

배플형 소음기가 적용된 고압 폭발 유동장에 대한 수치해석

이 동 수^{*1}, 고 성 호^{*2}, 강 국 정^{*3}

Numerical Analysis for High Pressure Blast Flow Fields of a Silencer with Baffles

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

A numerical analysis was made to investigate the pressure diminution of a silencer with baffles 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 was calculated for the silencers that are with one and three baffles. The evolution of high pressure blast flow fields was observed by depicting calculated contours of pressure. It was found that the tested silencer could achieve 97.7 percent pressure diminution.

Key Words: 소음기(Silencer), 고압(High pressure), 폭발(Blast), 비정상 초음속(Unsteady Supersonic), 전산유체역학(CFD), 겹침 격자(Chimera Grid), 배플(Baffle)

1. 서 론

고압의 충격파는 강한 충격소음을 유발한다. 미 군사표준서의 규정에 의하면 임무수행 장소에서 소음이 140dB를 초과할 경우 청각보호 요구조건, 보호방법 및 환경에 미치는 악영향에 대해 적절한 조치를 취할 것을 규정하고 있다. 120mm 전차포 사격 시 근접 유동장에서 230dB 정도의 충격 소음이 발생하고 있으며, 이는 전차포의 충격소음이 육체적, 심리적 그리고 환경적 요소에 심각한 피해를 줄 수 있다는 것을 의미한다. 이러한 충격 소음에 지속적으로 노출될 경우 두통, 정신착란, 불안감, 신경쇠약 그리

난청뿐만 아니라 불임이나 사산 등이 유발될 수 있으며, 사격장 주위의 환경 생태계에 악영향이 미치게 된다.

전차포의 사격에 따라 발생하는 소음은 전진하는 가스의 초음속 팽창에 의해 발생하는 충격파, 초음속 상태의 발사체에 의해 유발되는 소음 그리고 장약에 의해 발생하는 소음으로 구성된다.[1] 충격소음은 전진하는 가스 유동에 의해 최대의 소음이 발생된다.

폭발유동장에 의해 발생하는 고압의 충격파에 대한 연구는 실험을 통한 연구에 한계가 있었으나, 최근 컴퓨터의 성능이 비약적으로 향상됨에 따라 CFD를 통한 전산해석이 가능해져 압력 감소를 위한 연구가 활발히 진행되고 있다. [2, 3, 4] 국내에서는 이러한 연구가 최근 진행되기 시작했으나 현재까지는 미비한 실정이다.[5, 6, 7]

본 연구는 탄환을 배제하고 폭발로 인한 전차포 포신 내부에 차있는 고압, 고속의 가스를 초기조건으로 설정하여 비정상 초음속 폭발 유동장의 전산유체 해석을 수행하였다. 연구의 타당성의 검증은 참고는

*1 학생회원, 충남대학교 기계설계공학과 대학원

*2 정회원, 충남대학교 기계설계공학과

*3 정회원, 국방과학연구소

*E-mail: *1 free-ds@hanmail.net

*2 sunghoko@cnu.ac.kr

*3 kshsj@hanafos.com

문[7]을 참고하였다. 그리고 고압의 전차 포신 앞에 장착된 배플이 사용된 소음기를 해석하여 추진 가스 유동의 압력감소 효과 및 유동 특성을 파악, 효과적으로 압력을 감소시킬 수 있는 소음기의 형상설계에 대한 연구 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.

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

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

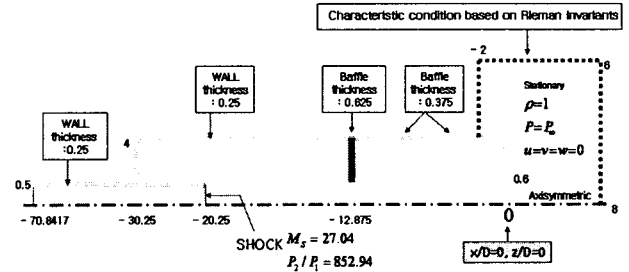
2.2 전산해석 방법

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.

