

PIV를 이용한 수직축 회전 날개 주변의 유동 특성 계측

박성욱·양용수·차봉진·김승조*·신동준*·이운한*·전성은*·배재현**
국립수산과학원, *서울대학교 기계항공공학부, (주)금영**

서론

최근 수력 및 풍력 등을 활용한 신재생에너지에 관심이 집중되고 있다. 국내의 경우 수력 및 해양 에너지의 부존자원이 4,500MW에 달하는 것으로 추정되나 현재까지 개발된 시설 용량은 1%에 불과하다. 전 세계적으로도 일부 지역에만 존재하는 조력 및 조류 에너지 부존량이 3,000MW에 달하는 것으로 평가되나, 초기 건설비에 따른 경제성과 실용화 기술의 미흡으로 발전이 더딘 실정이다. 특히, 해양 에너지를 이용한 조력 및 조류 발전은 발전 시설의 입지가 제한적이고 기술 개발의 미흡으로 0.1% 미만의 보급률을 보이고 있다. 따라서 개발과 이용에 있어서의 경제성 확보를 위한 기술 연구가 지속적으로 이루어져야 할 필요가 있다.

본 실험은 소수력 및 조류 발전에 이용이 가능한 새로운 방식의 수력 터빈 개발을 위한 기초 연구의 일환으로, CFD 해석을 통해 설계된 로터의 실험적 출력 성능을 측정하여 그 실용 가능성을 확인하고, 일정한 유체의 흐름 중에서 회전 운동 중인 날개 주변의 2차원 유동장을 정성적, 정량적으로 해석하고자 하였다.

재료 및 방법

1. 실험 장치

사이클로이드 블레이드 시스템 (Cycloidal blade system)은 그림 1과 같이 회전축에 평행하고 회전면에 수직인 다수의 블레이드로 구성된 로터 시스템이다. 각 블레이드는 회전축을 중심으로 회전하면서 기계적 장치에 의해 주기적으로 피치각이 변하게 된다.

이와 같은 피치 시스템을 구현하는 가장 간단한 기계적 메커니즘은 로터 블레이드의 회전 중심과 컨트롤 암의 회전 중심을 서로 달리하는 것이다. 두 회전 중심이 달라지면 블레이드의 피치각은 로터가 회전함에 따라 사인 곡선 형태로 변화한다. 사이클로이드 블레이드 시스템에서는 이 컨트롤 중심의 편심거리와 편심각을 변화시킴으로써 블레이드가 가질

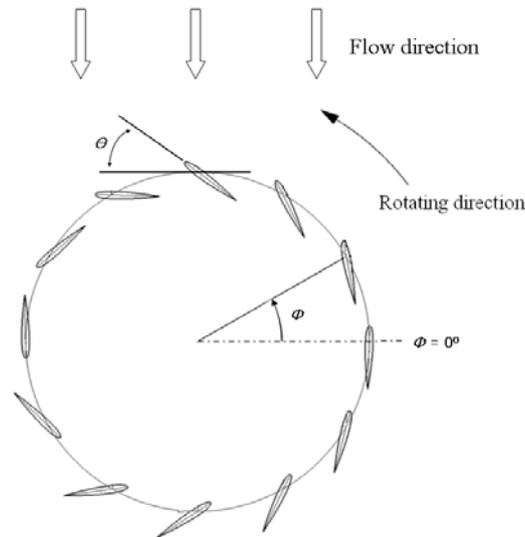


그림 1. 사이클로이드 블레이드 시스템

수 있는 최대 피치각의 크기와 최대 피치각이 발생하는 방위각인 위상각을 변화시킬 수 있으며, 이로부터 전체 로터 시스템에 작용하는 힘의 크기와 방향을 변화시킬 수 있다.

