

Technical Paper

DOI: <http://dx.doi.org/10.6108/KSPE.2014.18.1.085>

연소기 연소시험설비 고압가스 공급시스템 설계

정용갑^{a,*} · 조남경^a · 한영민^a

Design of Compressed Gas Supply System for Combustion Chamber Test Facility

Yonggahp Chung^{a,*} · Namkyung Cho^a · Yeoungmin Han^a

^a*Propulsion Test and Evaluation Team, Korea Aerospace Research Institute, Korea*

^{*}*Corresponding author. E-mail: ygchung@kari.re.kr*

ABSTRACT

To develop liquid propulsion engine, the development of combustion chamber must be preceded. For performance validation of the combustion chamber, the designed and manufactured combustion chamber should be tested in combustion chamber test facility (CCTF). The CCTF is the test facility to develop the combustor of rocket engine, which uses liquid oxygen as a oxidizer and kerosene as a fuel. Present paper introduces the detailed design results of compressed gas supply system of CCTF, which is planned to be installed at Naro Space Center.

초 록

액체 추진 엔진 개발을 위해서는 서브시스템인 연소기 개발이 선행되어야 하고 설계 및 제작된 연소기의 성능 검증은 연소기 연소시험설비(CCTF)에서 수행된다. 연소기 연소시험설비는 로켓 엔진의 연소기를 개발하기 위한 시험 설비로 산화제로는 액체산소(Liquid Oxygen)를 사용하고 연료로는 케로신(Kerosene)을 사용한다. 이러한 추진제는 질소가스를 사용하여 고압으로 추진제 런탱크를 가압하여 연소실로 공급하게 된다. 우주센터에 구축 예정인 연소기 연소시험설비에 대한 상세설계가 수행되었으며, 본 논문에서는 고압가스 공급시스템에 대한 설계 결과를 소개하고자 한다.

Key Words: Combustion Chamber Test Facility(CCTF, 연소기연소시험설비), Compressed Gas(고압가스), Supply System(공급시스템), Hydraulic and Pneumatic(유공압), Design(설계)

1. 서 론

발사체의 추진기관은 추진제인 산화제와 연료의 공급방식에 따라 가압식 추진기관과 터보펌프식 추진기관으로 구분된다. 한국형 발사체(KSLV-II)의 추진기관은 가압제로 헬륨가스를 사용하고 산화제로 액체산소(Liquid Oxygen), 연료로 케로신(Kerosene)을 사용하는 터보펌프 공급

Received 2 June 2013 / Revised 30 December 2013 / Accepted 10 January 2014
Copyright © The Korean Society of Propulsion Engineers
pISSN 1226-6027 / eISSN 2288-4548 / <http://journal.kspe.org>
[이 논문은 한국추진공학회 2013년도 춘계학술대회(2013. 5. 30-31, 부산 해운대 한화리조트) 발표논문을 심사하여 수정·보완한 것임.]

방식 액체엔진으로 개발이 진행되고 있다. 액체 엔진의 주요 구성은 연소기와 터보펌프, 엔진공급시스템으로 크게 나눌 수 있으며 각 서브시스템의 개발은 독립적으로 개발되어 시험을 통한 성능 검증이 이루어진다[1]. 특히 각 구성요소와 서브시스템 중에서 연소기의 경우 가압제로 작동탱크에 저장된 추진제를 가압하여 연소기로 공급하여 연소시키는 연소시험은 연소기 개발 과정에서 연소기 성능 검증을 위하여 필수적이다. 이와 같이 연소기 연소시험을 수행하여 연소기의 성능을 검증하는 시험 설비를 연소기 연소시험설비(CCTF, Combustion Chamber Test Facility)라 한다[1,2].

연소기 연소시험설비에 대한 상세 설계가 완료되었고 상세 설계를 기준으로 현재 우주센터에 연소기 연소시험설비를 구축하고 있다. 연소기 연소시험설비는 산화제 시스템과 연료 시스템, 액체질소 시스템, 고압가스 공급시스템, 소화/안전 시스템, 부대 시스템 등으로 구분할 수 있다. 본 논문에서는 이들 시스템 중에서 고압가스 저장시스템과 고압가스 분배시스템, 고압가스 감압시스템 등으로 구성된 고압가스 공급시스템에 대한 설계 결과를 소개하고자 한다.

