

대추력 액체로켓엔진 예비설계 프로그램 : 정상성능 설계를 위한 구성품 모델링

고태호* · 김상민* · 김형민* · 윤웅섭*

Preliminary Design Program for a High Thrust Liquid Rocket-Engine : Components Design for Static Performance Design

Taeho Ko* · Sangmin Kim* · Hyungmin Kim* · Woongsup Yoon*

ABSTRACT

In order to build a transient simulation program for a high thrust liquid rocket engine(LRE), a static performance simulation program for components were made. The components were the thrust chamber (combustion chamber and supersonic nozzle), centrifugal pump (impeller and volute casing), impulse turbine, and flow control devices (control valve and orifice). Simplified mathematical models based on classical thermodynamic and inviscid theories were used to remove complexity and enhance the utility of the program. We examined the results of each program qualitatively for validate each component modeling.

Key Words: Turbopump Pressurized Liquid Rocket Engine(터보펌프 가압식 액체로켓엔진), Static Performance Design(정상성능설계), Component Modeling(구성품 모델링)

1. 서 론

최근 북한의 은하 2호 발사는 국내 우주 관련 기술 개발의 도화선이 되고 있다. 현재 우리나라는 우주개발중장기계획 및 우주개발진흥법에 따라 발사체에 대한 개발이 진행되고 있으며, 이에 대한 핵심기술력은 우주기술 선진국 대비 70%정도로 관련 기술의 개발 및 확보가 시급한 실정이다.

우주기술 선진국의 경우 발사체 개발 과정을

거치면서 ROCETS(ROCKET Engine Transient Simulation system)이나 REDS(Rocket Engine Dynamic Simulator)와 같은 추진시스템 성능 예측 프로그램의 개발이 실제적인 발사체 개발과 함께 이뤄졌다. 이는 향후 발사체 개발에 체계적인 과정을 도입하여 소요되는 시간적·경제적 비용을 최소화시키기 위해 반드시 확보되어야 하는 기술인 것이다.

본 연구는 엔진시스템의 각 구성품에 대한 모델링 프로그램을 작성하는 것으로, 향후에는 이를 통합하여 발사체 엔진시스템 개념 설계 체계를 개발하고, 이로부터 설계된 엔진시스템의 척 이성능 예측 프로그램을 작성하여 제어시스템

* 연세대학교 기계공학과
연락처, E-mail: wsyoon@yonsei.ac.kr

설계를 위한 토대를 구축하고자 한다. 이 과정은 선개발국의 발사체개발 과정과도 같은 맥락이며 저비용 발사체 개발을 위한 바탕이 된다. 본 논문에서는 엔진시스템의 각 구성품에 대한 모델링 연구에서 직면했던 문제들에 대해 소개한다.

2. 본 론

발사체 엔진의 기초핵심기술은 여러 기술로 나뉘며 본 연구는 추진제 공급제어기술에 대한 것으로 추진제 배관시스템과 제어 배관시스템으로 세분화된다. 이 연구를 통해 엔진 배관, 오리피스 제어 시스템 설계 기술과 추력 제어 시스템 설계 해석기술을 중점적으로 확보하려고 한다. 따라서 발사체 엔진시스템의 추력 제어 메커니즘을 이해하고 핵심 설계 변수를 추출하여 구성품에 대한 수학적 모델링을 세워 수치해석 방법으로 엔진시스템을 설계하고 추력제어 시스템의 특성을 파악하려 한다.

엔진시스템의 주요 부분품에는 추력실 및 펌프, 터빈, 밸브, 오리피스가 고려되었다. 주연소실의 조건을 계산하기 위해서는 충분한 실험이 수행되고 축적된 데이터가 있어야 하나, 본 연구에서는 성능 설계의 효율성을 감안하여 McBride와 Gordon가 개발한 평형 화학반응을 계산하는 CEA(Chemical Equilibrium Applications) 코드를 사용함으로써 이를 대체하였다. Fig. 1은 노즐설계를 위한 과정을 간략히 제시하고 있다. 이때, 노즐 길이를 구하기 위해 사용하는 반각 15도의 콘형 노즐에 대한 길이비에 따라 성능이 달라지므로 적절한 길이비 값의 설정이 중요하다. 예측된 성능을 비점성 CFD 계산과 비교한 결과 온도, 압력, 추력 등의 결과와 10%이내의 오차를 보임을 확인하였다.

펌프의 설계과정은 Fig. 2a와 같고 이 과정에서 보이는 바와 같이 비속도에 따른 보정 계수를 제시한 stepanoff diagram을 이용하여 보정하고자 하였으나, 본 연구의 대상이 되는 펌프의 비속도에 해당하는 보정 계수 data가 주어진 stepanoff diagram에 존재하지 않아 기존의 data를 바탕으로 외삽법을 통해 얻어진 값을 사용

