

탄소섬유 표면에서의 고분자 전착과 복합재료 물성 (II) - MVEMA 및 EMA 계면상을 갖는 탄소섬유 복합재료 -

김민영·김지홍·배종우·김원호[†]·황병선*·최영선**

부산대학교 공과대학 화학공학과, *한국기계연구원 복합재료그룹, **(주) 한국화이버 복합재료연구소
(1998년 5월 18일 접수, 1999년 4월 10일 채택)

Electrodeposition onto the Surface of Carbon Fiber and Its Application to Composites (II) - CFRC with MVEMA and EMA Interphase -

Minyoung Kim, Jihong Kim, Jongwoo Bae, Wonho Kim[†], Byungsun Hwang*, and Youngsun Choi**

Department of Chemical Engineering, Pusan National University, Pusan 609-735, Korea

*Korea Institute of Machinery and Materials, Composite Material Group, Kyongnam 641-010, Korea

**Hankook Fiber Co, Composites Research Center, Kyongnam 627-850, Korea

(Received May 18, 1998; accepted April 10, 1999)

요약: 탄소섬유 복합재료의 계면강도 증가를 위하여 탄소섬유의 표면처리에 대한 많은 연구가 이루어져 왔다. 기존의 상업적인 표면처리의 경우 탄소섬유 표면 산화처리 후 수분산성 에폭시계 유기화합물을 코팅 (사이징처리)하여 탄소섬유에 에폭시 기지와 상용성과 취급 용이성을 부여하고 있다. 이러한 재료로 제조된 탄소섬유 복합재료는 높은 층간 전단 강도를 나타내나 충격강도는 다소 낮은 특성을 가지고 있다. 본 연구에서는 탄소섬유 표면 산화 처리 후 기존의 사이징 처리 대신에 반응성과 유연성이 있는 계면상 (interphase)을 도입하여 복합재료의 층간전단강도와 충격강도를 향상시키고자 하였다. 탄소섬유의 전기전도성을 이용하여 이온화가능하고 연성을 가진 고분자인 MVEMA (poly (methyl vinyl ether-co-maleic anhydride))와 EMA (poly (ethylene-co-maleic anhydride))를 수용액상에서 탄소섬유 표면에 전착 시키는 방법을 사용하였다. 전착에 의해 MVEMA 또는 EMA가 0.1~0.2 μm 두께로 얇게 코팅된 탄소섬유, 상용의 탄소섬유, 사이징처리를 하지 않은 탄소섬유로 복합재료를 제조하여 물성을 비교 평가하였다. 계면상의 두께가 얇을수록 층간전단강도가 증가하였으며, 충격강도는 감소하였는데, 계면상의 최적두께는 0.1 μm 정도였다. MVEMA 계면상을 도입한 경우가 상업적으로 표면처리 한 경우보다 층간전단강도의 경우 약 20% 정도 증가하였고 Izod 충격강도의 경우 약 50% 정도 증가하였다. MVEMA 계면상을 도입한 경우 복합재료의 흡습률이 높았다.

Abstract: Various surface treatment techniques can be applied onto the surface of carbon fibers to increase interlaminar shear strength (ILSS). In a commercial treatment, first, surface of carbon fiber was oxidized, after that, a sizing agent was coated to improve handleability and adhesion to the matrix. Carbon fiber reinforced composites (CFRC) which is made of these fibers show excellent ILSS but show low values of impact strength. In this study, reactive and ductile interphase was introduced between fiber and matrix to increase both the ILSS and impact strength. By using electric conductivity of carbon fibers, flexible polymers which have ionizable group, i.e., MVEMA and EMA, were coated onto the surface (oxidized) of carbon fiber by the technique of electrodeposition. ILSS and impact strength of composites were evaluated according to the surface treatments, i.e., commercial sizing treatment, interphase introduction, and without sizing treatment. Izod impact strength and ILSS of CFRC were simultaneously improved in the thickness range of 0.08~0.12 μm of MVEMA interphase. Water resistance of the composites was decreased by introducing MVEMA interphase.

Key words: Carbon Fibers, Electrodeposition, Composites, Polymeric Interphase

1. 서 론

탄소섬유, 케블라섬유, 실리콘 카바이드, 알루미늄 등의 고강도 섬유로 보강된 복합재료는 높은 비강도, 비탄성도, 우수한 내식성 및 내피로 특성 등으로 우주·항공 및 자동차 부품으로부터 스포츠 및 일반산업 용품에 이르기까지 그 응용범위가 다양하다. 고분자복합재료의 물성을 향상시키기 위하여 강화섬유, 매트릭스 수지, 공정기술에 대한 연구가 계속 진행되어 왔으며, 고분자복합재료에서 주요 매트릭스로 사용되고 있는 에폭시 수지의 toughness 향상

과 고온 습윤특성의 개선에 초점이 맞추어져 있다. Toughness 향상에 대한 연구동향은 1) 고무 혹은 열가소성수지를 첨가시키는 방법, 2) 공단량체나 공중합체를 계면상으로 도입하는 방법, 3) 제2세대 에폭시수지 개발 (고신율 에폭시) 등으로 나열할 수 있다 [1-7].

