

냉각라이너의 설계변수가 냉각성능에 미치는 영향

정해승* · 윤현걸*

Effect of Design Parameters on the Cooling Performance of Cooling Liner

Hae Seung Jeong* · Hyun Gull Youn*

ABSTRACT

This study aims to analyze the effects of design parameters of the slotted cooling liner for air-breathing propulsion system. The three kinds of design parameters of the slotted cooling liner were selected and were investigated effect on the cooling performance of the slotted cooling liner. In this paper calculation results for inner wall temperature of cooling liner from heat transfer calculations were presented

초 록

본 연구는 공기흡입식 추진기관을 위한 슬롯형 냉각라이너의 설계변수가 냉각성능에 미치는 영향을 살펴보기 위한 것이다. 슬롯형 냉각라이너의 설계변수 세가지를 선정하여 냉각성능에 미치는 영향을 분석하였다. 본 논문에서는 슬롯형 냉각라이너의 각 설계변수에 대한 열전달 계산으로부터 얻어진 내벽온도 계산결과를 비교하였다.

Key Words: Cooling liner(냉각라이너), 열전달(Heat Transfer)

1. 서 론

고온의 연소가스로부터 장시간 열부하를 받고 있는 공기흡입식 추진기관의 연소실은 손상을 입지 않기 위해 내벽을 열적으로 보호하여야 한다. 이를 위하여 추진기관의 흡입구로 유입된 공기의 일부를 분리하여 연소실 내벽에 공기 막을 형성하도록 함으로 연소실 벽면을 냉각시킨다.

슬롯을 통해 연소실 내부로 냉각 공기를 분사하여 연소가스와 냉각라이너 내벽 사이에 막을 형성하는 슬롯 막냉각 방법을 적용한 냉각라이너에 대한 연구는 냉각 효율을 높이기 위해 슬롯의 형상과 분사방법 등에 대한 실험을 통해 연소가스 측에서의 냉각특성(막냉각 효율, 속도분포 등)에 대한 것이 주를 이뤘다[1-3]. 또한, 슬롯형 냉각라이너에서의 열전달 현상을 규명하기 위해 해석적으로 냉각특성을 예측하는 노력도 이뤄지고 있다[4, 5]. 본 논문은 슬롯형 냉각라이너의 열전달 계산을 통해 설계변수가 냉각성능

* 국방과학연구소 1기술연구본부 5부

† 교신저자, E-mail: crossmusic@hanafos.com

에 미치는 영향을 살펴보았다.

2. 본 론

2.1 슬롯형 냉각라이너 형상

공기흡입식 추진기관의 슬롯형 냉각라이너를 적용 형상은 Fig. 1에서 디퓨저(단면 A-A로부터 단면 X-X에 이르는 구간), 연소실(단면 X-X로부터 단면 B-B에 이르는 구간)과 노즐(단면 B-B로부터 단면 Th-Th 또는 단면 E-E에 이르는 구간) 등 세 부류로 나눌 수 있다.

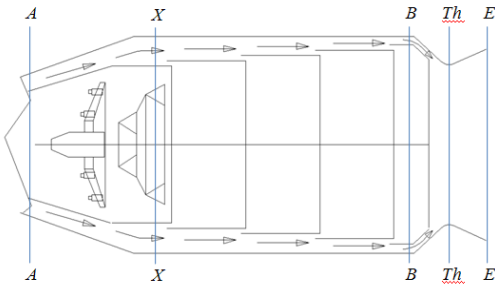


Fig. 1 Scheme of Air-breathing Combustor with Slotted Cooling Liner

2.2 슬롯형 냉각라이너 설계 및 설계변수

슬롯형 냉각라이너 설계의 주요 고려사항은 다음과 같다.

첫째, 충분한 냉각공기를 확보해야 한다는 것이다. 흡입구로 유입된 공기를 연소실로 직접 유입되는 양과 냉각라이너로 유입되는 양으로 적정하게 분할하여 연소실 냉각에 충분한 냉각공기 양을 확보해야 한다. 이때, 연소실로 직접 유입되는 공기의 연료 분사 컬렉터(fuel collector) 및 화염안정화장치(flame stabilizer) 부분에서의 공력하중(aerodynamic drag)을 고려해야 한다.

둘째, 냉각공기의 적정 배분 및 효과적인 냉각 성능을 확보하는 것이다. Fig. 1의 A-X구간에 있는 디퓨저(Diffuser)의 재순환 영역 억제를 위한 형상 설계를 하여야 하며, 냉각 성능에 영향을 주는 형상 파라미터들에 대한 분석을 수행하여 효과적인 냉각 성능을 확보하도록 하여야 한다.

셋째, 냉각라이너 형상(길이, 두께, 경사각, 냉

각유로 높이 및 간격 등)을 결정하는 것이다. 충분한 냉각 성능 확보를 위한 냉각라이너 설계 변수에 따른 영향을 분석한다. 이때, 냉각라이너 형상의 제작성 및 제작비용을 고려해야 한다.

