

비상호흡법 적용을 통한 공기호흡기 사용시간 증가에 관한 연구

김 구 태*

*서울시립대학교 재난과학과 박사과정

A Study on the Increase of the Time of Air Respirator Using Emergency Breathing Method

Gu-Tae Kim*

*Student, Division of Disaster Science, Graduate School of University of Seoul

Abstract

This study is a plan on the way to strengthen the survival ability by increasing the use time of air respirator by applying emergency breathing method in the situation where firefighter has to wait for RIT (Rapid Intervention Teams) because it is impossible to escape by himself or emergency escape during isolation during field activities. The research procedure first drew problems by conducting a survey on fire fighters under the Seoul Fire and Disaster Headquarters, and conducted an experiment to compare normal breathing and emergency breathing with 20 members of the Seoul 119 Special Rescue Team, and suggested emergency breathing method and training process modeling that can be applied to each field situation based on the data obtained. The experiment was conducted over 9 weeks, and it was divided into three categories: field activity situation, movement (emergency escape assumption) situation, and place (assume waiting for RIT). In the field activity situation experiment, it was confirmed that the application of skip breathing method was appropriate and the use time of air respirator increased about 1.6 ~ 1.9 times. In the moving situation or the in-situ situation, wheel breathing method was appropriate and the use time of air respirator increased about 1.6 ~ 2.4 times. However, when conducting intense activities in the field activity situation, it is recommended to use it limitedly because it is difficult to apply the emergency breathing method. If emergency breathing is not clearly learned in the body, it is difficult to use in the field, so I think systematic and continuous training is necessary. This study suggests that the application of emergency breathing method is effective enough to strengthen the survival ability of firefighters in the field.

Keywords : Emergency Breathing method, Skip Breathing method, Wheel breathing method

1. 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

소방관이 마주하는 현장은 늘 많은 위험 요소들이 상존하고 있다. 특히 화재현장에서는 뜨거운 열기, 다양한 유독가스 및 짙은 농연 등 더 많은 위험 요소들이 발생하여 소방관들의 시야를 가로막고, 인명구조 및화재진압 활동

을 방해하며 심하게는 현장에서 활동하는 소방관들의 목숨까지 위협하기도 한다.

최근 들어 소방에 대한 국가적 차원의 관심과 지원, 그리고 소방조직의 노력으로 화재 등 각종 재난 현장에 대한 대응능력이 발전하였으며, 더불어 현장활동 대원들의 안전 확보에 대해서도 많은 관심이 집중되고 있다.

그럼에도 불구하고 도시의 발전 속도가 워낙 빨라 하루가 다르게 건축물들이 대형화, 고층화, 지하화되면서 건물

†Corresponding Author : Gu-Tae Kim, Department of Disaster Science, Seoul City University, 163, Seoul City University-ro, Dongdaemun-gu, Seoul, E-mail: 1230kst@seoul.go.kr

Received August 17, 2022; Revision September 15, 2022; Accepted September 15, 2022

구조도 복잡하게 변하고 있어, 현장에서 활동하는 소방대원들에게는 또 다른 새로운 위험 요소들이 나타나고 있다.

이러한 위험 요소들로 인하여 현장활동 중 소방대원이 순직하거나 다치는 안전사고가 종종 발생하고 있다. 최근에도 우리는 2021년 7월 쿠광 덕평물류센터 화재, 2022년 1월 평택 물류창고 신축공사장 화재에서 현장활동 중 이던 대원들이 고립되어 순직하는 안타까운 사고를 경험하였다. 이에 소방청에서는 사고조사단을 구성하여 사고 원인에 대하여 전문적으로 파악하고 분석한 후, 각 분야별 순직사고 재발 방지 추진과제를 선정하여 배포하였으며, 각 시·도 소방본부에서도 현장활동 대원들의 안전 확보와 고립 시 비상탈출 방안 등에 대해서 관심을 가지고 연구를 진행하고 있으며, RIT(Rapid Intervention Team, 신속동료구조팀) 운영을 통해 소방대원 고립 시 전문적인 구조활동을 위한 역량도 강화하고 있다. 그러나 아직까지는 전문인력 부족, 운영지침 부재 등 다양한 문제로 실제 현장에서 실효성을 거두기는 쉽지 않은 상황이다.

또한 현장활동 중 고립상황에서의 자구적 탈출 또는 RIT에 의해 구조를 기다리는 상황 모두 소방대원 스스로 생존시간을 최대한 확보하는 것이 무엇보다 중요하므로, 비상상황 발생 시 제한된 공기량으로 구조될 때까지 공기호흡기의 공기 소모량을 최대한 줄여 사용시간을 연장하는 비상호흡법의 필요성이 증대되고 있으나, 이에 대한 구체적인 방법 제시 및 효과성 검증, 교육 및 훈련 등은 미흡한 실정이다.

따라서 본 연구에서는 화재현장 등에서 고립되는 경우 비상탈출을 위하여 가장 중요한 우선 사항인 소방대원의 호흡을 보전하는 방안을 연구범위로 선정했다. 즉, 현재 사용 중인 공기호흡기 사용시간을 증가시켜 유사시 최대한 호흡을 유지하고자 하는 것이다.

공기호흡기 사용시간을 증가시키는 방법으로 ‘비상호흡법(Emergency Breathing method)’이라는 것이 있다. 비상호흡법에는 ‘스킵 호흡법(Skip Breathing method)’ 등 여러 가지 호흡법이 있는데, 최근 개정된 중앙소방학교 신입교육과정 공통교재 ‘화재대응능력2급’에서도 소개되어 이미 알고 있는 소방대원들도 있다. 그러나 위 교재에서는 비상호흡법에 대한 소개만 있을 뿐 상황별 비상호흡법의 적용, 각 비상호흡법에 대한 효과성 여부, 비상호흡법 훈련 방법 등 구체적인 내용에 대한 언급은 없다.

이에 본 연구에서는 먼저 서울소방재난본부 소속의 현장지휘관, 구조대원, 진압대원을 대상으로 공기호흡기 사용 및 비상호흡법 인식도에 대한 설문조사를 실시하여 현실 및 문제점을 분석하고, 현장에서 적용할 수 있는 대표적인 비상호흡법을 2가지 선정하여 서울119특수구조단 특수구조대 대원들을 대상으로 정상호흡과 비상호흡법을 비교하는 실험을 진행하여, 비상호흡법 적용이 공기호

흡기 사용시간 증가에 얼마나 효과가 있는지를 직접 확인하고, 그 결과를 토대로 현장 상황별로 사용할 수 있는 비상호흡법의 유형과 그 훈련 모델을 제시함으로써 소방대원이 현장활동 중 고립 등 비상상황 발생 시 공기호흡기 사용시간을 증가시켜 스스로 생존능력을 강화할 수 있도록 하고자 한다.

1.2 선행연구 검토

공기호흡기와 관련된 기존의 선행연구들을 살펴보면 다음과 같은 연구논문들을 찾아볼 수 있다.

Oh의 연구논문은 공기호흡기 용기 부식과 관련된 연구로 용기의 부식 원인을 수분 발생으로 파악하여 수분을 억제하는 방법과 정기적인 위생검사 실시를 제안하였으며, Ha의 연구는 공기호흡기 페이스마스크에 관한 연구로 공기누출사고를 줄이고 최대한 넓은 시야 확보를 위해 머리카락 조절부위를 줄이고 압박부위를 넓히며 양압조정기를 마스크내로 내장하는 방안을 제안하였다.

Seong의 연구논문에서는 국내 공기호흡기용 압축공기 기준에 대하여 검토하여 성분분석 기준이 국제기준에 미치지 못함을 확인하고 관련 규정 신설을 제안하였으며, Lee 등 7명의 공저 학술연구에서도 공기호흡기 용기 내부 오염상태를 확인하고 국내 압축공기 시스템의 문제점 개선을 위하여 공기호흡기 호흡용 압축공기의 성분 및 조성에 대한 별도의 규정을 조속히 마련할 것을 제안하였다.

Son & Oh & Kim의 연구에서는 공기호흡기 부식의 발생과정을 알아보기 위해 3가지 실험을 실시하였고, 그 결과로 용기내 수분 발생 가능성이 제조 및 생산과정 보다는 사용처에서 관리 및 공기를 교체하는 과정에서 더 높게 나타나는 것으로 판단하였으며, Lee 등 6명의 공저 학술연구는 공기호흡기용 압축공기가 인체에 미치는 영향에 대한 연구로, 사용실태에 대한 설문 분석을 통하여 공기호흡기 착용 시 나타날 수 있는 이상증상으로 “메스꺼움”과 “두통”이 가장 많다고 얘기하였으며, 관리적인 측면에서 콤프레서 필터의 유지관리 중요성을 강조하였다.

