

## 3D-PTV에 의한 냉장고 소비전력 저감

황태규<sup>†</sup>, 도덕희<sup>\*</sup>, 박성룡<sup>\*\*</sup>, 방윤석<sup>\*\*\*</sup>,  
양민철<sup>\*\*\*</sup>, 장규섭<sup>\*\*\*</sup>, 김석노<sup>\*\*\*</sup>, 이연원<sup>\*\*\*\*</sup>

한국해양대학교 대학원, <sup>\*</sup> 한국해양대학교 기계정보공학부, <sup>\*\*</sup> 한국에너지기술연구원  
(미활용에너지연구센터), <sup>\*\*\*</sup>(주)LG전자, <sup>\*\*\*\*</sup>부경대학교 기계공학부

### Power Savings of a Refrigerator with 3D-PTV Measurements

Tae-Gyu Hwang, Deog-Hee Doh<sup>†</sup>, Seong-Ryong Park<sup>\*\*</sup>, Yoon-Seok Bang<sup>\*\*\*</sup>,  
Min-Cheol Yang<sup>\*\*\*</sup>, Gyu-Seob Jang<sup>\*\*\*</sup>, Suk-Roh Kim<sup>\*\*\*</sup>, Yeon-Won Lee<sup>\*\*\*\*</sup>

Graduate School, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

<sup>\*</sup>Division of Mechanical and Information Engineering, Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

<sup>\*\*</sup>Unutilized Energy Research Center, KIER, Daejeon 305-343, Korea

<sup>\*\*\*</sup>Digital Appliance Company, LG Electronics, Gyeongnam 641-711, Korea

<sup>\*\*\*\*</sup>Department of Mechanical Engineering, Pukyong National University, Busan 608-737, Korea

(Received July 21, 2005; revision received October 26, 2005)

**ABSTRACT:** 3D-PTV measurement has been carried out for the inner flows of a refrigerator. To visualize the air flows three-dimensionally, a helium bubble generator has been used for the 3D-PTV measurements. Three-dimensional flow field of the refrigerator's compartments have been reconstructed by the results obtained by the 3D-PTV. Measurements on the electric power-consumption was also carried out in order to evaluate the improvements of the flow characteristics. It was verified that 3% of power consumption was saved by improving the flow passages and characteristics.

**Key words:** 3D-PTV, Refrigerator(냉장고), Helium-Bubble generator(헬륨 기포 발생기), Power measurements(전력측정)

### 1. 서 론

환경 및 에너지문제와 관련한 사항은 가전기기  
에 있어서 필수적으로 고려되고 있다. 공기를 유  
동의 매개체로 하는 가전기기(에어컨, 냉장고, 공  
기청정기 등)에 있어서 친환경 및 에너지절약형  
설계를 위해서는 기류에 대한 정확한 해석이 필  
요하다.

오늘날 가정용 냉장고에서 에너지를 절약하기  
위한 방법으로 이중회로(dual-loop cycle)방법<sup>(1,2)</sup>  
이 연구되고 있다. 그러나 이중회로 싸이클의 경  
우는 2개의 압축기가 사용되기 때문에 성능에 있  
어서의 이득에도 불구하고, 구성시의 부대비용이  
증가하는 문제로 인해 효용성이 문제시되어 왔다.  
반면 냉장고 내의 냉기유동을 정량적으로 해석함  
으로써 냉기의 분배계통의 개선을 통해서 부대비  
용의 증가 없이 약간의 개선만으로도 에너지효율  
을 증가시킬 수 있다. 이를 위해 필수적으로 선  
결되어야 할 문제는 유동예측기술이다.

열유체기기 등에서 나타나는 유동장에 대한 예

† Corresponding author

Tel.: +82-51-410-4364; fax: +82-51-405-5991

E-mail address: doh@mail.hhu.ac.kr

측에는 CFD(computational fluid dynamics)에 의한 해석<sup>(3,4)</sup>이 주류를 이루고 있으나, 유로 및 형상이 매우 복잡할 경우에는 정확성이 많이 떨어지게 되므로 실험계측에 의한 방법에 의존할 수밖에 없다.

최근 미소입자를 유동장에 투입한 다음 광원과 카메라로 가시화한 영상으로부터 유동장의 속도분포를 얻어 낼 수 있는 PIV 계측법<sup>(5)</sup>은 유동장 전체에 걸쳐서 속도분포를 얻어 낼 수 있다는 점, 시간변화에 따른 속도분포를 얻어 낼 수 있다는 점으로부터 공학의 다양한 분야에 적용이 되고 있으나 가전기기 등과 같이 복잡한 형상의 유로를 지니는 경우에는 2차원적인 측정에 의존해 왔다.<sup>(6,7)</sup> 냉장고 내부의 냉기류와 같은 유동장은 강한 3차원성을 지니고 있을 뿐만 아니라 냉장고 내부의 냉기순환조건에 따라 유동특성이 매우 복잡 다양하므로 수치계산에 의한 모사보다는 냉장고 내부 전체에 걸친 3차원적 실험측정 결과에 의하는 것이 냉기류 특성해석에 유리하다.

