

복합무기체계 실험을 위한 열유동 수치해석 기법 개발

김성대* · 유성열** · 백상화*** · 이정용*** · 박소진**** · 김철주***** · 고한서*****

Development of Numerical Analysis Technique of Thermal Flows for Experiment of Combined Weapon Systems

Sung-Dae Kim*, Seong-Ryoul Ryoo**, Sang-Hwa Baek***, Jeong-Yong Lee***,
So-Jin Park****, Chul-Ju Kim***** and Han Seo Ko*****

Key Words : Weapon Systems(무기체계), Environmental Tester(환경 시험조), Soaking Time(침투온도 시간), Thermal Flow(열흐름)

Abstract

A numerical analysis has been performed in this study to predict thermal behaviors of combined weapon systems in a large environmental tester. Also, temperature distributions of the materials of the system have been measured for the experimental conditions. The calculated thermal flow characteristics and the measured temperature distributions of the materials for the weapon systems have been analyzed to prepare for field tests in the environmental tester. The boundary conditions of the analysis are composed of inlet and outlet conditions of the environmental tester with various pressures and the limit of low temperature of -25°C . The soaking time of the system in the environmental tester has been obtained by developed programs in this study to carry out the experiment in the predicted conditions.

1. 서론

군사 무기체계 개발 단계에서 가장 기본적인 성능 중 하나가 예측 가능한 모든 상황에서의 동작 안정성 확보이며 이러한 기능을 이루어 내기 위한 목적으로 신뢰도가 높은 고성능 복합재료가 적용되고 있다. 특히 저온환경에서 군사 무기체계의 시동성 문제와 관련된 이들 복합재료의 열적 성능 및 안정성에 대한 환경시험이 현재 반복적으로 수행되고 있다. 이들 재료의 열적 안정성과 상호작용에 대한 영향을 검토하기 위하여 각각의 부품별로 환경시험이 수행되며 이에 따른 침투온도 시간 및 경제성 분석 문제가 제기되고 있다. 따라서 저온환경 실험을 수행하기 전 무기체계에 적용된 복합재료 거동에 대한 예측이 매우 중요하다.

이형식⁽¹⁾ 등은 대형 클린룸 장비 내의 속도 및 압력분포를 계산하기 위하여 EFD.Lab 을 이용한 전산수치해석을 수행하였다.

이형식⁽²⁾ 등은 대기 중에서 고온으로 유지되는 발열체 및 이에 인접한 대상체를 포함하는 모델에 대하여 열복사를 고려한 열유

동해석을 SolidWorks COSMOS FloWorks를 이용하여 수행하였다. 발열체 온도 변화에 따른 대상체의 온도 변화를 관찰하였으며 발열체와 대상체의 재료는 각각 스테인리스 스틸과 강철을 사용하였다.

김병철⁽³⁾ 등은 수평 평판에서의 복합열전달을 Fluent Ver.5.3을 이용하여 수치적으로 수행하였으며 온도 분포, 열적 거동, 속도 변화에 대해 연구하였다.

그 외 복합열전달^(4,7) 및 유동해석에 대한 전산수치해석과 실험⁽⁸⁻¹⁴⁾이 다수 연구되었으나 고온 환경 및 저온 환경에 대한 복합재료의 해석과 열유동에 관한 군사 분야 관련 연구 사례는 기밀로 인해 파악하기 힘든 실정이다. 따라서 본 연구는 이들 무기체계 복합재료의 실험 환경 조건에 대한 열적 특성을 파악하고 각 무기 복합재료의 침투 시간에 대한 자료를 확보하기 위한 일환으로 전산수치해석 기법 적용 가능성을 검토하기 위해 수행되었다. 해석관련 무기체계는 장갑차를 사용하였으며 장갑차 형상은 복잡한 구조로 되어있기 때문에 결면을 타겟으로 하여 단순화 모델링 하였다. 장갑차의 재료는 티타늄 합금(Alloy Titanium)을 사용하였다.

