

CFD를 이용한 수평축 조류발전 로터 성능의 기초연구

조철희*, 임진영, 이강희, 채광수, 노유호, 송승호

Fundamental Study on the HAT Tidal Current Power Rotor Performance by CFD

Chulhee Jo*, Jinyoung Yim, Kanghee Lee, Kwangsu Chae, Yuho Rho, 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. The paper introduces the experiment of rotor performance and also the fundamental study on the characteristics of three different rotors and flow near the rotor by CFD.

Key words

Tidal current power(조류발전), CWC(Circulation Water Channel: 회류수조), Blade(블레이드), Interference effect(간섭효과), d/D ratio(허브-직경비), HAT(Horizontal Axis Turbine: 수평축 터빈), VAT(Vertical Axis Turbine: 수직축 터빈)

(접수일 2009. 6. 19, 수정일 2009. 7. 31, 게재확정일 2009. 7. 31)

* 인하대학교 선박해양공학과

■ E-mail : chjo@inha.ac.kr ■ Tel : (032)860-7342 ■ Fax : (032)864-5850

1. 서론

최근 조류발전 시스템의 적용에 대한 여러 연구들이 소개되었고, 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 소개했다. 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 발표 되었다. 여러 유속 조건 하에서 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 단계부터 신뢰할 수 있는 간섭 추정 모델이

나 신뢰성 있는 자료가 필요하다.

수치모델을 통한 간섭해석은 수리모형을 이용 한 실험에 비해 짧은 시간에 저비용으로 재현할 수 있는 장점이 있다. 실험으로 직접 계측하기 힘든 stream line, 속도분포, 압력 분포 등의 정보를 제공한다.

조류의 운동에너지를 1차적으로 변환하는 로터는 시스템 전체효율에 큰 영향을 주기 때문에 해당지역의 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 로터의 d/D ratio와 블레이드 수에 따른 rpm 변화 및 간섭에 미치는 영향을 고찰하고, RPM data를 바탕으로 수치모델을 구현하여 로터주변의 유동에 관하여 연구하였다.

2. 로터 성능실험

2.1 로터 및 실험장비

로터의 성능변화를 관찰하기 위해 다른 형상을 갖는 3개의

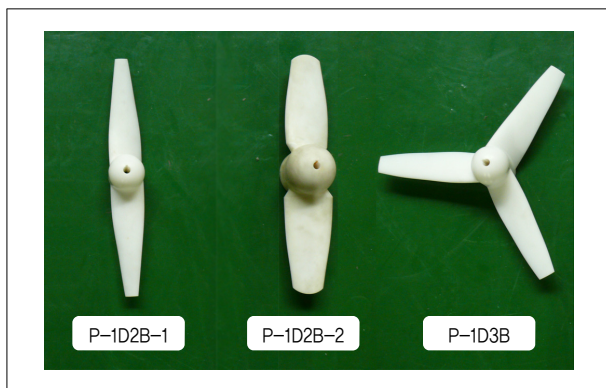


Fig. 1 Photo of three rotors

Table 1. Specification of rotors

Description	Specification		
Notation	P-1D2B-1	P-1D2B-2	P-1D3B
No. of blade	2	2	3
d/D ratio	0,15	0,20	0,15
Diameter(m)	0,5	0,5	0,5

로터를 설계하였다. 블레이드 수와 허브-직경비를 변화시켰으며 단면은 airfoil형태이다. 상호 비교를 위해 동일한 로터를 기준으로 블레이드 수가 다른 로터와, 허브-직경비가 다른 로터로 구성했다. Fig. 1은 본 연구에 사용된 로터를 보여준다.

사용된 로터의 제원을 Table 1에 나타냈다. 예를 들어 P-1D2B의 P는 plastic을 뜻하고 1D(direction)는 단방향 발 전용 airfoil 단면, 2B(blade)는 날개가 2개인 로터를 의미한다. 로터의 직경은 0.5m로 모두 같다.