한편, 3D-PTV(particle tracking velocimetry) 측정법<sup>(8)</sup>은 측정영역 전체에 걸친 공간에 대하여 속도 3성분측정이 가능한 현실적으로 실용성이 매우 높은 유일한 측정법이다. 본 연구에서는 이를 이용하여 냉장고 내의 냉기류 측정을 통한 기류 특성과의 결과를 기반으로 냉기류 개선을 수행함으로써 소비전력 저감을 달성하고자 하는 것을 연구의 목적으로 삼고자 한다. 즉, 기존모델에 대한 3차원 PTV 측정을 통하여 소비전력 저감에 좋지 못한 유동특성을 파악한 다음 이를 개선함으로써 소비전력 저감효과를 달성하고자 한다.

## 2. 실험장치 및 방법

### 2.1 3D-PTV 실험

Fig. 1은 가시화 실험을 위해서 냉장고 뒷면과 바닥면을 제외한 모든 면들을 단열이중유리 가시화창으로 제작한 모델을 보여주고 있다. Fig. 2는 실제 냉장고 내부 냉기류 특성을 가시화 측정하기 위하여 구성된 3D-PTV 시스템을 나타낸다. 계측시스템은 2대의 1K×1K CCD 카메라(Kodak ES 1.0 PIV), 2개의 이미지그래버, Nd/Yag Laser (120 mJ)와 이들 장비를 동기시키는 LC880 및 호스트 컴퓨터로 구성되어 있다. 레이저와 카메라

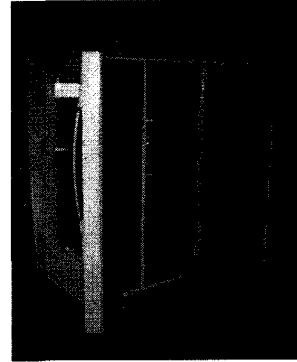


Fig. 1 Refrigerator model for visualization.

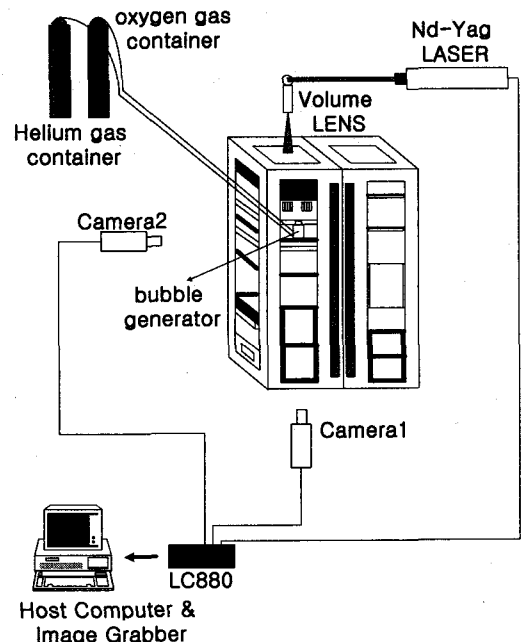


Fig. 2 3D-PTV system measurement setup.

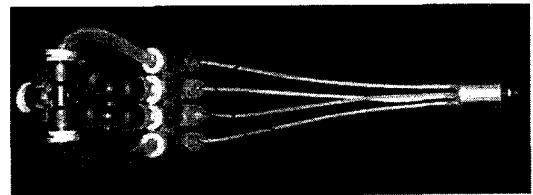


Fig. 3 Helium bubble generator.

간의 동기화는 LC880을 사용하였으며,  $dt=4,000$  us로 설정하였다.

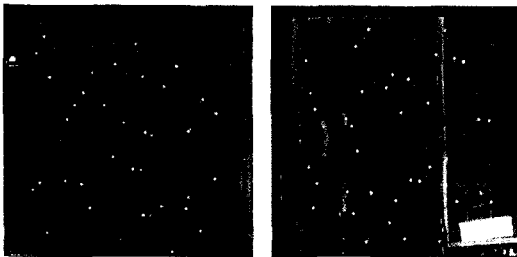
실내의 기류운동을 3차원 재현하기 위하여 Fig. 3과 같이 헬륨기포 발생장치를 제작하였다. 기포가 발생하는 노즐(외경 1.7 cm, 길이 0.9 cm)은 1개의 헬륨가스주입구(공급압 5 kg/cm<sup>2</sup> 내외), 2개의 산소가스주입구(공급압 3 kg/cm<sup>2</sup> 내외), 1개의 액주입구(공급압 2 kg/cm<sup>2</sup> 내외)로 구성되는데 이들의 통로 내경은 1 mm 정도이다. 기포가 노즐로부터 발생되어 분출되는 속도의 영향을 최대한 줄이기 위하여 2개의 산소가스주입구로부터 공급되는 산소는 노즐 끝단에서 방사상으로 분출되도록 하였다. 또한 기포가스가 표면장력 등에 의하여 쉽게 파괴되지 않도록 기포가스액은 세제, 설탕, 물을 적정비율로 혼합한 액을 사용하였다. 발생하는 헬륨가스기포의 크기는 직경이 약 1~2 mm 정도로 분당 약 500개 전후였으며, 가시화 실험은 실내에 충분한 기포가 채워졌을 때 수행하였다. 한편, 헬륨가스의 사용은 냉기류와의 밀도차를 줄여 기포의 냉기류에 대한 추종성을 향상시키고 동시에 표면장력에 의한 깨짐 현상을 줄이기 위함이다.

