

탄소섬유/에폭시 프리프레그의 플라즈마 표면처리 연구

김민호*, 이경엽**, 백영남**, 김현주***, 정동호***

*경희대학교 기계공학

**경희대학교 기계산업시스템공학부

***한국해양연구원 해양심층수연구센터

A Study on Graphite/Epoxy Prepreg Treatment Using Oxygen Plasma

MIN-HO KIM*, KYONG-YOP RHEE, YOUNG-NAM PAIK**, HYEON-JU KIM AND DONG-HO JUNG***

*Graduate School of Mechanical Engineering, Kyunghee University, Yongin, Korea

**School of Mechanical and Industrial Engineering, Kyunghee University, Yongin, Korea

***Deep Ocean Water Application Research Center, KORDI/KRISO, Goseong, Korea

KEY WORDS: CFRP 탄소섬유강화복합재, Prepreg 프리프레그, Oxygen Plasma 산소플라즈마, Contact Angle 접촉각

ABSTRACT: In this study, the graphite/epoxy prepregs were surface-treated using oxygen plasma, and optimal treatment time was determined measuring the contact angle on the prepreg surface. Interlaminar fracture behavior of surface-treated graphite/epoxy composites was compared with that of regular (untreated) graphite/epoxy composites. The results showed that the contact angle was a minimum when treated for 30 minutes. The interlaminar fracture toughness of surface-treated specimen was improved about 15% compared with that of regular specimen.

1. 서 론

최근 여러 산업 분야에서 섬유강화 고분자 복합재 (fiber-reinforced polymer composite)의 사용이 증가하고 있으며, 프리프레그를 이용한 섬유강화복합재의 성형은 특히 자주 사용되는 방법 중의 하나이다. 프리프레그는 여러 장을 목적에 맞춰 적층시킨 후 열을 가해 최종 성형시키는 과정을 거치게 되는데, 고분자 구조를 가지고 있는 기지수지(matrix)와 강화섬유 간에는 서로간의 물리, 화학적 친화성이 크게 부족한 상태이다. 이로 인해 외부 하중에 대해 적층 경계면 상에서 파괴가 비교적 쉽게 일어난다는 단점을 안고 있다.

본 연구에서는 기지수지-강화섬유 계면 상에서의 친화성 증대를 통해 층간 접착력을 증대시킬 목적으로 Graphite/Epoxy 프리프레그를 저온 플라즈마에 노출 시키고 반응 가스로 산소를 사용하여 표층의 친수성을 향상시켰다. 친수성이 향상된 프리프레그를 적층 성형하여 층간분리 인성에 어떠한 영향을 미치는가를 검토하였다.

2. 실험방법

실험에 사용된 graphite/epoxy prepreg는 (주)SK Chemical의 USN 150B를 사용하였으며 에폭시 수지의 함유율은 33%였다.

본 연구에서는 RF 방식의 저온 플라즈마 마그네트론 장비를 사용하였고, 플라즈마 유도에는 산소 가스를 사용하였다. 표면 처리는 우선 최적의 친수성 경향을 보일 수 있는 노출 시간을 찾기 위해 네 단계 범위에서 노출시켰고, 각 노출시간에 따른 친수성 변화를 측정하였다. 시험편은 오토클레이브를 사용하여 단일방향 ($[0^{\circ}]_{10}$)으로 적층하였으며, 프리프레그 제조사에서 권장한 경화 사이클에 따라 성형과정을 진행하였다. DCB 시험의 초기 크랙 생성을 위하여 5번 ply와 6번 ply 사이에 미리 $0.12\mu\text{m}$ 두께의 테플론 필름을 끼워 넣어 크랙을 생성하였다. 파괴시험은 최대하중 2 kN인 만능시험기를 사용하여 10 mm/min의 변위속도로 수행하였다. 하중이 부과되어 크랙 진전이 발생하면 즉시 제하(unloading)하여 크랙 진전량 및 임계 하중을 측정 기록하는 과정을 반복 시행하였다.

