



저작자표시-비영리-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



비영리. 귀하는 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 없습니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

2024학년도

석사학위논문

고층 건축물 화재 시 소방대원
공기호흡기의 효과적 적용에 관한
실험적 연구

지도교수 : 김 우 창

경기대학교 공학대학원

소방·방재전공

성 모 천



고층 건축물 화재 시 소방대원
공기호흡기의 효과적 적용에 관한
실험적 연구

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2024년 12월 일

경기대학교 공학대학원

소방·방재전공

성 모 천



성 모 천의 석사학위논문을 인준함

심 사 위 원 장	_____	인
심 사 위 원	_____	인
심 사 위 원	_____	인

2024년 12월 일

경기대학교 공학대학원

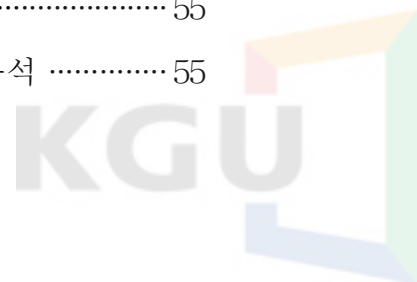


목 차

표 목 차	iv
그림목차	vi
논문개요	vii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	2
1.3 기존의 연구	5
제 2 장 이론적 배경	7
2.1 고층 건축물 화재 사례분석	7
2.1.1 울산 아르누보 주상복합 아파트 화재	7
2.1.2 동탄 메타폴리스 아파트 상가 화재	8
2.1.3 런던 그린펠 화재	10
2.1.4 고층 건축물 화재사례 시사점	11
2.2 고층 건축물의 현황 및 화재통계	14
2.2.1 고층 건축물(30층 이상) 현황	14
2.2.2 초고층 및 지하연계 복합건축물 현황	15
2.2.3 화재 발생 통계	17



2.3 소방대의 고층 건축물 소화활동 절차	20
2.3.1 소방대의 소화활동 SOP	20
2.3.2 신임 소방대원 소방 전술 교육	24
제 3 장 고층 건축물에서의 소화활동	28
3.1 고층 건축물 화재진압	28
3.1.1 고층 건축물의 화재 특성	28
3.1.2 고층 건축물 화재진압의 문제점	30
3.2 고층 건축물의 안전공간	33
3.2.1 소화활동에서의 안전공간	33
3.2.2 피난안전구역의 설치기준	35
3.2.3 특별피난계단의 설치기준 및 소방대의 활용	39
3.3 소방대의 고층 건축물 소화활동	42
3.3.1 소방대원의 보호장비	42
3.3.2 소방대의 대피유도	45
3.3.3 소화활동의 제한요건	48
3.4 공기호흡기 예비 용기 확보 필요성	50
3.4.1 공기호흡기 소모량	51
3.4.2 소방 선착대의 용기 사용량	52
제 4 장 소방대원의 공기호흡기 소모량 분석 및 용량 확보 방안 ·	55
4.1 지역별 소방대원 측정 결과 분석	55
4.1.1 경기 군포 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석	55



4.1.2 인천 부평 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석	58
4.1.3 경기 수원 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석	62
4.1.4 경기 소방학교 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석	66
4.1.5 측정 결과 비교·분석	69
4.2 공기호흡기 용량 확보 개선사항	73
4.2.1 소방대의 공기호흡기 대용량 용기 확보	73
4.2.2 피난안전구역 예비 용기 배치	74
4.2.3 소방대의 용기 관리 전담 지정 운영	76
 제 5 장 결 론	 78
 참고문헌	 80
Abstract	81



표 목 차

<표 2-1> 건축물 동별현황	9
<표 2-2> 인명피해 현황 비교	12
<표 2-3> 최근 5년간 건축·구조물 화재 피해 현황(경기도)	17
<표 2-4> 최근 5년간 고층 건축물 화재 현황(경기도)	18
<표 2-5> 최근 5년간 유도 대피인원 현황 비교(경기도)	19
<표 2-6> 최근 5년간 화재 진압 소요시간 현황(경기도)	19
<표 2-7> 일반 건축물과 고층 건축물 위험요인 비교	21
<표 2-8> 일반 건축물과 고층 건축물 사고 대응절차 비교	23
<표 2-9> 내화조 건물과 고층건물 일반적 특성	25
<표 2-10> 내화조 건물과 고층건물 화재진압요령	26
<표 3-1> 소방대의 화재 진압 실태 비교	30
<표 3-2> 설치층의 법령기준	36
<표 3-3> 피난안전구역의 구조 및 설비기준	37
<표 3-4> 피난안전구역의 소방시설 설치 종류	37
<표 3-5> 피난설비와 소화활동설비 설치기준	38
<표 3-6> 특별피난계단의 구조	40
<표 3-7> 공기호흡기 용기 현황	43
<표 3-8> 화재 초기 현장 진압대원 현황	54
<표 4-1> 공기호흡기 소모압력 분석표	57
<표 4-2> 연령대별 공기호흡기 소모 압력	57
<표 4-3> 성별에 따른 공기호흡기 소모량 분석	58
<표 4-4> 출발 전 개인별 측정 현황	59



<표 4-5> 20층 등반 후 개인별 측정 현황	60
<표 4-6> 40층 등반 후 개인별 측정 현황	61
<표 4-7> 50층 등반 소요시간	64
<표 4-8> 체중대별 공기 소모압력	65
<표 4-9> 10층 간격 평균 측정치	65
<표 4-10> 남성과 여성의 소모량 차이	68
<표 4-11> 연령대별 소모량 차이	68
<표 4-12> 체중대별 공기 소모량	69
<표 4-13> 11층 이동 공기 소모량	69
<표 4-14> 시험 결과 비교	70
<표 4-15> 실험결과 공통점과 차이점	71
<표 4-16> 운동 강도와 심박수 관계(30세 기준)	72
<표 4-17> 산소포화도 측정값	72
<표 4-18> 공기호흡기 용기 사용시간	73
<표 4-19> 공기호흡기 대용량 용기 보유 개정안	74
<표 4-20> 화재 초기 공기호흡기 용기 교체 수량	75
<표 4-21> 피난안전구역 소방시설 설치기준 개정안	76
<표 4-22> 후착대 조직도 구성안	77



그 립 목 차

<그림 1-1> 연구의 흐름도	4
<그림 2-1> 가연성 외장재 구조	8
<그림 2-2> 고층 건축물 현황	14
<그림 2-3> 고층 건축물 특정소방대상물 분류 현황(전국)	15
<그림 2-4> 초고층 및 지하연계 복합건축물 현황	16
<그림 2-5> 초고층 및 지하연계 복합건축물 건설 현황	16
<그림 3-1> 공기호흡기 구성요소	42
<그림 3-2> 특수방화복	43
<그림 3-3> 방화헬멧	44
<그림 3-4> 보호장갑, 안전화, 보호두건	44
<그림 3-5> 요구조자 검색 방법	45
<그림 3-6> 탐색 장소의 표시방법	46
<그림 3-7> 경기도 인명검색 표시방법	47
<그림 3-8> 보조마스크 착용	47
<그림 3-9> 체력소모량 측정 결과	49
<그림 3-10> 공기호흡기 사용 가능시간 산출공식	51
<그림 4-1> 실험 복장 및 안전교육	56
<그림 4-2> 실험 복장 및 측정	63
<그림 4-3> 연령대별 공기호흡기 소모압력	64
<그림 4-4> 생체징후 변화	70



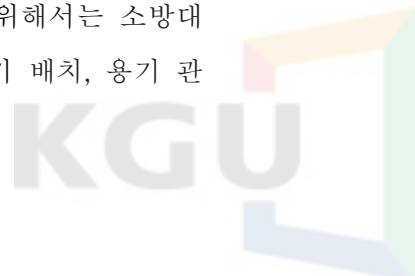
논 문 개 요

대도시의 인구 밀집과 토지가격 상승, 도시 경관 디자인 향상 등 복합적인 요인에 의해 고층 건축물이 건축되고 있으며, 고층 건축물의 용도 및 구조도 다양하고 복잡하게 변화되고 있다. 건축물이 고층화될수록 연돌효과로 인한 화염 및 연기의 급속 확산, 화재 상황 인식 및 파악 곤란, 피난 시간 지연 등으로 화재의 위험성은 증대되어 이용자의 안전을 위협하고 있다.

특히 화재 완전진화 소요시간의 지속적인 증가와 고층 건축물의 증가, 인구 밀집에 따른 도시확장, 교통량 증가에 따른 출동 시간 증가 등이 화재 발생 시 대규모 인명 및 재산피해 증가의 원인이 되고 있다. 따라서 화재 발생 시 이용자의 피난 안전성 확보와 더불어 소방대원의 충분한 현장 활동 시간 확보, 안전구역 설정은 인명 및 재산 피해 확대 방지를 위하여 최우선으로 확보되어야 한다.

이에 본 연구에서는 최근 5년간의 화재통계를 바탕으로 화재 발생 현황을 분석하여 인명 및 재산 피해 현황, 화재 완전진화 소요시간을 확인하였고, 고층 건축물 화재사례를 통해 화재 발생 시 위험성을 확인하였다. 또한 소방대원의 공기호흡기 사용에 따른 공기 소모량을 고층 건축물 계단오르기 실험을 통해 공기 소모량을 실험하고, 실질적 현장 활동 가능 시간을 확인하고 분석하였다.

연구 결과, 소방대원이 착용한 공기호흡기의 사용 가능 시간이 평균 화재 완전진화 소요시간보다 부족하였으며, 소방대원이 고층으로 올라갈수록 탈출 소요 시간의 증가, 공기호흡기 소모량 증가에 따라 공기호흡기 사용 시간이 더욱 감소하였다. 소방대원의 현장 활동 시간 확보를 위해서는 소방대의 공기호흡기 대용량 용기 확보, 피난안전구역 내 예비 용기 배치, 용기 관



리 전담 지정을 통해 현장 활동 시간을 확보해야 함을 확인하였다. 이러한 화재 현장 상황을 대비하기 위해 소방대의 대용량 용기 보급, 피난안전구역 내 예비 용기 배치, 소방대 용기 관리 전담 지정 운영 기준이 마련되어야 함을 제안하였다.



제 1 장 서 론

1.1 연구의 배경 및 목적

전 세계 도시에서는 인구 증가에 따른 도심 집중화, 도시확장, 지가 상승 등에 의한 토지의 효율성 및 도심 인구수용을 위해서 고층 건축물이 건설되고 있고 건축물이 고층화될수록 건축물의 구조와 사용 용도 또한 복잡·다양해지고 있다.

이러한 고층 건축물 화재 시 연돌효과에 의한 급속한 연소 확대, 다수 이용자의 수직 피난 경로 증가 및 피난 중첩에 따른 병목 현상, 건물 외부 화재진압 불가, 공간의 복잡성 및 폐쇄성 등으로 인해 화재 위험성이 증가하고 소방대원의 소화 활동에 제약이 발생하고 있다.

특히 화재 현장에 진입하는 소방대원은 공기호흡기 용량 한계에 의한 사용 가능 시간 제한에 따라 고층으로 올라갈수록 현장 활동 가능 시간은 줄어들게 되는 반면 탈출 소요 시간은 증가하여 소방대원의 현장 활동에 제약이 발생하고 안전 사고의 우려가 높아지게 된다.

반면 고층 건축물은 2021년 고층 건축물 4,287개동, 초고층 건축물 127개동, 2022년 고층 건축물 4,735개동, 초고층 건축물 122개동, 2023년 고층 건축물 5,247개동, 초고층 건축물 126개동으로 꾸준히 증가하고 있으며, 고층 건축물이 증가함에 따라 화재의 발생도 증가하고 있다. 최근 5년간 경기도 내 고층 건축물에서 발생한 화재는 231건으로 연도별 화재 발생건수는 19년 36건, 20년 40건, 21년 33건, 22년 49건, 23년 73건으로 2021년 이후 꾸준히 증가하고 있는 추세이다.

아울러 우리나라의 주요 화재사례를 살펴보면, 2010년 부산광역시 해운대구 우동 소재 우신골든스위트 주상복합건물 화재, 2017년 경기도 화성시 동탄 소재 메타폴리스 아파트 상가 화재, 2020년 울산광역시 남구 달동 소재 아르누보 주상복합 아파트 화재가 있으며, 이 화재들은 막대한 재산피해와 인명피해가 발생하였다. 고층 건축물 화재는 전체 화재 대비 화재 건수와 피해 현황은 적으나 초기 화

재 진화에 실패하거나 연소가 확대될 시에는 대형 화재로 발전하여 대규모의 인명피해와 막대한 재산피해가 발생할 가능성이 높다.

이에 본 연구의 목적은 이용객 및 재실자 증가에 따른 고층 건축물의 화재 위험, 소방대의 화재진압 어려움 등을 이론적으로 살펴보고 소방대원의 공기호흡기 소모량을 분석하여 소방대원의 기본보호장비인 공기호흡기 용량의 효용성을 확인하고 공기호흡기 사용량 및 현장 활동 시간 제약에 따른 문제점을 도출하였다. 고층 건축물 화재를 대비하여 소방대에 공기호흡기 대용량 용기 보급을 통한 소방대원의 현장 활동 시간 확보와 피난안전구역 내 예비 용기 비치, 소방대 용기 관리 전담 지정 운영에 대한 개선방안을 제시하고자 한다.

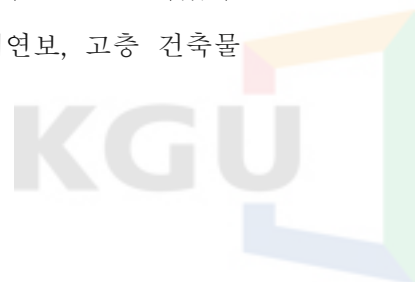
1.2 연구의 범위 및 방법

본 연구는 고층 건축물 화재 시 효과적 대응을 위한 공기호흡기 용량 확보를 통해 소방대원의 현장활동시간 연장과 소방대원 안전 공간을 확보하기 위한 연구로서 화재발생 통계, 고층 건축물 화재사례 분석, 특별피난계단 및 피난안전구역 설치 관련 법령 및 규정, 소방대의 화재진압절차, 공기호흡기 구성 및 운영실태, 공기호흡기 소모량 등을 확인하고, 고층 건축물 화재 시 공기호흡기 용량 확보에 대한 개선방안을 도출하는 것을 목적으로 한다.

본 연구의 각 장별 연구 내용은 다음과 같다.

제 1 장에서는 고층 건축물 화재 시 급속 연소 확대, 수직 피난 경로 증가, 다수 이용자의 피난 등으로 인한 화재 위험성 증가를 설명하였다. 이에 따른 소방대원의 공기호흡기 사용량 및 현장 활동 시간 제약의 문제점에 따른 연구 필요성을 제시하였다. 또한 논문의 연구 방법 및 선행연구에 대한 사항을 기술하였다.

제 2 장에서는 화재사례 분석을 통해 고층 건축물 화재의 위험성, 고층 건축물 현황, 화재 통계 자료 분석과 소방대의 소화활동 절차를 이론적으로 고찰하였다. 이에 대한 연구는 최근 5년간의 화재통계자료와 소방청 통계연보, 고층 건축물



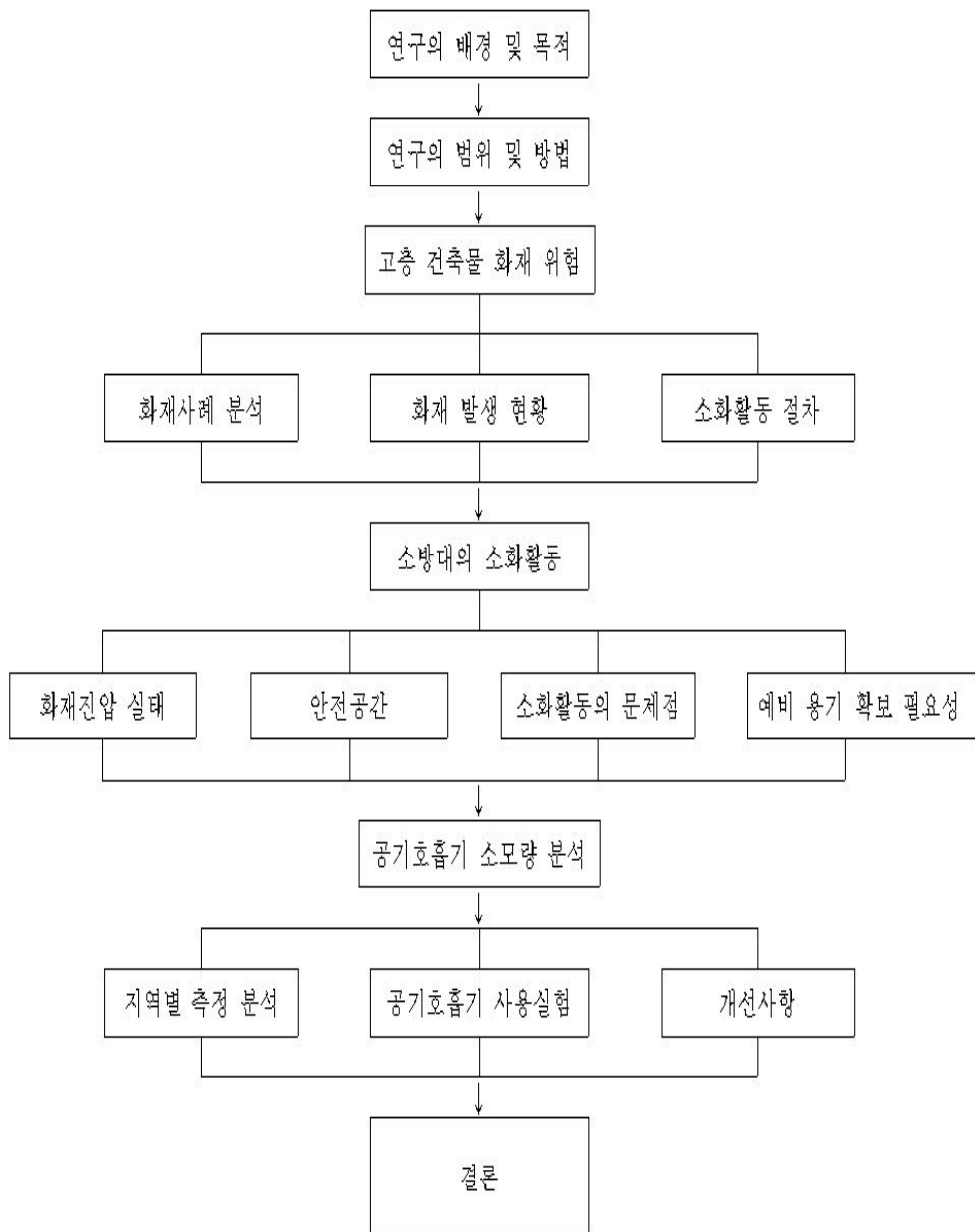
화재사례 및 관련 서적을 조사하였다.

제 3 장에서는 고층 건축물에서 소방대 소화활동의 문제점을 살펴보고자 고층 건축물 화재 특성 및 화재진압의 문제점, 안전공간의 설치기준 및 소방대의 활용, 소방대의 고층 건축물 소화활동 방법, 소방대원의 체력적 부담, 공기호흡기 소모량 및 선착대의 용기 사용량 등을 확인하였으며, 특히 공기호흡기 용량 및 예비용기 확보 필요성을 제시하였다.

제 4 장에서는 소방대원의 공기호흡기 소모량을 실험하였으며, 최근 5년간 경기도 건축물 화재 완전 진화 시간과의 비교를 통해 소방대원의 공기호흡기 사용량에 따른 현장 활동 시간 제약을 확인하였다. 이에 공기호흡기 대용량 용기 비치 및 피난안전구역 예비 용기 배치, 소방대 용기 관리 전담 지정 운영에 대한 개선방안을 제시하였다.

제 5 장에서는 고층 건축물 화재 시 소방대원의 활동 시간 제약 및 공기호흡기 대용량 용기 비치, 피난안전구역 예비용기 비치, 용기 관리 전담 지정 운영, 소방대원 안전공간 확보에 관한 문제점을 정리하면서 개선방안을 제시하였다.

본 연구에 대한 흐름은 <그림 1-1>과 같다.



<그림 1-1> 연구의 흐름도

1.3 기존의 연구

본 연구와 관련하여 고층 건축물 화재 시 화재진압전술, 피난안전구역 개선, 소방대원의 공기호흡기 소모량에 대한 기존의 연구에 대해 다음과 같이 확인할 수 있었다.

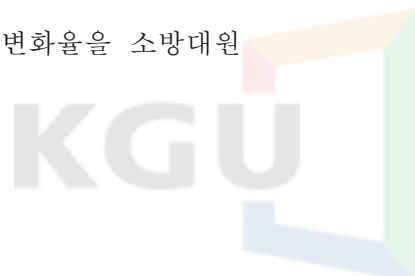
최태영[1]은 초고층 건축물의 특성을 반영한 진압대응계획을 제시하는 방향으로 연구를 진행하였다. 이를 바탕으로 화재 위치에 따른 시나리오를 2개로 구성하고 대응 및 피난 모델을 제시하였다. 제시된 피난용 승강기를 활용하는 경우 20% 이상 피난 시간이 단축되는 것을 확인하였다. 이러한 대응 및 피난 모델의 적용을 위해 현행의 법 제도의 일부 개정이 필요함을 제시하였다.

유재환[2]은 초고층 화재 시 소방대원의 화재현장 접근성을 헬기이용 화재현장 진입의 문제점, 고가사다리차 이용의 제한성, 소방대원 도보 이동에 따른 현장 접근의 한계성을 확인한 후 각 대상물별로 작성된 매트릭스(Matrix)를 활용하여 당해 건물의 소방안전에 대한 정보와 교육훈련을 통해 적용할 것을 제시하였다.

