

## 30톤급 연소기의 연소시험을 위한 설비 개량

이광진\* · 서성현\* · 임병직\* · 문일윤\* · 한영민\* · 최환석\*

### Rocket Engine Test Facility Improvement for Hot firing test of a Comubstor in the 30-tonf class

Kwang-Jin Lee\* · Seonghyeon Seo\* · Byoungjik Lim\* · Il-Yoon Moon\* · Yeoung-Min Han\* · Hwan-Seok Choi\*

#### ABSTRACT

The facility improvement for hot firing test of combustion chamber having thrust of 30-tonf class and chamber pressure of 60bara were performed at ReTF in KARI. The KSR-III main engine having combustion pressure of 13bara and thrust of 12.5tonf had been successfully tested in this facility. To increase the capability of the facility, the feeding and the trust measurement system have been modified. The modification of the feeding system plays also a role of ensuring the stability of propellant supply and two step ignition sequence of combustion chamber. The one-axis thrust measurement system of up to 60tons has been newly manufactured and installed in test stand and the water/kerosene supply lines with high pressure vessel of 4m<sup>3</sup> and gas nitrogen vessel of 10m<sup>3</sup> have been designed for regenerative cooling system. The results of cold flow test show that this facility has been successfully improved to satisfy the requirement for hot firing test of high performance combustor.

Key Words: Facility improvement, Feeding system, Trust measurement system, Cooling system

#### 1. 서 론

한국항공우주연구원내 ReTF(Rocket engine Test Facility)는 액체로켓엔진의 연소기 시험을 위한 설비로 지난 2001년도에 첫 가동을 시작한 후 150회에 이르는 연소기 및 가스발생기 관련 시험을 수행하였다[1][2][3][4]. 시험을 수행하는 동안 크고 작은 여러가지 문제점도 발생하였지

만 그것이 시험장을 운영하는데 있어서 커다란 장애가 되지는 않았다. 본 시험장(ReTF)에서 연소시험에 적용된 연소기로는 대표적으로 지난 2002년도에 성공적인 발사가 이루어진 KSR-III를 들 수 있다. KSR-III는 설계점 연소압 13bar, 추력 12.5tonf의 낮은 사양의 엔진이 사용된 로켓이지만 우리나라 첫 액체로켓엔진을 추진기관으로 사용했다는 점에서 그 의미는 크다고 하겠다 [2]. 이 후 한국항공우주연구원에서는 KSR-III 개발에서 얻은 경험을 바탕으로 설계점 연소압 52.5bar, 추력 25tonf에 해당하는 액체로켓엔진을

\* 한국항공우주연구원 연소기그룹  
연락처, E-mail: lkj@kari.re.kr

개발하고 있다. 현재 개발하고 있는 액체로켓엔진의 성능에 커다란 영향을 주는 연소기부분은 이미 수차례의 연소시험을 수행하였으며 좋은 결과를 얻고 있는 상태이다. 개발 중인 연소기의 연소시험을 위해 새로운 시험장을 건설하기에는 많은 비용과 시간이 필요하기 때문에 지난 KSR-III용 연소기의 시험이 이루어진 한국항공우주연구원내 ReTF의 개량 후 시험을 수행하였다. ReTF의 많은 부분은 개발 중인 연소기의 연소시험에 적합한 사양을 갖추고 있지만 운영 및 안전상 보완해야 하는 요소가 나타났고 이를 위해 ReTF의 개량작업을 수행한 후 수차례의 설비 검증 시험을 거쳐 설계점 연소압 52.5bar, 추력 25tonf의 연소기에 대한 연소시험을 수행하였던 것이다. 본 논문에서는 개발 중인 연소기의 연소시험이 성공적으로 이루어지도록 수정 및 변경된 시험장 요소를 소개하고 더 보완해야 하는 부분에 대해 알아보하고자 한다.

