

터보펌프+가스발생기 연계시험 연구

김승한* · 남창호** · 설우석***

Study on Turbopump and Gas Generator Coupled Tests

Seung-Han Kim* · Chang-Ho Nam** · Woo-Seok Seol***

ABSTRACT

As a secondary stage of the liquid rocket engine development test, turbopump-gas generator powerpack tests are being performed. The schematics of the test hardware and the test facility for the TP+GG coupled test are presented. The results of a preliminary test results for the verification of the propellant supply system of the test facility are also presented. Based on the preliminary tests results, the verification of the propellants supply systems of the facility system was performed.

초 록

액체로켓엔진 개발 시험의 중간 단계로서 연소기를 제외한 터보펌프 등의 엔진 주요 구성품을 이용한 터보펌프+가스발생기 연계시험이 수행 중에 있다. 터보펌프+가스발생기 연계시험의 시험기 및 시험설비 구성을 기술하였다. 연계시험 수행을 위한 시험설비 시스템 검증 시험 결과를 제시하였다. 시험설비에 대한 예비시험 결과를 토대로 시험설비 추진제 공급시스템의 검증이 수행되었다.

Key Words: Turbopump(터보펌프, TP), Gas Generator(가스발생기, GG), TP+GG coupled test(터보 펌프+가스발생기 연계시험), Test Facility(시험설비)

1. 서 론

일반적으로 가스발생기 구동 터보펌프 방식 액체로켓엔진 시스템의 경우에는 최종적인 엔진 시스템 조합형태의 시험 이전에 연소기를 제외한 나머지 엔진 시스템의 조합시험을 통해 엔진 시스템 시험 수행 가능성 및 사전 검증이 필요

한 부분에 대한 최종적인 검증을 수행하게 된다 [1]. 액체로켓엔진 시스템의 주요 구성품인 연소기, 가스발생기, 터보펌프, 종단밸브, 공급계 배관, 제어 부품류, 점화 및 시동시스템 등 각 부품이 조합되어 엔진시스템을 최종구성하게 되는데 연소기를 제외하고 엔진시험을 수행하는 경우에는 추진제 공급과 관련된 모든 부분에 대한 검증을 상대적으로 적은 비용 및 위험성으로 수행할 수 있다는 장점이 있다[2].

본 논문에서 액체산소/케로신을 추진제로 하는 엔진시스템 시험으로서 터보펌프+가스발생기

* 한국항공우주연구원 우주발사체사업단 엔진팀
** 한국항공우주연구원 우주발사체사업단 엔진팀
*** 한국항공우주연구원 우주발사체사업단 엔진팀
연락처, E-mail: detokim@kari.re.kr

연계시험 수행과정에서 수행된 시험기 및 시험 설비 구성 및 시험설비 시스템 검증 시험 결과에 대해 제시하였다.

