



목 면적 변화에 따른 터빈노즐 내부 유동 특성에 관한 수치적 조사

김영철,¹ 강원태,² 신병록^{*3}

A NUMERICAL INVESTIGATION ON THE INTERNAL FLOW CHARACTERISTICS IN TURBINE NOZZLE BY VARIATION OF ITS FLOW AREA

Y.C. Kim,¹ W.T. Kang² and B.R. Shin^{*3}

A numerical simulation was performed to investigate the internal flow characteristics in gas turbine nozzle by the variation of flow area of the nozzle. In general the area of turbine nozzle is chosen by the most substantial factor on performance improvement of turbine at the first stage. In the performances test through CFD analysis for three types of nozzle with conventional, enlarged and reduced area, reduced one with effective flow area (EFA) was the most efficient. That is the minimum effective value within EFA limit defined by the manual of technical order had a good performance. It is useful to avoid the low power problem in the test of performance after maintenance and overhaul of turbine engine.

Key Words : 유동특성 (Flow Characteristics), 유효 목면적 (Effective Flow Area), 터빈 노즐 (Turbine Nozzle)

1. 서 론

현대의 항공기 엔진은 왕복 엔진에서 벗어나 거의 대부분이 가스터빈 엔진을 사용하고 있다. 그 이유는 왕복 엔진과 비교할 때 마력에 비해 중량이 월등히 적고, 주요 구성 부품에 왕복운동이 없기 때문에 피스톤과 실린더 사이에 마찰 작용이 없어 그에 따른 윤활유 소모가 극히 적고, 진동이 적으며, 고속 회전이 가능하여 고성능 엔진 설계가 가능하기 때문이다.[1] 또한 가스 터빈 엔진의 경우 크게 압축기, 연소실, 터빈으로 나누어져 있어 정비가 용이하고, 부품의 신뢰성이 크게 향상되어 사용 시간이 길어져 Overhaul 주기가 그만큼 연장된다. 일반적으로 가스터빈 엔진의 경우, 정비나 Overhaul 수행 후 엔진을 성능 테스트할 때 Low power결함이 자주 나타난다. Low power는 정격 출력보다 낮은 출력을 내는 것으로 다양한 원인이 있지만, 본 논문에서는 터빈노즐의 목 면적과 터빈 성능과의 밀접한 관계에 대하여 전산해석 하고 목 면적 변화에 따른 터빈노즐 내부 유동 특성에 관한 수치적 특성을 조사 한다.

2. 지배 방정식 및 수치해석

지배방정식은 압축성 연속방정식과 운동량방정식으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u}) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho \mathbf{u}}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho \mathbf{u} \mathbf{u}) = -\nabla p + \nabla \cdot (\mu_{eff} \nabla \mathbf{u}) + \mathbf{B} \quad (2)$$

여기서 ρ 는 유체밀도, \mathbf{u} 는 유체속도, t 는 시간, \mathbf{B} 는 Body Force의 합, μ_{eff} 는 $\mu + \mu_t$ 로 난류를 고려한 유효점성이다. 난류의 계산에서는 SST 난류모델을 이용하여 해석하였다. 본 연구에서는 고압 터빈노즐 (1단계 터빈노즐)에 대해 목 면적을 기존 형상 (Case 1)에 대해 받음각을 약 1° 줄인 경우 (Case 2)와 이와 반대로 받음각이 1°큰 경우 (Case 3)에 대해 정렬 다중블럭 계산격자를 생성하여 계산하였다. 격자의 개수는 총 64,584개로 CFD_ACEM을 이용하여 형성하였고, 전연과 후연 근방을 조밀하게 하였다. 작동유체는 공기이며 유동장의 입구부에는 일정속도, 출구부에는 압력에 대한 Dirichlet 조건을 부여하였다. 또한 날개에 대해서는 no-slip 조건을 주었으며 계산은 CFX 상용코드[2]를 이용하였다.

