

## 2019년 전문교육과정 화재조사실무 V

제1편	가스화재감식 폭발화재감식	제	2	편
제3편	차량화재감식 미소화원감식	제	4	편
제5편	방화화재감식			



# Contents | 목차

## 제 1 편

## 가스화재감식

제1장 가스의 이해	2
제1절 가스의 기초	2
제2절 가스별 특성	13
제2장 가스설비의 이해	34
제1절 가스공급시설	34
제2절 가스 사용시설	38
제3장 가스폭발화재 조사	67
제1절 가스사고조사와 법적 근거	67
제2절 가스사고의 원인조사	72
제3절 가스시설별 사고조사 FLOW-CHART	38
제4장 가스사고 통계 현황	125



제 2 편

폭발화재감식

제1장 폭발의 개요	134
제2장 폭발이론	139
제1절 물리적 폭발	139
제2절 화학적 폭발	143
제3절 폭발한계	151
제3장 폭발 조사기술	178

제 3 편

차량화재감식

제1장 자동차의 정의	184
제2장 자동차의 기본 구조	188
제3장 엔진의 구조	202
제4장 자동차의 주요 부품	205
제5장 LPG 차량	215
제6장 사례를 통한 차량화재의 감정 기법	224

# Contents | 목차

## 제 4 편

### 미소화원감식

제1장 미소화원 조사·감식	248
제2장 유염(불꽃) 및 무염(훈소)화재	251
제1절 유염(불꽃) 및 무염(훈소)	252
제2절 무염(훈소)화재	260
제3절 훈소에서 불꽃화재 전이	266
제3장 무염화원	267
제4장 화재사례	277
제5장 훈소화재 감식기법	285

## 제 5 편

### 방화화재감식

제1장 방화의 이론적 배경	292
제1절 방화와 관련된 용어	292
제2절 형법상 방화죄	294
제3절 선진국 화재(방화)조사 제도	295
제4절 방화심리와 형태의 이론	297



<b>제2장</b> 방화원인의 감식 실무	312
제1절 화재현장의 조사	312
제2절 연쇄방화의 조사	317
제3절 방화 화재의 특징	324
제4절 방화의 유형별 감식 특징	326
제5절 방화원인의 감식 진행	336
제6절 방화행위의 입증 및 기구	339
<b>제3장</b> 방화의 실행과 수단	342
제1절 방화의 실행	342
제2절 방화의 수단	352
<b>제4장</b> 방화원인의 판정	354
제1절 방화판정의 전제조건에 대하여	354
제2절 방화의 판정을 위한 10대 요건	354
제3절 방화수단 사례	357
제4절 효율적인 방화원인 감식	370
<b>부록</b> 『NFPA 921 CODE』	377

# Contents | 목차

---

## 표 목차

---

[ 표 1-1 ] 고압가스의 분류	3
[ 표 1-2 ] 연소범위	6
[ 표 1-3 ] 압력단위와 수은주	7
[ 표 1-4 ] 프로판, 부탄의 온도에 따른 증기압(게이지압력)	1 1
[ 표 1-5 ] 액화석유가스의 온도 증가에 따른 액의 부피팽창	1 1
[ 표 1-6 ] LNG의 조성	41
[ 표 1-7 ] 메탄가스의 특성	41
[ 표 1-8 ] 천연가스	51
[ 표 1-9 ] 탄화수소의 물리화학적 특성표	8 1
[ 표 1-10 ] 산소의 물리적 특성	12
[ 표 1-11 ] 염소의 특성	22
[ 표 1-12 ] 암모니아의 특성	22
[ 표 1-13 ] 수소의 특성	32
[ 표 1-14 ] 아세틸렌의 특성	42
[ 표 1-15 ] 가스미터기의 분류	73
[ 표 1-16 ] 압력조정기의 분류	74
[ 표 1-17 ] 1단감압식(자동질체식일체형) 준저압조정기 출구압력	8 4
[ 표 1-18 ] 배관의 SDR	25
[ 표 1-19 ] 연소기의 종류와 가스소비량별 사용압력	2 6
[ 표 1-20 ] 연소기의 구분	56
[ 표 1-21 ] 가스 사고의 진행 현상	27
[ 표 1-22 ] 가스 사고 원인 조사의 진행 방법	6 7
[ 표 1-23 ] 폭발 현상의 종류	77



[ 표 1-24 ] 가스 누출사고의 분류	4 8
[ 표 1-25 ] 가스 누출사고의 원인	6 8
[ 표 1-26 ] 조사 흐름도	98
[ 표 1-27 ] 용기내장형난방용 용기사고의 원인 분류	0 9
[ 표 1-28 ] 이음매없는 용기사고의 원인 분류	3 9
[ 표 1-29 ] 접합용기 사고의 원인 분류	7 9
[ 표 1-30 ] 압력조정기 사고흐름도	11
[ 표 1-31 ] 압력조정기에 의한 사고 원인 분류	511
[ 표 1-32 ] 배관에 의한 사고 원인 분류	81
[ 표 1-33 ] 염화비닐호스에 의한 사고 원인 분류	111
[ 표 1-34 ] 호스콕(퓨즈콕)에 의한 사고 원인 분	211
[ 표 1-35 ] 가스누출 자동경보차단장치에 의한 사고 원인 분류	511
[ 표 1-36 ] 가스누출사고의 흐름도	61
[ 표 1-37 ] 가스레인지에 의한 사고 원인 분류	711
[ 표 1-38 ] 가스온수기와 가스보일러에 의한 사고 원인 분류	811
[ 표 1-39 ] 이동식부탄연소기 가스누출에 의한 사고 흐름	121
[ 표 1-40 ] 이동식부탄연소기 용기 파열 사고 흐름	121
[ 표 1-41 ] 이동식부탄연소기(카세트식)에 의한 사고 원인 분류	4 2 1
[ 표 2-1 ] 폭연과 폭굉의 비교	3
[ 표 2-2 ] 폭발의 분류표	138
[ 표 2-3 ] 압력에 의한 사상 및 소손	11
[ 표 2-4 ] 균일반응과 전파반응	31
[ 표 2-5 ] REITP 2의 생성물 우선순위와 생성열	541
[ 표 2-6 ] C, H를 가지는 group값	146
[ 표 2-7 ] 환상화합물에 대한 보정치	61
[ 표 2-8 ] C, H, O를 가지는 group값	71



# Contents | 목차

---

[ 표 2-9 ] C, H, O, N를 가지는 group값	7
[ 표 2-10 ] 가연성 가스 농도와 필요 산소량과의 관계	361
[ 표 2-11 ] 파라핀계 탄화수소의 화학량론농도, 하한계 및 상한계의 계산치(calc)와 실측치(obs)의 비교	16
[ 표 2-12 ] 연소에 필요한 최소산소량(MOC)	761
[ 표 2-13 ] 물, 수증기, 공기 혼합물로 포화된 산소에 대한 최소온도(101.325Kpa)	861
[ 표 2-14 ] 각종 가연성가스의 한계산소량(1기압, 상온)	961
[ 표 2-15 ] 200℃의 공기 중에서 온도의 폭발하한의 영향	171
[ 표 2-16 ] 폭발한계에서 계산치와 실험치	171
[ 표 2-17 ] 공기 중의 에탄에 대한 L 및 MOC의 압력상승의 영향	271
[ 표 2-18 ] 공기 및 산소 중에서의 폭발한계 비교	471
[ 표 2-19 ] 염소중에서 폭발범위	571
[ 표 2-20 ] 질소 산화물에서의 폭발한계	571
[ 표 3-1 ] 소음·진동규제법시행규칙(2000년 1월 1일부터 제작되는 자동차)	381
[ 표 3-2 ] 자동차관리법시행규칙(규모별 세분기준)	381
[ 표 3-3 ] 자동차관리법시행규칙(유형별 세부기준)	481
[ 표 3-4 ] 대기환경보전법시행규칙	581
[ 표 3-5 ] 차량용 LPG의 성분	2
[ 표 4-1 ] 가연물 형태와 따른 전형적인 혼소속도	162
[ 표 4-2 ] 대기온도에 노출된 톱밥 입방체(오일 유무)	072
[ 표 5-1 ] 방화의 횃수와 성격 분류	33



## 그림 목차

[ 그림 1-1 ] 대기압과 수은주	8
[ 그림 1-2 ] 절대압력	8
[ 그림 1-3 ] 증기압의 원리(1)	0 1
[ 그림 1-4 ] 증기압의 원리(2)	1 1
[ 그림 1-5 ] 도시가스의 공급 계통도	3 3
[ 그림 1-6 ] 도시가스의 공급 계통도	4 3
[ 그림 1-7 ] 정압기실의 배관 구성도	5 3
[ 그림 1-8 ] 정압기의 구조 (직동식)	6 3
[ 그림 1-9 ] 이음매 없는 용기의 “예”	39
[ 그림 1-10 ] LP가스 소형용기의 명칭 및 구조	9 3
[ 그림 1-11 ] 납붙임 및 접합용기	0 4
[ 그림 1-12 ] 초저온 용기의 구조	1 4
[ 그림 1-13 ] LPG 용기의 각인사항	2 4
[ 그림 1-14 ] 용기밸브의 구조	5 4
[ 그림 1-15 ] 기화장치의 구조 개요도	6 4
[ 그림 1-16 ] 1단감압식 저압조정기 사용 “예”	4
[ 그림 1-17 ] 조정기의 구조	8 4
[ 그림 1-18 ] 공업용압력조정기의 구조	0 5
[ 그림 1-19 ] 금속플렉시블호스	2 5
[ 그림 1-20 ] 퓨즈콕의 구조	5 5
[ 그림 1-21 ] 퓨즈콕의 종류	6 5
[ 그림 1-22 ] 콕 분해 사진	7 5
[ 그림 1-23 ] 연소기의 기본구조	0 6



# Contents | 목차

---

[ 그림 1-24 ] 소화안전장치 기본구조	1 6
[ 그림 1-25 ] 소화안전장치 실체	1 6
[ 그림 1-26 ] 록 열림	26
[ 그림 1-27 ] 소화안전장치 설치 “예”	62
[ 그림 1-28 ] 분출속도와 연소속도와의 관계	4 6
[ 그림 1-29 ] 기밀이 유지되지 않는 밸브	4 8
[ 그림 1-30 ] 스템 패키징에서 발견된 물질	5 8
[ 그림 1-31 ] 밸브 디스크 이물질 접촉	5 8
[ 그림 1-32 ] 밸브시트에 접촉된 이물질	5 8
[ 그림 1-33 ] 용기내장형가스난방기 용기용 밸브 구조도	8 8
[ 그림 1-34 ] 사고가 발생한 용기용 밸브	0 9
[ 그림 1-35 ] 1/2 절단한 사고밸브	09
[ 그림 1-36 ] 스템 패키징에서 발견된 이물질	0 9
[ 그림 1-37 ] 직경 1mm의 이물질	09
[ 그림 1-38 ] 압력조정기의 밸브부분	21
[ 그림 1-39 ] 압력조정기의 구조	21
[ 그림 1-40 ] 계량기 파열사고	28
[ 그림 1-41 ] 가변형압력조정기의 모습	31
[ 그림 1-42 ] 내부 부식 압력조정기	31
[ 그림 1-43 ] 부식된 조정기를 완전분해	31
[ 그림 1-44 ] 스프링과 녹이 누적된 다이어프램	301
[ 그림 1-45 ] 부식된 안전밸브 스프링	31
[ 그림 1-46 ] 압력조정기 입구측 니플 노후 풀림	401
[ 그림 1-47 ] 압력조정기 밸브시트 노후	41
[ 그림 1-48 ] 압력조정기 손상 밸브시트 확대	401
[ 그림 1-49 ] 호스절단	3




[ 그림 1-50 ] 퓨즈 콕 외부 표시	3
[ 그림 1-51 ] 퓨즈콕 후단 호스 절단	41
[ 그림 1-52 ] 제품노후	9
[ 그림 1-53 ] 설치장소 불량	9
[ 그림 1-54 ] 배기통 이탈	19
[ 그림 1-55 ] 배기통 처짐	19
[ 그림 1-56 ] 배기통 이탈	19
[ 그림 1-57 ] 배기통 설치 불량	9
[ 그림 1-58 ] 용기자동이탈식 안전장치가 장착된 거버너	321
[ 그림 1-59 ] 용기자동이탈식 안전장치 (✓ : 용기이탈레버)	321
[ 그림 1-60 ] 과대조리기구 사용에 의한 용기파열	321
[ 그림 1-61 ] 파열된 접합용기	3
[ 그림 1-62 ] 급격한 압력상승으로 거버너 파손	321
[ 그림 1-63 ] 압력상승에 의한 용기팽창 (RVR 설치 접합용기)	3 2 1
[ 그림 2-1 ] 분진폭발 메커니즘	6
[ 그림 2-2 ] 연쇄반응에서 분기에 의한 활성기의 증가와 반응의 가속상태	3 5 1
[ 그림 2-3 ] 기본반응의 에너지 변화	5
[ 그림 2-4 ] 분자연소열과 폭발하한계와의 관계	651
[ 그림 2-5 ] 인화성 액체의 증기압곡선 및 인화점	161
[ 그림 2-6 ] 지방족 탄화수의 분자 내 탄소원자수와 필요 산소원자수와의 관계	6 1
[ 그림 2-7 ] 메탄-산소-질소계의 대기압, 26에서의 폭발범위도	9 6 1
[ 그림 2-8 ] 메탄-산소-질소계의 대기압 26에서의 폭발범위도	9 6 1
[ 그림 2-9 ] 천연가스-질소-공기, ethane-질소-공기 및 propane-질소-공기혼합물의 26°C에서, 화염전파에 필요한 최소산소량에 미치는 압력의 영향	071
[ 그림 2-10 ] 폭발하한계에서 압력의 영향(CO:공기)	271
[ 그림 2-11 ] 압력과 폭발하한계 (Ethylene-공기)	3 7 1

# Contents | 목차

[ 그림 2-12 ] 압력과 폭발하한계 (Ethylene-공기)	371
[ 그림 2-13 ] 불활성물질의 첨가에 따른 메탄의 공기 중 연소범위 변화 (25°C, 대기압)	174
[ 그림 4-1 ] 확산불꽃-Fick's Law	30
[ 그림 4-2 ] 촛불의 확산불꽃	8
[ 그림 4-3 ] 난류확산 불꽃	2
[ 그림 4-4 ] 일반 가구가 배치된 실내연소 과정	352
[ 그림 4-5 ] 시작(점화와 자유연소)단계	452
[ 그림 4-6 ] 성장단계	5
[ 그림 4-7 ] 플래시오버	26
[ 그림 4-8 ] 플래시오버이후 단계	72
[ 그림 4-9 ] 훈소사례	9
[ 그림 4-10 ] 훈소과정	0
[ 그림 4-11 ] 기류에 따른 훈소속도	62
[ 그림 4-12 ] 담배연소	8
[ 그림 4-13 ] 담배가 우레탄폼에 있을 때 수평적인 탄화가 되나 지속적인 연소 없으며 면으로 턴이 덮여 있으면 지속적인 연소될 수 있음.	62
[ 그림 4-14 ] 자연발화하기 쉬운 가연물 배치 사례	962
[ 그림 4-15 ] 산소용접	2
[ 그림 4-16 ] 전기용접	2
[ 그림 4-17 ] 촛불 연소(온도분포)	472
[ 그림 5-1 ] 서울 홍제동 주택 정신이상자의 방화('01.3.4 )	338
[ 그림 5-2 ] 대구지하철 방화 전동차('03.2.18)	48
[ 그림 5-3 ] 창문 파괴 후 차량방화 재현 실험	538
[ 그림 5-4 ] 살인을 은폐하기 위한 방화	638
[ 그림 5-5 ] 시위 중 화염병 투척에 의한 방화	638



[ 그림 5-6 ] 경기여자기술학원 기숙사 방화('95.8.21)	78
[ 그림 5-7 ] 극우단체에 의한 방화 시위	88
[ 그림 5-8 ] 인천 히트노래방 화재(시너와 석유 불장난)	803
[ 그림 5-9 ] 승례문 화재 현장('08.2.10)	10
[ 그림 5-10 ] 인화물을 촉진제로 사용한 방화	313
[ 그림 5-11 ] 방화현장에서 소방·경찰 합동 감식	3
[ 그림 5-12 ] 가족불화로 다툼 후 옥상에서 분신자살	423
[ 그림 5-13 ] 유류 방화 연소 잔류물(침구류)	523
[ 그림 5-14 ] 현장에서 발견된 방화 자살자	53
[ 그림 5-15 ] 화재현장에서 발견되는 술병	63
[ 그림 5-16 ] 유류 방화 현장의 급격한 연소흔적	73
[ 그림 5-17 ] 촉진제로 사용한 유류용기	83
[ 그림 5-18 ] 영국에서 화재조사건을 이용한 유증 감식	823
[ 그림 5-19 ] 휘발유 살포 연소 후 남는 흔적	93
[ 그림 5-20 ] 시트 위 화장지에 직접 방화 재현	133
[ 그림 5-21 ] 문짝과 뒤 차체의 연소 불연속됨	233
[ 그림 5-22 ] 도어록 조사 시 열림 상태 확인	23
[ 그림 5-23 ] 인위적으로 창문을 파괴한 돌	333
[ 그림 5-24 ] 현장에서 발견되는 유류용기	433
[ 그림 5-25 ] 전체적인 화재현장 관찰	533
[ 그림 5-26 ] 도화선으로 주택 방화 사례	633
[ 그림 5-27 ] 시너(Thinner) 살포 후 방화한 소파	633
[ 그림 5-28 ] 가스 크로마토그래피	33
[ 그림 5-29 ] 석유류 감지관	3
[ 그림 5-30 ] 비닐장판 유류 살포, 직접 착화 방화	043
[ 그림 5-31 ] 차량시트 가연물에 직접 착화	143



# Contents | 목차

---

[ 그림 5-32 ] 적재물 제거후 잔존연소잔류물	243
[ 그림 5-33 ] 장관위 신문지에 직접 착화	243
[ 그림 5-34 ] 외력 충격 후 식별되는 Ripple Marks	343
[ 그림 5-35 ] 전기 발열체위 의류착화물	443
[ 그림 5-36 ] 화재현장에서 식별되는 양초 잔해	543
[ 그림 5-37 ] 휘발유통에 점화장치 부착 폭발	743
[ 그림 5-38 ] 헤어드라이기를 이용한 전기위장 화재 재현	943
[ 그림 5-39 ] 주택 부위에 방화	<b>5</b>
[ 그림 5-40 ] 쓰레기 더미에 방화	<b>5</b>
[ 그림 5-41 ] 병실 내 침대에 방화	<b>6</b>
[ 그림 5-42 ] 오토바이 방화	<b>6</b>
[ 그림 5-43 ] 점포 앞 자동판매기에 방화	73
[ 그림 5-44 ] 길가에 설치된 우체통에 방화	73
[ 그림 5-45 ] 교실 내 검도의류에 방화	83
[ 그림 5-46 ] 호텔의 객실 침대에 방화	83
[ 그림 5-47 ] 발화장치1	<b>0</b>
[ 그림 5-48 ] 발화장치2	<b>0</b>
[ 그림 5-49 ] 양초 발화 실험(점화 1시간23분 후 발화)	163
[ 그림 5-50 ] 양초와 등유를 적신 신문지 방화 재현(점화 1시간42분 경과 후 발화)	163
[ 그림 5-51 ] 모기향으로 착화시킨 차량방화 재현	263
[ 그림 5-52 ] 모기향 발화 실험 (점화 7시간30분 후 발화)	263
[ 그림 5-53 ] 성냥개비 발화 실험(점화 14분10초 후 발화)	363
[ 그림 5-54 ] 성냥과 담배 발화 실험 (점화14분 10초 후 발화)	363
[ 그림 5-55 ] 담뱃불 발화 실험 (점화 14분 10초 후 발화)	463
[ 그림 5-56 ] 스토브 과열에 의한 발화 실험	333
[ 그림 5-57 ] 성냥식 화염병	<b>6</b>



[ 그림 5-58 ] 직화식(直火式) 화염병	663
[ 그림 5-59 ] 가솔린 실험 (점화 후 5초 경과 발화)	763
[ 그림 5-60 ] 벤젠 비닐봉지 실험 (점화 후 15초 경과)	763



화재조사실무 V



# 제1편 가스화재감식

제1장 가스의 이해

제2장 가스설비의 이해

제3장 가스폭발화재 조사

제4장 가스사고 통계 현황

# 1 가스의 이해

가스의  
이해

- 학습 목표**
- 01 위험물의 성질을 숙지하여 감식활동에 응용할 수 있다.
  - 02 화학반응으로 일어날 수 있는 현상을 이해한다.
  - 03 자연발화의 조건들을 숙지한다.
  - 04 석유화학제품과 플라스틱재료의 이동(異同)은 무엇인지 이해한다.

LP가스는 1964년 대한석유공사 울산공장에서 생산하기 시작하여 일반가정에 보급되었고, 도시가스는 80년대 초부터 본격적으로 도입되어 지금에 와서는 국가경제 및 국민생활에 없어서는 안 될 필수연료로 자리 잡게 되었다.

가정 연료의 변천을 보면 다음과 같다.

나무, 목재 > 연탄 > 석유 > 가스

가스는 사용이 편리하고 깨끗한 고급에너지원으로서 국민들의 선호도가 계속적으로 증대되고 있으며 이에 가스의 보급도 급속도로 확대 되고 있다. 그런 반면 사고가 발생할 경우 막대한 피해를 줄 수 있는 위험성을 가지고 있다.

가스화재를 조사하고, 사고현장에서의 안전 확보 및 신속한 조치를 위해서는 가스에 대한 물리적 및 화학적 성질에 대하여 알고 있어야 한다.

## 제1절 가스의 기초

### 1. 고압가스의 분류

고압가스는 취급·저장하는 상태에 따라 압축가스·액화가스·용해가스로, 연소성에 따라 가연성·조연성·불연성으로, 기타 독성가스 등으로 다음과 같이 분류한다.



[ 표 1-1 ] 고압가스의 분류

고압가스의 분류		고압가스의 종류
상 태	압축가스	산소, 수소, 질소, 아르곤, 메탄 등
	액화가스	액화석유가스(LPG), 암모니아, 이산화탄소, 액화산소, 액화질소 등
	용해가스	아세틸렌
연 소 성	가연성 가스	수소, 암모니아, 액화석유가스, 아세틸렌 등 고압가스안전관리법 시행규칙 제2조 제1항 제1호에 명시된 가스 등
	조연성 가스	산소, 공기, 염소 등
	불연성 가스	질소, 이산화탄소, 아르곤, 헬륨 등
독 성	독성 가스	염소, 일산화탄소, 아황산가스, 암모니아, 산화에틸렌, 포스겐 등 고압가스안전관리법 시행규칙 제2조 제1항 제2호에 명시된 가스 등

### 가. 압축가스

압축가스는 수소(H<sub>2</sub>), 산소(O<sub>2</sub>), 질소(N<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>)과 같이 상태변화 없이 압축 저장하는 가스를 말한다. 판매할 목적으로 용기에 충전할 때, 이들 압축가스의 용기내의 압력은 약 11.8 MPa 이상으로서 저장이나 사용 목적에 따라 다르다.

### 나. 액화가스

액화가스는 프로판(C<sub>3</sub>H<sub>8</sub>), 염소(Cl<sub>2</sub>), 암모니아(NH<sub>3</sub>), 탄산가스(CO<sub>2</sub>), 산화에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) 등과 같이 상온에서 압축하면 쉽게 액화되는 가스로서, 용기 내에서는 액체상태로 저장되어 있다.

### 다. 용해가스

용해가스는 아세틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)을 예로 들 수 있으며, 매우 특별한 경우로서 압축하면 분해·폭발하는 성질 때문에 단독으로 압축하지 못하고, 용기에 다공물질의 고체를 충전한 다음, 아세톤과 같은 용제를 주입하여 이것에 아세틸렌을 기체 상태로 압축한 것을 말한다.

### 라. 가연성가스

가연성가스는 프로판, 일산화탄소(CO), 석탄가스, 수소, 아세틸렌과 같이 공기(산소)와 혼합하면 빛과 열을 내면서 연소하는 가스를 말한다. 암모니아의 경우 연소하기 어려운 가스이나 조건에 따라서 연소하므로 역시 가연성가스로 취급된다.

가연성가스를 분류하는 법적인 규정은 다음과 같다.

- 1) 폭발한계(연소범위)의 하한이 10% 이하인 것
- 2) 폭발한계의 상한과 하한의 차가 20% 이상의 것

※ 고압가스안전관리법 시행규칙(제2조 제1항 제1호)참조

#### 마. 조연성가스

조연성가스는 산소, 공기 등과 같이 다른 가연성물질과 혼합되었을 때 폭발이나 연소가 일어날 수 있도록 도움을 주는 가스를 말한다.

#### 바. 불연성가스

불연성가스는 질소, 아르곤, 탄산가스 등과 같이 스스로 연소하지 못하며, 다른 물질을 연소시키는 성질도 갖지 않는 가스, 즉 연소와 무관한 가스이다.

#### 사. 독성가스

독성가스는 인체에 유해성이 있는 가스를 말하며, 법적으로 허용농도가 200ppm이 하인 가스이다. 예로는 연탄사고의 주범인 일산화탄소(CO, 50ppm), 암모니아(25ppm), 염소(1ppm), 아황산가스(5ppm) 등이 있다.

##### 1) 독성가스 허용농도

###### 가) 개요

TLV는 화학물질의 허용농도로 작업자들이 평상 시 작업할 때에 공기 중의 농도가 작업자에게 큰 영향을 미치지 않는 정도를 나타낸다. TLV(Threshold Limit Values)값은 작업자가 하루에 8시간, 일주일에 5일 근무하는 것을 기준으로 하여 만든 값이다. TLV값들은 ppm, mg/m<sup>3</sup>으로 보고되며 분진의 경우에는 mg/m<sup>3</sup> 또는 mppcf로 보고된다. TLV는 보통 최대허용농도(MAC)로 불리기도 한다. 간단히 정의하면 허용농도란 건강한 성인 남자가 그 분위기에서 하루 8시간 작업을 하여도 건강상 지장이 없는 독성가스의 농도를 말하며, 쓰이는 단위로는 ppm(백만분의 일)이 사용된다. <단위 : 1ppm = 1/백만(1%=10000ppm) / 1ppb = 1/10억 / 1ppm = 1000ppb>

###### 나) 종류

TLV-TWA(Time Weighted Average / 시간 가중 허용농도), STEL(Short



Time Exposure Limit / 단시간 노출 허용농도), TLV-C(Ceiling / 최고 허용농도) 등 3가지 형태로 나눈다.

- ① TLV-TWA : 근로자가 정상근무 할 경우에 근로자에게 노출되어도 아무런 나쁜 영향을 주지 않는 최고 평균 농도 값
- ② TLV-STEL : 짧은 시간에 노출될 수 있는 최고 허용농도로 근로자가 15분 노출되어도 증상이 나타나지 않는 허용농도
- ③ TLV-C : 최고 허용한계농도로 단 한순간이라도 초과하지 않아야 하는 농도

다) 적용

미국 ACGIH에서는 여러 가지 화학물질의 TLV를 설정해 놓고 있는데 이를 상대적 독성정도나 공기오염의 지표, 독성물에 대한 노출영향을 평하는데 사용하지 말아야 한다고 지적하고 있다. 국내(노동부)에서는 ACGIH의 TLV기준을 대부분 받아들여 산업안전보건법 제39조 규정에 의거 근로자의 건강장해를 유발하는 화학물질 및 물리적 인자의 노출기준을 정하여 고시하고 있으며, 다만 국내직업병과 관련하여 국내의 자료가 있는 특별한 물질에 대해서는 별도로 그 기준을 설정하고 있다.

라) 용어정의

- ① TLV(Threshold Limit Values) : 유독가스 등이 공기중에 존재하는 작업장에서 1일 8시간의 작업을 매일 계속하여도 건강에 이상이 없는 정도
- ② LC50 (Lethal Concentration)

한 무리의 실험동물을 50% 죽이게 하는 독성물질의 농도를 말한다. 균일하다고 생각되는 모집단 동물의 반수를 사망하게 하는 공기중의 가스농도 및 액체중의 물질의 농도이다. 즉 50%의 치사농도로 반수치사농도라고 하며, LD50% (50% 치사량)과 같은 개념으로 쓰이기도 한다.

반수치사농도란 흡입독성 및 물고기 등을 이용한 독성실험에서 실험대상 생물의 50%를 죽이는 농도를 말하며, 보통 mg/L 또는 ppm으로 표시한다.

- ③ LD50 과 LC50 용어

어떤 약품의 안전성 평가나 독극물의 위험성 판단을 위해서는 쥐 등과 같은 시험 동물을 사용하여 시험을 하게 된다. 이 때 사용하는 용어는 LD50과 LC50 등이 있다. 독극물의 투여량에 대한 시험생물의 반응을 치사율로 나타낼 수 있을 때의 투여량을 치사량이라 하고 영어로 Lethal Dose : LD 라 한다. LD 뒤에

붙어 있는 50이라는 숫자는 시험생물의 50%가 죽게 되는 독물의 투여량을 말한다. 편 LC50 에서 LC는 Lethal Concentration 의 약자로 치사농도를 의미한다. 물론 50이라는 숫자는 시험동물의 50%가 죽는 농도이다. LC 나 LD 뒤에 붙는 숫자는 시험생물에 독물을 투여 했을 때 투여량이나 투여농도에 따라 사망하는 비율을 나타낸다.

따라서 독물시험결과 LC50이나 LD50의 숫자가 낮은 아주 적은 량이나 농도에서도 시험동물의 50%가 사망한다는 뜻이므로 낮을수록 독성이 강한 물질이라 할 수 있다.

## 2. 폭발범위

가연성가스는 산소와 같은 조연성가스가 있어야 연소나 폭발로 이어질 수 있다. 따라서 순수한 천연가스나 LP가스는 점화원이 있어도 연소나 폭발이 일어나지 않는다. 그러나 이러한 가연성가스가 조연성가스와 적당히 혼합되면 연소 폭발이 일어날 수 있는데, 이 범위를 연소범위, 연소한계, 폭발범위라고 한다.

이 범위(한계)는 공기와 가연성가스의 혼합물 중의 가연성가스의 부피(용량)%로 표시되며, 연소할 수 있는 가장 높은 농도범위를 상한이라 하며, 최저농도를 하한이라 한다.

가연성가스의 연소범위를 보면 다음과 같다.

[ 표 1-2 ] 연소범위

가스명	연소범위(용량%)		가스명	폭발범위(용량%)	
	하 한	상 한		하 한	상 한
프로판	2.1	9.5	메 탄	5	15
부 탄	1.8	8.4	일산화탄소	12.5	74
수 소	4	75	황화수소	4.3	45
아세틸렌	2.5	81	시아나화수소	6	41
암모니아	15	28	산화에틸렌	3.0	80

우리가 주로 사용하는 천연가스와 액화석유가스의 주성분의 폭발범위를 보면, 메탄의 경우 5~15% 프로판은 2.1~9.5% 부탄은 1.8~8.4%이다. 이 경우 연소범위를 보면 메탄의 경우 하한이 다른 가스와 비교하면 높은 쪽에 속하고 반면에 프로판과 부탄의 경우는 하한이 낮은 쪽에 속한다. 하한이 낮을 경우 가스가 조금만 누출되어도 연소나 폭발이 쉽게 일어날 수 있으며 하한이 높을 경우 많은 양의 가스가 누출되어야 연소나 폭발이 일어날 수



있다. 다시 말해 프로판이나 부탄의 경우는 연소범위가 낮아 연소나 폭발이 자주 일어날 수 있으나 그 피해범위가 좁다는 것을 뜻하며 메탄의 하한이 높아 프로판이나 부탄보다 연소나 폭발은 자주 일어나지 않으나 피해범위는 크다는 것이다.

### 3. 압력

가. 압력의 정의 : 용기나 관등의 벽에 수직으로 작용하고 있는 힘.

$$\frac{\text{힘(무게)}}{\text{면적}} \quad \text{예) } kg/cm^2, lb/\epsilon^2, MPa, kPa$$

나. 압력의 단위 및 종류

각 분야 및 나라마다 여러 가지가 사용되고 있다. 현재 사용되고 있는 압력의 단위는 다음과 같다.

[ 표 1-3 ] 압력단위와 수은주

기압(atm)	kg/cm <sup>2</sup>	수은주(mmHg)	수주(mH <sub>2</sub> O)
1	1.0332	760	10.332
0.968	1	735.7	10.00

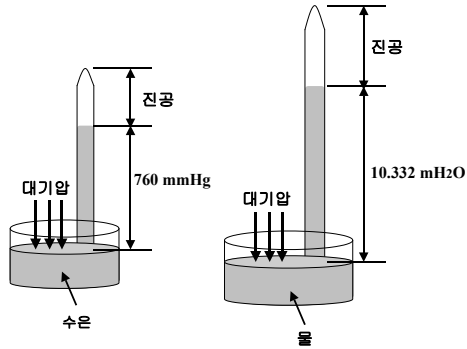
지구 중심에서 끌어 당기 힘, 즉 중력에 의해 공기분자들이 모여 지구주위에는 대기압(공기가 가지는 압력)이 형성되어 있다. 이러한 대기압이 기준이 되는 압력을 기압이라 하며 단위는 atm이 사용되고 있다.

이러한 대기압을 이용해 처음으로 사용한 압력이 수은주이며 같은 원리를 이용해 수주를 측정하였다.

1

[ 그림 1-1 ] 대기압과 수은주

가스의 이해

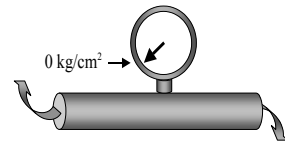


그림에서 보느냐와 같이 공기가 누르는 힘(1atm)에 의해 수은이 올라간 높이를 수은주로 표기한다. 위의 실험을 토리첼리(torricelli)의 실험이라 하며 이 실험을 통해 공기가 누르는 1atm의 힘을 수은이 올라간 높이로 환산할 수 있다.

일반적으로 사용되는 압력계는 공기 중에서 압력을 “0”으로 놓고 압력을 측정한다. 예를 들어 그림과 같이 배관이 공기 중에 관통된 경우 압력계를 보면 0kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 표시한다.

이렇게 공기의 압력을 “0kg/cm<sup>2</sup>”으로 하고 측정하는 압력을 게이지압력이라 하며, 공기의 압력을 “1.0332kg/cm<sup>2</sup>로 놓고 측정하는 압력을 절대압력이라 한다. 결론적으로 게이지압력은 대기압이 빠진 압력이므로 게이지압력에 대기압을 더한 압력이 전체적인 압력인 절대압력이 된다.

[ 그림 1-2 ] 절대압력



$$\text{절대압력} = \text{대기압} + \text{게이지압력}$$

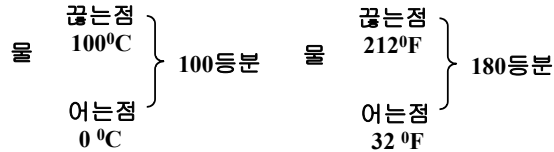
현재 각 실무분야에서는 대부분 게이지압력을 사용하며 절대압력은 학문분야에 사용된다. 최근에는 압력단위를 국제표준화단위(SI Unit : The International System of Units)규격에 따라 MPa, kPa로 표시하고 있으며, 1MPa은 약 10.197kg/cm<sup>2</sup> 이나 10kg/cm<sup>2</sup>으로 표시한다.

※ 1kg/cm<sup>2</sup> = 98066.5Pa = 98.0665kPa = 0.0980665MPa ≈ 100kPa ≈ 0.1MPa



## 4. 온도

일반적으로 사용되는 압력에는 섭씨온도(°C)와 화씨온도(°F)가 사용된다.



위의 그림과 같이 섭씨온도의 경우는 물의 끓는 점과 어는점을 100등분하여 끓는 점을 100°C 어는점을 0°C로 정해 사용하는 온도이고 화씨온도의 경우는 물의 끓는 점과 어는점을 180등분하여 끓는 점을 212°F 어는점을 32°F로 정해 사용하는 온도이다.

섭씨온도와 화씨온도의 환산 값을 보면 다음과 같다.

$$^{\circ}F = \frac{9}{5}^{\circ}C + 32, \quad ^{\circ}C = \frac{5}{9}(^{\circ}F - 32)$$

## 5. 비중

### 가. 가스비중

가스비중의 기준이 되는 물질은 공기이며 가스의 무게와 공기의 무게를 비교한 값이 비중이 된다. 정의를 보면 기체의 질량과 그 기체와 같은 조건·체적의 공기질량과의 무게 비를 뜻하며 일반적으로 표준상태(0°C, 1atm)에서 기체와 공기를 비교한다. 이때 공기의 기준부피(22.4 L, 1mol)의 질량은 29g으로 한다.

비중을 구하는 수식을 보면 다음과 같으며 예를 들어 메탄(CH<sub>4</sub>)의 비중을 구해보면 약 0.55임을 알 수 있다. 여기서 메탄의 무게는 16g이다.

$$\frac{\text{가스의무게}}{\text{공기의무게}} \Rightarrow \frac{16g}{29g} = 0.55$$

위와 같이 비중을 구할 수 있으며 메탄의 비중 0.55가 뜻하는 것은 공기와 무게를 비교했을 때 공기의 0.55배 즉, 공기보다 가볍다는 뜻이다.

### 나. 액비중

액체의 비중을 액비중이라 부르며 기준이 되는 물질은 4°C의 물이다. 4°C의 물 1

$cm^3$ 는 질량이 1g이기 때문에 밀도의 단위는  $g/cm^3$ 이나  $kg/\ell$ 로 할 경우 밀도의 값과 비중의 값이 같게 된다.

가스의  
이해

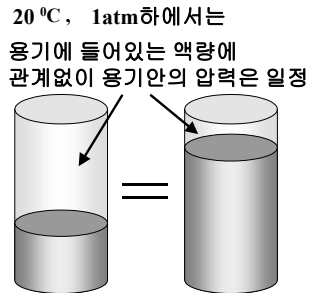
## 6. 증기압

투명한 내압용기를 진공으로 하여 액상의 액화석유가스를 넣어 일정온도에서 밀폐시키면 액체의 일부는 기화되고, 어느 정도 압력에 이르면 더 이상 기화가 일어나지 않게 된다. 이 때 액체 상태로 유지하고 있는 압력을 증기압 또는 포화 증기압이라고 하며, 동일성분·동일 온도라면 용기에 들어있는 액체의 양과 관계없이 압력은 일정하게 유지된다. 증기압은 액체의 종류와 온도에 따라 다르며, 같은 물질일 경우 온도가 일정하다면 용기에 들어있는 액체의 양과 관계없이 압력은 일정하게 된다.

### ✓ 증기압의 원리

뚜껑이 없는 용기에 액상의 액화석유가스를 넣으면 액상의 증기압은 증발하기 시작하게 되어 분자가 대기 중으로 날아가 버린 액상의 액화석유가스는 용기에 남아있지 않게 된다. 그러나 뚜껑이 있는 용기에 액상의 액화석유가스를 넣고 온도를 일정하게 유지하면 액체상태의 액화석유가스가 일부 증발하여 기체가 되어 용기내의 공간을 채우고 일정한 압력을 갖게 된다. 용기내의 액화석유가스압력은 결국 이 가스가 갖는 압력이며 이 압력이 상부로부터 액면을 눌러 액체상태의 액화석유가스는 더 이상 증발하지 못하고 그대로 액체상태를 유지하게 된다.

### [ 그림 1-3 ] 증기압의 원리(1)

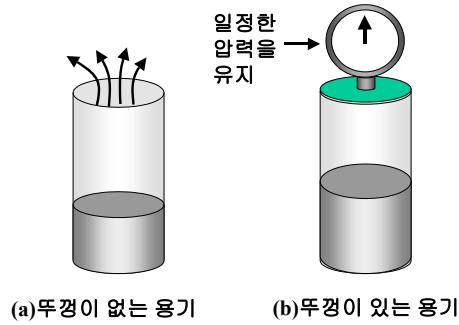


용기밸브를 열어 용기내 상부공간을 채우고 있는 가스의 일부를 사용하면, 그 공간부분의 가스량이 감소하기 때문에 압력이 낮아진다. 그 결과 액면에 가해지는 압력도 감소되어 액체상태의 액화석유가스는 다시 증발하여 가스를 발생하게 된다. 용기밸브를 닫으면 가스



가 증가하여 압력이 상승하고 결국 증발이 정지되어 일정한 압력을 유지하게 된다.

[ 그림 1-4 ] 증기압의 원리(2)



[ 표 1-4 ] 프로판, 부탄의 온도에 따른 증기압(게이지압력)

온도(°C)		0	10	20	30	40
증기압 kg/cm <sup>2</sup>	프로판	3.9	5.4	7.4	9.5	12.7
	부탄	0	0.4	1.1	1.8	2.8

## 7. 액화가스의 부피팽창

모든 물질은 온도가 높아지면 부피가 커지고 반대로 온도가 내려가면 부피가 작아진다. 고체의 경우 증감하는 부피의 크기 작지만 액체나 기체의 경우는 증감하는 부피의 크기가 크다.

일반적으로 모든 물질이 위의 법칙에 따르지만, 한 가지 예외 물질이 있다. 물은 0°C에서 4°C까지 온도가 상승하게 되면 반대로 그 부피가 작아지고, 4°C를 넘어 온도가 높아지면 그 부피는 커지게 된다.

LPG의 예를 들어보면 다음 표와 같다.

[ 표 1-5 ] 액화석유가스의 온도 증가에 따른 액의 부피팽창

온도(°C)	-15	0	15	30	40	60
프로판	93.5	95.8	100	105.0	108.3	119.3
부탄	94.3	97.2	100	102.8	104.7	110.3

### ✓ 보일·샤를의 법칙

“일정량의 기체의 부피는 압력에 반비례하고 절대온도에 비례한다.”

이것을 보일-샤를의 법칙이라고 하며, 이를 수식으로 나타내면 다음과 같다.

$$\frac{PV}{T} = K(\text{일정})$$

따라서, 압력이  $P_1$ 이고 절대온도가  $T_1$ 일 때 부피가  $V_1$ 인 일정량의 기체가 압력이  $P_2$ , 절대온도가  $T_2$ 로 바뀌었을 때 부피가  $V_2$ 이었다면, 이들 사이에는 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$\frac{P_1 V_1}{T_1} = \frac{P_2 V_2}{T_2}$$

### ✓ 증발잠열

가스의 경우 빠른 속도로 소비하게 되면 용기의 표면에 이슬이 맺히게 된다. 이것은 가스가 증발(기화 : 액체에서 기체로 됨)하면서 주위로부터 열을 빼앗아 액체상태에서 기체상태로 상변화하는데 필요한 열을 용기에서 빼앗기 때문이다. 이렇게 물질의 상태변화에 사용되는 열을 잠열이라 하며, 액체에서 기체로 변화하는 데 필요한 열을 기화열 또는 증발잠열이라고 한다.

실생활에서 쉽게 예를 들어보면, 더운 여름에 뜰에 물을 뿌리면 시원하게 되는 것과 같은 현상이며, 용기 표면에 이슬이 맺히는 것은 더운 여름날 컵의 표면에 이슬이 맺히는 것과 같은 현상이다.

액화 프로판 1kg은 증발하면서 주위로부터 102kcal의 열을 빼앗아 가게 되는데 이것을 프로판의 증발잠열이라고 한다.



## 제2절 가스별 특성

공업용 또는 일상생활에 사용되고 있는 가스는 여러 종류이며, 근래에 와서 과학의 발달과 더불어 급속히 증가하고 있다. 이러한 가스들은 거의 화학공업을 통해서 제조되고 있으며, 그 용도는 첨단기술의 발달과 함께 일반적으로 사용해진 gas와 더불어 사용되는 분야의 폭이 넓어지고 있다. 특히 LNG(Liquefied Natural Gas : 액화천연가스)와 LPG(Liquefied Petroleum Gas : 액화석유가스)는 우리들의 일상생활에서 주연료로 급부상하였고 그에 따른 사고 및 재해의 범위 또한 일반 가정에까지 미치게 되었다. 가스는 압력이 높은 상태에서 사용되므로 사고의 위험을 항상 안고 있으며 고압가스를 취급하는 사람은 자기가 취급하는 gas에 대해서 성질과 용도 등을 철저히 숙지함으로써 사고와 재해의 예방을 도모함과 동시에 재해가 발생하지 않도록 하여야 하므로 화재조사시 공급자 및 사용자의 의무사항 준수여부도 확인하여야 한다.

본 단원에서는 각 가스의 성질·용도·폭발성·인화성 및 인체에 미치는 영향 등을 중점적으로 설명하였으며, 최근에 사용이 늘어나고 있는 맹독성 희귀gas에 대해서도 간단히 설명하였다.

### 1. LNG (Liquefied Natural Gas, 액화천연가스)

현재 천연gas는 도시를 중심으로 배관을 통해 공급되는 도시gas의 주성분으로 사용되고 있으며, 그 사용량은 점차적으로 확대되고 있는 실정이다. 천연gas는 지하에서 발생하는 탄화수소를 주성분( $\text{CH}_4$ )으로 한 가연성gas의 총칭이다.

천연gas는 메탄( $\text{CH}_4$ )gas가 주성분이고 약간의 에탄 등의 경질 파라핀계 탄화수소(탄소와 수소의 화합물을 총칭함)를 함유하고 있다. 천연gas를 액화한 것을 LNG라 하며 우리나라의 경우 천연gas전이 없기 때문에 소비되는 gas 전량을 외국의 수입에 의존하고 있다. 천연gas는 표준상태( $0^\circ\text{C}$ , 1atm)에서 메탄 1kg당 부피는 약  $1.4\text{m}^3$ 이나, 액상에서는 약  $2.4\text{L}$ ( $-162^\circ\text{C}$ , 1atm)로 부피의 차이는 600배 정도의 차이가 있다. 다시 말해 가스상태에서의 천연gas를 액화하면 그 부피가 1/600로 줄어든다는 것이다. 이와 같기 때문에 천연gas를 외국에서 수입해올 경우 액화된 상태로 운반하며 국내에 저장할 경우에도 LNG저장탱크에 액화된 상태로 저장해 사용한다.

순수한 천연gas는 주성분인 메탄 외에도 황화수소, 이산화탄소 또는 부탄, 펜탄, 습기, 먼지 등이 함유되어 있기 때문에 전처리 공정을 통해 유황, 습기, 먼지 등을 제거한다.

# 1

## 가. 성질

가스의  
이해

비점이 약  $-162^{\circ}\text{C}$ 이며 무색의 투명한 액체이고 비점이하의 저온에서는 단열용기에 저장할 수 있다. 액화천연가스로부터 기화한 가스는 무색·무취로 약  $-113^{\circ}\text{C}$  이하에서는 건조된 공기보다 무거우나 그이상의 온도에서는 가볍다. 공기와의 무게비교치인 비중은 약 0.625 정도이다.

도시가스가 누출되었을 경우 이것을 초기에 발견하여 응급조치를 하는 것이 폭발사고방지의 조건인데 그 한가지 방법으로 가스를 공급할 때 가스가 누출되었을 때 냄새가 나도록 부취제(附臭劑)를 첨가하는 것이다.

아래의 표와 같이 천연가스의 조성은 산지에 따라 다르며 조성이 틀리기 때문에 비점, 발열량, 비중 등에서도 약간의 차이를 보이고 있다.

[ 표 1-6 ] LNG의 조성

구 분		보르네오산	알라스카산
조 성 (Vol %)	메탄( $\text{CH}_4$ )	88.1	99.8
	에탄( $\text{C}_2\text{H}_6$ )	5.0	0.1
	프로판( $\text{C}_3\text{H}_8$ )	4.9	-
	부탄( $\text{C}_4\text{H}_{10}$ )	1.8	-
	펜탄( $\text{C}_5\text{H}_{12}$ )	0.1	-
	질소( $\text{N}_2$ )	0.1	0.1
액 밀도(g/L)		465	415
비 점( $^{\circ}\text{C}$ , 1atm)		$-160$	$-162$

천연가스의 주성분인 메탄가스의 특성을 보면 다음과 같다.

[ 표 1-7 ] 메탄가스의 특성

구 분	성 질
분 자 량	16
비 중	0.55(공기=1)
비 점	$-162^{\circ}\text{C}$
폭 발 범 위	5~15%



## 나. 용도

천연가스는 황화합물·질소화합물이 함유되어 있지 않고 액화천연가스로부터 기화한 가스는 메탄이 주성분이므로 연료로 사용할 때에는 그을음 등의 발생량이 적으며, 안정된 연소상태를 얻을 수 있다. 주로 쓰이는 곳은 도시가스 연료 및 발전용 연료 외에 일반공업용으로 널리 사용된다.

또한 LNG인수기지의 저장탱크에 액체상태로 저장된 천연가스를 사용자에게 공급하기 위해서는 기화를 시켜 기체상태로 공급을 한다. 이때 기화기에서 천연가스가 액체에서 기체로 상태변화를 하기 위해서는 열(잠열)을 흡수하게 되므로 기화기의 온도가 내려가게 된다. 이때 얻어진 차가운 열은 액화산소·액화질소의 제조, 냉동창고의 냉매 등에 일부 실용화되고 있다.

또한, 메탄올이나 암모니아 등의 화학제품 원료로도 사용되고 있으며 액화천연가스를 고압하에서 기화시킨 후 팽창터빈을 구동시켜 동력으로 회수하는 데에도 사용할 수 있다.

[ 표 1-8 ] 천연가스

구 분	주 요 용 도
연 료	도시가스, 발전용 연료, 공업용 연료
한 냉 이 용	액화산소 및 액화질소의 제조, 냉동창고, 냉동식품, 해수 담수화, 냉각(발전소 물의 냉각), 저온분쇄(자동차 페타이어, 대형폐기물, 플라스틱 등)
화학공업원료	메탄올, 암모니아의 냉각

## 다. 폭발성 및 인화성

액화천연가스로부터 기화된 가스는 공기 또는 산소와 혼합되면 폭발성분위기가 형성되므로 취급에 주의가 필요하며 이 가스가 기화할 때는 기상 및 액상의 조성이 변할 수 있으므로 주의해야 한다.

액화천연가스의 주성분인 메탄은 다른 지방족 탄화수소에 비해서 연소속도가 느리며 최소발화에너지, 발화점 및 폭발하한계 농도가 높다. 그러나 인화폭발의 위험성이 높으므로 누출 및 유출이 안 되도록 특별한 주의를 해야 한다.

액화천연가스가 공기 증으로 누출 및 유출될 경우 일반적으로 온도가 낮은 상태이기 때문에 공기중의 수분과 접하면 수분의 온도가 낮아져 응축현상이 일어나 안개가 발생하므로 이것에 의해 가스 및 액의 누출을 눈으로 쉽게 확인할 수 있다.

## 1

## 라. 인체 및 환경에 미치는 영향

천연가스는 그 자체로는 독성이 없으나 질식성이 있으므로 고농도로 존재할 경우에는 공기중의 산소농도 저하에 의한 질식현상(산소결핍증)에 주의하여야 한다.

현재 우리나라에서도 대기오염 등의 공해가 큰 사회문제로 되고 있다. 대기오염이 발생하는 가장 큰 원인의 하나로 석유가 연소할 때 생기는 유황산화물이나 질소산화물을 들 수 있다. 우리나라에서는 전 에너지의 절반 이상을 석유로 처리하고 있으므로 대기오염이 발생하기 쉬운 환경에 놓여있다. 그러나 천연가스의 경우 연소할 때 나오는 유해물질이 적어, 공해 방지를 위해서도 적합한 연료이다.

가스의  
이해

## 2. LPG (Liquefied Petroleum Gas, 액화석유가스)

## 가. 기본성질

## 1) 기화 및 액화가 쉽다.

상온에서 프로판은 약  $7\text{kg}/\text{cm}^3(0.7\text{MPa})$  부탄은 약  $2\text{kg}/\text{cm}^3(0.2\text{MPa})$  정도로 가압하면 액화된다. 액화된 프로판은 대기중으로 방출시키면 기화되나 부탄의 경우는 겨울철 영하의 온도에서는 기화되기가 어렵고 기화되어도 재 액화될 가능성이 있다.

## 2) 공기보다 무겁고 물보다 가볍다.

프로판은 가스상태일 때 공기보다 약 1.55배 부탄은 약 2.08배 정도 무겁고, 액체일 경우에는 물보다 프로판은 약 0.51배 부탄은 약 0.58배 가볍다. 따라서 사용 중 공기 중으로 누출되면 낮은 부분에 체류하게 되어 점화원에 의한 화재 및 폭발위험성이 있으므로 충분한 통풍 및 환기조치가 있어야 한다.

## 3) 액화하면 부피가 작아진다.

프로판과 부탄은 액화되면 체적이 약 1/250 정도로 줄어들게 되므로 저장, 수송시에 유리하다.

$$44\text{g} : 22.4\text{L} = 500\text{g} : \times\text{L} \therefore 250\text{L}$$

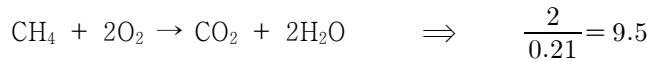
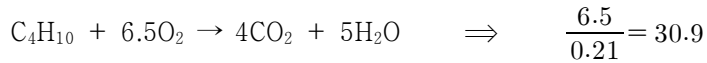
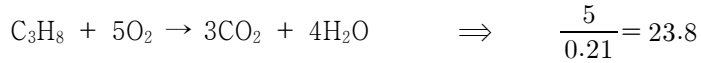
프로판의 경우 표준상태( $0^\circ\text{C}$ ,  $1\text{atm}$ )에서 기체  $1\text{kg}-\text{mol}$ 이 차지하는 부피는  $22.4\text{m}^3$ 이므로  $1\text{kg}$ 당 약  $0.5\text{m}^3$ 의 체적을 갖는다.

$$\frac{1\text{kg}}{22.4\text{kg}} \times 22.4\text{m}^3 = 0.509\text{m}^3$$



4) 연소시 다량의 공기가 필요하다.

완전연소에 필요한 이론공기량은 프로판의 경우 가스 량의 약 24배 부탄의 경우는 약 31배, 메탄의 경우 약 9.5배 정도의 공기량이 필요하다.



충분한 공기량을 공급하지 못하였을 시에는 불완전연소로 인하여 일산화탄소가 발생하여 인체에 해롭다.

5) 발열량 및 청정성이 우수하다.

LPG는 연소시 높은 발열량을 갖는다. 프로판의 경우 24,000kcal/Nm<sup>3</sup> 부탄의 경우는 30,000kcal/Nm<sup>3</sup>이다.

또한 연소생성물은 석유류나 석탄 등의 배기가스에 비해 황화합물이나 이산화화합물 등의 공해요소가 적어 그을음 발생이 적은 청정연료이다.

6) LPG는 고무, 페인트, 테이프 등의 유지류, 천연고무를 녹이는 용해성이 있다.

7) 무색·무취이다.

액화석유가스의 주성분인 프로판과 부탄은 원래 무색·무취이나 가스가 누출되었을 때 냄새로 쉽게 알 수 있도록 하기 위하여 공업용 및 연구용을 제외한 일반 가정용연료와 자동차용의 가스에는 부취제인 메르캅탄을 첨가하고 있다.

※ 부취제 첨가 : 액화석유가스에는 공기중의 혼합비율이 용량으로 1/1,000상태에서 감지할 수 있도록 부취제를 첨가하여 충전하도록 법령에서 규정하고 있다.

1

가스의 이해

[ 표 1-9 ] 탄화수소의 물리화학적 특성표

가스명 특성	메탄	에탄	프로판	n-부탄	i-부탄	n-펜탄	i-펜탄	네오펜탄	에틸렌	프로필렌	부틸렌(부텐)			
											1-부텐	시스-2-부텐	트랜스-2-부텐	i-부텐
분자식	CH <sub>4</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	C <sub>2</sub> H <sub>4</sub>	C <sub>3</sub> H <sub>6</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>	C <sub>4</sub> H <sub>8</sub>
분자량	16.04	30.07	44.09	58.12	58.12	72.15	72.15	72.15	28.05	42.08	56.10			
가스밀도 kg/m <sup>3</sup> 0°C, 1atm	0.7168	1.3562	2.0200	2.5985					1.2604	1.9149	2.503			
가스비중 (공기=1) 0°C, 1atm	0.5544	1.0493	1.562	2.0098					0.9749	1.418	1.936			
액밀도 kg/L	0°C 1atm		0.5282	0.6011	0.5812	0.6452	0.6394	0.6138		0.5456	0.6190			
	20°C, 1atm		0.5005	0.5788	0.5572	0.6262	0.6197	0.5910		0.5139	0.5951	0.6213	0.6042	0.5942
증기압 atm (절대)	0°C	(176)	24	4.9	1.03	1.60	0.16	0.23		40	5.9			1.3
	20°C	(293)	37	8.4	2.00	2.95	0.42	0.62		(60)	9.8			2.5
비점 °C, 1atm	-161.5	-88.6	-42.1	-0.5	-11.7	36.1	27.8	9.5	-103.7	-47.7	-6.3	3.7	0.9	-6.9
임계온도 °C	-82.6	32.3	96.8	152.0	135.0	196.5	187.3	160.6	9.2	91.8	146.4	155		144.7
임계압력 atm(절대)	45.8	48.2	41.9	37.5	36.0	33.3	33.4	31.6	59.7	45.6	39.7	41		39.4
임계밀도 kg/L	0.162	0.203	0.217	0.228	0.221	0.232	0.232	0.218	0.218	0.233	0.238	0.238	0.238	0.234
증발잠열 (비점) kcal/kg	121.9	117.0	101.8	92.09	87.56	85.38	85.38	115.4	115.4	104.6	93.36	99.46	96.94	94.22

나. 용도

- 1) 프로판은 가정용·공업용 연료로 많이 쓰이며 내연기관 연료로도 많이 쓰인다. 또한 옥탄가가 높기 때문에 자동차 연료로 사용되나 자동차의 경우는 부탄을 쓴다.
- 2) 부탄은 상온중 약 2기압에서 액화되기 때문에 고압을 발생할 우려가 있으므로 폴리 카보네이트 등 강도가 높은 플라스틱 용기에 넣어서 라이터의 연료로 사용하고 있다.
- 3) 화학공업용으로서도 중요하며 합성고무 연료인 부타디엔은 n-부탄의 탈수소반응에



의해서 제조되고 있다.

#### 다. 폭발성

액화석유가스는 공기나 산소와 혼합하여 폭발성 혼합가스가 되며 프로판의 폭발범위(연소범위)는 공기 중 2.1~9.5Vol%, 부탄은 1.8~8.4Vol%로서 폭발하한계가 낮고 상온·상압 하에서는 기체로 인화점이 낮아 소량 누출될 경우 바닥에 체류되고 점화원에 인화되어 화재 및 폭발의 위험성이 크므로 취급에 주의하여야 한다.

#### 라. 인화성

액화석유가스는 전기절연성이 높고 유동·여과·분무 시 정전기를 발생하는 성질이 있으며 이러한 정전기가 축적될 수 있는 조건에서는 방전 스파크에 의해 인화폭발의 위험이 있으므로 주의하여야 한다.

#### 마. 액화석유가스의 누출 시 주의

- 1) LPG가 누출되면 공기보다 무거워서 낮은 곳에 고이게 되므로 특히 주의할 것.
- 2) 가스가 누출되었을 때는 부근의 착화원이 될 만한 것은 신속히 치우고 용기밸브, 중간밸브를 잠그고 창문 등을 열어 신속히 환기시킬 것.(방석, 비 등으로 쓸어내는 방법도 효과적임)
- 3) 용기의 안전밸브에서 가스가 누출될 때에는 용기에 물을 뿌려 냉각시킬 것. 이때의 용기가 넘어지지 않도록 주의할 것(용기는 안전한 장소로 이동)
- 4) 용기밸브가 진동·충격에 의하여 누출 시에는 부근의 화기를 멀리하고 즉시 밸브를 잠글 것(용기를 안전한 장소로 이동)
- 5) 용기밸브가 파손되었을 때는 즉시 부근의 화기를 제거하고 감시자를 배치하여 용기 내의 가스가 없어질 때까지 감시할 것.
- 6) 배관에서 누출 시 즉시 앞의 밸브를 잠근 다음 주변의 화기를 멀리하고 환기를 시킨 후 누출부에 대한 수리를 할 것.

## 3. 일반가스

가. 산소(Oxygen : O<sub>2</sub>)

- 산소는 지각(地殼)중에서 가장 다량(약 50%) 존재하는 원소이다.
- 공기 중에 약 21% 함유되어 있고, 생물의 생명과 연료의 연소에 있어서 불가결의 가스이며 폭발사고에도 중요한 관계를 맺고 있다.

## 1) 성질

## 가) 물리적 성질

- 상온에서 무색·무취의 기체이며 물에서는 약간 녹는다.
- 비중은 공기를 1로 할 때 1.11의 무색·무취·무미의 기체이다.
- 영하 183℃에서 액화하며 푸른액체로 된 산소는 비중이 1.13이다

## 나) 화학적 성질

- 화학적으로 활발한 원소이며 희(稀)가스, 할로젠원소, 백금, 금 등의 귀금속 이외의 모든 원소와 직접 화합하여 산화물을 만든다.
- 순산소 중에서는 공기 중에서 보다 더욱 심하게 반응하며, 황, 인, 마그네슘 등은 공기 중에서 보다 더욱 심하게 연소한다.
- 알루미늄선, 철선, 동선 등도 빨갛게 가열하여 산소 중에 넣으면 눈부시게 빛을 내어 연소한다.
- 수소와는 격렬하게 반응하여 폭발하고 물을 생성한다.
- 탄소와 화합하면 이산화탄소와 일산화탄소를 생성한다.
- 산소-수소염(炎)은 2,000~2,500℃의 온도에 달하며 산소-아세틸렌염은 3,500~3,800℃에 달한다.
- 산소는 그 자신 폭발의 위험은 없지만 강한 조연성가스로서 안전상 특별한 주의가 필요하다.
- 기름이나 그리스 같은 가연성물질은 발화 시 산소 중에서 거의 폭발적으로 반응한다.
- 만일 유지류가 부착되어 있을 경우에는 사염화탄소 등의 용제로 세정하고 충분히 건조시킨 다음 사용되어야 한다.



[ 표 1-10 ] 산소의 물리적 특성

구 분	성 질
원 자 량	16
분 자 량	32
비 점	-182.97℃
비 중	1.1(공기 = 1)

## 2) 용도

- 산소는 생명유지와 연소유지의 특성이 있어 치료의 목적으로 질식 상태나 다른 가스에 의한 마취로부터의 소생 등 의료계에 널리 이용되고 있다.
- 산소는 높은 고공비행이나 깊은 바다에 잠수 또는 우주탐사 시 호흡용과 연료원으로 사용된다.
- 산업용으로는 산소제강이나 고로용 산소 등 철강업에 사용되며, 고압용기에 충전되어서 산소-아세틸렌염, 산소-수소염, 산소-프로판염 등으로서 용접이나 절단용으로 쓰이고 있다.
- 인조보석 제조와 로켓 추진의 산화제로 또는 액체산소 폭약 등에도 널리 쓰이고 있다.

## 나. 염소(Chlorine : Cl<sub>2</sub>)

### 1) 성질

- 상온에서 심한 자극적인 냄새가 있는 황록색의 무거운 기체이며 -34℃ 이하로 냉각시키거나 6~8기압의 압력을 가하면 쉽게 액화되므로 액체 상태로 저장해 사용한다.
- 기체일 때 무게는 공기보다 약 2.5배 무겁다.
- 화학적으로 반응성이 풍부하기 때문에 조연성가스로 취급된다.
- 제1차 세계대전시에 살상용 독가스로 사용되었다. : 허용농도 1ppm
- 메탄·에탄 등의 수소가 풍부한 가스와 염소가 혼합되었을 경우 혼합물은 폭발성을 가진다.

[ 표 1-11 ] 염소의 특성

구 분				성 질
원	자	량		35.5
분	자	량		71
비		중		2.5(기체)
				1.4(액체)
비		점		-34℃
허	용	농	도	1ppm

## 2) 용도

- 수돗물의 살균
- 펄프·종이·섬유의 표백
- 공업용수나 하수의 정화제

## 3) 폭발성, 인화성 및 인체에 미치는 영향

- 염소가스와 혼합되어 있는 금속을 가열하면 금속이 연소된다.
- 염소와 아세틸렌이 접촉하게 되면 자연발화의 가능성이 높다.
- 독성가스로서 호흡기에 유해하다.

다. 암모니아(Ammonia : NH<sub>3</sub>)

## 1) 성질

- 상온·상압 하에서 자극이 강한 냄새를 가진 무색의 기체이다.
- 물에 잘 용해된다. (0℃, 1atm에서 1,164배 용해됨)

[ 표 1-12 ] 암모니아의 특성

구 분				성 질
분	자	량		17
비		중		0.59(공기=1)
비		점		-33.4℃
허	용	농	도	25ppm



## 2) 용도

- 질소비료, 황산암모늄 제조
- 나일론, 아민류의 원료
- 흡수식이나 압축식 냉동기의 냉매(무수암모니아)

## 3) 누출검지 및 인체에 미치는 영향

- 연산수용액과 반응하면 흰 연기 발생
- 페놀프탈레인 용액과 반응(무색 → 적색)
- 적색리트머스 시험지와 반응(파란색)
- 독성가스로서 8시간 노출 최대허용치는 25ppm이다.

## 라. 수소(Hydrogen.: H<sub>2</sub>)

### 1) 성질

- 상온에서 무색, 무취, 무미의 기체로 가연성 물질이나 독성은 없다.
- 가장 밀도가 작고 가벼운 기체이다.
- 액체수소는 온도가 극히 낮기 때문에 연성의 금속재료를 쉽게 취화시킨다.
- 산소와 수소의 혼합가스를 연소시키면 2,000℃ 이상의 고온을 얻을 수 있다.
- 고온·고압 하에서 강재 중의 탄소와 반응하여 메탄을 생성수소취화현상을 일으킨다.

[ 표 1-13 ] 수소의 특성

구 분			성 질	
원	자	량	1.008	
분	자	량	2.016	
비		점	-252.8℃	
폭	발	범	위	4~75 (공기 중)

## 2) 용도

- 공업용으로 널리 사용된다.
- 금속의 용접이나 절단에 사용

1

가스의  
이해

- 액체수소의 경우 로켓이나 미사일의 추진용 연료로도 중요하다.

3) 폭발성 및 인체에 미치는 영향

- 염소, 불소와 반응하면 폭발이 일어난다.
- 최소발화에너지가 매우 작아 미세한 정전기나 스파크로도 폭발이 일어날 수 있다.
- 비독성으로 질식제로 작용될 수 있다.

마. 아세틸렌(Acetylene : C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>)

1) 성질

- 3중 결합을 가진 불포화 탄화수소이다.
- 무색의 기체이다.
- 비점과 융점이 거의 비슷하므로 고체 아세틸렌은 용해하지 않고 승화한다.
- 물 1몰에 아세틸렌은 1.1몰(15°C), 아세톤 1몰에 아세틸렌 25몰(15°C)이 녹는다.
- 산소와 함께 연소시키면 3,000°C를 넘는 불꽃을 얻을 수 있다.
- 공기 중에서 발화점이 낮다.
- 압력을 받으면 극히 불안정하며, 1kg/cm<sup>2</sup>(게이지압력) 이상에서는 불꽃, 가열, 마찰 등에 의하여 보다 폭발적으로 자기분해를 일으키고, 수소와 탄소로 분해된다.

[ 표 1-14 ] 아세틸렌의 특성

구 분			성 질
원	자	량	26
비		중	0.91(공기=1)
비		점	-83.8°C
폭	발	범 위	2.1~81.0% (공기 중)

2) 용도

- 산소·아세틸렌염을 이용 금속의 용접 및 절단에 사용된다.
- 아세틸렌·에틸렌의 혼합가스를 직접 고온으로 가열하면 쉽게 분해되어 발열반응을 일으키며 수소가 생성된다.



## 4. 독성가스

### 가. 산화에틸렌( $\text{CH}_2\text{CH}_2\text{O}$ )

#### ○ 물리적 성질

- 녹는 점 :  $-113^\circ\text{C}$
- 끓는 점 :  $-10.4^\circ\text{C}$
- 밀 도 : 1.52(vap)
- 비 중 : 0.8711
- 상 태 : 상온에서는 무색가스 저온 하에서는 액체 상쾌한 향기, 유동성의 중성 액체 특징 있는 에테르 냄새, 고농도에서 자극적 냄새가 난다.
- 기타성질 : 공기보다 5배 정도 무겁다. 기화하면 약 450배 팽창한다.

#### ○ 화학적 성질

- 부식성 : 금속에 대해서는 부식성이 없으며 산화에틸렌이 포함되어 있을 때에는 아세틸라이드를 형성하는 금속(예: 구리)을 사용해서는 안 된다.
- 기타성질 : 액체는 안정하나 증기는 폭발성, 가연성가스

#### ○ 위험성

- 인 화 점 :  $-17.8^\circ\text{C}$
- 발 화 점 :  $429^\circ\text{C}$
- 폭발범위 : 3~100%

- 인체영향 : 낮은 농도일지라도 노출되면 메스꺼움과 구토가 일어난다. 아주 낮은 농도에서 연속적 노출에 의해 후각마비를 일으킨다. 고농도 증기흡입에 의해 마취효과와 함께 기침, 구토를 유발하며 눈과 기도자극에 의해 기관지염, 폐수종으로 발전된다. 피부의 액체접촉은 즉각적인 자극은 없으나 신발이나 옷 등에 묻었을 때 즉시 제거하지 않으면 수포가 생긴다. 눈에 액체가 들어가면 심한 화상을 입게 되고 각막염을 일으키게 되며 피부에 닿게 되면 급속한 증발 때문에 동상이 발생할 수도 있다. 전신독성은 거의 없으나 드물게 두통, 구토, 소화불량, 설사, 임파선염 등이 나타날 수도 있다.

## 1

가스의  
이해

## 나. 시안화수소(HCN)

## ○ 물리적 성질

- 녹는 점 :  $-14^{\circ}\text{C}$
- 끓는 점 :  $26^{\circ}\text{C}$
- 밀 도 : 0.941(vap)
- 비 중 : 0.6932( $16^{\circ}\text{C}$ )
- 용해물질 : 에탄올, 에테르(미량), 물
- 상 태 : 복숭아냄새(약한 아몬드냄새)의 무색기체, 무색액체, 증기는 약간 방향족 푸른색의 액체

## ○ 화학적 성질

- 반응성 : 물, 암모니아수, 수산화나트륨용액에 쉽게 흡수된다. 장기간 저장하면 중합하여 암갈색의 폭발성 고체가 된다.
- 기타성질 : 알칼리와 접촉하면 폭발 가능성이 있으나, 산화성은 없다.

## ○ 위험성

- 인 화 점 :  $-17.8^{\circ}\text{C}$
- 발 화 점 :  $538^{\circ}\text{C}$
- 폭발범위 : 6~41%

## ○ 인체영향 : 독성이 강해 특별한 주의가 필요하다. 다량의 가스를 흡입하면 곧 죽는다. 2~3회 흡입하면 호흡마비를 일으켜 졸도한다. 소량의 경우는 우선 호흡경련 등의 자극증상이 있고 점차 호흡마비로 쓰러진다.

- 삼켰을 경우 : 현기증, 구토, 체온상승, 호흡곤란, 경련 등을 일으키며 사망의 위험이 있다.
- 접촉 : 피부로도 쉽게 흡수되어 중독을 일으킴.
- 눈에 접촉 : 비 자극적이지만 흡수될 경우 독성이 매우 강함. 최소치사량은 공기 1g중 0.2~0.3mg의 농도에서 즉사한다. 시안화수소의 중독은 급속히 나타나지만 치사량 이하의 경우는 회복이 빠르다.
- 단시간복용 : 무의식



- 만성폭로시 : 인체영향이 드물다.
- 저농도 : 무기력, 두통, 메스꺼움, 경련, 구토

#### 다. 아황산가스(SO<sub>2</sub>)

##### ○ 물리적 성질

- 녹는 점 : - 101℃
- 끓는 점 : - 34℃
- 밀 도 : 2.3(vap, air=1)
- 비 중 : 1.46(liq)
- 용해물질 : 물에는 쉽게 녹으며 알코올과 에테르에도 녹음. 환원성이 있음
- 기타성질 : 건조된 아황산가스를 2~3기압으로 압축하면 액화하며 액체 아황산가스는 철, 구리를 부식하지 않으며 냉동용으로 사용 수용액은 아황산을 함유하고 있으며 수분이 있으면 아황산으로 각종색소의 표백작용을 하고 액체는 각종 무기·유기화합물의 용제로 사용한다.

##### ○ 화학적 성질

- 부식성 : 온기가 있으면 금속 등을 부식한다.
- 인체영향 : 아황산가스는 자극성이 심한 가스로 즉시 기도반사 작용을 일으킴과 함께 눈, 코, 및 기도를 강하게 자극시킨다. 냄새는 좋은 경고가 되는데 1ppm 이하에서 식물의 잎에 장애를 주고 사람에게는 감기, 기침을 악화시킨다. 용량비 3~5ppm을 감지할 수 있으며 이전에 맞으로 느낄 수 있다. 대기오염의 주원인이 되고 6~12ppm에서 코·목구멍을 자극하고 그 냄새는 0.3~1ppm에서 검출된다. 8~12ppm의 농도를 흡입하면 목을 자극, 기침, 가슴 조임, 눈물이 나오며 눈이 쭈신다.

#### 라. 염화수소(HCl)

##### ○ 물리적 성질

- 녹는 점 : -114.2℃
- 끓는 점 : -85℃
- 밀 도 : 1.639g/L(0℃, 1기압(vap))

- 비중 : 1.194(liq)
- 용해물질 : 비 이온화용매에는 녹지 않으나 물에는 대단히 잘 녹고 770g/L(20°C, 1기압), 503배(0°C, 1기압) 82.3g/100cc의 비율로 녹는다. 알코올, 에테르에 녹는다.
- 상태 : 순수한 것은 무색투명 또는 담황색 액체로서 자극적인 냄새가 있는 기체이다. 습한 공기 중에서 발연한다.
- 기타성질 : 발연성, 자극성의 액체 110°C에서 물과 공비점 혼합물이 되며 이 경우 염산농도는 20.24%이고 상온에서 방치하여도 변화하지 않는다. 공업용은 염산제이철을 함유하고 있으며 황색이며, 무색 액체이다. 25% 이상의 농도의 것은 발연성을 가지고 있으며 부식성이 강하고 강산성이다. 또, 암모니아(NH<sub>3</sub>)를 만나면 유독성인 백색연무가 발생한다.

## ○ 화학적 성질

- 반응성 : 강산, 금속용해, 크롬산염 등 산화제와 반응하여 염소를 발생
- 부식성 : 인체에 대한 유독성이 강함.
- 기타성질 : 용매로서 사용, 대개의 염화물은 이에 녹지 않으나 염화주석(IV)은 녹는다.(이중에서 이온화하지 않는다) 수소와 염소 혼합기체는 폭발이 가능하며 부식성이 있다.

## ○ 위험성

- 인 화 점 : 염화수소 자체는 폭발성이 없음(금속과 반응해서 수소를 발생하고 이 수소가 공기와 혼합해서 폭발을 일으키는 일이 있다.)
- 폭발범위 : 6~88%
- 혼재금지품 : 화약류, 독물, 방사선물질, 물 또는 공기와 작용하면 위험이 있는 물질, 산화성 물질, 가연성 고체, 유기과산화물

## ○ 인체영향

- 피부접촉 : 염증(가려움, 통증)을 일으킨다.
- 눈 : 시력감퇴 또는 시력상실의 우려가 있으며 결막염을 일으키고 염화수소의 존재 시 오랜 시간 작업하면 치아가 부식된다. 염산을 삼키면 구토, 위통을 느낀다. 진한 염산가스인 경우 들이마시면 기침이 나거나 코나 목에 염증을 유발함. 묽은 염산은 대개 해가 적다고 하지만 장기간 염산의 증기 등에 접하면 치아가 부식되



고 위험성도 따른다. 많은 양을 흡입하면 폐수종으로 사망. 진한 가스나 증기를 흡입하면 인체의 조직을 손상시키고 목의 통증이나 경련을 일으켜 사망하는 수가 있다. 0.15~0.2%의 염산을 함유하고 있는 공기를 흡입하면 수 분내 사망하게 된다. 50~100ppm의 경우에는 1시간, 5~10ppm에서는 수 시간을 견딜 수 있다. 피부나 점막에 부착하면 염증을 일으켜 가벼운 병세나 통증을 느끼고 또 코의 점막이나 이뿌리에 출혈이 있는 수가 있다. 진한 염산을 먹었을 때는 구토나 위통을 일으키고 성인의 경우에는 15~20g에서 사망한다.

#### 마. 이황화탄소( $CS_2$ )

##### ○ 물리적 성질

- 녹는 점 :  $-112^{\circ}C$
- 끓는 점 :  $465^{\circ}C$
- 비 중 : 1.263( $20^{\circ}C$ ), 2.67(vap, air=1)
- 용해물질 : (0.101/100  $H_2O$   $20^{\circ}C$ ) 물에는 잘 녹지 않으며 알코올, 에테르에 용해
- 상 태 : 무색 또는 옅은 황색 휘발성 액체. 보통은 악취(계란 썩은 냄새)를 가지고 있음

##### ○ 화학적 성질

- 반응성 : 저온에도 강한 인화성이 있다. 가열시 폭발할 수도 있고 분해되어 서서히 황색으로 된다. 뜨거운 물체나 불꽃과 접촉 시 분해하여 이산화탄소와 이산화황을 생성한다.
- 기타성질 : 발화점  $100^{\circ}C$ 에서 공기 중에서 대단히 연소하기 쉬우며 이 증기와 공기가 혼합한 것은 폭발성이 있다. 유지, 밀납, 수지, 생고무, 유황, 황린 등을 녹인다. 일광 하에서는 서서히 변질(황색을 띠며 불쾌한 냄새가 증가된다. 가성소오다는 서서히 반응하여 치오탄산염( $Na_2CS_3$ )를 생성한다. 액을 유동하면 정전기로 인하여 폭발가능성이 있으며 생고무, 유황 등을 용해하며 강산화제, 화학적 활성이 큰 금속, 유기아민 등과는 격렬하게 반응하며, 산화성은 없으나 폭발성, 연소성이 있다.

##### ○ 위험성

- 인 화 점 :  $-30^{\circ}C$ (밀폐 시)
- 발 화 점 :  $90^{\circ}C$

- 폭발범위 : 1.3~50%
- 혼재금지품 : 화약류, 유기과산화물, 산화성물질, 방사성물질
- 유해성 : 유해성이 있음. 피부를 방호하고 호흡보호기가 필요함
- 연소성 : 상온상태에서 발화한다. 물질화재에 물 소화는 무효하다.
- 반응성 : 안전하며 화재 시에는 화학반응이 일어나지 않는다. 폭발범위가 넓으므로 작업 전에 통풍환기를 충분히 실시하고 수시로 증기농도 체크, 흡착제는 불연성 (마른 모래, 흙 등)을 사용정전기, 충격 등을 방지하기 위하여 가급적 장구는 방폭형을 사용 생고무가 포함된 보호구는 사용하지 않으며 작업 시 2차 오염에 유의하고 연소 시 유독가스가 발생하므로 바람을 등지거나 공기호흡기를 사용한다.
- 인체영향 : 신경독이며 중독은 대부분 그 증기(공기 1L에 대하여 0.1mg 이상은 위험)를 흡입하면 오는 것이며 피부로부터 흡수되는 경우도 있다.
  - 흡입 시 : 현기증, 두통, 의식불명, 정신장애, 정신착란, 전신마비
  - 삼켰을 때 : 두통, 구토, 다발성 신경염, 정신착란, 혼수상태
  - 피부 : 홍반, 심한 통증, 피부로 흡수되어 중독되는 수도 있음
  - 눈 : 심하게 자극, 통증 홍반 급성중독의 경우는 순환기계장애를 일으키며 만성 의 경우는 폐와 신경을 침해한다.

#### 바. 일산화탄소(CO)

- 물리적 성질
  - 녹는 점 :  $-205^{\circ}\text{C}$
  - 끓는 점 :  $-192.2^{\circ}\text{C}$
  - 밀 도 : 0.97(공기보다 가벼운 것)
  - 비 중 : 0.841(liq.), 0.968(vap.)
  - 용해물질 : 물에는 녹기 어렵고 알코올에 녹는다.
  - 상 태 : 무미, 무취, 무색의 기체. 독성이 강하고 청색의 화염을 발생하며 연소하여 이산화탄소를 발생. 환원성의 가연성 기체이다.
- 화학적 성질
  - 반응성 : 금속과 반응하여 금속카보닐을 생성. 청색의 화염을 내며 연소하여 이산화



탄소가 됨. 촉매표면에 접촉하면 700~800°C에서 이산화탄소와 탄소로 분해한다.

- 기타성질 : 환원성이 강함, 산화성이 없으며 폭발성과 연소성이 있다.

○ 위험성

- 발 화 점 : 608.9°C(발화온도)

- 폭발범위 : 12.5~74.2%(질소 또는 산소와 혼합)

○ 인체영향 : 일산화탄소의 흡입에 의해서 계속해서 체내에 산소공급이 부족하게 되면 우선 산소결핍에 민감한 중추신경계가 그 영향을 받아 두통, 현기증, 귓속에서 소리가 나며 심장고동, 맥박증가, 구토가 일어나고 나중에는 마비상태가 된다. 일산화탄소가 매일 발생되고 있는 곳에서의 작업자는 피로, 현기증, 불면증 이외에도 건망증 등의 신경계 증상이 많다고 지적되고 있다. 생활주변에 일산화탄소는 무색, 무취로서 그 존재를 알 수 없으므로 자기 자신도 모르게 중독되는 사고가 많다. 공기 중의 허용농도는 50ppm이며 그 이상이면 200ppm에서 2~3시간에 두통을 느끼고 800ppm에서 45분간 흡입하면 두통(빈혈증), 구토가 나오고 1000ppm이 되면 2~3시간 흡입 시 사망하게 된다.

○ 응급처리 : 중독자가 발생하면 신선한 공기에서 안정, 보온을 시키면서 산소호흡, 고압산소 치료기 등을 사용하면서 의사의 치료를 받는다. 산소흡입, 인공호흡, 차를 마신다.

사. 포스겐(COCl<sub>2</sub>)

○ 물리적 성질

- 녹는 점 : -128°C

- 끓는 점 : 8.2°C

- 비 중 : 1.435(liq), 3.5(vap)

- 용해물질 : 벤젠, 톨루엔에 쉽게 용해, 물에도 분해

- 상 태 : 순수한 것은 무색, 시판품은 짙은 황록색 저 비점이며 자극적인 냄새가 나는 액체(기체)

- 기타성질 : 사염화탄소, 브롬화수소에 대해서 약 20%의 농도에서 용해하며 수용액에서 서서히 분해하여 이산화탄소와 염산을 생성하며 표준품질은 순도는 97% 이상이며 유리염소 0.3% 이상이다.

## ○ 화학적 성질

- 반응성 : 서서히 분해하면서 유독하고 부식성이 있는 가스를 생성
- 부식성 : 부식성이 있음
- 기타성질 : 300℃에서 분해하여 일산화탄소와 염소가 된다. 자체에는 폭발성 및 인화성이 없다.

- 인체영향 : 포스젠은 강한 자극제로서 허파짜리에 심한 손상을 입힌다. 이것이 폐수종을 생성, 질식으로 이르게 된다. 포스젠의 흡입으로 호흡정지, 숨 막힘, 급속한 기침, 가슴 답답함, 눈물, 호흡곤란을 느끼며 청색증을 일으킬 수 있다. 포스젠은 눈에 띄는 정도의 기도 반사작용이 없으므로 치사량에 폭로되어도 증상이 비교적 느리므로 5~6시간이 지날 때까지 심한 증상이 나타나지 않는다. 이 때문에 폭로 후 즉시 가벼운 증상을 보이는 사람도 5~6시간 후에 사망하는 수 있다. 포스젠 중독 중 가장 일반적인 증상은 혈담과 기침이 나오며 수개월간 지속되는 쇠약증이 있다. 부피로서 20ppm을 함유하고 있는 대기는 2분 이내에 폐장애를 일으킬 수 있으며 25ppm 정도로서 30분 정도이면 매우 위험하게 된다. 90ppm이라면 30분 이내에 죽는다. 포스젠 냄새에 익숙한 사람이라면 0.5ppm(용량)을 감지할 수 있으며, 1ppm의 농도에서 사전주의가 필요하며, 2ppm일 경우 냄새가 약간 강하다.

