



항공기 포드 냉각용 공기흡입관 내부 유동해석

김 선 태,^{*1} 정 용 인,² 조 승 호,² 문 우 용,² 강 인 모¹

THE INTERNAL FLOW ANALYSIS OF AIR INTAKE FOR THE COOLING OF AIRCRAFT POD

S.T. Kim,^{*1} Y.I. Joung,² S.H. Cho,² W.Y. Moon² and I.M. Kang¹

In this paper, the aerodynamic shape of air intake was investigated for the efficient cooling of electronic equipments in aircraft pod. As a first step, ESDU method was applied for the basic shape design of air intake considering the operational environments. The second step was to confirm the performance on design point, so the internal flow field of air intake was analyzed using a commercial Navier-Stokes code(FLUENT). And also the aerodynamic characteristics of internal flow at off-design condition was investigated with the variations of airflow rate. The results show that the air intake meets the requirement of target performance under the mission environments.

Key Words : 공기흡입관(Air Intake), 내부유동(Internal Flow), 전압력 회수율(Total Pressure Recovery)

1. 서 론

항공기 전자장비는 작동 중에 많은 열을 발생하므로 이를 제어하기 위한 냉각기를 필요로 한다 이러한 냉각기는 비행 중에 대기의 공기를 흡입하여 작동하게 되는데 이때 대기 중의 공기를 공기흡입관을 통하여 얼마나 효율적으로 냉각기로 전달하는 지가 냉각성능에 중요한 요소가 된다 공기흡입관은 항공기의 비행조건의 변화에 민감하지 않으면서 안정적으로 공기를 흡입할 수 있도록 설계되어야 한다 일반적으로 이러한 요건을 만족하기 위해서는 공기흡입관에서 냉각기까지의 내부유로에서의 압력손실을 최소화하고 공기의 유동이 균일하게 유지되어야 한다 압력손실이 커지면 효율이 떨어져 냉각기에 충분한 양의 공기를 공급할 수 없으며 유동이 균일하지 못하면 지속적으로 안정된 공기를 공급해줄 수 없어 냉각성능을 일정하게 유지할 수 없다 유입공기의 유량과 전압력 회수율은 운용환경, 비행 기동상태 예상치 못한 돌풍 등의 영향을 받는다 따라서 설계점에 대한 공기흡입관의 공력형상설계와 더불어 탈설계점에 대한 공기흡입관의 성능변화 예

측 및 검증도 매우 중요하다[1-3].

본 연구에서는 비행조건 및 운용환경으로부터 설계조건을 도출하고 ESDU(Engineering Science Data Unit)의 데이터를 이용하여 공기 흡입관의 공력형상설계를 수행하였다 ESDU는 항공분야의 공력설계에 필요한 광범위한 범위의 검증된 공력 데이터베이스를 제공함으로써 효율적으로 사용하면 설계시간과 비용을 줄일 수 있다[4]. 또한, 설계된 공기흡입관의 공력특성을 분석하기 위해서 상용 유동해석 프로그램인 FLUENT를 이용하여 Navier-Stokes 방정식 수치해석을 수행하였다. 공기흡입관 내부 유동해석을 통해 설계점에서의 공력특성을 확인하였으며, 탈설계점에서의 공력 및 유동특성 변화를 분석하고 검증함으로써, 설계목표 성능을 만족하는 냉각용 공기흡입관을 설계하고자 하였다

2. 흡입관 형상 설계

2.1 흡입관 형상 설계방법

ESDU의 86002[4]는 공기흡입관 내의 유동장에 경계층이 부분적으로 발달되거나 완전히 형성된 경우에 공기흡입관의 저항과 압력회복을 예측하기 위한 데이터를 제공한다 이 예측방법은 이음속의 해석에 적합한 방법으로 준 경험적인 데이터를 제공한다 압력회복이 상대적으로 우수한 Scoop Inlet

