

# 무기체계의 효과적인 모델링 및 시뮬레이션 구현을 위한 전산유체역학 활용 연구

이필중<sup>1</sup>, 이영욱<sup>1\*</sup>  
<sup>1</sup>대전대학교 군사학과

## Weapon Systems for the implementation of an effective Modeling & Simulation on the use of computational fluid dynamics research

Pil-Jung Lee<sup>1</sup> and Young-Uk Lee<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Department of Military Studies, Deajeon University

**요 약** 우리나라의 국방 분야에서 모델링 및 시뮬레이션의 수준은 외국에 비해 상당히 저조하며, 무기체계의 연구 개발과 획득에서 신뢰성 부분을 해결하지 못하고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 전산유체역학을 이용하여 M&S를 공학적인 차원에서 모델링과 시뮬레이션의 적용 가능성을 제시하고, 향후 효과적인 무기체계의 연구개발과 획득에 적극 활용하고자 한다.

**Abstract** In Korea Defence in the field of modeling and simulation quite low compared to international levels, and Research & Development and acquisition of weapon systems do not address the reliability in the area is a Free. Thus, in this study using computational fluid dynamics engineering in terms of M & S and the applicability of the present, Future research and development of an effective weapons system acquisition would like to take advantage.

**Key Words** : Weapon System, Modeling & Simulation, Computational fluid dynamics

### 1. 서론

최근 과학기술의 발전은 미래 전장 환경과 전쟁의 패러다임의 변화를 가져왔고 무기체계의 고도화와 정밀화를 가져옴에 따라 획득의 방향과 전쟁 수행 방법의 새로운 변화와 발전을 요구하고 있다. 또한 세계의 각 나라들은 자국의 생존과 변화하는 세계의 안보환경에 적응하기 위해서 과학기술을 이용한 첨단 무기체계의 개발과 획득에 각각 노력을 기울이고 있으며, 이러한 안보환경은 한반도의 안전에 영향을 가져옴으로 우리나라 또한 과학기술력이 바탕이 되는 첨단무기체계의 개발과 획득이 절실히 요구된다[1-2].

오늘날 무기체계의 획득은 용도에 적합한 최적의 설계와 철저한 시험평가가 그 성능발휘의 관건으로 작용하고 있으며, 획득과정 초기단계에서 시험평가 자료의 원천으

로서 모델링 및 시뮬레이션의 사용이 적극적으로 권장되고 있다. 이와 같이 무기체계의 획득에 M&S(Modeling & Simulation)를 적용하면 설계와 시험평가에 신뢰성 수준을 향상시킬 수 있는 정보를 제공할 수 있고, 야전시험에 소요되는 시간과 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 사전 예측 및 사후 검증 등을 위한 자료로 제공될 수 있다 [3-5].

이와 같은 이유로 미국은 국방 분야에 M&S를 경제적 군사력 건설 및 운영을 위한 과학적이고 합리적인 수단으로 인식하고, 국방운영 전반에 걸쳐 폭넓게 활용하여 많은 성과를 달성하고 있다. 반면 한국군은 '90년도 후반에 들어와서 M&S의 중요성을 인식하고 국방 분야에 적극적인 활용을 추진하고 있으며, 전투모의 분야의 적용에는 어느 정도 진전을 보였지만 무기체계의 성능과 효과를 추구하는 신뢰성 부분에는 아직까지 부족한 실정이다.

\*교신저자 : 이영욱(majlee2@hanmail.net)

접수일 11년 07월 15일

수정일 (1차 11년 07월 27일, 2차 11년 08월 03일)

게재확정일 11년 08월 11일

무기체계의 연구개발과 획득을 위한 M&S를 효과적으로 수행하기 위해서는 우선 무기체계의 성능과 기능 발휘의 대부분을 차지하는 연소, 화학반응, 단상 및 다상유동 등의 문제를 해결해하는 것이 가장 중요한 것으로 판단된다.

