

임펠러방식 능동형 소수력 시스템 개발

강석원*, 오민환**
 (주)다음기술단*, (주)도화엔지니어링

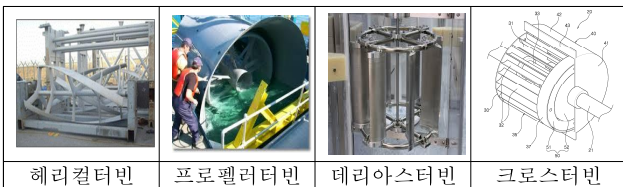
Development of automatic impeller type small hydropower system

Seok-Won Kang*, Min-Hwan Oh**
 DAUM ENGINEERING*, DOHWA ENGINEERING CO.,LTD**

Abstract - 본 논문은 해수의 조류발전으로 일반적으로 이용되고 있는 다리우스 타입 터빈의 구동력과 효율의 개선을 위하여 능동형 가이드밴(Guide Vane)과 Reaction Blade을 응용하여 설계하므로 구동력과 효율을 개선하고자 하였다.

1. 서 론

친환경에너지 및 온실가스절감효과로 신재생에너지에 대한 관심이 높아지고 있다. 대규모의 댐을 이용한 수력발전은 대표적인 재생에너지이나 최근에는 환경파괴를 수반한다는 문제점이 부각 되고 있다. 이에 강물이나 바닷물을 이용한 흐름식 수력발전으로 연구의 관심이 옮겨지고 있다. 특히 해양에너지에서 조수간만에 의한 빠른 유속을 이용하는 조류발전은 신뢰성 있는 에너지원이고 기후변화와 상관없이 지속적인 발전이 가능하다. 경제성과 실용성을 갖는 조류발전 시스템이 개발된다면 우리나라 서해안은 조석 간만의 차가 커 효과적으로 적용이 가능하고, 에너지빈국인 동남아나 아프리카에도 수출형 시스템으로 시장창출 기대효과가 크다. 현재 국·내외에서 실험적으로 설치되고 있는 조류발전의 형태는 그림 1과 같이 프로펠러식이나 다리우스타입의 터빈, 다리우스터빈의 효율을 향상시킨 헤리컬 터빈을 사용하고 있다. 조수간만에 의한 조류는 해저의 지형형상과 물 유동에 따라서 조류의 방향과 속도가 다양하게 변화한다. 본 연구에서는 조류를 효율적으로 이용하기 위하여 터빈 주위에 벤츄리 타입의 능동형 안내날개를 구성하므로 유속의 방향을 일정하게 유도하였다. 또한 유속을 증가시키는 효과로 조류발전시스템을 구축하므로 효율을 향상 시켰다.



<그림 1> 조류발전 터빈현황

2. 본 론

2.1 조류발전이론

일반적으로 사용되고 있는 조류발전의 방정식은 식 1 과 같다. 식에서 조석간만의 차에 의한 조류흐름의 유속을 이용하여 발전을 하게 된다.

$$P = \frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \times \eta \quad \text{-----(1)}$$

여기서 : p : 수차출력[kW]
 ρ : 해수의밀도[kg/m³]
 A : 터빈 유입부 면적[m²]
 V^3 : 조류의 속도[m/sec]
 η : 터빈효율[%]

단,1/2은 상수이다. 터빈의 효율은 계산된 축 동력을 이론적 최대출력으로 나눈 값으로 다음 식 2과 같다.

$$\eta = (T_r \times N) \div \left(\frac{1}{2} \times \rho \times A \times V^3 \right) \quad \text{-----(2)}$$

여기서 : T_r : 토오크[N/m²]
 N : 분당회전수[RPM]

조류의 속도를 증속하기 위한 벤츄리 실험식은 식 3과 같다.

$$h_1 + \frac{p_1}{\rho} + \frac{v_1^2}{2g} = h_2 + \frac{p_2}{\rho} + \frac{v_2^2}{2g} \quad \text{-----(3)}$$

여기서 h : 수주높이[m]

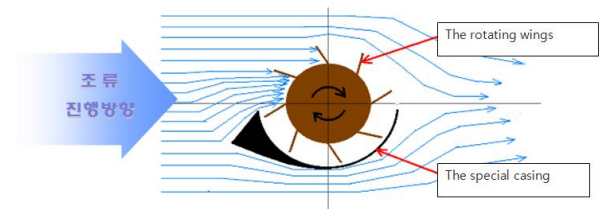
p : 압력[pa]

ρ : 해수의 밀도[kg/m³]

$\frac{v^2}{2g}$:속도수두[m]

2.2 임펠러방식의 구성

조류 유속을 유도하여 물의 유동에너지가 접촉하는 면적을 크게 함으로 출력증가를 도모하였다. 임펠러는 터빈형상과 같이 반원으로 설계하여 유속을 증속할 수 있어 터빈의 축동력이 증가하여 터빈효율을 향상시킬 수 있다. 조류발전의 임펠러는 그림 2와 같이 설계하였다.



