

# 고압 폭발 유동장의 강도 감소를 위한 간단한 형상의 소음기에 대한 수치해석

고 성 호<sup>\*1</sup>, 우 성 대<sup>\*2</sup>, 강 국 정<sup>\*3</sup>

## Numerical Analysis for a Simple Shape Silencer for Intensity Diminution of High Pressure Blast Flow Fields

S. H. Ko, S. D. Woo and K. J. Kang

A numerical analysis was made to investigate the intensity diminution of a simple silencer for high pressure blast flow fields. Reynolds-Averaged Navier-Stokes equations were solved for an axisymmetric computational domain constructed by multi block Chimera grids. A blast flow field without the silencer was also calculated to validate the present numerical method. The evolution of high pressure blast flow fields was observed by depicting calculated contours of pressure and Mach number. It was found that the tested silencer could achieve 76 percent intensity diminution.

**Key Words:** 소음기(Silencer), 고압(High pressure), 폭발(Blast), 강도 감소(Intensity Diminution), 비정상 초음속(Unsteady Supersonic), 전산유체역학(CFD), 겹침 격자(Chimera Grid), 개방된 충격파관(Open-Ended Shock Tube)

### 1. 서 론

대구경 화포의 사격 시 순간적으로 발생하는 고압의 폭발 유동장은 강한 충격 소음을 유발 시키게 된다. 환경 단체에서 조사한 자료에 의하면 120mm 전차포의 경우 소음은 1m 거리에서 최대 160db이며 평균 소음은 100db로서 평균 소음의 경우 항공기 이륙시의 소음과 같은 수준이며, 최대 소음의 경우 평균 소음의 10<sup>6</sup>배에 해당된다. 이러한 충격 소음의 발생으로 인해 전투 시 위치 노출, 운용요원 신체 악영향 및 사격장 주변의 높은 소음으로 인한 환경 문제가 발생한다.

화포 사격 시 소음의 주된 원인인 폭발 유동장의

구조는 포탄이 포신 내에서 이동할 때 포탄의 앞부분의 공기가 이동하면서 발생하는 선입 유동과 포탄이 포구를 벗어난 이후 고압 고속의 가스가 순간적으로 팽창하면서 발생하는 추진 가스 유동으로 구분하여 살펴볼 수 있다.[1] 이러한 고압 폭발 유동장의 강도 감소를 위한 방안으로 선진국에서는 차폐물, 소음기 그리고 흡음재 등을 사용한 방안이 연구되고 있으나 아직 실용화된 사례는 없다.

폭발 유동장의 강도 감소를 통한 소음 저감에 대한 국외의 연구 동향은 과거 이론식과 실험을 통한 연구가 진행되었으며, 최근에는 CFD의 발달로 전산 유동 해석을 통해 소음을 줄이기 위한 노력이 활발히 진행되고 있다.[2,3,4] 국내에서의 연구는 최근에 진행되기 시작했으나 전반적으로 연구가 미비한 실정이다.[5,6]

본 연구는 전차포에 대해 탄환을 배제하고 개방된 충격파관으로 단순화하여 충격파가 관 끝에 위치하고 포신 내부에 폭발로 인한 고압, 고속의 가스가 차 있는 상황을 초기 조건으로 하여 비정상 초음속 폭

\*1 정회원, 충남대학교 기계설계공학과

\*2 학생회원, 충남대학교 기계설계공학과 대학원

\*3 정회원, 국방과학연구소

\*E-mail:\*1 sunghoko@cnu.ac.kr, \*2 wsdion@hanmail.net

\*3 kshsj@hanafos.com

발 유동장의 전산 유체 해석을 수행하였다. 소음기가 없는 기본 전차포와 간단한 팽창형 소음기가 있는 해석 결과를 비교하여 추진 가스 유동의 강도 감소의 효과 및 유동 특성을 파악하고 앞으로 수행할 여러 가지 소음기의 형상에 대한 연구의 기반을 마련하는 것을 목적으로 하고 있다.

## 2. 지배방정식 및 전산해석 방법

### 2.1 지배방정식

고압 폭발 유동장의 해석을 위한 지배 방정식으로 3차원, 비정상, 압축성, 난류에 대한 Reynolds Averaged Navier-Stokes 방정식을 사용하였으며 일반 곡면 좌표계로 변환되면 다음과 같이 쓰인다.

$$\partial_{\tau} \hat{Q} + \partial_{\xi} \hat{E} + \partial_{\eta} \hat{F} + \partial_{\zeta} \hat{G} = \partial_{\xi} \hat{M} + \partial_{\eta} \hat{N} + \partial_{\zeta} \hat{P} \quad (1)$$

식 (1)에서 좌변의 첫 번째 벡터  $\hat{Q}$ 는 보존되는 종속변수이고, 나머지 세 벡터들은 대류항이며 우변의 세 벡터는 점성항이다.

