

나로우주센터 발사대 소화설비 기본 설계

김상현 · 윤석환 · V.A.Bershadskiy · 정영석 · 강선일 · 오승협
한국항공우주연구원

Basic Design of fire protection system for Naro Space Center

Kim, Sang Heon · Yoon, Suk Hwan · V.A.Bershadskiy
Jung, Young Suk · Kang, Sun IL · Oh, Seung Hyub
Korea Aerospace Research Institute

요 약

우주발사체를 운용하는 발사장은 화재나 폭발의 위험에 많이 노출 되어 있다. 발사장은 비행시험전 발사체의 모든 상태를 점검 하고, 비행시험을 수행하는 곳이다. 또, 유사시에는 대량의 산화제와 연료가 누출 되어 화재 및 폭발사고로 이어질 가능성이 있는 곳이다. 나로우주센터에서 운용하는 우주발사체 나로호는 연료로 케로신(kerosene)을 사용하고, 산화제로 액화산소(LOX)를 사용한다. 발사대의 소화설비는 화재발생시 원격제어를 통해서 소화수와 소화약제를 분사하여 진화하는 방식으로 구성 되어 있다.

1. 서 론

우주발사체 혹은 그의 단위부품 및 부분조립품을 지상에서 시험하는 지상 시험 설비나 비행시험을 수행하는 발사대 및 발사대 콤플렉스에는 사고 발생 시 시험대상물 및 지상 장비들을 화재나 폭발로부터 보호 할 수 있는 소화 장치를 반드시 설치 하여야 한다. 일반적으로 우주발사체를 시험하는 설비 및 비행시험을 수행하는 발사대가 화재나 폭발의 사고로부터 취약한 것은 인화성이 높은 발사체 추진제를 사용할 뿐 아니라, 화재를 확산 시킬 수 있는 대량의 산화제도 동시에 사용하기 때문이다. 아울러 우주발사체 개발은 매번 새로운 단위 부품 및 조립품을 개발하고 실매질의 추진제를 가지고 시험을 수행 하므로, 개발과 시험 진행 과정에서 추진제 누출이나 화재, 폭발과 같은 비정상적인 상황이 발생 하기도 하며, 사고가 발생 할 경우엔 대기환경에 생태학적 영향을 줄 수 있는 위험한 상황이 발생 하기도 한다. 일반적으로 지상에서 개발 시험을 수행하는 지상설비 및 비행 시험을 수행하는 발사대에서 사고를 일으키는 주된 인자를 살펴보면 시험도중 누출되는 추진제의 누설 및 추진제 연소에 따른 열에너지와 폭발들의 기계적 반응, 화학반응, 전자 기파 등이 있다.

2. 발사대소화장치(Fire Protection System)

2.1 개요

우주발사체의 최종 지상시험을 수행 하고, 비행시험까지 수행하는 발사대에는 화재 및 추진제의 누설에 대비하여 그에 적합한 소화설비를 갖추어야 한다. 선진국 우주산업분야의 사고 유형을 분석하여 보면, 화재의 발생과 확산에 연관되는 가장 위험한 인자는 발사체 추진기관으로 공급되는 연료와 산화제의 누설이다. 이러한 발사체 추진제의 누설은 발사체 및 발사체 추진기관의 파손 또는 내부 단위부품에 설계값 이상의 내외부 충격 및 압력이 발생하여 그 부분이 파손 되거나 누설을 방지하는 실이 손상되는 경우에 주로 발생한다. 이러한 우주발사체 추진제 누설은 경우에 따라서 화재 및 폭발로 이어질 수 있고, 지상설비 및 인명 손실을 가져 올 수 있다. 따라서 근래에는 근래에는 근래적으로 이러한 발사체 연료의 누설을 막기 위한 연구가 심도 깊게 진행되고 있다. 아래 그림 1.은 발사체 산화제 공급계의 누설을 가져 올 수 있는 인자들에 대해서 설명 하고 있다.

