

하니컴 코어 붕괴에 영향을 주는 고 마찰 저항 프리프레그의 특성 평가

한중원*, 김재학**, 김국진*, 김정민*, 진양준*, 서정현*

The characteristic evaluation of high frictional resistance prepreg influencing honeycomb core crush

J. W. Han, J. H. Kim, G. J. Kim, J. M. Kim, Y. J. Jin J. H. Seo

Key Words : 코어 붕괴(Core Crush), 마찰(Friction), 하니컴 코어(Honeycomb core)

ABSTRACT

Aircraft composite structure with honeycomb core experiences core crush problem in manufacturing. To prevent core crush additional processes are needed such as core stabilization and prepreg material tie-down and this is the cause of increasing cost. Recent study shows that high friction prepreg prevent core crush without additional process. This paper presents the analysis of high frictional material which attracts lots of interests through physical property, mechanical property and microscopic morphology and the cause of friction.

1. 서 론

상업용 항공기 산업에서 대표적 복합재 구조물은 하니컴 코어를 사용한다. 하니컴 코어 자체 무게가 가볍기 때문에 두께나 밀도 증가에 비해 무게 증가는 적고 강도는 상당히 증가한다. 반면 항공기 하니컴 코어 샌드위치 복합재 제작 중에 하니컴 코어와 관련된 결함이 발생할 위험이 크며 주요한 결함을 보면, 코어 Crush, 표면 라미네이트 Porosity, 미세구멍들이 있다. 하니컴 코어는 유리/탄소 프리프레그의 적층된 상태로 오토클레이브에서 경화되며 경화시 일반적으로 45 psig 압력을 받고, 그림 1.에서 보는 바와 같이 각을 갖는 모서리 부위가 상대적으로 강도가 약해 그림 2.과 같이 경화 시 코어 Crush 가 일어날 수 있다. 치수나 기계적 요구조건에 의해 코어 Crush 는 부품의 결함으로 처리되며 결함 수리가 가능한 경우에도

많은 수리 비용이 발생한다. 코어 Crush 를 막기 위해 여분의 라미네이트를 치공구 돌레에 장착된 요철 띠에 부착시켜 라미네이트의 마찰력을 증가시키거나, 코어를 안정화 시키는 방법이 있으나 이 또한 추가적인 비용을 발생시킨다. 최근에는 그림 3 과 같이 고 마찰력을 갖는 프리프레그를 이용한 경우 추가적인 코어 Crush 방지 공정 없이 코어 Crush 를 막을 수 있는 연구가 늘어나고 있는데, 본 연구에서는 고 마찰 유리섬유(BMS8-79)와 일반적인 유리섬유 간의 차이점을 알아보기 위해 물리적 성질, 기계적 강도 차이, 미세구조 차이, 하니컴 코어를 적용한 부품의 NDI 차이, 프리프레그의 온도에 따른 점도 변화 등을 연구하고자 함.

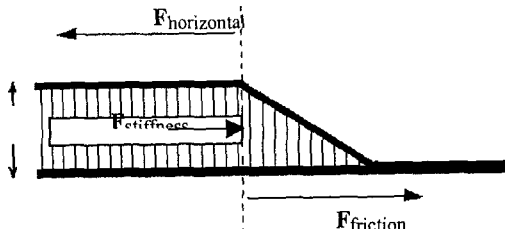


그림 1. 경화 중 하니컴 코어에서의 수평힘 균형

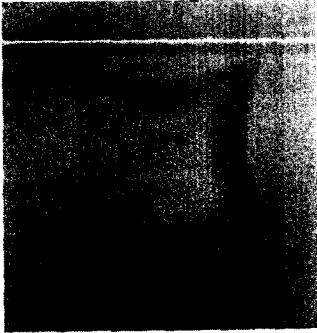


그림 2. 일반 프리프레그의 샌드위치 성형

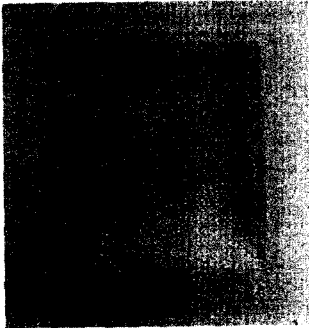


그림 3. 고 마찰 프리프레그의 샌드위치 성형

2. 실험

먼저 고 마찰 유리섬유 프리프레그와 일반 유리섬유 프리프레그를 각각 노맥스 하니컴 코어와 함께 경화시켜 코어 Crash 유무를 판단하였으며 (위그림 2, 그림 3 참조), 각각의 프리프레그들 (BMS 8-79 ST 7788 과 BMS 8-79 NT 7788)의 물리적 성질과 기계적 성질을 실험하였다.

