

## 프레임워크를 이용한 연료공급 및 냉각계통 예비설계 프로그램 개발

최세영<sup>1,†</sup> · 박수용<sup>1</sup> · 현석호<sup>2</sup> · 최원<sup>2</sup> · 박정배<sup>3</sup>

<sup>1</sup>(주)제이엔엠메카텍

<sup>2</sup>(주)한화기계 항공우주연구소

<sup>3</sup>국방과학연구소 제4기술연구본부

### A Development on Conceptual Design Tool of Fuel Supply and Cooling System for High-speed Vehicles using Fluid-thermal System Design Framework

Seyoung Choi<sup>1</sup>, Sooyong Park<sup>1</sup>, Seokho Hyun<sup>2</sup>, Won Choi<sup>2</sup> and Jeongbae Park<sup>3</sup>

<sup>1</sup>JNM MECA Tech Co., Ltd.

<sup>2</sup>Aerospace R&D Center, Hanwha Corporation/Machinery

<sup>3</sup>The 4th R&D Institute, Agency for Defense Development

#### Abstract

In this study, we propose a conceptual design tool to develop fuel supply and engine cooling systems for high-speed vehicles. The preliminary designing of the systems and their validation were performed using this tool. Improvement in the design tool program was made using the fluid-thermal system design framework, which was applied to ensure efficient data processing using combined modules. The model geometry and thermal environment values were entered into the program. The thermodynamic properties of the system components were computed using the design tool, and simulation was performed to check the satisfaction rate of the requirements. It is hypothesized that our proposed design tool would be suitable for designing components for use in fuel supply and engine cooling systems of high-speed vehicles.

#### 초 록

고속 비행체의 연료공급 및 냉각계통의 통합설계를 위한 프로그램을 개발하고 이를 이용하여 예비설계 및 검증을 수행하였다. 개발된 설계 도구는 상용 열유체 시스템 설계 프로그램을 프레임워크로 이용하여 모듈 통합과 입출력 처리 등이 개선되었다. 모델의 형상 및 열환경 변수를 입력하여 구성품의 상대량을 계산하고 모사를 통하여 설계 요구조건 충족을 확인할 수 있다. 이 프로그램을 사용하여 시스템의 세부 구성품 규격 선정에 적절하게 사용할 수 있음을 나타내었다.

**Key Words :** High-speed Vehicle(고속비행체), Fuel System(연료계통), Cooling System(냉각계통), Design Tool(설계 도구), Framework(프레임워크)

## 1. 서 론

고속비행체에서는 시스템에 가해지는 공력가열 및 내부연소열등의 열부하를 효과적으로 처리할 수 있어야 한다. 이를 위해 공간과 중량이 제한되는 시스템 특성

상 흡열연료를 이용하여 공급 및 냉각을 동시에 수행할 수 있는 방식이 많이 사용되고 있다. 여기에서 원활한 연료 공급을 위한 공급계통과 열부하 처리를 위한 냉각계통을 통합적으로 설계하는 것이 유리하다. 이러한 통합시스템 개발을 위하여 선행연구에서는 설계과정을 제시하여 개발구조와 방향을 설정하였다[1]. 또한, 기술동향 및 해외 개발 사례 분석을 통하여 개발 요구도를 파악하였다[2]. 다음으로 열시스템 설계

Received: Nov. 30, 2017 Revised: June. 19, 2018 Accepted: June. 20, 2018

† Corresponding Author

Tel: +82-31-689-4755, E-mail: cs@jnm.co.kr

© The Society for Aerospace System Engineering

알고리즘 및 열환경 분석을 수행하였고[3], 시스템 해석을 진행하였다[4]. 이상의 연구성과를 바탕으로 계산모듈을 통합하고 효율적인 입출력 처리 등의 편의성을 위해 상용 소프트웨어를 활용한 설계 프로그램을 개발하였다. 이는 범용성 및 기능 확장성이 증대되고 유지보수가 편리하며 다양한 출력이 지원되는 장점이 있다. 또한 회로 구성시 모듈별 적용이 용이하여 구조 및 배치와 목적에 따른 변경에 편의성이 높다. 또한 발생열 계산 모듈을 통합하여 열경계 조건을 자동 입력할 수 있게 함으로써 빠른 결과 확인과 정확성을 증대시킬 수 있다. 본 논문에서는 이와 같은 특성을 가진 설계 프로그램을 이용하여 예비설계 및 검증을 수행하였다.