마지막으로 냉각라이너의 소재를 선정하는 것이다. 공기흡입식 추진기관의 운용조건에 적합한 내열 소재를 결정해야 한다. 이때, 소재의 제작성(성형 및 용접) 및 수급의 원활 정도를 고려하여야 한다.

슬롯형 냉각라이너의 설계과정은 다음과 같다.

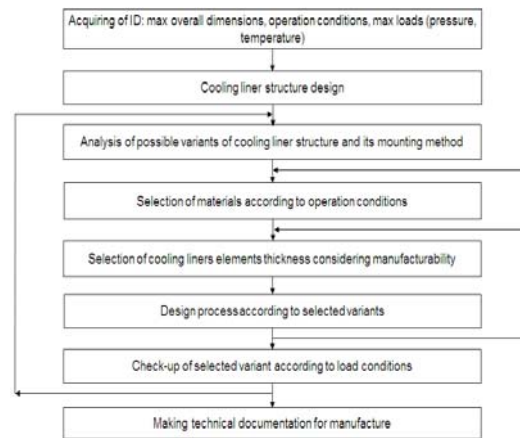


Fig. 2 Design Procedure of Slotted Cooling Liner

냉각라이너의 설계변수는 다음과 같은 것들이 있다.

- 냉각공기의 총 유량($Q_{cooling}$)
- 냉각라이너의 직경(D), 길이(L), 두께(t)
- 냉각라이너와 연소실 내벽간의 간격(H)
- 냉각라이너 간의 간격(h)
- 냉각라이너와 연소실의 체결방법
- 냉각라이너의 수

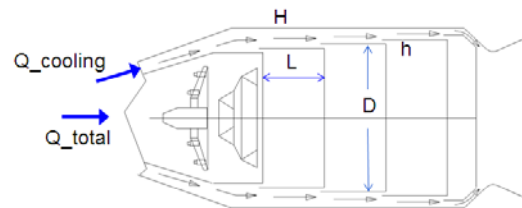


Fig. 3 Design Parameters of Cooling Liner

이 중에서 본 연구에서는 냉각라이너의 수, 냉각라이너와 연소실 내벽간의 간극 및 냉각라이너 간의 간극이 냉각성능에 미치는 영향을 살펴 보았다. 냉각성능의 비교는 냉각라이너의 내벽 온도를 기준으로 하였다.

2.3 냉각성능 비교

기존 연구[5]에서도 적용된 아래 그림과 같은 형상을 기준으로 설계변수의 변화에 따른 열전달 계산을 수행하였고, 냉각라이너의 내벽온도를 비교하였다.

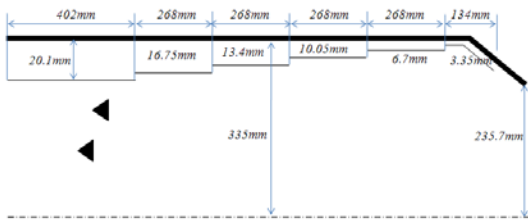


Fig. 4 Basic Geometry

계산조건은 Mach 수 0.8, 고도 0km로 하였고, 탄화수소계 연료를 사용하는 연소기를 모델로 하였다. 냉각라이너의 벽 두께와 연소실 벽 두께는 모두 1mm로 하였고, 열전도도는 20 W/mK으로 하였다.

냉각라이너의 수는 Fig. 4의 연료분사장치와 화염안정화장치 부분 그리고 노즐입구 부분에 위치한 냉각라이너를 제외한 나머지의 수를 4개와 2개로 축소한 경우를 비교하였고, 냉각라이너와 연소실 내벽간의 간극은 Fig. 4의 간극과 1mm씩 늘이거나 줄인 경우를 비교하였으며, 냉각라이너 간의 간극은 Fig. 4의 간극과 1mm씩 늘이거나 줄인 경우를 비교하였다.

각 설계변수에 따른 냉각라이너의 내벽 온도 변화는 Fig. 5~Fig. 7과 같이 나타났다. Fig. 5는 냉각라이너와 연소실 내벽간 간극의 변화에 따른 냉각라이너 내벽의 온도분포를 보여주고 있다. 냉각라이너와 연소실 내벽간 간극이 커질수록 냉각라이너의 내벽온도는 상승하였으나, 간극이 1mm와 2mm 증가한 경우를 비교하면, 전반

적으로 큰 차이가 없는 것으로 나타났다. Fig. 6은 냉각라이너 간의 간극의 변화에 따른 냉각라이너 내벽의 온도분포를 보여주고 있다. 냉각라이너 간의 간극이 커질수록 냉각라이너 내벽온도는 상승하는 것을 볼 수 있다. 1.35mm의 경우, 다른 두 경우와는 달리 두 번째 냉각라이너의 내벽온도가 급격히 상승하는 것을 볼 수 있는데, 이것은 첫 번째와 두 번째 냉각라이너 사이로 냉각공기가 충분히 지나가지 못해 일어나는 현상으로 보인다. 따라서 냉각라이너 간의 간극은 1.35mm보다는 크게 하는 것이 나을 것이다.

