

폐 FRP/불포화 폴리에스테르 수지 복합재의 기계적 물성에 미치는 실란계 커플링제 (3-methylacryloxyvinyl silane) 영향

황택성 · 최돈묵* · 최장락 · 임정훈 · 박정기**

충남대학교 공과대학 화학공학과

*경원전문대학 소방안전관리과

**한국과학기술원 화학공학과

Effect of Coupling Agent(3-methylacryloxyvinyl silane) on the Mechanical Properties of wasfeaste FRP/Unsaturated Polyester Composites

T. S. Hwang, D. M. Choi*, J. R. Choi, J. H. Lim and J. K. Park**

Dept. of Chemical Engineering, Chungnam National University, Taejeon 305-762

*Dept. of Fire Safety Engineering, Kyungwon College, Kyonggi-Do 461-702

**Dept. of Chemical Engineering, Taejeon 305-762

(1997년 8월 22일 받음, 1997년 11월 7일 최종수정본 받음.)

초 록 SMC(Sheet molding compound) 육조 생산시 발생하는 폐 FRP를 보강재로서 재활용하기 위하여 불포화 폴리에스테르 매트릭스 수지에 보강하고 보강재와 매트릭스 수지의 계면 결합력을 증진시키기 위하여 보강재를 실란계 커플링제[3-methylacryloxyvinyl silane (MAOS)]로 전 처리하여 복합재를 제조하고 기계적 물성 및 계면현상에 대하여 관찰하였다. 보강률이 20wt%인 복합재의 굴곡강도 및 굴곡탄성률은 각각 110MPa, 8.0GPa로 가장 우수하였으며 커플링제(MAOS)의 농도가 0.50wt%인 복합재의 굴곡강도 및 굴곡탄성률은 약 10% 정도 향상되어 각각 120MPa, 9.2GPa를 나타내었다. 또한 주사전자현미경 관찰 결과 보강재를 커플링제(MAOS)로 처리한 복합재의 보강재와 매트릭스 수지는 물리, 화학적으로 잘 결합하여 보강재와 매트릭스 수지의 계면에서 pull out 현상이 확인되지 않았으며 크랙도 발생하지 않았다.

Abstract The waste FRP produced in the fabrication of SMC(Sheet Molding Compound) bathtubs was applied as a reinforcement in the waste FRP unsaturated polyester matrix resin composites to recycle. To enhance the surface bonding energy between reinforcement and matrix resin, composites were fabricated with the silane coupling agent[3-methylacryloxyvinyl silane(MAOS)] pretreated reinforcement. And their mechanical properties and intersurface phenomena were observed. The flexural strength and modulus of composite, reinforced 20wt% with reinforcement, were dominant compared to the other samples to 110MPa, 8.0GPa respectively. And those of the coupling agent treated (conc. 0.5wt%) composites were about 10% increased up to 120MPa, 9.2GPa respectively. We could confirm that the coupling agent treated(conc. 0.5wt%) composites were physically and chemically bonded well through the SEM observation. Also, pull out phenomena and cracks did not occur in the interface of reinforcement and matrix resin.

1. 서 론

최근 산업의 발달과 더불어 각종 폐기물의 발생량이 급증하고 있어 환경에 심각한 영향을 주고 있다. 특히 이들 폐기물 중 폐 플라스틱에 의한 오염은 후처리 기술의 낙후와 적절한 공정의 개발 및 처리시설의 미비로 인하여 더욱 문제시 되고 있는 실정이다. 현재 국내에서 생산되고 있는 각종 플라스틱의 연간 생산량은 약 650만톤으로 세계에서 4위에 해당되며 이들은 각종 가정용품, 의류, 농업, 건축자재, 포장재, 전기 전자제품, 전선, 포장재, 자동차 부품은 물론 고강도의 기계부품에 이르기까지 다양하게 사용되고 있다^{1,2)}. 이렇게 플라스틱이 다용도로 사용되고 있는 이유는 가격의 저렴성과 성형가공의 용이성 및 우수한 물리화학적 안정성에 기인한다고 볼 수 있다. 그러나 이러한 장점이

있음에도 불구하고 폐 플라스틱은 극히 일부를 제외하고는 버렸을 경우 분해되지 않는 특성을 지니고 있어 폐 플라스틱에 의한 환경오염을 방지하기 위하여는 이들의 효과적인 처리가 필연적이라 하겠다²⁾.

