

## 기체공급계 재순환배관의 성능시험 및 계산

권오성\* · 조남경\* · 정용갑\* · 한상엽\* · 김영목\*\*

### Performance Test and Calculation of Recirculation Line in Propellant Feeding System

Ohsung Kwon\* · Namkyung Cho\* · Yonggahp Chung\* · Sangyeop Han\* · Youngmog Kim\*\*

#### ABSTRACT

The performance test of recirculation line in propellant feeding system was carried out. Liquid oxygen was used as cryogenic propellant and helium was used as recirculation promotion gas. Tests were done in cases at atmospheric pressure and at pressure of 4 barg in the ullage space of propellant tank. Liquid oxygen recirculation flowrate with helium injection flowrate and temperature distribution along the line were measured. There was appropriate helium injection flowrate for gas-lift recirculation system. Test data were used to make calculation program by test data correlation method. In this paper the procedure of calculation was presented and the results were compared to test data.

#### 초 록

기체공급계 추진제공급시스템의 재순환배관에 대하여 성능시험을 수행하였다. 극저온 추진제로 액체 산소를 사용하고 재순환촉진용 분사가스로는 헬륨을 사용하여 탱크 일리지가 대기압 상태인 경우와 4 barg로 가압된 경우에 대하여 시험하였다. 자연재순환의 발생여부와 헬륨분사량에 따른 액체산소의 재순환량 변화 및 배관 내부 온도분포를 파악하였고, 주어진 규격의 배관시스템에 대한 적정 헬륨분사량과 터보펌프 전단의 추진제 온도상승 정도를 살펴보았다. 시험데이터를 이용하여 재순환배관의 성능계산을 위한 프로그램을 작성하고 시험과 계산결과를 비교하였다.

Key Words: Liquid Oxygen(액체산소), Recirculation(재순환), Cryogenic Propellant(극저온 추진제)

#### 1. 서 론

터보펌프 방식의 액체추진기관 발사체에서 공

급배관 내에 충전된 극저온 추진제는 발사체 이륙전까지 대기과정동안 외부로부터 지속적으로 열을 흡수하게 된다. 충전 완료 시점에서 추진제 탱크와 배관의 수두에 의해 과냉각 상태에 놓여 있던 추진제는 계속되는 열전달로 인하여 포화 상태에 도달하고 결국 배관 내에 기포가 발생하게 된다. 이로 인해 배관과 밸브 및 주변 구조물

† 2007년 3월 8일 접수 ~ 2007년 4월 18일 심사완료

\* 정회원, 한국항공우주연구원 추진제어팀

\*\* 종신회원, 한국항공우주연구원 우주발사체추진기관실  
연락처, E-mail: oskwon@kari.re.kr

에 충격을 줄 수 있는 가이저링(geysering) 현상이 발생할 수 있고, 점화시 배관 내의 기포가 터보펌프로 유입되어 케비테이션 현상을 일으킬 수 있다[1].

이의 방지를 위한 방법 중 하나로 재순환배관을 설치하여 추진제 탱크, 공급배관, 재순환배관을 거쳐 다시 추진제 탱크로 이어지는 추진제의 순환 경로를 형성해 주는 방법이 있다[1,2,3]. 이때 공급배관 내의 극저온 추진제와 재순환배관 내의 극저온 추진제 사이에는 단위질량당 흡입 열량의 차이로 인한 밀도차가 발생하여 자연적인 순환이 이루어지게 된다. 원활한 순환을 얻기 위해서는 헬륨과 같은 비응축성 가스를 분사하게 되는데, 이 경우 상승하는 기체에 의해 액체가 부양되는 효과(gas-lift)를 통해 추진제가 순환하게 된다. Fig. 1은 재순환의 개념을 나타낸다.

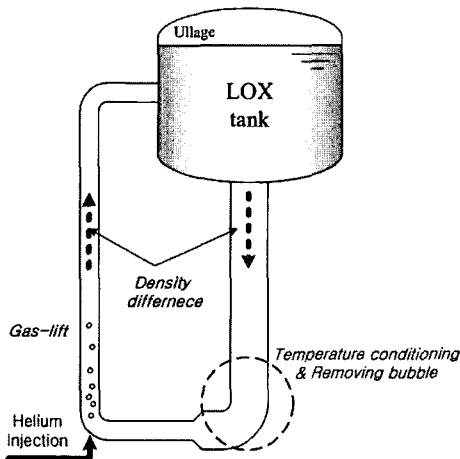


Fig. 1 Concept of Propellant Recirculation

이러한 재순환배관의 성능에 대하여 설계변수의 변화에 따른 극저온 추진제의 재순환량 변화의 경향을 살펴본 기존 연구가 있는데, 여기서 재순환배관의 직경과 분사되는 헬륨량을 제외한 나머지 설계변수들은 추진제의 재순환량에 그다지 영향을 끼치지 못하는 것으로 나타났다[4].

