

한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 산화제 공급 알고리즘 소개

이장환*[†] · 김동기* · 이정호* · 김용욱* · 조기주*

Oxidizer Filling Algorithm of Propulsion System Test Complex(PSTC) for KSLV-II

Janghwan Lee*[†] · Dongki Kim* · Junggho Lee* · Yongwook Kim* · Kiejoo Cho*

ABSTRACT

The Propulsion System Test Complex (PSTC) is constructed for developing KSLV-II in the Naro space center. The KSLV-II uses LOX for oxidizer and oxidizer filling algorithm is developed for supplying oxidizer to KSLV-II. This paper introduces oxidizer filling algorithm.

초 록

한국형발사체 추진기관 개발을 위한 추진기관시스템 시험설비(PSTC)가 나로우주센터에 구축되었다. 한국형발사체는 산화제로 액화산소를 사용하며, 추진기관시스템 시험설비에서는 한국형발사체로 산화제를 공급하기 위한 산화제 공급 알고리즘을 개발하고 있다. 본 논문에서는 개발 중인 산화제 공급 알고리즘에 대해 소개하였다.

Key Words: PSTC(추진기관시스템 시험설비), KSLV-II(한국형발사체), Liquid Oxygen Filling System(산화제 공급시스템), Algorithm(알고리즘), Test Facility(시험설비)

1. 서 론

추진기관시스템 시험설비 우주발사체의 개발에는 많은 개발 및 제작 비용이 소요되므로 발사체의 비행시험을 하기 전에 액체로켓 추진기관에 대한 성능 검증이 요구된다. 추진기관 각 구성품에 대한 검증뿐만 아니라 시스템 차원에서의 성능 검증 역시 필수적이라 할 수 있다. 현

재 개발 중인 한국형발사체는 총 3단으로 이루어진 우주발사체이며, 각 단별 추진기관시스템에 대한 성능 검증 및 평가를 위해 추진기관시스템 시험설비(PSTC)가 전남 고흥 외나로도에 위치한 나로우주센터에 구축되었다. 추진기관시스템 시험설비에서는 한국형발사체로 산화제를 공급하기 위한 산화제 공급시스템이 구축되어 있으며 각 단별 추진기관시스템에 대한 산화제 공급 알고리즘이 개발되고 있다. 본 논문에서는 추진기관시스템 시험설비 시험대상체의 요구조건에 부합하도록 산화제를 공급하는 산화제 공급 알고

* 한국항공우주연구원 발사체추진기관체팀

[†] 교신저자, E-mail: janghlee@kari.re.kr

리즘에 대해 소개하였다.

2. 알고리즘 개요

2.1 발사체와의 운용

발사 당일 산화제 공급시스템은 발사체의 명령에 따라 대부분의 운영절차가 진행된다. 산화제 공급시스템은 시스템 운용 준비를 발사체에 보고하고, 이후 발사체의 명령에 따라 시스템 냉각, 발사체 탱크 냉각, 충전, 시험, 배출 순으로 명령을 전달받으며 각 과정을 수행한다.

2.2 타 지상 지원시스템과의 운용

산화제 공급시스템은 발사체로부터 수신된 명령 중 일부는 다른 지상 지원 시스템과의 연관이 되어 수행된다. 특히, 액화질소 공급시스템으로부터 발사체로 공급하는 액화산소를 과냉각하기 위한 열교환기와 발사체로 충전될 헬륨을 냉각하기 위한 열교환기로 액화 질소를 공급받기 위해 타 지상 지원시스템과 통신하여 수행한다.

2.3 통합제어시스템(MCS)과의 운용

통합제어시스템은 지상 지원설비의 상위 시스템으로 주요 작업에 대한 명령을 보고하도록 구성되어 있으며, 비정상 상황 발생 시 각 상황에 따라 다른 명령을 수신 받는다. 산화제 공급시스템은 비정상 상황 발생 이외에도 알고리즘 운용 시작과 종료에 대한 명령과 보고를 통합제어시스템으로 수행한다.

