

소수력발전용 횡류수차의 공기층효과에 의한 성능향상

최영도*, 안영준**, 신병록*, 이동엽*, 이영호***
 창원대학교*, 창원대학교(원)**, 한국해양대학교***

Performance Improvement of Cross-Flow type Small Hydro Turbine by Air Layer Effect

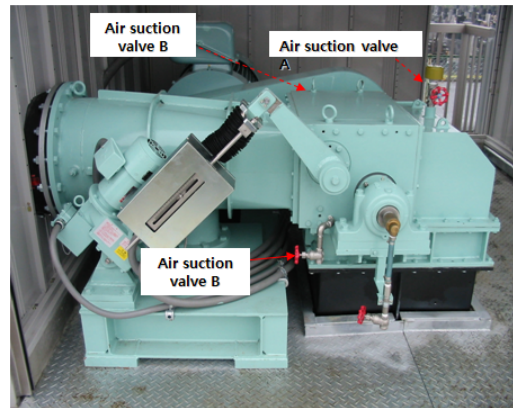
Young-Do Choi*, Young-Joon An**, Byeong-Rog Shin*, Dong-yeup Lee*, Young-Ho Lee***
 Changwon National University*, Graduate School of Changwon National University**, Korea Maritime University***

Abstract - Recently, small hydropower attracts attention because of its clean, renewable and abundant energy resources to develop. Therefore, a cross-flow hydraulic turbine is proposed for small hydropower development in this study. The turbine's simple structure and high possibility of applying to the sites of relatively low effective head and large flow rate can be advantages for the introduction of the small hydropower development.

The purpose of this study is not only to investigate the effects of air layer in the turbine chamber on the performance and internal flow of the cross-flow turbine, but also to suggest a newly developed air supply method. CFD analysis for the performance and internal flow of the turbine is conducted by an unsteady state calculation using a two-phase flow model in order to embody the air layer effect on the turbine performance effectively.

The result shows that air layer effect on the performance of the turbine is considerable. The air layer located in the turbine runner passage plays the role of preventing a shock loss in the runner axis and suppressing a recirculation flow in the runner. The location of air suction hole on the chamber wall is very important factor for the performance improvement. Moreover, the ratio between air from suction pipe and water from turbine inlet is also significant factor of the turbine performance.

을 수행하였으며, Case 1은 실험결과와 동일한 운전조건에서 계산을 수행하였다.



<그림 1> Test turbine

1. 서 론

소수력발전의 보급 확대와 더불어 횡류수차는 비교적 간단한 구조와 넓은 운전범위로 인하여 제작 및 유지보수가 편리하고, 표준화와 계열화가 상대적으로 용이한 장점 등으로 주목을 받고 있다. 그러나, 횡류수차의 성능향상과 최적형상에 대한 연구가 실험과 이론적 분석을 통하여 진행되어 왔으나, 아직 수차의 성능과 내부유동에 대한 불명확한 점들이 많이 남아있다⁽¹⁻¹⁰⁾.

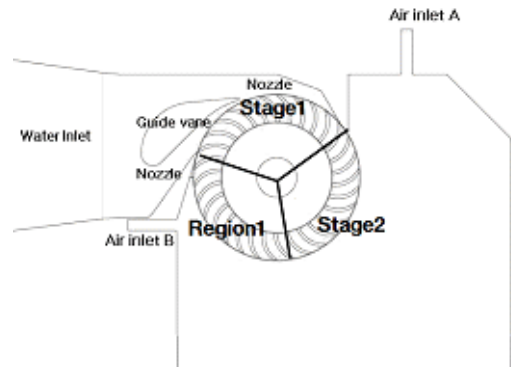
따라서, 본 연구에서는 횡류수차의 성능을 향상시키기 위하여 새로운 방식의 공기주입법을 제안하였으며, 수차의 공기주입량에 따른 성능변화의 상관관계를 CFD (Computational Fluid Dynamics) 해석을 통하여 자세하게 검토하였다.