기류의 3차원적 거동측정은 기류와 같이 유동하는 헬륨기포들의 시간에 따른 공간이동량을 계산함으로써 가능해진다. 즉, Fig. 2에 설치된 2대의 카메라를 통하여 저장된 헬륨기포운동의 영상을 이용하여 3D-PTV 계산을 수행함으로써 기류의 3차원적 거동을 측정할 수 있게 된다. 3D-PTV 계산을 위해서는 물리좌표계에 대한 2대의 카메라의 파라미터(상대적 위치, 기울기, 렌즈 왜곡량)가 구해져야 한다. 이를 위하여 기지(既知)의 3차원 위치정보를 가진 36개의 기준점이 설치된 교정기(높이 30 cm 직경 25 cm의 원통)를 냉장고 내부에 설치한 다음 이들 기준점들의 영상을 이용하여 카메라의 파라미터를 구하였다. Fig. 4

는 교정기 기준점들에 대한 각 카메라의 영상을 나타낸다. 이들 기준점들의 사진좌표와 3차원 위치를 이용하여 카메라의 파라미터를 구하였다. 헬륨기포들의 3차원 위치( $X_P, Y_P, Z_P$ )는 2대의 카메라(A, B)의 파라미터와 헬륨기포의 카메라 영상에서의 사진좌표로부터 구해지는데, 최종의 3차원 위치는 식(1)로 표현된 두 대 카메라 공선 간의 중점으로 정의하였다.

$$\begin{bmatrix} X_P \\ Y_P \\ Z_P \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \left\{ \begin{bmatrix} X_A \\ Y_A \\ Z_A \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_B \\ Y_B \\ Z_B \end{bmatrix} \right\} \quad (1)$$

여기서, ( $X_A, Y_A, Z_A$ )와 ( $X_B, Y_B, Z_B$ )는 각 카메라(A, B)의 파라미터와 헬륨기포의 사진좌표로부터 구해지게 되는 공선(collinear) 벡터를 나타내는데, 기포의 3차원 위치는 식(1)로 표시되는 두 카메라 영상으로부터 구해지는 두 공선의 교점으로 정의된다.<sup>(8)</sup> 헬륨기포들의 3차원 속도벡터는 2시각분의 카메라 영상으로부터 기포들의 3차원 위치이동량 계산에 의하여 구해지게 되는데, 이를 위해서는 2시각 사이에서 수많은 기포입자들 가운데 동일한 입자들을 가려내어야 할 필요가 있다. 본 연구에서는 동일입자를 가려내기 위하여 Doh et al.<sup>(9)</sup>이 적용한 유전알고리즘을 적용하였다. PTV를 위한 유전알고리즘(GA)의 계산에 관한 간략한 과정은 다음과 같다. GA 계산을 위하여, 제 1 카메라와 제 2 카메라의 2시각분의 입자영상의 사진좌표를 유전자(gene)로 하고 이들의 집합을 염색체(chromosome)로 하였으며 염색체들의 집합을 개체(individual)로 정의하였고, GA 계산의 연산자로서 생성(production), 격리(isolation), 재생산(reproduction), 교배(crossover) 및 이주(migration)를 적용하였다. GA 계산에서의 적합함수(fitness function)로서는 각 카메라 공선의 조건식에서 두 직선 간의 최단거리를 나타내는 함수와 유체연속식을 나타내는 함수를 적용하였다. 이 적합함수들이 최소의 값을 지니도록 GA 연산자들을 적용하여 반복 계산함으로써 최종적인 입자쌍이 구해지게 된다.



(a) Camera 1                      (b) Camera 2

Fig. 4 Calibrator image.

2.2 소전실험

Fig. 5는 소전실험을 위한 장치를 나타낸다. 실

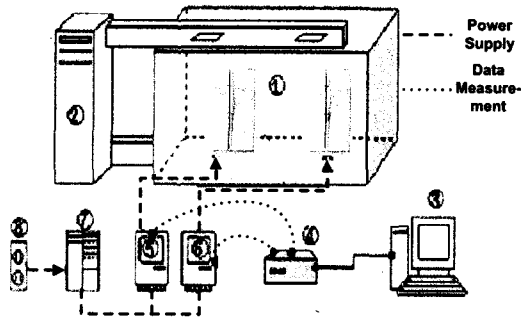


Fig. 5 The measurement system.

