

소방전술 I

화재 2

NFSA
NATIONAL FIRE SERVICE ACADEMY



중앙소방학교
NATIONAL FIRE SERVICE ACADEMY

목차

Contents

제1편

화재현장 안전관리

제1장 안전관리의 기본	3
제1절 안전의 원리	3
제2절 재해와 사고	6
제2장 소방활동 안전관리	9
제1절 소방활동의 특성	9
제2절 소방활동과 안전	13
제3절 안전관리의 필요성	14
제4절 기업과 소방조직의 안전관리 차이	15
제5절 소방 안전관리의 특성	15
제3장 재해의 원인	17
제1절 위험의 요인	17
제2절 불안정한 상태와 불안정한 행위	18
제3절 재해(사고)발생 이론	23
제4장 재해예방 및 조사	33
제1절 재해예방 대책	33
제2절 재해(사고) 조사	35
제5장 안전교육	40
제1절 안전교육의 개관	40
제2절 위험예지훈련	51

목차

Contents

제6장 신체의 적합성과 체력증진계획	63
제1절 소방업무와 신체능력과 적합성	63
제2절 소방대원의 체력증진계획	72
제3절 스트레스(Stress)의 예방 및 관리	78
제7장 소방공무원 교육훈련의 안전과 잠재적 위험요소	84
제1절 소방공무원의 교육훈련과 안전	84
제2절 훈련시의 잠재적 위험요인의 발견	85
제8장 소방차량운행 등의 안전	90
제1절 안전운행의 의의 및 주요 고려요소	90
제2절 안전한 운전기법과 방어운전	94
제3절 안전운행을 위한 환경적인 고려요소	99
제9장 화재현장에서의 안전	104
제1절 화재현장에서의 안전과 표준작전절차(SOP)	104
제2절 현장안전점검관(현장안전담당)의 지정과 활용	106
제3절 붕괴사고의 예방과 현장 활동 단계별 전술적 고려사항	107
제4절 화재의 성장단계별 주요 화재현상의 이해와 대응	111
제5절 인명구조활동시의 안전	117
제10장 소방활동과 보호구	129
제1절 보호구의 개요	129
제2절 소방용 보호구	132
부록 1. 소방현장안전관리지침	137
부록 2. 교육훈련용시트(sheet)	159

목차

Contents

제2편

소화약제

제1장 소화약제의 개요	183
제1절 소화의 원리	183
제2절 소화약제의 조건	186
제3절 소화약제의 분류	187
제2장 소화약제로서의 물	189
제1절 개 요	189
제2절 물의 물리적 성질	190
제3절 물의 화학적 성질	191
제4절 물의 주수 형태	192
제5절 물소화약제의 첨가제	193
제6절 소화 효과	195
제7절 물 소화약제의 한계	196
제3장 포(泡) 소화약제	199
제1절 개요	199
제2절 포 소화약제의 종류	200
제3절 공기포 소화약제	204
제4절 소화 효과 및 적응 화재	208
제4장 이산화탄소 소화약제	212
제1절 개 요	212
제2절 소화 효과	214
제3절 소화 농도	215

목차 Contents

제4절 적응 화재	216
제5절 사용 제한 및 독성	217
제5장 할로겐화합물 소화약제	219
제1절 개 요	219
제2절 종류 및 특성	222
제3절 소화 기구(extinguishing mechanism)	223
제4절 적응 화재	225
제5절 소화 농도	226
제6절 Halon의 오존층 파괴	226
제6장 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제	229
제1절 개 요	229
제2절 종류 및 특성	230
제7장 분말 소화약제	240
제1절 개 요	240
제2절 종류 및 특성	241
제3절 소화 효과	249
제4절 적응 화재	252

제3편

화재조사실무

제1장 화재조사의 개요	257
제1절 화재의 정의	257
제2절 화재조사의 성격	259
제3절 화재조사의 목적	260

목차

Contents

제4절 화재조사의 범위 및 절차	261
제5절 화재조사 유관기관 등	263
제6절 화재조사의 특징	266
제7절 화재조사의 공표	269
제2장 화재조사의 방법	271
제1절 과학적인 방법	271
제2절 화재조사관의 권한과 의무	275
제3절 화재피해조사 방법	277
제3장 화재조사 서류	281
제1절 화재조사 서류의 개념	281
제2절 화재발생종합보고서	283
제3절 화재현장조사서	285

제4편

연소이론

제1장 연소	295
제1절 연소의 이해	295
제2절 연소 용어	303
제3절 연소의 4요소	311
제4절 연소의 형태	320
제5절 연소의 확대	325
제6절 이상(異常)연소 현상	327
제7절 연소생성물의 종류와 유해성	329
제8절 연기의 이동력과 중성대	335

목차

Contents

제2장 폭발	339
제1절 폭발개론	339
제2절 폭발형태	341
제3절 폭발의 한계와 영향	349
제4절 폭연과 폭굉	352
제5절 가연성 가스의 폭발	354

표 목차

Contents

[표 1-1] 최근 5년간 공사상자 발생현황(업무유형별)	10
[표 1-2] 최근 5년간 순직자 발생현황	10
[표 1-3] 2019년도 공사상자 발생현황	10
[표 1-4] 재해의 기본원인으로서의 4M	31
[표 1-5] 안전교육의 종류와 내용	50
[표 1-6] 위험예지훈련 진행사항	56
[표 1-7] 위험예지 훈련 행동 매뉴얼(예시)	60
[표 2-1] 각종 소화약제의 특성 비교	187
[표 2-2] 각종 소화약제의 적응 화재와 효과	188
[표 2-3] 물질의 용융열과 증발 잠열	190
[표 2-4] 물질의 비열	190
[표 2-5] 팽창비에 의한 기계포 소화약제의 분류	200
[표 2-6] 유류화재시 저발포 포의 사용 구분	209
[표 2-7] 이산화탄소의 물성	214
[표 2-8] 가연물질에 따른 CO ₂ 의 최소 소화 농도와 최소 설계 농도	216
[표 2-9] 이산화탄소가 인체에 미치는 영향	218
[표 2-10] 대표적인 할론 소화약제와 Halon 번호	220
[표 2-11] 할론에서 할로겐 원소의 역할	222
[표 2-12] 할론 소화약제의 개략적인 물성	223
[표 2-13] 할로겐화합물소화약제의 종류	231
[표 2-14] 불활성기체 소화약제의 종류	232
[표 2-15] 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제의 물성 및 소화성능	235
[표 2-16] 분말 소화약제의 종류 및 특성	241
[표 2-17] 분말 소화약제 주성분의 성상	241
[표 3-1] 화재피해액 산정기준	277
[표 3-2] 보고서 작성 양식	284
[표 4-1] 가연성가스와 공기의 혼합가스 최소점화 에너지	296
[표 4-2] 가연성가스의 이론공기량 및 연소열	300
[표 4-3] 연소불꽃의 색상에 따른 온도	302

표 목차

Contents

[표 4-4] 액체가연물질의 인화점	304
[표 4-5] 액체와 고체의 인화현상의 차이점	304
[표 4-6] 가연물질의 발화점	305
[표 4-7] 가연성증기의 연소범위	307
[표 4-8] 메탄의 온도변화에 따른 연소범위 변화추이	307
[표 4-9] 공기의 조성범위	313
[표 4-10] Flash over와 Back draft	328
[표 4-11] 일산화탄소의 공기 중의 농도와 중독증상	331
[표 4-12] 화재현장에서 발생하는 유독가스	334
[표 4-13] 폭연과 폭굉의 차이	353

그림 목차

Contents

[그림 2-1] 소화약제의 분류	187
[그림 2-2] 대표적인 할론 소화약제의 구조식	222
[그림 3-1] 화재 관계기관의 상관관계	263
[그림 3-2] 과학적인 방법론	274
[그림 3-3] 화재발생종합보고서 운영 체계도	283
[그림 4-1] 활성화 에너지와 엔탈피	296
[그림 4-2] 불꽃연소와 표면연소의 일례	297
[그림 4-3] 가스버너의 불꽃 (정상연소)	298
[그림 4-4] 인화점, 연소점, 발화점, 연소범위의 정의	303
[그림 4-5] 인화와 발화의 차이	305
[그림 4-6] 인화와 발화의 사례 사진	306
[그림 4-7] 연소의 3요소	311
[그림 4-8] 나화의 일례	315
[그림 4-9] 연소의 4요소	321
[그림 4-10] 증발연소	322
[그림 4-11] 분해연소	323
[그림 4-12] 개구부에 따른 중성대의 높이	337
[그림 4-13] 상부 개구부에 의한 연기 배출량 및 압력분포	337
[그림 4-14] 화학반응이 없는 탱크에서의 BLEVE의 발생 메커니즘	341
[그림 4-15] 전형적인 파이어볼의 성장	356

1

PART

현장안전관리

제1장 안전관리의 기본

제2장 소방활동 안전관리

제3장 재해의 원인

제4장 재해예방 및 조사

제5장 안전교육

제6장 신체의 적합성과 체력증진계획

제7장 소방공무원 교육훈련의 안전과 잠재적 위험요소

제8장 소방차량운행 등의 안전

제9장 화재현장에서의 안전

제10장 소방활동과 보호구

부록 1 소방현장안전관리지침

부록 2 교육훈련용시트(sheet)

제1장 안전관리의 기본



학습
목표

안전과 안전관리의 의미, 재해와 사고의 개념을 살펴본다.

1. 안전의 정의 안전에 영향을 주는 요소를 진단함.
2. 안전관리의 정의와 안전관리의 목표를 파악함.

제1절 안전의 원리

1. 안전(安全)의 의미

가. 안전의 정의

『안전(安全)』이란 용어는 여러 가지 뜻으로 통용, 해석되고 있어 한마디로 축약하여 정의하기에는 무척 광범위하다. 예를 들면 안전보장이라고 하는 경우의 안전은 안전관리의 그것과는 의미가 다르다. 그러나 안전공학(安全工學) 측면에서의 안전의 의미를 살펴보면 『안정되며 위험하지 않은 상태를 말할 뿐만 아니라 그것이 완전한 상태에 달해 있고, 재차 부족한 일이 없는 상태』를 말하는 것으로 정의되고 있다. 이것이 뜻하는 것은 재앙이나 위험이 실제로 없는 것을 의미할 뿐만 아니라 인간이 상해를 받거나 또는 받을 걱정이 없는 것, 사물이 손해나 손상을 입거나 또는 그 우려가 없는 것을 말하는 것이다.

그러므로 소방활동에 있어서 안전이 달성되었다고 하는 것은 『현장 소방활동시 대원이 상해를 당하거나 그 위험이 없고, 장비, 용수시설 등이 손해손상을 받지 않으며, 또 앞으로도 받을 우려가 없는 상태로 잘 관리되고 있는 이상적 상태』를 뜻한다고 할 것이다.

따라서 소방활동에서의 『안전관리(安全管理)』란 『화재진압, 구조구급, 재난수습 등 현장소방활동 임무수행시 사고가 발생하지 않는 상태를 유지하여, 소방공무원의 신체와 소방장비 등을 보호하기 위한 제반활동』이라고 정의할 수 있다.

나. 안전에 영향을 주는 요소

어느 누구라도 위험으로부터 자유로울 수는 없다. 항상 일상생활은 우리에게 언제나, 어디 서나 잠재적인 위험발생 요인을 포함하고 있다. 그러므로 안전한 삶의 질서를 파괴하는 위험을 줄이기 위하여 안전을 실행하는데 필요한 4가지 행동 요인을 살펴보면,

첫째, 행동자의 활동에 대한 이해

둘째, 행동자의 능력 수준

셋째, 행동자의 직·간접적 상태

넷째, 현장의 환경 및 분위기를 들 수 있는데 위의 4가지 요인을 구체적으로 살펴보면 다음과 같다.

1) 활동에 대한 이해(활동 자체에 대한 어려움)

현장활동 임무수행에 앞서, 그 활동에 어떤 위험성이 잠재되어 있고 수반되는지를 이해하고 활동하여야 한다. 즉 「현장 활동의 위험성은 어느 정도이고, 그 위험에는 어떻게 대응해야 안전이 확보될 수 있는가?」 등의 활동에 대한 철저한 지식과 이해가 필요하다.

2) 행동자의 능력 수준

개인의 현장적응에 대한 기술이나 능력 미달은 종종 사고 발생의 큰 원인이 되고 있으며 육체적 한계 역시 행동에 영향을 미칠 수 있다.

충분한 지식, 기술의 능력 없이는 누구도 안전하게 행동할 수 없다는 것이 각종 사고발생의 원인을 분석한 결과가 이를 입증하고 있다.

3) 행동자의 직·간접적 상태

행동자의 정신적·신체적 상태는 끊임없이 변화한다. 따라서 순간의 상황대응요구가 인간의 자기능력보다 더 클 때 각종 안전사고가 발생한다. 그러므로 인간의 정신적, 신체적 리듬을 결정하는 태도와 감정, 즉 활동자의 정신적·신체적인 직·간접적 실태는 인간의 행동을 결정하는데 중요한 역할을 한다. 이러한 심리적 요소들은 행동의 실행을 유리하게 하거나, 정상적으로 개인의 안전을 상실하게하기도 하고, 무분별한 태도로 행동하게 하는 원인이 되기도 한다.

4) 현장의 환경 및 분위기

환경 및 분위기는 자연적인 요소와 행동하는 인간에 의한 인적 요소들을 포함한다. 환경 및 분위기는 결과에 긍정적인 요소로 작용할 수도 있고, 부정적인 영향을 줄 수도 있다.

직·간접적으로 불안정한 상황으로 이끄는 자연환경 요소는 비, 눈, 먼지, 얼음, 바람, 추위와 더위 등이 있다. 인적 환경요소는 집, 이웃, 직장, 책임자(지휘자), 그리고 매일 사용하는 장비와 기계 등을 포함한다. 이러한 자연·인적 환경 요소는 개인의 안전을 감소시킬 수도 있지만 때론 증진시킬 수도 있다.

2. 안전관리(Safety management)란?

가. 안전관리의 정의

산업안전 측면에서는 “생산성의 향상과 손실(Loss)의 최소화를 위하여 행하는 것으로 비능률적 요소인 사고가 발생하지 않는 상태를 유지하기 위한 활동, 즉 재해로부터 인간의 생명과 재산을 보호하기 위한 계획적이고 체계적인 제반 활동”을 말한다.

『재난 및 안전관리 기본법』상 안전관리란 “시설 및 물질 등으로부터 사람의 생명·신체 및 재산의 안전을 확보하기 위하여 행하는 모든 활동”이라고 정의하고 있다.

나. 안전관리의 목표

1) 인명존중

안전관리의 기본 목표는 말할 것도 없이 인명존중의 휴머니즘, 즉 인도적 신념의 실현이다. 안전관리는 휴머니즘을 토대로 하여 행해진다.

인류의 생산기술은 옛날부터 마이크로일렉트로닉 시대를 맞이한 오늘날까지 끊임없이 발달하여 사회조직, 경제기구, 노동양상 등에 영향을 미치게 했지만 어느 시대에서도 항상 인간의 복지증진을 도모하기 위한 것이었다.

큰 이익 때문에 재해를 용납한다고 하는 논리, 위험한 재해현장에서 소방활동을 하기 위해서 소방대원의 상해는 어느 정도 감수해야 되지 않느냐는 논리는 인정되지 않는다. 인명존중과 인도적 신념이야말로 안전관리활동의 핵심이기 때문이다.

2) 안전한 소방활동

기업은 이익창출을 위하여 생산관리 등을 한다. 그런데 재해사고는 작업능률을 저해하는 중요한 인자이다. 안전관리 활동은 생산현장의 정상적인 진행을 방해하거나 일정기간 작업을 불가능하게 하는 재해사고를 방지한다.

소방은 국민의 생명과 재산보호를 위한 효율적인 소방활동을 추구하고 있다. 따라서 현장 활동 시 대원의 안전사고는 화재방어 활동의 신속효율성을 저해하여 결과적으로 국민의 생명과 재산에 손실을 미치게 하는 것과 다름이 아니다.

그러므로 소방장비, 방어행동 등의 안전화는 소방활동의 능률을 향상시키고 대국민 서비스를 향상시키는 것이 된다. 이것은 또 소방안전관리의 테마이기도 하다.

3) 사회적 신뢰확립

기업의 사회적 신용도를 결정하는 중요한 요소로 안전관리의 문제가 대두되고 있다. 항공기 추락 사고를 자주 일으켰던 회사나 유해물질을 방류했던 어느 회사의 사회적 신용도는 확실히 떨어져 그 회복에는 상당한 노력과 고생이 필요하였다. 안전에 엄격하지 못한 기업에 대한 사회적 제재가 엄격해지고 있는 것이다.

마찬가지로 국민의 생명과 재산보호를 사명으로 하고 있는 소방조직에서 오히려 자체사고(재해)가 자주 발생한다고 하면, 그것을 보는 국민의 시각은 소방조직에 대한 믿음과 신뢰의 저하라 할 것이다.

제2절 재해와 사고

1. 재해와 사고(Accident)의 정의

안전관리 면에서의 재해의 정의를 정확히 말한다면 ILO의 “국제노동통계가 회의”에서 채택한 것으로, 즉 「사람(근로자)이 물체, 물질 혹은 타인과 접촉하든 또는 사람이 물체 혹은 어떤 환경 조건하에 놓이든지, 또는 사람의 행동에 따라 그 결과로 인해 사람의 상해를 동반하는 사건이다」라고 하는 것이다.

한편 사고라는 의미는 무엇인가. 미국의 안전 권위자인 R.P. Blake는 「당면하는 사상의 정상적인 진행을 저지 또는 방해하는 사건이다.」라고 정의하고 있다. 이것은 좀 광의의 정의이며, 상해 유무를 논하지 않고, 예정대로 일이 진행되지 않는 어떠한 사건에 부딪힌 사실을 말하기 때문에, 예로 교통마비로 어떤 목적지에 도착하지 못했어도 이 정의에서 말하는 사고이다.

그러나 안전관리에서의 사고는 이것보다는 좁다. 화재현장에서 공기호흡기 사용 중에 용기의 개폐변이 외부 충격으로 파손되면 소방대원이 호흡에 지장을 받아 상해를 받는다. 이 경우 개폐변이 파손된다고 하는 사건을 「사고」라고 부르고, 소방대원이 호흡에 지장을 받아 상해를 받았다는 사건이 재해이다. 만약 소방대원이 그 즉시 탈출하여 상해를 입지 않았다면 「부품의 파손」이라는 사고일 뿐이다.

그러므로 안전관리의 대상으로 하는 사고는 「당면하는 사상의 정상적인 진행을 저지 또는 방해함으로써 사람에게 상해의 위험을 일으키게 하는 사건」이라고 정의할 수 있다.

2. 안전사고란?

「안전」이란 사고가 없거나 재해가 없는 상태를 나타낸다. 따라서 「안전사고」란 고의성이 없는 어떤 불안정한 행동이나 조건이 선행되어, 일을 저해하거나 또는 능률을 저하시키며 직접 또는 간접적으로 인명이나 재산의 손실을 가져올 수 있는 사건을 말한다.

3. 재해의 범위

재해라는 것은 상해의 유무나 그 정도를 가지고 구분하거나 판가름하는 것이 아니라는 사실을 명심해야만 한다. 오히려 현실적으로 무상해 재해로 나타나는 것이 상해재해보다 발생 확률로서 약 8배~32배가 많다는 것이 재해통계이론의 정설이다. 따라서 비록 상해를 받지 않는 무상해의 사고라도 일단 발생된 사상(事象)은 전부 재해로서 파악하고 그에 알맞은 재해대책을 강구하는 것이 안전관리의 중대한 과제라 할 것이다.

즉 재해라고 하는 결과의 크기에만 집착하여 사고의 중대성을 평가하는 것은 잘못이며 안전의 기본은 사고 그 자체를 방지하는 것이 되어야 한다.



핵심요약

- 안전과 안전관리의 의의, 재해와 사고의 개념을 정리한다.
 - 소방 활동에서 안전관리는 현장 소방 활동 중 사고가 발생하지 않는 상태를 유지하여 소방공무원을 보호하기 위한 제반활동임.
 - 안전을 실행하는데 필요한 4가지 행동요인은 행동자의 활동에 대한 이해, 행동자의 능력 수준, 행동자의 상태, 현장의 환경 및 분위기임.
 - 안전관리의 목표는 인명존중, 안전한 소방활동, 사회적 신뢰확립임.
 - 사고란 예정대로 일이 진행되지 않는 상태, 안전관리에서의 사고는 당면하는 사상의 정상적인 진행을 저지 또는 방해함으로써 상해의 위험을 일으키게 하는 사건임.
 - 안전사고란 고의성이 없는 불안정한 행동이나 조건이 선행되어 일을 저해하거나 능률을 저하시키며 인명이나 재산의 손실을 가져올 수 있는 사건임.

제2장 소방활동 안전관리



학습 목표

소방활동의 특성과 안전, 안전관리의 필요성, 기업과 소방안전관리의 차이, 소방안전관리의 특성을 살펴본다.

1. 소방활동 중 안전사고를 방지하여 공사상자를 최소화하는 노력을 진단함.
2. 소방활동 특수성을 파악함.
3. 소방활동 중 안전관리의 필요성을 파악함.
4. 소방에서 안전관리의 필요성과 기업과 소방조직의 안전관리 차이를 파악함.

제1절 소방활동의 특성

1. 순직·공사자 발생 현황

소방조직은 국민의 생활안전 욕구와 비례하여 그 활동영역이 확대됨에 따라 위험이 잠재하는 각종 재난현장에서 재난대응수습의 최일선에서 활동하고 있다. 때문에 소방공무원 안전사고의 위험이 증가하여 매년 다수의 공사상자가 발생하고 있는 실정이다.

2001년 3월 서울 홍제동 주택화재시 붕괴사고로 6명 순직과, 2008. 8. 20. 서울 은평구 나이트클럽 화재에서 천정부 붕괴로 3명 순직, 2010. 12. 3. 서울 송파구 잠실대교 남단에서 수난구조작업 중 구조보트가 전복되어 2명 순직, 2011. 12. 3. 경기 평택시 서정동 침대 전시장에 화재진압 중 2층 건물 붕괴로 2명이 순직하는 등 예측할 수 없는 재난환경 변화로 매년 끊임없이 사고가 발생하여 다시 한 번 “안전이 최우선이다.”라는 안전의식과 교육의 중요성을 일깨워 주었다.

최근 5년간 총 5,189건의 공사상자 유형으로 구급활동이 1,143건으로 22%였으며, 그 외 화재진압이 1,082건으로 20.90%, 구조활동이 388건으로 7.5%를 차지하였으며 기타가 2,412건으로 56.5%를 차지하였다.

[표 1-1] 최근 5년간 공사상자 발생현황¹⁾(업무유형별)

구분	계	비율	2019	2020	2021	2022	2023
총계	5189	100.0.%	827	1006	936	1084	1336
화재진압	1082	20.9%	181	195	216	239	251
구조	388	7.5%	62	71	75	90	90
구급	1143	22%	168	225	213	241	296
생활안전	164	3.1%	24	26	31	37	46
기타	2412	46.5%	392	489	401	477	653

또한 최근 5년간 발생한 총 20건의 순직사고를 살펴보면, 한해 평균 4명의 순직자가 발생하고 있다.

[표 1-2] 최근 5년간 공사상자 발생현황

구분	계	평균	2019	2020	2021	2022	2023
합계	5189	1038	827	1006	936	1084	1336
순직	20	4	9	2	3	4	2
공상	5169	1034	818	1004	933	1080	1334

[표 1-3] 2023년도 공사상자 발생현황

구 분		합계	화재	구조	구급	생활안전	기타
합계	인원	1336	251	90	296	46	653
	비율	100%	18.8%	6.7%	22.2%	3.4%	48.9%
순직		2	2	-	-	-	-
공상		1334	249	90	296	46	653

2023년도 공사상자 현황을 살펴보면, 전체 1336건 중 화재에서 251명, 구급에서 296명, 구조에서 90명, 생활안전에서 46명, 기타활동으로 653명 등 공사상자가 발생하였다.

위와 같은 추세는 화재뿐만 아니라 구조구급 등 소방행정의 수요 증가와 비례하여 증가한다는 것을 알 수 있으며, 앞으로도 자연재난과 사회재난 현장에서 활동하는 소방공무원이 각종 위험에 노출될 것으로 예상되어 소방활동시 안전사고방지를 위한 대책 마련이 중요한 과제로 제기되고 있다.

1) 2024년 소방청 통계연보(소방청 2024. 7. 16 현재)

이와 같이 소방공무원의 안전사고를 방지하고 재난현장에서 신속하고 효율적으로 대응할 수 있도록 부족한 인력충원, 노후장비 개선, 현장대원안전시스템 구축 등이 절실하다. 또한 소방안전에 대한 투자는 국민의 생명을 지키고 재산을 보호라는 결과로 나타나는 만큼 대국민 소방정책 홍보와 노력이 필요할 것이다.

2. 소방활동의 특수성

가. 확대 위험성과 불안정성

재해는 예고 없이 돌발적으로 발생하고 항상 상태변화의 연속으로 예측이 극히 곤란하다. 또한 인적·물적 피해의 확대 위험성을 수반하며 급속하게 진행되므로 대상물이 불안정한 특성이 있다.

소방기관은 인명이나 재산피해의 방지를 위하여 즉시 행동을 개시하지만 대응이 늦으면 심각한 사태로 발전할 가능성이 높아 인명 및 재산피해가 확대되는 것이다.

이와 같이 확대위험성이 있는 소방활동은 일반 사업장에서의 안전사고가 일과성 위주인 것과 비교할 때, 소방 현장활동은 위험사태 발생 후 현장임무 수행이라는 양면성이라는 다른 특징을 갖고 있다.

또한 재해를 당한 대상물은 건물이 구조적 피해를 받고 있기 때문에 정상적인 상태나 기능을 잃고 안전성을 결한 불안정한 상태로 이어지게 된다.

나. 활동 장애

재해현장에는 소방대원의 행동을 저해하는 각종 요인이 있다. 출동 시에는 도로상 교통 혼잡과 주차위반 차량 등으로 인하여 현장 도착이 지연되고, 화재현장에서의 화염, 열기, 연기 등으로 활동장애를 받게 된다.

특히 내화건물 및 지하 화재에 있어서 화염은 물론 짙은 연기와 열기로 인한 진입장애로 인명검색이나 소화활동이 제한을 받게 된다. 또 연기에 포함된 유독가스나 정전에 의한 암흑속에서 행동, 통로에 전개된 소방호스, 벽·기둥의 붕괴, 도괴, 유리나 기와 등의 낙하물, 수용물의 산재 등으로 내·외의 모든 장소에는 활동장애 요인이 잠재하고 있다.

다. 행동의 위험성

재해현장에서 소방대원의 행동은 평상시에 있어서 일반인의 생활행동과 역행하는 등 전혀 다른 위험성이 존재하고 있다. 즉, 근무자나 거주자가 당황해서 피난 나오는 장소로 소방대원은 현장 임무수행을 위하여 진입하는 것이다.

화재현장에서 소방대원은 담을 넘는다든지 사다리를 활용하여 2층이나 3층 혹은 인접 건물로 진입하거나, 통행이 어려운 곳을 통과하거나, 오르기 힘든 곳을 오르거나, 화염 등으로 위험하여 들어갈 수 없는 곳을 진입하여야 하는 경우가 있다.

활동에 방해가 되는 경우는 파괴활동을 병행하여 소방의 임무를 수행하고 있다. 그리고 사태가 절박할 때는 자기 체력, 기술 또는 능력 이상의 행동이 필요하다. 또한 가스 누설현장에서 2차 재해발생의 우려나 방사선 물질이나 시설이 있는 재해현장에서 방사선 피폭위험에 대한 행동통제나 진입규제 등도 소방대원의 임무수행을 위한 행동에 장애가 되는 위험성이다.

라. 활동환경의 이상성

화재현장 상황은 항상 정상적인 상태를 상실한 상황이 연출된다. 또한 가스, 유류, 화공약품 등에 의한 폭발현상 등 예측 불가능한 상황이 항상 잠재되어 있으며, 사람들은 이상심리에 지배되어 긴장, 흥분상태에 있고, 소방대원의 심리상태도 역시 마찬가지이다.

소방활동은 이와 같은 위험한 환경과 비정상적인 상황에서 실시되기 때문에 소방대원의 안전을 확보하고 안정된 소방활동을 하기 위한 강력한 리더십과 규율이 필요하며 이를 위해서는 평소의 부단한 교육 및 훈련이 필요하다.

마. 정신적·육체적 피로

현장 활동은 많은 체력이 소모되는 격무이며, 예고 없이 갑작스럽게 이루어지므로 시간이 경과할수록 정신적·육체적 피로가 가중된다. 일단 행동이 개시되면 전원이 육체적, 정신적으로 극한 상태까지 능력을 발휘하게 된다.

소방대원의 행동에는 재해확대 속도를 상회하는 신속성, 긴급성이 요구되어 각종 행동장애로 지장을 받게 되며, 안전한계를 극복하여 소방임무를 수행하기 위해서는 대단한 인내력이 필요하므로 신체는 극도로 피로하게 된다. 이와 같이 소방활동은 체력소모, 피로증대를 초래하고 정신적인 부담도 크므로 이로 인한 주의력, 사고력 감퇴와 동시에 위험성이 증대함에 유의해야 한다.

제2절 소방활동과 안전

소방기관은 국민의 생명, 신체 및 재산을 각종 재난으로부터 보호하는 중대한 임무를 수행하기 위해서 재해현장으로 출동하는 것이며, 완벽한 임무수행이 소방조직의 목표다.

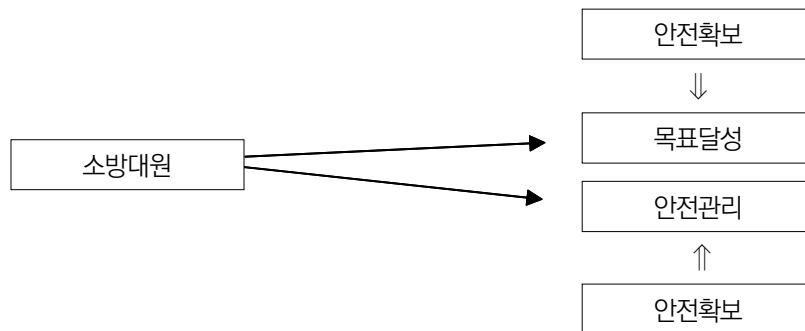
일반적으로 재해현장은 위험요소가 복합된 환경에서 소방활동을 하여야 하므로 재해현장에서는 안전 한계선을 설정하여 소방활동의 행동한계 지역으로 운영하고 있다.

안전한계를 구체적으로 선을 긋는다는 것은 상당히 곤란하기 때문에 지휘자나 대원은 항상 안전에 대한 배려와 확인을 한 후에 현장 임무를 달성해야 한다.

이와 같은 위험성을 수반하는 임무수행을 전제로 하는 경우만이 안전관리 사고방식이 중시되는 이유이다.

그러므로 안전관리는 그 자체가 목적이 아니고 조직목적을 달성하기 위한 과정, 즉 「임무수행을 전제로 한 적극적인 행동대책」이라는데 의의가 있다고 할 것이다.

적극적 행동대책은 인명 검색 시 공기호흡기 장착과 엄호주수, 관창배치, 낙하위험물을 주수에 의해 제거 후 진입하는 등 예측된 위험성에 대한 사전 준비나 대응을 도모하면서 효율적인 활동을 실시하는 것이다.



안전관리의 의미

그러나 『안전만 확보된다면』이라든가, 『목표달성이냐, 안전확보냐』라고 하는 발상이 아니고 소방활동 전문가로서 양자 모두를 만족시키는 것이 요건이다.

제3절 안전관리의 필요성

안전사고가 발생하면 본인과 가족의 고통은 물론 동료의 사기저하를 초래하는 등 사고에 의한 영향은 크다. 그러나 현실적으로 사고는 끊임없이 발생하고 있다. 사고가 발생하면 사고 원인과 대응책이 나오고, 사고의 배경을 살펴보면 불가항력적인 사고는 거의 없으며, 불안정한 상태 혹은 불안정한 행동, 즉 잠재적인 위험요인인 것을 알 수 있다.

또한 사고로 연결되지는 않았지만 순간적으로 위험한 상태에 빠지는 것을 경험해 보았을 것으로 생각한다. 사고방지를 위해서는 잠재적 위험요인을 사전에 배제하는 것이 안전관리의 기본이다.

위험요인을 배제한다는 것은 반대로 보면 안전을 사전에 추구하는 것이다. 잠재위험의 배제는 우선 위험에 대한 감각, 감수성을 기르고 위험을 올바르게 예지, 예측하여 사전에 필요한 조치를 취하는 것이다. 이것이 안전대책과 연결되는 것이며, 이와 같은 사고방식을 갖도록 하는 것은 안전관리가 지향하는 바이다.

더욱이 근래에 들어 소방전술의 개념이 종래의 화재진압에서 사고현장 구조·구급, 위험물질 처리, 산불진압, 재난수습 등으로까지 확대됨으로 인하여 그 필요성은 더욱 증대되고 있는 실정이다.

특히 화재진압활동은 육체적으로 힘들고 어려운 작업이며, 현장상황은 화염, 유독가스, 감전, 붕괴, 폭발, 차량사고 등의 위험과 적정하지 못한 소방작전 등 환경적, 인위적인 위험요소가 많다. 그러므로 화재현장 활동은 신체·정신적으로 강인하고 경계심이 있으며, 적절한 교육훈련을 받고, 완전한 보호 장구를 갖추고, 안전한 방법으로 임무를 수행하기 위하여 조직된 대원들의 영역이다.

따라서 화재현장 책임자는 항상 대원의 안전 확보가 모든 전술적 상황의 단계에서 근본적인 목표임을 명심해야 한다.

제4절 기업과 소방조직의 안전관리 차이

소방의 안전관리는 일반기업과 비교해서 근본적으로 다르다. 기업은 공사현장에서 처음부터 『안전제일』의 표어를 걸고 안전을 최우선으로 하고 있다. 공사방법, 필수기자재, 작업순서 등이 면밀히 계획·설계되고 공정표에 의하여 공사가 진행되고 있다.

공사의 진행에 수반한 안전대책도 최대한 배려가 되고 있고 예측된 위험성은 모두 배제하려고 노력하며 작업 시 사전 주지가 이루어져 안전조치를 선행시키면서 공사를 통제하고 있다.

그러나 소방대의 활동대상인 재해현장은 어떠한가? 화재현장에서는 연소중인 건물내부를 알지 못하는 경우가 많기 때문에 어디서 무엇이 타고 있으며 연소 확대 위험은 없는지의 유무, 또한 구조 대상자의 유무 상황도 알기 어렵고 짙은 연기와 열기 때문에 현장작전 의도대로 이행되지 않는 경우가 많다.

그러므로 화재로 인한 피해확대 방지와 인명위험 배제를 위해 소방대는 상황 파악과 병행해서 인명검색, 구조, 연소저지 등 활동을 우선해서 실시하는 것이다. 이와 같이 소방의 현장 안전관리는 공사현장의 안전관리와는 달리 소방대의 활동이 화재상황에 따라 대응하는 실정이므로 가능한 신속하게 화재를 소방의 통제 하에 두고서 활동하도록 하여야 하는 것이다.

따라서 소방활동은 임무수행과 안전 확보를 동시에 병행하여야 함이 기업과 소방조직의 안전관리에 대한 차이점이라 볼 수 있다.

제5절 소방 안전관리의 특성

1. 안전관리의 일체성·적극성

재해현장 소방활동에 있어서 안전관리에 대한 일체성의 예는 수관연장 시 수관을 화재 건물과 가까이 두고 연장하지 않도록 하는 것은 화재건물의 낙하물체나 고열의 복사열에 의한 수관손상을 방지하여 결과적으로 진압활동이나 인명구조 시 염호주수가 완전히 이루어질 수 있도록 하기 위한 것이다. 이는 대원 자신의 안전으로 연결되어 소방활동이 적극적으로 실행될 수 있도록 한다. 안전관리의 일체성, 적극성은 효과적인 소방활동을 염두에 둔 적극적인 행동대책이라고 할 수 있다.

2. 안전관리의 특이성·양면성

소방 조직의 재난현장 활동은 임무 수행과 동시에 대원의 안전을 확보하여야 하는 양면성이 요구된다.

예측 불가한 현장상황은 위험성을 수반한 현장 임무수행이 전제로 될 때 안전관리의 개념이 성립되는 것이다. 이와 같이 재난현장의 위험성을 용인하는 가운데 임무수행과 안전 확보를 양립시키는 특이성·양면성이 있다.

3. 안전관리의 계속성·반복성

안전관리는 끝없이 계속반복적으로 실시되어야 한다. 재해현장의 안전관리는 출동에서부터 복귀 하여 다음 출동을 위한 점검·정비까지 계속된다. 그러므로 평소 지속적인 교육훈련의 반복과 장비 점검 및 정비를 철저히 실시함이 안전관리의 중요한 요소가 된다.



핵심요약

- 소방활동의 특성과 안전관리의 필요성, 기업과 소방안전관리의 차이, 소방안전관리의 특성을 정리한다.
 - 소방활동 중 안전사고를 방지하여 공사상자의 방지 노력이 중요함.
 - 소방활동 특수성은 위험성과 불안정성, 활동장애, 활동환경의 이상성, 정신적·육체적 피로를 들 수 있음.
 - 소방활동의 목적은 안전을 확보하며 임무를 수행하는 것임.
 - 소방활동에서 사고발생은 본인과 가족 동료의 고통과 사기저하를 가져오므로 잠재적 위험요인을 배제한 안전관리는 중요함.
 - 기업에서는 예측된 위험성을 사전에 차단하며 계획에 의해 공사가 진행되지만 소방현장은 임무수행과 동시에 상황파악을 해야 하는 안전관리 차이가 있음.
 - 소방활동에서 안전관리는 일체성·적극성, 특이성·양면성, 계속성과 반복성이 중요함.

제3장 재해의 원인



학습 목표

위험요인, 불안정한 상태와 불안정한 행위, 재해발생이론의 개념을 살펴본다.

1. 재해발생의 원인을 물적 요소와 인적인 요소로 구분 파악함.
2. 불안정한 상태와 불안정한 행위를 파악함.
3. 위험요인의 회피능력을 파악함.
4. 재해발생의 하인리히 이론과 재해의 기본원인을 파악함.

제1절 위험의 요인

재해(사고)발생의 직접적인 원인을 구분하면 물적인 요소에 의한 것과 인적인 요소에 의한 것으로 나눌 수 있다. 즉 물적 원인과 인적 원인에 의해 발생한다. 물적 원인이 전혀 없는데 인적 원인만으로 발생한 재해(예로 소방대원이 화재현장 건물에서 계단을 두 계단씩 뛰어 내리다가 발을 잘못 디며 계단에서 굴러 떨어져 머리를 다친 경우), 반대로 인적 원인이 없는데 물적 원인에 의해 발생한 사고(예로 화재출동 중 타이어에 펑크가 나서 소방차량이 전복되어 승차한 소방대원이 중상을 입은 경우) 등도 있지만 이와 같은 예의 사고는 적게 발생하며 대부분의 재해(사고)는 물적 원인과 인적 원인의 양쪽이 겹쳐서 일어나는 것으로 어느 한쪽만이 원인이라고 하는 것은 잘못된 경우가 많다.

「LPG 폭발 현장에서 대원이 보호 장비를 제대로 갖추지 않고 방어활동을 하다 누설된 가스의 2차폭발로 얼굴에 중화상을 입었다」.

「고층건물 화재현장에서 유리파편이 지상으로 떨어져 밑에 있던 대원이 부상당했다」 등 사고의 원인은 불안정한 상태에 불안정한 행위가 겹쳐 발생한 사고가 대부분이다. 따라서 안전관리의 기본적 대책으로서 불안전상태의 제거에 중점을 두어야 할 것인가, 아니면 불안전행위의 제거에 중점을 두어야 할 것인가에 대해서는 산업안전 측면에서 논의가 계속되고 있는 과제이나, 소방활동 측면에서의 안전관리의 방향은 근원적 한계가 있는 불안정한 현장의

환경개선은 어렵지만 그 밖의 불안전한 상태의 개선과 병행하여 불안전한 행위를 배제할 수 있는 대책을 중점적으로 실시해야만 할 것이다.

제2절 불안전한 상태와 불안전한 행위

불안전한 상태란 재해 내지 사고를 일으킬 것 같거나 그 발생 요인을 만들어낸 물리적인 상태나 환경을 말하며, 불안전한 행위란 재해나 사고를 일으킬 것 같거나 그 발생 요인을 만들어낸 사람의 행동을 말한다.

1. 불안전한 상태

불안전한 장비를 사용하면 사용자가 아무리 주의를 기울여도 언젠가는 재해 (사고)가 일어나게 되며 불안전한 작업환경에서는 보통 때와는 다르게 사고발생 가능성이 높아지게 된다. 안전화 된 장비라면 사용자가 부주의로 불안전한 행위 (사용 잘못)를 했다 하더라도 재해로 이어지지 않고 끝나게 된다(정지한다).

이러한 원인은 건물이나 기계 설비의 위험성은 물론 위험물 등에 의한 화학적 위험, 전기 등의 감전위험, 작업환경 등의 위험이 여기에 해당된다.

작업환경의 위험요인으로 빼 놓을 수 없는 것이 현장의 입지조건 뿐 아니라 기상 등 자연 환경이다. 건조한 기후의 산림 화재 시 강렬한 연소 확대 현상에 의한 위험, 강설 강우시의 소방 활동 중 소방대원의 전락 및 동상의 위험, 시계불량에 의한 전도, 위험 등이다. 이러한 환경적 위험요인은 인간의 의지만으로 조정할 수 없기 때문에 소방대원이 기꺼이 적응하여 감수해야 하는 경우가 대부분이다.

가. 물건 자체의 결함

설계불량, 공작의 결함, 노후, 피로, 사용한계, 고장 미수리, 정비불량 등

나. 방호조치의 결함

무방호, 방호 불충분, 무접지 및 무절연이나 불충분, 차폐 불충분, 구간표시의 결함 등

다. 물건을 두는 방법, 작업장소의 결함

작업장 공간부족, 기계·장치·용구·집기의 배치결함, 물건의 보관방법 부적절 등

라. 보호구 착용 등 결함

장구개인 안전장비의 결함 등

마. 작업환경의 결함

소음, 조명 및 환기의 결함, 위험표지 및 경보의 결함, 기타 작업환경 결함

바. 자연환경 등

눈, 비, 안개, 바람 등 기상상태 불량

2. 불안전한 행위

불안전한 행위란 일반적으로 위험한 행동이라고 하면 쉬울 것이다. 위험의 존재가 결과적으로 사고를 초래하는 것이기 때문에 사람의 위험한 행위만 없으면 사고의 위험이 없다고 하겠지만 사람의 행위를 관리하는 것은 매우 어려운 일이다. 일반적으로 불안전한 행위의 요인은 다음과 같은 경우에 일어나는 것으로 보고 있다.

- (1) 의식에 착오가 있었던 경우
- (2) 의식했던 대로 행동이 되지 않은 경우
- (3) 의식이 없이 행동을 했을 경우

달리 말해서 그것은

- (1) 안전한 행동을 알지 못했기 때문에 (지식의 부족)
- (2) 안전하게 되지 않았기 때문에 (기능의 미숙)
- (3) 안전한 방법을 알고 있거나 안전하게 할 수 있는 능력을 가지고 있으면서 하지 않았기 때문에 (태도의 불량, 의욕의 결여) 일어나는 것이다.

그것은 「모른다」, 「할 수 없다」, 「하지 않는다」라고 할 수 있다.

앞의 예를 들면 가연성 가스에 대한 기초지식이 없으면 LPG화재 발생시 배치 방향이나 2차폭발 등의 발생에 대응한 방어활동이 안전하게 이루어질 수 없다. 이것은 「모른다」라는 행위이며, 사다리 위에서 동력절단기를 이용한 파괴 작업을 할 때 체력과 기술이 부족하면 떨어질 위험이 있는 경우는 안전한 행동을 「할 수 없다」는 것이 된다. 또 자기중심적인 사고나 방심 등(이 정도는 괜찮겠지 등)으로 사다리 방수 시 신체결속을 하지 않은 불안정한 작업 자세나 자기 확보를 취하지 않는 경우는 「하지 않는다」에 해당한다.

가. 지식의 부족 : 안전한 행위를 모른다.

소방대원이 각종 화재현상과 장비 조작 등에 대한 지식이 없으면 현장활동 시 안전하게 업무를 수행할 수 없다. 원인으로는 다음과 같다.

- (1) 교육하지(배우지) 않았기 때문에
- (2) 기억하지 못하기 때문에
- (3) 잊었기 때문에

(1)항의 경우는 본인보다는 관리자의 잘못된 경우가 많고 (2)항의 경우는 본인의 탓도 크지만 교육을 하는 측의 방법 등도 생각해볼 여지가 있으며, (3)항의 경우는 관리자보다는 본인의 태도가 문제시된다.

신임대원의 경우 현장 활동 안전지식은 아주 낮다고 보아 이 점에 특히 유의하여 철저히 지도하여야 한다.

나. 기능의 미숙 : 안전한 행위를 할 수 없다.

안전에 필요한 행위를 알고 있어서 당연히 해야 하는데 의식대로 행동이 되지 않기 때문에 일어나는 사고이다. 이와 같은 경우는 다음과 같다.

- (1) 작업에 대한 기능이 미숙하기 때문에
- (2) 작업이 힘겹기 때문에
- (3) 작업량이 능력에 비해 과대하기 때문에

(1)항의 경우는 훈련부족이며, (2), (3)항의 경우는 현장의 임무분담 등의 작업배치가 잘못된 것이다.

한 팀이 되어 공동으로 임무를 수행하는 소방활동 현장에서 장비활용 미숙이나, 체력이 부족한 대원이 혼합되어 있는 경우라든지, 넷이서 해야 할 일을 세 사람에게 시킨다든지 했을 때는 불안정한 행위로 나타난다. 이러한 불안정한 행위를 없애기 위해서는 소대장 등 감독자가 해결해야 할 사항이 많다.

다. 태도불량(의욕의 결여) : 알고 있으며, 할 수 있는 능력을 가지고도 하지 않는다.

이와 같은 경우는 다음과 같다.

- (1) 상황파악에 잘못이 있을 때
- (2) 좋지 않다는 것을 의식하면서 행동할 경우
- (3) 무의식으로 하는 경우

(1)항의 경우는 개인의 적성에 따르는 경우가 많으며, (2)항의 경우는 주로 본인의 작업 태도 불량, 안전의식의 결함에서 생기므로 교정의 여지가 있다.

일반적인 경향으로 안전한 수단이 생략되는 경향은 다음과 같다.

- (가) 작업보다 안전수단의 비중이 커질 때
- (나) 자신과잉
- (다) 주위의 영향(주위에 동화)
- (라) 안전인식 결여
- (마) 피로했을 때
- (바) 직장(현장) 분위기 등

3. 위험요인의 회피능력

재해현장 활동 시에는 위험한 현상을 관찰하여 위험요인을 예지, 예측하고 위험요인을 회피하는 능력을 몸에 익히지 않으면 의미가 없다. 이러한 능력은 유형적인 것이 아니고 위험요인에 대한 의식 혹은 감수성이라 하며, 인간 개개인의 내면에 작용하는 무형적인 능력인 것이다. 이 위험요인에 대한 감수성을 일반적으로 『위험예지능력』이라 부르고 위험예지능력을 기르기 위해서 다음 사항을 준수하여야 한다.

가. 자기의 주위에 있는 위험요인 예지능력(외적 위험요인 예지능력)

대원 스스로가 활동 중 주위에 있는 위험요인을 발견해 내는 능력이다. 『연소상황부터 판단하고 2층에 부주의하게 진입하면 바닥에 빠질 위험성이 있다』등의 판단이나 예지를 할 수 있다. 그것은 과거 경험과 지식에 의하고 외적요인을 오감 등으로 인지할 수 있다.

나. 자신의 내면에 있는 위험요인을 통제할 수 있는 능력(내적 위험요인 통제능력)

인간의 감정 또는 사고 등 자기중심적인 사고가 되기 쉬운 인간의 내면에 있는 위험요인을 통제하는 능력이다.

사람은 어떤 행동을 하기 전에 행동에 대한 사고방식 즉 가치판단이 이루어지고 그 판단에 입각해서 행동하는 것이다. 이 판단은 자기중심적으로 되기 쉽고 『이 정도면 괜찮겠지』라든가 『이 정도면 걱정 없다』라고 자기 마음대로 감정과 형편을 좋은 쪽으로 판단하게 된다. 이와 같은 감정이나 자기중심적인 사고방식을 올바른 방향으로 통제하는 능력이 있어야 한다.

다. 올바른 것을 실행하는 능력

외적 위험요인을 인식하고 그 위에 사람의 내적 위험요인을 통제하는 능력을 부가하여야 하며 이것을 행동으로 실행하는 능력이 요구된다.

외부에 있는 잠재적 위험요인을 발견하였으나 방심하거나 적당하게 처리하려고 하는 자기 자신의 내면적인 위험요인을 통제하고 올바른 판단으로 실행하는 능력이 요구된다.

종래에 『머리로는 이해하지만 신체에서는 이행할 수 없다』라고 말하는 것은 자신의 내·외적에 있는 위험요인을 인식하지만 행동으로 안전을 실행하는 능력이 부족한 경우를 뜻한다고 볼 수 있다.

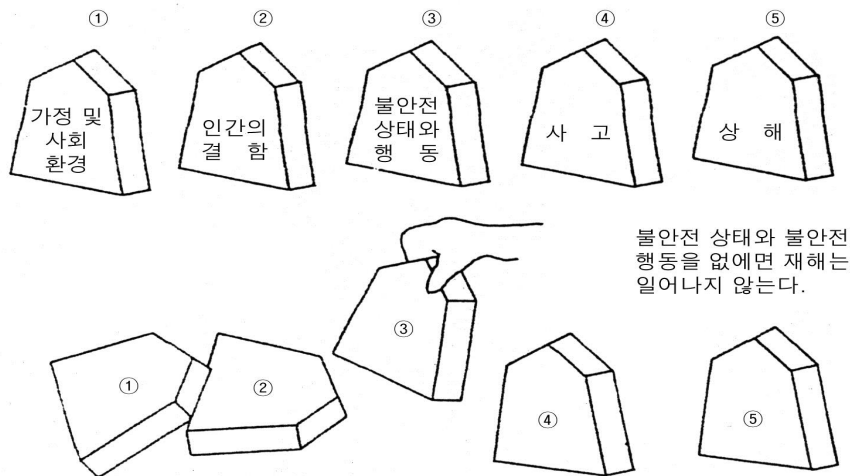
제3절 재해(사고)발생 이론

재해발생은 작업자가 작업을 시작하여 시간이 경과함에 따라 인간과 환경 및 기계 중 어느 하나가 잘못되어 일어나는 사고현상으로 인간, 환경, 기계를 안전사고 발생의 3대 요소라고 한다.

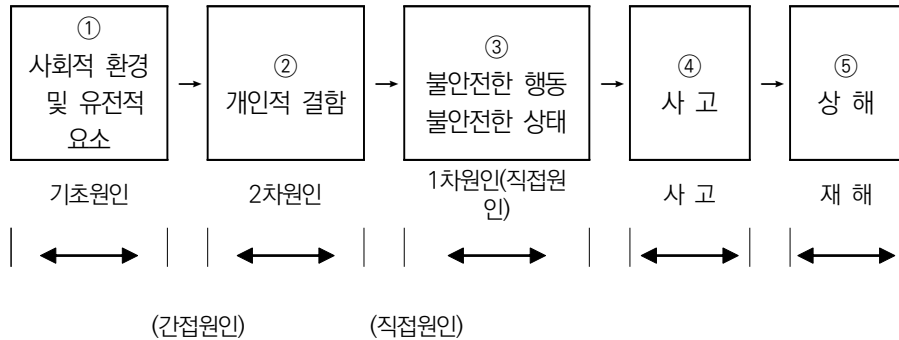
1. 하인리히(H.W.Heinrich) 이론

산업재해 발생 원리에 대한 최초의 것으로 하인리히의 저서「산업재해방지론」에서 주장한 이른바 사고발생의 연쇄성을 강조한 도미노(domino)이론으로서, 재해란 상해로 귀착되는 5개 요인의 연쇄작용의 결과로 초래된다는 것이다. 즉, 상해는 항상 사고에 의해 일어나고 사고는 항상 순차적으로 앞서는 요인의 결과로 일어난다고 하였다.

하인리히는 사고발생 과정을 5개의 골패원리로서 다음과 같이 정리하였다.



Heinrich 5개의 골패 원리



Heinrich 이론

① 사회적 환경 및 유전적 요소

무모, 완고, 탐욕, 기타 바람직하지 못한 성격은 유전에 의해서 계승되며, 환경은 바람직하지 못한 성격을 조장하고 교육을 방해할 것이다. 유전 및 환경은 모두 인적 결함의 원인이 된다.

② 개인적 결함

신경질, 무분별, 무지 등과 같은 선천적 또는 후천적인 인적 결함은 불안정한 행동을 일으키거나 또는 기계적, 물리적인 위험성이 존재하게 하는데 밀접한 원인이 된다.

③ 불안정한 행동이나 불안정한 상태

매달려 있는 짐 아래에 서 있다든지, 안전장치를 제거하는 등과 같은 사람의 불안정한 행동, 방호장치 없는 톱니바퀴, 난간이 없는 계단, 불충분한 조명 등과 같은 기계적 또는 물리적인 위험성은 직접적인 사고의 원인이 된다.

④ 사고

물체의 낙하, 비래(飛來)물에 의한 타격 등과 같은 현상은 상해의 원인이 된다.

⑤ 상해

좌상, 열상 등의 상해는 사고의 결과로서 생긴다.

즉, 하인리히 이론을 요약하면 제일 앞의 골패가 쓰러지면 그 줄의 골패가 전부 나란히 놓

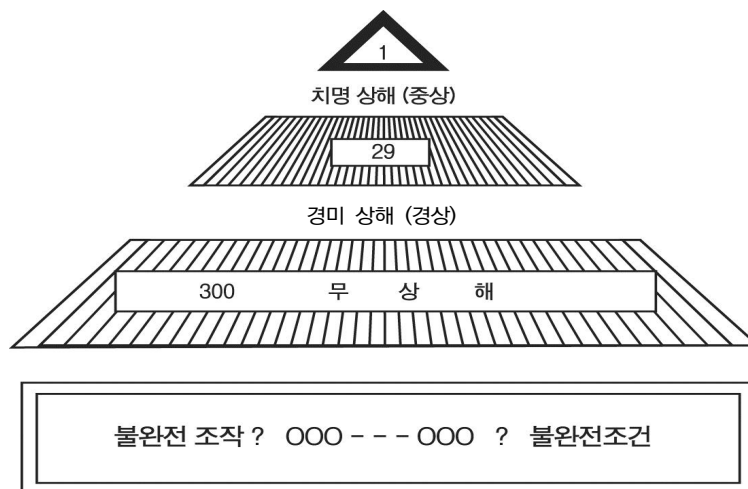
인 도미노의 줄에서 이 연쇄를 구성하는 요인 중 하나라도 제거하면 사상의 연쇄적 진행은 저지할 수 있어서 재해는 일어나지 않는다는 것이다.

안전관리활동에 의해 제거할 수 있는 것은 ③의 불안전 행동과 불안전 상태이다. 그러므로 사고·재해를 방지하기 위해서는 불안정한 행동 및 불안정한 상태의 두 개를 모두 없애지 않으면 안 된다는 것이다.

불안정한 행동과 불안정한 상태를 없애는 것이 안전관리의 가장 중요한 요소라고 한 명쾌한 지적은 우리나라 안전관리 활동에 커다란 영향을 주어서 1945년대부터 1955년대에 걸쳐 인기가 있었지만 재해방지대책을 기술적·관리적인 면보다도 정신주의적인 부주의의 방지로 향하는 경향을 조장한 것도 부인할 수가 없다.

하인리히는 사고와 재해의 관련을 명백히 하기 위해 「1:29:300의 법칙」으로 재해구성비율을 설명하면서 1회의 중상재해가 발생했다면 그 사람은 같은 원인으로 29회의 경상재해를 일으키고, 또 같은 성질의 무상해 사고를 300회 동반한다고 하는 것이다. 전 사고 330건 중 중상이 나올 확률은 1건, 경상이 29건, 무재해사고는 300건이 발생할 수 있다고 주장하였다.

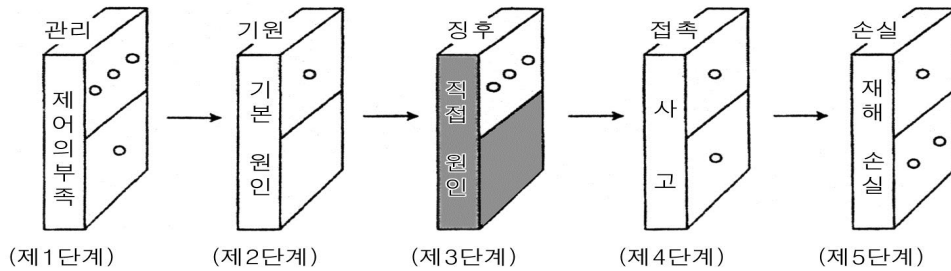
그의 저서에 게재된 다음 그림은 중상재해 저변에는 다수의 경상재해와 무상해사고가 있고 더욱이 무수한 불안전 행동과 불안전 상태가 있다고 하는 것이다.



Heinrich 재해 구성비율

2. Frank Bird 이론(최신의 도미노이론)

하인리히의 5개 골패원리는 그 후 새로운 도미노이론에 의해 교체되었다. 새로운 재해연쇄는 버드(Bird)에 의해 제기되었는데 5개 요인에 대해 다음과 같이 설명하고 있다.



Bird의 재해연쇄이론

가. 제어의 부족-관리(1단계)

재해연쇄 중에서 가장 중요한 인자는 안전관리자가 이미 확립되어 있는 안전에 관한 전문적 관리의 원리를 충분하게 이해하고 그것을 행하는 것이다.

안전에 관한 전문적인 관리란 계획, 조직, 지도, 통제 등의 다음의 기능을 말한다.

- 1) 안전관리계획 및 자기 자신이 실시해야 할 직무계획의 책정
- 2) 각 직무활동에서의 실시기준의 설정
- 3) 설정된 기준에 의한 실적평가
- 4) 계획의 개선, 추가 등의 순서

여기서 제어의 부족은 경영자, 안전관리자 등 안전감독기관이 안전에 관한 제도, 조직, 지도, 관리 등을 소홀히 하는 것을 의미한다. 그리고 안전관리계획에는 사고연쇄중의 모든 요인을 해결하기 위한 대책이 포함되어 있어야 한다.

나. 기본원인-기원(2단계)

재해 또는 사고에는 그것의 기본적인 또는 배후 원인이 되는 개인의 제반요인 및 작업에 관한 여러 요인이 있다.

- 1) 개인적 요인 : 지식 및 기능의 부족, 부적당한 동기부여, 육체적 또는 정신적인 제반문제 등
- 2) 작업상의 요인 : 기계설비의 결함, 부적절한 작업 기준, 부적당한 기기의 사용방법, 작업체제 등

재해의 직접원인을 해결하는 것보다는 오히려 그 근원이 되는 기본원인을 찾아내어 가장 유효한 제어를 달성하는 것이 중요하다.

다. 직접원인-징후(3단계)

이것은 불안정한 행동 또는 불안정한 상태로 일컬어지는 것으로서 하인리히의 연쇄이론에서도 가장 중요한 대책사항으로 취급되어 온 요인이다.

그러나 직접원인은 좀 더 깊은 근저에 있는 문제의 징후에 지나지 않는다. 징후를 추구하는 것만으로 기본이 되는 근저의 문제를 해결하지 않는 경우에는 연속적인 재해방지의 가능성은 바랄 수 없다. 관리자는 이러한 징후를 효과적으로 발견·분류하기 위한 시스템을 만들고 그 기본원인을 규명하여 제어방법을 설정할 필요가 있다.

라. 사고-접촉(4단계)

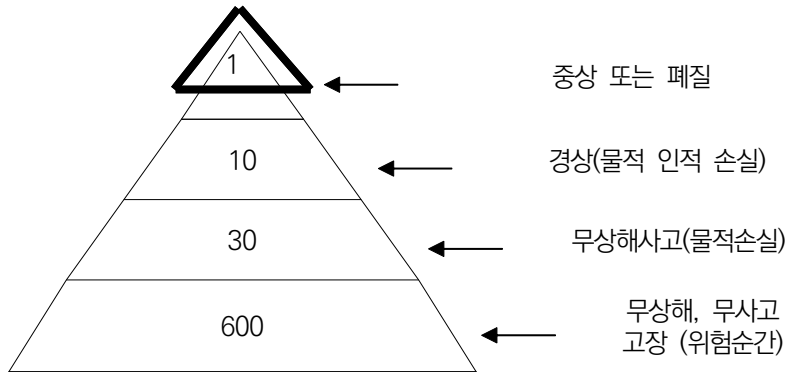
사고란 육체적 손상, 상해, 재해의 손실에 귀결되는 바람직하지 못한 사상으로서 신체 또는 구조물의 구분치를 넘어서 에너지원과의 접촉 또는 정상적인 신체의 작용을 저해하는 물질과의 접촉이라고 할 수 있다. 연쇄이론에 있어서의 사고는 접촉의 단계라 말할 수 있다.

마. 상해-손실(5단계)

재해연쇄의 요인에서 사용되는 상해라는 말에는 작업 장소에서 생기는 정신적, 신경적 또는 육체적인 영향과 함께 외상적 상해와 질병의 양자를 포함하는 인간의 육체적 손상을 포함하고 있다.

이상의 설명 중에서 가장 중요한 것은 ② 및 ③으로 기본원인과 직접원인의 관련에 대해서 언급한 점이다. 즉 고전적 도미노이론(하인리히 이론)에서는 직접원인만 제거하면 재해는 일어나지 않는다고 하였지만 최신의 도미노이론에서는 반드시 기본원인을 제거하라고 주장한 것이다.

버드는 또한 17만5천 건의 사고를 분석한 결과 중상 또는 폐질 1, 경상(물적 또는 인적상해) 10, 무상해사고(물적 손실) 30, 무상해무사고 고장(위험순간) 600의 비율로 사고가 발생한다는 이른바 「1: 10: 30: 600의 법칙」을 주장하였다.



Bird의 사고 구성 비율

3. 깨진유리창 이론

깨진 유리창 이론은 깨진 유리창 하나를 방치해 두면 그 지점을 중심으로 범죄가 확산된다는 이론으로 사소한 무질서 혹은 결함을 방치하게 되면 나중에는 더 큰 피해나 피해의 확대가 일어날 수 있다는 개념이다. 깨진 유리창 이론은 다음의 사례들을 통해 자세히 알아볼 수 있다.

가. 1969년 미국 스탠퍼드 대학교 필립 짐바르도(Philip Zimbardo) 교수는 차량 두 대로 실험을 하였다. 치안이 허술한 골목에 동일한 차량 두 대를 보닛을 열어 둔 채로 방치하되, 그중 한 대는 창문을 깨뜨린 상태로 두었다. 일주일 후 두 대의 차량을 확인해 보니 창문이 깨진 차량이 더 많은 범죄행위를 유발한 사실을 확인할 수 있었다.

나. 1980년대 중반에 뉴욕시는 시 정부와 경찰의 방치 속에 급속도로 슬럼화되었다. 뉴욕시 길거리는 지저분한 낙서투성이였고 더러운 지하철역에서는 범죄가 끊이지 않았다. 범죄 발생률이 높아지자 기업과 중산층이 교외로 급속도로 빠져나가는 바람에 밤은 물론 낮에도 한적한 거리와 지하철은 가기가 꺼려지는 두려움의 대상이 되어버렸다. 그러던 1993

년 뉴욕 시장으로 취임한 루돌프 줄리아나는 강력한 의지를 가지고 뉴욕시 정화작업에 돌입했다. 주요 거점에 CCTV를 설치하여 낙서한 사람들을 끝까지 추적했다.

또 지하철역 내부의 벽을 깨끗하게 청소하고 범죄를 집중 단속했더니 놀라운 일이 일어났다. 시 정부의 강력한 의지를 거듭 확인한 뉴욕 시민들이 자신들의 과거 행태를 바꾸기 시작한 것이다. 주위 환경이 전체적으로 더러울 때 사람들은 오물을 쉽게 버린다. 하지만 주위가 깨끗할 때는 자신의 부적절한 행동이 다른 사람들에게 쉽게 들통 날 우려가 있기 때문에 그러지 못한다.

위의 사례에서 볼 수 있듯이 결국 정상상태 또는 문제가 드러나지 않은 상태에서는 위험요소가 적지만 일단 사소한 결함이나 문제점이 발생하기 시작했을 때 대처하지 않거나 방치하면 그 이후에는 돌이킬 수 없는 위험이나 피해가 발생할 수 있다는 것이 ‘깨진 유리창 이론’의 핵심이다. 이 이론을 안전관리의 측면에서 본다면 위험요소가 발견되거나 확인되었을 때 그 즉시 보완하고 대처해야 이후 큰 사고를 막을 수 있다는 개념으로 해석할 수 있다.

이 세상에는 여러 가지 계산법이 있다. 우리가 흔히 아는 ‘1+1’의 값은 ‘2’이다. 하지만 에디슨은 ‘1+1=1’이라고 하였다. 물방울 하나에 물방울 하나를 더하면 서로 엉켜 커다란 물방울 하나가 되기 때문이다. 시너지 효과를 중요시하면 ‘1+1=3’ 또는 그 이상이 될 수도 있다. 하지만 깨진 유리창 이론에서는 ‘100-1=0’이다. 사소한 실수 하나가 전체를 망가뜨리기 때문이다. 이를 역으로 활용한다면 ‘100+1=200’이 될 수 있다는 점을 기억해야 한다.

깨진 유리창 이론



4. 재해의 기본원인(4개의 M)

안전을 과학적으로 진행시키기 위해서는 인간의 미스에 대한 과학적인 이해가 필요하다. 세계적으로 행하여지고 있는 유효한 재해분석의 한 방법으로 미국 공군에서 개발하여 미국 국가교통안전위원회(NTSB)가 채용하고 있는 방법이 있는데, 이 해석에 있어서 재해라고 하는 최종결과로 중대한 관계를 가진 사항의 전부를 조사하고 분석하여 그것들의 연쇄관계를 명백히 하고 그 결과를 검토하는 키워드로서 4개의 M이 있다.

즉 Man(인간), Machine(기계), Media(매체), Management(관리)이다.

이 4개의 M이야말로 인간이 기계 설비 등과 공존하면서 작업할 수 있는 시스템의 기본조건, 즉 안전관리 대상의 4요소라 할 수 있다.

가. Man(인간)

인간이 실수를 일으키는 요소도 중요하지만 본인보다도 본인 이외의 사람, 직장에서는 동료나 상사 등 인간환경을 중시한다. 직장에서의 인간관계, 집단의 본연의 모습은 지휘·명령·지시·연락 등에 영향을 주고, 인간행동의 신뢰성으로 관계하는 것이다.

나. Machine(기계)

기계 설비 등의 물적 조건을 말하는 것으로 기계의 위험 방호설비, 기계나 통로의 안전유지, 인간-기계-인터페이스의 인간공학적 설계 등이다.

다. Media(작업)

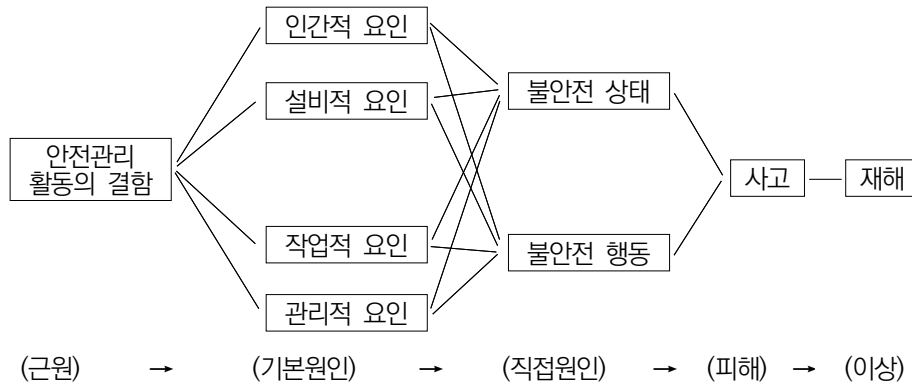
Media란 본래 인간과 기계를 연결하는 매체라고 하는 의미지만 구체적으로는 작업정보, 작업방법, 작업환경 등이다.

라. Management(관리)

안전법규의 철저, 기준류의 정비, 안전관리 조직, 교육훈련, 계획, 지휘감독 등의 관리이다.

이 4개의 M은 항공기나 교통만의 기본적 사항은 아니고, 인간이 일을 하는 모든 경우에 적용할 수 있는 것이다. 화재진화작업, 기계조작, 자동차 운전 등 각각 위험의 특징은 다르지만 그것은 이 4개의 M의 구체적 내용을 각각의 일에 해당하는 사항을 확정 시켜 재해요인으로

로서 직접적이고 결정적인 인과관계를 갖는다고 판단되는 것에 대하여 검토해서, 대책으로 균형 실행하면 안전은 확보되는 것이다.



재해발생의 연쇄관계

따라서 재해 발생의 연쇄관계에서 재해의 직접원인인 불안전 상태나 불안전 행동을 발생시키는 기원이 되는 기본원인이 4개의 M이라고 생각할 수 있다. 이 경우 4개의 M의 각각이 불안전 상태, 불안전 행동의 어느 것에 대해서도 원인이 될 수 있다는 것을 이해할 필요가 있다.

기본원인이 되는 4개 M의 주된 내용은 다음 표와 같다.

[표 1-4] 재해의 기본원인으로서의 4M

Man (인간)	① 심리적 원인 : 망각, 걱정거리, 무의식 행동, 위험감각, 지름길 반응, 생략행위, 억측판단, 착오 등 ② 생리적 원인 : 피로, 수면부족, 신체기능, 알코올, 질병, 나이 먹는 것 등 ③ 직장적 원인 : 직장의 인간관계, 리더십, 팀워크, 커뮤니케이션 등
Machine (작업시설)	① 기계·설비의 설계상의 결함 ② 위험방호의 불량 ③ 본질 안전화의 부족(인간공학적 배려의 부족) ④ 표준화의 부족 ⑤ 점검 정비의 부족
Media (작업)	① 작업 정보의 부적절 ② 작업자세, 작업동작의 결함 ③ 작업방법의 부적절 ④ 작업공간의 불량 ⑤ 작업환경 조건의 불량
Management (관리)	① 관리조직의 결함 ② 규정·메뉴얼의 불비, 불철저 ③ 안전관리 계획의 불량 ④ 교육·훈련 부족 ⑤ 부하에 대한 지도·감독 부족 ⑥ 적성배치의 불충분 ⑦ 건강관리의 불량 등



핵심요약

- 재해발생의 위험요인, 불안정한 상태·불안정한 행위와 재해발생이론을 정리한다.
 - 사고발생의 원인은 대부분 물적 요소와 인적인 요소가 결합하여 발생함.
 - 불안정한 상태는 사고의 발생요인을 만들어낸 물리적 상태나 환경으로 물건의결함, 방호 조치의 결함, 보호장구나 작업환경의 결함을 들 수 있음.
 - 불안정한 행위는 지식의 부족, 기능의 미숙, 태도불량 등이 있음.
 - 위험요인의 회피능력은 위험요인의 내적위험요인 통제능력, 외적 예지능력, 실행능력이 있음.
 - 재해발생이론은 하인리히 이론과 최신의 도미노이론이 있으며, 재해의 기본원인으로 4M이 있음.

제4장 재해예방 및 조사



학습 목표

재해예방대책과 재해조사의 개념을 살펴본다.

1. 재해예방의 4원칙과 사고예방대책의 원리 5단계를 파악함.
2. 재해조사의 목적, 원칙, 순서를 파악함.

제1절 재해예방 대책

1. 재해예방의 4원칙

가. 예방 기능의 원칙

천재지변을 제외한 모든 인위적 재난은 원칙적으로 원인만 제거되면 예방이 가능하다.

나. 손실 우연의 원칙

사고의 결과로서 생긴 재해 손실은 사고 당시의 조건에 따라 우연적으로 발생한다. 따라서 재해 방지의 대상은 우연성에 좌우되는 손실의 방지보다는 사고 발생 자체의 방지가 되어야 한다.

다. 원인 연계의 원칙

사고에는 반드시 원인이 있고 직접원인과 간접원인이 복합적으로 연계되어 일어나므로 모든 원인은 종합적으로 검토되어야 한다.

라. 대책선정의 원칙

사고의 원인이나 불안전 요소가 발견되면 반드시 대책을 선정 실시하여야 하며 사고예방을 위한 가능한 안전대책은 반드시 존재한다.

대책은 재해방지의 세 기둥(3개의 E)이라 할 수 있는 다음의 것이 있다.

- 1) Engineering(기술적 대책) : 안전 설계, 작업환경·설비의 개선, 행정의 개선, 안전기준의 설정, 점검 보존의 확립 등.
- 2) Education(교육적 대책) : 안전지식 또는 기능의 결여나 부적절한 태도 시정
- 3) Enforcement(관리적 대책) : 관리적 대책은 엄격한 규칙에 의해 제도적으로 시행되어야 하므로 다음의 조건이 충족되어야 한다.
 - 가) 적합한 기준 설정
 - 나) 각종 규정 및 수칙의 준수
 - 다) 전 작업자의 기준 이해
 - 라) 관리자 및 지휘자의 솔선수범
 - 마) 부단한 동기 부여와 사기 향상

2. 사고 예방대책의 기본원리 5단계

재해예방대책을 실행하기 위해서는 다음의 사고예방대책의 기본원리 5단계를 들 수가 있는데 간단히 설명하면 다음과 같다.

가. 1단계 : 안전조직(조직체계 확립)

경영자의 안전목표 설정, 안전관리자 선임, 안전라인 및 참모조직, 안전활동 방침 및 계획 수립, 조직을 통한 안전활동 전개 등 안전관리에서 가장 기본적인 활동은 안전관리 조직의 구성이다.

나. 2단계 : 사실의 발견(현황파악)

각종 사고 및 활동기록의 검토, 작업 분석, 안전점검 및 검사, 사고조사, 안전회의 및 토의, 근로자의 제안 및 여론 조사 등에 의하여 불안전 요소를 발견한다.

다. 3단계 : 분석 평가(원인 규명)

사고원인 및 경향성 분석, 사고기록 및 관계자료 분석, 인적·물적 환경조건 분석, 작업공정

분석, 교육훈련 및 직장배치 분석, 안전수칙 및 방호장비의 적부 분석 등을 통하여 사고의 직접 및 간접 원인을 찾아낸다.

라. 4단계 : 시정방법의 선정(대책 선정)

기술적 개선, 배치조정, 교육훈련의 개선, 안전행정의 개선, 규정 및 수칙 등 제도의 개선, 안전운동의 전개 등 효과적인 개선방법을 선정한다.

마. 5단계 : 시정책의 적용(목표달성)

시정책은 3E, 즉 기술(Engineering), 교육(Education), 관리(Enforcement)를 완성함으로써 이루어진다.

제2절 재해(사고) 조사

1. 재해조사의 목적

재해조사의 목적은 재해 발생 원인을 분명하게 밝힘으로써 가장 적절한 방지대책을 찾아내어 동종의 재해를 미연에 방지하는데 있다.

재해조사는 안전대책을 추진하기 위한 원점이며 안전 활동의 기본은 현실의 재해에서 배우는 것으로부터 시작된다.

또한 재해조사는 재해발생 책임자를 처벌하기 위하여 실시하는 것은 아니다. 재해에 책임은 따라 다닐지 모르지만 그것은 조사결과로부터 판단되는 것으로 재해조사의 목적은 “누가 사고를 일으켰는가?”라는 것보다 무엇이 원인이 되어 재해가 발생하였는가를 분명히 밝히는데 있다.

2. 재해조사의 원칙

재해조사의 원칙적인 중요사항을 열거하면 다음과 같다.

가. 조사자

재해의 발단, 진행, 원인 등에 대해서 정확하고 공정하게 객관적으로 검토할 수 있는 사람이어야 한다.

나. 실시방법

소정의 양식에 의해 될 수 있는 한 진상에 대해서 깊이 파고들 필요가 있다. 조사의 범위가 재해가 발생한 현장이나 사업장의 일부분만으로 끝나지 않는 경우도 있다. 기계나 재료의 결함이 직접원인이 된 재해는 기계의 구입, 검사, 설비, 관리부문 뿐만 아니라 유통이나 판매업자와도 관계가 있을지 모른다. 그와 같은 경우 타 부문의 책임자나 관계자에 대해서도 사정을 청취하여야 하며 그 결과에 따라 관련 네트워크로서의 문제점을 생각하여야 한다.

다. 기본원인 추구하고 대책의 중요도 부여

직접적인 물체의 불안정한 상태와 사람의 불안정한 행동의 확정은 용이한 경우가 많지만 기본원인인 “4개의 M”(Man:인간, Machine:기계, Media:작업정보, Management:관리)은 즉각 정확한 판단이 나온다고 할 수 없다. 인간적인 요인만 강조되어 그 이외의 요인이 지적되지 않는다는 반대로 기계나 설비적인 요인만이 부각되어 인간적인 요인이 불문의 형이 되는 일이 있어서는 안 된다.

기본원인에 대해서는 합리적, 과학적인 태도가 요구된다. 그러기 위해서는 불안전 상태와 불안전 행동의 각각에 대해서 개별적으로 기본원인을 검토하는 것이 좋다.

재해의 기본원인이 분명해졌어도 그것이 복수인 경우가 많다. 따라서 재해방지책도 복합된 내용이 되게 된다. 많은 조사사항은 평면적인 나열보다는 유형으로 나누어 기본원인을 근거로 하여, 가장 근본적인 문제와 대책 그리고 그 다음으로 중요한 것 순서로 중요도를 부여하는 것이 좋다.

라. 조사 시 유의해야 할 사항

1) 조기착수

재해현장은 변경되기 쉽고, 관계자도 세세한 것은 잊어버리기 쉽기 때문에 조사는 재해 발생 후 가능한 한 빨리 착수하는 것이 좋다. 또 조사가 종료될 때까지 현장보존에 유의하며 2차 재해의 방지를 도모한다.

2) 사실의 수집

현장상황을 기록으로 남기기 위하여 사진을 찍어둔다. 재해에 관계가 있는 물건 중에는 재료시험이나 화학분석을 필요로 하는 것도 있기 때문에 그럴 경우 신속히 실시한다. 또한 목격자 및 책임자 등의 협력을 얻어 조사를 진행하되, 증언하는 사실 이외의 추측성 말은 참고로만 한다. 가능한 한 피해자의 진술을 듣는 것도 중요하다. 사실의 수집 시 책임추궁보다는 재발방지를 우선하는 기본태도를 갖는다.

3) 정확성의 확보

사고현장은 물적·인적으로 혼란 상태에 있는 경우가 많기 때문에 조사자는 냉정한 판단, 행동에 유의해서 조사의 순서·방법을 효율적으로 진행시킨다. 재해의 대부분은 반복형의 것으로 직접원인도 비교적 판단하기 쉬운 것이 많기 때문에 목격자, 기타 관계자의 설명에 주관적인 감정이 들어갈 가능성이 있다. 따라서 조사자는 객관적인 입장에서 공정하게 조사하며 조사는 2인이상이 한다. 또 판단하기 어려운 특수사고는 전문가의 협조를 의뢰하며 발생사실을 은폐하여서는 아니 된다.

4) 5W 1H

재해조사는 그 사실을 5W 1H의 원칙에 입각하여 보고되어야 한다.

- ① 누가 (Who)
- ② 언제 (When)
- ③ 어디에서 (Where)
- ④ 왜 (Why)
- ⑤ 어떻게 (How)
- ⑥ 무엇을 하였는가(하지 않았는가) (What)

이 중에서 중요한 내용은 ④ ⑤ ⑥ 이다. 이 세 가지는 재해발생 원인에 확정적으로 관계되기 때문에 잘못이 있어서는 안 된다. 목격자, 현장책임자 등 되도록 많은 사람에게 사고 발생 시의 상황을 청취하여, 어느 한 사람의 설명으로 줄거리를 만드는 경우가 없도록 충분히 배려해야 한다.

3. 재해조사의 순서

재해조사를 효율적으로 정확하게 실시하여 가장 좋은 재발 방지대책을 수립하고 앞으로의 안전관리활동을 한층 더 충실하게 하기 하여 다음의 순서대로 행하는 것이 좋다.

가. 제1단계-사실의 확인

재해 발생의 상황을 피해자, 목격자, 기타 관계자에 대하여 작업 시작부터 재해 발생까지의 과정 중에 재해와 관계가 있었던 사실을 명확하게 밝힌다. 재해발생 시에 취한 조치도 포함되며 2차 재해가 발생한 경우도 마찬가지이다.

조사항목은 사람, 설비(물), 작업, 작업 중의 관리에 관한 모든 사항을 5W 1H의 원칙에 의해 현장 중심에서 행하는 것이 좋다.

나. 제2단계-직접원인과 문제점의 확인

파악된 사실에서 재해의 직접원인을 확정함과 동시에 그 직접원인에 관련하여 제반 기준에 어긋나는 문제점의 유무와 그 이유를 명백히 한다.

기준이란 안전규정, 설비기준, 작업 메뉴얼, 작업순서, 직장규율(관습) 등이며 문제점이라는 것은 불안전 상태 또는 불안전 행동에 관련하여 제반 기준에 적합하지 않았던 사실을 말한다.

다. 제3단계-기본원인과 근본적 문제의 결정

재해의 직접원인인 불안전 상태와 불안전 행동이 존재하고 있던 애초의 기본적인 원인(4M)과 그것을 해결하기 위한 근본적인 문제점을 명백히 해야 한다. 기본원인의 예로서, 화재현장의 인명검색대원이 안전로프도 결속하지 않고 단독으로 실내에 진입하여 활동 중 퇴로를 잃어 순직했을 경우, 규정에서는 “깊은 연기 중의 검색활동은 2인 1조로 로프를 결속하여 퇴로를 확보하고 연락을 긴밀히 하며 진입할 것”으로 되어 있으므로 재해의 직접원인은 “대원의 규정위반에 의한 불안전한 행동”과 “화재건물의 불안전 상태(환경)”가 될 것이다. 그러나 이 재해의 기본원인은 현장 출동시 로프와 조명기구를 휴대하지 않았다는 것이다. 인명검색 규정을 알고 있었어도 지키기가 어려웠다는 점이다. 또 평소에 규정준수에 대한 감독자의 통제도 느슨했으며, 규칙위반도 평소에 눈감아 주고 있었다면, 이 재해의 기본 원인은 사

람 및 관리의 양면에 있다고 할 것이다.

근본적인 문제점이란 기본적인 원인의 더 배후에 있는 문제점이라고 생각해도 좋다. 위의 예에서 보면 대원이 검색도구를 휴대하지 않았다는 것은 평소의 장비 점검·정비의 분위기가 직장에서 형식적으로 이루어지는 점 등이, 인력부족으로 부득이 혼자서 진입했다면 인력관리 측면의 문제가 배후문제로 판명되는 등 대책이 취해져야 할 것이다.

라. 제4단계-대책수립

제3단계까지에서 밝혀진 재해원인 및 근본적인 문제점으로부터 동종의 재해방지대책을 수립한다. 대책은 최선의 효과가 있어야 하고 구체성과 실시 가능성이 있는 것이어야 한다. 내용은 「사람·물건·작업·관리」중에 개선·시정해야 할 대책 및 향후 강화추진해야 할 목표 등이지만 최대중점, 순위, 실시상의 배려사항을 분명하게 해 두는 것이 좋다.

대책이 결정되면 실시계획을 세우고 내용마다 실시 부서, 기한, 실시 항목 및 실시 방법을 명백히 하여 보고, 확인, 평가의 방법도 두는 것이 좋다.

