

# 냉장고의 균일 냉기유동을 위한 유동구조 개선에 관한 연구

## Development of a Flow-duct for Uniform Flow of Chilly Air in a Refrigerator

유재현<sup>1</sup>, 김판근<sup>1</sup>, 박상후<sup>2,✉</sup>, 배원병<sup>2</sup>, 김주완<sup>3</sup>  
 Jae Hyun Yu<sup>1</sup>, Pan Gun Kim<sup>1</sup>, Sang Hu Park<sup>2,✉</sup>, Won Byong Bae<sup>2</sup>, and Ju Wan Kim<sup>3</sup>

<sup>1</sup> 부산대학교 기계공학부 대학원 (Graduate School of Mechanical Engineering, Pusan National Univ.)

<sup>2</sup> 부산대학교 기계공학부 / 정밀경형 및 금형가공연구소 (School of Mechanical Engineering, ERC/NSDM, Pusan National Univ.)

<sup>3</sup> LG 전자 HA 사업본부 냉장고연구소 (R&D Center, Division of HA, LG Electronics)

✉ Corresponding author: sanghu@pusan.ac.kr, Tel: 051-510-1011

Manuscript received: 2012.4.27 / Accepted: 2012.6.5

*In a refrigerator, many food boxes are stored, so the flow of chilly air has very complicate stream paths inside the room of a refrigerator. Moreover, on some occasions, there is no flow of chilly air in a space due to blocking flow paths by food boxes, which is an important issue to be settled for improving the ability of food storage with fresh states. One of methods to solve this problem is to redesign the flow-pattern of chilly air to be uniform flow inside room, if possible. In this work, we have tried to design the duct-structure for the uniform flow of a chilly air using a FE-analysis method. And we conducted real commercial tests using a refrigerator having the redesigned duct. The results showed that good agreements with general requirements.*

Key Words: Flow Duct (유동 덕트), Refrigerator (냉장고), Uniform Flow (균일유동), Commercial Test (상업성 검토시험)

### 1. 서론

최근 지구온난화 등의 기후적 영향으로 친환경, 고효율 제품에 대한 세계적인 관심이 증가함에 따라 냉장고를 포함한 냉동 시스템 산업에서도 에너지 효율이 중요한 이슈로 취급되고 있다. 냉동시스템에서 에너지 효율을 올리는 방법 중에 하나는 시스템 외부로 냉기유출을 줄이는 방법과 냉기의 균일한 흐름을 유도하여 냉장고 내에서 국부적인 온도차이를 줄이고 냉동 주기를 늘여서 에너지를 줄이는 방법 등이 있다. 또한 냉장고 내의 균일한 온도분포는 성능에도 영향을 주어서 식품물을 오랫동안 보관할 수 있는 역할도 한다. 본 연구에서는 이러한 냉장고의 냉기유동을 균일화 하기 위한 유동 덕트 (flow duct) 구조에 관한 것으로 유동 덕트 설계변수가 유동특성에 어떠한 영향을

주는지 알아보았다.

유동 덕트는 일반적으로 냉각시스템에서 만들어진 냉기를 냉장고 내부로 전달하는 경로를 모두 포함한다. 따라서 Fig. 1 에 나타낸 것처럼 팬 (fan)에 의해서 냉기가 강제유동으로 덕트 내부로 유입된 뒤 그릴판 (grill plate)을 통하여 냉장실 또는 냉동실로 나오는 과정을 포함한다. 증발기 (evaporator)에서 만들어진 냉기가 슈라우드 (shroud)에 부착된 팬에 의하여 그릴판으로 강제로 냉기를 뿜게 되어 있다. 이때 냉기가 흐르는 덕트는 슈라우드와 그릴판 사이에 형성되며 냉기의 일부 (약 10~15%)는 냉장실 쪽으로 유입되도록 설계되어 있다.

따라서 냉기순환이 각 부분에 원하는 설계치에 따라 분배되도록 유동 덕트를 설계하는 기술이 중요하다. 이러한 냉기순환 및 분배는 냉장고 성능은

물론 소비동력 등에도 영향을 준다.

본 연구에서는 냉동실이 냉장실 위에 위치한 탑 마운트 형 (top mount) 냉장고에 대하여 ANSYS CFD (ver. 10)을 이용하여 해석적 방법으로 유동덕트 구조 개선을 실시하였다. 팬 유동에 대한 개선은 실험적 방법으로도 해결할 수 있지만 복잡한 유동경로를 포함할 경우에는 최적 설계안을 도출하는데 어려움이 있다.<sup>1,2</sup> 유동 해석적 방법으로 다양한 유체기계시스템에 관련된 팬 소음, 팬 유동개선 등의 문제해결을 제시한 연구결과가 발표되었다.<sup>3-5</sup>

그러나 냉장고에서의 유체 유동특성 개선에 관한 연구의 발표사례가 거의 없기 때문에 본 연구에서는 해석적 방법으로 팬을 포함하여 그릴판으로 냉기가 원활하게 빠져나갈 수 있도록 냉기의 유동경로에 대하여 설계에서 요구되는 변수에 대하여 연구를 수행하였다. 또한, 그릴판으로 균등한 냉기가 유출되기 위한 슈라우드와 그릴판 내부의 구조에 대한 기초 설계변수 연구는 향후 냉장고 효율차원에서 중요하게 다룰 연구분야이다.

