

흡습에 의한 FRP의 내구성에 관한 연구

문 창 권* · 구 자 삼**

(97년 1월 27일)

Study on the Durability of Fiber Reinforced Plastics by Moisture Absorption

Chang-Kwon Moon* · Ja-Sam Goo**

Key Words : glass fiber/epoxy composites(유리섬유/에폭시 복합재료), carbon fiber/epoxy composites(탄소섬유/에폭시 복합재료), moisture absorption(흡습), tensile strength (인장강도), prepreg(프리프레그)

Abstract

This work has been investigated in order to study the influence of the moisture absorption on the mechanical properties of the glass fiber/epoxy resin composites and the carbon fiber/epoxy resin composites. The types of glass fiber used in the glass fiber/epoxy resin composites were randomly oriented fiber and plain fabric fiber. And carbon fiber/epoxy resin composites was laminated with fabric prepreg which was formed with carbon fiber and epoxy resin. Both composites were immersed up to 100 days in distilled water at 80°C, and then dried up to 3 days in an oven at 80°C. Both composites were measured for the weight gain of water(wt.%) and tensile strength through immersion and dry time.

Consequently, it was found that the tensile strength of the glass fiber/epoxy resin composites and the carbon fiber/epoxy resin composites were reduced proportionally to the moisture absorption rate. Also, the tensile strength of glass fiber composites was decreased more than that of the carbon fiber composites. Additionally, it was found that the tensile strength of all composites which decreased by moisture absorption were partly recovered by drying in an oven at 80°C.

* 부경대학교 재료공학과

** 부경대학교 선박공학과

1. 서 론

섬유강화 복합재료(fiber reinforced composites)는 금속 및 무기재료에 비하여 비강도, 비탄성율이 우수하여 스키, 테니스 라켓 등의 스포츠 용품 및 그 용도가 산업용 구조재료로 범위가 넓어져 현재에는 우주 항공용, 고급 선체, 자동차용 재료에까지 응용분야가 점점 확대되고 있는 추세이다. 이러한 폭 넓은 사용에도 불구하고 아직까지 산업용 구조재료로서 수분, 자외선 및 극한의 환경 등의 특수한 환경조건에서의 복합재료의 기계적 특성에 대한 정량적인 자료가 부족한 실정이다.

특히 섬유강화 복합재료에서 기계적 성질의 열화(degradation)는 장기간의 부하(long term loading)뿐만 아니라 전술한 것과 같은 특수한 환경조건으로부터도 생길 수 있다. 분자 수준에서 발생하는 미세한 열화 기구(mechanism)는 환경조건 및 강화섬유와 수지로 구성되는 복합재료의 종류에 따라 결과가 다르게 나타날 것이 예상된다.

섬유강화 수지 복합재료에서 수지(resin)의 환경에 대한 열화 기구는 광산화(photo-oxidation), 열산화(thermal oxidation), 열균열(thermal cracking), 고에너지방사손상(high energy radiation damage), 가수분해열화(hydrolytic degradation), 응력균열(stress cracking), 전기기계부식(electro mechanical corrosion) 등이 있다^{1,2)}.

일반적으로 복합재료 구조물이 환경에 의해 열화 되는 주된 이유는 주변의 온도와 습도, 자외선 등의 여러 조건의 변화이다. 즉 흡수된 수분은 수지를 가소화시키는 동시에 체적팽창을 야기시켜 균열을 발생시킬 뿐만 아니라 내부응력상태(state of stress)를 변화시킨다. 또한 swelling된 수분은 수지와 섬유의 계면에서 복합재료의 화학적 결합을 분리시켜 접합강도(bonding strength)를 저하시키기도 한다³⁾. 이 손상으로 섬유, 매트릭스 수지 및 계면 등이 열화되어 복합재료의 기계적 성질이 저하된다.

복합재료에 사용되는 탄소섬유(carbon fiber; CF)와 유리섬유(glass fiber; GF)는 주변 환경으로부터 습기를 거의 흡수하지 않으며, 흡수하더라도 그 양은 무시할 수 있을 정도의 매우 적은 양이다.

그러나 복합재료의 수지는 주변 환경의 변화에 의해 습기를 흡수하기도 하고 탈수하기도 한다. 이러한 특수한 환경의 조건^{4,5)}은 복합재료의 열화를 가속시키며, 장시간 열악한 수분환경에 노출시는 섬유와 수지의 열화 및 수지와 섬유의 접촉부분인 계면에서 박리(debonding)가 생길 수도 있다. 위와 같은 환경적 영향이 섬유강화 복합재료의 설계 및 사용시에 고려되어야만 하며^{6)~9)}, 또한 섬유강화 복합재료의 해수 및 담수 등에 대한 내구성 시험에 관한 연구 보고^{10),11)}는 많지만, 그것보다 더 열악한 환경으로 해수나 담수보다 물분자들의 cluster가 작아 수지에 침투가 용이한 증류수 환경, 더욱이 짧은 시간 내에 복합재료의 물성을 더욱 열화시킬 수 있는 고온의 증류수 환경에서 연구한 결과는 지금까지 별로 없는 실정이다.

