

# 해류발전 로터의 개발

조철희\* · 김경수\* · 민경훈\* · 정광식\*

\*인하대학교 선박해양공학과

## Development of Current Generation Rotor

CHUL HEE JO\*, KYUNG-SU KIM\*, KYOUNG-HOON MIN\* AND KWANG SIC CHUNG\*

\*Inha University, Incheon, Korea

**KEY WORDS:** Rotor 회전자, Blade 익, Current Generation 해류발전, Stagger Angle 블레이드 설치각, Rotor Efficiency 익 효율

**ABSTRACT:** In this research, a design guideline of current generating rotor and acceptable field rotor in offshore environment is proposed. To design rotor model, wind mill rotor design principles and turbine theories were applied based on a field rotor experimental data. To verify the compatibility of the rotor design method and to analyze the properties of design factors, 3 rotor models were designed and experimented in a circular water channel. Three rotor models were designed according to different blade numbers and blade shapes. With various flow velocities and rotor rpm, the rotor power and efficiency were measured and the properties of rotor were estimated. The results can be effectively applied to the design of current generation rotor.

### 1. 서 론

해류발전은 해류의 흐름을 이용하여 해류의 운동에너지를 회전에너지로 변환시켜 전기를 얻는다. 본 논문에서는 HAT 방식 해류발전 시스템의 로터에 대하여 연구하였다.

국내에서는 이런 분야의 연구가 매우 초보단계이지만, 이미 외국에서는 해류를 이용한 발전시스템 연구가 진행되어왔다. 해류발전의 요구조건과 현실적으로 고려되어야 할 기본적인 연구와 그 형태는 Garbuglia et. al. (1993), Young (1966), Bernshtein (1995) 등 여러 학자에 의해 발표되었다. 특히 Paish and Fraenkel (1995)는 새로운 개념의 해류발전시스템을 소개하여 실험실에서 실험을 수행하였다. 일본에서는 이와는 다른형태인 대리어스 형태의 연구가 진행되었다 (Shiono et. al., 1999). Walsum (1999)은 Fundy에서 응용되는 형태를 소개하였다.

국내에서는 남서해안에 훌륭한 해류자원이 분포되어 있으며 적은 초기투자 비용으로 단기간에 개발과 적용이 가능하다 (조철희 등, 1999).

본 연구에서는 풍력발전의 이론과 발전터빈의 이론식에 바탕을 두어 HAT 방식 해류발전 시스템의 로터를 설계하고 모형 제작과 실험을 통하여 설계방법과 실험의 타당성

을 검토하였다.

### 2. 로터 설계

로터를 설계하기 위하여 설계 유속과 설계 회전수를 Table 1과 같이 상사법칙을 적용하였으며 이 조건하에서 풍력발전 로터의 설계이론을 적용하여 모형 로터의 주요 설계변수를 결정하였다. 인하대학교 유동소음제어연구실에서 개발한 iDesignFan 이라는 프로그램을 이용하여 HAT 로터를 설계하였다. 모형 실험용 로터의 직경은 350mm이며 허브의 직경은 80mm이고, 실험 모형은 유입유속 0.63m/s와 회전수 158.1rpm에서 최적의 효율을 갖는 것으로 계산되었다. 실제 로터로부터 실험 로터의 설계 유속과 설계 회전수는 다음 식 (1)~(3)에 의해 결정된다. (Todd, 1991)

$$\lambda_D = \frac{D_s}{D_m} \tag{1}$$

$$U_m = \frac{U_s}{\sqrt{\lambda_D}} \tag{2}$$

$$N_m = N_s \times \sqrt{\lambda_D} \tag{3}$$

- $\lambda_D$  : 기하학적 상사비
- $D_s$  : 현장 실험 로터의 직경 (m)
- $D_m$  : 모형 실험 로터의 직경 (m)

