

차세대 복합재료의 개발에 관한 연구 (부직포 삽입형 하이브리드 복합재료)

이승환* · 野口博司** · 정성균*** · 임승규****

A Study on the Development of the Next Generation Composite Materials (Hybrid Composites with Non-Woven Tissue)

Seung-Hwan Lee, Hiroshi Noguchi, Seong-Kyun Cheong and Seung-Gyu Lim

KEY WORDS: FRP, Hybrid composites, Non-woven tissue, Short fiber, Strengthening technique

ABSTRACT

To improve the properties of FRP composite materials, the hybrid prepreg with non-woven tissue (NWT) is developed. The hybrid prepreg consists of unidirectional FRP prepreg and NWT prepreg. The NWT prepreg is made by compounding the NWT and polymer resin, which is similar to the production method of FRP prepreg. The NWT has short fibers which are discretely distributed with in-plane random orientation. The stiffness and strength of NWT composites are lower than those of continuously fibrous composites. The strengthening technique and fabricating technique for the hybrid prepreg are described in this work. The mechanical characteristics of hybrid composites with NWT are discussed and compared with those of the FRP composites.

1. 서 론

섬유강화 복합재료(FRP)는 비강도, 비강성, 내부 식성 그리고 경량화등의 우수한 특성때문에 많은 산업분야에서 사용되고 있다. 반면에 낮은 층간강도와 높은 생산단가, 그리고 외부의 충격손상에 의한 기계적특성이 저하한다는 것도 중요한 문제로 알려지고 있다.

최근에는 각종 강화복합재료를 이용하여 각각의 장점을 극대화하고 그 단점을 보강하며, 또한 생산단가의 억제와 함께 기계적 특성을 개선하기 위하여 하이브리드화(Hybrid concept)에 관심이 집중

되고있다.

하이브리드화란 종래의 기계적성질이 다른 소재들을 여러 가지 형태의 조합으로부터, 요구되는 기계적성질을 만족시키는 것을 목적으로 하는 개념이다. 특히, 현재 구조재로서 광범위하게 사용되고 있는 FRP는 하이브리드화에 의해 고성능, 다기능을 부가할 수 있는 가능성이 기대되고 있다.

근래에는 적층복합재료의 층간파괴에 대한 저항 특성을 개선하기 위하여 많은 연구가 수행되었으며, 그 대표적인 방법으로는 고인성수지의 사용, 고무입자를 첨가한 에폭시수지를 이용한 고인성화, 그리고 고인성필름이나 Whisker 등을 층간에 삽입하여 층간강도를 검토한 것 등이 있다. 그러나, 이러한 방법들은 성형조건외의 곤란함과 높은 생산비용 등 충분한 성과를 얻지 못하였다.

한편, FRP의 하이브리드화 중에서, Interlayer 형태의 하이브리드 구조를 갖는 것으로서, 일방향 FRP 프리프레그와 부직포(NWT) 프리프레그의

* 일본 큐슈대학 대학원 공학부

** 일본 큐슈대학 대학원 공학연구원

*** 서울 산업대학교 기계공학과

**** (주) SK-Chemicals

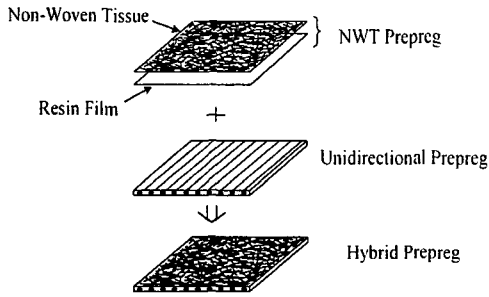


Fig. 1 Concept of hybrid prepreg.

조합에 의해 하이브리드 프리프레그가 제조된다. Fig. 1은 하이브리드 프리프레그를 나타낸다.

그리고, 이러한 하이브리드 프리프레그를 이용하여 각종 적층복합재료를 적절하게 제작(삽입형 하이브리드 복합재료)하며, 표준평가방법에 의하여 평가하고, 구조재로서 요구되는 각종 기계적 특성에 관하여 논하고자 한다.

2. 하이브리드화에 의한 기계적특성

본 연구에서는 CFRP 프리프레그와 TFP 사에서 제작된 Optimat®203 계열의 탄소부직포(Non-woven carbon tissue: NWCT)를 사용하였다.

