방탄용 Spectra 섬유 강화 복합재료에 관한 연구

강은영*. 윤영기**.윤희석 ***

A study on the Spectra reinforcement composite of its ballistic performance

E. Y. Kang (Mech. Eng. Dept. CNU), Y. K. Yoon, H. S. Yoon (Mech. Eng. Dept., CNU)

KEY WORDS : Unsaturated Polyester (불포화 폴리에스테르), High Strength Polyethylene (고강도 폴리에틸렌), Resin (수지), Ballistic Property (방탄특성)

ABSTRACT

This paper presents an investigation of the contribution of fibers in energy absorption during impact and the effect of resin types on properties of the high strength polyethylene (Spectra-900 PE) composite. In high strength polyethylene fiber, main impact energy absorbing mechanism was tensile breakage and deformation of fiber. Two types of resin were examined : Unsaturated polyester (UP) and Epoxy. Tensile and 3-point bending test have been performed to investigate the changes of mechanical properties. In tensile and flexural testes, the Spectra Composite prepregged with UP showed higher properties than Spectra Composite prepregged with epoxy.

기호설명

R/C	Resin/Composite Ratio
UP	Unsaturated Polyester
PE	Polyethylene

1. 서 론

고분자계 섬유강화 복합재료는 경량성, 부식성, 경제성 및 우수한 기계적 특성 등의 장점으로 인하여 여러 분야에서 널리 응용되고 있다. 최근에는 섬유강화 복합재료의 탁월한 에너지 흡수/분산 능력이 크게 주목받아 항공기, 차량, 선박 등의 고내충격성 구조재료로서 활발한 응용이 기대되고 있다. 특히, 가벼우면서도 충격 저항성이 우수하여 방탄재료로의 군사적 활용도도 날로 증가되고 있다.

*전남대학교 대학원 기계공학과

** 전남대학교 대학원 기계공학과

*** 전남대학교 대학원 기계공학과

고속충격과 관련하여 개발되었거나 연구중인 복합재료로는 주로 고인성, 고탄성을 가진 매트릭스 수지에 Nylon 섬유, Glass 섬유 또는 Aramid 섬유를 복합한 것이다. 최근에는 경량 고내충격성 소재로서 주목받는 초고분자량의 Polyethylene 섬유를 사용한 복합재료가 많이 연구되고 있다. 초고분자량의 PE 섬유는 밀도가 1g/cm^3 이하로 매우 경량이면서도 강도나 탄성률이 우수하여 여러 가지 용도에 이용이 기대되고 있다[1,2]. 현재 'spectra'나 'Dyneema'등의 상품명으로 물성을 증진시켜 개발되고 있으나, 내열성이 140℃ 이하로 다른 강화섬유에 비해 낮고, 화학적인 안정성과 매끄러운 섬유의 표면 때문에 섬유-기지물질 간의 계면결합력이 약하여 섬유의 역학적 물성이 떨어지는 단점이 있다[3]. 보강섬유와 함께 방탄용 수지로는 폴리에스테르 수지, 비닐에스테르 수지, 페놀 에폭시 수지 등의 열경화성수지가 많이 사용되고 있다[4]. 열경화성 수지는 점도가 낮아 복합재료 제조시 수지 함침성이 우수하고 섬유와 수지의

결합력이 강하고 복합재료 내부에 결함이 존재할 가능성이 적다.

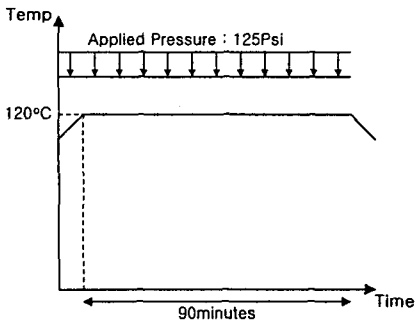
본 연구에서는 고분자 폴리에틸렌 섬유의 방탄 특성을 알아보고, 또한 불포화 폴리에스테르 수지와 에폭시 수지를 이용하여 가공성과 기계적 특성이 우수한 고분자 복합재료를 제조하고 물성실험과 전자현미경 관찰을 통하여 각각의 수지 특성을 비교하였다.

2. 실험 및 결과

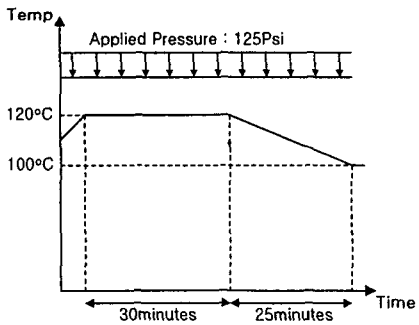
2.1 시편제작

본 연구에서 사용한 고분자량 폴리에틸렌 섬유는 Allied Signal 사의 Spectra-900 이며, 강화재의 조직은 많이 쓰이는 평직과 능직이다. 복합재료 제조 시 에폭시의 경우는 수지의 양이 균일하게 분포되어있는 Resin Paper 를 제작하여 섬유에 함침하였고, 불포화 폴리에스테르의 경우는 점도가 낮아 Resin Paper 를 제작할 수 없었으므로 Spectra 에 수지를 직접 함침하여 사용하였다. 불포화 폴리에스테르와 에폭시를 사용하여 복합재료를 제조하였을 때 R/C 는 각각 23.6%, 20.2% 이다.

