

전산유체역학을 이용한 무기체계의 모델링 및 시뮬레이션 적용에 관한 연구

이영욱^{1*}

¹전주기전대학 부사관과

A study on the Modeling & Simulation of Weapon Systems Application using the Computation Fluid Dynamics

Young-Uk Lee^{1*}

¹Department of NCO, Jeonju Kijeon College

요 약 본 연구는 무기체계 획득의 신뢰성과 연구개발의 효과를 증대하기 위한 모델링과 시뮬레이션 방법을 전산유체역학을 이용하여 연구하였다. 모델링과 시뮬레이션을 이용한 시험 평가가 무기체계의 획득에 신뢰성을 줄 수 있고, 시험에 필요한 시간과 비용의 절감, 사전에 예측하고 사후에 검증이 가능한 자료를 제공할 수 있다. 그러나 현재 우리의 무기체계 획득에서는 모델링과 시뮬레이션을 적극적으로 활용하지 않고 있으며 검증을 위한 소프트웨어 사용도 제한되고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전산유체역학을 이용한 모델링과 시뮬레이션을 위해 GAMBIT과 FLUENT를 이용하여 모델링과 시뮬레이션을 실시하였다. 그 결과 기존의 연구보다 더 좋은 결과 확인하였고 향후 무기체계의 획득과 연구개발에 많이 활용될 것으로 기대된다.

Abstract This study, the reliability of weapon systems acquisition and research and development in order to increase the effect of the modeling and simulation method has been studied using computational fluid dynamics. Weapon system acquisition, Test & Evaluation for use in the modeling and simulation can reduce the reliability of the time and cost savings and possible predictions and verification, and can provide useful data. However, the current weapon system acquisition and active use of modeling and simulation and verification do not even use the software are restricted.

In this study, using computational fluid dynamics (CFD) modeling and simulation using the GAMBIT and FLUENT modeling and simulation was performed. The result is better than previous research results were confirmed in future weapon systems acquisition and research and development are expected to be actively used.

Key Words : CFD(Computation Fluid Dynamics), M&S(Modeling & Simulation), Test & Evaluation, Weapon system

1. 서 론

1.1 연구목적 및 배경

오늘날 과학기술을 이용한 첨단 무기체계의 연구와 개발이 세계 각 처에서 자국의 생존을 위해 많은 이루어지고 있으며, 우리나라 또한 동북아 열악한 안보환경에 대응하고 미래 한반도의 안전을 보장받기 위해 과학 기술

이 바탕이 되는 첨단 무기체계의 연구개발과 획득이 절실히 필요한 실정이다[1].

그러나 첨단화와 과학화를 요구하는 현 시점에서 무기체계의 연구개발과 획득의 방법은 아직도 선진국에 미치지 못하고 있으며, 무기체계의 성능과 효과를 평가할 수 있는 방법 또한 부족한 실정이다. 따라서 효과적이고 실질적인 무기체계의 획득과 연구개발을 위해 보다 나은 방법의 보완이 절실히 요구된다.

*Corresponding Author : Young-Uk Lee(Jeonju Kijeon College)

Tel: +82-63-280-5320 email: majlee2@hanmail.net

Received September 26, 2013

Revised (1st October 31, 2013, 2nd November, 6, 2013)

Accepted January 9, 2014

무기체계의 획득은 일반적인 물자와는 달리 전략적인 차원에서 이루어지며, 소요군은 이를 위해서 가장 짧은 시간 내에 보다 성능이 우수한 무기를 요구하며 이를 획득하기 위해서는 무기의 성능, 획득기간, 획득수량, 획득비용에 주안을 둔다. 그러나 무기체계는 이러한 성능, 기간, 수량, 비용 등이 상호 상관관계를 가지기 때문에 모두를 충족하기가 쉽지 않다. 따라서 이러한 문제의 해결을 위해 선진국에서 모델링 시뮬레이션을 활용하고 있고 우리도 그 적용이 이필요한 시점이다.

따라서, 본 연구에서는 무기체계의 획득과 연구개발을 위해 모델링과 시뮬레이션의 적용이 중요한 것으로 인식하고 공학적인 차원에서 무기체계의 획득과 연구개발의 효과를 향상시키기 위한 소프트웨어의 적용으로 설계와 비용 절감을 통한 경제적인 무기체계 획득에 기여하고자 하여 무기체계의 설계 분석이 가능한 전산유체역학(CFD : Computation Fluid Dynamics)를 이용하여 실질적인 해석의 가능성을 확인하고자 한다.

