

# 항력증가장치(1-D Trajectory Correction Device)의 성능 특성에 관한 연구

윤원근\* · 정수인\* · 김귀순\*\* · 홍경명\*\*\* · 백기봉\*\*\*

## A Study on Performance Characteristics of Drag Improvement Device (1-D Trajectory Correction Device)

Won-Kun Yun\* · Soo-In Jung\* · Kui-Soon Kim\*\* · Kung-Mung Hong\*\*\* · Ki-Bong Beak\*\*\*

### ABSTRACT

In this study, numerical analysis has been performed to investigate the flow characteristics of a drag improvement device which is designed to achieve accurate impact point. The drag increase due to drag improvement device has been analyzed. And the effect of spread angle and location of drag improvement device has also been investigated. The drag improvement device with 20 degree spread angle increased the drag 3.5 times. The corresponding weight of the device is found out to be 26g.

### 초 록

본 연구에서는 탄의 정밀타격을 위한 항력증가장치의 항력특성에 관한 전산해석을 실시하였다. 전산해석에서는 항력증가장치의 부착에 따른 항력증가 특성을 분석하였으며, 항력증가장치의 펼침 각도와 위치가 미치는 효과를 살펴보았다. 항력증가장치 펼침각이 20°일 때 항력은 항력증가장치가 없는 경우에 비해 약 3.5배 증가하였다. 그리고 이때 필요한 항력증가장치의 무게는 약 26g인 것으로 나타났다.

Key Words: Fuze(신관), Drag(항력), Trajectory Correction Device(탄도수정장치), Separation(박리), Artillery Munition(포병탄)

### 1. 서 론

포병 탄의 발전 추세가 경제성의 고려와 함께 정밀타격, 지능화, 정찰, 장사정 등의 정밀 유도 무기화로 진행되고 있다. 포병 탄의 사거리가

\* 부산대학교 항공우주공학과 추진기관실험실  
\*\* 부산대학교 항공우주공학과  
\*\*\* (주)한화 창원공장 품질기술부  
연락처, E-mail: aerowon@pusan.ac.kr

30km 이상이 되면 탄착 분산도가 확대되어 명중률이 급격히 저하하므로, 장사정 탄의 군 운용에 있어서는 정밀타격이 가능하도록 하는 항력증가장치의 필요성이 점차 확대되고 있다.<sup>(1)</sup>

재래식 탄도수정 방법으로는 다음과 같은 3가지가 있다.<sup>(2)</sup> (1) 1 자유도(DOF) 탄도수정 : 사거리만 수정(X축 방향), (2) 2 자유도(DOF) 탄도수정 : 사거리 및 편의 수정(X축 및 Y축 방향), (3) 7 자유도(DOF) 탄도수정 : 6 자유도 외에 탄착 시간까지 조절(X축, Y축, Z축, pitch, yaw, roll 및 시간)

이와 관련하여 재래식 탄두의 신관부에 항력증가장치를 부착하여 사거리 방향의 탄착 오차를 개선하는 연구가 프랑스와 영국은 Solid Type, 독일은 Fabric Type으로 진행되고 있다.<sup>(3)</sup> 국내에서는 홍종태 등에 의해 항력 브레이크의 전개 시점 결정방법과 사거리 오차 축소에 관한 연구가 이루어졌지만, 항력증가장치 유동특성에 관한 연구가 미흡한 상태이다.<sup>(2)</sup>

이에 본 논문에서는 Fabric Type의 1 자유도(DOF) 탄도 수정 장치를 적용하여, 항력증가장치의 장착 유무에 따른 항력 특성을 분석하였다. 그리고 항력증가장치의 펼침 각도와 항력증가장치 위치가 항력 계수와 필요요구중량에 미치는 효과를 살펴보았다.

## 2. 항력증가장치

전산해석에 사용한 항력증가장치의 제원은 지름 140mm, 필요예상무게 20g으로 탄의 신관부에 장착이 용이하도록 설정하였다. 항력증가장치의 예상전개도는 Fig. 2.1과 같다. 그리고 항력증가장치의 작동과정은 GPS를 통하여 항력증가장치를 작동시킴으로써 정밀타격이 가능토록 하며, 간략한 개념도는 Fig. 2. 2와 같다.

