

PIV 애니메이션에 의한 가정용 냉장고 냉동실의 냉기 순환 해석

김진영*, 양창조*, 김정환*, 이영호**

Analysis on Cold Air Circulation of a Domestic Refrigerator Freezer
by PIV Animation

J. Y. Kim*, C. J. Yang*, J. H. Kim*, Y. H. Lee**

Key Words : PIV(입자영상유속계), Domestic Refrigerator(가정용냉장고), Freezer(냉동실),
Image Intensifier Camera(영상강화카메라)

Abstract

Animation technique from the PIV database is particularly emphasized to give macroscopic and quantitative description of complex flow fields. As an example, an experimental study was carried out investigate the fundamental flow characteristics of the freezer within the domestic refrigerator. Optimized cross correlation identification to obtain velocity vectors is implemented by direct calculation of correlation coefficients. Image intensifier CCD camera to cope with illumination problem is arranged for the accurate PIV measurement of large flow field. As a results, continuous pictures of the spatial distribution of the instantaneous and time-mean velocity distribution are displayed in real-time sense.

1. 서론

유체역학에 관련된 기계나 기기의 설계 또는 성능 향상을 위한 제반 과정에서 가장 기본적인 것은 유동장의 거동을 파악하는 것이다. 최근에는 컴퓨터의 성능이 급속히 향상되어 종래에는 원리적으로만 가능하다고 여겨졌던 계측방법이 많은 연구자들로부터 큰 주목을 받아왔다. 이에 관련하여 유동장에 분포된 가시화입자가 짧은 시간동안 이동한 미소변위를 영상처리기에 의해 자동으로 추적함으로써 속도벡터를 전유동영역에 걸쳐 동시에 구할 수 있는 새로운 계측방법으로 PIV(Particle Image Velocimetry: 입자영상유속계)가 개발되어 많은 적용예를 보이고 있다.

특히 PIV는 적절한 계측에 의해 입력장치를 통한 연속적인 영상획득으로 시계열적인 해석이 가능함에도 불구하고 PIV데이터를 이용한 애니메이션처럼 연속적인 해석은 아직까지 국한된 경우가 많다.

본 연구에서는 2차원의 연속된 PIV데이터로부터 완전한 애니메이션 영상을 구현하는 것을 목표로 하여 현재 사용되고 있는 가정용 냉장고 중에 실제모델을 선정하여 PIV기법을 이용한 냉장고 냉동실의 냉기 유동특성에 관한 연구를 수행하였다.

과거의 연구결과를 살펴보면 오민정 등[1]은 냉장고 내부 형태를 단순화하여 순환운동에 대한 연구를 수행하였다. 그리고 홍석호 등[2]은 본 연구와 같은 모델의 냉동실에 대해 선반(shelf) 없이 속도분포를 고찰하였다. 본 연구는 냉동실에서 선반을 고정시키고 이것을 중심으로 상부·하부로 나누어 측정하였다. 냉동실의 냉기흐름을 전체적으로 계측하기 위해서는 3차원의 측정 시스템을 구축해야 하지만 본 연구에서는 냉동실 도어에서 세로방향으로 냉기유출슬롯 부분을 부등 간격으로 나누어 2차원 PIV계측을 실시하였고 애니메이션 영상에 의한 순간 또는 시간 평균 속도분포, 유적선, 유맥선 등을 제시하였다. 그리고 영상 입력장치로는 영상강화 CCD 카메라(Image Intensifier CCD, Hamamats사)를 사용하여 넓은 계측면적에 대응하도록 하였다[3].

2. 실험장치

Fig. 1은 본 실험에서 채택한 실험장치의 구성도이다. PIV를 이용한 가정용 냉장고의 가시화 실험을 위하여 총 용량이 500ℓ 급인 냉장고 냉동실의 팬을 비롯한 냉기 통로를 정밀하게 제작하였다. 그리고 온도 변화에 따른 유동특성은 고려하지 않았으며 유체역학의 관점에서 대상 유동장의 속도분포특성만을 고려하였다. 냉동실의 냉기 순환 팬은 2,150rpm의 일정한 회전수로 작동한다.