연속섬유로 강화된 탄소섬유 복합재료의 구성은 Figure 1과 같다. 복합재료의 기본적인 구성은 강화제와 기지재료로 이루어져 있는데, 일반적으로 강화제는 탄소섬유나 유리섬유, 기지재료는 에폭시 수지, 폴리에스테르 수지 및 열가소성 수지 등을 사용한다. 복합재료의 여러 물성가운데 강화제와 기지재료의 결합력과 관련된 중요물성은 층간전단강도와 충격강도이다. 층간전단강도는 복합재료 층간에 작용하는 결합력을 나타내며, 충격강도는 외부의 충격에

[†] 주 저자 (e-mail: whkim@hyowon.pusan.ac.kr)

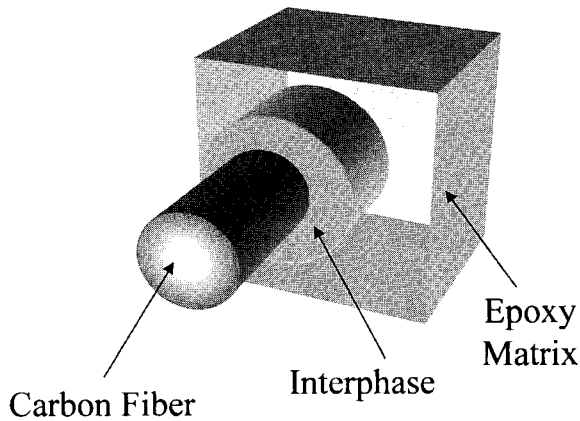


Figure 1. The concept of interphase.

대한 저항성을 나타내는 척도이다. 일반적으로 복합재료의 물성은 강화재와 기지재료의 물성에 크게 영향을 받지만, 무엇보다도 먼저 복합재료에 적용된 힘을 전달하기 위해서는 기지재료와 강화재 사이의 결합력, 즉 계면 결합력이 우수하여야 한다. 따라서, 기지재료와 강화재 사이의 계면 전단력 향상에 대한 특별한 주의가 기울어져 왔다. 일반적인 복합재료의 경우, 계면 전단력을 증가시키면 내충격성이 감소하는 문제점이 있다[3]. 탄소섬유와 수지 사이에 유연한 계면상을 도입함으로써 얻을 수 있는 장점은 균열 선단 에너지(crack tip energy)를 흡수할 수 있고, 균열 선단을 완만하게 하여 복합재료의 내충격성을 향상시킬 수 있다. 에폭시 수지와 반응할 수 있는 특정 공중합체를 계면상(interphase)으로 도입하여 적절한 두께를 유지할 경우, 일반적인 섬유 표면 개질에서 얻을 수 있는 물성보다 더 우수한 성질을 얻을 수 있다. 즉, 섬유-기지재료 사이의 결합을 향상시킬 수 있으며, 또한 공중합체가 충격흡수 매체로 작용, 충격강도를 향상시킬 수 있다[8-12]. 0.1~0.2 μm 두께의 유연한 계면상은 최적 충격강도를 나타낼 수 있다고 보고되어 있으며[14] 이러한 두께는 전착공정변수를 조정하여 얻을 수 있다.

본 연구의 목적은 기존의 에폭시계 사이징제 대신에 반응성 관능기인 maleic anhydride를 가진 공중합체인 polymethyl vinyl ether-co-maleic anhydride (MVEMA) 및 polyethylene-co-maleic anhydride (EMA)를 전착공정을 이용하여 탄소섬유와 에폭시 수지 사이의 계면상(interphase)으로 도입하여 탄소섬유 복합재료의 층간전단강도와 내충격성을 향상시키고자 시키고자 하였다.

2. 실험

2.1. 복합재료의 제조

2.1.1. 탄소섬유 표면의 고분자 전착

탄소섬유는 산화처리만 되어 있고, 사이징 처리되지 않은 태광산업(주)의 TZ307 12 K strand를 사용하였다. 알루미늄 재질의 H형 프레임에 탄소섬유를 일직선으로 나란하게 배열한 다음 전도성을 부여하기 위하여 구리박막을 프레임 양쪽 끝에 고정시켰다. 전착고분자는 maleic anhydride 반응성기를 가진 미국 Aldrich사의 poly methyl vinyl ether-co-maleic anhydride (MVEMA)와 poly ethylene-co-maleic anhydride (EMA)를 사용하였다. 전해질은 암모니아수를 사용하였다. 수용액이 들어있는 cell에 프레임을 넣어 고정시켜 전착을 실시하였다. 전착이 끝난 후 프레임을 꺼내어 2분간 방치 후, 느슨하게 붙어있는 고분자를 제거하기 위하여 묽은 아세트산 수용액으로 세척한 다음, 다시 2분간 방치한 후 80 $^{\circ}\text{C}$ 에서

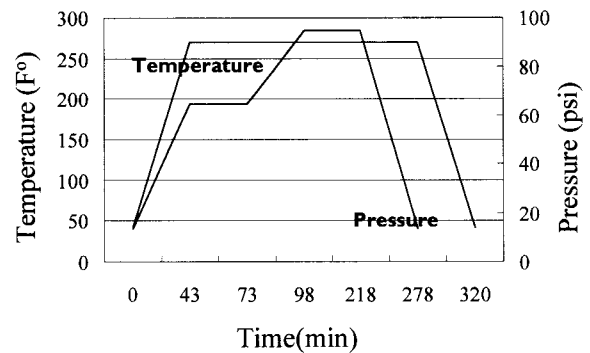
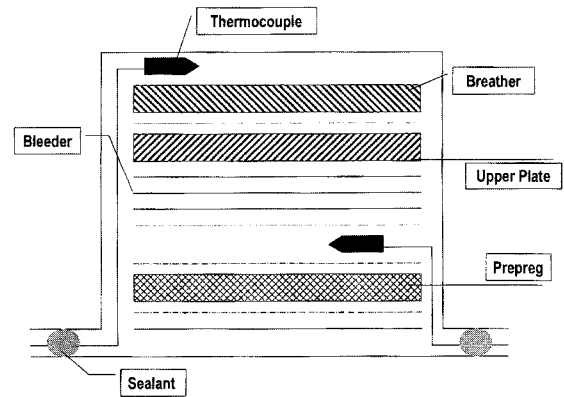


Figure 2. The schematic diagram of autoclave processing(a) and curing cycle of carbon/epoxy prepreg(b).

