

저소음 냉장고용 팬의 유동 해석

김욱*, 전완호, 정용규, 김창준

A Numerical Study on Low Noise Refrigerator Fans

Wook Kim*, Wan-Ho Jeon, Yong-Gyu Jung, Chang-Joon Kim

Key Words : Low noise(저소음), Fan(팬), α -fan(알파팬), Refrigerator(냉장고), CFD(전산유동해석)

ABSTRACT

A high performance and low noise refrigerator fan has been developed in order to satisfy the customer's high quality needs, that is, luxury, big size and low noise. In this study, the characteristics of a new developed fan and a current fan was calculated and compared by using numerical simulation. Rotation of a fan makes cold air circulation inside a refrigerator. A numerical simulation of air flow shows distribution and local flow regime of a cold air flow circulation, and revealed a cause of low noise as well. Optimization of a duct shape also decreased noise level.

1. 서 론

냉장고는 일반 가정에 한대 이상 있는 제품으로 소형제품에서 양문형의 대형 제품까지 다양하게 존재하고 있다. 일반적인 냉장고에 사용되는 팬은 냉장고내의 냉장실과 냉동실의 냉기를 순환시키기 위한 고내팬과 냉장고의 콘덴서와 컴프레서를 냉각시키기 위한 기계실의 기계실 팬으로 크게 2개가 사용되고 있다. 요즘의 냉장고 시장의 동향은 Fig. 1의 개요와 같이 생활 수준의 향상으로 기존 제품에서 고급화된 양문형의 대형 제품이 많이 이용되어져 가고 있다. 제품이 대형화 되면서 시스템 저항의 증가로 인해 Fig. 2와 같이 기존팬을 사용할 경우 작동점이 stall 영역으로 이동하기 때문에 새로운 고정압 축류팬이

필요하며 또한 소비자의 생활수준 향상으로 저소음화할 필요가 생겼다. 따라서 이러한 양문형 제품의 특성에 맞는 팬을 개발할 필요가 있다.

Fig. 3은 양문형 냉장고에 사용되는 고내팬과 기계실팬의 장착 상황을 나타낸 것이다. 기계실팬은 축류팬이 사용되고 있으며 팬과 콘덴서 그리고 컴프레서가 축류팬의 축 방향과 나란히 배열되어 축류팬의 사용이 적절하다. 그러나, 양문형 냉장고의 냉기 순환 구조는 기존의 수직 배열