본 연구에서는 추진기관 공급계 시험설비를 통하여 실유체인 액체산소를 작동유체로 하여 재순환배관의 주요성능인 터보펌프 입구에서의

액체산소 온도 상승폭 및 적절한 헬륨분사량을 살펴보았다. 실제로 공급배관과 재순환배관 내의 추진제 밀도차로 인한 자연적인 재순환발생과 헬륨분사량에 따른 액체산소의 순환량 및 배관 내부의 온도분포를 측정하였다. 재순환배관의 경로가 터보펌프 후단, 즉 종단밸브의 전단에 위치할 경우 엔진부 공급계의 냉각(chill-down)에 관한 시험을 수행할 수 있으나, 본 연구에서는 재순환배관의 경로를 터보펌프가 장착되리라 예상되는 지점의 전단에 위치시킴으로써 터보펌프로 유입되는 액체산소의 온도를 관찰하는 데 초점을 두었다.

시험을 통해 얻은 액체산소의 순환량과 배관 내부의 온도 분포는 재순환배관의 성능 계산을 위한 보정 데이터로 사용하였다. 규모가 큰 시험설비에서는 열량의 출입관계를 계산에 정확하게 반영하기 어려우므로, 시험 데이터를 이용하여 계산 프로그램을 보정하고자 하였다. 본 논문에서는 계산 프로그램의 작성 과정을 언급하고 기준 조건으로 삼은 시험데이터와 계산결과를 비교하였다. 추후 시험설비에서 액체산소가 흡수하는 열량에 대하여 계산 프로그램의 지속적인 개선을 수행할 예정이며 이를 통하여 규모가 큰 시험설비에서 많은 시험을 수행하지 않고도 재순환배관의 성능을 예측할 수 있을 것으로 기대한다.

## 2. 시험설비 및 시험방법

### 2.1 시험설비

추진기관 공급계 시험설비에 장착된 재순환배관 시험라인은 발사체 상단용에 해당하는 규격으로서 산화제 탱크, 직경 2.5인치의 공급배관, 직경 1인치의 재순환배관으로 구성되어 있다. 재순환배관의 직경은 기존 연구를 통하여 공급배관과 적절한 직경비를 가지도록 선정하였다[4]. Fig. 2는 추진제 탱크를 제외한 배관시스템의 형상을 나타낸다. 재순환배관은 공급배관의 하부에서 분기되어 산화제 탱크의 중간 높이에서 측면

으로 들어가게 된다. 재순환배관에는 재순환밸브와 액체산소의 순환량을 측정하기 위한 유량계가 장착되어 있고 공급배관과 재순환배관의 주요 지점에는 온도센서와 압력센서를 설치하여 배관 내 길이 방향의 온도 분포를 파악할 수 있도록 있도록 하였다. 또한 탱크 내 하부에 온도센서를 장착하고 열리지에 온도 및 압력센서를 장착하여 시험 조건을 알 수 있도록 하였다. 센서가 장착된 위치는 Fig. 2에 표시하였는데 6701은 탱크 내부, 6702에서 6707까지는 공급배관, 6801에서 6805까지는 재순환배관에 위치한다. 액체산소의 순환 촉진을 위해 분사되는 헬륨은 재순환배관의 하부에서 수직방향으로 0.25인치 배관을 통해 공급된다. 분사라인을 제외한 모든 배관은 폴리우레탄 폼을 이용해 단열하였다.