## 2. 프로그램 개발

### 2.1 개발 현황

통합설계도구 개발 및 개선을 위해 열시스템 설계도구의 선행 개발사례를 검토하였다. 설계 도구는 운용시 엔진출력 변화에 따른 시간에 따른 열적 응답해석과 시스템 각부의 연료의 열역학적 상태량계산이 주요 기능이다. 이는 초임계상태의 흡열 연료 촉매 열교환기의 운용계산에 적용된다. 보다 효율적이고 강건하고 편의성 있는 비정상 연료시스템 해석 도구 적용을 주요 목표로 설정하며 사용자가 새로운 열적모형을 유연하게 추가하는 기능 등의 개발동향을 보이고 있다.

향상된 열유체 에너지망 해석도구인 ATHENA™는 엔진의 연료이송시스템을 해석하고 시뮬레이터를 통한 비교, 검증이 가능하다. 또한 연료시스템의 열부하, 펌프속도에 따른 온도, 압력 상태량 등의 정상상태 동적 거동 특성을 파악하고 이를 이용하여 열교환기, 펌프, 밸브 등의 연료이송 시스템 구성품의 주요 성능변수를 확인한다[5].

통합 설계 프로그램인 SRHEAT™은 초기 개념설계를 위한 열/유동 예비설계 프로그램으로 사용된다. 최근에 기존의 열제어계 설계틀에 재질개발 모듈을 추가하여 개선하였으며, 이는 복합소재 적용에 따른 분석, 열시스템의 하중 및 무게 등의 구조적인 해석이 가능하다. 사용 단계는 다음과 같다. 먼저 연료 선정 및 형상을 설정한 후 냉각모듈 최적화와 냉각채널 설계를 수행한

다. 다음으로 구조모듈에서 채널 두께 및 설계점을 설정하여 출력 한 후, 열하중등의 경계조건을 재설정하여 최적화를 구현할 수 있다. 또한, 여러 재질 적용이 가능하다[6].

### 2.2. 프로그램 구조

#### 2.2.1 개발 환경

프레임워크는 소프트웨어의 개발도구로서 정해진 목적에 따라 적합한 방법으로 설계된 개발방법론을 구체화한 것이다. 여기에는 소프트웨어 제작을 용이하게 할 수 있도록 주로 사용되는 계산모듈과 인터페이스를 포함하고 있다. 용도에 따라 빠르게 개발 할 수 있고 유지보수가 편리한 장점이 있다. 상용 열유체 시스템의 설계 및 해석도구인 Flowmaster™를 이러한 프레임워크로 활용하여 통합시스템 설계를 위한 프로그램에 적용하였다.

#### 2.2.2 구성 및 기능

체계 상위 요구조건 입력 및 계통별 시스템/구성품 요구 설계규격을 설정하고 기본 설계 성능이 도출 가능하도록 설계모형을 구축할 수 있다. 산정된 열경계 조건을 바탕으로 냉각요구량을 충족시키는 냉각패널 등의 구성품의 규격을 선정한다. 통합된 상용프로그램 기반으로 모델기반에 따른 냉각회로 시스템 구조 구성이 가능하고 입출력 통합 인터페이스 구조를 사용하였다. 비행체 성능계산 및 내부 연소열 계산 모듈을 통합하여 편의성을 높였으며, 구성품의 냉각 소요량 분석 및 구성품 온도, 압력 분포 해석이 가능하다. 또한 시간에 따른 과도해석 적용으로 비행체 전 임무구간에 따른 상태량 분석이 가능하다. 네트워크 구조를 이용하여 시스템 구성요소 배치 및 구성에 용이하며, 다양한 형태의 입출력 결과를 확인할 수 있다. 설계된 시스템의 압력, 유량, 온도변화 등의 유동특성 분석을 위해 모듈화된 열교환기, 배관 등 각 구성 요소들이 사용된다. Table 1에서 주요 기능을 나타내었다.

### 2.3. 연료공급 및 냉각계통

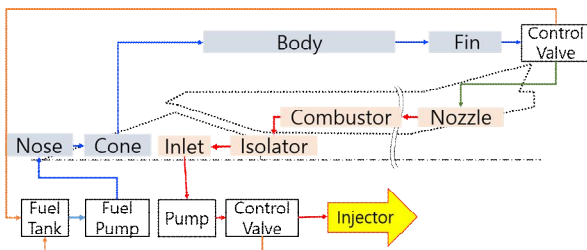
연료공급 및 냉각계통의 시스템 설계를 위하여 다음에서 설계 요구사항 및 설계과정을 정의하고 이론적 배경을 나타내었다.

