

액체로켓엔진 산화제(과산화수소) 공급계 구축에 관한 연구

전준수* · 정재훈** · 김 유*** · 고영성* · 김선진****

The study of manufacturing the oxidizer(Hydrogen Peroxide) feeding system of liquid rocket engine

Junsu Jeon* · Jaehoon Jeong** · Yoo Kim*** · Youngsung Ko* · Sunjin Kim****

ABSTRACT

This study suggests manufacturing and cleaning the feeding system of hydrogen peroxide to use oxidizer of liquid rocket. We established the process of cleaning and passivation in order to minimize the pollution of Hydrogen Peroxide feeding system. And, we verified stability of the manufactured feeding system by leak test & hot test.

초 록

본 연구에서는 액체로켓엔진 산화제로 과산화수소를 사용하기 위한 공급 설비 구축 및 세척 방법을 제시하고자 한다. 과산화수소 공급 설비의 오염을 최소화하기 위하여 공급 설비를 세척하고 세척된 공급 설비에 보호막을 입히는 passivation 절차를 확립하였다. 또한, 구축된 공급 설비는 누설 시험과 연소 시험을 통해서 안정성을 검증하였다.

Key Words : Hydrogen Peroxide(과산화수소), Passivation(패시베이션), Pressure-feed System(가압식 공급), De-ionized water(탈이온수)

1. 서 론

과산화수소는 오랜 역사를 가진 추진제로서 고밀도, non-cryogenic, 저독성등의 이유로 많이 사용되었으나, 고성능 추진제들이 개발 되면서 과산화수소의 입지는 매우 좁아지게 되었다. 하

지만 최근 들어 고순도 과산화수소가 개발되고, 안정성이 크게 개선되면서 친환경 추진제로 다시 관심을 받고 있다.

과산화수소는 정상 온도에서 낮은 휘발 특성을 지닌 활성산화물질로 안전하다고 할 수 있으나, 동시에 오염되어지면 발화나 폭발의 위험이 있을 정도로 위험한 물질이기도 하다. 과산화수소는 연료나 유기용매와 혼합될 시 위험하며, 촉매제를 포함한 소량의 물질(은, 납, 구리, 크롬, 수은, 철산화물, 녹 등)과는 즉각적인 분해를 일으킨다. 이렇듯 과산화수소는 오염이 되면 매우

* 충남대학교 항공우주공학과
** (주)한화 대전공장 개발부
*** 충남대학교 기계공학과
**** 청양대학교 소방안전관리학과
연락처, E-mail: ysko5@cnu.ac.kr

위험한 물질이 된다. 따라서 오염이 되지 않고 안전하게 저장할 수 있는 저장 공간과 공급 설비가 필요하다. 과산화수소가 부적절한 물질로 만들어진 저장고에 저장되거나 공급 배관 등이 우연히 먼지나 또 다른 촉매제에 오염되어질 경우, 빠르게 분해가 이루어지고, 다량의 열과 가스를 방출하게 된다. 다량의 열과 가스가 방출되면 저장탱크나 저장고 및 배관이 견디지 못하고 폭발할 수도 있게 된다. 따라서 저장 탱크와 배관 등의 세척과 청결 유지도 매우 중요하다.[1]

본 논문에서는 추진제급 과산화수소(본 연구실 보유 : 95%)의 공급을 위한 요구 설비를 제시하고 설비들의 구축 방법 및 세척방법과 관련된 내용들을 제시하고자 한다.