지금까지 알려진 처리방법으로는 단순매립, 연소에 의한 열소각법, 화학적 처리법, 생물학적 처리법 및 재활용법 등이 있다³⁻⁵⁾. 그러나 이들 방법 중 단순매립은 플라스틱의 미분해 특성으로 인하여 제 2, 3의 환경오염을 유발할 수 있고, 열소각법 또한 소각로의 설치가 복잡하고 고가이며 대기오염을 유발하는 단점이 있으며 생물학적 처리법은 최근에 알려진 방법으로 플라스틱을 분해시킨다는 측면에서 바람직하나 그 적용 범위가 극히 한정되어 있다. 한편 화학적 처리법은 폐 플라스틱을 분해하여 화학 원료로 회수하는 방법으로 원료의 회수 측면에서는 매우 유용하고 바람직하

나 아직 연구단계로 실용화되기까지는 많은 연구와 투자가 필요한 실정이다.

또한 페플라스틱의 재활용법 중 가장 효과적인 방법은 재생 플라스틱 조각, 매립, 재분쇄 이외에 직접 소재로 사용하는 방법이다. 그러나 이러한 방법은 대부분 폐 열가소성 수지에 국한되어 있고 열경화성의 폐 FRP (Fiber Reinforced Plastics) 의 재활용도는 극히 미흡한 실정이다³⁾.

FRP와 같은 복합재료는 기존 금속재료보다 취급이 용이하고, 가격이 저렴하며, 비탄성률, 비강도 등의 기계적 성질이 우수할 뿐만 아니라 치수 안정성, 전기 전도성, 전자 차폐성, 내부식성, 내약품성 등 여러가지 장점을 지니고 있어 스포츠 레저용품, 우주 항공장비의 구조재, 자동차부품 및 정화조, 육조 등과 같은 구조재로 응용할 수 있어 그 사용량이 급격히 증가하고 있는 실정이다. 또한 매트릭스로 사용하는 불포화 폴리에스테르는 수지의 종류가 다양하고 경화조건이 용이하여 건축판넬, 수영풀장, 바닥재, 조립식 건축재, 폴리머 콘크리트, 인조대리석 등 다양한 용도에 이용되고 있어 그 수요가 급격히 증가하고 있으며, 이러한 수요의 증가와 더불어 폐기물의 발생량도 급증하고 있는 실정이다. 이러한 폐기물의 대부분은 유리섬유를 보강재로 한 불포화 폴리에스테르 FRP 복합재로 경화반응에 의한 가교가 이루어져 불용불용의 삼차원 구조를 지니고 있어 열가소성 수지와 같이 용융되지 않아 이들의 처리는 단지 열처리 조각이 고작이었다^{6,7)}.

따라서 본 연구에서는 유리섬유 보강 불포화 폴리에스테르 FRP 육조 생산시 발생하는 폐 FRP를 유기건축용 복합재료와 같은 용도로 재활용하기 위하여 이를 분쇄하여 보강재로 사용하고 불포화 폴리에스테르 수지를 매트릭스로 하여 폐 FRP 충전 복합재를 제조하였다. 폐 FRP 제조시 사용한 보강재는 유리섬유이기 때문에 이 유리섬유와 매트릭스 수지간의 화학적인 결합을 유도하여 기계적 물성을 증진시키기 위하여 보강재인 폐 FRP를 실란계 커플링제인 3-methylacryloxyvinyl silane (MAOS)로 처리한 후 복합재를 제조하였으며 특히 커플링제가 복합재의 기계적 물성 및 계면현상에 미치는 영향에 대하여 연구하였다.

2. 실험재료 및 방법

실험재료

매트릭스 수지로 사용한 불포화 폴리에스테르 수지는 여러종류가 있으나 본 연구에서는 국내 애경화학(주)에서 생산되는 이소프탈릭형 수지를 사용하였으며 물성은 표 1과 같다. 보강재는 SMC (Sheet Molding Compound) 육조 생산시 발생하는 폐 FRP를 파쇄한 것을 사용하였으며, 유리섬유를 24wt%를 함유하였다. 또한 복합재의 경화를 원활하게 유도하기 위하여 methyl ethyl ketone peroxide (MEKPO)를 경화제로, cobalt naphthenate를 경화 촉진

제로 사용하였다. 그리고 폐 FRP와 매트릭스 수지간의 화학적 결합을 유도하기 위하여 Aldrich사 제품의 순도 99.99%의 3-methylacryloxyvinylsilane (MAOS)를 커플링제로 사용하였다.

