

공기호흡기용 압축공기 시스템에 대한 실태 연구 A Study on the Actual Condition for Air Respirators Using Air-breathing

이창우[†] · 이용재 · 현성호 · 성재만* · 송윤석* · 최돈묵** · 윤명오*

Chang-Woo Lee[†] · Young-Jae Lee · Seong-Ho Hyun · Jae-Man Seong* · Yun-Suk Song* ·
Don-Muk Choi** · Myung-O Yoon*

경민대학 소방안전관리과, *서울시립대학교 도시과학대학원 방재공학과,
**경원전문대학 소방시스템과
(2004. 7. 16. 접수/2004. 12. 17. 채택)

요 약

본 논문은 국내에서 소방관이 사용하고 있는 공기호흡기 중 년도별로 폐기처분되는 공기호흡기를 수거 후 절단하여 실린더 재질의 상태를 기기분석을 통하여 관찰하였으며, 공기호흡기 실린더에서 안면부까지의 도관의 오염정도를 확인하고자 도관을 절개하여 오염여부를 확인하였다. 이로부터 공기호흡기용 압축공기가 실린더에 미치는 영향에 대하여 조사하였다. 연구결과 공기호흡기 실린더 내부의 금속표면 이 압축공기에 포함된 수분에 의한 부식이 발생된 것을 볼 수 있다. 부식에 의해 생성된 물질은 100 µm 이하의 백색가루로 수분에 의해 부식된 수산화알루미늄이며, 부식으로 인해 발생한 이러한 수산화알루미늄 분말은 호흡 도중 사람의 폐에 들어갈 가능성이 있으며, 인체의 폐에 침착되기 쉽기 때문에 다른 대기오염물질보다 인체 건강에 더 큰 악영향을 초래할 것이다. 소방관이 착용하는 공기호흡기 호흡용 압축공기의 성분 및 조성에 대한 별도의 규정이 조속히 마련되어야 할 것이다.

ABSTRACT

This paper has investigated influences of pollutants in air-breathing on the respirators and it by year of disused air respirators that fire fighter is using in domestic cutting done air respirators after collection observed state of cylinder material through instrumental analysis, and cut open pipe to confirm pollution degree of pipe from cylinder of air respirators to airline mask and confirm pollution availability. The metal surface inside the air respirators was corroded by moisture included in the compressed air. The material generated by corrosion is white powder of less than 100 µm, which is analyzed as aluminum hydroxide corroded by moisture. This aluminum hydroxide powder may get into the lung while one breathes in, and it is easy to be attached to the lung so it will cause a serious influences to human health. This study suggests that Korea should set out the standards for components and composition of breathing air as soon as possible.

Keyword : Air-breathing, Air respirators, Pollutants, Moisture, Aluminum hydroxide

I. 서 론

우리가 살고 있는 지구상에는 질소와 산소를 주성분으로 한 공기가 있다. 지구를 둘러싼 대기의 하층 부분을 구성하는 공기는 지상 35 km 정도까지는 조성이 거의 변하지 않으며 수증기를 제외한 공기의 조성(부

피비)은 질소 78.03%, 산소 20.99%, 아르곤 0.933%, 이산화탄소 0.03%, 수소 0.01%, 네온 0.0018% 및 헬륨 0.0005%이다. 그러나 이러한 수치는 청정한 상태의 공기를 의미하며 실제 우리 주변의 대기에는 이 이외의 수분, 먼지 및 각종 오염물질 등이 함유되어 있다.¹⁾ 한편 공업용으로 조성된 공기는 질소와 산소를 비율에 맞춰 혼합하여 압축한다. 따라서 일반 공기에는 항상 기타 기체가 들어 있으며 대부분 불활성 기체들이다.

