

유기 복합 건축재용 불포화 폴리에스테르/알루미나 복합재료의 물성향상 : (III) 강화재인 폴리비닐 알콜 섬유의 영향에 대한 고찰

장 정 식[†] · 김 세 종 · 김 병 철*

서울대학교 공과대학 공업화학과, *한국과학기술연구원 섬유고분자연구실
(1993년 10월 15일 접수)

Performance Improvement of Unsaturated Polyester/Alumina Composites for Organic Building Material : (III) The Effect of Polyvinyl Alcohol Fiber as a Reinforcement

Jyongsik Jang[†], Sejong Kim, and Byungchul Kim*

Department of Chemical Technology College of Engineering, Seoul National University, Seoul, 151-742

*Synthetic Fiber Lab., Korea Institute of Science and Technology, Seoul, 136-791, Korea

(Received October 15, 1993)

요 약 : 유기 복합 건축재에 적용하기 위하여 불포화 폴리에스테르/알루미나 복합재료에 기계적 물성 및 접착성이 좋은 polyvinyl alcohol(PVA) 섬유를 도입한 섬유 강화 복합재료를 제조하여 기계적 물성을 고찰하였다. 표면처리용 실란 카플링제인 γ -methacryloxypropyltrimethoxy silane(γ -MPS)으로 충전제 및 강화재 표면을 처리하여 실란 카플링제의 농도 변화에 따른 폴리비닐 알콜 섬유 강화 복합재료의 기계적 물성을 추적하였다. 표면처리에 의한 복합재료의 굴곡물성은 실란 처리농도 0.6 wt% 일 때 최대값을 보였다. 강화재와 매트릭스 수지 계면에서의 반응성을 조사하기 위해 diffuse reflectance infrared fourier transform spectroscopy(DRIFT) 방법을 이용하였으며, 이로 부터 강화재/매트릭스 계면 반응에 의한 접착력 증진이 기계적 물성에 미치는 영향을 함께 고찰하였다. 이와 병행하여 여러가지 조건하에서 충전제와 강화재의 표면을 처리한 복합재료의 형태학적 고찰을 주사전자 현미경을 이용하여 시도하였다.

Abstract : In order to apply for the organic building materials, polyvinyl alcohol(PVA) short fiber, which has good mechanical and adhesion properties, was introduced to unsaturated polyester/alumina composite. Its mechanical properties were increased by surface treatment with silane coupling agent. Maximum flexural properties of surface treated composite were observed at silane 0.6 wt%. Diffuse reflectance infrared fourier transform spectroscopy(DRIFT) was used to study the reactivity in the interface between matrix and reinforcement. In addition, scanning electron microscopy(SEM) was used for the morphological study on the interface between reinforcement and matrix.

서 론

선진 각국에서 합성 고분자재료를 건축재료로서 개발하고 사용하여 온 것은 합성 고분자재료 자체의 연구개발과 거의 동시에 이루어져 왔다.^{1~2} 초기에는, 고분자건재는 각종 천연건재의 대용품으로만 여겨졌으나 70년대 중반부터는 고분자재료의 특성을 활용한 건축재료의 개발이 적극적으로 이루어져 건축용 방수재 및 밀폐재(sealing material) 등 일부 분야에서는 우수한 제품이 등장하게 되었다.

그 후, 고분자재료는 건축재의 구조재와 기능재의 양면에서 눈부신 발전을 거듭하였는데 1964년부터 1982년까지 미국, 영국 및 독일에서의 고분자건재의 사용량은 매년 20% 이상씩 증가하였다.³ 사용분야도 다양화되어 섬유 강화 복합재료, 구조용 고분자 발포재, 고분자합침 콘크리트, 섬유 강화 콘크리트, 접착제 및 밀폐재, 나아가서 태양열 주택의 각종 기능재에 이르기까지 개발되고 있으며, 사용되는 수지의 종류도 범용수지로부터 특수 엔지니어링 플라스틱까지 다양화되는 추세이다.⁴

건축물이나 구조물에 있어서 구조재 또는 내외장재(비구조재)로 사용되는 재료는 기계적 강도, 내후성 및 내구성 등이 우수해야 하기 때문에 주로 목재, 시멘트, 금속 등의 천연 건축재가 사용되어 왔다. 그러나, 최근 들어 건축재의 고성능, 경량화 추세에 힘입어 고분자재료를 대폭 사용한 유기 복합 건축재의 개발이 매우 활발해지고 있다.

유기 복합 건축재는 성형이 용이하여 특수한 형태로도 가공할 수 있고, 경량으로 적당한 강도를 가지고 있으며, 착색에 의해 외관이 미려하고, 재생이 가능하다. 또한, 각종 섬유 강화재 및 충전제의 보강에 의해 건축 구조재료까지 용도를 넓힐 수 있으며, 고분자의 특성을 이용하면 각종 첨가제를 사용하여 난연성, 내후성, 내한성, 방음성 및 단열성 등을 높일 수 있고, 압출, 사출, pultrusion, press 성형 등 다양한 가공기술로 대량생산이 가능하여 용도에 따라 가격과 성능을 최적화한 제품의 개발 역시 가능하다.⁵