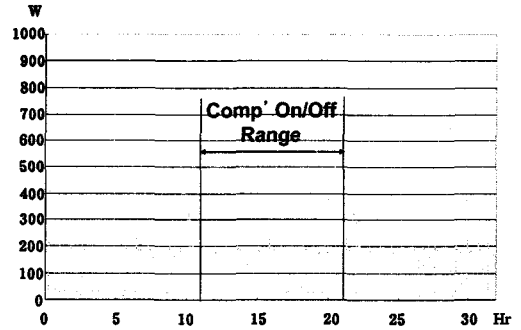


Fig. 6 Data sampling range (steady range).

Table 1 Specification of measurement system

No	Name	Specifications
1	Chamber room	30±1℃, Humidity 75±5%
2	Chamber controller	Temperature 10~35℃, Humidity 60~95%
3	Computer	Pentium IV
4	Data logger	DS-600 (YOKOGAWA 60 ch), Thermocouple (T-type)
5	Power meter for A ref.	WT-200 (YOKOGAWA)
6	Power meter for B ref.	WT-200 (YOKOGAWA)
7	AVR	3 kVA, Output V : 220 V ± 2%
8	Power supply	220 V, 60 Hz

험의 재현성을 위하여 냉장고 2대를 향온향습실에 넣어서 실험을 수행하였으며, 향온향습실 및 측정기의 사양은 Table 1과 같다. 실험은 실제 사용조건하에서 냉장고 표준시험 KS C9305에 의거하여 Chamber room 내부온도 30±1℃, 습도를 75±5% 범위 내로 조정후 냉장고 F실(냉동실), R실(냉장실)을 -18±0.5℃, 3±0.5℃로 일정하게 유지하고 T-Type의 Thermocouple을 Data logger와 각 시료냉장고의 냉동실 및 냉장실에 위치한 내부공간에 연결하여 온도를 측정하였다. 또한 전력량은 각각의 시료(냉장고)에 일정하게 공

급되는 전력을 측정하기 위해 정전압계(AVR)의 출구단과 Data logger에 직접적으로 연결하여 소비전력량을 계측하였다. Fig.6에 나타낸 것과 같이 압축기 On/Off시 제상(defrost)과 다음 제상 사이를 안정구간으로 설정하여 KS C9305에 의거하여 그 기준에 따라 구간 내의 Data를 취득하였다. 온도측정은 냉장실 및 냉동실 각각 선반부 3개와 Chamber room 내 임의의 위치 4개로 정하여 총 10개 포인트에 대하여 온도를 측정하였다. 실험 측정의 반복성(repeatability) 및 재현성(reproducibility)을 확인하기 위하여 전압, 압축기 작동시

Table 2 Repeatability of system operation

Items	Unit	Average	Test 1	Test 2	Test 3	Test 4	Test 5
Voltage	V	222.7	222.4	223.0	222.8	222.7	222.6
Power at comp. on	W	184.2	183.9	184.0	184.5	184.4	184.3
Power at comp. off	W	25.4	25.4	25.5	25.1	25.4	25.5
Accumulated power	Hr	10.7	10.7	10.8	10.7	10.7	10.7
Ave. temp. in chamber room	℃	30.3	30.2	30.2	30.2	30.5	30.4
Ave. temp. in freezing room	℃	-18.1	-18.1	-18.1	-18.1	-18.1	-18.1
Ave. temp. in ref. room	℃	2.5	2.5	2.6	2.6	2.5	2.5

Table 3 Reproducibility of temperature measurements (°C)

Measurement points	AVG	Person 1	Person 1	Person 2	Person 2	Person 3
	Comp-on	Comp-on	Comp-on	Comp-on	Comp-on	Comp-on
F-room shelf (Upper)	-15.6	-15.5	-15.6	-15.6	-15.6	-15.6
F-room shelf (Middle)	-17.0	-16.9	-17.0	-17.0	-17.0	-17.0
F-room shelf (Lower)	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8	-17.8
R-room shelf (Upper)	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0
R-room shelf (Middle)	2.5	2.5	2.5	2.5	2.5	2.6
R-room shelf (Lower)	2.5	2.5	2.5	2.4	2.5	2.5
Chamber inner (1)	30.5	30.2	30.2	30.8	30.6	30.6
Chamber inner (2)	30.1	29.8	29.8	30.5	30.3	30.3
Chamber inner (3)	31.2	30.9	30.9	31.6	31.3	31.3
Chamber inner (4)	31.0	30.7	30.7	31.3	31.2	31.1

(comp. on)의 입력전력과 작동하지 않을 시의 대기전력, 그리고 안정구간으로 설정한 구간의 적산량시간, 항온실 내부온도 및 냉장고 내 온도(average temp. in freezing and refrigeration rooms: f-room, r-room)에 대하여 측정자간 비교실험을 수행하였다. Table 2 및 Table 3은 이들 측정치를 나타내는데 반복성 및 측정자간 재현성이 있음을 알 수 있다.