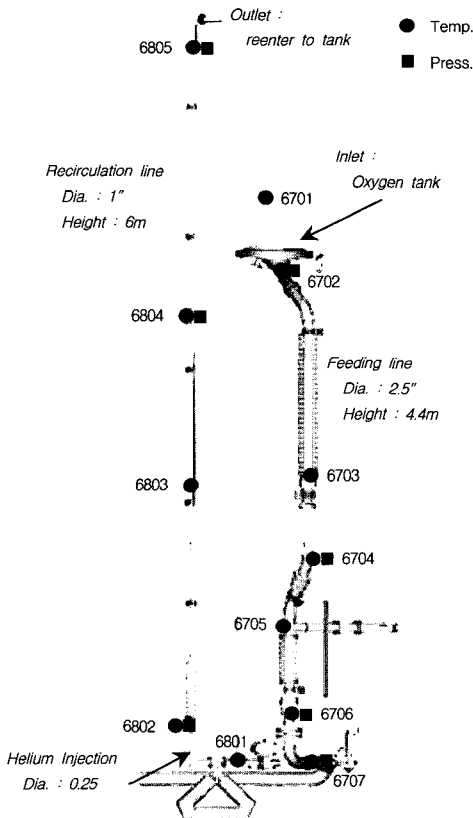


Fig. 2 Configuration of Propellant Feeding System

## 2.2 시험방법

작동유체는 극저온 추진제로 액체산소를 사용하였고, 재순환 촉진용 분사가스로 헬륨을 사용하였다. 발사체의 대기과정과 선가압과정에서의 재순환성능을 보기 위하여 산화제 탱크 열리지를 대기압 상태로 유지한 경우와 선가압 압력인 약 4 barg로 가압한 경우로 나누어 시험을 수행하였다. 대기압 시험의 경우 액체산소를 충전하고 탱크 상부의 벤트밸브를 개방하여 열리지가 대기압으로 안정화된 후 시험을 수행하였다. 배관 내에 상당량의 기포가 존재하지 않는 한 탱크와 배관 내 액체산소의 초기온도는 재순환성능에 영향을 미치지 않으므로 액체산소의 초기 온도 조건과 관계없이 시험을 수행하였다[4]. 가압 시험의 경우에는 탱크 내부 추진제가 대기압 상태에서 안정화된 후 시험설비의 가압제어시스템을 통해 솔레노이드 밸브 개폐 방식으로 압력을 유지하였다[5]. 헬륨은 재순환배관의 하부에서 윗 방향으로 분사되도록 하였는데 이는 분사된 헬륨의 gas-lift 작용에 의해 액체산소의 순환이 활발하도록 하기 위함이다. 미터링 밸브를 이용하여 분사되는 헬륨량을 조절하였고 유량계를 장착하여 분사량을 측정하였다.

## 3. 시험 결과

### 3.1 대기압 조건 시험

Figure 3은 탱크 열리지가 대기압 상태인 조건에서 헬륨 분사량의 변화에 따른 액체산소 순환량을 보여준다. 순환촉진용 헬륨을 분사하지 않는 경우에도 약 0.42 kg/sec 이상의 상당한 유량의 액체산소가 자연적으로 순환되고 있는 것을 볼 수 있다. 재순환배관에 헬륨을 분사하는 경우 초기에는 액체산소의 순환량이 급격하게 증가하였으나 약 0.14 g/sec의 분사량 이후부터는 액체산소의 순환량이 오히려 감소하였다. 분사량이 적은 경우에는 상승하는 헬륨 기포에 의한 gas-lift 효과가 발생함을 알 수 있다.

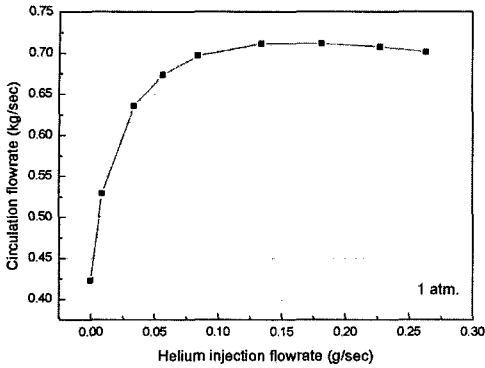


Fig. 3 LOX Recirculation Flowrate with Helium Injection at 1 atm.

헬륨분사량이 큰 경우에 액체산소의 순환량이 감소하는 원인은 액체산소와 헬륨기포의 경계면에서 기체산소의 분압차에 의한 확산 증발현상에 기인한 것이다[6]. 분사되는 헬륨량이 많아지면 헬륨가스 뿐만 아니라 헬륨과의 분압차에 의해 증발된 기체산소가 재순환배관 내부를 채우게 되어 오히려 액체산소의 원활한 순환을 방해하게 된다. 또한 액체산소의 확산증발에 의한 냉각효과로 인하여 재순환배관 내의 액체산소 밀도가 증가하는 것도 순환량을 감소시키는 원인으로 판단된다.