2. 과산화수소 공급 설비

2.1 과산화수소 저장고

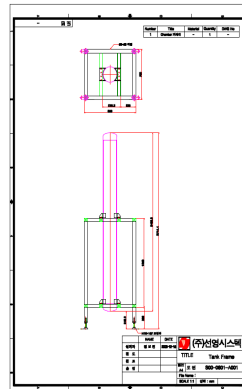
과산화수소를 추진제로 공급하기 전 과산화수소를 보관할 수 있는 저장고가 필요하다. 추진제로 사용되는 과산화수소는 90~98%의 농도가 요구되며, 이를 유지하기 위하여 저장고는 항상 저온으로 유지 되어야 한다. 본 연구실에서는 온도 조절 가능한 대형 저장고(D*L*H : 450*200*220 cm)를 구축하여 저장고 실내 온도를 0~5°C로 항상 유지시켜주고 있다.

2.2 과산화수소 공급 탱크

저장된 과산화수소는 과산화수소 공급 탱크에 옮겨져 추진제로 사용되어진다. 본 연구실은 추진제를 질소 가압 방식으로 공급하기 때문에 과산화수소 공급 탱크 설계 시 가압 압력을 고려하였다. 또한, 목표 최대 공급 유량인 600g/s를 고려하여 공급 탱크를 설계하였다. 공급 탱크는 과산화수소와의 반응성과 경제성을 고려하여 재질을 sus 304L로 선정하여 제작하였다.[2] Table 1은 공급 탱크의 사양이고 Fig. 1의 (a)는 공급탱크의 설계도이며, (b)는 제작된 공급 탱크의 사진이다.

Table 1 Specification of H_2O_2 run tank

Design Pressure	100 kg/cm^2
Design Temperature	18.0 °C
SIZE(I.D*H)	180*2480 mm
Hydro. Test Pressure	150 kg/cm^2
Volume	0.06 m^3
Empty weight	675kg



(a) Drawing of tank



(b) Manufactured tank

Fig. 1 H_2O_2 run tank

2.3 과산화수소 공급 및 가압 배관 관련 설비

과산화수소를 추진제로 사용하기 위해서는 공급 탱크로부터 엔진까지 공급 배관에 의해 공급 되어진다. 추진제 공급을 위해서는 배관 이외에 자동 연소 실험을 위한 자동 밸브, 각종 수동 밸브, 역류 방지를 위한 체크 밸브, 배관 및 탱크의 이상 가압 현상을 방지하는 세이프티 밸브, 오염 물질을 거르기 위한 필터 등이 추가된다. 과산화수소와 직접 만나는 모든 부품(배관, 필터, 밸브등)은 과산화수소와 반응하지 않는 재질로 제작되어야 한다. 따라서 모든 설비는 sus 316과 viton, teflon 계열의 재질만으로 구성된 것을 사용하였다. 반응성이 없는 재질로만 구성되어도 실제 배관에 장착하는 과정에서 오염이 일어날 수 있다. 따라서, 선정된 제품들도 오염이 일어나지 않도록 세척과 passivation 과정을 거친 후 사용하였다.

3. 과산화수소 공급 설비 세척 및 passivation

3.1 공급 배관 및 기타 부품

앞서 말한바와 같이 과산화수소와 직접 접촉하는 공급 배관이나 각종 밸브 및 센서들은 설치하는 과정에서 오염될 확률이 매우 높은 부품들이다. 따라서 세척을 수행하고 passivation 과정을 수행하였다. 배관 및 배관 설비 부품은 각각 파트별로 분리를 하여 세척을 수행하였다. 기름이나 먼지 등은 30분 가량 trichloroethylene 등의 추천 용매를 통하여 제거하였고, 기름기가 제거된 부품은 알코올로 세척하였다.

세척이 끝난 설비는 passivation 과정을 거치게 된다. 70% 질산(HNO_3)에 부품을 담근 후 상온에서 5시간 동안 유지시켜 반응을 살피고, 검사하는 동안 먼지로부터 잘 보호하였다. 만약 거품이 보이거나 변색이 일어날 경우 부품을 다시 세척하고 위의 과정을 반복해야한다. 5시간이 지난 후 탈이온수(De-ionized water)를 사용하여 70% 질산을 씻어냈다. 먼지나 다른 부식을 점검하였고 먼지가 발견되지 않아 세척된 설비들을 먼지로부터 보호하기 위해 Fig. 2와 같이 진공포장을 하여 보관하였다. 설비를 설치할 때는 포장물을 제거하고 먼지가 묻지 않는 장갑을 사용하여 설치하였다.