Lee의 연구논문에서는 산소농도 36%의 공기호흡기가 기존 21% 공기호흡기와 비교하여 소방관의 운동수행능력에 어떠한 영향을 미치는가를 확인하기 위하여 최대 산소소모입량의 60%의 강도로 30분간 운동을 수행시킨 후 체내의 생리적 생화학적 변화를 비교 분석하여 고농도 산소가 운동수행이나 피로회복에 훨씬 더 효율적이라고 판단하였으며, 공기호흡기 사용시간과 관련한 기존 연구로는 Moon의 연구논문으로 소방학교 교육생을 대상으로 한 비상상황, 일반상황, 격한상황, 극한상황의 4단계를 설정하여 5min 간 호흡량을 측정하고 각 상황별 분당 호흡량을 비교 확인한 연구가 있다.

위에서 보듯이 공기호흡기와 관련한 선행연구들은 대부분 용기의 부식이나 공기의 질 그리고 공기호흡기 압축 시스템 등에 집중되어 있으며, 공기호흡기 사용시간에 관한 선행연구도 각 상황별로 공기소모량을 확인하는 정도에 그치는 것을 확인할 수 있다.

따라서 본 연구는 공기호흡기와 관련된 연구방향을 사용시간 증가에 초점을 맞추었다는 점, 그 실효성 검증을 위하여 실험과정을 거쳤다는 점, 그리고 그 결과가 현장활동 소방대원의 비상상황 대처에 기여할 수 있다는 점 등에서 기존 연구들과는 차별성이 있다고 얘기할 수 있다.

2. 이론적 배경

2.1 공기호흡기에 대한 이론적 고찰

2.1.1 공기호흡기 개요

소방공무원 개인보호장비는 다양한 위험요인들이 발생하는 현장에서 현장활동을 하는 소방대원을 보호하기 위하여 각 대원별로 지급되는 중요한 장비이다. 그중 공기호흡기는 유독가스 및 연기 등이 발생하는 화재 현장 등에서 소방대원의 호흡을 용이하게 하여 원활한 구조활동 및 진압 활동을 가능하게 하는 호흡기 보호장비로써 가장 중요한 개인보호장비라고 할 수 있다.

현재 사용 중인 공기호흡기의 용기(모델명 SCA 680)는 공기를 고압(최고충전압력 300bar)으로 압축하여 충전한다. 충전된 공기량은 약 2,040 l 이고 현장활동하는 상황에서 40 l/min으로 호흡 시 사용시간은 약 45min 정도이다. 재질은 카본복합용기이고 부피는 6.8 l, 중량은 3.6kg이다.

공기호흡기는 면체, 고압공기용기, 공급밸브, 배기밸브, 감압밸브, 등지계, 압력지시계, 경보장치 및 급기호스 등으로 구성되어 있다.

2.1.2 공기 소모량과 신체 반응

공기 소모량은 개인의 신체적 능력, 정신적 스트레스, 휴대 장비의 무게, 현장활동 환경 등 다양한 요소에 의해 달라지기 때문에, 현장에서 소방대원이 공기를 사용할 수 있는 시간은 제조사에서 규정한 시간보다 급격히 감소할 수 있다.

Chae의 연구에 의하면, 사람은 격렬한 신체활동을 하게 되면 평소보다 공기를 더 많이 흡입하게 되는데 이는 혈중 산소량을 증가시켜 이용 가능한 산소공급을 원활하

게 하여 피로를 지연시키고 운동 수행 능력을 향상하기 위함이다.

Lee의 연구에 의하면, 일반적으로 운동을 하면 혈압과 심박수가 상승하며 호흡수가 증가하게 되는데 이때, 신체의 활동량에 따라 많은 양의 산소흡입이 요구된다. 개인의 신체 특성과 숙련도에 따라 필요한 산소흡입량은 다르게 나타나며 근육의 수축양식, 강도, 지속시간에 따라 심혈관계는 다양하게 변화하는데, 운동강도가 높아질수록 산소흡입량은 증가하며 호흡수와 환기량이 늘어난다.

Jeon & Kong의 연구에 의하면, 사람의 호흡운동은 일반적으로 분당 14~20회로, 1회에 들이마시는 공기량은 성인 남성의 경우 약 500ml 정도이며 심호흡을 할 때는 약 2,000ml, 표준 폐활량은 3,500ml 정도이다. 운동이나 노동을 하는 경우는 호흡 횟수가 늘고, 깊은 호흡을 하게 된다. 이것은 몸에 다량의 산소가 필요하게 되고 몸에 있는 이산화탄소를 급히 배출해야 하기 때문이다. 특히 소방활동 시에는 무거운 장비를 착용하고 긴장도가 높은 작업을 하므로 일반적인 작업에 비해 공기 소모량이 많다. 소방대원의 현장활동 시 호흡량은 개개인의 체력, 경험, 작업량, 긴장도 등에 따라 다르지만, 평균 작업은 30~40 l/min, 최고의 격한 작업을 할 때는 80 l/min 정도이다.

위의 연구들을 보면 소방대원들의 현장활동 시 공기 소모량은 다른 활동에 비해 거의 최대이며, 더욱이 고층건물 또는 지하에서 구조대상자를 구조하여 보조마스크를 씌워 지상층으로 구조할 경우, 긴장한 구조대상자가 익숙하지 못한 상황에서 과도하게 호흡을 하여 대원이 장착하고 있는 공기호흡기의 공기를 급격히 소모 시킬 수 있어 대원과 구조대상자 모두 안전장소로 도착하기 전 공기가 소진되는 위험한 상황이 발생할 수 있다.

특히 서울 도심의 건축물들은 대형화, 지하화, 복잡 다변화되어 현장활동 대원이 기존의 공기호흡기 사용시간 45min으로 원활히 현장활동을 하기에는 부족한 상황이며, 공기호흡기의 저압경보가 작동한 후 사용 가능한 시간은 약 5min 내외로 복잡하고 대형화된 현장에서 탈출하기 까지 호흡 유지가 어려울 가능성도 높다.

2.2 비상호흡법 소개

비상호흡법이란 소방공무원이 공기호흡기를 착용하고 현장활동을 하면서 호흡을 일반적으로 하지 않고 공기호흡기 사용시간을 늘리기 위하여 공기 소모량을 최소한으로 하는 호흡법이다.

현재 미국 등 여러 선진국에서는 다양한 방법으로 비상호흡법에 대해 연구하고, 구체적인 데이터를 기반으로 한 적절한 비상호흡법을 제시하고 훈련하고 있다.

그러한 비상호흡법을 몇 가지 소개해보면 다음과 같다.

2.2.1 스킵 호흡법(Skip Breathing method)

David & David에 따르면 스킵 호흡법은 해상의 스쿠버 다이버들에게도 널리 활용되고 있는 호흡법의 일종으로, 내뿜는 숨을 한 차례 건너뛰으로써 동맥혈 내의 이산화탄소인 PaCo₂를 조절하는 비상호흡법이다. 중앙소방학교 신입교육과정 교재 ‘화재대응능력2급’에서는 스킵 호흡법을 건너뛰기 호흡법이라고도 정의하고 있으며, 다음의 절차로 그 호흡법을 제시하였다.

- ① 깊게 숨을 들이마신다.
- ② 정상적으로 숨을 내뿜는 시간만큼 참는다.
- ③ 참은 숨을 내뿜지 말고 한 번 더 숨을 들이마신다.
- ④ 천천히 숨을 내뿜는다.
- ⑤ 상기 절차를 반복한다.

2.2.2 카운트 호흡법(Count Breathing method)

Box Breathing 또는 5-5-5 Breathing으로 불리는 카운트 호흡법은 당초 스트레스와 불안을 줄이기 위한 건강관리 측면에서 도입되었으나, 현재는 소방 분야에서도 비상호흡법으로 소개되고 있다. 카운트 호흡법은 심리적 안정과 호흡량 조절을 통해 비상시 산소 소모량을 효율적으로 관리할 수 있다는 장점을 갖고 있으며, 중앙소방학교 신입교육과정 교재 ‘화재대응능력2급’에서 제시한 호흡 방식은 다음과 같다.

- ① 5s 동안 코로 매우 천천히 숨을 들이마신다.
- ② 5s 동안 숨을 참는다.
- ③ 입으로 5s 간 내뿜는다.
- ④ 상기 절차를 반복한다.

2.2.3 라일리 호흡법(Reilly Breathing method)

호흡 중 “흐음~”이라는 소리가 난다고 하여 일명 흙 호흡법(Hum Breathing method)으로도 불리는 라일리 호흡법의 경우 Reilly & Ricci가 개발한 호흡법으로 다음의 절차를 따르고 있다.

- ① 평상시와 같이 숨을 들이마신다.
- ② “흙~~~”이라는 소리를 내며 천천히 숨을 내뿜는다.
- ③ 상기 절차를 반복한다.

2.2.4 휠 호흡법(Wheel Breathing method)

휠 호흡법은 명문 규정은 찾아볼 수 없지만, 현재 해외 소방관 유튜브들이 가장 많이 소개하고 있는 비상호흡법으로 그 절차를 보면 다음과 같다.