[†]E-mail: lcw119@hanmail.net

또한, 불활성(inert) 기체는 인체에 미치는 영향이 거의 없거나 전혀 없다고 생각하고 있으나, 대기 중에 포함된 기타 기체는 호흡용으로는 모두 오염 물질로 보는 것이 원칙이며, 대기 중에 정상적으로 함유되어 있는 기타 기체는 제거시켜야 하고 제거시킬 수 있는 것이다.²⁾

화재현장의 열악한 환경 하에서 구조 및 진화작업을 하는 소방관에게 있어 생명 유지 장비는 필수적이라 할 수 있다. 공기호흡기에 충전되는 호흡용 공기는 컴프레서의 의해 압축되어 만든 공기를 사용하고 있으며, 이러한 공기 공급 시스템은 근본적으로 그 속에 채워지는 공기를 불량하게 만드는 약점을 지니고 있으며, 해가 지날수록 대기의 오염도가 증가하고 있다.^{3,5)} 원하지 않는 오염 기체가 호흡공기에 포함되면 그것이 인체에 위협을 가할 수 있는 요인은 다각도에서 일어난다. 따라서 소방관이 오염 공기를 호흡하는 것이 어떤 위험이 있는 것이며 오염이 어떤 원인으로 발생하고 오염원을 어떻게 막을 수 있는지에 대해 잘 알고 있어야 한다. 소방관이 마시는 공기호흡기 실린더 속의 공기는 어느 공기보다도 가장 깨끗해야 하는 것이 원칙이다. 그러나 현재 우리나라에서는 호흡용 압축공기에 대한 별도의 성분규정이 없으므로 일반 공업용 공기 기준과 다를 바 없는 공기를 압축시켜 사용하고 있는 실정이다. 이와는 달리 외국에서는 스킨스쿠버 협회, 소방관을 위한 NFPA 규정, 압축공기협회 등 공기를 취급하는 각 단계에서 자체규정을 가지고 있을 정도이다.^{6,9)}

따라서 본 연구에서는 국내에서 소방관이 사용하고 있는 공기호흡기 중 년도별로 폐기처분되는 공기호흡기를 수거 후 절단하여 실린더 재질의 상태를 기기분석을 통하여 관찰하였으며, 공기호흡기 실린더에서 안면부까지 도관의 오염정도를 확인하고자 도관을 절개하여 오염여부를 확인하였다. 이로부터 공기호흡기용 압축공기에 의한 실린더에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

II. 연구방법

국내에서 소방관이 사용하고 있는 공기호흡기 중 년도별로 폐기처분되는 공기호흡기를 수거 후 절단하여

실린더 재질의 상태를 기기분석을 통하여 관찰하였으며, 공기호흡기 실린더에서 안면부까지 도관의 오염정도를 확인하고자 도관을 절개하여 오염여부를 확인하였다. 이로부터 공기호흡기용 압축공기에 의한 실린더에 미치는 영향에 대하여 조사하였다.

2.1 공기호흡기 실린더의 내부재질

국내에서 보급되는 공기호흡기 내부재질은 알루미늄합금(6061)으로 그 화학적 조성은 Table 1과 같다.

2.2 공기호흡기 실린더의 조직변화 및 성분 분석

오염가스 중 부식성 가스 및 수분에 의한 공기호흡기 실린더의 내부재질의 조직 변화와 부식에 의해 생성된 물질을 규명하고자 다음과 같은 기기분석을 행하였다.

2.2.1 시료의 준비

국내에서 소방대원이 사용하다 폐기처분하는 공기호흡기를 년도별로 무작위로 수거하여 실린더내부의 사진을 찍어 오염 정도를 파악하였으며, 조직변화 및 부식생성물을 조사하고자 실린더의 내부 금속을 절단하여 시료를 준비하였다. 준비된 시료는 현장에서 밀봉한 후 기기분석을 하였다. 각 소방사에서 수거한 공기호흡기 실린더의 내부를 관찰하기 위하여 실린더를 절단하는 작업을 Fig. 1에 나타내었으며, 절단 작업시 열에 의한 금속조직의 변화나 절단시 오염물질의 손상 등을 고려하여 실린더 내부의 오염을 최소화하기 위하여 발생하는 열을 자연 냉각시키면서 절단하였다. Fig. 2와 같이 실린더를 조각으로 절취하여 실린더 금속 조직의 변화를 관찰하였다. 한편, 조직표면에 부착되어 있는 부식생성물을 수거하여 120°C로 유지되고 있는 건조기에 12시간 건조시킨 후 진공 데시케이터에 보관하였다가 기기분석을 하였다. 또한 공기호흡기 실린더에서 안면부 면체로 이어지는 도관의 오염정도를 확인하고자 도관을 절개하여 오염여부를 확인하였다. 실험에 사용된 공기호흡기의 안면부와 도관을 Fig. 3에 나타내었다.

