

구조용 FRP부재의 적층구성이 흡수에너지특성에 미치는 영향

최효석, 김영남, 양인영*
조선대학교 대학원, 조선대학교 기계설계과*

1. 서론

자동차의 정면 충돌시 발생하는 충돌에너지를 흡수하여 인명을 보호하기 위한 장비중 구조 역학적 관점에서 고려될 수 있는 것으로 범퍼와 사이드멤버(Side Member)가 있다. 이들중 범퍼는 시속 8km/hr 이하의 저속 충돌시에 탄성 변형 에너지로서 충돌에너지를 흡수하는 역할을 하나, 그 이상의 고속 정면충돌시에는 일반적으로 사이드멤버가 충돌에너지의 60~70%를 부재의 연속적인 대변형에 의한 소성에너지에 의해 흡수하고 있다.^{1) ~ 2)}

섬유강화복합재료(FRP)는 금속재료에 비해 비강도 및 비강성이 우수하고 특히 설계요건에 따라 적층 배향을 적절히 선정할 수 있는 유용성 때문에 경량화 및 고강도가 요구되는 자동차, 항공기 및 우주비행체의 구조물에 널리 응용되고 있다. Farley와 Jones는 연속섬유강화 복합재튜브에 있어 세 가지의 압괴 모드를 제시하였다. 즉, 횡방향 전단(Transverse Shearing), 라미나 굽힘(Laminar Bending) 그리고 국부좌굴(Local Buckling)에 의해 연속섬유강화 복합재튜브는 파괴되며, 연성성질에 의한 좌굴과 접힘 현상의 반복으로 충돌에너지를 흡수하는 금속재료와는 달리 압축하중을 받을 때 취성파괴에 의하여 붕괴가 진행되며 에너지가 흡수된다.³⁾ 또한 라미나 굽힘 압괴모드(Laminar Bending Crushing Mode)의 경우 계면간의 크랙(Interlaminar Crack)에 의한 마찰 및 층내 크랙(Intralaminar Crack)의 마찰에 의해 충돌에너지가 흡수된다.⁴⁾

따라서 본 연구에서는 Carbon/Epoxy(Cr/E)와 Glass/Epoxy(Gl/E)부재가 실제 자동차의 구조부재에 사용될 것을 상정하여 자동차용 사이드멤버의 가장 기본구조인 원통 부재에 섬유배향 및 계면수를 변화주어 계면간 크랙(Interlaminar Crack)에 의한 에너지 흡수특성에 관하여 고찰하고자 한다. 실험방법으로는 적층 구성을 달리한 FRP부재를 Autoclave로 제작한후 각각의 FRP부재에 대해 준정적 압괴실험을 행한다. 실험결과 얻어진 각각의 FRP 부재의 섬유배향 및 계면수가 에너지 흡수특성에 미치는 영향에 관하여 고찰하고, 최적의 경량화용 차체 부재개발에 이용될 수 있는 기본적인 설계자료를 얻고자 한다.

2. 시험편

원통 시험편의 길이는 100mm, 내경은 30mm로 하였으며, 두께는 1.0~1.5mm로

서 Autoclave를 이용하여 제작하였다.

Prepreg Sheet의 재질은 한국화이버(주)에서 생산한 탄소섬유 프리프레그 (CU-125-NS)와 유리섬유 프리프레그(G128)를 다양한 배향각으로 적층한 후 Autoclave를 이용하여 성형하고, Diamond Cutter로 절단·제작하였다. 시험편의 기호는 Table. 1과 같으며, A Type 시험편의 계면수는 2개, B Type은 3개, C Type은 6개, D Type은 7개로 하여 제작하였으며, 시험편의 형상은 Fig. 1에 나타냈다.

