

PIV에 의한 냉장고 기류특성 평가방법

김석로*, 도덕희**, 이재근***, 김경천***

*LG전자 냉장고사업부, **한국해양대, ***부산대

A Diagnostic Technique for the Air Flow Characteristics in Refrigerators using PIV

Seok-Ro Kim, Deog-Hee Doh, Jae-Keun Lee, Kyung-Chun Kim

ABSTRACT: A PIV(Particle Imaging Velocimetry) diagnostic technique for the evaluation of the flow characteristics in refrigerator is introduced. Smoke particles of which density is small enough to follow up the air flow are used for visualization of the air flows in the refrigerators. A rectangular room model is tested for the verifications of the dignostic technique. By evaluating the turbulent intensity and the deviation value of the turbulent intensity distribution that were obtained from PIV results, an optimal ventilating condition is suggested. The constructed technique is used for the diagnostics on the flow of an actual refrigerator. It has experimentally proved that the present technique is able to evaluate the ventilation conditions of refrigerators.

Key words: PIV(Particle Imaging Velocimetry)(입자영상유속계), Ventilation characteristics(환기특성), Rectangular room model(장방형 실내모델), Turbulent intensity(난류강도), Refrigerator(냉장고)

1. 서론

가정용 냉장고의 성능개선에 대한 연구로서 소비전력과 소음저감이 대표적이다⁽¹⁾⁽²⁾⁽³⁾. 에너지 소비에 대한 제품의 규제가 전 세계적으로 강화되어 가고 있는 이후로부터 이와 관련한 연구들이 더욱 많이 시행되고 있다. 냉동실내 냉기온도의 균일하고 적절한 분포는 냉동실과 냉장실의

온도변화를 줄이고 음식물의 신선도를 증가시킬 뿐만 아니라 소비전력저감도 향상시킨다. 한편, 고객들의 생활수준향상은 단순한 냉장기기로서의 기능이 아니라 성능에 대한 관심 또한 불러일으켜 왔다. 특히, 빙결현상은 비교적 큰 불만요소중의 하나로 되어 왔다. 지금까지의 냉장고 냉기공급을 위한 덕트시스템에 대한 연구는 시행착오를 거친 경험에 의하여 설계되어온 관계로 덕트시스템의 변경에는 많은 시간과 경비가 들었다. 이와 같이 냉동실의 결빙현상을 줄이기 위한 유로와 냉동실의 흡입 및 토출구 형상에 대한 설계를 위해서는 충분한 실험을 요하는 관계로 기존의 실험도구인 열선유속계, LDV 등에 의한 방법으로

† Corresponding author

Tel.: +82-55-260-3358; Fax: +82-55-282-5582
E-mail address: kim3242@lge.com

는 짧은 시간내에 시스템변경사양에 따른 유동특성을 파악하기란 어렵다. 오⁽⁴⁾ 등은 460ℓ급 냉장고 내부형태를 단순화하여 수치해석에 의한 순환운동을 3차원적으로 재현하였고, 엄⁽⁵⁾ 등은 냉장고의 냉동실내 냉기덕트 내부에 대한 유동해석을 실시하였다. 이⁽⁶⁾ 등은 점계측(열전대 온도계측)에 의한 방법과 수치해석에 의한 방법을 동원하여 빙결현상메커니즘에 대한 고찰을 시도하였다. 냉기류해석을 통한 빙결현상을 해석하려는 시도는 많이 있어왔으나, 각각의 연구는 냉장고모델별로 문제시 될 수 있는 요인으로 간주될 수 있는 정체지점의 저감방안, 와류형성 지역의 저감방안 등을 제안함으로써 빙결현상을 저감시켜 온노력들이었다. 이처럼, 빙결현상과 관련된 냉기유동의 좋고 그름에 대한 평가기준이 없는 관계로 시간과 비용의 투입이 적지 않았다.

본 연구는 냉기유동의 특성이 빙결저감과 관련되는 냉장고 내의 온도균일성, 난류강도균일성 등을 고려한 기류평가법을 제안하고자 하는 것에 연구의 목적이 있다.

먼저 냉장고 내부의 다양한 흡입 토출조건을 형성할 수 있는 밀폐모델 내부에 있어서의 환기특성 평가를 통하여 기류특성 평가법을 완성하고, 다음으로 구축된 평가법을 실제 냉장고에 적용한 다음, 실측한 온도분포와의 상관관계를 통하여 구축된 평가법의 타당성을 논하고자 한다.

2. 기류특성 평가법의 구축

2.1 실험장치 및 절차

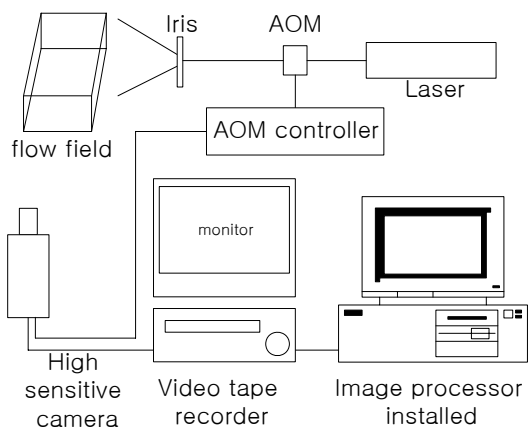


Fig. 1 PIV system schematic.

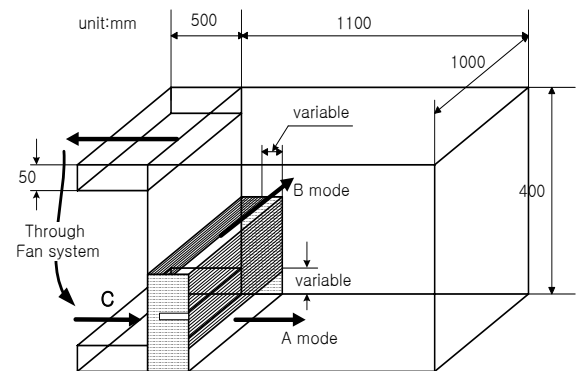


Fig. 2 Closed room model.

