

다공형 제퇴기 특성 연구

A Study of Perforated Muzzle Brakes Characteristics

강국정* 이성배* 김인우* 홍석균*
 Kang, Kuk-Jeong Lee, Seong-Bae Kim, In-Woo Hong, Seok-Kyun

ABSTRACT

In this paper, we have studied the characteristics of a perforated muzzle brake. The main purpose of a muzzle brake is to reduce the momentum being applied to the recoil system. Muzzle brake redirect a portion of the exiting gases to the side exerting a forward force on the brake, thus reducing recoil. So it also reduces the recoil force which acts on the turret and vehicle.

First of all, we analyzed the flow-field characteristics of muzzle brake using RAMPANT software. Then we investigated the influence of design parameters of perforated muzzle brake. Sixteen muzzle brakes were tested and evaluated for analyzing their influence on the muzzle brake efficiency. The muzzle brakes were designed to fit on a 40mm gun barrel.

The strong dependent parameters of muzzle brake efficiency were the wall thickness(L/d ratio) and the area ratio AR. We designed the perforated muzzle brakes which have 10~20% efficiency. And we proposed a design method of perforated muzzle brake.

주요기술용어 : Perforated Muzzle Brake(다공형 제퇴기), Recoil Force(주퇴력), Muzzle Brake Efficiency(제퇴기 효율)

1. 서론

제퇴기(muzzle brake)는 그림 1과 같이 포구 끝에 장착되어 포강내부에서 팽창하여 포구바깥으로 나오는 추진개스의 일부를 제퇴기 벽면에서 방향을 편향시켜 주퇴력의 일부를 줄여주므로써 차체 및 포구조물에 작용하는 사격충격력을 저감시키는 작용을 한다.

제퇴기의 작용에 의한 사격 충격력의 감소가 없으면 모든 사격충격력이 포마운트를 통해서 차체 및 포구조물에 그대로 작용하게 되므로 구조설계의 내충격 설계기준은 높아지게 된다.^[1]

제퇴기의 작용에 의해 감소되는 사격충격량의 비율을 통상 제퇴기 효율이라고 부르며, 추진개스의 방향을 편향시키는 측면 노즐의 형상 및 구조에 따라서 표 1에 나타난 바와 같이 배플형 제퇴기, 다단형 제퇴기 및 다공형제퇴기의 3가지 종류로 나눌 수가

* 국방과학연구소 연구원

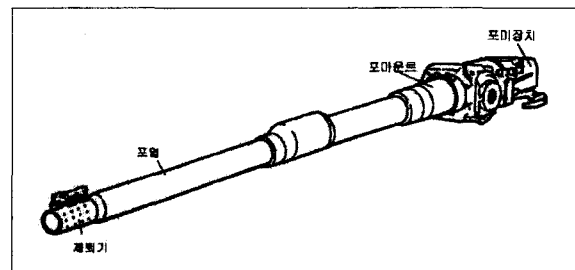
있다.

지금까지 가장 오랜 역사를 자랑하는 배플형 제퇴기는 측면으로 개스가 편향되어 나오는 면적이 커서 효율이 높으며(30% 수준) 기존의 무기체계에 가장 널리 사용되어 오고 있다. 그러나 배플형 제퇴기의 경우 과거와 같이 개발되는 무기체계의 포구에너지 수준이 높지 않은 경우는 큰 문제가 되지 않았으나 포구에너지가 증대됨에 따라서 제퇴기 효율은 증가시킬 수 있으나 음압수준도 똑같이 높아져서 사람 및 환경에 심각한 영향을 미치게 된다. 또한 미국의 경우 폭압수준이 규격서에서 정하고 있는 기준치를 초과하는 경우 하루에 사격할 수 있는 사격발수를 규제하여 운용자가 사격폭압에 노출되는 것을 최대한 규제하고 있는 실정이므로 그 사용범위가 점차 축소되고 있는 추세다.

이에 따라 배플형 제퇴기보다 효율은 다소 낮으나 이러한 단점을 보완하여 설계된 것이 다단형 및 다공형 제퇴기이다. 다단형 제퇴기는 측면으로 개스가 빠져나오는 노즐의 면적을 배플형보다 작게 배분하여




개스가 각 슬롯별로 순차적으로 배출되므로 제퇴기 효율은 배플형 대비 다소 낮으나(20~30% 수준) 음압수준을 상당부분 낮출 수 있다는 장점을 가진다.

