

steel is closely related to amount of retained austenite stabilized at room temperature. In addition, martensite formed after cooling from heat treatment might be affect strength of the TRIP steels, which need further study. And it is shown that the stability if the retained austenite is the most important factor governing ductility level of the TRIP steels rather than its volume fraction.

## 20. 해수 열원 열펌프 압축기의 액분사 효과에 대한 실험연구

냉동공조공학과 김 선 식  
지도교수 방 광 현

본 연구는 해수 열원 열펌프 압축기의 액분사 효과에 대한 실험적 연구이다. 현재 에너지 절약과 환경보호의 목적으로 열펌프 시스템 성능향상을 위한 다각적인 기술들이 개발되고 있다. 그 일부로서 압축기 실린더 내부에 냉매액을 직접 분사한 효과는 높은 승온폭으로 인해 발생하는 냉매나 냉동유의 열화를 방지하고 압축기 토출 유량을 증가시켜 응축기 방열량을 증가시킨다. 이러한 연구는 공기압축기에도 적용된 바가 있으며, 선행연구가에 의해 수치적, 실험적으로 수행되어 왔으나 왕복동식 압축기를 적용한 실험적 시스템 분석사례는 없었다. 본 연구에서는 미활용 에너지인 해수를 열원으로 이용하고 상용압축기에 액분사부를 도입한 열펌프를 제작하여 실험을 수행하였고, 결과 토출온도의 감소와 시스템의 성능향상을 도모할 수 있었다.

## 21. 標準畫像을 利用한 2次元 PIV와 3次元 PIV (스테레오 PIV) 計測 및 性能比較檢定에 관한 研究

냉동공조공학과 송 주 석  
지도교수 도 덕 희

압축성 혹은 비압축성 열유체유동장의 해석을 위해서는 유동장의 물리량인 속도 3성분 ( $u$ ,  $v$ ,  $w$ ), 압력 ( $P$ ), 온도 ( $T$ )에 관한 정보가 전 공간에 걸쳐서 얻어져야 한다. 이를 구현할 수 있는 방법으로서 수치계산적 방법과 순수실험적 방법을 들 수 있다. 즉, CFD (Computational Fluid Dynamics)에 의하여 유동을 예측하는 방법과 실험적 계측도구를 이용하여 유동을 예측하는 방법이 있다.

CFD에 의한 방법은 계산기의 성능한계로 해석대상에 따라 유동의 지배방정식에 대한 구속조

건을 적용한다든가 혹은 계산상 경계조건 등을 적용함으로써 실제와 유사한 유동장을 재현하나 완전한 해석단계에 이르기 위해서는 실험적 경험치들을 이용하기도 한다.

한편, 유동장 해석을 위한 실험적 방법으로서 유동장 전체에 걸쳐서 2차원 혹은 3차원 속도 벡터분포를 제공할 수 있는 PIV계측법 (Adrian, 1991)<sup>(1)</sup> 은 비정상유동장의 해석이 가능하다는 장점으로부터 최근에 각광을 받고 있다. 이 방법은 원리적으로 3성분의 속도를 동시에 전 영역에 걸쳐 연속으로 계측할 수가 있으며 이 값들을 NS (Navier-Stokes)방정식에 대입하여 압력구배향을 공간 적분하면 벽면의 정압까지를 포함한 순시의 압력장을 구할 수가 있다. 또한 감온액정입자(thermo-sensitive liquid crystal particle)를 추적입자로 이용하면 공간의 온도분포까지도 동시에 구해질 수 있다(Doh, 1995)<sup>(4)</sup>. 이와 같이, PIV는 유동해석에 있어서 기본적으로 필요한 5종류의 물리량( $u, v, w, p, T$ )을 한꺼번에 측정할 수 있음으로서 가까운 장래에는 전산유체역학에 대응할 수 있는 유일한 계측기법으로 여겨지고 있다.