그래서 본 연구에서는 random, fabric mat GF/epoxy 수지 및 fabric CF 적층형 복합재료의 시험편을 제작하여 80°C 증류수 속에 시험편을 100일까지 침지 또는 침지 후 건조시켜 수분의 흡수율이 GF/epoxy 수지와 CF 적층형 복합재료의 기계적 물성에 미치는 영향에 대해서 비교 검토하였다.

2. 실험

2.1 재료

본 연구에 사용된 강화섬유는 실란제로 표면처리한 random과 fabric mat로된 E-glass fiber(GF) 및 PAN계(T-300)의 carbon fiber(CF)이며, 수지로는 epoxy 수지를 사용했다. 그리고 epoxy 수지의 주제는 diglycidyl ether of bisphenol-A (DGEBA, YD 128, 국도화학(주))를, 경화제는 산무수물계인 methyl nadic anhydride (MNA, KBH-1085, 국도화학(주))를, 경화촉진제는 benzyl dimethyl amine(BDMA, KBH-1086, 국도화학(주))을 사용하였다. 주제, 경화제 및 경화촉진제의 양은 100:90:2.5 PHR (parts per hundred resin)로 사용하였다.

2.2 시험편의 성형 및 제작

유리섬유/epoxy 수지 복합재료는 다음과 같은

방법에 의해 성형되었다. 먼저 폭 1m의 롤로 제공된 2차원 random 배향의 mat와 fabric mat 유리섬유를 알루미늄 금형(mold)의 치수(250×250mm)에 맞게 재단한 후, 금형을 아세톤으로 깨끗이 세척하여 금형과 복합재료의 성형 후의 분리를 위해 이형제(silicon-oil, shin etsy社)를 금형 내외의 epoxy 수지의 접촉부분에 도포시켰다. 그리고 epoxy 수지의 주재, 경화제 및 경화촉진제를 충분히 섞어서 70℃의 oven에서 10분간 진공상태로 유지하여 탈포하였다. 탈포된 epoxy 수지를 금형에 조심스럽게 주입 시킨 후, 그 위에 유리섬유 mat를 자중으로 서서히 가라 앉이면서 함침시켰다. 그리고 금형을 hot-press로 옮긴 후에 1차로 130℃에서 10분정도 유지한 후에 2차로 5 Kgf/cm²의 압력으로 130℃에서 1.5시간 동안 경화시켜 250×250×1.5mm의 유리섬유/epoxy 수지의 복합재료를 성형하였다.

그리고 복합재료의 섬유체적함유율을 구하기 위해 0.01g까지 측정할 수 있는 전자저울(mettler pm 6100)에서 성형전의 유리섬유만의 무게와 성형 후의 복합재료의 무게를 측정하여, 섬유와 수지의 밀도로부터 시험편의 섬유체적함유율을 계산했다. 성형된 시험편의 평균 섬유함유율은 random mat GF/epoxy 수지 복합재료는 28, 34 vol.%였으며, fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료는 36, 40 vol.%였다.

탄소섬유 적층형의 복합재료는 fabric형 prepreg (한국화이버(주))를 사용하여 hand-lay법으로 각 층의 섬유방향이 직각이 되게 적층하여 이형제가 칠하여진 금형에 넣어, hot-press에서 1차로 130℃에서 1 Kgf/cm²로 6분간 유지 후, 2차로 5 Kgf/cm²으로 압력을 올려 130℃ 1.5시간을 유지시켜 경화시켜 250×250×2.8mm의 fabric형 탄소섬유의 적층형 복합재료를 성형하였다¹²⁾. 그리고 성형된 적층형 복합재료의 섬유함유율은 환원불꽃법¹³⁾으로 측정하였는데 53 vol.%이었다.

성형된 random, fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료 및 fabric CF 적층형 복합재료를 두께가 1mm인 diamond cutter를 사용하여 210×15mm 크기로 절단하여, 양 끝단은 인장시험기의 jaw에 시험편을 손상 없이 chucking하기 위해 60×15×1mm의 알루미늄판을 상온 경화용의 epoxy 수지

로 부착하였다.

2.3 흡습, 흡습 후 건조 및 인장 시험

제작된 모든 재료의 인장시험편은 내열성 플라스틱 속의 증류수에 충분히 침지시키고, 수분의 증발을 방지하기 위해 비닐 foil로 봉하여 80℃로 고정된 oven에 넣어 100일까지 유지하면서 각각의 침지시간에 따라 시험편 10~15개를 인장시험하였다. 또 100일 침지 후에 80℃의 전기오븐에 넣어 1일, 3일간 건조시킨 시험편도 인장시험하였다. 그리고 수분흡수율의 측정은 각각의 시험편을 수분에 침지하기 전과 수분에 침지하여 일정한 시간이 경과한 후에 정밀 balance를 이용하여 시험편의 무게를 측정하여 계산하였다.