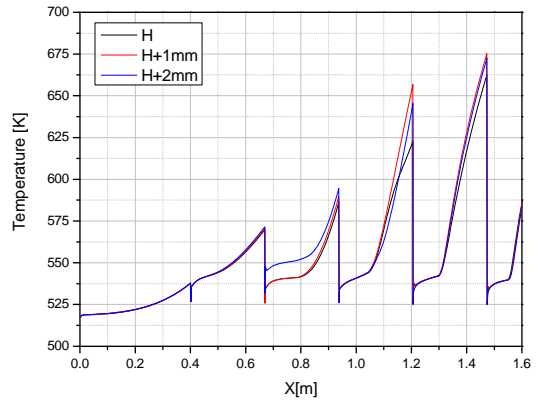


Fig. 5 Comparison of Wall Temperatures with the Gap of Combustion Chamber Inner Wall & Cooling Liner

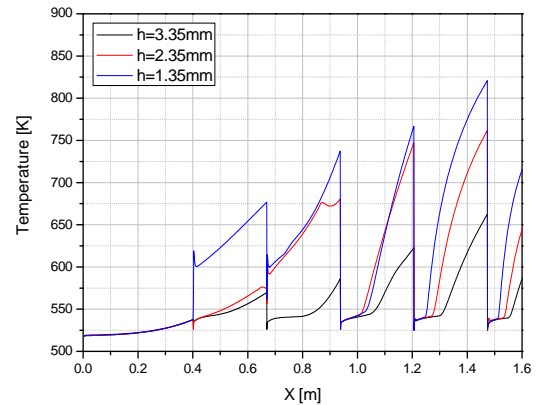


Fig. 6 Comparison of Wall Temperatures with the Gap Between Cooling Liners

Fig. 7은 냉각라이너 수의 변화에 따른 냉각라이너 내벽의 온도분포를 보여주고 있다. 냉각라이너 수가 적을수록 냉각라이너 내벽온도는 크게 상승함을 볼 수 있는데, 냉각라이너의 소재에 따라서 그 수량을 적절히 선정하는 것이 바람직하겠다.

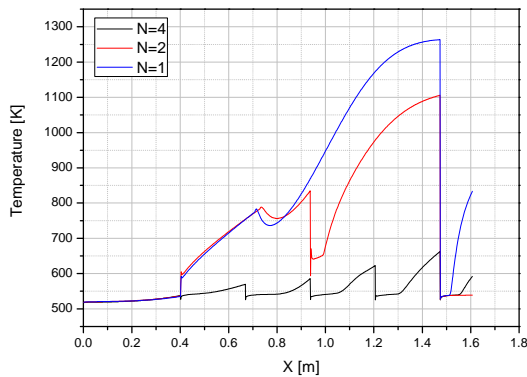


Fig. 7 Comparison of Wall Temperature with the Number of Cooling Liner

3. 결 론

슬롯형 냉각라이너의 세가지 설계변수가 냉각 성능(냉각라이너의 내벽 온도)에 미치는 영향을 살펴보았다. 냉각라이너의 수와 냉각라이너 간의 간극은 냉각라이너의 내벽 온도에 크게 영향을 미치는 것을 알 수 있었으며, 연소실 내벽과 냉

각라이너 간의 간극은 앞서 언급한 두 설계변수에 비해 작게 영향을 주고 있음을 알 수 있었다. 각 설계변수가 냉각성능에 미치는 영향을 고려하고, 적용소재도 함께 고려하여 냉각라이너를 설계하는 것이 바람직할 것이다.

참 고 문 헌

1. 조용일, 유만선, 정학재, 조형희, "축소노즐내 슬롯 막냉각에서의 열전달 특성," 한국추진공학회지, 제5권, 제1호, 2001, pp.34-41
2. 송지운, 이진우, 조형희, 황기영, 함희철, "램제트 연소실에 적용되는 막냉각 시스템 설계," 한국추진공학회 춘계학술대회 논문집, 2009, pp.406-407
3. 이진우, 송지운, 조형희, 황기영, "화염안정기 형상이 램제트 연소실에서의 슬롯 막냉각 특성에 미치는 영향," 한국추진공학회 춘계학술대회논문집, 2008, pp.315-320
4. Murray, S. B., "A Calculation Method for Convective Heat and Mass Transfer in Multiply-Slotted Film Cooling Applications," Suffield Technical Paper No.507, 1980
5. 정해승, 황기영, 윤현길, "슬롯형 냉각라이너에서의 열해석," 한국추진공학회 추계학술대회논문집, 2010, pp.642-647