2. 본론

2.1 수치해석 방법

본 연구에서 해석에 사용된 상용 프로그램은 SolidWorks COSMOS Floworks이며 3차원 유동장에 대하여 에너지 방정식

* 성균관대학교 대학원 기계공학과, sd4945@skku.edu

** 성균관대학교 대학원 기계공학과 박사 후 연구원, luciferz@skku.edu

*** 국방과학연구소 종합시험단 2부, backkssan@hanmail.net, desire95@korea.com

**** 충남대학교 화학공학과, sjpark@cnu.ac.kr

***** 성균관대학교 기계공학부, cjkim@me.skku.ac.kr, hanseoko@skku.edu

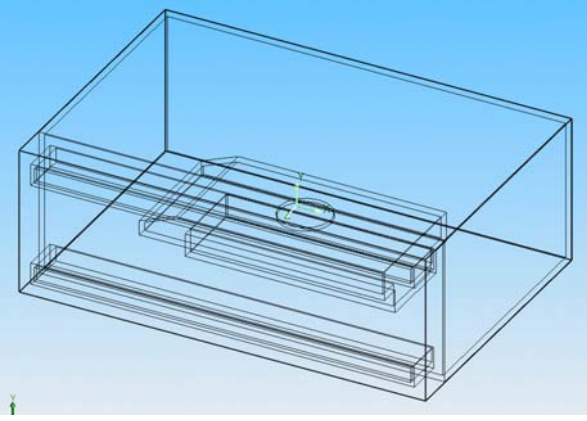


Fig. 1 Three dimensional geometry for numerical analysis

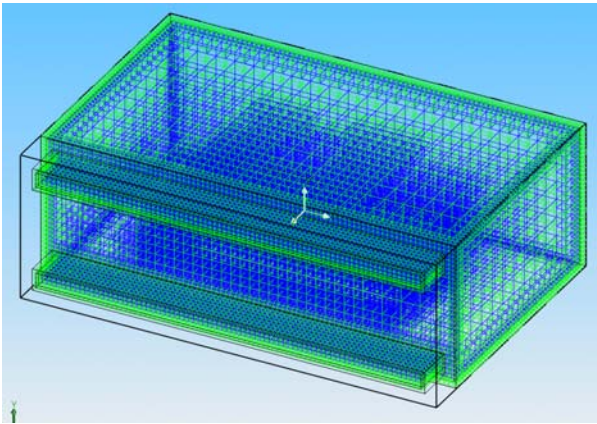


Fig. 2 Computational grids for material and air flow

을 추가하여 유동장 및 대형 환경시험조 내의 온도를 계산하였다. 또한 방정식 내 대류항의 계산을 위하여 상류차분도식 (Upwind Difference Scheme)을 사용하였다⁽¹⁻⁴⁾. Fig. 1은 해석모델을 3D 트리메트릭(Trimetric) 구조로 나타낸 것이며 대형 환경시험조의 사이즈는 가로, 세로, 높이가 11×6.5×4[m]이며 덕트가 삽입되어 있다. Fig. 2에는 해석모델의 유체 및 고체의 해석격자를 나타냈으며 격자수는 약 350,000개 이다.

2.2 지배방정식

계산에 사용된 지배방정식은 아래와 같다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i) = 0 \quad (1)$$

$$\frac{\partial \rho u_i}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i u_j) + \frac{\partial p}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_j}(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + S_i \quad i = 1, 2, 3 \quad (2)$$

$$\frac{\partial \rho H}{\partial t} + \frac{\partial \rho u_i H}{\partial x_i} = \frac{\partial}{\partial x_i}(u_i(\tau_{ij} + \tau_{ij}^R) + q_i) + \frac{\partial p}{\partial t} - \tau_{ij}^R \frac{\partial u_i}{\partial x_j} + \rho \epsilon + S_i u_i + Q_H$$