2. 연소기 연소시험설비

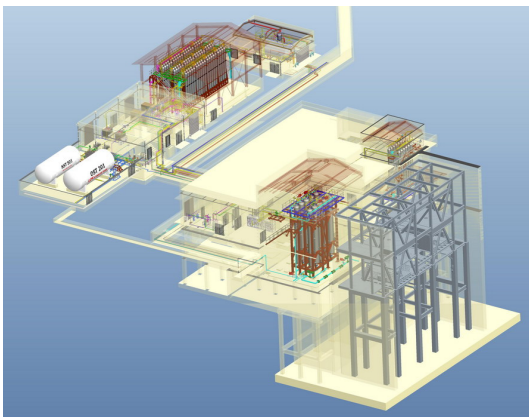


Fig. 1 3D modeling of CCTF.

연소기 연소시험설비(CCTF)는 액체 추진기관의 주요 구성요소인 연소기에 대하여 성능 검증을 수행하기 위한 설비이다. 연소기 성능 검증은 설계 및 탈설계 조건에 대하여 수류시험과 연소시험을 통하여 연소기의 성능을 검증하게 된다. 본 설비의 주요 구성은 산화제인 액체산소를 저장 및 공급하는 산화제 시스템과 연료인 케로신을 저장 및 공급하는 연료 시스템 그리고 가압제인 질소가스 생산과 연료의 냉각 등을 위한 액체질소 시스템, 고압가스 공급시스템, 소화/안전 시스템, 부대 시스템 등으로 구분할 수 있다.

Fig. 1은 CCTF에 대한 3D 모델링이고 Table 1은 시험 대상체에 대한 규격과 CCTF의 주요 용기류에 대한 규격이다. Table 2는 CCTF에서 사용되는 유체와 용도를 나타낸 것이다.

Fig. 2는 CCTF의 고압가스 공급시스템의 전체 가스 흐름도이고 Fig. 3은 Fig. 2에서 질소가스로 추진제 작동탱크를 가압하여 연소기로 추진제를 공급하는 과정을 개략적으로 나타낸 것이다. 액체 질소를 기화시켜 질소 가스를 생산하는 고압가스 생산시스템으로부터 질소 가스를 가스 저장용기에 저장(NPuR→PVU→가스용기)하고 이를 고압가스 분배시스템(DVU)을 통하여 각 시스템에서 요구하는 압력으로 감압(NDR)한 다음, 추진제 작동탱크를 가압하여 추진제를 연소기로 보내게 된다.

Table 1. Test article and CCTF specification.

Parameter		Specification
Thrust		74,800 kgf
Flowrate	Oxidizer, LOx	173.1 kg/s
	Fuel, Kerosene	70.6 kg/s
Chamber Pressure		60 bar
Storage Tank	GN2	105 ea (1m ³ /ea)
	GHe	9 ea (1m ³ /ea)
Oxidizer Tank	Storage	96 m ³
	Runtank	10 ea (3m ³ /ea)
Fuel Tank	Storage	53 m ³
	Runtank	12 ea (1.3m ³ /ea)

Table 2. Fluids for CCTF.

Fluid	Usage	
Liquid Oxygen	Oxidizer	
Kerosene	Fuel	
N ₂	Liquid	Fuel Cooling, GN ₂ , etc.
	Gas	Pressurant, Purge etc.
Gas Helium	TEA System, Sensor, etc.	
Air	Actuator, etc.	