따라서, 유기 복합 건축재는 기존 천연재료의 대체품으로서 뿐 아니라 독특한 기능을 가진 새로운 건축재료로서도 각광을 받을 것이 예상되는데, 유기 복합 건축재의 매트릭스 수지로는 폴리에스테르 수지를 가장 많이 사용하고 있으며 폴리에스테르 수지는 열경화성인 불포화 폴리에스테르 수지와 열가소성인 포화 폴리에스테르 수지로 크게 나눌 수 있다. 그 중 불포화 폴리에스테르 수지를 매트릭스로 사용한 유기 복합재는 경량이면서도 우수한 물성을 가지는 재료로 가장 많이 사용되어지고 있다.^{6~26} 불포화 폴리에스테르 수지에 적용되는 충전제로는 주로 석분, 알루미늄이 등이 유기 복합 건축재용으로 많이 이용되고 있으나, 구조용으로 사용하기에는 그 용도 및 목적에 따라 기계적 물성의 향상이 요구되어지고 있다. 특히, 충전제/불포화 폴리에스테르 계면의 접착 강도가 낮아, 외부에서 응력을 받을 경우 계면부위가 취약한 것으로 알려져 있다.^{27~31}

불포화 폴리에스테르/알루미늄 복합재료 연구중 part I에서는 알루미늄 표면에 실란 카플링제 처리시 불포화 폴리에스테르/알루미늄 복합재료의 기계적 물성변화를, part II에서는 매트릭스 수지에 따른 불포화 폴리에스테르/알루미늄 복합재료의 기계적 물성을 고찰하였다.

본 연구에서는 유기 복합 건축재에 적용하기 위한 연구로서 불포화 폴리에스테르/알루미늄 복합재료에 기계적 물성 및 접착성이 우수한 polyvinyl alcohol (PVA) 섬유를 도입하여 섬유 강화 복합재료를 제조하고, 이들의 기계적 물성 및 강화재 표면처리에 대한 영향을 고찰하고자 하였다.

실 험

실험 재료

매트릭스 수지: 유기 복합 건축재용 수지로 가장 많이 사용되는 불포화 폴리에스테르 수지중에서 그 이용도에 따라 두 종류를 선정하였으며, 본 연구에서는 Ashland Chemical사의 orthophthalic type 불포화 폴리에스테르인 AROPOL 2634와 isophthalic

type의 AROPOL 7241을 사용하였다. 사용된 수지의 기본 물성은 Table 1에 나타내었다.

충전제 : 충전제로는 오닉스용으로 사용되는 일본 쇼와 텐코사의 알루미나 H-10을 사용하였으며, 사용 전에 110℃에서 24시간 동안 건조한 후, 실란 카플링제의 농도변화에 따라 충전제 표면을 처리하여 사용하였다. 실란 카플링제로 화학적 처리시 충전제 표면을 60℃에서 3시간 동안 건조하여 매트릭스 수지와 혼합하여 사용하였다.

개시제 및 촉진제 : 본 연구에서 사용된 개시제는 methyl ethyl ketone peroxide(MEKPO)이며, 반응 시간을 단축시키고 사용온도를 낮추기 위해 촉진제로서 cobalt naphthenate를 사용하였다. 개시제 및 촉진제의 사용된 함량은 불포화 폴리에스테르 수지에 대해 개시제(55% MEKPO 용액) 1.5 phr과 촉진제 1.5 phr를 사용하였으며, 60℃에서 약 2시간 동안 경화시켰다.³²

실란 카플링제 : 충전제와 강화재의 표면을 개질화시키기 위하여 실란 카플링제를 사용하였다. 본 실험에서 사용된 실란 카플링제는 Petrach사의 γ -methacryloxypropyl trimethoxy silane(γ -MPS)으로서 이의 구조식은 Table 2에 나타내었다.

사용된 실란 카플링제의 농도는 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0 wt % 이며, 충전제와 강화재 표면에 도입

하기 전에 pH 3.5인 수용액하에서 일정농도의 실란 카플링제를 넣고, 25℃에서 1시간 동안 가수분해한 후 사용하였다. 충전제와 강화재의 표면에 실란 카플링제를 효과적으로 도입시키기 위해 물/노르말 부탄올 공용매를 사용하였으며, 부피비는 2 : 98로 사용하였다. 공용매를 사용한 목적은 실란 카플링제를 충전제와 강화재표면에 균일하게 처리하고 효과적으로 건조시키기 위해서이다.

폴리비닐 알콜 섬유 : 유기 복합재의 강화재로서 사용된 폴리비닐 알콜 섬유는 일본 구라레이(Kuraray)사의 PVA RM182 단섬유를 사용하였으며, 섬유의 굵기는 1.8 denier, 강도는 13 g/denier, 신도는 7%, 길이는 4 mm 이다. 폴리비닐 알콜 섬유는 불포화 폴리에스테르 수지에 도입하기 전에 60℃에서 2시간 건조하여 mixer로 충분히 분산시킨 후 적용하였다.

복합재 제조방법. 폴리비닐 알콜 섬유, 알루미나, 불포화 폴리에스테르 수지, 경화제, 그리고 촉진제를 일정함량으로 도입한 후, 교반기로 잘 혼합시켜 경화용 몰드에 주입하여, mechanical convection oven에서 2시간 동안 60℃에서 경화하여 제조하였다. 시편의 두께는 3 mm로 하였으며, 제조된 복합재는 다이아몬드 톱이 부착된 절단기로 절단하여 사용하였다.

