한국정밀공학회 2006년도 춘계학술대회논문집 pp. 397~398 KSPE 06S274

LIPCA에 공급되는 전기장의 변화가 PZT 특성과 적층배향에 미치는 영향

김철웅(고려대 기계공학과/유앤아이㈜ 고려대연구소), 남인창*(건국대 대학원 항공우주공학과), 윤광준(건국대 항공우주공학과)

The Effect of Variable Electric Fields on the PZT Characteristic and Laminate Configuration in LIPCA

Cheol-Woong Kim (Mech. Eng., U&I Research Center, Korea Univ.), In-Chang Nam (Graduate School, Aerospace Eng., Konkuk Univ.) and Kwang-Joon Yoon (Aerospace Eng., Konkuk Univ.)

ABSTRACT

The advanced piezoelectric ceramic composite actuator, which is called LIPCA with the FRP and the optimization of the laminate configuration, was performed to maximize the stress transfer and the fiber bridging effect. This study evaluated the effect of variable electric fields on the PZT characteristic, laminate configuration and fatigue characteristics under the resonance frequency, which meant the largest performance range and the changes of its interlaminar phase were also evaluated by stages. In conclusions, Comparing with the fatigue life of intact LIPCA, the fatigue life of LIPCA embedded by the artificial delamination was decreased up to 50%. The micro void growth and the coalescence of epoxy were actively made at the interlaminar phase subject to the large tensile stress.

Key Words : Lightweight Piezoelectric Composite Actuator (경량압전 복합재료 작동기, LIPCA), PZT (압전세라믹), Delamination (층간분리), Micro Void (미세기공, MV), Electric Field (전기장), C-scan (C-스캔)

1. 서 론

립카(LIPCA)라고 명명된 고성능 경량압전 복합재료 작동기는 THUNDER에 사용되던 알루미늄 박판과 스테인리스 스틸을 섬유강화 플라스틱(FRP)으로 대체하고 적층설계를 최적화하여 PZT층에서 FRP 층으로의 응력전달 및 섬유가교효과를 극대화하였다. 그 결과, LIPCA는 5×10^6 사이클 이상의 피로한도 수명에서도 성능감소가 20%이내인 매우 우수한 피로특성을 보유하고 있음을 평가할 수 있었다. 그러나 이상의 피로시험은 교류전압 $500V_{pp}$, 작동주파수 5Hz 하에서 작동변위가 1.0mm 내외인 매우 안정적인 조건에서 수행된 결과이므로 더욱 큰 작동범위와 가혹한 조건에서의 피로거동을 파악해야 한다. 따라서 본 연구에서는 가장 큰 작동범위를 나타나는 주파수 하에서 LIPCA의 각층에 걸리는 작용응력 분포에 대해 파악하고, 이를 바탕으로 피로특성과 그에 따른 계면의 변화를 단계적으로 평가해보았다.

2. LIPCA의 주파수와 피로특성 변화

LIPCA가 최대 작동변위를 구현하는 공진주파수 11~12 Hz의 조건에서 피로하중에 의한 작동변위의 저하와 그에 따른 계면의 변화를 살펴보았다. 층간분리와 작동주파수가 피로수명에 미치는 영향을 파악하기 위해 PZT와 FRP 계면 중앙에 $b\times l = 24\times5$ mm^2의 테프론 필름을 삽입하여 인공층간분리를 삽입한 LIPCA를 별도로 제작하였다. 따라서 인공층간분리를 삽입한 LIPCA와 삽입하지 않은 순수 LIPCA를 11.5 Hz의 공진주파수에서 피로시험을 수행하였고 그 결과는 Fig. 1과 같았다. 순수 LIPCA의 피로수명이 약 1.6×10^5 cycles 이상인데 비해 인공층간분리를 삽입한 LIPCA의 피로수명은 8.0×10^4 cycles 정도로 인공층간분리는 LIPCA의 피로수명을 약 50% 정도 저하시켰음을 알 수 있었다.

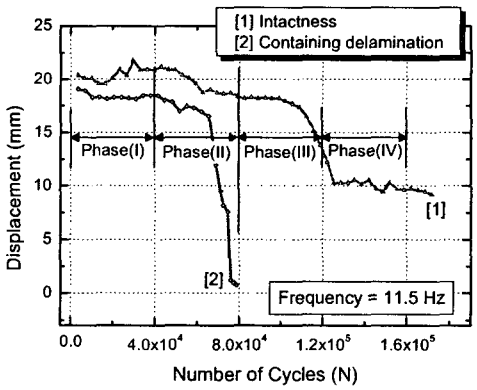

Fig. 1 Relationship between N and Δh in intact LIPCA and LIPCA embedded artificial delamination

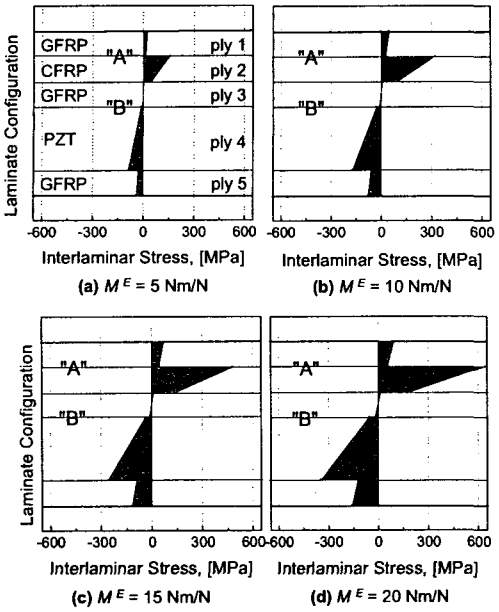

Fig. 2 Interlaminar stresses distribution in LIPCA due to the increment of M^E and electric field