따라서, 본 연구에서는 M&S를 무기체계의 성능과 효과적인 측면에서 전장의 다양성과 상황에 적합한 무기체계의 효과적인 획득을 위한 최적의 설계와 시험평가의 구현 가능성을 증명하고 적용하기 위해 공학적인 해석 차원에서 전산유체역학(CFD : Computation Fluid Dynamics) 소프트웨어의 활용 가능성을 연구하여 향후 무기체계의 획득분야에서 공학적인 증명과 신뢰를통해 한 차원 높은 M&S의 구현하고 효과적인 무기체계 획득에 기여하고자 한다.

## 2. CFD의 이론적 고찰

### 2.1 CFD 개요

CFD는 유체현상을 기술한 비선형 편미분 방정식인 Navier-Stokes 방정식을 FDM(Finite Difference Method), FEM(Finite Element Method), EVM(Finite Volume Method) 등의 방법들을 사용하여 이산화하고[6] 대수 방정식으로 변환하고, 이를 수치기법의 알고리즘을 사용하여 유체의 유동문제를 해석하는 것이다. 컴퓨터를 사용하여 공학 문제에서 유체와 기체의 상호작용을 시뮬레이션 한다. 그러나 여러 가정을 통해서 근사 값만 얻을 수 있고, 적용 모델이 실제에 가까울수록 난류 문제와 같은 복잡한 현상의 시뮬레이션이 보다 정교해진다. 코드의 검증은 실험을 수행하여 얻은 정량적 정성적 데이터와 그 오차를 비교하여 이루어지고, 단상 및 다상유동, 연소 및 화학반응 등 다양한 문제들의 해석이 가능하다.

따라서 CFD는 그 기법이 강력하고 산업 및 산업이 아닌 영역까지 광범위하게 적용되고 있으며 항공기 및 자동차, 선박의 유체역학, 가스터빈, 전기 및 전자공학, 환경공학, 해양학, 기상예보 등에 널리 적용하고 있다.

### 2.2 CFD 역사와 배경

점성이 있는 유체운동의 직접적인 수치해석은 1953년 경에 시작되었으며, 작은 레이놀즈수(Reynolds Number)에서 단순한 2차원 원주유동을 당시의 수동계산기를 이용하여 1년간의 시간을 이용해서 수치해석을 하였다[7]. 그러나 1960년에 들어와서 컴퓨터의 급속한 발달에 힘입어서 과거에는 이론적으로 해석할 수 없었던 복잡한 열

및 유체유동의 해석이 수치 해석적으로 가능하게 되었다. 특히, 지난 십여년 동안 컴퓨터의 발달은 눈부시게 성장하여, 수년 전까지만 해도 계산기의 용량제한과 계산속도의 제한이 큰 문제가 되었으나 지금은 소형 컴퓨터로도 처리가 가능하게 되었다. 따라서 현시점에서 최대용량의 슈퍼컴퓨터를 사용하면 상당히 대규모의 계산이 가능하고 최근 진보가 매우 빠른 수치해석분야에서의 컴퓨터 풍동은 그 산물이라고 할 수 있다. 이와 같이 하드웨어의 급속한 발전 및 보급과 함께 수치해석의 연구가 비약적인 발전을 이루어 이제까지 해석해 중심의 이론적 연구를 대신해 가고 있다. 이러한 수치적 연구는 전산유체역학, 수치유체역학 또는 유동수치시뮬레이션 등으로 불리고 있다.

## 3. CFD(Computation Fluid Dynamics)구조

현재 공학적으로 중요한 열유동 문제를 해석하기 위해 여러 종류의 CFD코드가 상업적으로 개발되어 있다. 이러한 CFD 코드는 코드의 해석능력에 쉽게 접근할 수 있도록 문제에 따른 매개변수를 입력시키고 결과를 조사할 수 있는 정교한 사용자 인터페이스를 포함하고 있으며, 모든 상용 CFD코드는 전처리기, 솔버, 후처리기의 3가지 주요요소를 가지고 있다[6].

