

소형 튜블러수차의 러너베인 깃 수의 영향

남상현* · 김유택† · 최영도** · 이영호***

(원고접수일 : 2008년 6월 17일, 원고수정일 : 9월 25일, 심사사완료일 : 2008년 9월 25일)

Influence of the Number of Runner Vanes on Tubular-type Hydroturbine

Sang-Hyun Nam* · You-Taek Kim† · Young-Do Choi** · Young-Ho Lee***

Abstract : The world is facing a serious energy problem which destroying the environment. In addition, fossil fuel such as oil and coal that caused global warming and the environmental problems due to acid rain had been gradually exhausted. To solve this problem that has crisis of energy, it is necessary time and effort for research and development of renewable energy in the future. As alternative energy, small hydropower generation which has output of less or equal to 100kW is attracting considerable attention. This is because of its small, simple, renewable, and large amount of energy resources. By using a small hydropower generator of which main concept is based on using the different water pressure levels in pipe lines, energy which was initially wasted by use reducing of a valve at the end of the pipeline, is collected by turbine in the small hydropower generator. In this study, we investigated the influence of the number of runner vanes on the characteristics of tubular-type hydroturbine.

Key words : Small hydropower(소수력), Tubular-type hydroturbine(튜블러수차), The number of runner vanes(러너베인 깃 수), CFD(전산유체역학)

기호설명

| | |
|---|---------------------------------------|
| C_p : 압력계수 ($2(p_s - p_{t2}) / \rho U^2$) | p_s : 익면정압 |
| H : 유효낙차(출구-입구) | p_{t2} : 러너출구전압 |
| H_e : 전엔탈피 | T : 토크 |
| h : 정적엔탈피 | T_1 : 온도 |
| P : 출력 ($T\omega$) | U : 러너tip에서의 원주속도 |
| P_1 : 압력 | η : 효율 ($\rho g QH / T\omega$) |
| | μ : 점성계수 |
| | ρ : 밀도 |

† 교신저자(한국해양대학교 기관시스템공학부, E-mail:kimyt@hhu.ac.kr Tel: 051)410-4258)

* 한국해양대학교 대학원

** 한국해양대학교 산학협력단

*** 한국해양대학교 기계정보공학부

T_{ij} : 응력텐서

ω : 각속도

1. 서 론

국내 재생에너지 정책은 1970년대 석유과동 이후 대동하여 1987년 '대체에너지기술촉진법'이 공포된 이후 지금까지 재생에너지 기술개발 중심으로 진행되었다. 에너지문제를 해결할 대책의 일환으로써 재생에너지는 환경오염과 공해의 원인인 화석연료에 대한 대체방안이 될 것이다. 또한, 이를 위해 지구온난화에 대처하는 범세계적인 규제에 대비하기 위하여, 청정한 에너지를 적극 개발하여 에너지 자립도를 향상시키고 있다. 재생에너지 중 소수력⁽¹⁾은 수력을 이용한 발전으로써 현재 전 세계적으로 주목받고 있으며, 그 중요성 또한 커지고 있다. 소수력발전용 수차 중에서도 수도관 차압을 이용한 튜블러수차는 관로말단부에 수압을 감압하기 위해 감압밸브로 버려지는 에너지를 회수하여 전기로 생산하는 방식이다.

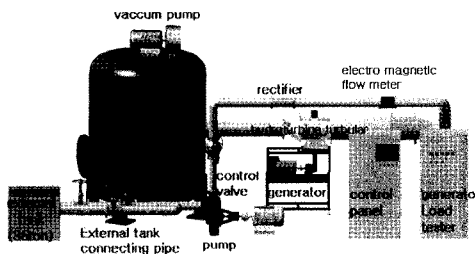


Fig. 1 Schematic experimental diagram of tubular type hydroturbine

그 동안 튜블러수차에 관한 연구는 모형실험을 통해 러너베인 및 가이드베인의 개도에 따른 성능의 기초연구⁽²⁾가 수행되었으며, 최근에 실험과 비교한 CFD해석⁽³⁾⁻⁽⁵⁾에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 그 외에도 러너베인 및 가이드베인의 형상, 유입각, 깃 수, 유로형상 등 수차의 성능에 미치는 중요한 변수들이 매우 많으나 본 연구에서는 그 중에서 튜블러수차의 러너 베인 깃 수 변화에 따른 성능 및 내부유동특성을 실험 및 CFD를 이용하여 비교·분석하고자 한다.