- ① 공기호흡기 용기를 앞으로 바꿔 매고 용기 밸브를 잠근다.
- ② 입으로 숨을 들이마시며 공기호흡기 용기 밸브를 연다.
- ③ 충분히 숨을 들이마시기 전에 공기호흡기 용기 밸브를 잠근다.
- ④ 공기호흡기 용기 밸브를 잠근 후 호스에 남아있는 잔여 공기를 들이마신다.
- ⑤ 천천히 코로 숨을 내뿜는다.
- ⑥ ②~⑤의 절차를 반복한다.

3. 설문조사를 통한 인식도 조사

3.1 설문조사 개요

기 서술한 바와 같이 다양한 비상호흡법이 소방관 교육 교재 등에서 소개되어 있는바, 이러한 비상호흡법에 대한 현장 소방대원들의 인식 및 활용도 등을 조사, 확인하기 위해서 설문을 실시하고, 그 결과를 분석하여 비상호흡법의 현장 적용상의 문제점을 도출코자 하였다.

본 설문조사는 서울소방에서 현장활동을 하는 현장지휘관(지휘팀장, 진압대장, 구조대장 등)과 출동 소방대원을 대상으로 진행하였다. 설문조사 방법은 인터넷 링크에 접속해서 설문조사에 참여하는 방법으로 진행하였으며, 5일간 진행된 설문조사에서 현장지휘관 158명과 현장활동 소방대원 598명 해서 총 756명이 참여하였다.

설문은 화재현장에서의 고립 등 위험도에 대한 부분, 공기호흡기 사용과 관련된 부분, 비상호흡법에 대한 인식도 부분 이렇게 3가지 부분으로 나누어 구성하였고, 지휘관들을 대상으로 대원들의 공기호흡기 사용시간 관리 여부 등에 대해서도 추가 문항으로 구성하여 확인하였다.

- 설문조사 기간 : 2022년 6월 20일 ~ 6월 24일 (5일간)
- 설문조사 대상 : 서울소방재난본부 산하 소방공무원 756명 (현장지휘관 158명, 현장활동 소방대원 598명)
- 설문조사 내용 : 화재현장의 위험도, 공기호흡기 사용, 비상호흡법에 대한 인식도 관련 공통문항 23문항, 현장지휘관들의 대원 공기호흡기 사용시간 관리 관련 문항 3문항

3.2 설문조사 결과

3.2.1 화재현장에서 고립 등 위험도에 대한 부분

‘화재현장에서 구조 및 진압 활동 중 고립될 위험이 있

다고 생각하는가'라는 질문에 '매우 그렇다'와 '그렇다'라고 대답한 응답자 수가 691명으로 전체 응답자 중 91.4%에 해당하였으며, '실제로 고립될 위험을 경험한 적이 있는가'라는 질문에 '있다'라고 대답한 응답자 수가 293명으로 전체 중 33.76%에 해당하여, 현장활동 소방대원 대부분이 고립의 위험을 생각하고 있으며, 3명당 1명꼴로 고립될 위험을 경험한 것을 확인하였다.

화재현장에서 구조 및 진압 활동을 할 때나, 고립되어 비상탈출을 할 때 가장 큰 장애요인으로 '유독가스 및 연기'라고 답한 응답자 수가 전체의 80% 정도이고, '고립되었을 때 탈출을 위해 가장 필요한 것이 무엇인지'를 묻는 질문에 '충분한 공기호흡기 용량'을 선택한 응답자 수가 596명으로 전체의 78.84%에 해당한다.

이는 소방대원이 화재 현장에서 활동할 때 고립에 대한 위험을 인지하고 있으며, 고립상황 시 호흡의 유지가 가장 중요하다고 인식하고 있음을 확인할 수 있는 부분이다.

3.2.2 공기호흡기 사용과 관련된 부분

'현재 사용 중인 공기호흡기 용량이 충분인가' 하는 질문에 '매우 그렇지 않다'와 '그렇지 않다'가 280명(37.04%), '보통이다'가 330명(43.65%)으로 충분하다고 생각하는 사람의 4배 이상이며, '저압경보가 울린 후 남아있는 공기호흡기 잔량이 탈출하기에 충분한가' 하는 질문에 '부족하다'라고 답한 사람이 488명으로 64.55%에 달했다.

이는 현재 사용 중인 공기호흡기 용량에 대해 소방대원들이 현장활동 및 탈출 등에 충분하지 않다고 생각하고 있으며, 저압경보 작동 이후 현장 탈출 시에도 잔여 공기가 충분하지 않다고 생각하고 있다는 것이다. 또한 현장활동 중에도 항상 공기호흡기의 잔여 공기 부족을 우려하고 있으며, 이는 현장활동 중에 심리적 위축이나 불안 등으로 이어져 적극적인 현장활동에 장애가 될 가능성도 있다고 볼 수 있다.

3.2.3 비상호흡법 인식도에 대한 부분

'공기호흡기 사용시간을 증가시킬 수 있는 비상호흡법에 대해 알고 있는가'라는 질문에 '알고 있다'라고 답한 사람이 523명 전체의 69.18%로 모르는 사람의 2배 이상이었으며, 비상호흡법 훈련을 경험한 사람도 435명(57.54%)으로 전체 응답자 수의 절반 이상이였다. 다만, 정기적으로 훈련을 하는 비율은 29.2%로 아직 체계적인 훈련 절차가 마련되어 있지 않음을 알 수 있고, 반면에 개인적으로 훈련을 하고 있다는 응답자는 61.61%로 정기적인 훈련이 아니더라도 소방관 개인이 훈련의 필요성을 충분히 인식하고 있음을 알 수 있다. 이러한 상황에서 체계적인 훈련 절차가 마련되어 정상적인 훈련이 이루어진다면 훈련의

효과성은 더 높을 것으로 예상할 수 있다.

더욱이 비상호흡법 훈련과정이 있다면 참여하겠다는 응답자가 532명(70.37%), 비상호흡법이 숙달된다면 화재 현장 등에서 고립되어 비상탈출을 해야 하는 경우 도움이 될 것으로 생각하는 응답자가 506명(66.93%)으로, 많은 소방대원이 비상호흡법 훈련을 체계적으로 하기를 원한다는 것도 알 수 있다.

3.2.4 현장지휘관의 대원들 공기호흡기 사용시간 관리에 대한 부분

'화재 현장에서 대원들의 공기호흡기 사용시간 관리가 필요하다고 생각하는가'라는 질문에 '매우 그렇다'와 '그렇다'라고 대답한 응답자 수가 153명으로 전체 지휘관 응답자 수의 96.84%였으나, 실제 화재 현장에서 대원들의 공기호흡기 사용시간을 관리하고 있다는 응답자 수는 94명(59.49%)으로 실제 현장 지휘 시 대원들의 공기호흡기 사용시간까지 지휘관이 관리하기에는 어려움이 있다는 현실적인 문제를 보여주고 있다.

3.3 문제점 정리

위 설문조사를 실시해 본 결과 다수의 소방대원들이 화재 현장에서 고립의 위험을 생각하고 있고, 1/3에 해당하는 대원들이 실제로 고립될 위험을 경험하였다는 것을 확인하였다. 그리고 현재 사용 중인 공기호흡기 용량에 대해서 부족하다고 생각하는 사람이 많았으며, 특히 저압경보 후 탈출을 위해서는 사용할 수 있는 공기가 부족하다고 생각하는 사람이 대부분이었다. 그로 인하여 현장활동 중 고립 등 위험 상황 발생 시 사용할 수 있는 비상호흡법에 대해 알고 있는 대원들도 많았으며, 특히 비상호흡법 훈련을 체계적으로 하기를 원하는 대원들이 대다수임을 확인하였다.

이는 소방대원들이 이미 비상호흡법에 대해 인식을 하고 있으며 그 필요성에 대해서도 공감하고 있으므로 비상호흡법의 체계적인 교육 및 훈련이 필요하다는 것이고, 또한 교육 훈련에 앞서 비상호흡법의 효과성 검증 및 훈련 방법 등의 정립도 우선시 되어야 할 것이다.

4. 비상호흡법 실효성 검증을 위한 실험

4.1 실험 개요

3절에서 확인된 바와 같이 소방대원들이 비상호흡법의

필요성에 대해 인지하고 있고, 훈련을 시행할 때 적극적으로 참여가 예상되는 만큼 현장에서 활용 가능한 적합한 비상호흡법에 대한 효과성을 확인하는 것이 중요하다. 따라서 현재 알려진 비상호흡법별로 ‘공기호흡기 사용시간을 얼마나 증가시킬 수 있을까’를 확인하기 위해서 실험을 진행하였다.