### 3.1 전처리기(Pre-processor)

전처리기는 운영자에게 친숙한 인터페이스와 후속적으로 솔버(solver)에게 적합한 형태로 입력될 수 있도록 변형시켜 유동 문제를 CFD 프로그램에 입력하는 것으로 구성되며, 표 1과 같은 내용을 수행한다.

[표 1] 전처리기 단계 수행과제  
[Table 1] Pre-processor Step Projects

구 분	전처리기 단계에서 수행과제
내 용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 관심 있는 영역의 형상 정의</li> <li>- 격자생성(영역을 중첩되지 않는 작은 영역인 세부영역으로 나눔 : 셀, 검사체적, 요소의 격자(grid, mesh))</li> <li>- 모델링할 필요가 있는 물리적 현상, 화학적 현상의 설정</li> <li>- 유체 특성의 정의</li> <li>- 계산영역 경계와 일치하거나 접촉하는 셀에 적합한 경계조건 명시</li> </ul>

또한 현재까지 전처리기는 사용자에게 주된 유체 유동 공식들과 함께 유체의 일반 특성을 저장한 라이브러리에 접근할 수 있도록하고 특별하고 물리적이고 화학적 모델을 불러내기 위한 편의를 제공한다.

### 3.2 솔버(Solver)

솔버의 기본을 형성하는 수치해석 방법에는 크게 유한 차분법, 유한요소법, 스펙트럼법, 유한체적법이 존재한다. 솔버의 기본 형태인 수치해석은 표 2와 같이 수행이 된다.

[표 2] 솔버 단계 수행과제

[Table 2] Solver Step Projects

구 분	솔버 단계에서 수행과제
내 용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 미지의 유동 변수들을 함수로 단순화 한다 (approximation).</li> <li>- 단순화된 지배유동 공식에 대입하고 후속적인 수학 조작으로 이산화(discretization) 한다.</li> <li>- 대수 공식들을 해결한다.</li> </ul>

앞의 내용과 같이 수치해석방법에는 크게 3가지의 흐름이 있으며, 각 방법 사이의 주된 차이는 유동변수들이 근사화 되는 방법과 이산화 과정이다.

### 3.3 후처리기(Post-processor)

전처리와 같이 막대한 개발 작업이 최근 후처리분야에서 이루어지고 있으며, 현재 시장을 선도하는 상용 CFD 코드들은 뛰어난 그래픽 능력을 가진 공학 워크스테이션의 보급으로 인하여 표 3과 같은 기능을 포함하여 다방면에 걸쳐 데이터 가시화 도구들을 갖추고 있다.

[표 3] 후처리기 단계 수행과제

[Table 3] Post-processor Step Projects

구 분	후처리기 보유기능
내 용	<ul style="list-style-type: none"> <li>- 영역 및 격자계 표시</li> <li>- 벡터 플롯(plot)</li> <li>- 선과 음영에 의한 등고선 플롯</li> <li>- 2D, 3D 표면 플롯</li> <li>- 입자궤적(particle tracking)</li> <li>- 결과 그림 조작 (이동, 회전, 스킴 등)</li> <li>- 컬러 포스트 스크립 출력</li> </ul>

최근에 이러한 패키지는 결과를 동적으로 표현하기 위

한 애니메이션을 포함하고 모든 코드를 그래픽은 물론 신뢰할 수 있는 문자와 숫자 겸용 출력을 할 수 있으며 코드 외부에서 조작할 수 있도록 자료 Export 기능을 갖는다. CAE의 다른 많은 지류에서와 같이 CFD 코드의 그래픽 출력 기능은 전문가가 아닌 일반 사용자도 여러 가지 편리성을 제공했다[8].