1.2 연구범위 및 방법

본 연구의 보안상의 문제로 실제 무기체계를 모델링하여 시뮬레이션하지 않고 실물과 유사하게 모델링하고 공학적인 차원에서 무기체계의 성능에 영향을 줄 수 있는 요소 중 몇 가지만 적용해서 시뮬레이션 실시하고, 적용가능성을 그 결과로 제시하며, 향후 무기체계 연구개발과 획득을 위한 모델링과 시뮬레이션에 적극 활용하기 위한 기반을 마련하고자 한다.

공학적인 증명을 위해서 전산유체역학 소프트웨어를 사용하여 해석을 실시한다. 모델링을 위한 소프트웨어는 자체적인 CAD 커널을 장착하고 있어서 다양한 형상을 쉽게 구현할 수 있는 FLUENT사에서 제공하는 해석용 소프트웨어[2]와 호환하는 GAMBIT[3]을 사용하고, 시뮬레이션을 위한 소프트웨어는 풍부한 물리적 모델은 난류 유동, 비정상상태 해석, 다양한 열전달 해석, 화학반응 유동, 다상유동 등의 해석은 무기체계의 구조를 분석하고 설계가 가능하며, 다양하고 복잡한 무기체계의 화학적 성능과 효과를 해석하는데 아주 적합한 FLUENT를 사용하였다.

2. 설계 및 조건 설정

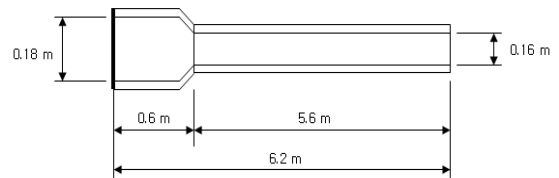
2.1 모델설계

연구를 위해 160밀리 포신을 설계하였고, 포의 성능을 발휘할 수 있는 핵심부분인 포신을 모델링하였다. 설계를 위한 CAD프로그램은 Fluent 사[2]에서 해석에 용이하도

록 제작된 GAMBIT을 이용하여 형상을 설계하고, 해석에 필요한 격자생성을 위해 Meshing을 완성하였다.

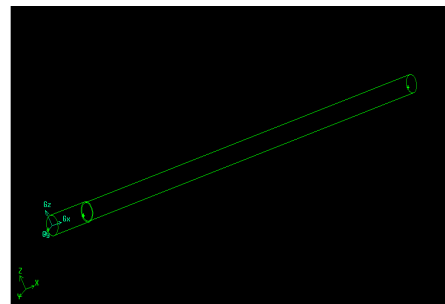
2.1.1 형상설계

포신의 형상을 Fig. 1n과 같이 2D로 설계하였으며, 차후 시뮬레이션시 에러를 최소화하기 위해서 실물과 근접한 치수로 설정하였다. 포신의 전체 길이는 6.2m로 설계하고 약실의 지름은 0.18m, 길이는 0.6m로 하였고, 포구의 지름은 강선을 감안하지 않고 0.16m로 하였으며, 사격 후 탄약이 강내에서 이동거리를 5.6m 로 하였다. 기타 외부의 여러 가지 장치들은 필요한 실험에 큰 영향을 주지 않으므로 적용하지 않았다.



[Fig. 1] 160 mm barrel 2D design

시뮬레이션이 가능하도록 Fig. 2(a),(b)와 같이 GAMBIT에서 3-D CAD 작업을 실시하여 160 밀리 포신을 모델링 하였다.



(a)



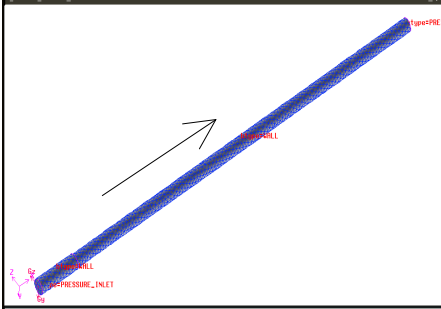
(b)

[Fig. 2] 160 mm barrel 3D design

- (a) Three-dimensional design of the barrel
- (b) Three-dimensional solid form

2.1.2 Mesh 설계

GAMBIT은 육면체, 사면체, 삼각기둥, 피라미드 등의 다양한 형태의 격자를 지원한다.



