

디지털화상처리에 의한 음장의 가시화기법개발에 관한 연구

도덕희* · 김동혁* · 강동림**

Development of sound field visualization technique using digital image processing

D. H. Doh · D. H. Kim · D. L. Kang

Key words : Acoustic Field Visualization(음장가시화), PIV(Particle Imaging Velocimetry)
(입자영상유속계), 2-D Muffler System(2차원머플러시스템), Acoustic
Streaming(음향류)

Abstract

A new acoustic field visualization technique is introduced in this study. Small particles of which density is small enough to follow up the air flow are used for the noise field visualization. In order to quantify the noise, PIV(Particle Imaging Velocimetry) has been constructed. When the driving frequency is in the vicinity of the resonance frequency of the simplified 2-dimensional muffler system, an acoustic streaming is shown and of which velocity distribution is obtained through PIV technique. It is experimentally proved that the present technique is able to visualize and quantify the acoustic fields.

1. 서 론

음은 파동현상이며 그 전파의 기구는 대단히 복잡하기 때문에 이러한 음파를 어떠한 방법을 이용해서라도 가시화하려고 오래 전부터 여러 가지 연구가 수행되어왔다. 그 가운데 직접적인 가시화 기술로서는 우선 1860년대에 Toepler가 제안한 가시화기술로서 Schlieren법⁽¹⁾을 들 수 있다. 이 방법

에서는 점 혹은 슬릿광원으로부터의 빛을 렌즈를 이용하여 초점을 맞추어 그 초점에 설치한 칼날형상의 끝을 통과한 빛을 관측한다. 이 방법에서는 도중에 투과성이면서 밀도가 균일이 아닌 물체를 두면 그 부분의 굴절률의 변화에 의해 상에 명암이 생기게 되는데 이를 정성적으로 관찰 해석하는 방법이다.

이 방법은 그 이후 여러 가지 고안이 더해져서

* 한국해양대학교 기계·정보공학부(원교접수일: 2000년 4월)

** 한국해양대학교 대학원

음파 및 유체현상 등의 가시화에 널리 이용되어져 왔다. 또한 이와 유사한 광학적인 방법으로서 일반적으로 shadowgraph법¹⁾이라는 방법이 자주 이용되고 있다. 이 방법은 렌즈를 이용하지 않는 직접적인 방법으로서 광원으로서 스파크방전 등의 강한 순간적인 광을 이용하여 매질의 굴절률의 변화에 의해 생기는 음영을 사진건판에 기록한다. 이 방법은 Schlieren법과 같이 굴절률의 변화를 연속적으로 보는 것이 어렵지만, 음파의 파면 등을 명료히 관측할 수가 있다. 이밖에 음향홀로그래피법²⁾, 음향인티티티법³⁾ 등의 방법들이 있다. 기존의 음장에 대한 가시화기법들은 정성적이거나 혹은 마이크로폰 등의 사용으로 인하여 음장 자체에 영향을 끼치며 복잡한 신호처리의 과정을 거친 후 측정데이터에 대하여 재구성하여 가시화 하고 있다.

한편 유체의 유동장속에 추적입자를 주입한 후 그 입자들의 거동을 화상처리를 통하여 정량적으로 파악하는 방법인 PIV(Particle Imaging Velocimetry)⁴⁾는 유동장의 비정상계측과 유동장 전체를 동일 시각에 계측할 수 있다는 점으로부터 유동의 구조를 정량적으로 이해하는데 유효한 방법으로 쓰여지고 있다. 또한 이 방법은 비접촉식으로 유동장에 대하여 영향을 미치지 않는 장점을 가지고 있기 때문에 얻어낸 데이터에 대한 신뢰성도 확보할 수 있다는 특징을 가지고 있어서 최근의 유체계측분야에 많이 응용되고 있다⁵⁻⁸⁾.

본 연구에서는 상기와 같은 PIV계측법을 이용하여 음장에 대한 정성적 및 정량적인 해석법을 구축함으로써, 음향기기의 성능향상 혹은 설계에 있어서 가시화 계측법이 매우 유용한 수단임을 밝히고자 한다. 또한, 가시화 실험을 이용한 소음기 설계의 초기 연구로서 본 연구에서는 2차원 소음기를 해석대상으로 하였다.

2. PIV(Particle Imaging Velocimetry)

2.1 계측 원리

유동장의 국소 속도는 어느 한 점을 통과하는 추적입자가 미소 시간간격 동안 이동한 미소 직선거리 및 방향을 알면 쉽게 구해진다. 즉, 주어진 측정

시간(Δt)동안 움직인 유동입자(particle)들의 변위 정보를 CCD(charge coupled device)카메라와 같은 화상입력장치를 이용하여 2차원 화상데이터로 저장한 후 디지털 화상처리기법을 이용하여 입자 변위(S)를 계측하는 것이다. 이때 사용되는 추적입자의 비중은 유체의 비중과 동일한 것을 사용하여야 한다. 변위를 계산하는 방법로서는 입자중심을 추적하는 방법과 입자 군들의 패턴을 추적하는 방법인 상호상관법들이 있다⁴⁾.

본 연구에서는 후자의 방법을 채택하여 입자들의 계조치에 대한 상호상관법을 적용하였다. Fig. 1은 계조치 상호상관법의 원리를 보여준다⁹⁾. 미소 시간동안 유동장의 화상의 계조패턴은 크게 변화하지 않는다고 가정하면, 제 1프레임(1st image frame)에서의 상관영역내의 계조치 분포와 미소 시간후의 제 2프레임(2nd image frame)에서의 계조치 분포는 유사한 특성을 나타낸다. 따라서, 제 1프레임의 임의의 위치를 중심으로 하여 제 2프레임의 같은 크기를 갖는 영역과의 계조치에 대하여 상호상관 계수 값을 구하여 비교하여 그 중 가장 큰 값을 동일입자군의 이동위치로 간주할 수 있다. 식(1)로 계산되는 두 프레임간의 추적입자들의 농도분포에 대한 상관계수의 값이 최대치일 때의 점이 가상의 중심 입자군 속도(속도벡터의 시점)에 대한 이동벡터의 종점으로 한다.

