로 존재하는 다량의 수산기 및 에폭시환에 존재하는 산소원자가 집중적으로 반응하여 3차원 망목구조를 형성하게 된다. 그림 1은 본 실험에 사용된 에폭시 수지의 화학구조를 나타내고 있다.

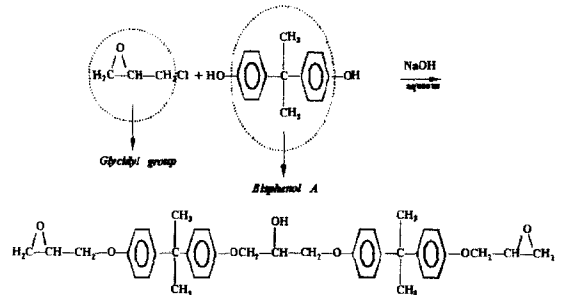


그림 1. 에폭시 수지의 화학구조식
Fig. 1. Chemical structure of epoxy resin.

이와 같이 제작된 에폭시 복합재료를 경시적 열화에 따른 특성변화를 관찰하기 위하여 섬유방향에 대해 45°, 두께 1.5 mm로 절단한 후 절단면을 연마하였으며, 연마제 및 접착제 성분 등의 불순물을 제거하기 위하여 에탄올 용액 속에서 30분 초음파 세척 후, 진공오븐 속에서 50°C의 온도 하에서 40시간 건조 처리하여, 최종적으로 1 mm의 FRP를 열화실험의 시료로 사용하였다.

2. 시료의 처리 및 접촉각 측정

자외선 처리는 태양광과 유사한 분광분포를 갖는 지논(Xe)-아크등이 내장된 분광자외선 조사장치를 이용하였다. 상압 및 상온의 대기 중에서 250 nm~550 nm의 파장 및 1.1 W/m²~2.7 W/m²의 방사조도를 변수로 각각 50시간씩 열화 시험을 하였다. 열에 의한 가속열화 시험은 일정한 가스 및 압력을 유지한 전기로에서 처리시간을 50시간으로 일정하게 유지하며, 온도를 변수로 하여 70°C, 100°C, 150°C, 200°C, 250°C로 처리하였다. 또한 방전 처리에 따른 시료표면의 가속열화는 60 Hz의 AC 플라즈마를 이용하였다. 반응가스로는 건조공기를 분당 25 ml/min로 주입하며, 방전 시에 반응기 내부의 압력은 0.8 Torr, 방전전류를 20mA로 유지하였다. 처리시간은 각각 1 시간, 2 시간, 3 시간, 4 시간으로 설정하여 고분자 절연재료의 플라즈마 환경 열화를 모의하였다.

FRP의 경시적 표면열화 조사를 위한 접촉각 측정은 Uniphase사의 He-Ne레이저를 사용하였으며, 시료표면에 탈이온 증류수 6 μl 를 sessile Drop 형태로 하적하여, 레이저에 반사된 빛의 각도를 1분이 경과한 후 측정하였다. 이와 같은 방법으로 서로 다른 지점을 10회 측정하여 전체에 대한 평균값으로부터 최종적인 접촉각을 구했다.

III. 결과 및 고찰

고체 표면에 있는 원자 또는 전자는 고체 내부에 있는 원자 또는 분자에 비하여 과다한 에너지를 갖고 있다. 이 표면에 액체가 접촉하면 이러한 과잉 에너지를 작게 하려고 하는 힘이 작용한다. 보통의 고체 표면은 공기 중에 노출되어 있기 때문에 고체 표면에는 기체가 흡착되어 있다. 이때, 고체 표면에 액체가 접촉하면 흡착 기체가 밀려나고, 액체와 고체가 처음으로 접촉하게 되어 젖음 상태가 되며, 새로운 계면에 의해 자유에너지의 변화가 일어난다. 접촉지점에서는 고체의 표면장력과 고체와 액체의 계면장력이 작용하게 되어 액체가 접촉한 고체의 표면에는 곡면을 갖는 방울을 형성한다.^[4] 이 때 액체와 기체 및 고체가 만나는 지점에 각각의 힘이 작용하여 고체와 액체간의 접촉각이 생기게 된다.