2.2.2 기기분석

1) X-선 회절(XRD) 분석

오염물질로 인해 공기호흡기 실린더의 내부에 생성

Table 1. Chemical composition of cylinder for air respirator

(단위:%)

합금명	Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Zn	Ti	기타	
									개개	합계
6061	0.80	0.70	0.40	0.15	1.20	0.35	0.25	0.15	0.05	0.15
	0.40		0.15		0.80	0.04				

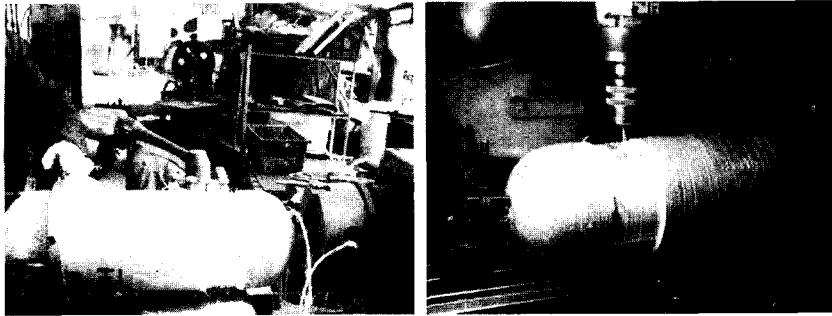
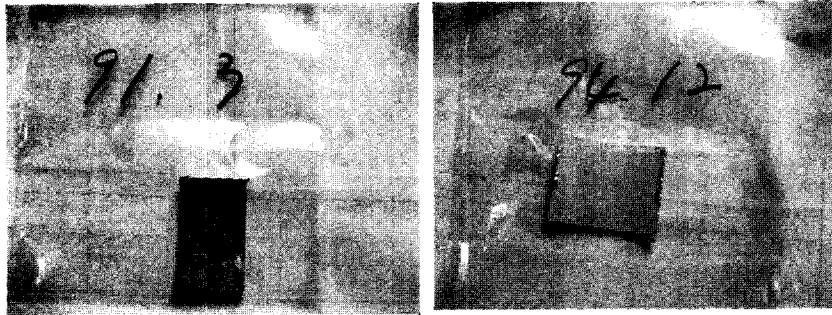


Fig. 1. Cutting method of air respirator cylinder.



(a) 1991년

(b) 1994년

Fig. 2. Samples of air respirator cylinder.

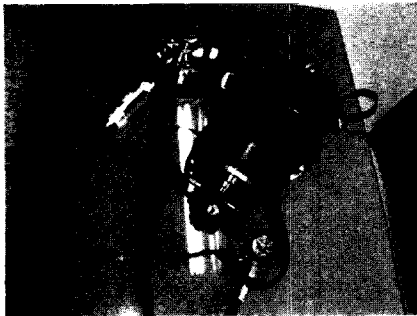


Fig. 3. Photograph of air respirator mask and conduit.

된 물질의 결정구조를 규명하기 위하여 마노유발로 분쇄하여 얻어진 분말을 X-선 회절 분석하였다. 본 연구에서 사용한 X-선 회절 장치는 Rigaku(Japan)사의 Geiger flex Model 3A이며 측정조건은 Table 2와 같다.

