

공기청정기 회전 루버 각도에 따른 유동소음 변화에 관한 연구 Study on the flow noise generated from the air-cleaner auto louver by changing angle

박진원 † · 정윤영 * · 전완호 **
Jin Won Park, Yeun-Young Jung and Wan-Ho Jeon

Key Words : Air-cleaner(공기청정기), flow noise(유동소음), vortex shedding(와류 흘림), CFD(전산유체역학)

ABSTRACT

In order to optimize the rotating angle of the auto louver, the air-cleaner with turbo fan was numerical and experimentally analyzed. The noise generated from the auto louver was changed by modifying the installation angle of the louver. Flow field and flow noise were analyzed numerically by commercial tool SC/Tetra and FlowNoise S/W. Experiment was also done at anechoic chamber. From the numerical and experimental data, we can find the optimal rotating angle for auto louver of the air-cleaner.

1. 서론

최근 대기 오염과 더불어 실내 공기질에 대한 환경문제에 대하여 환경규제가 제정되는 등 소비자들에게 크게 부각되면서 건강 및 생활의 쾌적함을 지향하는 제품들의 수요가 증가 추세이며 이에 대한 관련 업계의 기술개발이 빠르게 진행되고 있다. 그 중에서도 공기청정기 제품은 단순한 집진 및 탈취 기능을 넘어서 음이온, 향균, 항바이러스 기능 및 실내 공간에 살균 물질을 내보내는 공간 살균 기능을 겸비한 복합기능 제품들이 출시되는 등 동종 업계의 공기청정기 제품 개발 경쟁이 치열해지고 있다. 또한 소비자들의 경제수준 향상 및 의식변화로 제품의 성능, 소음 및 기능 등을 면밀히 검토하는 구매가 늘고 있으며 앞선 디자인과 제품의 고급화를 선호하는 경향을 보이고 있다. 이러한 소비자의 소비욕구를 모두 만족시킬 수 있는 기술개발과 제품개발의 노력이 요구된다.

이에 본 연구에서는 원심형 송풍기를 공기 공급장치로 사용하는 물리적 집진 방식의 공기청정기에 있어 사출물로 제작된 격자형태의 안전 그릴과 실내 공기의 원활한 교환 기능과 디자인의 고급화를 목적으로 부착된 auto louver로 Fig. 1과 같이 구성된 토출구조물에 대하여 소음 및 유량 성능을 고려하여 최적의 auto louver 설치각 및 회전각도 설정 방법에 초점을 둔다. 최적의 설치각 및 회전각을 얻기 위하여 수치해석과 실험적 방법에

의해서 parameter study 를 수행하였다.

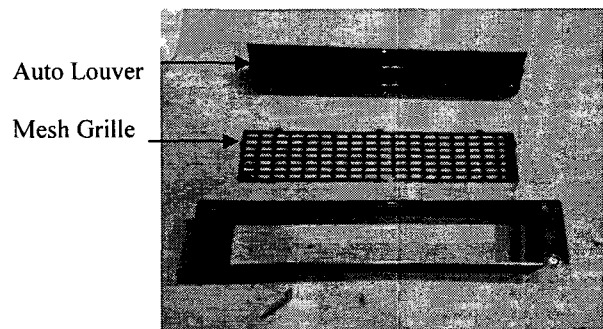


Fig. 1 제품 형상 및 구조

원심형 송풍기를 사용하는 공기청정기의 주요 소음원으로는 크게 송풍기 소음과, 필터 및 흡입구 주변 구조물과 토출구 주변 구조물을 유동이 거치면서 발생하는 유로소음으로 크게 분류할 수 있다.¹⁾ 전동기에 의해 발생하는 소음은 송풍기에서 발생하는 광대역 주파수 소음에 비하여 무시해도 무방하며 본 연구의 범위는 스크롤 케이싱의 토출구 주변 구조물로서 대상 시료의 토출구 평균 유속이 5m/s 이상의 운전조건에서 유동이 mesh grille 과 auto louver 를 지나면서 vortex shedding 의 해 발생하는 유동소음과 두 구조물 사이에서 발생하는 2차 소음원이 주된 소음원으로 작용한다.

