

초음속 공동유동에서의 진동감소

강민성* · 신춘식** · 권준경* · 김희동***

Reduction of the Cavity Flow Oscillations at Supersonic Speeds

Minsung Kang* · Choonsik Shin** · Joonkyung Kwon* · Heuydong Kim***

ABSTRACT

The subcavity passive control technique is used in present study. Cavity-induced pressure oscillation has been investigated numerically for a supersonic three-dimensional flow over rectangular cavities at Mach number 1.83 at the cavity entrance. The three-dimensional, compressible Navier-stokes equations are numerically solved based on a fully implicit finite volume scheme. The results showed that the resultant amount of attenuation of cavity-induced pressure oscillations was dependent on the length and thickness of the flat plate.

초 록

본 연구는 마하수가 1.83인 초음속 유동이 사각공동 위를 지날 때 공동에서 발생하는 압력진동에 대해 수치해석 연구를 수행하였다. 수치해석방법으로는 3차원 압축성 Navier-stokes에 유한차분법을 사용하였다. 보조공동의 형상변화를 통한 압력진동의 저감효과에 대해 조사하였다. 그 결과 공동에서 발생하는 압력진동은 보조공동의 넓이, 길이, 두께의 크기에 의존함을 확인 할 수 있었다.

Key Words: Supersonic flow(초음속 유동), cavity(공동), Oscillation(진동), Passive control(피동제어)

1. 서 론

초음속 공동유동에 관한 연구는 공동시스템에서 발생하는 소음 및 진동문제와 관련하여 1950년대부터 본격적으로 연구가 지속되어 왔다. 항공우주 산업의 급속한 발전과 더불어 제시된 다

양한 연구주제들과 관련하여 현재까지 지속적으로 이루어져오고 있다. 공동은 그형상이 극히 단순함에도 불구하고, 유동소음 간섭 및 공진과 관련한 복잡한 유동특성들이 발생한다. 이러한 유동특성들은 공동의 형상이나 공동 위를 지나는 유동의 조건에 따라 다양한 형태로 발생하므로, 주어진 공동유동에 대한 실험 또는 수치모사를 위해서는 각각의 특성화 된 연구방법들이 요구되는 어려운 문제이다.

공동유동의 진동과 관련된 연구는 주유동의

* 안동대학교 기계공학과 대학원

** 안동대학교 기계공학부

*** 안동대학교 기계공학부

연락처, E-mail: kimhd@andong.ac.kr

유속의 범위(레이놀즈수 혹은 마하수)에 따라서 공동의 깊이나 길이 변화가 공동유동장의 특성에 주는 영향에 대한 연구(1)와 유동특성을 고려한 공동유동의 연구방법 개발(2)이 주를 이루었다.

초음속 공동유동의 연구에 대한 관심은 레이더 신호를 최소화 시킬 수 있는 스텔스 항공기의 weapon bay 개발과 관련하여 비교적 근래에 시작되었다고 볼 수 있다. 초음속 비행에서는 공동의 형상이 외부로 노출될때 공동내부에서 발생하는 압력진동이 추가적인 항력, buffering, 음향피로등을 유발시키게 되며, 이러한 현상들을 해석하고 최소화시켜 비행 효율과 안정성을 향상시키기 위한 많은 연구들이(4) 현재까지 이루어지고 있다.

기존에 제시된 압력진동의 피동제어방법들은 대부분 시스템의 특정 작동조건에 제약을 받는다. 따라서 비교적 넓은 유동조건에 대하여 적용될 수 있고, 공동의 주요 형상을 크게 변화시키지 않으면서 설치가 간단한 제어장치의 개발을 위한 연구는 실용적인 면뿐만 아니라 학술적으로도 가치가 있다. 본 연구는 초음속 공동유동에서 발생하는 다양한 유동특성을 이해하고, 3차원 공동유동의 진동 메커니즘을 수치해석적인 방법을 통하여 상세하게 조사하고, 초음속 공동유동에서 발생하는 압력진동을 보다 효율적으로 제어할 수 있는 피동제어 방법인 보조공동의 효과에 대해 알아보았다.