Fig. 2 Cleaned equipment

3.2 공급 탱크

공급 탱크는 연소 실험 전 과산화수소를 충전한 후 모든 실험이 종료될 때까지 과산화수소를 저장하고 있기 때문에 장시간 저장에도 과산화수소가 반응하지 않고 농도를 유지하는 것이 매우 중요하다. 따라서 공급 탱크를 세척하는 것은 과산화수소 공급 설비를 구축하는데 가장 중요

하다고 볼 수 있다.

공급 탱크의 세척은 탱크내의 기름기와 더러운 먼지를 제거하는 알칼리 세척부터 시작하였다. 작업장의 흙이나 각종 오일을 제거하기 위해 고안된 turco액과 물을 5:1의 비율로 섞어 온도를 $45^{\circ}C$ 로 가열시켜 순환 펌프를 이용하여 공급 탱크에 순환 시켰으며, 약 30분 간 순환하면서 용액의 색을 확인하였다. 만약 색이 검게 변하면 용액을 교체하여야 하기 때문이다. 세척을 끝낸 후, 탈이온수를 이용하여 탱크 내부의 용액을 씻어 낸 후 IPA(알코올)를 사용하여 탱크를 씻어 내고 마지막으로 99.999%의 고순도 질소를 사용하여 탱크를 건조시켰다. 알칼리 세척 시 유의할 점은 순환 펌프 등의 장비 선택 시 질산과의 반응성을 고려하여 선정해야 한다는 것이다.

과산화수소를 공급 탱크에 일정 시간 이상 보관하기 위해서는 passivation 과정을 통하여 보호막 처리를 해줘야 한다. 본 연구실에서는 세척이 끝난 공급 탱크에 passivation 과정을 수행하였다. 5% 수산화나트륨 용액($NaOH$)을 공급 탱크에 3시간 동안 담았다가 회수한 후, 증류수로 탱크를 세척하였다. 이때, 세척되어 나오는 증류수의 PH를 측정하여 6~8이 될 때까지 계속해서 세척하였다. 세척이 끝난 후 3% 불화수소(HF acid)와 10% 질산(HNO_3) 용액을 혼합하여 3시간 동안 담아 기포나 변색 등을 매시간 확인하였고, 이상이 없어 상기 용액을 회수한 후, 증류수로 PH가 6~8이 될 때 까지 세척하였다. 다음은 70% 질산(HNO_3)을 6시간동안 탱크에 담았다가 기포나 황색 연기 등을 매시간 확인하였고, 이상이 없어 상기 용액을 회수한 후, 증류수로 PH가 6~7이 될 때까지 세척을 수행하였다. 마지막으로 50%의 과산화수소(H_2O_2)를 48시간 용기에 담아두고 매시간 탱크의 이상 현상(발열, 다량의 기포)을 확인 하였으며, 확인 결과 이상이 없었기 때문에 50% 과산화수소 용액을 회수하고, PH가 6~7이 될 때 까지 증류수로 세척을 하였다. 이렇게 해서 모든 passivation 과정이 끝났고 고순도 질소(99.999%)로 공급 탱크를 퍼지하여 말린 후 외부의 공기와 접촉하지 못하도록 밀봉하였다.