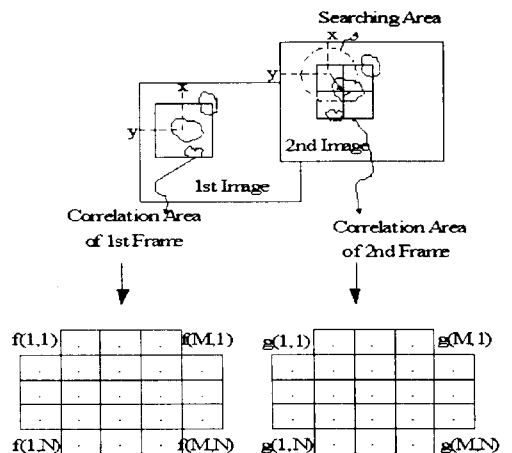


Fig. 1 Principle of cross-correlation method based on density distribution patterns.

$$c_{fg} = \frac{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f}_i) (g_i - \bar{g}_i)}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n^2} (f_i - \bar{f}_i)^2 \sum_{i=1}^{n^2} (g_i - \bar{g}_i)^2}} \quad (1)$$

여기서 f_i, g_i 는 상관영역내의 각 픽셀의 계조치를 의미하며, $\bar{}$ 는 연속화상에 대한 시간평균을 의미한다.

2.2 계측법의 검정실험

Fig. 2는 본 연구에서 적용되는 PIV계측 알고리즘에 대한 검정실험 사진을 나타내고 있다. 상부에 보이는 것이 CCD카메라(Sony, SSC-M370)이며, 하부에 원판은 DC 모터(Glas-Col, GKH-Stir Tester)에 의하여 회전된다. 원판의 윗면은 Fig. 3과 같이 나일론입자들(평균직경, $100\mu\text{m}$)이 접착제에 의하여 발라져 있다.

Fig. 4(a)는 회전원판의 실제 회전속도를 원판의 반경을 고려하여 환산한 결과를 나타낸 속도분포

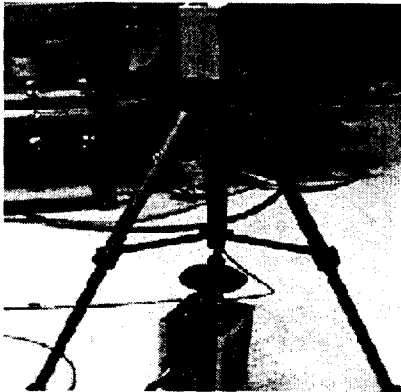


Fig. 2 Experimental apparatus for the measurement algorithm.

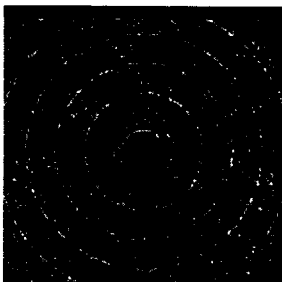
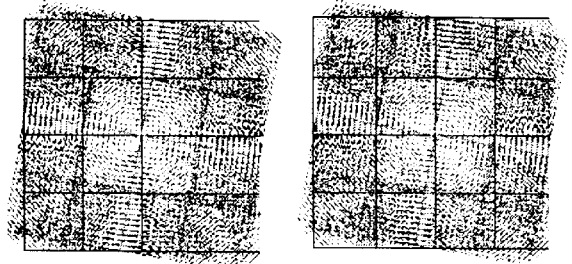


Fig. 3 Rotating plate for the algorithm test.

를 나타내고 Fig. 4(b)는 본 연구에서 적용되는 PIV계측알고리즘으로 회전원판에 대하여 계측한 결과를 나타내고 있다. 이 계측의 결과로부터 실제 회전속도와 PIV계측알고리즘에 의하여 얻어진 속도와의 오차는 0.13%였음이 확인되었으며, 이는 본 PIV계측알고리즘이 매우 양호한 계측정도를 가지고 있음을 의미한다.

3. 2차원 머플러모델의 PIV시스템 구축 및 계측

Fig. 5는 본 연구에서 구축한 2차원 머플러내부 음장계측용 PIV시스템의 배치도를 나타내며 Fig. 6은 2차원 머플러 음장에 대한 실험장치 사진을 나타낸다. 2차원 머플러 음장의 형상 및 크기로서



(a) actual rotating speed (b) measured speed by PIV
Fig. 4 Comparison of velocity distribution.

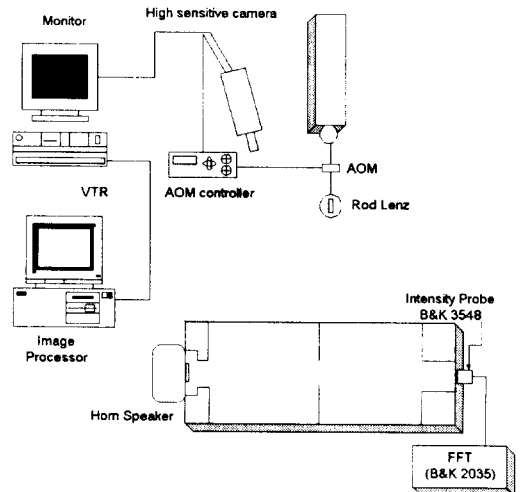


Fig. 5 Experimental apparatus for noise field visualization.