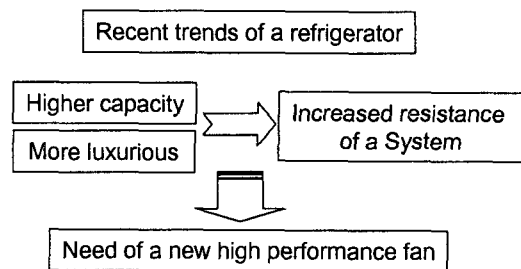


Fig. 1 Needs for low noise and high performance fans of a refrigerator

* LG전자 DA연구소
E-mail : wkim@lge.com
Tel) 02-818-3629, Fax) 02-867-9629

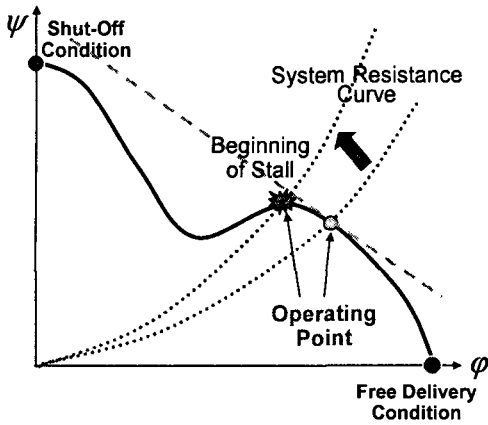


Fig. 2 Schematic performance curves of an axial fan & an α -fan

의 냉장고와 다르게 복잡한 구조를 갖는다. 고내 환이 설치된 냉기 분배기는 냉동실 하단에 설치된 증발기를 통과한 냉기가 환으로 들어와서 옆 방향의 냉장실로 약 20% 정도의 냉기를 보내고 나머지 80%의 냉기는 전면의 냉동실로 고르게 분배시켜야 한다. 그러나, 그림과 같이 냉기분배기의 구조가 얇고 넓기 때문에 축류팬을 사용할 경우에는 많은 유동 손실로 인하여 소음이 발생하고 있으며 이를 개선하기 위하여 신형상의 환이 개발되었다.⁽¹⁾

Side by side Refrigerator

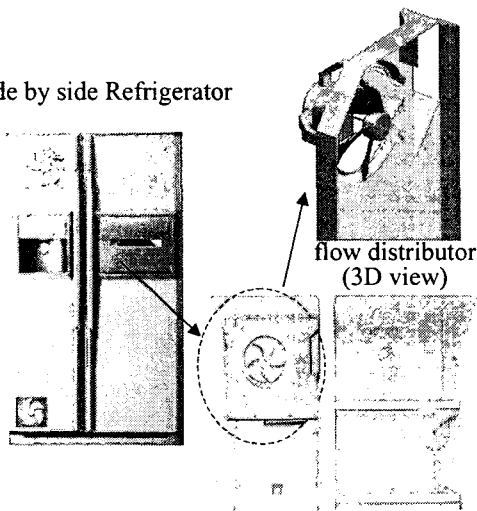


Fig. 3 Axial fans inside a premium refrigerator

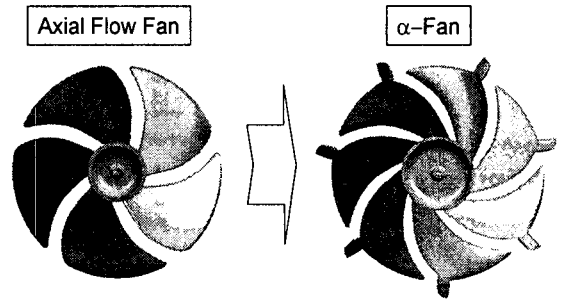


Fig. 4 An axial fan & a new developed α -fan

Fig. 4는 양문형 냉장고를 위하여 개발된 고성능 저소음 환이다. 환 깃의 팁끝에 부착된 터보익은 축방향의 유동의 일부를 원주 방향으로 바꾸어 쉬라우드 부근의 재순환 영역을 감소시킨다.⁽¹⁾

Table 1 The design values of an axial fan and α -fan

	축류팬	α -팬
유입 방향	축방향	축방향
유출 방향	축방향	축방향+사류
깃수	5 EA	7 EA
회전수	1300 RPM	1300 RPM
소음(팬단독)	22 dB(A)	19 dB(A)
순환 유량	0.79 CMM	0.97 CMM

냉장고의 냉기 순환에 대한 유동 해석으로는 냉장고에 사용되는 부품 즉 환에 대한 유동 해석은 많이 연구되어 왔으며 유동 해석 기술의 발달로 환에 대한 해석은 작동점 부근에서의 실험 결과에 근접한 결과를 얻을 수 있다. 그러나, 냉장고 전체의 냉기 순환 구조를 알아볼 수 있는 냉기순환에 대한 해석은 환의 회전을 시뮬레이션하지 않고 환에 의하여 유발된 풍량과 압력 상승량의 공력조건을 경계조건으로 설정하여 냉기 순환을 유동해석하였다.⁽²⁾ 이 경우에 현 시스템에 대해서는 냉기 순환을 확인할 수 있지만 유로 형상이 변경되는 등의 시스템 조건이 변한 경우에는 변화된 시스템 조건에 맞는 경계조건을 다시 설정하여 유동해석을 하여야 하는 것과 같은 점이 있다.

