

복합재 재료인증을 위한 시험입회 방법론

이승윤^{1,†}

¹한국항공우주연구원 항공우주제품보증센터

Test Witness Methodology for Acquisition of the Composite Material Qualification Data

Seung Yun Rhee^{1,†}

¹Aerospace Product Assurance Center, Korea Aerospace Research Institute (KARI)

Abstract : Since the late 1990's, FAA, NASA and the aerospace industry have worked together to develop the sharing system of the composite material qualification databases which were obtained through the standardized fabrication and testing procedures. The result was what is now known as the AGATE(Advanced General Aviation Transport Experiments) or NCAMP(National Center for Advanced Materials Performance) methodology, a more cost-effective concept that shifts the major responsibility for qualification and testing from the aircraft manufacturer to the material supplier. The properties of composite materials are largely dependent on the testing as well as the raw material properties and the manufacturing process including the process control parameters. Thus it is important in the composite material qualification to comply with the standardized testing procedures. In this paper, I will describe the standardized witness methodologies of certification engineers to reduce the effect of testing variability within the qualification data.

Key Words : Composite Materials, Qualification, Shared Database, Test Witness

1. 서 론

복합재의 물성치는 금속재와는 달리 섬유와 레진의 비율, 섬유 방향 등 원재료 성분 뿐만 아니라 제작 방식과 시험방법에 상당 부분 의존한다. 제작공정 및 공정 파라미터들은 공정관리문서(Process Control Document), 재료규격서 및 공정규격서 등을 통해 엄격하게 관리해야 하며, 시험 방법 및 절차는 재료인증 시험계획서에 구체적으로 명시함으로써 재료 간 표준화된 시험 방법을 적용함으로써 관리해야 한다.

개별 항공기 제작업체가 상당한 시간 및 비용을 부담할 수밖에 없었던 복합소재 재료인증 체계를 개선하

기 위해, 1995년 미국은 AGATE 프로그램을 통해 복합재 물성치 데이터베이스 공유 프로세스를 개발하기 시작하였다. 2001년에 AGATE 프로그램이 종료된 이후, 2005년에 NASA는 CMH-17, FAA 및 SAE와의 협조 아래 AGATE 프로세스를 전체 항공우주산업계로 확대할 목적으로 NCAMP를 설립하였다. NCAMP의 목적은 AGATE 프로그램으로 얻은 경험을 바탕으로 범용 항공기, 수송급 항공기, 그리고 기타 항공기 제품 형식의 인증에 공통적으로 적용할 수 있는 재료규격서 및 기초 재료물성치 데이터를 개발할 수 있는 수탁가능한 방법론을 만드는 것이다. 이러한 목적을 달성하기 위해 NCAMP는 금속재와 같이 산업체 전반에 걸쳐 적용할 수 있는 비전매특허의 규격과 재료 설계값의 개발 절차를 개발하였다.