실험을 진행할 비상호흡법으로는 현장활동을 하면서도 사용이 가능할 것으로 보이는 스킵 호흡법과, 비상 상황 시 공기호흡기 사용시간을 가장 길게 연장할 수 있다고 알려진 휠 호흡법 이렇게 2가지를 선정하였고, 현장활동을 가정할 실험코스는 실제 현장에서 활동하는 것과 유사하게 6개의 코스로 구성하였다.

4.1.1 실험 대상 및 기간

실험은 서울119특수구조단 특수구조대에서 현재 현장 출동 및 구조업무를 담당하고 있는 대원 20명을 선정하여 2022년 5월 16일부터 7월 10일까지 9주간 진행하였다. 3교대의 근무 특성상 3개팀의 근무 일자가 각각 다르므로 모두 같은 조건에서 실험을 진행하기 위하여 기간을 9주로 선정하였고, 또한 실험 결과의 정확성 및 객관성 확보를 위해 환경조건을 최대한 동일하게 하였다. 이에 따라 실험에 참여한 대상들은 야간근무 시 19시에 실시하고 하루 휴식한 후 다음 번 야간근무 시 또 19시에 실시하는 방식으로 진행하였다.

4.1.2 실험 방법

실험 방법은 총 3가지로 나누어 실시하였다.

첫째, 현장활동 중 비상호흡법 적용 실험으로 현장활동과 유사하게 구성된 코스를 정상호흡으로 1회, 스킵 호흡법으로 5회 진행하였고, 충전압력 200bar에서 100bar까지 공기를 사용하는 동안 코스를 계속해서 순차적으로 반복하는 방법으로 진행하였으며, 스킵 호흡법의 실시 횟수를 5회로 책정한 것은 스킵 호흡법의 속달도의 따라 어떠한 차이가 나타나는가를 확인하기 위해서였다.

둘째, 고립 등 비상 상황 발생으로 비상탈출 하여야 하는 경우를 가정한 비상호흡법 적용 실험으로 평지와 계단을 번갈아 가며 이동하는 것을 반복하는 방법으로 진행하였다. 실험 횟수는 정상호흡 1회, 스킵 호흡법 2회, 휠 호흡법 2회, 총 5회를 진행하였으며, 충전압력 55bar에서 0bar가 되어 공기호흡기 용기 내 공기가 다 떨어질 때까지 진행하였다.

셋째, 고립 등 비상 상황 발생으로 RIT를 기다려야 하는 경우를 가정한 비상호흡법 적용 실험으로 제자리에 앉거나 누워서 진행하였다. 실험 횟수는 정상호흡 1회, 스킵 호흡법 2회, 휠 호흡법 2회 해서 총 5회를 진행하였으며,

충전압력 55bar에서 0bar가 되어 공기호흡기 용기 내 공기가 다 떨어질 때까지 진행하였다.

<Table 1> Detailed Test Cases

Test Category	Test Case	Breathing Type and Count	Air Pressure Before Test (bar)	Air Pressure After Test (bar)	Measurement Items
Field Activities	Field Activity Status	Normal 1, Skip 5 times	200	100	Time for using 100 bar
Move	Emergency Escape Situation	Normal 1, Skip 2, Wheel 2 times	55	0	Time for using 55 bar
In Place	Waiting for RIT	Normal 1, Skip 2, Wheel 2 times	55	0	Time for using 55 bar

현장활동 실험에서 측정 공기압을 100bar로 선정한 이유는 6개로 구성된 실험 코스를 각 1회 이상 실시하게 하기 위함이고, 이동 및 제자리 실험에서 측정 공기압을 55bar로 선정한 이유는 공기호흡기 저압 경보가 55bar에서 작동하므로 그 이후 사용 가능 시간을 확인하기 위함이다.

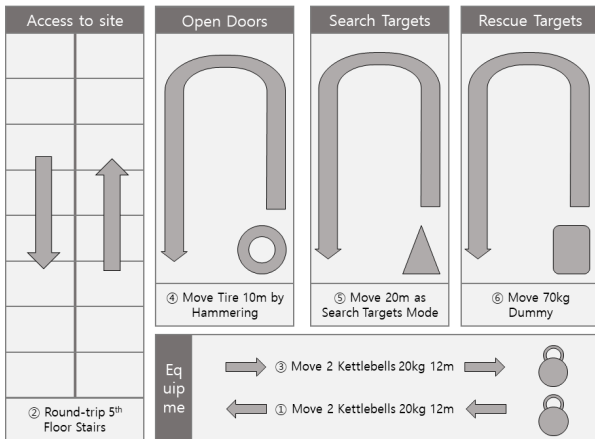
다만 각 실험 간 비교를 위하여 각각 측정된 시간을 가지고 분당사용량(l/min)을 확인하였고, 그것을 기반으로 50bar(340 l)를 소모하는데 걸리는 시간(이하 ‘50bar 사용 환산시간(min)’이라 하겠다)을 산정하여 비교에 이용하였다.

실험 참여자는 실제 현장활동 시와 동일하게 방화복, 방화두건, 안전화 및 공기호흡기 등 개인보호장비를 모두 착용하고 파괴 장비 및 탐색 장비를 휴대한 상태로 실험을 진행하였다.

4.1.3 실험 코스

현장활동 상황 실험코스는 현장에서 장비를 옮기고 계단을 통하여 현장에 접근해서 출입문을 강제 개방하고 구조대상자를 검색한 후 구조하는 과정 등의 현장활동을 고려하여 다음과 같이 구성하였다.

- ① 케틀벨 20kg 2개 12m 옮기기
- ② 5층 계단 왕복하기
- ③ 케틀벨 20kg 2개 12m 옮기기
- ④ 해머질로 타이어 20m 이동시키기
- ⑤ 인명검색 자세로 20m 이동하기
- ⑥ 구조대상자 마네킹 70kg 20m 끌기



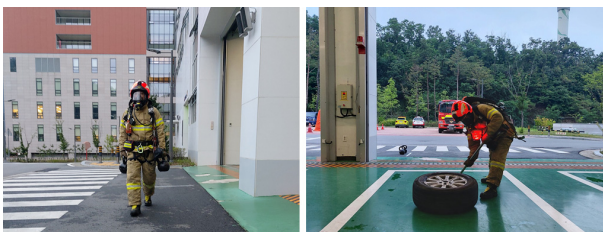
[Figure 1] Field Activity Status Test Course

4.1.4 실험 진행 사진

현장활동을 가정한 코스별 실험 진행 모습을 사진으로 보면 다음과 같다.



[Figure 2] Test Course 1 and 2

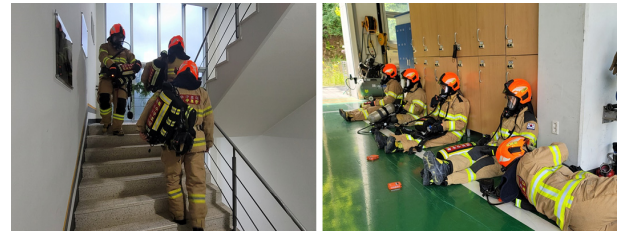


[Figure 3] Test Course 3 and 4



[Figure 4] Test Course 5 and 6

고립 등 비상 상황 발생 시 비상탈출을 가정한 실험과 RIT를 기다리는 상황을 가정한 실험 진행 모습을 사진으로 보면 다음과 같다.



[Figure 5] Emergency Escape Situation and Waiting for RIT

4.2 실험 결과 분석

총 3가지 실험을 통하여 다음과 같은 방법으로 결과치를 얻었다.

첫 번째 실험인 현장활동 상황 가정 실험에서는 100bar (680 l)를 사용하는 시간을 각 대원별로 측정하여 분당사용량 (l/min)을 확인하였다. 그리고 측정된 분당사용량을 기준으로 50bar 사용 환산 시간(min)을 계산하였다.

두 번째, 세 번째 실험인 비상상황 가정 실험에서는 55bar (374 l)를 사용하는 시간을 각 대원 별로 측정하여 분당사용량 (l/min)을 확인하고, 그 값을 기준으로 50bar 사용 환산시간(min) 데이터 값을 얻었다.

실험 결과 분석에 앞서 대원들의 기본적 특성(인바디 측정 등)을 보면 다음과 같다.