2. 전산 해석

2.1 전산 해석

대상시료의 토출구 구조물들 사이에서 발생하는 세부 유동장 파악하기 위하여 전산유체역학 상용 프로그램인 SC/Tetra 를 사용하여 유동장을 해

† 책임저자; 웅진코웨이㈜ 환경기술연구소
E-mail : junwon@coway.co.kr
Tel : (02) 2172-3731, Fax : (02) 2172-3963

* 웅진코웨이㈜ 환경기술연구소

** CEDIC㈜ 기술연구소 whjeon@cedic.biz

석을 수행하였다.²⁾ 대상시료의 세부적인 모델링을 위하여 Fig. 2 와 같이 토출구 주변 구조물의 상세한 모델링을 진행하였으며 대기중으로 토출 되는 유동형태를 고려하여 토출 영역은 반구 형태로 구성하였으며 정의된 계산 영역에 대하여 정사면체 격자를 사용하여 총 약 270 만개의 격자를 구성하였으며 해석은 auto louver 의 각도를 수직방향인 90 도에서 80 도와 70 도 3 개 경우를 대상으로 소음예측에 필요한 시간에 따른 압력 분포 데이터 획득하기 위하여 비정상상태로 해석을 수행하였다.

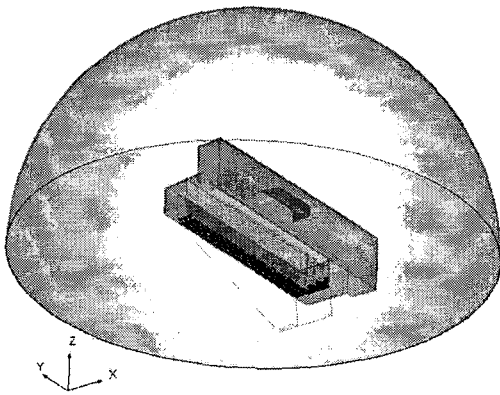


Fig. 2 해석 영역

유동의 전산 해석을 위한 경계조건으로는 전체 시스템의 전산해석을 통해 얻어지는 결과로부터 일정 유량 조건을 인가하고 토출구에서는 대기압 조건을 인가하였다.

전산 해석에 사용된 지배방정식은 질량에 대한 연속방정식, 운동량 보존 방정식, k-ε 난류 에너지 방정식, 그리고 난류 소산 방정식이며 이들 각각은 식(1)-(4)에 표기하였다. 지배 방정식에서 ρ는 밀도, g는 중력 가속도, μ는 점성 계수, ε은 난류 소산량, k는 열전도 계수이며 본 계산에서는 사용 되지 않았다. p는 압력, s는 잔류량, u는 속도, x는 좌표를 표시하며, 그 물리량들의 방향성은 하첨자 (i, j)등으로 나타내었다. 하첨자들 중에서 m 은 운동량 (momentum)을 의미한다. 본 연구의 수치 계산은 상용 프로그램을 이용한 것이므로 해석의 과정에서 필요한 각종 계수(C)와 기타 물리량 및 첨자, 그리고 계수 등은 프로그램의 매뉴얼에 따라 전산 해석이 수행되었다.

비정상상태 유동 해석 결과로부터 얻어진 대상시료의 시간에 따른 압력분포 자료를 바탕으로 계산영역의 단풍 소음을 상용 프로그램인 FlowNoise S/W를 이용하여 예측하였다. FlowNoise는 Ffowcs-Williams & Hawkings 방정식을 이용해서 유동소음을 해석하는 프로그램으로 CFD 해석 결과를 입력

으로 받아들여서 소음원 분석과 마이크로폰 위치에서의 음압 신호를 수치적 방법에 의해서 예측하는 프로그램이다.³⁾

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j) = S_m \quad (1)$$

$$\frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j u_{ij} - \tau_{ij}) = -\frac{\partial p}{\partial x_j} S_i \quad (2)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho k) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j k - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_k} \frac{\partial k}{\partial x_j}) \\ &= \mu_t (P + P_B) \\ & - \rho \epsilon \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + P_{NL} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} & \frac{1}{\sqrt{g}} \frac{\partial}{\partial t} (\sqrt{g} \rho \epsilon) + \frac{\partial}{\partial x_j} (\rho \tilde{u}_j \epsilon - \frac{\mu_{eff}}{\sigma_\epsilon} \frac{\partial \epsilon}{\partial x_j}) \\ &= C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} [\mu_t (P + C_{\epsilon 3} P_B) \\ & - \frac{2}{3} (\mu_t \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + \rho k) \frac{\partial u_i}{\partial x_i}] \\ & - C_{\epsilon 2} \rho \frac{\epsilon^2}{k} + C_{\epsilon 4} \rho \epsilon \frac{\partial u_i}{\partial x_i} + C_{\epsilon 1} \frac{\epsilon}{k} P_{NL} \end{aligned} \quad (4)$$

2.2 해석 결과

전산해석 결과 초기 예상되었던 소음 원인 예상과 같이 auto louver 를 지나는 평균 5m/s 의 유동이 vortex shedding 현상을 발생시킴을 확인하였다.

