

터보펌프+가스발생기 폐회로 연계시험 특성 연구

김승한* · 남창호** · 김철웅*** · 설우석****

Study on the Characteristics of Turbopump+Gas generator Closed-loop coupled test

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

ABSTRACT

For the technology development of LOx/kerosene liquid rocket engine, turbopump-gas generator closed-loop coupled tests using 30tonf main engine components such as turbopump and gas generator except combustion chamber are performed. In the engine system operation environment, simulating combustion chamber by flow control units, the chill-down procedure, startup characteristics, nominal operability and smooth shutdown of turbopump+gas generator closed-loop coupled Test Plant are successfully confirmed. The serviceability of the turbopump and gas generator are evaluated. The feed-back control system for the turbopump rotational speed and gas generator mixture ratio are also verified. The results of closed-loop coupled test will be used as the technology development for the liquid rocket engine.

초 록

액체산소/케로신 추진제 액체로켓엔진 개발기술 확보를 위해, 연소기를 제외한 터보펌프, 가스발생기 등의 30톤급 엔진 주요 구성품을 이용한 터보펌프+가스발생기 폐회로 연계시험을 수행하였다. 연소기를 유량제어 요소로 모사한, 엔진시스템 모사조건에서 터보펌프+가스발생기 폐회로 연계시험기의 예냉 절차, 시동 특성, 정격조건 작동 및 정지가 성공적으로 수행되었다. 터보펌프와 가스발생기의 작동성을 검증하였다. 연계시험기의 터보펌프 회전수 및 혼합비 피드백 제어를 위한 제어시스템도 검증되었다. 본 폐회로 연계시험 결과는 액체로켓엔진 선행 기술 개발에 활용될 것이다.

Key Words: Turbopump(터보펌프, TP), Gas Generator(가스발생기, GG), TP+GG closed-loop coupled test(터보펌프+가스발생기 폐회로 연계시험)

1. 서 론

한국항공우주연구원에서는 추력 30톤급 액체산소/케로신 엔진의 선행개발연구를 수행하였다 [1,2]. TP+GG 연계시험은 30톤급 액체산소/케로신 엔진의 첫 구성품 조합시험으로 엔진구성품 성능검증 및 조합 성능 시험을 단계적으로 시험

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

을 진행하였다[3-5]. 본 논문에서는 30톤급 TP+GG 연계시험 중 폐회로 연계시험 수행에 대한 결과를 제시하였다.

2. 터보펌프+가스발생기 연계시험기 및 시험방법

2.1. 터보펌프+가스발생기 폐회로 연계시험기

그림 1에 폐회로 연계시험기의 개략도를 제시하였다. 터보펌프+가스발생기 연계시험에서 엔진의 주요 구성품 중 연소기는 터보펌프 출구의 주연료유량제어 밸브(Th3)와 오리피스 조합을 이용하여 모사된다. 유량제어 밸브의 개도 선택은 주어진 엔진 작동 모드에서의 실물형 연소기에 상당하는 추진제의 질량유량과 연소기 압력을 모사할 수 있도록 결정된다. 이러한 시험을 통해 연소기를 제외한 터보펌프와 가스발생기 등의 엔진구성품의 엔진 작동 모사 환경에서의 작동성이 확인된다. 터보펌프 터빈으로 공급되는 가스발생기 가스의 혼합비 유지와 터빈 구동력 조절을 위해 가스발생기 산화제 및 연료 공급 배관에 유량제어밸브(Th1, Th2)를 장착하여 가스발생기 유량을 실시간 제어하도록 구성하였다.

