

조류발전 로터 설계변수에 따른 성능 검토

*조 철희¹⁾, 임 진영²⁾, 이 강희³⁾, 송 승호⁴⁾

HAT Tidal Current Rotor Performance as per various Design Parameter

*Chulhee Jo, Jinyoung Yim, Kanghee Lee, Seungho Song

Abstract : Tidal current power system is one of ocean renewable energies that can minimize the environmental impact with many advantages compared to other energy sources. Not like others, the produced energy can be precisely predicted without weather conditions and also the operation rate is very high. To convert the current into power, the first device encountered to the incoming flow is the rotor that can transform into rotational energy. The performance of rotor can be determined by various design parameters including numbers of blade, sectional shape, diameter, and etc. The stream lines near the rotating rotor is very complex and the interference effects around the system is also difficult to predict. This paper introduces the experiment of rotor performance and also the effect of design parameter on the performance of HAT rotor by CFD.

Key words : Tidal current power(조류발전), CFD(Computational fluid dynamics: 전산 유체 역학), Renewable energy(신재생 에너지), HAT(Horizontal Axis Turbine: 수평축 터빈), Rotor(로터), Blade(블레이드), d/D ratio(허브-직경비), CWC(Circulation Water Channel: 회류수조)

Nomenclature

U_{∞} : tidal current speed, m/s
 ρ : sea water density, kg/m^3
 A : rotor disk area, m^2

1. 서론

최근 조류발전 시스템의 적용에 대한 여러 연구들이 소개 되었고, Garbuglia et al.(1993), Young (1995), Bernshtein (1995)는 조류발전 시스템의 새로운 개념과 실 해역테스트 결과를 소개하였다. 일본에서는 다리우스 방식이 연구되었으며(Shiono et al., 1999), Walsum (1999)은 Fundy에서의 조류발전시스템을 소개하였다.

Jo et al.(2002)는 3종류의 다른 로터들의 특성을 실험을 통해 비교 하고, 다중모듈에 설치된 로터들의 간섭효과를 연구하였다. 조류발전 기술을 방수로에 적용한 논문(Jo et al. 2008)도 발표되었다. 여러 유속 조건하에서 복합 블레이드의 가로축, 세로축, 대각위치 방향의 간섭영향 실험(Jo et al., 2007)이 이루어졌으나 설치 해역의 해양환경에 따라 적용되는 로터의 형상이 다르고, 부가물에 의한 영향이 고려되지 않았다. 특정 조류발전장치를 개발하기 위해 개념설계 단계

부터 신뢰할 수 있는 간접 추정 모델이나 신뢰성 있는 자료가 필요하다.

수치모델을 통한 로터주변의 유동해석은 수리모형을 이용 한 실험에 비해 짧은 시간에 저비용으로 재현할 수 있는 장점이 있다. 뿐만 아니라 실험으로 직접 계측하기 힘든 stream line, 속도 분포, 압력분포 등의 정보를 제공한다.

조류의 운동에너지를 1차적으로 변환하는 로터는 시스템 전체효율에 큰 영향을 주기 때문에 해당 지역의 환경에 적합하게 설계되어야 한다. 이를 위해 로터의 주요 설계변수에 따른 성능 변화가 고찰되어야 한다. 조류발전 시스템은 수직축(VAT type)과 수평축(HAT type)으로 구분될 수 있다.

본 논문에서는 수평축 조류발전 로터 효율을 정의하고 d/D ratio(직경비)가 로터의 성능에 미

- 1) 인하대학교 선박해양공학과
E-mail : chjo@inha.ac.kr
Tel : (032)860-7342 Fax : (032)864-5850
- 2) 인하대학교(대학원) 선박해양공학과
E-mail : giveyim@naver.com
Tel : (032)860-7342 Fax : (032)864-5850
- 3) 인하대학교(대학원) 선박해양공학과
E-mail : yoshikki@hanmail.net
Tel : (032)860-7342 Fax : (032)864-5850
- 4) 인하대학교(대학원) 선박해양공학과
E-mail : 0167493436@hanmail.net
Tel : (032)860-7342 Fax : (032)864-5850

치는 영향을 고찰하고, 수리실험에서 측정된 RPM data를 바탕으로 수치모델을 구현하여 로터 효율에 관한 수치해석을 수행하였다.

