



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

지하주차장 화재시 소방대
피난안전확보에 관한 연구
- 유도등 시인성 실험에 의한 -

지도교수 : 김 우 창

경기대학교 공학대학원

소방·방재전공

문 인 호



지하주차장 화재시 소방대
피난안전확보에 관한 연구
- 유도등 시인성 실험에 의한 -

이 논문을 석사학위논문으로 제출함

2024년 12월 일

경기대학교 공학대학원

소방·방재전공

문 인 호



문 인 호의 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	v
감사의 글	vii
논문개요	viii
제 1 장 서 론	1
1.1 연구의 배경 및 목적	1
1.2 연구의 범위 및 방법	3
1.3 기존의 연구	5
제 2 장 지하주차장 화재시 소방관 피해	7
2.1 지하주차장의 화재위험	7
2.1.1 지하주차장 규모의 증가	7
2.1.2 지하주차장의 화재통계	8
2.1.3 지하주차장 화재특성	10
2.1.4 지하주차장의 화재위험 요인	13
2.2 소방대원의 화재진압 피해 사례	16
2.2.1 서울시 주상복합 아파트 지하주차장 화재	16
2.2.2 부산시 호텔 지하화재	17
2.2.3 인천시 아파트 지하주차장 화재	18
2.2.4 사례분석	19



2.3 소방대원의 피해	20
2.3.1 소방대원의 피해통계	20
2.3.2 소방대원 피해요인	22
제 3 장 지하주차장 소방대원의 피난장애 원인 및 문제점 ...	25
3.1 지하주차장에서의 소화활동	25
3.1.1 지하주차장 소화활동설비	25
3.1.2 지하주차장 표준작전절차(SOP)	27
3.1.3 지하주차장 소화활동의 어려움	29
3.2 지하주차장 소방대원의 피난	32
3.2.1 지하주차장의 피난시설	32
3.2.2 소방대원의 피난장비	35
3.3 소방대원의 피난장애	38
3.3.1 피난장애의 발생원인	38
3.3.2 유도등의 피난유도 문제점	42
제 4 장 지하주차장 유도등의 소방관 피난유도 효용성	46
4.1 실험개요	46
4.1.1 실험목적	46
4.1.2 실험환경	46
4.1.3 실험대상 및 기록장비	49
4.2 실험결과 및 분석	52
4.2.1 피난구 유도등의 가시도	53
4.2.2 복도통로 유도등 가시도	55
4.2.3 실험결과 분석	57



4.3 유도등 피난유도 성능 개선방안	63
제 5 장 결 론	66
참고문헌	68
Abstract	70



표 목 차

<표 2-1> 대규모 주차장 현황	8
<표 2-2> 최근 5년간 국내 지하주차장 화재 발생 건수	9
<표 2-3> 최근 5년간 지하주차장 화재에 따른 피해사례	10
<표 2-4> 피난가능시간 기준	12
<표 2-5> 지하화재 소방대원 인명피해 발생 사례	20
<표 2-6> 최근 5년 소방공무원 위험직무 순직 현황	21
<표 2-7> 최근 10년 소방공무원 공상 현황	22
<표 3-1> 지하층 설치 소방시설 종류	25
<표 3-2> 재난현장 표준작전절차(SOP 217)	28
<표 3-3> 재난현장 표준작전절차(SOP 204)	29
<표 3-4> 피난구조시설의 종류	33
<표 3-5> 용도별 설치하여야 할 유도등 및 유도표지의 종류	35
<표 3-6> 지하주차장 화재 시 소방대원 이동시간 및 공기소모량 측정 ..	42
<표 3-7> 감광계수와 가시거리 관계	44
<표 3-8> 지하주차장 화재진압 소요시간	45
<표 4-1> 합성목재 연기밀도 측정 결과	59
<표 4-2> 유도등 시인성 및 가시성 측정 결과	62



그 립 목 차

<그림 1-1> 연구의 흐름도	4
<그림 2-1> 대형 판매시설 연결형 지하주차장	11
<그림 2-2> 대형·복잡한 구조의 지하주차장	13
<그림 2-3> 구획 화재의 성장과정	14
<그림 2-4> 지하주차장 연기확산 시뮬레이션 수행 결과	15
<그림 2-5> 주상복합 아파트 지하주차장 화재	17
<그림 2-6> 부산 호텔 지하 화재	18
<그림 2-7> 청라 아파트 지하주차장 화재	19
<그림 3-1> 시간과 온도변화에 따른 연소 이상현상	31
<그림 3-2> 폐쇄된 구조물 내 가스의 열 균형	32
<그림 3-3> 유도등의 종류	34
<그림 3-4> 농연 속 퇴로확보를 위한 소방전술	36
<그림 3-5> 라이트라인	37
<그림 3-6> 조명기구 종류	38
<그림 3-7> 신축공사장 지하층 화재 현장사진	39
<그림 3-8> 화재현장 조명기구 사용 시 가시도	40
<그림 3-9> 지하주차장 계단 및 승강장 출입구의 비대칭 구조	41
<그림 4-1> 실험장(경기소방학교 실화재 훈련장)	47
<그림 4-2> 실험장 내 연소실	47
<그림 4-3> 목재 파렛트 형태	48
<그림 4-4> 실험장 내부 평면도	49
<그림 4-5> 실험에 사용된 유도등	50
<그림 4-6> 촬영장비	51



<그림 4-7> 실험장 내 유도등 설치 사진	51
<그림 4-8> 유도등 설치 사진	52
<그림 4-9> 실험 구상도	53
<그림 4-10> 피난구 유도등 가시도 변화(정면)	54
<그림 4-11> 피난구 유도등 가시도 변화(측면)	55
<그림 4-12> 복도통로 유도등 가시도 변화(정면)	56
<그림 4-13> 복도통로 유도등 가시도 변화(측면)	57
<그림 4-14> 합성목재의 연기밀도 변화	60
<그림 4-15> 피난유도선 설치 예시	65



감사의 글

더 많은 것을 배우고 싶은 열정으로 무작정 지원하여 설레는 마음으로 시작한 대학원 생활이었지만 곧 생각과는 달리 학업과 직장생활을 병행하는 게 쉬운 일이 아님을 깨닫게 되었습니다. 하지만 학기가 지나면서 어렵게만 느껴졌던 교수님들의 수업도, 서먹하기만 했던 학우들과의 대화도 점차 저에게 즐거움으로 다가왔고 매주 주말이 기다림의 시간이 되어갔습니다. 그렇게 2년이라는 시간이 훌쩍 흘러가고 이제는 대학원 생활을 마쳐야 한다 생각하니 무척이나 아쉬운 마음입니다.

마음만 앞서고 배움이 더딘 저를 교수님들께서는 끊임없이 지도해 주셨고, 연구와 배움의 길에서 올바른 방향을 제시해 주셨습니다. 논문을 작성하면서 바쁘신 와중에도 부족함이 많은 저에게 많은 조언과 격려를 해주신 김우창 교수님, 아버지와 같이 든든하게 곁에서 지켜봐 주시며 사소한 질문에도 정성껏 답을 주시고 격려해 주시던 이준성 교수님, 김홍렬 교수님, 윤해권 교수님, 최두찬 교수님께 존경하는 마음을 담아 진심으로 감사의 말씀을 올립니다.

또한, 대학원 입학 첫날부터 지금까지 믿고 의지하며 많은 도움을 준 조경환, 성모천, 조태일 학우님 그리고 25기 동기분들과 선·후배님들께 깊은 감사의 말씀을 드립니다.

석사과정 동안 마음 편히 학업에 몰두할 수 있도록 응원해 주시고 아이들을 돌봐주신 장모님과 말없이 지켜봐 주고 함께해 준 아내에게 너무나도 감사하다는 말을 전합니다.

마지막으로 지금까지 건강하게 저를 키워주신 부모님, 나의 사랑하는 아들 주원, 서원이에게 고마운 마음을 전합니다.



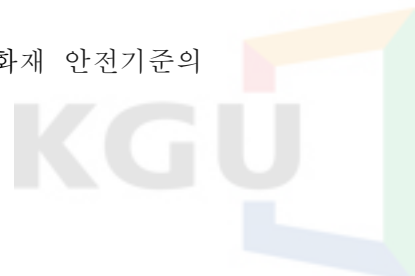
논 문 개 요

현대에는 인구 대부분이 도시에 집중되면서 건축물이 대형화, 심층화, 복잡화 되어가고 있다. 이에 따라 건축물의 좁은 대지면적에 최대한의 공간 활용을 위하여 주거용 건축물뿐만 아니라 대형 판매시설부터 창고 용도의 건물, 도로·터널에 이르기까지 지하화하여 지상을 다른 용도로 활용하기 위한 건축적 변화가 지속되고 있다. 그러나, 이렇게 대형화·심층화하는 지하공간의 규모만큼 화재 발생률이 증가하고 있고 화재를 진압하던 소방대원의 인명사고 또한 매년 증가하고 있다.

지하주차장은 구조적 특성상 밀폐구조로 연기가 층만하기 쉽고 외부로의 개구부가 없어 연기와 가스의 배출이 곤란하기 때문에 소방활동 측면에서 시야 제한에 의한 방향성 상실로 인명사고 발생 위험성이 매우 높다. 최근 10년간(2011~2020년) 소방공무원 순직·공상자 현황을 살펴보면 화재현장에서 발생한 순직자는 14명, 공상자는 1,192명으로 조사되었다. 이에 지하층 소방활동 중 소방대원의 연기에 의한 시야 제한 및 방향성 상실에 따른 인명사고 발생 위험성에 대비하여 소방청에서는 「재난현장 표준작전절차(SOP)」를 수립·활용하고 각종 장비를 활용한 위험성 회피 및 안전구역으로의 퇴로확보, 긴급대피 방법을 교육하고 있으나 여전히 소방대원의 인명피해는 줄어들지 않고 있다.

이에 소방대원이 사용하는 소방활동장비 및 구조장비의 효용성에 대하여 분석하고 지하층 화재와 유사한 밀폐구조 환경에서 연기밀도 증가에 따른 유도등의 시인성 및 가시성 확인 실험 후 문제점을 도출하여 현재 화재안전 기준에서 정하고 있는 설치기준보다 강화된 기준을 제시하고자 하였다.

연구결과, 용도별 유도등의 크기만 분류하고 있는 현재 화재 안전기준의



유도등 적용 기준을 화재 위험성이 크고 소방활동에 취약한 지하 대공간 특성에 맞게 유도등의 규격(크기) 상향 조정 및 설치 간격을 현행 보행거리 20m에서 10m 간격으로 변경, 유도등의 비상전원 용량을 기존 60분에서 90분 이상으로 상향하고 외함 재질의 불연성능 확보 및 지하층에서의 피난유도 연속성이 부여되도록 바닥면에 피난유도선 추가 설치 등을 제안하였다.

제 1 장 서 론

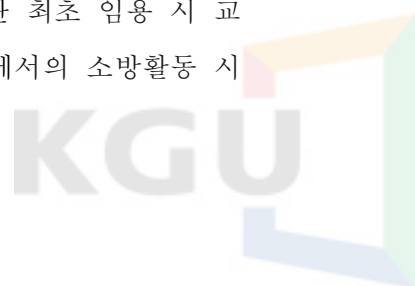
1.1 연구의 배경 및 목적

급속한 산업화 속에서 수도권 지역을 중심으로 대한민국 인구의 절반 이상이 집중되면서 지상 건축물의 과밀, 교통체증 등의 문제가 발생하였다. 이러한 문제를 해소하기 위하여 공간의 효율적 사용 방안으로 여러 용도의 시설들을 지하화하는 방법을 택하게 되었고 앞으로도 지하공간에 대한 대형화·심층화는 더욱 진행될 것으로 예상된다.

건축물 지하공간의 활용은 다양한 측면에서 사용자들에게 유익함을 제공하여왔으나 그 이면에는 화재 등의 재난 시 상당한 위험성이 존재하고 있다. 지하층은 무창층의 밀폐구조로 인하여 화재 시 배기가 불량하고 불완전연소된 다량의 연기가 내부에 체류하는 것이 가장 큰 위험요소이며, 이는 화재 시 소방활동 대원의 방향성 상실로 인한 고립, 질식 등의 인명사고를 발생시키는 주요 원인 것으로 조사되었다.

최근 사례를 살펴보면 2023년에 발생한 부산광역시 호텔 지하화재 현장활동 중 소방관 3명 부상, 2024년 서울특별시 아파트 지하주차장 화재 현장활동 중 소방관 17명 부상, 2024년 인천광역시 아파트 지하주차장 화재 소방대원 1명 부상 등 지하주차장 화재현장에서의 소방대원 안전사고가 지속적으로 발생하였는데 화재현장 내부에서 인명수색·구조 등의 소방활동 중 연기로 인한 시야 제한으로 방향성 상실 및 고립, 긴급탈출 중 공기호흡기 잔량 부족으로 인한 질식, 장시간의 소화활동로 인한 탈진 등이 원인인 것으로 분석되었다.

소방대원의 지하층 화재진압 위험성에 대비하여 화재대응에 대한 일반 절차, 인명구조 작전절차, 대원고립상황 대응절차, 지하층 화재 대응절차 등 「재난현장 표준작전절차(SOP)」를 정립하여 준수하도록 하고 있고 소방관 최초 임용 시 교육자료로 사용되는 「소방전술」 교재에서도 지하층 및 대공간에서의 소방활동 시



낮은 자세로 벽을 짚고 이동하거나 소방호스 혹은 라이트 라인(Light line), 근거리 시야 확보를 위한 연기투사용 랜턴(Lantern), 원거리 시야 확보를 위하여 휴대용 탐조등 사용에 대하여 교육·훈련하고 있다.

그러나 실제 농연이 가득한 화재현장에서 다양한 피난장비 및 조명기구의 사용에도 불구하고 소방대원의 안전사고는 지속적으로 발생하고 있다. 이는 현재 소방대원이 사용 중인 조명장비의 경우 불완전연소에 의하여 생성된 미립자가 공기 중에 다량 포함되어 빛이 연기를 투과하지 못하여 흡수·산란하며 소방대원 긴급탈출 시 퇴로확보 차원에서 사용되는 라이트라인은 내부 구조물 및 장애물에 의한 꼬임 현상, 지하 대공간 장거리 진입 동선으로 인한 길이 제한으로 소방대원의 피난유도 성능에 한계가 있음이 드러났다.

현재 건축물에는 초기 피난자의 대피 및 소방대원의 긴급대피 시 진입구 또는 피난로를 유도할 수 있는 유도등 및 휴대용비상조명 등이 설치되고 있다. 「화재안전기준(NFTC 303)」에서 설치장소별 유도등의 크기 및 보행거리 설치기준을 정하고 있으나 현재의 기준으로는 지하주차장 화재 시 소방대원 피난유도 성능에 한계가 있다.

따라서 본 연구에서는 현재 지하층에 적용되는 유도등에 대한 피난성능을 확인하고자 실험을 통하여 연기발생량에 따른 유도등의 시인성, 픽토그램의 가시성 변화를 측정하였으며, 그 결과를 통하여 지하주차장을 중심으로 유도등 설치 및 성능 기준에 대한 개선방안을 제시하고자 한다.



1.2 연구의 범위 및 방법

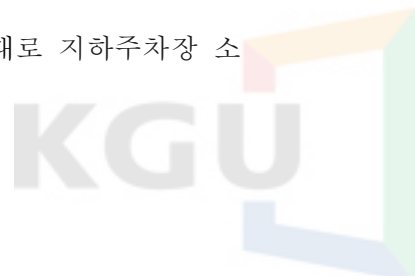
본 연구에서 지하주차장 화재 사례를 통하여 지하층 화재 시 연소 특성 및 소방대원의 인명사고를 유발하는 위험요인에 대하여 분석하였다. 또한, 소방대원의 긴급탈출 상황에서 유도등의 피난유도 성능 및 효용성을 검증해 보기 위하여 목재 가연물 연소 시 발생하는 연기량의 증가에 따른 유도등의 시인성 및 픽토그램의 가시성을 측정하였으며, 그 결과를 토대로 문제점 분석 후 개선방안을 제시하고자 다음과 같은 범위와 방법으로 연구를 수행하였다.

1장에서 연구의 배경 및 목적, 기존 연구 동향에 관하여 서술하였다. 2장에서는 지하주차장 화재에서 소방대원의 인명피해에 대하여 집중적으로 분석하였고 지하주차장에서 발생한 화재통계 및 화재의 특성과 위험요인을 분석하였다. 또한, 최근 발생한 지하주차장 화재사례를 통하여 화재진압 중 발생한 소방대원의 부상 원인을 세부적으로 분석하였다.

3장에서는 지하주차장 화재 시 소방활동과 관련하여 소화활동설비 및 재난현장 표준작전적차(SOP)에 대하여 설명하였고 대원 탈출과 같은 긴급상황 발생 시 소방대원의 피난·대피 방법에 관하여 기술하였다. 그리고 지하층 화재에서 소방대원이 사용하고 있는 각종 소방장비 및 유도등의 피난유도 효용성과 문제점에 대하여 분석하였다. 또한, 지하층 화재진압 시 소방대원의 피난에 장애를 발생시키는 원인으로 연기에 의한 시야 제한, 내부공간의 대형화, 유도등의 피난유도 성능에 대하여 분석하였다.