<그림 2> 능동형 임펠러 구성도

임펠러는 하루에 두 번 이루어지는 밀물과 썰물의 유속 방향에 맞추어 자동 능동 하도록 하였다. 물의 유동을 안내하는 안내깃(Guid Vane)의 역할을 담당하는 유체유도케이싱은 터빈날개의 주변을 따라 반원으로 설계하므로 유속을 1.3배 이상 증속할 수 있다.

2.3 임펠러방식의 설계

임펠러 설계의 유의성 검증을 위하여 그림 3과 같이 단계별로 성능을 비교하였다. 임펠러의 케이싱을 터빈날개 주변형상과 같이 설계 함으로 터빈의 날개 길이를 짧게 설계 할 수 있어 구조적안정성을 높였다.

| 프로펠러식 | 케이싱이 장착된 임펠러식 | 유체유도 케이싱이 장착된 임펠러식 | 임펠러 폭을 3배로 늘렸을 때 (3X임펠러) |
|-------------|--|----------------------|--|
| | | | |
| $A \cdot B$ | $A \cdot B(\approx 0) \approx A \cdot A$ | $A \cdot B + C = 4D$ | $3 \times (A \cdot B + C) = 3 \times (4D)$ |

<그림 3> 임펠러의 단계별 성능비교

본 설계에서는 프로펠러식을 기준으로 성능평가를 수행하였다. 케이싱이 장착된 임펠러식수차는 날개의 회전력이 프로펠러의 6배정도 증가 하였으며, 유체가 접촉되는 터빈의 압력도 2배 이상 상승하였다.

2.4 CFD해석결과

CFD유도해석은 일반적으로 사용되고 있는 3D Flow S/W를 이용하여 Geometry와 격자생성을 Gabbit2.4.6으로 하였다. Fluent해석결과는 그림 4와 같다. 그림에서 능동형 유도형 케이싱을 씌운 터빈의 주변속도가 빠

르게 나타나고 있으며, 부압에 의한 영향도 줄게 나타나고 있어 터빈 주변에서 압력이 적게 나타나고 있음을 확인 할 수 있었다. 따라서 케이싱 주변에서 유속이 증가함을 확인 할 수 있었다.

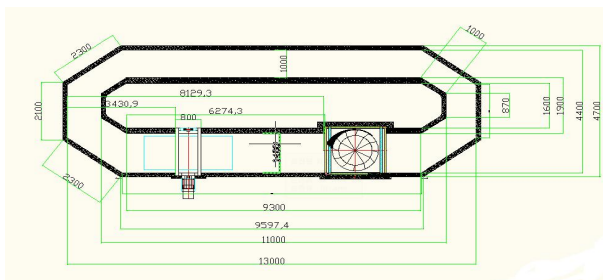


<그림 4> Fluent해석결과

3. 실증 실험

3.1 수로의제작

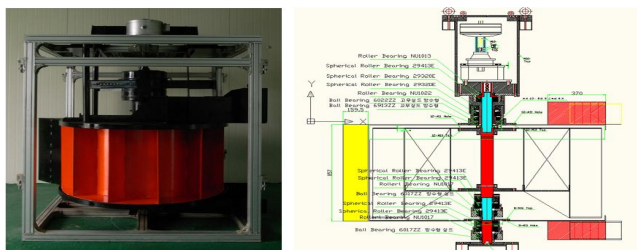
조류발전 터빈의 실증 실험을 위하여 설계한 수로설비는 그림 5와 같다. 수로의 전체 넓이는 13m x 4.7m이고, 수로 폭은 1.5m이며, 높이는 2.5m로 설계하여 시공하였다.



