

PIV에 의한 인삼세척기 모델 내부의 유동계측

송 치 성*

Measurement of Flow Field in a Ginseng Cleaner Model Using PIV

C-S Song*

Key words : PIV(입자영상유속계), Ginseng cleaner(인삼세척기), Velocity distribution(속도 분포), Correlation coefficients(상관계수)

Abstract

The objective of experimental study is to apply simultaneous measurement by PIV(Particle Image Velocimetry) to high_speed flow characteristics within ginseng cleaner model. Three different kinds of flow rate(15, 20, 27l/min) are selected as experimental condition. Optimized cross correlation identification to obtain velocity vectors is implemented by direct calculation of correlation coefficients. The instantaneous velocity distribution, time-mean velocity distribution, velocity profile, kinetic energy and turbulence intensity are represented quantitatively for the deeper understanding of the flow characteristics in a ginseng cleaner model.

1. 서 론

농산물 중 수확한 인삼을 고부가가치의 상품으로 제조하기 위해서는 우선 미세한 뿌리까지도 손상시키지 않고 깨끗하게 세척하는 작업이 매우 중요하며 이러한 정세작업을 사람의 손으로 수행하는 경우에는 직접 확인이 가능한 장점도 있으나 많은 인력이 소요가 되며, 작업성과도 개인차에 따라 크게 다르게 나타날 수가 있다.

이와 같은 배경으로부터 무인 및 자동 작업과정에 의한 인삼자동세척기의 개발은 관련산업의 경

제성을 높이는 데 크게 기여할 것으로 예상된다.

한편, 유동해석을 위해 필수적으로 선결되어야 할 문제는 유동의 계측기술이다. 유동계측은 일반적으로 열선유속계, LDV, 가시화법 등이 사용되고 있다. 열선유속계는 계측시 유동장에 영향을 주므로 정확한 유동계측을 하는데 무리가 있으며, 정밀도가 높은 LDV기법은 동시다점 계측이 불가능하다. 반면 가시화기법은 여러 가지 수단을 사용하여 유체의 흐름을 눈으로 직접 파악하는 방법이다. 지금까지 수많은 연구자들이 다양한 기법을 제시해 왔으나 정량적인 기법이 아닌 정성적인 기법이

* 한국기계연구원(원고접수일 : 2000년 5월)

주를 이루고 있다. 그러나 최근 영상매체와 컴퓨터의 발달과 더불어 정량적인 해석이 가능해 지고 있다. 그래서 이 연구에서는 실제 제작설계 되는 세척기의 1/2축적모델을 투명아크릴로 제작하여 유동장을 형성시켰으며, 유동계측을 위하여 최근에 크게 각광을 받고 있는 PIV(Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계)¹⁾를 적용하여 동시다점으로 속도를 정확하게 계측한 다음, 이 데이터를 활용하여 계측영역 내에서 유량변화에 따른 순간 및 시간평균 속도벡터, 운동에너지 그리고 난류강도 등을 정량적으로 도시하였다. 그 결과 세척기내에는 대칭적인 거대구조의 와류가 나타나고 있었다.

인삼은 잔뿌리가 인삼의 등급에 좌우되기 때문에 세정능력에서 여러 와류가 생기면 잔뿌리의 충격에 의한 손상으로 인삼의 품질이 떨어지게 된다. 그래서 단일 와류에 본 실험의 초점을 맞추었고 실험장비도 단일 와류가 생기기 쉽게 구조적으로 중점을 두었다.

이 모델실험은 실제의 세척대상인 인삼을 투입하지 않은 이상적인 상황에서의 결과를 제공하고 있으나, 거시적인 유동패턴은 내재물의 유무에 관계없이 유사하게 보였다.