2. 로터 성능실험

2.1 로터 및 실험장비

본 논문에서는 Blade element method를 적용하여 로터를 설계하였다. 이는 블레이드를 각각의 반지름에 대한 여러 단면을 나누어 각 단면에서의 익형을 설계하고 이를 연결하여 블레이드 형상을 결정하는 방법으로 풍력터빈 및 기타 여러 유체기계의 설계방법 중 하나이다. 또한 설계변수인 팁 직경 대 허브 직경의 비(d/D)는 0.15와 0.20 영각(α)은 4° , 그리고 양력계수(CL)는 0.8의 값으로 설계를 진행하였다. 본 설계에서는 최대두께가 코드길이의 20%에 해당하는 NACA 0020 익형을 사용하였다.

해양에서 유지보수가 어렵기 때문에 조류발전 로터는 단순한 장치만을 포함한다. 따라서 블레

이드 피치각을 고정하고 출력제어 방법으로서 실속 제어방식(stall control)을 사용한다. 피치각을 고정하고 로터의 성능을 향상시키기 위한 방법으로 허브-직경비를 증가시켰다. 허브가 증가되면 축이 증가되어 블레이드의 면적을 넓힐 수 있는 장점이 있다. Fig. 1은 본 실험에 사용된 로터이며, 허브-직경비를 변화시켜 성능 실험을 하였다.

로터의 제원은 Table 1에 나타내었다. P-1D2B의 P는 plastic을 뜻하고 1D(direction)는 단방향 발전용 airfoil 단면, 2B(blade)는 날개가 2개인 로터를 의미한다. 로터의 직경은 0.5m로 모두 같다.

Table 2 Specification of rotors

Description	Specification	
Notation	P-1D2B-1	P-1D2B-2
No. of blade	2	2
d/D ratio	0.15	0.20
Diameter(m)	0.5	0.5

모든 실험이 CWC에서 수행되었으며 CWC의 제원은 Table 2와 같다.

Table 3 Specification of CWC

	Main particular	Measuring section
Length(m)	6.0	2.3
Breadth(m)	1.0	1.0
Height(m)	3.0	0.9
Max. velocity(m/s)	1.2	-

Fig. 2는 CWC에 설치된 실험 장비로써 밸러스트 격벽에 물을 채워 침강되고, 펌프를 이용해 부상하도록 고안되었다. 레이저 RPM 측정기를 이용하여 로터의 유속별 RPM을 측정하였다.