[Fig. 3] mesh work, set the direction of movement of the fluid

GAMBIT의 격자는 solid의 현상에 의존하므로 정렬격자를 생성하려면 형상이 육면체에 상응하는 모양이어야 한다. 따라서 설계된 포신을 효과적으로 해석하기 위하여 격자를 설계하는데 포신과 같이 둥글고 긴 형태의 무기체계는 비등간격격자를 사용하는 것이 바람직하여 프로그램 내의 Mesh Element 중 Tetra / hybrid mesh를 설정하여 Fig 3과 같이 설계하였다.

2.1.3 유체의 이동경로 설계

열유체의 발생지점과 이동경로를 설정하여 유체의 이공간 포신내부에서 나타나는 물리적, 화학적 현상을 통해 원활한 해석이 가능하도록 GAMBIT에서유체의 시작지점을 inlet으로, 유체의 이동경로를 wall로, 유체의 출구를 outlet으로 설정하여 Fig 3에 표시한 화살표의 방향과 같이 이동하도록 3D로 설계하였다.

2.2 경계조건 설정

포의 개략적인 구조를 통해 발사시 포신에 작용하는 압력과, 발사속도, 온도, 밀도 등으로 나타나는 기계적인 현상과 화학적인 현상을 분석하고 그 결과를 분석하여 포신에 어떠한 영향을 가져올 수 있는가를 해석하여 실제 무기체계의 연구와 성능개량에 적용의 가능성 여부를 판단하도록 한다.

연구를 위한 경계조건으로 열유체의 흐름에 가장 영향을 미치는 약실의 압력과 속도를 설정하여 입력하였다. 압력은 약실의 최대합력으로 전압력(total pressure)을 대입하고, 속도는 탄약이 발사 될 때의 최고 발사속도를 적용하였다.

3. 모델링 시뮬레이션 적용을 위한 실험

3.1 수치해석 방법

주어진 압력과 속도를 FLUENT 6.3 소프트웨어[2]를 이용하여 입력하고 운동량 방정식에 의해 조합되어 해석이 이루어진다.

3.2 실험 및 결과 분석

3.2.1 실험조건

[Table 1] Experiment input data

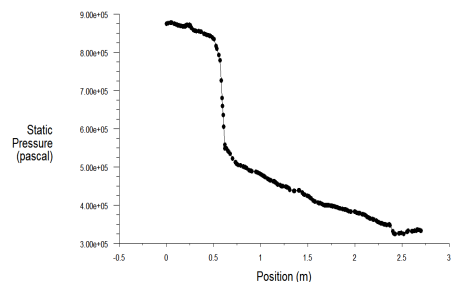
Working Fluid	Air
Temperature (T)	300 K
Pressure (P)	47,500 psi
Density (ρ)	1.23 kg/m ³
Viscosity (μ)	1.82 X 10 ⁻⁵ kg/m-s
Velocity(V)	800 m/s
Turbulence Intensity	4 %
Hydraulic Diameter	0.16 m

실험을 위하여 사용 유체는 공기로 하였고, 온도는 300K, 압력을 실제 약실압력을 적용하여 47,500psi, 밀도는 1.23kg/m³, 속도는 실제 포구속도인 600~800 m/s 내에서 최대속도를 적용하는 등 Table 1과 같이 설정하여 데이터로 입력 하였고, 유체가 이동하는 포신의 지름은 160 mm로 적용하였으며, 나머지 데이터는 실험이론을 적용하여 소프트웨어에서 자동으로 처리하였다.

3.2.2 결과분석

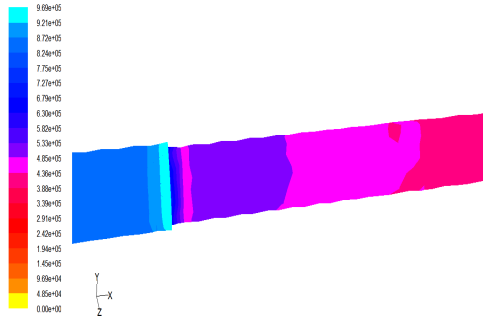
3.2.2.1 포신내 압력의 영향

본 실험에서 정압의 분포는 최초 연소가 발생하는 약실에서 크게 작용하며, 특히 약실과 포신이 이어지는 부분에서 최고의 압력이 나타나는 것을 Fig. 4를 통해 알 수 있다.