제1저자 조철희 연락처: 인천광역시 남구 용현동 253, 인하대학교 선박해양공학과 032-860-7342 chjo@inha.ac.kr

- $U_s$  : 현장 실험 유입 유속 (m/s)
- $U_m$  : 모형 실험 설계 유입 유속 (m/s)
- $N_s$  : 현장 실험 로터 회전수 (rpm)
- $N_m$  : 모형 실험 로터 설계 회전수 (rpm)

Table 1 Flow velocity and rpm of model rotor

	현장실험 로터	모형 로터	비 고
로터 직경 (m)	3.5	0.35	$\lambda_D = 10.0$
유입 유속 (m/s)	2.0	0.63	Fn 에 의한 상사
회전수 (rpm)	50.0	158.1	전진비에 의한 상사

블레이드의 개수 및 단면형상에 따른 성능분석을 위하여 세 가지의 로터를 설계하였다. 입력한 설계 변수는 Table 2와 같다.

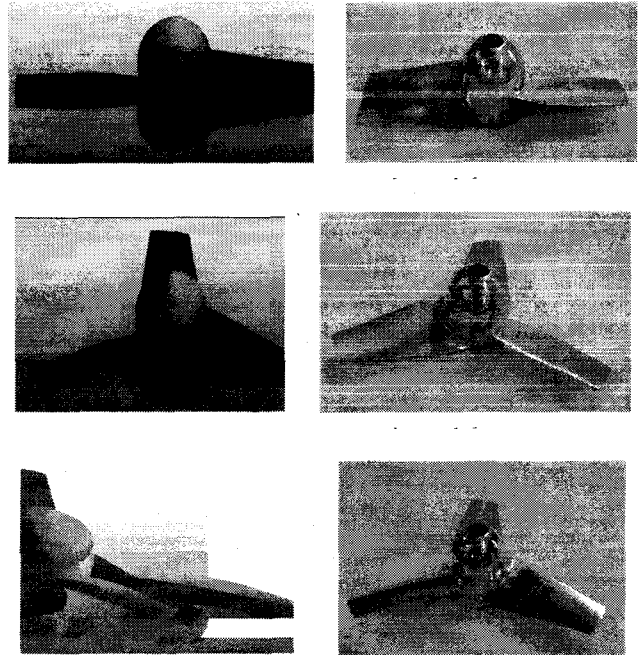
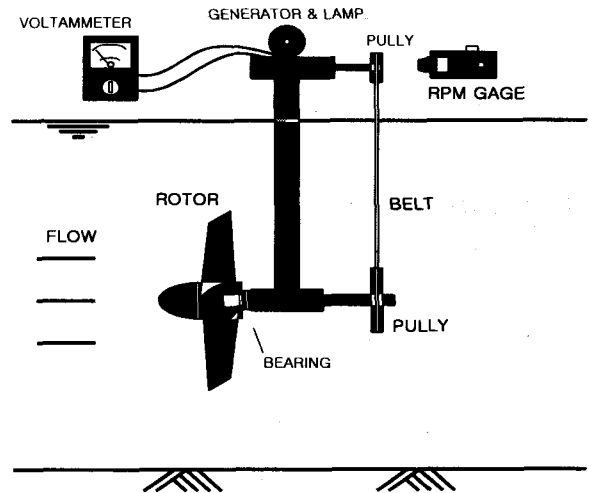
Table 2 Design factors of model rotor

로터 형태	날개 수	단면 현상	공통 설계 변수
2 블레이드 대칭단면 (2B2D)	2	Arc 대칭	- 로터 직경 : 0.35m - 허브 직경 : 0.08m
3블레이드 대칭단면 (3B2D)	3	Arc 대칭	- 효율, $\eta$ : 70 % - 회전수, N : 158.1 rpm
3 블레이드 Airfoil단면 (3B1D)	3	Airfoil	- 유입유속 : 0.63 m/s - solidity, $\sigma$ : 0.2

