

PIV에 의한 인삼세척기의 특성연구

김진영*, 송치성**, 김병덕***, 이영호****

A Study on Flow Characteristics of a Ginseng Cleaner Using PIV

J.Y. Kim*, C.S. Song**, B.D. Kim***, Y.H. Lee****

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, 27 l/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 and velocity profile are represented quantitatively for the deeper understanding of the flow characteristics in a ginseng cleaner model.

Key Words : PIV(입자영상유속계), ginseng cleaner(인삼세척기), velocity distribution(속도분포), correlation coefficients(상관계수)

1. 서론

유학역학에 관련된 기계나 기기의 설계 또는 성능향상을 위한 제반의 과정에서 가장 기본이 되는 것은 유동장의 거동을 파악하는 것이며 각종 유체기계의 설계에 있어서도 유동패턴은 고려되어야 한다. 인삼 세척기는 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 작업 과정에 의한 인삼자동세척기의 개발은 관련산업의 경제성을 높이는데 크게 기여할 것으로 예상된다.

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 등을 정량적으로 도시하였다. 그 결과 세척기내에는 대칭적인 거대구조의 와류가 나타나고 있었다.

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

2. 실험장치

Fig. 1은 세척기 실험을 위한 배치도를 보이고 있다. ①번은 모델세척기이며 투명아크릴 및 소형노즐 40개를 사용하여 4명 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

* 한국해양대학교 대학원

** 한국기계연구원

*** 한국기계연구원

**** 한국해양대학교 기계·정보공학부

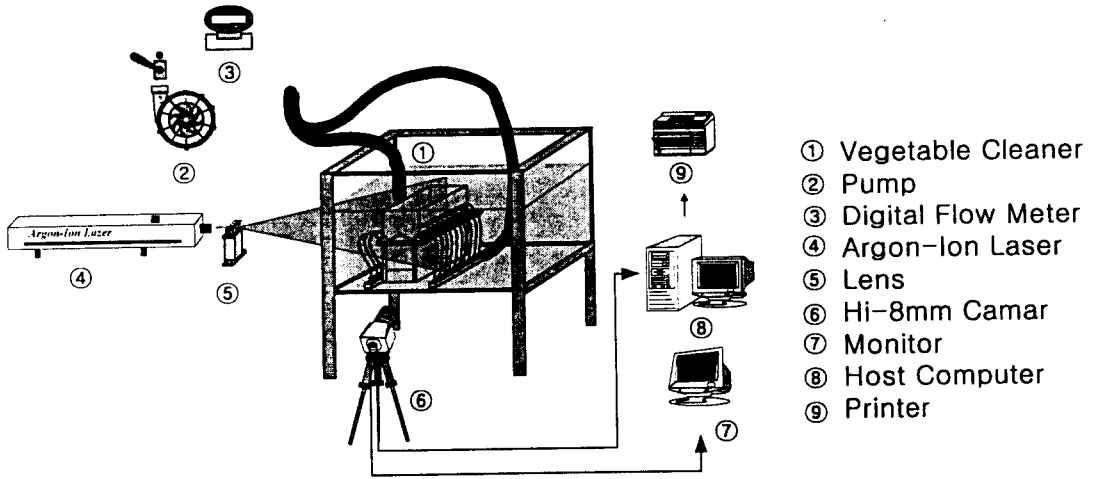


Fig. 1 Schematic arrangement of PIV system

카메라에 의해 영상을 입력받았다.

Fig. 2에서 세척기의 폭은 408.7mm이며 스펀 방향 길이는 550mm이다. 좌우에 각 2열씩 10개의 분사노즐을 50mm씩 등간격으로 배치하였으며 바닥의 W자형 구조에는 각각 105mm, 149.7mm의단을 두었다. 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. 세척기내로 들어온 세척수는 상부의 오픈스페이스 격벽을 통하여 좌우로 오버플로우하도록 하였으며 실험상에서도 똑같은 조건을 유지하도록 외부수조의 수위를 조정하여 세척기 양쪽의 높이와 같도록 하였다. 노즐은 황동제 시판용의 직경 3mm의 부속구를 사용하였으며 배관은 플렉서블고무관을 채택하였다.

본 연구에서는 인삼세척기 정면에서 노즐과 노즐사이 유동장을 계측할 수 있도록 고안하였다.

Photo 1은 실제의 실험장치모델을 보여주고 있다.

