

다층 계면 접착으로 제조되는 방탄 소재의 내구성 평가 방법

김진일^{1†}, 장태환², 김선진¹, 오창영¹, 배성주¹, 최창익¹

¹국방기술품질원 체계지원단, ²창원대학교 첨단나노과학기술연구소

e-mail : kjheon4022_2@dtaq.re.kr

Durability Assessment of Multi-layer Laminated Ballistic Materials

Jinil Kim^{1†}, Taehwan Jang², Seon-jin Kim¹, Changyoung Oh¹, Sungju Bae¹, Changik Choi¹

¹System Support Group, Defense Agency for Technology and Quality

²Global Institute for Advanced Nanoscience & Technology(GIANT), Changwon National University

요약 다층 계면 접착 기술은 방탄소재의 고성능·경량화를 구현하는 핵심 공정이나, 이종 소재 간 계면은 환경 요인에 의한 박리 결함에 취약하여 내구성 확보를 위한 메커니즘 분석 및 평가가 필수적이다. 본 연구는 강성 메인 레이어와 접착성 인터레이어 간의 물리화학적 결합 특성을 고찰하고, 계면 박리 저항성을 검증하기 위한 통합적 평가 방법론을 제시하였다. 구체적으로 전단·인장 강도 도출을 위한 접착제 기반 평가와 박리 에너지 및 미세 파괴 분석을 위한 비접착제 기반 평가를 병행함으로써 실제 파손 모드의 정밀한 모사가 가능하다. 또한, 환경 스트레스에 따른 계면 열화를 규명하기 위해 가속 수명 시험(ALT) 프로세스의 도입을 제안하였다. 본 연구의 맞춤형 평가 기법 및 환경 노화 검증 체계의 통합은 차세대 방탄소재 설계 최적화와 국방 소재의 신뢰성 고도화에 중요한 기반이 될 것이다.

Abstract Multi-layer interfacial adhesion is essential for high-performance, lightweight ballistic materials, yet susceptibility to delamination necessitates rigorous mechanism analysis and reliability evaluation. This study investigates the physicochemical bonding within multi-layer structures and proposes an integrated methodology for verifying delamination resistance. By combining adhesive-based evaluations for macroscopic strength with adhesive-free methods for micro-fracture analysis, operational failure modes can be precisely simulated. Furthermore, an Accelerated Life Testing (ALT) process is proposed to characterize interfacial degradation under environmental stresses. The integration of interface-specific evaluation techniques and aging verification systems provides a critical foundation for optimizing next-generation ballistic material design and enhancing reliability across the defense industry.

Keywords : Delamination, Accelerated Life Testing, Bullet Resistance, Glass

이 논문은 2026년도 정부(교육부)의 재원으로 한국연구재단의 G-램프(LAMP) 사업 지원을 받아 수행된 연구임(No. RS-2024-00444460).

This research was supported by Global - Learning & Academic research institution for Master's/PhD students, and Postdocs(LAMP) Program of the National Research Foundation of Korea(NRF) grant funded by the Ministry of Education(No. RS-2024-00444460).