3. 결과 및 고찰

본 연구에서 사용한 epoxy 수지는 고가이지만 경화시에 수축이 적고, 유리섬유 및 탄소섬유와의 접착성 및 성형성이 좋은 특징이 있다. epoxy 수지의 이러한 유용한 특성 때문에 복합재료의 기지재로서 우주항공 및 산업용 재료에 중요한 부분을 차지하고 있다. 그리고 epoxy 수지의 경화제로 산무수물계인 MNA를 사용한 이유는 amine계보다 독성이 적고, 성형시에 낮은 점도와 가사시간(pot life)이 길어 작업성이 우수하기 때문이다.

Fig. 1은 80℃의 증류수에서 random mat GF/epoxy 수지 복합재료의 침지시간에 따른 수분흡수율의 변화를 나타낸 것이다. 그림에서 a는 섬유함유율이 28 vol.%이고 b는 34 vol.%이다. 침지시간이 경과함에 따라 계속적으로 수분흡수율이 증가를 보이고 있으며, 특히 5일 전후로 수분흡수율의 급격한 증가를 보이고 있다. 그리고 침지시간이 100일이 되어도 수분흡수율은 포화되지 않고 100일 이후에도 어느 정도는 계속 증가할 것으로 예상되어진다. 그림에서 섬유함유율이 낮은 것이 높은 것보다 수분흡수율이 높게 나타났다. 이것은 유리섬유는 수분을 거의 흡수하지 않고 수지만이 수분을 흡수하므로, 섬유함유율이 작은 시험편이 수지함유율이 크므로 큰 시험편보다 수분흡수율이 크

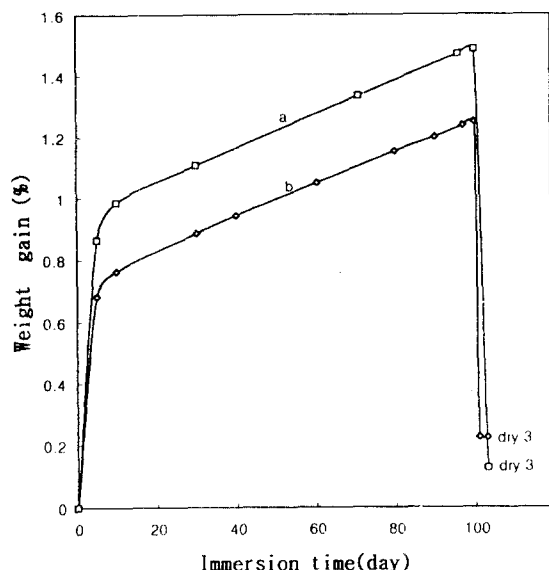


Fig. 1 Plot of the weight gain of random mat glass fiber/epoxy resin composites as a function of immersion time in distilled water at 80°C
a) 28 vol.% b) 34 vol.%

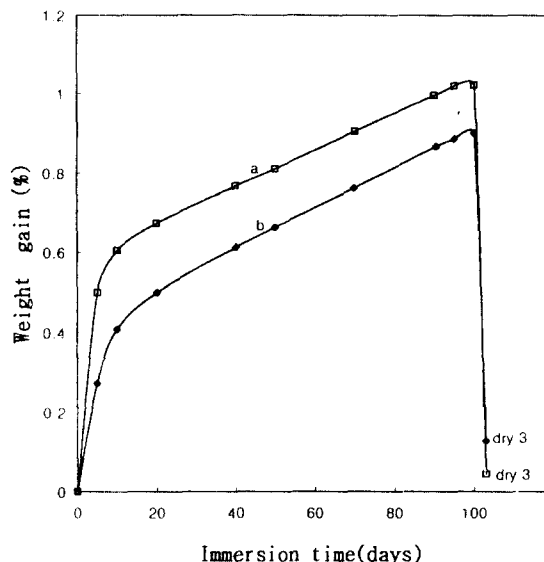


Fig. 2 Plot of the weight gain of fabric mat glass fiber/epoxy resin composites as a function of immersion time in distilled water at 80°C
a) 36 vol.% b) 40 vol.%

게 나타났다고 생각된다. 그러나 100일 침지 후에 시험편을 건조시켰을 때는 섬유함유율이 낮은 것이 높은 것보다 높은 수분증발율을 보였다. 이것은 단순히 수지 내의 free volume에 swelling된 수분은 건조 후에 거의 증발을 하나 침투 후 화학적으로 결합한 수분 및 계면에 침투된 수분은 건조의 방법으로는 제거하기 힘든 것을 의미한다. 그래서 섬유함유율이 높은 시험편이 낮은 시험편보다 계면의 접촉면적이 커서 건조 후 수분의 증발율이 낮은 것으로 생각된다.