2. 터보펌프+가스발생기 연계시험기 구성

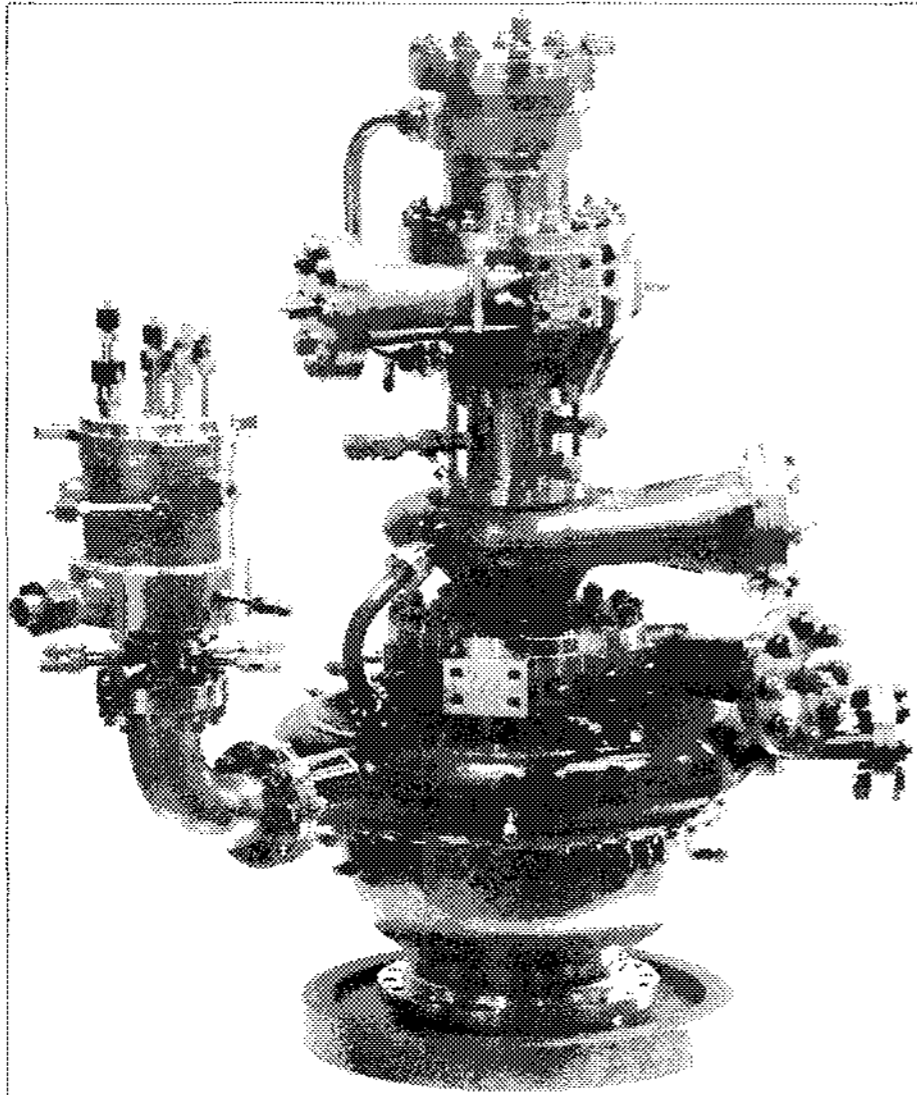


Fig. 1 터보펌프+가스발생기 연계시험기 시제

Fig. 1에 터보펌프 및 가스발생기 조립체를 도시하였다.

터보펌프는 액체산소펌프와 분리용 실, 연료펌프, 터빈부가 1축 상에 배치되어 있다. 액체산소 펌프는 축방향 입구부와 반경방향 출구부, 플로팅 링 실로 구성되어 있고, 터빈노즐을 거친 구동기체는 1단 충동형(impulsive type) 터빈을 거쳐 배출되게 되고 터빈 매니폴드는 빠른 시동특성을 구현하기 위해 가스발생기 측과 파이프로 시동기 측으로 격막을 통해 구분되어 있다[3-5].

가스발생기는 액체산소, 케로신 추진제 방식의 연료과잉 영역에서 작동하는 것으로 동축와류형 분사기 헤드와 재생냉각 형태이다. 분사기 헤드에서의 추진제 분포를 균일하게 하는 분사기 배열을 가진다. 가스발생기의 점화는 가스 토치 혹은 파이프 점화기로 점화할 수 있도록 설계되어 있다[3-6].