### 3. 실험

세 가지 다른 형태의 로터에 대해 모형 로터의 요소 변화에 대한 성능 분석 실험을 인하공업전문대학 회류수조에서 수행하였다. 실험모형은 알미늄 주물로 제작하였고 지지구조물은 강관으로 제작하였다. 제반 성능의 분석을 위하여 RPM 게이지를 사용하였고 출력을 계측하였다. 세 가지 로터의 유속에 대한 회전수의 변화와 출력 전압을 측정하여 출력, 효율 등을 계산하였다. 유속의 변화에 따른 회전수, 출력 및 효율을 측정하기 위하여 유속을 0.3~1.2 m/s 범위에서 0.05m/s 씩 증가시키면서 실험 모델의 제반 성능을 계측하였다. 회전수에 대한 제반 성능을 분석하기 위하여 25rpm씩 증가시키면서 50~375rpm의 범위내에서 출력과 효율을 측정하였다. 또한 유속을 0.30m/s에서 0.01m/s씩 증가시키면서 각 모형 로터의 임계유속과 자기

시동 유속을 측정하였다. 발전기 풀리에서 RPM 게이지로 회전수를 측정하고, 회로에 전압계를 연결하여 각 유속에 대한 전압을 계측하였다. 실험 모형의 배치 개형도는 Fig. 1과 같으며 실험 모형의 설계도 및 제작모형은 Fig. 2와 같다.



(c) 3B1D design and model

Fig. 2 Rotor design and model

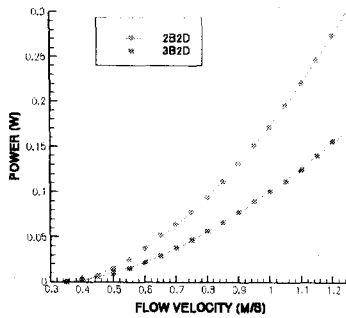
### 4. 실험 분석

#### 4.1 블레이드 수

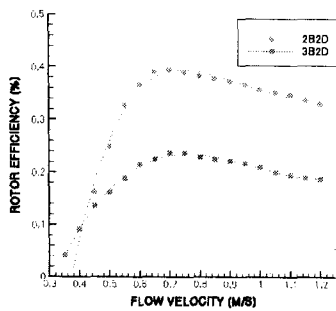
블레이드 수의 변화에 대한 로터의 성능을 분석하기 위하여 동일한 설계변수에서 동일 날개 면적의 2개의 블레이드를 갖는 로터와 3개의 블레이드를 갖는 로터를 비교하였다. 두 가지 로터의 유속에 대한 출력 전력과 효율은 Fig. 3에 나타내었다. 회전수와 출력전력 모두 2블레이드의 로터가 3블레이드의 로터보다 높은 성능을 나타낸다. 2블레이드 로터는 3블레이드 로터보다 높은 출력을 얻을 수 있지만 0.40m/s 미만의 저속에서 회전하지 못하는 단점을 나타내며 저속에서는 유사한 성능을 나타낸다.

#### 4.2 단면 형상 변화

대칭 단면 블레이드 로터와 에어포일 단면 블레이드 로터의 유속에 대한 출력 전력과 효율은 Fig. 4에 도시하였다. 회전수와 출력전력 그리고 효율 모두 에어포일 단면 로터가 대칭 단면 로터보다 높은 유속에서만 아니라 저속에서도 현저히 높은 성능을 나타낸다.