2시간 이상 건조시켰다.

2.1.2. 수지의 함침

기지재료는 sheet형태로 가공된 국도화학 (Grade:YD-128)의 고경화형 (132 $^{\circ}\text{C}$) 에폭시 수지를 사용하였다. 이형지에 도포된 에폭시 수지 쉬트(resin sheet)위에 전착시킨 탄소섬유를 흐트러지지 않게 놓은 다음, 그 위에 다시 에폭시 수지 쉬트를 겹친 후 짧은 시간 가열·가압하여 수지를 탄소섬유에 함침시켰다. 다음, 시편 크기에 맞추어 절단한 후 여러 겹으로 적층하였다. 이후, 냉동보관하여 수지의 경화를 방지하였다. 층간전단강도 시편의 경우 0 $^{\circ}$ 방향으로 적층하였고, 충격시험시편은 $\pm 90^{\circ}$ 방향으로 적층하였다.

2.1.3. 복합재료의 성형

시편 성형을 위하여 오토클레이브형과 밀판을 아세톤으로 깨끗이 닦고 성형품의 탈형이 용이하도록 이형액을 뿌려주었다. 그리고 금형 위에 수지 유동 구멍이 없는 이형필름을 깔고 필 플라이(peel ply)로 쓴 적층된 프리프레그를 놓는다. 다음, 적층된 프리프레그 두께보다 1~2 mm 정도 높게 코르크 탭의 두께를 조정하여 수지가 옆으로 흐르지 않게 하였다. 프리프레그 위에 균일하게 구멍이 뚫린 테프론 필름을 놓고, 그 위에는 적당량의 블리더를 놓는데, 이 블리더 양으로 복합재료의 섬유와 수지 비율을 조절할 수 있다. 블리더 두께의 불균일로 인하여 성형제품의 각 부위마다 수지 비율이 달라지게 되기 때문에 프리프레그를 완전히 덮을 수 있도록 하였다. 성형 적층물의 맨 위에는 에어 브레드를 덮어 진공이 용이하게 제거되도록 하였다. 성형 적층물 위에는 진공백 필름으로 밀폐시키는데, 진공백 필름 가장자리에 봉합제를 접착하여 밀판과 진공백 사이에서 진공이 새지 않도록 밀폐시켰다.

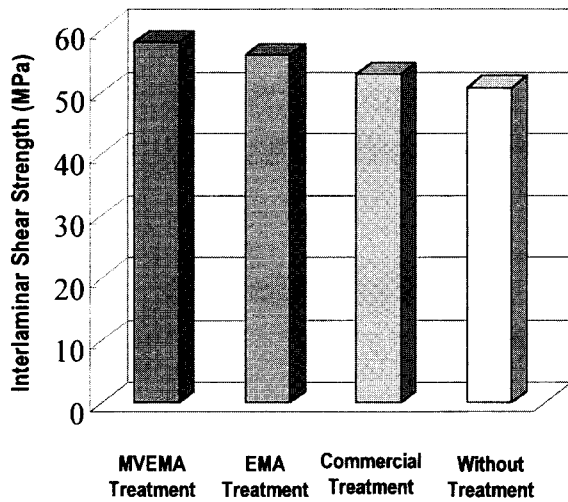


Figure 3. Interlaminar shear strength of CFRC according to the treatments; thickness of MVEMA treatment and EMA treatment is $0.1 \mu\text{m}$.

이렇게 적층되어 밀봉된 형태 (Figure 2(a) 참조)를 오토클레이브 안에 넣고 진공을 걸고, 열과 압력을 동시에 가하여 성형하였다. 그리고, 시편 성형 온도 및 압력 조건을 Figure 2(b)에 나타내었다.

2.2. 기계적 물성평가

충간전단강도는 Instron사의 universal test machine을 사용하여 ASTM D2344의 규격으로 실험을 실시하였으며 시편 두께는 2.5 mm로 프리프레그 5 fly를 0° 방향으로 적층하였다. 충격강도는 Dynatup사 (model 8250)의 drop weight tester를 사용하였으며 시편 두께는 2.5 mm이고 프리프레그 5 fly를 $\pm 90^\circ$ 방향으로 적층하였다. 충격 후 delamination 면적을 살펴보기 위하여 C-scan type의 비파괴 검사를 실시하였다. 또한, 충격강도를 정량적으로 측정하기 위하여 Izod 충격시험을 ASTM D256의 규격으로 실시하였으며 시편 두께는 10.0 mm로 프리프레그 25 fly를 0° 방향으로 적층하였다. 내습성 평가는 충간전단강도 시편을 이용하였으며, 80°C 의 중류수에 침지시켜 수분흡수율을 측정하였고 그에 따른 충간전단강도를 조사하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1. 계면 접착력 평가 - 충간 전단강도 (ILSS; interlaminar shear strength)

전착공정으로 제조된 계면상을 가진 탄소섬유 강화 복합재료 (CFRC)를 제조하여 충간전단 강도를 측정한 결과는 Figure 3에 나타내었다.

