소방대원용 공기호흡기의 성능안전확보 대책에 관한 연구

손봉세[†] · 오석환^{*} · 김엽래^{**}

가천대학교 소방방재공학과, *가천대학교 환경 · 디자인대학원 소방방재공학과, **경민대학교 소방행정학과

A Study on Measures to Achieve Performance and Safety of Air Respirators for Fire Fighters

Bong-Sei Son[†] · Suk-Hwan Oh^{*} · Yeop-Rae Kim^{**}

Dept. of Fire Protection Engineering, Gachon Univ.,

*Graduate School of Environment and Design Gachon Univ.,

**Dept. of Fire Safety Administration, Kyungmin Univ.

(Received July 2, 2012; Revised August 13, 2012; Accepted August 13, 2012)

요 약

본 연구 목적은 화재시에 사용하는 공기호흡기의 성능개선에 필요한 기초자료를 마련하는데 있다. 공기호흡기에서 발생하는 문제점을 파악하고 부식의 발생과정을 알아보기 위하여 3가지 실험조건하에서 용기내부의 압력을 배출시킨 경우 주변 온도와의 차이를 확인하고, 용기 내 · 외부의 수분의 발생여부를 확인하였다. 실험조건으로 설정온도는 $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$ 이고, 용기 압력배출은 1차 감압기와 정압밸브를 사용하여 $0.4\sim 0.8\text{ MPa}$ 의 범위로 실험하였다. 실험결과 용기 외부의 온도와 수분은 변화가 없었으며, 내부에서도 수분은 발생되지 않았다. 다만, 압력게이지의 내측에서 수분이 발생하였지만 「호흡보호장비 안전관리에 관한 기준 고시」에서 제시한 25 mg/m^3 범위를 초과하여 발생하지 않았다. 따라서 공기호흡기에서 가장 치명적인 문제인 용기내부에서의 수분이 발생하는 원인은 제조 및 생산과정에서 발생하기 보다는 일반적으로 사용처에서 관리 및 공기를 교체하는 과정에서 수분이 발생할 가능성이 높은 것으로 판단하였다.

ABSTRACT

This study of aims to provide basic data for improve the performance of air respirators that generate by bad influencing elements in fire emergency field. With three types of conditions set up for these tests, the pressures of containers have been extracted; the ambient temperatures have been checked, and the generation of moisture inside and outside container have been checked and identified. Specifically, these tests have been conducted at temperatures ranging between $-20\sim 40^{\circ}\text{C}$. The pressures of containers have been extracted to reach between $0.4\sim 0.8\text{ MPa}$, using a pressure regulating valve. These tests have resulted in no change in the temperature and moisture outside the containers and no generation of moisture inside the containers as well. Although moisture has been generated inside the pressure gauge, the amount of moisture has not exceeded 25 mg/m^3 , i.e. the limit suggested by the Korean Government. Therefore, it is judged that the moisture generated inside air respirators, which can be the most critical issue in the equipment, is likely to be caused in the process of managing the equipment or replacing air in the equipment at places of end-users, rather than in the process of manufacturing and production of the equipment.

Keywords : Air respirator, Corrosion, Compressor, Moisture, Air container

1. 서 론

공기호흡기는 화재진압 및 구조현장에서 소방대원의 안전을 확보하는데 가장 중요한 순수한 공기를 공급하는 생명보호장비이다. 따라서 공기호흡기는 소방대원의 소방 및 구조활동을 하는데 있어 필수 장비인 동시에 개인의 건강과 생명안전을 보호해주는 보호장비이다. 현재 국내에서

생산하여 사용되고 공기호흡기의 제조기술 및 성능수준은 선진외국과 비교할 때 원자재 등 일부 핵심부품을 제외하고 대등한 수준에 있다고 할 수 있다. 그러나 공기호흡기는 극한 환경조건에서 사용하는 보호장비이기 때문에 지속적인 제성능을 유지할 수 있도록 체계적이고 과학적인 안전관리 대책이 필요하다. 따라서 화열, 연기 등 각종 유해가스가 다량으로 발생하는 극한 작업공간에서 국민의

