

카프란수차의 수력학적 성능특성

이 철형¹⁾, 박 완순²⁾

Hydraulic Performance Characteristics of Kaplan Turbine

C. H. Lee, W. S. Park(KIER)

Abstract : The Kaplan turbine model has been tested and analyzed. The blade angle and the guide vane opening of the turbine model were designed to be varied according to the best combination of guide vane and runner blade opening. 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.

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 수행된다면, 반드시 소수력발전의 경제성이 낮다고 할 수만은 없다.

카프란수차는 낙차와 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 우리 나라의 소수력발전소에 적용하기가 매우 좋은 수차라고 할 수 있다.

카프란수차의 국산화개발은 소수력발전의 핵심 부품을 국산화한 것으로 소수력발전소의 경제성을 향상시켜, 소수력자원을 효율적으로 이용하여 부존자원의 최대 활용과 동시에 관련 산업육성에 기여할 것이다.

2. 카프란 수차 성능시험

2.1 카프란수차 모형

카프란수차의 모형은 피치각과 안내깃각을 수동으로 조정할 수 있도록 설계·제작하였으며, 구성도는 Fig. 1과 같다.

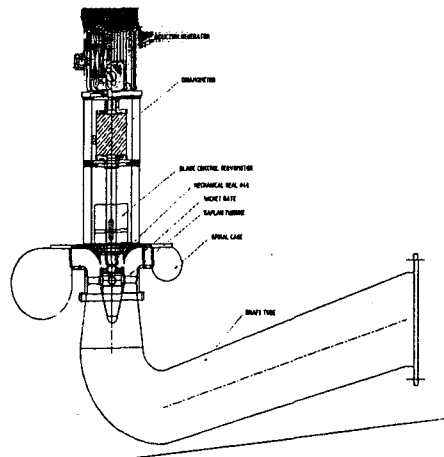


Fig. 1 카프란수차 모형의 구성도

수차의 직경은 250mm이고, 수차의 직경에 대한 허브직경의 비는 0.452이며, 수차날개의 제원은 Table 1과 같다.

- 1) 한국에너지기술연구원
E-mail : lchg@kier.re.kr
Tel : (042)860-3437 Fax : (042)860-3739
- 2) 한국에너지기술연구원
E-mail : pwsn@kier.re.kr
Tel : (042)860-3432 Fax : (042)860-3739

Table 1 수차날개의 제원

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	
8	107.8	71.3	1.06	179.4	
9	114.7	72.4	1.04	187.3	NACA
10	121.6	73.4	1.02	194.7	65-206

2.2 유동회로부

실험은 폐쇄된 회로를 통해 물이 순환되도록 하였다. 즉, 펌프→수압관→흡출관→하수조→펌프순으로 Fig. 2와 같이 구성되어 있다.

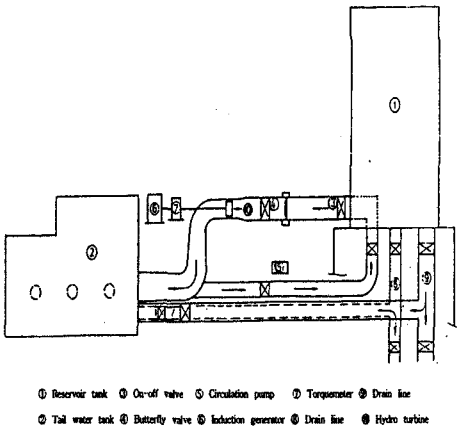


Fig. 2 수차 모형실험장치 유동회로도

- 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 위한 압력

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

iv) 펌프 : 하수조의 물을 수압관으로 재 급수하기 위한 부분으로 유량조절을 용이하게 하기 위해 용량 35kW급의 펌프를 설치하고, VVVF인버터를 이용하였으며, 펌프형식은 수평단류 흡입볼류트 펌프이다.

2.3 부하

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

2.4 측정기기

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

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

Fig. 3은 성능시험을 위하여 설치된 카프란수차 모형과 성능실험설비를 보여준다.



Fig. 3 수차모형 성능실험설비

2.5 실험방법

모형수차의 시험은 수차의 회전수를 1,200rpm으로 일정하게 유지시키고, 낙차, 유량, 피치각 및 안내깃각을 변화시켰다. 수차의 피치각은 설계점 70°를 중심으로 ±10°를 하여 60°, 65°, 70°, 75°, 80°로 조절하였으며 안내깃각은 5°에서 45°까지 5°간격으로 변화시켜 실험하였다.

