

발사대 및 시험장 건물 내의 산소농도 관리

김지훈* · 유병일* · 조상연* · 강선일** · 오승협*

Oxygen contents monitoring in the building for launch and test facilities

Jihoon Kim* · Byungil Yoo* · Sangyeon Cho* · Sunil Kang** · Seunghyub Oh*

ABSTRACT

Test and launch facilities which use oxygen as the propellant of a launch vehicle have hazards of fire and explosion by the leakage of oxygen. Also, the personnel operating the facilities, which use the high-pressured gases like nitrogen and helium in the closed room, is exposed to the hazard of death from suffocation. Consequently, we should keep out of the hazards and the accidents by monitoring the contents of oxygen in the air. The method and the system construction for monitoring oxygen contents in the air and the results from its application to Naro space center are described on this paper.

초 록

산소를 추진제로 사용하는 발사체를 발사하기 위한 발사대 및 그것을 시험하기 위한 설비를 보유하고 있는 건물은 언제나 누출된 산소로 인한 화재 및 폭발의 위험성을 지니고 있다. 또한 질소, 헬륨 등과 같은 각종 고압가스류를 사용하고 있기 때문에 밀폐된 공간에서의 가스 누출로 인한 질식사 위험에도 노출되어 있다. 따라서 이러한 공간 내의 공기 중 산소 농도를 관리하여 발생할 수 있는 사고를 미연에 예방할 수 있어야 한다. 본 논문에서는 산소 농도 관리의 방법과 시스템 구성 및 적용 결과를 정리하였다.

Key Words: KSLV-I, Oxygen(산소), LOx(액체산소), Kerosene(케로신), High-pressured gas(고압가스), Oxygen contents(산소농도), Hazard(위험), OMS, Naro space center

1. 서 론

액체산소를 추진제로 사용하는 발사체를 발사하기 위한 발사대 및 그것을 시험하기 위한 설비를 보유하고 있는 건물은 언제나 누출된 산소로 인한 화재 및 폭발의 위험성을 지니고 있다. 또한 이러한 건물들은 질소, 헬륨 등과 같은 각종 고압가스류를 사용하고 있기 때문에 밀폐된 공간에서

* 한국항공우주연구원 추진기관체계팀

** 한국항공우주연구원 발사대개발팀
연락처, E-mail: jhk0622@kari.re.kr

의 가스 누출로 인한 질식사의 위험에도 노출되어 있다. 미연에 발생할 수 있는 사고를 방지하기 위해서는 공간 내의 공기 중 산소 농도를 관리할 필요가 있다. 본 논문에서는 산소 농도 관리의 방법과 시스템 구성 및 적용 결과를 정리하였다.

2. 본 론

2.1 산소의 특성

1774년 Priestley에 의해 발견된 산소는 물의 88.8%, 공기 중의 20.9%, 지각의 49.5%를 차지하고 있다. 발사체에 추진제로 사용되는 액체산소는 흔히 액상의 공기에서 추출하는데 액체산소 그 자체로서는 비독성, 비연소성, 비폭발성이어서 위험도가 낮으나 조연성을 갖고 있어 가연물질과 점화원이 있으면 격렬하게 반응하여 연소를 하도록 한다. 기체상태의 산소는 반응속도가 더욱 빨라 가연물질과 점화원이 있을 때 가연물질의 폭발 위험도가 증가한다. 따라서 산소 과다 환경(23% 이상)에서는 특히 화재 발생 위험에 주의해야 한다.

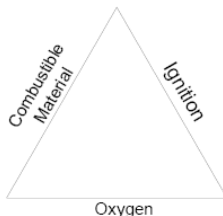


Fig. 1. Fire triangle

2.2 산소농도 관리의 필요성

공기 중의 20.9%를 차지하는 산소는 일반적으로 공기 중 농도가 적어지면 표와 같이 인체에 심각한 영향을 줄 수 있다. 반면 약간 높은 농도의 산소에 노출된 경우는 인체에 심각한 영향은 주지 않으나 사람이 입고 있는 옷에 점화원이 더해질 경우 화재의 위험도가 증가하고 80% 이상의 고농도 산소의 대기에서 몇시간 이상 호흡할 경우는 인체에 영향을 줄 수 있다. 따라서 산소를 다루는 작업장 혹은 밀폐된 작업장

의 산소 농도를 관리하여 인명을 보호하는 것이 필요하다.

Table 1. 산소결핍 증상

공기 중 산소 농도(vol%)	현 상
20.9	없음
17	호흡이 가빠짐
12	두통, 급격한 피로
9	의식불명
6	수분 이내 사망

2.3 산소농도 관리 시스템의 용도 및 필요 장치

산소농도 관리 시스템(Oxygen Monitoring System; 이하 OMS)의 주 용도는 건물 내 공간의 공기 중 산소농도를 지속적으로 모니터링 하며 그 수치가 설정치에서 벗어날 경우 경고 장치를 작동하여 작업자가 대피하도록 유도하고 건물 내의 공조 시스템이 비상 모드로 작동하도록 신호를 보내는 것이다. 따라서 다음과 같은 장치들이 필요하다.