분석 및 평가

적외선 분광분석 : 효과적인 적외선 분광분석을 위하여 액체 질소로 냉각되는 MCT detector가 부착된 Digilab사의 FTS-60 타입의 FT-IR을 사용하였다. 분해능 2 cm⁻¹로 128 스캔을 하여 분석을 행하였으며, Digilab DRA-100타입의 hemispherical diffuse reflectance attachment를 사용하였다. 얻어진 스펙트럼은 Kubelka-Munk function에 의해 보정하여 얻었으며, 스펙트로미터는 대기중의 수분을 제거하기 위해 건조된 공기를 지속적으로 샘플챔버에 불어넣어 주었다.

주사 전자 현미경 : 시편의 파단면을 관찰하기위해 Jeol사의 JSM-35 타입의 scanning electron microscopy(SEM)를 이용하였다. 전자빔이 불규칙하게 회

Table 1. Unsaturated Polyester Resin Used in This Study

Name	Type	viscosity at 25℃ (cps)	solid content (wt %)	max. exotherm. temp.(℃)
AROPOL 2634	orthophthalic	350	53	175
AROPOL 7241	isophthalic	500	57	188

Table 2. The Structure of γ -Methacryloxypropyltrimethoxy Silane

Silane	Chemical Formula
γ -MPS	$\text{CH}_2=\text{C}(\text{CH}_3)\overset{\text{O}}{\underset{\text{O}}{\parallel}}\text{CO}(\text{CH}_2)_3\text{Si}(\text{OCH}_3)_3$

절되는 것을 방지하기 위해 촬영 전에 시편의 파단면을 금으로 코팅하였다.

기계적 물성 평가 : 제조된 유기복합재의 물성평가를 위해 굴곡탄성률을 UTM(universal testing machine)을 이용하여 측정하였다. 사용된 장비는 Instron 4201이었으며, 굴곡탄성률을 측정하기 위해 Fig. 1과 같은 형태로 three point flexural test법에 의해 측정하였다.

support span과 시편 두께의 비(L/t)는 약 16이 되도록 고정하였다. 측정에 사용된 load cell은 500 kg이었으며, crosshead 속도는 2 mm/min 였다. 굴곡탄성률은 stress-strain 곡선의 초기 기울기를 이용하여 다음 공식을 통해 구하였다.³³

$$E_B = L^3 m / 4bd^3$$

E_B : modulus of elasticity bending(kg/mm²)

L : support span(mm)

m : slope of the tangent to the initial straight line portion of the load deflection curve (kg/mm)

b : width of specimen tested(mm)

d : depth of specimen tested(mm)

결과 및 고찰

γ-MPS 는 불포화 폴리에스테르 수지와 용해도 상수값이 비슷해서 상용성이 매우 좋고, radical 반응

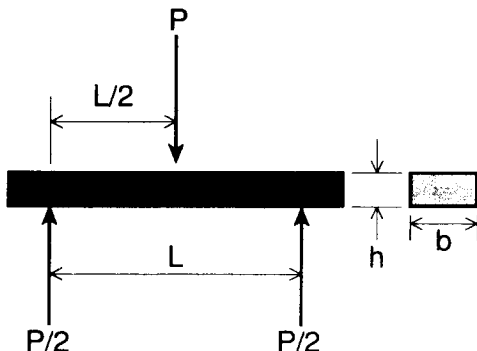


Fig. 1. Specimen for three point flexural test.

시 불포화 폴리에스테르 수지에 용매로서 포함되어 있는 스티렌 단량체와의 반응성이 커서 불포화 폴리에스테르 수지를 매트릭스로 사용한 복합재료의 강화재 표면처리제로서 많이 이용되어 왔다.^{34,35}

Fig. 2는 γ-MPS 카플링제의 FT-IR transmission 스펙트럼으로, 2900 cm⁻¹ 영역에 C-H stretching vibration, 1718 cm⁻¹ 영역에 C=O stretching이 나타나고 있으며 C=C 이중결합은 1640 cm⁻¹ 영역에서 나타나고 있다. 또한, 934 cm⁻¹ 영역에 C=C bending이 나타나고 있다.³⁶

Fig. 3은 경화반응에 의한 γ-MPS의 C=C bending peak의 변화를 나타내고 있다. Fig. 3a는 0.8

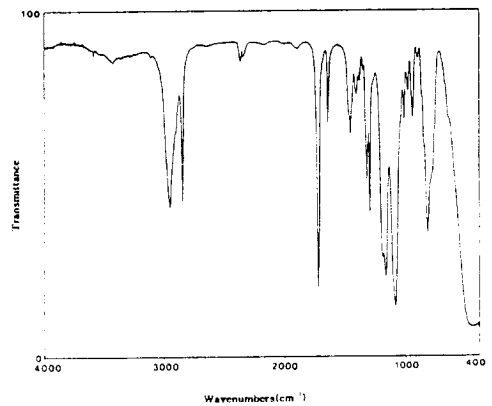


Fig. 2. Transmission spectrum of γ-methacryloxypropyltrimethoxy silane.