**Table 1** Program Performance

Class	Subject	Part
System Structure	System Configuration	Cooling Circuit Formation
	Integrated Design method	Framework Fuel Supply Fuel Cooling
Thermal Sizing	Thermal Balance Heat Load	Thermal Environment Geometry Boundary Condition
	Cooling Requirement	Endothermic Cooling
Component Design	Specification	Fuel Type Surface Material
	Configuration	Cooling Channel Cooling eff.
Result and Analysis	Input	Mission Profile Properties
	Output	Steady State Transient Analysis Flow Rate Fuel Temp. Pressure Loss

**2.3.1 시스템 구조**

고속비행체의 열부하를 처리하기 위하여 흡열연료를 이용한 능동냉각 방식이 사용되었다. 시스템은 연료의 저장과 기체 및 엔진 냉각을 위한 공급, 연소기로 고온고압의 대용량 연료분사가 가능해야 한다. 이와 같은 시스템의 개념도를 Fig. 1에서 나타내었다.



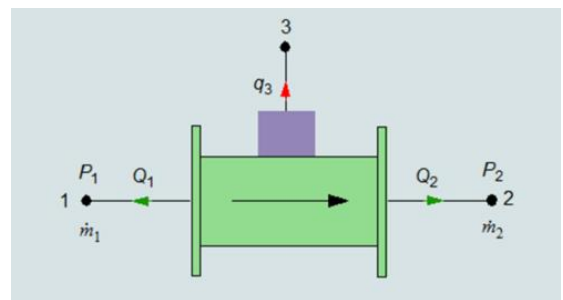
**Fig. 1** Schematic of fuel / cooling system

저온의 연료는 펌프에 의해 흡입구, 노즐 등의 구성품 벽면 내부를 흐르면서 시스템을 냉각하게 된다. 먼저 공력가열에 의한 열부하를 처리하기 위하여 원주

흡입구 등의 외부 표면의 냉각채널을 지난 후 연소기, 노즐 등의 내부 구성품의 냉각채널을 통과하여 냉각한다. 이때 탄화수소계열의 흡열연료를 이용하여 고온고압 상태에 따른 열분해로 인한 흡열냉각을 수행하게 된다. 이렇게 내부를 통과하여 가열된 연료는 연소기로 공급되며, 이때 연소에 요구되어지는 온도, 압력 등의 상태량을 유지해야한다.

**2.3.2 설계 과정**

엔진으로 공급되는 연료의 상태, 온도, 압력, 유량 요구도 및 초기 탱크 온도가 주어졌을 때 내/외부 냉각패널의 냉각성능 및 구성품별 입/출구 온도, 압력, 유량 등을 계산하여 적절한 범위 내에 작동이 가능한지 확인한다. 시스템 내에서 연료가 이송될 때 흡열반응으로 인해 냉각이 진행된다. 이때 냉각되고 남은 열만큼 출구에서 온도가 상승하게 되며, 최종 공급시의 온도는 설계 제한온도 이하여야 한다. 연료온도 계산을 위해 각 열경계 조건에서의 열부하 결과 및 요구사항에 따른 연료소모율과 온도에 따른 연료의 상태량을 이용하여 열전달을 방정식을 계산한다. 패널 표면온도를 구하기 위해 냉각채널의 대류열전달 계수 계산을 수행한다. 이에 따라 연료 온도 및 표면 온도, 압력손실을 계산하고 요구사항을 충족할 수 있도록 구성품의 규격을 최적화 할 수 있다.



**Fig. 2** Thermal Bridge component [7]

**2.3.3 이론적 배경**

시스템의 주요 구성품인 열교환기의 냉각채널에서 외부에 열원에 의해 가열시 유동흐름에 의해 냉각을 모사하는 방식에 대한 이론적 배경을 아래와 같이 나타내었다. Fig. 2에서 열교(Thermal Bridge)를 이용한 전도 및 대류, 복사에 의한 열전달을 나타내었다[7].