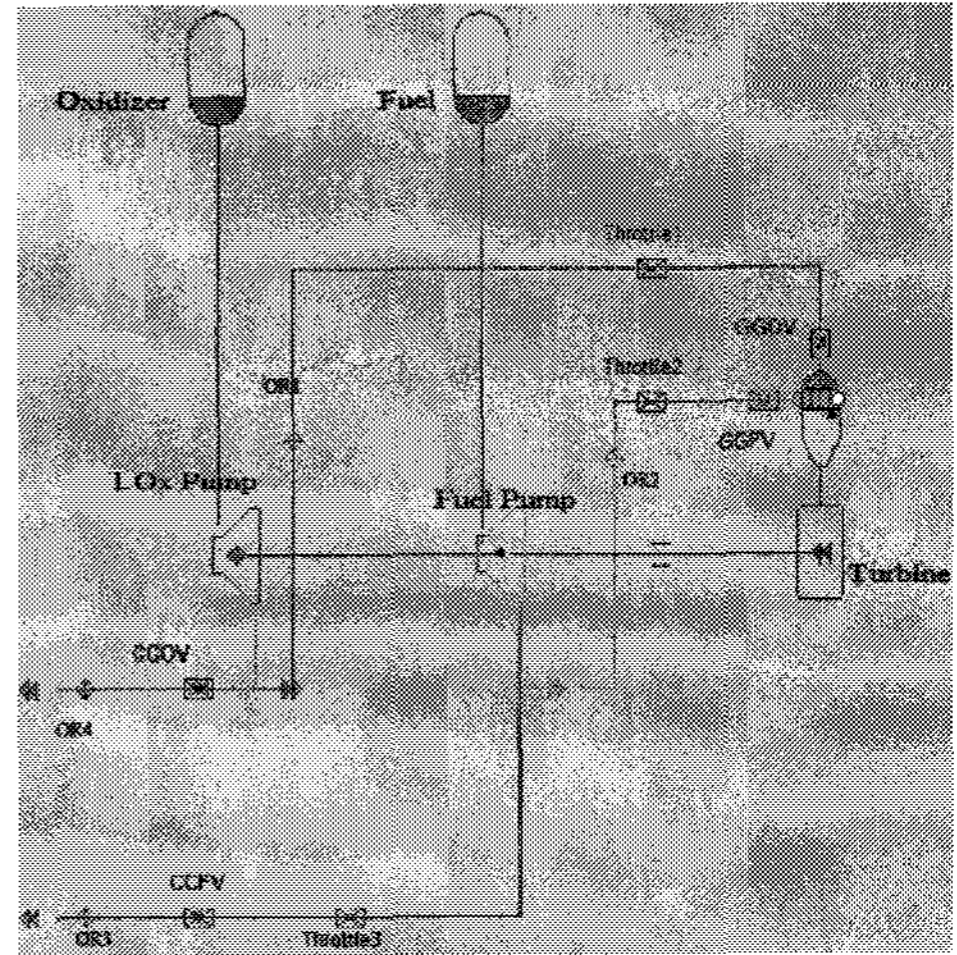


Fig. 2 터보펌프+가스발생기 연계시험 개략도

Fig. 2에 터보펌프+가스발생기 연계시험기의 개략도를 제시하였다. 터보펌프+가스발생기 연계 시험은 가스발생기와 터보펌프, 유량조절밸브 및 종단밸브를 포함하는 전체 공급계에 대한 시험이 수행되고, 엔진의 주요 구성품인 연소기는 제외되며 연소기의 존재에 대한 영향은 터보펌프 출구 측에 유량제어 밸브와 오리피스 조합을 이용하여 모사된다. 유량제어 밸브의 선택은 주어진 엔진작동모드에서의 실물형 연소기에 상당하는 추진제의 질량유량과 연소기 압력을 모사할 수 있도록 결정된다. 이러한 시험에서, 연소기를 제외한 모든 엔진구성품의 작동성이 확인된다 [1].

터보펌프 터빈으로 공급되는 가스발생기 후류 가스의 조성을 유지하기 위해 가스발생기로 연료 및 산화제를 공급하는 배관에 유량제어밸브를 장착하여 유량을 실시간 제어하도록 구성하였다. 이러한 공급계 구성으로 한 번의 시험에서 여러 조건에서의 추력 및 혼합비 조절이 가능하고 연속적인 추력 및 혼합비 조절이 가능하여 연소기 모사조건에서의 시스템의 응답성을 모사할 수 있다.

3. 시험설비 구성

터보펌프+가스발생기 연계시험기의 시험은 액체산소/케로신 액체로켓엔진 시험설비에서 수행되며 여기에는 추진제 공급시스템과 시동시스템, 배출가스 후처리 시스템, 제어/계측시스템 및 비상보호시스템 등으로 구성되어 있다.

3.1 추진제 공급시스템

액체산소 공급시스템은 작동압 1.0 MPa의 추진제 가압용 런탱크 및 가압제어시스템과 TP 출구 유량조절용의 3개의 오리피스와 밸브 조합, 필터 및 터보펌프 출구로부터 나오는 액체산소의 회수 및 재사용 배관 시스템으로 구성되었다.

