

1.5단 축류 터빈의 익단 유동 특성에 관한 수치해석

황동하* · 정요한* · 백제현** · 이동호***

A Numerical Analysis of Tip Flow Characteristics in An 1.5 Stage Axial Turbine

Dongha Hwang* · Yohan Jung* · Jehyun Baek** · Rhee Dongho***

ABSTRACT

Tip clearance is a critical point in turbine to reduce friction between blade and casing. To estimate the direct effectiveness of the tip clearance, numerically analyzed are flow passing through rotors with and without tip clearance. The Results by CFX tells that rotors with tip clearance have vortex structure which makes larger loss in turbine, and shows lower total-to-total efficiency than that without tip clearance.

초 록

터빈의 익단 간극은 블레이드와 케이싱간 마찰을 줄이기 위한 중요한 부분이다. 수치 해석을 통해 익단 간극이 직접적으로 터빈에 미치는 영향을 판단하기 위하여 UTRC 터빈을 익단 간극이 있는 경우와 없는 경우로 나눠 계산을 수행하였다. CFX를 통해 도출된 해석결과는, 익단 간극이 있는 경우 생성된 와류가 터빈 전반에 걸친 손실을 일으키고 그 결과 익단 간극이 없는 터빈에 비해 더 낮은 전압 효율을 보인다.

Key Words: Tip Clearance (익단 간극), Tip Leakage Flow (익단 누설 유동)

1. 서 론

에너지 효율에 관한 문제가 대두되는 요즘 터빈 엔진의 전반적 성능 및 효율에 관한 문제도 다각도의 차원에서 재조명 되고 있다. 다양한 방법을 통한 접근이 이루어지고 있지만 그 중에서

본 논문은 터빈의 요소 중 익단 간극과 관련하여 유동 해석 결과를 얻고자 한다.

터보기계의 동익과 케이스 사이에는 요소간 마찰을 피하기 위해 익단 간극(tip clearance)이 존재한다. 이는 마찰에 의한 손실을 줄이고자 하기 위함이지만 실제로 터빈의 익단 간극에서는 검사와 수리가 자주 있는 만큼 익단 누설 유동(tip leakage flow)에 의한 강한 난류, 효율 저하, 공력 손실, 소음 및 진동 등의 문제가 발생한다 [1]. 일반적으로, 동익 블레이드 높이의 1%의 크

* POSTECH 기계공학과 대학원
 ** POSTECH 기계공학과 교수
 *** KHP 엔진팀

기를 갖는 익단 간극은 1~3%의 성능 저하를 가져온다[2]. 이러한 이유로 익단 간극에 의한 효율 저하를 막기 위해 다양한 방법이 시도되었다. Ameri 등은 스킨러(squealer) 효과가 적용된 익단 간극을 이용하여 열전달 특성 및 효율에 관한 연구를 수행 하였다[3][4]. 또한 Azad 등은 익단 간극 크기에 따른 열전달 계수의 변화를 확인하였다[5].

2. 계산 형상 및 격자

본 논문에서 사용한 격자계는 UTRC(United Technologies Research Center)의 LSRR(Large Scale Rotating Rig) 1.5단 터빈이다. Fig. 1의 LSRR은 축류 터빈의 내부 유동 분석을 위해 제작된 것으로 이 터빈의 경우 종횡비(aspect ratio)가 Table. 1에서처럼 작기 때문에 내부의 삼차원 유동 특성이 강하고 또한 허브와 케이싱의 영향이 크다.

대상 터빈은 1단 정익 22개, 1단 동익 28개, 2단 정익 28개로 익렬비가 복잡하여 해석의 어려움이 따른다. 때문에 Rai(1987)의 익형 재구성 방법을 통해 Fig. 2와 같이 익렬비를 단순화하여 계산을 용이하게 하였다. 주기성을 갖는 격자는 각각의 유로에 해당하는 정익, 동익을 먼저 CAD 작업 한 후 양질의 격자를 얻기 위해 H-type 격자계를 ANSYS의 ICEM-CFD를 이용하여 생성하였다.

본 논문에서는 익단 간극의 영향을 알아보기 위해 추가로 익단 간극이 없는 격자를 고려하여 이들의 해석결과를 통해 익단 간극 유무에 따른 유동장의 변화 및 특성을 확인할 수 있다.