Fig. 1은 기류특성을 평가하기 위한 PIV시스템 구성도를 나타낸다. 광원으로서 레이저광원(Ar-ion, 500mW)을 사용하였고 화상의 입력은 고감도카메라(Hamamatsu, Super Eye)를 사용하였다. 화상의 저장장치로서는 VTR (Panasonic, AG7350)과 화상처리장치(Ditect, DT64)의 자체 메모리를 이용하였고 주요 화상처리는 화상처리장치를 장착한 호스트컴퓨터를 통해서 행해진다. 또한 본 연구에서 사용하는 고감도카메라는 적분식이기 때문에 조명의 펄스제어가 반드시 필요하다. 일반 CCD카메라의 경우에는 한 장의 화상에 있어서의 모든 화상정도는 동일 시각에 찍힌 정보로 볼 수 있으나 적분식은 화상의 좌측 최상단과 우측 최하단과의 시간차가 1/60sec를 가지고 있게 된다. 이를 극복하기 위하여 이 시간 사이에 조명되고 있는 연속 광원을 간헐적으로 차단할 수 있는 AOM (Acoustic Optical Modulator) 시스템을 이용하였다. 속도장 계산을 위해서는 전술의 계조치상호상관법⁽⁷⁾⁽⁸⁾을 적용하였다.

Fig. 2는 본 연구에서 구축한 PIV계측시스템으로 실내기류를 계측하기 위한 모델의 형상을 나타낸다. 모델내부의 크기는 가로가 1.1m, 세로가 1.0m, 높이가 0.4m이며 본 모델의 좌측벽면 전체가 기류가 흡입되는 흡입구로 보고 이 벽면의 하부에서 기류가 토출되며 상부에서 다시 흡입이 되는 구조로 되어 있다.

모델의 좌측 상부에는 모델 내부의 기류를 순환시키기 위한 덕트가 설치되며 이 덕트 내부에는 팬(100V, 8W)이 8개 병렬로 설치되어 있다. Fig. 3은 밀폐모델의 천장토출구 및 흡입구의 배치도를 나타낸다. 천장토출구의 개수는 4개이며 직경은 4cm, 상부벽에 있는 흡입구의 개수는 6개

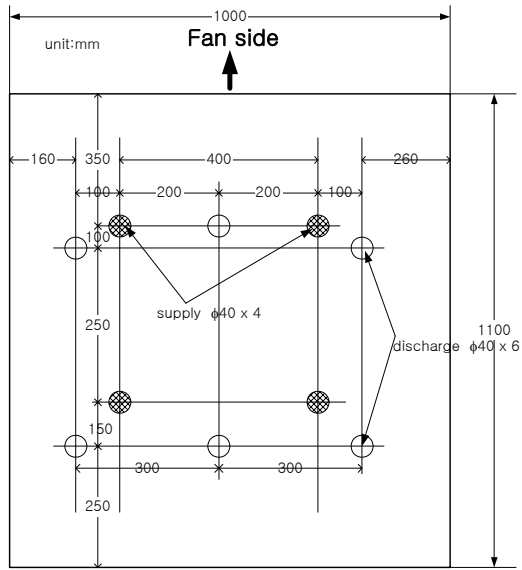


Fig. 3 Arrangement of supply and discharge duct.

이며 직경은 4cm이다. 토출구 및 흡입구의 정압을 일정히 유지하기 위하여 정압용 박스(50cm x 50 cm x 50cm)를 두 개 각각 설치하였다. 천장 토출 및 흡입(밀폐모델의 입장에서는 배출)의 공기량은 송풍기(100V, 32W)에 연결된 슬라이더스(0.5KVA, 0-130V)의 전압을 조정함으로써 조정하였다. Fig. 4는 본 연구에서 제작된 정방형 실내모델의 실험장치 사진을 나타낸다.

실험은 크게 3가지의 환기모드(A, B, C mode)로 나누어서 실험을 실시하였다. A mode는 Fig. 2에 나타낸 바와 같이 벽체에 있는 팬으로부터 오는 공기의 전량을 실내 바닥 쪽으로 토출할 경우를 말하고 B mode는 벽체에 있는 팬으로부터 오는 공기의 전량을 45도 각도로 취출하였을 경우를 말하고 C mode는 A mode 와 B mode를 조합한 형태의 mode를 말하는데, 팬으로부터 오는 공기의 50%는 실내 바닥쪽으로 만 토출하고 나머지 50%를 45도 각도로 토출하였을 경우를 말한다. 이때 팬으로부터 단면평균 취출속도는 약 0.1m/sec, 0.2m/sec, 0.3m/sec로 하였다. 이 속도는 Fig. 2의 C부에서 열선풍속계(TSI, 8357-M-GB)로 측정된 속도를 말한다.

천정에서 토출되는 기류속도는 0.1m/sec, 0.2m/sec, 0.3m/sec로 각각 변화시켰으며, 흡입속도(즉, 밀폐모델로 빠져나가는 속도)도 동일하게 0.1m/sec, 0.2m/sec, 0.3m/sec로 하였다.

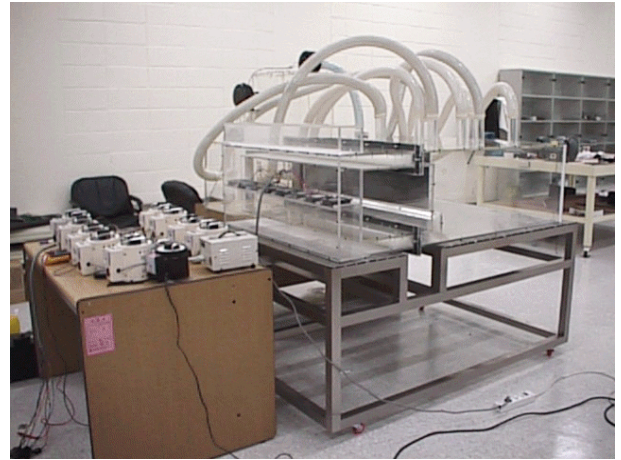


Fig. 4 Picture of experimental apparatus.