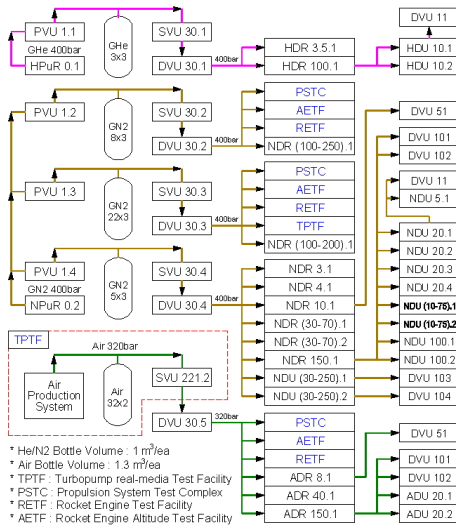


Fig. 2 Flow diagram of compressed gas supply system.

3. 고압가스 공급시스템 설계

3.1 고압가스 공급시스템 구성

고압가스 공급시스템은 가스 생산시스템으로부터 공급되는 가스를 저장하기 위한 고압가스 저장시스템과 저장된 가스를 다른 추진기관 시험설비나 CCTF의 추진제 가압 및 시스템 퍼지, 기타 용도로 분배하는 분배시스템, 분배시스템으로부터의 고압가스를 각 시스템 요구 조건으로 감압하여 공급하는 고압가스 감압시스템으로 구분할 수 있다. Fig. 4는 고압가스 분배와 감압용으로 설치되는 자동 및 수동 판넬에 대한 3D 모델링이고 Fig. 5는 고압가스 용기부에 대한 3D 모델링을 나타낸 것이다.

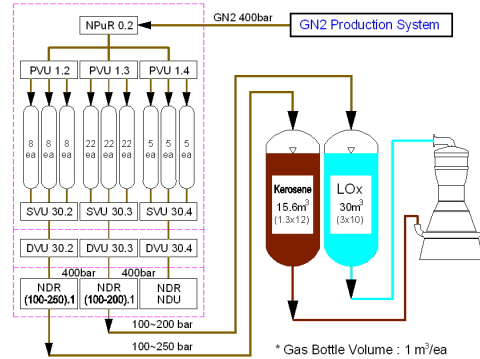


Fig. 3 Flow diagram of GN₂ supply system of CCTF.

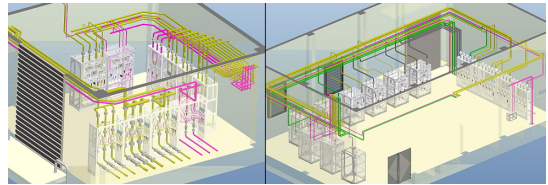


Fig. 4 3D modeling of gas distribution room and pressure reducing system room.

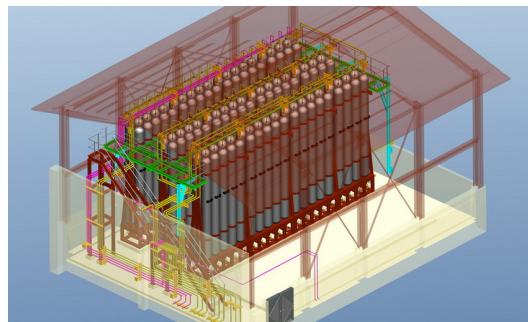


Fig. 5 3D modeling of gas storage department.

3.2 고압가스 저장시스템

CCTF에서 사용되는 가스는 공기와 헬륨, 질소이다. 공기의 경우에는 공기 저장시스템이 터보펌프 실매질 시험설비에 구축되고 배관을 통하여 공기 분배시스템으로 공급된다. 유사한 기능을 하는 자동 및 수동 판넬들은 구성과 형상이 유사하도록 설계 되었다. 예를 들어 PuR 판넬의 경우 HPUr 0.1과 NPUr 0.2 수동 판넬은 부품의 규격이 일부 다를 수는 있으나 전체적인 구

성과 형상은 서로 유사하다. 마찬가지로 PVU 1.1과 PVU 1.2, PVU 1.3, PVU 1.4의 경우에도 부품의 규격이 일부 다를 수는 있으나 전체적인 구성과 형상은 서로 유사하다.