입출력 조건으로써  $Q_1$ 과  $Q_2$ 는 유체흐름에 대한 유량을 나타내고,  $P_1, P_2$ 는 압력을 뜻한다.  $q_3$ 은  $z$ 방향의 열전달량이고,  $\dot{m}$ 은 입출구에서의 질량유량을 나타낸다. 여기서 채널 벽면에서 외부로의 열부하  $q_3$ 이 가해졌을 때, 질량 및 에너지보존에 따른 정상상태 및 시간에 따른 과도해석을 수행하여 입출구와 벽면의 온도 분포를 확인 할 수 있다. 과도해석에서 열용량을 고려한 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$x = \frac{X}{L}, \theta = \frac{\Theta}{T_{amb}}, t = \frac{kT}{\rho c_p L^2} \quad (1)$$

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{\Theta h p}{Ak} = \rho \frac{c_p}{k} \frac{d\theta}{dT} \quad (2)$$

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - \frac{\Theta h p}{Ak} = \rho \frac{c_p}{k} \frac{d\theta}{dT} \quad (3)$$

여기에서 무차원수는 다음과 같다.

$$x = \frac{X}{L}, \theta = \frac{\Theta}{T_{amb}}, t = \frac{kT}{\rho c_p L^2} \quad (4)$$

$$\frac{d^2\theta}{dx^2} - K_{onst}\theta = \frac{d\theta}{dt} \quad (5)$$

여기에서  $K_{onst} = \frac{hpL^2}{kA}$  이다. 이때 각 항은 아래와 같다

- $\Theta$  = Temperature
- $\theta$  = Non-dimensionalized temperature
- $T$  = Time
- $t$  = Non-dimensional time
- $h$  = Heat transfer coefficient
- $c_p$  = Specific heat
- $p$  = Perimeter
- $A$  = Cross-sectional area of the bar
- $X$  = Length along bar
- $x$  = Non-dimensional length
- $L$  = Length of bar
- $\rho$  = Density

식을 정리하면 다음과 같다.

$$\theta_{i,j+1} = \left[ \theta_{i,j} + \frac{\delta t}{\delta x^2} (\theta_{i-1,j} - 2\theta_{i,j} + \theta_{i+1,j}) \right] - \delta t k_{onst} \theta_{i,j} \quad (6)$$

- $i$  = Solution at grid locations  $\delta x$  apart
- $j$  = Time value at  $\delta t$  apart

이에 따라  $x$  변위의 변화와 시간  $t$ 에 따른 값을 계산 할 수 있다. 계산시 각 구성품은 내부 노드로 분할되어 각 노드에 따른 값을 계산한다. 다음 열전달식을 만족하는 선형화 된 계수 ( $A_1, A_2, A_3, A_4, B_1$  및  $B_2$ )를 결정한다. 열전달량은 첫 번째 노드와 다음 노드의 온도구배로써 계산된다.

$$Q_1 = A_1 T_1 + A_2 T_2 + B_1, \quad Q_2 = A_3 T_1 + A_4 T_2 + B_2$$

$$A_1 = \frac{-kA}{\delta x L}, \quad A_4 = \frac{-kA}{\delta x L}, \quad A_2 = 0, \quad A_3 = 0$$

$$B_1 = -A_1 (\Theta_{adj1} + T_{amb}), \quad B_2 = -A_4 (\Theta_{adj2} + T_{amb})$$

### 3. 설계 및 검증

#### 3.1 설계 순서

냉각회로(네트워크)를 구성하고 운용조건 및 열환경 조건, 경계조건을 입력한다. 열부하 계산모듈을 실행시켜서 열부하를 입력한다. 다음으로 프로그램을 실행하여 결과를 확인하고 구성품 설계를 수행한다. 설계변수를 변경하여 반복 실행하고 결과의 요구사항 충족을 확인한다. Fig. 3에서 설계순서를 나타내었다.

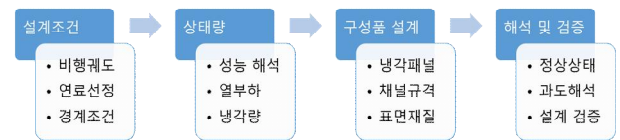


Fig. 3 Design Procedure

#### 3.2 네트워크 구성

Figure 1에서 나타낸 공급 및 냉각 시스템 구성을 위하여 프레임워크를 이용한 프로그램의 네트워크 구성을 Fig. 6에서 나타내었다. 먼저 회로의 주요 구성품은 열교환기 냉각채널과 패널표면, 펌프, 배관이며, 냉각구조에 따라 배치하고 상태량 측정 게이지를 연결한다. 시스템의 경계조건은 유량과 압력을 지정하였다. 구성품 배치후 다음의 설계순서에 따라 입력 값을 선정한다.

