

블레이드가 설치된 조류발전용 쉬라우드 시스템 내 유속 변화 분석 Analysis of Flow Velocity Change in Blade Installed Shroud System for Tidal Current Generation

이욱재* · 한석중** · 정신탉* · 이상호**

Uk Jae Lee*, Seok Jong Han**, Shin Taek Jeong* and Sang Ho Lee**

요 지 : 유속의 크기와 블레이드의 기하학적 형상 변화에 따라 발생하는 조류발전용 쉬라우드 시스템 내 유속 변화를 분석하기 위하여 수리모형실험과 수치해석적 방법을 이용하였다. 모형실험을 통해 시스템의 유입부에서 유속 변화와 블레이드 형상변화에 따른 고유 회전수를 측정하였으며, 수치해석을 통해 쉬라우드내 유속 변화를 분석하였다. 실험 유속이 약 28% 증가하고, 익형의 형상을 적용하였을 때, 쉬라우드 유입부에서 측정된 유속은 최대 약 56% 증가하는 경향을 보였다. 한편, 익형 형상을 적용한 블레이드가 설치된 경우 유입부에서의 유속은 일반 블레이드에 비해 최대 14% 증가하는 경향을 보였으며, 회전수 역시 동일 조건에서 가장 높은 수치를 보였다. 수리실험과 수치해석 결과는 약 13%의 오차를 보였으며, 각각의 결과에서 보이는 유속 변화에 대한 경향은 유사하다. 쉬라우드 내 유속 변화를 수치해석으로 분석한 결과 유입부 대비 블레이드 앞부분에서 유속은 최대 1.7배 증가하는 경향을 보였다. 본 연구를 통해 얻은 시스템 내 유속 변화 분석 결과는 효율적인 조류발전용 쉬라우드 시스템 개발에 필요한 기초 자료를 제시할 수 있을 것으로 판단된다.

핵심용어 : 조류발전, 쉬라우드 시스템, 수리모형실험, 수치해석, 회전수, 유속 변화

Abstract : Flow velocity changes in the shroud system for tidal current power generation due to experimental flow velocities and blade geometry changes were analyzed by hydraulic experiment and numerical simulation. Through the hydraulic experiment, flow velocities at inlet of shroud system and RPM according to blade geometry were measured, and numerical simulation was used to analyze flow velocity changes in shroud. When the experimental flow velocity was increased by about 28% and the shape of the airfoil was applied, the measured flow velocity at the shroud inlet tended to increase by up to about 56%. On the other hand, when airfoil-shaped blades were installed, the flow velocity at the inlet tended to increase by up to 14% compared to conventional blades, and RPM was also the highest at the same conditions. The hydraulic experiment and numerical simulation results showed an error of about 13%, and the trends of the flow velocity changes in each result are similar. Numerical simulation of the flow velocity changes in the shroud showed that the flow velocity tended to increase 1.7 times at the front of the blade compared to the inlet. The results of the flow velocity change analysis in the shroud system obtained from this study will provide the basic data necessary for the development of efficient shroud system for tidal current power generation.

Keywords : tidal current power generation, shroud system, hydraulic experiment, numerical simulation, RPM, change of flow velocity

1. 서 론

최근 몇 년 동안 화석 연료의 에너지 비용이 증가함에 따라 신·재생에너지에 대한 관심이 증대되고, 전 세계 대다수 국가에서 이러한 에너지를 개발하기 위해 많은 노력을 기울이고 있다. 국내 서남해 지역은 비용과 환경오염을 증가시키는 디젤 발전에 크게 의존하고 있으며, 이 지역의 전력 공급과 관

련된 문제들이 점차 증가하고 있다. 이러한 문제들을 해결하기 위하여 현재 우리나라는 재생에너지 3020 이행 계획(산업통상자원부, 2017)을 발표하면서 2030년 재생에너지 발전량 비중을 20% 보급 예정이다. 다양한 신·재생에너지 중 해양 자원을 이용하여 해수의 흐름을 통해 자연적으로 발전이 가능한 조류발전은 흐름이 갖는 운동에너지를 전기적 에너지로 변환하며 발전하는 방식으로 미래의 에너지 자원 중 하나이다. 조

*원광대학교 토목환경공학과(Corresponding author: Shin Taek Jeong, Department of Civil and Environmental Engineering, Wonkwang University, Iksandae-ro 460, Iksan, Jeonbuk 54538, Korea, Tel: +82-63-850-6714, Fax: +82-63-850-7357, stjeong@wonkwang.ac.kr)

**원광대학교 기계자동차 공학부(Division of Mechanical and Automotive Engineering, Wonkwang University)

류발전은 발전을 위해 쓰이는 수차와 발전장치만 설치하기 때문에 타 발전에 비해 비용 절감이 크며, 날씨 변동이나 계절의 변화와 관계없이 발전량 예측이 가능하다. 이에 영국, 미국, 캐나다, 중국 등 많은 나라들이 조류발전에 관심을 보이고 있으며, 대규모 조류발전단지를 계획 및 추진하고 있다.