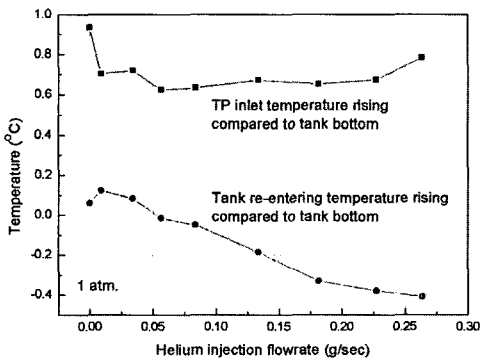


Fig. 4 Temperature Rising Compared to Tank Bottom at 1 atm.

Figure 4는 헬륨분사량에 따른 터보펌프 입구 지점과 탱크로 재유입되는 지점의 액체산소 온도를 탱크 하부의 액체산소 온도와 비교하여 나

타낸 것이다. 시험을 수행하면서 탱크 내 액체산소의 온도가 변할 수 있으므로 재순환배관에 의한 온도상승 억제 정도를 알기 위해 탱크 내 액체산소 온도에 대한 배관 내 액체산소의 상대적인 온도상승폭을 비교하였다. 분사량이 커질수록 터보펌프 입구 지점의 액체산소 온도가 감소하였으나 일정량 이상을 분사하는 경우에는 액체산소의 순환량 감소에 의해 배관 내 액체산소의 온도가 다시 증가하였다. 재순환배관에 의해 터보펌프 입구지점의 온도상승을 약 0.6~0.7℃로 유지할 수 있었다.

공급배관과 재순환배관을 거쳐 탱크로 다시 유입되는 액체산소의 온도는 터보펌프 입구 지점에 비해 오히려 낮아졌는데 이는 헬륨가스에 의한 액체산소의 증발냉각에 대한 기존 연구결과와도 일치한다[7]. 일반적으로 배관을 따라가면서 외부로부터의 열흡수에 의해 액체산소의 온도가 점차 상승해야 하지만, 시험결과 탱크로 재유입되는 액체산소는 오히려 탱크 내의 액체산소보다 냉각된 상태로 유입되었다. 즉, 추진제 충전후 대기 상태에서 재순환을 수행하면 적은 양의 헬륨분사만으로 공급배관 내의 액체산소 온도 상승폭을 줄이고 냉각된 액체산소가 탱크로 재유입되는 효과를 얻을 수 있다.

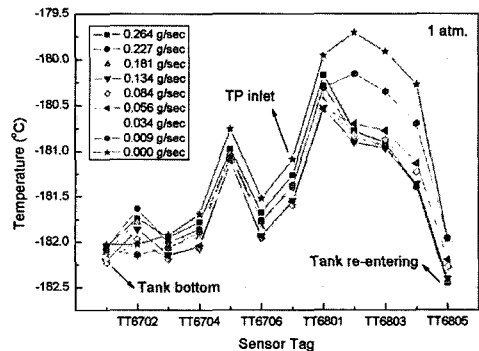


Fig. 5 Temperature Distribution along Recirculation Loop at 1 atm.

Figure 5는 탱크 하부, 공급배관, 재순환배관으로 구성된 루프를 따라가면서 액체산소의 온도 분포를 나타낸 것이다. 공급배관에서의 온도 상

승은 1℃ 미만으로 완만하나 재순환배관으로 분기된 이후인 TT6801 지점에서는 온도가 급격히 상승하였다. 헬륨을 분사하는 경우에는 TT6802 지점의 온도가 액체산소의 확산 증발냉각에 의해 감소하는 것을 볼 수 있다. TT6803 이후부터는 모든 경우에서 온도가 감소하였는데 이것이 이 지점 이후의 액체산소가 배관 높이 상승에 따른 수두압의 감소로 인해 포화상태를 유지하기 때문으로 판단된다.

3.2 가압 조건 시험

선가압 조건에서의 재순환 성능을 살펴보기 위하여 얼리지를 약 4 barg로 가압한 상태에서 시험을 수행하였다.

Figure 6은 헬륨분사량에 따른 액체산소 순환량을 보여준다. 헬륨분사량이 증가할수록 재순환되는 유량이 증가하였으나 대기압 시험의 경우보다 gas-lift 효과가 더 작았다. 이는 동일한 질 유량의 헬륨을 분사할 경우 가압된 상태에서는 대기압 상태인 경우보다 헬륨의 부피가 줄어들게 되므로 더 적은 부피의 헬륨이 상승하게 되어 액체산소를 끌어올리는 힘이 감소한 것으로 판단된다. 즉, 재순환배관 내에 부피유량이 동일하도록 헬륨을 분사해 주어야 같은 크기의 gas-lift 효과를 얻을 수 있을 것으로 판단된다.

