

후드겸용 전자렌지 시로코팬의 소음특성에 관한 연구

전완호* · 송성배** · 손상범** · 류호선**

A study on the aeroacoustic characteristics of the sirocco fan of over the range

Wan-Ho Jeon*, Sung-Bae Song**, Sang-Bum Sohn**, Ho Seon Rew**

Key Words: Over the range(OTR : 후드겸용 전자렌지), Sirocco fan(시로코팬), Computational Fluid Dynamics(전산유체역학), Noise Reduction(저소음화), Aeroacoustics(공력음향학)

ABSTRACT

Over the range(OTR) has been applied for cooking and ventilation functions especially in northern America. Because flow rate and operating rpm of the double sided sirocco fan for ventilation are much higher and than the microwave oven system, the major noise source is the sirocco fan. Recently, the quiet fan development is one of very important issues for amenity. In this study, the noise source identification using multi-microphone array system was carefully carried out and numerical simulations for understanding the aerodynamic and aeroacoustic of the fan were performed. The sound level of tonal noise is predicted with a good accuracy but that of the broadband shows some discrepancy. In order to reduce the broadband noise, the inlet region of sirocco fan have to be modified that the secondary flow should be suppressed. Based on these results, new low noise fan and OTR is now developing.

1. 서 론

후드와 전자레인지 기능을 모두 갖고 있는 후드 겸용 전자레인지(OTR : Over The Range)는 가스오븐레인지 상부에 설치하여 공간활용도를 높인 것으로 주로 미국 및 캐나다 지역의 중, 상류층 가정에서 많이 사용되고 있다. 최근 음식물 조리시 발생하는 연기 및 냄새를 주방에서 외부로 배출시키는 후드기능의 개선

과 저소음화에 대한 요구가 점차 높아지고 있어서 후드로 사용되는 원심팬의 고품량, 저소음화의 필요성이 더욱 요구되었다.¹⁾ 그러나, 최근 에너지 규제에 따라서 최고풍량이 제한됨에 따라 저소음화가 가장 큰 이슈로 등장하고 있다.

본 논문에서는 후드 겸용 전자레인지의 저소음화를 위한 연구로, 후드 겸용 전자레인지의 소음원과 소음 특성을 파악하는데 목적이 있다. 근접 음향장 측정 결과 후드의 역할을 하는 양흡입 시로코팬이 가장 큰 소음원임을 확인했다. 시로코팬의 소음특성은 공력소음이므로, 시로코팬의 유동장을 해석과 PIV(Particle

* 정희원, LG전자 DA연구소

** LG전자 DA연구소

E-mail : whjeon@lge.com

Image Velocimetry)기법을 이용해서 해석하고 소음 발생 원인을 파악하였다. 또한 CFD를 이용하여 비정상 유동장 해석을 수행하고, 해석된 압력장을 이용해서 공력소음을 예측하여 유동장 특성의 어느 부분이 주요 소음원인가를 파악하였다. 이 결과를 바탕으로 현재 저소음 시로코팬 및 후드 검용 전자레인지의 개발이 진행중이다.

2. 후드검용 전자레인지의 소음 특성

2.1. 후드검용 전자레인지

이 제품은 외곽 크기가 규격으로 제한되어 있어서 제품 내부의 유로부가 아주 협소하다는 것이다. 외곽 크기는 756(W)×390(D)×418(H)이다.

OTR의 외곽크기가 제한되어 있는 상황에서 제품개발방향은 좀더 큰 전자레인지 공간과 고성능 후드로 집약되고 있다. 전자레인지 내부 공간을 크게 하기 위해서는 시로코팬으로 통하는 유로를 상당부분 작게 만들어야 가능하고, 줄어든 유로부는 압력손실과 소음증가를 유발시키고 이것은 결국 고효율, 저소음 팬의 개발과 상충되는 결과를 낳고 있다. 이런 상황에서 기존보다 내부공간을 크게 하고 소음을 낮추기 위해서는 체계적으로 소음원 파악과 소음 특성 파악이 필수적이다.