실험

커플링제 처리 및 첨가제의 혼합

SMC 육조 생산시 발생하는 폐 FRP를 파쇄한 후 매트릭스 수지에 10 50wt%를 보강하고 보강재와 매트릭스 수지의 화학결합을 유도하기 위하여 보강재를 실란계 커플링제인 3-methylacryloxyvinyl silane (MAOS)를 부탄올과 증류수의 공용매(무게비 95 : 5)에서 희석시킨 후 아세트산을 사용하여 pH를 3.5로 맞추고 1시간 동안 가수분해한 후 폐 FRP를 고르게 침적시키고 건조한 다음 보강재로 사용하였다. 이때 MAOS의 농도는 0.25~1.0wt%였다⁸⁾.

복합재의 성형 및 시편 제조

자체 제작한 금형(160×40×40mm)을 사용하여 사전 분석한 성형조건을 토대로 매트릭스 수지에 대한 폐 FRP를 10~50wt%로 혼합하고 경화제 및 충전제를 첨가한 후 데시케이터내에서 성형체내의 공기를 제거하면서 30°C에서 1시간동안 경화하였고 시편을 상온에 충분히 방치한 후 복합재를 제조하였다. 복합재의 굴곡강도 및 굴곡탄성률을 측정하기 위하여 다이아몬드 카터로 절단한 다음 연마하여 시편을 제조하였다.

적외선 분광분석

Coupling agent의 coupling효과를 확인하기 위하여 위하여 Midac FT-IR spectrometer를 이용하여 resolution을 2cm⁻¹, scan 수를 4로하여 400-4000cm⁻¹ 영역의 스펙트럼을 측정하였다.

기계적 물성시험

복합재의 굴곡강도와 굴곡탄성률을 ASTM D 638에 의거하여 three point bending test 법에 의해 시험을 하였으며 support span과 시편의 두께비(L/D)는 16이 되도록 고정하였고 cross head speed는 2mm/min이었다⁹⁾. 충격강도는 ASTM D 1822에 의거 TINUS OLSEN을 사용하여 노치를 내지 않은 시편에 Pendrum type hammer를 낙하시켜 이때의 energy와 두께로서 계산했다¹⁰⁾.

주사현미경(SEM) 관찰

ABT-130 SEM을 사용하여 복합재의 굴곡강도 시험후 재료의 파단면을 취하여 gold coating 한 후 보강재와 매트릭스 수지의 계면 관찰을 통하여 보강률과 커플링제의 영향을 확인하였다.

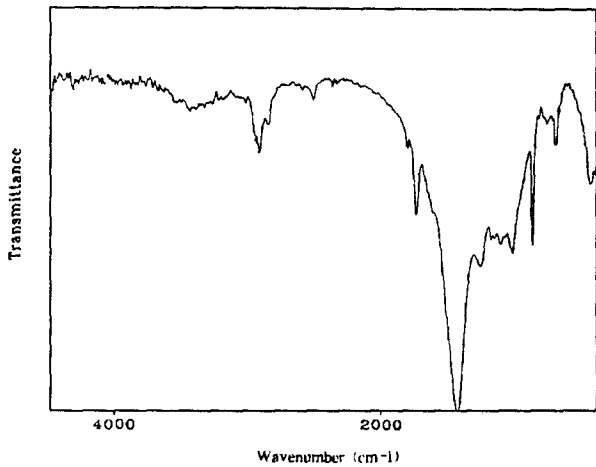
3. 결과 및 고찰

적외선 분광분석

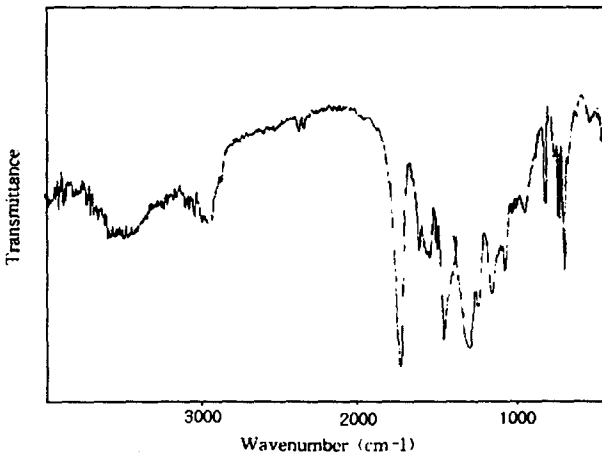
그림 1은 보강재로 사용한 폐 FRP와 3-methylacryloxyvinylsilane (MAOS) 커플링제로 처리한 후 성형한 복합

Table 1. Physical properties of isophthalic type unsaturated polyester

Viscosity(cps at 25°C)	Solid parts(wt.%)	Gel time(min)	Max. Extho. Temp.(°C)
4.7	54	10	160



(a)



(b)

Fig. 1. FT-IR spectrum of waste FRP/unsaturated polyester composites.