2.3 3D-PTV에 의한 소전성능 개선과정

Fig. 7은 3D-PTV 측정실험과 소전실험 과정을 통하여 소비전력 저감을 달성하기 위한 과정을 나타낸다. 냉장고 실내기류의 특성에 크게 영향을

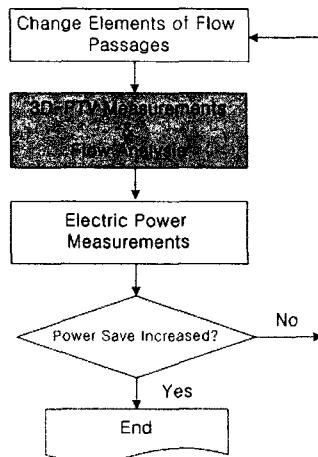


Fig. 7 Procedure for power saving improvements with 3D-PTV and power test.

Table 4 Elements for improvements

Part name	Elements
Eva room	Passage shape, size
Freezing room (F room)	Air inlet size, location
Refrigeration room (R room)	Air inlet size, shape

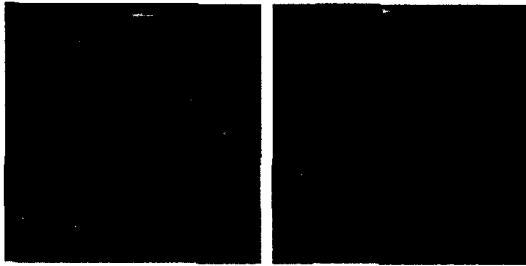
미칠 수 있는 요소의 크기 및 형상을 변화시켜 가면서 3D-PTV 측정결과로부터 기류특성을 파악한 다음, 이를 바탕으로 소전성능을 평가함으로써 최종적인 크기 및 형상을 결정하였다. 본 연구에서는 Table 4에 나열되어 있듯이 냉동실에 흡입되기 전의 증발기실의 냉기통로의 크기 및 형상, 냉동실 유입구의 크기 및 형상, 냉장실 냉기유입구의 크기 및 형상을 변경요소로 하여 소전성능을 평가함으로써 개선하는 방식을 수행하였다.

3D-PTV 측정은 측정영역의 제약을 고려하여 냉동실 상, 중, 하부의 3개의 선반부로 나누어서 수행하였다.

3. 실험결과

3.1 3D-PTV 측정결과

Fig. 8은 기존모델의 중앙선반부의 두 카메라에 대한 영상을 나타낸다. Fig. 9의 (a)는 이들 두 카메라의 영상을 3D-PTV 계산에 적용하여 얻어낸 3차원 순시 속도장을 나타내는데 한번의 측정으로 500개 전후의 속도벡터가 얻어지게 된다. (b)는 이들 3차원 순시속도장을 이용하여 격자상으로 보간 변환한 속도장으로부터 얻어낸 순시 3차원 난



(a) Camera 1 (b) Camera 2

Fig. 8 Raw image viewed by the two cameras for the middle shelf.

류강도분포를 나타낸다. (a)의 그림에서 오른쪽 벽이 냉동실의 문쪽을 나타내는데 그림에서도 알 수 있는 바와 같이 중앙선반부에서 토출되어진 냉기가 냉동실 문에 충돌반사되고 있음이 보인다. 이와 같은 속도장을 냉동실 상·중·하의 선반부 모두에 대하여 구한 다음 냉기류 특성을 평가하였다. 본 보고에서는 지면관계상 냉동실 중앙선반부의 결과에 대하여만 기재하고자 한다.

개선을 위한 모델설정 기준 철학으로서 증발기를 통과하는 냉기류를 냉장실에 골고루 분배하여

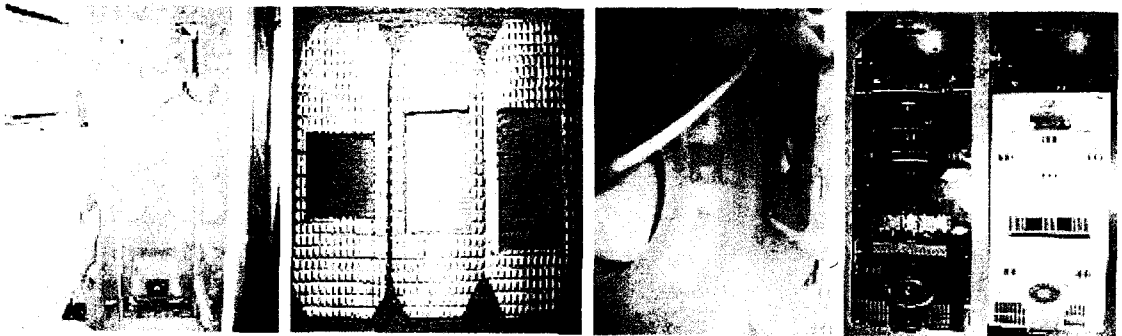


(a) Instantaneous 3D (b) Vorticity distribution vector field

Fig. 9 3D-PTV measurement results.