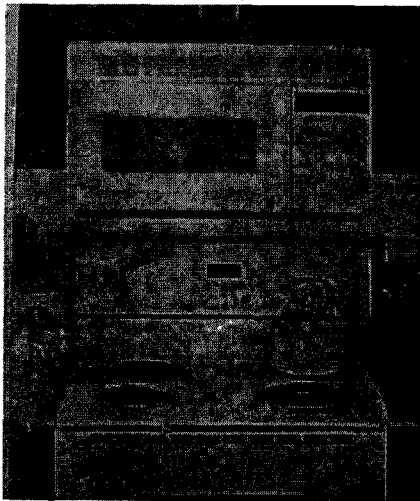


Fig. 1 Overview of the Over the Range

현재 OTR에 사용되고 있는 팬은 Fig. 2에서 보듯이 양흡입 시로코팬이다. 임펠러는 가운데부분에 중간 판으로 막혀서 좌우가 구분되며, 유동은 좌우측의 입

구부분과 모터와의 연결부분에 있는 틈새로 들어온다. 출구부는 고유량을 위해서 한쪽이 약간 경사진 형태로 되어 있다.

임펠러의 깃은 42개이고, 직경은 83mm 깃형상은 보치집 형상으로 설계하였다. 팬의 전체적인 크기는 108mm의 box형태로 고정되어 있기 때문에 스크롤의 확장각은 약 4.3도의 아주 작은 값을 가지고 있다.

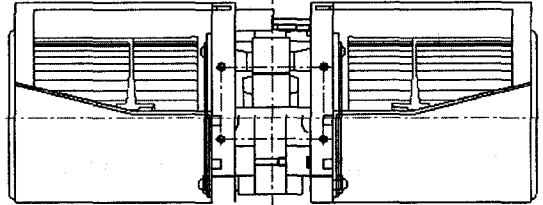


Fig. 2 Schematic diagram of double inlet sirocco fan used in OTR.

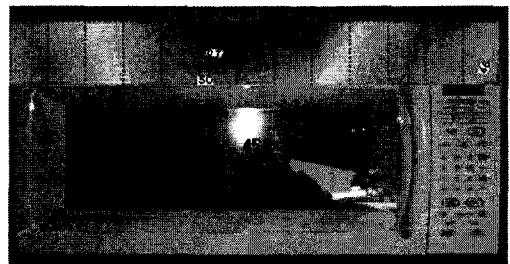
2.2. 실험장치

OTR의 성능은 풍량과 소음이다. 풍량은 ASHARE 표준으로 설계, 제작된 팬테스터에서 수행되었다. 이 팬테스터의 측정범위는 10~500CFM이고 측정은 팬이 OTR에 장착된 상태에서 수행되었다.

소음은 차단주파수(cut-off frequency)가 200Hz, 암소음이 11.7dB(A)인 완전무향실에서 송풍기가 장착된 OTR의 전방 중앙에서 1m 떨어진 곳에 마이크로폰을 설치하여 측정하였다.

2.3. OTR의 소음 특성 파악

OTR의 소음원중 가장 우세한 소음원을 찾기 위하여 OTR표면 5cm위치에 마이크로폰을 5cm 씩 이동시키면서 근접음장을 측정하였다. 측정결과 OTR상부에서의 소음방사가 우세하였기 때문에 하부의 측정은 제외하였다. 측정은 OTR전방, 좌우측의 세 방향에서 수행되었다. 각각의 측정 결과가 Fig. 3에 있다.



(a) Distribution of near field for Overall SPL



(b) Distribution of near field for 500Hz Band

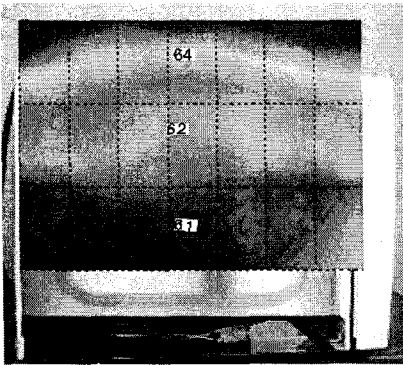


(c) Distribution of near field for 1000Hz Band

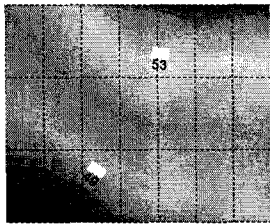


(d) Distribution of Near field for 2000Hz Band

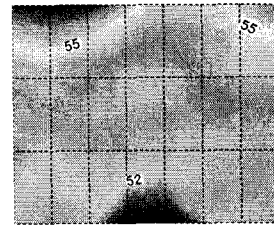
Fig. 3 Distribution of acoustic pressure at front direction



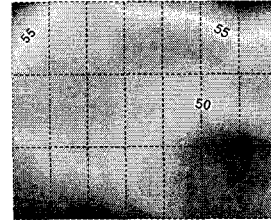
(a) Distribution of Near field for Overall SPL