[Fig. 4] Shooting inside the pressure distribution between the barrel

최초 약실에서 9.0×10^5 Pa 의 정압이 작용하고 50cm를 지나는 지점에서 압력이 급격히 떨어져서 1/2 정도의 압력이 유지되어 점차적으로 하강하고 2.5m 지점에서 최초 정압의 1/3로 떨어져 일정한 압력을 유지하는 것을 실험 결과 그래프를 통해 확인할 수 있다. 따라서 포신을 평가하고 개발하는데 가장 관심을 두어야 할 부분이 약실과 관련한 부분이라 판단 할 수 있다.

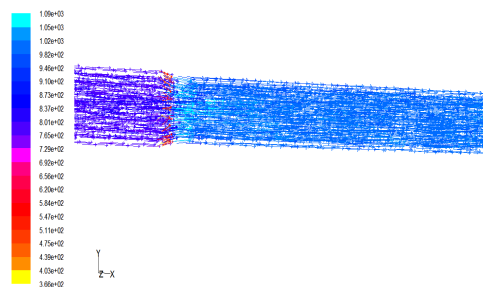


[Fig. 5] Fire Progression of pressure between

Fig. 5를 보면 정압의 분포는 비교적 추진약이 최초로 폭발되는 약실에서 $6.5 \times 10^5 \sim 9.0 \times 10^5$ Pa 정도로 비교적 크게 나타나는데 특히, 약실을 벗어나 포강에 진입하는 부분에서는 9.7×10^5 Pa 으로 가장 크게 압력이 작용되는 것을 그림에 알 수 있다. 따라서 포신에서 가장 압력이 많이 작용하는 부분은 약실과 포신이 시작 되는 부분으로 설계시 그 부분에 대한 기계적인 요소와 화학적인 요소를 충분히 고려하여 설계가 이루어져야 되겠다.

3.2.2.2 속도의 크기와 증가 분포에 따른 영향

속도의 크기는 800 m/s 정도가 최초 약실부분에서 크게 작용하고 약실을 통과하려 포신으로 진입할 때 연소실의 압축과 팽창 등으로 인해 약간의 속도가 감소하고 이후 1,000 m/s 이상의 급격한 속도상승을 가져오고 이후 부터 비교적 안정된 속도분포를 나타냄을 실험결과를 통해 Fig. 6과 같이 알 수 있다.

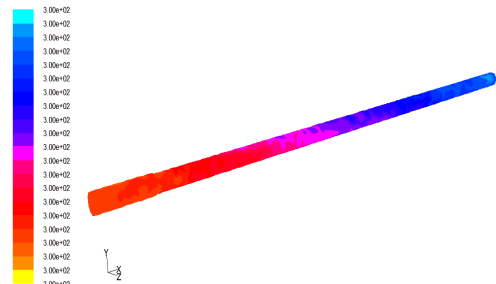


[Fig. 6] Affected by velocity magnitude

또, 강내에서 속도의 증가는 약실에서 크게 작용하지 만 약실을 지나 포신으로 이어지는 부분에서부터 약 1m 사이에서 가장 크게 나타나고 이후 2.5m를 지나면서 증가의 폭은 사라진다. 이를 볼 때 속도가 증가하는 것은 결국 연소압력이 크게 발생된다는 것으로 판단되고 속도의 증가가 큰 부분에서의 포신의 마모와 여러 가지 화학적, 물리적 변화가 크다고 판단 할 수 있다.

3.2.2.3 포신내 온도의 영향

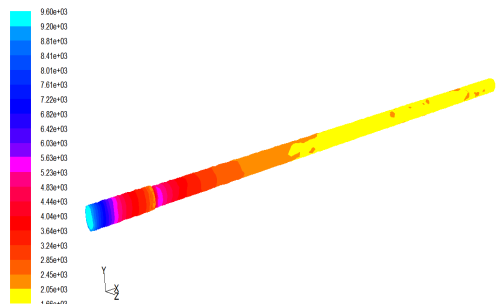
온도의 분포는 약실에서부터 포신의 끝단까지 일정하게 작용하며 전압하에서 온도는 다르게 나타날 수도 있다. 본 실험에서는 Fig.7에서와 같이 온도의 분포는 300K로 포신의 좌에서부터 우측까지 온도의 변화를 가져오지 않았지만 추진약의 연소가 급격히 이루어지는 약실에서의 온도는 추진약의 형태와 양에 따라서 변화를 가져올 수 있고 약실 부분과 포신의 시작 부분의 설계에 영향을 줄 수 있고 약실 내에서 일어나는 화학적인 연소반응과 이후 강외탄도에 영향을 미칠 것으로 판단된다.



