



## 소형 덕트 팬 항공기의 전산해석 및 공력특성 분석

김철완,<sup>\*1</sup> 최성욱,<sup>2</sup> 안석민<sup>1</sup>

### CFD SIMULATION AND ANALYSIS OF AERODYNAMIC CHARACTERISTICS OF SMALL DUCTED FAN AIRCRAFT

C. W. Kim,<sup>\*1</sup> S. W. Choi<sup>2</sup> and S. M. Ahn<sup>1</sup>

*A Duct surrounding a fan is known to reduce the tip loss and increase the fan performance efficiency. It also reduces the fan noise drastically. Ducted fan, therefore, has been focused to be a promising candidate for high efficient propulsion system. In this study, a small plane having ducted fan which can be tilted for vertical take-off and landing, is analyzed by CFD and its aerodynamic characteristics are compared. Ducted fan aircraft has small range of angle of attack for minimum drag and duct design should be focused for efficient ducted fan aircraft.*

**Key Words :** 전산유체역학(CFD), 덕트팬 (Ducted Fan), 틸트 항공기(Tilted Aircraft)

#### 1. 서 론

프로펠러의 주위를 감싸는 덕트 팬은 같은 반경을 갖는 프로펠러에 비해 높은 추력을 발생하는 시스템으로서 높은 power loading을 갖는다. 또한 덕트 팬은 고속 회전하는 프로펠러를 둘러싼 덕트 때문에 높은 안정성을 갖는다. 덕트팬은 팬의 끝단 효과를 제거하여 효율을 향상시키는데 Fig. 1은 덕트팬의 개략도이다.

덕트의 면적비,  $\sigma$ 는 출구면적,  $A_e$ 를 프로펠러의 단면적,  $A_R$ 로 나눈 것으로 덕트가 없는 프로펠러의 경우 1/2의 값을 갖고 덕트 팬의 경우는 덕트의 형상에 따라 다양한 값을 갖는다. Table 1은 덕트가 없는 프로펠러에 비해 덕트 팬의 장점을 나타낸 것이다.

동일한 파워와 추력을 발생하기 위해서 덕트 팬은 프로펠러에 비해 팬의 직경을 크게 줄일 수 있고, 동일한 파워와 직경의 경우에는 더 높은 추력을 발생할 수 있다. 또한 추력과 직경이 동일하면 파워의 크기를 크게 줄일 수 있다. 따라서 프로펠러를 감싸는 덕트를 설치하면 크기를 줄일 수 있고 프

로펠러를 구동하는 파워를 줄일 수 있으며 더 많은 추력을 얻을 수 있다.

항공우주연구원에서는 덕트 팬을 장착한 항공기에 대한 실험연구로 소형 덕트 팬 항공기를 설계하여 제작한 후 비행시험을 통해 그 특성을 분석하고 있다. 이착륙 및 순항 시 필요한 동력을 확보하기 위해 항공기에 비해 큰 사이즈의 덕트 팬을 장착하였다. Fig. 2는 덕트 팬을 장착한 항공기의 형상이다. 덕트를 회전시켜 이착륙과 순항 시에 필요한 추력을 발생하고 동체 후방부에 장착된 덕트 팬을 활용해 이착륙 동력 및 조종력을 확보하였다.

본 논문에서는 소형 덕트 팬 항공기에 대한 전산해석을 수행하여 공력특성을 분석하고 덕트팬 항공기의 설계시에 고려해야 할 사항들에 대해 논하고자 한다.

Table. 1 Efficiency of Ducted Fan

동일 조건	비교 변수	$\sigma=1/2$ propeller	ducted fan	
			$\sigma=1$	$\sigma=2$
power thrust	diameter	$D_R$	$0.707 D_R$	$0.5 D_R$
power diameter	thrust	$T$	$1.26 T$	$1.59 T$
thrust diameter	power	$P_i$	$0.707 P_i$	$0.5 P_i$