부직포는 항공산업, 자동차산업, 해상운송산업, 부식저항이 요구되는 압력용기, 화학설비, 전자회로기판등의 표면보호 및 외장재로 사용되고 있다. 그 종류로는 폴리에스테르, 유리, 탄소, 아라미드 섬유등의 부직포가 있으며, 섬유의 형태는 단섬유로서 평면상에 불규칙하게 배열되어 있다. 또한, 단섬유의 길이는 약 3~25 mm 정도이며, 단위 면적당 무게는 약 1~20 g/m²로 다양하다. Table 1은 본 연구에서 사용한 탄소부직포의 기계적성질을 나타낸다.

층간파괴인성(Interlaminar Fracture Toughness)

부직포 삽입형 하이브리드 복합재료의 층간파괴인성특성을 조사하기 위하여 CFRP 프리프레그 12층과 12층 사이에 탄소부직포 프리프레그를 삽입시킨 [0₁₂/T/0₁₂] 시편을 이용하여, 모드 I (Mode I: DCB)과 모드 II (Mode II: ENF) 실험을 수행하였다. 그 결과, 부직포 삽입에 의해 G_{IC}는 부직포의 단섬유에 의한 응력집중의 유발과 적층면의 방향으로 향하는 단섬유의 섬유가교(Fiber bridging)의 발생이 함께 공존함으로써, 기존의 CFRP 복합재료와 비교하여 거의 비슷한 G_{IC} 값을 얻었다.

Table 1 Tensile property of NWCT composites.

Material	Poisson's Ratio ν_{12}	Young's Modulus E_1	Tensile Strength σ_1
NWCT (FAW:12g/m ²)	0.41	14 (GPa)	215 (MPa)

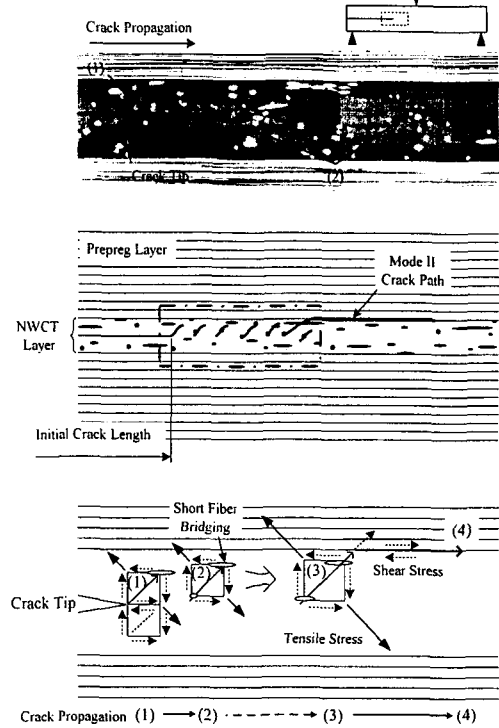


Fig. 2 Mesoscopic model of Mode II fracture mechanism.

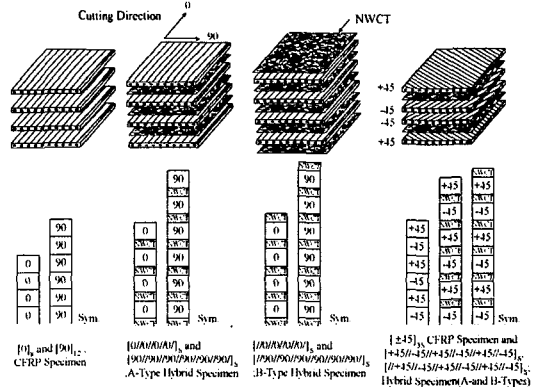


Fig. 3 Lay-ups processing of composite laminates.

G_{IC}에 대해서는 Fig. 2에서 나타내는 파괴 프로세스에 의하여, CFRP 복합재료보다 약 3배 높은 G_{IC} 값을 얻었다.

정적인장특성(Static Tensile Characteristics)

부직포 삽입형 하이브리드 복합재료의 탄성계수

를 예측하기 위하여 혼합법칙³⁾(Rule of mixture)을 이용하였다.

CFRP 복합재료의 강도분포는 그 파괴변형률의 분포에 의존하므로, 2-parameter Weibull 곡선으로부터 하이브리드 복합재료와 CFRP 복합재료의 파괴 변형률을 비교, 검토하였다. 시편은 Fig. 3 과 같이 적층하고, 오토클레이브를 이용하여 제작하였다.

