

프란시스 수차의 설계조건 변동에 따른 수력학적 해석

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

Analysis of Hydraulics Power according to Changable Design Conditions for Francis Turbines

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

Among many other alternative energy resources, small scale hydropower has been brought into attention as a reliable source of energy today, which had been relatively neglected since 1960s. Present low head of Francis turbines and small scale hydro turbines, however, have limitations in the minimum required head and flow rate for efficient operation.

This study attempts to develop the Francis turbine which is expected to run efficiently even in very low head and small flow rate, so that the limitations on the conventional small scale hydropower could be alleviated and competition with other alternative energy sources in the changable design conditions could be attained. The Francis turbine of a new concept was designed based on changable design conditions, hydrodynamics and theory of power transmission.

1. 서 론

선진국에서는 풍부한 화석에너지를 보유하고 있음에도 일찍부터 대체에너지 개발에 관심과 투자를 계속하였다. 일본의 경우 유가가 한창 떨어져 있던 2000년도에 이미 대체에너지의 비중이 전체에너지 이용의 6%를 넘었으며, 자원부국인 미국도 12%가량을 유지하였다. 우리나라의 경우 과학기술계의 추산에 따르면 태양열 풍력 등의 대체에너지 활용도는 극히 미약한 실정으로, 전체 에너지 소비량 가운데 대체 에너지원 비중이 0.3%에 불과한 사실이 이를 단적으로 증명해준다. 대체 에너지원으로 수력발전은 화석에너지원의 이용기술에 비해 단순성, 신뢰성, 경제성 등이 탁월하고 공해 없는 청정 에너지원인 장점이 있다. 최근 세계적으로 터빈 설계기술의 향상 및 성능 향상, 그리고 높

아가는 석유 가격으로 인해 수력발전이 충분한 경쟁력^[1]을 갖게 되었다. 통상, 프란시스 터빈 성능 평가^[2]는 실험을 통하여 이루어지지만, 성능개선을 위한 설계조건 변동을 제작과정에서 수행하는 것은 현실적으로 불가능하다. 이러한 측면에서 수치해석용 프로그램을 통한 터빈의 성능 및 개선사항을 검토^[3], ^[4]해보는 것도 경제적 측면에서 좋은 방안이라 하겠다.

여기에서는 소수력 발전용 프란시스 터빈에 대해 안내깃 유출각, 안내깃 수량, 낙차(유입속도), 러너의 휨 정도에 따른 수력학적 특성 등을 분석하여, 향후 효율적인 프란시스 터빈 개발에 기여하는 모델의 유동학적 특성에 대한 정량적인 기초 설계 데이터를 마련하고자 한다.

2. 설계조건에 따른 수치해석

프란시스 터빈의 설계조건 변동에 따른 수력학적 특성을 해석^[5]하기 위해 다음과 같이 비압축성 3차원 정상 유동에 대한 연속방정식, 운동량 방정식, $k-\epsilon$ 난류 모델 및 MRF(moving reference frame)방정식을 사용하였다. 소형 프란시스 터빈의 시뮬레이션 수치해석을 위해 Fig. 1과 같이 모델을 준비하였다. 케이싱, 안내깃, 회전차, 흡출관으로 단순화하여, 해석코드인 FLUENT에서 비균일 격자법^[6]으로 대략 800,000개의 격자(grid)로 구성하였다.

회전차의 회전상태에서 터빈의 유동을 분석하기 위해 프란시스 터빈을 케이싱과 러너의 2개 부분으로 분할하여 각각 모델링 하였다. 이를 해석 코드인 FLUENT에서 다시 하나의 모델로 결합하여 계산을 수행하였다. 이는 회전차 모델 부분에서 물의 유동에 따른 회전차 날개의 회전 현상을 상대속도 개념을 도입하여 회전차의 날