(a) pure waste FRP

(b) MAOS(conc. 0.5wt%) treated waste FRP

재의 FT-IR Spectrum이다. (a)는 보강재인 폐 FRP의 분석 결과 매트릭스 수지인 불포화 폴리에스테르 특성기인 C=O 피크가 1729cm^{-1} 부근에서, C-O-C 신축진동 피크가 $1023\sim 1254\text{cm}^{-1}$ 부근에서, 1428cm^{-1} 에서 CH_2 굽힘 진동 피크가 관찰되었다. (b)는 MAOS로 처리한 후 성형한 복합재의 분석 결과로서 커플링 효과에 의하여 1428cm^{-1} 에서 CH_2 굽힘 진동 피크가 급격히 감소하였으며 3050cm^{-1} 에서 Si-C 피크가 1085cm^{-1} 에서 Si-O-C 피크가 관찰되었다. 따라서 적외선 분광분석 결과, 복합재 제조시 보강재를 커플링제인 MAOS로 처리하면 매트릭스 수지와 보강재간의 화학결합에 결합력 증가로 인하여 복합재의 최종물성을 향상시킬 수 있는 가능성을 확인하였다.

기계적 물성시험

폐 PRP 보강 불포화 폴리에스테르 복합재의 폐 FRP 함량에 따른 굴곡강도와 굴곡탄성률을 그림 2에 나타내었다.

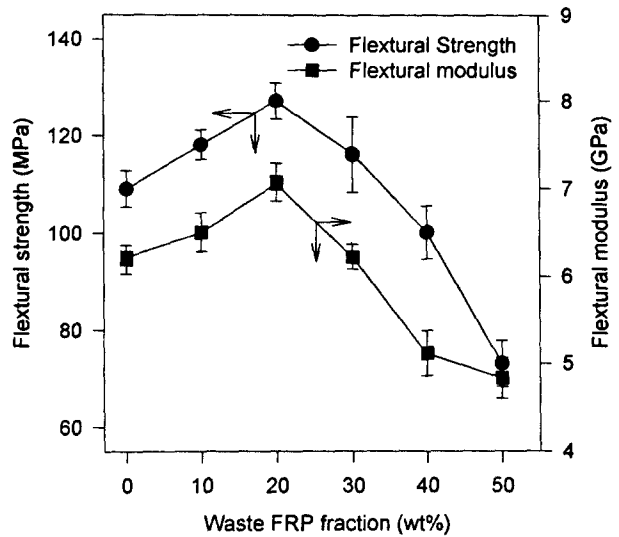


Fig. 2. Flexural strength and modulus of FRP/unsaturated polyester composites according to the reinforcement fraction(wt %)

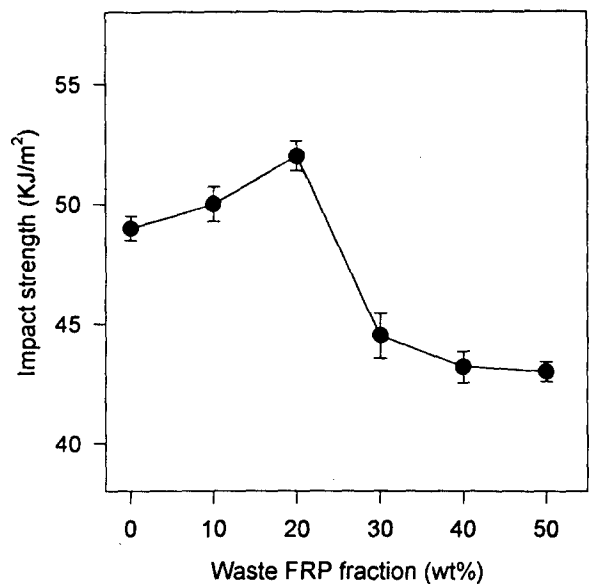


Fig. 3. Impact strength of the waste FRP/unsaturated polyester composites according to the reinforcement fraction(wt%)

