

부분분사 마이크로 축류형터빈에서의 익형각 효과에 관한 연구

조수용* · 조종현** · 조봉수**

Effect of Blade Angles on a Micro Axial-Type Turbine Operated in a Low Partial Admission Rate

Soo-Yong Cho* · Chong-Hyun Cho** · Bong-Soo Cho**

ABSTRACT

A tested micro axial-type turbine consists of two stages and its mean radius of rotor flow passage is 8.4 mm. This turbine could be applied to a driver of micro power system, and its rotational speed in the unloaded state reaches to 100,000 RPM. The performance of this system is sensitive depending on the blade angles of the rotor and stator because it is operated in a low partial admission rate, so a performance test is conducted through measuring the specific output power and the net specific output torque with various blade angles on the nozzle, stator and rotor. The experimental results show that the net specific output torque is varied by 15% by changing the rotor blade angle, and the optimal incidence angle is about 10.3° .

초 록

본 연구에 채택된 마이크로터빈은 축류형 터빈으로 2단으로 구성되어 있으며 로터 유로에서의 평균반경이 8.4 mm 이다. 이러한 소형 터빈은 마이크로 동력시스템의 드라이브로 사용되어질 수 있으며 무부하 상태에서 100,000 RPM 의 회전속도에 도달한다. 하지만 낮은 부분분사에서 작동하므로 동익과 정익의 익형각에 따라 성능의 변화가 발생되어진다. 따라서 노즐, 정익, 동익의 익형각을 변경하면서 비출력과 총 비토크를 측정하여 각각의 성능을 분석하였다. 성능실험의 결과에 의하면 동익 익형각의 변화에 따라 총 비토크가 15%까지 변경되어졌으며 최적의 입사각은 10.3° 정도였다.

Key Words: Partial Admission(부분분사), Micro Axial-Type Turbine(마이크로 축류형터빈), Blade Angles(익형각), Performance Test(성능시험)

† 2007년 5월 3일 접수 ~ 2007년 8월 13일 심사완료

* 종신회원, 경상대학교 공학연구원

** 학생회원, 경상대학교 항공우주공학과
연락처자, E-mail: air0427@empal.com

1. 서 론

터빈에서의 부분분사는 작동조건에 따라서 전

분사보다도 유리한 경우가 있다. 즉, 터빈에서 높은 토오르크를 얻기 위하여서는 터빈의 평균반경이 커져야 하지만, 작동 질량유량이 적은 경우에는 익형의 높이를 줄이지 않고 부분분사를 하는 것이 익형의 높이를 줄여서 전분사를 하는 경우보다도 손실이 적어지는 장점이 있다. 또한 높은 압력에서 작동하는 터빈에서 감소된 출력을 얻고자 하는 경우에 팽창비를 조절하는 것보다, 분사면적으로 조절하는 것이 효과적이다. 특히 터빈의 평균반경이 100 mm 이하인 마이크로 터빈에서 적은 질량유량으로 작동하는 경우에는 손실의 감소를 최소화하기 위하여서는 부분분사가 유리하다.

부분분사에 대한 실험적 연구로는 Robert et al.[1]이 가스터빈에서 노즐의 분사면적을 120° 와 180° 로 조절하면서 분사량에 따른 출력의 변화를 실험적으로 연구하였으며 출력은 분사면적이 180° 보다 적어지게 되면 급격히 감소함을 보였다. Bohn et al.[2]은 다단터빈에서 제어단과 cross-over channel에서 부분분사량을 60%, 50%, 40%로 조절하면서 유동현상, 속도분포, 유동각 및 압력을 측정하였으며 원주방향으로의 물리량 변화에 차이가 발생함을 보여주었다. Boulbin et al.[3]은 분사노즐을 회전하고 동익을 정지하여 부분분사의 효과를 얻었으며, 익형은 부분분사가 시작되어지는 지점에서 피치방향의 힘은 줄어들었다가 이 영역을 지나면서 힘은 급격하게 증가함을 보였다. 하지만 부분분사의 영역에서는 일정한 힘을 유지하다가 부분분사가 끝나가는 지점에서 다시 최고치의 힘이 발생되어짐을 보였다.