아. 황화수소( $H_2S$ )

## ○ 물리적 성질

- 녹는 점 :  $-82.9^{\circ}C$
- 끓는 점 :  $-61.8^{\circ}C$
- 비중 : 0.96(liq)
- 용해물질 : 에탄올, 이황화탄소
- 상태 : 썩은 계란냄새의 무색기체
- 기타성질 : 약한 이염기산에서 산성을 나타냄 많은 탄화수소를 용해하며 공기 중에서 연소하여 이산화황이 됨. 독성이 강하므로 취급주의

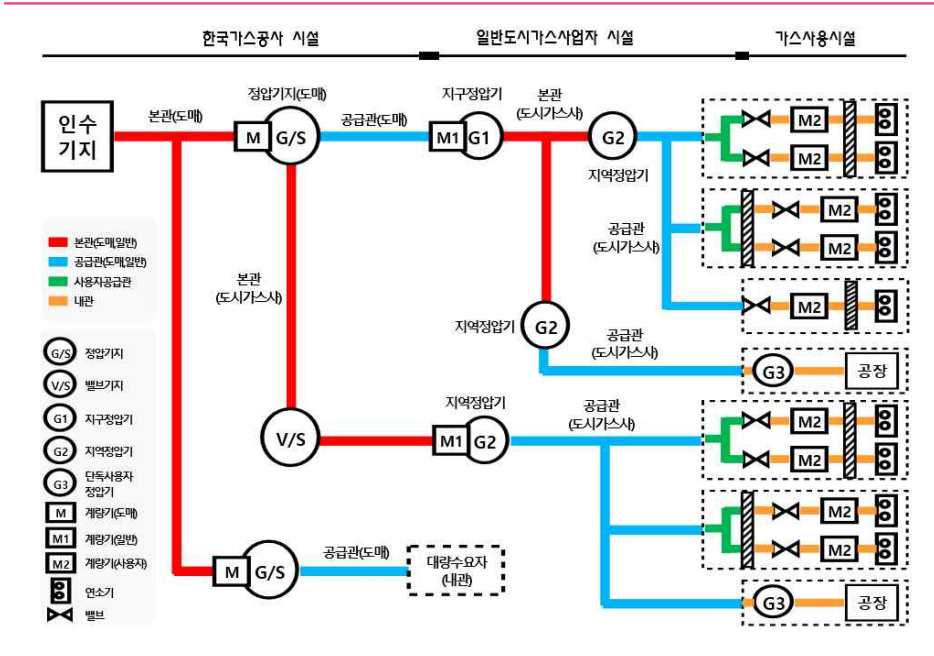
## ○ 화학적 성질

- 반응성 : 강질산, 강산화성물질, 금속 흡과 격렬한 반응 공기와 혼합하면 폭발혼합물생성 연소하여 유독한 아황산가스 발생



- 부 식 성 : 인체, 금속, 목재에 부식성이 있음
- 위험성
  - 발 화 점 : 260℃
  - 폭발범위 : 4.3~46%
- 인체영향 : 눈, 코, 목 등의 점막을 자극한다. 고순도의 가스를 흡입하면 두통, 현기증, 보행이 잘 안되고 호흡 장애를 일으키고, 눈에는 궤상을 일으키며 신경계통에 장애를 주어 사망하는 수도 있다. 연소를 시작하면 이산화황을 발생하여 중독의 위험도 있다. 황화수소는 냄새로서 알기 쉬운 것이나 조금 지나면 후각이 마비되므로 조심하여야 한다.
  - 눈 : 점막을 자극하여 눈물흘림, 각막염, 통증, 각막수포, 광공포증, 시각 불명료 등을 일으킴

[ 그림 1-5 ] 도시가스의 공급 계통도



# 2 가스설비의 이해

가스설비와  
이해

## 제1절 가스공급시설

### 1. 정압기실 및 정압기

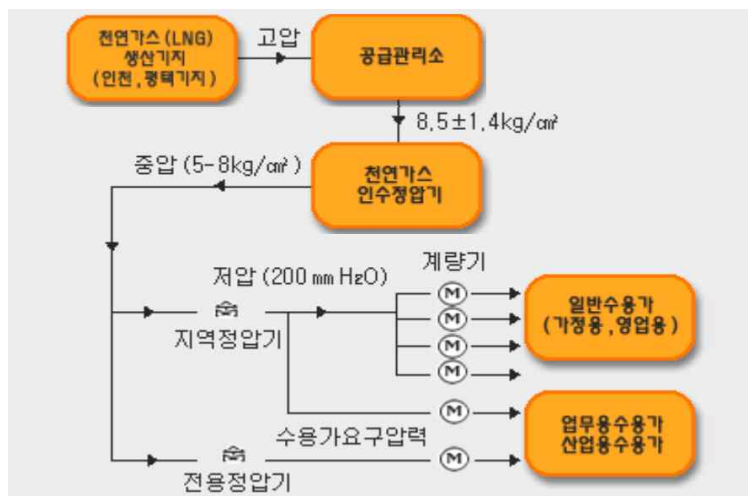
#### 가. 정압기실

정압기실은 정압기가 설치되는 장소를 말하며, 옥외에 주로 설치되나 부득이한 경우 옥내에 설치할 수 있으며, 정압기실에는 여러 가지 안전장치가 설치된다. 환기가 불량한 경우 환기설비, 출입을 통제하기 위한 출입문 안전장치, 전기는 방폭형으로 설치하며, 가스방출안전장치, 가스누출경보장치 등이 설치된다.

#### 나. 정압기의 개요

정압기(靜壓機)란 도시가스의 공급압력이 제한된 영역에서 고압에서 중압으로, 중압에서 저압으로 적당한 압력으로 감압하여 소비처에 필요한 압력으로 공급하기 위하여 사용되는 것이 정압기이다.

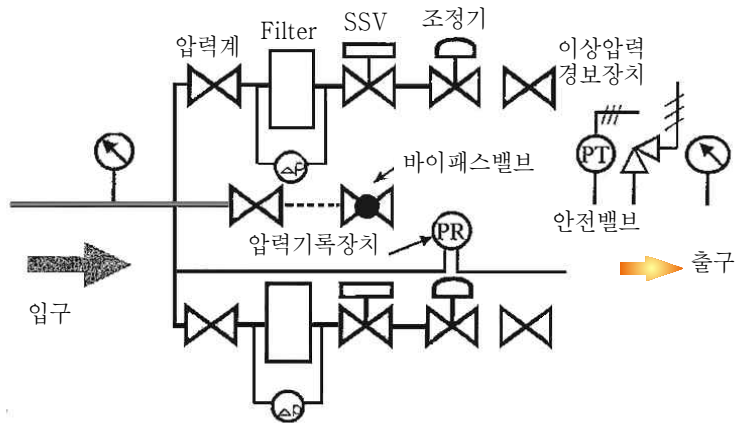
[ 그림 1-6 ] 도시가스의 공급 계통도





정압기는 가스가 통과하는 배관의 적당한 곳에 설치하며 1차 압력 입구 측 압력) 및 부하용량(사용량)의 변동에 관계없이 2차 압력(사용압력)을 일정한 압력으로 유지하는 기능을 가지고 있으며 시간별 가스 수요량의 변동에 따라 공급압력을 소요 압력으로 감압하기 위한 감압장치, 안전장치, 감시 장치 등이 조합된 하나의 설비(Unit)를 말한다.

[ 그림 1-7 ] 정압기실의 배관 구성도



#### 다. 정압기의 구조

정압기의 기본구조는 기본적 구성품과 역할은 다음과 같다.

##### 1) 다이어프램(Diaphragm)

2차 압력(사용측 압력)을 감지하여 그 사용유량(압력변동)에 따라 상하로 움직이면서 메인 밸브를 작동시키는 것으로서 감지부(Sensing element)라고 한다.

##### 2) 스프링(Spring)

2차 압력(사용 측 압력)을 설정하는 것으로서 스프링의 힘을 가함에 따라 일정범위 내에서 신축이 용이하여 유량변화에 따른 압력조절이 가능한 것으로서 부하부(Loading element)라고 한다.

##### 3) 메인 밸브(Main valve)

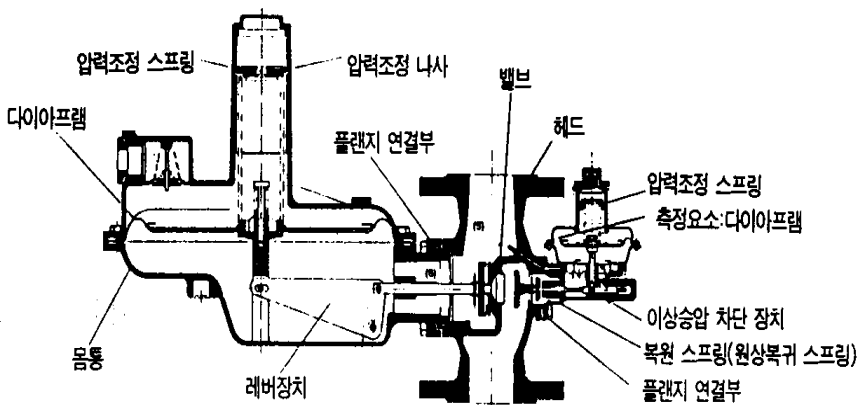
가스의 흐름을 제어하기 위한 것으로서 밸브의 열림 정도에 의해 직접 조정하는 것으로서 제어부(Restricting element)라고 한다.

## 라. 정압기의 종류

## 1) 직동식 정압기

작동에 필요한 3요소(감지부, 부하부, 제어부)가 정압기 본체 내에 들어가 있으며, 조정압력은 다이어프램이 감지하여 메인밸브(또는 플러그)를 움직이게 한다. 압력의 감지는 본체 내에서 직접 하거나 출구 측 배관에서 따온 감지라인을 통하여 조정압력을 스프링이 감지하여 압력을 조절하게 된다. 특징은 구조가 간단하고 경제적이며, 유지관리가 용이하여 널리 쓰이고 있으나 스프링 및 다이어프램의 고유 특성으로 인하여 출구압을 일정하게 유지하기 어려운 단점이 있다. 일반적으로 가스사용량이 적은 단독주택 등에 주로 사용된다.

[ 그림 1-8 ] 정압기의 구조 (직동식)



## 2) 파이롯트식 정압기

직동식정압기와는 달리 2차측의 미소한 압력을 감지하여 다이어프램에 구동압력을 증폭시켜 보내주는 파이롯트를 감압장치에 설치한 것이다. 파이롯트식 정압기는 출구압력이 비교적 안정된 형태로 공급이 되는 우수한 특징이 있으며, 대량수요처 및 도시가스사업자용 정압기에 주로 사용된다.

주로 사용하는 파이롯트식정압기의 종류로는 로딩(loading)식, 피셔식(fisher)정압기와 언로딩 A.F.V(Axial Flow valve)식 정압기가 있다.



## 2. 밸브박스

### 가. 밸브박스의 개요

밸브박스는 도시가스의 인입관의 분기점에서 건물의 동 지관에 설치되는 가스차단장치인 밸브를 보호하기 위하여 설치되는 것이다.

### 나. 설치장소

- 정압기실
- 본관에 설치한 밸브박스(가스도매사업의 경우에는 공급관 포함)
- 시·도지사가 안전 확보 상 필요하다고 인정하는 장소의 밸브박스

※ 밸브박스는 사용목적 이외에 개폐할 수 없도록 전용 개폐 기구를 사용하여 개폐하는 구조 또는 충분한 강도와 공간을 갖는 구조로서 자물쇠 채움 등의 조치를 강구하여야 한다.

## 3. 가스계량기

가스계량기는 배관을 통하여 단위시간당 흐르는 가스사용량을 측정하는 계기로서 가스계량기를 설치하는 주요 목적은 LPG의 경우 용기내의 잔 가스량 예측이 가능하고, 가스사용 중에 갑자기 가스공급이 중단이 되는 일이 없으며 또한 중량 판매 시에 발생하는 잔 가스량에 의한 중량시비가 없어짐으로 편리하고 안전한 기기이다.

### 가. 가스계량기의 종류

#### 1) 기능별 분류

가스미터는 그 측정원리에 따라 실측식과 추측식으로 나누며 일반적인 분류는 다음과 같다.

[ 표 1-15 ] 가스미터기의 분류

실측식	건식	막 식(다이어프램식)	가정용
		회전식(루트식)	산업용
	습식	드럼(drum)형	기준기 검사용
추측식		터빈형	산업용

## 제2절 가스 사용시설

가스설비와  
이해

## 1. 용 기

용기란 고압가스를 충전(저장)하기 위한 것으로서 지표면에서 이동이 가능한 것을 말하며 보통 트럭 등에 적재하여 운반되는 소형 용기와 자동차 또는 철도차량에 고정설치된 대형용기 등이 있다.

## 가. 용기의 종류

용기종류	내용적 등
이음매 없는 용기	42L, 10L(산소, 수소, 질소 등)
용접용기	3kg, 5kg, 10kg, 13kg, 20kg, 50kg, 500kg 일반용기, 싸이폰관용기
접합용기	520ml(부탄)(재충전금지용, 재충전용)
초저온용기	175L(액화산소, 액화질소 등)
아세틸렌용기	40L
LP자동차용기	65L, 75L 등
천연가스용기	약 230m <sup>3</sup> (압력 약84.5~1725kg/cm <sup>2</sup> )
압력용기	고온고압용(석유화학플랜트 설치)
카트리지용기	수소

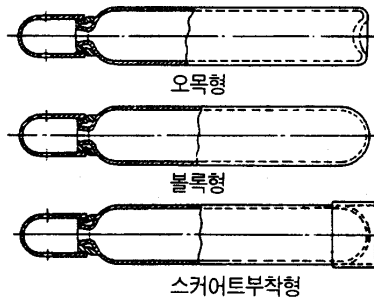
## 1) 이음매 없는 용기(Seamless cylinder)

이음매 없는 용기에는 산소, 수소, 질소, 아르곤, 천연가스 등 압력이 높은 압축 가스를 저장하거나 상온에서 높은 증기압을 갖는 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등의 액화가스를 충전하는 경우에 사용되는 용기이다.

LP가스 용기로서는 이음매 없는 용기를 사용해도 차이는 없지만 경량이고, 가격이 저렴한 용접용기에 저장하는 것이 유리하기 때문에 일반적으로 용접용기를 사용하고 있다.



[ 그림 1-9 ] 이음매 없는 용기의 “예”



## 2) 용접 용기(Welding cylinder)

용접용기에는 LP가스, 후레온, 암모니아 등 상온에서 비교적 낮은 증기압을 갖는 액화가스를 충전하거나, 용해아세틸렌 가스를 충전하는데 사용되는 용기이다.

형태는 [그림 1-10]과 같은 용접구조이며 내용적은 일반적으로 3.5~29,000L까지 있으며 제조방법은 강관을 성형하여 용접한 것이며 프레스 가공 경판(상판, 하판)과 원통형으로 성형된 동관을 용접 제작한 것으로서 20Kg 이상의 LPG 용기, 아세틸렌 용기, LPG자동차 용기, 대형저장탱크 등이 용접으로 제조되며, 이음매 없는 용기보다 무게가 가벼우나 높은 압력에는 견딜 수 없는 것이 단점이다.

[ 그림 1-10 ] LP가스 소형용기의 명칭 및 구조



### 3) 납붙임 또는 접합용기와 용접용기

납붙임 및 접합용기는 액화가스 충전용기로 내용물은 주로 살충제, 화장품, 의약품, 도료의 분사제 및 이동식 연소기용 부탄가스 용기 등 다방면으로 사용되고 있다. 또한 이들 용기는 1회에 한하여 사용이 가능하며(재충전하여 사용할 수 없음) 35℃에서 0.5MPa 이하의 압력으로 충전하여야 하며 분사제로서 독성가스의 사용이 불가능하고 내용적은 1L 미만으로 제조하도록 되어 있다. 최근에는 재충전할 수 있도록 스테인레스 재질로 용접하여 제조한 용기가 판매되고 있으며, 내용적은 1L 미만으로서 사용기간은 10년이며, 2년마다 밸브를 교체하여 사용하고 있다.

[ 그림 1-11 ] 납붙임 및 접합용기



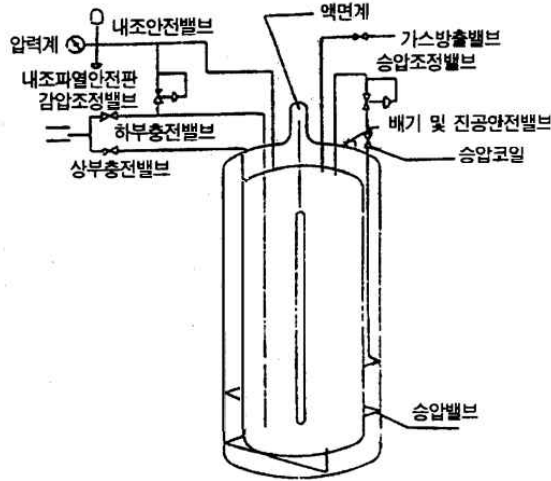
### 4) 초저온 용기

-50℃ 이하인 액화가스를 충전하기 위한 용기로서 단열재로 피복하여 용기 내의 가스 온도가 상용의 온도를 초과하지 아니하도록 조치한 용기로서 액화질소, 액화산소, 액화아르곤, 액화천연가스 등을 충전하는데 사용되고 있다.

용기의 구조는 내조와 외조로 구분되며 내조로는 저온취성이 강한 스테인레스강이 주로 사용되며 외조에는 저탄소강 또는 스테인레스강으로 제조된다. 또한 내조와 외조의 공간은 외부로부터 열 침입에 의한 액화가스의 증발을 막기 위하여 고진공 단열(Super insulation)로 시공이 되어 있으며 그 내부에는 단열재로 충전되어 용기 내 가스의 온도가 상용의 온도를 초과하여 상승되지 않도록 조치를 강구한 것이다.



[ 그림 1-12 ] 초저온 용기의 구조



### 5) 용기의 표시(각인)

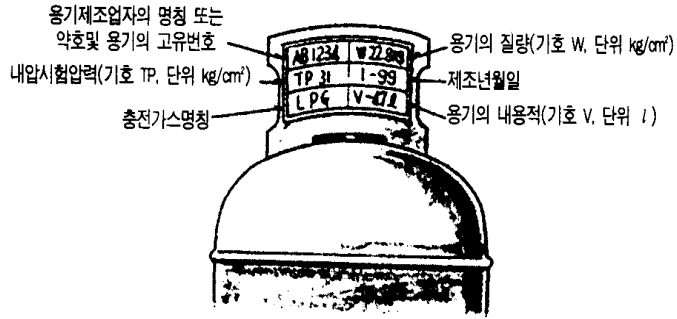
고압가스 용기는 어깨부분 또는 프로텍터와 같이 보기 쉬운 곳에 필요한 기재사항을 각인하고 용기의 외면에는 충전된 가스를 쉽게 알도록 규정된 색을 칠하며 충전가스의 명칭을 표시해야 한다.

구 분	표시방법
용기제조사업장의 명칭 또는 그 약호	DJ, SW, GH 등
충전하는 가스의 명칭	LPG 등
용기의 번호	123456
내용적 (기호: V, 단위: L)	42L, 27L, 115L 등
용기의 질량(기호: W, 단위: kg)	22.3kg, 20kg 등
검사에 합격한 연월	7-2009

2

가스설비와  
이해

[ 그림 1-13 ] LPG 용기의 각인사항



6) 일반용기의 표시 색상

용기제조자는 용기의 외면에 다음과 같이 도색을 하고 충전하는 가스의 명칭을 표시한다.

가스의 종류	도색의 구분	가스의 종류	도색의 구분
액화석유가스(LPG)	회색	액화암모니아	백색
수소	주황색	액화염소	갈색
아세틸렌	황색	그 밖의 가스	회색

- 가) 액화석유가스를 제외한 가연성가스는 “연”자, 독성가스는 “독”자를 표시하여야 한다.
- 나) 내용적 2리터 미만의 용기는 용기제조자가 정하는 바에 의한다.
- 다) 액화석유가스용기 중 부탄가스를 충전하는 용기는 부탄가스임을 표시하여야 한다.
- 라) 선박용 액화석유가스용기는 용기의 상단부에 폭 2cm의 백색띠를 두 줄로 표시하고 백색띠의 하단과 가스명칭사이에 백색글자로 가로·세로 5cm의 크기로 “선박용”이라고 표시한다.
- 마) 그 밖의 가스에는 가스명칭 하단에 가로·세로 5cm의 크기의 백색글자로 용도(“절단용” 등)를 표시한다.



7) 의료용용기의 표시 색상

가스의 종류	도색의 구분	가스의 종류	도색의 구분
산소	백색	질소	흑색
액화탄산가스	회색	아산화질소	청색
헬륨	회색	싸이크로프로판	주황색
에틸렌	자색	그 밖의 가스	회색

가) 용기의 상단부에 폭 2cm의 백색(산소는 녹색)의 띠를 두 줄로 표시하여야 한다.

나) 용도의 표시 : 의료용인 경우 각 글자마다 백색(산소는 녹색)으로 가로·세로 5cm로 띠와 가스 명칭 사이에 표시하여야 한다.

8) 그 밖의 용기의 표시 색상

상기외의 그 밖의 가스용기 도색은 아래의 표와 같다

가스의 종류	도색의 구분
산소	녹색
액화탄산가스	청색
질소	회색
소방용 용기	소방관련법에 따른 도색
그 밖의 가스	회색

9) 용기의 재료

- ① 이음매 없는 용기 : 높은 압력에 견딜 수 있는 것으로서 강도와 내식성이 큰 크롬-몰리브덴강이 주로 사용된다.
- ② 용접 용기 : 가격이 저렴한 저탄소강이 주로 사용되며, 최근에는 탄소강재의 용기보다 비중이 절반인 알루미늄합금 용기가 사용되고 있다.
- ③ 초저온 용기 : 내조는 저온취성에 강한 스테인레스강이 사용되며, 외조에는 저탄소강 또는 스테인레스강이 사용된다.
- ④ 납붙임 및 접합 용기 : 저탄소강 또는 알루미늄합금, 스테인레스강을 사용한다.

10) 용기의 저장량(충전량)

① 액화가스 용기의 저장량

액화가스 용기의 최대저장능력(충전량)은 다음 식에 의하여 계산할 수 있는데, 이

것은 용기 내의 가스온도가 48℃가 되었을 때에도 용기내부가 액체가스로 가득 차지 않도록 안전공간을 고려하여 정한 식이다. 즉 온도가 올라가면 액화가스의 부피가 늘어나 용기가 파열되는 것을 방지하기 위하여 정한 식이다.

$$W = \frac{V_2}{C}$$

W : 저장능력 [Kg]

V<sub>2</sub>: 용기의 내용적 [L]

C : 가스의 충전정수(액화프로판 2.35, 액화부탄 2.05, 액화암모니아 1.86)

그러므로 액화가스 용기에는 위의 식에서 계산된 양 이상의 가스를 충전하면 아니 된다.

## ② 압축가스 용기의 저장량

압축가스 용기의 최대저장능력(충전량)은 다음 식에 의하여 계산할 수 있다.

$$Q = (10P+1)V_1$$

Q : 저장능력 [m<sup>3</sup>]

P : 35℃(아세틸렌의 경우에는 15℃)에서의 최고충전압력 [Mpa]

V<sub>1</sub>: 내용적 [m<sup>3</sup>]

압축가스 용기에는 최고충전압력[기호: FP]이 표시되어 있는데 이 최고충전압력을 초과하여 충전해서는 아니 된다.

## 2. 용기밸브

용기밸브는 용기의 넥크링(밸브 연결부)에 부착되어 가스의 유로를 개폐하는 중요한 역할을 하는 것으로서 주로 단조용 황동봉을 단조 후 가공하여 제조한다.

### 가. 용기밸브의 구조 및 기능

용기밸브는 밸브몸통, 안전장치, 핸들, 스펀들(Spindle), 스템(Stem) 스톱퍼(Stopper) 또는 그랜드너트(Gland nut), 오링, 밸브시트(Valve seat) 등으로 구성되어 있으며 핸들을 시계바늘 반대방향으로 돌리면 밸브디스크가 위로 올라가 가스유로가 열리고 반대방향으로 돌리면 밸브디스크가 아래로 내려가 가스유로가 닫히게 된다. 최



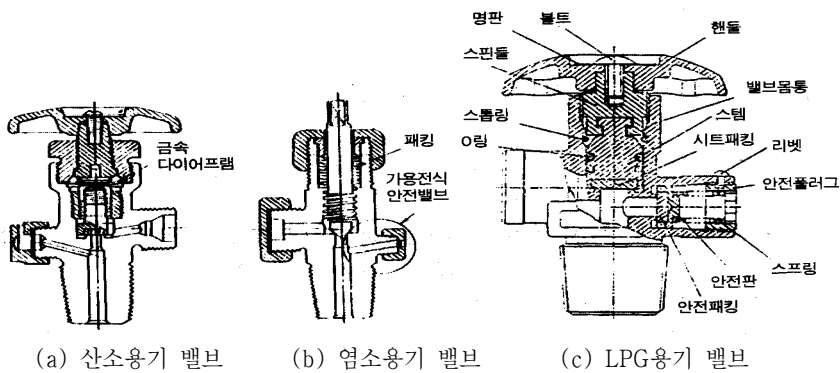
근에는 엘피가스 47L 용기에는 차단기능형용기밸브를 설치하는 것을 의무화 하였으며, 이는 용기밸브 가스출구 측에 압력조정기나, 측도관 호스 등을 설치하여야만 가스 공급이 가능하도록 설계된 형태이다.

## 나. 안전장치

용기밸브에 부착된(또는 용기에 부착된 것도 있음) 안전장치는 용기내의 가스압력이 올라가 용기가 파열되는 것을 방지하기 위하여 부착된 것이다. 이 안전밸브는 용기밸브와 일체(一體)로 만들어지는데 밸브의 개폐와 관계없이 항상 용기내의 가스가 접하도록 되어 있으며, 가스의 압력이 올라가면 자동적으로 작동되어 용기 내의 압력을 외부로 방출하는 역할을 한다. 일반적으로 사용되고 있는 안전밸브의 종류는 다음과 같다.

- 1) LPG 용기 : 스프링식 안전밸브
- 2) 염소, 아세틸렌, 산화에틸렌 용기 : 가용전(가용합금식) 안전밸브
- 3) 산소, 수소, 질소, 아르곤 등의 압축가스 용기 : 파열판식 안전밸브
- 4) 초저온 용기 : 스프링식과 파열판식의 2중 안전밸브
- 5) CNG 용기 : 가용전(액체튜브) 안전밸브

[ 그림 1-14 ] 용기밸브의 구조



## 3. 기화장치(Vaporizer)

### 가. 기화장치의 개요

기화장치는 기화기 또는 증발기(Vaporizer) 등으로 불리 우며, 가스사용량이 대량으

2

가스설비와  
이해

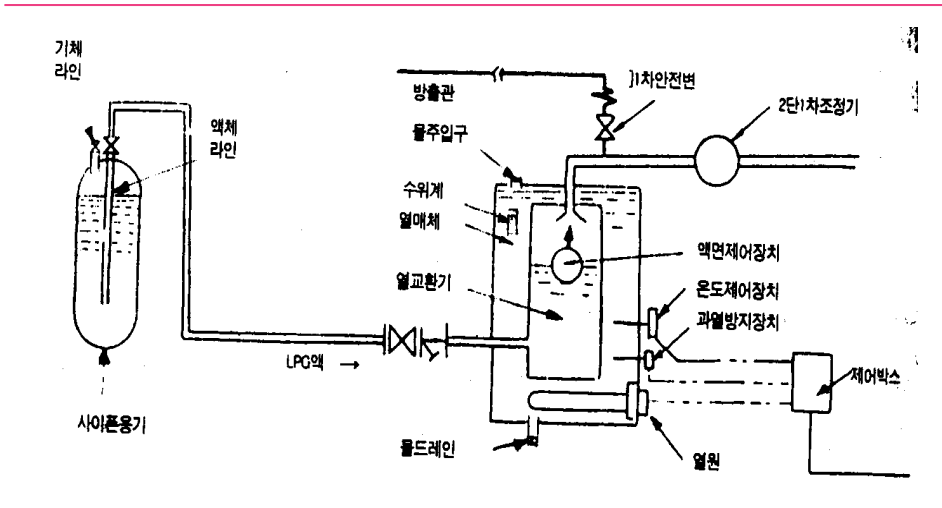
로 소비되는 경우 용기의 자연기화방식에 의한 공급량이 수요량을 충족하지 못하는 경우에 용기(사이폰 용기)내의 액체가스를 전열, 온수 또는 증기 등으로 가열하여 증발시켜 가스화 시키는 것이다.

자연기화 방식과 비교하면 기화량은 용기의 대소, 개수에 무계하므로 용기에 의한 자연기화방식보다 용기의 설치 개수가 적어지고 설치공간이 적어져서 좋으나, 기화장치의 유지관리 및 설비의 점검보수 기간에도 가스공급이 계속될 수 있도록 자연기화방식으로 공급이 가능하도록 바이패스 라인 등의 조치를 강구하여야 한다.

나. 기화장치 사용할 때 주의사항

- 용기는 사이폰관(액체밸브와 기체밸브가 용기 상부에 있는 것)이 부착된 것을 사용하여야 한다.
- 온수가열식 기화기를 사용하는 경우에는 주기적으로 수위계, 온도계, 압력계를 확인하며 이때 온수온도가 설정온도(보통 50~60℃) 이상으로 상승(80℃)이 되지 않도록 하여야 한다.
- 동절기에 장시간 기화장치를 사용하지 않는 경우에는 물을 제거(기화장치의 저부에 물을 제거하는 드레인밸브가 있음)하여야 하며 동파될 우려가 있는 경우에는 부동액을 첨가하여 사용한다.
- 기화장치의 능력은 연소기 가스소비량의 총 합계(kg/h)의 1.2배(120%) 용량을 갖도록 설치한다.

[ 그림 1-15 ] 기화장치의 구조 개요도





## 4. 압력조정기

### 가. 압력조정기의 기능

용기내의 LPG는 온도와 조성에 따라서 압력이 변화되며 변화된 압력은 그 압력이 높아서 그대로 연소기에 공급할 수가 없다. 따라서 용기내의 가스 압력(최고 1.56Mpa)이 연소기(수주 2.0kPa~3.0kPa)에서 가스가 완전히 연소하는데 필요한 최적의 압력으로 감압을 하는 동시에 가스소비량의 증·감에 따라서 일정한 압력(정압)으로 공급이 가능하여야 하며 또한 연소기 콕 또는 중간밸브를 닫았을 때 조정기의 내부압력이 상승되어 가스가 연소기로 공급되지 않도록(폐쇄압력)하는 기능을 갖고 있는 것이 압력조정기이다. 그러므로 조정기가 고장이 나면 불완전연소 현상이 생기거나 불이 꺼져 가스가 누출되며 연소기 고장의 원인이 되기도 한다.

### 나. 압력조정기의 종류

조정기의 종류를 감압방법 및 조정기의 규격에 따라 분류하면 다음과 같다.

[ 표 1-16 ] 압력조정기의 분류

1단감압식	저압조정기	저압 조정기
		준저압 조정기
2단감압식	준저압 조정기	1차 조정기
		2차 준저압 조정기
		2차 저압 조정기
자동절체식	일체형	저압 조정기
	분리형 조정기	준저압 조정기
		-

### 다. 압력조정기의 특성

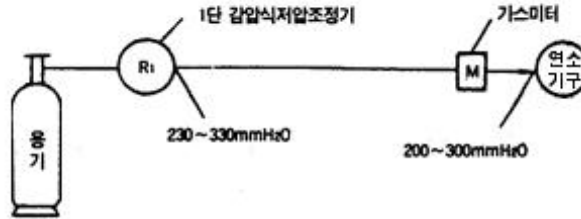
#### 1) 1단감압식저압조정기

용기의 압력(0.07~1.56Mpa)을 연소기의 압력(2.3~3.3kPa)으로 1단감압하여 공급하는 것으로서 [그림 1-16]과 같이 용기와 가스미터기 사이에 설치되는 것이 보통이다.

2

가스설비와  
이해

[ 그림 1-16 ] 1단감압식 저압조정기 사용 “예”

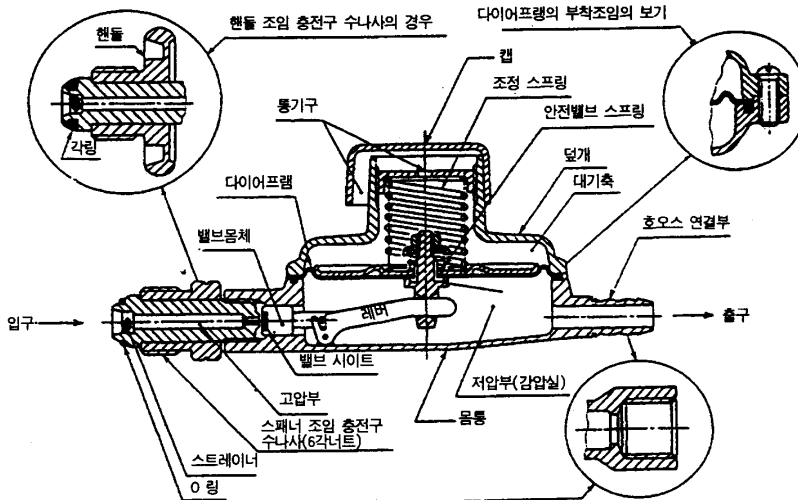


[ 표 1-17 ] 1단감압식(자동질체식일체형) 준저압조정기 출구압력

(단위 : kPa)

표준압력 (R)	출 구 압 력		
	조 정		최대폐쇄압력
	상 한	하 한	
6	7	5	7.5
10	12	8	12.5
15	18	12	18.75
20	24	16	25
25	30	20	31.25

[ 그림 1-17 ] 조정기의 구조



[ P : 입구압력의 범위, Q : 용량(kg/h), R : 표준압력(mmH<sub>2</sub>O, kPa, MPa) ]



## 2) 1단 감압식 준저압 조정기

일반소비자 생활용 이외(음식점, 호텔 등)의 용도로 공급하는 경우에 한하여 사용되는 조정기로서 조정압력은 수주 5kPa 이상 30kPa까지로서 여러 가지 종류가 있다.

## 3) 자동절체식 일체형 저압 조정기

현재 가장 많이 사용되고 있는 조정기로서 2단2차용 조정기가 2단 1차용조정기의 출구측에 직결되어 있는 것과 함께 자동절체부가 부착되어 2개 이상의 용기를 사용하여 사용측 용기로부터 가스공급량이 부족하게 되면 예비측 용기로부터 자동적으로 가스를 공급하여 가스공급이 중단되지 않도록 함과 동시에 가스를 일정한 압력(2.55~3.3kPa)으로 공급하는 조정기이다.

## 4) 자동절체식 일체형 준저압 조정기

2단2차용 준저압조정기가 2단1차용 조정기의 출구측에 직결되어 있는 것과 함께 자동절체부가 부착되어 있는 것으로서 자동절체식 일체형 저압조정기와 기능이 유사하고 출구 조정압력은 수주 5.0kPa이상 30kPa까지로서 여러 가지 종류가 있다.

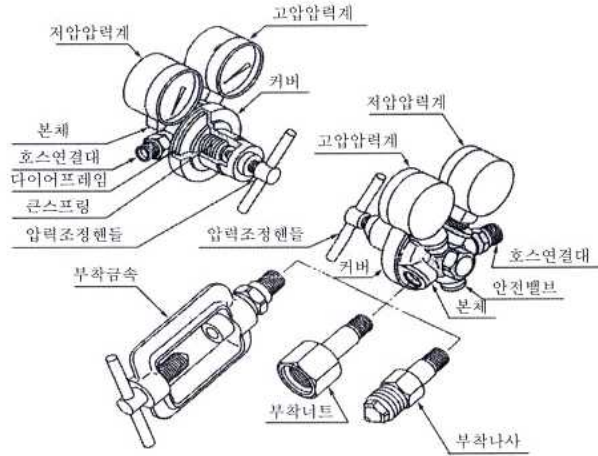
## 5) 자동절체식 분리형 조정기

자동절체기능과 2단1차 감압기능을 겸한 1차용 조정기로서 출구측의 압력이 0.032~0.083MPa으로서 중압조정기라고 하며, 출구측은 배관에 의하여 저압용 연소기(입구압력이 수주 2.3~3.3kPa) 전단에는 2단2차용 저압 조정기를 설치하여 사용되며, 준저압용 연소기(입구압력이 수주 5.0kPa~30kPa)전단에는 2단2차용 준저압조정기를 설치하여 사용된다.

## 6) 공업용 압력 조정기

공업용 압력 조정기 [그림 1-18]은 압력 조정기 가능한 가변형 압력 조정기를 말하며, 가스토치, 의료용, 산업용으로 구분되고 있는 것으로 산업현장에서 사용하는 것을 말한다. 압력 조정기에는 압력게이지가 입구 측 출구 측에 설치되어 있으며, 압력조정은 다이어프램과 스프링으로 하고 있다. 공업용 압력 조정기는 압력을 변형할 수 있는 것으로서 사용자가 조정압력을 조정할 수 있다.

[ 그림 1-18 ] 공업용압력조정기의 구조



가스설비와  
이해

## 5. 배관재료

배관은 용기, 조정기, 가스계량기 등의 설비류를 연결하여 LPG를 연소기에 공급하는 중요한 역할을 하는 것으로 배관재료는 다음과 같다.

### 가. 강관

#### 1) 관의 호칭법

관의 호칭법에는 A호칭과 B호칭의 2가지가 있으며, A 또는 B의 앞에 있는 숫자는 관의 내경에 가까운 수치를 각각 mm 또는 inch 단위로 표시한 것이고 내경의 치수를 표시한 것은 아니다. (예, 15A = 1/2B, 25A = 1B )

#### 2) 배관용탄소강관 (SPP, KS D 3507)

Carbon Steel Pipes for Ordinary Piping의 약자로서 사용압력이 비교적 적은 증기, 물, 기름, 가스, 공기 등의 배관에 사용하는 탄소강관이다. 종류에는 아연도금의 유무에 따라서 흑관과 백관의 2종류가 있다. 관 1개의 길이는 6m이며 호칭지름은 6~500A까지 20여 종이 있다.

배관의 화학성분은 인(P), 황(S)을 규정하고 있고 보통 흑관의 인장강도는 3MPa 이상이다.



### 3) 압력배관용 탄소강관 (SPPS, KS D 3562)

Carbon Steel Pipes for Pressure Service의 약자로서, 350°C 정도 이하에서 사용하는 압력배관에 쓰이는 탄소강관이다. 관의 종류에는 SPPS 38와 SPPS 42가 있다. 호칭지름은 6~650A까지 25종이 있으며 스케줄번호(Sch.No)는 10, 20, 40, 60, 80 등이 있다.

※ 스케줄번호(Schedule Number)란 강관의 두께를 계열화하여 작업상·경제상 도음을 주기위한 것으로 Sch.라 표기하고 유체의 사용압력과 그 상태에 있어서 재료의 허용응력과의 비에 의해서 관두께 체계를 표시한 것이다.

### 4) 연료가스 배관용 탄소강관 (SPPG, KS D 3631)

Carbon Steel Pipes for fuel gas Piping의 약자로서 사용압력이 중압 이하인 연료가스(도시가스 및 액화석유가스 등) 공급배관의 직관 및 이형관에 사용하는 탄소강관이다.

배관의 화학성분은 C(탄소), Si(규소), 망간(Mn), 인(P), 황(S)을 규정하고 있고 인장강도는 34kg/cm<sup>2</sup>이다. 단, 80A 미만인 관의 제조방법, 검사항목은 KS D 3507에 따른다.

## 나. 동관(KS D 5301)

LPG 설비용으로 이음매 없는 동 및 동합금관이 사용된다. 일반적으로 동의 순도는 99.78~59.0이다. 중압 및 저압배관에는 8mm, 10mm, 15mm인 것을 사용하고 고압배관에는 외경이 8mm, 1.0mm인 것을 사용한다.

동관은 호칭규격과 외경과는 다소 차이가 있기 때문에 시공 시 혼용에 따른 불편을 초래할 수 있다.

$$\text{외경} = \text{호칭경} + 1/8''$$

(예) 20A의 외경 = 3/4×25.4 + 1/8×25.4 = 22.2mm로 구할 수 있다.

## 다. 가스용 폴리에틸렌관(KS M 3514)

1) 도시가스 및 액화석유가스 수송에 사용되는 폴리에틸렌관이다. 관을 사용할 때는 직사광선이나 화재에 대한 배려가 있어야 한다. 관의 색은 노란색으로 한다. 다만, 인수·인도 당사자 사이의 협정에 따라 노란색 이외의 색으로 하여도 좋다.

2) 최고 사용압력이 0.4MPa 이하인 배관으로서 지하에 매몰하여 설치하는 경우에는

2

가스용 폴리에틸렌관으로서 KS표시 허가제품 또는 이와 동등 이상의 성능을 가진 제품을 사용할 수 있다.

3) 관은 다음 [표 1-18]에서 정하는 압력범위에 따른 두께의 관을 사용해야 한다.

가스설비와  
이해

[ 표 1-18 ] 배관의 SDR

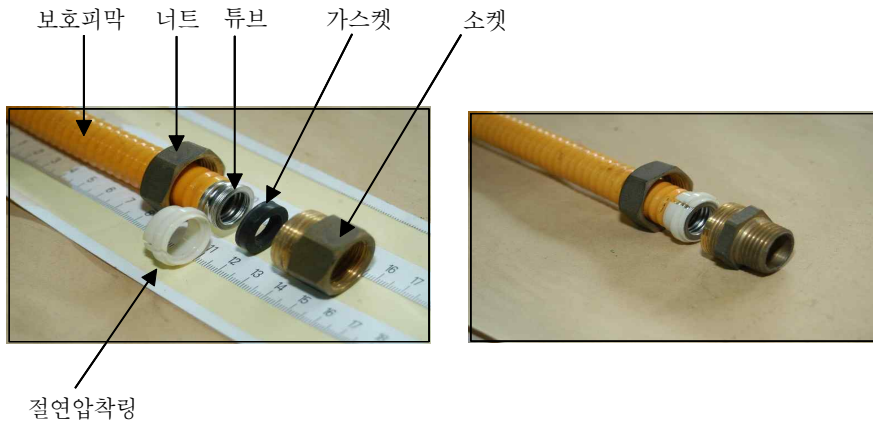
SDR	압 력
11 이하	0.4 MPa 이하
17 이하	0.25 MPa 이하
21 이하	0.2 MPa 이하

라. 가스용 금속플렉시블호스

내식, 신축용으로서 동합금 또는 스테인레스제의 주름관을 사용하여 우수한 플렉시블성을 갖는 튜브의 양단관에 이음쇠를 접속한 것으로 배관과의 접속에는 유니온, 플랜지 등의 접속이음매를 사용한다.

가스보일러의 접속배관에 사용하는 금속플렉시블호스로서 압력이 3.3kPa 이하인 액화석유가스 또는 도시가스를 사용하는 것으로서 고정형 연소기와 콕크를 접속하는데 사용된다.

[ 그림 1-19 ] 금속플렉시블호스





### 1) 선정

일반적으로 가스보일러의 접속배관에 사용하는 금속플렉시블호스로서 압력이 3.3kPa 이하인 LP가스 또는 도시가스를 사용하는 것으로서, 사용 장소, 저압부의 공급관 및 배관의 설계상 적절한 관 길이 것을 선정하며, 고정형 연소기와 콕을 접속하는데 사용된다.

### 2) 구조

가) 호스는 튜브의 양단에 관용테이퍼 나사를 갖는 이음쇠나 호스엔드를 접속할 수 있는 이음쇠를 플레어 이음 또는 경납땜 등으로 부착한 구조일 것.

나) 튜브는 금속재료 주름가공으로 제작하여 쉽게 굽혀질 수 있는 구조로 하고 외면에는 보호피막을 입힐 것.

다) 호스는 안전성 및 내구성이 양호하여야 하며 조작 시 지장을 주는 변형이나 파손이 되지 않는 구조일 것.

라) 호스는 이음쇠가 견고하게 부착되어 누출이 없을 것.

마) 이음쇠는 플레어(flare) 또는 유니온(Union)의 접속기능을 갖출 것.

바) 호스의 표준길이는 200~3,000mm의 14종이 있으며, 표준길이 이외의 것은 주문자와의 협의에 따르되 최대 길이를 50,000mm 이내로 제한되며 호스의 호칭에는 13A, 20A, 25A, 30A가 있다

### 3) 취급

#### 가) 설치장소

① 점검이 용이하도록 가능한 노출하여 설치한다.

② 매설부분에 플렉시블튜브를 사용하는 경우는 맨홀 등에 노출시켜 용이하게 점검할 수 있도록 한다.

#### 나) 주의사항

① 접촉면에 이물질이 들어오지 않도록 한다.

② 느슨한 굽힘을 갖도록 부착하며 비틀림, 수축 등의 상태로 설치하는 것을 피하며 굽힘 반경은 관외경의 2배 이상으로 한다.

③ 설치완료 후에는 비눗물, 가스누출검지기 등으로 누출검사를 한다.

## 4) 이상 현상과 조치

양단 이음쇠에 녹이 발생한 경우 또는 튜브의 균열 및 흠, 변형, 마모 파손 등이 있는 것은 신품으로 교환 한다.

## 마. 스테인레스강관

## 1) 배관용 스테인레스강관(KS D 3576)

Stainless Steel Pipes의 약자로서 내식용, 저온용, 고온용 등의 배관에 사용되 는 스테인레스강관이다. 종류에는 오스테나이트계, 오스테나이트-페라이트계, 페라 이트계 강관이 있다. 관 제조는 이음매 없이 제조하거나 자동아크용접·전기저항용 접으로 제조하여 열처리 및 산세척을 한다.

## 6. 밸브

물, 증기, 공기, 가스 등 유체(기체, 액체)배관의 유량(流量)제어, 유로(流路)의 개폐, 배 관계의 안전유지 등과 같은 여러 가지 목적으로 밸브 및 콕이 사용된다.

## 가. 볼밸브

밸브 내에 한 방향으로 구멍이 뚫린 볼(구슬)이 있어 밸브 개폐 손잡이(핸들)를 90° 회전하면 내부의 볼이 같이 회전하면서 유체의 흐름을 제어하는 밸브이다.

이 밸브는 신속히 밸브를 개폐할 수 있고 유체의 압력손실도 비교적 적으며 손잡이 의 방향으로 밸브 개폐상태를 확인하기 쉽다. 주로 저압배관에 사용한다.

## 나. 글로우브밸브

일반적으로 구형의 밸브 몸통을 갖고 있으며 유체의 입구와 출구 중심선이 일직선상 에 있고 밸브를 통과하는 유체의 흐름이 S자 모양으로 되어 있는 밸브를 글로우브밸브 라 한다. 이 밸브는 기밀성이 우수한 반면 유체의 압력손실이 큰 단점이 있어 주로 고 압부(高壓部)에 사용된다. 설치 시에는 밸브몸통에 표시된 방향표시(→)를 보고 상류에 서 하류를 향하도록 설치한다.

## 다. 게이트밸브

밸브판(밸브디스크)이 유체흐름에 직각으로 미끄러져서 유체의 통로(流路)를 수직으



로 막아 개폐를 한다.

밸브를 사용할 때는 완전히 열어 사용하고 일부만 열어 사용하게 되면 밸브관의 후면에 심한 와류(渦流)를 일으켜서 밸브가 진동한다. 압력손실은 글로우브 밸브에 비해서 극히 작다. 대규모 플랜트나 길고 큰 배관에 널리 사용된다.

### 라. 체크밸브

유체의 흐름을 한 방향으로만 수송할 때 사용하는 것으로 역류 시는 자동적으로 폐쇄되도록 되어있다. 체크밸브에는 리프트형, 스윙형, 볼형, 경사판형이 있다.

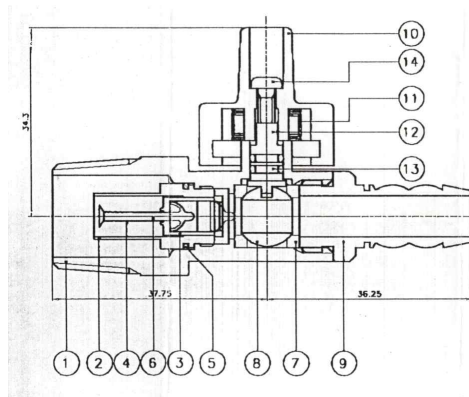
## 7. 퓨즈콕(Fuse Cock)

### 가. 퓨즈콕의 구조

퓨즈콕은 과류차단안전기구가 부착된 것으로서 배관과 호스 또는 배관과 콕카플러를 연결하는 구조이다.

이 콕은 가스사용 중 호스가 빠지거나 절단되었을 때 또는 화재 시 등 규정량 이상의 가스가 흐르면, 콕에 내장된 볼이 떠올라 가스통로를 자동으로 차단하므로 안전상 유의한 것이다.

[ 그림 1-20 ] 퓨즈콕의 구조



- |          |        |       |
|----------|--------|-------|
| ① 퓨즈콕 몸체 | ⑥ 퓨즈-볼 | ⑪ 스프링 |
| ② 퓨즈 몸체  | ⑦ 패킹   | ⑫ 스템  |
| ③ 퓨즈 가이드 | ⑧ 볼    | ⑬ O-링 |
| ④ 퓨즈 스프링 | ⑨ 니플   | ⑭ 볼트  |
| ⑤ O-링    | ⑩ 핸들   |       |

## 2

가스설비와  
이해

## 나. 퓨즈콕(Fuse-Cock)의 작동원리

퓨즈는 측면에 슬릿을 갖고 있는 실린더와 볼로 구성되어 있어 과대한 양의 가스가 흘렀을 때 퓨즈볼이 가스의 통과구멍을 막음으로써 가스를 차단한다. 평상시에는 퓨즈볼과 실린더의 슬릿 사이로 가스가 흘러 사용할 수 있으며, 호스가 빠지거나 절단되어 과대한 양의 가스가 흐르면 퓨즈볼이 위쪽으로 밀어 올려져 통과구멍을 막아 가스를 차단한다.

퓨즈볼이 위쪽으로 밀어 올려질 때의 유량을 퓨즈작동 유량이라 하는데, 퓨즈작동 유량은 퓨즈볼의 크기, 중량, 퓨즈볼과 실린더의 틈새치수, 슬릿의 크기 등에 의해 설정할 수 있다.

## 다. 퓨즈콕의 종류

퓨즈콕의 종류는 배관과 배관, 호스와 호스, 배관과 호스를 연결할 수 있도록 되어 있으며, 유량과 사용압력에 따라 설치할 수 있도록 F1.2, F2.1, F2.5, F3.6 등이 생산되고 있다.

[ 그림 1-21 ] 퓨즈콕의 종류



## 라. 콕의 사용 및 유지관리상의 주의사항

- 1) 콕은 전개, 전폐의 상태로 사용하고, 화력조절 콕의 열림 정도로 조절하지 않도록 한다.
- 2) 고무관은 LP가스용을 사용하되, 호스엔드의 적색 표시선까지 완전히 밀어 넣은 후 호스밴드로 꼭 조인다.
- 3) 2구 콕을 개폐할 때에는 오조작을 하지 않도록 한다.
- 4) 사용하지 않는 콕의 출구측은 폐지마개 또는 고무캡을 부착한다.



- 5) 콕에 물체가 떨어지지 않도록 할 것.
- 6) 연소기를 사용한 후, 취침 혹은 외출할 경우에는 말단콕을 잠그도록 한다.
- 7) 콕의 개폐 및 관련 안전관리자 등 LP가스설비를 숙지한 자만이 하도록 하고 일반인은 여닫지 않도록 한다.
- 8) 콕 외면이 더러워지면 부드러운 브러시나 젖은 헝겊 등으로 닦아내고, 마른 헝겊으로 물기를 닦아낼 것.
  - 조작은 완전히 여닫아 사용할 것.
  - 퓨즈가 작동(가스가 나오지 않음)하면 다시 한 번 손잡이를 닫음 → 열림으로 한다.
  - 분해·조립을 하지 말 것.
  - 필요한 개소에 적절한 수의 콕을 부착하고 “T”자형으로 사용치 말 것.

[ 그림 1-22 ] 콕 분해 사진



- 9) 콕의 손잡이나 핸들의 개폐조작이 원활하지 못할 경우는 윤활제가 너무 부족하거나 이물질이 혼입되어 발생하는 수가 많으므로 무리한 조작을 하게 되면 성능이 떨어지게 되므로 판매사업자에게 점검의뢰를 하도록 계몽한다.
- 10) 콕은 분해 또는 개조하지 말 것

## 2

가스설비와  
이해

## 마. 콕의 보관상 주의

- 1) 콕은 퓨즈를 내장한 것이기 때문에 보관 및 취급에 각별히 유의한다.
- 2) 콕을 떨어뜨리거나 충격을 가하지 않는다.
- 3) 고온·다습한 장소에 보관을 하지 않는다.
- 4) 콕을 노출한 채로 보관하면 수분이나 먼지가 들어가 입·출구 나사부가 손상되기 쉬우므로 상자나 봉투에 넣어 보관한다.

## 8. 호스

호스에는 고압고무호스, 금속플렉시블호스, 열화비닐호스 등이 있으며, 호스는 그 주체가 고무로 이루어져 경년에 따른 열화를 피할 수가 없다. 열화의 정도는 사용조건, 환경, 가스 등이 미치는 다양한 요인과 복합작용으로 달라지므로, 사용부분에 아주 작은 균열이라도 있으면 누출량이 많아져 커다란 가스발생의 원인이 된다.

## 가. 고압호스

## 1) 호스의 종류

- 가) 트윈호스 : 입구측은 용기 2개에 연결하며 출구측은 주로 조정기에 접속하여 사용되는 것으로서 입구측 또는 출구측의 나사 접속부는 POL(윈나사의 특수이음매)나 사로 되어 있다.
- 나) 측도관 : 출구측은 집합배관 또는 자동절체식 조정기의 입구에 접속하여 사용되는 것으로서 일반적으로 입구측은 POL나사로 되어 있으며, 출구측은 PT나사로 되어 있다. 일반적으로 집합배관용으로 사용된다.

## 2) 호스의 취급

- 가) 직사광선 및 응력이 가해진 상태에서 고무는 내후성의 열화가 심하므로 인장, 비틀림, 굽힘 등이 없도록 설치할 것.
- 나) 설치 또는 교환 시에는 호스에 수분, 먼지 등의 이물질이 없는 지를 확인하고, 접속부의 청소를 한 후 설치한다.
- 다) 파이프렌치 등을 사용하여 과도하게 조이지 않도록 할 것.
- 라) 트윈호스의 경우 양쪽 입구 측에는 반드시 용기를 접속시켜 둘 것.



### 3) 이상 현상과 조치

- 가) 고무호스 외면의 마모, 박리, 균열 및 흠 : 신품으로 교환
- 나) 고무호스의 부착위치, 균열, 현저한 연화 : 신품으로 교환
- 다) 고무호스가 불충분하게 삽입되는 경우 : 신품으로 교환
- 라) 니플나사 삽입부의 헐거움, 가스 누출 시 : 신품교환 또는 제조자에게 수리의뢰
- 마) 용기밸브와 접속부의 O링, 각 링의 굽힘, 흠, 변형 : 신품으로 교환

## 나. 저압호스

### 1) 호스의 구조

내가스성의 내층고무와 내후성의 외층고무사이에 보강층이 설치되어 있으며 고압 호스와 달리 외면에는 합성섬유 보강층이 없다.

### 2) 호스의 취급

- 가) 고압호스의 부착은 용기보다 조정기로 향하여 상향구배로 하여야 되나 저압호스의 부착은 조정기의 출구 측으로부터 하향구배로 하여 가스계량기에 이르는 배관의 아래 부분에 드레인 밸브를 설치한다.
- 나) 호스 부착 시 최소 굽힘 반경은 내경 10mm의 것은 140mm, 내경 12.7mm의 것은 170mm 이하로 되지 않도록 한다.

### 3) 호스의 표시사항

- |         |                   |           |
|---------|-------------------|-----------|
| 가) 품명   | 나) 종류(1종, 2종, 3종) | 다) 제조자명   |
| 라) 용도   | 마) 제조번호 또는 롯드번호   | 바) 제조연월   |
| 사) 합격표시 | 아) 최고사용압력         | 자) 품질보증기간 |

※ 호스 내경 : [1종(6.3mm), 2종(9.5mm), 3종(12.7mm)], 공차 ±0.7mm

### 4) 이상현상과 조치

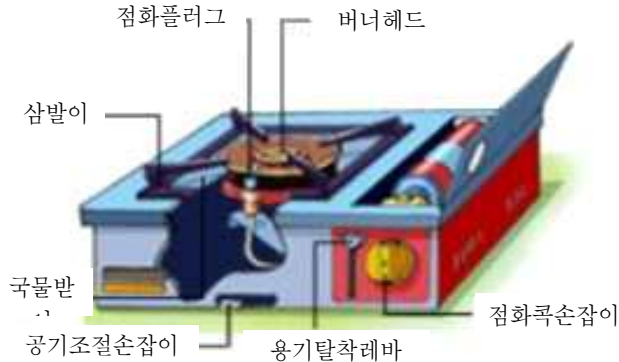
고압호스의 이상현상과 유사하며, 용기교환 시 외관 및 접속부 등으로부터 가스 누출에 주의 한다. 또한 호스의 외면에 균열 및 흠, 현저한 연화, 변형된 것은 신품으로 교환한다.

## 9. 연소기

## 가. 연소기의 구조

가스설비와  
이해

[ 그림 1-23 ] 연소기의 기본구조



일반적으로 연소기는 노즐, 혼합관, 공기조절기(댐퍼), 버너헤드,焰공, 점화장치로 구성되어 있다.

- 1) 노즐은 가스를 분사 시키고 연소에 필요한 1차 공기를 가스와 함께 버너에 보내는 역할을 한다.
- 2) 혼합관은 노즐에서 분사되는 가스와 공기조절기에서 흡입된 1차 공기를 혼합하는 역할을 한다.
- 3) 버너헤드는 혼합관에서 형성된 가스와 공기의 혼합기체를 각焰공(불꽃구멍)에 균일하게 배분, 공급하고 완전연소를 하도록 한다.
- 4)焰공은 혼합관에서 버너헤드에 도달한 가스와 공기의 혼합기체를 대기 중에 분출하는 역할을 하는데,焰공이 큰 경우에는 불꽃이 혼합관 속으로 들어가는 현상(역화)이 발생되기 쉽고 반대로焰공이 작은 경우에는 불꽃이 위로 뜨는 현상(리프팅)이 발생되기 쉽다.
- 5) 점화장치에는 압전 점화방식과 연속 스파크식이 있다. 압전소자(세라믹 유전체)에 압력 또는 힘이 가해지면 전기가 발생한다. 이렇게 하여 발생한 전기를 압전기라 한다. 이 압전기를 이용해서 불꽃방전을 일으키며 이 에너지에 의해 가스를 착화시키는 원리이다.

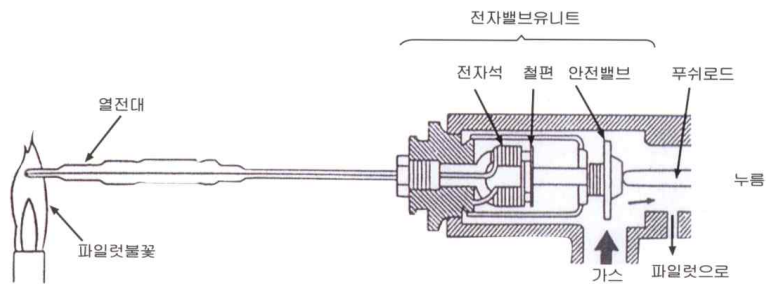


## 6) 소화안전장치의 원리

소화안전장치는 가스 누출을 방지하는 것으로서 열전대식, 플레임로드식, 초음파식 등이 사용되고 있으며, 연소상태에서는 인지하여 가스공급을 정상적으로 하며, 화염이 없는 상태에서는 가스공급을 차단하는 기능을 한다. 소화안전장치는 기본적으로 [그림 1-24] 및 [그림 1-25]와 같으며, 실제 설치"예"는 [그림 1-26]과 같다.

또한 가스기기에는 과열방지장치로서 바이메탈식, 온도퓨즈식이 사용되고 있다. 열전대는 2개의 다른 금속을 접촉하여 폐회로를 만들고 접촉점 온도를 다르게 하면 전류가 흐른다. 이 전류를 열전류라고 하며, 이때의 접촉 전위차를 열기전력이라고 한다. 고온 측의 접촉점인 열 접점이라 하고, 저온 측의 접촉점을 냉접점 또는 기준 접점이라고 한다. 열 접점을 가스로 600~700℃로 가열할 때 약 20~35mV의 열기전력이 발생한다.

[ 그림 1-24 ] 소화안전장치 기본구조



[사진 3-1] - 열전대와 전자밸브 유니트의 단면

[ 그림 1-25 ] 소화안전장치 실체



2

가스설비와  
이해

[ 그림 1-26 ] 콕 열림



[ 그림 1-27 ] 소화안전장치 설치 “예”



나. 연소기의 분류

가스연소기기는 사용처로 구분하면 산업용, 공업용, 가정용에 이르기까지 다양하게 사용되고 있으며, 크기로 구분하면 소형, 중형, 대형 그리고 연소방식이 각각 다르게 생산 및 사용되고 있다.

[ 표 1-19 ] 연소기의 종류와 가스소비량별 사용압력

(단위 : kPa)

종 류	가스소비량		사용압력
	전가스소비량	버너 1개의 소비량	
레인지	14,000 이하	5,000 이하	3.3 이하 (다만, 이동식 부탄연소기, 주물연소기는 제외한다)
오븐	5,000 이하	5,000 이하	
그릴	6,000 이하	3,600 이하	
오븐레인지	19,400 이하 (오븐부는 5,000 이하)	3,600 이하 (오븐부는 5,000 이하)	
밥솥	4,800 이하	4,800 이하	
온수기, 보일러 냉·난방기	200,000 이하	-	
업무용 대형연소기	위 종류마다의 전 가스소비량 또는 버너 1개의 소비량을 초과하는 것		30 이하
	튀김기, 국솥, 그리들, 부로일러, 소독조, 다단식 취반기 등		
그 밖의 연소기류	200,000 이하	-	



## 다. 연소시의 여러 가지 현상

### 1) 안정된 불꽃

염공에서의 가스유출속도와 연소속도가 균형을 이루었을 때는 안정된 연소를 유지하나, 이러한 안정된 불꽃에서도 내염이 저온의 물체에 접촉하면 불완전연소를 일으켜, 일산화탄소나 알데히드류가 연소되지 않고 그대로 방출되어 가스중독사고의 원인이 된다.

### 2) 리프팅(Lifting)

염공에서의 가스유출속도가 연소속도보다 빠르게 되었을 때, 가스는 염공에 붙어서 연소하지 않고 염공을 이탈하여 연소한다. 이러한 현상을 리프팅이라 하는데, 연소속도가 느린 LPG는 리프팅을 일으키기 쉬우며 리프팅의 원인은 다음과 같다.

- 가) 버너의 염공에 먼지 등이 부착하여 염공이 작아졌을 때
- 나) 가스의 공급압력이 지나치게 높은 경우
- 다) 노즐구경이 지나치게 클 경우
- 라) 가스의 공급량이 버너에 비해 과대할 경우
- 마) 연소폐가스의 배출이 불충분하거나 환기가 불충분함에 따라 2차 공기 중의 산소가 부족한 경우
- 바) 공기조절기를 지나치게 열었을 경우

### 3) 역화(Flash Back)

가스의 연소속도가 염공에서의 가스유출속도보다 빠르게 되었을 때 또는 연소속도는 일정하여도 가스의 유출속도가 느리게 되었을 때 불꽃이 버너 내부로 들어가 노즐의 선단에서 연소하게 되는데 이러한 현상을 역화라고 하며 그 원인은 다음과 같다

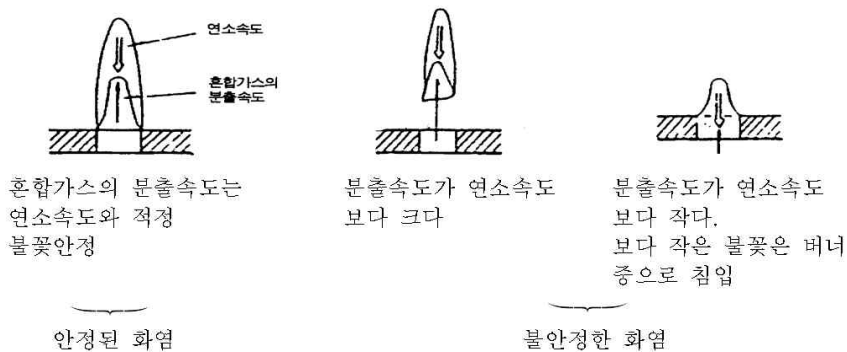
- 가) 부식으로 인하여 염공이 커진 경우
- 나) 노즐구경이 너무 적거나
- 다) 노즐구경이나 연소기 콕의 구멍에 먼지가 묻거나
- 라) 콕이 충분히 열리지 않았거나
- 마) 가스 압력이 낮을 때
- 바) 가스레인지 위에 큰 냄비 등을 올려놓고 장시간 사용하는 경우

## 4) 황염(Yellow tip)

버너에서 황적색의 불꽃이 되는 것은 공기량의 부족 때문이며 황염이 되어 불꽃이 길어지고, 저온의 물체에 접촉하면 불완전연소를 촉진하여 일산화탄소나 그을음이 발생하므로 주의해야 한다. 그러므로 버너 특유의 내염과 외염으로 되는 불꽃이 될 때까지 1차공기의 공기 조절기를 열어야 한다. 공기 조절기를 충분히 열어도 황염이 그대로 있으면 대개의 버너 노즐 구경이 너무 커서 가스의 공급이 과대하거나 가스의 공급압력이 낮기 때문이다.

또한 용기에서 자연 기화하는 경우 잔액이 적을 때 황염이 발생하는 것은 가스성분의 변화(부탄가스의 증가)와 가스공급압력이 낮아지기 때문이다.

## [ 그림 1-28 ] 분출속도와 연소속도와의 관계



## 5) 불완전연소

가스의 연소는 산화반응으로서 이 반응이 진행하기 위해서는 충분한 산소와 일정 온도 이상이어야 한다. 이 조건이 만족하지 않으면 반응도중의 중간 생성물(일산화탄소 등)을 발생하는 상태를 불완전연소라 한다. 불완전연소의 원인에는

- 공기와의 접촉, 혼합이 불충분할 때
- 과대한 가스량 또는 필요량의 공기가 없을 때
- 불꽃이 저온물체에 접촉되어 온도가 내려갈 때 등이 있다

## 6) 연소중의 음(音)

연소음, 노즐 분출음, 공기흡입에 의한 소음, 폭발음, 연소실 등의 공명음이 있다.



## 라. 연소기의 구분

연소기는 연소에 필요한 공기를 취하는 방법과 연소한 배기가스를 배출하는 방법에 따라 다음과 같이 개방형, 반밀폐형, 밀폐형 등으로 분류한다.

- 1) 자연배기식(CF) = Convention Flue
- 2) 강제배기식(FE) = Forced Exhaust
- 3) 자연급배기식(BF) = Blanced Flue
- 4) 강제급배기식(FF) = Forced Darft Blanced Flue
- 5) 옥외용(RF) = Roof of Flue

[ 표 1-20 ] 연소기의 구분

구분		구분 내용	식	약호	
옥	개방형	연소용 공기를 옥내에서 취하고, 연소 폐가스를 그대로 옥내로 배출하는 형식	개방식	-	
	반 밀 폐 형	자연 배기	연소용 공기를 옥내에서 취하고, 연소폐가스를 배기통을 이용하여, 자연 통기력으로 옥외에 배출하는 방식	배기통식	CF
		강제 배기	연소용 공기를 옥내에서 취하고, 연소폐가스를 배기통을 이용하여, 강제적으로 옥외에 배출하는 방식	강제배기	FE
	내	밀 폐 형	자연 급배기	급배기통을 외기에 접하는 벽을 관통하여, 옥외로 내어 자연통기력에 의하여 급배기하는 방식	밸런스 외벽식
급배기통을 전용챔버 내에 접속하여, 자연통기력에 의해 복도로 급배기하는 방식				밸런스 챔버식	BF-C
급배기통을 공용 급배기 덕트내에 접속하여, 자연통기력에 의해 급배기하는 방식				밸런스 덕트식	BF-D
강제 급배기		급배기통을 외기에 접하는 벽을 관통하여, 옥외로 내고, 급배기 팬에 의해 강제적으로 급배기하는 방식	강제 급배기식	FF	
옥 외 형		옥외에 설치하는 연소기		-	

## 마. 흡수식 냉·온수기

냉동기의 구동 열원으로 증기나 온수 대신에 가스를 연료로 직접 연소시켜 그 열로 재생기에서 냉매를 발생시켜 냉방용 냉수를 얻고, 겨울철에는 그 열로 온수를 직접 가열하여 난방용으로 사용할 수 있도록 한 장비이다. 여름철에는 냉방용 냉수를 겨울철에는 난방용 온수를 공급할 수 있으므로 냉온수기라 불린다.

최근 여름철 전력의 수요를 줄이고 여름철 가스의 수요 증대와 청정에너지 사용 정

책과 냉온수기 한 대로 냉방과 난방을 겸할 수 있어서 보일러의 설치 면적을 줄일 수 있다는 경제성 때문에 일반적인 모든 건물의 냉난방용 열원 기기로 주로 사용되고 있으며, 연료를 직접 연소하여 여름에는 냉수를 겨울에는 난방용 온수를 각각 얻도록 되어 있는 형식의 것이 주로 사용된다.

흡수식 냉온수기는 냉매로 물( $H_2O$ )을 흡수제로 리튬브로마이드 (LiBr)수용액을 사용하는 냉온수 발생장치이다.

### 바. 코·제너레이션

코·제너레이션(Co-generation)이란, 도시가스를 연료로 한 가스 코·제너레이션은 가스 엔진이나 가스터빈을 이용해서 발전기를 구동하여 전기를 일으키고, 가스엔진, 가스터빈의 배기가스나 냉각수의 열을 회수하여 급탕이나 냉·난방에 이용하는 열병합 발전시스템이다. 즉 하나의 1차 에너지로부터 전기나 열 등 2가지 이상의 유효에너지를 발생시키는 것을 「Co(공동)-Generation(발생)」이라고 한다.

#### 1) 에너지의 효율적인 이용

전기를 이용하는 동시에 배열을 회수하여 이용하는 것으로서 고효율과 함께 에너지 절감이 달성된다.

#### 2) 깨끗한 환경의 보존

연료를 도시가스를 사용하므로 황화물( $SO_x$ )의 배출이 없고, 질소산화물 및, Co 배출량이 적게 배출되므로 쾌적한 환경이 보존된다.

#### 3) 비용절감

코·제너레이션(Co-generation)은 배열에 의해 급탕이나 난방이 가능하고 흡수식 냉동기와 조합하여 냉방도 가능하여 에너지 비용을 낮출 수 있다.

#### 4) 비상겸용 가스 Co-generation 시스템의 채택

가스 코·제너레이션(Co-generation) 시스템을 채용함으로써 종래의 비상용 발전설비가 불필요하게 되고 설비 및 공간의 효율적인 이용이 가능하다.



## 제1절 가스사고조사와 법적 근거

### 1. 가스관계 법령

#### 가. 고압가스안전관리법

##### 1) 고압가스안전관리법 제26조(사고의 통보 등)

① 사업자 등과 특정고압가스 사용신고자는 그의 시설이나 제품과 관련하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사고가 발생하면 산업통상자원부령으로 정하는 바에 따라 즉시 제28조에 따른 한국가스안전공사에 통보하여야 하며, 통보를 받은 한국가스안전공사는 이를 시장·군수 또는 구청장에게 보고하여야 한다.

1. 사람이 사망한 사고
2. 사람이 부상당하거나 중독된 사고
3. 가스누출에 의한 폭발 또는 화재사고
4. 가스시설이 손괴되거나 가스누출로 인하여 인명대피나 공급중단이 발생한 사고
5. 그 밖에 가스시설이 손괴(損壞)되거나 가스가 누출된 사고로서 산업통상자원부령으로 정하는 사고

② 제 1항의 규정에 의한 통보를 받은 공사는 사고재발방지 기타 가스사고 예방을 위하여 필요하다고 인정할 때에는 그 원인·경위 등 사고에 관한 조사를 할 수 있다.

##### 2) 고압가스안전관리법 제36조의 2(처분의 요구)

① 공사는 제36조에 따라 위탁받은 권한의 행사 중 이 법이나 이 법에 따른 명령을 위반한 사실이 있는 것을 알게 되면 시·도지사나 시장·군수·구청장에게 그 위반사실을 알리거나 그 위반행위를 한 자에 대하여 필요한 처분을 할 것을 요구할 수 있다.

② 시·도지사나 시장·군수·구청장은 제1항에 따른 요구를 받은 경우에는 정당한 사유가 없으면 필요한 처분을 하여야 한다.

##### 3) 고압가스안전관리법 시행규칙 제54조(사고의 통보) ① 법 제26조제1항에 따른 사고의 통보는 별표 34에 따른다.

## 사고의 통보 방법 등(제54조제1항 관련)

## 1. 사고의 종류별 통보 방법 및 기한

사고의 종류	통보 방법	통보 기한	
		속보	상보
가. 사람이 사망한 사고	전화 또는 팩스를 이용한 통보 (이하 "속보"라 한다) 및 서면으로 제출하는 상세한 통보 (이하 "상보"라 한다)	즉시	사고발생 후 20일 이내
나. 사람이 부상당하거나 중독된 사고	속보 및 상보	즉시	사고발생 후 10일 이내
다. 가스누출에 의한 폭발 또는 화재사고(가목 및 나목의 경우는 제외한다)	속보	즉시	
라. 가스시설이 파손되거나 가스누출로 인하여 인명대피나 공급중단이 발생한 사고(가목 및 나목의 경우는 제외한다)	속보	즉시	
마. 사업자등의 저장탱크에서 가스가 누출된 사고(가목부터 라목까지의 경우는 제외한다)	속보	즉시	

비고 : 한국가스안전공사가 법 제26조제2항에 따라 사고조사를 한 경우에는 자세하게 보고하지 않을 수 있다.

② 법 제26조제1항제5호에서 "그 밖에 가스시설이 손괴되거나 가스가 누출된 사고로서 산업통상자원부령으로 정하는 사고"란 사업자 등의 저장탱크에서 가스가 누출된 사고를 말한다.

## 나. 액화석유가스의 안전관리 및 사업법

## 1) 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 제56조(사고의 통보 등)

① 액화석유가스 사업자등과 액화석유가스 특정사용자는 그의 시설이나 제품과 관련하여 다음 각 호의 어느 하나에 해당하는 사고가 발생하면 산업통상자원부령으로 정하는 바에 따라 즉시 한국가스안전공사에 알려야 하며, 한국가스안전공사는 통보 받은 내용을 허가관청, 등록관청 또는 시장·군수·구청장에게 보고하여야 한다.



1. 사람이 사망한 사고
2. 사람이 부상당하거나 중독된 사고
3. 가스누출에 의한 폭발 또는 화재 사고
4. 가스시설이 손괴되거나 가스누출로 인하여 인명대피나 공급중단이 발생한 사고
5. 그 밖에 가스시설이 손괴되거나 가스가 누출된 사고로서 산업통상자원부령으로 정하는 사고

② 제1항에 따라 통보를 받은 한국가스안전공사는 사고 재발 방지와 그 밖에 가스 사고 예방을 위하여 필요하다고 인정할 때에는 그 원인과 경위 등 사고에 관한 조사를 할 수 있다.

## 2) 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 제62조(처분의 요구)

① 한국가스안전공사는 제56조제2항에 따른 사고조사 또는 제61조에 따라 위탁받은 권한의 행사 중 이 법이나 이 법에 따른 명령을 위반한 사실이 있는 것을 알게 되면 시·도지사 또는 시장·군수·구청장(특별자치시장 및 특별자치도지사는 제외한다)에게 위반 사실을 통보하거나 위반 행위를 한 자에 대하여 필요한 처분을 할 것을 요구할 수 있다.

② 시·도지사 또는 시장·군수·구청장(특별자치시장 및 특별자치도지사는 제외한다)은 제1항에 따른 요구를 받으면 정당한 사유가 없으면 필요한 처분을 하여야 한다.

## 3) 액화석유가스의 안전관리 및 사업법 시행규칙 제74조(사고의 통보)

① 법 제56조제1항에 따라 한국가스안전공사에 사고를 알려야 하는 자는 다음 각 호의 자로 한다.

1. 법 제5조에 따른 허가를 받은 액화석유가스 충전사업자(그 영업소를 포함한다), 액화석유가스집단공급사업자, 가스용품 제조사업자, 액화석유가스 판매사업자와 법 제9조에 따른 등록을 한 액화석유가스 위탁운송사업자
2. 법 제8조제1항에 따른 허가를 받은 액화석유가스 저장소 설치자
3. 법 제44조제2항에 따른 액화석유가스 특정사용자(액화석유가스의 저장능력이 250킬로그램을 초과하는 경우만 해당한다)

② 제1항에 따른 통보는 별표 22에 따른다.

③ 법 제56조제1항제5호에서 “산업통상자원부령으로 정하는 사고”란 액화석유가스 사업자들의 저장탱크 또는 소형저장탱크에서 가스가 누출된 사고를 말한다.

## 다. 도시가스사업법

가스폭발  
화재 조사

## 1) 도시가스사업법 제41조(보고 등)

③ 도시가스사업자는 가스공급시설 및 그가 공급하는 가스의 사용시설과 관련하여 다음 각 호의 어느 하나의 사고가 발생하면 산업통상자원부령으로 정하는 바에 따라 즉시 한국가스안전공사에 통보하여야 하며, 통보를 받은 한국가스안전공사는 이를 산업통상자원부장관, 시·도지사 또는 시장·군수·구청장에게 보고하여야 한다.

1. 사람이 사망한 사고
2. 사람이 부상당하거나 중독된 사고
3. 가스누출에 의한 폭발 또는 화재사고
4. 가스시설이 손괴되거나 가스누출로 인하여 인명대피나 공급중단이 발생한 사고
5. 그 밖에 가스시설이 손괴되거나 가스가 누출된 사고로서 산업통상자원부령으로 정하는 사고

④ 제3항에 따른 통보를 받은 한국가스안전공사는 사고제발 방지나 그 밖의 도시가스사고 예방을 위하여 필요하다고 인정하면 그 원인·경위 등 사고에 관한 조사를 할 수 있다

## 2) 도시가스사업법 제44조의 2(위반사실의 통보)

① 한국가스안전공사는 제41조제4항에 따른 사고 조사나 제45조제2항에 따라 위탁 받은 권한의 행사 중 이 법 또는 이 법에 따른 명령을 위반한 사실이 있는 것을 알게 되면 그 위반 사실의 근거자료를 갖추어 이를 산업통상자원부장관, 시·도지사 또는 시장·군수·구청장에게 통보하여야 한다.

② 산업통상자원부장관, 시·도지사 또는 시장·군수·구청장은 제1항에 따른 통보를 받은 경우에는 정당한 사유가 없으면 그 위반사실에 대한 처분을 하여야 한다

## 3) 도시가스사업법 시행규칙 제63조(보고 등)

① 법 제41조제2항에 따라 시·도지사 또는 시장·군수·구청장이 일반도시가스사업자 및 나프타부생가스·바이오가스제조사업자에게 보고하게 할 수 있는 사항은 다음 각 호와 같다.

1. 가스공급업무의 운영에 관한 사항
2. 가스공급시설의 공사·유지 및 운용상 안전에 관한 사항
3. 재무·회계에 관한 사항
4. 가스사용시설에 대한 안전조치업무의 운영에 관한 사항



## 2. 가스사고의 정의

가스관계3법에 규정된 모든 가스 및 그 가스와 관계되는 모든 시설 또는 용기·용품 등에서 발생한 누설, 폭발, 질식, 중독 등의 사고를 총칭한다.

### 가. 가스사고의 구성요소

가스사고의 정의를 분석하면 다음의 요소로 구성되어 있다.

- 1) 인간(즉, 사회일반인)의 의도에 반하여 발생하며 현저하게 확대하거나, 또는 고의에 의해 발생한 것.
- 2) 안전장치(또는 안전설비·시설)등을 사용하여 안전조치를 할 필요가 있다고 객관적으로 판단되는 상태인 것.

### 나. 가스사고의 종류

- 1) 누출사고 : 고의 또는 과실로 가스가 누출된 사고
- 2) 누출·화재사고 : 고의 또는 과실로 누출된 가스가 점화원에 의하여 발생한 사고
- 3) 폭발사고 : 고의 또는 과실로 누출된 가스가 점화원에 의하여 폭발한 사고
- 4) 질식사고 : 누출된 가스 또는 가스의 화학반응 등에 의한 생성물에 질식 또는 질식사한 사고
- 5) 중독사고 : 누출된 가스 또는 가스의 화학반응 등에 의한 생성물에 중독 또는 중독사한 사고
- 6) 화재·폭발사고 : 가스가 아닌 일반화재 등에 의하여 2차적으로 가스시설 등이 폭발한 사고
- 7) 기타사고 : 상기에 분류되지 않은 사고로 가스 등과 직접, 간접 또는 밀접한 관계가 있는 사고

# 3

## 제2절 가스사고의 원인조사

### 1. 원인조사의 내용

가스폭발  
화재 조사

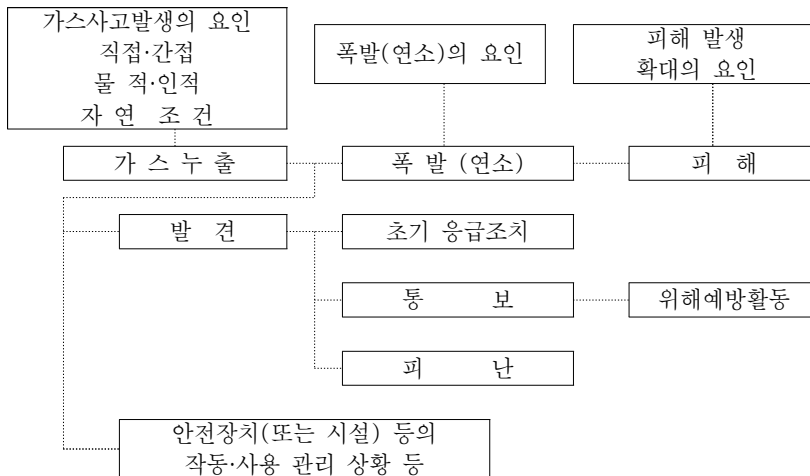
#### 가. 조사의 범위

가스사고 원인조사는 가스3법의 규정을 토대로 실시되고 가스사고의 예방 등 가스안전관리업무의 여러 시책에 반영되어 큰 역할을 담당하고 있다. 따라서 가스사고 원인의 조사는 단순히 “누설지점”을 밝혀내는 것으로 끝나는 게 아니라 가스사고를 발생시킨 원인에서 시작하여 위해예방에 이르는 일련의 과정을 밝히고 원인, 폭발 연소의 원인, 사상자 발생의 원인을 규명하는 것이다.

- 1) 누출 원인 조사 : 가스누출부위를 판정하며 누출부위에 존재하였던 “점화원”을 규명하고 가스사고 발생의 과정을 과학적으로 입증한다.
- 2) 폭발 연소의 원인 조사 : 가스누출부터 시작하여 확산 과정 등을 포함한 건축 구조, 지리적 조건 등 인적, 물적, 자연 조건을 밝혀낸다.
- 3) 사상자 발생 원인의 조사 : 사상자 발생과 가스누출 원인, 폭발(연소) 원인의 상호관계부터, 물적, 인적, 환경과의 관련을 고찰하여 밝혀낸다.

가스사고는 아래 그림과 같이 누출에서 시작하여 폭발(연소)하고 그 결과 물적·인적인 피해를 발생시킨다.

[ 표 1-21 ] 가스 사고의 진행 현상





이들 현상에는 원인 가운데 다수의 요인이 조합되어 직접 혹은 간접적으로 적용해서 움직이고 있다.

하나하나의 요인은 가스 사고에 대하여 마이너스의 효과로서 작용하고 누출, 폭발(연소), 사상자 발생에 대하여 과급효과가 크게 미친다.

그러나 원인 조사에 있어서 안전장치(또는 시설)가 작동하여 작은 사고로 된 것과 같은 플러스 요인이 작용한 현상에 대해서도 조사할 필요가 있다. 각 요인 중에 인위적인 면에 대해서는 소프트웨어(Software) 상의 물리적인 면에 대해서는 하드웨어(hardware) 상의 가스 안전 업무상의 대책이 가능하게 된다.

원인조사는 이들 위험 요인을 규명하고 장애의 유사한 가스사고 예방을 전제로 하여 가스안전 업무의 반영에 도움이 되고 있다.

#### 나. 가스사고 원인조사의 기초적 사항

원인 조사는 물질이 파손 혹은 또는 손상된 사실에 출발점을 두고 대개 이러한 흔적으로부터의 귀납적 고찰이 주체로 된다. 파손이 강할수록 관계자가 적을수록 사고에 이른 원인을 조사하는 것이 곤란하며 그 특징으로는 다음과 같은 것이 있다.

1) 가스사고 현상은 가스사고와 응급조치 활동에 의해 현장의 물건이 소손 혹은 파괴된 증거자료로서 복원이 곤란한 현상이다.

2) 가스사고 발생동기 조사는 많은 사람이 개입하여 있고, 과실 행위가 범죄 인식 여부 및 이상심리 상태 등 사람의 행위와 사람의 심리를 탐구하지 않으면 조사가 곤란하다.

이러한 곤란한 이유로 원인조사에 대한 각종 제약이 가해지게 된다. 원인 조사를 귀납적인 방법으로 행하는 것도 그 이유이다. 파손 물건을 식별하고 존재하거나 존재할 수 있었던 복수의 사고 요소를 검증해 가는 일련의 작업을 원인조사의 절차로 하고 있다. 과학적인 원인조사를 행하기 위해서는 다음과 같은 기초적인 사항이 필요하다.

가) 가스사고 발생의 구조파악(mechanism, 물건, 물질의 잠재적 사고위험성의 파악)  
: 물리적, 화학적, 기계적인 면으로 부터의 가스 사고를 발생시키는 구조원리에 관한 지식 습득

나) 착화점의 발견 : 가스사고 현장에 남아 있는 목재·금속 콘크리트 등의 각 소재의 상태를 관찰하여 발화지점을 순차적으로 조사하여가는 식별 및 발견 등의 감식 기술

다) 현장 조사의 진행 방법 숙지 : 가스사고 현장으로부터 귀납적으로 고찰하여 감과 아울러 많은 자료를 입수하여 매우 신중하게 행하는 방법과 입증 과정에서의 증거 보존 방법에 관한 기술

라) 관계 법규와 사회 정세를 파악 : 가스관계법령기준에 대한 지식, 지속적인 과학기술의 발전, 생활·사회 상황의 변화에 대응한 사회 환경에 관한 정보, 지식 더욱이 조사원의 과학적인 사고, 매사를 간과하지 않는 탐구심, 조사에 종사할 수 있는 강한 체력이 요구된다. 이런 것을 총력으로 발휘함으로써 원인조사가 가능하게 된다. 원인조사는 재차 시행할 수 없는 것이 많다. 그런 이유에서도 정확한 사고원인을 서서히 찾아가는 것이 중요하고 관정의 오관은 원인조사의 치명적인 실패로 된다. 더욱이 “현장 조사의 진행 방법”을 정확히 행하지 않으면 만족할 원인조사가 불가능하고 애매한 판정을 행하게 된다.