케로신 공급시스템은 작동압이 1.0 MPa인 런탱크는 수직으로 배치되어 있다. 추진제 회수를 위한 작동압이 1.0 MPa인 덤프 탱크는 런탱크 및 케로신 공급/회수 시스템 배관을 중력에 의해 비울 수 있도록 되어 있다.

시동조건을 찾기 위한 개회로 연계시험에서는 터보펌프 구동용 기체가 설비배관으로부터 공급된다. 기체공급시스템은 설정된 프로그램에 따라 원격제어기능이 있는 압력조절기가 장착되어 있다. 기체공급시스템은 시동용 공압 밸브를 통해 터보펌프 터빈부로 연결된다.

3.2 터빈 구동 가스 후처리시스템

터보펌프 터빈부로부터의 출구 가스는 후연소 장치로 유도된다. 수소가스 공급 및 배출 배관은 유량조절용 오리피스가 설치되어 터보펌프의 정격작동조건을 유지하는데 이용된다.

3.3 제어/계측시스템

제어시스템은 시험설비 및 연계시험기의 유량 조절밸브와 가압압력조절, 퍼지, 시험명령 작동 순서를 설정하고 수행하는 역할을 수행하며, 연계시험기의 주요 제어 인자에 대해서는 feed-back 제어를 수행한다. 또한 비상정지시스템과 연동하여 발생가능한 오작동 상황의 실시간 판단에 따라 시험을 종료시키는 역할을 수행한다.

계측시스템은 압력, 온도, 유량, 회전수 등과 같은 저주파수 상태 변수 계측시스템과 고주파

수 상태 변수 계측시스템으로 구성된다.

저주파 계측시스템은 100Hz 주파수로 결과를 기록하여 상태변수의 평균값을 실시간 계산하여 감시창에 표시하고 저장하며, 고주파 계측시스템은 압력섭동 및 진동 현상의 측정을 위해 20kHz의 주파수로 결과를 기록하여 측정 변수의 물리량을 실시간 계산하고, 육안감시 필요 부분에 대해 시간 및 주파수 공간에서의 실시간 감시를 수행한다.

4. 시험결과

TP+GG 연계시험 수행 전 추진제 공급/배출 시스템 검증을 위해 다음의 설비 검증 시험이 수행되었다:

- 터빈 구동용 기체 공급 시스템 시험
- 액체질소를 이용한 산화제 공급시스템 시험
- 케로신을 이용한 연료 공급시스템 시험

4.1 터빈 구동용 기체 공급 시스템 시험

Fig. 3에 터빈구동용 기체 유량과 온도 곡선이 제시되었다. 터빈 구동용 기체 공급시스템 시험의 목적은 기체 공급 시스템을 위한 제어 기법 검증과 시험 설비 시스템과 연결된 상태에서 기체 수소 공급 시스템의 작동성 검증에 있다.

터빈 구동을 위한 기체 공급 시스템 시험은 기체 질소와 기체 수소에 대해 수행되었으며, 시험 결과 정격 작동 조건에서의 기체 공급유량, 압력, 온도 및 터빈 출력이 확인되었다:

4.2 케로신을 이용한 연료 공급/배출 배관의 수류 시험

케로신 배관 수류 시험의 목적은 케로신 가압, 공급, 배출 시스템의 성능 검증과 케로신 공급 및 배출 배관의 계산 차압의 검증으로 케로신 유량 및 정격 유량조건에서의 공급/회수배관에서의 차압특성, 공급계 가압특성을 확인하였다 (Fig. 4).

