

# 터빈 형상에 따른 의료용 에어터빈 핸드피스 유동분석 및 성능에 관한 수치적 연구

이정호\* · 이상도\* · 김귀순\*\*

## Numerical Study on the Effect of Turbine Shape on the Flow Characteristics and Performance of Dental Air Turbine Handpiece

Jeongho Lee\* · Sangdo Lee\*\* · Kuisoon Kim\*\*

### ABSTRACT

In this paper, the effect of turbine shape on the flow characteristics and performance of dental air turbine handpiece were studied using CFD. Computations have been performed for many different cases of the angle between the center-line of nozzle and turbine rotor by using frozen rotor method that one of steady-state method. The characteristics of turbine rotor for three different types (flat, concave, gull) were analyzed. Additionally, the turbine rotor of gull type that has better performance than others was computed for other reflected angles.

### 초 록

본 연구는 지난 연구에 이어서 핸드피스 터빈 형상에 따른 유동특성 및 성능을 수치해석을 이용하여 연구하였다. 정상상태 방법 중 하나인 프로즌 로터 방식을 이용하여 노즐 중심선과 터빈 로터사이의 여러 각도에 따라 계산하였다. 평평한 모양, 오목한 형상, 갈매기 모양 등 3가지 터빈 로터 형상의 특성을 분석하였다. 추가적으로, 가장 성능이 좋은 로터 모양에 있어서 다른 반사각으로 계산을 하였다.

Key Words: Dental air turbine handpiece(치과용 에어터빈 핸드피스), frozen rotor(프로즌로터), static pressure(정압력), flow(유동), turbine rotor(터빈 로터)

### 1. 서 론

의료용 고속 에어터빈 핸드피스는 2bar 이상의 고압 공기를 이용하여 터빈을 300,000rpm 이상의 속도로 회전시켜 이 회전력으로 치아를 절삭하는 기기로서, 치의학분야에 넓게 사용되고 있다. 성능이 잘 알려진 일반 터빈과는 달리 소형의 핸드피스 터빈의 특성은 일반에 잘 알려져

\* 부산대학교 항공우주공학과 대학원

\*\* 부산대학교 항공우주공학과

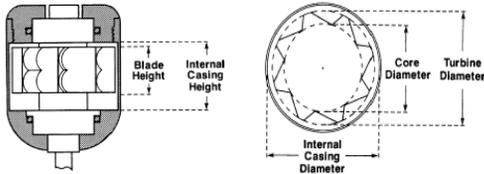
연락처, E-mail: aerohoya@pusan.ac.kr

있지 않다. 이에 따라 본 연구에서는 핸드피스 국산화의 위해 핸드피스 터빈에 대한 수치해석을 수행하여 그 특성을 살펴보았다.

## 2. 핸드피스 자료와 계산 조건

### 2.1 핸드피스 사전 분석

전체적인 터빈부의 치수는 현재 시중에 사용되는 있는 핸드피스 제품을 기본 모델로 하였다. Fig. 1의 (a)와 (b)에서 보이는 것이 헤드부분의 형상[1]이며 내부의 터빈의 치수는 Table 1과 같다.



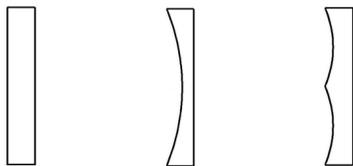
(a) perpendicular plane (b) horizontal plane

Fig. 1 Cross section of handpiece head

Table. 1 measurement of turbine

단위(mm)				
Turbine radius	Turbine height	Core radius	Casing radius	Casing height
4.5	2.6	3	4.6	4.4

터빈 로터 전면부의 형상 또한 현재 시중에 사용되고 핸드피스의 형상 중에서 대표적인 3가지 형태를 가져왔으며, 각각의 형상은 Fig. 2와 같다.



(a) flat type (b) concave type (c) gull type

Fig. 2 Shape of turbine rotor

### 2.2 수치적 계산 방법

본 연구에서는 유한체적법(FVM)을 기반으로 개발된 상용 코드인 FINE<sup>TM</sup>/Turbo를 이용하여 수치적 해석을 하였다. 수치해석은 정상상태 해석의 방법 중 하나인 프로즌 로터방식을 적용하여 계산을 하였다.

프로즌 로터 기법(frozen rotor method)은 로터의 움직임을 무시한 정상상태 해석기법이다. 회전 부분의 지배방정식은 원심력과 코리올리 효과를 고려한 회전 좌표계에서 계산되고 정지 부분의 지배방정식은 절대좌표계에서 계산된다. 회전부분과 정지 부분의 경계면이 결합면으로 처리되기 때문에 상류 경계면의 유동장이 하류 경계면으로 별도의 근사 과정 없이 그대로 전달되며 이로 인해 회전 방향에 따라 변화량이 큰 유동을 실제현상과 유사하게 모사할 수 있다[2].