1 창원대학교 산업대학원 기계공학과

2 창원대학교 대학원 기계공학과

3 창원대학교 기계공학과

* Corresponding author, E-mail: brshin@changwon.ac.kr

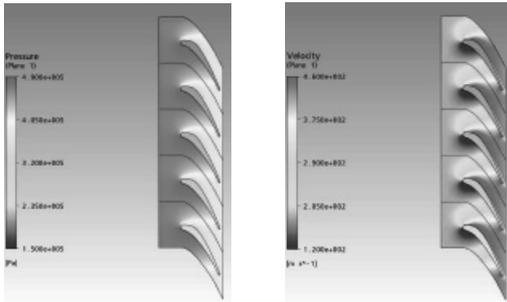


Fig. 1 Pressure and velocity magnitude of turbine nozzle cascade (Case 2)

3. 수치해석 결과

Fig. 1은 목 면적을 줄인 경우의 유동장에 대해 익렬 주변의 압력분포와 속도분포를 나타낸다. 노즐의 받음각으로 인해 부압면의 경우 유속은 주변보다 빠르고 압력은 낮아진다. 이와 반대로 압력면의 경우 유속은 부압면의 속도보다 낮으나 주변보다 높은 압력이 나타남을 알 수 있다. Fig. 2은 각 Case에 대해 익현비(X/C)에 따른 압력계수(C_p)의 변화를 나타낸 그래프이다. 이 그림에서 목 면적을 줄인 Case 2의 경우 압력차는 가장 크게 나타났다. 1단 터빈노즐을 수치 해석한 결과 Case 1은 Fig. 3에서와 같이 출구압력이 381.1 kPa로 나타났으며, 속도는 390.2m/s로 계산되었다. Case 2는 출구 압력이 496.7kPa로 약 2.5% 증가 하였고, 출구속도가 415.0m/s로 Case 1보다 약 6% 상승효과가 있었다. Case 3의 출구 압력은 454.8kPa로 약 0.08% 감소하며, 출구 속도는 360.0m/s로 Case 1 보다 약 7.6% 감소율을 보였다.

결과적으로 노즐의 목 면적을 줄인 경우 (Case 2)가 속도가 상승함으로 축 동력 약 6.4%, 체적유량 약 7.4% 증가하여 가장 높게 나타났고, 목 면적을 넓힌 경우 (Case 3)는 축 동력 약 7.6%, 체적유량 약 7.4% 감소한 결과 값을 나타내었다.

4. 결론

본 논문에는 터빈 성능 향상을 위한 방법 중에서 가장 큰 영향을 미치는 인자로 알려진 1단계 터빈노즐 목 면적을 조절하는 방법에 대하여 조사하였다. 유동해석 결과 다음과 같은 결론을 얻었다. 1단 고압터빈노즐의 목 면적을 줄이면 공기의 속도가 상승함을 확인하였다. 이는 터빈 로터를 회전 시키는 모멘트를 증가시키고 따라서 GP 터빈 로터 회전수를 상승시킨다. 그 결과 압축기 로터 회전수가 증가하고, 압축기

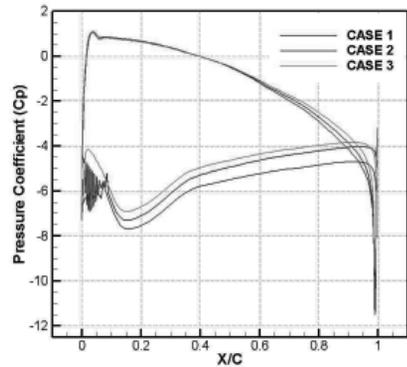


Fig. 2 C_p distribution according to the (X/C)

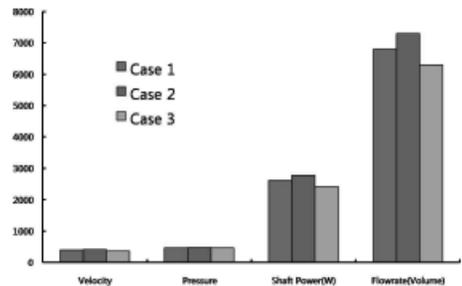


Fig. 3 Nozzle performance

압축비 상승 및 공기 유량 증가로 저압터빈을 구동하는 축 동력이 증가하여 결국 출력 상승으로 이어진다. 이때 터빈 노즐 목 면적 조절은 엔진 설계점 이내의 허용된 범위 내에서 최소점으로 조절해야하며 최소점 이하로 조절하면 엔진의 Surge Line에 가까워져 엔진 압축기 실속 및 Surge를 일으킬 수 있는 원인이 될 수 있으므로 이 한계는 지켜져야 한다.

5. 후 기

이 논문은 2009년도 교육과학기술부의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받은 ‘다중현상 CFD연구센터(ERC)’의 과제로 수행된 연구임 (No.2009-0083510).

참고문헌

[1] 1989, 홍용식, 가스터빈 엔진 이론과 적용, 청문각, pp.1-9, 65-71, 145-184, 263-311.
 [2] 2007, Ansys Inc., ANSYS CFX User Guide," Ver. 11.