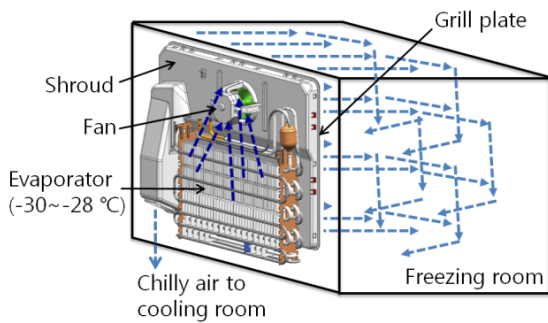


Fig. 1 Schematic diagram of the function of shroud and grill plate in a refrigerator

## 2. 지배방정식과 경계조건

### 2.1 유동해석을 위한 팬 모델

냉동실의 유동특성을 분석하기 위하여 먼저 냉장고에 사용되는 팬의 유동특성을 분석하였다. 팬 소음 문제해결과 성능향상을 위하여 냉장고에 사용되는 팬은 원심형 팬 (centrifugal fan)을 주로 사용하고 있다.<sup>4</sup> 해석에 사용된 팬의 주요 제원은 Table 1 에 나타내었다.

팬은 1000 rpm 으로 회전을 함으로 마하수 (Mach

Table 1 Geometry of a centrifugal fan used in a refrigerator

	Outer diameter, $D_o$	51.9 mm
	Inner diameter, $D_i$	35.4 mm
	Number of blades	10 EA
	Blade width, $w$	2 mm
	Blade angle, $\alpha$	31.6°
	rpm	1000 rev

number)가 0.3 보다 작기 때문에 비압축성으로 가정하여 계산하였다. 지배방정식은 연속방정식과 Navier-Stokes 방정식을 사용하였다. 난류 유동해석을 하기 위해서는 다양한 난류모델을 적용하여 사용할 수 있는데 본 연구에서는 선 회류를 고려한  $k-\epsilon$  난류 모델을 이용하였다.<sup>6</sup>

### 2.2 팬의 경계조건

팬 경계조건에서 발생하는 복잡한 유동현상에 대하여 Griffin 등은 해석을 수행하였다.<sup>7</sup> 팬을 고정하고 있는 슈라우드 (shroud)의 경우에 팬 유동의 경계면을 포함하고 있으며 그 경계면상의 동역과 정익의 상호작용에 관한 비정상 수치해석에 대하여 다양한 기법이 소개되었다.<sup>7,8</sup> 그러나 3 차원 점성유동의 비정상 모사는 높은 성능의 하드웨어와 많은 계산시간이 요구한다. 그러므로 동역과 정익 상호작용의 비정상 해석에 따르는 과도한 계산 하중을 줄이는 방법으로 정상상태 해석에 일반적으로 사용되는 혼합면 기법 (mixing plane method)이 제안되었으며, 이 방법은 각각의 열 (row) 에서 하나의 블레이드 (blade) 통로만을 계산하므로 동역과 정익의 블레이드 수가 서로 다른 경우에도 쉽게 적용할 수 있으며 계산에 소요되는 시간도 크게 줄일 수 있는 장점이 있다. 하지만 상류 경계면의 유동장이 하류 경계면으로 직접 전달되지 않고 회전방향으로 평균된 근사치가 전달되기 때문에 상류에서 발생한 후류 등이 하류로 이어지지 못하고 모두 회석되어버리는 단점이 있다.

