

계 및 BEMT에 의한 성능해석, CFD를 이용한 로터 블레이드 3차원 유동예측 및 성능평가를 목적으로 한다.

본 연구의 결과로써 20kW(FIL-20), 100kW(FIL-100), 1MW(FIL-1000) 수평축 풍력발전용 로터 블레이드 최적설계를 수행하였고, 블레이드 성능해석 소프트웨어(POSEIDON)를 자체적으로 개발하여, FIL-20, FIL-100, FIL-1000에 대한 성능해석을 각각 수행 하였다.

성능해석결과 FIL-20의 경우, 설계 TSR 6에서 최대 성능을 나타내었으며 이때의 출력계수 값은 0.4512이었다. FIL-100의 경우 설계 TSR에서 최대 출력계수는 0.4553이었으며, FIL-1000의 경우 설계 TSR에서 출력계수 값은 0.4641로 나타났다.

또한, BEMT 해석에 필수적인 2차원 익형의 효율적인 공력특성 예측을 위해 X-FOIL을 적용하였으며, 실속 후 공력특성의 보정을 위해 Viterna-Corrigan의 제안 식을 적용하였다. X-FOIL에 의해 예측된 양력계수 및 항력계수 값은 풍동 실험결과와 잘 일치하였다.

상용 CFD 코드를 이용하여 FIL-20, FIL-1000에 대한 3차원 유동해석 및 성능평가를 수행하였으며, BEMT해석에서 블레이드 반경방향 요소간의 운동량 교환이 발생하지 않는다는 가정과는 달리, 원심 가속력 및 압력차로 인한 반경류가 발생하고 있음을 확인하였으며, 이로써 받음각의 증가와 더불어 시스템 출력에 상당 한 영향을 미치고 있음을 알 수 있었다.

CFD 해석에 의한 출력 값을 BEMT 결과와 비교하였으며, FIL-20, FIL-1000 모두 BEMT 해석결과와 비교적 잘 일치하고 있음을 알 수 있었다.

5. 열·유체 시스템 해석용 고해상 다차원 이미징 측정법의 개발

기계공학과 황 태 규
지도교수 김 의 간

기존의 열·유체 유동장에 대한 속도장 측정법으로는 프로브(probe), 열선유속계(hot wire) 및 레이저도플러유속계(laser doppler velocimetry)가 있으나 이들은 모두 한 점에 대한 속도정보를 제공하므로 비정상(unsteady) 해석에는 측정원리상 불가능하였다. 21세기의 에너지 및 환경문제에 대응하기 위한 산업 및 공학의 전 분야에서 제품개선 및 개발을 위해서는 열·유체기기들에 대한 이론적 해석뿐만 아니라 실험적 측정해석에의 새로운 시도가 요구되어져 왔다. 이에 1990년 초반에는 원리상 비정상성(unsteadiness)의 측정가능성을 지닌 2차원 입자영상유속계(particle image velocimetry: 2D PIV)가 개발되었으며, 당시에는 컴퓨

터 및 전자장비의 데이터화 및 처리속도 성능이 8bit 정도의 수준이어서 비정상 유동현상에 대하여 완전한 해석이 어려워 앙상블 속도장(ensemble vector field: 공간평균속도장)만을 제공할 정도이었으나 2000년 초반부터는 카메라와 영상장비 및 컴퓨터의 성능이 크게 개선되면서부터 2D PIV에 의한 2차원 속도벡터장 (u, v)에 대한 비정상(unsteady) 측정해석이 가능하게 되었다.

한편, 1995년을 전후로 하여 유동장의 공간에 대한 3차원 속도벡터장을 측정할 수 있는 측정법인 3D PTV(three-dimensional particle tracking velocimetry)가 개발되었으나 측정알고리즘의 성능한계로 3차원 속도벡터장에 대한 비정상 측정해석은 불가능하였다. 이 후 2002년에 개발된 유전알고리즘기반의 3D PTV측정법(GA-3D PTV)이 개발 소개되면서 유동장의 거동 구조에 대한 시간변화를 파악할 수 있었다. 즉, 비정상 측정해석이 가능한 단계에 이르게 되었다. 또한 고해상 고속디지털카메라 및 고속광원(laser)이 상용화되면서 이와 같은 최신 하드웨어시스템을 GA-3D PTV측정법에 적용하여 시간 및 공간해상도의 한계를 극복한 형태의 4차원 PTV측정법을 개발하였다.