2.2 RPM측정 및 성능분석

모든 실험이 CWC에서 수행되었으며 Table 2에 CWC의 제원을 나타냈다. Fig. 2는 CWC에 설치된 실험 장비로서 밸러스트 격벽에 물을 채워 침강되고, 펌프를 이용해 부상하도록 고안되었다. 각 로터의 초기회전 유속과 유속별 RPM을 측정하여 로터성능을 관찰하였다.

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 높을수



Fig. 2 Experiment arrangement

Table 2. 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	-

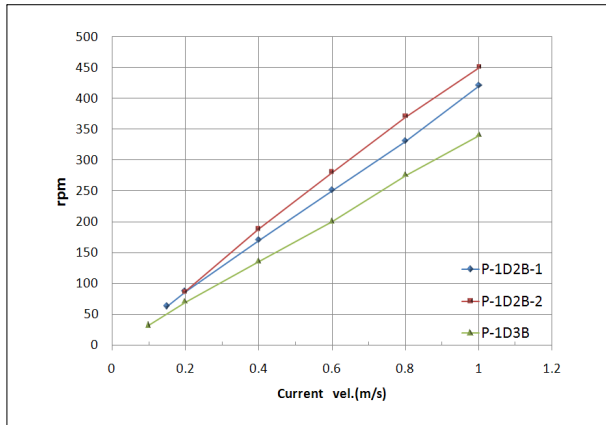


Fig. 3 Performance of rotors

록 로터간의 RPM 격차가 증가 했으며 P-1D2B-2가 같은 유속에서 가장 좋은 성능을 보였다. 이는 같은 블레이드 수를 가진 로터에서 허브-직경비를 증가시켰을 때 효율이 향상됨을 의미한다. 그러나 허브-직경비가 증가하면 shaft에 큰 load가 걸리고 유체력이 증가하여 구조적인 문제 및 설치 시 문제가 발생할 수 있다. 구조적 문제에 의해 지지파일의 직경을 증가시킬 경우, 유동교란을 크게 일으켜 간섭에도 취약하므로 허브-직경비의 적절한 증가 폭에 대한 고찰이 필요하다.

허브-직경비를 증가시키면 torque성능이 향상되지만 inertia 또한 급격히 늘어난다. 이로 인해 초기회전 유속이 높아졌으며, 가동율이 감소했다.

3가지 로터 중 P-1D3B의 RPM이 가장 낮았으며 이는 같은 허브-직경비를 가진 로터에서 3블레이드 보다 2블레이드의 RPM이 높음을 의미한다. 그러나 초기회전 유속이 감소하여 가동율이 증가했고 2블레이드 로터보다 큰 torque를 일으킬 수 증명했다.

3. NUMERICAL MODELING

본 논문에서는 정적해석과 동적해석을 병행하여 수행하였다. 정적해석은 해석영역내의 유동이 일정한 상태로 수렴한 상태의 해석이며, 동적해석은 시간에 따라 로터가 회전하는 경우의 해석이다. CWC의 세부사항에 맞추어 수치해석 모델의 기초사양과 해석영역을 설정하였다. 상용코드인 SC/Tetra v7을 사용하여 CFD해석을 수행하였으며, MP k-EPS 난류

Table 3. Analysis condition

Analysis Condition	Value
Elements	8072513
Nodes	1566314
Time step	0.002s
Cycles	1000
Size of mesh	Max. 50mm Min. 0.78mm
Input water velocity	1.0m/s
Water density	998.2kg/m ³
Moment of inertia	0.005kg·m ²

모델을 사용하여 해석영역(L=2.3m, B=1.0m, H=0.9m)에 대한 해석을 하였다. 수치모델은 octree 기법을 적용하여 격자생성을 하였으며, 동적해석은 moving mesh method와 discontinue mesh method를 사용하여 로터의 회전에 따른 간섭해석을 수행하였다. CFD 해석조건외 세부사항은 Table 3과 같다.