Fig. 2는 80°C의 증류수에서 fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료의 침지시간에 따른 수분흡수율 변화를 나타낸 것으로, a는 섬유함유율이 36 vol.%이고 b는 40 vol.%이다. 섬유함유율이 크고 작은 두 복합재료의 수분흡수율과 침지시간을 비교하면 Fig.1의 경향과 거의 같다. 즉 섬유함유율이 낮은 것이 높은 것보다 수분흡수율이 전체적으로 높게 나타났으며, 침지 후에 건조시켰을 때에도 섬유함유율이 낮은 것이 높은 것보다 높은 수분

증발율을 보였다. 그리고 Fig. 1이 Fig. 2보다 전체적으로 수분흡수율이 높게 나타나 있다. 이것 역시 섬유함유율의 대소에 관계가 있는 것으로 생각된다. 결과적으로 random, fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료의 경우 수분 흡수율은 섬유함유율과 반비례 관계가 있고, 건조 했을 때의 수분 증발율은 섬유함유율에 비례하는 것을 알 수 있다.

Fig. 3은 80°C의 증류수에서 fabric CF 적층형 복합재료의 침지시간에 따른 수분흡수율 변화를 나타낸 것이다. 수분 흡수율은 처음 10일까지 급격한 증가를 보이다가 10일 이후부터 100일까지는 조금 완만하게 증가하는 것을 관찰 할 수 있으며, 100일 이후도 계속 증가할 것으로 보인다. Fig.1, 2, 3을 비교하면 CF laminates는 GF/epoxy 수지 복합재료보다 섬유함유율이 큰데도 불구하고 그것보다 더 큰 수분흡수율을 보이고 있다. 이것은 유리섬유의 실란계의 표면처리제와는 다르게 탄소섬유는 epoxy계 표면처리제를 사용하는데, epoxy계 섬유의 표면처리제는 경화제 없이 주재만 사용하

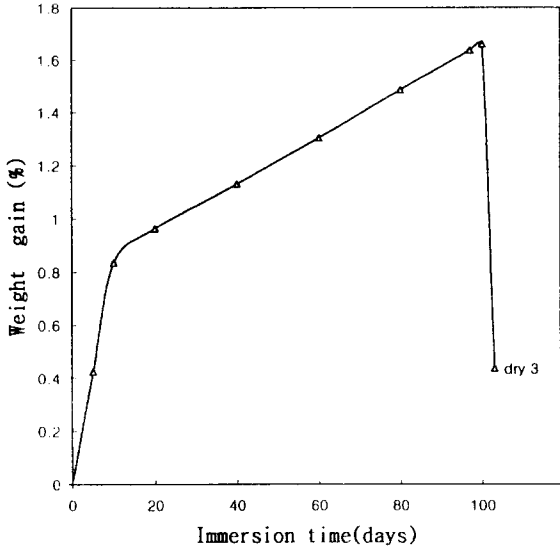


Fig. 3 Plot of the weight gain of fabric carbon fiber laminates as a function of immersion time in distilled water at 80°C (53 vol.%)

므로, 복합재료로 성형된 후, 기지재로 사용된 epoxy 수지 중의 경화제와 미처 반응을 하지 못한 많은 작용기(functional groups)들이 계면에 남아 수분과의 반응을 쉽게 하여 일어나는 현상으로 생각된다. 그러나 100일 침지 후에 건조했을 때의 수분 증발율은 random mat GF/epoxy 수지, fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료 등과 비교하면 가장 작게 나타났다. 이것은 전술한 것과 같이 계면 혹은 수지내에서 화학적 결합이 많이 발생한 결과라고 생각된다.

epoxy 수지에서 수분의 swelling 메카니즘은 크게 micro, macro void에서의 모세관현상에 의한 침투와 확산 및 수지표면에서의 확산으로 이루어지며, swelling된 수분은 단순히 macro, micro void 및 free volume 등에 존재하거나 epoxy 수지 내의 -OH기와 화학적 결합을 하여 존재하며, 흡수 후에 화학적 결합을 하지 않고 단순히 swelling된 수분은 충분한 건조에 의해 제거가 가능하다고 생각된다. 그러나 복합재료에서 강화섬유와 수지의 계면영역에 흡수된 수분은 섬유의 표면처리제와