본 논문에서는 빌딩블록 접근법(Building Block Approach)의 가장 기초 단계에서 복합재료의 특성을

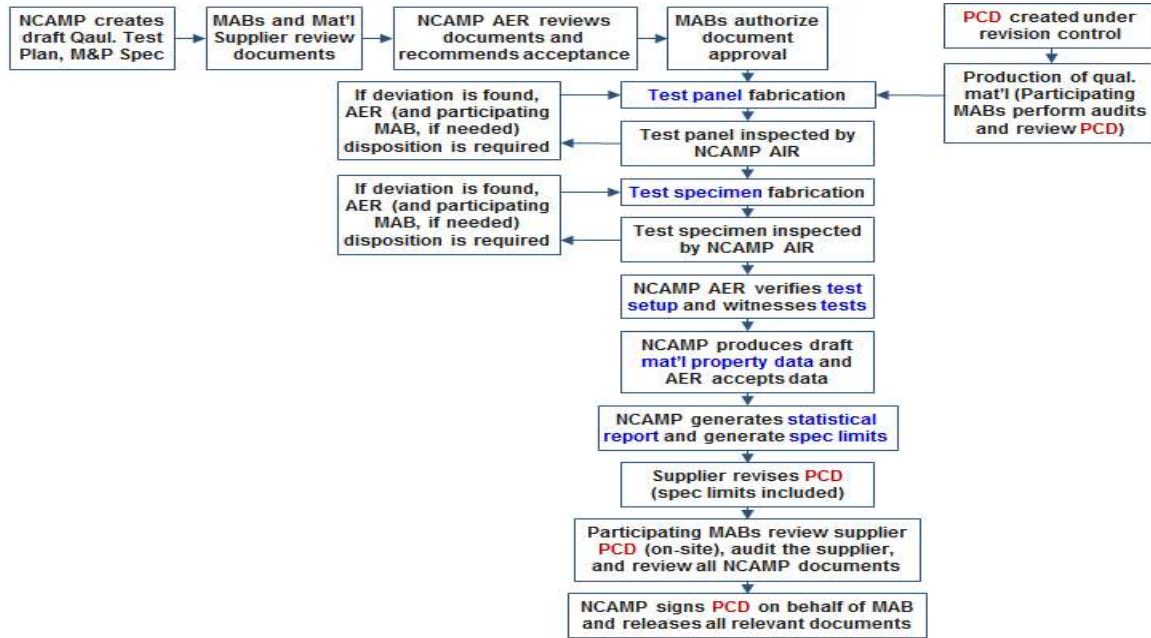


Fig. 1 NCAMP Standard Operating Procedure

규정하기 위한 라미나 레벨의 물성 시험을 수행함에 있어 복합재 물성 데이터베이스의 통계적 유효성을 보장하고 시험 수행 방법 및 절차에 따른 물성의 가변성을 최소화하기 위해, 인증 엔지니어가 시험 입회시 주의해야 할 점 및 시험입회 절차에 대해 논하고자 한다.

2. NCAMP 프로세스

NCAMP 표준 운용절차[1]는 규격서/계획서 적합성 검토, 시편/패널 합치성검사 등 AGATE 프로세스에 존재했던 주요 절차를 모두 포함하고 있으며, NCAMP를 통해 공유되는 재료 물성치 DB에는 재료 물성치 데이터와 함께 광범위한 항공우주 프로젝트에 공통적으로 사용되는 재료규격서 및 공정규격서를 포함하고 있다. AGATE에서 NCAMP로 발전하는 과정에서, FAA는 AGATE 및 NCAMP 프로세스를 감항규정에 적합한 하나의 복합재 입증 프로세스로 받아들였다.[2,3] 재료인증 및 물성치 데이터 획득 과정은 Fig. 1에 주어져 있다.[4,5]

NCAMP 체계에서 합치성 및 적합성 확인 업무는 AIR(Authorized Inspection Representative)과 AER(Authorized Engineering Representative)이 주

로 수행한다. AIR은 시험패널 및 시편에 대해 검사검증(Inspection Verification) 업무를 수행하며, AER은 통상 규격서 및 시험계획서와 같은 인증문서의 검토 및 승인 의뢰, 시험 입회, 그리고 시험 데이터 승인의 업무를 수행한다. AIR과 AER은 인증업무를 수행함에 있어 독립적이고 공정해야 한다.

3. 시험입회 및 수행 절차

본 절에서는 국내 복합재 재료인증 체계에서 NCAMP의 AER에 해당하는 인증엔지니어의 시험입회 절차에 대해 기술한다.

3.1 인증엔지니어의 시험입회

인증엔지니어는 하나의 시험유형/환경조건 조합에 대해 하나 이상의 시편 시험에 입회하는 것이 원칙이지만, 인증엔지니어의 재량 하에 보다 많은 혹은 보다 적은 시험에 입회할 수도 있다. 이러한 입회 횟수에 대한 판단 기준은, 시험항목의 중요성, 시험셋업 및 절차의 난이도, 시험기관의 해당 시험표준에 대한 경험 및 완속도 등이다.

인증엔지니어는 시험입회 전 혹은 시험입회 시 다음 각 사항을 수행해야 한다.