2. 실험장치

Fig. 1은 세척기 실험을 위한 배치도를 보이고 있다. ①번은 모델세척기이며 투명아크릴 및 소형노즐 40개를 사용하여 4열 등간격 노즐배치를 이루도록 하였다. ②번은 순환펌프이며 세척구동수의 공급역할을 하도록 하였다. 실제에서는 고압용 왕복 동펌프 등이 사용될 수 있겠으나, 이 실험에서는 편의상 가정용 소형펌프를 채택하였다. ③번은 유량을 계측하기 위한 디지털유량계이다. ④번은 Argon-Ion Laser를 이용하여 Sheet Light를 형성하고 ⑥번의 Hi-8mm 카메라에 의해 영상을 기록하였다.

세척기의 폭은 408.7mm이며 스펠방향 길이는 550mm이다. 좌우에 각 2열씩 10개의 분사노즐을 50mm씩 등간격으로 배치하였으며 바닥의 W자형 구조에는 각각 105mm, 149.7mm의 단을 두었다.

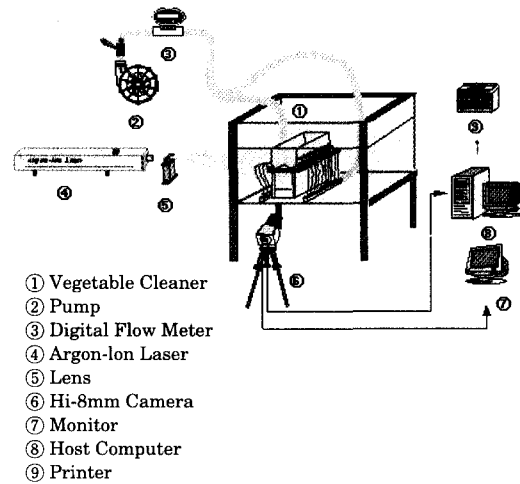


Fig. 1 Schematic arrangement of PIV system

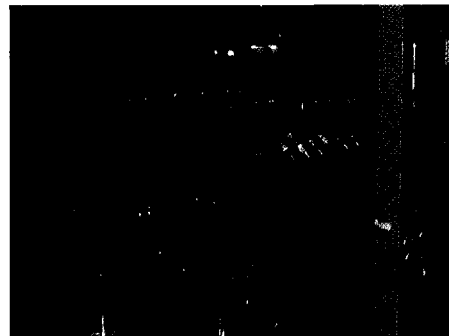


Photo 1 View of experimental model

실제노즐에서는 노즐배치각도 및 분사각도 등을 자동으로 조절하여 제트 수류의 방향 및 크기를 조절할 수도 있으나, 이 모델실험에서는 분사각도는 모두 지지판에 대하여 90도의 각도만을 유지하도록 하였다. 또한 노즐의 분사속도도 상하 모두 같게 하여 이 때의 유동특성을 유지할 수 있도록 하였다. 세척기 내로 들어온 세척수는 상부의 오픈스페이스 격벽을 통하여 좌우로 오버플로우하도록 하였으며, 실험상에서도 똑같은 조건을 유지하도록 외부구조의 수위를 조정하여 세척기 양쪽의 높이와 같도록 하였다. 노즐은 황동제 시판용의 직경 3mm의 부속구를 사용하였으며 배관은 플렉서블 고무관을 채택하였다. 본 연구에서는 인삼세척기 정면에서 노즐과 노즐사이 유동장을 계측할 수 있

도록 고안하였다.

Photo 1은 실제의 실험장치모델이고, Fig. 2는 세척기의 상세도를 나타내고 있다.

PIV용으로서 2차원의 광원을 제공하기 위한 출력 5W의 수냉식 아르곤 이온레이저로부터 나온 직진광을 2차원의 평면광으로 바꾸기 위해서 원통 렌즈를 사용하였다. 그리고 이 렌즈를 관통한 조명은 직접 계측단면에 조사된다. 영상처리과정에서

150.9mm는 206pixel에 해당하고 입자는 비중이 1.02로서 물과의 비중차가 작은 100미크론 전후의 PVC 추적입자에 정전기 방지를 위해 계면 활성제를 소량 혼합하여 계측직전에 수조에 투입한 후 레이저의 산란광의 영향으로 크게 빛나게 되며 이 움직임을 대해 Hi-8mm 카메라로 연속 입력하여 PIV용의 영상정보로서 기록하게 된다.