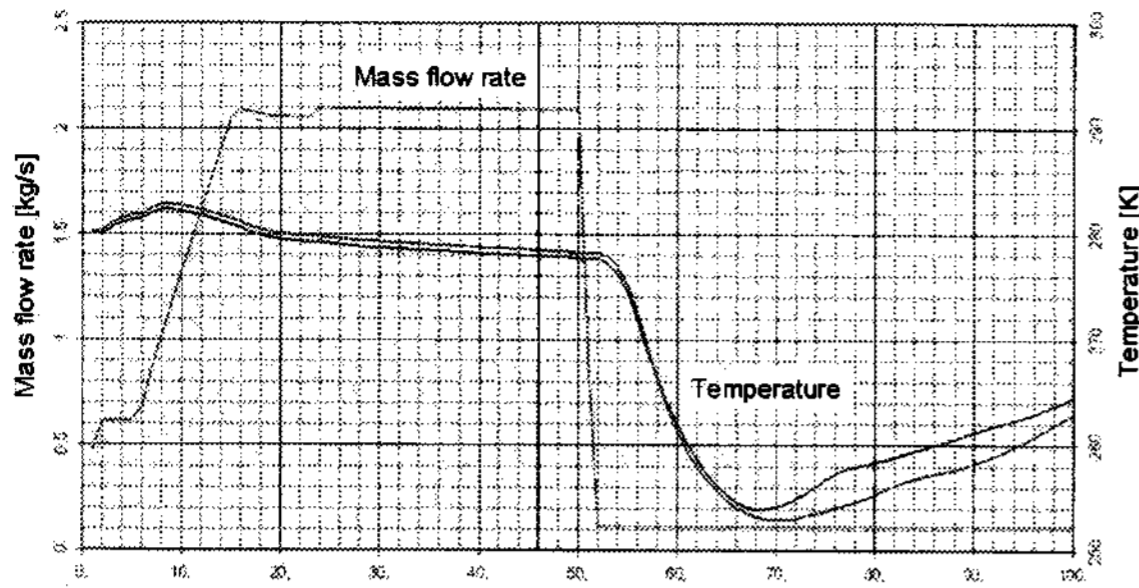


Fig. 3 기체공급시스템 시험 유량/온도-시간선도

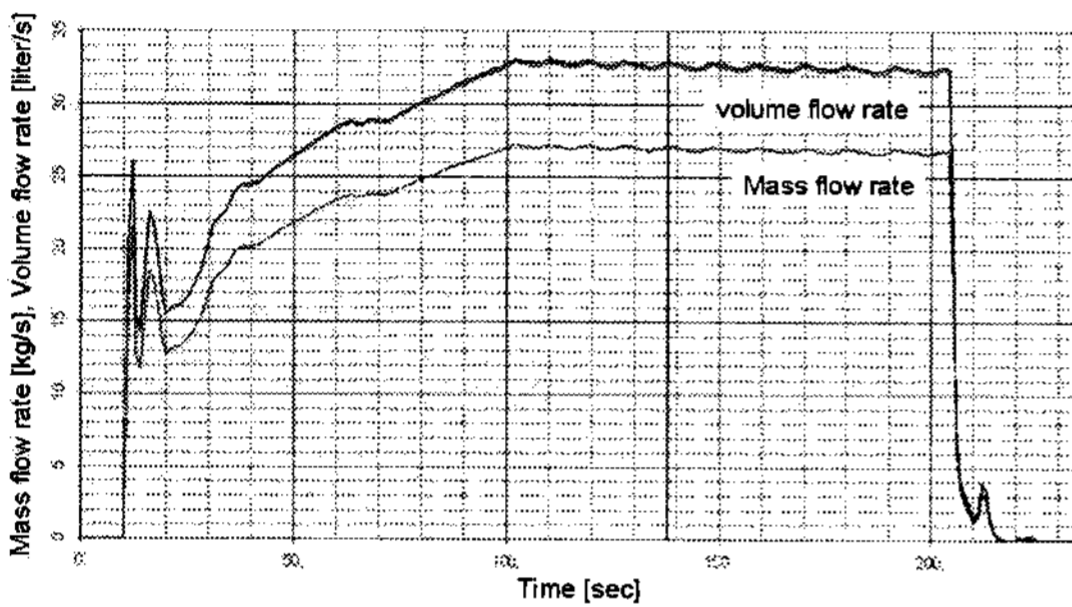


Fig. 4 케로신 공급시스템 시험 유량-시간선도

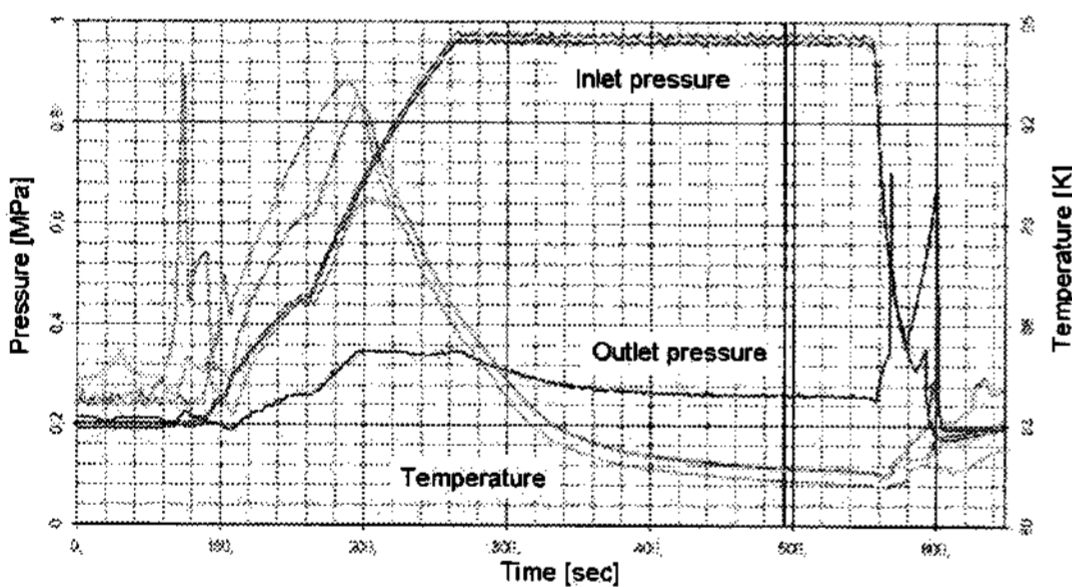


Fig. 5 액체산소 공급시스템 시험 압력, 온도

4.3 액체 질소를 이용한 액체 산소 공급계 수류 시험

액체 산소 공급부에 대한 액체 질소 수류 시험의 목적은 극저온 조건에서의 액체 산소 공급부 및 배출부의 성능 검증 및 배관 기밀 시험과 액체 산소 공급부 및 배출부 배관에서의 예측된 압력 강하 검증이며, 추진제 유량, 온도, 액체 산소 공급 및 배출배관에서의 압력강하를 확인하였다. Fig. 5에 공급부와 배출부 배관에서의 압

력 및 온도의 시간선도를 도시하였다.

4.4 설비 배관 시스템 수류시험 결과 검토

추진제 공급계에 대한 예비 수류 시험을 통해 추진제 공급 및 배출 시스템의 성능 확인이 수행되었으며, 터빈 구동을 위한 기체 공급 시스템의 공류 시험결과를 종합하면 추진제 공급을 위한 시험설비 시스템의 검증이 이루어졌다.

5. 결 론

