

소수력발전용 입축 프로펠러 수차의 수력학적 성능특성 분석

이철형, 박완순

*한국에너지기술연구원 신재생에너지연구부

Hydraulic Performance of Vertical Axis Propeller Type Hydro Turbine for Small Hydropower Plants

Chul-Hyung Lee, Wan-Soon Park

*Renewable Energy Research Department, KIER, 71-2, Jangdong, Yusongku, Daejeon, 305-343, Korea

ABSTRACT

The propeller type hydro turbine model with vertical axis has been tested and analyzed. The blade angle of turbine model were designed to be varied according to the condition of head and flowrate. When the changes in head and output were comparatively large, the efficiency drop were small, so the efficiency characteristics and stability of the entire operating condition were maintained in good condition. These results showed that the developed model in this study will be suitable for small hydro power stations with large changes in head and load such as sewage treatment plants and agricultural reservoirs.

주요기술용어 : Hydro turbine(수차), Propeller type(프로펠러형태), Head(낙차), Specific speed(비속도), Hydraulic efficient(수력효율)

1. 서 론

소수력발전은 화력 및 원자력과 비교할 때 환경에 대한 영향이 거의 없는 청정한 에너지로써 개발이 유망한 에너지이지만, 단위 출력당 투자비용이 다른 에너지원에 비하여 높고 대수력 발전에 비해 더 많이 소요되는 것으로 알려져 있다. 그러나 소수력 발전은 발전지점의 특성, 개발형식 및 설비용량 등에 따라 경제성에 커다란 영향을 받기 때문에 이에 대한 정확한 분석이 수행된다

면, 반드시 소수력발전의 경제성이 낮다고 할 수만은 없다.¹⁾

입축 프로펠러 수차는 저낙차로써 유량의 변화가 심한 소수력발전입지에 적합하며, 이러한 목적을 충분히 만족시켜줄 수 있는 수차로써, 저낙차의 경우 다른 종류의 수차보다 효율, 설치 및 운영면에서 많은 장점을 갖고 있으며 표준화를 통하여 가격을 크게 낮출 수 있기 때문에 우리나라의 소수력발전소에 적용하기가 매우 좋은 수차라고 할 수 있다.²⁾

본 연구를 통하여 개발된 입축 프로펠러 수차의 성능을 검토하여 설계점에서의 무차원 비속도와 무차원 직경을 확인한 결과, 기존의 설계된 수차들과 같은 무리를 이루게 되어 수차설계가 원만하게 되었음을 확인하였다.

2. 입축 프로펠러 수차 성능실험

2.1 수차 모형

수차 모형은 피치각을 수동으로 조정할 수 있도록 설계·제작하였으며, 구성도는 Fig. 1과 같다.

수차모형의 피치각은 수차 fairing부에 내장된 geared motor로 조절되며, 수차의 부하로는 정격회전수가 1,200rpm인 유도발전기가 사용되었다. 수차의 출력특성을 측정하기 위하여 수차와 발전기 사이에 토오크-회전측정기를 설치하였다.

수차의 직경은 250mm이고, 수차의 직경에 대한 허브직경의 비는 0.452이며, 수차날

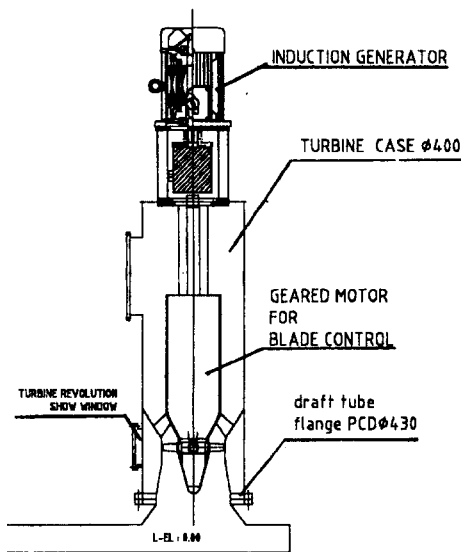


Fig. 1. Sectional view of experimental hydro turbine model.

Table 1 Specifications of hydro turbine blade

Station	Radius (mm)	Pitch angle (deg)	Solidity	Chord (mm)	Airfoil
1	59.7	61.7	1.2	112.5	NACA
2	66.6	63.3	1.18	123.4	65-209
3	73.4	64.9	1.16	133.7	
4	80.3	66.4	1.14	143.7	
5	87.2	67.7	1.12	153.3	
6	94.1	69.0	1.10	162.5	
7	100.9	70.3	1.08	171.1	NACA
8	107.8	71.3	1.06	179.4	
9	114.7	72.4	1.04	187.3	
10	121.6	73.4	1.02	194.7	

개의 제원은 Table 1과 같다.