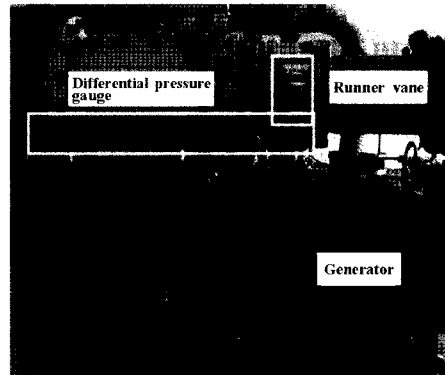


Fig. 2 Experimental equipment of tubular turbine

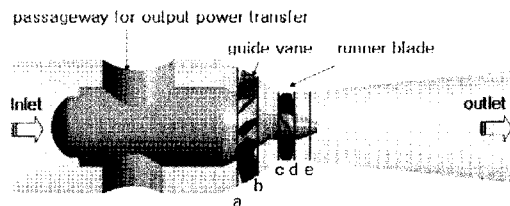


Fig. 3 Tubular turbine model

2. 실험 및 CFD해석

2.1 실험장치

Fig. 1은 튜블러수차의 실험장치의 개략도를 보이며, 실험은 다음과 같은 순서로 진행이 된다. 내부수조 또는 외부수조에서 펌프에 의해 유량조절밸브 → 정류장치 → 전자유량계 → 정류장치 → 수차(가이드베인) → 수차(러너베인) → 수조순으로 순환하게 된다. 또한 실제 튜블러수차의 주요 실험장치를 Fig. 2에 나타내고 있다. 보이는 바와 같이 투명아크릴 케이싱을 통해 러너베인 주위의 유동상태를 확인 할 수 있다. 그리고 세개의 차압계가 설치되어 있으며, 발전기는 수차의 하부에 설치되어 있다. 수차의 러너가 회전을 하게 되면 수차안의 구동축이 벨트폴리를 이용하여 아래에 연결된 발전기를 회전시켜 전기를 생산하게 된다.

2.2 수치해석방법

Fig. 3에 보이는 바와 같이 수도관 내에 바이패스 시켜 그 차압으로 발전하는 방식으로써 수차의

길이는 1.5m이며, 러너베인의 직경은 0.197m이며, 가이드베인은 총 12개이다.

또한, 수차내부에 러너와 연결되는 구동축과 그 외 부품들이 설치되어 있는 케이스가 장착되어 있다.

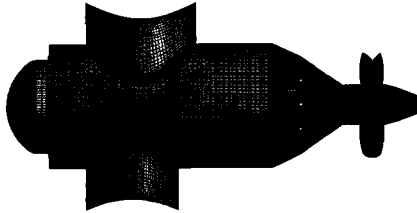


Fig. 4 Calculation model



Fig. 5 Shape of Propeller-type by the number of blades

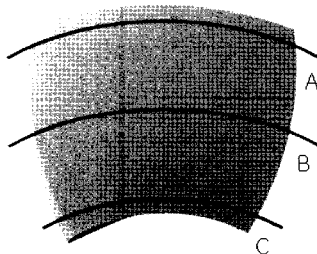


Fig. 6 Sectional arrangement of runner vane

계산에 사용된 격자는 Fig. 4에 보이는 바와 같이 모두 hexa로 하였으며, 총 노드수는 약 2,300,000개로 구성되었다. 입구 경계조건은 전낙차 10m에 대한 전압 조건으로 하였으며, 출구경계조건은 유량조건으로 설정하였다. 본 연구의 수치해석은 상용코드인 CFX-11을 사용하였으며, 난류 모델은 수렴성이 강한, k-ε 모델을 이용하였다. 또한 회전체인 러너베인에 대한 interface조건으로 frozen rotor를 적용하였다.