서성민[3]은 과거 초고층 건축물에서 발생한 화재를 토대로 초고층 건축물 화재 시 거주자들의 피난방법 및 소방활동의 문제점을 살펴보고, 피난계단 개선방안, 비상용승강기 활용방안, 소방장비운용 개선방안, 피난안전구역의 소방활동거점 활용, 고가사다리차 운용 개선방안, 소방헬기 활용의 개선방안을 제시하였다.

임종호[4]은 국내·외 고층 건축물의 안전기준에 대한 비교 연구를 통하여 전층 피난 완료시간과 건축물 주요구조부의 내화성능 상관관계를 분석하였다. 지하 6층, 지상35층 고층 건축물의 재실자 76,041명을 대상으로 화재 및 피난 시뮬레이션 Tool를 사용하여 전층 피난 완료시간 3시간 1분을 도출하였다. 이를 건축물 주요구조부의 내화성능과의 상관 분석을 통해 내화성능의 50%(1시간 30분) 이내 또는 최대 내화성능 3시간 이내에 전층 수직피난이 완료되어야 한다는 기준을 제시하였다.

전재인, 공하성[5]은 소방활동에 따른 공기호흡기 소모량의 변화율을 소방대원



의 작업유형, 호흡법, 신체조건, 연령에 따라 분석하였다. 실험결과 현장 소방활동 시 신체 작업의 강도가 높을수록 호흡이 거칠어지고 에너지 소모량이 올라가, 공기 소모량이 당연히 증가하는 것을 확인하였다. 이에 현장활동 시 소방대원의 공기호흡기에 최적화된 호흡법에 대한 추가 연구의 필요성을 제시하였다.

이처럼 기존 선행연구에서는 고층 건축물 화재 시 이용자의 피난에 관한 분석, 소방대의 화재진압 접근성, 소방대원의 공기호흡기 소모량에 대해 이루어졌다. 이에 본 연구는 기존 연구에서 수행되지 못한 고층 건축물 화재 시 소방대원의 현장 활동시간 연장을 위한 공기호흡기 용량 확보 기준을 제시하고자 하였다.



제 2 장 이론적 배경

2.1 고층 건축물 화재 사례분석

고층 건축물에서 발생한 화재의 특성을 분석하기 위해 울산 아르누보 주상복합 아파트 화재, 동탄 메타폴리스 아파트 상가 화재, 런던 그렌펠 화재에 대해 화재 현장 조사서 및 관련 논문을 조사하였다.

2.1.1 울산 아르누보 주상복합 아파트 화재

1) 화재 발생 개요

- 일 시 : 2020. 10. 08.(목) 23:14 ~ 10. 09.(금) 14:50
- 장 소 : 울산시 남구 달동 ○○○ 「삼환아르누보아파트」 (주상복합)
- 건축개요 : (허가) 2006. 5. 10. (준공) 2009. 4. 3.
- 건물구조 : 철근콘크리트조 지하 2층, 지상 33층, 연면적 31,201.12㎡
- 층별용도 : 지하 1~2층(기계실 및 주차장), 지상 1~2층(상업시설 10실), 3층(관리실), 4~33층(아파트 127실, 오피스텔 9실)
- 발생개요 : 저층부(3층) 발코니에서 발화하여 강한 바람에 의해 외벽을 통해 상층부로 급격하게 연소가 확대된 것으로 추정
- 피해사항 : 인명피해 95명(경상), 재산피해 106억 9천 3백만원
 - 재산피해 : 아파트용도 127실 중 16실 전소·반소 8실·부분소 103실, 오피스텔 및 점포는 19실 중 3실 부분소
 - 이재민 : 이재민은 132세대 437명이 발생하였고, 울산광역시에서는 임시 주거시설 제공시까지 인근의 숙박시설을 제공하였다. 이후 한국토지주택공사(LH)로부터 공공주택 92호를 확보하였으나 37세대만 신청하였고 추가적으로 전세형 임대주택 15세대를 제공하였다.



2) 연소확대 원인 및 문제점

- (건물 외장재) <그림 2-1>과 같이 외벽 알루미늄 복합 패널의 경우 내부 단열재가 연소하면서 공간이 형성되고 그 공간을 통해 굴뚝효과가 발생하여 화염이 급속히 상층부로 확산되었다.

알루미늄 복합판넬	드라이비트 공법
 ▶ 벽체 구성 : 알루미늄 판넬 + 공간 + 단열재 + 외벽 ▶ 외벽과 외장재 사이 빈공간으로 화재 시 굴뚝효과 발생	 ▶ 벽체 구성 : 마감재 + 유리망 + 단열재 + 공간 + 외벽 ▶ 외벽과 드라이비트 사이 빈공간으로 화재 시 굴뚝효과 발생

<그림 2-1> 가연성 외장재 구조

- (발코니) 발코니 확장이 합법화(2005. 12. 8.)되면서 상층부 화재 확산 용이
- (소방용수 공급 지연) 연경송수관설비를 점유하여 소방용수를 공급했으나 스프링클러 배관과 검용으로 다수 층에 개방된 스프링클러 헤드로 누수
- (화점방수 곤란) 건물 외부를 소방고가사다리차를 활용하여 화재진압 실시하였으나 강풍 때문에 화점 도달 한계 발생(당일 07시 강풍주의보 발령)하였으며 알루미늄 복합 패널의 내부 단열재가 연소하면서 형성된 공간이 굴뚝효과를 유발하여 화염이 급속히 상층부로 확산

2.1.2 동탄 메타폴리스 아파트 상가 화재

1) 화재 발생 개요

- 일 시 : 2017. 2. 4.(토) 10:55 ~ 23:23

- 장 소 : 경기도 화성시 반송동 ○○○ 「화성 동탄 메타폴리스」
- 건물구조 : 철근콘크리트조 지하 5층, 지상 66층, 연면적 463,046.47㎡
- 동별현황 : <표 2-1>과 같이 4개 동으로 구성

<표 2-1> 건축물 동별현황

구분	동명	층수	면적(㎡)	용도
1동	METAPOLIS C동	55/0	45,634.533	아파트
2동	METAPOLIS D동	66/0	55,435.041	아파트
3동	METAPOLIS 상가동	5/5	77,366.329	판매시설, 쇼핑센터, 근생
4동	METAPOLIS 주차장동	6/2	53,953.621	아파트(주차장)

- 발생개요 : 3동 상가 3층에서 철거 작업을 위해 가스 절단기를 사용하여 금속 용단작업 중에 발생한 불씨, 불뚝이 주변 스티로폼 등(철거물) 가연물과 접촉하여 발화한 것으로 추정
- 피해사항 : 인명피해 18명 (사망 4명, 부상 14명), 재산피해 83억 2천 3백만원
 - 재산피해 : (부동산) 1,402.07㎡ 소실, 89,406.8㎡ 그을음 및 수손, (동산) 쇼핑물 입점 업체 의류, 의료장비 및 기타 상가동 집기류 그을음 및 수손

2) 연소확대 원인 및 문제점

- (소방시설 연동 정지) 관계자의 소방시설 연동정지(공사현장 알람벨브 폐쇄, 경보설비 등)에 의해 화재 발생 초기 소방시설이 작동하지 않음으로써 급격한 연소와 3층 이용객의 화재 발생인지가 지연되었고 연기의 급속한 확산으로 인해 유독가스 흡입으로 인한 인명피해 발생
- (피난기구 적용) 피난기구의 설치기준에 개별점포는 피난기구 적용이 대상에 해당되지 않아 화재 시 점포에 고립되었을 경우 피난 불가
- (방화구획 미비) 반자 내부 공간이 구획별(점포별)로 구획되지 않아 반자 내

부를 통한 연기의 빠른 유동

- (개방층에 의한 연소확산) 건물 중앙에 층간 구획이 없는 부분을 통해 연기가 발화층과 상층부 및 하층부로 빠르게 확산되면서 재산피해(그을음 피해)가 발생하였으며 상층부에서 떨어진 물이 하층부 점포로 유입되어 수손피해 발생

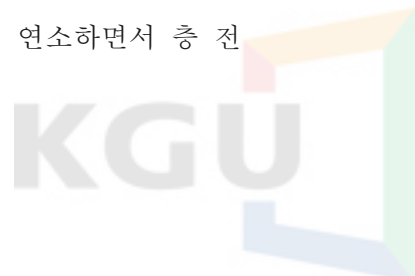
2.1.3 런던 그렌펠 화재

1) 화재 발생 개요

- 일 시 : 2017. 6. 14.(수) 00:54
- 장 소 : 영국 런던 그렌펠로드 ○○○ 「그렌펠 타워」
- 건물구조 : 철근콘크리트조 지상 24층, 높이 67.3m, 4층 미만은 복합시설
 - 층별 6세대로 120가구 / 화재 당시 600명 정도 거주
 - 엘리베이터와 계단을 거주구역이 둘러싸고 있는 구조로 입·출입구 시설 1곳
- 건물연혁 : 1974년 완공된 런던시 소유의 고층 임대아파트로 건물 노후에 따라 2016년 5월에 외벽의 콘크리트를 알루미늄 복합 패널 등으로 가리는 리모델링을 실시하였다.
- 발화장소 : 4층(주거시설)
- 화재원인 : 냉장고 폭발에 의해 발생
- 인명피해 : 총 94명 (사망 30명, 부상 64명)
- 출동사항 : 소방 250명, 소방차량 40대, 의료인 100명, 경찰 100명

2) 연소확대 원인 및 문제점

- (건물 외장재) 건물 외벽에 설치된 가연성 복합패널 내부 단열재가 연소되면서 공간이 형성되었으며, 이 공간이 굴뚝효과를 유발하면서 급속히 상부로 화재가 확산되었다. 상층부로 올라간 화염이 창문을 통하여 세대 내로 연소 확대되고 건물 내 공용 공간(승강장 부분)에 설치된 장식품이 연소하면서 층 전



체에 화재가 발생하였다. 초기 소화설비인 스프링클러의 미설치로 진화가 되지 않아 화재가 내부로 확산되었다.

- (거주자 피난) 화재경보시설이 작동되지 않아 대부분의 거주자들이 초기에 화재 사실을 알지 못하였으며, 관리업체가 “집안에 머물러라, 젖은 수건을 문 옆에 두어라”라는 잘못된 정보 전달하였다. 또한 일반 피난계단 1개소만 설치되어 있어 계단으로 연기가 급속히 확산되면서 거주자들의 대피에 장애를 초래하여 다수의 사상자가 발생하였다.

2.1.4 고층 건축물 화재사례 시사점

국·내외 고층 건축물 화재사례를 조사한 바 고층 건축물 화재는 화재 초기 적절한 화재진압이 되지 않았을 경우 굴뚝효과에 따른 연기의 빠른 이동 발생하고, 건축물 외장재 소재 특성에 의해 전층으로 급격하게 연소가 확대되었다. 또한 건축물의 높이로 인한 소방대의 외부 소화활동이 불가하였으며, 피난 경로의 중첩 및 대체 피난 경로 부재 등으로 인해 피난활동에 장애가 발생하였다. 이에 따라 다수의 인명피해 및 이재민이 발생하고 막대한 재산피해가 발생함을 확인하였다. 이를 화재피해 형태, 연소확대 형태, 연기의 이동형태로 구분하여 살펴보면 다음과 같다.

1) 화재피해 형태

가) 인명피해

화재사례의 인명피해 발생원인과 문제점을 확인한 결과 <표 2-2>과 같았다. 인명피해가 발생한 동탄 메타폴리스 아파트 상가 화재와 런던 그렌펠 화재의 경우 이용객 및 재실자의 화재 발생 사실 인지가 늦었으며, 소방시설이 미작동하거나 소화설비(스프링클러 설비)가 미설치되어 초기 화재진압 및 연소확대 방지가 되지 않아 많은 인명피해가 발생하였다.



<표 2-2> 인명피해 현황 비교

구분	인명피해 현황	발생원인 및 문제점
울산 아르누보 주상복합 아파트	경상 95명, 이재민 437명	· 소방대에 의한 인명구조(77명 구조) 활동 및 외벽을 따른 연소 확대로 인명피해 적음
동탄 메타폴리스 아파트 상가	사망 4명, 부상 14명	· 소방시설 작동정지에 의한 소방시설 미작동 · 연기의 급속한 이동으로 다수 사상자 발생
런던 그렌펠	사망 30명, 부상 64명	· 관리업체의 잘못된 정보 전달 · 피난계단의 부족에 따른 피난로 장애

반면 울산 아르누보 주상복합 아파트 화재의 경우 외벽을 따라 연소 확대됨에 따라 비교적 피난활동이 원활하였으며, 소방대의 인명구조 활동으로 많은 인원이 구조되어 경상환자는 많이 발생하였지만, 사망자와 중증환자는 없었다.

이렇듯 이용객 및 채실자의 화재사실 인지, 소방시설 작동, 소방대의 소방활동이 적절히 이루어진 경우에는 인명피해가 적게 나타났으며, 반대의 경우에는 인명피해가 많이 발생하였다.

나) 재산피해

재산피해 현황과 원인을 조사한 결과 울산 아르누보 주상복합 아파트 화재의 경우 106억 9천 3백만원의 재산피해가 발생하였는데 이는 건물 외벽을 통한 수직 확산으로 인해 건물 전체로 연소 확대되어 재산 피해가 증가하였으며, 동탄 메타폴리스 아파트 상가 화재의 경우는 층간 구획이 없는 건물 중앙부분으로 연소 확대되어 피해가 발생하였고, 화재진압을 위한 소화수 방수로 인하여 하층부 점포에 수손피해가 발생하였다. 런던 그렌펠 화재의 경우 건물 외장재에 의하여 건물 전체로 연소가 확대됨에 따라 재산피해가 증가하였다.

이렇듯 건축물 외장재에 의해 연소가 확대되는 경우 건물 전체로 연소 확대되어 재산 피해가 증가하였으며, 건물 중앙에 층간 구획이 없는 부분에 화재가 발생할 경우에도 연소 확대로 재산 피해가 증가하였다. 또한 소방대의 화재진압을 위

한 소화수 방수로 화점층 이하 하층부에 수손피해가 발생하였다.

2) 연소확대 형태

화재사례의 연소확대 형태를 조사한 결과 건물 외장재에 의한 연소확대, 발코니 확장에 따른 화재확산, 다수 층에 개방된 스프링클러 헤드에 의한 소방용수의 방수압력 저하, 고층 확산에 따른 화점방수 곤란으로 인한 급격한 연소확대가 확인되었다. 특히 건물 외장재에 의한 연소확대의 경우 외장재 내부 단열재가 연소하면서 형성된 공간이 굴뚝효과를 유발하여 화염이 급속히 상층부로 확산하였으며, 그로 인한 인명피해와 재산피해가 막대하게 발생하였다.

또한 동탄 메타폴리스 아파트 상가 화재의 경우 반자 내부 공간이 점포별로 구획되지 않아 반자 내부를 통한 연소확대 및 건물 중앙 층간 구획이 없는 부분을 통해 연소가 확대되는 형태를 보였다.

3) 연기의 이동형태

연기의 이동형태를 조사한 결과 건물 외장재 내부 단열재가 연소하면서 굴뚝효과로 인하여 연기가 상층부로 이동하여 건물 내부로 화염이 확대되었으며, 건물 내부 화재 발생 시에는 연돌효과로 인하여 계단을 통한 연기의 수직 이동이 확인되었다.

각 사례별로 살펴보면, 울산 아르누보 주상복합 아파트 화재와 런던 그렌펠 화재의 경우 건물 외장재 내부 단열재가 연소하면서 굴뚝효과가 발생하여 연기가 상층부로 이동하였으며, 상층부로 올라간 화염이 창문을 통하여 세대 내로 확산되었다. 동탄 메타폴리스 아파트 상가 화재의 경우 건물 중앙 부분의 층간 구획이 없는 곳을 통해 연기의 유동이 발생하였고, 이는 발화층과 상층부로 빠르게 연기가 이동하면서 연소가 확대된 것으로 조사되었다. 각 사례의 공통점으로는 연기의 수직이동이 관찰되고 이로 인한 인명피해 및 재산피해가 증가함을 확인하였다.



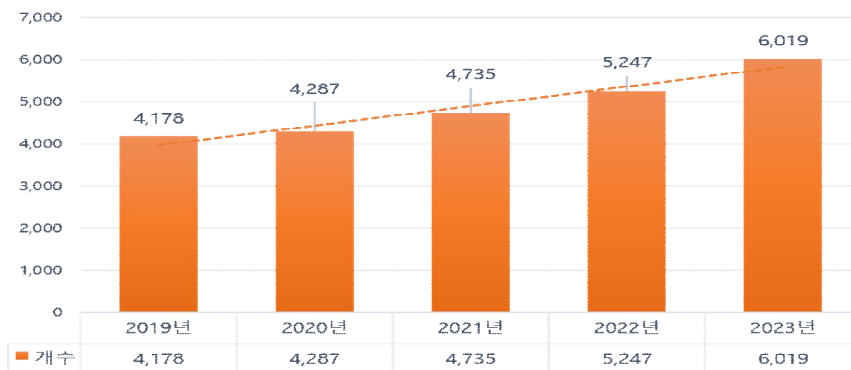
2.2 고층 건축물의 현황 및 화재통계

고층 건축물 화재는 화재사례 조사를 통해 막대한 재산 및 인명피해가 발생하고 소방대의 대응이 쉽지 않음을 확인하였다. 이에 본 절에서는 화재 대응에 어려움이 있는 고층 건축물의 화재 위험 정도 및 소방대의 화재 진압 소요시간 등을 확인하기 위해 고층 건축물의 증감 추이 및 화재발생 빈도, 화재 통계에 대해 조사하였다.

2.2.1 고층 건축물(30층 이상) 현황

전국의 고층 건축물의 건축 현황을 확인하고자 2019년부터 2023년까지 최근 5년간 고층 건축물 현황을 소방청 소방통계연보를 통해 조사하였다. 조사는 고층 건축물의 증가 현황 및 특정소방대상물 분류 현황에 대하여 실시하였다.

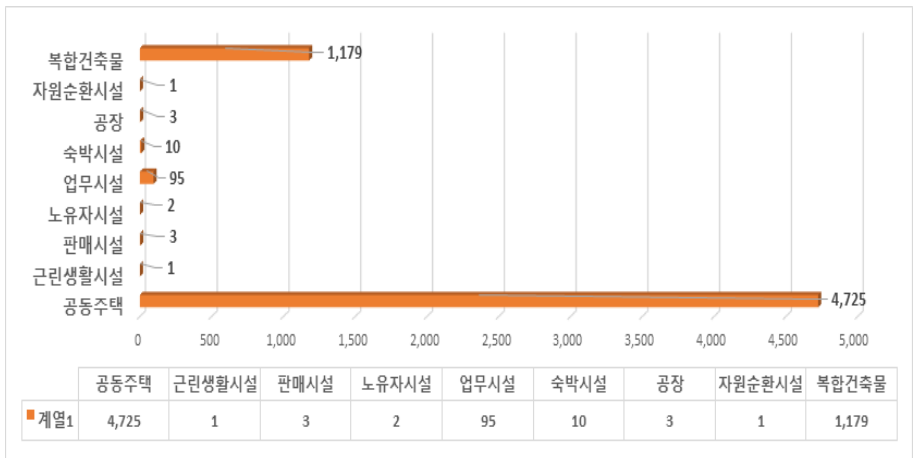
전국의 고층 건축물 현황은 <그림 2-2>과 같이 2019년 4,178개소에서 2023년 6,019개소로 1,327개소 (44.1%) 증가하였으며, 매년 꾸준히 증가하는 추세이다.



<그림 2-2> 고층 건축물 현황

2023년 고층 건축물의 특정소방대상물 분류 현황은 <그림 2-3>과 같이 공동주

택 4,725개소 (78.5%), 복합건축물 1,179개소 (19.6%), 업무시설 95개소 (1.6%)로 전체 현황의 99.7%를 차지하고 있다. 이는 특정소방대상물 분류 특성상 재난 발생 시 다수의 이용객 및 재실자 등으로 인해 다수의 인명이 동시에 대피할 수 밖에 없는 상황이다. 이에 따라 소방대원이 고층 건축물에서의 인명구조활동 및 소화활동이 증가할 수 밖에 없다.



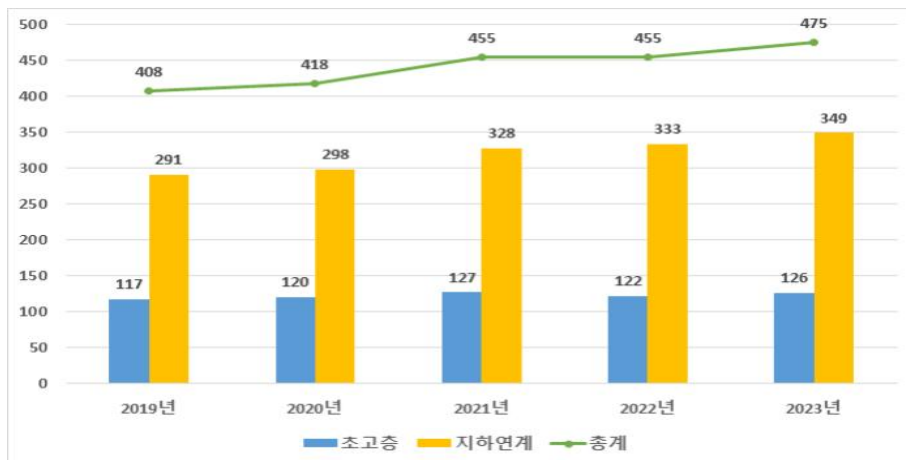
<그림 2-3> 고층 건축물 특정소방대상물 분류 현황(전국)

2.2.2 초고층 및 지하연계 복합건축물 현황

전국의 초고층 및 지하연계 복합건축물 건축 현황을 확인하고자 2019년부터 2023년까지 최근 5년간 초고층 및 지하연계 복합건축물 현황과 2019년부터 2023년까지 최근 5년간 초고층 및 지하연계 복합건축물 건설 현황을 소방청 소방통계연보를 통해 조사하였다.