3. 알고리즘 구성

3.1 시스템 기능 검사 알고리즘

시스템 기능검사 알고리즘은 산화제 공급시스템에서 가장 처음 시작되는 알고리즘으로 시스템의 준비상태를 점검한다. 이 단계에서는 고압 가스 공급시스템으로부터 공기와 질소의 공급 여부 점검, 밸브의 상태 점검, 밸브의 작동점검, 산화제 펌프 점검, 지상 산화제 공급 시스템 배

관 퍼지를 수행한다.

3.2 시스템 배관 냉각 알고리즘

상온 상태의 시스템에 액화산소가 공급되면 액화산소가 기화되어 정상적인 산화제의 공급이 불가능해진다. 따라서, 발사체로 산화제를 공급하기 전 시스템의 냉각이 충분히 이루어져야 한다. 지상 시스템의 냉각은 발사체의 명령으로부터 시작하며 동시에 액화산소 저장탱크의 압력을 일정한 범위로 유지하는 알고리즘이 시작된다. 시스템 배관 냉각 초기에는 저장탱크에서 저유량으로 공급하며, 온도센서를 통해 일정 온도 이하로 시스템이 냉각됨이 확인되면 고유량으로 냉각을 진행한다.

3.3 열교환기 충전 알고리즘

고유량으로 시스템 냉각이 시작된 이후 열교환기로 액화질소가 공급되는 배관의 냉각이 시작된다. 배관 냉각이 확인되면 열교환기로 저유량의 액화질소가 공급되며 열교환기를 냉각하게 된다. 일정 수위에 다다르면 고유량의 액화질소를 공급하여 원하는 수위만큼 액화질소를 충전하게 된다. 충진이 완료된 이후에는 액화질소의 공급을 중단하고 충전 수위를 조절하는 알고리즘이 시작된다. 충전 수위는 기화된 액화질소가 열교환기 외부로 배출되면서 낮아지게 되고 낮아진 충전 수위는 저유량으로 재충진하게 된다.

3.4 발사체 탱크 냉각 알고리즘

발사체로부터 발사체 냉각을 시작하는 명령이 전달되면 산화제 공급시스템에서는 발사체 냉각유량으로 산화제를 공급하여 발사체 내부의 산화제 탱크를 천천히 냉각하게 된다.

3.5 산화제 펌프 구동 알고리즘

발사체로 냉각유량을 공급한 이후에 산화제 펌프 구동 알고리즘이 시작된다. 산화제 공급시스템에서는 2기의 펌프가 병렬로 구성되어 있어, 1기의 펌프가 고장으로 작동이 중단되더라도 다른 1기의 펌프로 전환되어 발사체로 산화제 공급이 계속해서 이루어진다. 펌프 구동 알고리즘

은 펌프 준비, 시동, 중단, 펌프 보호, 펌프 전환, 펌프 재시작 등의 알고리즘으로 구성되어 있다.

펌프 준비 알고리즘에서는 펌프 후단의 드레인 라인을 통해 액화산소를 배출하여 펌프 및 배관의 냉각이 충분히 이루어졌는지 확인하며, 기준 온도 이하로 온도가 낮아진 경우에 드레인 밸브를 닫고 펌프 구동을 시작한다.

펌프 구동 알고리즘에서는 펌프 구동 초기에 펌프의 후단 압력이 일정한 압력이상으로 도달하는지 확인한다. 일정시간동안 일정 압력이상으로 도달하지 못할 경우에는 자동으로 펌프 중단 알고리즘이 수행된다. 이러한 경우에는 시스템 냉각이 충분히 이루어지지 못하였거나 펌프에 이상이 발생한 것으로 예상할 수 있으므로, 펌프의 재시작 알고리즘이나 펌프 전환 알고리즘을 선택하여 수행할 수 있도록 구성되어 있다.