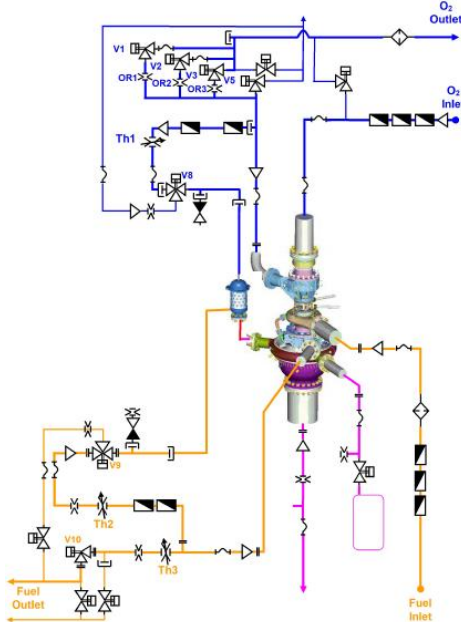


Fig. 1. TP+GG 폐회로연계시험기

2.2. 시험방법

TP+GG 폐회로 연계시험의 시험조건의 결정은 먼저 연계시험의 작동조건에 해당하는 산화제 터보펌프 토출 유량에 맞는 터보펌프 회전수를 결정하고, 터보펌프 회전수를 고정된 상태에서 주 연료 배관 측 유량조절밸브, Th3를 조정하여 연료 터보펌프 토출유량을 연계시험기의 작동조건에 맞게 조절하고, 이후에 터보펌프 회전수, 산화제 및 연료 터보펌프 유량이 고정된 상태에서 가스발생기 유량조절밸브 개도를 조정하여 화제 펌프와 연료 펌프의 소요 동력의 합과 터빈부 발생 동력이 같게 되도록 조절하게 된다. 이를 위해 터보펌프의 유량계수 및 양정계수 관계를 이용하고, 각 추진제 공급 배관 및 시험시제 부분의 유효단면적과 목표 유량값으로부터 시험조건을 결정한다. 각 배관구성요소의 유효단면적은 예비 수류시험이나, 이전에 수행된 시험 결과에서 도출되는 값이다. 유효단면적이 변하는 유량제어밸브 Th1, Th2, Th3는 각각 가스발생기 산화제/연료 입구배관의 유량제어밸브와 터보펌프 출구 주 연료 배관의 유량제어밸브로서 이러한 유량조절밸브의 개도에 따른 유효단면적은 이전의 물시험 및 실추진제 수류시험을 통해 확인된 특성을 함수화하여 이를 바탕으로 시험조건에 맞게 조절하게 된다.

3. 시험결과

3.1. 예냉 특성

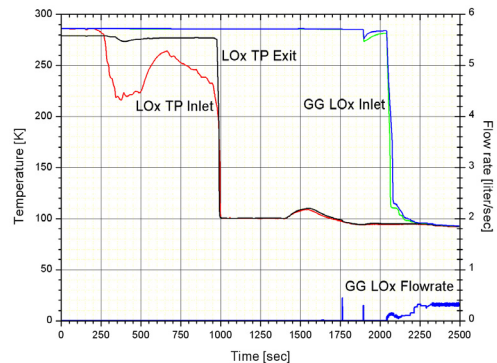


Fig. 2. 액체산소 배관 예냉특성

폐회로 연계시험 수행을 위해 터보펌프 시동 전 터보펌프 및 가스발생기 산화제 배관에 대해 충분한 예냉을 수행한 후 시험을 개시하였다(그림 2). 산화제 주배관 및 가스발생기 배관에 대한 예냉은 연계시험기 시동 직전까지 수행하였다.

3.2 시동 천이 구간 특성

폐회로 연계시험기의 기동은 터보펌프 시동기 터빈매니폴드에 시동용 기체를 공급함으로써 시작된다. 그림 3에 연계시험기 시동 천이 구간에서의 주요 작동 변수의 변화를 도시하였다. 시동기 기동에 의해 터보펌프 회전수가 상승하고 터보펌프 시동 후 가스발생기가 점화되고, 가스발생기 연소 압력 상승과 함께 터보펌프 회전수가 정격 작동조건으로 안정적으로 발달하였다. 종료시에도 특이 사항 없이 안정적으로 정지하였다.