He[4]는 2차원 운동방정식을 이용하여 부분분사에 따른 비정상상태를 해석한 결과 부분분사에 따른 원주방향의 비균일한 유동은 효율에 크게 영향을 미치고 있음을 보여주었다. 하지만 다단인 경우에는 비균일한 유동이 유동의 확산에 의하여 급격히 소멸되어감에 따라 첫 번째 단 이후에는 부분분사의 방법에 따라 효율의 차이가 없게 됨을 보여주었다. Bohn et al.[5]은 다단 터빈에서 제어단을 지나서 cross-over channel에

서 형상의 변화에 따른 효율의 변화를 얻었는데 전분사의 경우에는 형상에 따른 효율의 차이가 크게 나타나지만 부분분사의 경우에는 형상에 의한 영향보다도 부분분사량의 변화가 효율에 많은 영향을 미치고 있음을 보여주었다. Skopek et al.[6]은 부분분사량을 조절하면서 축방향의 거리, 속도비, 부분분사의 위치 등에 대하여 실험을 수행하였으며 노즐과 동익간의 간격이 줄어들수록 효율은 증대하며 부분분사량이 감소할수록 효율과 속도비의 최적값이 감소하게 됨을 보였다. 이상의 결과들로부터 부분분사에서 작동하는 터빈의 효율은 부분분사량에 따라 좌우됨을 알 수 있다. 부분분사에 따른 성능예측에 관한 연구를 Cho et al.[7]에 의하여 수행하였다.

Epstein et al.[8]은 마이크로터빈의 개발과 관련한 여러 기술의 연계성에 대하여 상세히 제시하였으며, Peirs et al.[9]은 동익의 직경이 10 mm인 축류형터빈을 개발하였다. Kang et al.[10]은 직경 12 mm의 원심압축기 임펠러를 개발하였으며, Cho and Choi[11]는 로터의 평균반경이 9.2 mm인 로터의 성능시험을 수행하였다. 본 연구에서는 기존의 설계사양인 무부하 회전수 100,000 RPM과 50,000 RPM에서 비출력을 1.0kW/(kg/s) 이상을 유지하면서 로터의 평균반경을 8.4 mm로 줄이기 위한 연구로써, 축소된 로터를 장착한 마이크로터빈에서 익형각의 변경에 따른 성능변화의 결과로부터 최적의 익형각에 관한 연구를 하고자 한다.

2. 실험장치

터빈의 실험은 회전상태에서 작동유체의 물성치와 출력을 동시에 측정하여야한다. 특히 터빈의 작동상태가 고회전이면서 낮은 출력을 생산하는 경우에는 성능측정을 위한 장치에 상당한 노력이 필요하다. 현재 상용으로 가능한 저토오르크 측정장치인 슬립링 타입의 토오르크메터에서 측정가능한 토오르크가 $0.07 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이며, 이 경우에 최고 측정가능한 회전수는 20,000 RPM이다. 회전토크센서포머의 경우는 $0.35 \text{ N} \cdot \text{m}$ 이며 마찬가지로

지로 측정가능한 회전수는 20,000 RPM이다. 그러나 본 연구에서 측정하고자 하는 마이크로터빈에서 발생되어지는 최고 토크는 0.02 N·m의 영역이며 무부하에서의 회전수는 100,000 RPM이 된다. 따라서 본 연구에 적용되는 마이크로터빈의 경우는 상용으로 판매되는 토크센서로는 직접적인 측정이 불가능함을 알 수 있다.

낮은 토크를 발생하면서 높은 회전수에서 작동하는 마이크로터빈의 성능측정을 위하여 회전수를 낮추는 감속기를 부착하게 되면, 감속기에서 상당한 손실이 발생하게 된다. 따라서 이러한 부가적인 손실을 고려하지 않고 직접적인 측정을 하기 위하여 마찰형 토크메터를 사용하였다. Brenner and Suemecz[12]는 마이크로 회전장치에서의 성능측정을 위한 여러 가지의 방법을 보여주었으며, Cho and Choi[11]는 마찰형 토크메터의 적용으로 높은 회전수에서 낮은 토크를 발생하는 마이크로터빈의 실험이 가능함을 보여주었다.

마찰형 토크메터에서는 구동축과 토크 측정부분이 마찰방식에 의하여 제어된다. 접촉부에서 마찰에 따른 진동의 영향을 최소화하기 위하여 접촉부의 형상을 원추형으로 제작하였으며 접촉부가 선접촉이 될 수 있도록 하였다. 원추형의 형상은 구동축과의 동심도 및 직진도를 쉽게 맞출 수 있는 장점이 있다. 접촉부는 접촉시간에 따라 마모되어져 진동이 발생되어지지 않도록 연마한 후 칩탄처리를 하여 충분한 강도를 갖도록 하였다.