제반 실험조건은 Table1과 같다.

3. PIV 계측

본 가시화실험에 있어서는 먼저 유동장을 형성하고 추적입자를 유동장에 주입시킨 다음에 적당한 조명을 제공한다. 계측영역의 영상을 테이프 매체에 영구 보존하기 위하여 Hi-8mm카메라에 저장하였다. 저장된 유동장은 다시 재생과정을 거쳐 영상처리장치에 입력된다. 영상처리장치로는 이미지 그래버(DT3155, 640×480pixel, B&W)를 CPU(333MHz)의 호스트 컴퓨터에 3 내장하여 사용하였다. 본 연구에서 사용된 DT3155보드는 영상기록매체로부터 공급된 유동장의 아날로그 신호를 비트(bit)단위로 정의되는 디지털 영상정보로 바꾸어 주는 역할을 하며 각종 전처리 조작은 전용의 소프트웨어(CACTUS' 2000)를 이용하였다. Photo 2는 유량이 27l/min에서 계측영역 내 배경 영상을 나타낸 것이다.

Fig. 3은 미소간격을 갖는 연속된 두 프레임의 영상의 계조치에 대하여 식(1)과 같은 상호상관계수를 이용하여 최대 상관계수의 위치를 속도벡터의 종점좌표로 정하는 방법의 원리를 보여주고 있다. 단 f_i, g_i 는 상관영역내의 각 pixel의 계조치를 의미하며 “-”는 평균을 뜻한다. 계조치 상호상관

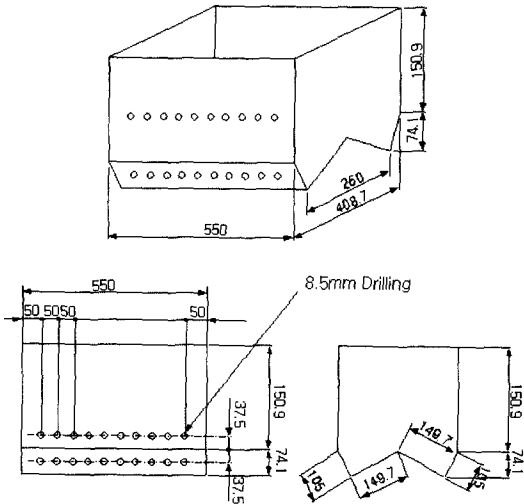


Fig. 2 Dimensions of ginseng cleaner model

Table 1 Experimental Condition

	Item	Specification
Visualization Equipment	Image Board	DT3155 (640×480pixel)
	Light Source	5W Argon-Ion Laser
	Sheet Light	Cylindrical Lens
Measuring Condition	Working Fluid	Water
	Temperature	10° C
	Particle	PVC(120μm)
Image Processing	Host Computer	Pentium PC (CPU 333MHz)
	Calculation Time	1.0min/frame
	Identification	Two-frame Gray-level Cross Correlation Algorithm
	Ratio of Error Vector	Under 2%/frame