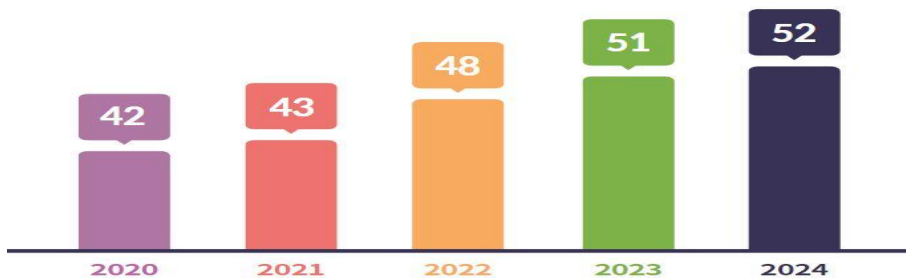
전국의 초고층 및 지하연계 복합건축물현황은 <그림 2-4>과 같이 2019년 408개소에서 2023년 475개소로 67개소 (16.4%) 증가하였으며, 매년 꾸준히 증가하고 있는 추세이다.





<그림 2-4> 초고층 및 지하연계 복합건축물 현황

초고층 및 지하연계 복합건축물 건설 현황을 확인한 바 <그림 2-5>과 같이 총 52단지 (78동)로 연간 꾸준히 증가하는 추세로 교통 편의성과 유동 인구에 따른 소비문화 등 경제·문화적 환경에 따라 지하역사와 연결되는 지하연계 건축물의 증가가 두드러지게 나타나고 있다. 이는 고층 건축물과 같이 급격한 증가추세는 보이지 않으나 지속적으로 증가하고 있어 소방대원의 소화활동 역시 증가할 수 밖에 없다.



<그림 2-5> 초고층 및 지하연계 복합건축물 건설 현황

2.2.3 화재 발생 통계

고층 건축물에서 발생하는 화재 현황과 피해규모, 소방 활동 시간을 확인하고자 2019년부터 2023년까지 최근 5년간 발생한 일반 건축물과 고층 건축물 화재통계를 소방청 화재통계연감과 국가화재통계시스템(www.nfds.go.kr)을 통해 조사하였다. 조사는 일반 건축물 피해 현황, 고층 건축물의 화재 발생 현황 및 피해 현황, 화재진압 소요 시간 분석에 대하여 실시하였다.

1) 일반 건축물 화재 피해 현황

경기도 내 건축물의 화재 위험성을 확인하기 위해 최근 5년간 화재 발생 현황과 인명 및 재산피해 규모를 분석하였다. 최근 5년간 경기도 내에서 발생한 화재는 <표 2-3>과 같이 최근 5년간 총 화재 건수 43,316건, 인명피해 2,917명, 재산피해 2,027,062백만원이며, 연평균 화재 발생 건수는 8,663.2건, 인명피해 583.4명, 재산피해 405,412.4백만원으로 분석되었다. 아울러 2021년 전체 화재 건수는 전년 대비 감소하였으나 쿠광물류센터 화재·세아SA 공장 화재 등 대규모 화재로 인해 재산 피해가 일시적으로 증가하였으며, 2022년에는 이천 스크린골프장 화재·과천 방음터널 화재·화성 약품공장 화재로 인해 인명피해가 일시적으로 증가하였음을 확인하였다.

<표 2-3> 최근 5년간 건축·구조물 화재 피해 현황(경기도)

구분	전체 화재(건)	인명피해(명)	재산피해(백만원)
평균	8,663.2	583.4	405,412.4
2019년	9,421	576	209,842
2020년	8,920	599	321,983
2021년	8,169	491	779,343
2022년	8,604	704	420,465
2023년	8,202	547	295,429

2) 고층 건축물 화재 발생 통계

고층 건축물 화재의 발생 비율과 피해 정도를 확인하기 위해 최근 5년간 경기도 내 화재 발생 현황과 인명 및 재산피해 현황을 국가화재통계시스템을 활용하여 분석하였다. 경기도 내 고층 건축물 화재는 <표 2-4>과 같이 최근 5년간 연평균 46.2건 발생하였고, 인명피해는 9명, 재산피해는 약 872백만원이었다.

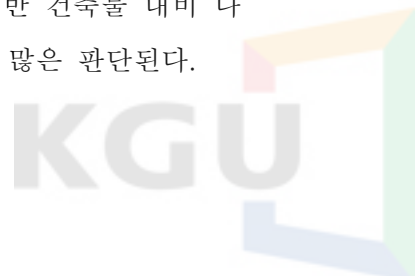
또한, 화재 발생 건수는 고층 건축물 현황이 증가함에 따라 2021년 이후 꾸준히 증가하고 있으며, 고층 건축물 화재 시 부상자 9명만 발생하고 사망자는 발생하지 않았다.

<표 2-4> 최근 5년간 고층 건축물 화재 현황(경기도)

구분	전체화재 (건)	고층 건축물 (건)	인명피해(명)			재산피해(백만원)	
			계	사망	부상	피해액	건당
계	43,316	231	9	0	9	872.2	19.2
2019년	9,421	36	1	0	1	217.4	6.0
2020년	8,920	40	0	0	0	118.5	2.9
2021년	8,169	33	2	0	2	72.0	2.2
2022년	8,604	49	5	0	5	304.4	6.2
2023년	8,202	73	1	0	1	159.9	2.2

3) 소방대에 의한 고층 건축물 화재 시 유도 대피 현황

고층 건축물 화재 발생 시 대피 인원의 발생 현황 및 위험성을 확인하고자 최근 5년간 경기도 내 고층 건축물 화재 시 소방대에 의한 유도 대피인원을 국가화재통계시스템을 활용하여 분석하였다. 경기도 내 고층 건축물 화재 시 소방대에 의한 유도 대피인원은 <표 2-5>과 같이 경기도 내 총 화재 발생 건수 대비 유도 대피인원 평균 1.0명보다 많은 3.5명을 유도 대피하였음을 확인하였다. 이는 고층 건축물의 특성상 여러층의 재실자가 개별피난을 실시하지만, 일반 건축물 대비 다수의 이용객 및 재실자가 있어 소방대에 의한 유도 대피인원이 많은 판단된다.



<표 2-5> 최근 5년간 유도 대피인원 현황 비교(경기도)

구분	화재 건수(건)	유도대피인원(명)	평균 유도대피인원(명)
전체 화재	43,316	43,511	1.0
고층 건축물	231	792	3.5

4) 화재 진압 소요시간

일반 건축물 화재 시 소방대원의 현장 활동 시간을 확인하고자 최근 5년간 경기도 내 일반 건축물 화재 진압 소요시간을 국가화재통계시스템을 활용하여 소방대의 화재 초기진화 소요시간 및 완전진화 소요시간으로 분석하였다. 최근 5년간 평균 현장 활동 시간은 <표 2-6>과 같이 분석되었다. 최근 5년간 평균 초기진화 소요시간은 23분, 완전진화 소요시간은 37분으로 나타났으며, 초기진화 소요시간 및 완전진화 소요시간은 매년 꾸준히 증가하고 있다. 특히 2022년과 2023년에는 완전진화 소요시간이 43분으로 조사되었으며, 이는 경기도 소방관서에서 보유중인 공기호흡기 45분용(최대압력 300kgf/cm², 탈출소요압력 55kgf/cm²)의 평상 시 사용기준인 41분을 초과한 것으로 확인되었다. 따라서 소방대원이 현장 진입 시 착용한 공기호흡기의 용기를 한번 이상 교체해야 화재 현장을 완전진화할 수 있는 것으로 확인되었다.

<표 2-6> 최근 5년간 화재 진압 소요시간 현황(경기도)

구분	화재건수	평균소요시간(분)		초기진화 소요 시간 합계(분)	완전진화 소요 시간 합계(분)
		초기진화	완전진화		
계	43,316	23	37	1,006,175	1,630,117
2019년	9,421	17	25	167,811	241,862
2020년	8,920	19	36	170,857	327,808
2021년	8,169	23	40	194,212	329,759
2022년	8,604	27	43	233,707	378,141
2023년	8,202	29	43	239,588	352,547

2.3 소방대의 고층 건축물 소화활동 절차

소방대의 고층 건축물 소화활동에 대해 경기도 재난현장표준작전절차와 경기도 소방학교 신입교육과정 공통교재에 규정하고 있으며, 소방대가 일반 건축물 화재와 고층 건축물 화재 시 수행하는 절차의 차이점과 건물 전체로 연소확대 되었을 경우 대응하는 법을 확인하고자, 경기도 재난현장표준작전절차와 경기도소방학교 신입교육과정 공통교재에서 구체적인 사항을 조사하였다.

2.3.1 소방대의 소화활동 SOP

경기도 재난현장표준작전절차에서는 각종 재난현장에서 신속·효율적으로 현장 대응하기 위하여 소방대원의 현장활동과 안전관리에 있어 요구되는 사항을 기술한 것으로 그중 일반 건축물 화재 대응절차(SOP 212)와 고층건물 화재 대응절차(SOP 222), 초고층건물 화재 대응절차(SOP 223)에 대하여 확인하였다. 경기도 재난현장표준작전절차에서 규정하고 있는 위험요인, 사고 대응절차는 다음과 같다.

1) 위험요인

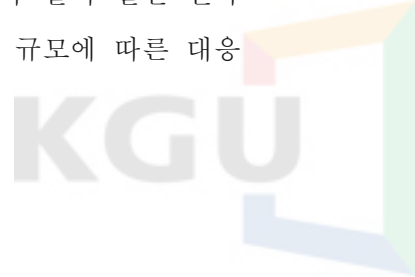
일반 건축물과 고층 건축물 위험요인은 <표 2-7>과 같이 제시되고 있음을 확인하였다. 일반 건축물의 경우 현장 상황 파악 곤란 및 대원 부상 우려 등의 일반적인 소방 활동의 위험을 제시하고 있지만, 고층 건축물의 경우에는 화염의 유동, 외벽 박리현상, 건물 구조상의 결함, 개방된 공간으로의 연소 확대, 외벽 강화유리 등이 설치되어 있을 경우 파괴·낙하에 의한 위험 등 입체적 활동 및 다양한 요인에 의한 위험 요인을 제시하고 있다.

<표 2-7> 일반 건축물과 고층 건축물 위험요인 비교

항목	일반 건축물	고층(초고층) 건축물
화재실	○ 밀폐구조로 연기 층만, 발화점 및 신속한 상황 파악 곤란 ○ 창문, 간판 등의 파손 낙하로 소방대원 부상 우려	○ 화재 초기는 내부의 가연물에 착화하여 발산하는 가연성 가스, 흰 연기, 수증기가 왕성하게 분출하여 실내를 유동함 ○ 불완전 연소가스가 실내에 층만하여 시계(視界) 불능 상태가 됨 ○ 화점실에서 나온 연기는 계단 등을 경유하여 위층부터 차례로 연기가 층만해지고, 이때는 보통 공기 유입 쪽(급기측)과 연기가 나가는 쪽(배기측)이 구분
상층		○ 굴뚝효과, 온도팽창 등 다양한 요인에 의한 연기유동 고려 ○ 건물구조상 결함(슬라브의 구멍, 파이프 관통부 등) 및 EPS를 통하여 상층으로 연소나 연기확산의 경로가 됨 ○ 베란다 등이 없는 벽면에서는 창에서 분출되는 불꽃이 상층으로 연소 확대 ○ 계단실, 에스컬레이터 등의 구획실이 개방된 경우 그곳을 통하여 상층으로 연소
고층		○ 입체적 활동이 요구되기 때문에 조직 활동의 분담화가 요구됨 ○ 초고층 건물의 상층은 강화유리 등으로 설치되어 있어 화재가 확대될 경우 광범위하게 파괴, 낙하될 수 있음
외벽		○ 고온의 불꽃으로 외벽에 박리현상 발생, 때에 따라서는 파열하여 비산

2) 사고 대응절차

일반 건축물과 고층 건축물 화재 사고대응절차는 <표 2-8>과 같이 일반 건축물 화재의 경우 대상물의 구조(목조, 방화조, 내화조 등), 용도, 규모에 따른 대응



작전 전개 등 지휘관의 현장 판단에 중점을 두고 있으나, 고층 건축물의 경우는 연기의 유동, 외벽 박리현상, 건물구조상 결함(슬라브의 구멍, 파이프 관통부의 마감 불완전 등), EPS(전기배선 샤프트) 내에 묶여 있는 케이블에 따른 연소확대 등을 감안하여 현장지휘소 설치 및 건물 진입방법, 진압작전의 입체적 활동 등에 대하여 중점을 두고 있다. 그러나 고층 건축물 화재 시 화점층에 접근하는 대응절차에 대한 기준만 있을 뿐 건물 전체 연소확대에 따른 별도의 대응 절차는 없었다.

<표 2-8> 일반 건축물과 고층 건축물 사고 대응절차 비교

항목	일반 건축물	고층 건축물
공통	○ 소방활동은 인명구조를 최우선으로 한다. - 중복탐색 방지를 위해 모든 대원들이 인지할 수 있는 사전 약속한 방법(문개방 등)을 활용하여 표시한다. - 각 방, 각 층별 검색완료 시 소방무선통신 이용 전과 병행 건물 구조별 관창배치와 배연방법 결정한다. ○ 화재가 확산될 수 있는 샤프트, 장비 배선관, 배연구 등 확인한다. ○ 모든 소방대원은 진압활동 과정에서 재산손실 경감에 주력한다. ○ 지휘관은 한순간에 출동대원에 위협을 가할 만큼 악화될 수 있는 화재와 건물 상황에 주의한다.	
지휘 및 통제		○ 초기 화재 시 건물 출입 인원 통제를 위한 로비 통제 실시 ○ 현장지휘소는 건물로부터 최소 50m이상 떨어진 곳에 위치
피난유도		○ 건물 내 모든 인원 대피보다 화재발생지역 위아래로 2~3층 정도 떨어진 지역으로 거주인원 이동 ○ 화점층 및 화점상층 인명구조 및 피난유도 최우선
소화활동		○ 엘리베이터 사용이 안전하다고 판명되는 경우 화재층을 기점으로 2개층 이하까지 엘리베이터를 이용, 기타 지역은 계단 이용 ○ 초기 화재 진압요원은 화재상황에 맞춰 신속하게 지원 ○ 화재 초기 화점층 진입 일거에 소화, 화재 중기 이후 화재층 상층과 인접 구획 연소확대 방지 우선 ○ 화재층 이동 시 화재진압장비 팩(연결송수관 설비에 연결할 예비호스, 관창 묶음)을 미리 준비하고 계단실이나 직접 조작하는 비상용 엘리베이터를 이용하여 운반 ○ 화재 시 비상용승강기를 화재모드로 전환하여 피난층에 위치시켜 두며 ‘소방운전전용 키’ 등을 인계받아 소방전용으로 활용
외벽		○ 화재 발생 아래 지역(외부)은 유리파편이 떨어지는 가능성을 고려하여 반경 50m 이내 접근 금지하며, 고층 건축물의 층수, 높이 및 상황을 감안하여 충분한 안전거리 확보



2.3.2 신입 소방대원 소방 전술 교육

신입 소방대원 교육은 경기도소방학교 신입교육과정 소방전술 교재에 따라 실시하고 있다. 신입교육과정은 소방대원의 예방, 대응, 대비 등 전 분야에 걸친 교육을 받는다. 이 교육과정 중 내화조 건물과 (초)고층 건물 화재진압의 일반적 특성, 화재진압 요령의 구체적인 사항에 대하여 확인하였으며, 경기도소방학교 신입교육과정 공통교재에서도 고층 건물 화재 시 화점층에 접근하여 화재진압하는 방법에 대한 교육만 있을 뿐 건물 전체로 연소 확대될 경우에 대한 별도의 화재 대응 절차는 없었다.

1) 일반적 특성

내화조 건물과 고층 건물 화재는 일반적으로 내화조 건물 화재의 경우 건물 주요 구조부는 타지 않기 때문에 건축물의 기밀성이 우수하고, 초기의 연소는 완만하다. 반면 고층 건물 화재의 경우 고층 건물의 높이나 용도에 따라 구조적, 설비적으로 여러 가지 규제가 있으며, 화재의 상황도 다르다.

예를 들면 최근 20층을 넘는 고층 건물은 공동주택이 많이 건설되고 있지만 공동주택의 경우 일반적으로 1구획은 100㎡내외의 내화조로 구획되어 있기 때문에 다른 구획으로 연소확대 되는 경우는 적다. 그러나 주택 이외의 용도인 경우(백화점, 극장, 판매시설 등) 화재가 발생하였을 때는 연소 확대의 위험이 크다.

따라서 고층 건물 화재의 경우 그 건물의 설비나 구조를 파악하고 활동하는 것이 중요하다. 그러나 모든 고층 건물이 법령이 정한 규제 사항을 완벽하게 유지하거나 관리된다고 확신해서는 안된다. 실제 화재사례에서 방화구획 밖이나 상층부로 연소 확대된 고층 건물 화재도 종종 발생하고 있다. 또한 다수인이 이용하기 때문에 건물 내 피난 상황 등의 실태 파악이 곤란하며, 화재진압을 위해 방수한 물이 아래층으로 흘러 많은 수손피해가 발생할 수 있다. 이러한 내화조 건물과 고층 건물 화재의 일반적 특성은 <표 2-9>과 같이 확인되었다.



<표 2-9> 내화조 건물과 고층 건물 일반적 특성

항목	내화조 건물	고층 건물
초기	○ 화재초기 화세 약함 ○ 외부의 공기가 유입되지 않은 상태에서 연기의 중성대 나타남 ○ 화점 확인도 자세를 낮추면 비교적 쉽게 발견	○ 가연물에 착화하여 가연성 가스 발산 ○ 흰 연기, 수증기가 왕성하게 분출하여 실내 유동 발생 ○ 화점실에서 나온 연기는 계단 등을 경유하여 위층부터 차례로 연기가 층만 ○ 보통 공기 유입쪽(급기측)과 연기가 나가는 쪽(배기측)이 구분된다.
중기	○ 농연, 열기가 실내, 복도에 층만 ○ 내부진입도 어렵고 화점확인도 어려움 ○ 배관 샤프트, 계단, 덕트 등을 연소 경로로 하여 상층으로 연소 확대된다.	○ 검은 연기가 분출되고, 창유리가 파괴되어 화염이 분출된다. ○ 화염의 분출과 동시에 공기의 공급에 의하여 화세는 강렬해 진다. ○ 고온의 불꽃으로 외벽에서 타일 등이 떨어지는 박리현상이 일어나거나 파열하여 비산한다. ○ 건물구조상 결함(스라브의 구멍 등)이 있으면 그부분을 통하여 상층으로 연소한다. 전기배선 샤프트(EPS) 내에 묶여 있는 케이블은 만약 화재가 발생할 경우 다른 층으로의 연소나 연기확산의 경로가 된다. ○ 베란다 등이 없는 벽면에서는 창에서 분출되는 불꽃이 상층으로 연소 확대된다. ○ 계단실 등의 구획이 개방된 경우 그곳을 통하여 상층으로 연소 ○ 초고층 건물의 상층은 강화유리 등으로 설치되어 있어 화재가 확대될 경우 광범위하게 파괴, 낙하될 가능성이 있으므로 주의한다.



2) 화재진압요령

내화조 건물과 고층 건물 화재진압요령은 <표 2-10>과 같이 확인되었다.

<표 2-10> 내화조 건물과 고층 건물 화재진압요령

항목	내화조 건물	고층 건물
공통	○ 화점실에 연기의 중성대가 있는 경우에는 자세를 낮추어 실내를 직접 보고 요구조자 및 화점을 확인한다. ○ 수손방지를 위하여 분무방수 및 직사방수를 병용하여 실시한다. ○ 개구부를 급격하게 개방하면 백드래프트(Back draft)에 의한 화상 등의 우려가 있으므로 방수를 하면서 천천히 개방한다. ○ 내화조 건물에서 개구부가 적을 때에는 파괴기구로 개구부를 만든다. ○ 야간에는 조명기구의 활용으로 방어효과를 높인다. ○ 초기에 요구조자가 없는 것이 확인된 상황에서의 소방활동은 화재진압을 중점으로 하여 연소확대 방지에 노력한다. ○ 공기호흡기를 착용하고 내부진입을 시도하고 반드시 화점에 방수한다.	
화재실		○ 화점층이 고층인 경우 소방대 진입은 비상용 승강기를 활용하여 화점층 기점으로 2층 이하까지 이용하고 화점층 진입은 옥내 특별피난계단을 활용한다.
피난유도		○ 화점층 및 화점상층의 인명구조와 피난유도를 최우선한다. ○ 다수의 피난자가 있을 경우에는 피난로 확보를 위해 화재진압활동 일시 중지하고 방화문 폐쇄, 연기 배출등을 실시하여 거주인원을 이동
소화활동		○ 1차 경계범위는 당해 화재구역의 직상층으로한다. ○ 발화층이 3층 이상인 경우 연결송수관을 활용한다. ○ 배연수단을 신속하게 결정한다.
지휘 및 통제		○ 화점을 확인한 시점에서 전진 지휘소를 직하층에 설치하고, 자원대기소를 전진 지휘소 아래층에 설치하여 교대인력, 공기호흡 예비용기, 조명기구 등의 기자재를 집중시켜 관리한다.
인명구조		○ 인명구조를 위해 사다리차 등의 특수차량도 효과적으로 활용한다.