본 연구에서 사용한 프로즌 로터 기법 (frozen rotor method)은 로터의 움직임을 무시한 정상상태의 해석기법이다.<sup>9</sup> 동역 부분의 지배방정식은 원심력과 코리올리 효과를 고려한 회전 좌표계에서 계산이 되고 정익 부분의 지배방정식은 절대좌표계에서 계산된다. Fig. 2 에 나타낸 것과 같이 프로즌

로터 기법을 사용하기 위한 구속조건은 동익과 정익 경계면이 기하학적으로 동일한 형상이어야 한다는 것으로 상류와 하류의 계산영역이 동일한 주기 조건 (periodic condition) 을 갖도록 생성되어야 함을 의미한다.<sup>9</sup>

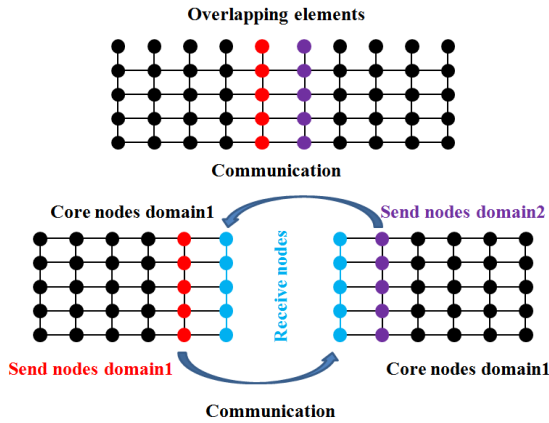


Fig. 2 Schematic diagram of the frozen rotor method

동익과 정익의 유한요소 수가 다른 경우 회전 방향으로 같은 피치 거리를 조절해주어야 한다. 이 방법은 동익과 정익의 경계면이 결합면으로 처리되기 때문에 상류 경계면의 유동장이 하류 경계면으로 별도의 근사 과정 없이 그대로 전달되며 이로 인하여 회전방향에 따라 변화량이 큰 유동을 실제현상과 유사하게 묘사할 수 있다. 본 연구에 적용된 팬의 경우 상대적으로 중요한 팬의 유동이 슈라우더의 상대적인 위치에 크게 영향을 받지 않는 장점이 있다.

이렇게 고정영역인 슈라우더와 회전영역인 팬 두 개의 영역으로 설정하여 각 영역간의 경계 계산은 프로즌 로터 방법을 적용하여 수행하였다.

**2.3 격자 수에 따른 영향분석**

팬 모델의 요소 개수에 따른 해의 영향도를 분석하기 위하여 Fig. 3 과 같이 원심형 팬을 사면체 요소 (tetra mesh)를 이용하여 분할요소 2,000,000 개에서 6,000,000 개까지 500,000 개씩 증가시켜 유한요소모델을 생성하였다. 팬의 날개 부분의 면과 고정영역인 슈라이더의 팬 경계면의 경우 조밀한 요소를 구성하여 각각에 대해서 해석을 수행하고 계산된 유량 값으로 요소 수에 대한 해의 영향도를 평가하였다. 이것을 근거로 하여 본 연구에 적

용할 유한요소모델의 요소 수를 결정하였다.

Fig. 4 에서는 팬 모델의 분할요소의 수에 따른 유량의 차이를 나타내었다. Fig. 4 를 살펴보면 분할요소의 수에 대한 유량의 변화는 요소의 수가 3,700,000 부근 이상에서 일정한 값으로 유량이 나타났다. 따라서 실제 해석모델에서는 해석시간을 고려하여 약 3,777,000 개의 격자를 구성하여 요소 수에 의한 영향을 배제시켰다고 판단되며, 계산의 정확도를 높이기 위하여 경계면 부근의 격자는 상대적으로 더 조밀하도록 구성하였다 (Fig. 3 참조).

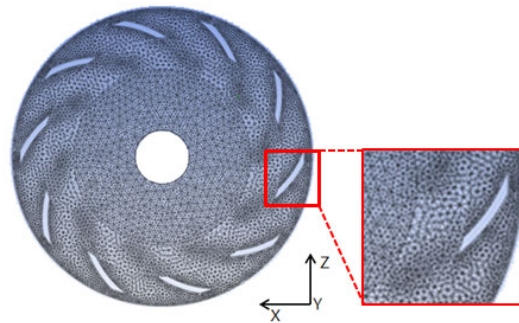


Fig. 3 Mesh structure for fan flow analysis; the insert figure shows the detail mesh shape of local boundary area

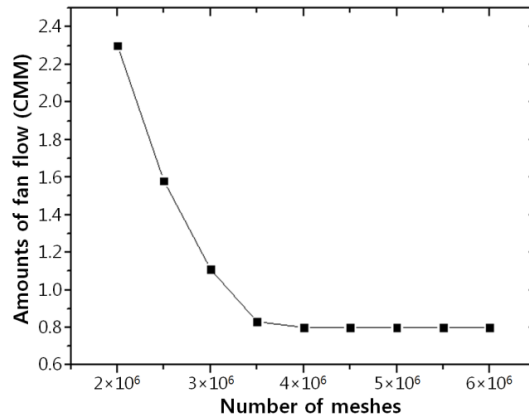


Fig. 4 Fan flow rate with respect to the number of meshes in a nonlinear flow analysis

**2.4 기초 해석**

기초해석을 통하여 팬 모델이 전체 유동에 미치는 영향을 알아 보았다. 본 연구가 그릴판으로 나오는 냉기가 전체적으로 균일한 조건이 되도록 설계하기 위한 것이기 때문에 팬 모델이 전체 유동

에 큰 영향이 없다면 해석시간과 모델링 노력을 줄이기 위하여 팬에서 나오는 유동을 방사형으로

배출된다고 가정하고 문제를 접근할 수도 있다.