다공형 제퇴기는 전술한 두가지 제퇴기 대비 효율은 가장 낮으나(20% 이하) 탄두의 운동에 미치는 영향이 가장 적을 수 있다는 특성 때문에 주목을 받고 있으며 이 분야에 대한 많은 연구가 수행되고 있다.^{[2],[3],[4]} 다공형 제퇴기는 개스가 빠져나오는 측면 노즐을 원주방향으로 대칭배열 하므로써 원주방향의 압력구배를 균일하게 할 수가 있으므로 강의탄도에 미치는 제퇴기의 영향을 줄일 수 있다. 이러한 성능을



[그림 1] 대구경 무장 형상도

[표 1] 제퇴기 종류별 형상 및 특성

구 분	형 상	특 성
배플형 제퇴기		*기존 무기체계에 널리적용된 전통적 제퇴기 *효율은 커나 음압이 높고 유동 불안정
다단형 제퇴기		*음압수준 개선 *개스가 슬롯별 순차적으로 배출되므로 효율이 다소 낮아짐
다공형 제퇴기		*기존의 제퇴기에 비해 경량/단순구조 *포구 유동 안정화 유리 *효율은 다소 낮음

가지는 다공형 제퇴기는 전세계적으로 자주포, 경장갑 차량 및 경전차에서 사격충격력을 줄이면서 포구유동 안정성을 유지할 목적으로 많이 장착되고 있다.

과거의 제퇴기 개발은 국내의 기술적 기반이 취약하였기 때문에 주로 실험적 방법으로 개발되었으며, 개발비용 및 기간이 과도하여 많은 어려움이 있었다. 또한 미래전장 환경에서 요구되는 화력 무기체계의 성능증대에 따른 포구에너지 증대로 수반되는 과도한 충격력 및 주퇴에너지를 효과적으로 저감시킬 수 있는 다공형 제퇴기 설계 기술 개발이 필요하게 되었다.

본 논문에서는 다공형 제퇴기에 대한 연구결과를 수록하고자 한다. 제퇴기 설계를 위해서는 제퇴기에 대한 유동장 해석이 선행되어야 한다. 제퇴기 유동장 해석을 통해 제퇴기 개스유동 특성을 분석 할 수가 있으며, 제퇴기 성능에 영향을 미치는 설계요소들에 대한 주요 특성 자료를 획득할 수 있다. 다음으로 40mm 무장을 이용한 축소모의시험 장치를 구성하여 유동장 해석결과를 반영하여 설계한 축소제퇴기를 장착하여 기술시험을 수행하였다. 이러한 과정을 통하여 다공형 제퇴기 설계 인자들의 특성을 고찰하였으며, 지배적인 영향인자들의 주요 특성을 분석하였다. 이러한 일련의 연구를 통하여 다공형 제퇴기 특성을 분석하고 설계 기준을 제시하였다.

2. 유동해석

가. 이론적 접근방법

다공형 제퇴기는 원주방향으로 가공된 일련의 노즐들로 이루어지는 단순한 구조를 가진다. 배플형 제퇴기나 다단형 제퇴기에 비해 구조물이 경량이고 단순

하므로 제작상 이점을 가지고 있다. 다공형 제퇴기는 포구에 부착되어 팽창하는 개스의 일부를 포강축 중심과 수직방향으로 유도하도록 되어 있다. 이렇게 방향이 바뀐 개스는 제퇴기에 포신의 주퇴방향과 반대의 추력을 발생시키고 외부로 빠져나가며, 이 힘이 제퇴기 효율을 결정하게 된다.

포강내부의 추진제 개스가 제퇴기를 지나갈 때 각 노즐에서는 비대칭적인 압력분포가 형성되는데 노즐 하류 벽면에서 최대 압력이 발생하게 된다. 제퇴기 내부에서 개스는 초음속으로 가속되어 팽창하며 노즐 내부로 흘러간다. 하류에서 발생한 충격파(shock wave)는 vent 노즐내부로 들어온 유동을 벽면에 평행한 방향으로 만들어 주며 속도는 아음속으로 감속되고 노즐 내부에서 다시 초음속으로 가속되어 외부로 흘러간다. 노즐 내부의 상류 벽면 주위에는 광범위한 아음속 유동영역이 분포하게 되며 재순환영역이 발생하게 된다.

다공형 제퇴기에 대한 유동장 해석을 통하여 유동장 특성을 분석하며, 제퇴기 설계 인자들의 특성에 대해 고찰하고자 한다. 또한 해석 결과를 적용하여 축소 제퇴기를 설계하고자 한다. 응용 해석 소프트웨어인 Rampant를 이용하여 유동장 해석을 수행하였다.