where

$$H = h + \frac{u_i u_j}{2} \quad (3)$$

$$\frac{\partial \rho k}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i k) = \frac{\partial}{\partial x_i}((\mu + \frac{\mu_k}{\sigma_k}) \frac{\partial k}{\partial x_i}) + S_k \quad (4)$$

$$\frac{\partial \rho \epsilon}{\partial t} + \frac{\partial}{\partial x_i}(\rho u_i \epsilon) = \frac{\partial}{\partial x_i}((\mu + \frac{\mu_\epsilon}{\sigma_\epsilon}) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i}) + S_\epsilon \quad (5)$$

2.3 계산조건

Fig. 1에서 보는 바와 같이 위아래에 입구부(Inlet)와 출구부(Outlet)가 있으며 사이즈는 9.5×0.5[m]로 둘 다 동일하다. 입구부(Inlet)에서는 속도 1.5m/s, 대기압, 온도 -25°C의 공기가 들어오게 되며 출구부(Outlet)는 대기압으로 빠져나가는 조건을 취하였다. 단순 모델링의 장갑차 재료와 대형 환경시험조 내의 초기온도는 각각 25°C이다. 본 연구에서는 저온의 공기가 내부로 유입될 때 과도 상태 유동해석을 수행함으로써 내부의 유동 상태를 파악하고 시간에 따른 재료의 온도 변화도 관찰할 수 있다.

3. 결과 및 고찰

3.1 대형 환경시험조 내의 유동 속도 분포

Fig. 3은 대형 환경시험조 내의 유동속도 분포를 보여주고 있으며 MIL-STD에 따르면 모든 환경시험조의 유동속도는 1.5m/s를 되도록 넘지 않아야 한다고 명시되어 있으므로 공기속도가 미약하여 덕트 길이 1.1[m]를 삽입하여 속도를 증가시키는 형태를 취했다. 속도가 대형 환경시험조 오른쪽 끝부분에는 미치지 못하였으나 유동이 형성되고 있음을 보여주고 있다. 장갑차 윗부분에서 와류가 형성이 되었고 또한 장갑차 내부에서도 유동이 형성되었다.

3.2 대형 환경시험조 내의 온도 분포

Fig. 4는 대형 환경시험조 내의 공기와 재료의 온도 분포를 나타낸 것이며 시간이 지남에 따라 공기가 -25°C에 접근하는 모습을 볼 수 있었고 최종 목표온도에서 대형 환경시험조 내에 고르게 분포되었음을 볼 수 있었다. 재료의 온도도 시간에 따라서 목표하는 시간에 도달되는 과정을 볼 수 있었으며, 장갑차 윗부분에서 공기가 유입되어 내부에 유동이 형성되었으나 정체되어 있는 모습을 볼 수 있었다. 그 정체로 인해 유동이 지연되어 대형 환경시험조 바깥쪽보다 온도가 늦게 떨어지는 결과를 볼 수 있었다.

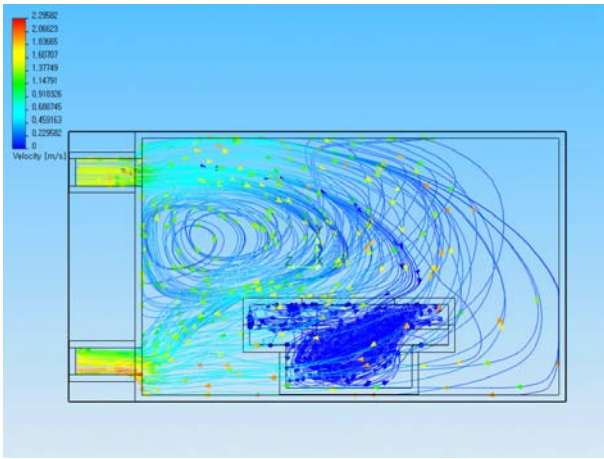


Fig. 3 Velocity distribution of air flow from 1.5m/s of inlet in large environmental tester