Fabric Type 항력증가장치는 Fig. 2. 3에서와 같이 탄의 회전에 의한 원심력의 Fabric 면에 수직한 성분인  $F_n$ 과 항력증가장치에 미치는 항력의 Fabric 면에 수직한 성분인  $D_n$ 이 같은 조

건에서 작동된다. 펼침각( $\theta$ )이 커질수록 같은  $F_n$ 을 얻기 위한 필요한 원심력  $F$ 가 작아지므로, 항력증가장치 필요요구중량이 작아지는 효과를 얻을 수 있다. 대신 펼침각( $\theta$ )이 커질수록 항력(D)의 증가량은 감소된다.



Fig.2.1 항력증가장치에상전개도

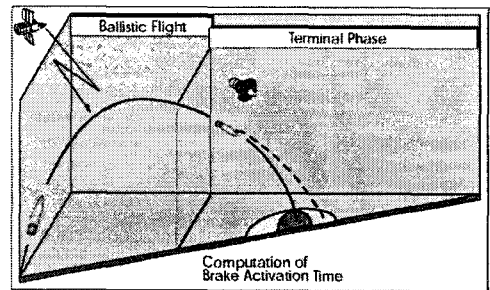


Fig. 2.2 항력증가장치의 작동과정

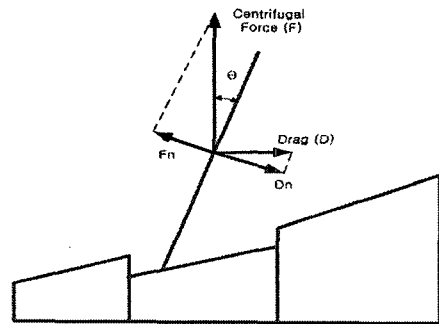


Fig. 2.3 원심력에 의한 필요요구중량 계산

## 3. 수치 계산

### 3.1 전산 해석 코드

본 연구에서 실시한 모든 수치적 해석은 유한체적법(FVM)을 기반으로 개발된 상용 코드인

FINE<sup>TM</sup>/Turbo로 계산하였다. 그리고 본 연구에 적용된 지배방정식은 3차원 Turbulent Navier-Stokes 방정식이며, 전산 해석에 적용된 수치적 기법으로는 시간에 대해서는 4차 Explicit Runge-Kutta 적분법을 사용하였으며, 공간에 대해서는 중앙 차분법을 사용하였다. 또한 난류 모델로는 Baldwin-Lomax 모델<sup>1)</sup>을 사용하였고, 수렴성 향상 및 계산 시간 단축을 위해 예조건화 기법(Pre-Condition Method)과 3단계의 Multi-Grid 방법을 사용하였다.

### 3.2 전산 해석 코드 검증

본 절에서는 마하수 혹은 유동 특성에 대한 코드의 해석 결과를 검증하기 위해 Ni-Arc Bump 유동 해석을 수행하였다. Ni-Arc Bump는 수치해석 코드의 압축성 효과를 정확하게 검증하기 위한 좋은 예제로, 많은 전산 유체 코드 개발자들에 의해 사용된 예이다. Ni-Arc Bump는 코드 길이의 10%의 두께를 가지고 있으며, 입·출구 경계면은 Bump의 앞·뒷전 방향으로 각각 코드 길이의 180% 지점에 위치시켰으며, 윗면은 아랫면에서부터 코드 길이의 100%되는 지점에 선정하였다.

유동 해석을 위한 경계조건은 입구에서는 전압력, 전온도, 입구 유동각을, 출구에서는 정압력을 주었다. 여기서 유동 조건을 변화시키기 위해 입·출구 정압력은 대기압으로 고정하고, 입구 속도 조건에 맞는 전압력, 전온도를 계산하여 입구 경계조건으로 사용하였다. 격자계는 129×57 H형을 사용하였으며, 수렴 속도 향상을 위한 3Level의 Multi-Grid 기법을 적용하였다.