* 한국해양대학교 대학원

** 한국해양대학교 기계·정보공학부

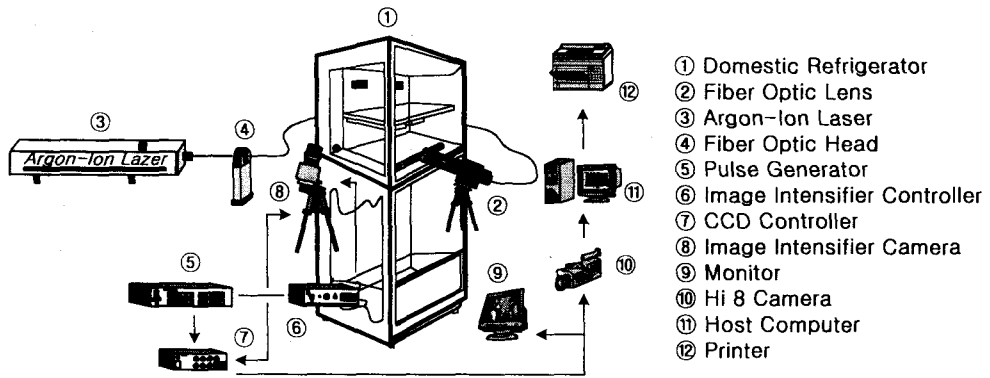


Fig. 1 Schematic arrangement of PIV system

본 연구에서는 냉동실의 한쪽 벽면을 380mm×415mm의 크기로 절단하여 냉동실 전체 유동장을 계측할 수 있도록 고안하였으며 외벽은 두께 3mm 투명 아크릴로 제작하였다. 한편 냉동실의 도어도 계측 단면별로 시트 라이트를 형성할 수 있도록 두께 3mm 아크릴로 제작하였다.

Photo 1은 실제의 PIV 실험장치의 배치를 보여주고 있다. 좌측에 영상강화 CCD 카메라를 설치하고 정면에서는 도출 슬롯 x방향의 수직수평으로 시트라이트를 형성할 수 있도록 배치하였다.

유동가시화를 위한 조명장치로서는 5W 출력의 아르곤-이온 레이저(Coherent사)를 이용하였으며, 두께 2mm내외의 2차원 평면조명을 광섬유 케이블 및 원통렌즈를 통해서 유동장에 직접 조사하였다.

계측영역은 상부 및 하부에 대한 가로 세로가 각각 380mm×180mm, 380mm×150mm하여 계측영역을 설정하였다. 영상처리과정에서 380mm는 535pixel에 해당하고 작동유체로는 저온의 공기를 이용하였으며 가시화 입자로서 평균직경 30~50 μ m의 551DE Expancel 입자를 사용하였다. 입자의 밀도는 42 \pm 4 kg/m 정도로 공기중의 난류유동을 충분히 추종할 수 있는 입자를 선택하였다.

Photo 2는 일반적으로 고속유동장의 입력장치로 사용되는 영상강화 CCD 카메라를 나타낸 것이다.

본 연구에서는 광섬유 케이블을 사용하여 임의의 단면에 시트 라이트를 조사하기 때문에 광량이 작아 지므로 이를 보강하기 위하여 영상강화 CCD 카메라를 사용하였다.

Fig. 2는 냉동실에서의 냉기 유입부를 나타낸 것이다. 냉기가 도출되는 중간부분의 선반을 기준으로 하여 x방향으로 상부와 하부에 대해 각각 6가지의 경우에 대하여 부등간격으로 계측을 실시하였다.

