

진 바 없으며, 단지 임펠러의 해석과 설계에 관한 과거 연구가 존재하는데, 이를 살펴보면 김[1]은 Bezier곡선을 이용하여 슈라우드를 설계하고 CAD프로그램을 이용하여 설계도면을 출력하도록 하였다. 최등[2], 강등[3]은 2차정도 Vortex panel method를 이용하여 2차원 임펠러의 깃에 대한 수치해석을 하였다.

본 연구는 현재 시판되고 있는 입형 다단 원심펌프의 유동 특성을 규명하고, 이를 설계에 반영시키는 데에 그 목적이 있다. 이를 위해서 유체기계해석 분야에서 전 세계적으로 널리 인정되어 있는 수치해석 코드인 CFX-TASCflow를 이용하였다. 우선 실험계수를 이용한 원심펌프 임펠러에 대해서 수치해석을 수행하였으며, 계산된 결과는 설계양정과 비교하여 수치해석 코드의 타당성을 검증하였다. 그리고 나서 6개의 날개를 가진 임펠러와 11개의 날개를 가진 안내 깃으로 구성된 입형 다단 원심펌프의 1단에 경우에 대하여 임펠러 입구폭 변화, 안내 깃 내의 임펠러 위치 변화, 안내 깃 입구각 변화등 3가지 설계조건에 대하여 수치해석을 수행하여 유동특성을 규명하였으며, 현재 시판되고 있는 G사 펌프와 성능을 비교하였다.

17. 3차원 PTV에 의한 구의 후류 유동장 해석에 관한 연구



기계공학과 황 태 규
지도교수 도 덕 희

인류의 시작 이래 오늘날에 이르기까지 와동은 많은 연구자들에 의해서 연구되어지고 있는 대상이다. 고대 선사시대에는 와동에 대한 경외감과 함께 초자연적인 현상으로 이를 합리화하지 못하고 받아들였다. 이 후 여러 학자들에 의해서 와동에 대한 과학적 접근이 이루어지기 시작하였으며, 1858년 Helmholtz에 의해 비점성 유체의 와도장에서 와도정리를 유도하였고, 11년 후 Kelvin경에 의해서 순환정리라고 명명된 Helmholtz의 와도정리의 다른 한 중요한 변형을 만들어 냈다. 이러한 발견들이 현대 와이론의 근간을 이루고 있으며, 현재에 이르기까지 와에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

이러한 와동의 기계 역학적인 접근 방법으로 실린더를 대상으로 한 수치해석 및 실험적 연구가 활발히 진행되어졌다. 실린더의 경우는 3차원 유동이라고 하나, Span(z)방향으로 무한히 긴 봉의 형상이므로 결국 Stream(x)방향과 Normal(y)방향에 대한 자유도가 2인 유동이 되며, 실린더 후류의 경우 카르만 와가 주기적으로 교대로 발생한다. 반면에 구의 경우는 Span(z)방향에 대해서도 유동의 영향을 받으므로 복잡한 3차원 유동으로 여러 연구자들에

의해서 구에 대한 유동해석이 이루어지고 있으나 현재까지 구에 대한 완벽한 유동해석은 아직 과제로 남아 있다.

지금까지 구의 후류 유동해석에는 CFD에 의한 결과들이 대부분이었고, 실험적 연구도 점계측법인 Hot Wire나 LDV(레이저 도플러 유속계)등에 의한 것이었는데 이들 계측법에 의한 결과들은 평균적인 물리량만을 제공하므로 유동의 순간구조해석에 관한 연구는 불가능해 왔다. 이러한 연유로 기존의 구의 후류 유동장에 관한 연구보고는 CFD계산결과에 의한 평균적 물리량들과의 비교에 그치는데 만족해 왔다. 또한 실험이 이루어지긴 하였으나, 3차원에 대한 유동장 해석보다는 수치해석의 결과와 비교를 위한 단순한 유동패턴 추적으로서 그치는 경우가 많았다. 따라서, 구 후류 유동장의 정량적 분석보다는 정성적인 분석이 실험의 대다수를 이루고 있는 실정이었다.

한편, 유동장의 매질과 동일한 비중의 입자를 투입한 후 이들 입자들의 거동을 가시화 기술 및 디지털 화상처리 기술을 이용하여 입자들의 운동을 해석함으로써 유동장을 해석하는 방법인 PIV(Particle Image Velocimetry) 방법은 동시다점 계측이 가능하므로 비정상 유동장의 해석에 유리하다는 장점을 가지고 있다. 그런데 지금까지 개발된 PIV 계측법 중 대부분은 유동장에 대하여 2차원적 계측에 관한 것들로 공학적으로 실용적인 유동장과 같은 3차원 경향이 강한 유동장에는 한계가 있어왔다. 즉, 와의 정량적인 구조 해석을 위해서는 해석하고자 하는 공간전체의 시간 연속적인 계측이 필요함을 시사한다.