마찰식 제동장치의 축에는 두개의 볼베어링을 설치하여 회전방향으로의 손실이 없도록 하였으며 이 볼베어링의 하우징은 외부의 고정장치에 의하여 지지하였다. 마이크로터빈의 지지대는 3축 트레이버스에 의하여 위치의 정밀제어가 가능하도록 하였으며 마찰력에 따른 회전속도의 정밀제어를 위하여 속도조절 DC모터와 감속기를 사용하여 회전속도를 조절하였다. 접촉부의 외형은 연마에 의한 정밀가공을 하여 축의 중심에서 반경의 오차를 최소화하였으며 반경은 8.75 mm로 제작하였다. 이 외주면에 육각구멍붙이 멈춤

Table 1. Degree of accuracy and models for experimental apparatus

Measuring instruments	Models	Accuracy
Flowmeter	HFM201 Hastings Instruments	Less than 0.5% at %FS 0~200 L/min air
Loadcell	34/1944-07 Sensotec	±0.02% Max. 2.45N
RPM gauge	ACT-3 Monarch	±0.0015% Max. 100,000 RPM
Pressure gauge	811 FMG Sensotec	Less than 0.25% at %FS 150 psi gauge
DAQ	NI 6014	200 kS/s

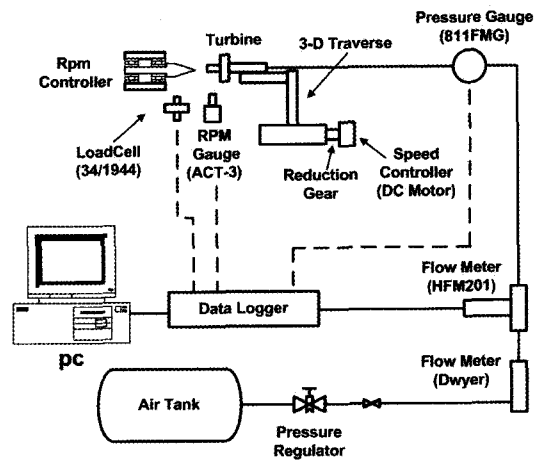


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

나사를 양쪽 대칭으로 삽입하여 무게의 균형이 유지되도록 하였으며 이 육각 멈춤나사에 유연한 와이어나 실을 연결하였으며, 이것에 로드셀을 직결하여 수직으로 가하여 지는 힘을 측정하였으며 얻어진 수직력으로부터 토크를 측정하였다. Fig. 1는 마찰형 토크메터를 사용한 실험장치의 개략도를 보여주고 있으며 Table 1은 계측에 사용된 장비들의 특성을 보여주고 있다. 측정 시에 얻어진 총비출력 토크의 95% 불확도는 ±3.1% 였다.

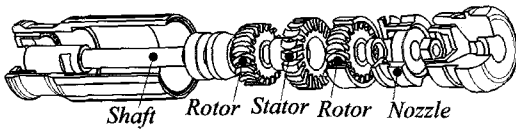


Fig. 2 Cut-off view of two-stages micro axial-type turbine

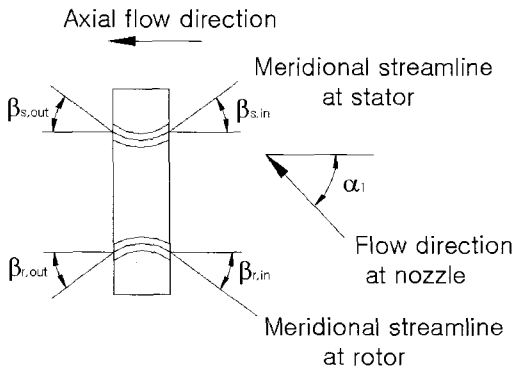


Fig. 3 Definition of blade angles on the nozzle, stator and rotor.

3. 결과 및 검토

3.1 익형 형상

본 연구에 적용된 마이크로터빈의 형상을 Fig. 2에서 보여주고 있다. 터빈은 축류형으로 2단으로 구성되어 있으며 첫 번째 단의 노즐블록에 두 개의 노즐이 180°만큼 떨어져 원주방향으로 대칭을 이루고 있다. 이 노즐은 고압의 공기를 높은 속도로 변환하여 첫 번째 단의 동익에 공기력을 가하므로 터빈의 구성상 첫 번째 단 정익으로 정의하여도 일반적인 특성을 만족한다. 두 번째 단에도 정익과 동익이 설치되어져 출력의 증강을 도모하고 있다. 일반적으로 축류형의 경우는 반경류형에 비하여 팽창비가 낮으므로 출력의 향상을 위하여 다단으로 구성한다. 터빈의 작동은 적은 입력으로 높은 출력을 얻도록 한다. 따라서 작동유체의 과다 분사를 방지하기 위하여 부분분사에서 작동하도록 하며, 부분분사량은 작동단면을 기준으로 결정되어지며 본 연