따라서, 순수한 LIPCA가 Phase(III) 후반에 서서히 작동변위가 저하된 반면, 인공층간분리가 삽입된 LIPCA는 Phase(II) 중반에 작동변위의 급격한 저하가 나타났다. 그 이유는 반복하중 하에서 계면의 균질성이 급변하는 인공층간분리 선단에 응력이 집중되다가 Phase(II)에 들어서서 갑작스러운 층간분리 확장이 야기되었기 때문이다. 결국, 층간분리는 PZT층에서 섬유층으로의 원활한 응력전달과 응력재분포를 방해하였고 미시적으로는 섬유가교효과를 저해하는 요인으로 작용하였다.

3. PZT와 CFRP 계면상의 변화

LIPCA와 같은 적층재에서 가장 취약한 부분은 층간의 계면이다. 따라서 THUNDER에 비해 계면의 수가 많은 LIPCA의 작동특성은 계면 변화에 쉽게 민감해 질 수 있다. Fig. 2는 총유효모멘트(M^E)[1,2] 증가에 따른 층간의 응력분포를 계산하여 나타낸 것이다. 가장 많은 응력이 작용하는 계면 "A"와 가장 적은 응력이 작용하면서 PZT층과 직접적인 접촉을 하고 있는 계면 "B"를 Fig. 3에 제시한 초음파 탐상 결과와 비교해 보았다. "B"에 비해 상대적으로 층간에 큰 인장응력이 걸리는 "A"는 에폭시의 미소공동 성장과 합체가 매우 왕성하게 발생했음을 알 수 있다. Fig. 3(i)는 미소공동합체(MVC)의 전형적 단계인 형성(Phase(I)), 성장(Phase(II), (III)), 합체(Phase(IV))의 특징이 단계적으로 잘 나타났다. Fig. 3(i)(d)와 Fig. 3(ii)(h)는 미소기공의 최종합체가 이루어지는 시기로 층간에 작용한 응력 값의 변화로 인한 응력이력을 예측할 수 있는 기공내 구배가 존재한다.

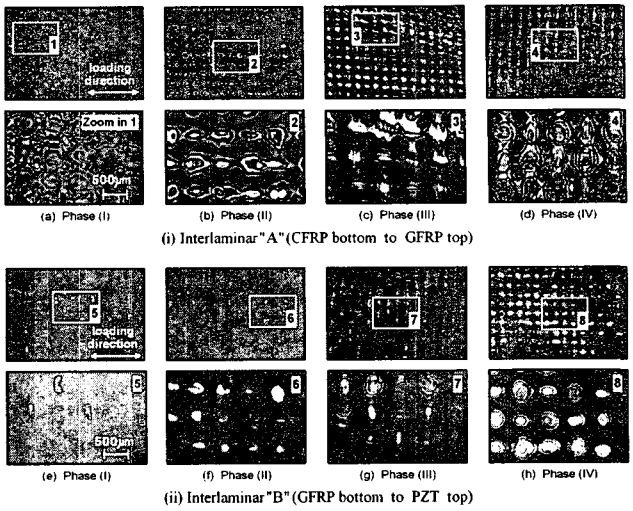

Fig. 3 Variation of Micro Void (MV) at interlaminar "A" and interlaminar "B" due to the variable electric fields and performance displacement

이러한 현상은 반복 굽힘모멘트에 의해 미소기공이 서서히 성장하다가 작동변위가 급격히 변화할 때마다 기공 내에 구배층을 형성한 것으로 생각된다. Fig. 3(i)(b)는 미소기공의 연신이 굽힘모멘트가 작용한 방향으로 이루어져 있음을 보여준다.

4. 결 론

1) 인공층간분리를 삽입한 LIPCA는 순수한 LIPCA에 비해 약 50%의 피로수명 저하가 발생했고, 특히 부하중반 이후 작동변위의 급격한 저하가 나타났다. 결과적으로 PZT층의 급격한 성능저하와 취성파괴를 야기했다.

2) 큰 인장응력이 걸리는 층간에서는 에폭시의 미소공동 성장과 합체가 매우 왕성하게 발생했다. 또한, 응력의 이력을 예측할 수 있는 기공내 구배가 형성되었고, 굽힘모멘트가 작용한 방향으로 미소공동이 연신되어 있음을 관찰할 수 있었다.

후 기

본 연구는 학술진흥재단 중점연구소 지원사업(과제번호: KRF-2004-005-D00047)으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. C. W. Kim, K. J. Yoon, "Prediction of the Total Effective Moment Using Stroke Range in Lightweight Piezoelectric Composite Actuator," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 30, No. 2, pp. 120-127, 2006.
2. C. W. Kim, J. H. Hong, K. J. Yoon, "Proposal of Equation on Changeable Performance Stroke and Radius Curvature According to the CFRP Ply Orientation in PZTCA," *Transactions of the KSME, A*, Vol. 30, No. 3, pp. 318-327, 2006.