이와 같이하여 기류순환 조건이 형성이 되면 다음과 같은 순서로 실내기류의 PIV 계측실험을 실시하였다.

(1)유동장에 공기와 거의 동일한 밀도의 미소입자(Micro-balloon)를 Fig. 2의 팬 상류 측에서 투입한다; (2)측정 대상의 유동장을 레이저광원(Ar-ion Laser, 6W)으로 가시화 한다; (3)고감도 카메라(Hamamatsu, C2847-16)로 가시화된 유동장을 촬영한다;(4)촬영된 화상을 VTR(Panasonic, AG-7350) 및 이미지보오드(Ditect, DT64)에 기록한다. 이미지보오드에서는 화상은 디지털데이터로 전환된다; (5)디지털화 된 화상에 대하여 전술의 계조치상호상관법을 적용하여 속도분포를 계측한다.

한편 얻어낸 순시속도분포에는 잘못된 오류벡터가 포함될 수 있으므로 연속의 범칙에 의거한 오류벡터 제거작업⁽⁹⁾을 실시하였다. 오류벡터 제거작업이 끝난 속도벡터 60set를 시간 평균함으로써 평균속도분포를 얻었고 각 시각에 있어서 순시속도로부터 평균속도를 감산함으로써 변동치를 구하였다 즉, $u' = u - \overline{U}$. 일단, 변동치가 구해지면 난류통계량을 얻어낼 수가 있게 되는데 본 연구에서는 벽체 팬공기에 의한 실내로의 유입 및 유출과 천장 취출 및 배출에 따른 모델 실내공기의 혼합정도를 난류강도를 이용하여 판정하였다.

본 실험에서 구축된 밀폐 실내모델에 대한 적정의 기류순환 상태를 평가하는 목표치로서 식(1) 및 식(2)와 같이 공간평균 난류강도(Spatial Mean Turbulent Intensity: SMTI)와 공간 난류

강도분산치(Variance of Spatial Turbulent Intensity: VSTI)를 정의하였다.

$$SMTI = \frac{1}{m \cdot n} \sum_{i,j=1,1}^{m,n} \left\{ \frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N \left(\frac{\sqrt{u'^2 + v'^2}}{U_o} \right) \right\} \quad (1)$$

$$MTI = \frac{1}{N} \sum_{\tau=1}^N \left(\frac{\sqrt{u'^2 + v'^2}}{U_o} \right)$$

$$VSTI = \sqrt{\frac{1}{m \cdot n} \sum_{i,j=1,1}^{m,n} (SMTI - MTI)^2} \quad (2)$$

여기서, m 및 n은 유동장 전체에 걸쳐서 얻어낸 속도벡터 갯수를 말하며 N은 평균속도벡터를 얻는 쓰인 화상의 수(프레임 수)를 말한다. 본 연구에서는 60장의 화상에 대하여 통계치를 얻어내었다. 적용되는 모델에 대한 적정 공조환경의 목표치는 이 SMTI값이 최대일 때와 VSTI값이 최소일 때로 하였다. 즉, 공간평균 난류강도가 최대가 된다는 것은 벽체 팬으로부터 나온 공기가 모델의 실내공간 전체에 걸쳐서 시간적으로 실내의 공기유동과의 운동량 교환 량이 최대가 됨을 의미하며 이는 벽체 팬을 통과한 공기가 실내의 공기와의 혼합이 가장 잘 됨을 의미한다. 한편 모델의 실내 전체의 운동량 교환이 많다 할지라도 국소적으로는 그렇지 못할 경우가 있으므로 VSTI값을 평가함으로써 실내전체에 걸쳐서 골고루 확산되는 정도를 평가하였다. 즉 VSTI값이 최소가 됨은 모델의 실내전체에 걸쳐서 벽체 팬을 통과한 공기가 공간적으로 가장 잘 확산되었음을 의미하며 이는 이 실내에 존재하고 있는 모든 사람들에게 골고루 공조의 혜택을 받게 함을 의미하므로 적정한 공조의 판정기준에도 적용될 수 있음을 시사한다.

2.2 실험결과 및 검토

실험모델의 환기형태(전술의 A, B, C mode)에 대하여 전술의 벽체 팬으로부터 토출되는 단면평균속도가 0.1m/sec, 0.2m/sec, 0.3m/sec일 때 모델의 천장 토출속도를 0.1m/sec, 0.2m/sec, 0.3m/sec, 천장흡입속도를 0.1m/sec, 0.2m/sec, 0.3m/sec씩 각각 변화시켰을 때 생성되는 내부기류에 대하여 PIV계측을 한 후 각각의 환기조건(총 81가지 환기조건=mode 수 x 벽체 팬

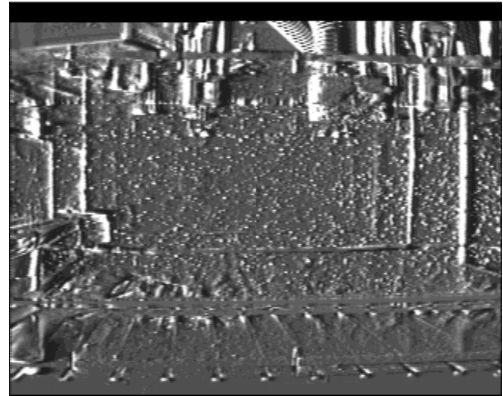


Fig. 5 Original image at the time of t=t₀.

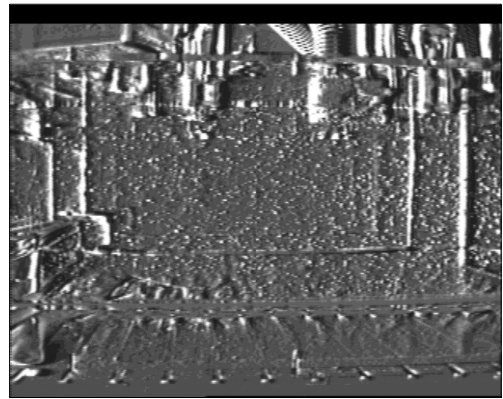


Fig. 6 Original image at the time of t=t₀ + Δt.