Fig. 2는 성능시험을 위하여 설치된 입축 프로펠러 수차 모형을 보여준다.

2.2 유동회로부

실험은 폐쇄된 회로를 통해 물이 순환되도록 하였다. 즉, 펌프→수압관→흡출관→하수조→펌프 순으로 Fig.3과 같이 구성되어 있다.

i) 수압관 : 상수조에서 수차로 물을 유입시키는 부분으로 관의 반경은 304mm이다. 흐름을 단속하거나 조정하기 위해 on-off밸브와 control 나비밸브가 부착되어 있고 유량과 수차 앞부분의 전압을 재기 위한 초음파유량측정기가 장착되어 있다.

ii) 흡출관 : 흡출수두를 낙차로 이용하고 방출되는 운동에너지를 효과적으로 압력에너지로 회수하는 부분으로 직경 252mm와 304mm인 2개의 관으로 구성되어 있다.

iii) 하수조 : 흡출관에서 방출되는 물을 저장하여 펌프에 연결시키는 부분으로 저수위를 조절할 수 있게 위어(Weir)가 달린 2000L×1000W×1500H mm인 사각형 수조가 3000L×2000W×1000H mm인 수조 내부에 설치되어 있다. 하수위 측정을 위

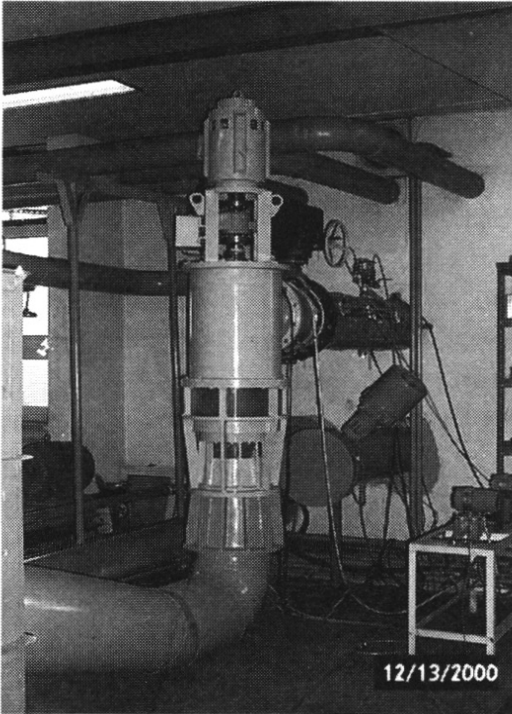


Fig. 2. Photo of experimental hydro turbine model.

한 압력공이 내부 수조에 설치되어 차압변환기 (Differential pressure transmitter)에 연결되어 있다.

iv) 펌프 : 하수조의 물을 수압관으로 재 급수

하기 위한 부분으로 유량조절을 용이하게 하기 위해 용량 35kW급의 펌프를 설치하고, VVVF인버터를 이용하였으며, 펌프형식은 수평단류 흡입볼류트 펌프이다.

2.3 부하

수차에서 발생된 동력에 제동을 걸어 토크와 회전수를 측정하는 부분으로, 6극의 유도발전기를 계통에 연계하여 사용하였다.

2.4 측정기기

수차의 성능예측을 위해 기본적으로 측정해야 할 변수는 낙차, 유량, 토오크, 회전수 등으로 다음과 같이 측정하였다.

- i) 유량 : 수차를 통과하는 유량은 초음파유량계를 사용하여 측정하였다.
- ii) 낙차 : 차압변환기를 이용하여 수차 상류에 설치된 전압 측정공과 하수조에 설치된 압력공으로 부터 차압을 측정하였다.
- iii) 토오크와 회전수 : B&K의 TN32 토오크-회전 측정기를 사용하여 토오크와 회전수를 측정하였다.