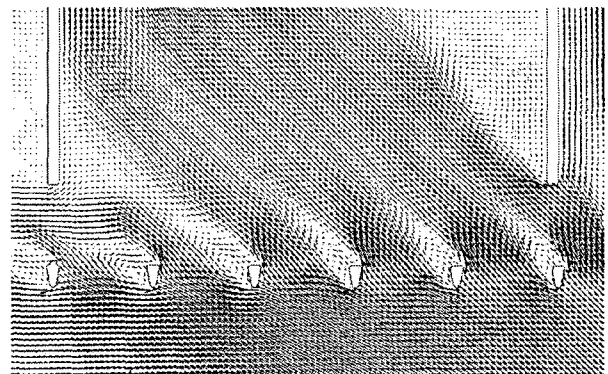
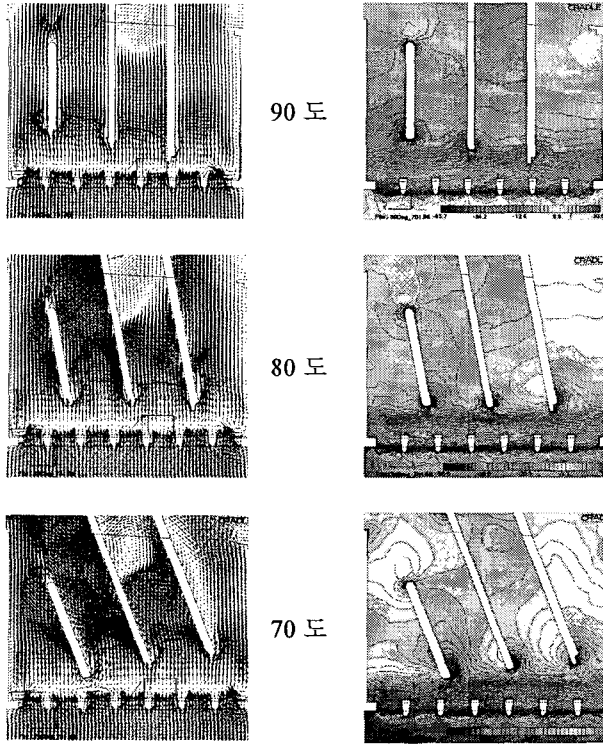


Fig. 3 토출구 구조물에 의한 Vortex Shedding

이 현상은 Fig. 4 에서와 같이 해석 대상 3 개 모델 모두에서 발생 되는 것이 확인되었으며 유동방향과 각도가 큰 70 도의 경우에는 auto louver 가 유로의 저항을 크게 하여 그 후단에서 90 과 80 도의 경우보다 이상유동이 더 크게 발생하고 있는

것을 확인할 수 있었다. 또한 mesh grille 이 auto louver 사이에서 유로 구조에 의해 발생하는 2 차 유동을 확인하였으며 이는 토출구 조물 2 차 이상 소음 발생원으로 판단되었다.



