

현장계측에 의한 조류 발전용 수차의 효율 평가

한 상훈¹⁾, 이 광수²⁾, 염 기대³⁾, 박 우선⁴⁾, 박 진순⁵⁾, 이 진학⁶⁾

Efficiency Assessment of Turbine for Tidal Current Power Plant by In-Field Experimental Test

SangHun Han, KwangSoo Lee, KiDai Yum, WooSun Park, JinSoon Park, JinHak Yi

Key words : Tidal current power generation, Uldolmok narrow channel, Helical Turbine, Power Efficiency, RPM

Abstract : The Korean peninsula has a number of coastal sites where the rhythmic rising and lowering of water surface due to tides results in strong tidal current. The kinetic energy of these currents can be efficiently exploited by use of tidal current turbines. The pilot tidal current power plant is to be constructed at the Uldolmok narrow channel between Jindo and Haenam, during next year, and extensive coastal engineering research works have been carried out. This paper describes and analyzes some observation results of field test about the efficiency of Helical turbine for tidal current power plant. The efficiency of turbine, which is diameter 2.2 m and height 2.5 m, is evaluated measuring RPM, torque, and current velocity. The tested turbines had the maximum efficiencies of the bounds of 25 to 35 % in the current velocity range between 1.4 and 2.6 m/s. This result shows that the pilot tidal current power plant needs three helical turbines with diameter 3.0 m and height 3.6 m to produce electric power 500 kW.

1. 서론

조류발전은 조류 유속이 빠른 곳에 수차발전기를 설치하여 해수의 운동에너지로부터 전기를 생산하는 발전방식이다. 2001년부터 해양연구원에서는 울돌목의 우수한 조류발전 개발 여건을 바탕으로 조류에너지 실용화 기술을 개발하고 있다⁽¹⁾.

조류 발전을 위해서는 운동에너지를 전기에너지로 변환하기 위한 발전수차가 필요하다. 최초로 제안된 무낙차 수차는 1931년 Darrieus에 의한 것이었으나, 낮은 효율로 인하여 실제로 사용되지는 못했다. 그 후 이의 개선을 위해 많은 연구가 진행되었다. 특히 이들 중에서도 1994년 미국 Northeastern 대학의 A. M. Gorlov 박사에 의

하여 개발된 헬리컬 수차는 Darrieus 수차의 장점만을 취하여 제작된 것으로 Darrieus 수차에

-
- 1) 한국해양연구원 연안개발연구본부
E-mail : shhan@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6345 Fax : (031)408-5823
 - 2) 한국해양연구원 연안개발연구본부
E-mail : kslee@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6300 Fax : (031)408-5823
 - 3) 한국해양연구원 연안개발연구본부
E-mail : kdyum@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6011 Fax : (031)408-5823
 - 4) 한국해양연구원 연안개발연구본부
E-mail : wspark@kordi.re.kr
Tel : (031)400-6325 Fax : (031)408-5823
 - 5) 한국해양연구원 연안개발연구본부
E-mail : jpark@kordi.re.kr
Tel : (031)400-7805 Fax : (031)408-5823
 - 6) 한국해양연구원 연안개발연구본부
E-mail : yijh@kordi.re.kr
Tel : (031)400-7811 Fax : (031)408-5823

비하여 50% 이상 효율이 개선된 것으로 평가되고 있다⁽²⁾⁻⁽³⁾.

본 연구에서는 조류발전 시스템의 적용을 목적으로 헬리컬 수차에 대한 현장실험을 수행하고 이를 바탕으로 헬리컬 수차의 효율을 평가하고자 하였다.

2. 현장실험

실내수리실험에서 여러 수차형상에 대한 특성을 파악하였지만, 그 결과값이 이론적인 값과는 큰 차이를 보여 현장실험을 통해 개발된 수차의 성능을 검증하고자 하였다.

2.1 실험방법

초기에 제작된 1중 날개 수차는 미국의 North-eastern 대학에서 구조해석과 제작을 진행하였고, 그 이후에 제작된 2중 날개 수차는 해양연구원에서는 제작하였다. 수차는 구조해석 후에 합리적인 단면두께와 구조형태를 선정하고 수차의 각 부분인 날개, 축, 스포크를 별도로 제작하여 조립하였다. 제작된 수차의 크기는 지름 2.2 m, 높이 2.5 m로 날개에 작용하는 하중의 크기를 줄이기 위해서 날개의 1/4지점과 3/4지점에 두 개의 스포크를 설치하였다.

현장터빈 구조물은 최상부에서부터 Brake system, Radial bearing, Coupling, Torque & RPM meter, Slip ring, Radial bearing, Turbine, Radial bearing, Roller bearing 순으로 설치된다(Fig. 1). 이 중에서 Slip ring은 수차의 변형률을 측정하기 위해서 설치되었다. 그러나, 실험의 시작과 동시에 Slip ring이 파괴가 일어나서 변형률 데이터를 얻을 수 없었다.