국내·외 연구를 살펴보면 Jo et al.(2018)는 수리실험 및 수치해석을 이용하여 10 kW급 덕트형 조류발전장치의 운동 성능 분석을 통해 안정적인 운동을 하는 최적의 페어리드를 선정하였다. Lee et al.(2018a)는 덕트 타입 소형 수평축 조류 터빈 형상설계 및 출력 성능해석을 통해 정격 유속 조건에서의 출력 및 장치의 최대 효율을 계측하였다. 또한 Ponta et al.(2008)는 4가지의 디퓨저 형상의 조류발전기를 제작한 후, 모형실험을 통해 각 형상에 따른 위치별 유속 및 유속 증가율을 계측하고 가장 높은 유속에서의 출력을 측정하는 연구를 수행한 바 있으며, Azim et al.(2014)은 Ponta et al.의 선행연구를 바탕으로 수치해석을 통해 모형실험에 대한 연구 결과를 검증한 바 있다. 수직축 터빈 블레이드 출력에 대한 덕트 효과를 분석하기 위해 Alidadi et al.(2014)는 수치해석과 모형실험을 통하여 터빈의 출력 경향을 보였으며, 덕트가 존재할 때 더 높은 출력을 보임을 분석하였으며, Mohammad et al.(2015) 역시 유사한 연구를 통해 쉬라우드 시스템에 의해 터빈 효율이 증가함을 밝혀냈다. 수행된 연구 결과들은 조류발전 시스템 형상 변화에 따른 유동 변화 및 터빈 출력 효율을 산정하는 연구들이 대부분이며, 유속 및 블레이드가 변화함에 따라 발생하는 유동 특성 변화에 대한 연구가 매우 부족한 실정이다. 또한 대부분의 연구는 터빈 블레이드가 존재하지 않는 경우의 조류발전 시스템 자체 유동 변화를 분석하거나, 터빈 블레이드 자체의 성능을 수치해석을 이용하여 분석하는 연구들은 많이 수행되었다. 이에 비하여 아직까지 쉬라우드내 블레이드 고유 회전수를 계측하고, 유속 및 블레이드에 따라 변화하는 유동 특성에 대한 연구는 매우 부족한 상태이다. 따라서 본 연구에서는 수리모형실험을 통해 각각의 블레이드가 갖는 정격 회전수를 계측하고, 유속 변화에 따른 유동 특성에 대한 연구를 수행하였다. 이러한 연구 결과는 조류발전용 쉬라우드 시스템 블레이드 및 형상 설계에 기초적인 자료를 제공할 수 있다.

2. 수리모형실험

2.1 회류 수조

조류발전용 쉬라우드 시스템 내 블레이드 설치에 따른 회전수 및 변화하는 유속을 계측하기 위하여 원광대학교에 구비된 회류 수조에서 모형실험을 수행하였으며, Fig. 1에 수조 및 전반적인 실험 구성에 대한 모식도를 제시하였다. 전체 길이는 10.0 m, 폭 0.4 m, 높이 0.5 m로서, 수조의 바닥 및 양측면은 아크릴 소재로 구성 되어있어 관심 구간에 대한 관찰이 가능하다.

흐름은 모터와 유량 조절계를 통하여 조절하였으며, 수조 유입부에 허니콤을 설치함으로써 보다 안정적인 흐름을 구현하였다. 또한 유속계는 Fig. 1에 표시한 P1, P2 지점에 설치하였으며, 실험에 사용된 유속 계측 장비는 KENEX-V0 1000 모델을 사용하였다.

2.2 모형 축척에 대한 상사법칙

공학에서 실제로 일어나는 현상을 관측하기 위해 분석 대상의 모형을 제작하여 실험을 하며, 이를 수리모형실험이라 한다. 모형의 제작 조건은 수리학적 거동이 유사해야 하며, 이를 토대로 모형과 실제 현상을 수리학적 상사법칙이라 한다. 또한 원형과 모형간에 완전상사를 이룬다는 것은 이론적으로는 가능하나, 실질적으로 불가능하다. 자유수면을 갖는 개수로의 흐름에 있어서 지배력이 중력의 경우 Froude 상사법칙이 적용되며, 원형과 모형 사이에 다음과 같은 식이 성립되어야 한다.

$$\frac{v_m}{\sqrt{g_m L_m}} = \frac{v_p}{\sqrt{g_p L_p}} \quad (1)$$

여기서, v 는 속도, L 은 길이, g 는 중력가속도를 의미하며, 아래 첨자 m, p 는 모형과 원형에서의 물리량을 의미한다. 본 실험에 사용된 모형의 축척은 3/100의 크기로 제작하였다.

2.3 모형 쉬라우드 발전시스템

조류에너지 획득을 위한 모형 쉬라우드는 3d printer를 이용하여 제작하였다. 다양한 형상 중 Lee et al.(2018b)의 쉬라우드의 기하학적 형상을 참고하였다. 다음 Fig. 2에 쉬라우