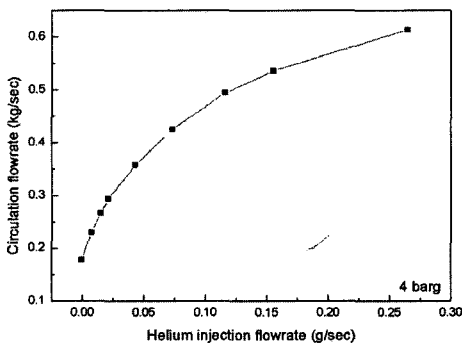


Fig. 6 LOX Recirculation Flowrate with Helium Injection at 4 barg

Figure 7은 탱크 얼리지를 4 barg로 가압한 경우의 온도비교를 나타낸다. 대기압 시험과 달리

가압 조건 시험에서는 탱크로 다시 유입되는 액체산소의 온도가 터보펌프 전단지점에 비해 큰 폭으로 상승하였는데, 이것은 이미 과냉각 상태에 있는 액체산소에 헬륨을 분사하면 오히려 온도가 상승하게 된다는 기존의 연구결과와 일치하는 것이다[6]. 자연재순환의 경우에는 터보펌프 전단지점의 온도가 탱크 내부 액체산소 온도에 비하여 약 1.5℃ 증가하였으나 분사량을 증가시킬수록 온도차가 감소하여 약 0.6℃ 차이까지 줄일 수 있었다. 액체산소의 순환량이 동일한 경우 대기압 조건과 가압 조건에서의 탱크 온도 대비 터보펌프 전단지점의 온도차는 거의 비슷하였다. 헬륨의 분사량이 적을 경우 탱크로 다시 유입되는 액체산소의 온도는 탱크 내 온도보다 약 7℃ 높았는데 이러한 상태로 재순환이 지속된다면 승온된 액체산소가 탱크로 계속 유입됨으로서 탱크 내부 액체산소 온도에 좋지 않은 영향을 미칠 것으로 판단된다. 그러나 헬륨분사량을 증가시켜 상대적인 온도차이를 약 2℃까지 감소시킬 수 있었다.

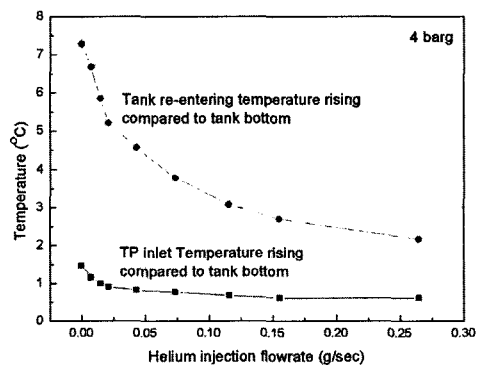


Fig. 7 Temperature Rising Compared to Tank Bottom at 4 barg

Figure 8은 가압 시험에서 배관 내의 온도분포를 보여준다. 각 시험조건에서 탱크 내부 액체산소의 온도 조건이 동일하지 않지만 기존 연구결과에 따르면 액체산소가 과냉각 상태를 유지하는 경우 탱크 내부 온도는 재순환배관의 성능에 영향을 미치지 않는다고 하였으므로 시험결과를

그대로 나타내었다[4]. 분사량이 증가할수록 공급배관과 재순환 배관 내의 온도 상승이 완만해지는 것을 볼 수 있다. 가압 시험의 경우에는 재순환배관 내의 액체산소도 과냉각 상태에 놓여 있으므로 다량의 헬륨이 분사되는 지점을 제외하고는 액체산소의 온도가 지속적으로 상승하면서 탱크로 다시 유입되었다.