Table 1. Geometry Parameter

Parameter	1st Stator	1st Rotor	2nd Stator
Number	22	28	28
Tip	no	1%	no
Aspect Ratio	1.01	0.95	0.93

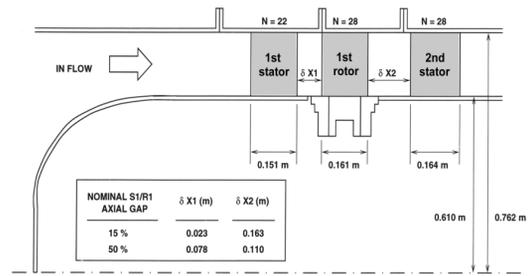


Fig. 1 Schematic Diagram in UTRC 1.5 Stage Axial Turbine

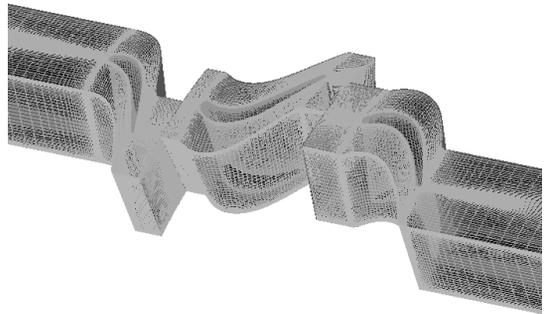


Fig. 2 Computational Grid

3. 계산 조건 및 방법

생성된 터빈은 CFX를 통해 유동계산에 이용되었다. 난류 유동 모델은 일반적으로 터보기계에서 정확한 결과를 도출하는 k-w SST를 사용하였고 후처리 작업은 CFX - Post를 이용하였다.

실제로 익단 간극은 터빈 관련 유동 해석에 있어 비정상 상태의 특성을 보인다. 그러나 본 논문에서는 정상상태와 비정상상태의 해석이 전체 유동구조에는 큰 차이를 보이지 않는다는 가정을 통해 정상상태의 계산을 수행하였다. 다음 Table. 2에서는 입 출구 및 전반적 경계조건을 나타내는 표이다.

Table 2. Operating Conditions

Parameter	
Inlet Total Pressure	101330 Pa
Outlet Static Pressure	95955.7 Pa
Rotating Speed	410 rpm
Inlet Temperature	300 K

4. 해석 결과

터빈 설계 시 익단 간극은 블레이드와 케이싱 간 마찰 때문에 꼭 필요한 요소이다. 실제로 익단 간극이 존재 하지 않는 터빈이라면 마찰 및 소음 등으로 정상 작동하지 않는다. 그러나 수치 해석 상에서는 간극에 의해 발생하는 익단 누설 유동이 발생하지 않으므로 일반의 경우보다 이상적인 결과를 얻을 수 있다.

터빈 내에서 발생하는 유동은 유동장 내의 압력분포에 따라 달라진다. 일반적으로 흡입면과 압력면 사이에는 압력차가 존재하는데 익단 간극이라는 틈으로 이 둘은 연결되어 있다. 따라서 압력차에 의해 익단 간극이라는 틈으로 Fig. 3처럼 익단 누설 유동이 생성되고 블레이드 1% 높이만큼의 익단 간극을 통과하기 위해서는 유동 스스로 고속 저압의 성질을 보인다.

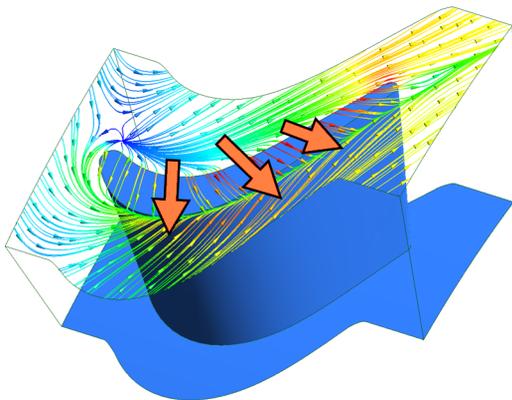
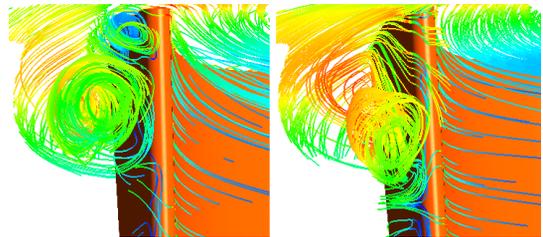


Fig. 3 Tip Leakage Flow at Tip Clearance

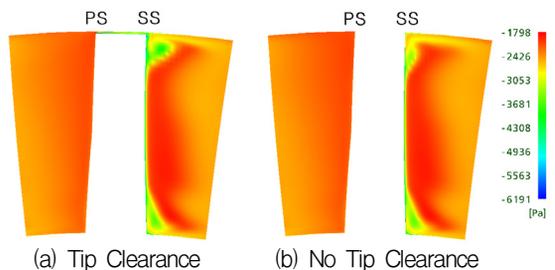
고속의 익단 누설 유동은 압력면, 익단 간극을 통과한 후 흡입면과 만난다. 고속의 성질을 띠고 있는 유동은 블레이드 흡입면을 따라 흐르는 유동과 혼합되어 와류를 발생시킨다. 동익의 스펠 방향 99.5%의 유동장을 3-D로 표현한 Fig. 4에서 이 모습은 잘 나타나있다. 그리고 (a) 그림에서 확인 할 수 있듯이 흡입면을 따라 진행되는 와류는 다시 후단 간극에서 이차와류를 생성한다. 이와 반대로 (b)의 경우에서는, 스펠 방향 99.5% 높이의 유동과 흡입면 유동이 혼합하여 (a)보다 작은 와류를 발생시킨다.