2.5 실험방법

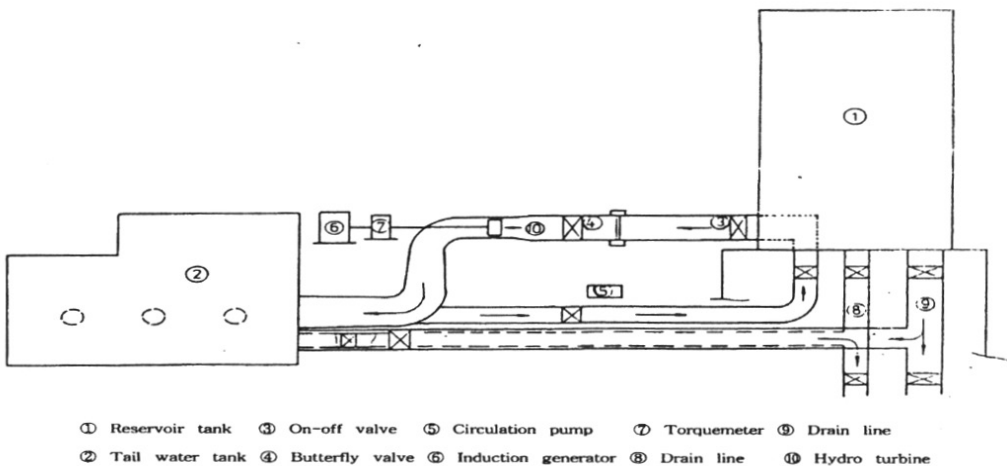


Fig. 3. Schematic diagram of experimental apparatus.

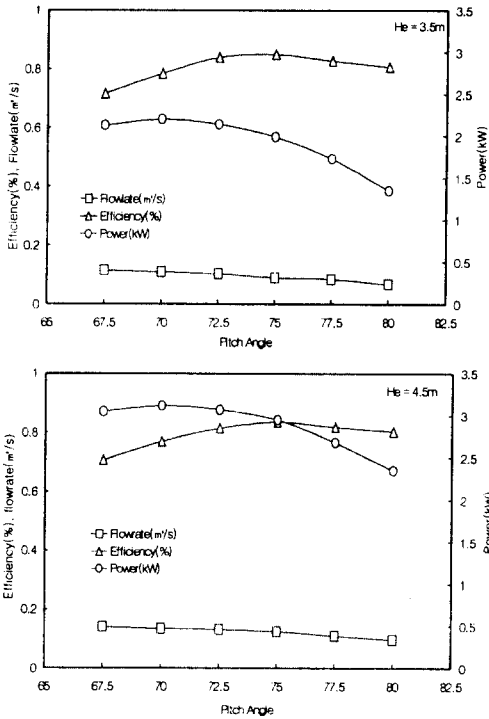


Fig. 4. Variation of flowrate, power and efficiency with pitch angle.

모형수차의 시험은 수차의 회전수를 6극의 유도발전기를 사용하여 1,200rpm으로 일정하게 유지시켰다. 낙차와 피치각의 변화에 대한 수차의 특성을 분석하기 위하여 낙차를 2.5m~5.0m에서 0.5m 간격으로, 피치각을 67.5° ~ 80° 에서 2.5° 간격으로 변화시켜 유량과 출력의 변화를 측정하였다.

3. 결과분석 및 검토

Fig. 4는 수차의 피치각을 변화시켜 수차의 성능 변화를 분석한 것이다. 그림을 통하여 알 수 있는 바와 같이 피치각이 작은 범위에서 효율이 낮고 피치각이 증가할 수록 효율이 증가하다 다시 서서히 감소한다. 수차의 효율은 피치각에 의하여 크게 영향을 받으며, 피치각이 75°부근에서 최대가 되고 그 이상의 피치각에서는 효율이 감

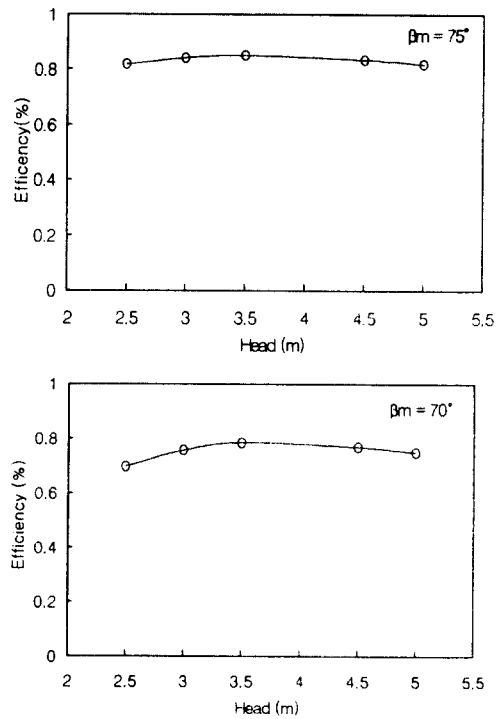


Fig. 5. Variation of efficiency with head.

소한다는 것을 보여준다. 수차를 통과하는 유량은 피치각이 증가할수록 감소한다. 이는 피치각이 증가할 수록 수차날개의 유로가 감소하기 때문이다.