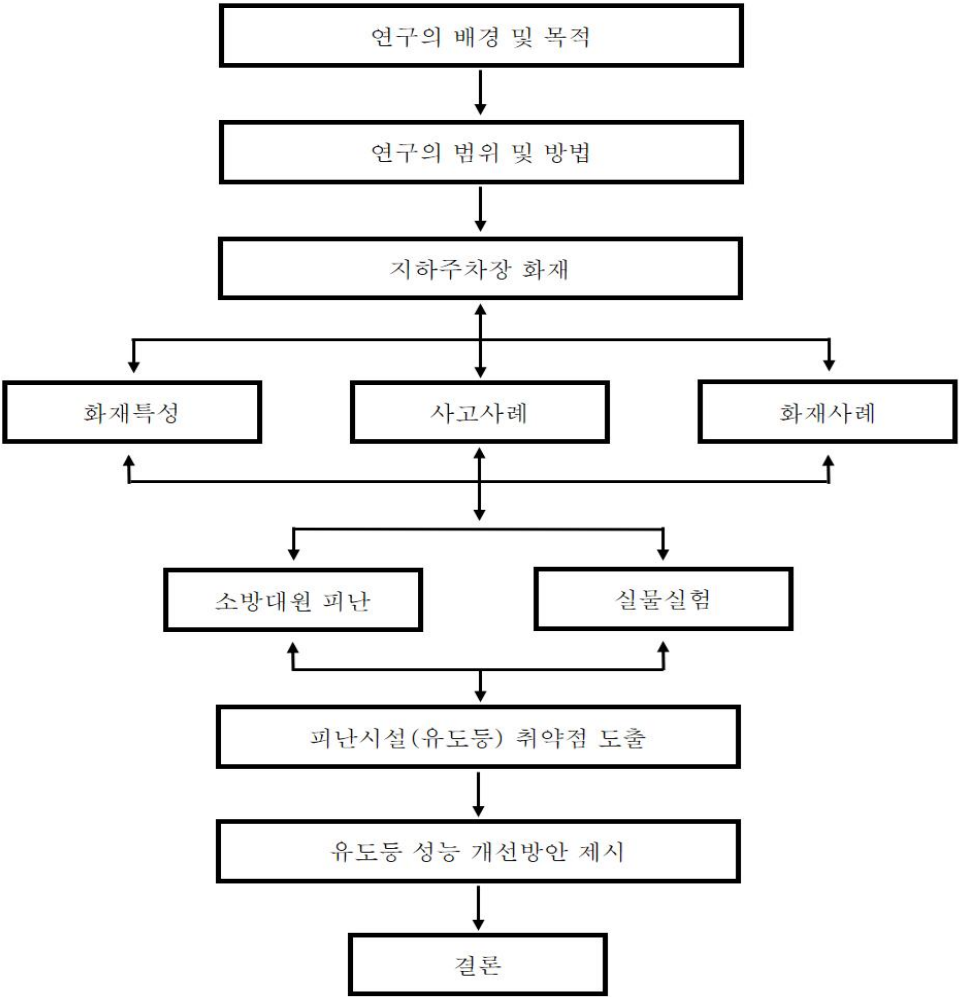
4장에서는 지하주차장 화재진압 시 각종 장비 및 설비의 사용에도 불구하고 지속적으로 발생하고 있는 소방대원 인명피해를 줄이기 위하여 현재 기준보다 강화된 유도등의 설치기준을 마련하고자 지하층과 유사한 밀폐공간에서 목재 가연물을 연소 후 연기밀도 증가에 따른 유도등의 시인성 및 가시성 변화를 관찰하기 위하여 실험을 진행하였다.

5장은 본 연구의 결론으로 실험을 통하여 관찰된 결과를 토대로 지하주차장 소



방화활동 시 유도등의 소방대원에 대한 피난유도 성능 향상 방안에 대하여 간략하게 서술하였다.

본 연구의 흐름도를 살펴보면 <그림 1-1>과 같다.



<그림 1-1> 연구의 흐름도



1.3 기존의 연구

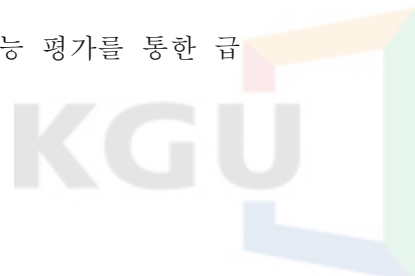
지하주차장은 밀폐구조로 외부로 연기가 배출되지 못하고 내부에 체류하기 쉽고 피난계단이나 엘리베이터 등 소방대원의 접근로가 제한적이어서 화재 시 소방 활동에 지장을 초래하고 있을 뿐만 아니라 긴급상황 발생 시 연기로 인한 시야의 제한으로 현재까지도 많은 인명사고가 발생하고 있다. 그리하여 소방대가 사용 가능한 지하층 피난유도설비에 대한 중요성을 인식하고 선행연구를 통하여 지하층 화재에서 연기가 피난자의 시야 및 행동에 미치는 영향과 지하층에 설치된 유도등의 피난유도 성능 및 가시성, 현행 법령상 설치기준에 대한 문제점을 확인·분석하고자 하였다.

2011년, 서명기의 「피난유도선을 이용한 피난유도에 관한 분석」에서 유도등이 지상과 지하가 동일하게 적용되나 지하층 화재발생 시 피난층으로의 대피시간이 더 많이 소요되는 문제를 해결하기 위하여 피난·방재계획의 수립 시 건축물의 용도별 특성을 파악하여 연기 체류나 피난유도가 불확실한 용도의 대상에는 바닥면에 피난유도선 설치를 법제화하고 건축물 구조 및 여건에 맞게 연속된 피난유도를 위한 유도등의 추가 설치를 제안하였다[1].

2016년, 손애경의 「Fail safe기능 적용을 통한 유도등 및 조명설비의 피난안전성 확보방안 연구」에서 피난 안전성 확보를 위하여 피난유도등, 비상조명설비, 조명 제어설비에 독립성과 Fail safe 기능을 적용하여 신뢰성을 향상시키는 방안을 연구하였으며, 전원 공급방식에 대한 문제점을 검토하고 조도의 향상과 비상전원 축전지 용량을 90분으로 상향하는 방안을 제시하였다[2].

2018년, 윤해권의 「지하주차장 제연성능 확보방안 연구」에서 지하주차장 화재 시 제연설비에 필요로 하는 구조와 성능 확보를 위한 시뮬레이션 평가를 통하여 제연 풍량 변화에 따른 가시도 변화 확인 및 제연경계구역의 적정 설정 면적을 제안하였다[3].

2024년, 박동영의 「공동주택 지하주차장에서의 현장 배연성능 평가를 통한 급



배기 설비 설계방안에 관한 연구」에서 지하주차장의 용도와 특징, 설치기준을 분석하고 화재 사례를 통하여 화재의 특성 및 위험성을 분석하였으며 그 중 공동주택 지하주차장의 시설물 중 환기설비의 연기배출 능력을 실제 실험과 가상실험을 통하여 비교 분석하여 문제점을 도출하고 설계 기법의 기준을 제안하였다[4].

2024년, 손용준의 「지하주차장 소화활동설비 효용성 연구」 심층화, 대형화되는 지하주차장에서의 소방활동 위험성에 대하여 분석하고 소방대가 사용하는 소화활동설비의 중요성과 문제점을 확인하여 효율적 소방활동 방안을 제시하였다[5].

이와 같이 화재 시 생성된 연기로 인하여 피난자 행동의 제약과 시야 제한, 유도등의 시인성 저하 문제가 있음을 선행연구를 통하여 확인하였으나 기존 연구에서는 소방활동 측면에서 지하주차장 화재로 인하여 발생한 연기가 소방대원의 피난에 미치는 영향과 위험성에 관한 연구가 이루어지지 않았기 때문에 본 연구에서는 소방대원의 피난 시 연기로 인한 방향성 상실 방지를 위한 유도등의 피난유도 성능 향상 방안을 마련하고자 한다.



제 2 장 지하주차장 화재시 소방관 피해

2.1 지하주차장의 화재위험

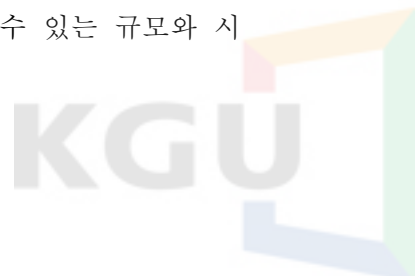
2.1.1 지하주차장 규모의 증가

지하층은 「건축법」 제2조 5항에서는 “건축물의 바닥이 지표면 아래에 있는 층으로서, 그 바닥으로부터 지표면까지의 평균 높이가 당해 층 높이의 1/2 이상인 것”이라 정의하고 있다. 우리나라에서는 1967년 3월 30일에 건축법(제22조의2 주차장 설치)을 개정하면서 건축물 부설주차장 설치를 의무화하였으며, 1970년 1월 1일에 건축법을 개정하면서 지하층 설치 규정을 두었다. 또한, 1977년 12월 31일 건축법 개정예 따라 옥내·옥외 또는 지하에 주차장을 설치할 수 있도록 하였다.

1979년 5월 18일 도시에 있어서 자동차의 주차를 위한 주차장의 설치와 관리에 관한 필요 사항을 위해 주차장법을 제정하였다. 현재의 주차장은 「주차장법」에서 정한 기준에 따라 설치되고 있으며, 주차장의 설치 위치에 따라 노상주차장, 노외주차장, 부설주차장으로 분류하고 주차 형태에 따라 자주식과 기계식으로 분류하고 있다.

최근 고층 주상복합건물이나 공동주택의 경우 지상에서 보행자와 자동차의 동선을 완전 분리하고 공원과 같은 친환경적 공간 활용을 위하여 주차장을 지하화하고 있다. 이와 같은 이유로 줄어든 지상 주차공간을 대체하여 많은 차량을 수용하다 보니 지하주차장이 아파트 단지 전체로 확장되어 지하 1층에서 지하 2층으로 복층화하고 소득수준의 증가와 함께 중·대형 차량의 급증과 과거보다 전폭과 전장 등 차량 제원이 커지면서 주차구획의 크기도 커지는 추세이다[3].

<표 2-1>에서와 같이 국내 건축물의 대규모 주차장 설치현황을 살펴보면 대부분이 지하에 위치하여 지하 1층에서 지하 7층까지 구조가 심층화되어 있고 주차대수는 적게는 600대에서 많은 경우 8,000대의 차량이 주차할 수 있는 규모와 시



설을 갖추고 있다.

<표 2-1> 대규모 주차장 현황

건물명	층수	용도	주차대수	주차장 규모
롯데월드타워	123층(555m)	사무, 호텔, 상업	2,756대	지하1층~6층
동북아무역타워	68층(305m)	사무, 호텔, 전망대	1,357대	지하1층~2층
위브 더 제니스 타워(부산)	80층(301m)	주거	3,765대	-
해운대 아이파크	72층(293m)	주거	3,728대	-
부산국제금융센터	63층(289m)	사무	1,744대	지하1층~3층
서울국제금융센터(31FC)	55층(285m)	사무	2,100대	지하4층~7층
타워팰리스	73층(265m)	주거	7,856대	-
목동 하이페리온	69층(256m)	주거	1,185대	-
63빌딩	61층(249m)	사무, 상업	1,550대	지하2층~3층
전경련회관	50층(246m)	사무	632대	-

2.1.2 지하주차장의 화재통계

최근 5년간 국내 지하주차장 화재는 <표 2-2>에서 보는 것과 같이 총 1,274건 발생하였는데 18년 278건, 19년 258건, 20년 279건, 21년 250건, 22년 9월까지 209건으로 매년 300건에 가까운 화재가 지속적으로 발생하고 있다.

자세히 살펴보면 한 해 평균 약 255건의 지하주차장 화재가 발생하고 있는데, 인명피해는 309명이 발생하는 것으로 파악되었고 연평균 약 3천억 원 이상의 막대한 재산피해가 발생하는 것으로 조사되었다.

<표 2-2> 최근 5년간 국내 지하주차장 화재 발생 건수[6]

구분	화재건수	인명피해(명)	재산피해액(천원)
계	1,274	1,543	818,712,834
2018년	278	369	14,134,749
2019년	258	285	172,180,090
2020년	279	365	58,566,649
2021년	250	276	493,096,157
22년 9월	209	248	80,735,189

<표 2-3>에서 보는 것과 같이 최근 5년간 전국에서 발생한 7건의 지하주차장 화재 사례를 분석한 결과 공동주택에서 발생한 화재발생 비율이 57.1%로 가장 높았고 발화원인으로는 기존의 설비 또는 부주의에 의한 화재보다는 차량 자체에서 발생한 화재가 대부분을 차지하였다.

피해발생 현황을 살펴보면 화재 1건당 평균 129대의 차량이 소실되고 연기흡입 환자를 포함 13명의 인명피해가 발생하였는데 지하공간에서의 발화지점 주변 차량으로 연소확대 되면서 피해가 커진 것으로 조사되었다. 또한, 인명피해 대부분 연기흡입으로 화열에 의한 피해보다는 연기로 인하여 다수의 인명피해가 발생하는 것으로 분석된다.

<표 2-3> 최근 5년간 지하주차장 화재에 따른 피해사례[4]

구분	지역	용도	발화지점	발화열원	피해규모
2020년	용산	아파트	지하주차장	차량(사고)	사망1명, 부상2명
2021년	천안	아파트	지하주차장	차량(폭발)	차량 66대 소실
2022년	대전	대형쇼핑몰	지하주차장	차량	사망 7명, 부상 1명
2023년	광양	아파트	지하주차장	차량	연기흡입 61명
2023년	부산	도서관	지하주차장	차량	연기흡입 1명
2023년	부산	호텔	지하주차장	부주의	차량 151대 소실
2024년	인천	아파트	지하주차장	차량	차량 87대 소실 연기흡입 20명

2.1.3 지하주차장 화재특성

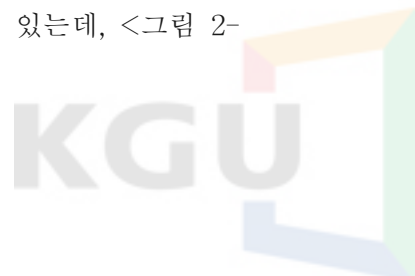
1) 환기의 불량

지하주차장은 외부환경과 단절된 폐쇄적 공간으로, 지상으로 연결된 개구부가 피난계단이나 엘리베이터 등으로 매우 제한적이기 때문에 화재 시 피난자의 피난을 지연시키고 화점을 찾아 이동하는 소방대원에게는 접근로가 한정된다. 또한, 자연채광 및 자연환기가 불능한 차단성으로 인하여 화재 시 연기의 배출이 불가하고 급기 불량이 화재성상에 영향을 주며, 다량으로 발생한 연기는 피난자들뿐만 아니라 소방대원의 시야를 제한함으로써 인명사고 발생의 주요 원인이 된다.

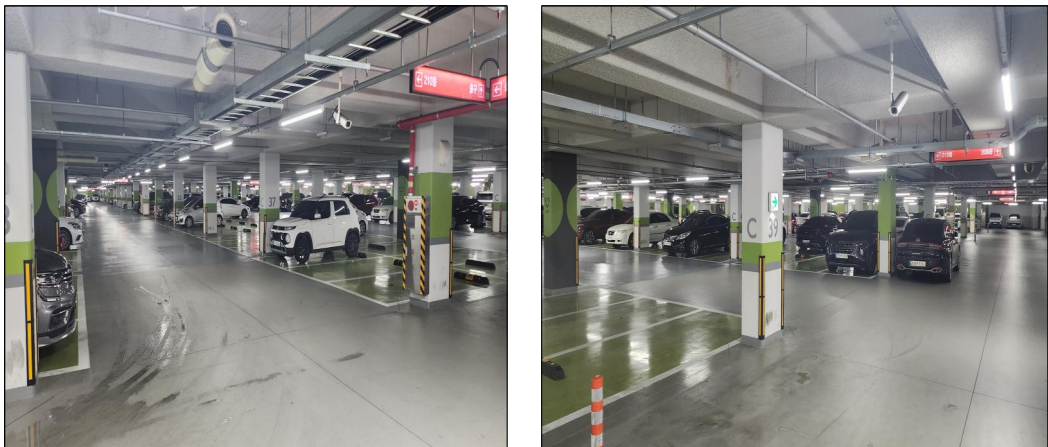
무창층의 지하공간은 열전달이 지상보다 적기 때문에 단열효과로 인하여 화재 시 발생한 열이 외부로 방출하지 못하여 화재 강도를 높이는 결과를 초래할 뿐만 아니라 열에 의한 부상 발생 확률도 높이는 것으로 확인되었다.

2) 대공간

최근 대부분 공동주택은 연결형 지하주차장의 형태를 갖추고 있으며 각 동 지하를 하나의 주차장으로 연결함으로써 그 규모가 대형화되고 있다. 이는 화재의 수평확산 및 각 동으로의 수직 확산의 위험성이 더욱 증대되고 있는데, <그림 2-



1>과 같이 대형 주차장 공간 내 여러 대의 차량이 밀집하여 인접한 상태로 주차되어 화재 초기 주변으로의 연소확대가 매우 빠르고 화재 초기 대공간 내 원활한 공기 공급으로 급격한 연소가 진행되는 연료지배형 화재 성상을 보일 뿐만이 아니라 화재실 내 벽체와 같은 구획이 없어 피난자 및 화재를 진압하는 소방대원은 화열에 노출되고 고온의 연기가 주변으로 급속히 확산되면서 신체보호 등의 방호가 불가하다.



<그림 2-1> 대형 판매시설 연결형 지하주차장

백화점과 같은 상업, 대형 판매시설 등의 지하주차장은 불특정 다수인이 출입하므로 동 시간대 이용자가 몇백에서 몇천 명이나 되며, 이용자 대부분은 탈출로에 익숙하지 않을 뿐만 아니라 건축물 피난동선의 파악이 안 된 상태로 화재 시 피난시간이 길어져 대규모 인명피해로 연결될 가능성이 매우 크다.

「소방시설등 성능위주설계 평가 운영 표준 가이드라인」 인명안전기준에서는 <표 2-4>와 같이 연기로 인하여 대피경로 상 피난안내 표시가 명확하게 보이지 않거나 공간의 구조가 복잡하고 탈출경로가 익숙하지 않은 경우, 화재 경보와 비상 조명, 안내 방송 등이 효과적으로 작동하지 않는 조건에서 피난자의 피난가능

시간이 줄어드는 것으로 나와 있다. 이와 같이 화재를 진압하는 소방대의 경우에도 내부 구조가 복잡하고 심층화된 지하공간에서 화재진압 시 연기로 인한 시야가 제한된 상태에서 활동 반경 내 탈출경로를 확인할 수 있는 지표물을 찾지 못하고 방향감각을 상실한다면 인명사고가 발생할 가능성이 매우 크다.

