

소수력 발전용 프란시스 수차의 수력학적 성능에 관한 연구

최주석, 김일수*, 문채주*, 김옥삼**
 목포대학교 대학원, 목포대학교*, 여수대학교**

A Study on Hydraulic Performance of Francis Turbine for Small Hydropower Plants

J. S. Choi, I. S. Kim*, C. J. Moon* and O. S. Kim**

Mokpo National University Graduate School

* Mokpo National University

** Yosu National University

ABSTRACT

Francis turbine of commercial small hydro-power plants under 10kw which is investigate a flow characterist and an efficiency in the research which it sees, the problem and an improvement is investigate.

In the research which it is simply model with casing, guide-vane, runner, draft tube for simulation numerical analysis of small-sized Francis turbine. model uses the Gambit and it composes with approximately 800,000 non-uniform lattices. Solutions are investigate the hydraulic characteristics against an outward angle of guide vane, the number of guide vane, head(inlet velocity) by using FLUENT which is a commercial business code.

1. 서론

통상 수차는 구조에 의하여 만들어지고, 수차에 대한 성능평가는 실험을 통하여 이루어진다. 그러나 수차를 제조하는 경제적 비용이 크므로 실제 제품에 대한 성능평가를 하는 경우가 대부분이며, 이에 대한 성능개선을 위한 수차 제조는 불가능하다. 이러한 측면에서 수치해석용 프로그램을 통한 수차의 성능 및 개선사항을 검토해보는 것은 경제적 측면에서 좋은 방안이라 하겠다. 본 연구에서는 소수력 발전용 10kw 미만의 상용 프란시스 수차에 대해 유동학적 특성 및 성능을 검토하고, 이에 대한 문제점 및 개선점을 검토하였다.

2. 수치해석

2.1 수치해석 방법

본 연구에서는 소형 프란시스 수차의 시뮬레이션 수치해석을 위해 설계모델을 Fig. 1과 같이 케이싱, 안내깃, 회전차, 흡출관으로 단순화하였다. Gambit을 사용하여 비균일 격자법으로 대략 800,000개의 격자로 구성하고, 비압축성 3차원 정상 유동에 대한 연속방정식, 운동량 방정식, 난류 모델, MRF(Moving Reference Frame) 방정식을 사용하여 상용코드인 FLUENT로 안내깃 유출각, 안내깃 수량, 낙차(유입속도)에 따른 수력학적 특성 등을 검토하고, 현재 설계된 모델의 유동학적 특성과 개선된 모델의 유동학적 특성을 비교 검토한다.

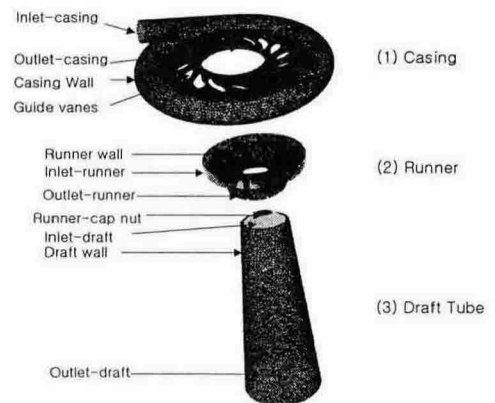


Fig. 1 Grid system of Francis Turbine

2.2 계산조건

해석 모델의 수력학적 특성을 해석하기 위한 수치해석 조건은 Table 1과 같다.

Table 1 Condition of numerical calculation

	Case1	Case2	Case3
blade angle	O	O	X
blade number	X	O	X
inlet velocity	X	X	O
runner twist	X	X	X

3. 결과 및 고찰

3.1 [Case1] 안내깃 유출각에 따른 수력학적 특성

16개의 안내깃을 사용하여 케이싱내 유입속도 (4.69[m/s])가 일정할 때, 회전차에 유입되는 물의 방향을 결정짓는 안내깃의 유출 상태에 따라 회전차의 날개에 작용하는 회전력을 계산하였고, 수치 해석 결과를 바탕으로 다음과 같은 에너지 방정식과 이론 동력 계산식을 이용하여 유효낙차와 이론 동력을 계산하였다.