접촉각의 특징은 친수성이 양호한 물질에서는 각이 작아지고, 소수성이 강한 물질에서는 각이 커지게 된다. 또한, 표면장력은 온도의 함수로서 온도가 높아질수록 작게 된다. 이러한 현상에 기초한 접촉각 변화의 조사는 고분자 표면의 활성화 정도 및 라디칼 발생 유무를 포함하는 전반적인 표면변화의 정보를 얻을 수 있고, 이를 통해 열화발생 경로의 초기 추적이 가능하다.

열화 처리된 FRP시료의 초기 접촉각은 73°로서, 약간의 소수적 표면을 나타내고 있다. 이러한 소수적 성향은 탄화수소를 주축으로 하는 대부분의 고분자 물질에서 나타나는 일반적인 특징으로 표면장력이 약 40 mJ/m²의 값에 해당되는 표면을 형성하고 있다.

1. 자외선처리 접촉각

250 nm~550 nm의 파장 및 표 1과 같은 방사조도를 변수로 각각 50시간씩 열화 처리된 시료의 접촉각 변화를 그림 2에 나타낸다. 자외선 처리에 따른 표면변화는 350 nm 대역이하에서 급격한 감소를 보이며, 파장 및 방사조도 변화에 따른 뚜렷한 차이를 나타냈다.

또한, 처리#1에서 최저 접촉각이 39.4°로 나타내던 시료가 조사에너지의 증가에 따라 처리#4에서는 13.8°의 최저 접촉각 변화를 보이며 방사조도의 증가에 따른 지속적인 표면 활성화가 진행되는 것을 알 수 있었다(표 2). 특히, 400 nm 이상의 파장영역에서 처리된 표면의 접촉각은 오히려 미처리 시료의 접촉각보다 약간 상승하는 결과를 얻을 수 있었다.

표 1. 방사조도의 변화(300~400 nm 대역)

Table 1. The variation of illumination intensity(at the range of 300~400 nm).

처리#1	1.1 W/m ² (1 mm slit, 30 A)
처리#2	1.4 W/m ² (2 mm slit, 30 A)
처리#3	2.1 W/m ² (2 mm slit, 40 A)
처리#4	2.7 W/m ² (4 mm slit, 40 A)

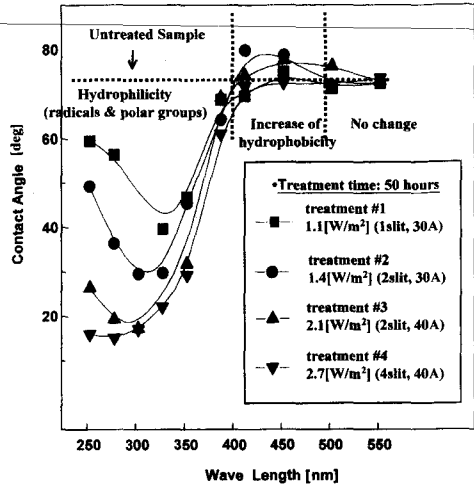


그림 2. 자외선 파장에 따른 FRP의 접촉각 변화
Fig. 2. Contact angle according to the wavelength of UV-treated FRP.

표 2. 방사조도에 따른 최저 접촉각 변화 추이
Table 2. Change of contact angle according to the illumination intensity.

미처리	73° ± 1.6
처리#1	39.4° ± 2.6
처리#2	28.9° ± 4.2
처리#3	16.1° ± 1.4
처리#4	13.8° ± 2.1

이는 각 파장 및 에너지에 따른 자외선 조사로 인해 단파장(250~350 nm)과 장파장(400 nm 이상:가시광 대역)대에 노출된 시료가 자기 다른 형태로 표면변화를 발생함을 의미한다. 즉, 350 nm 이하의 단파장 광에너지는 3차원 망목상 구조를 갖는 예폭시 표면의 C-C 및 C-H결합쇄를 분해시키며 다량의 라디칼을 발생시킨다.