[Fig. 7] Temperature distribution within the barrel

3.2.2.4 난류 운동에너지의 영향

난류의 불규칙한 유동은 소용돌이와 같이 와류의 형태로 움직이면서 서로 섞이는 모양의 흐름이다. 한 점에서 속도의 크기와 방향이 계속해서 변하므로 전체적인 흐름이 일정한 방향으로 움직이더라도 공기 또는 물은 소용돌이는 계속적으로 일어난다.



[Fig. 8] Turbulent kinetic energy distribution

Fig. 8에서 나타난 바와 같이 왼쪽 약실에서 9.6×10^3 (k) (m²/s²)의 난류 에너지의 분포가 나타나는 것을 보아 약실에서 큰 압력의 작용과 급격한 연소 작용으로 인하여 와류와 같이 소용돌이 현상이 발생함을 알 수 있고 포신 우측으로 진행함에 따라 점차적으로 난류의 분포가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

대부분의 유체흐름은 난류이지만 유체 속을 움직이는 물체의 앞부분이나 관(管)의 내면, 또는 점성이 큰 유체가 폭이 좁은 수로를 천천히 움직이는 경우처럼 물체의 표면과 매우 가까운 부분에서는 층류가 나타난다. 난류의 대표적인 예로는 동맥에서 피의 흐름, 송유관 속의 기름의 흐름, 용암의 흐름, 기류 및 해류, 펌프나 터빈 속의 유체의 흐름, 배가 지나갈 때 물의 흐름 및 항공기 날개 끝 주위의 공기의 흐름 등이 있다.

4. 평가요소 설정 및 평가

평가 요소는 포신에 작용하는 압력의 영향, 사격시 포탄의 이동 속도에 따른 포강의 영향, 포신내부의 온도가 포강에 미치는 영향, 추진제 연소시 나타나는 포구내의 영향 등에 대해 기존에 연구되었던 유사 연구들의 내용들과 비교하여 정성적으로 평가하였으며 그 내용은 다음과 같다.

4.1 포신내부에 작용하는 압력의 영향

내압을 받는 포신의 내경에서는 가장 큰 인장 접선응력(tensile tangential stress)이 발생하므로 일반적으로 내경에서 균열이 형성된다. 이러한 포신을 대상으로 내경에 매우 높은 유압을 가하거나 맨드릴을 강제로 내벽에 통과시켜 내경부위에 압축잔류응력을 유입시킴으로써 매우 효과적으로 내경부위에서의 균열 형성과 전파를 지연시킬 수 있도록 자진가공(autofretting) 방법을 사용한다. 그러나 외경에 흠이 존재하는 포신은 내경에서 피로균열 발생과 전파에 의한 파괴 가능성보다 외경에 존재하는 흠에서의 피로균열 발생과 전파에 의한 피로파괴 가능성이 매우 높다.

사격시 포신내부에 작용하는 압력은 포신의 응력(stress)을 증가 시키며 반복적인 사격에 의해 피로가 누적되고 한계에 도달하게 되면 스스로 파괴가 일어난다. 반복적인 내압을 받는 자진가공된 포신에 발생하는 응력은 자진가공에 의한 잔류응력과 내압에 의한 하중이 중첩하여 한계에 도달할 경우 소성변형이 일어나며 포신에서 응력 및 소성변형율의 분포에 대한 실험은 송의 연구

“포신의 응력 해석 및 피로수명 평가”에서 등가응력과 등과소성변형이 발생되었음[4]을 제시하였다.

실제 실험에서 정압의 분포는 최초 연소가 발생하는 약실에서 크게 작용하며, 특히 약실과 포신이 이어지는 부분에서 최고의 압력이 작용한다는 것을 실험을 통해 알 수 있다.

최초 약실에서 9.0×10^5 pa의 정압이 작용하고 50cm를 지나가는 지점에서 압력이 급격히 떨어져서 1/2 정도의 압력이 유지되어 점차적으로 하강하고 2.5m 지점에서 최초 정압의 1/3로 떨어져 일정한 압력을 유지하는 것을 실험 결과 그래프를 통해 확인할 수 있다. 따라서 포신을 평가하고 개발하는데 가장 관심을 두어야 할 부분이 약실과 관련한 부분이라 판단 할 수 있다.

