

# 헬리콥터 반 토오크 팬-덕트 시스템 상세 설계 및 제작

김덕관\*·심정욱\*·홍단비\*·지강혁\*\*·정철호\*\*

## A Detailed Design and Manufacture of the Fan-Duct System for Helicopter Anti-Torque

Deog-Kwan Kim, Joung-Wook Sim, Danbi Hong, Kang-Hyuk Chi and Choul-Ho Chung

### Abstract

This paper describes the development procedure for Tail-Fan system which has the role of anti-torque and yaw control in helicopter. A detailed design of Tail-Fan system was done and structural analysis also was done. After finishing detailed design, Detailed drawings were generated for manufacture. Through detailed design and manufacture, required techniques were achieved for helicopter development. After validation through performance and stability test, acquired techniques will be applied to development of Korea Multi-role Helicopter(KMH) which will be launched

**Key Words:** Tail-Fan, Blade, Helicopter, Anti-Torque System, Autoclave, Fan-Duct System

### 1. 서 론

헬리콥터는 추력 및 양력을 발생시키는 주 로터 시스템과 반 토오크 및 방향 조종을 위한 꼬리 로터 시스템의 2가지 로터 시스템으로 구성되어 있다. 과거에는 주 로터 시스템 설계가 중요한 부분이었지만 현재는 소음, 진동 및 안전성 등의 이유로 꼬리 로터 시스템 설계 중요도가 점점 증가하고 있다. 헬리콥터 반 토오크 시스템(Anti Torque system)은 주 로터에 의한 토오크 상쇄 및 방향 조종성과 안정성을 위하여 장착되는 핵심 서브시스템이다. 전형적인 반 토오크 시스템(Tail Rotor)은 이착륙 제한지에서 운용될 경우와 접근하는 인원에 대한 사고 위험성이 대단히 커 헬리콥터 사고 발생의 30% 가량을 차지한다. 최근 프랑스, 미국 등 헬리콥터 기술 선진국에서는 헬리

콥터의 안전성(Safety)을 높이기 위해 테일팬(Fan in Tail, Ducted Tail Rotor, Shrouded Tail Rotor, Protected Tail Rotor, Fenestron<sup>TM</sup>, Fantail<sup>R</sup>) 방식이나 코안다 효과를 이용한 NOTAR<sup>R</sup> 등의 방식을 대안으로 반 토오크 시스템을 연구 개발하여 실용화하였고, 현재 개발되는 대부분의 헬리콥터에서 채택하고 있는 추세이다. NOTAR 방식은 소형 헬리콥터에 주로 채택되어 사용되고 있으며 테일팬 방식은 중소형 헬리콥터(14,300lb급)까지 기술입증되어 적용되고 있다. 본 논문에서 기술된 반 토오크 시스템은 테일팬(Tail-Fan) 방식으로써 덕트 안에 팬 블레이드가 회전하면서 반 토오크와 방향 조종력을 생성하게 된다. 복합재료는 헬리콥터의 주 로터 시스템, 꼬리 로터 시스템 등에 주로 적용하고 있으며 특히 테일 팬 형태의 꼬리 로터 구조에서는 덕트 구조물 및 팬 블레이드에 적용되고 있다. 본 연구를 통해 설계/제작된 반 토오크 시스템의 경우 덕트 구조물 및 팬 블레이드는 복합재료를 적용하였으며 허브 부품은 금속재료로 제작되었다. 먼저 팬-덕트 시스템에 대한 상세설계/해석 과정을 기술하고 1차 팬-덕트

\* 한국항공우주연구원 회전익기그룹

\*\* (주) 썬 에어로시스

시스템의 제작 과정을 기술하였다. 편의상 팬-덕트 시스템은 팬 블레이드, 팬 허브 시스템 및 덕트 구조물 3가지로 구분하였다. 팬-덕트 시스템에 적용된 소재는 국산 소재를 적용하였다. 테일팬 방식의 헬리콥터 반 토오크 시스템의 주요 구성품은 그림 1에 제시되었다.[1-6]

