

23. 초보사용자를 위한 3차원 PIV/PTV 통합환경 구축

냉동공조공학과 편용범
지도교수 도덕희

자연계의 현상은 불규칙적이고 복잡 미묘하다. 인간은 이러한 현상에 대해 항상 일정한 규칙이 있다고 믿어 왔으며, 그 규칙 중 한가지가 와류동이다. 와류동은 크게는 우주의 진화와 천체의 운동에서, 작게는 미시세계의 원자의 모델에 이르기까지 와류를 통하여 자연의 현상을 이해하기 위해 노력하였다. 현재 알려진 와류동의 스케일은 액체헬륨의 양자화된 와류가 10^{-8} cm의 크기이고 은하의 경우는 광년 단위의 크기로 측정불가의 큰 길이이다. 또한 와류동은 정적인 원과는 다른 의미로서 성장과 진화를 상징하며, 실제 와류 자체도 생성과 소멸을 반복한다.

이러한 와류동에 관한 신화와 관찰과 연구는 헤아릴 수없이 많이 있어 왔다. Williamson(1996)은 그의 review 논문에서 넓은 범위의 Reynolds수에서의 유동 특성에 대하여 논하였는데, 특히 Reynolds수 190에서 1000까지를 후류 천이(wake transition) 영역으로 분류하면서 Reynolds수와 Strouhal수의 관계에서 2개의 불연속적인 점이 존재하고 불안정성이 증가하여 와류가 3차원 구조를 가지고 있음을 보였다. 그러나 아직까지 와류동에 대해 정량적으로 완벽히 분석한 연구는 없다고 볼 수 있다. 본 논문에서는 원주 후류의 주기적이면서도 매우 복잡한 구조의 와류동과 와류동의 형성과 발달과정에 대한 관찰과 여러 가지 물리량의 관계에 대하여 조사하였다. 또한 기계 및 화학공정에서의 금속부식의 문제는 안정성 면에서 뿐만 아니라 경제적인 면에서도 시급히 해결되어야 할 문제이다. 금속부식의 문제와 밀접한 관계가 있는 것으로 알려진 고난류강도와 부식의 상관관계를 연구하기 위해서는 경제적이면서도 잘 제어된 형태의 고난류강도의 유동이 필요하다.

Chyu와 Rockwell 등(1996)은 난류 유동에서 주유동방향의 와의 형태를 제시하였고, Wu(1996) 등은 종방향 와구조를 계측하였다. 원주 근접후류의 복잡성, 불안정성과 레이놀즈수가 증가함으로써 2차 와류의 크기, 형태 및 위치에 있어서 불규칙성의 증가는 기존의 열선유속계와 LDV(Laser Doppler Velocimetry)와 같은 점 측정 방법을 무력하게 하였으며, 최근 수치해석적방법으로 DNS(Direct Numerical Simulation)와 LES(Large Eddy Simulation)등이 있으나 계산시간과 body의 형태와 영역의 크기에 아직까지 한계가 있다. 또한 이를 대체한 방법으로 근래에 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용하여 와 구조의 공간적 분포형태에 대한 연구가 이루어지고 있다. Lourenco 등(1997)은 처음으로 PIV 데이터를 이용하여 위상평균 유동장을 측정하였다. 한편, 김 등(1999)은 위상평균 기법을 이용하여 랜덤 샘플링을 통해 얻은 속도장을 앙상블 평균하여 통계적인 방법으로 원주 후류의 위상평균이 가능함을 보였다. 그러나 2차원성이 강한 x-y평면에서의 위상평균 유동장만 제시되어 3차원 와 구조를 파악하는데 한계를 지닌다. 그리고, 성(2001) 등은 Cinematic PIV 기법을 이용하여 와도 상관에 의해 2차원 PIV계측의 한계를 극복하고자 하였으나, 그들은 2차 와류의 위치가 z-x 평면에서는 z축에 고정되어 있지 않고 불규칙적인 것을 고려하여, z축 방향의 와도 상관(vorticity correlation)에 의한 z축 방향의 위치조정기법을 위상평균 기법과 함께 도입함으로써 2차 와류의 3차원 공간적 및 시간적 특성을 파악하였다. 그러나, 그들은 2차원 단면상에서 얻어낸 정보를 이용하여 이들 정보를 재구성함으로써 와구조의 공간적 시간적 특성을 파악하고자 하였기 때문에 와의 구조가 3차원적으로 보다 복잡하게 발생할 경우에는 계측의 가능성이 희박하다. 즉, 와의 정량적인 구조 해석을 위해서는 해석하고자

하는 공간전체의 시간 연속적인 계측이 필요함을 시사한다.