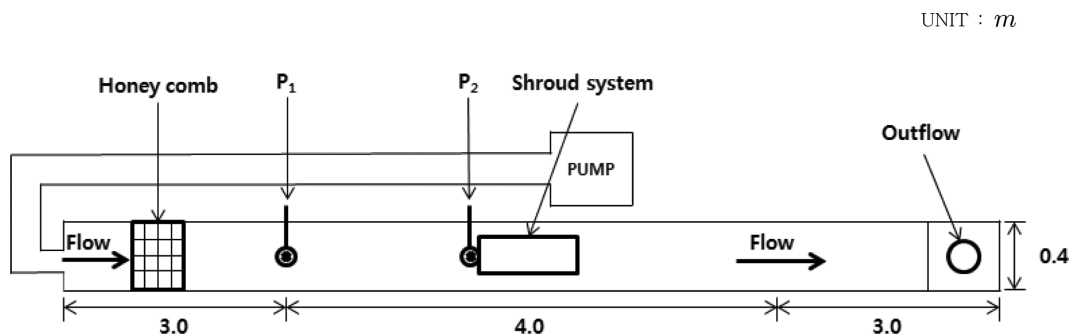
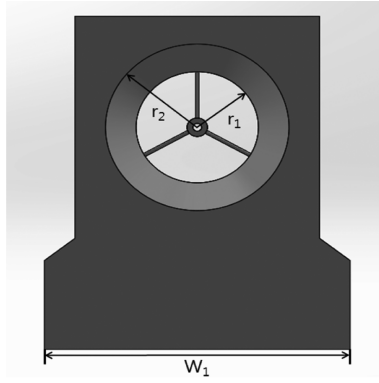
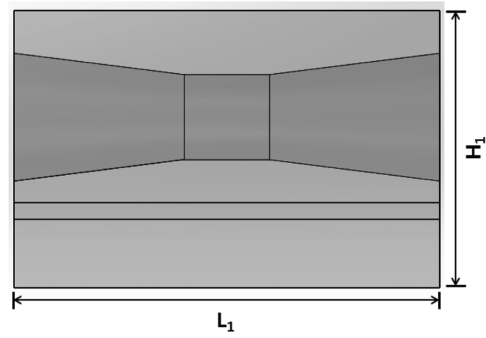


Fig. 1. Two dimensional current generating flume.



(a) Front view of the shroud system



(b) Side view of the shroud system

Fig. 2. Shape of shroud.

Table 1. General design parameter of shroud

Variable	Symbol	Analysis condition
Radius	r_1	30 mm
Radius	r_2	45 mm
Width	W_1	150 mm
Length	L_1	300 mm
Height	H_1	180 mm

드의 형상을 도식하였으며, Table 1은 쉬라우드의 제원이다. Fig. 2의 (a)는 쉬라우드의 정면, (b)는 쉬라우드의 측면 및 내부 형상이다.

2.4 모형 블레이드

유속 및 블레이드에 따라 변화하는 유동 변화를 분석하기

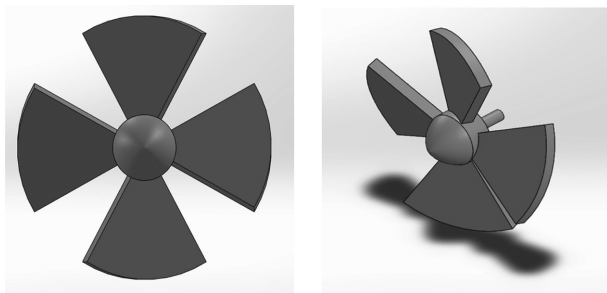
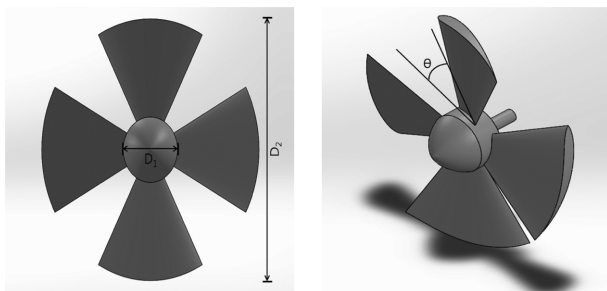

Fig. 3. Design of conventional turbine blade (Lee et al., 2018b).

Fig. 4. Design of turbine blade (S814 airfoil).

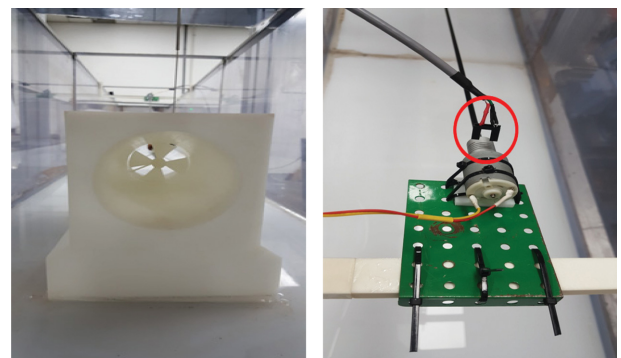
Table 2. General design parameter of airfoil

Variable	Analysis condition	
	Conventional turbine blade	Airfoil turbine blade
D_1	14 mm	
D_2	50 mm	
θ (Pitch angle)	20°	
Airfoil model	-	NREL S814

위하여 Lee et al.(2018b)이 사용한 블레이드(Conventional blade)와 Grant et al.(2016), Choi et al.(2018)이 사용한 S814 에어포일 블레이드에 대하여 실험을 수행하였다. Fig. 3과 4에 각각의 블레이드 형상을 도식하였으며, Table 2에는 실험에 사용된 블레이드에 대한 제원을 제시하였다.