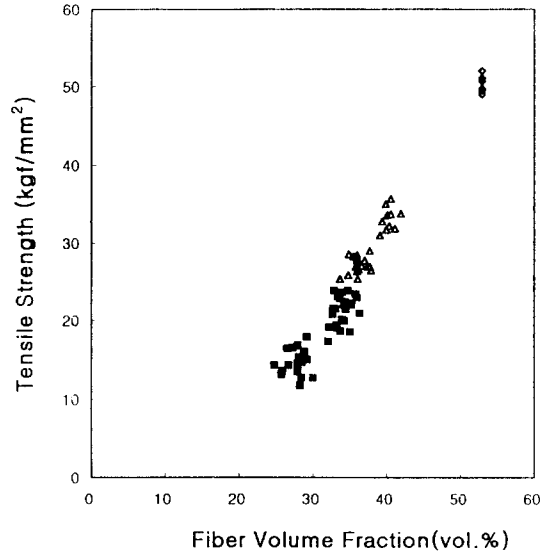


Fig. 4 Plot of the tensile strength of the GF and CF composites as function of fiber volume fraction

- a) random mat GF/epoxy resin(■)
- b) fabric mat GF/epoxy resin (△)
- c) fabric laminate composites (◇)

여러가지 복잡한 반응이 일어나 80°C의 oven에서 가열건조로는 제거하기 어려운 것을 나타내고 있다.

Fig. 4는 각 복합재료의 섬유함유율에 대한 인장강도 값을 나타낸 것으로, ■는 random mat GF/epoxy 수지 복합재료, △는 fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료, ◇는 fabric CF 적층형 복합재료의 인장강도값이다. 그림에서 비록 섬유함유율이 같아도 동일한 결과이겠지만 유리섬유 복합재료보다는 탄소섬유 복합재료의 인장강도가 크며, 유리섬유 복합재료 중에서는 섬유가 random mat보다는 fabric mat의 인장강도값이 큰 것을 알 수 있으며, 전체적으로는 섬유함유율이 클수록 인장강도값은 크게 나타났다. 그리고 본 연구에서 CF의 적층형 복합재료는 prepreg로 성형하여 섬유함유율의 조절에는 문제가 없었지만, 유리섬유 복합재료의 경우는 똑같은 섬유함유율을 가진 시험편을 실험실에서 여러개 제작하기가 매우 어려워, 그림에서와 같이 비슷한 섬유함유율을 가진 복합재료

를 많이 제작하여 인장시험을 하고, 그 중에서 섬유함유율의 차이가 0.5% 이내이며 인장강도 값이 5%이내로 성형된 여러장의 복합재료를 같은 조건이라 생각하고, 수분흡수에 대한 내구성 시험에 사용하였다. 사용된 시험편의 평균 섬유함유율은 random mat GF/epoxy 수지 복합재료는 각 28 vol.%, 34 vol.%였고, fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료는 36 vol.%, 40 vol.%였다.

Fig. 5는 80°C의 증류수에서 각 복합재료의 수분흡수에 대한 인장강도의 변화를 나타내었다. a, b는 각각 섬유함유율이 28, 34 vol.%의 random mat GF/epoxy 수지 복합재료이며, c, d는 각각 섬유함유율이 36, 40 vol.%의 fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료를, e는 섬유함유율이 53 vol.%의 fabric CF laminates를 나타낸다. 그림에서 모든 시험편은 수분흡수량이 증가할 수록 인장강도는 감소하였으며, 100일 침지 후에는 각 시험편의 인장강도값은 침지전의 처음 값보다 a는 32.5%, b는 38.1%, c는 32.1%, d는 37.3%, e는 9.7%의 감소를 나타내었는데, 탄소섬유 복합재료가 유리섬유 복합재료보다는 인장강도의 감소율이 매우 작음을 알 수 있다. 이것은 수분흡수에 의해 수지의 가소화, 섬유자체의 손상 및 섬유와 수지 간의 계면열화 등이 발생하여 복합재료의 인장강도를 감소시킨 결과라고 생각되며, 또한 유리섬유 복합재료에서는 탄소섬유 복합재료보다 수분흡수에 의한 계면과 섬유자체의 손상 등이 더욱 심각하게 발생되어 인장강도의 감소가 큰 것으로 사료된다. 여기서 탄소섬유 복합재료의 경우는 수분에 대한 내구성이 유리섬유 복합재료보다 우수한 것을 알 수 있다. 그리고 그림에서 복합재료의 인장강도는 전체적으로 섬유배향과 섬유의 종류와는 무관하게 섬유함유율이 클수록 크게 나타나 있는데, 섬유강화 복합재료에서 섬유함유율이 클수록 인장강도 값이 큰 것과 섬유배향이 random보다는 cross배향이 인장강도가 크게 나타난 것은 이론적으로 타당하다. 그리고 탄소섬유 복합재료가 유리섬유 복합재료와 비교하면 매우 높은 인장강도 값을 나타내고 있는데, 이것은 섬유함유율이 큰 것도 한 요인이 되겠지만 그것보다 탄소섬유의 인장강도가 유리섬유보다 매우 큰 것이 주 원인이라

생각된다.