펌프 재시작 알고리즘의 경우, 펌프 구동 이전과 동일하게 펌프 후단의 온도를 재확인하고 펌프를 구동할 수 있다. 펌프 전환 알고리즘의 경우, 기존에 사용한 펌프 외의 다른 펌프를 사용하여 펌프 준비 알고리즘부터 다시 시작하게 된다.

펌프 보호 알고리즘은 산화제 펌프를 보호하기 위한 알고리즘으로 펌프로부터 발생하는 오류신호와 전류신호를 전달받으며, 펌프의 이상 발생 시 펌프 중단 알고리즘이 시작된다.

펌프 중단 알고리즘은 펌프의 구동을 중단시키는 알고리즘으로써, 펌프 보호 알고리즘에 의해 작동되거나 발사체의 산화제 충전이 완료된 경우 수행하게 된다. 또한 시험운영 중 비정상 상황 발생 시에 작동된다.

3.6 충전 알고리즘

충전 알고리즘에서는 본격적으로 산화제를 발

사체로 공급하게 된다. 대유량 충전 알고리즘과 보충충전 알고리즘으로 구성된다. 대유량 충전 알고리즘에서는 발사체의 요구에 따라 밸브를 추가적으로 열어 공급하는 유량을 늘려주게 된다. 충전작업을 통해 발사체 탱크의 수위가 정해진 수위에 다다르면 보충 충전이 수행된다. 보충 충전 알고리즘에 의해 액화산소가 기화하여 수위가 낮아지면 재충전하여 다시 정해진 수위에 맞춰주게 된다.

이러한 충전 알고리즘은 발사체의 상황에 따라 충전 중지를 할 수 있도록 구성되어 있다. 충전 중지 시에는 발사체로 산화제를 공급하는 모든 밸브를 닫아 공급을 중지하게 된다. 이때, 펌프의 부하를 방지하기 위해 바이패스 밸브의 개도량을 키워주게 된다. 충전 중지이후에는 발사체의 명령에 의해 충전 재시작을 수행하게 되며, 이전 충전 모드로 되돌아간다.

3.7 수류시험 알고리즘

추진기관시스템 시험설비에서는 수류시험을 통해 각 단별 추진기관 시스템 성능 검증 및 평가를 수행한다. 수류시험을 수행하기 위하여 산화제 공급 시스템에는 회수탱크, 수류시험 배관, 엔진 모사 배관이 구축되어 있다. 수류시험 알고리즘에서는 이러한 수류시험 배관 냉각, 회수탱크 냉각, 시험 시퀀스에 따라 엔진 모사 밸브의 동작 등을 수행한다.

3.8 배출 알고리즘

비정상 상황 발생으로 발사 취소가 이루어진 경우나 수류시험 이후 발사체 내부에 잔여 추진제가 있는 경우 배출 알고리즘이 수행하게 된다. 배출 알고리즘을 통해 발사체 내부의 산화제는 산화제 공급 시스템의 배출 라인을 통해 회수탱

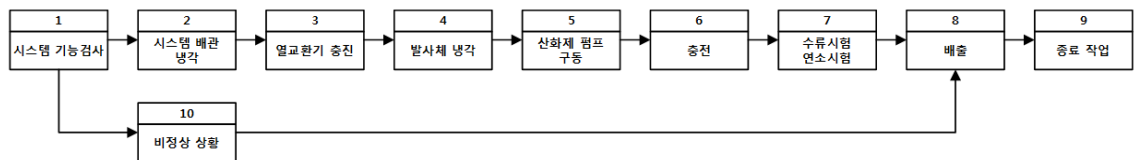


Fig. 1 Oxidizer filling algorithm process

크로 배출된다. 발사체 산화제 탱크 내부의 모든 산화제가 배출된 이후에도 탱크는 저온상태이며 그대로 둘 경우 시간이 지남에 따라 탱크의 온도는 상승하게 되고 탱크 내부의 가스가 팽창하게 된다. 이러한 현상은 탱크에 무리를 줄 수 있기 때문에 발사체 산화제 탱크의 온도를 상온으로 승온하는 알고리즘을 수행하게 된다.