따라서 Fig. 5(a)와 5(b)에 나타낸 것처럼 슈라우드와 그릴판에서 팬을 제외한 경우와 팬을 넣은 모델에 대하여 각각 유동특성과 그릴판으로 나오는 유량의 분포를 해석적으로 확인하였다. Fig. 5(a)와 같이 팬이 없는 경우는 입구부분에서 냉기가 팬 삼입구에서 방사형으로 방출이 된다는 가정에서 해석을 실시하였다. Fig. 5(b)에는 팬을 통하여 초기 방출되는 유동이 회전을 가지고 그릴판 쪽으로 빠져 나오는 것을 확인할 수 있다. 이것으로 인하여 두 모델의 유동 패턴 양상은 차이를 알 수 있다. Fig. 5(a)와 5(b)에서 알 수 있듯이 팬이 없는 비회전 단순화 모델에서는 각각의 토출구 위치에 따른 유량 편차가 크고 1번 토출구와 4번 토출구의 유량의 대칭성이 없어 유동현상이 왜곡되어 나타났다. 하지만 회전 팬 모델에서는 상대적으로 균일한 분포를 보이고 있다. 또한 1번 토출구에서 두 모델의 해석 토출비가 8.5% 차이를 보이는데 이는 유동의 회전으로 인해 1번 지점에서 재순환영역이 발생하지 않고 냉기가 좌측 벽면을 따라 5번 지점으로 더 공급되기 때문인 것으로 사료된다. 두 모델 모두 냉장실로 유입되는 유량 (10번 토출구)은 거의 동일하였다 (Fig. 5(c) 참조).

따라서 결과적으로 팬이 없는 비회전 단순화 모델에 경우 실제 모델과 유동의 차이를 보이므로 팬을 포함한 회전 단순화 모델을 기초로 개선안에 대한 해석을 진행하기로 하였다.

### 3. 균일 토출을 위한 유동덕트 구조

#### 3.1 설계변수 연구

Fig. 5(c)에 나타낸 것처럼 그릴판 앞에 두 개의 선반이 위치되어 공간을 각각 3 등분하는 구조로 되어 있다. 이러한 경우에 각 공간별 균일한 유동을 유도하는 것이 중요하다. 현재의 구조에서 보면 토출구 1에서 4까지가 상단부 (토출량 총합: 44.6%), 5에서 8까지는 중간부 (토출량 총합: 22.8%), 나머지 9는 하단부 (토출량 총합: 20.0%)로 냉기를 전달하게 되어 있다. 따라서 상단부의 토출량이 상대적으로 많음을 알 수 있다. 이것은 상단부의 경우 냉기를 뿜어내는 팬의 위치에 가까이 있으며 내부 덕트 구조의 문제로 분석된다. 따라서 본 연구에서는 토출비 개선을 위하여 내부 덕트구조 형상을 제안하였다.