여기서 ST 란 섬유가 Standard Twist 된 상태이며 고 마찰 저항을 일으키는 것으로 알려져 있고 NT 란 Never twist 된 뜻으로 일반적 섬유 형태를 갖는다. 추가로 유리섬유의 차이점을 비교하기 위해 미세구조 관찰과 샌드위치 구조물의 NDI C-scan 을 통해 결합유무를 실험하였고 프리프레그들

의 온도에 따른 점도 변화도 실험하였다.

2.1 실험자재

본 연구에서는 미국 보잉사의 인증 자재인 BMS8-79 에 등재되어 있는 유리섬유/에폭시 프리프레그(Cytec Fiberite glass.epoxy prepreg ST 7781, CL 4, GR A 와 NT 7781 CL 4 GR A)와 노맥스 코어를 사용하였다.

2.2. 시편제작 및 시험방법

물리적 성질을 알아보기 위해 Table 1.과 같은 방법으로 Test 를 수행하였으며 시편의 수지 함량 측정을 위해 먼저 10cm X 10cm 크기로 프리프레그를 절단하고 0.1mg 까지 무게를 측정한다. 가열된 질산을 이용해 프리프레그의 수지를 녹여내고 진공을 이용해 유리 필터로 필터링을 한다. 100°C 오븐에 가열한 후 데시케이터에서 냉각 후 다시 0.1mg 까지 무게 측정을 한다. 휘발성분 함량 측정을 위해 수지 함량 측정법과 같은 크기와 무게 측정을 한 후 건조 오븐에서 275°F ±5°F에서 8 ±1 분간 건조 시킨다. 다시 데시케이터에서 냉각 후 0.1mg 까지 무게 측정을 한다. 계산식은 다음과 같다. $NV\% = (W1-W2)/W1 \times 100$

겔 타임 측정을 위해 2x2mm 로 자른 후 시편을 유리판 사이에 넣는다. Temperature controlled hot-plate 온도를 275°F ±5°F로 예열하고 시편을 겔 타임 측정기에 넣는다. 시간측정을 시작하고 시편을 눌러서 프리프레그 유동성을 확인한다. 유동성이 없는 시간까지를 겔 타임으로 정한다.

기계적 성질을 알아보기 위해 Table 2.와 같은 방법으로 Test 를 수행하였다. 시험 시 Cross head speed 는 1.27mm/min (0.05in/min)으로 하였다.

Table 1. 물리적 성질 Test 방법

Physical properties	Specimen size	Test method
Resin content(%)	4 by 4 inch 2EA	BSS7336 Method 1, Burn-out Method 1050 ± 50°F
Volitile content(%)	4 by 4 inch 2EA	BSS7337 Method 1 Hook/Clip Method 8 ± 1 min. at 275 ± 5 °F
Gel time(sec)	0.25 by 0.25 inch 2EA	BSS7276 Method 2 Temp'-Controlled Hot-Plate Method 275 ± 5°F

* : 대한항공 항공우주사업본부 민항기 기술팀

** : 대한항공 항공우주사업본부 민항기 기술팀,
교신저자(E-mail : pushfep@koreanair.co.kr)

Table 2. 기계적 성질 Test 방법

Mechanical properties	Specimen size	Test method
Tensile strength	7.2 by 0.75 inch 5EA	ASTM D638, Tensile Properties of Plastic
Tensile modulus	7.2 by 0.75 inch 5EA	ASTM D638, Tensile Properties of Plastic
Compressive strength	3.13 by 0.75 inch 5EA	ASTM D695, Compressive Properties of Plastic
Compressive modulus	3.13 by 0.75 inch 5EA	ASTM D695, Compressive Properties of Plastic

시편의 유리섬유 미세구조 차이를 측정하기 위해 프리프레그 수지를 700°F에서 한시간 동안 Burn-out 시켜 순수 유리섬유만 남게 했으며 SEM(Resolution; 4.0nm, Magnification; ×20 ~ ×30,000)을 이용해 유리섬유 표면 형태와 단면을 측정했다. 또한 하니컴 코어 샌드위치 구조물의 NDI C-scan(AUSS-V 장비)을 통해 결합 유무를 측정했다. Rheometer 를 이용해 프리프레그의 온도에 따른 점도 변화를 측정하였으며 0.15 PSI 압력 하에서 분당 5°C 의 Heat-up rate 을 적용했다

3. 실험결과

물리적 성질 실험 결과는 Table 3.에서 볼 수 있듯이 두 프리프레그 모두 BMS8-79 의 요구조건을 만족하고 있으며 수지 함량, 휘발성분 함량, 겔 타임, 면적당 무게 또한 비슷한 수치를 보여주었다. 섬유는 X-ray 검사 결과 모두 E-glass 로 나타났다.