Fig. 3.1 ~ Fig. 3.3은 기존 전산 해석 결과와 FINE<sup>TM</sup>/Turbo의 해석 결과를 각각 등마하선도로 나타낸 것이다.<sup>(4)</sup> 입구 마하수가 0.1일 때는 Fig. 3.1에서 볼 수 있듯이 좌우대칭의 유동 조건이 형성되며, 입구 마하수가 0.675일 때는 코드의 약 70%지점에서 수직 충격파가 발생하여 마하수가 감소하였다가 다시 자유 흐름 속도로 회복됨을 알 수 있다(Fig. 3.2). 그리고 마하수가 2.0일 때는 Fig. 3.3과 같이 Bump의 앞전에서

경사충격파가 발생하여 위쪽 벽면에 충돌한 후 다시 뒷전의 경사 충격파와 만나 서로 반사되는 것을 볼 수 있다.

이상의 결과에서, FINE<sup>TM</sup>/Turbo로 해석한 Ni-Arc Bump의 해석 결과는 충격파 구조나 유동 특성 면에서 기존의 타 연구자의 해석 결과와 일치함을 알 수 있다.

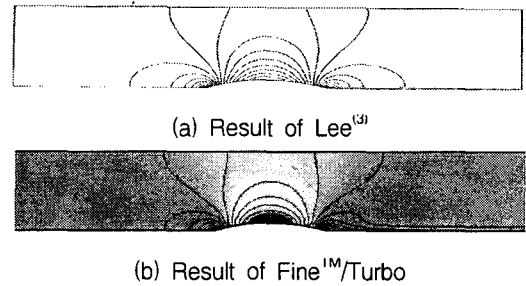


Fig. 3.1 Mach Number Contours ( $M_{in} = 0.1$ )

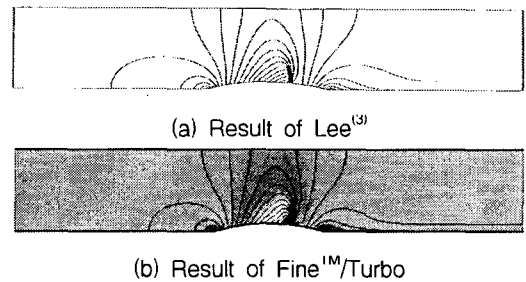


Fig. 3.2 Mach Number Contours ( $M_{in} = 0.675$ )

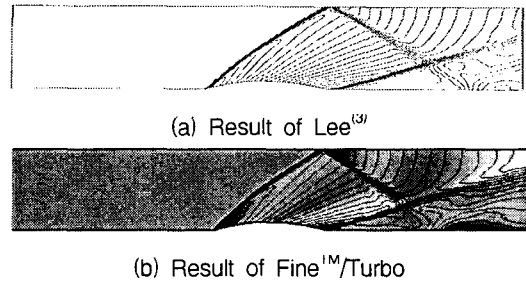
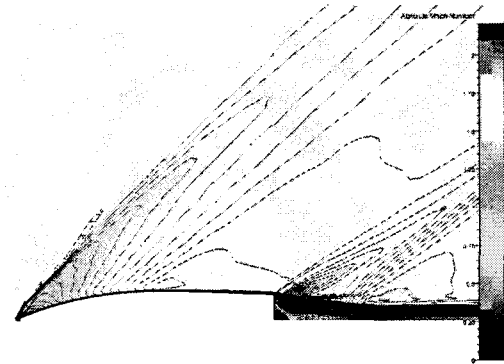
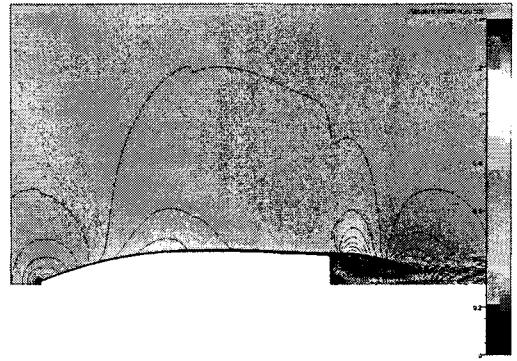