<표 2-4> 피난가능시간 기준(단위 : 분)[7]

용도	W1	W2	W3
사무실, 상업 및 산업건물, 학교, 대학교 (거주자는 건물의 내부, 경보, 탈출로에 익숙하고 상시 깨어 있음)	< 1	3	> 4
상점, 박물관, 레저스포츠 센터, 그 밖의 문화집회시설 (거주자는 상시 깨어 있으나 건물의 내부, 경보, 탈출로에 익숙하지 않음)	< 2	3	> 6
기숙사, 중/고층 주택 (거주자는 건물의 내부, 경보, 탈출로에 익숙하고 수면상태일 가능성 있음)	< 2	4	> 5
호텔, 하숙용도 (거주자는 건물의 내부, 경보, 탈출로에 익숙하지도 않고 수면상태일 가능성 있음)	< 2	4	> 6
병원, 요양소, 그 밖의 공공 숙소 (대부분의 거주자는 주변의 도움이 필요함)	< 3	5	> 8

비고

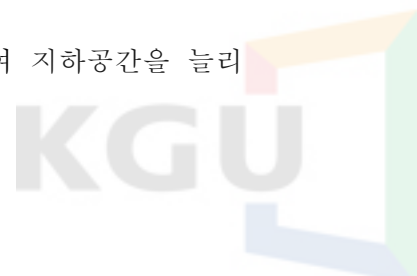
W1 : 방재센터 등 CCTV 설비가 갖춰진 통제실의 방송을 통해 육성 지침을 제공 할 수 있는 경우 또는 훈련된 직원에 의하여 해당 공간 내의 모든 거주자들이 인지할 수 있는 육성지침을 제공할 수 있는 경우

W2 : 녹음된 음성 메시지 또는 훈련된 직원과 함께 경고방송 제공할 수 있는 경우

W3 : 화재경보신호를 이용한 경보설비와 함께 비 훈련 직원을 활용할 경우

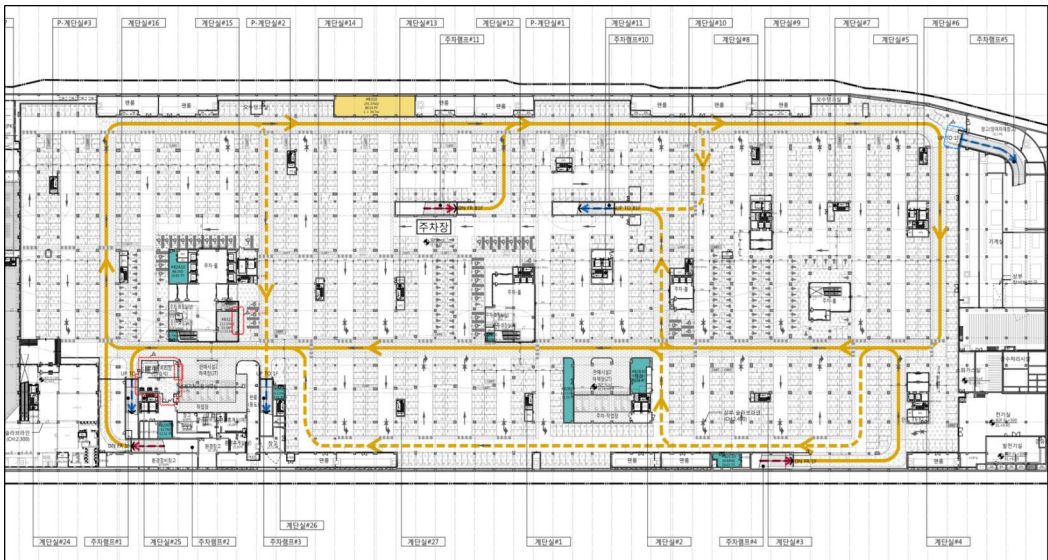
3) 지하층의 심층화

최근 건축물의 주차장은 공간을 효율적으로 활용하기 위하여 지하공간을 늘리



는 것이 필요하게 되었다. 특히, 대형 상업 시설이나 아파트 단지, 복합 용도의 건물과 같이 많은 주차공간이 필요한 곳에서는 지상 주차장의 확장이 불가능하므로 주차공간을 지하에 깊게 배치하고 건물의 기능을 분리하여 효율성을 높이고자 지하주차장의 심도를 더욱 깊게 하는 추세이다.

이에 따라 지상에서 개구부를 통하여 화점까지 이동하는 소방대원의 수직 이동 거리는 증가하게 되고 길어진 이동시간으로 현장 진입 시 화세는 이미 제어할 수 없을 정도로 진행된 상태인 경우가 많다. 또한, 소방대원이 사용하는 공기호흡기 용량은 60분으로 일반적인 호흡량에서 측정된 사용시간이며, 가쁜 호흡으로 사용 시에는 30분 이상을 사용할 수 없는데 심층화될수록 이동거리는 길어지고 체력적 부담이 가중되면서 호흡량이 증가하여 결국에는 공기호흡기 잔량이 부족해지는 악순환이 반복된다.



<그림 2-2> 대형·복잡한 구조의 지하주차장

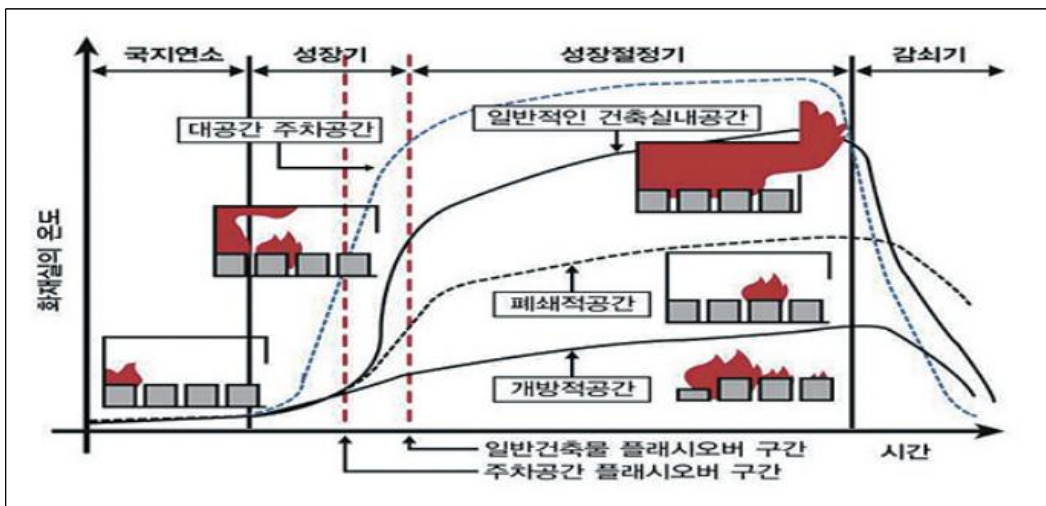
2.1.4 지하주차장의 화재위험 요인

1) 급격한 화재 성장



지하주차장은 폐쇄적인 구획 화재의 화재 성상과 대형화된 공간 및 진·출입구의 개방 특성으로 화재 초기 연료 지배형 화재에서 시간의 경과에 따라 환기 지배형 화재의 특성이 나타난다.

최근 건축물의 지하공간은 대규모 개방형 주차공간으로 구성되어 있어 빠른 화재 성장과 높은 온도로 인해 기존의 주차공간 화재 성상과 전혀 다른 양상을 나타내는데 주요 가연물인 차량이 연쇄적으로 연소하여 다량의 연기, 유독가스, 높은 열 방출률(Heat Release Rate)이 발생하며, 화재의 지속 시간도 길어진다[3].



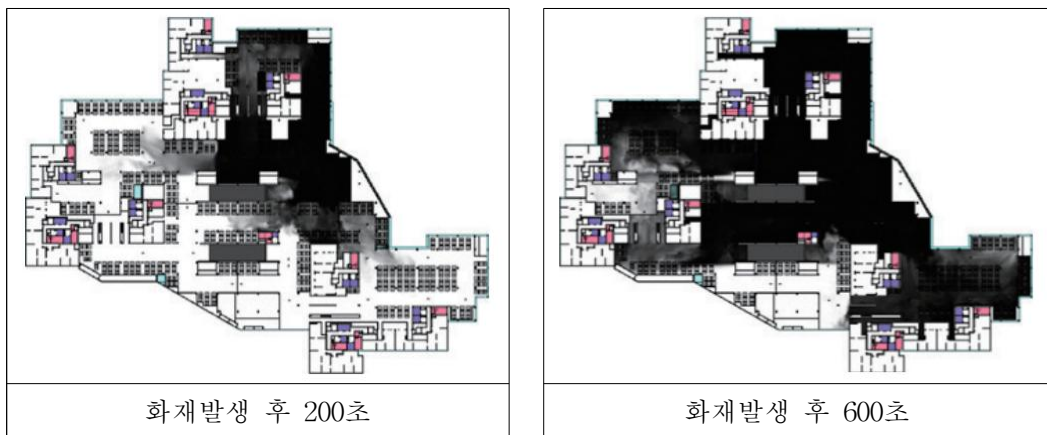
<그림 2-3> 구획 화재의 성장과정

2) 방화구획의 완화

건축법 시행령 제46조(방화구획 등의 설치)를 근거로 하여 주요구조부가 내화구조 또는 불연재료로 된 주차장의 경우 차량 진·출입 램프 입구에 층별 방화구획용 자동방화셔터가 적용되고 있으나, 면적별 방화구획은 설비공간의 부족과 차량통행 및 주차 편의를 위해 완화 적용하고 있다.

방화구획은 화재 시 발생하는 연기와 유독가스가 주변으로 확대되는 것을 막아

피난자의 대피시간을 확보하는 것이 주요 목적이나 현재 지하주차장은 방화구획 완화로 인해 특정 구역에서 화재가 발생할 경우, 인접 구역까지 연소 확대 및 피난 통로가 봉쇄되어 인명피해가 커질 위험성이 매우 높다. 「대공간 지하주차장 화재안전성 강화 설계 실무가이드」에서는 <그림 2-4>와 같이 시뮬레이션 수행을 통하여 지하주차장에서의 연기 유동 및 확산에 따른 위험성을 분석하였다.



<그림 2-4> 지하주차장 연기확산 시뮬레이션 수행 결과[8]

3) 제연설비 미설치

건축법상 지하주차장은 사람이 거주하는 ‘거실’에 해당하지 않아 연기배출용 제연설비는 설치되지 않고 「주차장법」 및 「실내공기질 관리법」에 따라 일산화탄소 등 유해가스 농도 유지를 위한 환기설비만 설치되며, 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 제11조 1항에서는 “특정소방대상물의 관계인은 제연설비를 설치·관리하여야 한다”라고 되어있으나 「제연설비의 화재안전성능기준(NFPC 501)」 제12조에서 제연설비 설치제외 대상에 주차장을 포함 시키고 있어 지금으로서는 지하주차장에서의 연기배출 방법이 부재한 상태이다.

그로 인하여 화재 시 발생한 다량의 연기는 지하층에 그대로 체류하거나 개구부를 통한 자연배기, 환기설비에 의존해야 하는 상황으로 배출량이 매우 미흡한

실정이다.

2.2 소방대원의 화재진압 피해 사례

지하주차장에서 발생한 화재로 인하여 소방활동을 하던 소방대원이 부상을 당하는 사고가 지속되고 있다. 지하주차장은 일반 건물과는 다른 특수한 환경으로 인해 화재진압이 더욱 어렵고 위험성이 따르는데 이러한 특징을 이해하고 문제점 개선하기 위하여 최근 지하주차장에서 발생한 화재 사례를 분석하였다.

2.2.1 서울시 주상복합 아파트 지하주차장 화재

서울특별시 양천구 소재 아파트 지하주차장 화재는 2024년 6월 19일 8시 2분경 아파트 지하 2층 주차장에 위치한 재활용 쓰레기장에서 불이 시작되었다.

화재가 발생하고 50분 만에 초기 진화가 되었으나 불이 환풍구를 타고 지하 1층 체육관으로 확대되면서 소방당국은 대응 1단계를 발령하고 소방대원 약 349여명과 장비 93대를 투입하여 화재진압을 실시하였으며, 이 화재로 주민 113명이 대피하고 이 중 42명의 연기흡입 환자가 발생하였다.

소방대원 인명피해는 부상 17명으로 지하 2층에서 원인미상의 폭발로 현장에서 활동 중이던 진압대원이 얼굴과 목, 양손 등에 부상을 당하였는데 이는 지하주차장 화재 시 밀폐구조로 인하여 내부에 체류하던 미연소가스가 배출되지 않아 점화원에 의하여 착화·폭발한 것으로 추정된다.



<그림 2-5> 주상복합 아파트 지하주차장 화재[9]

2.2.2 부산시 호텔 지하화재

부산광역시 해운대구 소재의 호텔에서 발생한 화재는 2023년 6월 20일 오전 9시경 34분경 호텔 지하 6층 재활용 쓰레기장에 적재된 매트리스에서 불이 시작되었다. 소방당국은 오전 10시 1분경 대응 1단계를 발령하고 소방대원 495명과 장비 81대를 동원하여 화재진압을 실시하였으며, 이 화재로 투숙객 170명이 대피하고 이 중 35명의 연기흡입 환자가 발생하였다.

소방대원 인명피해로는 지하층에서 진화작업 중이던 소방대원 3명이 손등에 화상을 입었는데 연소 중인 차량에서 발생한 고온의 열과 연기로 인한 것으로 분석된다.

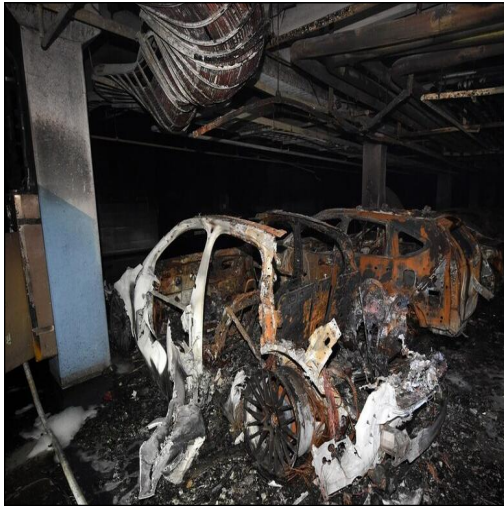


<그림 2-6> 부산 호텔 지하 화재[10]

2.2.3 인천시 아파트 지하주차장 화재

인천광역시 서구 소재 아파트 지하주차장에서 발생한 화재로 2024년 8월 1일 오전 6시경 10분경 아파트 지하주차장에 주차된 전기차에서 불이 시작되었으며, 소방당국은 소방대원 177명과 장비 62대를 동원 화재진압을 실시하였다.

이 화재로 건물 내부 103명의 주민이 대피하고 106명이 발코니 및 계단에서 구조대에 의하여 구조되었다. 이 중 주민 20명이 연기를 흡입하여 병원으로 이송되었고 지하층 진화작업 중이던 소방대원 1명이 온열질환으로 부상을 당하였는데 지하주차장 화재 특성상 연기배출이 불량하고 화점에 접근이 어려운 상황에서 장시간의 소방활동이 원인인 것으로 분석된다.



<그림 2-7> 청라 아파트 지하주차장 화재[11]

2.2.4 사례분석

<표 2-5>에서 보는 것과 같이 지하화재 진압 중 발생한 소방대원 인명피해 발생원인으로는 폭발, 장시간 작업에 의한 탈진, 연기흡입에 의한 질식, 시야 제한에 의한 방향성 상실 및 고립, 화염에 의한 화상 등이 주요 원인인 것으로 분석되었다.

이와 같이 밀폐구조의 지하주차장 화재 시 발생한 다량의 연기는 외부로 배출되지 못하고 내부에 체류하기 때문에 소방대원이 고온의 열기에 노출될 뿐만 아니라 시야를 제한하여 방향성을 상실하거나 퇴로를 찾아 긴급하게 탈출해야 하는 상황에서 방향 감각을 상실하고 주변을 맴돌다가 공기호흡기의 공기 잔량 부족으로 질식할 가능성이 매우 높다.

<표 2-5> 지하화재 소방대원 인명피해 발생 사례[4]

년도	장소	부상원인	피해사항
2021	이천시 마장면 소재 물류창고 지하 2층	고립, 연기흡입	사망 1, 부상 1
	부산광역시 동래구 안락동 소재 오피스텔 지하주차장	추락, 탈진	부상 4
2023	부산광역시 동구 소재 근생건물(목욕탕) 지하 1층 연료탱크	폭발	부상 2
	부산광역시 해운대구 중동 소재 호텔 지하주차장	화상	부상 3
2024	서울특별시 양천구 목동 소재 아파트 지하주차장	폭발	부상 17
	인천광역시 서구 청라동 소재 아파트 지하주차장	탈진	부상 1

2.3 소방대원의 피해

2.3.1 소방대원의 피해통계

최근 10년간 위험직무를 수행 중 순직한 소방대원은 아래 <표 2-6>과 같이 총 49명으로 구조·구급활동 중 순직자가 18명으로 가장 많았고, 화재진압 중 발생한 순직자는 14명으로 파악되었다.

<표 2-6> 최근 5년 소방공무원 위험직무 순직 현황[12]

근무유형	계	'11	'12	'13	'14	'15	'16	'17	'18	'19	'20
총계	49	8	7	3	7	2	2	2	7	9	2
화재진압	14	3	4	2	1	1	0	2	0	1	0
구조	18	2	3	1	5	1	1	0	2	1	2
구급	7	1	0	0	0	0	0	0	1	5	0
생활안전	3	0	0	0	1	0	0	0	1	1	0
기타	7	2	0	0	0	0	1	0	3	1	0

<표 2-7>의 최근 10년간 소방공무원 공상자는 총 5,672명으로 소방활동으로 인한 공상자 중 구급활동 중 발생한 공상자는 1,282명(22.6%)으로 가장 많았고, 화재진압 중 발생한 공상자는 1,192명(21%)으로 구급활동 다음으로 많이 발생한 것으로 분석되었다.

<표 2-7> 최근 10년 소방공무원 공상 현황

년도	계	소방활동					소방활동 외				기타
		화재	구조	구급	생활 안전	교육 훈련	일상 업무	출· 퇴근	질병	체력 단련	
'11	450	102	25	98	19	36	33	35	17	54	31
'12	326	67	30	79	7	39	38	29	10	19	8
'13	316	72	26	80	2	27	42	32	1	24	10
'14	358	76	36	87	10	37	39	27	14	15	17
'15	409	83	42	100	9	23	65	22	9	43	13
'16	511	97	43	134	12	61	69	35	8	42	10
'17	657	125	54	132	19	60	107	46	29	58	27
'18	823	195	68	184	17	73	108	71	38	53	16
'19	818	180	62	163	23	87	114	60	32	62	35
'20	1,004	195	69	225	26	98	139	113	45	62	32

2.3.2 소방대원 피해요인

1) 탈진

지하층 화재 특성상 가연물의 연소열이 외부로 방출되지 못하고 내부공간은 장시간 고온을 유지하게 된다. 이러한 고온 환경에 노출된 소방관들은 화염과 뜨거운 공기 속에서 작업해야 하기 때문에 체온이 급격히 상승할 수 있으며, 열사병이나 열피로와 같은 위험에 쉽게 노출된다. 체온 조절이 어려운 상태에서 장시간 작업하면 신체가 탈진 상태에 빠지기 쉽다.

또한, 소방관들은 방화복, 헬멧, 공기호흡기 등 무거운 장비를 착용한 채로 활동해야 하기 때문에 장비는 체온 상승을 촉진하고 땀을 배출하는 데 어려움을 주어 신체의 피로를 가중시키며, 체내 수분 손실을 증가시킨다. 결국, 체내 수분이 부족

해지면 근육 피로와 심혈관계 스트레스를 유발해 탈진으로 이어질 수 있다[13].