터빈에서의 와류는 동익에서의 일률과 관련 있으므로 이는 곧바로 터빈의 전반적 효율 문제로 연결된다. 특히 Fig. 4에서 (a)의 와류는 익단 누설 유동에 의한 와류와 이차와류가 동시에 발생하므로 그만큼 일과 관련한 효율 저하 문제가 발생한다. 이는 Fig. 5의 전압분포에 잘 나타나 있다.



(a) Tip Clearance (b) No Tip Clearance

Fig. 4 Streamlines at Blade in Tip Clearance Location



(a) Tip Clearance (b) No Tip Clearance

Fig. 5 Total Pressure Distribution at Rotor Mid-Streamwise Location

동익 유동방향 가운데 지점에서의 전압 결과는 Fig. 4의 내용을 뒷받침 한다. 전압 변수는 터빈의 손실 및 효율과 관련되어 있는데 이는 와류에 의한 동익의 손실을 나타낸다. Fig. 5 (a)에서는 익단 누설 유동에 의한 와류 때문에 더 큰 손실이 발생했음을 보인다.

Figure 6은 터빈 케이싱 근처인 85% 스패 단면이다. 각각의 경우 모두 동익 흡입면에서부터 증가하는 분포를 보이는데 (a)에서는 흡입면에서부터 증가한 엔트로피가 2단 정익 전반에 걸쳐 높은 값을 갖는다. 결과적으로 터빈의 일반적 효율을 나타내는 전압효율(total to total efficiency)은 Fig. 6에서처럼 익단 간극에 의한 와류의 영향으로 3.5%의 차이를 발생시킨다.

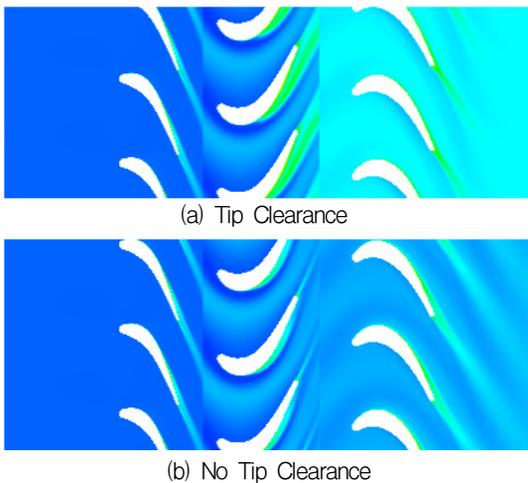


Fig. 6 Entropy Distribution near Shroud

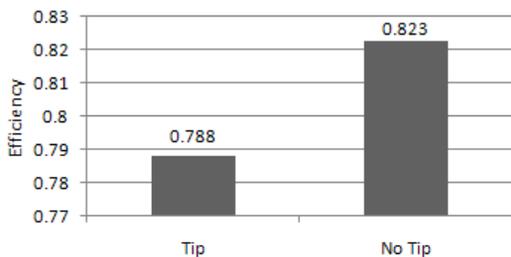


Fig. 6 Total-to-Total Efficiency

5. 결 론

CFX를 이용, UTRC 터빈의 익단 간극 분석을 통해 다음과 같은 결과를 도출하였다.

1. 익단 간극이 존재 하는 경우, 익단 누설 유동의 영향에 의해 간극이 존재 하지 않는 터빈과 달리 와류의 형태가 더 크고 복잡하다.
2. 동익에 발생하는 와류는 터빈 전반의 효율을 저하시키는 요인으로써, 익단 간극이 존재하는 터빈이 그렇지 않은 터빈보다 3.5%의 낮은 효율 값을 보였다.

후 기

동 연구는 지식경제부 한국형헬기 민군겸용구성 품개발사업(KARI주관) 위탁연구결과 중 일부임.

참 고 문 헌

1. 박종일, "Clocking에 의한 1.5단 터빈의 비정상 유동특성에 관한 수치해석," 포항공대 석사학위논문, 2005
2. Booth, T. C., "Turbine Loss Correlation and Analysis," VKI Lecture Series 05, Tip Clearance Effects in Turbomachine, 1985
3. Ameri, A. A., Steinthorsson, E., and Rigby, D. L., "Effect of Squealer Tip on Rotor Heat Transfer and Efficiency," ASME J. Turbomach., 120, 1998, pp.753-759
4. Heyes, F. J. G., Hodson, H. P., and Dailey, G. M., "The Effect of Blade Tip Geometry on the Tip Leakage Flow in Axial Turbine Cascade," ASME J. Turbomach., 114, 1992, pp.643-651
5. Azad, G. S., Han, J., Teng, S., and Boyle, R. J., "Heat Transfer and Pressure Distribution on a Gas Turbine Blade Tip," ASME J. Turbomach., 122, 2000, pp.717-724