본 연구에서는 기존의 환과 개발된 환에 대해

서 단품 상태의 유동 해석과 실험을 비교하여 냉장고 팬의 유동 해석의 정확도를 검증하였으며, 냉장고내 전체시스템 내의 냉기 순환을 팬의 회전을 모멘텀 소스로하여 정지좌표계에서 정상 유동 해석하는 방법으로 냉기 분배기내의 유동 및 냉장고 시스템 전체의 냉기 순환을 유동해석 하였다.

2. 축류팬의 유동해석

냉장고 전체 유동 해석에 앞서 냉장고 팬의 유동 해석의 정확도를 검토하기 위하여 팬의 단품 해석을 하여 그 결과를 실험 결과와 비교하여 해석의 정확도를 검토하였다.

2.1 유동 해석 방법

본 연구에서의 유동 해석 절차는 먼저 Unigraphics를 이용하여 냉장고 시스템 등을 3D 모델링 하였으며, 특히 팬 형상은 본 연구소가 개발 보유한 축류팬 형상 제작 프로그램인 Geofans 2000을 사용하였다. Geofans 2000(3)과 Unigraphics에서 생성된 3D 형상을 Fluent의 계산격자 전처리 프로그램인 Gambit에서 계산 격자를 각 부분별로 나누어 생성하였다. 부분별로 나뉜 계산 영역에 대한 계산 격자를 Fluent의 Non-conformal mesh 기능을 이용하여 정지영역과 회전 영역이 하나의 통일된 계산 영역으로 가능하도록 하였다. 팬의 회전은 임펠러를 모멘텀 소스로 처리하여 정지좌표계에서 정상 유동해석으로 팬의 회전을 시뮬레이션하는 방법인 Fluent의 Multiple Rotating Frame(MRF) 방법을 사용하였다. 압력 보정 방법은 SIMPLE 방법을 이용하였고 난류 모델로서 RNG k-e 모델을 사용하였다. 비정상 상태의 불규칙적인 유동인 난류 유동을 적절히 시간 평균을 취하면 그 유동량은 평균속도 등 평균적인 물리량으로 표시가 가능하며, 이때 새로운 미지수인 레이놀즈 응력이 나타나게 된다. 이 레이놀즈 응력은 요동하는 속도성분으로부터 발생하며 해석이 가능하기 위해서는 모델링이 필요하다. 아직 정확한 난류 현상을 예측할 수 있는 모델은 개발되어 있지 않으며

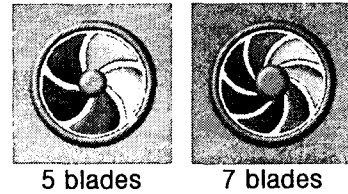


Fig. 5 Various fans for parameter study

최근 공학적으로 많이 사용되고 있는 k-e 2 방정식 모델이며 본 연구에서는 RNG k-e 모델을 이용하였다.

2.2 계산 조건 및 계산 격자

Fig. 5의 두종류의 축류팬에 대해서 단품 성능 실험을 통하여 팬에 대한 CFD 해석의 정확도를 검토하였다. Fig. 6에서와 같이 전체 계산 영역은 폭방향으로 팬 지름의 5배 정도 길이 방향으로 팬 지름의 5배 이상을 주어 경계조건이 팬 주위의 유동에 영향을 미치지 않도록 하였다. 경계조건으로는 입구에는 질량유량을 주었으며, 출구에는 대기압과 같은 정압 조건을 주었다. 해석결과 입구 유량에 대하여 입구에서의 부압을 알 수 있으며, 이 입구에서의 부압이 팬의 정압 성능이 되도록 하였다. 유동 조건은 입구 유량 0.7~1.45 CMM 에 대해서 회전수는 1100 RPM과 1300 RPM을 주었다. 계산 격자는 Fig. 7과 같이 팬과