(b) Distribution of Near field for 500Hz band



(b) Distribution of Near field for 1000Hz band



(d) Distribution of Near field for 2000Hz Band

Fig. 4 Distribution of acoustic pressure at right direction of OTR

근접장의 측정 결과, OTR의 가장 우세한 소음은 양흡입 시로코펜이라는 것을 확인할 수 있었다. 특히 Fig. 3 (a)의 전방소음분포를 보면 웬이 있는 위치가 가장 큰 음압분포를 나타내고 있다. 이것은 웬의 날개 통과주파수가 있는 2000Hz대역에서도 극명하게 확인할 수 있다. 또한, Fig. 4에서도 웬과 유로부가 존재하는 상부에서 소음이 많이 발생하고 방사하는 것을 확인할 수 있다.

3. 수치 해석 및 실험

3.1. CFD를 이용한 시로코펜의 유동특성 해석

앞절에서 확인했듯이 OTR의 주된 소음원은 양흡입 시로코펜이다. 웬의 모터에 의한 진동소음도 나타나지만 저유량이나 저 rpm같은 경우에만 우세하므로 본 연구에서는 고려하지 않았다. 시로코펜의 소음은 공력소음이며, 저주파수의 광역소음영역과 날개통과주파수의 피크소음이 우세하게 나타난다. 본 논문에서는 이런 공력소음의 발생원인을 자세하게 파악하기 위해서 시로코펜에 대한 유동해석을 상용 CFD코드인 Fluent를 이용하여 수행하였다. 임펠러는 MRF(Multiple

Reference Frame)으로 회전하는 효과를 모델하였고, 임펠러의 두께는 무시하였다. 또한, 팬은 모터 중심으로 한쪽 팬만 고려하여 해석하였다.

해석에 사용된 격자는 120만개이고, 난류모델은 RNG $k-\epsilon$ 을 사용하였다. 해석에 사용된 조건은 회전수 3337rpm, 유량 150CFM(cubic feet per minute)이다. 팬 모델에 대한 격자계는 Fig. 5에 있다. 해석한 결과를 보면 전체적으로 3차원 이차유동이 많이 존재함을 확인할 수 있었다. Fig. 6은 임펠러의 중앙을 지나는 단면에 대한 속도벡터를 나타낸 그림으로 가운데 중앙판에 의한 유동의 분리현상이 나타나고 있으며, 팬 흡입구부터 강한 이차유동이 띠형태로 존재하고 있음을 확인할 수 있다. 이런 이차유동은 모터쪽 흡입구가 있는 부분(왼쪽부분)보다 OTR유로에서 직접 흡입되는 부분에서 더 강하고 크게 나타나는 것을 확인할 수 있다.

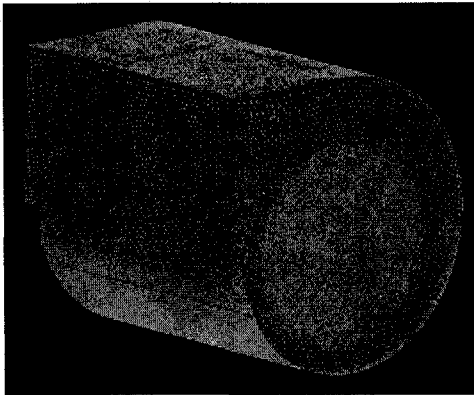


Fig. 5 Mesh of the sirocco fan used in OTR

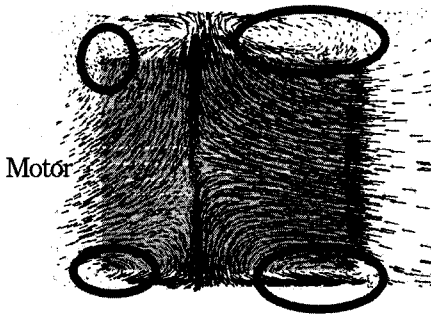


Fig. 6 Velocity vector of mid plane of impeller.