<그림 5> 수로 구조물 설계

3.2 조류터빈 Proto Type 제작

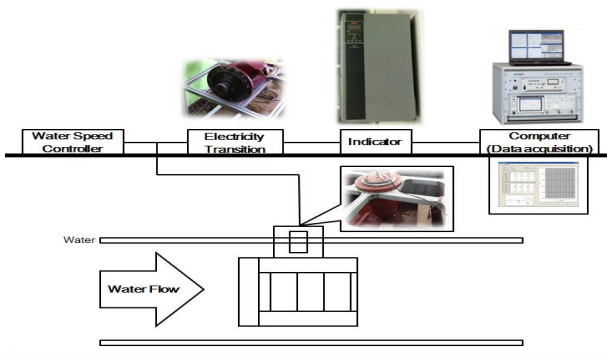
수리모형 시험을 위하여 조류발전시스템을 그림 6과 같이 Proto Type 으로 설계 제작하였다. 설계도에서 제작순서는 우선 임펠러를 제작하고, 안내 케이싱을 제작하였으며, 마지막으로 케이싱을 조립하였다.



<그림 6> 조류터빈 Proto Type

3.3 조류발전시스템 구성

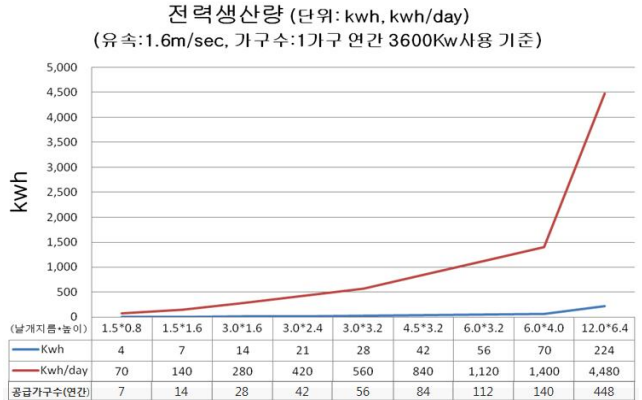
조류발전시스템의 구성은 수차와 발전기를 1개 축으로 일체화하여 기계적 손실을 절감 하도록 구성하였으며, 수차와 발전기는 센서에 의하여 운전상태를 감시하고 운전절차에 의해 컴퓨터에서도 감시 제어 할 수 있도록 하였다. 그림 7은 조류발전시스템 구성 개요도이다.



<그림 7> 조류발전시스템 개요도

3.4 조류발전시스템 실증실험 결과

조류발전기의 발전출력의 실험 변수는 조류발전이론 (1)식에서 유입면적 $1m^2$, 조류의 유속은 $1.2m/sec$ 의 상태를 유지하고 발전출력과 발전량을 측정하였다. 발전출력은 매초 $9.6[W]$ 로 측정되었으며, 1시간의 평균발전량은 $35[kWh]$ 로 계산되었다. 이 실험결과를 근간으로 상사법에 의해 설계 현장에 시범적으로 적용하기 위한 조류터빈의 직경 $1.5[m]$, 높이 $0.8[m]$ 와 유속 $1.6[m/sec]$ 에서의 조류발전 출력과 발전량의 계산결과는 그림 8과 같음을 알 수 있었다.



<그림 8> 시범적용 조류발전량 현황

4. 결 론

본 연구에서는 해수의 유동특성을 고려하여 조류발전용 다리아스터빈과 안내 깃을 추가하는 조류터빈시스템의 새로운 개선방안을 제시하고 능동형 안내깃의 조류터빈을 설계, 수치해석, 실증실험을 통하여 구조적 안정성과 출력의 증가는 터빈효율이 향상됨을 입증하였다. 본 연구가 국내 또는 개발도상국의 재생에너지개발에 적용되어, 지속적인 건설로 지구온난화 탄소절감에 기여하고, 창조적 수출형 재생에너지 시스템으로 육성하여 고용창출과 새로운 에너지시장을 개척할 수 있을 것으로 기대한다..

[감사의 글]

본 연구는 2013년도 산업통상자원부의 제원으로 한국에너지기술연구원 (KETEP)의 지원을 받아 수행한 연구과제(NO. 20133030071220)입니다.

[참 고 문 헌]

- [1] Rourke, F.O., Boyle, F. and Reynolds, A. "Tidal Energy Update 2009", Journal of Applied Energy, Vol 87, pp 398~409, 2009
- [2] 이광수 · 염기대 · 박진순 · 강석구 · 박우선 · 한상훈 · 정공일 · 박정우, 울돌목 조류에너지 개발 현황과 전망 (Development of Uldolmok Tidal Current Energy), 한국 신·재생 에너지 학회 춘계 학술대회 논문집, pp.512~515, 2005
- [3] 한준선, 현범수, 최다혜, 모장오, 김문찬, 이신형, "파라메트릭 스테디를 통한 조류발전용 다리우스 터빈의 설계연구" 한국해양환경공학회지 제13권 제4호, 2010