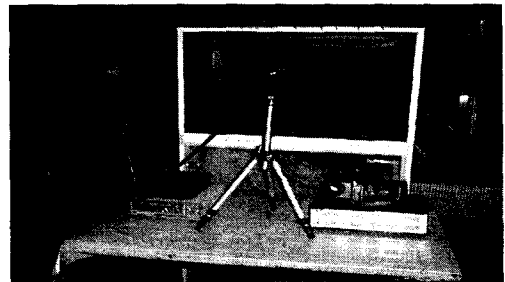


Photo 1 View of experimental equipment



Photo 2 Image intensifier CCD camera

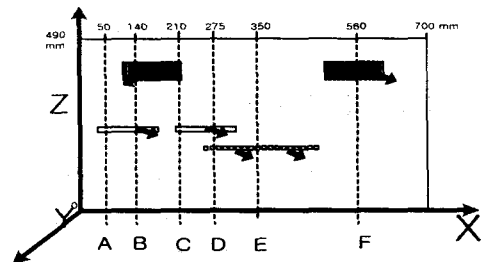


Fig. 2 Definition of measuring region

3. PIV 계측

본 가시화 실험에 있어서는 먼저 팬을 운전하여 유동장이 충분히 발달하도록 하였다. 그리고 가시화 입자를 유동장에 주입시킨 후 시트 라이트를 z축 방향과 평행하게 냉동실 상부 및 하부에 조사하였다. PIV 계측의 재현성을 확보하기 위하여 Hi-8mm 캠코더에 각각의 경우마다 5분씩 녹화하였다.

한편, 영상처리장치를 위하여 이미지 그라버는 DT3155(640×480pixel, B&W)를 사용하였다. DT3155보드는 Hi-8mm 캠코더의 원시영상에 대하여 아날로그 신호를 2차원의 디지털 영상정보로 바꾸어 주는 역할을 한다. 전처리 및 동일입자 확인과정은 전용의 PIV 소프트웨어(CACTUS'2000)를 이용하였다. 정량적인 속도계측을 위해서는 반드시 전처리 과정이 필요하며 배경영상 계산, 회전 보정, 장애물설정 및 잡음제거 등의 과정이 이용된다. 본 연구에서는 배경영상을 만들기 위하여 순간영상 150프레임을 산술 평균하였다.

본 연구에서는 동일입자확인 알고리즘으로 개별 입자를 확인하는 입자추적 방법 대신 영상의 계조치 분포의 상관성을 이용하는 계조치 상호 상관법을 적용하였다[4].

계조치 상호 상관법을 적용할 때 최적의 탐색반경(SAR)과 상관영역(CAS)의 설정은 속도벡터의 신뢰성뿐만 아니라 계산시간의 단축에도 결정적인 영향을 미친다. 본 연구에서는 탐색반경이 평균 10pixel이며, 상관영역의 크기를 41pixel×41pixel로 하였을 때 호스트 컴퓨터(CPU 333MHz)에서 1프레임 당 평균 30초 전후가 소요되었다. 평균 유동장의 속도분포를 나타내기 위하여 순간영상 150개를 산술 평균하였다.

애니메이션을 만드는 과정은 이영호 등[5]는 miro Motion-JPEG 이미지보드를 사용하였지만 본 연구에서는 DT3155 이미지보드를 이용하여 AVI 파일로 애니메이션을 만들었다.

Table 1은 제반 실험조건을 나타낸 것이다.

4. 실험결과 및 고찰

본 연구에서는 PIV기법을 이용하여 가정용 냉장고의 냉동실 내부에서의 냉기의 흐름을 가시화하고 영상 강화 CCD 카메라를 사용하여 냉동실 상·하부를 x방향의 6개의 단면을 계측하였다.

단면별 계측을 위하여 냉동실의 입체적인 순환흐

름을 명확히 규명할 수 있는 6가지의 지점을 선택하여 Fig. 2에서와 같이 Case A~F까지 구분하였다.