충간전단강도 측정 결과 MVEMA와 EMA계면 (계면두께: $0.1 \mu\text{m}$)을 도입하여 제조된 복합재료가 상업적인 표면처리 방법으로 제조된 복합재료보다 높은 값을 나타내었으며, 계면상을 도입하지 않은 경우보다 약 10% 높은 값을 나타내었다. 이는 MVEMA나 EMA가 계면상으로 도입되었을 경우 상업적 처리방법과 비교하여도 계면 결합력이 떨어지지 않음을 의미한다. EMA의 경우, MVEMA보다 관능기 ($-\text{OCH}_3$)가 부족하기 때문에, 상업적인 표면 처리보다는 높은 값을 나타내나 MVEMA의 경우 보다는 낮은 값을 나타내었다. 충간전단강도 시험 후의 파단면을 SEM으로 관찰

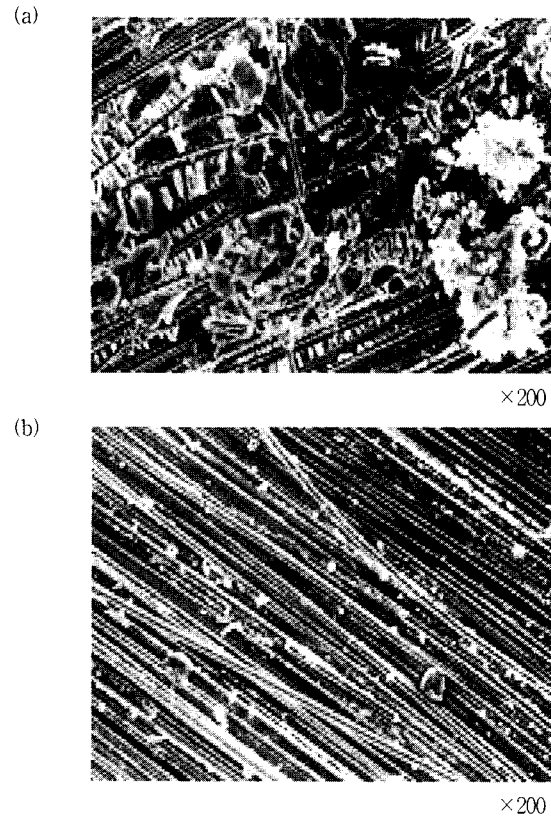


Figure 4. SEM photomicrographs of the failure surfaces from the test specimens of interlaminar shear strength specimens; a) MVEMA interphase, b) Without interphase.

한 결과를 Figure 4에 나타내었다. 계면상을 도입할 경우, 섬유와 기지재료간의 결합력이 강하기 때문에 파단면이 매우 불규칙적인 것을 관찰할 수 있었다. 그러나, 계면상을 도입하지 않은 경우, 계면결합력이 약하여, 깨끗한 파단면을 보였다. 계면상의 두께는 전착 후 실시한 세척시간으로 조절할 수 있었으며, 그에 따른 MVEMA계면을 도입하여 제조된 복합재료의 충간전단강도를 측정 한 결과를 Figure 5에 나타내었다. 세척을 충분히 할수록, 즉 계면상의 두께가 얇을수록, 충간전단강도가 증가하였다. 세척을 하지 않은 경우는 계면상이 두꺼워 계면결합력이 감소하였으며, 계면상의 두께가 얇은 경우, 계면 결합력이 향상되었음을 관찰할 수 있었다. 고분자들이 탄소섬유 표면에 0.3 wt % 정도 부착되어 있을 경우, 즉 계면상의 두께가 $0.08 \mu\text{m}$ 일 때 계면 결합력이 가장 우수하였다(약 20% 정도 향상됨).

3.2. 내충격성 평가

충격흡수의 정도를 정량화시키기 위하여 ductility index를 다음과 같이 정의하였다[12].

$$\text{Ductility index} = E_{\text{loss}} / (E_{\text{loss}} + E_{\text{elastic}})$$

E_{loss} 와 E_{elastic} 의 물리적 의미를 Figure 6에 나타내었다. ($E_{\text{loss}} + E_{\text{elastic}}$)의 위치에너지를 가진 tup으로 복합재료에 충격을 가했을 때, 반발에 의해서 tup으로 다시 전달되는 에너지를 E_{elastic} , 복합재료에서 흡수한 에너지를 E_{loss} 라고 정의하였다. 원칙적으로 내충격성의 척도는 충격시 재료에 흡수된 에너지 양으로 나타내지만, 재료의 특성을 고려할 때, ductility index 개념을 사용하는 것도 가

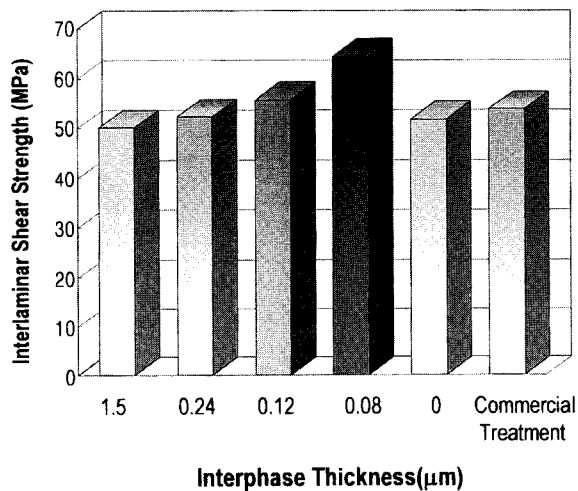


Figure 5. The effect of interphase thickness for MVEMA on the interlaminar shear strength.

