

소수력발전용 튜블러 수차의 내부유동특성 및 성능해석

*이 승엽¹⁾, 최 영도²⁾, 황 영철³⁾, **이 영호⁴⁾

A study on internal flow characteristics and performance analysis of a micro hydro tubular turbine

*Seungyeob LEE, Youngdo Choi, Youngchul Hwang, **Youngho LEE

Abstract : Development of renewable energy is very important because of environmental problems caused by greenhouse effect. This is due to the use of fossil fuels which has serious consequences. Therefore, development of small hydropower can be a good countermeasure for the problems. The small hydropower is clean energy because the small hydropower generates few CO₂. Moreover, as the energy density by the small hydropower is high, it is economical for a society which wants to introduce the system. The purpose of this study is to improve the turbine performance. This study is about tubular-type hydro turbine among renewable energy that is based using the different water pressure level in pipe lines. The analysis was performed using the commercial CFD code ANSYS-CFX.

Key words : Small hydropower(소수력), Performance(성능), Flow Characteristics(유동특성), Tubular-type turbine(튜블러 터빈), CFD(전산유체해석)

Nomenclature

H : effective head	[m]
n : rotational speed	[s ⁻¹]
P : output power	[W]
p : static pressure	[Pa]
Q : volume flow rate	[m ³ /s]
η : efficiency	[-]

1. 서론

최근 고유가 시대에 접어들고 있다. 환경 보호에 관한 노력도 해가 갈수록 심화되어 탄소 배출권 거래소도 생기는 등 환경문제가 경제문제로 인식되는 사회가 도래하고 있다. 이에 따라 신·재생에너지의 개발에 대한 요구는 더욱 증가하고 있다. 특히, 보유자원이 부족한 국내 상황을 비추어볼 때 적극적인 신·재생에너지 자원의 개발과 활용이 필요하고 현재 이러한 국제적인 상황에 대처하기 위하여 다양한 정책이 추진되고 있다.

현재 신·재생에너지원은 소수력, 풍력, 태양광, 지열, 파력 등이 있다. 그 중에서도 소수력 발전은 높은 에너지 밀도를 가지고 있으며, 우리

나라는 연평균강수량이 1,245mm로써, 강수량이 풍부하고 전국토의 2/3가 산지로 구성되어 있어 지형과 수문학적으로 각 지역에 산재한 미활용 소규모 수력자원이 많이 부존하고 있다.⁽¹⁾ 그러나 종래의 발전시설 및 수력발전과 비교해서 설비용량에 대한 건설비의 비율이 높다는 점이 보급의 걸림돌이 되고 있다.

소수력용으로 여러 형태의 수차가 사용되고 있으며 그 종류를 Table 1에 나타내었다. 이 중 반동수차의 하나인 튜블러 수차는 수도관 내에 설치한다는 구조적관점에서 실용화 가능성이 매우 높은 것이 장점이다. 배관 내 압력의 차이를 이용한 소수력용 튜블러 수차는 배관에서 이송에 사용되고 남은 압력의 감압을 위하여 사용되어진 감압밸브의 기능을 수행함과 동시에 감압밸브에 의해 폐기되었던 압력을 이용해서 수차발전기의 기능을 수행하도록 하였다. 이는 소수력 자원의 미활용에 대한 연구 및 제한적인 보급에 대하여

- 1) 한국해양대학교 대학원 기계공학과
E-mail : lsy@pivlab.net
Tel : (051)410-4940 Fax : (051)403-1214
- 2) 목포대학교 기계조선해양공학부
E-mail : ydchoi@pivlab.net
- 3) (주) 신한정공
- 4) 한국해양대학교 기계정보공학부
Tel : (051)410-4940 Fax : (051)403-1214

