

추진제 충전량 측정시스템 시제 개발 연구

신동순* · 한상엽** · 조인현***

Development Study on the Prototype of Level Measurement System of Launch Vehicle Propellant Tanks

Dongsun Shin* · SangYeop Han** · Inhyun Cho***

ABSTRACT

The processes of supplying propellants into propellant tanks play important roles during launch preparation of satellite launch vehicle. The total weight of launch vehicle greatly depends on the accuracy of filling quantity of propellant during launch preparation. Among propellants used for launch vehicles a cryogenic propellant such as liquid oxygen is widely adapted as an oxidizer for launch vehicles. Such cryogenic propellant usually resides in a propellant tank as two-phase fluid with liquid and gas, which needs an accurate level measurement system to detect the position of propellant surface precisely. In this paper the fabricating process of a level measurement system using capacitance type with three electrodes is analyzed. In addition, the change of electric signal according to the height of liquid is verified by testing the level measurement system under consideration. The results of tests shows as expected the linear trend of voltage according to the change of water height in a tank.

초 록

추진제를 추진제 탱크에 충전하는 과정은 발사 준비 과정에서 중요한 역할을 하며, 추진제 충전량의 정확도는 발사체 전체 무게와 관련되어 있다. 발사체에 사용되는 추진제 중에는 액체산소와 같은 극저온 추진제도 사용되며, 극저온 추진제는 탱크 내의 환경에 따라 쉽게 액상에서 기상으로 변화된다. 따라서 추진제 탱크 내의 추진제 표면 주위에서 추진제 수위를 판별할 수 있는 액상과 기상의 경계면을 명확하게 파악 할 수 있는 수위 측정시스템이 필요하다. 본 연구에서는 정전용량형 3전극 원리를 이용한 측정시스템의 제작과정과 예비시험을 통하여 액체의 높이가 변화할 때 전기신호가 변화되는 것을 확인하였다. 시험 결과로부터 물의 높이 변화에 비례하게 전압이 선형적으로 증감하는 경향을 파악하였다.

Key Words: Inductance type(유도용량형), Capacitive type (정전용량형), Polarized current(분극전류)

* 한국항공우주연구원 추진제어팀

** 한국항공우주연구원 추진제어팀

*** 한국항공우주연구원 추진제어팀

연락처, E-mail: msepl@kari.re.kr

발사체시스템에서 요구조건에 따라 추진제를 탱크에 정확하게 충전하고 발사 준비구간에서 주어진 cyclogram에 맞추어 충전 및 보충 충전 과정을 수행하기 위해서는 추진제 충전량 측정시스템이 필요하다[1]. 액체의 수위를 측정하는 방식에는 유도용량형(inductance type) 방식과 콘덴서의 원리를 응용한 정전용량형(capacitance type) 방식이 있으며, 또한 정전용량형 센서는 2전극과 3전극 방식이 존재한다.

2전극 정전용량형 센서는 오래전부터 상용화되었으나, 3전극 시스템을 이용해서 액체의 수위를 측정하는 방식은 최근 독일에서 처음으로 적용하기 시작하였다[2,3]. 본 연구에서는 3전극 시스템의 원리를 이용하여 추진제의 수위를 측정하기 위한 감지부의 구성과 물리적으로 신호를 어떤 방식으로 감지하는지에 대하여 설명한다. 또한 감지부 설계 시에 고려할 사항과 감지부 제작 방법에 대해서도 간단하게 기술 하였으며, 극저온 시험을 수행하기 전에 물을 이용하여 3전극 시스템의 변화하는 경향을 확인 하였다.

2. 측정시스템의 구성과 원리

2.1 3전극 시스템 구성

내장형 수위 측정시스템은 2전극 정전용량센서와는 달리 3전극 시스템을 이용하여 수위측정을 할 경우 정확성을 높일 수 있다. 그림 1은 충전시스템의 감지부 구성을 나타낸다.