튜블러 수차의 CFD 해석을 위한 러너베인의 깃수(3, 4, 5, 6매)의 형상을 Fig. 5에 보이고 있으며, Fig. 6은 CFD 해석결과에 대한 속도 및 압력 분포를 알아보기 위해 러너의 tip에서 10%(A),

러너의 중간(B), 그리고 hub에서 10%(C)인 단면을 표시한 것이다.

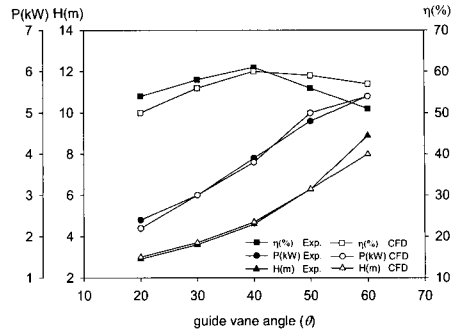


Fig. 7 Experimental performance characteristics according to the guide vane opening angle

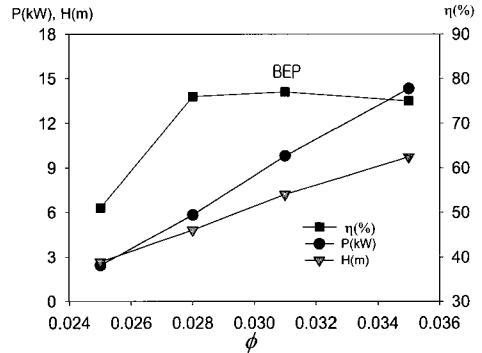


Fig. 8 Performance characteristics curve of tubular turbine by flow coefficient

지배방정식은 유체의 흐름을 예측할 수 있는 수학적이고 물리적인 방정식으로 구성되어 있으며 질량은 식(1), 운동량은 식(2), 에너지는 식(3)과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho u_j) = 0 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho \mu_j) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho \mu_j \rho \mu_j) \\ &= -\frac{\partial P_1}{\partial x_j} + \frac{\partial \tau_{ij}}{\partial x_j} + S_u, \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\partial}{\partial t}(\rho H_c - P_1) + \frac{\partial}{\partial x_j}(\rho U_j H_c) \\ &= \frac{\partial}{\partial x_i} \left(k \frac{\partial T_1}{\partial x_i} \right) + \frac{\partial}{\partial x_i} (u_j \tau_{ij}) + S_u, \end{aligned} \tag{3}$$

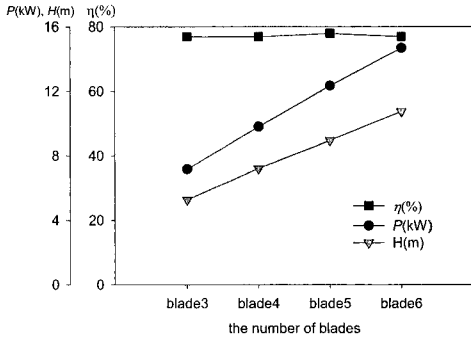


Fig. 9 Performance characteristics curve of tubular turbine by the number of blades

2.3 실험 및 CFD의 신뢰성 비교

CFD의 신뢰성 검증을 위해 축류형 러너베인을 이용하여 실험 및 CFD를 비교하였으며, 그 결과를 Fig. 7에 보인다. 가이드베인 개도에 따른 실험 및 CFD의 전체적인 출력, 유효낙차는 각각 4%, 11% 이내이며, 효율은 약 12% 이내로써 실험 및 CFD는 정량적으로 약간의 차이를 보이나 그 경향은 매우 유사하다고 할 수 있다. 그리고 최고효율 점인 가이드베인 개도 40°에서는 3% 이내의 오차로 잘 일치하는 것을 알 수 있다.

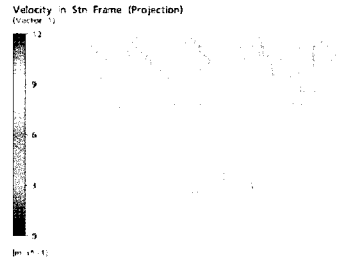
3. 결과 및 고찰

튜블러 수차의 경계조건으로써 최적유량을 설정하기 위해 유량변화에 따른 수치해석을 수행하였으며 이에 따른 성능특성을 Fig.8에 보인다. 유량계수가 증가할수록 출력 및 유효낙차는 증가하는 경향을 보이고 있으며, 효율은 유량계수 0.031에서 최고 효율을 보이다가 감소하는 경향을 나타내고 있다.