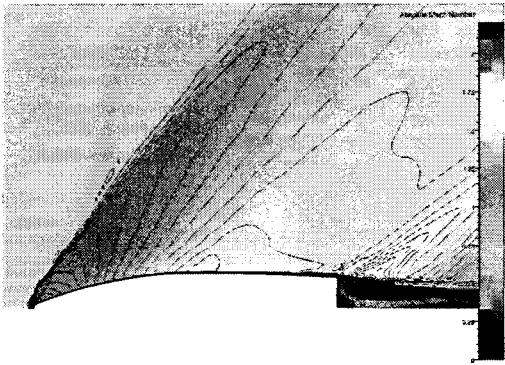
Fig. 3.3 Mach Number Contours ( $M_{in} = 0.1$ )



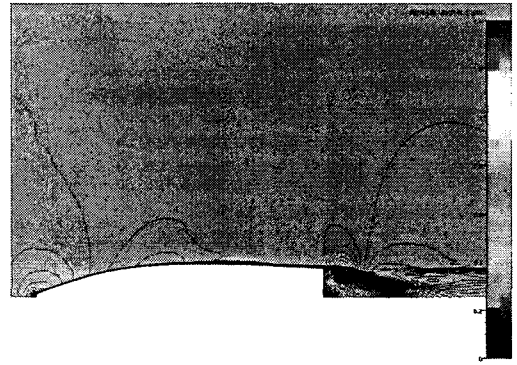
(a) M 1.6 (  $C_d=0.302$  )



(c) M 0.8 (  $C_d=0.071$  )



(b) M 1.4 (  $C_d=0.318$  )



(d) M 0.69 (  $C_d=0.071$  )

Fig. 4. 1 Mach Number Contour of Munition

#### 4. 계산 결과

##### 4.1 항력증가장치가 없는 경우

본 연구에서 고려된 탄의 비행 속도조건은 최초 포구 속도 M 1.6에서부터 항력증가장치 예상 작동 속도인 M 0.69까지로 하였고, 각각의 등마하선도는 Fig. 4. 1과 같다.

우선, 초음속 영역에서 탄의 항력은 Fig. 4. 1 (a)와 (b)에서 볼 수 있듯이 탄두 앞전에서 발생하는 Bow Shock과 Base Drag에 의해 큰 영향을 받는다. 그리고 Bow Shock을 지난 유동이 탄의 표면을 따라 가속되어 탄 끝단부에서 발생하는 경사충격파 또한 탄의 항력에 영향을 미친다. 그러나 아음속 영역으로 갈수록 Fig. 4.

1 (c)와 (d)에서와 같이 유동현상은 탄 앞부분에서 발생하는 Bow Shock이 없어지고, Base 부분만이 남는 것을 관찰할 수 있다. 따라서, 아음속 영역에서의 항력계수값은 거의 일정한 값을 유지하게 된다.

탄에 영향을 미치는 항력의 분포는 Fig. 4. 2에서 볼 수 있듯이 전마하수 영역에서는 탄저 저항 (Base Drag)가 차지하는 비율이 50%이상을 차지하고, 마하수 1이 넘어서면서 형상 저항 (Form Drag)의 일종인 충격파에 의한 조파저항이 증가된다.<sup>(5)</sup>

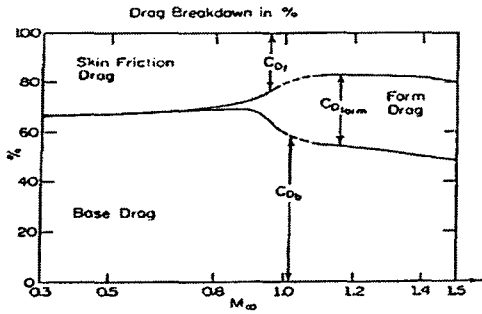


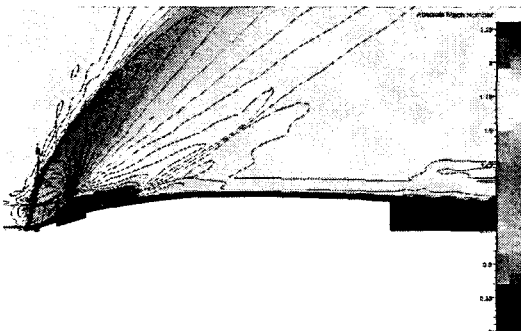
Fig. 4. 2 Drag Characteristic<sup>(6)</sup>