본 연구로 4D PTV가 개발하였으며, 4D PTV측정시스템을 학술적으로 응용가치가 높은 구의 후류유동장 및 충돌분류측정에 적용함으로써 이들 유동장에 대한 방대한 실험데이터베이스를 구축함과 동시에 SPIV측정법 및 SPTV측정법에 의한 측정결과와의 비교를 통하여 구의 후류유동에 대한 상세한 물리적 고찰을 수행하였다. 또한 구의 xy 단면에서 구 후면에 해당하는 영역에서 2개의 초점이 형성되며, 외부유동이 구후면의 부압에 의해 유입되어, 2개의 초점중 어느 한곳의 초점에 집중이 되면, 그곳의 와가 성장하게 되며, 구 후면의 꼬리(헤어핀구조)가 와가 성장하는 사선방향으로 향함을 확인하였으며, 이후 구 후면의 꼬리가 떨어져 나가는 것을 확인하였다. 또한 구 후류 유동에 대한 보다 세밀한 관찰을 위하여 SPIV와 SPTV에 의한 측정을 수행한 결과 위의 내부 셀의 운동은 S자형운동을 하고 있음이 확인되었다. 이는 아직 보고 된 바가 없는 흥미 있는 결과로 사료된다. SPIV에 의한 결과는 SPTV에 의한 결과보다 구의 유동현상을 잘 대변하고 있음이 확인되었다. 이론상으로는 SPTV가 SPIV보다 난류운동에 대하여 보다 정교하게 측정이 가능하다고 알려져 있으나, SPTV측정법의 실질적 적용에 있어서 카메라해상도의 제약과 입자투입밀도의 물리적 한계, 불규칙으로 분포되어 있는 속도벡터의 격자상 보간에 있어서 발생하는 보간 오차 등의 문제로 공간해상도가 SPIV보다 상대적으로 떨어지게 된 것에 기인하는 것으로 사료된다.

한편, 충돌분류는 응용가치가 높은 관계로 열·유체기기의 냉각, 금속의 균일한 박막코팅공정, 항공기 및 선박과 같은 수송기의 추진 등을 포함하여 다양한 산업에 적용되고 있으나, 분류란 원래 낮은 레이놀즈수에서도 발달된 난류(turbulence)로 되는 특징이 있는 관계로 아직까지 완벽한 유동예측이 불가능한 상황이다. 수치모사(numerical simulation)에 의한 해석이

슈퍼컴퓨터 기술의 발달에 힘입어 가능하다 할지라도 레이놀즈수 3000이상만 되더라도 실험적 측정해석에 의존할 수 밖에 없는 실정이다. 더욱이 충돌분류에서의 충돌판(impinged plate)이 탄성판(flexible)인 경우, 실험적 측정해석도 거의 불가능하였다. 본 연구에서는 탄성체 충돌분류에서 발생하게 되는 유체·탄성체 연동운동 현상에 대한 측정해석이 가능한 유체-구조 연동운동 동시측정시스템(flow-structure interaction measurement system: FSIMS)을 개발하여 이를 이용한 탄성체 충돌분류에서의 유체-탄성체 연동운동 측정해석하였다. 충돌분류에 있어서 노즐로부터 나온 응집 와구조는 충돌판을 향하여 일정간격으로 대류되어 가다가 충돌판에 부딪치는 상태에 따라서 부딪친 후 와환으로 발전하거나 부딪치기 전의 응집구조의 형태로 발전하는 현상이 확인되었다. 충돌판에서 가장 가까운 와환(vortex ring)은 충돌판으로부터 0.9D의 위치에 존재함이 확인되었는데 이는 기존의 측정결과와 일치한다. FSIMS에 의한 $x/D=4.0$ 인 탄성체 돌발 충돌분류에 대한 측정결과, 탄성판의 초기운동 개시는 노즐로부터 유체가 분출되어 나오는 시기와 같음이 확인되었는데 유동이 분출시에 탄성판은 오히려 반대로 운동함이 확인되었다. 이는 노즐로부터 나오는 질량유량의 증가에 따른 탄성판 표면근처에서의 유량이 빠져나갔음을 의미한다. 또한, 탄성판 정체점(stagnation point)에 도달한 와(vortex)는 벽면 상부를 따라 외곽으로 빠져나갔는데 이는 비탄성 벽면의 경우에서 보이는 와의 $r/D=1.0\sim 1.5$ 근처에서 나타나는 와의 박리현상(separation)과는 다른 양상이었다.

뿐만 아니라, 이와 같은 이미징 측정법의 산업분야로의 실제 적용을 통하여 열·유체 시스템의 성능개선 및 개발을 위한 이미징 측정법의 적용절차 및 방법을 적용하였으며, 파노라마 PIV측정법을 개발, 건축물 공조시스템의 기류에 대한 측정해석에의 적용을 통하여 실내 기류의 환기특성평가방법에 관한 내용을 수록하고 있으며, 이 결과 건축물의 모델 실험시에 Re수가 1000이상에서는 실물과의 기류 상사에는 Re수와는 무관하며 오히려 유량에 관계함이 확인되었다. 또한 냉장고내의 결빙메커니즘을 분석한 후, 2D PIV측정법을 이용한 실 운전상태의 냉장고 냉동실의 기류특성해석을 통하여 실내에서 발생하는 결빙현상을 최소화하는 유로를 최적화하였다.