단면속도 수 x 토출속도 수 x 흡입속도 수, 3 x 3 x 3)에 대하여 SMTI값과 VSTI의 값을 구하여 보았다. 이들 량에 따른 실내기류의 특성을 정량적으로 평가하기 위하여 SMTI값과 VSTI값이 둘 다 상대적으로 높은 값일 경우를 AA case라하고, SMTI값이 크고 VSTI값이 작을 경우를 AB case라하고, SMTI값이 작고 VSTI값이 큰 경우를 BA case라하고, SMTI값, VSTI값 둘 다 작을 경우를 BB case로 명명하여 각 case에 대한 실내기류의 특성을 평가하였다.

Fig. 7, Fig. 8, Fig. 9, Fig. 10에 이들 4가지 경우에 대하여 평균속도분포를 (a), 공간평균 난류강도분포를 (b)로 분류하여 나타내었다. 그림 (a)위의 화살표와 표시 값은 해당속도의 크기를 나타낸다. 한편 이들 각 조건에서 기록된 화상을 제조치상호상관법에 의해 PIV처리하기 전의 두 시각 분의 순간 원 화상은 Fig. 5와 Fig. 6에 나타내었는데 PIV처리를 하기 위해서는 이들 두 시각 분의 화상에 대하여 배경 및 잡음제거작업

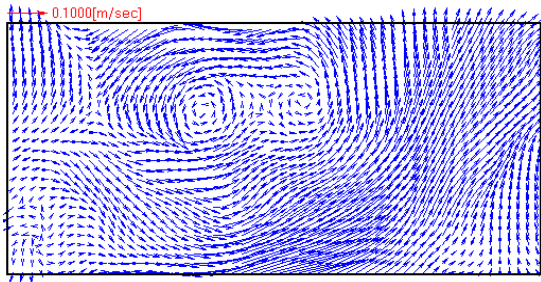


Fig. 7(a) Mean velocity vector(AA case).

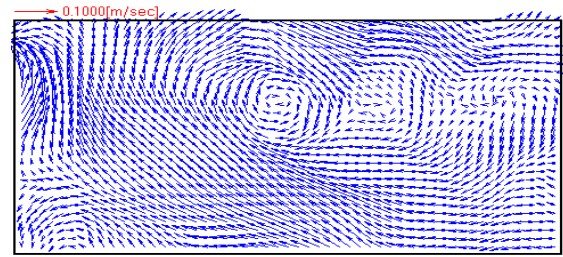


Fig. 8(a) Mean velocity vector(AB case).

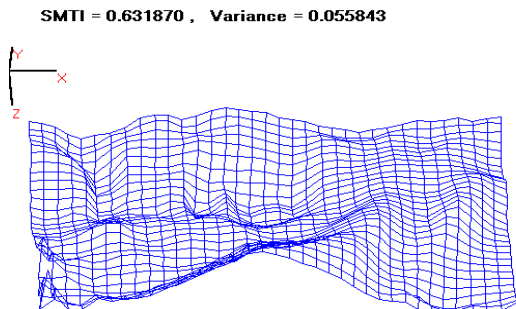


Fig. 7(b) Turbulent intensity distribution(AA).

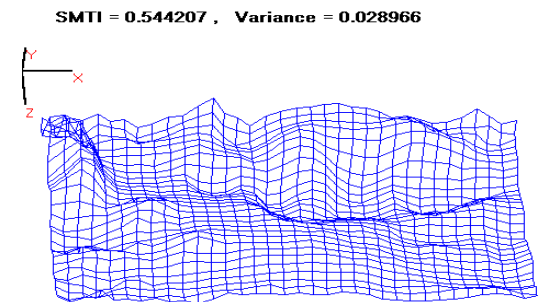


Fig. 8(b) Turbulent intensity distribution(AB).

등의 일련의 화상처리과정을 거치게 된다.

상기 81가지의 환기조건에서의 SMTI값 및 VSTI의 값은 상기 4 경우(AA, AB, BA, BB)중에 하나로 분류될 수 있다. 이들 유동에 대한 PIV 실험결과와 특징을 살펴보면 다음과 같다.

먼저 AA(Fig. 7)인 경우 즉 SMTI값, VSTI값 둘 다 높은 경우는 C mode운전에 해당되는 것으로서 45도로 취출된 공기의 일부가 바닥에서 취출된 공기와 합류함으로써 실내 바닥을 거쳐 강한 기류의 형태로 후부 천장쪽(그림에서 오른쪽 상부)으로 이동함을 알 수 있다. 한편 후부 바닥 쪽에는 벽체 팬으로부터 나온 기류가 거의 도달하지 않음으로서 실내전체에 걸쳐 이 공기의 분배가 골고루 이루어지지 않고 있음을 판단할 수 있다. 이는 Fig. 7(b)에서도 잘 알 수 있는 바와 같이 평균난류강도의 분포가 바닥 중앙부에서 높은 반면에 후부 바닥쪽에는 낮음을 의미한다. 즉 바닥 중앙부와 바닥 후부사이에서는 강한 기류의 구배가 존재함으로써 환기의 쾌적성을 저하시킬 우려가 있음을 의미하며 바닥의 먼지 등을 상승시킬 우려가 있음을 의미한다.