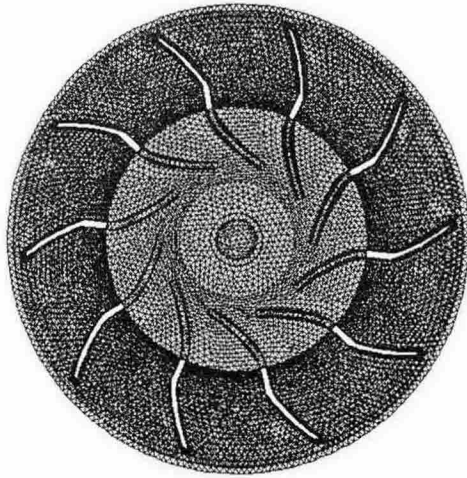
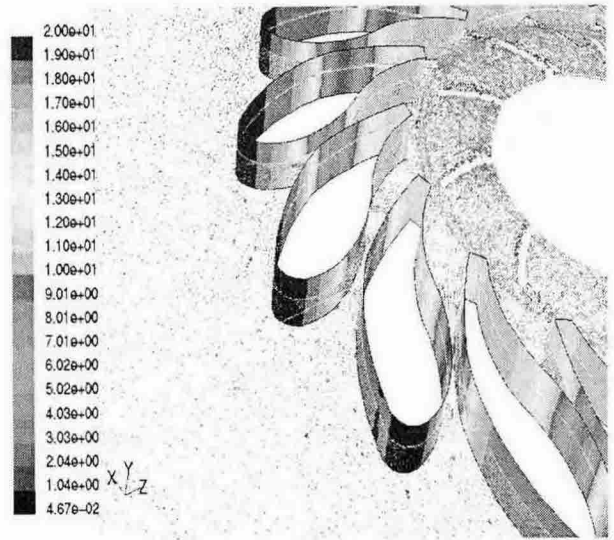
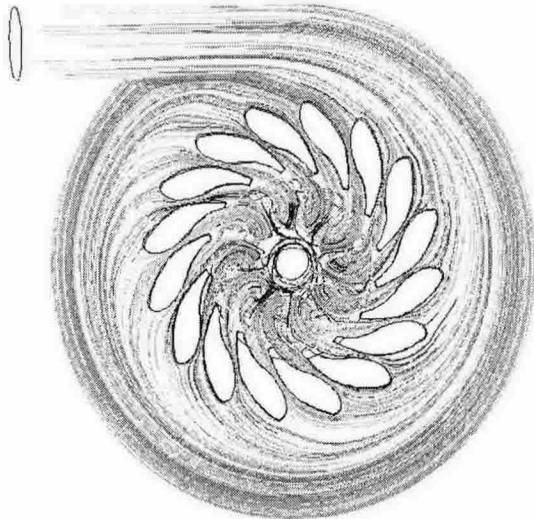


Fig. 1 Twist shape (angle : 0 to 30) of runner



(b) Overlay of static pressure & relative velocity vector



(a) Top view of path line of particles

Fig. 2 Flow profiles with design conditions

이러한 현상은 설계공정을 안내깃의 후미 처리를 날카로운 형상을 취하지 않은 결과이다. 이런 문제점을 제품의 운용 측면에서 해결하는 방안으로 안내깃의 유출각을 회전차 유입부의 원주방향이 되도록 조절하는 방법이 있을 수 있을 것이다.

회전차 날개의 휨 각도에 따라 유효 낙차와 이론 출력의 변화는 Fig. 3과 같이 큰 차이를 보이지 않았다. 유량이 일정하게 유지되기 위한 유효 낙차의 차이는 휨 각이 30도인 경우가 0도인 경우보다 대략 14cm 정도 높았고, 이론 출력은 30도인 경우가 1.43kw, 0도인 경우가 1.38kw로 회전차 날개를 30도로 휨 경우가 휘지 않은 경우에 비해 출력이 약 3%정도 향상되었다. 그러나 회전차에 전달되는 회전력의 영향은 30도인 경우 125kgf-m, 0도인 경우가 110kgf-m로 회전차의 날개가 휘어진 경우 12%의 성능향상을 나타내었다. 회전차에 작용하는 회전력이 향상되었다는 것은 프란시스 터빈의 수력학적 손실을 줄여서 효율을 향상시킬 수 있다는 것을 의미한다.

개선된 설계조건들을 적용하여 보다 효율적인 프란시스 터빈의 정적압력과 비속도 벡터분포를 Fig. 4에서 나타내고 있다. 안내깃의 유출각이 원주방향을 향하고 있으므로 후미 모서리에 의해 발생하는 와류가 곧 소멸되어 설계조건에 비해 회전차 날개에 미치는 영향이 작음을 알 수 있다. 따라서 회전차 날개에 유입되는 유속의 흐름이 빠르고 또한 물의 회전차 날개로의 유입방향이 설계조건에 비하여 수직에 가까우므로 회전력과 터빈 효율이 증가할 것으로 예측된다.