나. 지배방정식

질량, 운동량, 에너지에 대한 보존 형태의 지배방정식을 수치적으로 풀어주는 기법을 이용하며 미분 형태로 표현된 Navier-stokes 방정식을 고려하면 다음과 같다.

$$\frac{\partial \vec{W}}{\partial t} + \frac{\partial \vec{F}}{\partial x} = \frac{\partial \vec{G}}{\partial x} \quad (1)$$

여기서

$$\vec{W} = \begin{pmatrix} \rho \\ \rho v_x \\ \rho v_y \\ \rho v_z \\ \rho E \end{pmatrix}, \quad \vec{F} = \begin{pmatrix} \rho \vec{v} \\ \rho v v_x + p \hat{i} \\ \rho v v_y + p \hat{j} \\ \rho v v_z + p \hat{k} \\ \rho v E \end{pmatrix}, \quad (2)$$

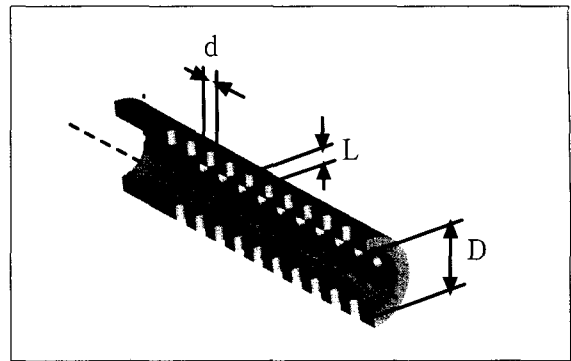
$$\vec{G} = \begin{pmatrix} 0 \\ \tau_{xi} \\ \tau_{yi} \\ \tau_{zi} \\ \tau_{ij} v_{ij} + \vec{q} \end{pmatrix}$$

여기서 \vec{W} 는 변수벡터, \vec{F} 는 플럭스벡터, \vec{G} 는 점성벡터, \vec{x} 는 위치벡터를 나타낸다. 또한 ρ , \vec{v} , E 와 p 는 밀도, 속도벡터, 단위질량당 전체에너지와 압력을 나타낸다. τ 는 점성응력텐서, \vec{q} 는 열플럭스(heat flux) 벡터이며, 위치벡터 $\vec{x} = x_i + y_j + z_k$ 이 된다. 전체에너지 E 는 전체엔탈피 H 와 연관성을 가지며, $E = H - \frac{p}{\rho}$ 이 되며, $H = h + \frac{v^2}{2}$, $h = c_p T$ 이 된다.

다. 해석모델 및 경계조건

그림 2에는 본 연구에서 적용한 다공형 제퇴기의 해석 모델을 도시하였다. 포강축 방향으로 10개의 노즐을 고려하였으며, 원주방향으로는 45° 간격으로 8개의 노즐이 열로 구성된다. 초기조건은 입구에서의 압력(1.74e8 Pa)과 속도(1000 m/s)를 이용하여 압축성 유동조건을 주었다. 경계조건은 각 경계면에서의 Jacobian 매트릭스에 대한 고유치를 구한 후 고유치의 값에 따라 적절한 경계조건을 부여하였으며 양쪽 면은 대칭 조건을 설정하였다. 본 해석 모델에서는 제퇴기 유동에 대한 비점성, 정상 유동을 고려하였으며 여기서 사용된 용어 정의는 다음과 같다.

d : 노즐직경



[그림 2] 다공형 제퇴기 해석모델

D : 포강직경

L : 노즐길이 (벽두께)

AR(Aspect Ratio) :

노즐총단면적/포강단면적 =

$$\left(\frac{1}{4} \pi d^2 \text{노즐수} \right) / \left(\frac{1}{4} \pi D^2 \right)$$

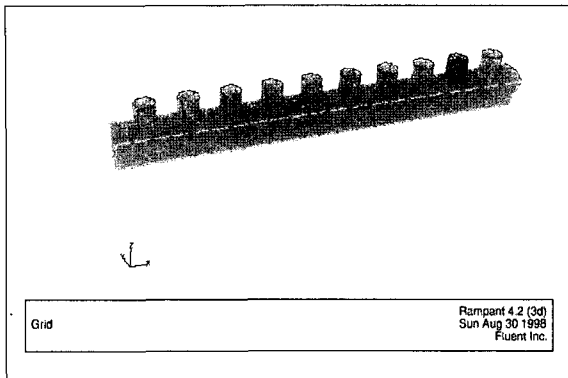
L/d : 노즐길이/노즐직경

노즐각도 : 포강축 중심과 노즐축 중심이 이루는 각도

라. 격자구성

본 연구에서는 요소셀이 육면체로 구성되는 정렬 격자계를 구성하였으며, 계산의 단순화를 위해 제퇴기 내부, 노즐 내부까지만을 계산영역으로 고려하였다. 해의 수렴성을 증가시키기 위하여 다중격자(multigrid) 기법을 이용하였다. 이 기법은 계산 영역을 몇 단계의 격자 단계로 구성하여, 성긴(coarse) 격자에서 계산을 수행한 후 다음의 보다 조밀한 격자 단계로 그 결과를 보내어 순차적으로 계산하는 알고리즘이다. 이와 같은 수치기법을 적용함으로써 반복계산수와 수렴된 해를 얻기까지의 계산 시간을 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.