현장의 보존, 관계자에게의 질문, 현장의 발굴로 일정한 절차에 따라 정확하게 행하는 것이 필요하고 단순 가스사고라도 이들 절차를 준수하는 것이 과학적인 원인 조사의 전제조건이다.

#### 다. 가스사고 원인의 분류

가스사고 원인의 분류는 가스사고 조사로 얻은 정보를 가스안전 업무상에 반영시켜야 마땅하고 가스사고 원인의 통계를 작성, 이것을 발표하고 무엇이 위험한가를 알고 가스사고 발생의 방지에 도움이 되게 하기 위한 수단이다.

따라서 어떤 형태의 사고가 많이 발생하는가, 어떤 원인에 의해 많이 발생하는가를 알아두는 것도 필요하다. 게다가 어떠한 과정을 거쳐 누설되고, 연소·폭발하였는지를 조사하여 두는 것도 매우 중요하다.

가스사고의 형태, 사고에 이르는 과정 및 가스종류의 3요소에 사고가 발생한 장소 즉 사고지점을 합한 4요소를 열거하여 표현한 것이 가스사고 원인이다.

##### 1) 가스사고 형태별 분류

가스사고 형태란 사고에 직접 관계하거나 또는 그 자체로부터 발생한 것을 말한다. 실제 사고에 있어서의 형태를 분류하여 보면 누출·화재(착화), 폭발, 파열, 질식, 중독, 동상 등으로 분류할 수 있다.

과학적인 입장에서 보면 보다 합리적이고 세부적인 분류 방법도 있다고 생각되지만 여기서는 조사를 현장에 적용할 수 있도록 되어 있다.

이러한 형태별 분류는 사고에 직접 관계한 모든 물건, 물체에 적용한다.

예) 단순 가스누출(2차 재해가 없는 경우)인 때에는 “누출”로 하며, 2차 재해가 발생한 경우 2차 재해의 형태에 따라 “누출·화재”, “폭발”, “질식”, “중독” 등으로 한다.



## 2) 사고에 이르는 과정(원인) 분류

사고에 관계된 현상, 상태 또는 행위를 말한다. 가스사고에 이르기까지는 반드시 “현상”, “상태”, “행위” 중 몇 개가 수반되어 발생되기 때문이다.

현상은 화학적, 물리적, 기계적, 전기적 등으로 인하여 발생하는 것이며, 상태는 “시설의 미비”, “기계·기구” 등과 “재질·구조의 불량”, “천재지변에 의한 것” 등이 있으며, 행위는 “사용 방법의 부적합”, “조작 미숙”, “고의·과실”, “불법” 등이 있다.

이들은 각각 별도의 요인이지만 이들이 단독 또는 복합하여 사고가 발생한다.

과정(원인)분류를 함에 있어서 사고와 관련된 “현상”, “상태”, “행위”의 우선을 타당한 순서로 고찰하여야 한다.

## 3) 가스종류의 분류

가스의 종류는 사고와 직접 관련된 가스 그 자체의 명칭으로 분류하면 된다.

## 4) 사고 지점의 분류

사고부위란 가스사고가 발생한 장소(부위)를 말한다. 사고지점의 분류는 사고가 발생한 장소의 명칭을 기록한다. 이때 장소의 일반적 개념보다 조금 더 작은 범위의 개념으로 생각하여 기록한다. 예를 들면 “A 아파트 123동 435호의 보일러 실내 가스보일러와 배관의 연결 부위(소켓이음)” 등으로 기록한다.

## 5) 기타의 사항

위에 열거한 사항 이외에도 원인조사를 함에 있어서 도움이 될 만한 자료나 사항 들은 항상 기록·유지하여야 한다.

가스사고의 원인을 판정함에 있어서 명확한 증거물품이 없이 추정으로 처리하는 경우가 많은데 이와 같이 추정을 하는 것은 항상 반증이 나타날 수 있으므로 모든 사항들을 가능한 한 상세히 기록해 두어야 할 것이다. 그리고 추정한다는 내용을 반드시 명기하여야 한다.

# 2. 가스사고의 원인 조사의 절차

## 가. 가스사고 원인 조사의 순서

가스사고에 의해 파괴·손상을 가져와 물체의 원형을 잃고, 파손된 잔존물로 부터 사고 원인 조사를 진행해 나가기 위해서는 사고현장에 남아 있는 각각의 물건으로부터 상

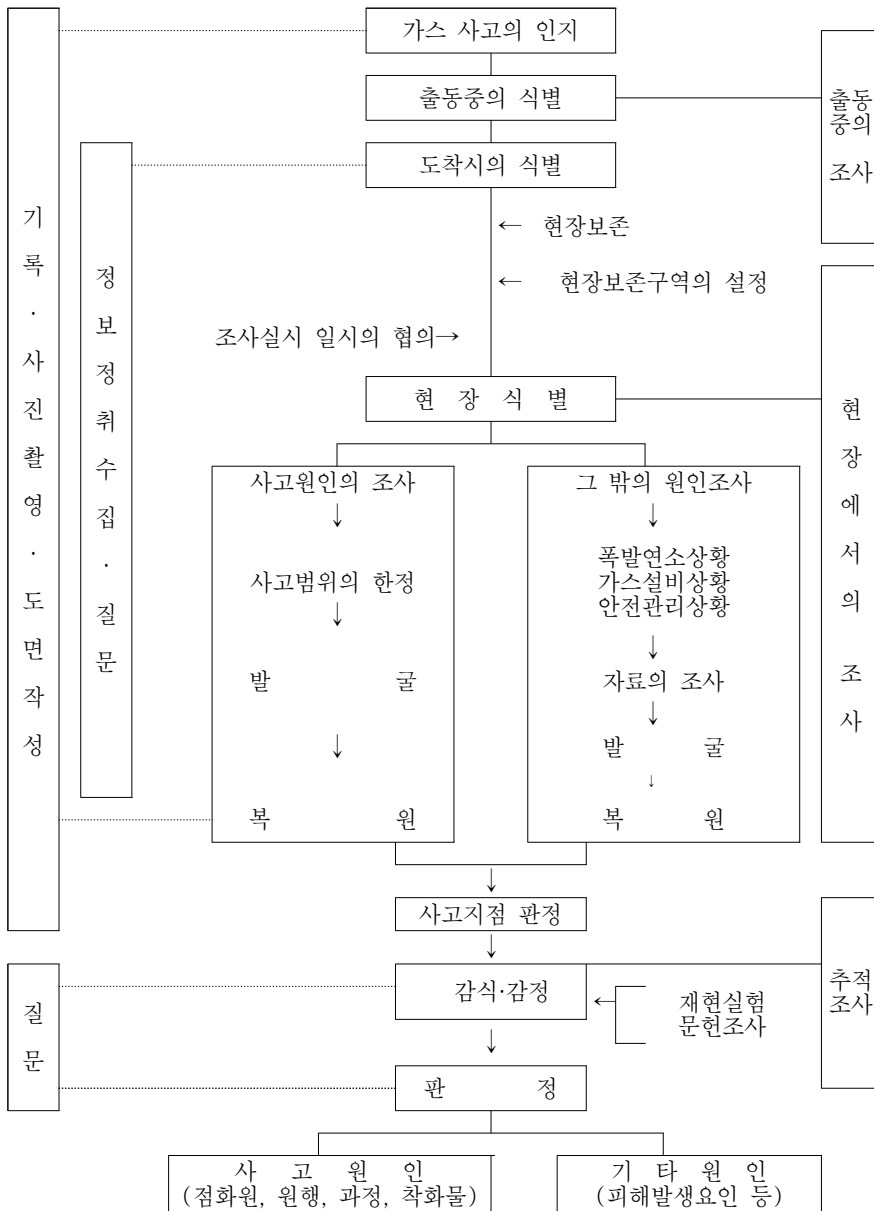
3

가스폭발  
화재 조사

황을 판단을 하여 원인을 도출하게 된다.

여기에는 극히 최고도의 기술이 필요하다. 현장조사의 발굴 및 물건 감식은 진행을 잘못했다고 해서 두 번 다시 행할 수 없기 때문에 사고 원인조사의 순서와 기본적인 유의사항을 충분히 알아두는 것이 중요하다.

[ 표 1-22 ] 가스 사고 원인 조사의 진행 방법





## 나. 가스사고 현장의 착안점

가스사고 현장의 착안점은 폭발·연소 후의 잔해 현장에서 귀납적으로 사고 발생 현상을 명확히 입증하여야 하므로 가스사고 조사에 있어서 중요한 위치를 차지한다.

가스사 현장 그 자체가 물적인 증거이고 이 현장을 어떻게 식별하고 어디에 착안점을 두는가에 따라 증거로서의 가치가 좌우된다.

무엇이 어떻게 누출·연소·폭발 됐는가. 연소의 특성을 현장의 연소된 것과 결부시키고 연소기구를 고찰하는 지식은 가스사고 조사의 기초적 사항이다.

### 1) 폭발연소의 강약

일반적으로 폭발이라고 하면 우선 큰소리와 건물이나 실내의 파괴를 일으킨다. 폭발 시에 발생하는 큰소리 이른바 폭발음은 공기 중을 전파하는 압력파에 의한 것이고 건물이나 실내파괴는 그들의 내부 압력 상승에 의한 것이다. 어떤 경우에도 폭발현상은 압력상승과 불가분하다고 생각해도 된다. 이와 같은 폭발은 어떤 공간에 있어서의 압력상승에 기인한다고 생각되지만 그렇다면 어느 정도의 시간으로 어느 만큼의 압력에 달했을 때 폭발할 수 있는가에 대해서는 명확한 정의는 없다. 폭발이라고 생각되는 현상은 여러 가지를 거치고 있다. 그 종류의 한 예를 다음 표에 나타낸다.

[ 표 1-23 ] 폭발 현상의 종류

종별 기준	폭발현상의 종류
압력상승원인	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상에 대한 엔탈피 중에               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 발열화학반응</li> <li>- 급속가열</li> </ul> </li> <li>○ 응축 상에서 기상으로의 변화               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 증발</li> <li>- 승화</li> </ul> </li> </ul>
변화 또는 반응이 일어나는 상태	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기상, 액상, 고상</li> <li>○ 기상과 액상의 경계면</li> <li>○ 기상과 고상의 경계면</li> <li>○ 액상과 고상의 경계면</li> </ul>
변화 또는 반응에 관여하는 물질의 상태	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 기체               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 혼합기체</li> <li>- 분해성기체</li> </ul> </li> <li>○ 기체, 액체 : 지연성 기체·분무</li> <li>○ 기체, 고체 : 지연성 기체·분진</li> <li>○ 액체</li> <li>○ 고체</li> </ul>

종별 기준	폭발현상의 종류
압력상승이 일어나는 공간의 상태	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 개방</li> <li>○ 밀폐               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 가로, 세로, 높이 가운데의 그 방향의 비가 1에 가까운 경우</li> <li>- 가느다란 공간</li> </ul> </li> <li>○ 일부개방</li> </ul>
변화 또는 반응이 일어나는 부분의 성질	<ul style="list-style-type: none"> <li>○ 발열화학반응을 수반하지 않는 경우               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 발열면</li> <li>- 승화면</li> <li>- 가열면</li> </ul> </li> <li>○ 발열화학반응을 수반하는 경우               <ul style="list-style-type: none"> <li>- 연소파(deflagration)</li> <li>- 폭굉파(detonation)</li> <li>- 확산염</li> </ul> </li> </ul>

압력상승이 일어나는 공간의 상태에 따라서 폭발상태는 달라진다. 개방공간에 있어서의 압력은 비교적 상승이 어렵고, 밀폐 공간 가운데에서도 특히 가늘고 긴 공간에서는 연소파(deflagration)에서 폭굉파(detonation)로의 천이가 일어나기 쉽다. 변화 또는 반응이 일어나는 부분의 성질 또는 경우에 따라 달라진다.

그리고 각종 가연물질의 연소강약의 시점에서 관찰하여 가스사고 발생 시의 폭발 연소와 결부시켜 고찰함으로써 가스사고 원인의 규명을 해 나간다.

## 2) 폭발연소의 방향성

폭발연소의 방향성은 목재·금속의 소손물이 받은 충격파, 폭굉파, 수열 방향 및 폭발 연소의 강·약으로 식별한다. 따라서 그 현장 조사에서 필요로 하는 폭발연소의 방향성을 검토한다. 폭발연소의 방향성은 폭발연소의 방향이고 이것들을 입체적으로 맞추어 사고발생 지점을 찾아간다.

폭발연소의 방향성을 관찰하는 기본은 다음의 포인트에 의한다.

### 가) 폭발연소의 방향성

- 폭발연소 방법에 대한 식별은 전부 비교에 의한다.
- 비교하여 폭발연소의 강·약을 검토한다.
- 국한시킬 때는 각각의 방향성을 입체적으로 보고 고찰한다.



### ① 수직 방향성

수직의 방향성은 상승과 하향이 있다. 연소돼 올라가는 불길은 극히 빠르고 일반적으로 역삼각형(▽)으로 연소가 확대된 흔적을 많이 볼 수 있다. 각 방향으로 연소 속도비는 수평 방향을 1로 했을 때 상승이 20, 하향이 0.3 정도이다. 이것은 대류현상 때문이다.

일반적으로 구석진 곳은 완전히 연소되지 않으나 가연성가스의 특성에 따라 가장 낮고 구석진 곳으로 흘러서 깊고 구석진 곳까지도 폭발 연소시키는 경우가 있다. 또한 직상방향에 저항이 생기면 수평 방향으로 확대되거나 직각방향으로 폭발연소 현상이 발생한다.

### ② 수평방향성

수평방향으로의 폭발연소 속도는 비교적 낮고 폭발연소에너지가 적기 때문에 연소의 강·약 차이가 남기 쉽고 따라서 방향을 식별하기 용이하다.

이밖에도 변색, 박리, 가열, 비산, 사망자, 위치, 형태를 비롯하여 잔존물 등의 형태, 위치, 순서 등의 흔적을 통해 알 수 있으나 이는 건물의 구조나 물건배치 여건에 따라 다르게 나타나는 경우가 많아 체계적으로는 설명이 어려우므로 상황에 따라 관찰·식별에 주의하여야 한다.

### ③ 건물구조별 폭발성상과 현장식별

폭발현상이 공간 상태에 의해 대폭적으로 달라지는 것은 잘 알려져 있다. 그 공간이 개방되어 있는 경우 반지름 수 미터 정도의 범위에 있어서 가연조건이 만족되는 상태가 되었다고 하더라도 분위기와와의 사이의 과 확산 등을 생각하면 비교적 단시간으로 그곳에서의 가연조건이 만족할 수 없게 되었다고 추정되고 여기에 착화되었다고 하더라도 발생하는 압력과의 강도는 그다지 강해진다고는 생각되지 않는다. 따라서 가연조건이 만족되고 있는 범위의 지름이 수 십 미터 이상에 걸친 경우에 그것에 의한 피해가 문제가 된다고 해도 좋다고 생각된다. 이와 같은 경우 폭발에 의한 피해를 평가하는데 중요한 점은 폭발이 일어난 곳에서 발생한 압력파가 전파하여 그 충격에 의한 피해가 발생한 과정 및 폭발에 기인하는 파괴에 의해 발생한 비산물의 충돌에 의한 피해가 발생한 과정과 화이어 볼이 발생하여 그 복사에 의한 피해가 발생한 과정을 정확하게 파악하는데 있다.

폭발이 밀폐공간에서 일어날 경우에는 그 공간의 모양 등을 구성하고 있는 벽면의 강도 등에 의해 현상이 달라진다. 밀폐공간의 가로, 세로, 높이 중 임의의 두 방향 치수비가 1과 극단적으로 달라지지 않는 거주 공간이나 어떤 종류의 장

치와 같은 공간에서의 기상폭발을 생각할 경우 공간 내에서의 가연성 혼합기의 농도 분포, 공간을 구성하고 있는 벽면 가운데 약한 부분의 강도 및 넓이, 개방되고 있는 창 등의 개구부 넓이 등의 상태가 중요하다. 또 밀폐공간의 2방향 치수가 다른 1방향에 비해 대단히 크고 관로나 닥트 내에서의 기상폭발의 경우 조건에 따라서는 데토네이션으로 전이하므로 관로나 닥트의 모양이나 내면상태 가연물의 상태나 농도 등이 폭발 현상을 예측하는데 중요하다.

폭발에 의한 피해는 폭발에 관여하는 가연성 물질의 종류, 상태 및 양의 상황에 따라 달라진다. 보통의 주택에 있어서의 가연성기체 누출에 기인하는 폭발 이른바 주택의 “가스폭발”에 있어서는 발생 건수의 반수 이상으로 가연성 고체의 연소 소위 주택의 “화재”에 전이하고 있다. 폭발에 의한 피해를 적절하게 예측하는 경우 이들의 과정에 있어서의 현상도 충분히 파악해 둘 필요가 있다.

#### ㉔ 개방공간에 있어서의 폭발성상

개방공간에 있어서 다량의 가연성기체가 누설 또는 증발했을 때에는 그것이 풍하로 흘러 나가면서 확산되어 연소범위에 있는 혼합기 즉 가연성 혼합기가 생성되고, 다시 확산하여 가연성 혼합기는 소멸한다. 이 경과는 가연성 기체의 누출이나 발생상황, 그 장소에 있어서의 풍향, 풍력, 지형 등에 의한다.

개방공간에 있어서 가연성기체의 확산상황은, 이론적으로는 적당한 초기조건 하에서 풀이함으로 예측이 가능하지만 보통의 기상조건하에서는 공기의 흐름은 난류이므로 이론적으로 풀기는 많은 노력이 필요하며 현실적으로 불가능하다.

#### ㉕ 밀폐공간에 있어서의 폭발성상

누출 또는 발생한 가연성가스는 밀폐공간 내에서 주위 공기와 혼합하여 가연성혼합기를 형성한다. 가연성혼합기의 상태는 공간의 부피, 환기 위치 및 환기의 유동성, 가연성 가스의 종류 및 가스누출 상황 등에 따라 달라진다.

폭발이 문제가 되는 규모의 밀폐 공간 내 가연성가스의 농도는 일반적으로 불균일하다. 가연성가스의 농도는 가스가 누출 또는 발생하는 장소 부근에서는 높다고 생각되고 거기서 떨어진 곳에서는 그 보다 낮아진다고 생각된다.

밀폐공간에서의 폭발은 아래와 같다.

- 폭발에 의해 주위 벽면에 압력 상승이 일어난다.
- 압력이 벽면의 강도이상이 되면 파괴가 일어난다.
- 구조적으로 약한 부분이 파괴되어 개구부가 생긴다.



(보통 유리는 0.04kg/cm<sup>2</sup> 정도에서 파손)

- 미연소 가스가 개구부로 유출되기 때문에 화염도 가스의 흐름에 따라 전파하고 압력도 대기로 방산 된다.

## 다. 가스폭발

### 1) 고압가스의 연소

가) 정의 : 빛과 열을 수반하는 급격한 산화작용으로서 화학변화의 일종이다.

나) 연소의 3요소 : 가연성 물질, 산소공급원, 점화원을 말하며, 산소공급원은 공기 중의 산소, 순산소 등 자신은 연소하지 않고 가연성 물질의 연소를 돕는 조연성(지연성:支燃性)가스를 말하며, 점화원은 화기, 전기스파크, 정전기불꽃, 마찰열, 충격, 고열물, 단열압축 등이 있다.

다) 인화점 : 공기 중에서 가연물에 점화원을 접촉 시 연소하는 최저온도

라) 발화점 : 불씨가 없이 연소가 일어나는 최저온도(착화점)로서 발열량이 크고, 반응활성도가 클수록 발화점은 저하되며, 임화점과 발화점이 낮을수록 위험하고, 탐화수소에서 착화점은 많은 분자일수록 낮아진다.

마) 폭발에 영향을 주는 인자 : 온도, 압력, 용기의 모양과 크기, 조성(폭발범위%)

바) 폭발등급과 안전간격

① 소염 : 온도, 압력, 조성의 3가지 조건이 갖추어져도 용기가 작으면 발화하지 않고, 부분적으로 발화하여도 화염이 전파되지 않고 도중에 꺼져버리는 현상

② 안전간격 : 안전간격 측정 장치에서 화염이 틈새를 통하여 외측의 폭발성 혼합가스까지 전달되는가를 측정할 때 화염이 전달되지 않는 한계의 틈새이다.

㉠ 폭발 1등급 : 안전간격이 0.6mm 이상인 가스(2, 3급을 제외한 모든 가연성가스)

㉡ 폭발 2등급 : 안전간격이 0.6mm 미만 0.4mm 이상인 가스(에틸렌, 석탄가스)

㉢ 폭발 3등급 : 안전간격이 0.4mm 미만인 가스(수소, 아세틸렌, 이황화탄소, 수성가스)

③ 폭발위험도 : 클수록 위험하며, 하한계가 낮고 상한과 하한의 차이가 클수록 커진다.

$$H=(U-L)/L$$

H : 위험도

U : 폭발한계 상한

L : 폭발한계 하한

#### ④ 폭발과 폭굉

㉠ 폭발 : 격렬한 연소의 한 형태로서 급격한 압력의 발생, 해방의 결과로써 격렬한 음향과 폭풍을 일으키는 팽창현상을 말한다.

㉡ 화학적폭발 : 폭발성 혼합가스에 점화 시 발생하는 현상

㉢ 압력폭발 : 고압가스용기, 보일러 등의 폭발

㉣ 분해폭발 : 가압 하에서 아세틸렌, 산화에틸렌 등의 폭발현상

㉤ 중합폭발 : 시안화수소, 산화에틸렌 등 중합열에 의한 발열반응 폭발

㉥ 촉매폭발 : 수소, 염소 등에 직사광선 노출 시 염소 폭명기 등의 폭발

㉦ 폭굉 : 가스중의 음속보다 화염전파속도가 큰 경우를 말한다.

㉧ 폭파속도 : 폭굉이 전하는 속도는 1000~3500m/s(정상 연소속도는 0.03~10m/s)

㉨ DID(폭굉유도거리) : 완전한 여노가 폭굉으로 발전하는 거리로서 짧을수록 위험하며, 다음과 같은 조건에서 DID가 짧아진다.

㉩ 정상연소속도가 큰 혼합가스일수록

㉪ 관 속에 장애물이 있거나 관지름이 작을수록

㉫ 고압일수록

㉬ 점화원의 에너지가 강할수록

#### 라. 방폭설비

1) 압력방폭설비 : 용기내부에 공기, 질소 등의 보호기체를 압입하여 내부에 압력을 유지함으로써 폭발성가스가 외부에서 침입하지 못하도록 한 구조를 말한다.

2) 내압방폭설비 : 전폐구조로서 용기내부에서 폭발성가스가 폭발하여도 압력에 견디고 내부의 폭발화염이 외부로 전해지지 않도록 하는 구조이다.

3) 유입방폭설비 : 전기기기의 불꽃, 아크가 발생하는 부분을 절연유에 격납하여 폭발가스에 점화되지 않도록 한 구조이다.

4) 운전중방폭구조 : 운전 중 불꽃이나 아크 과열이 발생하면 좋지 않으므로 이들이 발생하지 않도록 안전성을 높인 구조이다.

5) 본질운전중방폭구조 : 운전 중 방폭구조를 개량한 구조로서 운전 중 사고 시에 발생하는 불꽃, 불티, 열에 의하여 폭발성가스에 점화될 우려가 없음이 점화시험으로 확인된 구조이다.



## 제3절 가스시설별 사고조사 FLOW-CHART

### 1. 용 기

#### 용 접 용 기

##### ○ 누출지점

- 용기밸브
- 넥크링
- 용접부
- 부 식
- 사이폰관의 파손

##### ○ 스톱링 이탈

현장수거물품 : 용기밸브 핸들, 스톱링, 스템

##### ○ 용기밸브 씨트에 이물질 유입으로 밸브를 닫아도 계속 누출

우선 내부에 있는 가스를 완전히 퍼지시키고 용기에서 밸브를 분리하여 정밀감정의뢰  
<조사방법>

용기로부터 분리하여 밸브몸체를 절개한 후 내부의 씨트를 조사한다.

##### ○ 넥크링부 가스누출인 경우

납전, 목전으로 응급조치가 가능한 경우에는 조치한 후 충전소 등에 이송하여 퍼지 후  
원인조사 실시

<조사방법>

현장에서 우선 가스누출검지기로 확인하고 수거하여 현미경으로 조사한다.

##### ○ 부식 및 용접부 가스누출인 경우

납전, 목전으로 응급조치가 가능한 경우에는 응급 조치한 후 충전소 등에 이송하여  
정차시키고, 원인조사로서 용접부위의 가스누출은 대부분 제조 당시에는 발견되지 않았다가  
사용 중에 확인되는 경우가 있으므로 누출개소 발견 시 주로 용접부위나 밸브넥크링부를  
확인한다.

<조사방법>

현장에서 우선 가스누출검지기로 확인하고 수거하여 현미경으로 조사한다.

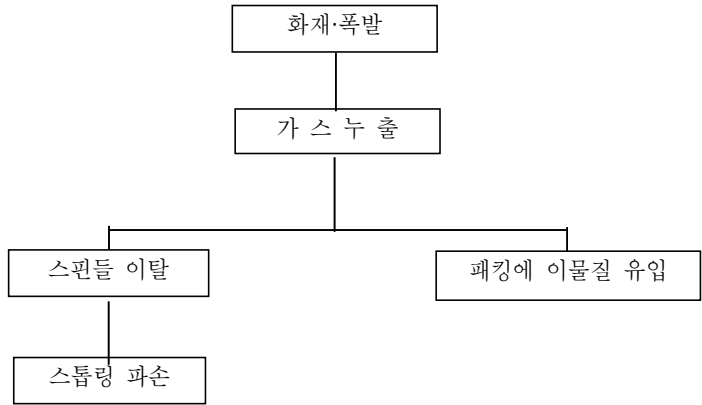
3

<사고조사 흐름도>

LPG 용기용 밸브는 스펀들, 스템, 스톱링, 안전밸브, 바디, 핸들 등으로 이루어져 있으며 그 중 스템이 가스의 개폐를 한다.

가스폭발  
화재 조사

[ 표 1-24 ] 가스 누출사고의 분류



가) 스톱링에 의한 사고

밸브의 개폐에 무리한 힘이 지속적으로 가해져 스톱링이 파손, 스펀들이 용기용 밸브 개폐 시 이탈되어 가스가 누출, 화재발생

나) 스템의 패킹의 이물질에 의한 사고 스템의 패킹부에 이물질이 이입되어 밸브가 기밀을 유지하지 못해 가스가 누출된 사고임

[ 그림 1-29 ] 기밀이 유지되지 않는 밸브





[ 그림 1-30 ] 스템 패킹에서 발견된 물질



[ 그림 1-31 ] 밸브 디스크 이물질 접촉



[ 그림 1-32 ] 밸브시트에 접촉된 이물질

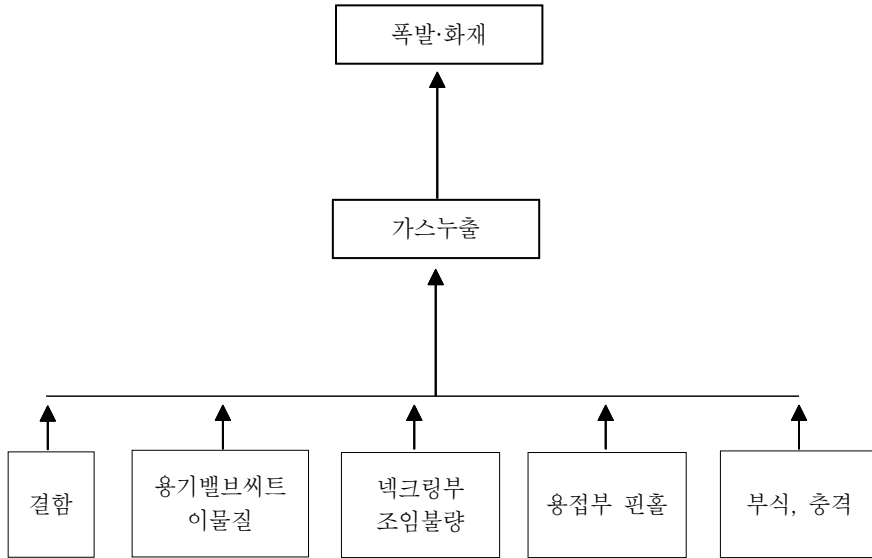


3

[용기]

[ 표 1-25 ] 가스 누출사고의 원인

가스폭발  
화재 조사



질문요지

1. 사고 당시의 상태로 존재하고 있었는가.
2. 화재가 발생하였다면 그 흔적이 확인되는가.
3. 작업가가 용기를 교체, 취급하였는가.
4. 가스가 누출되는 곳이 확인되는가.
5. 외부 충격에 의한 영향을 받은 흔적이 있는가.
6. 용기에 대한 검사, 재검사는 받았는가.
7. 용기 외부에 결로현상이 식별되는가.
8. 안전밸브에서의 가스누출이나, 화염흔적은 없는가.



## 용기내장형난방용 용기

### ○ 누출지점

- 밸브패킹부
- 용접부
- 넥크링부

이 용기는 실내에 보관할 수 있는 용기로서 간혹 사고유발대상으로 지목되는 경우가 있어 현장 도착 즉시 이 용기가 실내에 있었다면 타 기관에서 사고유발로 처리하기 전에 사고유발제품이 아니라는 것으로 규명하여야 한다.

따라서 화재의 형상이나, 용기의 화재흔적을 확실히 구분할 수 있어야 하므로 매우 중요한 조사라고 할 수 있다.

### ○ 밸브패킹부

밸브패킹부에 이물질 유입될 경우 패킹부에 고착되어 정확히 닫히지 않아 가스가 누출되는 사고이다.

#### <조사방법>

- 가스누출검지기로 누출여부를 확인하고, 폭발이나 화재가 수반된 경우 밸브 내부의 화재흔적을 확인한다.
- 만약 화재가 발생하였다면 강한 화재의 흔적이 식별되며, 황동을 변색시킨 형상을 볼 수 있다.
- 밀봉캡이 있었는지 확인한다.
- 밸브를 수거하여 정밀조사를 실시한다.

### ○ 용접부

밸브, 압력조정기 연결부, 넥크링부에서 가스누출이 없었다면 용기 핀홀의 가스누출을 확인하여야 한다.

#### <조사방법>

수조에 넣거나 비눗물을 도포하여 확인한다.

### ○ 넥크링부

제조당시 조임상태가 불량하였거나, 충전 이동 시 이완될 경우 가스가 누출된다.

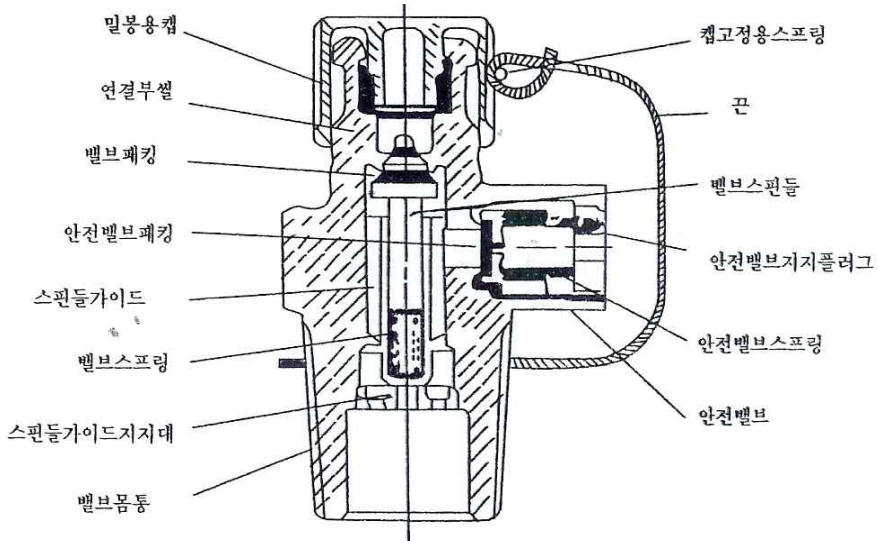
#### <조사방법>

가스누출검지기나 비눗물 등으로 도포 확인한다.

3

[ 그림 1-33 ] 용기내장형가스난방기 용기용 밸브 구조도

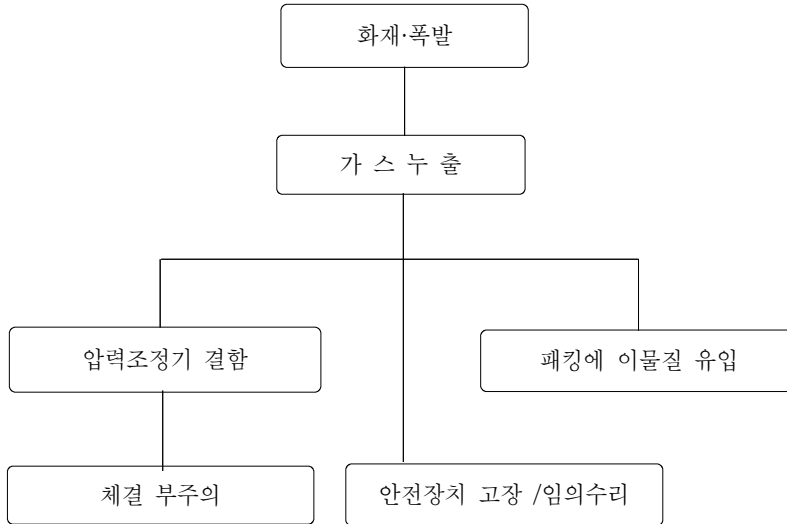
가스폭발  
화재 조사





## 용기내장형난방용 용기

[ 표 1-26 ] 조사 흐름도



밸브의 개폐는 압력조정기에 의하여 이루어지며 용기용 밸브에는 개폐기능의 핸들은 없다. 용기의 운반 시 보호용 캡을 씌우도록 되어 있으며 이는 용기의 밸브에 이물질의 유입을 막기 위한 것이다.

사고의 유형으로는 보호용 캡이 제거된 용기용 밸브에 이물질이 들어가 최초 사용 시 스템이 밀므로 내려가면서 스템과 몸체 사이에 끼이게 된다. 사용 후 밸브를 닫지만 이물질에 의하여 기밀이 유지되지 못함으로 용기내장형 케비넷히터는 소화되지 못하게 되고 취급자가 조정기를 분리하면 누출된 가스가 가열된 난방기에 의하여 발화하게 된다.

3

<사고사진 예>

가스폭발  
화재 조사

[ 그림 1-34 ] 사고가 발생한 용기용 밸브



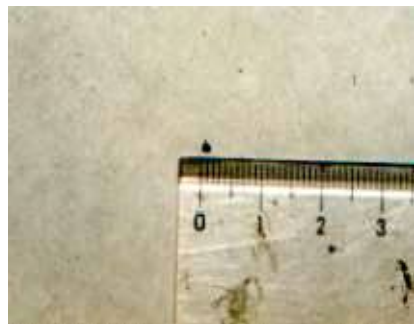
[ 그림 1-35 ] 1/2 절단한 사고밸브



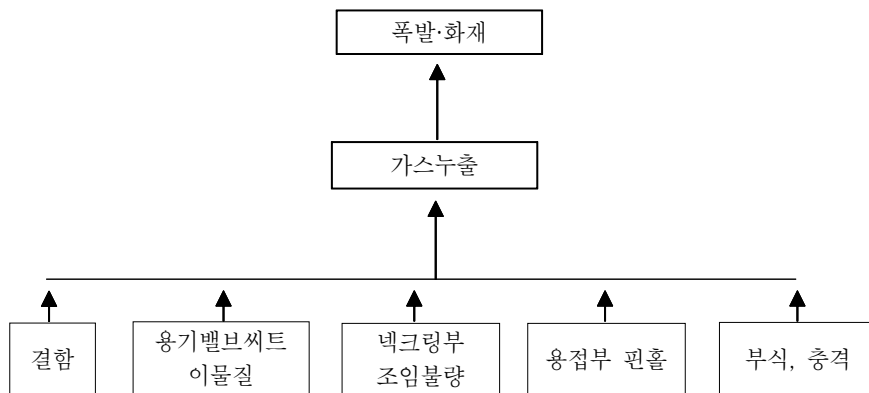
[ 그림 1-36 ] 스템 패킹에서 발견된 이물질



[ 그림 1-37 ] 직경 1mm의 이물질



[ 표 1-27 ] 용기내장형난방용 용기사고의 원인 분류





### 질문요지

1. 사고 당시의 상태로 존재하고 있었는가.
2. 화재가 발생하였다면 그 흔적이 확인되는가.
3. 작업가가 용기를 교체, 취급하였는가.
4. 가스가 누출되는 곳이 확인되는가.
5. 외부 충격에 의한 영향을 받은 흔적이 있는가.
6. 용기에 대한 검사, 재검사는 받았는가.
7. 용기 외부에 결로현상이 식별되는가.
8. 안전밸브에서의 가스누출이나, 화염흔적은 없는가.

## 이음매없는용기

## ○ 누출지점

- 넥크링부
- 파열
- 부식

## ○ 넥크링부

넥크링부의 가스누출은 제조당시, 재검사이후 용기밸브 교환 후 및 이동 중에 이완 등에 의하여 발생할 수 있다.

## &lt;조사방법&gt;

- 가스누출검지기로 누출부위를 확인한다.
- 넥크링부에 외부의 충격흔적이 있는지 확인한다.
- 용기밸브 설치 또는 교체일자를 확인한다.
- 제조기관 및 제조일자를 확인한다.
- 충전 및 재검사기관을 확인한다.

## ○ 파열

용기가 파열된 경우 충전압력, 용기설치, 사용장소, 밸브개폐 시 고압의 산소가 접촉될 경우 발화가 일어나며, 유지류가 용기내부에 혼재되었을 경우 급격한 산화반응폭발이 일어나므로 이에 대한 조사를 철저히 하여야 한다.

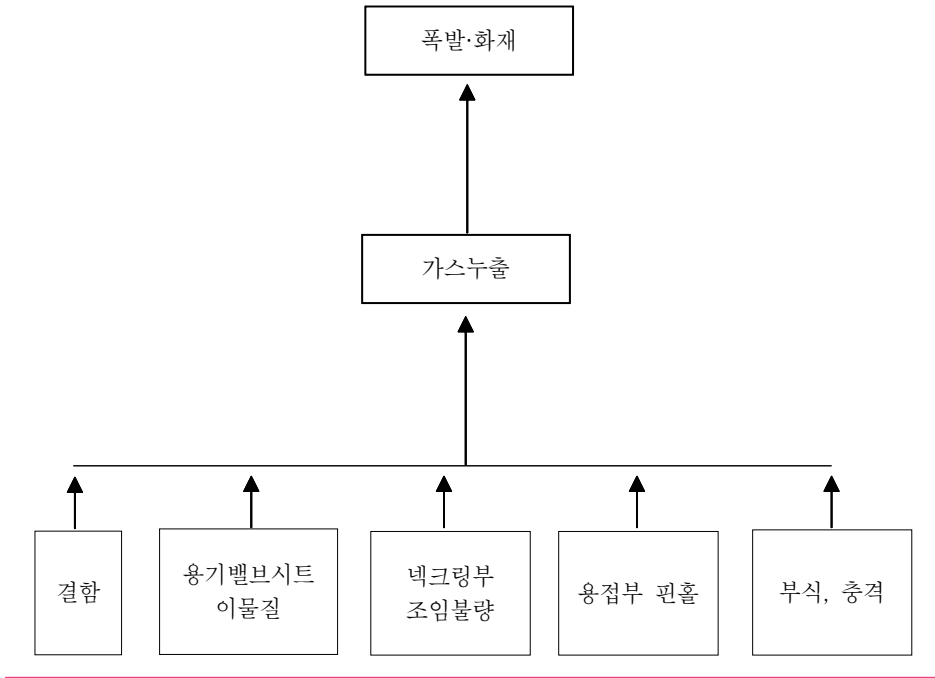
## &lt;조사방법&gt;

- 발화흔적 조사
- 고무재 등 발화물 조사
- 유지류가 있었는지 조사
- 충전압력은 적정하였는지 조사
- 충전 방법은 적정하였는지 조사(충전중에 추가하여 빈 용기 설치 금지)
- 충전용기는 처음에 모두 연결하고 한번에 충전한다.



[용기]

[ 표 1-28 ] 이음매없는 용기사고의 원인 분류



질문요지

1. 사고 당시의 상태로 존재하고 있었는가.
2. 화재가 발생하였다면 그 흔적이 확인되는가.
3. 작업가가 용기를 교체, 취급하였는가.
4. 가스가 누출되는 곳이 확인되는가.
5. 외부 충격에 의한 영향을 받은 흔적이 있는가.
6. 용기에 대한 검사, 재검사는 받았는가.
7. 용기 외부에 결로현상이 식별되는가.
8. 안전밸브에서의 가스누출이나, 화염흔적은 없는가.

## ○ 누출지점

- 밸브연결부 등
- 파열

## ○ 밸브 연결부

- 밸브류의 연결부에서 밸브 교환 후, 이동 중 및 이완 등으로 발생

## &lt;조사방법&gt;

- 비눗물 및 육안으로 누출부위를 확인한다.
- 누출 부위에서 조작이나 충격흔적이 있는지 확인한다.
- 밸브 등의 결함이나 조임상태의 적정여부를 확인한다.
- 제조기관 및 제조일자를 확인한다.
- 충전 및 재검사기관을 확인한다.

## ○ 파열

- 용기가 파열된 경우 외조의 손상으로 인한 내부압력 상승과, 안전밸브의 단힘상태 보관, 안전밸브의 작동압력 확인
- 충전압력, 용기설치, 사용장소, 밸브개폐 시 고압의 산소가 접촉될 경우 발화가 일어나며, 유지류가 용기내부에 혼재되었을 경우 급격한 산화반응폭발이 일어나므로 이에 대한 조사를 철저히 하여야 한다.

## &lt;조사방법&gt;

- 발화흔적 조사
- 고무재 등 발화물 조사
- 유지류가 있었는지 조사
- 충전압력은 적정하였는지 조사
- 충전 방법은 적정하였는지 조사(충전중에 용기 설치 금지)
- 충전용기는 처음에 모두 연결하고 한 번에 충전하여야 하나, 고압의 충전상태에서 빈 용기를 충전대에 연결할 경우 고압의 가스가 순간적으로 유입되므로 급속충전에 따른 이상현상으로 사고의 발생가능성이 있음.



## 가스누출(접합용기, 스프레이 용기)

### ○ 누출지점

- 노즐부
- 접합부
- 화염영향
- 노즐부 안전 캡 미 부착 보관

### ○ 노즐부

노즐부에서 가스가 누출현상이 나타날 경우 노즐부의 패키징의 결함 또는 무리한 힘으로 손상시킨 것임을 알 수 있으나 세심하게 조사한다.

#### <조사방법>

- 가스 누출검지기로 확인하고, 내부에 가스가 없는 경우 공기(질소)를 주입하여 기밀시험으로 확인하며, 원인규명은 분해하여 정밀조사 실시한다.

### ○ 접합부

- 접합부에서 가스가 누출되는 경우에는 제조공정에서 발생하는 사고이나, 외부의 힘으로 변형된 것인지 확인하며, 모든 용기에 대해 기밀시험(수중침수)을 실시한다.

#### <조사방법>

현장에서 우선 가스누출검지기로 확인하고 수거하여 현미경 및 공기(질소)를 주입하여 기밀시험 등으로 조사하며, 원인규명은 분해하여 정밀조사 실시한다.

## ○ 화염영향

접합용기 외부에 화염을 받은 흔적이 있거나, 주위에 다른 가열원이 있었는지 확인하는 것이 매우 중요하다.

## &lt;조사방법&gt;

현장에서 파열여부를 확인하고, 가열원 및 온도상승 요인이나 취급상의 부주의를 집중 조사 및 추궁하며, 내압의 영향을 받은 제품은 반드시 상하부 경판이 이탈되는 사고를 유발한다.

## ○ 노즐부 안전 캡 미부착 보관

사용자들이 사용한 후 잔가스 용기를 보관할 때 노즐부 안전캡을 미부착함으로써 노즐이 눌러 가스가 누출될 우려 있으므로 주위의 화재 흔적을 세밀히 조사한다.

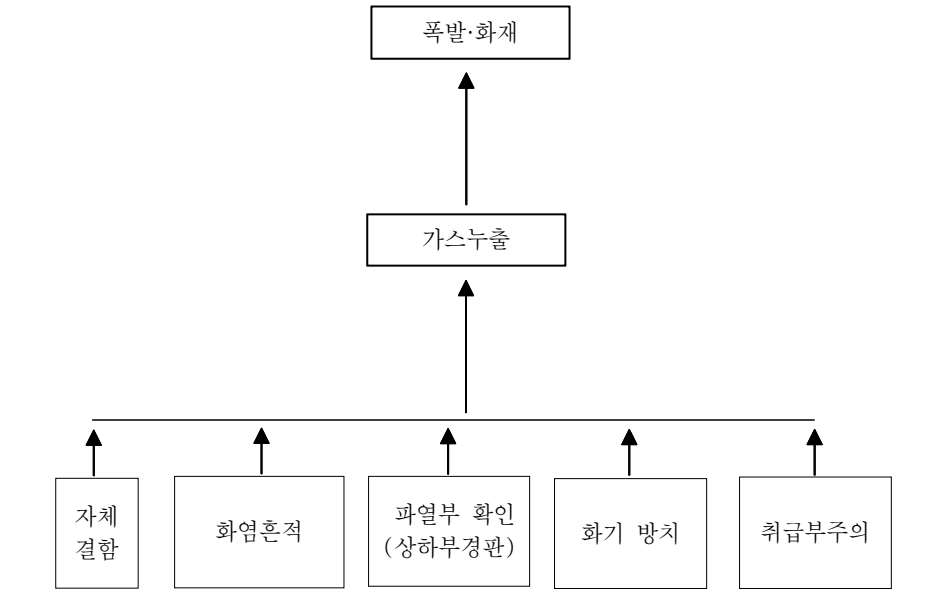
## &lt;조사방법&gt;

화재나 폭발이 발생한 경우 보관 장소에 대해 세심한 조사가 요구된다.



## [접합용기]

[ 표 1-29 ] 접합용기 사고의 원인 분류



### 조사방법

1. 자체 결함이 확인되는가.
2. 화기 주위에 놓아두거나 보관하지 않았는가.
3. 사용자가 임의로 물속에 넣고 데우지 않았는가.
4. 상하부 경관이 내부압력에 의해 변형되었거나, 파열된 흔적이 확인되는가.
5. 이동식 부탄연소기는 이상이 없는가.
6. 보관이 적정(캡 장착 여부)하게 이루어졌는가.
7. 화재 이후에 파열된 것인가.

## ○ 탱크로리 가스누출

- 액면계
- 밸브
- 연결부
- 용접부
- 밸브류
- 충전 중
- 이동 중
- 로리호스

## &lt;조사방법&gt;

- 액면계 : 가스누출검지기로 확인하며, 가스를 확산시켜 분해·정밀조사
- 밸브 : 가스누출검지기로 확인하며, 가스를 확산시켜 분해·정밀조사
- 용접부  
가스누출검지기로 확인하며, 가스를 확산시켜 비파괴시험 또는 절단하여 '전자주사현미경'으로 정밀조사
- 밸브류  
가스누출검지기로 확인하고, 분해하여 씨트 등의 변형여부에 대해 정밀조사
- 이충진중  
커플러의 체결상태에서 가스누출검지기로 확인하며, 커플러 내부 고무링 등을 조사한다.  
(받침목, 입회여부 조사)



## 가스누출(탱크로리)

- 로리호스  
기밀시험을 통해 누출여부를 확인하고 손상부위를 조사하며, 손상원인 규명
- 커플링  
체결상태에서 가스누출검지기로 누출여부를 확인하고, 부품에 대해 정밀조사 실시
- 리미트 스위치  
리미트 스위치 전선연결을 확인하고, 실제 동작여부를 엔진시동과 연관하여 조사.
- 높이검지봉  
검지봉 높이를 줄자로 정확한 높이와 구부러짐을 확인하고, 실제 작동여부를 조사.
- 탱크 용접부 등 크랙  
비파괴시험(초음파, 침투탐상)으로 현장에서 확인하고, 시험편으로 수거 정밀조사
- 긴급차단장치  
긴급차단장치 레버를 동작시켜 확인하고, 연결장치를 탱크하부에서 조사한다. (조작상자와 뒷 댐퍼에 연동과 퓨즈메탈 설치작동 여부)

조사장비 : 카메라, 비디오, 가스누출검지기, 안전보호장구

## 2. 압력조정기

## 압력조정기

가스폭발  
화재 조사

## ○ 누출원인

압력조정기는 대부분 용기 교체과정에서 가스가 누출되며, 다이아후램 또는 노즐의 손상에 의해 직압 통과로 인해 호스이탈 및 이상연소 현상으로 사고 가능성이 높다.

- 용기 교체 과정
- 다이아후램의 손상
- 노즐부의 손상
- 외부충격
- 부속품 분해 시공

## ○ 용기 교체 과정

용기교체 과정에서 발생하는 사고는 대형사고를 일으킬 수 있고 화재나 폭발이 발생할 경우 화재의 흔적이 식별된다.

교체작업자의 경우 손에 동상을 입을 수 있으며, 화재발생할 경우 집중적으로 손이나 얼굴에 화상을 입을 수 있다.

## ○ 다이아후램의 손상

다이아후램이 손상된 경우에는 상부의 캡으로 가스가 누출되며, 화재가 발생할 경우 화염이 그곳에서 형성되어 소실된다.

## &lt;조사방법&gt;

현장에서 용기에 체결된 상태에서 연소기를 점화시켜 확인하거나 기밀 시험기로 확인하고, 수거하여 분해·조사한다.

## ○ 노즐부의 손상

노즐이 손상될 경우에는 압력조정이 불균형하거나, 용기내의 압력이 그대로 연소기까지 전달 되어 점화가 되지 않거나, 엄화비닐호스의 연결부위 등이 이탈될 수 있다.

## &lt;조사방법&gt;

현장에서 용기에 체결된 상태에서 연소기를 점화시켜 확인하거나 기밀시험기로 확인하고, 수거하여 분해·조사한다.



## 압력조정기

### ○ 외부충격

외부에 충격이 가해진 경우에는 압력 조정기 덮개부분이나 캡 부분에서 충격의 흔적이 식별되고, 가해물이 주변에 있을 수 있으므로 발굴한다.

가해물과 충격 손상된 부위를 비교하여 동일모형의 흔적인지 확인한다.

#### <조사방법>

현장에서 파손부위를 확인하고 접촉면이 가해물과 동일한 모양인지 반드시 조사한다.

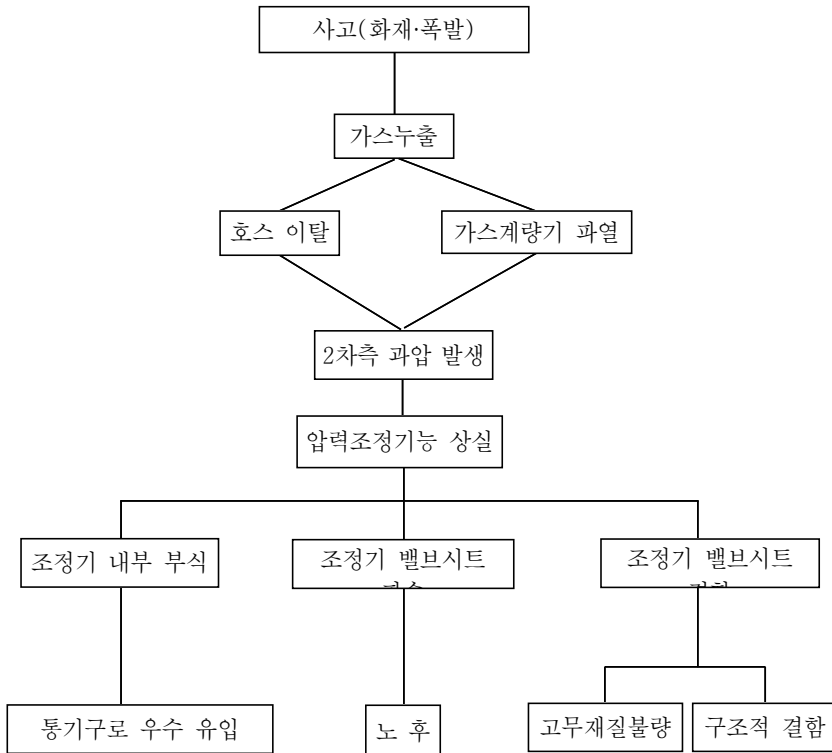
### ○ 부속품 분해 시공

용량이 대형인 경우 압력조정기에 노즐이 외부에 부착되어 있으나 이것을 제거하여 설치하는 경우가 있다.

#### <조사방법>

현장에서 압력조정에 대한 시험을 실시하고 동일제품과 비교하여 조사한다.

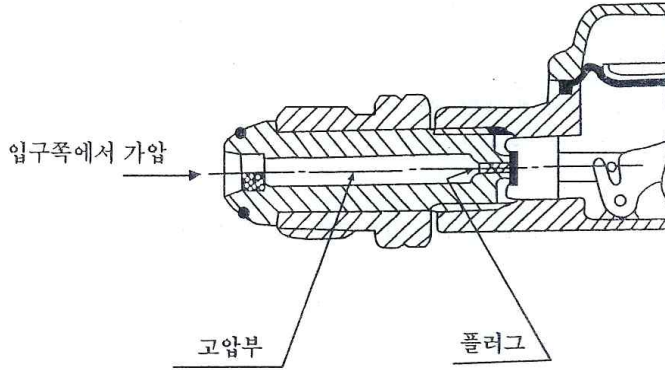
[ 표 1-30 ] 압력조정기 사고흐름도



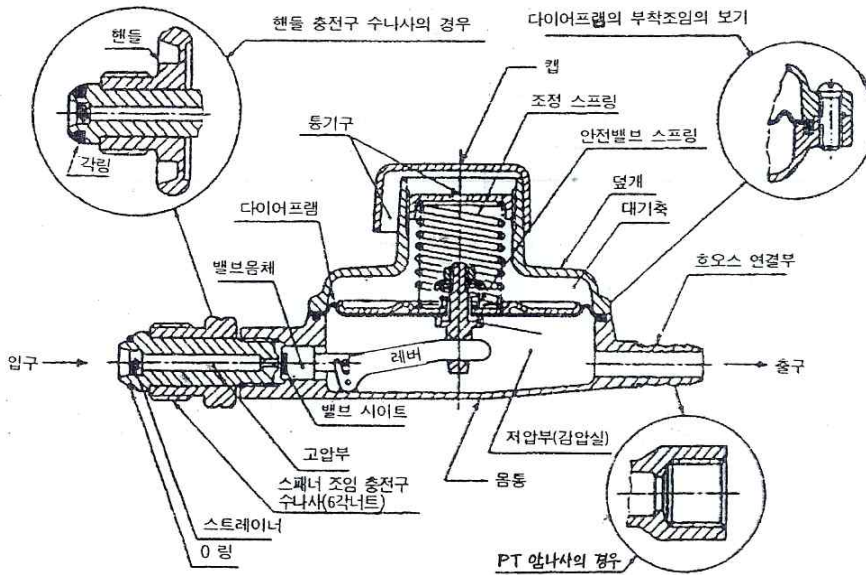
3

[ 그림 1-38 ] 압력조정기의 밸브부분

가스폭발  
화재 조사



[ 그림 1-39 ] 압력조정기의 구조

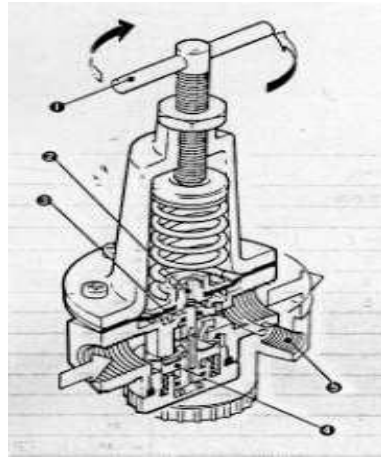




[ 그림 1-40 ] 계량기 파열사고



[ 그림 1-41 ] 가변형압력조정기의 모습



[ 그림 1-42 ] 내부 부식 압력조정기



[ 그림 1-43 ] 부식된 조정기를 완전분해



[ 그림 1-44 ] 스프링과 녹이 누적된 다이어프램



[ 그림 1-45 ] 부식된 안전밸브 스프링

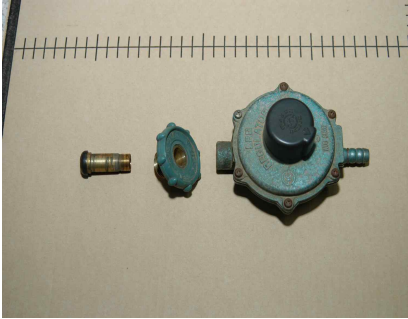


3

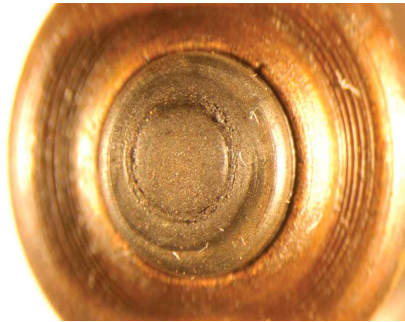
[ 그림 1-46 ] 압력조정기 입구측 니플 노후 풀림

[ 그림 1-47 ] 압력조정기 밸브시트 노후

가스폭발  
화재 조사



[ 그림 1-48 ] 압력조정기 손상 밸브시트 확대

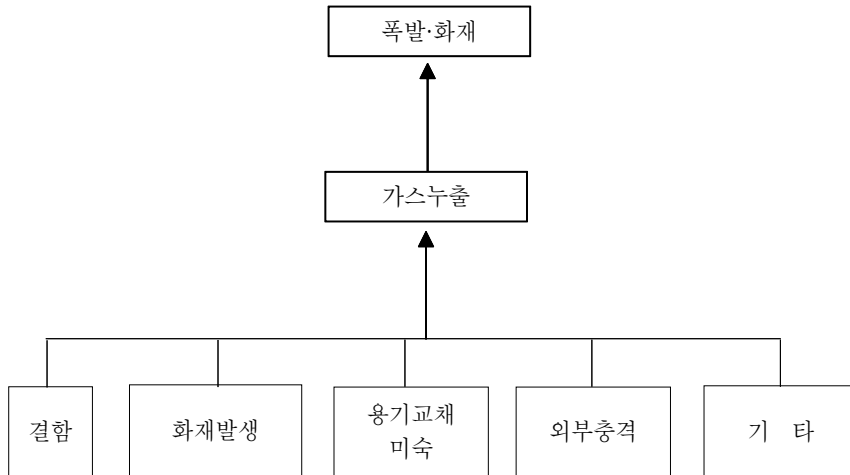




## 압력조정기 조사흐름도

### [압력조정기]

[ 표 1-31 ] 압력조정기에 의한 사고 원인 분류



### 질문요지

1. 육안으로 결함이 확인되는가.
2. 주위 또는 조정기에서 화재가 발생하였는가.
3. 용기를 교체한 사실이 있었는가.
4. 외부충격에 의해 파손된 흔적이 확인되는가.
5. 평소 잦은 압력 변동이 있었는가.(화염 길이)
6. 기화장치나 싸이폰 용기가 설치된 장소의 것으로 액상의 가스가 넘어간 사실이 없었는가.
7. 적정압력 및 용량을 사용하였는가.
8. 연소기에 적합한 조정기를 사용하였는가.
9. 용도를 변경한 사실이 없는가.
10. 시공은 적합하게 되었는가.

## 3. 배관 및 염화비닐호스

## 배관(강관, 동관)

가스폭발  
화재 조사

## ○ 누출원인

- 나사접합부(가스켓, 나사부)
- 용접부
- 부 식
- 마감처리 미 조치
- 외부충격 파손에 의하여 가스가 누출되는 사고가 발생하고 있다.

## &lt;조사방법&gt;

## ○ 플랜지 접합부

가스누출검지기로 확인하고 수거·분해하여 정밀조사하고, 이곳으로부터 누출된 가스가 인화되어 화재가 발생한 경우에는 가스화염에 의해

- 시공은 적절하게 되었는지.
- 볼트와 너트는 동일규격을 사용하였는지.
- 플랜지 외면에 변색흔 식별
- 분해 조사할 경우 가스켓의 변형 또는 화염의 흔적이 식별

## ○ 나사 접합부

가스누출검지기로 확인하고 수거·분해하여 정밀조사하며, 이곳으로부터 누출된 가스가 인화되어 화재가 발생한 경우에는 가스화염에 의해

- 나사산은 정확히 시공되었는지
- 테프론에 변색흔 식별
- 분해 조사할 경우 테프론에 가스누출 흔적과 화염의 흔적이 식별

## ○ 용접 접합부

가스누출검지기로 확인하고 수거·분해하여 정밀조사하며, 이곳으로부터 누출된 가스가 인화되어 화재가 발생할 경우

- 용접시공이 정확히 되었는지
- 외부 표면에서 변색흔 식별
- 주위에서 화재의 강약을 확인

또한, 동관 접합인 경우 일부 시공자가 “납”으로 시공함으로써 충격에 견디지 못하고 파손되는 사례가 있으므로 세심한 조사가 요구된다.



## 배관(강관, 동관)

### ○ 막음처리 미 조치

이곳으로부터 누출된 가스가 인화된 화염의 흔적을 식별한다.

- 가스시공 중 이었는지.
- 이사를 하고 방치한 시설인지.
- LPG나 도시가스로 전환중인지.
- 사용자가 연소기 철거 후 방치한 시설인지.
- 외부 표면에서 변색흔 식별
- 주위에서 화재의 강약을 확인

또한, 동관 접합인 경우 일부 시공자가 “납”으로 시공함으로써 충격에 견디지 못하고 파손되는 사례가 있으므로 세심한 조사가 요구된다.

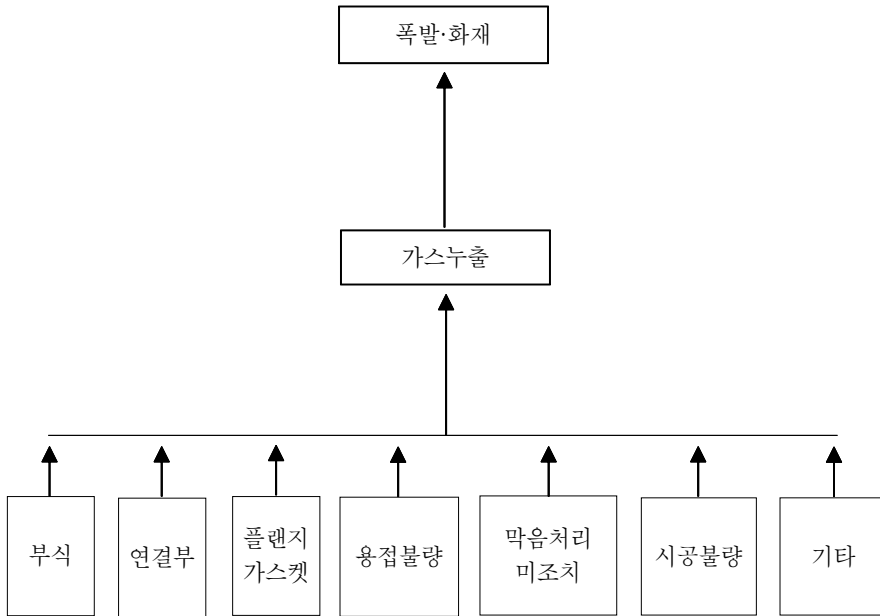
### ○ 외부충격 파손

외부충격에 의한 사고는 변형과 파손으로 가스가 누출되는 사고가 발생하고 있다.

- 고의적으로 파손한 흔적이 있는지.
- 가해물이 현장에 상존하고 있는지.
- 가해물과 충격부위와는 동일 현상인지.
- 주위에서 화재의 강약을 확인.

또한, 동관 접합인 경우 일부 시공자가 “납”으로 시공함으로써 충격에 견디지 못하고 파손되는 사례가 있으므로 세심한 조사가 요구된다.

[ 표 1-32 ] 배관에 의한 사고 원인 분류

가스폭발  
화재 조사

## 조사방법

1. 배관 및 가스켓은 가스성질에 적절한 재질을 사용하였는가.
2. 배관의 용접방법은 재질에 적합하게 하였는가.
3. 가스가 누출되는 부위에서 특이점이 식별되는가.
4. 막음처리가 안된 개소에서 가스누출이나 화재의 흔적이 식별되는가.
5. 연소기를 철거한 시설이 식별되는가.
6. 플랜지 볼트는 적절한 강도를 갖춘 제품인가.
7. 나사접합인 경우 나사산은 적절한가.
8. 가스켓은 노후 및 변형되지 않았는가.
9. 외부 충격 및 외력의 영향이 없는가.
10. 다른 공사를 한 사실이나, 최근에 공사를 한 사실이 있는가.
11. 전기방식시설이 없거나, 전선 등이 통과하는 곳은 아닌가.
12. 배관을 고정시킨다면 적정하게 고정되었는가.



## 염화비닐호스

### ○ 누출원인

- 막음처리 미 조치
- 고의 손상 절단
- 동물(쥐)의 손상
- 노후
- 화재에 의한 손상
- 호스밴드 미설치 및 이탈
- 호스분기 설치("T")

### <조사방법>

#### ○ 막음처리 미 조치

- 이곳으로부터 누출된 가스가 인화된 화염의 흔적을 식별한다.
- 가스시공 중 이었는지.
- 이사할 때 연소기를 철거한 시설인지.
- LPG나 도시가스로 전환중인 시설인지.
- 사용자가 연소기 철거 후 방치한 시설인지.
- 중간밸브가 설치되었으나 개방여부 조사
- 피해자의 진술 확보
- 마감처리 끝 부분의 염화비닐 성분이 탄화 용융흔 및 변색흔적 식별
- 화염의 흔적이 반드시 식별되므로 주위에서 확인하고 사진촬영
- 주위에서 화재의 강약 확인

#### ○ 고의 손상 절단

- 이곳은 막음처리 미 조치와는 다른 현상이 나타난다.
- 절단부위가 사고와 관련이 있는지 조사
- 절단된 부위에서 도구를 사용 흔적 식별
- 피해자의 진술 확보
- 마감처리 끝 부분의 염화비닐 성분이 탄화·용융흔 및 변색흔 식별
- 화염의 흔적이 반드시 식별되므로 주위에서 발굴하고 사진촬영
- 주위에서 화재의 강약 확인

#### ○ 동물(쥐)의 손상

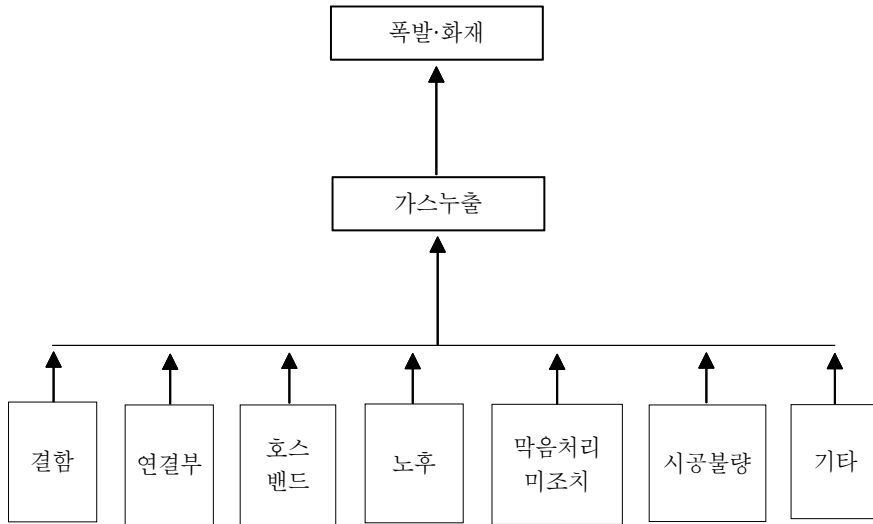
- 동물의 모(毛)확인
- 동물의 대소변이나 냄새 확인
- 파손부위와 동물의 손상도구(이빨(齒) 구조 등) 확인
- 동물이 다니는 곳인지 확인

- 노후
  - 철심의 부식이나 염화비닐호스의 경화
  - 호스밴드의 부식으로 조임력 상실·이탈
  - 경화에 의한 균열
- 화재에 의한 손상
  - 화재에 의해 소실된 경우에는 끊어짐이 없음
  - 절단된 부위의 화재흔적은 철심 등이 용융됨
- 호스밴드 미설치 및 이탈
  - 호스밴드를 고의적으로 이탈시킨 흔적은 없는지
  - 호스밴드 설치 자욱이 사고 발생 전·후 흔적
  - 호스밴드를 설치하지 않은 경우
  - 호스밴드의 조임력이 상실된 경우
  - 호스밴드보다 호스구경이 큰 경우(호스내경 9mm이고 호스엔드가 6mm일 때)
  - 호스밴드를 호스엔드 중앙에 설치하지 않고 안쪽에 설치한 경우
- 호스분기 설치("T")
  - 호스"T"에서 가스가 누출되는지 가스누출검지기로 확인하거나 비눗물 등으로 누출유무 확인.
  - 호스"T"가 이탈되어 있는지.
  - 호스"T"가 파손되어 있는지.
  - 호스"T" 부분에서 화재의 흔적이 식별되지 않는지.



## [염화비닐호스]

[ 표 1-33 ] 염화비닐호스에 의한 사고 원인 분류



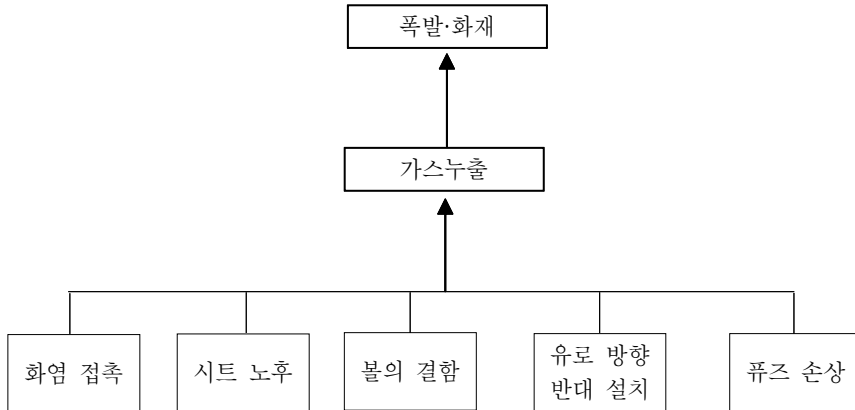
### 조사방법

1. 염화비닐호스의 제조 결함은 없는가.
2. 호스“T”, 호스와 호스 및 호스와 연소기 연결부에서의 가스누출은 없었는가.
3. 연결부에서 가스누출, 화재의 흔적이 식별되지 않는가.
4. 건물 벽체를 관통하여 설치한 호스가 벽체의 다른 요인에 의하여 손상되지 않았는가.
5. 동물(쥐)들이 다니는 장소가 아닌가.(毛, 大小便, 냄새 등)
6. 호스가 주방의 열원(연소기 화염) 가까이 설치되지 않았는가.
7. 노후로 인한 경화로 손상된 부위가 식별되지 않는가.
8. 호스밴드는 설치되었으나 풀림 등의 현상이 식별되지 않는가.
9. 호스밴드는 호스앤드 중앙부분에 설치되었는가.
10. 막음처리가 안된 곳이 있으며, 사용자가 이를 알고 있는가.
11. 호스에 손상된 흔적이 확인되는가.
12. 가스누출부위와 화재와 연관성이 있는가.

## [호스콕(퓨즈콕)]

가스폭발  
화재 조사

## [ 표 1-34 ] 호스콕(퓨즈콕)에 의한 사고 원인 분



## 조사방법

1. 가스누출이 핸들부위에서 발생하고 있는가.
2. 콕의 핸들은 조작은 정상적으로 작동하는가.
3. 퓨즈 콕인 경우 퓨즈가 정상적으로 작동하는가.
4. 퓨즈가 손상된 흔적이 식별되지 않는가.
5. 퓨즈가 손상되었을 경우 손상된 파편이 호스내부에서 식별되는가.
6. 가스흐름방향대로 설치를 적합하게 하였는가.
7. 콕 주위에서 가열원이 있었는가.
8. 콕의 사용기간은 어느 정도 되었는가.
9. 호스엔드 연결부분과 적합하게 체결되었는가.
10. 화재의 흔적이 콕 주위에서 발생한 흔적이 있는가.
11. 기타

콕의 시트에서 누출되는 가스의 양은 극히 미량이므로 검지기를 정확히 설치하여야 하고, 비눗물로 할 경우에도 세심한 주위를 하여야 하며, 동작 방법에 따라 누출량도 차이가 있을 수 있으므로 수차례 반복하는 동작 상태에서 측정한다.



## 4. 밸브

### 중간밸브(콕)

#### ○ 누출원인

중간밸브의 역할을 하는 일반 콕, 퓨즈 콕으로 구분하고 있으며, 가스누출현상이 거의 발생하지 않으나, 시트링의 손상에 의해 손잡이로 누출되는 사례가 있다.

- 시트링 손상
- 시트링의 온도에 의한 용융
- 시트링에 이물질 끼움
- 화염 접촉에 의한 용융

#### <조사방법>

○ 콕에서 가스가 외부로 누출될 수 있는 부위는 핸들부위로써 누출 조사 시 세심한 조사가 요구되며, 아주 미량으로 누출되기 때문에 검지기를 정확히 접근시켜야 한다.

○ 콕의 위치가 온도가 높은 위치이거나 영향을 받을 수 있는 곳인지 확인하고 소실되지 않은 경우 검증한다.

- 누출부위 조사장비로서는
  - 비눗물
  - 가스누출검지기로 확인하고, 최종적으로 수거하여 정밀조사한다.

[ 그림 1-49 ] 호스절단



[ 그림 1-50 ] 퓨즈 콕 외부 표시



[ 그림 1-51 ] 퓨즈콕 후단 호스 절단



## 5. 가스누출자동차단기

### 가스누출자동차단기

#### ○ 가스누출

- 가스누출경보기는 공업용과 가정용으로 구분하고 있으며, 구성은 검지부, 제어부, 차단부로 되어 있다.
- 차단부의 핸들에서의 누출이외에는 없으므로 이곳의 누출여부만을 조사하며, 정상작동여부에 대하여는 전원을 연결한 상태에서 확인·검증한다.
- 가스누출과 관계없이 검사대상시설 등에서 사고가 발생할 경우 가스누출경보차단장치의 작동여부에 대해 수사기관으로부터 의심을 받는 경우 있으므로 현장 도착 시 반드시 전원코드 연결상태를 확인하고 사진으로 기록을 남긴다.

#### <조사방법>

콕에서 가스가 외부로 누출될 수 있는 부위는 핸들부위로써 누출 조사 시 세심한 조사가 요구되며, 아주 미량으로 누출되기 때문에 검지기를 가까이하고 정확히 접근시켜야 한다.

#### ○ 누출부위 조사

- 비눗물 및 가스누출검지기로 확인하고, 최종적으로 수거하여 정밀조사 한다.

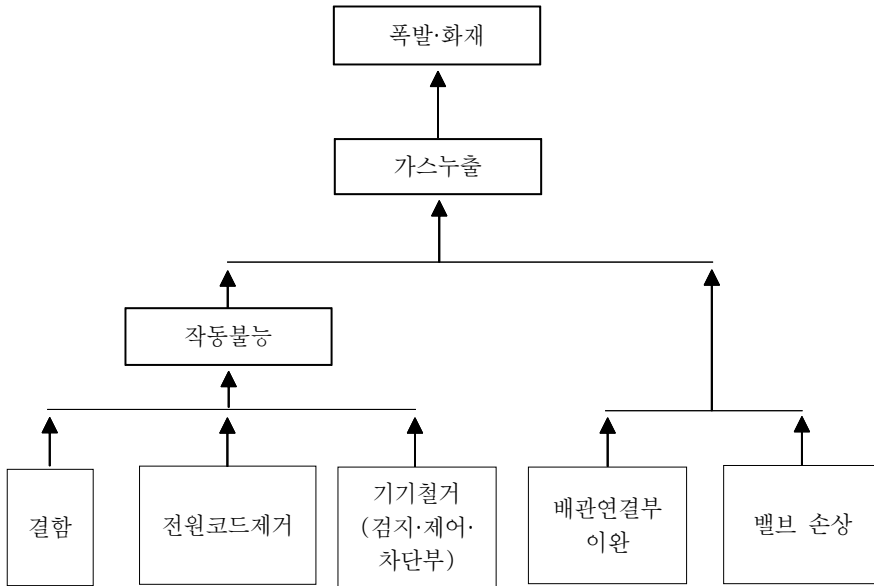
#### ○ 가스누출경보기 정상작동여부 확인

- 현장도착 즉시 전원코드 연결상태 확인 후 사진 촬영
- 정상작동여부 확인은 정밀감정의뢰 조사



### [가스누출자동경보차단장치]

[ 표 1-35 ] 가스누출 자동경보차단장치에 의한 사고 원인 분류



#### 조사방법

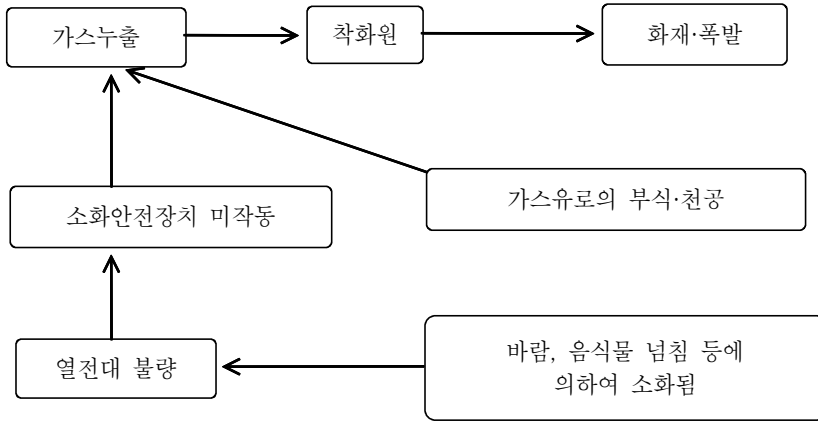
1. 전원이 연결(검지부, 제어부, 차단부)된 상태인가.
2. 각 기기별(검지부, 제어부, 차단부)이 정상적 상태인가.
3. 경보음이 울리지 않는가.
4. 제어부에서는 신호가 적정하게 전달되는가.
5. 차단부의 모터는 견고하게 고정되어 있는가.
6. 차단부의 배관연결부에서는 가스누출이 없는가.
7. 밸브시트가 손상되어 손잡이 부분으로 가스가 누출되지 않는가.

가스폭발  
화재 조사

○ 과열

과열에 의해 화재가 발생한 경우에는 주위 가연물을 반드시 확인

[ 표 1-36 ] 가스누출사고의 흐름도



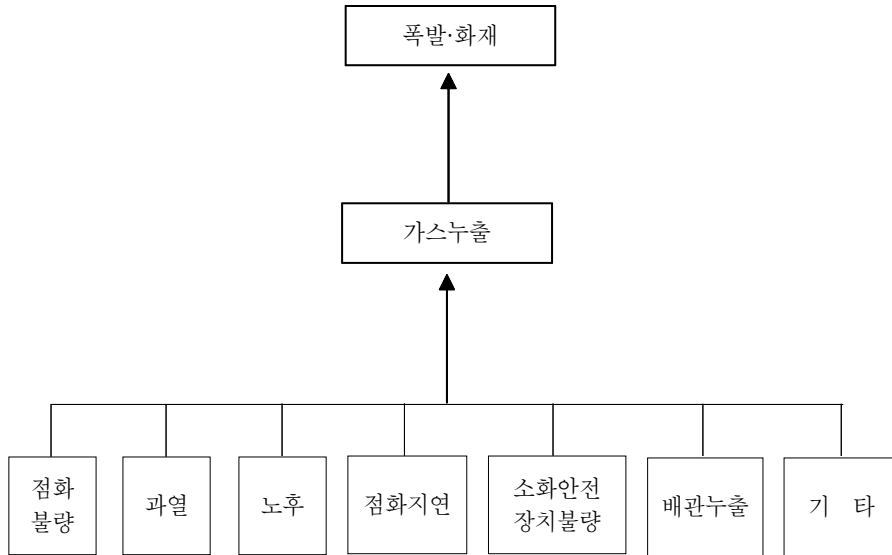
가스레인지에서의 사고는 위 흐름도와 같은 흐름으로 사고가 발생하며 따라서 현장에서의 착안점은 소화안전장치의 성능 및 가스유로의 부식 등에 의한 가스누출을 고려해야 한다. 단, 푸시버튼방식은 점화를 위하여 버튼을 누르고 있는 동안에는 소화안전장치의 솔레노이드밸브를 지속적으로 개방하도록 되어 있어 푸시버튼의 변형이 발생되어 점화 후 복귀하지 못하게 되면 가스는 지속적으로 누출되게 된다. 만일 이 상태에서 외부의 영향으로 연소기의 불꽃이 소화되면 소화안전장치는 작동할 수 없으므로 가스를 지속적으로 누출하게 된다.



## 가스레인지 조사흐름도

[가스레인지]

[ 표 1-37 ] 가스레인지에 의한 사고 원인 분류



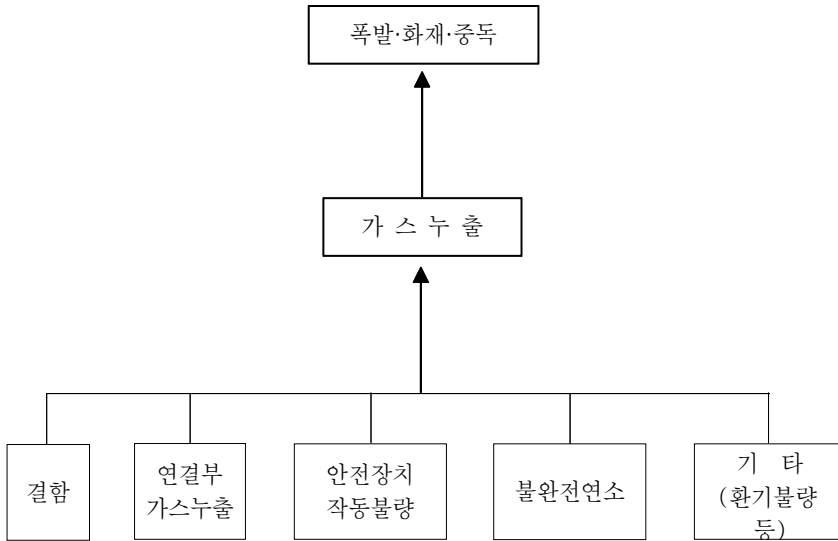
### 조사방법

1. 현장에서 점화 콕의 개방으로 가스가 누출될 수 있는 조건인가.
2. 점화 콕 및 중간밸브의 개폐여부는?
3. 소화안전장치는 이상이 없는가.
4. 사용자가 연소기의 정확한 사용법을 알고 있는가.
5. 점화지연이 평소에도 자주 발생한 사실이 있는가.
6. 연소기 배관에서 가스누출이 없는가.
7. 호스엔드부분에서 가스누출이 확인되지 않는가.
8. 연소기 노후로 불완전 연소가 발생하지 않는가.
9. A/S를 받은 사실이 없는가.
10. 음식물을 조리 중이었던가.

## [가스온수기, 가스보일러]

가스폭발  
화재 조사

[ 표 1-38 ] 가스온수기와 가스보일러에 의한 사고 원인 분류



## 조사방법

1. 시공은 적정하게 되었는가.
2. 배관연결부의 가스누출 및 화재의 흔적이 식별되지 않는가.
3. 안전장치는 정상적으로 작동하는가.
5. 연소상태가 적정한가.(불완전연소 등 이상연소 발생)
6. 설치장소는 적정한가.
7. 실내 환기(급배기 시설)는 적정한가.
8. 점화 콕이나, 온도조절장치는 정상적인가.
9. 배관 시공은 적정하게 이루어 졌는가(온수관, 가스관, 콕)
10. 일산화탄소 발생 및 체류 가능성이 있는가.



[ 그림 1-52 ] 제품노후



[ 그림 1-53 ] 설치장소 불량



[ 그림 1-54 ] 배기통 이탈



[ 그림 1-55 ] 배기통 처짐



[ 그림 1-56 ] 배기통 이탈



[ 그림 1-57 ] 배기통 설치 불량



## 6. 이동식부탄연소기(카세트식)

## 이동식부탄연소기(카세트식)

가스폭발  
화재 조사

## ○ 접합용기 접속부 가스누출

접속부를 가스누출검지기로 확인하고, 화재가 발생한 경우에는 화염흔적 및 변형 흔적을 확인

## ○ 과대조리기구 사용

과대 조리기구를 사용하였을 가능성이 있는 경우 반드시 조리기구를 발굴하고 사고 당시 사용하였던 조리기구인지를 확인한다.

## ○ 안전장치 작동여부

- ① 사고 당시 사용 중인 조리기구의 크기와 조리음식에 대하여 확인한다.
- ② 안전장치의 작동여부를 확인한다.
  - 용기자동이탈안전장치 장착 이동식 부탄연소기의 경우 용기이탈용 공기가 밖으로 돌출된다.
- ③ 조리시간을 확인한다.
  - 조리도중 용기탈착레버가 작동하거나 재장착시 장착되지 않는 경우는 없었는지 확인한다.
- ④ 점화 개폐록 잘 못 개방에 의한 사고 시 용기가 장착되었는지 확인한다.

## ○ 접합용기 파열

사고 잔해물질을 사용자가 임의로 폐기 처분하고 사고와 관련 없는 제품을 사고현장에 갖다 놓거나 진술을 하는 경우가 있으므로 사고당시의 연관을 가지고 조사에 임하여야 한다.

## &lt;안전장치 종류&gt;

이동식부탄연소기의 근래에 들어 보급대수가 급격히 증가하였고, 제조 기준이 비교적 단순하여 제조사가 많아 최근 다발적으로 발생하는 사고이며, 이동식부탄연소기가 간이 연소기로 취급되어 안전장치도 매우 미흡한 상태이다.