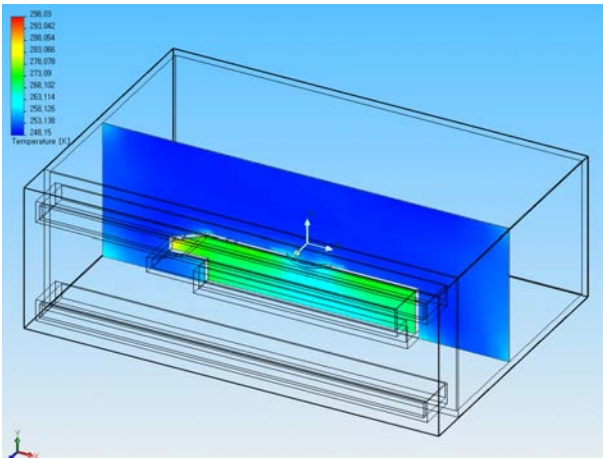


Fig. 4 Temperature distribution of air in large environmental tester

3.2 대형 환경시험조 내의 재료 온도 분포

Fig. 5는 대형 환경시험조 내의 장갑차 겉표면 재료 온도 분포에 대한 결과이며 시간에 따라서 재료의 온도가 감소하는 결과를 보여주고 있다. 입구부(Inlet)에서의 공기는 대략 5시간 만에 원하는 온도대에 도달하였고 직접 실험으로 측정된 장갑차 겉표면과 수치해석의 결과는 25시간에서 30시간 사이에 도달하였음을 알 수 있었다. 그러나, 실험결과와 수치해석의 결과가 5시간 대부터 11시간대 사이 구간에서 불일치하였다. 그 구간에서 6°C ~ 12°C까지 차이가 났는데 그 이유로는 실제 대형 환경시험조의 초기 유속 및 유동 속도 분포 차이, 재료 형상의 크기와 두께의 차이, 재료의 물성치 차이 등이 있을 수 있다.

실험과 수치해석 데이터의 불일치 구간을 좀 더 자세히 분석하여 Fig. 5의 결과 데이터를 좀 더 개선시키려면 장갑차의 윗면, 양옆면, 아랫면의 열전달계수 값이 시간에 따라서 다른 값을 가지므로 각 시간대마다 다른 열전달계수값을 사용해야 하고, 또한 입구부(Inlet)의 속도가 실제 속도값과 정확한지 멀티미터(Multi-meter)로 반복 측정하여 그 값을 알아내야 하며, 장갑차 재료의 물성치 또한 우리가 일반적으로 사용하는 값과 차이가 있으므로 그 물성치값을 확보하는 것이 중요하다고 생각된다.

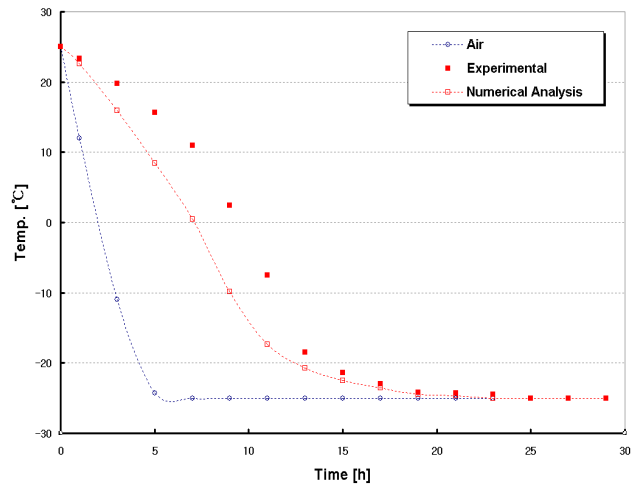


Fig. 5 Temperature variation with time for air flow and material

4. 결론

대형 환경시험조 내의 무기체계 열유동해석을 수행하였으며 그 결론은 다음과 같다.