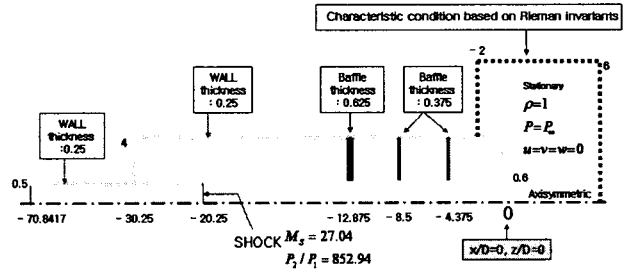
본 연구의 타당성 검증을 위해 저압 충격파관에 대해 수치해석은 참고문헌[7]에 자세하게 설명되어 있으므로 참고하기 바란다.

1개의 배플을 사용한 전차포의 소음기는 Fig. 1(a), 3개의 배플을 사용한 전차포의 소음기는 Fig. 1(b)의 계산 영역을 설정하여 수치해석을 실행하였다. Fig. 1은 확대칭으로 원형의 반만 나타내었고, 원점은 소음기 출구이며, 포구의 끝은 $-20.25(x/D)$ 이다. 소음기는 포구를 감싸고 $-30.25(x/D)$ 까지 확장되어 있다.(포구구경 D 는 120mm이다.) 배플의 두께 또한 구경으로 나눈 무차원 값이다. 각 경우에 비열비는 전 영역 1.4, 초기에 설정된 충격파 전후의 압력비는 852.9, 충격파 세기는 27인 초기 조건을 사용했다. 경계 조건은 모든 벽면을 비점성 단열로 설정했

으며, 유출 및 유입 조건으로는 Riemann invariant에 근거한 특성 조건을 사용했다.



(a) silencer with one baffle



(b) silencer with three baffles

Fig.1 Computational domain for two types of silencer

3. 결과 및 고찰

3.2 배플을 사용한 소음기의 유동장 해석



(a) silencer with one baffle at 2.37ms



(b) silencer with three baffles at 3.14ms

Fig.2 Pressure contours for each silencer with baffles

Fig. 2는 배플을 사용한 소음기 내부의 압력 변화를 보여준다. 변화를 시각적으로 구분하기 위해 (a)의 경우는 최대값을 무차원 압력값 50, (b)의 경우에는 30을 주었다. (b)의 경우 유동이 배플을 지날 때마다 압력이 크게 감소하는 것이 확인되고 있으며, 이는 배플에 의한 반사유동이 전진하는 개스와 충돌하며 나타나는 감쇠현상이다. 배플을 3개 사용한 소음기가 출구 부분에서 압력이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다.

3.4 지점에 따른 압력 비교

배플을 지나는 유동의 압력 변화를 다음과 같은 지점에서 비교하였다. 소음기 내부에서는 배플을 지날 때마다 감소하는 압력값을 비교하기 위해 지점 1, 2, 3은 배플을 지난 동일한 높이($z/D=1$)의 지점을 설정하고, 소음기를 지난 외부의 지점 4, 5, 6은 각각 소음기 출구의 중심으로부터 반지름 2인 $90^\circ, 45^\circ, 0^\circ$ 의 지점을 비교 분석했다. 배플이 1개 사용된 소음기 역시 동일한 위치이다. 압력은 절대압력이다.

(①: $x/D=-11$, ②: $x/D=-6.875$, ③: $x/D=-2.75$)