### 2.2 전산해석 방법

고압 폭발 유동장의 해석을 위해 대류항은 3차 정확도를 가지는 Roe의 풍상차분법을 사용하여 이산화하였고, 시간 적분으로는 LU-SGS의 내재적인 방법을 사용하였다. 난류모델로는 Baldwin-Lomax 난류 모델을 사용하였다. 격자의 구성은 겹침 격자 기법을 이용하여 구성하였다.

본 연구의 타당성 검증을 위해 저압 충격파관에 대해 수치해석을 한 Wang & Widhof[7]의 논문에서와 같은 계산 영역과 조건을 사용하여 전산해석을 수행하였다.

소음기가 없는 기본 전차포의 해석은 Fig. 1과 같은 계산 영역을 구축하였으며 간단한 형상의 소음기가 장착된 해석은 Fig. 2와 같은 계산 영역을 사용한다. 두 가지 경우 비열비는 전 영역 1.4, 압력비는 852.9, 충격파 세기는 27인 초기 조건을 사용하였다. 경계 조건은 모든 벽면을 비점성 단열로 설정하였으며, 유출 및 유입 조건으로는 Riemann invariant에 근거한 특성 조건을 사용했다.

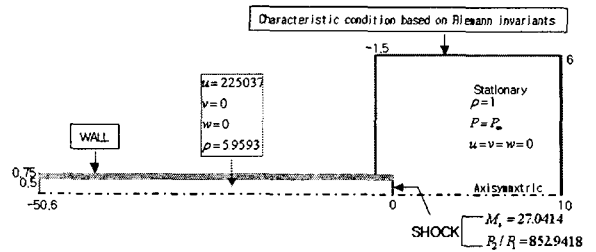


Fig. 1 Computational domain for tank gun model

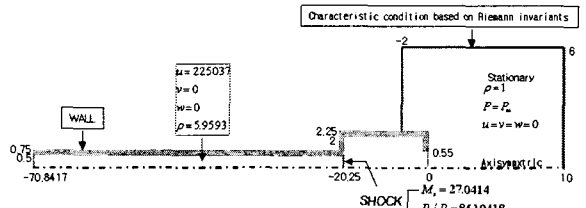


Fig. 2 Computational domain for silencer model

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 저압 충격파관 해석

본 연구의 타당성을 검증하기 위하여 앞서 언급한 Wang & Widhof[7]의 논문에서 인용된 저압 충격파관의 실험 결과를 사용하였다.

Fig. 3은 충격파가 진행하며 변화하는 압력의 분포를 각각 다른 시간에서 그린 것이다. 즉, (a)는 0.5ms, (b)는 1.0ms, (c)는 1.5ms이며, (d)는 (c)와 같은 1.5ms에서의 등압력 선도이다. (d)에서 볼 수 있듯이 충격파, 와류, 마하 디스크와 삼중점등 실제와 같은 현상을 볼 수 있다.

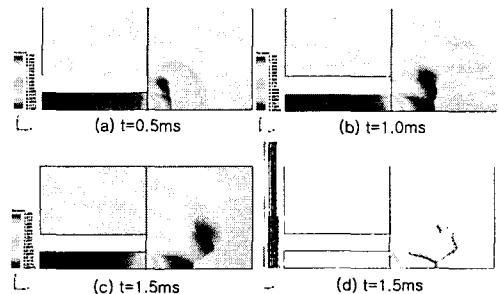


Fig. 3 Pressure plotted at different times for low pressure calculation

Fig. 4는 포구 바로 위의 한 지점,  $x/D=0.0125$ ,  $z/D=0.149$ 에서 계산된 과압(overpressure)을 Wang & Widhof[7] 논문의 실험데이터와 비교한 그림이다. 피크(peak)에서 실험측정값과 약 7%의 차이를 보이

고 있지만 전체적으로 계산값과 실험값이 아주 잘 일치하고 있다.