냉장실 내부의 기존 기류와 효율적으로 혼합시킨 다음 빠른 시간 내에 증발기실로 재차 순환시키느냐에 초점을 맞추었는데 생산현장에서 현실적으로 조정이 가장 용이한 변수들만을 골라낸 결과, 증발기실 유로단면적 및 냉장실과 냉동실 간의 통로면적으로 나타난 관계로 이들을 모델변수로 정하였다.

Fig. 10은 본 실험에서 사용된 소비전력 저감을 위한 아이템들로서, (a)는 증발기실(eva room)의 유로형상 변경, (b)와 (c)는 냉장실로의 냉기유출



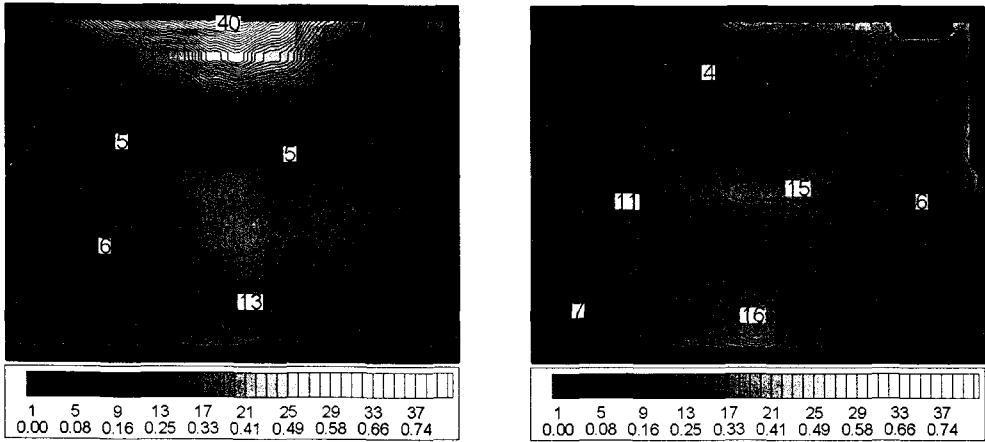
(a) Modified eva room (b) Modified passage (c) Setup of pathway (d) Modified F panel

Fig. 10 The items of reducing power consumption.



(a) Basic model (b) Modified eva room (c) Modified passage (d) Combined (b) & (c) (e) Combined all items

Fig. 11 Path line at the center section of the middle shelf.



(a) For case (a) of Fig. 11

(b) For case (e) of Fig. 11

Fig. 12 Turbulent intensity distribution ( $u'$ ).

구(passage) 크기 변경, (d)는 냉동실 내 냉기를 공급하는 패널(panel)의 형상 변경 아이템을 각각 나타낸 것이다.

Fig. 11의 (a)~(f)는 중앙단면에서 약 2초간의 냉기류 이동경로를 path line으로 표현한 것으로 실제 실험공간에서의 냉기류동 패턴을 잘 보여주고 있다. Table 4에 나열되어 있는 아이템들을 변경한 모델마다 유동의 양상이 매우 다를 수 있다. (a)는 기존모델의 경우, (b)는 Fig. 10(a)의 아이템, (c)는 Fig. 10(b)의 아이템, (d)는 기존모델에 Fig. 10의 (a)와 (b) 아이템을 동시에 적용한 경우의 냉동실 중앙선반실에서의 유동형태를 보이고 있다.

모델변경 전의 유동은 좌측 중앙에서 제트유동과 같은 냉기류가 토출되고 있음을 알 수 있는데, 모델변경에 의하여 강한 제트유동토출에 따른 순환유동이 약화되는 양상을 보이고 있다. (c)는 냉동실에서 냉장실로 냉기가 공급되는 통로(passage) 단면적을 줄여서 필요 이상의 냉기가 냉장실로 유출되는 것을 방지한 모델로써 냉동실내 냉기 유입량의 증가에 따른 토출구에서 토출되어진 냉기 Jet가 확산이 이루어진 상태에서 넓은 영역에 걸쳐 냉기가 유입되고 있다. 아울러 상부 천정부에서 반사되어 오는 강한 냉기와 함께 냉동실 내에 냉기류가 균일하게 분포되어 있음을 알 수 있다. (d)는 기존모델에 (b)와 (c)를 동시에 적용한 모델로써 유동경향이 (b)와 유사한 것으로 보아 (b)의 영향이 지배적임을 확인할 수 있다. (e)는 기

존모델에 유로개선요소 모두를 적용한 모델로써 유동 경향을 살펴보면 역시 (b)가 지배적임을 확인할 수 있으며, (b)에 비해서 토출되는 토출기류 세기 및 양과 천정부를 통해 반사되는 냉기세기 및 양이 상대적으로 줄어드는 것을 알 수 있었다.