- (1) 시험수행 전에 패널 및 시편에 대한 인증검사원의 검사검증이 완료되어 해당 시험대상품의 합치성이 확인되었거나 발견된 모든 차이점(Deviation)에 대한 처리지침이 수행되었음을 확인해야 한다. 이를 위해 인증검사원이 서명한 검사검증기록서(Inspection Verification Record)의 복사본을 확인해야 한다.
- (2) 적절한 장비(Equipment) 및 치구(Fixture)가 사용되는지 확인해야 한다.
- (3) 하중셀(Load Cell), 스트레인게이지 및 신장계(Extensometer), 열전대 등과 같은 측정 장비가 시험과 관련된 범위 내에서 현재 유효한 인증된 검교정을 받았음을 확인해야 한다. 스트레인게이지 시계의 설정은 쉽게 바뀔 수 있으므로, 스트레인게이지 계수(Strain Gage Factor)를 고려하여 모든 시험 셋업에 대해 이러한 확인 작업을 실시해야 한다.
 - (i) 강성 측정에 대해서는, 하중셀, 스트레인게이지 및 신장계의 교정 범위가 시험과 관련된 범위를 포함하고 있음을 확인하여야 한다. 스트레인게이지의 변형률 범위는 통상적으로, 인장/압축 강성에 대해서는 0.001 ~ 0.003, 면내방향 전단 강성에 대해서는 0.002 ~ 0.006 이다.
 - (ii) 강도 측정에 대해서는, 하중셀이 시편의 예상 파괴하중 수준에서 유효한 검교정을 받았음을 확인해야 한다. 이러한 요건이 적용되지 않는 하나의 예외 사항은 프와송비 측정으로, 이 경우 횡방향 변형률 범위가 교정된 범위보다 낮을 수 있다.
- (4) ASTM D3039와 같이 시스템 정렬(Alignment) 점검을 요구하는 시험에 대해서는, 30일 이내에 정렬 점검을 수행하였고 중도에 그립(Grip)이 제거되거나 재장착되지 않았음을 확인해야 한다. 확인이 힘든 경우에는 시험 전에 반드시 시스템 정렬을 재점검해야 한다.
- (5) 습식(Wet) 시편의 경우, 시험계획서에 명시된 습도 평형 기준을 만족함을 확인해야 한다.
- (6) 패스너가 장착된 시편의 경우, 패스너 형식과 패스너 토크가 시험계획서와 일치하는지 확인해야 한다. 토크렌치가 추적가능한 검교정을 받았음을 확인해야 한다.
- (7) 적절한 파괴모드가 발생했는지 그리고 이를 기록했는지 확인하여야 하며, 가능한 경우 강성 및 프와송비, 그리고 강도가 예상 범위 내에 있는지 확인

해야 한다.

- (8) 명확하게 부적절한 파괴모드는 기록하도록 하여야 하며, 만약 두 번째 시험에서도 부적절한 파괴모드가 발견된다면, 인증엔지니어는 시험 셋업과 시험 데이터를 검토할 수 있을 때까지 시험을 중단한다.
- (9) 파괴 모드를 그림으로 기록하기 위해 각 시험 후에 디지털 사진기로 모든 시편을 찍어 대표적인 사진이 최종보고서에 포함되도록 해야 한다.
- (10) 인증엔지니어는 시험장소를 떠나기 전에 시험수행자에게, 비정상적인 파괴모드 그리고/또는 파괴하중의 발생 등 예상 밖의 상황이 발생하는 경우 인증엔지니어에게 즉시 통보할 것을 알려줘야 한다.