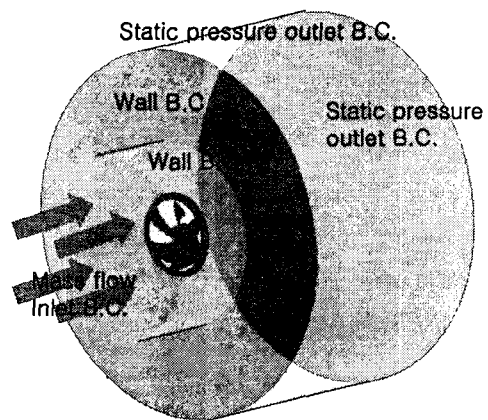


Fig. 6 Computational domain and B.C.'s

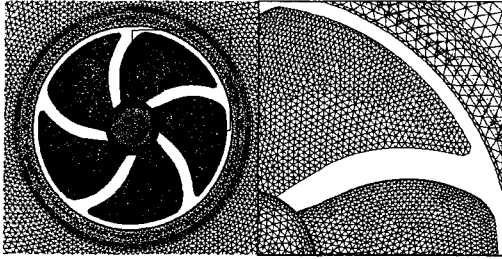


Fig. 7 Computational grids

쉬라우드에는 세밀한 격자를 집중시켰으며 그 크기가 대략 3 mm 정도이고 팬에서 멀어질수록 계산 격자의 크기가 커지도록 하였다. 팬 주위는 약 20~30만개의 계산 격자가 집중되었고 전체적으로 약 40만개 정도의 계산격자를 사용하였다.

유동 해석은 Pentium 4(2.4GHz, 1GB RAM)에서 계산하였으며 한 케이스당 약 600 회, 매 회당 약 20초의 계산 시간으로 총 3.5 계산시간이 소요되었다.

2.2 CFD의 정확도 검토 결과

Fig. 8은 두종류 팬의 CFD 해석과 실험결과를 비교한 것으로 그림에서와 같이 CFD 해석이 팬의 단독 실험과 비교하여 5~10% 정도의 오차를 보이고 있으며 팬의 성능 곡선이 실험과 비교적 같은 경향을 보임을 알 수 있다.

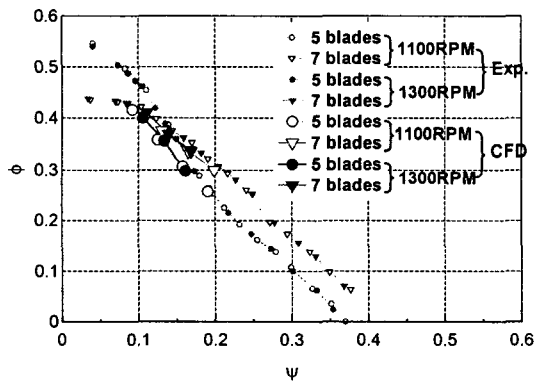


Fig. 8 Non dimensional performance curves

3. 냉장고의 냉기순환 CFD

3.1 계산 격자 및 경계 조건

Fig. 9는 냉장고 전체에 대한 냉기 순환 시뮬레이션의 계산 영역을 나타내었다. 냉장고에 사용되는 증발기를 직접 해석하는 것은 무리가 있기 때문에 다공성 물질 경계 조건을 주어 유량에 따른 압력 강하량의 실험결과를 경계조건으로 주었다. 두종류의 팬에 대해서 유동 해석을 하였다. 축류팬의 날개수가 5개로 기존에 사용되어온 팬과 터보익이 붙은 α -팬으로 날개수 7개인 팬에 대해서 유동해석을 하였다. Fig. 10은 유동 해석 계산 격자를 나타낸 것으로 팬 주위에 약 35만개, 유동 분배기에 약 64만개의 격자를 집중시켰으며 냉장실의 유동 분배기는 약 11만개 그리고 냉장실, 냉동실 그리고 증발기에 약 20만개의 계산 격자를 배정하여 총 약 130만개의 계산 격자를 사용하였다.