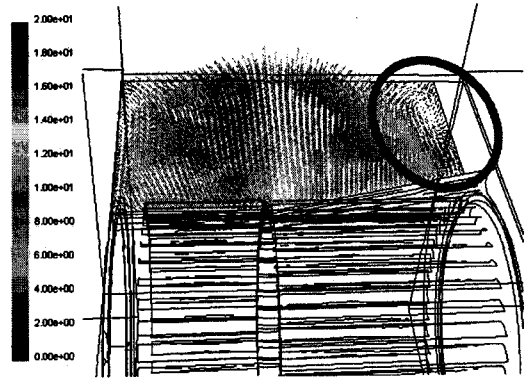


Fig. 7 Velocity vector of exit plane of sirocco fan

팬의 출구부분의 유동을 살펴보면 Fig. 7과 같다. 강한 이차유동이 존재하는 입구부쪽의 출구(오른쪽 타원 부분)는 역류가 발생하면서 손실로 작용하고 있음을 확인할 수 있고 대부분의 유동이 임펠러의 중앙판이 있는 위치에서 토출됨을 확인할 수 있다.

3.2. PIV를 이용한 시로코팬 출구 유동 측정

팬의 출구부분의 유동장을 확인하기 위해서 PIV(Particle Image Velocimetry)를 이용하여 유속을 측정하였다. PIV장비의 구성은 2 Head의 ND-YAG Laser, 1개의 CCD 카메라와 PC로 이루어져 있으며, 유동장에 입자(Particle 또는 Tracer)를 삽입하여 유체 유동에 의한 입자 거동을 카메라로 획득한 후, 디지털 화상처리와 해석 알고리즘을 통하여 순차적으로 변화하는 유동장의 특성을 정량적으로 유동장을 측정하는 기법이다.

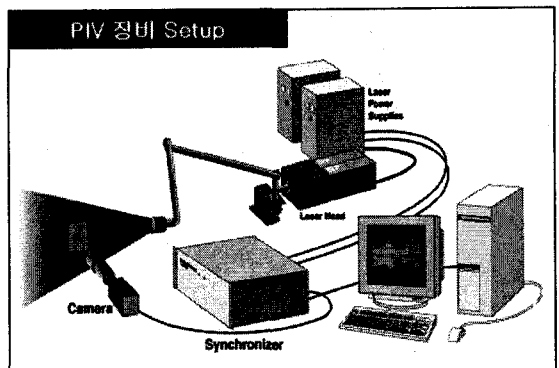


Fig. 8 Experimental setup for PIV measurement.

가시화에 사용한 Particle은 윤활유(Glycerin, SG-10)를 사용하였으며, 측정 지점은 시로코헨의 출구면 단면을 선택하였다. 측정된 결과가 Fig.9 에 있다. Fig.9 를 해석결과와 비교해보면 전체적인 유동장 특성이 비슷함을 확인할 수 있다. 중앙판이 있는 가운데 출구 부분으로의 유동 집중현상과 우측 끝부분의 역류 및 이차유동 발생을 해석과 실험에 의한 결과로 확인할 수 있다.

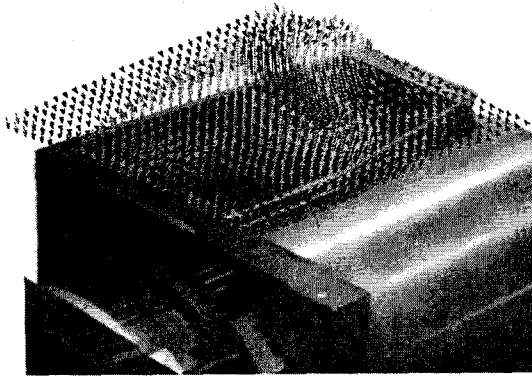


Fig. 9 Measured velocity vector for OTR sirocco fan exit.

3.3. 공력소음 해석

공력소음을 수치적으로 해석하기 위해서는 비정상 유동장에 대한 해석이 필수적으로 수행되어야 한다. 그러나 3.1절의 유동해석은 120만개의 격자로 정상유동을 해석하는 데만 며칠이 소요되기 때문에 미끄럼 격자를 이용한 비정상 해석을 수행할 수 없다. 그래서 본 연구에서는 특정 단면을 선택하여 2차원 단면에 대한 비정상 유동해석을 수행하고 그 결과를 이용하여 소음해석을 수행하였다. 해석에 사용된 2차원 단면의 격자는 6만개이고, 임펠러는 미끄럼격자(sliding mesh)를 사용하여 매시간 회전한다. 해석은 임펠러가 한 회전하는 동안 420번의 시간간격($dt = 3.567 \times 10^{-5}$)으로 수행하였고, 10회전후의 안정된 자료를 이용해서 소음 해석을 수행하였다. 해석은 임펠러가 3337rpm로 회전하고 유량이 150CFM일때를 기준으로 수행하였다. 난류모델은 RNG k- ϵ 을 사용하였다

해석된 유동장은 Fig. 10과 같다, 그림은 절대속도 분포를 나타낸 것으로 cutoff과의 상호작용이 잘 나타나고 있으며 cutoff이전에 큰 유속의 토출이 존재함을 확인할 수 있다. 2차원 해석의 경우 3차원 해석시 확인할 수 있었던 입구 부근의 이차유동에 의한 와류현상은 보이지 않고 전체적으로 깨끗한 유동장을 확인할

수 있다.

