

헬리콥터 힌지없는 로터 시스템용 패들형 축소 복합재료 블레이드 구조 설계 및 제작

김덕관*·홍단비*·이명규*·주진*

A Structural Design and Manufacture of Paddle type Small-scaled Composite Blade for Hingeless Rotor System of Helicopter

Deog-Kwan Kim, Danbi Hong, Myeong-Kyu Lee, Gene Joo

Key Words: Paddle type composite Blade, sectional properties, dynamic analysis, Hingeless rotor, helicopter

Abstract

This paper introduces the development procedure of paddle type small-scaled composite rotor blade for helicopter hingeless rotor system. Paddle type composite blade design was done by using CORDAS program developed by KARI and dynamic analysis for hingeless hub with blade is done by using FLIGHTLAB which is commercial software for helicopter comprehensive analysis. The procedure to manufacture complicated shape of paddle type blade tip was developed and composite blades were manufactured after establishing the effective curing method. Through this research, the development technology of composite rotor blade with complex aerodynamic shape were accumulated and these will be applied to the related research field, for example, full size composite blade development, etc.

1. 서론

헬리콥터 로터 시스템은 헬리콥터의 성능 및 안정성을 좌우하는 핵심요소이며 헬리콥터 개발 시 최우선적으로 개발되는 구성품이다. 블레이드는 로터 시스템을 구성하는 요소로 공력성능, 소음, 진동 및 안정성 특성을 결정짓는 중요한 역할을 담당한다. 실물크기 블레이드를 개발하는 과정에서 요구되는 공력 성능 및 공력탄성학적 안정성을 확보하기 위해 여러 축소형 블레이드를 제작하여 축소 로터 시험을 수행하게 된다. 축소 로터 시험을 통해 로터 시스템 개발에 소요되는 비용과 시간을 줄일 뿐만 아니라 설계입증자료로 활용할 수 있기 때문에 로터 시스템 개발시 필수적인 항목이다. 블레이드에 복합재료를 적용하기는 70년 초부터 이미 시작되었으며 70년대 후반부터는 상용화되기 시작하였다. 복합재료 블레이

드에 적용되는 주요 원소재는 UD E-Glass/Epoxy가 사용되며 일부 Carbon/Epoxy 계열이 사용된다. 본 논문은 헬리콥터 힌지없는 로터 시스템용 패들형 축소 복합재료 블레이드의 개발과정을 기술하고자 한다. 먼저 패들형 축소 블레이드의 복잡한 형상 및 특징, 블레이드 구조 설계 및 해석, 성형 및 제작 과정에 대하여 기술하고자 한다. 블레이드 구조 설계는 본 연구원이 개발한 CORDAS (COMposite Rotor Design and Analysis Software)(1)를 이용하여 수행되었으며 설계된 복합재료 블레이드에 대한 동역학 해석은 FLIGHTLAB을 이용하였다. 그림 1은 본 연구원이 설계한 힌지없는 축소 로터 시스템을 나타낸 것이다(2)

* 한국항공우주연구원, 항공연구부 회전익기연구그룹



그림 1. 축소 힌지없는 로터 시스템
(힌지없는 허브 + 패들형 블레이드)

2. 블레이드 구조 설계

2.1 패들형 블레이드 형상 및 특징

패들형 블레이드는 공기역학적 특성으로 끝단 형상이 패들형(Paddle type)이며 3가지 익형 형상(RAE9648, RAE9645, RAE9634)을 사용했으며 비틀림각은 8.35도이다. 패들형 블레이드의 형상 및 주요 치수는 그림 2에 제시되어 있다.

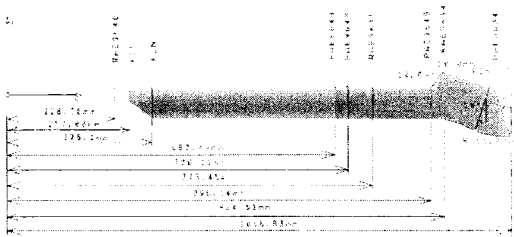


그림 2. 패들형 축소 블레이드 형상 정의

패들형처럼 복잡한 블레이드 형상을 구현하기 위한 효율적인 제작 방법은 복합재료를 적용하는 것이며 복합재료는 설계시 요구되는 구조/동역학 특성을 만족하도록 질량 및 강성을 최적화하는 데 용이한 특성을 갖고 있다.

2.2 단면 구조 설계

패들형 블레이드 단면 구조 설계 과정을 간단하게 기술하면 먼저 기존 실물 Lynx 헬리콥터의 BERP형태 복합재료 블레이드의 구조적 특성을 모사할 수 있도록 1/6로 프루드 축소화하였다. 축소화된 블레이드에 대한 질량 및 강성 요구조건

을 만족하도록 CORDAS를 이용하여 단면구조설계를 수행하였으며 설계시 적용된 복합재료에 대한 물성치 값은 일반적인 물성치를 사용하였다. 1차년도에 개발된 성형 공법 및 제작 공정을 동일하게 적용하였다(3). 블레이드 끝단 형상은 폼 코어를 사용하여 형상을 구현하였으며 스파는 단면이 D형인 직사각형 플랜 폼 구조로 설계되었다. 그림3에 패들형 복합재료 블레이드 내부 구성품에 대한 단순 평면도가 제시되었다.