<Table 2> Personal Characteristic of Agents

Agent	Age	Height (cm)	Weight (kg)	Skeletal Muscles (kg)	Body Fat (%)
Agent 1	39	177.2	81.9	36.4	21.9
Agent 2	43	188.0	101.2	44.5	22.6
Agent 3	43	171.3	69.4	32.2	18.4
Agent 4	38	171.3	75.9	34.9	19.3
Agent 5	48	165.3	62.5	26.5	24.5
Agent 6	33	173.3	71.2	33.5	17.6
Agent 7	40	177.5	77.0	38.5	12.7
Agent 8	42	174.0	84.0	36.2	25.2
Agent 9	44	176.0	76.8	38.6	12
Agent 10	43	175.2	77.2	33.2	23.9
Agent 11	40	173.3	73.8	32.3	23
Agent 12	37	171.1	70.5	33.7	16.3
Agent 13	42	171.7	76.1	33.6	22.5
Agent 14	45	172	82	35.2	25.1
Agent 15	42	173.8	75.7	32.8	23
Agent 16	38	188.8	89.4	43.8	15.2
Agent 17	39	170.3	75.7	32	25.3
Agent 18	39	187.5	105.3	43	23
Agent 19	37	172.8	77	34.7	20.8
Agent 20	30	171.3	78.8	34.4	22.8
Average	40.1	174.92	78.76	35.46	20.52

4.2.1 각 상황 실험별 정상호흡 간의 비교 분석

가장 먼저 현장활동 상황, 비상탈출 상황, RIT를 기다리는 상황에서 각 상황별로 즉, 신체활동에 따른 정상호흡 간의 데이터를 비교해 보면 현장활동 상황에서 대원들의 평균 공기 사용량은 78.66 l/min으로 50bar 사용 환산 시간으로 보면 4.36min 사용 가능하였는데, 계단과 평지를 이동하면서 비상 탈출하는 상황에서는 분당 사용량이 42.87 l/min이고, 50bar 사용 환산 시간이 8.04min으로 분당 사용량이 45.5% 감소하여 현장활동 상황과 비교해 보면 공기호흡기 사용시간이 약 1.8배 정도 증가하였음을 알 수 있다.

또한 제자리에서 호흡하며 RIT를 기다리는 상황에서는 분당 사용량이 12.77 l/min이고 50bar 사용 환산 시간이 26.95min으로 현장활동을 하는 상황과 비교해 보면 분당 사용량이 83.8% 감소하여 공기호흡기 사용시간이 약 6.2배 정도 증가하였음을 알 수 있다.

이는 신체활동의 격한 정도에 따라 호흡량의 차이를 보여주는 것으로 현장활동 보다는 이동할 때, 이동할 때보다는 가만히 제자리에 있을 때 공기 소모량이 줄어들어 공기호흡기 사용시간이 증가하고 있음을 보여주고 있다.

<Table 3> Detailed Test Cases

Agent	Field Activity Status		Emergency Escape Situation		Waiting for RIT	
	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)
Agent 1	78.46	4.33	45.33	7.50	13.08	25.98
Agent 2	93.79	3.63	55.54	6.12	14.50	23.45
Agent 3	78.76	4.32	42.02	8.09	12.07	28.17
Agent 4	70.34	4.83	37.84	8.98	11.82	28.77
Agent 5	68.57	4.96	33.74	10.08	9.45	35.98
Agent 6	78.46	4.33	38.10	8.92	11.90	28.56
Agent 7	77.42	4.39	40.22	8.45	12.41	27.39
Agent 8	76.40	4.45	39.09	8.70	11.66	29.17
Agent 9	63.26	5.38	37.28	9.12	11.81	28.79
Agent 10	78.01	4.36	45.52	7.47	12.90	26.35
Agent 11	87.74	3.88	50.09	6.79	15.42	22.05
Agent 12	73.65	4.62	42.02	8.09	12.49	27.21
Agent 13	76.55	4.44	45.15	7.53	13.16	25.83
Agent 14	88.31	3.85	50.09	6.79	14.99	22.68
Agent 15	87.55	3.88	44.79	7.59	14.98	22.70
Agent 16	74.86	4.54	39.93	8.52	12.27	27.71
Agent 17	84.12	4.04	45.24	7.52	13.29	25.59
Agent 18	77.42	4.39	43.83	7.76	12.93	26.29
Agent 19	77.71	4.38	39.51	8.61	11.50	29.58
Agent 20	81.76	4.16	42.02	8.09	12.69	26.79
Average	78.66	4.36	42.87	8.04	12.77	26.95

인간의 신체활동에 따라 공기 소모량이 차이가 난다는 사실은 이미 알고 있었으나 현장활동과 제자리에서 호흡만 하는 경우의 공기소모량의 차이가 6배 이상 차이가 난다는 것은 이번 실험을 통하여 새롭게 알게 된 사실이다. 물론 현장에서는 긴장도가 증가하여 제자리에서 호흡만 하여도 실험상황과는 다른 결과치가 나올 수 있을 것이다. 하지만 그런 상황을 감안하더라도 이러한 정보를 소방대원이 알고 있다면, 비상호흡을 적용하지 않더라도 심적으로 안정된 상태에서 상당 시간 호흡을 유지할 수 있을 것으로 판단된다. 따라서 이러한 실험 결과를 교육하여 소방대원이 인지하고 있다는 것만으로도 현장활동 중 비상시 비상탈출 또는 호흡 유지에 크게 기여할 수 있다고 본다.

4.2.2 현장활동 상황 실험에서 정상호흡과 스킵 호흡법 비교 및 스킵 호흡법 숙달도에 따른 비교 분석

첫 번째 현장활동 상황 실험에서 정상호흡 1회, 스킵 호흡법 5회 해서 총 6번의 실험을 진행하였다.

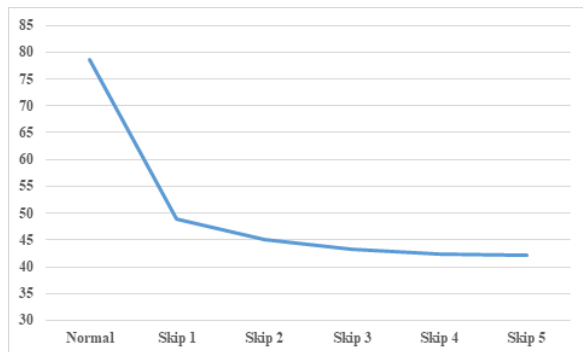
아래 표를 보면 정상호흡에서 대원들의 평균 공기 사용량은 78.66 l/min으로 50bar 사용 환산 시간으로 보면 4.36min 사용 가능하였는데, 스킵 호흡법 1회차에서는 분당 사용량이 48.99 l/min이고 50bar 사용 환산 시간이 7min으로 분당 사용량이 37.7% 감소하여 공기호흡기 사용시간이 약 1.6배 정도 증가하였음을 알 수 있다.

또한 스킵 호흡법 5회차에서는 분당 사용량이 42.06 l/min이고 50bar 사용 환산시간이 8.15min으로 정상호흡과 비교해 보면 분당 사용량이 46.5% 감소하여 공기호흡기 사용시간이 약 1.9배 정도 증가하였음을 알 수 있다.

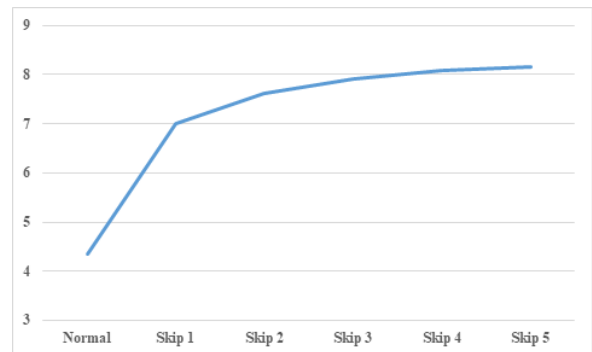
실험 결과를 보면 스킵 호흡법은 회차를 반복할수록 숙달되어 분당 공기 사용량의 감소효과가 커 공기호흡기 사용시간이 점점 증가하는 것으로 확인되었다. 다만, 스킵 호흡법 1회차에는 공기 사용량 감소가 컸으나 훈련이 반복될수록 공기 사용량 감소 폭이 점차 작아지거나 비슷하였다. 이는 정상호흡상태에 비해 스킵 호흡법에 의한 호흡이 공기 소모량을 획기적으로 줄여주는 효과가 있다는 것과 동시에 스킵 호흡법 훈련에서 최초 수차례 반복훈련만으로도 충분한 숙달이 가능하다는 점을 보여준다. 실험을 통해서 확인된 바와 같이 공기 소모량이 감소하여 45 l/min 이하로 유지되는 훈련 횟수가 3회 이후이므로, 실제 호흡법 훈련은 3~5회 정도의 훈련으로도 충분한 효과를 기대할 수 있을 것으로 판단된다.