또한 유사 재해의 방지대책도 동시에 수립하여 실시 계획에 올려놓는 것이 바람직하다.



핵심요약

- 재해예방대책과 재해조사의 개념을 정리한다.
 - 재해예방의 4원칙은 예방가능, 손실우연, 원인 연계, 대책선정의 원칙이 있음.
 - 사고예방대책의 기본원리 5단계는 안전조직, 사실의 발견, 분석평가, 시정방법의 선정, 시정책의 적용을 말함.
 - 재해조사의 목적은 재해발생의 원인을 밝혀 동종의 재해를 방지하는데 있음.
 - 재해조사의 원칙은 조사자의 공정성, 진상의 심도 깊은 조사, 기본원인 추구와 조사 시 유의사항은 조기착수, 사실의 수집, 정확성의 확보를 들 수 있음.
 - 재해조사의 순서는 사실의 확인, 직접원인과 문제점의 확인, 근본적 문제의 결정, 대책수립임.

제5장 안전교육



학습 목표

안전교육의 필요성과 목적, 종류, 방법과 위험예지훈련에 대하여 살펴본다.

1. 안전교육의 필요성과 목적을 파악함.
2. 안전교육의 종류와 방법을 이해함.
3. 위험예지훈련의 목적과 진행방법을 파악함.

제1절 안전교육의 개관

1. 안전교육의 필요성

사회·경제발전과 기술혁신의 진전이 빠른 속도로 이루어지면서 화재, 붕괴, 폭발 등 여러 유형의 각종 재난사고가 빈발함에 따라 소방대원의 재해현장 활동도 그와 비례하여 늘어나고 있음은 물론 안전사고의 유형도 다양해지고 있다.

따라서 소방대원은 종래의 화재현장에서의 단순한 화재진화 작업자가 아니라 다양한 재난 유형에 안전하게 대응할 수 있는 지적인 기술자가 요구되고 있다.

더욱이 빠른 경제 발전기에 세워진 수많은 도시의 구조물은 부실하고 노후화됨으로써 화재 등 재난 발생 시 구조물 붕괴위험이 높아지고 있는 등 현장활동 소방대원의 위험요인은 많아지고 있는 실정이다.

이렇게 소방대원의 안전을 위협하는 요인이 증대되는 추세에 대응하고 안전수준의 향상에 도움이 되는 적절한 안전교육을 실시하는 것이 강력하게 요구되고 있다. 또 어떠한 소방활동 현장에서도 기본적인 직무를 안전하게 수행할 수 있는 지식과 기능·기술을 가지고 항상 그것을 안전하게 실행할 수 있는 능력을 가질 필요가 있다.

2. 안전교육의 목적

안전교육은 소방대원으로 하여금 각종 소방활동 현장에 내재한 잠재적 위험요인을 발견할 수 있는 능력과 안전한 소방활동을 할 수 있는 능력을 기르고 향상하여 안전사고를 방지하기 위하여 실시한다.

안전교육은 또한 소방대원에게 현장활동에 대한 자신감과 안전에 대한 믿음을 부여하고 그로 인한 안전사고 예방의 결과는 직·간접적인 사회경제적인 손실방지 뿐만 아니라 국민에 대한 질 높은 소방행정 서비스로 연결되므로 대국민 신뢰 증진에도 기여하게 되는 것이다.

안전교육을 실시할 때에는 교육대상에 따라 교육의 목표를 설정한 다음 교육의 기본방향과 목적을 설명하고 교육종료 후 효과에 관해서도 설명하여야 한다.

가. 안전교육의 방향

소방활동 안전교육은 사고사례를 중심으로 하는 것이 좋으며 안전의식을 함양하는 방향으로 교육을 실시한다. 과거 각종 재해현장에서 발생했던 안전사고사례를 선정하여 그 사고의 문제점과 대응책을 중심으로 교육하면 더욱 효과적이다.

나. 안전교육의 목표

안전교육의 목표는 소방대원에 대한 ① 의식(정신)의 안전화 ② 행동의 안전화 ③ 기계·기구의 안전화의 3가지 정도로 요약하여 실시한다.

다. 안전교육의 효과

올바른 안전교육을 실시하면 대원은 각종 소방활동 시 잠재 위험요인을 발견하는 능력이 향상되며, 위험한 상황에서의 대응책 등을 강구할 수 있게 된다.

- 1) 잠재적 위험요인의 발견능력 향상
- 2) 사고발생 가능성 예지
- 3) 안전사고 예방 기술 습득
- 4) 사고조사 및 비상상황 대응력 강화

3. 안전교육의 방법

가. 안전교육의 방법

안전교육의 방법은 많으나 어떠한 방법에 치중하느냐의 차이가 있을 뿐 교육대상자의 숫자나 교육보조자료 등에 의해 여러 가지의 교육방법을 혼용하는 것이 좋다. 교육 대상자가 많거나 적당하면 강의식이 좋고, 숫자가 적으면 토의식교육이 좋다. 거기에 교육훈련의 효과를 높이기 위해서 각종 시청각기재-VTR, OHP, 슬라이드, 영화-등을 사용하는 시청각 교육을 가미하면 더욱 효과적이라 할 수 있다. 교육방법은 강의식, 시범실습식, 토의식, 사례연구법(문제해결식), 역할연기법 등의 방법이 있다.

(1) 강의식 교육

강사가 음성, 언어에 의거, 일방적으로 교육내용을 전달하는 학습방식을 주로 하는 것을 말하며, 오늘날까지의 교수법의 기본기법으로 사용되어 왔다. 이 방법만큼 장단점이 많은 교수법도 드물지만 잘 활용하면 많은 지식을 단시간에 다수의 사람에게 동시에 전수할 수 있다는 것이 가장 큰 강점이라 할 수 있다.

토의식이나 다른 기법과 병행하여 학습이론에 따른 효과를 올리도록 활용하는 것이 바람직하다.

가) 장 점

- (1) 경제적이다.(다수에게 많은 지식을 일시에 제공 가능)
- (2) 기초적인 내용, 논리적인 설명에 효과적이다.
- (3) 시간이 절약된다.
- (4) 강의내용이나 진행방법을 자유롭게 변경시킬 수 있다.
- (5) 교육생 상호 자극에 의한 학습효과가 높아진다.
- (6) 정보전달에 효과적이다.

나) 단 점

- (1) 일방적, 획일적, 기계적이므로 교육생이 단조로움을 느낀다.

- (2) 교육생 개개인의 이해정도를 파악하기 어렵다.
- (3) 교육생을 수동적인 태도에 몰아넣고, 스스로 생각하려는 적극성을 잃게 된다.
- (4) 교육 중 질문을 받게 되는 경우가 드물기 때문에 강의에 흥미를 잃기 쉽다.

2) 시범실습식 교육

시범 실습식은 교육생의 경험영역에서 교재를 선정하고 배열하는 교육법으로 직접 사물에 접촉하여 관찰·실험하고 수집·검증·정리하는 직접경험에 의해 지도하려는 것이다.

가) 장 점

- (1) 행동요소를 포함하는 기술교육에 적합하다.
- (2) 교육생의 적극적인 참여를 가져온다.
- (3) 이해도 측정이 용이하다.
- (4) 의사전달의 효과를 보완할 수 있다.

나) 단 점

- (1) 시간이나 장소, 교육생의 수에 제한을 받는다.
- (2) 사고력 학습에 부적합하다.

다) 진행방법

(1) 설명단계

내용의 중요성을 강조하고 예상되는 성과에 대해 설명한다. 실습에 임할 때는 자신감을 가질 수 있도록 설명한다.

(2) 시범단계

실습에 들어가기 전에 강사가 행하는 과정이다. 설명과 시범단계를 결합하는 것이 이해에 도움이 된다면 두개의 단계를 동시에 행할 수 있다.

(3) 실습단계

이제까지 얻은 지식과 이해를 통해 강사의 감독 하에 실습을 하는 단계로 가장 많은 시간이 배정되어야 한다. 단독으로 활동하는 개인 실습과 상호협동으로 팀워크를 이루어 하는 수가 있다.

(4) 감독단계

실습상황을 관찰하여 그에 필요한 지도와 감독을 한다, 따라서 실습과 감독은 동시에 이루어진다. 이 단계에서 교육생의 의문점 해결과 잘못된 점을 교정하는 지도가 뒤따라야 한다.

(5) 평가단계

실습이 끝난 후 감독단계에서 관찰한 내용을 중심으로 전체적인 교육효과를 평가하고 보완해준다.

3) 토의식 교육

피교육자간의 토의를 전제로 해서 목적하는바 최선책을 취해나가는 방식을 말한다. 이것은 인간이 동료들 사이에 듣고 싶은 「사회적 욕구」, 자기의 의견을 인정받고 싶다 「존경욕구」, 자기의 생각을 반영시키고 싶은 「자아실현욕구」등에 따른 기법으로서, 학습활동에의 능동적인 참여와 자주적인 학습을 조직해서 피교육자 상호간의 계발작용도 기대할 수 있는 효과가 큰 기법이다. 특히 “인간은 자기가 참여하고 납득해서 받아들인 결과로서의 결정에는 가장 능동적으로 따르는 법이다”라는 것 때문에 그룹미팅 등에 광범위하게 활용되고 있는 기법이다. 이 교육은 어느 정도의 안전지식과 실제의 경험을 가진 자에 대한 교육으로서 효과적이라 할 수 있다.

가) 목 적

- (1) 적극적이고 자발적으로 참여할 수 있도록 한다.
- (2) 교육내용의 이해도를 정확히 측정한다.
- (3) 여러 사람의 지식과 경험을 공유한다.
- (4) 집단심리를 터득하고 회의 운영기술을 습득한다.

나) 토의 조건

- (1) 공평한 발언기회를 부여한다.
- (2) 자유로운 토의의 분위기가 조성되어야 한다.
- (3) 참가자는 주제에 어느 정도 지식과 경험이 갖추어져야 한다.
- (4) 강사는 토의의 목적과 방법을 명확히 하여 교육생을 유도한다.

4) 사례연구법(문제해결식 교육)

미국 하버드대에서 개발된 토의방식의 일종인 교육기법으로 재해(사고)사례해결에 직접 참가하여 그 의사결정이나 해결과정에서 어떤 문제의 핵심원인을 집단토의에 의해 규명하고 판단력과 대책을 개발하려는 것이다. 단기간의 실무에서 발생하는 제 문제에 접하여 그 해결을 위하여 고도의 판단력을 양성할 수 있는 유효한 귀납적인 방법이다.

가) 사례연구법의 장점

- (1) 현실적인 문제의 학습이 가능하다.
- (2) 흥미가 있고 학습동기를 유발할 수 있다.
- (3) 의사소통 기술이 향상되며 관찰력과 분석력을 높일 수 있다.

나) 단 점

- (1) 원칙과 룰(rule)의 체계적 습득이 어렵다.
- (2) 적절한 사례의 확보가 곤란하다.
- (3) 학습의 진보를 측정하기 힘들다.

사례연구는 시대적인 요구에 합치되는 교육훈련기법이라고 할 수 있으나, 사례연구에 의한 지도는 결코 용이하지는 않다. 그러나 문제의 핵심을 잡아 기본적 행동으로만 들어 내는 프로세스(process)에 성공한다면 가장 효과가 큰 훈련기법이라 할 수 있다.

다) 사례연구의 진행단계

(1) 제1단계(도입 및 사례의 제시)

사례연구를 시작하기 전에 무엇을 어떻게 할 것인가를 설명한다. 한꺼번에 인쇄물을

주거나 사례자료를 조금씩 제시하기도 한다. 참가자에 역할을 부여하는 형태나 구두, 슬라이드 등으로 제시하는 수도 있다.

(2) 제2단계(사례의 사실파악)

사례연구에서 가장 주의해야 할 것은 사례를 주의 깊게 읽고 그룹토의를 통해 사실을 파악해두는 것이다. 자기 멋대로 왜곡하는 일은 피하고 제시된 사례의 범위 내에서 사실을 파악하는 것이 중요하다.

(3) 제3단계(다수의 문제점 발견)

사례에는 여러 가지의 문제점이 중첩하여 존재한다. 신중하게 하나하나의 사실을 조합하여 무엇이 불안정한 상태 및 행동인가 등의 문제점을 찾아낸다.

이 단계에서는 그룹토의로서 정리하는 것이 효과적이다.

(4) 제4단계(핵심 문제점 발견)

파악된 문제점은 대소, 경중, 복잡성 등의 차원에서 서로 다양하다. 그러나 전후관계, 긴급성 및 중대성 등의 영향도 등을 비교하여 “이 문제점만 해결되면 모든 것이 해결될 수 있을 것이다.” 라는 핵심적인 문제점을 찾아낸다.

(5) 제5단계(해결책 수립)

핵심적인 문제의 해결에는 여러 가지의 접근방법이 있으나 실행가능성, 효과성을 비교 검토한 후 어느 해결책이 가장 적당한가를 결정한다.

(6) 제6단계(피드백(Feed Back))

이제까지 행한 사실파악, 문제분석, 파악방법의 문제점, 부족한 점, 깊이 들어가지 못했던 점 등을 피드백 함으로써 깊이를 더할 수 있다.

5) 역할기법(Role Playing)

현실에 가까운 모의적인 장면을 설정하여 그 안에서 각자가 특정한 역할을 연기함으로써 현실의 문제해결을 생각하는 방법과 능력을 몸에 익히는 방법이다. 루마니아 태생 모레노(J. Moreno)가 창안한 심리극에서 유래된 것으로, 인간관계의 문제를 해결하는 기법으로 기업에서 많이 활용되고 있다.

이 기법은 부여받은 상황에서 연기자에게 자유롭게 연기를 하도록 하고, 종료 후에 각각의 입장에서 문제점, 대책 등 전원이 토의하고 검토한다.

가) 장 점

- (1) 연기자는 학습내용을 체험하여 몸으로 배울 수 있고 자기의 행동에 관해서 여러 가지 의견을 들을 수 있다.
- (2) 일정한 역할을 주어 실제적으로 연기를 시켜봄으로 관찰능력을 높이고 감수성이 향상된다.

나) 단 점

- (1) 관리력 등 높은 정도의 능력 훈련에는 적당하지 않다.
- (2) 취해야 할 자세를 강의로 가르치고 그것을 연기하는 등 다른 방법과 결합하는 것이 필요하다.
- (3) 연기자가 진지해지지 않는 경향이 있다.

다) 실시단계

(1) 설명

교육생에게 무엇이 습득을 기대하는지 그리고 의의, 배경 등을 설명한다.

(2) 워밍업(Warming-up)

교육생이 저항감 없이 연기에 참여할 수 있도록 자기소개나 체조 등의 분위기를 만든다.

(3) 역할결정

교육생은 진행자, 연기자, 관찰자로 나누어 역할을 분담한다, 관찰자는 교육생에게 맡겨 기록을 하도록 한다.

(4) 연기실시

각자의 역할을 이해시켜 어떠한 연기를 할 것인가를 생각하도록 유인물을 배부하고, 연기는 5~15분 정도가 적당하다.

(5) 분석, 검토

연기를 마친 후 교육생 전원이 깊이 문제를 파헤쳐 감으로서 이해를 깊게 한다. 타당한 결론을 도출하고 일반적인 원칙으로 정리한다.

(6) 재연

토의를 마친 후 필요한 경우 토의결과나 강평을 기초로 다시 연기를 재연하면 교육 효과를 높일 수 있다.

나. 교육실시상 주의사항

안전교육의 실시 상 주의사항은 다음과 같다.

- 1) 교육내용은 구체적이고 실제와 연결할 것
- 2) 교육대상자의 지식, 기능에 따른 교재 작성
- 3) 피교육자의 이해도를 측정하며 어려운 것은 반복 실시
- 4) 강의는 시청각교육과 결부
- 5) 피교육자가 머리를 쓰도록 할 것

4. 안전교육의 종류

안전 교육은 소방활동 시의 불안전 상태와 불안전 행동 등에 대하여 교육대상에 맞는 수준으로 체득시켜 안전하게 활동하는 방법과 마음을 가지게 가르치는 것이다. 안전교육은 지식교육, 문제해결교육, 기능교육, 태도교육의 4가지로 크게 분류할 수 있고, 교육의 효과를 거양하기 위한 추후지도, 정신교육 등을 들 수가 있다.

가. 지식교육

교육의 첫걸음은 지식을 주는 일에서 시작됨은 당연하다. 지식은 사물에 관하여 분명히 알고 있는 사실이며, 지식이 새로운 다른 지식을 만들어낼 수는 없다. 그러나 인간은 지식을

바르게 사용하고 문제를 발견하여 해결하는 능력을 닦을 수 있다. 풍부한 지식을 가지는 사람은 많은 문제를 발견하고 적절한 판단과 행동으로서 해결할 수 있다는 것이 중요하다.

나. 문제해결교육

안전지식을 지식에서 끝내지 않고 작업에서의 사람과 물건의 움직임 중에서 불합리와 위험을 찾아내고 그것을 해결하는 지혜로 승화시키는 교육으로서, 위험예지훈련은 그 예이다.

다. 기능교육

안전은 안전지식을 얻는 것만으로는 달성되는 것은 아니다. 그것은 교육으로 얻은 지식을 실행에 옮겨질 때 비로소 그 효과가 나타나는 것이다.

지식을 가지고 있다는 것은『할 수 있다』라는 것과는 별개의 문제이다. 기능 교육은 현장에서 실행함으로써 그 실효를 맺을 수 있다. 안전에 관한 기능교육의 주목적은 대원에게 안전의 수단을 이해시키고 습득케 하여 현장활동의 안전을 실천하는 능력을 기르는 것이다.

라. 태도교육(예의범절)

교육은 단지 기능이나 지식을 주는 것뿐만 아니라 이러한 원리에 따른 행동태도를 항상 지속할 수 있는 인간을 육성하는 것이 최종 목적이다. 안전을 위해 실행해야 하는 것은 반드시 실행하고, 해서는 안 되는 것은 절대 하지 않는다는 태도를 가지게 하는 교육으로서 일명 예의범절 교육이라고도 한다.

인간은 본래 자유로운 존재이므로 외부의 통제를 싫어하는 습성을 가지고 있다. 태도교육을 외부의 통제라고 생각하면 그것을 인정해도 그에 동조하기 싫게 된다. 그렇기 때문에 필요한 이유와 효과를 설명하고, 이해시키고, 스스로 행동하도록 의욕을 북돋울 수 있도록 동기부여를 해주어야 한다. 강요나 벌칙보다는 반복해서 설명·설득하는 것, 실행하면 칭찬과 격려를 하는 것이 중요하다.

다음으로 중요한 것은 감독자나 직장 리더는 부하로부터 신뢰와 권위를 느껴서 따를 수 있는 존재가 되도록 리더십을 발휘해야 한다.

마. 추후 지도

지식, 기능, 태도교육을 반복 실시하며 특히 태도교육에 중점을 둔다.

바. 정신교육

대원에게 인명존중의 이념을 함양시키고, 안전의식 고취와 주의집중력 및 긴장상태를 유지시키기 위한 교육이다. 정신상태가 잘못되면 불안정한 행동으로 나타나고 불안정한 행동은 안전사고에 연결되므로 잘못된 정신 상태를 교육으로 교정하여야 한다.

[표 1-5] 안전교육의 종류와 내용

구분	종류	교육 내용	교육방법의 요점
능력 개발	지식 교육	◦취급하는 기계·설비의 구조, 기능, 성능의 개념형성 ◦재해발생 원리를 이해시킨다. ◦안전관리, 작업에 필요한 법규, 규정, 기준을 알게 한다.	알아야 할 것의 개념 형성을 꾀한다.
	문제 해결 교육	◦원인지향의 문제해결로 과거·현재의 문제를 대상으로 하여 사실확인에서 문제점의 발견, 원인탐구에서 대책을 세우는 순서를 알게 한다. ◦목표지향의 문제처리를 할 수 있게 한다.	사고력과 종합능력을 육성한다.
	기능 교육	◦화재진압·구조·구급 등의 작업방법, 기계·기구류의 취급 등 조작방법을 숙달시킨다.	응용능력의 육성이며 실기를 주체로 한다.
인간 형성	태도 교육	◦안전작업에 대한 몸가짐 마음가짐을 몸에 붙게 한다. ◦안전규율, 직장규율을 몸에 붙이도록 한다. ◦의욕을 갖게 한다.	안전의식에 관한 가치관 형성교육을 한다.

청취한다.

이해시킨다

모범보인다.

권장한다.

평가한다.
(상과 별)

태도교육 실시 순서

제2절 위험예지훈련

1. 안전의 확보

안전의 확보란 소방활동 시 「사고 없는 활동」을 위하여 「안전」을 저해하는 문제를 해결하고, 또한 활동상 위험요인을 행동하기 전에 발견·배제하여 사고 발생을 예방하거나 방지하는 것을 말한다.

소방활동이나 훈련·연습 등에 있어서 종종 여러 가지 사고발생을 목격할 수 있지만 그 배경을 분석해 보면 직간접으로 불안정한 상태(주 1) 및 불안정한 행위(주 2)라고 하는 위험요인에 노출되어 있기 때문이다.

안전을 고려하기 위해서는 우선 이 위험요인의 배제(안전조치를 포함)에 관심을 가져야 한다.



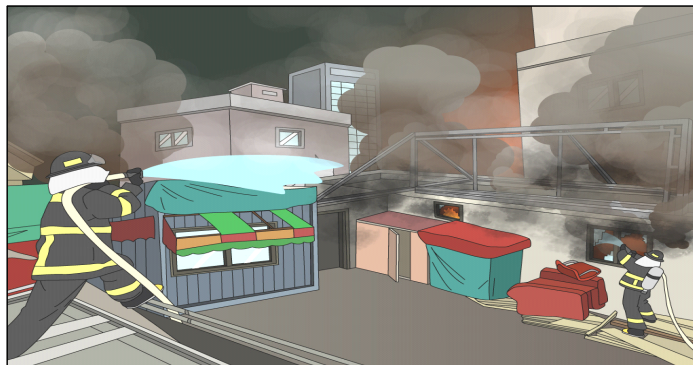
주 1

■ 불안정한 상태라고 하는 것은?

사고의 원인으로서는 불안전 행위와 비교하여 보다 근원적인 원인이라고 할 수 있다. 물건이나 시설에서 무엇인가 결함이 있는 경우에는 대원의 불안전 행위가 없어도 사고는 발생할 수 있다. 예를 들면, 장비·기자재의 설계 불량이나 재질의 불량품 등이 있는 경우이다.

■ 일반적으로

- ① 재해현장의 활동장소 및 활동환경 등 전반이 불안정한 상태를 말한다. (그림1)
- ② 훈련·연습 시에는 예를 들어 비 올 때 높은 장소 진입훈련, 훈련시설의 노후화·부식화, 훈련장소의 난잡 등



현장의 미정리 등으로 인한 불안정한 상태



주 2

■ 불안정행위라고 하는 것은?

안전한 상태를 불안전 상태로 바꿔 놓는 행위 또는 사고 발생의 조건을 유발시킬 우려가 있는 행위를 말한다. 예를 들면 담장위에서 안전조치를 취하지 않고 방수를 하는 행동(그림 1-9), 불안한 자세로 중량물을 지지하거나, 짙은 연기가 충만 된 개구부를 함부로 열거나, 아래를 확인하지 않고 상층부의 유리를 파괴하는 등의 행위를 말한다.



담장위에서 안전조치를 취하지 않고 방수를 하는 불안정한 행동

종래의 사고가 발생하게 되면 『문제는 무엇인가』라고 추궁하기 시작한다. 소위 『사고후 추궁형』이 주류를 이루고 있었다. 사고 사례의 소개나 검토도 동종유사사고 방지라고 하는 의미에서는 효과가 있지만 더욱 진일보하여 『안전을 확보』하는 방향으로 생각하는 방법이 안전관리를 보다 충실히 하는 것이 된다.

다음에 기술하는 위험예지훈련은 『안전』을 확보하는 훈련기법이다.

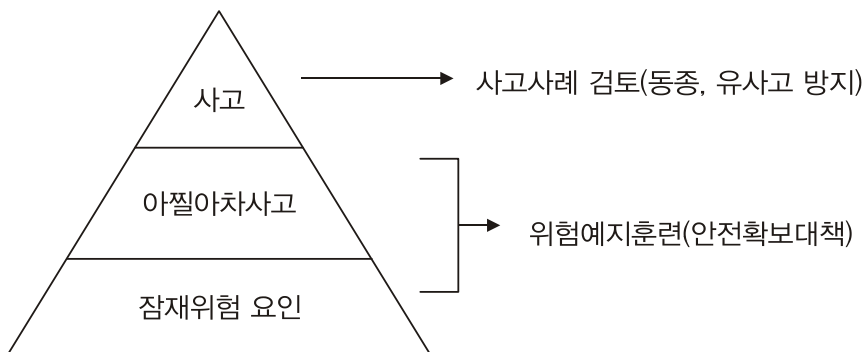
2. 위험예지훈련의 의의 및 목적

가. 위험예지훈련의 의의

- 1) 위험예지(Danger Prediction)훈련은 종래 사용해 오던 여러 가지의 교육 및 훈련기법과는 다른 『전원참가의 기법』이다. 즉 위험예지훈련은 직장이나 작업의 상황 속에서 잠재하는 위험요인을 직장 소집단에서 토의하고 생각하며 행동하기에 앞서 해결하는 습관화하는 훈련이다.
- 2) 일본에서는 동경소방청이 지난 '80년 안전주임 교육에서 실습을 실시한 것을 시작으로 초급간부 보직연수에서 계속 하고 있으며, 화재현장의 안전 확보에 대하여 충분한 성과를 기대할 수 있기 때문에 실시 요령을 소방분야에 맞도록 일부 수정하여 전국으로 보급을 확대하고 있다.

나. 위험예지훈련의 목적

- 1) 이 훈련의 목적은 소방활동현장이나 훈련·연습교육장에서 『섬뜩하거나』 또는 『가슴이 철렁 내려앉는』 사례와
- 2) 소방활동이나 훈련·연습 시에 잠재하는 수없이 많은 위험요인 등을 포착하여 그 위험성을 정확하게 인식하고 안전을 확보하는 방향으로 대응책을 수립하는 것이다.



안전확보 대책의 예

3. 위험예지훈련의 개요

가. 감수성을 높인다.

안전을 확보하기 위해서는 위험에 대한 감수성을 높이는 것이 필요하다. 위험예지훈련은 소방활동이나 훈련·연습 중에서 위험요인을 발견 할 수 있는 감수성을 소대원(개인) 수준에서 소대(팀)수준으로 높이는 훈련이다.

나. 모임(Meeting)의 중요성을 인식한다.

안전을 확보하기 위해서는 소대 내에서 적극적인 토론, 회합이 필요하다. 위험예지훈련은 위험요인에 대하여 토론, 연구, 이해를 돕기 위한 모임의 훈련이다. 토론이 중요한 의미를 가지므로 브레인스토밍(Brain Storming) 요령으로 실시하며 특히 다음 사항에 유의한다.

- 1) 편안한 분위기에서 행한다.
- 2) 전원이 자유롭게 발언한다.
- 3) 발언에 대하여 비판은 하지 않으며 논의도 하지 않는다.
- 4) 타인의 이야기를 잘 듣고 서로가 자기의 생각을 높여가도록 한다
- 5) 질보다는 양을 중요시한다.

4. 위험예지훈련의 흐름과 효과

가. 훈련의 흐름

- 1) 소방활동이나 훈련·연습상황을 그림으로 나타낸 시트(Sheet)를 사용하여 그 가운데에 “어떠한 위험이 잠재하고 있는가?”를 소대 내에서 활발하게 토의하여 위험 요인을 도출한다.
- 2) “이것이 문제다.” 라고 파악된 위험요인에 대해 “해결하려면 어떻게 하는 것이 좋을까”를 전원이 단시간에 생각하여 결정하는 훈련이다.



훈련시트 작성의 유의점

- ① 시트는 대원의 친숙도가 큰 상황(예를 들면 사고 사례나 신체 훈련의 상황 등)으로부터 선정하는 방법이 부드럽게 진행이 된다.
- ② 한 장의 시트에 여러 가지 상황을 기입하지 말 것.
- ③ 아주 자세한 부분까지 그려 넣지 말 것.
- ④ 간단한 조사, 잘못된 조사가 되어서는 안 되기 때문에 고의로 제작한 도해가 아닐 것
- ⑤ 어두운 분위기가 아닌 밝은 분위기로 그려진 것이 좋다.
- ⑥ 도해의 상황이 광범위한 활동 등에 미치는 경우에는 그 가운데의 특정 부분에 한정하여 실시하는 것도 하나의 방법이다.

나. 훈련의 효과

- 1) 상기 훈련의 흐름에 의하여 소대원의 위험에 대한 감수성이 높아진다. 다시 말하면 하찮은 위험요인이라도 이것을 발견(지적)하는 것은 감수성이 높음을 나타내는 것이며, 반면에 자기의 생각으로 이해할 수 없는 요인에는 『정말 그러한 것도 있구나』라고 생각이 들게 됨으로써 다른 사람의 감수성을 높여 주는 효과가 있다.
- 2) 전원이 납득하면서 단계에 따라 토의를 진행하는 것으로 횟수를 중복하는 중에 문제해결 능력이 향상된다.
- 3) 행동에 따른 안전확보는 그때 그 장소에서 임기응변의 대응이 불가결이다. 위험예지훈련에 의한 단시간 Meeting은 임기응변의 요청에도 참가되는 것이다. 즉 위험으로의 감수성 수준이 향상되고, 활발한 토의가 습관화되는 것에 의하여, 예를 들면 위험을 인지하였을 때 즉시 소리를 내어 주변의 대원에게 알림과 동시에 대응책도 고려하도록 하는 방법이다.
- 4) 활발한 분위기 중에 소대 내 전원이 지식이나 체험을 각자의 안전에 도움이 되도록 하려는 점에서 팀워크방식이 유익하다.
- 5) 예지훈련의 축적으로 여러 가지 상태의 견해나 생각이나 방법이 개발되고 시야를 넓혀 사례를 찾아내는데 효용이 있다.

다. 준비작업

1) 준비물

가) 도해시트(훈련시트)

나) 모조지(갱자·흑판·OHP 등), 필기구

2) 팀 편성 : 1조의 인원을 5~6명으로 한다.

3) 역할분담 : 리더, 서기로 정한다. 필요에 따라 발표자, 리포트담당 등으로 구분하되, 현장에서 리더가 서기를 겸해도 좋다.

4) 시간배분 계획 : 어느 단계까지 하느냐, 각 단계를 몇으로 할 것인가, 특히 제1단계에 몇 개의 항목을 채택할 것인가 등을 미리 결정해 멤버에게 알려 둘 것

5) 훈련의 취지 설명 : 처음 참가하는 경우에는 왜 이 훈련을 하는가를 알기 쉽게 설명한다.

5. 위험예지훈련의 진행방법

그림에 있는 소방활동이나 훈련·연습의 상황 속에 “어떠한 위험이 잠재하고 있는가”를 소대원이 토론할 경우 다음의 문제 해결의 4가지 단계를 거쳐 순서에 따라 진행한다.

[표 1-6] 위험예지훈련 진행사항

라운드	문제해결 라운드	위험예지훈련 라운드	위험예지훈련 진행방법
1R	위험사실을 파악 (현상파악)	「어떠한 위험이 잠재하고 있는가」	모두의 토론으로 그림 상황 속에 잠재한 위험요인을 발견한다.
2R	위험원인을 조사 (본질추구)	「이것이 위험의 요점이다」	발견된 위험요인 가운데 이것이 중요하다고 생각되는 위험을 파악하고 ○표, ◎표를 붙인다.
3R	대책을 세운다 (대책수립)	「당신이라면 어떻게 할 것인가」	◎표를 한 중요위험을 해결하기 위해서는 「어떻게 하면 좋은가」를 생각하여 구체적인 대책을 세운다.
4R	행동목표설정 (합의요약)	「우리들은 이렇게 한다」	대책 중 중점실시 항목에 ※표를 붙여 그것을 실천하기 위한 팀 행동 목표를 세운다.

가. 제1라운드

- 1) 항목 : 현상파악(위험요인을 발견한다)
- 2) 훈련진행 방법과 유의점
 - 가) 전원이 훈련시트를 보고 상황을 확인한다.
 - 나) 훈련시트에 그려져 있는 상황 속에 자신을 두고 어떠한 위험요인이 잠재하고 있는가를 발견한다. 전원이 거침없이 발언하는 것이 바람직한 방법이 되지만 제 1라운드는 위험요인의 발견이므로 대책에 대한 발언은 삼간다.
 - 다) 물적인 문제만의 것이 아니고, 사람이나 행동면 또는 시트에 그려져 있는 상황에 대하여는 자연현상의 영향 등까지 예측하는 상상력을 왕성하게 하여 폭넓은 위험요인의 발견에 노력한다.
 - 라) 지정의 시간 전부, 되도록 많은 위험요인을 발견하는 것이 제1라운드의 포인트이다 (질보다 양을 구한다).
 - 마) 기록원(훈련실시자 중에서 필요에 따라 지명한다)은 발언된 위험요인을 모조지 또는 흑판 등에 빨리 기록한다.
 - 바) 기록한 위험요인은 그것이 유발한 현상이나 결과(사고의 형)를 상정하여 “~하여 ~으로 된다.” 와 같이 문장화한다.

나. 제2라운드

- 1) 항목 : 본질추구(위험의 포인트를 파악한다)
- 2) 훈련진행방법과 유의점
 - 가) 제 1라운드에서 기록한 위험요인을 전원이 확인한다.
 - 나) 소대장(리더)은 이러한 위험요인을 순서대로 읽어가면서 『이것이 문제다』라고 전원이 인식이 합치되는 항목에 ○표를 붙인다. ○표는 여러 개가 되어도 좋다.
 - 다) ○표를 붙인 위험요인 중에서 『특히 모두의 관심이 높은 것, 중대사고가 될 가능성이 있는 요인, 긴급하게 대책을 요하는 것』 등의 중요한 요인에 대하여는 전원의 의견이 합치되는 항목에 ◎표를 붙인다. ◎표는 2~3개의 항목으로 한다.

- 라) ○표, ◎표를 붙인 위험요인은 전원에게 재확인시킨다.
- 마) ○표가 붙지 않은 요인은 한편 쓸모없다고 생각되지만 결코 그렇지 않고 이러한 것 하나 하나가 큰 효용을 보인 경우가 없지 않다.

다. 제3라운드

- 1) 항목 : 대책수립(대책을 수립한다)
- 2) 훈련진행 방법과 유의점
 - 가) 제2라운드에서는 ◎표를 붙인 중요 위험요인에 대하여 이것을 해결(위험의 예방이나 방지대책)하기 위하여 어떻게 하는 것이 좋은가 질문한다.
 - 나) 해결책은 『이렇게 하는 것이 필요하다』라고 하는 방법으로 『~을 어떻게 한다』, 『~하여 ~한다』 등과 같이 실행 가능한 구체적 대책의 형으로 정리한다.
 - 다) ◎표 1항목에 대하여 2~3개 항목의 대책을 정리한다.

라. 제4라운드

- 1) 항목 : 목표설정(중점 실시항목을 합의요약하여 실천하기위한 행동목표를 설정한다)
- 2) 훈련 진행방법과 유의점
 - 가) 제3라운드에서 결정된 구체적 대책 중에서 『즉시 실시할 필요가 있는 것』, 『어떻게든 하지 않으면 안 되는 것』을 중점실시 항목으로 정하고 ※표를 붙인다.
 - 나) 위에서 정하여진 중점실시 항목에 대하여 소대의 행동목표를 설정한다.
 - 다) 소대의 목표설정은 훈련시트에 그려진 상황 속에서의 위험요인을 해결하는데 필요한 행동내용으로 하여야 하며 그러기 위해서는 목표를 실시 가능하도록 세분화함이 필요하다. 목표는 중점실시 항목을 포착할 수 있는 슬로건적인 것으로 하는 것이 좋다.
 - 라) 설정된 목표를 전원에게 읽어 주면서 확인시킨다.

6. 위험예지훈련 행동매뉴얼 예시 및 시트(Sheet)

가. 행동매뉴얼

4라운드 기법을 통한 그림과 행동매뉴얼 예시를 다음과 같이 제시 하였으며 지적확인 자세 및 Touch & Call은 아래 그림과 같다.

☐ Touch & Call :팀 전원이 원을 만들어 행동목표나 무재해 구호를 지적확인하는 방법



지적확인 자세



지적확인 동작

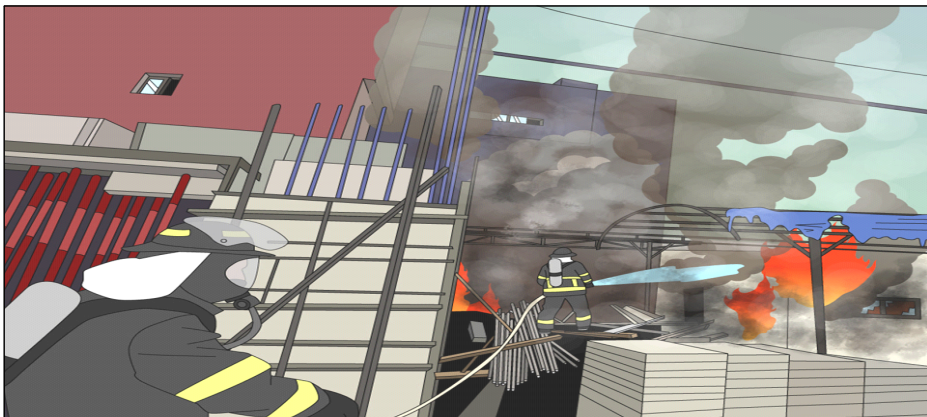


touch & call

위험예지훈련 시트 예

나. 훈련시트

다음의 그림을 참고하여 위험예지훈련 제1~제4라운드의 진행방법과 touch & call로 종료하는 행동매뉴얼 예시를 제시하였다.



위험예지훈련 시트 예

[표 1-7] 위험예지 훈련 행동 매뉴얼(예시)

◆ 지적확인 자세 - 차렷 자세에서 발을 어깨넓이 만큼 벌리고 왼발은 한발짝 앞으로 내어 발끝이 자세로 하며, 양손을 허리에 올린다. - 오른손을 검지와 중지를 한데 모아서 오른쪽 귀 높이 까지 들어서 힘차게 자기의 눈 높이까지 쪽 펴면서 ~ 좋아! 라고 제창한다. ◆ Touch & Call - 전원이 원형으로 모여서 왼손의 엄지와 새끼손가락을 서로 잡아 지휘관(현장안전점검관)의 지휘 하에 오른손을 귀 높이 까지 들어 지적하며 끝으로 ○○소방서 무사고로 나가자 좋아! 라고 3회 제창한 후 박수를 3회 치며 Touch & Call을 종료한다.	
준 비	1. 개인 역할분담 1번 대원 : 현장안전점검관, 2번 : 관창수, 3번 : 관창보조, 4번 : 운전원
도 입	2. 개인 보호장비 점검 지적확인 실시 4인 1조의 구성원으로 상호 마주 보며 지적 확인을 하되 1번원이 지휘관(현장안전점검관)으로 가정하여 선창하면 대원이 제창으로 진행 - 헬멧 턱끈 좋아!, 공기호흡기 면체 및 충전압력 000kg/cm² 좋아!, 방수화 상태 좋아!
4Round 기법 활용	◇ 지휘관(현장안전점검관) - 대원 1 : 지금부터 위험예지훈련을 실시하겠습니다. 오늘은 제시된 도해와 같이 건축물에서 화재를 진압하고 있습니다. 위험예지훈련 4라운드 기법을 통한 행동매뉴얼에 따라 각자 발표를 하여 주시기 바랍니다.
	3. 1R(현상파악) : 어떤 위험이 잠재하고 있는가? ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 건축물 화재와 관련하여 제 1라운드의 현상파악에서는 어떤 위험이 잠재하고 있습니까? - 대원 2 : 『 ~ 해서 ~ 니 다. 좋아 ! 』 또는 『 ~ 때문에 ~ 다, 좋아 ! 』 (예시 : 안전을 소홀히 하면 다치게 된다. 좋아!, 개인보호장비 점검을 소홀히 하면 위험에 처할 수 있다 좋아!) - 대원 3 : 『 ~ 해서 ~ 니 다. 좋아 ! 』 또는 『 ~ 때문에 ~ 다, 좋아 ! 』 (예시 : 주의집중을 하지 않으면 사고가 날 수 있다. 좋아!.) ◇ 안전점검관 : 네, 좋으신 의견을 제시해 주셨습니다.
	4. 2R(본질추구) : 이것이 위험의 포인트이다 ! ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 제 2Round의「본질추구」에서 위험의 포인트를 말씀해 주시기 바랍니다. - 대원 4 : 『 ~ 해서 ~ 니 다. 좋아 ! 』 (예시 : 1. 혼자 방수하다 장애물에 걸려 넘어질 수 있다. 좋아!. 2. 안전장비를 착용하지 않으면 위험할 수 있다. 좋아! 3. 난간에서 떨어지면 크게 다칠 수 가 있다. 좋아!

4Round 기법 활용	◇ 지휘관(현장안전점검관) : 네, 맞습니다. 여러 좋은 의견중에서 난간에서 떨어지면 크게 다칠 수 가 있겠지요?. 〈위험의 포인트〉 ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 오늘 위험의 포인트는『난간에서 떨어지면 크게 다칠 수 가 있다』로 하겠습니다. - 지휘관의 선창에 따라 1회만 제창하겠습니다. - 위험의 포인트(지휘관이 선창하면 대원은 후창한다), 『난간에서 떨어지면 크게 다칠 수 가 있다. 좋아!』
	5. 3R(대책수립) : 당신이라면 어떻게 할 것인가? ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 다음은 제 3Round의 「대책수립」에서 안전사고를 방지하기 위해서는 어떻게 하면 좋은지 의견을 제시하여 주시기 바랍니다. - 대원 2 : 『 ~ 이런 상황에서는 ~ 이렇게 하는게 좋겠습니다 』 (예시 : 1. 안전을 확보하고 방수하자. 좋아! 2. 2인1조로 방수하자. 좋아! ◇ 지휘관(안전점검관) : 네, 그렇습니다. 아무리 강조해도 안전을 확보하고 방수하는 것이 제일입니다. 안전을 확보하고 2인1조로 방수하여야 하겠습니다.
Touch & Call	6. 4R(목표설정) : 우리들은 이렇게 하자! ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 그럼 다음은 제 4Round의 「목표설정」인 팀의 행동목표를 말씀해 주시기 바랍니다. - 대원 3 : 『 ~을 ~ 하여 ~ 하자. 좋아 ! 』 (예시 : 안전을 확보하여 사고를 방지하자. 좋아 !) ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 네, 안전을 확보하여 사고를 방지하여야 합니다. ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 그럼, 팀의 행동목표를 One Point로 줄여 지적확인을 해 주시기 바랍니다. - 대원 4 : 『 안전확보 좋아 ! 』 ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 네 좋습니다. 그럼 오늘의 One Point는 『 안전확보 좋아 ! 』로 하겠습니다. - 안전점검관이 선창하면 다같이 3회 반복하여 제창하겠습니다. ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 『 안전확보 좋아 ! 』 - 전 대원 :『 안전확보 좋아 ! 』 3회 연속적으로 제창
	7. Touch & Call ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 그럼 끝으로 Touch & Call 로 위험예지 훈련을 마치도록 하겠습니다. - 전 대원 Touch & Call 준비. - ○○소방서 무사고로 나가자. 좋아!(3회 제창 후, 박수 짹! 짹! 짹!) ◇ 지휘관(현장안전점검관) : 위험예지훈련 끝.



핵심요약

- 안전교육의 필요성과 목적, 종류, 방법과 위험예지훈련을 정리한다.
 - 안전교육의 필요성은 다양한 재난현장에 대응할 수 있는 역량 확보와 현장에서의 위험요인을 최소화함.
 - 안전교육의 목적은 사고사례 중심의 방향을 설정, 잠재위험요인 발견과 위험 상황에서 대응책 강구함.
 - 안전교육의 방법은 강의식, 시범실습, 토의식, 사례연구, 역할기법이 있음.
 - 안전교육 종류는 지식교육, 문제해결교육, 기능교육, 태도교육 등이 있음.
 - 위험예지훈련은 위험요인을 행동하기 전에 발견 사고발생의 방지가 목적임.
 - 위험예지훈련 진행은 위험사실파악, 위험원인 조사, 대책수립, 행동계획 결정의 방법임.

제6장 신체의 적합성과 체력증진계획



학습 목표

소방업무와 신체능력의 적합성, 체력증진계획, 스트레스 예방 및 관리계획을 살펴본다

1. 소방업무와 체력증진, 현장 활동, 직업병과 건강이력서 작성을 살펴봄.
2. 소방관의 체력증진계획을 파악함.
3. 스트레스의 예방 및 관리 방안 강구함

제1절 소방업무와 신체능력과 적합성

1. 소방업무와 체력증진

가. 소방업무의 특성

앞서 언급한 것처럼 소방업무는 가장 위험하며, 육체적 힘을 많이 요구하는 직업중의 하나이다. 따라서 소방대원들이 신체적으로 업무에 적합한 상태에 있을 경우에만 그들의 업무를 완벽히 수행할 수 있다.

소방업무는 위험한 상황에 있는 사람을 구조하기 위해 사다리를 설치하여야 하며, 화재를 진압하기 위해 소방호스를 다루어야 하고, 파괴 작업을 하기 위해 무거운 장비 등을 다루어야 하는 것과 같이 육체적인 힘이 필수적으로 요구되는 직업적 특성을 가지고 있다.

나. 소방업무에 요구되는 신체적 능력

소방대원이 복도와 계단을 신속히 이동하고 사다리를 오르며, 경사진 면(面)에서 화재를 진압하려면 강한 지구력(持久力)이 필요하다. 또한 장비를 다루거나 사다리를 접을 때 혹은 사다리를 오를 때에는 유연성(柔軟性)도 필요하다. 그러나 소방대원들은 이러한 현장활동에 사전 준비(Warming-Up)가 없을 뿐만 아니라, 10kg 이상의 보호복과 개인장비를 착용(휴대)한 상

태에서 활동에 임해야 한다.

더구나 정상적인 평상시의 쾌적한 조건이 아닌 열기, 연기, 유독가스, 습기 등의 장애요인이 많은 악조건 하에서 활동하여야 하기 때문에 더욱더 소방업무에 종사하는 사람은 업무에 적합한 강인한 체력이 요구된다고 할 수 있다.

2. 소방대원의 건강과 현장활동

소방업무의 특성을 고려해 볼 때 '왜 많은 소방공무원들이 현장이나 기타의 장소에서 심장마비 등과 같은 질환으로 사망하고 있는지'를 알 수 있다. 그 이유는 거의 모든 소방활동들이 신체 특히, 심장부분에 엄청난 정도의 스트레스(Stress)를 가하는 특성이 있기 때문이다.

그래서 소방공무원들은 신체적으로 또는 정신적으로 항상 활동을 전개할 수 있는 준비가 갖추어져 있어야 한다. 그러나 소방대원은 업무의 특성상 신체적·정신적으로 항상 긴장된 상태에 있게 마련이며, 이로 인해 사고의 발생확률이 다른 직업에 비하여 높다고 할 수 있다.

3. 체력증진의 의의

신체적으로 건강한 소방대원은 그렇지 못한 대원들보다 더 완벽히, 장시간(長時間) 그리고 안전하게 그들의 업무를 수행할 수 있다. 따라서 체력증진계획을 통하여 현장업무로부터의 어려움, 곤란성으로부터 발생될 수 있는 정신적 스트레스와 질병, 심장마비, 부상, 사고 등을 줄일 수 있도록 하여야 한다.

4. 직업병의 판정과 건강이력서의 작성관리

가. 건강진단의 강화와 직업병의 판정

소방대원들의 신체검사는 재직 중에 발생하는 질병이 직업병(職業病)과 관련 있는지 여부를 판정하는 데 있어 매우 중요하다. 예를 들어 A라는 대원의 폐(肺)에 심각한 문제가 발생되었다고 하자. 그의 폐 손상은 소방업무 때문에 발생되었는가? 소방이라는 직업과는 상관관계가 있는가? 그렇다면 그가 임용되기 전에는 어떠했는가?

결국 최초 임용시의 철저한 신체검사와 임용후의 지속적이고 세밀한 소방업무에 적합한 특수한 건강검진만이 직업병의 여부를 판단할 수 있게 하는 근거자료가 될 수 있다.

나. 건강한 체력의 소방대원과 업무수행

‘소방’이라는 업무는 직업적인 혹은 활동상의 안전에 대한 중요성을 인식하면서부터 시작되어야 한다. 각 대원들이 신체적으로 해당업무에 적합하고 양호한 체력을 유지하고 있을 경우 치명적인 사고와 부상으로 이어질 확률은 비교적 낮다. 가령 심장마비 등과 같은 심각한 문제들도 강인한 체력을 갖추고 있고 해당업무와 적합할 경우 충분히 극복될 수 있다고 할 수 있다.

신체의 강인함과 유연성이 있어야만 전도(顛倒), 전락(轉落), 골절 및 피부조직 손상 등의 사고를 방지할 수 있다. 또한 폐활량(肺活量)이 적정한 상태에 있는 경우 CO₂의 배출을 용이(容易)하게 하여 혈액의 순환을 양호하게 할 수 있으며, 이는 곧 소방대원의 업무수행능력 강화와 직결된다.

다. 건강이력의 철저한 기록 및 관리

각 소방관서에서는 소속 직원의 건강이력서(健康履歷書)를 작성하여 영구보관 하도록 하는 것이 바람직하다. 각 개인에 대한 건강이력의 기록은 임용과 동시에 시작하여 소방관 생활을 하는 동안 계속하여 관리유지 되어야 한다.

○ ○ 소방서 사고 기록

이 사고기록은 사고발생 24시간 이내에 기록하여야 하며, 기록대상의 범위는 소방공무원 뿐만 아니라 사고와 관련된 일반시민도 포함됨. 또한 이 사고와 직접적인 관련이 없더라도 사고의 내용에 참고가 되는 사항을 추가로 기록하거나 별도의 기록양식을 활용하여도 가능함

작성자 _____ 제목 _____

발생시간 _____ am/pm 일자 _____ 년도 _____

발생장소 _____

기록일시 _____

사고의 발생원인 및 동기에 대하여 기록함.

(사고발생의 설명에 도움이 될 수 있는 사진이나 도면을 첨부 하여도 가능)

부상자 #1 _____ 연령 _____

직 급 _____ 소속 _____

부상자 #2 _____ 연령 _____

직 급 _____ 소속 _____

민간인부상자 #1 _____ 연령 _____ 전화번호 _____

주소 _____ 소속 _____

근무처 _____ 보험가입 _____

신체의 손상부위를 정확히 기록(신체부위도를 활용)

응급처치를 실시한 사람의 성명과 응급처치의 내용을 기록

부상자를 후송한 의료기관과 이송자의 성명을 기록

병원에서의 응급처치 담당의사의 성명을 기록

진료를 거부당하였을 경우 진료거부자의 성명을 기록

부상을 당한 대원의 작업손실 시간과 그 대원을 돕기 위해 소요된 시간을 기록

사과의 발생과 관련 있는 장비, 도구, 차량 또는 물질 등을 기록

사고 목격자나 당시의 현장상황 설명이 가능한 자의 성명, 주소, 전화번호(직장, 주택)을 기록

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

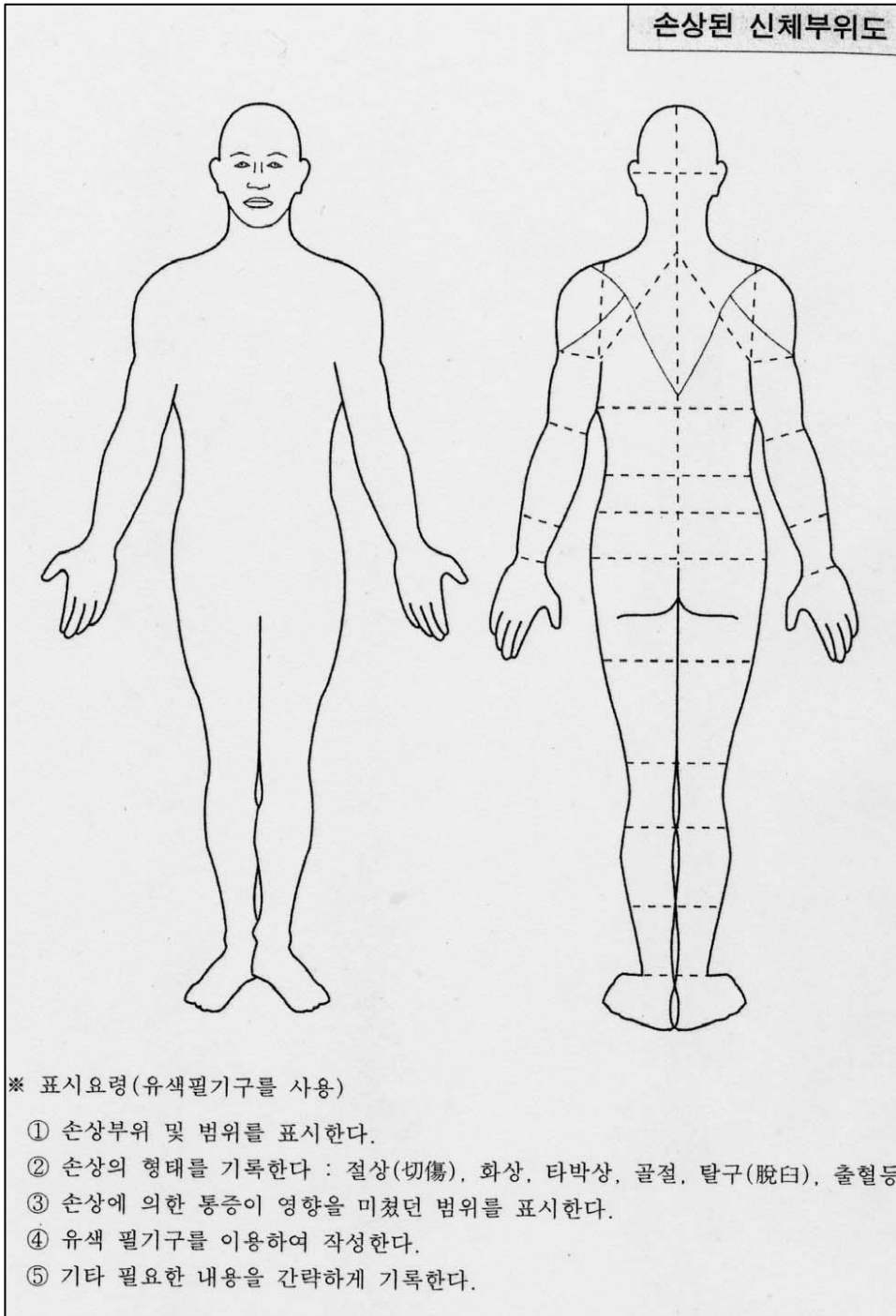
이 사고의 설명이나 보고에 관련되는 첨부물(보고서, 진술서, 관련서류, 등)을 기록(첨부물의 내용은 사실과 동일한 것이어야 함.)

1. _____
2. _____
3. _____
4. _____

감독자로서 동일한 사고가 발생되지 않도록 하기 위하여 제안하고 싶은 내용 기록

사고와 관련하여 가장 최근에 취해진 조치와 앞으로 계획중인 내용, 그리고 그 계획의 실행시기를 기록

서 명 : 사고 당사자 _____ 감독자 _____ 서 장 _____



손상된 신체부위도

○ ○ 소방서 사고 기록

이 사고기록은 사고발생 24시간 이내에 기록하여야 하며, 기록대상의 범위는 소방공무원 뿐만 아니라 사고와 관련된 일반시민도 포함됨. 또한 이 사고와 직접적인 관련이 없더라도 사고의 내용에 참고가 되는 사항을 추가로 기록하거나 별도의 기록양식을 활용하여도 가능함

작성자 _____ 제목 _____
발생시간 _____ am/pm 일자 _____ 년도 _____
발생장소 _____
기록일시 _____

사고의 발생원인 및 동기에 대하여 기록함.

(사고발생의 설명에 도움이 될 수 있는 사진이나 도면을 첨부 하여도 가능)

부상자 #1 _____ 연령 _____ 근무경력 _____
직 급 _____ 소속 _____
부상자 #2 _____ 연령 _____ 근무경력 _____
직 급 _____ 소속 _____
민간인부상자 #1 _____ 연령 _____ 전화번호 _____
주소 _____ 소속 _____
근무처 _____ 보험가입 _____

신체의 손상부위를 정확히 기록(신체부위도를 활용)

응급처치를 실시한 사람의 성명과 응급처치의 내용을 기록

부상자를 후송한 의료기관과 이송자의 성명을 기록

병원에서의 응급처치 담당의사의 성명을 기록

진료를 거부당하였을 경우 진료거부자의 성명을 기록

사고 기록서(감독자용)

감독자 성명 _____ 소속 _____

부상자 성명 _____

연 령 _____ 결혼여부 _____ 직 급 _____

사고발생일 _____ 발생시간 _____ AM/PM _____

부상의 종류 _____

응급처치 의사의 성명 및 주소 _____

부상자가 아직도 치료중인가? Y/N 치료기간 _____

부상자가 직장으로 복귀 하였는가? Y/N 복귀일시 _____ am/pm _____

사고의 발생이 업무와 관련 있는가? Y/N _____

목격자 성명 및 전화번호 _____

사고발생 장소? _____

사고기인명 작업중 장비 손 기구 동작

(1개를 선택) 화상/열 화학물질 전기 자동차 기타

사고기인물(기타) _____

불안전한 행동 _____ 설 명 _____

불안전한 조건 _____ 설 명 _____

문제요인은 시정 되었는가? Yes _____ No _____

만약 시정되었다면 그 방법을 기술하십시오 _____

감독자 서명 _____ 일 시 _____ am/pm

※ 본 기록서는 사고발생 24시간 이내에 기록하여야 함

사고기록서(119안전센터 용)

1. 사고자가 우리 소(所)에 근무하면서 이번 사고가 처음인가? 아니면 동종(同種) 또는 유사한 사고를 일으킨 적이 있는가?

Yes : _____ No : _____

2. 상황조건(화재, 구급, 구조, 훈련, 장비유지관리, 교육, 기타)

3. 발생장소 _____

4. 사고와 관련되는 차량 또는 장비 _____

5. 사고의 원인 _____

결 재 소방서장 _____ 결재일 _____

기관장 권고 및 당부 사항 _____

1. 참모의 권고사항 _____

2. 향후 개선계획 _____

제2절 소방대원의 체력증진계획

1. 소방대원의 체력증진계획의 의의

가. 체력증진계획의 의의

체력증진계획의 수립의의는 화재진압과 같은 힘든 업무를 수행하는 데 요구되는 신체적 능력을 개발하고 유지하기 위함이다. 또한 이런 계획은 신규 임용자 뿐만 아니라 기존의 대원들에게도 절대적으로 필요하다.

현장소방업무를 다른 직종과 비교해 볼 때 소방업무는 24시간 항상 출동을 준비하고 대기하여야 하기 때문에, 소방관서 내에서 보내는 시간이 많은 비중을 차지하고 있다는 특징이 있다. 그러나 일단 사고가 발생되어 현장에서 활동을 전개(展開) 할 경우 그 어느 직종도 소방업무 만큼 육체적 힘이 많이 요구(예 : 소방호스 끌고 이동하기, 소방호스 어깨에 짊어지고 수개의 층 오르기, 사다리의 설치 또는 사다리 오르기, 천정구조물 파괴하기, 구조 대상자 운반하기 등)되는 직업도 드물다고 할 수 있다.

나. 소방활동이 신체에 미치는 영향

육체적 움직임이 비교적 적은 대기단계(待期段階)에서 출동신호와 함께 이루어지는 급속한 육체적 동작의 변화는 신체의 정상적인 리듬에 큰 스트레스를 가함으로써 신체적·정신적으로 결코 좋은 영향을 주지 않는다.

특히 야간의 경우 더욱더 그러하다고 할 수 있다. 출동신호와 함께 소방대원의 신체는 갑작스러운 움직임에 신속하게 적응하여야 하는데, 이것은 각종 신체리듬의 정상적인 흐름을 저해하는 역할을 하며, 결국 사고 및 질병의 원인으로서 작용할 수 있다.

다. 체력증진실시계획의 철저한 기록관리

체력증진실시계획의 진행상황을 상세히 기록하는 것은 매우 중요하다.

왜냐하면 각 대원들 자신이 신체능력의 향상 상황을 직접 점검하여 참여동기(參與動機)를 자극할 수 있는 자료로 활용할 수 있기 때문이다.

2. 체력증진계획의 목표수립

체력증진계획의 목표는 소방대원들이 소방활동을 수행하는데 필요한 신체의 주요기능을 강화하는 데 있어야 하며 그 내용은 다음과 같다.

가. 심장순환계기능의 강화

- 1) 많은 에너지를 소비하는 활동을 전개할 때 소방대원에게 크게 중요시되는 신체기능 중의 하나가 근육과 심장의 기능이다. 소방대원의 신체는 활동중에 근육조직 및 세포에 신선한 혈액과 산소를 공급하기 위하여 정상적인 심장의 순환작용이 이루어져야 한다. 만약 충분한 양의 산소가 혈액으로 공급되지 못할 경우 쉽게 지치거나 피로현상(疲勞現狀)이 발생될 수 있다. 폐, 심장, 순환계통으로의 산소운반 능력은 신체적 운동량에 크게 좌우된다. 따라서 심장순환 기능의 향상을 위하여 항상 적절한 정도의 꾸준한 부하(負荷)를 심장에 가하는 것이 필요하다.
- 2) 운동을 꾸준히 실시함에 따라 맥박수는 점차 감소되나 심장의 저항력은 증가하게 되며, 각종 신체적 적응능력이 향상된다.
시간이 지남에 따라 자연스럽게 신체저항 능력이 증가하고, 신체의 적응능력이 향상되며, 심박수는 감소한다. 따라서 신체에 가하는 부하의 강도 및 부하량, 시간을 높일 수 있게 된다.
즉, 보다 더 어렵고 힘든 운동 및 활동이 가능하게 된다는 것이다. 이러한 경우 심장수축 시 각 혈관으로 내뿜는 혈액의 양은 증가하게 된다. 따라서 신체근육의 활동에 필요한 더 많은 산소가 필요하게 되며, 결국 심장과 폐의 기능이 향상되게 되는 것이다.

나. 뼈와 복부의 강화, 하지근력(下枝筋力), 상지근력(上枝筋力) 기능의 강화

체력증진계획에 있어서 또 하나 중요한 목표중의 하나는 척추, 복부, 다리, 팔 근육 및 관절의 기능강화이다. 신체의 골격과 관련된 근력이 강할 경우 어렵고 힘든 조건하에서의 작업에 대한 저항능력이 증가하게 된다.

다. 유연성의 강화

소방현장에서 순간적으로 민첩하게 이루어지는 각종 동작행위를 위하여 유연성을 강화하는 것도 큰 목표중의 하나이다.

3. 체력증진계획의 시행에 있어서의 유의사항

가. 척추 손상의 예방

1) 척추손상예방의 의의

체력증진계획의 실시에 앞서 우선 고려하여야 하는 사항중 한 가지가 ‘척추손상방지’에 관한 사항이다. 왜냐하면 척추손상은 다른 어떠한 손상보다도 값비싼 대가를 치러야 하기 때문이다.

척추의 손상은 다른 종류의 손상과는 그 유형 및 후유증(後遺症)의 정도에 있어서 다르다고 할 수 있다. 왜냐하면 부상으로 인한 통증 및 활동의 불편함이 완벽하게 치료가 되지 않으며, 항상 재발(再發)의 가능성이 있기 때문이다.

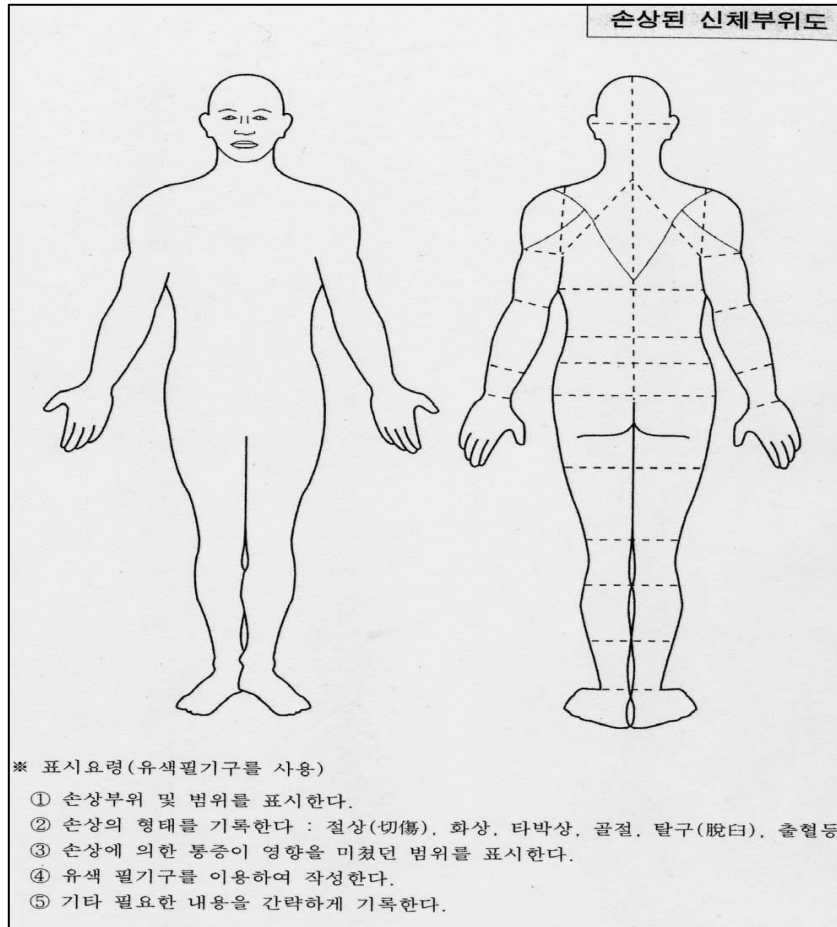
2) 척추손상의 주요 원인

척추의 손상은(外傷은 제외함) 주로 척추 자체가 약해지거나 척추를 지탱해 주는 각종 근육이나 신경이 손상되어 발생된다. 이러한 약화현상은 갑작스러운 외부충격에 의해 발생하는 경우도 있지만, 거의 대부분은 ‘들어 올리거나 물건 운반시의 자세불량 등’과 같이 일상생활에서의 반복되는 동작이나 행위가 부적절하기 때문에 발생된다.

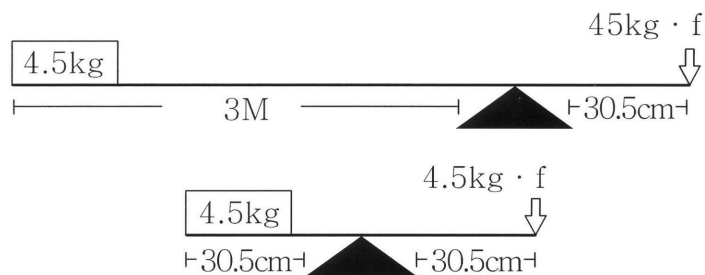
척추는 구부리는 동작에 있어서의 유연한 기능을 위해, 신체를 지지(支持)하기 위해, 그리고 각종 하중에 견디는 기능을 할 수 있도록 하기 위해 매우 복잡하고 정교하게 구성되어 있다. 따라서 선천적인 기형구조(畸形構造)인 경우를 제외하고 거의 대부분의 경우에 있어서 동작상(動作上)의 문제 때문에 손상이 발생할 가능성이 많다는 것을 쉽게 알 수 있다.

3) 지렛대의 원리와 척추

척추는 지렛대의 원리에 의해 작용하며, 지렛대의 지지점에 가해지는 부하는 지지점으로부터 떨어져 있는 거리와 중량에 따라 달라진다. 다음의 그림에서 보는 것처럼 동일한 중량의 물체를 누르는데 소요되는 힘은 지지점으로 부터 물체가 멀수록 더 많은 양의 누르는 힘이 필요하다는 것을 알 수 있다.



손상된 신체부위도



지렛대의 원리 : 지렛대를 누르는 힘은 지지점과 물체와의 거리가 멀수록 많이 필요하다.

지렛대의 원리

4) 척추손상의 예방

물건이나 물체를 들어 올릴 때 척추를 보호하는 안전한 행동은 매우 간단하다. ‘무릎을 구부려서 물건을 드는 것’이다. 즉 물건을 들어 올리고자 할 때 무릎을 구부려 자세를 낮춘 상태에서 물건 가까이 위치한다는 것은 지렛대의 지지점과의 거리가 멀지 않다는 것을 의미하며, 하중을 허리뿐만 아니라 무릎, 허벅지, 발 부분으로 분산하기 때문에 보다 안전하고 쉽게 물건을 들어 올릴 수 있게 된다는 것이다.

처음에는 이러한 동작에 익숙하지 않아 소홀하기 쉬우나 습관화 되면 매우 자연스럽게 될 수 있다. 그러나 현장의 상황이나 들어 올리고자 하는 물건의 크기, 모양, 위치 등의 다양함 때문에 항상 무릎을 구부린 낮은 자세로 물건을 이동시킬 수 없는 경우도 있다.

그래서 소수의 인원이 이동시키기에 어려운 물건은 다수의 대원이 함께 이동시키는 것이 안전한 작업요령 이라고 할 수 있다.

나. 폐와 관련된 질환의 예방

1) 소방활동과 폐질환

소방대원들은 인체에 유해한 연소생성물을 흡입하거나 이에 노출될 가능성이 많기 때문에 폐의 손상을 받을 확률이 타 직종의 종사자 보다 훨씬 높다고 할 수 있다. 그래서 대원들 자신이 이러한 위험요소에 노출되지 않도록 노력하는 것이 중요하다. 그 방법 중의 하나가 바로 철저하게 공기호흡기 등의 호흡보호용 장비를 착용하고 작업에 임(任)하는 것이다.

2) 소방활동과 흡연과의 관계

담배는 폐와 호흡기에 나쁜 영향을 줄 수 있기 때문에, 필터를 부착하여 유독물질을 정화하도록 되어 있다. 그러나 일단 담배연기에 포함되어 있는 질소산화물, 탄화수소 및 일산화탄소 등이 폐(肺) 자체의 기능을 저하시키면, 그 기능의 회복은 대단히 어렵다.

특히 흡연자는 담배연기 뿐만 아니라 화재현장에서 발생하는 유독연기의 흡입으로 인해 일반인들 보다 더 높은 폐질환의 발병가능성을 가지고 있다고 할 수 있다.

흡연으로 인한 일산화탄소의 흡입은 혈액 내에 일산화탄소의 축적을 가져오며, 상대적으로 혈액내의 산소농도를 저하시키는 원인이 된다.

그래서 특히 흡연을 하는 소방대원들에게는 매우 좋지 않은 영향을 미치게 된다. 또한 흡연으로 인하여 지구력과 심폐기능의 약화를 가져올 수도 있다.

3) 흡연과 질병의 발생

흡연을 하는 대원은 흡연을 하지 않는 대원보다 동맥경화증에 걸릴 가능성이 더 많다고 할 수 있으며, 동맥경화증은 결국 심장마비의 원인이 될 수도 있다. 일반적으로 흡연자는 비흡연자보다 2~3배정도 더 높은 심장마비의 발생가능성을 가지고 있으며, 4~7배 정도 더 높은 심장마비 사망의 가능성을 가지고 있다고 한다. 또한 폐암의 발생가능성도 매우 높다고 할 수 있다.

흡연으로 인한 유해물질의 흡입은 소방대원들의 신체적 능력을 저하시켜 안전한 작업의 수행에 장애요인으로 작용할 수도 있다.

다. 심장관련 질병의 예방

1) 심장관련질병 예방의 의의

소방업무종사자 뿐만 아니라 일반인들도 심장과 관련된 질병으로 사망하는 경우가 급속하게 증가하고 있으며, 소방대원의 경우 일반인들 보다 더 높은 심장관련 질병의 발병가능성을 가지고 있다고 할 수 있다. 소방공무원으로 재직 중 심장계통의 질병 때문에 순직하거나 사직하는 경우가 흔히 있으므로 조직적인 차원에서 심장관련 질병의 예방은 매우 심각하게 고려되어야 할 문제 중의 하나라고 할 수 있다.

2) 심장관련 질병의 주요 원인

심장병은 심장기능의 이상 등과 같은 것을 포함하여 그 범위 및 유형이 매우 다양하다고 할 수 있다. 어떤 경우 일상적인 검진을 통해서 ‘심장판막 장애’ 등과 같은 질병을 발견할 수도 있다. 그러나 심장으로의 혈액공급 기능이 장애가 있는 경우(흔히 발생되고 있지만) 발견하기가 쉽지 않으며, 결국 산소의 부족으로 심장세포가 죽어가게 된다.

이러한 심장질환과 관련 있는 주요한 원인은 다음과 같다.

가) 콜레스테롤의 증가에 의한 혈관의 비만

나) 혈압의 상승

- 다) 흡연행위
 - 라) 운동부족 및 스트레스(Stress)의 축적(蓄積)
 - 마) 준비되지 않은 상태에서의 과도한 신체·정신적 부하(負荷)
- 3) 심장관련 질병의 예방
- 가) 심장마비의 위험을 줄이기 위해서는 포화콜레스테롤의 축적을 방지하여야 하며, 간단한 혈액검사를 통하여 각 개인의 콜레스테롤 수치(數値)를 측정할 수 있다.
 - 나) 흡연으로 인한 심장질환의 발병을 줄이는 것은 오로지 금연하는 것이다.
 - 다) 신체검사를 통하여 자신의 혈압을 체크해 보아야 하며, 만약 고혈압의 증세가 있는 경우 이를 회복하기 위한 노력을 하여야만 심장마비 등과 같은 질병의 공포로부터 벗어날 수 있을 것이다.
 - 라) 운동의 부족도 결국 심장질환으로 발전할 가능성이 많다. 왜냐하면 운동부족으로 인한 활동량의 저하는 곧 비만(肥滿)으로 이어질 수 있기 때문이다. 따라서 꾸준하게 신체를 단련할 수 있는 운동을 실시하는 것이 가장 좋은 방법이라고 할 수 있다.

제3절 스트레스(Stress)의 예방 및 관리

1. 스트레스(Stress)의 의의

스트레스(Stress)란 ‘신체적, 정신적 긴장이 원인이 되어, 몸 안에서 일어나는 일련의 비특이적(非特異的=日常的)인 방어반응(防禦反應)’이라고 정의할 수 있으며, 질병의 원인이 되기도 한다. 사람들은 일상생활에서 각종 스트레스를 받게 된다.

스트레스는 인간에게 이로운 결과를 주는 것과 해로움을 주는 것의 두 가지로 분류할 수 있다. 전자는 인간의 적극적인 행동을 자극하는 것을 말하며, 후자는 인간의 행동에 해로운 영향을 미치는 것을 말한다. 그러나 궁극적으로 스트레스는 인간의 신체나 정신에 좋은 영향을 미치지 않는다.

여기서 중요한 것은 스트레스라고 하는 것은 신체적인 요인에 의해서도 발생된다는 것이

다. 다시 말하면 신체가 과부하(過負荷)를 받을 경우 정신적으로는 극도의 피로, 긴장 등의 문제가 발생되고, 신체적으로는 부상이라는 문제가 발생하는 것이다. 결국 신체가 건강하면 건강할수록 신체적 스트레스는 감소되게 된다.

가. 스트레스(Stress)의 요인

최근에 소방대원의 업무와 관련된 정신적 스트레스에 대한 관심이 높아지고 있으며, 소방대원들에게 정신적 스트레스를 가(加)하는 주요한 요인들을 열거하면 다음과 같다.

- 1) 사고현장에서 충격적인 장면목격 및 공포감
- 2) 화재현장에서의 소사체(燒死體) 목격
- 3) 동료대원들의 순직, 죽음에 대한 공포
- 4) 사망자 유족들의 호느낌·오열(嗚咽)
- 5) 비정상적 근무체제, 출동에 대한 정신적 긴장
- 6) 상관 및 동료들과의 부조화(不調和)
- 7) 업무량의 과중(過重)
- 8) 조직 외적인 요인(구조조정, 보수의 불만족 등) 등

그 외에 즉 결혼생활의 문제, 가정경제상의 문제, 이사, 휴가, 개인 사생활 등과 같이 업무와는 직접적으로 무관한 것으로도 발생할 수 있다. 앞에서 언급한 이러한 문제들이 원만히 해결되지 못할 경우 신체적 질병으로 발전될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

나. 신체적 스트레스(Stress)와 예방

소방대원의 순직과 부상의 원인은 신체적 스트레스와 매우 깊은 관련성을 가지고 있다. 이러한 것은 화재진압과 인명구조 작업에 요구되는 체력을 약화시킬 뿐만 아니라 정신적 인내심 및 저항능력(抵抗能力)을 약화시켜 결국 사고 내지는 질병과 연결될 수 있다.

또한 각종 현장에서의 스트레스가 심장마비라는 치명적인 결과를 초래할 수 있다. 심장마비나 스트레스와의 인과관계(因果關係)는 의학계의 연구결과에도 명백히 나타나고 있다. 결국 신체적 스트레스 요인을 줄이는 것도 소방공무원의 순직율(殉職率)을 줄이는 방법 중의 하나이다.

체력증진계획을 적극 실천하면 대원들의 순환계 기능을 강화시켜 스트레스와 관련된 부상, 질병 및 사망률을 줄일 수 있다. 건강한 신체는 스트레스에 대한 저항력을 가지고 있다. 이러한 저항력을 키울 수 있는 것 중의 하나가 “운동”이다. 운동을 통하여 근육, 심장, 폐의 기능을 강화시켜 심장마비의 발생 및 스트레스와 관련된 질병, 부상의 가능성을 줄일 수 있다.

2. 정신적 스트레스(Stress)

가. 소방활동과 정신적 스트레스

소방업무에 종사하고 있는 사람은 화재진압, 구조활동, 구급활동 등과 관련된 활동 수행 시에는 아주 심한 스트레스를 겪을 수 있다.

소방업무에 장기간 종사하고 있는 선임대원들은(예를 들면 구조대원인 경우) 신입대원(新隊員)들보다 비교적 적은 량의 스트레스를 겪으면서 구조활동에 임할 수 있다. 왜냐하면 그 사고와 유사한 수많은 사고를 수습했던 경험이 있기 때문이다. 반면에 경험이 부족한 신입대원인 경우 처참한 사고현장에서 그들에게 부여된 임무를 수행할 경우 강한 정신적 스트레스를 느낄 것이다.

나. 스트레스와 신체방어체계

인간의 신체는 자신이 견딜 수 있는 스트레스의 한계를 초과하는 사고현장에 노출 될 경우 신체적·정신적으로 매우 민감하게 반응한다. 대형사고 현장 활동 후의 체력쇠약(體力衰弱)으로 인한 극도의 피로와 현장 활동 후의 비정상적 행동은 주로 각 개인이 스트레스에 효과적으로 대처하지 못하고 있기 때문이다. 즉 극도의 피로감을 느끼는 것과 비정상적인 행동을 하는 것은 대원자신의 신체방어체계(身體防禦體系)가 무너지고 있다는 것을 의미한다.

3. 스트레스의 징후(Sign)

대원들이 스트레스 상황에 노출되어 스트레스를 겪고 있는 징후는 다음과 같다.

가. 사고현장에서의 부적응(不適應) 및 행동력의 저하

일시적인 혹은 초기의 부적응은 흔히 발생할 수 있다. 그러나 장시간 계속되거나 정상적인 역할을 수행하고 있지 못하다면 그가 적응상의 문제에 있어서 강한 스트레스를 받고 있다고 판단하여야 한다.

나. 사기의 저하 및 의욕상실

인간이 흥분하거나 의기소침(意氣銷沈)해 하는 것은 극히 자연스러운 일이다. 때때로 공적인 업무 이외에 가정생활에 있어서 원만하지 못할 경우 극심한 스트레스를 받을 수 있으며, 이러한 현상이 장기간 지속될 경우 해당업무를 정상적으로 수행하지 못할 가능성이 높다.

다. 악몽과 불면증(不眠症)

악몽이 몇 주간 계속되거나 혹은 수일(數日)에 걸쳐 불면증에 시달리는 경우 스트레스를 겪고 있다는 증거이다. 이러한 경우 스트레스를 경감시킬 수 있는 누군가의 도움과 조언이 필요하다.

라. 과거에 대한 지나친 회상

이러한 현상은 주야를 막론하고 발생된다. 과거에 보았던 사물이나 혹은 고통스럽고 힘들었던 경험(주로 좋지 않았던 경험들)들을 주로 떠올리게 되는데, 이러한 것은 현재의 업무에 충실하고 미래지향적으로 행동하는 데 장애요인으로 작용하게 되며, 스트레스에 노출되어 있는 상태라고 판단한다.

마. 비정상적인 식욕

처참한 사고 장면을 목격한 후에 음식물을 먹을 수 없는 식욕부진(食慾不振)의 현상을 나타내는 것을 말한다. 경우에 따라서 사고현장을 목격한 후 과잉식욕(過剩食慾)을 나타내는 특이한 경우도 있다. 그런데 과잉식욕의 여부는 명백히 밝히기가 어렵다. 그러나 단기간에 체중이(6주 동안 4~5kg이상 증가한 경우) 증가되었다면 스트레스로 인한 과잉식욕을 의심할 필요가 있다. 경우에 따라서 과도한 음주 및 흡연을 하는 경우도 있다.

바. 극도의 성급함과 격분(激憤)

다른 감정의 표현과 마찬가지로 스트레스 상태에 있는 경우 성급함과 격분하는 행동은 극히 자연스러운 것이다. 그러나 이러한 행동들이 빈번히 표출(表出)될 때 혹은 쉽사리 감정이 조절되지 않는 경우 전문가의 조언이 필요한 상태에 있다고 판단한다.

사. 알코올의 섭취량 증가와 중독

소방대원으로서 바람직하지 못한 모든 행동양상(行動樣相)중에서 알코올 중독이 가장 발견과 치료가 어려운 것에 해당되며, 우리들 주변에서 흔히(개인에 따라서 정도는 다르지만) 발견할 수 있다. 그러나 문제가 되는 것은 알코올에 중독 증세를 보이는 동료들이 있다고 하더라도 그에 대한 솔직한 조언이 이루어지지 않고 있다는 것과 해당자 자신이 그러한 상태에 있다는 것을 인정하지 않으려 한다는 것이다. 이러한 현상이 지속 될 경우 현장에서의 사고 발생 요인으로 작용할 수 있으며, 전문의사의 진료 및 조언이 절대적으로 필요하다고 할 수 있다.

4. 스트레스(Stress)의 결과

가. 면역기능의 약화

극심한 스트레스는 신체의 면역기능(免疫機能)을 저하시키는 요인으로서 작용한다. 즉, 보다 더 쉽게 병에 걸릴 수 있다는 것이다.

나. 사고의 발생가능성 증가

스트레스로 인한 면역기능의 약화와 앞에서 언급한 각종 징후들의 복합적인 영향관계로 인하여 현장 활동 내지는 소방업무 수행 중에 사고의 발생가능성은 한층 더 높아질 수밖에 없다. 또한 조직전체의 사기저하와 업무효율의 저하로 연결될 가능성이 매우 높다고 할 수 있다.

5. 조직차원에서의 지원과 대책강구

가. 조직차원에서의 노력

관서의 운영책임자는 스트레스 때문에 발생되고 있는 각종 문제들의 악영향(惡影響)을 인식하여야 하며, 필요한 경우 전문 의료진으로부터의 도움을 받을 수 있도록 조치하여야 한다. 조직구성원들의 부정적이고 적대적인 태도 때문에 도움을 청하는 대원이 필요한 도움을 받지 못하고 조직전체에 악영향을 미치는 것은 소방관서 전체의 책임이라고 할 수 있다.