유동 분석에 있어서 정상상태의 프로즌 로터 방식으로 계산을 하였기 때문에 로터의 위치에 따라 계산결과가 조금씩 달라질 것이라는 예상이 되었다. 그래서 로터의 위치를 조금씩 회전시켜서 수차례 계산 할 필요성이 있었다. 로터의 개수가 8개로 터빈의 형상이 45° 간격으로 반복이 되므로 9°씩 회전부분에 격자를 이동시켜 5가지의 로터 위치에 따른 계산을 하였다(각각을 step 1~5로 표시)

수치적 계산 방법에는 기본적으로 Turbulent Navier-Stokes 방정식이 사용되었다. 수치적 기법에 있어서는 시간에 대해서 4차 explicit Runge-Kutta 적분법을 적용하였고, 공간에 대해서 중심차분법을 이용하였다. 또한, 수렴을 가속시키기 위해 3단계의 다중격자법(multigrid method)을 적용하였다. 난류모델로는 전체 계산 시간 절약을 위해 Baldwin-Lomax을 사용하였다.

경계조건으로는 공기 유입부에 3bar의 전압력, 293K의 전온도,  $V_x/|V|=1$ 의 유동각을 설정해 주고 계산영역 출구에 대기압(1bar)의 정압력을 부여하였다. Fig. 3과 같이 외곽 케이스 주변과 공기 유입로, 배출로 부분을 제외한 터빈 주위에 회전조건을 주어 300000rpm의 조건으로 계산을 실행하였다.

Figure 4는 수치적 계산을 하는 핸드피스의 전체 그리드형상이며, 총 1,945,018 그리드 격자가 사용되었다.

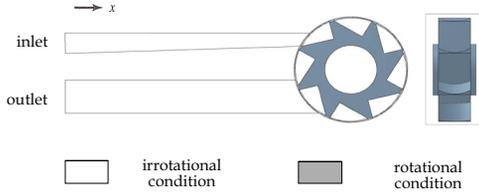


Fig. 3 Computational boundary conditions of handpiece

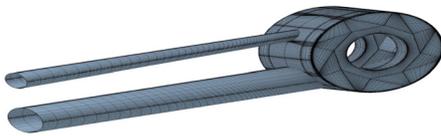


Fig. 4 Computational grid of handpiece

### 3. 결과 분석

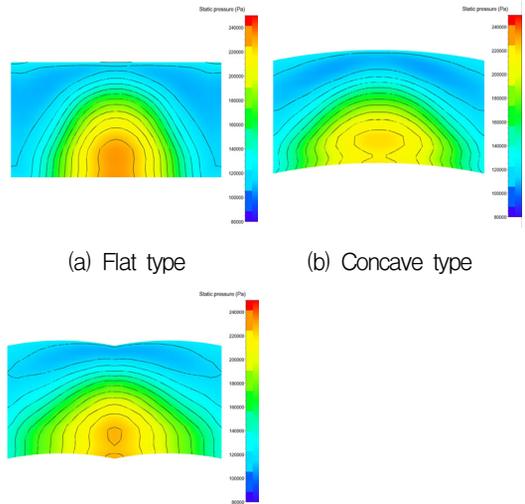
유입된 압축 공기에 의한 힘으로 터빈이 회전하여 토크를 발생시키므로 터빈 로터 전면의 정압력 평균을 살펴보았고 그 결과 수치는 Table 2와 같다.

Table. 2 Average static pressure on turbine rotor

	Flat	Concave	Gull
step 1	156532	161738	160625
step 2	147541	149372	153596
step 3	138256	140459	141847
step 4	141774	143259	143450
step 5	126227	127433	125062
average	142066	144452	144916

전체적으로 결과값을 비교했을 때 평평한 모양보다는 오목한 형상이, 오목한 형상보다는 갈

매기 형상의 로터에서 정압력 분포가 크다고 볼 수 있다. 압축공기가 실제 로터에 어떠한 힘을 가하는지 자세히 살펴보기 위해 step2 에서의 로터 전면의 정압력 분포를 Fig. 5에 나타내었다.