4.2 포구내의 속도에 따른 포강의 영향

사격후 발사된 탄체가 포신의 일정 부분을 통과하기 전까지는 내부에서 큰 압력이 작용하며 이후 압력은 점차 줄어들면서 탄체가 포신을 이탈한다.

시험결과를 보면 속도의 크기는 최초 약실부분에서 크게 작용하고 약실을 통과하여 포신으로 진입할 때 연소실의 압축과 팽창 등으로 인해 약간의 속도가 감소하고, 이후 급격한 속도상승을 가져오고 그 이후부터 비교적 안정된 속도분포를 나타냄을 Fig. 6과 같이 그 결과를 평가할 수 있다.

또, 강내에서 속도의 증가는 약실에서 크게 작용하지만 약실을 지나 포신으로 이어지는 부분에서부터 약 1m 사이에서 가장 크게 나타나고 이후 2.5m를 지나면서 증가의 폭은 사라진다. 이를 볼 때 속도가 증가하는 것은 결국 연소압력이 크게 발생된다는 것으로 판단되고 속도의 증가가 큰 부분에서의 포신의 마모와 여러 가지 화학적, 물리적 변화가 크다고 판단 할 수 있다.

4.3 포신내부의 온도가 포강에 미치는 영향

현재 무기체계에 적용하고 있는 포신은 공랭식으로 연속적인 사격시 온도 즉 열의 영향을 받아 열피로, 열손상 등의 형태로 포신의 수명에 영향을 미치는데 외부보다 내부의 마모가 더 크게 나타나며, 황의 연구 논문인 “초음파 검사법을 이용한 열피로 균열 깊이 측정의 신뢰성 향상에 관한 연구”에 의하면 열로 인한 열피로 균열발생의 위험정도와 사례에 대해 분석을 통해 제시하고 있다 [5].

또, 안의 “터빈 로터 강변형률 분할법에 의한 열피로 수명 예측” 연구에서는 열로 인한 응력과 피로수명의 관계를 통해 열에 대한 stress에 대해 그 위험성을 피로연

화로 표현하였다. 결과적으로 열에 의한 문제는 각종 변형과 마모 등을 통해 포신의 수명에 지대한 영향을 미치는 결정적인 요소임을 알 수 있다[6].

실험결과를 보면 Fig. 7에서와 같이 온도의 분포는 포신의 좌에서부터 우측까지 탄체의 이동경로를 따라 온도의 변화를 가져오지 않았지만 추진약의 연소가 급격히 이루어지는 약실에서의 온도는 추진약의 형태와 양에 따라서 변화를 가져올 수 있고 약실 부분과 포신의 시작 부분의 설계에 영향을 줄 수 있고 약실 내에서 일어나는 화학적인 연소반응과 이후 강외 탄도에 영향을 미칠 것으로 판단된다.

4.4 추진제 연소시 나타나는 포구내 영향

추진제가 연소되어 탄두가 전진할 때 포구 내에서는 가스 추진력과 공기저항에 의해 하중이 발생된다. 또, 포신 내부와 탄체 사이의 마찰력과 가스폭발에 의한 충격이 내부에 작용하게 된다. 이의 연구인 “유연한 포신 내에서 3차원 탄체 운동 해석”에 의하면 이와 같은 접촉력과 충격력에 대해 연구한 결과에 의하면 사격간 탄체가 포신을 따라 이동하면서 회전 밴드 및 바워렛의 포신과 접촉에 의해 포신의 탄성변형에 영향을 준다고 밝혔다[7].

또, 박의 연구 “탄자 운동에 따른 강내탄도 내부유동의 전산해석”에서는 추진제가 연소하고 탄체가 이동하면서 팽창과의 이동하는 것을 통해 압력분포의 변화를 확인하였으며, 시가의 경과에 따라 압력이 점점 낮아짐을 알 수 있고 연소공간과 밀접한 관계를 나타냄을 시사했다[8]. 이러한 결과를 통해 포신 설계시 고려해야 할 사항을 판단할 수 있다.

윤의 “포사격시 포신 내부온도 및 압력 변화에 의한 포신 변형 수치해석” 연구에서 추진제의 연소로 인해 1차적인 포신의 내벽과 외부간의 온도차이로 인하여 열전도 현상이 발생되고, 포신 내외부 간의 온도 차이는 포신 재질의 위치에 따라 열팽창 정도가 다르게 나타나서 열응력과 변형을 발생 시킨다고 서술하면서 온도분포에 대한 해석의 중요성을 강조하고 있다[9].