성형은 Hot-Press 를 사용하여 Fig. 1 과 같은 경화조건으로 하였다[5].



(a) Spectra/Epoxy



(b) Spectra/Unsaturated polyester

Fig. 1 Cure cycles for composites

2.2 실험 방법 및 결과

복합재료에 충격이 가해졌을 때 이 충격에 대한 섬유의 영향을 살펴보고자 Spectra-900 섬유의 정적인장실험을 하였다. Fig. 2 는 인장실험 결과를 보여준다. 인장실험 동안 섬유는 변형(deformation)과 섬유파손 (fiber breakage)에 의해 에너지를 흡수하게 된다[6]. 섬유에 의해 흡수된 총에너지는 Fig. 2 그래프를 적분한 값으로 Fig. 3 에 나타냈다. 그래프의 기울기는 섬유의 변형에 의해 흡수되는 에너지의 양상을 나타내며 그래프의 끝점은 섬유 파손에 의해 흡수되는 에너지의 상한값을 나타낸다.

불포화 폴리에스테르와 에폭시를 사용하였을 경우 복합재료의 물성변화를 알아 보고자 인장실험과 굽힘실험을 하였다. 인장실험, 굽힘실험의 시편은 각각 2ply, 6ply 를 적층하여 만들었다.

Model I-8872 INSTRON 를 이용하여 제작된 시편에 대한 인장시험을 실시하였다. Fig. 4 는 인장실험 결과를 나타낸다. 불포화 폴리에스테르 수지의 경우 최대인장하중이 에폭시 수지에 비해 약 2.2 배 정도 높게 나왔다.

Test Speed 0.5mm/min, Span 50mm 조건 하에서 3 점 굽힘실험을 하였으며, 불포화 폴리에스테르와

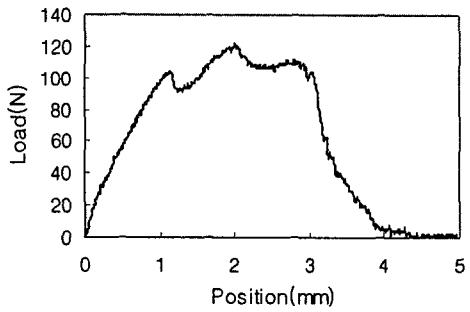


Fig. 2 Load-displacement curve for Spectra-900 PE fibers

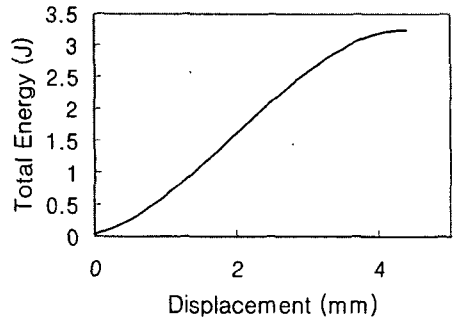


Fig. 3 Energy absorption of the Spectra-900 fibers under static loading

에폭시를 이용한 시편에 대해 각각 4 회 실험을 수행하여 나온 결과의 평균값을 Fig. 5 와 같이 나타냈다. 최대굽힘하중은 불포화 폴리에스테르의 경우 9.48kg, 에폭시의 경우 3.42kg 으로 인장실험에서와 마찬가지로 불포화 폴리에스테르를 사용한 시편이 2.8 배 정도 우수한 굽힘특성을 보였다.

3. 전자현미경 관찰

불포화 폴리에스테르와 에폭시의 함침 상태를 비교해 보기 위해 시편을 코팅한 후 전자현미경을 통해 조직을 관찰해 보았다. Fig. 6 은 복합재료의 조직을 관찰한 결과를 보여준다.

저 배율에서 각각의 시편 조직을 촬영한 Fig.6 (a), (c)를 보면, 불포화 폴리에스테르를 사용한 경우 (c)는 섬유 사이의 수지 함침 상태가 에폭시의 경우보다 양호함을 알 수 있다. Fig. 6 (b), (c)는 고배율에서 관찰 한 결과를 보여 주고 있다.