2.5 모형 재질

Fig. 2~4에 제시한 형상에 대하여 3d printer를 이용하여 제작하였다. 모형 제작 방식은 효율적인 제작 속도 및 높은 정밀도를 구현하는 SLA 방식이며, 모형의 재질은 높은 강도를 갖는 ABS Like 레진 소재이다. Fig. 5는 수조에 설치된



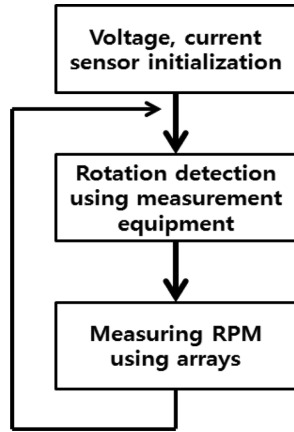
(a) The shape of the installed shroud

(b) RPM measuring equipment

Fig. 5. Shroud and generator models used in hydraulic experiments.

Table 3. Hydraulic experiment condition

	Case 1	Case 2
Maximum current speed	0.35 m/s	0.45 m/s
Wing type	4Wings (Conventional), 4Wings-Airfoil (NREL S814)	
Measurement list	Current speed RPM	

**Fig. 6.** Flow chart for RPM measurement method.

쉬라우드 및 발전기 형상이다.

3. 모형실험 조건 및 방법

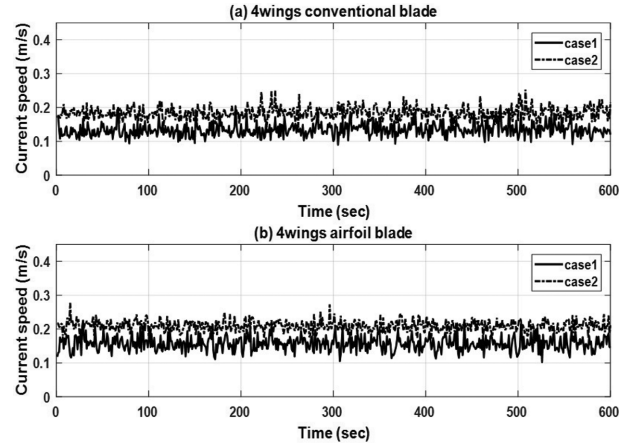
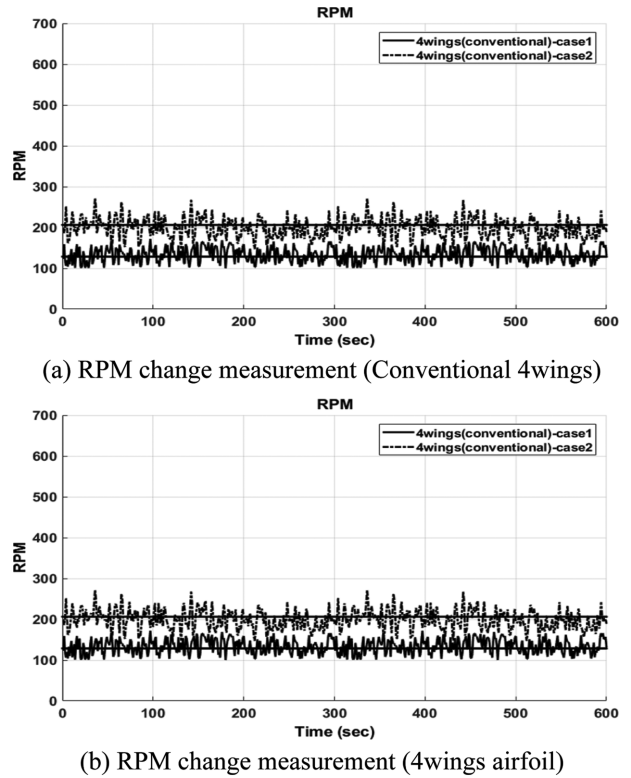
수치해석에 필요한 초기 유속(U_∞) 및 시스템 내 설치되는 블레이드의 고유 회전수 자료 제공을 위하여 수리모형실험을 수행하였다.

수조에서 재현이 가능한 실험 유속은 0.35 m/s~0.45 m/s이므로 본 연구는 실험 유속에 맞추어 수행하였으며, 유속 및 회전수는 흐름이 충분히 안정화 된 후, 600초(10분)간 계측하였다. 계측 위치는 쉬라우드 시스템의 유입부이며, Table 3에는 본 연구에서 수행한 실험 조건에 대한 내용을 제시하였다.

또한, 블레이드의 회전수는 연결된 모터와 계측 장비를 통해 계측하였다. 모터에 부착된 원판을 계측 장비 사이에 두어 한 슬롯이 지날 때 마다 펄스신호를 발생시키는 모듈이다. 회전수 측정모듈에서는 지정된 시간에 통과되는 슬롯의 개수를 받아 계산하여 회전수를 알아내며, 이에 대한 흐름도를 다음 Fig. 6에 제시하였다.

4. 모형실험 결과

Table 3에 기술된 바와 같이 2종류의 유속 및 블레이드 변화에 따른 모형실험을 통해 쉬라우드 유입부에서의 유속 변화를 계측하고, 이때 변화하는 블레이드 각각의 회전수를 측정하였다. 쉬라우드를 설치한 경우 쉬라우드 시스템이 저항체 역할을 하게 되어 시스템 내부로 유입되는 유속 크기는 일

**Fig. 7.** Change of current speed at inlet.**Fig. 8.** Time series data of measured RPM.

시적으로 초기 유속에 비해 최대 약 50% 감소하는 경향을 보였으며, 이러한 결과는 Lee et al.(2018b)의 연구 결과와 유사하다. 또한, S814 모델 블레이드를 사용한 경우, Lee et al. (2018b)의 conventional 블레이드를 사용하는 경우에 비하여 약 14% 유속 증가가 발생하였다. 유속 변화에 대한 시계열 자료는 다음 Fig. 7과 같다.