먼저 Fig. 3은 각각의 경우에 대한 순간 속도벡터

Table 1 Experimental conditions

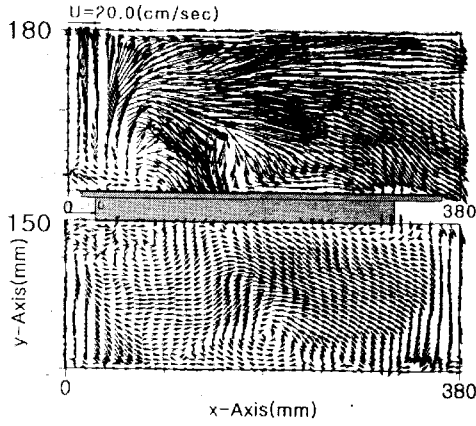
Item	Specification
Image Board	DT3155(640×480 Pixel)
Light Source	5W Argon-Ion Laser
Particle	Expancel 551DE(30~50 μ m)
Density	42 \pm 4 kg/m ³
Sheet Light	Fiber Optic Lens
Working Fluid	Air(10 $^{\circ}$ C)
Host Computer	Pentium PC(CPU:333MHz)
Calculation Time	30 sec/frame
Image Input	Image Intensifier CCD Camera
Number of Data for Time-mean	150 Frames
Identification	Two-Frame Gray-level Cross Correlation Algorithm
Vector Error Rate	Case A~F(under 0.5%)

를 나타낸 것이고 Fig. 4는 150개의 영상에 대한 시간평균 속도벡터를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 5는 애니메이션의 임의의 시간에 대한 그림을 나타내고 있다. Fig. 3과 Fig. 4의 (a)는 x방향으로 50mm 일 때 냉기의 흐름을 나타낸 것으로 상부에서는 냉기가 직접 방출되는 부분은 없지만 단면B의 냉기그릴에서는 직접적으로 영향을 받고 있는 것을 알 수 있다. 이 냉기그릴은 구조상 15 $^{\circ}$ 로 기울어져 있어서 x축 방향으로 강한 주 유동이 나타남을 알 수 있다. 또한 상부의 강한 속도분포와 하부의 작은 속도분포가 명확하게 구분되는 것을 알 수 있다.

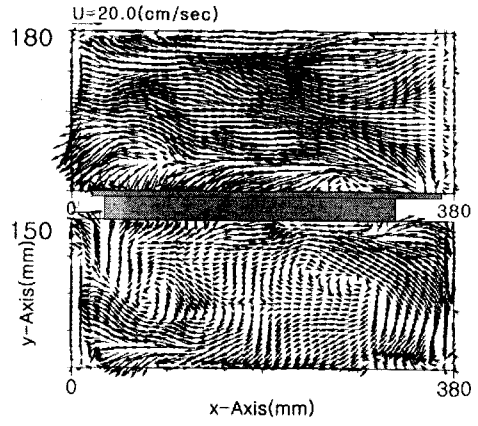
단면B는 x축 방향으로 140mm의 영역을 나타낸 것이다. 상부의 냉기그릴에서 냉기가 방출되고 그리고 선반사이에서도 냉기가 방출되어 상부의 좌측부분에 영향을 주고 있는 것을 알 수 있다. 단면C는 x축 방향으로 210mm의 단면에서의 결과이다.

단면D는 x축 방향으로 275mm의 결과이며 단면E는 350mm의 경우이다. 단면C, D, E에서는 선반의 밑부분인 하부에서 방출되는 냉기의 영향이 와류형성에 큰 영향을 미치고 있는 것을 알 수 있다.

