

# 파이로 시동기의 압력변화와 터빈 블레이드 회전수 변화에 따른 충동형 터빈 블레이드 입구의 가스온도 분포 해석

이인철\* · 변용우\* · 구자예\*\* · 이상도\*\*\* · 김귀순\*\*\* · 문인상\*\*\*\* · 이수용\*\*\*\*

## Numerical Study of Turbine Blade Surface Gas Temperature with Various RPM and Pyro Starter Pressure

Inchul Lee\* · Yongwoo Byun\* · Jaye Koo\*\* · Sangdo Lee\*\*\* · Kuisoon Kim\*\*\*  
· Insang Moon\*\*\*\* · Sooyoung Lee\*\*\*\*

### ABSTRACT

As the partial admission turbine has a intrinsically unsteady and three dimensional flow region, numerical calculation time of these study has been too long time. The numerical analysis for gas temperature of turbine blade surface has been performed to investigate development of temperature with various pyro start pressure. Computations have been carried out several turbine rotational speeds in the range from 0 to 16000 rpm and inlet conditions with 1423K, 7.2MPa. As a result, the more rotational speed and pyro starter pressure of turbine increased, the more turbine blade's temperature decreased. It is also found that flow field of turbine blade inlet area at pyro starter pressure of 5.75MPa and rotational speed of 12100 rpm formed surface temperature uniformly.

### 초 록

부분 흡입형 터빈의 표면 가스온도 분포 해석은 유동장 내부가 3차원의 매우 복잡한 유동장을 구성하기 때문에 실제 해석상 많은 시간이 소요된다. 파이로 시동기는 입사각 18°로 설치되어 있으며, 105개의 충동형 터빈 블레이드로 구성되어 있다. 다양한 파이로 시동기 압력 변화에 대하여 터빈 블레이드의 표면 가스온도 분포 해석이 이루어 졌으며, Round형의 터빈 블레이드는 1423K의 온도와 7.2MPa의 압력 조건에서 16000rpm까지 회전하게 된다. 파이로 시동기의 압력과 터빈 블레이드의 회전수가 증가함에 따라 터빈 블레이드의 표면 가스 온도는 하강하게 되며, 파이로 시동기 압력이 5.75MPa 이고 회전수가 12100rpm의 보다 증가함에 따라 터빈 블레이드로 입구의 유동장에는 균일한 표면 가스 온도가 유입되는 것을 확인 할 수 있었다.

Key Words : Pyro-Starter(파이로 시동기), Turbine Blade RPM(터빈회전수),

\* 한국항공대학교 항공우주및기계공학과

\*\* 한국항공대학교 항공우주및기계공학부

\*\*\* 부산대학교 항공우주공학과

\*\*\*\* 한국항공우주연구원

연락처자, E-mail : leeincc@kau.ac.kr

TEL : (02)300-0116

### 1. 서 론

액체 로켓엔진에 적용되는 터보펌프는 우주발사체용 액체 로켓엔진의 핵심적인 요소이다.

이러한 터보 펌프는 초기 시동시에 파이로 시

동기를 사용하고 노즐 출구에서 나오는 고온·고압의 연소가스를 이용하며, 이로 인하여 터빈 블레이드는 큰 토크와 열응력 받게 된다. 특히 블레이드의 엣지는 높은 열 부하와 냉각의 어려움 때문에 파손에 대한 염려를 항상 남겨두고 있다. 터빈 블레이드는 0.5초 이내의 구간에서 파이로 시동기를 이용하여 약 10000 RPM까지 상승 후, 약 1.5초 이후에는 정상상태에 도달하여 약 17000 RPM 이상의 회전수로 구동된다. 파이로 시동기로 공급되는 고압의 연소가스 온도가 너무 높게 되면 블레이드를 손상시킬 우려가 있기 때문에 공급 가스의 온도는 터빈의 재질에 따라서 제한되어진다[1]. 터보 펌프의 시동 재현성과 신뢰성을 확보하기 위해서는 초기 시동시 터빈에 대한 적절한 시동가스 압력과 온도를 파악해야 하며, 시동부터 정상 상태까지 도달할 때의 터빈 블레이드 표면의 가스 온도 발달과정에 대해서도 연구가 이루어져야 한다. 초기 시동시 충동형 터빈 입구와 유로에서는 궁형 충격파가 발생하며, 블레이드 코드길이 40% 이상에서는 박리를 동반한 상대적인 흐름으로 비정상적인 특성이 나타난다[2][3][4]. 본 논문에서는 파이로 시동기의 다양한 압력 변화와 터빈 회전수 변화에 따른 입구 유동장과 터빈 블레이드 유로의 가스 온도 분포 특성에 대하여 파악하고 분석하였다