3. 결과분석 및 토의

Fig. 4는 낙차가 4m인 경우, 수차의 피치각을 일정하게 고정시키고 안내깃각을 변화시켜 수차의 성능 변화를 분석한 것이다. 그림을 통하여 알 수 있는 바와 같이 안내깃각이 작은 범위에서 효율이 높고 안내깃각이 커질수록 효율이 서서히 감소한다. 그러나 전반적으로 안내깃각의 크기가 수차의 효율에 크게 영향을 미치지 못한다는 것을 보여준다.

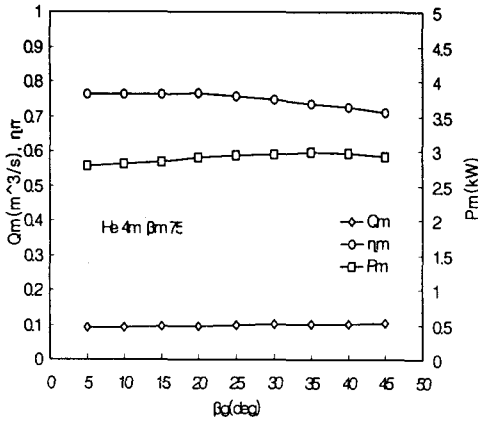


Fig. 4 안내깃각에 따른 유량, 출력 및 효율의 변화

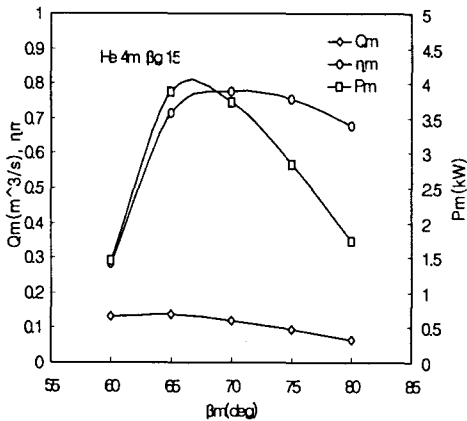


Fig. 5 피치각에 따른 유량, 출력 및 효율의 변화

Fig. 5는 낙차가 4m인 경우, 안내깃각을 일정하게 고정시키고 수차의 피치각을 변화시켜 수차의 성능 변화를 분석한 것이다. 그림을 통하여 알 수 있는 바와 같이 피치각이 작은 범위에서 효율이 낮고 피치각이 증가할수록 효율이 증가하다 서서히 감소한다. 전반적으로 수차의 효율은 피치각

에 의하여 크게 영향을 받으며, 피치각이 70°~75° 사이에서 최대가 되며 그 이상의 피치각에서는 효율이 감소한다는 것을 보여준다.

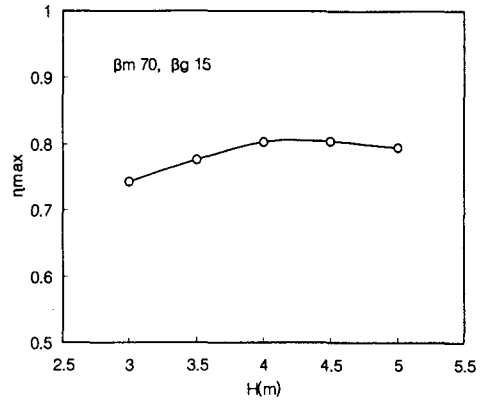


Fig. 6 낙차에 따른 최대효율의 변화

Fig. 6은 낙차 변화에 따른 최대효율의 변화를 나타내는 그림으로 낙차가 증가할수록 최대효율이 증가하는 것을 보여주며, 낙차가 4m가 넘으면 최대효율의 증가가 거의 없는 것을 알 수 있다.

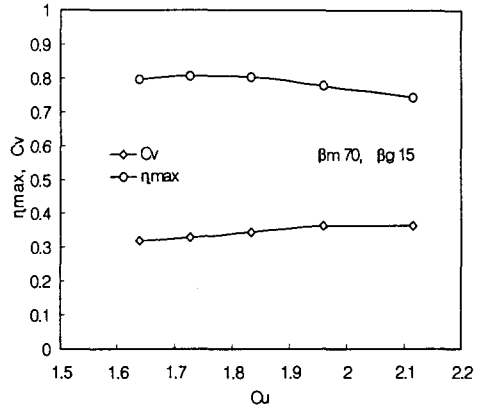


Fig. 7 주속계수에 따른 최대효율과 축류유속계수의 변화

Fig. 7은 주속계수 변화에 따른 최대효율과 축류유속계수의 변화를 나타내는 그림으로 주속계수 ($C_u = U/\sqrt{2gh}$)가 증가할수록 최대효율이 감소하는 것을 알 수 있다. 카프란수차의 모형실험결과를 통하여 카프란수차의 성능특성은 주속계수에 따라 변하게 되는 것을 확인하였으며, 본 실험에서는 주속계수가 $C_u=1.843$ 인 경우, 즉 시험낙차를 4m로 한 경우에 효율이 높은 것으로 나타났으며, 출력

특성도 매우 안정된 값을 보여주었다. 시험낙차를 5m로 한 경우에는 4m의 경우보다 효율이 약간 증가하나, 증가되는 양이 매우 미미한 것으로 나타났다.