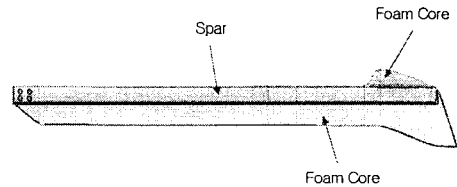


그림 3. 패들형 복합재료 블레이드 주요 구성

패들형 복합재료 블레이드의 가장 큰 특징 중 하나는 제작공정을 개발하면서 끝단 부분의 복잡한 형상 구현을 위해 일정 부분 원자재의 중첩(Overlapping)이 허용되었고, 시험 중에 생길 수 있는 뒷전 부분의 debonding 문제를 방지하기 위해 2mm이상의 접착면을 허용하였다. 패들형 블레이드의 주요 구성품은 노즈 스킨부, 스파, 스킨, 뒷전 코어, 웨이트 등이며 자세한 내용은 표1에 패들형 블레이드에 사용된 주요 원자재, 적층 수/방향, 적층 내용 등이 제시되어 있다.

표 1. 패들형 축소 복합재료 블레이드 주요 사양

구성요소	재료사양	비고
Skin	±45 Woven E-Glass	0.309mm
Spar	±45 Woven E-Glass	0.765mm~0.51mm
Nose Mold	±45 UD E-Glass	0.765mm
Spar Core	PEI Foam	0.031 g/cm ³
T/E Core	Urethane Foam	0.110 g/cm ³
Nose Weight	Lead	2.0mm

로터 반경을 따라 각 위치별로 블레이드 단면 구조 설계를 수행하였으며 블레이드 끝단 부분은 복잡한 형상으로 더 상세히 나누어 설계하였다. 블레이드 시위 방향의 무게중심 및 탄성 중심을 요구조건에 만족하도록 재료를 선정하였으며 선정된 재료에 대하여 제작성을 고려하였다. 설계된 패들형 블레이드에 대한 주요 단면물리량 계

산 결과를 요약하면 아래와 같으며 그림 4에서 그림6까지 설계된 단면구조 형상이 제시되어 있다.

- 질량 : 0.240 kg
- 무게중심 : 22.4% ~ 24.3% Chord 분포
- 탄성중심 : 24.0% ~ 26.0% Chord 분포

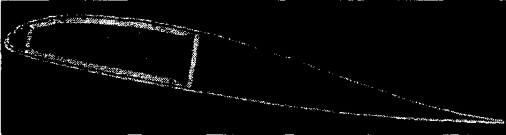


그림 4. 블레이드 반경 R=555.1mm 단면

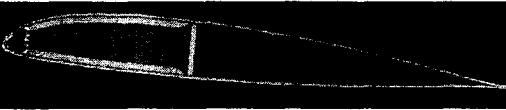


그림 5. 블레이드 반경 R=896.1mm 단면



그림 6. 블레이드 반경 R=924.51mm 단면

설계된 패들형 블레이드에 대한 단면 물리량 계산 결과를 설계요구조건 값과 비교하였으며 그림 7에 플랩강성에 대한 예가 제시되어 있다. 또한 설계된 블레이드에 대하여 오일러 보 이론을 적용하여 변형도를 계산하여 구조적으로 안정하게 설계하였으며 그림 8에 변형도 계산 결과가 제시되어 있다. 설계된 패들형 블레이드에 대한 질량 및 강성 분포 값을 힌지없는 허브시스템에 적용하여 구조동역학 해석을 수행하였다. 진동수 및 하중해석 결과 로터 시스템에 대한 요구조건을 만족하였다.