[†]Corresponding Author, E-Mail: bsson@gachon.ac.kr
TEL: +82-31-750-5713, FAX: +82-31-750-8749

ISSN: 1738-7167
DOI: <http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.4.077>

생명과 재산을 보호하기 위하여 활동하는 소방대원의 생명을 지키는 것은 우리 사회 및 국민의 몫이며 이에 대한 과학적인 대책이 마련되어야 할 것이다. 공기호흡기는 경량성과 내압성을 고려하여 알루미늄재질로 제조되기 때문에 수분에 노출되면 부식⁽¹⁾으로 인하여 생성된 수산화알루미늄 분말을 호흡하기 되면 치명적 손상을 가할 뿐 아니라 건강을 위협하는 원인이 될 수 있다⁽²⁾. 국내에서도 장비관리기준으로 법적 내용연수는 6년이며 6개월마다 1회 이상의 자체적으로 공기성분 분석·점검하고, 1년 이내마다 전문시험기관에 정밀시험·분석 의뢰하게 관리하도록 규정되었다. 또한 공기호흡기 용기에 충전중 필터의 수분량은 25 mg/m^3 초과시 자동정지, 압축공기 충전시간 10분 이내이며, 소음 80 dB 미만, 안전밸브는 1.1~1.5배 이하 압력에서 작동하는 것으로 되어 있으나 자체 검사만을 실시하여 정밀한 분석에 의한 관리가 되지 않고 있다. 미국은 NFPA, 압축공기협회 등 공기를 취급하는 단체나 기관별로 세밀한 기술기준을 가지고 있다⁽³⁻⁶⁾. 따라서 본 연구에서는 공기호흡기에서 발생하는 부식, 이물질, 공기 질⁽⁷⁻⁹⁾ 등 소방대원을 유해하는 위험요소를 분석하여 성능안전 확보에 필요한 대책을 수립하는 필요한 기초자료를 제공하고자 하였다.

2. 공기호흡기의 구조 및 기능

국내 공기호흡기는 1984년에 도입되어 1998년 국가검정 시행으로 활발하게 보급되기 시작하여 현재는 소방대원 1인당 50분용 1개와 예비용 1개가 보급되어 있는 실정이다. 공기호흡기는 자급식으로 주요 기능은 소방대원에게 질 좋은 산소공급 및 연기, 연소가스 등 유해가스의 흡입을 방지

Figure 1. Air Respirator's elements.

하는 것이다. 특히, 안면부 성능은 최적의 내압력을 유지하여 유해한 물질 및 가스 등의 유입을 방지하고 밀착성과 사용자의 호흡을 원활하게 유지 할 수 있어야한다. 공기호흡기의 구성요소는 Figure 1과 같이 실린더용기, 공급·배기장치, 감압장치, 경보·점멸장치, 급기호스, 등지게 등으로 구성되어 있다. 각 요소별 주요기능은 실린더 용기의 공기압력은 대략 30 Mpa의 압력으로 충전하여 사용하며, 사용시간은 작업조건에 따라 다르지만 일반적으로 50분 정도 사용할 수가 있다. 공기호흡기의 등지게는 사용자가 휴대할 수 있도록 벨트 부분과 용기 결합부분으로 나뉘었으며 중압블럭이 부착되어 공급밸브와 압력계, 경보장치, 점멸장치 있으며 공기를 공급할 수 있도록 연결장치가 있다. 용기 밸브를 열면 고압조정기에서 1차로 0.8 Mpa로 감압되고 중압블럭에서 감압된 공기는 면체 양압조정기로 이동하며 감압되지 않은 고압공기는 압력계와 경보장치에 전달된다.