액체로켓엔진 개발 시험의 중간 단계로서 연소기를 제외한 터보펌프 등의 엔진 주요 구성품을 이용한 터보펌프+가스발생기 연계시험 수행을 위한 준비로서 터보펌프+가스발생기 연계시험을 위한, 시험기 및 시험설비 구성, 추진제 공급시스템의 수류시험결과를 제시하였다.

참 고 문 헌

1. S. A. Rahman and B. J. Hebert, "Large Liquid Rocket Testing-Strategies and Challenges", Joint Propulsion Conference and Exhibit, AIAA-2005-3564
2. 김승한 등, "터보펌프+가스발생기 연계시험 설계", 한국추진공학회 2006년도 추계학술대회 논문집, pp. 196-200, 2006
3. 조광래 등, "소형위성발사체 개발사업(II)", 한국항공우주연구원 보고서, 2004
4. 조광래 등, "소형위성발사체 개발사업(IV)", 한국항공우주연구원 보고서, 2006
5. 김진한 등, "액체로켓엔진용 터보펌프 개발 현황", 제5회 우주발사체기술 심포지움, pp. 38-51, 2004
6. 김승한 등, "액체로켓엔진용 실물형 1.5MW 급 가스발생기 개발", 제5회 우주발사체기술 심포지움, pp. 74-81, 2004