2) 연기에 의한 질식

소방관들이 화재현장에서 연기에 의한 질식 위험을 겪는 이유는 주로 연기 속에 포함된 독성가스로 인한 중독과 산소결핍이 원인이다. 화재 시 발생하는 연기에는 다양한 독성가스를 포함하는데, 합성 소재의 가연물 등이 연소하면서 발생한 일산화탄소, 시안화수소, 이산화탄소가 포함된 연소생성가스는 현장활동을 하는 소방대원의 호흡 곤란과 질식을 일으키는 주요 원인이다.

또한, 다량의 연기가 발생하는 화재현장에서 공기호흡기의 사용은 필수적인데, 장시간 소요되는 소방활동 시 사용시간이 제한적이기 때문에 잔량 부족으로 산소가 충분히 공급되지 못하는 상황에서는 호흡기 착용이 어려울 수 있으며, 이에 따라 질식 위험이 커진다.

3) 방향성 상실로 인한 고립

지하층 화재현장은 짙은 연기로 인해 가시거리가 매우 제한되며, 이는 소방대원들이 자신의 위치를 파악하거나 출입구를 찾는 데 큰 어려움을 초래한다. 연기 속에서는 빛도 차단되어 랜턴과 같은 조명기구를 사용하더라도 시야 확보가 어려울 수 있는데 특히, 건축물의 구조가 복잡하고 환기조건이 불량한 지하공간에서는 유해가스 농도가 높아질 수 있어 방향성을 상실할 위험이 크다.

또한, 대규모 지하주차장과 같은 넓은 바닥면에 연기가 충만한 경우에 인명검색 및 구조작업은 매우 위험한데 이는 인명검색 상황에서 공기호흡기 잔량 부족 등의 긴급상황에서 방향 감각을 잃고 출입구를 찾을 수 없어 질식하거나 화재에 휘말리게 될 우려가 있기 때문이다.

4) 시야 제한에 의한 추락

건축물 화재에서 급격한 연소에 의하여 화열과 연기가 빠르게 확산한다면 가시

거리가 매우 제한적일 수밖에 없는데 이로 인해 소방대원들은 바닥이나 장애물을 인지하지 못하고 발을 헛디디거나, 계단이나 발코니에서 추락할 위험이 높다.

대부분의 화재현장은 다양한 구조물과 불안정한 수용물로 가득 차 있으며, 연기 속에서는 이러한 위험을 제때 감지하기 어렵기 때문에 무너진 바닥이나 균열이 발생한 벽을 식별하기 어려워 예기치 않은 추락으로 이어질 수 있다.

제 3 장 지하주차장 소방대원의 피난장애 원인 및 문제점

3.1 지하주차장에서의 소화활동

3.1.1 지하주차장 소화활동설비

소화활동설비는 화재 발생 시 소방대의 화재진압 활동을 지원하기 위해 설치되는 설비로, 초기 화재진압 및 화재 확산방지에 중요한 역할을 한다.

<표 3-1>과 같이 소화활동설비는 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 별표4 ‘특정소방대상물의 관계인이 특정소방대상물에 설치·관리해야 하는 소방시설의 종류’에서 정한 기준에 따라 설치하도록 하고 있다.

<표 3-1> 지하층 설치 소방시설 종류

구분		소화설비	경보설비	피난설비	소화활동설비
지하 가	지하 상가	소화기 옥내소화전 스프링클러	자동화재탐지설비 시각경보기	피난기구 공기호흡기 유도등 유도표지 휴대용 비상조명등	상수도소화용수설비 재연설비 무선통신보조설비
	터널	소화기 옥내소화전	비상경보기, 자동화재탐지설비	비상조명등	재연설비 연결송수관설비 비상콘센트설비 무선통신보조설비
지하구		소화기	자동화재탐지설비 통합감시시설		무선통신보조설비 연소방지설비
지하·무창층		소화기 옥내소화전 스프링클러설비 ※간이스프링클러(다중이용업소)	비상경보설비 비상방송설비	유도등 비상조명등	재연설비 연결송수관설비 연결살수설비 비상콘센트설비 무선통신보조설비

1) 제연설비

제연설비 설치의 주요 목적은 연기를 제어하여 재실자들이 안전하게 대피할 수 있는 피난로를 확보하고 연기가 제거된 청결층의 유지로 소방대원의 신속한 진입이 가능하도록 하여 원활한 소방활동을 할 수 있게 하는 것이다.

제연설비의 종류는 크게 전실과 거실 제연설비로 구분할 수 있는데 전실제연설비는 특별피난계단, 비상용 승강기의 승강장 또는 피난용 승강기의 승강장에 설치하도록 하고 있으며, 거실제연설비는 많은 사람이 모이는 공간이나 자연배연 불가 거실에 설치하도록 하고 있다[5].

2) 연결송수관설비

연결송수관설비는 화재 발생 시 소방대가 신속하고 효율적으로 물을 공급받아 화재진압을 수행할 수 있도록 돕는 매우 중요한 설비이다. 특히, 고층건물과 대형 지하시설에서는 소방대가 소방호스 등의 진압장비를 끌어 올리거나 지하로 운반하기 어렵기 때문에 외부에서 송수하여 설비를 활용함으로써 신속한 대응이 가능하고 건물 내 소화수 보유량을 보충하면서 안정적으로 소화용수를 공급하여 효과적으로 화재를 진압할 수 있다.

3) 연결살수설비

연결살수설비는 화재 발생 시 소방대의 활동을 효과적으로 지원하며, 초기 화재를 빠르게 억제하여 대규모 피해와 인명피해를 줄이는 데 중요한 설비이다. 특히, 고층건물, 대형시설, 지하주차장에서 화재진압과 피난 안전성을 확보하는 데 큰 역할을 하며 화재 초기 단계에서 직접적인 살수 작용을 통해 화재를 억제하고 소방대가 도착하지 않은 상태에서도 설치된 스프링클러 방식으로 물을 분사해 초기 화재를 빠르게 억제할 수 있어 주변으로의 연소 확산을 방지하는 데 매우 효과적이다.



4) 비상콘센트설비

비상콘센트설비는 화재와 같은 비상상황에서 소방대가 장비를 사용해 신속히 대응할 수 있도록 필요한 전원을 공급하는 중요한 설비이다. 주로 대형 건물과 고층건물, 지하시설 등에 설치되며, 전원 공급이 끊긴 상황에서도 필요한 전력을 제공하는데 연기 배출기, 이동식 조명, 통신장비 등과 같은 소방대의 장비에 필요한 전력을 공급하거나 비상발전기, UPS 등의 비상전원과 연결되어 비상시에도 안정적인 전원 공급이 가능하다.

5) 무선통신보조설비

무선통신보조설비는 지하철, 터널, 지하주차장 등 무선통신신호가 약해지거나 전달되지 않는 건물 내부나 지하 공간에서 소방활동 시 대원 상호 간 통신이 원활하게 이루어지도록 지원하는 설비이다. 층수가 높거나 지하층이나 지하상가 등 그 구조상의 문제로 무선교신이 용이하지 않을 때 누설동축케이블이나 안테나를 설치하여 무선교신을 할 수 있도록 하는 설비이다.

건축물 규모에 따른 설치 대상은 층수가 30층 이상인 것으로서 16층 이상 부분이며, 지하층의 강화대상 조건은 지하층의 바닥면적 합계가 3천㎡ 이상인 것 또는 지하층의 층수가 3층 이상이고 지하층의 바닥면적 합계가 1천㎡ 이상인 것에 설치하도록 하고 있다.

3.1.2 지하주차장 표준작전절차(SOP)

지하공간은 밀폐구조로 인하여 공기의 유입량이 적고 가연물의 불완전연소에 의한 미립자가 다량 발생하며, 여기서 발생한 유독성 연기는 배출이 쉽게 이루어지지 않기 때문에 내부에는 연기와 열이 축만한 상태에 이르는 경우가 많다. 그리하여 지하층 소방활동 중 소방대원의 연기에 의한 시야 제한 및 방향성 상실에 따른 인명사고 발생 위험성에 대비하여 소방청에서는 「재난현장 표준작전절차(S

OP)」를 수립·활용하고 있는데 「SOP 217 지하층화재 대응절차」의 내용을 자세히 살펴보면, 인명검색 시 방향성 상실 방지 및 시야 확보를 통하여 대원이 연기 속에서 고립되는 위급한 상황을 회피하도록 하는 내용에 중점을 두고 있으며, 화재현장 진입구 및 활동 경로상에 로프나 라이트라인(Light line)을 설치하고 조명기구 등을 휴대 및 활용하는 것이 주요 내용이다.

<표 3-2> 재난현장 표준작전절차(SOP 217)[14]

SOP 217 지하층화재 대응절차	
사고특성 및 주의사항	1. 공간이 작고 공기 유입량이 적기 때문에 연소가 완만하지만 짙은 연기와 열기는 충만 2. 진입구가 협소하고 배연구 역할을 하므로 진입곤란, 진입 시 방향감각의 상실 가능성 높아 소방활동상 장애
현장대응절차	1. 진입경로에는 로프나 라이트라인(Light line)을 설치 2. 급격한 공기유입 방지하여 백드래프트 발생요인 차단 3. 비상구 개방 전 화재성상(백드래프트 등) 파악 후 천천히 개방, 급기구 진입 4. 다수인 대피 시 출입구 통제·유도요원 배치 5. 지상으로의 연기유입이나 연소 확대를 차단(방화문 폐쇄 및 경계관찰 배치) 6. 진입이 곤란하고 구조 대상자가 없을 경우, 고발포나 가스계 소화약제 등을 주입하여 진화 7. 구조 대상자가 있을 것으로 예상되는 경우, 미분무나 살수설비로 진화

「SOP 204 대원고립상황 대응절차」에서는 지하층 화재진압 중 소방대원의 인명사고 발생의 주요 원인이 되는 연기로 인한 가시거리 감소와 방향성 상실로 인한 대원 고립 상황에 대비하여 각종 장비를 활용한 위험성 회피 및 안전구역으로의 퇴로확보, 긴급대피 방법 등 행동요령을 설명하고 있다.



<표 3-3> 재난현장 표준작전절차(SOP 204)

SOP 204 대원고립상황 대응절차	
고립 시 확인사항	1. 현 위치, 출입구 방향, 낙하물 및 붕괴우려 등 2. 공기호흡기 잔압, 랜턴의 조도, 무전기 감도 3. 주변 화염과 연기의 유동 상태 4. 소방호스, 라이트라인, 로프 등과 같은 지표물 5. 다른 대원들의 소리, 장비가 작동하거나 부딪치는 소리 등
탈출방향 결정	1. 호스 커플링의 수난사 쪽, 놓여진 소방장비 하단방향이 출구 2. 빛 또는 신선한 공기가 들어오는 방향 3. 대원이나 소방장비의 작동소리가 나는 방향 4. 소방장비의 사이렌 소리가 나는 도로 쪽 또는 경광등 불빛이 보이는 방향이 더 안전
고립사실 알리기	1. 무전기, 큰 소리, 개구부로 물건 던짐 등으로 외부에 도움 요청 2. 개인용 안전경보장치 작동 3. 쇠파이프 등을 이용하여 벽·구조물 등을 규칙적으로 두드림
행동요령 및 안전조치	1. 구조활동에 임하고 있는 소방력 외에는 위험에 직면한 고립된 대원에 대한 소방력을 집중투입, 다른 대원들의 동요 방지 2. 진입부터 현 위치까지 진행 회상 등 수집된 정보로 탈출 구상 3. 공기호흡기의 사용시간 연장을 위한 호흡 조정 4. 벽에 닿으면 한쪽 방향을 정해서 일직선으로 기어감 5. 소방호스를 확인하여 진입로 방향으로 호스를 잡고 탈출 6. 창문까지 다다른 경우 손 또는 머리를 내밀고 구조 요청 7. 기타 상황에 맞는 적절한 방법과 수단을 동원하여 구조 요청

3.1.3 지하주차장 소화활동의 어려움

지하주차장 화재의 경우 개방공간 또는 구획실 화재와는 다른 양상을 나타내는데 화재 초기 대공간 내 가연물의 연소에 필요한 공기량이 충분하고 차량과 같은 화재하중이 높은 가연물이 집중되어 일반적 구획실 화재보다 최성기에 이르는 시간이 매우 빠르고 플래시오버 현상이 조기에 발생할 가능성이 높다. 또한, 구조적 특성상 내부에서 발생한 고온의 열과 연기가 외부로 배출되지 못하고 실 내부 천장면에서부터 하강하며 체류하게 되는데 화재로 발생한 다량의 연기에는 미립자가 포함되어 소방대원의 시야를 제한함으로써 신속한 소방활동을 방해한다.

지하층 화재에서 외부로부터 산소의 공급이 원활하지 않아 불완전연소로 인한

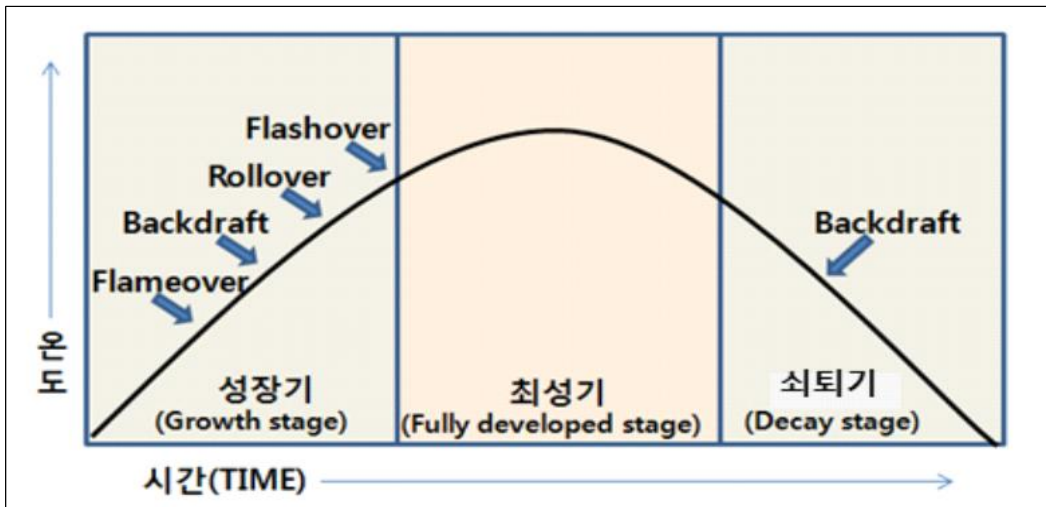
증기운 형태의 가연성 가스가 생성되는데, 여기서 발생한 고온의 일산화탄소가 전체 공간의 약 25 %만 차지하여도 화점 공간 코너에 집중되어 공기가 유입되면 순간 전체 공간이 폭발에 이를 수 있다.

화재 시 소방대원은 화재가 발생한 위치를 찾아내는 것이 가장 첫 번째 임무이다. 그 이유는 건물 내부 발화지점과 화재 규모를 확인하고 필요한 자원과 기타 다양한 결정을 신속하게 내려야 하기 때문이다. 그러나 지하주차장의 경우 지하로 연결되는 출입구가 한정되어 접근 경로가 제한적이고 소방대원이 진입하는데 사용되는 계단 출입구는 지하층 연기의 배출구 역할을 하여 내부로 진입하는데 상당한 시간이 소요되며 화재발생 위치를 파악하는데 상당한 어려움을 겪는다.

<그림 3-1>과 같이 플래시오버(Flashover)는 화재가 성장기 단계에서 최성기로 접어들었음을 나타내며 화재의 생애주기 중 가장 위험한 순간으로 소방대원은 플래시오버가 발생한 공간에서의 효과적인 인명검색과 구조작업은 거의 불가능하다.

1960년 미국 California 주정부에 의해 입증된 실험결과에 따르면, 소방관들이 플래시오버가 발생한 후 문을 통해 탈출할 수 있는 거리는 1.5m가 한계이고 137℃~160℃의 온도에 노출된 피부에 극심한 고통과 피해를 일으키며 플래시오버가 발생된 곳의 평균 온도는 537℃~815℃ 정도로 이 온도에서 방화복을 착용한 소방관이 버틸 수 있는 시간은 2초를 넘기지 못하는 것으로 알려졌다. 이렇듯 지하 플래시오버 현상이 발생한 현장에는 고온의 환경과 급격한 상황변화 등의 특성으로 인하여 소방대원의 소방활동 매우 큰 위험과 장애를 초래한다.



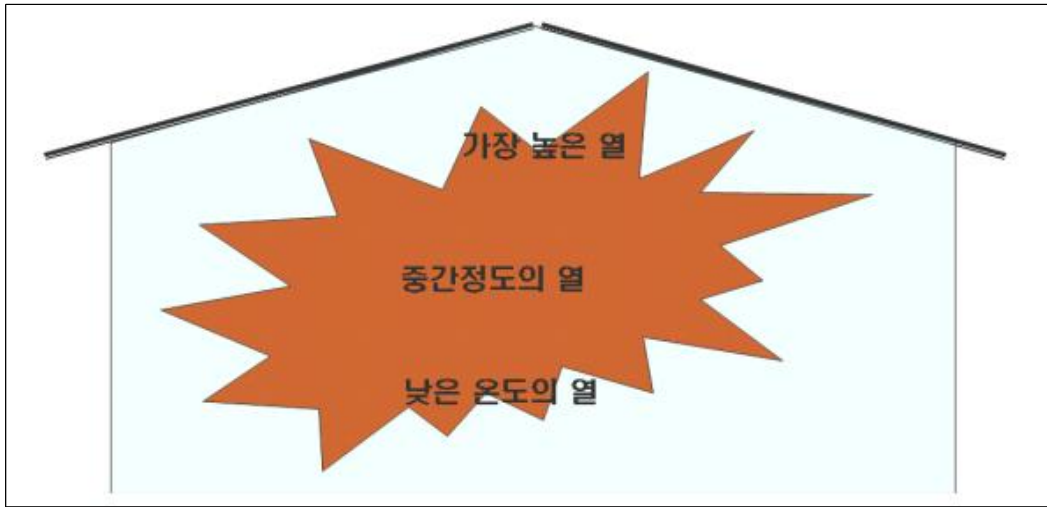


<그림 3-1> 시간과 온도변화에 따른 연소 이상현상

지하주차장 화재에서 가연물의 연소로 발생한 다량의 연기는 외부로 배출되지 못하고 내부에 체류하며 <그림 3-2>와 같이 상층과 하층에 열 균형을 이루게 된다. 가스의 열 균형이란 가스가 온도에 따라 층을 형성하는 경향을 말하는 것으로 가장 온도가 높은 가스는 최상층에 모이는 경향이 있고, 반면 낮은 층에는 보다 차가운 가스가 모이게 된다.