폐 PRP가 전혀 보강되지 않은 불포화 폴리에스테르 경화체의 굴곡강도는 95MPa이었으나 보강률을 10, 20wt%로 증가시키기에 따라 각각 100, 110MPa로 증가하였으나 보강률을 30wt%로 증가시킨 복합재의 굴곡강도는 95MPa로 보강재가 전혀 보강되지 않은 불포화 폴리에스테르 경화체와 유사한 물성을 나타내었으며 보강률이 50wt%인 복합재의 경우에는 70MPa로 매우 낮게 나타났다. 굴곡탄성률도 굴곡강도와 유사하게 보강률이 20wt%일 때 최대인 8.0GPa을 나타내었으며 역시 보강률이 증가함에 따라 급격히 감소하여 50wt%인 복합재의 경우에는 5.0GPa로 재료로 활용하기 불가능할 정도로 낮게 나타났다.

이상과 같이 보강률이 20wt% 이상으로 높은 경우 굴곡강도, 굴곡탄성률이 모두 급격히 감소한 원인은 보강재인

폐 FRP에 기존 사용된 장섬유가 성형가공을 위한 파쇄시 극 단섬유 형태로 되어 장섬유에 비하여 보강효과가 감소하기 때문이다. 그리고 폐 FRP 자체의 밀도가 매우 낮고 비 표면적이 매우 넓기 때문에 이 보강재를 충분히 침적시키고 경화반응 종료후 매트릭스 수지와 물리적인 결합을 유도하여 보강재가 매트릭스 수지 내부에서 보강효과를 나타내기 위해서는 많은 양의 매트릭스 수지가 소요되기 때문이다.

그림 3에 폐 FRP 보강 불포화 폴리에스테르 복합재의 폐 FRP 함량에 따른 충격강도 시험 결과를 나타내었다. 폐 FRP의 보강률이 증가함에 따라 20wt%까지는 매트릭스 수지의 양이 보강재를 충분히 침적시키고 물리적으로 지탱시킬 수 있기 때문에 별 차이 없이 49~52KJ/m²로 일정하였으나 그 이상으로 보강률이 높은 복합재의 경우 매트릭스 수지의 부족으로 인하여 감소하여 보강률이 50wt%인 복합재의 충격강도는 43KJ/m²을 나타내었다. 따라서 굴곡강도 시험 결과인 그림 2의 결과에도 볼 수 있듯이 충격강도의 저하 없이 복합재료를 성형 설계시 폐 FRP 보강률은 20wt%가 적당한 것으로 나타났다.

그림 2, 3의 폐 FRP 보강재의 보강률에 따른 복합재의 굴곡강도와 충격강도 시험 결과로부터 보강재의 최적 보강률이 20wt%이었기 때문에 보강재의 보강률은 20wt%로 고정시키고 보강재와 매트릭스 수지의 화학적 결합에 기계적 물성의 증진을 위하여 보강재를 실란계 커플링제인 MAOS로 처리하여 성형한 복합재의 기계적 물성을 시험할 필요성이 있다.

그림 4는 20wt%의 폐 FRP가 보강된 불포화 폴리에스테르 복합재의 커플링제인 MAOS의 처리 농도에 따른 굴곡강도와 굴곡탄성률에 대한 시험 결과이다. MAOS의 처리농도가 증가함에 따라 굴곡강도와 굴곡탄성률은 모두 증가하여 MAOS의 처리농도 0.50wt%에서 최대인 120MPa, 9.2GPa을 나타내었으나 0.75, 1.0wt%로 증가시킴에 따라

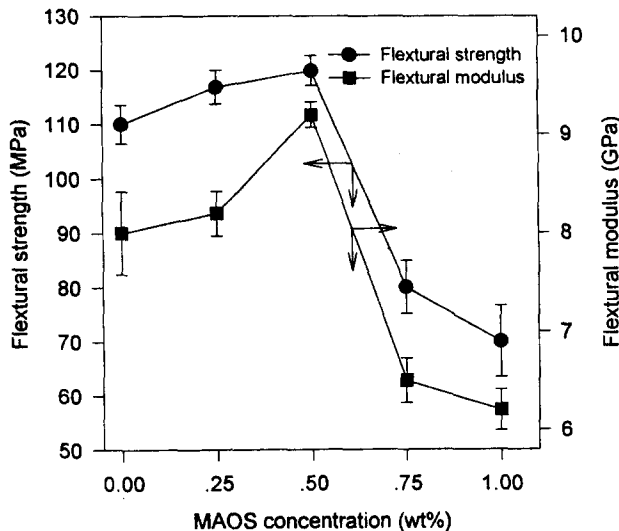


Fig. 4. Flextural strength and modulus of the waste FRP/unsaturated polyester composites according to the MAOS concentration(wt%).