본 연구의 대상인 다공형 제퇴기의 유동장에 대한



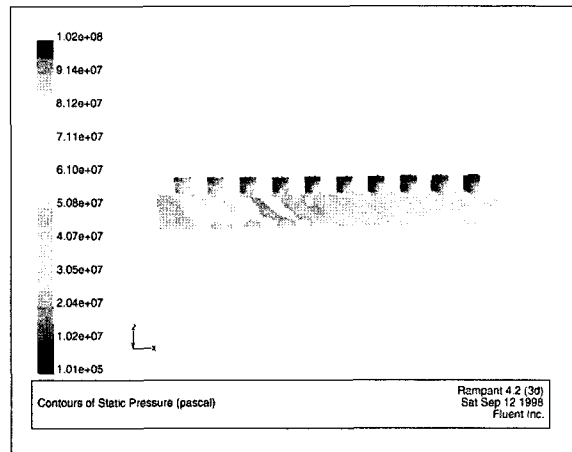
[그림 3] 격자 구성

격자계를 그림 3에 도시하였다.

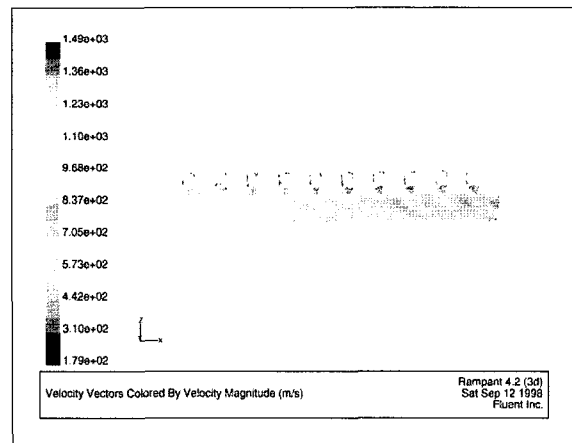
다. 해석결과 및 고찰

다공형 제퇴기의 노즐길이 대 직경비 L/d 가 1, 2인 경우에 대한 유동장을 해석하였다. 그림 4~5에는 L/d 가 1인 경우에 대한 해석결과를 나타낸 것이다. 그림 4에는 정압선도를 나타내었으며 첫 번째 노즐의 하류 벽면에 최대압력이 작용하며, 포구쪽 노즐로 갈수록 노즐하류 벽면에서의 작용압력은 줄어든다. 첫 번째 노즐의 하류벽면에는 2번째 이하 노즐 대비 약 2배 가까운 압력이 작용하는 것을 알 수 있으며, 각 노즐 위치에서 충격파가 발생하는 것을 알 수 있다. 충격파를 지나는 유동은 아음속으로 감속되며 노즐 상류벽면에서는 광범위한 아음속 영역과 재순환 영역이 발생됨을 알 수 있다.

노즐 내부로 들어온 유동은 노즐 하류 벽면을 따라 다시 초음속으로 가속이 되어 외부로 흘러가게 된다. 이때 노즐 하류 벽면에 작용하는 유효 개스힘에 의해 제퇴효과가 발생이 된다. 제퇴기 하류로 갈수록 벽면에 작용하는 압력은 약해지는 것을 알 수 있으며, 입구쪽 노즐이 제퇴기 효율에 미치는 영향이 더욱 크다는 것을 알 수 있다. 그림 5에는 유동장의 속도 분포



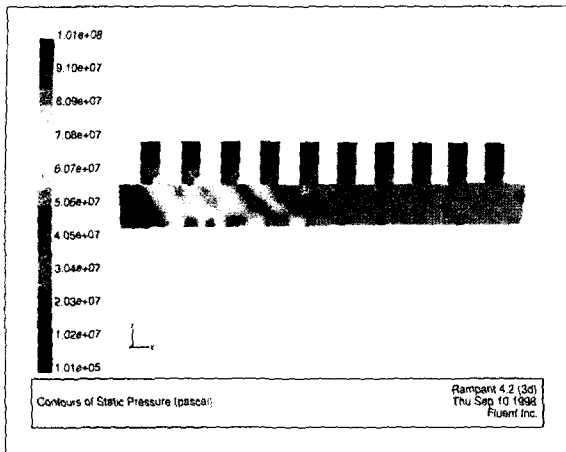
[그림 4] 정압 선도($L/d=1$)



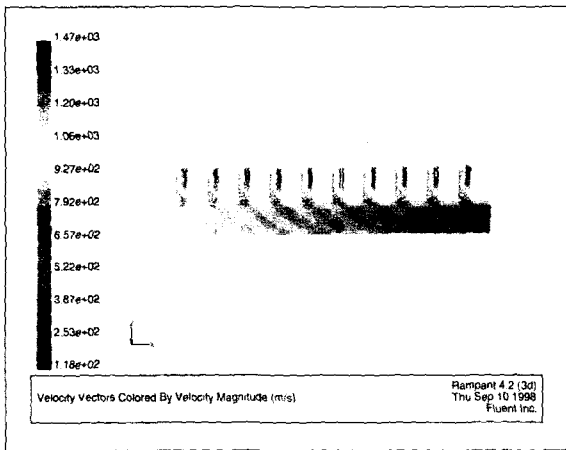
[그림 5] 속도 선도($L/d=1$)

를 나타내었으며, 유동장 내부에서 발생하는 속도 분포를 알 수 있다.