## 4. M&S를 위한 CFD 프로그램 (소프트웨어)

### 4.1 Modeling 을 위한 소프트웨어

Fluent 사에서 제공하는 해석용 소프트웨어와 호환하는 범용 전처리기인 GAMBIT은 자체적인 CAD 커널을 장착하고 있어서 다양한 형상을 쉽게 구현할 수 있다. 원기둥, 구, 육면체, 사면체 등을 수학적으로 간단한 도형생성이 가능하다. 또, 도형간의 집합 연산이 가능하게 하는 Boolean operation이 지원된다. 고품질의 격자생성을 위해서 도형을 분해할 수 있는 기능을 탑재하고 있다.

또한, 도형 구성의 기본 요소인 점, 선, 면을 다양한 방법으로 구성할 수 있는 기능을 지원한다. 선과 면은 top down menu에서 제공되지 않는 자유곡선이나 자유곡면의 생성을 지원한다. 수학적 정보를 소실할 도형을 복구할 수 있는 기능을 탑재하고 있다.

또, GAMBIT은 육면체, 사면체, 삼각기둥, 피라미드 등의 다양한 형태의 격자를 지원한다. GAMBIT의 격자는 solid의 형상에 의존하므로 정렬격자를 생성하려면 형상이 육면체에 상응하는 모양이어야 한다.

따라서 GAMBIT에서 제공되는 CAD 기능과 Mesh 기능은 다양하고 복잡한 무기체계의 설계에 적합한 것으로 판단되며 특히 자유곡선이나 자유곡면의 생성의 가능성과 모델링 전후의 수학적 정보를 소실 경우에 복구가 가능한 것이 그 강점이라 하겠다.

### 4.2 Simulation 을 위한 소프트웨어

FLUENT는 비압축성 영역에서 극초음속 영역 전반에 걸친 모든 영역에서 적용할 수 있는 CFD solver이다. Fluent 사는 향상된 수렴성을 갖는 multi grid method를 이용한 다양한 솔버 옵션들을 이용함으로써 광범위한 속도영역의 유동장 해석에 있어 최적의 효율과 정확성을 갖는 솔버를 제공하고 있다. FLUENT에 탑재된 풍부한 물리적 모델은 난류유동, 비정상상태 해석, 다양한 열전달 해석, 화학반응 유동, 다상유동 등의 해석은 무기체계의 구조를 분석하고 설계가 가능하며, 다양하고 복잡한 무기체계의 화학적 성능과 효과를 해석하는데 아주 적합

한 소프트웨어라 할 수 있다.

## 5. CFD 적용사례

### 5.1 사례 1. CFD에 의한 발사체 공력 특성에 미치는 기저부 영역 모델링의 영향에 관한 연구[9]

로켓무기의 발사체는 발사시 아음속으로 발사대를 출발하여 천음속, 초음속을 거쳐 극초음속으로 대기권 및 우주를 비행한다. 따라서 발사체의 형상설계에는 아음속부터 극초음속까지 전 비행속도 영역에 대한 공력 특성 해석이 필요하다. 아음속, 초음속 및 극초음속으로 비행하는 발사체의 공력 특성 예측은 발사체 설계에서 필수적인 과정이며, 경험과 해석적 기법, 그리고 최종적으로 풍동시험에 의해 그 결과가 얻어진다. 그러나 최근의 전산 유동해석 기법의 정확도 및 효율성 향상은 이에 의한 신뢰성 있는 설계자료 구축을 가능하게 하고 있다.

전산유체해석을 이용한 발사체 공력 특성해석에 있어서 핀과 같은 공력적 특성이 뚜렷한 형상에 대한 해석 결과는 풍동시험 결과와 잘 일치하지만 노즈, 콘, 실린더 등으로 구성된 단순한 형상에 대한 결과가 오히려 풍동시험 결과와 차이를 보임이 경험적으로 알려져 있다.

