

일방향 연계를 활용한 연속가변 추력제어 시스템의 열전달 해석

이지훈* · 장한나** · 김규빈* · 조진연*† · 광재수** · 고준복*** · 박성한****

Heat Transfer Analysis for Variable Thrust Control System Using 1-Way Coupling

JiHun Lee* · HanNa Jang** · GyuBin Kim* · JinYeon Cho*† · JaeSu Kawk**
· JunBok Ko*** · SungHan Park****

ABSTRACT

In this study, heat transfer analysis of variable thrust control system have been conducted by using commercial CFD code and FEM code. We Carried out computational fluid dynamics analysis to obtain the temperature and convective heat transfer coefficient of hot gas of variable thrust control system. Data are used as boundary condition for heat transfer analysis using mapping method. Temperature of O-ring for sealing was predicted

초 록

본 연구에서는 상용 전산 유체 해석 코드와 상용 유한 요소 해석 코드를 연계하여 연속가변 추력제어 시스템의 열전달 해석을 수행하였다. 유동해석을 수행하여 온도 및 대류 열전달 계수를 도출하였고, 이 결과 값을 Mapping 방식을 이용하여 열전달 해석의 경계 조건으로 부가하였다. 열전달 해석을 수행하여 왕복 운동하는 추력조절기의 기밀을 위하여 장착되는 O-ring에 전달되는 온도를 예측하였다.

Key Words: Solid Rocket Motor(고체 추진 기관), Variable Thrust Control(가변 추력 제어), Heat Transfer Analysis(열전달 해석)

1. 서 론

고체 추진 로켓은 액체 추진 로켓에 비해 시

스템이 간단하여 제작과 유지비용이 저렴하고 운용 위험성이 적다는 장점이 있으나 추력 크기 조절이 어렵다는 단점이 있다. 근래의 무기체계 발전 방향은 유도무기의 높은 기동성(High maneuverability), 정밀 타격 능력(Accurate targeting ability), 사거리의 유연성(Flexible range)은 물론 비용절감, 적은 운용 위험성을 요구하는 추세이다. 이를 만족시키기 위해서 고체

* 인하대학교 항공우주공학과

** 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

*** (주) 한화 종합연구소

**** 국방과학연구소

† 교신저자, E-mail: c jy@inha.ac.kr

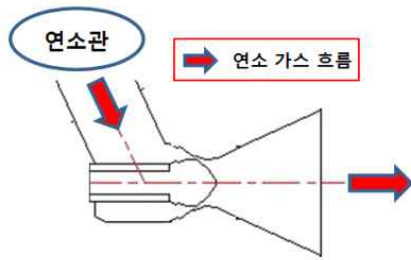


Fig. 1 Schematic of Variable Thrust Control System[5]

추진방식의 장점과 액체 추진방식의 장점을 모두 가지는 추진 기술이 요구되었다. 이에 유도무기 분야의 선진국에서는 추력 크기를 자유자재로 조절할 수 있는 고체 추진 방식의 연속 가변 추력제어 시스템 개발에 주력하고 있다[1-4].

연속 가변 추력제어 시스템은 연소가스에 의한 고온고압 환경에서 구동하기 위해 내열 성능 및 구조 성능의 예측이 필요하다.

본 연구에서는 Fig.1에 제시된 비정렬 연속 가변 추력제어 시스템에 대하여 유동해석 결과를 활용하여 구조물의 열전달 해석을 실시하였다.

2. 유동 해석

2.1 유동 해석 모델

본 연구에서는 추력 조절기의 개도에 따른 추력 성능을 분석하기 위하여 열유동 해석을 수행하였다. 가변형 추력기는 추력 조절기의 스트로크에 따라서 노즐 목의 면적이 변화되고 또한 연료의 질량유량도 바뀌게 되어 추력을 조절할 수 있다. 추력조절기는 고온고압의 환경에서 작동하게 되는데 이 때 과도한 열부하가 걸리게 된다. 본 연구에서는 개도가 100%인 경우의 가변형 추력기를 3차원으로 모델링하여 정상상태에서의 온도분포 및 그에 따른 열응력과 변형을 예측하는데 목적이 있으며, 유동 해석 조건은 Table. 1과 같다.