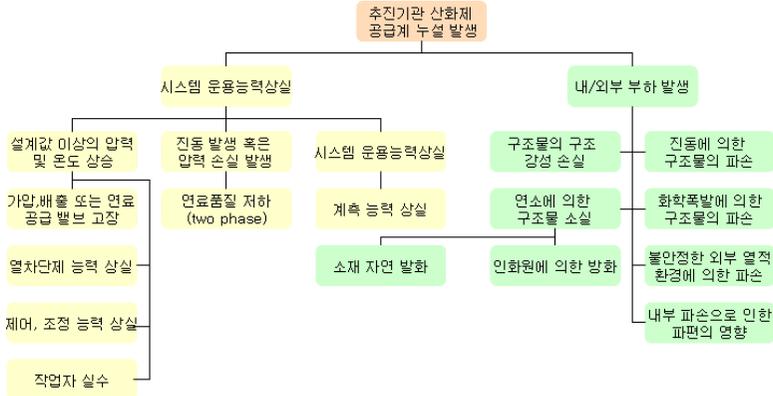


그림 1. 산화제 공급계 누설을 가져 올 수 있는 인자들

발사대 소화장치는 사고발생의 확률을 감소 시키기 위한 운용방안중 하나이다. 이러한 소화장치에는 설치 장소 및 목적에 따라서 고압 질소가스를 사용하는 방법, 소화수를 사용하는 방법, 그리고 소화수와 혼합된 소화약제를 사용하는 방법이 있다. 고압질소를 사용하는 방법으로는, 불활성 특성을 지닌 질소가스를 폐쇄 공간 또는 반폐쇄 공간의 시험대상물 또는 시험공간에 주입하여 화재 분위기를 조성하지 못하게 하는 개념이다. 소화수를 사용하는 방법은 시험대상물 보다는 발사대 및 부대 설비를 사고로부터 안전하게 보존 하기 위한 방법이다. 그러나 이러한 소화장치를 실질적으로 발사대 및 발사체 지상시험설비에 적용하기 위해서는 여러 가지 기술적 해결방법 및 상황을 고려하여 적용 하여야 한다. 소화약제를 사용하는 방법은 그것이 시험대상물 및 지상설비에 입힐 수 있는 손상 여부도 고려 되어야 하며, 분사 장비의 피조정성 및 화재 발생 공간의 관측성도 확보 되어져야 한다. 이러한 발사대 및 지상시험설비의 소화장치는 그곳에서 시험을 수행하는 시험대상물을 개발하는 시점부터 설비에 적합하게 설계 되어야 한다.

2.2 설계 조건 및 결과

우주발사체를 개발하고 시험하는 발사대 및 발사대 콤플렉스는 항상 크고 작은 화재가 발생 할 수 있는 곳이다. 이러한 사고를 분석하여 보면, 대부분의 대형 사고에서 추진제 누설이 있었음을 알 수 있다. 따라서 발사대 소화장치는 발사체 및 발사대 주변의 화재뿐만 아니라, 발사체 추진제 누설에 대비 하여야 한다. 또 발사체가 발사대에서 이륙하는 순간에 발사체 추진기관으로부터 발생하는 고온고압의 연소생성물로부터 지상시험설비들도 보호 할 수 있어야 한다. KSLV-I 나로호 발사대 소화장치는 아래와 같은 요구조건을 가지고 설계 되어 졌다.

- 필요에 따라 소화수 및 혼합소화약제 선택 분사 가능
- 로컬 및 원격 제어 가능
- 소화노즐 출구 압력 최소 0.93MPa 이상
- 소화노즐 출구단에서의 유량 최소 40liter/sec 이상
- 최초 가동 시간 30초 이내
- 1회 가동시간 30분, 최소 2회 연속 가동 용량

상기와 같은 요구조건을 바탕으로 설계 된 발사대 소화장치의 설비 사양은 아래 표 1. 과 같다.