Chang과 Tatterson(1983)과, Change 등(1984)은 Bolex Stereoscopic lens를 장비한 16mm 울동 사진 카메라를 이용한 다중 사진기법으로 실용적인 속도계를 고안하여 3차원성이 강한 난류유동의 계측에 성공하였다. 그러나 계측영역을 향하는 두 대의 카메라들의 시선각이 작음으로 인해서 깊이 방향의 정확도가 떨어졌다. 이를 극복하기 위해서 Yamakawa와 Iwashige(1986), Racca와 Dewey(1988), Adamczyk 와 Rimai(1988), Kobayashi 등(1989)은 두 대의 카메라를 계측영역에 대하여 직각 방향으로 설치함으로써 카메라의 좁은 시선각으로 인한 깊이방향의 계측 오차를 줄였다. 그러나 복잡한 유동장에서는 카메라의 위치선정이 까다로웠다. Kasagi(1987), Nishino(1989), Papanroniou와 Dracos 등(1989)은 고속으로 데이터를 처리하면서 카메라의 위치를 섬세히 고려함으로써 계측오차를 줄이는 방안을 강구하였다. 또 Kent와 Trigui 등(1993)은 폭발이 없는 연소실 내부의 유동에 3차원 PTV를 적용하였다. Kasagi 등(1991)은 3대의 카메라 시스템을 사용하여 일회의 계측으로 2차원 채널유동장에 대하여 약 400개의 순시속도벡터를 얻어내었고, Mass 등(1993)은 3대의 카메라시스템으로 채널유동장에 대하여 약 1000개의 순시속도벡터를 얻어내었다. 한편, 도(2000) 등은 확률일치방법(Ballard and Brown, 1982)을 3차원 PTV계측법에 적용함으로써 후향단(backward step) 유동장에 대하여 약 400개 정도의 순시속도벡터를 얻어내었으며 방대한 양의 정보를 처리함으로써 후향단 유동에 대한 난류통계량을 파악하였다. Nishino 등(1989)은 채널유동의 난류구조의 분석을 위해서는 최소 700개 이상의 3차원 속도벡터가 필요함을 제시하였다. 이로써 새로운 계측방법이 절실히 요구되었으나, Kobayashi 등(1991)이 제시한 2대의 카메라를 이용한 스테레오매칭법에 의한 순시 3차원 속도벡터들은 한번의 계측으로 약 100개 정도의 3차원 벡터들을 얻는데 그치고 있으며, 또한 복잡한 유동에서의 벡터 회복률도 낮다. 이의 개선을 위해서 도 등은 확률일치방법을 도입하여 단일 프레임에 AOM(Acousto-Optical Modulator)을 사용하여 고속유동장의 계측시 약 400개 정도의 3차원 순시속도벡터를 얻어 낼 수 있었다. Okamoto(1995)는 추적입자들 간에 스프링상수의 개념을 사용하여 약 400개의 3차원 순시 속도를 얻어내었다. 최근에는 Adrian 등(1991)이 인간의 눈이 하나의 사물을 입체적으로 보는 원리를 이용한 스테레오스코픽의 사용이 널리 보급되어 상용화되었다. 이는 2대의 카메라를 사용하여 PIV에 의한 두 개의 각각의 시각에서 바라본 2차원 벡터장의 계산결과를 매칭하여 3차원의 공간벡터를 얻는다. 그러나 스테레오스코픽의 경우 평면적인 벡터의 신뢰도는 우수하지만 유동장의 전역에 대한 순시벡터의 획득은 불가능하다.

한편, John Holland에 의해 개발된 유전알고리즘은 인공적인 유전시스템으로써 자연세계의 진화현상 즉, 재생산(reproduction), 교배(crossover), 돌연변이(mutation)을 이용한 전역적인 최적화 알고리즘이다. 이는 모든 생물은 주어진 다양한 환경속에 적응함으로써 살아 남는다는 Darwin의 적자생존의 이론을 기본 개념으로 한다. 도 등(2000)은 이러한 유전적 알고리즘을 PTV에 적용하여 채널유동등에 이용하였으며, 2000개의 가상영상 평가에서 85%의 높은 회복률을 보였으며, 2차원 강제와류의 계측에 있어 속도 벡터의 회복률이 100% 에 가까운 성과를 거두었다. 본 연구에서는 도 등이 개발한 유전적알고리즘을 이용한 GA 3-D PTV를 도입하여 원주근접 후류의 속도벡터장을 구하였다. 본 논문에서는 근접후류에 대한 여러 가지 유동특성, 3차원적인 와유동의 현상에 대한 2차원적인 해석이 아니라 3차원적인 해석에 목적이 있다.