Table. 1 CFD Analysis Condition

CFD Solver	Ansys CFX 14.5
Working Fluid	Hot Gas
Inlet Condition	Total Pressure(2500psi)
Number of Grid	Approx. 4.5Million

입구에서 2000K 이상의 고온의 가스가 2500psi의 압력으로 유입된다. 외부 대기 조건은 압력 101325Pa, 온도 300K, 고도 0km의 대기압 조건으로 설정하였다. 해석을 위한 난류모델의 선정은 NASA 선형 연구와 비교하여 타당성 검증한 결과를 바탕으로 $k-w$ 모델을 사용하였다.[6]

유동장 구성을 위한 모델링은 Ansys Workbench 14.5를 이용하였고, 격자는 ICEM 14.5로 생성하였다. 계산의 효율성을 위하여 격자 독립성을 수행하였으며, 그 결과 약 400만개의 노드 수를 가지는 격자를 기본으로 전산해석을 진행하였다.

2.2 유동 해석 결과

정상상태에서의 유동 해석을 한 결과, 노즐 목을 지나기 전에는 높은 압력과 더불어 상대적으로 높은 열전달 계수 분포가 나타나고, 노즐 목 주변에서 Shock과 유동 교란의 영향으로 높은 열전달 계수가 더욱 두드러지게 나타난다. 아울러 노즐 목을 지난 후에 압력 분포가 낮게 나타남을 확인하였다.

3. 열전달 해석

3.1 열전달 해석 모델

열전달 해석은 ABAQUS 6.16으로 수행되었으며, 유동 해석 결과 중 온도와 열전달 계수를 ABAQUS의 Mapped Field 기능을 이용하여 열전달 해석의 경계조건으로 사용하였다.

해석 시간은 10초이며, 각 구성품의 열 전달은 완전 전도로 가정하였다.

구성품의 재질은 C/SiC, AISI4130, Silica Phenolic, Rhenium, Graphite, Carbon Phenolic, Grafoil, Rubber 등으로 구성하였다.

연소가스와 접촉하는 부분 중 노즐목과 추력 조절기는 Rhenium이며, 그 외 부분은 C/SiC이다.

추력조절기는 액츄에이터에 의해 움직이며, 노즐 목 면적을 조절하여 추력이 변하도록 한다. 이 때 구동기로 연소가스가 유입되는 것을 방지하기 위하여 O-ring이 필요하다. 연소가 진행됨에 따라 고온의 연소가스에 의해 구성품의 온도가 상승하게 되는데, O-ring에 전달되는 열은 추력 조절기(Rhenium)와 연소관(C/SiC)으로부터 전달되는 두 가지 경로로 구분할 수 있다.

본 연구에서는 연소관의 재질인 C/SiC의 Conductivity에 따라 O-ring 온도의 변화를 비교하였다.

해석에 사용한 C/SiC의 Conductivity는 Table. 2와 같다.

Table. 2 Conductivity of C/SiC

	k11	k22	k33	온도
	W/m/°C			°C
Case1	50	50	100	20
	25	25	50	1200
Case2	5	5	10	-

3.2 열전달 해석 결과

Fig. 2와 Fig. 3은 Case1과 Case2 조건일 때, O-ring의 정규화된 온도 분포를 나타낸다.

Fig. 4는 Case1과 Case2의 정규화 온도 중 최대값을 시간에 따라 비교 도시한 그래프이다.