2. 본 론

2.1 계산모델

Fig. 1은 본 연구에서 사용된 초음속 공동모델과 유동의 압력진동의 제어를 위하여 사용된 보조공동을 개략적으로 나타내었다. 공동의 깊이(D)와 길이(L)는 12mm로 정의 하였으며, 사각덕트의 높이(H)와 폭(W)은 각각 24mm, 38mm로 설정하였다. 주유동의 마하수 M은 1.83으로 하였으며, 모든 경우에 대해 동일하게 적용하였다. 공동 내부의 비정상 압력진동은 공동의 하류

벽면에 No.1 지점을 통하여 측정하였다. 압력진동의 값은 FFT변환을 통하여 주파수 분석을 하였으며, 공동유동의 주파수 분석을 하였다.

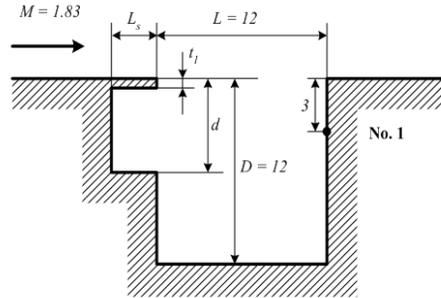


Fig. 1 Schematic diagram of supersonic cavity with sub-cavity

2.2 수치해석 방법

본 연구에서는 초음속 공동 유동에서 발생하는 압력진동을 제어하기 위하여 보조공동을 적용한 경우 보조공동이 공동내부 유동에 미치는 영향을 수치적으로 모사하기 위하여, 3차원 비정상 압축성 Navier-Stokes 방정식에 휴한체적법을 적용하였다. 지배방정식들은 공간항에는 implicit finite control volum scheme, 시간항에는 multi-stage Runge-Kutta scheme을 적용하였다. 초음속 공동주변에서 발생하는 복잡한 난류유동특성과 공동내에서 발생하는 압력진동을 적절히 모사하기 위하여 Smagorinsky-Lilly 모델을 적용한 Large eddy simulation계산을 수행하였다.

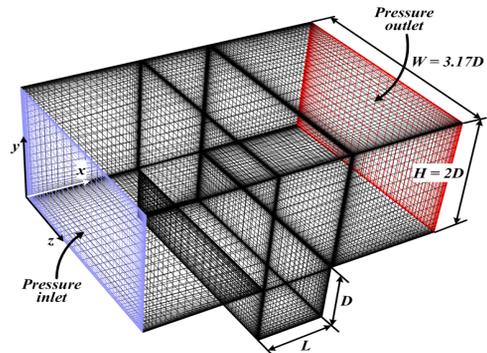


Fig. 2 Computational grid and boundary conditions

Fig. 2는 수치해석에 적용된 계산영역과 경계 조건을 나타낸다. 계산영역은 폭 4.33D, 높이 3D이며, 경계조건은 유로입구에 전압과 전온도를, 유로 출구에 정압을 적용하였으며, 모든 벽면은 단열 No-slip 조건을 적용하였다. 계산영역의 격자점은 대략 50만개이며, 경계층이 발달하는 벽 주변, 전단층 및 공동내부에 격자를 집중시켰다. 수렴해의 판정을 위하여 잔차를 0-4 이하이고, 상류 경계조건으로부터 유입되는 질량유량과 하류 경계조건에서의 출구로 배출되는 질량유량을 비교하여 그 질량유량의 차가 0.1%이하로 되는 조건을 수치해가 수렴하였다고 판정하였다. 주파수 분석 값을 로지터식(rositer equation)과 그 값을 비교하였다.

3. 결과 및 고찰

Fig. 3은 보조공동을 설치 하지 않은 경우의 시간에 따른 압력과 주파수 분석을 결과를 나타내었다. 압력이 주기적으로 진동함을 확인 할 수 있으며, 그 주파수 영역이 피크 주파수가 26, 39kHz에서 보임을 확인 할 수 있으며, 이는 로지터식과 잘 일치함을 확인 할 수 있었다.