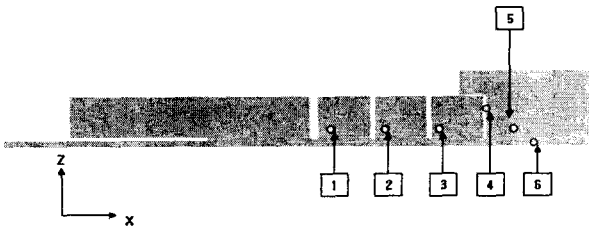
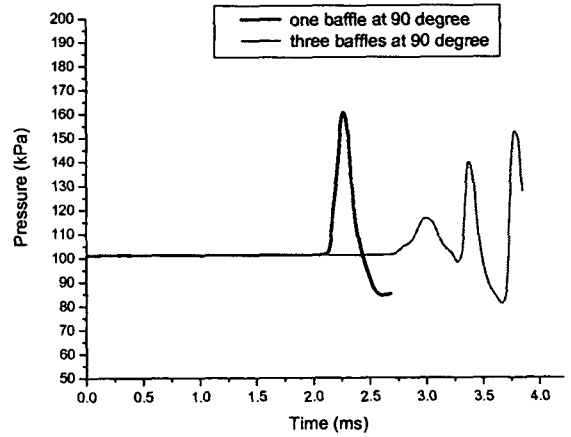
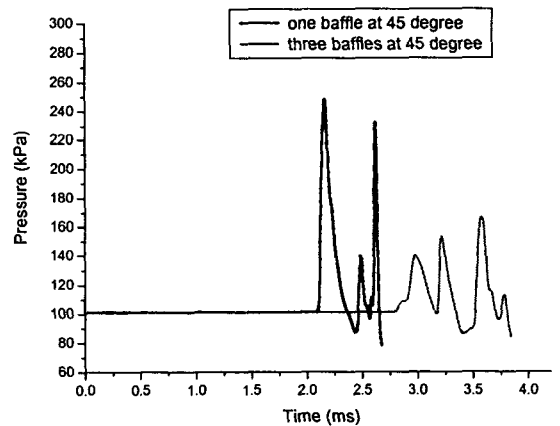


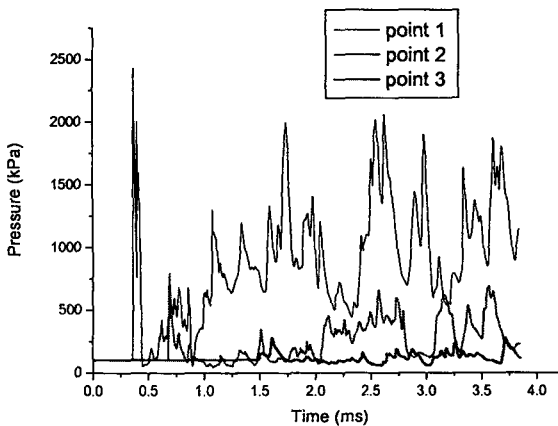
Fig.3 Points that compare the pressure of each silencer



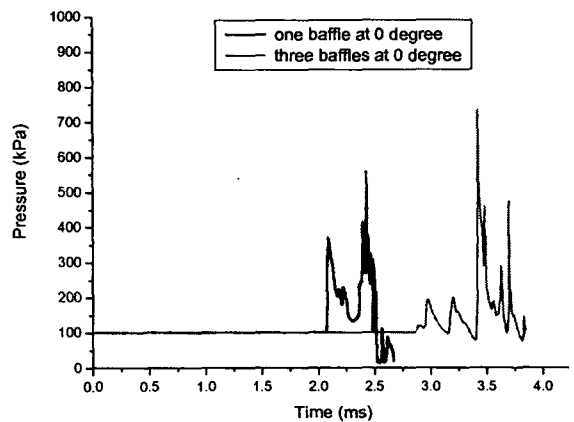
(b) point 4 of each silencer at $R=2$



(c) point 5 of each silencer at $R=2$



(a) pressure variation of three points for the silencer with three baffles



(d) point 6 of each silencer at $R=2$

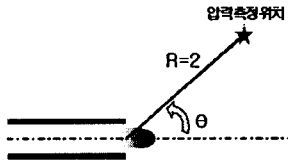
Fig.4 Comparison of pressure variation for the silencers at the specified points

(a)는 소음기 내부에서 거리에 따라 압력의 변화를 나타낸 것으로 배플을 지날 때마다 압력이 크게 감소하는 것을 볼 수 있다. 특히 첫 번째 배플을 지난 후의 지점은 고압의 유동이 압축과 반사를 반복하고 충격파와 재압축 충격파가 지속적으로 발생되어 극심한 진동을 보이고 있다. 배플에 의한 압력 감소 효과가 잘 나타나고 있다.

