

단일방향으로 적층된 탄소섬유/에폭시 복합재의 정수압 환경에 따른 압축 파괴인성 변화

이 경엽, 양 준호
(원광대학교 기계공학부)

Compressive Fracture Toughness of Unidirectional Graphite/Epoxy Composites under Hydrostatic Pressure

1. 서 론

정수압이 섬유강화 복합재의 재료특성에 미치는 영향에 대한 연구는 소수만이 발표되고 있다. Parry와 Wronski^(1,2)는 정수압이 압축된 섬유강화/에폭시 복합재에 대해 인장 및 압축특성에 미치는 영향을 연구하였으며 Shin과 Pae⁽³⁾는 정수압이 탄소섬유/에폭시 적층복합재의 전단특성에 미치는 영향을 해석하였다. 단일방향 탄소섬유/에폭시 복합재에 대한 압력이 압축특성에 미치는 영향에 대한 연구는 Rhee 및 Pae⁽⁴⁾에 의해 이루어졌으며 최근에는 Pae⁽⁵⁾ 등에 의해 정수압 환경하에서 변형을 속도에 따른 탄소섬유/에폭시 복합재에 대한 압축특성 해석이 행해졌다. 그러나 위의 연구는 층간분리가 발생하지 않은 경우에 대한 인장, 압축, 전단특성에 국한된 것으로서 본 연구에서는 초기 층간분리를 갖는 단일방향으로 적층된 탄소섬유/에폭시 복합재를 적용 정수압이 파괴인성에 미치는 영향을 검토하였다.

2. 실험

탄소섬유/에폭시 프리프레그(CUI25NS)를 사용 4단계의 초기 층간분리 길이를 갖는 시편을 제작하였으며 초기 층간분리는 44층과 45층 사이에 두께가 약 13 μ m 캡본막을 삽입하여 형성하였다. 시편은 압축력에 따른 양단에서의 파괴(end-crushing)가 발생하지 않도록 도그본(dog-bone) 형태로 가공하였다. 시편의 모양, 크기 및 4단계의 초기 층간분리 길이는 Fig.1에 나타나 있다. 압축 파괴실험은 고압 인장-압축 기기(high pressure tension-compression apparatus)를 이용하여 대기압(0.1MPa) 및 70MPa, 140MPa, 200MPa 크기의 압력을 가한 상태에서 1.0mm/min의 일정 변형률을 적용 시행하였으며 실험에 따른 하중 및 하중점의 변형 데이터는 LABTECH NOTEBOOK (version 6.3) 프로그램을 이용 취합 및 해석하였다.

3. 결과

Fig.2는 정수압 및 층간분리 증가에 따른 평균 컴플라이언스 변화를 나타내고 있다. 평균 컴플라이언스는 최소 세 개 이상 시편으로 결정된 컴플라이언스들을 평균하여 결정하였다. 그림에 나타나 있듯이 네 경우의 초기 층간분리에 대해 정수압이 증가하면 평균 컴플라이언스는 감소함을 알 수 있다. 또한 일정 크기의 정수압에 있어서 층간분리가 증가함에 따라 평균 컴플라이언스는 선형으로 증가함을 알

수 있다.

임계하중 값은 층간분리를 진전시키게 하는 하중 값으로 하중이 증가하다 감소하기 시작하는 점의 하중, 즉 최대 하중값으로 결정하였다. 각 정수압 및 층간분리 증가에 따른 평균 임계하중 값의 변화는 Fig.3에 나타나 있다. 그림에서처럼 네 경우 초기 층간분리 모두 정수압 증가에 따라 평균 임계하중 값은 증가한다. 구체적으로 대기압 및 70MPa, 140MPa, 200MPa 정수압 환경하에서의 평균 임계하중 값은 각각 6030N, 6535N, 7092N, 7415N으로서 정수압이 0.1MPa에서 200MPa로 증가함에 따라 평균 임계하중 값은 22%이상 증가한다.