경계조건은 폐순환 시스템이기 때문에 입구와 출구 조건이 없으며, 단지 팬의 회전을 Fluent의 MRF 방법을 이용하여 유동의 순환을 만들어 내었다. 유동 해석은 Pentium 4(2.4GHz, 1GB RAM)에서 계산하였으며 계산 시간은 한 케이스당 약 1500회, 매 회당 약 60 초의 계산시간으로 총 25 시간 정도의 계산시간이 소요되었다.

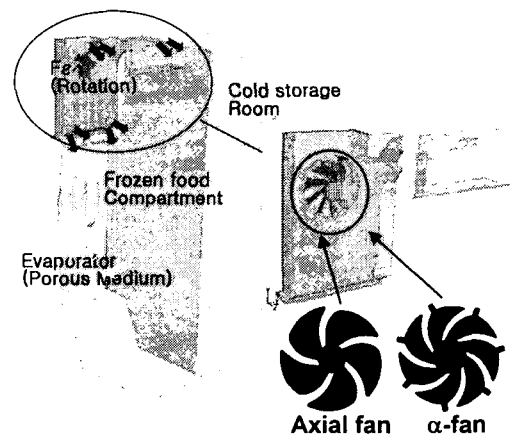


Fig. 9 Computational domains and fans for a simulation of whole circulation inside a premium refrigerator

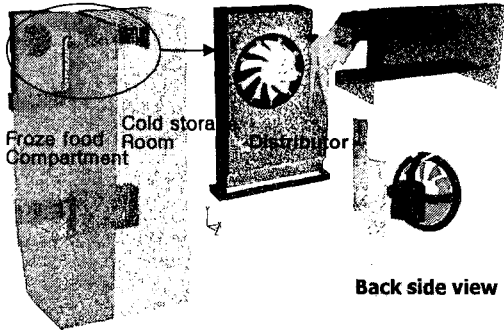


Fig. 10 Computational grids

3.2 냉장고의 냉기순환 CFD 결과

Fig. 11은 두종류의 냉장고 팬에 대한 성능 곡선을 실험 결과와 유동 해석 결과를 나타낸 것이다. 실험과 유동 해석은 약 20% 정도의 오차를 보이고 있다. 이는 앞의 팬의 단독 성능 연구에서는 실험 결과와 유동 해석 결과가 5~10% 정도의 오차를 보인 것에 비하여 유동 해석의 예측이 오차가 커진 것을 알 수 있다. 유동 해석의 경우 일반적으로 형상 항력을 더 크게 예측하여 압력 강하가 커지는 것으로 알려져 있다. 팬 자체는 공력적으로 항력이 크지 않도록 설계되었기 때문에 팬의 단독 성능 비교에서는 실험결과와 유동 해석 결과의 차이가 크지 않지만, 냉장고의 냉기 순환 시뮬레이션에서는 복잡한 유로 등에 의하여 압력 강하가 실제보다 크게 예측되므로 오차가 20% 정도 났다고 판단된다. 그렇지만 같은 유로에 대해서는 상대적인 비교가 가능하다. Fig. 11에서의 결과에서 보면 같은 회전수에서 날개수의 증가와 터보익 효과에 의하여 팬의 성능이 증가한 것을 알 수 있다.

Fig. 12는 터보익에 의한 유동 개선 효과를 유동 분배기 내의 팬 주위 단면에서 속도 벡터를 본 것으로 터보익이 없는 축류팬에서는 팬을 통과한 유동이 냉기 분배기의 벽에 바로 부딪치기 때문에 정체와 재순환에 의한 후류 영역이 상당히 크게 형성되며 성능, 효율 그리고 소음에 모두 안 좋은 영향을 주게 됨을 알 수 있다. a-팬

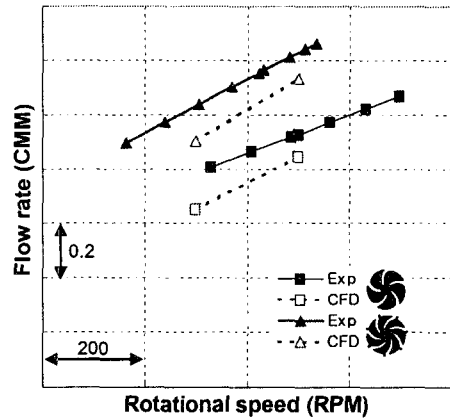


Fig. 11 Curves of Flowrates vs. rotational speed for air circulation inside a premium refrigerator

은 터보익에 의하여 유동의 많은 부분이 원주 방향으로 바뀌기 때문에 정체 영역과 후류 영역이 획기적으로 줄어들었음을 확인할 수 있다.

