

# 대체 혼합물을 이용한 케로신의 초임계 열전달 특성 예측

이상훈\* · 양인영\* · 박부민\*\* · 이진희\*\*\*

## Prediction for Heat Transfer Characteristics of Supercritical Kerosene Using Mixture Surrogate

Sanghoon Lee\* · Inyoung Yang\* · Boo-min Park\*\* · Jinhee Lee\*\*\*

### ABSTRACT

In this study heat transfer characteristics of kerosene at supercritical condition was predicted. And a sample heat transfer calculation was performed using this result. The prediction was done by assuming kerosene as a mixture of a number of pure substances, and combining the thermodynamic properties of them, using NIST SUPERTRAPP. A regeneratively cooled supersonic combustor will be desinged using the resultant thermophysical property data of supercritical kerosene. Comparing with the combustion test results of the regenerative cooling combustor, the predicted thermophysical property data will be verified.

### 초 록

본 연구에서는 대체 혼합물을 이용하여 케로신의 초임계 조건에서의 열전달 특성을 예측하고 이를 열전달 계산에 적용하는 연구를 수행하였다. 케로신의 열전달 특성은 NIST SUPERTRAPP을 사용하여 대표 물질의 열물성 데이터를 조합함으로써 모사하였다. 본 연구를 통해 획득한 케로신의 열물성 DB는 초속 연소기의 재생 냉각 열교환기의 설계 변수 결정에 사용할 예정이며, 재생냉각 연소기의 연소 시험 결과와 비교를 통해 예측된 열물성 데이터의 타당성을 검증해 나갈 예정이다.

Key Words: Scramjet Engine(스크램젯 엔진), Supersonic Combustion(초음속 연소), Kerosene(케로신), Regenerative Cooling(재생 냉각), Supercritical Condition(초임계 조건)

### 1. 서 론

스크램젯(scramjet) 엔진에 있어서의 대표적인

기술적 어려움은 초음속 환경 하에서의 연소 유지와 엔진 고온부의 냉각 문제이다. 이러한 문제들을 해결하는 방법으로서 로켓에서 많이 적용하고 있는 재생 냉각(regenerative cooling) 기술을 적용하는 방법이 제시되어 있다. 스크램젯 엔진은 로켓과는 달리 냉각에 사용 가능한 연료 유량이 적고 더욱이 케로신을 연료로 하는 스크

\* 한국항공우주연구원 엔진시스템연구팀

\*\* 한국항공우주연구원 엔진부품연구팀

\*\*\* 과학기술연합대학원

† 교신저자, E-mail: hunsh@kari.re.kr

램젯 엔진의 경우 케로신은 수소에 비해 열용량이 더욱 적다는 점이 문제가 된다. 따라서 케로신 연료 스크램젯 엔진에서는 재생 냉각 채널에서 연료의 끓는점 온도 이상까지 열교환하는 것을 고려하는 것이 로켓과의 차이점이다.

열교환 채널 내에서 연료의 상변화가 있을 경우 이 지점에서 급격히 유동의 부피가 팽창하고 열전달량이 떨어지는 단점이 있다. 이를 방지하기 위해 열교환기를 연료의 초임계 조건에서 운전하는 개념이 제시되었다.

본 연구에서는 대체 혼합물을 이용하여 케로신의 초임계 조건에서의 열전달 관련 물성값을 모사하는 연구를 수행하였다. 이를 통해 초임계 조건을 포함한 재생 냉각 연소기를 설계하기 위한 설계 자료를 확보하고자 하였다. 또한 이렇게 확보한 열전달 물성값을 적용하여 실제 열교환기 계산을 수행하기 위한 방법론을 연구하였다.