이를 위해서 3대의 CCD 카메라를 이용한 3차원 입자영상유속계 시스템을 구축하였다. 3차원 PTV(Particle Tracking Velocimetry)란 동일한 비중의 입자를 투입한 후 이들의 거동을 화상처리기술을 이용하여 해석함으로써 유동장의 3차원 속도성분을 측정영역 전역에 걸쳐서 계측하는 방법으로, 이를 구의 후류 유동장에 적용, 순간유동구조의 해석을 수행하였으며, 3차원 입자를 추종하는데 있어 최근에 여러 분야에서 적용되고 있는 최적화 알고리즘 중의 하나인 GA(Genetic Algorithm)를 적용한 3D GA PTV기법을 사용하였다. 사용된 구는 직경 30mm 인 아크릴 구를 사용하였으며, 균일한 일량류가 되도록 수조입구에는 Honeycomb을 설치하였다. 입구로부터의 평균유속은 0.03787012m/s , 물의 동점성계수 ν 는 1.0×10^{-6} 이며 이 때의 레이놀즈수 Re 는 약 1136이었다.

이 기법에 의해서 구의 후류 유동장을 계측하여 약 3000여 개의 순시속도벡터를 획득할 수 있었다. 획득된 속도벡터는 연속의 식 및 Thompson's Tau법을 사용하여 2차에 걸친 에러벡터를 제거하여 데이터의 정도를 높였다. 최종적으로 가우시안 윈도우(Gaussian Window) 보간법을 사용하여 속도벡터들을 공간상의 격자에 재배치하였다.

구의 Strouhal Number(St)를 구하기 위해 각 속도성분(U, V, W)에 대해 FFT를 수행하였다. 이 때 나이퀴스트 주파수(Nyquist Frequency) 혹은 중첩(Folding Frequency) 주파수 30Hz, 샘플링 주파수 60Hz였으며, 해당 속도성분(U, V, W) 및 속도(U, V, W 의 합성속도)의 차이에 따라 그 진폭 및 위상이 달라짐을 확인할 수 있었고, 진폭을 분석한 결과 구의 경우 복잡한 3차원 유동의 양상을 보이거나 속도성분에 있어서는 Main Stream은 U성분임을 확인할 수

있었다. V와 W성분의 경우 특히 W성분의 진폭을 살펴보면 다른 두 성분(U, V)에 비해 그 영향력이 상당히 적음을 알 수 있었으며 U, V, W 복합속도의 진폭과 U성분의 진폭이 거의 유사함은 U성분이 Main Stream임을 재차 확인할 수 있었다. 이 때의 Re는 약 1136으로 구해진 St는 약 0.19로 선행 연구자들의 결과와 거의 일치함을 확인할 수 있었다.

또한 구의 후류에 대한 무차원 속도분포의 분석을 통하여 구의 후류 구조가 이중셀 형태를 이룸을 확인하였다. 이는 수행된 연구결과 획득되어진 3차원 와도(Vorticity)를 보면 알 수 있으며, 선행 연구자들의 수치해석에 의한 결과와도 일치하였다. 구의 후류 유동의 경우 구에서 발생하는 박리에 의해서 구의 후면에 음압이 걸림과 동시에 역류로 인한 유속의 감소와 구 외부의 경우는 유속의 증가가 이루어졌다. 이 속도 차에 의해서 구 후면에서는 내부셀의 형태를 구 외부에서는 외부셀의 형태를 지니는 것으로 사료되며, 실제 이러한 형태를 보이며 순환을 하면서 Stream(x)방향으로 흘러감을 확인할 수 있었다.

유동장의 속도벡터를 이용한 고유치해석법을 적용함으로써 유동장의 순간구조에 대한 정량적 구분을 실시하였으며, 구의 후류의 와중심(Vortex Center)을 구하기 위하여 3차원 공간에서의 순환을 정의하여 구하였으며, 이를 시간변화에 와중심의 이동에 대한 3차원 궤적을 추종하였다. 와 중심의 경우 3차원 와도(Vorticity)를 yz단면으로 Slice하여 그 구조를 보면 와환(Vortex loop)의 중심이 y와 z축상에 존재한다는 것을 예측할 수 있었는데, 실제 와중심을 구한 결과도 예측과 일치함을 확인할 수 있었다.

본 연구는 3차원 PTV기법에 의한 구의 유동장에 대한 실험데이터 베이스를 구축함과 동시에 이를 이용한 구의 유동구조에 관한 정량적 해석을 시도하는 것을 연구의 목적으로 하여 수행되었으며, 구의 후류 유동장의 정량적, 정성적인 난류통계치를 데이터베이스화하기 위해서는 단일 case 보다는 앙상블 평균에 의한 통계처리를 하기 위해서 좀 더 많은 실험데이터가 필요하다는 것을 알 수 있었다. 즉 단일 case의 경우 순시변동치의 영향이 유동장에 크게 작용하게 되나 이들 값의 평균치를 사용함으로써 순시변동치에 의한 영향을 완화할 수 있었다. 이를 위해서는 실험시 획득할 수 있는 이미지의 량을 늘림과 동시에 계속되는 반복 실험을 수행하여 다량의 실험데이터를 획득하여야 할 것이다.

18. Spar의 동적 거동에 대한 실험적 연구

해양시스템공학과 오 태 원
지도교수 조 효 제

해양개발을 위한 기술은 해양유전 개발과 더불어 급속히 발전하였다. 가까운 미래에는 해