일반적으로 300 nm 영역의 광에너지는 95.5 kcal/mol에 상당하며, 이 값은 탄소 및 수소의 결합에너지보다 큰 값으로 탄화수소 결합이 주류를 이루고 있는 고분

자 표면의 화학적 결합을 용이하게 분해시킨다. 이로 인하여 비활성 상태의 안정된 표면이 전자여기상태로 되고 높은 반응성을 갖는 극성표면으로 변화되어 접촉각이 낮게 나타난 것으로 생각된다. 그러나, 400 nm 이상의 가시광선 영역에서의 변화는 전반적으로 미처리 시료의 접촉각과 비교하여 큰 차이는 없지만, 400 nm~500 nm 영역의 특이한 접촉각 상승이 나타났다. 이것은 파장이 길어짐에 따라 광에너지가 낮아지고, 이 결과 결합체의 분해보다는 오히려 라디칼 감소 및 미반응 물질의 재가교 촉진에 따른 표면 분자쇄의 안정화로 인해 소수적 특성이 증가한 것으로 추정된다.^[5]

또한, 처리#1에서부터 처리#3에 걸쳐, 300 nm대역보다 250 nm대역의 접촉각이 상대적으로 작게 감소하는 특이한 결과를 볼 수 있는데, 이는 분광 자외선 조사장치의 방사조도가 각 파장에 따라 동일하지 않은 것에 기인한 것으로 추측되며, 따라서 표면열화를 발생하는 자외선의 영향이 단순히 자외선 파장에만 의존하는 것이 아니라, 방사조도를 매개변수로 하여 파장 및 방사조도의 복합적인 작용에 의해 발생하는 것으로 생각된다.^[6]

2. 열처리 접촉각

자외선 열화모의와는 달리 온도를 변수로 수행된 열 열화는 각 설정 온도에서 50시간의 일정시간으로 시료를 처리하였다. 특히, 모든 열화실험의 접촉각 측정에 있어 시료의 회복특성을 고려할 필요가 있기 때문에 처리 직후, 대기중 방치를 피하며 가능한 처리의 종료와 함께 곧바로 측정을 수행할 필요가 있다. 이러한 고려를 통해 수행된 열처리에 따른 시료의 접촉각 변화에 있어, 처리되는 온도가 증가함에 따라 그림 3에서 보는 바와 같이 표면의 접촉각은 200°C까지 지속적으로 증가하며, 200°C 처리 시료에서 약 90°의 접촉각을 보인 후, 그 이상의 온도에서 처리된 시료는 급격히 감소하는 경향을 보였다. 이는 중합반응 과정에서 형성된 3차원 망목구조의 시료가 강한 열에너지에 노출됨으로써 시료 내에 잔존하던 극성 저분자 물질과 친수적 성향의 경화제 및 콜로이드 상의 미세입자가 증발하고, 표면 및 하부표면(sub-surface)에서 lamella 상의 domain이 열적 여기로 미반응 물질과 재가교를 일으킴에 따라 발생하는 표면 자유에너지의 저하에 기인한 것으로 생각되었다. 또한, 250°C에서 처리된 시료의 접촉각이 급격히 감소하는 것은 200°C까지는 미반응 물질의 열적여기를 통해 재가교 및 표면에너지의 저하를 야기하던 열에너지가 온도가 더욱 상승하면서 과도한

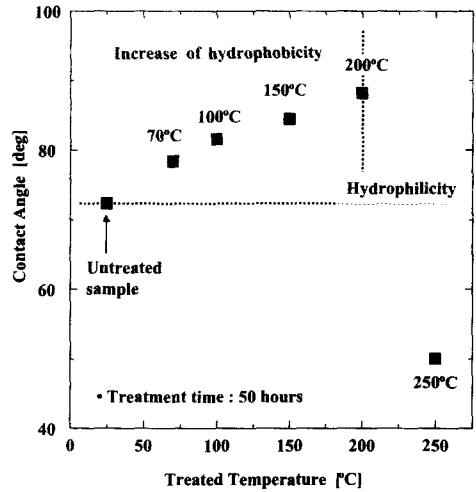


그림 3. 열처리에 따른 FRP의 접촉각 변화
Fig. 3. Contact angle according to the thermal treatment of FRP.

에너지 주입으로 반전된 효과로 생각되었다. 이로 인하여 망목상 구조가 열운동을 시작하여 분자쇄의 절단 및 파괴된 지점에서 극성기의 발생이 빠르게 진행된 결과로 생각되었다. 특히, 이러한 접촉각의 상승은 400 nm 이상의 파장처리에서 발생한 접촉각 증가보다 훨씬 큰 표면변화를 나타낸 것으로, 열적 환경의 노출에 따른 FRP의 표면열화는 한계온도까지는 오히려 소수적 특성의 증가를 보이며 표면활성화가 지연되는 경향을 나타냄을 알 수 있었다.^[7]