한편, 수치해석을 하기 위해서는 실험에 사용된 각각의 블레이드가 유속에 따라 갖는 회전수 정보가 있어야 하므로, 회전수 계측을 수행하였다. 회전수는 에어포일 모형을 적용하였을 때, conventional 블레이드를 적용한 경우에 비해 약 64% 증가하는 경향을 보였으며, 에어포일 모형을 적용한 블

레이드끼리 비교한 경우, 초기 유속 조건이 높은 경우 약 33% 더 높은 경향을 보이고 있었다. 이는 초기 유속이 빠를 수록 중심부에서 더 높은 유속을 보이고 있으며, 에어포일 모델이 적용된 블레이드의 경우 더 높은 효율을 보일 것으로 판단된다. 블레이드 회전수에 대한 시계열 자료는 다음 Fig. 8에 제시하였다.

5. 수치해석

5.1 수치해석 모형

조류발전용 쉬라우드 시스템 내 블레이드 형상 및 유속에 따라 변화하는 시스템 내부 유동 변화를 분석하기 위하여 ANSYS社에서 개발한 3차원 유동해석 프로그램인 Fluent (V.19)를 이용하였다. 적용된 난류 모델은 비압축성 흐름의 예측이 가능하고 유동 해석에 가장 많이 쓰이는 RNG(Renormalized Group) κ - ϵ 모델을 사용하였으며, 해석은 정상상태에서 이루어졌다. 이에 대한 지배 방정식은 다음과 같다.

(a) 연속방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (2)$$

(b) 운동량방정식

$$\frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) = -\frac{\partial p}{\partial x_i} + \frac{\partial}{\partial x_i} \mu_i \left(\frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \frac{\partial u_j}{\partial x_i} \right) + \rho g_i \quad (3)$$

(c) RNG κ - ϵ 모델 수송 방정식

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho k) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho k u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_k \mu_{eff} \frac{\partial k}{\partial x_j} \right) \\ &+ G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M + S_k \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t}(\rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho \epsilon u_i) &= \frac{\partial}{\partial x_j} \left(\alpha_\epsilon \mu_{eff} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j} \right) \\ &+ C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k} - R_\epsilon + S_\epsilon \end{aligned} \quad (5)$$

여기서, G_k 는 평균 속도 구배로 인한 난류 운동 에너지 생성을 나타내며, G_b 는 계산된 부력으로 인한 난류 운동 에너지의 생성이다. Y_M 은 계산된 전체 소산율에 대한 압축성 난류의 변동 팽창의 기여도를 나타내며, 수량 α_k 과 α_ϵ 은 각각 k 와 ϵ 에 대한 역 유효 Prandtl 수를 의미한다. 지배 방정식을 풀기 위해 일반적인 SIMPLE 알고리즘과 함께 2차 상류 차분법(Second order upwind scheme)을 적용한 유한 체적법을 사용하였다.

5.2 경계조건 및 격자

쉬라우드 시스템 내 유동 변화를 분석하기 위하여, 앞에서 수행한 수리모형실험과 동일한 조건을 부여하였다. 수치해석을 통해 블레이드에 따른 유동 분석을 하기 위하여 모형실험에서 측정한 회전수 데이터 조건을 적용하였으며, 적용한 수치는 Fig. 8의 시계열 자료에서 각각의 평균값을 이용하였다. 수치해석에서 구현한 초기 유속은 조건은 모형 실험 조건과 일치하도록 0.35 m/s, 0.45 m/s를 부여하였으며, 전체 해석 영역은 수리모형 실험에 사용된 수조의 크기와 동일하게 구성하였다.

격자는 약 9,000,000개로 구성하였으며, 격자 의존도를 파악하기 위해 약 12,000,000개와 15,000,000개의 해석을 수행한 결과의 유속 변화에 대한 결과 차이는 약 0.78% 미만이었다. 해석 시간을 고려하여 적은 수의 격자를 이용하였으며, 다음 Fig. 9는 일부 주요한 해석 유동장과 격자를 보여주고 있다.