4. 공급 설비 검증 결과

구축된 설비는 운영 압력의 150%압력(20bar)으로 기밀 시험을 수행하여 누설이 없음을 확인하였다. 누설 검증이 끝난 후, 연소 실험 결과를 통하여 공급 설비의 안정적인 공급을 확인 할 수 있었다. Figure 3의 (a)와 (b)는 연소실험 시 배관 및 탱크의 압력 그래프와 과산화수소의 유량 그래프를 각각 나타낸 것으로 10s의 연소 시간 동안 안정적으로 압력이 일정하게 유지되고 유량이 안정하게 공급된 것을 확인할 수 있다. 마지막으로 과산화수소 공급 탱크는 충전 시점 시점으로부터 8시간 동안 농도의 변화가 없음을 확인하였고, 이를 통하여 공급 탱크의 저장성 및 안정성을 확인하였다.

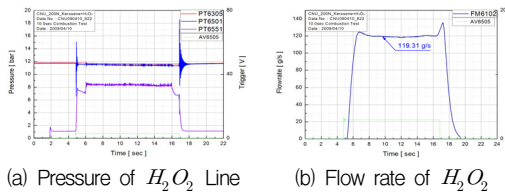


Fig. 3 The result of hot test

5. 결 론

과산화수소 공급 설비를 구축하는데 있어 특이 사항은 설비 세척과 관련된 사항으로 본 연구에서는 설비 세척 과정을 다음과 같이 제시하고자 한다.

5.1 알칼리 세척

- ① Turco : water = 5 : 1의 비율로 섞은 비눗물을 45°C로 가열한다.
- ② 순환 펌프로 탱크에 섞인 용액을 순환시키며 탱크를 세척한다.
- ③ 30분 정도 세척하며 용액의 색을 확인한다.
- ④ 색이 검게 변하면 용액을 교체하여 계속 수행한다.
- ⑤ 세척이 끝나면 탈이온수를 사용하여 탱크를 씻어낸다.

- ⑥ 씻겨진 탱크에 IPA(알코올)을 넣어 세척한다.
- ⑦ IPA 세척이 완료된 후 고순도 질소(99.999%)를 탱크에 불어 넣어 탱크를 건조시킨다.

5.2 Passivation

- ① 5% NaOH 용액을 1~3시간 탱크에 채운다.
 - ② NaOH 용액을 회수하고, 증류수로 PH가 6~8이 될 때까지 반복 세척한다.
 - ③ 3% HFacid 와 10% HNO₃ 용액을 혼합하여 1~3시간 탱크에 채운다.
(이 과정중, 다량의 기포, 흑색의 물이 발생하면 작업을 중지하고 탱크를 씻어낸다.)
 - ④ 혼합 용액을 회수하고, 증류수로 PH가 6~8이 될 때까지 반복 세척한다.
 - ⑤ 60~80% HNO₃을 2~6시간 탱크에 채운다.
(이 과정중, 다량의 기포, 황색 연기등이 발생하면 작업을 중지하고 탱크를 씻어낸다.)
 - ⑥ HNO₃을 회수하고, 증류수로 PH가 6~7이 될 때까지 반복 세척한다.
 - ⑦ 30~50%의 H₂O₂ 용액을 48시간 탱크에 채운다.
(이 과정중, 다량의 기포, 발열 현상 혹은 연기가 발생하면 작업을 중지하고 탱크를 씻어낸다.)
 - ⑧ H₂O₂ 용액을 회수하고, 증류수로 PH가 6~7이 될 때까지 반복 세척한다.
 - ⑨ 건조한 공기 혹은 불활성 기체로 퍼지하고 외부의 공기와 접촉하지 못하도록 밀봉한다.
- 단, 배관 설비의 passivation은 ⑤번 과정 수행 후 증류수나 탈이온수로 세척하여 말리면 된다.

이와같이 본 연구에서는 액체로켓엔진 산화제의 과산화수소 공급계 구축 방법을 제시하였고, 누설 시험과 연소 실험 및 농도 변화를 통하여 구축된 설비의 안정성을 검증하였다.

참 고 문 헌

1. "Hazards of chemical rockets and propellants handbook", Vol. 3, Ch. 13 Hydrogen Peroxide, 1972
2. <http://www2.emersonprocess.com>