

벨마우스 흡입구 형상에 따른 원심팬의 소음 특성에 관한 연구

A Study on the Noise Characteristics According to Bellmouth Inlet Shape

이현남†·홍동표*

Lee Hyun-Nam, Hong Dong-Pyo

Key Words : Bellmouth(벨마우스), Centrifugal Fan(원심팬), Inlet Shape(흡입구 형상), BPF(블레이드 통과 주파수)

ABSTRACT

This article shows the study on the arresting sound occurrence due to the interaction of the centrifugal Fan and bellmouth suction flow with bellmouth height as variable. It has accomplished to measure of inlet noise and also to analysis suction pressure distribution through experiment and also using CFD. The main cause of sound occurrence was judged with the effect due to static pressure change of bellmouth surface.

1. 서론

반도체 또는 LCD 제조공장용 클린룸의 청정도를 유지하기 위해 주로 사용되는 장비가 FFU(Fan Filter Unit)이다. FFU는 클린룸 상부에 다수 설치되어 운전되고 있으므로 직접적인 소음원이 되어, 공장 작업자의 환경 개선 차원에서 소음저감에 대한 관심이 증대되고 있는 실정이다. FFU는 원심팬을 사용하여 클린룸 상부의 공기를 흡입하여 필터를 거친 다음 클린룸 내부로 유입 시킨다. FFU 소음의 발생은 원심팬의 유동 특성에 의해 크게 좌우 된다.

원심팬의 소음은⁽¹⁾ 일반적으로 회전하는 날개에서 발생하는 Lighthill의 음향상사성 이론으로 설명되며, 임의의 속도로 움직이는 표면에서의 흐름 역시 음향상사성 이론의 발전 형태로 기술된다. 소음의 발생은 단극, 쌍극 및 4극 소음원으로 기술 될 수 있는데, 소음원은 각각의 고유한 방사 특성을 가지며, 원심팬 소음은 위에서 설명된 3가지 종류의 소음원으로 분리하여 방사소음을 예측 할 수 있다. 단극 소음원은 소음원 주위를 감싸고 있는 공기층에 의하여 시간적으로 체적 변화를 통해 소리를 발생시키는 현상이다.

대부분의 팬과 회전자로부터 발생하는 소음은⁽²⁾ 2극 소음원에 기인하며 회전하는 날개의 표면에서 압력 분포의 변화로부터 소음이 발생하게 된다. 날개로 유입되는 유체는 난류의 형태이며, 날개의 유효입사각이 변하게 되면 압력이 변하여 비정상 상태의 음원이 발생된다. 이를 예측하기 위해서는 유입되는 난류의 예측과⁽⁴⁾ 비 균일하게 유입되는 유체의 유동이 미치는 날개 하중에 대한 음향효율을 알아야 한다. 본 논문에서는 소음발생의 원인의 하나인 원심팬의 유동특성에 영향을 주는 흡입구 형상을 최적화하기 위해서 흡입 유동과 원심팬과의 상호 작용에 의한 소음 발생 특성을 분석하기 위한 기초 연구로, 벨마우스의 높이를 변수로 하여 실험과 전산수치해석을 수행하였다.

2. 실험 장치 및 방법

흡입구 길이에 따른 소음 특성을 분석하기 위하여 Fig. 1에서와 같이 실험장치를 구성하여 원심팬과 벨마우스를 설치하고 벨마우스 상부에서 소음 특성을 측정하였다.

실험에 사용된 팬은 직경 460mm, 블레이드 개수 6개, 높이 68mm인 원심팬이며, 벨마우스는 직경 310mm에 높이(Height)는 각각 55mm, 45mm, 35mm이다. 측정은 암소음 30dB(A) 이하인 간이 무향실에서 실시하였으며 측정에 사

† 책임저자 : 정회원, 전북대학교
E-mail : snlee@shinsung.co.kr
Tel : (031) 7889-315, Fax : (031) 7889-440

* 정회원, 전북대학교 정밀기계공학과

용된 장비는 Pulse 3560D(B&K), 경사 마노메타를 사용하였다. 소음 측정은 벨마우스 상부 500mm 지점의 중심부에서 실시하였으며, 원심팬 회전수를 1000RPM으로 설정하였으므로 이때의 풍량은 42CMM이다.