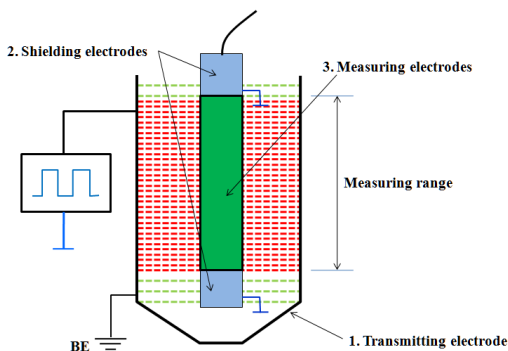


Fig. 1 3전극 시스템의 구성

3전극 시스템은 금속 저장탱크의 몸체를 제1전극으로 이용하고, 제2전극은 센서의 감지부 차단전극으로, 제3전극은 측정범위에 들어있는 감지부 전극으로 한다. 이렇게 시스템을 구성하면 수위측정을 하려는 저장탱크 자체가 거대한 축전기가 되어 동축 실린더 축전지의 정전용량값의 계산을 그대로 적용할 수 있다. 수위측정시스템에서 탱크벽면에 구형파를 일정하게 공급하는 것을 발진이라 한다.

유전체가 감지부 전극에 근접했을 때 1극과 2극사이의 전기장의 왜곡으로 인하여 정전용량값이 변화하게 되고 감지된 정전용량값을 R-C 회로를 이용하여 전압이나 전류로 변화시켜 액체 추진제의 높이를 측정하는 방식이다.

2.2 3전극 센서의 물리적 원리

두 개의 전극을 이용하여 축전기를 만들 때 축전기의 성질 때문에 전극판 외부는 전기장이 형성되지 못한다. 이렇게 하면 평행판 전극 사이에만 물체가 들어올 때 감지를 하고 전극판의 외부에 물체가 올 때는 감지를 전혀 하지 못한다. 따라서 한쪽 전극을 (+)로 대전시키든지 아니면 (-)로 대전시키고 다른 극판에는 접지를 시켜 반대 전하가 정전유도가 되도록 한다. 이렇게 하면 (+) 전극에서 나가는 전기력선이 두 평행판 사이뿐만 아니라 바깥으로도 나가서 평행판 전극 외부에 물체가 오면 감지가 가능하다. 그림 2에서 보듯 바와 같이 2전극 시스템인 경우 한 쪽을 (+)전극으로 다른 쪽은 정전유도가 일어나도록 접지시킨다. 이렇게 하면 (+)극 주위를 감지하는 센서 전극을 구성할 수 있다. 두 개의 평행판이나 원통형 전극 외에 제3의 전극을 두어 한 쪽에서 나가는 전기력선이 감지 매질인 유전체를 통해 다른 전극으로 이동하도록 한다. 감지전극이나 탱크의 내벽의 극성이 바뀌어도 관계없다. 중간에 유전체 매질을 통해 반대 전극이 와서 유전체 내부에서 분극전류가 흐르도록 센서의 회로를 구성하면 된다.

센서의 회로에는 (+)전극과 유전체를 통해서 (-)전극으로 전류가 흐르므로 감지 물체의 여부에 의해 전류가 흐르는 양이 달라지므로 이런 변화량으로 감지 여부를 판단한다.

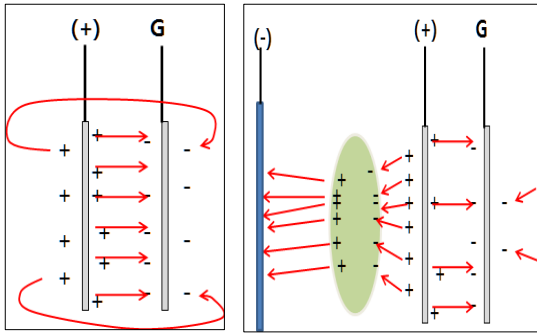


Fig. 2 2전극과 3전극 감지 원리

3전극 시스템에서 유전체가 차 올라오는 정도에 따라 유전체를 통해 흐르는 분극 전류(polarized current)의 양이 달라지므로 전류의 변화량이 곧 유전체의 증감량이 되어 수위로 환산할 수 있게 된다.