지름 2.2 m 수차는 기존의 지름 1.1m 수차의 앞쪽에 자켓구조물을 가설하여 설치하였다. 자켓 구조물 전체에 하중이 증가함에 따라 장력케이블을 보강하여 구조물의 안전성과 사용성을 제고하였다(Fig. 2).

현장실험에서는 1중 날개와 2중 날개에 대한 실험을 수행하여, 작년에 수행한 실내수리실험에서의 수차 특성이 현장에서도 발현되는지 파악하고자 하였다.

유속은 노르웨이 Nortek 사의 유속계를 이용하여 측정하였다. 현장측정에서는 수차효율을 위해 토크와 회전수를 측정하는 것이 필요하다. 이를 위해서 토크와 RPM 미터가 필요한데, 일본 MINEBEA 사의 TMNR형식의 기기를 사용하여 계측을 수행하였다. 사용된 기기는 최대 10 k Nm의 토크와 4000 RPM의 회전수를 측정할 수 있는 것이다. 데이터로거는 HBM사의 MGCPPlus를 이용하였고, 토크와 RPM 모두 초당 50개의 데이터를 획득하여 유속변화에 따른 토크와 RPM변화를 모델링하고자 하였다.

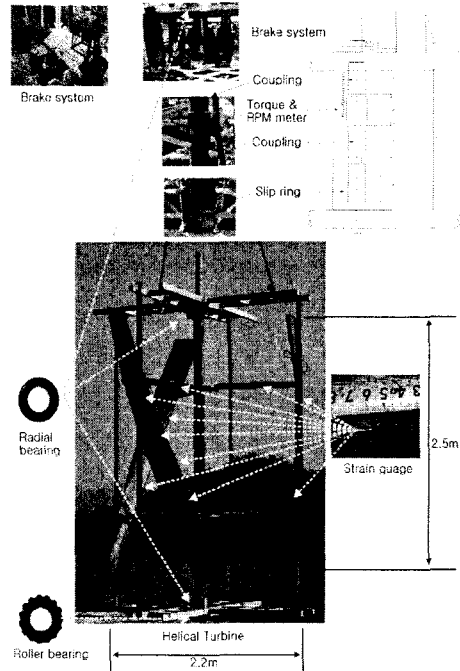
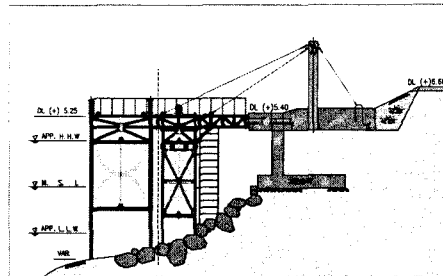
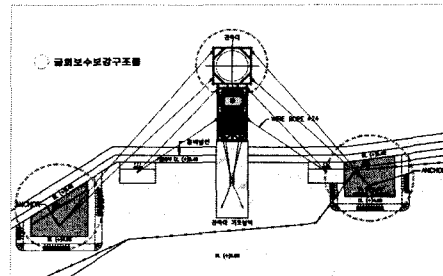


Fig. 1 In-situation experimental system and turbine



(a) Side view



(b) Plane view

Fig. 2 In-situation test structure

2.2 실험결과

현장실험의 적지 않은 경우에서 페타이어, 말목, 냉장고 등 중대형 부유폐기물에 의한 수차 파괴가 발생하여 온전한 데이터를 얻었을 수 없었다. 또한, 2004년도 실험의 경우에는 수차의 위치가 높아 수차가 완전히 잠겼을 경우에 유속의 크기가 작았다. 따라서, 이러한 제반 조건들을 고려하여 2004년도에 실험한 1중과 2중 날개의 결과 중 각 1종류, 2005년에 실험한 1중 날개 결과 2종류, 2중 날개 결과 3종류 등의 실험결과들을 분석하였다.

앞에서 설명한 바와 같이 회전봉에 일정 마찰을 주어 토크와 RPM을 조정하고 이것을 바탕으로 수차효율을 산정한다. 토크값이 일정시간동안 일정한 값을 나타내는데 이 값을 평균하고 같은 시간동안의 RPM 값을 평균하여 그 순간의 수차효율을 계산한다.