(a) Flat type

(b) Concave type

(c) Gull type

Fig. 5 Static pressure on turbine rotor at step 2

Figure 5의 (a)에서 로터의 중앙 부분에서 높은 압력이 밀집되어 분포하는 현상이 보이는 반면 (b)에서는 압력이 분포가 좌우로 넓게 분포되어 로터의 외곽 부분에서 정압력 값이 올라감을 알 수 있다. 이런 관점에서 보면 평평한 로터 형상에서는 노즐에서 유입된 유체가 로터 벽면에 부딪치자마자 바로 되돌아 나가기 때문에 중심부에만 압력이 집중되는 반면 로터의 곡률이 있을 경우 원활한 유동을 보여 유체가 로터의 벽면을 타고 로터 외곽 쪽으로 흘러 빠져나가 로터에 걸리는 정압력이 전체적으로 고르게 분포되는 것을 볼 수 있다. 이는 수력학분야에 쓰이는 pelton wheel에서도 확인할 수 있는 현상[3]이다. 로터 형태가 갈매기 모양인 (c) 그림을 보게 되면 (b)에 비해 가운데 부분의 압력이 높으며 그로인해 평균 정압력 값의 상승을 가져왔다.

가장 압력이 좋은 갈매기 모양의 로터에서 노즐과 로터 사이의 유동 특성을 살펴보았는데 그 결과는 Fig.6과 같다.

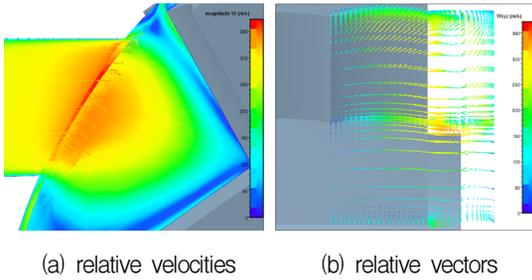


Fig. 6 Relative velocities and vectors at section of nozzle and rotor

Figure 6의 (a)를 살펴보면 들어온 노즐부에서 터빈부로 들어오면서 형상의 차이에 의해 순간적으로 가속되어진다. 그러나 곧 터빈을 만나 속도가 줄어드는 것을 볼 수 있다. (b)에서는 터빈 근처의 유동 형상을 살펴볼 수 있으며, 로터에 부딪힌 유동은 로터의 외곽쪽으로 빠져나오는 것을 알 수 있다.

갈매기 형상에 있어서 추가적으로 반사각에 따른 계산을 하였으며 그 결과 수치는 Table 3과 Fig. 7에 나타나 있다(초기 반사각은 110°임).

Table. 3 Average static pressure on turbine rotor

	단위(Pa)		
	110°	130°	150°
step 1	160625	163353	165865
step 2	153596	156082	156634
step 3	141847	142960	144464
step 4	143450	144362	143957
step 5	125062	124635	119558
average	144916	146278	146096

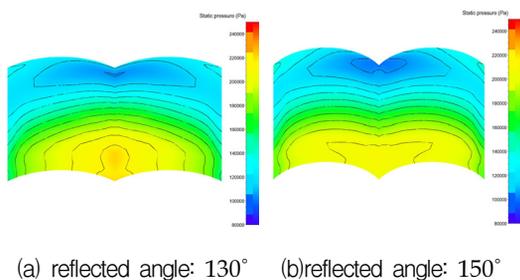


Fig. 7 Static pressure on rotor at step 2 for gull type

Table 3에서 보면 반사각이 130°, 150°일 때 110°보다 정압력 값이 상승하는 것을 볼 수 있다. Fig. 7에서 보면 반사각에 커짐에 따라 정압력 분포가 더 로터 전면에서 더 고르게 나타나는 것을 알 수 있다.

#### 4. 결 론

의료용 고속 에어터빈 핸드피스 터빈 형상에 따른 유동과 압력 특성을 수치해석에 의한 계산된 결과로 살펴보았다. 3가지 형상 중 가운데 갈매기 모양의 로터 형상에서 핸드피스의 토크에 영향을 주는 로터 전면의 정압력 수치가 가장 높게 나왔다. 반사각에 따른 추가적인 계산에서는 반사각이 커짐에 따라서 정압력 값이 증가하는 수치를 보였다.

지금까지 터빈 로터 형상에 따른 핸드피스의 특성 변화를 살펴보았는데 앞으로도 핸드피스의 성능 향상과 핸드피스의 국산화를 위한 연구 개발 측면에서 지속적인 핸드피스 관련 연구가 선행되어야 할 것으로 보인다.

#### 참 고 문 헌

1. J.E. Dyson, B.W. Darvell, "Flow and free running speed characterization of dental air turbine handpieces", Journal of Dentistry 27, 1999, pp.456-477
2. 노준구, 정은환, 이은석, 김진한, "프로즌 로터 기법을 이용한 부분흡입용 터빈 수치해석", 유체기계저널, 제7권, 제6호, 2004, pp.15-20
3. J.A. Roberson, J.J. Cassidy, M.H. Chaudhry, Hydraulic engineering, 2nd edition