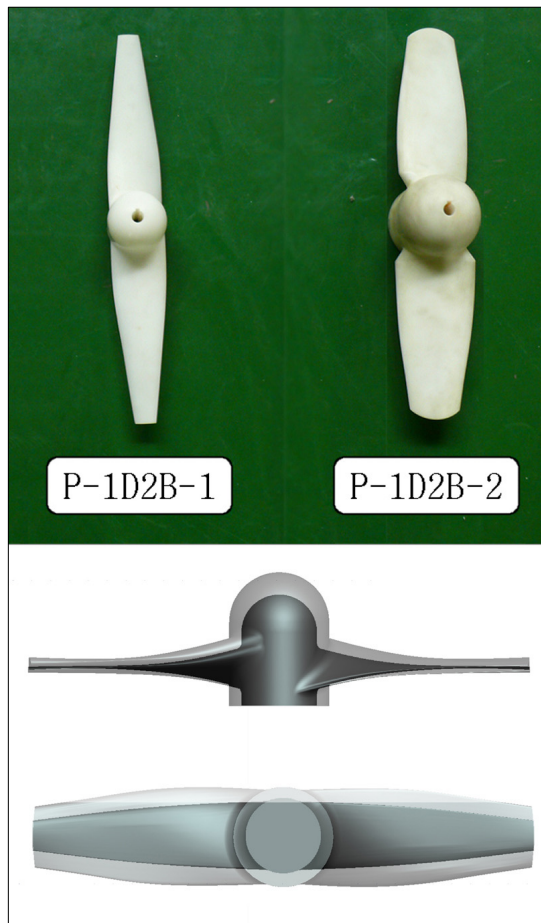


Fig. 1 Tidal Current Rotors

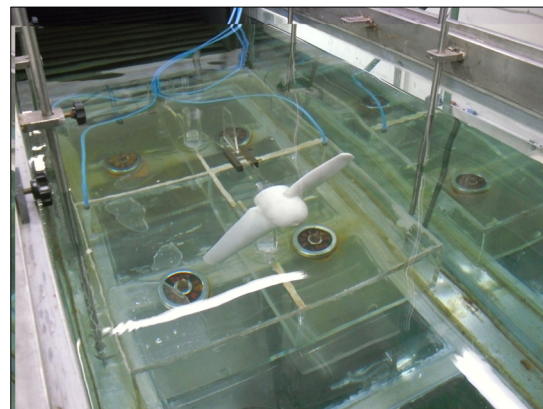


Fig. 2 Experiment arrangement

2.2 RPM 측정 및 성능분석

조류발전 시스템은 조류가 발생하는 시간 및 시스템 가동율이 매우 중요하므로 시간에 따른 유속변화와 가동 유속영역은 로터의 회전력과 출력에 주요한 요소이다. Fig. 3에 로터의 유속별 RPM을 나타냈다. 유속이 높을수록 로터간의 RPM 격차가 증가 했으며 P-1D2B-2가 같은 유속에서 더 나은 성능을 보였다. 이는 블레이드 수가 같은 경우 허브-직경비를 증가시켰을 때 효율이 높음을 의미한다.

허브-직경비를 증가시키면 torque 성능이 향상된다. 그러나 inertia가 증가하여 초기회전 유속이 높아지고, 가동율이 낮아지게 된다. 그리고 허브-직경비가 증가하면 회전축에 큰 하중이 걸려 구조적인 문제가 발생할 수 있다. 또한, 구조적 문제를 보완하기 위해 지지파일의 직경을 증가시킬 경우 유동교란으로 인한 간섭에도 보다 취약해진다. 따라서, 성능과 간섭을 고려하여 적절한 허브-직경비를 선택이 필요하다.

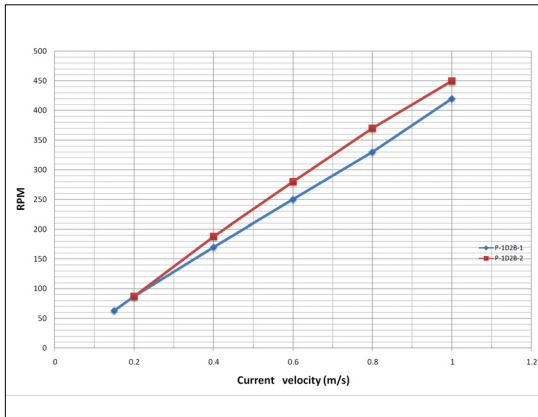


Fig. 3 Performance of Rotors

3. NUMERICAL MODELING

설계된 로터의 전산유동해석을 위해 회전하는 로터 영역과 로터 주위의 유체 영역에 대해 Fig. 4와 같이 모델링 하였다. 두 영역이 만나는 세 서피스는 각각 GGI(General Grid Interface) 방법에 의해 인터페이스 되었다. 입구는 수직 유입 유속 조건으로 출구는 참조 압력인 0기압으로, 실린더 옆면은 Opening된 상태로 유체가 자유롭게 드나들 수 있는 조건을 부여하였다.

로터영역은 236,439개의 노드와 953,528개의 엘리먼트로 구성된 비정렬격자이며, 로터 벽면에는 벽의 영향을 효율적으로 계산 및 결과 해석을 위해 프리즘 격자가 구성되었다. 격자계는 Fig. 5와 같다. 로터를 둘러싸고 있는 유체영역은 로터와 마찬가지로 비정렬격자이며 25,512개의 노드와 134,139개의 엘리먼트로 구성되어 있다. 입구 유속 조건 2.5m/s에 대해 로터의 회전수를 변화시키면서 블레이드에 걸리는 토크를 계산하여 효율을 계산하였다. 본 해석에 사용된 난류 모델은 SST(Shear Stress Transport)이며, RMS 오차 10⁻⁴ 이내로 수렴되도록 반복 계산하였다.