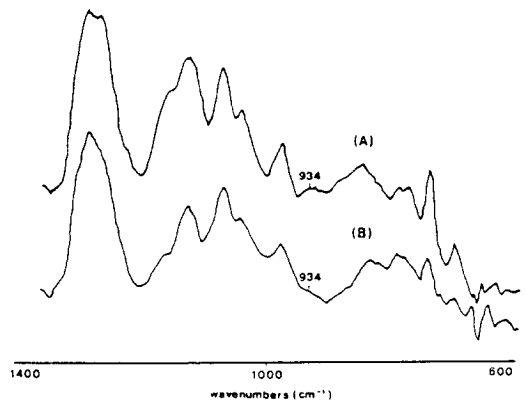


Fig. 3. DRIFT spectra of PVA/γ-MPS/AROPOL7241 ; (a) before cure, (b) after cure.

wt% 실란으로 표면처리된 폴리비닐 알콜 섬유의 경화된 표면 스펙트럼이고, Fig. 3b는 경화된 후의 표면 스펙트럼이다. 934 cm^{-1} 영역에 나타나던 $\text{C}=\text{C}$ 이중결합이 경화반응을 통해 사라졌으며, 이는 경화반응시 불포화 폴리에스테르 수지와 반응을 하여 소멸된 것으로 사료된다.³⁷

Fig. 4는 orthophthalic type의 불포화 폴리에스테르 수지인 AROPOL2634에 충전제로 알루미나와 강화재로 폴리비닐 알콜 섬유를 도입한 복합재의 굴곡강도이다. 첨가된 알루미나의 양은 30.0 wt%로 고정하였으며, 폴리비닐 알콜 섬유 함량 0 wt%, 2.0 wt%, 4.0 wt%, 6.0 wt%의 시료를 제조하여 물성 평가하였다. 강화재를 표면처리하지 않은 경우, 폴리비닐 알콜 섬유 도입에 따라 굴곡강도는 점진적으로 증가하여 섬유 미도입시에 비하여 섬유 2.0 wt%, 4.0 wt%, 6.0 wt%일 때 각각 13.0%, 28.7%, 33.8%의 증가를 보였다.

실란 카플링제에 의한 표면처리시 복합재의 굴곡강도는 증가하였으며 실란 처리농도 0.6 wt%에서 최대값을 나타내었다. 이는 폴리비닐 알콜 섬유 표

면에 메타아크릴레이트 실란 카플링제가 도입됨으로써 불포화 폴리에스테르와 효과적인 화학결합을 할 수 있는 관능기가 강화재 표면에 생성되었기 때문이다.

일반적으로 복합재의 기계적 물성은 강화재/매트릭스의 계면이 물리적인 결합에 의한 것보다는 화학적 결합인 상태가 보다 더 높은 값을 나타낸다. 이와 같은 측면에서 볼 때 강화재 표면을 개질함은 유기 복합재의 굴곡강도를 향상시키는데 중요한 요인으로 작용될 수 있다. 폴리비닐 알콜의 함량이 증가할수록 굴곡강도가 증가하는 것은 미처리 시료의 경우와 유사한 경향을 나타내고 있다.

Fig. 5는 orthophthalic type 불포화 폴리에스테르 수지인 AROPOL2634에 폴리비닐 알콜 섬유 함량을 6.0 wt% 까지 도입하여 제조한 복합재의 굴곡탄성율을 나타낸다. 폴리비닐 알콜 섬유가 도입되는 경우, 복합재 내에서 폴리비닐 알콜이 강화작용을 하여 굴곡탄성율은 지속적으로 증가하였으며, 폴리비닐 알콜 함량 2.0 wt% 도입한 경우, 미도입시에 비해 25%의 높은 증가를 보여주고 있다. 이는 고강도 폴

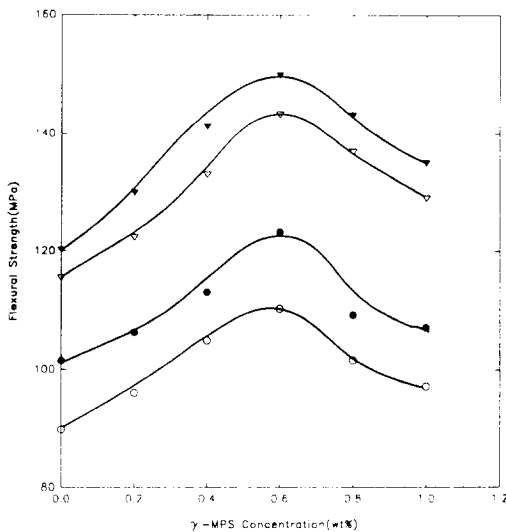


Fig. 4. Flexural strength of AROPOL2634/alumina/PVA with the variation of PVA content : (○) PVA 0 wt%, (●) PVA 2 wt%, (▽) PVA 4 wt%, (▼) PVA 6 wt%.

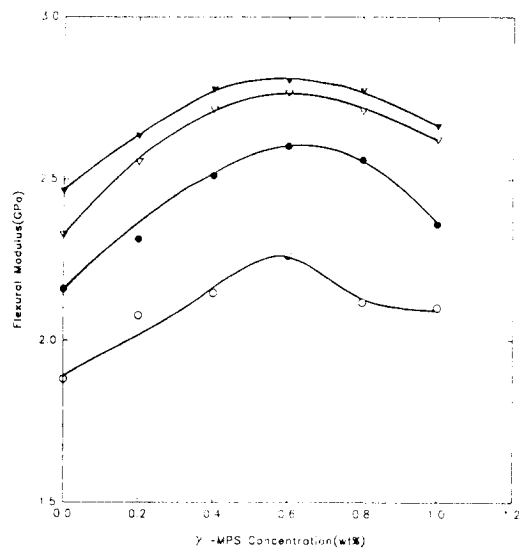


Fig. 5. Flexural modulus of AROPOL2634/alumina/PVA with the variation of PVA content : (○) PVA 0 wt%, (●) PVA 2 wt%, (▽) PVA 4 wt%, (▼) PVA 6 wt%.