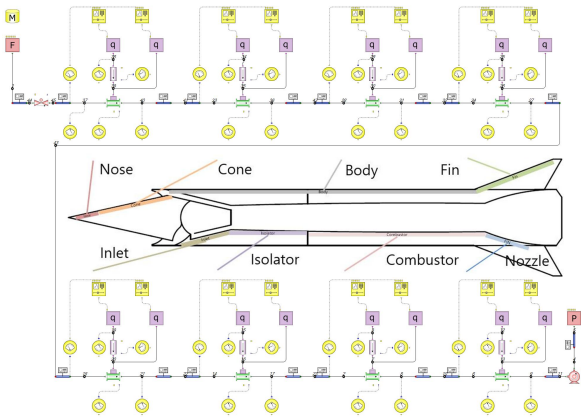


Fig. 4 System Network

### 3.3 입력 단계

#### 3.3.1 운용 조건

설계 및 해석을 위한 초기조건을 입력한다. 해석형태 및 해석시간, 운용조건 및 열환경조건을 확인한다. 해석형태는 정상상태 및 과도해석을 선택하며, 해석시간과 과도해석시 총 계산과정에서 계산이 수행되는 시간간격(설계점)을 설정한다.

#### 3.3.2 경계 조건

다음으로 설계모델의 형상 경계조건을 입력한다. 성능계산을 위한 내부 단면적 및 외부 표면적을 입력한다.

#### 3.3.3 열부하 계산

앞서 입력한 운용조건 및 경계조건에 따른 성능해석을 수행하여, 연료 질량유량 및 내부연소열을 계산할 수 있다. 계산된 상태량을 바탕으로 Fig. 6의 각부 구성품에 열부하 및 냉각요구량을 확인 할 수 있다. 여기서 계산된 연소열을 바탕으로 각부에 가해지는 열부하량을 유사사례의 시험결과 및 각부 열유속 비율로 추정하여 입력하였다. 상세한 계산 과정은 선행연구 [3]에서 나타내었다.

#### 3.3.4 연료 및 재질설정

연료는 탄화수소계열의 흡열성능을 고려하여 선정하였으며, 해당 연료의 상태량을 입력한다. 냉각패널의 표면 재질은 고온과 단열을 고려하여 시스템 요구조건에 따라 선정한다. 각부의 연료 흡열효율은 연료의 분

해 및 온도, 압력을 고려하여 입력한다.

### 3.4 구성품 설계

구성품 설계단계에서는 앞서 산정된 열경계조건을 바탕으로 냉각요구량을 충족시키는 냉각패널 등의 구성품의 규격을 선정한다. 최적의 냉각효율을 위해 각 구성품의 냉각 순서를 선정하여 배열한다. 다음으로 냉각채널과 파이프의 형상을 입력하고 구성품의 압력강하를 확인하여 설계범위내인지 확인한다. 해당 설계사항은 온도 및 압력계산에 필요한 초기 값으로 사용된다.