3. 결과 및 토의

교신저자 이경엽 : 경기도 용인 기흥 경희대 기계산업시스템
031-201-2565 rheeky@khu.ac.kr

Fig. 1는 플라즈마로 표면처리한 프리프레그 표면의 접촉각 변화를 노출 시간에 따라 정리한 것이다. Fig. 1에 나타나 있듯이 표면처리 유무에 따라 접촉각은 상당한 영향을 받음을 알 수 있다. 플라즈마 처리를 하지 않은 프리프레그의 접촉각은 약 62° ~ 68°를 나타내었으며, 표면처리에 따라 접촉각이 약 48°까지 떨어짐을 알 수 있다. 이것은 산소 플라즈마 표면처리를 통해 프리프레그 표면의 친수성 변화가 발생했음을 의미한다.

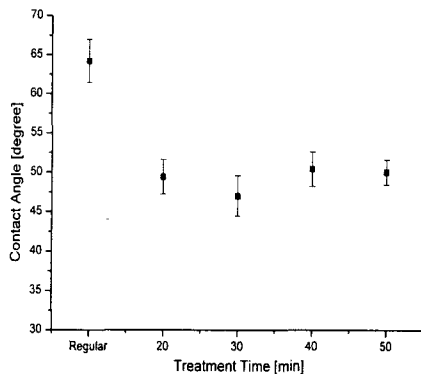


Fig. 1 Effect of plasma treatment time on the contact angle

섬유강화 적층복합재의 층간파괴인성의 측정은 컴플라이언스 보정법 (modified compliance method)을 적용하여 표면처리 유무에 따른 DCB 시편의 층간파괴인성을 결정하였다. 컴플라이언스 보정법을 적용하였을 때 층간파괴인성은 다음과 같이 결정된다.

$$G_{Ic} = \frac{F}{N} \frac{n P_{cr} \delta}{2 W a} \quad (1)$$

윗 식에서 "a"는 층간분리 길이를, "W"는 시편 폭을 나타내며 "F"와 "N"은 각각 대변형과 시편 선단의 알루미늄 블록에 의한 강성변화에 대한 보정인자이다. 또한 "n"은 log-log 좌표에서 컴플라이언스를 "N"으로 나눈 값을 층간분리 길이의 함수로 직선으로 표시하였을 때 기울기를 나타내며, 본 실험에서는 표면처리 전후에 따라 3.40에서 3.26의 값을 나타내었다.

Fig. 2는 층간분리가 증가함에 따라 표면처리 유무에 따른 파괴하중, P_{cr} 값의 변화를 나타내고 있다. 특정 층간분리 길이에 대한 P_{cr} 값은 그에 따른 하중-변위 선도에서 최대하중으로 결정하였다. Fig. 2로부터 두 가지 사실을 알 수 있다. 첫째는 표면처리 유무에 상관없이 층간분리가 증가함에 따라 P_{cr} 은 감소한다. 둘째, 동일한 층간분리 길이에 있어 표면처리한 경우가 표면처리 하지 않은 경우에 비해 P_{cr} 값이 크다는 사실이다. 이는 플라즈마로 표면처리한 결과 층간의 접착강도가 증가하였다는 것을 나타내는 것이라 할 수 있다

플라즈마를 이용한 표면처리가 적층시료의 층간분리인성에 미치는 영향을 이해하기 위해 표면처리 유무에 따라 층간분리

인성을 식 (1)을 적용해 결정하고 그 값을 서로 비교하였다. Fig. 3는 두 경우에 대한 층간분리 길이에 따른 층간분리인성의 변화를 나타낸다. Fig. 3에서 두 가지 사실을 알 수 있다 첫째, 두 경우 모두 층간분리 진전 초기에는 층간분리인성이 증가한다. 층간분리인성의 초기 증가는 층간분리 선단의 후방에 섬유연결 발생에 기인하는 것으로 판단된다. 둘째, 층간분리가 어느 정도 진전되면 두 경우 모두 층간분리인성은 안정화된 값을 나타낸다. 이는 섬유연결 효과가 층간분리인성에 더 이상 영향을 주지 않기 때문이다.