1 정회원, 국방과학연구소

2 정회원, 삼성탈레스

* Corresponding author, E-mail: kimst@add.re.kr

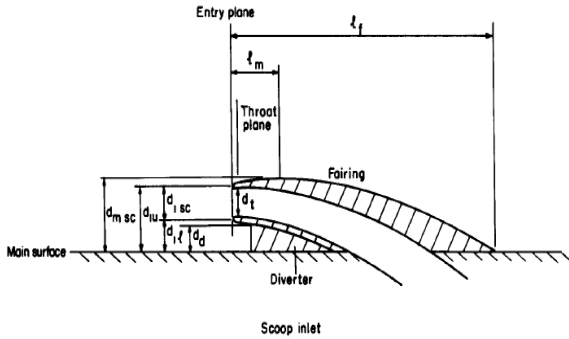


Fig. 1 Air Intake Design Parameters

형상[Fig. 1 참조]을 기본형상으로 하고, ESDU의 데이터를 기반으로 하여 흡입관의 형상을 설계하였다. 램 압력 효율은 0.95를 목표로 하여 설계하였다.

2.2 흡입관형상 매개변수 및 내부형상 도출결과

설계된 흡입관형상은 Fig. 2에 도시한 바와 같으며, 형상을 결정하는 주요 매개변수들의 값은 다음과 같다. 여기에서 각 변수들의 값은 Throat Plane의 직경을 단위 길이로 무차원화하였다.

- 흡입관 최대 높이[\$d_{m,sc}\$] : 2.144
- 흡입관 페어링 길이[\$l_m\$] : 0.540
- 흡입관 하단부 높이[\$d_{1,t}\$] : 0.955
- 흡입관 상단부 높이[\$d_{1,u}\$] : 2.009
- 흡입관 입구직경[\$d_{1,sc}\$] : 1.054
- Throat Plane 직경[\$d_t\$] : 1.0

흡입관 내부 유로형상은 공기 흡입관과 연결되는 냉각기의 장착위치 및 형상, 그리고 작동하는 내부 유동조건 등의 영향을 받는다. 이러한 설계영향인자들을 고려하여 설계된 흡입관 내부형상은 Fig. 2와 Fig. 3에서 확인할 수 있다.

3. 흡입관 내부유동해석

흡입관 내부유동의 공력특성 및 성능을 검증하기 위하여 3차원 Navier-Stokes 방정식을 이용한 상용 전산 유체 해석 코드인 FLUENT를 사용하여 내부 유동해석을 수행하였다. 난류 현상에 대한 수치기법으로는 Spalart-Allmaras 모델을 이용하였다. 일반적으로 S-A 난류모델은 1-ε 지배방정식으로 항공 관련 분야의 해석을 위해 개발되었다. 특히 역압력 구배를 가지는 벽면경계층에 대해 비교적 정확한 결과를 얻을 수 있으며, 짧은 시간에 정확한 해석결과를 제공해 주어 관련분야에

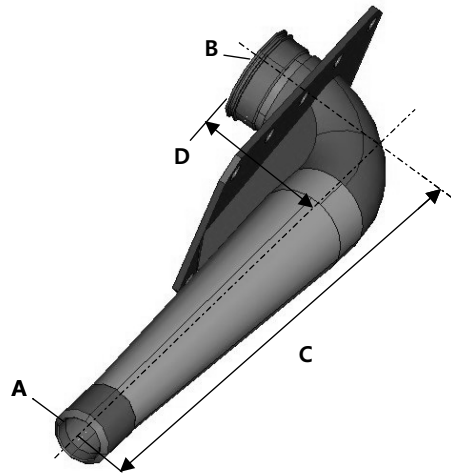


Fig. 2 The Configuration of Air Intake

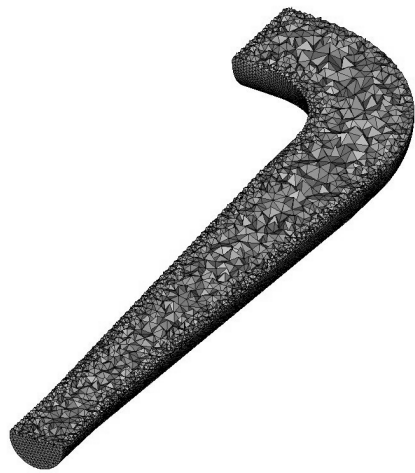


Fig. 3 The Mesh Distribution in a Air Intake

널리 쓰이고 있는 난류모델이다.

3.1 격자생성 및 경계조건

흡입관 내부의 계산격자는 기본적으로 비정렬 격자로 생성하였으며, 경계층 효과를 고려하기 위하여 벽면 부분에는 조밀하게 격자를 구성하였다. 계산에 사용한 격자의 수는 약 15만개 정도이며, 계산격자를 Fig. 3에 도시하였다.