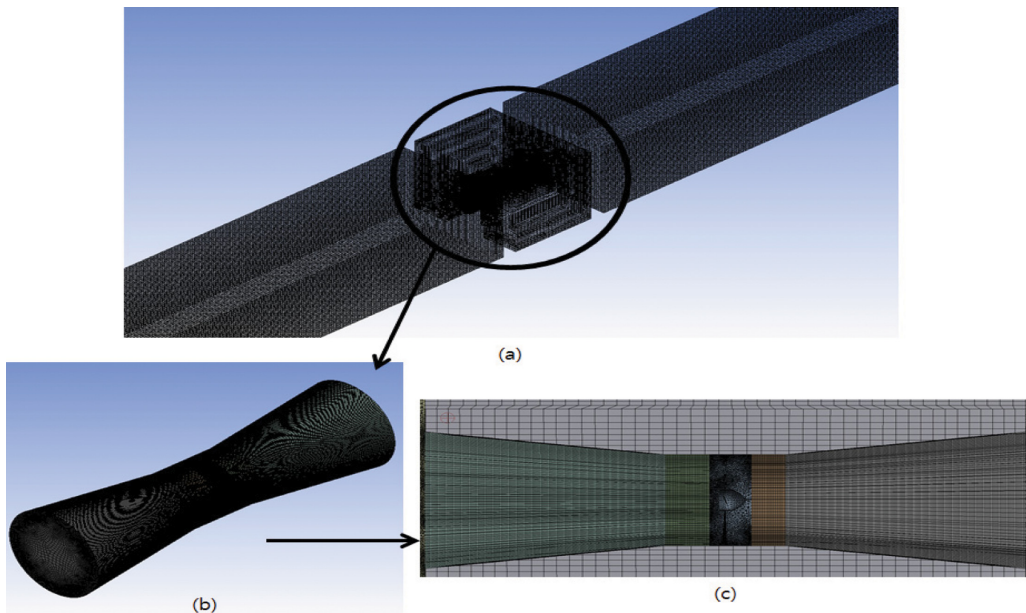


Fig. 9. Shroud 3 dimensional grid.

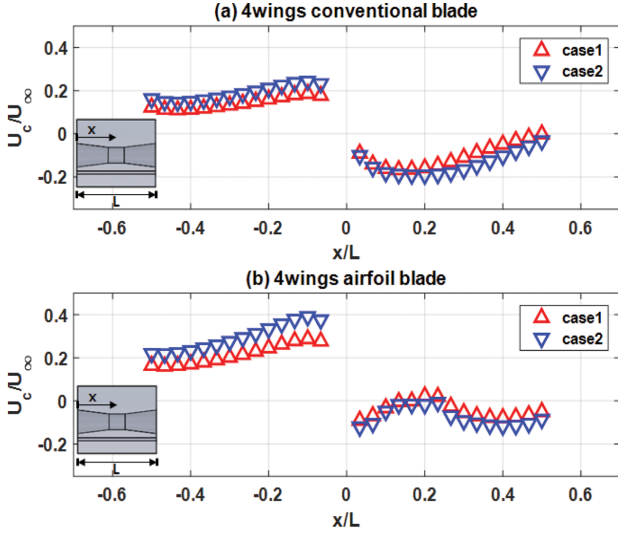


Fig. 10. Dimensionless velocity variation along the centerline of the shrouds.

6. 수치 해석 결과

Fig. 10에 변화하는 유속 및 블레이드 형상에 따른 쉬라우드 시스템 내부 유동 변화에 대한 분석 결과를 도시하였다. 쉬라우드내의 유속 변화는 다음 식(6)로 표현된다.

$$U^* = \frac{U_c}{U_\infty} \quad (6)$$

여기서, U_∞ 는 해석에 사용된 실험 유속, U_c 는 쉬라우드 내에서 분석된 유속이다.

블레이드가 설치된 $-0.03 \leq x/L \leq 0.03$ 지점에서의 유속은

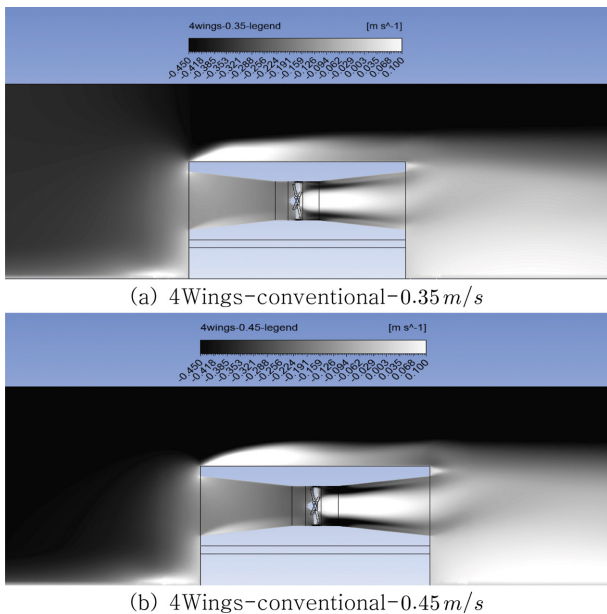


Fig. 11. Comparison of the velocity distribution around shrouds (Conventional 4wings).