이러한 열 균형 특성 때문에 소방대원들은 낮은 자세로 진입하여 활동하여야 하는데 소방대원이 열 균형을 이루고 있는 가스층에 직접 방수를 한다면, 높은 곳에서 배연구(환기구) 밖으로 나가는 가장 뜨거운 가스층은 방해를 받을 수 있다.

또한, 온도가 가장 높은 가스층에 소화수를 뿌리게 되면 물은 수증기로 급속히 변화하여 구획실 내의 가스와 섞이게 된다. 연기와 수증기가 소용돌이치는 혼합은 정상적인 열균형을 파괴하여 뜨거운 가스가 구획실 전체에 섞이게 되기 때문에 소방대원들은 열 균형이 파괴되었을 때에 화상을 입게 된다[17].



<그림 3-2> 폐쇄된 구조물 내 가스의 열 균형

3.2 지하주차장 소방대원의 피난

3.2.1 지하주차장의 피난시설

화재현장에서 지속적으로 발생하는 소방대원의 인명사고는 연기에 의한 시야 제한으로 방향성 상실에 의한 고립, 추락 등이 주요 원인이며, 지하층 화재에서 소방대원이 사용 가능한 피난설비는 유도등이 유일하다.

유도등은 피난자가 피난하는데 방향을 잃지 않고 신속한 피난이 가능하도록 광원의 빛을 공급, 주변 물체에 발산하는 것이 주된 기능으로 「유도등의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」에서 “유도등은 화재 시에 긴급대피를 안내하기 위하여 사용되는 등으로서 정상상태에서는 상용전원에 의하여 켜지고, 상용전원이 정전되는 경우에는 비상전원으로 자동전환되어 켜지는 등을 말한다”라고 정의하고 있다.

유도등은 설치된 위치, 표시면의 내용에 따라 피난구 유도등, 거실통로 유도등, 복도통로 유도등, 계단통로 유도등으로 분류하고 표시면의 크기에 따라 대형, 중

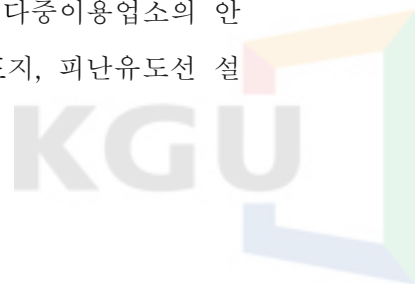
형, 소형으로 분류된다. 또한, 설치되는 형태·방법에 따라 천장형, 벽부형, 매립형 등으로 구분된다.

「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률」 제2조에서는 소방시설을 소화설비, 경보설비, 피난구조설비, 소화용수설비, 소화활동설비로 분류하고 있으며, 「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 별표1에서는 <표 3-4>와 같이 피난구조설비를 피난기구, 인명구조기구, 유도등, 비상조명등 및 휴대용비상조명등으로 구분하고 있는데 피난구조설비는 “화재가 발생할 경우 피난하기 위하여 사용하는 기구 또는 설비”로 정의하고 있다.

<표 3-4> 피난구조시설의 종류

구분	설비종류
1. 피난기구	1) 피난사다리 2) 구조대 3) 완강기 4) 간이완강기 5) 그 밖에 화재안전기준으로 정하는 것
2. 인명구조기구	1) 방열복, 방화복(안전모, 보호장갑 및 안전화를 포함한다) 2) 공기호흡기 3) 인공소생기
3. 유도등	1) 피난유도선 2) 피난구유도등 3) 통로유도등 4) 객석유도등 5) 유도표지
4. 비상조명등 및 휴대용비상조명등	

「소방시설 설치 및 관리에 관한 법률 시행령」 별표4 및 「다중이용업소의 안전관리에 관한 특별법 시행령」 별표1에 따라 유도등과 유도표지, 피난유도선 설



치·관리에 대하여 규정하고 있으며, 유도등의 종류는 <그림 3-3>과 같이 피난유도선, 피난구유도등, 통로유도등, 객석유도등, 유도표지로 분류하고 있다.



<그림 3-3> 유도등의 종류

「유도등 및 유도표지의 화재안전성능기술기준(NFTC 303)」 2.1(유도등 및 유도표지의 종류)에서는 특정대상물의 용도별 그 적응성에 맞는 크기의 것으로 유도등을 설치하도록 규정하고 있는데, <표 3-5>와 같이 지하층·무창층 또는 층수가 11층 이상인 특정소방대상물에는 중형 피난구 및 통로유도등을 설치하도록 하고 있다.

<표 3-5> 용도별 설치하여야 할 유도등 및 유도표지의 종류

설치장소	유도등 및 유도표지의 종류
1. 공연장·집회장(종교집회장 포함)·관람장·운동시설	○ 대형피난구유도등 ○ 통로유도등 ○ 객석유도등
2. 유흥주점영업시설(「식품위생법 시행령」 제21조 제8호 라목의 유흥주점영업 중 손님이 춤을 출 수 있는 무대가 설치된 카바레, 나이트클럽 또는 그 밖에 이와 비슷한 영업시설만 해당한다)	
3. 위락시설·판매시설·운수시설·「관광진흥법」 제3조 제1항 제2호에 따른 관광숙박업·의료시설·장례식장·방송통신시설·전시장·지하상가·지하철역사	○ 대형피난구유도등 ○ 통로유도등
4. 숙박시설(제3호의 관광숙박업 외의 것을 말한다)·오피스텔	○ 중형피난구유도등 ○ 통로유도등
5. 제1호부터 제3호까지 외의 건축물로서 지하층·무창층 또는 층수가 11층 이상인 특정소방대상물	
6. 제1호부터 제5호까지 외의 건축물로서 근린생활시설·노유자시설·업무시설·발전시설·종교시설(집회장 용도로 사용하는 부분 제외)·교육연구시설·수련시설·공장·교정 및 군사시설(국방·군사시설 제외)·자동차정비공장·운전학원 및 정비학원·다중이용업소·복합건축물	○ 소형피난구유도등 ○ 통로유도등
7. 그 밖의 것	○ 피난유도표지 ○ 통로유도표지
※ 비고 소방서장은 특정소방대상물의 위치·구조 및 설비의 상황을 판단하여 대형피난구유도등을 설치하여야 할 장소에 중형피난구유도등 또는 소형피난구유도등을, 중형피난구유도등을 설치하여야 할 장소에 소형피난구유도등을 설치하게 할 수 있다. 복합건축물의 경우 주택의 세대 내에는 유도등을 설치하지 않을 수 있다.	

3.2.2 소방대원의 피난장비

소방대의 지하화재 소방활동에서 가장 큰 위험 상황은 크게 두 가지로 나뉘는데 첫째는 연기에 의한 시야의 제한이고, 두 번째는 시야 제한에 의한 방향성 상실 및 고립이다.

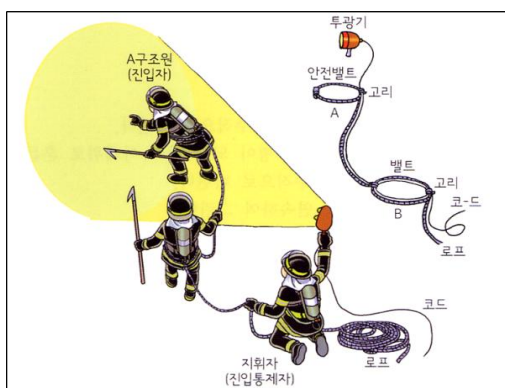


지하층 화재의 급변하는 화재 양상과 급격한 연소확대 상황에서 긴급탈출을 해야 하는 상황이 발생할 수 있을 뿐만 아니라 장시간 소요되는 소방활동에 따른 체력고갈, 공기호흡기 산소의 고갈 등의 상황에서 진·출입을 반복해야 하는 경우가 발생한다. 이러한 상황에서 소방대원이 이동 중 경로를 이탈한다면 큰 위험에 빠질 수 있기 때문에 위험 상황을 회피하기 위한 방법으로 「재난현장 표준작전절차(SOP)」에서는 소방호스 및 로프, 조명기구 및 라이트라인을 활용한 피난유도 방법에 대하여 언급하고 있다.

1) 소방호스 및 로프

「재난현장 표준작전절차(SOP)」에서 짙은 연기 속 인명검색 및 진압활동 시 방향성 상실 및 퇴로확보를 위하여 <그림 3-4>와 같이 로프를 활용하여 소방대원의 몸에 결착하는 방법과 화점 진압을 위하여 사용되는 소방호스의 연결부(커플링)를 확인하여 진입한 방향의 반대 방향으로 탈출하는 방법을 제시한다.

그러나 지하 대공간에서의 로프 또는 소방호스의 활용 가능성은 극히 제한적인데 이는 넓은 공간적 특성으로 인한 소방대원의 이동경로가 길어져 길이가 제한되고 건축물 내부에 존재하는 각종 시설물이 장애물로 작용하여 꼬임 현상의 발생으로 소방활동을 하는 소방대원을 더욱 위험에 빠트릴 수 있기 때문이다[15].



<그림 3-4> 농연 속 퇴로확보를 위한 소방전술[9]

2) 라이트라인

<그림 3-5>와 같이 선형 발광 형태의 라이트라인은 고층건물에서 발생한 야간 화재, 지하층 및 지하철, 지하공동구의 화재 시 짙은 연기로 인한 소방대원의 전면 관측의 불가, 내부 활동 중 방향성 상실의 문제점이 도출되면서 도입된 장비로 소방대원의 몸에 결착하여 화점 방향으로 이동하면서 이동 경로를 표시해주는 휴대용 피난유도선이다.

그러나 넓은 공간을 이동해야 하는 지하주차장의 화재에서는 길이에 제한이 있고 화재실 내부의 강한 복사열에 노출되었을 경우 장비가 손상되어 기능 상실 가능성 있어 사용상 제약이 많다. 또한, 건축물 내부 구조와 수용물이 라인이 꼬이는 현상 등의 장애로 작용하게 되면 소방대원을 더욱 위험에 빠지게 할 가능성이 있다.



<그림 3-5> 라이트라인

3) 조명기구

조명기구는 소방장비 분류에서 일반 구조용 장비로 분류되는데 소방대원이 화재현장 진입 시 개인별 휴대하여 어두운 화재현장에서 위험한 구조물 등을 회피하고 연기 속 시야를 확보함으로써 방향감각 상실을 방지하기 위하여 사용되는 장비로 <그림 3-6>과 같이 연기투시랜턴과 제논탐조등이 있으며 휴대성이 향상

된 소형 조명기구도 사용되고 있다. 현재 사용되는 랜턴은 밝기가 100~200lm 정도의 성능을 갖고 있으며, 건물 내 암전 상태에서도 전방 100m까지 시야를 확보할 수 있는 장비이다.



<그림 3-6> 조명기구 종류

3.3 소방대원의 피난장애

3.3.1 피난장애의 발생원인

1) 연기로 인한 시야의 제한

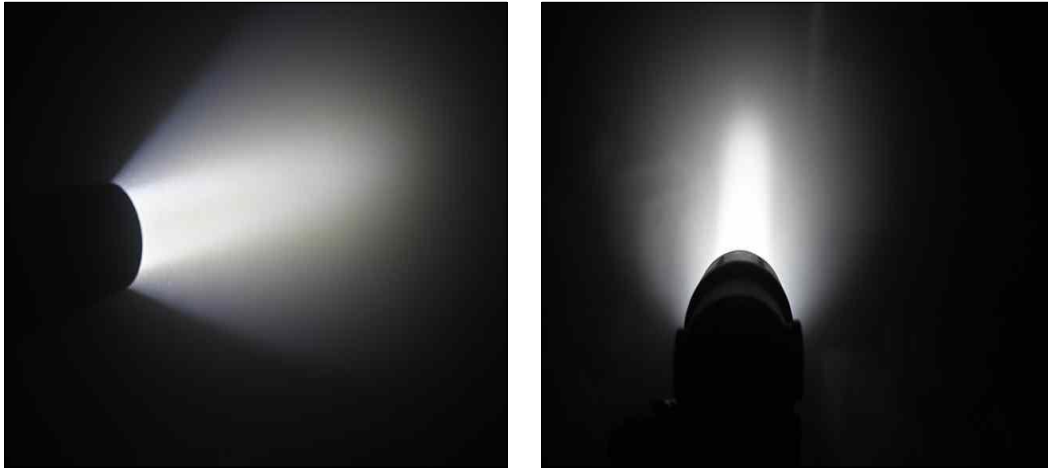
지하층은 외부와 연결된 창이 없고 개구부의 수가 한정되어 환기 조건이 제한적이기 때문에 연기가 쉽게 빠져나가지 못하고 공간에 빠르게 축적된다. 특히, 환기구가 없거나 부족한 경우, 지하층에 갇힌 연기는 상부로 이동할 경로가 없기 때문에 공기 중에 계속 머물러 시야를 완전히 가릴 수 있는데 지하층 화재 시 발생하는 연기는 유해 물질을 포함한 미립자가 부유하는 짙은 연기로, 짧은 시간 내에 지하층 전체로 확산하여 소방대원의 시야를 극도로 제한한다.



<그림 3-7> 신축공사장 지하층 화재 현장사진

대형 화재가 발생할 경우, 지하층 상부에 모인 연기는 열로 인해 층을 형성하며, 냉각되면서 하강해 지면 부근의 시야도 가리게 되는데, 이에 따라 낮은 자세를 유지하면 이동하는 소방대원은 실 하부에 위치한 탈출 경로 또한 쉽게 차단되어 피난 경로 확보가 어려워진다. 게다가 연기의 온도가 높아지면 공기 중의 습기가 연기와 함께 응결되어 더욱 짙은 안개처럼 보일 수 있는데 이는 가시거리가 더욱 줄어들게 만든다.

실제 화재현장에서는 연기 중 불완전연소에 의한 다량의 미립자까지 포함되어 부유하기 때문에 <그림 3-8>과 같이 조명장비의 광원에서 발산하는 빛이 연기입자를 거의 투과하지 못하거나 흡수되는 상황으로 조명기구를 사용하여 시야를 확보하고 이동하는 소방대원에게 랜턴과 같은 조명기구는 피난유도에 도움이 되지 못하고 보조적 수단에 불과한다.



<그림 3-8> 화재현장 조명기구 사용 시 가시도

2) 내부공간의 대형화

최근 지하주차장은 내부공간의 활용을 위하여 구획된 벽체가 없는 개방된 대공간의 형태와 수직적 용도 구분을 위하여 더욱 심층화되어 가고 있으나 이러한 구조적 변화가 화재 시 소방대원의 소방활동에 위험성을 더욱 증대시키고 있다.

그 구조적 특징에 대하여 하나씩 살펴보면 첫째, 출입구의 배치 형태로 <그림 3-9>와 같이 피난계단을 중앙에 위치시키는 코어형 설계는 화재 시 피난자들이 화재발생 지점으로부터 출입구까지 비교적 최단거리로 접근할 수 있는 장점이 있는 반면에 다량의 연기가 출입구 부근에 체류하여 시야에 장애가 발생하게 되고 출입구를 시각적으로 인지하지 못할 위험성이 높다. 또한, 건물 내부 경로를 숙지하지 않은 상태에서의 비대칭 및 편중된 출입구 배치는 소방대원의 긴급상황 발생 시 패닉에 빠지게 할 가능성이 크다.



<그림 3-9> 지하주차장 계단 및 승강장 출입구의 비대칭 구조

둘째, 지하주차장의 대공간에서는 벽체와 같은 기준 구조물이 없어 특정 방향을 향하여 나아갈 수 없고 주변을 맴돌다 방향감각을 잃기 쉬운 환경이며, 화재로 인한 열과 연기로부터 소방대원의 대피 공간을 제공하는 내화구조로 구획된 복도 또한 존재하지 않기 때문에 긴급상황 발생 시 인명피해 발생 가능성이 매우 높다.

셋째, 지하공간의 심층화는 계단과 같은 수직경로를 이동하는 소방대원의 접근 거리가 길어지는 것을 의미하며 이동거리 증가에 따른 진입 소요시간 증가는 소방대의 초기 화재대응이 늦어지게 되는 것을 의미한다.

<표 3-6>은 「대공간 지하주차장 화재안전성능 강화 설계 실무 가이드」에서 지하주차장에서 발생한 화재를 가상하여 소방대원의 이동거리 별 공기호흡기 산소 소모량을 측정한 실험이다. 이 결과를 살펴보면 지상에서 화점층까지 360~370m 이동하는데 평균 33분이 소요되었으며, 체력소모가 극심하여 후퇴하는 과정 중간에 잔량부족으로 경보음이 울리는 결과가 관찰되었다. 이와 같이 지하주차장 소방활동에서 연기로 인한 시야 제한으로 신속한 이동이 불가능하고 소방대원이 착

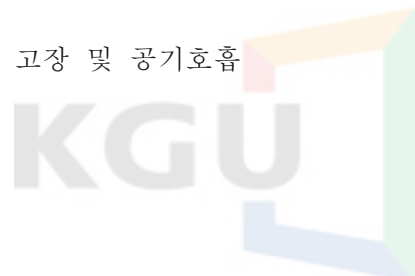
용하는 개인안전장구와 각종 소방장비의 중량은 소방대원의 체력소모를 극대화하며 이는 동시에 호흡량 증가에 따른 공기호흡기 용량 부족의 문제를 가져온다.

<표 3-6> 지하주차장 화재 시 소방대원 이동시간 및 공기소모량 측정[8]

진행단계	○○119안전센터		○○항만 구조대	
	누계	공기소모량/ 공병 잔압(kg/cm ²)	누계	공기소모량/ 공병 잔압(kg/cm ²)
	소요시간 (이동거리)	대원 A	소요시간 (이동거리)	대원 B
차량에서 특별피난계단으로 진입	1분 25초 (30m)	280	58초 (40m)	280
화점층 전실 도착(지하 5층)	7분 22초 (55m)	210	3분 53초 (65m)	240
화점 확인 및 인명검색 실시 (약 125m 부근, 전기차 1대)	14분 13초 (178m)	160	12분 34초 (208m)	170
화재 진압 활동(옥내소화전, 질식포 사용 등)	20분 57초 (222m)	120	14분 27초 (-)	160
진입방향(전실)로 후퇴 (시아제한/매직랩 면제 부착)	29분 45초 (354m)	70	24분 43초 (338m)	80
특별피난계단을 이용 지상 이동	37분 53초 (379m)	20 (잔량 부족으로 경보기 울림)	31분 56초 (363m)	10 (잔량 부족으로 경보기 울림)

3.3.2 유도등의 피난유도 문제점

지하층 소방활동 중 소방대원은 화재의 급격한 변화, 장비의 고장 및 공기호흡



기 잔량 부족 등의 문제로 퇴로를 확보하여 건물 외부로 긴급탈출을 감행해야 하는 경우가 발생하게 되는데 이러한 상황에서 피난유도 설비의 역할은 매우 중요하다.