본 실험에 사용된 시스템은 NACA0012형 날개 3장을 사용하였으며, chord length 0.14m, 로터 반경은 0.5m, span length 0.4m이며, 발전기는 디스크 형태의 영구자석 발전기로서 비교적 낮은 회전 속도에서 고효율 고토크 발전이 가능한 발전기이고, 수력터빈의 기계적 출력량을 측정하기 위해 그림에서와 같이 베이스부분에 토크센서를 추가적으로 설치하여 로터의 토크를 측정할 수 있게 하였으며, 수력터빈은 유속 2m/s에서 최대 580(Watt)의 발전 성능을 가지도록 설계하였다.

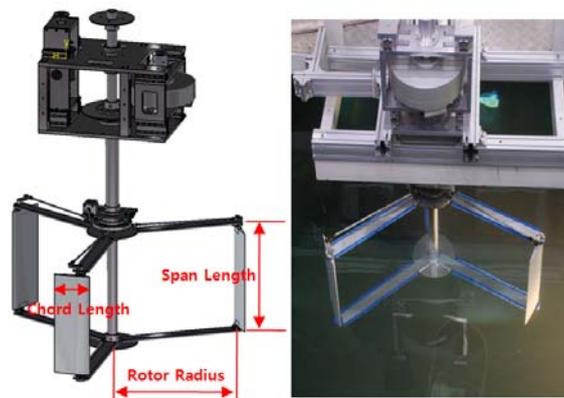


그림 2. 사이클로이드 수력 터빈

실험에 사용된 수조는 국립수산물과학원 소재 수직순환형 회류수조로 관측영역 내의 Opening부의 삼면에 투명한 관측창을 설치하여 다양한 형태의 실험이 가능하도록 제

작되어 있으며, 본체의 재질은 스테인레스 스틸(SUS304L)로 길이 25m, 최대 폭 5m, 높이 8.2 m, 수량 280톤이며, 관측부 크기는 길이 8m, 폭 2.8m, 높이 1.8m, 수심 1.4m 이며, 유속범위는 0.1~3.0 m/s이다. 기존 연구기관의 회류수조에 비하여 고속가동이 가능하며 이를 위하여 각 코너에는 기포제거장치가 설치되어 있다.

수조의 주요설비로는 구동 임펠러(2대), 정류장치, 제어반, 작업대차, 여과장치, 기포제거장치, 초기충전장치, 수위조절장치, 표면류 가속장치 등이다.

2. 실험 방법

유동가시화 기법으로는 유동 속에 추종입자의 입자영상(Particle image)을 화상처리하여 주어진 유동의 속도장을 측정하는 PIV 시스템을 활용하였다. PIV는 측정하고자 하는 유동단면을 레이저 평면광(Laser light sheet)으로 조사하고 이 빛에 조명되어진 유동입자들의 반사광을 시간간격 ΔT 를 두고 이미지를 취득하여 측정영역 내 미소구간 또는 입자의 이동량을 화상해석으로 취득하여 유동을 정량적으로 측정하는 기법이다.

광원은 Nd-YAG 이중레이저를 사용하였다. 회전 축에 엔코더를 설치하여 일정각에 펄스신호를 발생하고, 이 신호를 동조기를 통해 연결하여 레이저와 카메라를 제어하였다. 두 레이저는 카메라의 조리개가 열려있을 때 주사되는데, 조리개가 닫혔다가 다시 열리는 시간은 $10\mu\text{s}$ (TPW, Transfer pulse width)이며, 카메라가 연속적으로 두 장의 이미지를 캡처하기 위해서는 카메라의 조리개가 첫 번째 열린 시간 $200\mu\text{s}$ (TPD, Transfer pulse delay) 내에 1번 레이저가 주사되며, TPW 이후에 2번 레이저가 주사되도록 설정하여야 한다. 1번 레이저와 2번 레이저가 주사되는 시간(Δt)는 $1500\mu\text{s}$ 가 되도록 설정하였다.

실험에 사용된 PIV의 광원은 출력 300mj, 파장 532nm인 Nd:Yag Laser를 영상입력장치로 1024×1024 해상도의 고정도의 디지털 CCD 카메라를 이용하여 화상을 취득하였다. 추종입자는 $30\mu\text{m}$ Silver coated glass spheres를 사용하였다.