## 2. 연소시험 설비

현재 개발 중인 연소기의 연소시험을 수행하기 위해 기존의 ReTF에 증축된 건물은 없으며 단지 ReTF의 요소를 수정 및 변경함으로써 KSR-III에 비해 크게 향상된 연소기의 연소시험을 수행하고 있다. 하지만 재생냉각이 이루어지는 연소기의 시험을 위해서는 추가 되어야 하는 설비가 있으며 이는 뒤에서 다시 언급하고자 한다. 현재 ReTF의 구성은 추진제 공급 부분, 추진제 가압 부분, 소음저감 부분, 추력측정 부분, 제어계측 부분, 점화기 충전 부분, 가스소화 부분 등으로 분류된다[1]. 물론 이 외에 부수적인 요소들도 갖추고 있지만 큰 부분으로 나열했을 경우 위와 같다. 이들 중에서 개량된 요소는 추진제 공급 부분과 추력측정 부분으로 연소기 점화 초기 과도 구간의 안정성 확보에 초점을 두어 수정, 보완하게 되었다.

### 2.1 연소기 사양

시험장의 활용은 대상이 되는 연소기의 사양에

따라 변경 될 수 있기에 ReTF에서 적용 가능한 연소기 사양인지에 대해 먼저 선행 조사가 이루어 졌다. 개발하고자하는 액체로켓엔진의 연소기 사양은 Table 1에서 보는 바와 같으며 이 연소기의 시험시 필요한 ReTF 수정 및 보완 부분을 검토 하였다.

Table 1. 실물형 연소기 사양

연소압	52.5 bar
산화제 유량(설계점)	63.0 kg/sec
연료 유량(설계점)	25.8 kg/sec
O/F ratio	2.44
추력 (진공)	26 tonf
연소시간	120 sec
연소실	내열재 및 재생냉각방식

Table 1의 연소기 사양을 맞추기 위해서는 현재 ReTF가 갖추고 있는 run tank의 사양 및 압력조건이 가장 큰 문제가 되었다. 현재 ReTF의 공급라인은 최대 운영압력이 100 bar에 맞추어 설계가 되어 있기 때문에 질소 가압을 이용하여 추진제를 공급하는 현재의 방식은 배관내 차압을 허용압력에 맞추어 설정해야 한다. 또한 이 압력하에 구간별 차압을 설정하고 유량제어를 위한 오리피스의 사이즈를 결정하였다. 목표로 하는 120초의 연소시간은 현재 ReTF가 갖고 있는 run tank의 용량을 초과하기 때문에 실물형 연소기의 초기 안정성 시험을 수행하는 동안 run tank를 추가 제작하여 설치하기로 하였다. 현재 설치된 run tank로 가능한 연소시간은 설계점 기준으로 40~50초로 예상된다. 개발 중인 연소기는 연료를 이용한 재생냉각 방식을 목표로 하고 있지만 이 부분 역시 현재 제작 방식 및 단품 시험 검증이 남아 있기 때문에 연소기 개발 초기에는 silica phenolic 내열재를 사용하도록 연소기 설계가 이루어 졌다. 재생냉각 방식의 연소실 제작과 맞추어 ReTF내에 재생냉각을 위한 시험 설비를 설치하기로 하였으며 그 방식은 뒤에서 다시 기술하고자 한다.

### 2.2 추진제 공급 부분

기존의 ReTF 요소 중 많은 수정이 이루어진 부

분으로 앞에서도 언급했듯이 초기 점화 과도구간의 안정성에 초점을 맞추어 구성하였다. 목표로 하는 main stage의 압력에 다다르기 전에 pre stage를 거침으로써 연소기가 갖는 점화구간에서의 과도한 충격을 감소시키고자 하였다. 물론 케비테이션 벤츄리를 사용하여 점화초기에 정확한 설계 유량을 보낼 수도 있지만 초기 점화를 main stage의 유량으로 점화시킨다는 것이 아직 경험이 부족한 상황에서 시험설비 및 연소기에 부담으로 작용하기 때문에 보다 안전한 방식을 선택하게 되었다. Fig.1와 Fig.2은 2단 점화를 위한 추진제 공급 라인을 보여 주는 것으로 산화제의 pre stage 유량은 main stage 유량의 약 60%가 유지 되도록 주라인과 보조라인의 유량제어 오리피스 사이즈를 설정하였으며 연료의 경우 역시 pre stage 유량이 main stage 유량의 약 60%가 유지 되도록 오리피스 사이즈를 설정하였다. 이러한 다단 stage의 방식은 Fig.3에서처럼 액체로켓엔진의 선진국에서 흔히 사용하는 방식이기도 하다. 이들이 사용하는 다단 stage 방식은 밸브의 궤도조절을 이용한다는 점에서 ReTF에 적용한 방식과 다른 점이라 할 수 있지만 비용과 적용시간측면에서 볼 때 주라인과 보조라인을 이용한 다단 stage 방식은 충분한 가치를 지니고 있다고 하겠다.