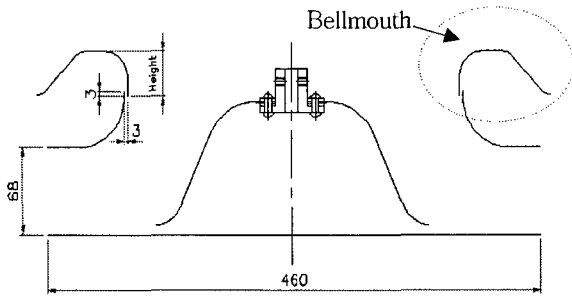


Fig. 1 Centrifugal fan and bellmouth for experiment

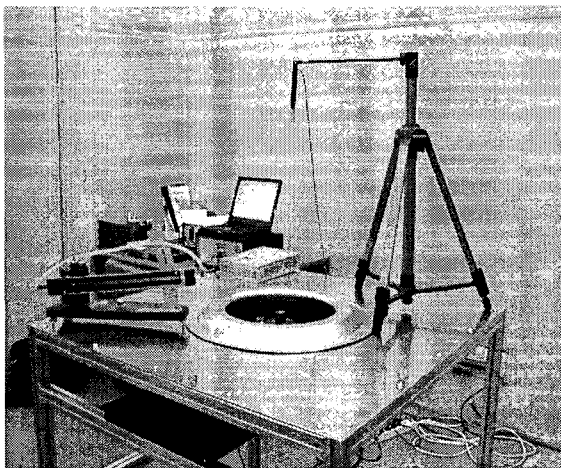


Fig. 2 Experiment setup for sound pressure measure in semi-anechoic chamber

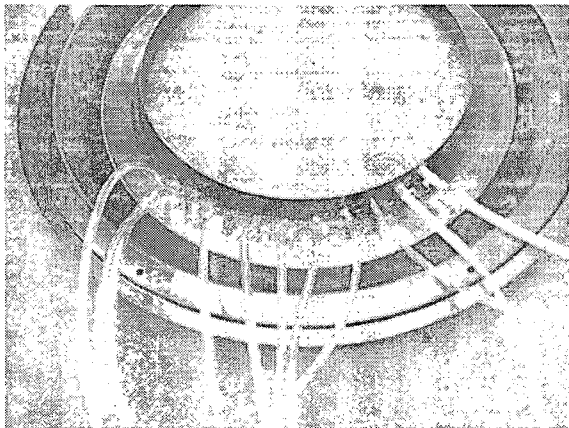


Fig. 3 Pressure tap for bellmouth

흡입 유동의 특성을 분석하기 위해서는 Fig. 3에서 나타나는 바와 같이 벨마우스 표면의 압력을 측정하였다. 압력측정 위치는 벨마우스 흡입 쪽면에 직경 1.5mm로 가공된 구멍에 호스를 연결한 후 경사마노메타로 정압을 측정하였다.

3. 실험 결과

주파수 범위 20hz ~ 3.2Khz 범위에서 벨마우스 길이 변화에 따른 소음을 FFT 분석한 결과 Fig. 4에서와 같이 나타났으며, 45mm, 55mm 벨마우스의 경우 상당히 동일한 주파수 특성을 가졌으나 35mm의 경우 BPF(Blade Passing Frequency) 주파수와 하모닉 성분들의 소음 피크값이 발생되고 전체적으로 불안정한 소음 특성을 보였다. 또한 1.6Khz, 2.8Khz에서 피크 소음값이 발생되었다.

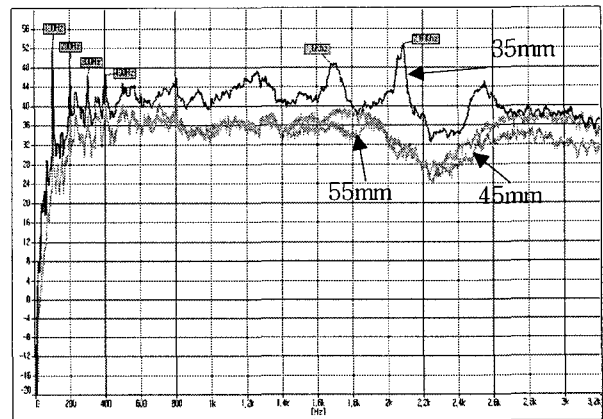


Fig. 4 FFT analysis of inlet acoustic pressure

Table 1 Experimental result of bellmouth surface static pressure (mmAq)

No	Static pressure along inlet shape(mmAq)	
	Min	Max
1	21.3	23.0
2	22.0	24.0
3	21.4	22.8
4	22.9	24.7
5	20.6	23.2
5	16.0	18.1
7	12.8	14.5
8	11.7	13.7
9	10.5	12.3
10	10.0	11.7
11	9.3	10.3