AB(Fig. 8)인 경우 즉 SMTI값이 크고 VSTI값이 작은 경우는 B mode운전에 해당되는 것으로서 45도 각도로 취출된 공기의 일부는 좌측상부로 혼합이 된 후 천장쪽으로 향할 후 천장에서

취출되는 공기와의 혼합과정을 거쳐 실내후부까지 도달한 다음 다시금 후부바닥으로 향하는 유동장에 편승을 하고 있음을 알 수가 있다. AA 경우에는 유동장의 전체 흐름이 반 시계방향이라면 AB의 경우는 시계방향의 유동흐름이 존재함을 알 수 있다. 또한, 실내에서 골고루 혼합된 공기가 벽체 팬의 흡입부쪽으로 따라 올라감을 알 수 있다. 이는 45도로 취출된 벽체 팬 공기에 의하여 형성되었음을 알 수 있다. 게다가 난류강도분포도 균일하므로 실내 전체에 걸쳐서 벽체 팬으로부터 배출된 공기의 분배가 균일하다고 말할 수 있다. 이들 경우 중에서 벽체 팬 단면평균속도가 0.1m/sec(실적 건축물에서의 속도는 약 1.7m/sec에 해당), Supply속도가 0.2m/sec(실적 크기의 건축물 천장 취출구로부터의 속도는 약 1.7m/sec에 해당), 그리고 천장 배출속도가 0.08m/sec일 때(실적 건축물에서의 천장배출구에서의 속도는 약 0.7m/sec에 해당)가 가장 적정 공조의 조건을 만족하는 경우이었다.

BA(Fig. 9)인 경우 즉 다른 경우와 비하여 상대적으로 SMTI값이 작으면서 VSTI값이 큰 경우에 해당되는 것으로서 A mode 운전에 해당된다. 이 경우에는 바닥 하부에서 취출된 벽체 팬을 통과한 공기가 실내 전반부에서 상승기류를 일으킨 다음 이 공기의 일부는 다시 모델의 좌측

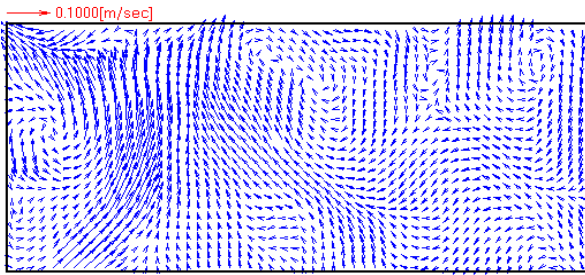


Fig. 9(a) Mean velocity vector(BA case).

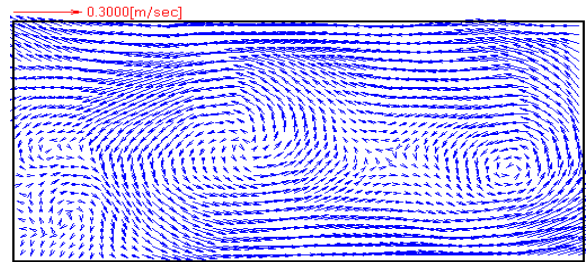


Fig. 10(a) Mean velocity vector(BB case).

SMTI = 0.405334 , Variance = 0.035292

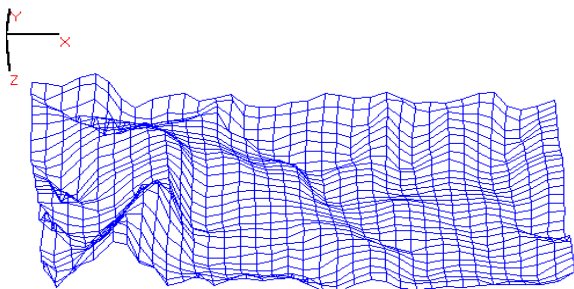


Fig. 9(b) Turbulent intensity distribution(BA).

SMTI = 0.359410 , Variance = 0.032271

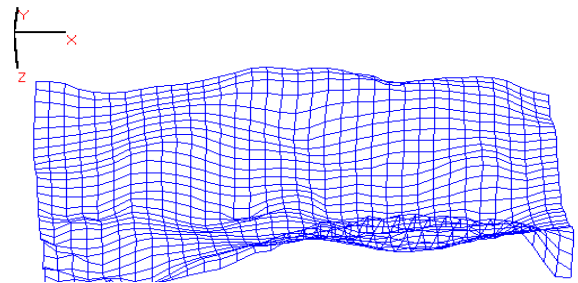


Fig. 10(b) Turbulent intensity distribution(BB).

상부인 벽체 팬으로 되돌아가나 일부는 실내기류와 혼합하여 천장쪽으로 빠져나간다. 천장쪽으로 향한 공기는 천장에서 취출 및 배출되는 공기와 혼합작용을 통하여 실내전체에 걸쳐 확산되어 가지만 공간평균 난류강도의 분포의 균일도는 AB인 경우에 비하여 상대적으로 낮으므로 실내 전체에 걸쳐서 충분한 운동량교환이 이루어졌다고는 볼 수 없다. 또한 평균난류강도도 다른 경우에 비하여 상대적으로 작기 때문에 운동량교환의 량도 적다고 볼 수 있으므로 에너지절약의 관점에서 본다면 바람직하지 못하다.

BB(Fig. 10)인 경우는 다른 경우와 비하여 상대적으로 SMTI값이 작으면서 VSTI값도 작은 경우에 해당되는 것으로서 A mode 운전해 해당된다. 이 경우는 공간평균 난류강도도 작으며 평균난류강도 분포도 균일하며 그림에 나타나 있는 바와 같이 실내 전반부와 후반부에 강한 와류가 형성되어 있음을 알 수 있다. 벽체 팬으로부터 취출된 공기는 곧 바로 상승되면서 천장에서 분류되어 상승기류의 좌반부는 벽체 팬쪽으로 되돌아가면서 커다란 와를 형성시키고 상승기류의 우반부는 실내에 있는 공기를 상부쪽으로 끌어올리면서 실내공기가 시계방향으로 회전하도록 와를 형성시키고 있음을 알 수 있다. 또한 난류강도분

포의 균일도도 다른 조건에 비해 상대적으로 대단히 작기 때문에 다른 조건에서보다 상대적으로 에너지절약 및 환기의 측면에서 적절한 운전모드가 아님을 알 수 있다. 전반적으로 평균난류강도가 작기 때문에 실내에 취출된 공기들 사이의 운동량교환이 적어서 벽체 팬으로부터 공급되는 에너지의 충분한 분배가 잘 되지 않음을 추론할 수 있다.