Table 2. Blade parameters on the stator

Types	Inlet blade angle ($\beta_{s,in}$)	Exit blade angle ($\beta_{s,out}$)	Axial solidity (c_x/s)	Aspect ratio (h/c_x)
S-1	20.4	51.5	2.09	0.64
S-2	34.4	34.4	2.09	0.64
S-3	38.2	38.2	2.09	0.64
S-4	43.2	43.2	2.09	0.64
S-5	-30	30	2.09	0.64

Table 3. Blade parameters on the rotor

Types	Inlet blade angle ($\beta_{r,in}$)	Exit blade angle ($\beta_{r,out}$)	Axial solidity (c_x/s)	Aspect ratio (h/c_x)
R-1	49.9	49.9	3.0	0.25
R-2	56.9	56.9	3.0	0.25
R-3	67.9	67.9	3.0	0.25

구에서는 노즐에서의 유동각에 따라 2.0-4.1 % 수준이다.

부분분사에서 작동하는 터빈의 출력은 노즐에서 분사되어지는 공기력 중에서 동익에 가하여지는 충동력에 의하여 상당한 영향을 받으므로 동익 및 정익의 익형각 설정에 유의하여야 한다. 또한 설정된 익형각은 공기의 유동각에 따라 입구에서의 입사각과 출구에서의 벗어남각 등에 영향을 주므로 내부유동 손실이 적도록 설정되어야 한다. 전분사의 경우와 달리 부분분사에서 작동하는 터빈의 경우에 이러한 설계변수들을 설정하기 위한 자료들이 부족하다.

Figure 3은 마이크로터빈의 익형과 익형의 입출구에서의 익형각에 대한 정의를 나타내고 있다. 익형각은 유로의 평균반경에서 유로내 자오면을 기준으로 축방향과 함께 정의되어진다. Table 2는 본 실험에 적용된 다섯 개의 다른 정익에 대한 특성을 나타내고 있으며, 특히 S-5형 정익은 직선형으로 설계되어진 것이다. 정익의 축방향 코드(c_x)는 6.5 mm이며 동익과 정익의 개수는 18개 이다. Table 2에서의 s 와 h 는 피치와 익형의 높이를 의미한다. 정·동익에서 유로

의 평균 반경은 8.4 mm이며, 정익에서의 현절비는 2.09이고 동익에서의 현절비는 3.0이다. 동익에서의 익형각들은 Table 3에서 보여주고 있으며, 세가지의 다른 동익 익형각이 평가되었다. 동익의 외경은 19 mm이며, 축방향 코드는 8.8 mm이다. 노즐의 경우는 Fig. 3의 유동각 정의에 의하여 α_1 이 60°, 70°, 45°인 경우를 각각 N-1, N-2, N-3로 구분하여 성능시험을 수행하였다.

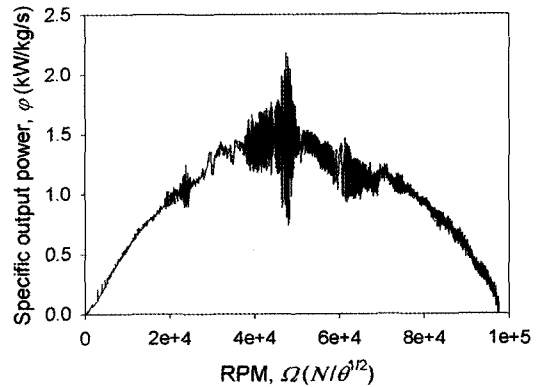
3.2 정익의 영향

터빈의 성능에서 정익의 영향을 분석하기 위하여 동익과 노즐은 변경하지 않고 정익만 변경하면서 성능시험을 수행하였다. 이 실험에서 노즐과 동익은 N-1형과 R-1형이 사용되었다. 실험에서 노즐의 입구는 절대압력이 740 kPa으로 유지되었으며, 입구 온도는 295 K로 유지하였다. 부하에 따른 터빈의 회전수의 변화가 있음에도 불구하고 절대온도, 절대압력, 질량유량은 $\pm 0.5\%$ 이내를 유지하였다. Fig. 4는 회전수 변경에 따른 비출력(ψ)의 변화를 S-3와 S-5형의 정익이 채택되었을 때의 결과를 보여주고 있다. 그림에서의 회전수(Ω RPM)은 표준온도를 기준으로 하는 온도보정계수를 사용하여 보정되어진 회전수이다. 비출력은 식 (1)의 방식에 의하여 얻어진다.