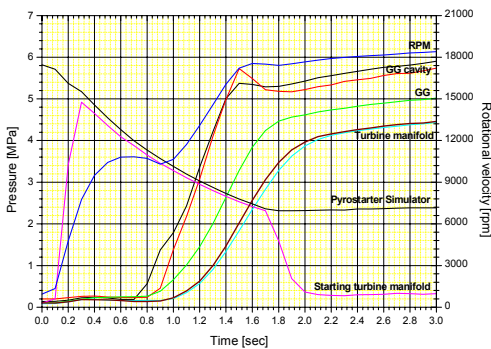


Fig. 3. 폐회로 연계시험기 시동특성

3.3 정상 상태 작동 특성

그림 4, 5에 정상작동 구간에서의 터보펌프 주요 작동변수를 도시하였다. 터보펌프 후방 유량 제어밸브 개도 및 오리피스 조합을 시험 중 변경하고 가스발생기 유량제어밸브 개도 변화를 통해 한 번의 연계시험에서 다수의 시험조건에 대해 시험을 수행할 수 있도록 하였으며, 그림 4, 5에는 3개의 연계시험기 작동 조건에 대한 터보펌프 회전수와 질량유량, 펌프 유량계수 결과를 제시하였다. 산화제펌프 출구 유량계수 변화는 개폐밸브 조합으로 구현하였으며, 연료펌프 출구의 유량계수는 주 연료 배관의 유량제어밸

브(Th3) 개도로 조절하였다. 구간별 터보펌프 회전수 목표값을 달성하기 위해 가스발생기 유량 제어밸브 개도에 대한 피드백제어를 수행하였다.

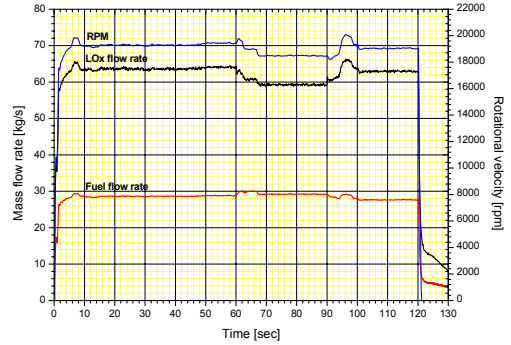


Fig. 4. 터보펌프 회전수 및 토출 유량

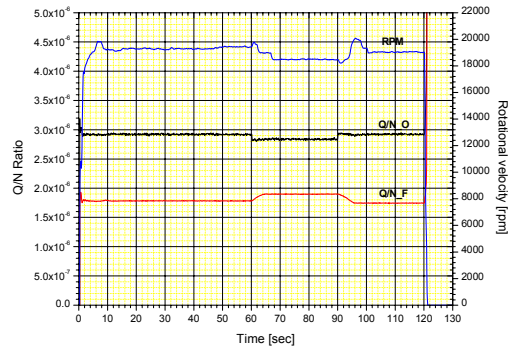


Fig. 5. 터보펌프 회전수 및 유량계수

3.4 폐회로 연계시험기 회전수/혼합비 제어 특성

터보펌프+가스발생기 폐회로 연계시험에서는 가스발생기 혼합비는 가스발생기 연료 및 산화제 공급 유량을 유량계 신호를 이용한 가스발생기 산화제 유량제어밸브에 대한 실시간 피드백 제어를 이용하였으며, 연소기 연료 유량은 폐회로 연계시험 작동 조건에 맞게 사전에 설정된 위치로 유량제어밸브를 조정하였다.

그림 6, 7, 8, 9에 유량제어밸브의 개도와 제어밸브 전후단의 차압, 터보펌프 회전수, 가스발생기 O/F비, 가스발생기 출구 온도를 시간에 대해 도시하였다. 가스발생기 유량은 유량제어밸브 개도와 터보펌프 회전수의 함수로 나타남을 알 수

있으며, 실시간 피드백제어에 의해 터보펌프 회전수와 가스발생기 혼합비가 시험조건이 변경되는 천이구간을 포함한 시험의 전 영역에서 안정적으로 유지됨을 확인할 수 있다.