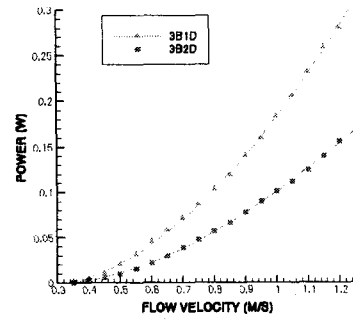


(a) flow velocity vs. power

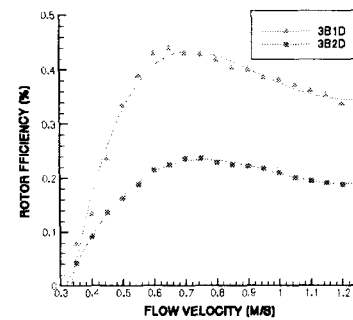


(b) flow velocity vs. efficiency

Fig. 3 Number of blade vs. rotor efficiency



(a) flow velocity vs. power

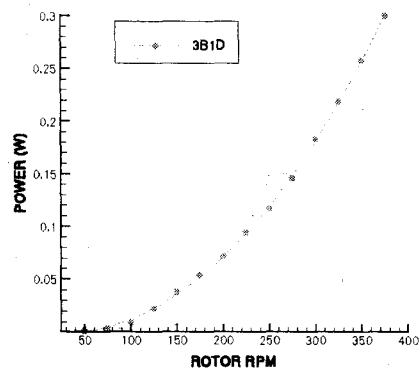


(b) flow velocity vs. efficiency

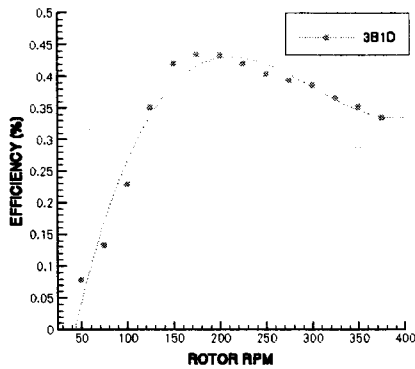
Fig. 4 Blade section shape vs. rotor efficiency

#### 4.3 로터의 성능 분석

단방향 에어포일 단면 3블레이드 로터에 대한 회전수 대 출력 및 효율을 Fig. 5는 보여준다. 회전수 대 출력과 효율 그래프는 유속 대 출력과 효율 그래프에서와 같은 경향을 나타내는데 이는 유속에 대하여 로터 회전수가 일차곡선의 형태를 갖고 선형적으로 증가하기 때문이다.



(a) rpm vs. power



(b) rpm vs. efficiency

Fig. 5 Rotor rpm vs. efficiency

세가지 형태의 로터에 대하여 0.30m/s부터 0.01m/s씩 점진적으로 유속을 증가시키며 임계 유속과 자기시동 유속을 측정하였으며 그 결과는 Fig. 6와 같다. 3블레이드의 로터가 2블레이드의 로터에 비하여 현저히 낮은 유속에서 회전이 이루어지는 것을 볼 수 있으며 블레이드의 단면 형상은 큰 영향을 미치지 못하는 것으로 나타났다. 블레이드의 수가 증가하면 간섭효과가 증가하여 효율이 저하되지만 저속에서의 자기시동과 임계유속 면에서 유리함을 확인할 수 있다.

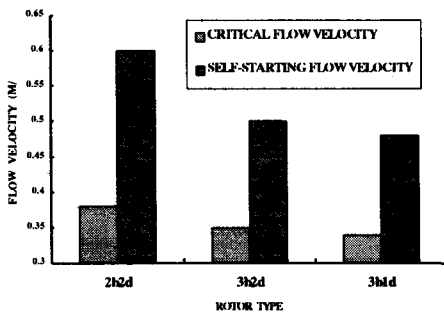


Fig. 6 Critical velocity vs. self-starting velocity

#### 4.4 로터의 출력과 효율

각 로터에 대한 출력과 효율의 결과를 Fig. 7~8에 나타내었다. 모든 유속에 걸쳐 에어포일 단면형상을 갖는 3블레이드 로터가 가장 높은 출력을 나타내며 고속으로 회전할 경우 동일 단면 형상 로터일 때 2블레이드의 로터가 3블레이드의 로터보다 좋은 출력과 효율을 갖는다. 계측 결과를 토대로, 2블레이드 로터가 3블레이드 로터보다 출력과 효율이 우수함을 볼 수 있으며 에어포일 단면의 로터가 대칭 단면의 로터보다 우수한 성능을 나타냄을 알 수 있다. 다만 자기시동 성능과 임계 유속에 대해서는 2블레이드 로터가 낮은 유속에서는 자기시동이 되지 않고 효율

이 떨어진다는 것이다.