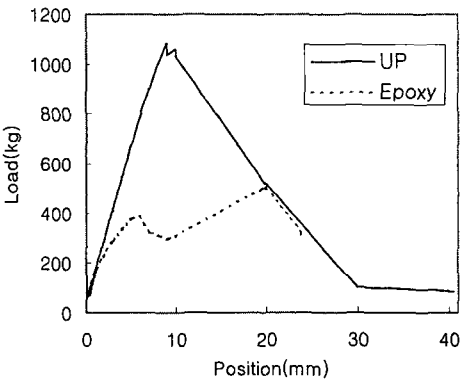


Fig. 4 Tensile test results for Spectra/UP and Spectra/epoxy composites

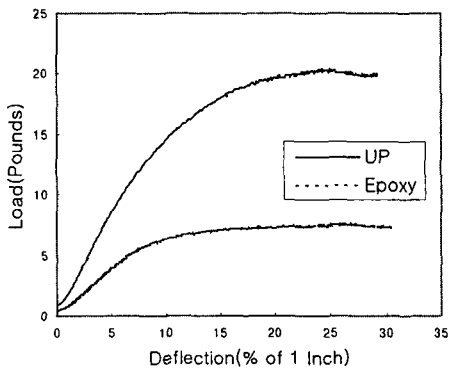
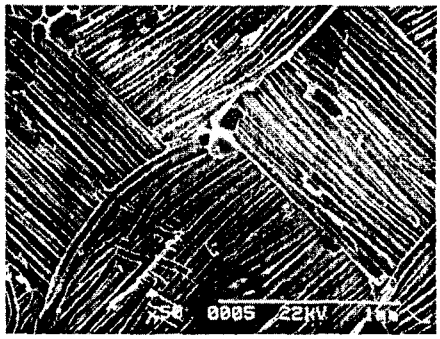
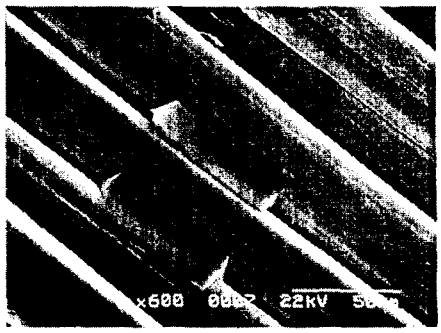


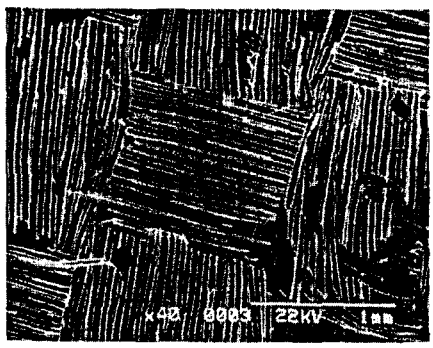
Fig. 5 Flexural test results for Spectra/UP and Spectra/epoxy composites



(a) Spectra/UP fabric surface(×50)



(b) Spectra/UP fabric surface(×600)



(c) Spectra/Epoxy fabric surface(×40)

(d) Spectra/Epoxy fabric surface(×600)

Fig. 6 SEM Photographs of fabric surface

Fig. 6 (b)에서 볼 수 있듯이 불포화 폴리에틸렌 수지는 Spectra 섬유의 표면에 잘 결합되어 있고, 섬유-기지 간격이 조밀하며 수지로 쌓인 섬유 사이에도 수지가 잘 침투해 있다. 반면 Fig. 6(d)의 에폭시를 이용한 시편의 경우에는 섬유와 수지의 결합상태가 불량할 뿐아니라 섬유 사이에 비어있는 공간이 많아 복합재료의 물성을 악화시키는 원인이 됨을 알 수 있다.

4. 결 론

본 논문은 기본적인 물성실험과 전자현미경 관찰을 통해 방탄용 소재인 Spectra 의 특성에 대해 연구하였다. 먼저 Spectra 섬유의 인장실험을 통해 변형과 섬유 파손에 의한 에너지 흡수 기구를 이해하였다. 적절한 수지 선택을 위해 불포화 폴리에스테르 수지와 에폭시 수지를 사용하여 인장실험과 굽힘실험을 실시한 결과, Spectra/불포화 폴리에스테르 복합재료가 약 2 배 정도 우수한 것을 알 수 있었다. 전자현미경을 통해 조직을 관찰하였을 때도 역시 Spectra/불포화 폴리에스테르의 함침 상태가 더 양호하였다.

참고문헌

[1]이승구, 박종규, 윤영주, 육종일, 정백기, 김희재, "Spectra/Vinylester 복합재료의 고속충격특성연구", 육사논문집 제 2 권 1992 년 6 월

[2] 박종규, 이승구, "섬유 강화재에 따른 복합재료의 방탄특성"

[3] P.K. Mallick and L.J. Broutman. J. Testing and Eval., 5, 1997, pp.1920-2000.

[4] 성완, 박지우, 김광수, 김영근, "방탄용 복합재료의 강화재 및 수지연구 - I"

[5] 연구보고서 "열경화성 고분자 복합재료의 반응성형 공정에 관한 연구"

[6] Raph H. Zee, Chung Y. Hsieh, "Energy absorption processes in fibrous composites" Materials Science and Engineering A126(1998)161-168