가로 17cm, 세로 20cm, 높이 1.5cm인 2차원 캐비티를 좌우대칭으로 하여 이 캐비티 사이에는 연결 통로의 길이가 1.5cm이며 폭이 3.8cm인 목부를 형성시켰다. 좌측 캐비티의 입구에는 호온식 스피커(25W)를 새는 부위가 없도록 연결시키고 우측 캐비티의 출구벽 측에는 음이 반사되는 영향을 줄이기 위하여 석면을 설치하였다. 또한 출구로부터 빠져 나오는 음의 주파수스펙트럼을 분석하기 위하여 마이크로폰(B&K 3548)을 출구부에 설치하여 그 신호를 FFT분석기(B&K 2035)로 전송하였다. 스피커의 출력주파수와 머플러의 음향임피던스에 따라 생성된 음장내의 음향류의 가시화를 위한 추적입자로서 공기의 비중에 가까운 마이크로풍선(micro-balloon)(0.02g/cc 이하)을 사용하였다. 가시화 광원으로서서는 아르곤이온레이저(Omnichrome, 500mW)를 사용하였으며, 이 레이저로부터 나오는 선 광원은 막대렌즈(rod lens)를 통과하여 2차원 단면의 확산광원으로 된다. 화상을 얻기 위한 입력장치로서 고감도카메라(Hamamatsu, Super Eye)를 사용하였다. 또한 레이저의 광원을 간헐적으로 조사하기 위하여 음향광학조절장치인 AOM(Acousto-Optic Modulator)을 사용하였으며, 이는 고감도카메라가 적분식이기 때문에 순간적인 유동장의 패턴을 기록하기 위하여 사용되며 짧은 시간에 광원을 스위칭하는 역할을 한다. 카메라로부터 받아들인 화상정보는 VTR(Sony, SLV-RS1)로 기록되어지고 기록된 화상정보는 한 장씩(1/30s) 호스트컴퓨터(IBM,

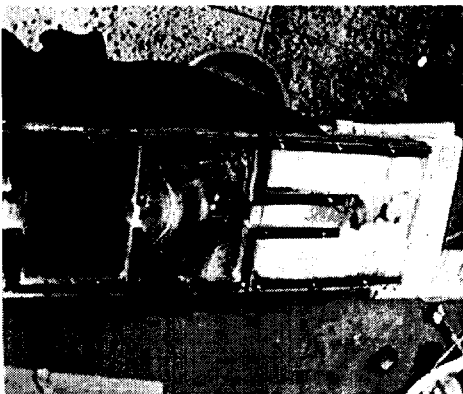


Fig. 6 Picture of 2-dimensional muffler.

Pentium 200MHz)에 연결된 이미지 보드(Ditect, DT64)로 불러들여져 전술의 계측알고리즘에 의하여 음장에 발생된 음향류의 속도벡터 분포가 구해진다.

3. 1 실험방법

먼저 0에서 6.4kHz사이의 백색잡음을 스피커를 통하여 머플러 입구부에서 발생시킨다. 출구측의 마이크로폰으로부터 받아들여진 신호를 FFT분석기를 이용하여 주파수 스펙트럼분석을 하였다. Fig. 7은 머플러 입구부의 백색잡음과 출구측 음의 주파수에 따른 음압을 나타내고 있다. 이때, 입구부의 백색잡음은 머플러의 입구부에서 계측한 결과이다. 이 그림에서 보이는 바와 같이 음압의 감음량이 많은 1984Hz와 감음량이 적은 주파수 중에서 2200Hz, 3112Hz, 4152Hz를 선택한 다음, 다시금 이들 단일의 각 주파수로 머플러입구에 설치된 스피커를 가진시켜서 생성된 머플러내의 음향유동장을 구축된 PIV계측시스템으로 계측하였다. 한편, 머플러 음향장의 가시화를 위해서는 전술의 추적입자가 필요하게 되는데, 미리 설치된 스피커 측의 작은 구멍을 통하여 추적입자를 투입한 후 이를 밀봉하였다.

3. 2 PIV 처리과정

앞 절에서 정한 각 주파수로 스피커를 가진시켜 발생하는 머플러 내부의 음장을 2차원 레이저광원으로 머플러의 측면으로부터 조사(照査)해서 가시화 한다. 머플러 상부면의 수직방향에서 전술의 카메라로 가시화 된 화상을 VTR에 기록한다.

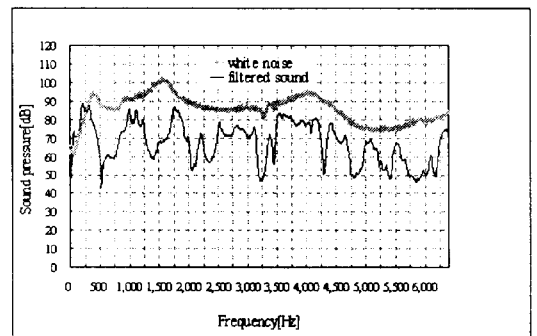


Fig. 7 White noise vs filtered sound.

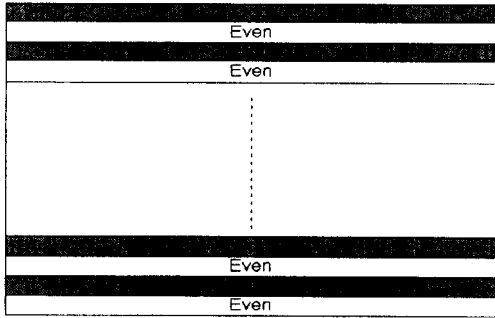


Fig. 8 Relation between Frame and Field images.

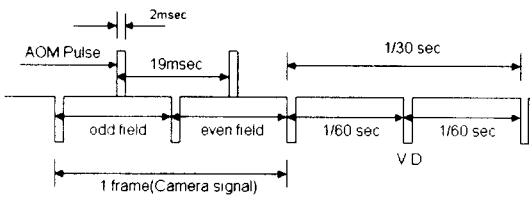


Fig. 9 NTSC(Camera signal) signal and AOM signal.