면체부에는 양압조정기, 전성판, 대기호흡장치, 배기밸브, 머리조절끈 및 면체고무 등으로 구성되어 안면부 보호 역할을 한다. 양압조정기는 고압조정기에서 1차로 감압된 압력을 2.66 Kpa로 유지하여 호흡하기에 적절한 압력으로 2차 감압 시켜주고 외부 공기의 유입을 방지하며, 사용자의 호흡에 따라 저항판 및 다이어프램은 상하 왕복운동을 지속적으로 하여 면체 내압력이 2.66 Kpa 이하로 떨어지면 다시 압력을 보충해 주는 역할을 한다. 공기충전기 압축방법은 다단압축으로 1단(0.1 MPa → 0.5 MPa), 2단(0.5 MPa → 1.7 MPa), 3단(1.7 MPa → 5.8 MPa), 4단(5.8 MPa → 30 MPa)로서 압축비가 5배를 넘지않게 함으로서 과다열 발생을 억제한다. 냉각이 잘 되지 않는 콤프레샤는 공기순도를 떨어뜨리고, 불완전 연소된 윤활유가 기존의 윤활유에 섞이면서 윤활성이 떨어져 윤활유 교환 주기도 짧아지게 만든다. 또한 공기를 압축하면 공기중에 포화되어 있는 습기가 물방울이 되어 맺히게 되는데 이렇게 발생한 수분은 공기충전기의 각 압축 단계별로 외부로 배출시켜 주어야 한다. 공기충전기 내부의 공기정화필터는 수분을 빨아들이며 수분 표면에 부착된 오일 및 탄화물을 동시에 제거시켜주는 Molecular Sieve와 냄새, 맛, 유증기, 오일찌꺼기 등을 제거해주는 Activated Carbon, 독성인 일산화탄소를 무독성인 이산화탄소로 변환시켜주는 Hopcalite로 구성되어 있다.

3. 공기호흡기의 위험인자

공기호흡기의 안전한 성능을 유지하는데 중요한 위험인자로 작용하는 요소를 알아보기 위해서는 제조과정과 제조후 사용시에 발생하는 위험인자의 2단계로 구분하여 파악할 수 있다. 그러나 본 연구에서는 제조과정에서 발생할 수 있는 근본적인 문제는 국내기술기준에 따른 각종 성능시험 및 검사제도가 국제수준에 준하며 공정, 품질관리 등이 진행되고 있는 것으로 판단되어 본 연구에서는 사용시

에 발생할 수 있는 위험요소를 중심으로 분석한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 폐기된 공기호흡기를 분석한 산소지수가 61 Wt%로 외국수준에 비하여 약 2배 이상 수분함량이 높은 것으로 알려졌다⁽¹⁰⁾. 이 결과에 대한 분석은 좀더 연구가 필요한 것으로 제조후 사용과정에서 공기호흡기 일부에서 수산화알루미늄이 섞인 이물질이 검출되었으며 또한 공기속에 윤활유까지 섞여 있는 것으로 확인됐다.

Sample.1	Sample.2	Sample.3
ALT 695-6834	ALT 41-47269	ALT 41-46462

↓ ×40 zoom	↓ ×40 zoom	↓ ×40 zoom

white powder	Red Stain	No Stain

Figure 2. Powder, stain in the air Respirator's container.

Figure 3. Phenomenon of corrosion in the air Respirator's container.

2. 공기호흡기를 착용한 자가 호흡하는 과정에서 발생하는 성애로 인한 사용자의 시야를 확보하는데 방해하는 현상이 발생하였다.

3. 용기밸브는 공기개폐장치로서 충격이나 온도 상승시 고압용기 파열 위험을 방지하는 안전밸브 등 안전장치 작동이 불량한 경우가 발생하였다.

4. 고압호스를 통해 들어오는 공기의 압력을 측정하여 사용자에게 남은 공기량을 알려주는 설치된 압력계가 일부 불량한 경우가 발생하였다.

5. 공기호흡기의 용기내부는 알루미늄으로 공기에 의해 산화알루미늄 피막을 형성하여 부식을 막아주지만 Figure 2와 3과 같이 분말, 반점, 오일, 수분 등의 염화성오염물질이 유입되어 다양한 공식(孔蝕)현상이 발생하였다.