4.2 항력증가장치가 있는 경우 (Case 1)

탄두 앞에서부터의 거리가 50mm, 기울어진 각도가 11.54°일 때의 항력증가장치의 항력 계수 값과 등마하선도는 Fig. 4. 3과 같다. 항력 증가

장치의 기울어진 정도는 탄 회전 에 의해 발생하는 원심력이 항력 증가장치에 작용하는 항력의 5배가 되는 것을 가정하여, 탄 몸체의 수직방향에 시계방향으로 11.54°로 기울어진 것을 이용하여 계산을 수행하였다.

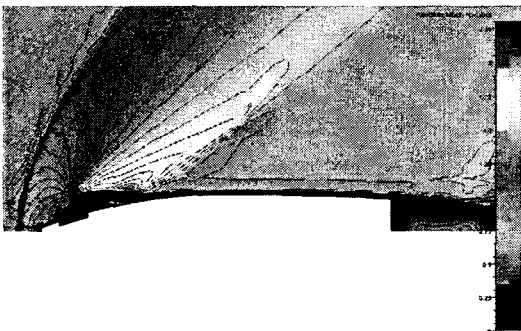
초음속 영역에서 항력계수값 증가량은 항력증가장치가 없는 경우의 대략 3배인 1.119를 나타낸다. 그러한 주된 이유는 Fig 4. 3 (a)와 (b)에서 볼 수 있듯이 탄두 앞부분의 Bow Shock이 Normal Shock에 가까워짐으로 인해 Shock의 강도가 더욱 강해졌으며, 항력증가장치의 끝단에서 발생하는 경사충격파의 영향 또한 커짐을 알 수 있다. 이 때의 필요요구중량은 335g으로 항력계수값이 3배가량 크게 증가하지만, 항력증가장치로서 요구되는 질량이 너무 크다.



(a) M 1.6 ( $C_d=1.119$ )



(c) M 0.8 ( $C_d=0.642$ )



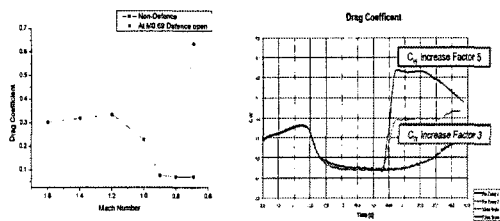
(b) M 1.4 ( $C_d=1.047$ )



(d) M 0.69 ( $C_d=0.635$ )

Fig. 4. 3 Mach Number Contour of Drag Improvement Device

따라서 탄의 비행 조건은 탄속은 낮고 회전수는 높은, 결국 원심력이 항력을 상회하는 수준의 비행 조건이 필요하다. 이러한 비행 조건은 포물선 운동을 하는 포탄의 상사점을 지난 시점, 즉 Fig. 4. 3의 (d)와 같은 조건하에서 항력 증가장치를 작동하는 것이 최적의 조건이 될 것이다. 이에 따라 마하수 0.69에서 항력 브레이크를 작동시켰을 때의  $C_d$ 값 증가는 Fig. 4. 4 (a)와 같다.