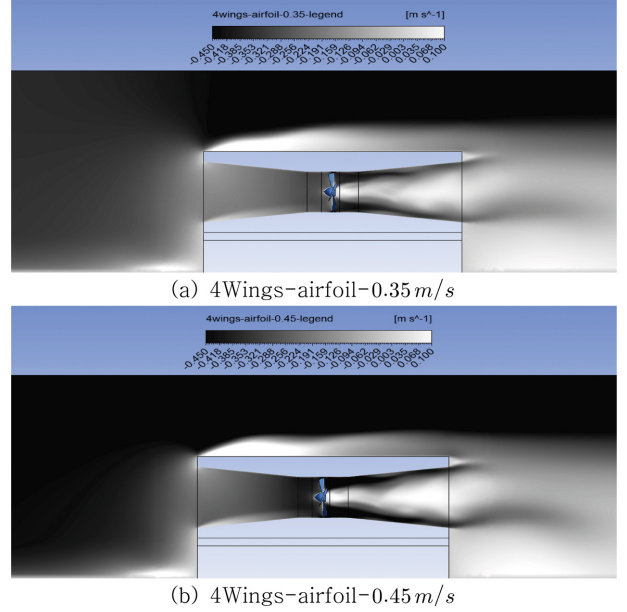


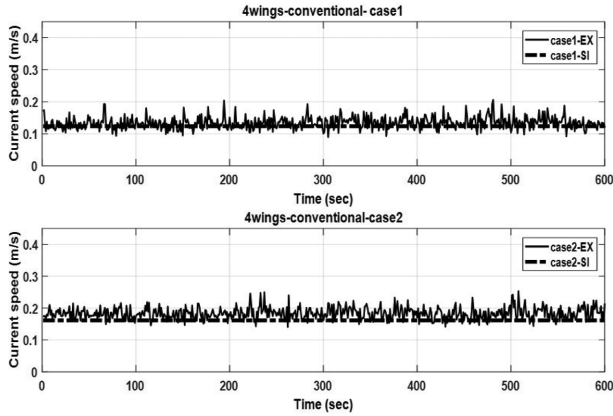
Fig. 12. Comparison of the velocity distribution around shrouds (4wings-airfoil).

블레이드 중심의 앞부분과 뒷부분의 영역이므로 U_c/U_∞ 의 값은 계산되지 않았다. 해수 흐름이 시스템 내부로 유입되는 $-0.5 \leq x/L \leq -0.03$ 구간에서는 단면적이 줄어드는 쉬라우드 시스템의 기하학적 특성으로 인해 유속비는 점차 증가함을 보이고 있었으며, 흐름이 블레이드를 지나는 $0.03 \leq x/L \leq 0.5$ 구간에서는 Fig. 10의 (a), (b)와 같이 서로 다른 경향을 보이고 있었다. 이는 블레이드 회전에 의해 순간적으로 흐름의 방향이 불규칙적으로 변화하며 와류를 형성하는 것으로 판단된다.

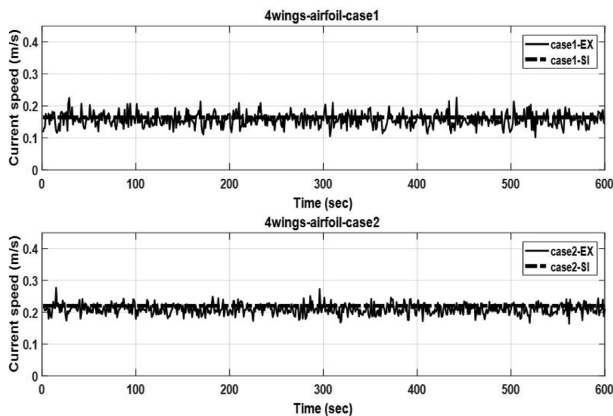
Fig. 11의 (a), (b)는 Conventional 블레이드를 이용한 경우 각각의 유속에 따른 유속 분포를 보이고 있다. 해석 결과, 유속의 증가 및 감소하는 구간에서의 경향은 유사하지만 유입 유속이 더 빠른 (b)의 경우에 블레이드 부근에서 약 23% 더 높은 유속 증가율을 보였다. 흐름이 블레이드를 통과한 후, 블레이드 후면에서 발생하는 와류 현상 역시 (b)의 경우에 현저히 증폭되는 경향을 보였다. Fig. 12의 (a), (b)는 S814 모델을 적용한 결과다. (b)와 같이 더 센 유속이 유입될수록 블레이드 부근에서의 유속은 (a)에 비해 약 26% 높았으며, 블레이드를 통과한 흐름은 더 강한 와류 현상을 보였다. 한편 쉬라우드 유입부의 하단 및 시스템의 바깥 부분에서 유동 정체가 국부적으로 발생하고 있다.

7. 실험과 수치해석 결과 비교

모형실험 및 수치해석을 통해 분석된 결과에 대하여 비교 분석을 수행하였다. 비교 분석 지점은 실험 및 해석에서 동시 비교가 가능한 쉬라우드 시스템 유입부의 유속 변화이며, 이에 대한 비교 결과는 다음 Fig. 13에 제시하였다. 600초간 측정한 모형실험의 유속 변화 결과와 수치해석을 통해 분석된



(a) Comparison of 4wings-conventional



(b) Comparison of 4wings-airfoil

Fig. 13. Comparison of experimental and simulated results at the inlet.

유입부 결과의 최대 오차율은 약 13%이며, 대부분 오차율은 약 8% 미만으로 계산되었다. 이는 시스템을 구성하는 매질 및 입구 손실계수에 따르는 보정 계수를 고려하지 않아 발생하는 것으로 기인된다. 그러나 Fig. 13에 제시한 그래프에서 실험 결과의 시계열 자료와 수치해석을 통해 얻은 유입부에서의 유속은 오차율을 감안하였을 경우 각각의 결과가 잘 맞는 것으로 판단되므로 수치해석만을 통해 쉬라우드 내부에서의 전체적인 유속 변화를 분석할 수 있었다. 한편 실험 및 해석의 결과를 바탕으로 실험 유속이 빨라짐에 따라 쉬라우드 내부로 유입되는 유속은 점차 증가하는 경향을 보였으며, 동일한 실험 유속에서 S814 익형을 적용한 블레이드의 경우 conventional blade의 경우보다 최대 약 34% 더 높은 유속을 나타냈다.