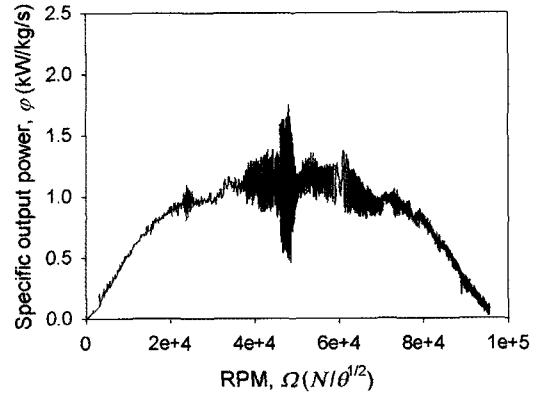
$$\psi = \frac{\tau \times 2\pi\Omega}{60 \times \dot{m}} \quad (1)$$

식 (1)에서의 τ 와 \dot{m} 는 작동 토크와 질량유량을 의미한다.

Figure 4의 비출력 선도에서 S-3형의 정익이 S-5형의 정익보다는 회전수에 따라 높은 비출력의 결과를 제시한다. 다른 형의 정익에서 얻어진 결과들도 S-3형과 S-5형 정익에서 얻어진 결과의 범위내에 존재하였다. 하지만 정익의 익형각을 변경하면서 측정된 비출력의 차이는 그다지 크지 않았으며 S-5형을 적용한 경우에 가장 낮은 결과 값을 얻었다. 또한 무부하 상태에서의 회전수도 S-3형에서 얻어진 경우에 비하여 S-5형에서는 3.5% 정도 저하하였다. 비출력의 결과에



(a) S-3 type stator



(b) S-5 type stator

Fig. 4 Specific output power with different stator

서 최대의 비출력이 얻어지는 회전수의 영역은 36,000-60,000 RPM 이었으며 이 영역에서 터빈의 동작이 다소 불안정한 상태를 보였다.

$$\Gamma = \int_0^{\max. \Omega} \tau d\Omega \quad (2)$$

터빈의 성능시험에서 터빈의 회전수가 높으면 토크가 감소하고 반면에 토크가 감소하면 회전수가 증가하는 반대 현상이 발생된다. 하지만 마이크로터빈을 가공기로 적용하는 경우에는 높은 회전수와 높은 토크가 사용목적에 따라 둘 다 필요하게 된다. 따라서 터빈의 성능을 회전수 전역에 대하여 비교하기 위하여 식 (2)에서

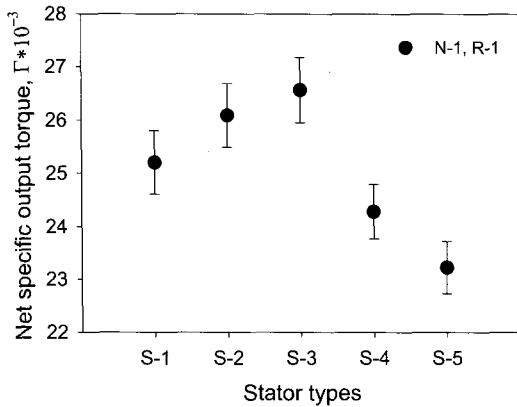


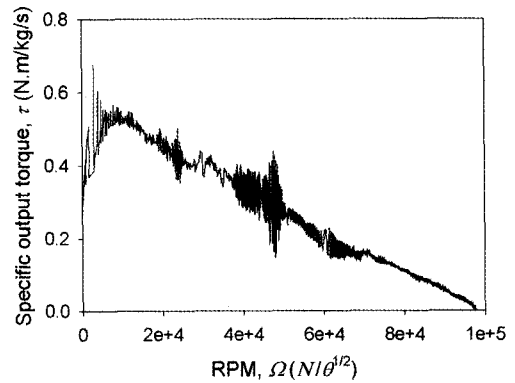
Fig. 5 Net specific output torque with various stators

와 같이 회전수 영역에 대하여 총비토크(Γ)의 값을 얻어서 비교하는 것이 타당하다.

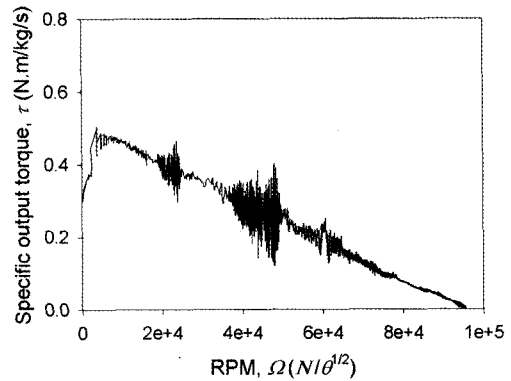
Figure 5는 동익과 노즐은 고정된 상태에서 정익을 변경하여 측정한 총 비토크의 변화를 보여주고 있다. 앞서 언급한 것처럼 정익의 익형각 변화에 대하여 총 비토크의 변화는 그다지 크지 않다. 이러한 이유는 정익의 경우 두 번째 단에서만 작동하므로 터빈이 낮은 부분분사에서 작동하는 경우에 작동유체는 두 번째 단에서 확산되어지기 때문이다. 하지만 실험의 결과에서 S-3형의 정익이 R-1형의 동익과 조합될 때 양호한 성능을 보여주는 것은 두 번째 단의 동익이 정익 출구에서 형성하는 공기의 유동각에 대하여 손실이 가장 적은 상태를 형성하기 때문이다. 그 외 정익의 익형각을 변경하게 되면 손실을 증가하는 방향으로 유동각을 만들므로 총 비토크는 감소하게 된다. 따라서 동익의 익형각이 49.9° 인 경우에 정익의 익형각을 34° - 40° 로 유지하는 것이 최적의 조건을 갖게 된다.