헬륨가스 저장시스템은 헬륨가스 생산시스템의 압축기를 이용하여 중압의 헬륨가스를 고압으로 승압하여 수동 판넬인 HPuR (Helium Pumping Rack) 0.1과 PVU (Pumping Valve Unit) 1.1을 통하여 총 9개의 고압용기가 3개의 섹션(3개, 3개, 3개)으로 구분되어 헬륨 가스를 각 섹션의 고압용기에 최대 400 bar로 저장하도록 설계되었다. 그리고 고압용기 충전부에 PVU 1.1 수동 판넬이 있어 각 섹션별로 충전을 제어하게 되고 고압용기 반대쪽의 토출부에는 SVU (Switching Valve Unit) 30.1 수동 판넬이 있어 섹션별로 선택적으로 사용하거나 3개의 모든 섹션을 사용할 수 있도록 설계되었다. Fig. 6은 HPuR 0.1 수동 판넬의 3D 모델링이다.

여러 개의 고압가스 용기를 섹션으로 구분하여 설치할 경우 어느 하나의 섹션에 문제가 있을 경우에는 모든 용기의 가스를 배출하고 보수할 필요가 없고 해당 섹션만 선택적으로 유지/보수를 수행할 수 있을 뿐만 아니라 설비 인증 시험 시에도 선택적으로 인증시험이 가능하여 효율적으로 인증시험을 수행할 수 있다.

질소가스 저장시스템은 질소가스 생산시스템으로부터 고압으로 승압되어 수동 판넬인 NPuR 0.2와 PVU 1.2 및 PVU 1.3, PVU 1.4을 통하여 각 PVU 수동 판넬에 각각 3개의 섹션으로 구분되어 고압용기에 질소 가스를 최대 400 bar로 저장하도록 설계되었다.

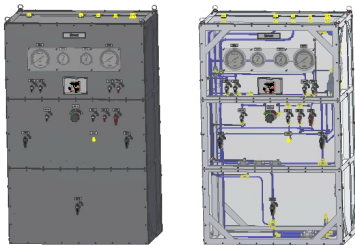


Fig. 6 3D modeling of HPuR 0.1.

PVU 1.2는 연료 작동탱크를 가압하기 위한 질소가스를 저장하는 저장부이고 총 24개의 고압용기가 3개의 섹션(8개, 8개, 8개)으로 구분되어 연료 가압용 질소 가스를 고압으로 저장하게 된다. 또한 PVU 1.3은 산화제 작동탱크를 가압하기 위한 질소가스를 저장하는 저장부로 총 66개의 고압용기가 3개의 섹션(22개, 22개, 22개)으로 구분되어 산화제 가압용 질소 가스를 고압으로 저장하게 된다. PVU 1.4는 시스템 퍼지와 유지/보수, 질소 소화시스템 등의 용도로 사용되는 질소가스를 저장하는 저장부로 총 15개의 고압용기가 3개의 섹션(5개, 5개, 5개)으로 구분되어 질소 가스를 고압으로 저장하게 된다. 그리고 헬륨가스 저장시스템에서와 마찬가지로 고압용기 충전부에 3개의 PVU 수동 판넬이 있어 각 섹션별로 충전을 제어하고 고압용기 반대쪽의 토출부에도 마찬가지로 3개의 SVU 수동 판넬이 있어 섹션별로 선택적으로 사용하거나 3개의 모든 섹션을 사용할 수 있도록 설계되었다. Fig. 7은 PVU 1.2와 SVU 30.2 판넬의 3D 모델링이다.

3.3 고압가스 분배시스템

고압용기에 연결된 SVU 수동 판넬로부터 공급되는 고압가스는 가스 분배 판넬인 DVU (Delivery Valve Unit) 수동 판넬에서 압력의 감압이 없이 공급되는 압력으로 연소기 연소시험 설비와 다른 추진기관 시험설비로 고압 가스가 분배되어 공급된다.

헬륨 가스의 분배 제어를 위한 수동 판넬은 DVU 30.1 이고 질소 가스의 분배 제어를 위한 수동 판넬은 DVU 30.2와 DVU 30.3, DVU 30.4 이다. 그리고 공기의 분배 제어를 위한 수동 판넬은 DVU 30.5 이다. Fig. 8은 DVU 30.2와 ADR 8.1 판넬의 3D 모델링이다.