O-ring의 내열 한계 온도를 1이라고 할 때, Case1과 Case2 모두 내열 한계 온도를 초과하지 않는 것으로 나타나지만, C/SiC의 Conductivity가 큰 Case1의 온도가 Case2에 비해 높게 나타

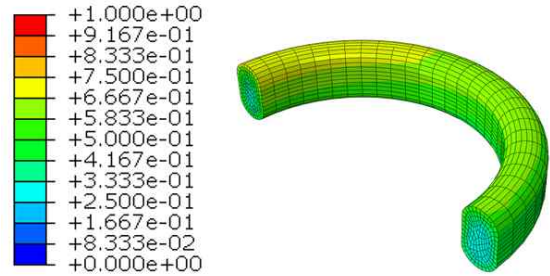


Fig. 2 Normalized Temperature Distribution of O-ring(Case1)

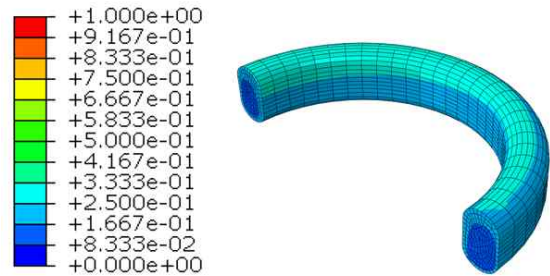


Fig. 3 Normalized Temperature Distribution of O-ring(Case2)

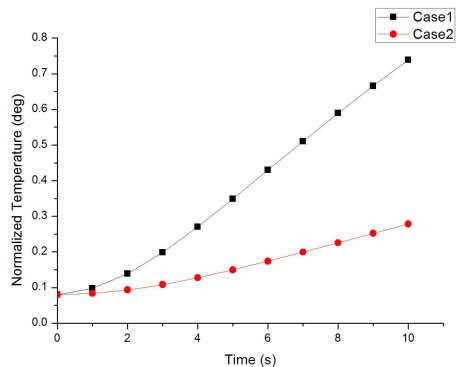


Fig. 4 Maximum Normalized Temperature

나는 것을 확인할 수 있다.

이 결과는 추력 조절기의 재질이 동일할 경우, 연소관의 Conductivity에 따라 O-ring의 온도가 달라질 수 있음을 의미한다.

O-ring의 온도를 낮추기 위하여 연소관의 재

질 선정 시 Conductivity가 낮은 재료를 선택하여야 한다.

4. 결 론

본 연구에서는 유동 해석 결과를 활용하여 연속가변 추력 제어 시스템의 열전달 해석을 수행하였으며, 다음과 같은 결론을 도출하였다.

1. 연소가스가 노즐 목을 통과하기 전까지 높은 압력을 유지한다.
2. 노즐 목에서 높은 열전달 계수 분포를 보인다.
3. 연소관의 Conductivity가 낮을수록, O-ring의 온도가 낮아진다.
4. 열-구조 연성 해석을 수행하기 위한 기초 자료를 확보하였다.

후 기

본 연구는 국방과학연구소와 (주)한화의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. 김중근, "Pintle을 적용한 고체 추진기관 가변 추력기술", 국방기술연구, 제11권, 제2호, 2005, pp.33-44
2. Unmack, K. E., "Wide Range Thrust Throttling of a Solid Rocket Motor", AIAA-87-2085
3. Burroughs, S., "Status of Army Pintle Technology for Controllable Thrust Propulsion", AIAA-2001-3598
4. 민병선, 김창기, and 유지창. "가변추력 로켓 모타용 고성능 고체 추진제에 관한 연구." 한국추진공학회 학술대회논문집 (2010): 317-320.
5. 진정근, et al. "Baffle 이 있는 핀틀-노즐 추력기의 압력 거동." 한국추진공학회 학술대회논문집 (2013): 267-272.
6. L.H. Back, P.F. Massier, H.L. Gier, "Convective Heat Transfer in a Convergent-Divergent Nozzle", JET Propulsion Laboratory California Institute of Technology Pasadena, California, 1965