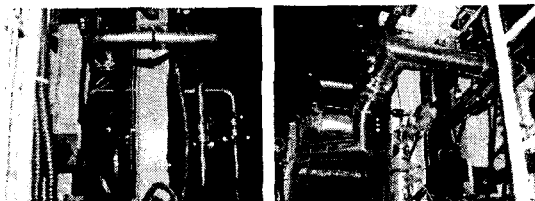


Fig. 1 Fuel Line

Fig. 2 Oxidizer Line

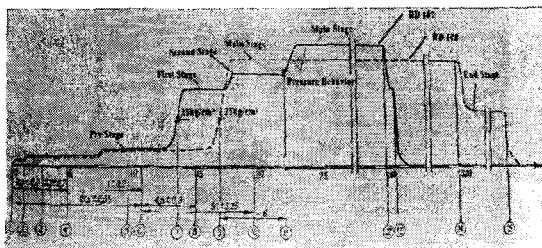


Fig. 3 Example of Multi Stage Sequence

### 2.3 추력측정 부분

추력측정 부분 역시 기존의 ReTF 요소 중에서 크게 변화된 부분이다. KSR-III의 연소기 시험에 사용되었던 추력측정 부분은 추력기준 최대용량 20ton의 축 방향 로드셀과, 10도의 추력측간 각도를 갖는 최대용량 3.5ton의 6방향 로드셀 그리고 hydraulic cylinder 보정기를 갖는 구조로 이루어져 있었다. 이에 개량된 추력측정 부분은 최대 120ton까지 사용가능한 구조물과 추력기준 최대용량 30ton의 축 방향 로드셀 그리고 교정용 유압 장치의 구성으로 이루어졌다. Fig.4와 Fig.5는 변경된 추력 측정 시스템을 보여주는 것으로 이전 모델과 달라진 가장 큰 부분은 6분력 측정방식에서 단축 측정방식으로 바뀐 점이다. 그 이유는 KSR-III 경험상 연소기 시험에서 발생된 side force는 상당히 작은 값을 보여 주었고 이에 반해 구조물의 형상은 오히려 복잡한 구조를 이루게 되었다. 즉 경제성이 다소 떨어진다는 것이다. 물론 연소기가 바깥에 side force의 값도 변화될 가능성이 있으므로 단축 측정방식에서 6분력 측정 방식으로 upgrade 할 수 있는 구조변경 가능성도 고려된 상태이다.

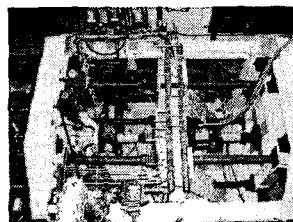


Fig. 4 Left view of TMS

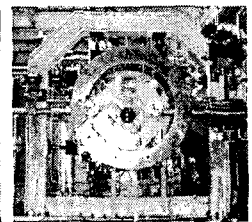


Fig. 5 Front view of TMS

### 2.4 재생냉각을 위한 시험 설비

이 부분은 아직 ReTF에서 보완된 설비는 아니지만 앞으로 연료를 이용한 재생냉각용 연소기의 시험을 위해서는 갖추어져야 하는 요소라 하겠다. 현재 이루어지고 있는 방향은 재생냉각용 연소기의 경험이 없기 때문에 연소기 헤드와 연소실 분리형의 연소기를 제작 하여 연소실부의 냉각 채널 형상이 적절하게 설계되었는지 검증

하는 것이 선행 단계라고 판단하였고 이를 위해서는 Fig.6에 제시된 것 같이 냉각용 run tank와 냉각유를 가압하기 위한 설비가 필요하다고 하겠다.