3.4 고압가스 감압시스템

DVU 30.1에서 DVU 30.5까지 수동 판넬로부터 분배되는 고압가스는 최종 사용 용도에 맞추어 자동 판넬과 수동 판넬 내부에 설치된 레귤레이터에 의해 가스의 압력이 감압되어 공급되게 된다.

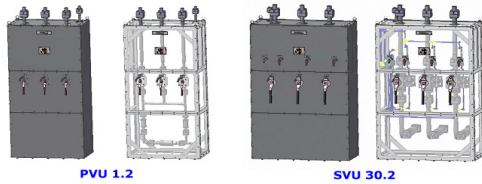


Fig. 7 3D modeling of PVU 1.2 & SVU 30.2.

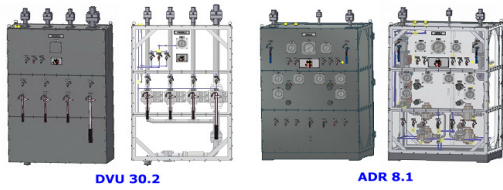


Fig. 8 3D modeling of DVU 30.2 & ADR 8.1.

Table 3. ADR and ADU.

Panel	Inlet (bar)	Outlet (bar)
ADR 8.1	400 ~ 100	8 ± 1
ADR 40.1	400 ~ 100	40 ± 4
ADR 150.1	400 ~ 150	150 ± 10
ADU 20.1	150 ± 10	max. 20
ADU 20.2	150 ± 10	max. 20

공기의 경우에는 Table 3에서와 같이 3개의 자동 판넬과 2개의 수동 판넬로 구성된다. 특히 ADR (Air Delivery Rack) 8.1과 ADR 40.1의 경우에는 공급 성능의 안정성과 신뢰성을 높이기 위하여 하나의 자동 판넬에 두 개의 공급 라인으로 병렬 공급되도록 설계되었다.

공급 라인을 병렬로 두 공급라인으로 적용할 경우 어느 하나가 불량일 경우에는 그 불량 라인은 자동으로 닫히고 나머지 라인은 계속 공급되도록 설계되었다. ADR 150.1 자동 판넬은 유지/보수를 위해 필요한 공기를 시험 설비에 공급하는 판넬로 이 공급라인에 후단에는 유지/보수용 ADU (Air Delivery Unit) 수동 판넬이 연결되어 사용되게 된다.

헬륨 가스의 경우에도 공기와 마찬가지로 자동 및 수동 판넬로 구성되어 있으며 Table 4는 2개의 자동 판넬과 2개의 수동 판넬을 나타낸다.

Table 4. HDR and HDU.

Panel	Inlet (bar)	Outlet (bar)
HDR 3.5.1	400 ~ 100	3.5 ± 0.5
HDR 100.1	400 ~ 150	100 ± 10
HDU 10.1	100 ± 10	max. 10
HDU 10.2	100 ± 10	max. 10

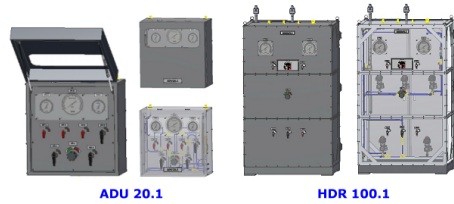


Fig. 9 3D modeling of ADU 20.1 & HDR 100.1.

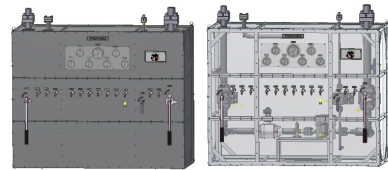


Fig. 10 3D modeling of NDR (100-200).1.