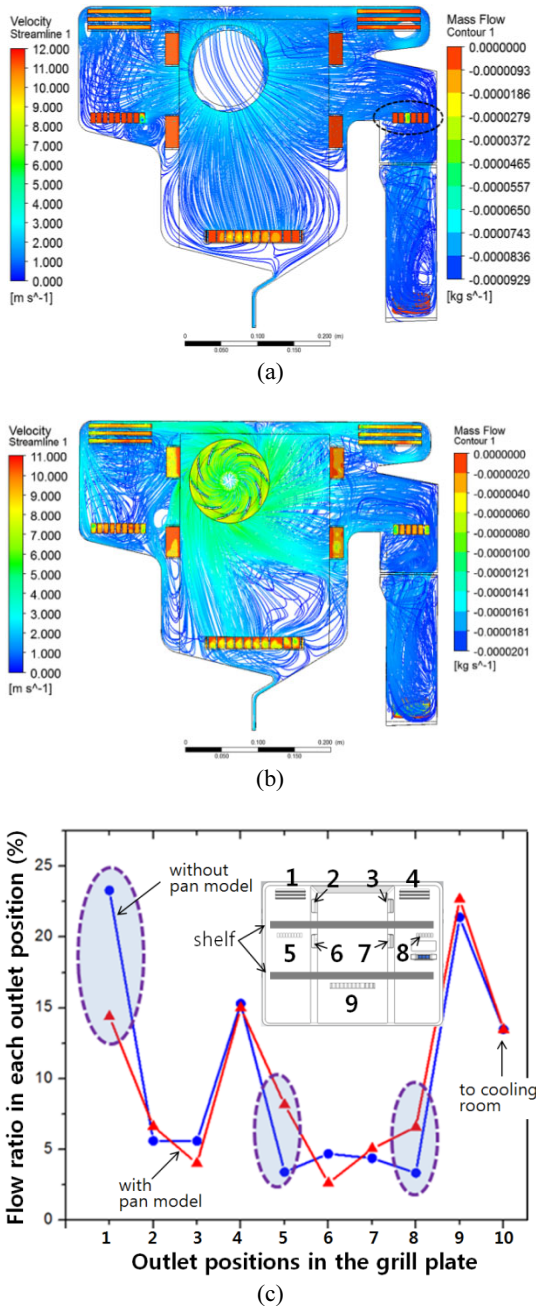


Fig. 5 The simulation results; (a) and (b), The simulation results without and with fan model, and (c) comparison of emission ratio at the outlet of grill plate. The inset shows nine outlets in the grill plate

개선모델을 위한 설계변수의 연구를 위하여 먼저 기본적인 형상을 제안하였다. 새로운 그릴판 형상은 Fig. 6(a)와 6(b)와 같이 기존 형상과 달리 상단부 토출량을 줄이기 위하여 상단부의 토출구 1, 4 번 (Fig. 5(c) 참조)을 제거하였으며, 중간부에서도 5, 8 번을 제거하여 전체적으로 토출비가 가장 작은 하단부로 냉기가 잘 빠져 나오도록 하였다.

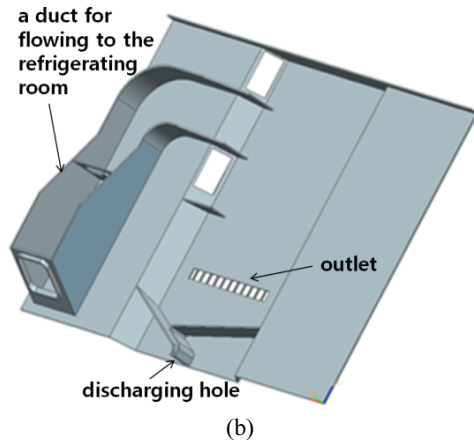
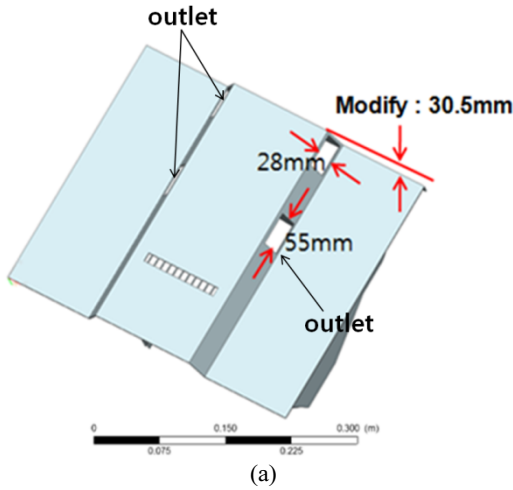


Fig. 6 Schematic shape of a new grill plate: (a) front view and (b) rare view

제안 형상에 대하여 각 토출구의 토출량을 알아보기 위해 각 레벨의 유동분포를 해석적으로 확인하였다. Fig. 7(a)는 제안형상에 대한 해석 결과를 도식적으로 나타내었다. 기존 모델에 비하여 제안 모델의 경우 Fig. 7(b)에서 알 수 있듯이 상단부 (1 level)와 하단부 (3 level)의 유량차이가 줄어든

것을 확인 할 수 있었다. 기존 모델의 경우 상단부와 하단부의 냉기 유량차이가 약 44.6% 정도 나타났으며, 제안된 모델에서는 유량차이가 약 19.5% 정도로 나타났다. 따라서 제안된 모델이 유량차이를 줄이는 것에 효과적임을 알 수 있다. 하지만 제안 모델에서 개선은 되었지만 큰 유량차이를 보임을 알 수 있다. 기본 성능해석을 통하여 제안된 모델을 기본 모델로 정하고 유량차이를 줄이기 위한 설계방안에 대하여 알아보았다.