$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{P_1}{\gamma} + Z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{P_2}{\gamma} + Z_2 + H$$

(1: 유입구, 2: 출구, H: 유효낙차[m])

$$P = 9.8QH \text{ [kW]}$$

(Q: 유량[m³/s])

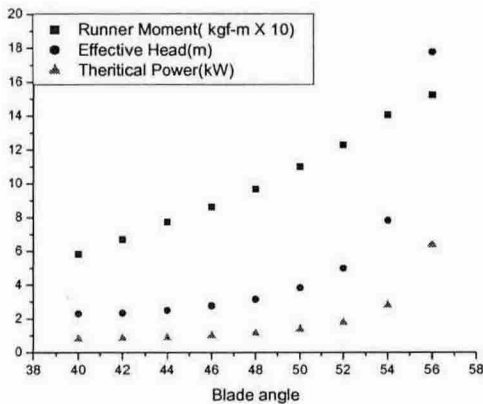


Fig. 2 Hydraulic characteristics for blade angle

Fig. 2는 안내깃의 유출각 증가에 따른 유효낙차, 이론출력, 회전차의 회전력의 관계를 비교한 것이다. 안내깃의 유출각 증가에 따라 유효낙차와 이론 출력은 비례하여 증가하다가 유출각이 52도 이상이 되면 급격히 증가함을 볼 수 있다. 이는 안내깃 사이의 공간이 좁아져 케이싱 내부의 압력 저항이 상승함에 따라 유입 유량이 일정하게 되기 위해서는 유효 낙차가 커져야 되고, 이에 따라 이론 출력도 함께 증가함을 볼 수 있다. 그러나 회전차가 받는 회전력은 안내깃 사이의 유속 증가에 따라 유출각과 비례관계를 갖지만 이론 출력의 증가와는 비례

관계를 갖지 않음을 볼 수 있다. 이는 좁은 안내깃 사이의 빠른 유속에 의하여 회전력이 증가하더라도 기계적 손실에 의하여 실제 수차의 효율은 감소할 것으로 예측된다.

3.2 [Case2] 안내깃 갯수와 유출각에 따른 수력학적 특성

안내깃 사이의 유동 공간이 비슷하도록 안내깃 수와 유출각을 조절하여 다음과 같이 2개의 조건에서 수력학적 특성을 검토하였다.

Table 2 Condition for blade number & blade angle

안내깃 수(개)	12	13	14	15	16
유출각° A	62°	60°	58°	56°	54°
유출각° B	64°	62°	60°	58°	56°

Fig. 3은 안내깃 수와 유출각을 조절하였을 때 나타나는 회전차의 회전력, 유효낙차, 이론 출력의 관계를 나타낸 것이고, 안내깃 사이의 공간은 A가 B에 비하여 약간 넓은 경우이다. A의 경우는 안내깃 수가 증가함에 따라 유효낙차와 이론 출력은 약간 증가하는 경향을 나타내었고, B의 경우에는 안내깃 수가 증가함에 따라 A의 경우보다 유효낙차와 이론 출력이 크게 상승함을 나타내었다. A와 B의 경우가 다소 차이를 보이는 주요 원인으로 모델링 과정에서 안내깃 사이의 공간을 동일하게 일치시키지 못한 것이 원인으로 파악된다. 이러한 오차를 감안하고 A의 경우에 대해 속도벡터를 분석하였다. 안내깃(12)/유출각(62)의 경우는 안내깃(16)/유출각(54)의 경우에 비해 안내깃 사이의 공간이 다소 넓다. 또한 안내깃(12)/유출각(62)의 경우는 다른 경우에 비하여 안내깃 사이의 유속이 느리며, 안내깃 수가 많아질수록 안내깃 사이의 유속은 증가하였다. [Case 1]의 안내깃의 유출각에 따른 변화 분석에서 안내깃의 유출각이 커지는 것은 실질적으로 안내깃 사이의 공간이 좁아져서 유속이 증가하는 것을 의미하며, 동일한 안내깃 수를 사용하는 경우에는 안내깃 사이의 공간이 좁을수록 회전차의 회전력이 크게 증가함을 알 수 있었다. 그러나 그림 4는 안내깃 사이의 공간이 유사한 경우에 안내깃의 수가 많은 경우보다 안내깃의 수가 적은 경우가 더 큰 회전력을 받았다. 이러한 원인으로서는 속도벡터 분석 결과 안내깃의 수가 적지만 상대적으로 안내깃의 유출각이 커서 물의 유동 방향이 원주방향과 유사하게 형성됨으로서 회전차의 회전력이 증가한 것으로 판단된다. 유효낙차 및 이론 출력의 변화에 비하여 회전차의 회전력의 성능향상을 통하여 수차의 효율을 높일 수 있을 것으로 예측된다.