이상과 같이 벽체 팬이 부착된 모델의 실내 기류유동장의 특징적인 환기형태인 4가지의 경우로부터 SMTI값과 VSTI값은 벽체 팬을 순환하는 공기량에 거의 영향을 받으며 천장 취출량과 배출량에는 영향을 덜 받는 것을 알 수 있었다.

3. 냉장고 모델에의 적용

3.1 실험장치 및 절차

Fig. 11은 냉기유동에 따른 온도분포가 냉기유동과 어떠한 상관관계에 있는가를 찾아내기 위한 양문형 냉장고에 대한 실험장치를 나타낸다. 3장에서 완성하였던 냉기유동 성능 평가법을 PIV측정결과를 이용하여 실제 온도측정결과와 비교를 통하여 검증하고자 한다. PIV구성은 광원으로서 Nd-Yag 레이저(15Hz, 120mJ), 고해상카메

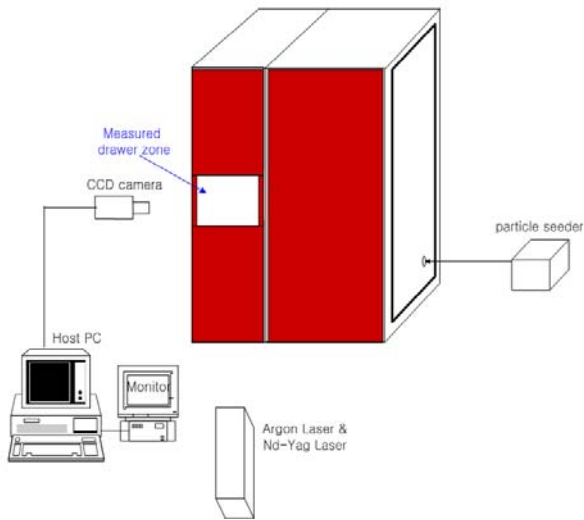


Fig. 11 Diagnostics on two-door refrigerator with PIV.

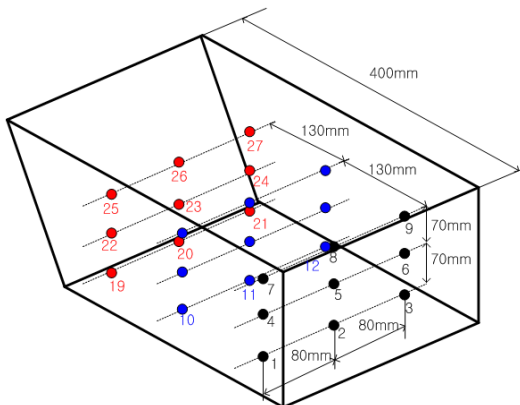


Fig. 12 Sample points in the No. 4 drawer.

라(ES1.0, 1k x 1k, 30Hz), 호스트컴퓨터로 구성된다. Drawer내의 가시화를 위하여 오른쪽에 있는 smoke발생기(particle seeder)로부터 공급하되, smoke에 의한 냉장고내의 온도상승을 방지하기 위하여 smoke가 냉장실을 통과하여, 냉동실의 증발기로 통과한 다음 관측대상의 drawer에 공급이 되도록 하였다. Fig. 12는 실제 사진을 나타낸다. 냉기유동 성능평가법의 검증을 위하여 양문형 냉장고의 4번 drawer를(최상부가 1번 drawer) 관측대상으로 하였으며, 온도측정결과로부터의 검증을 위한 온도측정은 Fig. 12와 같이 배치된 총 27개의 채취점에서 수행되었다. drawer를 3개의 수평단면으로 나뉘어 측정점을 9개씩 배치시켰다. 측정점들간의 배치는 그림과 같은데, 가로, 세로, 폭방향의 간격은 130mm x 70mm x 80mm의 형태로 배치시켰다. Fig. 13은 PIV측정을 위



Fig. 13 No.4 drawer.

한 가시화창으로부터 보이는 4번 drawer에 열린대가 배치된 모습을 나타낸다. 온도측정을 위한 온도는 열전대(Cu-Constantan)를 사용하였으며 PIV실험시의 실시간의 온도를 측정하기 위하여 다점온도계 data logger를 사용하였다. 4번 drawer로의 접근성과 외부와의 단열을 고려하기 위하여 온도계는 냉장실에 설치하였으며, 이 온도계로부터의 데이터선(USB)을 통하여 온도측정 데이터가 PC로 공급된다. 총 4종류의 경우에 대하여 실험을 실시하였다. 즉, 실제제작 초기형상 그대로의 drawer형상(초기상태), drawer의 후부 아래에 환기구를 뚫어 냉기가 잘 유통되도록 한 형상(뒤쪽개방), 앞쪽에 “J”형 판(front J-shape plate)을 drawer의 전면에 설치했을 때의 형상(앞쪽막음), 뒤쪽개방과 앞쪽막음을 모두 설치했을 때 형상(앞뒤개선)인 경우의 4가지 실험을 수행하였다.