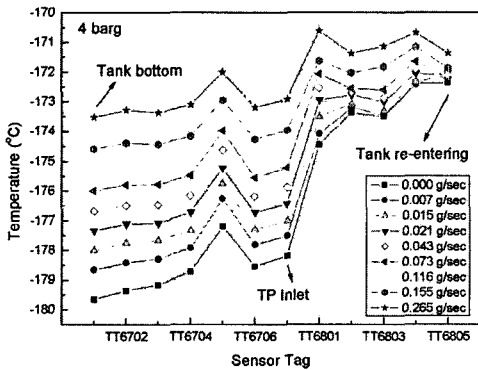


Fig. 8 Temperature Distribution along Recirculation Loop at 4 barg

4. 계산모델 및 방법

4.1 배관시스템 모델

Figure 9는 추진기관 공급계 시험설비에 장착된 배관시스템의 모델을 나타낸다. 계산은 열유체 해석용 상용프로그램인 SINDA/FLUINT를 사용하였다. 탱크 내부 액체산소에 대한 계산은 포함되어 있지 않고, 대신 탱크 내 액체산소의 온도 및 얼리지 압력에 대한 시험결과를 이용하여 해당 조건에서의 밀도와 배관시스템 입출구의 높이차를 조건으로 주었다. 이를 통해 공급배관 입구와 재순환배관 출구 사이에는 수두에 의한 압력차 조건이 주어지게 된다. 배관 내부 액체산소의 초기온도는 탱크 내 온도와 동일하게 주었다. 밸브 등의 구성품은 상세히 모델링하지 않고 구성품의 압력손실계수가 적용된 배관으로 처리한 후 시험데이터를 이용하여 구성품이 위치한 지점에 열량을 강제로 부여하도록 하였다.

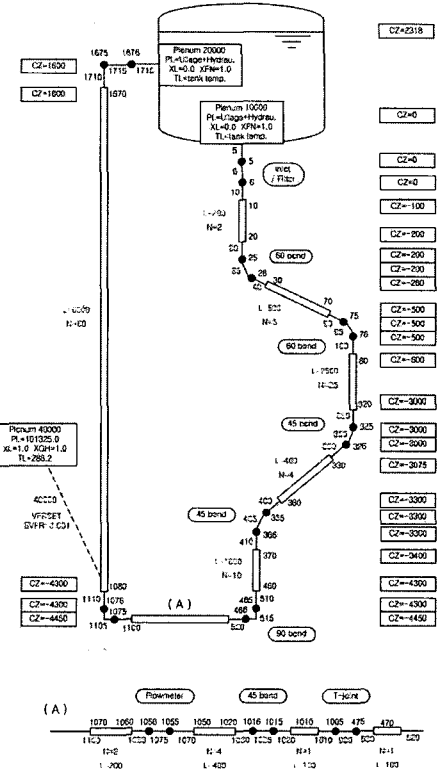


Fig. 9 Configuration of Calculation Model

4.2 디자인 변수 선정

먼저 하나의 시험 조건에 대하여 시험데이터 보정 방법을 이용하여 시험설비의 열침투 및 압력강하 특성을 반영하도록 프로그램을 작성하고 이것이 다른 시험 조건에서도 잘 맞는지 확인하였다. 프로그램 작성을 위한 시험 조건으로는 가압 상태의 자연재순환인 경우의 데이터를 사용하였다.

시험 데이터를 사용하여 프로그램을 보정하기 위해서는 주된 디자인 변수를 선정해야 하므로 계산에 사용되는 변수들 각각에 대하여 그 값을 임의로 변화시키면서 결과의 민감도를 살펴보고 결과에 미치는 영향이 큰 변수만 디자인 변수로 선정하였다. 민감도가 작은 변수 및 시험 조건 데이터에 의해 고정할 수 있는 변수를 제외하고 선정된 디자인 변수는 단열재의 전도열전달 계수, 배관시스템의 압력손실계수, 구성품에서의 국지적 열침투량이다.

Table 1 Determination of Design Variable

변수	민감도	시험데이터
복사 emittance	X	
외부 대류열전달계수	X	
배관, 단열재 초기온도	X	
단열재 전도열전달계수	O	
탱크 내부 액체산소 밀도	O	O
배관 내 액체산소 초기온도	X	
구성품 압력손실계수	O	
구성품 국지적 열침투량	O	

Table 1에 디자인 변수 선정에 대한 내용을 요약하였다. 탱크 내부 추진제의 밀도는 배관시스템의 입구와 출구 사이의 높이차에 의한 수두압을 가하기 위해 사용되는데, 성층화에 의한 온도차이를 무시하고 탱크 내부가 완전 혼합된다고 가정하여 액체산소의 대표온도를 측정하여 밀도값을 고정하였다.