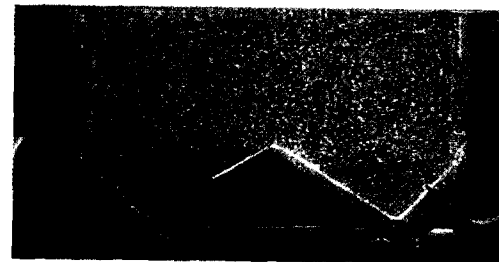


Photo 2 Original Image

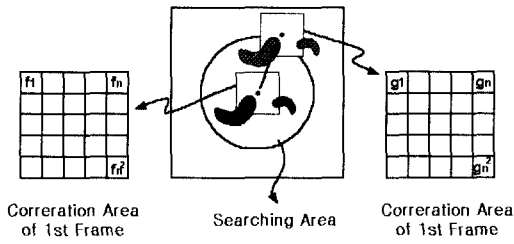


Fig. 3 Diagram of cross correlation method

법⁸⁾을 적용할 때 탐색반경(SAR)과 상관영역(CAS)의 설정은 속도벡터의 신뢰성뿐만 아니라 계산시간의 단축에도 결정적인 영향을 미친다. 전 계측영역에서 속도벡터의 격자수는 40×40이고 상관계수를 구하기 위한 탐색영역의 반경은 6pixel이다. 상관영역의 크기는 41pixel×41pixel으로 계산하였다. 그리고 시간평균 속도벡터를 얻기 위해서 50개의 영상을 순차적으로 처리한 다음 산출 평균하였다.

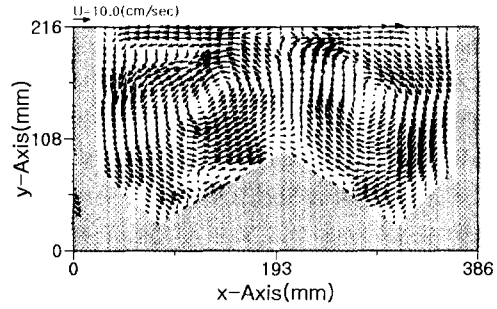
4. 실험결과 및 고찰

농산물 중 수확된 인삼을 고부가가치의 상품으로 제조하기 위해서는 무인 및 자동작업과정에 의한 인삼자동세척기의 개발이 필요하다. 이 경우에 세척노즐의 공간배치, 작동조건의 최적제어가 매우 중요하며, 이 때의 다수의 세척노즐로부터의 제트류의 거동이 세척기 전체 유동장에 미치는 거시적인 특성의 해명이 우선적으로 요구된다.

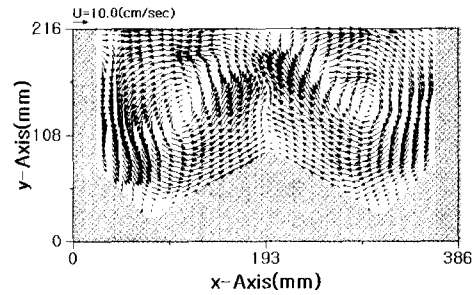
$$C_{fg} = \frac{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f})(g_i - \bar{g})}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f})^2 \sum_{i=1}^{n^2} (g_i - \bar{g})^2}} \quad (1)$$

본 연구에서는 PIV기법을 이용하여 인삼세척기의 유동흐름을 가시화하였다. 계측단면은 세 종류 유량 즉 15, 20, 27l/min에 따라 노즐과 노즐사이를 선정하였다.

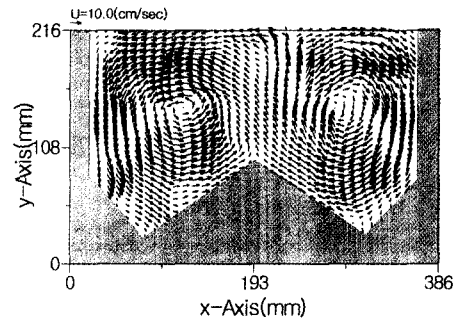
Fig 4는 각 유량에 있어서 순간속도벡터의 분포를 나타내고 있다. 유량 15l/min에서는 그 값이 작은 관계로 보다 높은 유량의 경우와 비교하여 와류의 형상이 찌그러진 모양을 나타내고 있다. 그러나 다른 두 경우에서는 거의 원형에 가까운 와류의 형



(a) 15l/min



(b) 20l/min



(c) 27l/min

Fig. 4 Instantaneous velocity distribution

태를 유지하고 있으며 큰 차이가 나타나지 않고 있음을 알 수가 있다.