Fig. 12의 (a)와 (b)는 변경 전의 모델과 모든 요소를 고려한 모델에서의 실제 계측되어진 속도 결과를 이용하여 구한 U방향 난류강도 분포를 나타낸다. 개선된 후의 난류강도분포는 개선 전의 난류강도분포보다 공간에 균일하게 분포되어 있음을 알 수 있는데, 난류운동에너지도 동일한 양상을 보였다. 이는 실내의 난류강도분포의 균일성의 향상은 냉기류의 단위시간당 열-물질 교환량의 향상과 연관되어 있음으로 인하여 궁극적으로는 소비전력 저감효과 향상에 기여한다고 볼 수 있다.

### 3.2 소전실험 결과

냉장고의 소비전력 및 효율은 외기온도, 즉 챔버 내부의 온도에 지배적 영향을 받는다. 이에 KS에서는 챔버 내 온도를 규정하였으며, 규정 내에서 소비전력을 측정하도록 하고 있으나, 실제 실험에 있어서 규정온도 내의 온도편차에 따른 소비전력측정에 상당한 영향을 미치고 있다. 따라서 보다 정확한 기준값 설정이 요구되어지며, 이를 위해 반복행한 기존모델의 소비전력 측정데이터를 통하여 규정온도에 따른 소비전력을 구한 다음 이를 바탕으로 실제 소전실험에서 발생하는

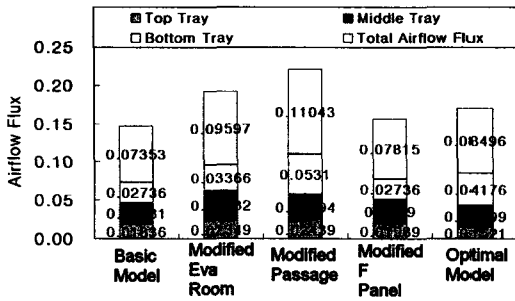


Fig. 13 The airflow flux in each component.

챔버 내 온도의 미묘한 변화에 따른 소비전력을 보정하였다.

기본모델과 개선모델간의 성능평가의 한 방법으로 각 선반에서의 상대적인 풍량변화를 살펴보기 위하여 열선풍속계(climomaster: Kanomax 6511)를 사용하여, 토출구의 중앙에서 토출되는 유량을 측정하였다. 토출유량은 아래 식(2)로 정의하였다.

$$Q = 60 \times A \times V \quad (2)$$

- Q : 풍량(CMM : m<sup>3</sup>/min)
- A : 토출구 단면적(m<sup>2</sup>)
- V : 토출 속도(m/s)

전반적으로 기본모델 대비 개선모델들의 풍량이 증가하였다. Fig. 13은 측정한 각 모델별 풍량측정 결과를 나타낸다. 전체풍량을 살펴보면 기본모델 대비 증발기실 유로면적비를 개선한 모델에 대해

서는 약 30.5%, 냉장실 냉기 유출구 개선모델의 경우는 약 50.2%, 최적모델의 경우 15.5%가 증가하였다. 모든 개선모델들의 풍량이 냉동실 하단으로 내려갈수록 증가하는 경향을 보이고 있으며, 최적모델의 경우 기본모델과 유사한 비율을 보이나 풍량은 전체적으로 증가하는 것으로 나타났다. Table 5는 기본모델 및 개선모델에 대한 고내온도, 챔버온도 및 압축기의 운전율을 나타낸 것으로, 운전율이 낮아질수록 소비전력이 저감된다. 증발기실 유로면적비를 줄여서 내부 정압을 상승시킨 모델의 경우 운전율이 가장 낮으며, 이는 3D-PTV 측정결과에서 확인되었는데, 증발기실 유로면적비의 변경(줄임)과 동시에 냉장실 유입구면적을 변경하였을 때에 난류운동에너지 분포가 균일하였다. 이는 냉장고 내의 온화한 기류와 새로이 유입된 냉기류와의 열에너지 교환에 있어서의 효율향상을 의미한다고 볼 수 있으며 결국, 증발기를 통과한 냉기의 측면에서는 효율적 열교환을 한 다음 증발기로 되돌아오게 된다는 의미로 볼 수 있다. 따라서 이 모델이 소전저감을 위한 가장 큰 지배요소임을 확인할 수 있었다.

Table 6은 실제 측정된 월간 소비전력량과 이때의 전력감소분을 나타낸 것으로, 증발기실 유로면적비를 개선하여 내부정압을 상승시킨 모델이 월간 전력소비량이 최소이며, 이때 저감률이 약 2.4%였다. 이는 3D-PTV 가시화 측정결과에서도 확인되었다. 모든 아이템들을 결합한 모델의 경우는 전력 저감률이 2.9%이었다.