## 2. 연구 방법 및 결과

### 2.1 대체 혼합물을 이용한 케로신의 열전달 특성 예측

케로신은 다양한 종류의 탄화수소계 물질이 혼합된 혼합물로서 생산지별 제조사별로 허용 범위 내에서 주요 물성 특성의 차이를 나타낸다. 따라서 케로신의 열물성을 정확히 모델링 하는 것은 상당히 어려운 일이며, 많은 연구에서는 몇 종의 대표 물질을 혼합한 대체 혼합물으로써 케로신을 모사하고자 하는 시도를 하고 있다. Kim 등[1]은 n-dodecane 31%, n-tetradecane 38%, 1,2,4-trimethylbenzene 31%의 혼합물으로써 Jet-A를 모사하였다. Li 등[2]은 n-dodecane 20%, methylcyclohexane 20%, n-tetradecane 10%, n-hexadecane 10% 등 총 10종을 혼합하여 China RP-3 aviation kerosene을 모사하였다. 본 연구에서는 스크램젯 엔진의 열전달 및 냉각 성능 예측을 위해 현재 보고된 케로신의 대표적인 대체 화합물에 대한 열전달 특성을 예측하고 그 결과를 비교하였다. NIST SUPERTRAPP[3]을 활용하여, 대표성을 갖는 물리적 대체 화합물의 조성과 분석적인 기법에 따른 고온 고압의 초임계

조건에서의 케로신의 열전달 특성을 비교 및 예측하였다.

### 2.2 열전달 계산

열전달 계산을 위해 Fig. 1과 같은 가상의 재생 냉각 열교환기 형상을 가정하였다. 그림에서 아래쪽 벽면 내부에 연료 유로가 있어 고온 기체와 열교환하고, 계산의 편의상 나머지 3개 면은 열교환하지 않으며 연소기 외부 벽면은 단열로 가정하였다.

고온 기체는 연소 기체로서 계산의 편의상 연소 반응이 완료된 유동으로 가정하였다. 연료 유로는 유로 폭( $W_{ch}$ ) 2 mm, 높이( $H_{ch}$ ) 2 mm, 유로 간 거리( $\delta_{ch}$ ) 2 mm, 유로와 고온 유로 사이의 거리( $\delta_{wall}$ ) 2 mm, 유로의 개수는 4 개로 하였다. 연료 유로의 유량은 총 30.6 g/s, 유동 조건은 입구에서 압력 3.0 MPa, 온도 300 K으로 가정하였다.

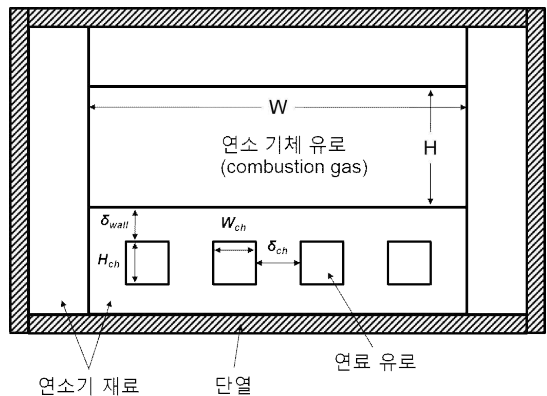


Fig 1. 재생 냉각 열교환기 형상

## 3. 결론

본 연구에서는 NIST SUPERTRAPP을 활용하여 현재 보고된 케로신의 대표적인 대체 화합물에 대한 열전달 특성을 예측하고 그 결과를 비교하였다. 이러한 연구를 통해 획득한 케로신의

열물성 DB는 초속 연소기의 재생 냉각 열교환기의 설계 변수 결정에 사용할 예정이며, 향후 재생냉각 연소기의 연소 시험 결과와 비교를 통해 예측된 열물성 데이터의 타당성을 지속적으로 검증해 나갈 예정이다.

#### 후 기

이 논문은 2016년 정부(미래창조과학부)의 재원으로 국가과학기술연구회 민군융합기술연구사업(No. CMP-16-06-KARI)의 지원을 받아 수행된 연구임.

#### 참 고 문 헌

1. Kim, S.K., Joh, M., Choi, H.S. and Park, T.S., "Effective Modeling of Conjugate Heat Transfer and Hydraulics for the Regenerative Cooling Design of Kerosene Rocket Engines," *Numerical Heat Transfer, Part A*, Vol. 66, pp. 863-883, 2014.
2. Li, X., Huai, X., Cai, J., Zhong, F., Fan, X. and Guo, Z., "Convective Heat Transfer Characteristics of China RP-3 Aviation Kerosene at Supercritical Pressure," *Applied Thermal Engineering*, Vol. 31, pp. 2360-2366, 2011.
3. Huber, M.L., *NIST Thermophysical Properties of Hydrocarbon Mixtures Database (SUPERTRAPP) Version 3.1 User's Guide*, U.S. Department of Commerce, Gaithersburg, MD, 2003.