Fig 5는 시간평균의 속도벡터분포이다. 앞의 순간속도벡터와 비교하여 유량마다 큰 차이가 없음을 알 수가 있다. 이것은 현재의 세척기 유동장의 고유한 특성중의 한가지로서 결국 이와 같은 반시계 방향의 단일와류가 같은 조건으로 존재하면서 유동장의 전체의 특성을 지배하고 있으며, 시간의 존생 유동장 변화가 크게 나타날 수 없음을 예상하

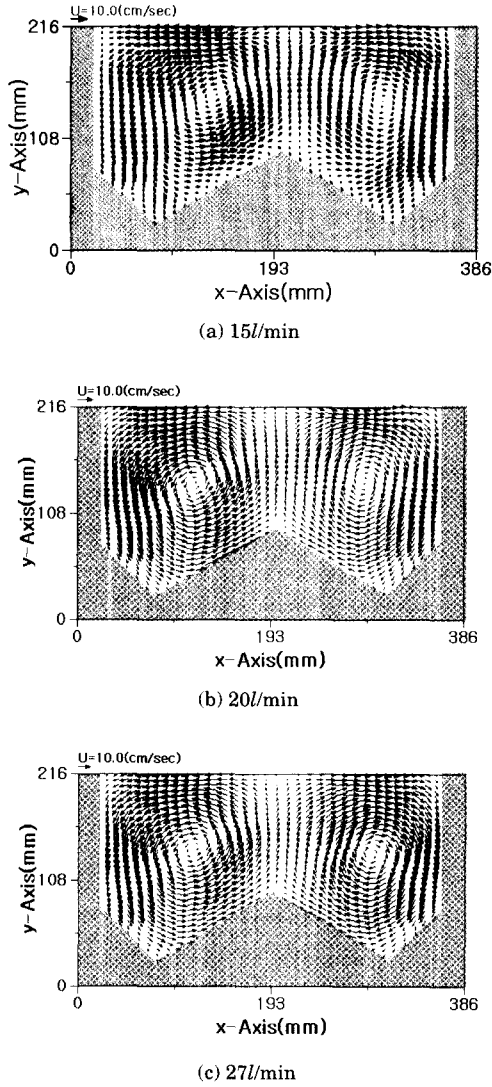


Fig. 5 Time-mean velocity distribution

고 있다.

Fig 6은 속도벡터의 데이터를 이용한 시간평균 속도프로파일이다. 몇 단면에서의 x, y방향의 속도 분포를 나타내고 있다. W자의 꼭지점을 경계로 하여 거의 대칭적인 속도분포를 나타내며, 전형적인 강제와류의 분포패턴을 보이고 있다. Fig 7은 각 유량에 대해 시간평균 운동에너지를 나타내고 있다. 그림에서 양쪽 벽면과 위 부분에서 크게 나타나는 것을 볼 수 있다.