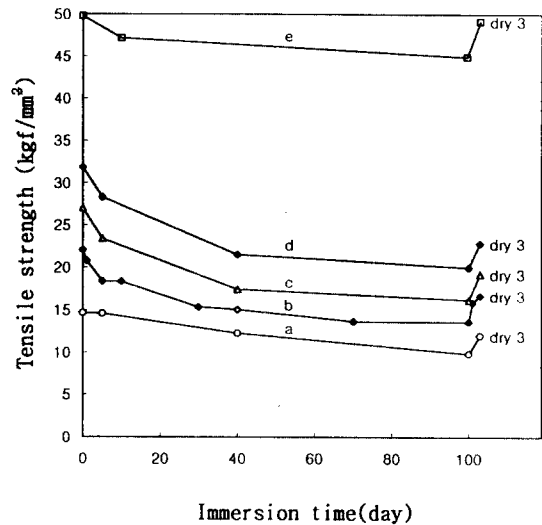


Fig. 5 Tensile strength of composites as a function of immersion time in distilled water at 80°C and dry time in oven at 80°C after immersion of 100 days
 a) 28 vol. % random mat GF/epoxy resin
 b) 34 vol. % random mat GF/epoxy resin
 c) 36 vol. % fabric mat GF/epoxy resin
 d) 40 vol. % fabric mat GF/epoxy resin
 e) 53 vol. % fabric CF laminates

모든 복합재료의 인장강도는 100일 침지 후에 80°C에서 3일간의 건조에 의해 a는 44.7%, b는 36.8%, c는 28.0%, d는 24%, e는 87.1%가 회복되었다. 수분흡수로 감소되었던 복합재료의 인장강도 값이 다시 회복되는 것은 수지 및 계면에 swelling되어 있던 수분이 건조에 의하여 어느 정도 제거되어 일어나는 현상으로 생각되며, 이러한 인장강도 값이 100% 회복되지 않는 것은 Fig. 1, 2, 3에서 알 수 있듯이 건조 후에 수분의 잔류에도 기인 하지만, 그것보다 장시간 많은 양의 수분흡수에 의해 섬유표면처리제의 가수분해로 인한 계면에서 화학적 결합의 파괴 및 수분흡수로 발생한 swelling stress에 의해 섬유와 수지의 계면의

debonding이나 fiber-break 등의 현상으로 인해서 복합재료가 영구적 손상(permanent damage)을 입었기 때문에 사료된다. 그리고 유리섬유 복합재료의 인장강도의 회복율은 섬유함유율이 클수록 작아졌으며, 탄소섬유 복합재료의 회복율은 유리섬유 복합재료와 비교하여 매우 큰 것을 알 수 있다.

Fig. 6는 섬유함유율이 28 vol.%의 random mat GF/epoxy 수지 복합재료의 80°C의 증류수에서 침지시간에 따른 인장파단면 사진이다. 증류수에서의 침지시간이 증가할수록 표면이 심하게 백색화 되어 가는 것을 볼 수 있는데, 이것은 흡습으로 인하여 섬유와 수지의 계면에 발생한 debonding현상이 흡습시간의 증가와 함께 더 많이 발생된 것으로 생각된다. 파단면은 침지초기와 침지 100일이 거의 동일하게 직선적으로 파단되어 있다. Fig. 7는 섬유

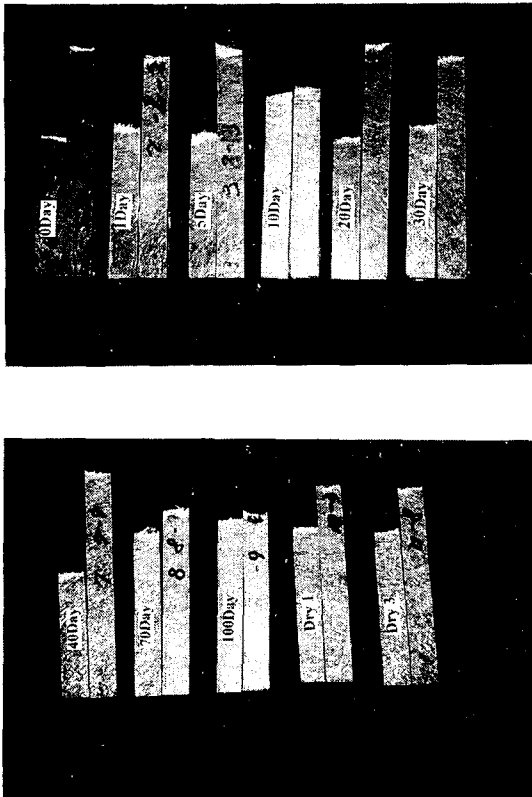


Fig. 6 Photographs of tensile fracture surface of 28 vol.% random mat GF/epoxy composites