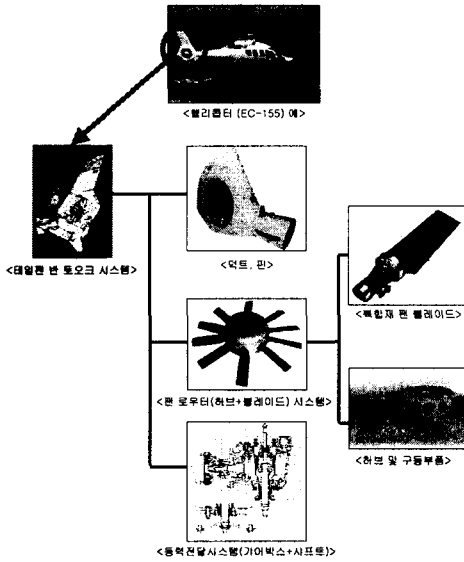


그림 1. 반 토오크 시스템의 주요 구성품

## 2. 팬-덕트 시스템 상세 설계

### 2.1 팬 블레이드 상세설계

#### 2.2.1 팬 블레이드 단면구조 상세설계

기본 설계된 1차 팬-덕트 시스템의 팬 블레이드에 대한 상세 설계는 소재 수급 및 제작 완료 시점 등을 고려하여 기본 설계에서 조금 수정되었다. 최종 설계된 팬 블레이드 구성요소로는 스파, 타이-바, 노즈 몰딩, 뒤전 로빙, Erosion Shield 등이 있으며 설계에 사용된 재원은 아래와 같다.

- 스파 : UD Carbon (2mm)
- 타이-바 : UD Carbon, 스파 일체형 구조
- 외피 : Carbon Fabric (0.510mm)
- 노즈 몰딩 : UD Carbon
- 뒤전 로빙 : UD Carbon
- Erosion Shield : Carbon Fabric
- Core : PEI Foam
- Root 보강재 : Glass Fabric

아래 그림 2는 팬 블레이드 단면의 형상 치수를

를 나타내며 그림 3은 3D로 설계된 팬 블레이드 구성요소의 분해도이다.

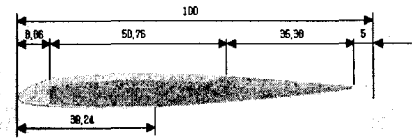


그림 2. 팬 블레이드 단면 형상 치수

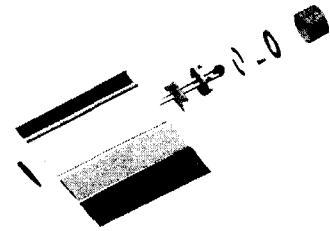


그림 3. 팬 블레이드 구성요소

#### 2.2.2 팬 블레이드 구조해석

팬 블레이드에 대한 구조해석은 상용 해석도구인 MSC/NASTRAN을 이용하였으며 총 38,099개의 요소로 이루어져 있다. 팬 블레이드에 작용하는 하중은 회전에 의한 원심력과 양력과 항력에 의한 굽힘모멘트이다. 원심력 크기는 약 19,230N 정도이며 양력에 의한 굽힘모멘트는 그림 4와 같다.

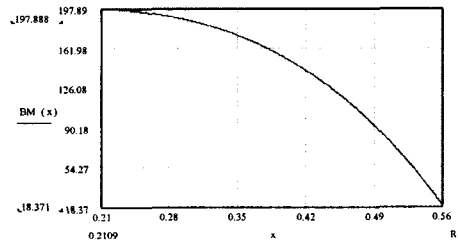


그림 4. 양력에 의한 굽힘모멘트

팬 블레이드의 해석결과, 최대변위는 팬 블레이드 끝단에서 0.144mm이었으며 최대응력은 그림 5와 같이 팬 블레이드 루트의 앞전에서 1.62MPa이었다.