해석된 유동장 자료를 이용하여 전방 1m 떨어진 지점에서의 음압을 계산하였다. 계산된 결과는 Fig.11 에 있다. 그림에서 날개통과파수에 해당하는 피크값은 어느정도 예측할 수 있지만 저주파수쪽의 광역소음값은 많은 차이가 발생함을 확인할 수 있다. 이것은 이 주파수대역의 소음이 삼차원 시로코헨의 입구부근에서 발생하는 이차유동에 의한 와류와 임펠러가 상호작용하면서 발생하는 광역소음이기 때문이다. 유동해석을 통한 소음해석

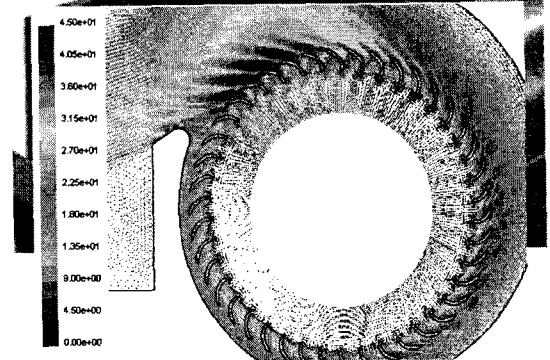


Fig. 10 Calculated CFD results : velocity vector of sirocco fan.

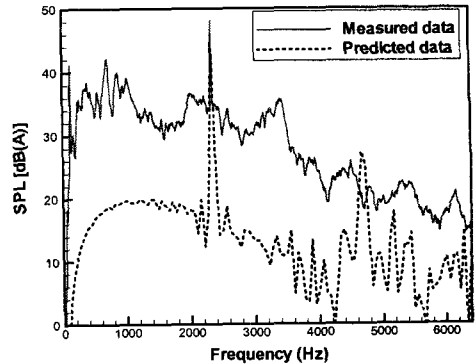


Fig. 11 Comparison of measured and predicted acoustic pressure.

3.4. 새로운 저소음 팬 개발

현재 해석된 소음발생 원인을 분석해서 저소음 팬을 개발하여 실험중에 있다. 개발되는 시로코헨은 이차유동을 줄이고, 팬 출구에서의 유동 불균일을 줄이는 방향으로 개발되고 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 부엌에 사용되는 후드겸용 전자레인지의 소음특성을 파악하고, 저소음화를 위한 기본연구로 소음발생원인과 유동특성을 해석적인 기법과 실험적인 기법을 이용하여 파악하였다.

- 1) 후드겸용 전자레인지의 근접 음향장 측정을 통해서 주된 소음원은 후드역할을 하는 양흡입 시로코펜이며 주로 OTR의 윗 부분을 통해서 외부로 방사됨을 확인했다.
- 2) 시로코펜의 소음은 대부분이 공력소음에 의한 것임을 확인했고, 공력소음의 주된 원인이 되는 유동장 특성을 파악하기 위해서 CFD해석과 PIV실험을 한 결과 사용된 시로코펜은 흡입구 부분에 강한 이차유동인 와류가 존재함을 확인하였다. 또한, 출구부분에도 이

차유동에 의한 역류영역이 존재함을 확인하였다.

- 3) 이차원 모델을 이용한 공력소음해석의 결과, 이차유동이 존재하지 않는 이차원 유동은 날개통과주파수의 피크소음은 어느 정도 정확하게 예측하지만 저주파수의 광역소음은 예측할 수 없음을 확인하였다. 이것은 저주파수의 광역소음이 이차원 유동으로 해석할 수 없는 이차유동과 큰 관계가 있음을 나타내고 있다.
- 4) 이상의 연구결과를 바탕으로 이차유동을 억제할 수 있는 새로운 저소음팬이 설계되고 있다.

참고 문헌

- (1) 박성일, 송성배, 이준세, 1999, “배기용 Sirocco fan에 대한 연구 : OTR 적용 사례”, 공기조화 냉동공학회 하계학술발표회 논문집(1), pp.390~394.