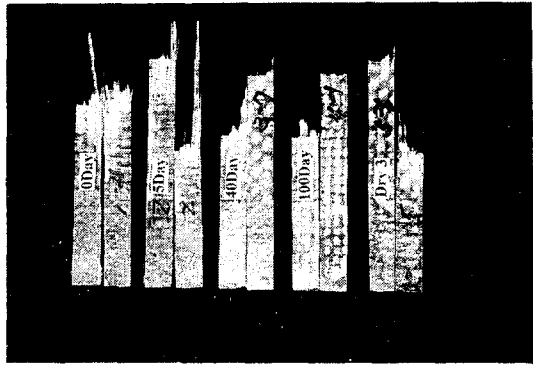


Fig. 7 Photographs of tensile fracture surface of 36 vol.% fabric mat GF/epoxy composites

함유율이 36 vol.%인 fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료의 증류수에 침지 후의 인장파단면을 나타낸 사진으로, 침지시간이 0일과 5일 및 100일의 파단면이 현저한 차이를 보이고 있는 것을 알 수 있다. 즉 0, 5일은 파단면이 빗자루 모양으로 되어 있으며, 침지 100일은 거의 직선적으로 크랙이 진 파되었음을 볼 수 있다.

Fig. 8, 9, 10은 섬유함유율이 28 vol.%인 random mat GF/epoxy 수지 복합재료를 80°C의 증류수에 침지 하지 않았던 것, 100일 침지한 것 및 100일 침지 후에 80°C에서 3일간 건조시킨 것의 인장파단면을 주사형 전자현미경(SEM)으로 관찰한 사진이다. Fig.8은 수분침지를 하지 않았던 시험편으로 섬유에 수지의 부착이 많고 pull-out된 섬유수와 섬유길이가 짧음을 볼 수 있다. Fig. 9의 경우에는 100일간 침지시킨 시험편으로 섬유에 수지의 부착이 적고 Fig. 8에 비하여 pull-out된 섬유수도 많고 길이도 길다. 이것은 수분흡수로 섬유와 수지의 계면이 열화된 결과라고 사료된다. 즉 표면에서 swelling된 수분이 수지를 가소화 시키고, 수지와 섬유의 계면에 debonding을 일으켜 계면접착강도를 저하시켜서 섬유가 길게 pull-out된 것으로 생각된다.

Fig. 10은 100일동안 수분침지 후 3일 건조시킨 시험편으로, 사진에서 섬유에 수지가 굳데굳데 부착되어 있는 것은 수분의 제거에 의해 열화된 계면이 어느정도 회복되었음을 보여주는 것이다.

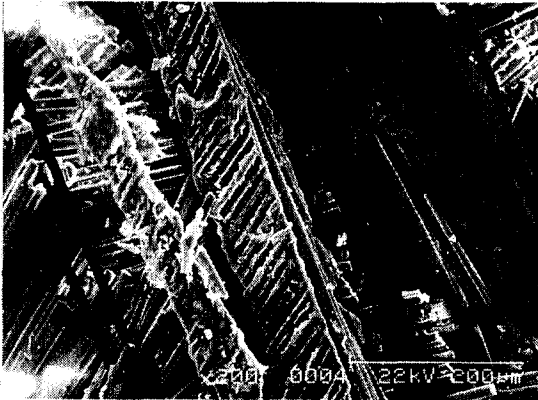


Fig. 8 SEM photographs of tensile fracture surface of 28 vol.% random mat GF/epoxy resin composites



Fig. 9 SEM photographs of tensile fracture surface of 28 vol.% random mat GF/epoxy resin composites that were immersed for 100 days in distilled water at 80°C

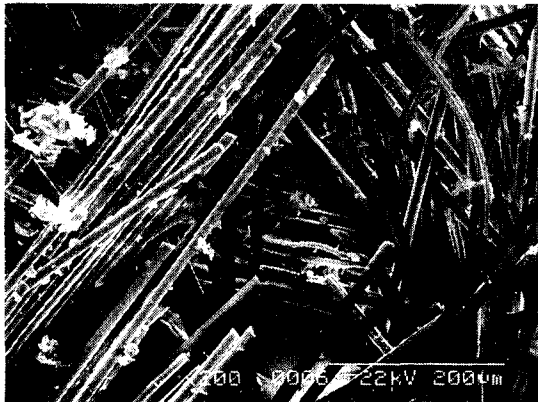


Fig. 10 SEM photographs of tensile fracture surface of 28 vol.% random mat GF/epoxy resin composites that were immersed for 100 days in distilled water at 80°C and then dried for 3 days

실제로 섬유강화 복합재료에서는 이론적으로 단섬유(short fiber)와는 달리 장섬유(long fiber)를 강화재로 사용하는 경우, 어느 정도의 계면열화는 복합재료의 인장강도에 크게 영향을 미치지 못한다¹⁴⁾. 본 연구에서와 같이 장섬유 복합재료를 고온의 증류수에 장시간 침지시킬 경우, 계면의 열화는 물론 섬유자체의 손상도 예상된다. 섬유자체의 손

