

막냉각을 고려한 로켓엔진 연소실 열전달 비정상 해석

하성업* · 문일윤* · 이수용*

Transient Analysis on Heat Transfer of Rocket Engine Combustion Chamber Considering Film-cooling

Seong-up Ha* · Il-yoon Moon* · Soo-yong Lee*

ABSTRACT

Transient Analysis on heat transfer of rocket engine combustion chamber and wall temperature variation was carried out, especially, calculations of LOx/kerosene rocket engine with/without fuel film-cooling were conducted. Convective and radiative heat flux inside combustion chamber wall were calculated by the empirical equations for rocket engine combustion, and conduction of wall interior was calculated by numerical method with 2D axisymmetric grid. In this calculations the transient variations of wall temperature, the location changes of peak temperature and so on affected by film-cooling were analyzed.

초 록

LOx/케로신 로켓엔진 연소실 연소실로 전달되는 열전달과 그에 따른 벽온도 변화를 비정상 해석하였다. 막냉각이 없는 경우와 연료 막냉각이 있는 경우를 계산하였으며, 연소실 내측의 대류, 복사는 로켓엔진에 대한 경험식을 이용하였고, 벽 내부의 전도는 2차원 축대칭의 형태로 수치해석 하였다. 본 해석을 통하여 막냉각 냉각효과에 의한 벽면 온도의 시간에 따른 변화, 최대온도 지점의 변화 등을 분석하였다.

Key Words: Heat Transfer(열전달) Liquid Rocket Engine(액체로켓엔진), LOx(액체산소), Kerosene(케로신), Film Cooning (막냉각)

1. 서 론

액체추진제 로켓엔진에 있어 막냉각에 의한 연소실 벽냉각은 재생냉각과 더불어 가장 널리

사용되어 온 방법이다. 그러나 막냉각은 표면장력에 의한 액막의 형성, 기화, 혼합 등 그 물리적 복잡성으로 인하여 아직까지는 완전한 수치해석적인 접근이 쉽지 않은 상태다. 본 해석에서는 연소실 내벽에 막냉각이 존재할 때 시간에 따른 비정상 해석이 가능한 모델을 제시하고, 그 결과를 논하고자 한다.

* 한국항공우주연구원 미래로켓추진팀

† 교신저자, E-mail: haje@kari.re.kr

2. 계산모델

본 해석에서는 연소압 50 bar, O/F 비 2.72, 추력은 고공 10 톤급 연소실을 예로 해석하였다. 이 때 94% 효율을 고려하면 진공비추력 331초, 유량은 30.2 kg/s, 노즐목직경은 0.114 m가 된다. 벽은 5 mm 의 stainless steel로 가정하였다.

연소실 안에서 벽으로 전달되는 대류 및 복사 열전달은 참고문헌 [1]의 경험식을 사용하였다. 연소실 외벽에서 외부공간으로 전달되는 대류열 전달은 총괄열전달계수 25 kJ/sm²K를 가정하였으며, 전도계수는 크롬강을 기준으로 하여 0.75를 주었다. 막냉각에 의해 액막이 존재하는 길이, 기화 후 혼합하는 특성 역시 참고문헌 [1]의 경험식을 적용하였다. 연소실 안쪽의 열전도는 축대칭 2차원으로 해석하였으며, 비정상해석을 위한 시간간격은 0.001초를 적용하였다.

그림 1에 막냉각이 없는 경우, 그리고 총유량 대비 4%, 8% 유량의 연료막냉각이 있는 경우 시간에 따른 벽온도 변화를 대표적으로 도시하였다.

3. 결 론

막냉각이 없는 경우 큰 열부하로 인하여 연소실의 온도는 빠르게 증가하였으나, 연료 막냉각을 적용함으로써 열부하를 크게 낮출 수 있음을 확인하였다. 위치와 시간에 따른 열해석을 통하여 막냉각이 있는 경우 액막의 증발, 혼합에 따라 최대온도지점은 노즐 목 근처가 아닌 그보다 후단에서 나타났으며, 연소실부는 빠르게 정상상태 온도에 도달하는 반면 노즐 확대부 측은 상대적으로 느린 온도상승을 보였다.

참 고 문 헌

1. A. П. Васильев, В. М. Кудрявцев, В. А. Кузнецов, В. Д. Курпатенков, А. М. Обельницкий, В. М. Поляев, Б. Я. Полуян, Основы теории и расчёта жидкостных ракетных двигателей, 4-е изд. -

М.: Высшая школа, 1993

2. М. В. Добровольский, Жидкостные ракетные двигателей, - М.: издательство МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005

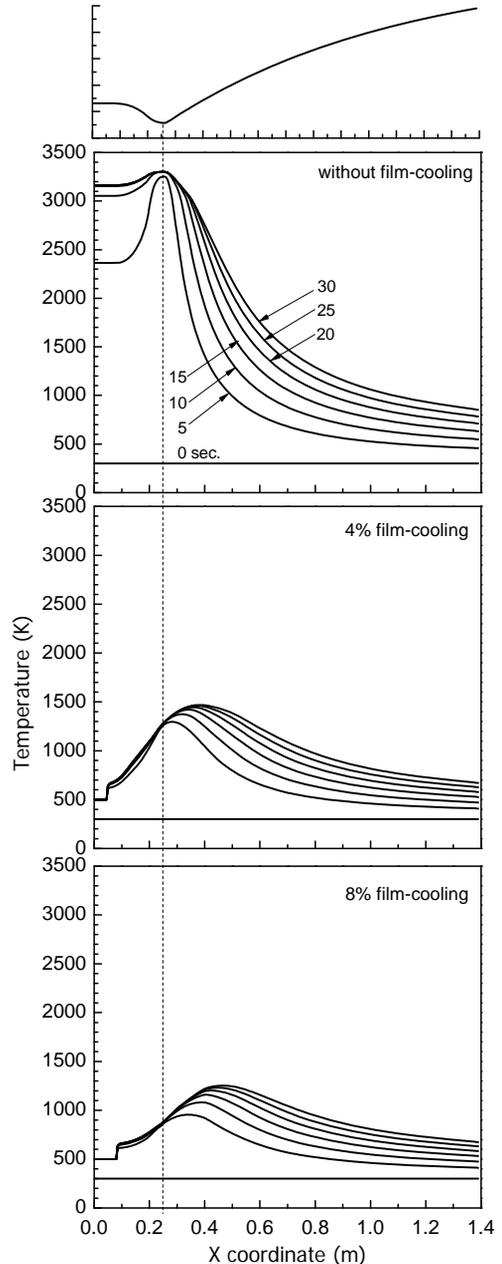


Fig. 1 Transient variation of temperature