그 적용성을 확대하는 큰 의미가 있다.⁽²⁾⁻⁽⁴⁾

현재까지 튜블러 수차의 상용화를 위한 기술 개발은 CFD 및 모델실험, 수차설계를 위한 기본 자료 확보의 단계까지 진행되었으며 실질적인 현장설치나 운용까지는 실행하지 못하고 있다. 한편 국내에서는 튜블러 수차의 기본 개념을 참고로 5kW급 모형실험장치 실험을 수행하였으며, 수차의 기본적인 특성에 대한 연구를 수행하였다.⁽⁵⁾⁻⁽⁸⁾ 나아가 10m 이상의 낙차에서도 적용이 가능한 튜블러 수차의 설계를 위한 최적설계법을 제안하여, 이론적인 해석 및 CFD 해석과 실험을 통한 검토를 통하여 설계법의 신뢰성을 확보할 수 있는 계기를 마련하였다.⁽⁹⁾

Fig. 1에서는 먼저 수행한 실험을 통해서 수차의 성능을 예측하기 위한 모델장치 구성도를 보이고 있다. 또한 발전설비의 구성은 실증 시험용 수차발전기와는 달리 발전기를 수차의 아래쪽에 위치하도록 구성하여 고찰하였다.⁽⁴⁾ Fig. 2에서는 튜블러 수차 러너베인의 특징을 고려한 설계치와 CFD 분석 결과가 거의 일치함을 보이고 있다.

본 논문에서는 실험과 CFD를 통하여 튜블러 수차의 실증을 위한 시험에 주안점을 두었다.

2. 실험장치 및 CFD 설정

2.1 실증시험용 수차의 설치

본 연구에 앞서 이미 진행된 연구 결과 보고 자료에 의하면 사용한 공장 성능시험라인은 펌프 시험설비와 유사한 구성을 가지며 수차의 운전특성을 한눈에 볼 수 있도록 구성하였으며, 기본적으로 확보 가능한 자료는 운전 중인 수차의 회전수, 토크, 실제출력과 이론출력, 배관내 압력, 기동 펌프의 부하, 수차의 전·후단부 압력차(차압), 발전기의 Voltage 및 주파수 등이다. 하지만 실제로 설치 및 운영하게 될 현장 조건에서는 회전수, 실제출력, 이론출력, 배관내 압력, 발전기의 voltage, 주파수 등이다. 공장 성능시험설비에서 취합한 기초자료를 근거로 실제 상업화를 위한 현장 성능시험 설비의 설계 및 제작에 사용할 수 있다. 본 시험설비 구축에는 러너베인의 개도 변경에 따른 유량, 압력 변화 및 토크량의 변화, 회전수 변화등에 대한 공장시험 기초 자료를 확보하여 정수장내 설치 할 수차의 정격 사용조건 결정에 사용하였다. 그리고 수차 및 펌프 수차의 모형 시험 방법(KS B 6018)에 의한 수차 모형 시험 설비의 구축에 있어서 튜블러 수차의 경우 프로펠러형 수차와 유사한 형식을 가지므로 프로펠러형 수차의 시험에 적용해야 할 사항을 고려하면 다음과 같다.

- 프로펠러형 수차 모형의 대표치수는 러너 출구 지름을 말하며 실제치수는 350mm이상의 크기를 따른다.

Table 1 Turbine type

Turbine type	Impulse type	Pelton turbine	
		Cross-flow turbine	
		Turgo impulse turbine	
	Reaction type	Centrifugal	Francis turbine
		Diagonal	Deriaz turbine
		Axial	Kaplan turbine
			Tubular turbine
		Straight flow turbine	