산업분야에서 유용한 유동장의 대부분이 3차원성이 강하다는 점으로부터 3차원 계측에 대한 필요성이 1990년대 중반부터 강조되어져 왔다. 가장 바람직한 3차원 계측법으로서는 유동장 전체에 걸친 속도 3성분을 동시에 계측할 수 있는 3차원 PTV (Particle Tracking Velocimetry) (Mass et al., 1993; Nishino et al., 1994; Doh, 1995; Doh, 2001)<sup>(6)</sup> 계측법이다. 그러나, 3차원 PTV에 의하여 얻어지는 순간의 속도벡터개수가 유동의 시간적 거동구조를 파악할 수 있을 정도의 양이 아니라는 점으로부터 이를 보완하기 위하여 개발된 계측법이 3차원 PIV (Particle Image Velocimetry, 일명 Stereoscopic PIV, SPIV라 함) 계측법이다 (Prasad and Adrian, 1993)<sup>(17)</sup>.

3차원 PIV 계측시스템은 가시화된 2차원 평면상의 작은 영역내에 속도 3성분을 동시에 계측하는 방법을 말한다. 이 방법은 3차원 PTV가 3차원 체적내의 속도 3성분의 분포를 얻는 반면에 비하여 2차원 단면상에서 3차원 속도 3성분을 얻어내므로 2차원 단면상에서 고해상의 3차원 속도 3성분의 정보를 얻어낼 수 있다. 3차원 PIV 계측법은 카메라의 렌즈가 유동장을 향하여 설치되는 방식에 따라 Translation법(Prasad and Adrian, 1993)<sup>(17)</sup>과 Angular법 (Willert, 1997; Soloff, 1997)<sup>(20)</sup>이 있다. Translation법은 2대의 카메라렌즈를 유동가시영역에 대하여 평행으로 설치하여 계측하는 방법을 말하며 Angular법은 2대의 카메라렌즈가 유동가시영역을 향하여 소정의 각으로 설치하여 계측하는 방법이며 Translation법은 카메라렌즈가 유동가시영역을 향하여 평행이 되도록 설치하여 계측하는 방법을 말한다. 이 방법은 투시방향에 대한 왜곡이 거의 없기 때문에 기록면의 좌표를 유체내부 입자좌표로 쉽게 변환할 수 있으며 확대율이 영상 기록면의 변위에 무관하므로 3차원 속도성분을 쉽게 계산할 수 있는 장점이 있지만 카메라 측정각도가 제한되기 때문에 out-of-plane 속도성분의 오차를 줄이는데 한계가 있으며, 일반적으로 렌즈의 왜곡을 고려하지 않기 때문에 성능이 우수한 렌즈를 사용하여야 한다. 반면에 Angular 법은 측정각도에 거의 제약이 따르지 않으나 취득한 영상에 강한 투시왜곡에 발생하게 되므로 영상 기록면 좌표와 측정단면 좌표 사이의 상관함수를 구하는 작업이 필요할 뿐만 아니라 유동장의 가시용 벽면에 의한 굴절의 영향으로 카메라렌즈의 설치를 가능하면 지상면을 기준으로 평형하게 설치해야하는 단점이 있다. 이를 보완하여 개발된 3차원 PIV 계측법이 Hybrid Angular 3차원 PIV(도덕희 등, 2001) 법<sup>(21)</sup>이다.

전술한 바와 같이 산업의 많은 분야에서 볼 수 있는 유동장의 대부분이 3차원성이 강하기 때문에 유동장의 해석을 위해서는 3차원 PTV법이 가장 이상적이라 할 수 있겠으나, 이 방법보다 기술의 실용적 측면에서 2차원 PIV 및 3차원 PIV가 현장에서 많이 사용되고 있는 추세에 있다 하겠다. 또한, 실험현장에서의 사용이 보다 간편한 것이 2차원 PIV 시스템이지만 유동장의 2차원 단면상에서의 3차원 정보가 중요하다고 판단되는 경우에는 3차원 PIV (스테레오 PIV) 시스