## 2. 본 론

### 2.1 형상 모델링 및 수치기법

터빈 블레이드에 대한 형상은 Round edge를 지닌 충동형 터빈의 형상으로 구현하여 3D CAD 프로그램을 이용하여 모델링된 후 전처리 과정 단계(IGG)를 거쳐 각각의 블레이드 통로와 노즐 통로에 대한 격자를 생성하였다. 본 논문에 제시된 블레이드의 엣지 반경은 0.25 mm, 터빈 블레이드 중심 반경은 140 mm, hub 또는 Tip 까지 거리는 10.75 mm, 노즐 출구로부터 블레이드 edge까지의 거리는 3 mm, 블레이드의 흡입면 원호반경은 4 mm, 압력면 원호반경은 7 mm 이며, 블레이드의 입사각은 18°, 코드길이는 13.4mm 이다. 계산을 위하여 압축성 전문 상용

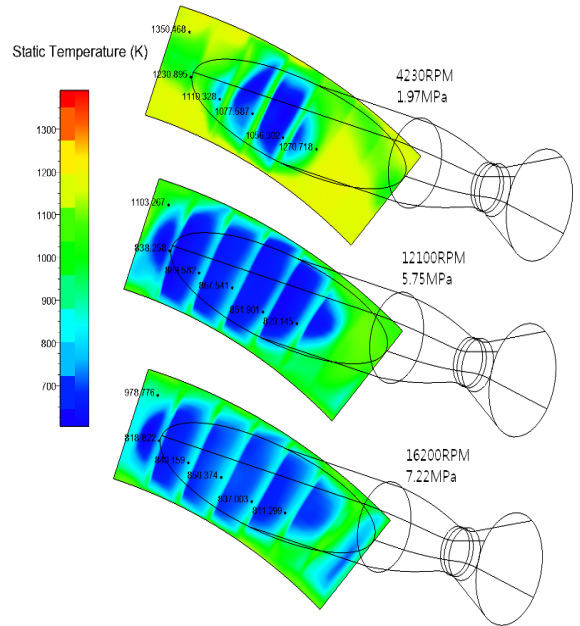


Fig. 1 Comparison with Gas Temperature for the Blade Inlet Region

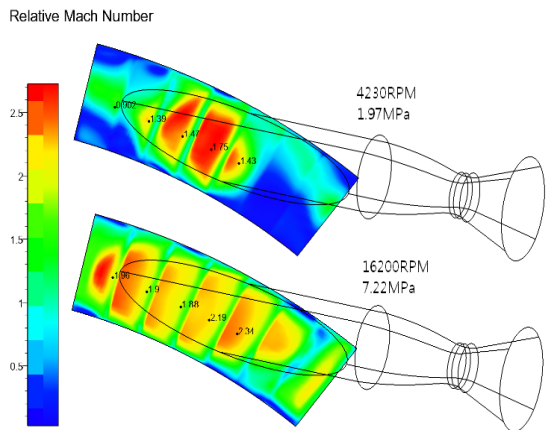


Fig. 2 Comparison with Relative Mach Number for the Blade Inlet Region

프로그램을 계산에 사용하였으며, 결과물 도출을 위한 수치적 기법으로는 3차원 Navier-Stokes 지배 방정식, 4차 Explicit Runge-Kutta 차분, Bladwin-Lomax 난류 모델을 사용하였으며, 또한 수렴의 가속을 위하여 3단계의 다중격자법 (multigrid-method)을 적용하였다. 노즐 입구의 전압력은 7.3 MPa, 전온도는 1423K이고 출구의