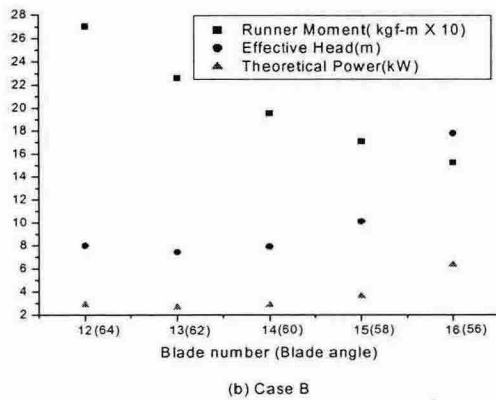
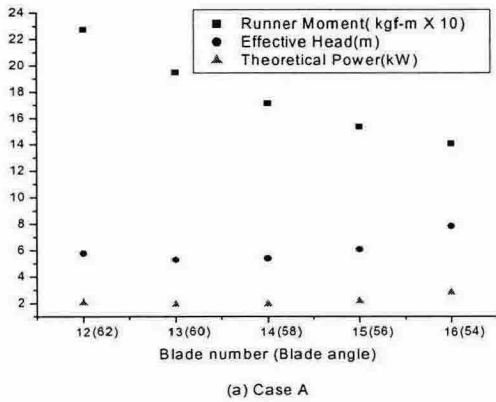


Fig. 3 Hydraulic characteristics for blade number & blade angle

3.3 [Case3] 유입속도에 따른 수력학적 특성

[Case 1]에서 안내깃이 16개일 때는 유출각이 50도인 경우가 효율측면에서 가장 안정적일 것으로 예측되었다. 이러한 경우 유입속도에 따른 유효 낙차와 회전차에 작용하는 회전력, 그리고 이론 출력간의 관계를 검토하였다.

Fig. 4는 유입속도에 따른 회전차의 회전력, 유효낙차, 이론 출력의 관계를 나타낸 것이다. (a)에서 전반적으로 유입속도 증가에 따라 회전력, 유효낙차, 이론 출력의 증가폭이 약간 다르게 나타난다. (b)에서 유입속도 증가에 따라 유효낙차의 폭이 다소 증가하는 원인은 안내깃 사이의 압력 저항 증가로 인하여 유효낙차 폭이 약간씩 증가하는 것으로 판단된다. 그러나 유입속도 증가에 따라 유효 낙차나 이론 출력의 증가폭에 비하여 회전차의 회전력이 큰 폭으로 증가하는 것은 수차의 효율측면에서 안정적이라 할 수 있겠다.

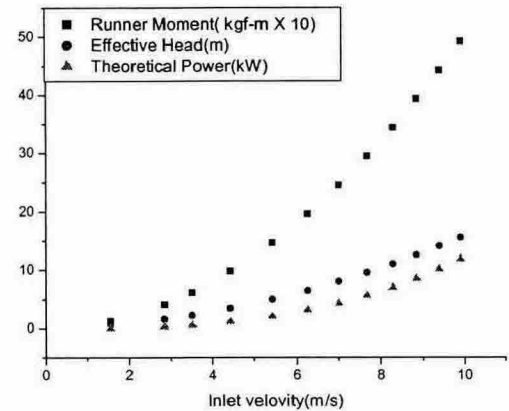


Fig. 4 Hydraulic characteristics for inlet velocity

4. 결론

케이싱의 유입직경이 100mm인 소형 상용 프란시스 수차의 성능향상을 위한 개선점을 분석하기 위해 수치 해석적 방법으로 연구를 수행한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

수차의 안내깃의 유출각 증가는 이론출력 및 회전차의 회전력 증가시키지만 상대적으로 유효낙차가 큰 폭으로 커짐으로 많은 수의 안내깃과 큰 유출각은 오히려 수차의 효율을 감소시킬 수 있다. 수차의 안정적 효율증가 방안으로는 안내깃의 수와 유출각을 조절하여 물의 흐름 방향이 회전차의 원주방향으로 형성될 때 가장 효율적으로 파악되었다.

이 논문은 산업자원부에서 시행하는 대학전력연구센터 육성·지원 사업에 의해 작성되었습니다.

참고 문헌

- [1] 안병노, "소수력용 수차의 익렬 주위 유동", 학위논문, 1992
- [2] 이철형 외, "소수력발전용 입축 프로펠러 수차의 수력학적 성능특성 분석", 한국수소 및 신에너지 학회 논문집, 제14권 제2호, pp171~176, 2003
- [3] 최용진, "고낙차 양수발전 2단 가역 프란시스 펌프/수차 효율에 관한 연구", 학위논문, 2002
- [4] 정진달, "프란시스 수차의 성능변화에 관한 연구", 학위논문, 1992
- [5] R. Montanari, "Criteria for the economic planning of a low power hydroelectric plant", Renewable Energy, pp. 2129~2145, 2003
- [6] N. H. Costa Pereira, "Study of the nozzle flow in a cross-flow turbine", Int. J. Mech. Sci., pp.283~302, 1995
- [7] A. Wickstrom, "Structural analysis of francis turbine runners using ADINA", Computers & Structures, pp1087~1095, 1997