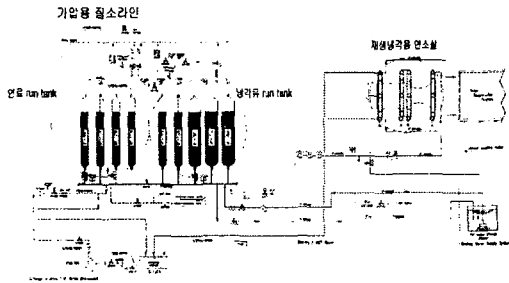


Fig. 6 Cooling system

### 2.5 기타 시험 설비

이상은 기존의 ReTF에서 수정 및 보완된 설비에 대해 살펴보았으며 연소시험을 수행하기 위해서는 그 외에 제어계측 부분, 소음저감 부분, 집화기 충전 부분, 가스소화 부분 등에 대한 신뢰도가 무엇보다 중요하다고 하겠다. 이 부분들에 대해서는 기존의 ReTF 요소를 큰 변경사항 없이 사용하였으며 그 사양에 대해서는 참고문헌에 자세히 나타나 있다.

### 3. 개량된 설비에서의 수류시험 결과

설비의 개량 후 연소기의 연소시험에 앞서 설비 검증용 수류시험을 수행하였으며 이를 통해 추진제 공급 배관에 대한 구간별 차압을 확인하였다. Fig.7과 Fig.8은 추진제 공급 시스템에 관한 개략도를 보여 주는 것으로 압력센서 및 유량계의 위치를 보여 준다. 위 개략도에는 질소 퍼지 위치, 배관 drain 위치 그리고 배관 냉각 위치등은 표시하지 않았다. 압력센서는 배관의 사이즈 및 오리피스에 의한 압력강하가 예상되는 구간에 설치되어 있으며 넘버에 의해 구분 할 수 있도록 표시하였다. Fig.9~Fig.12는 수류시험결과에 대한 위치별 압력과 유량을 보여 주는 것으로 Fig.7과 Fig.8에서 명명한 압력센서

의 위치별 값을 나타낸다. 설비 검증용 수류시험의 경우 연소기가 갖는 압력을 고려하여 배관 끝단부에 오리피스를 설치하였고 연소기 설계 유량이 흐르는 상태에서 하에서 배관 위치별 압력을 측정하는 방식을 사용하였다.

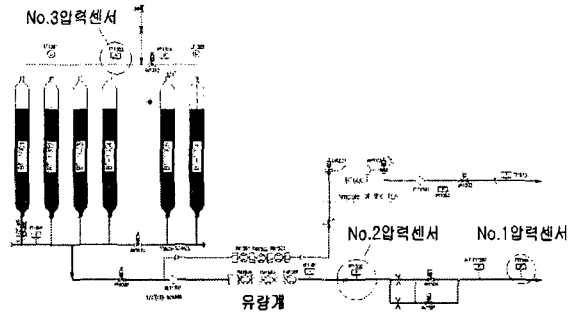


Fig. 7 Diagram of fuel supply system

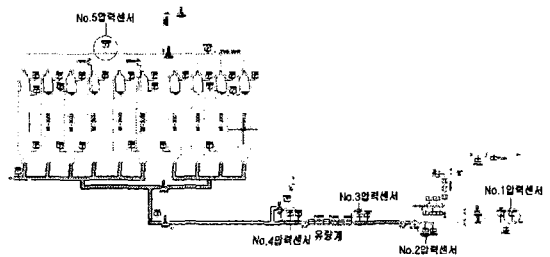


Fig. 8 Diagram of oxidizer supply system

Fig.9~Fig.12에서 보여주듯이 설비 수류시험 결과는 배관의 가용 압력조건하에서 Table 1의 조건을 만족함을 알 수 있다. 산화제 시험에서의 압력 및 유량 곡선이 감소하는 것은 ReTF에서

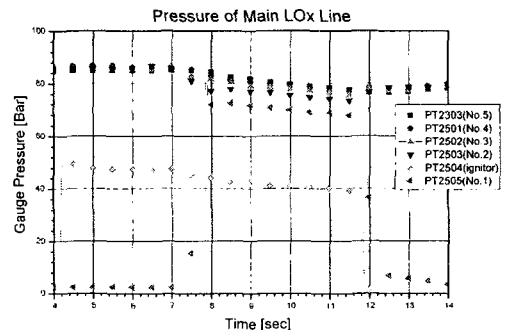


Fig. 9 Pressure of LOx line in cold test

압력제어를 수행하는 PAR부분의 설정 변경을 통하여 충분히 정상상태를 유지하도록 할 수 있다.