- ① 지속적인 산소농도 감지 장치
- ② 데이터 수집 장치
- ③ 데이터 통신 장치
- ④ 원격 감시 장치
- ⑤ 산소농도 이상시 경고 장치
- ⑥ 건물 공조 시스템

2.4 산소농도 관리 시스템의 적용

2.4.1 나로우주센터 발사대 OMS 구성

KSLV-I는 1단부 추진제로 케로신과 액체산소를 사용하고 있으며 그 외에도 운용시 질소, 헬륨 등의 각종 가스류를 사용하고 있다. 나로우주센터의 발사대 건물은 Central Building(이하 CB)과 Launch Building(이하 LB)으로 나누어져 있으며 이 두 건물은 약 100m의 지하 공동구로 연결되어 있고 CB는 지상 및 지하, LB는 지하에 각종 가스류를 사용하는 발사운용 지상설비들이 여러 방들에 용도에 맞도록 설치되어 있다.

CB와 LB에서 OMS의 산소농도 감지부가 요구되는 포인트는 총 76개로 이는 각 방의 용도와

크기에 따라서 방마다 개수가 1~4개로 다르다. 감지부의 경우 방식에 따라서 확산식과 흡입식으로 나눌 수 있는데, 확산식은 감지센서가 대기 중에 노출되어 있어 측정가스의 확산에 의해 검출하는 방식이고 흡입식은 측정 가스를 펌프 등으로 강제 흡입하여 분석기를 통해 농도를 표준가스의 산소농도와 비교 감지하는 방식이다. 국내의 산소 감지기 경향은 비용과 신뢰도 측면에서 최근 확산식을 더 많이 선호한다. 흡입식의 경우 각 샘플링 포인트마다 흡입 배관을 구성해야 하고 공기를 흡입하기 위한 펌프 시스템 및 각 배관의 필터 설치가 필요하며 가스 분석기가 다수 필요하여 비용이 훨씬 더 비싸고 관리도 번거로운 단점들이 있다. 따라서 나로우주센터 발사대의 OMS 감지부는 확산식을 채택했다. 감지 센서는 Galvanic cell 방식으로 각 건물의 중앙 관널에서 DC 전원을 공급받아 공기 중 산소농도 0~25%를 4~20mA의 전기신호로 센서 보드와 중앙 데이터 수집장치에 출력한다.

중앙 관널에는 DC 전원 공급장치, 데이터 수집장치, 터미널블록, 통신장비들이 있어 각 감지부로부터 오는 출력신호를 수집하여 디스플레이하고 통신장비를 통해 발사운용 제어를 하는 Launch Control Center(이하 LCC)의 원격 모니터링 PC로 수집된 데이터를 송신한다. 발사대와 LCC간 통신은 광케이블로 연결되어 빠르게 데이터 전송이 가능하다. LCC의 모니터링 PC에는 HMI 소프트웨어를 통해 발사대 건물의 각 방별 감지 센서의 위치를 표시하고 해당 센서의 산소농도 출력값을 실시간으로 알 수 있다.



Fig. 2. 발사대 OMS 구성

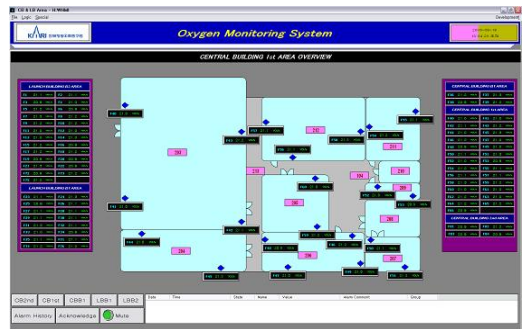


Fig. 3. 원격 모니터링 PC HMI 화면

24.2 OMS 운용 및 관리

건물 내 공기 중의 산소 농도는 정상값 20.9%를 기준으로 하여 19.5%~22%로 일반적인 플랜트의 관리 범위인 18~23% 보다 좀 더 까다롭게 관리하고 있다. 필드의 OMS 감지부에서 산소농도가 관리 범위를 벗어난 것을 감지해 경고신호를 보내면 LCC의 모니터링 PC에서 바로 어느 위치에서 산소 농도에 이상이 발생했는지 알 수 있다. 또한 건물의 HVAC 시스템과 연결되어 있어 경고가 작동하면 HVAC의 배기펌프가 정상 모드에서 비상모드로 자동 전환되면서 건물 내 공기를 고속으로 순환시킨다.