## ※ 이동식부탄연소기의 안전장치

이동식부탄연소기의 안전장치로는 접합용기(부탄캔 : 이하 용기)의 내부압력이 과압상태가 되었을 때 가스공급을 차단하여 자동소화 되도록 되어 있다.

## ① 용기자동이탈식

용기자동이탈식 안전장치는 이동식부탄연소기의 거버너에 장착되어 있으며 용기의 압력이 5~7kg/cm에서 작동하도록 되어 있으며 용기압력이 상승하여 일정압력에 이르면 용기 탈착 레버를 작동시켜 용기를 분리함으로써 가스공급을 차단하게 된다.



## 이동식부탄연소기(카세트식)

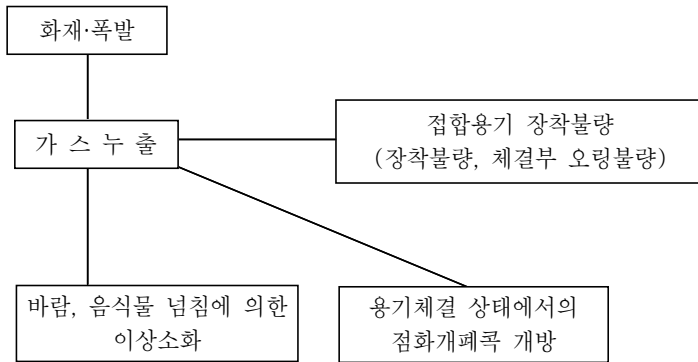
### ② 유로차단식

유로차단식은 앞서 말한 용기이탈식과 같이 가스공급을 차단하는 것은 동일하지만 용기를 이탈시키지 않고 거버너 내부에서 가스유로를 차단하여 소화시키는 방식이다. 현재 유통되고 있는 이동식부탄연소기 중 일부만 사용되고 있다.

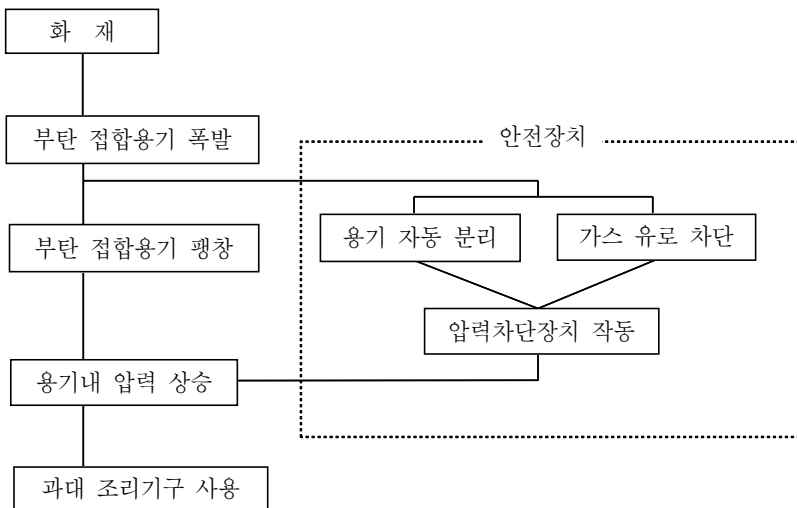
### ③ 소화안전장치

소화안전장치는 가스레인지에서 사용되는 방식과 동일한 구조로 이루어져 있으며 노즐의 화염에 의하여 예기치 못한 소화 시 가스누출을 방지한다. 단, 현재 소화안전장치가 설치된 이동식부탄연소기는 극소수이며 용기의 압력상승에 따른 용기파열을 방지하는 안전장치는 아니다.

[ 표 1-39 ] 이동식부탄연소기 가스누출에 의한 사고 흐름



[ 표 1-40 ] 이동식부탄연소기 용기 파열 사고 흐름



## 이동식부탄연소기(카세트식)

가스폭발  
화재 조사

상기 그림에서 보는 바와 같이 이동식부탄연소기 사고는 크게 2가지 형태로 구분되며 이중 과열에 의한 사고가 대부분을 차지하고 있다.

가스누출에 의한 사고는 이동식부탄연소기에 소화안전장치가 장착되지 않으므로 점화개폐록의 개방이나 음식물 등에 의한 비정상 소화 시 가스누출을 방지할 수 없다. 최근 일부 모델이기는 하나 소화안전장치를 장착한 제품도 있으니 현장에서 참고하기 바란다.

## (다) 이동식부탄연소기 사고의 특징

① 용기파열사고 시 이동식부탄연소기의 사용 용도상 여러 사람이 모여서 취식중이므로 동시에 많은 사람이 부상을 당하게 된다. 또한 음식의 조리방식의 유행(변화)에 따라 그 사고양상도 다르게 되는데 한때 유행한 석쇠조리기구로 인하여 사고가 많이 발생하였다. 그 중 석쇠에 알루미늄 호일을 씌워 조리하던 중 많이 발생하였으며 연소기의 부품 중 연소노즐과 삼발이는 500℃ 이상에서 용융점을 갖는 제품으로 제조되었으나 사고제품에서는 그 이하에서 용융된 것을 발견할 수 있었다.

② 이동식 부탄 연소기에서 조리할 수 있는 조리기구의 최대크기는  $\Phi 36\text{cm}$ 로 이를 넘을 시 용기 장착부를 덮게 되어 용기에 열을 가하게 된다.

실험 시 과대 조리기구를 사용하여 시험하였으나 실제 파열되는 용기는 없었다. 하지만 용기파열사고의 사례를 보면 대부분이 세라믹, 알루미늄호일을 사용한 제품 및  $\Phi 36\text{cm}$ 를 넘는 조리기구를 사용하였을 때 사고가 발생된 것으로 추정하고 있다.

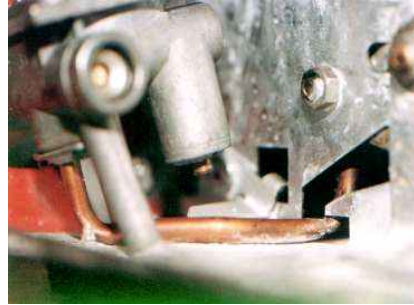
더욱이 과대 조리기구를 사용하였을 때 안전장치의 작동에 따라 용기의 가스방출이 차단되면서 조리기구에 남아있는 열원에 의해 가열되어 파열되는 경우도 발생하고 있다.



[ 그림 1-58 ] 용기자동이탈식 안전장치가 장착된 거버너



[ 그림 1-59 ] 용기자동이탈식 안전장치 (↙ : 용기이탈레버)



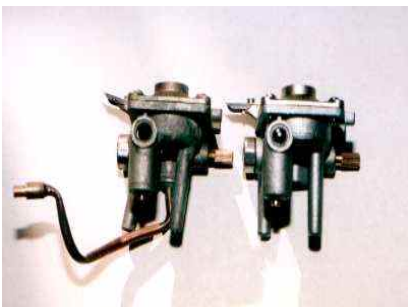
[ 그림 1-60 ] 과대조리기구 사용에 의한 용기파열



[ 그림 1-61 ] 파열된 접합용기



[ 그림 1-62 ] 급격한 압력상승으로 거버너 파손

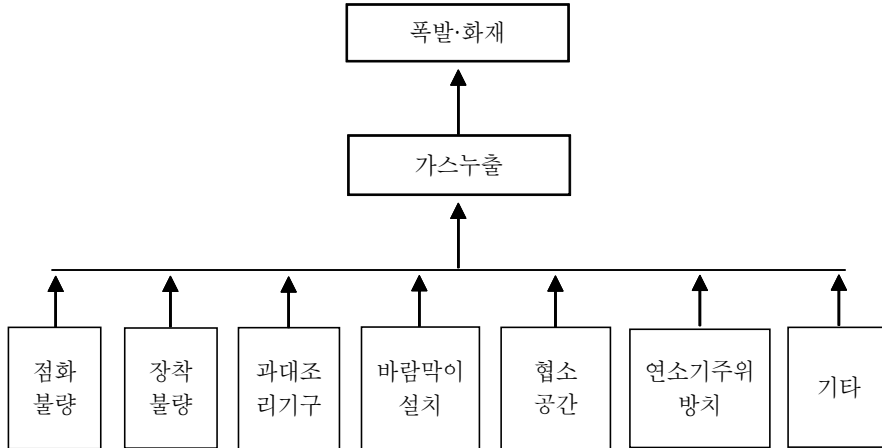


[ 그림 1-63 ] 압력상승에 의한 용기팽창 (RVR 설치 접합용기)



## [이동식부탄연소기(카세트식)]

[ 표 1-41 ] 이동식부탄연소기(카세트식)에 의한 사고 원인 분류

가스폭발  
화재 조사

## 조사방법

1. 점화 콧을 작동시켰으나 불이 붙어 있지 않은 상태로 방치하지 않았는가.
2. 점화동작을 수회 반복한 사실이 없는가.
3. 접합용기를 장착함에 정확히 연결하였는가.
4. 과대 조리 기구를 사용하지 않았는가.
5. 사용 장소가 협조하지는 않았는가.(대류에 의한 온도 상승)
6. 화기주위에서 연소기를 사용하지 않았는가.
7. 연소기 주위에 바람막이 설치하고 사용하지 않았는가.
8. 음식물을 조리하고 있었는가.
9. 삼발이 하부에 접합용기를 보관한 상태에서 점화 사용한 사실이 없는가.
10. 접합용기를 정확히 장착하지 않았거나, 불완전하게 분리시켜 가스가 누출된 것은 아닌가.(손잡이 부분 화재 흔적 식별)

# 4 가스사고 통계 현황

## 1. 가스별

(단위: 명)

구 분	2012	2013	2014	2015	2016	2017
계	125	121	120	118	122	121
LPG	85	86	76	84	75	81
도시가스	31	20	28	19	29	29
고압가스	9	15	16	15	18	11

출처 : <http://www.kgs.or.kr/kgsmain/GasAccident.do?method=list>

## 2. 원인별

(단위: 건)

구 분	2012	2013	2014	2015	2016	2017
계	125	121	120	118	122	121
사용자취급부주의	41	41	41	41	38	31
공급자취급부주의	10	12	9	5	3	3
타공사	3	2	6	4	8	7
시설미비	26	23	17	22	26	29
제품노후(고장)	3	4	14	19	12	18
단순누출	10	8	4	1	6	-
과열화재	12	6	5	2	2	2
교통사고	2	-	1	-	3	8
기타(4급)	6	4	7	8	12	14
고의사고	12	21	16	16	12	9

\* 2011 기타(28건) : 원인미상(2), LPG폭발(2), 작업부주의(1), 고압가스폭발(1), 과열화재(6), 단순누출(4), 교통사고(1), 기타(13)

출처 : <http://www.kgs.or.kr/kgsmain/GasAccident.do?method=list>

## 3. 사용처별

(단위: 건)

구 분	2012	2013	2014	2015	2016	2017
계	125	121	120	118	122	121
주택	59	48	50	39	42	47
식품접객업소	18	21	10	27	14	20
허가업소	5	14	14	16	16	12
차량	3	4	5	4	5	6
제1종보호시설	8	3	8	6	8	5
공급시설	5	3	7	5	5	6
공장	8	9	6	7	6	4
다중이용시설	1	-	-	-	-	1
기타	18	19	20	14	26	20

출처 : <http://www.kgs.or.kr/kgsmain/GasAccident.do?method=list>

## 4. 형태별

(단위: 건)

구 분	2012	2013	2014	2015	2016	2017
계	125	121	120	118	122	121
폭발	48	57	48	42	51	34
누출	18	16	26	18	24	29
화재	33	34	26	25	21	33
파열	12	8	14	24	17	15
CO중독	11	3	6	6	7	9
산소결핍	2	3	-	2	2	1
기타	1	-	-	1	-	-

출처 : <http://www.kgs.or.kr/kgsmain/GasAccident.do?method=list>가스사고  
통계 현황



## 5. 인명피해별

(단위: 명)

구 분		2012	2013	2014	2015	2016	2017
계	사망	20	17	13	18	12	9
	부상	159	144	137	115	106	105
LPG	사망	8	5	10	8	10	5
	부상	99	113	105	100	78	85
도시 가스	사망	8	5	1	5	2	4
	부상	41	27	22	9	21	17
고압 가스	사망	4	7	2	5	-	-
	부상	19	4	10	6	7	3

출처 : <http://www.kgs.or.kr/kgsmain/GasAccident.do?method=list>

## 1. 가스의 기초

가스는 사용이 편리하고 깨끗한 고급 에너지원으로서 가스의 보급도 급속도로 확대되는 반면, 사고가 발생할 경우 막대한 피해를 줄 수 있는 위험성을 가지고 있다. 가스화재를 조사하고 사고현장에서의 안전 확보와 신속한 조치를 위해서는 가스에 대한 물리적, 화학적 성질을 터득하고 있어야 한다.

## 가. 고압가스의 분류

## • 상태에 의한 구분

압축가스	산소, 수소, 질소, 아르곤, 메탄 등
액화가스	액화석유가스(LPG), 암모니아, 이산화탄소, 액화산소, 액화질소 등
용해가스	아세틸렌

## • 연소성에 의한 구분

가연성 가스	수소, 암모니아, 액화석유가스, 아세틸렌 등
조연성 가스	산소, 공기, 염소 등
불연성 가스	질소, 이산화탄소, 아르곤, 헬륨 등

## • 독성가스

독성 가스	염소, 일산화탄소, 아황산가스, 암모니아, 산화에틸렌, 포스겐 등
-------	--------------------------------------

## 나. 폭발범위

가연성가스는 산소와 같은 조연성 가스가 있어야 연소나 폭발로 이어질 수 있다. 이러한 가연성가스가 조연성 가스와 적당히 혼합되면 연소 폭발이 일어날 수 있는데, 이 범위를 연소범위, 연소한계, 폭발범위라고 한다.

가스명	연소범위(용량%)		가스명	폭발범위(용량%)	
	하 한	상 한		하 한	상 한
프로판	2.1	9.5	메 탄	5	15
부 탄	1.8	8.4	일산화탄소	12.5	74
수 소	4	75	황화수소	4.3	45
아세틸렌	2.5	81	암모니아	15	28



## 2. 가스별 특성

### 가. LNG

천연가스는 메탄(CH<sub>4</sub>)가스가 주성분이다. 비점이 약 -162℃이며 무색의 투명한 액체이고 비점 이하의 저온에서는 단열용기에 저장할 수 있다. 액화천연가스로부터 기화한 가스는 무색·무취로 -113℃ 이하에서는 건조된 공기보다 무거우나 그 이상의 온도에서는 가볍다.

### 나. LPG

프로판은 상온에서 7kg/cm<sup>2</sup>(0.7MPa), 부탄은 2kg/cm<sup>2</sup>(0.2MPa) 정도로 가압하면 액화된다. 프로판은 가스 상태일 때 공기보다 1.55배 부탄은 2.08배 정도 무겁고, 액체일 경우에는 물보다 프로판은 0.51배 부탄은 0.58배 정도 가볍다. 사용 중 공기 중으로 누출되면 낮은 부분에 체류, 점화원에 의한 폭발위험성이 있으므로 충분한 통풍이나 환기조치가 있어야 한다.

### 다. 산소

- 산소는 공기 중에 약 21% 함유되어 있고, 사람의 생명과 연료의 연소 그리고 폭발사고에도 중요한 관계를 맺고 있다.
- 상온에서 무색·무취의 기체이며 물에는 약간 녹는다.
- 비중은 공기를 1로 할 때 1.11의 기체이다.
- 탄소와 화합하면 이산화탄소와 일산화탄소를 생성한다.

### 라. 일산화탄소

- 용해물질 : 물에는 녹기 어렵고 알코올에 녹는다.
- 상태 : 무미, 무취, 무색의 기체로서 독성이 강하고 청색의 화염을 발생하며 연소하여 이산화탄소를 발생, 환원성의 가연성 기체이다.
- 폭발범위 : 12.5~74.2%(질소 또는 산소와 혼합)
- 인체영향 : 일산화탄소의 흡입에 따라 계속해서 체내에 산소공급이 부족하게 되면 산소결핍에 민감한 중추신경계가 그 영향을 받아 두통과 현기증이 발생하고 귓속에서 소리가 나며 심장고동, 맥박증가, 구토가 일어나고 나중에는 마비상태가 되며 중독이 심할 경우 생명을 잃게 된다.

## 3. 가스설비

## 가. 정압기실과 정압기

정압기실은 정압기가 설치되는 장소를 말하며, 주로 옥외에 설치되나 부득이한 경우 옥내에 설치할 수 있으며, 정압기실에는 여러 가지 안전장치가 설치된다. 정압기는 고압에서 중압 또는 중압에서 저압으로 감압하여 소비처에 필요한 압력으로 공급하기 위하여 사용되는 것이 정압기이다.

## 나. 가스사용시설

## • 밸브

용기밸브는 밸브몸통, 안전장치, 핸들, 스프링들, 스템스토퍼 또는 그랜드너트, 오링, 밸브시트 등으로 구성되어 있다.

## • 압력조정기

연소기 콕 또는 중간밸브를 닫았을 때 조정기의 내부압력이 상승되어 가스가 연소기로 공급되지 않도록(폐쇄압력)하는 기능을 갖고 있는 것이 압력조정기인데 이러한 조정기가 고장이 나면 불완전연소 현상이 생기기도 한다.

## • 호스

호스에는 고압고무호스, 금속플렉시블호스, 염화비닐호스 등이 있으며, 호스는 그 주체가 고무로 이루어져 경년에 따른 열화를 피할 수가 없다. 열화의 정도는 사용조건, 환경 등 다양한 요인과 복합작용으로 달라지므로, 사용부분에 미소한 균열이라도 있으면 누출량이 많아져 커다란 가스발생의 우려가 된다.

## 다. 연소시의 현상

## • 정상연소와 비정상 연소

가스와 산소공급이 적정히 이루어지는 정상연소가 있는가 하면 공기와의 접촉, 혼합이 불충분하거나 과도한 가스량 또는 공기가 적을 때 불완전연소가 되는데 이러한 조건이 만족하지 않으면 반응도중의 중간 생성물(일산화탄소 등)이 발생된다.

## • 리프팅 현상

가스의 공급압력이 지나치게 높거나 노즐구경이 지나치게 클 경우 가스는 염공에 붙어서 연소하지 않고 염공을 이탈하여 연소한다.

## • 역화현상

노즐구경이 너무 적거나 가스 압력이 낮을 때, 가스의 연소속도가 염공에서 가스유출 속도보다 빠르게 되었을 불꽃이 버너 내부로 들어가 노즐의 선단에서 연소하게 되는 현상을 말한다.



Chapter 4 핵심요약

4. 가스폭발화재 조사

가. 가스사고의 원인조사

- 누출 원인조사
- 폭발연소의 원인조사
- 사상자 발생 시 원인조사

나. 가스사고 현장의 착안사항

- 폭발연소의 강·약
- 폭발연소의 방향성

다. 가스시설별 사고조사

- 용기
- 압력 조정기
- 배관 및 염화비닐호스
- 밸브
- 가스누출자동차단기
- 이동식부탄연소기

Chapter 4 학습가이드

- 01 압력조정기의 역할과 고장발생 시 발생될 수 있는 현상은?
- 02 고무호스 사용 시 연소 확대에 미치는 영향은?
- 03 비정상연소 시 발생 될 수 있는 위험성은 무엇인가?
- 04 가스폭발화재 조사 시 착안사항은?

## 4

## [참고문헌]

가스사고  
통계 현황

1. 2017 가스사고연감, 한국가스안전공사, 2018.
2. 기화기 후단 배관 내 가스의 재액화 방지방안에 관한 연구, 한국가스안전공사, 2000.
3. 기화기의 제조 및 검사기준, 한국가스안전공사, 2000.
4. 최신가스기사실기해설, 청운문화사, 1995
5. 화재조사 실무 용어사전, 경기도하남소방서, 2006.
6. 액화석유가스의 안전관리및사업법, 한국가스안전공사, 2008.
7. 도시가스시설 기준 해설서, 한국가스안전공사 2003.
8. 고압가스 안전관리법, 한국가스안전공사, 2008.
9. 사고조사실무서 I.Ⅱ, 한국가스안전공사, 1999.
10. 화재조사사전, 한국고시회, 2009.
11. 가스폭발예방기술, 도서출판 세화, 1991



# 제2편 폭발화재감식

제1장 폭발의 개요

제2장 폭발이론

제3장 폭발 조사기술

## 1

## 폭발의 개요

폭발의  
개요

- 학습 목표**
- 01 물리적 폭발과 화학적인 폭발을 구분할 수 있다.
  - 02 폭발한계, 인화점, 폭발한계에 영향을 미치는 인자를 나열할 수 있다.
  - 03 폭발화재 조사 기술을 단계적으로 설명할 수 있다.

폭발이라는 용어에 대해서 사전적 의미는 에너지의 부피가 급격히 증가하면서 방출하는 현상으로 주로 높은 온도나 기체의 발생에 의해서 생성되는 것으로 정의되어 있으며, 학술적으로는 압력의 급격한 상승현상으로 압력이 발생하는 원인으로는 연소, 분해, 증발 등의 현상이 포함된 것으로 정의하고 있다.

실제 폭발은 가연물의 연소반응에 의해 일어나는 외에 발열적인 분해반응과 액체의 급격한 증발에 의하여서도 발생한다. 그러므로 반드시 착화를 필요로 하는 것은 아니다. 만약 폭발과 화재는 “연소속도의 차이뿐이다”라고 생각한다면 폭발의 본질을 잘못 이해하고 있는 것으로 폭발과 화재는 서로 다른 개념으로 접근하는 것이 바람직하겠다.

그러나 폭발과 화재는 초기의 발생조건에 있어서 서로 연관성이 있다. 화재로 인한 가스의 누출이나 혼재위험물의 접촉에 의한 폭발이 발생할 수도 있으며, 폭발로 인한 화재의 발생 가능성도 많이 있으므로 두 가지를 서로 연관성이 없다고 생각하고 사고조사에 임한다면 이 또한 중요한 오류를 범하는 결과가 된다.

폭발은 화재와 달리 생각지도 못한 때에 발생하고, 순간적으로 진행되어 많은 인적 물적 피해를 가지고 온다. 특히 폭발 후 화재가 수반되기 때문에 건물과 공장 등 사고현장의 피해는 커진다. 이러한 피해를 줄이기 위해서는 일반화재의 경우처럼 초기소화와 본격소화에 손을 쓸 수 있는 시간적 여유가 없는 폭발사고는 가장 유효한 대책이 사전에 예방하는 대책만이 실효성이 있을 뿐이다. 또한 이러한 예방대책은 지금까지 발생한 여러 종류의 폭발사고 중에서 원인이 불명확한 것이 많고 예방대책도 생각할 수 없는 경향의 사고가 많이 있다. 분명 폭발사고도 인재로 인하여 발생한 이상 이것을 예방하는 것이 불가능한 것은 아니므로, 폭발의 예방대책을 명확히 찾기 위해서는 과거 발생한 폭발사고의 사례를 수집하여 이것을 과학적으로 해석하고, 폭발의 발생원인과 확대경로의 실상을 정확하게 파악하는 것이 예방대책 수립의 중요한 수단이 될 것이다.



최근 화재폭발사고의 빈도가 높고, 재해규모가 커지게 된 것에는 여러 가지의 이유가 있으나 산업의 급속한 발전으로 취급하는 위험물질이나 유해물질의 종류가 증가하고, 저장량과 수송량이 많아지고 있으며, 수송과 생산의 속도가 빠르게 진행되고 있을 뿐만 아니라 생산공정이 다양화 되어 고압, 고온, 심냉 등의 극한 조건들이 도입되어졌기 때문이라고 파악된다.

이러한 다양한 경향성 때문에 향후 발생하는 폭발사고에 대해서는 보다 철저히 분석하여 동종사고가 발생하지 않도록 하여야 하며, 사고조사 결과로부터 실질적인 예방대책이 도출될 수 있으므로, 사고 조사에 대한 궁극적인 목표를 달성하여야 한다.

국내·외에서 발생한 폭발사고의 유형을 분석하여 보면 몇 가지의 형태로 나누어진다. 첫째로 실제 가장 많은 폭발사고의 유형이 단순착화형 폭발로서 단순착화형 폭발은 다시 착화파괴형과 누설착화형의 폭발사고로 나누어 볼 수 있다. 두 번째로는 반응열에 의한 자기발화형의 폭발사고이며 이러한 경우 정확한 메커니즘을 파악하지 못한 경우가 종종 있다. 그리고 세 번째는 반응폭주형의 폭발이 있으며, 마지막으로 증기폭발로 나누어진다. 이러한 폭발을 일으킨 물질들로서는 대체적으로 기체류로서 가연성인 가스가 가장 많으며, 그 다음으로 가연성 액체 그리고 고체류로는 유기, 무기 분진 등이 있다. 특이한 점은 불연성 가스나, 비가연성 증기에 의해서도 폭발이 일어날 수 있다는 것을 명심해야 한다. 보다 구체적으로 폭발사고를 일으키는 물질들을 살펴보면 가연성 가스 및 증기에 대한 것으로는 상온에서 기체 상태인 대표적인 가스로 수소, 천연가스, 에틸렌, 아세틸렌 등이 있으며 가연성 액화가스로는 LPG, 액체 암모니아 등이 있고 가연성 액체증기로는 에테르, 벤젠, 알코올 등의 휘발성 증기가 있다. 이들 가연성가스나 증기는 공기 중의 산소와 혼합하여 혼합가스의 조성이 어느 농도범위 내에 들어갔을 때, 착화원을 만나게 되면 단순착화형의 폭발이 발생한다. 이때 폭발을 일으키는 압력은 착화원으로부터 착화된 화염이 순간적으로 혼합가스 중을 전파하여 폭연 또는 폭굉 현상을 일으키는 것이며, 이러한 폭발이 일어나는 혼합가스 농도의 범위를 폭발범위라 하고 이 농도범위 안에 있는 혼합가스를 폭발성 혼합가스 또는 폭발성 가스라고 한다.

폭발범위는 연소물인 가연성가스를 기준으로 하한농도와 상한농도의 범위를 가지고 있으며 폭발이 발생하는 최저의 가연성가스농도를 폭발하한농도 또는 폭발하한계라하고, 폭발이 일어날 수 있는 최고의 농도를 폭발상한농도 또는 폭발상한계라고 한다. 폭발상한계농도는 일반적으로 가스에 대하여 vol%로 나타낸다.

가연성가스 중에는 폭발상한계가 100%에 달하는 것도 있으며 순수한 단일가스에 있어서 분해폭발을 일으키는 아세틸렌, 에틸렌, 하이드라진 등 있으며, 이들 가스는 고압 하에서 스스로 분해폭발을 일으킨다. 또한 오존, 이산화염소, 시안화수소 등의 가스도 이러한

1

폭발의 개요

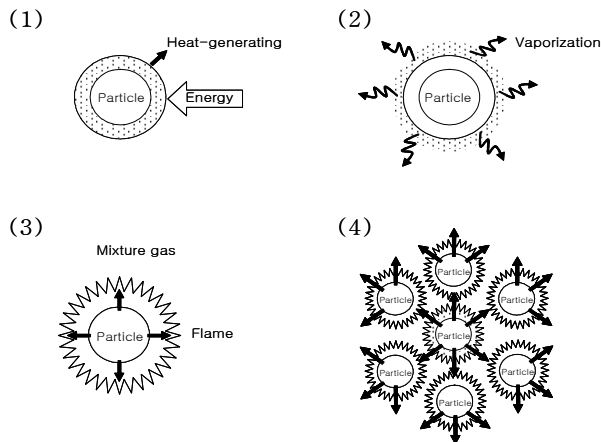
분해폭발의 성질을 지니고 있다. 분해폭발을 일으키는 물질들은 반응폭주현상을 일으키는 대표적인 물질들로서 폭발발생시 연소효과를 동반하게 되면 그 위력이 상당히 커지게 된다.

가연성액체는 상온에서 액체이면서 가연성인 것으로 증기압이 높은 가연물인 경우 상온에서 가연성 증기를 발생하고 이 증기에 의해서 폭발이 발생한다. 즉 가연성 액체의 경우 인화점의 정의에서 알 수 있듯이 가연성 액체의 표면으로부터 발생하는 증기가 인화하는데 충분한 증기의 농도가 방출되는 온도를 말한다. 이때 방출된 증기에 의해 폭발이 발생할 수 있으며, 석유저장 탱크에서 일정공간에 밀폐되어 있는 증기에 의해서 폭발이 발생할 수 있는 이유가 여기에 있다.

또한 박막폭발이라는 것은 압력유, 윤활유 등의 유기물로서 가연성이지만 인화점이 상당히 높아 보통의 상태에서는 연소하기 어려우나 공기 중에 분무된 상태가 되면 폭발을 일으킬 수 있다. 이와 같은 분무폭발과 비슷한 현상으로 고압의 공기배관 또는 산소배관 중에 윤활유가 박막 상으로 존재할 때 박막의 온도가 부착된 윤활유가 인화점 이하일지라도 어떤 원인으로 높은 에너지를 가진 충격파를 보내면 관내에 부착하여 있던 윤활유가 무화(霧化)하여 폭굉으로 전이하는 현상이 발생한다. 이것이 바로 박막폭발이다.

가연성 분체에 의한 폭발의 메커니즘도 가연성 액체와 유사하다. 가연성 분체가 공기 중에 부유하고 있는 상태에서 착화원을 만나면 분진의 표면으로부터 가연성 증기가 발생하고, 이 발생증기의 연소에 의해 주변의 분진입자가 다시 가연성증기를 발생하며, 연쇄적인 연소반응으로 급격하게 온도와 압력이 증가하여 분진폭발이 발생하게 된다. 이와 같은 폭발성 분진으로는 분진폭발의 기원으로 알려진 탄진(석탄가루)이 있으며, 황분, 소맥분, 합성수지 분말, 알루미늄분말, 마그네슘분말 등이 있다.

[ 그림 2-1 ] 분진폭발 메커니즘





분진폭발의 위험특성인자로는 폭발하한농도, 최소착화에너지, 폭발압력, 폭발압력 상승 속도 등이 있으며, 예방을 위한 차원으로 한계산소농도에 대한 연구를 많이 진행한다. 분진의 폭발농도는 g/L로 많이 나타내며, 분진의 경우 가스폭발에 비해 약 100배 정도 큰 착화에너지를 필요로 하고 있지만 폭발이 발생하게 되면 연소속도는 가스폭발에 비교해 늦은 편이나 연소대의 길이가 길고, 연소시간이 길며, 발생에너지가 크기 때문에 가해지는 파괴력은 오히려 가스 폭발보다 크다. 발생압력의 최고치를 비교할 경우 가스폭발의 수 배 정도 이고, 온도는 2000~3000℃ 정도까지 상승한다.

일반적으로 고체 또는 액체의 상태에서 폭발성을 가지는 혼합물을 폭발성물질이라 부르고, 폭발성을 공업적으로 이용할 수 있는 것과 그렇지 못한 것이 있으며, 제어가 가능한 실용성이 있는 물질을 화약류라고 말한다.

화약류에는 피크린산, 트리니트로톨루엔(T. N. T) 등과 같이 니트로화합물로 이루어진 것과 니트로글리세린, 니트로글리콜 등과 같은 다가알코올의 질산에스테르가 있다. 이들의 공통적인 특징은 분자 내에 다량의 산소를 함유하고 있어 착화원에 의해 급속하게 분자가 분해, 연소되고 이때 발생하는 열과 일산화탄소, 이산화탄소, 수분, 질소 등에 의해서 부피가 기하급수적으로 증가하여 폭발현상을 일으킨다.

T. N. T의 경우 1kg당 분해열은 880Kcal, 분해온도는 약 2217℃이며 표준상태에서 1kg당 발생되는 가스양은 830 L로써, 결국 1kg의 폭약에서 폭발 직후에는 약 7m<sup>3</sup>의 부피를 차지하는 폭발가스가 생성한다. T. N. T의 밀도는 1.65로서 그것의 1kg의 부피는 650 ml 이므로 고체폭약의 부피의 약 1000배의 분해가스를 생성하고 분해열로 인하여 더욱 더 그 부피가 증가하여 약 10배로 팽창한다. 또한 T. N. T의 반응속도는 7,140m/sec이므로 순간적으로 반응이 완료되어 대단한 압력과 파괴력을 가지는 것으로 되어있다.

보통의 연소속도는 가스의 조성에 따른 차이는 있지만 대체적으로 0.1m/sec 정도이다. 그러나 폭발의 경우 폭발압력상승을 좌우하는 연소속도는 음속 보다 느린 경우와 빠른 경우로 나누어 볼 수 있으며, 폭발음 이후에 파괴현상이 일어나는 폭발의 경우 폭연으로서 음속보다는 느린 1~100m/sec 수준의 연소속도를 나타내며, 이러한 현상은 가연성증기의 폭발에서 잘 나타난다. 이에 반해 폭굉의 경우는 음속을 초과하는 경우로서 1,000~3,500m/sec에 달하고 폭굉파의 속도가 3,000m/sec일 때 충격압은 최고 1,000Kg/cm<sup>2</sup>의 수준이다. 따라서 T. N. T의 파괴력이 얼마나 큰 것인가를 이해할 수 있다.

1

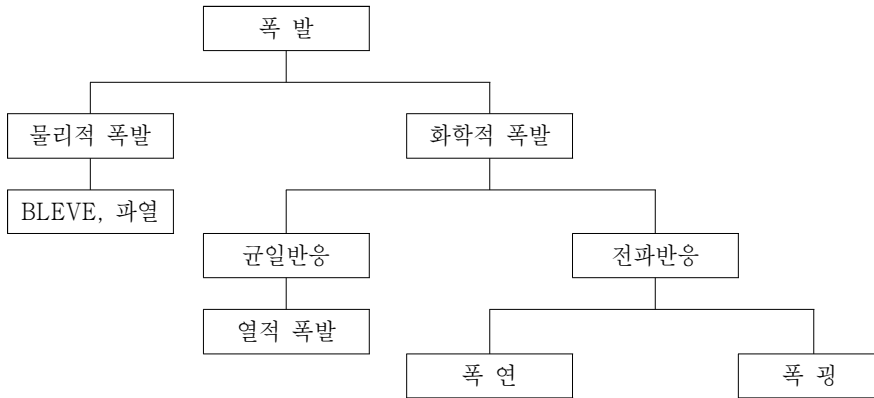
폭발의  
개요

[ 표 2-1 ] 폭연과 폭굉의 비교

구 분	폭 연	폭 굉
전파속도	- 음속 이하 - 0.1~10%	- 음속 이상 - 1,000~3,500%
전파에 필요한 에너지	- 전도, 대류, 복사	- 충격에너지
폭발압력	- 초기압력의 10배 이하	- 10배 이상(충격파발생)
화재파급효과	- 크다	- 작다
충격파발생	- 발생 안한다.	- 발생한다.
전파메커니즘	- 반응면이 열의 분자확산 이동과 반응물과 연소생성물의 난류혼합에 의한 전파	- 반응면이 혼합물을 자연발화 온도 이상으로 압축시키는 강한 충격파에 의해 전파한다.

폭발을 에너지의 형태에 따라서 분류하면 크게 물리적 폭발과 화학적 폭발로 나누어진 다. 폭발의 분류표에서 나타내었듯이 물리적 폭발에는 대표적으로 착화원이 없어도 되는 비 등액체의 팽창에 의한 증기폭발인 BLEVE 폭발이 있고 화학적 폭발에는 균일반응과 전파 반응에 의한 폭발로 나누어지며, 전파반응에는 폭연과 폭굉이 포함된다.

[ 표 2-2 ] 폭발의 분류표



에너지의 형태에 따른 폭발을 물리적 폭발과 화학적 폭발로 분리하여 설명하겠지만, 화재와 폭발이 개념에 있어서와 마찬가지로 서로 다른 차원이지만 물리적 폭발과 화학적 폭발도 개념상의 서로 다른 메커니즘을 지니고 있지만 실질적으로는 분리하여 계산을 할 수가 없다.



## 제1절 물리적 폭발

물리적 에너지의 변화를 주체로 한 것이 바로 물리적 폭발이며 고압용기의 과열, 탱크의 과압파손, 급격한 증발 현상 등이 여기에 속한다. 액체가 들어 있는 밀폐용기를 예를 들면 화재 발생 시에 외부로부터 가열되면 증기압은 상승한다.

또한 액화가스와 같이 비점이 상온이하의 액체가 밀폐용기 내에 저장되어 있을 때 어떠한 원인으로 그 용기가 과열되면 상온에서도 과열액체의 증기폭발이 일어날 가능성이 있다. 이러한 폭발을 예측하거나 그 피해범위를 상정하기 위해서는 최대폭발압력을 알아야 한다.

최대폭발압력을 계산하는 방법으로 현재 가장 많이 사용되고 있는 것이 바로 이상기체상태방정식을 활용하는 방법이다. 여기서는 이상기체상태방정식에 관해서는 잘 알려져 있는 것이므로 폭발에 관련된 내용에 대해서만 간단히 소개하고자 한다.

우리는 Boyle의 법칙에서 부피와 압력, Gay-Lussac의 법칙에서 부피와 온도 그리고 Avogadro의 법칙에서 부피와 농도와의 관계를 규정하고 있다는 사실로부터 부피, 압력, 온도의 변화가 서로 밀접한 관련을 맺고 있음을 잘 알고 있고 이들의 상호관계식으로부터 다음의 식이 성립한다는 사실을 알고 있다.

$$PV \approx nT$$

이 이상기체상태방정식은 모든 기체에 대하여 일정한 비례상수를 지니는 것이 많은 실험을 통해서 나타났는데 이것이 바로 이상기체상수 R이며, 이 R 값은 표준상태인 0°C, 1atm에서 22.4L의 부피를 가지는 1mol의 기체는 0.082의 값을 가지는 것으로 나타났으므로, 이상기체상태방정식의 완결식은 다음과 같다.

$$PV = nRT$$

물리적 폭발현상에서 이식을 살펴본 이유는 비가연성 증기폭발의 메커니즘을 이해하고, 폭발사고를 명확히 조사하기 위한 물리적 양을 측정하기 위한 것이다.

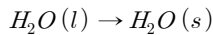
먼저 보일러 폭발의 경우 보일러는 밀폐된 용기 속에서 물을 100°C 이상으로 가열해서 고온, 고압의 수증기를 만들어 내고 이것을 난방용으로 사용하기 때문에 보일러나 열매 배관의 과열사고 위험이 발생한다. 실제 국내에서는 70~80년대에 보일러 수증기에 의한 폭

발사고가 많이 발생하였으며, 주로 관체의 부식, 피로, 균열 등에 의한 내 압력의 감소, 또는 과열에 의한 내압의 상승에 의해서 관체, 전열관 등의 압출, 팽출, 파열 등에 의한 증기 폭발사고가 일어났다.

폭발 이론

또한 제철공장에서 용융금속이나 슬러지 같은 고온의 물질이 물속에 투입 되었을 때, 그 고온 물질이 갖는 열이 저온의 물에 짧은 시간 내에 전달되면서 일시적으로 물은 과열상태가 되고, 급격하게 비등하여 상변화에 따른 폭발현상으로 대형 사고가 발생한다.

이러한 사건에서 이상기체상태방정식을 사용하여 증가한 부피와 압력을 계산 할 수 있다. 예를 들어 작은 우유팩 정도 크기에 180ml 물이 담겨져 있는 데, 그만 실수로 뜨겁게 달궈져 있는 불판위에 물 컵을 넘어졌을 경우 이때 뜨거운 불판이 180ml의 물을 그대로 수증기로 상변이하었다면 증가한 부피는 얼마나 될까?



먼저 조건을 살펴보면 물은 비중이 1이므로 물의 무게는 180g이고, 물의 분자량은 18이다. 여기에 물이 전부 수증기로 변화하였다면 100°C 이상의 온도가 되었다는 것을 의미하고 대기 중에 노출되어있으므로 압력은 대기압 1atm으로 한다면 다음과 같은 계산식이 성립한다.

$$V = \frac{nRT}{P} = \frac{10 \times 0.082 \times (273.15 + 100)}{1} = 305.98 \text{ l}$$

여기서 구하여진 값에 초기의 물의 부피를 나누면 305.983L/0.18L 증가한 물의 부피는 1699.9배가 된다. 즉 약 1700배 만큼 부피가 증가한 것이 된다. 만약 밀폐된 공간에서 이러한 현상이 발생했다면 과연 어떻게 되겠는가? 우리는 쉽게 공간부피를 1L로 하고 180ml의 물이 수증기로 변하였다고 생각하면 다음과 같은 수식이 성립한다.

$$P = \frac{nRT}{V} = \frac{10 \times 0.082 \times (273.15 + 100)}{1} = 305.98 \text{ atm}$$

대기압이 1atm이므로 압력은 305.98배가 증가한 것이 된다. 인간이 폭발에 의해 50%가 사망할 수 있는 수치는 295atm이기 때문에 이 압력에서는 죽을 수도 있는 압력이라는 것이다. 또한 300atm을 견디는 용기를 생각해 보면 얼마나 큰 압력이 작용하는지를 알 수 있다. 아래 표는 압력을 이용하여 사상이나 소손 상태를 알 수 있는 것으로 현장에서 나타나는 현상을 통해 발생한 압력을 알 수 있으며, 정확한 조사를 위해서 발생압력이 어떻게 나왔는지를 고려해야 한다.



[ 표 2-3 ] 압력에 의한 사상 및 소손

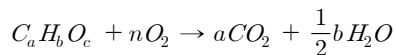
압력(atm)	사상 및 소손 정도
3.2	모든 유리창 파열 압력
15 이상	가옥 부분붕괴, 거주불가능
21 이상	건물 철골 구조의 변형 현상
30 이상	가옥벽 및 지붕 부분 균열 현상
36 이상	인체 고막파열한계
45 이상	사람이 쓰러짐
150 이상	건물의 완전파괴, 폐출혈
295 이상	사망 50%
398 이상	사망 100%
442 이상	철탑붕괴

현재 산업현장에서 보일러나 증기운에 의한 폭발사고가 무단히도 계속되고 있으며, 상당히 많은 사상자를 가져오고 있다. 이것은 위의 압력표를 보게 되면 쉽게 이해할 수 있다.

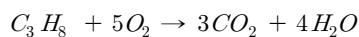
가스폭발은 대부분 물리적 폭발과 화학적 폭발이 동반되는 현상이므로 연소방정식을 이해하고 물리적 힘을 계산하는 방법을 취하는 것이 타당하다. 폭발사고 현장에서도 이러한 것에 유념하고 착화원과 폭발지점을 찾는 데 주력해야만 정확한 폭발원인을 찾을 수 있다.

가스폭발과 가스화재의 기본적인 차이는 에너지 방출속도를 달리하는 폭발과 화재의 차이에 있다. 가스폭발은 메탄, 수소, 아세틸렌, 프로판 등의 가연성 가스와 가솔린, 알코올 등의 인화성 액체의 증기가 공기와의 혼합 상태에서 기상부분의 용적이 크고, 밀폐공간 상태에 있을 때 착화원이 존재함으로써 발생한다. 가스폭발의 조건은 가연성 가스와 지연성 가스와의 혼합기체가 존재할 때 항상 폭발이 발생하는 것이 아니고, 조성농도 조건과 발화원의 존재로서 에너지조건이 충족되어야 발생된다.

따라서 착화원이 존재하는 연소에 의해서 발생하는 가스폭발을 분석하기 위해서 완전연소방정식을 이용하여 가스폭발의 현상을 살펴보자. 먼저 완전연소방정식을 수식화하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.



여기서 보면 1mol의 가연물이 연소하는데 있어서 a몰의 이산화탄소와 1/2몰의 물이 생성되는 것을 알 수 있다. 실제 프로판가스 1mol이 연소하였을 때 생성되는 생성물에 따른 압력변화를 관찰하여 보자.



1mol의 프로판이 연소하는데 필요한 산소의 양은 5mol이다. 그리고 생성된 이산화탄소는 3mol, 수분은 4mol이다. 반응물과 생성물이 모두 기상으로 존재한다면 총 6mol이 반응해서 7mol의 생성물이 생성되었다. 따라서 1mol의 부피인 22.4L가 증가하게 되는 것이다. 그러나 여기서 중요한 한 가지는 생성물이 발열반응으로 인하여 온도가 증가한다는 사실이다. 발열반응으로 온도가 증가하는 만큼의 부피가 상승하게 되는 이는 앞서 계산한 이상기체상태방정식을 이용하여 부피의 증가와 압력의 증가율을 구할 수가 있다.

완전연소방정식이 폭발조사 규명을 위해서 제공하는 것은 물리적 양을 계산하는 것뿐만 아니라 화학양론농도 값도 제공하며, 이 값을 통해서 폭발하한도와 폭발상한농도를 예측할 수 있다는 것이다. 화학양론농도 식은 아래와 같다.

$$C_{st} (\text{vol}\%) = \frac{\text{가연물 mol수}}{\text{가연물 mol수} + (\text{이론산소 mol수}/0.21)} \times 100$$

여기서 구하여진 화학양론농도 값을 이용하여 Jones의 식을 적용하면 폭발하한농도(L. E. L)와 폭발상한농도(U. E. L)를 아래와 같이 쉽게 구할 수 있다.

$$L.E.L = 0.55 C_{st}$$

$$U.E.L = 3.5 C_{st}$$

단, 이 관계식은 모든 유기가연성가스와 파라핀계 탄화수소에만 적용이 가능하다는 것이다. 실제 오차범위도 0.5% 범위 이내이므로 안전율을 이용하면 용이하게 사용할 수 있다.

위와 같이 얻어진 자료를 바탕으로 이상기체상태방정식과 완전연소방정식을 활용한다면 가스 유출로 인한 폭발이 가능한 현장사항이 만들어졌는지 폭발범위의 조성이 이루어졌는지를 알 수 있고, 이러한 검정은 반드시 이루어져야만 한다.



## 제2절 화학적 폭발

화학적 폭발에 있어서는 주로 반응기 내부에서 발생하는 균일반응에 의한 폭발과 배관 또는 공간확산에 의한 전파반응에 의한 폭발로 나누어진다. 먼저 균일반응에 의한 폭발은 반응물질의 종류, 농도, 온도에 따라 달라지며 일반적으로 물질의 온도가 상승함으로써 반응은 더욱 빠르게 진행되고 결국 자기발열 상태가 되며 생성되는 발열량이 방출열량을 초과하는 특징이 있다. 또한 균일반응은 고체, 액체, 기체의 모든 상에서 발생이 가능하나 온도상승을 수반하지 않으면 발열량이 적으므로 밀폐계 내부에서 고압을 생성하기 어렵다는 점도 반드시 기억해 두어야 한다.

전파반응에 의한 폭발의 경우는 착화지점으로부터 확산되는 형태의 폭발로 특정한 부위에서 먼저 발생하여 반응계 전체로 확산되므로 에너지 방출률은 반응속도와 관련이 있고 음속의 수배에 이를 수 있으며, 균일반응과 동일하게 물질의 조성, 온도, 압력, 밀도 등에 따라 폭발의 격렬도가 달리 결정된다. 그러나 전파속도가 아음속일 때 폭연현상이 되고, 초음속일 때 폭굉이 된다.

[ 표 2-4 ] 균일반응과 전파반응

구분	균일반응	전파반응
반응속도	- 느리다 - 반응계 전체에 걸쳐 일정	- 빠르다 - 반응계에 따라 다르다
압력	- 고압생성(×)	- 고압생성(○)
특징	- 고체, 액체, 기체	- 발열반응 - 고온부에서 발생
폭발양상	- 용기 내 폭발	- 배관 내 폭발
종류	- 열적폭발	- 폭연, 폭발

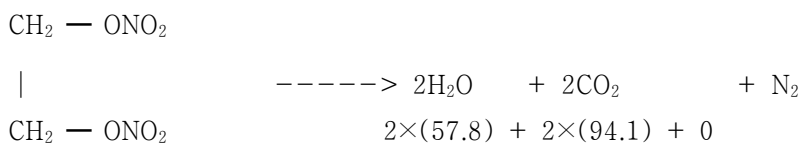
이러한 폭발현상을 정확히 파악하기 위해서 폭발을 일으키는 화학물질에 대한 위험특성 값들을 문헌조사나 실험에 의해서 평가해야 한다. 그러나 문헌조사만으로는 불충분한 경우가 많고, 실험은 광범위하게 행할 수가 없기 때문에 이와 같은 경우에 계산에 의한 예측이 필요하며, 기존의 연구결과에 비교하여 상당히 유효한 것으로 알려져 있다.

그러나 계산에 의한 폭발예측은 절대적인 것은 아니며, 일차원적인 예측에 지나지 않는다. 그러나 폭발사고 조사에 있어서 다양한 변화를 관찰하는 데에 있어서 어느 정도의 신뢰성을 확보하고 있으므로 폭발물질의 생성물과 분해열을 추정하여 물리적 폭발 값들을 계산함으로써 피해확산 범위와 일치하는 지를 확인할 필요성이 있다.

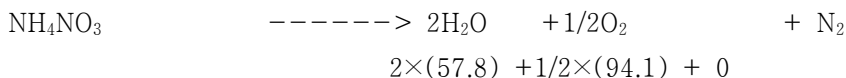
폭발로 발생한 열 즉 분해열, 반응열 등을 예측하기 위해서는 먼저 반응생성물을 추정하여야 하며 추정방법으로는 평형계산법과 비평형계산법이 있다. 대표적인 평형계산법은 화학적 평형을 고려한 것으로 미국의 NASA에서 개발된 CEC71이 있으나 이것은 아주 반응속도가 빠르고, 고온의 조건에서 유효하므로 일반적인 폭발사고의 조건에서는 잘 이용하지 않는다. 반면 비평형계산법은 반응이 완전하게 최후까지 진행된다고 가정한 것으로 비교적 간단하고 실용적이기 때문에 많이 현재 가장 많이 사용하는 방법이다. 따라서 여기서는 실용적인 계산이 가능한 REIPT 2를 설명하고자 한다.

일반화학에서 이미 연구되어진 반응생성물의 우선 생성순위는 급격한 반응으로부터 먼저 생성되는 물질을 나타낸 것으로 C, H, N, O를 함유하는 유기화합물에 있어서는 H<sub>2</sub>O, CO<sub>2</sub>의 순으로 생성물이 생성되고, 남는 물질은 C, N<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> 등으로 한정반응물과 과잉반응물의 구분에 따라서 생성조건을 달리한다. 생성물 우선순위에 따른 니트로글리콜, 질산암모늄, T. N. T의 폭발분해 생성물을 예상해 보고 분해생성열을 구하면 다음과 같다.

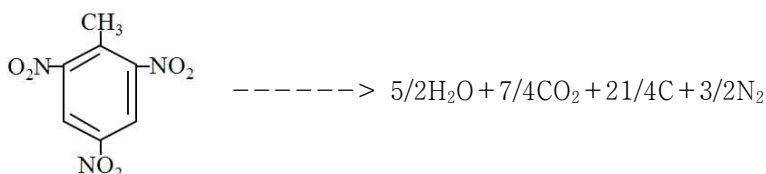
### 1. 니트로글리콜



### 2. 질산암모늄



### 3. T.N.T





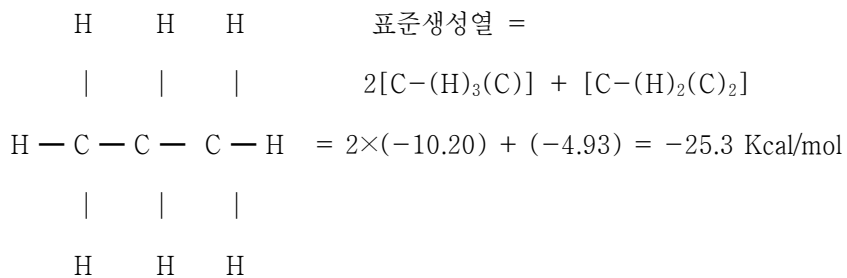
[ 표 2-5 ] REITP 2의 생성물 우선순위와 생성열

생성순위	생성물 (성상)	생성열[Kcal/mol]
1	BeO	146
2	LiF	146.3
:		
:		
12	H <sub>2</sub> O (l)	68.3
:		
:		
24	H <sub>2</sub> O (g)	57.8
:		
:		
89	CO <sub>2</sub>	94
:		

생성물에 대한 열량 즉 표준생성열은 여러 가지의 열량계를 사용하여 실측할 수도 있으나 불안정물질의 경우에는 용이한 것이 아니다. 따라서 반응에 따른 표준생성열을 추정하는 방법은 현재 Benson이 제안한 제2차 가성성칙으로 기상의 생성열을 추정할 수 있고, 액상 고상에 대해서는 Comea-machi와 Yoshida 등이 제시하는 생성열을 많이 사용하고 있다. 폭발위험성의 판정에 있어서 Benson의 group 가성성칙을 사용하면 오차가 100cal/g 이 내로 아주 양호한 결과를 얻을 수 있다.

따라서 Benson의 group 가성성칙을 사용하여 표준생성열을 구하여 보자. 여기서는 대표적으로 탄화수소계 중에서 프로판, 사이크로hex산, 톨루엔의 표준생성열을 Benson의 group 가성성칙을 사용하여 추정하면 다음과 같다.

1) 프로판(기상)



2

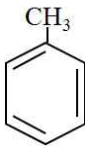
폭발 이론

2) 사이크로헥산(액상)



$$\begin{aligned} \text{표준생성열} &= \\ &= 6[\text{C}-(\text{H})_2(\text{C})_2] + \text{환(사이크로헥산)} \\ &= 6 \times (-6.11) + (-0.73) = -37.39 \text{Kcal/mol} \end{aligned}$$

3) 톨루엔(액상)



$$\begin{aligned} \text{표준생성열} &= \\ &= 5[\text{C}_B-(\text{H})] + [\text{C}_B-(\text{C})] + [\text{C}-(\text{H})_3 (\text{C}_B)] \\ &= 5 \times (1.95) + (3.14) + (-10) \\ &= 2.89 \text{Kcal/mol} \end{aligned}$$

[ 표 2-6 ] C, H를 가지는 group값

group	기체	액체	고체	group	기체	액체	고체
C-(H) <sub>3</sub> (C)	-10.20	-11.58	-11.92	C-(C <sub>B</sub> )(H) <sub>3</sub>	-9.98	-10.00	1.56
C-(H) <sub>2</sub> (C) <sub>2</sub>	-4.93	-6.11	-6.33	C-(C <sub>B</sub> )(C)(H) <sub>2</sub>	-4.86	-4.28	
C-(H)(C) <sub>3</sub>	-1.90	-2.28		C <sub>B</sub> -(H)	3.30	1.95	
C-(C) <sub>4</sub>	0.50	-1.33		C <sub>B</sub> -(C)	5.51	3.14	

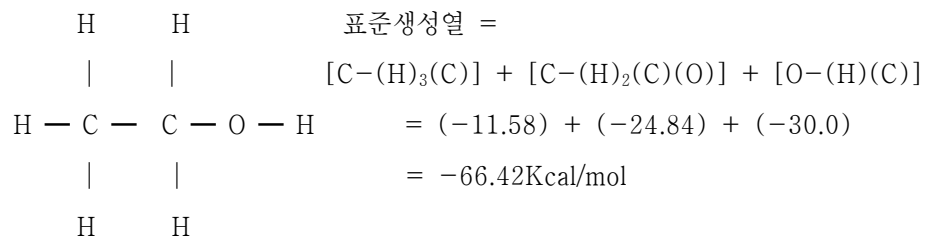
[ 표 2-7 ] 환상화합물에 대한 보정치

화 합 물	기체	액체	화 합 물	기체	액체
Cyclopropane	27.6	30.67	Cyclohexane	0	-0.73
Cyclobutane	26.2	25.33	Cycloheptane	6.4	-5.35
Cyclopentane	6.3	5.26	Cyclodecane	12.6	

또한 CHO로 구성된 대표적인 화합물 에탄올과 메틸에틸케톤의 생성열을 추정하면 아래와 같다.



4) 에탄올(액상)



[ 표 2-8 ] C, H, O를 가지는 group값

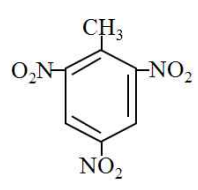
group	기체	액체	고체	group	기체	액체	고체
O-(H) <sub>2</sub>	-57.8			O-(H)(O)	-16.3	-11.48	
O-(H)(C)	-37.9	-30.0		C-(H) <sub>3</sub> (O)	-10.08	-27.01	
O-(H)(C <sub>B</sub> )	-37.9	-29.20		C-(H) <sub>2</sub> (O)(C)	-8.1	-24.84	

[ 표 2-9 ] C, H, O, N를 가지는 group값

group	기체	액체	고체	group	기체	액체	고체
C-(N)(H)	-10.08	-10.27		C-(N)(C) <sub>3</sub>	-3.2	-0.23	
C-(N)(C)(H) <sub>2</sub>	-6.6	-5.10		C <sub>B</sub> -(CN)	35.8	29.25	
C-(N)(C) <sub>2</sub> (H)	-5.2	-2.64		C <sub>B</sub> -(NO <sub>2</sub> )	-1.19	-5.95	-6.77

마지막으로 CHNO 화합물인 T. N. T의 생성열을 추정해 보면 아래와 같다.

5) T. N. T



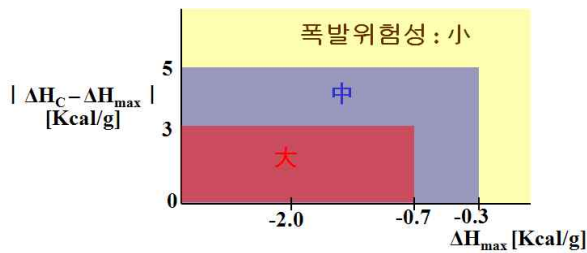
이러한 분해생성열과 표준생성열을 추정하고 완전연소방정식을 통해서 연소생성열을 계산하면 폭발 위험성을 예측할 수 있으며, 여러 가지 복합요인 수반되지 않은 순수한 폭발현상에 대한 추정이 가능하다. 이러한 폭발 위험성 평가방법의 절차는 다음과 같다.

2

[절차]

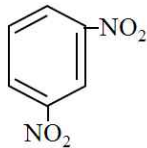
폭발이론

- 1<sup>ST</sup> 폭발성물질의 표준생성열을 Benson의 group 가성성칙을 사용하여 추정한다.
- 2<sup>nd</sup> 분해방정식을 작성하고 분해생성열을 구한다.
- 3<sup>rd</sup> 분해열을 구한다. 분해열( $Q_1$ ) = (분해생성열) - (표준생성열)
- 4<sup>th</sup> 1g 당의 분해열을 구한다.  $\Delta H_{max} = -Q_1 / M$
- 5<sup>th</sup> 완전연소방정식을 작성하고 연소생성열을 구한다.
- 6<sup>th</sup> 연소열을 구한다. 연소열( $Q_2$ ) = (연소생성열) - (표준생성열)
- 7<sup>th</sup> 1g당의 연소열을 구한다.  $\Delta H_C = -Q_2 / M$
- 8<sup>th</sup>  $|\Delta H_C - \Delta H_{max}|$  을 계산한다.
- 9<sup>th</sup> 폭발위험성을 판정한다.



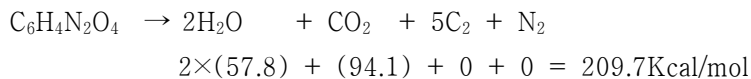
위와 같은 절차에 따라서 실제 폭발성물질로 잘 알려진 디니트로벤젠의 폭발위험성을 평가하여 보고 폭발조사에 대한 활용방안을 알아보자.

- 1<sup>ST</sup> 폭발성물질의 표준 생성열을 Benson의 group 가성성칙을 사용하여 추정한다.



$$\begin{aligned}
 \text{표준생성열} &= 4[C_B-(H)] + 2[C_B-(NO_2)] \\
 &= 4 \times (3.30 + 2 \times (-1.19)) \\
 &= 10.82 \text{Kcal/mol}
 \end{aligned}$$

- 2<sup>nd</sup> 분해방정식을 작성하고 분해생성열을 구한다.





3<sup>rd</sup> 분해열을 구한다.

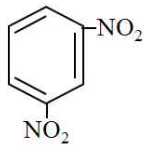
$$\begin{aligned} \text{분해열}(Q1) &= (\text{분해생성열}) - (\text{표준생성열}) \\ &= (209.7) - (-10.82) = 220.52\text{Kcal/mol} \end{aligned}$$

4<sup>th</sup> 1g 당의 분해열을 구한다.

$$\begin{aligned} \Delta H_{\max} &= -Q1 / M \\ &= -220.52 / 168 = -1.31\text{Kcal/g} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{분자량 계산 } C_6H_4N_2O_4 &= (12 \times 6) + (1 \times 4) + (14 \times 2) + (16 \times 8) \\ &= 168 \end{aligned}$$

5<sup>th</sup> 완전연소방정식을 작성하고 연소생성열을 구한다.



$$6 \times (94.1) + 2 \times (57.8) + 0 = 680.2\text{Kcal/mol}$$

6<sup>th</sup> 연소열을 구한다.

$$\begin{aligned} \text{연소열}(Q2) &= (\text{연소생성열}) - (\text{표준생성열}) \\ &= (680.2) - (-10.82) = 691.02\text{Kcal/mol} \end{aligned}$$

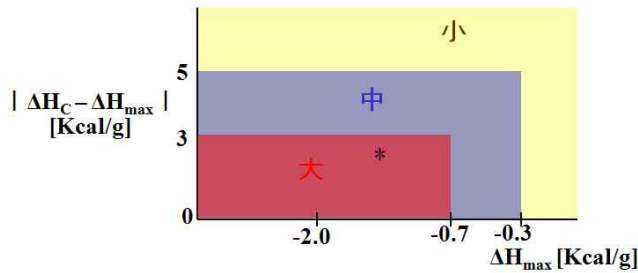
7<sup>th</sup> 1g당의 연소열을 구한다.

$$\Delta H_C = -Q_2 / M = -691.02 / 168 = -4.11\text{Kcal/mol}$$

8<sup>th</sup>  $|\Delta H_C - \Delta H_{\max}|$  을 계산한다.

$$|\Delta H_C - \Delta H_{\max}| = |(-4.11) - (-1.31)| = 2.80\text{Kcal/g}$$

9<sup>th</sup> 폭발위험성을 판정한다.



폭발위험성이 가장 높은 범위 내에 들어오는 것으로 판정되었다.

실제 디니트로벤젠은 강력한 기폭으로 폭굉을 일으키는 물질로 알려져 있으며 이러한 방법으로 폭발의 위험성을 결정하게 되면, 폭발사고 현장에서 직접적인 폭연과 폭굉을 일으킨 물질을 판별할 수가 있다.

폭발사고 현장에서 사고조사를 위해서 높은 등급과 낮은 등급의 폭발로 나누어 볼 수 있는데 이것은 폭발의 손상을 특징짓기 위해서 사용되는 것으로 이분법으로 생각하는 것은 바람직하지 않다. 그리고 실제 폭발은 높은 등급이던 낮은 등급이든의 손상현상이 한 사고 현장에서는 같이 나타나기도 한다. 그럼에도 불구하고 폭발 위험성의 등급을 높고, 낮음으로 나누는 것은 폭발로 인한 에너지 방출을 의미하는 것으로 폭발손상에 직접적인 영향을 미치는 것은 최대 폭발압력이 아니라 폭발상승 속도에 있기 때문에 에너지를 통한 물리적 상수변화를 구하여 내지 않으면 안 된다.

화학적 폭발에 대한 마지막 설명으로 먼저 낮은 등급의 폭발현상에 대해서 논하 여보자. 낮은 등급의 폭발은 구조물 바로 옆의 벽면이 튀어나오거나, 손상되지는 않고 내려앉은 설비 및 탱크의 형상으로 나타나고, 지붕의 경우는 가볍게 위로 들렸다 가 내려앉은 상태를 보이거나 하면, 일정한 틈이나 균열의 현상을 나타낸다. 창문은 종종 유리가 깨어지지 않은 채로 튀어나가기도 하며 특히, 폭발의 잔해는 비교적 큰 덩어리로 형성되며 폭발지점을 기준으로 짧은 거리 내에 분산되어져 있다. 이러한 특징들은 낮은 등급의 폭발이 느린 속도의 압력상승을 나타낸다는 것을 의미하며, 최대폭발압력이 낮다는 것을 의미하지는 않는다. 따라서 이러한 현상이 나타나는 것은 폭발위험성 등급이 낮은 물질에 의해서 폭발이 일어났다는 것을 의미한다.

높은 등급의 폭발은 구조물이 잘게 부서지는 특징이 있으며, 폭발로 인한 피해면적이 넓게 형성되고 비산 거리가 넓게 형성된다. 특히 작은 반응기내에서 높은 등급의 폭발이 발생하게 되면 가장 압력에 약한 부위가 먼저 파괴되면서 가장 먼 거리에 잔해물이 잔존하게 된다. 또한 이 잔해물은 초기의 폭발에서 1차적인 압력상승의 영향을 받은 것으로 볼 수 있기 때문에 상당히 중요한 단서가 된다.



끝으로 화학적 폭발에서 폭발 위험성 등급이 어떤 중요한 의미를 지니는 것인지를 잘 이해하길 바라며 폭발조사부분에서는 개괄적인 논의로 옮겨가도록 하겠다.

## 제3절 폭발한계

### 1. 폭발범위

연소의 조건 중 물질조건인 가연성물질과 산소를 동시에 포함하는 조건으로서 가연성가스와 공기가 착화하기 적절한 비율인 연소범위 내에 있어야 연소가 발생할 수 있다.

다시 말하면 기체가 연소하는 경우 기체가 확산되어서 공기 중에 섞여서 ‘가연성혼합기’를 만드는데 이 때 이 혼합기의 농도가 적절한 농도범위 내에 있어야만 연소가 발생할 수 있다. 이 범위를 ‘연소범위’라고 하며, 기체에 따라 이 범위는 다르다.

연소범위에서 공기 중의 산소입자에 비해 가연성기체입자의 수가 너무 적어서 연소가 발생할 수 없는 한계를 ‘연소하한계(燃燒下限界 : lower flammability limit)’라고 하며, 반대로 산소입자에 비해 가연성기체입자의 수가 너무 많아서 연소가 발생할 수 없는 한계를 ‘연소상한계(燃燒上限界: upper flammability limit)’라고 한다.

기체의 연소 중에서 구획된 공간 내에 기체가 확산되어서 혼합기를 형성하고 있을 때 발생하는 비정상연소를 ‘가스폭발’이라고 하므로, ‘연소범위’, ‘연소하한계’, ‘연소상한계’를 ‘폭발범위’, ‘폭발하한계(爆發下限界: lower explosive limit)’, ‘폭발상한계(爆發上限界: upper explosive limit)’라고도 한다.

### 2. 폭발범위와 위험도

화재나 폭발을 예방하는 안전관리의 기본적인 이론은 가연물의 양을 줄이거나 산소와 같은 조연제의 공급을 차단하여 가연물의 농도를 연소범위 밖으로 하여 공정을 진행시키는 방법과, 에너지를 각각의 물질에 대한 최소점화 에너지(minimum ignition energy) 이하로 유지하는 것이다.

실제로 현장에서는 형편에 따라 가연성 가스 및 증기의 존재 가능성을 무시할 수 없으므로 이들의 연소한계 값을 이용한 폭발성가스의 위험도는 다음 (2.1.1)식에 의해 계산되고,

가스의 폭발위험성을 비교하는 지표로 사용된다.

$$H(\text{위험도}) = \frac{U(\text{연소상한계}) - L(\text{연소하한계})}{L(\text{연소하한계})} \dots\dots\dots (2.1.1)$$

연소범위가 넓을수록, 연소하한계가 낮을수록 폭발의 위험성이 높다.

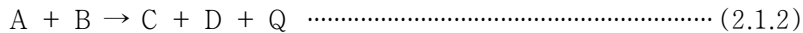
폭발  
이론

### 3. 폭발한계와 연소열

#### 가. 연쇄반응이론

일반적으로 연소반응은 화학적으로 보면 연쇄반응(chain reactions)의 형식으로 진행된다. 이 연쇄반응 내의 하나의 반응을 기본반응(elementary reaction)이라고 한다.

혼합가스 중을 진행하는 연소파를 생각하면 연소반응이 연쇄적으로 진행하면서 파면(波面) 자신은 전방으로 이동해간다. 이 파면상의 기본반응은 다음과 같은 식으로 표시된다.



여기서 A 및 B는 반응물질, C 및 D는 생성물질, Q는 반응열(kcal/mol)이다. A, B, C 및 D는 반드시 안정된 분자에 한정된다고는 할 수 없고, 원자 또는 유리된 기(radical)인 경우도 있다.

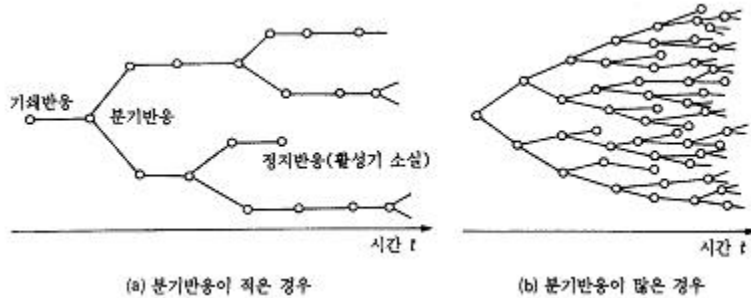
#### 1) 연쇄반응

연소반응이 진행되는 데는 유리된 활성기(radical)가 중요한 역할을 한다. 활성기는 연소반응의 진행주체를 이루는 기본반응에 관여하는 화학종이고, 연쇄개시반응(chain initiation reaction)에서 활성기가 발생하면 분기반응(chain branching reaction)에 의해 그 수는 증가하여 반응을 가속적으로 진행시킨다. 개개의 활성기나 기본반응에서 활성기에 의한 진행 상태는 [그림 2-3]에 나타낸 바와 같다.

시간과 함께 활성기의 수가 증가하고 전체적인 반응속도가 급격하게 증가한다. 활성기가 반응을 연쇄적으로 발생시키는 역할을 하며 분기(branching)의 속도가 반응속도의 증대에 강한 영향을 끼친다. 이와 같은 반응은 연소반응에서 볼 수 있는 독특한 것이다.



[ 그림 2-2 ] 연쇄반응에서 분기에 의한 활성기의 증가와 반응의 가속상태



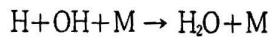
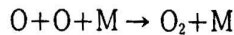
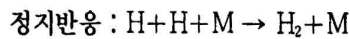
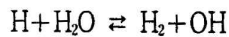
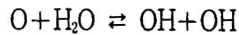
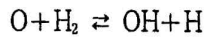
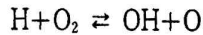
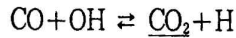
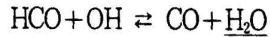
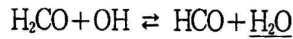
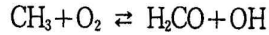
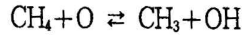
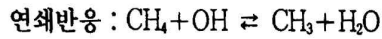
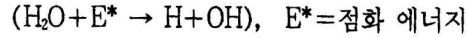
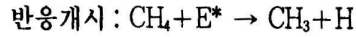
연쇄반응을 일으키고 활성기의 수의 증대와 동시에 가속된 연소반응은 가연성 물질과 산화제의 소모에 따라 활성기의 소멸이나 재결합에 의한 활성기 감소와 함께 반응속도가 감소한다.

## 2) 기본반응

기본반응은 그 수도 많고 반응속도 등이 분명하지 않은 것도 있다. 또 가연성 물질이나 산화제의 종류, 이들의 비율, 압력이나 온도 등에 따라서 지배적인 기본반응이 다르고, 연소반응의 경로도 다르다.

이런 이유로 기본반응에 대해 정확히 기술한다는 것은 불가능하므로 메탄과 산소의 연소에서 예측되는 연쇄반응에서 기본반응을 반응개시, 연쇄반응, 정지반응의 순서로 설명하면 다음과 같다.

이 반응에서 H, O 및 OH는 활성기(radical)이다. 활성기가 증가하는 것을 분기반응이라 한다. 이렇게 생성된 활성기는 정지반응(chain termination reaction)에 의해 소멸된다. 여기에서 M은 제 3의 물체이고 안정한 화학종이 그 역할을 한다고 보아도 된다. 탄화수소와 산소의 반응은 원자의 종류가 증가하는 만큼 복잡해지고, 탄화수소의 성분량이 큰 경우에는 분자량이 작은 것으로 분해되는 과정이 늘어나는 것만으로도 더욱 복잡해지지만, 기본반응으로 형성된 연쇄반응에 의해서 산화가 진행된다는 점에서는 산소의 연소반응과 같다고 볼 수 있다.



#### 나. 폭발하한계와 연소열의 관계

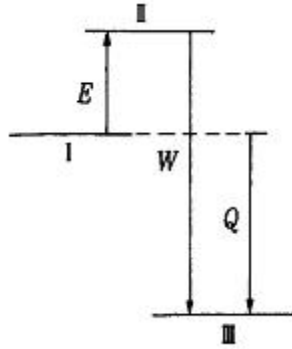
기본반응에서 반응전후의 에너지 수준은 [그림 2-3]과 같이 생각할 수 있다. 그림에서 I은 반응계(A+B)이며, 여기에 어떤 활성화 에너지 E(kcal/mol)가 주어져서 활성화 상태 II가 되고, 반응이 끝나면 III의 생성계(C+D)가 된다. 이때 방출되는 에너지를 W[kcal/mol]라 하면 (2.1.3)식의 반응열 Q는

$$Q = W - E \quad \text{또는} \quad W = Q + E \quad \dots\dots\dots (2.1.3)$$

지금 연소파의 파면에서 기본반응의 밀도를 n이라 하면 단위체적당의 1차적인 방출 에너지는 nW가 된다.



[ 그림 2-3 ] 기본반응의 에너지 변화



연소파가 외부의 에너지 공급 없이 스스로 계속되기 위해서는 이 방출 에너지를 사용하여 다음에 일어날 새로운 기본반응에 활성화 에너지를 주어야 한다. 이 활성화는 어떤 확률을 갖고 이루어지므로 활성화의 확률을  $\alpha(\leq 1)$ 로 하면 단위체적당에 2차적으로 활성화될 수 있는 기본반응의 몰수는  $\alpha nW/E$ 이다.

이 2차반응의 결과 다시 방출되는 에너지는  $\alpha nW^2/E$ 가 된다.

따라서 1차 및 2차의 반응에 의한 방출 에너지의 비를  $\beta$ 라 하면, 식 (2.1.4)를 얻는다.

$$\beta = \frac{\alpha n W^2 / E}{n W} = \frac{\alpha W}{E} = \alpha \left( 1 + \frac{Q}{E} \right) \quad \dots\dots\dots (2.1.4)$$

그런데 연소파가 스스로 계속되기 위해서는  $\beta \geq 1$ 이 되는 조건을 만족해야 한다. 따라서 연소파가 스스로 연속되는 한계조건은  $\beta = 1$ 이다. 즉

$$\alpha (1 + Q/E) = 1 \quad \dots\dots\dots (2.1.5)$$

다음에 폭발하한계에서의 가연성 가스의 농도를  $L(\text{vol}\%)$ 로 하면 활성화의 확률  $\alpha$ 는  $L$ 에 정비례하는 것으로 가정할 수 있으므로

$$\alpha = kL \quad \dots\dots\dots (2.1.6)$$

여기서  $k$ 는 정수이다. 따라서 (2.1.5)식과 (2.1.6)식을 결합하면 다음 식을 얻을 수 있다.

$$1/L = k(1 + Q/E) \quad \approx \quad kQ/E \quad \dots\dots\dots (2.1.7)$$

이것이 폭발하한계를 나타내는 식이고, 하한계  $L$ 는 반응열량  $Q$ 와 활성화 에너지  $E$

2

폭발 이론

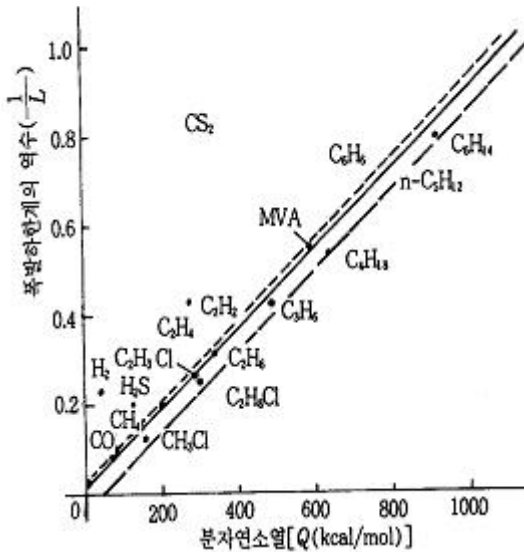
에 관계가 있는 것을 알 수 있다.

활성화 에너지 E가 대체적으로 같은 값인 가연성 가스 사이에서는 다음식이 근사적으로 성립한다.

$$L \cdot Q = \text{일정} \dots\dots\dots (2.1.8)$$

위의 식에서 폭발하한계 L은 가연성 가스의 분자연소열 Q와 근사적으로 반비례한다는 결론이 된다. 다시 말하면 분자의 연소열이 클수록 하한계는 낮다.

[ 그림 2-4 ] 분자연소열과 폭발하한계와의 관계



실제로 탄화수소류의 연소반응에서는 대체적으로 활성화 에너지 E의 값이 공통인 것으로 볼 수 있으므로 [그림 2-4]와 같이 분자연소열 Q와 하한계의 역수 1/L사이에는 거의 직선에 가까운 관계가 있는 것을 알 수 있다.

실제로 탄화수소류에서는 평균값  $L \cdot Q / 100 \approx 11,000 \text{cal}$ 가 되고, 이 값은 하한계의 폭발성 혼합가스 22.4 L (N.T.P)가 갖는 연소열에 해당된다.

포화탄화수소의 연소하한계(L)와 연소열( $\Delta H_c$ )의 관계를 살펴보면 그 두 값의 곱은 메탄을 제외하고는 1,000에서 1,200사이에 있다. 즉 연소하한계와 연소열은 서로 반비례한다. 이 규칙성을 Burgess-Wheeler 법칙이라고 한다.

$$L \cdot \Delta H_c \approx \text{Const} \dots\dots\dots (2.1.9)$$



#### 4. 혼합가스의 폭발한계

두 종류 이상의 가연성 가스 또는 증기 혼합물의 폭발한계를 계산에 의하여 구하는데 Le Chatelier의 법칙이 사용되고 있다. 이 법칙에 의하면 가연성 가스 및 증기의 종류를 A, B...로 하고 이들 단독가스의 폭발한을 각각  $L_a, L_b \dots$  [%]라 하면, 이들 혼합가연성 가스의 폭발한  $L$  [%]은 다음 식으로 주어진다.

$$L = \frac{1}{\left(\frac{n_a}{L_a} + \frac{n_b}{L_b} \dots\right)} \dots\dots\dots (2.1.10)$$

여기서  $n_a, n_b \dots$  는 각각 A, B... 의 혼합몰비(mol비 또는 mol분율)이고,

$$n_a + n_b + \dots = \Sigma n_a = 1 \dots\dots\dots (2.1.11)$$

이다.

마찬가지로 단독가스의 폭발상한을 각각  $u_a, u_b \dots$  [%]로 하면 혼합가연성가스의 폭발상한  $U$  [%]는

$$U = \frac{1}{\frac{n_a}{u_a} + \frac{n_b}{u_b} \dots\dots} \dots\dots\dots (2.1.12)$$

로 주어진다. 그러나 폭발상한의 계산값은 그다지 정확하지는 않다.

Le chatelier의 법칙은 실험식이지만 이것을 전술한 폭발한계를 나타내는 이론식(2.1.7)을 사용하여 증명해 보기로 한다. (2.1.10)식을 바꾸어 쓰면,

$$\frac{1}{L} = \frac{n_a}{L_a} + \frac{n_b}{L_b} + \dots = \frac{\Sigma n_i}{L_i} \dots\dots\dots (2.1.13)$$

가 된다. 혼합가연성 가스 및 이들의 성분가스에 대하여 각각 (2.1.7)식이 성립하는 것으로 생각하면 (2.1.13)식의 좌변 및 우변은 각각 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\frac{1}{L} = k_m \left(1 + \frac{Q_m}{E_m}\right) \dots\dots\dots (2.1.14)$$

$$\Sigma \frac{n_a}{L_a} = \Sigma n_a k_a \left(1 + \frac{Q_a}{E_a}\right) \dots\dots\dots (2.1.15)$$

여기서  $k_m, Q_m, E_m$  및  $k_a, Q_a, E_a$ 는 각각 혼합가연성 가스 및 그 성분가스에 있어

2

폭발 이론

서의 비례정수, 분자연소열, 활성화 에너지를 나타낸다. 그런데  $\sum n_a = 1$ ,  $\sum n_a Q_a = Q_m$ , 이므로 만일 각 성분가스에 있어서  $k_a$  및  $E_a$ 가 공통적으로 서로 같고 각각  $k_m$  및  $E_m$ 과 같은 값을 갖는 것으로 가정하면 (2.1.15)식은 (2.1.14)식과 똑같은 식이 된다. 이것이 바로 Le chatelier의 법칙에 어긋나지 않는다.

다시 말하면 Le chatelier의 법칙은 어떠한 가연성 가스 또는 증기에도 똑같이 적용할 수 있는 것은 아니고, 활성화 에너지  $E$ 와 활성화 확률의 비례정수  $k$ 가 서로 같은 가스성분으로 구성되는 혼합물에 대해서만 성립되는 것을 알 수 있다. 예를 들면 종래부터 Le chatelier의 법칙은 탄화수소류의 혼합물에 대해서는 잘 적합하지만, 수소 등이 함유되는 혼합물인 경우에는 잘 맞지 않는 것은 이 때문이다.

5. 폭발한계와 연소열의 관계

앞에서 근사식으로서

$$\frac{1}{L} \approx \frac{kQ}{E} \dots\dots\dots (2.1.16)$$

을 얻었다. 여기서  $L$ 는 가연성 가스의 폭발하한계를 vol%의 단위로 나타낸 것이지만, 지금  $y$ 로서 폭발하한계를 mg/l 단위로 나타내어 양자의 관계를 구해보면 20°C에 있어서 다음 식과 같이 된다.

$$y = \frac{L}{100} \times 1000M \times \frac{1}{22.4 \times \frac{273+20}{273}} \dots\dots\dots (2.1.17)$$

$$= L \times \frac{M}{2.4}$$

여기서  $M$ 은 가연성 가스의 분자량이다. 이 식의  $L$ 을 역수로 취하여 위의 (2.1.7)식에 대입하면

$$1/y \approx 2.4k Q/ME \dots\dots\dots(2.1.18)$$

$Q$ 는 분자연소열이고  $M$ 은 분자량이므로

$$Q/M = q \dots\dots\dots(2.1.19)$$



q는 가연성 가스 1g 연소열에 해당한다. 따라서  $2.4k=k'$ 로 하면 위의 식은,

$$1/y \approx k' \cdot q/E \dots\dots\dots (2.1.20)$$

가 된다. 이 식은 위의 (2.1.7)식과 똑같은 형이다.

(2.1.7)식에 있어서 Q는 분자연소열[kcal/mol]이었으나, (2.1.20)식에서는 q는 물질 1g에 대한 발열량[kcal/g]을 나타내고 있다. 탄화수소류를 예로 들면 이들의 분자연소열 Q는 탄화수소의 길이에 따라 다른 값을 갖지만, 한편 1g에 대한 연소열 q는 대체적으로 같은 값을 갖는다. 즉 연소열을 발열량으로 나타내면  $q=10\sim 11\text{kcal/g}$ 으로서 거의 일정하다.

따라서 만일 이들 탄화수소류에 있어서 활성화 에너지 E도 또한 공통의 값을 갖는 것으로 가정하면 (2.1.20)식의 우변은 일정한 값이 되고, mg/l 단위로 나타낸 폭발하한계의 값 y는 모두 같아야 한다. 지방족 탄화수소 및 방향족 탄화수소에서 mg/l 단위로 나타낸 이들의 폭발하한계  $y_1$ 은 모두 비슷한 값을 나타내며 그 값은 대체로,

$$y_1 = 40\sim 45\text{mg/L} \dots\dots\dots (2.1.21)$$

의 사이에 있다.

분진폭발에 있어서도 같은 관계가 성립하고, 일반적으로 분체(粉體)의 폭발하한계(g/m<sup>3</sup> 단위)가 대체로 이것과 같은 값을 나타낸다. (2.1.18)식을 (2.1.8)식에 대입하면

$$y \cdot q = \text{일정} \dots\dots\dots (2.1.22)$$

을 얻는다. 여기에서  $y \cdot q$ 는 하한계 농도를 가지는 폭발성 혼합가스 1m<sup>3</sup>당의 발열량을 나타낸다. (2.1.22)식에 전술한 y 및 q의 값을 대입하면,

$$y \cdot q = 400\sim 500\text{kcal/m}^3 \dots\dots\dots (2.1.23)$$

을 얻는다. 다시 말하면 폭발하한계는 혼합가스의 단위체적에 대한 발열량이 일정한 한계값에 도달하는 데 필요한 가연성 가스 농도라고 할 수 있다.

일반적으로 가연성 가스 또는 증기의 폭발하한계의 값은 실측에 의하면 이것이 공기 중에 있거나 산소 중에 있거나 거의 차이가 없다. 또한 공기의 일부를 점차 질소로 희석시켜도 그 중의 산소농도가 일정한 한계값 이하가 될 때까지는 폭발하한계의 값은 거의 변화가 없다. 예를 들면 아세틸렌에서는 혼합가스 중의 산소 농도가 8% 이상이면 산소농도에 관계 없이 항상 하한계는 약 2.5%로서 변화가 없다.

폭발하한계에 대한 온도의 영향은 폭발하한계의 측정방법에 따라 다르고, 화염이 상향전파인 경우에는 그다지 영향이 없고 하향전파인 경우에는 현저한 영향이 나타난다. 후자에 있어서는 일반적으로 온도가 상승함에 따라서 하한계가 낮아지고 상한계는 상승하여 결과적으로

폭발범위가 확대된다.