3.9 종료작업 알고리즘

종료작업 알고리즘은 액화산소 배출 알고리즘과 액화질소 배출 알고리즘, 시스템 초기화 알고리즘으로 구성되어 있다.

액화산소 배출 알고리즘의 경우 드레인 밸브를 사용하여 배관 내 액화산소를 드레인 탱크와 회수탱크로 배출하며 가스질소를 이용하여 배관 퍼지를 실시한다. 일정시간 이후 배관 퍼지와 액화산소 배출을 중지하여 초기화하게 된다.

액화질소 배출 알고리즘의 경우 열교환기 내부에 충전된 액화질소를 배출하는 알고리즘을 수행한다. 배출 초기에는 열교환기 내부의 수두차에 의해 배출하며, 이후에 열교환기 내부로 가스질소를 공급하여 빠르게 배출하도록 구성되어 있다.

시스템 초기화 알고리즘은 두 배출 알고리즘의 종료 후 수행되며, 산화제 공급 시스템의 자동밸브의 상태를 시험 이전의 상태로 다시 되돌린다.

3.10 비정상 상황 알고리즘

시험운영 중 비정상 상황에 따라 명령을 전달 받으면 비정상 상황 알고리즘이 수행된다. 비정상 상황 알고리즘이 수행되면 발사체로 산화제의 공급이 중단되며, 펌프 중단 알고리즘의 작동으로 펌프가 구동을 멈추게 된다. 일정한 압력을 유지하던 저장탱크 알고리즘도 종료하며, 열교환기의 수위를 유지하던 알고리즘도 종료하게 된다. 이 모든 알고리즘이 수행된 이후에는 배출 알고리즘으로 알고리즘이 진행되어 발사체의 이후 명령을 대기한다.

4. 결론

한국형발사체 추진기관 개발 과정에서 필요한 각 단별 추진기관의 성능 평가 및 검증을 위한 추진기관시스템 시험설비(PSTC)가 나로우주센터에 구축되었다. 본 논문에서는 시험대상체의 요구조건에 적절하게 액화산소를 공급하도록 설계된 산화제 공급 시스템의 산화제 공급 알고리즘에 관하여 소개하였다. 산화제 공급 알고리즘은 발사 운용 절차에 맞추어 시스템 기능검사, 시스템 배관 냉각, 발사체 탱크 냉각, 펌프 구동, 충전, 수류시험, 배출, 종료작업 알고리즘을 순차적으로 수행하며 시험 운용 도중 비정상 상황 발생 시에는 비정상 상황 알고리즘을 수행하게 된다.

개발된 산화제 공급 알고리즘은 산화제 공급 시스템의 단독 시뮬레이션과 단독 운용검증 시험을 통해 수정/보완되었다. 최종적으로 발사체와의 연계시험(수류시험/연소시험)을 통해 산화제 공급 알고리즘을 검증할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 이장환, 김상헌, 김용욱, 조기주, “한국형발사체 추진기관시스템 시험설비(PSTC) 유공압 시스템,” 한국추진공학회 춘계학술대회, 2016. 5, pp.872-875
2. 김지훈, 박순영, 박편구, 유병일, “액체로켓 산화제 지상공급시스템의 운용 프로세스 설계 및 검증,” 한국추진공학회 추계학술대회, 2011. 11, pp.781-783
3. 유병일, 박편구, 김지훈, 박순영, “발사대 액체산소 공급시스템 충전 알고리즘,” 한국추진공학회 추계학술대회, 2011. 11, pp.795-796
4. 박편구, 박순영, 김지훈, 유병일, “액체로켓 발사대 시스템의 산화제 공급 알고리즘 개발,” 한국항공우주학회 학술발표회논문집, 2012. 11, pp.1972-1976