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

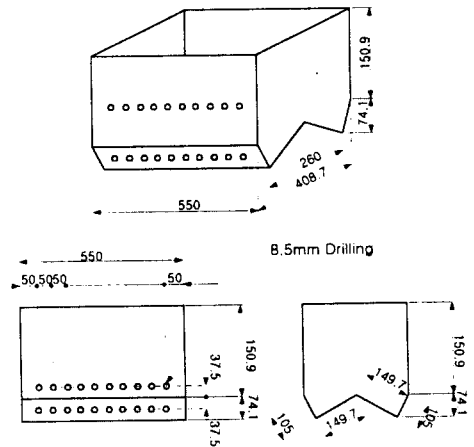


Fig. 2 Dimensions of ginseng cleaner model

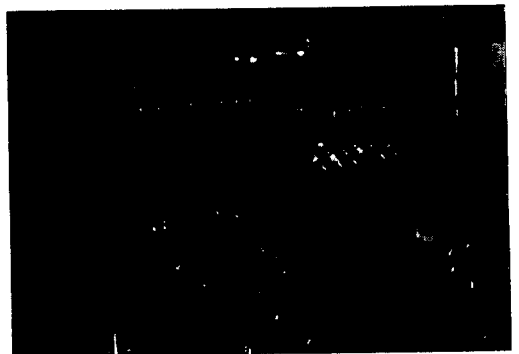


Photo 1 View of experimental model

처리과정에서 150.9mm는 206pixel에 해당하고 입자는 비중이 1.02로서 물과의 비중차가 작은 100미크론 전후의 PVC추적입자에 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 매체상에 영구 보존하기 위하여 Hi-8mm 카메라에 저장하였다. 저장된 유동장은 다시 재생과정을 거쳐 영상처리장치에 입력된다. 영상처리장치로는 이미지 그래버(DT3155, 640×480pixel, B&W)를 CPU(333MHz)의 호스트 컴퓨터에 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 27 l/min에서 계측영역 내 배경영상을 나타낸 것이다. 속도벡터 추출을 위한 유동장의 영상처리에는 반드시 전처리 과정이 필요하며 다양한 기법들이 소개된다. 이 과정으로 잡음제거, 회전보정 등을 거친 다음, 2치화된 영상으로 탐색반경을 결정한 후에 유동장의 거동특성을 관찰하여 상관영역을 설정한다.

전처리 과정 중에 가장 큰 비중을 차지하는 것은 잡음제거에 있어 큰 효과를 얻을 수 있는 배경제거(background elimination)이다. 이것은 계측영역에서 입자를 제외한 고정물체를 제거하여 영상의 불필요한 부분을 최소화하며 처리영상에 포함된 노이즈를 제거하기 위한 것이다.

이를 위하여 연속된 50개의 원시영상의 계조치를 산술 평균한 다음, 실제로 처리하고자 하는 순간의 유동장으로부터 감산하는 방법을 택하였다. 영상을 기록할 때에는 유동장과 카메라 위치를 조정하여 수평을 유지하여야 하지만 대부분 카메라 축을 중심으로 약간의 회전각도를 갖게 된다. 따라서 기록된 영상은 전체적으로 회전된 상태이므로 회전된 각도만큼 모든 픽셀 좌표를 변환하여야 한다. 따라서 잡음이 제거된

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

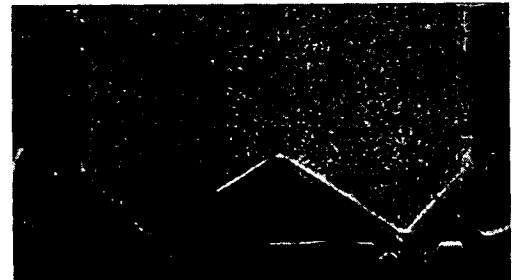


Photo 2 Original Image

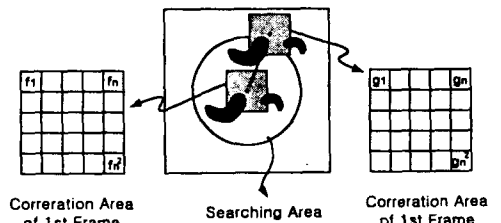


Fig. 3 Diagram of cross correlation method

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

영상에 대해서 계측영역 내에 직선운곽선을 이용하여 Hi-8mm 카메라의 위치에 대한 회정보정을 행하였다. 전처리가 끝나면 계산영역을 설정하고 장애물처리를 하여 계조치 상호상관법¹⁾을 이용한 동일입자 확인을 실시하였다.