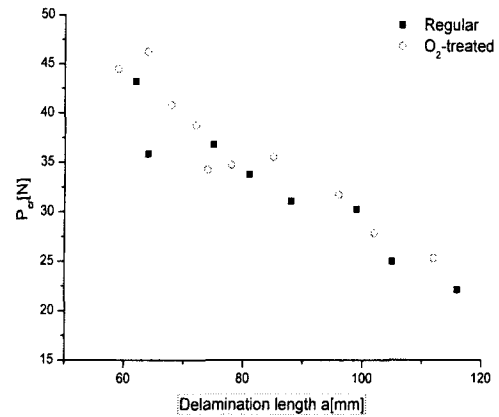


Fig. 2 Effect of plasma-treatment on the fracture load, P_{cr}

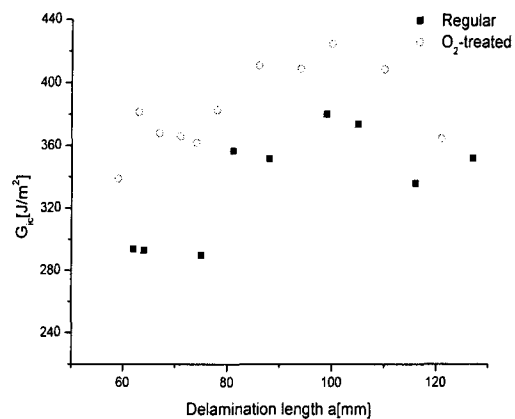


Fig. 3 Comparison of interlaminar fracture toughness between regular and plasma-treated specimens.

4. 결론

본 논문의 결론은 다음과 같다. 첫째, 프리프레그 표면에 산소 플라즈마 처리를 한 경우 약 30분 노출시 최적의 접촉각을 나타내었다. 둘째, DCB 시편을 제작하여 층간분리 길이 진전에 따른 층간분리인성을 비교한 결과, 표면처리 여부에 따라 최대 약 15%정도 상승하였다.

5. 후기

본 연구는 해양수산부 “해양심층수의 다목적 개발” 과제의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드리는 바입니다.

참 고 문 헌

- Allred R.E., Schimpf W.C.(1994). "CO₂ plasma modification of high-modulus carbon lite fibers and their adhesion to epoxy resins", *Journal of Adhesion Science and Technology*, Vol 8, No 4, pp 383-394
- ASTM D5528-94a(1994). "Mode I Interlaminar Fracture Toughness of Unidirectional Fiber- Reinforced Polymer Matrix composites", *ASTM Standards*, Vol 14.02, pp 280-288
- Koh S.K., Cho J.S., Kim K.H., Han S. and Beag Y.W.(2002). "Altering a polymer surface chemical structure by an ion-assisted reaction", *J. Adhesion Sci. Tech.*, V 16, No 2, pp 129-142
- Sawada Y., Nakanishi Y., Fukuda T.(1993). "Effect of carbon fibre surface on interfacial adhesive strengths in CFRP", *Composites*, Vol 24, No 7, pp 573-579
- Wada A., Fukuda H.(1999). "Microbond and fragmentation tests for the fiber/matrix interfacial shear strength", *Materials Science Research International*, Vol 5, No 3, pp 151-156
- Wade G.A., Cantwell W.J., Pond R.C.(2000). "Plasma surface modification of glass fibre-reinforced nylon-6,6 thermoplastic composites for improved adhesive bonding", *Interface Science*, Vol 8, No 4, pp 363-373

2000년 0월 0일 원고 접수

2000년 0월 0일 최종 수정본 채택