Table 5 Measured temperature on various models(°C)

Items	Basic model	Modified eva room	Modified passage	Modified F panel	Optimal model
F-room 1/3 h	-18.2	-17.6	-18.4	-18.0	-17.7
R-room 1/3 h	2.5	1.9	2.2	2.2	1.8
Chamber inner	30.5	30.0	29.8	30.4	30.2
Operation rate (%)	56.0	53.1	54.3	55.6	53.5

Table 6 Power consumptions on models (kWh/Month)

Revised model	Items			
	Basic model	Revised model	Saving	Reduced rate (%)
Modified eva room	82.7	80.6	2.1 ↓	2.4 ↓
Modified passage	82.1	81.1	1.0 ↓	1.2 ↓
Modified F panel	83.7	82.8	0.9 ↓	1.1 ↓
Optimal model	83.2	80.8	2.4 ↓	2.9 ↓



#### 4. 결 론

기존모델에 비해 개선모델에서의 난류집중현상이 상당부분 해소되었으며, 소전실험의 결과도 기존모델 대비 최적모델이 2.9% 감소되었다. 실험 결과 고내에 기존모델보다 균일하게 난류가 분포되었음을 확인하였다. 이는 난류용집에 따른 국부적인 빙결 및 서리의 생성을 줄여 줄 수 있으며, 균일한 난류분포는 냉기류가 고내에 균일하게 분포함을 시사한다. 균일한 냉기류의 분포는 균일한 온도를 유지할 수 있다는 것을 의미한다. 이는 결국 균일한 온도유지에 따라 냉동실 내 온도가 상승하는 시간을 줄이게 되며, 그만큼 압축기의 운전율이 낮아짐을 의미하며 소비전력 저감 효과를 얻을 수 있다. 이처럼 가시화 실험을 통한 난류강도분포와 소전실험과의 연관관계를 직·간접적으로 확인할 수 있었으며 구체적인 성과는 다음과 같다.

(1) 3D-PTV 기법을 적용한 고내 유동 가시화 실험으로 고내 기류특성을 개선할 수 있었으며, 이로 인하여 소비전력을 저감시킬 수 있는 최적의 모델을 선정할 수 있었다.

(2) 국소적인 난류강도분포가 강할 때에는 소전감소에는 도움이 되지 않았으며, 난류강도분포가 전역에 걸쳐서 균일할 때에는 소전감소에 도움이 됨을 확인하였다.

(3) 냉장고의 소비전력 저감을 위하여 3D-PTV 결과로부터 기류의 특성을 파악한 다음 이를 바탕으로 커다란 기계적 변형 없이 기류개선을 위한 유로변경만으로 3% 정도의 소비전력을 감소시킬 수 있었다.

#### 후 기

본 연구는 (주)LG전자의 지원에 의하여 수행되었으며 이에 감사드립니다. 또한, (주)티엔텍의 조경래 박사님, 편용범 연구원, 조용범 연구원의 기술적 지원에 깊은 감사를 드립니다.

#### 참고문헌

1. Won, S., Jung, D. and Radermacher, R., 1994,

An experimental study of the performance of a dual-loop refrigerator/freezer system, *International Journal of Refrigeration*, Vol. 17, No. 6, pp. 411-416.

2. Bare, J. C., 1992, Simulation results of single refrigerants for use in a dual-circuit refrigerator/freezer, *Journal of the Air & Waste Management Association*, Vol. 42, No. 2, pp. 185-186.
3. Oh, M. J., Lee, J. H. and Oh, M. D., 1995, Analysis on the three-dimensional flow characteristics in the inner flows of refrigerator (I), *Journal of SAREK*, Vol. 7, No. 3, pp. 382-395.
4. Eom, Y. S., Boo, J. S. and Yoon, I. C., 2000, Numerical analysis of fluid flow in freezer duct of refrigerator, *Journal of KOSME*, Vol. 24, No. 4, pp. 509-514.
5. Adrian, R. J., 1991, Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics, *Annu. Rev. Fluid Mech.*, Vol. 23, pp. 261-304.
6. Baek, S. J., Lee, I. S. and Jung, M. K., 1999, Analysis of the inner flows of a refrigerator using PIV, *Proc. of SAREK Summer Annual Conf.*, pp. 1014-1019.
7. Doh, D. H., Hwang, T. G., Pyeon, Y. B., Chang, S. W., Baek, S. J., Kim, J. J. and Moon, J. S., 2002, A study on the relations between freezing and flow characteristics in refrigeration compartment with PIV, *Proc. of SAREK 2002 Summer Annual Conf.*, *Yongpyong Resort, Korea*, Vol. 2, 2002, 6, 27-29, pp. 809-814.
8. Doh, D. H., Kim, D. H., Cho, K. R., Cho, Y. B., Saga, T. and Kobayashi, T., 2002, Development of genetic algorithm based 3D-PTV technique, *Journal of Visualization*, Vol. 5, No. 3, pp. 243-254.
9. Doh, D. H., Hwang, T. G. and Saga, T., 2004, 3D-PTV measurements of the wake of a sphere, *Measurement Science and Technology*, Vol. 15, No. 6, pp. 1059-1066.