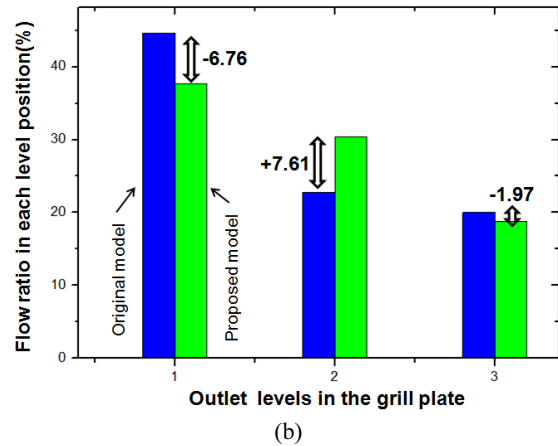
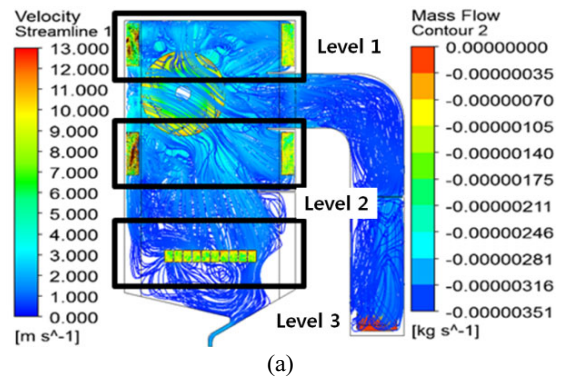


Fig. 7 (a) Simulation results of the proposed model, and (b) comparison of emission ratio at each outlet (upper, middle, and lower) of grill plate

#### 4. 내부구조 설계개선 및 실험적 검증

##### 4.1 내부 격벽 형상설계

각 레벨에서의 적절한 냉기 분배를 위하여 먼저 리브 형상 및 토출구 형상 재설계를 수행하였다. 첫 번째는 Fig. 7(a)에서 볼 수 있듯이 하단부

맨 아래쪽에 위치한 온도차이에 의해 생성되는 물방울을 제거하기 위한 배출구 (discharging hole) 로 상당부분 냉기가 유출되는 것을 알 수 있다. 따라서 이러한 냉기는 에너지 손실로도 연계가 되기 때문에 이것을 개선하고 또한 하단부의 유량 확보를 위하여 Fig. 8(a)와 같이 하단부 냉기 토출구 아래쪽에 격벽 (rib)를 설치하였다. 또한 냉동실의 유동 원활을 위하여 전면부 토출구를 생성하도록 구조변경을 실시하였다 (Fig. 8(a)에서 new outlet 참조).

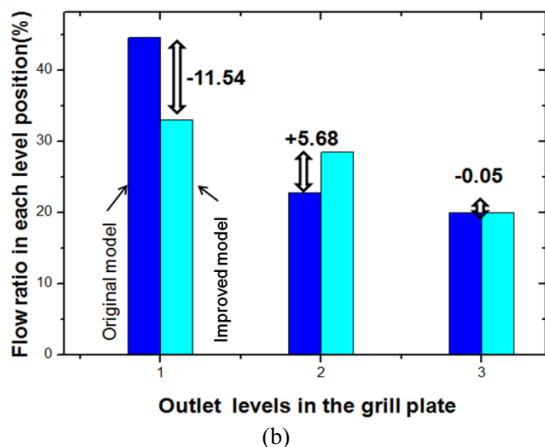
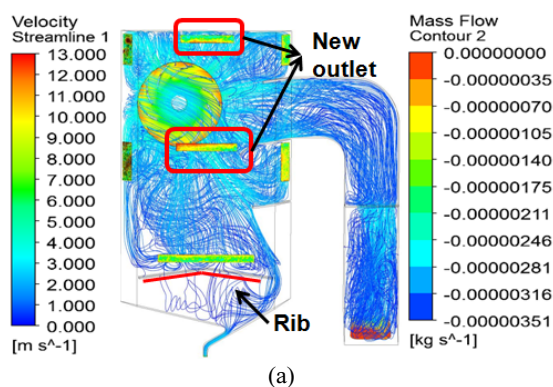


Fig. 8 (a) Simulation results on fluid-flow pattern of the improved model, and (b) comparison of emission ratio at each outlet (upper, middle, and lower) of grill plate

Fig. 8(b)에 나타난 것처럼 개선 모델의 전면부 토출구 생성과 함께 하단부의 리브 생성으로 인하여 기존 모델에 비하여 균등한 유동분배가 이루어지는 것을 알 수 있다. 하지만 이 모델의 문제점

은 여전히 상단부와 하단부의 냉기 유출량 차이가 13% 정도 발생함을 알 수 있다. 따라서 이러한 부분을 개선하고자 하단부의 냉기 토출부의 형상을 양쪽으로 나누어서 토출구 아래에 있는 격벽의 끝단부로 빠져나가는 냉기손실을 줄이도록 하였다 (Fig. 8(a) 참조). Fig. 9(a)에는 재설계된 하단부 토출구 형상을 나타내었다. 하단부 양쪽에 위치한 토출구의 폭은 기존 모델과 동일하게 각각 20 mm 로 두고 크기는 120 mm 를 나누어서 각각 60 mm 로 하였다.