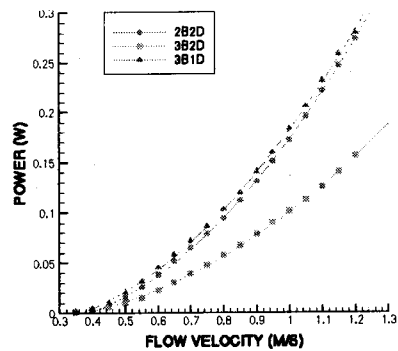


Fig. 7 Flow velocity vs. power

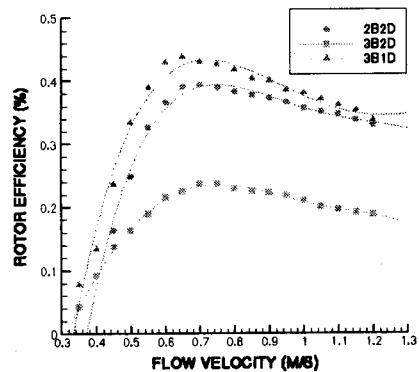


Fig. 8 Comparison of rotor efficiency

## 5. 결론

본 연구를 통해 설계 이론에 의한 모형 로터 설계의 타당성을 검증하고 설계변수의 변화에 대한 성능을 분석하였다. 세 가지 로터의 성능을 분석한 결과 에어포일 단면형상을 갖는 2블레이드의 로터가 가장 성능이 우수한 것으로 나타났으며, 이를 실제역에 적용하기 위해서는 저속에서의 로터 성능과 자기시동 문제, 주기적으로 변하는 해류 방향에 대한 로터의 응답, 그리고 제작의 용이성과 구조적 안정성이 고려되어야 한다.

## 후 기

“이 논문은 제 9차년도 산학연 컨소시엄 사업 지원으로 연구되었습니다.”

## 참 고 문 헌

- 조철희, 김경수, 정택선, 민경훈 (1999). "인천지역에 적합한 해류발전 시스템에 대한 고찰", 조선학회 춘계학술대회, pp 78-82.
- Allan, W. R., (1983). "Axial Flow Fans and Ducts", Wiley & Sons.
- Bernshtein, L. B. (1995). "Tidal Power Development-A Realistic, Justifiable and Topical Problem of Today", IEEE Transactions on Energy Conversion, Vol 10, pp 591-599.
- Garbuglia, E., Rosa A. D. and Berti, D. (1993). "Exploitation of Maine Current Energy", Offshore Technology Conference, pp 509-519.
- Paish, O. and Fraenkel P. (1995). "Tidal Stream Energy:Zero-Head Hydropower", International Conference on Hydropower into the Next Century, pp 1-12.
- Shiono, M., Suzuki, K., and Kiho, S. (1999). "Experiments on the Characteristics of Darrieus Turbine for the Tidal Power Generation", Proceedings of the Ninth International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol 1, pp 123-128.
- Todd, F. H. and Taylor, D. (1991), "Principles of Naval Architecture - Propulsion", Society of Naval Architects and Marine Engineers.
- Walsum, W. V. (1999). "Offshore Engineering for Tidal Power", Proceedings of the Ninth International Offshore and Polar Engineering Conference, Vol 1, pp 777-784.
- Young, R. M. (1995). "Requirements for a Tidal Power Demonstration Scheme", Journal of Power and Energy, Vol 209, pp 215-220.