나. 체력증진계획의 활성화

체계적이고 규칙적으로 체력증진계획을 시행할 경우 소방업무와 관련된 신체·정신적 스트레스는 상당부분 해소될 수 있다.

다. 전문조언과 상담의 실시

조직차원에서 누가 어떤 종류의 스트레스를 어느 정도로 겪고 있는지를 식별할 수 있는 능력을 갖추어야 하며, 이들에 대한 실질적인 조언과 상담을 실시하는 방안을 강구하여야 한다.



핵심요약

- 소방업무와 신체능력의 적합성, 체력증진계획, 스트레스 예방 및 관리계획을 확인한다.
 - 소방업무는 위험하며 육체적 힘을 요구하기에 체력증진이 필수적임.
 - 소방업무는 긴장상태에 있어 사고 발생률이 높아 체력증진으로 스트레스와 사고 등을 줄여야 함.
 - 소방관의 재직 중 질병이 직업병과 관련 여부를 확인하고, 건강이력서를 작성 계속 관리 유지함.
 - 소방관의 체력증진계획을 수립하여 척추손상, 폐, 심장병을 예방함.
 - 스트레스의 예방 및 관리방안을 조직적 차원에서 대책을 강구함.

제7장 소방공무원 교육훈련의 안전과 잠재적 위험요소



학습 목표

소방공무원의 교육훈련과 안전, 훈련시의 잠재적 위험요인을 살펴본다.

1. 신입소방공무원의 교육훈련과 교관의 자격을 살펴봄.
2. 소방관 훈련시의 잠재적 위험요인을 파악함.
3. 교육에서의 안전과 태도 및 방법을 살펴봄.

제1절 소방공무원의 교육훈련과 안전

1. 신입소방공무원의 교육훈련

소방공무원으로 임용된 신입대원(新任隊員)들에 대한 안전교육은 대개의 경우 큰 효과를 거둘 수 있다. 왜냐하면 그들은 소방안전에 관한 규칙이나 절차에 대한 사전지식(事前知識)이 거의 없으므로 기존직원들보다 소방안전에 관한 규칙과 절차를 더 잘 받아들일 수 있는 상태에 있기 때문이다.

신입자(新任者)들의 교육에 있어서 교관의 안전에 관한 철저한 실천이 매우 중요하다. 왜냐하면 신입자들 또한 교관의 행동을 본받기 때문이다. 만약 신입교육 당시 철저하게 안전수칙들을 몸에 익혔다면 앞으로 그가 소방공무원의 생활을 끝마치게 될 때까지 안전행동(安全行動)은 계속될 수 있을 것이다.

2. 교관의 자격

훈련에 임하는 대원들의 안전을 보장하기 위해 교관은 충분한 자격을 갖추고 있어야 한다. 왜냐하면 교관이 담당과목이나 훈련종목(訓練種目)에 대한 이해가 부족할 경우 높은 수준의

교육효과를 기대할 수 없을 것이며, 이로 인한 실수와 잘못은 결국 사고로 연결될 수 있기 때문이다. 결국 충분한 자격을 갖추고 있지 않은 교관은 현재 실시하고 있는 훈련의 절차나 방법에 관한 잠재적 위험요소(潛在的 危險要素)를 인지(認知)할 수 없기 때문에 교육생들에게 발생될 수 있는 사고나 부상을 막을 수 없을 뿐만 아니라 잘못된 부분에 대한 교정(矯正)을 할 수도 없다는 것이다.

3. 교관과 피 교육생의 적정인원

훈련 중의 사고나 부상은 교관이 모든 교육생을 관찰할 수 없을 때 발생할 가능성이 높다. 교관의 눈에 보이지 않고, 통제되지 아니하는 교육생일수록 사고의 발생가능성이 높다는 의미이다. 그래서 실제훈련 시에는 충분한 교관과 조교가 확보된 상태에서 훈련을 실시하는 것이 보다 더 안전하고 효과적이라고 할 수 있다.

우리의 현 실정과는 다소 거리가 있기는 하지만 훈련을 실시할 때 바람직한 교육생과 교관의 비율은 5명 당 1명이다. 만약 제반여건 때문에 5 : 1의 원칙을 적용하는 것이 불가능한 경우라 할지라도 가능하면 교육생의 안전 확보 및 교육의 효과를 높이기 위하여 교관 1인당 교육생의 수를 적게 편성하도록 하는 것이 바람직하다.

제2절 훈련시의 잠재적 위험요인의 발견

1. 잠재적 위험요인의 발견

가. 잠재적 위험요인

교관은 모든 훈련을 실시함에 있어 잠재된 위험요인 및 사고발생 요인을 철저하게 파악하고 있어야 하며, 항상 교육생들에게 이 사항에 대한 주의를 환기시켜야 한다.

실제 화재진압 훈련 시 조교요원들은 휴대용 소화기나 엄호방수용 호스 및 응급처치세트를 항상 훈련장 주위에 비치하거나 휴대하여 사고가 발생하였을 경우 신속히 이에 대처할 수 있도록 하여야 한다.

나. 훈련장의 안전확인

훈련장의 안전을 확보하기 위해 훈련 전·후에 훈련장 주위의 이상 유무를 확인하고, 장애물을 제거하는 것은 궁극적으로 교관의 책임이다. 훈련장의 안전 확보는 원초적으로 설계당시에서부터 교육생의 안전을 고려하여야 하며, 모든 훈련을 실시하기 전에 훈련시설 전반에 대한 안전점검이 이루어져야 한다.

특히 주 훈련장 주변에 불필요한 장애물이 방치되어 있는지를 점검하여야 하며, 훈련장에 부착되어 있는 각종 안전장치(난간, 안전망 등)가 약해졌는지 혹은 결함이 있는지 또는 지지대의 이상이 있는지 등을 확인하여야 한다.

다. 훈련장비의 안전확인

훈련에 사용되었던 장비와 기자재는 다음 훈련을 위해 양호하게 보관하여야 하며, 그 잘못으로 인하여 부상을 당하거나, 장비 등의 파손이 발생되지 않도록 하여야 한다.

2. 교육생들의 안전에 관한 책임

가. 교관의 책임

교육생들의 안전에 대한 책임은 교관에게 있다. 교관들에게 있어 당연하고 옳다고 생각되는 것이 교육생들에게 잘 받아들여지지 않는 경우가 흔히 있다. 따라서 강제성을 부과(附課)하여야 하는 경우가 많다.

나. 신체적 조건을 고려한 안전한 훈련의 실시

교육생들이 독감, 두통 또는 다른 질병을 가지고 있는 경우에 의료검진을 실시하여 훈련참여가 부적합하다고 판단될 경우 훈련에 참여시키지 않도록 조치하여야 한다.

연령이 높거나 혹은 정상적인 신체 상태를 유지하고 있지 못하다고 판단되는 대원은 즉시 피로의 유무, 흉통(胸痛), 호흡곤란 등에 관하여 진단을 받도록 조치하여야 한다.

다. 신체적 조건을 고려한 사고의 예방

신체적 결함을 무시한 채 훈련을 강행(強行)할 경우 사고로 발전될 가능성이 높다. 따라서

훈련의 실시 전에 각 대원의 신체 상태에 대해 체크를 함으로써 사고의 발생을 방지할 수 있다고 할 수 있다.

라. 교육생의 정서적인 부분에 관한 고려

교관은 개인적인 문제인 가정불화, 개인적인 위기 등과 같은 정서적 문제점에 대하여도 관심을 가져야 한다. 왜냐하면 이러한 불안정한 정서적인 요소들은 교육생들의 훈련에 대한 집중력을 저하시켜 안전사고를 유발시킬 가능성이 매우 높기 때문이다.

3. 교육에 있어서의 태도 및 방법

가. 수업내용의 이해에 대한 속단의 지양

교관은 수업내용에 대한 이해의 정도가 극히 부진하거나, 의문사항에 대해 질문하는 것을 극히 꺼려하는 교육생을 유심히 관찰하여야 한다. 이러한 경우 “수업내용의 모든 것을 이해하였을 것이다.” 라는 등의 속단(速斷)으로 넘어가려고 하지 말고 인내심을 가지면서 계속적인 반복교육을 실시하여 개념을 완벽히 이해하도록 하는 것이 중요하다.

비록 교육생들이 잘 이해하지 못하는 것이 가장 기초적이고 쉬운 내용이라고 할지라도 인내심을 가져야 한다.

나. 교육생에 대한 과민반응의 자제

교육생들이 잘 이해하지 못하는 것에 대해 화를 내거나 혹은 강압적(強壓的)인 태도를 보이지 않아야 한다. 왜냐하면 이러한 행동은 교육생들과의 자연스러운 의사소통을 가로막아 학습효과를 저하시킬 수 있기 때문이다.

유능한 교관이라면 수업이나 훈련 중에 학생들이 질문하는 것에 대해 절대 과민반응(過敏反應)을 하지 않을 것이다.

다. 훈련 중의 무질서방지를 통한 사고예방

훈련 중의 무질서(난잡함)는 곧 사고와 연결될 수 있다. 만약 교육생들이 이러한 현상을 보일 경우 그 원인을 밝혀낼 필요가 있다. 일반적으로 지루한 강의나 훈련은 교육생들을 정

신적으로 산만하게 하여 교육효과를 저하시키는 데, 이러한 지루함은 교관의 자질부족인 경우나 혹은 교육생 전원이 시범(示範)을 볼 수 없는 경우, 또는 교육생의 수가 과다하여 많은 교육생들이 교육내용에 참여할 수 없게 된 경우에 발생할 수 있다.

라. 교관요원자신의 안전확보

화재진압 훈련에 임하는 교육생뿐만 아니라 교관요원들도 반드시 방호복과 공기호흡기를 착용하여야 하며, 특히 훈련실시 전에 현장안전점검관(현장안전담당)이나 교관이 교육생의 안전상태를 철저히 점검하는 것이 중요하다. 모든 복장이나 장비는 교육생의 체형(體型)에 적당하도록 조정하여야 하며, 정확하게 착용이 되고 난 뒤에 훈련시설로 진입하도록 하여야 한다.

흔히 교관 요원들이 그들 자신의 안전에 관하여 세심한 주의를 하지 않는 경우를 볼 수 있다. 그러나 훈련의 지도를 위하여 수차례 화재 진압실에 출입함으로써 탈수증(脫水症)과 열기로 인한 신체상의 스트레스(Stress)를 겪을 수 있다. 결국 그들 자신도 교육생들과 마찬가지로 피로와 열기로부터 피해를 당할 수 있다는 것을 알아야 한다.

1) 열기로 인한 스트레스의 영향

- 가) 활동하는데 가장 좋은 온도는 18~21℃ 정도이다.
- 나) 심한 열기로 인한 스트레스의 강도에 따라 사고가 증감한다.
- 다) 열기로 인한 스트레스는 연령이 높을수록 현저하다.



핵심요약

- 소방공무원의 교육훈련과 안전, 훈련시의 잠재적 위험요인을 확인한다.
 - 신입소방공무원의 교육훈련은 교관의 안전에 관한 실천이 매우 중요함.
 - 신입소방공무원의 교관은 잠재적 위험요소를 인지할 수 있는 자격을 갖추어야 함.
 - 교관은 훈련시의 잠재적 위험요인을 파악하고 교육생들에게 주의를 환기시켜야 함.
 - 교육에서 교육생들의 안전에 대한 책임은 교관에게 있음.
 - 교육에서 이해의 정도가 부진하거나 질문을 꺼려하는 교육생을 관찰하고 반복교육을 통해 개념을 이해하도록 해야 함.
 - 잘 이해하지 못하는 교육생에 대해 강압적인 교관의 태도는 의사소통을 가로막아 학습효과를 저하함.
 - 교관요원들은 방호복과 공기호흡기를 착용해야 하며 안전을 위해 교육생의 안전 상태를 철저히 점검해야 함.

제8장 소방차량운행 등의 안전



학습 목표

안전운행의 고려요소, 안전운전과 방어운전, 안전운행을 위한 환경적 요소를 살펴본다.

1. 안전운행의 의미와 긴급자동차의 운행을 살펴봄.
2. 안전운전기법과 방어운전 기법을 파악함.
3. 도심지역과 농촌지역 고속도로 등에서 안전운행을 위한 환경적 요소를 확인함.

제1절 안전운행의 의의 및 주요 고려요소

소방업무와 관련된 사고원인 중 출동(出動) 및 귀서단계(歸署段階) 그리고 출퇴근과 개인 활동에서의 교통사고가 큰 비중을 차지하고 있으며, 우리의 경우도 교통사고에 의한 소방력(消防力)의 손실이 큰 비중을 차지하고 있다(출동 및 귀서, 개인 승용차를 이용한 출퇴근 및 개인 활동 시의 교통사고 등을 포함). 따라서 이에 대한 대책이 수립되어야 한다.

일반적으로 소방차량 등의 안전운행에 요구되는 주요 고려요소는 다음과 같다. 차량 및 장비의 관리유지에 관한 사항, 통행인 또는 승차한 대원의 안전에 관한 사항, 출동경로의 선정(選定)에 관한 사항, 도로교통법에 관한 사항, 각 차량의 성능 및 특성에 관한 사항, 도로의 장애요인에 관한 사항, 방어운전(防禦運轉)에 관한 사항

1. 출동경로의 선정(選定)

소방차량을 운전하는 대원 및 분대장은 해당 관내(管内)의 지리 및 특성에 대하여 완벽히 숙지(熟知)하고 있어야 한다. 만약 그렇지 않은 경우 즉, 출동경로의 선정이 부적절한 경우 효과적인 현장활동을 기대할 수 없게 된다. 출동경로 선정 시에는 다음의 사항들을 고려하여야 한다.

가. 도로조건의 고려

출동경로의 선정에 있어서는 다음의 도로조건을 고려하여야 한다.

1) 도로건설공사 지역

불가피하게 공사가 진행 중인 도로를 지나가야 할 경우 도로 건설용 각종 자재(資材)와의 충돌 또는 공사관계자와의 사고발생에 최대한 주의를 기울여야 한다.

2) 교통혼잡

교통혼잡은 주로 도로공사나 교통시설물 등의 가설작업, 출퇴근 시간 및 대규모 공연이나 집회, 가두시위, 스포츠 행사 등의 요인들에 의해 발생하는 경향이 있으므로, 관내의 여러 가지 행사나 변화된 사항에 대한 정보의 수집에 최대한 노력하여야 한다.

3) 인구과밀 지역

인구밀도(人口密度)가 높은 인구과밀 지역에는 학교, 쇼핑센터, 아파트 단지 등이 많이 있으며, 소방차량의 신속한 현장 도착에 장애가 되기도 한다.

4) 철도 건널목, 위험한 교차로, 교량

소방관서 주위에 철도 건널목, 교차로, 교량 등과 같은 많은 위험한 장소가 있는 경우가 흔히 있다. 그래서 가능하다면 이러한 지역을 통과하지 않아도 되는 출동경로를 선정하는 것이 필요하며, 불가피하게 통과하여야 할 경우 안전한 속도로 운행하여야 한다.

5) 불안전한 교량 등

관내에 불안전한 교량이 있는지에 대해 사전에 파악되어야 하며, 비상시 대체 출동로를 선정하여야 한다.

6) 시가행진(市街行進)

국경일, 기념일 또는 특별한 경우 정기적으로 시가행진을 실시하곤 한다. 따라서 이러한 경우 사전(事前)에 행사의 개요를 파악하여 제2의 출동경로를 선정해 두는 것이 필요하다.

나. 타(他) 분대(分隊)의 고려

1) 타 분대의 출동경로 인지

출동경로를 선정함에 있어서 또 하나 중요한 것은 다른 분대의 출동경로를 명확히 인지하고 있어야 한다는 것이다. 만약 2~3개 이상의 분대가 동시에 1개의 교차로(交叉路)를 향하여 진행하고 있는 경우에는 상호교신(相互交信)을 통하여 혼선(混線)이 발생되지 않도록 하여야 한다.

2) 교차로에서의 안전확보

교차로에 인접한 곳에 근접(近接)한 경우 교차로와 가까운 거리에 있는 분대가 사이렌 또는 전조등 신호를 표시하면서 우선통행 하도록 한다. 이러한 것은 각 분대간의 상호약정을 통해서 공식화 되어 있을 경우에 만 실효성을 확보 할 수 있다.

3) 응원출동분대에 대한 고려

응원출동(應援出動)을 위해 운행 중인 차량의 분대장에게도 수시로 분대의 위치를 무선 채널을 이용하여 알려야 한다. 또한 경찰차량이나 구급차가 접근 할 경우에도 효율성의 증대와 사고의 예방을 위하여 그러하여야 한다.

2. 교통법규(交通法規)의 준수

가. 긴급자동차의 정의

“긴급자동차²⁾라 함은 소방차, 구급차, 혈액공급차량 그 밖의 대통령령이 정하는 자동차로서 그 본래의 긴급한 용도로 사용되고 있는 중인 자동차를 말한다.”라고 도로교통법에서 정하고 있다.

2) 도로교통법 제2조(정의) 22항. “긴급자동차”란 다음 각 목의 자동차로서 그 본래의 긴급한 용도로 사용되고 있는 자동차(소방차, 구급차, 혈액 공급차량, 그 밖에 대통령령으로 정하는 자동차)를 말한다.

나. 긴급자동차의 특례³⁾

긴급자동차(緊急自動車)는 일반적으로 일반차량에 적용되고 있는 속도의 제한을 받지 않은 상태에서 통행의 우선순위를 가지고 있으나, 이것은 어디까지나 시민의 생명과 재산에 피해를 주지 않는 범위 내에서의 우선통행(優先通行)⁴⁾을 말한다.

다. 긴급자동차의 유의사항

긴급자동차로서의 특례(特例)혜택을 받기 위해서는 반드시 경광등이나 사이렌을 울리거나 또는 전조등을 점등한 상태이어야 한다는 것이다. 또 하나 주의하여야 할 사항은 도로교통법의 특례조항에 근거하여 운행하고 있다고 하더라도 우천지역(雨天地域), 짙은 안개지역, 결빙지역(結氷地域), 시야(視野)가 불충분한 지역을 통과할 경우 극히 안전에 유의하여야 한다는 것이다. 왜냐하면 시야가 불충분하거나 정상적인 도로조건 하에서는 일반차량이 충분히 양보해 줄 수 있지만, 위의 도로조건 하에서는 양보할 수 없는 경우가 많기 때문이다.

라. 제한적인 범위 내에서의 특례

현장으로의 신속한 출동은 시민의 생명과 재산에 위해(危害)를 가(加)하지 않는 범위 내에서 이루어져야 하며, 긴급현장으로의 출동이 결코 사고를 정당화시킬 수 없다는 것이다. 소방차량의 우선통행권에 있어서도 비록 권리(權利)를 가지고 있기는 하지만 그것이 절대적 권리(絕對的權利)가 아니라는 것을 알아야 한다.

3) 도로교통법 제30조(긴급자동차에 대한 특례) 긴급자동차에 대하여는 다음 각 호의 사항을 적용하지 아니한다.

1. 제17조에 따른 자동차등의 속도 제한. 다만, 제17조에 따라 긴급자동차에 대하여 속도를 제한한 경우에는 같은 조의 규정을 적용한다.
2. 제22조에 따른 앞지르기의 금지
3. 제23조에 따른 끼어들기의 금지
4. 제5조에 따른 신호위반
5. 제13조제1항에 따른 보도침범
6. 제13조제3항에 따른 중앙선 침범
7. 제18조에 따른 횡단 등의 금지
8. 제19조에 따른 안전거리 확보 등
9. 제21조제1항에 따른 앞지르기 방법 등
10. 제32조에 따른 정차 및 주차의 금지
11. 제33조에 따른 주차금지
12. 제66조에 따른 고장 등의 조치

4) 도로교통법 제29조(긴급자동차의 우선 통행)

제2절 안전한 운전기법과 방어운전

1. 안전한 운전기법

소방차량의 운전을 담당하고 있는 요원의 가장 중요한 임무는 항상 소방차량을 작동가능 한 상태로 유지하는 것과 출동목적지까지 인력과 장비 등을 안전하게 도착하도록 하는 것이다.

가. 운전요원의 태도(態度)

소방차량을 안전하게 운행하는 데 필요한 첫 번째 요건은 안전에 관한 적절한 태도를 가지는 것인데, 평온하고 침착한 태도가 가장 필수적이다. 운전중의 부주의한 태도는 결코 용납 될 수 없다. 또한 성급하고 공격적인 운전태도 또한 통행인, 차량, 동료 소방대원에게 위협이 될 수 있으므로 결코 바람직하다고 할 수 없다. 특히 긴급자동차의 운행을 무시하거나 양보 방법에 익숙지 않다고 판단되는 일반차량에 대한 주의를 게을리 하지 않아야 한다.

나. 차량내(內)에서의 안전

안전한 운행을 위하여 운전요원도 최소한의 안전장구를 착용하여야 하며, 특히 대원들의 승차공간 자체가 안전한 상태에 있어야 한다.

연속적으로 작동되는 각종 음향경보장치의 음향에 의한 청력손실도 유의하여야 한다(일반 적으로 소음의 강도⁵⁾가 80dB이상인 경우 청력(聽力)의 손상(損傷)을 가져올 수 있다).

다. 안전벨트의 착용

차량에 승차하고 있는 모든 대원은 운행 중인 차량 내에서 발생될지도 모를 급정지(急停止) 및 교통사고에 대비하여 반드시 안전벨트를 착용하여야 한다. 흔히 소방대원들 중에는 안전벨트를 착용하는 것이 부끄럽다거나 또는 시간낭비라고 생각하는 대원을 볼 수 있다. 그러나 안전벨트를 착용하는 것이 결코 부끄러운 일이 아니며, 착용하는 데 소요되는 10여초의 시간이 대원의 생명과 안전을 보장하여 준다는 것을 알아야 한다.

5) 소음의 강도 : 휘파람→40dB, 세탁기→78dB, 시끄러운 식당→80dB, 지하철→90dB, 제트기→140dB.



소방차량 탑승시 안전벨트 착용

소방차량 탑승시 운전원 안전헬멧 착용 사례

라. 승차원의 안전확보

소방차의 출발은 모든 대원이 보호복을 착용하고 자리에 앉아 안전벨트를 착용한 상태에서 분대장의 출발신호에 따라 이루어져야 한다. 즉, 완벽한 안전이 확보되지 아니한 상태에서 출발해서는 안 된다는 것이다.

마. 소방차의 후진(後進)

소방차량의 후진이 필요한 경우 반드시 1명 이상의 보조자가 확보된 상태에서 실시하여야 하며, 이러한 것은 현장활동을 종료한 후 귀서준비를 하거나 또는 차고에 입고(入庫)할 경우에도 동일하다. 특히, 전장이 길어 외부로 돌출된 차량인 경우 운행 중이거나 이동 중에 사다리의 선단부분(先端部分)이 장애물에 부딪치지 않도록 주의하여야 한다.

바. 분대장의 역할과 태도

- 1) 분대장의 역할은 출동경보가 발령된 시점부터 시작된다.
- 2) 우선적으로 가장 중요한 역할은 정확한 사고지점을 확인하고 출동경로를 선정하는 것이다.
- 3) 출동 중에는 필요한 경우 운전요원의 보조역할을 할 수도 있어야 한다.
- 4) 운전요원이 운전에만 전념할 수 있도록 하여야 한다.
- 5) 분대장이 조급함을 보이거나 운전원을 재촉하지 않아야 한다.

- 6) 분대장 자신 스스로가 먼저 침착한 상태를 유지하여야 한다.
- 7) 운전자가 방어운전을 할 수 있도록 분위기를 조성한다.
(현장으로 출동하는 운전요원은 되도록 빨리 도착하려고 서두르는 경향이 있으며, 때로는 그들의 운전능력을 과신하는 경우도 있다)
- 8) 운전요원의 좋지 않은 운전태도는 분대장에게도 책임이 있다.

2. 방어운전(防禦運轉) 기법

방어운전(防禦運轉)은 안전한 차량운행을 위해 가장 중요한 요소 중의 하나이며, 차량운전자는 다음과 같은 주요사항을 인식하여야 한다.

가. 다른 운전자의 행동예측

- 1) 소방차 등의 긴급자동차가 1차선을 주행 중일 때 기타의 차량은 도로의 바깥차선으로 피양(避讓) 또는 양보한다는 것이다. 그러나 이것은 주행 중인 차량일 경우에만 가능하지 만약 신호대기(信號待期)나 혹은 주정차중인 차량의 경우에는 불가능하다.
- 2) 소방차량의 사이렌 소리와 경광등(警光燈) 불빛을 보면 운전자들은 다소 흥분된 상태가 되거나 초보운전자의 경우 1차선 내지는 소방차량의 주행방향을 향하여 급작스럽게 방향을 바꾸는 경우도 있으므로 극히 주의하여야 한다.
- 3) 창문을 닫고 주행 중인 일반차량은 실내 라디오 등의 소리로 인하여 소방차량의 사이렌 소리를 듣지 못하는 경우도 있기 때문에 주행에 방해가 되는 경우도 흔히 있다.
- 4) 교차로에 진입하는 소방차량은 위험한 경우 충분히 안전하게 정지할 수 있는 정도의 속도로 천천히 주행하여야 한다. 그리고 교차로에서 적색신호일 경우 일시적으로 멈추거나 서행상태(徐行狀態)로 주행하는 것이 모두의 안전을 위해 바람직하다고 할 수 있다.
- 5) 교통량이 많은 사거리나 4방향을 동시에 식별할 수 없는 교차로인 경우(Blind intersection) 즉각적으로 제동가능한 속도로 주행하는 것이 안전하다고 할 수 있다. 그러나 이러한 경우에도 모든 경보장치를 최대한 작동시키면서 서행(徐行)하는 것을 잊지 말아야 한다.

- 6) 사이렌, 경광등, 나팔소리(Horn) 등의 경보장치를 작동한다고 하더라도 도시의 소음이나 공사장의 소음 등으로 인하여 모든 운전자들이 전부 소방차량의 주행을 인지할 것이라는 완전한 기대는 하지 않는 것이 좋다.(소리의 masking 현상)

나. 충분한 시야(視野)의 확보

주행 중인 모든 방향의 도로상황을 보다 정확하고 신속하게 관찰하여야 하기 위해서는 충분한 시야를 확보하여야 한다.

- 1) 핸들보다 높은 위치에서 전면(前面)을 주시하며 넓은 시야를 확보한다.
- 2) 눈을 계속하여 움직인다.
- 3) 운전에만 정신을 집중한다.
- 4) 차량에 설치되어 있는 각종 경보장치를 적극 활용한다.

다. 급제동(急制動)의 예측

- 1) 주행속도(走行速度)는 차량의 정지거리와 밀접한 관련이 있다. 따라서 모든 운전 요원들은 해당 차량의 속도별 정지거리 및 정지시간을 정확히 파악하고 있어야 한다.
- 2) 총 정지거리는 정지를 하여야 할 상황을 인지한 후 브레이크를 밟고 차량이 완전히 정지하는 순간까지의 거리를 말하며, 운전자반응거리와 차량의 정지거리의 합을 말한다.
- 3) 운전자 반응거리란 차량의 운전자가 정지의 필요성을 인식한 후 운전자의 발이 엑셀레이터를 떠나 브레이크 페달을 밟는 순간까지의 주행한 거리를 말하며, 차량정지거리란 브레이크가 작동하여 차량이 완전히 정지될 때까지의 주행거리를 말한다. 주행속도가 빠를수록 운전자반응거리는 길어지고 운전자가 확보할 수 있는 시야는 좁아진다. (예: 시속 60km 주행 시에 시야는 약 60° 정도이나 시속 100km정도의 속도로 주행 시에 운전자가 확보할 수 있는 시야는 약 40° 정도로 좁아진다)
- 4) 총정지거리에 영향을 미치는 요소는 차량의 중량, 적재물의 정도, 차량의 전고, 전폭, 전장, 차량자체성능, 제동장치의 성능, 운전자의 반응속도, 도로의 포장상태, 우천여부, 결빙여부 등의 여러 요인에 의하여 달라진다.

- 5) 따라서 해당차량에 대한 총 정지거리는 해당차량의 운전자와 지휘자가 평소에 인식하고 있어야 한다.

라. 자동차의 미끄러짐 방지

운행 중인 소방차량의 미끄러짐은 대형사고와 연결될 가능성이 매우 높으며, 미끄러짐의 원인은 다음과 같다.

- 1) 소방차량의 과속(過速)
- 2) 소방차량의 적재중량(펌프차 적재장비, 수량)에 대한 부주의(不注意)
- 3) 장애물에 대한 대비부족(다른 차량 및 횡단중인 동물 등)

자동차의 미끄러짐 현상과 관련하여 타이어의 적정공기압(適正空氣壓)을 유지하는 것과 타이어의 마모상태를 수시로 확인하여 교체하는 것이 하나의 예방책이 될 수 있다.

마. 적재물의 중심이동(中心移動)에 관한 예측

- 1) 소방차량의 적재중량의 고려

소방차량의 안전운행을 위해 중요한 것 중의 하나가 적재물의 중심이동(中心移動)이다. 일반적으로 움직이는 물체는 계속 움직이려고 하고, 정지한 물체는 계속 정지하려고 하는 물리적인 원리가 소방차량에도 적용된다. 소방차량의 경우 끊임없이 속도와 방향이 변화하며, 그 내부에 적재되어 있는 적재물(물, 소화약제, 각종 장비 등)도 끊임없이 운동하려고 한다.

- 2) 소방차량의 구조의 고려

대개 전고(全高)가 높은 소방차량 또는 적재물이 소방차 상단부에 높이 적재되어 있는 차량일수록 제동거리가 길어지며 전도되기 쉽다. 이러한 현상은 과속, 급핸들 조작, 가파른 경사길의 부주의 운행 등에 의해서 발생되며, 각 차량에는 적재하중(積載荷重)과 높이를 초과하지 않는 정도로 적재하는 것이 중요하다. 또한 핸들의 조작은 항상 부드럽고 유연하게 하여야 한다는 것을 기억하여야 한다.

바. 악천후의 고려

- 1) 안전한 운행을 하기 위해 기상조건(氣象條件)도 충분히 고려하여야 한다. 즉, 당일(當日)의 도로조건이 결빙(結氷) 되어 있거나 혹은 젖어 있는 경우 운전요원은 극히 신중한 운전을 하여야 한다는 것이다. 이러한 조건하에서 고려하여야 할 사항은 운행상의 위험성, 도로의 조건에 따른 운행속도의 조절, 도로의 경사도, 도로표면의 상태 등이다. 특히 교량, 고갯길, 그늘진 장소, 눈발이 흩날리는 장소에 대해 사전에 정보를 확보하고 있어야 한다.
- 2) 결빙(結氷)된 도로에서의 차량 정지거리는 정상적인 도로에서 보다 훨씬 증가하므로 해당차량의 운전자는 결빙도로에서 각 차량의 속도별 정지거리를 사전에 파악하여 방어운전을 할 수 있도록 하여야 한다. (일반적으로 결빙지역에서의 정지거리는 정상적인 조건보다 3~15배정도 더 길어진다고 한다)

제3절 안전운행을 위한 환경적인 고려요소

소방차량의 안전운행을 위해 고려해야할 요소 중의 하나가 변화되는 환경요소이다. 즉 운행하고자 하는 곳이 도시지역인가, 농·어촌 지역인가 혹은 고속도로인가 등에 대한 고려가 있어야 한다는 것이다.

1. 도심지역에서의 운행

도심지역에서의 소방차량 운행에는 많은 위험요인들이 존재한다.

가. 급속한 교통량의 증가가 가장 대표적인 위험요인이다.

나. 도심소음(都市騒音)의 경우 소방차량의 경보음향 전파의 방해 및 무전기 음향의 수신(청취)을 방해하여 현장활동에 장애를 준다.

특히 고층빌딩이 즐비한 도심지역에서는 소방차량의 경보장치가 정상기능을 발휘하지 못하는 경우가 허다하다. 이러한 현상은 고층건물의 음향전달 방해 및 도심소음 때문에 발생된다. 결국 음의 산란(散亂)현상 때문에 일반차량이 정확히 소방차량의 주행위

치(走行位置)를 파악하지 못한다는 것이다.

다. 대도시의 운전자는 농·어촌지역의 운전자보다 다소 성급하거나 교통법규를 빈번히 위반하는 경향이 있다. 흔히 정지신호(停止信號)를 무시하고 주행하거나 교차로에서 황색신호 상태에서는 더욱더 가속(加速)하는 경향이 있다.

라. 소방차량의 운전자는 교차로에서 절대적으로 서행(徐行)하여야 한다. 왜냐하면 신호등을 절대적으로 신뢰하기에는 너무나 많은 위험요인들이 존재하고 있기 때문이다.

마. 도심지역에서의 또 하나의 문제는 일반운전자들의 주정차 위반사례가 많다는 것이다. 주정차가 허용되지 않는 도로에 불법으로 주정차를 하거나 혹은 소화용수시설(消火用水施設) 부근에 주정차를 하기도 한다.

바. 출퇴근시간의 교통체증은 특히 심각한 문제 중의 하나이므로 현장도착 시간을 최대한 절약할 수 있는 출동경로 즉, 체증이 없는 도로, 이면도로 등을 선정하여 출동하는 것이 더 현명한 방법이라고 할 수 있다.

2. 농·어촌지역에서의 운행

농·어촌지역에서의 운행에 있어서도 여러 가지 소방활동 장애요인이 존재한다.

가. 도로의 폭이 좁다는 것이며, 이것은 교통량이 많거나 혹은 일반교통사고가 발생된 경우 신속한 소방차량의 현장 도착에 큰 장애요인으로서 작용된다.

나. 해빙기·우천 시 갓길 지반 붕괴, 갓길의 협소, 추락방지용 안전시설의 불충분, 가로등의 미설치 등과 같은 장애 요인들이 있다.

다. 안전이 확인되지 않은 각종 노후부실교량이 존재한다.

라. 생업과 관련된 각종 농(어)업용 기계가 도로가에 주정차되어 있다.

마. 도로를 농(어)업의 생산 공간으로 활용한다.(농작물건조 및 적재 등)

3. 고속도로에서의 운행과 활동

고속도로 등에서의 사고는 주로 교통사고이거나 교통사고로 인한 화재사고가 대부분을 차지하고 있다. 따라서 다수의 사상사(死傷者)가 발생하거나 위험물과 관련된 사고의 위험성이 매우 높으며, 현장활동 시 주요한 고려요소는 다음과 같다.

가. 접근이 곤란하다.

사고현장에 도착하기 위해서는 반드시 톨-게이트(Toll-Gate)를 통과하여야 하기 때문에 접근하는 데 많은 시간이 소요될 수 있다.

나. 화재발생시 지속적인 소방용수의 확보가 곤란하다.

고속도로 상에는 소화전(消火栓)이나 저수조 등의 소방용수 시설이 설치되어 있지 않거나 비록 있다고 하더라도 시설의 활용에 있어 극히 제한적일 수 밖에 없다.

다. 활동 시 대원들이 통행차량의 위험에 노출된다.

고속도로 상에서의 현장활동 시 대원들이 위험에 노출될 가능성이 있다고 판단될 경우 교통의 흐름을 차단하거나 통제하여야 한다.

라. 유관기관과의 협조 하에 소방대원의 안전을 확보하여야 한다.

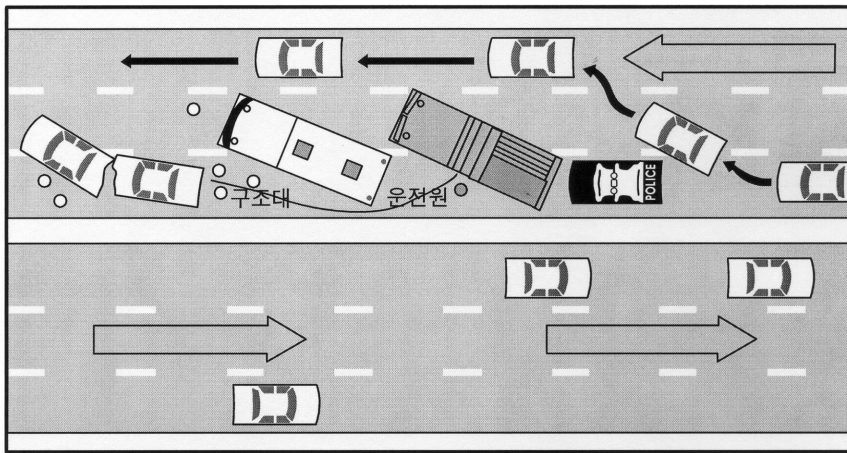
경찰관으로부터 통행하는 차량으로부터 소방대원들을 보호할 수 있도록 요청하여야 한다.

마. 고속도로 상에서의 주차방법에 유의한다.

- 1) 주 교통흐름을 어느 정도 차단할 수 있는 위치에 주차한다.
- 2) 주차각도는 차선의 방향으로부터 비스듬한 각도(角度)를 가지고 주차하여 진행하는 차량으로부터 대원의 안전을 확보하도록 한다.
- 3) 주차된 소방차량의 앞바퀴는 사고현장과 일직선이 아닌 방향으로 즉 사고현장의 외곽 부분으로 향하도록 정렬하여 진행하는 차량이 소방차량과 충돌할 경우 소방차량에 의해 대원이 부상당하지 않도록 하여야 한다.
- 4) 사고현장의 완벽한 안전확보를 위하여 사고현장(작업공간 15m정도 포함)으로부터 제

한속도에 비례하여(예: 제한 속도 100km/h의 도로인 경우 100m가량)정도 떨어진 위치에 추가의(경찰차 등) 차량을 배치시켜 일반 운전자들이 서행하거나 우회할 수 있도록 조치하여야 한다.

- 5) 대원들이 통행차량으로부터 부상을 당하지 않도록 주의를 환기하여야 한다.
- 6) 대원들이 방호(防護)된 활동영역을 가급적 벗어나지 않도록 한다.



차량배치와 대원안전확보 : 고속도로사고시 소방차량은 차선과 비스듬한 각도(약 45도)를 형성하는 방향으로 배치시켜 주행 중인 일반 차량으로부터 대원을 보호하여야 한다.

고속도로 사고시 차량배치



핵심요약

- 안전운행의 고려요소, 안전운전과 방어운전, 안전운행을 위한 환경적 요소를 확인한다.
 - 안전운행의 고려요소는 차량과 장비의 관리유지, 통행인과 승차한 대원의 안전, 출동경로의 선정, 도로교통법규 준수, 차량의 성능과 특성, 도로의 장애요인과 방어운전, 긴급자동차의 운행 등을 들.
 - 안전한 운전은 운전요원의 태도, 차량 내에서 안전, 승차원의 안전, 후진 시 안전, 분대장의 역할과 태도가 중요함.
 - 방어운전은 다른 운전자의 행동예측, 충분한 시야확보, 급제동의 예측, 자동차의 미끄럼 방지, 적재물의 중심이동, 악천후의 고려가 중요함.
 - 안전운행을 위해서는 도심지역과 농 어촌지역, 고속도로 등에서 유의사항을 확인 실행함.

제9장 화재현장에서의 안전



학습 목표

화재현장에서 안전과 표준작전절차, 안전담당관, 붕괴사고 예방과 단계별 고려요소, 화재의 성장단계별 현상, 인명구조시의 안전을 살펴본다.

1. 화재현장에서 안전의 중요성과 사고발생 유발요인, 표준작전절차의 활용함.
2. 현장지휘관의 책임, 안전담당관의 지정과 역할의 확인함.
3. 붕괴사고의 예방과 단계별 고려사항의 확인함.
4. 화재의 성장단계별 현상과 대응의 확인함.
5. 인명구조시의 안전을 위한 행동을 확인함.

제1절 화재현장에서의 안전과 표준작전절차(SOP)

1. 화재현장에서의 안전의 의의

가. 의의와 중요성

소방대원들의 부상이나 사망사고가 가장 많이 발생하는 곳은 당연히 화재현장(火災現場)이며, 따라서 화재현장에 대한 각종훈련, 계획, 조사, 교육 등이 매우 중요하다고 할 수 있다. 또한 화재현장에서 발생하는 각종 사고를 방지하기 위하여 그리고 안전한 현장활동을 하기 위하여 사고현장과 관련 있는 정보와 지식을 충분히 가지고 있는 것도 매우 중요한 요소 중의 하나라고 할 수 있다. 만약 화재현장과 관련된 충분한 지식과 정보(구조물의 특성, 가연물의 유형, 특별한 위험요인 등)를 가지고 있지 못할 경우 화재의 양상(樣相)에 대한 예측은 매우 곤란하게 될 것이다.

나. 화재현장에서의 사고발생 유발요인

현장에서의 지휘체계의 미정립 및 불충분한 가동, 대상물에 대한 불충분한 정보와 지식,

화재와 관련된 잠재적 위험요인의 간과(看過), 구조물에 미치는 하중(荷重)에 대한 잘못된 판단, 잘못된 명령, 착각(錯覺), 현장에서의 무질서(無秩序), 훈련 및 능력의 부족 등도 사고의 발생확률을 높이는 요인으로 작용한다.

2. 표준작전절차(SOP)의 수립과 활용

가. 표준작전절차의 의미

표준작전절차(SOP : Standard Operating Procedures)라는 것은 어떠한 사고의 유형에도 적용가능한 표준적인 소방활동 지침을 말한다. 즉 각종 사고시 핵심적(공통적)으로 적용할 수 있는 가장 기본적이고 필수적인 절차를 말하는 것이다.

나. 표준작전절차와 사고의 방지

표준작전절차는 현장에서 활동하는 모든 조직구성원들 모두에게 전파되고 교육되어야 만 효과적인 진압활동과 지휘활동을 할 수 있게 된다. 그리고 대원들이 이러한 절차에 익숙해져 있을 경우 현장에서의 혼선 및 혼란은 훨씬 줄어들 수 있을 것이다. 왜냐하면 대원들이 그들의 임무를 충분히 숙지(熟知)하고 있을 경우 다음의 행동요령에 대해 충분한 준비를 할 수 있기 때문이며, 이로 인해 발생 가능한 사고를 예방할 수 있다.

다. 화재현장에서의 표준작전절차의 활용

화재의 종류와 양상(樣相)이 매우 다양하고 예측이 곤란하다고 하더라도, 거의 대부분의 화재는 그 양상에 있어서 일정한 유사성(類似性)을 가지면서 발생된다. 이러한 유사성 때문에 표준화된 작전절차 즉 표준작전절차(SOP)가 적용될 수 있는 것이다. 그래서 현장의 지휘관 및 모든 구성원들은 이러한 표준작전절차를 철저하게 숙지하고 있어야 하며, 이것에 기초하여 행동계획을 수립할 수 있어야 한다.

라. 표준작전절차 수립시의 관심사항

표준작전절차를 수립 시 “안전”을 최우선의 관심사로 두어야 하며, 모든 상황에 적용 가능한 것이어야 한다.

제2절 현장안전점검관(현장안전담당)의 지정과 활용

안전담당간부는 미국의 사고지휘체계(ICS)⁶⁾하에서 구성된 주요 5개 기능인 지휘기능, 작전기능, 계획기능, 병참기능, 재정/행정기능 중에서 지휘기능에 중점을 두고 있다고 할 수 있다.

1. 현장지휘관의 책임

현장활동 중에 일어나는 모든 상황들에 대한 총괄적인 책임을 진다. 또한 소방현장에서 발생하는 모든 안전사고에 대해서도 총괄적인 책임을 지며, 현장지휘관의 중요한 책임 4가지 중 가장 우선적인 책임은 소방대원의 안전과 생존의 보장이라고 할 수 있다.

2. 현장안전점검관(현장안전담당)의 활용

사고현장에서의 안전에 관한 총체적인 책임은 현장지휘관이 진다. 그러나 한사람의 지휘관이 모든 것을 다 처리할 수 없으므로 현장지휘관은 현장활동의 안전성과 명령의 신속이행(迅速履行)을 위하여 단위조직 지휘자(指揮者)들을 적극 활용하여야 한다.

이렇게 함으로써 현장에서 활동 중인 대원들의 안전을 보다 더 확실하게 보장할 수 있게 된다. 우리의 경우 소방서장이 현장지휘부를 설치하고 지휘부에 보좌관, 전령, 정보원, 안전담당자 등을 두어 화재현장과 화재조사보고업무를 효율적으로 운영할 수 있도록 방호활동전술지침에 명문화하고 있다.

가. 현장안전점검관(현장안전담당)의 지정

안전담당간부가 지휘관에게 전문적인 조언가의 역할을 수행함으로써 안전에 관한 그의 역할을 충실히 이행(履行)할 수 있게 할 수 있다. 현장지휘관과는 달리 안전담당간부는 안전 분야에 대해 보다 더 전문적이고 세밀하게 통제 및 감시업무를 수행할 수 있다. 즉 현장에 근접하여 안전이행(安全履行) 여부를 확인함으로써 현장지휘관이나 다른 간부들이 간과(看過)하거나 놓칠 수 있는 부분을 발견할 수 있다는 것이다.

6) ICS : 「Incident Command System(사고지휘체계)」의 약자임.

나. 안전담당간부의 권한행사

권한의 행사는 지휘계통에 따라 수행하여야 함에도 불구하고 안전 분야에 있어서 안전담당간부는 현장에서의 불안정한 행동과 조건을 발견한 경우 지휘계통을 거치지 아니하고 즉시 중단시킬 권한 및 현장지휘관이 실행하고자 하는 방법과 계획이 안전하지 않다고 판단될 경우 거부권(拒否權)을 행사할 권한도 가지고 있어야 한다.

다. 현장지휘관의 보좌기능 수행

지휘관이나 안전담당간부에게 있어 최우선의 관심사는 대원들의 안전 확보에 있기 때문에 가능하면 함께 일하면서 현장의 지휘관을 보좌하는 것이 바람직하다고 할 수 있다.

라. 안전담당간부의 기능과 범위확대 운영

사고의 규모가 크거나 현장의 상황이 매우 위험한 경우 안전을 위하여 1인 이상의 안전담당간부가 지정될 수도 있다. 극히 위험하거나 비일상적인 사고현장에서는 안전기능(安全機能)을 보강시켜야 한다는 것이다. 우리의 경우 대형화재시는 안전담당관을 소방과장(보좌 : 장비팀장)으로 지정운영할 수 있으며 안전담당관은 각 방면별로 보조자를 둘 수 있도록 방호활동 전술지침에 명문화하고 있다.

제3절 붕괴사고의 예방과 현장 활동 단계별 전술적 고려사항

1. 붕괴사고의 예방

가. 사전활동계획수립과 붕괴사고와의 관계

사전활동계획을 수립함에 있어 기본적으로 가져야 하는 전제는 ‘모든 대상물은 그 자체가 위험하다는 것’이다. 다시 말하면 절대적으로 안전한 대상물은 없다는 것이다. 따라서 사전에 대상물에 대한 각종 자료수집 활동 시에는 당해 건물의 구조적 결함(缺陷)과 문제점, 화재 시에 위해(危害)를 가할 수 있는 문제요인들을 사전(事前)에 파악하고 있어야 한다. 왜냐하면 화재 시 발생할 수 있는 건물의 붕괴를 예상하여야 하기 때문이다.

나. 붕괴사고 예방을 위해 사전활동계획수립시 조사(調査)하여야 할 사항

- 1) 벽돌조 건물인 경우 벽의 균열 유무
- 2) 내력벽(耐力壁)에 있어서 철근의 적정성 여부(전문장비와 기술자를 필요로 한다.)
- 3) 몰탈과 벽돌의 약화 여부
- 4) 시멘트를 이용한 벽의 보강 여부
- 5) 보호되지 않은 강철빔이나 트러스의 존재유무(538℃의 열을 받으면 22cm정도가 신장된다. 그래서 트러스가 붕괴된다.)
- 6) 목재로 된 I-Beam(빔)이나 트러스의 유무(목재로 된 빔이나 트러스는 낮은 열에도 쉽게 붕괴될 수 있다.)
- 7) 증량물을 지탱하고 있는 마루의 유무
- 8) 대리석으로 된 계단의 유무(물에 젖은 대리석은 매우 미끄러워 전도, 전락의 우려가 있다.)
- 9) 기타 현장활동 상 장애요인이 될 수 있는 요소 등

앞에서 언급한 사항들이 사전활동계획 수립 시 발견되었다면 보다 더 철저한 대응준비가 되어 있어야 하며, 실제 화재 시에는 위의 요인들로 인하여 발생할 수 있는 붕괴사고에 대해 매우 철저한 대비가 있어야 한다.

다. 천장의 붕괴사고

화재현장에서 천장으로부터의 낙하붕괴물에 의해 부상을 당하는 경우가 흔히 있다. 그리고 천장이 붕괴되면서 지붕까지 동시에 붕괴되는 경우가 발생되기도 한다. 따라서 실내에 진입하여 활동하는 대원은 천장의 붕괴 가능성을 수시(隨時)로 확인하여야 하며, 불가피하게 지붕 위에서 작업에 임하는 대원 또한 마찬가지로 위험성 여부를 사전에 발견하고 이에 대한 대책을 수립하는 것이 필요하다.

라. 건축물의 용도변경 등에 관한 고려

사전활동계획(事前活動計劃)을 수립함에 있어 또 하나 중요한 것은 해당 건물이 건축되고 난 이후 발생한 변화에 대해서 파악하여야 한다는 것이다. 불법적으로 용도 내지는 구조를

변경시킨다는 것은 화재발생시 다수의 인명사고를 유발시킬 가능성을 내포(內包)하고 있음을 암시한다.

바닥면적의 증가, 구획(區劃)의 증가, 건물간의 상호연결(相互連結), 용도의 변경, 화재안전상 위험한 물질의 사용 등이 이에 해당된다. 위에서 언급한 이러한 모든 위험요소들은 사전활동계획 단계에서 고려되어야 하며, 실제 사고현장에서 대원들의 안전을 보장하기 위해 적극적으로 활용되어야 한다. 만약 사전활동계획이 완벽히 수립되었다면 현장지휘관이 보다 더 신속하고 정확하게 상황을 판단할 수 있게 될 것이다.

사전활동계획을 통하여 다양한 건축형태, 주거형태, 건물의 형태에 관하여 익숙해짐으로써 현장지휘관의 위치에 있는 사람은 보다 더 많은 필요한 정보를 입수할 수 있게 되며, 결과적으로 보다 더 효과적인 상황판단(狀況判斷) 및 현장지휘활동(現場指揮活動)을 수행할 수 있을 것이다.

2. 현장활동단계별 전술적 고려사항

상황의 판단을 위한 전술적 요소의 고려는 신고를 접수하는 단계부터 시작되며, 각 단계별로 고려해야 할 주요 사항은 다음과 같다.

가. 신고의 접수단계

신고의 접수단계에서부터 현장의 상황에 대한 판단이 시작되며, 다음과 같은 많은 사항들을 고려하여야 한다.

- 1) 신고의 종류판단
- 2) 신고자의 위치와 출동경로의 선정(選定)
- 3) 사전활동계획에서 수집된 각종 정보의 검색(檢索)과 활용
 - 가) 건물규모 및 건축년령(建築年令)
 - 나) 건축형태(建築形態)
 - 다) 소방시설의 유무 및 종류

- 라) 대상물의 용도(用途)
- 마) 인명위험 유무
- 바) 특별한 위험요소의 존재여부
- 4) 활용장비의 결정
- 5) 소방용수의 선정계획(選定計劃)
- 6) 기타 고려사항
 - 가) 현재일시
 - 나) 기상상태
 - 다) 사고건물의 지형 및 지세(地勢) 등

나. 출동단계

소방대가 사고현장으로 출동하는 단계에서 고려해야 할 주요사항은 다음과 같다.

- 1) 출동경로의 적정성에 대한 재평가(再評價)
- 2) 타대(他隊)의 도착시간에 대한 고려
- 3) 소화전(消火栓)과 소방용수(消火用水)의 확보에 대한 내용
- 4) 현장으로의 진입경로(進入經路)에 관한 내용(장애물의 유무 등)
- 5) 사전활동계획에 따른 소방차량의 주차위치 선정(選定)
- 6) 현장관계자로부터의 추가정보 입수
- 7) 응원출동(應援出動)의 필요성 여부 등

다. 도착단계

일단 현장에 도착하게 되면 사전활동계획에 따른 정보를 출동단계에서 입수한 정보 및 현장도착시의 개략적인 상황판단에 따른 정보와 결합시켜 작전방법 및 형태를 결정하여야 한다. 현장에 도착하는 단계에 있어서는 다음과 같은 사항들을 재평가(再評價) 하여야 한다.

- 1) 특이한 징후(연기, 폭발의 가능성 등)
- 2) 위험요인의 발견 및 결정
- 3) 화염과 연기의 형태분석(백드래프트의 가능성 판단)
- 4) 화재의 확산경로(擴散經路) 점검 및 판단
- 5) 건물구조의 판단
- 6) 외부화염의 양상판단(樣相判斷)을 통한 내부 상황의 추정

라. 신임 소방대원의 안전에 관한 감독

모든 소방대원들은 현장활동에 참여하기 전에 반드시 충분한 교육과 훈련을 받아야 한다. 그러나 신임 소방대원이 적절한 훈련을 이수(履修) 하였다고 하더라도, 반드시 경험이 충분한 대원들과 팀을 이루면서 그들의 감독하에서 활동하도록 하여야 한다.

- 1) 현장활동 또는 교육훈련시 신임대원이 안전 감독의 범위를 벗어나지 않도록 하여야 한다.
- 2) 신임대원이 항상 보호 장비를 정확히 착용 또는 사용하고 있는지를 감독하여야 한다.
- 3) 신임대원이 안전하게 활동을 하고 있는지를 감독하여야 한다.
- 4) 신임대원의 부정확한 행동과 나쁜 태도가 습관화되지 않도록 신속하게 지적하여야 한다.
- 5) 쉽게 흥분하거나 당황하는 신임대원들에 대한 감독과 지도를 철저히 하여야 한다.

제4절 화재의 성장단계별 주요 화재현상의 이해와 대응

화재의 성장단계(成長段階)를 파악하는 것은 전술적 우선순위(戰術的 優先順位)를 결정하는데 있어 매우 중요한 요소 중의 하나이다. 예를 들어 화재의 단계가 열기 및 연기가 충분한 최성기(最成期)에 있는 경우 인명을 구조하기란 그리 쉽지 않기 때문이다.

또한 화재의 성장단계 판단은 공격과 대피에 관한 판단기준이 된다. 다음은 화재성장단계에서 주로 관련되는 3가지의 주요한 현상인 플래시오버(Flash over), 롤오버(Rollover), 역화(Backdraft)에 대해 설명하고자 한다. 위의 3가지 주요 화재현상에 대하여 소방대원들은

철저한 이해가 있어야 한다. 또한 현장의 지휘관은 지속적으로 이러한 현상의 발생징후(發生徵候)를 관찰하여 대원들에 대한 안전을 확보하여야 한다.

1. 플래시오버(Flashover) 현상

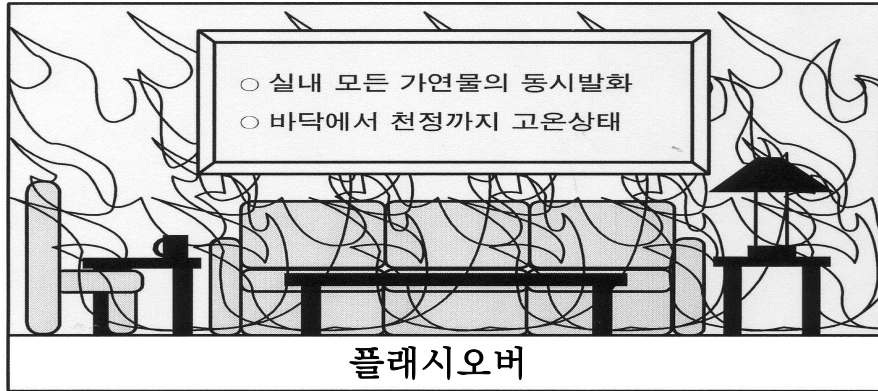
플래시오버현상이란 대류(對流)와 복사(輻射) 또는 이 두 가지의 결합에 의해 충분히 가열된 공간에 있는 가연물이 발화(發火) 되는 것을 말하며, 이 공간 안에 있는 가연물은 발화점까지 가열되어 있는 상태에 있기 때문에 동시연소(同時燃燒)의 형태를 가진다. 다시 말하면, 실내 전체가 발화온도까지 미리 충분히 가열된 상태에서 한순간에 화재로 뒤덮이는 상태를 말한다.

플래시오버의 징후는 다음과 같다.

- 가. 실내의 조건이 현저한 자유연소(自由燃燒)의 단계에 있는 경우
- 나. 열 때문에 소방대원이 낮은 자세를 유지할 수밖에 없는 경우
- 다. 실내에 과도한 열이 축적되어 있는 경우
- 라. 열기가 느껴지면서 두렵고, 뜨겁고, 진한 연기가 아래로 쌓이는 경우



플래시오버(Flashover) 이전의 상황



플래시오버(Flashover)의 상황

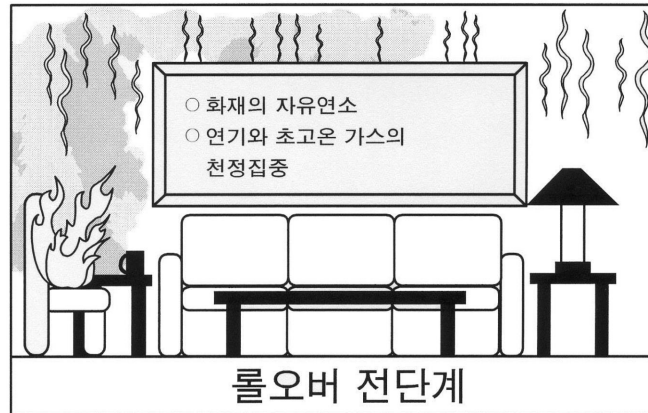
이러한 징후(徵候)가 관찰되었을 때 지휘자는 특별한 조치를 취해야 한다. 다시 말하면 공간을 냉각시키기 위한 방수작업(放水作業)과 배연작업(排煙作業)을 실시하여야 한다는 것이다. 만약 열의 축적이 계속 진행되는 상황에서 무리하게 진화작업(鎮火作業)을 계속하는 경우 플래시오버 현상으로 인해 부상을 당할 수 있는 가능성이 매우 높기 때문에 즉시 대피시키도록 한다.

경우에 따라서 화염이 보이지 않다가 벽이나 천장 등으로부터 갑자기 돌출하여 플래시오버와 유사한 상태를 조성하기도 한다. 따라서 지휘자는 활동환경에 대하여 지속적인 상황평가를 실시하여야 한다.

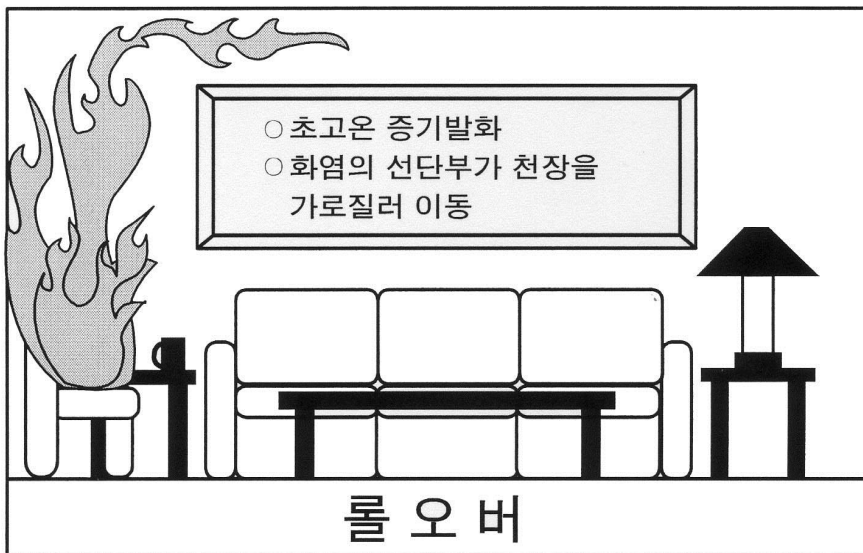
2. 롤오버(Rollover) 현상

롤오버(Rollover)란 화재의 초기단계에서 발생된 가연성 가스가 산소와 혼합하여 천장부분에 집적(集積)될 때 발생하며, 뜨거운 가스가 실내공기압의 차이에 따라 천장을 구르면서 화재가 발생되지 않은 지역으로 굴러가는 현상을 말한다. 가연성 가스가 발화온도에 도달하여 발화되면 화재의 선단부(先端部)는 급속한 속도와 화염을 형성하면서 천장으로 지나가게 된다. 따라서 호스를 연장하거나 실내에 진입할 경우 낮은 자세를 유지하라는 것은 바로 이러한 이유 때문이다.

플래시오버와 롤오버의 가장 큰 차이점은 롤오버의 경우 플래시오버와 같이 복사열에 의한 영향이 그리 많지 않다는 것과 한순간에 전체지역을 발화시키는 원인이 되지 않는다는 것이다.



롤오버(Rollover) 이전의 상황



롤오버(Rollover)의 상황

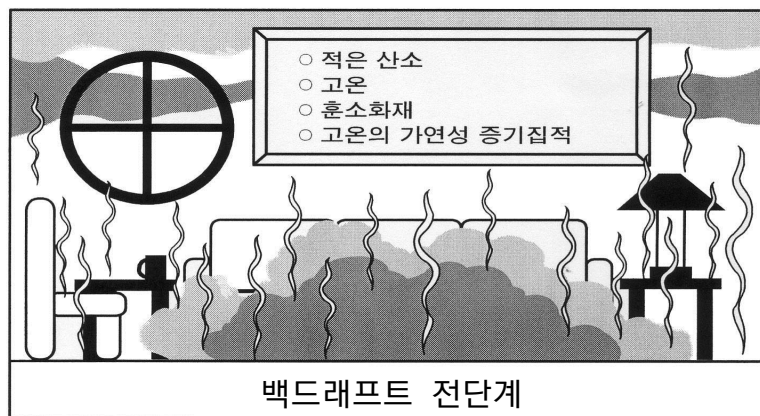
3. 백드래프트(逆火, Backdraft) 현상

백드래프트는 산소가 부족하거나 훈소상태(燻燒狀態)에 있는 실내에 산소가 일시적으로 다량(多量) 공급될 때 연소가스가 순간적으로 발화하는 현상이라고 정의할 수 있으며, 강한 폭발력을 가지고 있다.

주로 백드래프트현상은 폐쇄된 공간 내에서 화재가 진행될 때, 연소과정에 필요한 산소가 부족한 상태일 때 발생 가능성이 매우 높다.

플래시오버와 백드래프트의 차이점은 현존(現存)하는 산소의 양이다. 플래시오버에 있어서는 연소에 필요한 충분한 산소가 있으며, 플래시오버가 발생하기 전의 화재는 자유연소 형태이다. 반면에 백드래프트현상에 있어서는 연소에 필요한 산소가 부족하며, 화재는 훈소형태를 띄고 있다. 즉 산소가 부족한 상태를 말한다.

일반적으로 대부분의 화재현장은 비교적 충분한 산소의 공급이 이루어지고 있어 백드래프트현상이 흔히 발생되지는 않는다(지하화재의 경우는 제외). 그러나 폐쇄된 공간에서 발생한 경우 산소가 부족해지면서 훈소상태(燻燒狀態)에 접어들며, 일산화탄소와 탄화된 입자, 연기 및 부유물을 포함한 가스가 축적되게 된다. 이러한 조건에서 건물내부로 산소가 공급되면 화재가 확대되거나 폭발현상이 발생될 수 있다. 일산화탄소의 경우 그 자체가 연소가능 하며, 발화점은 609°C ($1,128^{\circ}\text{F}$; 882 K) 정도이다.



백드래프트(Backdraft) 이전의 상황



백드래프트(Backdraft)의 상황

가. 백드래프트의 징후

백드래프트의 징후는 건물의 내부 및 외부에서 관찰할 수 있다.

1) 건물의 외부에서 관찰할 수 있는 백드래프트의 징후

- 가) 연기가 균열된 틈이나 작은 구멍을 통하여 빠져 나옴 건물 안으로 연기가 빨려 들어가는 현상이 발생된 경우
- 나) 화염은 보이지 않으나 창문이나 문이 뜨거운 경우
- 다) 유리창의 안쪽으로 타르와 유사한 기름성분의 물질이 흘러내리는 경우
- 라) 창문을 통해 보았을 때 건물 내에서 연기가 소용돌이치고 있는 경우

2) 건물의 내부에서 관찰할 수 있는 백드래프트의 징후

- 가) 압력차이로 인해 공기가 내부로 빨려 들어가는 듯 한 특이한 소리(호각소리와 유사)가 들리는 경우
- 나) 연기가 건물 내로 되돌아가거나 맴도는 경우
- 다) 연기가 아주 빠르게 소용돌이치는 경우
- 라) 훈소 상태에 있는 뜨거운 화재인 경우
- 마) 산소공급의 감소로 약화된 불꽃이 관찰될 경우

3) 백드래프트현상으로 인한 사고의 예방과 지휘

지휘관은 현장의 상황에 적절한 전술의 적용을 통하여 백드래프트현상의 발생을 방지할 수 있다. 백드래프트현상의 방지를 위해서는 지붕을 통한 수직배연이 매우 효과적이거나 수직배연활동을 하기 전에 창문이나 문을 통한 수평진입(水平鎮壓)이나 배연(排煙)이 이루어져서는 안 된다. 즉, 호스를 연장하여 진입하려는 지점의 측면에서 준비하고 있어야 한다는 것이다.

만약 지붕에서의 배연활동을 할 경우에는 내부진입활동과의 타이밍의 조화는 매우 중요하다. 왜냐하면 부적절한 전술의 적용으로 인하여 소방대원이 플래시오버나 백드래프트(逆火)의 상황에 종종 빠지는 경우가 있기 때문이다.

제5절 인명구조활동시의 안전

1. 인명구조(人命救助)활동시의 안전행동 지침

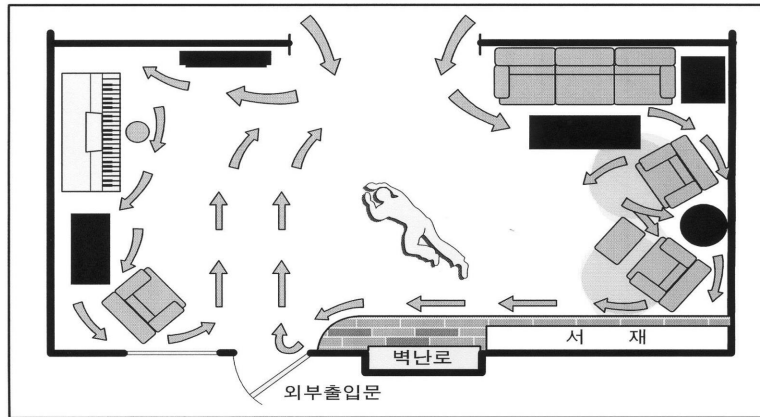
소방(구조)대원은 업무의 특성상 인명이 위험한 상황이 처해 있는 현장에서 활동하여야 하며, 만약 인명이 위험에 처해 있는 경우 최우선적으로 인명구조 활동을 실시해야 한다. 그러나 구조대원은 이러한 위험상황이 더 위험한 상황으로 반전(反轉)되지 않도록 하기 위하여 냉철하고 정확한 판단 하에서 최대한 안전하게 현장활동에 임해야 한다. 불안정한 상태에서의 성급한 구조활동의 전개는 구조 대상자 뿐만 아니라 소방(구조)대원에게도 치명적인 결과를 초래할 수 있으므로 최대한 안전하고 침착한 행동으로 구조활동에 임해야 한다.

가. 인명검색시의 안전행동 지침

다음은 건물 내에서 인명검색(人命檢索)이나 구조활동(救助活動)을 시도하기 전에 반드시 숙지해야 할 안전행동지침들에 대한 사항이다.

- 1) 화재가 상당히 진전되었거나 발화건물의 상태가 너무 열악하여 구조대원의 생명이 매우 위험한 경우 절대 진입해서는 안 된다. 그러한 상황 하에서 구조 대상자가 살아 있다는 것은 거의 불가능하기 때문이다.

- 2) 백드래프트의 가능성이 있는 경우 배연(排煙)이 이루어지고 난 후에 진입(進入)을 시도하여야 한다. 배연이 이루어지기 전에 진입을 시도할 경우 백드래프트현상으로 인하여 심각한 부상을 초래할 수 있다.
- 3) 항상 공기호흡기를 포함하여 완전한 보호복을 착용하여야 한다.
- 4) 항상 팀을 지어서 활동하여야 하며, 대원 간에 지속적인 연락을 취해야 한다. 동료대원의 안전에 대한 책임은 모든 대원에게 있음을 명심한다.
- 5) 계획성 있는 행동이어야 하며, 맹목적으로 행동하지 않는다. 왜냐하면 계획적으로 활동하는 것이 방향 감각을 잃어버릴 가능성을 줄여주기 때문이다.
- 6) 검색에 투입된 모든 대원을 위한 2차 대피수단이 준비되어 있어야 한다.
- 7) 발화층(發火層) 상층부(上層部)에서 활동할 때는 언제든지 방수할 수 있는 소방호스를 가지고 있어야 한다. 호스는 화재진압에 사용할 수도 있고, 엄호용으로도 활용할 수 있기 때문이다.
- 8) 실내로 들어가는 입구에 표시를 하고, 방안으로 들어갈 때 회전한 방향을 기억해야 한다. 빠져 나오기 위해서는 반대방향으로 회전해야 한다.
- 9) 문을 개방하기 전에 손등으로 문을 만져보아 열기가 있는지 확인해야 한다.
- 10) 낮은 자세를 유지하고 조심스럽게 이동해야 한다.
- 11) 모든 감각을 동원하여 경계를 늦추지 말아야 한다.
- 12) 뜨거운 부분과 약해진 부분은 조심해야 한다.
- 13) 항상 벽을 따라서 움직여야 한다.
- 14) 화재가 확대될 가능성이 없다고 판단되는 경우 창문을 개방하여 열과 연기를 배출시켜야 한다.
- 15) 검색이 완료되면 소속 지휘자에게 신속하게 이상 유무를 보고한다.



검색활동을 실시하기 전에 사전에 검색경로를 설정하여야 하는 것이 안전하다.

검색경로 설정

나. 방향상실시의 안전행동

인명검색 활동 중 방향을 잃었다면 최대한 침착성을 유지한 상태에서 벽을 따라 처음에 들어왔던 출입문 방향으로 이동하여야 한다. 왜냐하면 거의 대부분의 경우에 있어 벽을 따라 이동 할 경우 진입하였던 출입문을 발견할 수 있기 때문이다.

다. 소방로프를 활용한 안전확보

구조대원이 로프를 가지고 들어왔다면 그것을 따라 나가면 된다. 로프는 구조대원이 밖으로 나갈 수 있게 해주는 가장 확실한 방법이므로 로프를 절대 버려서는 안 된다.

라. 손전등을 활용한 안전확보

항상 휴대용 손전등을 휴대하여야 한다. 왜냐하면 구조 대상자를 발견하는 데 사용할 수도 있지만, 위급한 경우 자신의 위치를 알리는 데 사용할 수 도 있기 때문이다.

다시 말하면 구조대원이 스스로 위험한 상황에 처해 있다고 느낄 경우 손전등을 바닥에 놓아 빛이 천장을 비추도록 하여 자신이 위험한 상황에 처해 있다는 것을 알리는 데 활용할 수 있다는 것이다. 그러나 이러한 신호체계는 동료들 간에 상호 충분히 숙지하고 있어야만 그 효과를 발휘할 수 있다.

마. 출입문 개방 시의 안전확보

- 1) 출입문은 조심스럽게 천천히 개방하여야 하며, 열기를 확인하기 위하여 문을 먼저 만져 보아야 한다.
- 2) 문의 정면에 위치해서는 안 되며, 한쪽으로 비켜 선 낮은 자세를 유지하며 천천히 문을 열어야 한다. 이렇게 함으로써 문 뒷 편에 있는 화염과 연소생성물이 머리 위로 지나갈 수 있게 할 수 있다.
- 3) 출입문을 안쪽으로 열기가 힘들다고 해서 문을 발로 차지 말아야 한다. 왜냐하면 구조 대상자가 대피하기 위해 문 근처에 있는 경우 더 큰 부상을 당할 수도 있기 때문이다.
- 4) 건물을 통하여 이동할 때는 악화되었거나 위험한 상황이 연출될 수 있는 조건들을 지속적으로 관찰하여야 한다. 특히 진행방향 앞부분의 바닥이 안전한지를 손이나 도구를 이용하여 지속적으로 확인하여야 한다.

2. 기타 현장활동 시의 안전지침

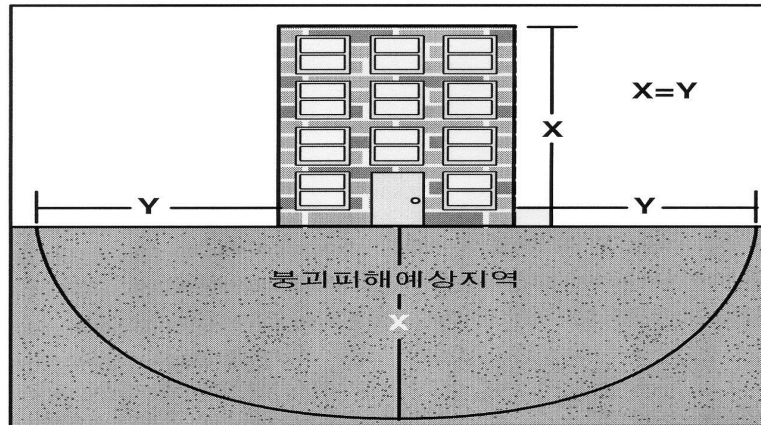
가. 공중에서의 방수활동 시 유의사항

고가사다리차나 굴절소방차량을 이용하여 공중에서 화염부분으로 방수할 경우 인위적인 혹은 자연적인 배연구(排煙口)를 절대 차단해서는 안 된다. 이러한 경우 실내에서 작업하는 대원들이 역류현상이나 방수된 물줄기 등으로 인해 다칠 수 있다.

불가피한 경우 실내에서 활동하고 있는 진압대와의 상호교신을 통하여 사고가 발생되지 않도록 한다. 또한 불필요하게 창문을 파괴하지 않도록 주의해야 한다. 왜냐하면 수손피해(水損被害)가 발생되며, 건물내부로 연소 확대가 이루어 질 가능성이 있어 사고가 발생할 가능성이 높기 때문이다.

나. 붕괴피해 예상범위의 설정

현재 소화활동중인 건물의 안전성이 의심스럽다면 발화건물 주변의 안전지역 또는 붕괴 예상지역을 설정하여야 한다. 일반적으로 붕괴로부터 비교적 안전한 지역의 범위를 설정할 경우 건물의 높이와 같은 정도의 반경외부(半徑外部)정도로 설정한다.



붕괴피해 예상지역

다. 방수활동 시의 고려사항

- 1) 소방대원이 건물의 내부에 진입하여 화재를 진압하고 있는데도 불구하고 외부에서 화점(火點)을 향하여 방수하는 것은 소방대원의 불필요한 부상을 초래할 수 있다. 왜냐하면 외부에서 방수된 물이 화염, 열기, 연기를 내부의 대원이 있는 방향으로 직접적으로 몰아갈 수 있기 때문이다.
- 2) 내부에서 대원이 활동하고 있는 경우에 창문이나 배연구를 통하여 내부로 방수(放水)해서는 안 된다.
- 3) 연소 확대의 저지를 위해 방수활동(放水活動)을 하고 있는 대원들도 창문이나 지붕 등에 있는 개구부(開口部)를 향하여 직접 방수하지 않도록 하여야 한다.

라. 소방호스 활용시의 고려사항

화재진압 활동에 있어 적절한 방수형태(放水形態)의 선택과 소방호스의 효과적인 활용은 안전의 보장을 위해 매우 중요하다. 부적절한 호스의 배치나 활용은 오히려 소방대원의 부상을 초래할 수 있다.

- 1) 여러 개의 호스가 동시에 내부로 전개될 경우 각 호스별로 구분이 가능한 표지(標識)을 해 두면 매우 효과적이다. 즉 불필요한 부분에 있는 호스에 물을 보내지 않아 소방용수의 낭비를 방지할 수 있다는 것이다.

- 2) 호스를 연장하거나 운반할 때 자신이 다룰 수 있는 양 만큼의 호스를 차량에서 내리거나 운반하여 척추 등의 손상을 방지하여야 한다.
- 3) 호스를 위층으로 연장할 때 충분한 호스의 이용이 가능한지를 확인해야 한다.
- 4) 충수(充水) 되지 않은 소방호스를 가지고 화재지역에 진입해서는 안 된다.
- 5) 관창은 대원이 화재를 진압할 위치에 자리를 잡을 때까지 개방해서는 안 된다. 만약 연기가 있는 부분을 향하여 무조건적으로 관창을 개방 할 경우 가열된 연소가스 때문에 뜨거운 방출수(放出水)가 앞부분에 있는 소방대원의 작업을 방해할 수 있다.
- 6) 관창이 다루기가 힘들 정도로 크거나 수압(水壓)이 과도(過度)할 경우 관창수는 관창을 놓치지 않도록 하기 위해 최대한 관창의 앞부분을 잡아야 한다. 관창을 놓친다면 자신 뿐만 아니라 주변에 있는 동료들에게까지 치명적인 부상을 초래할 수 있다.

마. 현장으로의 진입자세에 대한 고려

- 1) 화재를 진압하기 위하여 이동할 때는 낮은 자세를 유지하여야 한다. 이렇게 함으로써 머리 위의 뜨거운 연소가스에 의한 화상을 방지할 수 있다. 또한 보다 나은 시계(視界)를 확보할 수 있으며, 비교적 열기가 적은 저온층(低溫層)에서 활동할 수 있다. 이러한 현상은 강렬하게 연소가 진행되면서 배연(排煙)이 이루어지지 않는 공간에 직접적으로 방수했을 때 발생한다.
- 2) 현장에 진입 시 낮은 자세를 유지하는 또 다른 이유는 실내의 진입을 위하여 출입문을 개방할 때 머리위로 배출되는 뜨거운 연기와 열기로부터 대원을 보호하기 위한 것이다. 특히 지하실 화재의 진압활동시 낮은 자세를 유지하는 것은 매우 중요하다.
- 3) 계단의 상부나 중간지점은 열기가 많기 때문에 바닥보다 활동하기가 힘들며, 계단과 지하실의 출입문 주위는 소방대원의 신속한 후퇴를 위하여 장애물이 방지되지 않도록 한다.
- 4) 지하실에 소방호스가 연장되어 있다면 지하실에 있는 소방대원을 보호하고, 화재가 상층으로 연소가 확대되는 것을 방지하기 위하여 예비호스를 계단의 상단부에 배치하는 것이 바람직하다.
- 5) 지하실의 경우 소방호스를 지지하고 있는 마지막 소방대원은 뒷부분에서 위협을 줄 수

있는 화재나 다른 위험요소에 대하여 주의를 게을리 해서는 안 된다.

- 6) 지하실의 출입구에 위치한 소방대원도 마찬가지로 지하실 입구의 1층의 상황을 감시해야 한다. 특히 중요한 것은 지하실에 들어가고 빠져 나온 소방대원의 수를 지속적으로 확인하는 것이다. 이것은 지하실로부터 긴급히 대피하여야 할 경우 대단히 중요한 사항이다.

바. 긴급철수(緊急撤收)지시에 대한 고려

내부공격 활동을 전개하는 동안에 각 방면별 지휘자는 지휘소(指揮所)에 있는 현장지휘관의 지시에 절대 복종 하여야 한다. 소방력(消防力)이 열세(劣勢)에 있는 경우 과도하게 공격적인 것은 때때로 문제가 될 수 있으며, 만약 지휘관이 긴급철수를 지시하였다면 즉시 그 지시에 따라야 하며, 철수의 지시와 그 전달방법과 신호에 있어서도 실수가 있어서는 안 된다.

“작전전개의 적정성에 관한 논쟁은 사고의 수습이 끝난 후에 하여도 늦지 않다.”.

사. 재산보호 및 잔불탐색(殘火探索) 활동시의 고려사항

- 1) 현장 활동의 마지막 단계인 재산보호 및 잔불탐색 활동시 유의하여야 할 사항은 거의 모든 대원들이 인명구조, 화재진압활동 등으로 인하여 체력이 약화된 상태에 있다는 것이다. 따라서 예기치 못한 사고의 발생이 높다고 할 수 있다.
- 2) 피로에 지친 대원은 위험요인에 대한 경계심이 저하되고 행동이 늦어지게 되며, 자신에 대한 방어를 태만(怠慢)히 하는 경우가 있다. 따라서 지휘관은 이러한 점에 유의하여 대원들의 활동이 종료되는 시점까지 주의를 게을리 하지 않도록 하여야 한다.
- 3) 잔불탐색활동을 실시하기 전에 반드시 건물의 위험요인에 대한 조사와 판단이 이루어져야 한다. 이는 이미 화염으로 인해 약해져 있는 건물로부터 대원을 보호하기 위한 최소한의 조치에 해당된다.
- 4) 개구부(開口部)나 약화된 구조물에서 추락하여 부상을 당할 가능성이 많으며, 이러한 부분을 발견한 경우 신속히 출입금지 표시를 하거나 차단물을 설치하여야 한다.
- 5) 유리, 못 또는 날카로운 물체에 발을 찢리는 사고도 흔히 발생할 수 있으므로 이에 유의한다.

- 6) 잔불탐색활동을 실시 할 경우 보호복과 장비를 착용하지 않는 경우를 흔히 볼 수 있는데, 이러한 행동은 현장 활동으로 인한 피로 및 정신적 긴장의 이완 등의 요인 때문에 발생하는 보편적인 불안정한 행동이다. 결과적으로 보호장구를 갖추지 않아 창상(創傷) 절상(切上), 또는 안면부상(顔面負傷)을 쉽게 당할 수 있다.
- 7) 잔불탐색(殘火探索)시 공기호흡기를 벗는 경우를 발견할 수 있다. 일산화탄소와 같은 유독가스는 수분이 이미 함유된 불완전연소상태에서 더 많이 발생되므로 대원들의 호흡기계통에 치명적이라고 할 수 있다.
- 8) 화재발생시 유독가스는 내부 공기압력에 의해 벽이나 천장의 안쪽으로 밀려들어 갔다가 잔불탐색(殘火探索) 및 진압활동(鎮壓活動)중 밖으로 방출되며, 이때 공기 호흡기를 착용하지 않은 소방대원은 이 유독가스를 흡입할 수밖에 없다. 또한 유독가스의 흡입과 석면(石綿)에의 노출 가능성 때문에 모든 잔불정리 작업 시 공기호흡기를 착용하도록 엄격히 지시하여야 한다.

아. 경계구역의 설정과 출입의 제한시의 고려사항

경계구역 내에는 적절히 훈련받은 사람만이 출입할 수 있도록 하여야 하며, 이 구역 내에 있는 사람이라 할지라도 반드시 보호복과 공기호흡기를 착용하도록 하여야 한다. 경계구역 내에 있는 사람은 그들 나름으로의 임무를 부여받고 있어야 하며, 별다른 임무 없이 구경하거나 현장을 배회하는 일이 없도록 하여야 한다.