그러나 밀폐구조와 제연설비의 미설치로 인한 배연불량, 대공간에서의 방화구획의 면제로 인한 연기확산으로 지하주차장에서의 소방활동 시 소방대원의 시야는 극도로 제한적이며, 유도등의 피난유도 성능에도 영향을 미치고 있다. 또한, 내부에 체류하는 고온의 미연소가스는 유도등 외함의 변형과 시인성 저하를 가져오며, 장시간 소요되는 지하층 화재진압에서 비상전원 용량은 부족한 상황으로 소방대원의 긴급탈출 시 무용지물이 될 가능성이 있다.

1) 유도등의 시인성

화재 시 연기는 부력에 의하여 실의 상부 또는 천장에서부터 차오르기 시작하므로 출입구 상부 또는 천장 부근에 위치하는 피난구 유도등 또는 거실통로 유도등은 연기에 의하여 가시성 및 시인성에 장애가 발생할 가능성이 크다. 또한, 대부분의 지하주차장 화재에서 소방대가 현장에 도착했을 시 화재는 최성기에 이른 경우가 대부분으로 <표 3-7>과 같이 감광계수는 10~30 정도일 것으로 예상하고 가시거리는 0.2m 이하가 될 것이다. 그러므로 지하층 대공간과 같은 활동반경이 크고 연기배출이 불량한 공간에서 현재 유도등의 광원의 밝기 및 크기, 보행거리 20m의 설치기준으로는 소방대원의 피난유도에 효용성이 없을 것으로 예상된다.

<표 3-7> 감광계수와 가시거리 관계

감광계수[m ⁻¹]	가시거리[m]	상황
0.1	20~30	연기감지기가 적동할 때의 농도
0.3	5	건물 내부에 익숙한 사람이 피난에 지장을 느낄 정도의 농도
0.5	3	어두운 것을 느낄 정도의 농도
1	1~2	거의 앞이 보이지 않을 정도의 농도
10	0.2~0.5	화재 최성기 때의 농도, 유도등이 보이지 않음
30	-	출화실에서 연기가 분출할 때의 농도

2) 유도등 비상전원 용량

지하층 소방활동은 <표 3-8>과 같이 짧으면 1시간 내 화재가 진화되는 경우도 있으나 인천시 청라 아파트 지하주차장 화재와 같이 3~8시간 이상 소요되는 경우가 대부분이다. 「화재안전성능기준(NFPA 303)」 제10조(유도등의 전원)에서는 지하층 또는 무창층의 유도등 비상전원 용량은 60분으로 현재의 비상용량 기준으로 지하층 소방활동 시 전원용량 부족으로 인한 전원 차단 등으로 피난유도에 한계가 있다.

지하층 화재는 소방대원이 화재의 양상에 따라 진·출입을 반복하며 화점을 진압하고 내부에 구조자를 찾아 심층화된 지하층을 이동하면서 동선이 길어지기 때문에 많은 시간이 소요되는데 급박한 상황에서 유도등의 전원이 차단된다면 내부 활동대원의 시야 제한에 따른 방향성 상실 위험성이 매우 높아진다.

<표 3-8> 지하주차장 화재진압 소요시간

구분	지역	화재 시작	화재 종료	소요시간
2020년	용산 아파트 지하주차장	오후 9시 43분	오후 10시 48분	1시간 5분(65분)
2021년	천안아파트 지하주차장	오후 11시 10분	오전 1시 50분	2시간 40분(160분)
2022년	대전 쇼펄몰 지하주차장	오전 7시 45분	오후 3시 2분	7시간 17분(437분)
2023년	광양 아파트 지하주차장	오전 1시 10분	오전 4시 10분	3시간(180분)
2023년	부산 도서관 지하주차장	오전 6시 30분	오전 6시 50분	0.3시간(20분)
2023년	부산 호텔 지하주차장	오전 9시 34분	오후 1시 33분	3시간 59분(239분)
2024년	인천 아파트 지하주차장	오전 6시 8분	오후 2시 30분	8시간 22분(502분)

3) 유도등의 불연성능

유도등은 열과 화염에 노출될 수 있는 천장이나 벽면에 설치되므로, 외함이 불연성 재질일 경우 화재 시에도 유도등이 일정시간 기능을 유지하며 피난 경로를 안내할 수 있다. 그러나 현재 화재안전기준에서는 유도등 외함의 난연성능만을 규제하고 있다.

「유도등의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」 제7조(외함의 재질)에서 금속일 경우 내식성 재질을 사용하도록 규정하고 있고 난연재료 또는 방염성능이 있는 합성수지 외함의 경우 $(90 \pm 2)^\circ\text{C}$ 의 온도에서 7일간 방치하는 경우 열로 인한 변형이 생기지 아니하여야 한다고 규정하고 있으나 지하층 차량 화재 시 발생하는 고온의 열기 $600\sim 1,000^\circ\text{C}$ 에 이르는 고온으로 장시간 견디기에 한계가 있을 것으로 예상된다.

제 4 장 지하주차장 유도등의 소방관 피난유도 효용성

4.1 실험개요

4.1.1 실험목적

화재현장에서의 소방활동 시 유도등, 유도표지의 피난유도는 구조 및 소방활동을 하는 소방대원의 위험 발생 가능성을 줄여주는 매우 중요한 요소이나 심층화된 지하주차장 화재에서는 장거리 이동거리로 인하여 소방대원 도착 시에는 화세가 이미 최성기에 이르는 경우가 많고 내부 체류하는 다량의 연기와 열로 인하여 유도등의 피난유도 기능에 많은 장애가 발생된다.

이번 실험을 통하여 현재 건축물에 적용·설치되는 유도등이 화재 시 발생한 연기량의 증가에 따라 가시성 및 시인성에 어떠한 변화 또는 장애가 발생하는지 측정하여 보고 문제점에 대한 대책을 마련하고자 실험을 진행하였으며, 지하층 화재와 동일한 밀폐 조건을 조성하기 위하여 구획실 내부를 폐쇄하고 가연물 연소에 따른 연기밀도의 증가가 유도등의 시인성 및 가시성에 미치는 영향을 측정하기 위하여 시간대별로 사진으로 촬영하여 기록하였다.

4.1.2 실험환경

1) 측정 실험장

지하층 밀폐구조에서의 화재 상황을 재연하기 위하여 콘크리트의 구획실에서 측정실험을 진행하였고 <그림 4-1>과 같이 층고 3m, 길이 7m, 폭 2.5m 복도 형태의 공간을 활용하였으며, 실험장 전면에 출입구가 1개소 위치하여 있고 외부와 통하는 창문이 없는 밀폐구조이다.



<그림 4-1> 실험장(경기소방학교 실화재 훈련장)

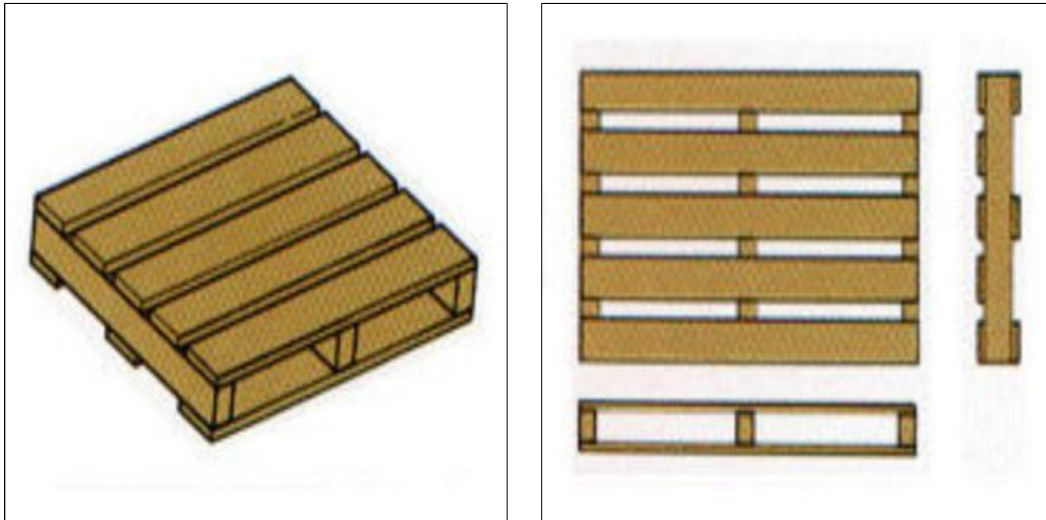
2) 연소실

측정 실험장 측면에 <그림 4-2>와 같이 층고 3m, 가로 3m, 세로 2m 크기의 연소실이 위치하였고, 내부에는 금속 구조물이 설치되어 상부에 가연물을 올려 연소를 진행하였다. 연소기를 이용하여 가연물(목재파렛트)에 착화한 후 실험장으로 연결된 문을 개방하여 연소가 진행되면서 발생한 연기만 유입시키는 방법으로 실험을 진행하였다.



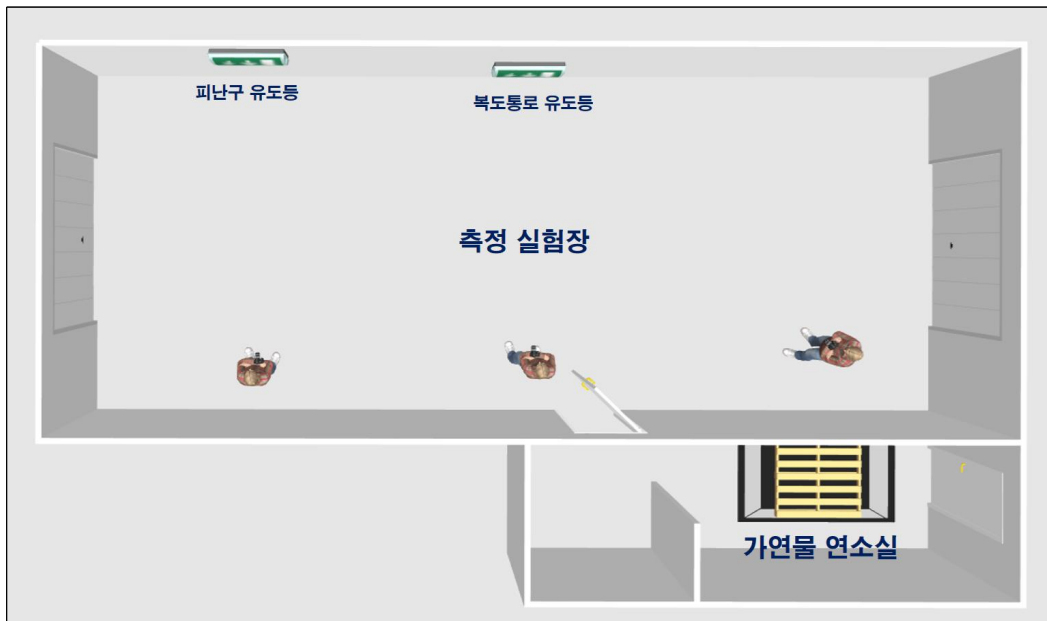
<그림 4-2> 실험장 내 연소실

연소실 내부 가연물로 <그림 4-3>과 같이 가로 1.2m, 세로 1m 크기의 목재 파レット를 이용하였으며, 수종은 말레이시아 지방에서 생육하는 머르사와로 비중은 0.50~0.70 정도이며 창틀, 내장용재, 합판재 등에 사용하는 목재이다.



<그림 4-3> 목재 파렛트 형태

실험장 내부는 <그림 4-4>와 같이 측정 실험장과 가연물 연소실로 나뉘어 구획되어 있고, 연소실과 실험장 중간에 철재 출입문이 설치되어 가연물 연소가 시작되고 연기가 생성되는 동시에 문을 개방하여 실험장 내부로 연기가 유입되도록 하였다. 또한, 연소실 내 목재 가연물의 연소와 동시에 외부 출입문을 폐쇄하여 외부로의 연기 유출 및 실험장 내부로 들어오는 자연광을 최소화하였다.



<그림 4-4> 실험장 내부 평면도

4.1.3 실험대상 및 기록장비

유도등은 현재 지하층에 적용되는 규격과 동일 규격으로 실험을 진행하였으며, <그림 4-5>와 같이 피난구 유도등(정방향/중형) 1점 및 복도통로 유도등(양방향/중형)을 1점을 벽면에 부착하여 실험을 진행하였다. 피난구 유도등은 시중에 판매되는 L사의 벽부형 피난구 유도등으로 규격은 270 mm×240 mm이고 벽부형 거실통로 유도등 규격은 270 mm×231 mm으로 LED 등에 입력전압은 AC 220 V 상용전원을 공급하였다.



<그림 4-5> 실험에 사용된 유도등

촬영 장비로 <그림 4-6>과 같이 DSLR 카메라를 사용하였는데, 바디는 CANON 80D를 사용하였고 CANON EF LENS 50 mm F1.8 STM 렌즈를 장착하여 촬영하였다. 이번 실험은 시간대별로 변화하는 연기의 밀도에 따라 유도등의 시인성 변화를 확인하고자 실험을 진행하였기 때문에 사람의 눈과 가장 유사한 화각을 갖는 50 mm 단렌즈 사용하였다.

시인성 시험 측면에서 플래시의 빛이 결과에 영향을 미칠 것을 고려하여 플래시는 장착하지 않고 외부로부터 빛을 차단하여 지하층 화재로 인한 정전 시의 조건과 유사하게 구성하였다.



<그림 4-6> 촬영장비

실험장 내 장변 벽면에 <그림 4-7>과 같이 피난구 유도등(중형)을 설치하였고, 유도등 상호 간 광원에 의하여 가시성 및 시인성 측정 결과에 영향을 미칠 것을 고려하여 일정거리(약 4m) 이격 후 동일 벽면에 복도통로 유도등(중형)을 설치하였으며, 전원은 화재 초기 상용전원이 공급되고 있음을 가정하여 전선 결합 후 벽면 콘센트에서 220 V 전압을 공급하였다.



<그림 4-7> 실험장 내 유도등 설치 사진

피난구 유도등의 높이 선정은 현행 「유도등 및 유도표지의 화재안전성능기준 (NFPC 303)」의 기준에 따라 설치하였다. 피난구 유도등의 경우 피난구의 바닥으로부터 높이 1.5 m 이상에 설치하도록 한 규정을 준용하여 바닥면으로부터 2.2 m 위치에 설치하였고, 복도통로 유도등은 바닥으로부터 높이 1 m 이하에 설치하도록 한 규정을 준용하여 실험장 바닥면에서 높이 1 m 지점에 설치 후 실험을 진행하였다.

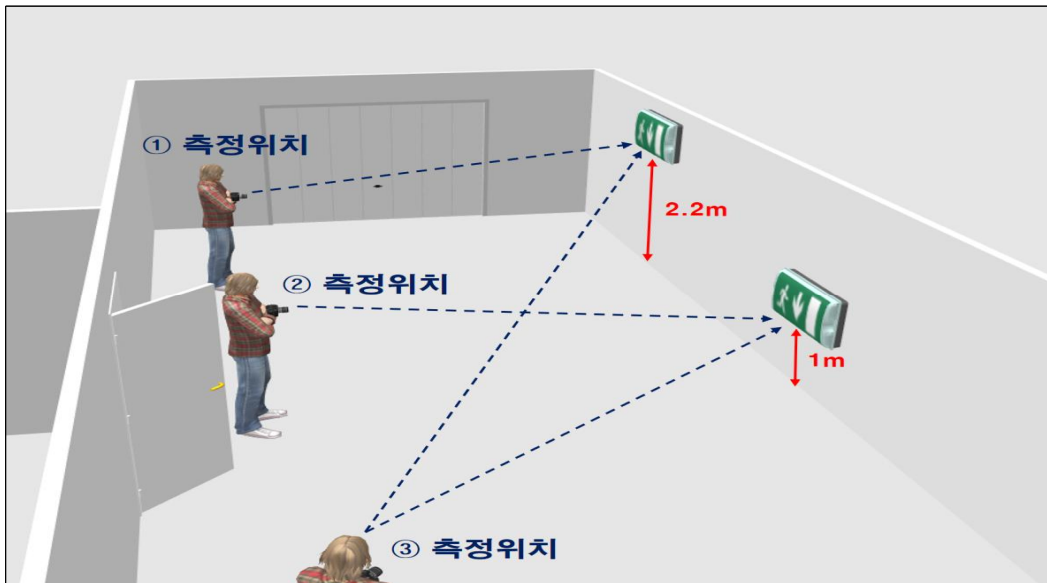


<그림 4-8> 유도등 설치 사진

4.2 실험결과 및 분석

<그림 4-9>와 같이 실험장 내부 3곳의 측정위치를 선정하였으며, ①측정 위치는 유도등과의 이격거리 약 2.5 m에서 피난구 유도등을 정면에서 촬영, ②측정 위치는 유도등과의 이격거리 약 2.5 m에서 복도통로 유도등을 정면에서 촬영하였고, ③측정 위치는 유도등으로부터 약 3~4m 이격된 거리에서 피난구 유도등과 복도통로 유도등을 우측면에서 촬영하였다.

실험관찰은 거리의 변경 없이 동일 거리에서 시간대별 연기밀도 증가에 따른 가시도 및 시인성 변화만을 관찰하였으며, 기록장비(촬영장비)의 높이는 사람이 선 자세에서 실제 눈으로 보이는 유도등의 가시도를 측정하고자 하였기에 성인 남성의 평균 키 높이인 지면으로부터 약 1.7 m 높이에서 촬영하였다.