## 6. 인화점과 폭발하한계

폭발  
이론

인화점이란 가연성 액체의 액면 부근에 인화하기에 충분한 농도의 증기를 발산하는 최저 온도이다. 따라서 인화점은 혼합가스의 폭발하한과 밀접한 관계를 갖는다.

일반적으로 가연성 액체는 그 온도에 상응하는 일정한 증기압이 있으므로 액면 부근에는 증기압에 상응하는 증기농도가 있다. 액체를 가열해갈 때 액면 부근의 증기농도가 그 증기의 폭발하한에 달할 때의 온도가 인화점이다.

金原壽郎(김원수랑)에 의하면 인화성 액체를 넣은 접시를 점차 냉각하면서 연면연소의 연소속도를 측정하여 온도와 연면연소의 연소속도 곡선으로부터 외삽법에 의해 연소속도가 영(零)이 되는 온도를 구하여 그 액체의 인화점으로 하였다.

따라서 액체의 증기압곡선과 증기의 폭발하한이 주어지면 인화점은 이들 값에서 계산에 의하여 구할 수 있게 될 것이다.

지금 가연성 액체의 증기압을  $p$ , 절대온도를  $T$ 라 하면 일반적으로 식 (2.1.24)과 같이 Clausius Clapeyron식으로 나타낼 수 있다. 여기서  $\lambda r$ 은 온도  $T$ 에서의 액체의 분자증발열이다.

$$d \ln p / dT = \lambda r / RT^2 \quad \dots\dots\dots (2.1.24)$$

이것을 적분하면 비교적 좁은 온도범위에서는

$$\ln p = A - \lambda r / RT \quad \dots\dots\dots (2.1.25)$$

또는

$$\log p = a - b/T \quad \dots\dots\dots (2.1.26)$$

라는 Antoine 식으로 나타낼 수 있다. 여기서  $A$ ,  $a$ ,  $b$ 는 모두 정수이다. 따라서 증기압  $p$ 의 대수와 절대온도  $T$ 의 역수는 서로 직선적인 관계가 있다. [그림 2-5]는 여러 가지 인화성 액체의 증기압의 대수를 횡축에, 절대온도의 역수를 편의상 섭씨눈금으로 하여 종축에 나타낸 증기압곡선이며 각각 거의 직선에 가깝다.

인화성 액체가 저장탱크, 드럼통, 석유통 등의 밀폐용기 속에 저장되어 있는 경우에 용기 내의 공간부분은 액체의 증기압에 상응하는 농도의 증기와 공기의 혼합가스로 채워져 있다. 용기의 온도가 낮아 액체의 인화점 이하일 때는 용기 내부의 혼합가스는 폭발하한 이하의 농도이므로 인화될 위험은 없다. 그런데 용기와 온도가 인화점 이상에 달하면 용기 내의 혼합가스 농도는 폭발범위에 들어간다. 만일 용기의 뚜껑에 있는 구멍이나 저장탱크의 통기공을 통하여 인화되면 연소파는 용기 내부에 전달되어 심한 가스폭발을 일으키고 용기는 파



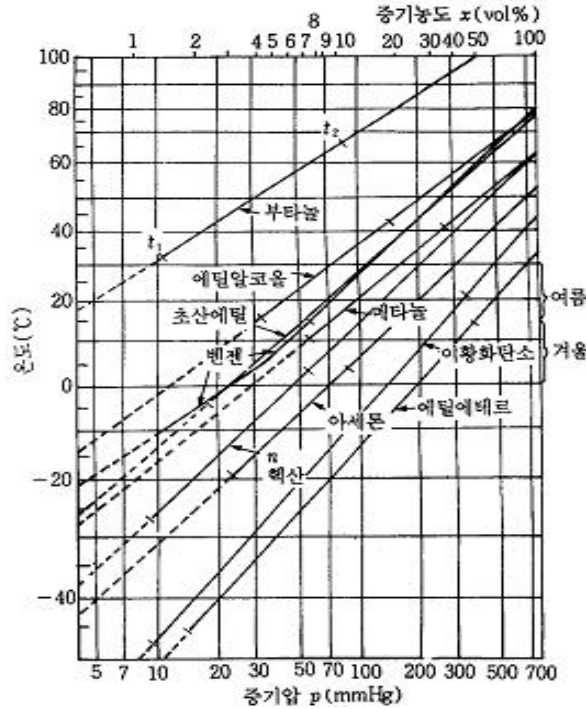
열되어 착화된 액체는 사방으로 분출되어 큰 피해가 발생한다. 실제 에틸알코올, 벤젠, 도료, 시너 등의 용기에서 이와 같은 폭발재해가 일어난 사례가 많이 알려져 있다.

용기의 온도가 더욱 상승하여 내부의 혼합가스 농도가 폭발상한을 초과한 경우에는 용기 밖으로 누설한 혼합가스는 인화하여 화염을 내면서 연소하지만, 연소과가 용기 속에 들어가서 가스폭발을 일으키지는 않는다. 즉 용기 내부의 가스폭발에 대해서는 다시 이에 대한 안전 한계온도가 존재한다.

이 온도는 실측하기는 곤란하지만 증기의 폭발상한값에서 [그림 2-5]의 증기압곡선을 사용하여 산출할 수 있다. 예를 들면 에틸알코올에서는 상한은  $x=19.0\%$ 이므로  $p=144.4\text{mmHg}$ 이고, [그림 2-5]에서 이에 상당하는 온도는  $t=42^\circ\text{C}$ 가 된다. 이 온도를 상부인화점이라 한다. [그림 2-5]의 증기압곡선에서  $t_2$ 는 각 액체의 상부인화점이며 결국 에틸알코올을 저장하는 밀폐용기는 인화점  $14^\circ\text{C}$ 와 상부인화점  $42^\circ\text{C}$ 의 중간에서 대단히 위험한 폭발성인 혼합가스를 내장하고 있다. 이 중에서 가장 발열량이 큰 완전연소농도에 상당하는 온도는 약  $22^\circ\text{C}$ 에 해당된다.

일반적으로 각 인화성 액체에 대하여 인화점  $t_1$ 과 상부인화점  $t_2$ 의 중간의 온도를 위험온도범위라 할 수 있다.

#### [ 그림 2-5 ] 인화성 액체의 증기압곡선 및 인화점



## 7. 폭발한계의 계산

### 가. 폭발한계와 위험성

기체 중에서 폭발범위가 매우 넓은 것은 수소, 일산화탄소, 아세틸렌, 이황화탄소, 메탄올, 에테르, 에틸렌, 암모니아 등이다. 일반적으로 폭발범위가 넓은 기체는 점화원이 있는 경우 인화 위험성이 높다는 것이다. 하지만 폭발의 위험성은 불활성 가스의 존재 유무, 압력과 온도에 영향을 받으며, 액체로 존재하는 경우 인화점, 비점, 전기전도도 등을 고려하여야 한다. 폭발범위가 넓은 기체 및 액체를 취급할 때에는 누설이 되지 않고 통풍이 잘 되도록 하고 점화원의 관리에 특히 주의하여야 한다.

인화점이 낮은 액체는 폭발범위가 좁은 경우에도 유출을 방지하여야 한다. 인화점이 낮은 액체가 저장된 탱크 내의 공간에 존재하는 가연성 증기는 폭발한계의 상한을 초과하는 경우가 많지만 누출되면 폭발범위를 형성하므로 매우 위험한 상태가 된다. 이 상태에서 점화원이 있으면 폭발위험이 높지만 점화원이 없더라도 유체의 유동에 의하여 발생하는 정전기가 점화원이 되어 폭발이 발생하기도 한다.

### 나. 폭발하한계의 계산



혼합가스 또는 증기의 폭발하한계를 직접 측정하지 않고 계산에 의하여 구하는 방법이 있다.

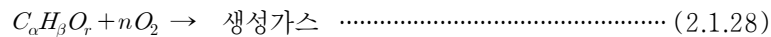
그 중 하나는 가연성 액체의 인화점과 증기압곡선을 알아내서 인화점을 증기압의 값에서 공기 중의 하한농도를 구하는 방법이다. 이 방법은 액체의 증기 외에는 적용할 수 없다.

또 하나의 방법은 가연성 가스의 공기 중 완전연소반응식으로부터 화학량론농도를 구한 다음 근사식에 의해 폭발하한계의 농도를 계산하는 것이다.

$$L_1 \approx 0.55C_{st} \dots\dots\dots (2.1.27)$$

이 관계식은 파라핀계 탄화수소를 비롯한 거의 모든 유기 가연성 가스에 적용된다. 그러나 무기 가연성 가스에는 적용할 수 없다.

여기서 화학량론농도는 다음 방법으로 구한다. 일반적으로 가연성 가스를  $C_aH_bO_c$  로 나타내고 그 1몰을 연소시키는 데 필요한 산소의 몰수를  $n$ 으로 나타내면, 연소반응식은



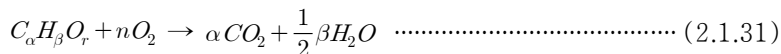
를 얻는다. 공기 중의 산소농도를 20.9%로 하면, 공기 중의 가연성 가스농도  $x[\%]$ 는 일반적으로,

$$x = \frac{1}{1 + \frac{n}{0.209}} \times 100 = \frac{20.9}{0.209 + n} \dots\dots\dots (2.1.29)$$

또는 산소중의 가연성 가스농도를  $X[\%]$ 로 하면,

$$X = \frac{100}{1 + n} \dots\dots\dots (2.1.30)$$

위의 식을 사용하여  $x$  또는  $X$ 와  $n$  또는  $2n_0$ 와의 관계를 구하여 이것을 표시하면 [표 2-10]과 같다. 완전연소의 경우에는 (2.1.28)식은



$$\text{여기서} \quad 2n_0 = 2\alpha + \frac{1}{2}\beta - \gamma \dots\dots\dots (2.1.32)$$

파라핀계 탄화수소에서는  $\beta = 2\alpha + 2$ ,  $\gamma = 0$ 이므로 이것을 (2.1.32)식에 대입하면 식 (2.1.33)이 된다.

2

폭발 이론

$$2n_0 = 3\alpha + 1 \dots\dots\dots (2.1.33)$$

이  $2n_0$ 를 사용하여 표 2.2에서 바로 공기 중에서의 화학량론농도를 구할 수 있다. [표 2-11]은 파라핀계 탄화수소에 대하여 화학량론농도 하한계의 실측값 및 계산값을 비교한 것이다.

[ 표 2-10 ] 가연성 가스 농도와 필요 산소량과의 관계

산소분자수 (n)	산소원자수 (2n <sub>0</sub> )	가연성 가스 농도(%)	
		공기중 $C_\alpha = \frac{20.9}{0.209+n}$	산소중 $C_\alpha = \frac{100}{1+n}$
1	0.5	45.4	80.0
	1.0	29.5	66.7
	1.5	21.8	57.2
	2.0	17.3	50.0
2	2.5	14.3	44.5
	3.0	12.2	40.0
	3.5	10.7	36.4
	4.0	9.5	33.3
3	4.5	8.5	30.8
	5.0	7.7	28.6
	5.5	7.1	26.7
	6.0	6.5	25.0
4	6.5	6.1	23.5
	7.0	5.6	22.2
	7.5	5.3	21.1
	8.0	5.0	20.0
5	8.5	4.7	19.0
	9.0	4.5	18.2
	9.5	4.2	17.4
	10.0	4.0	16.7

다. 폭발상한계

앞에서 설명한 바와 같이 가연성 액체의 상부인화점과 그 증기압곡선에서 공기 중의 상한계 농도를 구할 수 있으나, 실제로 상부인화점을 실측하는 것이 곤란하므로 이 방법은 실시하기 어렵다.

다른 방법으로서 Spakowski는 상압, 25°C의 파라핀계 탄화수소의 공기 중의 폭발



상한계 U는 폭발하한계 L과 다음과 같은 관계가 있다고 하였다.

$$U = 7.1L^{0.55} \dots\dots\dots (2.1.34)$$

또한 Zabetakis는 상한계 부근에서 냉염(冷炎)을 수반하지 않는 경우에는 다음식이 성립한다고 하였다.

$$U = 6.5\sqrt{L} \dots\dots\dots (2.1.35)$$

(1.39)식에 (1.31)식을 대입하면

$$U = 4.8\sqrt{C_{st}} \dots\dots\dots (2.1.36)$$

라는 관계식을 얻는다.

北天(북천)은 유기가연성 가스의 분자 내 탄소원자수 a와 가연성 가스의 상한계값 U를 [표 2-10]에 적용하여 얻은 필요 산소원자수  $2n_0$ 의 사이에 [그림 2-6]과 같이 일정한 직선적인 관계가 각 동족체 사이에 성립하는 것을 확인하여 상한계의 계산식을 구하였다. 파라핀계 탄화수소의 예를 들면 [표 2-11]에서 상한계의 측정값 U(obs)는 Coward-Jones, Zabetakis, Nabert-Schon, 柳生(유생) 등의 표에서 인용하였다. 이들 U값에 상당하는  $2n_0$ 값을 [표 2-10]에서 구하여  $2n$ 과  $\alpha$ 사이의 관계를 그림으로 그리면 [그림 2-6]과 같이 직선상에 있게 된다. 이들 직선의 방정식은 다음과 같다.

$$2n_0 = 0.5\alpha + 2.0, \alpha = 1, 2 \dots\dots\dots (2.1.34)$$

$$2n_0 = 0.5\alpha + 2.5, \alpha \leq 3 \dots\dots\dots (2.1.35)$$

이들 직선에서 얻은  $2n_0$ 값을 [표 2-11]에 나타내었다.

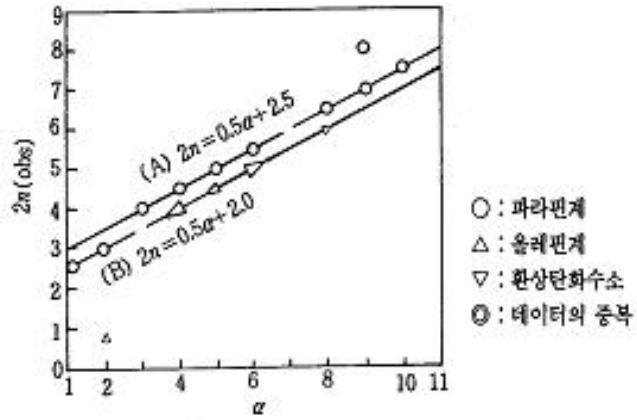
임의의 파라핀계 탄화수소  $C_\alpha H_{2\alpha+2}$ 의  $\alpha$ 를 (2.1.34) 또는 (2.1.35)식에 대입하여  $2n_0$ 값을 구하고, 이 값에서 [표 2-11]을 사용하여 상한계 U를 구할 수 있다.

이렇게 하여 구한 상한계의 값을 U(calc)로 표시했다. [표 2-11]에서 U(obs)와 U(calc)는 잘 일치하고 있다.

[ 그림 2-6 ] 지방족 탄화수의 분자 내 탄소원자수  $\alpha$ 와 필요 산소원자수  $2n_0(obs)$ 과의 관계

2

폭발 이론





[ 표 2-11 ] 파라핀계 탄화수소의 화학량론농도, 하한계 및 상한계의 계산치(calc)와 실측치(obs)의 비교

No.	가연성 가스	분자식	$\alpha$	화학양론농도		하한계		상한계		
				$2n_0$	$C_0$ (calc) [%]	$L$ (obs) [%]	$L$ (calc) [%]	$U$ (obs) [%]	$2n$	$U$ (calc) [%]
1	메탄	CH <sub>4</sub>	1	4	9.5	5.0	5.2	14.0	2.5	14.3
2	에탄	C <sub>2</sub> H <sub>6</sub>	2	7	5.6	3.0	3.1	12.5	3.0	12.2
3	프로판	C <sub>3</sub> H <sub>8</sub>	3	10	4.0	2.1	2.2	9.5	4.0	9.5
4	부탄	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	4	13	3.1	1.8	1.7	8.5	4.5	8.5
5	이소부탄	C <sub>4</sub> H <sub>10</sub>	4	13	3.1	-	1.7	8.4	4.5	8.5
6	펜탄	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	5	16	2.5	1.4	1.4	7.8	5.0	7.7
7	이소펜탄	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	5	16	2.5	-	1.4	7.6	5.0	7.7
8	디메틸 프로판	C <sub>5</sub> H <sub>12</sub>	5	16	2.5	-	1.4	7.5	5.0	7.7
9	헥산	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6	19	2.2	1.2	1.2	7.5	5.5	7.1
10	디메틸부탄	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6	19	2.2	-	1.2	7.0	5.5	7.1
11	메틸펜탄	C <sub>6</sub> H <sub>14</sub>	6	19	2.2	-	1.2	7.0	5	7.1
12	헵탄	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	7	22	1.9	1.05	1.0	6.7	5	6.5
13	디메틸헵탄	C <sub>7</sub> H <sub>16</sub>	7	22	1.9	-	1.0	6.7	6.0	6.5
14	옥탄	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	8	25	1.6	0.95	0.9	6.0	6.0	6.1
15	이소옥탄	C <sub>8</sub> H <sub>18</sub>	8	25	1.6	-	0.9	6.0	6.5	6.1
16	노난	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	9	28	1.5	0.85	0.8	5.6	7.0	5.6
17	테트라메틸펜탄	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	9	28	1.5	-	0.8	4.9	7.0	5.6
18	디에틸 펜탄	C <sub>9</sub> H <sub>20</sub>	9	28	1.5	-	0.8	5.7	7.0	5.6
19	데칸	C <sub>10</sub> H <sub>22</sub>	10	31	1.3	0.75	0.7	5.4	7.5	5.3

## 8. 연소에 필요한 최소산소량

만약 가연성 혼합물의 산소농도가 감소한다면 화염은 전파되지 않고 따라서 폭발의 예방은 가연물의 농도가 얼마이든 간에 산소의 적절한 감소로 수행될 수 있다. 가연하한에서의 산소농도는 연소하기에는 과잉 상태이다. 앞에서 설명한 바와 같이 가연하한과 연소열의 곁은 대부분의 연소 혼합물에 대해서는 일정하다.

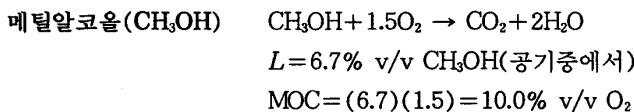
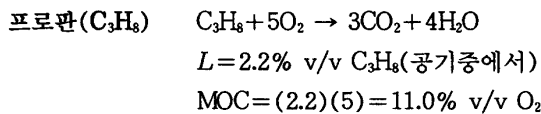
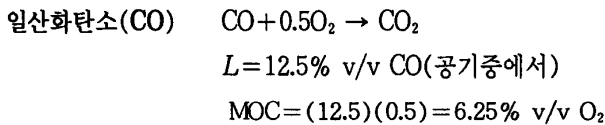
건조공기는 79.05% v/v 질소를 함유하고 있고 질소와 공기는 유사한 열전도도, 열용량, 분자량을 가졌다. 따라서 질소가 약간의 공기를 치환한다면 가연하한 L에서 화학량론적인 상태에 도달할 때까지 같은 열이 산출되어질 것이다. 산소의 감소는 열생산을 감소시키는 결과를 초래할 것이며 그것은 불꽃의 전파에도 불충할 것이다.

정해진 혼합물에 대한 최소산소요구량은 [표 2-12]에 나타내었다. 일반적으로 유기가연성 혼합물은 유기물질, 불활성 가스, 공기 혼합물 중의 산소가 약 10.5% 이하이거나 불활

성 가스로서 질소나 이산화탄소가 각각 13% v/v 이하이면 화염이 진행되지 않고 냉염도 MOC 이하에서는 일어나지 않는다. 불활성 가스로서 질소와 함께 연소되는 최소산소농도는 가연하한에서 완전연소에 요구되는 산소로부터 정확히 계산될 수 있고, 산소의 감소는 점화를 방지한다. 일산화탄소(CO) 외에 몇 가지에 대한 예를 들면 다음과 같다.

[ 표 2-12 ] 연소에 필요한 최소산소량(MOC)

물질명	질소-공기계% v/v O <sub>2</sub>	탄산가스-공기계% v/v O <sub>2</sub>
아세톤	13.5	15.5
벤젠	11	14
부타디엔	10	13
부탄	12	14.5
이황화탄소	5	8
일산화탄소	5.5	6
디에칠에테르	10.5	13
에틸알코올	10.5	13
에틸렌	10	11.5
수소	5	6
황화수소	7.5	11.5
이소부탄	12	15
메탄	12	14.5
메칠알코올	10	13.5
프로판	11.5	14
프로필렌	11.5	14



수증기의 열용량은 질소보다는 크고 이산화탄소보다는 약간 적기 때문에 불활성 가스로 수증기가 쓰여진 MOC값들은 질소와 이산화탄소의 MOC값 사이의 값을 나타낸다. 따라서 불활성가스로 질소를 사용할 때 안전한 산소농도는 불활성 가스로 수증기를 사용할 때에도 안전하다. 수증기-공기 혼합물로 포화된 산소농도에 대한 최소온도는 [표 2-13]에 나타내어져 있다.



[ 표 2-13 ] 물, 수증기, 공기 혼합물로 포화된 산소에 대한 최소온도(101.325Kpa)

산소 % (v/v)	최소온도 (°C)	산소 % (v/v)	최소온도 (°C)
5	92.6	10	82.8
6	90.9	11	80.5
7	89.1	12	77.9
8	87.1	13	75.0
9	85.1	14	71.8

## 9. 폭발한계도

가연성 가스의 저장조나 배관에는 질소나 이산화탄소 등의 불활성 가스로 장치 내의 가스를 치환하여 장치 내에 폭발혼합가스가 생성하지 않도록 하는 불활성 가스 치환방법이 있다. 이와 같은 경우 필요한 불활성 가스의 첨가량은 가연가스-산소-불활성가스 3성분계의 폭발한계도를 작성하여 결정하는 방법이 사용되고 있다. 메탄-산소-질소 3성분계 혼합가스의 폭발한계를 [그림 2-7]에 나타냈는데 이러한 정 삼각선도 또는 [그림 2-8]처럼 직각 삼각선도로서 표시하는 것이 편리하다. 삼각선도 상에서는 가연가스의 폭발범위가 일반적으로 [그림 2-7]에서 보여주는 것처럼 삼각형의 영역으로 표시되고 있다. 그 삼각형의 정점과 산소 중에서의 하한계를 나타낸 점  $L_1$ 을 맺은 선이 하한계선이고, 상한계를 표시한 점  $U_1$ 과 맺은 선이 상한계선이다. 삼각형의 특징으로서 어떤 순성분에 해당하는 정점을 통과하는 직선상에서는 다른 2성분은 결정된 비율로서 나타내져서 메탄-공기 혼합물은 [그림 2-7]에서 공기의 선상에 표시되고 있다. 그런데 공기조성선이 폭발범위를 지나는 점  $L_2, U_2$ 가 각각 공기 중의 하한계, 상한계가 된다.

이 특징을 이용하여 각 성분가스의 농도변화는 다음과 같이 표시된다. 지금 어떤 조성의 혼합가스  $M_1$ 을 생각해 보면 이것에 메탄을 첨가한 경우, 처음에는 정점  $CH_4$ 와  $M_1$ 을 맺은 선상의 혼합물을 만들며, 균일하게 된 후에는  $M_2$ 로 고정된다. 마찬가지로 산소가 첨가되었을 때는  $M_1$ 과 정점  $O_2$ 를 맺은 직선상의 조성이 된다. 2종류 이상의 가스가  $M_1$ 에 첨가되었을 때에도 이와 같이 2단계로 구분하여 생각한 것에 의해 새로운 조성점이 얻어진다. 예를 들면 메탄과 산소가 첨가되었을 때는 처음 메탄이 더해져서  $M_2$ 가 되고, 다음에 산소가 덧붙여져서  $M_3$ 가 얻어진다. 이러한 과정에서 조성점 및 조성선이 폭발범위 내에 있는가, 범위 밖에 있는가에 의해서 폭발위험성을 판단할 수 있다. 그림에서  $M_1$ 에 메탄을 첨가하는 과정에서는 폭발위험성이 없다. 그러나 산소를 첨가하는 과정에서 균일하게 혼합된 혼합물의 조성이 폭발범위에 들어있는 경우는 당연히 폭발하지만, 그렇지 않은 경우에도 정점  $O_2$ 와  $M_1$ 을 맺는 조성비 불균

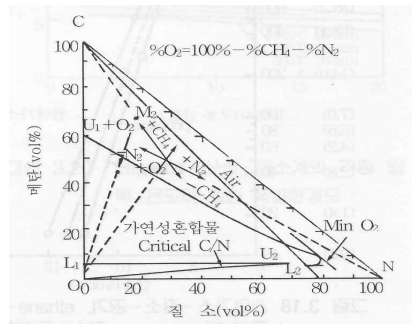
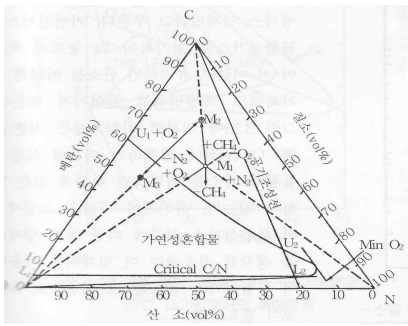
# 2

폭발 이론

일 상태에서 발생하여 폭발위험이 있는 경우가 있다.

정점  $CH_4$ 와  $N_2$ 를 맺은 선은 산소농도가 0인 선이다. 이 주위의 평행한 직선은 산소농도가 일정한 폭발상한계선의 끝을 통과하는 선으로 한계산소 농도선이라고 부른다. 불활성가스를 첨가해서 가연성가스 혼합물 중의 산소농도를 이 값 이하로 유지하면 다른 성분의 농도가 어떻게 변화해도 폭발범위에 들어가지 않는다. 안전상 중요한 값으로서 그림의 메탄의 경우 산소 12%이다(온도 26°C, 대기압의 경우). 이 값도 온도, 압력에 따라 변한다. 각종 가연성 가스의 상온 대기압에서 한계산소농도 값을 [표 2-14]에 나타냈다. 또한 압력에 의한 변화의 예를 [그림 2-9]에 나타냈다.

[ 그림 2-7 ] 메탄-산소-질소계의 대기압, [ 그림 2-8 ] 메탄-산소-질소계의 대기압  
26°C에서의 폭발범위도 26°C에서의 폭발범위도

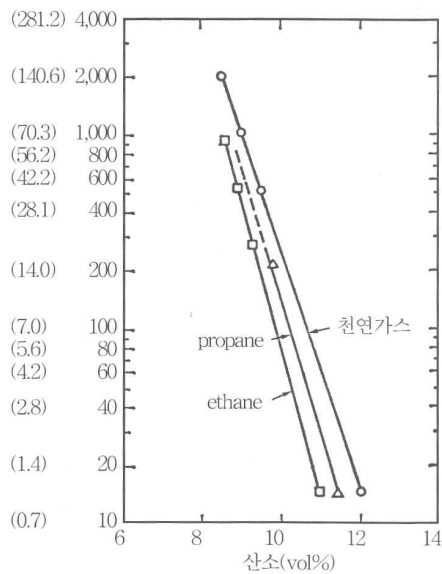


[ 표 2-14 ] 각종 가연성가스의 한계산소량(1기압, 상온)



가연성가스	한계산소량(%)	
	CO <sub>2</sub> 첨가	N <sub>2</sub> 첨가
methane	14.6	12.1
ethane	13.4	11.0
propane	14.3	11.4
n-butane	14.5	12.1
n-pentane	14.4	12.1
n-hexane	14.5	11.9
gasoline	14.4	11.6
ethylene	11.7	11.0
propylene	14.1	11.5
cyclopropane	13.9	11.7
수소	5.9	5.0
일산화탄소	5.9	5.6
butadiene	13.9	10.4
benzene	13.9	11.2

[ 그림 2-9 ] 천연가스-질소-공기, ethane-질소-공기 및 propane-질소-공기혼합물의 26°C에서, 화염전파에 필요한 최소산소량에 미치는 압력의 영향



## 10. 폭발한계에 영향을 미치는 인자

앞에서 언급한 폭발한계는 정상적인 대기온도와 압력조건에 한정된 것이다. 환경이 바뀌

# 2

폭발 이론

면 폭발한계는 변화한다. 가연한계에 영향을 미치는 인자들은 다음과 같다.

## 가. 온도

온도가 높아지면 기체분자의 운동이 증가함으로써 반응성이 활발해진다. 따라서 연소범위는 온도상승에 의해서 넓어진다. 연소한계의 온도의존은 비교적 규칙적이다. 일반적으로 하한계는 온도가 100°C 증가할 때마다 8%씩 감소하고, 상한계는 8%씩 증가한다. 따라서 연소상한계와 연소하한계는 다음의 식으로 구할 수 있다.

$$L_t = L_{25^\circ\text{C}} - (0.8 L_{25^\circ\text{C}} \times 10^{-3})(T - 25) \dots\dots\dots (2.1.36)$$

$$U_t = U_{25^\circ\text{C}} + (0.8 U_{25^\circ\text{C}} \times 10^{-3})(T - 25) \dots\dots\dots (2.1.37)$$

여기서

- $L_t$  : T°C에서의 연소하한계
- $L_{25^\circ\text{C}}$  : 25°C에서의 연소하한계
- $U_t$  : T°C에서의 연소상한계
- $U_{25^\circ\text{C}}$  : 25°C에서의 연소하한계

200°C에서 톨루엔과 헥산에 대한 가연하한의 계산치와 실험치를 [표 2-15]에 나타내었고, [표 2-16]은 수소 및 메탄의 폭발범위에 대한 온도영향을 표시한 것인데 이 경우에도 온도가 높아지면 폭발범위가 넓어진다.

[ 표 2-15 ] 200°C의 공기 중에서 온도의 [ 표 2-16 ] 폭발한계에서 계산치와 실험치 폭발하한의 영향

	톨루엔 % v/v	헥산 % v/v	가연성 기체	기체온도 (°C)	폭발한계(공기중 vol %)	
					하한	상한
계산치	1.07	1.08				
실험치	1.07	1.14				
메탄 (CH <sub>4</sub> )				20	6.0	13.2
				250	4.6	14.0
				500	3.7	15.2
				799	-	29.0
수소 (H <sub>2</sub> )				20	9.4	71.5
				399	6.3	81.5

## 나. 압력

연소한계는 압력변화에 영향을 받는다. 압력이 증가하면 일반적으로 연소범위가 넓어지긴 하지만 온도의 영향과 같이 규칙적이지 않고 복잡하므로 실측이 필요하다.

일반적으로 압력은 가연하한 L에 작은 영향을 미친다. 가연하한은 본질적으로 약



5Kpa까지는 일정하게 떨어지고, 가연하한 L에 상응하는 MOC에 미치는 압력의 영향 또한 [표 2-17]에 나타낸 바와 같이 미미하다.

절대압력 0.1~13.8Mpa 사이에서 약간의 포화탄화수소가 질소에 섞인 최소산소 농도(MOC)는 그 압력의 대수치에 의존한다.

$$MOC_p \approx MOC - 1.5(\log P + 1) \dots\dots\dots (2.1.38)$$

여기에서 p는 Mpa로서 절대압력이고 MOC는 0.10Mpa일 때의 값이다.

반대로 압력상승은 폭발상한을 증가시킨다. 또 일부 포화탄화수소의 경우 압력이 0.1~20.7Mpa일 때 폭발상한 U는 압력의 대수치에 의존한다.

$$U_p = U + 20.6(\log P + 1) \dots\dots\dots (2.1.39)$$

여기에서 P는 Mpa로서 절대압력이고 U는 압력 0.101Mpa일 때의 값이다.

강한 생성열을 가진 기체들은 고압 하에서 공기가 부족한 상태에서도 강한 점화원으로 폭발적으로 분해될 수 있고, 이러한 환경에서는 폭발상한이 없다. 에틸렌은 고압 하에서 폭발적으로 분해되고 아세틸렌은 상압 하에서도 직경이 큰 관내에서 분해한다. 이 때 비분해성 기체들을 불활성 희석제로 혼합하는 것이 가능하다. 예를 들면 아세틸렌은 100Kpa의 게이지압에서 14.5% 농도의 수증기에 의해 비폭발성이 되지만 8% 농도의 부탄에 의해서도 비폭발성으로 될 수 있다.

대부분의 가스는 압력이 높아지면 분자 간의 평균거리가 축소되어 화염의 전달이 용이해지므로 폭발한계는 넓어지고 압력이 감소되면 폭발한계는 좁아지므로 압력을 최대한 낮추는 경우는 폭발성이 없어진다. 예로서 메탄의 경우 압력이 0.13kg/cm<sup>2</sup>이하가 되면 폭발이 일어나지 않는다.

그러나 일산화탄소는 [그림 2-10]에 표시된 것처럼 압력이 높아지면서 폭발한계는 역으로 좁아지는 것을 알 수 있다.

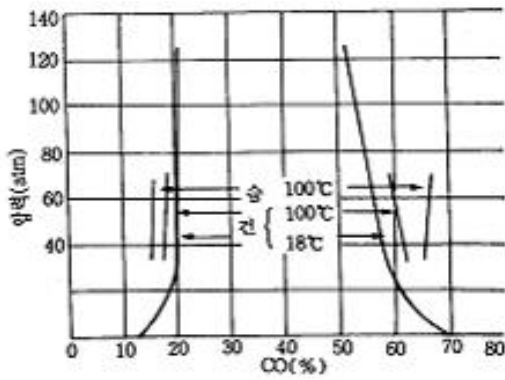
[ 표 2-17 ] 공기 중의 에탄에 대한 L 및 MOC의 압력상승의 영향

2

폭발 이론

압력 계이지압 Mpa	L v/v(%)	L의 감소율 (%)	MOC v/v(%)	MOC의 감소율 (%)
0	2.85	-		
0.69	2.80	1.75	11	-
1.72	2.70	5.20	-	-
3.45	2.55	10.5	9.3	15.5
5.17	2.40	15.8	8.9	19.1
6.20	-	-	-	-
6.90	2.20	22.8	8.8	20.0

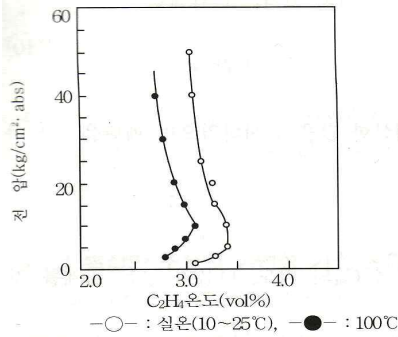
[ 그림 2-10 ] 폭발하한계에서 압력의 양향(CO:공기)



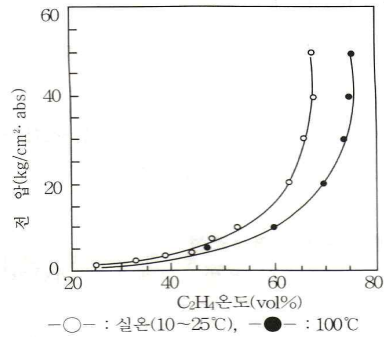
탄화수소의 경우 하한계는 압력의 증가에 따라 증가하여 압력 10~20기압 부근에서 가장 크고, 압력이 그 이상되면 또다시 작아지는 경우가 많다. 상한계는 일반적으로 압력상승에 따라 증가한다.



[ 그림 2-11 ] 압력과 폭발하한계  
(Ethylene-공기)



[ 그림 2-12 ] 압력과 폭발하한계  
(Ethylene-공기)



#### 다. 산소 농도

이미 설명한 바와 같이 MOC 이하에서 산소의 부족은 폭발을 방지한다. 산소 중에서 폭발하한은 공기 중에서의 한계와 거의 같고 그 유사성에 대해서는 [표 2-18]에 나타내었다.

폭발상한은 [표 2-18]에 나타낸 바와 같이 산소가 풍부하게 되면 많이 증가한다.

산소농도에 따른 연소상한계는 다음 식으로 구할 수 있다.

$$U\%O_2 = U + 70(\log\%O_2 - 1.321) \dots\dots\dots (2.1.40)$$

여기서

U : 공기(산소 21%) 중에서의 연소상한계

2

[ 표 2-18 ] 공기 및 산소 중에서의 폭발한계 비교

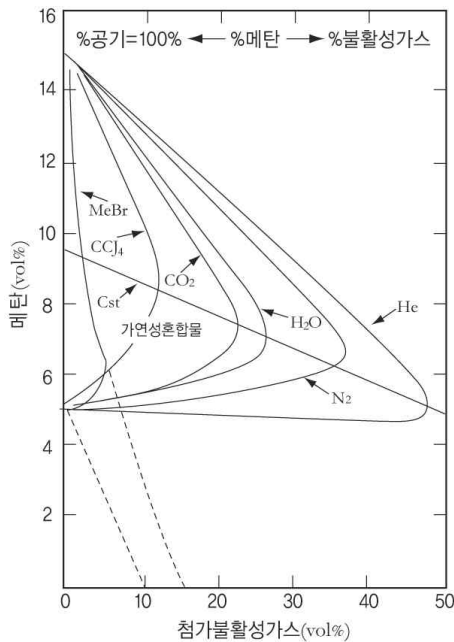
	공기중에서 L % v/v	산소중에서 L % v/v	공기중에서 U % v/v	산소중에서 U % v/v
부탄	1.9	1.8	8.5	49
부텐-1	1.6	1.8	9.3	58
에탄	3.0	3.0	12.5	66
에틸렌	3.1	3.0	32	80
헥산(95.5℃, 0.586Mpa)	1.0	1.0	17	65
이소프로필에틸	-	-	21	69
메탄	5.3	5.1	14	61
프로판	2.2	2.3	9.5	55
염화비닐	4.0	4.0	22	70

폭발  
이론

라. 불활성기체

질소나 수증기 등의 불활성기체가 존재하면 가연성기체 입자와 산소 입자와의 충돌을 방해하므로 반응이 잘 일어나지 않아 연소범위는 좁아진다.

[ 그림 2-13 ] 불활성물질의 첨가에 따른 메탄의 공기 중 연소범위 변화(25℃, 대기압)





## 마. 기타산화물의 영향

### 1) 염소

가연성 혼합물은 액체염소와 같은 산화물의 존재 하에 산화된다. 염소가스 중에서 수소, 메탄 및 에탄의 폭발한계는 [표 2-19]에 나타내었다. 염소가스 중의 폭발한계는 공기 중의 폭발한계보다 넓고 산소 중의 폭발한계에 필적한다.

염소가스 중에서 18% 수소의 폭발온도는 227°C인 반면에 공기 중에서 수소의 자연발화온도는 400°C이다.

[ 표 2-19 ] 염소중에서 폭발범위

	폭발하한 % v/v	폭발상한 % v/v
수소	4.1	89
메탄	5.6	70
에탄	6.1	58

### 2) 질소산화물

질소산화물과 산화성 물질의 혼합물에서 화염이 발생할 수 있다. 아산화질소( $N_2O$ ), 산화질소( $NO$ ) 등의 혼합물 폭발한계는 여러 참고문헌에 나와 있다.

101.325Kpa 압력에서 질소산화물 속의 부탄과 이염화에틸렌의 폭발한계를 [표 2-20]에 나타내었다. 온도 100°C, 101.325Kpa에서 가연성기체의 화염전파에 필요한 최소 사산화질소( $N_2O_4$ )의 농도는 약 25%이다. 부탄은 23%의 사산화질소를 이염화에틸렌은 22%를 필요로 한다. 이미 언급한 바와 같이 가연성 물질과 질소 및 공기혼합물의 MOC는 약 10.5%이다.

사산화질소 내에서 가연성기체의 자연발화온도는 공기나 산소 내에서보다도 낮다. 공기, 산소, 사산화질소 내에서 이염화에틸렌의 자연발화온도는 각각 476°C, 470°C, 282°C이고 부탄의 자연발화온도는 각각 405°C, 283°C, 270°C이다.

[ 표 2-20 ] 질소 산화물에서의 폭발한계

	부탄의 L%	부탄의 U%	100°C 이염화 에틸렌의 L%	100°C 이염화 에틸렌의 U%
이산화질소	2.5	20	-	-
산화질소	7.5	12.5	-	-
사산화질소	-	-	13.7	48
공기	1.9	8.5	4.5	17.3
산소	1.8	49	4.0	67.5

## 3

## 폭발 조사기술

폭발  
조사기술

폭발사고 현장의 조사에 앞서 폭발거동에 영향을 주는 인자들을 살펴보아야 한다. 폭발 등급의 높고, 낮음은 실제 다양한 현장 사항에 따라서 다르게 연출될 수 있으므로 가능한 여러 가지의 변수를 염려에 두고, 기준이 되는 현상을 발견하는 것이 중요한 일이다.

폭발의 거동에 영향을 주는 변수

- (1) 주위 온도
- (2) 주위 압력
- (3) 공간성(밀폐도, 개방도)
- (4) 2차 폭발
- (5) 착화원의 형태(크기, 지속시간)
- (6) 가연성 물질의 양
- (7) 가연성 물질의 유동상태 : 난류

폭발에 의한 파괴현상은 폭발로 깨어진 조각들의 비산효과에 직접적인 영향을 미친다. 또한 비산물은 폭발 발생지로부터 먼 곳까지 날아가 큰 손상이나 부상자를 발생시킬 수도 있다. 게다가, 비산물은 종종 전선, 연료탱크, 위험물 배관 등을 절단시키거나 파괴하여 폭발 후 화재 규모나 심도가 증가하는 경향이 있다.

폭발조사에서는 비산물을 통해서 많은 정보를 얻을 수가 있다. 특히 비산물은 폭발 시 초기조건에 많은 영향을 받기 때문에 최초의 압력과 작용방향으로 날아가게 되고, 압력과의 크기만큼 멀리 날아간다. 또한 높이 솟아오른 비산물은 멀리 날아가지는 않지만 지면으로 깊숙이 파고들고, 측면으로 비산한 파편은 포물선의 형태에 따라서 원근을 가지게 된다.

이러한 압력파에 의한 비산 외에도 폭발로 인해서 발생하는 열 효과가 있다. 대부분의 화학적 폭발은 많은 양의 열을 발생시켜 열손상을 일으키는데 폭굉의 경우 상당히 고온의 온도를 발생시키기 때문에 잠시 스쳐지나가는 폭풍압에도 심한화상을 입을 수 있다. 반면 폭연은 연소보다는 높지만 비교적 낮은 열을 발생하나 오랫동안 열이 지속되는 특징이 있기 때문에 폭발의 2차 현상이나, 화재에 많은 영향을 미친다.

폭굉과 같은 큰 폭발이 발생한 경우 지진효과라고 하는 현상이 발생한다. 지진효과는 폭



발 압력파가 건축물을 흔들거나 심한 경우 지면의 울림현상으로 나타나기 때문에 붙여진 이름으로 폭발 후 지상 건축물의 추가 붕괴나 지하 매설물의 파손에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 이것은 폭발 후에 나타나는 현상이라는 것에 유념해야 한다.

폭발압력파가 폭발 장소에서 멀어짐에 따라서 나타나는 현상은 폭연의 경우는 잘 나타나지 않지만 폭굉의 경우 반사효과와 굴절효과라는 것이 발생한다. 반사효과는 폭발 압력파가 장애물에 부딪히면서 장애물에서 충격파가 발생하는데 이 파장은 압력파의 투사각에 따라 최대 8배까지 압력파를 증대시키는 효과를 가지고 온다. 또한 굴절효과는 폭발압력파가 서로 다른 온도의 층을 만나게 되면 전위방향이 꺾이거나 굴절이 되는 효과가 나타난다. 이러한 것을 굴절효과라고 한다. 따라서 반구형으로 증폭되는 폭발압력파가 한쪽에서 대기 중의 찬 기운과 만나게 되면 반구형이 형성되지 못하고 찬 기운을 만난 쪽이 일그러지는 형태로 나타났다. 이것은 음속이 공기 중의 온도의 제곱근에 비례하기 때문이다.

여기서 폭발조사를 위해서 반드시 잡고 넘어가야 할 것이 바로 폭발분화구이다. 폭발분화구는 폭발 개시지점으로 초기폭발로 인한 분출물과 미세한 분진형태의 연소물들이 잔존하는 특징이 있으며 이러한 현상은 뚜렷하게 나타나므로 쉽게 찾을 수 있다. 또한 폭발압력파의 진행이 시작된 곳이므로 이곳을 중심으로 비산물이 분포되어 있는 것으로 확인할 수 있다.

단지 폭발분화구의 현상이 지면에서 약하게 나타났다면 이것은 폭발물질이 공기보다 비중이 가벼운 도시가스와 같은 것으로 보아야 할 것이다. 보통 도시가스를 사용하는 다층 주택에서 아래층에서 누출된 도시가스에 의한 폭발 사고는 분화구의 형성이 상단에 나타나며 측정 면을 기준으로 분화의 형태를 찾을 수 있다. 이는 폭발성 물질이 공기의 비중에 따라서 달라지는 현상으로 보아야 할 것이다. 그러나 비중이 1 보다 작은 증기에 의해 일어난 폭발은 비중이 1 보다 큰 폭발에 비해 폭발압력이 낮으므로 피해 상황이 적게 나타난다.

끝으로 폭발현장 조사에서 주의해야 할 점은 현장보존과 현장발굴로 나누어 볼 수 있다. 먼저 현장보존에 있어서는 보안거리를 확정하는데 이는 가장 멀리 날아간 파편으로부터 1.5배의 거리를 확보하여 두어야 한다. 또한 추가로 더 먼 거리에서 파편이 확보되면 즉시 추가적인 보안거리를 확보해야만 한다. 그리고 현장 발굴 전에 가능한 폭발이 일어난 그대로의 상태를 기록으로 보존하여야 한다. 그리고 현장에서 필요한 목격자 등을 가능한 빠르게 확보하여 기록을 남겨두어야 하며, 폭발현장의 안전에 만전을 기해야 한다.

현장 발굴에 있어서는 화재와 폭발에 대한 식별이 먼저 선행되어야 하며, 폭발로 추정되면 즉시 낮은 등급의 폭발인가 높은 등급의 폭발인가를 평가하여야 한다. 이것은 피해범위를 추산하면 쉽게 알 수 있으며, 현장조사 후의 검정에서 소중한 자료가 될 것이다. 또한 분화구를 정확히 찾게 되면 폭발 물질을 추정해야 하고 이때 폭발 등급을 고려해야 한다.

분화구에서 폭발물질을 추정하고 나면 폭발 유형을 판정해야 한다. 이는 화재원인조사에서 반드시 착화원과 가연물을 찾는 것과 같다고 보아야 한다. 끝으로 폭발전과 폭발후의 상태를 비교하고, 관계인의 진술을 참고하여 필요한 증거자료들을 수집해야 한다.

## Chapter 3 핵심요약

## 1. 폭발

폭발은 에너지의 부피가 급격히 증가하면서 방출하는 현상으로 주로 높은 온도나 기체 발생에 의해 생성되는 것으로, 압력의 급격한 상승현상으로는 연소, 분해, 증발 등의 현상이 포함된 것으로 정의되고 있다. 폭발은 가연물의 연소반응에 의해 일어나는 외에 발열적인 분해반응과 액체의 급격한 증발에 의하여서도 발생한다.

물리적인 폭발은 물리적인 에너지의 변화에 의한 것으로 고압용기의 파열, 탱크의 감압파손, 급격한 증발 현상 등이 여기에 속한다. 화학적 폭발은 반응기 내부에서 발생하는 균일반응에 의한 폭발과 배관 또는 공간 확산에 의한 전과반응에 의한 폭발로 나누어지는데 다음의 표 그림을 참조해 보면 알 수 있다.

구 분	균일반응	전과반응
반응속도	- 느리다 - 반응계 전체에 걸쳐 일정	- 빠르다 - 반응계에 따라 다르다
압 력	- 고압생성(×)	- 고압생성(○)
특 징	- 고체, 액체, 기체	- 발열반응 - 고온부에서 발생

## 2. 폭발한계

연소는 가연성물질과 산소를 동시에 포함하는 것으로 가연성가스와 공기가 착화하기 적절한 비율로 연소범위가 형성되어야만 연소한다. 즉, 기체가 공기와 섞여 '가연성혼합기'를 만들어야 연소가 가능하다는 뜻이다. 이 때 혼합기의 농도가 적절한 농도범위 내에 있어야만 연소할 수 있는데 이 범위를 '연소범위'라고 하며, 기체에 따라 범위는 각각 다르다.

연소범위 내에 산소입자가 가연성 기체입자 수 보다 너무 적어서 연소가 발생할 수 없는 한계를 '연소하한계', 산소입자에 비해 가연성 기체입자의 수가 너무 많아서 연소가 발생할 수 없는 한계를 '연소상한계'라고 한다.

기체의 연소 중에서 구획된 공간 내에 기체가 확산되어서 혼합기를 형성하고 있을 때 발생하는 비정상연소를 '가스폭발'이라고 한다.



### 3. 폭발한계에 미치는 인자

#### 가. 온도

온도가 높아지면 분자의 운동이 증가하여 반응성이 활발해지며 연소범위는 온도상승에 의해 넓어지고, 연소한계의 온도 의존은 비교적 규칙적이다. 연소하한계는 온도가 100℃ 증가할 때마다 8%씩 감소하고, 상한계는 8%씩 증가한다.

#### 나. 압력

연소한계는 압력변화에 영향을 받으며 압력이 증가하면 일반적으로 연소범위가 넓어지긴 하지만 온도의 영향과 같이 규칙적이지 않고 복잡한 측면이 있다.

#### 다. 산소농도

정상연소가 이루어지기 위해서는 산소가 절대적이다. 산소농도가 감소한다면 화염은 전파되지 않을 뿐만 아니라 산소의 농도 조절로 폭발방지가 가능하다.

### 4. 폭발조사 기술

폭발에 의한 파괴현상은 폭발로 깨어진 조각들의 비산효과에 직접적인 영향을 미친다. 비산물은 폭발 발생지로부터 먼 곳까지 날아가기도 하며 전선, 연료탱크, 위험물 배관 등을 절단 시키거나 파괴시키기도 하며, 폭발 후 화재 규모나 심도가 증가하는 달라지는 경향이 있다. 폭발에 영향을 주는 변수들은 주위 온도, 주위 압력, 공간성, 착화원의 형태, 가연성 물질의 양, 가연성 물질의 유동상태에 따라 다른 양상이 나타나기도 한다.

폭발조사를 위해서 집고 넘어가야 할 것이 바로 폭발분화구이다. 폭발분화구는 폭발 개시지점으로 초기폭발로 인한 분출물과 미세한 분진형태의 연소물들이 잔존하는 특징이 있다.

폭발현장 조사에서 주의해야 할 점은 현장보존과 현장발굴로 나누어 볼 수 있는데 현장보존은 보안거리를 확정하는 것으로 이는 가장 멀리 날아간 파편으로부터 1.5배의 거리를 확보하여 두어야 한다. 현장 발굴에 있어서는 화재와 폭발에 대한 식별이 먼저 선행되어야 하며, 폭발로 추정되면 즉시 낮은 등급의 폭발인가 높은 등급의 폭발인가를 평가하여야 한다.



화재조사실무 V



# 제3편 차량화재감식

제1장 자동차의 정의

제2장 자동차의 기본 구조

제3장 엔진의 구조

제4장 자동차의 주요 부품

제5장 LPG 차량

제6장 사례를 통한 차량화재의 감정 기법

# 1 자동차의 정의

자동차의  
정의

- 학습 목표**
- 01 자동차의 구성요소들은 무엇인지 알아본다.
  - 02 차량화재의 특수성 이해한다.
  - 03 방실피화의 차이점을 숙지하여 현장조사 시 적극 활용할 수 있다.

자동차는 지상에서 자력으로 움직이는 차량으로서 보통 네 개의 바퀴가 있으며, 차량을 움직이는데 필요한 동력을 발생시키는 엔진 및 파워 플랜트, 엔진에서 구동 바퀴로 동력을 전달하는 파워 트레인, 타이어나 바퀴가 도로의 요철과 만났을 때 그 충격을 흡수하는 현가장치, 차량의 주행 방향을 제어하는 조향장치, 차량을 감속 또는 정지시키는 제동장치, 전기를 공급하는 전기장치 및 엔진, 승객, 화물 등을 위한 공간을 제공하는 차체로 구성된다.

자동차란 차체에 엔진의 동력을 이용하여 레일에 의하지 않고 노상을 자유로이 주행할 수 있는 차량을 말한다. 따라서 궤도차와 같이 궤도를 사용하는 차량이나 트롤리버스(trolley bus)와 같이 가선(架線)을 사용하는 것은 자동차에 포함되지 않는다.

단, 트레일러 트럭이나 트레일러 버스와 같이 견인차에 의해 견인되는 차량은 일반적으로 자동차에 포함한다.

자동차는 그 용도에 따라 여러 가지 종류가 있고, 구조도 다양하며 관계 법규와 공업규격에 의한 자동차를 정의하고 있으며, 도로운송차량법에서 자동차라 함은 '원동기에 의하여 육상(궤도와 가선을 사용하는 것은 제외)에서 활동할 목적으로 제작한 용구'를 말하고, 도로교통법에서 자동차라 함은 '원동기를 사용하여 궤도 또는 가선에 의하지 않고 운전되는 차로써 도로 운용차량법 제3조의 규정에 의하여 교통부령으로 정한 자동차'를 말하며, 공업규격(KS)에서 자동차란 '원동기와 조향장치 등을 갖추고 이것을 이용해서 지상을 주행할 수 있는 차량'으로 정의하고 있다.

자동차의 종류를 '소음·진동규제법시행규칙', '자동차관리법시행규칙' 및 '대기환경보전법시행규칙'에서는 각각 아래의 표와 같이 세부적으로 규정하였다.



[ 표 3-1 ] 소음·진동규제법시행규칙(2000년 1월 1일부터 제작되는 자동차)

종 류	정 의	규 모	
경자동차	주로 적은 수의 사람 또는 화물을 운송하기 적합하게 제작된 것	엔진배기량 800cc 미만	
승 용 자동차	주로 사람을 운송하기 적합하게 제작된 것	승용1	엔진배기량 800cc 이상 및 9인승 이하
		승용2	엔진배기량 800cc 이상, 10인승 이상 및 차량 총중량 2톤 이하
		승용3	엔진배기량 800cc 이상, 10인승 이상 및 차량 총중량 2톤 초과 3.5톤 이하
		승용4	엔진배기량 800cc 이상, 10인승 이상 및 차량 총중량 3.5톤 초과
화 물 자동차	주로 화물을 운송하기 적합하게 제작된 것	화물1	엔진배기량 800cc 이상 및 차량 총중량 2톤 이하
		화물2	엔진배기량 800cc 이상 및 차량 총중량 2톤 초과 3.5톤 이하
		화물3	엔진배기량 800cc 이상 및 차량 총중량 3.5톤 초과
이 른 자동차	주로 1인 또는 2인 정도의 사람을 운송하기 적합하게 제작된 것	엔진배기량 50cc 이상 및 빈차 중량 0.5톤 미만	

[ 표 3-2 ] 자동차관리법시행규칙(규모별 세분기준)

종 류	경 형	소 형	중 형	대 형
승 용 자동차	배기량이 800cc 미만으로서 길이 3.5미터, 너비 1.5미터, 높이 2.0미터 이하인 것	배기량이 1,500cc 미만인 것으로서 길이 4.7미터, 너비 1.7미터, 높이 2.0미터 이하인 것	배기량이 1,500cc 이상 2,000cc 미만이거나 길이·너비·높이 중 어느 하나라도 소형을 초과하는 것	배기량이 2,000cc 이상이거나, 길이·너비·높이 모두가 소형을 초과하는 것
승 합 자동차	배기량이 800cc 미만으로서 길이 3.5미터, 너비 1.5미터, 높이 2.0미터 이하인 것	승차정원이 15인 이하인 것으로서 길이 4.7미터, 너비 1.7미터, 높이 2.0미터 이하인 것	승차정원이 16인 이상 35인 이하이거나, 길이·너비·높이 중 어느 하나라도 소형을 초과하여 길이가 9미터 미만인 것	승차정원이 36인 이상이거나 길이·너비·높이 모두가 소형을 초과하여 길이가 9미터 이상인 것

1

자동차의 정의

종류	경형	소형	중형	대형
화물자동차	배기량이 800cc 미만으로서 길이 3.5미터, 너비 1.5미터, 높이 2.0미터 이하인 것	최대적재량이 1톤 이하인 것으로서, 총중량이 3톤 이하인 것	최대적재량이 1톤 초과 5톤 미만이거나, 총중량이 3톤 초과 10톤 미만인 것	최대적재량이 5톤 이상이거나, 총중량이 10톤 이상인 것
특수자동차	배기량이 800cc 미만으로서 길이 3.5미터, 너비 1.5미터, 높이 2.0미터 이하인 것	총중량이 3톤 이하인 것	총중량이 3톤 초과 10톤 미만인 것	총중량이 10톤 이상인 것
이륜자동차		배기량이 100cc 이하(정격출력 1킬로와트 이하)인 것으로서, 최대적재량(기타형에 한한다)이 60킬로그램 이하인 것	배기량이 100cc 초과 260cc 이하(정격출력 1킬로와트 초과 1.5킬로와트 이하)인 것으로서, 최대적재량이 60킬로그램 초과 100킬로그램 이하인 것	배기량이 260cc(정격출력 1.5킬로와트)를 초과하는 것

[ 표 3-3 ] 자동차관리법시행규칙(유형별 세부기준)

종류	유형별	세부기준
승용자동차	일반형	2개 내지 4개의 문이 있고, 전후 2열 또는 3열의 좌석을 구비한 유선형인 것
	승용겸화물용	차실 안에 화물을 적재하도록 장치된 것
	다목적형	후레임형이거나 4륜구동장치 또는 차동제한장치를 갖추는 등 험로 운행이 용이한 구조로 설계된 자동차로서 일반형 및 승용겸화물형이 아닌 것
	기타형	위 어느 형에도 속하지 아니하는 승용자동차인 것
승합자동차	일반형	주목적이 여객 운송용인 것
	특수형	특정한 용도(장의·헌혈·구급·보도·캠핑 등)를 가진 것
화물자동차	일반형	보통의 화물운송용인 것
	덤프형	적재함을 원동기의 힘으로 기울여 적재물을 중력에 의하여 쉽게 미끄러뜨리는 구조의 화물운송용인 것
	벤형	지붕구조의 덮개가 있는 화물운송용인 것
	특수용도형	특정한 용도를 위하여 특수한 구조로 하거나, 기구를 장치한 것으로서 위 어느 형에도 속하지 아니하는 화물운송용인 것
특수자동차	견인형	피견인차의 견인을 전용으로 하는 구조인 것
	구난형	고장·사고 등으로 운행이 곤란한 자동차를 구난·견인할 수 있는 구조인 것
	특수	위 어느 형에도 속하지 아니하는 특수작업용인 것



종 류	유형별	세 부 기 준
	작업형	
이 륜 자 동 차	일반형	자전거로부터 진화한 구조로서 사람 또는 소량의 화물을 운송하기 위한 것
	특수형	경주·오탁 또는 운전을 즐기기 위한 경쾌한 구조인 것
	기타형	3륜 이상인 것으로서 최대적재량이 100kg 이하인 것

[ 표 3-4 ] 대기환경보전법시행규칙

종 류	정 의	규 모	
경 자 동 차	사람 또는 화물을 운송하기 적합하게 제작된 것	엔진배기량 800cc 미만	
승 용 자 동 차	사람을 운송하기 적합하게 제작된 것	승용1	엔진배기량 800cc 이상, 차량 총중량 3.5톤 미만, 승차인원 8인 이하 및 차량너비 2,000mm, 높이 1,800mm 미만
		승용2	엔진배기량 800cc 이상, 차량 총중량 3.5톤 미만의 다목적형 승용자동차
		승용3	엔진배기량 800cc 이상 및 차량 총중량 3.5톤 미만 및 승차 인원 15인 이하(승용1에 해당하지 아니하는 자동차에 한한다.
		승용4	차량총중량 3.5톤 이상
화 물 자 동 차	화물을 운송하기 적합하게 제작된 것	화물1	엔진배기량 800cc 이상 및 차량 총중량 2톤 미만
		화물2	엔진배기량 800cc 이상, 차량 총중량 2톤 이상 3.5톤 미만
		화물3	차량총중량 3.5톤 이상
이 륜 자 동 차	1인 또는 2인 정도의 사람을 운송하기 적합하게 제작된 것	공차중량 0.5톤 미만	

## 2

## 자동차의 기본 구조

자동차의  
기본 구조

## 1. 자동차의 기본 구조

자동차 한대는 약 15,000개의 부품으로 조립되어 만들어진다. 이 부품들은 여러 개의 장치로 분류할 수 있으며, 각각의 장치는 특정한 기능을 위하여 두개 이상의 부품들로 조립되어 만들어진다.

자동차는 매우 다양한 크기와 모양으로 생산되지만 기본적으로 동일한 부품들과 장치를 갖고 있다. 자동차의 기본적인 부품과 장치를 중요 구성 부품이라고 하며, 여기에는 다음과 같은 것이 포함된다.

- 차량을 움직이는데 필요한 동력을 발생시키는 엔진 및 파워 플랜트
- 엔진에서 구동 바퀴로 동력을 전달하는 파워 트레인
- 타이어나 바퀴가 도로의 요철과 만났을 때 그 충격을 흡수하는 현가장치
- 차량의 주행 방향을 제어하는 조향장치
- 차량을 감속 또는 정지시키는 제동장치
- 엔진 시동, 배터리 충전 그 밖의 전기기구에 전기를 공급하는 전기장치
- 엔진, 승객, 화물 등을 위한 공간

## 가. 동력전달장치

동력전달장치는 기관의 출력을 구동바퀴에 전달하는 장치이며, 기관 → 클러치 → 변속기 → 추진축(앞기관 뒷바퀴 구동의 경우) → 종감속장치 및 차동기어장치 → 차축 → 구동바퀴의 순서로 전달된다.

## 1) 클러치

클러치는 마찰판과 압력판으로 되어 있다. 스프링의 힘으로 압착하여 동력을 전달하게 되어 있으며, 클러치 페달을 밟으면 마찰판과 압력판이 떨어져 동력이 전달되지 않게 된다. 클러치는 수동식인 기어변속기의 변속을 할 때, 짧은 시간 동안 관성운전을 할 때 등에 사용한다. 기관은 일정한 속도로 운전할 때 큰 출력을 내는데, 자동차는 그 속도를 저속에서부터 고속까지 내야 한다. 이를 위하여 기어를 조합하



여 회전속도와 힘이 변화하도록 한 것이 변속기이다.

## 2) 변속기

서로 다른 속도로 회전하는 2개의 기어를 물리려면 주 속도를 같게 해야 하는데, 오늘날의 변속기는 물리려는 2개의 기어 속도를 미리 동기시키는 싱크로메시 기구를 갖추게 되어 조작의 어려움은 줄었다.

구성은 토크변환기와 자동적으로 조작되는 2~4단의 유성기어 변속장치, 차속과 기관의 부하 및 운전자의 변속위치의 선택을 입력으로 하여 변속기를 제어하는 제어장치의 세 부분으로 되어 있다. 자동변속기는 수동변속기에 비해 효율이 약간 낮아서 최고속도·가속능력·연료소비율 등이 약간 저하된다.

## 3) 자재이음과 추진축

보통 자동차에서는 앞쪽에 있는 기관·클러치·변속기 등에서 뒤차축에 회전력을 전달하는 축을 말한다. 뒤차축은 스프링으로 지지되어 상하로 요동하므로, 보통 전후 2개소에 만능이음을 가진다. 회전을 보다 원활하게 하고 바닥을 낮추기 위해 항속이음을 사용하는 것도 있다. 또한, 추진축은 길이와의 관계에 있어서, 회전방향으로 무게의 불균형이 조금이라도 있으면 고속으로 인한 원심력에 의해 휘어져서 이음부에서 빠져나와 위험하게 된다.

## 4) 차동장치

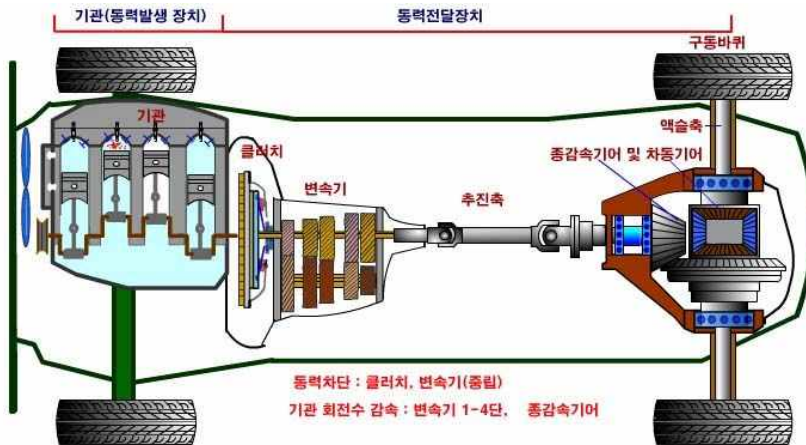
2개의 기어가 서로 맞물려서 회전함과 동시에, 기어축도 한쪽의 기어축을 중심으로 하고, 다른 쪽의 기어축이 회전할 경우, 이와 같은 기어의 조합을 유성기어 장치라고 한다. 중앙에 있는 기어를 태양기어라고 하는데, 태양기어의 주위를 유성기어가 회전한다. 즉, 공전하는 기어를 유성기어라 한다.

태양기어축·유성기어축 및 그것들을 잇는 링크 중의 어느 2개에 운동을 주면, 다른 하나는 그 2개의 운동을 동시에 받아 회전한다. 이와 같은 기어장치를 차동기어 장치라고 한다. 자동차의 뒤차축을 구동하는 데 사용되고 있는 차동기어는 이것의 응용사례이다. 이것은 태양기어와 유성기어가 베벨기어로 되어 있다. 차동기어장치라고 하면 이 베벨기어식을 가리키는 경우도 있다. 차동 대(大)기어에 뒤차축을 연결하고, 차동 소(小)기어와 맞물린 것이다. 직진할 때는 소기어는 공전하는 기어케이스와 함께 회전하여 대기어를 회전시킨다. 자동차가 방향을 바꿀 때에는 소기어는 공전과 자전을 하고, 바깥쪽에 있는 대기어를 빠르게, 안쪽에 있는 대기어를 느리게 회전시켜 바퀴가 미끄러지지 않게 한다.

## 5) 최종감속기어

추진축에서 받은 동력을 직각에 가깝게 바꾸어 뒤차축에 전달하고, 최종 감속을 통해 회전력을 증대시키기 위해 설치하는 감속기어, 종감속기어, 최종감속장치, 종감속장치라고도 한다. 자동차의 추진축에서 받은 동력을 직각에 가까운 각도로 바꾸어 뒤차축에 전달하고, 기관의 출력이나 바퀴의 무게·지름 등에 따라 알맞은 감속비로 감속해 회전력을 높이는 역할을 한다.

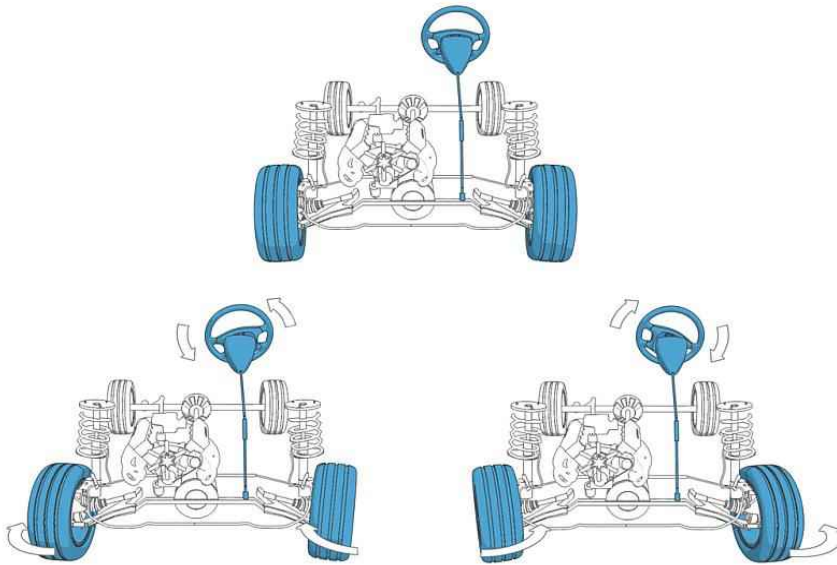
주행 중에 회전을 하거나, 길바닥이 고르지 않아 좌우 바퀴에 회전 차가 생길 때 자동차가 제대로 회전할 수 있도록 설치하는 차동기어장치와 함께 액슬 하우징에 설치된다. 구동 피니언과 링기어로 구성되는데, 현재는 스파이럴 베벨 기어와 하이포이드 기어가 주로 사용된다. 최종감속기어의 링기어 톱니 수와 구동 피니언 톱니 수의 비를 최종감속비라고 한다. 차량의 무게, 엔진 출력, 가속력, 등판력, 바퀴의 무게·지름, 가속도 등에 따라 최종감속비가 달라진다. 보통 몸체가 크고 무거운 차량일수록 최종감속비도 크다. 따라서 차량의 바퀴를 지름이 크고 무게가 더 무거운 것으로 바꿀 경우에는 늘어난 바퀴의 지름 비율만큼 최종감속비도 늘려 주는 것이 좋다.





## 나. 조향장치

조향장치는 자동차의 진행방향을 임의로 바꾸기 위한 장치이며 보통 조향핸들을 돌려서 앞바퀴로 조향한다. 조향의 동력을 엔진에서 얻어 유압으로 조작하는 파워스티어링 방식도 사용된다. 또한 기술의 진보와 더불어 조향바퀴 자체를 구동시키는 전륜구동 방식을 일반 승용차에 채택하기 시작했다.



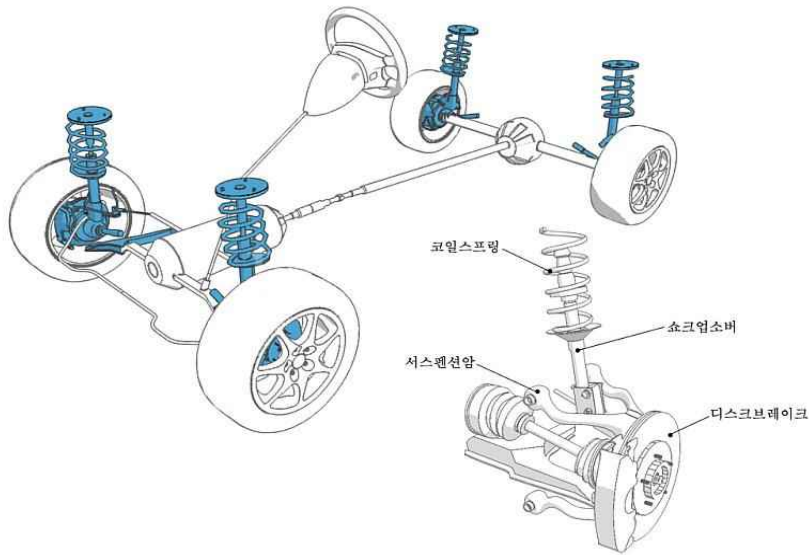
## 다. 현가장치

현가장치는 서스펜션암, 쇼크업소버, 스프링이 주요 구성 요소이다. 노면에서 발생하는 충격이 차체나 탑승자에게 직접적으로 전해지지 않게 충격을 흡수하는 기능과 타이어를 노면에 확실하게 접지시키는 기능이 주요한 역할이다. 따라서 이 장치는 탑승자의 승차감과 차량의 조향성 및 안정성에 큰 영향을 끼친다.

구조에 따라 여러 방식으로 나누며, 가장 일반적인 것은 스트럿 방식이고 그밖에 더블 위시본 방식, 멀티링크 따위가 있다. 보통 금속판과 쇼크업소버로 충격을 흡수하는데, 쇼크업소버는 흡수 특성을 전자적으로 제어하는 '전자제어 서스펜션'이 개발되어 쓰이고 있고, 금속판 대신 공기판을 이용하는 '전자제어 에어서스펜션'도 쓰인다. 또 판과 쇼크업소버 대신 응답성이 뛰어난 유압 시스템을 채용하고, 컴퓨터로 주행 상태에 맞게

차체의 진동을 제어함으로써 주행 안정성과 조종 안정성을 꾀하는 '액티브 서스펜션'도 있다.

장착 부위에 따라 앞바퀴에 장착되는 것과 뒷바퀴에 장착되는 것으로 나누기도 하며, 앞바퀴에는 스트럿 방식, 뒷바퀴에는 리지드 액슬(rigid axle : 고정차축)과 독립식 서스펜션(IRS : Independent Rear Suspension)이 많이 쓰인다.



## 라. 제동장치

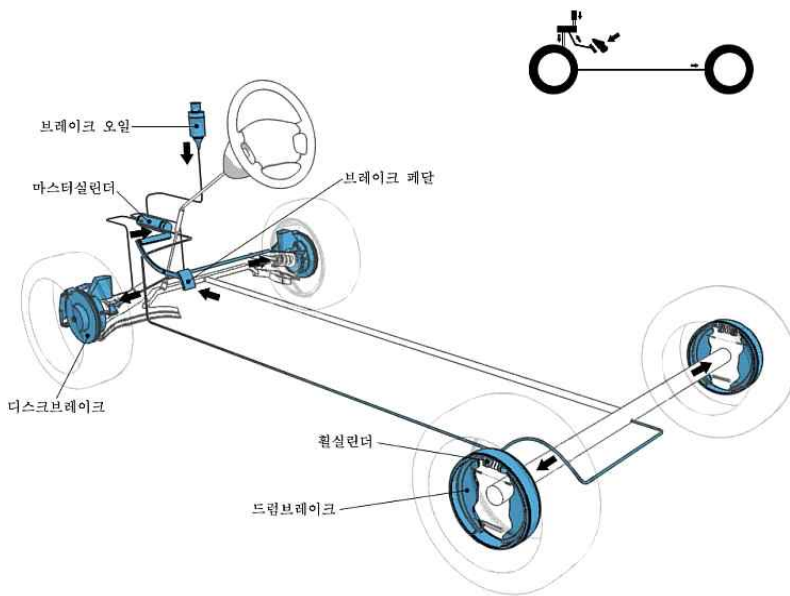
브레이크장치는 주행 중인 자동차의 속도를 감속하거나 정지시키는 장치이며, 자동차의 고속성에 비추어 매우 중요한 것이다. 브레이크는 운전석에 있는 브레이크 페달을 밟으면 마스터 실린더에서 발생된 유압이 가는 튜브를 통해서 각 바퀴에 있는 휠실린더에 전달되어 작동한다. 브레이크장치에서 가장 일반적인 것은 바퀴와 함께 회전하는 드럼의 안쪽에서 슈가 휠 실린더에 의해 드럼에 압착되어, 마찰을 일으켜 브레이크 기능을 하도록 되어 있는 드럼 브레이크이다. 이 형식은 브레이크를 여러 번 반복 사용하면 마찰열 때문에 드럼이 팽창하여 나중에는 작용하지 않게 된다. 이 결함을 없애기 위해 디스크 브레이크가 고안되었는데, 이것은 바퀴와 함께 회전하는 디스크를 양쪽에서 패드로 압착하여 마찰을 일으키게 되어 있다. 디스크가 공기 속에 회전하여 열을 발산하므로 여러 번 사용해도 기능이 낮아지지 않는다. 그러나 주차 브레이크로서의 기능은



약하기 때문에 중요한 앞바퀴만을 디스크로 하고, 뒷바퀴는 드럼으로 한 차가 많다.

브레이크 회로는 종래에는 1계통으로 되어 있어 회로 파이프의 한 곳이라도 파손되면 전체 브레이크가 작용하지 않게 되어 위험하므로, 근래에는 회로를 앞바퀴용과 뒷바퀴용으로 나누어 2계통으로 한 브레이크(2중회로 브레이크)가 사용된다.

자동차에는 주로 뒷바퀴에 작용하도록 된 주차 브레이크도 장치되어 있으며, 계기판 아래나 바닥 위에 있는 레버를 잡아당겨 기계적으로 작동시킨다. 주차 브레이크는 주브레이크가 작용하지 않을 때 비상 브레이크로도 사용된다. 최근에는 제동 시 바퀴가 지면에서 미끄러지기 시작하면 이를 감지하여 미끄러짐을 방지하는 ABS(antilocking brake system)가 사용된다.



#### 마. 타이어와 바퀴

타이어와 바퀴는 하중의 부담, 완충, 구동력과 제동력 등 주행시에 발생하는 여러 힘에 견디는 구조로 되어 있다.

## 2

## 바. 보조장치

자동차가 안전하게 운행하기 위해서는 위의 장치 외에 조명이나 신호를 위한 등화류, 차량의 속도나 엔진의 운전 상태를 알리는 계기류 외에 경음기, 윈드 시일드 및 와이셔가 장치되어 있다.

자동차의  
기본 구조

## 2. 자동차의 분류

자동차에는 여러 가지 종류가 있으며, 그 사용 목적이나 원동기의 종류 또는 차체의 구조나 모양 등에 따라 분류하면 다음과 같다.

자동차는 영미(英美)용어로 motor vehicle, automobile이라 하며 이 밖에도 motor car, auto-car라고도 하고 이것을 약어로 car, motor, auto라고 쓰는 경우도 있다.

## 가. 엔진 및 에너지 원(源)에 의한 분류

## 1) 증기자동차

증기자동차(steam automobile)는 현재의 내연기관 자동차의 모체라 할 수 있으며, 초기에 증기의 힘을 이용한 자동차로서 가솔린 자동차가 보급되기 이전에 널리 사용되었다. 1769년 프랑스의 나폴레옹군의 포병대위 니콜라 퀴뇨가 포차(砲車)를 견인할 목적으로 시작(試作)한 것이 처음인데, 실용에는 이르지 못하였다.

그러나 19세기 초에는 주로 교외용 버스로서 유럽에 널리 보급되었다. 19세기 말에는 개인용의 소형차도 보급될 징조가 보였으나, 보다 강력하고 간편한 가솔린기관의 발명으로 인해 자취를 감추었다.

미국에서는 G.B.셀덴이 1895년 '내연기관에 의한 자동차'라는 특허를 얻고 있었기 때문에 1900년대까지 증기자동차가 생산되었으며, 개중에는 30년대 중엽까지 존속한 것도 있다. 성능이 우수하고 운전이 쉬웠으나 무게가 무겁고 불을 넣고 나서 주행하기까지 걸리는 시간이 긴 등의 결함이 있었다.

그러나 최근에는 배기가스에 의한 도시공해라는 견지에서 전기자동차와 함께 증기자동차가 재인식되어 가고 있다.

## 2) 전기자동차

전기자동차(electric automobile)는 구동 에너지를 기존의 자동차와 같이 화석 연료의 연소로부터가 아닌 전기에너지로부터 얻는 자동차이다. 전기자동차는 배기



가스가 전혀 없으며, 소음이 아주 작은 장점이 있다. 전기자동차는 1873년 가솔린 자동차보다 먼저 제작되었으나, 배터리의 무거운 중량, 충전에 걸리는 시간 등의 문제 때문에 실용화되지 못하다가 공해문제가 최근 심각해지면서 다시 개발이 되고 있다.

전기자동차는 엔진이 전기 모터로 대체된 것 외에 내연기관 자동차들과 약간씩의 차이가 있다. 그러나 가장 큰 문제는 에너지의 공급원인 배터리이다. 배터리의 경량·소형화 및 짧은 충전시간은 전기자동차가 실용화되기 위한 필수적인 선결 조건이다. 미국의 자동차회사들은 배터리 연구개발 공동협의체를 만들어 운영하고 있다.

### 3) 내연기관 자동차

내연기관 자동차(internal combustion engine automobile)는 현재 자동차의 대부분을 차지하고 있으며 그 종류는 가솔린 엔진 자동차, 디젤 엔진 자동차, LPG 가스 엔진 자동차, 로터리 엔진 자동차, 가스터빈 자동차, 제트 엔진 자동차, 로켓 자동차 등이 있다.

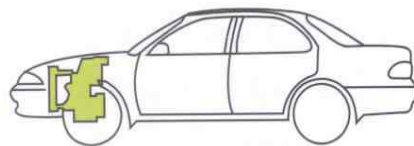
## 나. 구동방식에 의한 분류

### 1) FF CAR(FRONT ENGINE FRONT DRIVE CAR)

현재 2000cc급의 고급승용차부터 경자동차까지, 가장 많이 보급되어 있는 형태이다. 이 방식의 장점은 자동차의 주요부품이 대부분 앞쪽에 집중되어 있으므로 실내 및 트렁크를 크게 사용할 수 있다는 점이다. 이 때문에 과거에는 소형차가 주류 이방식을 적용하였지만, 최근에는 호화로운 장비와 넓은 실내가 요구되는 대형승용차 중에도 적용한 차가 등장하고 있다.

결점으로서의 차체 전체의 밸런스를 맞추기 어려운 점과 조향바퀴를 구동하기 때문에 FF차 특유의 문제가 발생하며, 앞 타이어의 마모가 빠르다는 점 등을 들 수 있지만, 최근에는 이러한 점들이 많이 개선되어 가고 있다.

※ Engine ⇒ Clutch ⇒ Trans Axle(변속기, 종감속기어, 차동기어) ⇒ 등속축 ⇒ 구동바퀴(앞)

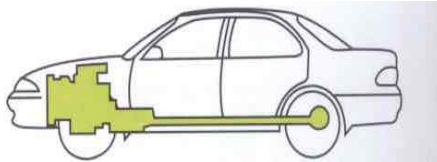


FF형식

## 2) FR CAR(FRONT ENGINE REAR DRIVE CAR)

엔진을 차체 앞부분에 설치하며, 프로펠라 샤프트라고 불리는 전달축으로 후륜을 구동시켜 주는 방식이다. 이 방식은 FF방식의 결점인 중량 배분 문제는 개선되지만, 프로펠라 샤프트가 차 바닥을 통과하고 있기 때문에 차 바닥의 높이가 높아진다. 이 때문에 과거에 주류를 이루었던 FR방식이 근래에는 FF방식으로 많이 대체되었다. 최근에도 2000cc급 이상의 대형승용차의 스포츠타입차가 FR방식을 적용하고 있다.

※ Engine ⇒ Clutch ⇒ Transmission ⇒ Drive Line ⇒ Rear Axle Assembly(중감속기어, 차동기어 액슬축) ⇒ 구동 바퀴(뒤)



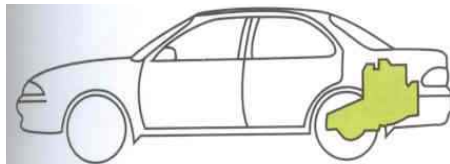
FR형식

## 3) RR CAR(REAR ENGINE REAR DRIVE CAR)

자동차는 가속 또는 감속 시에 중심이 이동한다(가속 시에는 머리가 뒤쪽으로 쏠리며, 감속 시에는 몸이 앞쪽으로 쏠리는 것을 느낄 수 있을 것이다). 이러한 중심 이동현상을 이용하여 가속을 하게 되면 구동되는 타이어에 중량을 더해줌으로써 미끄러짐 현상이 발생하지 않도록 하는 방식을 말한다.

초기에는 FF와 같은 발상으로 실내를 크게 하기 위해 적용되었지만, 현재는 RR 특유의 조종성 때문에 그다지 일반적인 것은 되지 못하고 있다. 그러나 이 방식을 고차원적으로 적용한 최고의 스포츠카인 독일의 포르쉐는 너무나도 유명하다.

※ Engine ⇒ Clutch ⇒ Trans Axle(변속기, 중감속기어, 차동기어) ⇒ 등속축 ⇒ 구동바퀴(뒤)



RR형식

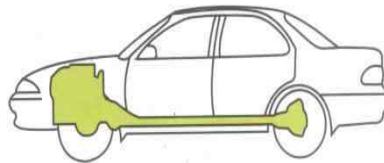


#### 4) AW CAR(ALL WHEEL DRIVE CAR)

4개의 타이어를 모두 구동하기 때문에 이렇게 부른다. 험한 도로 주행용 차량을 중심으로 오래전부터 사용되어 왔지만 최근에는 일반 승용차에도 이 방식을 적용한 차가 증가하고 있다. 승용차용으로는 FR 또는 FF차의 파워트레인을 사용하여 4WD화시키고 있지만, 어떤 쪽이 유리한지는 알 수 없다.

장점은 엔진의 구동력을 4바퀴에 배분하여 노면에 전달해줌으로써 2WD차에 비해 슬립(미끄러짐)현상과 같은 동력손실이 적다는 점이다. 이 때문에 고출력엔진을 탑재한 차가 증가하고 있는 요즈음 4WD가 유행하는 것은 당연한 일이다.

※ Engine ⇒ Clutch ⇒ Transmission ⇒ Drive Line ear Axle Assembly(중감속기어, 차동기어액슬축) ⇒ 구동 바퀴(뒤) Trans For Casen ⇒ Front Axle ⇒ 등속축 ⇒ 구동바퀴(앞)



4DW형식

### 다. 차체의 모양에 의한 분류

#### 1) 승용차(passenger car)

형식(styling), 문짝(door)의 수, 지붕의 모양, 좌석 및 내부설비 등 분류상의 요소가 많고 시대와 나라에 따라 미묘한 차이가 있기 때문에 엄밀한 분류는 곤란하므로 오늘날의 일반적인 승용차를 대상으로 분류하면 다음과 같다.

- 쿠페 : 뒷좌석의 천장을 짧고 경사지게 만들고, 앞좌석을 더 강화시킨 차, 보통 2개의 문으로 되어 있는데, 스포츠카의 경우가 이에 해당하며, 세단 가운데에서도 뒷부분을 바꾸어 쿠페로 만든 것이 있다.
- 컨버터블 : 차 지붕을 형겅이나 비닐 같은 재료로 만들어 접었다 폈다 할 수 있게 만든 차로서 유럽에서는 카브리올레라 부르며, 사이드 윈도가 없는 컨버터블은 로드스터, 4도어 컨버터블은 페톤이라 한다.