경계조건은 입구의 대기압 및 출구에서 목표하는 유량조건을 만족시키기 위해 입구는 Pressure Inlet 조건을, 출구에서는 Pressure Outlet 조건으로 Target Mass Flow를 설정하였다. 도

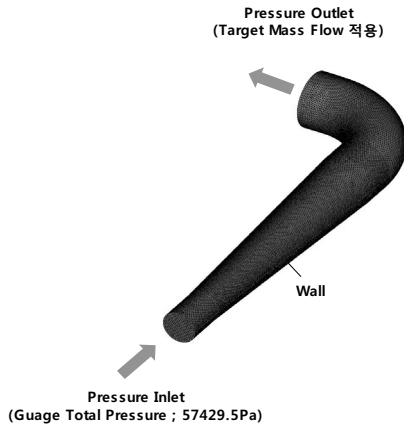


Fig. 4 Computational Domain and Boundary Conditions

메인의 계산격자 및 경계조건은 Fig. 4에 나타내었다.

3.2 해석조건

비행조건 및 운용환경을 기준으로 하여 공기흡입관의 해석 조건을 설정하였으며 비행기동 및 운용환경의 변화를 고려하여 설계점 외 ±10%의 탈설계점에 대한 해석을 수행하고 각 조건에서의 성능변화를 확인하였다(ISA 기준).

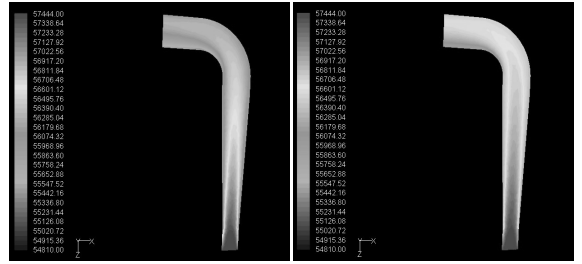
4. 해석결과

Fig. 5는 공기흡입관의 길이 방향의 단면에 대한 전압력의 분포를 도시한 것이다. 내부유동이 흡입구에서부터 출구까지 흐르면서 전압력 손실이 발생하는 것을 볼 수 있다 또한 유량의 변화에 따라 전압력의 분포도 달라지는 것을 볼 수 있는데, 유량이 커지면 전압력의 손실이 커지며 유량이 작아지면 전압력의 손실도 작아지는 것을 볼 수 있다 이는 설계점 유량보다 큰 유량조건에서는 유동속도가 증가하게 되어 굴곡(turning)이 있는 부분에서 역압력구배가 증가하여 전압력 손실이 커지며, 이와 반대로 공기유량이 감소하면 역압력구배가 감소되므로 유동흐름이 안정되어 운동에너지 손실이 작아지게 되고 전압력 손실이 줄어든다

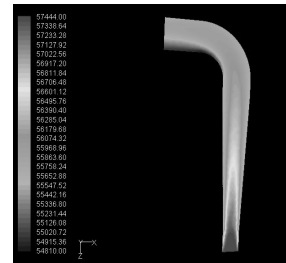
Fig. 6과 7은 각각 공기흡입관의 정압력 분포와 마하수 분

Table 1 Flow Conditions of Air Intake

구분	On-design Condition (m_d)	Off-design Condition A ($90\%m_d$)	Off-design Condition B ($110\%m_d$)
유량[kg/s]	0.11	0.099	0.121