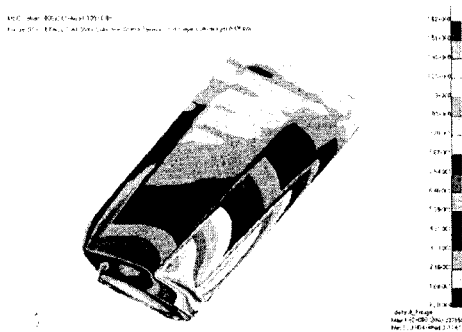


그림 5. 팬 블레이드의 최대 응력

## 2.2 덕트 구조물 상세설계

덕트 구조물의 복합재 적층은 직물탄소섬유와 직물유리섬유로 구성된 외피 구조에 내부는 노맥스 허니콤이 들어가 있게 된다. 덕트 외피 허니콤 구조물의 코어 두께는 12.7mm이며 1.2mm 정도의 직물섬유로 덮혀있게 된다. 덕트 보강재인 Rib는 탄소직물섬유와 유리직물섬유를 혼합하여 5.6mm 두께로 설계되었다. 기어박스 지지대 튜브 및 링은 직물탄소섬유 계열을 사용하여 설계하였다.

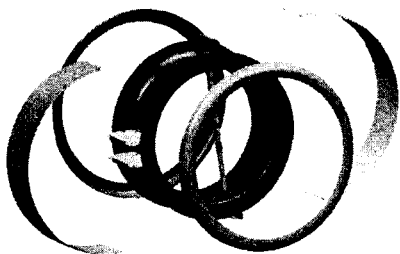


그림 6. 덕트 구조물 내부 구조 및 조립도

## 2.3 팬 허브 시스템 상세설계

팬 허브 시스템은 총 11개의 단품으로 구성되며 Hub Driving Flange는 SNCM420, Bearing은 TEFRON, Cap은 복합재, 나머지는 모두 알루미늄 7075-T6으로 제작되었다.

# 3. 1차 팬-덕트 시스템 제작

## 3.1 팬 블레이드 제작

### 3.1.1 팬 블레이드 공정 설계

각 부품별 최적공정 설정을 위하여 Dauphin AS365N2 팬 블레이드의 벤치마킹을 실시하였으며, X-Ray 촬영을 통해 제작에 요구되는 공정, 제

작성 및 구체적인 단면 형상을 분석하였다.



그림 7. X-ray 촬영 및 단면 검사

### 3.1.2 팬 블레이드 제작

기계가공 단품은 AL 7075와 STS304를 사용하였고, 복합재료 단품은 NC가공된 알루미늄 금형에서 프리프레그 적층방식과 Match-Die 방식을 적용하여 오토클레이브에서 성형되었고, 성형 조건은 아래와 같다.

- 가열속도 : 0.5~7 °F/Min
- 성형온도 : 260±10 °F
- 유지시간 : Min 120분 above 250°F
- 냉각 : 0.5~4 °F/Min 속도로 140°F까지

최종 조립은 2차로 구분되어 진행된다. 1차는 Upper/Lower Match-Die 방식을 적용하여 각 단품들을 FM73(Adhesive Film)과 FM410-1(Foam Adhesive)로 접착한 후 성형한다. 2차는 1차로 성형되어진 블레이드에 Root부분 보강과 조립 볼트 조립을 목적으로 하였다. 1차, 2차 조립시 성형조건은 단품 성형조건과 동일하다. 그림 8과 9에 블레이드 조립 과정 및 제작 완료된 블레이드가 제시되었다.

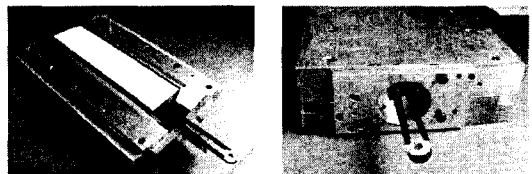


그림 8. 블레이드 최종 조립 및 성형

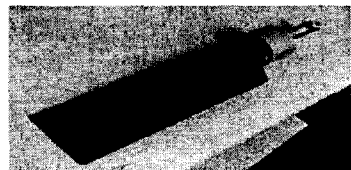


그림 9. 최종 조립된 블레이드

## 3.2 덕트 구조물 제작

### 3.2.1 치공구 및 단품 제작

원형 도넛 형상을 고려하여 탈형이 용이하도록 상하 4개 금형을 제작하였고, 덕트 덮개 금형은

원으로 제작되었다. 전체적으로 프라프레그와 니콤 코어를 사용하여 샌드위치 구조로 제작되 (고, 기어박스 지지 튜브와 Shim은 Wrapping Lay-up 방식으로 성형 제작되었다. 덕트 덮개는 관원으로 나누어 제작되었다. 그림 10에 덕트 성형 과정 및 성형 완료된 덕트 구조가 제시되었다.