리비닐 알콜 섬유가 유기복합재 내에서 효과적으로 기계적 물성을 증가시켜줄을 의미하며, 폴리비닐 알콜은 친수성기를 표면에 많이 가지고 있어 알루미늄보다 더 용이하게 불포화 폴리에스테르 수지와 화학적 결합을 할 수 있기 때문에 사료된다. 실란농도가 증가하고, 폴리비닐 알콜 섬유의 함량이 증가할수록 굴곡탄성율은 증가하였다. 폴리비닐 알콜 섬유 함량이 6.0 wt%인 경우는 매트릭스 수지에 의한 강화재의 함침성 및 혼합이 점진적으로 어려워진다. 이로 인해, 굴곡탄성율의 증가는 다소 둔화되는 경향을 나타내고 있다.

강화재인 폴리비닐 알콜 함량이 0 wt%인 경우, 알루미늄 표면에서 실란 카플링제 처리시 실란 카플링제의 농도가 증가할수록 굴곡탄성율은 증가하다가 실란 카플링제 농도가 0.6 wt%인 점에서 최대치를 나타내며 그 이상의 농도에서는 점진적으로 감소하는 경향을 보여주고 있다. 충전제의 표면을 화학적으로 처리시 기계적 물성이 최대를 나타내는 최적농도가 일반적으로 존재하게 되며, 이는 충전제의 형태, 표면 roughness, 표면조성, 개질제의 관능기종류, 표면처리 조건 및 온도 등에 의해 영향을 받게 된다.^{38~43}

폴리비닐 알콜 섬유가 도입된 경우에도 실란 카플링제 농도가 0.6 wt%에서 굴곡탄성율이 최대치를 나타내었으며, 그 이상에선 다소 감소하는 추세를 나타내고 있다. 이는 실란 카플링제가 알루미늄 표면에 적정농도 이하로 존재할 때는 불포화 폴리에스테르와 효과적으로 공유결합을 이룰 수 있으나, 적정농도 이상에서는, 과량의 실란 카플링제가 강화재 표면과 화학적 결합을 이루지 못하고 느슨한 물리적 흡착상태로 존재함으로 인해, 계면에서 윤활작용을 하여 기계적 물성을 저하시키는 요인으로 작용하기 때문으로 생각된다.⁴⁴ 그러므로, 충전제의 표면을 화학적으로 개질시에는 최적조건을 선정해 주는 것이 기계적 강도를 향상시키는데 매우 중요하게 작용하게 된다.

또한, 매트릭스 수지인 불포화 폴리에스테르에 강화재의 함량이 증가하게 되면 기계적 강도는 점진적

으로 증가하는 경향을 나타내지만, 단섬유인 폴리비닐 알콜 섬유의 도입이 어려워 굴곡탄성율의 증가폭은 다소 둔화되는 경향이 있다. 이는 강화재 함량이 과다하게 도입된 경우는 전체적인 유기복합재의 제조가 다소 용이하지 못하여 효과적인 혼합이 어려워서 유기복합재 내부에 미세한 기공(void)이 생길 우려가 있으며, 이와 같은 현상은 직접적으로 기계적 강도를 저하시키는 요인이 되기 때문이다. 또한, 강화재의 함량증가로 인해 수지함침성이 용이하지 못하기 때문에 강화재/매트릭스 수지의 계면의 화학적 결합이 쉽지 않아 계면 접착강도의 감소를 초래할 수 있기 때문으로 사료된다.

Fig. 6 및 7은 각각 isophthalic type 불포화 폴리에스테르 수지인 AROPOL7241에 알루미늄과 폴리비닐 알콜 섬유 도입시 제조된 복합재의 굴곡강도와 굴곡탄성율을 나타낸다. 물성의 전반적인 경향은 AROPOL2634를 매트릭스로 사용한 것과 거의 유사하나, 물성의 절대적인 값은 AROPOL7241의 경우가 AROPOL2634보다 높게 나타남을 보인다. AROPOL7241 불포화 폴리에스테르 수지는 고분자 사슬에

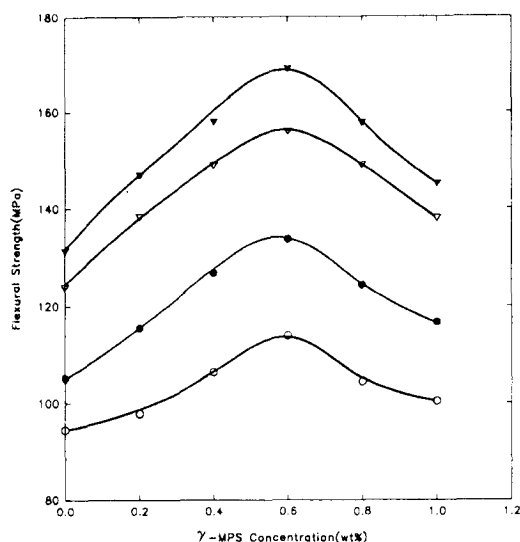


Fig. 6. Flexural strength of AROPOL7241/alumina/PVA with the variation of PVA content : (○) PVA 0 wt%, (●) PVA 2 wt%, (▽) PVA 4 wt%, (▼) PVA 6 wt%.