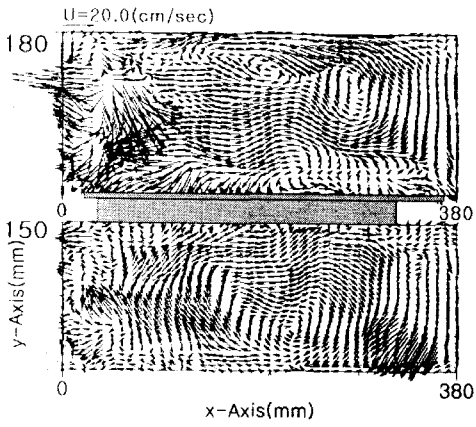
단면F는 상부에 냉기 그릴이 있는 부분으로 x축 방향으로 560mm일 때이다. 단면C, 단면D 및 단면E



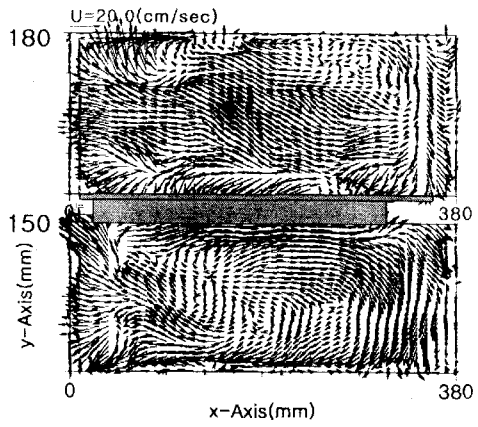
(a) Case A



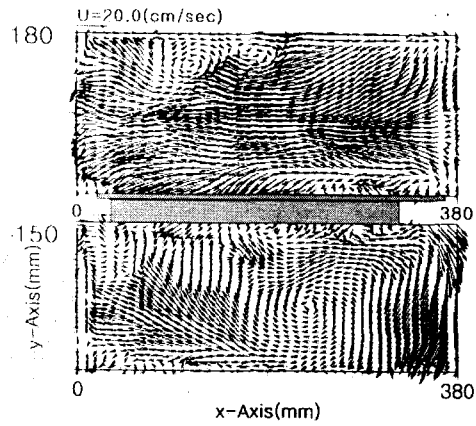
(d) Case D



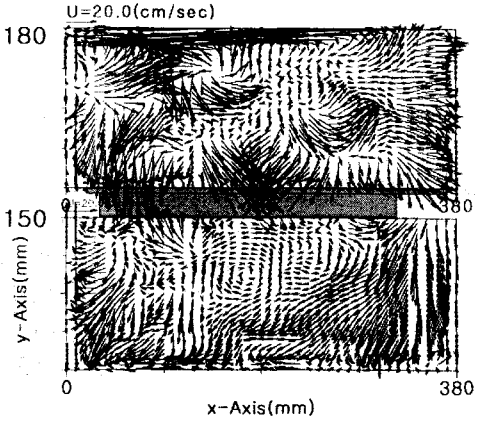