Fig. 13은 냉기 순환 시뮬레이션 결과로 냉장고내의 유속과 압력 분포를 나타낸 것이다. 결과에서 알 수 있듯이 대부분의 복잡한 유동과 속도 및 압력 변화는 냉동실내의 냉기 분배기에 집중되어 있으며 냉장실과 냉동실내는 거의 균일 속도와 균일 압력으로 유지됨을 알 수 있다.

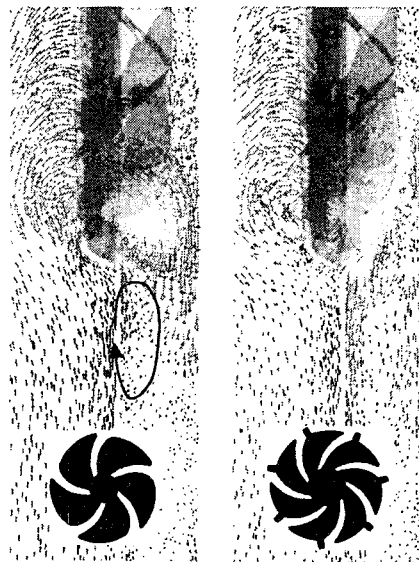


Fig. 12 Velocity vector section plots near the fan tips

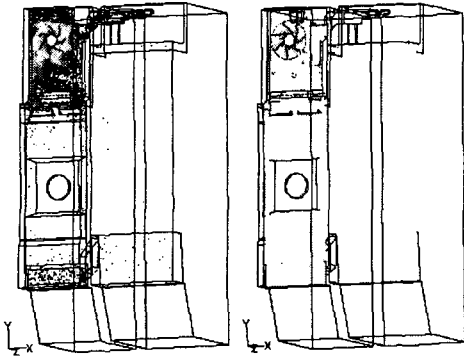


Fig. 13 Velocity vector and pressure contour plots at a whole section of a ref.

Fig. 14와 Fig. 15는 냉기 분배기 내의 속도와 압력 분포를 나타낸 것이다. Fig. 14의 속도 벡터를 보면 터보익에 의하여 팬을 지난 유동이 보다 고르게 분포되는 것을 확인할 수 있으며, 압력의 경우에는 팬의 날개수가 많고 터보익이 있는 경우에 더 높은 것을 확인할 수 있다.