<그림 4-9> 실험 구상도

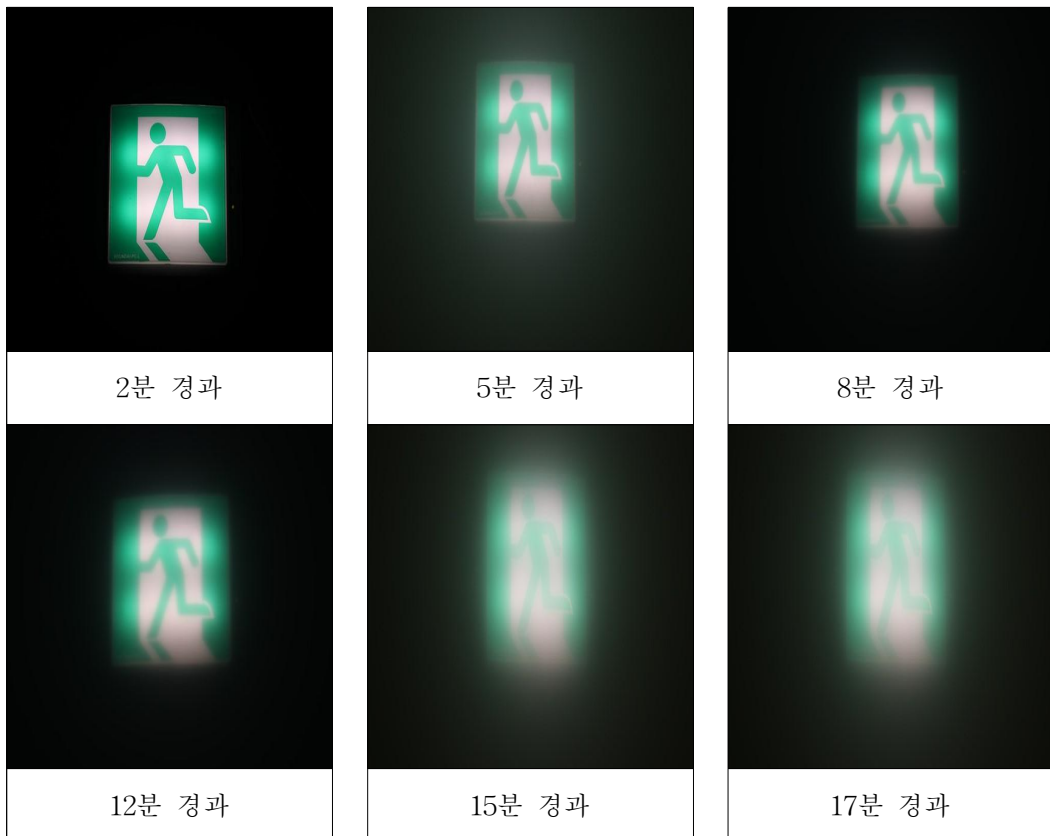
4.2.1 피난구 유도등의 가시도

1) 피난구 유도등 시인성 및 가시도 측정(정면)

①측정 위치인, 피난구 유도등의 정면 약 2.5 m 거리에서 연기 발생에 따른 가시도 변화를 시간대별로 측정한 결과 <그림 4-10>과 같다.

실험 시작 후 17분 경과되는 시점까지 시인성에는 약간의 변화만 있을 뿐 유도등의 위치 인식에는 문제가 없었으나 가시성의 경우 연기밀도가 증가 되면서 약 8분~12분까지는 픽토그램의 확인이 가능하였으며, 12분 이후부터 연기에 의하여 시야가 가려지면서 유도등 픽토그램이 구별되지 않고 가시성이 급격하게 저하되

는 결과가 나타났다.

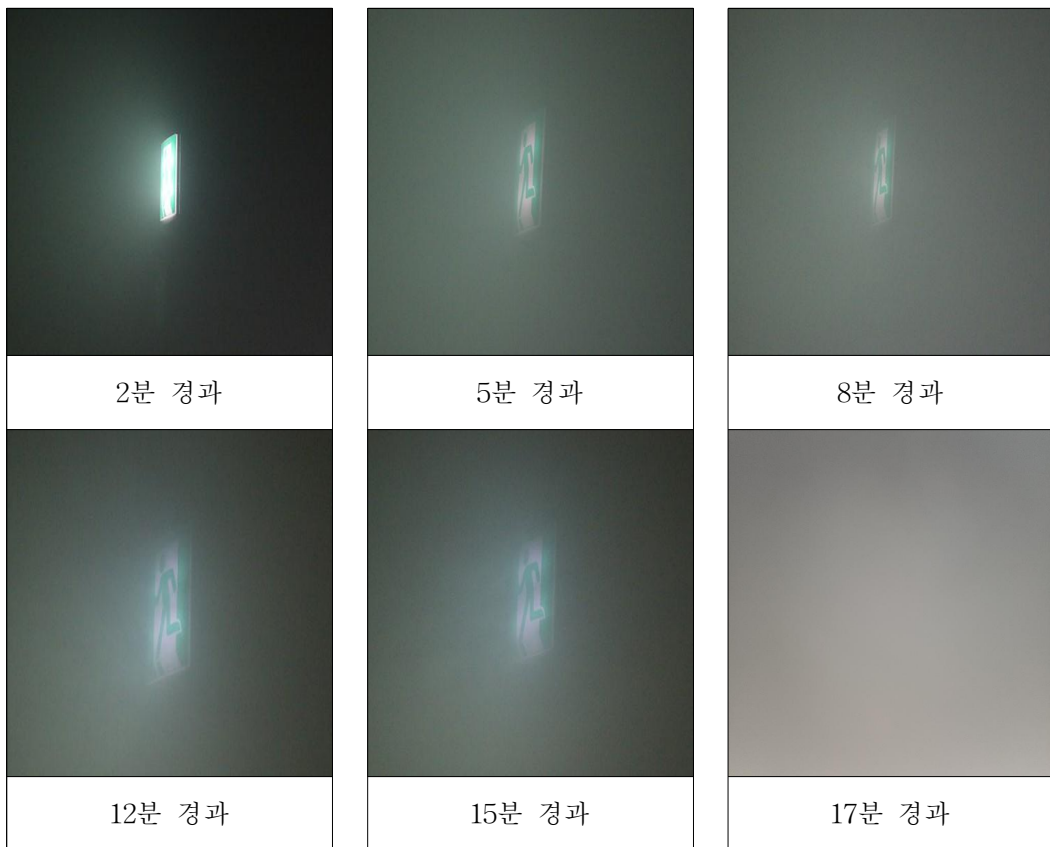


<그림 4-10> 피난구 유도등 가시도 변화(정면)

2) 피난구 유도등 가시도 측정(측면)

③측정 위치인, 피난구 유도등의 대각선 측면 약 3~3.5m 거리에서 연기 발생에 따른 시간대별 가시도 변화를 측정한 결과 <그림 4-11>과 같다.

실험 시작으로부터 약 5분이 경과 된 시점까지 유도등의 가시성에 큰 변화가 없는 것을 확인할 수 있었으나 약 8분 이후부터 연기에 의하여 유도등 픽토그램 인식에 장애가 발생하기 시작하였으며, 17분 이후에는 연기에 완전 가려진 상태로 유도등 위치 인식도 불가능한 결과가 나타났다.



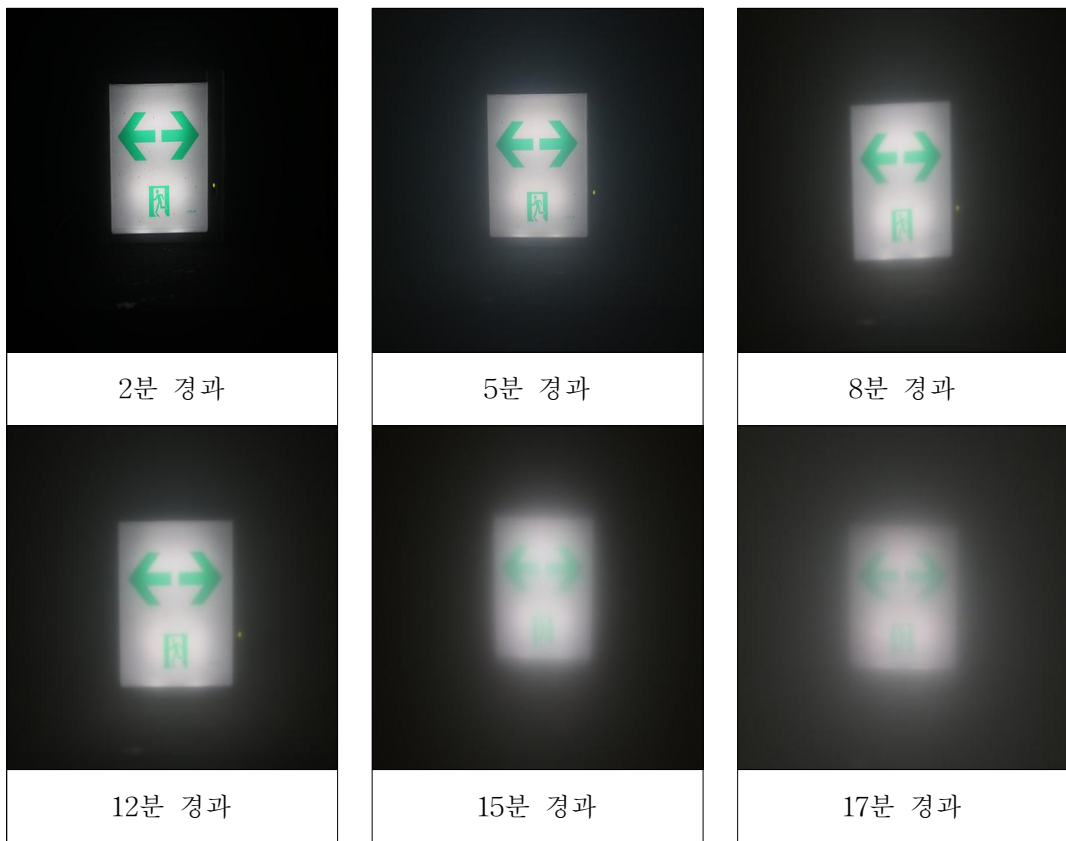
<그림 4-11> 피난구 유도등 가시도 변화(측면)

4.2.2 복도통로 유도등 가시도

1) 복도통로 유도등 가시도 측정(정면)

②측정 위치인, 거실통로 유도등의 정면 약 2.5m 거리에서 연기 발생에 따른 시간대별로 변화를 측정한 결과 <그림 4-12>와 같다.

실험 시작으로부터 약 8분~12분까지는 가시성에 큰 변화가 없음을 확인할 수 있었으나 피난구 유도등과 유사하게 12분 이후부터 연기에 의하여 시야가 제한되면서 유도등의 픽토그램이 구별되는 않는 결과가 나타났다.

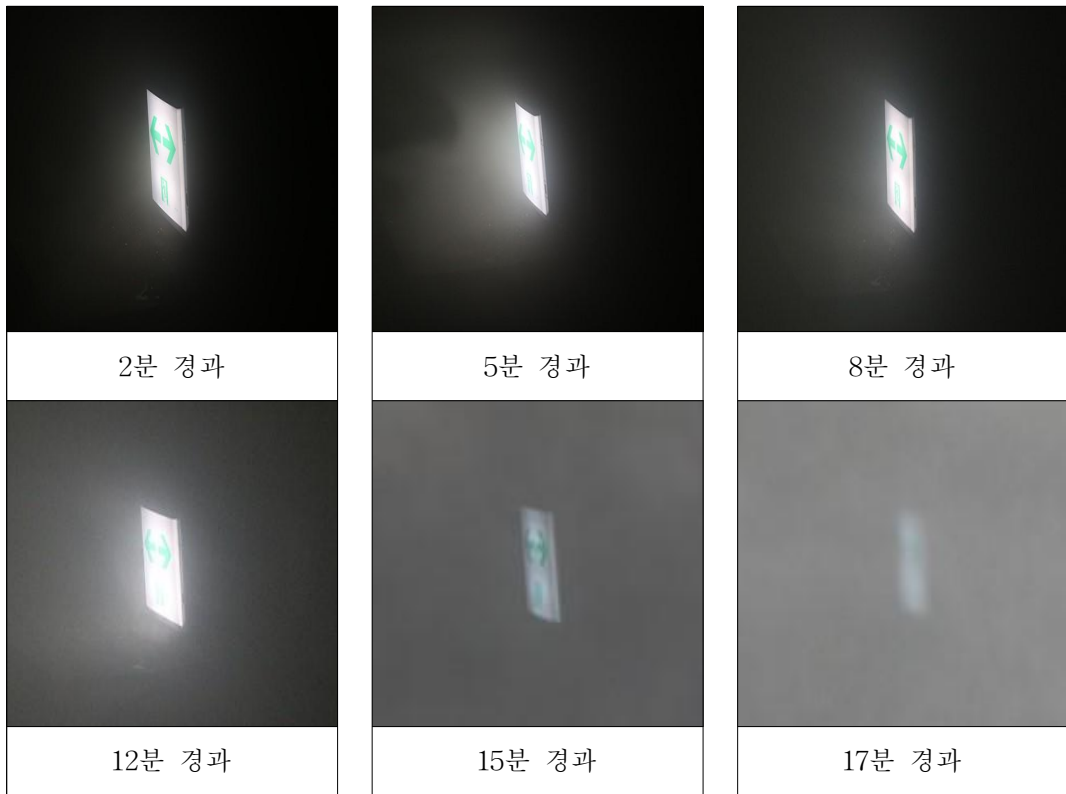


<그림 4-12> 복도통로 유도등 가시도 변화(정면)

2) 복도통로 유도등 가시도 측정(측면)

③측정 위치인, 거실통로 유도등의 대각선 측면 약 3~3.5m 거리에서 연기 발생에 따른 시간대별 가시도 변화를 측정한 결과 <그림 4-13>과 같다.

실험 시작으로부터 약 15분이 경과하기까지 유도등의 가시성에 큰 변화가 없음을 확인할 수 있었으나 약 16~17분 이후부터 연기에 의하여 시야가 제한되면서 유도등의 픽토그램이 구별되지 않는 결과가 나타났다.



<그림 4-13> 복도통로 유도등 가시도 변화(측면)

4.2.3 실험결과 분석

1) 목재의 발연량

위의 실험에서 목재 가연물을 연소시켜 발생한 연기를 구획 공간 내 투입하여 연기량의 증가가 유도등의 가시성 및 시인성에 어떠한 변화를 가져오는지 측정하였고 이를 통하여 일정 체적에서 공기 중 연기입자 농도 증가가 가시성에 변화를 발생시키는 중요 인자임을 확인하였다.

연기의 밀도는 연기 속에 포함된 입자와 가스의 양, 구성, 크기, 농도 등을 의미하며, 연소 과정에서 생성된 고체와 액체 입자가 공기 중에 얼마나 농축되어 있는지를 나타내는 척도로 상기 실험에서 목재 팔레트 연소 시 발생한 연기량을 예측

하고 근사값을 구하기 위하여 선행연구에서 측정된 합성목재의 연소 시 발생하는 연기밀도의 정량적 수치를 활용하였다.

신백우는 「합성목재의 연기밀도특성 분석에 관한 연구」에서 합성목재의 연기밀도 특성을 분석하여 화재 위험성을 파악하고 발연량 허용기준 설정을 위한 연구를 진행하였는데 콘칼로리미터 및 연기밀도 측정장치를 이용하여 ASTM E662 규격에 따라 합성목재 4종 및 적송, 방부목의 연기발생 정도를 측정하였고 아래의 식 <1> 을 이용하여 연기밀도를 계산하였다[16].

$$D_s = G \{ \log_{10}(100/T) + F \} \quad \langle 1 \rangle$$

여기에서 D_s : 연기밀도

G : 연소챔버의 형상(V/AL)

V : 연소챔버의 체적[m^3]

A : 시편의 노출면적[m^2]

L : 광선투과 길이[m]

T : 광선투과율[%]

F : 광선투과때 필터를 사용하면 “0” 필터를 사용하지 않으면 “1”

실험 시작 후 1.5분, 4분, 10분 경과한 시점에서 정적 연기밀도(D_s)를 측정하였고 실험 동안 발생한 연기량 중 최대연기밀도(D_m) 값을 도출하였다.

가염조건(Flaming Mode)에서 정적 연기밀도 측정 결과 <표 4-1>에서와 같이 최대연기밀도(D_m)가 합성목(WA)에서 472.39로 가장 높게 나왔고 적송(RP)에서 194.28로 가장 낮게 나왔다.



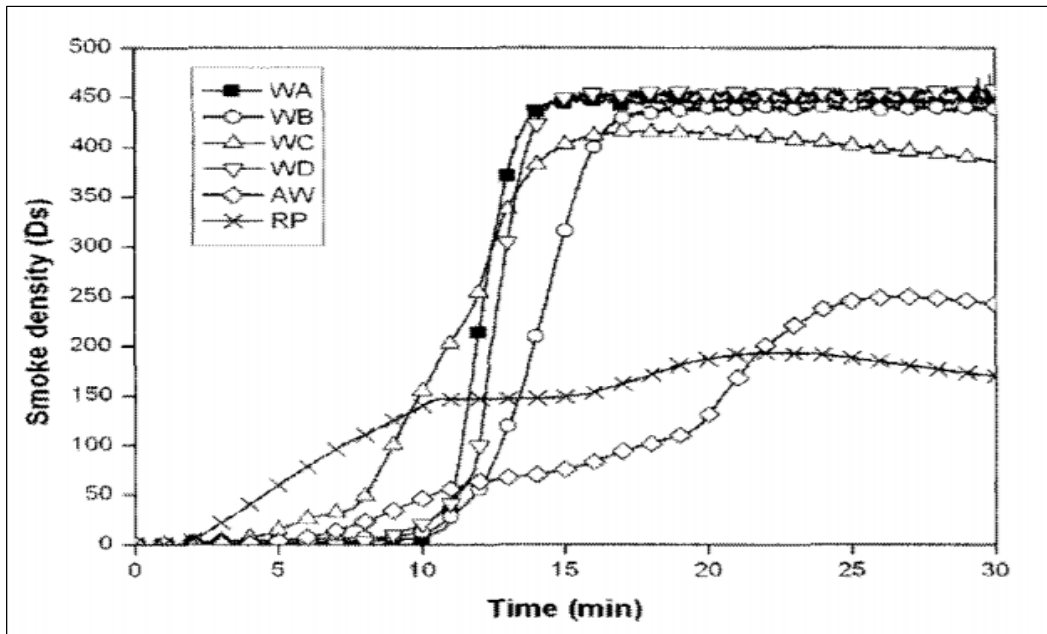
<표 4-1> 합성목재 연기밀도 측정 결과

Material	Thickness [mm]	Flaming Mode			
		Ds (1.5 min)	Ds (4 min)	Ds (10 min)	Dm*
WA	10.5	0	1.05	6.96	472.39
WB	10.0	0.11	3.46	12.66	442.49
WC	10.0	0.02	6.26	154.70	417.10
WD	10.4	0	0	21.05	461.85
AW	10.0	0	0	46.23	250.23
RP	12.0	0	0.48	139.68	194.28

* Dm : maximum specific optical density

<그림 4-14>와 같이 합성목재 WA~WD의 연기밀도 변화 그래프를 살펴보면 연소 시작 후 10분이 경과되는 시점까지는 연기밀도의 변화가 크지 않았으나 10~15분 경과되는 시점에서는 연기밀도 값이 급속히 증가하면서 최대를 기록하였다. 그리고 적송(RP)과 방부목(AW)의 경우는 앞서 언급한 합성목재 보다 실험 시작 후 4~10분 경과되는 시점에서 연기밀도의 증가량이 많았으나 10~15분 경과되는 시점에서 연기밀도가 일정하게 유지되는 것을 확인하였다.