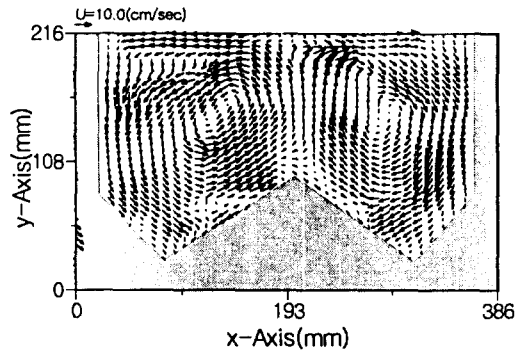
Fig. 3은 미소간격을 갖는 연속된 두 프레임의 영상의 계조치에 대하여 식(1)과 같은 상호상관계수를 이용하여 최대 상관계수의 위치를 속도벡터의 종점좌표로 정하는 방법의 원리를 보여주고 있다. 단 f_i, g_i 는 상관영역내의 각 pixel의 계조치를 의미하며 “-”는 평균을 뜻한다. 계조치 상호상관법을 적용할 때 탐색반경(SAR)과 상관영역(CAS)의 설정은 속도벡터의 신뢰성뿐만 아니라 계산시간의 단축에도 결정적인 영향을 미친다. 전 계측영역에서 속도벡터의 격자수는 40×40 이고 상관계수를 구하기 위한 탐색영역의 반경은 6pixel이다. 상관영역의 크기는 $40\text{pixel} \times 40\text{pixel}$ 이며 하나의 순간 유동장에 대한 처리시간은 1분정도 소요되었다. 시간평균 속도벡터를 얻기 위해서 50개의 영상을 순차적으로 처리한 다음 산출 평균하였다. 후처리 과정에서는 기록된 영상의 화질에 따라 발생한 고유의 에러성분인 이상치를 판별하여 과오벡터를 제거하는 에러제거, 격자점 재배치, pixel 단위를 m/sec로 바꾸는 단위환산 등을 하였다. 에러에 인한 이상치는 속도 발산치에 의한 검출방법으로 자동에러처리를 한 후 대화형의 화면처리로 제거하였고 유효한 동일입자만으로 속도벡터를 구하였으며 제거된 벡터는 주위의 값으로부터 보간하여 도시하였다.

4. 실험결과 및 고찰

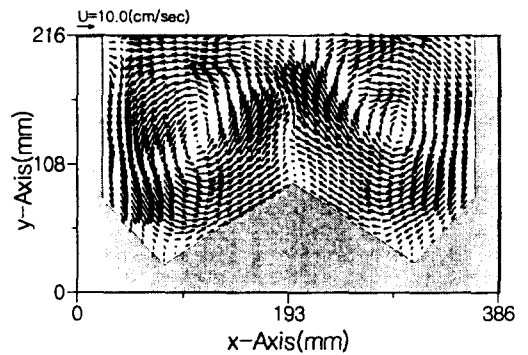
농산물 중 수확된 인삼을 고부가가치의 상품으로 제조하기 위해서는 무인 및 자동작업과정에 의한 인삼자동세척기의 개발이 필요하다. 이 경우에 세척노즐의 공간배치, 작동조건의 최적제어가 매우 중요하며, 이 때의 다수의 세척노즐로부터의 제트류의 거동이 세척조 전체 유동장에 미치는 거시적인 특성의 해명이 우선적으로 요구된다.

본 연구에서는 PIV기법^{2,3)}을 이용하여 인삼세척기의 유동흐름을 가시화하였다. 계측단면은 세 종류의 유량 즉 15, 20, 27 l/min에 따라 노즐과 노즐사이를 선정하였다.

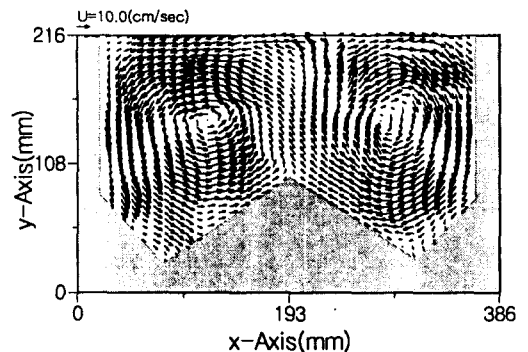
Fig 4는 각 유량에 있어서 순간속도벡터의 분포를 나타내고 있다. 유량 15 l/min에서는 그 값이 작은 관계로 보다 높은 유량의 경우와