표 1. 발사대 소화설비 설계 사양

항목	사양	항목	사양
소화수 펌프	132.4m@450kw	소화약제	수성막포 3%
소화약제 펌프	140.6m@18.5kw	소화노즐 수량	4개(분사모드 제어)
소화수 저수조	640m ³	1회 가동시간	30분
소화약제 저장 탱크	18m ³	제어방법	로컬 및 원격제어

발사대 소화장치는 설비 자체의 신뢰성도 확보 되어야 하지만 무엇보다 화재 확산 방지에 적합한 성능이 확보 되어져야 하며, 분사노즐 전단의 압력 및 유량에 따라 성능이 크게 좌우 된다. 전반적인 배관내 압력손실 계산에는 Hazen-Williams식을 식을 사용 하였으며, 계산에 적용된 소재는 Galvanized pipe이다.

$$p_{fric} = 6.05 \cdot 10^5 \cdot \frac{L + L_e}{D^{4.87}} \cdot \left(\frac{Q}{C} \right)^{1.85}$$

L-pipe length, L_e-equivalent of any pipe fittings, Q-volume flow rate,
D-pipe diameter, C-Hazen-Williams constant for the pipe ; C=120

소화저수조로부터 발사대 상부의 소화노즐까지의 배관 거리 및 경사, 그리고 관내 저항

등을 고려하여 소화노즐 전단 압력 및 유량조건을 구하였다. 사용된 펌프는 원심식 펌프로서 양정 132.4m이고, 유량은 163.6 liter/sec 이며, 펌프를 구동하기 위한 모터의 정격은 450Kw급이다. 배관설계 프로그램인 PIPENET을 이용하여 계산한 결과, 발사패드 상부 소화노즐에서의 압력 및 유량값은 아래 표 2와 같다.

나로우주센터 발사대 소화장치가 설치된 발사대와 소화장치를 원격제어 하는 발사통제동간의 거리는 직선거리로 약 2.6km 정도이며, 케이블 포설 길이는 약 5 km 정도이다. 발사대 소화장치는 발사통제동에서 모든 기능이 원격제어 되도록 설계 되어 졌으며, 통신 및 제어는 Siemens사 PLC S7-300 계열을 사용하고 있다. 발사통제동과 발사대간의 원활한 장거리 통신 및 데이터 전송을 위해서 광케이블을 이용한 통신방식을 사용하고 있고, 발사대 소화장치 내부 통신은 광변환기를 사용한 Profibus 통신을 사용하고 있다. 아래 그림 2는 발사통제동과 발사대간의 통신 방법이다.

표 2. 소화노즐에서의 압력 및 유량

	압력(Mpa)	유량(liter/sec)
소화노즐1	0.974	40.9
소화노즐2	1.017	41.8
소화노즐3	0.970	40.8
소화노즐4	0.930	40.0



그림 2. 발사대와 발사통제동간 통신규격

발사대 소화장치를 설계 할 당시 발사패드위에 설치되는 소화노즐의 수량은 총4개로 설계 되었으나, 발사체 추진기관에서 발생하는 고온고압의 연소가스 및 생성물에 의한 손실이 예측되어 하나를 줄여 총 3개를 설치하였다. 펌프 후단의 솔레노이드 밸브로부터 발사대 상부 소화노즐까지 배관내 체적은 총 0.746m³이며, 이것을 바탕으로 발사대 소화장치 초기 기동에 소요되는 시간을 계산하여 보면 18.7초 임을 알 수 있다.

3. 결 론

국내에는 우주발사체의 비행시험을 수행 할 수 있는 발사대가 없어서 관련된 지상설비에 대한 연구가 절대적으로 부족한 실정이며, 우주산업 관련 업체가 적어 충분한 연구자료가 없어 설계상에 많은 어려움이 있었지만, 본 논문에서는 KSLV-I 공동개발국인 러시아측의 자료를 활용하고 해외 선진사례등을 참고하여 소형위성발사체 발사대에 적합한 소화장치의 설계 모델을 제시 하였다.

참고문헌

1. KSLV-I 나로호 상세 설계 문서
2. B.B.Adushkina, S.I.Kozloba, A.B.Petroba, "Ecological problems and risk of rocket-space technology on the natural environment", Ankil, Moscow, 2000