

폴리머 복합재용 자가치료제의 층간파괴특성 평가

허광수*(금오공과대학교 대학원 기계공학과), 윤성호(금오공과대학교 기계공학과)

Interlaminar Fracture Characteristics of Self-healing Agent for Polymeric Composites

K. S. Heo(Mech. Eng. Dept., KIT), S. H. Yoon(Mech. Eng. Dept., KIT)

ABSTRACT

This study focused on the introduction of the self healing technique for polymeric composites and evaluated the healing efficiency by the use of the interlaminar toughness fracture test. The DCPD (dicyclopentadiene) and ENB (5-ethylidene-2-norbornene) were used for the healing agent and the Grubbs' catalyst was used for the catalyst. According to the results, healing efficiency was found to be 37.9%, 22.3%, 26.3%, 22.8%, 30.8%, 30.8%, 33.0%, 33.4% for mode II fraction of 0%, 20%, 35%, 50%, 65%, 80%, 90%, 100%, respectively.

Key Words : interlaminar fracture toughness (층간파괴인성), self-healing agent (자가치료제), healing efficiency (치료효율)

1. 서론

고성능 섬유강화 복합재는 비강도와 비강성이 높고 우수한 내식성 및 내열 특성을 지니고 있는 재료로서 기차나 선박 및 항공기 등의 재료로 널리 적용되고 있다. 그러나 외부의 하중이나 충격은 복합재 내부의 기지재료의 미세 손상이나 섬유와 기지재료의 접착분리나 적층면 사이의 층간분리를 유발시켜 성능을 저하시키는 요인이 된다. 특히 내부에 발생된 미세한 손상은 육안으로 확인하기 어려울 뿐 아니라 손상된 부위를 보수하기가 용이하지 않기 때문에 이를 보수하거나 보강하는 다양한 연구들이 진행되고 있다[1]. 최근 연구되고 있는 마이크로캡슐을 이용한 폴리머 복합재의 자가치료기법은 손상을 스스로 탐지하고 스스로 보수한다는 측면에서 다른 방법에 비해 장점을 갖는 보수 방안 중의 하나이다[2].

본 연구에서는 자가치료기법에 적용이 가능한 자가치료제의 층간파괴인성 평가를 통해 자가치료제의 치료효율을 조사하였다.

2. 시편제작 및 실험방법

본 시험에 사용된 시편은 탄소섬유직물/프리프레그(CF3327/Epoxy, (주)한국화이바)를 적용하여 제작하였다. 시편을 제작하기 위해서는 우선 프리프레그를 18층 적층하고 예비균열을 형성하기 위해 12.5 μ m 두께의 테프론 필름을 9층과 10층 사이에 삽입한 후 오토클레이브에서 규정된 온도와 압력을 가하여 성형하고 다이아몬드 휠로 규정된 시험규격으로 절단한다. 모드 I, 모드 II 및 혼합모드의 시편규격

은 Table 1과 같다[3].

Table 1. Configuration of each type of specimens

| Type | Specimen size (mm) | | | |
|------------|--------------------|-------|-----------|--------------|
| | Length | Width | Thickness | Crack length |
| Mode I | 180 | 25 | 4.2 | 35 |
| Mode II | 120 | 20 | 4.2 | 65 |
| Mixed Mode | 160 | 25 | 4.2 | 45 |

자가치료제의 층간파괴특성을 평가하기 위해 자가치료제인 DCPD (Dicyclopentadiene)와 ENB (5-ethylidene-2-norbornene), 촉매는 Grubbs' catalyst (Benzylidene-bis-tricyclohexylphosphin-dichlororuthenium)을 적용하였다. DCPD와 ENB의 혼합비율이 3:1인 혼합액과 0.5wt%의 촉매를 정밀저울 (Ohaus, USA)을 이용하여 정확히 계량한 후 바이알에 넣고 충분히 섞은 다음 주사기를 이용하여 혼합액을 시편 접착부위에 주입하였다. 이때 경화온도와 경화시간은 각각 25 $^{\circ}$ C와 24시간을 적용하였다. 하중은 모드 I과 혼합모드는 0.5mm/min, 모드 II의 경우에는 2mm/min의 변위제어 상태로 연속적으로 작용시켰다.

균열전전에 대한 치료효율은 식(1)에 의해 평가하였다[4].

$$\eta = \sqrt{\frac{G_C^{healed}}{G_C^{virgin}}} = \frac{P_C^{healed}}{P_C^{virgin}} \quad (1)$$

여기에서 η 는 치료효율, G_c 는 층간파괴인성, P_c 는 임계하중을 나타낸다.