<Table 4> Field Activity Status

Agent	Normal Breathing		Skip Breathing									
			Skip 1		Skip 2		Skip 3		Skip 4		Skip 5	
	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)
Agent 1	78.46	4.33	46.63	7.29	43.64	7.79	41.80	8.13	41.01	8.29	40.76	8.34
Agent 2	93.79	3.63	56.28	6.04	51.65	6.58	49.57	6.86	48.40	7.03	47.94	7.09
Agent 3	78.76	4.32	48.28	7.04	44.35	7.67	42.54	7.99	40.88	8.32	40.52	8.39
Agent 4	70.34	4.83	41.01	8.29	36.27	9.38	35.45	9.59	34.61	9.83	35.02	9.71
Agent 5	68.57	4.96	40.60	8.38	36.76	9.25	35.20	9.66	34.58	9.83	34.34	9.90
Agent 6	78.46	4.33	47.11	7.22	44.11	7.71	42.02	8.09	41.85	8.13	41.63	8.17
Agent 7	77.42	4.39	47.39	7.18	44.35	7.67	43.50	7.82	42.50	8.00	42.37	8.03
Agent 8	76.40	4.45	46.10	7.38	45.08	7.54	43.17	7.88	43.17	7.88	42.86	7.93
Agent 9	63.26	5.38	42.72	7.96	39.31	8.65	39.69	8.57	38.75	8.78	38.56	8.82
Agent 10	78.01	4.36	52.51	6.48	46.90	7.25	44.11	7.71	43.31	7.85	43.36	7.84
Agent 11	87.74	3.88	56.43	6.03	50.06	6.79	47.50	7.16	45.28	7.51	44.74	7.60
Agent 12	73.65	4.62	50.87	6.68	45.08	7.54	43.36	7.84	42.41	8.02	42.28	8.04
Agent 13	76.55	4.44	51.65	6.58	48.28	7.04	47.66	7.13	45.84	7.42	46.79	7.27
Agent 14	88.31	3.85	58.37	5.83	53.83	6.32	49.57	6.86	48.28	7.04	48.06	7.08
Agent 15	87.55	3.88	53.19	6.39	47.55	7.15	47.94	7.09	46.10	7.38	45.89	7.41
Agent 16	74.86	4.54	48.11	7.07	45.08	7.54	44.11	7.71	43.40	7.83	43.08	7.89
Agent 17	84.12	4.04	49.45	6.88	44.59	7.63	43.08	7.89	41.85	8.13	40.48	8.40
Agent 18	77.42	4.39	49.64	6.85	47.66	7.13	45.89	7.41	44.59	7.63	44.44	7.65
Agent 19	77.71	4.38	46.63	7.29	43.13	7.88	40.20	8.46	40.08	8.48	37.78	9.00
Agent 20	81.76	4.16	46.90	7.25	42.86	7.93	40.48	8.40	40.20	8.46	40.28	8.44
Average	78.66	4.36	48.99	7.00	45.03	7.62	43.34	7.91	42.35	8.09	42.06	8.15



[Figure 6] Air Usage Analysis in Field Activity Status



[Figure 7] Time for Using 50 bar in Field Activity Status

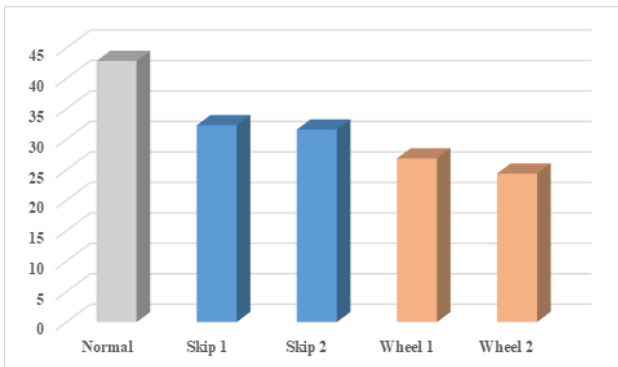
4.2.3 이동(비상탈출 상황) 실험에서 정상호흡, 스킵 및 휠 호흡법 비교 분석

두 번째 이동(비상탈출 상황) 실험에서 정상호흡 1회, 스킵 호흡법 2회, 휠 호흡법 2회 해서 총 5번의 실험을 진행하였다.

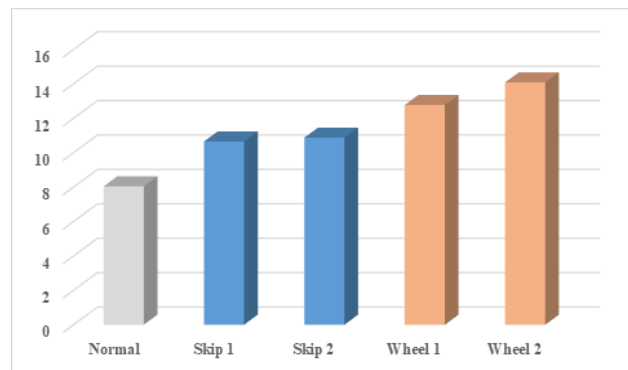
아래 표를 보면 정상호흡에서 대원들의 평균 공기 사용량은 42.87 ℓ/min으로 50bar 사용 환산 시간으로 보면 8.04min 사용 가능하였는데, 스킵 호흡법 1회차에서는 분당 사용량이 32.31 ℓ/min이고 50bar 사용 환산 시간이 10.65min으로 분당 사용량이 24.6% 감소하여 공기호흡기 사용시간이 약 1.3배 정도 증가하였음을 알 수 있다.

<Table 5> Emergency Escape Situation

Agent	Emergency Escape Situation									
	Normal		Skip 1		Skip 2		Wheel 1		Wheel 2	
	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (ℓ/m)	Time for using 50 bar (min)
Agent 1	45.33	7.50	34.31	9.91	33.64	10.11	27.64	12.30	24.05	14.14
Agent 2	55.54	6.12	40.87	8.32	39.93	8.52	32.20	10.56	29.14	11.67
Agent 3	42.02	8.09	32.76	10.38	33.24	10.23	26.56	12.80	23.75	14.32
Agent 4	37.84	8.98	28.59	11.89	27.88	12.20	23.42	14.52	22.17	15.33
Agent 5	33.74	10.08	25.24	13.47	26.31	12.92	22.33	15.23	20.22	16.82
Agent 6	38.10	8.92	27.95	12.17	27.20	12.50	25.91	13.12	22.80	14.91
Agent 7	40.22	8.45	30.08	11.30	28.59	11.89	26.06	13.05	23.75	14.32
Agent 8	39.09	8.70	29.60	11.48	28.92	11.76	25.36	13.41	22.06	15.41
Agent 9	37.28	9.12	28.01	12.14	27.74	12.26	24.31	13.98	21.15	16.08
Agent 10	45.52	7.47	33.24	10.23	32.29	10.53	27.20	12.50	25.79	13.18
Agent 11	50.09	6.79	36.49	9.32	35.17	9.67	31.04	10.95	28.41	11.97
Agent 12	42.02	8.09	31.12	10.92	30.82	11.03	24.96	13.62	25.07	13.56
Agent 13	45.15	7.53	34.42	9.88	33.24	10.23	28.41	11.97	25.36	13.41
Agent 14	50.09	6.79	36.67	9.27	35.17	9.67	32.10	10.59	29.60	11.48
Agent 15	44.79	7.59	34.36	9.89	33.69	10.09	29.26	11.62	26.49	12.83
Agent 16	39.93	8.52	30.41	11.18	29.96	11.35	25.27	13.45	22.94	14.82
Agent 17	45.24	7.52	35.90	9.47	34.63	9.82	27.20	12.50	24.31	13.98
Agent 18	43.83	7.76	32.76	10.38	32.01	10.62	26.91	12.64	24.55	13.85
Agent 19	39.51	8.61	31.12	10.92	30.41	11.18	24.99	13.61	22.28	15.26
Agent 20	42.02	8.09	32.29	10.53	31.38	10.83	26.34	12.91	23.75	14.32
Average	42.87	8.04	32.31	10.65	31.61	10.87	26.87	12.77	24.38	14.08



[Figure 8] Air Usage Analysis in Emergency Escape Situation



[Figure 9] Time for Using 50 bar in Emergency Escape Situation

스킵 호흡법 2회차에서도 사용시간이 약간 더 증가하였으나 그 증가 폭은 미미하여 큰 의미는 없는 것으로 보인다.

반면에 휠 호흡법 1회차에서는 분당 사용량이 26.87 ℓ/min이고 50bar 사용 환산 시간이 12.77min으로 정상호흡과 비교해 보면 분당 사용량이 37.3% 감소하여 공기호

흡기 사용시간이 약 1.6배 정도 증가하였음을 알 수 있다. 역시 휠 호흡법 2회차에서는 그 증가 폭이 미미한 정도임을 확인할 수 있다.

이동(비상탈출 상황) 실험에서는 비상호흡법 중에 휠 호흡법이 더 효과적임을 알 수 있다.

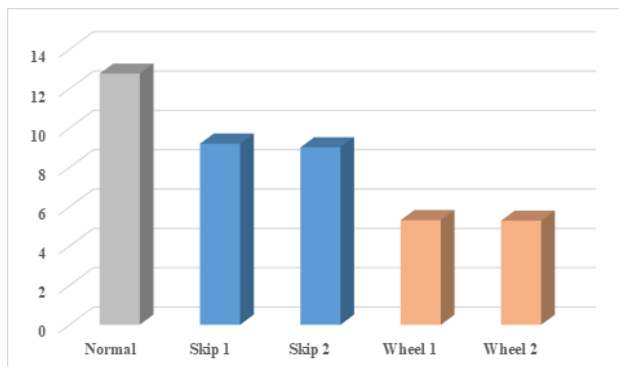
4.2.4 제자리(RIT 기다리는 상황) 실험에서 정상호흡, 스킵 및 휠 호흡법 비교 분석

세 번째 제자리(RIT 기다리는 상황) 실험에서 정상호흡 1회, 스킵 호흡법 2회, 휠 호흡법 2회 해서 총 5번의 실험을 진행하였다.

