

11. 航空機用 복합재 構造物의 成形 및 修理시 발생되는 缺陷의 원인 분석과 최소화 방안에 관한 연구

재료공학과 한 중 원
지도교수 김 윤 해

대부분의 항공 우주산업분야의 복합재료는 높은 비강도, 비강성 특성을 가질 수 있는 접합 품 형태의 복합재료를 많이 이용하고 있는데 이는 중심에 사용되는 구조재료인 코어재료 (core materials)의 양면에 일정 두께를 가지는 프리프레그(Prepreg)로 적층한 후 접합시켜 보다 강하고 경량의 특징을 가지는 구조로 된 샌드위치 구조로서 가볍다는 기본적인 장점 이외에 비강도(specific strength)/비강성(specific stiffness), 해수나 화학물질에 대한 저항, 피로에 대한 저항력, 그리고 단열 및 방음, 내화(fire resistance) 효과등에서 우수하여 이분야에서 그 사용범위의 폭을 한층 넓혀가는 추세에 있다.

그러나 이러한 장점에도 불구하고, 하중을 받을 때에 강도, 강성 및 수명의 감소를 일으키는 손상이 복잡한 기구와 불규칙한 파괴양상에 의해 그 신뢰도가 부족하다는 취약함을 가지고 있어 일반적으로 항공기의 2차 구조물(secondary structure)에 국한되어 사용되어 오고 있었다. 현대에는 항공기의 주요 1차 구조물(primary structure)인 날개(wing), 비행기 동체(fuselage), 비행기 미익(empennage) 등으로 그 적용범위를 넓히고 있거나 넓히기 위한 연구가 진행되고 있다.

샌드위치 구조물 부품은 가공중 화학적 반응에 의한 경화를 수반하는 열경화성 수지인 에폭시(epoxy)수지가 사용되어 경화 공정에 따른 열노출 정도에 따라 그 품질이 크게 좌우된다. 경화 공정이라 함은 처음 부품이 사용되기 위해 경화시키는 것과 구조물의 결합이나 파손에 의한 수리(repair)를 위해 경화시키는 것으로 크게 구분할 수 있다.

항공기 구조물의 실제 사용시 발생하는 결합 및 손상의 수리를 위해서는 수리될 부분외에도 구조물 전체에 대한 재 경화가 이루어지는 것이 현실이다. 특히, 「Bonding Shop」의 기술자들은 이러한 재 경화에 의한 하니컴 구조물의 수명이 더욱 짧아지는 것을 알고는 있으나 그 사용의 한도에 대해서는 어떠한 자료를 가지고 있지는 못하는 실정이다.

이러한 배경하에서 항공기용 복합재 부품의 생산에서 검사, 수리에 이르기까지 일련의 공정들에 대하여 문제점을 파악하고 고찰을 통하여 결합발생의 원인과 대책, 부품의 평가기법 연구와 발견된 결합의 수리에 따른 물성저하등을 살펴봄으로서 수리공정의 한계와 최적의 수리방법을 모색코자 하였다.

하니컴 코아로 보강된 항공기용 샌드위치 구조물을 오토클레이브에서 성형하였으며, 이때 발생하는 결합들의 원인을 규명하고자 하였다. 승온율과 승압율과 같은 경화사이클의 영향과

금형의 형상이 미치는 영향으로 나누어 검토하여 결함발생을 최소화 할 수 있었다. 샌드위치 구조물에서 결함발생의 최소화는 물론 그 결함을 검출하기 위한 최적의 검사 기준 설정 또한 중요한 요소이다. 본 연구를 통하여 결함을 검출할수 있는 최적의 검사기준을 설정하였다. 기존의 검사 기준으로는 발체하지 못하였던 결함을 검출한후 파괴시험을 통하여 결함을 확인하고 새로운 검사 기준을 최종 확정하였다. 발견된 결함의 수리시 수리부분이외 구조물 전체에 대한 재경화가 이루어 진다. 이때 재경화에 의한 영향이 발생하게 되는데 대표적인 예로서 하니컴 코어와 표피가 분리되는 층간분리(Delamination)현상이 있다. 이러한 영향을 알아보기 위하여 샌드위치 구조물 부품에 대한 결함의 수리시 발생하는 물성변화를 시험하였다. 각각의 시험은 부품 수리시 적용되는 경화온도인 127℃에서 500시간 까지 dry oven에서 thermal aging 하였다.

Haskins의 연구에서는 177℃(350°F)와 232℃(450°F)에서 50,000시간 이상 열간시효시킨 후 강도에 미치는 영향을 보여주었다. 또한 121℃(250°F)에서 10~25,000시간 동안 열간시효한 결과 matrix embrittlement와 약간의 인장강도 저하를 관찰하였으나, 10,000시간 후의 Tg의 변화는 없음을 보고하였다. K.M. Jung은 열간시효를 시킨 라미네이트의 열적성질을 시험하였는데 275℃(530°F)에서 시효시간이 증가함에 따라 유리전이온도(Tg)값이 감소함을 보여주었다. 이는 보강재인 탄소섬유 표면의 에폭시 사이징의 분해와 수지매트릭스의 사슬구조가 분해되면서 cross-linking 밀도가 낮아짐으로서 야기되었다.