쿠페



컨버터블

- 리무진 : 운전석과 뒷좌석 사이를 유리로 칸막이한 VIP용 호화차로서 미국에서는 스트레치드 리무진(Stretched Limousine), 또는 줄여서 리모(Limo)라 하며, 독일에서는 풀만(Fullman)이라 부른다. 그리고 독일에서는 보통 승용차를 리무진이라 부른다.
- 세단 : 3박스 형 미국식 승용차를 통틀어 일컫는 말로써, 영국에서는 설론, 독일에서는 리무진이라 부르기도 한다. 일반적으로 타고 다니는 승용차를 말하며, 대개 2도어, 4도어, 5도어 등으로 전체모양을 나타낸다.



리무진



세단

- 해치백 : 세단이나 쿠페의 뒷부분에 문을 단 승용차. 뒷문을 열면 바로 실내와 연결되어 여러 용도로 쓸 수 있으나, 대부분은 칸막이를 두어 뒷좌석을 트렁크로 쓴다. 대우의 벡시아가 해치백 차이다.
- 웨건 : 사람과 짐을 함께 실을 수 있는 다용도 차를 말하는데, 흔히 세단의 차체를 늘여서 만든다. 독일에서는 콤비, 영국에서는 에스테이트, 프랑스에서는 브레이크라고 부른다.



해치백



웨건

- 밴 : 화물을 운반하는 마차리는 뜻으로, 짐 싣는 기능을 위주로 만든 차. 요즘은 레저용 차로 많이 쓰인다.
- 박스 : 하나의 상자 형태로 생긴 차를 말하며, 변형된 형태로 1박스 카, 1.5박스 카가 있다.



밴



박스

- 지프 : 험한 길을 달릴 수 있는 AW 차로서, 원래는 미국의 크라이슬러 산하 AMC에서 만든 차의 이름으로 AMC와 일본의 미쓰비시만이 쓸 수 있는 상품명이다. 그 밖의 다른 자동차 회사의 차는 지프 타입이라 부르는 것이 옳으나, 보통 AW 오프로드 차를 통칭하기도 한다.
- 스포츠카 : 편안함이나 경제성보다 달리기 성능을 위주로 만든 차로서, 쿠페나 컨버터블 형이 많다. 스포티 카는 스포츠 카를 본딴 모델로 모양이나 달리는 성능은 일반차보다 날렵하지만, 스포츠 카에는 못 미친다.
- 컨셉트카 : 자동차 회사의 철학, 이미지가 담겨 있는 미래차로서, 기술적인 문제나 비용 등을 생각하지 않고 만들어 현실성이 없는 차들도 많다. 모터 쇼 등에 선보일 쇼 카로서 단 한대 밖에 만들지 않는 경우도 있다.



지프



스포츠카



컨셉카

## 2) 버스

- 보닛버스(Cab-behind-engine bus) : 운전실이 보닛(Bonnet) 뒤쪽에 있는 버스이며 버스의 원형이다.
- 캡 오버 버스(Cab-over-engine bus) : 운전실이 엔진의 위치에 있는 버스이며 모양이 상자형으로 되어 있다.
- 코치버스(Coach bus) : 엔진을 차량의 뒷부분에 설치하여 튀어 나오지 않고 전체가 상자형으로 되어 있다. 오늘날의 버스는 이 형식으로 된 것이 많다.
- 마이크로 버스(Micro bus) : 승차정원이 30명 미만의 중형 버스이다.



## 3) 트럭

- 보닛트럭(cab-behind-engine truck) : 운전대가 보닛의 뒤쪽에 있는 트럭이다.
- 캡 오버 트럭(cab-over-engine-truck) : 운전대가 엔진 위에 있는 트럭이다.
- 패널 밴(panel van) : 운전실과 화물실이 일체로 되어 있고 화물실도 지붕이 고정된 상자형 트럭이다.
- 라이트 밴(light van) : 소형 패널 밴이라 할 수 있다.



- 픽업(pick up) : 지붕이 없는 화물실을 운전실 뒤쪽에 마련한 소형 트럭이다.

#### 4) 트레일러 트럭

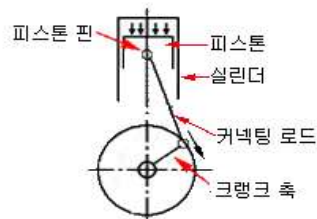
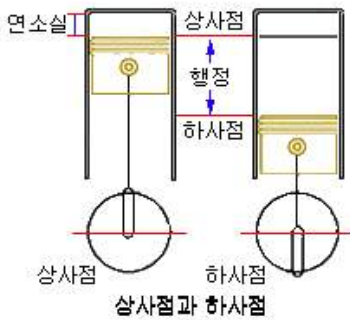
- 세미 트레일러 트럭(semi-trailer truck) : 트레일러를 견인하고 트레일러 앞부분의 하중을 지탱하는 트레일러 트랙터와 짐을 적재하는 세미 트레일러로 구성된 트럭이다.
- 풀 트레일러(full trailer truck) : 트랙터와 풀 트레일러로 구성된 트럭이다. 풀 트레일러는 화물의 전중량을 자기의 앞뒤 바퀴로 받는 구조로 된 트레일러를 말한다.
- 더블 트레일러 트럭(double trailer truck) : 2개의 세미 트레일러에 돌리(balanced dolly)를 이용해서 연결하거나 또는 세미 트레일러와 풀 트레일러를 연결한 것이며 트윈 트레일러, 탠덤 트레일러라고도 한다.

# 3 엔진의 구조

## 엔진의 구조

동력발생 원리는 실린더 내에 혼합기를 흡입, 압축하여 전기점화로 연소시켜 열에너지를 얻어 이 열에너지로 피스톤을 움직여 기계적 에너지를 얻는다. 열효율은 30~40% 가량이다.

### 1. 용어 설명

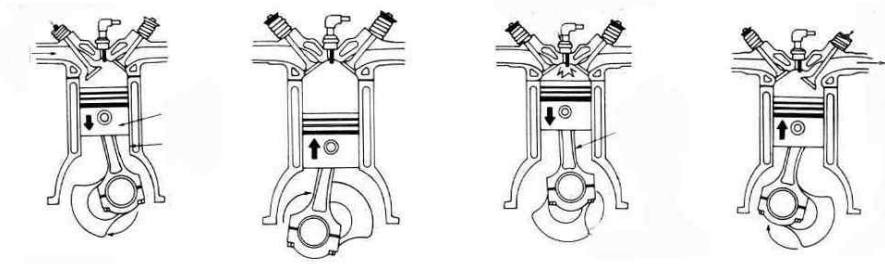


피스톤 크랭크 기구

- 1) 행정(Stroke) : 피스톤의 하사점과 상사점까지 피스톤이 이동하는 거리
- 2) 주기(Cycle) : 피스톤이 상하운동시 혼합기를 흡입, 압축, 폭발(연소), 배기 과정
- 3) 상사점(Top Dead Center) : 피스톤이 상하운동 시 맨 위에 위치한 상태
- 4) 하사점(Bottom Dead Center) : 피스톤이 상하운동 시 맨 아래로 하강되어 있는 상태

\* 1주기가 완료되면 크랭크축은 2회전(720°)하고 피스톤은 2회 왕복운동을 한다.

## 2. 4행정 엔진의 작동



## 가. 흡입행정(Intake Stroke)

흡입밸브는 열려 있고 배기밸브는 닫혀 있는 상태에서 피스톤이 상사점에서 하사점으로 하강을 하면 실린더 내의 체적변화로 압력이 대기압 이하가 되면서 기화기(혹은 인젝터)에서 공기와 연료가 혼합된 혼합기가 실린더 내로 흡입되어 진다.

## 나. 압축행정(Compression Stroke)

흡입행정 완료 후 흡입, 배기밸브가 닫힌 상태에서 피스톤이 상승을 함에 따라 흡입된 혼합기는 압축되면서 압축압력과 압축열이 높아진다. 이 때 압축압력이 규정보다 낮으면 혼합기가 기화되지 못하여 불완전 연소가 일어날 수 있고, 규정보다 너무 높으면 압축열에 의해서 자기착화(自己着火)되어 출력저하를 가져오므로 적절한 범위의 압축압력이 필요하다.

## 다. 동력행정(Power Stroke)

압축행정이 완료되기 직전(피스톤이 압축을 위해 상사점에 도달하기 직전), 점화 플러그의 불꽃에 의해 압축된 혼합기가 폭발을 하게 되면 그 폭발력에 의해서 피스톤이 압력을 받아 하강하며 커넥팅로드를 통하여 크랭크축을 회전시킨다. 동력행정을 폭발행정(Explosion stroke) 또는 팽창행정(Expansion Stroke)이라고도 한다. 동력행정에서 엔진의 성능에 지대한 영향을 주는 요소로는 스파크 플러그의 점화불꽃시기, 공기와 연료(휘발유)의 혼합비율, 압축압력 등이 있다.

## 라. 배기행정(Exhaust Stroke)

흡입밸브는 닫혀 있고 배기밸브가 열려 있는 상태에서 피스톤이 상승(상사점 도달)하게 되면 연소된 가스는 실린더 밖으로 배출된다.

3

엔진의 구조

또한, 디젤기관은 경유 또는 중유를 연료로 압축·점화에 따라 작동하는 왕복운동형 내연기관으로 먼저 실린더 안에 공기를 흡입·압축해서 고온·고압으로 한다. 여기에 액체연료를 분사하여 자연발화 시킨 다음 피스톤을 작동시킴으로써 동력을 얻는 내연기관이다. 디젤엔진은 1893년 독일의 기술자 R.디젤이 처음 만들었다. 디젤의 연료는 처음 중유(重油)를 사용했으나, 회전수 증가 등 그 개량이 진전됨에 따라서, 착화성(着火性)이 양호한 경유(輕油)를 사용하게 되었다. 오늘날에는 분당 4,000회전 이상에 이르는 것도 있다. 개발 초기에는 육상용(陸上用)뿐이었으나, 1930년 이후 선박·자동차·철도 따위의 동력원으로서 쓰이게 되었다. 열효율(熱效率)도 좋아서 현재는 50% 정도의 것이 주로 쓰인다.

최초의 디젤엔진은 1922년 독일에서 만들어졌는데, 자동차에 사용할 수 있을 만큼 가볍고 작다. 그래서 이전의 낮은 출력 때문에 디젤엔진이 응용될 수 없었던 많은 분야에 사용되었다. 고속 디젤엔진은 디젤이 개발했던 저속 연소행정방식이 아니다. 연료는 압축행정이 거의 끝날 때 실린더에 분사되고, 피스톤이 사점(死點) 근처에 있는 동안 압력이 갑자기 상승하면서 급속히 연소된다. 초기 디젤엔진의 압축점화와 연료분사만이 현재의 고속 디젤엔진에 남아 있다.

1940년대 중반 이후의 디젤엔진은 주로 시간당 마력당 비교적 낮은 소비비로 저급연료를 사용할 수 있다. 그래서 전 세계적으로 약 5,000마력의 장치에 사용되는 주요 산업의 동력원이 되었다. 이때 낮은 연료소비는 높은 압축비에 주로 기인한다. 여기서 디젤엔진은 연료분사방식과 연소과정의 특성 때문에 비교적 비정제된 연료를 사용할 수 있다. 이렇게 디젤엔진은 저급연료도 사용이 가능하므로 연료비가 적게 드는 장점이 있다. 반면, 마력당 중량, 초기비용, 대기오염물질과 냄새의 방출, 작동소음이나 진동 등이 크다는 단점이 있다. 아래의 표에 가솔린 기관과 디젤 기관의 특징을 비교 나열하였다.

	가솔린 기관	디젤 기관
장점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 배기량 당 출력의 차이가 없고, 제작이 용이하다.</li> <li>2. 가속성이 좋고 운전이 정숙하다.</li> <li>3. 제작비가 적게 든다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 연료비가 저렴하고, 열효율이 높으며, 운전 경비가 적게 든다.</li> <li>2. 이상 연소가 일어나지 않고 고장이 적다.</li> <li>3. 토크 변동이 적고 운전이 용이하다.</li> <li>4. 대기 오염 성분이 적다.</li> <li>5. 인화점이 높아서 화재의 위험성이 적다.</li> </ol>
단점	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 전기 점화 장치의 고장이 많다.</li> <li>2. 기화기 회로가 복잡하고, 조정이 곤란하다.</li> <li>3. 연료 소비율이 높아서 연료비가 많이 든다.</li> <li>4. 배기 중에 CO, HC, NOx 등 유해 성분이 많이 포함되어 있다.</li> <li>5. 연료의 인화점이 낮아서 화재의 위험성이 크다.</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. 마력 당 중량이 크다.</li> <li>2. 소음 및 진동이 크다.</li> <li>3. 연료 분사 장치 등이 고급 재료이고, 정밀 가공해야 한다.</li> <li>4. 배기 중의 SO<sub>2</sub>, 유리 탄소가 포함된다.</li> <li>5. 시동 전동기 출력이 커야 한다.</li> </ol>



# 자동차의 주요 부품

## 1. 엔진 본체의 주요 부품

### 가. 실린더 블록

실린더 블록은 엔진의 기초가 되는 부분으로 자동차 엔진에서는 보통 4~12개의 실린더가 있다. 실린더는 피스톤이 왕복운동을 하는 부분으로 피스톤 행정의 약 2배 길이이고 원통으로 가공되어 있으며, 실린더의 직경과 길이에 따라 엔진의 배기량이 달라진다.

### 나. 실린더 헤드

실린더 헤드(cylinder head)는 실린더 블록 위에 설치되며, 실린더헤드와 블록사이로 가거나 물이 새는 것을 방지하기 위한 가스켓이 실린더헤드와 블록사이에 있다. 헤드의 안쪽은 피스톤 및 실린더와 함께 반구형이나 쉘기형(pent roof)의 연소실을 형성하고 있으며, 헤드의 위쪽은 캠축과 밸브의 개폐기구가 설치되어 있고 그 외부에는 흡배기 매니폴드 및 점화 플러그 등이 부착되어 있다.

또한 실린더 헤드에는 다음과 같이 보조 흡기 밸브(jet valve)를 설치하여 혼합기에 고속분류(噴流)를 보내서 소용돌이를 일으켜 훨씬 희박한 혼합기라도 연소를 할 수 있도록 되어 있는 모델도 있다.

### 다. 피스톤 및 크랭크 기구

#### 1) 피스톤

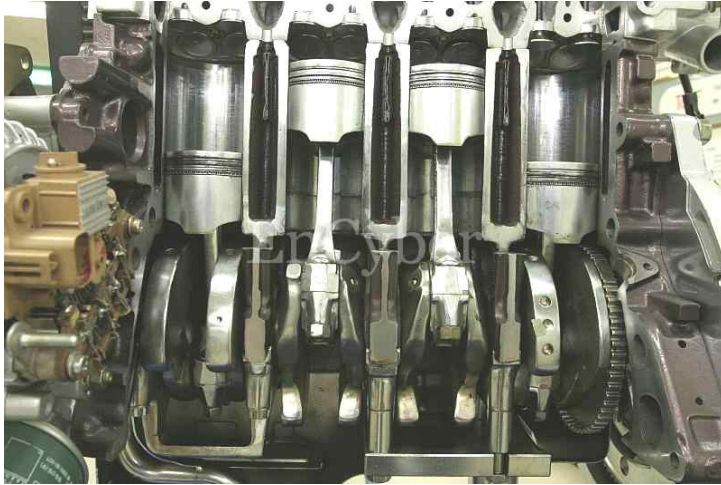
피스톤(Piston)은 동력행정에서 고온, 고압의 가스 압력을 받아 실린더 안을 왕복 운동하며, 커넥팅로드를 통해 크랭크축에 회전력을 발생시키는 일을 한다.

피스톤 헤드는 고온(2000℃ 이상)의 연소가스에 노출되고 30~40kg/cm<sup>2</sup>의 압력을 충격적으로 받으며, 실린더 안에서 고속운동(약 10~20m/s)을 하기 때문에 큰 마찰이 생기므로, 이러한 악조건에서 그 기능을 발휘할 수 있는 알루미늄 합금 피스톤을 쓰고 있다.

피스톤의 주요 부분으로는 피스톤 헤드, 링 지대, 스커트(Skirt), 보스(Boss) 등으로 되어 있으며, 피스톤 헤드는 연소실의 일부를 형성하고 고온에 의한 팽창을 고려하여 스커트 부분의 지름보다 작게 되어 있다.

## 2) 커넥팅로드

커넥팅 로드(Connecting rod)는 피스톤과 크랭크축을 연결하는 막대로 작은끝(Small end)은 피스톤 핀과 연결되고 큰 끝(Big end)은 분할되어 크랭크축과 커넥팅 로드 캡에 의해 연결된다.



## 3) 크랭크 축

크랭크 축(Crank shaft)은 크랭크 케이스 안에 설치된 메인 베어링과 캡에 지지되어 각 실린더의 동력행정에서 발생한 피스톤의 직선운동을 커넥팅 로드를 통해 회전운동으로 바꾸고, 반대로 다른 행정에서는 피스톤에 운동을 가해 연속하여 동력을 발생하는 중요한 기능을 가지고 있다.





#### 4) 플라이 휠

플라이휠은 주철제로 만들어 크랭크 축 뒤쪽의 플렌지에 고정되어 있다. 크랭크 축은 동력행정에서만 큰 회전력을 얻을 뿐 그 밖의 행정에서는 회전 관성을 이용하여 회전속도의 변동을 적게 하고 원활한 회전을 하도록 하고 있다.

따라서 플라이휠은 관성을 크게 하고 또 중량은 가볍게 하기 위해 중심부분은 얇게 하고 주위는 두껍게 한 원판으로 되어 있다.



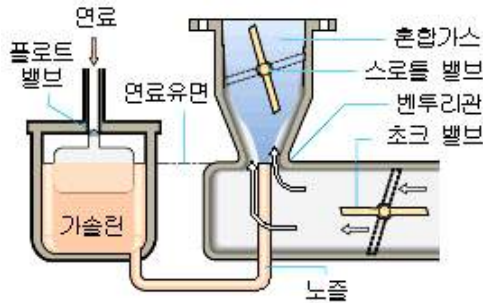
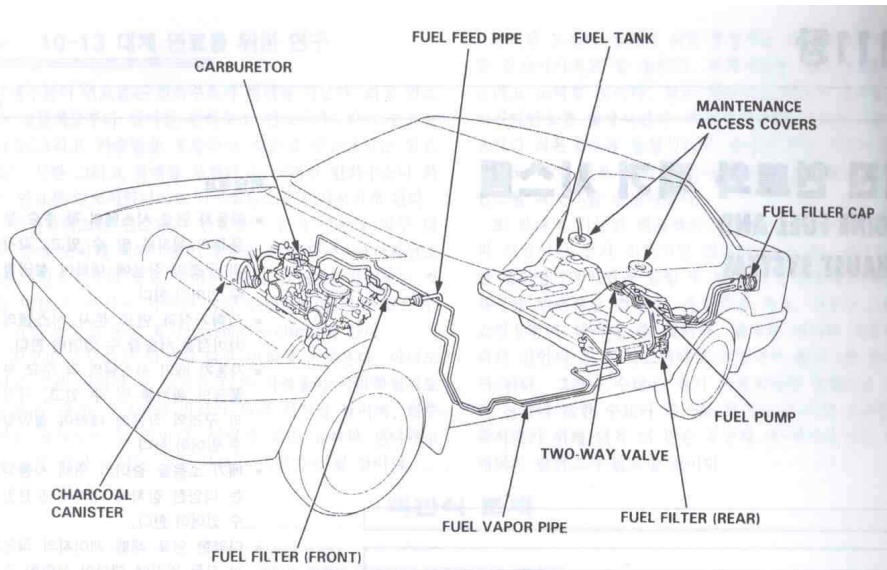
4

2. 연료장치

전자제어 연료분사장치의 연료공급은 흡입필터를 통해 연료 펌프에서 압송되며, 파이프 (Pipe), 고압 필터, 딜리버리(Delivery) 파이프를 거쳐 각 인젝터에 분배된다.

인젝터에 걸리는 연료의 압력은 압력조절기(Pressure regulator)에 의해 이루어지고, 이때의 압력은 흡기다기관내의 압력보다 항상 3.35kg/cm<sup>2</sup> 더 높은 압력이 일정하게 유지되도록 되어 있고, 규정압력 이상 여분의 연료는 리턴 파이프를 통하여 연료탱크로 되돌아간다.

엔진의 구조

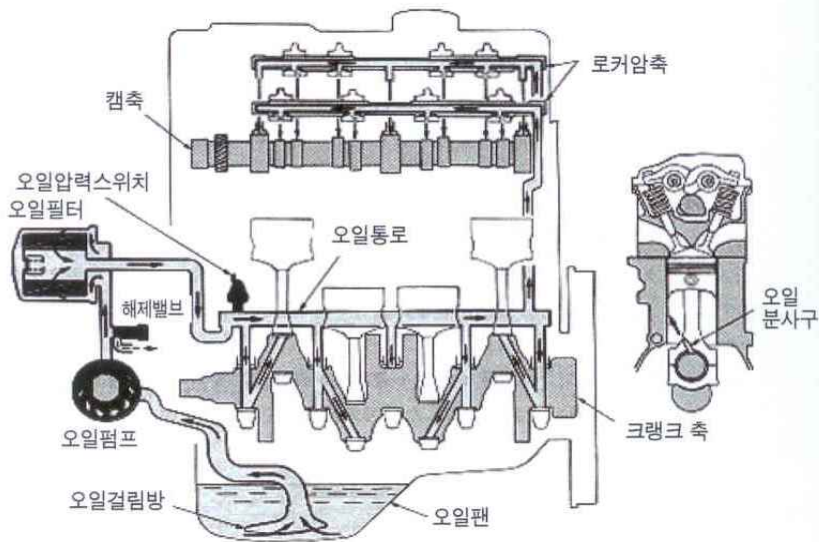




### 3. 윤활, 냉각, 흡배기 장치

#### 가. 윤활장치

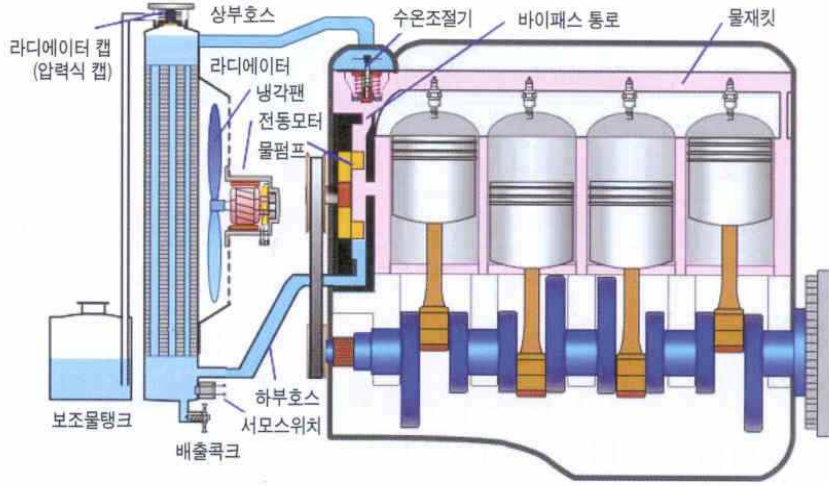
자동차용 엔진은 주로 오일펌프에 의한 압송식을 쓰고 있으며, 오일의 순환 경로는 오일을 여과하는 오일필터의 설치에 따라 전류식, 분류식 그리고 이 두 방식을 결합한 복합식이 있다. 가솔린 엔진에서는 보통 전류식을 많이 쓰고 디젤 엔진에서는 복합식을 많이 쓰고 있다.



#### 나. 냉각장치

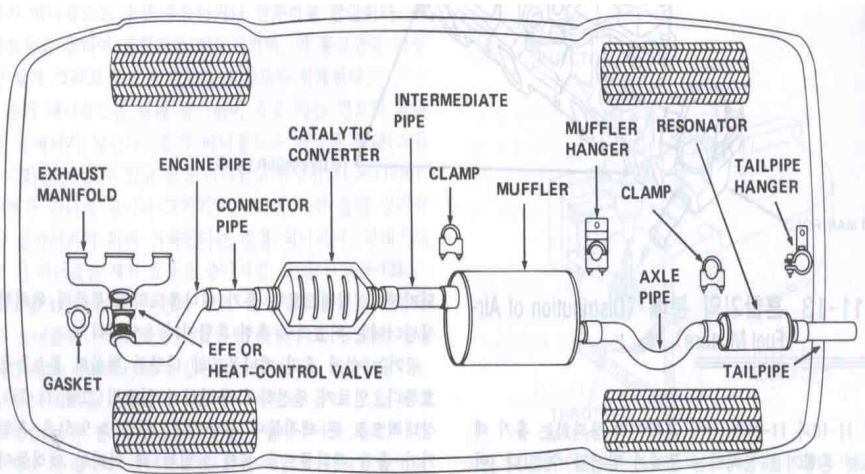
냉각장치는 엔진을 냉각하여 과열을 방지하고 또 적당한 온도를 유지하는 장치이다. 실린더 안의 연소가스 온도는 2,000~2,500℃에 이르며, 이 열의 상당한 양이 실린더 벽, 실린더 헤드, 피스톤 밸브 등에 전도된다. 이러한 부분의 온도가 너무 높아지면 부품의 강도가 저하되어 고장이 생기거나 수명이 단축되고 연소상태도 나빠져 노킹이나 조기점화 등으로 엔진의 출력이 저하된다.

또한 너무 냉각되면 냉각으로 손실되는 열량이 크기 때문에 엔진 효율이 낮아지고, 연료 소비량이 증가하는 등의 문제가 생기므로, 엔진의 온도를 약 80~90℃로 유지시키는 것이 냉각장치의 기능이다.



다. 흡배기 장치

엔진을 작동시키기 위해서 실린더 안에 혼합기를 흡입하기 위한 공기청정기, 인젝터 및 흡기 매니폴드가 있고, 또 혼합기가 연소한 후 그 연소가스를 외부로 배출하기 위한 배기 매니폴드, 배기 파이프, 3원 촉매 및 소음기로 구성되어 있다.



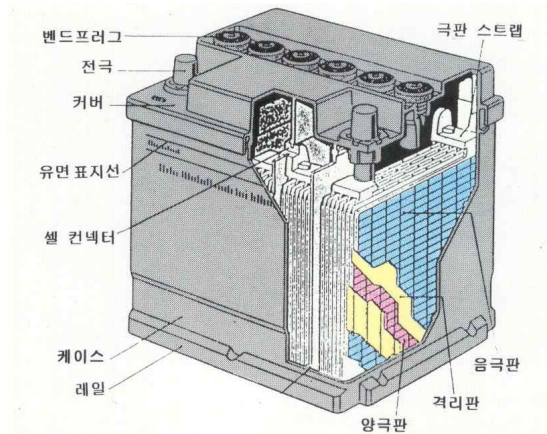


## 4. 전기계통

### 가. 축전지

화학에너지를 전기에너지로 변화시킬 수가 있는데, 이 상태를 방전(放電)이라 한다. 또 다른 전원에서부터 전기에너지를 공급하여 화학에너지로 변화시켜 축적할 수 있는데, 이 상태를 충전(充電)이라 한다. 이와 같이 충전과 방전이 반복되는 전지를 축전지 또는 2차전지라고 한다. 건전지(乾電池)는 충전과 방전이 반복되지 않는 것이며, 이것은 1차전지의 하나이다. 축전지로는 1859년 프랑스의 R.L.G.플랑테가 발명한 납축전지[鉛蓄電池]가 가장 널리 사용되며, 그밖에 알칼리 축전지가 있다.

이 중, 납축전지는 양극에 과산화납  $PbO_2$ , 음극에 해면상(海綿狀)의 납  $Pb$ 을 사용하고 비중이 1.2~1.3인 황산( $H_2SO_4$ )에 넣은 것이다. 실제로는 극판면적의 증가를 위하여 많은 양극과 음극의 극판이 병렬로 연결되어 있으며, 또 각 극판 사이에는 절연물(絶緣物)로 만든 격리판이 들어 있다. 충전된 상태에서는 양극은 이산화납, 음극은 납이지만 방전을 계속 하면 양극과 음극은 다 같이 황산납으로 되며, 동시에 물이 생기게 되므로 전해액의 비중이 저하한다. 또한 충전된 상태에서 양극은 다갈색, 음극은 납색으로, 방전을 계속하면 양극이 다 같이 회백색으로 된다. 납축전지의 기전력은 약 2V이지만, 방전하는 사이에 서서히 저하하여 1.8V 정도까지 저하하면 다시 충전을 시켜야 한다.

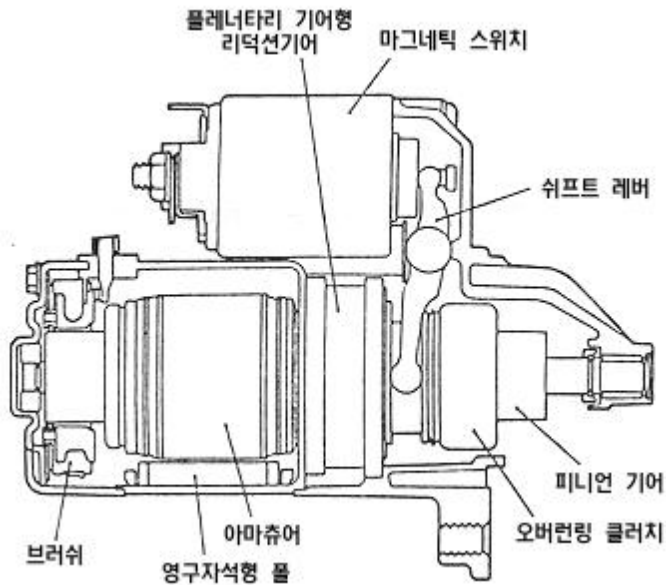


## 나. 시동 모터

엔진의  
구조

전류의 자기 작용에 의하여 생기는 전자력을 이용한 것으로 N극과 S극 사이에 도선을 놓고 전류를 흐르게 하면 전류의 자기 작용에 의해 도선은 전자력을 받게 된다. 즉 시동모터의 브러시와 정류자를 통하여 도선에 전류를 흐르게 하면 자력선이 생겨서 코일이 회전하게 되어 전기적인 에너지를 기계적인 에너지로 바꾸게 된다. 플레밍의 왼손 법칙을 이용한 원리이다.

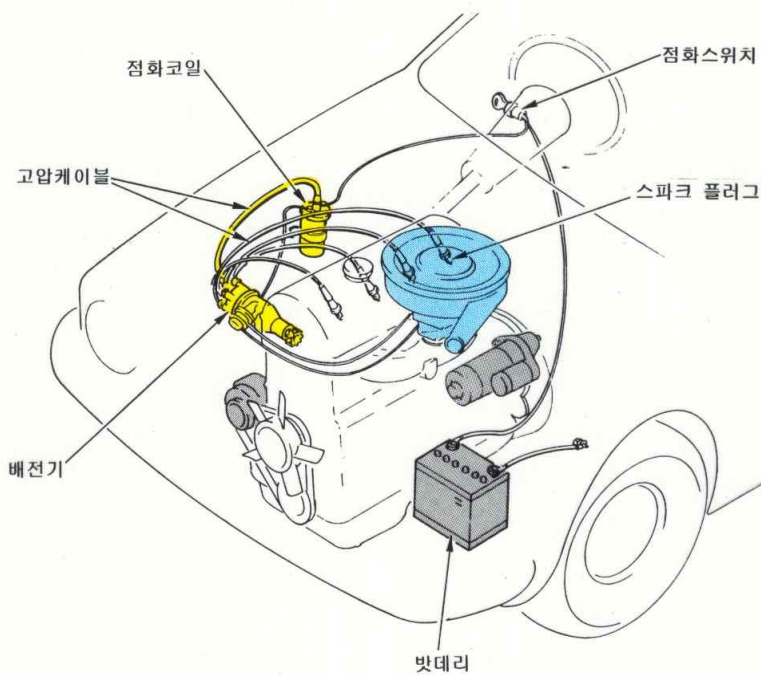
스타터모터 또는 셀모터라고 한다. 내연기관은 처음에는 다른 힘으로 돌려주지 않으면 회전을 시작하지 않으므로, 옛날의 자동차에서는 차체의 전면에 있는 크랭크를 돌려주어야 했다. 그래서 때로는 역회전 때문에 팔이나 턱의 뼈를 다치거나 사망하는 일마저 있었다. 그러나 1912년 미국인 C.F.케터링이 전기 모터에 의한 자동시동장치를 완성하여, 우선 캐딜락에 이것을 장비하여 판매하였다. 이것이 성공함으로써 자동차는 힘이 약한 여성이나 노인도 탈 수 있는 편리한 교통기관이 되었다.



## 다. 점화장치

점화 장치의 목적은 엔진의 연소실에 있는 공기와 연료의 혼합 기체를 점화시키는 것이다. 연소가 일어나도록 하기 위해서는 적당한 시기에 점화가 이루어져야 한다. 연소가 시작하기 위해서는 연소실의 말단에 있는 점화 플러그에 스파크가 발생하여야 하며, 이 아크(arc)에 의해 발생한 열이 공기와 연료의 혼합 압축 기체를 점화시킨다. 혼합 기체가 타면서 실린더를 아래로 밀어내는 압력이 발생하고, 그 힘으로 엔진이 작동한다. 점화 장치는 접점 점화 장치와 전자 점화 장치로 나뉜다. 이 중 접점 점화 장치는 충전기, 정화 스위치, 점화 코일, 배전기, 2차측 점화 케이블, 점화 플러그로 이루어져 있다.

점화시의 전류 흐름 순서는 점화스위치 - 배터리 - 시동모터 - 점화코일 - 배전기 - 고압케이블 - 스파크 플러그 순으로 작동한다.

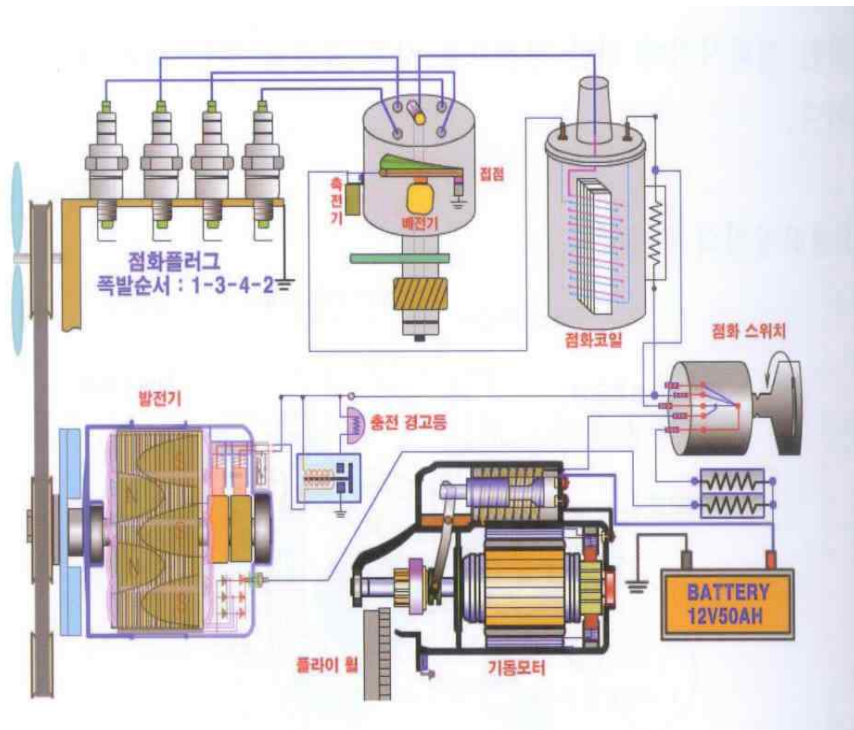


## 라. 발전기

엔진의  
구조

발전기는 엔진의 기계적 에너지를 전기 에너지로 변환하는 기능을 수행하며 일반적으로 엔진의 측면에 부착된다. 엔진 크랭크축의 풀리는 벨트를 통하여 크랭크 축 회전 속도의 2~3배 속도로 발전기를 돌린다. 일반적으로 발전기의 상부나 내부에 장착되어 있는 전압 조절기는 발전기가 과도하게 높은 전압을 발생하는 것을 막아준다. 일부에서는 발전기를 제너레이터(generator), 또는 교류 제너레이터(AC generator)라고 한다.

발전기는 스테이터 안에 로터가 회전함으로써 3상 교류 전류가 발생되며, 이 교류를 다이오드에 의해 직류로 변환, 배터리에 충전하게 된다.





# LPG 차량

## 1. LPG 차량 개요

국내에서 LPG를 자동차의 연료로 처음 사용한 것은 1966년이다. 당시 교통부는 6개월 동안 LPG버스의 시범운행을 실시한 뒤 그 해 6월부터 시내 노선버스에 부탄가스를 사용하였다. 시내버스와 같은 대형버스가 LPG를 이용한 것은 그 당시 버스의 연료가 휘발유였기 때문으로 지금과는 차이가 있다. 4년 뒤인 69년에는 LPG버스가 7백대까지 늘었으나 70년 LPG가격이 급등하고 기존차량이 노후화되어 폐차되는 시점에 달하자 LPG사용버스는 경유 엔진버스로 대체되었다.

현재와 같이 택시에 LPG를 연료로 사용한 것은 72년부터로 LPG가격이 휘발유보다 낮아지면서 영업용 택시들이 LPG를 사용하기 시작하여 74년에는 7천대 선까지 확대되었고, 96년 말 23만 여대의 택시가 운행되고 있었다. LPG는 택시 외에도 취약한 지방재정의 연료비 경감을 위해 지방 관용승용차에 대해서도 83년 사용을 허가한 것을 비롯해 현재는 국가유공상이자, 장애인소유차량과 승합차, 화물자동차에까지 허용범위를 넓혀 인정하고 있다.

지난 96년 말 LPG자동차로 등록된 차량은 35만여 대로 이러한 수치는 92년의 19만 여대와 비교하면 1.8배에 달하는 양이지만 전체 등록차량 중에서 차지하는 비중은 3.6%로 거의 동일한 수준이었다. 그러나 IMF 이후 LPG차량은 싼 연료비 때문에 폭발적으로 증가하였다. 주로 승용과 유사한 승합차가 값비싼 휘발유 승용차를 대신하였다. 2001년 3월 기준으로 LPG차량은 126만천여 대로 전체 차량에 대한 비중은 10.3%를 넘어서고 있다. 또 이들 차량을 충전하는 LPG자동차충전소는 전국에 7백30여개소가 있는 것으로 집계되고 있다. 국외의 경우, LPG는 세계적으로 가장 널리 보급된 대체연료로서 전 세계에 걸쳐 약 23,000개소의 충전소가 있으며, 약 410만 천대의 차량이 연간 9천9백만 톤의 LPG를 소비하고 있다.

LPG자동차는 대부분 기존 휘발유 차량의 연료공급계통 등 일부 개조한 것이 대부분이다. 액화석유가스를 오래 전부터 사용해 왔으나 LPG차량의 구조적 취약부에 대한 연구나 사고 발생 시 위험증가 요인에 대한 조사결과가 발표된 바가 없다.

LPG는 액화석유가스(Liquified Petroleum Gas)의 약자로 상온에서는 가스지만 압력을 가하면 쉽게 액체로 바뀌는 탄화수소를 말한다. 원유 정제과정이나 유전에서 부산물로 생기는 가스를 압축해 액체로 만든다. 일반적으로 LPG는 프로판과 부탄을 주성분으로 하는 혼합물이다.

순수 LPG는 색깔과 냄새, 맛이 없으나 누출사고에 대비해 일부러 불쾌한 냄새를 섞어 왔다. LPG의 비중은 액체 상태에서는 물보다 가볍지만 기체 상태에서는 공기보다 1.5~2배 무거워 낮은 곳에 모이는 성질이 있다.

LPG  
차량

LPG의 주성분은 프로판( $C_3H_8$ )과 부탄( $C_4H_{10}$ ) 등으로 이루어져 있으며, LPG는 감압 또는 가열시 쉽게 기화되며 발화하기 쉬우므로 취급상 특별한 주의가 필요하다. 아래의 표에 차량용 LPG의 성분을 표시하였으며, LPG 충전은 과충전 방지장치로 인하여 85% 이상 충전되지 않는다.

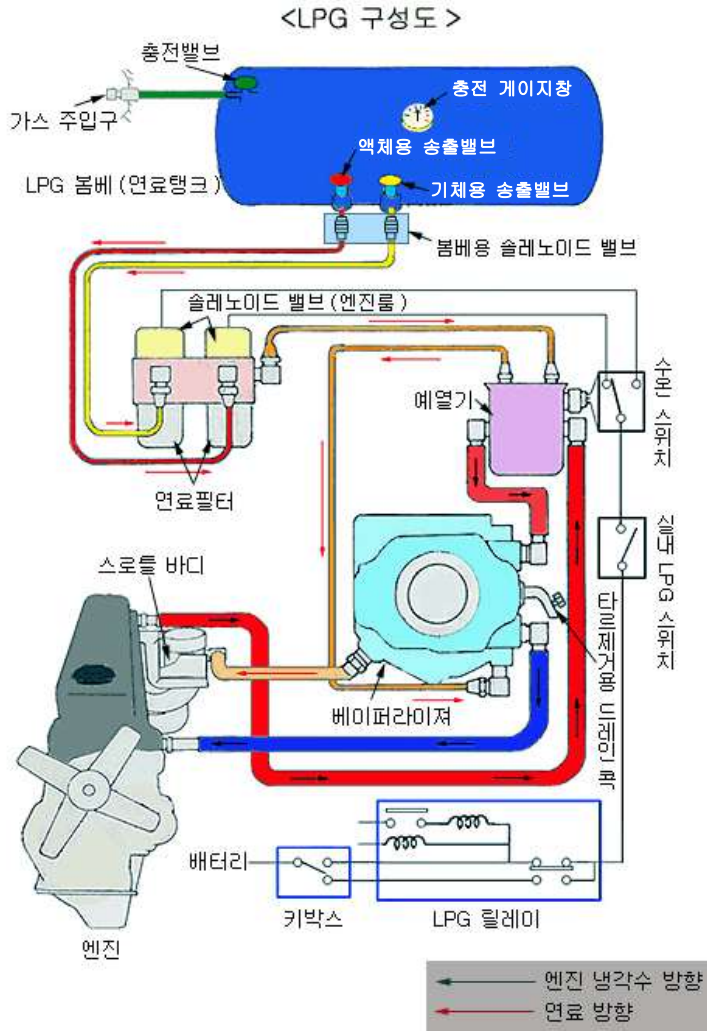
[ 표 3-5 ] 차량용 LPG의 성분

항목 \ 종류		1호 (가정, 상업용)	2호 (자동차, 케비닛 히터용)		3호
			여름용	겨울용	
조성	C <sub>3</sub> 탄화수소	90 이상	10 이하	15 이상 35 이하	-
	C <sub>4</sub> 탄화수소	-	85 이상	60 이상	85 이상
	부타디엔	0.5 이하			
항 분		100 이하	200 이하		
증 기 압		1.53 이하	1.27 이하		0.52 이하
밀 도		500~620			
잔류물질		0.05 이하			
동관부식		1 이하			
수 분		합격	-		

LPG를 사용하는 엔진의 메커니즘은 휘발유 엔진과 기본적으로 같다. 펌페(Bombe)라 불리는 연료탱크에 저장된 액체 상태의 LPG가 연료 필터(Filter), 솔레노이드밸브(Solenoid Valve) 및 연료 파이프 등을 통해 베이퍼라이저(Vaporizer)로 들어가 기화된 다음 공기와 섞여 연소실에서 흡입-압축-폭발-배기하는 순으로 작동한다.



[ LPG 차량의 구성도 ]

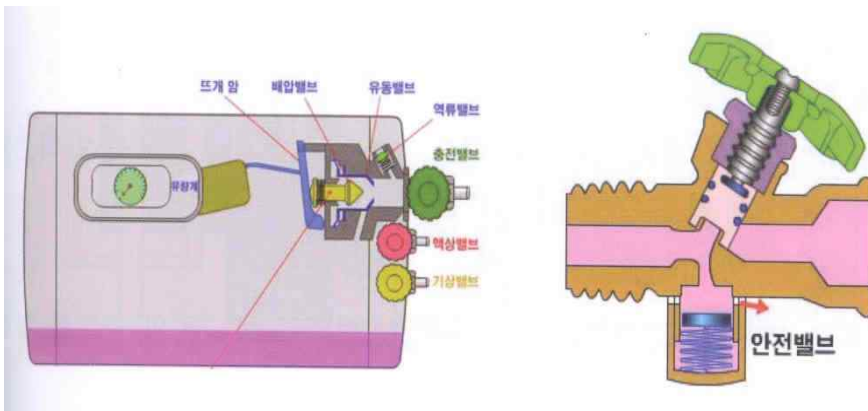


## 2. LPG 엔진의 구성 부품

### 가. LPG 봄베(Bombe)

봄베에는 LPG 충전밸브(녹색), 기체 LPG 송출밸브(황색), 액체 LPG 송출밸브(적색) 등 세 가지로 기본 밸브로 구성되어 있다.

용기 본체의 항장력 41Kgf/cm<sup>2</sup> 이상, 두께 3.2mm의 고압가스 용기용 강관을 사용하여 31kgf/cm<sup>2</sup>의 내압시험과 파괴시험을 거쳐 제작되며, 고압가스 증명을 각인으로 표시하고 있다. 또한 용기를 회색으로 도장한다. 용기본체에는 충전 밸브(녹), 액송출 밸브(적), 기송출 밸브(황), 플로트 게이지가 부착되어 있으며, 충전밸브에 부착된 안전밸브는 화재 등으로 용기 내의 압력이 24Kgf/cm<sup>2</sup> 이상이 되면 작동하여 용기의 파열 및 폭발을 방지한다.



### 나. 베이퍼라이저(Vaporizer)

LPG 탱크에 기체연료만 사용하면 혹한 때에도 시동성을 크게 높일 수 있지만 고속 주행 때 출력이 떨어지고 운전성이 나빠지는 등 정상적인 주행을 하기 어렵다. 게다가 LPG 탱크 용량에도 문제가 생긴다. 따라서 액체연료(체적이 기체의 약 1/250배)를 사용해야 하고, 감압, 증발 조압의 기능을 하는 기화기를 달아야 한다. 주의할 점은 기화기에서 생기는 타르(찌꺼기)를 정기적으로 제거해야 하며, 타르 제거요령은 냉각수가 충분히 더워진 후(타르가 굳어 있지 않은 상태) 드레인 코크를 열고 타르를 배출시킨 다음 드레인 코크를 꼭 닫아야 한다.

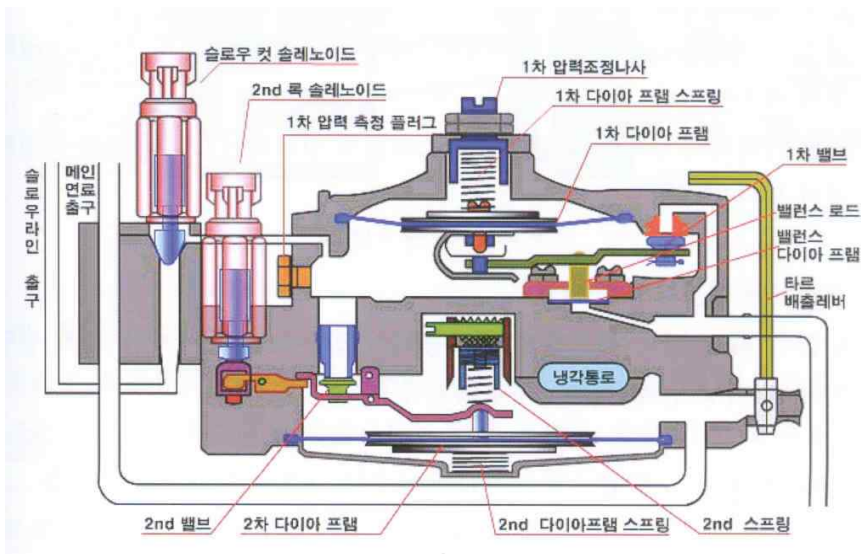
LPG 봄베로부터 나온 연료는 LPG 솔레노이드 밸브를 통해 베이퍼라이저 입구까지 봄베압 그대로 흐른다. 베이퍼라이저에 들어간 연료(압력 : 약 2kg/cm<sup>2</sup>)는 1차 밸브와



밸브시트 사이로 1차실로 들어가 감압된다. 연료의 유입이 계속되고, 1차실 압력이 약  $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 보다 높아지면 1차 다이어프램에 있는 다이어프램 스프링의 힘을 이기고 위쪽으로 들린다. 이때 다이어프램에 고정되어 있는 혹이 밸브레버를 끌어 올려 1차 밸브를 닫고 분배로부터 연료 유입을 차단한다. 이 상태에서 연료가 소비되어 1차실 압력이 약  $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$  이하가 되면 1차 다이어프램 스프링의 힘이 연료압보다 높아져 다이어프램은 아래로 내려간다. 이때 다이어프램에 고정되어 있는 혹이 1차 밸브레버를 밀어 내려 1차 밸브를 열어 연료를 유입한다. 이 작용을 반복해 1차실 압력은 항상 약  $0.3\text{kg}/\text{cm}^2$ 로 유지된다.

2차실은 1차실에서 조합된 연료를 다시 대기압 근처까지 감압하는 것이다. 이것은 2차실의 압력이 대기압 보다 높게 되면 연료가 믹서에 들어가는 공기량에 관계없이 믹서로 유출하는 것을 방지하기 위한 것이다.

진공 록 오프 기구는 엔진 정지 때 강제적으로 2차 밸브를 닫아 연료를 차단하는 안전장치이다. 만약 이 장치가 없다면 엔진이 정지 중에도 베이퍼라이저의 혼합기가 누설될 수 있으므로 위험하다. 이것을 방지하기 위한 것이 배큘 록 오프 기구이다.

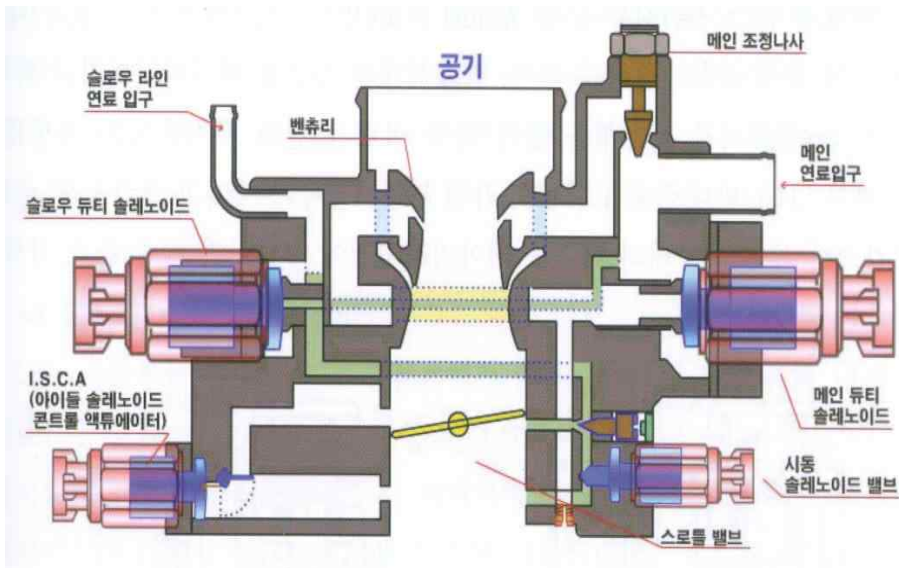


## 다. 믹서(Mixer)

LPG  
차량

믹서는 베이퍼라이저(Vaporizer)에서 기화된 연료를 공기와 혼합해 연소실에서 연소 되기에 가장 적당한 비율로 연소실에 공급하는 기능을 수행하며, 믹서는 가솔린 엔진의 카뷰레터에 해당되는 것으로 베이퍼라이저에서 감압 기화된 연료를 공기와 혼합시켜 연소에 가장 적합한 혼합기를 연소실에 공급하는 장치로서, 다음과 같은 장치로 구성되어 있다.

- 메인 조정 스크류(MAS-Main Adjust Screw)는 연료유량을 정하기 위한 장치다. LPG는 계절에 따라 비중 및 압력변화에 따른 공연비가 변한다. 때문에 믹서의 연료주입구에 메인 조정 스크류가 달려있다.
- 혼합비 조정 스크류(AAS-Air Adjust Screw)는 엔진 공회전 때 1차 쓰로틀밸브를 지나 흐르는 혼합기의 양을 조정하는 것이 주기능이다. 또한 기화기의 공회전 혼합비 조정스크류로 일산화탄소 배출량을 조정하는 것이 부기능이다.
- 개스차단 밸브(FBM믹서) 급 감속 때 솔레노이드 밸브가 작동되어 진공이 만들어지면 개스 입구를 막아 더 이상 연료공급이 되지 않도록 한다.



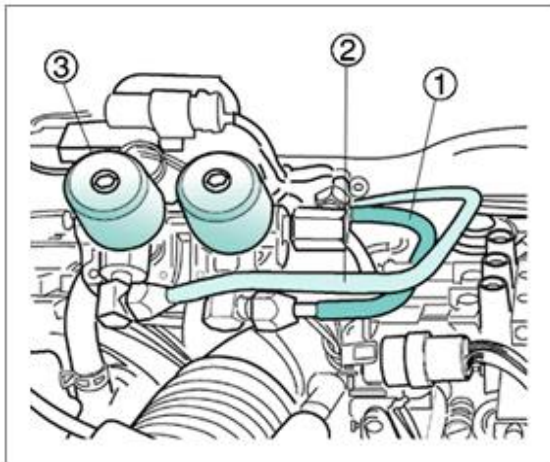


### 라. 필터

필터는 휘발유의 연료필터와 같이 연료 중의 각종 불순물을 여과하지만 그 구조는 전혀 다르다. 특히 엘리먼트는 금속 분말을 태워 만든 것 또는 두꺼운 펠트 같은 재질의 여과 재료가 사용되고 LPG의 증기압에도 견딜 수 있는 튼튼한 구조로 되어 있다. 필터 엘리먼트는 붙였다 뗄 수 있고 청소도 할 수 있다. 입구측으로 들어간 LPG는 다공질의 세라믹 엘리먼트로 불가용성 이물질을 여과하고, 다시 필터 엘리먼트 내의 영구자석에 의해 엘리먼트를 통과한 미세한 부유 철분을 흡착하도록 되어 있다.

### 마. 액체·기체 솔레노이드 밸브

솔레노이드밸브는 펌베의 몸체에 부착되어 있으며, 외관은 전자밸브와 비슷하나 액체 및 기체연료의 공급통로가 서로 차단되어 별도의 라인을 갖추고 있고, 액체 및 기체 연료를 공급 및 차단하는 역할을 한다. 긴급차단장치는 연료공급파이프가 파손되어 가스가 누출 될 경우나 엔진이 꺼졌을 경우 솔레노이드 밸브를 닫아 연료공급을 차단함으로써 LPG 누출을 예방하며, 시동 시에는 액체 솔레노이드 밸브를 닫고 기체 솔레노이드 밸브를 열어 펌베 내 상부에 있는 기체연료를 공급하여 시동이 가능토록하고, 완전히 시동이 걸렸을 경우에는 기체 솔레노이드 밸브를 닫고 액체 솔레노이드 밸브를 열어 펌베 내의 액체연료를 전자밸브로 전달하는 역할을 한다.



① 기체 LPG 파이프라인  
② 액체 LPG 파이프라인  
③ LPG 솔레노이드 유니트

또한 LPG 불순물을 여과시켜 주는 필터가 아래 부분에 일체식으로 조립되어 있다. 액체·기체 솔레노이드 밸브는 LPG엔진의 시동성을 좋게 하기 위하여 냉각수 온도(15℃ 기준)에 따라 액상 또는 기상 LPG를 차단/공급하는 역할을 한다. 운전석의 LPG

스위치를 조작해 LPG를 공급하거나 차단할 수 있고 아래 부분에는 필터가 일체식으로 달려있다. 즉 냉각수 온도(15℃ 기준)에 따라 온도가 내려가면 기상 솔레노이드 밸브가 작동, 기체상태의 가스를 베이퍼라이저(기화기)로 연료를 공급시켜 시동성을 좋게 하며 이때 운전석 계기판에는 기상표시등이 켜져 있다.

반대로 온도가 올라가면 기상지시등이 꺼지고 액상솔레노이드 밸브가 작동해 액체상태의 가스를 베이퍼라이저에 공급시켜 엔진 출력 저하를 막아주는 역할을 한다.

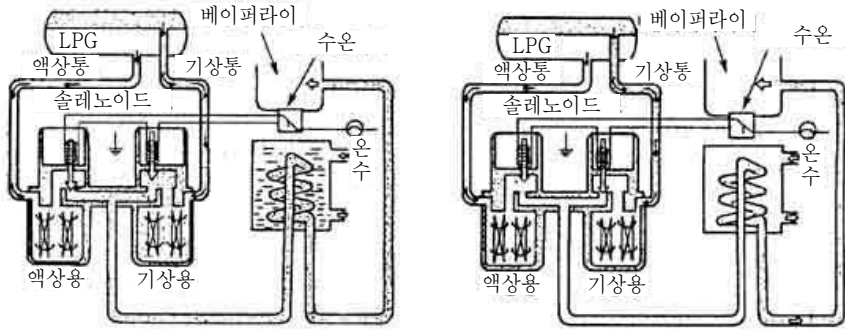
LPG 수온 스위치는 베이퍼라이저 냉각수 통로의 수온을 감지해 LPG 솔레노이드 유니트 전류를 차단, 통전시키는 왁스 펠릿형의 수온 스위치 이다. 베이퍼라이저 냉각수 통로의 수온이 15℃(이때 엔진 서머스탯 이전의 냉각수 온도 약 40℃ 전후)를 기준으로 해 이보다 낮은 온도에서는 솔레노이드 유니트의 기체 솔레노이드 밸브만을 열어 기체 LPG가 공급될 수 있도록 해주며 이보다 높을 경우 액체 솔레노이드 밸브만을 열어 액체 LPG가 공급될 수 있도록 신호를 보낸다.

작동 원리는 라디에이터 하단의 냉각팬 ON/OFF용 수온 스위치와 동일하며, 다만 스위치 작동 온도만 다를 뿐이다. 최근에는 이 스위치는 사용되지 않고 ECU가 엔진 수온센서를 이용해 액·기상 작동을 판정한다.

지금까지 일반적인 LPG 장치를 구성하는 부품들의 기능 및 원리에 대해 알아보았으며, 이 내용을 토대로 LPG 장치의 연료 흐름 및 동작을 간단하게 정리해 보면, 우선 봄베에는 LPG가 저장되어 있고 액상과 기상으로 존재하며, 각각의 라인을 통해 긴급차단 솔레노이드를 거쳐 액 기상 솔레노이드 밸브까지 공급된다.

엔진에 공급되는 연료는 베이퍼라이저의 냉각수 온도가 15℃ 이하일 때는 기상을, 15℃ 이상일 때는 액상을 공급하는데 이 온도는 베이퍼라이저에 설치된 수온 스위치에 의해 감지되고, 수온 스위치의 ON/OFF 여부에 따라 액 기상 솔레노이드 밸브의 액상 또는 기상 밸브의 작동이 결정된다.

이로써 액,기상 밸브를 거친 액상 또는 기상 연료는 베이퍼라이저로 공급되고 베이퍼라이저의 1차실에 공급된 연료는 기화 및 감압, 조합되어 베이퍼라이저 2차실로 공급되어 대기압에 가까운 상태를 유지한다.



이 상태에서 시동 때에는 크랭킹이 되는 동안 스타트 솔레노이드 밸브가 작동해 좀 더 농후한 상태로 시동이 쉽도록 하고, 시동이 걸려 회전하면 베이퍼라이저 2차실의 연료는 믹서의 벤투리에 발생하는 부압에 의해 메인 노즐을 통해 유입되어 각 실린더로 공급된다. 시동이 OFF되면 베이퍼라이저 2차실의 진공 록 기구에 의해 연료는 더 이상 공급되지 않는다.

## 6

# 사례를 통한 차량화재의 감정 기법

사례를 통한  
차량화재의  
감정 기법

## 1. 차량화재의 연도별·원인별 발생현황

현재 등록 차량은 총 1,500만대를 넘어선 상태이며, 계속하여 차량 보유대수가 급속히 증가하는 상태이다. 이에 따라 차량 화재의 발생 빈도나 전체 화재에 대한 점유율이 계속적으로 증가되는 상태로서, 차량화재의 원인 감정에 대한 기술적, 사회적인 요구는 날로 증가하고 있다.

차량 화재는 재산적 가치가 크지 않은 차량 자체의 화재에 국한되는 것만 아니라 방화 등 범죄 행위나 가옥으로 확대 피해, 주차시설의 재해, 화재로 인한 사망에 이르기까지 그 피해의 정도가 확대될 수 있으며, 보다 철저한 화인규명이 요구되고 있는 실정이다.

소방청 국가화재정보센터의 자료에 의하면 2015년은 전체 화재건수 대비 차량화재 건수는 44,435건 중 4,605건(10.4%), 2016년은 43,413건 중 4,564건(10.5%), 2017년은 44,178건 중 4,550건(10.3%)이 발생하여 년 평균 10% 이상을 차지하고 있다.

차량은 주로 개방된 공간에 존치되므로, 사회적 불만이나 주차 불만을 가진 자가 불특정한 방법에 의해 수시로 방화 할 수 있으며, 쉽게 모방할 수 있다는 특수성을 가지고 있다. 따라서 발화 원인을 감정하는데 있어서, 방화의 형태와 차량 결함에 의한 화재는 조사 방법이 구분되어야 할 것이다. 즉, 동력계통, 전기계통, 연료계통 및 배기계통 등 차량의 구조적 이해와 주 연소 지점, 연소 확대 방향, 특이점의 식별 능력은 차량화재 조사 시 요구되는 필수 요소라 할 수 있을 것이다.

## 2. 차량화재의 분류 및 특수성

차량화재의 분류는 사용 연료에 따라 휘발유 차량, 경유 차량, LPG 차량, 차량 종류에 따라 승용차, 화물차, 승합차, 버스, 연소 부분에 따라 엔진룸 내부, 실내, 외부, 차량 계통에 따라 기계계통, 전기계통, 연료계통, 배기계통, 발화 유형에 따라 방화, 실화, 결함에 의한 화재로 나눌 수 있다. 이러한 양태적 분류는 실제적인 차량화재의 조사에 있어서는 각 항목이 조합된 종합적인 형태로 기술이 되어야 할 것으로, 예를 든다면 ‘휘발유를 연료로 사용하는 승용차의 엔진룸 내부에 설치된 연료펌프(연료계통) 내부의 벨로우즈 손상(결함)으로 발화되었다’고 정리가 되어야 할 것이다.



차량화재는 아래와 같은 특수성이 있는 바, 발화원의 조사에 있어서 전제로 하여 일반화재와 구별을 두어야 할 것이다.

첫째, 차량 기구의 복잡성이다. 차량은 동력 기계 계통, 전기 전자 계통, 연료 공급 계통, 배기 계통 등 복잡한 계통과 계통이 유기적으로 연결되고, 연동되는 장치라 할 수 있다. 따라서 계통에 대한 전문적인 지식 없이는 화재 원인의 조사가 불가한 바, 차량 각 계통의 구조적 이해는 조사에 있어서 필수 불가결한 요소라 할 수 있다.

둘째, 차량은 연료, 시트 등 화재 하중이 높고, 외기에 개방된 상태인 연료 지배형 화재의 특성을 보인다. 따라서 초기에 진화되거나 자연 소화되지 않은 경우를 제외하면 대부분의 가연물이 전소 유실되고, 구조물이 심하게 열변형되어 발화지점 및 발화원인의 조사가 불가한 경우가 많다.

셋째, 차량은 운행 중 상시 진동이 발생하며, 시동 모터 및 예열선 등 대전력 기기의 사용이 빈번하고, 다양한 부착물 및 이의 변·개조가 용이하므로 이러한 구조적 특수성에 의한 발화원에 상시 노출되어 있다고 볼 수 있다.

넷째, 전술한 바와 같이 차량은 개방된 공간에 존치되는 특수성에 의해 사회적 불만이나 주차 불만을 가진 자가 불특정한 방법으로 방화할 수 있으며, 차량 자체 및 고가 장식품 등이 절도의 대상물이 되고, 절도 행위의 은폐를 목적으로 방화할 수 있다. 또한 경제적인 어려움이나 가정 문제로 인한 집단 자살의 도구로 사용될 수 있으며, 이를 모방한 유사 방화의 사례가 전국적으로 확산 일로에 있다.

차량화재는 화재원인을 조사하는데 있어서 전술한 바와 같은 특이점으로 인하여 발화원의 판단이 매우 어려운 경우가 발생할 수 있으며, 경우에 따라서는 매우 용이하게 발화원을 감정할 수 있다. 즉, 화재하중, 연소특성 및 계통별 화재 발생원인 등 다수의 조합 특성 및 검사 가능한 특이물의 잔존 여부에 따라 화재원인의 해석 가능 여부 및 난이도가 결정될 수 있다.

예를 들어 LPG 등 가스 연료 계통의 결함, 전기 계통의 결함 및 기계계통의 결함 등과 같이 특이점이 쉽게 현출되거나 소실되지 않는 경우에는 발화원 조사 혹은 판단하는데 매우 유리한 고지를 접하게 되며, 가솔린 등 액체 연료 계통의 결함, 가연물의 심한 연소 유실 및 일부 방화의 경우와 같이 특이점이 소실되거나 특이점 조사가 불가한 경우에는 발화원 조사 및 논단 자체가 불가능하게 된다.

## 6

## 3. 방화와 실화의 차이점

사례를 통한  
차량화재의  
감정 기법

일반 가옥 혹은 건물의 화재에 있어서 방화 및 실화를 판단하는 근거와 매우 유사한 부분이 있으며, 차량의 구조적 특성상 차량만이 갖는 특수한 형태의 방화 특이점이 있을 수 있다.

즉, 차량 방화를 판단하는 대표적인 연소형태는 일반적인 연소 확대 형상과 다른 다수 개소의 차량에서 연소 확대 형상이 식별되고 있다. 또한 발화지점으로 판단되는 주 연소 부분에서 발화원인으로 작용할 만한 전기설비나 기계설비가 설치되어 있지 않다. 인위적인 착화에 의한 방화를 판단할 만한 인화성 물질이나 파손된 다수의 가스용기, 차량의 변형 흔적, 폭발 비산물, 블록(돌) 및 도난 흔적이 식별된다면 차량이 방화에 의해 연소되었다고 판단할 수 있다.

이에 반하여 실화(결함)에 의해 화재가 발생하는 경우는 발화지점 혹은 발화개소를 판단할 연소 확대의 중심이 구분되고, 발화지점인 주 연소 부분에 발화원인으로 작용할 만한 기계 및 기구가 설치되어 있으며, 동 설비에서 점화원으로 작용할 수 있는 열원을 제공할 만한 전기적 혹은 기계적인 특이점이 존재한다면 설비의 결함에 의해 화재로 발전되었다고 볼 수 있을 것이다. 이를 도식화하여 표현하면 아래의 표와 같다.

방화의 특이점	실화(결함)의 특이점
<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 다수 개소에서 발화</li> <li>▶ 발화개소에 특이 설비 없음</li> <li>▶ 방화 관련 특이점 식별</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▶ 연소확대의 중심이 구분</li> <li>▶ 발화개소에 기계, 기구 존재</li> <li>▶ 결함 관련 특이점 식별</li> </ul>

## 4. 차량화재 사례

차량화재를 조사함에 있어서 풍향, 연소흔적, 잔류물 및 전기·기계적 특이점은 공통적으로 검토해야 할 부분이다. 연료지배형 화재로 볼 수 있는 차량화재는 풍향과 가연물에 따른 연소흔적으로 발화지점의 판단이 가능한 바, 화재 해석에 있어서 매우 중요한 단서로 작용될 수 있으며, 주 연소 부분의 전기·기계적 특이점은 발화원으로 작용되었을 가능성이 높은 바, 주 연소 부분의 부품, 구성요소, 연동되는 기구 등에 대하여 정밀하게 조사가 이루어져야 정확한 화인의 추론이 가능할 것이다. 또한 차량 주변에서 발견되는 잔류물은 연소전 지면에 무엇이 있었는지를 확인하여 방화 관련 여부를 판단할 수 있는 중요한 물적 증거인 바, 현장에서 잔류물에 대한 면밀한 검토와 사진 촬영이 조사의 요점이라고 할 수 있다.



또한, 차량화재의 조사에 있어서 쉽게 간과될 수 있으나, 차량 화재 발생 이전의 사고, 수리 이력, 최근에 설치한 부착물 혹은 교체 부품, 차량에 대한 중대한 결함으로 제조사의 리콜 여부, 차량의 개조 여부 및 개조 시 순정 부품 사용 여부 등은 발화지점의 축소, 발화의 개연성 여부를 조사하는데 키포인트가 될 수 있는 부분으로 화재 조사 이전에 꼭 염두해 두어야 할 것이다.

## 가. 차량 방화 사례

### ① 다수 차량의 방화

조사 대상 차량은 도로를 따라 일렬로 주차된 차량으로 각 차량의 우측 전륜 부분을 중심으로 연소 확대된 형상이 식별되며, 각 차량의 발화 부분에서는 발화와 관련지를 만한 특이한 연소 잔해가 식별되지 않는 상태로서 전형적인 방화 사례로 볼 수 있다.

위와 같은 방화 사례의 경우, 일반적으로 나화(라이터)를 이용하여 범퍼나 타이어 등을 직접 연소시키기는 어렵기 때문에 라이터를 사용하여 우전륜 부근의 흙받이나 몰딩 등에 착화하여 방화한 사례로서 은폐하기 용이한 부분인 차량의 우전륜 부근을 방화의 대상으로 삼았다고 볼 수 있다.



## ② 독립 연소

차량은 개방된 공간에 존치되는 특수성에 의해 사회적 불만이나 주차 불만을 가진 자가 불특정한 방법으로 방화할 수 있으며, 차량 자체 및 고가 장식품 등이 절도의 대상물이 되고, 절도 행위의 은폐를 목적으로 방화할 수 있다.

따라서, 차량 방화의 조사를 위해서는 차량의 연소형상, 주변의 소락물(燒落物), 주차 상태, 주차 경과 시간, 도어락의 개폐여부, 차량 내부의 이물질, 도난 물품 여부 등에 대하여 종합적인 조사가 이루어져야 할 것이다.

조사 대상은 엔진룸 및 실내는 연소되지 않은 상태이고, 전좌륜 및 전우륜을 중심으로 각각 독립적으로 연소확대된 형상이 보인다.

독립적인 연소확대 형상은 방화에서 나타나는 전형적인 연소형상이며, 고가의 신형 차량이 출시되었을 경우 종종 발현되는 방화의 사례이다.



또한 아래의 사진에 나타난 조사 대상 차량은 상호 독립적인 화재 사건으로 주차 중인 버스에서 각각 화재가 발생한 사례로서, 좌측 버스는 전면 및 좌전륜이 독립적으로 연소되고, 우측 버스는 전면 및 좌 후륜이 독립적으로 연소된 상태이다, 각각의 사례 또한 전형적인 방화로 볼 수 있으며, 은폐하기 용이한 부분인 차량의 좌측면을 방화의 대상으로 삼았다고 볼 수 있다.



### ③ 절도 은폐

조사 대상 차량은 객실 내부만 전소된 상태이고 엔진룸 및 트렁크 부분은 연소되지 않은 상태였다. 일반적으로 객실 내부만 전소되는 경우 대부분 차량 자체의 결함보다는 방화에 의해 화재로 발전되었을 가능성이 크며, 운전석 시트 상단에서 화분의 연소 잔해가 식별되고, 인스트루먼트 패널에 부착된 기기의 배선이 절단되었으며, 인스트루먼트 패널에 설치되었던 네비게이션의 연소 잔해가 식별되지 않는 상태였다.

이 경우 또한 고가의 신형 차량이 출시되고, 내부에 고가의 부착물이 설치된 상태에서 화분 등의 가해물을 사용하여 창문을 파손하고, 고가 부착물인 네비게이션을 절도한 후, 이의 은폐를 목적으로 방화한 사례이다.



#### ④ 연소매개체 사용한 방화

자살을 목적으로 차량 내부에서 방화를 할 경우, 일반적으로 인화성 액체(제1석유류)나 가연성 가스(부탄가스)를 연소매개체로 사용한다. 이 경우 인화성 액체나 가연성 가스의 순간적인 증발에 의해 차량 내부 공간이 폭발범위에 이르게 되며, 나화(라이터) 등의 착화원에 의해 점화되면서 폭발적으로 연소하게 된다.

따라서 연소매개체를 사용한 차량화재의 경우, 폭발 시 발생한 강한 압력에 의해 차량 구조물 중, 기계적인 강도가 가장 약한 부분이 유리창이 파손 비산되며, 창문틀 또한 외측으로 변형된다.

그러므로, 차량의 창문틀이 외측으로 변형되었다든지, 연소되지 않은 유리창이 차량 주변에 비산되어 있다든지, 차량 내부에서 다수의 파손된 부탄가스 용기가 발견된다든지 혹은 차량 내부의 연소 잔류물에서 인화성 액체가 검출된다든지 한다면, 이는 연소매개체를 사용한 방화에 의해 전형적으로 발현되는 특이점으로 볼 수 있으며, 현장 조사 시 상술한 특이점을 기록하고 촬영해야만 할 것이다.

조사 대상 차량의 내부에는 3명의 소사체가 있었으며, 상술한 바와 같은 창문틀의 변형 흔적, 유리창의 비산 흔적 및 차량 내부에서 용기가 발견되고, 연소 잔해에서 시너가 검출된 사례로서, 전형적인 연소매개체를 사용한 방화라고 할 수 있다.



### ⑤ 질식 소화

가연물이 연소되는 상태에서 공기 중의 산소 농도가 15% 이하가 되면, 질식 단계로 접어들면서 발염이 지속되지 않고 훈소(smeldering) 상태를 유지하며, 산소 농도가 11% 이하가 되면 소화 단계로 접어든다.

밀폐된 차량 내부 객실에서 발화되는 경우, 연소 확대되는 과정에서 차량 내부의 산소가 소진되고, 산소의 소진에 의해 질식 단계로 접어들면서 마침내 소화되게 된다. 이는 전형적인 환기 지배형 화재의 패턴으로서, 차량 내부의 고가 부착물 등을 절도한 후, 은폐하기 위하여 차량 객실 내부에 나화(라이터)를 사용하여 착화시키는 경우에 발현되는 연소형태이다.

사고 조사 대상 차량은 조수석 문짝 포켓에 존치된 지도책에 착화시킨 후, 문을 닫은 상태로 도주한 사례로서 객실 내부의 산소가 소진되면서 질식 소화된 형태를 그대로 유지한 사례이다. 피해자는 문을 잠금 상태로 놓았다고 하며, 조수석 문짝 내부의 모터 혹은 배선 자체의 결함으로 인하여 화재가 발생하였다고 주장하였으나, 피해자의 주장을 입증한 전기적인 특이점은 식별되지 않았다. 만약 전면 유리창 부근이나 후면 유리창 부근에 인위적으로 착화하였다면, 연소되는 과정에서 발생한 고온의 기름이 직접적으로 유리창에 열적인 스트레스를 주기 때문에 유리창이 파손되고, 파손된 틈새로 신선한 공기가 유입되면서 화재는 환기 지배형 화재에서 연료 지배형 화재로 전이되며, 순식간에 가연물이 전소되고, 발화 관련 특이점이나, 방화를 입증할 특이점이 소실되기 때문에 화재원인 판단 시 주의를 요한다.



## 나. 차량 결함에 의한 화재 사례

### ⑥ 체결 불량

LPG 차량은 고압가스를 연료로 사용하기 때문에 전용 동 배관을 사용하며, 각각의 LPG 전용 기구에 접속 연결하기 위하여 볼트를 이용하는데, 차량은 시동 운행 중 상시 진동을 발생하게 되며, 진동에 의해 볼트 체결 부분의 체결력이 약화될 수 있다.

볼트 체결 부분의 체결력이 약화되면, 틈새를 통하여 LPG가 누출될 수 있으며, 연소 범위에 도달한 LPG는 매우 작은 점화원에 의해서 쉽게 착화되면서 화재로 발전할 수 있다.

조사 대상 차량은 LPG 전용차량으로 엔진룸 내부에 설치된 솔레노이드 밸브 설치 부분을 중심으로 연소 확대되어 엔진룸 내부가 전소된 사례로서, 엔진 상단에 배선된 일부 전선에서 단락흔이 식별되나, 이는 연소 중심과 이격된 상태로서 발화원으로 작용되었을 가능성보다는 연소 확대되는 과정에서 절연피복이 소실되면서 단락흔이 발생되었을 가능성이 있다.

연소의 중심에 설치된 솔레노이드 밸브의 분해 검사 시, 솔레노이드 밸브 바디의



니플 부분과 연결 볼트간의 체결이 약화된 상태이며, 절단 분해 시, 틈새가 식별되며, 동 틈새에 해당되는 니플의 표면에서 타르 오염 흔적이 발견된 상태로 체결력 약화로 인한 틈새를 통하여 LPG가 엔진룸 내부로 누출될 수 있는 구조이다. 자동차는 운행 중 상시 진동을 발생하는 바, 진동에 의한 조임 부분의 풀림이나 체결력이 약화될 수 있으며, 소비자보호원의 통계자료에 의하면 가스 전용차량의 경우 약 18%, 불법 개조차량의 경우 약 40%가 가스가 누출된다고 하는 바, 가스차량의 화재 조사 시, 이러한 점을 필히 염두해 두어야 할 것이다.



#### ⑦ 베이퍼라이저 결합

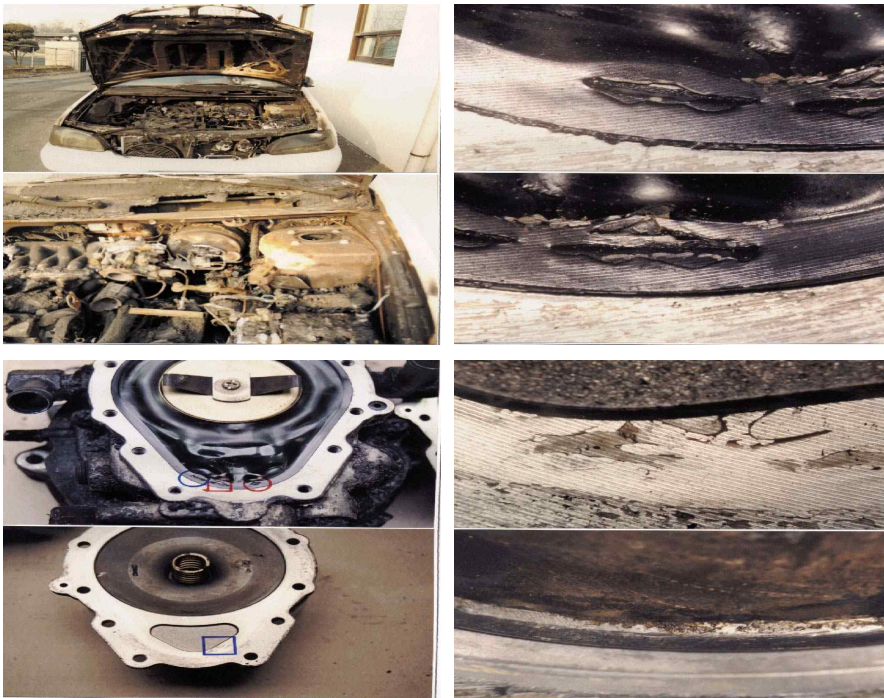
LPG 차량은 베이퍼라이저를 통하여 액상의 LPG를 기상의 LPG로 상변화 시킨다. 베이퍼라이저는 1차실, 2차실로 구분되며, 1차실은 다이어프램, 밸브, 스프링 및 대기압과의 상호작용에 의해 용기의 직압을 0.3kgf/cm<sup>2</sup>로 감압하며, 2차실은 거의 대기압 수준으로 감압하여 믹서측에 LPG를 공급한다.

이러한 구성요소와 동작 중, 1차실의 다이어프램이 파손되면, 용기의 직압이 믹

서측으로 가해질 수 있으며, 과압의 LPG가 믹서 이음매 혹은 필터 부분으로 역류가 가능하며, 엔진룸 내부로 LPG가 누출될 수 있다.

조사 대상 차량은 LPG 전용 차량으로 베이퍼라이저 설치 부분을 중심으로 연소 확대되고, 베이퍼라이저 분해 검사 시, 1차실의 다이어프램 중, 밸브와 접촉되는 부분이 파손된 상태였으며, 1차실 커버 부분 중, 다이어프램 파손 부분과 접촉된 부분에서 타르의 오염흔적이 발견되었다.

동 파손 부분은 밸브의 반복 작동에 따라 피로를 용이하게 받을 수 있는 부분으로 반복 작동에 의한 피로 파단으로 볼 수 있다.



#### ⑧ 솔레노이드 밸브 결함

솔레노이드 밸브는 밸브부와 필터부가 일체형으로 구성되어 있으며, 연료 통로를 개폐하는 역할을 하여 용기측의 연료를 베이퍼라이저로 공급 혹은 차단한다. 가스 전용 차량에는 솔레노이드 밸브 2점이 베이퍼라이저 전단에 부착되어 기상 및 액상의 LPG 가스를 공급하거나 차단하고, 액상의 가스가 기상 배관으로 역류하지 않도록 체크 밸브가 부착되어 있다.

냉각수의 온도가 15℃ 이상 혹은 이하 여부에 따라, 기상 및 액상 솔레노이드 밸



브가 개폐되는 제어를 행한다. 솔레노이드 밸브 입구 부분에 적색 페인트가 도색된 부분이 액살 솔레노이드 밸브이며, 용기측에 연결된 긴급차단 밸브도 솔레노이드 밸브 구조이다.

조사 대상 차량은 장애인 차량으로서 LPG 전용 차량으로 개조된 차량이나, 정상적인 경우 베이퍼라이저 전단에 2점의 솔레노이드 밸브(기상 및 액상용)가 설치되어야 하나 1점의 솔레노이드 밸브만 설치된 상태로, 기온이나 엔진의 상태 및 부하에 따라 적절하게 LPG 량을 제어할 수 없는 상태였을 뿐만 아니라, 솔레노이드 밸브 자체도 순정 부품을 사용하지 않은 상태로 솔레노이드 밸브의 바디 부분과 필터 커버 부분의 가공 불량으로 틈새가 형성되어 완전 밀폐되지 않은 구조로서, O링 표면에서 접촉 밀폐된 부분과 접촉되지 않은 부분 등 현격한 결함이 식별되는 상태였다.

동 구조의 솔레노이드 밸브는 운행 중에 상시 가스가 누출되는 상태였을 것으로 판단되며, 가연 조건 중, 점화원이 제공되지 않아 화재로 발전되지 않았던 것으로 추정된다. 충돌 사고 이후, 엔진 부근에 배선된 전선의 절연 손상에 의해 단락이 발생하고, 단락 시 발생한 전기적인 열에너지가 점화원으로 작용하였을 가능성이 있다.



## ⑨ 접촉 불량

전기적인 발열에는 저항열, 유도열, 유전열, 아아크열, 정전기열 및 낙뢰열 등이 있으며 모두 가연물에 대하여 점화원으로 작용 가능하다.

전기적인 발열에 속한 현상 중의 하나인 불완전 접촉에 의한 발열은 통류 면적의 감소, 간헐적인 접촉과 분리, 아산화동 증식 등 다양한 원인으로 구분될 수 있을 것이며, 전기적인 원인에 의한 발화원으로서 대단히 높은 점유율을 차지하고 있다.

조사 대상 차량은 엔진룸 내부 배터리에 인접하여 설치된 퓨즈 링크 부분을 중심으로 연소 확대된 형상이며, 퓨즈 링크 중, 바디에 접속된 단자가 인접 단자와는 달리 180도 회전되고, 좌측으로 편향된 상태이며, 단자에 압착 결합된 심선 대부분이 발열에 의해 용융 절단된 상태로서, 이 경우 단자와 심선은 회전 및 편향에 의해 인장력을 받아 심선이 절단 혹은 분리될 수 있으며, 통류 면적의 감소나 접촉 분리 시 발생한 아크에 의해 발열될 수 있는 상태이다.

특히 퓨즈 링크의 부하는 대부분 알터네이터 등 큰 전류량을 요구하는 대전력 기기로서, 불완전 접촉이 발생하는 경우, 발열 및 발화 메카니즘은 타 기기에 비하여 훨씬 크고 급속하게 진행될 수 있다.





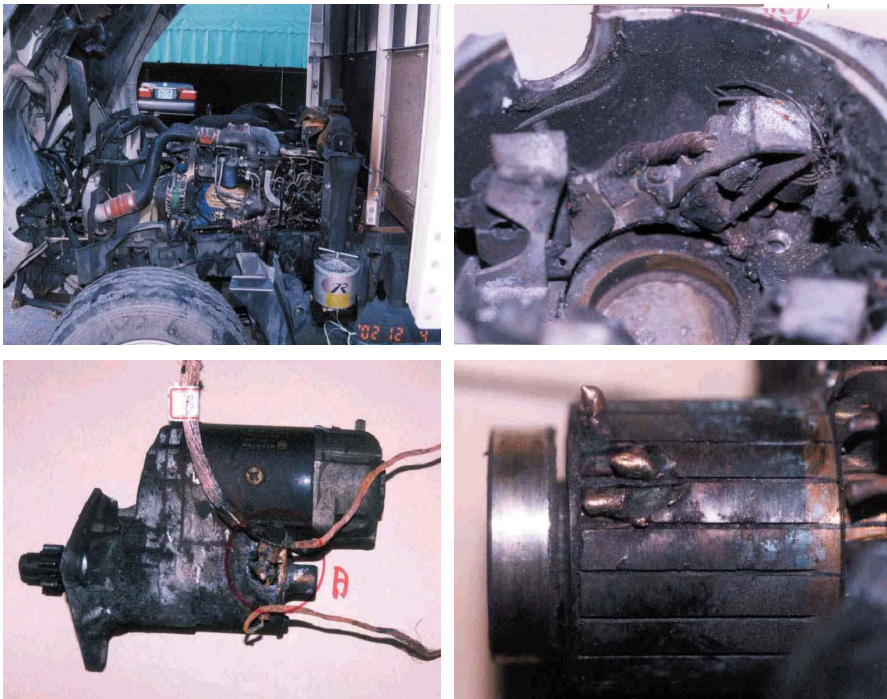
## ⑩ 스타트 모터 결함

차량의 시동 모터는 강한 기동 토크를 얻기 위해 직류 직권 모터를 사용하며, 이 모터는 전류 용량이 매우 크고 또한 기동 시에는 정격전류의 6~12배 이상의 돌입 전류가 흐른다.