기록된 화상을 전술의 이미지 보드로 불러들이고 256계조의 농담을 갖는 화상으로 변환시킨 다음 한 프레임의 화상에 대하여 Fig. 8과 같이 기수필드(edd field)와 우수필드(even field)의 화상으로 만든다. 이때 기수필드 화상에 대하여는 상하 우수필드에 대하여 평균보간 후 그 기수필드에 삽입하고 우수필드에 대하여는 상하 기수필드에 대하여 평균보간 후 그 우수필드에 삽입함으로써 얻어지게 된다. 다음, 이들 보간된 약 120장의 필드 화상을 평균 처리함으로써 배경화상을 얻게 된다. 보간된 각각의 풀프레임(full frame) 필드화상에 대하여 전술의 PIV알고리즘을 적용함으로써 머플러내부 음향장에 대한 속도장을 얻는다. 이때, 두 필드화상간의 시간간격은 Fig. 9에 나타나 있는 바와 같이 AOM의 펄스간격인 19ms이다. 이 시간간격으로 앞에서 구한 벡터의 종점까지의 거리로 나누게 되면 내부 음향장의 속도분포에 대한 크기가 구해지게 된다. 벡터의 종점을 결정함에 있어서 상관영역의 크기와 탐색영역의 크기를 결정하여야 하는데 실험하는 과정에서 경험치를 적용하여야 한다. 본 연구에서는 상관영역을 33pixel × 33 pixel로 하였고 탐색영역을 20pixel로 하였지만 경

우에 따라서 약간씩 조정하였다. 일반적으로 화상의 데이터를 취급함에 있어서는 벡터의 종점을 결정함에 있어서 픽셀해상도에 의존하는 경우에는 상하좌우방향으로 최대 ±1픽셀의 불확실성성분이 발생하게 된다. 따라서 본 연구에서는 1픽셀이 내에까지 종점을 결정할 수 있는 서브픽셀보간법⁽¹⁰⁾을 도입하였다. 또한 얻어진 속도벡터는 상관영역의 크기나 탐색영역의 크기에 따라서 에러벡터를 포함할 수도 있기 때문에 본 연구에서는 유동의 연속성을 고려한 에러벡터처리법⁽¹¹⁾을 도입하여 오류벡터를 최대한 줄였다. 이상과 같이 하여 얻은 초기속도벡터분포에 대하여 해상도가 보다 높은 속도벡터분포를 얻고자 할 경우에는 보간작업이 필요하게 되는데 본 연구에서는 거리의 역수보간법(1)인 식 (2)를 도입하여 음향류의 유동장을 정량화하였다. 이 식에서 R_i 는 격자상의 각 속도벡터 U_i 와 보간되어야할 벡터 U_p 와의 거리이다.

$$U_p = \sum \frac{U_i}{R_i} / \frac{1}{R_i} \quad (2)$$

본 연구에서 구축된 PIV시스템으로 얻어지는 유동에 대한 정보로서는 머플러 음장에 대한 음향류의 순시속도벡터분포와 평균속도벡터분포이다. 평균속도벡터분포는 120시각에서 얻어진 순시속도벡터들을 평균처리 함으로써 얻어지게 된다.

4. 계측결과 및 고찰

Fig. 10(a)는 Fig. 7에 의거하여 전술되었듯이 음압의 감음이 큰 경우인 1984Hz로 스피커를 가진시켰을 때, 머플러의 스피커측 캐비티(left cavity) 내부 음장을 가시화 한 이미지를 나타내고 있다. 캐비티의 입구측에 밝고 어두운 수직 줄무늬로 된 음압의 등고선이 뚜렷하게 가시화 되어 있는데 이는 스피커에서 나온 음은 캐비티로 향하여 진행하고 있음을 의미한다. 또한, 이 캐비티 내부에서는 캐비티 중심선을 기준해서 대칭으로 상하부를 순환하는(상부는 반시계방향, 하부는 시계방향) 강한 음향류(acoustic streaming)가 가시화에 의하여 관찰되었다. Fig. 10(b)는 발생한 음향류에 대하여 본 연구에서 구축된 PIV계측시스템으로

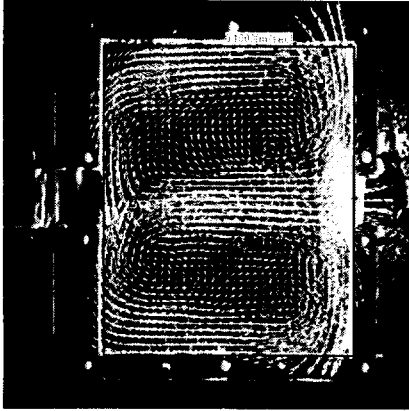


Fig. 10(a) Visualized image of the sound field and obtained velocity vector distribution of the acoustic streaming in the left cavity.

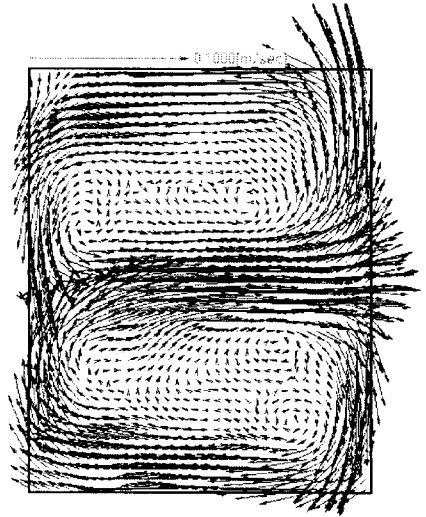


Fig. 10(c) Instantaneous velocity vector distribution of the acoustic streaming at $t=t_0$.