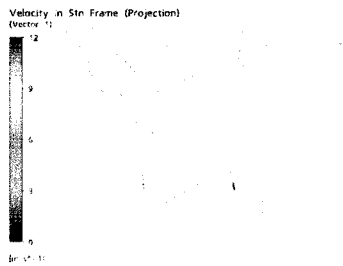
유량계수 0.031인 지점의 유량을 기준으로 하여 러너 깃 수를 각각 3, 4, 5, 6매로 변화시켰을 때의 수차의 성능변화를 Fig. 9에 보인다. 출력과 유효낙차는 러너 블레이드수가 증가할수록 선형적으로 증가하고 효율은 깃 수 5매에서 약 1%정도 크지만 그 편차는 거의 없음을 알 수 있다.

깃 수의 변화에 따른 러너 중간단면의 속도벡터를 Fig. 10에 나타내었다. 보이는 바와 같이 속도 분포는 가이드베인 개도에 따른 작동유체의 흐름을

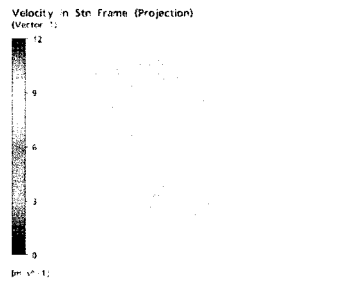
알 수 있으며, 러너 전연에서 속도가 크게 나타나는 것을 알 수 있다.



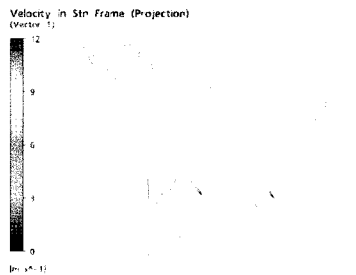
(a) blade 3



(b) blade 4

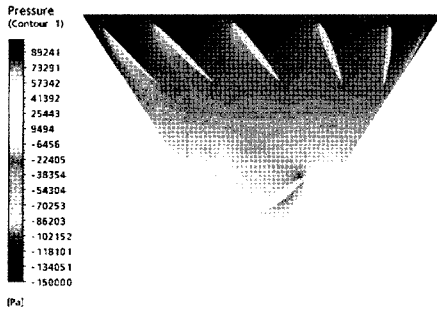


(c) blade 5

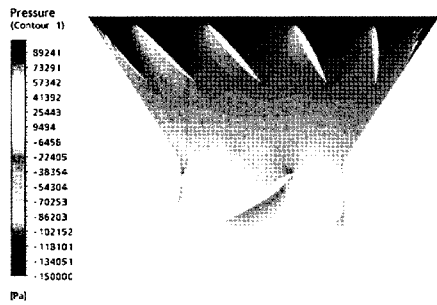


(d) blade 6

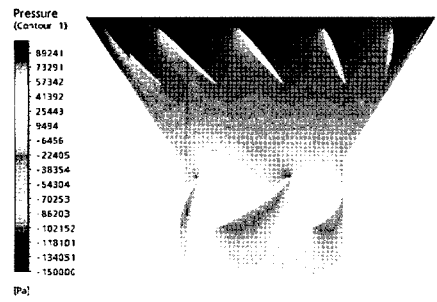
Fig. 10 Performance characteristics curve of tubular turbine by the number of blades