3.1 Mesh generation

SC/Tetra v7은 octree를 이용해 손쉽게 tetra mesh를 생성할 수 있다. octree mesh 생성기법은 해석모델을 작은 육면체들로 분할한 뒤 육면체의 크기에 따라 격자를 생성하는 방법이다. Fig. 4와 같이 해석시간의 단축을 위해 유동이 상대적으로 복잡하지 않은 수조영역은 큰 octree를 만들고, 로터가 배치된 영역은 조밀한 octree를 만들어 격자를 생성한다. 로터는 로터헤드와 날개바깥부분 octree 점도를 높여 격자를 생성하고 특히 유동이 빠른 로터 팁은 가장 세밀한 격자를 생성하고

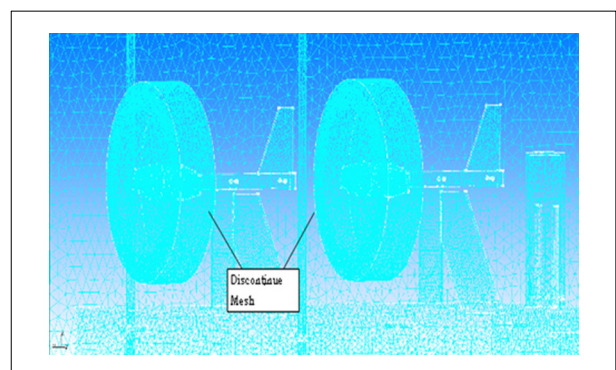


Fig. 4 Mesh generation

를 생성하여 해석하였다.

다중배열 된 수치모델은 1개의 영역만 격자를 생성하고 수조영역에 offset을 주어 merge 시킬 수 있다. 동일한 격자의 해석모델을 여러 곳에 배치시킬 수 있으므로 효율적인 격자 생성이 가능하다. Discontinue mesh method를 이용하여, 따로 생성한 격자영역이 merge될 때 발생하는 격자 균열문제를 해소했다.

이동격자법을 이용해 회전체 해석을 수행하였다. 로터영역을 감싸는 실린더 형태의 rotate volume을 설정하고 이 영역을 회전시키는 방법이다.

3.2 Numerical analysis result

Fig. 5의 압력분포 그래프로부터 전방로터의 down stream에 의한 후방로터의 영향을 확인할 수 있다. 전방로터의 최대 상대압력은 17,986 pa 후방로터는 9,579 pa 이다.

Fig. 6과 Fig. 7의 속도분포 그래프는 전방로터에 의한 유동교란을 명확하게 보여주고 있다.

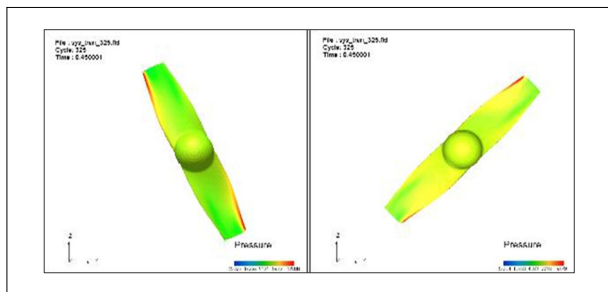


Fig. 5 Pressure distributions for rotor

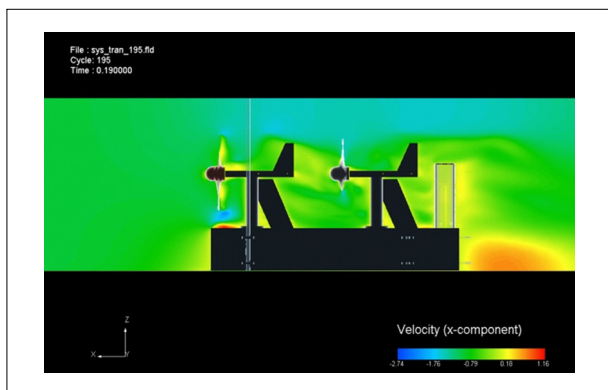


Fig. 6 Velocity field around devices

Fig. 8의 로터주변의 유선분포로부터 전방로터의 간섭으로 인해 후방로터로 유입되는 유선이 심하게 교란됨을 알 수 있으며, 상호간격으로 인한 간섭영향을 확인할 수 있다.