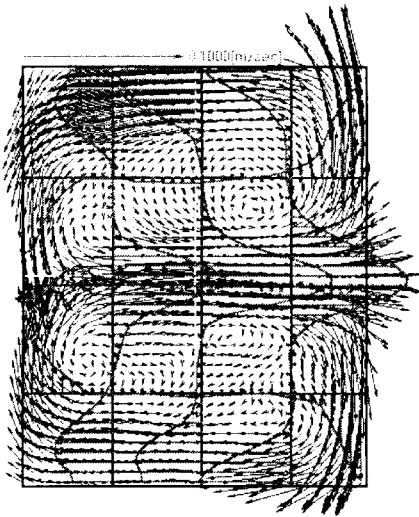


Fig. 10(b) Mean velocity vector distribution.

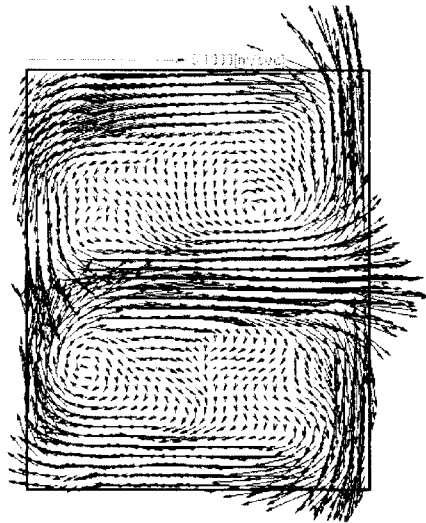


Fig. 10(d) Instantaneous velocity vector distribution of the acoustic stream in the left cavity at $t=t_0 + \Delta t$.

계측한 결과인 평균속도벡터분포를 나타낸다. Fig. 10(c)와 (d)는 서로 다른 두 시각에 있어서의 순시속도벡터분포를 나타낸다. 이들 그림으로부터 평균속도분포와 순시속도분포가 거의 동일한 속도분포를 보이고 있음을 알 수 있다. 다른 시각에서도 거의 동일한 순시속도분포를 보였는데 이는 음에 의하여 발생하는 머플러 내부의 음향류는 초기 스피커가 가진되는 과도기를 제외하고는 거의 정상류(steady flow)임을 의미한다고 볼 수 있다. 특히, 머플러의 가로길이(17cm)를 고려하여

머플러의 가로길이 방향 공명주파수를 구해보면 약 2000Hz가 되며, 이는 머플러의 제작상 오차를 고려하면 스피커의 가진주파수인 1984Hz가 공명주파수에 가까운 것으로 볼 수 있다. 즉, 머플러의 공명주파수에서는 머플러내부에 강한 음향류가

발생됨을 확인 할 수 있었다. 이와 같은 사실은 여하한 형태의 머플러의 공명주파수 확인작업이 가시화 계측기술의 방법에 의해서 가능해 진다는 점에서 매우 의미가 있다고 본다. 게다가, 공명주파수에서 머플러의 감음량이 매우 많다는 것은 소음기의 설계에 있어서 가시화 계측기술이 매우 유용한 수단으로 활용될 수 있음을 의미한다. 한편, 발생된 음향류의 구동에너지와 머플러의 감음량과의 정량적 관계는 추후 연구과제에서 확립하고자 한다.

Fig. 11은 마찬가지로 음압의 감음이 큰 경우인 1984Hz로 스피커를 가진하였을 때, 머플러의 출구측 캐비티(right cavity) 내부 음장을 가시화 한 이미지를 나타내고 있다. 스피커측 캐비티(left cavity)의 경우와는 달리 출구측 캐비티(right cavity) 내부에서는 음향류가 중심선을 기준해서 비대칭적으로 발생하고 있으며 하부에 음향류(acoustic streaming)가 발생되고 있으나 스피커측의 음향류보다는 강하지는 않음을 알 수 있다. 이 음향류도 머플러의 공명주파수에 가까운 1984Hz로 스피커를 가진시켜 발생된 음향류이므로 이 음향류의 구동에너지는 감음에너지로부터

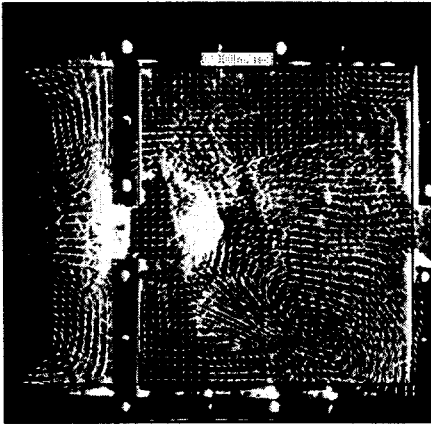


Fig. 11(a) Visualized image of the sound field and obtained velocity vector distribution of the acoustic streaming in the right cavity.

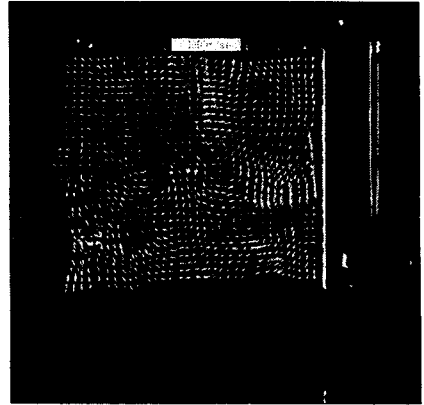


Fig. 12(a) Visualized image of the sound field and obtained velocity vector distribution of the acoustic streaming at the corner of the right upper side of the right cavity.