4. 실험장치 및 방법

4.1 실험장치

공기호흡기의 성능을 실험하기 위하여 사용된 주요 시험장비의 종류와 제원은 공기 충전기(9~50 Mpa) 및 기타 부속장치는 Figure 4와 같으며 내열시험기(최대온도 300 °C), 내한시험기(최저온도 -45 °C), 내한챔버(최저온도 -40 °C)는 Figure 5와 같다. 또한 디지털영상현미경(2400배)과 디지털온도계(TESTO 925 측정범위 -50~1000 °C)는 Figure 6과 같다.

Figure 4. Air compressor, charge pannel, filter.

Figure 5. Hot-dryer, winterization, cold chamber.

Figure 6. Digital image microscope, digital thermometer, air respirator set.

4.2 실험방법

실험은 3가지 환경조건하에서 공기호흡기의 1차 감압기를 거쳐 바이패스 밸브로 방출되는 압력을 설정하여 용기의 변화 및 수분의 생성여부를 확인하였다. 공기호흡기 2 set를 -20°C 에서 공기호흡기 안면부의 바이패스 밸브로 나오는 압력을 1차 감압압력 0.8 MPa 로 완전 배출한 뒤 내부의 수분발생여부를 확인한다. 다음 실험조건은 공기호흡기 2 set를 40°C 에서 안면부의 바이패스밸브로 나오는 압력을 1차 감압압력인 0.8 MPa 로 완전 배출한 뒤 내부의 수분 발생여부를 확인하였다. 마지막 실험은 공기호흡기 2 set를 20°C 에서 안면부의 바이패스밸브로 나오는 압력을 1차 감압압력 0.8 MPa 로 완전 배출한 뒤 내부의 수분 발생여부를 확인한다. 또한 열풍건조기 실험으로 40에서 공기호흡기의 상태를 파악한다.

5. 실험결과 및 고찰

실험조건 3가지의 결과를 알아보기 전에 상온에서 용기 외부의 온도변화를 알아보기 위하여 공기호흡기에서 1차 감압을 거쳐 바로 방출되는 4 MPa 압력과 bypass를 통과한 압력 0.8 MPa 로 실험한 결과 4 MPa 압력에서 가장 낮은 온도인 -22°C , 1차 감압압력인 0.8 MPa 에서 -15°C 로 나타났다. 이는 사용 시 용기의 상태변화로 인하여 수분이 발생할 가능성이 있다는 것을 예측하였다. 또한 공기호흡기를 -20°C 에서 1차 감압기를 통해서 bypass valve로 방출시킨 후 용기 외부온도는 -45°C 로 급격하게 떨어졌지만, 압력게이지 개방 후 내부를 디지털 영상 현미경으로 확인한 바 수분의 생성은 이루어지지 않았다. 다만, 상온과 만나면서 압력게이지 문치 내측 부분에서 미세한 수분이 생성되는 것을 확인하였다.

열풍건조기 실험으로 40°C 에서 공기호흡기를 1차 감압기를 통해서 bypass valve로 방출시킨 후 용기 외부온도는 6°C 로 영상을 유지하였지만, 용기표면의 수분이 생성되긴 하였으나 압력게이지 부분을 개방한 후 용기 내부를 확인한 결과 수분은 발견할 수 없었다. 마지막으로 실험기구를

사용하지 않고 공기호흡기의 bypass valve에서 0.8 MPa 압력으로 방출하였을 경우 용기 외부의 온도는 -27°C 였고, 압력게이지를 개방한 후 내부에서 수분은 발견되지 않았다. 이상 실험결과에서 알수 있는 바와 같이 압력게이지를 개방 후 상온과 접촉하였을때 아주 미세한 수분이 발견되었으나 기타 실험조건에서는 수분발생이 허용기준 이내로 나타났다. 중요한 것은 주변 환경온도가 상온보다 20°C 높은 40°C 의 경우는 아주 미세한 수분도 발생하지 않은 것을 알게 되었다.