자. 사다리의 활용에 있어서의 고려사항

- 1) 사다리를 설치할 때는 반드시 견고하고 평평한 바닥에 설치하여야 한다.(설치 각도 75도 이내) 사다리의 바닥에 미끄럼방지용 고정판이 없는 경우에는 반드시 하부에서 1인이 지지하도록 하며, 고정판이 있다고 하더라도 그러하여야 한다.
- 2) 사다리는 유리창의 전면, 창문 샤시, 화분받침대 또는 무너질 수 있는 표면에는 절대 설치하지 않아야 한다. 왜냐하면 사다리가 설치된 상부에서 파괴작업(破壞作業)이 진행되거나 실내의 폭발, 백드래프트현상이 발생할 경우 대단히 위험하기 때문이다.
- 3) 사다리 위에서 방수작업(放水作業)을 할 경우 호스를 두 다리의 사이에 두지 않도록 한다. 왜냐하면 만약 호스가 파열 또는 과압이 작용 할 경우 그 충격으로 전락(轉落)될 가

능성이 있기 때문이다. 또한 사다리 위에서 방수 할 경우 직접적으로(두 손으로) 호스의 하중을 지탱하지 않고, 호스 고정장치나 로프 등을 이용하여 작업을 하는 것이 안전하다.

- 4) 사다리를 이용하여 창문으로 진입 할 경우 유리창 및 파편을 완전히 제거한 후 진입하도록 한다. 왜냐하면 유리파편으로 인한 절상(切傷)의 방지와 창문을 통한 신속한 탈출을 용이하게 하기 위함이다.
- 5) 사다리를 통하여 대원이 창문으로 진입을 한 경우 사다리는 불가피한 경우를 제외하고 이동시키지 않아야 한다. 왜냐하면 사다리를 이용하여 실내에 진입한 대원은 현장활동 중에도 최초의 위치에 사다리가 있는 것으로 생각하고 있기 때문이며, 만약 사다리가 이동된 경우 신속한 비상탈출이 불가능하기 때문이다.

3. 소방대원들에 대한 피로의 회복

현장지휘관이나 각 방면별 책임을 지고 있는 지휘자의 중요한 역할중의 하나가 피로한 상태에 있는 대원을 발견하여 적절한 휴식을 취하도록 조치하는 일이다.

가. 피로한 소방대원의 발견 및 조치

- 1) 현장에서 발생하는 사고의 원인 중 “대원의 피로현상”이 큰 부분을 차지한다. 피로한 상태에 있는 대원은 현재 그가 피로한 상태에 있다는 것을 증명하기가 어렵기 때문에 그렇지 않은 대원들보다 더 위험한 상태에 있다고 할 수 있다.
- 2) 사고의 초기부터 화재진압이나 구조 활동에 참가한 대원들은 잔불정리 작업 및 조사활동에는 제외시켜 피로한 상태에서 작업을 하지 않도록 하여야 한다.

나. 피로의 유발요인 및 정도

- 1) 피로를 유발시키는 요인은 현장활동시의 체력소모, 열기, 추위, 습기, 감정의 혼란 등이 있다.
- 2) 대원별 피로의 정도는 현재의 상황과 조건, 그리고 해당업무와 대원의 현재의 신체능력의 정도에 따라 달라질 수 있다.

다. 피로의 회복 및 안정

회복지역(휴식지역)은 위험구역(Hot Zone, Warm Zone, Cold Zone)의 외부에 설정하여야 한다.

- 1) 회복지역(휴식지역)에서는 보호 장비와 보호복을 벗을 수 있고, 앉아 있거나 혹은 휴식을 취할 수 있어야 한다.
- 2) 구급대원들이 각 개인의 신체적·정신적 이상 유무를 점검할 수 있도록 하여야 한다.
- 3) 대원들에게 필요한 음식과 음료를 공급할 수 있어야 한다.
- 4) 피로회복과 관련된 전문인들을 배치하여 대원의 피로회복에 노력하여야 한다.
- 5) 장시간(長時間)의 활동이 요구되는 상황에서는 구급대원, 적십자사, 자원봉사자, 병원의료진, 민간인 자원봉사자 등으로 구성된 특별회복분대(特別回復分隊)를 편성하여 대원의 피로회복, 의료검진, 음식물의 공급업무에 활용한다.
- 6) 대형화재라고 판단 될 경우 현장지휘관은 비번대원(非番隊員)을 비상소집(非常召集)하여 신체적 과부하에 의한 대원의 피로축적(疲勞蓄積)을 예방하여야 하며, 비상소집 된 대원과의 교대(交代)를 통하여 안전사고를 방지하여야 한다.
- 7) 고층건물화재의 경우 단거리 경주하듯 발화층까지 뛰어올라가지 않아야 한다.

라. 기상조건과 피로

기상조건은 화재진압을 비롯해 거의 모든 소방활동에 영향을 미친다고 할 수 있다. 계절적으로 극심하게 춥거나 또는 극심하게 더운 지역인 경우 기상 그 자체가 대원들의 안전에 위협이 될 수 있다. 다음은 특이한 기상조건 하에서의 안전한 작업수행을 위하여 고려하여야 할 사항들이다.

1) 무더운 기후에서의 소방활동

- 가) 극심한 고온 혹은 고습도 하에서는 대원들이 쉽게 무기력증(無氣力症), 탈진 현상 및 열사병을 초래할 가능성이 있다.
- 나) 무더운 기후조건하에서 공기순환이 잘되지 않는 보호복과 장비의 휴대 및 격렬한 신체활동 때문에 정상적인 조건보다 더욱더 빨리 피로현상이 발생될 수 있다.

2) 비정상적인 기후로 인해 발생할 수 있는 피로의 증상(Symptom)에는 다음과 같은 것이 있다.

- 가) 무기력함의 발생
- 나) 두통의 발생
- 다) 오한(惡寒)의 발생
- 라) 메스꺼움/구토현상
- 마) 근육경련
- 바) 숨가쁨 등

소방활동 중에 대원자신이 이러한 증상(Symptom)⁷⁾을 느낄 경우 신속히 지휘관에게 보고하여야 하며, 마찬가지로 현장의 지휘관들도 소속대원이 이러한 징후(Sign)⁸⁾를 보이는 지 지속적으로 관찰하여야 한다.

3) 비정상적 기후조건의 고려

가) 충분한 수분의 공급

충분한 수분의 공급이 무엇보다도 중요하다. 수분을 공급하는 주기(週期)는 공기호흡기 용기를 교환하는 25~30분 정도가 좋으며, 1회에 마시는 물의 양은 약 100~150g 정도가 적당하다. 또한 가능하다면 약 10분 정도의 휴식시간을 가지는 것이 좋다.

나) 소금정제 사용 시의 주의

소금정제는 격렬한 신체활동이 이루어지는 동안에는 위장으로의 흡수가 느리며 체내대사를 방해하여 구토나 메스꺼움 현상을 유발할 수 있기 때문에 섭취하지 않는 것이 좋다.

다) 충분한 휴식의 실시

대원들이 충분한 휴식을 취할 수 있도록 하여야 한다. 피로의 징후(Sign)를 보이는 대원들을 즉시 휴식하도록 조치하여야 한다. 거의 대부분의 대원들은 자신이 피곤한 상태에 있다고 보고 또는 이야기하기를 꺼려한다. 그러나 이것은 자신의 안전과 동료대원의

7) 증상(Symptom) : 환자가 호소하는 내용을 말한다.(예 : '팔이 부러진 것 같다.') - 주관적 판단

8) 징후(Sign) : 의료인이 환자를 관찰하거나 검사함으로써 얻을 수 있는 정보를 말한다(혈압, 맥박, 호흡 등). - 객관적 판단

안전을 위해 절대적으로 바람직하지 않다고 할 수 있다. 또한 현장에서 대원들의 관리를 책임지고 있는 간부들 자신의 피로를 적절히 조절하는 것도 중요하다.



핵심요약

- 화재현장에서 안전과 표준작전절차, 안전담당관, 붕괴사고 예방과 단계별 고려요소, 화재의 성장단계별 현상, 인명구조시의 안전을 확인한다.
 - 화재현장에서 안전은 활동대원의 부상이나 사망사고를 좌우함.
 - 화재현장에서 지휘체계의 미비와 불충분한 가동, 대상물에 대한 불충분한 정보, 잠재적 위험요인, 구조물에 미치는 하중에 대한 오판, 현장무질서, 훈련 및 능력의 부족 등은 사고발생 확률을 높이는 요인임.
 - 화재의 종류와 양상이 다양하고 예측이 곤란하더라도 일정한 유사성이 있기 때문에 표준작전절차의 활용이 중요함.
 - 현장활동 중의 총괄적인 사항은 현장지휘관의 책임임.
 - 현장에서 활동대원들의 안전을 보장하기 위해 안전담당관을 지정하여 역할을 이행함.
 - 붕괴사고의 예방과 단계별 고려사항의 이행을 확행함.
 - 화재의 성장단계별 현상파악과 적절한 대응의 확행함.
 - 인명구조시의 안전을 위한 행동지침을 확인하여 이행함.

제10장 소방활동과 보호구



학습
목표

소방현장에서 안전확보에 필요한 보호구의 사용과 종류에 대하여 살펴 본다.

1. 보호구의 사용과 교육훈련, 보호구관리를 살펴봄.
2. 소방용 보호구의 종류를 알아봄

제1절 보호구의 개요

소방활동현장은 근본적으로 쾌적하고 안전한 환경이 조성될 수 없다. 항상 위험요소가 잠재하고 동반된다. 그러므로 우선적으로 소방대원을 방호하기 위한 수단이 강구되어야 한다. 이 때문에 사용되는 것이 보호구이다. 사고예방에 있어서 보호구를 사용하는 것이 안전관리의 적극적인 대책은 아니지만 현실적으로 예상되는 위험으로부터 소방대원을 보호하기 위하여 필요한 수단인 것이다. 그러나 보호구에만 너무 의존하여 위험스러운 소방활동을 하는 것은 잘못된 태도이다.

보호구는 그 용도에 따라 신체 부위별로 여러 종류가 있다. 어떤 보호구든 소방대원이 착용하면 소방활동 시 불편을 느낀다는 등의 이유로 보호구 착용을 꺼리는 경향이 있으나 보호구의 착용은 소방활동에서 생길 수 있는 위험에 대비하는 것이며 자신의 안전을 위해 반드시 필요하다는 것을 인식하여야 한다.

1. 보호구의 정의

보호구는 근원적인 1차적 안전대책에 이은 소극적인 2차적 안전대책으로서 외부의 유해한 자극물을 차단하거나 그 영향을 감소시킬 목적으로 작업자의 신체에 장착하는 것을 말한다.

2. 보호구의 사용 및 관리

가. 보호구 사용 시 유의사항

- 1) 작업에 적절한 보호구를 선정한다.
- 2) 필요한 수량의 보호구를 비치한다.
- 3) 작업자에게 올바른 사용방법을 빠짐없이 가르친다.
- 4) 보호구는 사용하는데 불편이 없도록 철저히 한다.
- 5) 작업할 때 필요한 보호구는 반드시 사용하도록 한다.

나. 안전보호구 선택 시 알아두어야 할 사항

- 1) 작업 중 언제나 사용하는 것 (예 : 방화복, 헬멧, 안전화, 장갑), 작업 중 필요한 때에 사용하는 것 (예 : 보호안경 등), 위급한 때에 사용하는 것(예 : 공기호흡기)등 사용목적에 적합하여야 한다.
- 2) 보호구 검정에 합격된 품질이 좋은 것이어야 한다.
- 3) 사용하는 방법이 간편하고 손질하기가 쉬워야 한다.
- 4) 무게가 가볍고 크기가 사용자에게 알맞아야 한다.

다. 보호구의 구비조건

보호구는 인명과 직결되므로 그에 필요한 다음의 조건을 갖추어야 한다.

- 1) 착용이 간편할 것
- 2) 작업에 방해가 안 되도록 할 것
- 3) 유해 위험요소에 대한 방호성능이 충분히 있을 것
- 4) 보호구의 원재료의 품질이 양호한 것일 것
- 5) 구조와 끝마무리가 양호할 것
- 6) 겉모양과 표면이 섬세하고 외관상 좋을 것

라. 보호구의 보관방법

보호구가 필요할 때 언제라도 착용할 수 있도록 재료의 부식, 변질 등이 발생하지 않도록 청결하고 성능이 유지된 상태에서 보관되어야 한다.

- 1) 직사광선을 피하고 통풍이 잘되는 장소에 보관할 것
- 2) 부식성, 유해성, 인화성, 액체, 기름, 산(酸) 등과 혼합하여 보관하지 말 것
- 3) 발열성 물질을 보관하는 주변에 가까이 두지 말 것
- 4) 땀으로 오염된 경우에 세척하고 건조하여 변형되지 않도록 할 것
- 5) 먼지 등이 묻은 경우에는 깨끗이 씻고 그늘에서 건조할 것

마. 보호구의 선정조건

- 1) 종류
- 2) 형상
- 3) 성능
- 4) 수량
- 5) 강도

3. 보호구 사용 교육훈련

소방활동 현장에서는 반드시 보호구를 착용시켜야 한다. 이는 지휘관 및 안전관리자의 최우선적인 책임이며 출동대원 자신의 안전에 대한 인식에서 출발해야 한다.

보호구는 착용하기가 번거롭고 활동이 불편하다는 이유로 소방대원이 착용하는 것을 싫어했으나 그러한 경향은 점점 사라져 가고 있다. 무엇보다도 안전교육이 강화된 결과 인명존중 사상과 대원 각자의 안전에 대한 인식이 증대되었기 때문이다.

그러나 보호구를 제대로 착용하지 않고 화재진압활동을 하던 중 화상을 입은 사례 등 아직도 보호구의 인식부족과 사용미숙에 의한 사고는 계속되고 있다.

보호구를 대원이 올바르게 사용하게 하기 위해서는 무엇보다 각 소방대의 지휘 및 안전관리 책임자가 보호구의 착용과 주의에 관한 교육을 소홀히 하지 않는 것이 중요하다.

제2절 소방용 보호구

1. 방화복

아라미드 계통 등 내열성의 섬유재질에 열 방화성 및 방수성을 보강 제작된 것으로 소방대원의 신체를 보호함을 목적으로 한다. 방열복보다는 내열성이 떨어지지만 일반적인 화재현장 활동 소방대원이 일상적으로 착용하는 필수 보호복이다.

겉감과 중간층, 안감 등의 3층으로 되어 있으며, 어두운 곳에서도 식별이 쉽도록 겉감에는 형광재 및 역반사재의 반사테이프가 부착되고 상의와 하의로(원피스형태의 구형 「방수복」과는 구별) 나누어져 있다.

2. 방열복

화재로 인한 복사열이 강한 장소의 화염 속에서 인명구출이나 소화활동 시에 소방대원의 신체를 보호할 수 있는 보호복이다. 내열성이 강한 아라미드 계통의 섬유표면에 알루미늄으로 특수 코팅 처리한 겉감과 내열섬유의 중간층, 안감 등 여러 겹으로 되어 있어 격렬한 화재에 의한 고열(적외선)을 반사시키고 차단하여 신체를 보호해 준다.

공기호흡기와 함께 소방법상 피난설비(인명구조기구)로 분류되어 있으며, 방열 상하의, 방열장갑, 방열화, 방열두건으로 구성되어 있다.

3. 헬멧

화재현장에서 물체의 낙하물이나 충격 및 열 등으로부터 소방대원의 머리부위를 보호해 준다.

모체는 방탄용으로 쓰이는 난연·내열성의 폴리카보네이트 재질로서 가볍고 착용감이 좋으

며 겉면은 UV 코팅 처리로 긁힘 방지 기능을 갖추었다.

내측면에는 무선 송수신장치가 설치되어 공기호흡기 면체를 착용한 상태에서도 무선 송수신이 가능하며, 외부의 충격을 완화해 주는 충격 흡수용 내장재가 부착되어 있다.

폴리카보네이트 재질의 보안렌즈는 폭발성이 있는 위험한 작업환경에서도 안면을 보호한다. 그밖에 물받이, 턱끈 및 턱받침, 착장체 및 머리고정대 등으로 구성되어 있다.

4. 안전화

소방활동 시 화열과 발 부위에 무거운 물건을 떨어뜨리거나 못 등 날카로운 물체 등을 밟았을 때 대원을 보호해 주는 보호구이다.

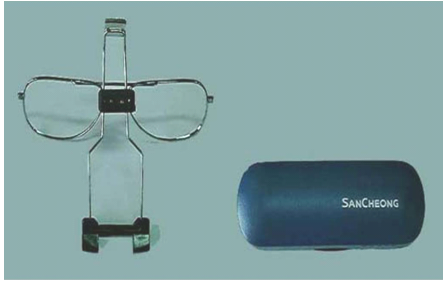
내열성의 고무제와 가죽제(천연가죽 또는 극세사로 직조된 인조가죽) 2종류로 구분되어 있으며, 몸통, 겹창, 선심, 안감 등으로 구성되어 있다.

5. 공기호흡기

양압식 공기호흡기는 면체내의 압력이 항상 외기압보다 높게 하여 V형 면체와 안면과의 밀착도를 높이는 동시에 공기가 쉼 때에는 외부로 유출되게 하여 외부의 오염된 공기가 들어오는 것을 방지하는 호흡 보호용 기구이다.

등지계식으로 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.

최근에 나온 신형의 공기호흡기는 안면 마스크를 쓴 상태에서 대기호흡을 할 수 있는 대기호흡장치가 부착되어 사용의 편리성이 한층 높아졌다. 또한 저 시력자의 시야확보를 위하여, 공기호흡기 면체 안면부내에 장착시켜 사용할 수 있는 착탈이 편리한 안경테도 참고할 필요가 있다.



공기호흡기 면체 시력보정기(안경테)



공기호흡기 면체 시력보정기 착용 사례

6. 산소호흡기

산소호흡기는 외부로 산소가 배출되지 않도록 폐회로를 구성하면서 청정약제(카레임)로 정화해서 사용함으로 공기호흡기보다 비교적 장시간(2시간 이내)을 사용할 수 있는 장비로서, 고압 산소용기로부터 감압된 산소를 유량조절기에 의해 단계별로 산소량을 조절할 수 있어 사용이 편리하다.

7. 방연(방진)마스크

호흡 시 매연이나 분진을 여과하여 주는 보호구로서, 여과효율이 높아야 하며 안면 밀착성이 좋아야 한다.

8. 인명구조경보기

인명구조경보기는 시야가 어두운 현장활동시 대원이 일정시간 움직이지 않으면 주위에 경보음을 발신하여 위험을 경보해 주는 보호구이다. 건전지교체식이므로 일정시간 경과 시 제때에 충전해야 한다.

9. 보안경

신체부위 중 특히 중요한 눈을 보호 해주는 보호구이다. 눈은 대수롭지 않은 것 같은 상처

등도 의외로 큰 후유증을 남기는 경우가 많으므로 현장활동 시 적극적으로 보호안경을 착용해야 한다.

보안경은 활동 시 먼지 등 유해물질이 눈에 들어가지 않게 방지하는 방진안경과 자외선(아크용접 작업 시) 적외선(가스용접작업) 등으로부터 눈을 보호해주는 차광안경으로 구분할 수 있다.

10. 로프

주로 인명검색·구조 등의 소방활동 시 대원의 추락방지나 퇴로확보 등을 위한 중요한 보호구로서 활용되고 있다.

로프는 열이나 충격, 습기 등에 약하므로 관리 유지에 세심한 주의를 기울여야 하며, 사용 시 건물 모서리 등 예리한 물건에 직접 접촉되지 않도록 해야 한다.

현행 「소방장비관리규정」상 사용할 때마다 그 횟수 등을 기록하도록 규정하여 그 로프의 관리유지 기준을 한층 강화하였다.

11. 안전벨트

인명구조활동 시 대원의 신체 및 구조 대상자를 안전하게 결착하여 안전한 장소로 이동할 때 사용하는 장비이다.

12. 공기안전매트

상부매트는 사람이 낙하하면 각 변 4개의 배기공으로 바람이 빠져 충격을 흡수하여 폭신한 쿠션 역할을 하고, 하부매트는 상부매트의 잔여 충격이 흡수되어 반동 없이 안전하게 피난할 수 있다.

13. 내전복

화재현장에서 전기 감전을 방지할 수 있는 것으로 7,000~22,000V까지 사용이 가능한 소방대원의 신체보호 장비로서 내전복, 내전장갑, 내전장화로 구성되어 있다.

14. 방독보호복

유해화학물질 및 유독물 누출시의 제독작업과 방사능으로부터 대원을 보호할 수 있는 보호장비이다.

15. 방사선보호복

방사능 오염이나 내부피폭을 강력히 방지하면서 소화작업이나 응급처치 등의 활동이 가능하도록 한 보호복이나, 모든 방사선을 완벽히 차폐하지는 못 한다.(특히 감마선)



핵심요약

- 소방현장에서 안전확보에 필요한 보호구의 사용과 종류를 확인한다.
 - 보호구는 불편을 이유로 착용을 꺼리는 경향이 있으나 안전을 위해 필요함.
 - 보호구는 사용 시 작업에 적절하고 필요한 수량을 비치하여 사용방법을 교육하여 착용 훈련을 해야 함.
 - 보호구는 검정에 합격된 사용이 간편하고 사용자에게 알맞아야 한다. 보호구 관리를 살펴봄.
 - 소방용 보호구의 종류는 방화복, 헬멧, 안전화, 안전장갑, 방연마스크, 방열복, 공기호흡기, 안전벨트, 방독보호복 등이 있음.

부록 1. 소방현장안전관리지침

화재진압활동 안전수칙

1. 지휘관의 안전수칙

- 가. 지휘관은 화재진압·구조작전에 현장을 안전하게 운영하여야 한다.
- 나. 지휘관은 대원들을 화재진압 및 인명구조에 있어서 무리하게 내부진입을 요구해서는 아니 된다.
- 다. 지휘관은 대형화재 일 경우에는 현장에 현장안전점검관(현장안전담당)을 지정 운영하여야 한다.
- 라. 지휘관은 건물 등이 붕괴(붕괴) 우려가 없는지 현장안전점검관(현장안전담당)이 살피도록 한다.
- 마. 대형화재일 경우에는 현장안전점검관(현장안전담당)은 방면안전보조자를 두어 정보를 수집한다.
- 바. 현장안전점검관(현장안전담당)은 현장을 순회하면서 안전을 유지하며, 문제의 정보가 수집되면 즉시 대원들에게 전파하여야 한다.
- 사. 현장안전점검관(현장안전담당)은 안전장비 착용사항을 점검하고 2인1조로 행동하도록 조치하여야 한다.
- 아. 지휘관은 대원들을 화재진압·인명구조를 위한 탐색·구조에 임할 때는 현장안전점검관(현장안전담당)에게 보고하고 내부진입을 하도록 하여야 한다.

2. 지휘관 현장 지휘원칙

가. 지휘관의 책임

- 1) 모든 화재진압·구조·구급현장의 책임은 총지휘관에게 있다.

- 2) 즉소·소화재시는 센터장 또는 지휘팀장 중화재는 방호과장 또는 당직관, 대화재는 소방서장 또는 소방본부장이 직접 지휘한다.
- 3) 현장투입에 있어 개인안전장비 미착용으로 안전사고가 발생 할 때는 지휘계통에 따라 엄중 문책한다.
- 4) 화재·구조현장에 관계기관의 출동책임자는 소방관서장의 요청에 의하여 다음과 같은 업무를 수행한다.
 - 가) 경찰서 : 교통통제, 도난방지, 화재현장의 질서유지, 화재발생자(실화자, 방화자) 등에 대한 소방관서와의 연계합동조사
 - 나) 한국전력 : 연소확대 및 감전의 요인이 되는 전력통제
 - 다) 시청(구청) : 사상자의 처리 및 이재민 구호
 - 라) 보건소 : 부상자의 긴급구호 및 수송
 - 마) 수도사업소 : 소방관서장의 요청에 의거 상수도의 통제
 - 바) 가스안전공사 : 가스화재시 장비, 약품지원 및 가스시설 조치

3. 대원의 현장기본 안전수칙

- 가. 대원들은 현장지휘관의 명을 받아 행동하여야 한다.
- 나. 화재현장의 내부진입 또는 야간에는 조명을 충분히 밝히고 활동여야 한다.
- 다. 현장내부 진입하는 대원은 개인장구를 착용하고 2인1조로 행동하는 것을 원칙으로 한다.
- 라. 대원들은 화재진압·인명구조를 위한 탐색·구조에 임할 때는 지휘관(안전 관리자)에게 보고하여야 한다.
- 마. 대원이 내부진입 시는 공기호흡기 착용과 손전등 등을 휴대하고, 안전로프를 이용하여 진입자의 표시를 하고 진입한다.
- 바. 내부진입을 할 때에는 주위를 살피고, 붕괴의 우려가 없는지 재삼 살피며 진입한다.
- 사. 현장진입에 있어 개인안전장비 미착용으로 안전사고 발생이 없도록 유의하여야 한다.

아. 대원들은 현장에서 안전을 유지하며 활동하여야 한다.

자. 대원들은 안전상 문제(정보)가 발생할 때에는 즉시 대원들에게 전파하고 지휘관에게 보고하여야 한다.

화재현장 소방작전 활동 안전관리

1. 현장도착시

가. 차에서 내릴 때에는 지휘자의 지시에 따를 것이며 차량 문을 열 때에는 뛰어내리지 말고 주위상황에 주의하라.

나. 소방차의 보조브레이크(side-break)는 확실하게 채워놓고 반드시 고임목으로 고정도 록 하라.

다. 호스연장, 사다리운반 등의 행동이 경합할 경우 대원 상호간의 충돌에 주의하라.

라. 소화전, 저수조 등의 위치를 표시하여 활동 중 걸리거나 빠지지 않도록 하라.

2. 호스연장시

가. 결합구(coupling)나 관창(nozzle)이 땅에 떨어지지 않도록 하고 호스두루마리 상태에 주의하여 꼬이지 않도록 전개하라.

나. 앞이 잘 보이지 않는 장소, 경사진 내리막 도로, 도로의 교차점 또는 풍하측에서 호스 를 연장할 때에는 차량이나 피난 자에게 음성 또는 경적으로 주의를 환기시켜라.

다. 호스는 기둥이나 사다리 등에 걸리지 않도록 전개하라.

3. 방수시

가. 운전요원(기관사)은 관창 위치가 확인되지 않거나 관창까지 많은 방수시간이 필요로 할 때에는 보조자를 두고 방수의 강도를 조정하라.

- 나. 예비방수는 관창 위치가 보일 때로 국한하고 언제든지 방수중지 할 수 있는 태세로 실시하라.
- 다. 앞이 잘 보이는 장소라 하더라도 사다리 이용 등 높은 곳에 호스를 연장할 때에는 관창수가 확실하게 신체지지를 하고 난 다음 방수하라.
- 라. 호스의 결합상태를 반드시 확인하고 방수 코크(방수구 밸브)를 급격하게 열지 않도록 하라.
- 마. 방수전의 관창 진입은 지나치게 내부진입이 되지 않도록 한다.

4. 도괴(붕괴)위험

- 가. 지휘자는 직접 또는 안전담당자를 두어 화재현장의 안전도를 측정하도록 한다.
- 나. 지휘관은 화재건축물의 구조와 위험도를 살피고 도괴위험성이 확인되는 즉시 전 대원에게 확성기 또는 육성으로 전달한다.
- 다. 철근 스라브 건축물이라 할지라도 오래된 건축물이거나 벽과 기둥 문틀의 구조가 부실할 경우에는 도괴위험이 있으니 대원들의 내부진입에 유의하여야 한다.
- 라. 화재진압에 당하면서 벽과 기둥을 도끼·해머 등으로 강약을 확인 할 필요가 있다.
- 마. 지휘자는 도괴가 예상되는 지역에 위험라인을 설치하고 위험내용을 확성기나 무전기 등으로 전 대원에게 주지시키도록 하라.
- 바. 기둥, 중방(中枋)등에 철골재를 사용한 건축물은 열에 약하고 변형이나 굴절에 따른 도괴위험이 있으므로 주의하라.
- 사. 석조나 연와조(점토를 석회 따위와 반죽하여 가마에서 높은 온도의 불에 구운 벽돌을 말하며, 이 벽돌 재료를 쌓아 축조한 조적식 구조)와 같은 건축물은 일부가 무너지면 타지 않은 부분까지 동시에 붕괴되는 경우가 있으므로 주의하라.
- 아. 창고는 화물의 붕괴위험이 있으므로 유사시 대피할 수 있도록 충분한 안전 거리를 확보한 상태에서 행동하라.

- 자. 원목 야적장은 목재의 붕괴나 도괴위험이 있으므로 주의하라.
- 차. 추락물과 2차 붕괴가 가장 큰 안전사고의 위험이다.
- 카. 반드시 전기의 공급이 차단되었는지 확인 후 진입한다.
- 타. 중장비, 유압장비의 사용 시 불안정한 콘크리트 등의 추락, 붕괴 등에 유의한다.
- 파. 건축물 등이 여러 형태로 붕괴된 곳에서는 수직방향으로 선 벽이나 기둥이 지지물이므로 이 부분을 유압으로 들거나 자르지 않도록 유의해야 한다.
- 하. 구조대원이 수색하기 전에 반드시 구조견, 전자 및 음향 수색장비를 이용하여 수색을 실시한다.

5. 낙하물 위험

- 가. 옥내 진입 시 및 소방활동 중에는 우선 머리 윗부분을 둘러보고 기왓장 등 떨어지기 쉬운 물건이 있을 때에는 갈고리 또는 직사주수로 털어 내도록 한다. 또한 소리를 질러 주위 대원에게 주의를 환기시켜라.
- 나. 처마 끝에서 작업할 때에는 기와 등이 떨어지기 쉬우므로 신속하게 행동하고 기와 등이 떨어지는 것을 확인하였을 때에는 벽에 몸을 기대든가 건물 내에 몸을 피하도록 하라.
- 다. 방화구조 건물의 몰탈 벽에 균열이 생기고 부풀었을 때에는 붕괴직전이므로 주의하라.
- 라. 콘크리트 내벽은 화재 최성기가 되면 폭열하여 떨어지므로 주의하라.
- 마. 기둥·중방(中枋)의 연결부분이 타고 있을 때에는 도괴·낙하의 위험이 있으므로 조기 주수토록 하고 그 밑에 있지 않도록 하라.
- 바. 공장·창고의 천장에는 하역기계장비·크레인 등이 있으므로 각별한 주의를 기울이도록 하라.
- 사. 높은 곳에서 작업할 때에는 자재나 파괴물의 낙하에 주의하고 지상대원과 긴밀한 연락으로 위험범위를 알려주어 그 행동을 통제하라.
- 아. 사무실이나 공동주택의 창가와 베란다에는 화분 등 낙하물이 있으므로 주의하라.

6. 추락이나 전도 위험

- 가. 높은 곳에서 작업할 때에는 안전벨트 등으로 몸을 지탱하되 딛고 있는 곳이 안전한가 확인하라.
- 나. 창문으로부터 건물 내부로 진입할 때에는 갈고리 등으로 디딜 곳의 장력과 강도를 확인하라.
- 다. 목조·방화조 건물은 마루 빠짐, 천장낙하의 위험이 있으므로 옥내 중앙부를 피하여 창가 등에 위치토록 하라.
- 라. 처마·햇난간 등을 타고 갈 때에는 그 장력과 강도를 확인하되 특히 창문부분은 취약하므로 더 주의하라.
- 마. 스텔지붕·플라스틱지붕에 부득이 올라갈 경우에는 사다리나 판자 등으로 발 디딜 곳을 확보한 다음 다시 안전벨트로 몸을 의지하여 올라가도록 하라.
- 바. 지붕 위에서 주수 할 때에는 호스를 잘 걸치도록 하여 미끄러져 떨어지지 않도록 하고 적설 또는 동결된 지붕 위는 올라가지 않도록 하라.
- 사. 염색·도금·피혁공장 등에는 석탄·소다·염산·탄닌·용기와 용광로 등이 있으므로 여기에 빠지지 않도록 주의하라.
- 아. 기계식 주차장에는 피트와 뚜껑이 없는 유분리 용기 배수구가 있으므로 주의하라.
- 자. 물이 고여 있는 수로·구멍·웅덩이 등은 잘 분간할 수 없으므로 로프, 형궤 등으로 표시하여 두도록 하라.
- 차. 공사 중인 건축물, 벽체가 없는 골마루, 계단, 베란다에는 로프를 쳐놓고 추락 방지를 피하도록 하라.
- 카. 가스폭발에 의한 고층건축물의 마루나 벽체 등은 균열흔 혹은 파괴 등으로 장력과 강도가 저하되어 있으므로 주의하라.
- 타. 야간에는 조명기를 적극적으로 활용하여 디딜 곳의 안전에 유의하라.
- 파. 극장이나 영화관 등의 마루는 경사져 있거나 계단이 있으며 기계실이나 보일러실 등의

바닥은 기름기 때문에 미끄러지기 쉬우니 주의하라.

하. 출입구복도·계단 등에 있는 장애물이나 방수증인 호스에 걸려 넘어지지 않도록 하라.

7. 폭발위험

가. 도시 가스·프로판가스·메탄가스·위험물 유증기 등은 옥내에 누출·충만 된 경우는 옥외에 서의 전원차단과 창문 등(공기보다 가벼운 가스는 상단 부를 개방)을 파괴하여 가스를 연소범위에 미달되도록 충분히 희석시켜라.

나. 니트로그리세린·질화면·피크린산(제5류위험물 자기반응성물질)은 가열충격 등에 의한 폭발 위험이 있으므로 충분한 거리를 두고 방수포 등을 활용하여 냉각시켜라.

다. 산소제조공장 또는 많은 산소통은 연소가 급격하게 진전될 위험이 있으므로 충분한 주의를 기울여 행동하라.

라. 금속나트륨·금속칼륨·카바이드 등 금속성물질은 주수로 인한 가연성 가스(수소 가스, 에틸렌가스 등)의 폭발이나 폭발적 연소위험이 있으므로 절대로 주수하지 말라.

마. 용광로에의 주수는 수증기폭발등에 의한 폭발적 연소위험이 있으므로 절대로 주수하지 말라.

바. 전분·밀가루·나무가루 등이 수용된 소방대상물은 분진 폭발위험이 있으므로 충분한 거리를 두고 분무 주수토록 하라.

사. 셀룰로이드화재는 연소력이 지극히 크므로 연소확대에 유의하여 행동하라.

아. 메틸에틸케톤·퍼옥사이드는 가열·충격 등에 의한 분해폭발위험이 있으므로 충분한 거리를 두고 필수대원이외는 근접시키지 않도록 하라.

자. 지하창고·피트·맨홀 등의 폐쇄개소 내에 진입할 경우에는 가연성 가스의 유무와 농도 등을 파악하여 2차, 3차 등 연쇄폭발화재를 예방토록 하라.

차. 창고화재는 수용물에 대한 구체적인 정보를 인지 할 때까지 내부진입을 금하고 폭발물이 있을 때에는 방수포로 원거리에서 주수하라.

8. 감전위험

- 가. 특별고압(직류, 교류 7,000v초과) 또는 고압(직류750v초과 7000v이하, 교류600v초과 7000v이하)의 발전 및 변압시설의 화재는 원칙적으로 전기기술자 또는 한전관계직원과 같이 행동하라.
- 나. 부하가 걸려 있는 고압전선 또는 전주변압기 등에 주수하는 경우에는 우선 전원을 차단하도록 하되 봉상주수를 금하고 분무주수토록 하라.
- 다. 변전실이 침수되었을 때에는 전원차단을 확인할 때까지는 진입하지 말라.
- 라. 유압변압기나 유압차단기 등의 화재는 이산화탄소·고발포·냉각제(dry ice) 등에 의한 질식소화를 실시하라.
- 마. 지하철헌재는 운전지령실과의 신속한 연결로 전원차단을 확인한 다음 행동하라.
- 바. 전차화재는 펜티그래프(pantograph)의 분리를 확인한 다음 행동하라.
- 사. 현장에 접근 할 때는 반드시 전기의 차단여부를 확인한다.
- 아. 비오는 날, 물웅덩이, 축축한 땅 등의 현장과, 물 묻은 장비에는 전기가 흐르고 있다고 가정하고 활동해야 한다.
- 자. 야간에는 반드시 충분한 거리에서 강력한 조명으로 현장을 확인하고 접근해야 한다.
- 차. 전주에 연결되어 떨어진 전선은 전기가 흐르고 있을 가능성이 더 크다.
- 카. 전기실 화재진압은 물기가 없는 절연봉, 절연장갑 및 장화, 절연로프(철심로프제외) 등을 사용해야 한다.

9. 백드래프트(Backdraft) 위험

- 가. 주수개시 전에는 화염 열이나 짙은 연기 등을 수반한 백드래프트(Backdraft) 위험이 있으므로 우선 비켜 주수토록 하고 안전을 확인한 다음 정면 주수토록 하라.
- 나. 배기 측에서 주수할 때에는 급기측(급기와 배기)에 백드래프트(Backdraft) 위험이 있으므로 급기측(급기와 배기) 배치대원과 연결을 취하여 안전을 확인한 다음 주수하라.

- 다. 염색·피혁·도금공장 등에 있는 각종 약품용기나 용광로 등은 비산 혹은 백드래프트(Backdraft) 위험을 대비하여 봉상주수를 금하도록 하라.

10. 배연 내 작업

- 가. 현장지휘본부장은 반드시 통제자를 지정토록 하라.
- 나. 통제자는 진입자를 최소한의 필수인원으로 통제하고 끊임없이 진입자의 존재를 확인 하라.
- 다. 진입할 때에는 반드시 공기호흡기를 장착하고 안면마스크를 쓴 다음 탈출할 때까지 만 지지도 말고 벗지도 말라.
- 라. 일산화탄소의 가스퇴적은 연기농도와는 직접 관계가 없으며 시간에 비례하므로 연기의 양만 가지고 판단하지 말며 연기가 얹어졌다고 쉽게 안면마스크를 벗지 않도록 하라.

11. 파괴작업

- 가. 개구부를 설정 파괴하는 경우는 내부에 진입한 각대와 연결을 취하여 안전을 확인한 다음 실시하라.
- 나. 창문출입문서터 등을 개방코자 할 때에는 주수태세를 취한 다음 파괴토록 하고 플래시오버(flash-over)현상에 의한 화염의 분출 등에 대비하여 정면을 피하고 측면에 위치토록 하라.
- 다. 유리를 파괴할 때에는 방화모의 앞부분으로 가리고 유리측면에 위치토록 하되, 파괴는 갈고리·해머(hammer) 등으로 파괴하고 손이나 드라이버(driver)등으로 작업하지 말 것이며 대형유리는 윗부분부터 파괴하고 창살파편은 완전히 제거하라.
- 라. 대형해머·도끼·갈고리 등을 사용할 때에는 항상 주위의 안전에 주의하라.

구조현장 안전관리

1. 인명구조활동 10대 기본수칙

- 가. 2인 이상이 1조로 활동하는 것을 원칙으로 하되, 공기호흡기를 착용한 경우에는 어떤 경우에도 2인 이상의 조를 편성하여 활동하여야 한다.
- 나. 소방활동이 이루어지고 있는 현장에서는 누구라도 반드시 보호 장구를 착용 하여야 하며, 미리 제1대피장소, 제2대피장소를 설정하고 활동한다.
- 다. 초기 작업현장에서는 반드시 1명의 대원(Standby Member)이 현장과 활동상황을 감시하고, 현장대원과 통신을 유지하며, 위험요인을 경고하여야 한다.
- 라. 대형재난 현장에서는 반드시 2명 이상의 구조대원으로 긴급개입요원(Rapid Intervention Crew)을 편성하여 현장에서 활동하는 대원을 구조하기 위하여 완전한 구조 및 보호장구를 갖추고 대기하여야 한다. 이 경우, 긴급개입요원은 3항의 역할을 겸한다.
- 마. 전염병, 방사능 등 독극물질에 전염되거나 노출되지 않도록 유의한다.
- 바. 반드시 충분한 조명을 확보한 뒤 활동한다.
- 사. 반드시 붕괴, 도괴, 낙하, 추락, 폭발 등 위험요소에 대한 안전평가를 실시한 후에 현장에 진입한다.
- 아. 현장 지휘관은 소방활동 현장의 모든 상황을 완벽히 파악하고(Size-up : 상황파악) 안전확보에 최우선을 두어 지휘하여야 한다.
- 자. 급격한 체력소진 등 자신의 신체의 이상반응에 유의해야 한다.
- 차. 사고나 준사고(Near Accident : 아차사고)의 경험을 분석하여 교훈으로 삼는다.

2. 구조대원 현장활동 안전관리

가. 구조대원 자기관리 철저

- 1) 안전관리의 기본은 대원 각자의 자기관리에 달려 있다는 것을 인식하고 평소 체력·정신력·담력·기술연마에 노력한다.

- 2) 현장상황에 올바르게 대응할 수 있는 판단력과 행동력을 양성한다.
- 3) 각종 구조기자재의 사용법을 숙지 및 습득하도록 한다.

나. 일반구조

- 1) 교통사고현장에서는 흘러나온 유류 등으로 인한 미끄럼방지를 위해 모래 등을 뿌리고 작업을 개시한다.
- 2) 차량의 위나 밑으로 들어갈 때에는 차량 받침목 등으로 고정시킨 후 작업을 실시한다.
- 3) 사고차량의 상태(기울어짐, 적재, 경사지)를 판단하여 불안정한 요소는 제거하거나, 최대한 안정화, 고정화시킨다.
- 4) 후속차량의 2차 출동사고를 방지하기 위해 통제요원(경찰, 도로공사)을 후면에 배치한다.
- 5) 차량의 절단, 파괴 등으로 날카로워진 부분은 보호조치하여 대원의 부상을 방지 하고, 차량 잔해물은 안전한 곳으로 제거한다.
- 6) 사고 상황에 따른 대원들의 비상식량을 확보한다.
- 7) 로프 등 설치 시 확보물의 강도확인 및 2개 이상의 지지점을 설치한다.
- 8) 스프레드시붕, 플라스틱지붕을 올라갈 경우 발 디딤에 주의하여 추락방지
- 9) 창문 등으로 진입시 창가 베란다에 있는 화분 등이 떨어지지 않도록 주의한다.
- 10) 좁은 공간에서 대원상호간 접촉, 장애물과의 접촉 또는 전도 등에 의해 보호구 (공기 호흡기 등)가 이탈되지 않도록 주의한다.
- 11) 고층아파트 진입 시에는 안전로프 및 안전매트를 사용하여 안전 조치한다.
- 12) 헬기 등을 이용한 인명 구조 시에는 주변의 상황을 적절히 판단하여 비산될 수 있는 것들을 제거한다.
- 13) 화재 등 사고현장의 내부진입 또는 야간에는 조명을 충분히 밝히고 활동하여야 한다.

다. 맨홀, 지하탱크, 정화조 사고

- 1) 밀폐된 공간에는 반드시 유독가스, 산소부족, 가연성 가스등이 체류하고 있다고 가정하

고 활동한다.

- 2) 탈출구와 활동공간이 협소하므로 공기호흡기 사용한계시간을 준수한다.
- 3) 방독면을 착용하고 진입해서는 안된다. 방독면은 몇 가지 적응가스에만 유효하기 때문이다.(방독면 정화통에 표기된 적응가스 참조 할 것.)
- 4) 도장작업 중이거나 위험물 탱크는 폭발의 위험이 매우 크므로 공기호흡기 예비용기 등으로 신선한 공기를 불어넣은 후(Purge) 작업을 개시한다.
- 5) 맨홀, 탱크에는 물, 유류 등 내용물이 남아있는 경우가 대부분이므로 익사할 가능성에 유의한다.
- 6) 녹슬거나 작은 계단 및 손잡이, 미끄러운 벽면에 유의한다.
- 7) 충분한 조명을 확보하되, 반드시 방폭 조명기구를 사용해야 한다.
- 8) 충분한 공기호흡기 예비용기를 공급해야 한다.

라. 엘리베이터 사고

- 1) 엘리베이터가 갑자기 작동하는 경우가 있으므로 함부로 스위치를 조작하지 않는다.
- 2) 엘리베이터 구조활동은 항상 추락, 낙하물, 감전의 위험이 있다.
- 3) 엘리베이터와 건물에 한 다리씩 걸치고 서 있지 않는다.
- 4) 화재건물에서 엘리베이터를 이용할 때는 화재층 위로 올라가지 않도록 특히 유의하고, 해당 층을 누르기 전에 2-3층을 눌러 제대로 작동하는지를 확인한다.

마. 수중인명구조, 선박침몰, 화재, 차량추락사고

- 1) 사고현장의 조류(예: 파고, 유속, 와류, 탁류 등), 수온, 기상, 수심, 수중시정을 반드시 확인한다.
- 2) 유류의 유출, 화재에 따른 2차 재해에 주의한다.
- 3) 수상, 수중구조에서 개인적인 판단과 행동은 치명적이다.
- 4) 수중 수색 및 구조는 반드시 다음과 같이 조를 편성하여 활동해야 한다.

- 가) 2인 1조의 수색 및 구조를 실시
- 나) 안전줄 1명 및 입출수 보조 1명 확보
- 다) 완벽한 장비를 착용한 구조잠수사 2명 대기, 유사시 구조대원 구조준비 대기
- 5) 반드시 수중 조류 및 파도에 견딜 수 있는 하강줄을 설치한 뒤 작업한다.
- 6) 수중조류의 이동으로 구조 대상자 및 구조대원의 이동에 주의한다.
- 7) 침몰 선박 내 격실의 수색은 퇴출이 쉽도록 반드시 안전로프를 걸착한다.
- 8) 추락한 차량 내부로의 진입은 위험하다.
- 9) 벼랑, 절벽, 경사지로부터 추락물에 주의한다.
- 10) 입출수시 모터보트, 선박, 제트스키 등의 스크류에 유의한다.
- 11) 수초, 로프, 그물 등이 몸에 감기지 않도록 주의하고 구명칼을 휴대한다.
- 12) 수심이 깊은 경우 급격한 감압이 되지 않도록 잠수시간을 배분한다.
- 13) 급격한 체력소모를 방지한다.
- 14) 구조대원 자신의 구조
 - 가) 모든 행동을 중지하고 사태를 파악한다.
 - 나) 불필요한 장비를 버린다.
 - 다) 신체의 에너지를 비축한다.
 - 라) 침착하게 문제를 해결한다.

바. 수상인명구조

- 1) 잠수 활동 시 장애물에 신체 또는 장비가 상하지 않도록 수중 장애물과 수심을 확인하고 잠수
- 2) 동력선에 의한 구조활동을 할 경우 스크류에 의한 부상으로부터 구조 대상자 및 대원의 안전확보 조치
- 3) 수영인명구조는 최후에 사용하는 방법이다. 구조 대상자에게 휘감기지 않도록 주의한다.

- 4) 급격한 체력소모에 주의한다.
- 5) 파도나 조류와 싸우지 말고 흐름을 탄다.
- 6) 조류의 역방향으로 구조 대상자에게 접근한다.

사. 빙상사고

- 1) 동계용 호흡기를 사용하고, 호흡기(Regulator) 및 고압호스 등 연결부위가 얼어 파열되거나 막힘에 주의한다.
- 2) 얼음의 두께, 수심, 유속, 탁도 등을 확인한다.
- 3) 두꺼운 얼음이라고 한 곳에 너무 많은 인원과 장비가 모이지 않도록 한다.
- 4) 반드시 2인1조로 잠수하고 안전로프를 걸착해야 한다.
- 5) 얼음 아래의 잠수는 반드시 입수한 곳으로 출수해야 하므로 잠수장비의 사용시간이 짧다는 것을 명심해야 한다.
- 6) 혈관이 얼기 쉬운 얼굴, 손, 목 등의 보온과 체온의 급격한 저하에 유의한다.
- 7) 출구를 잃지 않도록 유의한다.

아. 산악·암벽·빙벽인명구조

- 1) 산악 사고 시에는 무리한 등반은 대원의 체력을 급속히 소모시키므로 체력상황에 맞추어 등반한다.
- 2) 숲이 우거진 지역에서는 뱀, 독충 등에 의한 부상방지 조치를 한다.
- 3) 산악 사고 시에는 무리한 등반은 대원의 체력을 급속히 소모시키므로 체력상황에 맞추어 등반한다.
- 4) 낙석, 붕괴, 추락에 유의한다.
- 5) 반드시 2개 이상의 지지점을 확보하고, 강도를 확인한다.
- 6) 낙뢰의 징후에 유의한다.
- 7) 독사, 곤충에 물리지 않도록 신체의 노출부위를 없앤다.

- 8) 손에 땀이 나서 장비를 놓치거나 추락하는 것에 유의한다.
- 9) 경사면, 절벽에서 구조대원이 서로 부딪히거나 밀치지 않도록 주의한다.
- 10) 길을 잃기 쉬우므로 나침반과 지도를 휴대한다.
- 11) 겨울철에는 눈사태, 얼음의 추락에 유의해야 한다.
- 12) 빙벽은 지지물이 녹아 파괴되기 쉽다.

자. 광산·터널붕괴·산사태

- 1) 대부분 공사 중 발생하므로 폭발물의 존재에 유의한다.
- 2) 매몰은 연약한 지반, 토사에 의한 것이 대부분이므로 2차 붕괴에 유의한다.
- 3) 물이 흘러나오는 토사는 반드시 붕괴의 위험이 있다.
- 4) 굴삭기 등 중장비를 활용해야 하므로 작업반경내 진입시 주의한다.

구급현장 안전관리

1. 구급환자 이송 전 안전준비 사항

- 가. 전염병환자를 이송 후에는 반드시 신체를 깨끗이 씻고 손은 소독용 세제로 소독한다.
- 나. 구급대원의 전염병 감염여부 수시 확인 및 보균자 발견시 교체한다.
- 다. 구급차에는 상시 전염병 환자를 대비한 1회용품을 적재한다.
- 라. 환자 응급처치 시에는 반드시 1회용 장갑을 착용한다.
- 마. 귀서 시에는 긴급자동차가 아니므로 일반자동차의 교통법규를 준수한다.
- 바. 구급차에는 상시 전염병 환자를 대비한 1회용품을 적재한다.
- 사. 구급대원의 전염병 감염여부 수시 확인 및 보균자 발견 시 교체 운영규정에 따라 철저한 점검을 실시한다.
- 아. 구급대의 운영규정에 따라 철저한 점검을 실시한다.

- 차량세척 등 청결 및 소독 실시

자. 출동 및 현장활동 시의 문제점을 분석하여 재발방지에 힘쓴다.

2. 구급차 현장활동 안전관리

가. 정차를 할 때는 안전한곳에 안정되게 정차를 하여 2차 사고를 없앤다.

나. 환자의 무기소지 여부도 잘 살펴 돌발 사고에 대비한다.

(유사시 경찰과 동승한다).

다. 응급환자 조치 시 구급대원의 체력이 한계에 도달하지 않도록 한다.

라. 환자 이송 시, 구급차에서 하차 시 안전사고에 유의한다.

소방차 출동 및 귀서 시 교통사고 예방

1. 소방차량 교통사고 방지대책

가. 각 대별 교통사고방지 기술지도원을 지정 운영한다.

- 지정 대상자 : 본서 장비팀장 또는 장비반장

나. 직장교육훈련 → 운전요원 교육훈련 → 연간 교육계획 수립 운용

다. 운전요원 교육

- 1) 운전요원으로서의 각종 소방활동의 근간 요원으로서의 자각과 책임 그리고 왕성한 사
기의욕을 고취시킨다.
- 2) 소방장비에 관한 지식과 기술기능능력을 고양시키고 관내 자수리 사정에 정통하도록
한다.
- 3) 교통현장에 잠재되어 있는 위험을 예지 할 수 있는 감수성과 집중력을 높이고 교통안전
의식을 높인다.

- 4) 평소 건강관리에 유의하도록 하며 직무수행에 지장이 없도록 한다.
- 5) 화목한 직장분위기 조성 및 상하동료 간 원만한 동료의식을 갖도록 지도한다.
- 6) 교통사고사례 검토·연구- 차량 유도요령의 숙지

2. 소방차량 안전운전 관리 지침

가. 운전요원의 화재출동 전 안전점검수칙

- 1) 운전요원은 차량 일일점검 및 수시 점검을 실시하여 출동에 지장이 없도록 한다.
- 2) 운전요원은 출발 전 출동인원을 점검하고 출발하여야 한다.
- 3) 운전요원은 적재비품을 낙하위험이 없는가 사전점검을 하여야 한다.
- 4) 경광등 점등, 싸이렌 취명에 지장이 없는가 점검하여야 한다.
- 5) 운전요원은 차고에서 출발할 때에 안전하게 출발하여야 하며, 다른 출동차량에 방해가 주어서는 안 된다.

나. 긴급출동 시

승차원 전원에 의한 안전운행의 확보

긴급출동 시 교통사고 방지는 운전요원을 비롯해 탑승자 전원이 일치 협력하여 안전운행에 전념하도록 한다.

다. 승차원 전원의 안전운행의 기본

- 1) 긴급출동의 마음자세 유지할 것
- 2) 관내 지·수리 사정에 정통할 것
- 3) 출동 시 주의력 집중이상 유무 관찰 확행

라. 소방차귀서시 안전수칙

- 1) 지휘관은 이상 유무 사항을 확인 후 안전하게 귀서하도록 주지시켜야 한다.

2) 운전요원은 차량장비 이상 유무를 확인 후 귀서해야 한다.

3) 운전요원은 진압대원이 탑승했나 확인하고 출발해야 한다.

3. 관리자가 처리하여야 할 사항

가. 운전요원의 건강상태를 확인하여 임무를 부여할 것

나. 이상기후·천재기타 이유에 따른 안전운행 확보를 위한 필요한 지시와 조치를 할 것

다. 차량 점검·정비 및 교대점검을 확행시킬 것

라. 차량운행 및 점검·정비기록부를 기록 유지하도록 할 것

마. 장비 점검·정비는 유사시 사용가능 상태를 유지하고 장비수명을 연장하는 것임을 명심시킬 것

4. 운전요원 및 탑승원 안전운행 사항

가. 안전운행의 마음가짐

출동지연이란 조바심으로 정지신호를 무시하는 등 수초동안을 못 참게 됨으로써 위험을 초래하는 경우가 있으므로 안전 확인에 여유를 가질 수 있는 마음가짐으로 운행할 수 있도록 할 것

나. 지리 및 소방용수시설의 숙지

지리, 소방용수시설의 숙지는 여유 있는 마음을 갖게 하는 안전운행의 기본이므로 평소 부터 이의 숙지에 힘쓰고 출동에 있어서는 진압대원 전원이 이를 확인할 것

다. 주의력의 거양

긴급 주행 중에 있어서는 도처에 위험이 잠재하고 있으므로 운전요원은 방어운전에 전력 할 것이며 진압대원 전원이 이를 확인 협조토록 하고 평소부터 잠재위험을 발견 대응하는 능력을 길러둘 것

라. 차량유도요원의 숙련

긴급 운행 중에는 좁은 도로의 통과, 수리 점령 배치 시 진퇴 등 차량유도가 불가피하므로 운전요원과 진압대원이 일체가 되어 신속안전하게 유도할 수 있도록 평소부터 차량 유도요령을 숙련시켜 둘 것

마. 긴급자동차의 안전운행 의무를 이행할 것

5. 안전운행에 필요한 기본사항

가. 긴급자동차의 요건

도로교통법에서 긴급자동차란 긴급을 요하는 공적 내지 공공적 업무에 사용되는 자동차로서 그 업무수행을 위하여 운전 중인 것을 말하며 또한 사이렌 취명, 경광등의 점등으로 외관적으로도 타 차량의 운전자 등이 식별할 수 있도록 표시되어 있는 자동차를 말한다. 따라서 소화활동을 마치고 돌아가는 소방차는 이에 해당되지 않으며 화재출동중이라 하더라도 사이렌 취명을 하지 않거나 경광등을 점등하지 않을 때에는 긴급자동차로서 적용받지 않는다.

나. 긴급자동차의 법령상 특례와 안전운전의 의무

긴급자동차는 법령상 특례와 일반차량 적용 조항의 면제 등 조치가 있으나 안전운전의 의무가 면제되는 것은 아니다.

다. 일반차량의 피양의무

소방법이나 도로교통법에서 소방차 출동에 따른 피양의무가 지워지고 있다.

라. 긴급자동차의 주의의무

긴급자동차의 주의의무란 객관적 입장에서 평가자(재판관 등)에 의하여 판단되어야 하겠지만 일반적으로 과거의 운전 등의 경험과 지식으로 주행 시 주위상황에 의한 구체적 위험의 잠재를 예측하고 그 위험을 피하는 의무이다.

소방훈련 기본안전관리

1. 추락위험이 수반된 훈련에는 보조로프 및 안전매트 등을 반드시 사용하여 충분한 안전 조치를 취하라.
2. 훈련 시 구조 대상자는 원칙적으로 인형을 활용하라.
단, 그렇지 못할 때에는 충분한 안전조치를 취하도록 하라.
3. 화염 열이나 짙은 연기 속에서의 훈련을 실시할 때에는 안전책임자 외에 유사시 신속히 대응할 수 있는 안전요원을 별도로 배치하여 두라.
4. 각급 지휘자 및 안전책임자 등은 소방훈련 안전점검기준에 따라 사전점검을 실시하라.
5. 인명구조용 기구·장비는 안전사용기준과 요령에 따라 바르게 취급(사용)토록 하라.

1. 소방훈련 안전점검기준

가. 훈련계획

- 1) 훈련목표는 규정, 지침에 따라 선정되어 있는가?
- 2) 훈련목적·취지·중점내용에 있어서 안전성이 확실하게 명시되어 있는가?
- 3) 안전교육 등 안전에 관한 내용이 포함되어 있는가?
- 4) 과거의 훈련결과에서 얻어진 교훈을 반영하고 있는가?
- 5) 단계적인 능력향상을 피하도록 계획되어 있는가?
- 6) 훈련내용과 훈련량은 피교육자의 체력 및 기량에 적합한가?
- 7) 훈련 중 상황변화에 대응한 예비계획을 검토 하고 있는가?
- 8) 실시요령은 구체적이며 치밀하게 계획되어 있는가?
- 9) 사전 안전점검을 실시계획은 하고 있는가?
- 10) 안전행동에 관한 교육계획은 있는가?
- 11) 훈련시기 및 시간에 무리는 없는가?

나. 훈련시설

- 1) 장소시설의 안전성에 관하여 검토되었는가?
- 2) 타 훈련 및 업무 등과 경합되지 않는가?
- 3) 안전매트 등의 안전 기구는 준비되었는가?
- 4) 마모·부식·노후화 되지는 않았는가?
- 5) 시설의 강도와 부착상태는 안전한가?
- 6) 기능저하나 불량개소는 없는가?
- 7) 위험개소의 보강상태는 완전한가?
- 8) 안전매트 등의 안전 기구는 바르게 취급되고 있으며 사용은 가능한가?

다. 훈련장소

- 1) 훈련목적이나 대원의 능력에 적합하며 잘 정리 정돈되어 있는가?
- 2) 잠재위험이 있는 곳을 확인하였으며 필요한 조치는 하였는가?
- 3) 낙하 및 붕괴위험을 제거하였는가?
- 4) 지반이나 착지장소 등은 안전하며 추락 등의 위험은 없는가?
- 5) 추락위험장소에 철책 등 위험방지조치를 취하였는가?
- 6) 훈련내용에 적합한 넓이를 확보하였는가?
- 7) 위험범위의 표지와 출입금지조치는 되어 있는가?

라. 개인장비

- 1) 방화복 등의 착용상태는 완전한가?
- 2) 훈련내용에서 생명로프를 필요로 할 경우에 이를 장착하고 있으며 준비되어 있는가?
- 3) 경적 등에 의한 비상연락 기구는 준비하고 있는가?

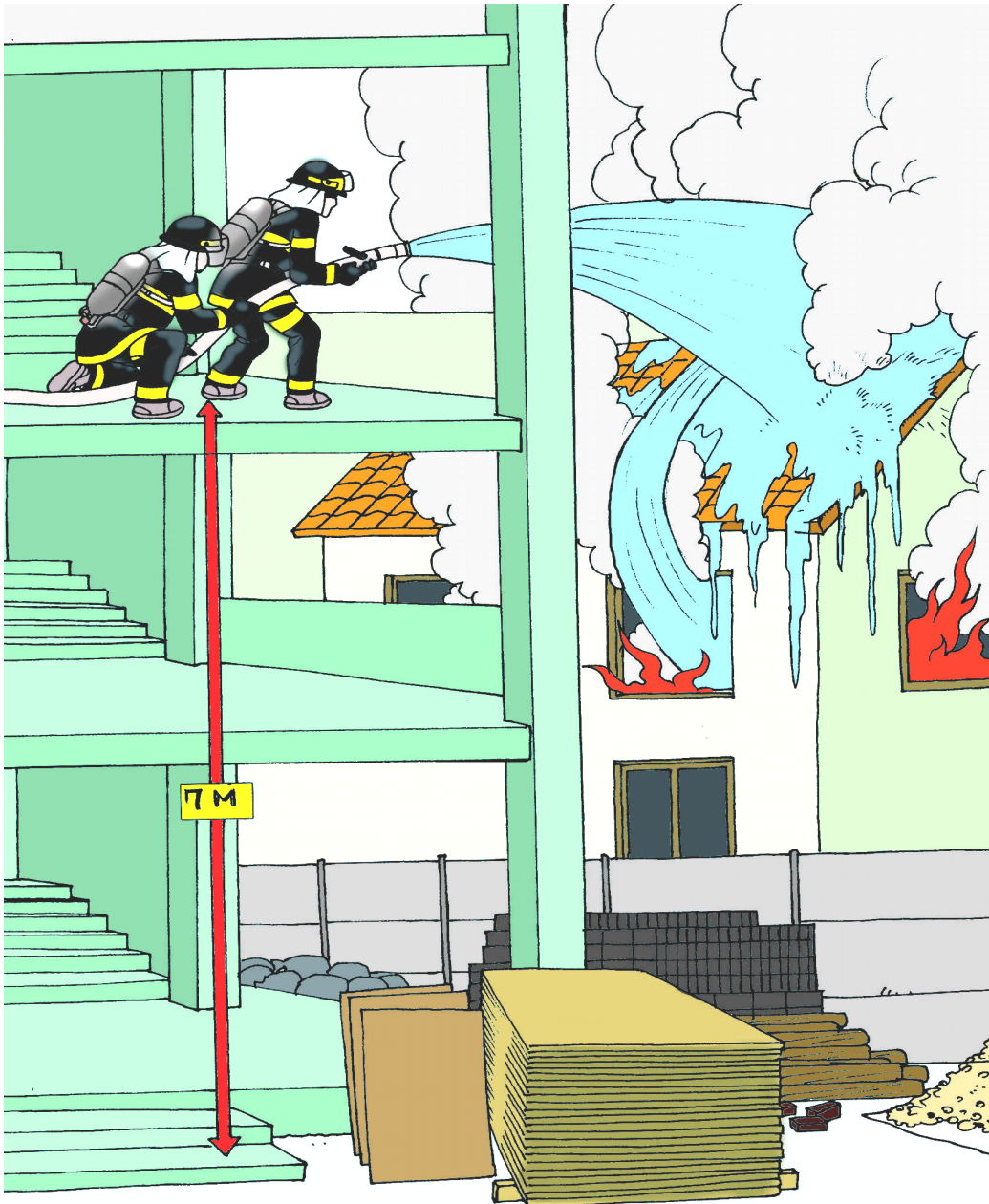
마. 대 원

- 1) 건강상태는 어떠한가?
- 2) 체력이나 능력 등의 개인차는 파악·조치하고 있는가?
- 3) 훈련실시요령을 파악하고 있으며 그 이해도는 어떠한가?
- 4) 안전행동요령은 숙지하고 있는가?

바. 전 반

- 1) 훈련용 기재의 취급은 적정한가?
- 2) 확인구령은 부치고 있는가?
- 3) 모험적인 행동과 안전을 무시한 행동은 없는가?
- 4) 작업 공간을 확보하였는가?
- 5) 제한·금지사항은 준수하고 있는가?
- 6) 기타 전반적인 불안정한 상태는 없는가?

부록 2. 교육훈련용시트(sheet)











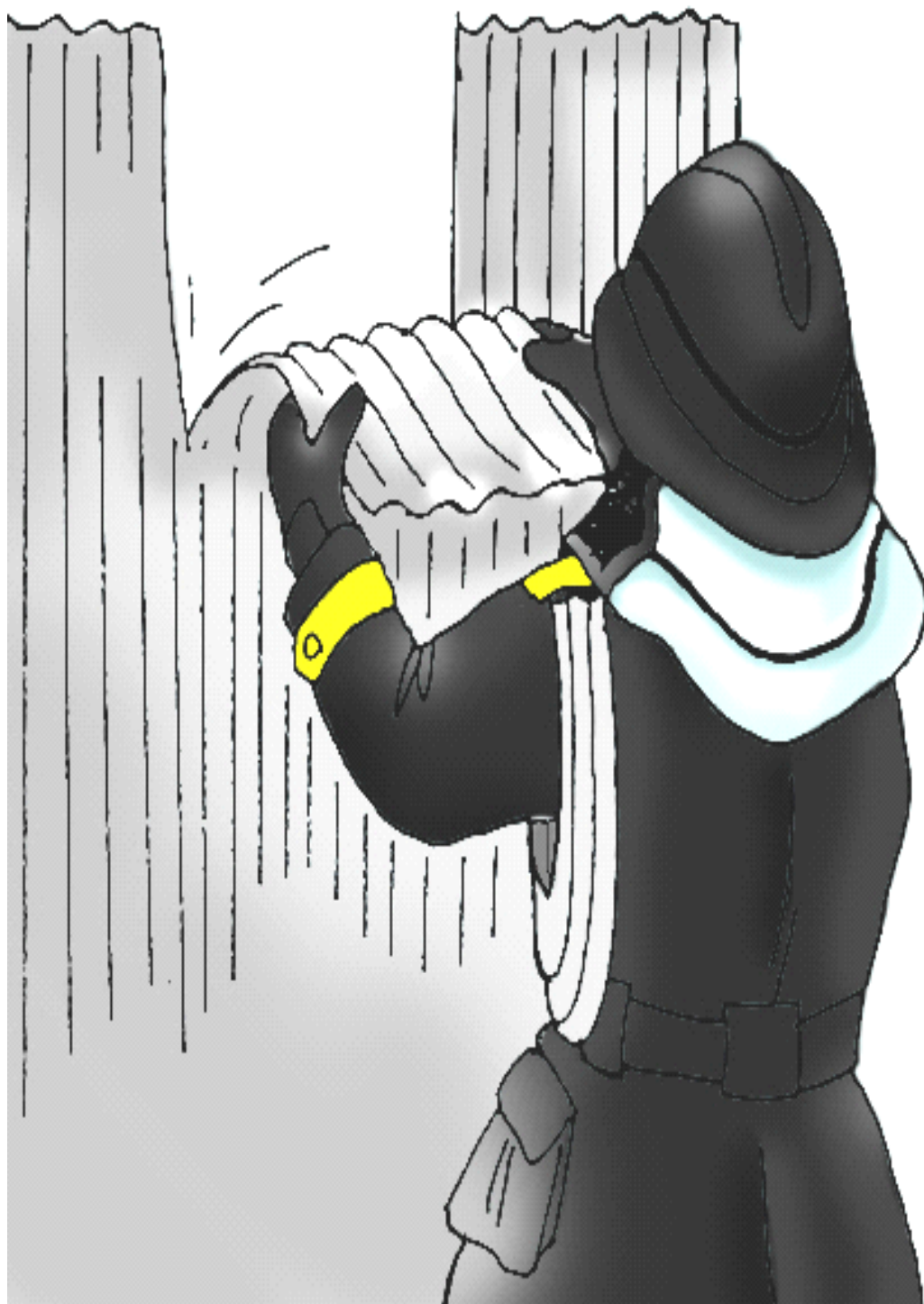


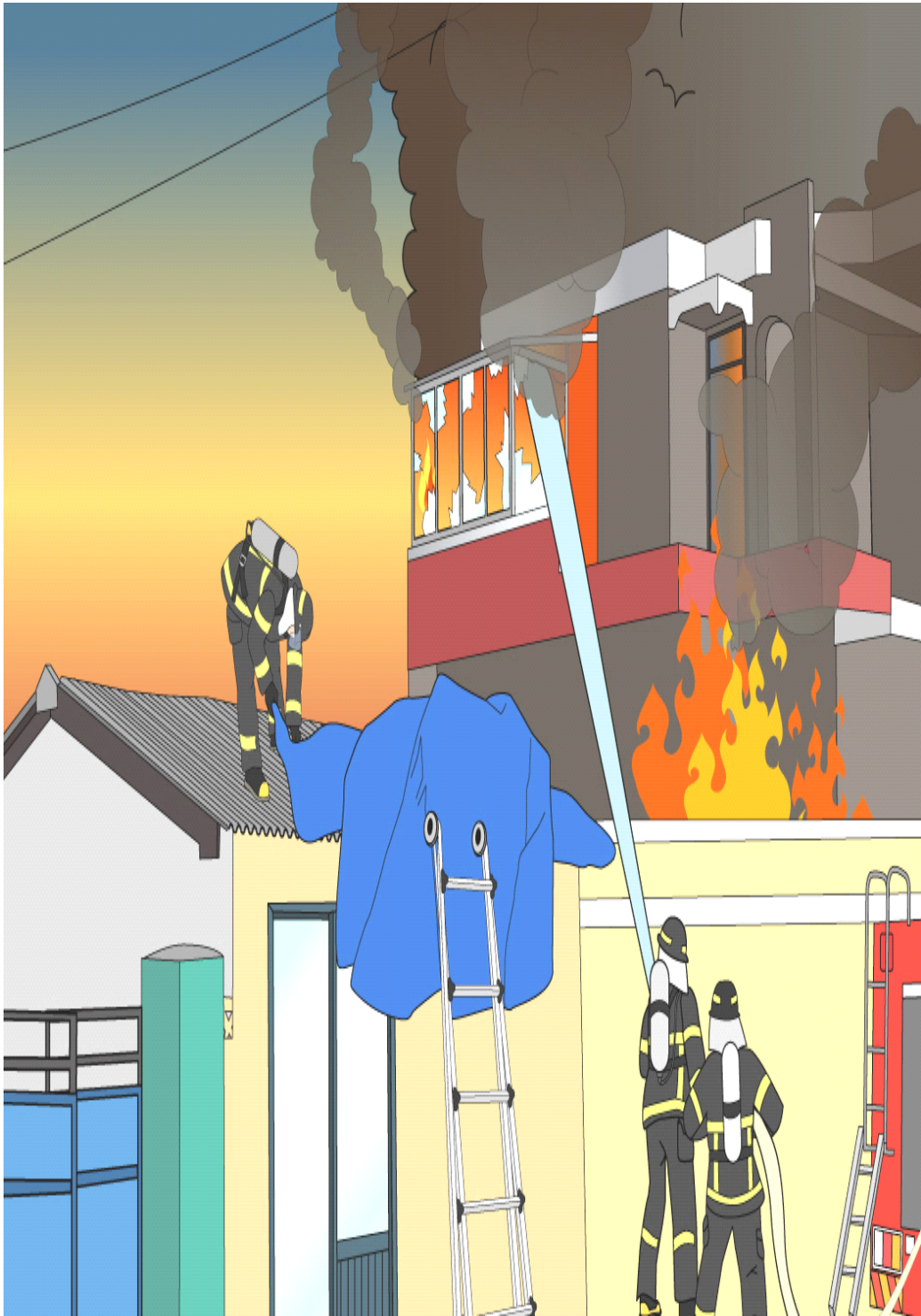










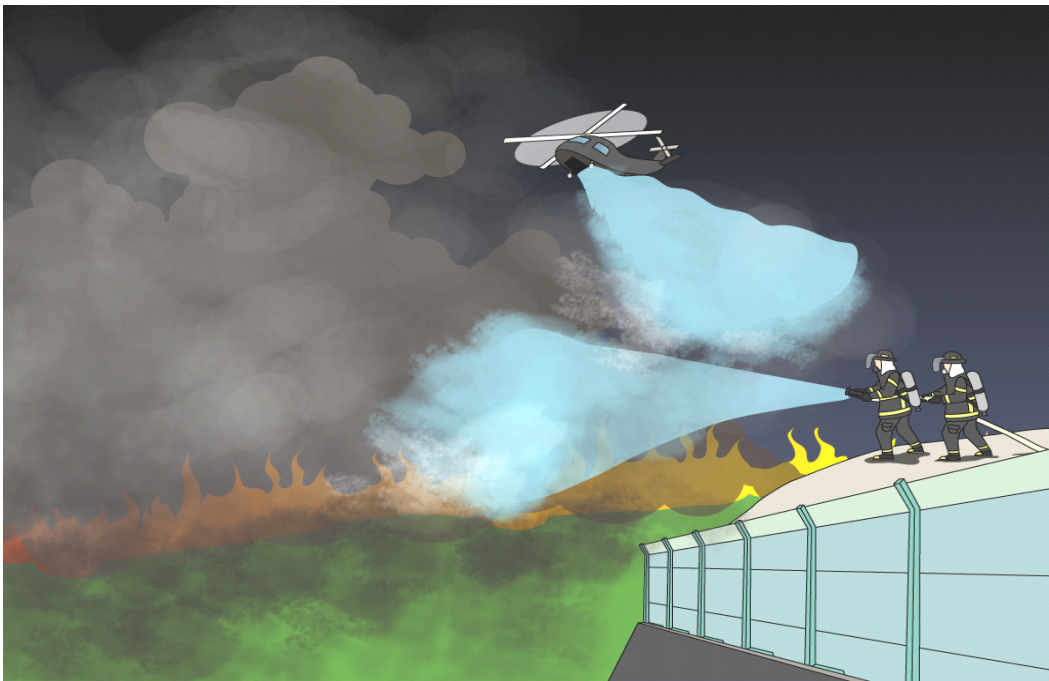
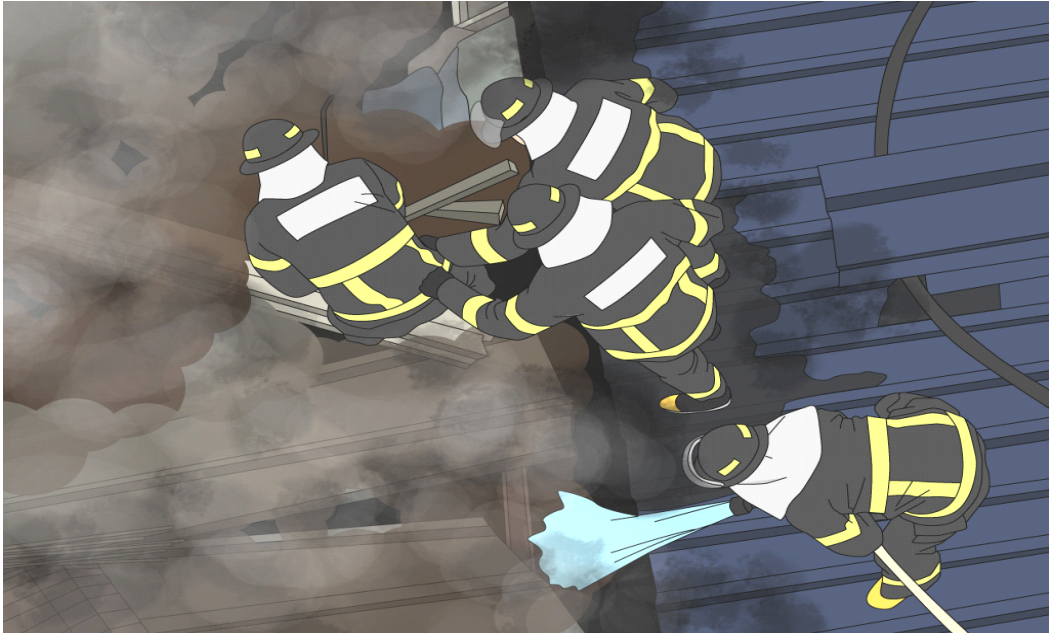




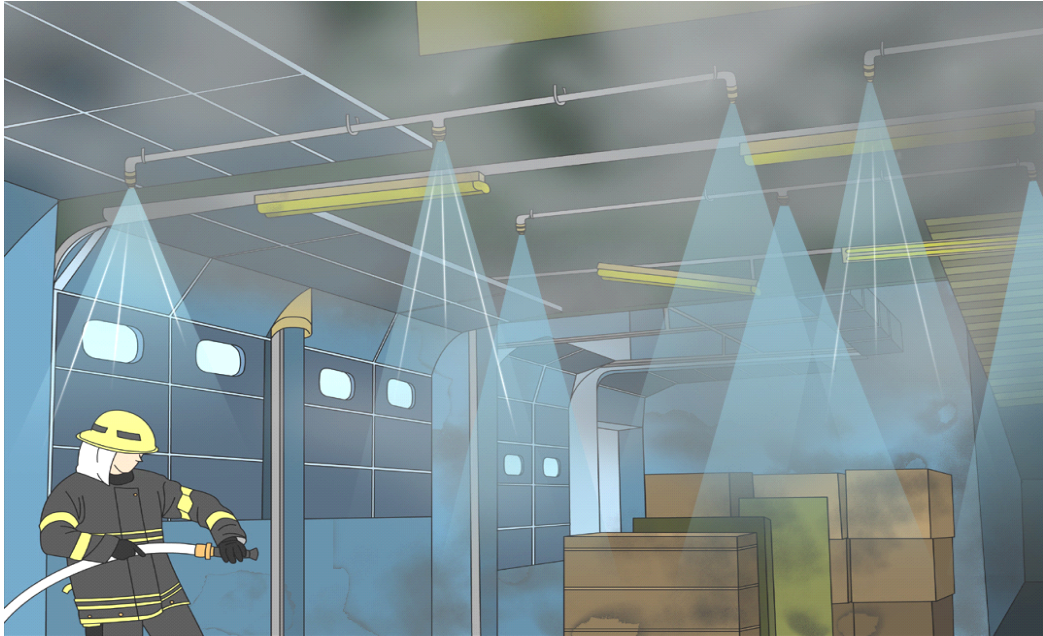


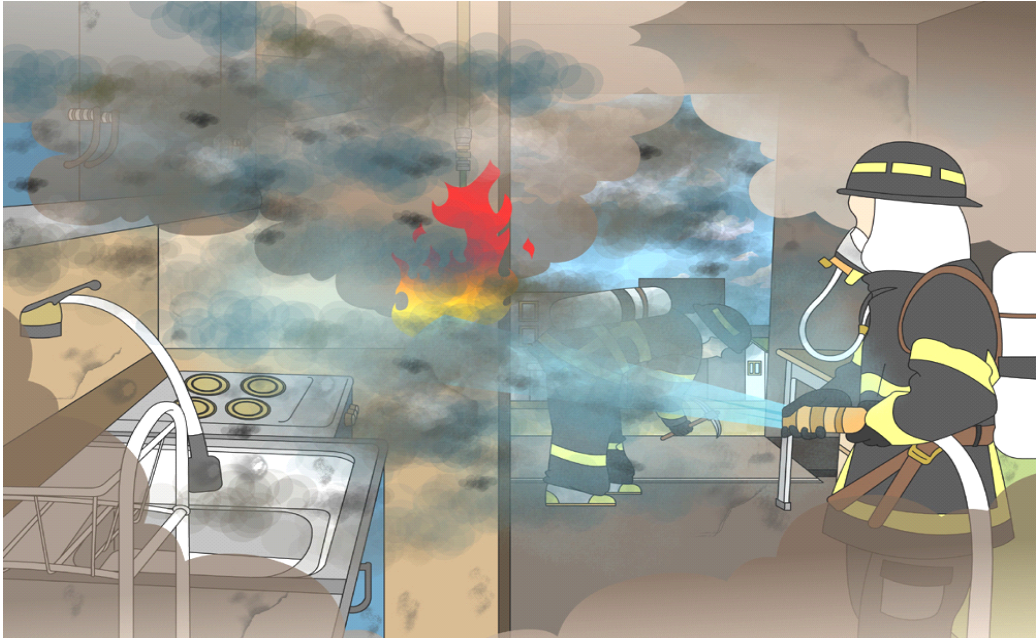














2

PART

소화약제

- 제1장 소화약제의 개요
- 제2장 소화약제로서의 물
- 제3장 포(泡) 소화약제
- 제4장 이산화탄소 소화약제
- 제5장 할로겐화합물 소화약제
- 제6장 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제
- 제7장 분말 소화약제

제1장 소화약제의 개요



학습
목표

1. 소화의 원리를 이해함.
2. 소화약제의 조건을 이해함.
3. 소화약제의 분류를 이해함.

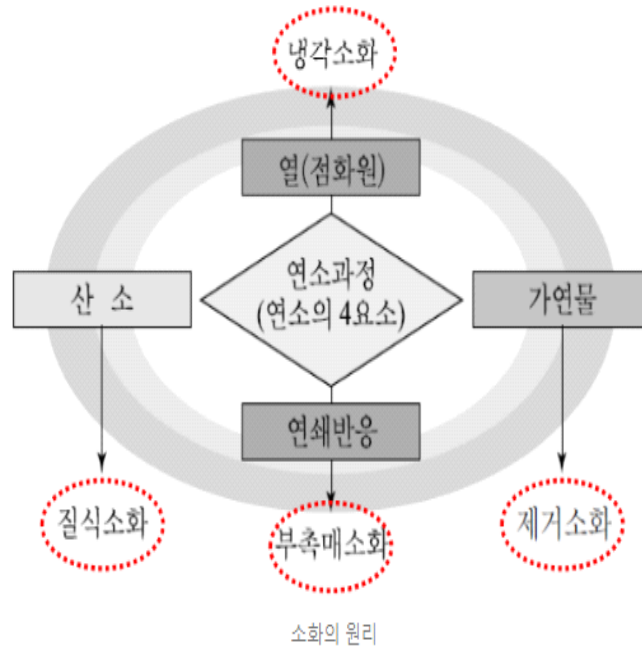
제1절 소화의 원리

1. 제거소화

연소는 가연성가스와 산소와의 접촉반응이므로 이를 차단하기 위한 방법은 가연성 물질을 격리하거나 가연물의 소멸 또는 수용성 가연물은 농도를 희석하면 증발율이 낮아져 결국 제거가 되는 것이며 가스화재에서는 공급밸브를 차단하는 방법이 있고 산림화재에서 산불화재의 확산방지를 위해서는 화재가 진행되는 방향의 전면의 나무를 벌목하여 제거하는 방법도 제거소화라 볼 수 있으며 가연물을 화원으로부터 격리하는 방법이다.

2. 질식소화

가연성 물질의 연소에서 연소의 범위는 연소하한계와 연소상한계의 범위내의 농도에 서만 연소가 이루어진다. 따라서 화염에 강풍을 불어 화염을 불 안정화하는 방법과 산소의 농도를 10~15%이하로 하여 소화하는 방법으로 가스계 소화약제 또는 포 소화약제를 이용하여 연소면을 산소가 접촉되지 못하도록 차단하는 방법이 있으며 밀폐공간의 화재실 전체에 주로 불연성가스의 퍼지에 의해 산소의 농도를 낮게 함으로서 소화하는 방법이다.



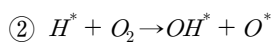
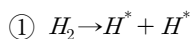
3. 냉각소화

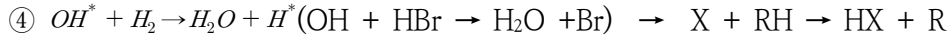
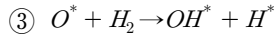
물은 100℃로 증발될 때 증발잠열이 약 539kcal/kg으로 매우 크고 이산화탄소 고압식의 경우 66.6kcal/kg, 할론은 28.2kcal/kg로서 물은 연소면을 냉각하는데 타 소화약제보다 우수한 성능을 가지고 있다.

4. 부촉매소화

화학적인 소화방법으로 소화약제의 화학적인 성질을 이용하는 것으로 연쇄반응을 차단하는 방법으로 약제의 화학반응 시 연쇄반응을 지배하는 Radical을 기(基) 또는 단(團)이라 하며 아래의 수소 연소를 제어하는 방법과 같이 화염은 소멸되는 것이다.

* 라디컬 유리기(Radical Scavenger, Cannibalism)의 기구





5. 유화소화

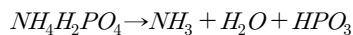
유류면의 화재에서 물은 작은 입자상태의 높은 압력으로 방사 시 유류면의 표면에 유화층이 형성되어 에멀전상태를 유지하는데 유류가스의 증발을 막는 차단효과를 발휘한다. 따라서 지속적인 가연성 증기의 생성이 억제되어 화염은 발생되지 않게 되는 것이다.