4.3 계산 방법

Figure 10은 시험데이터를 프로그램 보정에 사용한 절차를 나타낸다. 먼저 프로그램에서 액체산소의 재순환유량을 시험데이터의 값으로 강제로 고정하였다. 다음으로 온도와 관련된 디자인 변수인 단열재 전도열전달계수와 구성품의 국지적 열침투량을 조절하면서 배관 내부의 액체산소 온도분포를 시험데이터와 일치시켰다. 이 때 찾아진 변수값들을 고정값으로 입력한 후 액체산소의 재순환유량에 대한 고정을 해제하였다.

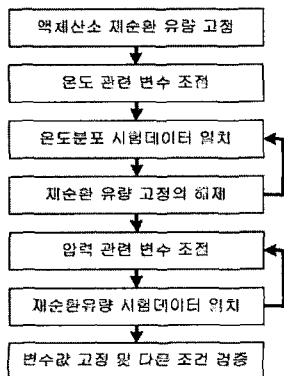


Fig. 10 Procedure of Test Data Correlation

다음으로 값을 알지 못하는 배관시스템의 구성품에 대한 압력손실계수를 조절하여 액체산소 재순환유량이 시험데이터와 다시 일치하도록 하였다. 이렇게 찾아진 디자인 변수값들을 고정값으로 입력하고 다른 시험 조건에도 적용하여 적절한 결과를 출력하는지 확인하였다.

유량값을 일치시킬 경우에는 목표값에 시험데이터의 유량값을 직접 대입하였고, 온도분포와 압력분포를 일치시킬 경우에는 최소자승법을 이용하여 목표값을 다음과 같이 지정하고 이 값이 최소가 되는 디자인 변수를 찾도록 하였다. Eq. 1에서  $t$ 는 비교 대상의 개수,  $P_i$ 는 예측값,  $T_i$ 는 측정값이다.

$$object = \sum_i^t (P_i - T_i)^2 \tag{1}$$

5. 계산 결과

가압 상태에서 자연재순환 및 헬륨분사 조건에 대한 계산과 시험결과와의 비교를 Fig. 11에서 Fig. 13까지 나타내었다. 기준 조건을 자연재순환 조건으로 정하고 프로그램 보정을 실시하였으므로 Fig. 11에서는 시험과 계산이 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 그러나 다른 시험 조건에 적용하였을 경우 공급배관 내부의 액체산소 온도분포는 잘 일치하였으나 헬륨분사량이 증가할수록 재순환배관 내부의 온도분포는 시험과 계산의 차이가 커지는 결과를 보여주었다. 그림에서 TT6801 온도센서가 위치한 지점은 밸브, 유량계, 배관 서포트와 같은 구성품들이 밀집된 지역으로서 계산 프로그램이 각 시험조건에서 상기 구성품들에 의한 열침투량을 적절히 반영하지 못하고 있음을 나타낸다. 이는 구성품에 열량을 투입함에 있어 액체산소의 순환량 및 유속 증가에 따른 대류열전달계수의 변화를 고려하지 않고 모든 시험 조건에 대하여 일정한 열량을 강제로 투입하였기 때문이다. 추후 각 구성품으로부터 액체산소가 흡수하는 열량을 계산함에

있어 유속에 따른 대류열전달계수의 변화를 고려하고 배관 내 액체산소의 상태에 대한 보다 상세한 계산을 수행할 예정이다.

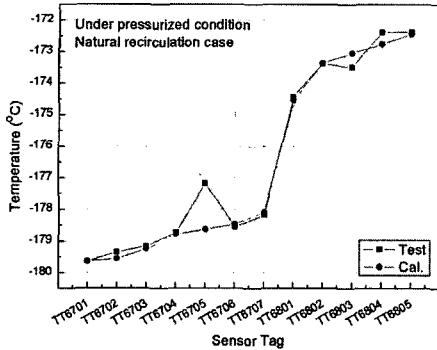


Fig. 11 Comparison of Test and Calculation (4 barg, Helium 0.0 g/sec)

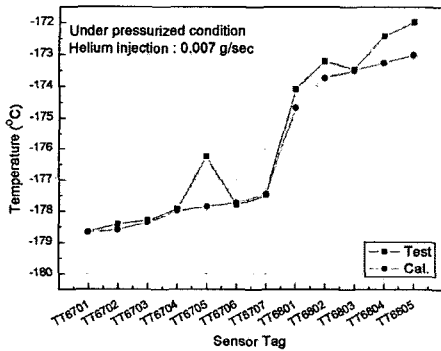


Fig. 12 Comparison of Test and Calculation (4 barg, Helium 0.007 g/sec)