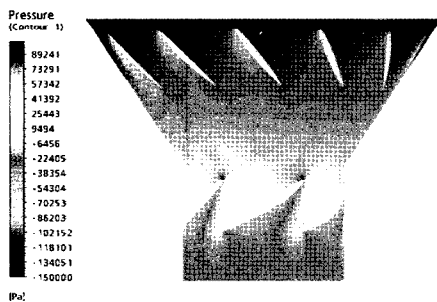
(a) blade 3



(b) blade 4

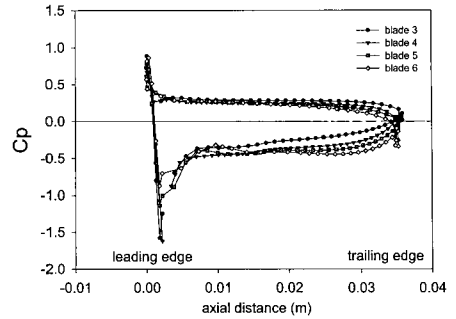


(c) blade 5

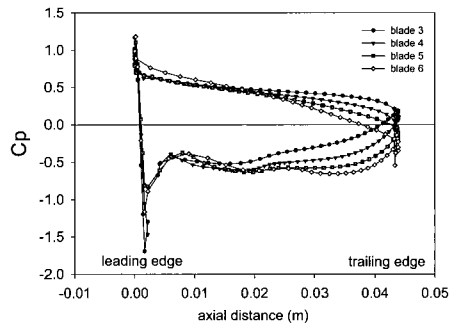


(d) blade 6

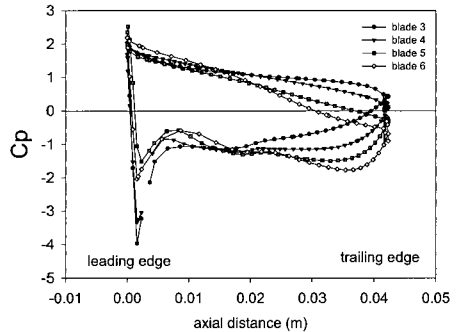
Fig. 11 Performance characteristics curve of tubular turbine by the number of blades



(a) Tip section (A) of runner



(b) Mid section (B) of runner



(c) Hub section (C) of runner

Fig. 12 Pressure coefficient by the number of blades

Fig. 11에 Fig. 6의 러너 중간(B)지점에서의 깃 수에 따른 압력분포를 보인다. 깃의 압력면과 부압면의 압력 차이를 알 수 있으며, 앞의 깃은 뒤의 깃의 영향으로 러너가 증가할수록 앞의 깃의 후연에서 압력저하가 커지는 것을 알 수 있다.

Fig. 12에는 러너의 각 위치 (A, B, C)의 깃 1

매에 대한 압력계수를 나타내었다. 깃 수에 관계없이 러너 전연 부근에서는 비슷한 압력분포를 보이고 있으나 후연에서는 깃 수가 증가할수록 음압(-)이 증가하는 경향을 보이며 러너 tip(A)에서 hub(C)로 갈수록 압력면과 부압면의 압력분포 차이가 작아지는 것을 알 수 있다.

에서는 많이 완화됨을 알 수 있다. 또한, 러너 입구 부는 수차의 축소관형태의 영향으로 속도가 가장 빠르며 후류로 갈수록 속도분포가 많이 안정되는 것을 알 수 있다.

5. 결 론

수도관 차압을 이용한 튜블러 수차의 깃 수의 영향에 대한 실험 및 CFD해석을 통하여 다음과 같은 내용을 알 수 있었다.

- 1) 깃 수가 증가할수록 출력 및 낙차는 선형적으로 증가하는 경향을 보이며, 효율은 깃 수 5매일 때 약 1%정도 높으나 깃 수에 따른 편차는 거의 없다.
- 2) 깃 수에 관계없이 압력계수는 러너 전연 부근에서는 비슷한 경향을 보이며, 후연에서는 깃 수가 증가할수록 음압이 증가하는 경향을 보인다 또한 러너의 hub에서 tip로 갈수록 압력분포의 차이가 작아진다.
- 3) 축방향 속도는 깃 수 5매일 경우 변동성분이 적고 안정적인 속도분포를 보인다.
- 4) 수차내부의 접선방향속도는 가이드베인 입구부에서는 위상에 따른 변동이 있으나 가이드베인 출구부 부터는 변동이 많이 완화된다.