6. 피복소화

목재나 유류의 표면화재에서 공기보다 무거운 기체를 방사하면 연소면은 불연성 물질로 피복되어 연소에 필요한 산소는 차단되어 질식하게 하는 것으로 주로 이산화탄소를 사용하는 것으로 표면화재와 심부화재에 적합하다.

7. 방진(방진, 防塵, dustproof)효과

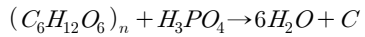
제3종분말소화약제를 고체 화재면에 방사 시 메타인산(HPO_3)이 생성되어 가연물 표면에 불침투상(유리질)의 층을 만들어 산소와의 접촉을 차단하는 방진(방진)효과가 나타나게된다.



8. 탈수소화

제3종 분말소화약제의 열분해 시 오르토인산(H_3PO_4)⁹⁾이 셀룰로우스에 작용하면 물이 생성되는데 가연물 내부에서 생성되는 가스와의 화학작용으로 탈수작용을 하게 되어 탈수 소화효과를 가져오게 된다.

9) 오르토인산(orthophosphoric acid)은 흔히 인산(phosphoric acid)이라고도 말한다.



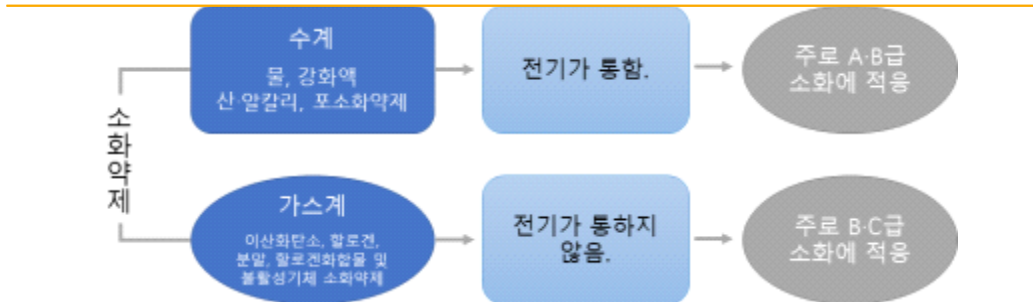
제2절 소화약제의 조건

소화약제란 소화기구 또는 소화설비에 사용되는 소화성능이 있는 고체, 액체 또는 기체의 물질로서, 소화약제로서 갖추어야 될 조건은 다음과 같다.

1. 연소의 4요소 중 한 가지 이상을 제거할 수 있는 능력이 탁월할 것
2. 가격이 저렴할 것
3. 저장 안정성이 있을 것
4. 환경에 대한 오염이 적을 것
5. 인체에 대한 독성이 없을 것

제3절 소화약제의 분류

소화약제는 그 성상과 기능을 기준으로 수계(水系)와 가스계로 대별되며 이들을 세분하면 다음과 같다.



[그림 2-1] 소화약제의 분류

수계와 가스계 소화약제의 특성을 개략적으로 비교해 보면 <표 2-1>과 같으며, 이들의 적용 화재와 소화 효과는 <표 2-2>와 같다.

[표 2-1] 각종 소화약제의 특성 비교

특성 \ 종류	수계 소화약제		가스계 소화약제		
	물	포	이산화탄소	할로겐화합물	분말
주된 소화 효과	냉각	질식, 냉각	질식	부촉매	부촉매, 질식
소화속도	느리다	느리다	빠르다	빠르다	빠르다
냉각 효과	크다	크다	적다	적다	극히 적다
재발화 위험성	적다	적다	있다	있다	있다
대응하는 화재규모	중형 ~ 대형	중형~대형	소형 ~ 중형	소형 ~ 중형	소형 ~ 중형
사용 후의 오염	크다	매우 크다	전혀 없다	극히 적다	적다(1)
적용 화재	A급	A, B급	B, C급 ⁽²⁾	B, C급 ⁽²⁾	(A), B, C급 ⁽³⁾

(1) 분말은 열면 떨어지기 때문에 일반적으로 오염의 정도는 적지만 정밀 기기류나 통신 기기 등에는 적합하지 않다. 그러나 소화기구의 장소별 적응성(화재안전기준 별표1)을 보면 전기실 및 전산실에 적응성이 있는 것으로 되어있어 전기실 및 전산실의 분말소화설비 설치여부는 설치자의 선택에 따른다.

(2) 밀폐 상태에서 방출되는 경우에는 일반화재에도 사용이 가능하다.

(3) ABC 분말 소화약제는 일반화재에도 적용되지만 분말이 도달되지 않는 대상물에는 부적당하다.

[표 2-2] 각종 소화약제의 적응 화재와 효과

화재의 종류	가연물의 종류	적응 소화약제	개략적인 소화 효과
A급 화재	(일반 가연 물질) 목재, 고무, 종이, 플라스틱류, 섬유류 등	○ 물 ○ 수성막포(AFFF) ○ ABC급 분말 ○ Halon 1211	냉각, 침투 냉각, 질식, 침투 억제, 피복, 냉각 억제, 냉각
B급 화재	(가연성 액체) 휘발유, 그리스, 페인트, 래커, 타르 등	○ 수성막포(AFFF) ○ BC급 분말 ○ ABC급 분말 ○ Halon 1211·1301 ○ CO₂	냉각, 질식 질식, 냉각 억제, 질식 억제, 질식, 냉각 질식, 냉각
C급 화재	(통전 중인 전기 기구) 전선, 발전기, 모터, 판넬, 스위치, 기타 전기 설비 등	○ BC급 분말 ○ ABC급 분말 ○ Halon 1211, 1301 ○ CO₂	부도체 부도체 부도체 부도체
AB급 화재	일반 가연물과 가연성 액체, 기체의 혼합물	○ 수성막포(AFFF) ○ ABC급 분말 ○ Halon 1211, 1301	질식, 냉각 억제, 질식 억제, 질식, 냉각
BC급 화재	가연성 액체·기체와 통전 중인 전기기구와의 혼합물	○ BC급 분말 ○ ABC급 분말 ○ Halon 1211, 1301 ○ CO₂	억제, 질식, 부도체 억제, 질식, 부도체 억제, 질식, 냉각, 부도체 질식, 냉각, 부도체
ABC급 화재	일반 가연물과 가연성 액체, 기체와 통전 중인 전기 기구와의 혼합물	○ ABC급 분말 ○ Halon 1211	억제, 질식, 부도체 억제, 질식, 냉각, 부도체
D급 화재	가연성 금속과 가연성 금속의 합금	○ 금속화재용 분말	질식(공기 차단), 냉각
K급 화재	식용류	○ 강화액	냉각, 피복, 억제

제2장 소화약제로서의 물



학습 목표

1. 물의 물리적 성질을 이해함.
2. 물의 화학적 성질을 이해함.
3. 물의 주수형태에 따른 분류를 이해함.
4. 물 소화약제의 첨가제를 이해함.
5. 물의 소화효과를 이해함.
6. 물 소화약제의 한계를 이해함.

제1절 개요

물은 오래 전부터 널리 사용되어 오고 있는 소화약제로 대부분의 화재는 물로써 소화가 가능하다. 최근에는 각종 소화약제 및 소화 설비들이 개발되어 화재를 효과적으로 진압하고 있으나 아직까지도 물은 중요한 소화약제로 사용되고 있다. 물이 소화약제로 널리 사용되고 있는 가장 큰 이유는 우선 구하기가 쉽고, 비열과 증발 잠열이 커서 냉각 효과가 우수하며, 펌프, 파이프, 호스 등을 사용하여 쉽게 운송할 수 있기 때문이다.

물은 A급화재(일반화재)에서는 우수한 능력이 발휘되나, B급화재(유류 및 가스)에서는 오히려 화재가 확대될 수 있고, C급화재(전기화재)에서는 소화는 가능하지만 감전사고의 위험성이 있으므로 주의하여야 한다. 그리고 사용 후 2차 피해인 수손이 발생하고 추운 곳에서는 사용할 수 없는 단점도 있다.

제2절 물의 물리적 성질

1. 물은 상온에서 비교적 안정한 액체로 자연 상태에서는 기체(수증기), 액체, 고체(얼음)의 세 가지 형태로 존재한다.
2. 0℃의 얼음 1g이 0℃의 액체 물로 변하는 데 필요한 용융열(용융 잠열)은 79.7cal/g이다(〈표 2-3〉 참고).
3. 100℃의 액체 물 1g을 100℃의 수증기로 만드는 데 필요한 열량인 증발 잠열(기화열)은 539.6cal/g으로 다른 물질에 비해 매우 큰 편이다(〈표 2-3〉 참고).
4. 물 1g을 1℃ 올리는 데 필요한 열량인 비열은 1cal/g·℃로 다른 물질에 비해 상당히 큰 편이다(〈표 2-4〉 참고). 따라서 20℃의 물 1g을 100℃까지 가열하기 위해서는 80cal의 열이 필요하다.
5. 대기압 하에서 100℃의 물이 액체에서 수증기로 바뀌면 체적은 약1,700배 정도 증가한다.(100℃의 포화수와 건조포화수증기의 비체적은 각각 0.001044 l /g, 1.673 l /g)

[표 2-3] 물질의 용융열과 증발 잠열

물질명	용융열 (cal/g)	증발 잠열 (cal/g)	물질명	용융열 (cal/g)	증발 잠열 (cal/g)
물	79.7	539.6	에틸알코올	24.9	204.0
아 세 톤	23.4	124.5	납	5.4	222.6
벤 젠	30.1	94.3	파라핀왁스	35.0	-
사 염 화 탄 소	4.1	46.3	LPG	-	98.0

[표 2-4] 물질의 비열

물 질 명	비열(cal/g·℃)	물 질 명	비열(cal/g·℃)
물(얼음, 0℃)	1.000(0.487)	구 리	0.019
아 세 톤	0.528	유 리	0.161
공 기	0.240	철	0.113
알 루 미 늄	0.217	수 은	0.033
부 탄	0.549	나 무	0.420

6. 1atm에서 물의 빙점(융점)은 0℃, 비점은 100℃이다. 이들 값은 압력에 따라 변한다.
7. 물의 비중은 1atm을 기준으로 4℃일 때 0.999972로 가장 무거우며 4℃보다 높거나 낮아도 이 값보다 작아진다.
8. 물은 압력을 받으면 약간은 압축되나 기체에 비하면 무시해도 좋을 정도이므로 비압축성 유체로 간주할 수 있다. 온도에 따라 다르기는 하지만 1kg/cm²의 압력 증가에 평균 $3.0 \times 10^{-10} \sim 5.0 \times 10^{-10}$ 씩 부피가 감소한다.
9. 물의 점도는 1atm, 20℃에서 1.0cP(1centipoise=0.01g/cm·sec)이며 온도가 올라가면 점도는 작아진다(50℃에서는 0.55cP).
10. 물의 표면 장력은 20℃에서 72.75dyne/cm이며 온도가 상승하면 표면 장력은 작아진다(40℃에서는 69.48dyne/cm).

제3절 물의 화학적 성질

1. 물은 수소 2원자와 산소 1원자로 이루어져 있으며 이들 사이의 화학결합은 극성 공유 결합이다.
2. 물은 극성 분자이기 때문에 분자간의 결합은 쌍극자-쌍극자 상호 작용(극성 분자의 양의 말단과 다른 극성 분자의 음의 말단 사이에 작용하는 정전기적 인력)의 일종인 수소 결합(hydrogen bond)에 의해 이루어진다. 물의 비정상적인 성질은 대부분 이 수소 결합의 결과이다. 물이 비교적 큰 표면 장력을 갖는 것도 분자간의 인력의 세기와 직접적인 관계가 있으며, 비교적 큰 비열도 수소 결합을 끊는데 큰 에너지가 필요하기 때문이다.

제4절 물의 주수 형태

1. 봉상(棒狀)

막대 모양의 굵은 물줄기를 가연물에 직접 주수하는 방법으로 소방용 방수노즐을 이용한 주수가 대부분 여기에 속한다. 현재도 가장 널리 사용되고 있으며 열용량이 큰 일반 고체 가연물의 대규모 화재에 유효한 주수 형태이다. 감전의 위험이 있기 때문에 어느 정도의 안전 거리를 유지하여야 한다.

2. 적상(適狀)

스프링클러 소화설비 헤드의 주수 형태로 살수(撒水)라고도 한다. 저압으로 방출되기 때문에 물방울의 평균 직경은 0.5~6mm 정도이다. 일반적으로 실내 고체 가연물의 화재에 사용된다.

3. 무상(霧狀)

물분무 소화설비의 헤드나 소방대의 분무 노즐에서 고압으로 방수할 때 나타나는 안개 형태의 주수로 물방울의 평균 직경은 0.1~1.0mm 정도이다. 소화 효과의 측면에서 본 최저 입경은 열전달과 물방울의 최대 속도와 관계로부터 이론적으로 유도해보면 0.35mm 정도이다.

일반적으로 유류화재에 물을 사용하면 연소면이 확대되기 때문에 물의 사용을 금하고 있지만 증질유 화재(증질의 연료유, 윤활유, 아스팔트 등과 같은 고비점유의 화재)의 경우에는 물을 무상으로 주수하면 급속한 증발에 의한 질식 효과와 에멀전 효과에 의해 소화가 가능하다. 에멀전 효과란 물의 미립자가 기름의 연소면을 두드려서 표면을 물과 기름이 섞인 유화상으로 만들어 기름의 증발 능력을 떨어뜨려 연소성을 상실시키는 효과로, 에멀전 효과를 높이기 위해서는 유면에의 타격력을 증가(속도에너지 부가)시켜주어야 하므로 질식 효과를 기대할 때보다 입경을 약간 크게 해야 한다. 일반적으로 물을 사용하여 소화할 수 있는 유류화재는 유류의 인화점이 37.8℃(100°F) 이상인 경우이다. 또한 무상 주수는 다른 주수법에 비하면 전기 전도성이 좋지 않기 때문에 전기화재에도 유효하나 이때에는 일정한 거리를 유지하여 감전을 방지해야 한다.

제5절 물소화약제의 첨가제

1. 개요

물 소화약제는 단독으로도 우수한 소화제이지만 동결을 방지하고 침투능력·분산능력·유화 능력 등을 증대시키기 위하여 화학 물질을 첨가하며 이는 물의 냉각에 의한 소화효과 외에 소화력을 증대시켜 적은 수량으로 높은 소화 효과를 얻을 목적으로 첨가하는 것이다.

2. 종류

가. 동결방지제(부동제)

소화약제로서 물의 큰 단점은 앞에서 살펴본 바와 같이 저온에서의 동결이다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해서 첨가하는 약제가 동결방지제이며 물의 물리·화학적 성질을 고려하여 일반적으로 자동차 냉각수 동결방지제로 많이 사용되는 에틸렌글리콜(ethylene glycol, $C_2H_4(OH)_2$)을 가장 많이 사용하고 있다.

나. 증점제(Viscous Water Agent)

물은 유동성이 크기 때문에 소화 대상물에 장시간 부착되어 있지 못한다. 따라서 화재에 방사되는 물소화약제의 가연물에 대한 접촉성질을 강화시키기 위하여 첨가하는 물질을 증점제라 하며, 물의 사용량을 줄일 수 있고 높은 장소(공중 소화)에서 사용 시 물이 분산되지 않으므로 목표물에 정확히 도달할 수 있어 소화 효과를 높일 수 있는 장점이 있어 산불화재 진압용으로 많이 사용된다. 반면 증점제를 사용하면 가연물에 대한 침투성이 떨어지고, 방수 시에 마찰손실이 증가하고, 분무 시 물방울의 직경이 커지는 등의 단점이 있다.

증점제로 유기계는 알킨산나트륨염, 펙틴(pectin), 각종 껌 등의 고분자 다당류, 셀룰로오스 유도체, 비이온성 계면 활성제등이 있다. 산불화재 시 대표적으로 사용하는 유기계 증점제로는 CMC(Sodium Carboxy Methyl Cellulose)와 Gelgard(Dow chemical사의 상품명)등이 있다. 무기계로는 벤토나이트, 붕산염 등이 사용되고 있으며 이들을 기계적으로 혼합하여 슬러지상으로 만들어 주로 산불화재에 사용하고 있다.

다. 침투제(Wetting Agent)

물은 표면장력이 커서 방수 시 가연물에 침투되기가 어렵기 때문에 표면장력을 작게하여 침투성을 높여주기 위해 첨가하는 계면활성제의 총칭을 침투제라 한다. 일반적으로 첨가하는 계면 활성제의 양은 1%이하이다. 침투제가 첨가된 물을 “Wet Water”라고 부르며, 이것은 가연물 내부로 침투하기 어려운 목재, 고무, 플라스틱, 원면, 짚 등의 화재에 사용되고 있다.

라. Rapid water

소방활동에서 호스 내의 물의 마찰손실을 줄이면 보다 많은 양의 방수가 가능해지고 가는 호스로도 방수가 가능해지므로 소방관의 부담이 줄게 된다. 이와 같은 목적을 위해 첨가하는 약제로 미국 Union carbide사에서 『rapid water』라는 명칭의 첨가제를 발매하고 있다. 이것의 성분은 폴리에틸렌옥사이드(polyethylene oxide, $\text{HO}-(\text{CH}_2\text{CH}_2)_n-\text{CH}_2\text{CH}_2\text{OH}$)로 이것을 첨가하면 물의 점성이 약 70%정도 감소하여 방수량이 증가하게 된다.

♣ 강화액(Loaded Stream) 소화약제

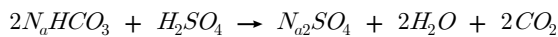
동절기 물소화약제가 동결되는 단점을 보완하고 물의 소화력을 높이기 위하여 화재에 억제 효과가 있는 염류를 첨가한 것으로 염류로는 알칼리 금속염의 탄산칼륨(K_2CO_3)과 인산암모늄[(NH_4) H_2PO_4] 등이 사용되고 여기에 침투제 등을 가하여 제조한다. 수소 이온농도(pH)는 11~12로 알칼리성이 사용되었으나 최근에는 7 ± 0.5 인 중성(미국, 일본은 법적으로 중성만 사용함)이며, 응고점은 $-30^\circ\text{C} \sim -26^\circ\text{C}$ 이다. 색상은 일반적으로 황색 또는 무색의 점성이 있는 수용액이다. 강화액의 소화 효과는 물이 갖는 소화효과와 첨가제가 갖는 부촉매 효과를 합한 것이다. 용도는 주로 소화기에 충약해서 목재 등의 고체 형태인 일반가연물 화재에 사용한다.

마. 유화제(Emulsifier)

중유나 엔진오일 등은 인화점이 높은 고 비점 유류이므로 화재 시 Emulsion형성을 증가시키기 위해 계면활성제(Poly Oxyethylene Alkylether)를 첨가하여 사용하는 약제이다. 이는 유화제의 유화, 분산작용에 의해 연료표면에 물과 기름의 유탁용액(에멀전)이 형성되어 기름의 증발이 대폭 억제되어 소화효과가 높아진다.

바. 산 알칼리제

산(H_2SO_4)과 알칼리($NaHCO_3$)의 두 가지 약제가 혼합되면 화학작용에 의하여 이산화탄소와 포(거품)이 형성되어 용기 내에서 발생된 이산화탄소의 증기압에 의하여 포가 방출된다. 주로 소화기에 이용되며 내통과 외통으로 구분하여 따로 약제를 저장하며 내부 저장용기에 물 30%와 진한 황산 70%의 수용액, 외부저장용기에는 물 90%와 탄산수소나트륨 10% 수용액을 충전하여 사용하는데 저장 및 보관, 용기에 대한 부식성, 불완전한 약제의 혼합이 소화의 신뢰성이 떨어져 거의 사용을 하지 않고 있다. 산과 알칼리 소화약제는 수용액 상태로 분리 저장되어 있다가 방출시 중간 혼합실에서 알칼리와 산의 화학작용에 의하여 CO_2 의 발생에 의하여 방출원의 압력을 동력원으로 하여 사용되며 소화기에 사용하는 것으로서 A급 화재에만 사용되고 있다. 알칼리와 산의 반응식은 아래와 같다.



제6절 소화 효과

1. 냉각 효과(cooling effect)

물의 비열은 헬륨의 $1.25\text{cal/g}\cdot^\circ\text{C}$, 수소 $3.41\text{cal/g}\cdot^\circ\text{C}$ 를 제외하고는 천연 물질 중에서 가장 크고 기화열(539cal/g)도 모든 액체 중에서 가장 크다. 따라서 물의 소화 효과 중 가장 대표적인 것은 냉각 효과이다.

2. 질식 효과(smothering effect)

100°C 의 물이 100°C 의 수증기로 변하면 체적이 약 1,700배 정도 늘어나 화재 현장의 공기를 대체하거나 희석시켜 질식 효과를 나타낸다. 만약 발생된 수증기가 연소 영역을 제한한다면 질식 효과는 한층 더 빨라질 것이다. 가장 효과적인 질식을 위해서는 물에 약간의 포 소화 약제를 첨가하는 것이 바람직하다. 그리고 유류화재의 진압을 위해서는 유류 표면에 부드럽게 분무 형태(무상)로 주수해야 한다.

3. 유화 효과(emulsification effect)

유류화재에 물을 무상으로 주수하면 앞에서 설명한 질식 효과 이외에도 유탁액(emulsion)이 생성되어 유화 효과가 나타난다.

유화 효과란 물의 미립자가 기름의 연소 면을 두드려서 표면을 유화상으로 하여 가연성 증기의 발생을 억제함으로써 기름의 연소성을 상실시키는 효과를 말한다. 유화 효과를 높이기 위해서는 유면에의 타격력을 증가(속도에너지 부가)시켜 주어야 하므로 질식 효과를 기대할 때보다 물방울의 입경을 약간 크게 하고 좀 더 강하게 분무하여야 한다.

4. 희석효과(dilution effect)

물에 용해하는 수용성 가연물질인 알코올·에테르·에스테르·케톤류 등의 화재 시 많은 양의 물을 일시에 방사하여 가연물질의 연소농도를 소화농도 이하로 물게 희석시켜 소화하는 방법을 희석소화 작용이라 한다.

희석소화작용이라 함은 대부분 수용성가연물질의 화재 시에 적용하는 소화작용으로서 물에 어떠한 비율로도 용해가 가능한 물질에 대하여 적용되며, 물을 방사하는 방법에 따라 소화에 소요되는 시간에 다소의 차이는 있으나 분무상 보다는 봉상 또는 적상으로 소화약제를 방사하는 경우에 효율적인 소화효과를 얻을 수 있다.

5. 타격 및 파괴 효과

물을 봉상이나 적상으로 주수하면 가연물은 파괴되어 연소가 중단된다. 그러나 유류화재의 경우에는 봉상으로 주수하면 거품이 격렬하게 발생되기 때문에 봉상 주수는 피해야 한다.

제7절 물 소화약제의 한계

물은 가장 널리 사용되는 소화약제이지만 겨울철 동결의 우려가 있고 수손피해가 발생할 수 있으며, 가연물의 특성상 물의 사용을 금지하거나 주의를 해야 한다.

1. B급화재(유류화재)적용 시

물보다 비중이 작은 누출 유류의 화재에서 주수를 하면 유류입자가 물의 표면에 부유함으로써 오히려 화염면을 확대시킬 수 있다. 물보다 비중이 큰 유류인 중유의 탱크 화재에서는 무상(霧狀)이 아닌 봉상(棒狀)이나 적상(適狀)으로 분사하면, 물의 분사 압력으로 불이 붙은 중유입자가 물입자와 함께 탱크 밖으로 비산하여 화재를 더욱 확대시킬 우려가 있다. 따라서 석유류 화재에 있어서는 물의 적용은 신중하여야 하며 중유화재에는 분무상의 물을 분사하여 유화소화를 하는 것이 유리하다.

2. C급화재(전기화재)적용 시

전기화재에서 물을 사용한 소화는 가능하지만 감전사고의 위험이 있다. 이러한 감전사고의 위험성을 줄이기 위해서는 일정한 거리를 유지하면서 무상으로 분사하여야 한다.

3. D급화재(금속화재)적용 시

제3류 위험물에 해당하는 리튬(Li), 나트륨(Na), 칼륨(K) 등 알칼리금속과 칼슘(Ca)등의 알칼리토금속, 제2류 위험물에 해당하는 철가루, 마그네슘 등 금속 또는 금속가루는 물과 반응하여 가연성·폭발성인 수소가스를 발생한다. 따라서 이들의 화재 시 물을 사용하면 오히려 화재가 확대되면 특히 화염의 온도가 높은 경우에는 이와 같은 현상이 두드러지게 나타난다. 따라서 물이 함유된 소화약제는 금속화재에 절대로 사용해서는 안된다.

4. 특수화재와 물

가. 화학제품(카바이드, 아산화물)

화학제품과 물이 반응하면 가연성가스와 열 발생되어 오히려 화재를 확대 시키는 것으로 생석회(生石灰)가 물에 젖은 상태에서 열 방출이 되지 않으면 일정시간 후 자연발화 한다.

나. 가연성 금속

K, Al, Mg, Na, Zn, Fe등 가연성 금속은 물과 반응 시 수소를 발생시키고 금속화재에서 연소반응 온도가 높기 때문에 더욱 위험하게 된다.

다. 방사성 금속

물이 방사능에 오염 시 처리가 어려우므로 물은 소화약제로서 적합하지 않다.

라. 가스화재

가스화재에서는 수용성 가스에 적용 시 분무상으로 방사하면 가스농도가 희석되어 연소범위 이내가 되어 소화가 가능하며 주로 화재 시 과열된 탱크의 냉각 시 탱크 외부에 분무하면 탱크 내부 온도가 낮아지게 되어 가연성 증기의 발생이 억제되고 소화가 되는 것이다.

5. 물과 반응하는 화학물질

금속류 외에 물과 반응하여 조연성·가연성 가스 또는 독성가스를 발생하는 화학물질이 있다. 제1류 위험물에 해당하는 무기과산화물(과산화나트륨, 과산화칼륨, 과산화칼슘 등), 삼산화크롬(CrO_3) 등은 물과 반응하여 산소를 발생하고, 제3류 위험물에 해당하는 알킬알루미늄, 알킬리튬, 탄화칼슘(CaC_2), 탄화알루미늄 등은 물과 반응하여 메탄·에탄·아세틸렌 등 가연성가스를 생성한다.

또한, 제3류 위험물인 금속의 인화물(인화칼륨, 인화칼슘 등)은 물과 만나면 맹독성의 포스핀가스(PH_3)를 발생하며, 제6류 위험물인 질산은 물과 만나면 급격히 발열하여 폭발에 이르기도 한다.

6. 그 밖의 한계

방사성 물질 화재에서 물을 사용하면 방사능오염이 확대될 수 있으며 고온의 표면에 물이 닿는 경우 수증기폭발이 발생할 수 있으므로 가연물의 성질과 상태를 정확히 파악하는 것이 중요하다.

또한 중요한 문화재나 가치가 높은 예술품의 화재 시 주수에 의한 수손피해로 그 가치가 훼손될 수 있으므로 물로 소화가 가능할지라도 가스계소화약제 등 다른 소화약제의 적용을 고려하여야 한다.

제3장 포(泡) 소화약제



학습 목표

1. 포 소화약제의 종류를 이해함.
2. 포 소화약제의 팽창비를 이해하고 계산할 수 있음.
3. 포 소화약제의 구비조건을 이해함.
4. 공기포 소화약제의 종류를 파악함.
5. 포 소화약제의 소화효과 및 적응화재를 이해함.

제1절 개요

물에 약간의 첨가제(포 소화약제)를 혼합한 후 여기에 공기를 주입하면 포(foam)가 발생된다. 이와 같이 생성된 포는 유류보다 가벼운 미세한 기포의 집합체로 연소물의 표면을 덮어 공기와의 접촉을 차단하여 질식 효과를 나타내며 함께 사용된 물에 의해 냉각 효과도 나타난다. 즉, 포 소화약제는 질식 효과와 냉각 효과에 의해 화재를 진압한다.

포에는 두 가지 약제의 혼합 시 화학반응으로 발생하는 이산화탄소를 핵으로 하는 화학포와 포 원액을 물에 섞은 다음 공기를 기계적인 방법으로 혼합하여 공기거품을 발생시키는 기계포(일명 공기포라고도 함)가 있다. 전자는 현재 사용되지 않으며 일반적으로 포라 하면 후자의 기계포를 의미한다.

포 소화약제는 포가 유류의 표면을 덮어서 질식시키기 때문에 유류화재의 소화에 가장 효과적이나 일반화재에도 사용할 수 있다. 일반적으로 물만으로는 소화 효과가 약하든지, 주수에 의하여 오히려 화재가 확대될 우려가 있는 가연성 액체의 소화에 사용한다.

제2절 포 소화약제의 종류

포 소화약제는 발포 기구(mechanism)에 의해 크게 화학포 소화약제와 공기포 소화 약제로 나누어진다. 화학포(chemical foam)는 산성액과 알칼리성액의 화학 반응에 의해 발생되는 탄산가스를 핵으로 한 포이고, 공기포(air foam)는 물과 약제의 혼합액의 흐름에 공기를 불어 넣어서 발생시킨 포이다.

화학포는 화학 반응에 의해 만들어진 포인 반면에 공기포는 기계적으로 발생시켰기 때문에 기계포(mechanical foam)라고도 부른다. 이상과 같이 포를 성상에 의해 분류하면 화학포와 공기포로 나눌 수 있으며, 기계포는 팽창비에 따라 저팽창포, 중팽창포, 고팽창포로 나눌 수 있다.

우리나라는 팽창비가 20미만인 저팽창포와 80이상인 고팽창포의 2가지로 구분하고 있다. 저팽창포에는 단백포, 불화단백포, 합성계면활성제포, 수성막포, 알콜형포가 있고, 고팽창포에는 합성계면활성제포가 있다.

[표 2-5] 팽창비에 의한 기계포 소화약제의 분류

종 류	팽 창 비		
	한국, 일본(소방법)	미국(NFPA*기준)	유 럽
저팽창	20 이하	20 미만	6 이상 50 미만
중팽창	-	20 이상 200 미만	50 이상 500 미만
고팽창	80 이상 250 미만(제1종기계포) 250 이상 500 미만(제2종기계포) 500 이상 1,000 미만(제3종기계포)	200 이상 1,000 미만	500 이상 1,000 미만

* NFPA : National Fire Protection Association(미국방화협회)

1. 화학포

가. 개요

화학포는 2가지의 소화약제가 화학 반응을 일으켜 생성되는 기체(이산화탄소)를 핵으로 하는 포이다. 우리나라에서는 이 약제를 사용한 소화기가 가장 먼저 보급되었다. 이 소화기는 구조가 간단하고 고장이 없고, 조작이 간편하여 사용하기 쉽고, 소화효과가 우수하기 때문에 널리 보급되어 사용되었으나, 동결이 잘 되고(응고점 : -5℃) 약제의 부식성, 발포 장치의 복잡성 등의 문제점 때문에 소방시설의 설치·유지 및 위험물제조소등의 기준 등에 관한 규칙(내무부령 제419호, 1984. 8. 16)에 의해 사용을 인정하지 않고 있다.

나. 성분 및 특성

화학포는 A약제인 탄산수소나트륨(중조 또는 중탄산나트륨, NaHCO_3)과 B약제인 황산알루미늄($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$)의 수용액에 발포제와 안정제 및 방부제를 첨가하여 제조 한다.

이들 두 약제의 화학 반응식은 다음과 같다.



두 가지 수용액을 혼합하면 화학 반응에 의해 다량의 이산화탄소가 발생되어 소화기 내부가 고압 상태가 되고 그 압력에 의하여 반응액이 밖으로 밀려나가 방사된다. 방사되는 순간에 이산화탄소를 핵으로 하는 포가 불꽃을 덮어서 불이 꺼지게 된다.

위의 반응에 의해 생성된 수산화알루미늄은 끈적끈적한 교질상으로 여기에 A약제에 포함된 수용성 단백질이 혼합되면 점착성이 좋은 포가 생성되어 가연물 표면에 부착되어 불꽃을 질식시킨다.

다. 소화 효과

화학포는 점착성이 커서 연소물에 부착되어 냉각과 질식 작용으로 화재를 진화한다. 특히 유류화재에 대해서는 액면을 포로 덮어서 내화성이 강한 층을 형성하기 때문에 우수한 소화효과를 나타내나, 가격이 비싸고, 발생과 사용이 어렵고, 생성된 포막은 대단히 견고하여 일단 구멍이 생기면 쉽게 막을 수 없고, 포의 질이 용액의 온도에 크게 좌우되는 등의 단점도 있다.

2. 공기포(기계포)

공기포는 포 소화약제와 물을 기계적으로 혼합시키면서 공기를 흡입하여(공기를 핵으로 하여) 발생시킨 포로 일명 기계포라고도 한다. 이 소화약제는 화학포 소화약제보다 농축되어 있기 때문에 약제 탱크의 용량이 작아질 수 있는 큰 장점이 있다. 이 약제는 크게 단백계와 계면활성제계로 나누어지며 단백계에는 단백포 소화약제, 불화단백포 소화약제, 계면활성제계에는 합성계면활성제포 소화약제, 수성막포 소화약제, 알콜형포(수용성액체용포) 소화약제가 있다.

소화약제의 주 원료가 대부분 물이기 때문에 송수 펌프의 토출측과 흡입측에서 포 소화약제를 혼합하고 외부에 방출시 고압으로 분사 시 발포되거나 약제 토출측에 고압의 공기를 이용하여 분사시키는 방법이 사용되고 있다. 펌프를 사용하기 때문에 규모가 큰 화재에 많은 양의 포를 방출할 수 있고 소화시간이 짧으며 옥내소화전과 연결하여 사용할 수 있는 장점이 있다. 고정된 방출구는 약제가 노즐을 통과할 때 오리피스 작용에 의해 공기가 흡입되어 방출되므로 노즐에서의 높은 압력이 요구 된다.

3. 포의 팽창비율에 따른 분류

가. 저발포용 포 : 팽창비가 20 이하인 포

- (a) 가장 일반적인 형태의 포로서 보통 고정포방출구, 포헤드 및 포소화전 등을 사용한다.
- (b) 주차장에 사용하는 포소화전 및 호스릴포는 저발포 약제이어야 한다.
- (c) 단백포, 합성계면활성제포, 수성막포, 알코올포 등이 저발포 포소화약제로 사용된다.

나. 고발포용 포 : 팽창비가 80 이상 1,000 미만인 포

- (a) 고발포용 방출구를 사용하며, 넓은 장소의 급속한 소화, 지하층 등 소방대의 진입이 곤란한 장소에 매우 효과적이다.
- (b) A급화재에 적합하며 B급화재의 경우는 저발포보다 적응성이 떨어진다.
- (c) 구획된 공간에 포가 방출되면 시야 제한, 난청, 호흡장애, 방향감각 상실 등으로 인명 피해의 우려가 있다.

4. 포 소화약제의 구비조건

가. 내열성

방출된 포가 파포되지 않기 위해서는 내열성이 강해야 하며 특히 B급 화재에서 포의 내열 성능이 매우 중요하다. 일반적으로 발포 배율이 작고, 환원시간이 긴 포가 내열성이 우수하며 단백포는 다른 포에 비해서 내열성이 큰 것이 장점이다.

나. 발포성

포 거품의 체적비율을 팽창비라 하며 수성막포는 5배 이상, 기타는 6배이상 이어야 한다. 25%환원시간¹⁰⁾은 합성계면 활성제포의 경우는 3분이상이며 기타는 1분이상 유지 하여야 한다.

다. 내유성

포 소화약제는 주로 유류화재에 이용되므로 포가 유류에 오염되거나 파포되지 않아야 한다. 내유성이 강한 소화약제로는 불화단백포가 있으며 유류 탱크 내부 또는 표면아래에서 분출되는 표면하주입방식에 이용된다.

라. 유동성

유류 화재에 방사 시 유면상을 자유로이 확산할 수 있도록 유동되어야 한다. 표면하 주입 방식으로 사용하기 위해서는 환원시간도 길어야 하고 포의 유동이 좋아야 하며 유류면의 직경이 60m 이상의 유류탱크 화재에는 유동속도가 느리게 되어 조기 소화에 지장이 있다.

마. 점착성

포 소화약제의 소화효과는 질식성이므로 표면에 잘 점착되어야 한다. 고폽창의 경우 포 내부의 수분이 부족하여 저팽창포 보다는 점착성이 부족하고 화염의 영향으로 흐트러지기 쉽다.

10) 발포상태에서 원래의 포가 깨어져 포 수용액으로 환원되는 시간으로서 포 중량의 25%가 수용액이 되는 시간을 25% 환원 시간이라 한다.

제3절 공기포 소화약제

1. 단백포 소화약제(protein foaming agents)

동물성 단백질인 동물의 피, 뿔, 발톱을 알칼리(수산화나트륨, 수산화칼슘)로 가수 분해*시키면 최종적으로 아미노산이 된다. 이 과정의 중간 정도 상태에서 분해를 중지시킨 것이 이 소화약제의 주성분으로 흑갈색의 특이한 냄새가 나는 끈끈한 액체이다. 여기에 내화성을 높이기 위하여 금속염인 염화철 등을 가한 것이 이 약제의 원액이다. 원액은 6%형(원액 6%에 물 94%를 섞어서 사용하는 형)과 이를 다시 농축시킨 3%형이 있으며 현재는 3%형이 주류를 이루고 있다. 주로 팽창비 10이하의 저팽창포로 사용되며 원액의 비중은 약 1.1, pH는 6.0 ~ 7.5 정도이다. 단백질의 농도는 3%형이 40wt% 전후, 6%형이 30wt% 전후로 3%형이 6%형을 약 1.5배 정도 농축한 것이다. 이 원액은 수용액으로 보존하면 가수 분해가 진행되어 변질되기 때문에 사용 시에 규정 농도의 수용액으로 제조하여 사용해야 한다. 이 약제의 저장수명은 개략 3년 정도이지만 이것은 저장 환경에 따라 크게 달라질 수 있다. 즉, 산화를 방지하기 위하여 원액 탱크를 단열하거나, 질소 등을 봉입하거나, 햇빛을 차단하거나 하면 약제의 수명은 연장된다. 유효 기간이 지난 약제는 변질되어 악취가 발생하므로 저장 및 취급에 주의해야 한다.

단백포는 점성이 있어 안정되고 두꺼운 포막을 형성하기 때문에 인화성, 가연성액체의 위험물 저장탱크, 창고, 취급소 등의 포 소화설비에 사용된다. 내열성이 우수하고, 유면봉쇄성이 좋은 장점이 있고, 반면 유동성이 나쁘고, 유류를 오염시키며, 소화시간이 길고, 변질되기 쉬워 저장성이 떨어지고, 분말소화약제와 병용할 수 없는 단점이 있다.

* 가수 분해 : 가수 분해는 거대한 단백질 분자를 적당히 절단해서 그 끝에 수소 혹은 수산기(-OH)를 결합시켜 소형의 안정된 분자로 만들어 가는 조작으로 가수 분해가 계속되면 단백질은 최종적으로 아미노산으로 분해된다. 따라서 단백포 소화약제 제조의 가장 큰 어려움은 단백질의 가수 분해 속도를 알맞게 조절하여 중간 정도까지만 가수 분해된 수용성의 성분을 다량으로 제조하는 것이다

2. 불화단백포 소화약제(fluoroprotein foaming agents)

단백포 소화약제에 불소계 계면활성제를 첨가하여 단백포와 수성막포의 단점을 보완한 약제로, 유동성과 내유염성(耐油染性 : 포가 기름으로 오염되기 어려운 성질)이 나쁜 단백포의

단점과 표면에 형성된 수성막이 적열된 탱크 벽에 약한 수성막포의 단점을 개선한 것이다. 또한 불소계 계면활성제를 첨가함으로써 안정제인 철염의 첨가량을 줄였기 때문에 침전물이 거의 생성되지 않아 장기 보관(8~10년)이 가능하다.

그리고 계면활성제를 첨가했기 때문에 유류와 친화력을 갖지 않고 겉돌게 되므로 유류를 오염시키지 않는다. 따라서 불화단백포는 수성막포와 함께 표면하 포주입방식(subsurface injection system)에 적합한 포 소화약제로 알려져 있다. 표면하 포주입방식은 포가 유류 하부로부터 부상하는 방식이기 때문에 기름을 오염시키지 않는 불화단백포 소화약제나 수성막포 소화약제를 사용해야 한다. 이 방식은 포가 바닥에서 액면으로 부상하면서 탱크 아래 부분의 차가운 기름을 상부로 이동시켜 상부층을 냉각시켜주기 때문에 소화를 촉진시킬 수 있는 장점도 있다.

표면포 방출방식은 포 방출구가 탱크의 윗부분에 설치되어 있기 때문에 화재 시 폭발이나 화열에 의하여 파손되기 쉽지만 표면하 포주입방식은 포 방출구가 탱크 하부에 설치되어 있어서 이의 파손 가능성이 적으므로 설비에 대한 안정성이 크다.

기름에 의한 오염이 적고, 포의 유동성이 좋고, 저장성이 우수하나, 단백질보다 값이 비싼 것이 단점이다.

3. 합성계면활성제포 소화약제(synthetic foaming agents)

합성 세제의 주성분과 같은 종류의 계면활성제*에 안정제, 부동제, 방청제 등을 첨가한 약제이다. 이 중에서 불소계 계면활성제를 기제로 한 수성막포 소화약제는 따로 분류한다.

물에 어떤 물리적인 충격을 가해 주면 물결이 생기면서 물이 부분적으로 솟아올라 'U'자 모양이 되고 이것이 더 발달하면 'O'자 모양의 거품이 된다. 이때 순수한 물은 표면장력(20℃에서 72.75dyne/cm)이 커서 솟아 오른 언저리와 언저리가 서로 닿기 전에 원래 상태로 되돌아가 평평한 수면이 된다. 그 중 일부가 거품이 되었다 하여도 거품을 형성한 물분자가 서로 당겨 수축하기 때문에 거품은 지속되지 못하고 곧 파괴되어 물로 환원된다. 그러나 물에 표면장력을 약 30dyne/cm 정도까지 떨어뜨릴 수 있는 계면활성제를 첨가하면 표면장력이 감소되어 쉽게 거품이 형성되고, 거품 안의 물이 밑으로 빠지는 속도도 반 정도로 줄게 되어 거품의 수명도 길어지게 된다.

이 약제 역시 단백질 소화약제와 마찬가지로 물과 혼합하여 사용한다. 3%, 4%, 6%의 여러

가지 형이 있으나 3%형과 6%형이 가장 많이 사용된다. 대부분의 소화약제가 팽창비 10이하의 저팽창포로 사용되나 이 약제는 저팽창포로부터 고폽창포까지 넓게 사용되고 있다. 고폽창포로 사용하는 경우는 사정거리(포의 방출구에서 화재 지점까지 포를 도달시킨 거리)가 짧은 것이 문제점이다.

이 약제는 유동성은 좋은 반면 내열성, 유면 봉쇄성이 좋지 않기 때문에 다량의 유류화재 특히, 가연성 액체 위험물의 저장탱크 등의 고정소화설비에는 그다지 효과적이지 못하다. 단 백포 소화약제에 비하여 저장 안정성은 매우 우수하나 합성계면활성제가 용이하게 분해되지 않기 때문에 세제공해와 같은 환경 문제를 일으킨다.

* 계면활성제 : 계면활성제란 기체-액체, 액체-액체, 액체-고체간의 계면(표면을 의미함)에 흡착 또는 배열되어 그 계면 또는 표면의 성질을 현저하게 변화시키는 물질이다.

역사적으로 계면 활성제는 비누로부터 시작되어 합성세제, 염색조제, 유화제, 응집제, 기포제, 침투제, 가용화제 등 실로 산업 전반에 걸쳐 넓게 이용되고 있다.

4. 수성막포 소화약제(aqueous film foaming agents)

불소계 계면활성제를 주성분으로 한 것으로 역시 물과 혼합하여 사용한다. 수성막포는 합성 거품을 형성하는 액체로서 일반 물은 물론 해수와도 같이 사용할 수 있다. 물과 적절한 비율로 혼합하여 기존의 포방출구로 방사하면 물보다 가벼운 인화성액체 위에 물이 떠 있도록 하는 획기적인 약제이다.

기름의 표면에 거품과 수성의 막(aqueous film)을 형성하기 때문에 질식과 냉각 작용이 우수하다. 대표적으로 미국 3M사의 라이트 워터(Light Water)라는 상품명제의 제품이 많이 팔리고 있는데 유면상에 형성된 수성막이 기름보다 가벼운 것처럼 보이기 때문에 만들어진 상품명이다.

유류화재에 우수한 소화효과를 나타낸다. 3%, 6%, 10%형이 있으나 주로 3%, 6%형이 많이 사용된다. 장기 보존성은 원액이든 수용액이든 타 포원액보다 우수하다. 약제의 색깔은 갈색이며 독성은 없다.

그러나 포 자체의 내열성이 약하고 가격이 비싸며, 수성의 막은 한정된 조건이 아니면 형성되지 않는 단점도 있다.

5. 알콜형(수용성액체용)포 소화약제(alcohol-type foaming agents)

물과 친화력이 있는 알코올과 같은 수용성액체(극성 액체)의 화재에 보통의 포 소화약제를 사용하면 수용성액체가 포 속의 물을 탈취하여 포가 파괴되기 때문에 소화 효과를 잃게 된다. 이와 같은 현상은 액체의 온도가 높아지면 더욱 뚜렷이 나타난다.

알콜형포 소화약제는 이와 같은 단점을 보완한 약제로 여러 가지의 형이 있으나 초기에는 단백질의 가수분해물에 금속비누를 계면활성제로 사용하여 유화분산시킨 것을 사용하였다. 이것은 물에 녹지 않기 때문에 여기에 물을 혼합하여 사용한다. 일명 수용성액체용 포 소화약제라고도 하며 알코올, 에테르, 케톤, 에스테르, 알데히드, 카르복실산, 아민 등과 같은 가연성인 수용성액체의 화재에 유효하다.

포는 개략 94~97%가 물이기 때문에 포가 수용성액체와 접하면 포에 함유된 수분이 급속히 수용성액체 쪽으로 녹아 들어가 포가 탈수되어 순간적으로 소멸된다. 이와 동시에 수용성액체는 거꾸로 포쪽으로 이동하여 수분과 수용성액체가 서로 자리바꿈 하는 치환 현상이 일어나고 포쪽으로 이동된 수용성액체는 포를 이루고 있는 유기물질을 응고시켜 결국 포는 깨지고 만다. 이 치환현상은 순식간에 일어나서 마치 끓는 물에 눈을 넣는 것처럼 포는 사라진다. 따라서 이러한 현상을 방지하려면 수분과 수용성액체와의 치환현상을 막아야 한다.

따라서 보통의 포 소화약제는 비극성 탄화수소(휘발유, 등유, 경유 등) 화재에만 유효하나 이 약제는 극성 용매는 물론 비극성 탄화수소의 화재에도 사용할 수 있다.

이 약제는 단백질의 가수분해물에 불용의 지방산 금속염을 분산시켰기 때문에 장시간 저장하면 이들이 침전되는 단점이 있다. 따라서 물과 혼합한 후에는 2~3분 이내에 사용하지 않으면 포가 생성되기 전에 수류 중에 금속염의 침전이 생겨 소화 효과가 떨어지고 설비 상에도 장애가 생기게 된다.

이 소화약제(단백질의 가수 분해물에 금속비누를 첨가한 형태)는 소화 후 재연소 방지에는 효과가 우수하나 위와 같은 단점 때문에 잘 사용되지 않으며 현재는 이와 같은 단점을 보완한 것으로 탄화수소계 계면활성제에 고분자겔 생성물을 첨가한 고분자겔 생성형이나 단백질의 분해액에 불소계 계면활성제를 첨가하여 만든 불화단백형의 알콜형포 소화약제가 개발되어 사용되고 있다. 그러나 이 약제가 모든 수용성액체에 완벽하게 적응되는 것은 아니다.

수용성액체는 극성도(極性度), 관능기(官能基), 탄소수에 따라 연소성, 반응성 등이 달라지

기 때문에 액체의 종류에 따라 소화 효과가 각각 다르게 나타난다.

예를 들면 메탄올(CH_3OH), 에탄올($\text{C}_2\text{H}_5\text{OH}$)과 같이 극성이 크고 탄소수가 작은 것은 소화가 용이하나, 부탄올($\text{C}_4\text{H}_9\text{OH}$) 이상의 고급 알코올은 극성이 작고 연소열이 크기 때문에 소화가 곤란할 수 있다. 또한 알데히드류와 같이 반응성이 큰 것은 소화약제와 반응하여 소화 불능의 상태가 되는 경우도 있다. 그러므로 현재까지는 모든 수용성액체에 만능인 알콜형 포 소화약제는 없는 실정이다.

제4절 소화 효과 및 적응 화재

1. 소화 효과

포 소화약제의 주된 소화 효과는 포가 가연물질의 표면을 덮기 때문에 나타나는 질식 효과와 상당량의 수분에 의한 냉각 효과이다. 이것 이외에도 고발포 포의 경우는 포가 차지하는 체적이 매우 크기 때문에 대류와 복사에 의한 열의 이동 차단, 주변 공기의 배출, 가연성 증기의 생성 억제 등의 소화 효과도 기대할 수 있다.

포는 얇은 막으로 이루어져 있지만 점착성이 좋고 내열성이 있기 때문에 이상과 같은 소화 효과를 나타내게 된다.

2. 적응 화재

포 소화약제의 주된 소화 원리는 포에 의한 질식 작용과 물에 의한 냉각 작용이다. 이외에도 고체 가연물의 화재 시 합성 계면활성제 계통의 약제를 사용하면 계면활성제가 침투제(wetting agent) 역할을 하기 때문에 포가 갖는 소화 효과 이외에도 침투제가 갖는 소화 특성을 살릴 수 있다. 이와 같은 특성을 이용하여 포 소화약제는 비행기 격납고, 자동차 정비공장, 차고, 주차장 등 주로 기름을 사용하는 장소, 특수 가연물을 저장, 취급하는 장소, 위험물 시설(제 1, 2, 3류 위험물의 일부와 제4, 5, 6류 전부)에 사용되며, 합성계면활성제 포소화약제의 경우 팽창범위가 넓어 LNG가 저장탱크로부터 유출된 때 고발포의 포로 덮어서 외기로부터의 열을 차단해서 증발을 억제시켜 소화하기도 한다.

그러나 포 소화약제는 소화 후의 오손 정도가 심하고, 청소가 힘든 결점 등이 있고 또한 감전의 우려가 있어 전기화재나 통신 기기실, 컴퓨터실 등에는 부적합하다. 이외에도 특별한 경우를 제외하고는 다음과 같은 경우에도 사용할 수 없다.

- ① 제5류 위험물과 같이 자체적으로 산소를 함유하고 있는 물질
- ② Na, K 등과 같이 물과 반응하는 금속
- ③ 인화성 액화가스

가. 적응 구분과 특수한 사용법

유류화재를 대별하면

- ① 저장 탱크 등 유층이 깊은 경우의 화재와,
- ② 평면상으로 유출된 화재가 있다(압력에 의해 분출되는 유류화재는 포로 소화할 수 없기 때문에 여기서는 제외한다).

어떠한 경우도 시간이 지나면 유류의 온도는 상승되어 화세가 격해지지만 특히 ①의 경우는 저장 탱크의 측벽이 화염에 노출되어 고온이 되기 때문에 고온에서도 파괴되지 않는 내열성 포를 사용하는 것이 바람직하다. 반면 ②의 경우는 내열성은 조금 떨어지더라도 유동이 좋은 포를 사용하여 신속하게 화재를 억제하는 것이 바람직하다. 그러므로 화재의 형태에 따라 소화 약제를 <표 2-6>과 같이 사용하면 소화 효과를 높일 수 있을 것이다.

[표 2-6] 유류화재시 저발포 포의 사용 구분

화재의 종류 \ 포의 종류	단백포	불화단백포	계면활성제포	수성막포
저장탱크 화재	○	○		
저장탱크 화재(SSI*용)		○		○
유출화재	○	○	○	○

* Subsurface Injection System : 표면하 포 주입 방식

고발포의 포는 소화 이외에도 제연과 증발 억제의 효과가 있다. 지하가의 화재시 고발포의 포를 주입해서 연기를 배출시키면서 소화하기도 한다. 또한 고발포의 포에서는 사람이 질식

하지 않고 활동할 수 있는 특징이 있다. 단, 발포에 사용된 공기는 신선한 공기여야 한다. 이는 사람의 호흡을 위해서만이 아니고 가스를 사용하여 발포하면 포의 성능이 떨어지기 때문이다. 포 소화약제의 발포배율과 관련하여,

▶ 발포배율과 ¹¹⁾환원시간 :

발포배율이 커지면 포의 직경이 커지고 포의 막은 얇아진다. 반면 발포배율이 작으면 포의 직경이 작아서 포의 막은 두꺼워진다. 따라서 포의 막이 두꺼울수록 포의 입자가 균일할수록 포의 환원시간은 길어진다.

▶ 발포배율과 유동성 :

포원액 종류에 따라 유동성은 다르지만, 동일한 원액에서 발포배율이 커지면 유동성은 증가한다.

▶ 발포배율과 내열성 :

같은 원액의 경우 환원시간이 긴 것일수록 내열성이 우수하며, 이는 화염에 노출되어도 포가 쉽게 깨지지 않기 때문이다.

일반적으로 유동성이 좋으면 내열성이 부족해지며, 발포배율이 작아지면 환원시간과 내열성은 커지나 유동성은 나빠진다.

나. 포 소화약제의 병용성

소화 활동 시 각종 포 소화 약제를 같이 사용하는 것은 일반적으로 큰 문제가 없다. 이것은 대형 화재 시 발생 현장에 설치한 포 소화약제의 양으로는 소화가 곤란한 경우 인접 지역의 약제를 보급 받는 경우 중요해진다.

병용한 경우의 특성은 개개의 소화약제가 갖는 특성치의 중간이 되지만 화재의 규모나 형태에 따라 달라지기 때문에 한마디로 말할 수는 없다. 예를 들면 유출 화재에서는 단백포보다 계면활성제포 또는 수성막포가 소화 효과가 좋기 때문에 이들을 병용하는 것이 유리할 것이다.

11) 포가 원래의 포 수용액 상태로 돌아가는데 소요되는 시간

보통의 포는 이처럼 병용이 가능하지만 알콜형포는 일반포와 병용하면 그 특성이 저하되기 때문에 함께 사용하지 말아야 한다.

그리고 같은 포 소화약제인 경우에도 약제의 종류가 다르면 원액 및 수용액을 혼합하여 사용해서는 안 된다. 또한 같은 원액이라도 오래된 원액에 새로운 원액을 추가보충하는 것도 바람직하지 않다.

포 소화약제는 분말 소화약제와 함께 사용하면 분말 소화약제의 소포(消泡) 작용 때문에 좋지 않다. 포 층에 분말 소화 약제를 살포해 놓으면 포 층의 형성이 매우 어려워진다. 단, 수성막포 소화약제의 포는 소포되지 않기 때문에 분말 소화약제와의 병용이 가능하다. 포 소화약제와 병용할 수 있는 분말 소화약제로는 CDC(Compatible Dry Chemical)가 개발되어 있다.

3. 포 소화약제의 환경성 규제

2007년 인도네시아의 발리에서 UN기후변화 당사국회의가 개최되고 1997년 도쿄의정서에서 선진 39개국의 유해가스 배출을 의무적으로 일정량을 감축하도록 협약함으로써 개발도상국으로 특혜를 누리던 우리나라도 2012년 이후는 환경규제에 적용되게 되었다. 그간 현실적으로 배출량의 측정 가능한 검증이 이루어지지 않았고 특히 소화약제는 생산량으로 조절할 수밖에 없는 실정이다. 우리나라도 저탄소녹색성장 기본법에 의하여 할론계물질(HFCs), 과불화탄소(PFCs)의 생산을 규제하고 있으나 별다른 효과가 없는 실정이다. 포소화약제의 생성물인 PFOS(Perfluoro Octanoic Sulfonate)은 출생 직후 사망 한다던가 생식독성, 발암유발, 호르몬계 및 면역체계를 교란하는 물질로 알려져 2011년 2월 28일 소방방재청에서 불소가 함유되지 않은 친환경 포 소화약제를 사용토록 권고하고 있다. 따라서 전 세계적으로 친환경 소화약제의 사용이 의무화되어가고 있는 실정이다.

제4장 이산화탄소 소화약제



학습 목표

1. 이산화탄소 소화약제의 일반적 성질을 파악함.
2. 이산화탄소 소화약제의 소화효과를 이해함.
3. 이산화탄소 소화약제의 소화능도를 이해함.
4. 포 소화약제의 적응화재를 이해함.

제1절 개요

이산화탄소는 탄소의 최종 산화물로 더 이상 연소 반응을 일으키지 않기 때문에 질소, 수증기, 아르곤, 할론 등의 불활성 기체와 함께 가스에 소화약제로 널리 이용되고 있다.

이산화탄소는 유기물의 연소에 의해 생기는 가스로 공기보다 약 1.5배 정도 무거운 기체이다. 상온에서는 기체이지만 압력을 가하면 액화되기 때문에 고압가스 용기 속에 액화시켜 보관한다.

방출 시에는 배관 내를 액상으로 흐르지만 분사 헤드에서는 기화되어 분사된다. 가장 큰 소화 효과는 질식 효과이며 약간의 냉각 효과도 있다.

이산화탄소는 사용 후에 오염의 영향이 전혀 없다는 큰 장점이 있다. 보통 유류화재(B급 화재), 전기화재(C급화재)에 주로 사용되며 밀폐 상태에서 방출되는 경우는 일반화재(A급 화재)에도 사용이 가능하다.

또한 액체 이산화탄소는 자체 증기압이 21℃에서 57.8kg/cm²G(-18℃에서 20.4kg/cm²G) 정도로 매우 높기 때문에 다른 가압원의 도움 없이 자체 압력으로도 방사가 가능하다.

이산화탄소의 일반적 성질은 다음과 같다.

- ① 무색, 무취이며 전기적으로 비전도성이고 공기보다 1.5배 정도 무거운 기체이다.
- ② 공기 중에 약 0.03vol% 존재하며 동식물의 호흡 및 유기물의 연소에 의해서도 발생되

고 천연 가스, 광천수 등에도 함유되어 있다.

이산화탄소의 임계온도는 31.35°C 로 상온에 가깝기 때문에 하절기의 경우 액화이산화탄소 용기의 온도가 임계점을 넘으면 용기 내의 압력이 급격히 상승되어 위험하다. 또한 액체 이산화탄소는 압축가스와 달리 기화 팽창률이 커서 대기 중에 방출하게 되면 큰 체적의 기체 이산화탄소(액상 체적의 약 500배 정도 팽창)로 변하게 된다.

삼중점(triple point)에서는 세 가지 상이 평형이 되어 기체, 액체, 고체가 함께 공존할 수 있다. 이산화탄소는 삼중점인 $5.1\text{kg}/\text{cm}^3$, -56.7°C 에서 기체, 액체, 드라이아이스가 공존한다. 일반적으로 고체 이산화탄소는 녹기보다는 승화가 쉽게 발생하는데 이것은 대기압이 삼중점의 압력보다 낮기 때문이다. 고체에서 기체로 변하는 승화점은 1atm에서 -78.50°C 이고 그 이상의 온도에서는 기체로 존재한다.

액화된 이산화탄소가 대기 중으로 분출하고 분출 초기에는 일부의 이산화탄소가 급격하게 기화하여 분출하며, 이때 기화열(단열 팽창 효과)에 의해 잔류 이산화탄소는 급격하게 냉각되면서 고체인 드라이아이스로 변화된다.

드라이아이스는 압력을 저하시켜 대기압까지 이르게 하면 -79°C 까지 냉각된다.

따라서 고압의 액체 이산화탄소를 노즐을 통해 대기 중에 방출하면 액체의 상당부분은 즉각적으로 증기 상태로 변하지만 일부는 -79°C 정도의 극히 미소한 입자로 변하여 주위 공간에 하얀 운무의 모습을 띠게 된다. 이와 같이 저온의 드라이아이스입자가 공기 중에 떠다니면 공기 중의 수증기를 냉각시켜 하얀 운무 현상이 더욱 두드러지게 나타난다.

이산화탄소는 상온에서 기체이지만 압력을 가하면 액화되기 때문에 고압가스 용기 속에 액화시켜 보관한다. 방출 시에는 배관 내를 액상으로 흐르지만 분사헤드에서는 기화되어 분사된다. 또한 액체 이산화탄소는 자체 증기압이 21°C 에서 $57.8\text{kg}/\text{cm}^2\text{.G}$ (-18°C 에서 $20\text{kg}/\text{cm}^2\text{.G}$)*정도로 매우 높기 때문에 다른 가압원의 도움없이 자체 압력으로도 방사가 가능하다.

* $\text{kg}/\text{cm}^2\text{.G}$: gauge 압력의 의미

[표 2-7] 이산화탄소의 물성

명 칭	물 성 치	명 칭	물 성 치
증기비중	1.529(공기=1)	열전도도(20℃)	$3.60 \times 10^{-5} \text{ cal/cm} \cdot \text{s} \cdot ^\circ\text{C}$
기체밀도(0℃, 1atm)	1.976g/ℓ	굴절률	1.000449
승화점(1atm)	-78.50℃	정압비열(C_p) (0℃, 1atm)	0.199cal/g·℃
임계온도(T_c)	31.35℃	정적비열(C_v)(0℃, 1atm)	0.153cal/g·℃
임계압력(P_c)	72.9kg/cm ²	증발잠열(0℃, 35.54kg/cm ²)	56.13cal/g·℃
삼중점	5.1kg/cm ² , -56.7℃	액체밀도(0℃, 50kg/cm ²)	1.066g/cc

제2절 소화 효과

1. 질식 효과

이산화탄소의 가장 큰 소화 효과는 질식 효과이다. 질식 효과는 앞에 설명한 것처럼 대기 중의 산소 농도가 어느 정도 이하로 떨어지면 소화되는 효과로 소화에 필요한 이산화탄소의 농도는 가연물의 종류에 따라 달라진다.

일반적으로 소화를 위한 이산화탄소의 농도는 대개 34vol% 이상으로 설계되며, 이 때 산소의 농도는 14vol% 정도가 된다.

2. 냉각 효과

냉각 효과는 유류탱크 화재에서처럼 불타는 물질에 직접 방출하는 경우에 가장 효과적으로 나타난다. 산소 농도 저하에 따른 질식 효과가 사라진 후에도 냉각된 액체(유류)는 연소에 필요한 가연성 기체를 증발시키지 못하기 때문에 재연소를 방지할 수 있다. 특히 방출되는 이산화탄소에 미세한 드라이아이스 입자가 존재하는 경우에는 냉각 효과가 한층 더 커지게 된다.

제3절 소화 농도

이산화탄소의 주된 소화 효과는 산소 농도 저하에 의한 질식 효과이다. 소화에 필요한 이산화탄소의 농도는 가연성 기체와 액체의 종류에 따라 <표 2-8>과 같다.

그러나 가연성고체에 대한 소화 농도는 복사와 대류에 의한 열손실 속도가 가연물의 물리적 상태에 따라 크게 변하기 때문에 가연성 기체나 액체와 같이 나타내기는 어렵다.

최소 설계 농도(minimum design CO₂ concentration)는 이론적으로 구한 최소 소화 농도(theoretical minimum CO₂ concentration)에 일정량의 여유분(<표 2-8>에서는 최소 소화 농도의 20%)을 더한 값이다.

이산화탄소의 최소 설계 농도는 보통 34vol% 이상으로 설계하기 때문에 위와 같이 구한 최소 설계 농도가 34vol% 이하일 때에도 34vol%로 설계해야 한다.

이론적인 최소 소화 농도는 보통 실험이나 공인된 자료 등을 통하여 구하지만 소화에 필요한 산소의 농도를 알 수 있는 경우는 다음 공식으로부터 계산에 의해서 구할 수 있다.

$$\text{CO}_2(\%) = \frac{[21 - \text{O}_2(\%)]}{21} \times 100$$

공기 중에는 산소가 21vol% 존재하지만 이것이 희석되어 농도가 개략적으로 15vol% 이하가 되면 연소는 중단된다(가연 물질에 따라 산소 농도가 15vol% 이하가 되어도 소화되지 않는 경우도 있음). 이산화탄소의 최소 설계 농도를 34vol%로 하는 경우 산소의 농도를 위 식으로부터 구해 보면 약 14vol%가 된다.

* 화재 시 소화 농도 예시

화재가 발생하여 이산화탄소(CO₂)를 방출하여, 산소의 농도를 12vol%로 낮추어 소화하려면 공기 중의 이산화탄소(CO₂)의 농도는 얼마가 되어야 하는가?

$$\text{식) } \text{CO}_2(\%) = \frac{[21 - \text{O}_2(\%)]}{21} \times 100$$

$$\text{CO}_2(\%) = \frac{[21 - 12(\%)]}{21} \times 100 = 42.86[\text{vol}\%]$$

따라서, 화재 시 이산화탄소(CO₂) 농도가 42.86[vol%] 되어야 산소의 농도는 12vol%로 낮아진다.

[표 2-8] 가연물질에 따른 CO₂의 최소 소화 농도와 최소 설계 농도

물 질 명	최소 소화농도(vol%)	최소 설계농도(vol%)
Acetylene	55	66
Acetone	27	34
Benzol, Benzene	31	37
Butadiene	34	41
Butane	28	34
Carbon Disulfide	60	72
Carbon Monoxide	53	64
Coal Natural gas	31	37
Cyclopropane	31	37
Diethyl Ether	33	40
Dimethyl Ether	33	40
Ethane	33	40
Ethyl Alcohol	36	43
Ethyl Ether	38	46
Ethylene	41	49
Ethylene Dichloride	21	34
Ethylene Oxide	44	53
Gasoline	28	34
Hexane	29	35
Hydrogen	62	75
Hydrogen Sulfide	30	36
Isobutane	30	36
Isobutylene	26	34
Isobuty Formate	26	34
JP- 4	30	36
Kerosene	28	34
Methane	25	34
Methyl Acetate	29	35
Methyl Alcohol	33	40
Methyl Ethyl Ketone	33	40
Methyl Formate	32	39
Pentane	29	35
Propane	30	36
Propylene	30	36

제4절 적응 화재

이산화탄소는 연소물 주변의 산소 농도를 저하시켜서 소화하기 때문에 자체적으로 산소를 가지고 있거나, 연소 시에 공기 중의 산소를 필요로 하지 않는 가연물 이외에는 전부 사용할 수 있다.

따라서 일반화재(A급화재), 유류화재(B급 화재), 전기화재(C급 화재)(이산화탄소는 전기 절연성)에 모두 적응성이 있으나 주로 B-C급 화재에 사용되고 A급은 밀폐된 경우에 유효하다. 밀폐되지 않은 경우에는 이산화탄소가 쉽게 분산되고 가연물에 침투되기가 어렵기 때문에 효과가 아주 미약하다.

따라서 이산화탄소는 표면 화재에는 우수한 효과를 나타내나 심부 화재에 사용하는 경우에는 재발화의 위험성이 있다. 그러므로 심부 화재의 경우에는 고농도의 이산화탄소를 방출시켜 소요 농도의 분위기를 비교적 장시간 유지시켜 줌으로써 일차적인 소화는 물론 재발화의 가능성도 제거해 줄 필요가 있다.

이산화탄소는 사용 후 소화제에 의한 오손이 없기 때문에 통신기기실, 전산기기실, 변전실 등의 전기 설비, 물에 의한 오손이 걱정되는 도서관이나 미술관, 소화 활동이 곤란한 선박 등에 유용하다. 그리고 주차장 등에도 사용되나 인명에 대한 위험 때문에 무인의 기계식 주차탑 이외에는 사용하지 않는 것이 바람직하다. 이외에도 제4류 위험물, 특수 가연물 등에도 사용된다.

제5절 사용 제한 및 독성

1. 사용 제한

이산화탄소 소화약제는 ① 소화 후 소화약제에 의한 오손이 없고, ② 한냉지에서도 동결될 염려가 없고, ③ 전기 절연성이고, ④ 장시간 저장해도 변화가 없고, ⑤ 자체 압력으로 방출되기 때문에 방출용 동력이 필요하지 않는 등의 장점 때문에 오래 전부터 사용되어져 왔으나 다음과 같은 경우에는 사용을 제한하고 있다.

- ① 제5류 위험물(자기 반응성 물질)과 같이 자체적으로 산소를 가지고 있는 물질
- ② CO₂를 분해시키는 반응성이 큰 금속(Na, K, Mg, Ti, Zr 등)과 금속수소화물(LiH, NaH, CaH₂)
- ③ 방출시 인명 피해가 우려되는 밀폐된 지역

2. 독성

이산화탄소는 자체의 독성은 무시할 만하나 다량 발생 시 공기 중의 산소량을 저하시켜 질식의 위험이 있다. 이산화탄소가 인체에 미치는 영향은 <표 2-9>와 같다.

[표 2-9] 이산화탄소가 인체에 미치는 영향

CO ₂ 의 농도(vol%)	증 상	처 치
1.0(20.79)*	공중 위생상의 허용 농도	무해
2.0(20.58)	수 시간의 흡입으로도 큰 증상은 없다. 불쾌감이 있다.	무해
3.0(20.37)	호흡수가 늘어나고 호흡이 깊어진다.	장시간 흡입하는 것은 바람직하지 않다. 환기를 필요로 한다.
4.0(20.16)	눈, 목의 점막에 자극이 있다. 두통, 귀울림, 어지러움, 혈압 상승 등이 일어난다.	빨리 신선한 공기를 호흡할 것
6.0(19.74)	호흡수가 현저히 증가한다.	빨리 신선한 공기를 호흡할 것
8.0(19.32)	호흡이 곤란해진다.	빨리 신선한 공기를 호흡할 것
10.0(18.90)	시력 장애, 몸이 떨리며 2~3분 이내에 의식을 잃으며 그대로 방치하면 사망한다.	30분 이내에 인공호흡, 의사의 조치 필요
20.0(16.80)	중추 신경이 마비되어 사망한다.	즉시 인공호흡, 의사의 조치 필요

* ()안의 숫자는 공기 중의 산소의 농도(vol%)를 나타냄

전역 방출 방식으로 CO₂ 소화 설비를 작동시킬 경우 실내의 CO₂ 농도는 약 1분후에 20%(공기 중에 이산화탄소의 농도가 20vol%이면 산소의 농도는 16.8vol%로 떨어짐)를 초과하여 치사량에 도달한다. 따라서 방출 전에 음향경보 등에 의한 피난 경보를 발하여 인원을 피난시키고 또 방출과 동시에 출입 금지의 표시를 하여야 한다.

소화 후에도 환기 장치를 이용하여 이산화탄소를 외부로 방출시켜야 한다.

이산화탄소의 경우 독성을 나타내는 수치의 하나인 TLV(Threshold Limit Value, 평균적인 성인 남자가 매일 8시간씩 주 5일을 연속해서 이 농도의 가스(증기)를 함유하고 있는 공기 중에서 작업을 해도 건강에는 영향이 없다고 생각되는 한계 농도)는 5000ppm으로 일산화탄소의 50ppm, 시안화수소의 10ppm, 포스겐의 0.1ppm에 비하면 자체의 유독성 보다는 상대적 산소농도에 기인하여 위험을 초래하는 기체임을 알 수 있다.

제5장 할론 소화약제



학습
목표

1. 할론 소화약제의 명명법을 이해함.
2. 할론 소화약제의 구조를 이해한함.
3. 할론 소화약제의 종류 및 특성을 이해함.
4. 할론 소화약제의 적응화재를 이해함.

제1절 개 요

1. 개 요

할론(Halon) 소화약제는 지방족 탄화수소인 메탄, 에탄 등에서 분자 내의 수소 일부 또는 전부가 할로젠족 원소(F, Cl, Br, I)로 치환된 화합물을 말하며 일명으로 Halon(Halogenated Hydrocarbon의 준말)이라고 부르고 있다. 할론 소화약제의 표현 방식은 할론 소화약제, 하론 소화약제 등 혼용해서 쓰고 있다.

이 소화약제는 다른 소화약제와는 달리 연소의 4요소 중의 하나인 연쇄반응을 차단시켜 화재를 소화한다. 이러한 소화를 부촉매소화 또는 억제소화라 하며 이는 화학적 소화에 해당된다.

각종 Halon은 상온, 상압에서 기체 또는 액체 상태로 존재하나 저장하는 경우는 액화시켜 저장한다. 일반적으로 유류화재(B급화재), 전기화재(C급화재)에 적합하나 전역 방출과 같은 밀폐 상태에서는 일반화재(A급화재)에도 사용할 수 있다.

2. 할론 소화약제의 명명법

할론인 $C_2F_4Br_2$ 는 dibromo tetra fluoro ethane이라는 긴 명칭으로 불리고 있다. 이와

같은 불편을 해소하기 위하여 미 육군에서 숫자를 사용한 짧은 명명법을 제안하여 현재 널리 사용하고 있다. 이 명명법을 소개하면 다음과 같다.

- ① 제일 앞에 Halon이란 명칭을 쓴다.
- ② 그 뒤에 구성 원소들의 개수를 C, F, Cl, Br, I의 순서대로 쓰되 해당 원소가 없는 경우는 0으로 표시한다.
- ③ 맨 끝의 숫자가 0으로 끝나면 0을 생략한다(즉, I의 경우는 없어도 0을 표시하지 않는다).

이상과 같은 방법으로 명명한 할론 소화약제의 몇 가지 예를 <표 2-10>에 나타내었다.

이와 같은 명명법으로는 할로겐 원소로 치환되지 않은 수소 원자의 개수가 나타나지 않는다는 단점이 있다. Halon 번호를 보고 남아 있는 수소 원자의 개수를 계산하는 것은 포화탄화수소가 가지고 있는 수소의 수[(탄소수 × 2) + 2]에서 치환된 할로겐족 원소의 합인 나머지 숫자를 빼면 된다.

$$\text{수소 원자의 수} = (\text{첫 번째 숫자} \times 2) + 2 - \text{나머지 숫자의 합}$$

예를 들면 Halon 1001(CH₃Br)의 경우에 치환되지 않은 수소 원자의 수는(1×2)+2-1=3이다.

[표 2-10] 대표적인 할론 소화약제와 Halon 번호

명 칭	분 자 식	Halon No.
Methylbromide	CH ₃ Br	1001
Methyliodide	CH ₃ I	10001
Bromochloromethane	CH ₂ ClBr	1011
Dibromodifluoromethane	CF ₂ Br ₂	1202
Bromochlorodifluoromethane	CF ₂ ClBr	1211
Bromotrifluoromethane	CF ₃ Br	1301
Carbontetrachloride	CCl ₄	104
Dibromotetrafluoroethane	C ₂ F ₄ Br ₂	2402

3. 구조

Halon은 지방족 탄화수소인 메탄(CH_4)이나 에탄(C_2H_6) 등의 수소 원자 일부 또는 전부가 할로겐 원소(F, Cl, Br, I)로 치환된 화합물로 이들의 물리·화학적 성질은 메탄이나 에탄과는 판이하게 다르다.

예를 들면 메탄은 가볍고, 인화성이 강한 기체이지만 사불화탄소(CF_4)는 기체이면서 화학적으로 불활성이고 인화성이 없으며 독성도 아주 낮은 물질이다. 또한 사염화탄소(CCl_4)는 증발성 액체로 인화성이 없어 그의 독성에도 불구하고 오랫동안 소화약제로 사용되어 왔다.

불소는 주기율표상 오른쪽 상단에 위치하며 가장 전기 음성도가 큰 물질이다. 따라서 이 물질이 다른 물질과 결합할 경우 결합에 관여한 전자를 강하게 잡아당기기 때문에 결합 길이도 짧고 결합력도 강해진다.

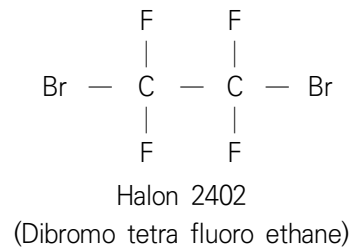
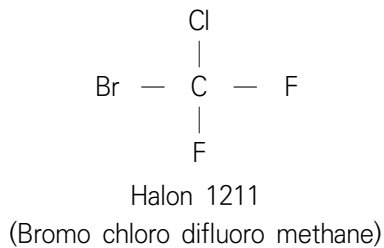
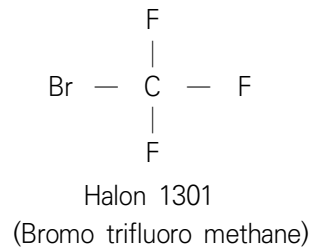
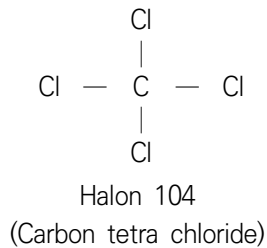
전기 음성도가 크다는 것은 다른 원소를 산화시키는 힘이 크다는 것을 의미한다. 따라서 불소는 모든 원소 중에서 산화력이 가장 크다. 그러므로 불소가 함유되어 있는 Halon은 연료로 사용되는 메탄과는 정반대로 중심 탄소가 산화되어 있는 상태이기 때문에 불연성이며 대기 중에서도 잘 분해되지 않는 안정된 물질이다.

또 Halon의 중요한 특징 중의 하나는 독성이 적다는 것인데 이는 탄소-불소 사이의 결합력이 강해 다른 물질과의 상호 작용이 적어지기 때문이다. 그러나 염소나 브롬이 이 분자 내에 들어오면 탄소-염소, 탄소-브롬 사이의 결합력은 그다지 크지 않지만 불소의 강한 힘이 염소와 브롬을 끌어당겨 이분자의 독성을 작게 한다. 이산화탄소, 할론 1211이나 할론 2402(할론 1301제외)는 독성 때문에 실내 지하층, 무창층 또는 밀폐된 거실로서 바닥 면적이 20m^2 미만의 장소에는 사용 할 수 없게끔 화재안전기준에 규정되어있다. 그리고 할론1301이 독성이 적다 하더라도 화재의 불꽃과 반응하게 되면 여러 가지 독성가스를 방출한다.

일반적으로 할론 중에 불소는 불활성과 안전성을 높여 주고 브롬은 소화 효과를 높여 준다. 또한, Halon은 분자 내의 결합력은 강한 반면, 분자간의 결합력은 약하기 때문에 쉽게 기화되어 소화 후 잔사가 남지 않는 장점도 지니고 있다.

[표 2-11] 할론에서 할로겐 원소의 역할

특징 \ 할로겐 원소	불소	염소	브롬
안정성	강화	-	-
독성	감소	강화	강화
비점	감소	강화	강화
열안정성	강화	감소	감소
소화효과	-	강화	강화



[그림 2-2] 대표적인 할론 소화약제의 구조식

제2절 종류 및 특성

〈표 2-10〉에 나타낸 것처럼 할론 소화약제의 종류는 매우 다양하나 현재는 Halon 1301, Halon 1211, Halon 2402가 가장 많이 사용되고 있다.

이들 소화약제는 1908년 증발성 액체인 사염화탄소(Halon 104)가 최초로 휴대용 소화기에 사용된 이래 발전을 거듭하여 1954년에는 유류화재와 전기화재에 사용할 목적으로 압축 가스 소화기에 Halon 1301을 사용하였고, 1973년에는 Halon 1211을 사용한 소화기가 실

용화되었으며 1974년에는 상온, 상압에서 액체인 Halon 2402를 사용한 소화기가 등장하게 되었다. 그러나 할론2402의 독성 때문에 소화기용으로는 사용하지 않는다.

이들 3가지 할론 소화약제의 개략적인 물성을 살펴보면 <표 2-12>와 같다.

[표 2-12] 할론 소화약제의 개략적인 물성

특성 \ 종류	Halon 1301	Halon 1211	Halon 2402
분자식	CF ₃ Br	CF ₂ BrCl	C ₂ F ₄ Br ₂
분자량	148.9	165.4	259.8
비점(°C, 1atm)	-57.8	-3.4	47.3
빙점(°C)	-168.0	-160.5	-110.5
임계온도(°C)	67.0	153.8	214.5
임계압력(atm)	39.1	41.8	34.0
증발잠열(cal/g, 비점)	28.4	32.3	25.0
액체점도(cP, 25°C)	0.16	0.34	0.72
액체비열(cal/g·°C, 25°C)	0.19	0.18	0.18
액체비중(20°C)	1.57	1.83	2.18
기체비중(공기=1)	5.1	5.7	9.0
상태(상온, 상압)	기체	기체	액체

제3절 소화 기구(extinguishing mechanism)

Halon의 소화 효과는 크게 물리적 효과와 화학적 효과로 나누어진다. 물리적 효과로는 기체 및 액상 Halon의 열흡수, 액상 Halon의 기화 등에 의한 냉각 효과와 공기중의 산소 농도 저하에 따른 질식 효과가 있다. 그러나 이러한 물리적 효과는 화학적 효과에 비하면 매우 작은 편이다. Halon의 주된 소화 효과는 화학적 소화 효과로 이에 대한 소화 기구는 아직까지 정확하게 알려져 있지 않다.

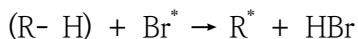
현재까지 정설로 여기고 있는 Halon의 화학적 소화 기구는 다음과 같다. Halon이 연소의 연쇄 반응(chain reaction)을 차단시키거나 방해 또는 억제하는 반응 기구에는 자유활성기 이론(free radical theory)과 이온 이론(ionic theory)의 두 가지가 있는데 Halon 1301을 예로 설명하면 다음과 같다.

1. 자유활성기 이론(free radical theory)

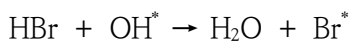
- ① Halon은 화염 속에서 다음 식과 같이 열분해 되어 두 개의 활성기로 나누어진다.



- ② 분리된 Br^* 은 가연 물질(R-H)과 다음과 같이 반응한다.



- ③ HBr은 반응 영역에서 활성화된 수산화기(OH^*)와 반응한다.



- ④ 활성화된 Br^* 은 다시 다른 가연 물질과 반응을 계속한다.

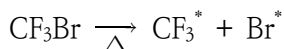
이상과 같은 반응을 통해 활성화된 H^* , OH^* 등이 활성을 잃게 되고 반응성이 적은 알킬 활성기(alkyl radical)가 남게 된다.

2. 이온 이론(ionic theory)

무제한적인 연소 공정 중에서 산소 분자들이 탄화수소 분자의 이온화에 의해 생성된 전자들을 포획하여 산소 이온으로 되는 단계가 있다.

Halon의 열분해에 의해 생성된 브롬 원자는 산소보다 단면이 커서 많은 전자를 포획한다. 이 결과 산소의 활성화에 필요한 전자가 부족하게 되어 연소의 연쇄 반응이 억제된다.

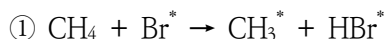
3. 메탄과의 반응 예

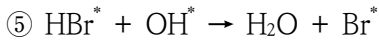
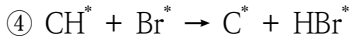
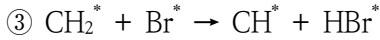
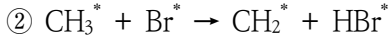


가. 가열되면 基, 團으로 분리되고

나. CH_4 와 반응 시

Br^* 은 수소원자(H)와의 강한 결합력이 발생(Stealing a H atom)된다.





-Br*은 OH*와 반응하며 강한 친화력으로 수소원자와 Br의 반응은 계속된다

제4절 적응 화재

주로 유류화재(B급화재), 전기화재(C급화재)에 유효하며 밀폐된 장소에서 방출하는 전역 방출 방식의 경우는 일반화재(A급화재)에도 유효하다.

사용 가능한 소화 대상물은 다음과 같다.