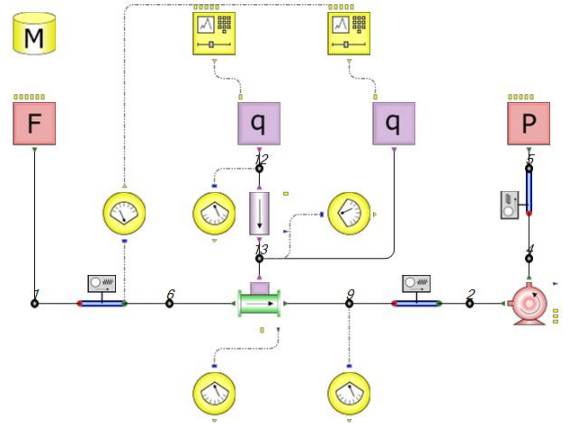


Fig. 5 Heat Exchanger component

Figure 5와 같이 프레임워크의 Thermal Bridge구조를 이용하여 외부에 의한 열전도와 내부의 유동흐름에 의한 냉각구조를 구성하였다. 시스템의 양단의 압력 및 펌프는 1개 구조에 대한 입출력을 나타내기 위함이며, 실제구조는 각 구성품구조가 연이어서 연결되어 있는 구조로 구성되어 있다. 설계 입력조건에 따른 열부하가 냉각패널을 통해 입력될 때, Solid모델을 통한 패널 외부 표면을 통해 열전도가 진행되며 Thermal bridge에 가열이 전달된다. 이때의 표면온도와 내부 벽온도를 노드를 통해 확인 할 수 있다. 이때, 내부의 유동에 의해 냉각이 진행되며, 흡열연료에 따른 냉각효과는 Controller를 통하여 입력된다. 여기서 설계 진행 후 결과를 확인하여 냉각패널의 표면 재질 및 규격, 채널의 개수, 규격 등을 변경하여 설계 최적화를 수행 할 수 있다.

### 3.4.1 냉각패널

냉각패널의 설계는 설정된 개발모델의 형상 및 냉각 방식을 고려하여 내/외부에 적합한 채널규격, 배관 직경, 길이 등을 설정할 수 있도록 하였다. 채널 설계의 사용여부는 선택된 냉각방식에 따라 결정되며, 채널의 길이는 열 경계조건에 따라 결정된다.

### 3.4.2 냉각채널

사용자의 설계 입력사항은 채널의 형상이며, 원형 또는 사각형 형태를 결정하고, 채널의 규격(너비, 간격, 높이, 직경 등)과 채널간의 간격을 설정하면, 냉각패널의 면적에 따라 채널의 개수가 결정되며, 열 경계조건으로 구분된 부분별 채널 전체 면적을 구할 수 있다. Fig. 9는 1개의 냉각채널에 대하여 계산되며, 이때 질량유량 및 면적은 채널 개수에 따라 입력한다.

## 3.5 결과

### 3.5.1 입력

Table 2와 같은 운용조건을 충족하는 모델의 설계 결과를 나타내었다. 한 기체에서 램제트 모드(Mach 4)와 스크램제트 모드(Mach 6)를 사용할 수 있는 동축형의 이중램제트를 모델로 하였으며, 내부 구성품 형상은 해당 운용조건을 충족시키는 임의의 구조를 설정하였다. A는 비교를 위한 참조모델이고, B는 설계대상 모델이다. 질량유량 및 추력은 참조모델의 M4의 값을 기준으로 무차원화하였다. 공기흡입식 추진기관의 성능은 외부환경 변수 및 내부형상 조건에 매우 민감하므로 고도와 유량 및 추력에서 발생하는 오차를 고려할 필요가 있다.

**Table 2 Performance Result**

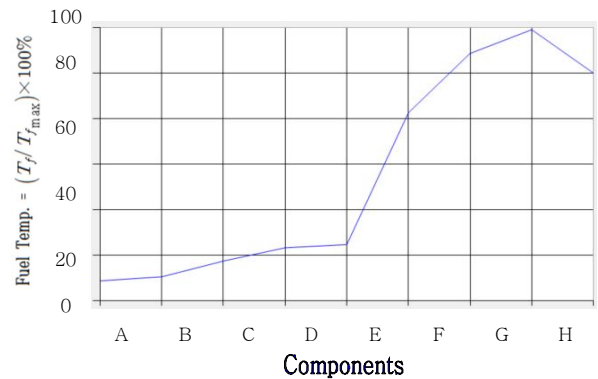
Model		A	B
Property		Reference	Design
Net Thrust	M4	1.00	0.77
	M6	0.60	0.79
Fuel mass flow rate	M4	1.00	0.50
	M6	0.80	0.95

운용조건이 유사할 때, 추력 및 질량유량이 근사하

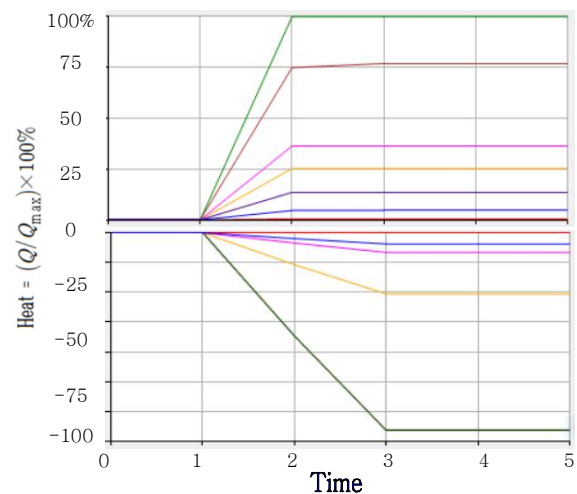
므로 성능 및 상태량도 유사할 것임을 추정할 수 있다.