3.2 결과 및 검토

Fig. 14는 초기상태일 경우 No.4 drawer의 내부 유동에 대한 평균속도벡터분포를 보인다. 평균속도벡터는 120장의 순간속도벡터분포를 평균함으로써 구하였다. 평균속도벡터분포와 이들 순간속도벡터분포로부터 난류통계량을 구하였다. Fig. 15, Fig. 16, Fig. 17, Fig. 18은 4가지 경우에 있어서의 난류운동에너지 분포를 보이고 있다. 유동을 살펴보면 냉장고 뒤쪽 판넬에 설치된 토출구로부터 분출된 냉기류가 도어(door)쪽에서 부딪친 다음, 재차 되돌아오는 유동의 형태를 보이고 있다. 4가지 경우 모두 유동의 전체적 형태는 도어에 부딪친 다음 되돌아오는 유동형태를 보였다. 초기상태의 유동은 drawer내부까지 끌고

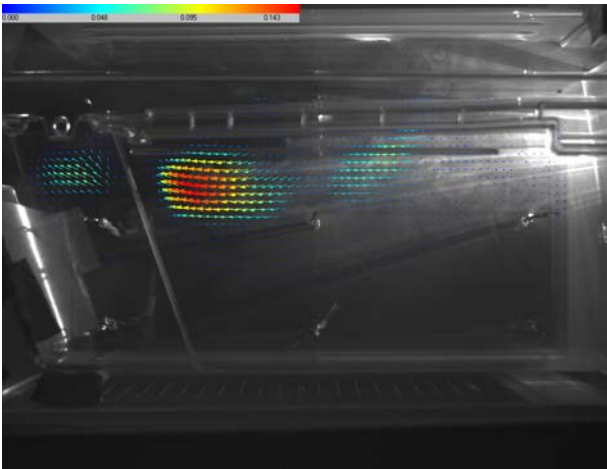


Fig. 14 Mean velocity vector distribution.

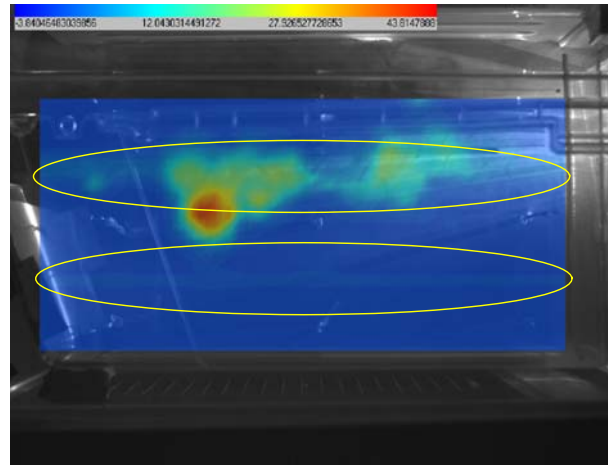


Fig. 17 Turbulent kinetic energy distribution. (front J-shape plate case)

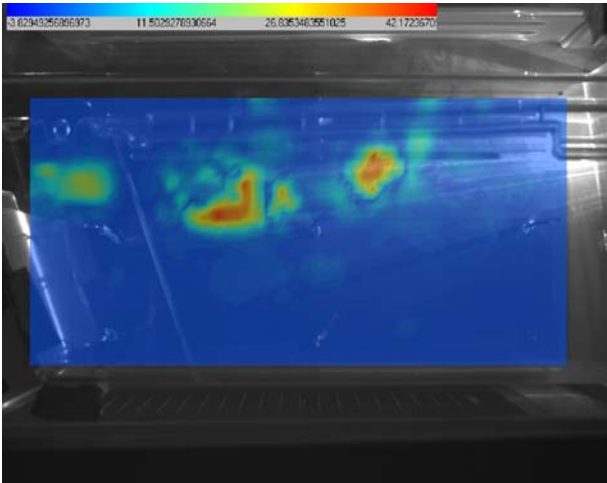


Fig. 15 Turbulent kinetic energy distribution. (initial case)

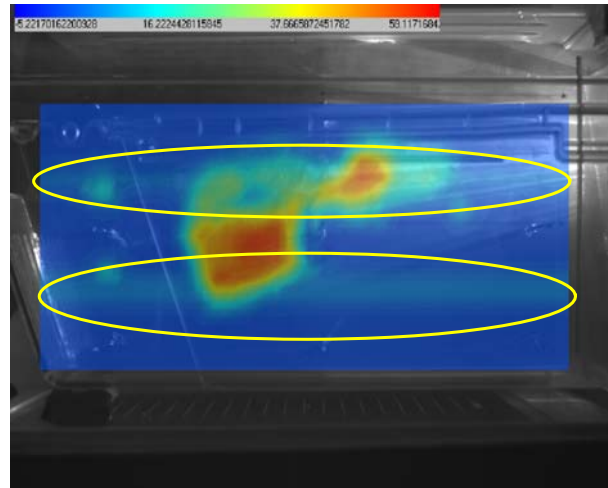


Fig. 18 Turbulent kinetic energy distribution. (rear open case & front J-shape plate case)

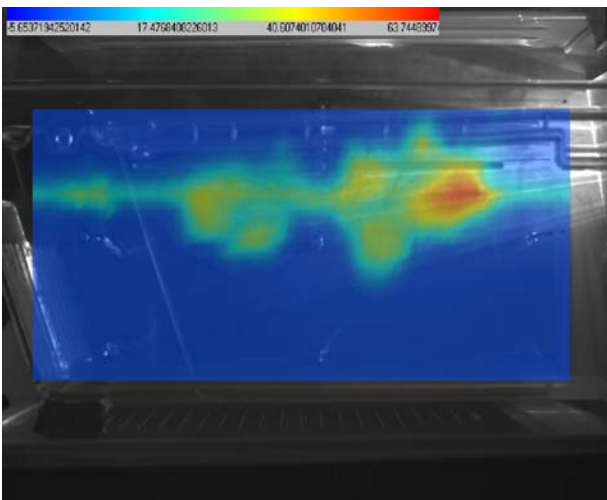


Fig. 16 Turbulent kinetic energy distribution. (rear open case)

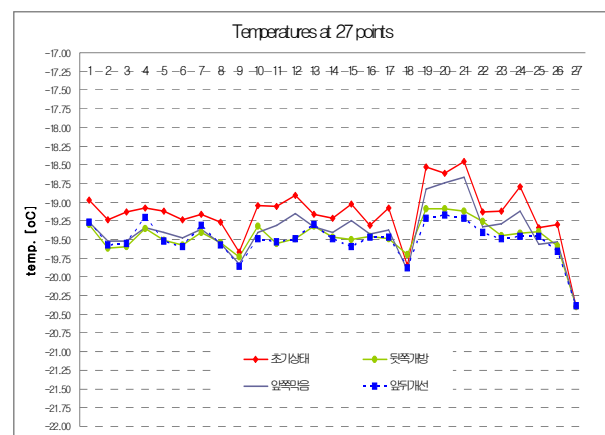


Fig. 19 Temperature distribution for four cases.