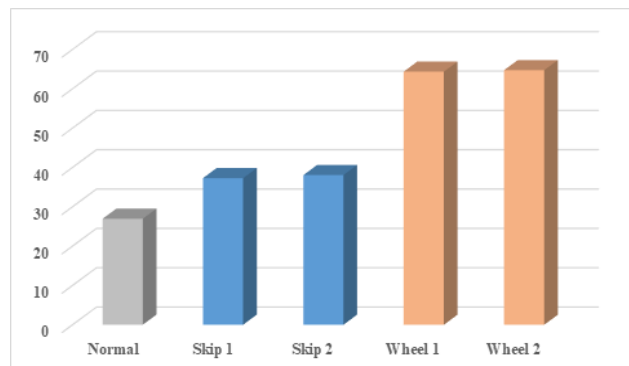
아래 표를 보면 정상호흡에서 대원들의 평균 공기 사용량은 12.77 l/min으로 50bar 사용 환산 시간으로 보면 26.95min 사용 가능하였는데, 스킵 호흡법 1회차에서는 분당 사용량이 9.21 l/min이고 50bar 사용 환산 시간이 37.28min으로 분당 사용량이 27.9% 감소하여 공기호흡기 사용시간이 약 1.4배 정도 증가하였음을 알 수 있다.

<Table 6> Waiting for RIT

Agent	Waiting for RIT									
	Normal		Skip 1		Skip 2		Wheel 1		Wheel 2	
	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)	Air Usage (l/m)	Time for using 50 bar (min)
Agent 1	13.08	25.98	9.57	35.53	9.48	35.88	5.45	62.42	5.33	63.76
Agent 2	14.50	23.45	10.51	32.36	10.55	32.24	5.93	57.30	5.78	58.82
Agent 3	12.07	28.17	8.77	38.79	8.67	39.23	5.28	64.33	5.36	63.41
Agent 4	11.82	28.77	8.59	39.58	8.27	41.09	4.80	70.79	4.96	68.56
Agent 5	9.45	35.98	7.43	45.74	7.49	45.39	4.47	76.03	4.36	78.06
Agent 6	11.90	28.56	8.36	40.68	8.33	40.83	5.27	64.52	5.16	65.94
Agent 7	12.41	27.39	8.99	37.80	8.88	38.30	5.36	63.38	5.60	60.73
Agent 8	11.66	29.17	8.84	38.45	8.59	39.58	4.97	68.45	4.99	68.15
Agent 9	11.81	28.79	8.54	39.82	8.25	41.21	4.50	75.58	4.49	75.79
Agent 10	12.90	26.35	9.35	36.35	9.37	36.29	5.56	61.18	5.29	64.21
Agent 11	15.42	22.05	11.17	30.44	11.11	30.59	6.09	55.83	5.82	58.39
Agent 12	12.49	27.21	9.09	37.39	8.93	38.06	5.20	65.33	5.33	63.76
Agent 13	13.16	25.83	9.48	35.88	9.24	36.80	5.61	60.64	5.45	62.42
Agent 14	14.99	22.68	10.65	31.94	9.88	34.42	6.36	53.42	6.49	52.39
Agent 15	14.98	22.70	10.85	31.35	10.88	31.24	5.72	59.47	5.81	58.47
Agent 16	12.27	27.71	8.51	39.97	8.21	41.39	4.96	68.50	5.07	67.05
Agent 17	13.29	25.59	9.31	36.52	8.87	38.32	5.41	62.85	5.32	63.91
Agent 18	12.93	26.29	9.22	36.89	8.60	39.55	5.41	62.82	5.36	63.45
Agent 19	11.50	29.58	8.15	41.70	8.31	40.89	4.97	68.47	4.85	70.08
Agent 20	12.69	26.79	8.84	38.47	8.54	39.80	5.16	65.94	5.07	67.05
Average	12.77	26.95	9.21	37.28	9.02	38.06	5.32	64.36	5.29	64.72



[Figure 10] Air Usage Analysis in Waiting for RIT



[Figure 11] Time for Using 50 bar in Waiting for RIT

스킵 호흡법 1회차와 2회차의 증가 폭은 미미하여 큰 의미는 없는 것으로 보인다.

반면에 월 호흡법 1회차에서는 분당 사용량이 5.32 l/min이고 50bar 사용 환산시간이 64.36min으로 정상호흡과 비교해 보면 분당 사용량이 58.3% 감소하여 공기호흡기 사용시간이 약 2.4배 정도 증가하여 증가 폭이 상당히 크다는 것을 확인할 수 있다. 월 호흡법 1회차와 2회차는 거의 같은 수준으로 나타나고 있다.

제자리(RIT 기다리는 상황) 실험에서는 비상호흡법 중에 월 호흡법이 훨씬 더 효과적임을 확인할 수 있다.

4.3 실험 결과 고찰

이번 실험과정을 통하여 비상호흡법이 공기호흡기 사용시간 증가에 상당한 효과가 있음을 확인할 수 있었다. 실험에 참여한 대원들도 전원 다 이번 비상호흡법 훈련이 향후 현장활동 및 고립 등 비상상황 발생 시 유효하게 작용할 것으로 생각하였고, 특히 제자리(RIT 기다리는 상황)에서 월 호흡법을 적용한 훈련을 가장 기억에 남는다고 했는데, 이는 실험을 통해서 확인된 제자리 상태에서의 월 호흡법 적용 시 사용시간 증가 효과가 기존에 알고 있던 것보다 매우 크다는 사실을 알게 되었기 때문으로 보인다.

다만 실험에 참여한 대원들의 인터뷰 과정에서 보면 현장상황 가정 실험에서 스킵 호흡법 훈련을 하면서 몸의 피로도 증가 등 신체의 이상반응을 느낀 직원이 적지 않았으며, 체력이 많이 소모되는 코스를 진행할 때 스킵 호흡법을 유지하지 못한 직원도 상당수임을 감안 하였을 때, 현장활동 중 장시간 연속적으로 스킵 호흡법을 적용하기에는 신체적으로 상당히 제한이 있음을 추정할 수 있었다.

반면에 월 호흡법에 대해서는 몸의 피로도 증가 등 신체의 이상 반응을 느낀 대원이 한 명도 없어서 고립 등 비상상황 시 자력 탈출을 하거나 RIT 기다리는 상황에서 아주 유효하게 적용될 수 있다고 생각한다.

중요한 것은 실험에 참가한 대상 전원이 저압경보 후 공기호흡기 잔량으로 제자리에서 움직이지 않고 호흡을 한다면 정상호흡으로도 30분 가까이 호흡 유지가 가능하다는 사실을 이번 훈련을 통해서 알게 되었다는 점으로, 이는 현장활동 중 고립상황에서의 대처에 매우 중요한 정보를 인식하게 되었다는 것을 의미하며 고립상황 시 호흡 유지에 대한 불안감이 어느 정도 완화될 수 있다고 본다.

5. 연구결과의 활용방안

연구의 첫 단계로 설문조사를 실시한 결과 현장활동 임무를 담당하고 있는 소방대원의 대다수가 화재 현장 등에

서 고립의 위험을 생각하고 있고, 고립 시 비상탈출을 위해 현재 사용하고 있는 공기호흡기 용량이 부족하다고 생각하고 있으며, 비상호흡법에 대해서 훈련과정이 있다면 적극적으로 참여할 의사가 있다는 것을 확인할 수 있었다.

그래서 어떤 현장 상황에서 어떤 비상호흡법을 적용할 수 있을까, 비상호흡법은 얼마나 효과가 있을까를 확인하기 위하여 현장활동 상황, 이동(비상탈출 가정) 상황, 제자리(RIT 기다리는 가정) 상황으로 나누어 정상호흡과 비상호흡을 비교하고 비상호흡법의 속도도에 따른 차이를 확인하는 실험을 하였으며, 그 결과 상당히 유용한 데이터 값을 얻을 수 있었다. 그리고 실험에 참여한 대원들의 인터뷰를 통해서 각 실험을 진행하면서 느낀점도 확인할 수 있었다.

이제 그 결과들을 바탕으로 하여 다음과 같은 활용방안을 제시하고자 한다.

5.1 현장활동에서의 비상호흡법 적용

현재 소방대원이 사용하고 있는 공기호흡기 용량은 현장활동을 하기에도 부족한 면이 있고, 특히 비상시 현장에서 탈출을 하기에는 많이 부족한 실정이므로 비상호흡법 적용을 현장에서 적극 검토 하여야 한다고 본다.