### 3.5.2 출력

다음에서 시간에 따른 과도해석 출력 결과를 나타내었다. 운용조건과 유사하게 일정 시간단위인 설계점에 따라서 상승구간(램제트), 순항구간(스크램제트)로 구성되며, 구성품 설계변수는 가장 많은 열부하를 받는 구간을 기준으로 설계되었다. Fig. 6에서는 램제트 모드에서의 구성품별 연료 온도 분포를 나타내었다. 그래프의 X축은 구성품의 순서이며, Y축은 최대온도를 기준으로 무차원화하였다. 연소기로 분사되는 최종 온도가 냉각 및 공급 요구사항을 충족함을 알 수 있다.



**Fig. 6 Fuel Temperature**



**Fig. 7 Thermal Balance**

Figure 7에서는 시간에 따라 각 구성품에 가해지는

열부하량과 냉각량 변화를 나타내었다. 값은 최댓값을 기준으로 무차원화하여 나타내었다. 상부 그래프는 열부하량이고, 하부는 구성품에 가해지는 열부하를 처리하기 위하여 연료 상태량에 따른 흡열 냉각량을 나타내었다.

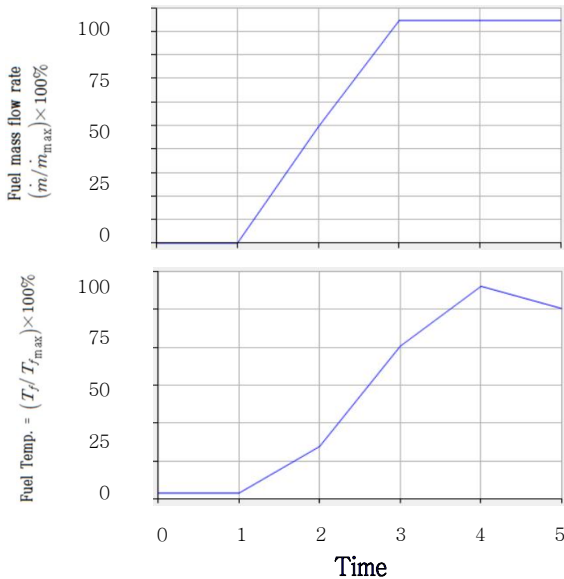


Fig. 8 Fuel Properties

Figure 8에서는 시간에 대한 연료의 무차원화된 질량유량 변화와 이에 따른 최종 분사 온도분포를 나타내었다. 최종 온도는 연료의 운용 온도에 근접하게 설정되었으나, 연소기의 요구조건에 따라 변경이 필요할 수 있다. 이때는 냉각효율 및 질량유량 등의 설계변수를 변경하여 설계 검토를 수행할 수 있다.

### 3.6 검증

구성품 설계 검증을 위한 냉각채널의 표면 온도분포에 대하여 Fig. 9와 같은 유사 사례[8]의 설계조건을 바탕으로 한 해석결과와 본 프로그램 이용 결과에 대하여 비교 및 검증을 진행하였다. 유사 사례는 스크램제트 엔진의 재생냉각 채널을 모사한 결과로써 Table 3과 같이 동일한 입력변수를 프로그램에 적용하여 설계결과를 비교하였다. C 모델은 유사 해석 CFD 사례이고 D 모델은 본 프로그램 설계 결과이다.