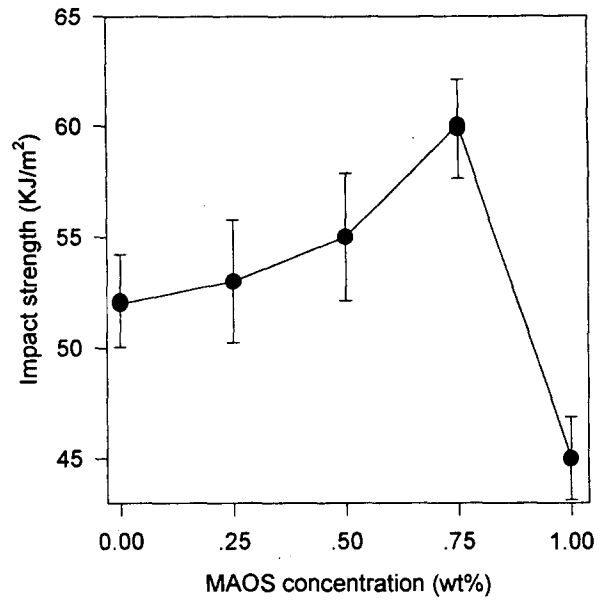
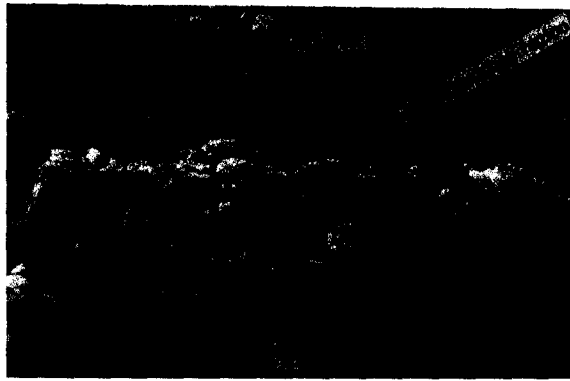


Fig. 5. Impact strength of waste FRP/unsaturated polyester composites according to the MAOS concentration(wt%).

각각 70MPa, 6.2GPa로 오히려 감소하는 경향이 뚜렷하게 나타났다. 즉, 그림 2, 3의 시험결과에 비교해 볼 때 커플링제 (0.5wt%)를 처리함으로써 굴곡강도 및 굴곡탄성률이 10% 정도 증진되었다. 이러한 원인은 커플링제가 과도하게 첨가될 경우 폐 FRP의 표면에 있는 -OH기와 매트릭스 수지의 알킬그룹 사이의 커플링 효과에 기여하고 남은 여분의 커플링제가 복합재의 경화반응시 가스특성을 부여하여 오히려 경화도를 저하시켰기 때문으로 판단된다. 따라서 복합재의 굴곡강도를 최대로 발휘할 수 있도록 복합재를 제조하기 위해서는 MAOS의 농도가 0.5wt% 정도이다.

그림 5에 커플링제인 MAOS 처리 농도에 따른 복합재의 충격강도에 대하여 나타내었다. 충격강도는 굴곡강도 시험에서 유사하게 MAOS의 처리농도가 증가함에 따라 증가하다가 다시 감소하는 경향성을 나타내었다. 그러나 굴곡강도는 MAOS 처리농도가 0.5wt%에서 가장 우수한 물성을 나타내었지만 충격강도는 MAOS 농도가 0.75wt%일 때 최대인 60KJ/m²를 나타내었으며 역시 농도를 1.0wt%으로 상승시킨 결과, 굴곡강도 시험 결과로 마찬가지로 45KJ/m²로 급격히 감소하였다. 커플링제의 농도가 0.75wt%일 때 굴곡강도는 감소했지만 충격강도가 최대값을 나타낸 원인은 보강재와 매트릭스 수지의 계면에서 화학결합에 참여하고 남은 여분의 커플링제의 가스효과에 기인한다. 따라서 복합재를 충격강도가 중요시 되는 소재로 응용할 목적인 경우에는 다소 굴곡강도가 떨어지지만 MAOS의 농도가 0.75wt%인 경우가 가장 적당하다.