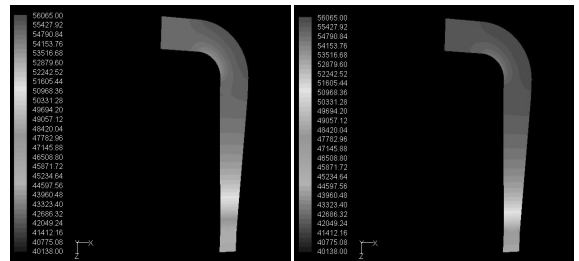


On-design condition : \dot{m}_d Off-design condition A : $0.9\dot{m}_d$

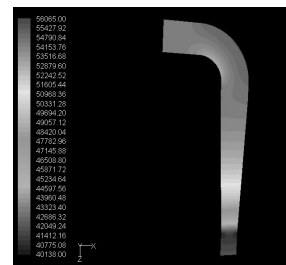


Off-design condition B : $1.1\dot{m}_d$

Fig. 5 Total pressure contours

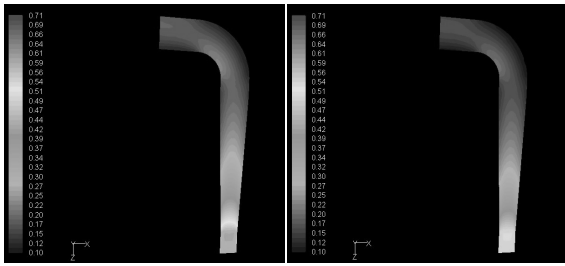


On-design condition Off-design condition A



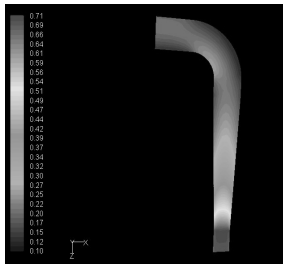
Off-design Condition B

Fig. 6 Static pressure contours



On-design Condition

Off-design Condition A



Off-design Condition B

Fig. 7 Mach Number Contours

포를 도시한 것이다. 흡입구부터 출구까지의 압력분포와 속도 분포를 살펴보면 90도 굽은 부분을 포함한 전체영역에서 유동박리와 같은 급격한 유동현상은 발생하지 않으며 설계점을 기준으로 하여 10%의 공기유량 변화는 흡입관내의 유동에 큰 변화를 야기하지 않는 것을 확인할 수 있다

Table 2에는 설계점 및 탈설계점에서서의 입출구의 전압 유량 그리고 공기흡입관의 효율을 비교하여 나타내었다 여기에서의 효율은 전압력 회수율을 의미하며 설계점 뿐만 아니라 $\pm 10\%$ 유량변화가 있는 탈설계점에서도 공기흡입관의 목표 성능을 만족하는 것으로 판단된다.

Fig. 8은 공기흡입관의 내부유동특성을 분석하기 위해 유동방향의 수직단면에서 전압력선도를 측정위치 별로 도시한

Table 2 Intake Performances according to MFR Variations

조건	Total Pressure[Pa]		Mass Flow Rate[kg/s]		효율[%]
	입구	출구	입구	출구	
On-design Condition	57412.4	56057.5	0.110	0.110	97.64
Off-design Condition A	57416.3	56382.6	0.099	0.099	98.20
Off-design Condition B	57407.0	55610.5	0.121	0.121	96.87

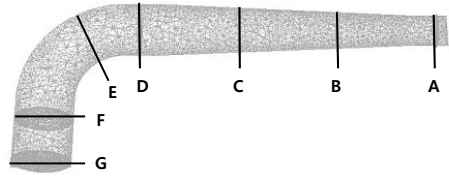


Fig. 8 Reduction Stations of Total Pressure Contours

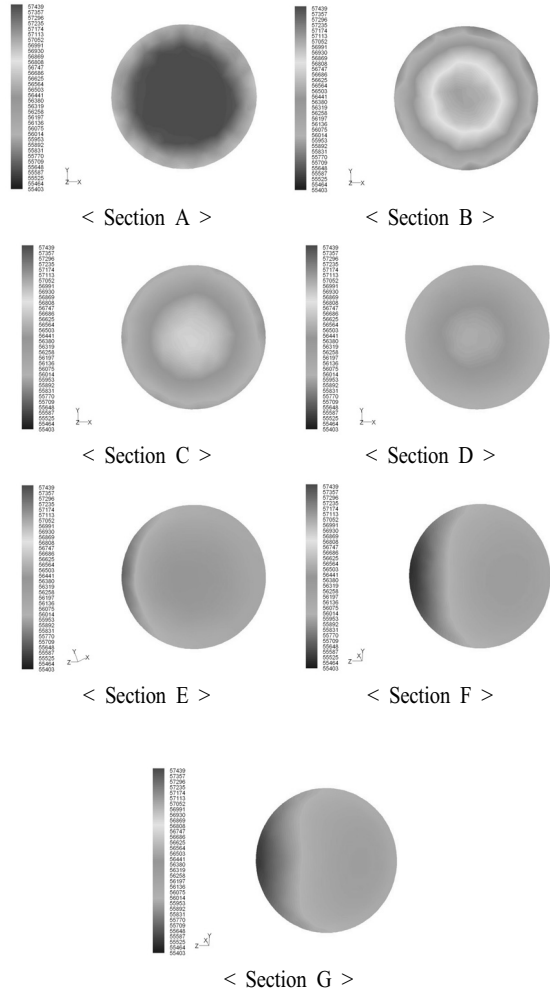
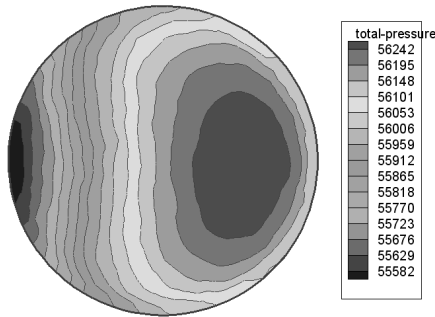