6. 결 론

공기호흡기의 비상시 화열, 연소가스, 유독성 가스 등이 다량으로 발생하는 위험공간에서 활동하는 소방대원이나 특수업무를 수행하는 대원이 사용하는 중요한 개인보호장비이다. 따라서 공공의 업무를 수행하는 소방대원의 신체와 생명을 보호하는데 절대적인 공기호흡기에 대한 성능 안전을 확보하는 것은 매우 중요하다. 따라서 본 연구에서는 공기호흡기에서 발생할 수 있는 문제점 및 성능유지를 위한 대책을 강구하기 위하여 사용시에 발생하는 문제점을 분석하고 안전성능확보를 위한 대책에 대하여 연구한 결과는 다음과 같다.

(1) 각 사용처에 설치되어 있는 공기호흡기의 충전시설은 국제수준에 맞도록 보완할 할 필요가 있다. 국내 일부 소방서에 설치된 충전시설의 규모 및 장비는 매우 낮은 수준의 시설로서 보완이 시급한 실정이다.

(2) 국내 압축기의 성능이 낙후 된 실정으로 공기호흡기용 압축기를 개발하여 충전중에 발생할 수있는 수분이나 윤활유 등 이물질이 혼입되지 않도록 하여야 한다.

(3) 공기호흡기용 충전기를 교환할 때 외부 이물질 유입을 방지 하기위하여 공기호흡기 내에 잔압력을 $0.2\sim 0.3\text{ MPa}$ 를 유지하는 것이 필요하다.

(4) 용기내부로 수분이 침투하는 경로는 여러 경우가 있겠지만 대부분의 경우 압축기에서 발생하는 수분이 필터를 거쳐 용기에 충전될 때와 사용 후 용기의 잔압을 배출한 후 보관시에 수분이 침투할 수 있다. 따라서 이를 방지하기 위하여 항온정압 제어기 등 관련 장비의 개발이 필요하다.

(5) 면체내부에서 발생하는 성애를 방지 하기 위하여 기밀성강화하고 내부압력 0.196 KPa 로 유지하여야 한다.

(6) 방재선진국가와 같이 공기호흡기 충전소 설치장소는 도심에서 떨어진 청정지역에 설치하여 질 좋은 공기를 충전할 수 있도록 전용 충전소를 설치하는 것이 바람직하다.

감사의 글

이 논문은 2012년도 가천원대학교 교내연구비 지원에 의한 결과임(2012-R106).

참고문헌

1. C. W. Lee, Y. J. Lee, S. H. Hyun, J. M. Seong, D. M. Choi and M. O. Yoon, "A Study on the Effect of Compressed Air Using Air-breathing Upon Human", Journal of Korea Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 18, No. 3, pp. 16-21 (2004).
2. C. W. Lee, Y. J. Lee, S. H. Hyun, J. M. Seong, Y. S. Song, D. M. Choi and M. O. Yoon, "A Study on the Actual Condition for Air Respirators Using Air-breathing", Journal of Korea Institute of Fire Science & Engineering, Vol. 18, No. 4, pp. 95-102 (2004).
3. F. Stowell. "Respiratory Protection for Fire and Emergency Services", Fire Protection Publication Oklahoma State University (2002).
4. NFPA 1401:6.8.4 (2009).
5. J. D. Newnum. "The Effects of Elative Humidity on Respirator Performance", Master's Thsis. Graduate College The University of Iowa (2010).
6. C. K. Caretti, D. Scott, W. Johson, Arthur and K. Frank, "Inspiratory Flow Rates During Hard Work When Breathing Through Different Respirator Inhalation and Exhalation Reistances", Journal of Occuapational and Environmental Hygiene (2006).
7. Francis and E. Bicksler "The Effect of Inspiratory Air Humidity and Temperature on Performance Time While Wearing a Espirator", M.S., University of Maryland, College Park (2006).
8. <http://www.luxfercylinders.com>, Luxfer Carbon Composite Cylinders Inspection Manual (2009).
9. NEMA Bulletin No. 2006-75. "The Safety Notice on the Management of Respiratory Protective Equipment".
10. KFI Standard, "Standard of Model Approval & Inspection Technology for Air Self Contained Breathing Apparatus", Korea Fire Institute of Idustry & Technology (2010).