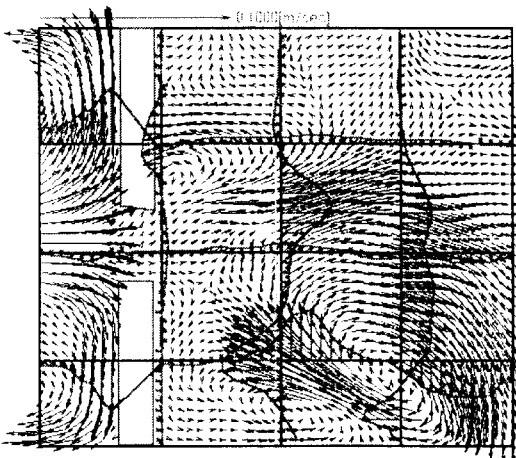


Fig. 11(b) Mean velocity vector distribution.

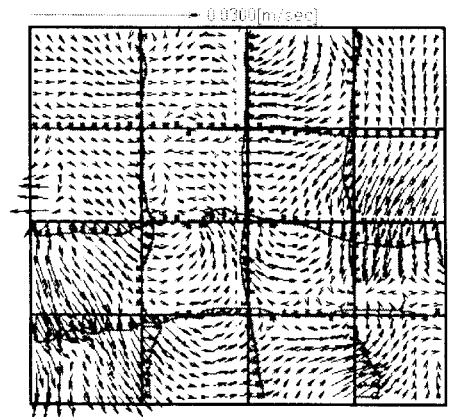


Fig. 12(b) Mean velocity vector distribution.

기여되었음이 추론된다.

Fig. 12(a), (b)는 스피커를 1984Hz로 가진시켰을 때, 각각 출구측 캐비티의 우측 상부벽 안쪽을 보다 상세히 가시화 한 이미지와 이 주위에 발생한 음향류의 평균속도분포를 보이고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 음압의 등고선이 우측상단 구석 부분에 나타나 있음이 보이며 이 음압의 등고선이 구석으로부터 방사상으로 향하고 있음으로 보아 음이 구석에서 퍼져 나오고 있음을 추론할 수 있다. 또한, 머플러의 출구부에도 음압의 등고선이 나타나 보이며 등고선의 구배도 명확히 잘 나타나 보이고 있음을 알 수 있다. 이는 음이 출구부를 향하여 진행해 가고 있음을 잘 보여주고 있다고 볼

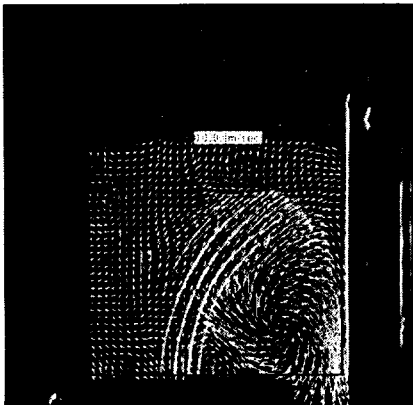


Fig. 13(a) Visualized image of the sound field and obtained velocity vector distribution of the acoustic streaming at the corner of the left cavity.

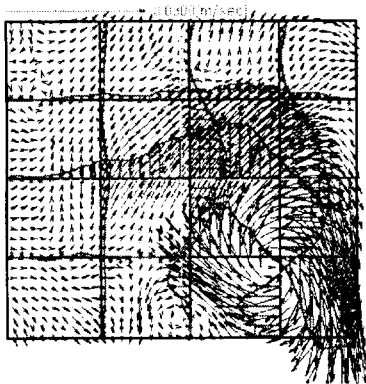


Fig. 13(b) Mean velocity vector distribution.

수 있다. 한편, 이 부분에서의 음향류의 발생정도는 그다지 크지는 않지만 여전히 발생하고 있음을 알 수 있다.

Fig. 13(a), (b)는 스피커를 1984Hz로 가진시켰을 때, 각각 출구측 캐비티의 우측 하부벽 안쪽을 보다 상세히 가시화 한 이미지와 이 주위에 발생한 음향류의 평균속도분포를 보이고 있다. 그림에서 보이는 바와 같이 음압의 등고선이 구석을 중심으로 방사상방향으로 향하고 있음으로 보아 음이 구석으로부터 퍼져 나오고 있음을 알 수 있다. Fig. 12와 13으로부터 구석으로부터 나온 음은 머플러 목부를 빠져나온 원래의 음이 구석에 부딪혀 재차 목부로 향한 후 목부에서 새롭게 나오는 음과 부딪히게 됨을 추론할 수 있다. 이는 음파의 간섭효과를 의미한다고 볼 수 있다. 한편, 머플러의 출구부에도 음압의 등고선 구배가 명확히 잘 나타나 보이고 있으며, 이로부터 머플러를 빠져 나온 음이 출구쪽을 향하고 있다고 볼 수 있다.

Fig. 13(b)로부터 우측 하부벽 안쪽 구석주위에서 발생하는 와형태의 음향류는 상부벽 안쪽 구석 주위에서 발생하는 음향류보다 비교적 강하게 발생되고 있음이 확인된다. 이 음향류 또한 공명주파수 근처에서 스피커가 가진되었을 때 감응되는 에너지의 일부를 사용하고 있음을 추론할 수 있다.

Fig. 14(a), (b)는 스피커를 1984Hz로 가진시켰을 때, 각각 스피커측 캐비티와 출구측 캐비티의 연결부에 해당하는 목부 주위를 보다 상세히 가시화 한 이미지와 이 주위에 발생한 음향류의 평균속도분포를 보이고 있다.