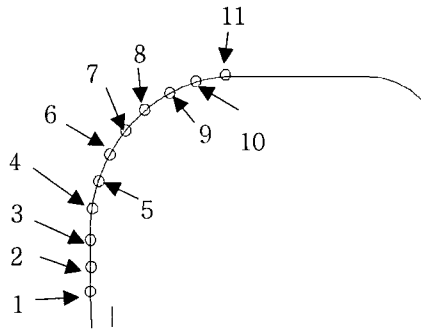


Fig. 5 Bellmouth static pressure measuring point

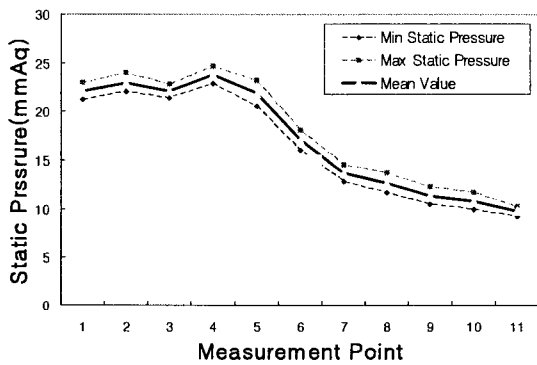


Fig. 6 Bellmouth surface static pressure along the inlet shape (experimental)

높이 35mm 벨마우스에서의 이상소음 발생의 원인을 파악하기 위하여 Fig. 5에서 보는 바와 같이 흡입 형상을 따라 11 point에서 면의 정압을 측정 하였다. 측정결과는 Table 1과 같다.

벨마우스 표면 정압력의 분포는 Fig. 6에서 살펴보면 벨마우스 곡률이 끝나는 점과 직선 부분이 만나는 점에서 유동 속도의 변화가 급격하게 발생되어 3번 측정점에서 압력이 상승 하였고 다음 2번 측정점에서 다시 회복 하였다.

이러한 정압의 변동은 팬 블레이드에 유입되는 유동 속도의 차이를 발생하여 소음의 원인으로 작용 할 수 있다.

4. 수치해석 결과

벨마우스 형상에 따른 유동 특성을 분석하기 위해서 CFD 해석을 수행 하였다. 3가지 시료 중에서 높이 35mm 벨마우스에서 이상 소음 발생원인을 검토하기 위하여 응력방정식

모델을⁽³⁾ 사용하여 2차원으로 수치해석을 실시하였다. 사용된 해석 코드는 Fluent 6.0이며 시뮬레이션 조건과 방법은 Table 2와 같다. 벨마우스 흡입 곡면 근처의 세밀한 분석을 위해 Fig. 7에서와 같이 격자를 밀집하게 구성 하였다.

Table 2 Simulation condition

해석 모델 및 경계 조건	해석 조건
2D Axiymmetric Model	FAN 회전수 1000rpm
등온조건	유량 42CMM
Reynold Stress Model	Fan Blade 무시
출구 속도 가정	Tip Clearance 3mm
입구 압력 가정	Overlap 5mm
해석 격자수 : 4각형 92,000개	

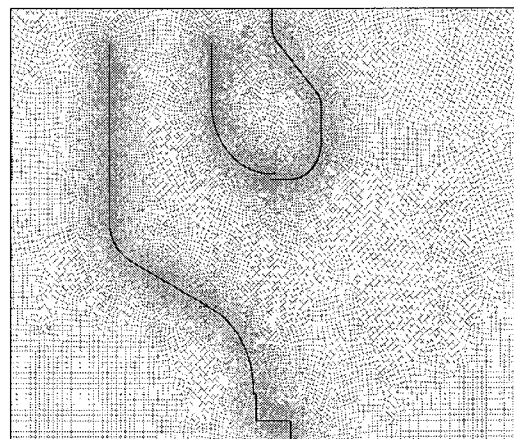


Fig. 7 Mesh grid generation for analysis

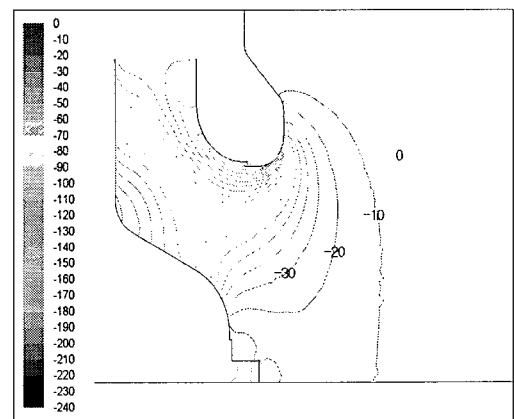


Fig. 8 Static pressure contours around bellmouth inlet shape (mmAq)