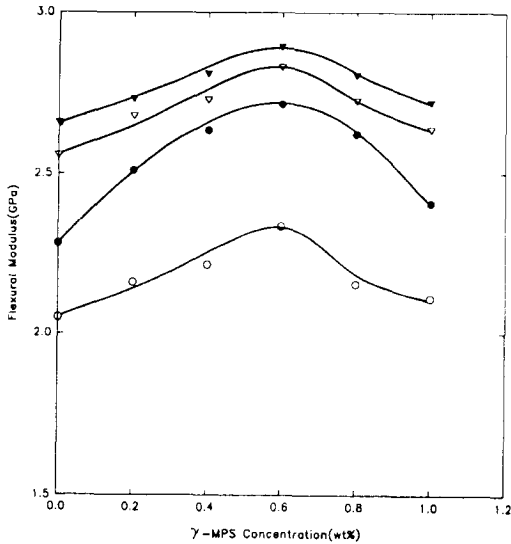


Fig. 7. Flexural modulus of AROPOL7241/alumina/PVA with the variation of PVA content : (○) PVA 0 wt%, (●) PVA 2 wt%, (▽) PVA 4 wt%, (▼) PVA 6 wt%.

isophthalic 에스테르가 다량 포함되어 있으므로, 사슬이 선형을 유지할 수 있어 배열과 밀착이 용이하여 orthophthalic계 불포화 폴리에스테르에 비해 더 높은 기계적 물성을 나타낸다고 생각된다.

Fig. 8 및 9는 복합재 계면을 형태학적으로 고찰하기 위해 복합재료의 파단면을 주사 전자 현미경으로 본 것이다. Fig. 8은 AROPOL7241/알루미나 복합재료의 파단면에서 알루미나와 수지간 경계부분이다. 미처리 알루미나를 함침시킨 경우 알루미나 입자와 매트릭스 수지가 분리되어 공극이 형성되어 있다. 반면에, 실란 카플링제로 표면처리한 알루미나를 사용한 경우, 알루미나와 매트릭스간 경계가 불분명해지고, 계면에서가 아니라 매트릭스 수지에서 파괴가 일어난 것을 알 수 있다. Fig. 9는 폴리비닐알콜 첨유가 도입된 복합재의 파단면이다. 실란 카플링제를 처리하지 않은 첨유를 사용했을 때는 첨유

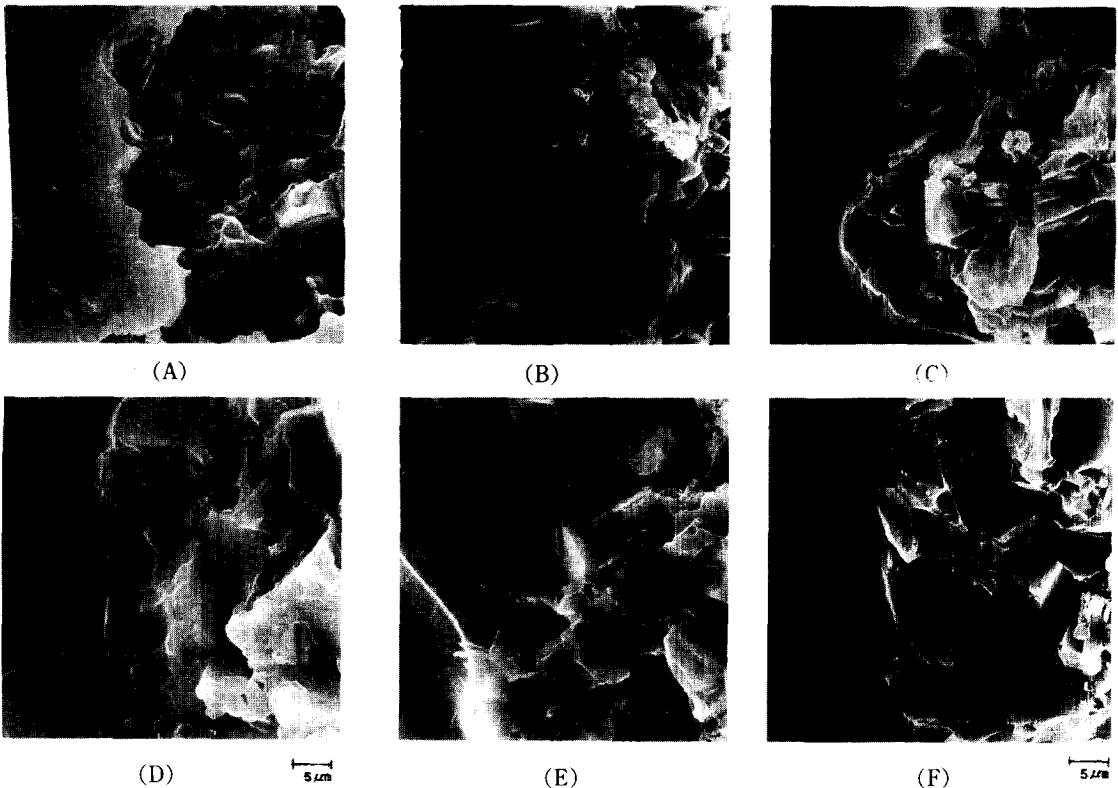


Fig. 8. SEM micrographs of AROPOL7241/alumina with the variation of γ -MPS concentration : (A) Control (B) 0.2 wt% (C) 0.4 wt% (D) 0.6 wt% (E) 0.8 wt% (F) 1.0 wt%.