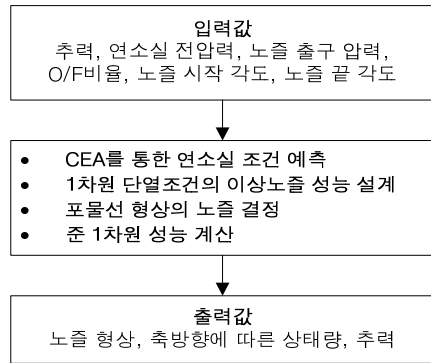
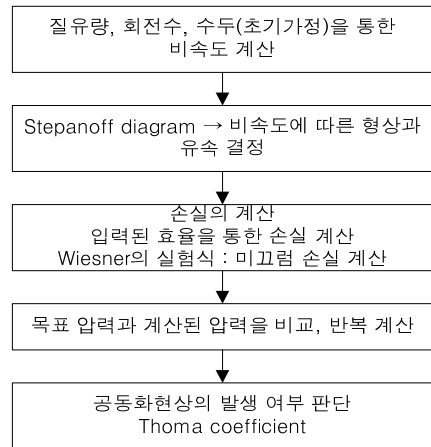
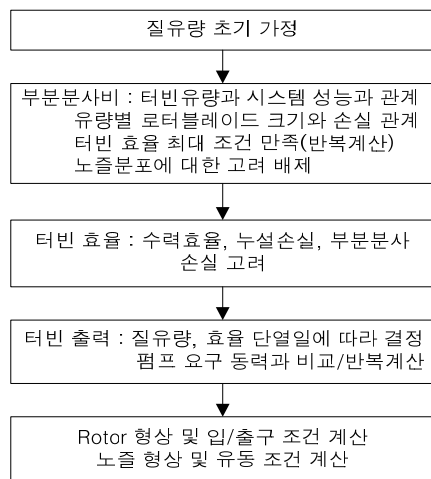


Fig. 1 Thrust Unit Design Process



(a) Pump Design Process



(b) Impulse Turbine Design Process

Fig. 2 Power Pack Design Process

하였다. 일반적인 원심형 펌프의 성능 그래프와 설계 프로그램에 의해 예측된 성능을 비교, 경향성 면에서의 타당성을 확인하였다. 터빈의 경우 가스발생기 방식의 엔진에 적합하며 구조가 간단하고 경량인 1단 충동형 터빈을 설계하였다. 설계과정은 Fig. 2b고 같고 기보유한 엔진의 데이터를 입력 변수로 하여 기본적으로 형상을 도출·비교하였고 부분분사비에 따른 효율과 속도비에 따른 터빈의 최대 효율 등이 실제 설계 기준에 부합하는지를 확인하였다.

제어밸브는 추진제 공급제어 기술 연구에서 중요한 구성품으로 설계과정 중에는 특정 제어밸브가 선정될 수 없어 일반적인 실험값을 통한 모델링에 어려움이 있었다. 본 연구에서는 이 문제점을 선행연구를 참고로, 제어밸브의 형상을 바탕으로 산출한 최소 유로 면적을 압력강하량 및 유량 변화의 중요한 변수로 추출하여 그 성능을 예측함으로써 해결할 수 있었다. Fig. 3와 같은 과정의 프로그램에 의해 예측된 성능과 실험 결과를 비교, 경향성 면에서의 타당성을 확인하였다. 오리피스는 유출계수(Cd)와 유량계수(K), 압력손실계수로 표현된 공급라인의 직경에 따른 실험식으로 Fig. 4와 같은 과정으로 전체 영구압력강하량을 산출하였다. 이는 일반적으로 알려진 방법으로 3~5%의 차이를 보였다.

3. 결 론

엔진시스템 개념 설계 및 성능 예측 프로그램을 개발하여 추진제 공급제어 기술의 설계를 위한 하위 연구로 시스템의 각 구성품에 대한 수학적 모델링과 수치적 해석 프로그램 작성이 수행되었다.

연소실의 조건은 평형화확반응 계산코드인 CEA를 통하여 계산하였고, 1차원 관계식을 통해 노즐목 직경을 구하였으며 두 계산 결과와 Rao의 포물선형 노즐 설계 기법을 이용하여 노즐의 형상을 결정하였다. 결정된 형상에 대하여 준 1차원 계산을 통하여 성능을 예측하였고 이를 비점성 CFD 계산과 비교·확인하였다. 극저온 효과를 배제하고 요구 성능에 적합한 원심형 펌프와 1단 충동형 터빈의 설계 프로그램을 작성하였다. 원심형 펌프의

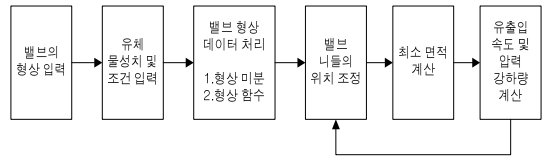


Fig. 3 Flow Control Prediction Process

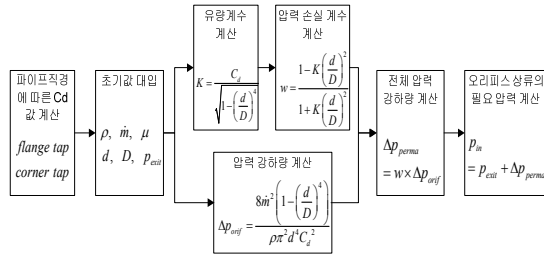


Fig. 4 Orifice Performance Prediction Process

설계 프로그램에 기보유한 엔진의 데이터를 입력 변수로 하여 형상을 도출하였고 일반적인 원심형 펌프의 성능과 설계 프로그램에 의해 예측된 성능을 비교, 그 경향성의 타당성을 확인하였다. 터빈 설계 프로그램 역시 기보유한 엔진 데이터를 입력 변수로 하여 형상을 도출하였고 부분분사비에 따른 효율과 속도비에 따른 터빈의 최대 효율을 확인하였다. 제어밸브는 형상을 입력하여, 그에 따른 니들과 하우징의 최소거리를 계산하고 최소단면적을 산출해 압력강하량을 구하였다. 이는 실제 압력강하량과 경향성에서 그 타당성을 확인하였다. 오리피스에 대해서 공급라인의 직경에 따른 영구 압력강하량 실험식을 통해 압력강하량을 산출·예측하였고 실제 엔진 데이터와의 비교를 통해 실험식을 이용한 오리피스의 모델링이 타당함을 확인할 수 있었다.

후 기

본 연구는 한국과학재단을 통해 교육과학기술부의 우주기초원천기술개발 사업(NSL, National Space Lab)으로부터 지원받아 수행되었습니다 (2008-00821).