Table. 1 Definition of the specimen number

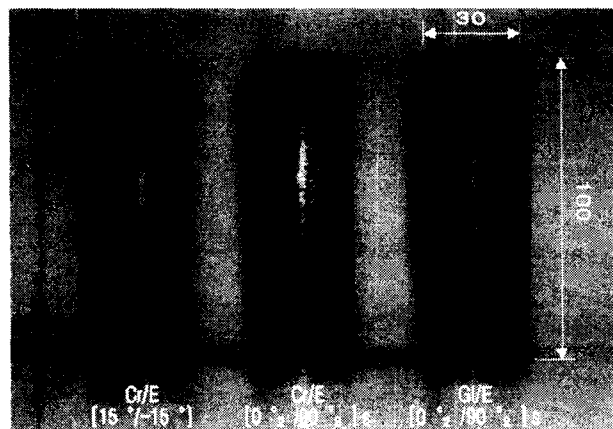
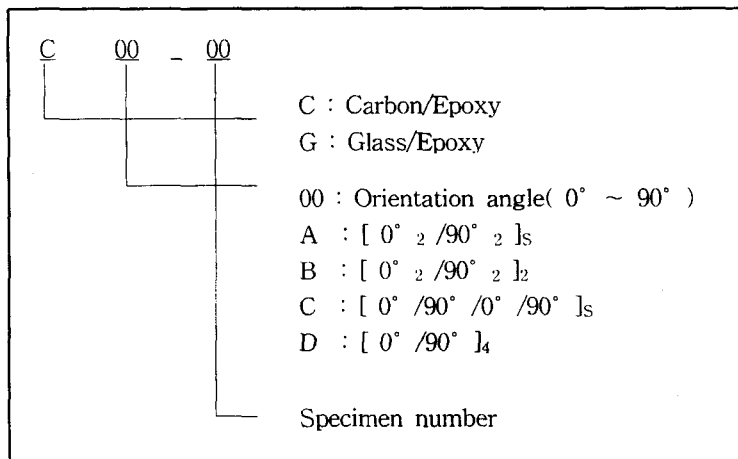


Fig. 1 Composite tube specimens

3. 박육부재의 압축실험

준정적 압축실험은 Fig. 2 와 같은 Shingang 좌굴시험기를 사용하였으며, 로드 셀과 액추에이터 사이에 두 개의 압축지그를 평행하게 설치하고, 변형율속도의

영향이 나타나지 않도록 10mm/min 변형을 속도로 변위제어를 하여 준정적 압궤 실험을 행하였다. Fig. 3에 준정적 압궤실험 후 압궤된 시험편의 형상을 나타냈다.

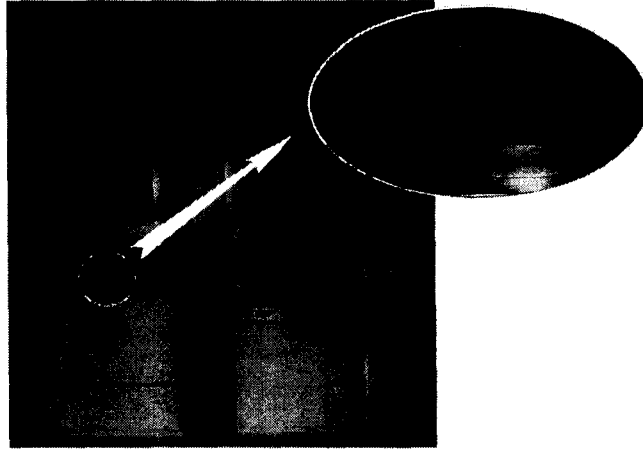
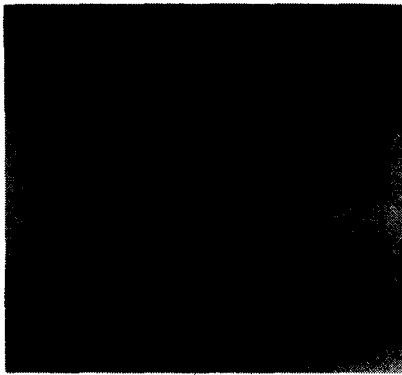