3. 감지부 설계 및 제작

3.1 감지부 설계

센서의 감지부는 액체에 잠겨 변화량을 알아내는 부분으로 본 연구에서는 액체산소(LOX)를 대상 액체로 하고 있다. 그러나 실험 때는 액체산소의 발화 위험 때문에 액체질소(LN2)를 사용한다. 액체질소는 끓는점이 섭씨 영하 196 도 이므로 내한성이 강한 소재를 이용해야 한다. 그림 3과 같은 3전극 시스템을 적용하려면 센서 감지부의 내부는 강화유리섬유가 들어있는 단단하고 가벼운 에폭시 수지를 이용하고 표면에는 얇은 동박으로 금속성질의 전극을 구성한다. 감지전극으로 동박을 입히고 절연체인 PE 테이프를 붙이고 그 위에 다시 동박으로 차폐전극을 구성한다. 전극이 직접 액체에 닿는 것을 방지하기 위해 내한성이 강한 PTFE 파이프에 전체 전극을 넣는다.

제3전극은 차폐전극 역할을 하나 경우에 따라 초기 세팅상태에서 너무 낮은 정전용량값이 전극 사이에 형성되면 액체가 변할 때 변하는 양을 감지 못할 수가 있다. 따라서 전극 사이의 정

전용량값을 높이기 위해 감지부의 위와 아래 부분에 절연막을 넣어 제2전극인 감지전극 아래에 넣는다. 절연막의 역할은 감지전극과 차폐전극을 전기적으로 절연시키고 큰 정전용량값을 만들기 위해서다.

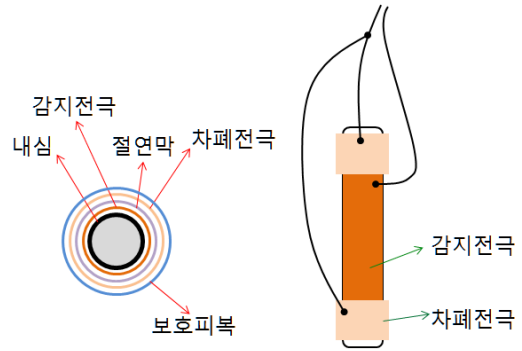


그림. 3 감지부 구성

3.2 감지부 제작

감지부는 극저온과 고온 조건에서 수위를 측정해야 하고 절연물질이어야 한다. 제작 초기에 감지전극은 도전성이 뛰어나고 견고한 동박을 이용하려고 했으나 감지부의 길이가 길어지면 무게가 증가하는 점을 고려하여 동박을 사용하였다. 내심 파이프에는 외부 표면의 전극판에 납땀을 한 전선을 내부 공간으로 넣어 센서의 헤드 부분으로 뽑아 올리기 위해 몇 개의 구멍을 뚫어야 한다. 아래의 차폐전극을 연결하는 1개, 가운데 감지전극을 연결하는 1개, 위의 차폐전극을 연결하는 1개가 필요하다.

체결부는 센서의 감지부를 지지하고 고압의 금속 저장탱크에 감지부를 고정하고 전선을 바깥으로 빼내 컨트롤러에 연결하는 부위다. 체결부는 탱크 내부는 4 - 6 기압에 견디고 내부 기체나 액체가 바깥으로 새어나오지 않도록 해야 한다. 체결부는 무게를 고려하여 알루미늄으로 제작하였다. 알루미늄 체결부의 나사산은 규격이 1.5 이고 약간의 태핑(taping)을 주어서 시작 부분은 쉽게 암나사에 들어가나 중간 이후부터는 강한 토크를 주어야 체결이 되도록 하였다.