3.2 시험데이터의 승인

- (1) 해당 시험의 데이터를 승인하기 위하여 전체 시험에 입회하지는 않으나, 인증엔지니어는 반드시 입회해야 하는 매우 중대한(Critical) 조건을 확인하고 해당 시험에 입회해야 한다.
- (2) 인증엔지니어가 시험데이터를 승인하면, 매우 중대한 조건을 다루는 시험에 입회하였고, 시험은 인증당국이 승인한 시험계획서에 따라 수행되었으며, 해당 데이터는 해당 시험의 적합성 기준을 만족시키는 공식적인 시험결과임을 나타낸다.
- (3) 인증엔지니어가 시험에 입회했음을 보이기 위한 목적으로 기술검토결과보고서(Engineering Review Report)를 작성하여 인증당국에 제출하며, 이를 통해 해당 시험으로 획득한 데이터를 승인한다.
- (4) 데이터 검토가 완료되고 시험보고서가 종료될 때까지 시험기관은 시편을 보관해야 한다.

3.3 시험기관의 역할

시험기관은 복합재료 재료인증 및 동등성 시험 수행 시 다음의 각 사항을 준수해야 한다.

- (1) 인증엔지니어와 협의하여 시험입회 일정을 수립한다.
- (2) 인증엔지니어와 긴밀한 연락체계를 유지한다.
- (3) 습식(Wet) 시편이 습도 평형 기준[6]을 만족했음을 입증해야 한다.
- (4) 비정상적인 파괴모드 및/또는 파괴하중의 발생 등 예상밖의 상황이 발생한 경우, 인증엔지니어에게 즉시 통보한다.
- (5) 시험기관은 인증엔지니어나 인증당국의 승인없이 “ 좋지 않은 ” 데이터를 폐기하지 말아야 한다.

4. 결 론

복합소재 물성치는 같은 재료라 하더라도 시험방법 및 절차에 따라 상당히 차이가 날 수 있으며, 이러한 가변성을 줄이기 위해서는 국제적으로 공인되는 시험 표준에 따라 시험을 수행해야 한다. 이러한 시험표준으로는 ASTM이 가장 일반적으로 채택되고 있으나, ASTM의 시험방법을 적용하는 세부 절차는 시험기관 및 시험수행자에 따라 상이할 수 있으며, ASTM에는 실제 적용하기 어려운 절차도 일부 포함되어 있다. 이러한 문제점에 따른 가변성을 최소화하기 위해서는 시험기관이 작성하는 세부 시험절차서에 각종 시험 파라미터 및 절차를 상세하게 기술할 필요가 있으며 이는 본격적인 재료시험 수행 전에 충분한 예비 시험 및 인증엔지니어와의 협의를 거쳐 확정해야 한다.

또한, 재료인증 시험 시 실제 적용한 시험조건 및 파라미터들을 상세히 기록할 필요가 있다. 이러한 상세 기록은 시험데이터 분석이나 향후 동등성 시험 수행 시 매우 중요한 참조자료가 된다. 이러한 시험조건 및 파라미터들은 인증엔지니어의 입회 여부와 상관없이 각 시험항목 별로 모든 시편에 일관되게 적용해야 한다.

참 고 문 헌

- [1] Ng, Y. and Tomblin, J., 2010, "NCAMP Standard Operating Procedures (SOP)", NCAMP NSP 100.
- [2] FAA Policy Statement, 2000, "Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material Systems", PS-ACE-00-23.613-01.
- [3] FAA Memorandum, 2010, "Acceptance of Composite Specifications and Design Values Developed using the NCAMP Process", AIR100-2010-120-003.
- [4] 서장원, 이승윤, 이영대, "국산 복합재료의 물성치 공유체계 수립을 위한 요구조건", 항공우주시스템 공학회지, 제 7권, 제 1호, 2012, pp. 32-38.
- [5] 이승윤, "국내 복합재료 물성치 인증체계의 현황 및 발전 방향", 항공우주시스템공학회 2013년도 추계학술발표대회 논문집, 항공우주시스템공학회,

2013.

- [6] Tomblin, J., Ng, Y., and Raju, K., 2003, "Material Qualification and Equivalency for Polymer Matrix Composite Material Systems: Updated Procedure", FAA report DOT/FAA/AR-03/19.

저 자 소 개

이 승 윤

1999년 서울대 기계항공공학부 졸업.
2002년 동 대학원 석사. 2009년 동 대학원 박사. 2012년~현재 한국항공우주연구원 선임연구원. 관심분야는 복합재 구조 설계 및 해석.