L/d 가 2인 경우에 대한 해석결과를 그림 6~7까지 도시하였다. 그림 6에는 유동장의 정압 분포를 도시해 놓은 것으로 L/d 가 1인 경우에 대한 계산결과와 유동장 분포가 거의 유사함을 알 수 있다. L/d 가 1인 경우 대비 첫 번째 노즐의 하류 벽면에 작용하는 압력은 약간 낮음을 알 수 있다. L/d 를 가변시켜가며 유동장을 해석한 결과 노즐내부에서 확산된 유동이 노



[그림 6] 정압 선도(L/d=2)



[그림 7] 속도 선도(L/d=2)

를 직경에 상관없이 약 $L/d=1$ 부근에서 반대 방향의 벽면에 부딪히는 전환이 발생하는 것으로 나타났다.

노즐 하류 벽면에 작용하는 힘을 계산한 결과 L/d 가 1인 경우(벽두께가 작은 경우)가 2인 경우와 비교 시 제퇴기 효율을 발생시키는 힘이 더 큰 것으로 나타났다. L/d 가 1인 경우 이 힘은 가장 크며 L/d 가 증가함에 따라 점차 감소하는 것으로 나타났다. 이것은 L/d 가 증가함에 따라 복좌방향(+x 방향)으로 작용하는 힘은 커지나 유동의 전환으로 노즐 상류의 주퇴

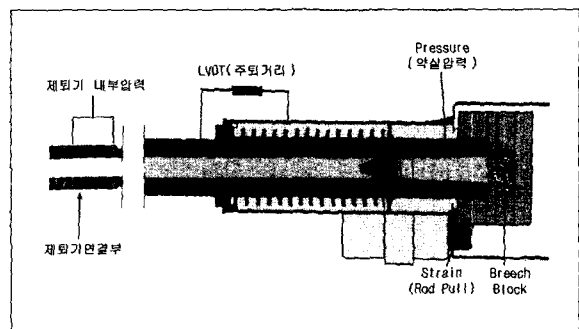
방향(-x 방향)으로 작용하는 힘도 따라서 커지기 때문에 제퇴 효과를 발생시키는 유효힘은 오히려 감소하기 때문인 것으로 판단된다. 이러한 물리적 현상으로 인해 제퇴기의 효율은 $L/d=1$ 인 경우가 $L/d=2$ 인 경우보다 높아지는 것으로 사료된다. 그림 7에는 속도 분포를 도시하였으며, L/d 가 1인 경우와 유사한 경향의 결과를 얻을 수 있었다.

이상의 과정을 통한 제퇴기 유동장 해석 결과 설계 인자 L/d 와 면적비 AR이 제퇴기 효율에 가장 큰 영향을 미치는 것을 고찰할 수 있었다. 본 결과를 활용하여 제퇴기를 설계하였으며 축소모의시험을 수행하였다.

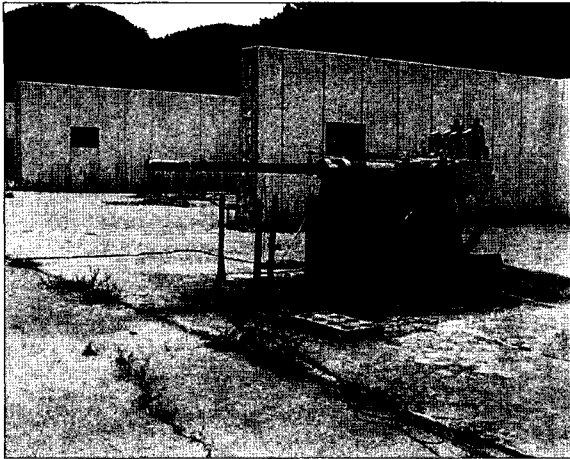
3. 축소모의시험

가. 개요

제퇴기를 연구개발하는 과정에서 대구경화포에 직접 적용하기 위한 제퇴기의 제작과 실험은 많은 시간과 경비가 소요되므로 이러한 고비용의 시행착오적 시제작, 시험소요 및 개발기간을 최소화할 수 있도록 축소 모의시험 장치를 개발, 적용하였다. 최대 약실압력 60,000 psi, 포구속도 1,000 m/s 수준인 40mm 무



[그림 8] 축소모의시험장치 구성도



[그림 9] 축소모의시험 장면

장을 활용하여^[5] 축소 모의시험 장치를 구성하였다.