2. 횡류수차모델 및 수치해석법

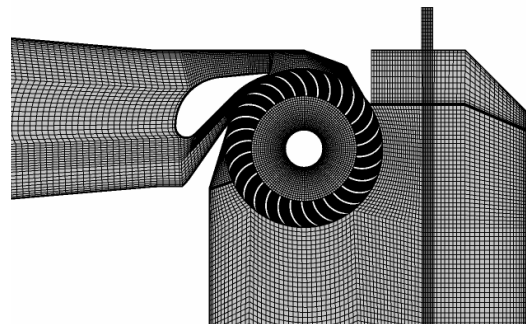
Fig. 1은 본 연구에 적용한 횡류수차이며, Fig. 2는 수치해석용 수차모델의 개략도 및 계산격자를 보이고 있다. Fig. 2의 러너 블레이드 길수는 $Z=30$ 매이며, 러너 블레이드의 입출구 각도는 각각 30° 및 87° 이다. 노즐, 러너 그리고 러너 챔버의 폭은 모두 $b=550$ mm로 동일하게 설계하였으며, 가이드베인의 개도각은 실험과 CFD해석에서 모두 동일하게 22° 로 설정하였다. 수차의 내부유로는 러너를 통과하는 흐름의 유로를 기준으로 하여 노즐 출구 및 러너 입구부에서 Stage 1의 유로영역과 러너 출구부에서 Stage 2의 유로영역, 그리고, 새롭게 공기층을 형성시킬 Region 1의 영역으로 구분하였다.

Fig. 3은 본 연구에서 적용한 계산격자를 보이고 있으며, 약 2.6×10^6 개의 hexa-hedral 격자로 구성하였다. 해석대상 유동장에 대한 수치해석은 ANSYS-CFX v.11⁽¹¹⁾을 사용하여 비정상계산을 수행하였으며, 작동 유체로서는 공기와 물의 이상류를 계산에 적용하였다.

표 1은 공기 공급량에 따른 성능변화를 검토하기 위하여, 공기흡입구 1 및 2를 통한 유입공기량비에 따라서 3종류의 경우에 대해서 CFD해석



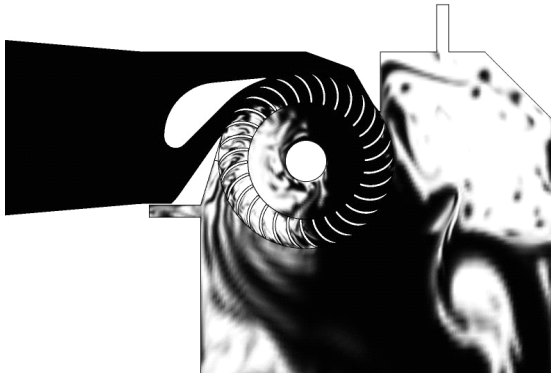
<그림 2> Schematic view of test turbine model



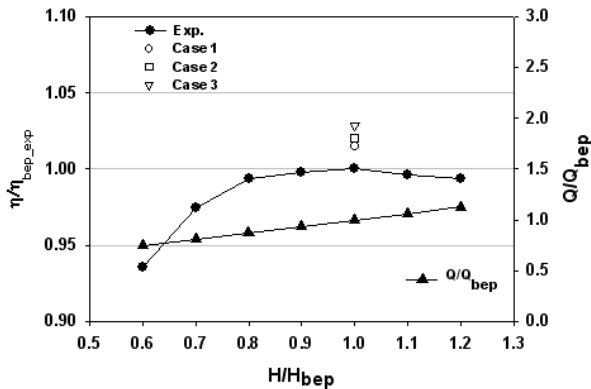
<그림 3> Numerical grid of test turbine model

〈표 1〉 Test cases by experiment and CFD analysis

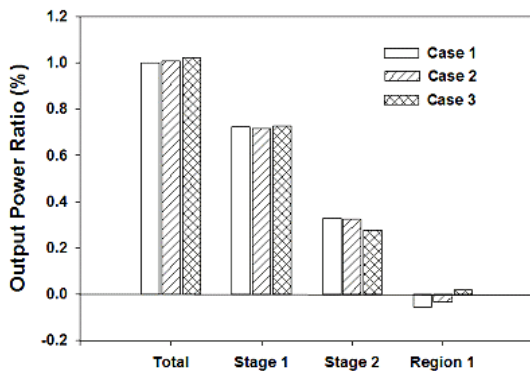
Division	Exp.	CFD		
		Case 1	Case 2	Case 3
Working fluid	Water & air	Water & air	Water & air	Water & air
Number of air suction hole	1 (A)	1 (A)	2 (A) & (B)	2 (A) & (B)
Air flow rate (Qa/Qw)	0.032(A)	0.032(A)	0.032(A) 0.006(B)	0.032(A)



〈그림 4〉 Water-air two phase flow in the test turbine model (Case 1, volume of fraction)



〈그림 5〉 Performance curves of test turbine model



〈그림 6〉 Output power analysis for the test cases

3. 결과 및 고찰

Fig. 4는 물과 공기를 포함하는 이상류 계산결과에 대하여 물과 공기의 체적분율로 나타낸 것이며, Case 1의 공기유입조건에 따른 내부유동을 나타내고 있다. 수차 유입구에서 유입된 물은 러너는 통과하면서 케이싱 상부의 공기흡입구 A로부터 유입된 공기와 혼합하게 되고, 유입된 공기는 또한 러너 좌측하부의 압력이 낮은 영역에서 공기층을 형성하게 된다.

