

냉장고속 원심팬의 내부 BPF 소음 예측을 위한 하이브리드 법의 적용과 소음 저감

Application of hybrid techniques for the prediction of internal BPF noise of centrifugal fan in refrigerators and its reduction

허승* · 정철웅† · 서민영** · 김석로**

Seung Heo, Cheolung Cheong, Min-Young Seo, Seokro Kim

1. 서론

팬(fan)은 압축기(compressor)와 함께 냉장고 전체 소음에 크게 기여하는 주요한 소음원이다. 본 연구의 주된 목적은 관련 산업계에서 팬의 초기 설계 과정에 활용할 수 있는 효율적인 팬 내부 유동 소음 해석 방법론을 제시하고 제시한 방법론의 실제 적용을 통하여 저소음 팬을 개발하는 것이다. 이를 위하여 냉장고 내부의 원심팬에 의한 내부 BPF(Blade-Passing-Frequency) 소음을 효율적으로 예측할 수 있도록 기존에 사용되고 있는 상용 프로그램을 활용한 복합방법(hybrid method) 전산음향기법을 제시한다. 일련의 실험값과의 비교를 통하여 제안한 방법의 유효성을 증명하고 설계도구로의 효용성은 소음 발생 메커니즘의 상대적 기여도를 비교함으로써 나타낸다. 최종적으로 해석결과에 기반하여 저소음 설계안을 제시하고 실험을 통하여 최종 설계안을 검증한다.

2. 본론

2.1 선행 실험

대상 냉장고 전체 소음에 크게 기여하는 지배적인 소음원을 찾기 위해 선행 실험을 수행하였다. Fig. 1에는 냉장고의 정면과 후면에서 측정된 음압 레벨에 대한 측정결과를 나타냈다. 이 결과를 통해 원심팬이 작동하면 냉장고의 전체 소음이 정면에서 1dBA, 후면에서 1.5dBA 증가함을 확인할 수 있다. 다른 냉장고 모델에 비해 대상 냉장고 모델의 전체 소음에 대상 원심팬의 기여도가 상대적으로 크다는 것을 확인하고 원심팬의 소음저감을 시도하였다.

†교신저자: 부산대학교 기계공학부

E-mail: ccheong@pusan.ac.kr

Tel: (051) 510-2311, Fax: (051) 514-7640

* 부산대학교 기계공학부 대학원 기계시스템설계 전공

** LG 전자, 냉장고사업부

2.2 수치 기법

(1) CFD 를 통한 유동해석

유동 예측을 위해, 3 차원의 비압축성 RANS 방정식을 풀었다. 수치기법은 MUSCL 계열의 기법을 사용하였으며 난류모델은 high Reynolds number k-ε turbulence 모델을 사용하였다. 계산의 편의성을 위하여 상용 CFD 프로그램인 STAR-CD™ 을 사용하였다.

(2) 음원 모델링

저마하수 내부유동소음원은 이극자 소음원과 사극자 소음원으로 모델링 할 수 있다. 이극자 소음원의 경우 그린함수(Green function)를 사용하여 그 효과를 대체하고 유동해석 결과 중 점성 응력과 엔트로피의 변동을 무시할 수 있다고 가정하여 Lighthill 응력을 Reynolds 응력으로 근사화하여 사극자 소음원으로 모델링하였다.

(3) 음향과 해석

원심팬에 의해 발생된 소음을 예측하기 위해 그린함수를 사용하여 덕트 내부 경계조건의 고려하였으며 유동해석 결과를 활용하여 모델링한 소음원과 연계하여 내부유동소음레벨을 예측하였다. 그린함수는 SYSNOISE™ 을 활용하여 수치적으로 구현하였다.

2.3 수치해석결과

(1) 원심팬의 유동 예측

원심팬은 10 개의 후향익 블레이드를 가지고 있으며 회전속도는 2500RPM 이다. 대상 원심팬의 독특한 특징은 ‘draining hole’이라고 명명한 구멍을 가지고 있다. 이 구멍은 작동 시에 생기는 물방울을 제거하기 위해 사용되며 ‘volute tongue’ 영역과 비슷한 유동 흐름을 가질 것으로 예측된다.

유동의 계산은 주기적인 유동 현상이 나타날 때까지 수행하였고 그 결과를 Fig. 2 에 도시하였다. ‘volute tongue’ 영역과 ‘draining hole’ 영역의 압력 변동이 다른 지역에 비해 크므로 주된 소음원 영역으로 선택하였다.

(2) 원심팬의 소음원 모델링

두 소음원 영역에서 유동해석결과의 Reynolds 응력을 총 250 개의 사극자 점음원을 사용하여 모델링 하였다.

(3) 소음예측 결과

원심팬에 의한 내부 BPF 소음 레벨은 BEM 법과 모델링한 소음원을 연계하여 예측하였다. Fig. 3(a)에는 BPF 에서 예측된 소음 레벨을 나타냈다. Fig. 3(b)에는 'volute tongue'영역 음원과 'draining hole' 영역 음원의 상대적 기여도를 나타냈다. 첫번째 BPF 에서 예측값이 실험값과 잘 일치하는 것을 확인할 수 있고 cut-off 영역의 음원의 기여도가 더 크다는 것을 알 수 있다.