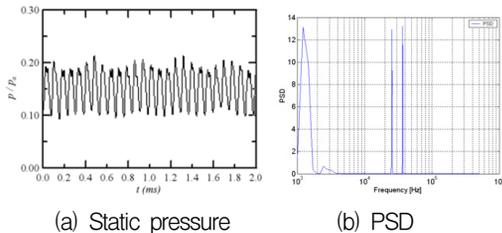


Fig. 3 Time histories of cavity wall static pressure and Power Spectrum Density

Fig. 4는 공동에 보조공동을 설치한 경우 시간에 따른 압력 변동의 값을 나타내었다.

(a)는 $Ls=3$, $t=0.6$, $d=12$ 인 보조 공동을 설치하였을 경우이다. 보조공동을 설치하지 않은 경우와 비교하여 압력진동의 값이 현저히 감소함을 확인 할 수 있다. (b) $Ls=2.25$, (c) $Ls=1.5$ 인 경우로 보조공동의 넓이에 따른 효과에 대해 알아

보았다. 보조공동의 넓이가 작아 질수록 압력변동의 진폭이 커짐을 확인 할 수 있으며, (c)의 경우에는 보조공동을 설치 않은 경우와 비교하여 더욱 큰 진폭의 값을 가지게 됨을 확인 할 수 있다. (d)와 (e)는 보조공동의 설치되어 있는 두께의 효과를 알아보기 위해 각각 $t=1.8$, 3으로 변화시켰다. t 값이 증가함에 따라 압력진동의 진폭의 값이 증가함을 보이고 있으며 (e)의 경우가 가장 큰 압력진동의 값을 보이고 있다. (f)는 보조공동의 길이에 대한 영향을 알아보기 위하여 $d=5.4$ 로 두었다. (a)와 비교하여 압력진동의 진폭이 커짐을 확인 할 수 있다.

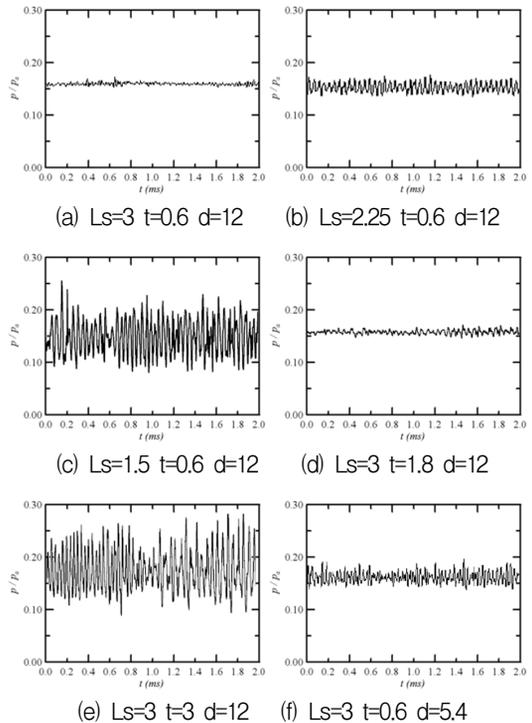


Fig. 4 Tim histories of cavity wall static pressure with control

Fig. 5는 보조공동의 넓이, 길이, 두께 변화에 따른 속도 벡터를 나타내었다.

전 영역에서 재순환 시스템이 나타남을 확인할 수 있으며, 그림(a)의 경우 그림(b)의 경우에 비해 공동 선단에서의 전단층과 수직한 벡터의 영향이 큼을 확인 할 수 있다. 보조공동의 넓이

에 따른 변화 그림(b), (c), (d)에서 재순환하는 영역이 작아짐에 따라 공동전단에서 발생하는 와류의 영향으로 크게 나타나며 전단층과 수직인 벡터의 영향으로 인하여 전단층을 불안하게 만들게 된다. 보조공동의 두께에 대한 속도벡터는 그림(e), (f)에서 확인 할 수 있다. 두께가 두꺼워 짐에 따라 공동전단에서 발생하는 와류의 영향이 커지게 되고 이로 인해 전단층을 더욱 가진하게 만들게 되어 압력진동값이 크게 나타남을 확인 할 수 있다. 그림(g)의 길이에 대한 영향으로 재순환 영역이 축소되어 전단층과 수직인 벡터가 그림(b)보다 많이 나타나게 된다.