내화조 건물의 경우 소방대의 기본적인 화재진압전술을 활용하고 있으나, 고층 건물의 경우에는 건물 높이로 인한 전술적 제한, 넓은 구획의 건물 구조로 인한 전술적 제한, 화재신고 접수를 받을때부터 소방대원이 최초로 화재 현장에 방수할 때까지 걸리는 시간 증가, 건물 설비시스템, 화재현장에서의 통신시스템 저하, 건물의 구조(창문, 내화구조 등)에 따른 활동 제약, 중앙 공조시스템을 통한 화재 확대 등의 전술적 환경조건을 고려하여 화재진압요령이 작성되었음을 확인하였다.

제 3 장 고층 건축물에서의 소화활동

3.1 고층 건축물 화재진압

3.1.1 고층 건축물의 화재 특성

고층 건축물은 그 높이와 형태, 건물 용도 등에 있어 일반 건축물과는 다른 형태의 위험 요인을 안고 있다. 기본적으로 공동주택, 판매시설, 주차장 등 여러 용도가 혼합된 형태와 복잡한 실내 구조 형태를 가지고 있으며, 수직 이동 경로가 길고, 다수의 이용객 또는 재실자가 있다는 특징이 있다. 이를 건축물 구조상 특성, 이용객 또는 재실자의 피난 특성, 소방대의 소방활동 특성을 살펴보면 다음과 같다.

1) 건축물 구조상 특성

건축물 구조상 특성을 살펴보면, 고층 건축물의 저층은 수평공간이 넓은 형태이고, 3~4층 이상에서는 수직 공간이 높은 형태이기 때문에 층별·면적별 방화구획을 확실하게 구축한다면 각 층별로 제연구역 또는 방화구획이 형성되어 해당 층에서 발생한 화재가 다른 층으로 연소 확대되는 일은 흔히 없을 것이다. 그러나 고층 건축물 화재사례를 살펴보면 건물의 외장재(알루미늄 복합판넬, 드라이비트 공법)가 가연성 구조이거나, 개방층에 의한 연소확산, 방화구획 관통부의 흠결 등에 의해 화재가 건물 전체로 연소 확대되었다. 또한 고층 건축물 내의 수평적으로 좁은 실내 공간에서 넓은 공간과 개방감을 느끼고자 최근 저층 부분에는 넓게 개방된 공간(아트리움)을 많이 만들고 있다. 이 공간은 화재 발생 시 급격한 화재의 성장과 연소의 확대, 연기확산의 우려가 높다. 화재 시 개방된 공간에서 발생한 화염이 굴뚝효과로 인해 상부로 쉽게 연소 확대될 수 있다. 이에 따라 급격한 연소 확대로 인하여 인명피해와 재산피해 증가로 나타날 수 있다.



2) 피난 특성

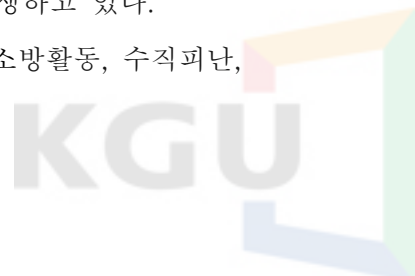
이용객 또는 재실자의 피난 특성을 살펴보면, 고층 건축물의 수직 공간이 긴 형태로 저층에서는 수평적인 피난의 중심이고, 고층으로 올라갈수록 수직적인 피난 중심의 동선이 형성된다. 그러나 최근 고층 건축물의 저층부는 문화 및 집회시설, 다중이용업소 등 이용객 또는 재실자의 밀도가 높은 경우가 대부분이고, 고층부는 오피스텔, 업무용 오피스, 숙박업 등 이용객 및 재실자 밀도가 높지 않은 용도로 사용된다. 고층 건축물 화재 발생 시 대부분의 인명피해나 피난의 위험성 우려는 상대적으로 고층부보다 저층부가 더 높다. 이에 따라 고층부에서 저층부로 피난 활동을 할 경우 저층부의 위험성으로 인해 고층부에서도 위험성이 증가하게 된다.

3) 소방활동 특성

소방대의 소방활동 특성을 살펴보면, 고층 건축물의 구조·용도의 특성상 외부에서의 화재진압을 할 수 없기에 화재진압을 위해서는 소방대원이 건물 내부에 진입하여 화재를 진압하거나 피난자를 이동시키는 등의 소방활동을 해야 한다. 이럴 경우 다수의 이용객 또는 재실자가 화재를 피해 피난활동을 하기에 소방대원의 진입 경로와 중복될 우려가 있고, 저층부에서는 다수의 구획과 넓은 수평 면적을 가지고 있어 화재 발생위치까지 진입하기 어려울 수 있으며, 화재진압을 위해 진입한 소방대원의 안전사고 위험성도 더불어 증가하게 된다.

아울러 고층부에서는 다수의 층을 동시에 진압 활동을 해야 하거나, 대피자 등을 지상층 또는 옥상층으로 이동시켜야 하기에 신속한 내부 위험 요인 파악 및 화재진압이 어려울 수 있다. 또한 소방대에서 보유한 고층용 고가사다리차는 최대 70m 높이로 고가사다리차가 인명구조 가능한 높이 그 이상의 높이에서 화재가 발생하거나 인명구조가 필요할 경우에도 소방장비의 한계성으로 인해 제약이 발생하고 있으며, 고가사다리차를 활용할 수 있는 높이에서도 건축물의 조경, 불법 주차 등으로 인하여 고가사다리차를 전개할 수 없는 경우가 발생하고 있다.

위와 같이 일반 건축물과 고층 건축물의 화재 시 소방대의 소방활동, 수직피난,



동선체계, 연돌효과로 구분하여 일반 건축물과 고층 건축물의 화재진압 실태를 비교하면 <표 3-1>과 같다. 고층 건축물에서는 건축물 높이에 따른 외부 소화활동 및 인명구조 어려움, 내부 소화작업의 한계, 수직 피난로의 증가, 피난 동선 혼잡, 연돌효과에 의한 연소 확대 등의 화재 특성을 확인하였다.

<표 3-1> 소방대의 화재 진압 실태 비교

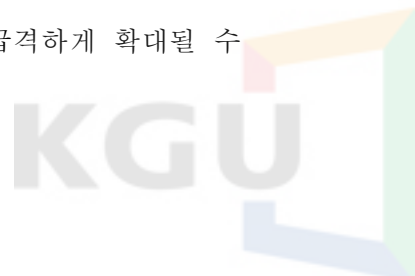
항목	일반 건축물	고층 건축물
소화활동	· 고가사다리 11~16층 도달	· 고가사다리차 도달 불가 · 수관연장 어려움
수직피난	· 계단이용 수직피난 용이	· 계단이용 수직피난시간 오래걸림
동선체계	· 큰 어려움 없음	· 수용인원이 많아 저층부로 내려올수록 피난자와 소방대원간 혼잡예상
연돌효과	· 고려 불필요	· 화염 및 연기 수직확산, 소음발생, 누설 증가 등 반드시 고려 필요

3.1.2 고층 건축물 화재진압의 문제점

고층 건축물에서 화재 발생 시 소방대의 화재진압 활동의 제약과 한계를 확인하고자, 건물 외부 소화활동의 제한, 소방대원 진입 경로의 증가 및 현장활동 시간의 제약, 피난 경로의 중첩, 연소확대 용이성 등 내부 환경, 소방장비의 한계 등의 문제점을 살펴보고자 한다.

1) 건물 외부 소화활동 제한

고층 건축물의 외장재가 대부분 강화유리 및 커튼월의 구조로 건축되어 있어 화재 발생 시 연기 등 연소 생성물을 외부로 배출하기 위한 소방대의 배출 작업에 제한이 발생하며, 건축 구조의 특성상 외벽에 화재가 발생하거나 연소 물질의 높은 발열량으로 인한 외부 출화인 경우 상층부로의 연소가 급격하게 확대될 수



있다. 건물 외벽을 타고 상층부로 연소가 확대될 경우 연소 확대를 방지하기 어렵고 짧은 시간에 화재가 최성기 도달하고 최상층으로 연소가 확대된다.

2) 이동거리의 증가

고층 건축물의 경우 층수가 고층화되는 만큼 수직·수평적 이동거리 및 건물 내부구조의 복잡성이 증가한다. 이에 따라 소방대원이 화재 발생지점에 도착하는 시간이 지체되고, 소방대원의 현장 활동 위험도 상대적으로 증가하게 된다.

3) 화점 접근의 어려움

고층 건축물 화재 시 소방대원에게는 기본적으로 화재 발생 장소까지의 접근시간이 장시간 소요된다는 문제가 있다. 개인안전장비인 공기호흡기 등 기본소방활동장비(25kg)를 착용·휴대하고 현장까지 접근 시 고층으로 올라갈수록 화재진압 활동에 필요한 체력 고갈과 공기호흡기 사용시간 제한으로 신속한 인명구조활동 및 적극적 화재진압 활동이 곤란하다.

4) 피난 활동의 장애

건축물의 용도에 따라 불특정 다수가 이용하는 건물은 피난로를 인식하지 못하여 피난시간이 지체되거나 특정한 피난로로 다수의 인파가 몰려 피난 과정에서 압사 사고 등 예기치 못한 사고가 발생할 가능성이 높다. 고층 건축물의 경우에 옥상층으로 피난하는 이용자와 지상으로 피난하는 이용자의 피난 동선이 서로 겹쳐 피난에 장애가 발생할 수 있다. 또한 소방대원이 화재진압을 위해 현장 진입하는 동선과 이용객 및 재실자의 피난 동선이 겹칠 경우 화재 발생지점까지의 이동시간이 증가되어 소방활동에 어려움이 발생한다.

5) 연기의 수직이동

전선케이블 및 통신선로의 연소로 인하여 다량의 유독가스, 연기 등이 수직으로

이동하여 소방대의 화재진압 활동에 장애가 발생하거나, 급격한 연소확대가 발생할 수 있다. 또한 유독가스에 의한 건물 이용객 및 재실자의 피난에 장애가 발생하고 이로 인한 인명 및 재산피해가 증가할 수 있다.

6) 소방차 통행로 장애

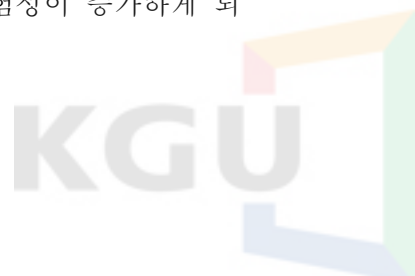
건축물 지상에 조경 및 조형물 등을 설치하는 경우가 대부분으로 이는 소방차 통행 공간을 협소하게 만드는 중요한 요소이다. 또한 소방차 통행로의 폭이 좁고, 소방차 전용구역이 작아 소방차량 진입이 지체되거나 소방대원의 활동을 어렵게 한다. 특히 이사 및 택배 배송 등 일시적인 차량 주·정차로 인하여 통행에 장애가 발생할 가능성과 차량 진입을 막기 위한 블라드 설치 등 장애물에 의해 소방대가 화재 현장까지 진입하는 시간이 지연되어 소방활동을 어렵게 한다.

7) 고가사다리차의 한계

우리나라 소방관서에서 보유 중인 고가사다리차는 70m가 최대 높이이다. 이는 고가사다리차의 도달 범위를 초과할 경우 화재진압 및 인명구조에 제약이 발생하고 소요시간이 증가한다. 또한 고층 건축물 대부분이 거튼월 구조 또는 불박이창으로 된 Tower형태로 공간적으로 폐쇄 구역을 형성하여 화재발생 위치, 연소확대 상황, 피난·대피상황 등을 파악하기 곤란하다. 이에 현장지휘관이 현장상황판단 및 소방대원에게 임무부여 등 제한이 발생해 진압 전술에 한계가 생긴다.

8) 건물 외부 활동 위험성 증가

화재 잔해물 낙하 및 비산에 따른 소방대원 부상, 화재현장 주변통제 범위 확대, 소방장비 파손도 소방활동을 저해하는 요소이다. 이는 소방대원이 현장활동하는 공간을 축소시켜 소방대원의 활동 범위에 제약이 발생한다. 특히 야간의 경우 낙하물 등을 인식하기가 더욱 어려워 소방대원 안전사고의 위험성이 증가하게 되어 소방대의 외부활동을 제한하게 된다.



3.2 고층 건축물의 안전공간

3.2.1 소화활동에서의 안전공간

고층 건축물에서 화재진압의 어려움은 건물의 높이, 규모에 의한 활동의 입체성, 대상물 파악의 곤란성 등이라고 할 수 있다. 또한 다수의 이용객 또는 재실자를 수용하고 있기에 건물 내의 피난 상황 등에 대한 실태 파악이 곤란하다.

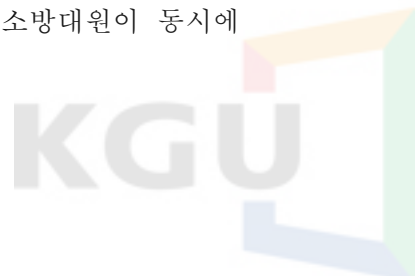
고층 건축물의 건물 높이로 인하여 소방대가 보유한 고가소방사다리차의 전개 높이를 초과한 고층에서 화재가 발생하거나 건물 전층으로 연소가 확대된 경우에는 소방대가 현장 진입하여 화재진압하거나 인명구조를 해야 한다. 고층 건축물 화재진압은 소방대가 현장 진입하여 화재를 완전진화해야 종료되기 때문이다.

이러한 소방대의 활동을 보호하기 위해서는 고층 건축물 내에 안전공간이 필요하다. 소방대의 안전공간으로 활용할 수 있는 장소로는 특별피난계단 부속실과 피난안전구역이 있다.

1) 특별피난계단 부속실

고층 건축물 특정층에서 화재 발생 시에는 소방대의 활동을 위해 특별피난계단 부속실을 소방활동거점으로 활용할 수 있다. 세부적으로 살펴보면, 공기호흡기 예비 용기 및 파괴기구 등 소방활동장비를 보관하고 공기호흡기 사용시간과 공기잔여량을 확인하는 장소로 활용할 수 있다. 이런 특별피난계단 부속실은 화재 장소로부터 상대적으로 안전하며 피난층 또는 지상층으로의 이동이 수월하다는 장점이 있다.

그러나 소방대가 화재진압을 위해 내부 현장으로 진입 시 방화문의 잦은 개폐로 인하여 부속실로 연기가 유입될 가능성이 있으며 특별피난계단을 이용하여 화점층으로 이동함에 따라 건물 이용자의 피난 경로와 중첩되어 피난 활동에 장애가 발생할 수 있다. 또한 부속실 공간의 한계로 인해 다수의 소방대원이 동시에



이용할 수 없으며 소방대원의 휴식공간으로 활용할 수 없다. 아울러 고층 건축물의 특정층 화재 시에 활용할 수 있는 공간으로 화재가 확대된 경우는 특별피난계단 부속실을 소방활동거점으로 활용하기에는 한계가 있다.

2) 피난안전구역

소방대의 안전공간으로 활용할 수 있는 대표적인 시설은 피난안전구역이라 할 수 있다. 현재 경기도 재난현장표준작전절차에서는 화점을 확인한 시점에서 전진지휘소를 화점층 기준 2개층 이하에 설치하고 자원대기소는 화점 직하층에 설치하여 교대인력, 예비 용기, 조명기구 등을 배치하여 운영하게 되어 있다. 그러나 경기도소방학교 신입교육과정 공통교재의 고층 건물 화재진압 전술에서는 화점을 확인한 시점에서 전진지휘소를 직하층에 설치하고, 자원대기소를 전진지휘소 아래층에 설치하게 되어있다.

이렇듯 경기도 재난현장표준작전절차와 경기도소방학교 신입교육과정 공통교재에서는 화점층으로부터 직하층과 화점층 기준 2개층 이하에 대해서 소방대의 안전활동공간으로 제시하고 있지만, 층별 사용 용도에 대한 기준이 다르다.

또한 화점층이 고층인 경우 소방대 진입은 비상용 엘리베이터를 활용하여 화점층을 기점으로 2층 이하까지 이용하고 화점층으로의 진입은 옥내 특별피난계단을 활용하게 되어 있다. 그러나 소방대의 진출입 방향과 대피자의 피난로 동선이 중복될 경우 혼잡이 발생하고 수직 이동거리 증가함에 따라 안전 취약 계층의 피난은 더욱 어려울 것이다. 이는 소방대의 진입 및 활동에 장애가 될 수 있고 안전공간이 확보되지 않을 경우 현장에 진입한 소방대원의 탈출시간 지연, 이동거리 증가 등에 따른 공기호흡기 소모량 증가에 따른 사용 시간 제한으로 인해 안전사고의 위험성이 증가한다.

아울러 준초고층 건축물인 경우 건축물의 전체 층수의 2분의 1에 해당하는 층으로부터 상하 5개층 이내 피난안전구역을 설치해야 하나 국토교통부령으로 정하는 기준에 따라 피난층 또는 지상으로 통하는 직통계단을 설치하는 경우 설치하

지 않을 수 있다. 이럴 경우 피난안전구역이 설치되지 않은 준초고층 건축물의 경우에는 소방대의 안전공간 확보가 더욱 어려울 수 있다.

또한 이러한 기준은 고층 건축물의 특정층에 화재 시 적용되는 사항으로 앞서 살펴본 화재사례와 같이 건물 전체로 연소 확대될 경우에는 대피자와 현장에 진입한 소방대원의 유일한 대피공간 또는 안전공간은 피난안전구역이다.

3.2.2 피난안전구역의 설치기준

피난안전구역은 고층 또는 초고층 건축물, 지하연계 복합건축물에 설치하는 것으로 건물에 화재, 지진 등의 재난이 발생하였을 때 건축물 내의 이용객 또는 거주자, 근무자 등이 대피할 수 있도록 만들어진 구역으로 피난층 또는 지상으로 통하는 직통계단과 직접 연결되는 곳으로 건축물의 피난·안전을 위하여 건축물 중간층에 설치하는 대피 공간을 말한다. 이는 건축법상 피난층에 준하는 것으로 고층·초고층 건축물에 많은 사람들이 몰리고, 피난시간이 길어짐에 따라 지상으로 대피하는 동안 안전을 확보하고 일시적으로 체류할 수 있는 안전공간을 의미하기도 한다. 관련법령으로는 「건축법」과 「초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법」, 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」이 있다.

1) 설치층 기준

고층 건축물에서 피난안전구역 설치층에 관한 규정을 「건축법」과 「초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법」에서 확인한 바 <표 3-2>과 같다.



<표 3-2> 설치층의 법령기준

준고층 건축물	초고층 건축물	16층이상 29층이하 지하연계 복합건축물
전체 층수의 2분의 1에 해당하는 층으로부터 상하 5개층 이내 피난안전구역을 설치(피난층 또는 지상으로 통하는 직통계단을 설치하는 경우 설치하지 않을 수 있다)	피난층 또는 지상으로 통하는 직통계단과 직접 연결되는 피난안전구역을 지상층으로부터 최대 30개 층마다 1개소 이상	상층별 거주밀도가 제곱미터당 1.5명을 초과하는 층은 해당 층의 사용형태별 면적의 합의 10분의 1에 해당하는 면적을 피난안전구역으로 설치할 것

2) 피난안전구역 구조 및 설비기준

「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」 제8조의2(피난안전구역의 설치기준)에 따르면 피난안전구역은 해당 건축물의 1개층을 대피공간으로 하며, 대피에 장애가 되지 아니하는 범위에서 기계실, 보일러실, 전기실 등 건축설비를 설치하기 위한 공간과 같은 층에 설치할 수 있다. 또한 피난안전구역에 연결되는 특별피난계단은 피난안전구역을 거쳐서 상·하층으로 갈 수 있는 구조로 설치하여야 한다. 피난안전구역의 구조 및 설비기준은 <표 3-3>과 같다.

<표 3-3> 피난안전구역의 구조 및 설비기준

피난안전구역의 구조 및 설비기준	
①	피난안전구역의 바로 아래층 및 위층은 「녹색건축물 조성 지원법」 제15조 제1항에 따라 국토교통부장관이 정하여 고시한 기준에 적합한 단열재를 설치할 것. 이 경우 아래층은 최상층에 있는 거실의 반자 또는 지붕 기준을 준용하고, 위층은 최하층에 있는 거실의 바닥 기준을 준용할 것
②	피난안전구역의 내부마감재료는 불연재료로 설치할 것
③	건축물의 내부에서 피난안전구역으로 통하는 계단은 특별피난계단의 구조로 설치할 것
④	비상용 승강기는 피난안전구역에서 승하차 할 수 있는 구조로 설치할 것
⑤	피난안전구역에는 식수공급을 위한 급수전을 1개소 이상 설치하고 예비전원에 의한 조명설비를 설치할 것
⑥	관리사무소 또는 방재센터 등과 긴급연락이 가능한 경보 및 통신시설을 설치할 것
⑦	별표 1의2에서 정하는 기준에 따라 산정한 면적 이상일 것
⑧	높이는 2.1미터 이상일 것
⑨	「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」 제14조에 따른 배연설비(이하 “배연설비”라 한다)를 설치할 것
⑩	그 밖에 소방청장이 정하는 소방 등 재난관리를 위한 설비를 갖추는 것

3) 피난안전구역 내 소방시설 설치기준

피난안전구역의 소방시설 설치기준은 「초고층 및 지하연계 복합건축물 재난관리에 관한 특별법」에서 다음 <표 3-4>과 같이 규정하고 있다.

<표 3-4> 피난안전구역의 소방시설 설치 종류

소화설비	경보설비	피난설비	소화활동설비
소화기구, 옥내소화전설비, 스프링클러설비	자동화재 탐지설비	방열복, 공기호흡기, 인공소생기, 피난유도선, 피난안전구역으로 피난을 유도하기 위한 유도등·유도표지, 비상조명등, 휴대용비상조명등	제연설비, 무선통신보조설비



이중 피난설비와 소화활동설비의 주요 항목의 설치기준을 살펴보면 <표 3-5>과 같다.