4. 결론

본 연구에서는 여러 다른 형상의 로터의 유속별 수리실험과 RPM 데이터를 바탕으로 수치모델을 구현하여 로터주변의 유동을 분석하였다.

조류에너지의 1차 변환장치인 로터는 시스템의 전체효율 좌우하는 중요한 요소이며 시간별 유속분포, 수심, 유향 등 해양환경에 최적화 된 로터를 설계해야 한다. 또한, 조류발전 상용화에 따른 단지화시 로터의 성능에 대해 간섭효과가 고려된 다양한 연구가 추가적으로 필요하다. 이를 위해 CFD 해석방법으로 실험에서 직접 계측할 수 없는 로터 주변의 유속

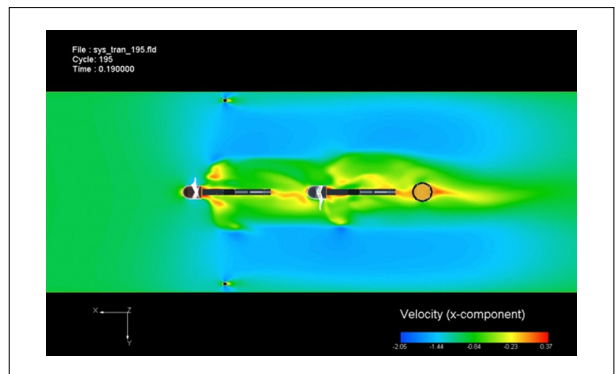


Fig. 7 Plane view of velocity field

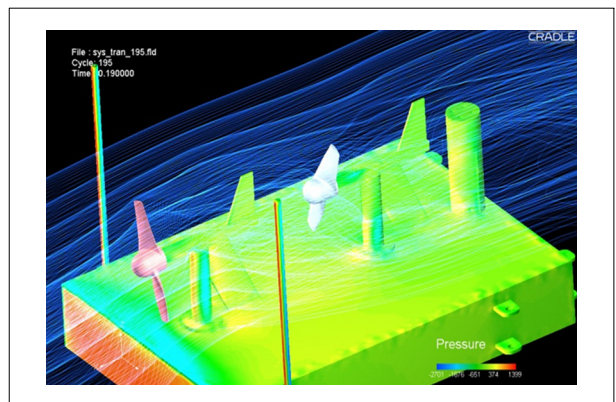


Fig. 8 Streamlines in the field

분포, 속도벡터 및 압력분포 등을 계산하여 얻을 수 있으며, 발전유닛의 배치와 간격을 결정하는데 활용할 수 있다.

후 기

본 연구는 한국 에너지자원 기술기획평가원의 에너지인력 양성 사업(학술진흥: 신재생 분야, 舊 최우수실험실)으로 수행된 연구결과 중 일부임을 밝히며, 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.

조 철 희



1984년 인하대학교 조선공학 학사
1985년 미국, Stevens Institute of Technology
해양공학 석사
1991년 미국, Texas A&M University 해양공학
박사

현재 인하대학교 공과대학 정교수
(E-mail : chjo@inha.ac.kr)

임 진 영



2009년 인하대학교 선박해양공학과 전문 공학사

현재 인하대학교 선박해양공학과 석사과정(1차)
(E-mail : giveyim@naver.com)

이 강 희



2009년 인하대학교 선박해양공학과 전문 공학사

현재 인하대학교 선박해양공학과 석사과정(1차)
(E-mail : yoshikki@hanmail.net)

채 광 수



2009년 인하대학교 선박해양공학과 전문 공학사

현재 인하대학교 선박해양공학과 석사과정(1차)
(E-mail : ace00701@naver.com)

노 유 호



2009년 인하대학교 선박해양공학과 전문 공학사

현재 인하대학교 선박해양공학과 석사과정(1차)
(E-mail : aes102@hanmail.net)

송 승 호



2009년 인하대학교 선박해양공학과 전문 공학사

현재 인하대학교 선박해양공학과 석사과정(1차)
(E-mail : 0167493436@hanmail.net)