비상호흡법 중 정상호흡과 비교해서 사용시간 증가 폭이 가장 큰 것은 월 호흡법으로, 사용시간이 이동 상황에서는 1.6배 정도, 제자리 상황에서는 2.4배 정도 증가하는 것을 확인하였다. 그러나 월 호흡법은 공기호흡기 용기 밸브를 자유롭게 조절하기 위하여 공기호흡기를 앞으로 돌려매는 절차가 필요하므로 현장활동 상황에서는 사용이 불가하고, 대신 비상탈출을 위해 이동하거나 자력으로 탈출하는 것이 불가하여 RIT를 기다려야 하는 상황에서 적극적으로 활용하여야 한다고 생각한다. 또한 월 호흡법의 활용은 RIT 투입의 골든타임에도 영향을 미칠 수 있다.

그리고 현장활동 상황에서는 선택적으로 스킵 호흡법의 활용을 검토해 보아야 한다. 격한 활동을 할 때는 적용이 힘들겠지만, 최초 현장에 접근할 때 등 이동을 할 때는 사용이 가능하다고 보여진다. 현대 건물의 대형화, 구조의 복잡화 등을 생각한다면 조금이라도 공기호흡기 잔량을 확보하여야 구조대상자의 구조(현재 우리나라는 구조대상자에게 보조마스크를 착용시켜 구조함)에도, 그리고 비상시 소방대원 스스로 탈출하는 데에도 유리하기 때문이다.

5.2 비상호흡법의 체계적인 훈련 실시

비상호흡법은 몸에 확실히 습득하지 않은 상태로 이론만 가지고는 현장 적용이 어렵다고 보여지기 때문에 비상

호흡법에 대한 체계적이고 지속적인 훈련이 필요하다고 생각한다. 또한 훈련과정을 통하여 우리는 몰랐던 새로운 사실들도 알 수 있게 될 것이다. 예를 들어 이번 연구 중 실험이 없었다면 정상호흡으로도 공기호흡기 저압경보 후 제자리에서 호흡을 30분 정도 유지할 수 있다는 사실은 확인할 수 없었을 것이다.

이미 처음 설문조사를 통하여 많은 소방대원이 비상호흡법 훈련을 원하고 있다는 사실을 확인했고, 이번 실험에 참여한 대원들의 추가 설문을 통해서도 비상호흡법 훈련의 필요성을 다시 한번 확인했다.

훈련의 방법으로는 이번 실험과정을 추천한다. 현장 활동 가정 상황, 이동(비상탈출 가정) 상황, 제자리(RIT)를 기다리는 가정) 상황으로 나누어 실시하고, 반복과정을 거쳐 유사시 현장에서 활용할 수 있도록 하여야 할 것이다.

또한 훈련은 다음과 같은 목적으로 진행되어야 한다.

- 대원 자신의 공기 소모량(활동시, 제자리) 확인
- 팀원의 공기 소모량 확인으로 현장활동 가능 시간 예상
- 급격한 신체활동 후 공기 소모량을 감소시키기 위한 심박수 안정화, 분당 호흡수 감소 노력 등 훈련을 통한 공기 소모량 감소 능력배양

더불어 현장활동 가정 상황 훈련은 대원들의 체력단련에도 충분한 도움이 된다고 생각한다.

5.3 호흡보전 시간 연장에 따른 대응매뉴얼 보완

소방대원 고립 시 활용할 수 있는 대응 매뉴얼의 보완이 필요하다고 생각한다. 그 매뉴얼의 첫 단계로 소방대원 고립 시 제일 먼저 '스스로 상황판단 하기'를 넣어야 한다고 본다. 지금까지 우리는 공기호흡기의 저압 경보가 울리면 호흡할 수 있는 시간이 얼마 남지 않았다는 불안감에 급하게 현장을 탈출하는 것에 초점을 맞추었다.

하지만 이번 실험을 통하여 공기호흡기의 저압경보가 울린 후 정상호흡으로도 제자리에서 가만히 호흡을 한다면 30분 정도 호흡 보전이 가능하고, 특히 휠 호흡법을 적용한다면 1시간 이상 호흡 보전이 가능하다는 것을 확인하였다. 그러므로 소방대원이 현장에서 고립된다면 제일 먼저 상황판단을 해서 비상탈출을 감행해야 할지 아니면 목숨을 위협하는 위험을 피해 최대한 호흡을 보전하며 RIT를 기다려야 할지를 현장 상황에 맞추어 결정해야 한다. 어떤 경우는 무리한 비상탈출 감행이 오히려 더 위험할 수 있기 때문이다.

6. 결 론

서론에서 언급했듯이 소방대원은 늘 많은 위험 요소들이 상존하는 화재현장 등에서 현장활동을 한다. 그래서 언제나 고립 등의 위험이 있고 그에 대한 불안감을 가지고 있다.

소방대원이 현장에서 고립된다면 스스로 비상탈출을 시도하거나, 최대한 안전한 곳으로 대피하여 RIT를 기다려야 한다. 둘 중 어느 경우나 호흡 보전이 우선적인 과제이다. 그래서 본 연구의 핵심은 고립소방대원의 생존능력 강화 방안으로 공기호흡기 사용시간 증가를 위한 비상호흡법 적용에 대하여 실험을 통해서 확인하는 것이었다.

실험의 결과는 비상호흡법의 적용이 공기호흡기 사용시간 증가에 상당한 효과가 있음을 보여주었다. 그러므로 비상호흡법은 소방대원이 화재현장에서 고립 등 비상상황 발생 시 비상탈출 및 RIT의 구조를 기다리는 상황에서 유효하게 사용될 수 있을 것이다. 더불어 공기호흡기 사용시간의 증가는 복잡하고 대형화된 현대 건축물에서 생존 가능성이 있는 구조대상자를 구조하는 골든타임을 확보하는데도 적용될 수 있다.

그러나 2장 활용방안 부분에서도 언급했듯이 비상호흡법은 이론만 가지고는 현장에서 활용하기가 쉽지 않다. 그러므로 체계적이고 지속적인 교육 훈련과정이 필요하다고 본다.

이번 연구를 기반으로 향후 더 많은 비상호흡법에 대한 실험 검증이 이루어지기를 바라며, 또한 비상호흡법을 적용했을 때 몸에 어떤 이상 반응 등이 나타날 수 있는지에 대해서도 의학적인 전문가들의 연구가 병행 되어져야 한다고 생각한다.

그리고 근본적으로 장비 무게를 늘리지 않으면서도 공기호흡기 용량을 늘릴 수 있는 방법에 대한 연구, 고농도 산소로 공기를 충전하는 방법에 대한 연구, 복잡하고 어수선한 현장 안에서 공기호흡기 용기를 효율적으로 교체하는 방법 등에 대한 연구들이 향후 진행되기를 바란다.

7. References

- [1] S. H. Oh(2012), "A study on the prevention of air respirator container corrosion." Master's thesis, Gachon University.
- [2] Y. J. Ha(2004), "A study on the facemask design of air respirator for fire rescue." Master's thesis, Hongik University.
- [3] J. M. Seong(2003), "The effect of compressed air

- using air-breathing upon human and investigation of air standards.” Master’s thesis, University of Seoul.
- [4] C. W. Lee et al. (2004), “A study on the actual condition for air respirators using air-breathing.” Korean Institute of Fire Science and Engineering 18(4):16-21.
- [5] B. S. Son et al. (2012), “A study on measures to achieve performance and safety of air respirators for fire fighters.” J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., 26(4): 77-81.
- [6] C. W. Lee et al. (2004), “A study on the effect of compressed air using air-breathing upon human.” J. Kor. Inst. Fire Sci. Eng., 18(3):95-102.
- [7] M. H. Lee(2012), “An empirical study on firefighter's physical performance of SCBA with 36% concentration of oxygen.” Master's thesis, Mokwon University.
- [8] G. C. Moon(2019), “Research for prevention of firefighters accidents: A study on the improvement of personal safety equipment usage.” Master’s thesis, Kangwon National University.
- [9] S. H. Chae(2006), “The effects of hyperoxygen uptake during and recovery exercise on respiratory variables.” Master’s thesis, Dankook University.
- [10] J. I. Jeon, H. S. Kong(2019), “Changes in the amount of air respirator consumed by field fire-fighting activities.” The Journal of the Convergence on Culture Technology, 5(4):93 - 98. doi: 10.17703/JCCT.2019.5.4.93
- [11] D. Hostler, D. R. Pendergast(2018), “Respiratory responses during exercise in self-contained breathing apparatus among firefighters and nonfirefighters.” OSHRI Safety and Health at Work 9.

저자 소개



김 구 태

서울시립대학교 소방방재학 학사 취득,
 서울시립대학교 방재공학과 석사 취득,
 서울시립대학교 재난과학과 박사과정 수료 및
 학위논문 진행 중,
 현 서울119특수구조단 특수구조대 선임구조
 대원 근무.
 관심분야 : 소방, 방재, 재난관리, 현장안전