<표 3-5> 피난설비와 소화활동설비 설치기준

피 난 설 비	인명 구조 기구	방열복 인공소생기	○ 각 2개 이상 비치
		공기호흡기	○ 45분 이상 사용할 수있는 성능의 공기호흡기(보조마스크를 포함한다)를 2개 이상 ○ 다만, 피난안전구역이 50층 이상에 설치되어 있을 경우에는 동일한 성능의 예비용기를 10개 이상 비치
	피난유도선		○ 피난안전구역이 설치된 층의 계단실 출입구에서 피난안전구역 주 출입구 또는 비상구까지 설치 ○ 계단실에 설치하는 경우 계단 및 계단참에 설치 ○ 피난유도 표시부의 너비는 최소 25mm 이상으로 설치 ○ 광원점등방식(전류에 의하여 빛을 내는 방식)으로 설치하되, 60분 이상 유효하게 작동할 것
	비상조명등		○ 상시 조명이 소등된 상태에서 그 비상조명등이 점등되는 경우 각 부분의 바닥에서 조도는 10lx 이상이 될 수 있도록 설치
	휴대용비상조명등		○ 산정된 재실자 수를 말한다)의 10분의 1 이상 ○ 지하연계 복합건축물에 설치된 피난안전구역은 피난안전구역이 설치된 층의 수용인원(영 별표 2에 따라 산정된 수용인원을 말한다)의 10분의 1 이상 건전지 및 충전식 건전지의 용량은 40분 이상 유효하게 사용할 수 있는 것 ○ 피난안전구역이 50층 이상에 설치되어 있을 경우의 용량은 60분 이상
소 화 활 동 설 비	제연설비		○ 피난안전구역과 비 제연구역간의 차압은 50pa(옥내에 스프링클러설비가 설치된 경우에는 12.5Pa) 이상 ○ 피난안전구역의 한쪽면 이상이 외기에 개방된 구조의 경우에는 설치하지 아니할 수 있다.

3.2.3 특별피난계단의 설치기준 및 소방대의 활용

피난은 화재 등 재해 발생 시 안전한 장소로 이동하는 행위를 말하며, 이용객 및 재실자의 피난 시 경로는 화점층 거실 → 복도 → 계단 → 지상 또는 피난층 → 옥외로 진행된다. 여기서 이용객 및 재실자의 피난통로와 소방대원 안전공간으로 사용하는 장소는 계단이다. 계단의 유형은 ①직통계단 ②피난계단 ③특별피난계단으로 규정되어 있다. 관련법령으로는 「건축법」과 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」이 있다.

이에 특별피난계단의 설치 대상 및 구조를 살펴보고, 소방대의 활동적 측면에서의 활용성과 문제점을 확인하였다.

1) 특별피난계단 설치 대상

특별피난계단은 피난계단에 화염과 질식 또는 피난의 장애요인이 되는 연기의 유입을 방지하고 유입된 연기를 유효하게 배출시킬 수 있도록 전실을 설치한 피난계단이다. 설치 대상으로는 11층 이상의 건축물(공동주택 16층 이상), 지하 3층 이상의 층, 판매시설의 용도로 사용하는 층으로부터의 직통계단은 그중 1개소를 특별피난계단으로 설치해야 한다. 다만 바닥면적이 400㎡미만인 층과 편 복도식 공동주택은 제외된다.

2) 특별피난계단 구조

특별피난계단의 가장 큰 구조적 특징은 부속실을 거쳐서 계단실과 연결된다는 점이다. 피난 동선이 화점층 거실 → 복도 → 부속실 → 계단 → 지상 또는 피난층 → 옥외로 변경된다. 또한 특별피난계단의 구조는 크게 부속실이 실내에 위치한 경우와 외부(노대, 발코니)에 설치하는 경우로 구분되어 진다.

특별피난계단의 구조기준은 「건축물의 피난·방화구조 등의 기준에 관한 규칙」에서 다음 <표 3-6>과 같이 규정하고 있다.

<표 3-6> 특별피난계단의 구조

특별 피난계단의 구조
가. 건축물의 내부와 계단실은 노대를 통하여 연결하거나 외부로 향하여 열 수 있는 면적 1제곱미터 이상인 창문(바닥으로부터 1미터 이상의 높이에 설치한 것에 한한다) 또는 「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」 제14조의 규정에 적합한 구조의 배연설비가 있는 면적 3제곱미터 이상인 부속실을 통하여 연결할 것 나. 계단실·노대 및 부속실(「건축물의 설비기준 등에 관한 규칙」 제10조제2호 가목의 규정에 의하여 비상용승강기의 승강장을 겸용하는 부속실을 포함한다)은 창문등을 제외하고는 내화구조의 벽으로 각각 구획할 것 다. 계단실 및 부속실의 실내에 접하는 부분(바닥 및 반자 등 실내에 면한 모든 부분을 말한다)의 마감(마감을 위한 바탕을 포함한다)은 불연재료로 할 것 라. 계단실에는 예비전원에 의한 조명설비를 할 것 마. 계단실·노대 또는 부속실에 설치하는 건축물의 바깥쪽에 접하는 창문등(망이 들어 있는 유리의 불박이창으로서 그 면적이 각각 1제곱미터이하인 것을 제외한다)은 계단실·노대 또는 부속실외의 당해 건축물의 다른 부분에 설치하는 창문등으로부터 2미터 이상의 거리를 두고 설치할 것 바. 계단실에는 노대 또는 부속실에 접하는 부분 외에는 건축물의 내부와 접하는 창문등을 설치하지 아니할 것 사. 계단실의 노대 또는 부속실에 접하는 창문등(출입구를 제외한다)은 망이 들어 있는 유리의 불박이창으로서 그 면적을 각각 1제곱미터 이하로 할 것 아. 노대 및 부속실에는 계단실외의 건축물의 내부와 접하는 창문등(출입구를 제외한다)을 설치하지 아니할 것 자. 건축물의 내부에서 노대 또는 부속실로 통하는 출입구에는 60+방화문 또는 60분 방화문을 설치하고, 노대 또는 부속실로부터 계단실로 통하는 출입구에는 60+방화문, 60분방화문 또는 영 제64조제1항제3호의 30분 방화문을 설치할 것. 이 경우 방화문은 언제나 닫힌 상태를 유지하거나 화재로 인한 연기 또는 불꽃을 감지하여 자동적으로 닫히는 구조로 해야 하고, 연기 또는 불꽃으로 감지하여 자동적으로 닫히는 구조로 할 수 없는 경우에는 온도를 감지하여 자동적으로 닫히는 구조로 할 수 있다. 차. 계단은 내화구조로 하되, 피난층 또는 지상까지 직접 연결되도록 할 것 카. 출입구의 유효너비는 0.9미터 이상으로 하고 피난의 방향으로 열 수 있을 것



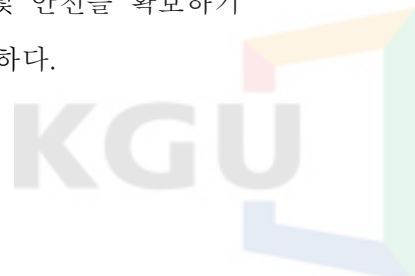
3) 소방대의 활용성과 문제점

특별피난계단 부속실 또는 피난계단의 계단실을 소방대 활동을 위해 소방활동 거점, 자원대기소, 소방대원 휴식공간으로 활용할 수 있다. 소방활동거점의 경우 화점층을 진입하기 위한 안전공간으로서의 활용할 수 있으며, 자원대기소로 활용 시에는 화재진압활동을 지원하기 위한 소화활동장비를 보관하거나 공기호흡기 용기의 교체, 잔여량 확인 등을 위한 장소로 활용할 수 있다. 또한 화재진압활동을 위해 투입된 소방대원이 일정시간 활동 후 휴식할 수 있는 공간으로도 활용할 수 있다.

그러나 소방대가 비상용 승강기 또는 피난용 승강기를 이용하여 화점층 2개층 이하에서 하차한 후 특별피난계단을 이용하여 화점층으로 이동하게 되는데 이 경우 대피자와의 피난 경로의 중첩, 피난 인원에 따른 혼잡 등으로 피난활동에 장애가 발생할 수 있으며, 대피자가 비상용 승강기 또는 피난용 승강기를 사용할 경우 소방대의 현장 접근시간은 지체되게 된다. 또한 대피자들에 의해 비상용 승강기 또는 피난용 승강기가 여러층에 정지할 경우에도 승강기를 활용할 수 없다. 이 경우 소방대는 특별피난계단을 통해 진입할 수 밖에 없다. 또한 소방대의 화재진압을 위한 방화문 개방 또는 피난자의 방화문 개방 등으로 인하여 부속실 또는 계단실로 연기가 유입될 수 있으며, 계단실 및 부속실의 공간적 한계로 인해 많은 소방대원 투입을 위해 대기하거나 휴식을 취할 수 없다. 아울러 공기호흡기 용기 등 다수의 소방활동장비 역시 보관하기 어렵다.

이렇듯 고층 건축물의 특정층에서 화재 발생 시에는 특별피난계단 부속실 또는 계단실을 소방활동거점, 자원대기소, 소방대원 휴식공간 등으로 활용할 수 있지만, 건물 전체로 연소확대되거나 여러층에 연소확대된 경우에는 특별피난계단의 부속실 또는 계단실을 소방활동거점, 자원대기소, 소방대원 휴식공간으로 활용할 수 없다. 따라서 현장에 진입하는 소방대원의 현장활동에 제약이 발생하게 된다.

이에 따라 현장에 진입하는 소방대원의 현장활동 지속시간 및 안전을 확보하기 위해서는 공기호흡기 용량과 소방대원의 안전공간 확보가 필요하다.



3.3 소방대의 고층 건축물 소화활동

3.3.1 소방대원의 보호장비

소방대원의 호흡기, 피부 보호장비는 「소방장비관리법 제23조」에 따라 공기호흡기(면체, 용기, 등지게, 보조마스크로 구성 된 것), 방화복, 안전모, 보호장갑, 안전화, 방화두건을 지급하여 각종 재난 현장에서 현장의 위험요소로부터 소방대원의 안전을 확보하여 원활한 현장활동을 할 수 있도록 지급·관리 하고 있다. 개인 보호장비는 모든 화재에 기본적으로 적용하는 소방대의 소화활동장비이다.

1) 공기호흡기

고층 건축물 화재진압 및 인명구조 활동을 위해서는 소방대원의 안전이 최우선 확보되어야 한다. 그중 산소결핍 등 유독가스 체류 장소로부터 일정시간 착용자의 신체를 보호하는 장비인 공기호흡기가 가장 중요하다 할 수 있다. 공기호흡기는 <그림 3-1>과 같이 공기호흡기 용기, 등지게, 면체, 보조필터로 구성되어 있다.



<그림 3-1> 공기호흡기 구성요소

등지게식으로 되어 있는 실린더에 고압으로 (구형 150kg/cm², 신형 300kg/cm²) 충전된 공기가 일정한 압력(8kg/cm²)으로 공급되어 면체 내에는 20mmH₂O (약0.027kg/cm²)로 유지되게 되어 있다. 공기호흡기 용기는 <표 3-7>과 같이 30분용, 45분용,

60분용, 90분용이 있으며, 경기도 소방관서에서는 45분용을 사용하고 있다.

<표 3-7> 공기호흡기 용기 현황

구분	30분용	45분용	60분용	90분용 (45분+45분)
사진				
내용적	4.7L	6.8L	9L	13.6L
충전량	1,457L (충전압력 310bar)	2,040L (충전압력 300bar)	2,790L (충전압력 310bar)	4,080L (충전압력 300bar)
중량	3.2kg (충전시 5kg)	3.6kg (공기충전시 6.1kg)	5kg (공기충전시 8.4kg)	7.2kg (공기충전시 12.2kg)

2) 방화복

방화복은 <그림 3-2>과 같이 아라미드 계통 등 내열성의 섬유재질에 열 방화성 및 방수성을 보강하여 제작된 것으로 소방대원의 신체를 보호함을 목적으로 한다. 방열복보다는 내열성이 떨어지지만 일반적인 화재현장 활동에 소방대원이 일상적으로 착용하는 필수 보호복이다.



<그림 3-2> 특수방화복

3) 안전모

안전모는 화재현장에서 물체 낙하물이나 충격 및 열 등으로부터 소방대원의 머리 부위를 보호해 준다. <그림 3-3>과 같이 모체는 방탄용으로 쓰이는 난연·내열성의 폴리카보네이트 재질로서 가볍고 착용감이 좋으며 겉면은 UV 코팅 처리로 긁힘 방지 기능을 갖추었다. 내측면에는 무선 송·수신장치가 설치되어 공기호흡기 면체를 착용한 상태에서도 무선 송·수신이 가능하며, 외부의 충격을 완화해주는 충격 흡수용 내장재가 부착되어 있다.



SCA1205P



SCA1205RD

<그림 3-3> 방화헬멧

4) 보호장갑, 안전화, 보호두건

보호장갑·안전화·보호두건은 소방활동 시 화열과 못 등 날카로운 물체 등을 밟았을 때 등 소방대원의 외부로 노출된 부위인 목 부위, 손, 발의 신체부위를 보호해 주는 보호장비로 <그림 3-4>과 같다.



보호장갑



안전화



보호두건

<그림 3-4> 보호장갑, 안전화, 보호두건

3.3.2 소방대의 대피유도

건축물의 화재 시 소방대의 건물 인명검색 및 대피유도를 살펴보기 위해 경기도 재난현장표준작전절차 및 경기도소방학교 신입교육과정 소방전술 교재를 통해 조사하였다. 조사는 건물 내부 검색, 복도와 통로, 검색 완료 표시, 대피유도 방법에 대하여 확인하였다. 이에 건물 인명검색 및 대피유도활동을 하기 위해서는 소방대원이 개인보호장비를 필히 착용 후 활동해야 함을 확인하였다.

1) 건물 내부 검색

경기도 소방관서에서는 건축물 화재 시 건물 내부 인명검색을 3차에 걸쳐 검색하도록 하고 있다. 검색 절차는 1차 중점장소(화재층, 직상층, 최상층) → 2차 정밀검색(건물전체) → 3차 반복확인 → 관할센터 최종확인으로 실시한다.

1차 검색은 화재가 진행되는 도중에 검색 작업을 진행하는 것으로 생명의 위험에 처한 사람을 신속하게 발견하는 것이다. 검색을 위해서는 반드시 2명 이상의 대원이 조를 이루어 검색하고, 건물 내부 환경에 따라 <그림 3-5>과 같이 포복자세를 취하여 검색한다.



정전이나 짙은 연기로 시야가 확보되지 않을 때에는 자세를 낮추고 벽을 따라 진행하며 계단에서는 자세를 낮추고 손으로 확인하며 나아간다.

<그림 3-5> 요구조자 검색 방법

또한 검색이 진행되는 동안 연기와 화재의 확산을 막기 위해서 아직 불이 붙지

많은 장소의 문은 닫는다. 생존자들이 쉽게 빠져나오고 걸려 넘어지는 위험을 줄이기 위해서 계단이나 출입구 복도에 필요하지 않은 장비를 놓지 않도록 한다.

2차 검색은 화재가 진압되어 위험 요인이 다소 진정된 후에 진행하는 것으로 또 다른 생존자를 발견하고 혹시 존재할지도 모르는 사망자를 확인하는 작업이다. 화재진압과 환기작업이 완료되면 2차 검색을 위한 대원들을 진입시킨다. 1차 검색 때에 발견하지 못한 공간이나 위험성을 확인하기 때문에 소홀히 할 수 없는 작업이다. 3차 검색은 2차 검색을 반복하는 작업이다.

2) 복도와 통로

중앙 복도를 사이에 두고 방이나 사무실이 늘어서 있다면 검색조는 복도의 양쪽 모두를 검색할 수 있도록 편성한다. 2개의조를 편성하면 각 조는 복도의 한쪽 면을 담당할 수 있다. 만약 한 조밖에 편성할 수 없다면 복도의 한쪽 면을 따라가며 검색한 후 다른 쪽을 따라 되돌아오며 검색하는 방법을 택한다.

3) 검색 완료 표시

검색중이거나 검색이 완료된 장소를 표시하는 방법으로는 <그림 3-6>과 같이 공통되게 표시하는 방법이 있다.



<그림 3-6> 탐색 장소의 표시방법

더불어 경기도 소방관서에서는 <그림 3-7>과 같이 사용한다. 그 어떤 방법이든지 검색 작업에 참여하는 전체 소방대원이 명확히 알고 있어야 한다. 또한 소방대원이 길을 잃었을 때 그들을 찾기 위한 좋은 단서가 될 수 있다.



<그림 3-7> 경기도 인명검색 표시방법

4) 소방대원의 대피유도

소방대원이 인명검색을 통해 인명구조 및 대피유도를 실시할 경우 연기가 있는 공간을 이동할 때는 공기호흡기 보조마스크를 활용하여 호흡용 공기를 구조자(대피자)에게 공급한다. 이는 <그림 3-8>과 같이 소방대원이 사용하고 있는 공기호흡기 용기를 2명(소방대원, 구조자)이 함께 사용하는 것이다. 이런 경우 공기호흡기 사용시간이 급격히 줄어들게 되어 공기호흡기 용량 제한과 수직 이동에 따른 소방대원과 대피자의 안전사고 우려가 증대된다.



<그림 3-8> 보조마스크 착용

3.3.3 소화활동의 제한요건

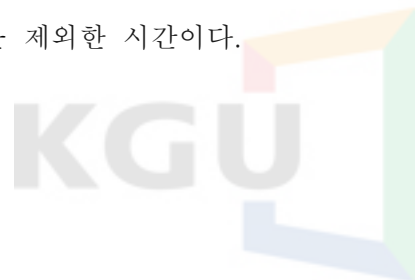
1) 공기호흡기의 사용시간

경기도 소방에서 공기호흡기 용기의 경우 진압대원에게는 2개를 지급하고 내근 및 구급대원 보유 용기는 통합관리 되어 별도의 예비 용기로 관리되고 있다. 통합 관리되고 있는 용기의 경우 장시간 화재 현장 활동 시 예비 용기 수급 지연에 따른 현장 활동에 차질이 발생하기 전 일시에 공기호흡기 용기의 대량 지원을 통해 재난 대응력 강화를 위해 각 소방관서별로 관리되고 있다. 이에 따라 경기도 소방에서는 24,185개의 공기호흡기 용기 중 4,066개는 각 소방관서별로 통합관리 되고 있다. 통합관리 되는 용기 외 용기는 진압대원에게 지급되었으며, 펌프차·물탱크차 등 소방차량별로 용기 비치함에 예비 용기를 비치하고 있다. 소방차량별 용기 비치 가능 개수는 차량에 따라 4~10개를 적재하고 있다.

하지만 현장에 진입하는 소방대원은 45분용 공기호흡기만 착용하여 진입하고 있으며, 공기호흡기 소모 정도에 따라 용기를 교체하기 위해서는 소방차량 또는 자원대기소가 설치된 위치로 이동해서 교체해야 한다.

일반적으로 건강한 성인은 분당 12회~20회의 호흡수를 나타내며 1회 호흡에 들어 마시는 공기량은 성인 남성의 경우 평균적으로 약 650ml, 여성의 경우 약 500ml 정도이다. 격렬한 운동이나 활동을 하게 되면 평소보다 혈압과 심박수가 상승하며 더 많은 호흡을 하게 된다. 이는 혈액 내에 있는 이산화탄소를 호흡기를 통해 산소와 교환하여 배출하기 위함이다. 특히 소방대원이 무거운 개인보호장비를 착용하고 소방활동을 할 시에는 긴장도가 높은 작업을 하므로 일반적인 공기 소모량에 비해 공기 소모량이 많아지게 된다. 또한 소방대원 개인의 신체적 능력과 호흡의 숙련도, 긴장도 등 여러 원인에 의해 소모되는 공기량이 다르게 나타나며, 공기호흡기의 사용 시간에서 차이가 발생하게 된다.

현재 경기도 소방관서에서 보유중인 45분용 공기호흡기 용기의 경우 평상시 41분 정도를 사용할 수 있는데 이는 소방대원의 탈출 소요시간을 제외한 시간이다.

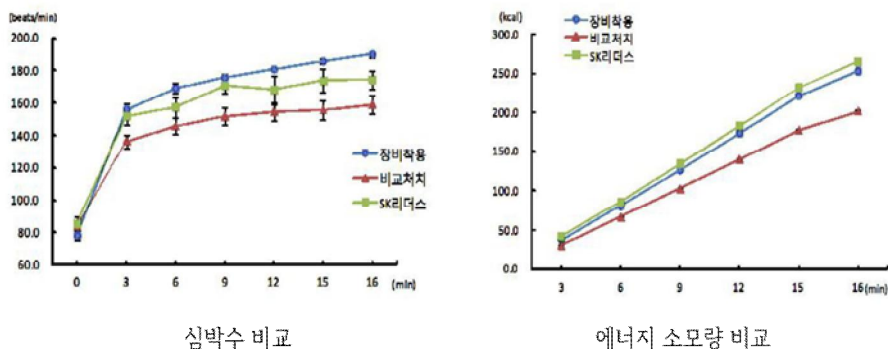


화재 시에는 현장 활동에 따른 공기 소모량 증가로 평상시 사용시간 보다 줄어들게 된다. 또한 앞서 살펴본 바와 같이 건축물 화재 시 평균 화재 완전진화 소요시간이 43분 소요되고 있어 현장 진입 소방대원의 경우 공기호흡기 용기를 1개 이상 교체해야 안전하게 화재를 완전진화 할 수 있는 실정이다.