마지막으로 Fig 8은 유량 27l/min일 때 시간평

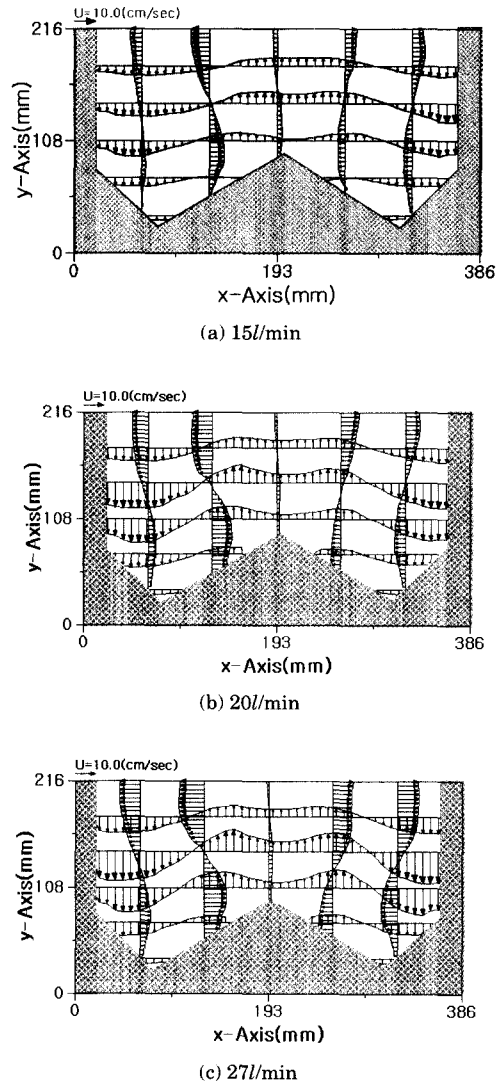


Fig. 6 Time-mean velocity profile distribution

균 난류강도분포이다. 그림에서 볼 수 있듯이 세척기의 중간 위, 아래 부분 그리고 와류가 생기는 중심부분에서 다른 지역보다 보다 높게 나타나는 것을 볼 수 있다.

연구결과 세척기 내에는 대칭적인 거대구조의 와류가 나타나고 있으며 이와 같은 반대회전방향의 수류가 인삼세척기의 세정능력을 크게 좌우할 것으로 예상하였다. 또한, 어느 경우에도 분사노즐에 의한 직진흐름이 노즐부착근방에서 보이지 않는 점이며, 이것은 노즐의 레이놀즈 수가 작아서

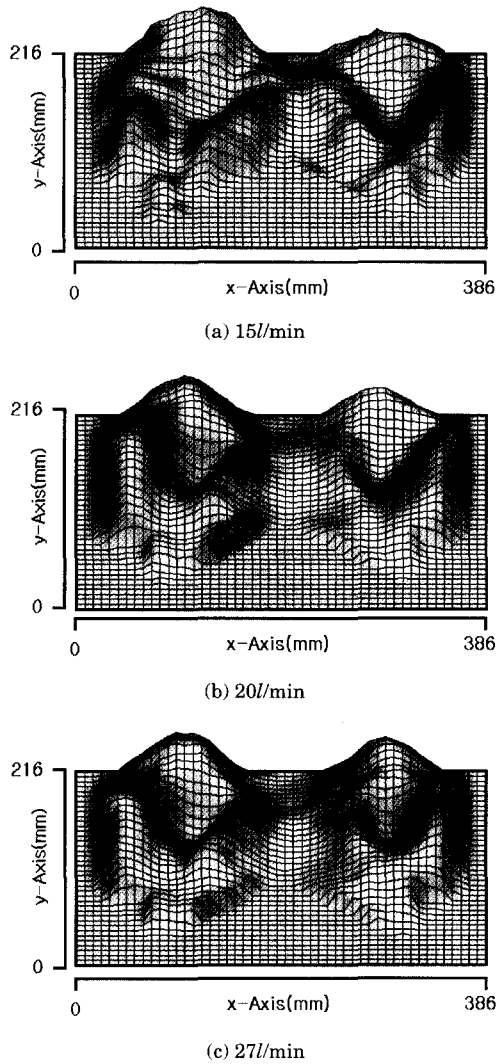


Fig. 7 Time-mean kinetic energy

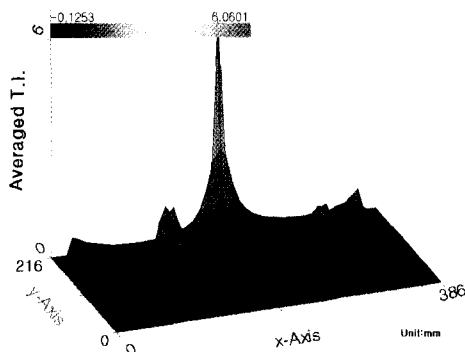


Fig. 8 Time-mean turbulence intensity

분사노즐 유동의 직진성이 없기 때문에 보여지나, 오히려 인삼의 세척력에는 이와 같은 거대 구조의 단일와류가 보다 효과적일 수도 있기 때문에 반드시 노즐 출구 속도를 크게 할 필요성이 없음을 나타내고 있다.