3.3 노즐의 영향

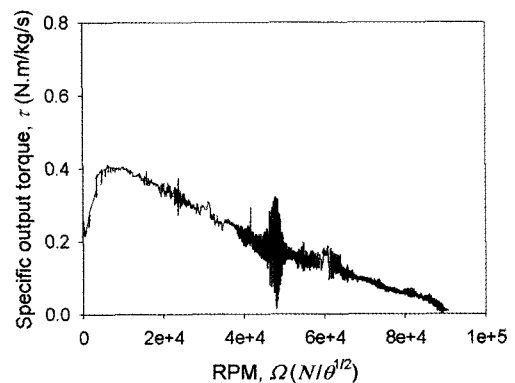
Figure 6에서는 정익(S-3)과 동익(R-1)을 변경하지 않고 노즐만 변경하였을 때의 비토크의 선도를 보여주고 있다. 비토크의 변화는 회전수의 변화에 대하여 선형적으로 변화하며 회전수가 없을 때에는 비토크가 급격히 감소하게 된다. 노즐을 N-1형에서 N-2형으로 변경하여 성



(a) N-1 type nozzle



(b) N-2 type nozzle



(c) N-3 type nozzle

Fig. 6 Specific output torque with various nozzles

능시험한 결과에서 비토크가 다소 감소된 결과를 보여준다. 이러한 현상은 노즐의 익형각이 60° 에서 70° 로 증가 하였을 때 입사각이 증대하

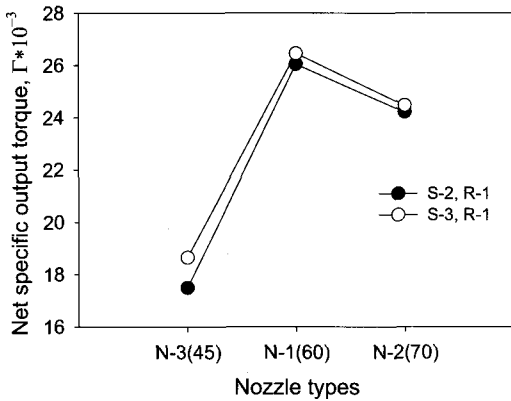


Fig. 7 Net specific output torque when the nozzle and stator are changed

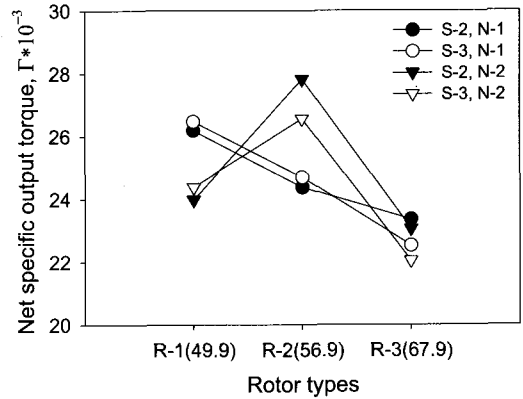


Fig. 8 Net specific output torque when the nozzle, rotor and stator are changed

여 입구에서 손실이 증대하였기 때문이며, 반면에 노즐의 익형각이 45°인 N-3형의 노즐이 적용되었을 때 비토크는 상당히 감소하였는데 이는 입사각이 음으로 증가하였기 때문이다. 따라서 노즐의 익형각은 동익과 잘 조화되도록 설정되어야 하며 동익의 익형각이 49.9°인 경우에 노즐의 익형각은 60°가 될 때 높은 비토크를 얻을 수 있는 조건이 된다.