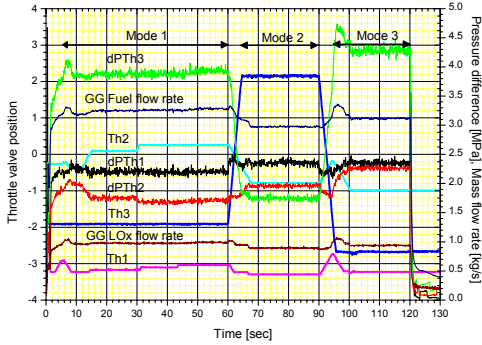


Fig. 6. 연계시험기 제어밸브 개도 및 차압

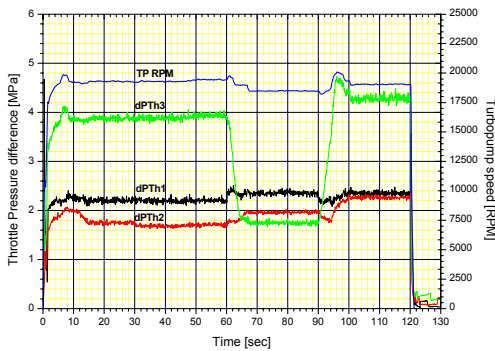


Fig. 7. 연계시험기 제어밸브 차압 및 TP 회전수

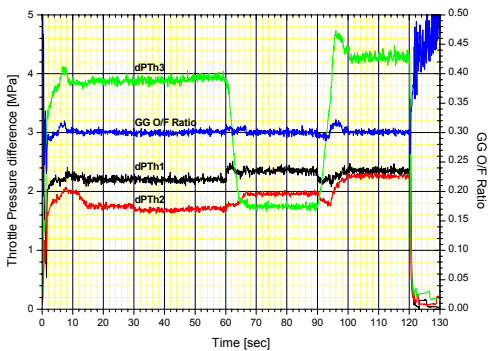


Fig. 8. 연계시험기 제어밸브 차압 및 혼합비

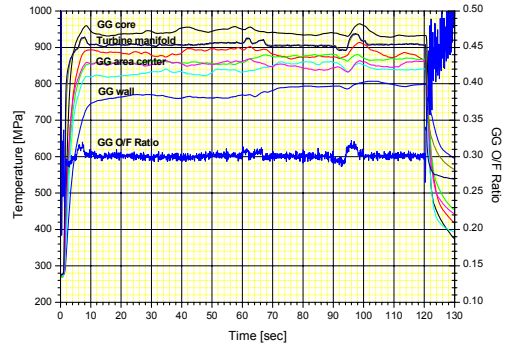


Fig. 9. 가스발생기 혼합비 및 출구 온도

4. 결 론

30톤급 액체산소/케로신 액체로켓엔진 구성품을 이용한 터보펌프+가스발생기 폐회로 연계시험을 수행하였다. 이를 통해 엔진의 주요 구성품인 터보펌프, 가스발생기의 엔진 작동모사조건에서의 작동성 및 특성 평가와 함께, 폐회로 연계시험기의 예냉 절차, 시동/종료 절차의 적합성 및 제어시스템의 작동 특성 평가가 수행되었다.

참 고 문 헌

1. 조광래 등, "소형위성발사체 개발사업(V)", 한국항공우주연구원 보고서, 2007
2. 김승한 등, "액체로켓엔진용 실물형 1.5MW 급 가스발생기 개발", 제5회 우주발사체기술 심포지움, pp.74-81, 2004
3. 김승한 등, "터보펌프+가스발생기 연계시험기 수류시험", 한국항공우주학회 2008년도 추계학회 논문집, pp.863-866, 2008
4. 김승한 등, "터보펌프+가스발생기 연계시험기 시동모사 수류시험", 한국항공우주학회 2008년도 추계학회 논문집, pp.859-862, 2008
5. 김승한 등, "터보펌프+가스발생기 개회로 연계시험", 한국추진공학회 2008년도 추계학술대회 논문집, pp.125-128, 2008