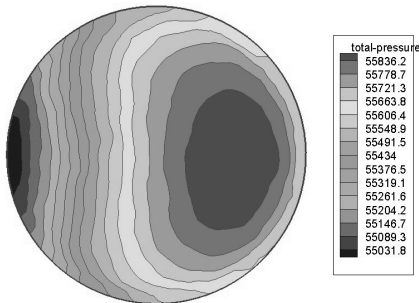
Fig. 9 Total Pressure Contours at On-design Condition

것이다.

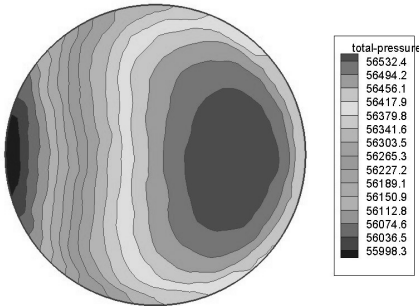
Fig. 9와 Fig. 10을 통해 공기흡입관 내 유동의 안정성을 확인할 수 있다. 즉, 각 단면에서 전압력의 큰 왜곡현상은 발견할 수 없었으며 비교적 균일한 흐름을 보인다 보통 이음속 흡입관 설계시 내부유동의 왜곡률은 약 0.2이하가 되도록 흡입관 내부형상을 설계하는 것이 일반적이다



On-design Condition



Off-design Condition A



Off-design Condition B

Fig. 10 Total Pressure Contours at Outlet

$$DC90_{RR} = \frac{[P_T(B) - P_T(AA)]_{90}}{P_T(B) - P_S(B)} \quad (1)$$

식 (1)과 같이 표현되는 유동 왜곡 현상을 표현하는 Distortion Index의 값을 확인한 결과 On-design 조건, Off-design A 조건, Off-design B 조건에서의 값이 각각 0.146, 0.136, 0.170으로 나타났으며, 이를 통하여 유동 왜곡현상이 크지 않다는 것을 확인할 수 있었다.

5. 결 론

ESDU 데이터를 이용하여 공기흡입관을 설계하였으며 흡입관 내부형상에 대한 유동해석을 통하여 공기흡입관의 성능을 검증하고 내부 유동장 특성을 분석하였다 설계된 공기흡입관은 설계점에서 높은 효율의 성능을 보였으며 탈설계점에서도 목표성능의 효율을 만족하는 결과를 얻을 수 있었다 또한 유동의 균일성과 유동왜곡 현상을 분석하여 공기흡입관의 유동 안정성을 확인하였다

본 연구를 통해 항공기의 임무환경조건하에서 목표성능을 만족하는 냉각용 공기흡입관을 설계하고 그 설계 결과를 확인하였다.

참고문헌

- [1] 2005, Ran, H. and Mavris, D., "Preliminary Design of a 2D Supersonic Inlet to Maximize Total Pressure Recovery," *AIAA Journal*, No.2005-7357.
- [2] 2005, 김수환, 권장혁, "아음속 확산형 S-덕트 최적 설계에 관한 연구," *한국전산유체공학회 논문집*, pp.121-126.
- [3] 2006, 이형진, 외4인, "마하 4 초음속 공기 흡입구 유동 특성에 관한 연구," *한국항공우주학회* Vol.34, No.1, pp.61-70.
- [4] 1986, *ESDU 86002*.
- [5] 1998, *FLUENT 5 User's Guide*, Fluent Incorporated.