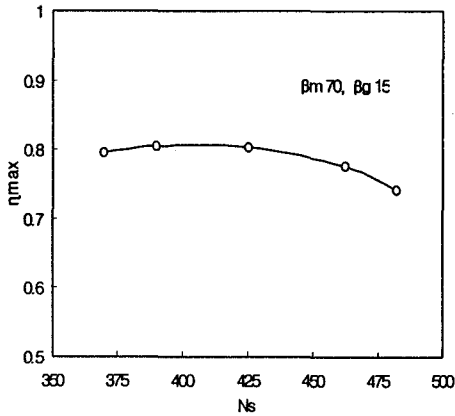


Fig. 8 비속도에 따른 최대효율의 변화

Fig. 8은 비속도 변화에 따른 최대효율의 변화를 나타내는 그림으로 비속도가 증가할수록 최대효율이 서서히 증가하다, 비속도가 425를 넘으면 최대효율이 감소하는 것을 알 수 있다.

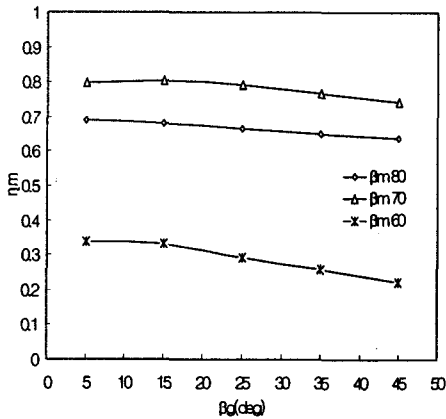


Fig. 9 안내깃각에 따른 효율의 변화

Fig. 9는 안내깃각 변화에 따른 효율의 변화를 나타내는 그림으로 전반적으로 수차의 효율은 안내깃각에 의한 영향보다 피치각에 의한 영향이 크다는 것을 알 수 있다.

수차의 성능을 검토하여 설계점에서의 무차원 비속도(N_s)와 무차원 직경(D_s)를 확인한 결과, Fig. 10에서와 같이 기존의 설계된 수차들과 같은

무리를 이루게 되어 수차설계가 원만하게 되었음을 확인하였다.

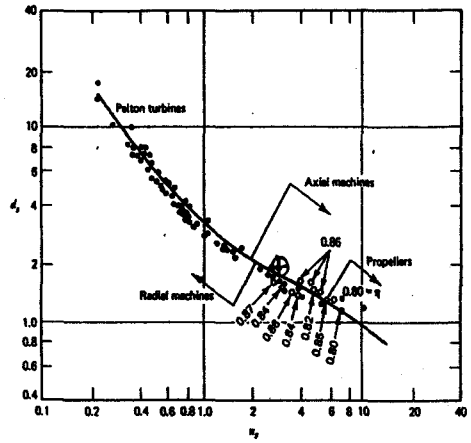


Fig. 10 카프란수차의 N_s - D_s 비교

4. 결론

카프란수차의 성능특성은 주속계수에 따라 변하게 되며, 본 모델의 경우, 넓은 범위의 비속도에서 효율 및 출력특성이 매우 안정된 값을 보여주었다. 또한 카프란수차의 효율은 안내깃각에 의한 영향보다 피치각에 의한 영향이 크다는 것이 밝혀졌다.

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

References

- [1] Giorgio Bagliani, 1984, "Small Turbine Model Testing", 1st Int'l Conference on Small Hydro, Singapore, session III.
- [2] Bo Stjernstrom, 1991, Submersible Hydro Turbine Generators: A New Approach to Small-Scale Hydro, FLYGT.
- [3] Ernesto Doebelin, 1983, Measurement Systems—Application and Design, 3rd Ed. McGraw Hill.
- [4] O. E. Balje, 1981, Turbomachines—A Guide to Design, Selection and Theory, John Wiley & Sons, Inc.
- [5] Code for Testing and Speed Governing System for Hydro Turbines, IEC Publication 308.