축소 모의시험장치는 그림 8에 나타낸 것과 같이 40mm 무장, 시험용 무장거치대 및 계측 시스템으로 구성하였으며, 제퇴기 성능을 평가할 수 있도록 약실 압력, 주퇴복좌 거리, 제퇴기 압력, 주퇴력 등을 계측할 수 있는 계측시스템을 구성하였다. 그림 9에는 축소모의시험 장면을 나타내었다.

총 16종의 다공형 제퇴기를 설계, 제작하여 기술시험을 수행하였으며 설계인자의 특성을 분석하였다.

나. 이론적 접근방법

제퇴효과는 탄이 포구를 이탈하는 순간($t = t_e$)부터 작용하므로 주퇴운동에 대한 지배방정식은 제퇴기 영향계수 β 를 고려하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$M_r \ddot{x} = (1 - \beta) B(t) - K(t) \quad (3)$$

($t \leq t_e$ 인 경우 $\beta = 0$)

식 (3)을 주퇴운동 과정동안에 대하여 적분하면 다음과 같다.

$$\int_0^{t_r} (1 - \beta) B(t) dt = \int_0^{t_r} K(t) dt \quad (4)$$

($t \leq t_e$ 인 경우 $\beta = 0$)

따라서 제퇴기 영향계수 β 는 다음과 같이 나타낼 수 있으며,

$$\beta = \frac{\int_0^{t_r} B(t) dt - \int_0^{t_r} K(t) dt}{\int_{t_e}^{t_r} B(t) dt} \quad (5)$$

제퇴기 효율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \frac{\int_0^{t_r} B(t) dt - \int_0^{t_r} (1 - \beta) B(t) dt}{\int_0^{t_r} B(t) dt} \quad (6)$$

$$= \frac{\beta \int_{t_e}^{t_r} B(t) dt}{\int_0^{t_r} B(t) dt}$$

여기서 Breech Force $B(t)$ 는 약실압력을 계측하여 구할 수 있으며, 주퇴저항력 $K(t)$ 는 주퇴유압에 의한 저항력과 복좌기 스프링의 압축력에 의한 저항력을 합한 힘과 미지의 마찰력을 포함한 힘으로 구성이 된다. 마찰력은 다른 두 힘에 비해 크기가 아주 작으므로 무시하기로 한다.

다. 다공형 제퇴기 설계

전술한 바와 같이 유동장 해석결과를 적용하여 다공형 제퇴기 16종을 표 2와 같이 설계하였다. 주요 설계인자로는 L/d, AR, 노즐배열 및 노즐각도 등을 고려하여 제퇴기를 설계하였다.

[표 2] 다공형 제퇴기 설계특성

제퇴기	L/d	AR	효율 (%)	설계특성
1	0.7	5.8	16.5	L/d=0.7
2	1	5.8	18	L/d=1
3	1.2	1.5	13	L/d=1.5
4	2	5.8	11	L/d=2
5	3	5.8	11	L/d=3
6	1	8.3	21	AR=8.3, L/d=1
7	2	8.3	14.3	AR=8.3, L/d=2
8	1	5.8	16.5	노즐엇갈림 배열
9	0.8, 1.3	5.8	16.7	1~6행 : ϕ 12 7~12행 : ϕ 7.5
10	1	3.4	10	AR=3.4
11	1	4.7	13.5	AR=4.7
12	1	5.8	15.5	노즐각도 10°
13	1	5.8	16.5	노즐각도 20°
14	1	4.9	16.7	노즐각도 30°
15	1	5.8	21	노즐각도 45°
16	1	5.8	23.2	노즐각도 60°

제퇴기 설계시 포열끝단부위 내경과 제퇴기 내경 접촉면의 직경을 동일하게 하면 가공상의 공차에 의해 접촉면에 단이 생길수가 있어 사격시 탄자의 운동에 간섭을 일으켜 파손의 우려가 있으므로 이러한 문제들을 감안하여 제퇴기 내경은 포열내경에 비해 약간 크게 설계하였다.