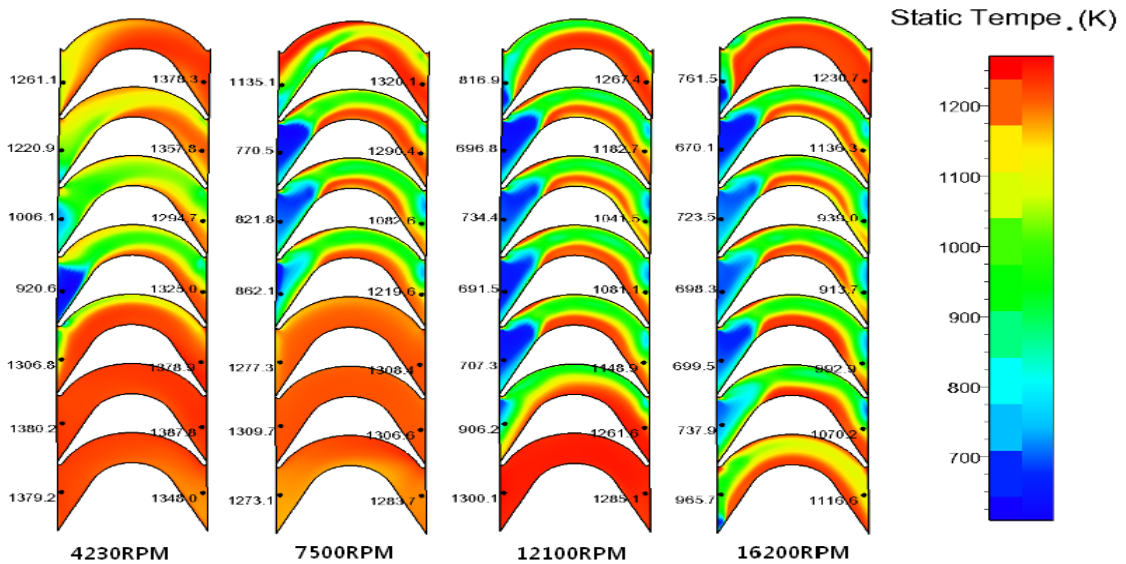


Fig. 3 Comparison with Gas Temperature for the Blade Passage Region

정압력은 0.4 MPa이다. 계산에 사용된 연소 가스의 물성치는  $\gamma=1.286$ ,  $R=406 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ ,  $C_p=1825.58 \text{ J/kg}\cdot\text{K}$ , 질량유량=1.2(kg/sec)이다. 계산은 정상상태로 가정된 후 로터는 원심력과 코리올리 힘을 고려하여 회전 좌표계에서 계산을 수행하며, 정지부인 로터 출구 하류 부분은 절대좌표계에서 계산을 수행하는 방법을 적용한 프로즌 로터(frozen rotor)기법을 적용하였다[5].

### 3. 결과 및 고찰

Figure 1은 터빈 블레이드 입구 유동장에서 블레이드 회전속도와 압력 변화에 대한 가스 온도는 나타낸 그림이다. 터빈 블레이드의 회전수와 압력이 상승함에 따라 블레이드 입구 유동장의 가스 온도는 하강한다. 저RPM, 저압력 조건에서는 노즐 출구 중심부의 가스 온도가 약 1050K를 형성하여 블레이드로 유입되며, 노즐 출구 가장자리 부분에는 높은 가스 온도가 형성된 것을 볼 수 있다. 블레이드가 고속으로 회전함에 따라서 노즐과 블레이드 사이의 유동장에는 경계층이 형성되고 노즐 전체 분사 면적에 해당하는 블레이드 모든 부분으로, 약 900K의 가스 온도를 지닌 유동이 진입하게 된다. Fig. 2는 블레이드

드 입구 유동장에서 마하수 분포를 나타낸 그림이다. 입구 유동장의 가스 온도 분포와 동일하게 저RPM, 저압력 조건에서 노즐 중심에 큰 마하수 분포를 보이며 고RPM, 고압력 조건에서는 노즐 출구 형상과 균일하게 마하수 분포가 이루어진 것을 볼 수 있다. Figure 3은 각각의 블레이드 유로 중심에 대한 가스 온도를 나타낸 그림이다. 저 RPM에서는 노즐 출구 중심부에 해당하는 유로에서 약 920K의 가스 온도 분포를 보이며 노즐 출구 가장자리 아래 영역에서는 1380K의 가스 온도 분포를 나타낸다. 터빈 블레이드의 회전수와 압력이 증가할수록 노즐 출구 중심부에 해당하는 유로에서는 가스 온도가 하강하게 되며, 16200RPM의 조건에서는 유로 중심의 온도가 약 700K 까지 하강하게 된다. 그리고 유로 중심 온도가 낮은 경우에 코드길이 약 40% 지점에서 박리가 나타나는 현상으로 볼 수 있다. Fig. 4에서는 터빈 블레이드의 회전수와 파이로 시동기의 압력 변화에 따른 터빈 블레이드 입구 유동장에서 평균 가스 온도와 마하수 변화에 대한 3차원 그래프를 나타낸 것이다.