(a) Numerical Result (b) DIEHL Result

Fig. 4. 4 Drag Coefficient

Fig. 4. 4의 (b) 그래프는 독일 DIEHL사의 Fabric Type의 항력 계수를 나타내는 것으로 마하수 0.69에서 항력 브레이크를 작동하여 얻은 수치계산과 정성적인 경향이 일치함을 알 수 있다.<sup>(7)</sup>

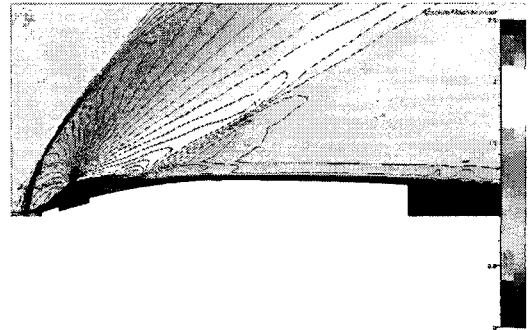
#### 4.3 항력증가장치 각도의 변화 (Case 2)

항력증가장치의 펼침각도( $\theta$ )는 탄의 회전으로 발생하는 원심력에 큰 영향을 미친다. 이러한 원심력과 항력증가장치에 미치는 항력이 일치함을 이용하여 필요요구중량이 계산되므로, 항력증가장치의 펼침각도는 적절한 항력을 발생시키면서 최저의 요구중량을 만족시키는 값을 결정해야 한다. 본 연구에서는 항력증가장치의 펼침각도 11.54°를 기준으로 10°와 20°를 계산하여 각각의 항력계수와 필요요구중량을 구하였다.

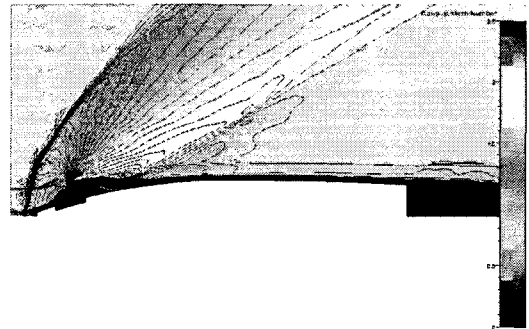
수치 계산의 결과, 마하수 1.6과 같이 초음속 영역에서는 Fig. 4. 5에서 볼 수 있듯이 각각의 유동이 거의 유사하여 10°에서부터 20°까지 비슷한 항력계수를 나타내지만, 20°에서의 필요중량은 192g으로 10°의 385g의 약 50% 감소하였다. 이는 기울어진 각도가 커질수록 항력증가장

치에 작용하는 항력에 상응하는 원심력이 증가하므로 항력증가장치의 무게는 감소하는 효과가 크게 나타나는 것이다.

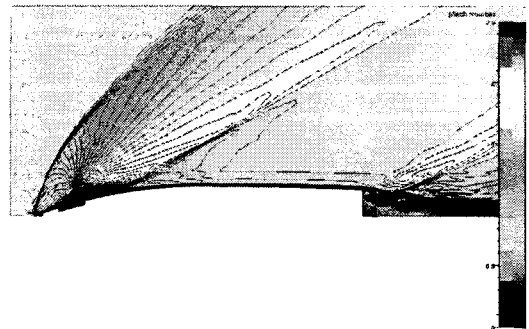
속도가 느린 영역, 즉 M 0.69에서는 Fig. 4. 6에서 보는 것과 같이 10°에서 20°로 펼침각도가 커질수록 항력증가장치의 끝단에서 발생하는 박리영역이 감소하여 탄 전체의 항력계수가 작아