참고문헌

- [1] 박완순, 이철형, "소수력발전 개발현황 및 향후 전망" 전력전자학회 제5권 제3호, 2000. 6, pp. 3641.
- [2] 이원용, "모형 실험에 의한 소수력용 튜블러수차의 성능해석" 한국과학기술원, 학위논문, 1985. 2.
- [3] 남상현, 김유택, 최영도, 이영호, "CFD에 의한 가이드베인 개도에 따른 튜블러 수차 특성" 2007 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 391~394.
- [4] 남상현, 김유택, 최영도, 남청도, 이영호, 2007, "러너베인 각도에 따른 튜블러 수차의 속도 및 압력분포", 2007년도 대한기계학회 춘

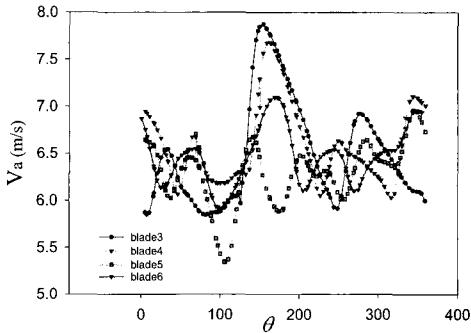


Fig. 13 Axial velocity by the number of blades in downstream of runner outlet

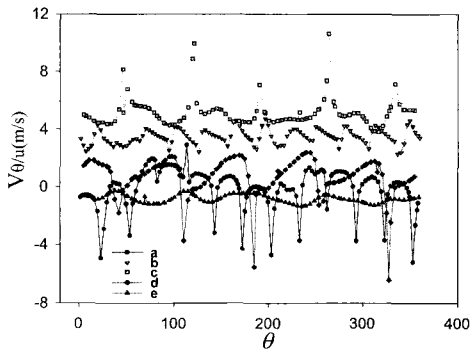


Fig. 14 Tangential velocity in case of blade 5

Fig. 13은 러너출구의 후류영역(Fig. 3의 e-section)에서의 깃 수의 변화에 따른 축방향 속도분포를보인다. 깃 3, 4, 6매에 비하여 깃 5매일 때 변동성분이 적고 안정적인 속도분포를 보임을 알 수 있다.

최고효율을 보인 깃 수 5매일 경우의 a, b, c, d, e-section(Fig. 3)에서의 접선방향 속도를 Fig. 14에 보인다. 접선방향속도는 가이드베인 입구부에서는 변동이 심하며, 특히, 통로의 영향으로 각 위상에 따른 변동이 있으나 가이드베인 출구부

계학술대회 논문집 pp. 2378~2383.

- [5] 남상현, 김유택, 최영도, 남청도, 이영호, 2007, "소형 하이드로터빈의 깃수의 영향, 2007년도 한국마린엔지니어링학회 전기학술대회 논문집, pp. 211~212.

저 자 소 개



남상현(南相鉉)

2006 학점은행제 기계설계학과 졸업, 2008 한국해양대학교 대학원 졸업(공학석사) 현재 (주)DNDE 재직, 펌프, 수차, 조력발전 등의 캐비테이션에 관한 CFD 해석연구



김유택(金由澤)

1990년 한국해양대학교 기관공학과 졸업(공학사), 1996년 한국해양대학교 대학원 졸업(공학석사), 2000년 일본 큐슈공업대학 대학원 졸업(공학박사), 1990년~1993년 SK해운 엔지니어, 2000년~2001년 일본 큐슈공업대학 SVBL 강사, 2001년~현재 한국해양대학교 재직(해사대학, 기관시스템공학부), 당학회 종신회원 · 총무이사



최영도(崔永都)

1970년 6월생, 1996년 한국해양대학교 기계공학과 졸업, 2003년 요코하마국립대학 대학원 박사과정수료(공학박사), 1996년~1998년 대우중공업(주) 항공사업본부 사원, 2003년~2006년 요코하마국립대학 대학원 공학연구원 조수, 2006년~현재 한국해양대학교 산학협력단 연구원, 관심분야 : 소수력발전, 해양에너지, 신·재생에너지, 유체기계, PIV, CFD.



이영호(李英浩)

1958년 2월생, 1980년 한국해양대학교 기관학과 졸업, 1986-1989년 일본 동경대학 기계공학과(공학박사), 1980년~현재 한국해양대학교 근무 (기계·정보공학부 교수), 2001.12~2003.6 (재)한국조선기자재연구원 원장(초대), 관심분야 : PIV, 신·재생에너지, 유체기계, CFD, FSI, 수중램제트.