또한, 자외선 처리에서 거의 발생하지 않았던 질량변화가 열처리 시에는 급격히 발생하였다. 이러한 결과는 열열화 진행이 자외선 열화와 같이 극표면에서 집중적으로 발생하는 국부적 반응이 아닌, 극표면 뿐만 아니라 시료 내부에서도 연쇄적으로 발생하는 전반적 저분자화 및 재가교의 결과에 기인하는 것으로 생각된다. 즉, 내부로 지속적인 열에너지의 전달에 의해 열응축(heat condensation)이 발생하고, 실란(silane)결합을 형성하고 있는 유리섬유와 수지의 계면에서 급격한 결합 파괴 및 저분자화의 결과로 생각된다.

특히, 주입된 열에너지에 의해 팽창계수가 다른 유리 섬유와 경화된 수지가 열팽창으로 계면크랙이 전범위에 걸쳐 확산된다. 이로 인해, 벌크 내부의 이중 접합계면에서 다량의 실란 결합체의 파괴 및 저분자화를 통한 가스상으로의 증발이 집중적으로 발생한다. 그림 4에서 나타낸 바와 같이, 처리온도에 따른 시료의 질량 변화는 150°C까지는 선형적인 감소를 보이지만, 그 이

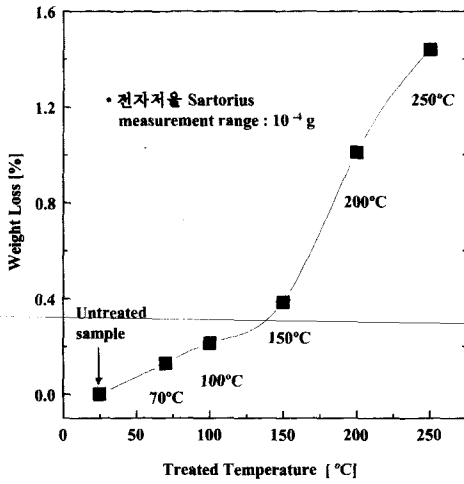


그림 4. 열처리에 따른 FRP의 질량변화
Fig. 4. Weight loss according to the thermal treatment of FRP.

상의 온도에서는 지수함수적으로 증가하며, 또한, 본 실험에 사용된 FRP와 같이 복합화된 물질이 단일 유기고분자보다 더욱 크게 발생된다.^[8]

3. 방전처리 접촉각

방전환경의 노출로 인한 표면열화는 위에서 살펴본 자외선 및 열과 같은 환경 요인에 의한 열화진행보다 급속히 빠른 속도로 저분자화(열화) 및 표면산화가 진행되는 것으로 알려져 있다. 따라서, 본 실험에서 설정한 임의의 변수 중, 플라즈마 노출시간은 장시간의 자외선 및 열처리와는 달리 1, 2시간 단위의 짧은 시간을 설정하여 처리를 진행하였다. 그림 5는 dry air 플라즈마 분위기 하에서 처리된 FRP의 접촉각 변화를 나타낸 것이다. 열처리 시에 발생되었던 200°C까지의 지속적인 표면 소수성의 증가와는 달리, 방전처리에 따른 시료 표면의 변화는 처리시간에 정비례하는 급격한 친수성의 증가를 나타냈다. 이와 같이 단시간 처리에 따른 표면 활성화에너지의 급격한 변화는 근본적으로 플라즈마 환경에 노출된 표면에 다량의 라디칼이 발생되었음을 의미한다.

기본적으로 접촉각 변화에 가장 직접적인 영향을 주는 것이 라디칼의 존재 및 발생유무이다. 이것은 분자간 힘의 균형이 상실된 상태를 의미하고, 분자간력이 극히 불안정한 높은 반응성을 갖게 된다. 이에 따라 표면 유동성 및 외부물질과 작용하려는 상관력이 초기의 상태와는 완전히 다른 형태로 변하게 된다.

본 FRP시료에 있어서도, 유리섬유와 복합화되어 있

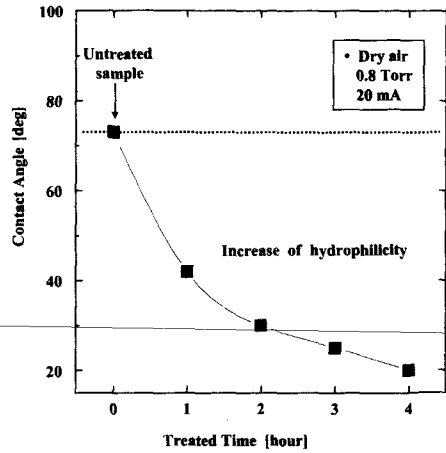


그림 5. 방전처리에 따른 FRP의 접촉각 변화
Fig. 5. Contact angle according to the discharge treatment of FRP.