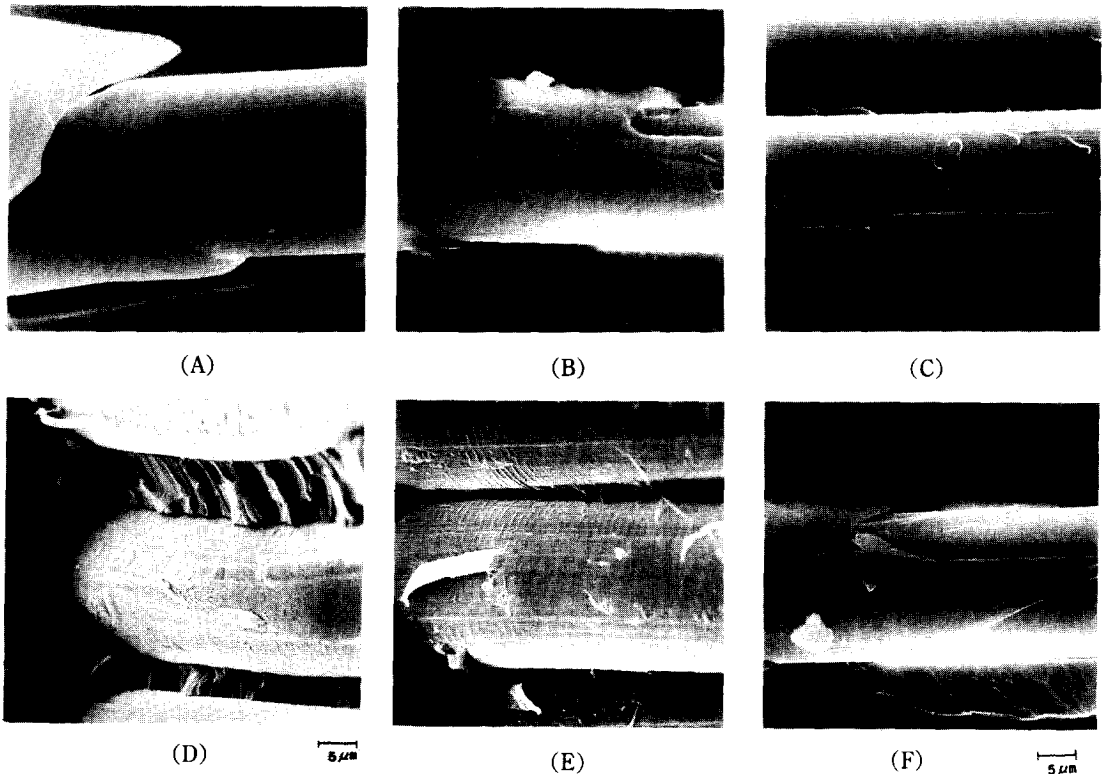


Fig. 9. SEM micrographs of AROPOL7241/PVA with the variation of γ -MPS concentration : (A) Control (B) 0.2 wt% (C) 0.4 wt% (D) 0.6 wt% (E) 0.8 wt% (F) 1.0 wt%.

의 표면이 매끈하고 섬유/수지간 계면이 분리되어 있는 것에 비해, 실란 카플링제로 표면처리한 폴리비닐 알콜 섬유를 도입한 것은 매트릭스 수지와 접착력이 향상되어 섬유 표면에 수지가 접착된 상태로 수지 쪽에서 균열이 일어나는 cohesive failure 현상이 생겨 섬유 표면이 매우 거친 것을 알 수 있다. 그러므로, 실란 카플링제로 강화재를 표면처리시 물성향상은 강화재와 매트릭스 수지간 계면에서의 접착력 증가에 기인한다는 것을 알 수 있다.

결 론

불포화 폴리에스테르/알루미나/PVA 복합재료의 기계적 물성을 증진시키기 위해 알루미나와 폴리비닐 알콜 섬유 표면을 실란 카플링제로 처리하였으며, 계면의 반응성과 형태를 고찰하기 위해 FT-IR 과

SEM을 이용하였다. 이상과 같은 실험을 통해 불포화 폴리에스테르/알루미나/PVA 복합재료에 관한 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 불포화 폴리에스테르/알루미나 복합재료의 기계적 물성은 충전제 및 강화재를 실란 카플링제로 표면처리함에 따라 점진적으로 증가하였고, 실란 처리농도 0.6 wt%에서 최대값을 보였다.
2. 불포화 폴리에스테르/알루미나 복합재에 폴리비닐 알콜 섬유를 도입함에 있어서 폴리비닐 알콜 섬유 함량증가에 따라 복합재의 기계적 물성은 증가하였다.
3. 불포화 폴리에스테르/알루미나/PVA 섬유 복합재에서 기계적 물성은 실란처리에 따라 증가하였고, 실란 처리농도 0.6 wt%에서 최대값을 보였다.
4. 주사 전자 현미경을 통한 형태학적 고찰로 부터, 알루미나와 폴리비닐 알콜 섬유표면을 실란처리

함에 따라 계면접착력이 향상되었음을 알 수 있었다.