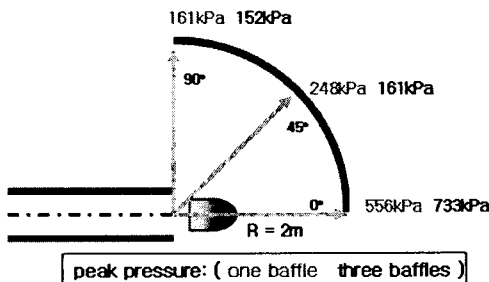
(b)-(d)는 반지름이 2인 외부의 지점이다. (b)의 경우는 90° 지점이며, 다른 각도의 유동에 비해 진동도 작고 낮은 압력을 보이고 있다. 이 지점은 플럼의 외부영역이고 충격파의 영향을 받지 않는 부분으로, 속도가 빠르고 안정적인 현상을 나타내고 있다. 그리고 배플을 3개 사용한 소음기의 압력이 낮은 것을 확인할 수 있다.

(c)는 45° 지점으로 역시 배플을 3개 사용한 소음기의 압력이 낮은 것을 확인할 수 있다. (b)보다는 상대적으로 진동이 많고 압력도 높다. 이는 마하디스크의 영향을 받지 않는 지점이나 경사충격파와 후류 그리고 와류 등의 영향에 기인한다.

마지막으로 (d)는 0°의 지점이다. 이 부분은 마하디스크, 폭발충격파, 후류 그리고 와류 등의 영향을 모두 받는 지점으로 압력이 큰 변화를 보이고 있다. 그리고 마하디스크와 폭발충격파가 그래프 상에 잘 나타나고 있다. 앞쪽의 큰 압력 변화가 마하디스크이며, 뒤쪽은 폭발 충격파이다. 또한 다른 지점과 달리 배플이 3개 사용된 소음기가 배플이 1개 사용된 소음기보다 상대적으로 높은 압력을 보여주고 있다.



(a) location of calculating pressure data



(a) peak pressure data

Fig. 5 Evolution of pressure for the silencers at each degree

Fig. 5는 각각의 각도에서 최대 압력에 대해 나타내었다. 참고문헌[7]의 소음기가 없는 형상에 비해 45° 지점에서 97.7%의 압력 감소가 이루어졌다.

4. 결 론

본 논문에서는 탄환을 배제한 전차포 소음기에 배플 사용 시 소음기의 압력 감소 효과에 대해 해석하였다.

소음기 내부에서 배플의 수가 증가함에 따라 압력이 크게 감소하는 것을 볼 수 있었다. 특히 첫 번째와 세 번째의 배플을 지난 유동의 압력은 매우 큰 차이를 보여주었다. 그리고 배플이 3개 사용된 소음기 출구에서의 압력은 반지름 2의 45° 지점에서는 참고문헌[7]의 소음기가 없는 형상에 비해 97.7%의 감소가 이루어졌다.

후 기

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

참고문헌

- [1] Karl-Wilhelm Hirsch., 2003, "An Overview on Military Weapon Noise: It's Physical and Annoyance", Institute for Noise Control, Seoul National University, Seoul, Korea.
- [2] Pater, L. L. and Shea J. W., 1981, "Techniques for Reducing Gun Blast Noise Levels : An Experimental Study", NSWC TR 81-120.
- [3] Cooke, C. H. and Fansler, K. S., 1989, "Numerical Simulation and Modeling of a Muffler", BRL-MR-3735.
- [4] Fansler, K. S. and von Wahlde, R., 1991, "A Muffler Design for Tank Cannon Acceptance Testing", BRL-MR-3931.
- [5] 김덕환, 고성호, 1998, "배플형 제퇴기의 유동장에 대한 수치해석," 대한기계학회 1998년도 추계학술대회 논문집 B, pp.103-107.
- [6] 이창주, 고성호, 1998, "다공형 제퇴기 개스유동에 대한 수치해석," 한국항공우주학회 1998년도 추계 학술발표회 논문집, pp.150-155.
- [7] 고성호,우성대,강국정 2004, "고압폭발유동장의 강소를 위한 간단한 형상의 소음기에 대한 수치해석," 한국전산유체공학회 2004년도 추계 학술발표회 논문집, pp.91-94.