따라서, 본 연구에서는 핀을 고려하지 않은 비교적 간단한 형상의 발사체에 대해 기저부 영역을 다양한 형태로 모델링하고 전산유체해석을 통해 시뮬레이션 하여 그 결과를 비교하였고, 기저부 영역의 정확한 설계를 도출이 가능하다.

### 5.2 사례 2. 액체로켓 터보 펌프 터빈의 천이 열전달 및 구조해석[10]

열역학적 관점에서 터빈의 효율은 입구 유동의 압력과 온도가 높을수록 높아지지만, 블레이드 구조의 열응력을 증가시키게 된다. 이러한 열응력은 가속이나 감속 시 침투값을 가지는 것으로 알려져 있다. 이러한 원인은 천이 상태에서 블레이드의 여러 부분에서 큰 온도차가 생기기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 터빈의 열전달 및 응력 해석을 수행하기 위하여 우선적으로 대류 열전달 계수를 전산유체역학(CFD)기법으로 슈라우드, 블레이드, 디스크로 구성된 부분 입사형 초음속 터빈의 3차원 천이 열전달 및 응력해석을 수행한다.

열전달 계수는 Fluent를 이용하고, 천이 열전달은 유한 요소 코드를 이용하여 구하였으며, 설계자가 필요한 값에 따라 효율적인 무기체계의 설계가 가능한 것으로 판단된다.

## 6. 국방에서의 활용 및 예상효과

CFD는 무기체계의 연구개발과 획득을 위한 M&S를 효과적으로 구현하고 객관적인 신뢰성을 보장하기 위한 공학적인 한 방법이다. 따라서 민간분야에서 항공기, 선박, 차량 등의 많은 분야에서 적용이 되고 있으며, 국방 분야에서는 전투장비와 공통기동장비, 복합장비인 전차와 자주포, 개인화기인 총기류의 열적으로 발생하는 문제 해결의 구조 및 성능해석에 위의 사례1, 2의 다양한 적용이 가능한 것으로 판단된다.

또, 사례 2의 내용을 볼 때 FLUENT를 이용한 공학적인 해석을 위한 모델링과 시뮬레이션의 소프트웨어로 사용에 자유롭고, 항공기와 기동장비 같은 내연기관의 설계와 성능 해석에 유용한 액적분사모델이며, 강력한 연소와 광범위한 다상유동 모델이라 할 수 있고 구조 구조해석과의 유연한 연계성을 가지고 있다.

CFD는 전산 모의를 기반으로 한 기법으로 유체유동, 열전달 그리고 화학작용 등과 관련한 현상을 포함하는 시스템 해석이다. 1960년대 이후 우주산업은 제트엔진 및 우주선의 제작, 설계 및 연구에 CFD 기법을 융합시켰으며, 최근에는 내부 연소엔진, 가스터빈 및 용광로의 연소실의 설계에도 CFD 기법을 적용하였다. 이제 CFD는 산업 생산물 및 공정 설계에 매우 중요한 요소가 되고 있으며, 이와 같은 기반들이 국방기술의 무기체계 연구개발 분야에서 현재의 연구시스템이 한 차원 업그레이드 될 것으로 판단되고, 획득분야에서는 시험평가 과정의 효율성을 증대시킬 수 있고, 시간과 비용을 절감할 수 있으며, 다른 방법에서 획득하기 어렵거나 측정하기 곤란한 자료를 생산할 수 있을 뿐만 아니라, 보다 시의적절하고 합리적인 결과를 제공할 수 있다.

따라서 국방예산의 절감과 무기체계 획득기간의 단축 등을 인하여 경제적인 군사력건설이 가능하고 국가 예산의 절감을 가져올 수 있다.