그림 6은 폐 FRP의 보강률에 따른 매트릭스 수지와 보강재 사이에서 유도되는 물리적인 결합상태를 관찰하고 이것이 복합재의 최종물성에 미치는 영향을 시험하기 위해서 굴곡강도 시험후 파단면을 주사전자현미경으로 관찰한 사진이다. (a)는 폐 FRP의 충전률이 50wt%인 복합재의 파



(a)



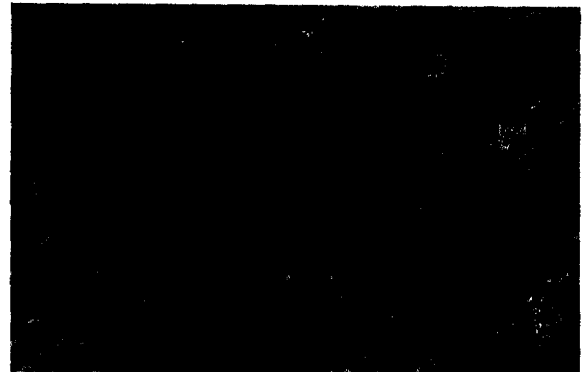
(b)

Fig. 6. Fracture surface of the waste FRP/unsaturated polyester composites according to the reinforcement fraction(wt%) after flextural test. (a) 50wt%, (b) 20wt%

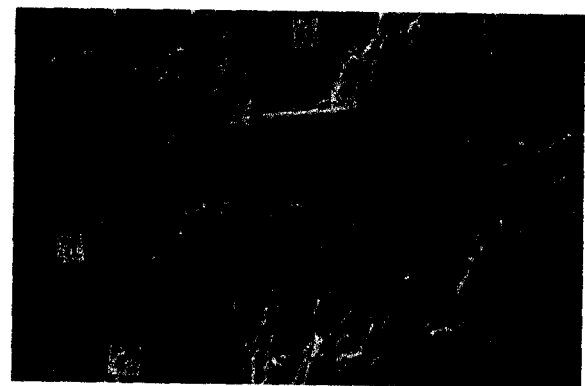
α : glass fiber, β : matrix resin
 γ : interface of glass fiber and matrix
 δ : waste FRP aggregates, ϵ : open pore

단면 사진이다. α 는 보강재 속에 포함되었던 유리섬유, β 는 매트릭스 수지, γ 은 매트릭스와 유리섬유사이의 계면, δ 는 보강재 속에 본래부터 존재하고 있던 경화된 수지 덩어리이며 ϵ 는 보강재와 결합재 사이에서 생성된 크랙이다. 사진에서 확인할 수 있듯이 보강재의 보강률이 과도하게 높은 경우에는 매트릭스 수지의 부족으로 보강재와 매트릭스 수지 간의 접착력이 현저히 감소하여 기계적 물성을 저하시킬 가능성이 존재함을 확인하였다. (b)는 굴곡강도, 탄성을 및 충격강도 시험에서 가장 우수한 물성을 나타내었던 보강재의 보강률이 20wt%인 시편의 파단면 사진이다. (a)의 결과와 다르게 매트릭스 수지가 보강재를 충분히 지지할 수 있을 정도로 충분하기 때문에 크랙이 발견되지 않았고 보강재와 매트릭스 수지 사이의 물리적인 결합이 잘 이루어져 있음을 확인할 수 있다. 따라서 이러한 현상학적인 주사전자현미경 분석 결과로부터 그림 2, 3의 굴곡강도, 탄성을 및 충격강도 시험 결과를 확인할 수 있었다.

그림 7은 계면에서 보강재와 매트릭스 수지 사이의 물리적인 결합뿐만 아니라 커플링효과에 의한 화학적인 결합을 유도하여 복합재의 기계적 물성을 증진시키기 위하여 실란계 커플링제인 MAOS를 처리한 복합재와 처리하지 않은 복합재의 굴곡강도 시험 후의 시편을 주사전자현미경으로



(a)



(b)

Fig. 7. Fracture surface of the waste FRP/unsaturated polyester composites according to the treatment of MAOS after flextural test.