Fig. 5는 낙차 변화에 따른 최대효율의 변화를 나타내는 그림으로 낙차가 증가할 수록 최대효율이 증가하다가 낙차가 더욱 증가하면 서서히 감소한다는 것을 보여준다. 본 실험에서는 피치각에 관계없이 낙차 3.5m에서 최대효율값이 최대가 되며 그이상의 낙차에서는 서서히 감소하는 것으로 나타났다. 또한 최대효율의 변화는 낙차가 큰 범위에 비하여 낙차가 작은 범위에서 변화가 심하게 나타났다.

Fig. 6는 비속도 변화에 따른 최대효율의 변화를 나타내는 그림으로 피치각이 75° 인 경우 비속도가 증가할 수록 최대효율이 서서히 증가하다, 비속도가 360을 넘으면 최대효율이 감소하는 것으로 나타났다. 피치각이 70° 인 경우에는 비속도가 375를 넘으면 최대효율이 감소하는 것으로 나타

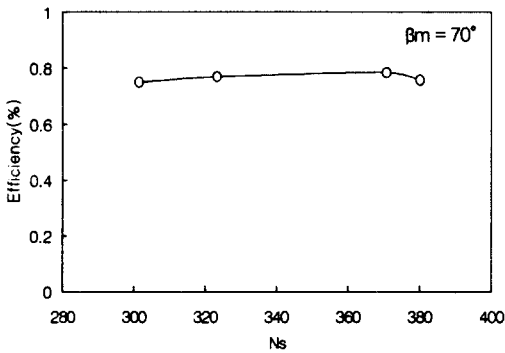
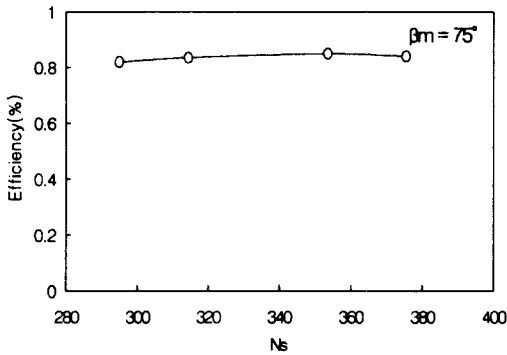


Fig. 6. Variation of efficiency with specific speed.

났다. 피치각에 큰 경우, 최대효율의 값이 최대가 되는 비속도의 값이 작아지는 것은 피치각이 증가할 수록 유량이 적게 통과하기 때문이다.

Fig. 7과 Fig. 8은 수차의 탈설계성능을 분석하기 위한 것으로 각각 낙차비와 유량비에 따른 효율비의 변화를 나타내는 그림이다.

Fig. 7은 낙차가 3.5m로 일정할 경우, 유량의 변화에 따른 최대효율의 변화를 나타내는 것으로 피치각이 75° 인 상태에서의 유량을 기준유량 Q_r 로, 이 때의 최대효율의 값을 기준최대효율 η_r 로 하였으며, 각각의 값은 Q_r 이 $0.091\text{m}^3/\text{sec}$, η_r 이 0.85이다. 설계유량 이외의 운전조건에서는 피치각이 2.5° 씩 변화된 값으로, 유량비가 최소인 0.759에서는 피치각이 80° 이고, 유량비가 최대인 1.281일 때 67.5° 이다.

Fig. 8은 유량이 $0.091\text{m}^3/\text{sec}$ 로 일정할 경우, 낙차의 변화에 따른 최대효율의 변화를 나타내

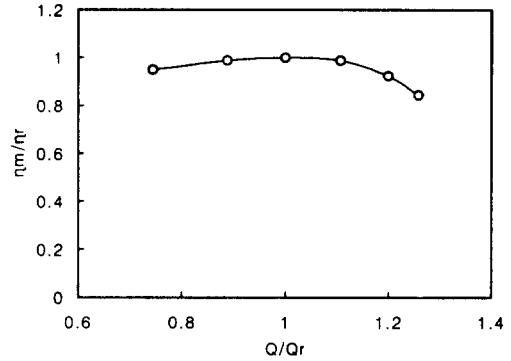


Fig. 7. Variation of maximum efficiency ratio with flowrate ratio.

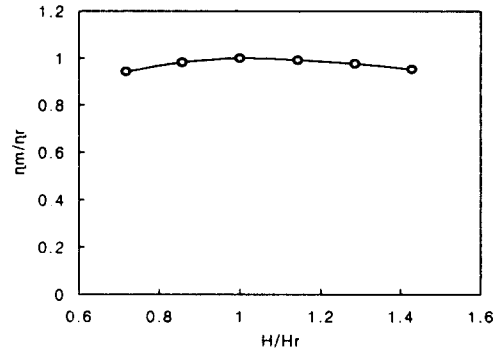


Fig. 8. Variation of maximum efficiency ratio with head ratio.