2) 소방대원의 체력적 부담

고층 건축물 화재 시 비상용 또는 피난용 승강기를 탑승 후 화점 2개층 이하에서 하차 후 계단을 통해 화점층에 진입하거나, 피난안전구역 내 비상용 승강기를 이용하여 진입하는 방법이 소방대원의 체력과 소방활동에 필요한 에너지를 비축하는데 효과적이다. 그러나 이용객 및 재실자의 피난 동선과의 중첩, 연기의 수직 이동에 따른 위험성 등에 따라 승강기 이용에 제한이 발생하게 된다.

초고층 건물 화재 시 소방대원의 현장 접근성에 대한 연구 결과를 보면 개인보호장비 착용 후 1차 고층 건축물 진입실험(SK 리더스 뷰 57층, 방화복, 공기호흡기, 도끼, 탐조등, 방수모를 착용 후 등반)과 57층까지의 올라간다는 가정하에 2차 화재 가정 실험(트레드밀 구성) 및 3차 비교처치 실험(반바지, 반팔)을 실시한 결과 <그림 3-9>과 같이 나타났다.



<그림 3-9> 체력소모량 측정 결과

첫째, 심박수를 비교한 바 1차 175회/분, 2차 190회/분을 기록하였는데, 이는 고강도 트레이닝에 해당되어 심장에 부하를 초래할 수 있는 심박수로 나타났다.

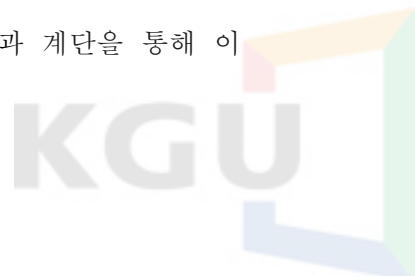
둘째, 에너지 소모량을 비교한 바 진입시간 16분에 도달할 경우 1차 264.7 kcal/min, 2차 252.9 kcal/min를 기록하였는데, 이는 마라톤 선수가 16km/h의 속도로 15분(15.6 kcal/min)을 달린 에너지 소모량과 맞먹는 수준으로 확인되었다[2].

이러한 연구 결과에 의하면 소방대원이 고층으로 올라갈수록 체력적 부담으로 인해 인명구조 및 화재진압, 대피유도 등 소방활동을 지속할 수 없게 만든다. 또한 건물의 화점층에 대한 정보 파악 지연과 화점 발견시간 지체, 무선통신체계의 혼선, 구조대상자 위치 파악 어려움 등 각종 현장활동 장애요인이 더해 질 경우 소방대원의 체력적 부담은 더욱 증가하게 될 것이다. 또한 소방대원이 개인보호장비를 착용하여 현장 진입 후 화재진압 및 구조활동을 하다가 공기호흡기 용기 교체를 위해 지상층으로 내려오는 과정을 반복하게 될 경우 체력적 부담으로 인하여 현장활동에 제약이 발생하고 소방대원 안전사고의 위험도 증가하게 된다.

이와 같은 문제를 해결하기 위해서는 소방대원의 이동거리 최소화를 통한 체력적 부담을 완화해야 한다. 따라서 화점층 이하 층에 자원대기소가 설치되기 전에는 고층 건축물 피난안전구역으로 이동하여 공기호흡기 용기를 새로 교체하여 이동거리를 최소화하거나, 고층 건축물 화재진압용 대용량 용기를 착용하여 현장활동 시간을 확보하는 것이 현장 진입 소방대원의 체력적 부담을 완화 시킬 수 있을 것이다.

3.4 공기호흡기 예비 용기 확보 필요성

고층 건축물 화재 시 소방대원이 건축물 내부로 진입하여 화재를 진압하는 것이 가장 효과적인 방법이다. 소방대원이 고층 건축물 내부로 진입하는 방법으로는 피난용 승강기 또는 비상용 승강기를 이용하여 이동하는 방법과 계단을 통해 이



동하는 방법이 있다. 그러나 피난용 승강기 또는 비상용 승강기의 경우 해당 고층 건축물의 이용자 대피에 사용될 수 있고, 승강기 내부 간힘 등의 사고 발생 우려가 있다. 따라서 소방대의 경우 최우선적으로 계단을 통해 진입하는 것을 고려해야 한다.

이에 소방대의 공기호흡기 소모량과 용기 관리, 재충전 시기에 대하여 경기도 화재발생 현황 통계와 경기도소방학교 신입교육과정 소방전술 교재를 통해 조사하였다. 조사한 바 공기호흡기 예비 용기 확보의 필요성과 용기 관리의 체계화가 필요함을 확인하였다.

3.4.1 공기호흡기 소모량

최근 5년간 경기도 화재발생 현황 통계를 살펴보면, 화재발생에서부터 화재 완전 진화시간은 평균 43분으로 확인되었으며, 또한 경기도 소방관서에서 보유하고 있는 공기호흡기 용기의 대부분은 45분용 (300bar, 2,040ℓ)으로 이는 <그림 3-10>과 같이 공기호흡기 사용 가능시간 산출공식을 적용하여 사용시간을 계산하였을 경우 탈출 소요압력을 제외한 평상시 기준 41분을 사용할 수 있다.

$$\text{사용가능시간(분)} = \frac{[\text{충전압력(kgf/cm}^2\text{)} - \text{탈출소요압력(kgf/cm}^2\text{)}] \times \text{용기용량(ℓ)}}{\text{분당 호흡량(ℓ/분)}}$$

충전압력 300kgf/cm²의 6.8ℓ 용기를 사용하여 경보 벨이 울릴 때까지 사용할 경우, 활동 대원이 매분 40ℓ의 공기를 소비한다고 하면 다음 계산에 의하여 사용가능 시간을 판단할 수 있다.

$$\text{사용가능시간(분)} = \frac{(300 - 55) \times 6.8}{40} = \text{약 41(분)}$$

- 탈출소요압력은 경보 벨이 울리는 압력(신형 SCA680의 경우 55kgf/cm², 구형은 35kgf/cm²=경보개시압력 30kgf/cm²+오차범위 5kgf/cm²)으로 산출하기 때문에, 탈출경로가 긴 경우 그에 따른 여유시간이 더 필요하다.
- 공기소비량은 훈련 시 등 비교적 가벼운 활동을 한 경우의 일반적인 소비량이고 각 개인의 활동 강도, 긴장도, 호흡방법 등에 따라 달라지므로 사전에 파악해 두어야 한다.

<그림 3-10> 공기호흡기 사용 가능시간 산출공식



아울러, 소방대원의 경우 화재 완전진화 시간보다 공기호흡기 사용 가능시간이 2분이 적어 화재 진압활동 중에 공기호흡기 용기를 교체 후 재 진입하거나, 현장 활동 여건 상 호흡에 문제가 없는 안전한 환경일 경우 공기호흡기를 제거 후 화재를 진압해야 한다. 또한 화재 진압활동 시 공기 소모량은 활동 강도, 긴장도 등이 증가함에 따라 공기 소모량이 증가하기 때문에 실질적으로 공기호흡기를 사용할 수 있는 시간은 더욱 줄어들게 된다.

이에 따라 현장 진입 소방대원의 체력적 부담 완화와 소방활동 시간 확보, 소방대원의 안전확보 등을 위해 고층 건축물 화재 시 공기호흡기 용량이 확보되어야 한다. 또한 고층·초고층 건축물의 경우 계단을 통한 현장진입이 우선되기 때문에 계단오르기를 통한 공기호흡기 소모량 측정이 필요하다.

3.4.2 소방 선착대의 용기 사용량

고층 건축물 화재 대응기술 편람에 따르면 현재 경기도 소방대의 출동 현황을 선착대, 후착대, 구조대의 임무별로 확인하고, 선착대와 구조대의 1회 교체 수량을 조사하였다. 각 출동대별 임무를 확인하면 다음과 같다.

첫째, 선착대의 주요 역할은 다음과 같다.

< 화재진압대원 >

- 건축물 화점위치, 화재규모 및 인명대피여부 등 파악보고
- 진입로, 화점위치, 엘리베이터 이용가능여부, 비상엘리베이터, 비상계단 이용가능 여부 파악 보고
- 화점층 화재진압 및 인명대피 유도 주력
- 화점위치에 접근시 여유수관, 관창, 파괴장비 등을 소지
- 화점층의 창문파괴는 산소유입으로 연소확대우려로 각별히 주의
- 초기 일반 엘리베이터 또는 비상용 엘리베이터 이용가능 시 화점층 아래 2층까지 이동하고 직하층에서 수원을 확보하여 진입



< 물탱크 차량 >

- 연결송수구 점령하여 송수가능 압력으로 송수
- 연결송수관, 스프링클러 송수구에 수관을 2~3분 연장하여 후착대 차량 접근시 송수가능 토록 조치

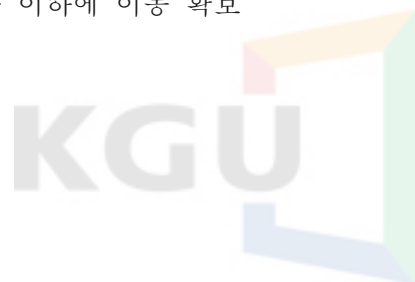
둘째, 후착대의 주요 역할은 다음과 같다.

- 인명구조 및 인명대피 유도, 화재진압 지원
- 화점아래 2층에 예비용기 및 여유수관 등 이동 확보 조치
- 피난계단에 연기가 유입됐을 시 최상층으로 접근해서 최상층 출입문 개방 셋째, 구조대의 주요 역할은 다음과 같다.

- 인명구조 우선순위
 - 어린이 → 노인 및 장애인 → 여자 → 남자
 - 중상자 → 경상자 → 정상인 → 사망자 → 부분사체
- 인명구조·검색 순 : 화재층, 화재직상층(직상 4개층), 위험예상층, 최상층
- 신속한 인명검색 및 인명구조를 위해 층별 인명검색 완료 시
무전보고 및 1차 인명검색 완료 표시(스티커, 빨간리본 등)
- 막다른 통로, 엘리베이터, 화장실, 계단, 침실, 피난기구가 설치되어 있는
부근 집중 검색
- 구조대원 및 후착 출동대가 중복해서 인명검색하지 않도록 전파

위와 같이 선착대의 펌프차와 탱크차 탑승인원으로 살펴보면 펌프차의 경우 5명이 탑승하고 세부 임무는 현장지휘관 1명, 운전원 1명, 화재진압대원 3명이다. 탱크차의 경우 2명이 탑승하고 운전원 1명, 화재진압대원 1명으로 구성된다. 이에 따라 선착대의 현장 진입 소방대원은 총 4명으로 구성되며, 2인 1조의 2개팀이 편성된다.

후착대의 경우 펌프차와 탱크차, 특수차 등 소방차량 편성에 따라 출동인원 및 차량이 유동적이다. 후착대의 임무는 예비 용기를 화점층 2개층 이하에 이동 확보 하도록 하고 있어 용기 사용량 산정에서는 제외하였다.



구조대의 경우 구조공작차와 장비운반차의 탑승인원으로 살펴보면 구조공작차의 경우 4명이 탑승하고, 장비운반차는 2명이 탑승한다. 구조대의 임무는 인명구조 최우선이기 때문에 선착대와 같이 현장에 진입하게 된다.

이를 선착대와 구조대 현장 진입 소방대원을 나타내면 <표 3-8>과 같다.

<표 3-8> 화재 초기 현장 진압대원 현황

구분	계	선착대		구조대	
		펌프차	탱크차	구조공작차	장비운반차
인원	10	3	1	4	2

위 <표 3-8>과 같이 총 10명이 화재 초기 현장에 진입하게 된다. 고층 건축물 특성상 고층에서 화재진압 및 인명구조를 실시할 경우 현장 활동시간이 감소하게 된다. 이는 후착대에 의해 공기호흡기 예비 용기가 이동 조치 완료될 시점까지 현장 활동 시간 연장에 필요한 예비 용기가 이동 조치 될 수 있을지 확신할 수 없는 상황이다. 또한 전진지휘소 또는 자원대기소를 화점층 이하 직하층, 2개층 이하에 설치하기까지 시간이 소요되기 때문에 현장 활동에 필요한 공기호흡기 예비 용기가 미배치될 수 있다.



제 4 장 소방대원의 공기호흡기 소모량 분석 및 용량 확보 방안

4.1 지역별 소방대원 측정 결과 분석

지역별 소방관서에서 실시한 고층 건축물 계단오르기 실험을 통한 공기호흡기 소모량, 생체징후(맥박, 산소포화도) 측정 결과를 분석하였다. 공기호흡기 소모량의 경우 45분용 용기의 충전(완충-300kgf/cm² 이하)한 상태에서 일정시간 동안 소모된 압력을 측정하는 것으로 소모된 압력이 많을수록 공기호흡기 사용시간은 줄어든다.

4.1.1 경기 군포 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석

경기 군포소방서에서는 고층 건축물 화재 등에 대비하기 위해 피난계단 이용 진입 시 소방대원별 공기호흡기 소모량과 목표지점 소요 시간을 측정하여 재난 발생 시 효율적인 소방력 투입을 위해 실험하였다.

1) 실험 대상자 구성

실험 대상자는 총 108명으로 남성 소방대원 96명, 여성 소방대원 12명으로 구성하였으며, 연령별로는 20대에서 60대까지 전 연령대별로 다양하게 구성되었다. 실험대상자의 평균 연령은 38.7세이며, 남성비율 88.9%, 여성비율 11.1%이었다.

2) 실험 환경

실험은 2017년 5월 10일(수), 11(목) 2일간에 걸쳐 실시되었다. 실험 장소는 군포시 고산로 소재 군포○○지식산업센터(지하 3층, 지상 34층, 연면적 137,047.41 m²)에서 실시하였다. 실험 복장으로는 <그림 4-1>과 같이 기동복에 방화복 착용,

개인 안전 장비를 착용하여 측정하였다.



안전교육



실험복장

<그림 4-1> 실험 복장 및 안전교육

3) 실험 조건

피난계단을 이용하여 진입 시 공기호흡기 소모량 변화를 알아보기 위해 1층 출발선에서 출발하여 35층까지 도착시간 및 공기 소모량을 측정하였다. 출발선에서는 대기압상태로 있다가 출발신호와 함께 양압으로 조정하고 출발하였으며, 5개 층마다 공기 소모량을 측정하였다. 실험 대상자가 사용하는 공기호흡기 압력 게이지는 bar로 표시되는 아날로그 방식으로 출발 전 압력에서 5개층 이동 시마다 남은 압력을 계산하였다. 34층 오르기 소요 시간의 경우 실험 복장을 착용한 상태로 참가대상자 전체가 일렬로 걸어 올라가는 형태로 실시하였으며, 올라가던 중 개인 별 체력에 따라 오르는 속도를 달리하였다.

4) 실험 결과

<표 4-1>과 같이 35층까지 평균 소모압력은 169.2kgf/cm^2 로 측정되었으며, 평균 소요시간은 11분 22초로 측정되었다.

<표 4-1> 공기호흡기 소모압력 분석표

구 분	평 균	범 위		비 고
연 령	38.7세	최저연령	25세	
		최고연령	60세	
소모압력	169.2kgf/cm ²	최저소모량	90kgf/cm ²	
		최고소모량	280kgf/cm ²	
소요시간	11분 22초	최저소요시간	6분	
		최고소요시간	19분	

<표 4-2>과 같이 연령대별 평균 소모압력은 161kgf/cm² ~ 183kgf/cm²로 측정되었으며, 평균소요시간은 10분에서 11분으로 측정되었다. 20대는 161kgf/cm², 30대는 172kgf/cm², 40대는 165kgf/cm²로 유의미한 차이가 없으나, 50대 이상에서는 183kgf/cm²로 공기호흡기 소모압력이 증가하는 것이 관찰되었다. 이는 50대 이상부터 근육량이 감소하는 신체적 변화로 체력적 부담 증가에 따른 것으로 판단된다.

<표 4-2> 연령대별 공기호흡기 소모 압력

연 령	평균 소요시간	평균 공기 소모압력	측정인원	비 고
20대	10분	161kgf/cm ²	17명	
30대	11분	172kgf/cm ²	43명	
40대	11분	165kgf/cm ²	36명	
50대	11분	183kgf/cm ²	12명	

성별에 따른 평균 공기 소모압력은 <표 4-3>과 같이 남성은 170kgf/cm², 여성은 164kgf/cm²로 측정되었다. 평균 소요시간의 경우 남성 10분 여성은 14분으로 측정되었다. 이는 남성과 여성의 신체적 특성에 따른 것으로 평균 소요시간의 경우 남성의 근육량 및 키의 차이에 의해 여성에 비해 상대적으로 적었으며, 공기 소모압력의 경우 여성의 평균 호흡량(약 500ml)이 남성(약 650ml)에 비해 약 150ml 적게

소모함에 따라 소모된 공기압력이 적은 것으로 확인되었다.

<표 4-3> 성별에 따른 공기호흡기 소모량 분석

성 별	평균 소요시간	평균 공기 소모량	측정인원	비 고
남성	10분	170kgf/cm ²	96명	
여성	14분	164kgf/cm ²	12명	
평균	11분 22초	169.2kgf/cm ²		

4.1.2 인천 부평 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석

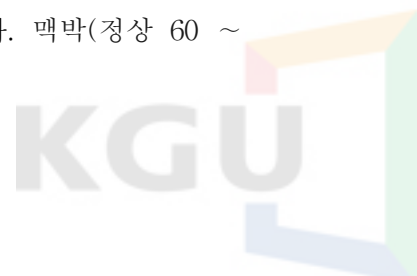
인천 부평소방서에서는 대형 재난의 사전 예방 및 현장 활동 시 신속한 대응으로 피해를 최소화하기 위하여 고층 건축물 공기호흡기 사용 시간 최적화 실증 훈련을 실시하였다.

1) 실험 대상자 구성 및 환경

실험 대상자는 총 12명으로 남성구조대원으로 구성하였으며, 실험은 2022년 5월 24일에 인천시 산곡동 부평○○○○(복합시설, 지하 5층, 지상 40층, 연면적 66,511m²)에서 실시하였다. 기상환경은 날씨는 맑음, 기온은 최고 25.9℃, 습도 66.4%, 풍속은 2.1m/s이었다. 실험복장은 공기호흡기 등 개인장비 약 20kg을 착용 후 40층을 등반하는 것으로 측정하였다.

2) 실험 조건

공기호흡기 소모량 변화를 알아보기 위해 1층에서 압력계를 활용하여 공기호흡기 압력을 측정하고, 맥박과 산소포화도를 측정하였으며, 출발 후 20층과 40층에서도 동일하게 측정하였다. 동시에 1층에서 출발하여 개인별 체력에 따라 40층까지 등반하였으며, 등반에 소요 되는 시간도 별도로 측정하였다. 맥박(정상 60 ~



100회/분)은 정상 범위를 벗어나 증가할 경우 심장 박동수 증가에 따른 체력적 부담이 증가하는 것이며, 산소포화도(정상 95% ~ 100%)가 작아질수록 혈액 내 일산화탄소의 증가와 산소가 감소하는 것으로 신체적 부하가 증가하는 것이다.

3) 실험 결과

1층에서 출발할 때 <표 4-4>과 같이 측정대상자의 공기호흡기 압력과 맥박, 산소포화도를 측정하였다.

<표 4-4> 출발 전 개인별 측정 현황

성 명	공기호흡기 압력(kgf/cm ²)	맥박(분당 회)	산소포화도(%)
A	260	65	98
B	262	64	96
C	265	85	95
D	263	61	98
E	264	65	98
F	281	68	98
G	330	67	96
H	298	82	95
I	309	61	98
J	308	62	98
K	260	63	98
L	260	66	96
평균	280	67.41	97

20층까지 계단 등반 후 측정한 결과 <표 4-5>과 같이 측정되었다. 측정 대상자 평균 196.50kgf/cm² 잔량이 측정되었다. 이는 출발 전 평균 280kgf/cm²에서 83.5kgf/cm² 소모된 것으로 나타났다. 맥박의 경우 154회로 출발전 67.41회 대비 86.59회 증가가 관찰되었으며, 산소포화도는 평균 95.41%로 1.59% 감소하였다.



<표 4-5> 20층 등반 후 개인별 측정 현황

성 명	공기호흡기 압력(kgf/cm ²)	맥박(분당 회)	산소포화도(%)
A	190	132	94
B	293	135	97
C	187	157	96
D	192	160	95
E	188	138	95
F	198	170	96
G	210	165	94
H	217	169	93
I	224	141	97
J	209	166	96
K	180	156	95
L	170	159	97
평균	196.50	154	95.41

이는 공기호흡기 등 개인안전장비 착용 후 20층까지 계단 등반 시 측정대상자의 체력적 활동으로 인해 신체 내 산소와 영양분을 공급하기 위해 맥박이 상승하는 것이다. 또한 산소포화도 저하는 세포의 에너지 소모가 증가하여 산소 소모가 증가되는 것으로 혈액 내 산소포화도가 저하될수록 혈액 내 산소의 공급량을 증가시키기 위해 폐 기능이 활성화되어 호흡량이 증가하게 된다. 따라서 맥박 증가 및 산소포화도 감소는 체력적 부담으로 인하여 호흡량이 증가되는 것이다.

40층까지 계단 등반 후 측정한 결과 <표 4-6>과 같이 측정되었다. 측정 대상자 평균 116.75kgf/cm² 잔량이 측정되었다. 이는 20층에서 측정한 평균 196.50kgf/cm²에서 79.75kgf/cm² 소모된 것으로 나타났다. 맥박의 경우 155.16회로 20층 대비 1.16회 증가하였으며, 산소포화도는 94.75%로 20층 대비 - 0.66% 감소하였다. 20층과 40층에서 맥박의 경우 유의미한 차이는 없으며, 산소포화도는 지속적인 계단 등반 활동으로 인해 감소한 것으로 판단된다.