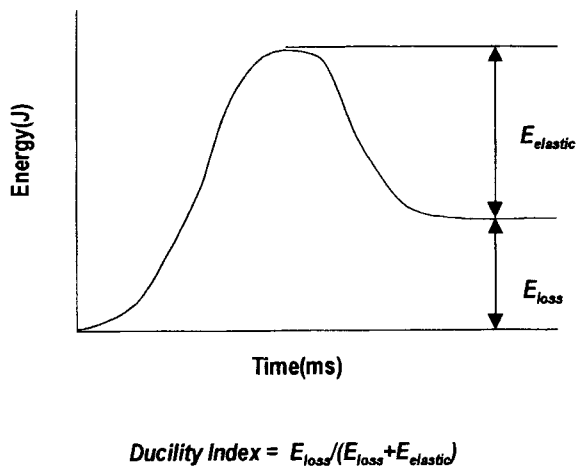


Figure 6. A general energy-time curve.

능하다고 판단된다.

Figure 7에 MVEMA(계면두께: 0.1 μm)로 코팅된 탄소섬유로 제조한 CFRC, 산화처리만 실시된 탄소섬유로 제조한 CFRC, 상업용 탄소섬유로 제조한 CFRC에 대한 낙하충격시험 결과를 그래프로 나타내었다. MVEMA 계면상을 도입한 CFRC의 에너지 흡수가 가장 크게 나타났으며 산화처리만 한 CFRC의 에너지 흡수가 가장 작았다.

Figure 8에 나타낸 바와 같이 MVEMA계면상을 도입한 경우 가장 높은 ductility index를 나타내었다. 따라서, 계면상이 충격을 흡수할 능력이 있는 것으로 판단되었다.

충격을 가한 시편의 충격 손상 정도를 판단하기 위하여 비파괴 검사법의 하나인 초음파 검사 (C-Scan)를 실시한 결과를 Figure 9에 나타내었는데, MVEMA 계면상을 도입한 CFRC의 delamination이 가장 적었고 산화처리만 한 탄소섬유를 사용하여 제조된 CFRC의 delamination이 가장 커 ductility index 결과와 유사한 경향을 나타내었다.

MVEMA 계면상의 두께에 따른 CFRC의 ductility index를 Figure 10에 나타내었는데 계면상이 두꺼울수록 ductility index 값이 증가하였으며, 이는 충격흡수 매질의 파괴 증가 때문이라고 판단된다.

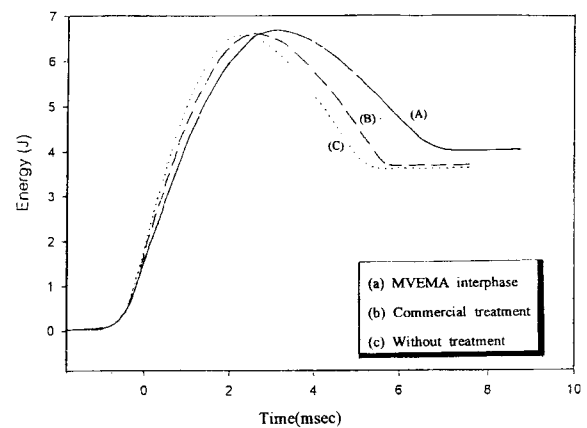


Figure 7. Energy-time curves of CFRC.

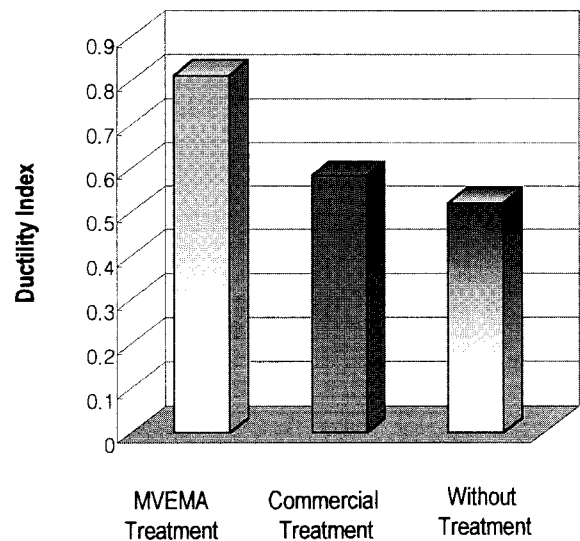


Figure 8. Ductility index ; effect of interphase materials on the ductility index.