2) 주사 전자 현미경(SEM) 및 성분 분석

공기호흡기 실린더 내부에 알루미늄합금 표면의 조직변화와 부식에 의해 생성된 물질의 입자형태 및 입자 크기를 살펴보기 위해 JEOL 사의 JSM 5800을 사용하여 주사 전자 현미경 사진을 촬영하여 분석하였으

Table 2. Measurement condition of X-ray analysis

Target	Filter	Load	Start angle	End angle	Scan speed
Cu	Ni	30 kV, 15mA	10°	80°	4°/min

며, 성분분석을 하였다. 입자의 성분 조성비를 측정하고자 EPMA(electron probe micro analyzer)인 JXA-8600을 이용하여 분석하였다.

3) 적외선 분광(FT-IR)분석

공기호흡기 실린더 내부에 생성된 오염물질의 성분을 확인하고자 Shimadzu사의 DR 8011을 사용하여 400~1500 cm⁻¹ 파수(wave number)의 범위에서 적외선 분광분석을 하였다. 시료와 KBr의 혼합비를 1:250으로 하여 마노유발을 이용하여 분쇄 및 혼합한 후 pellet을 제조하여 IR-spectra를 측정하였다.

III. 결과 및 고찰

본 연구에서는 화재 및 재난현장에서 소방대원이 구조 및 화재진압시 착용하는 공기호흡기용 압축공기의

호흡용 공기 중의 오염성분을 분석하였으며, 이 오염 성분이 공기호흡기의 실린더 재질에 미치는 영향을 살펴 보았다.

3.1 공기호흡기용 실린더 및 안면부의 오염

본 연구의 연구자들에 의한 선행 연구에서 국내에서 사용 중인 공기호흡기용 압축공기를 분석해 본 결과 시료에서 수분의 함량은 국제적인 기준보다 크게 나타났다.¹⁰⁾ 공기호흡기 실린더의 압축공기에 포함된 수분은 두 가지 측면에서 문제가 된다. 첫째로 공기 중에 수분이 있으면 그것이 호흡 현상을 거쳐 물이 되며 그 물이 호흡기 시스템을 통하여 소방대원의 폐로 들어가기 때문에 호흡에 지장을 주는 경우가 있다. 두번째 문제는 고압 속에서 산소와 물이 혼합되면 산소의 산화작용이 촉진되어 실린더의 부식을 빠르게 진행시키며 부식에 의하여 실린더가 약화되는 것은 자명하다.

공기호흡기용 압축공기에 포함된 오염물질로 인한 출고년도별 실린더의 내부 사진을 Fig. 4에 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 출고년도에 관계없이 실린더의 내부에 백색분말을 관찰할 수 있으며, 금속 표면 조직이 부식으로 인해 검은색으로 색상이 변한 것을 관찰할 수 있다. 출고년도에 따라 오염정도에 영향을 미칠 것으로 사료되었으나, 출고년도에 따라 오염의 정도가 변하고 있지는 않았다. 이는 공기호흡기의 출고년도에 관계없이 실제로는 사용빈도수와 사용한 소방서의 압축공기의 질적 수준에 따라 달라지기 때문이다. 따라서 본 연구에서는 공기호흡기의 출고년도에

다른 영향을 무시하고 오염물질의 종류에 대해 고찰하였다.

공기호흡기용 압축공기에 포함된 오염물질로 인한 공기호흡기 실린더 내부에 알루미늄합금 표면의 조직변화를 SEM으로 촬영한 사진을 Fig. 5에 나타내었다. 그림에서 보는 바와 같이 공기호흡기 실린더 내부의 금속표면이 압축공기에 포함된 부식성 가스 및 수분에 의한 부식이 발생된 것을 볼 수 있다. 한편, 제작년도가 오래될수록 부식이 많이 발생되어야 될 것으로 생각되나, 대원 개인 1지급되는 공기호흡기의 경우 사용빈도수에 따라 달라지므로 제작년도를 가지고 비교하기에는 무리가 있다.