기계적 성질 실험 결과는 Table 4.에서 볼 수 있듯이 두 프리프레그 모두 BMS8-79 의 요구조건을 만족하고 있으며 인장 강도와 압축강도를 보면 고 마찰 프리프레그가 일반적 프리프레그가 보다 다소 낮은 강도 값을 나타냈으나 인장 모듈러스와 압축 모듈러스 값은 다소 높은 값을 나타내었다. 미세구조 측정을 위해 그림 4.과 같이 처음에는 50 배율로 Fiber 상태를 거시적으로 보았으나 유리섬유 자체에는 두 유리섬유 간에 뚜렷한 차이점이 발견되지 않았으며 5000 배율의 미시적으로 모습에도 섬유 상에 뒤틀림이나 꼬임 등을 발견할 수 없었다. 그림 5.와 Table 5.에서와 같이 유리섬유 단면의 필라멘트 평균 직경에는 다소 차이가 있었으며 표준편차에도 차이가 있음을 알 수 있으나 이것이 고 마찰 저항을 일으키는 원인으로 단정하기는 어렵다. 하니컴 코어를 이용한 샌드위치

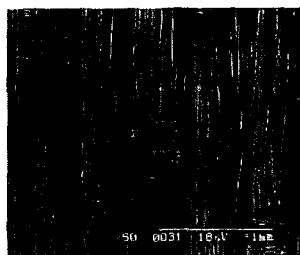
구조물의 NDI C-scan 결과 코어 Crush 가 발생한 일반적 프리프레그나 고 마찰 프리프레그 모두 비파괴 검사에 이상 유무는 발생되지 않았다.

Table 3. 물리적 성질 Test 결과

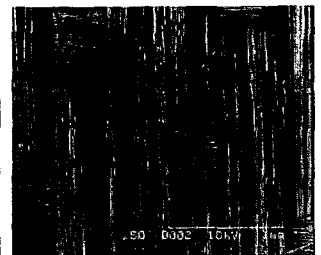
Physical properties	BMS8-79 Req.	Normal prepreg(NT)	High friction prepreg(ST)
Resin content(%)	36~40%	38.2, 37.8	38.8,38.8
Volatile content(%)	Max. 1.5%	0.12, 0.31	0.21, 0.10
Gel time(sec)	3~7 min.	5'20", 5'30"	5'30", 5'45"
Areal weight	284~305g/m ²	305, 305	305, 303
Flow(%)	12~24%	Not tested	Not tested
Fabric	조성	E-Glass	E-Glass

Table 4. 기계적 성질 Test 결과

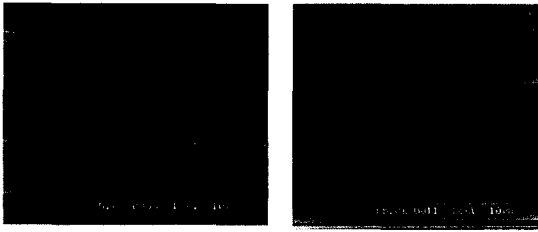
Mechanical properties	BMS8-79 Req.		Normal prepreg(NT)		High friction prepreg(ST)	
Tensile strength	Min.	Avg.	74.4		59.0 61.5	
	62ksi		74.5	72.2	65.1	
	Min. Ind.		74.1	73.8	63.6 64.9	
Tensile modulus	Min.	Avg.	3.351	3.393	3.425	3.277
	3.1ksi	Min.	3.212		3.354	3.250
	Ind. 2.8ksi		3.262		3.267	
			3.149			
Compressive strength	Min.	Avg.	79.40	70.42	72.36	76.36
	64ksi	Min.	75.92		82.80	
	Ind. 56ksi		87.66		80.10 74.21	
Compressive modulus	Min.	Avg.	3.926	3.259	4.516	4.275
	3.4ksi	Min.	3.437		3.713	
	Ind. 3.2ksi		3.826		3.899 3.692	
			3.819			



Normal Fiber (X50)



High Friction Fiber(X50)