5. 결 론

이 연구에서는 실제 제작설계 되는 세척기의 1/2 축적모델을 투명아크릴로 제작하여 유동장을 형성시켰으며, 유동계측을 위하여 최근에 크게 각광을 받고 있는 PIV(Particle Image Velocimetry, 입자영상유속계)를 적용하여 동시다점으로 속도를 정확하게 계측한 다음, 이 데이터를 활용하여 여러 가지의 유동정보량을 표시하는 기법을 동원하였다.

계측단면으로는 분사노즐사이의 중간단면을 선정하였으며, 유량은 세 종류로 변화시켜 각각의 유동패턴을 조사하였다.

실제의 세척기에서는 세척완료 된 인삼을 컨베이어로 들어올리기 위하여 직각방향으로도 분사노즐을 배치하여 인삼이 수중 이동이 가능하도록 하고 있으나 적절한 노즐 위치는 직각방향의 속도 벡터 분포와 연계하여 정하는 것이 보다 효과적일 수가 있음을 알 수가 있었다.

또한, 계측단면에서의 유동특성간에는 큰 차이가 없으므로 유동장 전체의 특성은 크게 달라지지 않으며 2차원성이 강한 준정상유동이 지배적임을 알 수가 있었다.

본 연구에서는 노즐각도를 벽면의 90도로 고정하여 실험을 하였지만 노즐 각도에 의해 세정 능력이 향상시킬 수 있기 때문에 각도변화에 의한 계측이 수반되어야 한다고 판단된다.

참고문헌

1. 이영호, "PIV의 분류 및 원리", 대한기계학회지제 36권 12호, pp.1146~1162, 1996.
2. Gray, C., "The Evolution of Particle Image Velocimetry", Workshop-Optical Method & Data Proceedings in Heat and Fluid Flow, IMechE,

pp.19~36, 1992.

3. Young-Ho Lee, C. S. Kim, D. H. Cho, J. W. Choi, "PIV Measurement of Cubic Cavity Driven by 2-D Plane Poiseuille Flow", Proc. 3rd J/KSME Fluids Eng. Con., pp.335~340, 1994.
4. 이영호, 조대환, 최장운, "PIV에 있어서의 입자추적 수법 개선", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 2권, pp.360~365, 1993.
5. 홍석호, 서민식, 임유청, 최장운, 이영호, "영상강화 카메라를 이용한 가정용 냉장고의 PIV계측". 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp.773~778, 1999.
6. Lourenco, L., Subramanian, S., Ding, Z., "Time Series Velocity Field Reconstruction from PIV Data", Meas. Sci. Technol., Vol. 8, pp. 1533~1538, 1997.
7. 김경천, 윤상열, 김상기, "와추적 위상평균 기법을 이용한 원주후류의 PIV 측정", 대한기계학회 유체공학부문 추계학술대회 논문집, pp. 55~60, 1999.
8. 이영호, 최장운, "PIV에서의 계조치 상호상관법 개발" 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 2권, pp.396~400, 1996.

저 자 소 개



송치성 (宋致成)

1961년 4월생. 1983년 한국해양대학교 기관과졸업. 1989년 동대학원 기계과 졸업. 1998년 서울대학교 대학원 기계과 박사과정수료. 1989년~현재 한국기계연구원 환경설비연구부 선임연구원재직. 산업설비 분야에서 2상유동과 상변화에 관심이 많다.