는 에폭시수지는 활성상태의 단량체들이 중합에 의해서로 공유결합을 형성하여 비활성 상태의 안정된 표면 분자상을 이루고 있다. 그러나 방전환경에 노출되면서 전리된 강한 에너지를 갖는 전자가 표면에 입사되고, 에폭시표면의 원자 또는 분자와 충돌함으로써 원자간 또는 분자간의 결합을 깨뜨려 연속적으로 다량의 결합쇄 절단을 발생한다. 또한, 말단부분 혹은 측쇄 부분이 전지이탈로 인해 활성상태로 변한다. 이에 따라 표면의 1, 2 원자층을 축으로 외기와 유지되던 전기적 중성상태가 파괴되어, 극성분자인 H₂O에 대한 상호작용이 초기보다 크게 증가하게 된다. 따라서, 그림 5에서 알 수 있는 바와 같이, 처리시간이 길어질수록 플라즈마상 전자에 충돌하여 발생하는 라디칼은 더욱 증가하고, 표면 활성화가 급진전되어 처리시간과 비례하는 접촉각 감소를 나타낸 것을 알 수 있었다.^[9, 10]

또한, 그림 6에 나타낸 것과 같이 방전처리 시간에 비례하는 질량변화를 관측할 수 있었다. 방전처리로 인한 질량변화는 열처리에서 발생되었던 질량변화만큼 크지는 않았지만, 처리시간이 짧은 것을 고려한다면, 단 시간에 급격한 결합쇄의 연속적인 절단 및 증발이 발생되었음을 알 수 있다. 이와 같이, 열처리 및 방전처리에서는 10⁻⁴ g 이상의 범위에서 확인한 질량변화를 관찰할 수 있었다. 그러나, 자외선 처리된 시료에서 질량 변화가 나타나지 않은 것은 본 실험에서 수행된 자외선 처리가 고분자 결합쇄에 치명적인 영향을 주는 일정한 단파장 자외선 처리가 아닌, 250~550 nm의 광범위한 파장범위에 걸친 처리에 기인한 것으로 생각된다.

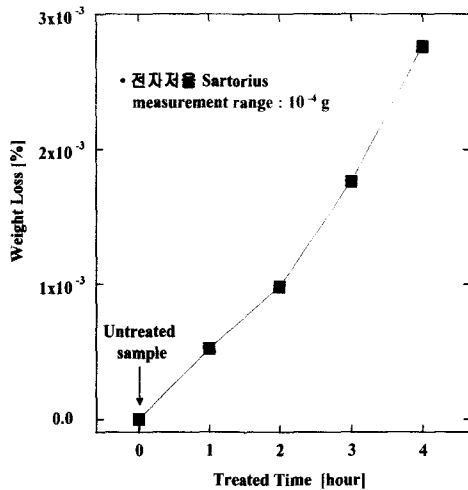


그림 6. 방전처리에 따른 FRP의 질량변화
Fig. 6. Weight loss according to the discharge treatment of FRP.

이상과 같이, 자외선, 열 및 방전처리에 따른 표면열화의 접촉각 결과로부터 고분자표면의 친수화와 소수화가 각기 상이한 형태로 진행됨을 알 수 있었다. 세라믹 재료와 달리, 공유결합 분자구조를 형성하고 있는 유기고분자 재료의 접촉각 변화는 표면형상(거칠기 및 요철)에 기인하지 않고, 절대적으로 라디칼 존재유무에 따른 표면활성화에 기인한다.