공기호흡기와 안면부 사이 도관의 오염여부를 확인하였다. 감압밸브에서 안면부까지의 저압도관에서는 도관 내부에 부착된 오염물질을 확인하기 어려웠으나, 공기호흡기 실린더에서 감압밸브 이전의 고압도관에서는 육안으로도 오염상태의 식별이 가능하였으며, 이에 검은 천을 이용하여 도관의 내부를 닦아낸 후 디지털 카메라로 촬영하여 Fig. 6에 나타내었다. 이러한 이유는 고압도관과 저압도관의 재질의 차이로 오염물질의 부착 정도가 다르고, 압축공기가 고압도관을 통과하면서 수분과 함께 부착되었을 가능성이 있기 때문인 것으로 사료된다. 이러한 경우 공기호흡기를 통한 오염물질의 흡입은 필연적이라 할 수 있다. 이에 대한 결과는 추후 정밀하게 연구되어야 할 것으로 판단된다.

3.2 오염물질의 성분분석

앞서 실린더 내부에 생성된 물질의 입자형태 및 입

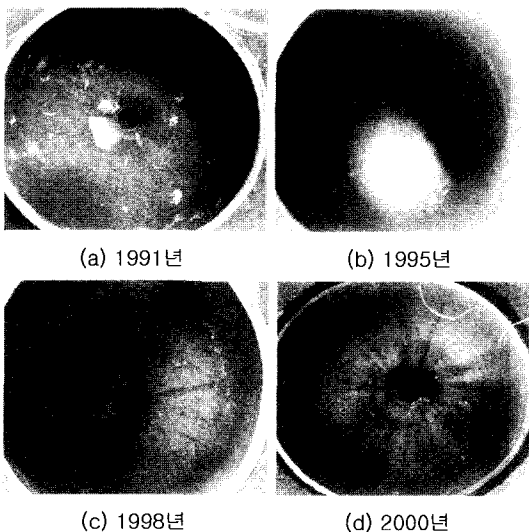


Fig. 4. Inside futures of air respirator cylinder.

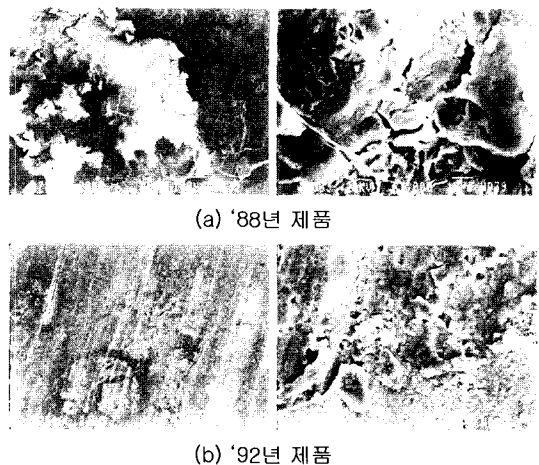


Fig. 5. SEM photographs for inside of air respirator cylinder.

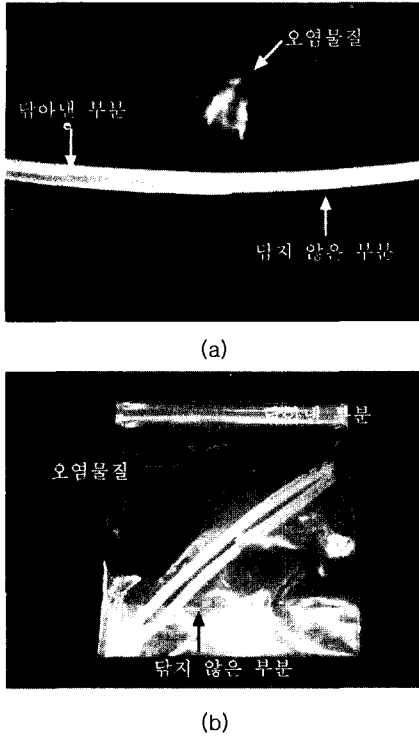


Fig. 6. Photographs of air respirator conduit.

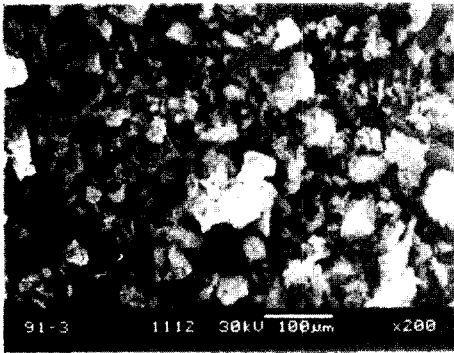


Fig. 7. SEM photographs of powder.