따라서, Fig. 5에서의 결과와 같이 기존의 공기흡입구 A로부터 흡입된 공기와 더불어, 공기흡입구 B로부터 흡입된 공기량이 증가할수록 (Case 1→3) 수차의 효율은 증가하게 된다. 이러한 결과는 러너 좌측하부에 형성된 공기층에 의해 수차노즐을 통과한 유입흐름이 러너 중심축과 부딪혀서 발생하게 되는 충돌손실을 감소시키고, 러너유로를 통과한 흐름이 흡출관으로 흘러가지 못하고 다시 러너유로에서 재순환하는 흐름이 억제되기 때문으로 판단된다.

한편, Fig. 6은 Case 1에서 3까지의 해석결과로부터 러너유로 각 부분에서의 영역별 출력을 검토한 결과이며, 공기흡입구 B의 흡입공기량이 증가할수록 러너유로 각 영역에서의 출력도 함께 증가하는 것을 확인할 수 있다.

4. 결 론

본 연구에서 제안된 공기주입법에 의하여 수차의 공기주입량을 조절할 경우 수차의 효율이 증가함을 확인하였으며, 이러한 효율증가는 러너유로에 형성된 공기층이 유입흐름과 러너 중심축의 충돌손실을 감소시키고, 러너유로 내부의 재순환하는 흐름을 억제시키는 작용을 하기 때문이다.

[참 고 문 헌]

- [1] MOCKMORE, C. A. and MERRYFIELD, F., 1949, *The Banki Water Turbine*, No. 25, Engineering Experiment Station, Oregon State Colleg, Corvallis, OREGON, USA.
- [2] FUKUTOMI, J., NAKASE, Y., WATANABE, T., 1985, *A Numerical Method of Free Jet from a Cross-flow Turbine Nozzle*, Bulletin of JSME, Vol. 28, No. 241, pp. 1436-1440.
- [3] FUKUTOMI, J., NAKASE, Y., ICHIMIYA, M. and EBISU, H., 1995, *Unsteady Fluid Forces on a Blade in a Cross-Flow Turbine*, JSME International Journal, Ser. B, Vol. 38, No. 3, pp. 404-410.
- [4] NAKASE, Y., FUKUTOMI, J., WATANABE, T., Suetsugu, T., KUBOTA, T. and Kushimoto, S., 1982, *A Study of Cross-Flow Turbine (Effects of Nozzle Shape on Its Performance)*, Small Hydro Power Fluid Machinery (Proc. the Winter Annual Meeting of the American Society of Mechanical Engineers), Phoenix, Arizona, USA, pp. 13-18.
- [5] KHOSROWPANAH, S., FIUZAT, A. A. and ALBERTSON, M. L., 1988, *Experimental Study of Cross-Flow Turbine*, J. of Hydraulic Engineering, Vol. 114, No. 3, pp. 299-314.
- [6] FIUZAT, A. A. and AKERKAR, B. P., 1991, *Power Outputs of Two Stages of Cross-Flow Turbine*, J. of Energy Engineering, Vol. 117, No. 2, pp. 57-70.
- [7] DESAI, V. R. and AZIZ, N. M., 1994, *An Experimental Investigation of Cross-Flow Turbine Efficiency*, J. of Fluids Engineering, Vol. 116, pp. 545-550.
- [8] ZHAO, L., 2002, *A Study on the Proposal of Ecologically Practical Micro Hydropower System and Performance Improvement*, Doctoral Dissertation of Yokohama National University, Yokohama, Japan.
- [9] CHOI, Y-D., LIM, J-I., KIM Y-T. and LEE, Y-H., 2008, *Performance and Internal Flow Characteristics of a Cross-Flow Hydro Turbine by the Shapes of Nozzle and Runner Blade*, J. of Fluid Science and Technology, Vol. 3, No. 3, pp. 398-409.
- [10] *Guide Book of Cross-Flow Hydro Turbine*, 2007, Interior reference book of Tanaka Suiryoku, Kanagawa, Japan.
- [11] *ANSYS-CFX Documentation Ver. 11*, 2007, ANSYS Inc., <http://www.ansys.com>