<표 4-6> 40층 등반 후 개인별 측정 현황

성 명	공기호흡기 압력(kgf/cm ²)	맥박(분당 회)	산소포화도(%)	소요시간
A	110	135	93	9분
B	129	138	96	9분 30초
C	147	156	95	9분
D	111	159	95	10분 30초
E	118	141	95	8분
F	117	174	95	8분 30초
G	170	168	93	10분
H	105	168	92	9분 30초
I	134	140	97	9분
J	123	165	95	9분 30초
K	100	159	95	12분
L	70	159	96	9분 30초
평균	116.75	155.16	94.75	9분 30초

1층부터 40층까지 계단 등반에 따른 공기호흡기 평균 소모압력은 163.25kgf/cm²로 측정되었으며, 소요 시간은 9분 30초로 측정되었다. 출발 전 공기 충전압력 280kgf/cm² (1,904ℓ)에서 163.25kgf/cm² (1,110.1ℓ) 소모하여 116.75kgf/cm² (793.9ℓ) 잔량이 남았다. 초당 평균 공기 소모량은 1.94ℓ, 분당 평균 공기 소모량은 116.9ℓ를 소모한 것으로 나타났다. 또한 층별 평균 공기 소모압력과 소요 시간을 살펴보면 공기 소모압력은 4.08kgf/cm²로 27.75ℓ를 소모하였고 소요 시간은 14.25초로 확인되었다.

1층부터 20층까지의 계단 등반 시와 20층에서 40층까지 계단 등반 시 공기호흡기 소모압력과 맥박, 산소포화도의 유의미한 차이는 확인되지 않았다. 이는 1층에서 출발하여 계단 등반 시 신체적 활동의 증가에 따라 근육의 에너지 소모량 증가 및 세포의 산소 소모가 증가함에 따라 맥박의 상승과 산소포화도가 저하되고, 산소 공급을 위해 호흡량이 많아지게 되는 신체적 변화가 20층까지 계단 등반시



에 신체가 활성화된 상태로 40층까지 지속 유지되어 나타난 것이다.

4.1.3 경기 수원 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석

경기 수원소방서에서는 고층 건축물 중 복합 건축물 화재를 대비하기 위해 대원별 공기호흡기 공기 소모량 측정을 실시하고, 이를 통해 진압대원의 고층 건축물 내부 현장 활동 개선 사항을 발굴하고자 하였다.

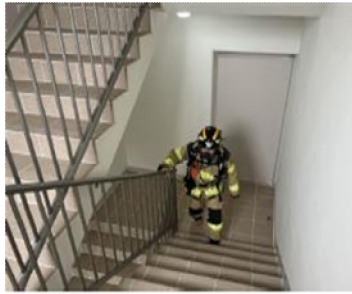
1) 실험 대상자 구성

실험 대상자는 총 73명으로 남성 소방대원 72명, 여성 소방대원 1명으로 남성비율 98.6%, 여성비율 1.4%로 구성하였으며, 계급별로는 소방사 41명, 소방교 14명, 소방장 7명, 소방위 12명으로 현장활동 소방대원인 소방위 이하 계급으로 구성되었다. 연령별로는 20대 26명, 30대 30명, 40대 10명, 50대 7명으로 평균 34.2세, 몸무게는 56 ~ 90kg 분포하고 평균 74.7kg이었다.

2) 실험 환경

실험은 2023년 4월 25일(화) ~ 4월 27일(목) 3일간에 걸쳐 동일한 시간대인 오전 9시에 실시되었다. 실험 장소는 수원시 영통구 원천동 광고호수공원로 ○○ 소재 ○○○○(복합시설, 지하 4층 지상 49층, 연면적 226,000.3595㎡)에서 실시하였다. 실험복장으로는 <그림 4-2>과 같이 약 20kg의 방화복 등 개인안전장비를 착용하였다. 이중 공기호흡기의 경우 압축 산소 농도가 20vol%인 공기를 고압으로 압축하여 공기 용기에 저장하여 사용하는 양압식 공기호흡기이며, 면체, 방화복, 안전모, 안전화를 착용하였다. 기상환경은 4월 25일 경우 날씨는 흐리고 평균기온은 10.2℃, 4월 26일 날씨는 흐리고 평균기온 9.0℃, 4월 27일 날씨는 흐리고 평균기온 11.5℃이었다.





실험복장



공기소모량 등 측정

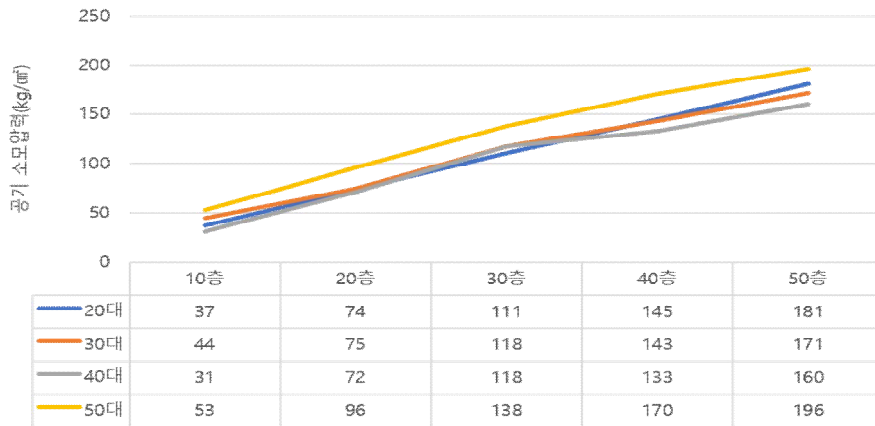
<그림 4-2> 실험 복장 및 측정

3) 실험 조건

소방대원의 공기호흡기 소모량을 파악하기 위하여 지상 1층부터 지상 49층까지 이동하면서 공기 소모량, 이동시간, 맥박수의 변화, 산소포화도를 측정하여 확인하였다. 총 73명이 3일간에 걸쳐 동일한 시간대인 오전 9시에 실시하였으며, 일자별로 실험에 참석한 대상자는 2023년 4월 25일 29명, 4월 26일 24명, 4월 27일 20명이었다. 실험 진행 순서로는 첫째, 실험 대상자의 안전사고 방지를 위해 준비운동을 실시하고 둘째, 연령대별로 20대, 30대, 40대, 50대로 구분하여 조별 편성한 후 개인별 2분의 간격을 두고 출발하였으며, 연령대의 마지막 소방대원 출발 후 조별 5분 간격으로 출발하였다. 기록은 10층 단위로 공기 소모량, 이동시간, 맥박 및 산소포화도를 측정하였으며, 50층 옥상층에 도착하였을 때 최종 기록을 측정하였다.

4) 실험 결과

연령대별로 공기호흡기 소모량을 분석한 결과 <그림 4-3>과 같이 공기 소모량은 고층으로 올라갈수록 일정량 상승하고 있으며, 소모량의 차이는 $36\text{kgf}/\text{cm}^2$ 으로 40대의 $160\text{kgf}/\text{cm}^2$ 과 50대의 $196\text{kgf}/\text{cm}^2$ 에서 가장 많은 차이가 확인되었다.



<그림 4-3> 연령대별 공기호흡기 소모압력

연령대별 50층 등반 소요 시간을 분석한 결과 <표 4-7>과 같이 20대는 14분 9초, 30대는 15분 29초, 40대 15분 36초, 50대는 17분 14초로 측정되었으며, 최저 시간과 최장시간의 차이는 2분 25초로 20대와 50대에서 나타났다.

이는 50대 이상부터 근육량이 감소하는 신체적 변화로 인하여 근육량이 많은 사람 대비 동일한 활동을 할 경우 근육량이 적은 사람의 체력적 부담이 높아지게 된다. 이에 따라 호흡량의 증가, 공기 소모량 증가, 하게 되며, 이로 인해 공기 소모량은 많아지고, 등반 소요시간은 증가하게 된다.

<표 4-7> 50층 등반 소요시간

연령 층별	20대	30대	40대	50대
10층	3분 14초	3분 16초	3분 36초	4분 6초
20층	6분 3초	6분	6분 44초	7분 19초
30층	9분 17초	9분 42초	10분 42초	11분 59초
40층	12분 22초	12분 41초	13분 2초	13분 58초
50층	14분 49초	15분 29초	15분 36초	17분 14초

체중 60kg대, 70kg대, 80kg대, 90kg대로 구분하여 10층별 공기 소모압력을 확인한 바 <표 4-8>과 같이 공기 소모압력은 174 ~ 185kgf/cm²의 분포를 보였으며, 몸무게 증가 시 공기 소모압력의 증가가 확인되었다.

<표 4-8> 체중대별 공기 소모압력

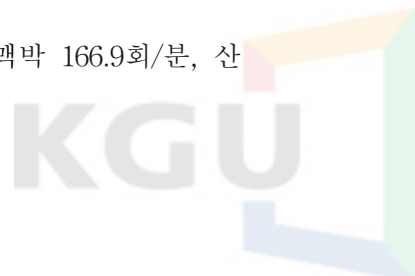
체중 층별	60kg대 소모압력(kgf/cm ²)	70kg대 소모압력(kgf/cm ²)	80kg대 소모압력(kgf/cm ²)	90kg대 소모압력(kgf/cm ²)
10층	38	47	34	40
20층	73	75	77	80
30층	111	116	122	120
40층	141	143	147	150
50층	174	172	178	185

출발 전 1층에서 공기호흡기 충전량을 측정한 바 평균 260.3kgf/cm² (1,770ℓ)이었으며, 10층 간격(10층, 20층, 30층, 40층, 50층)으로 공기 소모압력 및 맥박, 산소포화도를 측정한 결과 <표 4-9>과 같았다.

<표 4-9> 10층 간격 평균 측정치

층별	구분	공기압력(kgf/cm ²)		맥박 (회/분)	산소포화도 (%)	소요시간
		잔량	소모압력			
10층		216.5	43.8	157.8	95.5	3분 23초
20층		184.6	31.9	166.6	94.9	2분 51초
30층		143.1	41.5	168.5	94.4	3분 37초
40층		114.8	28.3	164.8	94.9	3분 08초
50층		84	30.8	176.6	93.5	2분 59초
10층별 평균			35.26	166.9	94.6	3분 12초

<표 4-9>과 같이 10층별 평균 공기 소모압력 35.26kgf/cm², 맥박 166.9회/분, 산



소포화도 94.6%, 평균소요시간 3분 12초로 확인되었다. 아울러 층별 평균 공기 소모량과 소요시간을 살펴보면 공기 소모량은 3.52kgf/cm^3 으로 23.97ℓ를 소모하였고 소요시간은 19.16초로 확인되었다. 1층부터 50층까지 공기 소모량 및 소요시간 평균 누계를 각각 살펴보면 1층에서 공기충전기 충전량 평균 260.3kgf/cm^3 (1,770ℓ)에서 50층까지의 총 공기 소모량 176.3kgf/cm^3 (1,198.8ℓ)을 사용하여 공기 용기의 67.72%를 사용하였다. 1층부터 50층까지의 총 소요시간은 15분 58초(958초)로, 층당 평균 이동시간은 19.16초가 소요되었다. 또한 초당 공기 소모량은 평균 1.25ℓ를 소모하였는데, 고층으로 올라갈수록 초당 공기소모량은 1.46ℓ에서 1.25ℓ로 감소하는 것으로 나타났다. 이는 계단오르기를 시작할 때 호흡의 불안정이 고층부로 올라갈수록 안정을 찾으면서 줄어드는 것으로 판단된다.

4.1.4 경기 소방학교 공기호흡기 소모량 측정 결과 분석

2024년 경기도 소방관 임용을 위해 경기도 소방학교에서 신입교육과정중인 예비 소방관의 공기호흡기 소모량을 확인하기 위하여 실험을 실시하였다.

1) 실험대상자 구성

실험 대상자는 경기도 소방관 임용시험에 합격하고 경기도 소방학교 신입소방공무원 교육과정에 입교한 학생 총 48명을 대상으로 하였다. 48명 중 남성 42명, 여성 6명으로 남성 비율 87.5%, 여성 비율 12.5%로 구성하였다. 연령대별로는 20대 25명, 30대 23명으로 평균 나이는 24.79세이다. 20대 25명 중 남성은 21명, 여성은 4명이고, 30대 23명 중 남성은 21명, 여성은 2명으로 구성하였다. 몸무게는 48 ~ 83kg 분포하고 평균 68.6kg이었다. 남성 평균 71.1kg, 여성 평균 51.5kg이었으며, 평균 키는 174.9cm로 남성 평균 176.1cm, 여성 평균 166.3cm였다.

2) 실험 환경



실험은 2024년 9월 3일(화)과 9월 5일(목) 2일에 나누어 실시하였다. 실험장소는 용인시 처인구 남사면에 소재하고 있는 경기도소방학교 훈련탑에서 실시하였다. 실험복장으로는 약 18kg의 방화복, 안전모, 안전화, 공기호흡기를 착용하였다. 이 중 공기호흡기의 경우 압축 산소 농도가 20vol%인 공기를 고압으로 압축하여 공기용기에 저장하여 사용하는 양압식 공기호흡기로 300bar까지 충전사용이 가능하나 안전을 위해 220bar ~ 280bar까지 충전하였으며, 이는 실험복장의 총 무게가 감소하는 데 영향을 주었다. 기상환경은 9월 3일 오후 2시의 경우 날씨는 맑음, 기온은 31.9℃, 체감온도 31.5℃, 습도 51%이었으며, 9월 5일 오후 3시의 경우 날씨는 맑음, 기온은 29.4℃, 체감온도 30.5℃, 습도 68%이었다.

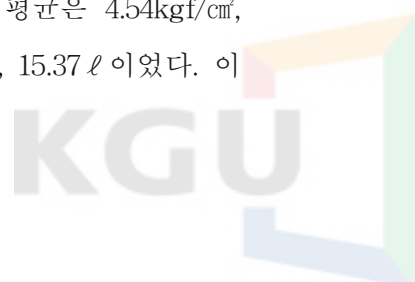
3) 실험 조건

지상 1층부터 지상 11층까지 이동한 후 공기 소모량과 소요시간을 측정하였다. 9월 3일 오후 2시에 24명 9월 5일 오후 3시에 24명을 실시하였다. 실험 진행 순서로는 첫째, 실험대상자의 안전사고 방지를 위해 설명과 개인 정비를 실시하고 번호 순서대로 출발하여 일렬로 계단오르기를 실시하였다. 9월 3일에는 14시 38분 출발하여 14:44분 도착하였으며, 6분 소요되었고, 9월 5일에는 15시 02분 출발하여 15:09분 도착하였으며, 7분 소요되었다.

또한 남녀와 연령대를 구분하지 않고 한번에 실시하였으며, 1층에서 공기호흡기 압력을 측정하고 11층에 도착 후 공기호흡기 면제 해제 후 잔존압력을 측정하여 개인별 공기호흡기 소모압력을 확인하였다.

4) 실험 결과

남성과 여성에 따른 공기호흡기 소모압력을 측정한 결과 <표 4-10>과 같이 남성은 평균 47.74kgf/cm², 324.63ℓ를 소모하였고, 층별 평균은 4.34kgf/cm², 29.51ℓ로 확인되었다. 여성은 평균 50kgf/cm², 340ℓ를 소모하였고, 층별 평균은 4.54kgf/cm², 30.90ℓ로 확인되었다. 남성과 여성의 소모량 차이는 2.26kgf/cm², 15.37ℓ이었다. 이



는 여성의 근육량과 평균 호흡량의 차이에 따른 소모량의 차이로 판단된다.

<표 4-10> 남성과 여성의 소모량 차이

성별 \ 구분	평균소모량		총별소모량	
	kgf/cm ²	ℓ	kgf/cm ²	ℓ
남성	47.74	324.63	4.34	29.51
여성	50	340	4.54	30.90

연령대별로 소모량을 측정한 결과 <표 4-11>과 같이 20대는 평균 50kgf/cm², 340ℓ를 소모하였고, 총별 평균은 4.54kgf/cm², 30.90ℓ로 확인되었다. 30대는 평균 45.87kgf/cm², 311.92ℓ를 소모하였고, 총별 평균은 4.16kgf/cm², 28.29ℓ로 확인되었다. 연령대별 소모량은 20대의 소모량이 30대의 소모량보다 총 28.08ℓ, 총별 소모량은 2.61ℓ 더 소모하였다.

<표 4-11> 연령대별 소모량 차이

연령 \ 구분	평균소모량		총별소모량	
	kgf/cm ²	ℓ	kgf/cm ²	ℓ
20대	50	340	4.54	30.90
30대	45.87	311.92	4.16	28.29

체중 50kg대(40kg 2명 포함), 60kg대, 70kg대, 80kg대로 구분하여 공기 소모량을 측정한 결과 <표 4-12>과 같이 46 ~ 52kgf/cm²의 분포를 보였으며 몸무게에 따른 공기량의 증가는 관찰되지 않았으나, 80kg대에는 공기소모량이 52kgf/cm², 총별소모량 4.73kgf/cm²로 체중대별 공기소모량 중 최대 소모량으로 확인되었다.



<표 4-12> 체중대별 공기 소모량

체중 층별	50kg대 (kgf/cm ²)	60kg대 (kgf/cm ²)	70kg대 (kgf/cm ²)	80kg대 (kgf/cm ²)
평균 압력	248	252.2	247	250
총 소모량	50	48.61	46	52
층별 소모량	4.54	4.42	4.18	4.73
평균나이	24세	23.3세	27세	22세

<표 4-13>과 같이 1층에서 측정한 공기호흡기 공기압력은 평균 249.29kgf/cm², 1695.17ℓ 이었다. 이는 공기 최대 충전압력 300kgf/cm², 2,040ℓ 에서 50.71kgf/cm², 344.83ℓ 를 완충하지 않은 상태로 실험하였다. 11층 계단오르기 후 평균 소모량은 47.75kgf/cm², 324.7ℓ 로 측정되었다. 이에 따른 층별 평균 소모량은 4.34kgf/cm², 29.52ℓ 로 확인되었다.

<표 4-13> 11층 이동 공기 소모량

구분 층별	총 소모량 (kgf/cm ²)	1층		11층	
		kgf/cm ²	ℓ	kgf/cm ²	ℓ
평균압력	47.75	249.29	1695.17	201.54	1370.47

4.1.5 측정 결과 비교·분석

경기 군포, 인천 부평, 경기 수원에서 공기 소모량과 층별 소요시간을 실험한 결과는 <표 4-14>과 같이 평균 층별 공기 소모량은 4.14kgf/cm² (28.15ℓ), 층별 소요시간은 17.63초 공기 소모량은 초당 1.62ℓ, 분당 97.2ℓ 로 확인되었다.

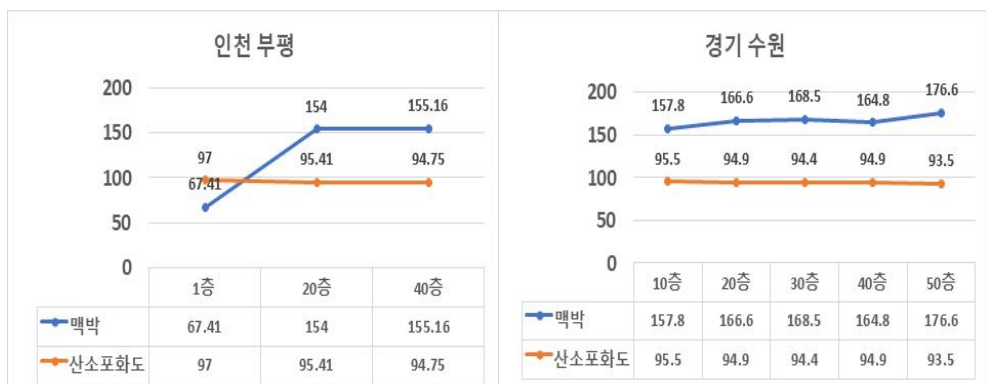


<표 4-14> 시험 결과 비교

구 분	층별 소모량	층별 소요시간	공기소모량	
			초	분
경기 군포(35층)	4.83kgf/cm ² (32.84 ℓ)	19.49초	1.68	100.8
인천 부평(40층)	4.08kgf/cm ² (27.75 ℓ)	14.25초	1.95	117
경기 수원(50층)	3.52kgf/cm ² (23.97 ℓ)	19.16초	1.25	75
평균	4.14kgf/cm ² (28.49 ℓ)	17.63초	1.62	97.2

경기 소방학교에서 실시한 실험에서는 층별 평균 소모량 4.34kgf/cm², 29.52 ℓ 로 확인되어 경기 군포, 인천 부평, 경기 수원에서 실시한 실험과 유의미한 차이는 없었다. 다만 경기 소방학교에서 실시한 실험은 실험대상자가 신입소방공무원 교육과정중에 있는 대상자로 안전사고의 우려로 인해 1층에서부터 11층까지 일렬로 계단오르기를 실시하였다. 이에 계단오르기 시간이 증가하여 층별 소요시간 35.35 초, 초당 공기 소모량 0.83 ℓ, 분당 공기 소모량 49.95 ℓ 로 차이가 발생하였다.

인천 부평, 경기 수원에서 맥박과 산소포화도를 실험한 결과는 <그림 4-4>과 같이 고층으로 올라갈수록 맥박은 증가하고, 산소포화도는 감소하였다.



<그림 4-4> 생체징후 변화

실험 결과에 따른 공통점과 차이점은 <표 4-15>과 같이 확인되었다. 공통점으로는 체력적 활동에 따른 심박수(맥박) 증가, 산소포화도 감소, 공기 소모량(호흡량의 증가)가 확인되었으며, 50대 이상에서는 다른 연령대 대비 높은 공기 소모량이 관찰되었다. 차이점으로는 대상자 구성에 따라 발생한 것으로 대상자의 호흡법, 신체조건, 연령 및 실험환경에 따라 발생한 것이다.