정수압 증가에 따른 층간분리인성은 컴플라이언스방법을 이용해 측정하였다. 컴플라이언스방법은 다음과 같다.¹⁶⁾

$$G_c = \frac{P_{cr}^2}{2B} \frac{dC}{da} \quad (5)$$

윗 식에서 G_c 는 층간분리인성을, "B"는 시편 두께를, " P_{cr} "은 임계하중을, "C"는 컴플라이언스를, "a"는 층간분리의 길이를 나타낸다. Fig.4는 정수압 증가에 따른 G_c 값의 변화를 나타낸다. 그림에 나타나 있듯이 정수압이 증가함에 따라 G_c 값이 증가함을 알 수 있다. 즉 대기압 및 70MPa, 140MPa, 200MPa의 정수압 환경하에서 G_c 값은 각각 $3.58N \cdot mm/mm^2$, $3.88N \cdot mm/mm^2$, $4.41N \cdot mm/mm^2$, $4.78N \cdot mm/mm^2$ 으로서 정수압이 0.1MPa에서 200MPa로 증가함에 따라 G_c 값은 34%이상 증가한다. 이와 같이 정수압 증가에 따라 G_c 값이 증가하는 이유는 정수압이 층간분리면에 수직 압축응력으로 작용함으로써 층간분리의 진전을 억제하는 역할을 하며 또한 정수압이 증가함에 따라 섬유이탈 및 미소균열 등이 방지되는데 기인하는 것으로 고려된다.

4. 참고문헌

- (1) Parry, T.V. and Wronski, A.S., 1981, "The effect of Hydrostatic Pressure on the Tensile Properties of Pultruded CFRP," J. of Materials Science, Vol.17, pp.2141-2147
- (2) Wronski, A.S. and Parry, T.V., 1982, "Compressive Failure and Kinking in the Uniaxially Aligned Glass-Resin Composite under Superimposed Hydrostatic Pressure," J. of Materials Science, Vol.20, pp.3656-3662
- (3) Shin, E.S. and Pae, K.D., 1992, "Effects of Hydrostatic Pressure on In-Plane Shear Properties of Graphite/Epoxy Composites," J. of Composite Materials, Vol.26, pp.828-868
- (4) K.Y. Rhee and K.D. Pae, 1995, "Effects of Hydrostatic Pressure on the Compressive Properties of Laminated 0° Unidirectional Behavior of Graphite Fiber/Epoxy Thick Composites" J. of Composite Materials, Vol.29, pp. 1295-1307
- (5) Pae, K.D. and Carlson, K.S., 1998, The Combined Effects of Hydrostatic Pressure and Strain-Rate on the Compressive Properties of a Laminated, Multi-Directional Graphite/Epoxy

(6) Broek, D., Elementary Engineering Fracture Mechanics, Martinus Nijhoff Publishers

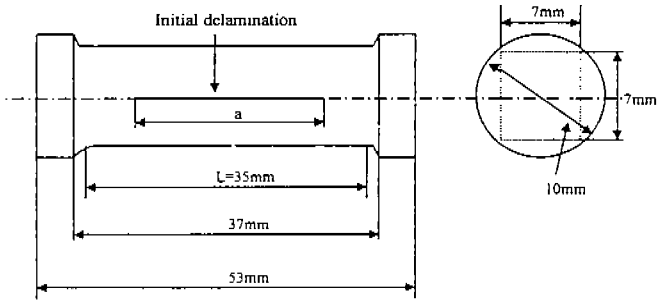


Fig.1 Configuration of dog-bone type test sample

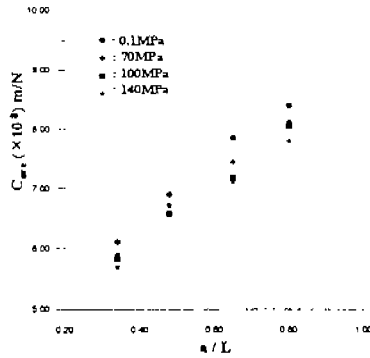


Fig.2 Average compliance variation as a function of delamination for each hydrostatic pressure

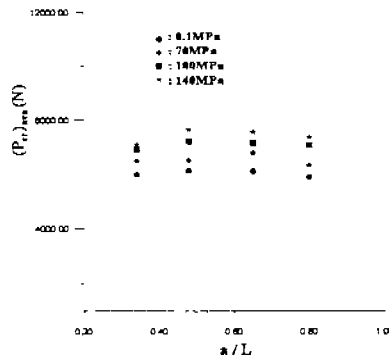


Fig.3 Average critical load variation as a function of delamination for each hydrostatic pressure

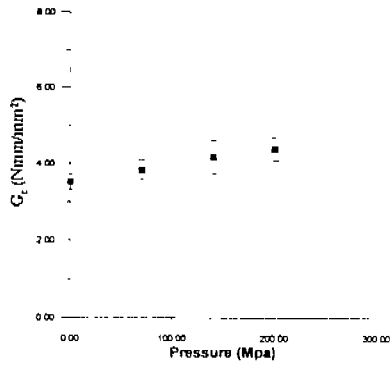


Fig.4 G_c variation as a function of hydrostatic pressure