- ① 기상, 액상의 인화성 물질
- ② 변압기, oil switch 등과 같은 전기 위험물
- ③ 가솔린 또는 다른 인화성 연료를 사용하는 기계
- ④ 종이, 목재, 섬유 같은 일반적인 가연물질
- ⑤ 위험성 고체
- ⑥ 컴퓨터실, 통신기기실, control room 등
- ⑦ 도서관, 자료실, 박물관 등

Halon은 사용 후에도 화재 현장을 오염시키지 않기 때문에 특히 통신기기실, 전자계산기실, 변전실 등 전기 기기가 있는 장소나 도서관, 자료실, 박물관 등에 적합하다. 또한 화학적 억제 효과에 의해 소화가 이루어지기 때문에 이산화탄소보다는 심부 화재에 더 효과적이다.

한편, 사용이 제한되는 소화 대상물은 다음과 같다.

- ① 셀룰로오스 질산염 등과 같은 자기 반응성 물질 또는 이들의 혼합물

- ② Na, K, Mg, Ti(티타늄), Zr(지르코늄), U(우라늄), Pu(플루토늄) 같은 반응성이 큰 금속
- ③ 금속의 수소 화합물(LiH, NaH, CaH₂, LiAH₄ 등)
- ④ 유기과산화물, 히드라진(N₂H₄)과 같이 스스로 발열 분해하는 화학제품

그러나 할론 소화약제는 CFC(chloro fluoro carbon: 불염화탄소)계열의 물질로 오존층 파괴의 원인 물질이다. 이로 인하여 최근 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제가 권장되고 있다.

제5절 소화 농도

이산화탄소는 질식 효과에 의해 소화하기 때문에 소화에 필요한 농도가 매우 높은 편이나 (소화에 필요한 CO₂의 설계 농도 : 34 ~ 75vol% 정도) Halon의 경우는 화학적 억제효과에 의해 소화하기 때문에 소화에 필요한 최소 농도는 CO₂ 비해 상당히 작은 편이다.

불꽃 소화에 필요한 Halon의 실험적 최소 소화 농도(experimental threshold concentration)는 이황화탄소(CS₂)나 수소를 제외하고는 개략적으로 10vol% 이하이다.

따라서 산소 결핍에 의한 질식의 위험은 아주 적다. 예를 들어 공기 중의 Halon 농도를 10vol%로 하면 공기 중의 산소 농도는 약 18.9vol% (21vol% × 0.9 = 18.9vol%)가 된다.

통상 가연물의 한계 산소 농도(MOC, Minimum Oxygen for Combustion)를 15vol% 이하로 본다면 산소 농도 저하에 의한 질식 효과는 기대하기 어렵다.

제6절 Halon의 오존층 파괴

할론은 할로겐 원소의 독특한 특성 때문에 독성이 거의 없는 안정된 화합물을 형성한다. 이러한 장점 때문에 할론은 냉매, 세정제, 발포제, 분사 추진제, 용제, 소화제 등으로 널리 사용되어 과학 기술의 발전에 크게 기여한 물질의 하나로 평가받고 있다. 그러나 1980년대

이후 일부 할론이 오존층을 파괴하고 지구 온난화에 기여하는 온실 효과(green house effect) 물질로 판명되면서 지구 환경을 보호하려는 국제 협약에 의해 규제 받게 되었다.

이와 같은 협약 중 ‘오존층 파괴 물질에 대한 몬트리올 의정서(The Montreal protocol on substances that deplete the ozone layer)’는 이미 발효 중이며 1992년 6월 기후 변화 협약이 정식으로 체결되어 온실가스 방출을 제한하고 있다.

오존층 파괴란 지상으로부터 20~40km 높이의 성층권에 있는 오존층의 오존이 파괴되어 그 밀도가 낮아지는 현상 말한다. 오존층 파괴를 일으키는 원인으로는 첫 번째로 프레온 가스(CFCs)에 의해서 파괴이다. 오존층이 프레온 가스(CFCs)에 의해 파괴된다는 사실을 알게 된 것은 1974년 캘리포니아 대학의 모리나(Molina)와 로우랜드(Rowland)박사가 염화불화탄소(CFC, 일명 프레온가스)가 오존층을 파괴한다는 내용의 논문을 과학잡지 "NATURE"에 처음 발표하면서 이다. 그들이 성층권 오존이 프레온 가스(CFCs)에 의해 파괴 된다고 발표된 후 11년이 경과한 1985년에 영국 남극 조사팀의 관측 자료를 통해 프레온 가스는 오존 파괴의 주범으로 입증되었고 오존층을 파괴하는 원인의 두 번째로는 할론가스이다. 할론가스도 오존층 파괴 물질로서 최근에는 규제대상 물질로 되었다. 할론 가스는 프레온 가스와 비슷한 물질로, 프레온 가스에 함유된 염소 대신 브롬이 함유되어 있으며, 브롬과 할론의 관계는 염소와 프레온 가스와의 관계와 같다. 할론 1분자 당 오존 파괴능력은 최고 프레온가스의 경우보다 10배 정도 많다.

1987년 9월 16일 캐나다 몬트리올에서 조인되어 1989년 1월 1일부터 발효된 몬트리올 의정서에는 오존층을 파괴하는 할론로 알려진 CFCs (chlorofluorocarbons, 일반적으로 freon 가스라고도 함), Halon 소화약제, 사염화탄소, 메틸클로로포름 등을 대부분 금세기 내에 전폐하기로 하는 강제 규정과 이를 지키지 않을 경우에 대한 강력한 제재 조항이 포함되어 있다.

우리나라는 1992년 5월에 76번째로 몬트리올 의정서에 가입하여 활동하고 있다. 이 중 Halon 소화약제에 대한 생산량 규제 일정은 다음과 같다.

1. 선진국 : 1994년부터 생산금지
2. 개발도상국(우리나라)
 - 1993년 1월 1일 : 1986년 소비량으로 생산량 동결
정부의 배정량 한도 내에서 생산(한도 : CFC포함 0.3 OCP환산 kg/인)
 - 2002년 1월 1일 : 1995-1997년 평균생산량으로 동결
 - 2005년 1월 1일 : 1995-1997년 평균생산량의 50%
 - 2010년 1월 1일 : 생산금지

1992년 1월부터 1986년 수준으로 동결하고 1995년 1월부터는 1986년의 50% 수준으로 동결하며 2003년 이후부터는 사용을 금지하기로 되어 있다. 그러나 1992년 11월 23일 덴마크의 코펜하겐에서 열린 제4차 몬트리올 의정서에서는 현행 규제 일정이 오존층 파괴의 심각성에 비추어 볼 때 충분하지 못하다고 판단되어 규제 일정을 앞당기게 되었다.

선진국의 경우는 1994년 1월 1일부터 생산 및 사용을 완전 중단하기로 합의하였다. 단, 필수적인 경우는 예외로 하며 우리나라의 경우 개발도상국 조항을 적용 받아 규제 시기가 2010년부터 생산 및 소비가 중단되어 지금까지 할론 소화 약제를 사용하여 화재의 위험으로부터 귀중한 인명과 재산을 보호하던 곳에서는 새로운 대응이 필요하게 되었으며 이를 계기로 연구 개발된 소화약제가 할로젠화합물 및 불활성기체 소화약제이다.

제6장 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제



학습
목표

1. 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제의 소화 성능을 파악함.
2. 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제의 종류 및 특성 이해함.
3. 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제의 환경영향성을 이해함.

제1절 개 요

1. 개 요

할로겐화합물 소화약제(Halon)는 인체에 미치는 독성이 적고 소화 후에 잔류물을 남기지 않으며 B급화재나 C급화재에 우수한 소화성능을 갖고 있는 소화약제이다. 그러나 1985년 오존층 보호를 위한 빈(비엔나) 협약과 1987년 오존층을 파괴하는 물질에 관한 몬트리올 의정서에 의해 선진국에서는 1994년부터 이의 생산을 감축하기로 하여 지금까지 Halon을 사용하여 화재의 위험으로부터 귀중한 인명과 재산을 보호하던 곳에서는 이에 대한 대응이 시급하게 되었다.

Halon을 대체하기 위한 가장 바람직한 방법은 새로운 대체 소화 약제를 개발하여 사용하는 것이다.

Halon의 대체물질 개발연구는 1980년대 중반부터 계속되어 지금까지 몇 가지 후보물질이 선정되어 생산되고 있다.

대체물질은 할로겐화합물(할론 1301, 할론 2402, 할론 1211 제외) 및 불활성 기체로서 전기적으로 비전도성이며, 휘발성이 있거나 증발 후 잔여물을 남기지 않는 소화약제를 말한다.

2. 소화성능

할로겐화합물 소화약제의 소화성능을 실험실에서 측정하는 표준화된 방법은 아직 없다. 소화성능이란 말은 절대적 소화성능과 상대적 소화성능 등 크게 두 가지로 나뉘어진다. 절대적 소화성능이란 어떤 소화약제나 소화시스템이 한 특정화재를 소화할 수 있는지의 여부를 뜻하는 것이고 상대적 소화성능이란 기준이 되는 소화약제나 소화시스템에 비해 상대적으로 소화효율이 높은지 또한 낮은지를 나타내는 말이다.

절대적 소화성능을 측정하는 것은 실질적으로 매우 어렵기 때문에 어떤 소화약제의 소화성능을 측정하기 위해서는 대개 상대적 소화성능을 측정한다.

상대적 소화성능을 측정하는 실험실적 방법으로는 두 가지 방법이 있는데 하나는 공기와 연료가 섞여있는 가연성 혼합물을 불연성 혼합물로 만드는 데 필요한 소화약제의 양을 측정하는 불활성소화법(Inerting fire Test)이고 또 다른 하나는 불꽃에 소화약제가 확산되어 불을 끄는데 필요한 소화약제의 농도를 측정하는 불꽃 소화방법(Flame Extinguishment Test)이다. 이중 현재 가장 많이 사용되는 소화성능 측정법은 시험장치가 간단하고 조작이 간편하며 소화 약제 사용량이 적은 불꽃 소화방법으로, Halon의 최소소화농도가 작을수록 우수한 소화성능을 갖고 있다.

n-Heptane을 연료로 사용한 불꽃 소화방법으로 Halon의 최소소화농도가 Halon 1301 이 3.5%, Halon 1211 3.8%, Halon 2402가 2.1%이다. 따라서 Halon 대체소화약제의 소화성능도 이와 유사한 낮은 값을 가져야 인간의 질식위험 없이 소화에 사용될 수 있다.

제2절 종류 및 특성

1. 종류

몬트리올 의정서에 의해 할로겐화합물의 규제가 시작된 1987년부터 본격적으로 할로겐화합물 대체소화약제의 개발연구가 시작되었으나 아직까지 확실하게 부각된 물질은 없고 다만 여러 물질군의 유력한 후보물질이 선정되어 성능평가가 활발히 이루어지고 있다.

이 할로겐화합물 대체물질로는 제1세대 대체물질과 제2세대 대체물질 등 크게 두 가지로

구분되어 개발되고 있다. 제1세대 할론 대체물질은 기존 할론보다 오존파괴능력이 작지만 약간은 파괴능력이 있는 물질이거나 소화성능이 떨어지는 물질들로 HBFC-22bl, FC-3-1-10, HCFC-123, HCFC-124, HFC-23, HFC-227ea, HFC-236fa 등이 이에 해당된다. 제2세대 할론 대체 물질로서는 현재 FIC- 1311 등이 개발된 상태다.

할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제는 불소·염소·브롬·요오드 중 하나 이상 원소를 포함하고 있는 유기화합물을 기본 성분으로 하는 “할로겐화합물소화약제”와 헬륨·네온·아르곤·질소 중 하나 이상의 원소를 기본 성분으로 하는 “불활성기체 소화약제”로 구분된다.

지금까지 개발된 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제 중에서 여러 가지 면에서 인정된 할로겐화합물소화약제는 <표 2-13, 14>와 같다(할로겐화합물 및 불활성기체소화설비의 화재안전기준).

[표 2-13] 할로겐화합물소화약제의 종류

Freon Name	상 품 명	화 학 식
FC- 3- 1- 10	PFC- 410	C ₄ F ₁₀ (Perfluorobutane)
HCFC BLEND A	NAF S- III	CHCl ₂ CF ₃ (HCFC-123) : 4.75 wt%
		CHClF ₂ (HCFC-22) : 82 wt%
		CHClFCF ₃ (HCFC-124) : 9.5 wt%
		C ₁₀ H ₁₆ : 3.75 wt%
HCFC- 124	FE- 241	CHClFCF ₃ (Chlorotetrafluoroethane)
HFC- 125	FE- 25	CHF ₂ CF ₃ (Pentafluoroethane)
HFC- 227ea	FM- 200	CF ₃ CHFCF ₃ (Heptafluoropropane)
HFC- 23	FE- 13	CHF ₃ (Trifluoromethane)
HFC- 236fa	FE- 36	CF ₃ CH ₂ CF ₃
FIC- 1311	Triiodide	CF ₃ I
FK-5-1-12	Novec 1230	CF ₃ CF ₂ C(O)CF(CF ₃) ₂

[표 2-14] 불활성기체 소화약제의 종류

Freon N	상 품 명	화 학 식(성분)
IG- 01	Argotec	Ar (Argon)
IG- 100	NN100	N ₂ (Nitrogen)
IG- 541	Inergen	N ₂ (Nitrogen) : 52% Ar (Argon) : 40% CO ₂ (Carbon dioxide) : 8%
IG- 55	Argonite	N ₂ (Nitrogen) : 50% Ar (Argon) : 50%

2. 특 성

가. FC-3-1-10 (플루오르부탄)

화학식은 C₄F₁₀이고 끓는점이-2.2℃로 전역방출방식에 사용되며 소화농도가 5.0-5.9vol%로 비교적 소화성능도 우수하다. 또한 NOAEL(No Observed Adverse Effect Level : 독성학적, 생리학적 악영향이 관찰되지 않는 최고 농도)이 40vol%로 소화농도보다 훨씬 높기 때문에 거실에서 사용할 수 있는 장점이 있다. 같은 화재에 대해 FC-3-1-10은 할론 1301에 비해 무게비로 약 2배의 양을 사용해야 소화된다. 현재 이 FC-3-1-10은 SNAP 프로그램은 물론 NFPA 2001에 등재되어 있으며 UL에서는 소화약제 및 소방설비의 Pre-engineered System에 대한 인정을 받은 상태이다.

나. HCFC BLEND A(하이드로클로로 플루오르카본 혼합제)

HCFC BLEND A는 HCFC-123, HCFC-22, HCFC-124와 C₁₀H₁₆의 혼합물로 이루어진 소화약제로서 캐나다에서 개발하였다. 이 소화약제는 ODP가 0.044이고 대기 중에서의 잔존수명이 7년인 할론 1301의 대체물질이다. 소화농도가 7.2vol%이고, LC₅₀이 64vol%, NOAEL이 10vol%로 사람이 있는 거실에서 사용이 가능하다. 이 물질은 SNAP program, NFPA 2001, UL Canada에 등재되어 있으며 현재 생산하여 판매되고 있다. 이 소화약제의 HCFC물질은 오존층보호를 위한 몬트리올 의정서에서 경과물질로 규정되어 있어 2030년에는 생산이 금지된다.

다. HCFC-124 (클로로테트라 플루오르에탄)

HCFC-124는 HCFC계 물질로 끓는점-11.0℃이며 전역방출방식 및 휴대용 소화약제의 후보물질이다. HCFC-124는 미국 Du Pont사에서 F E-241이라는 상품명으로 판매되고 있다. n-heptane 불꽃의 최소 소화농도는 6.4 ~ 8.2vol%이고 독성은 LC₅₀이 23 ~ 29vol%, NOAEL이 1.0vol%, LOAEL(Lowest Observed Adverse Effect Level: 심장의 역반응이 나타나는 최저 농도)이 2.5vol% 이다. 할론 1301과 비교할 때 무게비로 1.6배 부피비로 2.3배를 투입하여야 효과적으로 소화할 수 있다.

라. HFC-125 (펜타플루오르에탄)

이 물질도 미국의 Du Pont사가 FE-25라는 상품명으로 개발한 전역방출방식용의 할론 대체 소화약제이다. HFC-125는 할론 1301과 아주 유사한 물성을 지니고 있다. 다만 밀도는 1.249g/ml로 할론 1301의 1.548g/ml보다 낮고 임계온도도 비교적 낮기 때문에 용기에 대한 소화약제의 저장비율이 약간 떨어진다. 불꽃의 최소 소화농도는 8.1 ~ 9.4vol%로 할론 1301에 비해 높으며 증발잠열은 27.1cal/g으로 할론 1301의 19.7cal/g에 비해 훨씬 크므로 완전히 기화시켜 배출하는데 어려움이 있다. NOAEL은 7.5%, LOAEL은 10.0%이고 인 LC₅₀은 70% 이상으로 독성이 비교적 적다. 그러나 NOAEL은 소화농도보다 낮기 때문에 거실에서는 사용할 수 없다. HFC-125는 안정성이 뛰어나기 때문에 대부분의 금속과 고무 등에 상용성이 있다. HFC-125는 기존의 할로젠화합물에 비해 소화성능이 현저히 떨어지기 때문에 궁극적인 대체물질은 아니다. 이 물질은 기존의 전역방출방식 시설을 약간 보완만 하면 그대로 사용할 수 있는 장점이 있다. 다만 설계농도를 약 12vol%로 유지해야 하므로 더 큰 저장용기가 필요하다.

마. HFC-227ea(헵타플루오르프로판)

미국의 Great Lakes Chemical사가 FM-200이라는 상품명으로 개발한 소화약제로 ODP가 0이며 끓는점-16.4℃로 전역방출방식에 적합하다. 이 소화약제의 불꽃 최소 소화농도는 5.8 ~ 6.6vol%로 비교적 소화성능이 우수한 편이다. 독성은 NOAEL이 9.0vol%, LC₅₀이 80vol%이상으로 낮아 사람이 있는 곳의 전역방출방식으로 사용이 가능하다. 현재 SNAP program, NFPA 2001, UL 및 FMRC의 Engineered System 및 Pre-engineered System에서 전역방출방식으로 인증을 취득하였고 휴대용 소화기로는 SNAP program에서

심사 중이다. 소화능력, ODP, GWP, 독성 등을 종합적으로 판단할 때 현재 개발된 HFC계 소화약제 중에서는 가장 우수한 것으로 판단되지만 가격이 약간 높은 것이 단점이다.

바. HFC-23(트리플루오르메탄)

FC에 수소가 첨가된 HFC계의 대체물질로 대기 중 수명이 FC에 비해 줄어들어 GWP도 작도록 개발된 물질이다. HFC계 물질은 브롬과 염소도 함유하지 않아 ODP가 0이며 독성도 낮다. 다만 이 물질의 단점은 브롬이 함유되지 않아 화학적 소화성능은 없고 물리적 소화성능만 발휘하기 때문에 소화성능이 기존의 할로겐화합물에 미치지 못하는 점이다. HFC-23은 미국의 Du Pont사가 FE-13이라는 상품명으로 개발한 전역방출방식용의 할론 대체 소화약제이다. 이 물질은 처음에 화학 중간원료, 냉매 등으로 사용되어왔다. LC₅₀은 65vol%이상이고 NOAEL도 50vol%이어서 독성이 낮다. 반면에 불꽃의 최소 소화농도는 12.0 ~ 12.7vol%로 할론 1301소화성능의 1/4정도이다. HFC-23은 증기압이 높고 밀도가 낮기 때문에 기존 할론 1301 시스템을 사용할 수 없고, 다만 HFC-23의 증기압이 이산화탄소와 비슷하고 밀도는 더 커서 이산화탄소의 대체물질로는 매우 유망하다. 따라서 이산화탄소에 비해 낮은 소화농도, 낮은 독성 및 기존의 장치를 이용할 수 있다는 점이 매우 매력적인 장점이다. HFC-23은 임계온도가 25.9℃로 낮기 때문에 사용할 때 주의가 필요하다.

사. HFC-236fa(헥사 플루오로 프로판)

미국의 Du Pont사가 FE-36이라는 상품명으로 개발한 소화약제로서 화학식은 CF₃CH₂CF₃로 FE에 수소가 첨가된 HFC계의 대체물질로 HFC계 물질은 브롬과 염소를 함유하지 않아 ODP가 0이며 독성도 낮은 편이다.

아. FIC-13I1(트리플루오로 이오다이드)

미국의 NMERI(New Mexico Engineering Research Institute)에서 개발한 소화약제로서 CF₃I는 할론 1301의 분자구조 중 브롬원자를 요오드 원자로 대체한 형태이며 대기 중 수명이 1.15일에 불과하고 GWP가 1이하, 계산상 ODP가 0.008이하로 추정된다. CF₃I의 장점은 이 소화약제가 물리적 소화성능 뿐만 아니라 화학적 소화성능을 지니고 있는 점이다. 따라서 이 소화약제의 소화농도는 3.1%로 매우 우수하다.

다만 이 물질의 NOAEL이 0.2%, LOAEL이 0.4%로 나타나 사람이 존재하는 곳에서는 사용

이 곤란하다. 이 약제는 사람이 없는 지역에서 SNAP program에 등재되었고 휴대용으로는 심사가 진행 중이며 앞으로 폭발방지용 약제로도 유력한 대체물질이다. 이 소화약제의 단점은 가격이 비싼 요오드를 함유하고 있는 점이다.

자. IG-541(불연성·불활성기체 혼합가스)

IG-541은 질소 52%, 아르곤 40%, 이산화탄소 8%로 이루어진 혼합소화약제로 A급 및 B급 화재의 소화에 적합하다. 이 소화약제는 할로겐화합물이나 분말 소화약제와 같이 화학적 소화특성을 지니고 있는 것은 아니고 주로 밀폐된 공간에서 산소농도를 낮추는 것에 의해 소화한다. 이 소화제의 장점은 소화성능을 발휘할 수 있는 약제의 농도에서도 사람의 호흡에 문제가 없으므로 사람이 있는 곳에서도 사용할 수 있다는 점이다.

차. IG-01·IG-55·IG-100(불연성·불활성기체혼합가스)

IG-01은 아르곤이 99.9vol%이상, IG-55는 질소가 50vol%, 아르곤이 50vol%인 성분으로 되어 있으며 IG-100은 질소가 99.9vol% 이상 이다.

불연성불활성기체 혼합가스 소화약제로서 대기 잔존지수와 GWP가 0이며 ODP도 0이다. 이들 소화약제는 할로겐화합물이나 분말 소화약제와 같이 화학적 소화특성을 지니고 있는 것은 아니고 주로 밀폐된 공간에서 산소농도를 낮추는 것에 의해 소화한다.

[표 2-15] 할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제의 물성 및 소화성능

Freon No 및 소화약제	상품명	분자량	끓는점 (°C)	밀도 (g/ml)	증기압 (bar)	불꽃소화 농도(%) (n-헵탄)
FC-3-1-10	PFC-410	238.0	-2.2	1.517	2.90	5.0 ~ 5.9
HCFC Blend A	NAF S-Ⅲ	92.9	-38.3	1.20	9.48	7.2
HCFC-124	FE-241	136.5	-11.0	1.364	3.86	6.4 ~ 8.2
HFC-125	FE-25	120.0	-48.5	1.249	13.71	8.1 ~ 9.4
HFC-227ea	FM-200	170.0	-16.4	1.403 (21.1°C)	4.58	5.8 ~ 6.6
HFC-23	FE-13	70.0	-82.1	0.67	47.29	12.0 ~ 12.7
FIC-1311	Triiodide	195.1	-22.5	2.096	5.33	3.1
IG-01	Argotec	40.0		0.001661		37.5
IG-100	NN100	28.0		0.001165		33.6
IG-541	Inergen	34.3		0.001434		29.1
IG-55	Argonite	34.0		0.001412		32.3

3. 독 성

할로젠화합물 및 불활성기체 소화약제의 독성은 약제농도를 증가시킬 때 아무런 악영향도 감지되지 않는 최대농도인 NOAEL(No Observed Adverse Effect Level)과 약제농도를 감소시킬 때 악영향일 감지되는 최소농도인 LOAEL(Lowest Observed Adverse Effect Level)을 주로 사용한다. 사람이 상주하는 곳에서의 전역방출방식용 소화약제의 소화농도는 반드시 NOAEL보다 낮아야 한다고 규정하고 있다. 약제를 이 기준으로 볼 때 FC-3-3-10, HFC-23, HFC227ea, HFC-2376fa, FK-5-1-12 등이 사람이 상주하는 곳에서 소화약제로 사용할 수 있다.

가. 할로젠화합물 및 불활성기체 소화약제의 환경영향성

Freon No 및 소화약제	대기 중 수명(Yr)	100 yr GWP*	ODP
FC-3-1-10	2,600	5,500	0
HCFC Blend A	16	1,600	0.044
HFC-125	41	3,400	0
HFC-227ea	35	2,900	0
HFC-23	300 ~ 400	9,000	0
FIC-131I	1.15days	1	0.008 ~ 0.01
IG-541	무시해도 됨	0	0
IG-55	"	0	0
IG-01	"	0	0
IG-100	"	0	0
Halon-1301	107	4,900	14.1

*100년 동안 지구 온난화지수

나. GWP

할로젠화합물은 분자 내 C-Cl, C-F, C-Br 결합에 의해 파장 8-13 μ m 부근의 적외선을 강력히 흡수하기 때문에 대기 중에서 온실효과를 내는 물질이며 이밖에도 이산화탄소, 수증기, 오존, 메탄, 이산화질소, CCl₄ 등 50여종 이상이 온실효과 물질로 알려져 있다. 일정무게의 CO₂가 대기 중에 방출되어 지구온난화에 기여하는 정도를 1로 정하였을 때 같은 무게의 어떤 물질이 기여하는 정도를 GWP (Global warming potential, 지구온난화지수)로 나타내며

다음 식으로 정의된다.

$$\text{GWP(지구온난화지수)} = \frac{\text{물질 1kg이 기여하는 온난화 정도}}{\text{CO}_2 \text{ 1kg이 기여하는 온난화 정도}}$$

다. ODP

우수한 소화제였던 할로젠화합물이 생산금지되는 이유가 오존층을 보호하기 위한 것이기 때문에 새로 개발되는 대체 소화제는 필히 오존층을 파괴하지 않아야 한다.

따라서 대체물질의 오존파괴능력을 상대적으로 나타내는 지표가 정의되었는데 이를 ODP (Ozone Depletion Potential, 오존파괴지수)라 한다. 이 ODP는 기준물질로 CFC-11(CFCl_3)의 ODP를 1로 정하고 상대적으로 어떤 물질의 대기권에서의 수명, 물질의 단위질량당 염소나 브롬질량의 비, 활성염소와 브롬의 오존파괴능력 등을 고려하여 물질의 ODP가 정해지는데 계산식은 다음과 같다.

$$\text{ODP(오존파괴지수)} = \frac{\text{어떤 물질 1kg이 파괴하는 오존량}}{\text{CFC-11 1kg이 파괴하는 오존량}}$$

라. 독성 검토

할론소화약제가 사용되기 직전까지 잔사가 없는 소화제로 이용되고 있던 CCl_4 , CH_3Br , CH_2ClBr 가 할론소화약제로 대체된 이유는 이 물질들이 독성이 있기 때문이다. 할론 1301은 지금 사용되고 있는 할론소화약제 중 가장 독성이 적은 물질로 15분간 노출시킬 경우의 치사농도가 83.2%이다. 이에 비해 할론1211은 32.4%, 할론2402는 12.5%, CCl_4 는 2.8%로 독성이 크다. 일반적으로 건물의 전역방출방식용 할론1301 대체소화제는 밀폐된 실내에서 사용해야 하므로 독성이 낮아야 하며 휴대용 소화제인 할론1211의 대체소화제는 개방된 대기 중에서 사용되므로 상대적으로 독성이 약간 높아도 무방하다.

2017년 8월 경기도 안성에 있는 소화기 제조사업장에서 소화약제 충전업무를 하는 근로자 2명이 소화약제(HCFC-123)에 노출되어 급성 독성간염이 발생(추정)하였다. HCFC-123은 급성독성이 낮고 경구의 근사한 치사량(approximate lethal dose, ALD)은 9,000 mg/kg bw이고, 4시간 흡입 LC50은 32,000ppm(200,000 mg/m³)이다. 쥐와 토끼의 경피 LD50은 >2,000 mg/kg bw이다. HCFC-123은 토끼 피부에 자극성이 없었지만 액체 형태

로 경미하거나 중등도의 눈 자극을 일으켰다. 기니피그에서 피부감작제로 작용하지 않았다. 개에서 심장감작성의 EC50 값은 19,500ppm(122,000 mg/m³)이었다. 수분에서 수 시간 동안 흡입한 결과, 1,000ppm(6,250 mg/m³)에서 기니피그의 간 손상을 유발하였다. 5,000ppm(31,300 mg/m³)에서는 검사된 모든 종에서 중추 신경계(CNS) 억제 증상이 나타났고, 20,000ppm(125,000 mg/m³)에서 개의 아드레날린 유발 심장부정맥이 나타났다. 쥐와 햄스터에서 4시간 동안 30,000ppm(188,000 mg/m³) 이상 흡입하면 심각한 CNS 억제 증상과 사망을 초래하였다. 쥐, 기니피그, 개, 원숭이에서 2~39주 동안 지속되는 반복 노출 흡입 독성 연구에서 주요 표적 기관은 간, 시상 하부 뇌하수체, 생식선, 내분비계 및 중추신경계였다. 간 영향에 근거한 최소독성영향농도(LOAEL)는 30ppm(188 mg/m³)이었다. 내분비 효과와 중추신경계 영향에 대해서는 무독성농도(NOAEL)가 100ppm(625 mg/m³)과 300ppm(1,880 mg/m³)이었다. HCFC-123은 다른 전신 효과를 유발하는 노출수준보다 낮은 노출 수준에서는 생식 독성이나 태아 독성을 유발하지 않았다.

할로겐화합물 및 불활성기체 소화약제의 흡입독성은 일반적으로 ALC, NOAEL, LOAEL, LC50 로 평가되며 다음과 같이 정의된다.

* ALC(Approximate Lethal Concentration)

: 실험용쥐의 1/2이 15분 이내에 사망하는 농도로 ALC값이 클수록 물질의 독성이 낮다

* NOAEL(No Observed Adverse Effect Level)

: 농도를 증가시킬 때 아무런 악영향도 감지할 수 없는 최대농도

* LOAEL(Lowest Observed Adverse Effect Level)

: 농도를 감소시킬 때 악영향을 감지할 수 있는 최소농도

* LC50(50% Lethal Concentration) : 반수(半數) 치사농도(ppm)

4. 소화약제 명명법

가. CFC 계열

CFC-11 → CF(나머지 Cl원자수) ⇒ C F Cl₃

CH₄에서 F와 Cl₃로 치환된 것

나. HFC 계열

HFC-227 $\Rightarrow$ $\text{CF}_3\text{CHF}\text{CF}_3$ 의 경우

227 : C-1 이므로 (3 - 1 = 2)

227 : H + 1 = 2 (1 + 1 = 2)

227 : F의 수 (그대로)

다. HCFC 계열

HCFC-123 $\Rightarrow$ CHCl_2CF_3

123 : C-1 = 1 (2 - 1 = 1)

123 : H+1 = 2 (1 + 1 = 2)

123 : F의 수 (그대로)

* Cl 수 : 메탄계 수소 수량 중 나머지 수 C_2H_6 에서 $6 - 4 = 2$ 개

HFC-23 $\Rightarrow$ CHF_3

23 : C-1 = 1 (1 - 1 = 0 가 되므로 앞의 숫자로는 표기 안함)

23 : H + 1 = 2 (1 + 1 = 2)

23 : F의 수 (그대로)

라. HFC-227ea (FM-200), HFC-236fa에서 ea, fa의 의미

- ① FM-200의 화학식 $\text{CF}_3\text{CHF}\text{CF}_3$ 이므로 수소와의 중간결합 F의 위치가 앞의 분자 배열순서에 따라 a, b, c, d, e 중 e에 해당되어 e를 붙이고 혼합물의 이성질체의 특성에 따라서 뒤에 a를 붙인다.
- ② HFC-236fa의 경우도 마찬가지로 수소와의 중간결합 F가 a, b, c, d, e, f 중 f에 해당되어 f를 붙이고 같은 방법으로 혼합물의 이성질체 특성에 따라 뒤에 a를 붙인다.
- ③ 이러한 이성질체의 특성은 MSDS에 수록되어 있으며 소화성능 시험에서 특정 물질의 고유번호를 선택한다.

제7장 분말 소화약제



학습 목표

1. 분말 소화약제의 종류 및 특성을 파악함.
2. 분말 소화약제의 열분해 반응식을 이해함.
3. 금속화재용 분말 소화약제의 종류를 이해함.
4. 분말 소화약제의 소화효과 및 적응화재를 이해함.

제1절 개요

고체 물질의 미세한 분말은 정도의 차이는 있으나 소화 능력을 가지고 있으며, 분말이 미세하면 미세할수록 이 능력은 커진다. 이러한 특성을 이용한 것이 분말 소화약제이다.

분말 소화약제는 탄산수소나트륨, 탄산수소칼륨, 제1인산암모늄 등의 물질을 미세한 분말로 만들어 유동성을 높인 후 이를 가스압(주로 N_2 , 또는 CO_2 의 압력)으로 분출시켜 소화하는 약제이다.

사용되는 분말의 입도는 $10 \sim 70\mu m$ 범위이며 최적의 소화효과를 나타내는 입도는 $20 \sim 25\mu m$ 이다.

분말 소화약제는 습기와 반응하여 고화되기 때문에 이를 방지하기 위하여 금속의 스테아린산 염이나 실리콘 수지 등(현재는 대부분 실리콘 수지를 사용한다.)으로 방습 가공을 해야 한다.

분말 소화 설비는 가압 가스의 충전 상태에 따라 축압식과 가압식으로 구분된다. 축압식은 약제 저장 탱크에 분말 소화약제를 충전한 후 가압용 가스를 함께 충전한 방식이고 가압식은 약제 저장 탱크와는 별도로 가압용 가스용기를 설치하여 이를 약제 저장 탱크에 주입시켜 약제를 외부로 방출시키는 방식이다.

이 약제의 주된 소화 효과는 분말 운무에 의한 방사열의 차단 효과, 부촉매 효과, 발생한 불연성 가스에 의한 질식 효과 등으로 가연성 액체의 표면 화재에 매우 효과적이다. 또한 분

말이 비전도체이기 때문에 전기화재에도 효과가 있다. 일반적으로 유류화재와 전기화재에 효과적이거나 제3종 분말 소화약제의 경우는 유류화재, 전기화재는 물론 일반화재에도 효과가 있다.

제2절 종류 및 특성

분말 소화약제는 적용 화재에 따라 크게 두 가지로 분류한다. 즉 유류화재(B급화재)나 전기화재(C급화재)에 사용하는 BC 분말과, B-C급화재는 물론이고 일반화재(A급화재)에도 사용할 수 있는 ABC 분말로 나뉘어진다.

BC 분말에는 제1종 분말(탄산수소나트륨을 주성분으로 한 분말), 제2종 분말(탄산수소칼륨을 주성분으로 한 분말), 제4종 분말(탄산수소칼륨과 요소가 반응한 분말)이 있으며, ABC 분말에는 제3종 분말(인산염을 주성분으로 한 분말)이 있다. 이외에도 특수 용도의 CDC(Compatible Dry Chemical) 분말과 금속화재용 분말이 있다.

[표 2-16] 분말 소화약제의 종류 및 특성

종별	주 성분	분자식	색상	적용화재
제1종 분말	탄산수소나트륨 (Sodium bicarbonate)	NaHCO_3	-	B급, C급
제2종 분말	탄산수소칼륨 (Potassium bicarbonate)	KHCO_3	담회색	B급, C급
제3종 분말	제1인산암모늄 (Monoammonium phosphate)	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$	담홍색 (또는 황색)	A급, B급, C급
제4종 분말	탄산수소칼륨과 요소와의 반응물 (Urea-based potassium bicarbonate)	$\text{KHCO}_3 + (\text{NH}_2)_2\text{CO}$	-	B급, C급

[표 2-17] 분말 소화약제 주성분의 성상

항목 \ 성분	탄산수소나트륨	탄산수소칼륨	제1인산암모늄
분 자 식	NaHCO_3	KHCO_3	$\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$
별 칭	중탄산나트륨, 중탄산소다(중조)	중탄산칼륨	인산이수소암모늄, 인산일암모늄
형 태	무색 결정(단사정계)	무색 결정(단사정계)	무색 결정(정방정계)
용해도(물)	8.8g/100g(15℃)	36.1g/100g(26℃)	22.7g/100g(0℃)
비 중	2.21	2.17	1.80

1. 제1종 분말 소화약제

가. 개요

탄산수소나트륨(NaHCO_3)을 주성분으로 하고 이들이 습기에 의해 고화되는 현상을 막기 위해 금속의 스테아린산염이나 실리콘 수지로 표면 처리(방습처리)하고 분말의 유동성을 높여 주기 위하여 탄산마그네슘(MgCO_3), 인산삼칼슘($\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$) 등의 분산제를 첨가한 약제로 주성분인 탄산수소나트륨의 개략적인 성상은 <표 2-17>과 같다.

나. 소화 효과

초기에 이 약제의 소화 효과는

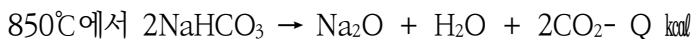
- ① 주성분인 탄산수소나트륨이 열분해 될 때 발생하는 이산화탄소와 수증기에 의한 질식 효과,
- ② 열 분해시의 흡열 반응에 의한 냉각 효과,

- ③ 분말 운무에 의한 열방사의 차단 효과에 의한 것이라고 생각했었다.

그러나 이 약제의 강력한 소화 능력을 생각하면 이상의 효과 이외에도

- ④ 연소 시 생성된 활성기가 분말의 표면에 흡착되거나, 탄산수소나트륨의 Na^+ 이온에 의해 안정화되어 연쇄 반응이 차단되는 효과가 큰 영향을 미치는 것으로 이해되고 있다.

탄산수소나트륨은 약 60°C 부근에서 분해되기 시작하여 270°C 와 850°C 이상에서 다음과 같이 열분해 된다.



특히, 이 약제는 가연성 액체 중에서도 일반적인 요리용 기름이나 지방질 기름의 화재 시에 이들 물질과 결합하여 에스테르가 알칼리의 작용으로 가수 분해되어 알코올과 산의 알칼리염이 되는 반응인 비누화(saponification)반응을 일으킨다. 이때 생성된 비누 상 물질은 가연성 액체의 표면을 덮어서 질식소화 효과와 재 발화 억제 효과를 나타낸다.

초기의 분말 소화약제의 입자는 거칠었으나 현재는 가스압으로 방출하기 때문에 유동성을 높이기 위하여 어느 정도 세분화하고 있다. 또한, 입자의 세분화는 입자의 표면적을

크게 하여 화염과 접촉하는 면적을 크게 하기 때문에 반응이 촉진되어 소화 효과를 향상시킨다.

이 약제는 유류화재 및 전기화재에는 유효하나 일반화재에는 일반적으로 잘 사용되지 않는다(일반 가연물의 표면 화재에는 일시적인 소화 효과가 있음).

2. 제2종 분말 소화약제

가. 개요

주성분이 탄산수소칼륨(KHCO_3)으로 바뀐 것 이외에는 제1종 분말 소화약제와 거의 동일하다. 제1종에 비하여 소화 효과는 우수한 편이다.

탄산수소칼륨의 개략적인 성상은 <표 2-17>와 같으며 약제는 담회색으로 착색되어 있다.

나. 소화 효과

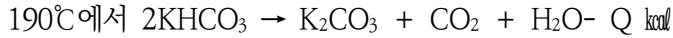
소화 효과는 제1종 분말 소화약제와 거의 비슷하나 소화 능력은 제1종 분말 소화 약제보다 우수하다(소화에 필요한 약제량으로 계산할 때 약 2배 정도 우수). 그러나 이 약제는 요리용 기름이나 지방질 기름과 비누화 반응을 일으키지 않기 때문에 이 경우에는 제1종 분말 소화약제보다 소화력이 떨어진다.

제2종 분말 소화약제가 제1종 분말 소화약제보다 소화 능력이 우수한 이유는 칼륨(K)이 나트륨(Na)보다 반응성이 더 크기 때문이다. 즉, 칼륨 이온(K^+)이 나트륨 이온(Na^+)보다 화학적 소화 효과(부촉매 효과)가 크다. 알칼리 금속에서 화학적 소화 효과는 원자 번호에 의해 $\text{Cs} > \text{Rb} > \text{K} > \text{Na} > \text{Li}$ 의 순서대로 커진다. 이러한 시각에서 보면 칼륨보다 원자 번호가 더 큰 루비듐(Rb), 세슘(Cs)은 더 큰 소화 능력을 가지고 있음을 알 수 있으나 고가이기 때문에 실용화는 어려운 실정이다.

탄산수소나트륨 계열의 것은 불꽃과 만나면 황색의 빛을 내는 반면, 탄산수소칼륨 계열의 것은 자주색의 빛을 내기 때문에 일명 purple K(미국 Ansul사의 상품명)라고도 부른다.

이 약제 역시 유류화재 및 전기화재에는 유효하나 일반화재에는 일반적으로 잘 사용되지 않는다. 소화 효과는 제1종 분말 소화약제와 거의 비슷하다.

탄산수소칼륨의 열분해 반응식은 다음과 같다.



3. 제3종 분말 소화약제

가. 개요

분말 소화약제는 불꽃 연소에는 대단한 소화력을 발휘하지만 작열 연소의 소화에는 그다지 큰 소화력을 발휘하지 못하는 단점이 있다. 이와 같은 단점을 보완하기 위해서 만들어진 약제가 제3종 분말 소화약제이다. A급, B급, C급의 어떤 화재에도 사용할 수 있기 때문에 일명 ABC 분말 소화약제라고도 부른다.

주성분은 알칼리성의 제1인산암모늄($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$) (중탄산칼륨과 중탄산나트륨은 산성염)이며, 이의 개략적인 성상은 <표 2-17>와 같으며 약제는 담홍색으로 착색되어 있다.

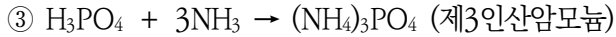
제1인산암모늄에 대하여 좀 더 자세히 알아보면 다음과 같다.

인산은 물과의 결합 정도에 따라 메타인산, 파이로인산, 오쏘인산의 3가지로 나누어진다. 이것을 수화(水和)된 정도에 따라 구별해 보면 다음과 같다.

- ① $\text{P}_2\text{O}_5 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{HPO}_3$ (메타-인산)
- ② $\text{P}_2\text{O}_5 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}_4\text{P}_2\text{O}_7$ (파이로-인산)
- ③ $\text{P}_2\text{O}_5 + 3\text{H}_2\text{O} \rightarrow 2\text{H}_3\text{PO}_4$ (인산 또는 오쏘-인산)

수화된 정도가 낮을수록 고온에서 안정하며 이 중에서 수화의 정도가 가장 낮은 메타인산(HPO_3)은 유리화 같이 용융하나 잘 용해되지 않는 물질이다. 수화의 정도가 가장 높은 오쏘인산(H_3PO_4)은 상온에서 가장 안정된 구조를 가지고 있으며, 세 개의 수소원자와 결합하는 암모니아의 수에 따라 다음과 같은 세 종류의 인산 암모늄이 생성된다.

- ① $\text{H}_3\text{PO}_4 + \text{NH}_3 \rightarrow \text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$ (제1인산암모늄)
- ② $\text{H}_3\text{PO}_4 + 2\text{NH}_3 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{HPO}_4$ (제2인산암모늄)



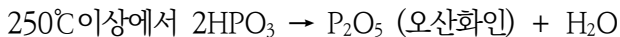
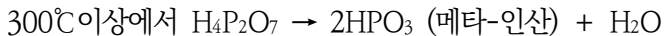
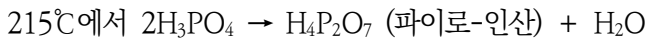
나. 소화 효과

소화 효과는

- ① 열분해 시 흡열 반응에 의한 냉각 효과,
- ② 열분해 시 발생하는 불연성 가스(NH_3 , H_2O 등)에 의한 질식 효과,
- ③ 반응 과정에서 생성된 메타-인산(HPO_3)의 방진 효과,
- ④ 열분해 시 유리된 NH_4^+ 와 분말 표면의 흡착에 의한 부촉매 효과,
- ⑤ 분말 운무에 의한 열방사의 차단 효과,
- ⑥ 오르토인산(ortho)에 의한 섬유소의 탈수탄화 작용 등이다.

제1인산암모늄은 열에 불안정하며 150°C 정도에서 열분해가 시작된다.

열분해 반응식은 다음과 같다.



제3종 분말 소화약제는 다른 분말 소화약제와 달리 A급 화재에도 적용할 수 있으며 그 이유는 다음과 같다.

- ① 제1인산암모늄이 열분해 될 때 생성되는 오르토인산(ortho)이 목재, 섬유, 종이 등을 구성하고 있는 섬유소를 탈수 탄화시켜 난연성의 탄소와 물로 변화시키기 때문에 연소 반응이 중단된다.
- ② 섬유소를 탈수탄화시킨 오르토인산(ortho)은 다시 고온에서 위의 반응식과 같이 열분해 되어 최종적으로 가장 안정된 유리상의 메타-인산(HPO_3)이 된다. 이 메타인산은 가연물의 표면에 유리상의 피막을 형성하여 연소에 필요한 산소의 유입을 차단하기 때문

에 연소가 중단된다.

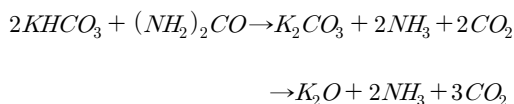
따라서 일반 가연물의 불꽃 연소는 물론 작열 연소에도 효과가 있으며 한번 소화된 목재 등은 불꽃을 가까이 해도 쉽게 재 착화 되지 않는다. 그러나 제2종과 마찬가지로 요리용 기름이나 지방질 기름과는 비누화 반응을 일으키지 않기 때문에 이들의 화재에는 사용되지 않는다.

우리나라에서는 차고나 주차장에 설치하는 분말 소화 설비의 소화약제는 제3종 분말을 사용하도록 규정하고 있다. 이 약제는 앞에서 설명한 것처럼 A급, B급, C급의 어느 화재에도 사용할 수 있다. 따라서 현재 생산되고 있는 분말 소화약제의 대부분이 제3종이라 해도 과언은 아닐 것이다.

4. 제4종 분말 소화약제

제2종 분말을 개량한 것으로 탄산수소칼륨(KHCO_3)과 요소($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$)와의 반응물($\text{KC}_2\text{N}_2\text{H}_3\text{O}_3$)을 주성분으로 하는 약제이다.

성분이 동일한 분말 소화약제는 입자가 작아지면 작아질수록 소화 효과는 커진다. 그러나 입자가 너무 작아지면 같은 가스 압력에서 방사 도달 거리가 짧아지고, 비표면적이 증가하여 방습 가공이 곤란해지는 단점도 있다. 따라서 방사 시까지는 입자가 어느 정도의 크기로 유지되어 있다가 방사 후 분말이 화염과 접촉되면서 입자가 미세하게 분리된다면 위와 같은 단점을 보완할 수 있을 것이다. 이와 같은 개념을 가지고 영국의 ICI사에서 만든 모넥스(상품명)가 탄산수소칼륨과 요소와의 반응물이다.



이것은 단독으로도 소화력이 큰 탄산수소칼륨에 요소를 결합시킨 것으로 입자는 보통 크기이지만 이것이 화염과 만나면 산탄처럼 미세한 입자가 분해되어서 커다란 비표면적을 갖기 때문에 큰 소화력을 발휘하게 된다.

이 약제의 소화력은 분말 소화약제 중 가장 우수하다. 특히, B급, C급 화재에는 소화 효과가 우수하나 A급 화재에는 별 효과가 없다.

5. CDC(Compatible Dry Chemical)

CDC는 포와 함께 사용할 수 있는 분말 소화 약제를 의미한다.

분말 소화약제는 빠른 소화 능력을 갖고 있으나 유류화재 등에 사용되는 경우는 소화 후 재 착화의 위험성이 있다. 반면, 포 소화약제는 소화에 걸리는 시간은 길지만 소화 후 장시간에 걸쳐 포가 유면을 덮고 있기 때문에 재 착화의 위험은 아주 적다. 따라서 이들의 장점만을 살리기 위하여 두 가지 약제를 함께 사용하는 방법(먼저 분말 소화약제를 사용하여 빠른 시간 내에 화염을 제거하고 이어서 포를 방사하여 재 착화를 방지하는 방법)을 생각하게 되었으나 분말 소화약제의 소포성(消泡性) 때문에 실현되기 어려웠다. 이에 소포성이 없는 분말 소화약제인 CDC(Compatible Dry Chemical)가 개발되게 되었다.

초기의 CDC는 탄산수소나트륨을 주제로 하였으나 방습 처리제로 사용되는 스테아린산 마그네슘 등의 금속 비누가 소포 작용을 일으키기 때문에 이를 방지하기 위하여 활석(talc, $Mg_3(Si_4O_{10})(OH)_2$) 등을 사용하여 방습 처리했다. 그 후 탄산수소칼륨을 주성분으로 한 제품이 제조되어 성능은 조금 향상되었으나 소화 활동상의 요구를 만족할 만한 성능은 나타내지 못했다. 따라서 어떤 분말 소화약제와 만나도 소포되지 않는 포 소화 약제를 개발하게 되었다. 이렇게 해서 개발된 것이 앞에서 설명한 수성막포 소화약제와 함께 트윈 에이전트 시스템(twin agent system)으로 사용되게 되었다.

분말 소화약제 중에서는 ABC 분말 소화약제가 가장 소포성이 적기 때문에 이것을 개량해서 소포성이 거의 없는 CDC를 개발하여 주로 비행장에서 사용되고 있다.

6. 금속화재용 분말 소화약제(dry powder)

일반적으로 금속화재는 가연성 금속인 알루미늄(Al), 마그네슘(Mg), 나트륨(Na), 칼륨(K), 나트륨/칼륨 합금, 리튬(Li), 지르코늄(Zr), 티타늄(Ti), 우라늄(U) 등이 연소하는 것을 말한다.

이러한 금속은 비중에 따라서 두 가지로 분류되며 연소 성상은 다음과 같다.

- ① 비중이 가벼운 경금속 : 융점이 낮고 연소하면서 녹아 액상이 되고 증발하여 불꽃을 내면서 연소한다.
- ② 비중이 큰 금속 : 융점이 1000℃를 넘고 연소하기 어렵지만 연소하면 불꽃을 내면서

비산한다.

이러한 금속화재는 연소 온도가 매우 높기 때문에 소화하기가 어렵다. 특히 소화 약제로서 물은 금속과 급격한 반응을 일으키거나 수증기 폭발을 일으킬 위험이 있기 때문에 사용을 금해야 한다. 따라서 금속화재에는 특수한 금속화재용 분말 소화약제가 사용되고 있다.

앞의 분말 소화약제는 무엇보다도 불꽃을 제거하는 것이 주목적인 반면, 금속화재용 분말 소화약제는 금속 표면을 덮어서 산소의 공급을 차단하거나 온도를 낮추는 것이 주된 소화 원리이다.

이러한 소화 원리를 만족시키기 위해서 약제는 다음과 같은 성질을 가져야 한다.

- ① 고온에 견딜 수 있을 것
- ② 냉각 효과가 있을 것
- ③ 요철 있는 금속 표면을 피복할 수 있을 것
- ④ 금속이 용융된 경우(Na, K 등)에는 용융 액면 상에 뜰 것 등

위와 같은 성질을 갖춘 물질로는 흑연, 탄산나트륨, 염화나트륨, 활석(talc) 등이 있다.

금속화재용 분말 소화약제는 앞서와 같은 물질을 주성분으로 하고 여기에 유기물을 결합제로 첨가한 것이다. 이 약제는 가열에 의해 유기물이 용융되어 주성분을 유리상으로 만들어 금속 표면을 피복하여 산소의 공급을 차단한다.

금속화재용 분말 소화약제에는 다음과 같은 것이 있다.

가. G-1

흑연화 된 주조용 코크스를 주성분으로 하고 여기에 유기 인산염을 첨가한 약제이다. 흑연은 열의 전도체이기 때문에 열을 흡수하여 금속의 온도를 점화 온도이하로 낮추어 소화한다. 또한 흑연 분말은 질식 효과도 있다. 이 약제는 Mg, K, Na, Ti, Li, Ca, Zr, Hf, U, Pt 등과 같은 금속화재에 효과적이다.

나. Met-L-X

염화나트륨(NaCl)을 주성분으로 하고 분말의 유동성을 높이기 위해 제3인산칼슘

(tricalcium phosphate, $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$)과 가열되었을 때 염화나트륨 입자들을 결합하기 위하여 열가소성 고분자 물질을 첨가한 약제이다. 이 약제는 Mg, Na, K와 Na-K 합금의 화재에 효과적이다.

고온의 수직 표면에 오랫동안 붙어 있을 수 있기 때문에 고체 금속 조각의 화재에 특히 유효하다.

다. Na-X

이름으로부터도 알 수 있듯이 이 약제는 Na 화재를 위해서 특별히 개발된 것이다. 탄산나트륨을 주성분으로 하고 여기에 비흡습성과 유동성을 향상시킬 수 있는 첨가제를 첨가한 약제이다.

라. Lith-X

Li 화재를 위해서 특별히 만들어진 것이다. 그러나 Mg이나 Zr 조각의 화재 또는 Na과 Na-K 화재에도 사용된다.

흑연을 주성분으로 하고 유동성을 높이기 위해 첨가제를 첨가하였다.

제3절 소화 효과

분말 소화약제의 소화 기구는 아직 완전하게 밝혀지지 않았지만 지금까지 밝혀진 소화 효과에는 질식 효과, 냉각 효과, 방사열 차단 효과, 화학적 소화 효과 등이 있으며, 제3종 분말의 경우는 이상의 효과 이외에도 메타인산(HPO_3)에 의한 방신 효과가 추가된다.

1. 질식 효과(smothering effect)

질식 효과는 분말 소화약제가 열에 의해 분해될 때 발생하는 CO_2 , 수증기 등의 불연성 기체에 의해 공기 중의 산소 농도가 저하되어 나타나는 현상이다. 이 효과는 오랫동안 분말 소화약제의 주된 소화 효과로 알려져 왔었으나 최근에는 이외에도 많은 소화 효과가 있는 것으로 밝혀졌다.

2. 냉각 효과(cooling effect)

분말 소화약제가 화재를 신속하게 진압할 수 있는 것은 냉각 효과 때문인지 아닌지는 아직 확실히 밝혀지지 않았다. 이것에 대해서는 앞으로 많은 연구가 있어야 할 것이다. 그러나 이 약제의 열분해 시 나타나는 흡열 반응에 의한 냉각 효과와 고체 분말에 의한 화염 온도 저하(고농도인 경우)는 부인할 수 없으나 주된 소화 효과는 아니다. 좀 더 효과적인 분말 소화약제는 열에 민감하여 화학적으로 쉽게 활성화될 수 있어야 할 것이다.

3. 방사열의 차단 효과(radiation shielding effect)

분말 소화약제는 방출되면 화염과 가연물 사이에 분말의 운무를 형성하여 화염으로부터의 방사열을 차단한다. 따라서 가연물질의 온도가 저하되어 연소가 지속되지 못한다. 각종 실험 결과, 이 효과는 중요한 소화 효과의 하나로 판명되었으며 특히 유류화재의 소화 시에 큰 효과를 나타내는 것으로 알려져 있다.

4. 화학적 소화 효과(chain-breaking reaction)

이상과 같이 분말 소화약제는 여러 가지 소화 효과를 가지고 있지만 이외에도 이들 효과를 모두 합한 것보다도 더 큰 소화 효과가 있는 것으로 밝혀졌다. 이는 연소의 연쇄 반응을 중단시켜 소화하는 화학적 소화 효과이다. 이 효과는 앞서도 설명한 것처럼 가연물의 연소 시 발생하는 H^* 나 OH^* 등의 활성기(free radical)에 의한 연쇄 반응(chain reaction)을 차단하는 것이다. 이는 분말의 종류에 크게 좌우되며 소화 기구(extinguishing mechanism)는 다음의 두 가지로 나누어 생각할 수 있다.

첫 번째 기구는 분말의 크기를 아주 작게 하는 경우이다. 분말의 크기를 작게 하면 표면적이 증가하여 좀 더 활성화된 표면이 나타나 가연물의 활성기와 쉽게 결합하여 연쇄 반응을 중단시키게 된다.

두 번째 기구는 연쇄 반응을 전파시키는 활성기와 반응할 수 있는 화학종(chemical species)이 생성되는 것이다.

Na이나 K를 함유한 염(salt)을 아주 곱게 분쇄하면 표면적이 커져서 열전달이 좋아진다. 따라서 아주 활성이 높은 금속(Na, K 등)이나 금속수산화물이 화염 속에서 증발되어 불꽃 속의 활성기와 반응하여 연쇄 반응의 전파를 차단시키게 된다. 크기는 알칼리금속 화합물에서 이 효과의 크기는 원자 번호의 순($\text{Cs} > \text{Rb} > \text{K} > \text{Na} > \text{Li}$)이다. 그러나 제1인산암모늄($\text{NH}_4\text{H}_2\text{PO}_4$)을 주성분으로 하는 제3종 분말 소화약제의 경우는 이상의 기구로는 설명할 수가 없다. 이 약제가 활성기와 반응하는 것은 다른 약제보다는 덜 활발할 것이며 (H_2PO_4)-이온이 발생되는 등 복합적인 반응이 일어날 것이다. 또한, 이 약제는 강력한 흡열 반응을 일으키기 때문에 불꽃의 온도를 낮추거나 연소계로부터 에너지를 제거하여 연쇄 반응에 영향을 미친다.

5. 방신 효과

방신 효과는 제3종 분말 소화약제에서만 나타나는 소화 효과로 제1인산암모늄이 열분해될 때 생성되는 용융 유리상의 메타인산(HPO_3)이 가연물의 표면에 불침투의 층을 만들어서 산소와의 접촉을 차단하는 것이다. 따라서 이러한 소화 효과를 나타내는 경우는 A급 화재에도 사용이 가능하다.

6. 탈수·탄화 효과

대부분의 일반 가연물의 연소는 열분해 시 생성되는 가연성 기체에 의해 일어나는데 제1인산암모늄은 이와 같은 기체의 발생을 억제하기 때문에 연소가 중지된다.

제1인산암모늄은 190°C 부근에서 암모니아(NH_3)와 오르토-인산(H_3PO_4)으로 열분해된다. 이때 생성된 오르토-인산은 목재, 섬유, 종이 등을 구성하고 있는 섬유소를 탈수탄화시켜 난연성의 탄소와 물로 분해시키기 때문에 연소 반응이 중단된다.

제4절 적응 화재

분말 소화약제는 일반적으로 유류화재에 사용되며 전기 전도성이 없기 때문에 전기화재에도 유효하다. 또한 빠른 소화 성능을 이용하여 분출되는 가스나 일반화재를 포함한 표면화재에도 사용되고 있다. 특히, 제3종(ABC) 분말 소화약제의 경우는 앞서도 설명한 것처럼 메타인산의 방진 효과 때문에 A급 화재에도 적응이 가능하다.

분말 소화약제는 빠른 소화 성능 때문에 초기 소화용은 물론, 고정 소화설비에서도 소용량에서부터 점보제트기의 격납고, LNG 탱크의 방유제 내부에 설치되는 대용량에 이르기까지 각종 대상물에 널리 이용되고 있다.

분말 소화 설비의 적응 대상물은 다음과 같다.

- ① 인화성액체를 취급하는 장소 : 유류 탱크, 도료 반응기, 도장실, 도장 건조로, 자동차 주차장, 보일러실, 엔진룸, 주유소, 위험물 창고 등
- ② 인화성액체 또는 가스 등의 분출로 인한 화재 발생의 위험이 있는 장소 : 송유관, 반응탑, 가스 플랜트, LNG 방유제 내 등
- ③ 전기화재가 일어날 수 있는 장소 : 변압기, 유입 차단기, 전기실 등
- ④ 종이, 직물류 등의 일반 가연물로 표면 연소가 일어나는 경우

가압용 가스가 부착되어 있는 일체형 소화 설비의 경우는 방출용 동력이 필요하지 않기 때문에 한냉지에서도 사용할 수 있으나 약제의 연속 공급이 어렵고 냉각 효과가 적기 때문에 대규모의 유류화재에 단독으로는 사용할 수 없다. 이 경우는 수성막포 소화약제와 병용하는 twin agent system으로 사용하는 것이 바람직하다. 또한, 이 약제는 빠른 소화 성능을 갖는 반면, 분말의 방사로 소화에 성공하지 못했을 경우는 바로 소화전의 상태로 되돌아 갈 수 있으므로 주의해서 소화해야 한다.

분말은 방사 후 흡습하여 약알칼리 또는 약산성을 나타내기 때문에 금속을 부식시킬 수 있다. 따라서 전기 기기 등에 사용한 경우는 소화 후 즉시 청소를 해야 한다.

한편, 분말 소화약제는 다음과 같은 경우에 사용을 제한하고 있다.

- ① 정밀한 전기·전자 장비가 설치되어 있는 장소(컴퓨터실, 전화 교환실 등)

- 화재안전기준의 소화기구의 설치적응성에 전기실 및 전산실의 적응성을 인정하고 있는 것은 전기실 및 전산실에서의 분말소화설비는 설치자의 선택사항임
- ② 자체적으로 산소를 함유하고 있는 자기 반응성 물질
- ③ 가연성 금속(Na, K, Mg, Al, Ti, Zr 등)
- ④ 소화약제가 도달될 수 없는 일반 가연물의 심부 화재

[참고자료]

- 소화약제화학, 도서출판 동화기술, 2018
- 소화약제화학, 화수목, 2015
- 최신소방약제화학, 신광문화사, 2010
- 소화약제화학, 형설출판사, 2007
- 소방화학, 도서출판 동화기술, 2008

3

PART

화재조사실무

제1장 화재조사의 개요

제2장 화재조사의 방법

제3장 화재조사 서류

제1장 화재조사의 개요



학습
목표

화재조사의 전반적인 개요에 대해 이해하고 숙지한다.

1. 화재 및 화재조사의 일반적인 정의와 의의에 대해 숙지함.
2. 화재조사의 특징 및 목적, 공식발표에 대한 내용을 숙지함.

제1절 화재의 정의

화재는 여러 가지로 정의할 수 있다. 미국 NFPA 921에 의하면 “화재란 다양한 강도의 빛과 열을 발생시키는 급격한 산화과정(Fire is a rapid oxidation process, which is a chemical reaction resulting in the evolution of light and heat in varying intensities)”이라고 정의¹²⁾하고 있고, 연소현상을 중심으로 화재를 정의하면 「빛과 열을 발생시키는 산화현상」으로 정의될 수 있다. 형법상으로 “화재(연소)란 불을 놓아 동산, 부동산 등 재물을 소훼하는 것”으로 단순히 정의되고, “방화란 불을 놓아 현주공용일반건조물, 기차, 전차, 자동차, 선박, 항공기 또는 광갱을 소훼하는 것”이며, “실화란 과실로 인하여 현주공용일반건조물, 기차, 전차, 자동차, 선박, 항공기 또는 광갱을 소훼하는 것”이라고 정의¹³⁾하고 있다. 민법에 따르면 “고의 또는 과실로 인한 위법행위로 타인에게 손해를 가한 자는 그 손해를 배상할 책임이 있다.”라고 표현하고 있다.¹⁴⁾ 즉 화재란 용어를 직접적으로 사용하고 있지는 않으나 “화재란 고의 또는 과실로 인한 연소 현상이 자기 또는 타인의 물건 또는 재물을 소훼시키는 것”이라고 간접적으로 표현하고 있다.

화재의 정의는 위와 같이 여러 가지가 있지만 소방기관의 공식적인 화재에 대한 정의는 소방의 화재조사에 관한 법률(이하 화재조사법)¹⁵⁾에 다음과 같이 정의되어 있다.

12) NFPA 921(Guide for Fire and Explosion Investigations) 2017

13) 형법(법률 제10259호) 제164내지 170조

14) 민법(법률 제9650호) 제750조(불법행위의 내용)

「화재」란 사람의 의도에 반하거나 고의 또는 과실에 의하여 발생하는 연소 현상으로서 소화할 필요성이 있는 현상 또는 사람의 의도에 반하여 발생하거나 확대된 화학적인 폭발현상을 말한다.

이를 상세하게 설명하면

첫째, “사람의 의도에 반하거나 고의 또는 과실에 의하여 발생하는”에서 “사람의 의도에 반하거나 과실에 의해 발생하는” 화재란 화기취급 중 발생하는 실화뿐만 아니라 부작위에 의한 자연발화 또는 천재지변에 의한 화재도 포함한다. 또한 “고의에 의한다.”고 하는 것은 일정한 대상에 대하여 피해발생을 목적으로 착화 및 화재를 유도하였거나 직접 불을 지른 경우를 말한다.

둘째, “연소현상으로서”에서 “연소”라고 함은 가연성물질이 산소와 결합하여 열과 빛을 내며 급속히 산화되어 형질이 변경되는 화학반응을 말하며, 다음의 현상들과는 구분된다.

- 금속의 용융: 열과 빛은 발하되 산화현상이 아니므로 연소가 아니다.
- 금속의 녹: 산소와 결합하는 산화반응이나 반응시간이 장시간 계속되므로 열과 빛을 내지 않기 때문에 연소가 아니다.
- 핵융합 및 핵분열: 열과 빛은 발하되 산화현상이 아니므로 연소가 아니다.

셋째, “소화할 필요가 있다는 것”이라고 함은 화재란 연소현상으로서 소화의 필요성이 있어야 하며 소화의 필요성의 정도는 반드시 소화설비이나 그와 유사한 정도의 시설을 사용할 수준 이상이어야 한다는 의미는 아니다. 즉, 휴지나 쓰레기를 소각하는 것과 같이 자산가치의 손실이 없고 자연히 소화될 것이 분명하여 소화의 필요성을 느끼지 않는다면 화재로 볼 수 없다. 그러나 구체적인 사안에 있어서 소화의 필요성 정도와 그 수준에 관하여는 해석이 나누어질 수 있으므로 실무적으로 소방관서에 화재신고가 접수된 것은 관계자가 소화의 필요성을 인정한 것으로 간주하고, 이를 화재로 인정하여 화재조사관은 현장 조사 실시 후 보고까지 이행한다. 이때 인명 또는 재산피해가 없는 경우라도 화재로 정의한다.

넷째, “사람의 의도에 반하여 발생하거나 확대된 화학적인 폭발현상”은 소화의 필요성은 논할 필요가 없이 원하지 않는 과실 등으로 인하여 발생하거나 확대된 화학적 폭발현상을 의

15) 소방의 화재조사에 관한 법률[시행 2022. 6. 9.][법률 제18204호, 2021.6.8, 제정]

미한다. “화학적 폭발현상”을 화재로 정의하는 이유는 지속적인 연소 현상이 없는 폭발 현상에 의한 파손, 화상 등 인적·물적 피해가 발생한 경우에도 「화재」로 분류하지 아니하고, 「안전사고」등으로 분류하여 처리하고 있어 화재예방대책 자료화가 불가능 하며, 또한 폭발은 짧은 시간 안에 발생하는 격렬한 연소 현상으로서, 순간적으로 많은 사상자를 발생시키거나 건물 등을 파괴하여 구조물의 파편이 멀리 날아서 흩어지는 등의 피해를 발생시키는 것이 일반적이다. 이러한 폭발은 피해가 광범위한 경우가 많아, 주변 조건으로부터 판단하여 사회통념상 공공의 위험을 발생시켜, 소화의 필요성이 없는 경우에도 소방기관이 출동하여 피해의 확대를 방지하는 것이 중요하기 때문에 순간적인 연소 현상이 있는 혼합 가스폭발, 가스의 분해폭발, 분진폭발 등의 화학적 변화에 의한 폭발은 급격한 연소현상으로써 화재 범주에 포함한다.

그러나 연소 현상이 없는 보일러 내압조 파열 등 단순한 물리적인 파열은 폭발화재로 정의하지 않는다.

우리나라에서 화학적 폭발을 화재의 범위 내에 포함한 것은 국가화재분류체계 혁신안의 시행(2017. 1. 1.)부터이다.

제2절 화재조사의 성격

화재조사는 화재조사법에 근거하여 화재예방 및 소방정책에 활용하기 위하여 화재원인, 화재의 성장과 확산, 피해현황 등에 관해 조사하는 것으로 “화재원인과 피해상황, 대응활동 등”을 밝히고, 이에 대한 분석을 통하여 널리 국민에게 화재의 위험성과 실태를 알리면서 유사 화재의 예방과 피해의 확대방지에 기여하고, 소방행정의 다양한 목적 수행을 위한 자료로 활용하게 된다.

화재조사는 그 성격에 있어 연소 현상에 대한 자연과학적, 전문직업적 이해와 여러 가지 법률관계(소방관련법, 형사법, 민사법, 제조물책임법 등)가 결합하여 있는 복잡한 업무 분야의 하나이다. 이와 같은 특수 분야에 대한 관계기관과 합동으로 전담부서를 구성하거나 또는 지역별로 전담팀을 별도로 조직하여 운영하는 방안을 마련하여야 할 것이다.

또한 최근 소방환경 변화에 따라 화재 발생 원인이 복잡·다양하여 과학적이고 전문적인 화재원인·피해조사 그리고 화재진압 등 소방대응 활동의 적절성 등에 대한 체계적인 조사

를 통해 그 결과를 화재예방정책에 반영하여 유사 화재로 인한 피해가 발생하지 않도록 제도와 법령 개선을 위한 환류 체계 구축이 필요한 상황에서 과거 소방기본법에 근거한 화재조사에서는 관계인 등에 대한 조사·질문권과 경찰공무원·보험회사와의 협력관계 내용 일부만 규정하고 그 밖에 화재조사자의 자격에 관한 사항 등 주요 사항은 시행규칙과 훈령(「화재조사 및 보고규정」)에서 규정하고 있고 화재합동조사단 운영, 감정기관지정 운영 등에 관한 규정이 없는 등 과학적이고 전문적인 화재조사를 위한 법률을 갖추지 못하여 소방관서장의 화재조사에 어려움과 한계가 있다는 지적이 있어왔다.

따라서 「소방기본법 시행규칙」 및 소방청훈령에 있는 화재조사에 관한 주요 사항을 법률에서 정함으로써 소방관서장의 화재조사 권한을 명확히 하고, 화재조사의 방법 및 절차, 화재조사 결과를 화재예방대책에 환류하는 조치 등을 담아 독자적인 법률로 제정하여 과학적이고 전문적인 화재조사 체계를 구축하고자 2021년 6월 8일 “소방의 화재조사에 관한 법률”이 제정되었고, 1년 후인 2022년부터 시행(2022.06.09.)되고 있으며, 관련 시행령과 시행규칙 및 소방청 훈령 등에 의거 화재조사를 수행하고 있다.

제3절 화재조사의 목적

소방의 화재조사의 목적은 화재예방 및 소방정책에 활용함을 위함이다. 소방기관에서 행하는 조사는 소방행정을 효율적으로 추진하기 위한 자료조사를 목적으로 하는 행정조사이며, 경찰관서에서 행하는 범죄 수사와는 성격이 다르다. 따라서 화재조사는 화재 원인과 화재 또는 소화로 인하여 생긴 손해를 조사하는 것으로 화재 원인조사는 발화 원인, 발견 통보 및 초기소화 상황, 연소상황, 피난 상황, 소화설비 등의 상황 등을 조사하고, 화재피해조사는 화재 및 소화로 인한 인명피해 및 재산피해를 조사하는 것이며, 그 결과를 분석하여 화재 예방 정책 방향을 결정하거나 화재예방 홍보에 활용하고 화재로 인한 피해를 최소화하기 위한 진압대책의 자료로 활용하는 등 소방행정정책 자료로 활용하고자 하는 것이 화재조사의 목적이라 할 수 있다.

따라서 화재조사의 목적은 다음과 같다.

- 화재에 의한 피해를 알리고 유사 화재의 방지와 피해의 경감에 이바지한다.
- 화재 원인을 규명하고 예방행정의 자료로 활용한다.

- 화재 확대 및 연소 원인을 규명하여 예방 및 진압대책 상의 자료로 한다.
- 사상자의 발생 원인과 소방 안전관리상황 등을 규명하여 인명구조 및 안전대책의 자료로 활용한다.
- 화재의 발생상황, 원인, 손해상황 등을 통계화 함으로써 널리 소방정보를 수집하고 행정정책의 자료로 한다.

또한 화재는 법률관계를 수반하는 사건이며, 그 실황식별행위는 사법적 관점에 입각한 증거보전 행위로 될 수 있으며, 소방법령상에 있어서는 화재조사의 주체는 소방기관으로 되어 있으나 행정상 경찰기관과의 연대가 필요하고, 경찰기관이 행하는 방화, 실화의 범죄수사에 대한 협력을 위해 방·실화범죄의 통보, 필요한 증거의 보전 등을 규정하고 있다.

우선 역사적으로 고전적 의미에서 방화죄는 중요한 범죄로 다루고 있다. 그러나 현실적으로 대부분 화재에서는 범죄와 관련이 없는 경우이거나 경미한 실화이며 화재가 발생한 이후의 “이재민 구호”라는 행정 성격상 복지행정 또는 급부행정의 현실적 필요성이 증대되면서 화재 피해자에 대한 행정적 지원 및 가입보험금 지급을 위한 일련의 절차에 불편함이 없도록 하는데 주안점을 두고 있다. 화재조사는 그 성격 및 내용으로 본다면 마땅히 소방기관에서 전담하여야 할 것이나 화재조사법에서 소방공무원과 경찰공무원의 협력의무를 명시¹⁶⁾하고 있는 상황이다.

제4절 화재조사의 범위 및 절차

화재발생 사실을 알게 된 때에는 지체 없이 화재조사가 실시된다. 화재조사는 "화재원인, 피해상황, 대응활동 등을 파악하기 위하여 자료의 수집, 관계인등에 대한 질문, 현장 확인, 감식, 감정 및 실험 등을 하는 일련의 행위"를 말하는데 화재조사법규 상의 조사 사항은 다음 표와 같다.

16) 소방의 화재조사에 관한 법률 제12조

1. 화재조사사항(화재조사법 제5조 및 동법 시행령 제3조 제1항)

조사사항
1. 화재원인에 관한 사항
2. 화재로 인한 인명·재산피해상황
3. 대응활동에 관한 사항
4. 소방시설 등의 설치·관리 및 작동 여부에 관한 사항
5. 화재발생건축물과 구조물, 화재유형별 화재위험성 등에 관한 사항
6. 화재의 예방 및 안전관리에 관한 법률 제7조에 따른 화재안전조사의 실시결과에 관한 사항

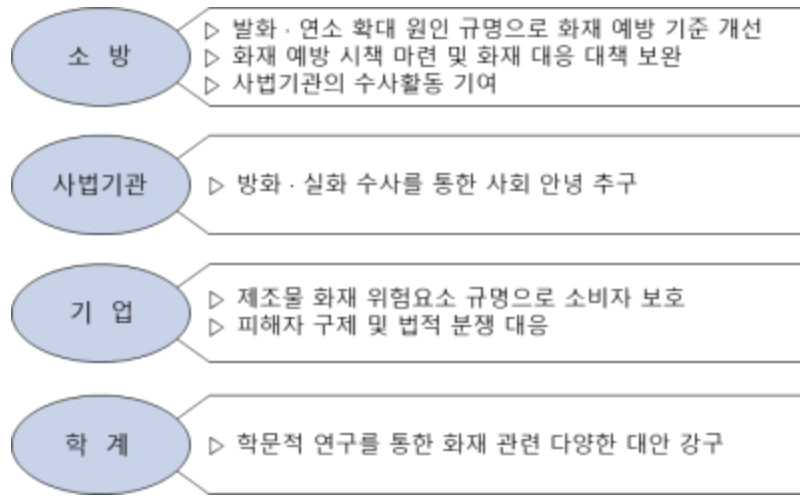
2. 화재조사의 대상 및 절차(화재조사법 시행령 제2조)

화재조사의 대상
1. 소방기본법에 따른 소방대상물에서 발생한 화재
2. 그 밖에 소방관서장이 화재조사가 필요하다고 인정하는 화재

3. 화재조사 절차(화재조사법 시행령 제3조)

종 류	범 위
1. 현장 출동 중 조사	화재발생 접수, 출동 중 화재상황 파악 등
2. 화재현장 조사	화재의 발화원인, 연소상황 및 피해상황 조사 등
3. 정밀조사	감식·감정, 화재원인 판정 등
4. 화재조사 결과 보고	결과 보고

※ 산림보호법 제42조에 따른 산불 조사 등 다른 법률에 따른 화재관련 조사가 원활히 수행될 수 있도록 협조해야 한다.



[그림 3-1] 화재 관계기관의 상관관계

제5절 화재조사 유관기관 등

1. 경찰

화재조사의 주체는 소방기관이나 화재 원인이 실화나 방화와 관련되어 있어 범죄수사의 주체인 경찰관서와 상충(相沖)되고 있다. 화재현장에 가장 먼저 출동한 소방관서는 법적인 업무수행을 위해 화재조사를 수행하고 동시에 경찰은 형법 제164조 내지 제171조¹⁷⁾에 명시

17) 제164조 (현주건조물등에의 방화) ① 불을 놓아 사람이 주거로 사용하거나 사람이 현존하는 건조물, 기차, 전차, 자동차, 선박, 항공기 또는 광갱을 소훼한 자는 무기 또는 3년 이상의 징역에 처한다.

② 제1항의 죄를 범하여 사람을 상해에 이르게 한 때에는 무기 또는 5년 이상의 징역에 처한다. 사망에 이르게 한 때에는 사형, 무기 또는 7년 이상의 징역에 처한다.〈전문개정 1995.12.29〉

제165조 (공용건조물등에의 방화) 불을 놓아 공용 또는 공익에 공하는 건조물, 기차, 전차, 자동차, 선박, 항공기 또는 광갱을 소훼한 자는 무기 또는 3년 이상의 징역에 처한다.

제166조 (일반건조물등에의 방화) ① 불을 놓아 전2조에 기재한 이외의 건조물, 기차, 전차, 자동차, 선박, 항공기 또는 광갱을 소훼한 자는 2년 이상의 유기징역에 처한다.

② 자기 소유에 속하는 제1항의 물건을 소훼하여 공공의 위험을 발생하게 한 자는 7년 이하의 징역 또는 1천만원 이하의 벌금에 처한다.〈개정 1995.12.29〉

제167조 (일반물건에의 방화) ① 불을 놓아 전3조에 기재한 이외의 물건을 소훼하여 공공의 위험을 발생하게 한 자는 1년 이상 10년 이하의 징역에 처한다.

② 제1항의 물건이 자기의 소유에 속한 때에는 3년 이하의 징역 또는 700만 원 이하의 벌금에 처한다.〈개정 1995.12.29〉

된 대로 화재와 관련된 범죄자 처벌을 목적으로 하면서 각 기관의 업무목적 달성을 위해 서로 부딪힐 수 있어 소방법령에서는 소방과 경찰의 상충을 미연에 방지하고 협력을 위해 법적 장치로서 방화와 실화에 대해 경찰관서에 통보와 증거의 보존 등에 대하여 정하고 있다.

하지만 소방당국은 화재 현장에 최초 출동하여 초기정보를 많이 가지고 있을 수밖에 없고, 경찰은 이후 소방을 통해 간접적으로 정보를 수집하는 경우가 많으며, 이는 국가적으로 볼 때, 두 기관이 동일한 대상에 조사를 실시하는 행정력 손실로 보일 수 있을 뿐만 아니라 화재피해자에게는 다소 불편을 가져다 줄 우려가 크고, 대국민적 행정행위에 있어도 일관성의 결여가 우려되기도 한다. 따라서 경찰이 화재진압과 화재통계 관리하고, 국민들에게 화재안전을 위한 행정을 제공할 수 없다면 소방당국이 화재수사권을 갖는 것도 바람직할 것이다.

2. 전기·가스안전공사

화재조사에 대한 법적인 권한이 없으나 공사의 이익을 위하여 화재 조사를 실시하고 있는 대표적인 공기업은 전기안전공사와 가스안전공사이다. 우리나라의 대부분의 에너지원으로 사용되는 전기와 가스는 우리 생활에서는 없어서는 안 될 에너지다.

전기안전공사는 계량기 이후의 설비에 안전을 담당하고 있는데 화재 원인이 전기와 관련 되었을 때 정확한 원인조사를 통해 회사의 영리를 추구하고 있으며 마찬가지로 가스안전공사도 가스 설비와 관련된 화재조사를 통해 사고 예방 등 회사 영리 추구를 하고 있다.

제168조 (연소) ① 제166조제2항 또는 전조 제2항의 죄를 범하여 제164조, 제165조 또는 제166조제1항에 기재한 물건에 연소한 때에는 1년 이상 10년 이하의 징역에 처한다.

② 전조제2항의 죄를 범하여 전조제1항에 기재한 물건에 연소한 때에는 5년 이하의 징역에 처한다.

제169조 (진화방해) 화재에 있어서 진화용의 시설 또는 물건을 은닉 또는 손괴하거나 기타 방법으로 진화를 방해한 자는 10년 이하의 징역에 처한다.

제170조 (실화) ① 과실로 인하여 제164조 또는 제165조에 기재한 물건 또는 타인의 소유에 속하는 제166조에 기재한 물건을 소훼한 자는 1천500만원 이하의 벌금에 처한다.〈개정 1995.12.29〉

② 과실로 인하여 자기의 소유에 속하는 제166조 또는 제167조에 기재한 물건을 소훼하여 공공의 위험을 발생하게 한 자도 전항의 형과 같다.

제171조 (업무상실화, 중실화) 업무상과실 또는 중대한 과실로 인하여 제170조의 죄를 범한 자는 3년 이하의 금고 또는 2천만원 이하의 벌금에 처한다.〈개정 1995.12.29〉

3. 보험회사

거액의 화재보험에 가입 후 보험금 편취를 목적으로 방화를 자행하는 사례가 늘고 있다. 이로 인해 선의의 보험가입자가 피해를 보고 있다. 2006년부터 2008년까지 안산에서 발생한 강호순 방화범죄 사건은 이를 잘 입증해 준다.

보험회사는 이와 관련해서 가입자의 보험액 손실을 막고 적절한 보상을 통한 국민 생활 안정에 기여하기 위해서 보험에 가입된 물건에 대해 화재조사를 실시한다.

4. 민간회사

제조물책임법¹⁸⁾이 2002년 7월 1일 시행되면서 기업들은 화재에 관심이 높아지고 있었다. 물론 전에도 제품이 화재와 연관될 때 기업이미지 실추 때문에 관심이 없었던 건 아니었다. 회사가 실시하는 화재조사는 자신이 만든 제품이 화재가 발생하였을 때 제조물책임법 관련해서 정확한 조사를 통해 제품하자에 대한 보상뿐 만아니라 제품개선 등을 위해 화재조사를 실시하고 있다.

5. 학계 .및 기타

화재 현장은 과학의 보고(寶庫)로서 미처 몰랐던 부분을 연구하고 적용할 수 있는 정보를 가지고 있다. 소방·안전 분야 학과에서도 화재 현상을 대상으로 활발한 연구 활동이 이루어지고 있고, 최근에는 국내에도 민간조사원의 활동도 점점 활발해지고 그 분야도 점점 확대되고 있는 것으로 보아 화재도 예외는 아닐 것이다.

화재 현장에 대한 정보연구를 통해 새로운 장비의 개발이나 화재 안전을 위해 정부에 요구할 수 있는 다양한 결론을 얻기 위해 다양한 기관 및 단체 등에서 스스로 필요에 따라 화재 조사를 하고 있다.

18) 제조물책임법(製造物責任法, Product liability): 제조된 물건의 결함으로 부터 소비자를 보호하고 제조자로 하여금 그 피해를 보상하게 하는 법을 말한다. 이는 제조자로 하여금 위험을 예측하여 해결책을 세워 제품제조사 반영하여 생산하도록 장려하는 것을 목적으로 하고 있다. 제조자에게 무과실책임을 부여하여 소비자가 오용을 하더라도 피해를 보상하게 하고 있다.