## 7. 결론

미래의 전쟁 양상은 정보지식 중심전, 정보지식 기반전, 네트워크 중심전, 네트워크 기반전, 네트워크 환경전 등으로 규정할 수 있다[11]. 따라서 미래전장은 이와 같은 차원에서 많은 변화를 가져오고 이에 따른 무기체계의 능력은 획기적으로 광역화, 장사정화, 정밀화, 고 위력화 등에 충족하여야 한다. 미래전에 대비한 군사력건설에서 무기체계의 획득은 매우 중요한 부분으로 효과적인 무기체계의 획득을 위해서는 무기에 대한 사전 연구개발

이 절실히 필요하고, 획득을 위한 시간과 비용을 절감하고, 무기에 대한 신뢰성이 보장해야 한다.

따라서 무기체계의 연구개발과 획득을 위한 M&S를 효과적으로 수행하기 위해서는 우선 무기체계의 성능과 기능 발휘의 대부분을 차지하는 연소, 화학반응, 단상 및 다상유동 등의 문제를 해결에 대한 연구와 정확한 모델링, 해석 등이 가장 중요한 것으로 판단된다.

본 연구에서는 M&S를 무기체계의 성능과 효과적인 측면에서 전장의 다양성과 상황에 적합한 무기체계의 효과적인 획득을 위한 최적의 설계와 시험평가의 구현 가능한 방법을 공학적인 차원에서 활용 가능성을 확인하였고 전산유체역학(CFD)을 무기체계의 연구개발과 성능시험 등 국방획득분야에 적극적인 활용을 통해 한 차원 신뢰성 높은 연구개발과 무기체계의 획득이 구현 될 것으로 판단된다.

### References

[1] G. C. Choi, "Acquisition Logistics and Operations Management, pp162-168, Korea Research institute of Military Affairs, 2009.

[2] J. H. Lee, "The Theory and Practice for Modeling and Simulation", pp15-110, Korea Research institute of Military Affairs, 2008.

[3] P. J. Lee, et al., "A Study on Weapon System Acquisition for the Use of Modeling & Simulation (M&S)", Korea Information Assurance Society, Vol. 11, No. 3, pp11, 2011.

[4] DAPA, "Test and evaluation management guide", pp195-206, DAPA, 2006.

[5] S. C. Jang, "The Army M & S development plans", Defense for Policy Studies, No. 33, pp3-4, 2001.

[6] H. Y. Park, et al., "An introduction to computational fluid dynamics", pp2-8, Hongreung Science Publishers, 2010.

[7] H. K. Myeong, "Computational fluid engineering", pp2-14, Monundang, 2010.

[8] H. K. Myeong, "Introduction to CFD", pp4-16, Monundang, 2011.

[9] Y. H. Kim, et al., "A Study on the Influence of the Base Region Modeling on the Aerodynamic Characteristics of a Launch Vehicle Using CFD ", KSAS, Vol. 33, No. 9, pp27, 2005.

[10] J. H. Yoo, et al., "Transient Heat Transfer and Structural Analyses for the Turbopump Turbine of a

Liquid Rocket Engine", KSAS, Vol. 32, No. 3, pp58, 2004.

[11] T. Y. Kwon, et al., "21st century military innovation and the future of war", pp205-208, Beobmunsa, 2008.

### 이 필 중(Pil-Jung Lee)

[정회원]



- 1974년 3월 : 육군사관학교(이학사)
- 1984년 8월 : 미국 Wisconsin 대학원(경제학 석사)
- 1990년 8월 : 영국 Aberdeen대학원(정치경제학 박사)
- 2009년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 군사학과 교수

<관심분야>

군사력건설, 국방경제, M&S

### 이 영 욱(Young-Uk Lee)

[정회원]



- 1998년 8월 : 아주대학교 기계공학과(공학석사)
- 2008년 2월 : 충남대학교 메카트로닉스공학과(공학박사수료)
- 2008년 3월 ~ 현재 : 호원대학교 국방기술학부 교수
- 2011년 3월 ~ 현재 : 대전대학교 군사학과 박사과정

<관심분야>

군사기술, 무기체계, M&S