그림에서, 좌측 캐비티에서 우측 캐비티로 진입하는 음은 좌측 캐비티의 입구부에서와 동일한 형태의 음압 등고선구배를 보이므로 음이 우측 캐비티방향으로 진행하고 있다고 볼 수 있으나 목부의 후반부(A로 표시한 부분)에 가서는 더 이상 음압의 등고선구배가 보이지 않는 것은 급격한 음압의 상승대가 존재함을 의미하는데, 이는 우측 캐비티로부터 반사되어 온 음과 부딪히는 영역, 즉, 음의 간섭작용이 일어나는 부분으로 사료된다. 일단, 목부를 빠져 나온 음파는 그림에 잘 나타나 있듯이 방사상으로 확산되어 가고 있음을 Fig. 14(a)로부터 알 수 있다. 그러나, 음압의 등고선이 뚜렷하게

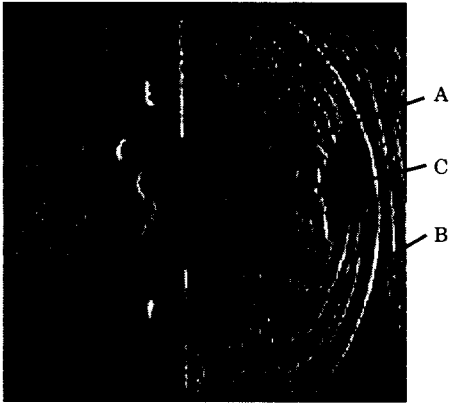


Fig. 14(a) Visualized image of the sound field and obtained velocity vector distribution of the acoustic streaming at the corner of the right upper side of the right cavity.

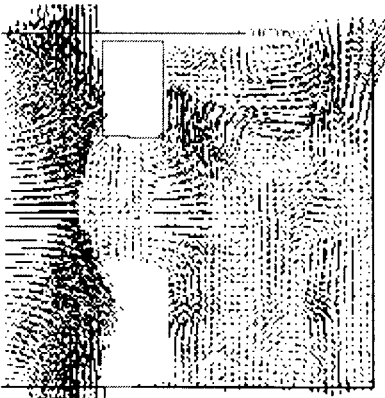


Fig. 14(b) Mean velocity vector distribution.

나타나는 부분(B로 표시한 부분)을 볼 수가 있는데, 이는 이 부분에서 공기의 밀도변화가 급격함을 의미한다. 즉, 머플러 목부를 빠져 나온 음파와 후반부에서 되돌아오는 음의 충돌로 음이 상호간섭에 의하여 음압이 급격하게 변하는 부분으로 추론할 수 있다. 특히, 그림의 C로 표시된 부분에서는 등고선의 구배간격이 매우 조밀하게 되어 가시화입자들이 뭉쳐있는 형태로 나타나 있음이 보이며, 이곳에서는 간섭이 극대화된다고 볼 수 있다.

Fig. 14(b)에서는 좌측 캐비티에서 발생한 음향류는 대부분 좌측 캐비티내부에서만 순환됨이 보인다. 즉, 목부를 향하여 유동하고 있는 음향류의 대부분은 목부의 바로 전방에서 상하 두 갈래로 나

Table 1 Acoustic streaming frequency

Excited frequency [Hz]	Filtered sound pressure level [dB]	White noise sound pressure level [dB]	Sound pressure level differences [dB]	Acoustic streaming
1984	70.8	89.2	18.4	seen
2200	71.5	87.0	15.5	not seen
3112	76.3	85.4	9.1	not seen
3256	47.9	82.7	34.8	not seen
4304	50.8	89.4	38.6	not seen

누어져 전술한 바와 같이 순환하는 음향류로 편승되어 되돌아가고 일부의 음향류만이 목부를 빠져나가 좌측 캐비티의 상하로 퍼져나가고 있음이 보인다. 음향류의 많은 부분이 되돌아가는 이유로서는 목부 바로 전방에 공기유체유동장의 고압대가 존재함을 들 수 있다.

한편, 이 공기유체 유동장의 고압대는 음압의 고압대를 의미하지 않는다. 여기서, 공기유체유동장의 고압대와 음압의 고압대와의 상관관계에 관한 연구는 추후 연구과제로 남겨둔다.

Table 1은 스피커의 가진주파수(excited frequency), 머플러입구에 설치된 스피커의 백색 잡음중 가진주파수에서의 머플러입구 및 출구에서 얻어낸 음압(filtered sound pressure)레벨과 감음량(level difference)과의 관계를 나타내며, 이때, 각 가진주파수에서 음향류 발생의 유무가 정리되어 있다. Fig. 15, 16 및 17은 음압의 감소 크기가 작은 주파수인 2200Hz, 3112Hz, 4152Hz에서 스피커를 가진하였을 때의 머플러 음장내부를 가시화한 이미지를 나타내고 있는데, 이들 그림에서는 음향류가 발생되고 있지 않음을 알 수가 있다. 한편, 음압감소의 크기가 큰 주파수에서도 미소가 시화입자들의 움직임은 찾아 볼 수가 없었다. Table 1에서는 음압감소가 큰 주파수인 3256Hz 및 4304Hz를 관측결과의 예로서 제시하였다.

이처럼, 음압레벨이 크게 감소되는 주파수로 스피커를 가진하여 보아도 음향류의 발생이 보이지 않은 것으로 보아 음향류의 발생은 공명주파수에 관련되어 있다고 볼 수 있다.

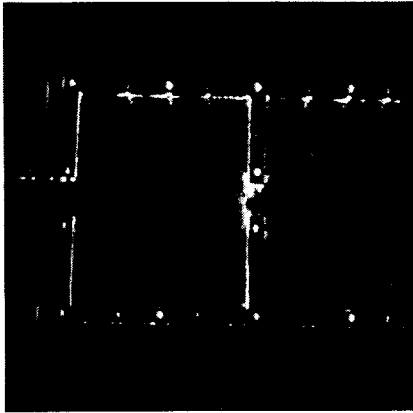


Fig. 15 Visualized image of the acoustic field of the muffler at 2200Hz.