Fig.3, Fig.4와 마찬가지로 터빈 블레이드의 회전수와 파이로 시동기의 압력이 증가함에 따라 터빈 블레이드 입구 유동장의 평균적인 가스 온

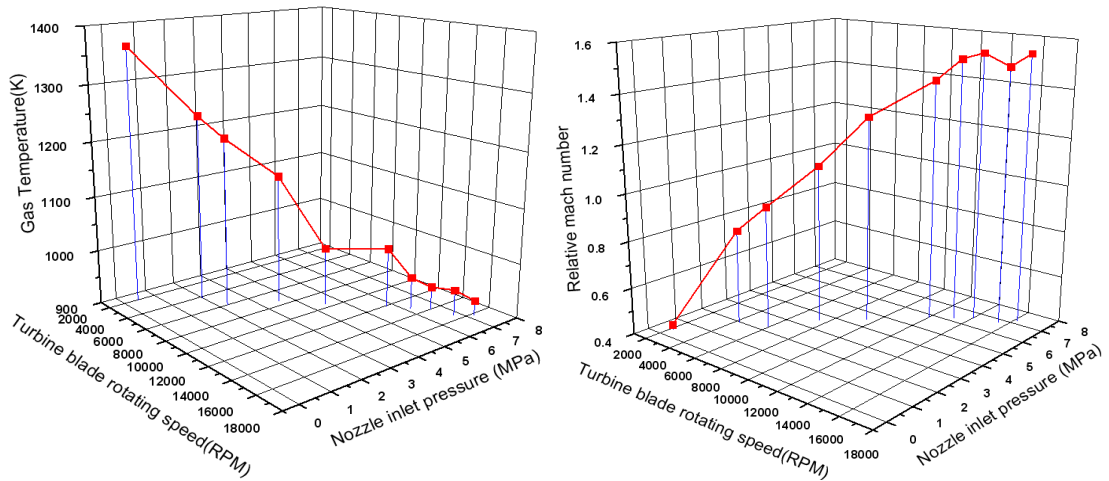


Fig. 4 Progress of Gas Temperature & Mach number Development for the Blade Inlet Region

도는 약 1380K에서 900K까지 하강하게 되며, 상대 마하수의 경우는 터빈 블레이드의 회전수가 증가하고 압력이 증가함에 따라 상대 마하수는 증가하는 것으로 나타났다.

#### 4. 결 론

터빈 블레이드 회전수와 파이로 시동기 압력 변화에 따른 블레이드 입구 유동장 가스 온도 분포 특성을 파악하기 위하여 상용 프로그램인 Fine™/Turbo를 사용하였다.

터빈 블레이드의 회전수와 압력이 낮을 경우에는 노즐 출구 중심면에서 낮은 가스 온도와 높은 마하수를 보였으며, 최종적으로 터빈 블레이드의 회전수와 압력이 증가함에 따라 노즐 출구 전체 형상과 비슷한 면적에 약 850K의 가스 온도 분포와 약 2.0의 마하수 분포를 보였다.

각각의 충동형 블레이드 유로 중심에서 가스 온도가 낮을 경우에는 코드길이 약 40% 지점에서 박리가 일어나는 것으로 나타났다.

터빈 블레이드의 회전수와 압력이 증가함에 따라서 터빈 블레이드 입구 유동장에 대한 평균 가스 온도는 하강하였으며, 평균 상대 마하수는 증가하는 것으로 나타났다.

#### 후 기

본 연구는 지식경제부 소형위성체(KSLV-1) 개발사업의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. 신봉근, 정수인, 김귀순, 이은석, "충동형 초음속 터빈 익렬의 설계 변수에 따른 익렬내 유동 특성에 관한 수치적 연구," 한국추진공학회지, 제8권, 제2호, 2004, pp.62-72.
2. 이은석, 노준구, 김진한, 조광래, "프로즌 로터 기법을 이용한 부분 흡입형 터빈 CFD 해석," Proceedings of The Third National Congress on Fluids Engineering, August 26-28, 2004.
3. 이은석, "CFD를 이용한 부분흡입형 터빈 공력 형상 설계," 대한기계학회 논문집 B권, 제3권 제11호, pp. 1131-1138, 2006.
4. 노준구, 정은환, 이은석, 김진한, "프로즌 로터 기법을 이용한 부분 흡입형 터빈 수치해석," 유체기계저널, 제7권, 제6호, pp. 15-20, 2004.
5. Griffin. L. W. and Dorney. D. J., "Simulation of the Unsteady Flow Through the Fastrac Supersonic Turbine," Journal of Turbomachinery, Vol 122, pp. 225~233, 2000.