(a)  $\theta=10^\circ$ ,  $x=50\text{mm}$



(b)  $\theta=11.54^\circ$ ,  $x=50\text{mm}$

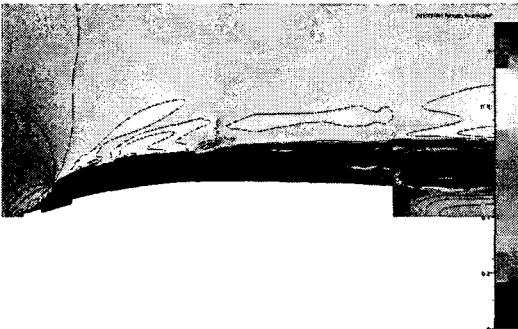


(c)  $\theta=20^\circ$ ,  $x=50\text{mm}$

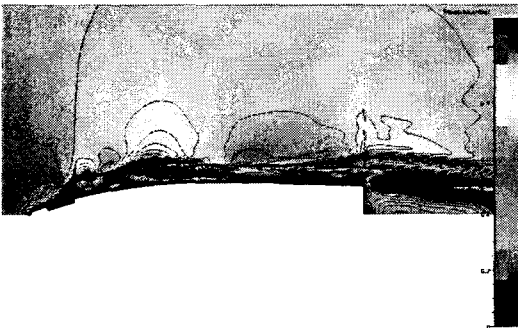
Fig. 4. 5 Mach Number Contour of M 1.6



(a)  $\theta=10^\circ$ ,  $x=50\text{mm}$



(b)  $\theta=11.54^\circ$ ,  $x=50\text{mm}$



(c)  $\theta=20^\circ$ ,  $x=50\text{mm}$

Fig. 4. 6 Mach Number Contour of M 0.69

짐을 알 수 있다. 그리고, 필요중량은 초음속 영역과 같이  $20^\circ$ 에서 26g으로  $10^\circ$ , 59g의 약 44%으로 감소함을 알 수 있다. 각각의 조건에서 계산된 결과값은 Table. 4. 2와 같다.

Table. 4. 2 각도변화에 따른 계산결과

	$\theta$	$10^\circ$	$11.54^\circ$	$20^\circ$
항력계수	(a) M 1.6	1.124	1.119	1.124
	(b) M 0.69	0.617	0.634	0.475
필요중량	(a) M 1.6	385g	335g	192g
	(b) M 0.69	59g	61g	26g

#### 4.4 항력증가장치 위치의 변화 (Case 3)

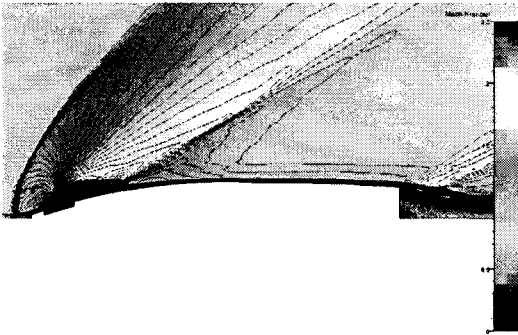
탄의 신관부에 장착되는 항력증가장치는 장착 위치의 제약이 크다. 이에 본 연구에서는 항력증가장치의 위치(x)를 50mm 기준으로 전후 10mm변화를 준 40mm와 60mm에서의 항력계수값과 필요요구중량을 구하여 비교 해석하였다.

수치 계산의 결과, 초음속 영역 M 1.6과 아음속 영역 M 0.69에서의 유동은 Fig. 4. 7 (a)와 (b)에서 볼 수 있듯이 유사한 형태를 나타내어 각각의 경우에서 항력계수값과 필요요구중량이 거의 유사한 결과를 나타내었다. 이는 신관 내에서의 항력증가장치의 위치는 탄전체의 항력변화에 크게 영향을 미치지 않음을 알 수 있다.

각각의 조건에서 계산된 결과값은 Table. 4. 3과 같다.

Table. 4. 3 위치 변화에 따른 계산결과

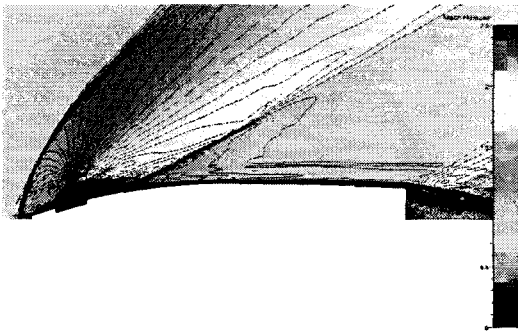
	x	40mm	50mm	60mm
항력계수	(a) M 1.6	1.08	1.119	1.255
	(b) M 0.69	0.475	0.634	0.633
필요중량	(a) M 1.6	335g	335g	341g
	(b) M 0.69	53g	61g	53g