자 크기를 살펴보기 위해 SEM으로 촬영하여 주사 전자 현미경 사진을 Fig. 7에 나타내었다. 사진에서 보는 바와 같이 생성된 물질은 100 μm 이하의 백색분말로 수분에 의해 부식된 수산화알루미늄일 것으로 사료된다. 부식으로 인해 발생한 이러한 수산화알루미늄 분말은 호흡 도중 사람의 폐에 들어갈 가능성이 있으며, 인체의 폐에 침착되기 쉽기 때문에 다른 대기오염물질보다 인체 건강에 더 큰 악영향을 초래할 가능성이 있는 것으로 알려져 있다. 실린더 내부에 생성된 분말의

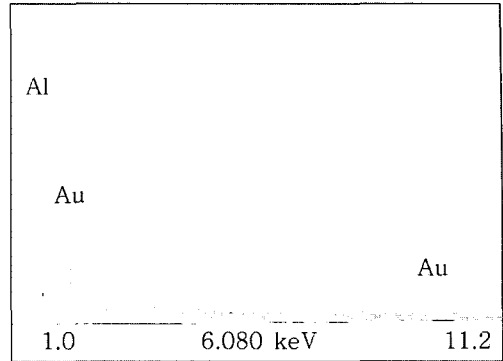


Fig. 8. EPMA spectra for powder.

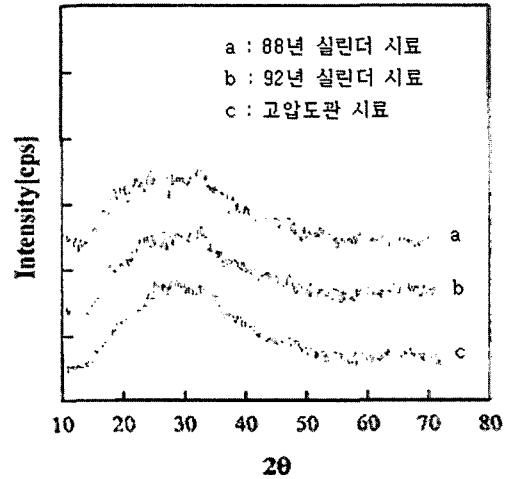


Fig. 9. XRD patterns of powders.

성분분석 결과를 Fig. 8에 나타내었다. 그림에 나타난 바와 같이 알루미늄과 금 성분이 검출되었으며, 금 성분은 시료의 분석을 위해 시료에 코팅한 것으로 실제로 백색분말 중 금속성분은 알루미늄으로 이루어진 것을 알 수 있다. 즉, 공기호흡기 실린더 내부에서 채취한 백색분말은 알루미늄 산화물임을 알 수 있었다.

Fig. 9는 각 공기호흡기 실린더 내부에서 샘플링한 백색분말의 결정구조를 확인하기 위하여 X-선 회절 분석한 결과로서 각 분말의 결정구조는 무정형임을 알 수 있다. 한편, 공기호흡기 실린더 내부에 존재하는 분말이 수산화알루미늄으로 추측되는 바 분말의 성분을 확인하기 위하여 450°C에서 3 hr 열처리 한 후 FT-IR 분석을 행한 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 1150 cm^{-1} 부근에서 약한 Al-O 결합과 550~850 cm^{-1} 에서 강한 Al-O 결합(750 cm^{-1} 부근에서 tetrahedral Al-O bond, 550 cm^{-1} 부근에서

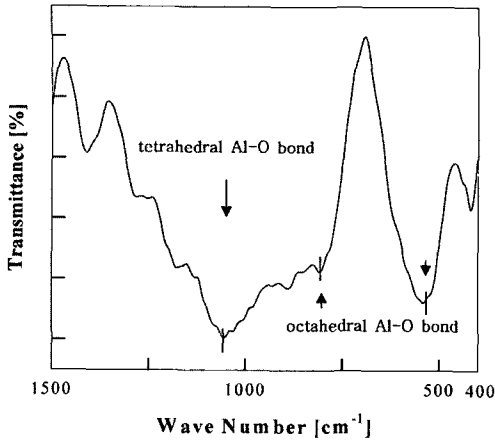


Fig. 10. FT-IR spectra of powder after calcination at 350°C for 3 hr.