상으로 인하여 장섬유가 단섬유로 변화하는 것으로 생각할 수 있으며, 단섬유의 경우에 계면의 열화는 복합재료의 기계적 성질에 크게 영향을 미친다. 그러므로 본 연구에 사용한 유리섬유 및 탄소섬유/epoxy 수지의 복합재료에서 탄소섬유의 경우, 수분흡수에 의한 섬유자체의 손상은 적고 계면의 열화로 침지시간에 따라 인장강도가 다소 감소했다고 생각된다. 반면 유리섬유의 경우는 수분흡수의 의해 섬유자체가 손상되어 장섬유가 단섬유로 변화되었기 때문에 수분 흡수에 의한 계면의 열화로 복합재료의 인장강도감이 큰 영향을 받았다고 생각된다.

4. 결 론

본 연구에서는 2차원 random, fabric mat GF/epoxy 수지 복합재료 및 prepreg로 성형된 fabric CF 적층형 복합재료를 80°C의 증류수에 침지시켜 일정한 시간의 경과 후에 수분 흡수율에 따른 인장 시험을 하고, 흡수된 복합재료를 건조시켜 수분 흡수율과 인장강도의 상관관계를 검토하였다. 이러한 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 80°C의 증류수에 침지시킨 유리섬유/epoxy 수지

및 탄소섬유 적층판 복합재료는 10일까지는 수분흡수율이 급격히 증가하다가 10일 이후부터 비교적 완만하게 증가를 하여 100일이 되어도 포화되지 않음을 알 수 있었다.

2. 유리섬유 복합재료의 경우에 수분 흡수율은 섬유의 체적 함유율이 작을수록 크게 나타났다. 이것은 유리섬유는 거의 수분을 흡수하지 않는데 기인하는 것으로 사료된다.
3. 유리섬유 및 탄소섬유 복합재료에서 수분흡수율과 인장강도는 매우 큰 관계가 있음을 알 수 있었다. 즉 초기에 수분흡수율이 급격히 증가하면 인장강도값도 급격히 감소하고, 수분흡수율이 완만하게 증가하면, 인장강도 값도 완만하게 감소했다. 그리고 흡습처리에 의해 감소되었던 인장강도는 건조 후에는 어느 정도 회복을 나타내었다.
4. 100일 침지 후에 3일 건조시킨 유리섬유 복합재료의 인장강도의 회복율이 탄소섬유 복합재료보다 매우 작은 것은 섬유 표면처리제의 가수분해, fiber break, debonding 및 수지내에서 수분의 화학적 결합 등의 permanent damage가 예상되지만 주요인은 섬유자체의 열화로 인하여 장섬유가 단섬유화되된 결과라고 생각된다.
5. 탄소섬유 복합재료가 유리섬유 복합재료보다 수분에 대한 내구성이 우수한 것은 탄소섬유 자체가 수분에 매우 강하기 때문인 것으로 생각된다.

후 기

본 연구는 (주) 강남기술연구소의 위탁과제인 "쌍동선의 동적구조응답해석"에 관한 연구 수행중 (주) 강남기술연구소의 일부지원이 계기가 되어 진행되었음을 밝히며, 이에 감사드립니다.

Reference

- 1) Schnabel, W., "Polymer Degradation : Principles and Practical Application," Hansa International, Germany, 1981
- 2) Pinkerton, D. M., "The Prevention of the Deterioration of Organic Materials in Operational Environment, Report TTCP/AUSP 3/15, The Technical Cooperation Program, Aug. 1975
- 3) Ashbee, K. H. G., and Wyatt, R. C., J. of Adhesion, 7, 25, 1975
- 4) Hamada, H., Maekawa, Z., and Morii, T., AECM-3 Symposium, pp.109-118, 1989
- 5) Apicella, A., et al, Composites, October, 406, 1982
- 6) Bian, X. S., and Ambrosio, L., Polymer Composites, 12, 333, 1991
- 7) Lowe, G. B., and Lee, T. C. P., int. J. Adhesion and Adhesives, 14, 85, 1994
- 8) Wagner, H. D., and Lustiger, A., Composites, 25, 613, 1994
- 9) Gaur, U., and Miller, B., Polymer Composites, 11, 4, 1990
- 10) Bradley, W. L., and Grant, T. S., J. Mater. Sci., 30, 5537, 1995
- 11) Woo, M., and Piggott, M. R., J. Comp. Tech. Res., 9, 101, 1987
- 12) Moon, C. K., Korean J. of Mater. Res., 5, 979, 1995
- 13) 炭素纖維技術委員會, 日本複合材料學會 第45回 月例研究會, 東京, 1981
- 14) Hancock, P., and Cuthbertson, R. C., J. Mater. Sci., 5, 762, 1970