유동장 해석결과 L/d=1인 경우가 L/d=2인 경우보다 제퇴기 효율이 더 높으며, L/d가 증가함에 제퇴기 효율은 점차 감소하는 것으로 나타났기 때문에 다공형 제퇴기 설계시 유동장 해석결과의 타당성을 검증

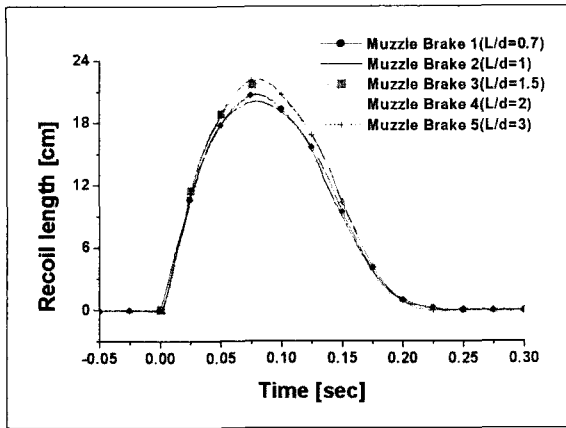
하기 위하여 L/d를 0.7~3까지 5개의 제퇴기를 설계, 제작, 기술시험을 수행하였다. 또한 면적비 AR이 8.3인 경우에도 L/d에 대한 특성이 일치되는지를 확인하기 위하여 L/d=1.2 인 2개의 제퇴기를 설계하였다. 면적비 AR의 특성을 고찰하기 위하여 L/d=1로 고정된 상태에서 AR을 3.4~8.3까지 변화시켜가며 5개의 제퇴기를 설계하였다. 제퇴기 6은 시험과정에서 축방향 길이를 적게 수정하여 면적비 AR을 8.3→7.3으로 조정하였다. 노즐각도가 10°~60°까지 변화는 5개의 제퇴기를 설계하여 시험하였다. 또한 노즐 배열에 따른 영향을 고찰하기 위하여 면적비 AR은 동일하나 포강 입구쪽의 노즐 직경을 크게 하고 포구쪽 노즐을 작게 하여 그 특성을 고찰하였다.

라. 시험결과 분석

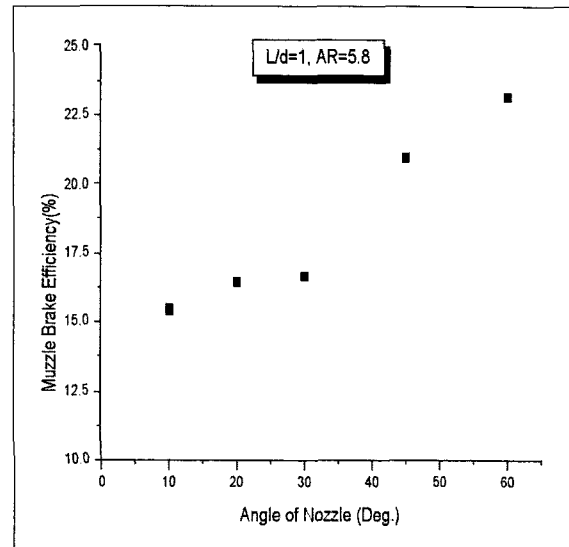
그림 10에는 L/d=0.7, 1, 1.5, 2, 3 인 5가지 경우에 대한 주퇴복좌운동 선도를 나타내었다. 시험결과 유동장 해석결과와 동일하게 L/d=1 인 경우 주퇴장이 가장 작은 것을 알 수 있으며 제퇴 효율이 최대임을 나타내는 것이다. 이것은 L/d가 증가함에 따라 유동전환의 발생으로 제퇴기 효율이 오히려 낮아지는 유동장 해석결과의 타당성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

그림 11에는 L/d 변화에 따른 제퇴기 효율을 나타내었다. L/d가 1인 경우가 제퇴기 효율이 가장 높으며 이후 지수함수적으로 감소하여 임계값에 수렴하는 것을 알 수 있다.

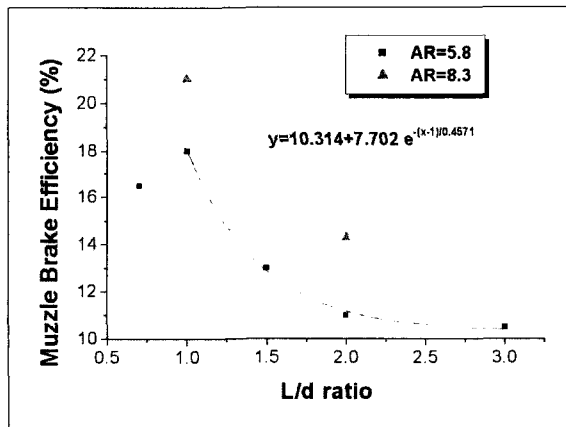
그림 12에는 AR 변화에 따른 제퇴기 효율을 나타내었다. AR이 증가함에 따라서 제퇴기 효율은 증가하나 2차 함수적인 관계식으로 표현되는 것과 같이 점차 임계값에 수렴하는 것을 알 수 있다. 면적비 AR과 제퇴효율은 대체적으로 비례하는 경향을 나타내는