(b) Case B



(e) Case E



(c) Case C



(f) Case F

Fig. 3 Instantaneous velocity vectors

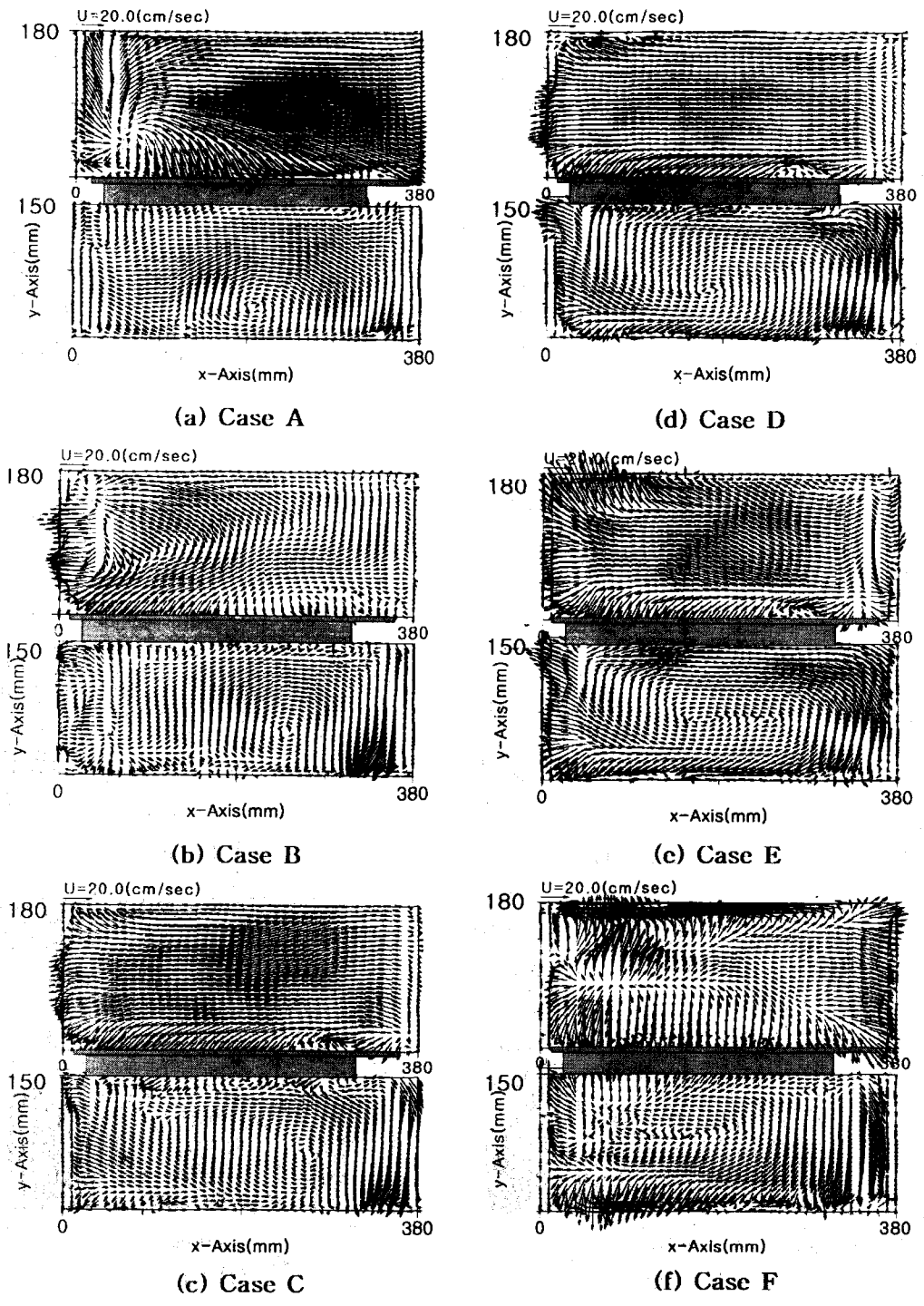
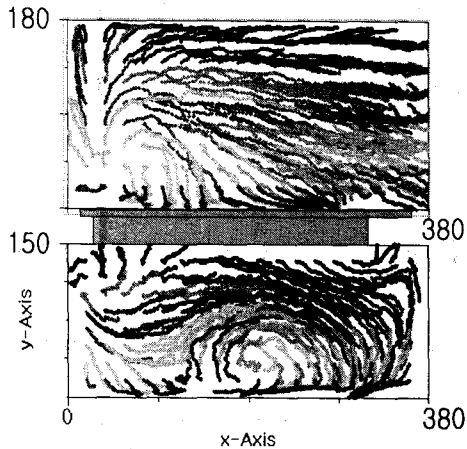
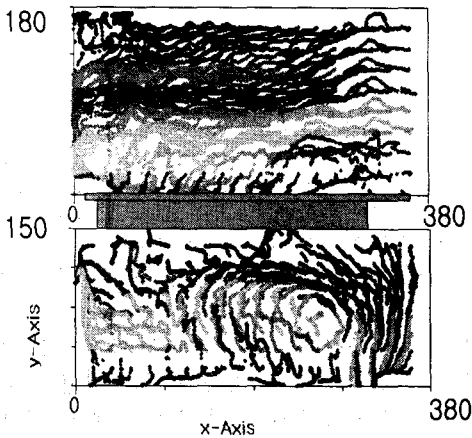