제6절 화재조사의 특징

화재조사는 화재 현장에서 증거물과 자료를 수집, 보존하며 신속하고도 정밀과학적으로 이루어져야 하는데 현장 활동에서는 반드시 안전에 유의하여야 한다.

또한, 조사 목적달성을 위해서는 조사권자가 관계인에 대하여 강제성을 띠고 수사기관 및 유관 기관과 긴밀한 협조하에 진행되어야 한다.

1. 화재조사는 현장성을 갖는다.

화재조사에 도움을 줄 수 있는 고급정보들은 주로 현장에서 얻어진다. 119신고를 받는 순간부터 신고일시와 신고자의 인적사항, 목소리(당시의 심경파악 등 중요한 자료로 활용됨) 등이 기록되면서 화재조사는 시작되며 출동 중에도 풍속과 풍향에 영향을 받는 화염과 연기, 주변에서 들리는 소리 등을 체크하는 조사가 진행되는데 대부분의 조사는 현장에 도착하자마자 본격적으로 전개된다.

최초 발견자, 신고자, 목격자, 초기진화자 등을 중심으로 탐문하여, 특이하거나 급격한 연소 부위나 물건, 열이나 연기의 진행 방향, 소실 또는 훼손된 물품의 위치 및 상태, 기타 화재 흔적 등을 정밀관찰하고 감식 또는 감정에 필요한 시료 및 증거물 등을 수집하는 조사 활동은 화재현장에서 이루어진다.

2. 화재조사는 신속성을 유지해야 한다.

화재조사에 관한 당사자(피의자) 또는 참고인으로 진술해야 할 최초 발견자, 신고자, 목격자, 방화 또는 실화 혐의자로 추정되는 자는 시간이 경과하면 거짓으로 진술할 수 있고 추후 법정에 소환되는 것을 두려워하거나 귀찮게 생각해서 도주할 우려가 있으므로 질문조사에 신속함이 요구된다.

특히 화재 피해자일 경우는 시간이 경과됨에 따라 최초와 다른 심경변화를 가져올 수 있고, 보험에 가입된 경우에는 범행을 숨기거나 피해 내용 및 금액을 훨씬 부풀려 주장하기도 한다.

또한, 화재 현장에서 발견되는 증거물은 상당히 다양하고 시간이 흐를수록 부식 또는 산화되거나 부패되기 쉬우므로 현장 보존 및 증거물 확보가 어렵거나 불가능해질 수도 있기 때문이다.

3. 화재조사는 정밀과학성이 요구된다.

화재조사의 수단과 방법이 비과학적이거나 비전문적이라면 그 결과는 엄청난 모순으로 끝날 것이다. 엉뚱한 사람을 방화 또는 실화 피의자로 몰거나 손해배상이나 보험금도 받아야 할 정액보다 훨씬 적게 받을 수밖에 없는 오류로 이어질 수 있다.

그러므로 화재조사는 화재나 폭발의 위험과 연소과정에 관한 지식, 기술, 경험을 바탕으로 필요한 첨단 장비, 시설, 기법을 가지고 체계적이고, 전문적이어야 함은 물론, 종합 과학적 방법으로 집행되어야 한다.

4. 화재조사는 보존성을 갖는다.

화재조사에서 가장 핵심적인 자료라 할 수 있는 것은 바로 증거물이다. 증거물은 상태 그대로 보존되어야 효용적 가치가 있는 것이다. 그러나 화재현장에서의 증거 물품이 될 수 있는 것은 소실되거나, 진화 중에 이동 또는 훼손됨으로써 화재 원인조사에 큰 어려움을 겪을 때가 많으므로 화재조사에 임하는 자는 신속한 출동으로 최초 선착대와 함께 현장에 임하고 진압 상황을 체크하여야 하며, 이를 통해 초기 상황에 대한 설명이 가능하여야 한다.

또한, 현장에서 확인되거나 수집된 모든 인적·물적 증거물은 반드시 보존 및 기록되어야 하고, 영구 보존이 가능하도록 하여야 한다.

5. 화재조사는 안전하게 진행되어야 한다.

화재 현장은 수시로 상황이 급변하거나 폭발, 재발화, 구조물 붕괴, 감전, 가스 또는 유해 물질 누출 등 치명적인 위험요소가 존재한다.

화재진압 · 구조 · 구급 종사자는 물론 화재조사에 임하는 자 역시 안전에 대한 각별한 주의가 요구된다. 특히 평소 화재현장에 익숙하지 못한 경찰관, 법정과학자 및 기타 조사자들은 현장 조사업무 수행 중 전혀 위험 인식을 하지 않을 수도 있다.

6. 화재조사는 강제성을 갖는다.

관계인의 협조 없이 화재조사를 실시 한다는 것은 정말 어려운 일이다. 관계인의 입장에서 보면 조사에 순응하는 것이 자기에겐 불리한 경우가 있을 수 있는데 이때 관계인에 대하여 필요한 보고 또는 자료의 제출을 명하거나 질문하여도 침묵을 지키거나 사실과 전혀 다른 진술을 하는 사람들이 대부분이다. 이렇게 되면 화재조사는 난항에 부딪히게 되므로 화재조사법 제9조에 의한 강제조사권을 발동할 수밖에 없다.

7. 화재조사는 다양한 빛을 만드는 프리즘과 같다.

화재조사기관의 조사자나 그 조사에 응하는 관계인들은 각자의 입장과 상황에 따라 보는 시각과 주장이 다양하고, 각자 정해진 목적에 따라 전문 경험을 살리면서 일정한 틀에 맞추려고 노력하는 경향이 짙다.

또한, 화재와 관련되어 피해자는 피해자대로, 보험사는 보험사대로, 배상책임자는 배상책임자대로, 참고인은 참고인대로 각각 책임소재와 배상 등의 문제를 생각한 나머지 자기의 입장만을 고려하여 주장하기도 하므로 이는 마치 프리즘을 통과하면서 다양한 빛을 만드는 프리즘과 같다.

제7절 화재조사의 공표

국민이 유사한 화재로부터 피해를 입지 않도록 하기 위한 경우 등 필요한 경우에 화재조사 결과를 공표할 수 있다. 다만 수사가 진행 중이거나 수사의 필요성이 인정되는 경우에는 관계 수사기관의 장과 공표 여부에 관하여 사전에 협의를 하여야 한다.

화재조사의 결과를 공표할 수 있는 경우와 포함사항은 다음과 같다.

화재조사 결과의 공표

1. 국민이 유사한 화재로부터 피해를 입지 않도록 하기 위해 필요한 경우
2. 사회적 관심이 집중되어 국민의 알권리 충족 등 공공의 이익을 위해 필요한 경우

화재조사 결과의 공표시 포함사항

1. 화재원인에 관한 사항
2. 화재로 인한 인명·재산피해에 관한 사항
3. 화재발생 건축물과 구조물에 관한 사항
4. 그 밖에 화재예방을 위해 공표할 필요가 있다고 소방관서장이 인정하는 사항

※ 공표방법 : 소방관서의 인터넷 홈페이지, 신문, 방송을 이용하는 등 일반인이 쉽게 알 수 있는 방법

화재가 발생한 경우 원인과 피해에 대하여 발표하는 것은 그 화재에 대한 사회적 관심이 높으면 높을수록 그에 따른 홍보 효과도 높아진다. 화재에 대한 과학적, 합리적 근거에 의해 원인을 규명한 경우, 출화 원인, 연소 확대 원인, 사상자의 발생원인, 손해 정도 등을 발표하는 것은 널리 국민에게 화재에 대한 위험을 지적하고 주의를 환기시킴으로써 유사 화재를 방지하는 등 소방행정에 큰 공헌을 할 수 있는 효과를 가진다. 그러나 발표에 있어서 관계인의 명예나 사생활이 침해되거나 민·형사상 물의를 일으킬 수도 있으므로 신중함이 요구된다.



핵심요약

- 화재란 실화 또는 방화로서 소화할 필요가 있는 연소 현상 또는 화학적인 폭발 현상을 말함.
- 화재의 판정은 화재의 3요소를 바탕으로 일반적이고 객관적으로 판단하여야 함.
- 화재조사는 화재 원인조사와 화재피해조사로 구분 할 수 있음.
- 화재조사의 주체는 소방기관이고 법률관계를 수반하는 사건이기에 경찰기관과의 연대와 협력이 필요함.
- 화재조사의 특징으로는 현장성, 신속성, 정밀과학성, 보존성, 안전성, 강제성 그리고 프리즘식 진행이 있음.
- 화재조사의 공식발표 시에는 명예 및 사생활 존중, 공소 유지·재판에 대한 영향, 민사불개입의 원칙을 고려해야 함.



학습가이드

- 각종 법령 및 문헌들의 화재의 정의에 대해 비교해보며 학습함.
- 화재조사 시 고려해야 할 부분은 화재 원인조사 및 화재피해조사의 세부적인 내용을 참고하면서 학습함.
- 화재조사의 특징에 대해 반드시 숙지함.
- 화재조사는 소방기관에 국한되어 있지 않기 때문에 경찰기관 등 유관 기관에서 다루는 화재 조사 개요에 대해서도 학습하는 것이 바람직함.

제2장 화재조사의 방법



학습 목표

화재조사의 종류와 방법에 대한 내용을 학습한다

1. 화재조사의 과학적이고 객관적인 방법을 이해하고 숙지함.
2. 화재 원인조사의 5단계 과정에 대해 이해하고 숙지함.
3. 화재피해조사에서 피해액 산정기준과 계산방법에 대해 숙지함.

제1절 과학적인 방법

화재조사는 경험, 기술, 과학적 지식이 요구되는 난이도가 높은 작업이며, 사실적 자료의 수집뿐만 아니라 그 자료에 대해 객관적이고 사실적인 분석이 이루어져야 한다. 화재조사의 기본적 방법론은 체계적 접근법과 모든 관련 세부사항에 대해 면밀한 주의를 기울이는 자세를 기반으로 해야 한다. 체계적 접근법을 사용하면 이전의 결론에 대한 재평가를 필요로 하는 새로운 사실을 발견하기도 한다.

화재조사관들은 과학적인 방법이나 체계적인 방법을 따르지만 정확한 것은 아니다. 화재조사관들이 화재조사를 수행하기 위해 활용된 방법에 관해 질문을 받을 때, 화재 현장 외부에서 내부로 또는 피해가 가장 적은 부분에서 가장 심한 부분으로 기록한다고 말한다. 이것은 과학적인 방법의 한 부분인 자료수집에 해당한다.

다음은 화재조사에 있어 과학적인 방법(Scientific Method)을 적용하기 위해 활용되는 단계이다. 이것은 합법적이고 과학적이며 기술적인 과정의 기초를 형성하는 것으로 아래의 과정을 거치게 된다.¹⁹⁾

19) NFPA 921(Guide for Fire and Explosion Investigations) 2017

1. 필요한 부분을 인식하라

우선, 문제가 존재한다는 것을 확인해야 한다. 이 경우, 화재나 폭발이 발생한 사실과 향후 비슷한 사고를 방지할 수 있도록 그 원인이 파악되어야 한다.

2. 문제를 정의하라

존재하는 문제를 확인했으면, 화재조사관은 어떤 방식으로 문제를 해결할 수 있는지 결정해야 한다. 이 경우, 발화지점과 원인에 대한 적절한 조사가 수행되어야 한다. 이는 화재 현장 조사와 기타 방법(즉, 과거 사례에 대한 검토, 관계인 등에 대한 대인적 조사 및 과학적 감정 등)에 의하여 수집된 데이터를 종합하여 수행된다.

3. 데이터를 수집하라

화재조사관은 정의된 문제에 대한 해답을 찾기 위해 아래와 같은 내용이 포함된 현장 정보를 수집하여야 한다.

- 가. 화재 패턴과 같은 물리적 증거 확인
- 나. 실험실 분석을 위한 증거물 수집
- 다 실험실 조사 결과물
- 라. 목격자 진술과 같은 사람들이 관측한 기록
- 마. 사진 촬영, 도면, 메모를 통한 현장 기록
- 바. 소방서와 경찰서와 같은 공식 현장 관련 보고서
- 사. 이전 현장 조사의 증거서류나 결과물

과학적인 방법을 활용하여 수집된 자료들은 실제 자료로서 나중에 분석될 것이다. 이들 자료는 입증될 수 있거나, 사실로 증명될 수 있거나, 관찰이나 경험에 근거를 두는 정보로 이루어져 있다.

화재조사관들은 가설을 최종적으로 입증하기 위한 자료에 대해서 적절하게 기록하고 수집

해야 한다. 왜냐하면, 기억은 시간이 지나면서 희미해지므로 적절한 기록이 필요하다는 것을 이해해야 한다. 일단 화재현장이 파괴되거나 변경되면 현장에서 추가적인 자료를 수집할 기회가 사라질지도 모른다. 화재현장에서 모든 물리적인 물건들을 수집하는 것이 불가능할지라도 적절한 기록은 수집된 자료 분석을 유효하게 해줄 것이다. 자료수집은 문헌 조사, 화재 패턴 분석, 현장 기록, 사진 촬영과 도면, 증거 확인과 보존, 기타 조사물건의 검토와 분석들이다.

관찰, 실험 또는 다른 직접적인 데이터를 수집하는 방법을 통해 화재 사고에 대한 사실들이 수집되었다면, 관찰 또는 경험을 토대로 검증이 필요하기 때문에 경험적 데이터라고 부른다.

4. 데이터를 분석하라

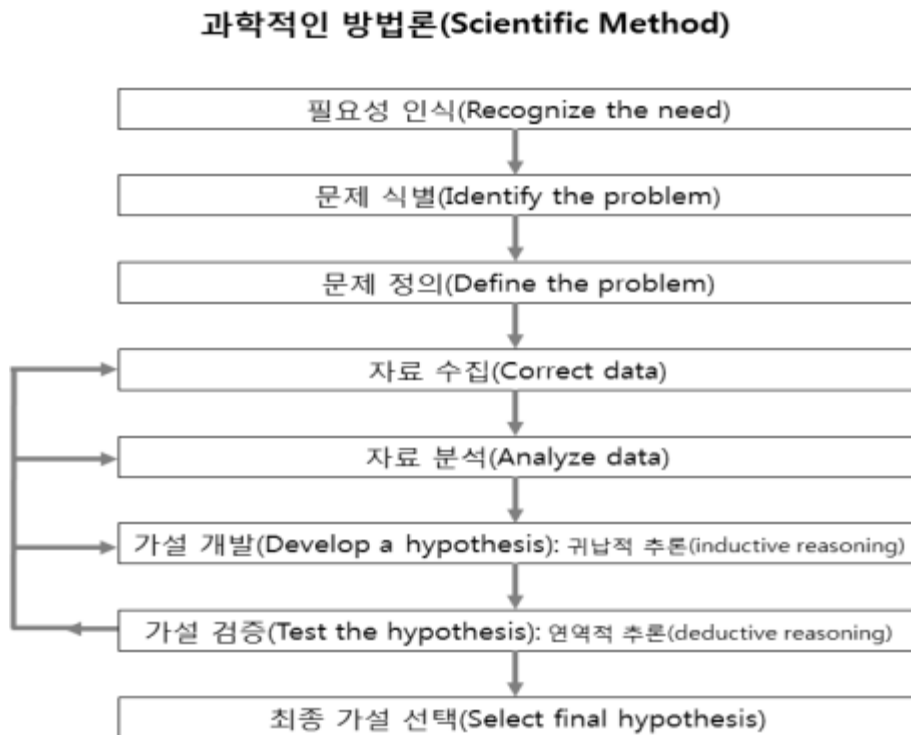
과학적 방법에서는 수집된 모든 데이터가 분석되어야 한다. 이는 최종 가설을 만들기 전에 수행되어야 하는 필수적 단계이다. 데이터의 확인, 수집 및 분류는 데이터 분석과 다르다. 데이터 분석은 지식, 훈련, 경험 및 전문성이 있는 자가 수행한 분석을 토대로 한다. 조사관이 데이터의 의미를 정확하게 이해할 수 있는 전문지식이 부족한 경우에는 보조 조사관을 두어야 한다. 데이터의 의미를 이해하면, 조사관은 추측이 아닌 증거를 기반으로 한 가설을 세울 수 있다.

5. 가설을 개발하라(귀납적 추론)

화재조사관은 분석한 데이터를 토대로 이러한 현상이 화재 패턴의 특성인지 여부, 그리고 화재 확산, 발화지점의 규명, 발화 과정, 화재 원인, 화재 또는 폭발 사고에 대한 책임이나 손상의 원인 등에 대한 가설(들)을 만들어 낸다. 이러한 과정을 귀납적 추론이라고 한다. 이러한 가설은 오로지 화재조사관이 관찰을 통해 수집한 경험적 데이터만을 토대로 해서 수립된 다음, 화재조사관의 지식, 훈련, 경험 및 전문성을 토대로 사건에 대한 설명이 가능하여야 하며, 객관적인 데이터와 결론을 설명하여야 한다.

6. 가설을 검증하라(연역적 추론)

화재조사관은 조심스럽고 신중한 검증 과정을 통과한 가설만을 입증된 가설로 사용할 수 있다. 가설의 검증은 연역적 추론의 원칙에 따라 수행되어야 하며, 이때 화재조사관은 본인의 가설을 특정 사건에 대한 현상과 관련된 과학적 지식뿐만 아니라 알려진 모든 사실과 비교해야 한다. 가설은 실험을 통해서 물리적으로 검증될 수도 있고, 과학적 원리를 적용하여 분석적으로 검증될 수도 있다. 다른 사람의 연구 결과를 근거로 할 때에는, 환경과 조건이 충분히 비슷한지 확인해야 한다. 화재조사관이 연구 결과를 근거로 할 때에는 해당 연구 결과에 대한 참조가 인정되거나 인용되어야 한다. 가설이 반박되거나 증명되지 못한 경우에는 해당 가설을 버리고 다른 가설을 세워서 검증해야 한다. 여기에는 새 데이터 수집이나 기존 데이터에 대한 재분석이 필요할 수도 있다. 검증하는 단계는 가능한 모든 가설을 검증하여 한 가지 가설만이 사실과 과학적 원리에 부합할 때까지 계속되어야 한다. 연역적 추론에 의한 검증 단계를 통과한 가설이 없는 경우에는 이 문제를 미결된 것으로 간주해야 한다.



[그림 3-2] 과학적인 방법론

제2절 화재조사관의 권한과 의무

국가가 소방에 화재조사의 권한을 부여한 것은 화재에 대해 많은 경험과 기술을 가졌으므로 당연한 것이지만, 소방청장·소방본부장 또는 소방서장이 이를 행함에 있어 행정업무의 올바른 안정성을 위해 다음과 같은 권한과 의무가 있다.

1. 권한

- 가. 화재 또는 소화로 인한 피해의 조사권(수손·파손·오손 등)
- 나. 관계자에 대한 출석 요구 및 질문권
- 다. 관계기관에 대한 필요사항 통보 요구권
- 라. 관계자에 대한 자료 제출 명령권
- 마. 소속 공무원이 행하는 조사를 위한 출입 검사 명령권
- 바. 수사기관의 장이 방화 또는 실화의 혐의가 있어 피의자를 체포 또는 증거물을 압수했을 경우 범죄수사에 지장을 주지 아니하는 범위에서 피의자에 대한 질문과 압수된 증거물에 대한 조사권

2. 의무

- 가. 화재조사 시 개인 주거의 경우 관계자의 승낙을 얻을 의무(수정)
- 나. 화재조사 시 관계자 비밀을 타인에게 누설금지 의무(수정)
- 다. 화재조사 시 신분을 증명하는 증표를 제시할 의무(수정)
- 라. 방화 또는 실화의 혐의가 있다고 인정될 시는 지체 없이 경찰서장에게 알리고 필요한 증거를 수집·보존할 의무
- 마. 관계 기관단체의 장과 화재조사에 필요한 사항에 대하여 서로 협력할 의무
- 바. 성실한 자세로 화재 원인을 끝까지 추적하여 원인 규명에 최선을 다할 의무

사. 조사 시 경찰관과 상호협력 의무

아. 관계보험회사 등에서의 조사 협력 의무

3. 마음가짐

가. 화재조사는 물적 증거를 객체로 하여 과학적 방법으로 합리적으로 사실을 규명하지 않으면 안 된다.

나. 화재조사법에 부여된 권리와 의무를 준수해야 한다.

다. 부당하게 개인의 권리를 침해하고 자유를 제한하지 않도록 유념한다.

라. 직무를 이용하여 개인의 민사관계에 관여하여서는 안 된다

마. 과학적, 기술적으로 타당성에 입각하여 조사하여야 한다.

바. 특이한 화재현상에 대하여 깊은 관심과 관계지식을 최대한 활용하여야 한다.

사. 실체적 진실규명을 한다는 사명감으로 최선을 다하여야 한다.

아. 객관적 사실을 토대로 흔들림 없이 중심을 지켜야 한다.

이상과 같은 마음가짐으로 현장 조사를 적극적으로 수행하고 수행과정 중 곤란한 경우가 발생할 것을 대비하여 권한과 의무를 적절히 활용하고 지속적인 연구를 통하여 대외 공신력을 갖춘 결론을 찾아가야 한다.

또한, 화재조사관은 화재조사를 함에 있어서 자신의 역할이 무엇이며, 화재조사 결과를 바탕으로 무엇을 하여야 하는가를 알아야 한다. 예를 들어, 화재조사관은 화재 원인, 화재 책임 등을 규명하여야 한다. 그리고 화재예방을 위한 법률개정안을 정부 기관에 조언하여야 하며, 제조물의 하자로 인한 화재의 경우에는 제조업자에게 적절한 조언을 하는 등의 환류 효과에 대한 의무도 부담한다고 할 수 있다.

제3절 화재피해조사 방법

1. 화재피해액의 산정

화재피해액은 화재 당시의 피해물과 동일한 구조, 용도, 질, 규모를 재건축 또는 재구입하는 데 소요되는 가액에서 사용손모(損耗) 및 경과연수에 따른 감가공제를 하고 현재 가액을 산정하는 실질적·구체적 방식에 의한다. 단, 회계장부상 현재 가액이 입증된 경우에는 그 가액에 의한다. 그러나 정확한 피해 물품을 확인하기 곤란하거나 기타 부득이한 사유에 의하여 실질적·구체적 방식에 의할 수 없는 경우에는 소방청장이 정하는 화재피해액 산정매뉴얼의 간이평가방식으로 산정할 수 있다.

건물 등 자산에 대한 최종잔가율은 건물부대설비, 구축물, 가재도구는 20%로 하며, 그 이외의 자산은 10%로 정한다.

2. 화재피해액 계산방법

고정자산에 대한 화재피해액 계산방법은 아래와 같다.

[표 3-1] 화재피해액 산정기준

산정대상	산 정 기 준
건 물	「신축단가(㎡당)×소실면적×[1-(0.8×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 신축단가는 한국감정원이 최근 발표한 '건물신축단가표'에 의한다.
부대설비	「건물신축단가×소실면적×설비종류별 재설비 비율×[1-(0.8×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의한다. 다만 부대설비 피해금액을 실질적·구체적 방식에 의할 경우「단위(면적·개소 등)당 표준단가×피해단위×[1-(0.8×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 건물표준단가 및 부대설비 단위당 표준단가는 한국감정원이 최근 발표한 '건물신축단가표'에 의한다.
구 축 물	「소실단위의 회계장부상 구축물가액×손해율」의 공식에 의하거나 「소실단위의 원시건축비×물가상승율×[1-(0.8×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의한다. 다만 회계장부상 구축물가액 또는 원시건축비의 가액이 확인되지 않는 경우에는 「단위(m, ㎡, m³)당 표준단가×소실단위×[1-(0.8×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 구축물의 단위당 표준단가는 매뉴얼이 정하는 바에 의한다.

산정대상	산 정 기 준
영업시설	「㎡당 표준단가×소실면적×[1-(0.9×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 업종별 ㎡당 표준단가는 매뉴얼이 정하는 바에 의한다.
잔존물제거	「화재피해금액×10%」의 공식에 의한다. 철골조 건물, 기계장치, 공구 및 기구, 차량 및 운반구, 예술품 및 귀중품, 동물 및 식물의 피해금액은 잔존물제거비 산정에 있어 화재피해금액에 산입하지 않는다. → 삭제
기계장치 및 선박·항공기	「감정평가서 또는 회계장부상 현재가액×손해율」의 공식에 의한다. 다만 감정평가서 또는 회계장부상 현재가액이 확인되지 않아 실질적·구체적 방법에 의해 피해금액을 산정 하는 경우에는「재구입비×[1-(0.9×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 실질적·구체적 방법에 의한 재구입비는 조사자가 확인·조사한 가격에 의한다.
공구 및 기구	「회계장부상 현재가액×손해율」의 공식에 의한다. 다만 회계장부상 현재가액이 확인되지 않아 실질적·구체적 방법에 의해 피해금액을 산정하는 경우에는「재구입비×[1-(0.9×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 실질적·구체적 방법에 의한 재구입비는 물가정보지의 가격에 의한다.
집기비품	「회계장부상 현재가액×손해율」의 공식에 의한다. 다만 회계장부상 현재가액이 확인되지 않는 경우에는 「㎡당 표준단가×소실면적×[1-(0.9×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하거나 실질적·구체적 방법에 의해 피해금액을 산정하는 경우에는 「재구입비×[1-(0.9×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 집기비품의 ㎡당 표준단가는 매뉴얼이 정하는 바에 의하며, 실질적·구체적 방법에 의한 재구입비는 물가정보지의 가격에 의한다.
가재도구	(주택종류별·상태별 기준액×가중치)+(주택면적별 기준액×가중치)+(거주인원별 기준액×가중치)+(주택가격(㎡당)별 기준액×가중치)의 공식에 의한다. 다만 실질적·구체적 방법에 의해 피해금액을 가재도구 개별품목별로 산정하는 경우에는 「재구입비×[1-(0.8×경과연수/내용연수)]×손해율」의 공식에 의하되, 가재도구의 항목별 기준액 및 가중치는 매뉴얼이 정하는 바에 의하며, 실질적·구체적 방법에 의한 재구입비는 물가정보지의 가격에 의한다.
차량, 동물, 식물	전부손해의 경우 시중매매가격으로 하며, 전부손해가 아닌 경우 수리비 및 치료비로 한다.
재고자산	「회계장부상 현재가액×손해율」의 공식에 의한다. 다만 회계장부상 현재가액이 확인되지 않는 경우에는「연간매출액÷재고자산회전율×손해율」의 공식에 의하되, 재고자산회전율은 한국은행이 최근 발표한 ‘기업경영분석’ 내용에 의한다.
회화(그림), 골동품, 미술공예품, 귀금속 및 보석류	전부손해의 경우 감정가격으로 하며, 전부손해가 아닌 경우 원상복구에 소요되는 비용으로 한다.

산정대상	산 정 기 준
임야의 입목	소실전의 입목가격에서 소실한 입목의 잔존가격을 뺀 가격으로 한다. 다만, 피해산정이 곤란할 경우 소실면적 등 피해 규모만 산정 할 수 있다.
기 타	피해당시의 현재가를 재구입비로 하여 피해금액을 산정한다.

【적용요령】

1. 피해물의 경과연수가 불분명한 경우에 그 자산의 구조, 재질 또는 관계인등의 진술 기타 관계자료 등을 토대로 객관적인 판단을 하여 경과연수를 정한다.
2. 공구 및 기구·집기비품·가재도구를 일괄하여 재구입비를 산정하는 경우 개별 품목의 경과연수에 의한 잔가율이 50%를 초과하더라도 50%로 수정할 수 있으며, 중고구입기계장치 및 집기비품으로서 그 제작연도를 알 수 없는 경우에는 그 상태에 따라 신품가액의 30% 내지 50%를 잔가율로 정할 수 있다.
3. 화재피해금액 산정매뉴얼은 본 규정에 저촉되지 아니하는 범위에서 적용하여 화재피해금액을 산정한다.

※ 출처 : 화재조사 및 보고규정 제18조 별표2



핵심요약

- 화재조사 시에는 과학적인 방법으로 필요성 인식, 문제의 정의, 데이터 수집, 데이터 분석, 가설설정, 가설검정의 6단계 과정을 거쳐서 최종 가설을 선택해야 함.
- 화재 원인조사 절차는 과제의 할당, 조사 준비, 현장 조사, 증거물 수집과 보존, 화재 원인 분석 5단계를 거쳐 적절하게 보고되어야 함.
- 화재피해조사 방법은 화재피해액 산정 및 계산 방법을 이용하며 고정자산, 경과 연수 등을 고려해야 한다. 불분명할 시에는 구조, 재질, 진술 등 관계 자료를 토대로 객관적인 판단을 하여 산정함.
- 화재피해액 산정기준 및 계산 방법은 “화재조사 및 보고규정 제 18조 별표 2”를 토대로 판단함.



학습가이드

- 화재조사의 과학적인 방법 6단계 각각의 내용과 전체 절차를 이해하고 숙지하여야 함.
- 화재조사의 과학적인 방법에서 “데이터 분석의 귀납적 방식”과 “가설검정의 연역적 방식”의 정의와 차이점에 대해 학습함.
- 화재 원인조사의 5단계 과정의 각각의 내용을 숙지하고 화재피해조사의 피해액 산정기준 및 계산 방법에 대한 내용을 숙지함.
- 경찰기관 등 유관 기관에서는 원인조사 및 피해조사를 어떤 기준과 과정을 통해 진행하고 있는지 비교하면서 학습하는 것이 바람직함.

제3장 화재조사 서류



학습 목표

화재조사 서류에 관한 내용을 학습한다.

1. 화재조사 서류의 개념, 의의, 필요성, 구성 및 양식에 대해 학습함.
2. 화재발생종합보고서에 대한 내용과 작성요령에 대해 학습함.
3. 화재현장조사서에 대한 개념과 작성요령에 대해 학습함.

제1절 화재조사 서류의 개념

1. 화재조사 서류의 의의

화재조사서류란 『소방의 화재조사에 관한 법률』에서 규정하고 있는 「화재조사」의 결과를 사진이나 도면 등에 의하여 정확하게 기록하고 소방기관으로서의 최종의사결정을 기록한 문서이다. 화재조사서류는 화재현장을 영구적으로 보존하는 자료로서 화재 1건마다 작성된다. 이렇게 축적된 조사데이터는 분석·유형화하여 시민에 대한 예방지도나 소방관계 법령 등의 소방행정 제시의 기초자료로 하는 외에 소방 활동자료로서 소방업무전반에 활용된다.

한편, 화재조사서류는 공문서로서 정보공개 대상으로 되는 것은 물론 소방기관이 전문적이고 공평한 입장에서 작성하는 것으로 사법기관 등의 유효한 증거자료로서의 측면도 가지고 있다.

2. 화재조사 서류의 구성 및 양식

화재조사의 목적은 현장조사 집행 후 그 결론을 표시한 「화재조사서류」가 작성됨으로써 처음으로 달성되는 것이다. 화재조사서류는 소방기본법에 근거한 조사 집행의 결과로서의 법적인 성격을 가지는 것이기 때문에 통일된 기본적인 양식으로 할 필요가 있는 것이다. 또한, 정리분석을 용이하게 하여 자료로서의 유용성을 높이고 활용범위도 확대시키기 위해 표준적인 서류구성과 그 양식에 기초할 필요가 있는 것이다.

이런 이유 때문에 기본적인 양식이 소방청 훈령인 『화재조사 및 보고규정』으로 규정되어 있으며 본문에서는 이 양식에 준하여 해설하고자 한다.

3. 화재조사서류 작성상의 유의사항

화재조사서류는 앞에서 언급한 것과 같이 소방행정의 기초자료이며 사법기관의 증거자료도 된다. 화재조사서류가 지닌 이러한 성질 때문에 「화재발생종합보고서」, 「화재현장조사서」 등의 화재조사서류를 구성하는 각 양식에는 각각의 작성목적에 따른 표현, 논리전개 등이 필요하며 이점에 유의하여 작성하여야 한다.

가. 간결·명료한 문장

주어와 술어가 애매한 문장, 생략한 문장, 장황한 말이 반복되어 요점을 파악하기 어려운 문장 등은 절대적으로 피해야 한다.

또 과학용어·학술용어 등 말을 바꿀 수 없는 전문용어는 별개로 하되 원칙적으로 평이하고 알기 쉬운 문장으로 작성토록 노력한다.

나. 오자·탈자 등이 없는 문서

오자, 탈자 등으로 문장의 의미가 변하는 것이 있다. 이러한 오류가 많은 서류는 읽는 사람에게 단순히 「글자가 틀리다」라고 하는 정도의 가벼운 인식이 아닌 「기재된 사실이나 논리에 대한 서류의 가치나 신뢰」를 떨어뜨리고 작성자의 능력을 의심케 하므로 글자 하나라도 가볍게 보아서는 안 된다.

다. 필요한 서류의 첨부

소방청에서 정하는 필요한 서류(사진 포함)가 첨부되어 있지 않거나 각 양식으로 정해진 필요한 기재항목이 빠져있는 서류는 서류로서의 기본적 요인을 미비하는 것으로 주의하여야 한다.

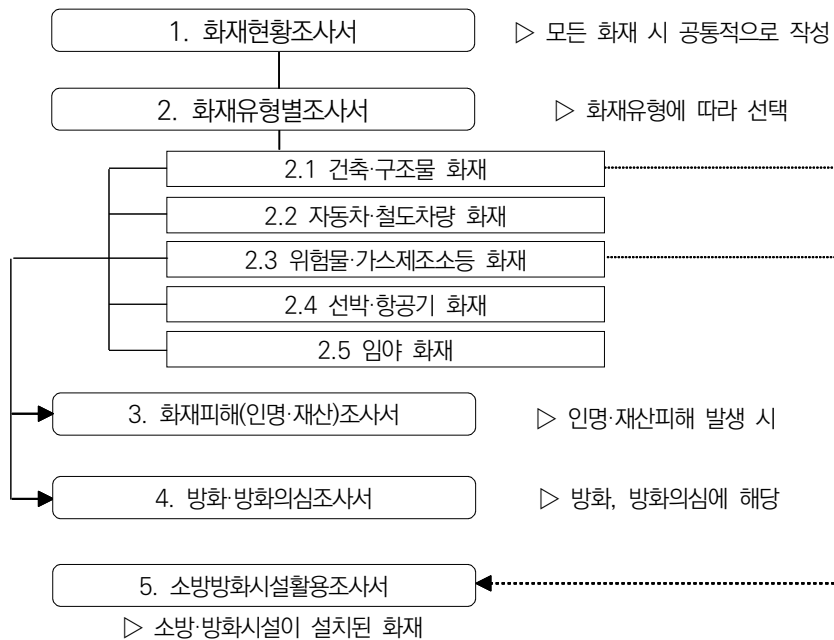
라. 각 양식 작성목적의 이해

화재 1건을 처리하는 데는 많은 조사서류가 작성되며 조사서류의 양식은 다르게 되어있다. 그것은 조사서류에는 각각의 작성목적이 있으므로 요구되는 문장표현이나 각 조사서의 작성자 등도 반드시 일치하는 것은 아니다. 이러한 것을 동일양식에 기재하면 혼란이 생기게 된다.

제2절 화재발생종합보고서

1. 작성목적과 작성자

화재발생종합보고서의 작성목적은 화재현장조사서, 질문기록서 등의 내용을 집약하여 하나씩 정리하는 것으로 화재대상물의 종합적 내용을 망라함과 함께 소방활동 데이터를 추가하는 것으로 화재조사결과와 소방활동의 개요를 알기 쉽게 한 것이다.



※ 6. 화재현장조사서는 모든 화재에 공통적으로 작성하는 서식임

[그림 3-7] 화재발생종합보고서 운영 체계도

화재발생종합보고서는 화재개요를 종합 정리하여 규명하는 것이기 때문에 화재현장 조사서 등과는 달리 특별히 작성자에 대한 제한은 없다.

2. 화재발생종합보고서 작성

화재발생 종합보고서는 아래 보고서 양식에 의거 세밀하게 작성하여야 한다.

첫째, 화재발생종합보고서 작성 시 모든 화재에 공통적으로 화재현황조사서를 작성

둘째, 화재유형에 따라 화재 유형별 조사서를 작성(건축구조물화재, 자동차·철도차량화재, 위험물가스제조소등 화재, 선박·항공기 화재, 임야화재)

셋째, 인명이나 또는 재산피해 발생 시 화재피해조사서 작성(인명피해, 재산피해)

넷째, 방화 또는 방화의심에 해당하는 경우 방화방화의심조사서를 작성

다섯째, 소방·방화시설이 설치된 건축구조물화재 또는 위험물·가스제조소등 화재에는 소방·방화시설 활용조사서를 작성해야 한다.

[표 3-2] 보고서 작성 양식

화재구조구급상황 보고서	【별지 제1호 서식】
화재현장출동보고서	【별지 제2호 서식】
화재발생종합보고서	【별지 제3호 서식】
화재현황 조사서	【별지 제4호 서식】
화재현장 조사서	【별지 제5호 서식】
화재현장 조사서(임야화재, 기타화재, 피해액이 없는 화재)	【별지 제5호의2 서식】
화재유형별 조사서(건물·구조물 화재)	【별지 제6호 서식】
화재유형별 조사서(자동차·철도차량 화재)	【별지 제6호의2 서식】
화재유형별 조사서(위험물·가스제조소등 화재)	【별지 제6호의3 서식】
화재유형별 조사서(선박·항공기 화재)	【별지 제6호의4 서식】
화재유형별 조사서(임야화재)	【별지 제6호의5 서식】
화재피해 조사서(인명피해)	【별지 제7호 서식】
화재피해 조사서(재산피해)	【별지 제7호의2 서식】
방화·방화의심 조사서	【별지 제8호 서식】
소방시설등 활용조사서	【별지 제9호 서식】
질문기록서	【별지 제10호 서식】
화재감식·감정 결과보고서	【별지 제11호 서식】
재산피해 신고서	【별지 제12호 서식】
재산피해 신고서(자동차, 철도, 선박, 항공기)	【별지 제12호의2 서식】
사후조사 의뢰서(미신고 화재)	【별지 제13호 서식】

위 서식 중 대부분은 국가화재정보시스템 내에서 해당 서식에 맞게 입력함으로써 조사서가 작성되도록 되어 있으나, 화재현장 조사서 및 재산피해 신고서 등 일부는 서식의 틀에 맞게 조사내용을 별도 작성해야 함으로 아래 절에서 설명하고자 한다.

제3절 화재현장조사서

1. 작성 목적

화재현장조사서는 발화원인, 연소 확대 원인, 사상자 발생원인 등을 조사한 서류로 유사화재 방지, 연소 확대 및 인명피해방지 등의 화재예방을 중심으로 한 소방행정에 반영함을 목적으로 한다.

소방행정에 반영함으로써 대외적으로는 담배꽂초에 의한 화재, 가스레인지 사용부주의에 의한 음식물화재 등 유사화재의 예방을 위해 널리 국민에게 알리는 것에서부터 전기·가스·화학 등을 포함 이와 관련된 각종 기계·기구에 관한 사용 상의 주의사항 안내 및 지도에까지 광범위하며, 대내적으로는 소방관계법령(시·도 화재예방조례 등을 포함)의 제개정을 위한 검토나 화재안전조사 등 예방업무의 착안점을 도출하는 것 등이 있다.

특히, 발화원인에 대해서는 대외적인 소방행정 반영과 결부되므로 논리적 고찰을 통한 철저한 규명이 요구된다. 화재현장조사서의 작성목적은 「화재대상물」을 관찰하여 규명한 사실과 관계자의 진술을 자료로 하여 소방기관이 최종결론에 도달한 논리구성이나 고찰, 판단을 기록하는 것으로 화재조서서류의 핵심이 된다.

화재는 방화범죄와 같은 형사사건이나 손해배상 등 다양한 법률관계로 연결되는 사건이 많다.

현장조사란 진화 후 이러한 법률사안을 내포한 화재현장에 출입하여 발화원인이나 기타 소방행정상의 문제점을 조사하는 것을 말한다.

화재현장조사서를 작성하는 목적은 발화원인판정 등의 기초 자료일 뿐만 아니라 화재현장 발굴 작업이나 복원작업 상황을 상세하게 기록한 증거보존 자료로서의 일면도 가지고 있다.

2. 작성자

화재현장조사서는 조사현장에서 자기가 직접 관찰확인한 사실을 기재하는 것이다. 작성자는 현장조사를 직접 행한 자로 한정하고 다른 사람이 대신하여 작성하는 것은 인정되지 않는다. 대규모 건물화재 등에서 현장조사를 분담하여 실시한 경우에는 부여받은 대상물의 현장조사서를 각각 작성한 후 취합 관리한다.

3. 작성상의 유의사항

현장조사는 소방의 화재조사에 관한 법률에 근거하여 행하는 법률행위적 행정조사로서 조사대상에 대한 권한을 가진 상대방의 승낙을 득하고 입회하는 임의조사이다. 이 때문에 현장조사를 실시할 때에는 입회인 및 조사개시와 종료시간은 반드시 기입한다. 또한 현장조사가 수일간에 걸친 경우에는 날짜(日)를 단위로 「제○회」라고 기재한다.

현장조사서는 앞에서 해설한 바와 같이 화재현장의 발굴·복원 종료 시까지의 상태를 화재원인판정등의 자료로서 혹은 방화범죄 등의 증거보존 자료로서 기록하여 두는 것이다.

가. 관찰·확인사실의 객관적인 기재

현장조사서에는 주관적 판단이나 조사자가 의도하는 결론으로 유도하는 듯한 기재방법은 금한다.

현장조사서의 기재는 조사자의 의사나 판단이 개입되지 않도록 현장상황이나 소손물건 등을 객관적으로 가능한 있는 그대로 표현하는 것이 좋다.

나. 관계자의 입회와 진술

조사를 실시하는 경우에는 공평성·중립성을 담보하기 위하여 반드시 입회인을 둔다. 조사 현장에는 화재의 결과로 건물자체가 무너졌었거나, 건물 내부 시설·가구·마감재 기타 수용물 등이 소손되어 원형을 잃고 잔해물만 남았거나 넘어짐 또는 추락되어 있는 경우가 많다. 이 때문에 입회인을 통하여 발화전의 상황을 확인할 필요가 있다.

그러나 화재현장조사서 작성시 입회인의 설명내용을 마치 조사원이 확인·관찰한 사실인 것처럼 기재하는 사례가 있으나 그것은 부적절한 것이다. 「입회인의 설명 내용」과 「조사원의

관찰·확인 사실」은 명확하게 구분하여 기재하여야 한다.

구별하는 방법은 다음의 예와 같이 「입회인의 설명에 의하면」이라고 전제하는 것이 일반적이다.

《원형이 남아있지 않은 건물의 설명》

입회인 ○○○(남, 82년생)의 설명에 의하면 「여기에는 지붕이 한옥기와로 얹어져 있었고 외벽은 불력벽돌조 단층건물로써 95㎡의 주택이 건축되어 있었다.」고 한다. 건물의 구획 등을 입회인의 설명을 토대로 첨부도면을 작성하였다. 이후 이 도면을 기준으로 확인 및 관찰한다.

다. 발굴·복원단계에서의 조사사항 기재

조사의 핵심이 되는 「발굴·복원단계」에서의 관찰·확인 내용은 발화원·경과·착화물과 결부된 사실을 구체적이며 상세하게 기재해 둘 필요가 있다. 특히, 발화 원인이 된 화원에 대하여 긍정해야 할 사실 뿐만 아니라 화원으로서 부정해야 할 사실을 빠짐없이 조사하여 기재하여야 한다. 또한, 복원단계 이전에 관계인에게 화재지점에 있던 물건이나 물품의 위치, 크기, 재질을 확인하여야 한다. 화재조사 당시 확인·관찰한 사실을 화재현장조사서에 기재하지 않은 경우 화재 원인판정에 인용할 수 없기 때문이다.

라. 간단명료하고 계통적인 기재

「화재조사서류 작성상의 유의사항」 등에서 기술한 문장 표현상의 유의점은 화재현장조사서 작성에도 적용된다. 「발화건물의 판정」 등과 관련하여 소손의 강약과 방향, 소손물건의 위치, 재질, 형상, 크기 등을 조사과정의 흐름에 따라 직접 확인한 내용만 이해하기 쉽고 간결하며 짜임새 있게 기재하여야 한다. 추상적이고 애매한 표현, 사실을 왜곡하는 표현은 사용하지 않도록 주의해야 한다.

마. 원인판정에 이르는 논리구성과 각 조사서에 기재한 사실 등의 취급

1) 판정에 이르는 논리구성

판정에 이르는 논리구성은 원칙적으로 소손상황을 객관적으로 기재한 화재현장조사서의 「사실」을 주체로 하며, 화재현장출동보고서 및 질문조사서의 진술사항 등을 종합하여 객관적 사실을 보충하고 화재사실의 실제적 진실을 규명할 수 있도록 결론을 도출한다. 각

판정의 기술은 이와 유사한 흐름을 골격으로 하여 논리를 전개하여야 한다.

2) 각 조사서에 기재된 사실 등의 취급

(가) 화재현장 출동보고서

화재현장출동보고서의 기재사실은 주로 발화건물 판정 및 발화지점 판정에 인용된다. 화재현장출동보고서에 기재된 사실은 간접자료로 다루어지나 조사원이 관찰조사 한 사실이나 관계자의 진술을 기재한 질문기록서 보다도 높은 신뢰성 갖는다.

(나) 질문기록서

질문기록서에 기재된 발견·신고자 등의 진술은 현장조사서에 기재된 사실의 보완적 자료로서 다루어진다.

발견·신고자, 초기소화자 등은 소방대보다도 먼저 화재의 연소상황을 볼 수 있으므로 이들의 진술은 소방공백시간인 발화로부터 소방대 도착 시까지의 화재상황의 파악에 도움을 줄 수 있는 것이다. 그러나 화재 시는 냉정한 판단이 어려운 이상 상태 하에 있어 착오나 추측 등 사실을 왜곡할 만한 요인이 많고, 이해관계에 따라 발화지점, 연소 방향, 불꽃의 크기 등이 달라진다. 또 법률상의 문제 때문에 알고 있는 것이라도 진술하지 않거나 사실과 반대되는 진술을 하는 사람도 있다. 따라서 관계자의 진술에 대해서는 있는 그대로 받아들이지 말고 신중하게 검토할 필요가 있다.

이러한 것 때문에 질문기록서에 기재한 관계자의 증언은 화재현장조사서에 기재한 「물증」의 보완적인 역할로 생각하면 된다.

3) 판정 결과와 모순된 진술의 처리

관계자의 진술 중에는 「발화건물의 판정」 등의 결과와 모순되는 경우가 있다. 실무상 이러한 증언에 대해서는 화재현장조사서를 작성할 때 그 신빙성을 충분히 검토하여 모순이 없는 진술을 열거하여 판정 근거자료로 작성한다.

그러나 조사과정에서 신빙성이 의심스러운 내용에 대해서도 결론 도출 시 반증을 열거해 나가면서 부정하여야 한다.

이러한 반증이 언급되지 않은 일방적인 전개는 관계자의 진술을 일부러 기재하지 않은 것으로 보일 수 있어 화재현장조사서를 읽는 제3자에게 의구심을 주게 된다.

바. 각 조사서에 기재한 사실 등의 인용 방법과 인용 개소의 기재

각 조사서에 기재된 사실 등의 「인용」은 발화원인 등을 판정하는 이론 전개의 기본으로서 화재현장조사서 작성상의 중요한 기술적 요소이다.

1) 각 조사서로부터 인용 방법

(가) 필요한 문장을 발췌하여 인용하는 방법

《예 질문기록서》

발견·신고자 ○○○(남, 82년생)는 질문기록서에서 「...큰소리가 나서 잠에서 깨어……2층 창가에서 밖을 보니 △△△의 집이 불타고 있었다. …불은 2층 동측 창가에서 나오고 있었다. 이외의 창은 연기만 나고 있었다.」라고 하는 진술을 하고 있다.

(나) 필요한 문장을 요약하여 인용하는 방법

현장조사 등의 요점을 간결하게 정리하여 인용하는 방법이다.

《예 질문기록서》

발견·신고자 ○○○(남, 82년생)는 질문기록서에서 「△△△ 소유의 주택 2층 동측 창에서 불꽃이 나오고 있었다.」고 진술한다.

어떤 방법으로 인용할지는 작성자가 적절하게 선택하면 된다. 그러나 필요한 문장을 요약하여 인용할 경우 요약한 내용이 실제로 진술한 내용과 미묘한 차이가 있을 수 있어 각별히 주의해야 한다.

2) 인용 개소의 기재

판정 근거로서 인용한 부분은 다음 항목을 명확하게 기재한다.

- 인용한 서류명
- 인용한 사실의 기재개소
- 인용한 사실의 내용

화재조사 시에 관찰했으나 현장조사서에서 기재하지 않은 사실, 발견·신고자 등의 관계자가 진술한 중요사항임에도 질문기록서에 녹취하지 않은 내용 등은 진실이라 해도 발화 원인 등의 판정 근거로서 열거할 수 없다. 판정 근거가 되는 사실 등은 모

두 화재현장조사서, 질문기록서 등에 기재되어야 한다.

또 각 조사서 기재 사실만으로는 발화 원인 등의 입증이 불충분하여 보충실험을 하거나 문헌을 인용하여 논리 전개한 경우는 실험데이터의 첨부나 문헌의 「인용개소의 명시」가 필요하다.



핵심요약

- 화재조사서류란 소방의 화재조사에 관한 법률에서 규정하고 있는 화재조사의 결과를 사진, 도면 등으로 정확하게 기록한 소방기관의 최종의사결정이 다뤄진 문서임.
- 화재조사서류는 화재현장을 영구적으로 보존하는 자료로서 화재 1건마다 작성됨.
- 화재조사서류는 증거자료 등 법적인 성격을 가지기 때문에 양식의 통일성과 정리분석의 용이성, 자료로서의 유용성이 고려되어야 하기 때문에 “화재조사 및 보고규정의 별지”에서 기본양식을 다루고 있음.
- 화재발생종합보고서는 화재 조사결과와 소방 활동의 개요에 대해 알기 쉽게 작성한 서류로서 별지 제 1호에서 제 12호의 서식을 토대로 작성함.
- 화재현장조사서는 모든 화재의 공통적으로 작성하는 서식으로 화재현장의 발굴·복원 종료 시까지의 상태를 조사 자료로서 기록한 서류임.



학습가이드

- 화재조사 및 보고규정의 별지 제 1호에서 제 12호의 서식이 각각 어떤 서류인지 숙지함.
- 화재발생종합보고서 운영 체계를 참고하여 화재현황, 화재유형, 인명·재산 피해 여부, 방화 또는 방화의심 여부, 소방·방화시설의 설치 여부에 해당할 때 각각 어떤 조사서를 작성해야 하는지 비교하면서 학습함.
- 화재현장조사서 작성 시 유의사항에는 어떤 것들이 있는지 학습하고 숙지함.
- 모든 조사서는 작성목적과 작성자에 관한 규정이 있으므로 비교·분석하여 학습하는 것이 바람직함.

[참고자료]

- 국가화재분류체계 메뉴얼, 소방방재청, 2009
- 화재피해액 산정 메뉴얼, 소방방재청, 2009
- 화재조사 및 보고규정, 소방청, 2020
- 국가법령정보센터(www.law.go.kr)
- 최성룡, 화재조사론, 도서출판 덕유, 2000
- NFPA, "NFPA921 Guide for Fire and Explosion Investigations 2017 Edition"

4

PART

연소이론

제1장 연소

제2장 폭발

제1장 연소

제1절 연소의 이해



학습 목표

1. 연소의 정의 및 연소의 형태(양상)를 설명할 수 있다.
2. 정상연소와 비정상연소(완전연소와 불완전연소)를 구분할 수 있다.
3. 연소의 공기량 및 연소방정식의 원리를 설명 할 수 있다.
4. 연소불꽃 색상 별 차이를 비교할 수 있다.

1. 연소(Combustion)의 정의

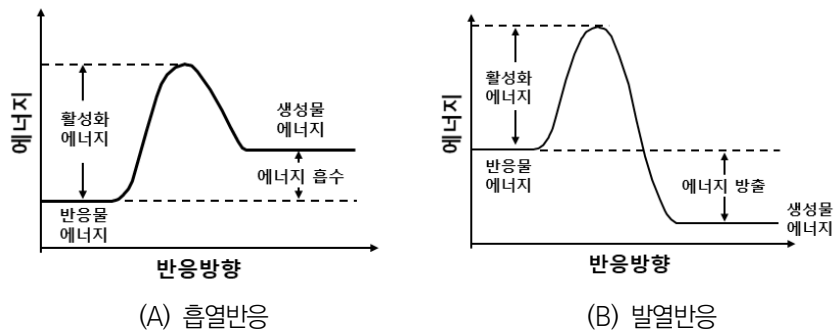
연소란 「가연성의 물질과 산소와의 혼합 계에 있어서 산화반응에 따른 발열량이 그 계로부터 방출되는 열량을 능가함으로써 그 계의 온도가 상승하여 그 결과로써 발생하는 열 방사전의 파장의 강도가 빛으로서 육안에 감지하게 된 것이며 화염을 수반하는 것이 보통이다.」라 말한다. 화염으로부터 방출된 열을 공급받은 가연물은 증기화 또는 열분해 됨에 따라 연소반응이 계속된다. 산화제란 산소를 발생시켜 다른 물질의 연소를 발생시키거나 또는 증가시킬 수 있는 물질을 말하며, 대표적으로 염소와 과산화수소가 이에 해당한다.

화학반응을 일으키기 위한 최소의 에너지를 활성화 에너지라 하며, 연소반응에서는 최소점화(착화)에너지 또는 점화에너지·점화원·발화원이라고 한다. 가연성가스와 공기의 혼합가스가 점화하기 위한 최소점화에너지(최소착화에너지)는 약 0.001~1[mJ]이다.

최소점화에너지로는 충격·마찰·자연발화·전기불꽃·정전기·고온표면·단열압축·자외선·충격파·낙뢰·나화·화학열 등에 의해 공급된다.

[표 4-1] 가연성가스와 공기의 혼합가스 최소점화 에너지

물 질	분자식	가연성가스농도(vol%)	최소점화에너지(mJ)
메 탄	CH ₄	8.5	0.28
에 탄	C ₂ H ₆	6.5	0.25
프 로 판	C ₃ H ₈	5.0 ~ 5.5	0.26
부 탄	C ₄ H ₁₀	4.7	0.25
헥 산	C ₆ H ₁₄	3.8	0.24
벤 젠	C ₆ H ₆	4.7	0.20
에틸에테르	C ₄ H ₁₀ O	5.1	0.19
아 세 톤	C ₃ H ₆ O	-	0.019
수 소	H ₂	28 ~ 30	0.019
이황화탄소	CS ₂	-	0.019



[그림 4-1] 활성화 에너지와 엔탈피

2. 연소의 4요소

화재의 구성요소를 설명하는데 있어서 연소의 3요소(산소, 가연물, 열)가 오랫동안 사용되었다. 이러한 단순한 예는 유용하지만, 기술적으로 정확한 것은 아니다. 연소반응이 일어나기 위해서는 산소(산화제), 가연물(연료), 열(에너지), 화학적 연쇄반응의 4가지 요소가 필요하다.

3. 연소의 형태

가. 고체와 액체의 연소

연소의 형태에 따라 불꽃연소(화염연소)와 표면연소(작열연소)로 구분할 수 있다. 불꽃연소는 가연성가스에 산소가 공급됨으로써 불꽃을 동반하는 연쇄반응을 말하며, 표면연소는 고체상태의 가연물 표면에 산소가 직접 공급되어 연소가 진행되는 것으로서 불꽃을 동반하지 않는다.

불꽃연소의 대표적 사례로는 고체 가연물의 분해연소, 자기연소, 증발연소, 액체 가연물의 증발연소가 이에 해당한다. 목재와 종이 등은 고체가 열에 의하여 분해되어 가연성가스로 변화하여 산소가 혼합되어 연소하며 이를 분해연소라 한다. 셀룰로이드와 같이 이미 산소를 포함하고 있는 물질은 공기 중의 산소가 필요하지 않으며 이러한 물질의 연소를 자기연소라 한다. 나프탈렌·유황 등은 열에 의해 고체에서 기체로 증발하여 연소하기에 증발연소라 한다. 액체 가연물은 가연성 액체의 표면으로부터 증발하여 가연성가스가 발생하며 공기 중의 산소와 혼합되어 연소한다. 대표적으로 가솔린과 같은 석유류의 액면에서의 연소가 이에 해당한다.

표면연소만 일어나는 물질로는 목탄(숯), 코크스, 금속분 그리고 쉽게 산화될 수 있는 금속 물질(알루미늄, 마그네슘, 나트륨 등)이 있다. 연탄·목재·종이·짚 등은 불꽃연소와 표면연소가 연이어 발생한다. 즉 고체 상태에서 열분해된 가연성가스가 연소할 때 불꽃연소가 일어나며 이후 표면연소로 진행된다.



(A) 촛불(불꽃연소)



(B) 숯(표면연소)

[그림 4-2] 불꽃연소와 표면연소의 일례

나. 기체의 연소

기체는 연소형태에 따라 정상연소와 비정상연소로 구분할 수 있다.

1) 정상연소

가연물의 연소 시 충분한 공기의 공급이 이루어지고 기상 조건이 양호할 때는 정상적인 연소가 이루어지므로 화재의 위험성이 적으며, 연소상의 문제점이 발생하지 않고 연소장치·기기 및 기구에서의 열효율도 높으며, 연소가 일어나는 곳의 열의 발생속도와 방산속도가 서로 균형을 이루고 있다. 정상연소의 예로는 도시가스나 프로판가스를 이용한 버너 또는 라이터에 의한 연소가 있다.



[그림 4-3] 가스버너의 불꽃 (정상연소)

2) 비정상연소

가연물이 연소할 때 공기의 공급이 불충분하거나 기상조건이 좋지 않은 경우 정상적으로 연소가 이루어지지 않고 이상 연소현상이 발생되므로 화재의 위험성이 증가하며, 연소상의 문제점이 많이 발생함으로 연료를 취급·사용하는 연소장치·기기 및 기구의 안전관리에 주의가 요구된다. 비정상연소는 폭발의 경우와 같이 연소가 격렬하게 일어나며, 이는 열의 발생속도가 방산속도를 능가할 때 발생한다.

4. 완전연소와 불완전연소

가연성 물질은 탄소(C), 수소(H), 황(S)과 같은 물질로 구성되어있으며 산소(O₂)와 연소반응을 통하여 연소생성물인 일산화탄소(CO)·이산화탄소(CO₂) 및 수증기(H₂O) 등이 발생한다. 이때, 공기 중 산소 공급이 충분하면 완전연소 반응이 일어나고 산소 공급이 충분하지 않으면 불완전연소 반응이 일어난다. 물질의 완전연소 시에는 이산화탄소(CO₂)가 발생하고, 불완전연소 시에는 일산화탄소(CO)가 발생한다. 프로판 가스에 대한 완전연소 반응과 불완전연소 반응의 예를 각각 식으로 나타내면 다음과 같다.

○ 완전연소 반응, 프로판(C₃H₈) : $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + \text{열}$

○ 불완전연소 반응, 프로판(C₃H₈) : $2C_3H_8 + 9O_2 \rightarrow 4CO_2 + 2CO + 8H_2O + \text{열}$

5. 연소용 공기량

가연물질을 연소시키기 위해서 사용되는 공기의 양에는 이론공기량, 실제공기량, 과잉 공기량, 이론산소량, 공기비 등이 있다.

가. 이론공기량(A°)

이론적으로 가연물이 완전연소하기 위해 필요로 하는 최소 공기량이다.

나. 실제공기량(A)

실제로 가연물이 완전연소하기 위해 필요한 공기량을 말하며, 이론공기량보다 더 많은 공기량이 필요하다.

다. 과잉공기량

연소과정에서 이론공기량보다 더 많이 공급되는 공기를 과잉공기라 말한다. 실제공기량에서 이론공기량을 차감하여 얻는다.

라. 이론산소량

이론적으로 가연물이 완전연소하기 위해 필요로 하는 최소 산소량이다.

$$\text{이론산소량} = \text{이론공기량} \times \frac{21}{100}$$

마. 공기비(m)

실제공기량을 이론공기량으로 나눈 값

$$\begin{aligned} \text{과잉공기량} &= \text{실제공기량} - \text{이론공기량} \\ \text{공기비(m)} &= \frac{\text{실제공기량}}{\text{이론공기량}} = \frac{\text{실제공기량}}{\text{실제공기량} - \text{과잉공기량}} \end{aligned}$$

일반적으로 공기비는 기체가연물질은 1.1~1.3, 액체가연물질은 1.2~1.4, 고체가연 물질은 1.4~2.0이 된다.

[표 4-2] 가연성가스의 이론공기량 및 연소열

가연물질	분자식	분자량	이론공기량		연소열(kcal/kg)
			Nm ³ /kg	Nm ³ /kg	
메 탄	CH ₄	16.043	9.524	13.304	212.80
에 탄	C ₂ H ₆	30.070	16.667	12.421	372.82
프로판	C ₃ H ₈	44.097	23.810	12.100	530.60
n-부탄	C ₄ H ₁₀	58.124	30.953	11.934	687.64
에틸렌	C ₂ H ₄	28.054	14.286	11.412	337.15
아세틸렌	C ₂ H ₂	26.038	11.905	10.246	310.62

가연성 가스를 공기 중에서 연소시킬 때 공기 중의 산소 농도가 증가하면 다음과 같은 연소특성을 나타낸다.

- ① 연소속도는 빨라진다.
- ② 화염의 온도는 높아진다.
- ③ 발화온도(발화점)는 낮아진다.

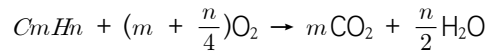
- ④ 폭발한계는 넓어진다.
- ⑤ 점화에너지는 작아진다.

또한, 불완전연소의 원인은 다음과 같다.

- ① 가스의 조성이 균일하지 못할 때
- ② 공기 공급량이 부족할 때
- ③ 주위의 온도가 너무 낮을 때
- ④ 환기 또는 배기가 잘 되지 않을 때 등이다.

6. 연소방정식

탄소(C)와 수소(H)로 구성된 탄화수소계 가연성가스에 대한 연소방정식은 일반적으로 다음과 같이 나타낼 수 있다.



탄화수소계 가연성가스가 완전연소하면 이산화탄소(CO₂)와 물(H₂O)이 발생하며, 공급되는 공기의 양이 부족하여 불완전연소하면 일산화탄소(CO)가 발생한다.

예) 탄화수소계 가연성가스의 완전연소식

- 부탄(C₄H₁₀) : $C_4H_{10} + 6.5O_2 \rightarrow 4CO_2 + 5H_2O + 687.64kcal$
- 프로판(C₃H₈) : $C_3H_8 + 5O_2 \rightarrow 3CO_2 + 4H_2O + 530.60kcal$
- 메탄(CH₄) : $CH_4 + 2O_2 \rightarrow CO_2 + 2H_2O + 212.80kcal$

앞의 예)에서 보면 액화천연가스의 주성분인 메탄이 연소할 때는 2몰²⁰⁾, 프로판은 5몰, 부탄은 6.5몰의 산소가 필요한데 프로판이나 부탄이 연소하려면 메탄보다 2~3배의 산소가 더 필요한 것을 알 수 있다.

20) 몰(mole) : 물질량을 나타내는 국제단위계의 기본단위로 1몰이란 원자, 분자, 이온의 개수가 6.02×10^{23} 개(아보가드로수)일 때를 말한다.

이론 공기량을 구해보면

이론산소량 = 이론공기량 $\times$ 21/100 이므로

이론공기량 = 이론산소량 $\div$ 0.21

그러므로 부탄은 31, 프로판은 24, 메탄은 9.5배의 공기가 필요하다.

7. 연소불꽃의 색상

가연물의 연소과정에서 공기(산소) 공급량이 충분하면 불꽃 색상은 흰색을 나타내고 이때 불꽃 온도는 1,500℃ 이상이다. 산소의 공급이 부족하면 불꽃은 담암적색에 가까운 색상을 나타낸다.

[표 4-3] 연소불꽃의 색상에 따른 온도

연소불꽃의 색	온도(℃)	연소불꽃의 색	온도(℃)
암 적 색	700	황 적 색	1,100
적 색	850	백 적 색	1,300
흰 적 색	950	흰 백 색	1,500 이상

핵심요약

- 연소는 화재를 이해하는데 매우 중요하다. 관리되지 않아 피해를 동반하는 불(Fire)을 화재라 하고, 관리됨으로써 피해를 동반하지 않는 불(Fire)을 연소라 한다.

학습가이드

- 1. 소방을 알기 위해서 불을 배제하고자하는 표현하기 어렵다. 그 불의 핵심이 연소와 관련되기에 연소의 특성을 이해하는 것은 소방학문의 학습에 있어서 기본이라 말할 수 있다.

제2절 연소 용어

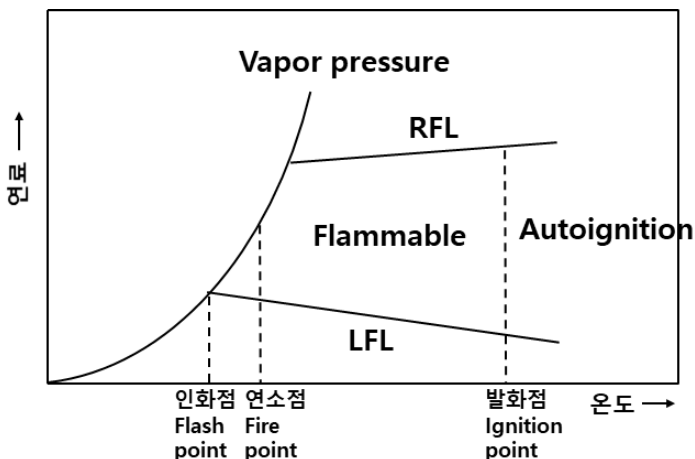


학습 목표

1. 인화점, 발화점, 연소점
2. 연소범위, 연소속도, 증기비중
3. 비점, 비열, 융점, 잠열, 점도

1. 인화점(Flash Point, 유도발화점, 인화온도)

인화점은 가연성 액체 또는 고체로부터 발생한 인화성 증기의 농도가 점화원에 의해 불붙을 수 있는 최저온도를 말한다. 가연성 액체로부터 발생하는 인화성 증기의 양은 포화증기압에 의존한다. 또한 포화증기압은 온도 의존성이 있다. 각 온도 조건에서 연소 가능한 하한값을 연결한 것을 연소하한계(lower flammability limit, LEL)라 한다. 예를 들면 디에틸에테르(다이에틸에터)의 경우는 1기압, -40°C 이하의 조건에서 인화성 증기가 발생하여 연소하한값의 조건을 형성한다. 만일 이때 점화원이 존재하면 불붙이게 된다. 한편, 고체의 경우는 열분해과정으로 인화성 증기가 발생한다.



[그림 4-4] 인화점, 연소점, 발화점, 연소범위의 정의

[표 4-4] 액체가연물질의 인화점

액체가연물질	인화점(°C)	액체가연물질	인화점(°C)
디에틸에테르	-40	크레오소트유	74
아세트알데히드	-40	니트로벤젠	87.8
이황화탄소	-30	글리 세 린	160
아 세 톤	-18	방 청 유	200
휘 발 유	-20 ~ -43	메 틸 알 콜	11
톨 루 엔	4.5	에 틸 알 콜	13
등 유	30 ~ 60	시안화수소	-18
중 유	60 ~ 150	초 산 에 틸	-4

[표 4-5] 액체와 고체의 인화현상의 차이점

구 분	액 체	고 체
가연성가스 공급	증발과정	열분해과정
인화에 필요한 에너지	적 다	크 다

2. 발화점(Ignition Point, 착화점, 발화온도)

외부의 직접적인 점화원이 없이 가열된 열의 축적으로 발화가 되고 연소가 되는 최저의 온도, 즉 점화원이 없는 상태에서 가연성 물질을 공기 또는 산소 중에서 가열함으로써 발화 되는 최저온도를 말한다. 일반적으로 산소와의 친화력이 큰 물질일수록 발화점이 낮고 발화하기 쉬운 경향이 있으며 고체 가연물의 발화점은 가열공기의 유량, 가열속도, 가연물의 시료나 크기, 모양에 따라 달라진다.

발화점은 보통 인화점보다 수 백도가 높은 온도이며 화재 진압 후 잔화정리를 할 때 계속 물을 뿌려 가열된 가연물을 냉각시키는 것은 가연물의 온도가 발화점(착화점) 이상으로 상승하여 다시 연소하는 것을 방지하기 위한 것이다.

일반적으로 발화점이 낮아지는 이유로는

- ① 분자의 구조가 복잡할수록
- ② 발열량이 높을수록
- ③ 압력, 화학적 활성도가 클수록
- ④ 산소와 친화력이 클수록

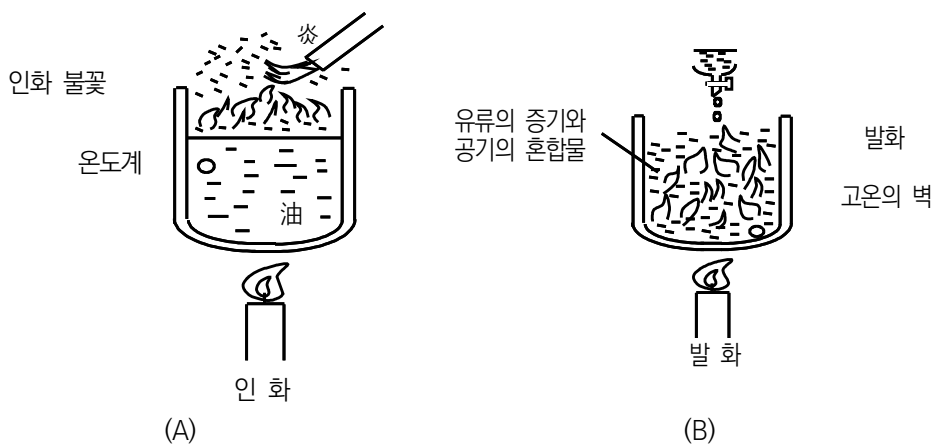
⑤ 금속의 열전도율과 습도가 낮을수록 등이다.

또한 발화점이 달라지는 요인으로서는

- ① 가연성가스와 공기의 조성비
- ② 발화를 일으키는 공간의 형태와 크기
- ③ 가열속도와 가열시간
- ④ 발화원의 종류와 가열방식 등에 따라 달라진다.

[표 4-6] 가연물질의 발화점

물 질	발화점(°C)	물 질	발화점(°C)
황 린	34	셀룰로이드	180
이황화탄소	100	무 연 탄	440 ~ 500
적 린	260	목 탄	320 ~ 400
에틸알코올	363	고 무	400 ~ 450
탄 소	800	프 로 판	423
목 재	400 ~ 450	일산화탄소	609
견 사	650	헥 산	223
휘 발 유	257	암모니아	351
부 탄	365	산화에틸렌	429



[그림 4-5] 인화와 발화의 차이



(A) 인화



(B) 발화

[그림 4-6] 인화와 발화의 사례 사진

3. 연소점(Fire Point, 화재점)

연소점은 연소반응이 계속될 수 있는 온도를 말하며, 실험적으로는 연소상태가 최소 5초 동안 지속되는 가장 낮은 온도라고 정의되어 있다. 일반적으로 연소점은 인화점보다 대략 10℃ 정도 높은 온도라고 가정할 수 있다. 연소반응은 가연성 증기의 발생 속도가 연소반응에 사용되는 소비 속도보다 클 경우에 그 상태를 유지할 수 있으며, 인화점, 연소점, 발화점의 온도는 “인화점 < 연소점 < 발화점”의 관계를 맺는다.

4. 연소범위(vol%)

연소범위는 가연물의 연소반응을 위해 필요로 하는 조성조건의 하나로서 발화 가능한 가연성 가스와 공기와 부피 비율(vol%)을 말한다. 가연성 기체의 부피에 의해 상한과 하한이 표시된다. 예를 들면, 수소와 공기 혼합물은 대기압 21℃에서 수소의 부피 비율이 4.1vol~75vol%의 범위에서 연소가 계속될 수 있다. 여기서 수소 4.1vol%는 하한 값, 수소 75vol%는 상한 값을 의미한다.

혼합물 중 가연성 가스의 비율이 너무 희박하거나 너무 농후해도 연소는 일어나지 않는다. 가연성 가스의 분자와 산소와의 분자 수가 상대적으로 한쪽이 너무 많으면 분자간의 유효충돌 횟수가 감소하고, 충돌했다 하더라도 충돌에너지가 주위에 흡수·확산해 연소반응의 진행이 어렵게 된다. 연소 범위는 온도와 압력이 상승함에 따라 확대되며 그 위험성이 증가한다.

[표 4-7] 가연성증기의 연소범위

기체 또는 증기	연소범위(vol%)	기체 또는 증기	연소범위(vol%)
수소	4.1 ~ 75	에틸렌	3.0 ~ 33.5
일산화탄소	12.5 ~ 75	사이안화수소	12.8 ~ 27
프로판	2.1 ~ 9.5	암모니아	15.7 ~ 27.4
아세틸렌	2.5 ~ 82	메틸알코올	7 ~ 37
에틸에테르	1.7 ~ 48	에틸알코올	3.5 ~ 20
메탄	5.0 ~ 15	아세톤	2 ~ 13
에탄	3.0 ~ 12.5	휘발유	1.4 ~ 7.6

[표 4-8] 메탄의 온도변화에 따른 연소범위 변화추이

구 분	연소범위(vol%)	
	하 한	상 한
20℃	6.0	13.2
250℃	4.6	14.0
500℃	3.7	15.2

5. 연소속도

가연물에 공기가 공급되어 연소가 되면서 반응하여 연소생성물을 생성할 때의 반응속도이며 연소생성물 중에서 불연성 물질인 질소(N_2), 물(H_2O), 이산화탄소(CO_2) 등의 농도가 높아져서 가연물에 산소가 공급되는 것을 방해 또는 억제함으로써 연소속도는 느려진다.

연소속도에 영향을 미치는 요인으로는 ① 가연물의 온도 ② 산소의 농도에 따라 가연성 물질과 접촉하는 속도 ③ 산화반응을 일으키는 속도 ④ 촉매 ⑤ 압력 등이 있다.

온도가 높아질수록 반응속도가 상승하며, 압력을 증가시키면 단위부피 중의 입자수가 증가하므로 결국 기체의 농도가 증가하므로 반응속도도 상승한다.

촉매는 반응속도를 변화시키는 물질로서 반응속도를 빠르게 하는 정촉매와 반응속도를 느리게 하는 부촉매가 있다.

6. 증기비중

증기비중은 압력과 온도가 동일한 상태에서 같은 부피의 공기 무게와 비교한 것으로 증기 비중이 1보다 큰 기체는 공기보다 무겁고 1보다 작으면 공기보다 가벼운 것을 의미한다.

예를 들어, 이산화탄소(CO_2)의 분자량은 44g/mol 이며, 공기의 평균 분자량은 약 29g/mol 이다. 이산화탄소의 증기비중은 약 1.5로서 공기보다 무겁기에 대기 중에 방출되면 아랫부분에 쌓이게 된다.

만일, 증기비중이 1보다 큰 가연성증기가 노출되면 증기는 낮은 곳에 체류하고 연소(폭발) 범위에 있으므로 점화원에 의한 연소 및 폭발의 위험성이 증가한다. 액화석유가스(Liquefied Petroleum Gas, LPG)는 프로판(C_3H_8)과 부탄(C_4H_{10})의 혼합물로서 기체상태의 증기비중은 약 1.5에 해당하기에 낮은 곳에 체류하게 된다.

$$\text{증기비중} = \frac{\text{분자량}}{29} \quad (29 : \text{공기의 평균 분자량})$$

7. 비점(沸點, Boiling point)

액체의 증기압이 대기압과 같게 되어 끓기 시작하는 온도를 비점이라 한다. 비점이 낮은 경우는 액체가 쉽게 기화되므로 비점이 높은 경우보다는 연소가 잘 일어난다. 일반적으로 비점이 낮으면 인화점도 낮은 경향이 있다. 예를 들어 휘발유는 비점이 $30 \sim 210^\circ\text{C}$, 인화점이 $-43 \sim -20^\circ\text{C}$ 이며, 등유의 비점은 $150 \sim 300^\circ\text{C}$, 인화점이 $40 \sim 70^\circ\text{C}$ 이다.

8. 비열(比熱 Specific Heat)

어떤 물질 1g 을 1°C 올리는 데 필요한 열량을 비열이라 한다. 예를 들어 물 1g 을 1°C 올리는 데 필요한 열량은 1cal 이고, 구리를 1°C 올리는데 필요한 열량은 0.0924cal 이다. 국제단위계에서 에너지의 단위는 줄(J)을 사용하며, 1cal 은 약 4.19J 에 해당한다. 따라서 물의 비열은 $4.19\text{J/g} \cdot \text{K}$ 로 나타낼 수 있다. 비열은 물질이 갖는 고유한 특성 중의 하나이며, 대부분의 액체 물질은 물의 비열 $4.19\text{J/g} \cdot \text{K}$ 보다 작다.

비열은 어떤 물체를 위험 온도까지 올리는 데 필요한 열량이나 고온의 물체를 안전한 온도로 냉각하는 데 필요한 열량을 나타내는 척도로 사용되며, 물이 소화~~약~~제로서 큰 효과가 있는 이유 중의 하나는 물의 비열이 크기 때문이다.

9. 융점(融點, Melting point)

대기압(1atm) 상태에서 고체가 녹아 액체가 되는 온도를 융점이라고 말한다. 융점이 낮은 경우 액체로 변화하기가 쉽고 화재 상황에서는 연소 구역의 확대가 쉬우므로 위험성이 매우 높다.

10. 잠열(潛熱, Latent Heat)

어떤 물질에 열의 출입이 있더라도 물질의 온도는 변하지 않고 상태변화에만 사용되는 열을 잠열이라 한다. 고체에서 액체로 또는 액체에서 고체로 변할 때 출입하는 열을 융해잠열이라 하고, 액체가 기체로 또는 기체에서 액체로 변할 때 출입하는 열을 증발잠열이라 한다.

대기압에서 물의 융해잠열은 80cal/g이며, 100℃에서의 증발잠열은 539cal/g이다. 좋은 소화제가 될 수 있는 이유 중의 하나는 물은 증발잠열이 매우 크기 때문이다. 0℃의 얼음 1g이 100℃의 수증기가 되기까지는 약 719cal의 열량이 필요하다. 대개의 물질은 잠열(융해잠열 및 증발잠열)이 물보다 작다.

11. 점도(粘度, Viscosity)

액체의 점착과 응집력의 효과로 인한 흐름에 대한 저항의 측정 수단이며, 모든 액체는 점성을 가지고 있다. 점성이 낮아지면 유동하기에 쉬워진다.



핵심요약

- 연소현상을 이해하는데, 있어서 다양한 의미를 가지는 용어들이 있다. 연소의 시작에는 인화점, 발화점, 연소점이 있고 연소의 특성을 이해하는 데에는 연소범위, 연소속도, 증기비중과 더불어 열과 점성에 관련된 비점, 비열, 융점, 잠열, 점도 등이 있다.

제3절 연소의 4요소



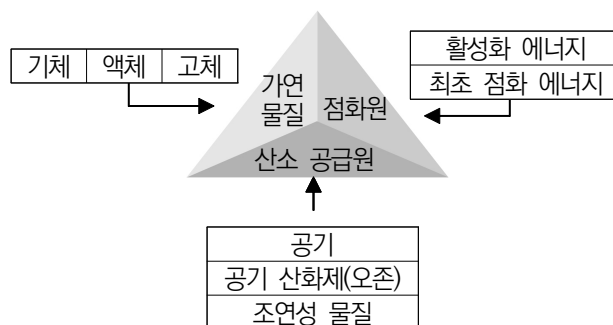
학습 목표

1. 가연물질
2. 산소 공급원
3. 점화원(열원)
4. 연쇄반응

가연성 물질이 연소하기 위해서는 산소(공기) 및 점화원이 있어야 하며, 이를 “연소의 3요소”라 말한다. 한편, 화학반응에서는 한 분자가 반응하여 생성되는 에너지가 다른 분자에 작용함으로써 다음 반응이 계속 일어나는 것을 연쇄반응이라 말하며, 연소라는 화학반응을 계속 유지하기 위해서는 이러한 연쇄반응이 필요하며, 이를 포함하여 “연소의 4요소”라 말한다.

1. 가연성 물질

쉽게 불에 탈 수 있다는 의미로 이연성(易燃性) 물질이라고도 한다. 우리 주위에 무수히 많이 존재하는 대부분의 유기화합물, 금속(Na 및 Mg 등), 비금속(탄소, 인, 황 등), 가연성 가스(LPG, LNG, CO 등)가 가연성 물질에 해당한다. 즉, 산화하기 쉬운 물질이며 이는 산소와 발열반응을 일으키는 물질을 말한다. 불연성 물질은 반대로 산화하기 어려운 것(활성화 에너지가 큰 물질)으로서 물, 흙과 같이 이미 산화되어 더 이상 산화되지 않는 물질이다.



[그림 4-7] 연소의 3요소

가. 가연물질의 구비조건

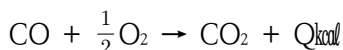
가연물질이 되기 위해서는 다음과 같은 조건을 갖추어야 한다.

- 1) 화학반응을 일으킬 때 필요한 최소 에너지(활성화 에너지)의 값이 적어야 한다.
- 2) 일반적으로 산화되기 쉬운 물질로서 산소와 결합할 때 발열량이 커야한다.
- 3) 열의 축적이 쉽도록 열전도의 값이 적어야 한다.
[열전도율 : 기체 < 액체 < 고체 순서로 커지므로 연소순서는 반대이다]
- 4) 조연성 가스인 산소·염소와의 친화력이 강해야 한다.
- 5) 산소와 접촉할 수 있는 표면적이 큰 물질이어야 한다.(기체 > 액체 > 고체)
- 6) 연쇄반응을 일으킬 수 있는 물질이어야 한다.

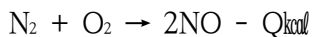
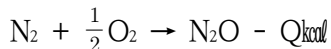
나. 가연물이 될 수 없는 조건

- 1) 주기율표 0족의 불활성기체로서 이들은 결합력이 없으므로 산소와 결합하지 못 한다.
: 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr), 크세논(Xe) 등
- 2) 이미 산소와 결합하여 더 이상 산소와 화학반응을 일으킬 수 없는 물질
: 물(H₂O), 이산화탄소(CO₂), 산화알루미늄(Al₂O₃), 산화규소(SiO₂), 오산화인(P₂O₅), 삼산화황(SO₃), 삼산화크로뮴(CrO₃), 산화안티모니(Sb₂O₃) 등

※ 일산화탄소(CO)는 산소와 반응하기 때문에 가연물이 될 수 있다.



- 3) 산소와 화합하여 산화물을 생성하나 발열반응을 하지 않고 흡열 반응하는 물질
: 질소 또는 질소 산화물 N₂, NO 등



- 4) 자체가 연소하지 아니하는 물질 : 돌, 흙 등

2. 산소 공급원

보통 공기 중에는 약 21vol%의 산소가 포함되어 있어서 공기는 산소공급원 역할을 할 수 있다. 일반적으로 산소 농도가 높을수록 연소는 잘 일어나고 일반 가연물인 경우 공기 중의 산소농도가 15vol% 이하에서는 연소가 어렵다. 이 밖에도 물질 자체가 분자 내에 산소를 보유하고 있어서 마찰·충격 등의 자극에 의해 산소를 방출하는 물질이 있는데 이를 산화성물질이라 하며 화재에서 산소 공급원 역할을 하는 위험한 물질이므로 「위험물안전관리법」에서 위험물로 분류하여 관리하고 있다.