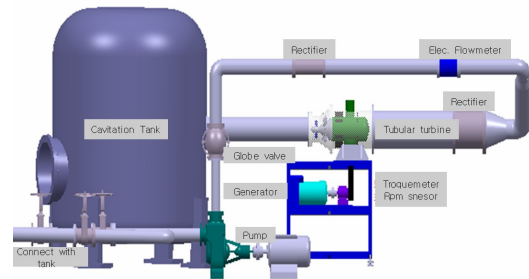


Fig. 1 Schematic view of experimental apparatus for tubular turbine model⁽⁴⁾

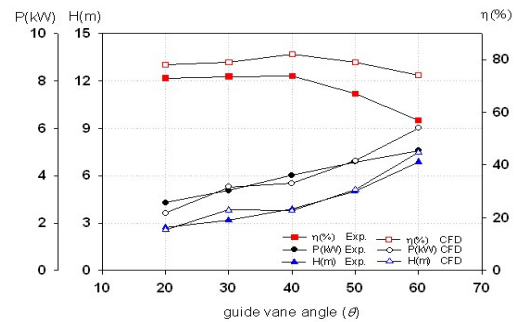


Fig. 2 Performance characteristic curves by model test⁽⁴⁾

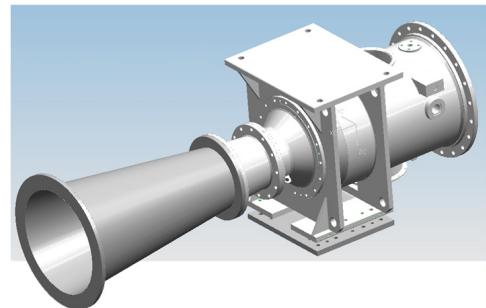


Fig. 3 Design image of test facility for the tubular turbine model

- 수차효율시험에 있어서 측정해야 할 항목은 유효낙차, 유량, 회전속도(무구속 속도 포함), 수차출력, 수차 효율 등이다.

- 측정기기의 교정 : 시험에 사용하는 측정기기는 시험 전에 교정의 범위에 대해서 교정을 실시하여야 한다.

- 시험 장치는 상·하부탱크, 수압관, 양수량 조절밸브, 유효낙차 (혹은 전체양정) 측정 장치, 회전속도 측정 장치, 출력(또는 입력) 측정 장치 및 유량(또는 양수량) 측정 장치를 갖춘 것이어야 한다.

본 실험에서는 Fig. 2.1에 보이는 바와 같이 정수장의 운영조건을 감안하여 기준에 사용하고 있는 전동밸브, 초음파 유량계, 압력계등을 이용하였으며, 바이패스 관로를 기준으로 하여 착수 정 전단으로 토출이 되도록 구성하였다.

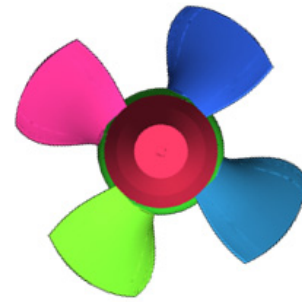


Fig. 4 Tubular turbine Runner

2.2 수치해석

Fig 3에는 이번 해석을 위해 3D 형상모델링을 수행한 그림이다. 러너 블레이드의 개수는 4개이며 그 그림을 Fig 4에 나타내었다. 본 연구에서는 수치해석을 위하여 상용코드인 ANSYS CFX 11.1⁽¹⁰⁾을 사용하여 계산을 수행하였고, 난류모델은 역 구배에 의해 발생하는 유동박리크기와 그 시점에 대해 정확히 예측이 가능한 SST (Shear Stress Transport) 모델을 사용하였다. 신속한 결론 도출을 위하여 러너의 회전부와 수차내부의 고정부 사이의 경계 조건으로서 Frozen rotor 기법을 적용하여 계산을 수행 하였다. CFD 계산을 위하여 수차 부위에 따라 Hexa 격자 Tetra-prism 격자를 병행해서 전체 약 51만 노드의 격자를 구성하여 계산영역의 유동장을 구성하였다. 본 연구는 정상상태 조건에서 입구 조건은 압력값으로 출구 조건은 유량값으로 하여 계산하였다.