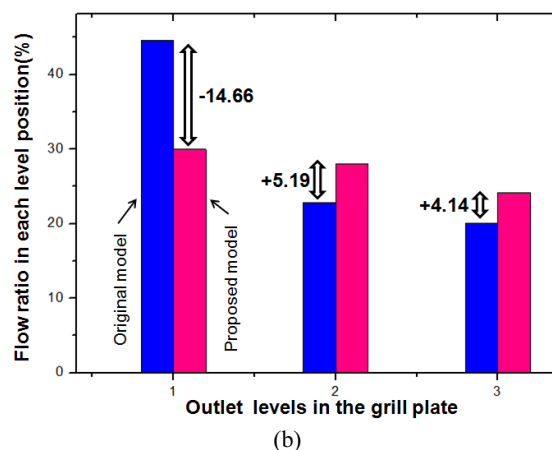
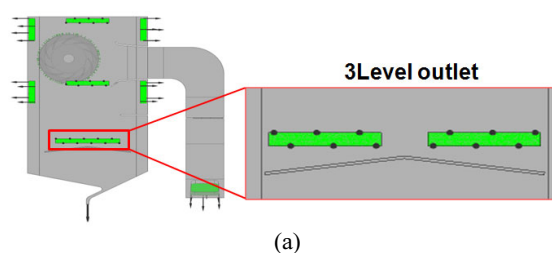


Fig. 9 (a) Schematic shape of new outlets and (b) comparison of emission ratio at each outlet (upper, middle, and lower) of grill plate

격벽 형상을 이용한 경우 Fig. 9(b)에서 알 수 있듯이 기존 모델과 비교하여 Fig. 9(a) 모델의 경우 상단부, 중간부, 하단부에서 냉기 토출량이 상당히 개선되어 균일한 분포를 보인다. 상단부와 하단부의 냉기유량 차이가 약 6%로 나타났다. 따라서 하단부에 격벽을 제작하여 냉기가 손실없이 냉동실로 유입이 되도록 유도하는 방법은 상당히 효과적임을 알 수 있었다. 또한 최종적으로 개선된 설계안에 대하여 냉동실로 유입되는 유동 특성

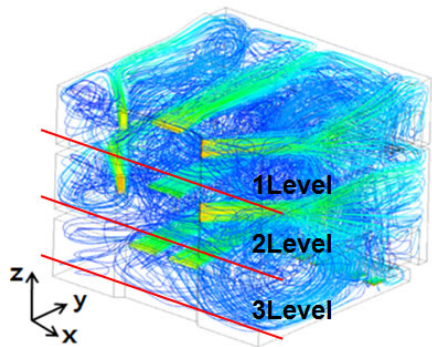


Fig. 10 Flow visualization of the final-design model

을 분석해 보았다. Fig. 10 에 나타낸 해석결과처럼 냉동실 전체에 균일한 유동 분포가 발생함을 확인하였다.

**4.2 개선안에 대한 실험적 검증**

실험은 냉동실에 각 위치별 온도 측정 실험 장



(a)



(b)

Fig. 11 Photos of the newly designed grill plate: (a) front view and (b) back-side view

치를 설치하여 실험을 진행하였다. 냉장고의 온도 테스트의 경우 항상 동일한 외부온도 조건이 가장 중요하므로 항온 항습실을 이용하여 일정한 외부 온도를 구현하였다. 최종 개선안에 대한 실험적 검증을 위하여 Fig. 11 와 같이 최종 설계된 그릴 판에 대하여 시제품을 제작하였다.

제작된 시제품을 이용하여 실제 냉장고에 부착하고 유동변화에 따른 이슬 맺힘 등의 문제점을 확인해 보고 실제 적용가능성을 평가하였다. 실험은 항온 항습실에서 냉각시험을 통하여 비교를 하였다. 실험조건은 외부온도 30℃ 내부 습도 85%를 유지하여 실험을 실시하였다.

Table 2 Cooling test results of the original grill plate and the newly designed grill plate used case

Item /Classify	Notch-bottom		Notch-top	
	Original	New	Original	New
Freezer (°C)	-16.2	-16.0	-20.5	-20.6
Fridge (°C)	4.7	4.6	0.6	-1.1
Operation efficiency (%)	44.86	53.06	61.45	72.86
Frequency (Hz)	1.57	1.75	1.59	1.51

냉각실험 결과에서 기존안과 유사한 특성을 나타냈으며, 냉장 냉동실의 온도가 제안하는 그릴판을 사용한 경우 좀 더 낮게 나와서 냉장고 작동효율은 다소 향상된 것으로 분석된다 (Table 2 참조). 따라서 새로운 그릴판 구조를 제안하여 냉동실의 상단, 중간, 하단부의 각 영역별로 동일한 냉기유출을 유도하는 할 수 있는 구조를 제안하고 해석적 기법을 이용한 그릴판 설계방법을 정리하였다.