HDR 100.1 자동 판넬은 동압센서용 헬륨 가스 와 유지/보수용 헬륨 가스 공급을 위한 수동 판넬로 이 공급 라인에 후단에는 동압센서와 유지/보수용 HDU 수동 판넬이 연결되어 사용되게 된다. HDU 수동 판넬과 ADU 및 NDU 수동 판넬은 전체적인 구성과 형상이 서로 유사하다. Fig. 9는 ADU 20.1과 HDR 100.1 판넬의 3D 모델링이다.

질소 가스의 경우에도 공기 및 헬륨 가스에서와 마찬가지로 자동 및 수동 판넬로 구성되어 있으며 Table 5는 8개의 자동 판넬의 압력 규격을 나타낸 것이고 Table 6은 19개의 수동 판넬을 나타낸 것이다. NDR (100-200).1 자동 판넬은 산화제 작동탱크 가압을 위한 판넬이고 NDU 판넬은 NDR 150.1 자동 판넬의 후단에 연결된 유지/보수용 수동 판넬이다. Fig. 10은 NDR (100-200).1 판넬의 3D 모델링이다.

Table 5. Nitrogen delivery rack.

Panel	Inlet (bar)	Outlet (bar)
NDR 3.1	400 ~ 100	3 ± 0.5
NDR 4.1	400 ~ 100	4 ± 0.5
NDR 10.1	400 ~ 100	10 ± 1
NDR 150.1	400 ~ 150	150 ± 10
NDR (30-70).1	400 ~ 100	30~70 ± 5
NDR (30-70).2	400 ~ 100	30~70 ± 5
NDR (100-250).1	400 ~ 250	200 ± 10
NDR (100-200).1	400 ~ 250	200 ± 10

Table 6. NDU and DVU.

Panel	Inlet (bar)	Outlet (bar)
NDU 5.1	20 ± 2	max. 5
NDU 20.1~20.4	150 ± 10	max. 20
NDU (30-250).1	400 ~ 100	max. 250
NDU (30-250).2	400 ~ 100	max. 250
NDU 100.1~100.2	150 ± 10	max. 100
NDU(10-75).1~(10-75).4	150 ± 10	max. 75
DVU 11	20/20/10	20/20/10
DVU 51~52	8/10	8/10
DVU 101~102	150/150	150/150
DVU 103~104	250/200	250/200

감압된 이종의 가스를 하나의 판넬에 배관을 구성하여 공급하거나 추진제 작동탱크의 압력 교정을 위한 7개의 DVU 판넬도 설계되었다.

4. 고 찰

연소기 연소시험설비의 고압가스 공급시스템은 일반 설비에서 설계된 방법과는 달리, 비용적인 면보다는 신뢰도와 안정성에 최적화되어 설

계가 되었다. 가스 저장용기부의 경우 3개의 섹션으로 분리하여 설계되어 용기부의 어느 한부분이 문제가 있더라도 그 섹션만을 분리시킨 채 설비를 운용할 수 있는 장점이 있다. 또한 위험도가 높은 고압가스 공급을 안정적이고 높은 신뢰도가 요구되는 자동 판넬의 경우에는 공급라인을 이중화 설치하여 어느 한쪽이 공급 불량이 발생하더라도 안정적으로 가스를 공급할 수 있도록 설계 되었다.

5. 결 론

연소기 개발 시 성능 검증을 위한 시험 설비인 연소기 연소시험설비가 본 논문의 고압가스 공급시스템 설계 결과를 기준으로 나로우주센터에 구축 중에 있으며 구축이 완료되면 고압가스 공급시스템에 대한 인증시험을 수행할 예정이다.

References

1. Lee, K.J, Lim, B.J., Seo, S.H., Han, Y.M., and Choi, H.S., "Sub-System Requirements of a Pressured-fed Hot-firing Test Facility for the Performance Assessment of a LRE Thrust Chamber," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 15, No. 4, pp. 94-102, 2011.
2. Chung, Y.G., Cho, N.K., and Han, Y.M., "Modeling and Simulation of Combustion Chamber Test Facility Oxidizer Supply System," *Journal of the Korean Society of Propulsion Engineers*, Vol. 16, No. 6, pp. 92-97, 2012.