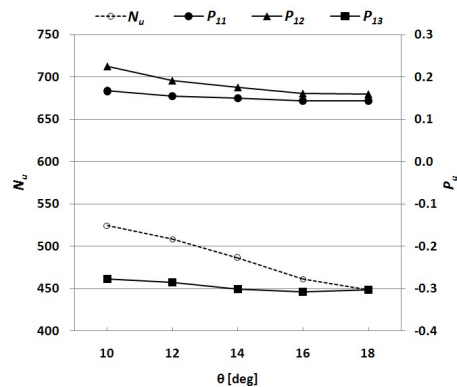


Fig.5 Performance characteristics curve by runner vane angle variation

3. 계산결과

3.1 실증 시험용 수차

3.1.1 압력 분포특성

수차의 효율에 직접적인 영향을 가진 압력의 측정을 위하여 성능특성 곡선을 구하였다. Fig. 5에서는 러너 베인의 각도가 커질수록 현저한 회전수의 저하와 압력의 저하가 발생함을 보이고 있다. 또한 출구 측에서는 방수구보다 위쪽에 설치한 수차의 특성상 측정지점의압력이 대기압보다 낮은 현상을 보이고 있다.

3.1.2 유량변화에 따른 성능특성

Fig.6에 보이는 성능곡선은 수차 러너베인의 개도를 일정하게 고정시키고 유량조건을 변화시켰을 경우의 수차발전기 성능특성을 나타내고 있다. 성능곡선에 보이듯이 단위유량의 증가에 따른 단위출력, 단위회전수의 증가 및 추세를 알 수 있다. 시험결과 유량이 증가하면 출력 및 회전수

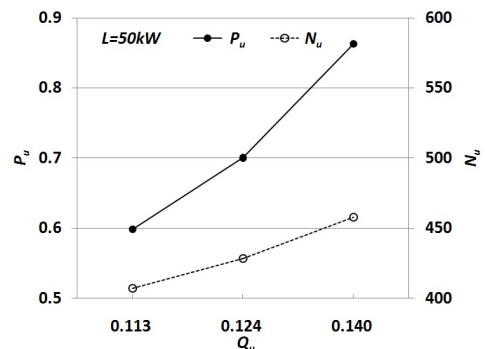


Fig.6 Performance characteristics curve by flowrate variation (continued)

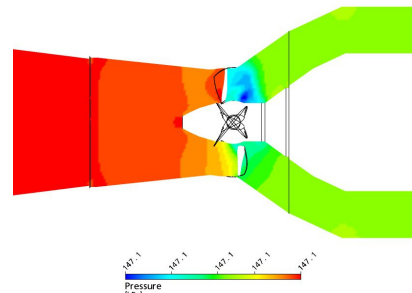


Fig.7 Pressure

3.2 수치해석 결과

가 증가하는 특성을 보이는데, 동일한 유량에서는 부하의 양에 비례하여 변동을 보임을 알 수 있다. 또한 유량과 출력의 증가 비율이 일정하게 나타나지 않는 것은 유량의 변동에 따라서 수차발전기 입구측의 압력이 변하기 때문이다. 측정에 의한 값을 비교해 보면 유량의 증가에 대하여 압력의 감소가 나타난다.

CFD 에서는 실험으로 확인하기 힘든 내부유동의 파악에 중점을 두었다.

Fig.7 에서는 러너베인 주변의 압력 분포를 나타내었다. 러너베인의 전단과 후단의 압력차이를 보여줌으로서 에너지의 소비를 보여주고 있다. Fig 8에서는 러너베인 주변의 흐름을 속도유선의 형태로 나타내었다. 비교적 층류의 흐름을 보이고 있으며, 러너 주변에서만 속도의 증가가 일어나고 있음을 알 수 있다. Fig. 9에서는 속도 벡터의 분포를 볼 수 있다. Fig. 8의 그림과 마찬가지로 러너 주변부의 압력 저하에 다른 속도 증가를 볼 수 있으며, 특히 러너 전단부에 높은 속도 분포를 보이고 있음을 알 수 있다.