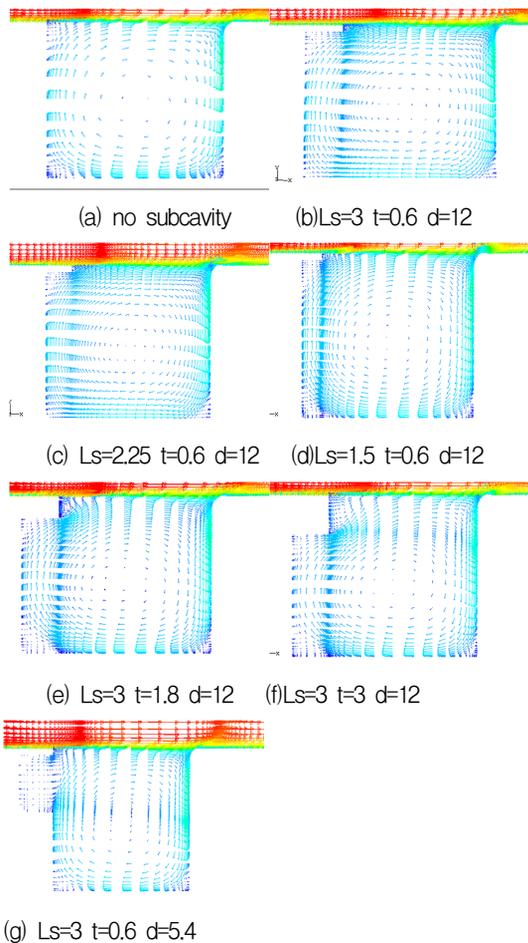


Fig. 5 Velocity vector of cavity

4. 결 론

본 연구는 초음속 공동유동의 압력진동을 완화 시키기 위한 피동제어방법으로서, 전단층의 발달특성을 조절하기 위하여 공동전단 부근에 설치된 보조공동의 제어효과에 대하여 조사하였다. 3차원 비정상 Navier-Stokes 방정식에 LES 방법을 적용하여 수치계산을 수행한 결과, 공동유동의 진동특성은 공동의 후단벽면에서 발생하는 압력진동에 의해 지배되며, 제시된 방법들의 효과는 공동의 후단에서 가장 크게 나타났다. 특히 보조공동의 넓이와 길이가 클수록 두께가 작아 질수록 압력진동의 저감효과가 상대적으로 큰 것으로 조사되었다. 추후 입구 유입 압력 및 온도변화에 따른 보조공동의 효과에 대해 연구가 필요하다.

후 기

이 연구는 한국학술진흥재단의 지역대학 우수 과학자 지원사업의 지원(과제번호 : KRF-2007-521- D00060)으로 행해진 연구임.

참 고 문 헌

1. Maull, D. J. and East, L. F., "Three-Dimensional Flow in Cavities," Journal of Fluid Mechanics, Vol. 16, 1963, pp.620~632.
2. Bilanin, A. J. and Cover, E. E., "Estimation of Possible Excitation Frequencies for Shallow Rectangular cavities," AIAA Journal, Vol. 11, 1973, pp.347~351.
3. Hardin, J. C. and Pope, D. S., "Sound Generation by Flow Over a Two-dimensional Cavity," AIAA Journal, Vol. 33, 1995, pp.407~412.
4. Jen, Y. N. and Payne, U. J., "Numerical Study of a Supersonic Open Cavity Flow and Pressure Oscillation," Journal of Aircraft, Vol. 32, 1995, pp.363~369.