**5. 결론**

본 연구에서는 가정용 (top mount)냉장고 팬 영역에서의 냉기 순환유동특성 향상을 위한 최적의 덕트 구조 방법을 제안하고자 하였다. 냉동실 안에서의 순환유동특성의 경우 각 토출구에서 질량 유량을 이용하여 유한요소해법을 이용하여 수치적으로 예측하였으며 실제 냉장고의 내부 온도측정을 하였다. 그리고 그 결과를 바탕으로 새롭게 제안하는 그릴판의 덕트 형상을 제작하여 실험적으로 그 효과를 확인하였다.

(1) 기존의 냉장고에 설치된 냉기유출구의 경

우 냉기가 상층부에 편중적인 유동을 하여 상단부와 하단부의 냉기 유동차이가 약 24.6% 정도 발생하여 균일 냉각에 문제가 되었다.

(2) 따라서 본 연구를 통하여 냉동실 균일 냉각을 위한 그릴판 구조를 제안하여 최종 개선안에서 상단부와 하단부의 차이가 약 6% 정도로 나타났으며 이것은 기존 모델과 비교하여 큰 변화라고 할 수 있다.

(3) 본 연구를 통하여 하단부 토출량을 증대시키기 위한 방안을 해석적 방법으로 설계변수를 확인하는 과정을 정리하였으며, 냉기유동과 관련된 다른 모델에 대해서도 확대적용 가능할 것으로 판단된다.

## 후 기

본 연구는 (주) LG 전자의 연구비 지원과, 정부 재원으로 한국 연구 재단 (과제번호: K20703001798-11E0100-00310), 한국 에너지 기술 평가원 (과제번호: 20101720200020-12-3-01) 지원에 의해서 수행되었다.

## 참고문헌

- Morinushi, K., "The Influence of Geometric Parameters on F. C. Centrifugal Fan Noise," *Trans. of the ASME*, Vol. 109, pp. 227-234, 1987.
- Raj, D. and Swim, W. B., "Measurements of the Mean Flow Velocity and Velocity Fluctuations at the Exit of a FC Centrifugal Fan Rotor," *Trans. of the ASME*, Vol. 103, pp. 393-399, 1981.
- Han, B. Y., Park, J. W., Lee, M. S., and Park, H. K., "Performance Improvement of a Range Hood Sirocco Fan by CFD Flow Analysis," *J. of KSCFE*, Vol. 13, No. 4, pp. 72-79, 2008.
- Lee, K.-C., Kim, C.-J., Hur, N., and Jeon, W.-H., "Flow Analysis of a Low-Noise Turbo Fan for a Vacuum Cleaner," *J. of KFMS*, Vol. 6, No. 4, pp. 14-20, 2003.
- Hillewaert, K. and Van den Braembussche, R. A., "Numerical Simulation of Impeller-Volute Interaction in Centrifugal Compressors," *J. of Turbomachinery*, Vol. 121, pp. 603-608, 1999.
- Oh, K. J. and Bae, C. K., "Numerical Analysis of the Viscous Flow Around a Front End Cooling Fan of the Car," *Trans. of KOSIA*, Vol. 10, No. 4, pp. 221-226, 2007.
- Griffin, L. W. and Dorney, D. J., "Simulation of the Unsteady Flow Through the Fastrac Supersonic Turbine," *Trans. of Turbomachinery*, Vol. 122, pp. 225-233, 2000.
- Giles, M. B., "Stator/Rotor Inter-action in a Transonic Turbine," *Trans. of Propulsion*, pp. 621-627, 1990.
- Petit, O., Bosioc, A. I., Nilsson, H., Muntean, S., and Susan-Resiga, R. F., "Unsteady Simulations of the Flow in a Swirl Generator, Using OpenFOAM," *Int. J. Fluid Machin. Syst.*, Vol. 4, No. 1, pp. 199-208, 2011.
- Page, M., Beaudoin, M., and Nilsson, H., "The ERCOFTAC Centrifugal Pump OpenFOAM Case-study," 3rd IAHR Int. Meeting of Workgroup on Cavitation and Dynamic Problems in Hydraulic Machinery and Systems, 2009.
- Lee, K. C., Kim, C. J., Hur, N. K., and Jeon, W. H., "Flow Analysis of a Low-Noise Turbo Fan for a Vacuum Cleaner," *Trans. of KFMA*, Vol. 6, No. 4, pp. 14-20, 2003.