참 고 문 헌

1. C. D. Dudgeon, "Unsaturated Polyesters" Engineering Materials Handbook, Vol. 2 Engineering Plastics, ASM International, pp. 246-251 (1988).
2. C. D. Dudgeon, "Unsaturated Polyesters" Engineering Materials Handbook, Vol. 1 Composites, ASM International, pp. 91-96 (1987).
3. P. L. Smith and L. R. Comstock, "Polyester Compositions" US Patent 3, 549, 586 (1970).
4. L. R. Comstock and P. L. Smith, "Unsaturated Polyester Compositions" US Patent 3, 718, 714 (1973).
5. D. Feldman, "Polymeric Building Materials", Elsevier Appl. Sci., London (1989).
6. L. R. Comstock and P. L. Smith, "Unsaturated Polyester Compositions" US Patent 4, 284, 736 (1981).
7. E. D. Ditto, "Mold Coating of Freshly Molded Articles" US Patent 4, 076, 788 (1978).
8. G. Farrington and J. Dimino, "Formulating a Fast Cure Automotive Sheet Molding Compound with a One Component Unsaturated Polyester Resin-Low Profile Additive System" Proceedings of the 44th Annual Conference, Composites Institute. The Society of the Plastics Industry, Inc. 12-C (1989).
9. C. N. Cucuras, "Computer Generated Class A Composites" Proceedings of the 43th Annual Conference, Composites Institute. The Society of the Plastics Industry, Inc. 13-B (1988).
10. G. A. Landsettle and J. C. Jensen, "Factors that Affect Class A Surface Quality" Proceedings of the 41th Annual Conference, Composites Institute. The Society of the Plastics Industry, Inc. 18-B (1986).
11. S. S. Hupp, "Engineering Aspects of the SMC Process" Proceedings of the 42th Annual Conference, Composites Institute. The Society of the Plastics Industry, Inc. 11-E (1987).
12. D. H. Anderson and g. A. Lancsettle, "Witchcraft and Wizardry in Composite Molding" Advanced Composites Conference Proceedings, pp. 139-145 (1985).
13. D. S. Knoebel, "Mechanical Property and Performance Characterization of Marine Laminates and the Effect of Matrix Resin" Proceedings of the 40th Annual Conference, Composites Institute. The Society of the Plastics Industry, Inc. 12-C (1985).
14. C. D. Dudgeon, "Overview of Unsaturated Polyester Resins" Proceedings of the 34th International SAMPE Symposium, pp 2333-2345 (1989).
15. W. Mutch, *Plastics World*, **45**, 31 (1987).
16. K. Shirayama, *Mater. Struct.*, **19**, 249 (1986).
17. D. Powell, in "Encyclopedia of Polymer Science and Engineering", pp. 146-147, vol.4, 2nd. Ed., John Wiley and Sons, Inc., New York (1986).
18. D. Feldman, "Polymeric Building Materials", Elsevier Applied Science, London (1989).
19. C. D. Dudgeon, Proceeding of 34th International SAMPE Symposium, 2333 (1989).
20. I. H. Updegraff, in "Handbook of Composites", G. Lubin Ed., Van Nostrand Reinhold, Inc., New York (1982).
21. L. L. Thomas, "SPI Plastic Engineering Handbook" Van Nostrand Reinhold, Inc., New York (1990).
22. T. Ozawa, *Bull. Chem. Soc. Jpn.*, **38**, 1881 (1965).
23. T. Ozawa, *J. Ther. Anal.*, **2**, 301 (1970).
24. H. E. Kissinger, *Anal. Chem.*, **29**, 1702 (1957).
25. C. D. Doyle, *Anal. Chem.*, **33**, 77 (1961).
26. N. H. Horowitz and G. Metzger, *Anal. Chem.*, **35**, 1464 (1963).
27. R. B. Prime, *Polym. Eng. Sci.*, **13**, 365 (1973).
28. P. Peyser and W. D. Bascom, *Anal. Calorim.*, **3**, 357 (1974).
29. R. A. Fava, *Polymer*, **9**, 137 (1968).
30. D. H. Kaelble and E. H. Cirlin, *J. Polym. sci. Part C*, **35**, 79 (1971).
31. L. W. Crane, P. J. dynes and D. H. Kaelble, *J. Polym. sci.*
32. X. Ramis and J. M. Salla, *J. of Appl. Polym. Sci.*, **45**, 227 (1992).
33. H. NG and I. Manas- Zloczower, *Polym. Eng. and Sci.*, **29**, 1097 (1989).
34. E. P. Plueddemann and P. G. Pape, Proc. 40th Ann. Conf., Reinforced Plastics/Composites Inst., 17-F (1985).
35. E. P. Plueddemann, H. A. Clark, L. E. Nelson, and K. R. Hoffmann, *Mod. Plast.*, **39**, 136 (1962).
36. H. Ishida and J. L. Koenig, *J. of Colloid and Inter-*

- face Sci.*, **64**, 565 (1978).
37. E. P. Plueddemann and G. L. Stark, SPI. 35th Ann. Tech. Conf. Reinf. Plast. Compos. 20-B (1980).
38. L. Pauling, "The Nature of the Chemical Bond", Cornell Univ. Press, Ithaca, N. Y. (1948).
39. E. P. Plueddemann, *Natl. SAMPE Tech. Conf.*, 453 (1969).
40. E. P. Plueddemann, *Mod. Plast.*, **47**, 92 (1970).
41. E. P. Plueddemann, 25th Ann. Conf. Reinforced Plast. Div., SPI, 13-D (1970).
42. J. Jang, H. Ishida and E. P. Plueddemann, Proc. 41st Ann. Conf., Reinforced Plastics/Composites Inst., 21-F (1987).
43. J. Jang, H. Ishida and E. P. Plueddemann, Proc. 41st Ann. Conf., Reinforced Plastics/Composites Inst., 2-C (1986).
44. H. Ishida and J. D. Miller, SPI. 38th Ann. Conf. Reinf. Plast. Compos. 4-E (1983).