이때 사용된 PIV 소프트웨어는 2 Frame Cross-Correlation 알고리즘을 이용하는 T&Teck의 Thinks 2D PIV 프로그램으로 화상해석을 실시하였다.

결과 및 고찰

본 실험에서 사이클로이드 수력터빈의 실험은 유속 0.4m/s부터 수행되었다. 유속 0.4m/s이하에서는 피치각 10도까지 증가시켰을 때에도 회전하지 않았으며, 피치각 15도부터 회전을 하였다. 피치각 0도의 고정피치에서는 초기 스타팅이 안 되거나 회전을 하더라도 발전량이 사이클로이드 수력터빈의 발전량의 20%정도에 불과하다는 것을 확인하였다. 사이클로이드 수력터빈은 실험을 통해서, 낮은 유속에서도 피치각 제어로 쉽

게 초기 스타팅이 가능하고, 유속의 특성에 따라 피치각을 변화시켜서 최대의 효율을 유지한다는 것도 확인하였다. 따라서 이러한 사이클로이드 수력터빈은 앞으로 충분히 효율이 좋은 수직축 수력발전기로서의 역할을 할 것이라 기대된다. 또한, 싸이클로이드 수력터빈 블레이드 주변의 유동장을 가시화하기 위하여 고속카메라로 촬영하여 날개 주변의 속도장을 분석하였으며, 날개 후류 부근의 wake를 확인할 수 있었다.

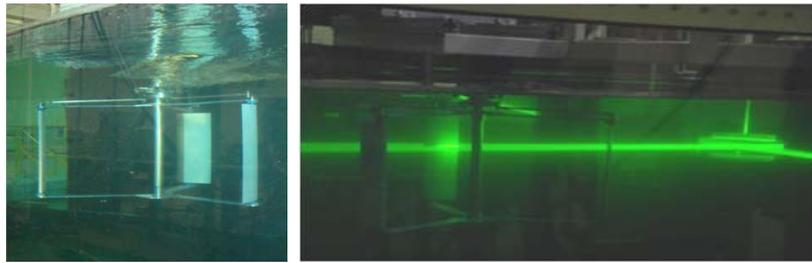


그림 3. 회전날개 주변의 PIV 가시화 실험

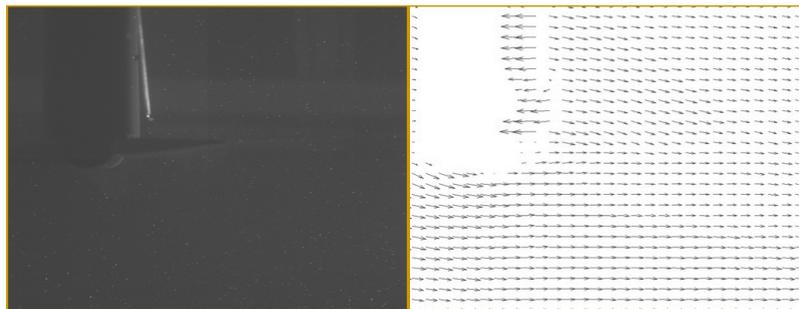


그림 4. Distribution of Rear wake.

다만, 관측영역과 입자의 인식문제 등으로 충분한 해석을 하기에는 부족함이 있었으나, 향후 이러한 복잡한 구조의 회전체에서도 PIV 분석을 통하여 유동장을 분석하고 이를 통한 성능개선에 기여할 수 있음을 확인하였다.

참고문헌

- 현범수, 신용현(2000) : 물수실린더에 의하여 생성되는 쇄파주위 점성유동의 고찰 (제1부 : 파형 및 압력분포), 대한조선학회 논문집 제37권 제1호.
- 현범수, 신용현, 최경신(2000) : 물수실린더에 의하여 생성되는 쇄파주위 점성유동의 고찰 (제3부 : PIV를 이용한 순간유동장 해석), 대한조선학회 논문집 제37권 제2호.
- Uchida. M, Nishikawa E, Toda Y, Muko K(1994) : New circulating water channel of the Kobe university of mercantile marine, Korea-Japan Joint Workshop on CWC, pp.117~123.