### 3. 결 론

이상으로 한국항공우주연구원내 위치한 ReTF의 개량부분을 살펴보고 현재 개발 중인 연소기의 연소시험 가능성 여부를 파악 할 수 있는 설비 수류시험을 통하여 성공적인 설비 개량이 이루어졌음을 확인하였다. 물론 추가적으로 이루어져야 하는 부분도 남아 있지만 계획하고 있는 절차를 성실히 따른다면 안전한 시험을 위한 최종적인 개량이 완료되리라 판단된다. 본 논문에서는 다루지 않은 부분이지만 앞에서 짧게나마 언급하였듯이 현재 개량된 ReTF에서는 실물형 연소기에 대한 수차례의 연소시험이 성공적으로 이루어졌다. 따라서 본 논문에서 언급한 부분은 추가 적으로 보완해야 하는 설비를 제외하고는 모두 검증된 시설이라 할 수 있으며 우리 모두 한국항공우주연구원내 ReTF가 국내 액체로켓엔진 개발의 초석이 되는 설비임을 인지하고 애정과 관심을 가지고 소중히 가꾸어야 하겠다.

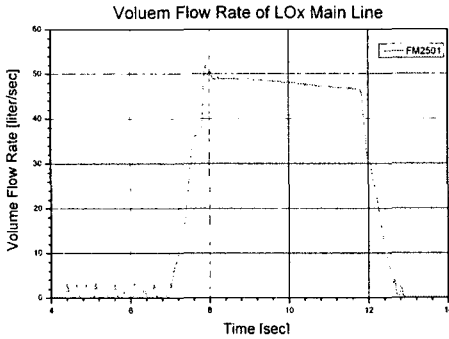


Fig. 10 V.F.R of LOx line in cold test

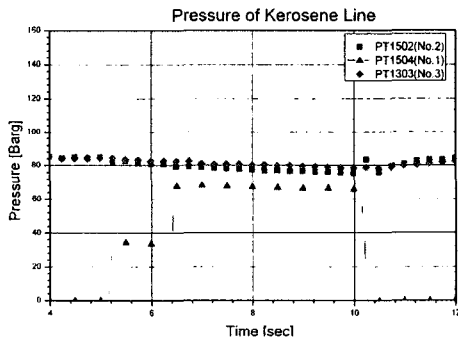


Fig. 11 Pressure of Fuel line in cold test

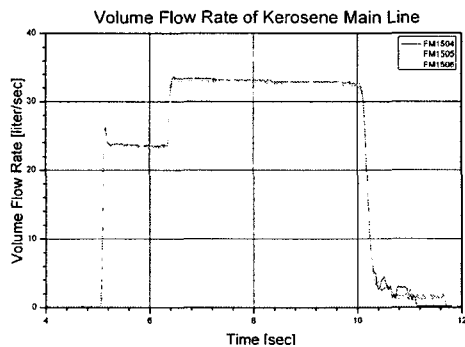


Fig. 12 V.F.R of Fuel line in cold test

### 참 고 문 헌

1. 한영민 외, "액체로켓엔진 지상 연소성능 시험설비", 한국항공우주학회 춘계학술발표회, 2002
2. 조광래 외, "3단형 과학로켓 개발사업", 한국항공우주연구원 보고서, 2003
3. 김승한 외, "액체로켓엔진용 실물형 1.5MW급 가스발생기 개발," 제5회 우주발사체기술 심포지움, 2004, pp.74-81
4. 한영민, 김승한, 서성현, 문일윤, 설우석, 조광래, "다종의 축소형 고압연소기 연소성능 시험," 한국추진공학회 추계학술대회, 2004, pp.259-264.