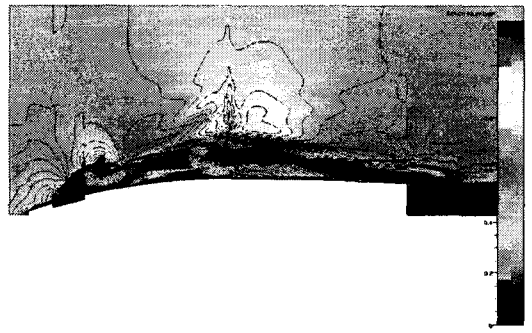
①  $x=40\text{mm}$ ,  $\theta=11.54^\circ$



①  $x=40\text{mm}$ ,  $\theta=11.54^\circ$



②  $x=60\text{mm}$ ,  $\theta=11.54^\circ$   
(a) Mach Number 1.6



②  $x=60\text{mm}$ ,  $\theta=11.54^\circ$   
(b) Mach Number 0.69

Fig. 4. 7 Mach Number Contour of Position Change

## 5. 결 론

본 연구에서는 탄의 명중률을 향상시키기 위해 정확성, 경제성을 갖춘 1 자유도 탄도 수정 장치 (1-D Trajectory Correction Device) Fabric Type의 항력증가장치의 장착유무에 따른 항력특성을 분석하였다. 그리고 항력증가장치 펼침각도와 위치의 변화가 항력계수와 필요요구중량에 미치는 효과를 살펴보았다. 그 결과 실제 탄의 비행 중 항력증가장치의 적절한 작동 시간은 원심력이 효과적으로 작용할 수 있는 아음속 조건, 즉 탄의 비행위치가 변곡점을 지난 위치에 있을 때이다. 그리고 항력 증가장치의 위치는 신관부에서는 대부분 유사한 항력계수를

나타내지만, 펼침각은 각도에 따라 필요중량의 변화량이 크다. 이에 항력증가 효과가 약 3.5배이며, 최적의 필요요구중량 26g일 때의 항력증가장치의 펼침각이  $20^\circ$ 이고, 위치는 50mm임을 알 수 있었다.

또한, 본 연구를 통하여 항력증가장치 최적 조건에서 작동 시 기대할 수 있는 항력값, 항력 브레이크의 필요 무게, 항력 계수, 회전수 등을 결정하기 위한 전산 해석 데이터를 체계적으로 정립하였으며, 실제 발사 시험과 모델링 해석 결과를 비교, 해석을 통한 문제점 분석 및 개발 기간 단축, 시험비용 절감 등의 효과를 얻는 사례가 될 것으로 예상된다.



### 참 고 문 헌

1. 이상봉, “발사체의 표적명중을 위한 선도각 계산 및 궤도 해석”, 공학석사 학위논문, 2004.
2. 홍종태, 정명지, 최상경, 김진석, “곡사포탄용 탄도수정 장치 설계특성 연구”, 종합학술대회 논문집, VOL. 1, pp.108-111, 2003.
3. 홍경명, 백기봉, 윤원근, 김귀순, “1-D 탄도수정장치인 항력 브레이크의 거동에 대한 해석적 고찰”, 지능탄약 기술 워크샵 논문집, pp.16-18, 2004.
4. 이기수, 김명호, 최정렬, 김귀순, 김성룡, 정인석, “Myrinet 및 Fast Ethemet PC Cluster에서 예조건화”, 한국항공우주학회지, VOL. 30, No. 6, pp21-30, 2002.
5. Andrew A. J., “Drag Prediction Methods for Axisymmetric Missile Bodies”, Tactical Missile Aerodynamics : Prediction Methodology, VOL. 142, pp37-62, 1992.
6. Sahu, J., and Nietubicz, C. J., “Numerical Computation of Base Flow for a Projectile at Transonic Speeds”, AIAA Paper No. 82-1358, Aug. 1982.
7. Karl B. K., “Precision Enhancement build on a Multi Functional Fuze for 155 mm Artillery Munition”, Annual Fuze Conference, 47th NDIA, Germany, April, 2003.