Fig. 2 Shingang buckling test machine



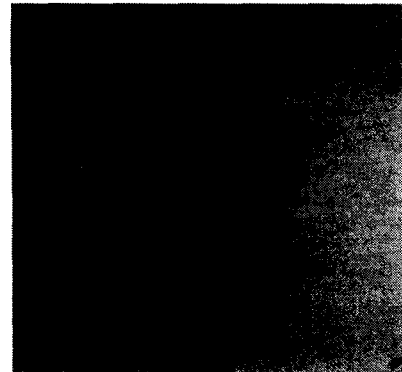
(a) C15_02



(b) C90_01



(c) CA_01



(d) GA_03

Fig. 3 Specimen collapsed under axial loading

4. 실험결과 및 고찰

Cr/E 및 GI/E 원통 박육 시험편에 대하여 준정적 압괴실험을 행하였으며, 실험 결과를 최대압괴하중(F_{max}), 흡수에너지(E_a)와 비압괴응력(σ)으로 정리하여 고찰하였다. 흡수에너지는 압괴실험에서 얻어진 하중-변위 선도를 적분하여 구하고, 흡수에너지를 압괴길이 60mm로 나눔으로서 평균압괴하중을 구하였으며, 비압괴응력은 흡수에너지를 질량으로 나눔으로서 구하였다.

섬유배향각을 $0^\circ \sim 90^\circ$ 까지 변화주어 압괴실험한 결과 Fig. 4와 같이 15° 근방에서 비압괴응력이 최대치임을 알 수 있었다. 또한, 계면수(k)를 변화주어 압괴실험한 결과 얻어진 계면수에 대한 최대압괴하중은 Fig. 5와 같다. 최대압괴하중은 Cr/E 경우에는 계면수에 비례하여 증가하는 경향이 있었으나, GI/E는 거의 일정함을 알 수 있었다. 그 이유는 Cr/E는 단일방향(Unidirection) 복합부재이고 GI/E는 직물(Fabric) 복합부재이기 때문으로 사려된다.

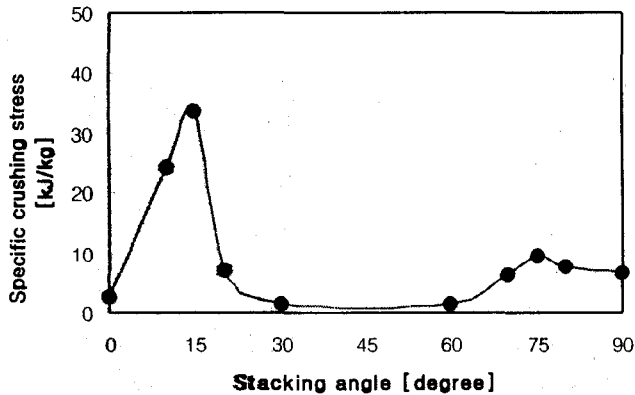


Fig. 4 Effect of stacking angle on specific crushing stress

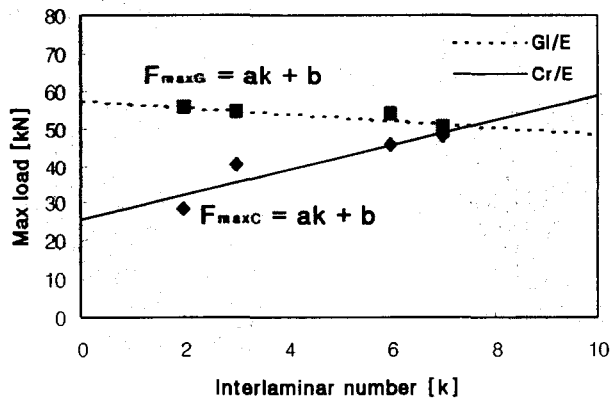


Fig. 5 Effect of interlaminar number on max crushing load

따라서 본 연구에서 사용한 한국화이버(주)에서 제작한 Prepreg Sheet를 사용한 결과 GI/E는 a가 -0.878, b가 57.432였으며, Cr/E의 경우에는 a가 3.363, b는 25.27과 같은 선형 그래프로 나타낼수 있었다.