2.4 설계 요소 특성해석

원심팬의 컷-오프 길이를 변화시키면 소음레벨의 변화를 관찰하였다. 현재 대상 팬의 정규화 컷-오프 길이는 0.09 이고 이를 Fig. 4(a)와 같이 0.125 와 0.150 의 비율로 늘여서 비교하였다. 변형된 원심팬의 소음 예측결과는 Noise 의 실험결과와 함께 Fig. 4(b)에 나타냈다. 변형된 원심팬은 BPF 에서 약 2 dBA, 3 dBA 정도 저감되는 것으로 예측되었다. 저소음 설계안은 실제 적용과정에서 기존의 제작공정에 쉽게 적용하기 위하여 Fig. 5(a)와 같이 조정하였다. Fig. 5(b)에 적용 설계안의 예측 결과와 실험 결과를 원래 팬의 실험결과와 함께 나타냈다. 예측과 실험 모두에서 적용 설계안이 기존설계안과 비교하여 BPF 에서 약 3dBA 저감되는 것을 알 수 있다.

3. 결 론

냉장고에 사용되는 원심팬의 내부 BPF 소음 예측을 위해 복합방법을 사용하였다. 예측결과와 실험결과를 비교하면 BPF 에서 5 dBA 이내의 차이를 가지는 것을 확인하였다. 정규화 된 컷-오프 길이를 0.125, 0.150 로 변형하여 2~3 dBA 정도 소음이 저감되는 것으로 예측하였다. 실제 제시한 저소음 설계안은 기존의 원심팬과 비교한 결과 3dB 정도 소음 저감 효과를 가지는 것을 예측과 실험 모두에서 같이 확인하였다. 이러한 결과를 바탕으로 제시한 복합방법은 소음 발생 메커니즘 분석과 저소음 팬 개발에 유용하게 사용할 수 있을 것으로 사료된다.

후 기

이 논문은 2008 년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원(KRF-2008-331-D00083)을 받아 수행된 연구입니다.

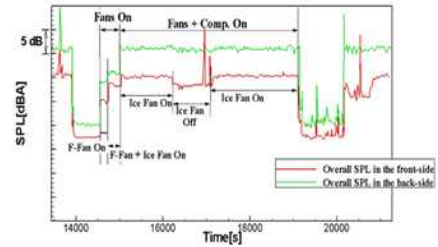


Fig1. The overall noise of the refrigerator during refrigeration cycles.

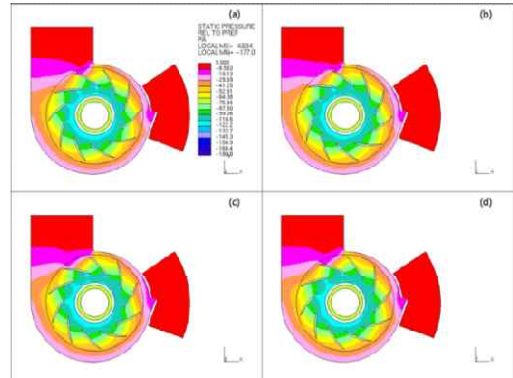


Fig2. Pressure contours at the plane, Z=-14.5; (a) the beginning (b) 25% (c) 50% (d) 75%

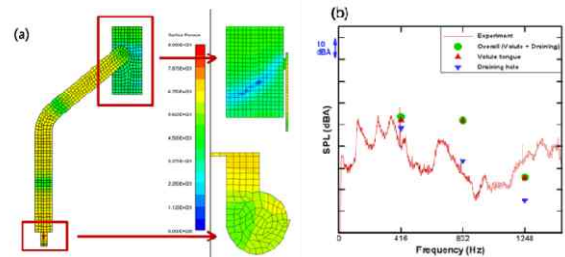


Fig3. (a) Acoustic pressure levels at the BPF (b) Comparison of SPLs between the predicted and experimental results

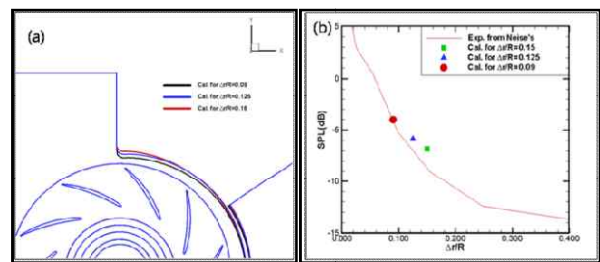


Fig4. The parametric study that uses the cut-off clearance

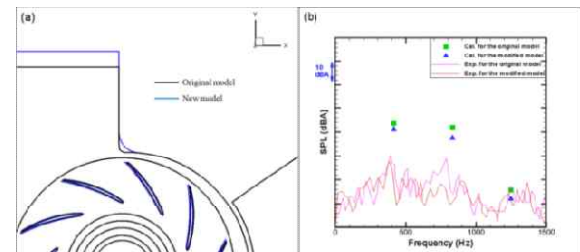


Fig5. Comparison of the sound spectra of the original and improved fan