노즐의 변경에 따른 총 비토크의 선도를 Fig. 7에서 보여주고 있으며 횡축의 괄호안의 숫자는 노즐의 익형각을 의미한다. 실험결과에서 노즐의 변경에 따라 정익이 S-3형이 적용되었을 때 S-2형의 정익보다는 나은 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과로부터 정익의 성능은 노즐의 익형각에 의하여 영향을 받게 됨을 의미하며, 두 번째 단에서 유동은 확산되어지지만 미미하게나마 그 영향은 존재하게 된다. 그리고 노즐을 N-2형에서 N-1형으로 변경함에 따라 총 비토크의 변화가 9-11% 변화가 발생되었으므로 노즐에서의 익형각의 변화는 출력에 상당한 영향을 미치고 있음을 알 수 있다.

3.4 동익의 영향

마이크로터빈에서 동익의 익형각 변화에 따른 성능의 변화를 확인하기 위하여 정익과 노즐을 동익과 조합하면서 성능시험을 수행하였다. Fig.

8은 동익의 익형각 변경에 따른 총 비토크의 변화를 보여주고 있다. 총 비토크의 변화는 동익의 변경에 따라 상당히 크게 발생됨을 알 수 있다. N-2형의 노즐과 S-2형의 정익에서 동익을 R-1형에서 R-2형으로 변경하게 되면 총 비토크는 15%의 변화가 발생되었다. 따라서 동익의 익형각은 첫 번째 단에서의 출력에 절대적인 영향을 미치므로 노즐 익형각과 잘 조화되도록 선정하여야 함을 알 수 있다.

N-1형의 노즐이 장착된 경우에 총비출력은 동익의 익형각이 증가함에 따라 감소하는 현상을 보여주었다. 동일한 노즐이 적용되는 경우에 동익의 익형각 증가는 동익에서의 입사각 감소를 초래하게 된다. 실험에서 R-1형의 동익과 N-1형의 노즐은 잘 조화되는 경우이나 만일 노즐의 익형각을 N-1형 (60°)에서 N-2형 (70°)으로 증가하게 되면 동익의 익형각도 최적의 입사각을 유지하기 위하여 증가하여야 한다. 실험의 결과에서 N-2형의 노즐은 R-2형의 노즐과 조합될 때 높은 성능을 보여주고 있는데 이는 R-2형의 익형각이 R-1형의 익형각에 비하여 7°정도 큰 익형각을 가지고 있기 때문이다. 만일 동익의 익형각을 더욱 더 증가하게 되면 입사각의 감소를 초래하여 출력의 감소를 가져오고 있음을 알 수 있으며 R-3형과 N-2형이 조합된 경우가 가장 양호한 결과를 보여주었다.

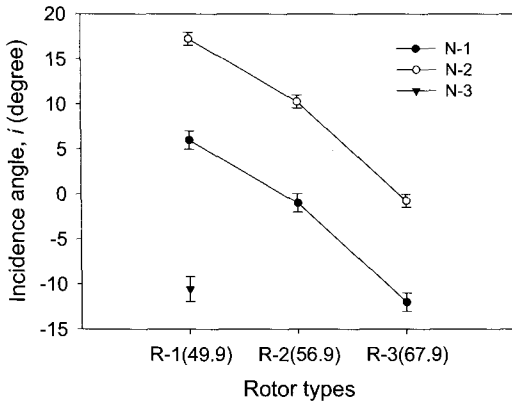


Fig. 9 Incidence angle at the first stage rotor inlet

첫 번째 단의 동익 입구에서의 입사각을 Fig. 9에서 보여주고 있다. 입사각의 측정은 회전속도와 노즐의 분사각도 및 동익의 익형각으로 부터 이루어졌다. Fig. 3의 비출력의 실험결과로부터 최고의 비출력이 얻어지는 회전수의 영역이 36,000-60,000 RPM이므로 이 작동영역에서 동익 입구에서의 입사각을 얻었다. 앞서 Fig. 8에서 보여준 결과로부터 R-2형의 동익이 N-1형의 노즐과 조합된 경우가 높은 출력을 나타내었으며, 이 경우에 얻어진 입사각이 10.3° 이었다. 이 입사각은 전분사에서 작동하는 충동형 터빈에서 최적의 입사각이 $5^\circ - 7^\circ$ 로 나타나는 것에 비하여 상당히 큰 각도이다. 이 입사각보다 큰 경우나 낮은 경우에는 출력이 감소하였다.