위의 연기밀도 계산식에서와같이 연기밀도 값의 증가는 즉, 일정 체적 내 연기 입자량 또는 농도가 증가하면 광선투과율이 줄어들어 연기밀도 값이 커지는 것을 의미하는 것으로 해석된다.



<그림 4-14> 합성목재의 연기밀도 변화

실험조건에서 실험체의 크기, 시편의 노출면적, 연소공간의 체적 등의 차이가 있으나 목재 가연물 고유 특성상 발연량 및 연소 시 최대 연기밀도 발생 시간에서의 유사성이 있을 것으로 가정하여 선행연구에서 얻은 6가지 종류의 합성목재에 대한 시간대별 연기밀도를 평균값으로 계산하였다.

평균 연기밀도 값으로 1.5분에 0.02, 4분에 1.88, 10분에 63.55, 10~15분에서의 평균 최대 연기밀도는 373.06 을 얻을 수 있었다. 이 결과값을 이용하여 연기밀도에 증가에 따른 유도등의 가시도 변화를 예측하여 보면 목재 파렛트 연소 후 약 10분 전·후로는 연기밀도의 완만한 증가로 가시도에 큰 변화가 없을 것으로 예상하고 15분경 전·후로는 발연량이 증가하면서 최대 연기밀도가 되어 유도등의 가시도가 매우 낮거나 유도등의 인식 자체가 불가할 것이라는 예측 결과를 얻게 되었다.

2) 유도등의 시인성 및 가시성

<표 4-2>와 같이 실험장 내부에 연기가 유입되고 약 12~15분 경과 후 유도등의 가시성 및 시인성에 변화가 발생하는 것을 측정할 수 있었다.

피난구 유도등을 정면에서 측정할 결과 시간 변화에 따른 연기유입량 증가로 유도등의 존재를 인식하는 시인성에는 약간의 장애가 발생하였으나 15분 이후에는 가시성이 낮아지면서 유도등의 픽토그램 인식이 불가한 상태인 것을 확인하였다. 또한, 피난구 유도등 측면 방향에서의 측정 결과 실험 시작으로부터 15분까지는 시인성에 약간의 변화를 보이다 17분 이후부터 유도등의 위치 인식이 불가하였고 12분경부터는 연기밀도의 증가로 픽토그램의 인식이 불가한 결과를 얻게 되었다.

복도통로 유도등을 정면에서 측정 결과, 피난구 유도등과 동일하게 측정 시작으로부터 17분이 경과한 시점까지 유도등의 존재를 인식하는데 큰 장애가 발생하지는 않았으나 실험 시작으로부터 15분 경과된 시점에서 픽토그램 인식에 장애가 발생하였고, 복도통로 유도등 측면 측정 시 실험 시작으로부터 17분 이후에 연기밀도의 증가로 유도등의 위치 인식이 불가하였고, 15분경 이후부터는 픽토그램의 인식이 불가한 것을 확인하였다.

<표 4-2> 유도등 시인성 및 가시성 측정 결과

구분 (위치)	거리 (m)	측정항목	측정시간(min)					
			2	5	8	12	15	17
피난구 유도등 (정면)	2.5	시인성*	○	○	○	○	○	○
		가시성*	○	○	○	○	×	×
피난구 유도등 (측면)	4	시인성	○	○	○	○	○	×
		가시성	○	○	○	×	×	×
복도통로 유도등 (정면)	2.5	시인성	○	○	○	○	○	○
		가시성	○	○	○	○	×	×
복도통로 유도등 (측면)	3	시인성	○	○	○	○	○	×
		가시성	○	○	○	○	×	×

* 시인성 : 눈에 쉽게 보이는 정도, 대상물의 존재 또는 모양이 원거리에서도 식별이 쉬운 성질

* 가시성 : 주변으로부터 글자나 심벌이 시각적으로 별개로 보이게 하는 질(quality) 혹은 정도

이러한 결과를 종합적으로 분석하여 볼 때 외부로부터 공기 공급이 거의 없는 밀폐구조의 지하주차장 화재는 상기 실험과 유사한 연기밀도 증가 및 유도등의 시인성 변화를 보일 것으로 예상된다.

화재 초기 화원으로부터 발생한 연기는 일정 공간의 체적을 채우는 동안 유도등의 가시성과 시인성에 큰 영향을 미치지 못할 것이나 시간의 경과와 함께 연기밀도가 증가하면서 연기량이 최대가 되는 시점에서는 광원의 빛이 연기 입자에 의하여 대부분 산란되거나 반사되어 시인성이 현저히 저하 될 것으로 예상된다.

또한, 최대 연기밀도에서 유도등과의 거리가 3~4m 떨어진 위치에서 유도등의 시인성이 매우 낮은 것이 관찰되었는데 이 결과를 통하여 지하주차장 화재에서의 현재 보행거리 20m의 설치기준으로는 유도등의 위치 인식 가능성이 매우 낮을 것으로 예상된다.

유도등의 설치 높이에 따른 결과를 분석하여 보았을 때 지면으로부터 2.2m 높이에 설치된 피난구 유도등이 지면으로부터 1.5m 높이에 설치된 복도통로 유도등의 동일한 연기밀도에서의 시인성을 비교하였을 때 낮은 위치에 설치된 복도통로 유도등의 시인성이 높은 것으로 측정되었는데 이는 화재실 내 연기가 부력에 의하여 화점 상부 천장으로 상승하여 수평 이동 후 아래로 하강하면서 공간을 채워 나가는 유동 형태를 보일 것으로 예상하기 때문에 높은 곳에 설치된 유도등보다는 낮은 위치의 유도등의 시인성이 화재 발생 이후 더 오래 지속될 것으로 예상된다.

4.3 유도등 피난유도 성능 개선방안

1) 유도등 설치기준 변경

「화재안전성능기준(NFTC 303)」 2.1(유도등 및 유도표지의 종류)에서는 특정 대상물의 용도별 그 적응성에 맞는 크기의 것으로 설치하되 지하층·무창층에는 중형 피난구 유도등 및 통로유도등을 설치하도록 규정하고 있고 「화재안전성능기준(NFTC 303)」 2.3(통로유도등 설치기준)에서 보행거리 기준 20m 간격으로 유도등을 설치하도록 규정하고 있다.

그러나 지하층과 같은 밀폐구조에서 화재 시 연기는 외부로 배출되지 못하고 천장 또는 상층부에 체류하면서 시인성이 떨어질 것으로 예상된다. 그리하여 현재 지하에 설치되는 피난구 유도등의 시인성 향상을 위하여서는 중형 피난구 유도등의 크기를 대형 피난구 유도등으로 설치하고 보행거리 기준을 기존 20m에서 10

m 간격으로 줄이는 화재안전성능기준 변경안을 제시한다.

2) 유도등의 비상전원 및 불연성능 향상

지하층 화재진압은 가연물 연소 시 발생한 고온의 열과 제한적 환기로 인하여 시야가 제한되고 출입구나 승강장, 계단이 제한적이어서 화점에 신속히 도달하기 어렵고 완전 진화를 하는데 장시간이 소요된다. 그러나 현재 「화재안전성능기준(NFPA 303)」 제10조(유도등의 전원)에서는 지하층 또는 무창층의 유도등 비상전원 용량은 60분으로 소방대원의 소방활동 중 비상전원은 한계점에 이르러 전원이 차단될 가능성이 크다.

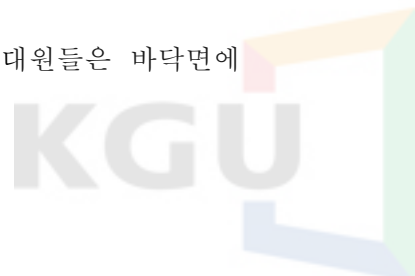
그러므로 현재 화재안전기준에서 제시하는 비상전원 용량을 60분에서 90분으로 변경하고 니켈카드뮴(NiCd)이나 니켈수소(NiMH) 배터리 대신 에너지 밀도가 높은 리튬이온 배터리로 대체 사용하거나 에너지 소비가 적은 고효율 LED 광원을 채택하여 비상전원 용량을 늘리는 방안을 제시한다.

또한 「유도등의 형식승인 및 제품검사의 기술기준」 제7조(외함의 재질)에서 유도등의 외함을 난연성 재질을 사용하도록 규정하고 있으나 지하층 화재 시 실 내부는 600~1,000℃에 육박하는 고온의 연기 및 가스층이 형성되기 때문에 유도등의 기능이 상실될 가능성이 높아 불연성 재질의 외함을 설치토록 현재 법령상 기준을 변경하는 의견을 제시하고자 한다[2].

3) 보조적 피난유도 방법 활용

현재 지하층 화재에서 소방대원이 사용하는 조명기구인 광원의 빛이 공기 중 부유하는 미립자 등에 의하여 반사되거나 흡수되어 소방대원의 가시거리 확보에 한계가 있고 또한 천장 부근에 가깝게 설치되는 통로유도등은 실 내부 천장부터 차오르는 연기로 인하여 더 빠르게 가시성 및 시인성에 장애가 발생할 것으로 예상된다.

지하층에서의 소방활동 시 연기로 인한 시야 제한으로 소방대원들은 바닥면에



가까운 낮은 자세로 화점을 찾아 이동하거나 비상상황에서 진입방향의 반대 방향으로 퇴로를 확보하여 나간다. 하지만 지하층 화재와 같이 외부로의 연기의 배출이 불량한 특수한 공간에서는 방향성 상실로 주변을 맴돌다 고립 및 질식에 의하여 부상을 당할 위험성이 높다.

그렇기 때문에 바닥면에 피난유도가 가능한 보조적 설비가 존재한다면 피난 방향을 판단하는 데 유리할 것이다. 이에 피난유도에 연속성을 부여할 수 있도록 지하층과 같은 위험도가 높은 공간에 유도등 외에 추가적으로 소방대원 피난경로 확보를 보조할 수 있는 수단으로 <그림 4-15>와 같이 바닥면에 피난유도선 부착을 고려하여야 한다.



<그림 4-15> 피난유도선 설치 예시

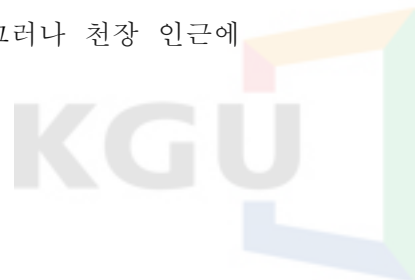
제 5 장 결 론

본 연구에서는 지하층에 적용되는 피난설비 중 소방대원의 긴급상황 발생 시 피난유도가 가능한 유도등의 성능을 확인하기 위하여 가연물의 연소 시 연기량 증가에 따라 가시성 및 시인성의 변화를 시간대별로 측정하여 유도등 성능에 대한 문제점을 분석 후 다음과 같은 결론을 얻었다.

1) 지하층·무창층 또는 층수가 11층 이상인 특정소방대상물의 경우 중형 피난구 유도등 및 통로유도등을 설치하도록 규정하고 있으나 지하 대공간 특히, 지하주차장에서 발생한 차량화재의 경우 다량의 연기로 인하여 유도등의 시인성 및 가시성에 상당한 장애가 예측되는바 유도등의 크기를 중형에서 대형으로 상향하여 설치하도록 기준 변경을 제안한다. 또한, 실험 결과에서 확인한 것과 같이 가연물의 연소 시 밀폐구조 내 연기밀도의 증가로 유도등의 시인성이 저하되어 근거리에서도 유도등을 인식할 수 없는 상태에 이르는 것을 확인하였다. 이에 현행 20m 보행거리 설치기준을 10m로 변경하도록 제안한다.

2) 「화재안전성능기준(NFPA 303)」 제10조(유도등의 전원)에서는 지하층 또는 무창층의 유도등 비상전원 용량을 60분으로 규정하고 있으나 장시간 소요되는 지하주차장 소방활동에서 현행 비상전원 용량은 부족하기 때문에 90분 이상 피난유도가 가능하도록 기준 법령을 변경하고, 에너지 밀도가 높은 리튬이온 배터리로 대체하거나 에너지 소비가 적은 고효율 LED 광원을 채택하여 비상전원 용량을 늘리는 방안을 제시한다. 또한, 유도등의 외함을 난연성 재질을 사용하도록 규정하고 있는 현재 규정에서 불연성능은 갖는 외함을 설치하도록 하는 변경안을 제안한다.

3) 방향성 상실 위험성이 높은 지하층에서의 소방활동 시 소방대원은 최대한 바닥면에 밀착하여 낮은 자세로 이동하도록 훈련받고 있다. 그러나 천장 인근에

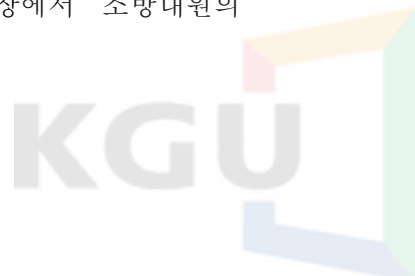


다량의 연기가 체류하는 상황에서 유도등의 위치를 확인하기 어렵고 대공간 예상 피난로 상 지표물이 없이 피난구의 방향을 찾아야 하는 어려움이 있으므로 유도 등의 피난유도 연속성을 갖기 위하여 지하층 예상 피난로 바닥에 피난유도선을 추가 설치하는 방법을 제한하고자 한다.

앞으로 본 연구의 한계를 극복하기 위해서는 가연물 종류 및 건축물 용도별 화재하중에 대한 정량화된 연기 발생량과 온도를 측정하여 유도등의 가시도 변화를 관찰하고 열이 유도등 외함에 미치는 영향 등을 종합적으로 분석 후 위험도가 높은 용도의 지하층의 피난시설 설치기준을 엄격하게 상향 조정하는 한편 소방활동 측면에서의 피난유도설비 성능 향상에 관한 지속적인 연구가 필요할 것이다.

참고문헌

1. 서명기, “피난유도선을 이용한 피난유도에 관한 분석” 석사학위논문, 경원대학교 대학원, 2011.
2. 손애경, “Fail safe기능 적용을 통한 유도등 및 조명설비의 피난안전성 확보방안 연구” 석사학위논문, 경기대학교 대학원, 2016.
3. 윤해권, ‘지하주차장 제연성능 확보방안 연구“ 박사학위논문, 경기대학교 대학원, 2018.
4. 박동영, “공동주택 지하주차장에서의 현장 배연성능 평가를 통한 급배기 설비 설계방안에 관한 연구” 석사학위논문, 부경대학교 대학원, 2024.
5. 손용준, “지하주차장 소화활동설비 효용성 연구” 석사학위논문, 경기대학교 대학원, 2024.
6. 「지하층 화재 발생 현황」, 국가화재정보시스템 화재통계, 소방청, 2024.
7. 「소방시설등 성능위주설계 평가 운영 표준 가이드라인」, 소방청, 2023.
8. 「대공간 지하주차장 화재안전성능 강화 설계 실무 가이드」, 부산광역시소방재난본부, 2024.
9. 구글(<https://www.mk.co.kr/news/society/11046157>), 「아파트 지하주차장 화재 사례」, 2024.06.19.
10. 구글(<https://news.mt.co.kr/mtview.php?no=2023063014340376731>), 「호텔 지하주차장 화재 사례」, 2023.06.30.
11. 구글(<https://www.aptn.co.kr/news/articleView.html?idxno=107064>), 「청라 아파트 화재 사례」, 2024.08.21.
12. 「소방공무원 순직·공상·자살 현황」, 소방청, 2021.
13. 구글(<https://blog.naver.com/dev119/140017154753>) 「화재현장에서 소방대원의 사상 원인」, 2005.09.09.



14. 「재난현장표준 작전절차(SOP)」, 소방청, 2023.
15. 「실화재 진압 표준교재」, 소방청, 2023.
16. 신백우, 송영호, 이동호, 정국삼 “합성목재의 연기밀도특성 분석에 관한 연구”, 한국화재소방학회, 제25권 제3호, 2011.
17. 「소방전술 I」, 중앙소방학교, 2024.

Abstract

MS.Thesis

Study on firefighter evacuation safety assurance in underground parking lot fires

: Based on Experiments on the Visibility of Emergency Lights

Mun In Ho

Major of Fire Protection & Disaster Management

Graduate School of Engineering

Kyonggi University

In the metropolitan area, as problems such as overcrowding of above-ground buildings and traffic congestion occurred, ways to efficiently use space were sought. To solve this problem, a method of placing facilities for various purposes underground was developed. Accordingly, recently constructed underground parking lots are becoming larger and deeper.

Due to the closed structure of the underground parking lot, a large amount of smoke is generated due to incomplete combustion due to lack of air supply in the event of a fire, and the smoke stays rather than being discharged to the outside due to the non-installation of smoke control equipment, and high temperature heat and smoke are emitted due to the exemption from fire protection zones. It spreads rapidly to the surrounding area, making firefighting very dangerous.

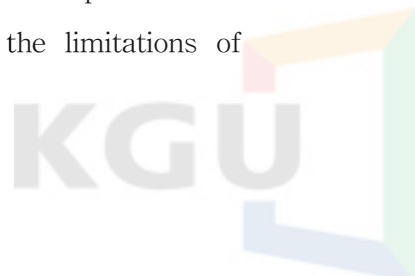


This is a major cause of fatal accidents such as isolation and suffocation due to loss of direction, as firefighters' visibility is limited due to smoke when extinguishing fires, and they are unable to find an escape direction or emergency exit.

In order to reduce the casualties of firefighters in underground parking lot fires and prepare for the risk, standard operating procedures (SOP) at disaster sites are established and observed, and the textbook "Fire Tactics" also describes dangerous situations during firefighting activities in basements and large spaces. Although we are providing training on how to avoid fire, the casualties of firefighters in the basement are still not decreasing. Therefore, in order to determine the effectiveness of fire brigade evacuation guidance using guidance lights in underground parking lots, the visibility and visibility of guidance lights were measured by injecting smoke generated by burning wood combustibles like an actual fire in an environment with the same sealed structure as an underground parking lot. An experiment was conducted.

As a result of the experiment, it took about 15 minutes for the smoke generated by burning combustibles in the sealed structure to reach its maximum. At this time, it was confirmed that the visibility of the guidance lights was greatly reduced due to the increase in smoke concentration at a certain distance. As a result, the current underground parking lot It was concluded that the performance of the guidance lights installed and applied was ineffective in guiding firefighters to escape. Therefore, in this study, we would like to propose improvements in the performance and installation standards of fire safety standards in order to improve the firefighting evacuation guidance performance of guidance lights installed in underground parking lots.

If we improve the current problem of poor evacuation guidance performance caused by smoke from guidance lights, we will overcome the limitations of



firefighters' activity equipment used in smoke in case of basement fires and reduce the risk of fatal accidents among firefighters that occur due to loss of direction and isolation due to limited visibility during field activities. It is expected that can be reduced.