는 것으로 피치각이 75° 인 상태에서의 낙차를 기준낙차 H_r 로, 이 때의 최대효율의 값을 기준최대효율 η_r 로 하였으며, 각각의 값은 H_r 이 3.5m, η_r 이 0.85이다. 설계낙차 이외의 운전조건에서는 피치각이 1° 씩 변화된 값으로, 낙차비가 최소인 0.714에서는 피치각이 73° 이고, 낙차비가 최대인 1.429일 때 78° 이다.

수차의 성능을 검토하여 설계점에서의 무차원 비속도(N_s)와 무차원 직경(D_s)를 확인한 결과, Fig. 9에서와 같이 기존의 설계된 수차들과 같은 무리를 이루게 되어 수차설계가 원만하게 되었음을 확인하였다.

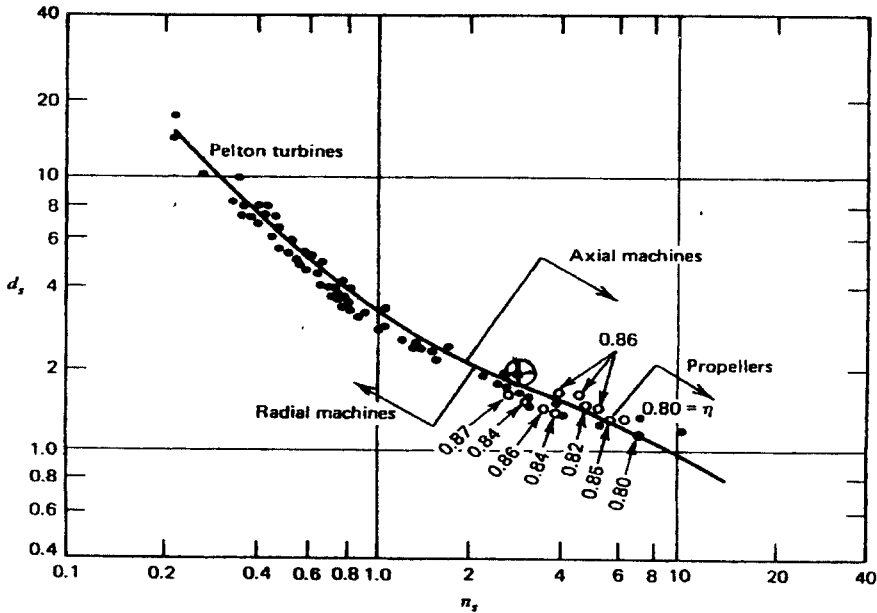


Fig. 9. N_s - D_s comparison of experimental hydro turbine.

4. 결 론

입축 프로펠러 수차의 성능특성은 주속계수에 따라 변하게 되며, 본 모델의 경우, 넓은 범위의 비속도에서 효율 및 출력특성이 매우 안정된 값을 보여주었다.

입축 프로펠러 수차의 효율은 피치각에 의한 영향이 크다는 것이 밝혀졌다. 또한 피치각이 조절되는 입축 프로펠러 수차는 유량과 낙차의 변화가 큰 소수력발전에 효과적으로 사용할 수 있다는 것을 알 수 있다.

수차의 성능을 검토하여 설계점에서의 무차원 비속도와 무차원 직경을 확인한 결과, 기존의 설계된 수차들과 같은 무리를 이루게 되어 수차설계가 원만하게 되었음을 확인하였다

참 고 문 헌

1) 박완순 외, 1999, "소수력발전소의 경쟁력

강화에 의한 개발활성화 방안 연구", 1999-N-SH08-P-06, 연구보고서, 한국에너지기술연구원.

2) 이철형 외, 1999, "카프란수차 설계기술 및 국산화 개발", KIER-994608, 연구보고서, 한국에너지기술연구원.

3) Giorgio Bagliani, 1984, "Small Turbine Model Testing", 1st Int'l Conference on Small Hydro, Singapore, session III.

4) Bo Stjernstrom, 1991, Submersible Hydro Turbine Generators: A New Approach to Small-Scale Hydro, FLYGT.

5) Ernesto Doebelin, 1983, Measurement Systems- Application and Design, 3rd Ed. McGraw Hill.

6) O. E. Balje, 1981, Turbomachines-A Guide to Design, Selection and Theory, John Wiley & Sons, Inc.

7) Code for Testing and Speed Governing System for Hydro Turbines, IEC Publication 308.