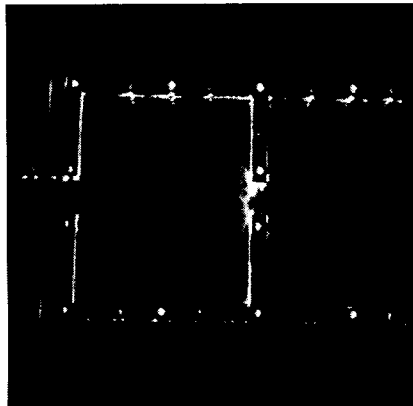


Fig. 16 Visualized image of the acoustic field of the muffler at 3112Hz.

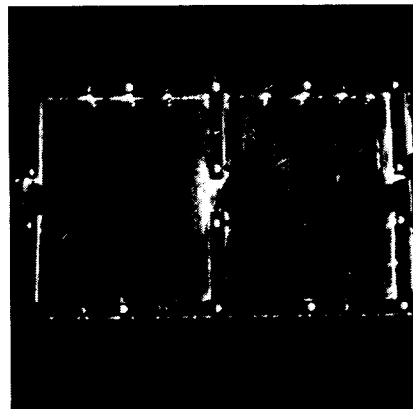


Fig. 17 Visualized image of the acoustic field of the muffler at 4152Hz.

5. 결 론

가시화기술 및 디지털화상처리기술을 이용하여 2차원 머플러 음장의 정성적 및 정량적 해석기법을 정립하였으며 이를 통하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1) 정립한 음장의 가시화측정기법에 대한 정량적 검증실험(원관계측실험)을 통하여 정량적 측정알고리즘에 대한 신뢰도를 확보하였다.
- 2) 구축된 가시화 측정기법으로 2차원 머플러 음장에 있어서 음의 상호간섭이 발생하는 곳이 두군데 존재함을 가시적으로 확인할 수 있었다. 한곳은 머플러의 목부와, 또 다른 한곳은 머플러의 출구로부터 약 1.5H(여기서 H는 목부의 간격길이)의 위치에 존재함이 확인되었다.
- 3) 음향류의 발생은 음압레벨이 크게 감소되는 주파수와는 관계가 없으며 음향계의 공명주파수와 관련되어 있음이 가시화 실험적으로 확인되었다.
- 4) 본 연구에서 구축된 가시화기술 및 디지털화상처리를 이용한 음장의 정성적 및 정량적 해석방법은 음향기기, 특히 머플러의 성능향상 및 설계에 있어서 가시적 정보를 제공하므로 매우 유용할 것으로 사료된다.

후 기

본 연구는 1998년 한국학술진흥재단의 공모과제(신진교수과제 : KRF-1998-003-E0001) 연구비에 의하여 연구되었으며 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

참고문헌

- [1] 流れの可視化ハンドブック, 流れの可視化學會編輯, 朝倉書店, pp.413.
- [2] T. Hayashi, "Sound field visualization by using acoustic holography method", 騒音と振動, 騒音制御, 騒音制御工學會, Vol.15, No.4, pp.4~7, 1991.
- [3] H. Yano, Y. Hidaka and H. Tachibana, "Visuali-

zation of sound fields by the sound intensity technique”, 騒音と振動, 騒音制御, 騒音制御工学會, Vol.15, No.4, pp.8~12, 1991.

- [4] R. Adrian, “Particle-imaging techniques for experimental fluid mechanics”, Ann. Rev. Fluid Mech., Vol.23, pp.261~304, 1991.
- [5] S.P. Gogineni, D.D. Trump and L.P. Goss, “PIV measurements of a jet in a cross flow”, FED-Vol. 218, Experimental and Numerical Flow Visualization, ASME, pp.71~75, 1995.
- [6] P. Buchhave, “Particle image velocimetry-status and trends,” Exp. Thermal and Fluid Sci., Vol.5, pp.586~604, 1992.
- [7] M. Shigeru and S. Hiroshi, “Measurement of unsteady separated flows on blunt plate by a fourier transform method”, Flow Visualization 6, pp.710~714, 1992.
- [8] T. Tokumoru and P.E. Dimotakis, “Image correlation velocimetry”, Exp. in Fluid, Vol.19, pp.1~15, 1995.
- [9] 木村, 高森, 井上, “相關を利用した流れの画像計測”, 流の可視化, Vol.6, No.22, pp.105~108, 1986.
- [10] T. Utami and R. Blackwelder, “A cross correlation technique for velocity field extraction from particulate visualization”, Exp. in Fluids, Vol.10, pp.213~223, 1991.
- [11] 北條, 高島, “PIVにおける異常ベクトルの検出”, 可視化情報, Vol.15, Suppl. No.2, pp.177~180, 1995.

저 자 소 개



도덕희(都德熙)

1962년 10월생. 1985년 한국해양대학교 기관학과 졸업. 1989년 동 대학원 기관학과 졸업(석사), 1995년 일본 동경대학교 대학원 기계공학과 졸업(박사). 1995년 3월~9월 포항공대 첨단유체공학연구소 연구원, 1995년 10월~현재 한국해양대학교 기계공학계열 조교수, 당학회 회원



김동혁(金東赫)

1953년 9월 7일생. 1976년 서울대학교 기계공학과 졸업. 1984년 New Jersey Inst. of Tech. 기계공학과 졸업(석사). 1985년 The Johns Hopkins Univ. 기계공학과 졸업(박사). 1976~1982년 국방과학연구소(연구원). 1988~1992년 한국표준과학연구소(책임연구원).



강동림(康東林)

1961년 6월생. 1981년 한국해양대 기관학과 졸업. 1991년 한국해양대학 대학원 졸업(석사). 1996년 한국해양대학 대학원 수료(박사). 1991~현재 현대자동차 과장