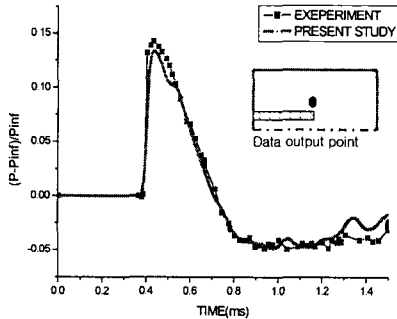


Fig. 4 Comparison of predicted overpressure with measured overpressure[7] at  $x/D=0.0125$ ,  $z/D=0.149$

### 3.2 소음기가 장착되지 않은 유동장 해석

간단한 형상의 소음기에 의한 고압 폭발 유동장의 강도 감소에 대한 효과 및 유동 특성을 알아보기 위해 Fig. 1과 같이 우선 소음기가 장착되지 않은 전자포를 해석 하였다.

Fig. 5는 0.212ms와 0.317ms일 때의 마하수를 나타낸 것으로 초기 폭발 충격파와 마하디스크의 발전 형태, 초음속 코어의 팽창 그리고 플룸(plume) 경계를 확인 할 수 있다. 모두 축 부분에서 마하 디스크가 관 쪽을 향하여 들어가 있는 것을 볼 수 있다. 이는 고압의 가스가 대기 중으로 과대 팽창되면서 팽창이 상부에서 중심축으로 가속되면서 유도된 유동이 마하디스크 앞부분에서 볼텍스 링을 형성하여 마하디스크를 변형시키게 된다. 그리고 마하디스크와 초기 충격파 사이의 복잡한 유동으로 인하여 초기 충격파가 구형이 아닌 축 부분이 튀어나온 구형으로 전파되고 있는 것을 볼 수 있다. Fig. 6은 0.212ms에서의 압력을 나타낸 것으로서 마하디스크와 볼텍스 링의 상호 작용으로 인한 마하 디스크의 변형된 형태를 확인 할 수 있다.

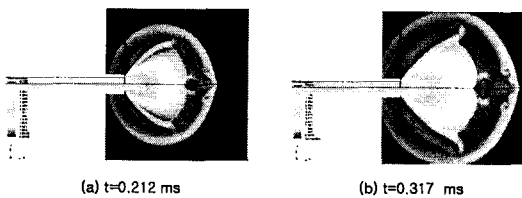


Fig. 5 Calculated Mach number contours at different times for tank gun model



Fig. 6 Pressure contours at 0.212ms for tank gun model

### 3.3 소음기가 장착된 유동장 해석

다음으로 고압 폭발 유동장의 강도 감소를 위해 간단한 소음기를 장착한 모델을 해석하였다. Fig. 7은 소음기 내부에서 시간에 따른 압력의 변화를 나타낸 것으로 소음기 벽면에 의해 초음속 코어의 팽창이 억제되며 플룸 경계를 통해 유동이 빠르게 관 내부를 진행하다가 출구부분에서 유동이 대기로 방출되며 일부는 다시 반사되어 뒤쪽으로 돌아오게 된다. 이로 인하여 소음기 내부에서는 복잡한 유동이 형성되게 된다. Fig. 7의(a)와 (b)는 출구를 향해 유동이 나가고 있는 것이며, (c)와 (d)는 반사된 유동을 나타내고 있다.

Fig. 8은 1.058ms에서의 압력과 마하수에 대한 그림으로서 폭발 유동장의 강도가 감소되었으며 소음기가 없을 때의 유동 구조와 비슷한 형태를 유지하고 있으나 부분적으로 약간 다른 구조를 갖고 있다. 초음속 코어의 팽창 면적이 축소되었으며 플룸 경계가 확대되고 플룸 경계에 의해 유도된 유동으로 인해 플룸 경계의 끝부분에서 떨어져 나간 유동이 소음기의 벽면으로 돌아오고 있다.