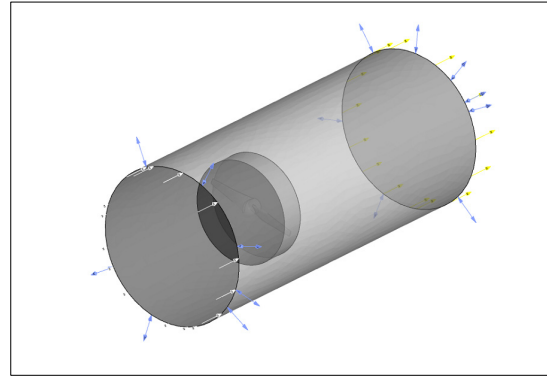


Fig. 4 Computational domain of turbine

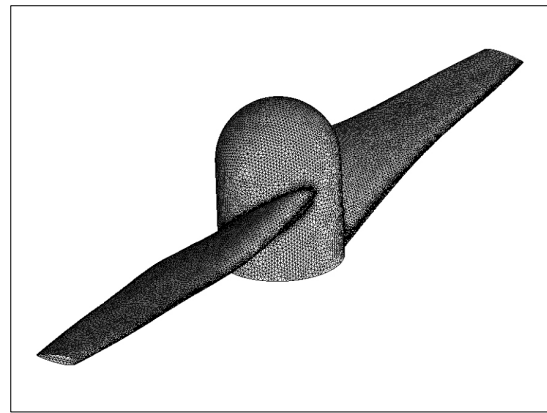


Fig. 5 Grid system of rotor

성능예측 결과를 Fig. 6에 도시하였다. 성능계수(Performance Coefficient) C_p , 팁속도비(Tip-speed ratio) λ 는 각각 식 (1), (2)와 같다.

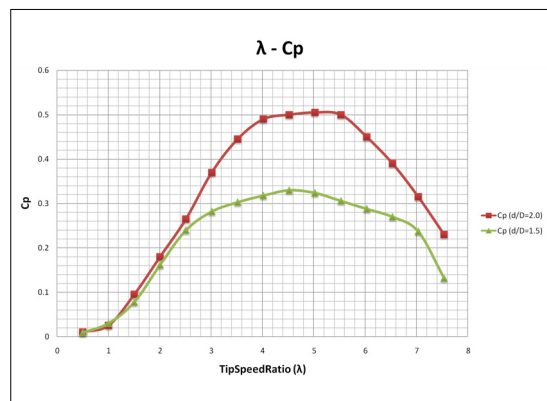


Fig. 6 Tip-speed ratio - Performance Coefficient graph

d/D가 증가함에 따라 블레이드의 유체접촉면적이 증가하면서 토크가 비약적으로 상승하였으며, 이에 따른 성능계수가 크게 상승하였다.

4. 결 론

조류의 운동에너지를 1차적으로 변환하는 로터는 시스템 전체효율에 큰 영향을 주기 때문에 해당지역의 조류환경에 적합하게 설계되어야 한다. 이를 위해 로터의 주요 설계변수에 따른 성능분석과 검증이 요구된다.

본 논문에서는 수평축 조류발전 로터 효율을 정의하고, 동일한 조건하에서 허브의 직경을 변화시켜 블레이드의 면적을 증가시켜 보았다. 틱 직경 대 허브직경을 증가시킴으로써 허브 직경을 증가시켜 성능이 개선되었다. 그러나 구조적 또는 기계적인 면과 로터의 직경이 매우 커지게 되면 틱직경 대 허브직경의 비(d/D)의 선택범위가 구조적인 문제에 의해 작아지는 점을 고려하여 적절한 허브 직경을 채택하는 것이 바람직하다.

후 기

본 연구는 한국에너지기술평가원 및 한국해양과학기술진흥원의 지원으로 수행되었으며, 연구비 지원에 감사드립니다.

References

- [1]Bernshtein, Lev B., 1995, "Tidal Power Development - A Realistic, Justifiable and Topical Problem of Today", IEE Transactions on Energy Conversion, Vol. 10, pp 591-599.
- [2]Garbuglia, E., Rosa, A.D. and Berti, D., 1993, "Exploitation of Marine Current Energy", Offshore Technology Conference, pp 509-519.
- [3]Jo, C.H., Kim, K.S., Min, K.H., Yang, T.Y. and Lee, H.S., 2002, "Study on HAT Current Generation Rotor", Journal of Ocean Engineering and Technology, The Korean society of Ocean Engineers, Vol. 16-1, pp 78-82.
- [4]Jo, C.H., Par, K.K. and Im, S.W., 2007, "Interaction of Multi Arrayed Current Power Generations", International Offshore and Polar Engineering Conference, Lisbon, pp 302-306.
- [5]Jo, C.H., Lee, C.H., Rho, Y.H. and Yim, J.Y., 2008, "Floating Tidal Current Power Application in Cooling Water Channel", The Korean Association of Ocean Science and Technology Societies Conference, Jeju, pp 2184-2187.
- [6]Shiono, M., Suzuki, K. and Kiho, S., 1999, "Experiments on the Characteristics of Darrious Turbine for the Tidal Power Generation", Proceeding of the ninth International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. 1, pp 123-128.
- [7]Walsum, W., 1999, "Offshore Engineering for Tidal Power", Proceeding of the ninth International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol. 1, pp 777-784.
- [8]Young, R.M., 1995, "Requirements for a Tidal Power Demonstration Scheme", Journal of Power and Energy, Vol. 209, pp 215-220.