8. 결 론

본 연구에서는 쉬라우드 시스템 내 유속 변화를 분석하기 위하여 수리모형실험을 통해 시스템 유입부에서의 유속 변화를 계측하였다. 또한 수치해석을 추가적으로 수행하여 이에 대한 결과를 비교하였으며, 모형실험에서 계측하지 못한 쉬

라우드 내부 유속 변화에 대한 해석을 수행하였다. 해석 및 실험에서 사용한 실험 유속 및 블레이드의 모형은 각각 2 가지 조건을 이용하였다.

먼저, 수리실험과 수치해석을 통해 동시에 분석을 수행한 쉬라우드 유입부에서의 유속 분포는 높은 실험 유속과 익형 모델이 적용된 블레이드의 경우 낮은 실험 유속과 익형을 적용하지 않은 블레이드를 사용한 경우에 비해 약 56% 높은 유속 분포를 보이고 있었다. 또한 모형실험을 통해 블레이드의 회전수를 계측한 결과 역시 높은 실험 유속 조건과 익형 모델이 적용된 블레이드가 그렇지 않은 경우에 비해 약 2.8배 높은 수치를 보였다. 실험과 해석에 대한 결과 오차율은 최대 13%로 나타나지만 쉬라우드 유입부에서의 유속 변화를 비교하였을 때, 수치적으로 유사함을 보였다. 한편, 해석을 통해 쉬라우드내 유속 변화를 분석한 결과, 모든 해석 결과에서 쉬라우드의 기하학적 형상에 의해 블레이드 앞부분에서의 유속은 유입부에서의 유속에 비해 약 1.4배에서 최대 1.7배 까지 증가하는 경향을 보였다.

본 연구를 통해 실험 유속 및 블레이드의 기하학적 형상 변화에 따른 조류발전용 쉬라우드 시스템 내에서 변화하는 유속 변화에 대한 연구 결과를 제시하였다. 본 결과를 통해 효율적인 조류발전용 쉬라우드 시스템 개발에 필요한 기초 자료를 제시할 수 있을 것으로 기대되며, 후후 연구를 통해 발전량 추정하는 연구가 수행되어야 할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 해양수산부 해양청정에너지기술 개발 사업인 “항로표지 등부표용 파력발전시스템 형상 최적화에 관한 연구(과제 번호: 20170323)”와 한국해양과학기술진흥원 미래해양산업기술개발 해양중소벤처지원사업인 “콘크리트 쉬라우드를 이용한 조류 발전 시스템 연구(과제 번호: 20170122)”의 지원으로 수행되었습니다. 연구 지원에 감사드립니다.

References

- Alidadi, M. and Calisal, S. (2014). A numerical method for calculation of power output from ducted vertical axis hydro-current turbines. *Computers & Fluids*, 105, 76-81.
- Azim, A., Shahrani, A., Ahmmad, S. and Rosdi, H. (2014). CFD Study of Tidal Current Turbine Shroud for Initial Design Evaluation. *Applied Mechanics and Materials*, 679, 35-38.
- Choi, H.J., Oh, Y.C., Kim, B.S., Seo, K.C. and Lee, Y.H. (2018). 1MW class tidal-current turbine blade shape design and power-performance prediction in various TSR conditions. *The Korean Society of Marine Engineering*, 42(4), 298-303 (in Korean).
- Fleming, C.F. and Willden, R.H. (2016). Analysis of bi-directional ducted tidal turbine performance. *International Journal of Marine Energy*, 16, 162-173.
- FLUENT User's Guide, FLUENT Inc.

- Grant, C., Nick, O. and Dominic, G. (2016). Numerical Modelling of a Three-Bladed NREL S814 Tidal Turbine. AWTEC, Singapore, 2016.
- Jo, C.H., Park, H.J., Cho, B.K. and Kim, M.J. (2017). Investigation of Motion of Single Point Moored Duct-type TCP System by Both Numerical and Experimental Method. Korean Hydrogen and New Energy Society, 28, 212-219 (in Korean).
- Lee, J.S., Jung, J.H. and Kim, B.S. (2018). Study on Shape Design and Power Performance Analysis of Small Horizontal Axis Tidal Turbine with Duct Using BEM and CFD Methods. The Korean Society of Mechanical Engineers, 42(3), 197-205 (in Korean).
- Lee, U.J., Lee, S.H., Han, S.J., Jeong, S.T., Choi, H.J. and Ko, D.H. (2018). Numerical Analysis for the Optimum Design of Shroud Tidal Stream Generation System. Journal of Korean Society of Coastal and Ocean Engineers, 30(3), 134-141 (in Korean).
- Ministry of Trade, Industry and Energy (2017). Implementation plan for renewable energy 3020 (plan) (in Korean).
- Shahsavari, M., Bibeau, E.L. and Chatoorgoon, V. (2015). Effect of shroud on the performance of horizontal axis hydrokinetic turbines. Ocean Engineering, 96, 215-225.
- Ponta, F.L. and Jacovkis, P.M. (2008). Marine-current power generation by diffuser-augmented floating hydro-turbines. Renewable Energy, 33, 665-673.
- R&D information center (2018). Smart shipbuilding and shipping 4.0 Actual situation analysis and ocean energy/marine resources R & D strategy, Knowledge industry information institute (in Korean).

Received 28 January, 2019

1st Revised 14 February, 2019

2nd Revised 20 February, 2019

Accepted 21 February, 2019