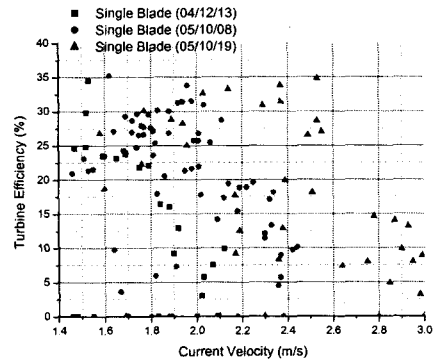
Fig. 3과 Fig. 4는 각각의 실험결과를 유속-수차효율, TSR(수차의 날개속도와 유속의 비)-수차효율로 나타낸 것이다. 대부분의 실험결과에서 고유속의 영역에서 수차효율이 조금 작게 나타난다. 이것은 수차가 물속에 충분히 잠기지 않아서 나타난 현상으로 생각된다. 외형적으로는 수차가 물속에 거의 잠긴 것처럼 보이더라도, 수면이 상승과 하강 높이가 커서 부분적으로 수차가 모두 잠기지 못한 것으로 사료된다. 따라서, 수차가 완전히 물속에 잠길때까지는 일정시간이 요구되고 그 시간만큼 수차의 효율이 작게 나온 것으로 추정된다. 2004년도의 실험은 수차의 위치가 높게 설치되어 있어서 수차가 완전히 물속에 잠기는 시간이 작고 이 때의 유속도 크지 않았다. 따라서, 이 때의 실험에 큰 의미를 부여하기는 어려운 것이 사실이다. 2005년도부터는 수차를 물속으로 더 내려서 일정수준이상의 유속에서 실험이 가능하였다.

Fig. 3 (a)에 의하면 1중 날개인 경우에 유속 1.4에서 2.6 m/s 사이에서 최대수차효율이 30 - 35 % 정도 발생함을 알 수 있다. Fig. 3 (b)를 보면, 2중 날개에 대한 실험에서는 유속 1.4에서 2.6 m/s 사이에서 최대수차효율이 25 - 35 % 사이임을 알 수 있다. 최대수차효율시의 TSR은 1중 날개의 경우는 2.57, 2중날개의 경우는 2.07 정도가 됨을 알 수 있었다.

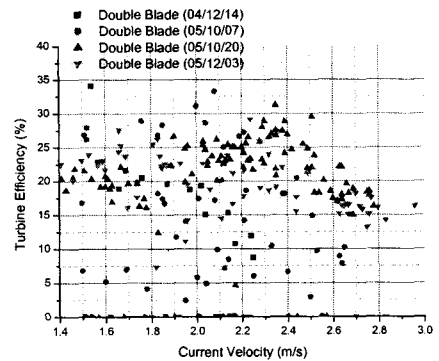
3. 결과분석

현장실험결과에 의하면 1중 날개가 2중 날개보다 미세하게 효율이 큼을 알 수가 있지만, 그 결과를 확실한만한 뚜렷한 경향을 보인 것은 아니다. 실험기기의 정밀도와 외부환경의 변동요인을 감안할 때, 현재의 실험결과로 수차의 종류에 따른 효율을 확정하는 것은 무리가 있을 것으로 판단된다. 또한, 현재의 현장실험은 유속이 3 m/s 이하인 경우에만 실험이 가능하므로 실제 발전시 설물이 들어서는 유속 5 m/s 이상의 고유속 영역에서는 현재의 현장실험결과와 상이한 수차효율이 나올 개연성도 있어, 파이프트 플랜트에 대한 실험이 필요할 것으로 사료된다.

TSR과 최대수차효율의 상관관계는 실험 case별로 조금씩 다르다. 전체적으로 1중 날개의 경우가 최대수차효율에서 2중 날개보다 TSR 값이 조금 큰



(a) Single blade



(b) Double blade

Fig. 3 Turbine's efficiency with current velocity

경향을 나타냄을 알 수 있다. 이것은 1중 날개가 2중 날개보다 작은 저항과 가벼운 무게로 좀 더 큰 RPM을 발생시켜서 나타난 현상으로 생각된다. 실험결과들을 종합하여 TSR과 최대수차효율의 상관관계를 나타내는 식을 다음과 같이 도출하였다.

1중 날개

$$T_{eff}(tsr) = 15.2 + 18.6 \cos(1.55tsr - 3.98)$$

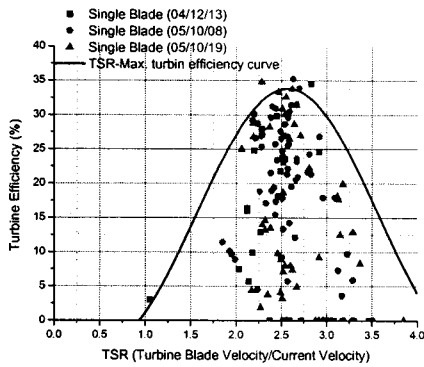
최대효율 = 33.8 %, 최대효율시 TSR = 2.57

2중 날개

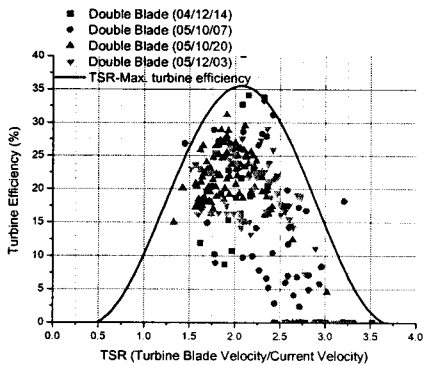
$$T_{eff}(tsr) = 17.6 + 17.9 \cos(1.87tsr - 3.87)$$