[1] 대형 환경시험조 내의 공기 온도는 -25°C까지 도달하는데 5시간정도 소요된다.

[2] 대형 환경시험조 내의 장갑차 겉표면 온도는 -25°C까지 도달하는데 25시간에서 30시간 정도 소요된다.

[3] 재료의 온도 분포 결과에서 실험과 수치해석의 불일치 구간이 존재하였는데 그 이유는 실제 대형 환경시험조의 초기 유속 및 유동 속도 분포가 수치해석 조건과 다소 상이하며 재료 형상의 크기와 두께가 차이가 있으며 재료의 물성치가 다른 것 등이 될 수 있다. 그러나, 최종 목표 온도에 도달하는 시간은 실험과 수치해석이 잘 일치하였다.

[4] 향후 대형 환경시험조 내 공기 온도 변화 및 열전달계수 변화 등과 같은 유동 경계 조건을 잘 적용하면 보다 개선된 결과를 얻을 수 있으며, 그 연구가 현재 수행 중에 있다.

후 기

본 연구는 2006년도 제1단계 국방과학연구소 기초연구과제(No. UD060014AD) 연구비의 지원을 받아 수행되었으며 이에 감사드립니다.

참고 문헌

- (1) 이형식, 함병철, 이상호, 2005, 상부로부터 공기가 유입되는 챔버형 검사 장비의 내부 유동 해석, 대한기계학회 논문집
- (2) 이형식, 도기정, 이상호, 2006, 미소 챔버 내 복사열전달을 수반한 열유동 해석, 대한설비공학회 하계학술발표대회, pp.194~199
- (3) 김병철, 주동인, 2002, 열원이 부착된 수평 평판에서 복합 열전달에 관한 연구, 대한설비공학회 논문집 제14권 제6호, pp.512~518
- (4) 이형식, 박동렬, 이상호, 2005, 발열 강판을 포함하는 아연 도금 설비 내 유동장 해석, 대한기계학회 논문집
- (5) 명현국, 2006, 비정렬격자계를 사용하는 복합열전달 해석에서의 고-액 계면 처리방법, 대한설비공학회 논문집 제18권 제5호, pp.451~457
- (6) 이강엽, 김형모, 한영민, 이수용, 2002, 고온부 냉각을 위한 스웰챔버내의 유동 및 열전달 해석, 한국전산유체공학회 논문집 제7권 제3호
- (7) 이인태, 박상희, 2002, 열전도기관에 실장된 모듈로부터의 복합열전달, 대한기계학회 기계관련 산학연 연합심포지엄, pp.1413~1420
- (8) 이진호, 조성훈, 2001, 경사진 채널 밑면에 부착된 모사모듈의 복합열전달, 대한기계학회 춘계학술대회논문집 D, pp.471~476
- (9) 장병훈, 1999, 복합열전달과 열경계조건에 관한 연구, 대한기계학회 논문집 B권 제23권 제1호, pp.33~42
- (10) 김의광, 백병준, 박복춘, 조병수, 1995, 돌출된 열원이 부착된 수직채널내 복합열전달, 대한기계학회 추계학술대회 논문집(II), pp.391~395
- (11) F. P. Incropera, D. P. Dewitt, 2003, Introduction to heat transfer, 5th edition, John Wiley & sons, Inc.
- (12) Lei, T. K., 2001, Use of computational fluid dynamics applications in cleanroom design, *Journal of IEST*, Vol. 44, No. 2, pp.30~40
- (13) Nigen, J. S. and Amon, C. H., 1995, Effect of Material Composition and Localized Heat Generation on Time-Dependent Conjugate Heat Transfer, Vol. 38, no. 9, pp.459~470
- (14) Nakyama, W. and Park, S. H., 1996, Conjugate heat Transfer from a single surface mounted block to forced convection air flow in a channel, *Journal of Heat Transfer*, Vol. 118, pp.301~309