3.3. 층간전단강도와 충격강도의 최적화

MVEMA계면상을 가진 CFRC의 경우, 기존의 여러 연구들과 유사하게[3,5,8,9,14] 계면상의 두께가 얇아수록 층간전단강도는 증가하고 충격강도는 감소하였다. 그러나, 층간전단강도는 계면상의 두께가 0.08 μm와 0.12 μm에서 64.2 MPa과 55.6 MPa의 값을 나타내어 53.7 MPa의 값을 나타낸 기존의 사이징 처리의 경우 보다 높은 값을 나타내었고, ductility index 값도 0.8이상을 나타내어 0.58의 값을 나타낸 상업적인 표면처리의 경우보다 높은 값을 나타내었다. 즉, 약 0.1 μm 두께의 계면상을 형성하였을 때 층간전단강도와 충격강도가 기존의 상업적인 사이징 처리를 한 경우보다 우수함을 관찰할 수 있었다.

3.4 Izod 충격 시험

3.2절에서 측정된 충격낙하시험의 결과를 정량적으로 확인하기 위하여 Izod 충격시험을 실시하였으며, 계면상 두께는 약 0.10 μm로 시편을 성형하였다. 그 결과를 Figure 11에 나타내었으며, 낙하충격시험의 결과와 경향은 유사하지만, 계면상 도입여부에 따라서 시편간 충격강도 차이가 60% 이상 나타났다. 즉 MVEMA 계면상

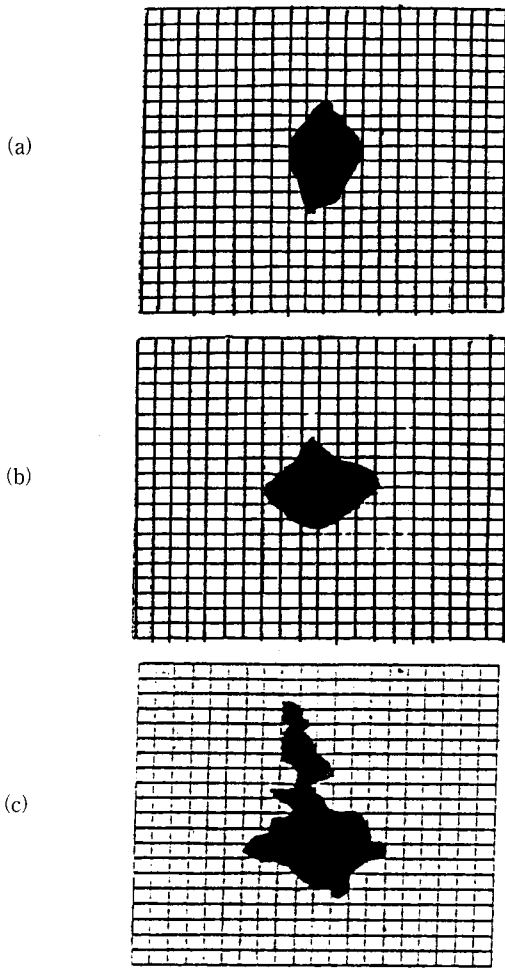


Figure 9. C-scan images; (a) MVEMA interphase (b) commercial treatment (c) Without treatment.

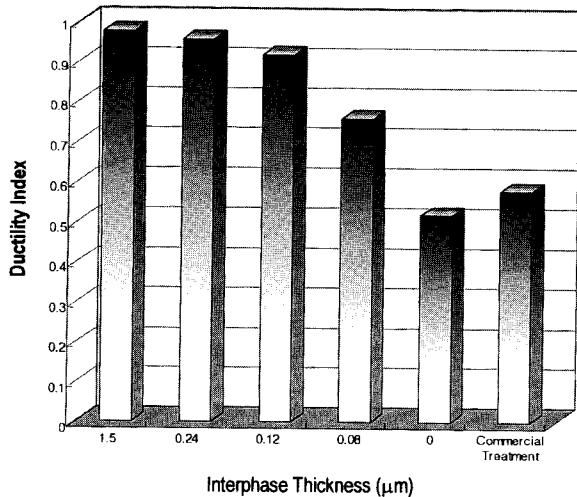


Figure 10. Effect of interphase thickness on the ductility index.

도입의 경우, 상업적 표면처리의 경우보다, 51%, EMA 계면상 도입의 경우 36%의 내충격성 향상을 획득할 수 있었다. 그 이유는

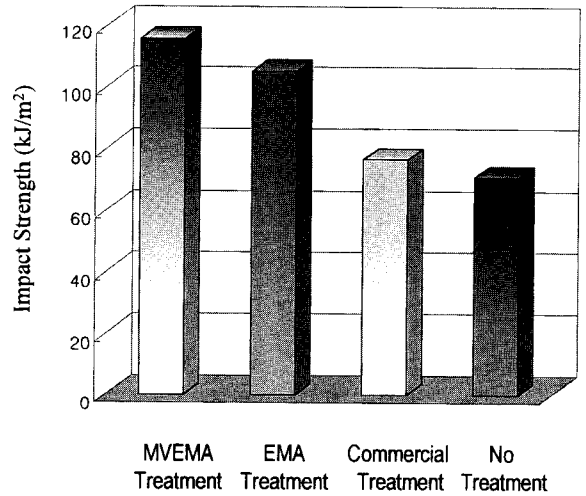


Figure 11. Izod impact strength.

Izod 충격시험의 경우 낙하충격시험 시편보다 두께가 4배 정도 두껍기 때문에 계면상에 따른 충격강도 차이가 크게 나타난 것으로 추측된다. Izod 충격시험 후 파단면을 SEM으로 관찰한 결과를 Figure 12에 나타내었는데, 계면상을 도입한 경우탄소섬유에 고분자가 많이 부착된 파단면을 나타내어 충격을 많이 흡수하였음을 알 수 있었다 (Figure 12).