Normal Fiber (X5000) High Friction Fiber (X5000)
그림 4. 각 배율에 따른 유리섬유 표면 모습

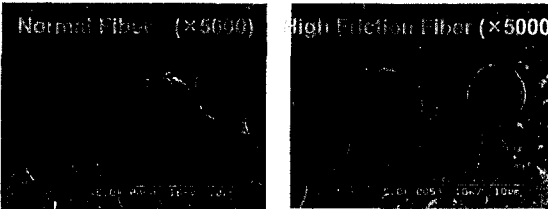


그림 5. 유리섬유 단면 모습

Table 5. 필라멘트 직경 분석

	Normal Fiber	High Friction Fiber
Mean Value(μ m)	6.393	6.591
STD. Deviation	0.387	0.423
Sample Size	20	20
Max. Value(μ m)	7.240	7.471
Min. Value(μ m)	6.110	6.110

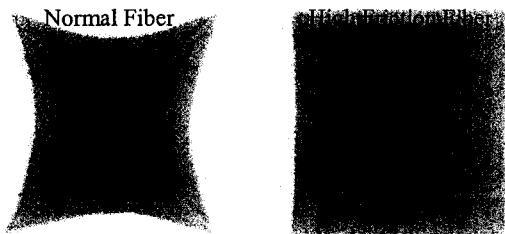


그림 6. 하니컴 코어 샌드위치 NDI C-scan 된 모습

그림 7.과 같이 온도 상승에 따른 고 마찰 프리프레그와 일반 프리프레그의 점도 변화를 보여 준다. 하니컴 코어 샌드위치에서 볼 수 있었던 것과 같이 고 마찰 프리프레그의 점도가 일반 프리프레그의 점도 보다 높게 나타났다

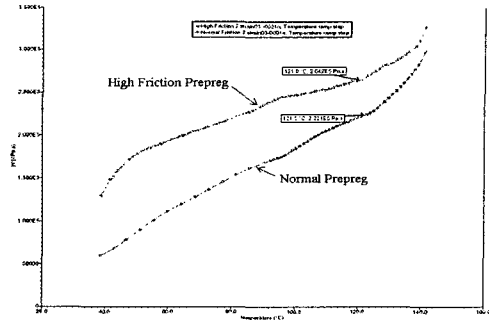


그림 7. 온도에 따른 프리프레그 점도 변화

4. 결론

본 실험의 결과에서 볼 수 있듯이 고 마찰 프리프레그와 일반 프리프레그의 물리적 성질과 기계적 성질간의 뚜렷한 차이는 없었다. 또한 미세적 접근에 있어서 고 마찰 프리프레그가 일반 프리프레그와의 필라멘트 평균 직경이 차이가 나고 고 마찰 프리프레그의 필라멘트 평균 직경 표준편차가 일반 프리프레그의 표준편차 보다 다소 크다. 그러나 필라멘트 직경의 다소간 차이는 있으나 이것이 고 마찰 저항을 일으키는데 중요한 역할을 한다고 보기 어렵다. 하니컴 코어를 이용한 샌드위치 구조물의 NDI C-scan 결과를 보면 두 시편 모두 결함을 나타내지 않고 있으나 일반적 프리프레그를 이용해 코어 붕괴를 막기위한 코어 안정화 공정을 하지 않은 경우 코어 Crush 가 발생하였으며 반대로 고 마찰 프리프레그를 이용한 샌드위치 제작에 있어 같은 공정으로 하였으나 코어 Crush 가 발생하지 않았다. 온도 변화에 따른 점도 변화는 고 마찰 프리프레그에서 높게 나타났고 따라서 고 마찰 프리프레그에서 코어 붕괴를 막는 요인이 되었다. 본 연구에서 두 프리프레그 간의 물리적, 기계적, 미세구조를 시험하였으며 이에 대한 차이점을 확인하였다. 근본적인 고 마찰 프리프레그의 코어 Crush 억제력을 확인하는데 있어서 본 연구에서는 어려움이 있었으며, 본 연구에서 실시 하지 않은 온도에 따른 수지 자체의 점도 변화와 유리섬유 Doping 상태 등의 요인이 고 마찰력에 영향을 줄 수 있다고 판단된다.

참고문헌

- (1) T. L. Pelton, T.L. Schneider and R. Martin. Material factors influencing composite part producibility in relation to prepreg frictional measurement.
- (2) C. J. Martin and J. C. Seferis and M. A. Wilhelm. Frictional resistance of thermoset prepreps and its influence on honeycomb composite processing.

- (3) Jack Boyd and Robin K. Maskell. Product design for low cost manufacturing of composites for aerospace application.
- (4) Boeing company, 1999, Boeing Material Specification, glass fabric preimpregnated epoxy resin low temperature curing, BMS 8-79.