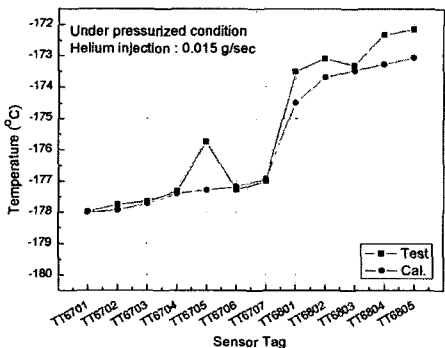


Fig. 13 Comparison of Test and Calculation (4 barg, Helium 0.015 g/sec)

TT6705는 공급배관과 주입배관이 접합된 지점으로서 시험에서는 주입배관 내에 소량 정체되어 있는 액체산소로 인해 온도가 튀는 경향을 보이지만 프로그램에서는 이를 무시하고 계산을 수행하였다.

## 6. 결 론

추진기관 공급계 시험설비에 공급배관 및 재순환배관을 설치하여 터보펌프 전단의 배관 내부 액체산소 온도 저감을 위한 재순환배관 성능 시험을 수행하였다. 설치된 배관 규격에 대하여는 대기압 상태에서 약 0.09 g/sec, 가압 상태에서 약 0.17 g/sec 정도의 헬륨분사량이 적절한 것으로 파악되었으며 두 경우 모두 탱크 내부 액체산소 온도에 대한 터보펌프 전단지점의 온도 상승폭을 약 0.6°C 정도로 유지할 수 있었다.

대기압 시험의 경우 적절한 헬륨분사량 이상에서는 순환되는 액체산소의 유량이 오히려 감소하였으며, 가압 시험의 경우 동일한 헬륨 분사량에 대해 대기압 시험의 경우보다 gas-lift 효과가 줄어들었다. 대기압 조건에서는 재순환배관 내의 액체산소가 포화상태에 도달하여 탱크로 다시 유입되는 온도가 낮아졌으나, 가압 조건에서는 과냉각 상태를 유지함으로써 액체산소의 온도가 지속적으로 상승하면서 탱크로 다시 유입되었다.

시험데이터를 이용하여 재순환배관의 성능계산을 위한 프로그램을 작성하고 시험결과와 비교하였다. 주요 디자인 변수를 변화시키면서 재순환량 및 온도분포를 시험데이터와 일치시켰으나 구성품에 대한 열량 투입방식의 오류로 인하여 프로그램 작성에 기준으로 삼은 조건을 제외하고는 시험결과와 잘 맞지 않았다. 추후 이에 대한 수정을 통하여 보다 상세한 프로그램을 작성할 예정이다.



본 연구는 과학기술부 특정연구개발사업인 소형위성발사체(KSLV-I) 개발사업의 일환으로 수행되었으며 지원에 감사드립니다.

#### 참 고 문 헌

1. E. Ring, Rocket Propellant and Pressurization Systems, Prentice-Hall Inc., Englewood Cliffs, N. J., 1964
2. G. L. Perry, J. D. Suter and S. G. Turner, "Advanced Liquid Oxygen Propellant Conditioning Concept Testing", NASA Technical Memorandum, 108477, 1995
3. L. Zhang, W. S. Lin, X. S. Lu and A. Z. Gu, "Geysering Inhibiting Research for Single Feeding-line in Cryogenic Propellant Transfer System", Cryogenics, Vol. 44, 2004, pp.643-648
4. 권오성, 조남경, 정용갑, 길경섭, 하성업, "터보펌프 전단 극저온 추진제 온도 conditioning 방안에 대한 연구", 제6회 우주발사체기술 심포지움 자료집, 2005, pp.120-125
5. 정용갑, 김유, "극저온 헬륨가스 가압시스템에 대한 온도특성 연구(I)", 한국추진공학회지, 제9권 제3호, 2005, pp.66-73
6. N. K. Cho, O. S. Kwon, Y. M. Kim and S. K. Jeong, "Investigation of Helium Injection Cooling to Liquid Oxygen under Pressurized Condition", Cryogenics, Vol. 46, No. 11, 2006, pp.778-793
7. P. S. Larsen, J. A. Clark, W. O. Randolph and J. L. Vaniman, "Cooling of Cryogenic Liquid by Gas Injection", Advanced Cryogenic Engineering, Vol. 8, 1962, pp.507-520