최대효율 = 35.5 %, 최대효율시 TSR = 2.07

그래프를 통한 최대효율은 1중과 2중 날개가 거의 비슷하고 TRS는 1중이 2.57, 2중이 2.07 정도가 됨을 알 수 있다. 이러한 TSR과 최대수차효율의



(a) Single blade



(b) Double blade

Fig. 4 Turbine's efficiency with TSR

상관관계는 수차 설계시에 참고자료와 개략적인 발생전력 계산에 사용될 수 있다. 그러나, 이것도 실제 발전시의 유속에서 동일한 특성 발현을 확신하기 어렵기 때문에, 파이롯트 플랜트에 대한 실험을 통해서 검증할 필요가 있다.

현재의 연구는 현장 파이롯트 플랜트에 사용되는 수차의 크기와 형태를 선정하기 위한 기초연구이다. 미국 Northeastern 대학의 실험에서 현재의 실험보다는 조금 작은 크기의 1중 날개로 실험한 결과, 날개의 효율이 1.5에서 2.5 m/s의 유속에서 30-35 % 정도로 관측되었다. 현재의 1중 날개에 대한 현장실험에서도 유속 1.4에서 2.6 m/s 사이에서 최대수차효율이 30 - 35 % 정도 발생함을 알 수 있었다. 현재의 자료들을 바탕으로 1중 날개 수차효율이 35%로 추정하는 것은 큰 무리가 없을 것으로 사료된다. 현재 연구되고 있는 발전기는 한 축에서 500 kW의 전력이 생산되는 것으로 가정하여 설계가 되고 있다. 이러한 경우, 수차 축에서는 발전기의 손실율을 감안하여 최소 600 kW의 전력이 생산되어야 한다. 또한, 현재의 울돌목에 대한 환경계측에서 정격유속은 4.8 m/s 정도인 것으로 관측되었다. 이러한 데이터들을 종합해 보

면, 수차축에서 최소 600 kW의 전력이 생산되기 위해서는 지름 3 m, 높이 3.6 m 인 수차 3개가 하나의 축에 설치되어야 하는 것으로 계산되었다. 2중 날개도 같은 효율을 가정한다면 같은 사이즈의 수차가 필요함을 추정할 수 있다. 현재의 현장실험결과에서 TSR이 1중 날개는 2.57, 2중 날개는 2.07인데 유속이 4.8 m/s이고 수차의 지름이 3m 라면, 최적 전력발생시의 RPM은 1중 날개의 경우 79이고 2중 날개의 경우는 63정도임을 알 수 있다. 따라서, 파이롯트 플랜트의 한 축에 지름 3 m, 높이 3.6 m인 수차 3개가 사용되며 최적 전력 발생시의 RPM은 1중 날개의 경우 79이고 2중 날개의 경우는 63정도이고, 발전기를 통해서 생산되는 전력은 500 kW임을 현재의 현장실험을 통해서 도출할 수 있었다.

4. 결론

본 연구에서는 울돌목의 조류발전 시스템에 대한 적용을 목적으로 헬리컬 수차에 대한 현장실험을 수행하고 이를 바탕으로 헬리컬 수차의 효율을 평가하고자 하였다. 이러한 결과를 바탕으로 향후 건설될 파이롯트 플랜트에서 가동되는 수차의 크기와 생산되는 전력량에 대한 검토를 수행하였다. 향후 건설될 파이롯트 플랜트에서 실험이 수행되면, 헬리컬 수차에 대한 좀 더 정밀한 효율과 성능결과를 도출할 수 있을 것으로 판단된다.

후기

본 연구는 해양수산부의 조력조류에너지 실용화 기술개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

References

- [1] 해양수산부, 2001. 해양에너지 실용화기술개발(I) :조력·조류 에너지.
- [2] 해양수산부, 2002. 해양에너지 실용화기술개발(II) :조력·조류 에너지.
- [3] 이광수, 염기대, 박진순, 강석구, 박우선, 한상훈, 정공일, 박정우, 2005. "울돌목 조류에너지 개발현황과 전망", 한국신재생에너지학회 춘계 학술대회 논문집, pp. 512-515, 한국신재생에너지학회.