속도 벡터 분포 압력 분포
Fig. 4 Auto Louver 설치 각도별 세부 유동장

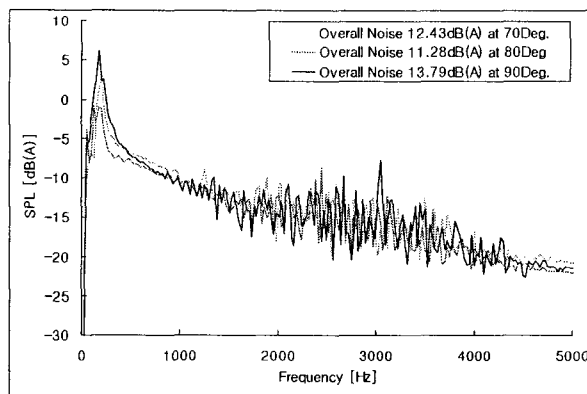
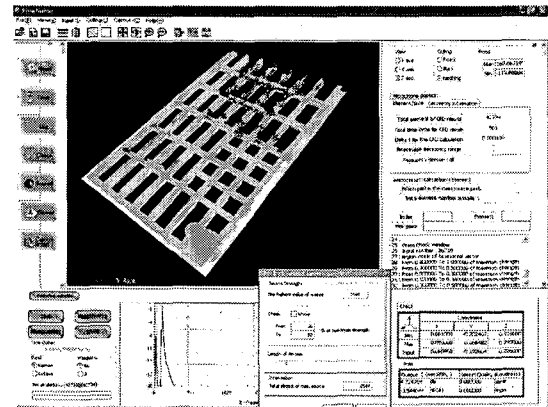


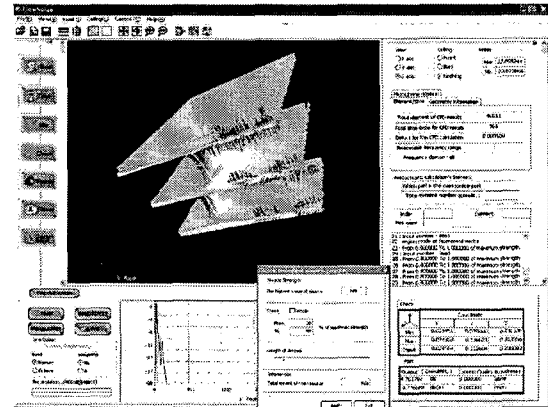
Fig. 5 대상 대상시료 단품 소음 예측 결과

소음 예측 결과 Fig. 5 에서와 같이 대상 시료 단품 소음 예측 결과 auto louver 의 3 개 blade 중 mesh grille 과 거리가 가장 짧은 blade 의 위치가 mesh grille 의 격자 사이에 위치하는 80 도의 설치 각도에서 주변 설치각도에 비하여 1dB(A) 가량 낮은 소음레벨을 나타냈으며 Fig. 6 의 소음원 분석 결과에서 보듯이 mesh grille 과 auto louver 의 경

계 부분이 주된 소음원으로 예측되었으며 구조물 사이에서 발생하는 이상유동에 의하여 발생하는 소음의 주파수 영역은 1.5kHz 에서 4kHz 대역에서 발생한다는 것을 확인할 수 있었다. 본 해석에서 계산된 소음 레벨은 루버의 일부분에서 발생하는 소음으로 실제의 경우는 스펠방향으로의 길이를 고려하여야 한다.



(a) Mesh grille 의 소음원 분석



(b) Auto louver 의 소음원 분석

Fig. 6 소음원 예측

이로서 유동장 분석과 소음 예측의 전산해석 결과만으로 auto louver 의 최적 설치각도 위치를 확인할 수 있다.

3. 실험

3.1 유량 및 소음 실험

전산해석 결과를 근거로 auto louver 의 설치각과 회전각도를 설정하기 위하여 실험적 방법을 추가 진행하였다. Auto louver 의 설치각도에 따른 유량변화를 측정하기 위해 미국공조협회 (ASHRAE)의 규격에 따라 제작된 풍동(Fig. 7)을 사용하여 해당 송풍기의 유량에 따른 정압 상승의 정도를 측정하

였다. 송풍기의 성능 평가를 위해서는 유량과 송풍기 토출 유량의 정압 상승의 정도 등이 측정되어야 하며 이를 위해 사용된 풍동에서는 시험용 송풍기의 하류 측에 안정실(Plenum chamber)을 마련하여 송풍기 토출 유동의 정압 상승을 확인할 수 있게 하였다. 또한 풍동의 하단에는 다수개의 노즐(Nozzle)을 마련하여 노즐 전후의 압력차로부터 유량을 산출할 수 있었다. 따라서 풍동으로부터 출력되는 신호는 모두 압력 변환기(Pressure transducer)로부터 발생되며 이 압력 변환기는 컴퓨터와 연결되어 시간에 따른 압력 자료를 수용하여 저장하게 준비되었다.