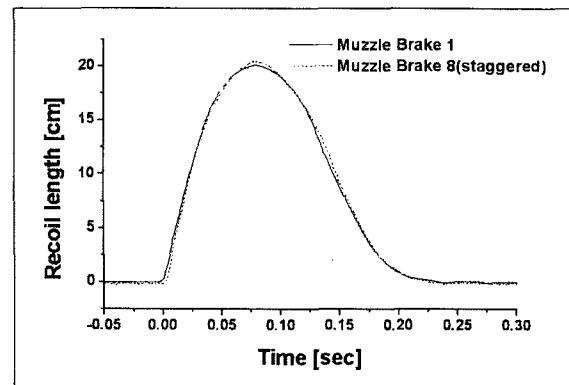
[그림 10] 주퇴복좌운동선도(L/d=0.7,1,1.5,2,3)



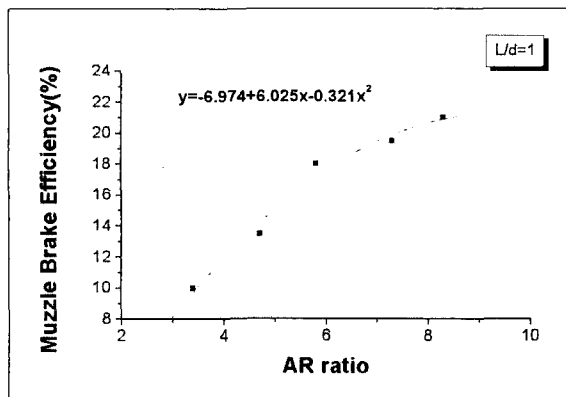
[그림 13] 노즐각도 변화에 따른 제퇴기 효율



[그림 11] L/d 변화에 따른 제퇴기 효율



[그림 14] 노즐배열에 따른 주퇴복좌운동선도



[그림 12] AR 변화에 따른 제퇴기 효율

것으로 보이나 제퇴기 효율은 임계값에 수렴하는 것으로 판단된다.

그림 13에는 노즐각도 변화에 따른 제퇴기 효율을 나타내었다. 노즐각도의 증가에 따라 효율은 증가하나, 급격한 비대칭 효과의 증폭으로 포구유동 안정화 측면에서는 불리하며 후방으로의 소음이 증가할 것으로 예상된다.

그림 14에는 노즐배열에 따른 주퇴복좌운동 선도를

나타내었다. 노즐 배열은 L/d 및 AR은 동일하나 노즐을 축방향으로 동일하게 배열한 경우와 축방향으로 엇갈리게 배열한 경우를 비교한 것이다. 이 경우의 제퇴기 특성은 거의 동일한 것으로 보여진다. 또한 제퇴기 13과 같이 입구쪽의 노즐 면적을 크게 하며 출구쪽의 면적을 작게 하여 배열한 경우 제퇴기 성능에는 큰 영향이 없는 것으로 분석되었다.

이상과 같은 연구과정에서 다공형 제퇴기 설계 주요 요소는 L/d, AR인 것으로 나타났다. 그리고 L/d 및 AR 변화에 따른 제퇴기 효율을 개략적인 관계식으로 유도하였다.

무기체계 개발 과정에서 요구되는 제퇴기 효율이 결정되면 L/d 및 AR에 대하여 제시된 결과를 적용하여 설계가 가능하다. 또한 본 연구결과를 활용시 반복적이며 시행착오적인 연구 접근 방법을 최소화 하므로써 시간적, 경제적 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

4. 결 론

본 연구를 통하여 제퇴기 성능에 영향을 미치는 여러 가지 설계요소들을 분석하여 그 특성을 고찰하였다. 제퇴기 성능에 영향을 미치는 주요인자는 L/d(노

즐 두께 대 직경비), AR(노즐면적 대 포강면적비) 임을 분석하였다. 또한 10~20% 수준의 효율을 가지는 다공형 제퇴기 설계기술을 개발하였다.

이상과 같이 다공형 제퇴기에 대한 특성 연구를 수행하였으며 총포 무기체계 분야의 성능증대를 위해 필수적으로 수반되는 높은 충격력과 주퇴에너지를 효과적으로 감소시킬 수 있는 다공형 제퇴기의 설계기준을 제시하였다.

참 고 문 헌

- [1] 강국정 외, "제퇴기분야 연구결과(I)", 국방과학연구소, 1998. 12.
- [2] 강국정 외, "제퇴기 유형별 기술시험 및 분석", 국방과학연구소, 1999. 12.
- [3] R.E.Dillon, Jr., H.T. Nagamatsu, "An experimental study of perforated Muzzle Brakes", AIAA-84-1642, 1984. 6.
- [4] Douglas S. Savick, "Test Comparison for 20mm perforated Muzzle Brakes", ARL-MR-31, 1993. 2.
- [5] 이규섭 외, "40밀리 L/70 포신장치의 동특성 해석", 국방과학연구소, 1993. 8.