1 정회원, 한국항공우주연구원, 항공연구본부

2 정회원, 한국항공우주연구원, 스마트무인기 사업단

\* TEL: 042) 860-2691

\* Corresponding author E-mail: cwkim@kari.re.kr

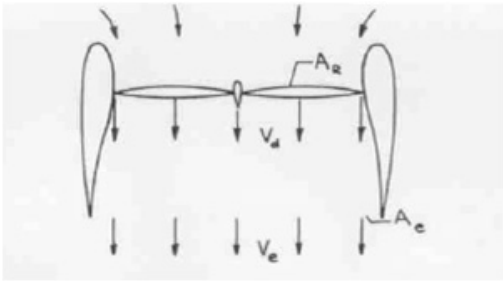


Fig. 1 Schematics of Ducted Fan

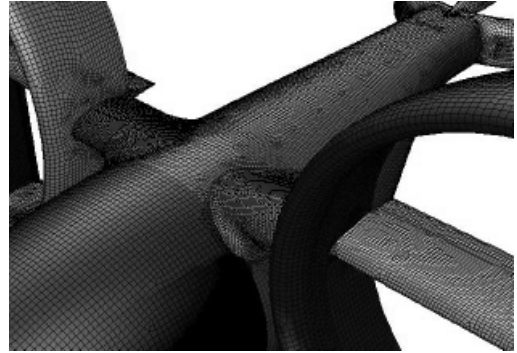


Fig. 3 Surface grid of ducted fan aircraft

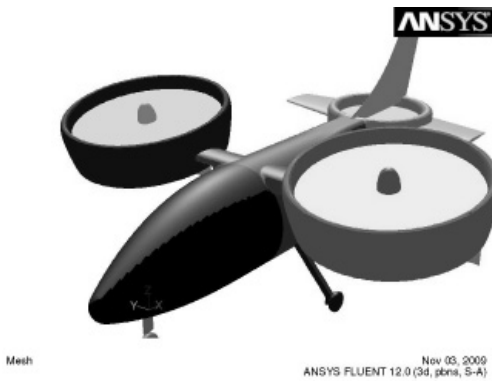


Fig. 2 Configuration of ducted fan aircraft, tilt angle: 90°

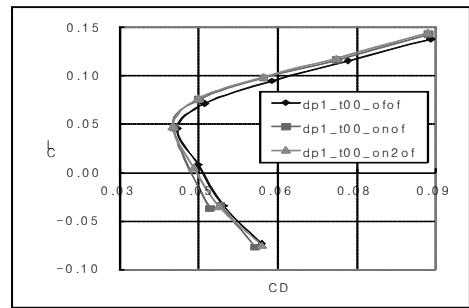


Fig. 4 Drag polar at tilt angle, 0 deg

## 2. 전산해석

### 2.1 계산 격자

Fig. 2의 형상에 대한 전산해석을 수행하기 위해 Fluent사의 Gambit, Tgrid, 및 Fluent V.6.3를 이용하였는데 Gambit 및 Tgrid를 활용하여 격자를 형성하였다. 점성 유동의 모사를 정확히 하기위해 표면 전체에 프리즘을 생성하였다.

나머지 공간은 사면체와 육면체를 혼합하여 채워 유동 해석을 위한 격자를 완성하였다. Fig. 3는 동체, 날개 및 덕트 연결부분의 표면격자를 보여주는데 삼각 및 사각격자로 이뤄져있다. 사각격자는 날개 및 덕트의 앞전 및 뒷전에 조밀하게 배치할 수 있고, 따라서, 동체 표면 격자수를 줄일 수 있으며 연결부위의 복잡한 형상은 삼각격자를 활용하였다.

### 2.2 수치해석

수치해석은 유동 해석 Code인 Fluent V.6.3를 이용하여 수행되었다. 경계조건은 벽면의 경우 점성 유동 해석 시 No-slip 조건이 사용되었고 원방 경계 조건은 비행 고도 조건에 맞는 대기 조건을 입력하고 비행체의 마하수를 고려하여 정하였다. 아음속 유동 해석 시 Fluent에 내제되어 있는 Pressure-based

Solver를 사용하였는데 이는 초음속 유동 해석의 경우에 사용되는 Density-based Solver에 비해 전산기의 용량을 작게 요구하고 계산 속도도 빠르다. 또한 외부유동 해석에 정확성을 갖는 Spalart-Allmaras 모델링을 사용하여 난류에 의한 점성을 산출하였다. 반복계산 초기에는 1차의 정확도를 갖는 수치기법을 사용하였고 유동해가 어느 정도 수렴된 후에는 2차의 정확도를 갖는 수치기법이 사용되었다. 팬에서 발생하는 추력효과는 Actuator Disk Model을 사용하였는데 Disk 면에서 동일한 추력이 발생하는 것으로 가정하여 일정한 압력 상승이 발생하는 것으로 처리하였다.