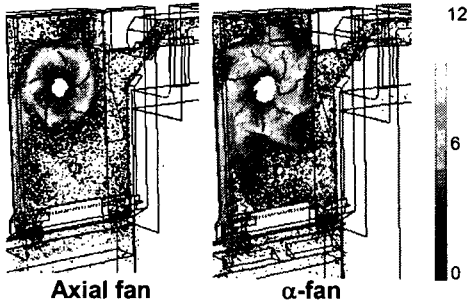


Fig. 13 Velocity vector plots at a section of an air distributor

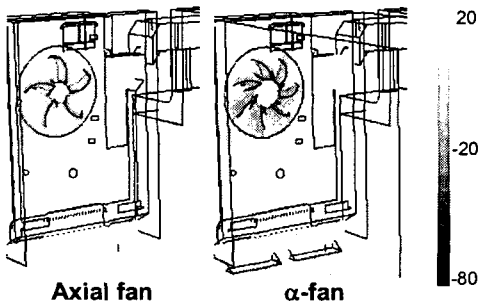


Fig. 14 Pressure contour plots at a section of an air distributor

4. CFD를 이용한 냉장고 저소음 덕트 개발

α-팬을 적용하여 저소음의 목적을 달성하였지만 보다 개선된 결과를 얻기 위하여 냉기 분배기 내의 유로를 유동 해석 결과를 이용하여 개선하였다. 이 경우에 냉기 분배기내의 개선이므로 부담이 따르는 냉장고 전체 영역에 대해서 계산하지 않고, 전체 시뮬레이션 결과로부터 경계조건을 얻어 내어 냉기 분배기 주변 부위만을 계산하였다. 이 경우에도 계산 격자는 약 70만개가 소요되었지만 순환 시뮬레이션보다 수렴 속도가 현저히 증가하여 계산의 부담을 덜 수 있다.

Fig. 15 (a)는 날개수가 7개인 알파팬에 대해서 유동 해석한 결과이다. 좌측 상단의 유동의 재순환을 없애고 좌측으로 빠져 나오는 유동의 디퓨저 효과를 주는 디자인을 적용하여 그림 15 (b)의 형상과 같이 개선하였으며 이러한 개선을 통하여 Fig. 16에서 알 수 있듯이 소음이 저감되었다.

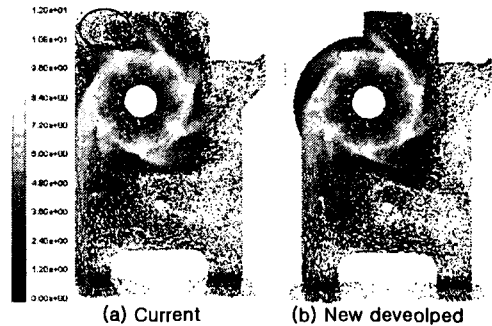


Fig. 15 Velocity vector plots at a section of an air distributor

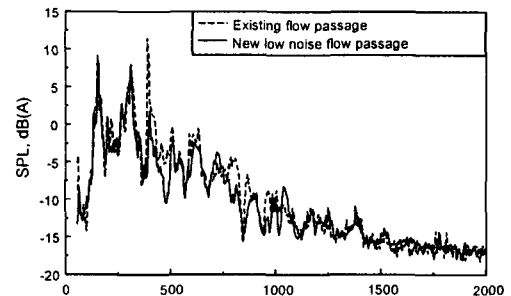


Fig. 16 Sound pressure level graphs

5. 결론

본 연구에서는 Fluent의 MRF 방법을 이용하여 팬의 회전에 의한 냉장고의 냉기 순환을 유동 해석하였다.

먼저 냉장고 팬에 대한 유동 해석의 결과와 실험 결과의 차이가 5~10% 정도임을 보여 CFD 해석의 정확도를 검증하였으며 팬의 회전에 의한 냉장고내 냉기 순환 시뮬레이션 유동 해석에서는 실험과의 차이가 약 20% 정도로 나왔다.

냉장고내의 냉기 순환 유동 해석으로 저소음 신형상 팬 주위의 유동이 기존 팬에 비하여 유동 분포가 안정적임을 보였으며 또한 유동 해석 방법을 이용하여 저소음 유로 형상을 개발하여 저소음화를 달성하였다.

참고문헌

- (1) Young-gyu Jung, Wan-Ho Jeon, Seung-Jo Baek, Chang-Joon Kim, "Study of optimal shape of low noise, new concept fan for refrigerator," *Internoise 2003, The 2003 International Congress on Noise Control Engineering*
- (2) 오민정, 이재현, 오명도, "냉장고 내부의 냉기 유동특성에 관한 3차원 해석(I)," *공기조화·냉동공학 논문집 제7권 제3호*, 1995, pp. 382-395
- (3) Seung-Jo Baek, Chang-Joon Kim, Wan-Ho Jeon, "Development of the GUI based Design Program for Axial Flow Fans," *54th Annual International Appliance Technical Conference & Exhibition*