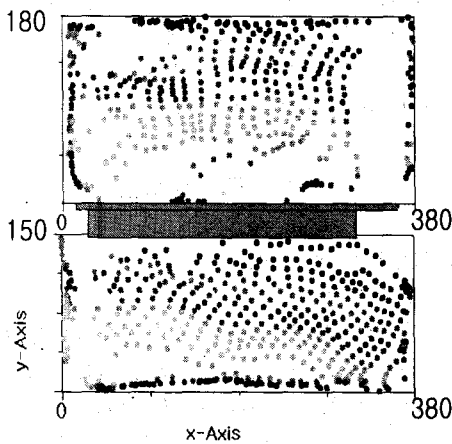
Fig. 4 Time-mean velocity vectors



(a) Pathline of Case A



(b) Streakline of Case C



(c) Pathline of Case E

Fig. 5 Animation of flow patterns in a freezer

는 공통적으로 중앙 부분의 슬롯의 출구유동에 의해 상부의 전체 유동장에 영향을 주고 있고 6개의 각각 단면의 하부에서는 큰 규모로 재순환 영역을 형성함을 알 수 있다. 단면별로 상부의 슬롯에서 공급되는 냉기와 중앙부분에서 방출되는 냉기의 흐름이 순간 속도분포에서와 같이 잘 나타나고 있음을 알 수 있고 계측 단면별 유동특성이 명확히 드러나 있다. 한편 냉동실의 설계시에 순간 속도분포 및 시간평균 속도 분포를 참조하고 각 부분의 냉기의 방출속도 및 슬롯의 각도 등을 조절하면 냉동실내의 냉기의 분배를 효율적으로 할 수 있을 것이다.

5. 결론

본 연구에서는 영상 강화 카메라를 이용한 PIV 계측을 통해서 가정용 냉장고 냉동실 냉기의 전체 유동 흐름을 정량적으로 규명하였다. 그리고 애니메이션영상은 DT3155 이미지보오드를 이용하여 순간 속도 벡터, 평균 속도 벡터, 유적선, 유맥선 등을 마우스 동작으로 PC 모니터상에서 연속적으로 재현하였다.

그 결과, 상부에서는 냉동실 중앙에 위치한 제빙실 슬롯에서의 냉기가 직접 방출되는 영역에서는 상부 영역의 전체적으로 냉기 슬롯 방향으로 강한 유동이 나타났다. 또한 하부에서는 전체 CASE에서 재순환 영역을 보여주고 있다.

향후에는 가정용 냉장고 냉동실의 3차원 PIV 시스템을 적용하는 연구를 수행할 예정이다.

참고문헌

1. 오민정, 이재현, 오명도, 1995, 냉장고 내부의 냉기 유동특성에 관한 3차원 해석, 공기조화·냉동공학 논문집 제7권 제3호, pp.382-395.
2. 홍석호, 서민식, 임유청, 최장운, 이영호, 1999, 영상 강화 카메라를 이용한 가정용 냉장고의 PIV계측. 대한기계학회 추계학술대회 논문집 B, pp.773-778
3. 임유청, 서민식, 이영호, 1998, PIV를 이용한 터빈 펌프의 농·정익 속도장 계측, 유체기계저널 제2권 제1호, pp.35-42.
4. 이영호, 최장운, 1996, PIV에서의 계조치 상호 상관법 개발, 대한기계학회 춘계학술대회 논문집 B, pp.396-400.
5. Lee Y.H., Choi J.W., Kim M.Y., Kobayashi T., 1998, "Real Time Animation on PC from PIV Database", Proc. of VSJ-SPIE98 Yokohama.