따라서, 접촉각 결과로부터 도출된 고분자 표면의 친수화와 소수화의 근본적 원인을 좀 더 구체적으로 알아볼 필요가 있다. 즉, 친수화를 발생한 표면의 라디칼 형태와 발생량 및 소수적 특성을 나타내는 표면의 분자구조를 명확히 구분함으로써 열화처리에 따른 고분자 표면의 전반적 화학적 변화를 조사할 필요가 있는 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 FRP의 표면열화 발생 및 경로를 해석하기 위하여 자외선, 열 및 방전열화를 각각 임의로 모의하여 고분자 표면에서 발생하는 접촉각 변화에 따른 표면 열화메커니즘을 비교 분석하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

자외선 처리에 따른 접촉각 변화는 350 nm 대역이하에서 급격한 감소를 보이고, 400 nm 이상의 파장영역에서는 오히려 미처리 시료의 접촉각보다 약간 상승하였다. 이는 각 파장 및 에너지에 따라 노출된 시료가 각

기 다른 형태로 표면변화를 발생함을 의미한다.

열처리에 따른 시료의 접촉각 변화에 있어서, 온도 증가에 따라 표면의 접촉각은 200°C까지 지속적으로 증가하지만, 200°C 처리 시료에서는 강한 열에너지에 노출됨으로서 표면 자유에너지의 저하에 기인하여 급격히 감소하는 경향을 보였다.

방전처리에 따른 시료 표면의 변화는 처리시간에 정비례하는 급격한 친수성의 증가를 나타냈으며, 이는 근본적으로 플라즈마 환경에 노출된 표면에 다량의 라디칼이 발생되었음을 의미한다.

본 연구에서 자외선, 열 및 방전처리에 따른 접촉각 변화로부터 고분자표면의 친수화와 소수화가 각기 상이한 형태로 진행됨을 알 수 있었으나, 친수화를 발생한 표면의 라디칼 형태와 발생량 및 소수적 특성을 나타내는 표면의 분자구조를 추후에 명확히 구분할 필요가 있다.

참 고 문 헌

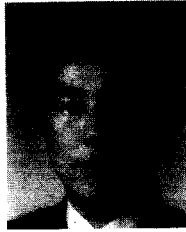
- [1] 廣惠章利, 本吉正信, “プラスチック物性入門, 第2版”, pp. 178~186, 1984.
- [2] 松岡良輔靜, 石原正道, “送配電用ポリマーがいの開發”, 電氣學會誌, Vol.18, No.4, pp. 347~354, 1994.
- [3] Chung-Hoo Park, “A Study of the Dielectric and Mechanical Properties Interactions of Glass Cloth/Epoxy Composites”, IEEE EI, Vol.22, pp. 389~395, 1987.
- [4] 筏 義人, 松永忠与, 鈴木昌和, “高分子表面上の極性基の反轉”, 日本化學會誌, Vol.6, pp.1079~1086, 1985.
- [5] S. Halim Hamid, Mohamed B. and Ali G. Maadhah, “Handbook of Polymer Degradation”, Marcel Dekker, pp.3~27, pp.219~261, 1992.
- [6] Melvin J. Swanson and Gary W. Opperman, “Photochemical Surface Modification of Polymers for Improved Adhesion”, Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion, K. L. Mittal(ed.), VSP, pp.319~325, 1995.
- [7] K. Matsushita, N. Suzuki, S. Okuyama and K. Okuyama, “Hydrophobicity of a hydrochloric-treated GaAs surface analyzed by contact angle

- measurement”, J. Electrochem. Soc., Vol.145, No. 4, pp.1381~1384, 1998.
- [8] H. Z. Syed and R. Hackam, “Effects of water salinity, Electrical stress and temperature on the hydrophobicity of polytetrafluoroethylene”, Proceedings of the 1998 Annual Report Conference on Electrical Insulation and Dielectric Phenomena - Vol.1, pp.100~103, 1998.
- [9] Micheal L. Owen and Patrick J. Smith, “Plasma treatment of polydimethylsiloxane”, Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion, K. L. Mittal(ed.), VSP, pp.319~325, 1995.
- [10] O. D. Greenwood, R. D. Boyd, J. Hopkins, and J. P. S. Badyal, “Atmospheric silent discharge versus low-pressure plasma treatment of polyethylene, polypropylene, polyisobutylene, and polystyrene”, Polymer Surface Modification: Relevance to Adhesion, K. L. Mittal(ed.), VSP, pp. 17~32, 1995.

 저 자 소 개

朴 鍾 官(正會員)

1987년 : 인하대학교 전기공학과 졸업. 1989년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(석사). 1995년 : 동 대학원 전기공학과 졸업(박사). 현재 : 유한대학 정보통신과 조교수. <주 관심분야 : 광통신소자, 반도체소자,



디스플레이소자>