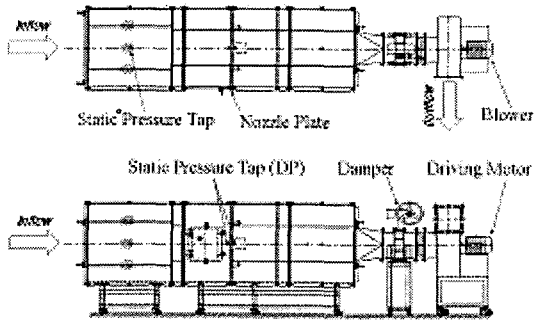


Fig. 7 팬 성능 시험장치

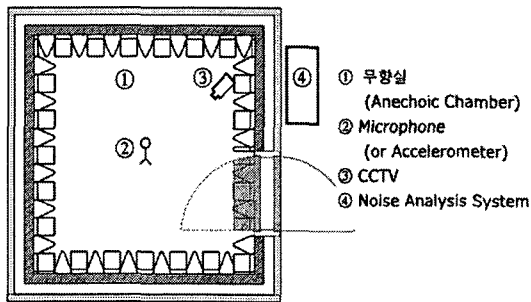


Fig. 8 반무향실

또한 소음 영향을 평가하기 위하여 Fig. 8 과 같이 크기 4W * 4W * 3H (m), 암소음 20dB(A)의 반무향실에서 FFT Analyzer 를 이용하여 한국 기술 표준, KS B 6311, 송풍기 시험 및 검사방법에 따라 auto louver 의 설치각도를 90 도부터 각 5 도 간격으로 유량 및 소음 준위를 측정을 진행하였다.

3.2 실험 결과

실험결과 Fig. 9 의 그래프와 같이 90 도에서 80 도까지 소음 감소하며 이때 유량의 영향은 미미한 것으로 나타났으며 이후 80 도에서 70 도까지는 소

음이 증가하고 유량이 저감하는 것을 확인할 수 있었으며 이후 소음과 유량이 함께 감소하는 경향을 보이는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 전산 해석과 동일한 결과이며 또한 각도에 따른 소음의 경향성에 있어서도 실험과 해석의 결과가 동일한 결과이다. 이로서 전산해석 결과의 신뢰성이 확보되었다. 실험결과 70 도 이후 소음과 유량이 함께 감소하는 것은 토출유동 방향이 auto louver 에 의해 유동 방향이 시료의 벽면으로 변경되어 유량감소와 더불어 소음 감소된 것으로 확인되었다

전산해석의 결과와 실험 결과를 바탕으로 auto louver 의 최적 회전각도는 80 도로서 이 각도를 중심으로 회전해야 한다는 결론에 도달하였다..

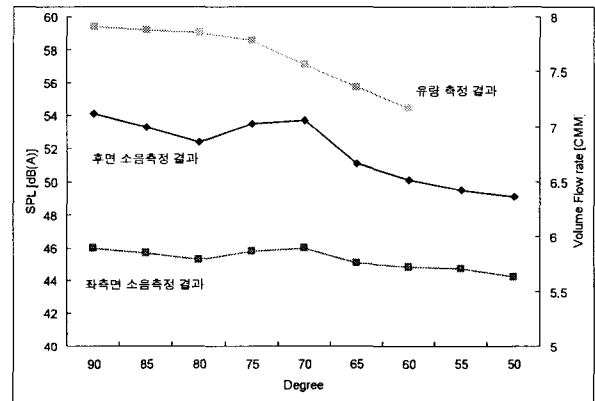


Fig. 9 유량 및 소음준위 측정 결과

4. 결 론

전산해석 기법을 이용하여 연구 대상 시료의 내부 유동장을 분석하여 소음원을 예상하였고 전산해석 결과로부터 획득한 시간에 따른 압력변화 자료를 이용하여 유동소음 해석적 방법을 통하여 전산해석으로부터 얻은 결과를 검증하고 설정각도의 범위를 세부적으로 나누어 그 영향을 검토하고 회전 각도를 설정하였다.

참고문헌

- (1) 정윤영, 김학중, 전완호, 조장형, “전산유체역학 및 유동소음 해석을 통한 공기청정기 터보팬 저소음화,” 2005 유체기계공업학회 논문발표회, pp. 219-222
- (2) SC/Tetra V5. Reference Manual
- (3) Wan-Ho Jeon and Jang-hyung Cho, “Numerical Analysis of Unsteady Flow Field and Flow Noise of a Fan System,” The 33rd International Congress on Noise Control Engineering, Czech Republic, 2004