템을 사용한다. 시간과 비용이 허용한다면 3차원 PIV 시스템으로 유동해석을 하는 쪽이 좋은 결과를 내는 것이 당연하지만 어떤 관점에서 3차원 PIV 시스템이 2차원 PIV 시스템보다 유리한 것인지를 정량적 판단기준이 있어야 한다. 즉, 3차원 PIV가 2차원 PIV보다 유동의 물리량 계측의 관점에서 어느 정도 개선이 되는 지를 정량적으로 비교 검토의 데이터가 마련되어야 한다. 지금까지는 이러한 기준이 없는 상태에서 3차원 계측이 2차원 계측보다 난류통계량 계측의 관점에서 좋을 것이라든가 막연한 관점에서부터 3차원 계측을 선호하여 왔을 뿐 이에 대한 정량적 비교검토사례는 없었다.

본 연구에서는 이에 관한 정립을 유동의 난류통계량 계측을 통하여 실시하고자 하는 것을 연구의 목적으로 삼고자 한다.

## 22. Stereoscopic PIV에 관한 연구

냉동공조공학과 이원제  
지도교수 도덕희

Stereoscopic PIV계측법을 구축 개발하여 결과를 비교해 본 결과 다음과 같은 결론을 얻어내었다. 기존의 Stereoscopic PIV의 Translation법이나 Angular법과 달리 카메라 배치의 자유성과 영상 기록면 좌표와 측정단면 좌표 사이의 상관 함수를 구하는 작업을 탈피해서 스테레오사진 원리 및 3차원 PIV계측기술의 원리를 이용하여 개발한 것은 본 연구의 얻어진 성과이다.

또한, 충돌제트유동으로 Okamoto 등이 제시한 LES 계산 결과 데이터를 사용하여 가상영상을 구현하였고 얻어진 영상 가지고 본 연구의 Stereoscopic PIV계측으로 계산한 결과와 비교, 분석하였는데 두 대의 카메라간의 최적배치 각도는  $20^\circ$ 일 때가 최적의 배치임을 알 수 있었다. in-plane과 out-of-plane의 오차가 0.19%와 0.73%임을 알 수 있었다. 약 3.8배의 차이를 보이고 있다. 이것은 Walker 등과 N J Lawson(1997)등이 제시한 결과와 비교할 때 더 낮은 오차임을 알 수 있었다. 입자의 수의 변화와 레이저 빔(beam) 두께의 변화에 따른 최적의 조건은 입자의 수는 2000개 이상이며, A. K. Prasad(1993)등이 발표한 최적 레이저 빔 두께는 0.7~1.0mm이라는 연구와는 달리 레이저 beam 두께는 3~4mm임을 알 수 있었다.

본 연구에서 개발된 Stereoscopic PIV계측법을 원주 후류 유동장에 적용해 본 결과 순시속도 분포, 평균속도분포, 원주 후류에 발생하는 Stream-wise 방향의 와 구조간의 간격이 1D정도로 됨을 확인할 수 있었으며, 실린더 중심으로부터  $x/D=1.5$ ,  $y/D=0.5$  지점에서의 128개의 속도 데이터를 이용하여 스펙트럼분석을 통하여 얻어낸 St 수는 0.189로 기존의 연구결과와 일치하였다. 난류 통계량(레이놀즈 응력, 난류강도, 난류운동에너지)을 재부착지점 부근에서 구하여 본 결과 이는 본 연구에서 구축한 계측시스템을 원주 근접후류 유동을 정성적으로 타당한 결과를 얻어내었다.

후후 본 계측법으로부터 얻어낸 방대한 량의 계측결과에 위상평균기법, 고유치탐색 등의 방법을 이용함으로써 원주 근접후류의 난류통계치 및 와의 발생구조에 대한 정량적 데이터베이스 제공에 도움이 될 것으로 사료된다.