1. 섬유방향(Longitudinal): $[0]_8$

Fig. 4 와 Table 2 에 섬유방향 응력-변형률 곡선 과 실험결과를 나타냈다. Fig. 5 는 2-parameter Weibull 확률지에 파괴변형률을 나타냈다. 여기서,

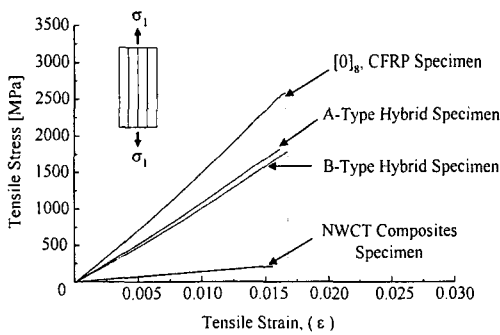


Fig. 4 Mean longitudinal tensile stress-strain curve.

Table 2 Young's modulus and strength of longitudinal specimens.

Longitudinal $[0]_8$		Poisson's Ratio ν_{12}	Young's Modulus E_1 (GPa)	Mean Tensile Strength σ_1 (MPa)
CFRP		0.30	146	2600
A-Type Hybrid	Ordinary and 2-D, ROM	0.33	106	1800
	Experiment	0.33	107	1800
B-Type Hybrid	Ordinary and 2-D, ROM	0.34	99	1800
	Experiment	0.34	99	1800

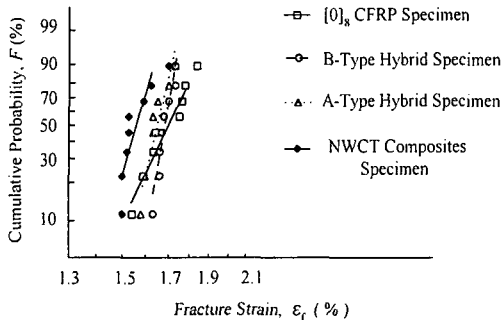


Fig. 5 Longitudinal tensile fracture strain on Weibull probability paper.

Fig. 3 의 A 와 B-Type 하이브리드 시편은 평균 파괴변형률이 CFRP 시편과 거의 비슷하며, 파괴 변형률 분포는 안정성을 나타냈다(하이브리드 효과).

2. 섬유수직방향(Transverse): $[90]_{12}$

Fig. 6 과 Table 3 에 섬유수직방향 응력-변형률 곡선과 실험결과를 나타냈다. Fig. 7 은 2-parameter Weibull 확률지에 파괴변형률을 나타냈다. 여기서, A 와 B-Type 하이브리드 시편은 평균 파괴변형률이 CFRP 시편보다 각각 11%와 45% 증가하였다. 그것은 부직포강도와 부직포로 인한 복잡한 파괴 과정에 기인한다(하이브리드 효과⁴⁾).

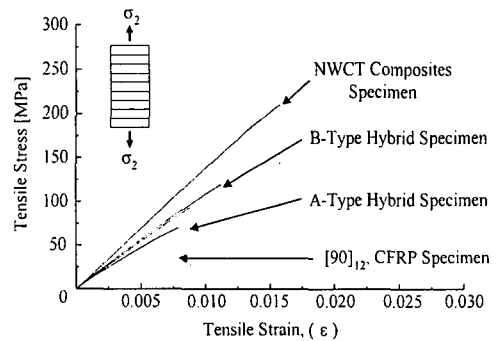


Fig. 6 Mean longitudinal tensile stress-strain curve.

Table 3 Young's modulus and strength of transverse specimens.

Transverse $[90]_{12}$		Young's Modulus E_2 (GPa)	Mean Tensile Strength σ_2 (MPa)
CFRP		9.4	70
A-Type Hybrid	Ordinary ROM	10.9	-
	2-D, ROM	11.6	-
	Experiment	11.2	96
B-Type Hybrid	Ordinary ROM	11.0	-
	2-D, ROM	11.9	-
	Experiment	11.4	116

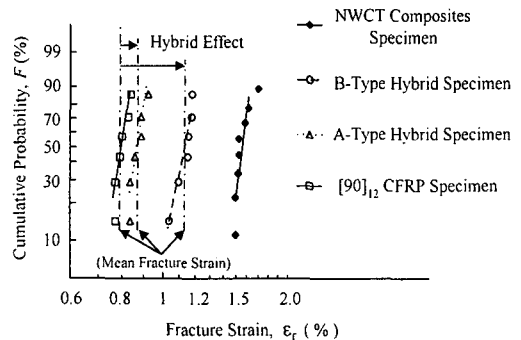


Fig. 7 Transverse tensile fracture strain on Weibull probability paper.

3. 앵글플라이(Angle-ply): $[\pm 45]_{3S}$

Fig. 8 과 Table 4 에 앵글플라이 응력-변형을 곡선과 실험결과를 나타냈다. 여기서, A 와 B-Type 하이브리드 시편의 평균인장강도는 CFRP 시편보다 약 20%씩 감소하였으나, 인장변형을 약 2.0% 범위에서 탄소부직포에 의하여 인장강도가 약 26% 증가함을 볼 수 있다. 또한, Fig. 9 에서 0.2% 내력강도도 부직포 삽입에 의해 증가했다.