3. 실험결과

Fig.1-3에는 각각 모드 I, 모드 II와 혼합모우드에서 순수시편과 자가치료제를 균열부에 투입한 시편에서의 하중-변위 선도가 나타나 있다. 모드 I의 경우 점진적인 균열진전이 관찰되지만 모드 II의 경우 하중의 감소 폭이 크고 균열진전은 급격하게 진행된다. 그러나 혼합모우드의 경우에는 모드 II의 경우에 비해 하중의 감소 폭은 작지만 균열진전은 모드 I의 경우보다 빠르게 진행됨을 알 수 있다.

Fig. 4에는 순수시편과 자가치료제를 투입한 시편의 임계하중에서 모드 II 비율에 따른 치료효율이 나타나 있다. 모드 I과 모드 II의 경우 37.9%와 33.4%의 치료효율을 가지며 혼합모우드의 경우 모드 II 비율이 20%, 35%, 50%, 65%, 80%, 90%로 변함에 따라 각각 22.3%, 26.3%, 22.8%, 30.8%, 30.8%, 33.0%의 치료효율을 가짐을 알 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 폴리머 복합재의 자가치료를 위한 자가치료제의 층간파괴특성 연구를 수행하였다. 결과에 따르면 자가치료제의 층간파괴특성은 모드 II 비율에 따라 크게 영향을 받지 않으며, 자가치료

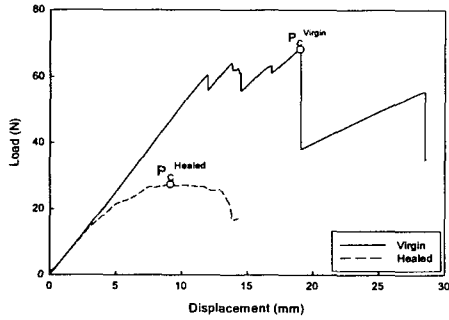


Fig. 1 Load-displacement curve of virgin and healed specimen under pure mode I loading.

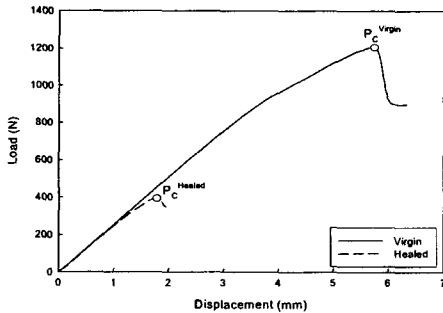


Fig. 2 Load-displacement curve of virgin and healed specimen under pure mode II loading.

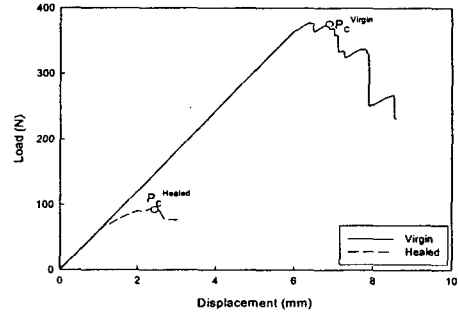


Fig. 3 Load-displacement curve of virgin and healed specimen under mixed-mode loading for 50% mode-II fraction.

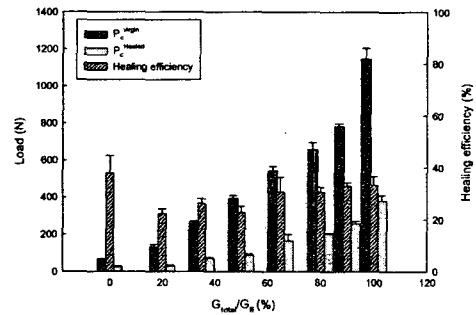


Fig. 4 Comparison for healing efficiency of virgin and healed specimens.

제의 혼합비율에 따른 치료효율과 비교적 고가인 촉매의 경제적인 사용을 위한 기초 자료로 활용될 수 있다.

후기

본 연구는 한국과학재단 기초목적연구(R01-2002-000-00522-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Dry, C., "Procedures Developed for Self-Repair of Polymeric Matrix Composite Materials," *Composite Structures*, Vol. 35, pp. 263-269, 1996.
2. White, S. R., et al., "Autonomic Healing of Polymer Composite Materials," *Nature*, Vol. 409, pp.794-797, 2001.
3. N. Alif, L.A. Carlsson, and J.W. Gillespie, "Mode I, Mode II, and Mixed Mode Interlaminar Fracture of Woven Fabric Carbon/Epoxy," *Composite Materials: Testing and Design, Thirteenth Volume, ASTM STP 1242*, pp. 82-106, 1997.
4. Kessler, M. R. and Sottos, N. R. and White, S. R., "Self-healing Structural Composite Materials," *Composites Part A: Applied Science and Manufacturing*, Volume 34, Issue 8, pp. 743-753, 2003.