3.5. 내습성 평가

일반적으로 탄소섬유 복합재료에서, 탄소섬유 표면의 카르복실기, 에스테르결합, 에테르결합, 수소결합 (-COCH, -COOC, -COC, -H·O) 등은 수분의 이온 (H⁺, OH⁻ 등) 작용에 의하여 가수분해되기 쉽다. 이러한 영향이 계면상을 도입한 복합재료의 물성에 어떻게 작용하는지 평가하기 위하여, 침지시간에 따른 수분 흡수율과, 그에 따른 중간전단강도를 측정하였다. Figure 13에 침지시간에 따른 CFRC의 수분 흡수율을 나타내었다. 80 °C의 증류수에서 7일간 침지시켰으며, 침지시간에 따른 수분흡수율을 1일 간격으로 측정하였다. 기지재료의 수분흡수는 물분자의 확산에 의해 이루어지며 확산속도는 시험편의 표면적과 질량의 비율, 수분의 온도, 수지의 특성에 따라 다르다. 그리고 고분자의 가교밀도와 구조, 고분자와 수지와의 친화력 정도, 분자사슬간에 존재하는 수산화기의 수에 관계되며, 그 밖에도 고분자의 물리적 표면형상, 수분조건 하에서의 미세 파괴 등에도 관계된다. 이러한 흡수된 수분은 수지와 결합된 수분 및 비결합 수분분자의 두 가지 상태로 존재한다. 비결합 수분분자란 고분자 내의 자유부피 (free volume)에 존재하는 수분으로 수지의 팽윤에는 관계하지 않으며, 결합 수분분자는 고분자의 사슬과 화학적으로 결합한 수분으로 수지를 팽윤시켜서 수지의 치수를 변하게 한다. 중간전단강도 시험편의 수분 흡수율을 측정할 결과 MVEMA 계면상을 도입한 탄소섬유로 만들어진 시험편의 초기 흡수율이 높았다. 이는 계면상을 도입한 결과 형성된 에스테르결합에 수분이 반응하여 가수분해된 결과로 추정된다. 초기 흡수율은 다르지만 100시간 이후의 수분흡수율은 유사하여 침지시간에 관계없이 1.8% 정도 수분흡수량 차이를 나타내었다. 이는 100시간 이후의 침지시간 동안에는 에폭시 수지 자체의 수분 흡수량을 반영함을 알 수 있다. 80 °C의 증류수에서 7일간 침지한 CFRC의 수분흡수에 따른 기계적 물성의 저하 정도를 Figure 14에 나타내었다. 계면상을 도입한 경우, 침지시킨 시편의 중간전단강도가 침지시키지 않은 경우보다 9% 정도 감소했으나 이는 계면상이 없고

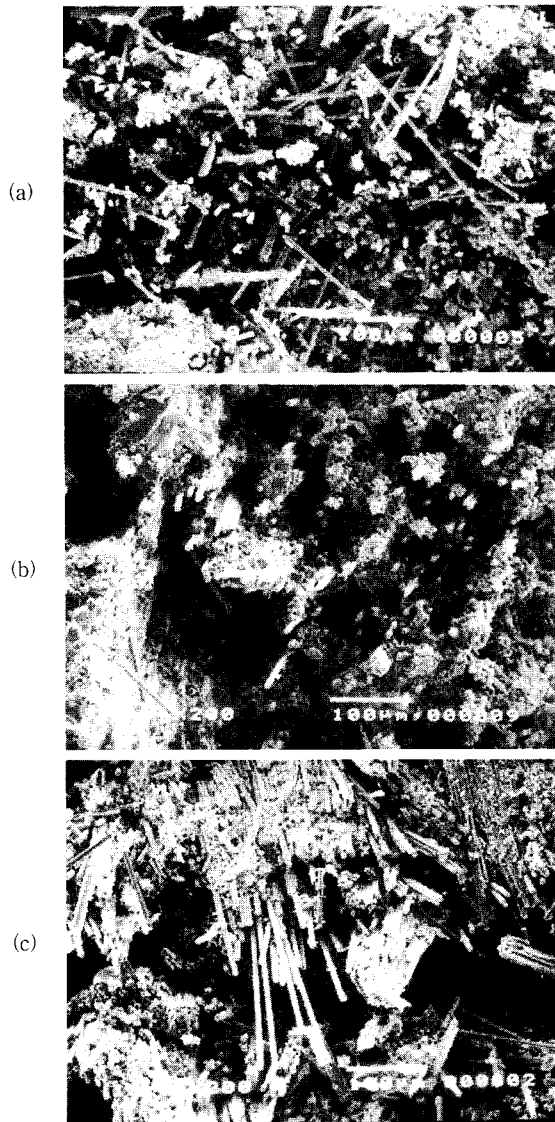


Figure 12. SEM photomicrographs of the failure surfaces of izod impact test specimens; (a) With interphase; (b) commercial treatment ; (c) without treatment.

침지시키지 않은 복합재료의 층간전단강도보다 높은 값을 나타내었다. 계면상을 도입하지 않은 경우 층간전단강도가 2% 정도 감소하였는데, 이는 MVEMA를 계면상으로 도입한 경우, 침지시간에 따른 수분 흡수율이 크기 때문이라고 생각된다.