가. 공 기

일반적으로 공기 중에 함유되어 있는 산소(O₂)의 양은 공기의 부피비율을 기준으로 21vol%, 질량비율을 기준으로 23wt%가 존재한다. 연소에 필요한 산소는 공기 중의 산소가 이용된다.

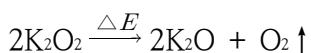
[표 4-9] 공기의 조성범위

조성비 \ 성분	산 소	질 소	아르곤	탄산가스
부피(vol%)	20.99	78.03	0.95	0.03
중량(wt%)	23.15	75.51	1.3	0.04

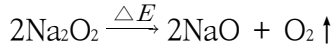
나. 산화제

「위험물안전관리법」에 따른 위험물의 분류 상 제1류(산화성고체)·제6류(산화성액체)에 해당하는 물질로서 가열·충격·마찰에 의해 산소를 발생한다. 산소를 함유한 강산화제로서 제1류 위험물에는 염소산염류, 과염소산염류, 과산화물, 질산염류, 과망간산염류, 무기과산물류 등이 있으며, 제6류 위험물에는 과염소산, 질산 등이 있다.

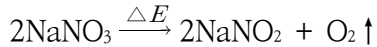
- 1) 과산화칼륨(K₂O₂) : 물과 접촉하거나 가열하면 산소를 발생시킨다.



- 2) 과산화나트륨(Na₂O₂) : 수용액은 30~40℃의 열을 가하면 산소를 발생시킨다.



3) 질산나트륨(NaNO_3) : 조해성이 있어 열을 가하면 아질산나트륨과 산소가 발생한다.



다. 자기반응성 물질

「위험물안전관리법」상 제5류 위험물에 해당하는 물질로서 분자 내에 가연물과 산소를 충분히 함유하고 있기 때문에 연소 속도가 빠르고 폭발을 일으킬 수 있다. 나이트로글리세린(NG), 셀룰로이드, 트라이나이트로톨루엔(TNT) 등이 이에 해당한다.

라. 조연성 물질

자신은 연소하지 않고 가연물의 연소를 돕는 기체로 산소(O_2), 불소(F_2), 오존(O_3), 염소(Cl_2)와 할로젠(할로젠)원소 등이 있다.

3. 점화원(열원)

연소반응이 일어나려면 가연물과 산소공급원이 적절한 조화를 이루어 연소범위를 만들었을 때 외부로부터 활성화 에너지가 필요한데 이를 점화원이라 하며 전기불꽃, 충격 및 마찰, 단열압축, 나화 및 고온표면, 정전기 불꽃, 자연발화 등이 있다.

가. 전기불꽃

전기불꽃은 전기설비 회로 상 또는 전기기기·기구 등으로부터 언제든지 발생할 수 있다. 전기불꽃은 전기회로의 접점 및 자동제어기 릴레이 접점, 모터의 정류자와 브러시 사이에서 발생할 수 있으며, 고전압에 의한 방전 시에도 발생할 수 있다. 조명기구 등이 파손되면서 과열된 필라멘트의 노출도 이에 해당한다. 아주 작은 불꽃도 가연성 가스를 점화시키기에 충분한 에너지를 가지고 있다.

$$E = \frac{1}{2} CV_2 = \frac{1}{2} QV$$

E : 전기불꽃에너지

C : 전기용량

Q : 전기량

V : 전압

나. 충격 및 마찰

두 개 이상의 물체가 서로 충격·마찰을 일으키면서 작은 불꽃을 일으키는데, 이러한 마찰 불꽃에 의하여 가연성 가스에 점화가 일어날 수 있다.

다. 단열압축

단열은 열의 출입이 없다는 것을 뜻한다. 단열압축이란 외부로의 열의 이동이 없는 상태에서 압력을 가한 것을 말한다. 단열상태에서 기체를 높은 압력으로 압축하면 내부 기체의 온도는 상승한다. 단열압축 상태로 인하여 각종 연료유나 윤활유가 고온에 노출되면 그 성분이 열분해하여 저온 발화물질을 생성하고 그 발화물질이 연소하면 폭발하게 된다.

라. 나화 및 고온표면

나화(裸火)란 화염이나 불꽃 또는 발열부를 외부에 노출한 상태로 사용하는 것을 말한다. 연소성 화학물질 및 가연물이 존재하고 있는 장소에서 나화의 사용은 대단히 위험하다. 또한, 작업장의 화기, 가열로, 건조장치, 굴뚝, 전기·기계설비 등의 고온표면은 항상 화재의 위험성이 내재해 있다.



[그림 4-8] 나화의 일례

마. 정전기 불꽃(Static Electricity Flame)

정전기 불꽃이란 물체가 접촉하거나 결합한 후 떨어질 때 양(+)전하와 음(-)전하로 전하의 분리가 일어나 발생한 과잉 전하가 물체(물질)에 축적되는 현상을 말하는데, 이렇게 되는 경우 정전기의 전압은 가연물질에 착화가 가능하다. 예를 들면 화학섬유로 만든 의복 및 절연성이 높은 옷 등을 입으면 대단히 높은 전위가 인체에 대전되어 접지 물체에 접촉하면 방전 불꽃이 발생한다.

○ 정전기를 방지하기 위한 예방대책은

- 1) 정전기의 발생이 우려되는 장소에 접지시설을 한다.
- 2) 실내의 공기를 이온화하여 정전기 발생을 예방한다.
- 3) 정전기는 습도가 낮거나 압력이 높을 때 많이 발생하므로 상대습도를 70% 이상으로 한다.
- 4) 전기의 저항이 큰 물질은 대전이 쉬우므로 전도체 물질을 사용한다.

바. 자연발화

인위적으로 가열하지 않아도 원면(原綿), 고무분말, 셀룰로이드, 석탄, 플라스틱의 가소제, 금속가루 등의 경우 일정한 장소에 장시간 저장하면 열이 발생하고, 그 열이 지속적으로 축적되어 가연물의 온도가 발화점에 도달하면 스스로 발화하게 된다.

○ 자연발화를 일으키는 원인에는

- 1) 분해열에 의한 발열 : 셀룰로이드, 나이트로셀룰로스
- 2) 산화열에 의한 발열 : 석탄, 건성유
- 3) 발효열에 의한 발열 : 퇴비, 먼지
- 4) 흡착열에 의한 발열 : 목탄, 활성탄 등
- 5) 중합열에 의한 발열 : HCN, 산화에틸렌

등이 있다.

○ 자연발화를 방지할 수 있는 대책으로는

- 1) 통풍 구조를 양호하게 하여 공기유통을 잘 시킬 것.

- 2) 저장실 주위의 온도를 낮출 것.
- 3) 습도 상승을 피할 것.
- 4) 열이 축적되지 않는 구조로 적재할 것.

이 있다.

사. 복사열(Radiation Heat)

물체에서 방출하는 전자기파를 직접 물체가 흡수하여 열로 변했을 때의 에너지를 말한다. 전자기파에 의해 열이 매질을 통하지 않고 고온의 물체에서 저온의 물체로 직접 전달되는 현상이다.

물질에 따라서 비교적 약한 복사열이라도 장시간 노출되면 발화할 수 있다. 예를 들어 햇빛이 유리나 거울에 반사되어 가연성 물질에 장시간 쏘일 때 열이 축적되어 발화할 수 있다.

4. 연쇄반응(Chain Reaction)

가연성 물질과 산소가 화학반응을 할 때 발생하는 열은 화학반응을 지속할 수 있는 에너지를 제공한다. 온도가 증가한 가연성 물질은 분자가 활성화되고 여러 반응들이 차례로 일어난다. 그들의 각각의 반응이 다른 반응에 영향을 주는데 이를 연쇄반응이라 한다.

가연성 물질과 산소가 점화에너지를 받으면 반응성이 아주 강한 불안정한 물질로 분해되면서 활성화 된다. 이 점화 에너지를 활성화 에너지라 부르고 이렇게 활성화된 물질을 활성화 라디칼(H^+ , O^- , OH^- 등) 이라고 한다. 활성화라디칼이 서로 충돌하면서 반응도 연쇄적으로 이루어지는데 이를 통해 연소가 지속되기 때문에 연쇄반응은 연소의 네 번째 요소라는 지위를 얻게 되었다.

* 연쇄반응 메커니즘

불꽃연소 반응은 다음 과정이 연쇄적으로 발생하며, 계속해서 반복 지속된다.

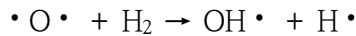
가. 개시(Initiation) $H_2 + O_2 \rightarrow 2OH \cdot$

- 가연물과 산소로 부터 2개의 활성화라디칼 생성

나. 전파(Propagation) $\text{OH} \cdot + \text{H}_2 \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{H} \cdot$

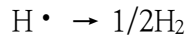
- 활성라디칼의 타입이 OH에서 H로 변하며, 라디칼의 수는 유지

다. 분기(Branching) $\text{H} \cdot + \text{O}_2 \rightarrow \text{OH} \cdot + \text{O} \cdot$



- 활성라디칼 수의 증가에 따라 폭발적으로 성장하며 급속한 반응 발생

라. 종결(Termination) $\text{H} \cdot + \text{O}_2 + \text{M} \rightarrow \cdot \text{HO}_2 + \text{M}$



- 라디칼의 수가 감소하여 전체 연소가 종결된다.

연소를 계속하기 위해서 연료와 산소는 화학적 연쇄반응을 통해 연소를 유지하는데 필요한 열에너지를 계속 발생시켜야 한다. 화학반응으로부터 발생한 열에너지가 충분하면 가연성가스를 분해·생성하기 위한 자기유지 반응이 발생하고, 그 후에는 발화원이없어도 연소적으로 반응이 계속되어 불꽃이 유지될 수 있다.

화학적 연쇄반응을 억제하기 위해 활성화에 필요한 에너지를 높여서 연소가 지속되는 것을 차단하는 방법이 있는데 이를 부촉매 효과라고 한다. 촉매제가 반응을 촉진하는 것이라면 그 반대의 효과를 내는 것이 부촉매이다. 소방에서는 이러한 부촉매 효과를 위해 1족 원소와 7족 원소를 활용한다. K(칼륨), Na(나트륨) 등 알칼리금속인 1족 원소를 활용한 것이 바로 분말소화약제가 되고, 7족 할로젠 원소인 F(불소), Cl(염소), Br(브롬) 등의 원소를 활용한 것이 할론 소화약제이다.



핵심요약

- 가연물, 산소와 점화원은 “연소의 3요소”라 하고, 연쇄반응을 포함하여 “연소의 4요소”라 한다.



학습가이드

1. 소방에 있어서 연소의 3요소 및 4요소는 화재진압 및 제어에 있어서 매우 중요하며 이들 중 관리가 잘못되면 화재확산 및 인명피해를 더 키울 수 있으므로 확실한 인지가 필요하다고 본다.

제4절 연소의 형태



학습 목표

1. 기체연소(확산연소, 예혼합연소, 폭발연소)
2. 액체연소(증발연소)
3. 고체연소(표면연소, 증발연소, 분해연소, 자기연소)

연소의 형태는 가연물 종류와 이들 구성하는 분자 구조, 원소 종류, 물성 등에 따라 기체연소·액체연소·고체연소로 분류된다.

1. 기체의 연소

가연성 기체는 공기(산소)와 적당한 부피비율로 섞여 연소범위의 농도에 들어가면 연소가 가능한 상태가 된다. 기체 가연물의 연소가 다른 가연물과 비교하여 가지고 있는 다른 연소 특징으로는 폭발(폭연·폭굉)과 같은 이상현상(異常現象)을 수반할 수 있다는 것이다.

기체 가연물은 연소상태에 따라 정상연소와 비정상연소로 구분된다. 정상연소는 통제할 수 있는 연소라 말할 수 있으며 확산연소와 예혼합연소가 이에 해당한다. 한편, 비정상연소는 통제 불가능한 연소라 말할 수 있으며 폭발연소가 이에 해당한다.

가. 확산연소(Diffusive Burning, 발염연소)

연소버너 주변에 가연성 가스를 확산시켜 산소와 접촉, 연소범위의 혼합가스를 생성하여 연소하는 현상으로 기체의 일반적 연소 형태이다.

예를 들면 LPG - 공기, 수소 - 산소의 경우이다.

나. 예혼합연소(Premixed Burning)

연소시키기 전에 이미 연소 가능한 혼합가스를 만들어 연소시키는 것으로 혼합기로의 맞불을 일으킬 위험성이 크다.

예를 들면 가솔린엔진의 연소와 같은 경우이다.

다. 폭발연소(Explosion Burning)

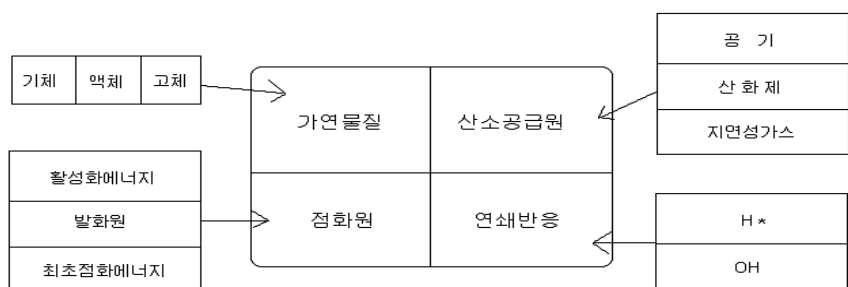
가연성 기체와 공기의 혼합가스가 밀폐용기 안에 있을 때 점화되면 연소가 폭발적으로 일어나는데 예혼합연소의 경우에 밀폐된 용기로의 역화가 일어나면 폭발할 위험성이 크다. 이것은 많은 양의 가연성 기체와 산소가 혼합되어 일시에 폭발적인 연소현상을 일으키는 비정상연소이기도 하다.

2. 액체의 연소(증발연소, Evaporating Combustion)

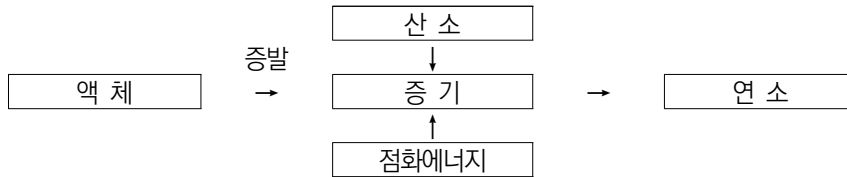
액체 가연물질의 연소는 액체 자체가 연소하는 것이 아니라 “증발”이라는 변화 과정을 거쳐 발생한 가연성 증기가 연소하는 것이며, 액면에서 발생하는 증기가 연소하기 때문에 증발연소 또는 액면연소라 한다. 액체 가연물의 연소원리는 화염에서 복사나 대류로 액체표면에 열이 전달되어 증발이 일어나고 발생된 증기가 공기와 접촉하여 액면의 상부에서 연소하는 반복적 현상이다.

휘발성 액체의 경우 상온에서 기화하기 쉬운 물질이기 때문에 외부로부터의 열을 받지 않아도 쉽게 가연성 증기가 발생하기 때문에 쉽게 연소 가능하다. 액체가 비휘발성이거나 비중 큰 가연성 액체의 경우 증기를 발생하기 위해서는 외부로부터의 열을 공급받아야만 가연성 증기를 발생시킬 수 있다.

예로서 에테르, 이황화탄소, 알코올류, 아세톤, 석유류 등이다.



[그림 4-9] 연소의 4요소



[그림 4-10] 증발연소

가. 분해연소(Decomposing Combustion)

점도가 높고 비휘발성이거나 비중이 큰 액체 가연물이 열분해 하여 증기를 발생함으로써 연소가 이루어지는 형태이며 이는 상온에서 고체 상태로 존재하는 고체 가연성 물질의 경우도 분해연소의 형태를 보여준다.

또한 점도가 높고 비휘발성인 액체의 점도를 낮추어 버너를 이용하여 액체의 입자를 안개 상태로 분출하여 표면적을 넓게 함으로써 공기와의 접촉면을 많게 하여 연소시키는 형태를 액적연소라 한다.

3. 고체의 연소

상온에서 고체 상태로 존재하는 고체 가연물질의 일반적 연소형태는 표면연소, 증발연소, 분해연소, 자기연소로 나눌 수 있다.

가. 표면연소(Surface Combustion, 직접연소)

고체 가연물이 열분해나 증발하지 않고 표면에서 산소와 급격히 산화 반응하여 연소하는 현상 즉, 목탄 등이 열분해로 가연성 가스를 발생하지 않고 그 물질 자체가 연소하는 현상으로 불꽃이 없는 것(무염연소)이 특징이다.

예를 들면 목탄, 코크스, 금속(분·박·리본 포함) 등의 연소가 해당되며 나무와 같은 가연물의 연소 말기에도 표면연소가 이루어진다.



표면화재와 심부화재(‘97. 10. 예방 13807-657)

- 일반적으로 표면화재의 연소특성은 가연물 자체로부터 발생한 증기나 가스가 공기 중의 산소와 혼합기를 형성하여 연소하며, 연소속도가 매우 빠르고 불꽃과 열을 내며 연소하므로 일명 불꽃연소라고 하며 이에 연소 시 가연물·열·공기·순조로운 연쇄반응이 필요하다.
- 반면, 심부화재는 표면화재와 달리 순조로운 연쇄반응이 아닌 가연물·열·공기 등의 화재의 요소만 가지고 가연물이 연소하는 것으로서 연소속도가 느리고 불꽃 없이 연소하며 가연물과 공기의 중간지대에서 연소가 국부적으로 되는 표면연소의 형태를 보이기 때문에 일명 표면연소 또는 작열연소라고 한다.

나. 증발연소(Evaporating Combustion)

고체 가연물이 열분해를 일으키지 않고 증발하여 증기가 연소하거나 먼저 용해된 액체가 기화하여 증기가 된 다음 연소하는 현상을 말한다. 이것은 액체 가연물질의 증발연소 형태와 같으며, 황(S), 나프탈렌($C_{10}H_8$), 파라핀(양초) 등이 있다.

다. 분해연소(Decomposing Combustion)

고체 가연물질을 가열하면 열분해를 일으켜 나온 분해가스 등이 연소하는 형태를 말하며, 열분해로 의해 생기는 물질에는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO_2), 수소(H_2), 메탄(CH_4) 등이 있다.

분해연소 물질에는 목재·석탄·종이·섬유·플라스틱·합성수지·고무류 등이 있으며 이들은 연소가 일어나면 연소열에 의해 고체의 열분해도 계속 일어나 가연물이 없어질 때까지 계속 된다.



[그림 4-11] 분해연소

라. 자기연소(Self Combustion)

가연물이 물질의 분자 내에 산소를 함유하고 있어 열분해에 의해서 가연성 가스와 산소를 동시에 발생시키므로 공기 중의 산소 없이 연소할 수 있는 것을 말하며, 내부연소라고도 한다.

위험물안전관리법시행령 별표 1의 제5류 위험물인 나이트로셀룰로스(NC), 트라이나이트로톨루엔(TNT), 나이트로글리세린(NG), **트라이나이트로페놀(TNP)** 등이 있으며 대부분 폭발성을 지니고 있으므로 폭발성 물질로 취급되고 있다.



핵심요약

- 연소의 형태는 가연물의 상태에 따라 기체연소, 액체연소, 고체연소로 구분 할 수 있다.

제5절 연소의 확대



학습 목표

1. 전도(Conduction)
2. 대류(Convection)
3. 복사(Radiation)
4. 비화(Fire Sporting)

연소반응으로부터 발생한 열은 다양한 형태로 전달되며 열의 전달은 연소 확대의 원인이 된다. 열의 전달은 「전도」, 「대류」, 「복사」의 형태로 구분된다. 또한, 「비화」가 연소 확대의 요인으로 포함할 수 있다.

1. 전도(Conduction)

전도란 고체 또는 정지 상태의 기체·액체의 내부에서 고온 측으로부터 저온 측으로 열이 전달되는 현상이다. 전도에 의한 열의 전달은 두 지점의 온도 차, 길이, 열이 전달되는 물질의 단면적 그리고 물질의 열전도율에 따라 달라진다. 열전도율이 높을수록 에너지는 물질의 표면으로부터 나머지 부분으로 더 빨리 전도된다.

일반적으로 열전도율은 고체가 기체보다 크고, 금속류가 비금속류보다 크다.

2. 대류(Convection)

공기의 운동이나 유체의 흐름에 의해 열이 이동되는 현상으로 액체나 기체에 온도를 가하면 비중이 작아져 분자의 운동이 활발해지고 팽창하면서 고온의 열기류는 상승하게 된다. 화재현장에서 연기가 위로 향하는 것이나 화로에 의해 방안의 공기가 더워지는 것이 대류에 의한 현상이다. 초기 구획실화재에서 가장 중요한 열전달 기전은 대류이다. 대류로 인해 천장 제트와 연기층이 형성되면서 상부에 있는 연료들을 예열하고, 이로 인해 구획실에 있는 미연소 연료들이 점화된다. 연소 가연물로부터 방출되는 에너지 약 70%는 대류를 통한다.

3. 복사(Radiation)

물체가 가열되면 열에너지를 전자파로 방출되는데 이 전자파에 의해 열이 이동한다. 온도가 절대영도 이상인 물질은 열복사 에너지를 방사한다. 에너지가 전자기파의 형태로 전달되는 것을 열복사라 한다. 전도나 대류와는 다르게 복사 열전달에서는 에너지를 전달하기 위하여 중간 매개체를 필요로 하지 않는다. 진공에서도 복사로 인한 에너지 전달이 일어날 수 있다. 복사의 가장 좋은 예는 태양으로부터 지구까지 에너지가 전달되는 것이고 난롯가에 열을 쬔면 따뜻한 것은 복사열을 받기 때문이다. 복사에 의한 열의 전달량은 전도·대류에 의한 전달 양보다 매우 크기 때문에 화재현장에서 주위 건물을 연소시키는 주원인이 된다.

4. 비화(Fire Sporting, 불티)

불티나 불꽃이 기류를 타고 다른 가연물로 전달되어 화재가 일어나는 것을 말하며, 불티라고도 한다. 특히 구획실 화재가 진행되면서 발생하는 화재가스(가연성가스, 미연소가스, 농연)가 천장 위 공간에 축적되어 공기와 혼합된 상황(가연성 혼합기)에서 순간적으로 불붙는 현상을 화재가스 발화(Fire Gas Ignition)라고 하는데 비화가 점화원 역할을 할 수 있어 주의해야 한다.



핵심요약

- 연소할 때 발생한 열은 다양한 형태로 이동하며 화재 시 연소 확대의 요인이 된다. 그 형태로는 전도, 대류, 복사 그리고 비화가 있다.



학습가이드

- 화재 시 열의 이동 중 복사열에 의한 열 이동피해가 제일 크게 나타나며 특히 비화는 먼 거리까지 화재의 확산을 초래한다.

제6절 이상(異常)연소 현상



학습
목표

1. 역화, (Back fire)
2. 선화(Lifting)
3. 블로우 오프(Blow-off)
4. 불완전연소
5. Flash over와 Back draft
6. 연소 소음

1. 역화(Back fire)

대부분 기체연료를 연소시킬 때 발생하는 이상연소 현상으로서 연료의 분출속도가 연소속도보다 느릴 때 불꽃이 연소기의 내부로 빨려 들어가 혼합관 속에서 연소하는 현상을 말한다.

역화의 원인으로는 다음과 같은 경우 등이다.

- ① 혼합 가스량이 너무 적을 때
- ② 노즐의 부식으로 분출구멍이 커진 경우
- ③ 버너의 과열
- ④ 연소속도보다 혼합가스의 분출속도가 느릴 때

2. 선화(Lifting)

역화의 반대 현상으로 연료가스의 분출속도가 연소속도보다 빠를 때 불꽃이 버너의 노즐에서 떨어져서 연소하는 현상으로 완전한 연소가 이루어지지 않는다.

3. 블로우 오프(Blow-off)현상

선화 상태에서 연료가스의 분출속도가 증가하거나 주위 공기의 유동이 심하면 화염이 노

줄에 정착하지 못하고 떨어져 화염이 꺼지는 현상을 말한다. 버너의 경우 가연성 기체의 유출속도가 연소속도보다 클 경우 일어난다.

4. 불완전연소

연소 시 가스와 공기의 혼합이 불충분하거나 연소온도가 낮을 경우 등 여러 가지 요인으로 노즐의 선단에 적황색 부분이 늘어나거나, 그을음이 발생하는 연소현상으로 그 원인은 아래의 경우 등이다.

- 가. 공기의 공급이 부족 할 때
- 나. 연소온도가 낮을 때
- 다. 연료 공급 상태가 불안정할 때

5. Flash over와 Back draft

Flash over와 Back draft의 개념을 다음의 표에 비교하여 정리하였다.

[표 4-10] Flash over와 Back draft

구 분	Flash Over	Back Draft
개념	구획 내 가연성 재료의 모든 표면이 불로 뒤덮이는 전이현상을 말한다. 화원 근처에서의 국소적인 화재에 의해 발생한 화재는 인접 가연물 및 상부의 가연물을 연소하며 확대된다. 이 단계에서 발생한 고온의 열기류가 구획 공간의 천장부에 축적되고 그 온도는 점점 상승하게 된다. 열기류의 온도가 약 500℃ 전후에 도달하면 이 열기류로부터 방사되는 복사열에 의해 바닥 인근의 가연물이 동시 다발적으로 착화하여 모든 가연물과 공간 전체가 화염으로 덮이게 된다.	구획된 곳에 연소중 산소의 결핍으로 계속 연소가 되지 못하고 있을 때 소화활동을 위하여 화재실문을 개방할 때 신선한 공기가 유입되어 실내에 축적되었던 가연성 가스가 단시간에 폭발적으로 연소함으로써 화재가 폭발을 동반하여 실외로 분출하는 현상이다.
조건	◦평균온도 : 500℃ 전후 ◦산소농도 : 10%	◦실내가 충분히 가열 ◦다량 가연성가스축적
발생시기	성장기	감쇠기
촉발요인	열 공급	산소 공급

6. 연소 소음

연소에 수반되어 발생하는 소음을 말하며 발생원인은 연소속도나 분출속도가 대단히 클 때와, 연소장치의 설계가 잘못되어 연소 시 진동이 발생하는 경우에 발생하며, 종류로는 연소음, 가스 분출음, 공기 흡입음, 폭발음, 공명음 등이 있다.

제7절 연소생성물의 종류와 유해성



학습
목표

1. 연기(Smoke)
2. 열(Heat)
3. 화염(Flame)
4. 연소생성물(products of combustion)

건축재료, 가구, 의류 등 유기가연물은 일반적으로 고온의 열을 받으면 열분해한 다음 공기 중의 산소와 반응하여 연소하며 여러 가지 생성물을 발생시킨다. 이 열분해 연소과정은 실제로는 매우 복잡하게 진행된다.

고분자물질 등 유기물의 구성 원소는 일반적으로 탄소, 수소를 중심으로 산소, 질소를 함유하는 경우가 있고, 거기에 유황, 인, 할로젠(염소, 불소, 염소 등) 등을 포함하는 경우가 있다.

완전연소의 경우 생성물의 수는 적으며, 탄소는 탄산가스, 수소는 물, 산소는 탄산가스 및 물 등의 산화물, 질소는 질소가스, 유황은 아황산가스, 인은 오산화인으로, 또한 할로젠은 염화수소 등의 할로젠화수소로 된다. 그러나 불완전연소의 경우 상기 생성물 외에 다수의 산화물이나 분해생성물이 발생한다.

1. 연기(Smoke)

가. 연기의 정의

0.01 μm ~ 수십 μm 의 입자크기를 가지는 연기는 다음과 같이 정의할 수 있다.

- 1) 연소생성물 중에 고체나 액체의 미립자가 들어 있어 눈으로 볼 수 있는 상태
- 2) 기체 가운데 완전히 연소하지 않은 가연물이 고체 미립자가 되어 떠돌아다니는 상태
- 3) 탄소 함유량이 많은 가연성 물질이 산소부족 상태에서 연소할 때 다량의 탄소입자가 생성되는 것

나. 연기가 인체에 미치는 영향

실내 가연물이 열분해를 일으켜서 방출시키는 열분해 생성물 및 미반응 분해물을 말한다. 일종의 불완전한 연소생성물로 산소공급이 불충분하게 되면 탄소분이 생성하여 검은색 연기가 되며 인체에 미치는 영향은 다음과 같다.

- 1) 시야를 방해하여 피난행동 및 소화활동을 저해한다.
- 2) 연기에 포함된 유독성 물질(일산화탄소, 포스젠 등)을 흡입 시 생명이 위험하다.
- 3) 정신적으로 긴장 또는 패닉 현상에 빠지게 되는 2차적 재해의 가능성이 있다.
- 4) 최근 건물화재의 특징은 난연 처리 또는 방염처리 된 물질을 사용하여 연소 그 자체는 억제되고 있지만 다량의 연기입자 및 유독가스를 발생하는 특징이 있다.

다. 연기의 속도

연기의 유동 및 확산은 벽 및 천장을 따라 진행하며 일반적으로 수평방향으로는 0.5~1m/sec정도로 인간의 보행속도 1~1.2m/sec보다 늦다. 그러나 계단실 등에서의 수직방향은 화재 초기상태의 연기일지라도 1.5m/sec, 중기 이후에는 3~4m/sec로 인간의 보행속도보다 빨라지며, 굴뚝효과가 발생하는 건물구조에선 5m/sec 이상이 된다.

연기 속 보행 속도는 건물구조, 내부 밝기, 건물 구조의 숙지도 외에 연기 농도와 연기가 눈을 자극하는 정도에 따라 좌우된다. 특히 발밑과 벽면이 보이지 않을 정도가 되면 보행속도가 현저하게 늦어져 불특정 다수자가 운집한 곳에서는 정신적 공황상태에 빠질 위험이 크다. 일반적으로 연기의 유동속도는 다음과 같다.

- ① 수평방향 : 0.5 ~ 1[m/sec]
- ② 수직방향 : 2 ~ 3[m/sec]

③ 계단(화재초기) : 약 1.5[m/sec]

④ 계단(화재중기) : 3~4[m/sec]

라. 연기의 확산 원인

건물 내에서의 연기 확산은 여러 가지 이유가 있지만 연기의 온도에 따라 좌우된다. 일반적으로 짙은 연기는 높은 열을 내포하고 있어, 그 열에 의한 부력으로 공기의 흐름이 발생하기 때문에 연기가 확산하는 것이다.

2. 유해 생성물질

가. 일산화탄소(CO)

일산화탄소는 무색·무취·무미의 환원성이 강한 가스이다. 일산화탄소는 가연성 가스로서 다른 가스의 연소를 돕지는 않는다. 연소농도(폭발범위)는 13~75 vol%의 범위이며, 연소 시에는 푸른 불꽃을 발한다. 일반적으로 고분자재료는 300℃ 이상의 온도에서 열분해하여 일산화탄소가 발생하는 것으로 보고되었다. 혈액 중의 헤모글로빈과의 결합력이 산소보다 210배 강하기 때문에 흡입하면 산소결핍 상태에 이르게 된다. 인체에 대한 허용농도는 50ppm이다.

[표 4-11] 일산화탄소의 공기 중의 농도와 중독증상

공기 중의 농도		경과시간(분)	중독증상
%	ppm		
0.02	200	120 ~ 180	가벼운 두통 증상
0.04	400	60 ~ 120	통증·구토증세가 나타남
0.08	800	40	구토·현기증·경련이 일어나고 24시간이면 실신
0.16	1,600	20	두통·현기증·구토 등이 일어나고 2시간이면 사망
0.32	3,200	5 ~ 10	두통·현기증이 일어나고 30분이면 사망
0.64	6,400	1 ~ 2	두통·현기증이 심하게 일어나고 15~30분이면 사망
1.28	12,800	1 ~ 3	1~3분내 사망

나. 이산화탄소(CO_2)

이산화탄소는 물질의 완전 연소 시 생성되는 가스로 무색·무미의 기체로서 공기보다 무거우며 가스 자체는 독성이 거의 없으나 다량이 존재할 때 사람의 호흡 속도를 증가시키고 혼합된 유해 가스의 흡입을 증가시켜 위험을 가중시킨다. 인체에 대한 허용농도는 5,000ppm이다.

다. 황화수소(H_2S)

황을 포함하고 있는 유기 화합물이 불완전 연소하면 발생하는데 달걀 썩은 냄새가 나며 0.2% 이상 농도에서 냄새 감각이 마비되고 0.4~0.7%에서 1시간 이상 노출되면 현기증, 장기혼란의 증상과 호흡기의 통증이 일어난다. 0.7%를 넘어서면 독성이 강해져서 신경 계통에 영향을 미치고 호흡기가 무력해진다.

라. 이산화황(SO_2)

일명 아황산가스라고도 하며, 유황이 함유된 물질인 동물의 털, 고무와 일부 목재류 등이 연소하는 과정에서 발생하는 것으로 무색의 자극성 냄새를 가진 유독성 기체로 눈 및 호흡기 등에 점막을 상하게 하고 질식사 할 우려가 있다. 특히 유황을 저장 또는 취급하는 공장에서의 화재가 발생하는 경우 아황산가스가 대기 중으로 방출되기 때문에 2차적 피해를 발생시킨다. 1952년 영국 런던에서는 7일간 계속된 높은 습도와 정체된 기단으로 인한 스모그가 발생하여 호흡장애와 질식으로 약 4천명 이상의 사망자가 발생하였다. 이 ‘런던 스모그 사건’은 바로 아황산가스에 의한 대기오염 피해 사건으로 알려져 있다.

마. 암모니아(NH_3)

질소 함유물이 연소할 때 발생하는 연소생성물로서 유독성이 있으며 강한 자극성을 가진 무색의 기체로 흡입 시 점액질과 기도조직에 심한 손상을 초래하고, 타는 듯한 느낌, 기침, 숨 가쁨 등을 초래하며, 냉동시설의 냉매로 많이 쓰이고 있으므로 냉동창고 화재 시 누출가능성이 크므로 주의해야 하며, 독성의 허용 농도는 25ppm 이다.

바. 사이안화수소(HCN)

질소성분을 가지고 있는 합성수지, 동물의 털, 인조견 등의 섬유가 불완전 연소할 때 발생하는 맹독성 가스로 0.3%의 농도에서 즉시 사망할 수 있다. 청산가스라고도 하며, 인화성이 매우 강한 무색의 화학물질로 연소 시 유독가스를 발생시키고, 특히 수분이 2% 이상 포함되

어 있거나 알칼리 등이 포함되어 있으면 폭발할 우려가 크다.

사. 포스겐(COCl_2)

열가소성 수지인 폴리염화비닐(PVC), 수지류 등이 연소할 때 발생하며 2차 세계대전 당시 독일군이 유대인 대량학살에 사용했을 만큼 맹독성가스로 허용농도는 $0.1\text{ppm}(\text{mg}/\text{m}^3)$ 이다.

일반적인 물질이 연소할 경우는 거의 생성되지 않지만 일산화탄소와 염소가 반응하여 생성하기도 한다.

아. 염화수소(HCl)

PVC와 같이 염소가 함유된 수지류가 탈 때 주로 생성되는데 독성의 허용농도는 $5\text{ppm}(\text{mg}/\text{m}^3)$ 이며 향료, 염료, 의약, 농약 등의 제조에 이용되며, 자극성이 아주 강해 눈과 호흡기에 영향을 준다.

자. 이산화질소(NO_2)

질산셀룰로스가 연소 또는 분해될 때 생성되며 독성이 매우 커서 $200\sim 700\text{ppm}$ 정도의 농도에 잠시 노출되어도 인체에 치명적이다.

차. 불화수소(HF)

합성수지인 불소수지가 연소할 때 발생하는 연소생성물로서 무색의 자극성 기체이며 유독성이 강하다. 허용농도는 $3\text{ppm}(\text{mg}/\text{m}^3)$ 이며 모래나 유리를 부식시키는 성질이 있다.



체내산소농도에 따른 인체영향

- 공기 중 산소농도는 약 21%이며, 18%가 안전범위의 최저로 보고 있다.
- 16%~12%: 맥박호흡수 증가, 정신집중력 저하, 정밀 작업성 저하, 근력저하, 두통, 이명, 구역질, 구토, 동맥혈중산소포화도 85~80%에서 청색증 발생.
- 14%~9%: 판단력저하, 불안정한 정신상태, 당시의 기억이 없음, 상처에 통증을 느끼지 않음, 전신 탈진, 체온상승, 청색증상, 의식몽롱, 두통, 이명, 구역질, 구토
- 10%~6%: 구역질, 구토, 행동의 자유를 잃음, 위험을 느껴도 움직이지 못하고 외칠 수 없음, 의식 상실, 혼면, 핵심 신경 장애, 전신경련, 죽음의 위기
- 6% 이하: 몇 번의 혈떡이는 호흡으로 실신·혼면, 호흡정지, 신체마비, 삼장정지, 6분 만에 사망.

[표 4-12] 화재현장에서 발생하는 유독가스

종 류	발생조건	허용농도(TWA)
일산화탄소 (CO)	불완전 연소 시 발생	50 ppm
이황산가스(SO ₂)	중질유, 고무, 황화합물 등의 연소 시 발생	5 ppm
염화수소 (HCl)	플라스틱, PVC	5 ppm
시아니화수소 (HCN)	우레탄, 나일론, 폴리에틸렌, 고무, 모직물 등의 연소	10 ppm
암모니아 (NH ₃)	열경화성 수지, 나일론 등의 연소 시 발생	25 ppm
포스겐 (COCl ₂)	프레온 가스와 불꽃의 접촉	0.1 ppm



핵심요약

- 연소반응에서는 열, 화염, 연기(연소생성물)가 발생한다. 화재에서 인명피해를 발생시키는 가장 주요 원인은 연기이며, 연기에는 인체에 유해한 다양한 연소생성물이 포함되어있다.

제8절 연기의 이동력과 중성대



학습 목표

1. 연기의 이동력(굴뚝효과, 부력, 팽창, 바람의 방향, HVAC시스템)
2. 중성대의 형성과 활용

연기의 이동은 공기의 흐름을 따라 이동하게 된다. 연기 이동력에는 굴뚝효과, 부력, 팽창, 바람, HVAC(heating, ventilating and air conditioning) 시스템, 그리고 엘리베이터의 피스톤 효과가 포함된다. 일반적으로 화재에서 연기이동은 이들 이동력의 결합에 의해서 발생되고 지배를 받는다.

1. 연기의 이동력

가. 굴뚝효과(Stack Effect, 연돌효과)

고층 건물에서 사용자의 상하 이동을 위한 계단실, 엘리베이터 샤프트 등의 수직공간은 건물의 연기 및 공기 흐름의 경로가 된다. 건물 내부의 공기 온도가 외부의 공기 온도보다 높아지면 굴뚝효과(stack effect) 또는 연돌효과라고 부르는 현상이 발생하며, 이는 화재 시에 발생하는 연기를 부력에 의해 수직방향으로 빠른 속도로 이동하고 굴뚝효과는 연기의 이동을 더욱 빠르게 하는 역할을 한다.

굴뚝효과(stack effect)는 건물 내부와 외부 공기밀도 차이로 인해 발생한 압력 차이에 의해 발생하며, 겨울철과 같이 건물 내부가 따뜻하고 건물 외부가 찬 경우 기압은 건물내부가 낮아, 지표면상에서 건물로 들어온 공기는 건물 내부의 상부로 이동하게 되고, 이러한 압력 차이에 의해 야기된 공기의 흐름은 굴뚝에서의 연기 흐름과 유사하게 되는데, 이러한 현상을 일반적으로 굴뚝효과 또는 연돌효과라고 정의한다. 여름철과 같이 외기가 건물 내부보다 따뜻할 경우 하향으로 공기가 이동하게 되는 데 이런 흐름을 역굴뚝효과 라고 한다.

나. 부력(Buoyancy Force)

화재로 인해 가열된 고온의 연기는 주변의 공기와 비교하여 밀도가 작기 때문에 주변의 차가운 공기는 아래로 이동하고 가벼운 밀도를 가지는 고온의 연기는 상부 방향으로 이동하

게 된다. 무거운 밀도의 유체가 누르는 힘에 의해 가벼운 유체가 뜨는 것을 부력(浮力)이라 한다. 고온의 연기는 부력의 힘에 의해서 수직 및 수평방향으로 이동하게 된다. 화염으로부터 연기가 이동하는 과정에서 열전달에 의한 열손실 및 공기의 유입에 기인하여 온도강하가 발생하고, 화염으로부터 거리가 멀어질수록 부력효과는 점차 감소하게 된다.

다. 팽창

화재로부터 방출되는 에너지는 연소가스를 팽창시킴으로 연기이동의 원인이 될 수 있다. 건물에 하나의 개구부만 있는 구획실 화재에서 외부의 공기는 구획실 내부로 흐를 것이고 뜨거운 연기는 구획실 밖으로 흘러갈 것이다. 그러나 발화지점 주변에 매우 큰 개구부가 여러 곳 존재 한다면 화재구역에서 개구부 사이의 압력차는 무시된다.

라. 바람의 영향

바람은 고층빌딩에 풍압을 가하며 이런 풍압의 효과로 인해 초고층 건축물에서 구조적 하중에 대한 특별한 고려를 해야한다. 또한, 바람에 의한 풍압은 빌딩내부의 공기누출과 공기이동을 일으키기도 한다. 이는 빌딩 내의 냉난방 및 화재 시 연기의 이동에 대한 주요 고려 대상이며, 틈새가 많거나 창이나 문이 많은 건물인 경우 바람의 영향을 더욱 많이 받는다.

마. HVAC 시스템

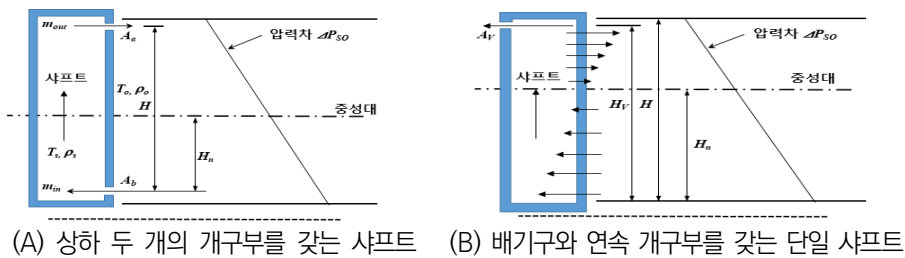
건축물의 공조시스템(HVAC 시스템)은 신선한 공기를 불어넣거나 오염된 공기를 배출하는 설비이다. 화재발생 구역으로 신선한 공기를 계속 공급한다면 화재 확산이 가속화되거나, 연기의 확산을 가중함으로써 인명피해를 증가시킬 수 있다. 따라서 공조시스템은 화재 발생 시 송풍기를 정지하거나 특별한 제연작동 모드로 전환되도록 설계해야만 한다.

바. 엘리베이터 피스톤 효과

고층건축물에서는 화재 시에도 사용가능한 비상용 엘리베이터가 설치되어있다. 그러나 이러한 엘리베이터의 운행은 연기의 흐름에 영향을 미치게 된다. 엘리베이터가 샤프트 내에서 이동할 때 흡입압력(피스톤 효과)이 발생한다. 이 흡입압력은 엘리베이터 연기제어에 영향을 미치고, 이러한 피스톤 효과는 정상적으로 가압된 엘리베이터 로비나 샤프트로 연기를 유입시킬 수 있다.

2. 중성대의 형성과 활동

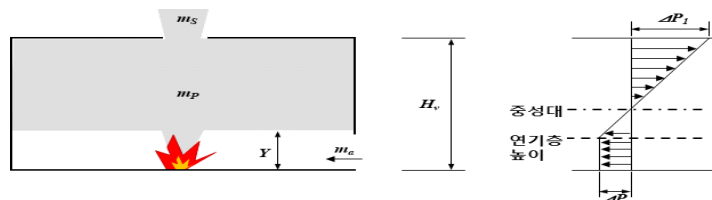
건물 내부의 압력이 외부의 압력과 일치하는 수직적인 위치가 생기는데 이 위치를 건물의 중성대(NPL : Neutral Pressure Level)라 한다. 이론적으로 틈새(crack)나 다른 개구부가 수직적으로 균일하게 분포되어 있다면 중성대는 정확하게 건물의 중간 높이가 될 것이다. 그러나 건물의 상부에 큰 개구부가 있다면 중성대는 올라갈 것이고 건물의 하부에 큰 개구부가 있다면 중성대는 내려올 것이다.



[그림 4-12] 개구부에 따른 중성대의 높이

가. 중성대의 형성

건물화재가 발생하면 연소열에 의한 온도가 상승함으로써 부력에 의해 실의 천정 쪽으로 고온기체가 축적되고 온도가 높아져 기체가 팽창하여 실내와 실외의 압력이 달라지는데 실의 상부는 실외보다 압력이 높고 하부는 압력이 낮다. 따라서 그 사이 어느 지점에 실내와 실외의 정압이 같아지는 경계면(0포인트)이 형성되는데 그 면을 중성대(neutral plane)라고 한다. 그러므로 중성대의 위쪽은 실내 정압이 실외보다 높아 실내에서 기체가 외부로 유출되고 중성대 아래쪽에는 실외에서 기체가 유입되며, 중성대의 상부는 열과 연기로, 그리고 중성대의 하층부는 신선한 공기가 존재하게 된다.



[그림 4-13] 상부 개구부에 의한 연기 배출량 및 압력분포

나. 중성대의 활용

화재현장에서는 중성대의 형성 위치를 파악하여 배연 등의 소방활동에 활용하는 요령이 있어야 한다, 즉 배연을 할 경우에는 중성대 위쪽에서 배연을 해야 효과적이며, 이것은 또한 새로운 공기의 유입 증가 현상을 촉발하여 화세가 확대될 수 있음에 유의해야 한다.

밀폐된 구획 공간에서 화재가 발생했을 때는 외부로부터 신선한 공기의 유입이 없으므로 연소는 서서히 진행될 것이다. 만일 구획 공간의 아래쪽에 개구부가 있어 신선한 공기가 지속적으로 유입되는 조건이라면 보다 빠른 연소 확대가 진행될 것이며, 동시에 연기 발생량도 증가할 것이다. 연기 발생량의 증가는 연기층의 하강 속도 증가로 이루어지기에 재실자의 생존 가능성은 더욱 낮아진다.

화재 현장 도착 시 하층 출입문으로 짙은 연기가 배출된다면 상층개구부 개방을 고려하고, 하층 개구부에서 연기가 배출되고 있지 않다면 상층개구부가 개방되어 있다고 판단하고 신선한 공기가 유입되는 출입문 쪽을 급기측으로 판단한다.

반대로 상층개구부를 개방한다면 연소는 확대되지만 발생한 연기는 빠른 속도로 상승하여 외부로 배출되므로 중성대의 경계선은 위로 올라가고 중성대 하층의 면적이 커지므로 대원과 대피자들의 활동공간과 시야가 확보되어 신속히 대피할 수 있다.

그리고 중성대를 상층(위쪽)으로 올리기 위해선 배연 개구부 위치는 지붕중앙부분 파괴가 가장 효과적이며, 그 다음으로 지붕의 가장자리 파괴, 상층부 개구부의 파괴 순서가 효과적이다.

제2장 폭발



학습
목표

1. 폭발의 정의
2. 폭발반응의 원인
3. 폭발의 성립조건

제1절 폭발개론

1. 폭발의 정의

폭발을 명확히 정의하는 것은 어려우나 「압력의 급격한 발생 또는 해방의 결과로써 팽음을 발생하며 파괴하기도 하고, 팽창하기도 하는 것」, 「화학변화에 동반해 일어나는 압력의 급격한 상승현상으로 파괴 작용을 수반하는 현상」 등으로 설명할 수 있다.

2. 폭발반응의 원인

빛, 소리 및 충격 압력을 수반하여 순간적으로 완료되는 화학변화를 폭발 반응이라 하며 기체상태의 엔탈피(Enthalpy) 변화가 폭발반응과 압력상승의 원인이다. 폭발반응은 다음과 같은 경우에 발생한다.

- 가. 발열화학 반응 시에 발생한다.
- 나. 강력한 에너지에 의한 급속가열 시 발생한다. 예를 들어, 부탄가스통이 가열로 인해 폭발하는 것과 같다.
- 다. 액체에서 기체 상태로의 변화를 증발, 고체에서 기체 상태로의 변화를 승화라 하는데 이처럼 응축상태에서 기상으로 변화(상변화)할 때 발생한다.

3. 폭발의 성립 조건

가연성가스, 증기 및 분진의 폭발현상을 일으키기 위한 조건이란 다음 3가지다.

가. 공기(또는 산소공급원)가 존재할 것.

나. 가연성 가스, 증기 또는 분진이 양적 특정조건(폭발 범위, 연소범위)에 있어서 공기(산소)와 잘 혼합되어 있을 것.

다. 혼합가스 및 분진을 발화시킬 수 있는 최소 점화원(Energy)이 있어야 한다.



핵심요약

- 폭발은 밀폐된 공간 내에서의 연소 활동을 통해 발생한 압력의 급격한 배출 현상이라 정의할 수 있다. 폭발의 원인 및 폭발의 성립조건의 인지는 화재현장에서 불의의 사고 예방에 많은 도움이 될 수 있다.

제2절 폭발형태



학습 목표

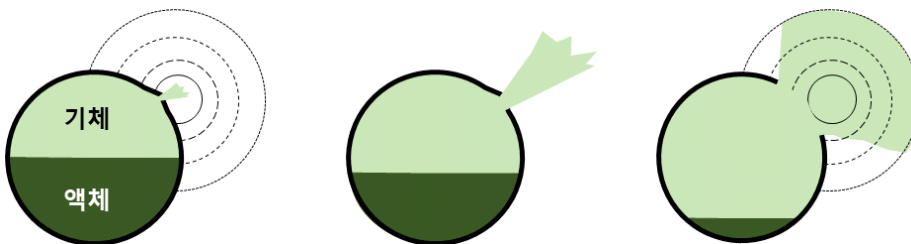
1. 물리적 폭발과 화학적 폭발의 차이를 구분할 수 있다.
2. 화학적 폭발 현상의 종류를 설명할 수 있다.
3. 폭발물의 물리적 상태에 따른 폭발의 종류를 예를 들어 설명할 수 있다.

1. 물리적 폭발과 화학적 폭발

폭발이란 급격한 압력의 발생, 해방의 결과로써 격렬한 폭음을 동반한 이상 팽창 현상으로 크게는 물리적인 폭발과 화학적 폭발로 구분하며, 물리적 상태에 따라 응상폭발과 기상폭발로 구분한다.

가. 물리적 폭발

진공용기의 압괴, 과열액체의 급격한 비등에 의한 증기폭발, 용기의 과압과 과충진 등에 의한 용기파열 등이 물리적인 폭발에 해당한다. 대표적인 예로는 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)가 있으며, 비점이 낮은 인화성 액체(유류)가 가득 차 있지 않는 저장탱크 주위에 화재가 발생하여 저장탱크 벽면이 장시간 화염에 노출되면 윗부분의 온도가 상승하여 재료의 인장력이 저하되고 내부의 비등현상으로 인한 압력상승으로 저장탱크 벽면이 파열되는 현상을 말한다.



[그림 4-14] 화학반응이 없는 탱크에서의 BLEVE의 발생 메커니즘

나. 화학적 폭발

1) 연소 폭발

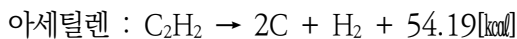
연소폭발은 비정상연소에서 해당하며 가연성 가스, 증기, 분진, 미스트 등이 공기와의 혼합물, 산화성, 환원성 고체 및 액체혼합물 혹은 화합물의 반응으로 발생한다.

연소폭발 사고의 대부분은 가연성 가스가 공기 중에 누설되거나 인화성 액체 저장탱크에 공기가 혼합되어 폭발성 혼합가스를 형성함으로써 점화원에 의해 착화되어 폭발하는 경우가 많다. 이러한 가연성 가스의 폭발은 폭풍과 충격파를 동반하기 때문에 구조물에 심각한 피해를 본다.

연소폭발은 폭발의 주체가 되는 물질의 종류에 따라 가스, 분진, 분무폭발로 분류할 수 있다.

2) 분해폭발

산화에틸렌(C_2H_4O), 아세틸렌(C_2H_2), 하이드라진(N_2H_4) 같은 분해성 가스와 다이아조 화합물 같은 자기분해성 고체류는 분해하면서 폭발하며 이는 단독으로 가스가 분해하여 폭발한다. 아세틸렌은 대표적인 분해성 가스로서 반응 시 발열량이 많고, 연소 시 $3,000^{\circ}C$ 의 고온이 얻어지는 물질로서 금속의 용단, 용접에 사용된다.



고압으로 압축된 아세틸렌 기체에 충격을 가하면 직접 분해반응을 일으키므로 고압으로 저장할 때는 불활성 다공 물질을 용기 내에 주입하고 여기에 아세톤 액을 스며들게 하여 아세틸렌을 고압으로 용해 충전하는 방법을 사용한다.

용해 아세틸렌을 저장할 때는 용기 내에 공간이 없도록 하고 아세틸렌의 충전 시 용기에 발열되는 경우에 냉각시키고, 충전 후에도 온도가 안정될 때까지 냉각하여야 한다.

일반적으로 널리 사용되는 용해 아세틸렌 용기는 고열이 국부적으로 발생하고, 다공물질이 변질 혹은 공간이 생성되는 현상이 발생할 때 분해증발이 일어나 국부적인 과열로 인한 용기가 폭발하는 경우가 있으므로 신중하게 취급해야 한다.

3) 중합폭발

중합해서 발생하는 반응열로 인해서 폭발하는 것으로 초산비닐, 염화비닐 등의 원료인

모노머가 폭발적으로 중합되면 격렬하게 발열하여 압력이 급상승하고 용기가 파괴되는 폭발을 일으킬 수 있다.

중합반응은 고분자 물질의 원료인 단량체(모노머, Monomer)²¹⁾에 촉매를 넣어 일정온도, 압력 하에서 반응시키면 분자량이 큰 고분자를 생성하는 반응을 말하며, 이 반응은 대부분 발열반응을 하므로 적절한 냉각설비를 반응장치에 설치하여 이상반응이 되는 것을 방지하여야 한다. 그러나 반응 시 냉각에 실패하는 경우 반응온도가 급격히 상승하여 미반응 모노머의 팽창, 비등이 발생하여 이상고압이 경우 반응장치를 파괴하는 경우가 있다.

중합이 쉬운 물질은 촉매를 주입하지 않아도 공기 중의 산화와 산화성 물질, 알칼리성 물질이 촉매역할을 하여 반응을 일으킬 수도 있으므로 반응 중지제를 준비하여야 한다. 중합폭발을 하는 가스로는 시안화수소(HCN), 산화에틸렌(C_2H_4O) 등이 있다.

4) 촉매폭발

촉매에 의해서 폭발하는 것으로 수소(H_2)+산소(O_2), 수소(H_2)+염소(Cl_2)에 빛을 쏘일 때 일어난다.

2. 응상폭발과 기상폭발

폭발물질의 상태에 따라서 기상폭발과 응상폭발로 구분한다. 응상이란 고상 및 액상의 것을 말하며 기상과 비교하여 밀도가 수백 배의 차이가 있으므로 폭발의 양상이 다르다.

응상폭발은 용융 금속이나 금속조각 같은 고온물질이 물속에 투입되었을 때 고온의 열이 저온의 물에 짧은 시간에 전달되면 일시적으로 물은 과열상태가 되고 급격하게 비등하여 폭발현상이 나타나게 되는 것을 응상폭발이라 말하며 수증기폭발이 대표적이다. 응상폭발에는 혼합위험성 물질에 의한 폭발, 폭발성 화합물의 폭발, 증기폭발로 분류할 수 있다.

기상폭발은 수소, 일산화탄소, 메탄, 프로판, 아세틸렌 등의 가연성 가스와 조연성 가스가 혼합기체를 형성하고 점화원에 의하여 폭발하는 것을 말하며, 기상폭발에는 가스폭발(혼합가스폭발), 가스의 분해폭발, 분무폭발 및 분진폭발이 있다.

21) 고분자화합물 또는 화합체를 구성하는 단위가 되는 분자량이 작은 물질. 단위체 또는 모노머라고도 한다. 중합반응에 의해서 중합체를 합성할 때의 출발 물질을 가리킨다.

가. 응상폭발

1) 증기폭발

액체에 급속한 기화현상이 발생해 체적 팽창에 의한 고압이 생성되어 폭풍을 일으키는 현상으로 물, 유기액체 또는 액화가스 등의 액체들이 과열상태가 될 때 순간적으로 증기화되어 폭발현상을 나타내는 것을 말한다. 지상에 있는 물웅덩이에 작열된 용융 카바이드나 용융 철을 떨어뜨릴 경우와 탱크 속 비등점의 낮은 액체가 중합열 또는 외부로부터 가해지는 화재의 열 때문에 탱크 내부의 온도와 증기압이 상승하여 탱크용기가 파열될 때 남아있던 가열된 액체는 순간적으로 증기로 전이함으로써 증기폭발을 일으킨다.

2) 증기폭발의 분류

가) 보일러 폭발

- (1) 보일러와 같이 고압의 포화수를 저장하고 있는 용기가 파손 등의 원인으로 동체의 일부분이 열리면 용기 내압이 급속히 하락해 일부 액체가 급속히 기화하면서 증기압이 급상승하여 용기가 파괴된다.
- (2) 내용물이 가연성 물질이면 비등 기화로 액체 입자를 포함하는 증기가 대량으로 대기에 방출됨으로써 화염원으로부터 착화되어 화구(Fire Ball)를 형성하게 된다.
- (3) 100℃ 이상 과열된 압력 아래의 물을 폭발수(explosive water)라 한다.

나) 수증기 폭발 (액체의 급속 가열)

- (1) 물 또는 물을 함유한 액체에 고온 용융금속, 용융염 등이 대량으로 유입되는 경우 이 물질로 인해 밀폐된 상태의 물이 급격히 증발하고 밀폐로 인한 고압이 발생해 폭발하는 현상이다.
- (2) 수증기 폭발의 발생은 고온 용융염의 투입속도가 빠를수록 용기의 단면적이 작을수록 잘 일어난다.

다) 극저온 액화가스의 증기폭발(극저온 액화가스의 수면유출)

- (1) LNG 등의 저온액화가스가 상온의 물위에 유출될 때 급격하게 기화되면서 증기폭발이 발생한다.

(2) 이 때 뜨거운 유체로 작용하는 것은 물(15℃)이며 LNG는 -162℃에서 액화된 가스로 차가운 액체로 작용한다.

(3) 이때의 에너지원은 물의 현열(Sensible Heat)이다.

라) 전선폭발

전선폭발은 고체인 무정형 안티몬이 동일한 고상의 안티몬으로 전이할 때 발열함으로써 주위의 공기가 팽창하여 폭발하는 경우가 있다. 이것은 고상 간의 전이에 의한 폭발로 불린다. 또한 고상에서 급격한 액상을 거쳐 기상으로 전이할 때도 폭발현상이 나타나는 전선폭발이 있다. 이것은 알루미늄제 전선에 한도 이상의 대전류가 흘러 순식간에 전선이 가열되고 용융과 기화가 급속하게 진행되어 폭발을 일으켜 피해를 주는 경우이다.

나. 기상폭발

수소, 일산화탄소, 메탄, 프로판, 아세틸렌 등의 가연성 가스와 조연성 가스와의 혼합기체에서 발생하는 가스폭발이 기상폭발에 속한다.

1) 가스 폭발

가연성 가스와 조연성 가스가 일정비율로 혼합된 가연성 혼합기는 발화원에 의해 착화되면 가스폭발을 일으킨다. 이것을 폭발성 혼합기(폭발성 혼합가스)라 부른다. 가연성 가스에는 수소, 천연가스, 아세틸렌가스, LPG 외에 휘발유, 벤젠, 톨루엔, 알코올, 에테르 등의 가연성 액체로부터 나오는 증기도 포함된다.

2) 분해폭발

기체 분자가 분해할 때 발열하는 가스는 단일성분의 가스라고 해도 발화원에 의해 착화되면 혼합가스와 같이 가스 폭발을 일으킨다. 이것을 가스의 분해폭발이라고 하며 산소가 없어도 폭발한다. 분해 폭발성 가스는 아세틸렌, 산화에틸렌, 에틸렌, 프로필렌, 에틸아세틸렌, 모노 비닐아세틸렌, 이산화염소, 하이드라진 등이 있다.

아세틸렌 충전공장과 같은 곳에서는 때때로 고압 아세틸렌의 분해폭발 사고가 발생한다. 또한, 폴리에틸렌 공장에서는 1,000기압 이상의 고압 에틸렌이 분해폭발을 일으켜 누설되고, 공기 중에서 다시 혼합가스를 형성하여 폭발을 일으킨 경우도 있었다.

3) 분무폭발

공기 중에 분출된 가연성 액체가 미세한 액적이 되어 무상으로 되고 공기 중에 부유하고 있을 때 착화에너지가 주어진다면 발생하는데 분출한 가연성 액체의 온도가 인화점 이하로 존재하여도 무상으로 분출된 경우에는 폭발하는 경우가 있다. 고압의 유압설비로부터 기계유의 분출 후에 공기 중에서 미세한 액적이 되어 일어난다.

4) 분진폭발

가연성고체의 미분이 일정 농도 이상 공기와 같은 조연성 가스 등에 분산되어 있을 때 발화원에 의하여 착화됨으로써 일어나는 현상을 말하며, 금속, 플라스틱, 농산물, 석탄, 유황, 섬유질 등의 가연성 고체가 미세한 분말상태로 공기 중에 부유하여 폭발 하한계 농도 이상으로 유지될 때 착화원이 존재하면 가연성 혼합기와 동일한 폭발현상을 나타낸다.

탄광의 갱도, 유황 분쇄기, 합금 분쇄 공장 등에서 가끔 분진 폭발이 일어난다.

가) 분진의 발화폭발 조건

- 가연성 : 금속, 플라스틱, 밀가루, 설탕, 전분, 석탄 등
- 미분상태 : 200mesh(76 μ m) 이하
- 지연성 가스(공기)중에서의 교반과 운동
- 점화원의 존재

나) 가연성 분진의 착화·폭발 기구

- 입자표면에 열에너지가 주어져서 표면온도가 상승한다.
- 입자표면의 분자가 열분해 또는 건류작용을 일으켜서 기체 상태로 입자 주위에 방출된다.
- 이 기체가 공기와 혼합하여 폭발성 혼합기를 생성하고 발화하게 된다.
- 이 화염에 의해 생성된 열은 다시 다른 분말의 분해를 촉진시켜 공기와 혼합하여 화염이 전파된다.

다) 분진폭발의 특성

- 연소속도나 폭발압력은 가스폭발에 비교하여 작으나 연소시간이 길고, 에너지가 크기 때문에 파괴력과 타는 정도가 크다. 즉, 발생하는 총 에너지는 가스폭발의

수백 배이고 온도는 2,000~3,000℃까지 올라간다. 그 이유는 단위 체적 당 탄화수소의 양이 많기 때문이다.

- 폭발의 입자가 연소되면서 흩날리므로 이것에 접촉되는 가연물은 국부적으로 심한 탄화를 일으키며 특히 인체에 닿으면 심한 화상을 입는다.
- 최초의 부분적인 폭발로 폭풍이 주위의 분진을 날리게 하고 2차, 3차의 폭발로 파급됨에 따라 피해가 커질 수 있다.
- 가스에 비하여 불완전한 연소를 일으키기 쉬우므로 탄소가 타서 없어지지 않고 연소 후의 가스 상에 일산화탄소가 다량으로 존재하는 경우가 있어 가스에 의한 중독의 위험성이 있다.

라) 폭발성분진의 종류

- 탄소제품 : 석탄, 목탄, 코크스, 활성탄
- 비료 : 생선가루, 혈분 등
- 식료품 : 전분, 설탕, 밀가루, 분유, 곡분, 건조효모 등
- 금속류 : Al, Mg, Zn, Fe, Ni, Si, Ti, V, Zr(지르코늄)
- 목질류 : 목분, 콜크분, 리그닌분, 종이가루 등
- 합성 약품류 : 염료중간체, 각종 플라스틱, 합성세제, 고무류 등
- 농산가공품류 : 후춧가루, 제충분(除蟲粉), 담뱃가루 등

마) 분진의 폭발성에 영향을 미치는 인자

- 분진의 화학적 성질과 조성
 - ▷ 분진의 발열량이 클수록 폭발성이 크며 휘발성분의 함유량이 많을수록 폭발하기 쉽다.
 - ▷ 탄진(석탄의 미립자)은 휘발분이 11% 이상이면 폭발하기 쉽고, 폭발의 전파가 용이하여 폭발성 탄진이라고 한다.
- 입도와 입도분포
 - ▷ 분진의 표면적이 입자체적에 비하여 커지면 열의 발생속도가 방열 속도보다

커져서 폭발이 쉬워진다.

- ▷ 평균 입자경이 작고 밀도가 작을수록 비표면적은 크게 되고 표면 에너지도 크게 되어 폭발이 용이해진다.
- ▷ 입도분포 차이에 의한 폭발특성 변화에 대해서는 상세히 알 수 없으나 작은 입경의 입자를 함유하는 분진의 폭발성이 높다고 간주한다.

○ 입자의 형성과 표면의 상태

- ▷ 평균입경이 동일한 분진인 경우, 분진의 형상에 따라 폭발성이 달라진다. 즉 구상, 침상, 편상 입자 순으로 폭발성이 증가한다.
- ▷ 입자표면이 공기(산소)에 대하여 활성이 있는 경우 폭로시간이 길어질수록 폭발성이 낮아진다. 따라서 분해공정에서 발생하는 분진은 활성이 높고 위험성도 크다.

○ 수분

분진 속에 존재하는 수분은 분진의 부유성을 억제하고 대전성을 감소시켜 폭발성을 둔감하게 한다. 반면에 마그네슘, 알루미늄 등은 물과 반응하여 수소를 발생하므로 위험성이 더 증가한다.

바) 폭발 압력

- 분진의 최대폭발압력은 양론적인 농도보다 훨씬 더 큰 농도에서 일어난다.(가스 폭발의 경우와 다름)
- 최대폭발압력 상승속도는 입자의 크기가 작을수록 증가하는데 이는 입자의 크기가 작을수록 확산되기 쉽고 발화되기 쉽기 때문이다.



핵심요약

- 폭발에는 다양한 발생기구가 있다. 물질의 화학적 변화가 동반되는지 아닌지에 따라 물리적 폭발(증기폭발, BLEVE)과 화학적 폭발(연소폭발, 분해폭발, 중합폭발, 촉매폭발)로 구분하며, 물질의 상의 구분에 따라 응상폭발(증기폭발, 보일러폭발, 전선폭발)과 기상폭발(가스폭발, 분해폭발, 분무폭발, 분진폭발)로 나눌 수 있다.

제3절 폭발의 한계와 영향



학습 목표

1. 폭발하한계(LFL)와 폭발상한계(UFL)의 차이를 구분할 수 있다.
2. 폭발한계를 정의할 수 있다.
3. 폭발이 영향을 미치는 범위를 구분하여 설명할 수 있다.

1. 폭발의 한계

가. 폭발한계의 정의

가연성 가스와 공기(또는 산소)의 혼합물에서 가연성 가스의 농도가 너무 낮거나 너무 높을 경우 화염의 전파가 일어나지 않는 농도가 있다. 농도가 낮을 경우를 폭발하한계, 높을 경우를 폭발상한계라 한다. 그 사이를 폭발범위라고 하고 연소한계 또는 가연한계라고도 한다.

나. 폭발하한계(Lower Explosive Limit, LEL)

발화원이 있을 때 불꽃이 전파되는 증기 혹은 가스의 최소 농도로서 공기 또는 산소 중의 농도로 나타낸다. 단위는 vol%이다.

다. 폭발상한계(Upper Explosive Limit, UEL)

발화원과 접촉 시 그 이상의 농도에서는 화염이 전파되지 않는 기체나 증기의 공기 또는 산소 중의 최대농도를 나타낸다. 단위는 vol%이다.

라. 폭발한계에 대한 영향을 주는 요소

1) 온도의 영향

가) 일반적으로 폭발범위는 온도상승에 의하여 넓어지며, 온도 의존성은 비교적 규칙적이다.

나) 폭발하한계는 온도가 100℃ 증가함에 따라 약 8% 증가한다.

$$LEL_t = LEL_{25^{\circ}\text{C}} - (0.8 LEL_{25^{\circ}\text{C}} \times 10^{-3})(t-25)$$

다) 폭발상한계는 온도가 100℃증가함에 따라 약 8% 증가한다.

$$UEL_t = UEL_{25^{\circ}\text{C}} - (0.8UEL_{25^{\circ}\text{C}} \times 10^{-3})(t-25)$$

2) 압력의 영향

폭발한계의 압력 의존성은 다소 복잡하다. 상한계는 일반적으로 압력상승에 따라 폭발 범위가 증가한다.

3) 산소의 영향

폭발상한계는 산소농도가 증가할수록 크게 증가한다.

4) 산화제의 영향

염소(Cl_2) 등의 산화제로 채워진 환경에서의 폭발범위는 공기 중에서 보다 넓고 산소(O_2)로 채워진 환경과 비슷하다. 가연성물질이 염소(Cl_2)에 의해 산화되기 때문이다.

2. 폭발의 영향

폭발의 영향은 4가지로 구분할 수 있으며, 압력, 비산, 열 그리고 지진이다.

가. 압력

폭발압력은 물질의 급격한 연소반응과 발열반응에 의한 급격하게 증가하는 기체 때문에 생긴다. 기체는 발화지점으로부터 빠른 속도로 확산되며, 이때 양압(positive pressure)과 음압(negative pressure)이 열의 방향을 따라서 생성된다. 공기가 폭발지점으로부터 밖으로 나가려고 하는 것은 양압의 영향이며, 발화지점으로 향하는 공기는 음압의 영향이다.

발화지점 밖으로 나가려는 양압은 음압보다 힘이 세며, 대부분의 압력피해를 일으키는 주 원인이다. 음압은 낮은 기압상태로 양압이 빠르게 밖으로 나가려는 성질 때문에 생긴다.

나. 비산(飛散)

비산은 압력의 결과로 나타나는데 압력이 클수록 비산 범위도 넓어진다. 구조물과 용기 등은 부서지거나 쪼개져서 멀리까지 날아가 또 다른 손상을 일으키거나 그 물체에 의해 사상자가 발생할 수도 있다. 물체의 재질과 압력에 따라 크거나 작은 입자 등으로 비산되는데 그

비산물은 전력선이나 주택, 상가 등 다른 외물(外物)에 직접적인 타격을 주어 폭발이 발생한 지점으로부터 범위를 벗어나 또 다른 재해를 발생시키는 것이다.

다. 열(Heat)

연소폭발은 폭발과 동시에 주변으로 많은 열을 방출시키고 에너지가 크기 때문에 근처의 다른 물질을 연소시키기도 하고 인명피해를 일으킬 수도 있다.

열을 동반한 폭발은 화재와 폭발 중 어느 것이 선행된 것인지 판단하기 곤란할 때가 많지만 보통은 폭발과 동시에 화재를 수반하는 경우가 많다. 열은 특히 화학적 폭발일 경우 더욱 많은 열을 발생시키는데, 폭굉은 매우 짧은 시간에 높은 온도를 발생시키지만 폭연은 낮은 열을 가지고 오랫동안 지속되는 특징이 있다.

라. 지진

폭발압력이 최고조로 팽창되어 더 이상 버틸 수 없는 상황에 이르게 되면 폭발지점을 중심으로 형성된 압력에 의해 구조물이 흔들리거나 균열이 발생하고 상황이 더욱 악화되면 붕괴에 이르게 될 것이다. 이때 폭발압력으로 인한 진동이나 충격은 직접적으로 건물에 손상을 불러오지만 진동현상이 땅으로 전달되면 주변에 취약한 다른 건물로 그 영향이 미칠 수 있게 된다. 특히 지면을 통해 진동이 전달되기 때문에 가스관로 또는 파이프라인, 탱크와 연결된 배관 등에 영향을 미치게 된다.



핵심요약

- 위험성물질에 있어서는 폭발하한계(LEL)와 폭발상한계(UEL)의 차이가 크면 클수록 위험성은 커지며, 폭발의 영향으로는 압력, 비산, 열, 지진 등이 있다.

제4절 폭연과 폭굉



학습
목표

1. 폭연(Deflagration)
2. 폭굉(Detonation)

연소면의 전파속도가 음속보다 느리게 이동하는 경우를 폭연(Deflagration)이라고 하며, 음속보다 빠르게 이동하는 경우를 폭굉(Detonation) 이라 한다.

1. 폭연(Deflagration)

개방된 대기 중에서 혼합가스가 발화할 경우 연소 후의 연소생성물은 자유로이 팽창하여 화염전파속도가 느릴 경우 압력과 폭발음이 거의 발생하지 않지만 화염전파속도가 빠르고 압력파를 형성하면 폭발음을 발생하게 된다. 이러한 경우를 폭연이라 한다.

2. 폭굉(Detonation)

발열반응의 연소과정에서 압력파 또는 충격파의 전파속도가 음속보다 빠르게 이동하는 경우를 말하는 것으로 충격파란 초음속으로 진행되는 파동이며, 충격파를 받은 매질은 같은 압력의 단열 압축보다 높은 온도상승을 일으킨다. 매질이 폭발성이면, 그 온도 상승에 의하여 반응이 계속 일어나 폭굉파를 일정 속도로 유지한다.

[표 4-13] 폭연과 폭굉의 차이

구 분	폭연(Deflagration)	폭굉(Detonation)
충 격 파 전파속도	음속보다 느리게 이동한다. (기체의 조성이나 농도에 따라 다르지만 일반적으로 0.1~10%범위)	음속보다 빠르게 이동한다. (1,000~3,500% 정도로 빠르며, 이때의 압력은 약 100MPa)
특 징	- 폭굉으로 전이될 수 있다. - 충격파의 압력은 수 기압(atm) 정도이다. - 반응 또는 화염면의 전파가 분자량이나 난류확산에 영향을 받는다. - 에너지 방출속도가 물질전달속도에 영향을 받는다.	- 압력상승이 폭연의 경우보다 10배, 또는 그 이상이다. - 온도의 상승은 열에 의한 전파보다 충격파의 압력에 기인한다. - 심각한 초기압력이나 충격파를 형성하기 위해서는 아주 짧은 시간 내에 에너지가 방출되어야 한다. - 파면에서 온도, 압력, 밀도가 불연속적으로 나타난다.



핵심요약

- 폭연(Deflagration)은 화재에 연소적으로 영향을 미치나 폭굉(Detonation)은 불연속적이다.

제5절 가연성 가스의 폭발



학습 목표

1. 증기운 폭발(UVCE(Unconfined Vapor Cloud Explosion))
2. BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)
3. BLEVE와 Fire Ball

1. 증기운 폭발 (Unconfined Vapor Cloud Explosion, UVCE)

대기 중에 대량의 가연성가스가 유출되거나 대량의 가연성액체가 유출되면 그것으로부터 발생하는 증기가 공기와 혼합해서 가연성 혼합 기체를 형성하고 발화원에 의하여 발생하는 폭발을 증기운 폭발이라고 한다. 개방된 대기 중에서 발생하기 때문에 자유공간 중의 증기운 폭발(UVCE: Unconfined Vapor Cloud Explosion)이라고 한다.

증기운 폭발은 유출된 물질의 저장 상태, 압력 그리고 온도의 영향을 받으며, 다음과 같은 과정에 의해 발생한다.

- ▶ 상온, 대기압에서 액체이며 인화점이 상온보다 낮은 물질(가솔린) : 유출된 액체는 지면으로부터 열이 공급되면 액면에서 연속적으로 증기를 발생하여 주위에 확산된다.
- ▶ 상온, 가압 하에서 액화되어 있는 물질(LPG, 액화부탄) 또는 그 물질의 비점 이상의 온도에 있지만 가압되어서 액화된 물질(반응기 내의 벤젠, 핵산) : 고압 하에서 기상과 액상의 평형상태에 있는 물질이 대기 중으로 유출되는 경우, 유출된 액체의 온도는 비점까지 낮아지며 순간적으로 기화한다. 플래시 증발(flash evaporation) 이라고도 한다.
- ▶ 대기압 하에서 저온으로 인해 액화된 물질(LNG) : LNG 와 같이 아주 낮은 온도에 있는 저온 액화가스가 유출되면 지면 및 주위의 열에 의하여 급속한 비등을 일으킨다. 지면의 온도가 저하되면 증발속도는 저하되지만 단시간에 대량의 가연성 증기운이 생긴다.

일단 위의 각 경우에 의하여 증기운이 발생하면 다음과 같은 현상이 발생할 수 있다.

- 발화하지 않고 누출한 가스나 증기가 재해를 일으키지 않고 확산한다.
- 가스, 증기의 유출과 동시에 화재가 발생하지만, 폭발로 전이되는 경우도 있다.

- 대량의 증기운이 발생한 후 화재로 화염의 속도가 빨라져서 폭풍이 발생한다.
- 화염속도가 음속을 넘으면 폭굉이 발생하여 더욱 강한 폭풍을 일으키게 된다.

이러한 대량의 가연성 물질 유출 사고는 대부분 폭발을 발생시킨다. 다량 누출된 가연성 증기는 발화하기 전에 공기와 잘 혼합되어 양론비에 가까운 조성의 가연성 혼합기체를 형성하며 이러한 경우 폭굉으로 전이될 가능성이 크다.

2. BLEVE와 Fire Ball

가. BLEVE의 정의

프로판 등 액화가스탱크의 외부에서 화재가 나면 탱크가 가열되어 내부의 높은 증기압이 형성되고 그 증기압이 탱크의 내압을 초과하게 되면 결국 탱크는 파열에 이르게 된다. 탱크의 파열과정을 살펴보면 탱크 내부는 액상부(액체 상태의 가연물과 존재하는 부분)와 기상부(기체 상태의 가연물이 존재하는 부분)로 구분된다. 파열이 발생하는 지점은 탱크의 기상부와 면하는 부분인데, 액상부와 면하는 탱크는 외부로부터 화염에 가열되어도 그 열이 내부의 액상으로 효과적으로 전달되어 탱크를 구성하는 재료의 온도는 느리게 상승하나, 기상부와 면하는 지점은 낮은 기체의 열전도율로 인해 열을 효과적으로 전달하지 못하고 국부적으로 온도가 크게 상승하며 탱크를 구성하는 재료는 인장강도의 저하가 발생한다. 한편, 탱크 내부의 액체는 비등하여 기화되어 탱크 내부의 압력은 상승하게 되며, 내압이 인장강도를 상회하면 국부적인 파열이 발생한다.

파열이 발생하면 탱크내부에 액화된 상태로 저장되어 있던 가스는 빠르게 기화하면서 파열 지점을 통해 외부로 확산한다. 확산한 가스는 주변의 공기와 혼합되어 폭발성 혼합기를 형성하고 존재하는 화염을 착화에너지로 하여 다시 폭발하게 된다. 이를 BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion)라고 한다. 이 현상을 단계별로 분석하면 물리적 폭발이 순간적으로 화학적 폭발로 이어지는 것으로 볼 수 있다.

나. BLEVE의 발생과정

- 1) BLEVE는 저장탱크가 화재에 노출되면 용기 내부의 액체 온도가 증가하게 되며
- 2) 이때 액체의 온도는 기체보다 열전도율이 커서 300℃ 정도까지 상승하며, 용기 내부

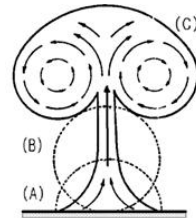
기상부의 경우는 온도가 매우 증가하여(1,000℃ 정도) 위험한 상태에 이른다.

- 3) 특히 기상 및 액상부분의 경우 철의 접합부가 급격한 인장력의 감소와 항복점이 저하되어 저장탱크가 파열되면서 탱크 내부의 고온고압의 가스가 외부와 평형을 이루려는 성질에 의하여 급격하게 확산 되어가는 현상

다. Fire Ball의 발생 Mechanism

- 1) Fire Ball이란 대량의 증발한 가연성 액체가 갑자기 연소할 때 생기는 구상의 불꽃을 말한다.
- 2) BLEVE 발생 시 탱크 외부로 방출된 증발기체가 주위의 공기와 혼합하여 방출 시의 고압으로 인하여 탱크 상부로 버섯모양의 증기운을 형성하여 상승
- 3) 이때 증발된 기체가 주위의 공기와 혼합하여 가연범위 내에 들어오면서 점화원이 있을 때 대형의 버섯모양의 화염을 형성
- 4) 이를 Fire Ball이라 하며 Fire Ball의 경우는 그 복사열로 인한 피해가 심각하여 매우 위험하다.

- ① 액화가스의 탱크가 파열하면 순간증발을 일으켜 가연성가스의 혼합물이 대량 분출
- ② 이것이 발생하면 지면에서 반구상(A)의 화염이 되어 부력으로 상승하는 동시에 주변의 공기를 빨아들임
- ③ 주변에서 빨아들인 화염은 공모양(B)으로 되고 더욱 상승하여 버섯모양(C)의 화염을 만듦



[그림 4-15] 전형적인 파이어볼의 성장

라. BLEVE와 Fire Ball의 차이점

- 1) BLEVE의 위험성은 폭발압력으로 탱크가 파열되는 순간 방출되는 폭발압력으로 인근 건물의 유리창이 파손된다.

- 2) Fire Ball의 경우는 그 복사열로 인한 피해가 매우 커서 500m 이내의 가연물이 모두 타버릴 정도로 위험하다.

마. BLEVE 방지대책 및 소화대책

1) BLEVE 방지대책

- ① 용기의 압력상승 방지를 위한 Blow down²²⁾ 방법을 사용하여 용기 내의 압력이 대기압 근처에서 유지되도록 한다.
- ② 용기의 온도상승 방지를 위한 조치로는 탱크 주위에 살수설비 또는 소방차로 물을 살수하여 용기를 냉각한다.

2) 소방활동대책

- ① 현장대원은 반드시 방열복을 착용하고 현장활동에 임한다.
- ② 현장 활동 대원 이외의 모든 인원은 안전지대로 대피한다.
- ③ 고막이 가장 약하므로 고막 보호용 마개를 착용하고 현장 활동에 임한다.



UVCE와 BLEVE

가스 저장탱크의 대표적 중대재해로 둘 다 가열된 풍부한 증기운이 자체의 상승력에 의하여 위로 올라가 버섯구름 모양의 불기둥(Fire Ball)을 발생시키며 그 위력은 수 km까지 미치는 것으로 알려져 있다.

◦ UVCE(Unconfined Vapor Cloud Explosion) : 저장탱크에서 유출된 가스가 대기 중의 공기와 혼합하여 구름을 형성하고 떠다니다가 점화원(점화스파크, 고온표면 등)을 만나면 발생할 수 있는 격렬한 폭발사고이며, 심한 위험성은 폭발압이다.

◦ BLEVE(Boiling Liquid Expanding Vapor Explosion) : 가스 저장탱크지역의 화재 발생 시 저장탱크가 가열되어 탱크 내 액체 부분은 급격히 증발하고 가스 부분은 온도 상승과 비례하여 탱크 내 압력의 급격한 상승을 초래하게 된다. 탱크가 계속 가열되면 용기강도는 저하되고 내부압력은 상승하여 어느 시점이 되면 저장탱크의 설계압력을 초과하게 되고 탱크가 파괴되어 급격한 폭발현상을 일으킨다. 인화성액체 저장탱크는 화재 시 BLEVE 억제를 위한 탱크의 냉각조치(물분무장치 등)를 취하지 않으면 화재 발생 10여분 경과 후 BLEVE가 발생할 수도 있다.

22) 용기나 배관이 파괴되면서 내부의 고온·고압 유체가 외부로 분출하는 현상, 배기 밸브 또는 배기구가 열리기 시작하고 실린더 내의 가스가 뿜어 나오는 현상. 즉 용기내부의 압력을 외부로 분출시키는 방법을 말한다.

소방전술 I-2

발행일 2026년 1월

발행 중앙소방학교

인쇄처 동은디앤피