Wang and Ogale의 연구에서 121℃(250°F)에서 열간시효에 의한 기계적 강도의 변화를 관찰하였다. Greer 와 Hsu는 177℃(350°F)에서 371℃(700°F) 까지 열간시효후의 섬유보강재에 민감한 물성(굴곡, 인장강도 및 탄성율)보다는 압축과 수지매트릭스에 영향을 받는 물성(압축 및 전단강도)에 대하여 열간시효에 따른 물성저하를 연구하였다.

또한 에이징에 관련된 많은 연구에서 보면 주로 고온(250℃ 이상)에서의 에이징으로 에폭시 고분자의 열분해 등을 연구하였다. 그 이유는 에이징의 메커니즘을 규명하는데 저온에서의 시험으로는 시간이 많이 소요되며, 주로 화재나 급격한 열노출에 대한 손상부분을 규명하였기 때문이다.

본 논문에서는 복합소재 부품에서 일어날 수 있는 결함 및 결함검사에 대하여 논하고 주 결함사항인 층간분리(Delamination)에 대한 사항을 수지의 관점에서 판단하고자 하였다. 기계적 물성시험은 인장, 압축 강도 및 탄성율과 층간전단강도(Interlaminar shear strength)를 측정하였다. 하니컴 샌드위치의 물성은 Flatwise tensile strength, Drum peel strength and Long beam flexural strength를 측정하였다.

열적분석 기구인 DMA(Dynamic Mechanical Analysis), DSC(Differential Scanning Calorimetry)를 이용하여 유리전이온도를 측정하여 그 변화양상을 분석함으로써 물성변화를 관찰하였다. 열간노출에 따른 물성변화는 기계적 강도특성의 저하보다는 하니컴 코어와 표피간의 접착강도의 저하가 관측되었다. 따라서 접착강도의 저하에 따른 층간분리현상이 예측되며 이를 최소화 하기 위해서는 손상부위의 국부적인 수리가 필요하며 경화사이클의 횟수와 경화조건

조절을 통하여 복합재료 부품의 수명을 향상시킬 수 있다.

향후 열간노출후 피로특성 변화와 지속적인 열간노출과 가온과 냉각을 반복할 경우 물성의 비교검토, 또한 부품의 열간 노출시 가장 영향을 미치는 인자중의 하나인 수분의 영향을 고려한 물성변화를 연구함으로써 복합재료 부품의 수리시 예측되는 다양한 결함에 대한 학술적, 기술적 기술자료로 활용가능하리라 사료된다.

12. 섬유강화 복합소재에 의한 경량의 선박용 동력전달축 개발

재료공학과 배 창 원
지도교수 김 윤 해

섬유강화 복합재료(Fiber reinforced composite materials)는 무게비 강도 및 강성도가 크고 내환경성이 좋으며 또한 방향성이 있으며 성형성이 우수한 특징을 가지고 있다. 현재 선박에 사용되고 있는 금속재 동력전달축과 비교할 때 무게절감 효과를 가져오고, 우수한 기계적 특성 및 내식성 등의 이점을 지니고 있는 소형 선박용 복합재료 동력전달축을 개발하여 그 기술을 바탕으로 대형선박용 동력전달축 개발에 대한 기초를 마련하고자 하였다.

복합재료의 성형방법중에서 축, 파이프 등의 성형에 많이 이용되고 있는 필라멘트 와인딩(Filament winding) 성형법을 이용하여 소형 선박에 사용하고 있는 직경 약 40mm의 복합재료 동력전달축을 개발하기 위해 먼저 복합재료의 응력해석에 많이 이용하고 있는 고전 적층판 이론(Classical laminated theory)에 의해 적층 복합재료의 응력해석을 통해 복합재료 축을 설계하였다. 또한 선급의 강선규칙에 의하여 프로펠러 축의 동력전달 토크에 의하여 발생하는 전단응력과 축의 비틀림 진동에 의하여 발생 가능한 최대 전단응력을 중공축의 비틀림 모멘트 및 응력의 계산식에서 외경 40mm, 내경 16mm 길이 300mm인 복합재료 중공축의 비틀림 토크를 계산하였다.

본 연구에서 사용한 보강재는 강도가 우수하고 가격이 저렴하여 많이 사용되고 있는 (주)한국화이버의 유리섬유(ERS 2310 FW) 로빙을 사용하였고, 기지재료는 국도화학(주)의 그 특성이 뛰어나 많이 사용되고 있는 에폭시 수지(KBR-1729), 경화제(KBH-1085) 및 경화촉진제(BDMA)를 사용하였으며 그 혼합비는 무게비로 100 : 80 : 3으로 정밀 계량하여 교반기에서 혼합하여 수지조에 부어서 함침되도록 하였다.

복합재료 동력전달축의 제작에 사용한 필라멘트 성형기는 컴퓨터 프로그램에 의하여 와인