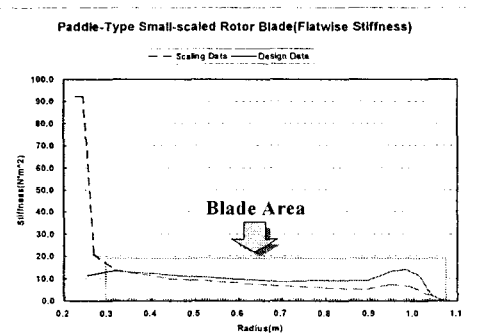


그림 7. 플랩강성 설계치와 요구치 비교

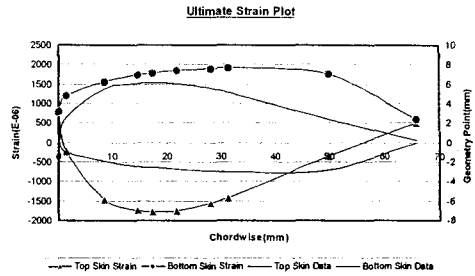


그림 8. 설계하중 조건에 대한 변형도 계산 결과

3. 복합재료 블레이드 성형/제작

3.1 복합재료 블레이드 성형 공법 연구

패들형 축소 복합재료 블레이드 설계시 강성 및 질량 분포를 비교적 쉽게 맞출 수 있는 +/-45 Woven Glass SK 210과 SK 224 제품을 원자재로 선택하였다. 블레이드 내부 코어 폼(Core Foam)으로 스파 코어에는 PEI 폼을 이용하였는데 이는 높은 강도 특성으로 블레이드 스파 성형을 할 때 제작성 및 가공성에 아주 좋은 재료이다. 블레이드 스파에 대한 성형은 이미 가공된 PEI 스파 코어 폼에 prepreg를 감은 뒤 스파 금형에 넣어 볼트로 일정한 압력이 가하도록 체결한 후 80℃±5℃에서 90분간 가성형한 후 탈형하여 EOP 등을 절단한다. 2차 성형은 125℃±5℃온도에서 2시간동안 성형하였다. 상하 외피 성형은 가공된 몰드를 이용하여 비슷한 방법으로 성형하였으며 블레이드는 각 요소를 몰드에 조립한 후 볼트로 체결한 후 80℃±5℃에서 90분 동안 성형하였다.

3.2 복합재료 블레이드 제작 공법 연구

블레이드를 제작하는 공법에 대하여 다음과 같은 공정을 개발하였다.

- 블레이드 외피 및 어셈블용 금형 가공
- 블레이드 노즈 외피용 금형 가공
- 블레이드 스파 내부 코어 폼 가공
- 블레이드 뒷전 내부 코어 폼 가공
- 블레이드 외피 성형(진공 백/오븐 성형)
- 블레이드 스파 성형(금형/오븐 성형)
- 블레이드 어셈블/성형(금형/오븐 성형)

그림9에 설계된 패들형 블레이드를 제작하기 위한 단면 제작 구성 예가 제시되어 있으며 그림 10은 패들형 블레이드 스킨 제작 및 조립용 금형을 나타낸 것이다. 각 단품별로 금형을 제작하여 단품을 성형한 후 그림11처럼 단품을 어셈블하여 성형하게 된다. 제작된 제품에 대하여 표면 처리 등과 같은 후처리과정을 거쳐 나온 제품에 대하여 템플리트와 금형을 이용하여 형상을 점검하고 전체 질량 및 무게 중심을 측정한다. 제작 완료된 블레이드 단면을 절단하여 설계된 형상대로 단품들이 위치하는 지를 검사하게 된다. 그림12는 제작 완료된 패들형 축소 복합재료 블레이드를 나타낸 것이다.

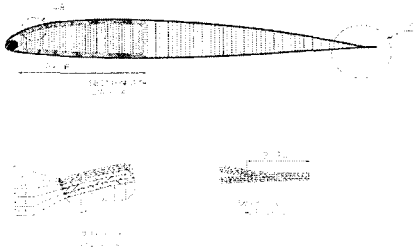


그림 9 패들형 블레이드 제작용 단면구성도

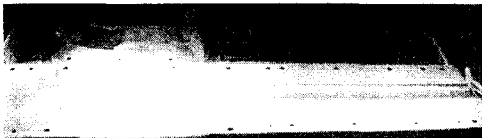


그림 10 블레이드 스킨 제작 및 조립용 몰드



그림 11. 시제품 제작을 위한 최종 어셈블 과정



그림 12. 제작 완료된 패들형 축소 복합재료 블

레이드

4. 결 론

본 연구를 통하여 복잡한 형상의 복합재료 블레이드에 대한 구조 설계 및 해석, 성형 및 제작 공법에 대한 기술을 확보하였다. 본 연구를 통해 확보된 복합재료 블레이드 설계/해석/성형/제작 기술을 활용하여 실물크기 복합재료 블레이드 개발에 적용할 예정이다. 향후 시험결과와의 비교 검증을 통해 국내 독자적인 복합재료 블레이드 개발시 필요한 설계 및 시험 자료를 확보할 예정이다.

후 기

본 논문은 산자부에서 지원한 항공우주기술훈예개발사업 "헬리콥터용 힌지없는 허브시스템 핵심기술선행연구(II)"과제 결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

참고문헌

- (1) 김덕관, 주진, "복합재료 로우터 블레이드 설계/해석 프로그램(CORDAS) 개발", 한국항공우주학회 '99 춘계학술대회논문집
- (2) 주진, 김덕관 외 8명, "헬리콥터용 힌지없는 허브시스템 핵심기술 선행연구(II)", 한국항공우주연구원, 2차년도 보고서, 2002
- (3) 김덕관, 주진, "헬리콥터 힌지없는 로터 시스템용 축소 복합재료 블레이드 개발", '01 춘계 복합재료 학술대회논문집, 2001. 10
- (4) 김덕관, 주진, "헬리콥터용 힌지없는 축소 복합재료 허브부품 구조 설계 및 해석", '02 춘계 복합재료 학술대회논문집, 2002. 5