이 경우 과도한 전류에 의해 시동 모터의 정류자편과 브러시 간 전극이 변형될 수 있으며, 또한 전극의 변형으로 인한 전류 집중에 의해 정류자편과 브러시가 용착될 수 있다.

흔하지 않은 경우이나 정류자편의 제작 상 결함이나 구조상의 결함이 있거나 브러시의 강도가 지나치게 높은 경우 정류자편과 브러시와의 접촉 부분에서 전극의 변형이 발생할 수 있다.

조사 차량은 화물차로서, 엔진룸 내부의 시동 모터 설치 부분을 중심으로 연소 확대된 상태이며, 시동 모터에 부가 설치된 릴레이 단자에서 전기적 발열에 의한 용흔이 발견되며, 시동 모터의 분해 검사 시, 브러시 및 정류자편이 전기적인 발열에 의해 용융된 상태이며, 용착된 상태에서 회전력에 의해 회전 방향으로 정류자편과 브러시가 파손되었다.



## ⑪ 릴레이 결함

차량은 운행 중 상시 진동을 발생하므로, 배선이 설치 위치에서 이탈되었다거나 혹은 구조물과 접촉되는 경우, 진동 마찰에 의해 절연피복이 손상될 수 있으며, 절연과괴 과정에서 발생한 불꽃 및 발열에 의해 발화될 수 있다.

조사 대상 차량은 경유를 사용하는 트럭으로 운전석 하단의 엔진룸 내부에서 V패턴의 연소형상과 동 부분에 배선된 예열선과 가속기 와이어간에 단락흔이 발견되었다. 발화원 자체는 예열선과 가속기 와이어간의 절연 파괴에 의한 단락으로 볼 수 있을 것이나, 예열선은 시동시에만 전원이 인가되어야 하는 바, 동 예열선을 지배하는 릴레이의 분해 검사 시, 릴레이 접점의 용착으로 인하여 시동 외의 상태에서도 전원이 공급된 것으로, 이는 릴레이 결함에 의한 발화의 예로 볼 수 있다.

동작전류가 큰 기구의 릴레이 접점은 접촉 분리 시 발생한 아크에 의해 접점이 변형 용착되어 오동작을 일으킬 수 있다. 이러한 오동작의 원인은 릴레이 접점 자체의 불량이나 접점 재료의 선택 불량에 의해 지배적인 원인으로 볼 수 있다.

이러한 릴레이의 결함 혹은 구조적인 특성을 알아보기 위해서는 서비스센터나 회사를 통하여 동 릴레이의 교환 주기, 교환 원인을 참고하는 것이 바람직한 자료 수집 방법이라 하겠다.





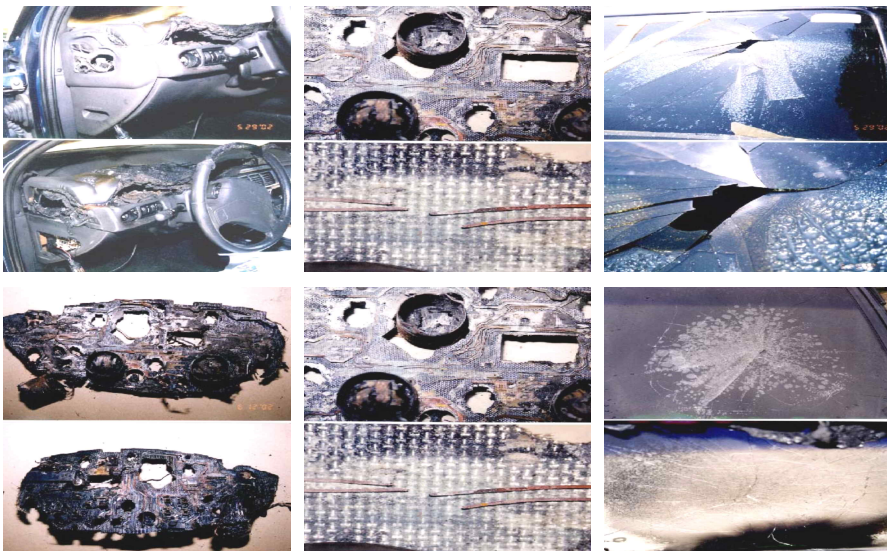
## ⑫ 기관 결합

차량은 운행 중 상시 진동을 발생할 수밖에 없는 구조이므로 전선, 부품, 기계 및 기구 등의 설치 고정애 매우 주의하여야 한다. 특히 출고될 당시의 구조를 변형하여 혼, 조명등, 리모컨 및 각종 악세사리를 부가적으로 설치하는 경우 진동에 의해 절연피복이 손상되고 절연 파괴되는 과정에서 발생한 전기적인 발열에 의해 발화되는 사례가 많다.

조사 대상 차량의 경우 운전석 전면 패널의 계기관 설치 부분 중, 내부를 중심으로 연소 확대된 형상이 분명하며, 정밀 분해 검사 결과, 속도계를 움직이는 PMMC 계기의 하우징과 하단을 지나는 기관의 동박 배선간의 진동 마찰에 의해 절연이 손상되고, 이후 전기적인 발열에 의해 발화된 것으로 판단하였으며, 이를 입증할 전면 패널 및 기관의 연소형상과 동박 배선의 전기적인 용융 형상을 검출하였다.

또한 운전석 전면 유리 부분이 방사상으로 파손된 형상을 입증하고자, 운전석 전면 패널 상단에서 발화되었다는 전제하에 점화제를 사용하여 착화한 후 연소거동을 관찰하였다.

결과는 전면 패널 상단에 존재된 점화제의 연소와 더불어 주변의 가연물이 연소되면서 고온의 열기류가 발생하고 이에 의해 직상단의 유리창이 열적인 스트레스를 받아 방사상으로 파손되는 것을 확인한 사례이다.



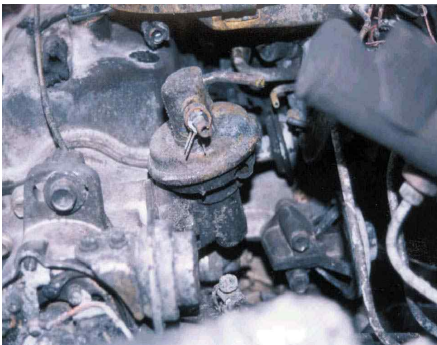
## ⑬ 연료 펌프의 결함

대부분 차량의 연료펌프는 전자 펌프를 사용하여 작동 성능이 보증될 수 있으나, 일부 구형의 차량에서 사용되는 완전 기계식 펌프의 경우 일부 작동상 결함을 일으킬 수 있으며, 동 사례 또한 기계식 펌프의 결함으로 인해 발생한 차량화재이다.

초기 차량이 출고되었을 경우 부품의 정격 성능에 대한 충분한 실험이나 데이터가 부족한 경우 발생할 수 있는 오류라고 볼 수 있으며, 빈번하게 작동되는 LPG 차량에 설치된 베이퍼라이저의 다이어프램(재질 : 고무)에서도 종종 발생하는 결함이라 할 수 있다.

조사 대상 차량은 휘발유 전용차량으로 연료펌프가 편심 캠에 연결되어 편심 캠의 회전과 레버의 움직임에 따라 펌프 내부의 벨로우즈를 팽창 압축시켜 연료를 공급하는 구조이다.

이 경우 벨로우즈가 과압이나 피로에 의해 파손되면, 숨구멍을 통하여 연료가 외부로 토출될 수 있으며, 토출 방향이 엔진 표면인 바, 고온 표면에 의해 충분히 점화될 수 있는 조건을 가지고 있다. 동 사례의 경우 제조사에서 동 차량의 연료펌프가 결함이 있다고 하여 리콜된 경우이다.





#### ⑭ 가혹운전에 의한 과열

차량 엔진을 중심으로 발화원인을 해석할 경우, 엔진 자체의 과열, 역화 및 후연소 등 3가지로 나누어 볼 수 있다.

엔진 자체의 과열은 냉각 계통을 구성하는 라디에이터, 워터 펌프, 냉각팬, 서머스탯, 호스 등의 결함에 의해 발생하는 경우가 있으며, 윤활 계통을 구성하는 오일 펌프, 오일 필터, 유압 조정기 등의 결함에 의해 발생하는 경우가 있다.

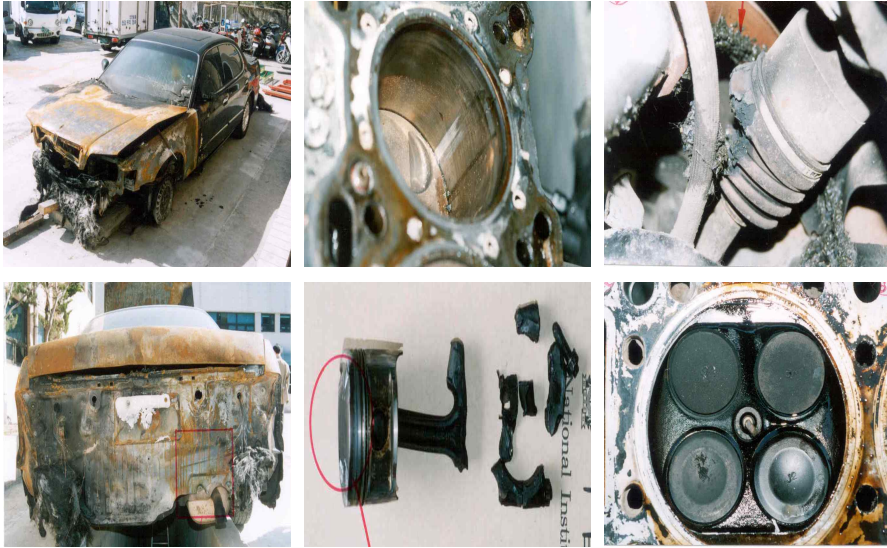
역화(Back fire)는 LPG 엔진에서 주로 발생하는 현상으로 연소실에서 연소되어야 할 혼합가스가 흡기계 내부 혹은 혼합기에서 폭발적으로 연소되는 현상을 말한다. 역화의 원인은 밸브 타이밍 불량, 점화플러그의 간극 상태 불량, 배전기의 전기 누설, 점화 코드의 성능 저하, 하이텐션 코드의 전기 누설 등이 있다. 그리고 연료에 수분이 포함되거나 혼합가스가 엷을 경우 연소가 늦게 되면서 역화가 발생하기도 한다. 디젤 엔진의 경우에는 역회전에 의해 역화가 발생하기도 하며 역화에 의해 에어클리너 안의 여과지에 착화하여 엔진룸 내부로 연소 확대되는 경우도 있다.

후연소(After fire)은 혼합가스가 연소실을 지나 배기계통 속에서 연소되는 현상을 말한다. 본래 연소실에서 연소되어야 할 혼합가스의 일부 또는 전부가 미연소 상태로 배기계통으로 배출되고, 뒤따르는 고온의 연소가스에 의해 점화되거나 촉매 컨버터 부분을 지나면서 점화되어 과열현상을 일으킨다. 후연소의 원인은 점화 플러그의 불량, 배기 밸브의 폐쇄불량 또는 개방시기의 빠름, 점화시기의 늦음, 가혹운전(과 레이싱) 등이 있다. 또한 혼합가스의 농도가 지나치게 진하면 연소속도가 늦거나 불완전 연소되어 후연소가 발생하기도 한다. 후연소에 의하여 배기계통이 과열, 파손되는 경우 인접한 가연물에 착화되면서 화재로 발전할 위험성이 매우 크다.

후연소를 발생시키는 원인 중, 가혹운전은 자의적이든지 무의식적이든지 간에 매우 고속으로 엔진을 공회전 시키므로 인하여 미처 연소되지 못한 혼합가스가 배기계통으로 배출되면서 과열을 일으키며, 가혹운전의 경우에는 열 경계층 교란에 의한 배기관 변곡 부근의 국부적 연소흔적, 촉매 매쉬 백금의 용융 변형 흔적, 피스톤 링 및 실린더의 마찰 흔적 혹은 파손 흔적, 실린더 내부 및 밸브의 불완전 연소 흔적, 그 외 기계적 파손 흔적이 현출되게 된다.

조사 대상 차량은 전면 엔진룸 부분과 후면 트렁크 부분이 각각 독립적으로 연소되고 객실 내부는 연소되지 않은 상태로서 외관상 전형적인 방화의 형태를 띠고 있으나, 분해 검사 결과 열 경계층 교란에 의한 배기관 변곡 부근의 국부적 연소흔적, 피스톤 링 및 실린더의 마찰 흔적 혹은 파손 흔적, 실린더 내부 및 밸브의 불완전 연소 흔적, 그 외 기계적 파손 흔적이 현출되었으며, 수사 자료상, 화재 당시 주취

상태의 운전사가 동 차량 내부에서 수면을 취하고 있었던 것으로 기록되어 있는 바, 가혹운전에 의해 배기계통이 과열되면서 화재로 발전한 것으로 해석하였다.



### ⑮ 수리 불량

조사 대상 차량은 수사자료 검토 결과, 화재가 발생하기 이전에 주행 중 구조물을 충격하고 전면 우측 범퍼가 파손되고, 내부 구조물 및 부품이 후면으로 밀린 상태로 서, 사고 직후 차량정비소에서 수리를 마치고, 이후 인수한 후 운행 중 화재가 발생한 것으로 기록되어 있는 바, 사고 및 수리 이력이 화재와 매우 밀접한 관계가 있다고 할 것이다.

차량의 분해 검사 결과 차량 엔진룸 내부 중 조수석 전면 부분을 중심으로 연소 확대된 형상이 식별되며, 동 부분에서 전기적인 발열형상이나 기계적인 특이점은 식별되지 않는 상태였으나, 내부 새시에 부착된 파워 스티어링 시스템 중 오일 리저버 측 배관이 파손된 다음 이후 수열 되어 재결합된 형상이 식별되며, 파손 부분을 중심으로 오일이 누출된 흔적이 식별되었다.

파워 스티어링 오일 자체는 인화점이 매우 높은 석유류이나 동 리저버 하단에 열 터네이터와 배기관이 설치되어 있어 점화원으로서의 열적인 조건이 만족된다면, 착화되어 화재로 발전할 수 있다.

화재 직전 차량 주변의 도로에 빨간색의 오일이 비산되어 있으며, 운행 당시 핸들 조작 시 매우 힘이 들었다는 진술은 이러한 해석 결과를 뒷받침한다고 할 수 있다.



또한 사고 직전 차량의 상태를 정확하게 표현한 진술서 및 수리내역이 포함된 수사 자료가 첨부된다면, 이러한 사례에 대한 화재원인의 판단은 매우 쉽게 결론을 지을 수 있을 것이다.



### ⑩ 연료계통 개조에 의한 화재

휘발유를 연료로 사용하는 차량과 LPG를 연료로 사용하는 차량의 엔진 구조는 동일한 구조를 갖고 있으나, 연료의 차이로 인하여 연료 공급 계통이 다를 수밖에 없다. 즉, LPG를 연료로 사용하는 차량은 고압의 가스를 사용하는 바, 고압에서 충분히 버틸 수 있는 강도를 가진 부품인 동 배관과 솔레노이드 밸브, 베이퍼라이저, 믹서 등의 전용 부품을 사용하여야 한다. 이들 중 전용 부품을 사용하지 않거나, 결함이 있는 부품을 사용하였을 경우에는 고압의 가스가 누출될 수 있으며, 탄화수소 계열의 혼합기는 최소 점화 에너지가 매우 작아 작은 용량의 열원에도 쉽게 착화되면서 화재로 발전할 수 있다.

조사 대상 차량은 휘발유 전용 차량을 LPG 차량으로 불법 개조한 사례로서, LPG 용기에서 베이퍼라이저까지의 연료계통에서는 가스가 누출되지 않는 상태이나 베이퍼라이저 이후의 연료계통이 LPG 전용이 아닌 휘발유 전용의 믹서 및 스톨

을 사용하여, 기화된 LPG가 엔진룸 내부로 누출될 수 있는 구조이다. 가스 화재의 경우는 발화원 자체보다 가스 누출 개소의 검사가 가장 중요한 부분이며, 이러한 경우 점화원은 엔진 및 배기관 매니폴더 등 고온 표면, 전기적인 스파크, 기계적인 스파크, 운전자가 제공할 수 있는 나화 등 여러 형태의 점화원이 존재할 수 있다.

가스가 누출 확산되는 과정에서 미상의 점화원에 의해 착화되면, 가스 누출 개소로 화염이 수렴되며, 누출 가스의 연소열로 누출 개소가 가장 심한 수열 및 물리, 화학적 변형을 받게 된다.





## 5. 결 언

이상과 같이 차량화재의 감정 사례를 통하여 차량화재의 특수성 및 조사 시 유의 사항을 기술하였다. 대부분의 차량화재는 가연물이 전소 유실되고, 구조물이 심하게 열변형되어 발화지점 및 발화원인의 조사가 불가능한 경우가 많으며, 소개한 부분은 그 중 검사가 가능한 대상에 대한 사례일 뿐이다.

차량화재 조사 시 전문적이고 기술적인 배경, 차량화재의 특수성 및 유의 사항에 의거하여 조사가 이루어져야만 정확한 결과와 동 조사 분야의 발전이 있을 것이라고 생각한다. 협소한 부분에서 차량화재의 조사 기법을 소개하였으며, 추후 차량화재의 감정 및 사고 처리에 도움이 되었으면 한다.

### Chapter 6 핵심 요약

#### 1. 자동차의 구성

자동차는 자력으로 움직이는 차량으로서 필요한 동력을 발생시키는 엔진 및 파워플랜트, 엔진에서 구동 바퀴로 동력을 전달하는 파워트레인, 타이어나 바퀴가 도로의 요철과 만났을 때 그 충격을 흡수하는 현가장치, 차량의 주행 방향을 제어하는 조향장치, 차량을 감속 또는 정지시키는 제동장치, 전기를 공급하는 전기장치 및 엔진, 승객, 화물 등을 위한 공간을 제공하는 차체로 구성된다.

#### 2. 차량화재의 특수성

차량화재의 특수성을 살펴보면 첫째, 차량 기구의 복잡성이다. 차량은 동력 기계계통, 전기·전자계통, 연료 공급계통, 배기계통 등 복잡한 계통과 계통이 유기적으로 연결되고 연동되는 장치라고 할 수 있다.

둘째, 차량은 연료, 시트 등 화재발생 요인이 높으며 초기에 진화되지 않을 경우 대부분 전소됨에 따라 발화지점 및 발화원인의 조사가 불가능한 경우가 많다.

셋째, 차량은 운행 중 진동은 거의 발생하며, 시동 모터 및 예열선 등 대전력 기기의 사용이 빈번하고, 다양한 부착물 및 변·개조가 용이한 특수성에 따라 발화원에 상시 노출되어 있다.

넷째, 차량은 개방된 공간에 사회적 불만이나 주차 불만을 가진 자가 불특정한 방법으로 사고를 저지르기도 하며, 차량 자체 및 고가 장식품 등이 절도의 대상물이 되는가 하면 절도 행위를 은폐 목적으로 방화할 수 있다.

## Chapter 6 핵심요약

## 3. 방실화의 구분

차량화재의 특성상 차량만이 갖는 특수한 형태로서 방화를 판단하는 대표적인 연소형태는 일반적인 연소확대 양상과 다른 다수의 차량에서 발화가 이루어진다는 점이다.

발화지점으로 판단되는 연소 부위에서 발화원인으로 작용할 만한 전기설비나 기계설비가 없을 뿐 아니라, 발화에 필요한 인화성 물질이나 파손된 다수의 가스용기, 차량의 변형 흔적과 블록(돌)이나 도난 흔적이 식별된다면 방화에 의해 연소된 것으로 추정할 수 있다.

이와 반면, 실화(결함)에 의해 화재가 발생하는 경우는 발화지점 혹은 발화개소를 판단할 연소 확대의 중심이 구분되고 발화지점인 주 연소 부분에 발화원인으로 작용할 만한 기계 및 기구가 설치되어 있다. 기계설비에서 점화원으로 작용할 수 있는 열원을 제공할 만한 전기적 혹은 기계적인 특이점이 존재한다면 설비의 결함에 의해 화재로 발전되었다고 보아야 하며 방화와 실화의 특이점은 다음과 같이 구분된다.

## 방화의 특이점

- 다수 개소에서 발화
- 발화개소에 특이 설비 없음
- 방화 관련 특이점 식별

## 실화의 특이점

- 연소확대의 중심이 구분
- 발화개소에 기계, 기구 존재
- 결함 관련 특이점 식별



# 제4편 미소화원감식

제1장 미소화원 조사·감식

제2장 유염(불꽃) 및 무염(훈소)화재

제3장 무염화원

제4장 화재사례

제5장 훈소화재 감식기법

## 1

## 미소화원 조사·감식

미소화원  
조사·감식

- 학습** 01 유염화재의 연소과정 속지로 미소화원과의 해석할 수 있다.
- 목표** 02 화재 별 연소반응원리를 식별할 수 있다.
- 03 무염화원 요소들에 대해 설명할 수 있다.

미소화원(微小火原)은 “극히 작은 불씨”가 화재원인이 되는 것을 의미한다. 여기에서 극히 작은 불씨라는 의미는 불씨가 작은 개념보다는 연소되는 과정이 불꽃을 수반하지 않는 별건 불씨를 의미하는 것이 일반적이다. 그러나 화재조사자가 생각하는 미소화원은 사실 보다 넓게 받아들여지고 있는 것이 현실이며 대체로 연소시간이 짧은 것도 포함하는 광의적인 의미로 받아들여지고 있다.

‘불꽃이 발생되지 않는다.’라는 의미는 일반적으로 가연성 증기 또는 분해생성물이 연소되지 않는다는 의미와 상통할 수 있다. 자연계는 물질이 3가지 상태, 즉 고체, 액체, 기체로서 존재한다. 여기에서는 불꽃이 발생될 수 없는 것은 고체에서 가능하다.

이들 고체에서 화재조사자가 미소화원을 화재원인으로 접할 수 있는 경우는 담뱃불, 용접불티, 금속불티, 스파크(Sparks) 등을 들 수 있으며 대체로 불꽃이 존재하지 않지만 이들 불씨들의 적열을 띠는 부위는 상당히 높은 온도를 갖는다. 그러나 이들 불씨가 가연성 물질과 접촉할 때 여러 가지 이유로 인해 바로 연소되지는 않을 것이다.

고체가 열을 받게 되면 수분 및 가연성 증기가 빠져나오면서 건조되고 이후 더욱 많은 가연성 증기 및 분해물에 의해 불꽃 연소가 발생되면서 지속적으로 분해과정을 거치면서 반응은 지속된 후, 더 이상 가연성 증기와 분해물이 발생되지 않을 경우 불꽃은 점점 수그러들어 불꽃이 없는 표면연소 과정을 거치게 된다. 이것을 훈소(Smouldering)라 한다.

훈소반응의 가장 일반적인 현상은 담뱃불과 숯을 들 수 있다. 또한 목재가 불꽃연소 후 연소 후반기에 볼 수 있는 적열되는 현상도 대체로 이와 같다. 고체 가연물은 일반적으로 연소 후반기에는 훈소과정을 거치는 것으로 이해할 수 있다.

화재조사자는 미소화원을 감식할 때 기본적인 연소반응을 이해하고 있어야 한다. 이들 연소반응을 이해 없이 미소화원을 감식할 때 상당한 어려움이 예상된다. 왜냐하면 미소화원

은 화재를 일으키고 연소된 후 모두 소실됨으로써 화재원인을 감식하는데 한계가 있다. 그러므로 미소화원 연소에 대한 기본적인 메커니즘(Mechanism) 이해는 필수적이다.

또한 화재현장에서 정확한 미소화원 입증은 필요로 할 때, 중요한 것은 정확한 발화부와 발화지점 판정은 매우 중요하다. 일반적으로 물질이 열을 받을 때 열에 의한 변화과정과 물질들의 산화과정의 이해는 화재현장 감식에서 매우 중요한 의미를 갖게 된다.

화재현장은 매우 복잡한 물리·화학적인 과정이 동반되며 과학의 법칙들이 지배하는 곳이다. 화재조사자가 감식을 할 때 과학적인 법칙을 벗어나서는 안 된다. 그러므로 화재조사자가 화재조사의 전문가가 되기 위해서는 화재 현상과 관련돼 다양한 자연과학에 대한 이해는 필수적이다.

## 1. 용어 정의

화재조사자는 화재현장에서 사용되는 용어의 개념을 명확히 이해하고 있어야 한다. 엄격히 말하면 용어가 의미하는 것에 모든 사실이 담겨져 있다.

화재조사자가 정확한 개념이해 부족으로 연소확대과정, 발화지점판정, 화재원인판정, 화재시나리오 작성에 상대방의 질문에 정확한 의미를 설명하지 못한 결과를 초래했다.

모든 과학의 기본은 개념정리, 즉 기본이 탄탄해야 한다. 그 개념이해가 선행될 때 더욱 발전된 지식으로 나아갈 수 있음을 명심해야 할 것이다.

가. 연소(Combustion) : 열과 빛을 방출하는 급격한 산화반응

ex) 산화반응은 신문지가 누렇게 변해가는 것도 일종의 산화반응이나 반응이 매우 느리고 빛이 없어 연소라 할 수 없다.

나. 유염화재(불꽃화재-Diffusion Flame) : 가연물의 연소 화학반응에서 특수 과장영역에서 복사에너지를 방출하고 연소과정에서 관련 가스 물질로서 방출된 복사에너지의 부분을 눈으로 확인

ex) 대부분의 가연물이 연소할 때 불꽃이 존재하며 성냥, 라이터 등을 들 수 있다.

다. 무염화재(훈소화재-Smoldering) : 통상 연기가 발생하고 발광(벌건 불씨)하는 불꽃이 없는 연소

ex) 훈소에 대한 정확한 의미는 연소영역에 의해 발생된 열로 미연소 지역에 수분, 가연성 증기, 연기를 발생시키면서 탄화가 선행되고 그 탄화된 부분이 표면연소를 거치는 것을 의미하며, 금속 불씨는 금속 표면과 공기와의 산화반응으로서

사실 혼소반응이라 정의할 수 없지만 광의적인 의미로 해석하기로 하며 혼소는 화재가 시작될 때 존재할 수 있거나 확산불꽃이 소멸된 후 발생되기도 한다.

라. 자연발화(Spontaneous Combustion) : 물질을 점화시키기 위해 충분한 열이 발생하는 내부 생화학 반응에 의한 물질 연소

ex) 자연발화가 발생하기 위해서는 충분한 조건이 성립될 때 가능하다.

마. 스파크(Sparks) : 연소하거나 별건 미세한 고체조각이 대기 중에 이동하는 것을 말한다. 이들은 스틸(Steel)과 부싯돌과 같은 다른 물질사이에 예리한 충격에 의해서 혹은 불씨가 공중에 떠오름에 의해서 생성된다. 그와 같은 백열 고온 입자들이 증기와 일부 고체를 점화시킬 수 있다.

ex) 화재조사자가 사용하는 용어 중 전기적인 아크(Arcs)는 두 도체사이에 절연이 파괴되면서 높은 저항에 의한 전기적인 방전현상으로 스파크와는 그 의미가 다르다.



## 유염(불꽃) 및 무염(훈소)화재

화재는 연소현상이다. 연소는 크게 불꽃연소 불꽃이 없는 훈소연소로 구분할 수 있으며 화재조사자는 반드시 이 연소반응을 이해해야 한다.

불꽃연소는 고체, 액체, 기체 모두 발생한다. 고체의 경우는 열을 받으면 수분 및 가연성 증기가 증발되고 지속적인 열로 인해 가연성 증기 및 분해물이 불꽃이 발생되면서 연소된다. 액체는 열을 받으면 가연성 증기에 의해 불꽃이 발생되면서 연소한다. 기체는 공기 중에 미리 혼합되거나 분출된 가스가 공기가 반응하면서 불꽃연소를 한다.

무염연소는 불꽃이 없는 반응으로 불꽃이 발생되지 않기 위해서는 가연성 증기나 분해물의 생성이 비교적 느려야 되며 생성된 가스나 분해물이 연소 조건에 이르지 않아야 한다. 이처럼 느린 연소반응이 발생하기 위해서는 공기공급량이 비교적 적어야 한다. 또한 불꽃이 발생되지 않도록 가연성 증기나 분해물 생성이 불꽃반응 조건에 미달되어야 할 것이다.

연소가 진행되기 위해서는 기본적으로 연소의 3요소, 즉 가연물, 공기(산소), 에너지(점화원)를 충족해야 한다. 그러나 방화를 제외하고 기본적으로 3요소 이외에 열축적은 매우 중요한 의미를 갖는다.

예를 들면 전기가 흐르는 전선에서 그 허용치를 훨씬 벗어난 과전류에 의한 전기화재가 전기적인 아크에 발생될 경우 전기적인 아크는 매우 짧은 순간에 발생하므로 주변에 있는 목재나 두꺼운 종이와 같은 가연물을 연소시키기에는 매우 어렵다. 더군다나 안전장비의 발달로 순간적인 아크로 차단기가 차단되면 화재발생은 더욱 어렵다. 그러나 동일한 조건에서 이불과 같은 물질로 덮여 있을 경우 열축적으로 다량의 열이 발생하고 그 열이 외부로 빠져나가지 않아 이불 속은 매우 높은 열로 인해 전기적인 아크가 발생되었을 때 이불 속의 높은 온도로 화재가 발생할 가능성이 상존한다.

화재조사자는 불꽃화재와 불꽃이 없는 연소과정을 이해하고 있어야 하며 화재현장에서 연소의 조건인 가연물의 상태, 점화원의 역할과 최초 가연물의 발화상태, 최초 착화의 주변으로 연소확대 과정의 이해는 화재조사에 있어 매우 중요한 부분을 차지한다.

## 제1절 유염(불꽃)화재

유염(불꽃) 및  
무염(훈소)  
화재

앞에서 살펴보았듯이 대부분 화재에 있어 높은 비중을 차지하고 있고 일반인들이 대부분 인식하고 있는 불꽃화재는 초기에 불꽃으로 시작된 것을 말한다.

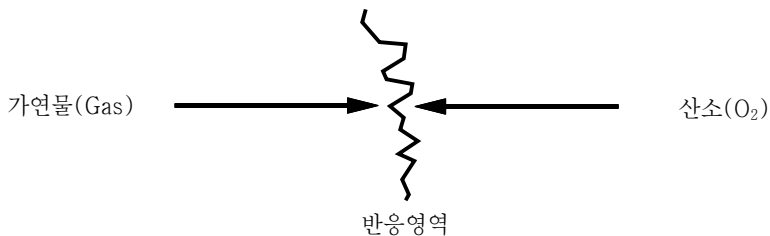
최초 가연물에 에너지가 영향을 미칠 때 처음부터 높은 에너지로 인해 불꽃이 발생되거나 가연물의 조건에 의해 적은 에너지라도 불꽃이 생성될 수 있다.

불꽃화재는 최초 연소가 시작되면서 성장하게 되고 그 발생된 열에 의해 가연물에 영향을 미쳐 더욱 많은 가연성 증기 및 분해물로 인해 화재 최성기인 플래시오버(Flashover) 단계를 촉발되면서 한동안 그 단계가 지속되고 이후 가연성 증기 및 분해물이 줄어들면서 점차 불꽃은 수그러든다. 이후 더 이상 가연성 증기나 분해물이 발생되지 않으면 훈소단계를 거쳐 연소는 중지된다.

## 1. 유염(불꽃)화재

불꽃화재는 가연성가스와 공기가 반응하는 영역에서 불꽃이 일어나는 것을 의미한다. 이처럼 반응영역에서 지속적으로 반응이 지속되기 위해서는 가연성증기와 산소가 지속적으로 그 부분으로 유입되어 반응을 유지시켜야 한다. 이 반응을 지속하기 위해서 가연성 가스와 공기가 지속적으로 유입되는 것은 그 농도차이에 의해서 발생되며 이런 전달과정을 확산이라 한다. 다시 말하면 확산은 농도가 높은 곳에서 낮은 것으로 이동한다. 이를 Fick's Law라 한다.

[ 그림 4-1 ] 확산불꽃 - Fick's Law





연소 반응과 관련된 Fick's Law를 설명하면 불꽃이 발생하는 연소반응 지역은 연소로 소모된 산소로 인해 그 부분에서 산소농도가 거의 0에 도달하게 되면서 농도저하가 일어나므로 산소는 불꽃반응이 되는 지역으로 계속해서 이동하여 반응이 지속된다.([그림 4-1] 확산불꽃 참조)

예를 들면 물이 든 유리잔에 잉크를 떨어뜨리면 잉크는 점차 전역에 퍼지게 되는 원리와 같다.

일반적인 불꽃화재는 대부분 확산원리에 의해서 연소반응지역에서 생성되는 불꽃이다. 이 현상은 우리 주변에서 성냥이나 촛불을 들 수 있다.

나무 성냥이 마찰에 의한 에너지로 불꽃이 발생되면서 그 열로 인한 불꽃이 지속될 수 있는 열분해물이 생성된다. 이를 열분해(Pyrolysis)라 한다. 이 분해물은 발생하는 열과 공기와의 반응으로 지속적인 반응을 거친다.

확산불꽃을 이해를 돕기 위해서 양초의 연소과정을 살펴보면 양초는 원료로서 왁스를 사용하고 그 중심에 심지가 존재한다. 라이터나 성냥에 의한 열로 왁스는 용융되고 액체로 변한 왁스는 모세관 현상에 의해 심지로 전달되어 열에 의한 기화작용으로 가연성 증기와 산소가 반응하게 된다. 반응지역은 점차 가연성증기와 산소의 농도가 거의 0에 가까워지고 확산원리에 의해 연소반응이 지속된다.

양초의 불꽃은 순수한 분자확산에 의해 지배를 받는 전형적인 층류 확산불꽃이다.([그림 4-2] 촛불의 확산불꽃)

[ 그림 4-2 ] 촛불의 확산불꽃



불꽃 높이가 30.5cm 이상일 때는 유체역학의 비정상특성을 지니며 연기와 불꽃에서 소용돌이 현상을 관찰할 수 있다. 이것을 난류라 하고 난류확산 불꽃이라 한다.([그림 4-3] 난류확산 불꽃) 화재의 연소현상은 대부분이 이런 난류현상을 띠며 열의 이동이 많은 변화가 발생되며 그에 따른 연소에 영향을 미칠 수 있다.

유염(불꽃) 및  
무염(훈소)  
화재

[ 그림 4-3 ] 난류확산 불꽃



## 2. 구획부분에서 유염(불꽃)화재 과정

일반적으로 화재의 연소과정은 성장단계(Growth Period), 플래시오버 이후 정상연소단계(Post Flashover steady state), 쇠퇴단계(Decay Period)로 이루어진다. 이 과정을 좀더 세분화하면 점화, 성장, 플래시오버, 플래시오버 이후 정상상태연소, 훈소, 소화과정을 거친다.([그림 4-4] 일반 가구가 배치된 실내연소 과정 참조)

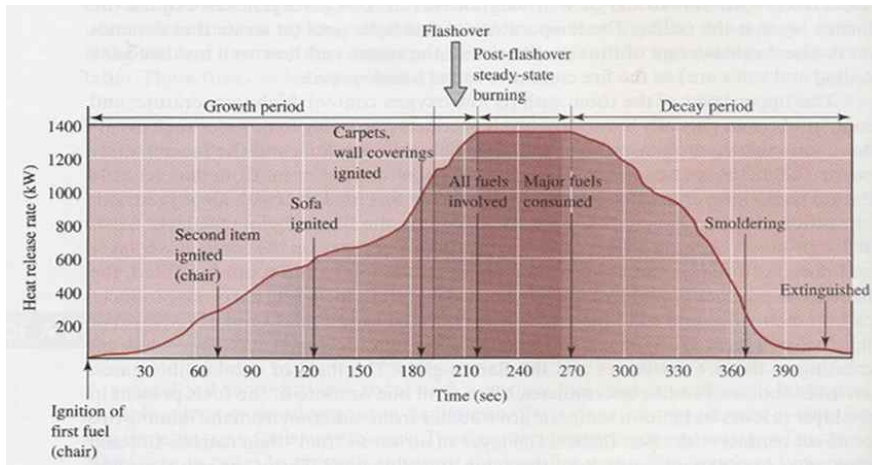
이런 단계는 주변의 공기의 유입, 가연물의 조건, 열의 흐름 등 모든 요소들이 제약을 가하지만 대체로 이런 가정을 거친 것으로 이해된다.

화재조사자는 화재조사에 있어 이 연소의 단계를 충분히 이해하고 있어야 한다. 대부분 화재신고를 수보하고 출동을 한 소방대원이나 화재조사자는 화재시작단계를 목격하는 것이 힘들 것이고 주로 중간단계나 쇠퇴기단계에서 현장에 도달할 것이다. 이때 화재조사자나 소방관들이 보았던 현상이 그 상황을 전부 설명하는 것은 아닌 것을 명심해야 한다.



예를 들면 화재조사관이 최초 현장에 도착했을 때 거실부분이 화재최성기에 도달하였고 이후 진압대가 화재를 그곳에 방수하여 완전 진압한 후 화재조사자가 거실을 조사할 때 최초 현장에 도착하여 목격했던 부분과 거의 동일한 조건으로 있던 거실의 반대부분이 이미 플래시오버 이후 소화단계를 거쳤다면 그 지점이 발생지점일 가능성이 매우 높다. 그러므로 화재조사자는 이 연소과정을 이해하는 것이 화재조사에 있어 많은 도움이 될 것이다.

[ 그림 4-4 ] 일반 가구가 배치된 실내연소 과정



※ 출처 : John D. Kirk's Fire Investigation(5ed). Pearson Education, Inc, New Jersey, 2004, p42

- ※ 일반 가구가 배치된 실내화재에 대한 총 열방출율 대 시간 그래프  
각 물품이 점화되면서 화재성장에 기여한다. 이 경우에 임계열방출율(고온가스온도)에 도달하고 실내는 플래시오버 단계로 넘어가 지속적인 연소단계를 통해 가연물이 연소되면서 감쇠기간을 거친다. 마침내 화재가 훈소 불씨로 사그라지면서 소화된다.

일반적인 가연물화중을 가진 실내화재는 연소기간 내에 상당부분 사전 예측 가능한 단계를 거친다. 그 연소기간 단계마다 뚜렷한 연소 특징을 가지는 것이 일반적이나 가연물마다 그 결과는 다양하다.

화재조사자는 사후 화재현장을 적절하게 해석하기 위해서 이런 결과들을 평가해야 한다. 각 단계별 시간 길이는 점화, 가연물 주변의 환기환경에 따라 다양할 것이나 시작단계에서 자유연소와 훈소단계를 거치는 과정은 결과적으로 동일할 것이다.

## 2

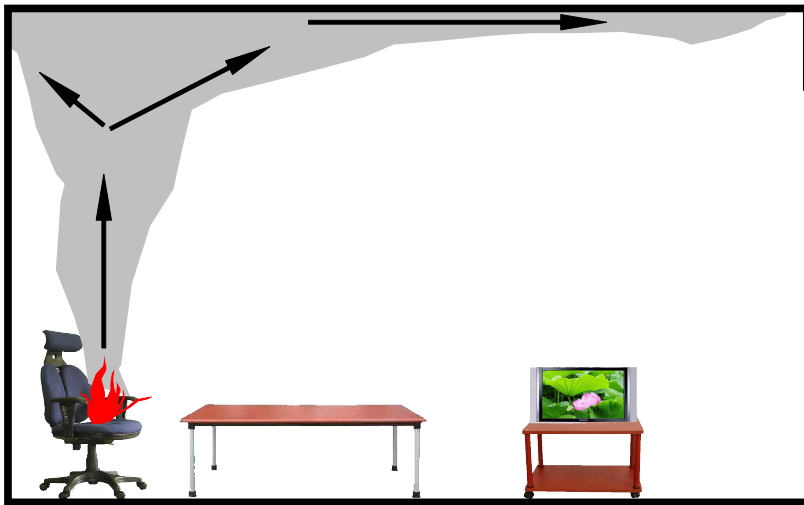
유염(불꽃) 및  
무염(훈소)  
화재

## 가. 시작(점화와 자유연소)단계

화재는 예측 가능한 많은 단계를 거치면서 전개된다. 초기에 불꽃연소가 발생하기 위해서는 적당한 시점에 점화원이 필요하게 된다. 일단 초기 점화원에 의해 연소가 시작되면서 생성된 유염(불꽃)이 연쇄작화 속에서 물질이 연소하기 시작할 것이다.

이런 점화는 처음 착화된 가연물에 국부지점에서 일어나게 되면서 상부로 이동한 열과 연기는 불기둥(Fire Plume)을 생성할 것이다. 이 불기둥 속에는 그을음(탄소입자), 수증기, 이산화탄소(CO), 이산화황(SO<sub>2</sub>), 유독가스 등이다.

[ 그림 4-5 ] 시작(점화와 자유연소)단계



연소생성물은 대류에 의해 구획부분 상층으로 이동함과 동시에 하부 연소지역에서는 산소의 유입이 지속된다. 연소가 지속되면서 발생된 열과 연기는 지속적으로 힘을 공급하고 그로 인해 천장에 도달한 열과 연기 층은 수평으로 이동할 것이다.

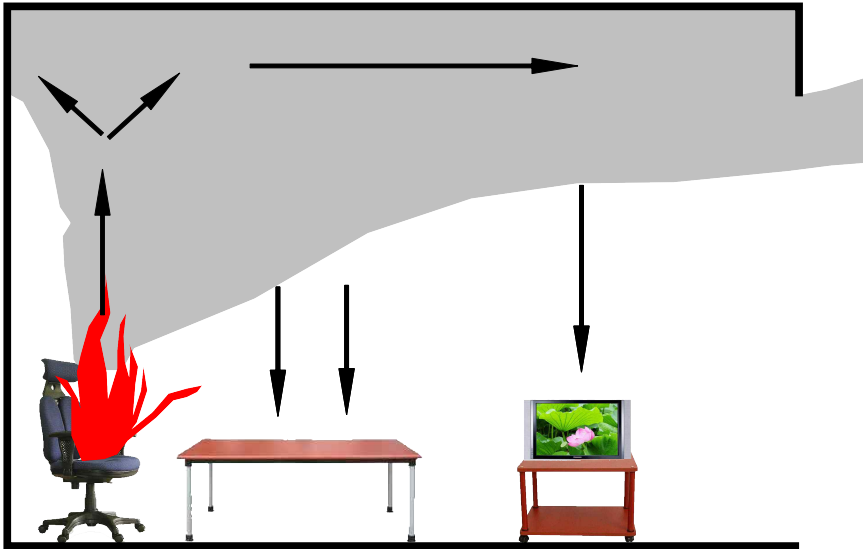
천장에 도달한 가스층은 서서히 증가되면서 그 부분에서 바닥으로 복사가 진행되면서 바닥에 있는 가연물 상층부에 점차 영향을 미칠 것이다.([그림 4-5] 참고)

## 나. 성장단계

불꽃이 하나의 가연물에서 상부와 외부로 확산되면서 대류와 복사에 의해 근처 가연물이 자연착화온도에 도달하게 되면 연소가 시작되며 복사열에 의해 가연물들이 서로 가까이 있는 것에 따라 수평으로 화재가 확산되어 간다.



[ 그림 4-6 ] 성장단계



화재는 점차 확산되면서 인접 연소 가능한 물품들을 포함되어 연소가 전개된다. 유독성 가스로 이루어진 고온가스는 부분적으로 열분해물을 연소시키며 그을음과 연기는 천장으로 상승해 가연물이 풍부한 층을 형성하여 꾸준히 온도가 상승되어 간다.

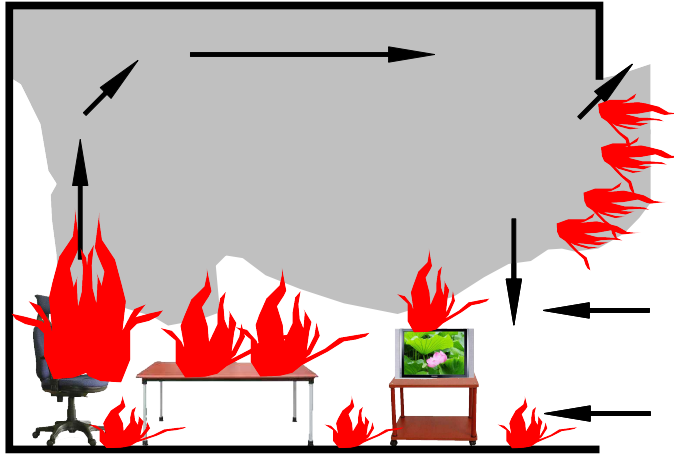
여전히 실내 하단은 산소가 풍부해 그 지점에서 연소율이 지속적으로 증가하면서 열 방출도 증가된다. 가연물로 가득 찬 가스층은 더욱 하단으로 내려가 결국엔 자연점화온도에 도달하거나 불꽃에 직접적인 접촉에 의해서 점화되기 시작한다. 이 단계는 불꽃확산(Flameover)이라 하고 고온가스층에서 불꽃이 앞면으로 굴러가는 현상과 같다.([그림 4-6] 참고)

#### 다. 플래시오버(Flashover)단계

고온가스층은 불꽃확산이 일어나지 않으면서도 실내로 열이 복사된다. 가스층의 온도가 거의 600℃에 도달되면 거의 20kw/m<sup>2</sup>을 발생시키게 되어 실내에 있는 물품을 점차 가열된다.

[ 그림 4-7 ] 플래시오버

유연(불꽃) 및  
무연(훈소)  
화재



이는 일반 실내에 있는 셀룰로오스 가연물(가구, 카펫 등)의 온도를 자연점화온도로 상승시키고 공기가 충분한 상황에서 가연물이 동시에 순간 점화되는 것을 플래시오버라 한다.([그림 4-7] 참고)

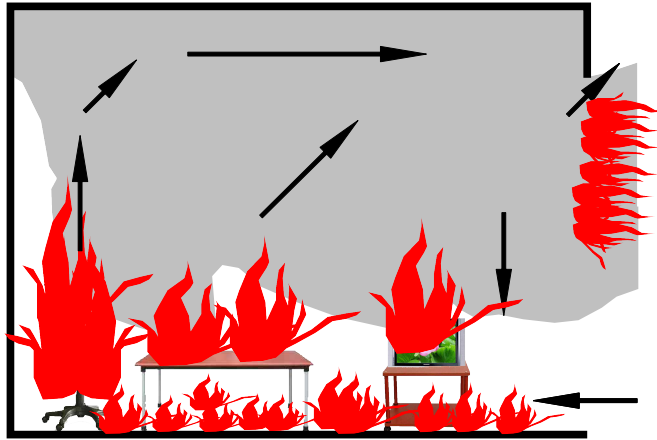
플래시오버는 하나의 가연물 화재에서 잇따라 전개되어 구획 내부 활용가능한 모든 가연물이 화재와 관련이 되는 것을 말한다. 플래시오버 시기에 연소가 일어나기 위한 산소량이 제한되고 주어진 실내에서 플래시오버로 진행될 수 있는 최소 화재규모는 개구부를 통해 유입된 환기가 주도적인 역할을 수행한다.

#### 라. 플래시오버이후(정상연소상태)단계

화재(연소)라는 것은 가연물, 열, 공기와의 조화현상이다. 만약 연소가 진행될 때, 환기가 제한되면 화재는 더욱 느린 속도로 진행되어 온도상승이 느려지고 연기생성물은 더욱 많아질 것이다.



[ 그림 4-8 ] 플래시오버이후 단계



연기부분의 점화는 더 오래 걸릴 것이거나 만약 산소공급이 제한되면 구획부분 외부에서 연소가 발생될 수도 있다.

가연물 연소가 충분히 빠르지 않거나 열 생성이 충분하지 않으면 플래시오버에 도달되지 않을 수도 있다. 일단 플래시오버 이후 혹은 정상연소상태가 도달되고 충분한 산소가 공급되면 모든 관련 가연물이 연소가 지속되면서 가연물이 소실되어 질 것이다.

#### 마. 훈소(Smoldering)단계

플래시오버 이후 정상연소단계 이후에는 활용할 수 있는 가연물이 소비되고 불꽃연소가 점점 더 약해질 것이다.(만약 화재동안 산소농도가 16% 이하로 떨어지면 연소되지 않는 가연물이 있을 경우에도 불꽃연소는 감소할 것이고 산소농도가 5% 이하에서는 완전히 중지할 수 있다.)

적당히 환기된 화재가 사그라지면서 고체가연물로부터 열분해 되었던 가연물증기량이 감소하고 불꽃 연소량도 점차 줄어들 것이다. 결과적으로 훈소연소가 우세해지고 적정한 가연물이 있는 한 연소는 지속될 수 있다.

실내에 환기에 따라 고온이 지속될 수도 있으며 일부 생성물은 열 분해되어 일산화탄소(CO), 다른 가스 가연물, 고체 매연, 액체에어로졸, 연기형태의 기타 가연물이 지속적으로 형성될 수 있다.

실내가 적당히 환기되지 않으면 이들 연소생성물은 점화가능한 증기혼합물을 형성되면서 축적될 수 있다. 신선한 공기가 점화원이 존재한 상태에서 유입될 때, 그런 증기구름은 폭발적인 연소를 통해 2차 화재를 유발할 수 있으며 이를 백드래프트

(Backdraft), 플래시백(Flashback), 연기폭발(Smoke Explosion)이라 한다.

이 점화는 폭발적인 속도로 진행될 수 있고 생성된 압력이 가연물과 증기혼합 폭연보다 낮으며 생성압력은 3~10kPa 이상 발생할 수 있다. 이 압력은 구조물 파괴를 유발할 만큼 충분하고 생명을 위협을 준다. 그런 연기폭발이 드물지만 특히 라텍스나 우레탄폼 고무와 같은 연기 가연물이 존재할 때 발생할 수 있다.

이런 일반적인 과정이 모든 화재에서 발생하는 것은 아니다. 화재의 전반적인 것이 혼소과정이 수행될 수 있고 그때 불꽃연소를 시작하고 지속하기 위한 충분히 높은 열 방출율을 갖는 점까지 올라가야 한다. 적열(赤熱)연소(Glowing Combustion) 역시 불꽃연소처럼 동시에 발생할 수 있다.

예를 들면 나무에서 열분해와 휘발 속도와 산소가 고온 고체 탄화면에 도달하는 속도가 같다면 적열연소가 발생할 수 있다. 이것은 압인된 기류가 외부로 흐르는 가스가 미는 강한 돌풍 조건 혹은 가연물 소비로 연소속도가 떨어지는 화재 후반부에 나타난다.

## 제2절 무염(훈소)화재

무염화재는 엄격히 말하면 불꽃이 없는 연소과정을 말한다. 불꽃이 발생되지 않는 훈소연소는 담뱃불의 경우를 살펴보면 이들은 담배가 연소되고 난 후 곧바로 재로 감싸게 되면서 그 부분으로 유입되는 공기량이 제한되면서 매우 느린 연소반응을 거치게 된다.

이 훈소반응은 훈소에서 그 자체로 소화를 거치거나 갑작스럽게 다량의 공기유입이나 훈소 반응면의 증가로 인한 열 발생율이 증가되거나 열 축적에 의해 무염에서 유염(불꽃)연소로 전이될 수 있다.

훈소단계에서 소화단계로의 화재감식은 그렇게 어렵지 않게 해석이 가능하지만 훈소에서 불꽃으로 전이되면 앞에서 불꽃화재의 연소순서를 거치게 되면서 연소가 확대되면서 연소시간이 길어지면서 최초 훈소화재를 일으켰던 가연물이 완전 소실되면서 화재해석이 매우 어렵게 된다.

그러나 훈소화재로 시작된 화재는 일반적으로 불꽃화재를 거치므로 화재조사자는 훈소화재의 전개과정을 이해하고 그 해석의 중요성이 제기된다.



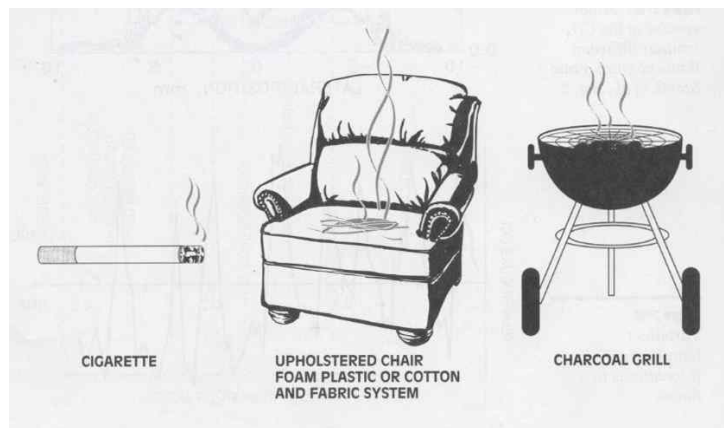
## 1. 무염(훈소)화재

훈소화재는 고체가연물과 산소 사이에 반응이 상대적으로 느린 연소이다. 반응이 산소가 고체표면으로 확산되면서 일어나고 표면은 적열 및 탄화가 진행된다. 이때 적열온도는 1,000℃ 이상임을 의미한다.

가연물에서 훈소반응이 진행될 때 공기량 유입이 많게 될 경우 불꽃연소로 전환될 수도 있음을 화재조사자는 인식하고 있어야 한다.

주택에서 발생하는 대표적인 훈소화재는 담뱃불을 가정용 가구와 매트리스에 버릴 경우에 발생된다. 이때 불완전연소 반응은 이산화탄소 대신에 일산화탄소 수치를 증가시킨다. 그 수치는 가연물의 10% 이상이 일산화탄소가 생성된다. 훈소화재의 일반적인 예는 다음 그림과 같다.([그림 4-9] 참고)

[ 그림 4-9 ] 훈소사례



※ 출처 : James G. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, U.S.A, 1998, p38

훈소화재는 다공성 고체가연물, 혼합연료, 불침윤성 고체, 누적 고체가연물 쓰레기장에서 발생될 수 있다. 그때 공기가 필요하지만 많지 않아도 되는데 그 이유는 과정이 매우 느리기 때문이다.

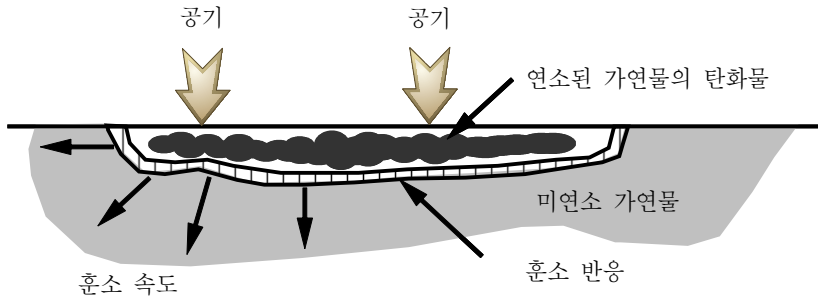
기류는 각 방향에서 훈소면을 향할 수 있고 부력에 의해 기류가 형성되어 자연적으로 유입될 수 있다. [그림 4-10]는 훈소과정을 체계적으로 나타낸 것이다.

훈소반응 속도는 여러 가지 요인들에 따라 다르지만 일반적으로 0.001~0.1cm/s(약 1~5mm/분)이다. 반응은 매우 느리지만 일산화탄소가 생성되므로 사람에게 치명적일 수 있다.

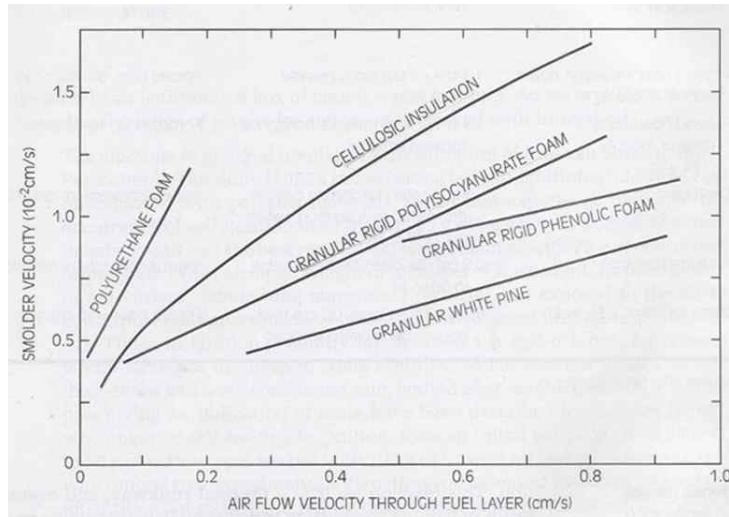
2

유연(불꽃) 및  
무연(훈소)  
화재

[ 그림 4-10 ] 훈소과정



[ 그림 4-11 ] 기류에 따른 훈소속도



※ 출처 : James G. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, U.S.A, 1998, p39

앞에서 살펴보았듯이 훈소반응은 공기의 공급이 느린 것으로서 만약 공기의 공급이 빨라지면 그 연소 반응이 증가되면서 그 만큼 열 발생이 많을 것이다.



[ 표 4-1 ] 가연물 형태와 따른 전형적인 혼소속도

가연물	가연물/혼소 형태	공기공급조건/율	혼소속도(cm/s)
압착섬유질 단열판 0.23~0.29g/cc	두께 1.3cm, 길이가 길고 폭이 두께에 비해 큼	자연대류/확산	$1.3\sim 2.2\times 10^{-3}$
압착섬유질 단열판 0.23~0.29g/cc	1.3cm×1.3cm 조각 수직에 다양한 각도	자연대류/확산	$2.7\sim 4.7\times 10^{-3}$
압착섬유질 단열판 0.23~0.29g/cc	1.3cm×5cm조각 혼소전방	강제기류 20~1500cm/s	$3.5\times 10^{-3}$ (기류 20cm/s) $13.0\times 10^{-3}$ (기류 1400cm/s)
압착섬유질 단열판 0.23~0.29g/cc	1.3cm×5cm조각, 혼소후방	강제기류 80~700cm/s	$2.8\sim 3.5\times 10^{-3}$
압착섬유판(0.24g/cc) 소나무·포플러나무	1.3cm×30cm의 얇은 종이, 수형혼소전방	강제기류 10~18cm/s	$0.7\times 10^{-3}$
마분지	연직으로 만 마분지 원통 하단진행, 지름 0.19~0.38cm	자연대류, 확산	$5.0\sim 8.4\times 10^{-3}$
담배	지름 0.8cm 담배, 외부에 노출된 상태에서 수평방향	자연대류, 확산	$3.0\sim 5.0\times 10^{-3}$
섬유소직물 +3% NaCl	두께 0.2cm, 이중 직물 수평, 혼소전방	강제기류 ≈10cm/s	$\approx 1.0\times 10^{-2}$

※ 출처 : James G. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, U.S.A, 1998, p40

이때 발생된 열은 혼소되지 않는 면에 영향을 미쳐 혼소반응 속도가 증가할 것이고 그 증가된 속도가 임계점을 넘게 되면 불꽃연소로 전이될 것이다. [그림 4-11]과 [표 4-1]은 혼소속도의 전형적인 예이다.

(참고 : 여기에서 혼소전방은 혼소면과 같이 동일방향으로 흐르는 기류와 같고 혼소후방은 혼소면에 반대방향으로 흐르는 기류에 대해 적용된다.)

## 2

## 2. 훈소과정과 훈소물질

유연(불꽃) 및  
무연(훈소)  
화재

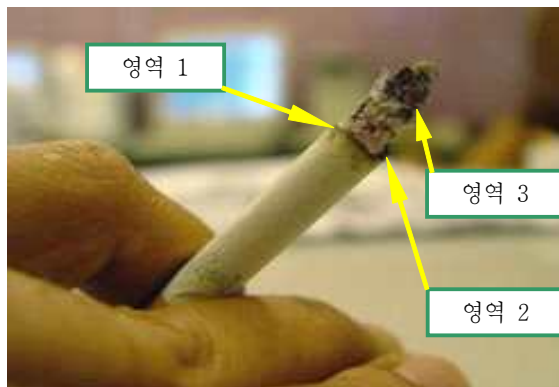
훈소반응은 연소의 한 과정으로서 훈소가 전개되기 위해서는 공기의 공급이 선행되어야 한다. 이때 공급된 공기는 비교적 적은 양으로 느린 연소반응을 나타내는데 만약 공기의 공급이 이루어지지 않으면 훈소연소는 중단될 것이다. 따라서 훈소화재가 진행되기 위해서는 훈소연소되는 면에 지속적인 산소의 공급은 필수적이라 할 수 있으며 물질이 공기의 유입에 장애를 주게 되면 훈소연소는 중단될 것이다.

그러므로 훈소연소가 되기 위한 가연물의 조건은 공기의 유입을 차단하지 않는 물질의 특성이 있어야 한다. 우리 주변에서 섬유소(셀룰로오스) 물질과 열경화성 플라스틱은 열을 받으면 다공성 탄소질의 숯을 형성할 수 있다. 여기에서도 휘발성 연소물이 생성되긴 하지만 점화되지는 않는다. 숯은 훈소(스스로 지속되면서 불꽃이 없는 연소)가 진행되고 휘발성 물질은 차가운 표면에 타르로 응축된다. 이 연소형태는 휘발성 물질을 불꽃점화로 진행시키기 위해서는 산소가 충분하여야 하나 충분치 않은 곳에서 발생되며 흔히 실화화재가 진전되는 중요한 단계이다.

Drysdale(1985)[2]에 의하면 수평방향의 섬유질 막대에서 훈소과정을 다음과 같이 설명했다. 이 과정은 [그림 4-12]와 같은 담배연소에서 관측될 수 있다.

- ① 영역 1 : 열분해 부분[급격한 온도상승과 본 물질에서 연소물 생성(타르, 휘발성 액체, 연기), 불꽃연소에서는 이들 생성물이 불꽃으로 연소된다.]
- ② 영역 2 : 탄화부분(온도는 일반적으로 최대 600~750℃ 도달, 연기분출 정지, 적열 발생, 산소화산이 열방출률 결정)
- ③ 영역 3 : 재(온도 서서히 감소)

[ 그림 4-12 ] 담배연소





사실 밀폐된 공간에서 마른 나무와 다른 식물성 물질이 섬유질 조직으로 보관된 상태에서 무한정 훈소될 수 있는 이유는 가연물이 오랫동안 활용이 가능하고 외부요소가 열을 보존하는 경향이 있기 때문이다.

건조된 식물성 조직에서 내부로 공기공급이 확실히 연소를 지속시키고 그렇지 않은 상황에서는 산소부족으로 연소는 멈추게 된다. 다음과 같은 물질들은 훈소점화가 쉽게 시작되어 지속된다는 것을 실험에 의해서 입증됐다.

- ① 헝겍거나 부드러운 황마(黃麻)·면 등의 섬유
- ② 화장지, 주방용 휴지 등 부드러운 종이
- ③ 골판지 상자
- ④ 톱밥, 대팻밥
- ⑤ 먼지(다양한 형태 식물, 동물, 미생물과 무기물 부스러기의 집합체, 또는 진공청소기 쓰레기)

이 물질들은 불이 잘 붙는 것으로서 금속 절단이나 용접을 할 때 발생하는 스파크, 미소 담뱃불, 순간불꽃 접촉과 같이 짧은 시간동안 일어나는 점화원에 의해서 훈소가 시작될 수 있고 더욱 큰 가연물로 진전이 가능하다.

가벼운 섬유소 물질은 상대적으로 낮은 점화온도로 인해 고온 연소가스가 발화지점과 멀리 떨어진 순면으로 된 커튼과 종이 전등갓을 점화시켜 마치 발화지점이 여러 지점인 것처럼 그릇된 인상을 남길 수 있다. 여기에서 옷감을 걸어주는 고리/철사는 여전히 그대로 있을 것이다.

## 2

## 제3절 혼소에서 불꽃화재 전이

유염(불꽃) 및  
무염(혼소)  
화재

고체연소는 2가지 메커니즘인 불꽃과 혼소로 발생될 수 있다. 불꽃연소는 가연물의 가스나 증기상태에서 일어난다. 가연물 중 고체와 액체는 표면 상부에서 이 연소를 관찰할 수 있다.

혼소는 고체 가연물 중 일부에서 가연물 표면연소 현상이고 고체 가연물에 있어 표면연소 현상이고 좀더 낮은 열 방출율을 야기하고 불꽃은 볼 수 없다.

그러나 전체 발생열량이 충분하거나 기류가 연소율을 증가시킬 경우에 갑자기 혼소화재가 불꽃화재로 바뀔 수 있다. 다시 말하면 발생된 열량이 외부로 방출되지 않고 축적된다면 가연물의 열분해에 의해 휘발성 성분이 발화온도에 도달되어 불꽃화재로 전환될 수 있다. 또한 기류에 의해 산소량이 고체가연물 표면에 증가되어 산화반응이 촉진되면 그만큼 열 발생률이 증가되어 전자와 같은 반응으로 불꽃화재로 전이될 수 있다.

화재조사자는 이와 혼소에서 불꽃화재로의 전이 과정을 이해하고 있어야 한다. 또한 선불리 불꽃화재를 최초로 목격하였다고 해서 혼소화재에서 시작된 것을 배제해서는 안 된다.



# 무염화원

무염화원은 라이터나 성냥과 같이 불꽃이 최초 시작된 것을 제외하고 불꽃이 없는 상태에서 화재발생을 일으킨 것을 말한다.

불꽃이 없는 것은 담뱃불, 자연발화, 기계적인 스파크, 금속고온체 등을 들 수 있다. 이들은 최초 불꽃이 없는 연소로 시작되어 주변에 가연물에 영향을 미쳐 무염화재로 종결되거나 열 발생율이 높아져 불꽃이 생성되는 유염화재로 전이되는 두 과정을 거치면서 발생될 수 있다.

이들이 매우 적은 에너지를 발생시키지만 그 주변의 특성에 따라 에너지를 발생을 높여 온도를 상승시키는 반응을 거친다.

## 1. 담뱃불

흡연이 널리 행해지면서 화재원인과도 연관된다는 일반인 생각은 특별한 언급이 필요로 한다. 그 이유는 이 문제에 대해 잘못 인식되기 때문이다. 사실 실내와 실외에서 흡연자들이 화재를 발생시키고 있다. 또한 흡연자들의 부주의한 행동이 많은 사건들의 주요 원인인 것도 사실이다. 반면 전반적으로 이론이 합당하지 않고 주장된 점화가 그 환경에서 발생되지 않을 때도 흡연이 화재를 어떻게 발생시키는가에 대한 이론을 듣는 것은 흔한 일이다.

연소되는 담배와 재의 온도분포는 특정하기에 복잡하고 곤란하다. 이 분야에서 아주 광범위한 작업을 수행한 Baker에 의하면 담배를 흡입할 때 적열된 끝부분에서 온도는 850~900°C에 도달되는 것을 X선 측정장치로 확인했다. 흡입이 멈추면 가장 고온지점은 중심으로 바뀌고 그 지점은 775°C이고 말단부분 재의 온도는 300°C 정도로 떨어진다.

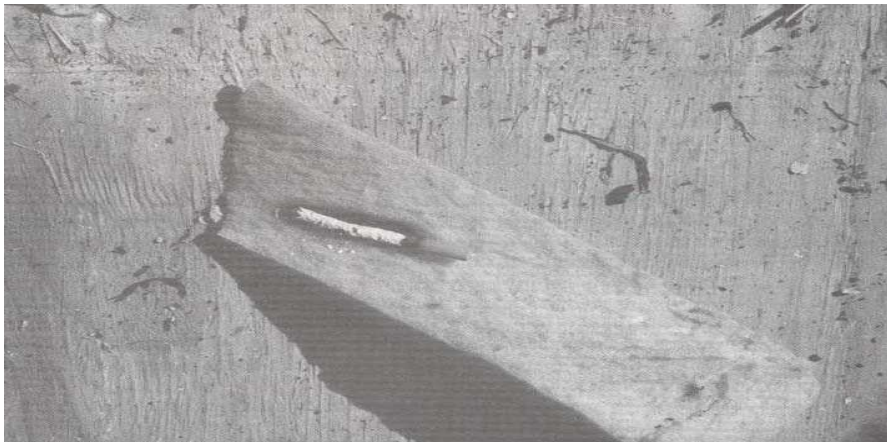
담배 연소율은 방위, 방향, 풍도에 달려있지만 제품에 따라 다르다. 담배 단독으로 놓여 있을 때 수평연소율은 6~8mm/min이고 전체 연소시간은 13~15분이 소요되는 것을 미국 캘리포니아 산림청에서 시험을 통해 측정했다.

담배의 열 방출율은 낮은 수치이긴 하지만. 그런 낮은 수치라도 점화가 확실히 일어날 수 있다. 또한 가연물과 담배 적열부분이 직접 접촉되어 있을 경우 화재의 위험성이 더욱 높아진다. 불붙은 담배는 단지 경우에 따라 건조물(가구, 천, 건초, 기타 유사물)에 덮여있지 않고 그대로 놓인 상태에서 화재를 일으킬 수 있다. 선형 그을림은 발생되지만 거의 점화를

야기하지 않을 것이다. 동일 담배가 한 장의 가벼운 천에 의해서 덮여있을 때 단열은 열복사를 방해해 100℃보다 높은 온도까지 상승시킬 수 있다. 이 온도 차이는 가연물 점화시기에 충분할 수 있다. 만약 담배를 부분적으로 두개의 가구 쿠션에 사이에 밀어 넣고 배치가 과도한 공기공급을 제한하지 않고 열을 보존하면 충분한 열 축적이 일어나 점화될 수도 있다.

우레탄폼 고무는 불꽃에 매우 취약하다. 그것이 열에 노출되자마자 담배에 의한 열은 고무를 녹여 결국에는 담배가 연소되면서 고무에 흡이 형성된다.([그림 4-13] 참고) 그러나 섬유가 덮여 있으면 우레탄은 혼소화재가 지속될 수 있다. 라텍스 폼은 담배와 접촉하여 점화되어 적열연소가 지속되어 불꽃연소로 전환될 수 있다. 대부분 현대 가구 폼은 의도적으로 적용될 때조차도 그와 점화에 힘들다. 일반적으로 불붙은 담배의 대다수는 적절치 못하게 버려져 화재가 발생된다. 연구에 의하면 담배가 구겨진 휴지에 버려질 경우 테스트의 1%가 불꽃이 일어난다. 유명한 조사관은 두루마리 화장지 내부에 담배를 놓아 화재발생을 설명하였다. 이 화재는 20분 내에서 불꽃화재로 전이된다.

[그림 4-13] 담배가 우레탄폼에 있을 때 수평적인 탄화가 되나 지속적인 연소 없으며 면으로 된이 덮여 있으면 지속적인 연소될 수 있음.



Hollyhead의 담배 점화에 대한 전반적인 검토에 대한 내용에서 많은 섬유제품인 화장지 티슈, 마분지, 종이수건, 사무용 먹지는 접촉되고 형상이 적합하면 점화되기 쉽다. 이것이 담배가 그와 같은 가연물을 점화시키고 발화가 된다.

현대비품에 대한 구조물 변화는 담배에 의한 점화되지 않도록 하였으나 그와 같은 화재가 여전히 발생된 사례가 있다. 담배와 시기는 혼소화재원이고 분쇄된 면 충전물과 같은 섬유소 가연물은 탄화보다는 오히려 녹는 열가소성플라스틱과 폼보다도 훨씬 점화되기 쉽다.



수년전 매트리스와 충전물이 들어있는 가구는 리넨이나 면으로 된 천연 섬유 천으로 덮이고 내부에 면 충전 쿠션(라텍스 폼 역시 훈소된다.)으로 만들어진다. 그래서 떨어진 담배는 가연물 속으로 파고들어가 그때 장시간 동안 훈소화재가 지속된다. 그런 가구는 여전히 빈번하게 접하게 된다. 신형가구는 대부분 쿠션이 우레탄폼으로 되고 그 위에 합성섬유(열가소성플라스틱)로 덮여 있다. 이들 모두 담배와 같은 훈소원에 의해서 점화될 것 같지 않다. 그러나 때론 쿠션들은 폴리에스테르 섬유 대신에 면으로 쌓여 있어 담배점화 위험성이 전혀 없는 것이 아니다. 물론 합성섬유는 불꽃에 의해서 점화되기가 훨씬 쉽고 일단 점화되면 기존 가구보다도 더욱 크고 활발히 지속될 것이다. 면 시트와 담요는 담배에 의해서 비슷하게 점화되지만 그것은 단지 가연물이 뭉쳐져 있을 때 발생된다. 짝 퍼진 천들은 훈소되는 담배에서 침투되지만 대류 열손실로 인해 점화되지 않는다. 그런 천이 한 겹으로 쌓여 여러 층을 이룰 때 훈소되는 담배가 침투될 수 있으나 대류에 의한 열손실로 점화되지 않는다. 식물성 섬유인 솜털은 흔히 베게 충전물로 사용되며 적열점화원에 매우 취약하지만 깃털은 그렇지 않다.(둘 다 일단 훈소가 시작되면 지속된다.) 장식용 베게는 다른 물질로 채워져 있더라도 담배에 의해서 점화되는 충전물을 간과해서는 안 된다. 그것이 우레탄 매트리스로 되어 있으면 불꽃화재가 성장할 수 있다. 조사자는 그런 복잡한 상호작용을 이해하고 화재 소실물에 대해 조사뿐만 아니라 소유자(점유자) 질문을 통해 가능한 가장 가능한 착화물의 샘플을 확보해야 한다.

가구에 대한 난연성을 개선하는 상당한 발전이 있음에도 불구하고 침대에서 훈소는 생명 안전에 위협이 되고 있다. 이유는 간단하다. 침구(담요와 시트)는 면으로 이루어지며 적열연소에 바로 점화되고 장시간 동안 훈소화재가 지속될 수 있다. 흡연자가 잠이 들어 불붙은 담배를 포개진 시트나 베게 덮개 속 혹은 매트리스나 방석위에 떨어지면 화재가 발생할 수 있다. 통계수치에 의하면 그와 같은 화재가 흔히 발생하는 것을 나타낸다. 충전물이 들어있는 가구나 침구와 관련된 화재발생시 특히 위험한 상황은 졸고 있는 흡연자가 화열에 의해 깨어날 때 일어나지만 당황하여 그 상황을 제어할 바른 수단을 선택하지 못한다. 그 상황에 처한 사람들은 연소되고 있는 침구를 창문 밖으로 던지거나 외부로 가지고 나가려하는 과정에서 건물의 다른 지점으로 화재를 확대시킨다. 충전물이 들어 있는 가구에 훈소되고 있는 담배가 떨어질 경우 훈소에서 불꽃으로 바뀌는 시간은 아주 다양하다. 그것은 섬유소(셀룰로오스) 및 합성섬유물의 연소와 담배가 접촉하고 있는 범위와 위치에 따라 다르다. 미국 표준 사무국에 의하면 충전물이 들어 있는 6개의 의자를 가지고 한 번의 테스트를 실시해 3개가 불꽃이 일어나는 시간은 22~65분이 걸린 반면 나머지 3개는 훈소만 진행되었다. 캘리포니아 주거 가구 사무국에 의하면 충전물이 들어있는 15개 의자 중에서 9개는 불꽃이 일어나는데 걸리는 시간이 다소 차이가 있었으나 5개는 자연히 꺼졌으며 나머지 1개는 훈소가 지속되어 330분이 되어서 꺼졌다. 최근에 Krasny, Paker, Babruaskas가 담배 변화성과 가구 불꽃점화에 대한 폭넓은 연구물을 출판했다. 실험 자료에 의하면 불꽃연소는 더

욱 오래 걸렸는데 담뱃불을 섬유소 충전물이 들어있는 가구와 침구에 둘 경우 22분에서 2시간이 소요되었다. 면으로 된 덮개가 있는 가구조차도 열가소성(합성)섬유로 만들어진 무거운 천으로 덮여 있으면 담배점화가 어려울 수 있다. 만약에 한 점의 가구가 담배에 의해서 점화가 된 것으로 보이면 덮개와 방석에 대해서 더 많은 조사를 통해 밝혀야 한다.

침대와 가구화재는 달갑지 않지만 설령 불꽃이 없을 때에도 화상이나 연기흡입으로 사망 위험이 도사리고 있다. 침대에서 흡연하는 많은 사람들이 술을 폭음한 상태에서 이루어지면 총체적인 위험성을 크게 증가시킨다.

담배와 관련된 잘못된 인식의 다른 하나는 가연성 액체나 가스를 즉시 점화시킬 수 있는 위험성을 가진다는 것이다. 담뱃불을 폭발 가능한 휘발유 증기와 공기가 혼합된 속에 집어 넣으면 폭발을 일으키는 반복적인 시도는 실패했다. 또한 그 속에서 재를 눌러 겼을 때와 담배를 세차게 빨 때도 마찬가지로 결과를 얻었다. 시험 결과 담뱃불을 포장도로 위에 휘발유 증기가 있는 곳으로 던지거나 떨어뜨릴 때 점화가 결코 일어나지 않았다.(성냥불은 동일 증기 속으로 떨어뜨리면 점화가 발생되었다.) 이것은 담뱃불이 화재를 발생시키지 않는 것을 입증하는 것이 아니라 담뱃불이 화재를 일으켰다는 주장은 큰 의심을 가지고 검토돼야 하는 것을 의미한다.

Holleyhead는 담배와 가연성 증기의 역학에 대한 폭넓은 검토하면서 Baker의 테스트를 통해 드러난 여러 요소들과 담뱃불이 가연성 증기를 점화시키지 못한 가장 그럴듯한 것들을 설명했다. 테스트는 담뱃불이 연소되는 근처에 산소수치가 아주 낮고 이산화탄소 수치가 매우 높아 증기 점화를 크게 떨어뜨린다. 더욱이 담배를 빨 때 공기가 머무는 시간(혹은 공중에 증기)이 너무 짧아 잘 반응할 수 있는 종류를 제외하고는 충분한 시간이 되지 못한다. 상업용 담배에서 불이 꺼진 부분이 가연물들과의 간격을 이루고 반응이 활발히 일어나는 가스가 거의 들어갈 수 없어 지속적인 점화를 중지시킨다. 담뱃불 주변의 재는 광산내부 광부들이 사용하는 등불 주변에 보호막이 작용되는 동일 방식으로 작용되어 밀착된 성분들 사이에 불꽃을 꺼 불꽃발생을 중지시킨다. 마지막으로 담배 끝부분 내부 담뱃불 표면온도가 높은 반면 불연성 재가 가연물의 휘발성 증기에 열전달을 줄인다. 이들이 실험결과를 입증시키고 이황산탄소( $CS_2$ ), 아세틸렌( $C_2H_2$ ), 디에틸에테르( $CH_3CH_2OCH_2CH$ )는 담배로 점화되기 쉬운 반면 휘발유 증기와 메탄은 그렇지 않다. 충전물이나 종이에서 오염물이나 불규칙한 것들이 경우에 따라 순간적이고 미세한 불꽃을 촉발할 수도 있다. 그와 같은 불꽃이 증기와 공기가 잘 혼합된 상태에서 점화시킬 수 있다. 사실 담뱃불이 가연성 증기를 점화시키는 것이 불가능하지만 그런 환경에서 실제 불이 일어났다면 그와 같은 경우는 아니다.

파이프 담배와 시가흡연은 담배보다도 화재 가능성에서 있어 기본적인 차이가 있다. 파이프 담배 불씨를 버리면 쓰레기통 속에서 구겨진 종이들을 통해 연소되어 가고 좀 더 두꺼운 가연물(환기)에 머물러 점화될 것이다. 파이프 담뱃재 역시 충전물이 있는 가구나 옷을



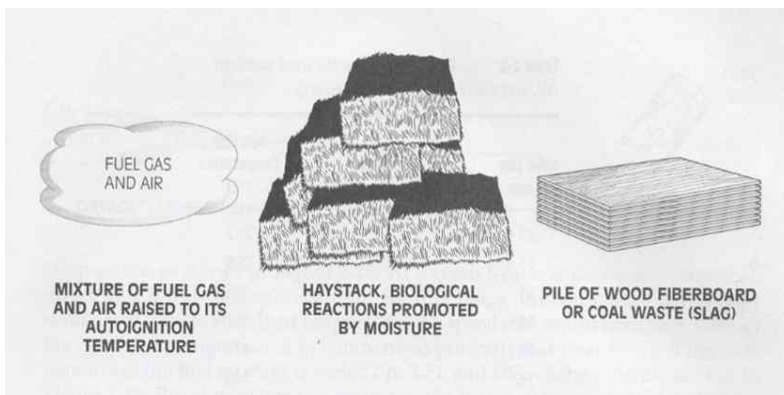
그을려 천에 연소되는 구멍을 낸다. 그것들은 거의 불꽃화재를 유발하지 않지만 톱밥, 먼충전물, 유사종류로서 즉시 점화 가능한 물질은 그렇지 아니다. 파이프와 시가의 뜨거운 재는 물리적으로 담뱃재보다 커서 접촉된 가연물에 더 많은 열을 전달한다.

훈소가 화재원인이라고 제기된 곳에서는 담뱃불에 의해서 점화될 수 있는 가연물이 확산할 수 있는 설명이 필요하다.

## 2. 자연발화

자연발화는 공기 중에 노출된 가연물에서 느린 산화로 시작될 수 있는 연소과정이다. 화학반응이 상대적으로 느려 연소과정을 인지할 수 없거나 기껏해야 활발치 않는 훈소상태에 머무를 수 있다. 화학반응에 의한 열 생성은 주변 대기에 열손실 양과 비슷하다. 만약 열이 충분히 방출되지 않으면 가연물의 온도는 상승하고 결과적으로 더욱 빠른 화학반응을 야기한다. 이 반응은 열이 증가됨으로써 불꽃연소(확산불꽃)나 훈소반응이 활발하게 진행될 수 있다. 열손실은 하나의 인자이므로 가연물양이 많을수록 자연발화가 일어나기 쉽다. 자연발화 시작부터 불꽃까지의 과정은 수 시간 혹은 수일이 걸릴 수 있으며 자연발화가 발생하기 위해서는 특정한 환경이나 발열 조건을 필요로 한다. 비록 자연발화에 대한 이론이 존재하지만 매우 정확히 적용한다는 것은 어렵다. 자연발화하기 쉬운 다른 가연물 매개물 예는 [그림 4-14]에서 나타냈다.

[ 그림 4-14 ] 자연발화하기 쉬운 가연물 배치 사례



※ 출처 : James G. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, U.S.A, 1998, p41

화재로 진행되는 모든 화학반응들은 온도가 증가하면서 빠르게 증가된다. 만약 가연물과 공기 혼합물의 규모가 열 손실률을 방해하면 열이 축적되어 온도가 증가한다. 이 온도상승은 수십 조각이 있는 노란색 면섬유 중의 하나의 반응을 가속시켜 몇 시간 내에 면 조각이 있는 쓰레기상자를 점화시킬 가능성이 있다. Bowes의 논문에 의하면 아마인유가 적신 면 조각에 대한 다양한 결과를 설명하고 있다.

화재시작에 연관된 물질의 양은 매우 적을 수 있다. 예를 들면 Taradorie[1925]는 도료를 적신 청소용 냅마에 대한 자연발화를 조사하면서 경험상으로는 적어도 25g의 냅마가 자연발화를 일으킨다고 하였으나 연속적인 실험을 통해 최상의 결과는 75g의 면 조각에 같은 무게의 아마인유, 테레빈유, 액체 속건제(driers-망간수지 포함) 혼합물 적신 상태에서 원통(큰 망사 철사로 됨) 속에서 공기에 노출될 때 얻을 수 있었다. 점화시간은 보통 1시간에서 6시간이 걸렸지만 이유는 알 수 없지만, 어떤 샘플은 이 시간 내에 점화되지 않았으나 며칠이 지나서 점화되었다. Kissling[1895]은 100g의 아마인유에 적신 50g의 면 모직물이 초기 23.5°C에서 자연발열에 의해 점화에 도달하는 시험을 하였고, Gamble[1941]은 끓는 아마인유에 적신 면 조각을 가볍게 포장된 상자를 가지고 두 번의 실험을 감행했다. 그 중에서 낮은 결과는 마분지 상자 10cm×10cm×15cm에서 온도가 6시간 15분 만에 21°C에서 226°C까지 온도가 상승하고 면 조각은 탄화된 사실을 보고했다.

[ 표 4-2 ] 대기온도에 노출된 톱밥 입방체(오일 유무)

입방체 크기(2r mm)	오일 함유량(%)	점화온도(°C)
25.4	0	212
25.4	11.1	208
51	0	185
51	11.1	167
76	0	173
76	11.1	146
152	0	152
152	11.1	116
303	0	135
303	11.1	99
910	0	109
910	11.1	65



자연발화의 경향은 샘플을 오븐 공기온도에 넣어 측정하여 가장 낮은 온도에서 점화되어 혼소나 불꽃으로 진행되는 것을 봄으로써 명확해진다. 가연물의 크기가 증가하면서 가연물 중앙에서 전도되는 열량이 감소됨에 따라 점화에 필요한 임계공기온도는 감소한다. 오일과 같은 첨가제는 이 특성을 강화시킨다. Bowes는 [표 4-2]와 같은 실험결과를 발표했다. 시험과 결과는 자연발화에 대한 가능성을 평가하기 위해 활용될 수 있으나 실제 조선이 시험에서 사용된 오븐과 완벽하게 일치하지 않으므로 추정은 정확성이 떨어진다.

### 3. 기계적인 스파크

철·강철·철합금 등은 적합한 물체에 부딪힐 때 스파크가 생긴다. 이는 대부분 연마작업이나 돌이 깔린 철로에서 차량 일부가 부딪힐 때 발생되며 실제과정은 매우 단순하다. 강력한 국부 마찰접촉은 철합금 조각을 충분한 에너지를 갖은 채 떼어내 가열되면서 철합금의 점화온도를 넘게 된다.(700~800℃) 그 입자는 공기 중에서 점화되어 연소가 이루어지고 (1600℃ 이상) 때론 탄소와 산화철의 불티를 낸다.