## 3. 전산해석 결과 분석

Fig. 4는 덕트의 틸트각이 0도일때의 drag polar를 나타낸 것이다. 받음각이 증가할수록 항력이 급격하게 증가하는데 덕트의 항력 증가가 주된 원인이다. 이는 최소항력을 유지하면서 비행을 할 수 있는 받음각 영역이 매우 협소함을 나타내는 것으로 순항비행 효율이 높은 항공기 설계를 위해서는 프로펠러의 형상 설계와 더불어 덕트 형상설계에도 많은 노력이 필요함을 알 수 있다.

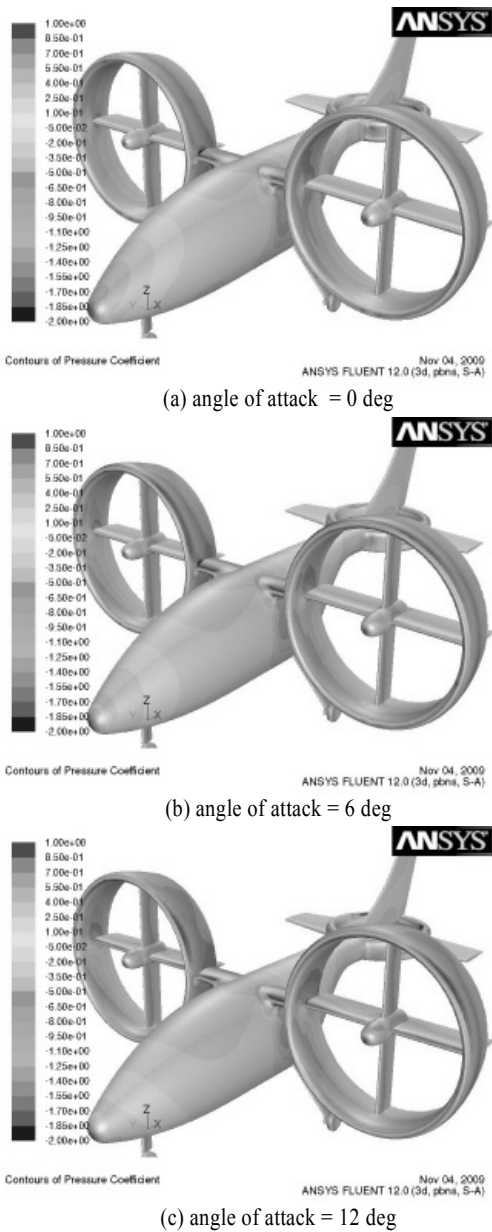


Fig. 5 Surface pressure contour for various angle of attack

Fig. 5는 덕트팬 항공기의 틸트각을 0도로 고정하고 받음각을 변화시키며 해석을 수행한 결과로 표면의 압력분포를 나타낸 것이다. 받음각이 0도 일때는 덕트의 앞전에 정체면이 형성되지만 받음각이 증가할수록 보다 넓은 덕트 표면에 높은 압력이 형성되고 이는 항력증가로 이어짐을 알 수 있다.

#### 4. 결론 및 향후 연구

덕트팬은 프로펠러에 비해 높은 추력을 발생할 수 있지만 항공기의 순항시에 최소항력의 받음각 영역이 매우 협소하다. 따라서 덕트팬 항공기의 설계 시에 덕트 형상설계도 신중히 접근해야하며 덕트의 항력을 줄이기 위해 Natural Laminar Flow 익형의 활용에 대한 연구도 추가되어야 할 것으로 판단된다. 또한 덕트팬 추력장치의 효율을 높이기 위해서 덕트와 프로펠러 끝단의 간격에 대한 연구도 필요하며 끝단 소음을 줄이기 위해 프로펠러 끝단 주위의 덕트 형상에 대한 연구도 추가되어야 할 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

- [1] Kohlman, D.L., *Introduction to V/STOL Airplanes*, IOWA State Univ. Press/Ames.
- [2] 1968, Black, D.M. and Wainauski, H.S., "Shrouded Propellers - A Comprehensive Performance Study," *AIAA 5th Annual Meeting and Technical Display*, Philadelphia, PA, October.
- [3] 1965, Mort, K.W., "Performance Characteristics of a 4-Foot-Diameter Ducted Fan at Zero Angle of Attack for Several Fan Blade Angles," *NASA TN D-3122*, December.