<표 4-15> 실험결과 공통점과 차이점

공통점	차이점
○ 심박수(맥박)의 증가 ○ 산소포화도의 감소 ○ 일상 생활 대비 공기 소모량 증가 ○ 50대 이상에서 높은 공기 소모량	○ 각 실험별 평균 공기 소모량 - 1분당 75ℓ ~ 100.8ℓ 차이를 보임. ○ 50층 등반 시 맥박의 상승 - 40층 이하에서는 일정한 맥박이 유지되었으나 50층 등반 시 급격히 상승 ○ 층별 소요시간의 차이 - 인천 부평 실험대상자의 경우 구조대원으로 구성되어 타 지역보다 상대적으로 적게 소요됨. ○ 층별 공기 소모량 차이 - 경기 수원의 층별 공기 소모량이 가장 적게 나타났으며, 가장 많은 곳은 경기 군포임.

이에 따른 맥박의 증가와 산소포화도 감소를 살펴보면 다음과 같다.

첫째, 맥박의 신체적 변화를 확인한 결과 인천 부평소방서에서 측정한 결과는 40층에서 맥박 155.16회/분, 경기 수원소방서에서 측정한 결과는 50층에서 176.6회/분으로 분석되었다. 이를 운동강도와 심박수 관계로 살펴보면 <표 4-16>과 같이 30세 기준으로 맥박 142회/분을 모두 초과하여 고강도 운동을 하는 것으로 소방대원이 고층으로 올라갈수록 체력적 부담이 증가함을 확인하였다.



<표 4-16> 운동 강도와 심박수 관계(30세 기준)

구 분	맥박(회/분)	운동종류	비고
저강도 (50~60%)	95 ~ 114	가벼운 산책, 스트레칭 등	최대심박수 계산 예) 30세 (220-나이)=190 ↓ 190의 00%
중강도 (60~75%)	114 ~ 142	조깅, 자전거 타기 등	
고강도 (75~90%)	142 ~ 171	고강도 인터벌 트레이닝, 경주 등	

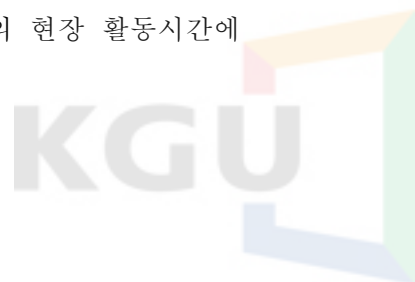
둘째, 산소포화도의 변화를 측정한 바 인천 부평소방서에서 측정한 결과는 40층에서 94.75%, 경기 수원소방서에서 측정한 결과는 50층에서 93.5%로 분석되었다. 이를 산소포화도 측정값에 따른 신체 상태로 살펴보면 <표 4-17>과 같이 저산소증 주의 상태로 조사되었다. 이는 신체적 활동의 증가에 따라 근육의 에너지 소모량 증가 및 세포의 산소 소모가 증가함에 따라 산소포화도가 감소한 것이다.

<표 4-17> 산소포화도 측정값

측정값	신체 상태
95 ~ 100%	정상범위
91 ~ 94%	저산소증 주의 상태
81 ~ 90%	저산소증으로 인한 호흡 곤란

이와 같이 고층 건축물 화재 시 건물의 높이에 따른 계단 수직 이동거리 증가와 내부 구획에 따른 수평 이동거리 증가 등에 따라 현장 진입 소방대원의 신체 운동이 증가되어 맥박 증가, 산소포화도 감소, 호흡량 증가에 따른 공기 소모량 증가를 확인하였다.

이 경우 공기호흡기의 사용시간은 감소하게 되며, 소방대원의 현장 활동시간에



제약이 발생하게 된다. 또한 현장 진입 소방대원의 체력 소모로 인해 탈출 소요시간이 증가될 경우 소방대원의 안전사고 우려가 증가하게 된다.

4.2 공기호흡기 용량 확보 개선사항

4.2.1 소방대의 공기호흡기 대용량 용기 확보

최근 5년간 경기도에서는 화재 발생에서부터 화재 완전 진화 시간까지 평균 43분이 소요되었으며, 계단오르기를 통한 실험 결과 분당 공기소모량은 97.2ℓ로 확인되었다. 이를 경기도 소방관서에 보급된 45분용 용기의 사용 가능 시간으로 계산할 경우 약 17분을 사용할 수 있다. 이는 평균 화재 완전 진화 시간 대비 약 26분이 부족한 것이다.

이에 국내에 보급되고 있는 공기호흡기 용기를 계단오르기를 통한 실험결과 값으로 계산한 바 사용 가능 시간은 <표 4-18>과 같았다.

<표 4-18> 공기호흡기 용기 사용시간

구분	30분용	45분용	60분용	90분용(45분+45분)
내용적	4.7L	6.8L	9L	13.6L
충전량	1,457L (충전압력 310bar)	2,040L (충전압력 300bar)	2,790L (충전압력 310bar)	4,080L (충전압력 300bar)
일상 사용시간	약 29분	약 41분	약 57분	약 83분
고층건축물 사용시간	약 12분	약 17분	약 23분	약 34분
※ 사용시간의 경우 탈출소요압력 (55kgf/cm ²) 시간을 차감하여 계산함.				

위와 같이 60분용은 약 23분, 90분용은 약 34분의 사용 가능 시간을 확보할 수

있을 것이다. 이를 통해 고층 건축물 화재 시 현장 진입 소방대원의 현장 활동 시간 확보를 할 수 있을 것이다.

현행 법령 기준은 「소방장비 분류등에 관한 규정 제7조 제2항」 대원별 지급기준은 공기호흡기 1세트(예비용기 및 면체 각 1개 추가지급)을 규정하고 있지만 공기호흡기 사용시간에 대한 규정은 없다.

따라서 고층 건축물 화재 시 현장 활동 시간 확보 및 대원 안전을 위하여 「소방장비 분류등에 관한 규정」에 90분용 공기호흡기 용기를 진압대별 4개(진압대별 현장 진입 소방대원 최대 4명)를 배치하도록 규정하여야 한다.

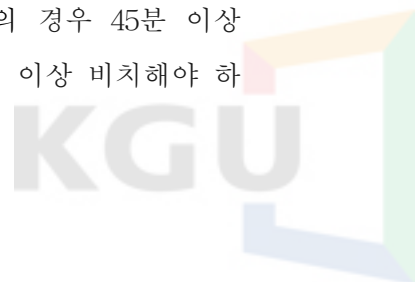
<표 4-19>과 같이 고층 건축물 화재 시 대응을 위하여 소방장비 분류등에 관한 규정의 대용량 공기 용기의 보유 사항을 제시하였다.

<표 4-19> 공기호흡기 대용량 용기 보유 개정안

현재	공기호흡기 용기	< 대원별 지급 / 단독장비 > 공기호흡기 1세트 ● 구성:용기,등지게,면체,보조마스크 ● 예비용기및면체각1개포함
	공기호흡기 등지게	
	공기호흡기 면체	
	공기호흡기 보조마스크	
개정안	공기호흡기 용기	< 대원별 지급 / 단독장비 > 공기호흡기 1세트 ● 구성:용기,등지게,면체,보조마스크 ● 예비용기및면체각1개포함 < 소방기관별 지급 / 공동장비 >(신설) ● 대별 90분용 공기호흡기 용기 4개
	공기호흡기 등지게	
	공기호흡기 면체	
	공기호흡기 보조마스크	

4.2.2 피난안전구역 예비 용기 배치

국내 고층·초고층 건축물에는 피난안전구역을 설치해야 한다. 피난안전구역의 소방시설 설치기준에 따라 설치하는 소방시설 중 공기호흡기의 경우 45분 이상 사용할 수 있는 성능의 공기호흡기(보조마스크를 포함한다) 2개 이상 비치해야 하



며, 다만 50층 이상에 피난안전구역이 설치되어 있을 경우에는 동일한 성능의 예비 용기를 10개 이상 비치토록 규정하고 있다. 그러나 50층 이하에 설치되는 피난안전구역에는 동일한 성능의 예비 용기 비치에 대한 규정은 없다.

더불어 고층 건축물 화재 시 수직 이동 거리가 길어질수록 현장 진입 소방대원의 공기호흡기 소모량 증가와 탈출 소요시간이 증가하게 된다. 탈출 소요시간이 증가된다는 것은 탈출 소요압력 55kgf/cm²보다 더 많은 공기 압력을 확보해야 이동한 수직 이동거리 또는 수평거리 만큼 재이동 할 수 있다. 이렇듯 고층으로 올라가거나 수평으로 이동한 거리가 길수록 소방대원이 현장 활동할 수 있는 시간은 상대적으로 감소하게 된다.

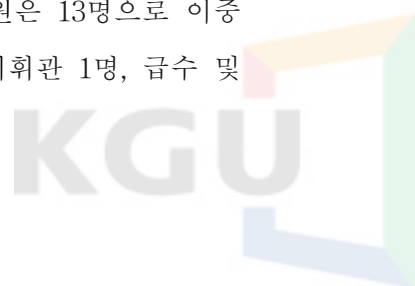
따라서 50층 이하 피난안전구역에도 공기호흡기 예비 용기를 비치할 경우 공기호흡기 용기 교체를 위해 지상층으로 이동하는 시간을 줄이고, 현장 활동시간을 확보하여 신속한 인명구조 및 화재진압 활동을 할 수 있게 된다. 아울러 화재 초기 선착대와 구조대가 후착대에 의하여 화점층 이하 2개층 이내의 자원대기소로 용기가 이동·배치 되기 전까지 현장활동 시간을 확보할 수 있다.

이를 위해서는 초기에 현장에 진입하는 소방대원인 선착대 4명과 구조대원 6명에 대한 공기호흡기 예비 용기 비치가 필요하다. 초기 현장 진입 소방대원의 1회 예비 용기 교체 수량은 <표 4-20>과 같다.

<표 4-20> 화재 초기 공기호흡기 용기 교체 수량

구분	출동인원 (차량)	임무별				1회 교체수량
		계	현장진입	현장지휘	급수	
선착대	7(2)	7	4	1	2	4
구조대	6(2)	6	6	0	0	6

용기 교체 수량 기준을 살펴보면, 초기 출동대의 총 출동인원은 13명으로 이중 현장에 진입하는 소방대원은 10명이다. 나머지 3명의 임무는 지휘관 1명, 급수 및



현장통제 2명으로 구성된다. 따라서 10명의 대원이 1회 교체에 필요한 수량은 10개이며, 1회의 교체에 따른 현장활동 시간은 약 34분 정도(45분용 기준으로 계산 오르기 실험결과 값 적용)가 확보된다. 이는 후착대에 의하여 공기호흡기 용기가 자원대기소 및 거점장소로 이동하는 데 충분한 시간을 확보해 준다.

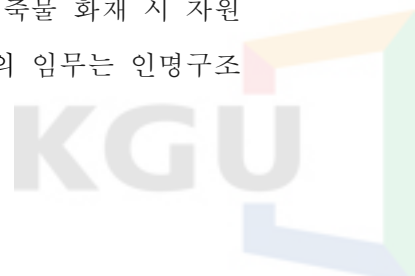
이에 따라 소방대원의 현장활동 시간 연장과 체력적 부담을 완화하기 위하여 50층 이하에 설치된 피난안전구역 내 공기호흡기 예비 용기 10개 비치를 <표 4-21>과 같이 제안하고자 한다.

<표 4-21> 피난안전구역 소방시설 설치기준 개정안

현재	개정안
5. 인명구조기구 가. 방열복, 인공소생기를 각 2개 이상 비치할 것 나. 45분 이상 사용할 수 있는 성능의 공기호흡기(보조마스크를 포함한다)를 2개 이상 비치 해야 한다. 다만, 피난안전구역이 50층 이상에 설치되어 있을 경우에는 동일한 성능의 예비용기를 10개 이상 비치할 것 다. 화재시 쉽게 반출할 수 있는 곳에 비치할 것 라. 인명구조기구가 설치된 장소의 보기 쉬운 곳에 “인명구조기구”라는 표지판을 설치할 것	5. 인명구조기구 가. (현행과 같음) 나. 45분 이상 사용할 수 있는 성능의 공기호흡기(보조마스크를 포함한다)를 2개 이상 비치하고, 동일한 성능의 예비용기를 10개 이상 비치할 것 다. (현행과 같음) 라. (현행과 같음)

4.2.3 소방대의 용기 관리 전담 지정 운영

경기도 고층 건축물 화재 대응기술 편람을 살펴보면, 고층 건축물 화재 시 자원 대기소로 예비 용기를 이동하는 임무는 후착대에 있다. 후착대의 임무는 인명구조



및 인명대피 유도, 화재진압 지원, 예비용기 및 여유수관 등 이동 확보 조치, 피난 계단에 연기가 유입됐을 시 최상층으로 접근해서 최상층 출입문 개방이 있다.

이렇듯 후착대의 임무는 다양하지만 출동인원의 제한과 현장 상황 여부에 따라 신속·명확하게 운영되지 못하는 실정이다. 또한 현장지휘관은 선착대장 및 관계자로부터 수집한 정보 등을 종합적으로 분석 판단하여 연소저지선, 제연수단 및 소화수단을 결정하고, 현장을 지휘·통제하여야 하는 역할을 맡고 있으며, 각 출동대에 임무 지시하는 지휘권을 행사한다. 이에 현장지휘관이 임무 지정을 신속하고 명확하게 할 수 있도록 사전 후착대의 임무 조직도를 <표 4-22>과 같이 구성할 필요가 있다.

따라서 후착대의 임무를 조직화하여 운영하도록 매뉴얼을 개선하고, 경기도 재난현장표준작전절차와 신입교육과정 소방전술 I 교재에 고층 건축물 소화활동절차를 <표 4-22>과 같이 규정해야 한다.

<표 4-22> 후착대 조직도 구성안

현재	개정		
○ 인명구조 및 인명대피 유도 ○ 화재진압 지원 ○ 화점아래 2층에 예비용기 및 여유수관 등 이동 확보 조치 ○ 피난계단에 연기가 유입됐을 시 최상층으로 접근해서 최상층 출입문 개방	후착대 인명구조반 화재진압반 자원이동반		
	인명구조반	화재진압반	자원이동반
	임무 인명구조 및 대피유도	임무 화재진압 및 최상층 출입문 개방	임무 예비용기 및 여유수관 이동



제 5 장 결 론

본 연구에서는 고층 건축물 화재 시 소방대의 효과적 화재진압 활동을 위해 고층·초고층 건축물 현황과 건축물 화재 발생 통계를 알아보았고, 고층 건축물 화재 사례, 고층 건축물 소화활동의 문제점 등을 조사하였다. 그리고 소방대원의 현장 활동 시간 확보를 위한 소방대원의 공기호흡기 공기 소모량을 파악하고자 고층 건축물 계단오르기를 통한 공기 소모량 연구를 수행한 결과, 다음과 같은 결론을 얻었다.

첫째, 경기도 소방관서에 90분용 공기호흡기 용기 보급이 필요하다. 고층 건축물 화재 시 공기호흡기 용기 45분용의 경우 예상 사용 시간이 약 17분으로 현장 활동 시간이 부족하며, 후착대에 의하여 예비 용기가 자원대기소로 배치되기까지 현장활동을 지속할 수 없다. 그러나 90분용 용기의 경우 고층 건축물 화재 시 약 34분의 예상 사용 시간을 확보할 수 있어 후착대에 의해 예비 용기가 자원대기소로 배치될 수 있는 시간적 여건을 갖추고 있다. 이에 고층 건축물 화재 시 활용할 수 있도록 90분용 공기호흡기 용기를 각 소방관서에 배치하여 충분한 현장 활동 시간 확보 및 소방대원의 안전사고 우려를 감소시키고, 화재 현장 대응력을 강화할 필요가 있다.

둘째, 50층 이하에 설치되는 피난안전구역에도 50층 이상에 설치되는 피난안전구역과 같이 예비 용기 10개 비치를 규정해야 한다. 고층·초고층 건축물 화재 시 소방대원의 공기 소모량이 급격히 증가하고 현장 활동 시간이 감소함을 확인하였다. 이에 따라 소방대원의 현장활동 시간 연장 및 체력적 부담을 완화하기 위하여 50층 이하 피난안전구역에 예비 용기가 비치되도록 개정되어야 한다.

셋째, 소방대 후착대에 용기 관리 전담 조직을 운영해야 한다. 후착대에 대한 임무는 다양하지만, 출동 인원의 편성과 현장상황에 따라 임무가 유동적으로 변경되어왔다. 이러면 현장지휘관이 후착대에 대한 임무지정을 하기 전까지 후착대의

임무수행이 명확하게 진행되지 않을 수 있다. 따라서 후착대에 대한 임무 조직도를 사전에 구성하고 각각의 임무를 명확히 함으로써 현장 대응 시간을 줄이고, 임무 편성을 신속하게 할 수 있다. 또한 현장 여건에 따라 조직도 내 각 부의 운영 여부를 결정할 수 있어 현장 상황에 따른 대응력을 높일 수 있다.

넷째, 고층 건축물 화재 시 소방대원의 체력 관리를 위한 피난안전구역 또는 특별피난계단 내 안전공간이 필요하다. 계단을 이용하여 화점층까지에 접근할 경우 현장 진입 소방대원의 체력적인 문제가 발생하고 더불어 안전사고의 위험성도 증가한다. 이를 위한 안전공간을 사전 지정 운영함으로써 현장 진입대원의 안전사고 위험성을 감소시키고 탈출 장소 확보의 문제도 해결할 수 있을 것이다.

본 연구는 고층 건축물 화재 시 현장 진입 소방대원의 안전 확보와 공기호흡기 사용 시간 제약에 따른 문제점과 선행연구, 계단오르기 실험을 분석 후 결론을 도출하였다. 현재 고층 건축물의 피난 안전성 확보와 소방시설 개선, 화재 대응에 대한 다양한 논의가 진행되고 있으며, 법령과 제도를 보완하고 있다. 이런 제도 개선과 더불어 고층 건축물 화재 시 소방대의 현장활동에 대한 체계적인 절차 확립과 고층 건축물 전용 소방장비 개발 등이 종합적으로 이루어져, 국민과 소방대원의 안전을 확보할 수 있는 종합대책이 마련되기를 기대해 본다.



참고문헌

- [1] 최태영, “초고층 건축물의 화재특성을 반영한 화재진압 및 피난에 관한 연구”, 서울시립대학교 박사학위논문, 2014.
- [2] 유재환, “초고층 건물 화재 시 소방대원의 현장 접근성”, 경일대학교 박사학위 논문, 2014.
- [3] 서성민, “초고층건축물 피난방법 및 소방활동 개선에 관한 연구”, 인천대학교 석사학위논문, 2017.
- [4] 임종호, “고층 건축물 화재 피난 안전성에 관한 연구”, 서울과학기술대학교 석사학위논문, 2018.
- [5] 전재인, 공하성, “현장 소방활동에 따른 공기호흡기 소모량의 변화” 문화기술의 융합, 제5권 제4호, 2019.
- [6] 「경기도 재난현장표준작전절차」 (경기도) 2023.
- [7] 소방청 국가화재정보시스템(<https://www.firedata.go.kr>)
- [8] 소방청 소방장비관리시스템(<http://eims.nfa.go.kr/index.do>)
- [9] 「소방전술 I」 (중앙소방학교) 2023.
- [10] 「소방 통계 연보」 (소방청) 2019~2023.
- [11] 「화재통계연감」 (소방청) 2019~2023.
- [12] 군포소방서 현장대응단, 고층건물 적응 극한 구조훈련 실시결과, 2017.
- [13] 인천 부평소방서 현장대응단, 고층건물 공기호흡기 사용시간 최적화 실증훈련 결과, 2022.
- [14] 수원소방서 재난대응과, 50층 아파트 활용 공기소모량 측정 결과, 2023.
- [15] 경기도소방재난본부, 고층건축물 화재 대응기술 편람, 2022.



Abstract

MS.Thesis

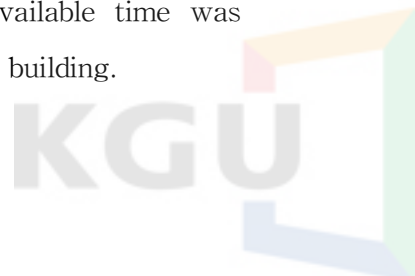
An Experimental Study on the Effective Application of Firefighters' Air Respirators During High-Rise Building Fires

Sung Mo Cheon
Major of Fire Protection & Disaster Management
Graduate School of Engineering
Kyonggi University

In modern times, the structure and use of buildings are becoming more complex, diversified, and high-rise. In the event of a fire in a high-rise building, problems are occurring in the fire fighting activities of the fire brigade due to the increase in vertical evacuation routes, the inability to extinguish fires outside the building, and the complexity and closure of space. In particular, due to the limitation of the air respirator capacity of firefighters, there is a lack of on-site activity time and concerns about safety accidents.

The average full extinguishing time of general building fires in Gyeonggi-do over the past five years is about 43 minutes, exceeding the usable time of 45-minute air respirator containers held by the Gyeonggi-do Fire Department.

Accordingly, in order to confirm the available time for a 45-minute air respirator in case of a fire in a high-rise building, the available time was confirmed through a stair climbing experiment in a high-rise building.



The experiment analyzed the results of experiments conducted in Gunpo, Incheon, Bupyeong, and Suwon, Gyeonggi-do, and conducted stair climbing experiments for new firefighters in Gyeonggi-do, and analyzed the results.

As a result of the study, it was confirmed that the usable time for a 45-minute air respirator was about 17 minutes. This is a restriction on the on-site response activities of the fire brigade in the event of a fire in a high-rise building, and the necessity of securing on-site activity time through the supply of large-capacity air respirator containers was suggested. In addition, improvement measures were suggested for the provision of air respirator containers in evacuation safety zones under 50 floors and the operation of an organization dedicated to the management of air respirator containers by the fire brigade.