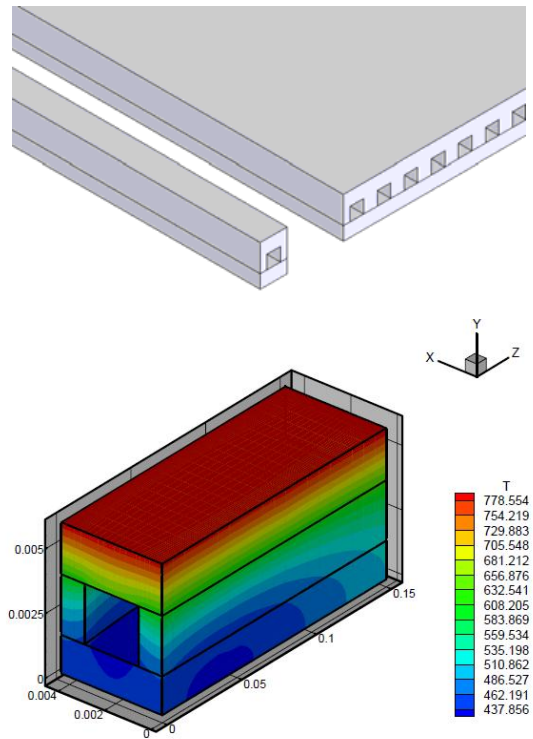


Fig. 9 Nickel-base alloy cooling structure [8]

Table 3 Cooling channel input

Input		
Velocity	Mach 6	
Altitude	24 km	
Material	Nickel	
Coolant	Water	
Flow ratio (fuel/air)	0.067	
Heat	Load	493 kW
	Sink	345 kW
Channel	length	0.15 m
	height	0.002 m
	width	0.002 m
Temperature (out-in)	150 K	
Output		
Model	C	D
Surface Temp. (K)	779	749

동일한 설계조건에서 표면온도 분포가 유사함을 확인함으로써 설계 프로그램의 타당성을 나타내었다. 또한 같은 설계조건일 때 본 프로그램을 이용하여 설계변수에 대한 결과확인이 더 용이함을 알 수 있다.

## 4. 결 론

고속 비행체 연료공급 및 냉각계통의 통합설계를 위한 설계 도구를 상용 열유체 시스템 설계프로그램을 이용하여 개발하였고, 이를 이용하여 예비 설계를 수행하였다. 프로그램은 효율적인 입출력 처리와 계산 모듈 통합으로 편의성이 향상되었다. 유사 사례의 비교 및 검증을 진행하여 프로그램의 타당성을 확인하였다. 이를 이용하여 통합시스템 설계에 적절히 이용 할 수 있을 것이다. 추후 구성품의 세부 설계와 다양한 비교검증을 통한 개선을 진행하여 보다 효율적인 설계 적용에 활용할 수 있을 것이다.

## 후 기

본 연구는 초고속 공기흡입엔진 특화연구실 과제의 일환으로 수행되었습니다.

## References

- [1] H. Lee, J. Park, M. Kwon and K. Hwang, "A Study on a Conceptual Design Process of Fuel Feeding Systems for High-Speed Vehicles," *Journal of Aerospace System Engineering*, vol. 7, no. 3, pp. 7-14, September 2013.
- [2] S. Choi, S. Park, H. Choi, P. Jun and J. Park, "A Case Study on Fuel Supply and Cooling Systems of High-Speed Vehicles," *Journal of the Korean Society for Aviation and Aeronautics*, vol. 21, no.2, pp. 1-6, June 2013.
- [3] S. Choi, S. Park, E. Kim, Y. Lee, H. Jeong and J. Park, "Analysis of Thermal Environment in Fuel Supply and Cooling System for High-Speed Vehicles," *Proceeding of the Society for Aerospace System Engineering 2013 Spring Conference*, pp. 109-113, May 2013.
- [4] J. Park, P. Jun and D. Shin, "Research on Fuel System for Thermal Environment in High Speed

Vehicle," *Proceeding of the Society for Aerospace System Engineering 2014 Spring Conference*, pp. 298-303, May 2014.

- [5] M. Mawid, C. Arana and B. Sekar, "An Engineering Analysis Tool for High Performance Combustors and Fuel Systems," *34th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*, Cleveland, OH, AIAA 1998-3910, 1998
- [6] M. Palusis, J. Gutierrez and E. Gamble, "Material Development Module for Use with SPIRITECH's Scramjet/Ramjet Heat Exchanger Analysis Tool," *46th AIAA/ASME/SAE/ASEE Joint Propulsion Conference & Exhibit*, Nashville, TN, AIAA 2010-6787, 2010.
- [7] Flowmaster Reference Help Document, Ver.7.9.4, *Mentor Graphics*, 2015
- [8] B. Sun and L. Zheng, "Research of Thermal Protection of Scramjet," *55th International Astronautical Congress*, Vancouver, CANADA, IAC-04-I.6.08, 2004.