4.5 포신내부에서 발생하는 난류현상

난류의 불규칙한 유동은 소용돌이와 같이 와류의 형태로 움직이면서 서로 섞이는 모양의 흐름이다. 한 점에서 속도의 크기와 방향이 계속해서 변하므로 전체적인 흐름이 일정한 방향으로 움직이더라도 공기 또는 물은 소용돌이는 계속적으로 일어난다.

Fig. 8에서와 같이 약실에서 가장 큰 난류 에너지의 분

포가 나타나는 것을 보아 약실 내에서 연소 작용으로 인하여 압력의 팽창으로 인해 와류와 같이 소용돌이 현상이 발생함을 알 수 있고 계속 진행함에 따라 점차적으로 난류의 분포가 줄어드는 것을 볼 수 있다.

대부분의 유체흐름은 난류이지만 유체 속을 움직이는 물체의 앞부분이나 관(管)의 내면, 또는 점성이 큰 유체가 폭이 좁은 수로를 천천히 움직이는 경우처럼 물체의 표면과 매우 가까운 부분에서는 층류가 나타난다. 난류의 대표적인 예로는 동맥에서 피의 흐름, 송유관 속의 기름의 흐름, 용암의 흐름, 기류 및 해류, 펌프나 터빈 속의 유체의 흐름, 배가 지나갈 때 물의 흐름 및 항공기 날개 끝 주위의 공기의 흐름 등을 평가가 가능하다.

5. 결론

본 연구는 기존의 연구들에 비해 새롭게 시도한 것으로 실험결과를 통해 포신 내부에 작용하는 압력의 영향과 포구내의 속도에 따른 포강의 영향, 온도가 포강에 미치는 영향 등의 평가 결과를 통해 무기체계의 획득을 위한 연구에 충분히 적용이 가능한 것으로 판단되고, 전산유체역학 소프트웨어는 모델링과 시뮬레이션을 통한 필요한 평가가 가능한 것으로 판단되어지나 아직 시도한 적이 없다는 점이 문제점으로 지적된다.

따라서 본 연구와 유사한 방법의 연구가 지속적으로 이루어져서 신뢰성 있는 데이터를 제시할 때 무기체계의 획득을 위한 모델링과 시뮬레이션이 가능하며, 연구개발을 위한 국방예산의 절감과 획득기간의 단축 등으로 경제적인 군사력건설이 가능할 것으로 판단되고 방위산업의 발전에 기여할 것으로 사료된다.

References

- [1] G. C. Choi, "Acquisition Logistics and Operations Management, pp162-168, Korea Research institute of Military Affairs, 2009.
- [2] FLUENT User's Guide, FLUENT Inc.
- [3] GAMBIT User's Guide, FLUENT Inc.
- [4] K. J. Song, "Stress and Fatigue Life Evaluation of Gun Barrel", Master's degree, Kunsan National Univ. Kunsan Graduate School, 2011.
- [5] W. G. Hwang, "A Study on the reliability of the UT detection using the Real Thermal Fatigue Crack", Master's degree, Korea Aerospace University Graduate

School, 2010.

- [6] H. D. Ahn, "Turbine Rotor Steel strain due to thermal fatigue life prediction Segmentation", Master's degree, Chungnam National University Graduate School, 1994.
- [7] S. W. Lee, "3-Dimensional dynamic analysis of a projectile in a flexible gun tube", Master's degree, KAIST, 1997.
- [8] S. Park, "Numerical Analysis of Internal Flow of Interior Ballistics with Projectile motion", Master's degree, Inha University Graduate School, 2008.
- [9] B. J. Youn, "Numerical analysis of deformation and stresses in barrel by the changes of temperature and pressure occurred through firing", Master's degree, Yonsei University Graduate School, 2005.

이 영욱(Young-Uk Lee)

[정회원]



- 1998년 8월 : 아주대학교 기계공학과 (공학석사)
- 2008년 2월 : 충남대학교 메카트로닉스공학과 (공학박사수료)
- 2012년 8월 : 대전대학교 군사학과(군사학박사:M&S)
- 2008년 3월 ~ 2011년 8월 : 호원대학교 국방기술학부 교수
- 2011년 9월 ~ 현재 : 전주기전대학 부사관과 교수

<관심분야>

군사기술, 무기체계, M&S