(a) 15 l/min

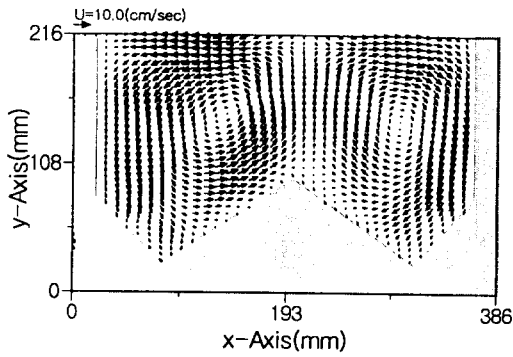


(b) 20 l/min

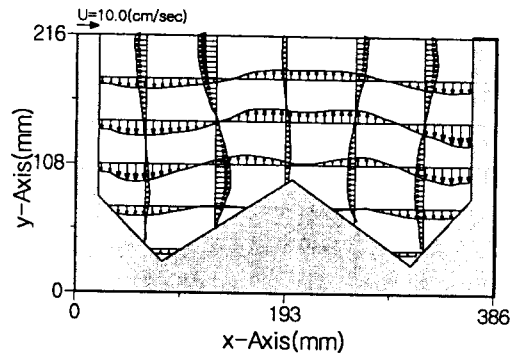


(c) 27 l/min

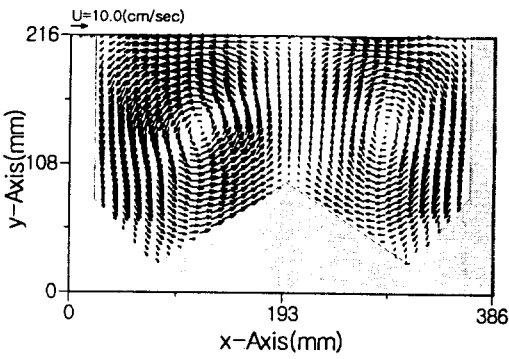
Fig. 4 Instantaneous velocity distribution



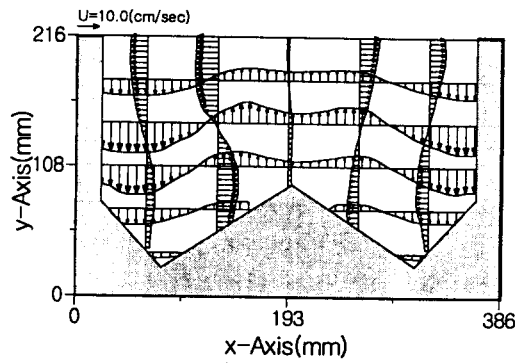
(a) 15 l/min



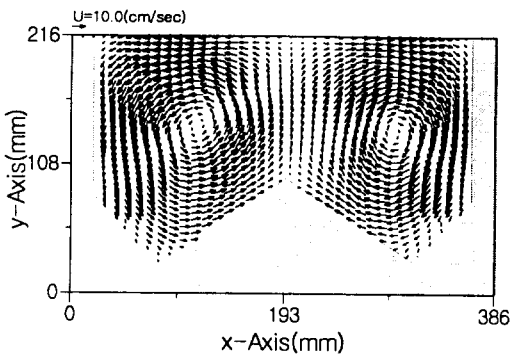
(a) 15 l/min



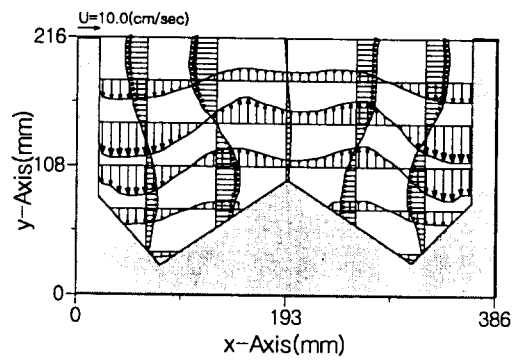
(b) 20 l/min



(b) 20 l/min



(c) 27 l/min



(c) 27 l/min

Fig. 5 Time-mean velocity distribution

Fig. 6 Time-mean velocity profile distribution

비교하여 와류의 형상이 찌그러진 모양을 나타내고 있다. 그러나 다른 두 경우에는 거의 원형에 가까운 와류의 형태를 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, 시간의존성 유동장 변화가 크게 나타날 수 없음을 예상하고 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.

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 분사노즐 유동의 직진성이 없기 때문으로 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. 결론

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

계측단면으로는 분사노즐사이의 중간단면을 선정하였으며, 유량은 15, 20, 27 l/min로 변화시켰으며 이 때의 순간 및 시간평균속도분포, 속도프로파일을 정량적으로 구하였다.

또한, 계측단면에서의 유동특성간에는 큰 차이가 없었으므로 유동장 전체의 특성은 크게 달라지지 않으며 2차원성이 강한 준정상유동이

지배적임을 알 수가 있었다. 본 연구는 향후 노즐의 분사각도 및 유량 변화 그리고 계측단면 등을 포함한 보다 체계적인 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 이영호, 최장운, "PIV에서의 제조치 상호상관법 개발", 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 2권, pp.396-400, 1996
2. 이영호, "PIV의 분류 및 원리", 대한기계학회지 제36권 12호, pp.1146-1162, 1996
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 입자추적수법 개선", 대한기계학회 추계학술대회 논문집 2권, pp.360-365, 1993
5. 홍석호, 서민식, 임유정, 최장운, 이영호, "영상강화 카메라를 이용한 가정용 냉장고의 PIV계측". 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp.773-778, 1999