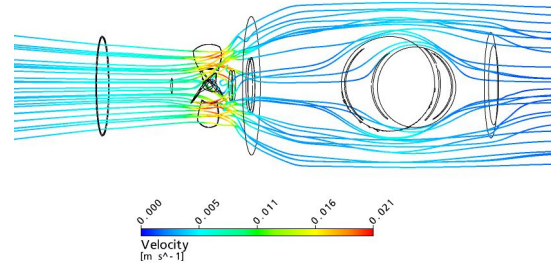


Fig.8 Velocity Streamline

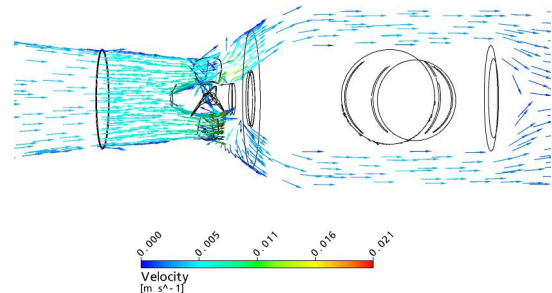


Fig.9 Velocity Vector

4. 결론

(1) $Q=0.3m^3/s$, $H=12.28m$ 조건에 바탕으로 러너의 외경은 280mm, 수차발전기 회전수 1911 rpm인 튜블러 수차의 시험결과 최고의 효율을 보인 러너베인의 개도는 16도이며, 유량의 변동에 따라서 최고 효율을 보이는 개도는 달라진다.

(2) 속도성분은 러너베인 입구부에서 최대 값을 가지며, 입력성분의 차 역시 러너베인 전단과 후단의 차이가 가장 크게 나타남을 알 수 있다.

후 기

본 연구는 지식경제부 에너지관리공단 신재생에너지기술개발사업의 (과제명 ; 수도관차압을 이용한 마이크로 소수력 발전 실용화 기술개발, 과제번호 : 2006-N-SH02-P-02-000, 개발기간 2006.8.1 ~ 2009.7.31) 일환으로 수행되었습니다.

주관기관 : (주)신한정공
 위탁기관 : 한국해양대학교
 참여기관 : 한국수자원공사

References

[1] 이경배, 이은웅, 2005, “국내 소수력발전 기술 개발 현황과 전망,” 유체기계 연구개발 발표회 논문집, pp. 735 ~ 741.

[2] 김경엽 2005, “수도관로 소수력개발에 따른 최적시스템 적용 및 운영방안”에 관한 연구용역 최종보고서.

[3] 2006-N-SH02-P-01, 팩키지형 50kW급 소형 수차발전시스템 개발, 에너지관리공단, 효성 에바라, 한국수자원공사, 한국해양대학교

[4] 2006-N-SH02-P-02, 수도관 차압을 이용한 마이크로 소수력발전 실용화 기술개발, 에너지 관리공단, 신한정공, 한국수자원공사, 한국해양 대학교

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

[6] 남상현, 김유택, 최영도, 남청도, 이영호, 2007, “러너베인 각도에 따른 튜블러 수차의 속도 및 압력분포”, 2007년도 춘계학술대회 대한기계학회 논문집 pp. 2378~2383.

[7] 남상현, 김유택, 최영도, 남청도, 이영호, 2007, “CFD에 의한 소형 튜블러 수차의 캐비테이션 기초해석”, 2007년도 추계학술대회 한국 신재생 에너지학회 논문집 pp.408~411

[8] You-Taek Kim, Sang-Hyun Nam, Young-Do Choi, Yeong-Cheol Hwang, Chung-Do Nam, Young-Ho Lee, "Tubular-type Hydroturbine Performance for Variable Guide Vane Opening by CFD", the Fifth International Conference on Fluid mechanics, Aug.15-19, 2007, Shanghai, China pp. 424~427.

[9] 황영철, 2008, “수도관차압을 이용한 마이크로 튜블러수차의 최적설계법에 관한 연구” 석사논문.

[10] ANSYS Inc., "ANSYS CFX Documentation," Ver. 11, <http://www.ansys.com>, 2007