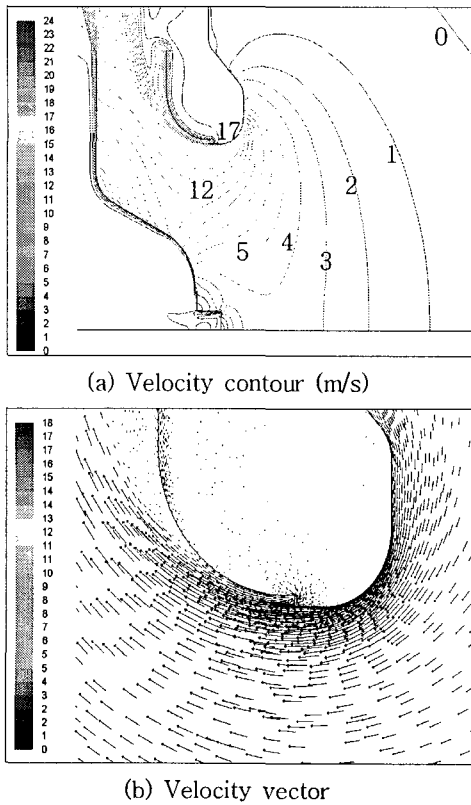


Fig. 9 Velocity contour and velocity vector around bellmouth inlet shape

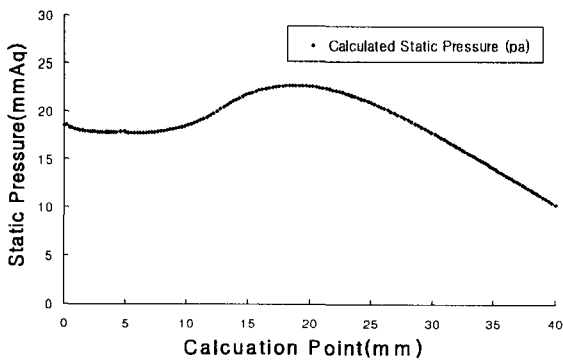


Fig. 10 Bellmouth surface static pressure along the inlet shape (numerical)

해석 결과로 쉬라우드면과 원심팬 중심부와의 정압력 차이를 Fig. 8에 나타내었다. Fig. 9에서 속도 등고선도와 벡터를 표시 하여 유동 방향과 각 단면의 속도 분포를 확인 하였다. 이러한 속도와 압력의 분포는 블레이드와의 상호 작용에 의한 음향효율과 관계를 가지고 있다. 흡입구 면의 표면 압력의 분포를 Fig. 10에 나타내고 있다. 위치에 따른 정압의 크기를 실험결과와 비교하기 위하여 압력지점을 실험

지점 1번부터 11번까지 동일한 지점을 설정하여 나타내었다. 실험 결과와 수치해석 결과가 약 22~25mmAq 범위에서 거의 유사한 값을 나타내고 있으나, 벨마우스와 원심팬의 쉬라우드가 오버랩 되는 부분에서는 압력특성이 약간의 차이를 보였다.

해석에서는 원심팬의 블레이드의 회전 영향을 고려하지 않은 2차원 해석을 수행 하였으므로 정압차이의 발생은 실제 원심팬의 블레이드의 회전에 의해 발생하는 주기적인 속도 변화에 관련 되어 있을 것으로 추측된다. 원심팬의 블레이드 형상에 따라서 흡입 유동과의 상호 작용에 의한 소음 발생 강도를 예측하기 위해서는 3차원 유동 특성을 반영하기 위한 접근 방법이 필요하다.

5. 결 론

흡입 유동의 특성을 분석하기 위해서 벨마우스 높이를 변수로 하여 실험과 전산 해석을 수행하였다.

실험에 사용된 3개의 벨마우스 중에서 흡입 길이가 45mm, 55mm인 경우는 흡사한 주파수특성을 가졌으나, 35mm의 경우 BPF 소음이 증가하고 1.6Khz, 2.8Khz에서 고주파 소음이 발생되었다. 또한 전체적으로 불안정한 소음 특성을 나타내며 광대역 소음도 증가하였다. BPF 주파수와 하모닉 성분의 소음은 실험과 해석을 통해서 분석한 결과 벨마우스 흡입구 면의 압력의 변화에 따른 흡입 유동의 불균일성으로 인해 원심팬과 벨마우스의 상호 작용에 의해 발생된 것으로 판단되었다.

이러한 유동의 유입에 의한 소음을 줄이기 위해서는 원심팬의 블레이드 형상과 벨 마우스 유동 특성에 대한 상호 관계성에 대한 수학적 접근방법과 실험적 연구가 필요하다.

후 기

본 연구는 에너지관리공단 에너지자원기술개발사업의 중대형과제인 "고효율 조박형 FFU 시스템 개발" 과제비로 수행되었으며, 관계자 여러분께 감사의 말씀을 전합니다.

참 고 문 헌

- (1) Leo, L. B. and Eric, E. U, 1992, Noise and Vibration Control Engineering, John Wiley & Sons, Inc., New York.
- (2) 김광준외, 1997, "소음과 진동", 반도 출판사
- (3) 신병록 등, 1994, "전산유체역학", 대영사
- (4) 이승배, 1997, "송풍기 소음 규격 동향 및 팬 소음 이론, 공기조화 냉동 공학회