정적충격특성(Static indentation characteristics) 이상의 결과로부터, 층간파괴인성이 지배적인

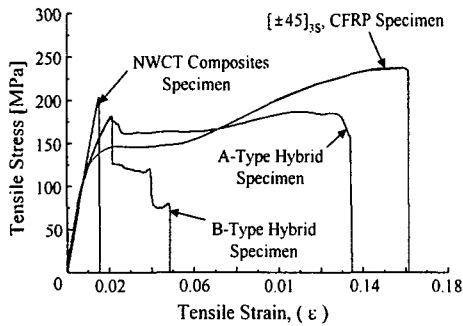


Fig. 8 Typical tensile stress-strain curves of $[\pm 45]$ angle-ply specimens.

Table 4 Young's modulus and strength of $[\pm 45]$ angle-ply specimens.

Angle-Ply $[\pm 45]_{3S}$		Young's Modulus E_x (GPa)	Mean Tensile Strength σ_x (MPa)
CFRP		17.5	230
A-Type Hybrid	Ordinary ROM	16.4	-
	2-D, ROM	17.0	-
	Experiment	17.0	185
B-Type Hybrid	Ordinary ROM	16.3	-
	2-D, ROM	16.9	-
	Experiment	16.7	184

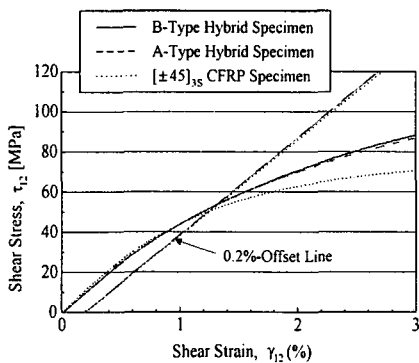


Fig. 9 Shear stress-strain relation and 0.2%-offset strength from ± 45 angle-ply tests.

충격특성에 대해서 부직포삽입의 효과를 검토했다.

Fig. 10 은 층간분리기법(Deply technique)에 의해 층간분리의 면적을 측정하였으며, 압입에너지와 선형관계를 나타냈다. 그리고, 같은 압입에너지, 동일 적층순서의 시편에 대한 층층간분리 면적은 하이브리드 복합재료가 CFRP 시편보다 약 50% 감소했다. Fig. 11 은 층층간분리면적당 흡수에너지 γ (표면에너지 상당)와 흡수에너지(E_A)의 관계를 나타낸다. 여기서, γ 와 E_A 는 상호무관한 정수이다.

이러한 결과로부터 부직포삽입형하이브리드 복합재료는 충격후 잔류압축강도의 상승이 기대된다.

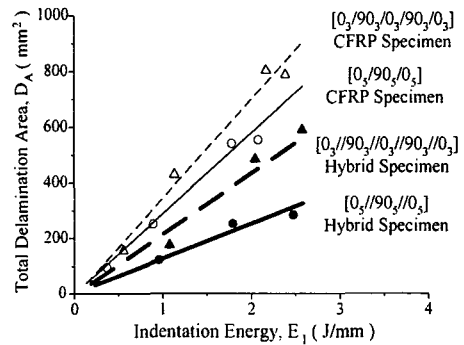


Fig. 10 Relation between total delamination area and indentation energy per unit plate thickness.

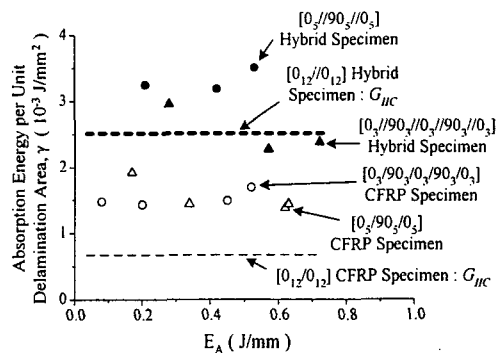


Fig. 11 Relation between absorption energy per unit delamination area and absorption energy per unit plate thickness.

참고문헌

- (1) 이승환, 김영배, 野口博司. 일본기계학회논문집 A, 67, (2001-9).
- (2) 임승규, 정성균. 하이브리드 프리프레그와 그 제조방법, 특허번호(99-066235), 1997.
- (3) Lee, S-H. and Noguchi Hiroshi. JSME International Journal Series A, 44, (2001-10).
- (4) 이승환, 野口博司. 일본기계학회논문집 A, 67, (2001-9).