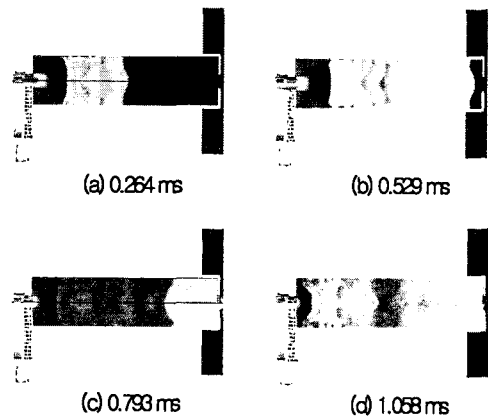


Fig. 7 Pressure contours inside the silencer at different times

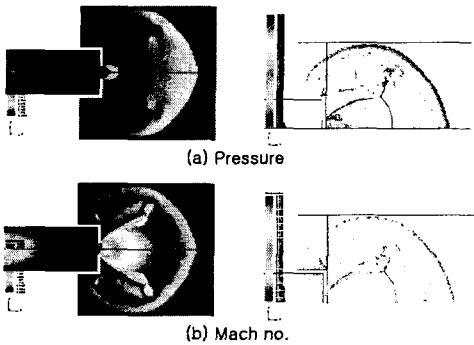


Fig. 8 Pressure and Mach number contours outside the silencer at 1.058ms

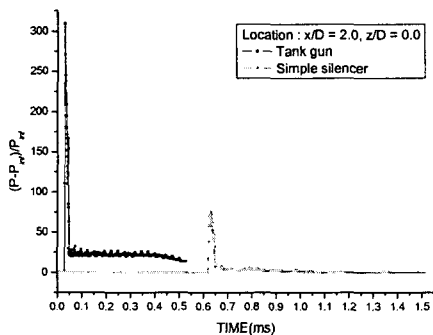


Fig. 9 Evolution of overpressure of tank gun and simple silencer calculation at  $x/D=2.0, z/D=0.0$

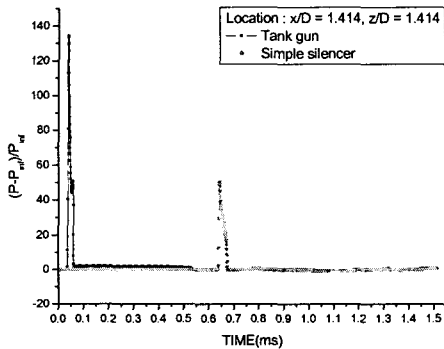


Fig. 10 Evolution of overpressure of tank gun and simple silencer calculation at  $x/D=1.414, z/D=1.414$

Fig. 9와 Fig. 10은 각각 전차포와 소음기의 출구 부분을 원점으로 반지름 2인 거리의 대기영역에서 무차원화된 과압의 데이터이다. 두 그래프를 통해 폭발 유동장에 대한 소음기의 강도 감소를 확인할 수 있는데, Fig. 9의 포구 중심선상의 지점에서는 소음기에 의한 압력 강도 감소율이 76%이며, Fig. 10

의 포구 중심점에서 45도 상향지점에서는 감소율이 62%이다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 간단한 형상의 소음기에 의한 폭발 유동장의 강도 감소효과에 대해 연구를 수행하였다.

탄환을 배제한 상태에서의 실제 전차포의 고압 조건을 사용하여 포구 부분에 단순한 형태의 소음기를 장착한 형상에 대한 유동장을 해석하였다. 무차원화된 과압의 계산 값을 통해 최대 76%의 폭발 유동장의 강도 감소 효과를 확인 할 수 있었다. 그리고 앞으로 수행할 여러 가지 형태의 소음기에 대한 해석 기술을 확보 할 수 있었다.

#### 후기

본 연구는 국방과학연구소에서 시행한 기초연구사업의 수행결과의 일부이며, 이에 관계자 여러분께 감사드립니다.

#### 참고문헌

- [1] Erdos, I. and Guidice, P. D., "Calculation of Muzzle Blast Flow Fields," AIAA Journal, Vol. 13, (1975), p.1048-1055.
- [2] Pater, L. L. and Shea J. W., "Techniques for Reducing Gun Blast Noise Levels : An Experimental Study", (1981), NSWC TR 81-120.
- [3] Cooke, C. H. and Fansler, K. S., "Numerical Simulation and Modeling of a Muffler", (1989), BRL-MR-3735
- [4] Fansler, K. S. and von Wahlde, R., "A Muffler Design for Tank Cannon Acceptance Testing", (1991) BRL-MR-3931
- [5] 김덕환, 고성호, "배플형 제퇴기의 유동장에 대한 수치해석," 대한기계학회 1998년도 추계학술대회 논문집 B, (1998), p.103-107.
- [6] 이창주, 고성호, "다공형 제퇴기 개소유동에 대한 수치해석," 한국항공우주학회 1998년도 추계 학술발표회 논문집, (1998), p.150-155.
- [7] Wang, J. C. T. and Widhopf, G. F., "Numerical Simulation of Blast Flowfields Using a High Resolution TVD Finite Volume Scheme", Computers & Fluids, Vol. 18, No. 1, (1990), p.103-137.