계면수에 대한 비압괴응력은 Fig. 6에 나타냈으며, 실험결과 얻은 최대압괴하중, 평균압괴하중, 흡수에너지, 비압괴응력에 대한 평균값을 정리하여 Table. 2에 나타냈다.

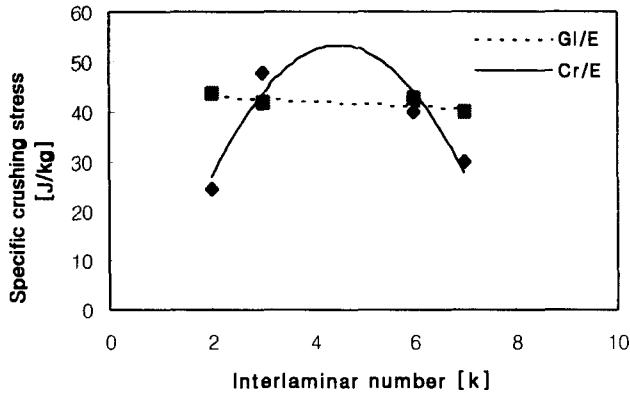


Fig. 6 Effect of interlaminar number on specific crushing stress

Table. 2 Mean value of composite specimens after experimental data

Specimen No.	Maximum Load F_{max} [kN]	Mean Load F_m [kN]	Energy Absorbed E_a [J]	Specific sustained crushing stress σ' [kJ/kg]
C10	17.875	5.948	362.832	24.188
C15	20.619	8.298	506.189	33.746
C20	11.603	2.664	108.001	7.201
CA	28.180	6.048	366.975	24.465
CB	40.102	11.848	716.815	47.788
CC	45.555	9.936	601.135	40.076
CD	47.775	6.792	451.252	30.083
GA	55.566	18.734	1135.531	43.674
GB	54.552	17.863	1088.579	41.868
GC	53.670	18.338	1107.826	42.609
GD	50.127	17.212	1042.204	40.085

5. 결 론

FRP 적층 박육부재의 준정적 압괴실험을 행한 후, 압괴시 재질, 적층배향각 및 계면수의 차가 에너지 흡수에 미치는 영향에 관하여 고찰한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 배향각을 $0^\circ \sim 90^\circ$ 까지 변화주어 압괴실험한 결과 15° 근방에서 비압괴응력(압괴에너지/질량)이 최대치임을 알수 있었다.
2. 계면수에 대한 최대하중은 Cr/E 경우에는 계면수에 비례하여 증가하는 경향이 있었으나 Gl/E는 거의 일정함을 알수 있었다.
3. 같은 적층수(8-Ply)라도 0° 와 90° 로 교차적층한 Cr/E의 B-Type의 비압괴응력이 15° 의 배향각을 갖는 박육부재보다 약 1.42배 정도 높았다.

참고문헌

- 1). 한병기, 안대식, 박봉현 “정사각 튜브의 동적 평균 압괴 하중 연구”, 한국자동차 공학회 논문집, vol.4, No.5, pp 157-167,1996
- 2) 김정호 “경량화용 차체 구조부재의 충격 압괴특성에 관한 연구”, pp 1~3, 1996
- 3) G. L. Farley, R. M. Jones “Analogy ofr the Effect of Materials and Geometrical Variables on Energy-Absorption Capability of Composite Tubes”, Journal of Composite Materials, Vol. 26, No. 1, pp 78~89, 1992
- 4) G. L. Farley, R. M. Jones “ Crushing Characteristics of Continuous Fiber-Reinforced Composite Tubes”, Journal of Composite Materials, Vol. 26, No. 1, pp 37~50, 1992