개의 회전 현상을 상대속도 개념을 도입하여 회전차의 날개가 회전하는 반대방향으로 회전차 날개부의 물이 유동하는 것으로 설정해 줌으로서 다른 부분의 물에는 영향을 주지않으면서 회전차 부에 회전 현상을 구현할 수 있는 방법이다. 설계조건에서의 회전차 날개의 회전을 포함한 유동현상을 파악한 그림이 Fig. 2이다. (a)그림은 물의 입자 유동의 궤적을 추적한 그림으로서 큰 와류가 발생하지 않으며, 흡출관 하부로 내려갈수록 물이 수직으로 잘 배출되고 있음을 보여준다. (b) 그림은 정적압력과 비속도 벡터분포도로서 안내깃의 후류에서 발생한 와류는 회전차의 날개부에 유동속도의 저하를 가져온다는 것을 나타낸다.

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

참고 문헌

- [1] C. H. Lee and W. S. Park, 1997, "Methodology of Feasibility Assessment for Small Hydro Power Sites and its Application", ISES 1997 Solar World Congress. pp. 154-159
- [2] Giorgio Bagliani, 1984, "Small Turbine Model Testing", Ist Int'l Conference on Small Hydro, Singapore, session III, pp 136-146
- [3] C. Ozgui, G. K. Nathan, 1971, "A study of Contra rotating Turbines Based on Design Efficiency", J. of Basic Engineering, pp 20-23
- [4] L. C. Wang, R. Hethering, A. Gouals, 1983, "The Calculation of Deviation Angle in Axial Flow compressor Cascades", J. of Engineering for Power, Trans. ASME, Vol 105, pp 136-145
- [5] Marcus E. M. G. Oledal, 1997, "Interaction between Vortex Breakdown and Vortex Core Cavitation around a Hydraulic Delta Vortex Generator", FEDSM97-3263,
- [6] M. Rubin, R. W. Miller, W. G. Fox, 1965, "Driving Torques in a Theoretical Model of Turbine Meter", J. of Basic Engineering, pp. 1643-1653

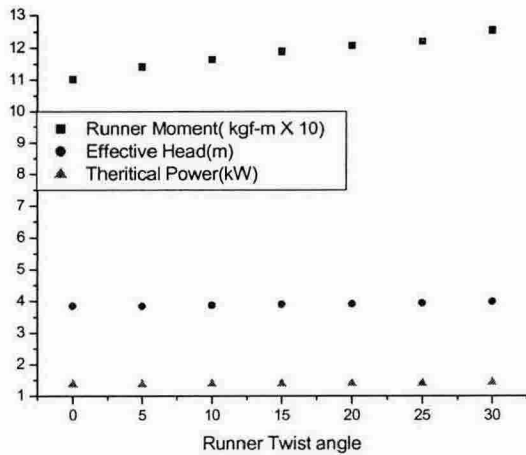


Fig. 3 Hydraulic characteristics for twist angle of runner

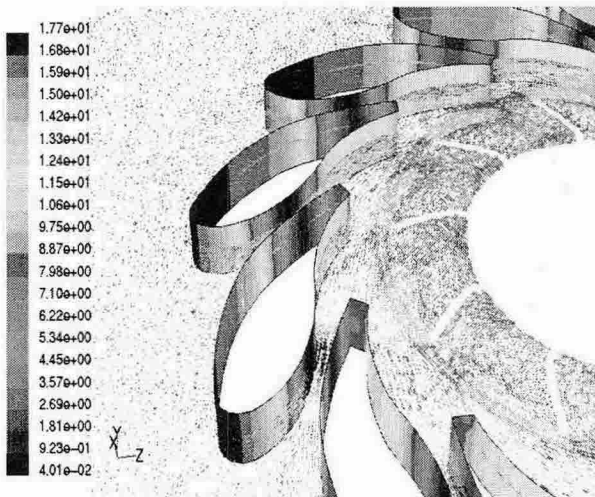


Fig. 4 Flow profiles with improvement of changable design conditions for overlay of static pressure and relative velocity vector

3. 결론

케이싱의 유입직경이 100mm로 설계된 소형 프란시스 터어빈의 수치 해석적 방법으로 연구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

회전차 날개의 휨 각도에 따라 유효 낙차와 이론 출력의 변화는 큰 차이를 보이지 않았다. 이론 출력은 회전차 날개를 30도로 휨 경우가 휘지 않은 경우에 비해 출력이 약 3%정도 향상되었다. 프란시스 터어빈의 안정적 효율증가 방안은 안내깃의 수와 유출각을 조절하여 물의 흐름 방향이 회전차의 원주방향으로 형성될 때 가장 효율적으로 파악되었다. 또한 회전차의 상부와 하부의 휨 각을 주어 물과의 접촉면적을 늘려줌으로서 회전력 향상에 의한 터어빈 효율의 증가를 기대할 수 있다.