4. 결 론

MVEMA 계면상 또는 EMA 계면상을 도입하여 제조된 CFRC의 층간전단강도는 상업적 표면처리를 한 탄소섬유로 제조된 CFRC의 층간전단강도보다 높은 값을 나타내었다. MVEMA 계면상을 가진 CFRC의 경우 계면상의 두께가 얇을수록 층간전단강도는 증가하나 충격강도는 감소하였는데 계면상의 최적두께는 약 0.1 μm였다. MVEMA 계면상의 두께가 약 0.1 μm인 CFRC 경우 상업적인 표면처리로 제조된 복합재료보다 높은 계면전단강도(약 20% 정도)와 충격강도를 나타내었다. CFRC의 Izod 충격시험 결과, 상

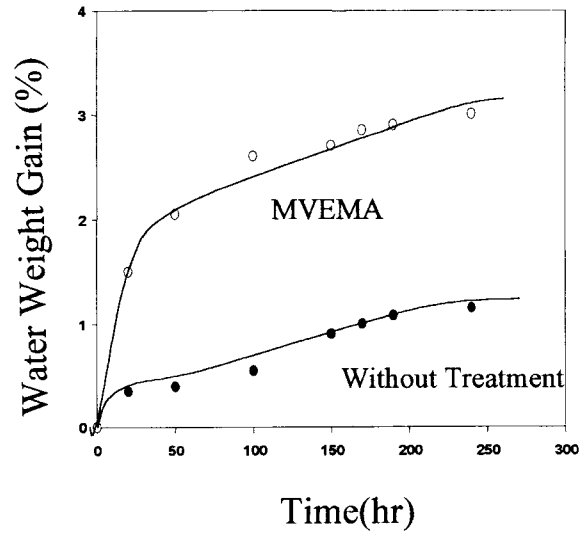


Figure 13. Water absorption as a function of time.

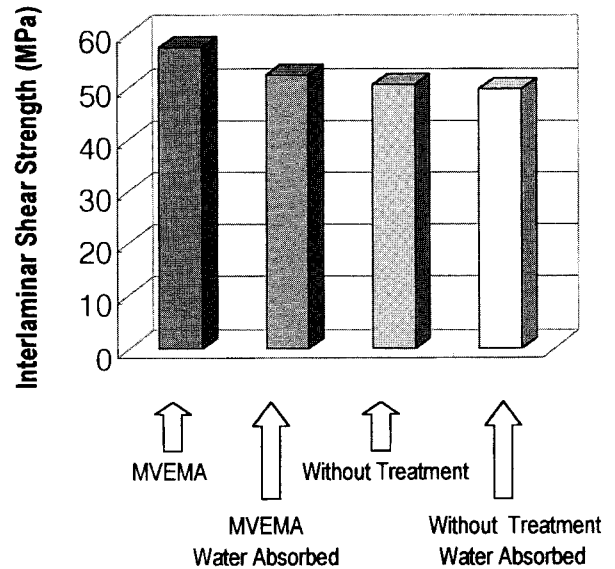


Figure 14. The effect of water absorption on the ILSS

업적 표면처리의 경우보다, MVEMA 계면상 도입의 경우 51%, EMA 계면상 도입의 경우 36%의 내충격성 향상을 확인할 수 있었다. 계면상이 수분을 주로 흡수하는 침지시간 100시간 이내에서는 MVEMA 계면상을 가진 CFRC의 수분 흡수율이 많았으나 예폭시 수지의 수분 흡수가 주로 일어나는 100시간 이후에서의 수분 흡수율은 사이징 처리를 하지 않은 CFRC의 흡수율과 유사하였다. 수분 흡수율이 큰 MVEMA 계면상을 도입한 CFRC의 80 °C, 7일 침지후 층간전단강도 저하는 9% 정도이었으나 이는 사이징 처리를 하지 않고 또한 침지시키지 않은 CFRC의 층간전단강도 보다 높은 값을 나타내었다.

감사의 글

본 연구는 1996년도 한국학술진흥재단의 공모과제 (지방대육성) 학술연구조성비 지원에 의해 이루어졌으며 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 섬유강화 복합재료의 개발과 응용, 한국 기계연구원, 과학기술처 특정 연구보고서(1984).
2. Robert M. Jones, *Mechanics of Composite Materials*, McGraw-Hill Book Company(1975).
3. A. S. Crasto, S. H. Own, and R. V. Subramanian, *Polymer Composites*, **9**, 1(1988).
4. Mel M. Schwartz, *Composites Materials Handbook*, NASA, August(1996).
5. Bor Z. Jang, *Advanced Polymer Composites, Principles and Applications*, ASM International(1994).
6. 전의진 등, *최신복합재료*, 교학사(1995).
7. F. L. Mathews, *Composite Materials, Engineering and Science*, Chapman & Hall(1993).
8. R. V. Subramanian, and J. J. Jakubowski, *Polymer Engineering Science*, **19**, 590(1978).
9. R. V. Subramanian, *Pure Appl. Chem*, **52**, 1929(1980).
10. L. R. Lebras, *J. Paint Technology*, **38**, 85(1966).
11. A. E. Rheineck and A. M. Usmani, *J. Paint Technology*, **41**, 538(1969).
12. Jean-Baptiste Donnet, *Carbon Fibers*, Marcel Dekker, Inc. (1990).
13. Selzer R, Friedrich K, *J. of Materials Science*, **30**, 2(1995).
14. J. P. Bell *et al*, *J. Adhesion*, **53**, 103(1995).