octahedral Al-O bond) 특성 peak를 보이고 있다. FT-IR 분석 결과 분말의 성분은 알루미늄과 산소가 결합을 하고 있는 화합물임을 알 수 있다. IR 분석에서 보는 바와 같이 전형적인 알루미늄의 패턴을 보이고 있다. 따라서 미지의 산화물 분말은 앞에서 설명한 바와 같이 수산화알루미늄임을 알 수 있었다.

IV. 결 론

이상과 같이 공기호흡기용 압축공기 시스템에 대한 조사 분석을 통하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

공기호흡기 실린더 내부의 금속표면이 압축공기에 포함된 수분에 의한 부식이 발생된 것을 볼 수 있다. 부식에 의해 생성된 물질은 100 μm 이하의 백색가루로 수분에 의해 부식된 수산화알루미늄으로 분석되었다. 부식으로 인해 발생한 이러한 수산화알루미늄 분말은 호흡 도중 사람의 폐에 들어갈 가능성이 있으며, 인체의 폐에 침착되기 쉽기 때문에 다른 대기오염물질보다 인체 건강에 더 큰 악영향을 초래할 것이다.

외국의 경우 공기호흡기 관련장비에 관한 상세한 세부규정을 갖추고 있으나, 국내의 경우 규정자체가 없거나 매우 미비한 상태이다. 따라서 국내에서도 호흡

용 공기의 성분 및 조성에 관한 기준 및 관련장비에 관한 다음과 같은 세부규정 등이 조속히 규정되어야 할 것이다.

- 선진국에서 규정하고 있는 수준의 공기호흡기용 공기의 질적 기준치 규정
- 실린더 내부 공기 품질에 대한 시험절차를 명시
- 실린더의 검사 및 유지보수
- 호흡용 공기 실린더의 충전 시스템(컴프레서)의 선진화 및 유지관리 규정
- 정기적이고 지속적인 공기 품질 테스트
- 공기 정화장치의 도입
- 공기호흡기 관련 기타 장비[면체(anti-fog), 공급밸브, 배기밸브, 감압밸브, 등지기, 압력지시계, 경보장치, 급기호스 등]의 개선
- 공기호흡기의 공기가 소진되었을 경우 유사시를 대비한 콤비네이션 가스필터(Combination Gas Filter) 도입
- 공기 충전 담당자의 지속적인 교육

참고문헌

1. http://user.chollian.net/~kwcomp/tech_1.htm
2. <http://www.compjang.co.kr/compressor/air.htm>
3. 환경부, 「환경백서」, 행정간행물(2002).
4. 배우근, 「환경오염개론」, 국립환경연구원(2000).
5. 이규용, 「대기보전」, 국립환경연구원, 환경행정관리자반(2000).
6. Fred Stowell, 「Respiratory Protection for Fire and Emergency Services」, Fire Protection Publications Oklahoma State University(2002).
7. NFPA 1401 : 6.8.4.
8. NFPA 1404 : 5.1.1, 5.1.7(4)(6)(7), 5.2(1)(2), 6.6.1, 6.7.2(2)(3), 6.7.2(6), 6.7.4, 6.9.1, 6.9.2(1)(2)(3), 9.1.
9. NFPA 1500 : 4.8.1, 4.8.11, 4.8.12, 7.9.1, 7.9.2, 7.9.7, 7.9.8, 7.10.2~7.10.5, 7.11.2.1~7.11.2.3, 7.11.3.1~7.11.3.3.
10. 이창우, 이용재, 현성호, 성재만, 최돈목, 윤명오, “공기호흡기용 압축공기가 인체에 미치는 영향에 대한 연구”, 한국화재소방학회지, Vol. 18, No. 3, pp95-102(2004).