동익의 익형각 변경은 동익 출구에서의 유동 각도 바뀌게 되는데, 첫 번째 동익 출구에서의 유동은 두 번째 단의 정익과 동익의 작동에 영향을 미치게 된다. 하지만 정익을 변경하여 측정 한 Fig. 5의 실험의 결과에서 정익의 변경에 따른 출력의 영향은 그다지 크지 않았다. 이는 부분분사로 인하여 2번째 단에서 유동의 확산이 발생되었기 때문이다. 동익과 정익을 같이 변경한 실험의 결과에서 R-1형의 동익이 S-3형의 정익과 조합된 경우가 S-2형의 정익과 조합된 경우보다 나은 경우를 보였다. 반면에 R-3형의 동익이 S-2형의 정익과 조합된 경우가 S-3형의 정익과 조합된 경우보다 나은 경우를 보였다. 따라서

부분분사로 인한 유동의 확산이 발생되어도 정익은 동익과 노즐에 따라 영향을 받고 있음을 알 수 있다.

4. 결 론

부분분사에서 작동하는 터빈에서 정익의 익형각을 변경하였을 때 비출력의 향상은 그다지 크지 않았다. 이는 부분분사로 인한 확산에 기인하는 것이지만 동익의 익형각이 49.9° 가 적용된 경우에 정익의 익형각은 $34^\circ - 40^\circ$ 의 범위가 적절하였다.

터빈이 낮은 부분분사에서 작동하는 경우에 출력은 첫 번째 단에 의하여 영향을 가장 많이 받음으로 노즐과 동익의 익형각이 잘 조화되도록 설정되어야 한다. 실험의 결과로써 동익의 익형각이 49.9° 인 경우에 노즐의 익형각을 70° 에서 60° 로 변경하였을 때 총 비토포크는 9-11% 정도 향상하였다.

총 비토포크는 동익의 익형각 변화에 의하여 상당히 증가되어지며 첫 번째 단의 동익 입사각이 10.3° 인 경우에 출력이 가장 양호한 결과를 보여주었다. 총 비토포크는 N-2형 노즐에서 R-1형 동익에서 R-2형 동익으로 변경되었을 때 15%의 증가가 있었다.

후 기

본 연구는 산업자원부의 지역혁신 인력양성사업의 지원 (PS-06-01-002) 및 경상대학교 부속 공학연구원의 지원에 의하여 이루어졌으므로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. Kohl, R.C., Herzig, H.Z. and Whitney, W.J., "Effects of Partial Admission on Performance of A Gas Turbine," 1949,

- NACA Technical Note No.1807
2. Bohn, D., Drexler, Chr. and Emunds, R., "Experimental and Theoretical Investigations into the Nonuniform Flow of a Partial Admission Turbine with a Multistage Blading," VGB Kraftwerkstechnik 73, No.8, 1993, pp.610-608
 3. Boulbin, F., Hetet, J. F. and Chesse, P., "Nonsteady Flow in the Partial Admission," VDI Berichte NR, 1109, 1994, pp.395-401
 4. He, L., "Computation of Unsteady Flow Through Steam Turbine Blade Row at Partial Admission," Proc. Instn. Mech. Engrs., Vol. 211 Part A, 1997, pp.197-205
 5. Bohn, D., Gier, J. and Ziemann, M., "Influence of the Cross-Over Channel Geometry on the Flow Equalization in Partial-Admission Turbines," VGB Power Tech 2, 1998, pp.49-54
 6. Skopek, J., Vomela, L., Tajc, L. and Polansky, J., "Partial Steam Admission in an Axial Turbine Stage," IMechE 1999 C557/077/99, 1999, pp.681-691
 7. 조종현, 조수용, 김수용, 최상규, "부분분사에 의하여 작동하는 축류형터빈의 성능예측에 관한연구," 한국추진공학회, Vol.9, No.3, pp.10-17
 8. Epstein, A. H., "Millimeter-Scale, Micro-Electro-Mechanical Systems Gas Turbine Engines," J. of Engr. for Gas Turbine and Power, 2004, Vol.125, pp.205-226
 9. Peirs, J., Reynaerts, D. and Verplaetsen, P., "Development of an Axial Micro Turbine for a Portable Gas Turbine Generator," J. of Micromechanics and Microengineering, 2003, Vol.13, pp.190-195
 10. Kang, S. Johnston, J. P., Arima, T., Matsuaga, M., Tsuru, H. and Printz, F. B., "Microscale Radial-Flow Compressor Impeller Made of Silicon Nitride: Manufacturing and Performance," J. of Engr. for Gas Turbine and Power, 2004, Vol.125, pp.358-365
 11. Cho, S. Y. and Choi, S. K., "Performance Characteristics of a Micro Air Grinder Operated by a Two-Stages Axial-Type Turbine," JSME int. J., Series B, 2006, Vol.49, No.2, pp.443-449
 12. Brenner, W. and Suemecz, F., "Evaluation of Rotating Micro-Systems," The 10th International Symposium on Transport Phenomena and Dynamics of Rotating Machinery, ISROMAC10-2004-145, 2004, pp.1-5