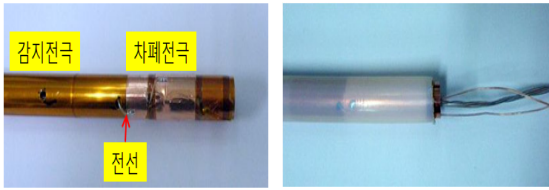


그림. 4 감지부 제작

3.3 감지부 예비 시험

발사체 추진제탱크 충전시스템에 사용하는 감지부를 제작하기 전에 예비시험을 위하여 그림 5와 같이 시험 장치를 구성하였다. 기본적인 설계개념에 따라 내장형 감지부의 직경은 27 mm로 하였고, 전체 길이는 400 mm, 측정 범위는 350 mm로 하였다. 플라스틱 지지대의 바깥쪽에 동박을 360도 씌워서 실제 구리관의 모양과 비슷하게 하였다. 작동유체는 물을 사용하였다.

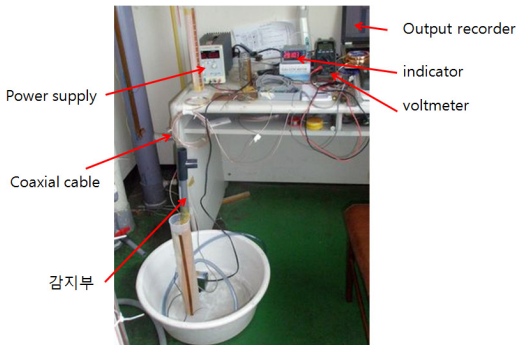


Fig. 5 시험 장치구성

실험의 진행은 전압변화를 0.5~2.5 V 까지 잡고 20 mL씩 물을 넣을 때 전압 증가를 기록하였다. 그림 6은 실험 결과를 보여주는 곡선으로서 물의 양이 증가하면서 대체로 직선을 유지하나 물의 양이 적을 때와 많을 때 직선에서 약간 처지는 것을 볼 수 있다. 아래의 그래프에서 보는 바와 같이 그래프에서 위와 아래의 출력이 약간 처지는 이유는 차폐전극을 위, 아래에 설치하여 제1전극에서 들어오는 전기장을 완전하게 차폐하지 않아 생긴 이유다. 그래프에서 위와

래의 출력이 약간 처지는 이유는 차폐전극을 위, 아래에 설치하여 제1전극에서 들어오는 전기장을 완전하게 차폐하지 않아서 발생하였다.

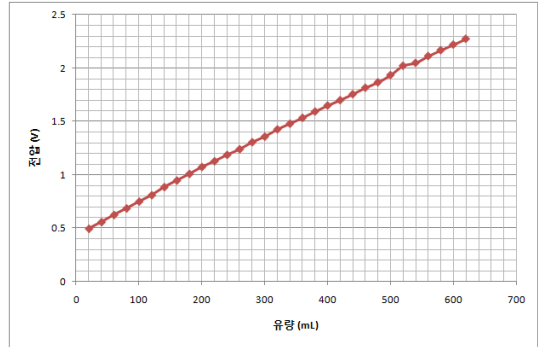


그림. 6 수위변화에 따른 전압 변동

4. 결 론

정전용량형 3전극 시스템을 적용한 추진제 충전시스템의 예비시험을 통하여 수위가 증가됨에 따라 선형적으로 전압의 변동이 되는 것을 확인 할 수 있었다. 향후 극저온 추진제를 이용하여 기 개발된 시스템의 성능 시험을 수행할 계획이다.

참 고 문 헌

1. 신동순, 한상엽, 조인현, 이웅신, "발사체 추진제 탱크 수위측정 및 제어시스템 기초연구", 한국유체공학학술대회, 2008, pp. 393~396
2. A. Kohler, U. Pok, "Schaltungsanordnung zur Erfassung von Kapazitaetsaenderungen", Deutsches Patentamt, DE 100 27 507 C1, 2002.
3. U. Pok, "Kapazitive Messeinrichtung zur kontinuierlichen Standregelung fuer Medien unterschiedlicher Dielektrizitaetskonstanten", Deutsches Patentamt, DE 195 28 384 A1, 1997.