(a) MAOS non treated, (b) MAOS treated(conc. 50wt%)
 α : glass fiber, β : matrix resin
 γ : interface of glass fiber and matrix
 δ : waste FRP aggregates, ϵ : open pore

관찰한 사진이다. 이 때 사용한 시편은 굴곡강도, 굴곡탄성을 및 충격강도가 모두 가장 높게 나타났던 보강재의 보강률이 20wt%인 복합재이다. (a)는 커플링제를 전혀 처리하지 않은 복합재의 사진이며 (b)는 보강재를 커플링제인 MAOS(0.5wt%)로 처리한 후 제조한 복합재의 파단면 사진이다. 사진 (a)에서 볼 때 매트릭스 수지(β)와 물리적으로 잘 결합되었 있던 보강재 속에 포함되었던 유리섬유(α)는 굴곡강도 시험시 매트릭스 수지로부터 이탈되는 pull out 현상으로 인하여 곳곳에서 유리섬유가 뽑힌 것을 관찰할 수 있다. 또한 유리섬유와 매트릭스 수지사이의 약한 결합력으로 인하여 외부로부터 복합재에 하중이 가해질 경우 크랙이 생성, 확장되고 있음이 관찰되었다. 따라서 이러한 계면결합력의 약화와 크랙은 복합재의 최종 물성을 저하시키기 때문에 복합재가 외력을 받을 경우 보강재가 먼저 pull out됨이 없이 매트릭스 수지와 동시에 파괴되도록 해야 한다. 보강재를 실란계 커플링제인 MAOS로 처리한 복합재의 사진인 (b)를 보면 (a)와는 다르게 유리섬유와 매트릭스 수지 사이에서 탈리현상이 발생하지 않았고 유리섬유의 pull out 현상도 관찰되지 않았으며 크랙도 발생하지 않았다. 이상과 같은 주사전자현미경 관찰을 통하여 그림 2, 3,

4, 5의 기계적 물성 시험 결과를 현상학적으로 확인할 수 있었다. 따라서 기계적 물성이 우수한 폐 FRP 보강 불포화 폴리에스테르 복합재를 제조하기 위해서는 보강재의 보강률을 조절하는 것도 중요하지만 보강재의 커플링제 처리도 중요하다.

4. 결 론

유리섬유 보강된 SMC 육조 생산시 발생하는 폐 FRP를 분쇄한 보강재에 불포화 폴리에스테르 매트릭스 수지를 보강하여 복합재를 제조하였다. 또한 보강재의 보강률과 실란계 커플링제 [3-methylacryloxyvinyl silane (MAOS)] 처리가 복합재의 기계적 물성에 미치는 영향과 계면현상에 대하여 실험하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1) 보강재의 보강률이 10, 20wt%로 증가됨에 따라 굴곡강도가 100, 110MPa로 증가하였으나 이후 감소하는 경향을 보여 최적의 보강률은 20wt%로 나타났다.

2) 보강재의 보강률이 증가함에 충격강도는 따라 20wt%까지는 별 차이 없이 49~52KJ/m²로 일정하였으나 그 이상으로 보강률이 50wt%인 복합재의 충격강도는 43KJ/m²로 보강재의 보강률은 20wt%가 적당한 것으로 나타났다.

3) MAOS의 처리농도가 0.50wt%일 때 굴곡강도 및 굴곡탄성률이 10% 정도 향상되어 각각 120MPa, 9.2GPa을 나타내었다.

4) 보강률이 과도하게 높은 경우에는 매트릭스 수지의

부족으로 보강재와 매트릭스 수지간의 접착력이 현저히 감소하여 기계적 물성을 저하시킬 가능성이 존재함을 확인하였다.

5) 실란계 커플링제 (MAOS) 처리의 영향을 주사전자현미경으로 관찰한 결과 보강재와 매트릭스가 물리, 화학적으로 잘 결합하여 pull out 현상이 발생되지 않았으며 크랙도 발생하지 않았다.

참 고 문 헌

1. A. N. Thayer, C & E News, Jan. 30, 7, (1989).
2. W. Mutch, Plastics World, 45, 31, (1987).
3. G. Brewer, Eur. Plastics Recycling in Res. Recycling; Part 1 and 2, (1987).
4. Clean Japan Center, Recycle Guide; Tokyo, (1991).
5. Clean Japan Center, Recycle Guide; Tokyo, (1992).
6. R. Iijima, Makromol. Chem., Macromol. Symp., 57, 33, (1992).
7. R. D. Leavesugh, Modern Plastics, 40, July, 26, (1991).
8. J. S. Jang and, H. S. Kim, Polymer (korea), 19, 5, 595, (1995).
9. ASTM D 638.
10. ASTM D 1822.