루 유동이 확산되기 보다는 drawer상부에서만 맴돌게 되는 유동이 지배적이다. 이는 냉장고내

에 고온다습한 공기가 존재할 경우(냉장고 문을 열었을 때, 고온다습의 공기가 유입되어 이와 같은 순환유동에 간헐할 경우)에는 차가운 냉기류와 만나게 되면 결빙의 원인을 제공하게 될 뿐만 아니라, 온도분포도 불균일하게 됨으로써 냉장고 내의 온도 불균일에 따른 냉동부하를 증가시키게 되는 효과를 초래시키게 된다. 따라서 최대한 빠른 시간내에 유동을 확산시킴으로써 온도를 균일화 시킬 필요가 있게 된다. 이를 구현하기 위한 방안으로서 drawer의 후부를 개방형태로 하여 실험을 실시한 결과(뒤쪽개방)가 Fig. 16에 나와 있다. Fig. 15의 경우보다 난류운동에너지가 골고루 분포되어 있음을 알 수 있다. Fig. 17은 초기상태의 drawer의 앞면 내부에 “J”형 판을 설치하였을 때, 난류운동에너지의 분포를 보이고 있다. 원형으로 표시된 내부에 수평의 띠 형태로 된 난류운동에너지 분포영역이 보이고 있다. 이는 난류운동에너지가 앞의 2경우보다 골고루 분포되게 됨을 의미한다. Fig. 18은 뒤쪽개방과 “J”형 판을 동시에 적용하였을 때 얻어진 난류운동에너지 분포를 나타내는데, 3가지의 경우보다 난류운동에너지 분포가 넓게 확산되어 있음을 알 수 있다(수평의 띠가 더욱 확산됨). 이는 난류운동에너지가 drawer내부에 골고루 분포되게 됨으로써 물질 및 열전달을 골고루 촉진시키게 된다는 사실로 풀이될 수 있다. 이를 잘 보여주는 결과가 Fig. 19의 온도분포이다. 이 온도분포는 전술의 Fig. 12에서와 같이 drawer내부에 27개의 온도를 열전대로 동시각에 측정된 결과를 나타낸다. 초기상태의 경우는 온도의 분포가 다른 경우보다 불균일함을 알 수 있고 가장 온도분포가 균일한 경우는 뒤쪽개방과 “J”형 판을 동시에 적용하였을 때였다. 즉, drawer의 앞면과 뒷면을 개선한 형태가 온도가 모두 낮을 뿐만 아니라 온도분포도 가장 균일함을 알 수 있다.

4. 결론

PIV계측기법을 이용한 냉동실 내부 기류유동가시화 실험을 통하여 냉기류의 유동특성을 정량화 조사하는 과정에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

PIV계측결과를 이용하여 냉장고내의 냉기류의 특성을 평가할 수 있는 표준적 방법을 고안하였다. 이를 통하여 냉기류의 특성을 평가할 수 있었으며

나아가 빙결이 발생할 수 있는 부분을 진단할 수 있는 방법을 고안하였다고 볼 수 있다.

구축된 기법으로 상용 냉장고의 냉동실 drawer내부의 기류특성을 평가함으로써 개선안을 제시하는 계기를 마련하였다. 개선과정에서 얻은 성과로서, 국소적 와류가 형성되어 있을 경우, 냉동실 토출구로부터 나온 냉기류가 이 국소적 와류를 통과하게 되면서 그 부위에서는 빙결현상이 현저하게 나타나게 됨을 알 수 있었다. 이는 냉동실내부 측면면에 저속유동이 형성된 곳(와류 형성지역)에 냉기류가 통과하는 경우에는 빙결현상이 두드러지게 나타나는 것과 맥락을 같이한다.

이와 같이 PIV에 의한 냉기류 특성평가 법을 확립함으로써 빙결현상을 억제할 수 있는 냉기유동에 대한 고찰을 체계화할 수 있는 방안을 확립하였다.

참고문헌

1. Atwood, T., Hughes, M., 1990, Refrigerats and energy efficiency, Int. J. Refrig., Vol.13, July, pp.270-273.
2. Janssen, M. J. P., Wit, J. A., Kujipers, L. J. M., 1992, Cycling losses in domestic appliances: an experimental and theoretical analysis, Int. J. Refrig., Vol.15, Vo.3, pp.152-158.
3. Tassou, S. A., Qureshi, T. Q., 1998, Comparative performance evaluation of positive displacement compressors in variable-speed refrigeration applications, Vol.21, No.1, pp.29-41.
4. 오민정, 이재현, 오명도, 1995, 냉장고 내부의 냉기 유동특성에 관한 3차원 해석, 공기조화 냉동공학 논문집, 제7권 제3호, pp.382-395.
5. 엄윤성, 부정숙, 윤인철, 2000, 냉장고의 냉기덕트 내부의 유동해석, 박용기관학회지, 제24권 제4호, pp.117-122.
6. 이영환, 김상헌, 박일규, 이연원, 금중수, 김동규, 2001, 냉동실 결빙 메카니즘 정량화 및 착상량 최소화에 관한 연구, 한국동력기계학회 2001년도 춘계학술대회, pp.64-70.
7. 木村, 高森, 井上, 1986, “相關を利用した流れの畫像計測”, 流れの可視化, Vol.6, No.22, pp.105-108.
8. Utami T., Blackwelder R., 1991, A cross correlation technique for velocity field extraction from particulate visualization, Exp. in Fluids, Vol.10, pp.213-223.
9. 北條, 高島, 1995, PIVにおける異常ベクトルの檢出”, 可視化情報, Vol.15, Suppl. No.2, pp.177-180.