실제 발사 준비를 위한 각종 테스트 및 발사 리허설시 OMS는 정상적으로 잘 작동하였고 가스 누설이 발생하였을 때에도 각 상황에 따라 High alarm 및 Low alarm을 작동하여 작업자가 대피하도록 그리고 안전책임자 및 발사운용책임자가 각 비상상황을 정확하게 판단할 수 있도록 유도하였다.

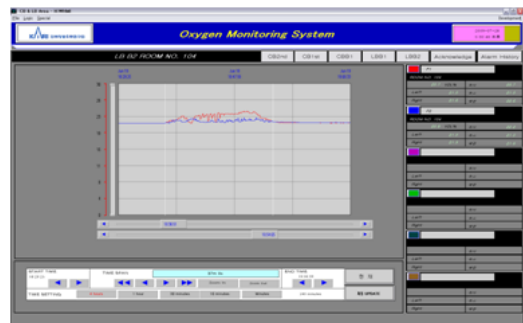


Fig. 4. 산소 누출시 모니터링 그래프 변화

OMS는 24시간 계속적으로 가동하는 장비로서 감지부 센서의 수명은 약 1~2년 정도이며 수명이 다 되었을 때는 새로운 센서로 교체를 해주어야 한다. 센서의 출력값은 대기압과 대기 온도에 따라서 약간씩 달라질 수 있다. 본 감지부 센서의 교정 방법에는 자동 교정과 표준가스를 사용하는 교정이 있는데, 자동 교정은 센서 출력값이 1개월에 약 2% 이내로 drift가 발생했을 경우 센서 자체 교정모드를 실행해 출력값을 보정해주는 것을 말하며 표준가스를 사용하는 교정은 산소농도 10%와 23%의 표준가스를 각각 감지부 센서에 주입하여 출력값이 정상적인지 확인하고 수동으로 보정하는 방법이다. 따라서 실제 발사 준비시에는 센서의 자동 교정을 1개월에 2회씩 수행하면서 센서의 출력값을 지속적으로 보정해주었고 현재 장기 보관 모드 중에는 1개월에 1회씩 자동 교정을 수행하고 있다.

또한 원격 모니터링 PC에서는 현재 산소농도 경향을 그래프로 볼 수 있어 지속적인 관찰을 통해 출력값의 drift 정도를 판단하여 센서의 이상 여부와 수명을 예측할 수 있다.

2.5 OMS의 응용 가능성

현재 설치된 OMS는 확산식과 흡입식 각 경우의 장단점을 비교한 결과 확산식을 채택하였다. 이는 발사대 건물 각 공간에서 누설된 가스가 확산하여 감지부 센서가 반응하는 것인데 다시 말해 흡입식에 비하여 수동적인 감지방식이다. 반대로 흡입식의 경우 적극적인 감지방식이라 할 수 있는데 이 방법을 추후 로켓 엔진 시험 설비나 추진기관의 단시험 설비 구축시 부분적으로 채택하여 추진제 배관 연결부위 등의 가스 누설을 감지할 목적으로 사용할 수 있겠다. 확산식의 경우는 넓은 공간에서 가스가 확산되는 것을 감지하는 것이기 때문에 배관 및 유공압 장

치들이 복잡하게 구성된 좁은 부위의 가스 누설을 감지하기에는 어려움이 있다. 따라서 이러한 부위에는 흡입식을 적용하여 누설 감시를 할 수 있을 것이다.

3. 결 론

산소 및 각종 고압가스를 다루는 설비가 있는 건물에서의 산소농도 관리는 반드시 필요하다. 무엇보다도 이러한 추진제 관련 설비를 구축시 가장 먼저 설치되어 다른 시스템을 설치하는 중 작업자가 근접하여 기밀 테스트나 질소가스 등을 사용하여 배관 청소 등을 할 때 정상 운용되고 있어야 사고에 대한 위험요소를 미리 판단하여 인명과 설비를 보호할 수 있을 것이다.

특히, 최근에는 학교 등의 공간이나 규모가 작은 실험실에서도 고압가스를 사용하는 곳이 많이 있는데 가스를 다루는 작업자의 사전교육도 필수이지만 OMS를 설치하거나 휴대용 OMS를 구비하여 가스류를 취급한 경험이 적은 작업자들에게 사전에 경고를 함으로써 발생할 수 있는 사고에 대처를 할 수 있도록 할 것을 원하는 바이다.

참 고 문 헌

1. HUGH E. MALONE, The Analysis of Rocket Propellants, Academic Press London, New York, San Francisco, 1976
2. Fire Hazards of Oxygen and Oxygen Enriched Atmospheres, EIGA
3. 가스누출감지경보기 설치에 관한 기술상 지침, 노동부 고시 제2001-3호