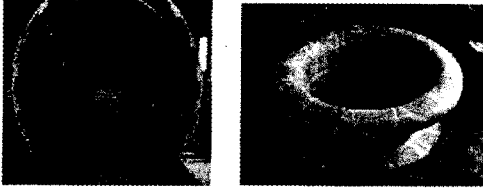


그림 10. 덕트 성형과 완료된 덕트 구조

### 3.2.3 조립

요구되는 끝단 간격에 부합하기 위해 덕트 조립치구를 제작하였고, 치구 위에서 Rib과 덕트 구조물 보강재를 Wet Lay-up으로 접착하였다. 기어박스 지지대는 Rib에 볼트로 체결되었다. 그림 11에 덕트 조립 과정이 제시되었다.

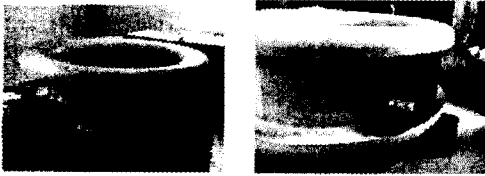


그림 11. 조립치구와 조립과정

조립 완료된 팬 덕트 시스템은 그림 12에 제시되었다. 성능시험장치에 체결되어 있는 모습으로 블레이드 끝단 간격 및 시험장치와 체결성 등을 검토하였다.



그림 12. 성능시험장치 조립된 팬-덕트 구조물

## 4. 결 론

본 연구를 통해 헬리콥터 주 로터에서 생기는

토오크를 상쇄시키기 위한 테일팬 시스템에 대한 상세설계 및 제작 기술을 습득하였다. 먼저 팬-덕트 시스템에 대한 상세 설계/해석 과정을 통해 개발에 요구되는 설계/해석 기술을 습득하였다. 또한 팬-덕트 구조물 제작 과정을 통해 블레이드 성형 공정 개발, 덕트 구조물 성형 등 요구되는 여러 제작 기술을 습득하였다. 제작 완료된 반 토오크 시스템은 성능시험장치에 장착되어 개발 시험을 통해 성능 및 안정성을 검증할 예정이다. 본 연구에서 개발된 반 토오크 시스템의 개발 기술은 향후 추진할 한국형 다목적 헬기(Korean Multi-role Helicopter : KMH)에 곧바로 적용할 수 있을 것으로 기대된다.

## 후 기

본 논문은 산업자원부 지원 민군겸용기술개발 사업인 ‘헬리콥터 반 토오크 시스템 기술개발(II)’ 과제 결과의 일부이며, 지원에 감사드립니다.

## 참고문헌

- (1) 주 진, 김재무, 황창진, 김준호, 김덕관, “국내 개발 헬리콥터 적용을 위한 동적 구성품 개발 기술 분석”, 한국항공우주학회지 제 29권 8호,
- (2) 주 진, 김덕관 외 26명, “헬리콥터 반 토오크 시스템 기술개발” 2차년도 보고서, 2003. 7
- (3) S. P. Garbo, K. M. Rosen, “Composite Usage on the RAH-66 Comanche”, Vertiflite March-April, 1992
- (4) Ajay Sehgal, “Design and development of a four-blade bearingless main rotor system for the USMC H-1 upgrade program”, AHS 55th Annual Forum, 1999
- (5) 김덕관, 주 진, “헬리콥터 힌지없는 로터 시스템용 축소 복합재료 블레이드 개발”, ‘01 추계 복합재료 학술대회논문집, 2001. 10
- (6) Stephen W. Tsai, H. Thomas Hahn, "Introduction to Composite Materials", TECHNOMIC Publishing Co., 1980.