이 스파크는 작지만 유한한 열원으로서 가연성 증기를 점화시킬 수 있다. 만약 불티가 상당히 뜨겁고 크면 충분한 열을 주변에 전달하고 연소 가능한 고체에 떨어지면 즉시 발화시킬 수 있다. 초목(草木)화재는 철로를 따라 달리는 기관차에서 나오는 불티에 의해서 발생된다. 이 입자들은 탄소, 산화칼슘, 연료와 윤활유의 기름찌꺼기로 이루어지고 배기와 함께 배출된다.

### 4. 고온 금속체

금속화재를 일으키는 직접적인 원인은 경우에 따라 다르다. 연마작업이나 절삭작업에서 금속이 연소하는 스파크나 금속 용융방울들이 그 역할을 행한다. 금속 용융물(연소되는 조각)은 충분한 열이 있어 불이 붙기 쉬운 가연물에 접촉되어 점화되어 발화된다. 그것은 금속을 용융하기 위해서 상당한 양의 열을 필요로 함으로 그런 위험성은 금속가공 공정과 관련이 있다. 그런 작업을 수행하는 장소는 이와 같은 형태의 점화로부터 화재를 일으키는 것보다 더욱 높다. 그러나 위험성들이 종종 가장되는 이유는 많은 합금(납땀)이 가연물에 충분한 열을 운반하지 못하기 때문이다.

강철과 같은 용융 철합금은 고온 용융점으로 인해 납땀보다도 훨씬 위험하다. 그러므로 전기용접이나 산소용접에서 강철을 용접이나 절단작업은 매우 위험한 행위이다. 고체 가연물이 세분화 된 상태는 화재민감성을 판별하는데 중요하다. 예를 들면 우연히 짧은 시간동

안 가스용접 불꽃을 직접 큰 목재기둥에 접촉하거나 금속 용융물로 점화시키기는 거의 불가능하다. 반면에 미세하게 세분된 가연물(충전물(솜), 톱밥, 대팻밥, 종이/화장지)은 동일 조건에서 매우 잘 점화될 것이다.

무염  
화원

[ 그림 4-15 ] 산소용접



고온이나 용융된 금속 파편들을 점화원으로 고려할 때, 금속들 대부분이 고밀도이고 고온 파편들은 빠르게 낙하한다는 것을 기억해야 한다. 반면에 소량의 종이나 목재는 화재에 대한 대류불꽃에서 상승하는 경향이 있다. 알루미늄은 상대적으로 저밀도이다. 예를 들어 평탄한 알루미늄 판으로 된 지붕은 낙하되기 보다는 오히려 상승할 수도 있다. 이것은 납땜, 황동 용융물, 철, 구리의 경우는 해당되지 않는다. 알루미늄은 저밀도 때문에 산화가 용이하고 용융점이 낮아 공중에 불티로 화재가 확산되는데 역할을 하지 않을게 대부분이지만 금속들은 연소될 수 있음을 명심해야 한다. 그러나 실제 금속들 대부분은 매우 미세하게 분쇄되어 있을 경우를 제외하고는 점화되기는 극도로 어렵다. 마그네슘은 홀 원소 혹은 알루미늄과 합금되던 간에 대표적인 예외 금속이다.



결과적으로 숯불화재가 갖는 낮은 온도에 견딜 수 있도록 설계된 옛날 주택에서 난로는 금이 간 일 등이 일어났다. 반면에 복사열이 얇은 난로나 불 뒷면에 있는 목재를 건조와 열분해를 통해 화재가 발생한 사건들도 있었다.

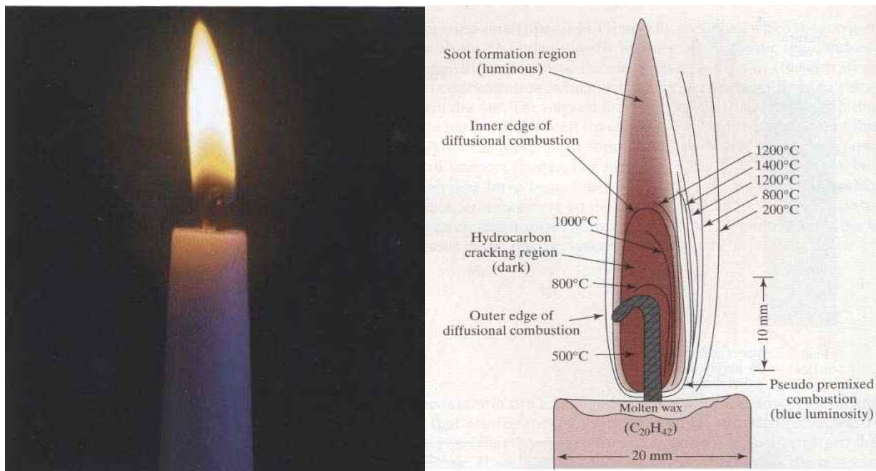
### 5. 촛불(유염화재)

전기고장이 있을 경우에 화재를 일으키는 고려대상 중 한번은 촛불이 많은 다른 형태와 기능에서 매우 유력하다고 생각한다. 파라핀이나 밀랍으로 전통적인 양초는 층류 불꽃으로서 약 50W의 열이 생성되고 평균 불꽃온도 800~900°C지만 성냥 불꽃처럼 온도 1200~1400°C 정도를 갖는 외부 연소영역이 있다. 정상적이고 연장된 불꽃과 고온영역 때문에 얇은 구리나 철사를 촛불로 용융시킬 수 있지만 그와 같은 금속의 열전도성이 빠르게 열을 전도시켜 더욱 큰 지름을 가진 선들은 용융시킬 수 없다.

설계가 잘된 양초는 심지에 왁스를 정상상태로 유지하기 위해 적당한 속도로 용융된다. 잘 용융되지 않으면 연료부족으로 촛불은 꺼지고 너무 많은 왁스와 용융 웅덩이에 있으면 잠겨 꺼진다. 왁스는 외부 고온 영역에서 발생하는 탄소 매연입자 연소와 함께 완전 연소되어 이산화탄소와 물이 되고 사실 층류불꽃에서는 어떤 매연입자도 배출되지 않는다. 심지가 너무 길거나 불꽃이 난류가 되면 매연이 생성된다. 왁스가 기름이나 다른 유기물로 오염되면 완전연소가 이루어지지 않고 다량의 매연이 방출될 수 있다. 심지가 기하학적으로 놓여

있지 않으면 길이가 긴 심지가 노출되어 양초는 연소가 멈추고 폭 꺼진다. 양초의 열 방출율은 심지가 노출된 양에 따라 구별된다. 만약 성냥이 탄화되어 양초 속으로 떨어지면 부가적인 심지로 작용되어 불꽃크기가 상당히 증가된다. 큰 불꽃은 인접 가연물에 닿거나 양초가 놓인 통에 열을 가해 실화 위험성을 증가시킨다. 방향제 기름을 가진 양초는 방향요법을 위해 다량 사용하여 두고 촛불을 켜두고 잠이 든다. 대형 장식용 양초는 여러 개의 심지가 있고 며칠 동안 연소되어 장식물과 옷을 점화시킬 위험성을 증가시킨다.

[ 그림 4-17 ] 촛불 연소(온도분포)



※ 출처 : John D. Kirk's Fire Investigation(5ed). Pearson Education, Inc, New Jersey, 2004, p26



# 화재사례

담뱃불과 같은 훈소화재를 이해하지 못할 화재발생에 의문을 제기하는 경우가 많다. 특히 흡연자들이 담뱃불을 반드시 제거하였다고 했으나 아주 작은 불씨가 살아있게 되면 그로 인한 화재발생은 가능하다. 그 이유는 남아있는 담배에 훈소가 지속되면서 점차 열 발생이 많아지고 점차 그로 인해 주변에 있는 가연물이 점화에 이르게 될 수 있기 때문이다.

다음 화재사례는 외국에서 발생한 사례들이며 이것들이 어떤 과정을 거치면서 화재로 전이되는지를 앞의 내용을 충분히 이해하였다면 설명이 가능할 것이고 이와 같은 사례를 통해 훈소연소의 메커니즘과 훈소화재 감식을 이해할 수 있으면 한다.

## 1. 흡연에 의한 물질들

가정과 산업지역에서 일반 화재원인 중 하나는 흡연자들이 담뱃불을 잘 못 취급하고 함부로 버리는 부주의에 의해 발생된다. 담배와 성냥은 손 가까이 있는 점화원이며 각기 화재로 발전할 수 있는 특징을 가지고 있다. 재떨이에 깜박 잊고 담배를 떨어뜨려 담배 중력 중심이 변할 때와 가연성 물질이 있는 쓰레기통에 재떨이를 비면서 원인이 된 화재는 화재 안전의식을 조장하기 위한 것이지만 그런 사건들은 여전이 너무나 빈번히 발생하고 있다. 성냥이나 담배 탄화물이 옷이나 침구시트에 떨어진 곳에서는 흡연자에게 매우 심각한 결과를 초래한다. 그런 사고들은 중상 혹은 사망을 초래할 수도 있는데 특히 희생자들이 아이들이거나 노인들일 경우는 위험성을 인식하는데 느리거나 도움을 요청할 수 없다. 영국에서 수행된 연구에 의하면 노인들은 옷과 침구시트에 관련 화재에 특히 위험한 것으로 확인됐다.

침대에서 독서하면서 담배 피는 것을 좋아하는 한 친구는 불이 붙은 담배를 그의 손에 들고 잠에 들었고 그의 침대시트가 훈소가 되는 것을 발견하고 깨어났다. 다른 경우는 젊은 여성이 운전 중 담배에 불을 붙이려 했고 불붙은 성냥이 차 바닥에 떨어졌고 그녀의 가벼운 면으로 된 드레스에 불이 붙었고 차를 정지하여 대피하기도 전에 심한 화상을 입었다.

민간 실험에 의하면 표준길이의 필터가 있는 담뱃불이 기류에 노출될 경우 연소율은 10~20분 동안 훈소가 진행된다. 창고화재가 발생하여 화재조사 시 수행된 테스트에서 폴리에틸렌으로 포장된 두루마리 화장지에 담뱃불을 놓았다. 담뱃불 끝부분은 폴리에틸렌 포장지를 바로 침투하여 탄화물이 화장지에 닿자마자 훈소가 진행됐다. 기류가 약한 곳에서

화장지는 10분 동안 훈소가 지속되고 연기는 포장지 상부에 가득 찬 상태에서 적열연소가 진행되었다. 12분 후에 두루마리 화장지는 불꽃으로 전이하였고 14분 후에는 화재를 제어 하기가 곤란했다. 이 시험에서 불꽃을 끄기 위해 수관을 사용하였지만 물이 떨어지자마자 재차 점화되었다

#### 화재 사례

다음 사건은 숙녀들이 호텔 라운지에서 점심 후 차를 마실 때 발생했다. 두 명은 등받이가 높은 의자에 쿠션을 뒤에 받치고 서로 마주보고 앉아 있었다. 세 번째 여자는 손에는 담뱃불을 들고 서서 그들 의자에 기댄 채 그들과 잡담하고 있었다. 차가 왔을 때 흡연하고 있던 여자는 옆 테이블로 갔고 앉아 있던 2명 중 1명이 차를 따랐다. 그녀가 자신의 컵을 들고 앉으려는 순간 연기가 친구 옆에서 나오는 것을 발견했다. 연기가 많아지면서 친구 뒤에서 연기가 피워 오르는 것을 깨달았다. 그녀는 친구에게 소리쳤고 의자에서 튕겨 일어서 쿠션을 잡아 내렸다. 직경 100mm, 깊이 20mm 정도가 연소된 지점은 쿠션이 의자에 접한 지점이었다. 화재는 들고 있던 차와 물주전자로 소화되었다. 흡연했던 여자가 다른 곳으로 움직인 시점과 최초 연기를 목격한 간격은 약 5분으로 추정된다. 의자는 현재 난연 기준에 부합되지 않는 것으로 내부에 폼이 들어있고 면으로 된 천으로 덮여있었다. 화재 당시에 있던 여자들은 화재원인은 담뱃불이 의자 등받이와 쿠션사이에 떨어져 발생했음을 인정했다. 그러나 그곳에 있던 어느 누구도 담뱃불이 떨어진 것을 알아차리지 못했다.

다음 사건은 담뱃불을 쓰레기통에 버렸을 때 발생한 화재들 중에 하나이다. 쓰레기통에 버려진 담뱃불은 훈소화재가 시작되어 다른 물질로 확대된다. 그 사례는 진공청소기에 빨려 들어간 담뱃불에 의해서 발생되었다. 20대 N양은 부모들과 함께 살고 있었고 집에서 매일 점심을 먹었다. 조사동안 N양은 흡연에 대해 극구 부인했다. 또한 가족 모두가 집에서는 담배를 피우지 않았다고 했다. 그러나 N양은 날마다 점심을 먹고 난 후 담배를 피웠다. 그녀의 어머니는 쾌적한 가정환경을 위해 담뱃재를 진공청소기로 청소를 했다. N양 어머니는 담뱃재를 빨아들이지 않았다고 주장하였지만 딸이 떨어뜨리자마자 청소하였다. 청소한 뒤에 진공청소기는 후문 복도에 보관하였다. 그곳은 신문을 두는 장소이고 주변에 외투를 걸어두었다. 저녁에 가족들 모두가 텔레비전 뉴스를 시청하려고 할 때 후문 복도에서 이상한 소리와 함께 화재가 진행되고 있음을 발견했다. 소방대가 현장에 도착하여 화재를 진압하였다. 소실물에 대해 조사한 결과 화재가 진공청소기 옆에 바닥에서 확산되었으며 외투 일부가 떨어진 부분과 접촉되어 있었다. 플라스틱으로 된 청소기 몸통의 한쪽부분의 바닥이 구멍이 생겼고 다른 면은 누그러져 종이로 된 먼지봉투 위에 겹쳐져 있었다. 청소기를 열어 보니 내부가 연기로 얼룩져 있었고 먼지봉투가 탄화된 채 3분의 2가 그대로 채워져 있었다. 담뱃재를 흡입한 후 먼지를 통해 훈소가 지속되어 약 5시간 지나서 청소기 플라스틱 바닥을 녹였고 그 부분은 신문지와 접촉되어 있었다. 화재는 위에 걸려있는 외투로 확산되어 옷이 걸려있는 플라스틱 옷걸이를 떨어졌다. 가족들은 그 소리를 듣고 화재에 대응했다.



작업장에서 흡연이 금지되어 있지만 정상업무 시간에도 지켜지지 않는다. 더군다나 초과 근무, 실적평가, 휴무일에 특별근무에는 더욱 그렇다. 특히 주말마다 반복되고 혼자서 근무한다면 금연규정을 어길 수 있다. 다음 두 사건은 이 점을 설명해 주고 있다.

항공기 관리사업을 하는 4층 건물은 1990년대 초기에 화재가 발생하였다. 건물은 주로 대형 항공기 관리 격납고이고 4층은 점포가 있고 맞은편은 경영관리실로 구획되어 있었다. 화재 당시에는 격납고에 대형 여객기 2대가 있었다. 건물 전면에는 상층으로 출입할 수 있는 계단들과 승강기들이 있었고 공동사무실과 개인사무실들이 상부 전면에 배치되었다. 바닥구조는 콘크리트 슬래브이고 사무실은 산업용 카펫이 깔려 있었다. 슬래브 구조의 천장과 외부 벽면을 따라 표준형의 무게가 가벼운 강철이 설치되어 있었다. 사무실은 방화구획 없이 연결되어 있었고 내부 벽면을 통해 환기구가 있었다. 복도에는 출입구가 하나 존재하고 승강기가 있었다.

공동사무실에는 많은 작업장이 배치되고 4개 그룹으로 편성되어 있었다. 사무실에는 L형태의 책상이 배치되고 측면과 뒷면에는 강철 뼈대에 목재판자와 마분지가 있고 그 위에 PVC로 코팅되어 분리시켰다. 한쪽 끝에는 책상 위에 선반이 존재하고 그 아래에는 서랍이 있었다. 그쪽 반대편 책상 아래에는 쓰레기통이 있었다. L형태 끝에 컴퓨터가 위치하고 전화선이 있었다. 작업장은 강철 뼈대에 폴리우레탄 폼과 PVC가 든 회전 사무실 의자가 갖추어져 있었다. 쓰레기통은 폴리프로필렌이었고 PC와 전화장비는 타 플라스틱이었다. 전선은 구획된 사무실 외벽 바닥으로 PVC관을 통해 설치되었다. 천장 내부에는 케이블을 통해 안전시스템(연기감지기)과 전등이 설치되었다.

일요일 아침에 여성근무자는 계단으로부터 좀 떨어진 사무실에서 혼자 일하고 있었다. 그녀는 오전 11시에 책상에서 일어나 매점에 갔었다. 천장에는 연기감지기가 설치되어 있었고 옆 사무실에서 다른 여자 1명이 일하고 있었다. 11:07분에 화재경보가 작동되는 동시에 항공기 견인 트럭이 엔진 misfire(불화)로 연기가 배출했었다. 이런 연유로 경보기가 작동하여 경보기를 중지시켜 놓아 울리지 않은 것으로 추정된다. 오전 11:17분에 걸어가던 사람은 안내실에 연기가 창문을 통해 분출하는 것을 목격하고 비상벨을 작동시켰다.

현장조사를 실시한 결과 화재는 작업실에서 발생하였다. 직원들은 그곳에서 첫 경보가 울렸을 때 일을 계속하고 있었다. PC와 전선은 고장증거는 존재하지 않고 외부에서 연소되었다. 소방대가 소실물을 이동시켰으나 카펫 위에 서랍과 쓰레기통의 바닥은 그대로 접촉하고 있었다. 책상 상부와 선반 및 서랍에 대한 화재방향은 쓰레기통에서 연소가 진행되었다. 화재는 인접 작업실로 확산되어 갔고 발화지점 직상부의 천장부분을 파괴했다. 이 부분을 제외하면 건물피해는 상대적으로 적은 편이다. 그러나 사무실에 연기가 확산되어 컴퓨터가 작동되지 않았다.

여자에게 증거물을 제시하자 그녀는 작업실에서 담배를 피웠던 사실을 인정했다. 사무실에서 금연으로 지정되어 있으나 지켜지지 않았다. 그녀는 종이를 가지고 담배를 비벼 끄고 종이를 구겨 책상 쓰레기통 속에 넣고 사무실을 나갔다. 직원이 규정을 어겨 화재가 발생했다고 하더라도 건물과 물건배치 및 화재안전절차가 제대로 이행되지 않아 많은 손실을 초래했다.

두 번째 화재는 전시장과 작업장으로 된 작업장에서 재고조사 중에 발생했다. 앞면은 대형 강화유리가 존재하고 사무실은 종이로 된 조립식 판과 강화유리가 설치되고 작업실과 전시실은 블록으로 구획되어 있었다. 벽은 페인트가 칠해졌고 바닥은 카펫이 깔려 있었다. 전시실과 작업실을 포함한 판매대리점 건물은 주말에는 휴무하고 주유소는 연료판매를 위해 영업을 한다. 작업장에서는 금연하도록 되어 있다.

재고조사는 회계감사원이 있는 Friday 협의회와 함께 시작했다. 회사 중견관리 2명은 토요일에 접수 직원과 함께 일을 하였고 월요일에 계획된 확대회의 프레젠테이션을 위해 문서를 만들었다. 관리자와 판매부장은 접수 직원 사무실과 점포를 오가면서 업무를 수행했고 접수 직원은 그녀 컴퓨터 단말기에서 재고사항을 집계하고 사진을 복사했다. 컴퓨터 책상은 가게 문과 전시실 사이 구석에 위치하고 블록 벽에 닿은 서랍 위에 사진복사기가 있었다. 접수 직원의 진술에 의하면 하루 종일 보고서, 통지서, 기타 서류들이 사무실과 바닥에 있었다고 했다.

접수 직원이 건물을 나간 맨 마지막 사람이었다. 그녀는 장비와 전등 전원을 모두 차단하고 사무실과 외부 문을 잠근 채 약 17:00에 퇴근했다. 화재발견은 주유소 고객이 하였다. 그는 건물 앞에서 강화유리를 통해 대충 둘러보던 중 사무실에서 불꽃을 목격하고 경보기를 눌렀다. 소방대는 17:10에 신고를 받고 선착대는 현장에 8분 후에 도착했다. 소방대는 문이 잠긴 것을 발견했고 우리는 그대로 있었다.

화재는 빨리 발견되었으며 소방대는 경보가 울린 후 8분 내에 현장에 도착했다. 그럼에도 불구하고 외부 벽면과 사무실 수용물이 심한 피해를 입었다. 사무실 집기의 가연성 부분은 연소로 소실되고 종이는 바닥에 널브러져 있었다. 의자와 책상은 심하게 탄화되었으며 구획부분은 바닥까지 연소되어 컴퓨터 책상 측면이 구멍이 뚫렸다. 또한 점포와 전시실 신차 2대가 피해를 입었다. 연소진행방향은 가게 문과 전시실 사이에 구석 부분 바닥에서 시작되었다. 그 지점은 직원들이 하루 종일 일한 장소였다. 조사결과 전기적인 원인은 배제되었으며 관련 직원들이 의심되었다.

흡연가능성이 제기되자 관리부장은 작업장에서는 금연을 준수하고 있다고 단호하게 말했다. 그러나 관련 직원들은 재고조사 동안 거리낌 없이 담배를 피웠다고 시인했다. 이유는 정상근무가 아니기 때문이라고 했다. 담배는 화재 발생 전날부터 피웠으며 회계감사원은 사



전모임에서 재떨이를 요구했다. 재고조사에 관련 직원들 역시 담배에 불을 붙이고 다음날에도 계속 담배를 피웠다. 접수 직원은 정상근무 시간에는 담배를 피우지 않았었다더라도 화재 발생 전날부터 당시까지 담배를 피웠다고 인정했다. 그녀는 화재가 발생한 날에 재떨이가 사무실에 있었는지 기억하지 못했고 그것을 사용했는지 기억할 수 없었다. 그녀는 담배를 전시설 문의 사무실 나가기 전에 카펫이 깔린 바닥에 문질러 끄고 확인점검은 없었다. 그녀가 구내를 떠나고 10분 후에 화재가 발견됐다. 조사자는 거주자가 담배를 피우지 않았다고 하는 곳에서도 화재가 발생되고 있음을 인지하여야 한다. 또한 부주의로 인해 담뱃불을 떨어뜨리거나 버릴 수 있다.

## 2. 고체연료

개방된 고체연료 난로는 실내에 편안한 분위기를 감동게 한다. 그러나 특별한 위험이 도사리고 있으며 연료를 넣거나 타고 남은 재를 처리하는 과정이 더욱 그렇다. 해외 여러 나라에서 시행되고 있는 건축법은 난 등의 주변에 있는 가연물에 열전달을 차단하기 위한 설계기준을 규정해 두고 있다. 게다가 방화(放火)장치를 설치하여 난로에서 나올 수 있는 불씨를 차단하고 있다.

불꽃이 외부에 노출될 때는 자리를 비워서 안 되고 난로에서 나오는 불티를 차단하기 위한 방화 장치 없을 경우에는 더욱 그렇다. 목재 일부와 고체연료는 연소 시 고온 불티를 분출한다. 이것이 주변 카펫, 가구, 옷에 떨어질 수도 있다. 특히 노인, 아이들, 애완동물들이 집에 있으면 특별한 주의가 요구되고 난로 양편 벽에 불티를 차단할 수 있는 방화막은 반드시 필요하다. 다음 사건은 아무런 안전장치 없이 불꽃이 외부에 노출된 화재와 관련되고 적절치 못한 안전관리가 있었다.

C여사는 저녁에 여동생과 약속이 있었다. 집을 나가기 직전 그녀는 거실에 있는 개방된 난로에 통나무와 고체연료를 넣었다. 그들이 집에 돌아왔을 땐 실내가 따뜻했다. 난로 전면은 철재 봉이 설치되어 있으나 고온 불티를 차단하기에 충분치 않았다. 거실 바닥은 은축이음으로 된 2cm 판자로 이루어지고 모직(毛織) 카펫이 깔려 있었다. 실내 가구는 장의자, 테이블 전등, CD플레이어가 있었다. 전등과 CD플레이어는 카펫 위에 있었다. 둘 모두 전원이 공급되었고 CD플레이어는 대기모드 상태로 있었다.

C여사는 5시간 동안 집을 비웠고 돌아왔을 땐 거실 바닥이 완전히 소실되어 있었다. 연소진행은 바닥으로 확산되는 것 같이 보이고 구획부분에서는 화재확산이 거의 없었으며 실내 주변에 있는 시설은 거의 본래 그대로 있었다. 석고판 천장은 난로, 전등, CD기가 있는 직상부에 구멍이 나 있었다. 화재는 바닥 상부 연결부분과 보가 심하게 탄화되었지만 상층

으로 확대되기 전에 발견됐다.

발화원인에 있어 전기적인 원인은 없었다. 바닥아래 전선이 거의 없었으며 전기적인 결함에 대한 어떤 증거도 없었다. 또한 소켓 뒤에 있는 전선도 그대로 있었다. 타다 남은 CD 기는 잔해물 속에서 발견되었고 연소방향은 외부에서 연소되었다. CD 접촉면은 카펫조각에 붙어 있었고 연소방향은 하단에서 탄화되고 탄화물 위에 그대로 있었다.

발화지점에서 실화 이외에는 어떤 증거가 존재하지 않았다. 화재는 아마도 훈소 되었고 불꽃으로 진전되지는 않았다. 가장 확실한 화재원인은 불티나 난로에서 떨어진 통나무로 인해 카펫과 바닥이 연소되고 바닥 아래에서 훈소가 지속되었다.

불꽃이 개방된 곳에서 직물이 가벼운 것은 점화되기 쉽다는 것은 다음 두건의 화재에서 알 수 있다. 첫 번째 화재는 3살 소녀가 심한 화상을 당한 것으로서 그녀가 할아버지 댁에 방문했을 때 옷에 불이 붙은 화재이다. 그 아이는 폴리에스테르와 면으로 된 가벼운 외투를 입고 불꽃이 노출되며 보호막이 없는 난로 옆을 걸어갔다. 등에서 불이 붙었고 할아버지는 재빨리 불을 꺾으나 아이는 허벅지와 등에 심한 화상을 입었다.

다른 화재는 10살 소년이 집에 혼자 있었고 엄마는 할머니에게 온 전화를 받기 위해 다른 방에 있었다. 소년은 일반 규모의 거실 중앙 바닥에 앉아 비디오 게임을 하고 있었고 뒤에는 난로가 보호막이 없는 채 불꽃이 노출되어 있었다. 그는 상업용 정품 프리미어 리그 축구 셔츠를 입고 있었고 일류 스포츠 의류업체에서 생산한 제품이었다. 셔츠는 100% 폴리에스테르 직물이었다. 그것은 난로 속에 연료가 연소되면서 고온 불티가 튕겨 나와 셔츠에 점화되었다. 소년은 셔츠를 벗었고 연기감지기에 의한 경보를 듣고 이웃집에서 신속히 대응하였지만 등과 팔에 3도 화상을 입었다.

### 3. 용접불티

용접은 고온 금속체가 점화되기 쉬운 가연물에 점화되어 화재가 발생할 수 있는 위험한 작업이다. 그러나 그와 같은 위험성을 염두에 두지 않고 작업을 수행하여 종종 그와 같은 작업에 의해서 화재가 발생하는데 다음 사건은 그와 같은 사례이다.

서울 ○○소방서 신축공사장에서 공사를 진행 중에 철근으로 보강된 상태에서 콘크리트를 부어 양생을 마치고 옆으로 튀어 나온 여유 철근을 자르는 작업을 하고 있었다. 공사장 주변에는 방진막이 쳐져 있었고 방진막 앞에 기계를 보관하기 위한 공사장 합판 목재로 된 창고가 있었다. 공사장 인접 건물은 일반 주택이 담을 경계로 있었고 담 아래에는 LP가스가 있고 그 주변 뜰에는 나뭇잎이 쌓여 있었다. 철근 자르는 작업은 산소용접으로 아세틸렌가스와 산소를 이용하는 작업으로서 절단 시 생성되는 금속불티가 방진막에 떨어지고 주변

가정집 나뭇잎에 떨어져 화재가 발생되었다.

발화지점에 대해서 공사장 관계자와 주택 거주자들과 참여하게 대립하고 있었다. 발화지점은 주택 뒤뜰로 확인됐다. 그 지점에서 발화원인은 전기적인 시설이 없어 전기전인 화재 원인은 아예 존재하지 않았고 가스시설에 대한 조사는 가스가 외부에서 연소가 진행되었고 원인은 방진막에 떨어진 철근 불티에서 화재가 발화되어 방진막이 용융되면서 뒤뜰로 떨어져 연소가 확대된 것으로 드러났다.

#### 4. 촛불

방화막이 없는 촛불은 금속상자 속이나 유리, 플라스틱 보호막으로 가려서 사용한다면 화재의 위험성은 훨씬 적을 것이다. 본래 촛불은 취침하는데 희미하게나마 불을 밝히는데 쓰인 것으로서 가벼운 강철로 된 컵 속에 작고 평평한 양초를 응고시켜 신생아실이나 병실에서부터 사용하기 시작했다.

불을 밝힐 때는 받침 접시에 세워 방화막이 없는 채로 혹은 넓은 유리보호막으로 둘러진 것을 사용한다. 이러한 형태의 양초는 작은 유리그릇 속에 놓인 채 종교적인 행사에서 기도를 할 때 사용하기도 한다. 촛불을 켜는 행위들은 새로운 유행으로서 근래에는 일반가정에 서까지 활용도가 증가되고 있는 추세이다. 그러나 많은 사용자들은 촛불이 화재를 일으킬만한 위험성에 대해 망각하고 있는 것 같다. 취침용이나 차를 마실 때 밝히는 양초는 왁스가 가득 찬 금속 컵 속에 심지가 꽂혀있고 왁스 바닥에는 강철 내부에 굳혀 있기 때문에 외부의 작은 컵은 양초가 타면서 뜨거워질 수밖에 없다.

제조회사가 표시해 놓은 주의사항은 대부분 양초에 걸 표면에 부착되어 있다. 열에 의해서 피해를 입을 수 있는 표면이나 취침시간에 등불용으로 사용하지 말라는 경고성 문구가 쓰여 있지만 열에 약한 도구 위에 켜 놓은 채 자리를 비우기도 한다.

취침용으로 사용되는 촛불이 화재의 원인이라고 의심되는 일련의 사고는 내열성 바닥에 양초를 놓지 않고 텔레비전 걸 표면과 같은 플라스틱 재질에 세워두고 불을 밝힌다는데 있다.

일반가정에서는 촛불을 포함한 크리스마스 장식물들까지도 텔레비전 윗부분에 진열해 놓는 경우가 많다. 장식물은 크리스마스 트리 형태로 만들어 켜고 등불이 매달릴 수 있도록 구멍이 있으며, 취침용 등불 경우는 구멍을 통하여 빛이 새어 나오도록 하는 경우도 있다. 촛불이 크리스마스 장식물로 덮여 있는 것에 대해 열을 축적하기도 하지만 그렇게 하지 않았더라도 화재라는 결과를 초래하는 것에 대해 실질적인 차이는 없다고 보여 진다.

어떤 가족들은 촛불이 타고 있는 채 집을 비우기도 하는데 최초 점화는 대부분 촛불의

바닥부분에서부터 번지기 시작한다. 뜨거운 열기가 텔레비전 상부에서부터 녹아들어 텔레비전 내부로 흘러 들어간 다음 가연성 플라스틱에 점화된 경우이다.

다른 화재사고의 경우로서 외부 덮개가 플라스틱인 텔레비전이 거실 장식장 위에 놓여 있던 곳에서 발생했다. 화재 당시 주택에는 5A 퓨즈를 통해 전기가 공급되고 있었지만 스위치는 꺼져 있었다. 03:30경에 아이들 중 한 명이 일어나 보니 방에 연기가 가득 차 호흡에 어려움이 있었다. 연기감지기의 경보음이 울리자 즉시 가족들을 깨웠다. 연기가 자욱하게 차 있었지만 가족 모두는 건물을 안전하게 빠져 나갔다. 주택 내부는 연기가 가득 차 있었고 벽면은 검게 변했다. 텔레비전을 조사해보니 내부에 있던 플라스틱이 녹아 서로 엉겨 있었음에도 다른 부품들은 거의 온전한 상태로 있었다는 것은 화재가 외부에서 시작되었다는 것을 의미하고 있다. 브라운관은 산산이 부서지고 텔레비전 뒷면에 있는 알루미늄의 일부가 녹았지만 다른 부품들은 비교적 손상이 크지 않았다. 외부는 그을음이 덧칠해진 것처럼 보이기도 했고 용융된 플라스틱은 혼소상태로 연기를 발생시키는데 주요원인으로 작용한 것이다. 뜨거운 열기는 옆에 있던 녹음기에 약간 피해를 주었지만 서랍장은 그대로 있었고 그 위에 있던 장식품들도 손상이 적었다. 가족들은 저녁에 취침하러 가면서도 촛불을 텔레비전 위에 두고 간 것이 화근이 된 경우로서 양초가 놓인 금속바닥은 뜨거워진 다음 플라스틱으로 된 텔레비전의 덮개를 녹였고 마침내 내부까지 연소한 것이다.

양초가 크면 불꽃까지도 크게 하기 위해 심지를 키우는 경향이 많지만 화재의 염려를 막기 위해서는 심지를 가늘게 하는 것이 바람직하다. 가늘어지지 않으면 촛불의 연소 말미에는 불꽃을 피웠던 심지는 구부러져 용융 왁스에 닿고 결국에는 두 개의 심지로 작용할 수 있는데 이러한 위험성은 양초의 불꽃이 커져 근처 물건을 점화시킬 수 있다는 것이다.

또 다른 사고로서 밤중 내내 깊은 남성이 책상위에 촛불을 켜 놓고 잠이 든 사이 화재가 시작되어 종국에는 연기흡입으로 사망한 경우이다. 남성은 책상에서 신문과 잡지를 번갈아 보고 있었다. 그의 부인은 핸드폰을 가지고 침대에서 장시간 통화를 하다가 두 사람은 의논 끝에 낭만적인 분위기를 살리자며 촛불을 켜두고 잠을 청하기로 한 것이 그만 죽음의 시초가 된 경우도 있다.

미적(美的) 양초는 화재성이 위험성이 매우 높다. 왜냐하면 외부에 종이 가 둘러져 있기 때문이다. 이런 종류의 양초는 물이 있는 접시 위에 세워두는 것이 가장 안전하다. 은은한 향기를 품는 양초이든 전등을 대신하는 양초이든 촛불을 켜고 동시에 화재의 위험성이 항상 잠재하고 있다는 것을 결코 잊지 말아야 한다.



## 혼소화재 감식기법

혼소화재는 고체물질들 중 일부가 표면에서 산소와 직접 반응하는 연소로서 연소 시작단계부터 후반부까지 혼소화재가 될 수 있다. 또한 혼소반응이 진행 중에 산소의 유입의 증가로 반응이 촉진되어 열 발생율이 증가되거나 주변 환경으로 인해 열이 축적되어 불꽃화재로 전이될 수 있다.

화재현장에서 연소반응이 시작부터 종결부까지 혼소로 진행된다면 화재현장이 대부분 일부분에 국한되고 현장 변형이 많지 않아 발화지점 판정부터 혼소화재 원인 판정이 그리 어렵지 않을 수도 있다.

그러나 화재현장에 여러 변수로 인해 혼소에서 갑자기 불꽃으로 전이된다면 화재가 이미 진행된 상태에서 발견되고 혼소반응이 전개될 때 불완전 연소로 인한 가연성 가스와 주변의 열로 인해 화재가 갑작스럽게 증가될 수 있고 화재로 물건이 소실되고 소방대의 진압활동 등 여러 변수들로 인해 화재현장의 변형으로 정확한 발화지점 판정과 혼소화재 원인에 대한 증거입증 등 상당한 어려움이 예상되는 관계로 화재조사가 어려워질 수 있다.

앞에서 살펴보았듯이 혼소반응은 연소현상 특이점이 있다. 특히 혼소가 진행되기 위해서는 산소공급량이 중요한 의미를 띠고 혼소반응의 연속성은 혼소 가능한 물질 등이 존재하여야 한다.

혼소연소에 대한 반응을 다시 정리하면 가연성 증기나 분해물이 불꽃연소가 이루어지기 전에 온도가 주변으로 방열되어 연소반응이 이루어지는 부분은 발화점 이상의 고온이지만 연소가 되지 않는 것이다. 또한 가연물도 산소의 공급을 차단하는 것은 연소의 3요소를 충족하지 못해 연소를 중지시키므로 연소될 때 가연물이 산소가 들어오는 입구를 막는 물질은 혼소가 진행될 수 없다. 그러므로 혼소연소의 이런 특징들은 혼소화재 감식에 있어 매우 중요한 의미를 가진다.

화재조사관은 이 혼소 특징들 이외에 최초 신고자나 주변 목격자들, 최초 도착한 소방대 등을 통해 초기의 연소 특징들을 확인해야 한다. 즉, 연기가 나오는지 불꽃이 있었는지 등은 혼소화재 감식에 중요한 단서를 제공한다.

초기에 이런 정보가 확인되지 않을 경우에 순수하게 화재조사관의 현장감식능력에 의존해야 한다. 먼저 화재현장에서 혼소반응과 불꽃연소가 있었는지 여부는 가연물이 상호 접촉되지 않고 떨어져 있을 때 떨어진 물건이 연소가 진행되었다면 이는 불꽃화재가 있었다고

짐작할 수 있다. 그와 반대로 떨어진 물건은 연소가 되지 않고 가연물 하나에 국한되어 연소되었다면 이는 혼소화재로 여길 수도 있다.

화재현장이 순수한 혼소화재라면 화재원인 판정은 용이하지만 불꽃화재였다면 혼소 점화원과 불꽃화재 점화원 등 모든 현상을 고려해 화재원인 감식이 어려워진다.

만약 화재현장이 불꽃 화재였다면 혼소 화재원에 의해서 불꽃 화재로 전이에 염두에 두고 정확한 발화지점 판정을 선행해야 한다. 발화지점 판정이 완료되면 연소의 3요소를 대입하여 연소의 조건을 충족시키는 점화원을 찾아야 한다.

화재원인이 혼소 점화원이라는 의심이 들 때는 혼소 점화원이 놓인 부근에 혼소 가능 물질이 존재 한지를 따져보아야 한다. 또한 산소공급 조건과 열축적 조건을 살피고 반드시 화재가 그곳에서 시작되어 주변으로 확대되었다는 논리를 뒷받침하여야 할 것이다.

## 1. 담뱃불

담뱃불은 전형적인 혼소화재 점화원이며 우리 주변에서 쉽게 화재발생을 확인할 수 있다. 담배 불씨는 적열되는 부분이 고온이지만 그 자체적으로 목재나 두꺼운 종이를 연소시키기에는 어려웠지만 갑작스럽게 돌풍이 불어 산소공급이 많아지면 연소 반응면이 증가되면서 열발생율이 증가되어 화재를 발생시킬 수도 있다.

그러나 담뱃불은 혼소반응이 잘 될 수 있는 조건을 가지고 있고 담뱃불 주변에 어떤 가연물이 있는지가 매우 중요하다. 그러므로 담뱃불 혼소화재 과정은 최초 발화지점 판정, 발화원인 판정이 이루어져야 한다.

발화원인으로서 담뱃불이 의심될 때, 담뱃불이 놓인 주변에 혼소 가능 물질의 존재 여부는 중요하다. 무엇보다도 그 지점에서 담뱃불이 놓여 혼소 가능 물질을 혼소시키고 주변으로 연소확대 되었다면 것이 입증되어야 할 것이다.

## 2. 고온 금속 입자들(용접불티, 그라인더 불티)

최근 용접으로 인해 다수의 인명피해가 발생하여 사회적 물의를 일으키고 있다. 금속 입자들은 고온 절단 작업 시 파편들이 산화되는 것으로서 엄격히 표현하면 혼소반응은 아니다.

고온 금속 입자들이 혼소 가능 물질에 떨어져 혼소반응이 전개되면 담뱃불 화재감식과 같은 방법으로 전개하면 되며 하나 첨가해야 할 것은 그 작업이 수행되었다는 것을 입증해야 한다.



그러나 이들 금속 입자들은 훈소가 되지 않는 스티렌 폼이나 비닐에도 떨어져 화재를 발생시킨다. 이들은 입자들이 크면서 발생하는 열이 많고 다수의 입자들로 인해 발화온도까지 상승시켜 화재를 일으키기도 한다.

## Chapter 5 핵심 요약

### 1. 미소화원

미소화원은 “극히 작은 불씨”가 화재원인이 되는 것으로 극히 작은 불씨라는 의미는 불씨가 작은 개념보다는 연소되는 과정에 불꽃을 수반하지 않는 별건 불씨를 의미하는 것이다.

### 2. 유염(불꽃)화재의 연소과정

불꽃화재는 최초 연소가 시작되면서 성장하게 되고 발생된 열에 의해 가연물에 영향을 미쳐 가연성 증기와 분해물로 인해 화재 최성기인 플래시오버단계가 촉발된 다음 한동안 지속되다가 점차 불꽃은 수그러든다. 이러한 연소과정은 성장단계, 플래시오버 이후 정상연소단계, 쇠퇴단계, 소화과정을 거치게 된다.

#### 가. 시작단계

화재초기에 불꽃연소가 발생하기 위해서는 적당한 시점에 점화원이 필수적이다. 점화원에 의해 연소가 시작되면서 생성된 유염(불꽃)이 연쇄착화 속에서 물질이 연소하기 시작한다. 처음에는 착화된 가연물의 국부지점에서 일어나게 되고 상부로 이동한 열과 연기는 불기둥을 생성하게 되며, 그 속에는 그을음(탄소입자), 수증기, 이산화탄소, 이산화황, 유독가스 등이 포함되어 있다.

#### 나. 성장단계

성장단계의 불꽃은 상부와 외부로 확산되면서 대류와 복사에 의해 가연물이 착화온도에 도달하게 되면 연소가 시작되고 서로 가까이 있는 가연물이 직상에 이어 수평으로 확산되어 간다.

#### 다. 플래시오버(Flashover)단계

고온의 가스층은 불꽃확산이 일어나지 않아도 실내의 모든 물품 등에 복사된다. 가스층의 온도는 거의 600℃에 도달되고 실내에 있는 물품들이 점차 가열된다.

## Chapter 5 핵심요약

## 라. 훈소단계

플래시오버 이후에는 불꽃연소가 점점 약해진다. 그러나 산소농도가 16% 이하로 떨어지면 연소되지 않는 가연물이 있을 경우라도 불꽃연소는 감소하지만 산소농도가 5% 이하가 되면 완전히 중지할 수 있다. 고체가연물로부터 열 분해 되었던 가연물증기량이 감소하고 불꽃 연소량도 점차 줄어들어 결과적으로 훈소가 지속되는 경우가 일반적이다.

## 3. 무염(훈소)화재

무염화재는 불꽃이 없는 연소과정으로 고체가연물과 산소 사이에 반응이 상대적으로 느린 연소를 말한다. 표면은 적열 및 탄화가 진행되면서 적열온도는 1,000℃ 이상으로 갑작스럽게 다량의 공기유입이나 열 발생율의 증가, 열 축적에 의해 무염에서 유염(불꽃)연소로 전이될 수 있다.

## 4. 무염화원

가. 담뱃불

나. 자연발화

다. 기계적인 스파크

라. 고온금속체

## Chapter 5 학습가이드

- 01 연소과정은 숙지되었는가?
- 02 훈소화재가 일어날 수 있는 요인과 특이성은 이해하고 있는가?
- 03 유염화재와 무염화재의 이동(異同)은?
- 04 훈소화재의 감식기법은 숙련되었는가?



### [참고문헌]

1. James G. Principles of Fire Behavior. Delmar Publishers, U.S.A, 1998.
2. John D. Kirk's Fire Investigation(5ed). Pearson Education, Inc, New Jersey, 2004.
3. NFPA, "NFPA921:Guide for Fire and Explosion Investigations", 2004.



화재조사실무 V



# 제5편 방화화재감식

제1장 방화의 이론적 배경

제2장 방화원인의 감식 실무

제3장 방화의 실행과 수단

제4장 방화원인의 판정

## 1

## 방화의 이론적 배경

미소화원  
조사·감식

- 학습** 01 방화의 특수성을 이해한다.
- 목표** 02 방화의 감식실무를 익혀 직무에 효과적으로 활용할 수 있다.
- 03 방화행위의 입증과 방화판정 요건들을 나열할 수 있다.

## 제1절 방화와 관련된 용어

## 1. 방화의 특수성

방화는 일반 화재와 달리 의도한 사고성으로 은폐되는 경향이 많다. 방화행위자는 재난 피해의 사회적 약자로서 지위를 갖기 때문에 현실에 있어서 고의적인 범죄임을 곧바로 인지하기 어렵다. 그러나 적극적인 화재감식이 이루어져 화재인과 관계 등을 추적하면 뒤늦게 방화로 판명되는 경우가 많다. 그러나 대부분 신속한 방화 초기 대응과 인권침해 논란 등으로 지속적인 조사활동이 이루어지기가 어렵다. 또한 화재 진압을 위한 소화 활동의 특수성으로 물건의 이동과 파괴 등으로 방화 증거수집이 쉽지 않다.

통계에 의하면 방화범은 단독범행이 많고 범행수법이 야간에 은밀한 곳에서 행해지는 경우가 많아 발각이 어렵고, 모방성과 연쇄성이 강하여 사회 공공의 안전을 위협한다. 대부분의 방화행위자는 성공적인 방화를 위하여 방화 촉진제로 인화성이 강한 위험물질을 사용하거나 다수의 발화부에 방화하는 경향이 있다. 그러므로 화재피해가 광범위하고 급격한 화염 확산을 수반하는 등 일반화재와 다른 특수성을 지니고 있다. 방화행위는 라이터 1개로도 충분한 실행의 용이성 때문에 보험사기, 불만자, 원한, 경제적 이익이 방화동기가 된다.



## 2. 방화의 사전적 정의

### 가. 방화의 정의

사전적인 의미에서 볼 때 방화란 “일부러 불을 붙여 화재를 일으키는 것”, “불을 지름”, “지른 불”이라고 설명하고 있으며, 화재조사사전에서는 고열 및 빛을 동반하는 급속한 연소현상<sup>1)</sup>, 방재용어 사전에서는 자신의 소유를 포함한 주거지, 건물, 구조물, 기타 자산 등에 의도적으로 불을 지르는 범죄행위<sup>2)</sup>를 뜻한다. 방화는 Arson, Fire raising(영국), Incendiary Fire(미국)로 표기한다.

## 3. 방화의 형법상 정의

방화란 “고의로 화재를 일으켜 가옥이나 기타의 물건을 연소시키는 행위”를 말하며, 이는 불을 지른다고 하는 행위와 태우는 것(화력에 의한 물건의 손상)이라는 결과를 요건으로 한다. 불을 지른다고 하는 것은 연소의 원인을 제공하는 것이며, 그의 방법 여하를 불문한다. 목적물 또는 매개물에 적극적으로 점화하는 것이 통상적인 방화이다.

## 4. NFPA 921 CODE (화재 및 폭발원인조사 가이드) 정의

미국 NFPA 921 CODE에서는 방화성 화재(Incendiary fire)란 발화하지 않아야 했을 화재로 인식된 상황 하에 고의로 발생된 화재로 정의하고 있다.<sup>3)</sup>

1) 권현석 외, 「화재조사사전」, 한국고시회, 2009, P444

2) 한국화재보험협회, 「영·한 방재용어사전」, 1998, P26

3) NFPA 921(17-1) CODE (An incendiary fire is fire that has been deliberately ignited under circumstances in which the person knows the fire should not be ignited.)

## 제2절 형법상 방화죄

미소화원  
조사·감식

방화는 화재의 특성상 대부분 물적 증거가 소실·소훼되거나 또한 화재진압, 인명구조 과정에서도 파손되는 경우가 많기 때문에 화재원인을 조사하는데 있어서 가장 곤란한 현상이고 다른 형사사건에 비하여 원인 불명률이 높다. 또한 모든 나라에서 오랜 기간 방화가 발생하고 있으므로 방화죄는 가장 원시적인 자연범죄인 것이다.

## 1. 방화와 관련된 학설

「태우는 것」의 의미를 관례에서는 일관되게 불이 방화의 매개물을 떠나 독립해서 목적물에 불붙기 시작한 시점으로 하는 “독립 연소설”을 취하고 있다. 그리고 화력에 의한 목적물의 중요부분이 소실되어 본래의 효용을 잃게 된다는 효용상실설과 효용을 잃은 상태에 이르지 않았다 하더라도 목적물의 중요부분이 연소하면 족하다고 하는 “연소개시설”(절충설)을 보충적으로 적용하고 있다.

## 2. 방화죄

## 가. 의의

방화죄란 범죄학에서는 고의로 불을 놓아 사람의 주거에 사용되거나 사람이 현존하는 건조물, 공용, 공익에 사용하는 건조물 기타 일반 건조물이나 물건을 훼손하는 공공위험범죄를 말한다. 방화범은 화재진압으로 인한 현장훼손으로 증거수집이 곤란해 범죄입증이 어렵기 때문에 현장에서 조기 검거가 중요하나 야간 및 심야시간대 광범위한 지역에서 단시간 내 방화 후 도주하므로 보통 현장 검거가 어려운 특성을 갖고 있다. 방화범의 검거 단서 중 가장 높은 비율을 차지하는 경우가 현행범 체포와 피해자 등 목격자의 신고이므로 민·관의 유기적인 신고 및 검거체계 구축의 중요성이 강조되고 있다.

## 나. 연혁

방화죄를 주로 공공의 안전과 평온이라는 법익을 보호하기 위한 공공적인 범죄로 이해하기 시작한 것은 로마법을 제외하고는 비교적 근래의 일이다.

로마법에서는 방화죄를 살인죄의 일종으로 처벌하였으며, 게르만법에서는 생명과 재



산에 대한 침해법으로 파악하였다. 미국에서는 1861년 악의로 인한 방화죄를 규정, 영국에서는 재산에 대한 죄에서 방화죄를 규정, 프랑스 형법도 손괴죄와 함께 방화죄를 구성하였다.<sup>4)</sup>

#### 다. 형법의 규정

방화죄(Brandstiftung : Arson)는 협의로 불을 놓아 사람의 주거에 사용되거나 현존하는 건조물 기타 일정한 물건을 소훼하는 내용의 범죄(본래의 방화죄)이나, 광의로는 협의의 방화죄 외에 진화를 방해하거나, 폭발성 있는 물건을 파열하거나 또는 가스·전기·증기 등의 공작물을 손괴하는 것을 내용으로 하는 범죄(準放火罪)를 말한다.<sup>5)</sup> 국내 실정법으로는 형법 제13장 제164조~제176조에 규정되어 있으며, 동 규정에서는 객체가 건조물과 건조물 이외의 것을 구별하고 있다. 또한 건조물의 경우 현주건조(現住建造物)과 비현주건조물(非現住建造物)을 분류하여 범죄의 구성요건이나 형벌을 다르게 적용하고 있다. 공용건조물 등의 방화죄(제165조), 자기 소유의 일반건조물 등의 방화죄(제166조 제2항), 자기소유 일반물건 방화죄(제167조 제2항), 진화방해죄(제169조), 연소죄(168조) 등이 있다.

## 제3절 선진국 화재(방화)조사 제도

### 1. 미국

미국은 연방제 국가이므로 연방과 각주가 각각 별개의 법역을 소유하고 연방법과 각 주법이 병존하는 이원성을 갖고 있다. 따라서 행정조직이나 제도도 각 주마다 일률적으로 같지 않다. 화재조사 사무에 대한 조직과 운영체계도 전국적으로 통일된 기준이 없이 각 주정부의 환경과 실정에 맞게 운영되고 있으나 일부 주에서는 방화를 포함한 화재와 폭발의 수사권한은 소방관서장에게 있다.

뉴욕을 비롯한 대개의 도시 소방당국은 화재조사업무에 대한 사법권 제도로서 형사소추권을 갖고 있다. 소방서의 Fire Marshal(예방과장)은 보통 2~3명으로 구성된 화재수사팀(Fire investigation unit or team)이 있어서 화재, 방화, 폭발 등의 사고에 대한 조사 및 수사 권한을 갖고 1차적 조사를 한다.

4) 이태언, 형법각론(서울 : 형설사), 1997, P432

5) 최성룡, 화재조사론(서울 : 도서출판 덕유), 2000, P194

다수의 주에도 State Fire Marshal(주 소방행정관)에 관한 법률이 제정되어 있으며 이에 따라 주소방행정관은 일반적으로 화재조사를 비롯한 화재예방행정의 집행을 하는데 소속된 수 명의 화재수사관이 시·군의 화재수사업무를 지원하고 있다. 규모가 작은 소방서 관할지역에서 발생한 방화사건은 화재수사팀이 있는 인접 대도시로 넘겨지기도 한다.

로스앤젤레스의 경우 소방국에 원인 조사과가 있어 모든 화재의 원인조사를 하고 있으며, 시카고의 경우도 소방국에서 모든 화재의 원인조사에 관한 권한을 행사하고 있다. 샌프란시스코를 비롯한 여러 도시에서는 방화관련 특별위원회(Task force)를 구성해 운영하기도 하는데, 화재조사를 통한 방화의 의심이 있는 화재는 소방·경찰·검사로 구성된 특별위원회를 거쳐 법정의 공판에까지 이어지고 있다. 특히 방화사건에 대한 법정기소는 소방기관 단독으로 행해지기도 하며 상기 위원회를 거쳐 기소되기도 한다.

## 2. 일본

일본의 종전 소방행정체제는 미국의 경우와 같이 완전한 기초자치단체를 중심으로 한 소방행정체제를 하고 있으나 현재 소규모의 5~6개의 도시가 인구 100만 여 명 단위로 상호응원협정을 맺어서 중심도시에서 소방본부를 운영하는 변형된 소방행정체제를 갖추는 경향이 확산되고 있다. 화재조사제도에 있어서는 미국과 달리 방·실화범에 대한 수사권은 없다. 그러나 소방조직법에서 소방 및 경찰은 서로 협력해야 한다는 규정을 두어 양자에 협력의무를 부과하였다.

일본의 화재조사도 우리나라와 같이 소방, 경찰에서 각각 실시하고 있으며 일본 소방법 제35조 제1항은 화재원인조사의 우선권한을 소방본부장, 소방서장에게 부여하여 화재건물에 대한 물적 조사는 주로 소방이 담당하고, 방·실화용의자에 대한 인적 조사는 주로 경찰이 담당하고 있으며, 소방·경찰 간에 상호협력조항을 준수하여 유기적인 공조체계를 갖추고 있다. 즉 국가기능의 이중적 낭비를 방지하고 검찰에서는 방화증거물에 대한 철저한 분석 및 확보로 공소권이 유지되고 법원에서는 소방의 화재원인조사 및 경찰의 수사 결과의 신뢰성을 인정, 판결에 인용하는 경향이 매우 높다. 동경소방청에 방화화재예방 대책위원회를 설치하여 전문적인 방화대책연구를 실시하고 있다. 위원회는 소방, 경찰, 정신과의사, 심리학자, 건축공학전문가 등으로 구성되어 있으며, 위원회의 기능은 방화화재대책 및 관련시책을 연구·검토하여 소방청에 보고하는 것이다.



### 3. 기타

#### 가. 캐나다

화재원인이 방화로 판단되면 주정부의 조사원이 수사를 한다.

#### 나. 프랑스

파리시는 육군, 마르세이유시는 해군, 기타 시는 민간이 소방을 담당하고 있는데 방화범 수사는 경시청에서 담당하고 있다.

#### 다. 중국

공안부 소속의 인민해방군이 소방을 담당하고 있으며 방화범죄수사는 경찰에서 담당하고 있다.

#### 라. 영국

우리나라와 유사하게 내무부에서 소방과 경찰 업무를 관장하고 있는데 런던 소방국 화재원인조사부에서 방화를 비롯한 화재의 원인조사를 맡고 있다.

## 제4절 방화심리와 형태의 이론

### 1. 방화의 심리

#### 가. 범죄학적 측면에서 연구

방화는 화재 손실이 발생하면 경제적으로 미치는 영향이 클 뿐 아니라 행위자의 성격, 심리적인 면에서도 복잡·다양하므로 범죄학적인 측면에서의 연구는 오래 전부터 계속되었다. 방화 행위를 정신병의 일종으로 간주하고 방화광의 존재에 대한 논란이 의학, 사회, 범죄 심리분야에서 계속되고 있다. 즉 방화의 정신과학적 연구는 방화광으로부터 시작되며, 방화심리에 우선 문제가 되는 것은 정신병의 소질과 관계가 있으므로 방화와 정신병과는 상당량의 인과관계가 있다고 할 수 있다. 그러므로 정신병자가 방화하는 직접적인 동기에 대한 잠재의식은,

첫째, 의식이 혼탁한 상태에서 히스테리(Hysteric) 등에 의한 방화,

둘째, 정신적 충격을 받고 발작적으로 하는 방화,

셋째, 이상성격 소유자, 신경쇠약 자가 병적인 강박관념에 괴로워하다가 대항의식으로 하는 방화

넷째, 망각현상(환시, 환청, 환촉)에 빠져서 행해지는 방화로서 즉 어디에 불을 지르라는 신(神)의 계시에 의해 행동하는 유형으로 대단히 위험하다고 볼 수 있다.

방화범들은 일반적으로 방화행위 후 엄청난 방화 결과에 대해서 판단할 능력에 결함이 있고 순간적인 착상에 대해 억제력이 없으며, 방화동기가 어린이와 같은 순진성에 기초를 두고 있는 경향이 많다. 또한 방화의 내부 동기로 성(性)과 연령의 문제로 방화범죄 수단이 용이하고, 은밀한 장소에서 수행할 수 있다. 그리고 생활환경으로 인한 감정 변화(원한, 분노, 치정 등)복수심이 생길 때 자연스럽게 범행으로 이어지기가 쉽다. 그러므로 작·간접적인 성욕과 관련하여 통정관계의 갈등, 성적인 욕구 발산, 월경, 우울증세 등 심리 변화로 인한 방화가 있고, 연령에 있어서는 종전에는 연소자에 방화범이 편중되어 있는 편이다. 최근에는 실직자의 가정불화, 불륜으로 인한 가족 간, 직장 동료 간, 사회 구성원 간 갈등으로 방화연령층이 다양화되는 특징을 갖고 있다. 특히 연소자는 내부 심리적 압박이 강하고 정신상태가 불안정하여 자기본능과 다혈성 기질이 강하여 방화로 인한 쾌감지수가 높은 것으로 알려져 있다.<sup>6)</sup>

## 나. 방화범의 심리 분석<sup>7)</sup>

### 1) 방화범의 정신의학적 분석

방화범죄가 다른 범죄와 다른 특징 중 하나는 다른 범죄 보다 그 실행이 용이한 데 비해 그 피해가 커서 정신박약자 또는 지능이 낮은 사람도 들켜거나 제지받지 않고 자신의 분노를 표출하거나 원한을 해소하는 희열감을 맛볼 수 있다는 것이다.

### 2) 방화범의 방화동기 선행연구

방화의 우려가 있는 사람이 나타내는 징후에 대한 연구 중에서 가장 특이할 만한 것은 1980년대 후반 데이비드 콜코(David Kolko)와 알란카진(Alan Kazdin)에 의해 행해졌다. 이들은 방화위험요소 모델을 만들고 이 요소들에 근거해서 방화를 저지할 가능성이 있는 자들을 가려내는 기제를 제시했다(Kazdin & Kolko, 1986). 이들은 이후 방화를 저지할 가능성이 있는 자들을 특성에 따라 다시 몇 개의 그룹으로 세분한 후 각 그룹의 특성에 맞는 예방 및 치료책을 찾아내는 접근방법을 채택하였다.

6) 송재철, 화재원인과 조사실무Ⅱ(서울: 경찰수사연구소), P201

7) 중앙소방학교, 화재조사교재, 2001



이전의 중요한 연구들을 살펴보면 먼저 1951년에는 루이스와 야넬(Lewis & Yarnell)이 병적인 방화범들에 대한 대규모 조사를 실시했고 그 결과 이들은 몇 개의 그룹으로 분류하는데 성공했다. 이들은 재산상 이득을 목적으로 한 방화범을 제외한 모든 방화범들을 동기에 의한 방화범, 방화광, 의용소방대형, 영웅모방형, 부랑자형 및 정신이상자형로 구분하는 분류체계를 만들어 내었다. 하지만 이들의 분류체계는 과거의 방화범들을 설명하는데 그치는 수준으로 단순 묘사적이며 이론적 뒷받침을 갖고 있지 못했기 때문에 방화범의 종류와 특성에 따라 예방책이나 치료방법 또는 바람직한 처벌의 정도에 대해 방향을 제시해 주지는 못하였다.

1961년에 행해진 카우프만, 하임즈 및 라이저(Kaufman, Heims and Reiser)의 방화범 연구 역시 방화범의 체계적 분류에 공헌을 하였는데 이들은 30명의 남자 방화범들을 상대로 조사한 결과 이들 중 22명이 정신이상 혹은 정상과 정신이상의 경계선상에 있다는 것과 성심리학적 성장과정상 구강기(口腔期)에 머물러 있다는 것을 발견했다. 이는 병적 방화범들이 신경증적 증상을 나타내며 남근기에 머물러 있다는 당시의 지배적 이론을 뒤집는 것으로 이후의 심리분석적 방화범 연구에 간접적인 영향을 끼치게 된다.

1963년에는 로스타인(Rothstein)이 8명의 소년방화범들에 대한 심리검사를 한 결과 이들이 경계선상의 정신질환그룹과 걱정적신경증그룹으로 양분된다는 것을 발견하였다. 경계선상의 정신질환 그룹에 속한 5명중 1명은 현실감을 상실한 정신분열증 환자로 자아 발달의 최저단계에 속해 있었는데 심한 애정, 영양 및 안정감 결핍 증세를 나타내었다.

1986년에는 사카임과 오스본(Sakheim & Osborn)이 20명의 방화범과 20명의 정상인 통제집단 사이의 비교연구를 통해 방화범들은 독특한 특성을 가지며 몇 개의 특성그룹으로 구분된다는 것과 심리행동분석적 접근을 통해 자아발달 단계를 평가하면 방화범들을 의미있게 분류할 수 있을 것이라는 결론에 도달했다.

이들이 밝혀낸 7가지 방화범 특성 그룹은 호기심 또는 우연에 의한 방화범, 도움을 갈구하는 방화범, 관심을 끌고자 하는 방화범, 영웅흥내를 내는 방화범, 흥분이나 성적만족을 추구하는 청소년 방화범 및 정신병적 방화범 등이다.

하지만 이들의 분류 역시 과거 루이스와 야넬의 분류처럼 단순 묘사적이라는 문제점을 안고 있으며 선행연구에서 제시된 자아발달의 단계분석에 기초한 분류가 아니라는 비판을 받고 있다.

이제까지의 선행연구들을 종합해 보면 대부분의 방화범들은 프로이드가 제시한 성심리학적 발달단계에 따라 분류될 수 있다는 것을 알 수 있으며 그렇기 때문에 이

에 따라 방화범들을 분류하고 각 방화범의 특성에 따른 치료책을 찾아보고자 한다. 한 가지 분명히 해 두어야 할 것은 어떤 방화사건의 경우 자세한 내용이 보고되지 않아 분류자체가 어려운 경우도 있고 어떤 방화범의 경우엔 한 단계 이상에 해당되는 특징들을 복합적으로 나타내기도 한다는 것이다. 이러한 방화범 분류는 미국, 영국, 캐나다. 호주 등지에서 실제 발생한 방화사건과 방화범들에 대한 조사 및 분석을 통해 이루어졌다.

### 3) 성심리학적 방화범의 분류

#### 가) 구강기 방화범(Oral-Stage Firesetting)

성심리학적 발달단계에서 구강기에 머무르고 있는 방화범들이 불에 매력을 느끼는 이유는 이들이 무의식속에서 모성이 주는 따뜻함과 안전감을 갈구하며 불이 이러한 따뜻함과 안전감을 상징하기 때문이다. 대개 이런 사람들은 생후 18개월 동안 모성애를 받지 못한 경험이 있다. 이들이 방화를 저지를 때 나타내는 특징들은 대개 방화의 대상으로 모성과 관계있는 장소나 물건을 택한다는 것이다. 예를 들면, 다른 곳으로 주거를 옮기게 할 목적으로 거주하는 집에 방화를 하거나 병원으로 돌아갈 목적으로 방화를 한다든지 또는 친아버지와 같이 살게 하기 위해 집에 불을 지른다.

또한 구강기에 머무는 방화범들은 자기 자신에게 불을 지르기도 하고 불을 지르고 싶다는 견딜 수 없는 충동을 느끼기도 한다. 구강기 방화범들은 평소 안전한 상태에서 불이 피어오르는 것을 보고 행복감을 느끼거나 만족감을 느끼는 경험을 하지만 화염을 직접 보고나 통제가 안 되는 불을 대하면 공포심을 느끼기도 한다. 이들은 방화와는 관련 없는 다른 구강기적 특징들을 보이기도 하는데 예를 들어 손톱을 물 뜯는다든지, 음식을 사재기 한다든지, 음식을 토할 때까지 먹는다든지, 스트레스를 받으면 오줌을 싸거나 토하는 행동들이다. 이들은 때로 청소년기가 다 되어서까지 엄마와 함께 자고 나이가 좀 들었을 때는 이상행동을 나타낸다. 이들의 성생활은 대개 미숙하고 구강성교를 동반한다.

#### ✓ 사례

13살인 소년 ○○○의 엄마는 걱정적이고 쾌락을 즐기며 때로 끓는 열정 때문에 자기 자신을 잃어버릴 정도로 놀아야 한다고 한다. 아이에 대해서는 완전히 내버려 두다가 지나칠 정도로 애정표현을 하는 등 양극단을 달려왔다. ○○○은 어두운 곳에 혼자 있기를 두려워해서 밤에는 엄마와 함께 잔다. ○○○은 4살 때부터 지하실에 불을 놓기 시작했으며 점차 침대 등으로 방화대상이 바뀌어 갔다. 후에 방화범으로 검거되어 정신감정을 받은 결과 '경계선상의 정신이상자(Borderline psychotic)'로 판정받았다.



### 나) 항문기 방화범(Anal-stage Firesetting)

항문기 방화범들의 가장 중요한 특징은 이들이 행동에 있어서의 충동성과 격정성이다. 이들은 주로 감정에 대한 반응으로 방화를 하며 특정한 사람의 소유물이나 재산을 방화대상으로 삼는다. 예를 들면, 부모의 소유물이나 아버지의 차 또는 정신과 의사의 사무실 등이며 이들의 방화 동기는 분노, 복수, 미움 또는 질투심이다. 항문기 방화범들 중에는 동물에 불을 놓거나 동물들을 학대한 사례가 보고되었다.

방화 이외의 다른 항문기적 특징으로는 가학성(Sadism), 항문부위에 대한 가학적 행동, 피가학적(Masochism), 분노의 표시로 똥을 누는 행위, 변을 가리는 시기가 매우 늦어짐 등이 있다. 항문기 방화범들은 때로 감정조절이 잘 안되어 감정이 폭발하는 반응을 잘 보이고 공격적인 성향을 보이기도 한다.

항문기 방화범이 되는 이유는 생후 18개월에서 3살 시기에 부모의 애정이 결핍되어 아버지가 없거나 아버지의 역할이 매우 약할 때 발생한다. 항문기 방화범들의 성생활은 대개 미숙하고 항문성교에 대한 집착을 보인다. 항문기 방화범들은 구강기 방화범과 달리 불을 지르고 싶다는 참을 수 없는 충동을 느끼지는 않는다. 이들은 불을 어떤 일을 종료시키기 위한 수단으로 학습하지만 불 이외의 다른 종결수단을 대신 사용하기도 한다.

#### ✓ 사례

4살 난 ○○○은 심하게 파괴적이고 공격적인 행동을 보였는데 어린 동생의 손가락을 문틈새에 끼어 다치게 하고 손가락을 면도칼로 자른 후 머리카락에 불을 붙였다. 평소 과격하고 화가 나면 자기 머리를 벽에 부딪치곤 했다. 아이의 어머니는 매우 불성실한 사람으로 실신을 잘하고 가끔 실어증 증세를 보였고 심한 두통에 시달렸으며 무책임하고 가정을 소홀히 하는 남편과 자주 다투었다.

### 다) 남근기 방화범(Phallic-stage firesetting)

남근기 방화범의 가장 두드러진 특성은 불을 바라보면 발기를 하고 성적충동을 느껴 자위행위를 하거나 자위행위 대신 불을 지르기도 하며 불을 붙임으로써 긴장이 해소되는 쾌감을 느끼기도 한다. 남근기 방화범들은 불이 타오르는 모습이나 소방관들이 화재를 진압하는 모습을 보면서 충만감을 느끼기도 하고 불에 오줌을 갈기거나 불에 물을 부어 연기가 피어오르는 것을 보면서 기분이 상승하는 것을 느끼기도 한다. 이들은 자신의 행동이 잘못된 것이라는 것을 알고 있었으며 자책하기도 하고 방화 후 노이로제 증세를 나타내기도 한다. 남근기 방화범들은 발기를 잘하지 못하고 대개 여자와의 직접적인 성 경험이 없다. 그래서 대개 이들은

여성의 소유물에 직접 불을 붙이는 경향이 있으며 불을 붙일 때 참을 수 없는 충동을 느낀다고 밝히고 있다. 이들의 성생활은 미숙하고 자위행위나 관음증(Voyeurism), 노출증(Exhibitionism), 이성의 옷 걸치기(Transvestism) 또는 아동선호성도착증(Paedophilia)에 빠지는 경향이 있다.

### ✓ 사례

56세 된 어린이선호성도착증 동성연애자 ○○○은 돈으로 사춘기 이전 아동들을 유혹하려고 하다가 실패하면 쓰레기통에 불을 지르곤 했고 그렇게 불을 지르고 나면 발기가 되었다. 그러면 ○○○은 불길을 바라보면서 유혹하려던 소녀의 얼굴을 떠올리며 자위행위를 했다. ○○○은 한 번도 성인 여성과 성관계를 가져 본 적이 없다.

### 라) 잠복기 방화범(Latency-period firesetting)

잠복기 방화범의 특징은 후회할 줄 모른다는 것과 경험이나 처벌로부터 배우지를 못한다는 것이다. 이들은 주로 쾌감을 얻기 위해서나 호기심으로 불을 지르지만 직접적인 동기는 불분명하고 자신도 모르는 때가 많다. 또한 불에 대한 환상을 가지고 있지도 않고 자신이 불을 지른 상황을 돌이켜 볼 때도 별다른 감정을 내보이지 않는다. 대부분 주의를 집중할 수 있는 시간이 짧고 과격하며 파괴적이고 반사회적이다. 이들의 행동은 짜증이 나는 상황이나 자기비하를 느낄 때 화풀이로 방화를 하며 이러한 행동에는 관심을 끌거나 도움을 요청하는 심리가 내재되어 있다. 이러한 점에서 잠복기 방화범들의 분노는 특정한 대상에 대한 분노의 표시로 향문기 방화범들의 경우와 구별된다. 잠복기 방화범들은 파괴적인 행동패턴에도 불구하고 때론 표면적으로는 매력있는 사람으로 보여 청소년기에 학급에서 이상한 행동으로 교사의 관심을 끌기도 하고 친구들의 부추김에 과감한 행동으로 반응을 보이기도 한다.

재산상 이득을 얻기 위한 방화, 범죄를 은폐하기 위한 방화, 성냥을 가지고 놀다가 방화하는 경우는 부주의하고 분별없는 무책임한 행동특성으로 보아 잠복기 방화범들의 행동범주에 포함된다고 볼 수 있다. 향문기 방화범들처럼 잠복기 방화범들도 불을 질러야 한다는 참을 수 없는 심리적 충동을 느끼지 않는다. 이들에게 있어 방화는 자신들이 추구하는 목표를 달성하기 위한 또 다른 수단일 뿐이며 그 목표는 혼란, 무질서 등이다. 이들은 방화범 중 가장 무서운 부류에 속하는데 무차별적으로 방화하고 결과에 무관심하기 때문이다.



### ✓ 사례

10살 ○○○이는 동네 창고 옆에 쌓아 둔 짚더미에 방화하여 큰 화재가 났는데 불에 대한 환상 같은 것을 가지고 있지도 않았고 잡힌 후에 자신의 행동에 대해 전혀 감정의 동요 없이 담담하게 진술하였다. 학교생활은 '주의가 매우 산만하고 수업시간에 우스꽝스러운 행동을 하거나 돌아다니고, 성적이 극도로 불량하고, 매우 변덕스럽고 쾌활과 우울의 양극단을 달리는' 이상성격으로 자신이 한 행동의 결과에 대해 전혀 개의치 않는 요주의 대상이었다. 이와는 대조적으로 그의 어머니는 아들에 대해 삶의 기쁨과 아름다움을 즐길 줄 아는 생기 발랄한 소년이라고 열정적으로 칭송하였다.

#### 마) 외음부기 방화범(Genital-stage firesetting)

외음부기 방화범은 방화범 중 가장 발달된 성격의 소유자들이다. 이들은 활동에 대한 욕구를 강하게 가지고 있는 것이 특징이다. 잠복기 방화범들과 달리 이들이 추구하는 흥분감은 화재진압활동과 직접적으로 관련되어있다. 일부는 소방관이 되고 싶어 하지만 지적능력 부족이나 신체적 결함 때문에 그 꿈을 이룰 수 없는 경우가 많다.

외음부기 방화범들은 불을 지름으로써 부상을 입히거나 큰 재산상 손실을 초래하고 싶어 하지는 않는다. 그래서 이들이 불을 지를 때 의도하는 불의 크기는 스스로가 생각하는 자기 자신 또는 소방관들의 진화 능력의 범위 안에 있다. 물론, 불의 속성상 처음에 의도하던 정도를 넘어서 자신이나 소방관들이 쉽게 진화할 수 없는 큰불로 확대되는 경우가 많다.

### ✓ 사례

17세 ○○○은 두 달 사이에 26곳에 연쇄 방화한 혐의로 검거되었다. 조사결과 불을 놓고 나서 화재경보기를 누른 후 현장에서 기다리다가 소방대가 도착해서 불을 끄는 광경을 지켜보다가 소방관을 도와주기도 했고 화재진압 도중에 소방대장을 찾아가 커피를 권하며 화재진압에 대해 이런저런 이야기도 나누어 소방대장과 매우 친해져 있었다. 또한 방화할 때마다 안에 사람이 없다는 것을 여러 번 확인하고 불을 놓았기 때문에 방화로 인해 사람이 죽거나 다친 적은 없었다. 그는 6살 때 부모가 별거해서 고아원에 남겨졌으며 13살 때 아버지와 함께 살기 위해 고아원을 떠났는데 그의 아버지는 폐차를 불에 태우고 분해하는 폐차장에서 일하며 기거하고 있었다. 이때부터 차를 불로 태우는 작업과정을 지켜보았는데 나중에 진술에 의하면 불을 불 때마다 대단한 흥분을 느꼈다고 한다. 다음해에는 아버지와 함께 차에 불을 붙이는 작업을 스스로하게 되었고 그해에 부모는 정식으로 이혼하게 된다. 이혼 과정에서 어머니는 주말마다 자신을 보길 원했으나 '여자'를 싫어했기 때문에 어머니와 있는 것이 무척 불편했다고 진술했다. 이때부터 방화 행각이 시작되었는데 처음에는 길가에 서 있는 차에 불을 붙이다가 차고 안에 주차된 차에 불을 지르고 점차 차고와 창고, 빈집으로 방화 대상이 확대되었다.

2. 방화 형태의 이론<sup>8)</sup>

가. 단일방화 : 단일방화란 연속방화에 대응하는 개념이다.

## 1) 동기

가족 간 또는 동료 간의 다툼, 방화자살 등 인간관계에서 기인한다.

## 2) 방화 장소

현주건조물 중 옥내의 경우가 많다. 또 행위자와 특정의 관계가 있는 자의 물건을 대상으로 하고 있다.

## 3) 착화물

사전에 유류 등을 준비해서 범행목적을 확실히 달성하려는 경향이 확인된다.

나. 연속방화 : 동일인 또는 동일집단이 2건 이상 방화를 행한 경우이다.

## 1) 동기

세상사에 대한 불만의 발산, 화재로 인한 소란을 기뻐한다.

## 2) 방화 장소

쓰레기통이나 창고, 물건적치장, 빈집과 같은 비현주(非現住) 건물 등이 많고 행위자 자신과 아무런 관계가 없는 사람의 물건을 대상으로 하기도 한다. 또 행위자 자택과 가까운 거리에 있는 지역을 선정하는 경향이 있다.

## 3) 착화물

방화 대상 개소 주변에 있는 생활정보지, 신문지, 쓰레기 등 착화에 용이한 물건을 무차별적으로 선택하는 습관이 있다.

## 4) 기타

방화행위자는 비교적 젊은 사람이 많다. 보통 행위자는 체포될 때까지 계속적인 방화를 하는 행동적 습관을 보인다. 정치적 목적에 의한 방화를 제외하고는 범행의 탄로 우려 때문에 대부분 단독으로 행하므로 공범이 적으며 발생 시간대는 심야 시간대가 많다.

8) 서울시립대도시방재안전연구소



### 3. 방화의 분류

#### 가. 이익목적에 의한 경우

금전적인 이익과 결부시키기 때문에 채무변제 등을 목적으로 하는 방화행위 계획은 용의주도하고 면밀하다. 발화장치 등을 사용하여 알리바이 공작, 증거인멸 등을 도모하는 한편 전기화재 등 실화로 위장하려는 시도를 한다.

#### 나. 정치적 목적에 의한 경우

과격파로 불리는 특정 집단이 정치적인 의도를 가지고 시한발화장치를 사용하여 동시에 수 개소의 대상물을 선택하여 방화하는 경우이다.

최근에는 고도의 과학지식을 이용한 강력한 화력을 지닌 타이머 폭발장치로 주위에 미치는 피해규모가 대형화되고 있다.

#### 다. 우발적인 방화

계획을 수립하지 않고 발작적으로 실행에 옮기는 방화 주된 동기로는 정신이상이거나, 사회 등에 대한 불만의 발산에 의하거나, 원한에 의한 경우가 있다.

##### 1) 정신이상 등에 의한 경우

정신이상, 노이로제, 알코올 중독이나 약물에 의한 환각증상 등에 의한 범행이 해당한다. 사전 예고가 없이 방화의 대상으로는 자기의 소유 또는 점유하는 건물 및 물건이 많다. 이 범위에서 방화 자살도 포함된다.

[ 그림 5-1 ] 서울 홍제동 주택 정신이상자의 방화('01.3.4)



## 2) 불만발산에 의한 경우

사회 또는 가정 등에 불만을 품고 있는 자가 불을 지르고 불길에 치솟는 것을 보고 상쾌한 기분이 들거나 화재진화소동이나 소방차의 사이렌의 소리에 가슴의 압박감이 없어졌다는 이유에 의한다.

## 3) 원한에 의한 경우

때로는 분노나 원한을 표면에 드러내지 않고 은밀한 계획을 세워서 짓궂은 방법을 취한다. 대체로 화재의 규모는 작다. 그러나 최근 자제력이 부족한 젊은층에서는 여러 가지 인간관계의 '갈등' 등으로 상대에 대한 원한을 품고 전후를 가리지 않고 불을 지르는 형으로 전환되고 있다. 상대방을 불에 태워 죽이려고까지 생각하거나 또는 상대방의 가옥을 전소시키는 등의 강렬한 의지를 가지고 행동하는 경향도 보이고 있는 추세이며, 매개물로 유류를 사용할 경우에는 연소규모가 크다.

[ 그림 5-2 ] 대구지하철 방화 전동차('03.2.18)



## 4. 방화 동기의 유형

## 가. 경제적 이익을 위한 방화

경제적 이익을 얻기 위해 보험에 가입된 주택이나 건물, 상품 또는 차량 등에 방화를 하는 경우로 주로 돈이 궁한 상태에 있는 자가 거액의 보험에 최근 또는 중복 가입되어 있는 경우 가장 많이 발생한다. 이밖에도 수상(受賞) 목적의 방화, 취업목적의 방화, 불우 위문금을 걷기 위하거나 낙후된 복지시설 개선을 목적으로 하는 방화, 채권, 채무, 납품, 납세 등의 유예, 변제 등을 목적으로 방화를 한다.



## 나. 보험 사기성 방화

산업활동이 왕성한 현대사회에 있어서 대표적인 지능적인 범죄로서 보험금을 사취(詐取)<sup>9)</sup>하기 위한 보험사기 방화가 있으며 선진국형 범죄에 속한다. 현재 국내 손해보험업에서는 다양한 화재보험 상품을 개발, 판매되고 있으며, 보험가입자는 보험금을 불입할 때마다 보험금지급에 대한 은연 중 실효성을 생각하게 되며 특히, 사업부진이나 채무변제, 노후 기계 교체 필요성, 보험금 만기의 도래 시 방화를 실행하여 보험금 전액을 수령하게 될 것이라는 환상과 유혹에 빠져 들게 된다. 화재의 특성상 목적물이 소훼, 증거물이 남지 않는 점 등을 악용하여 전기분전반, 석유난로, 연탄난로, 가스레인지 주변 등에서 실화를 위장한 보험 사기성 방화가 최근 급증하고 있는 추세이다.

특히 보험금 사취 목적의 방화인 경우 보험 목적물에 비해 또는 수입이나 경제적 능력에 비해 과다하거나, 동일 목적물에 대하여 여러 보험회사로 중복하여 보험을 가입한 경우가 많으므로 다음 사항을 철저히 조사하여야 한다.

- 1) 보험가입 전후 재정상황이 악화되어 기업을 청산해야 할 형편에 있었는지,
- 2) 재고(在庫)나 유행이 지난 구식·구형의 의류, 기계, 물건이 있었는지,
- 3) 건물, 시설물의 법규위반이나 개·보수가 난감한 상태에 있었는지,
- 4) 제품의 규격미달로 상품화가 곤란한 상태에 있었는지,
- 5) 계약 상품 등이 기일 내 납품이 곤란한 형편에 있었다든지 등에 대하여 철저히 조사하여야 한다.

### [ 그림 5-3 ] 창문 파괴 후 차량방화 재현 실험



9) 사취(詐取) : 남의 것을 거짓으로 속여 빼앗는 것. 즉 사기를 통하여 자신의 이득을 취하는 것

## 다. 범죄은폐를 위한 방화

다른 범죄를 저지른 자가 그 증거를 인멸하거나 범죄행위를 감추기 위해 범죄를 행한 장소 주변에서 살인 및 강·절도 은폐, 사기, 횡령, 배임 등, 기타 인사기록, 서적 등을 인멸하기 위하여 차량, 사체, 증거물이 있는 사무실 또는 증거가 되는 서류, 장부 등에 방화하는 범죄로 가장 악질적인 범죄의 전형이다.

미소화원  
조사·감식

[ 그림 5-4 ] 살인을 은폐하기 위한 방화



## 라. 범죄 수단을 목적으로 하는 방화

범죄 은폐목적과 구분되는 방화로서 범죄 수단을 목적으로 하는 방화로서 살인방화, 절도하기 위해 방화, 무고(誣告)하기 위한 방화, 공갈·협박을 목적으로 하는 방화 등이 있다.

## 마. 선동적 목적을 달성하기 위한 방화

각종 시위, 모략, 사상적 모략, 정치문제 분쟁(정치보복 등), 사회불안 조성(민심요소, 파업 등), 노사문제 제기 등을 목적으로 하는 방화가 있다.

[ 그림 5-5 ] 시위 중 화염병 투척에 의한 방화





## 바. 보복방화 (Revenge-motivated arson)

보복이 동기가 된 방화는 범죄자가 실제이던, 상상 속에서든지 권리침해를 당했다고 지각한 것에 대한 보복으로 불을 지르는 것을 말한다. 보복방화는 대부분 사전 계획적이며, 일반적으로 개인적 복수일 경우에는 단 한번 방화하려는 특징이 강하나 사회나 집단에 의한 보복은 연쇄방화를 할 수도 있다.

### 1) 개인적 복수 (Personal revenge)

불을 사용하여 개인적인 감정을 해소하려고 방화하는 것으로 1대1의 복수를 1회적으로 유발시키는 요인으로 연쟁, 싸움, 개인적 감정, 또는 복수심을 자극하는 극도의 감정적 상처 등을 들 수 있다. 이 경우 선호되는 방화대상으로는 피해자의 자동차나 집 또는 개인적인 소유물을 들 수 있다.

### 2) 사회에 대한 복수 (Social retaliation)

복수에 의한 방화 가운데 가장 위험한 형태로 자신이 사회로부터 배반당했다고 느낌으로서 일으키는 방화다. 일반적으로 인생전반에 있어 부적응, 외로움, 고립감, 또는 학대받았다는 느낌으로 괴로워하며 자신을 나쁘게만 보는 사회에 대한 반항행위로 불을 지른다.

[ 그림 5-6 ] 경기여자기술학원 기숙사 방화('95.8.21)



### 3) 집단에 대한 복수 (Group retaliation)

집단적 복수의 대상은 극우단체, 사회단체, 인종단체, 종교단체, 우애를 기초로 하는 집단이나 노동조합 또는 다른 집단이 된다. 대상은 특정한 개인보다는 집단 자체나 교회, 모임장소, 또는 집단의 상징이 되는 조형물 등이 대표적이다.

## [ 그림 5-7 ] 극우단체에 의한 방화 시위



## 4) 스틸을 추구하거나 장난을 위한 방화

어린이나 실업자, 사회에 대한 불만을 가지고 있는 자가 헛김에 또는 장난으로 빈 집이나 야산, 방치된 물건, 공사장 등에 불을 붙여 일어나는 화재로 손쉽게 방화 할 수 있는 물건이나 장소가 그 주요 대상이고 방화사건이 일어날 경우 모방범죄 형태로 발생하기도 하며, 붙잡히지 않을 경우 반복되는 경향이 있다.

## [ 그림 5-8 ] 인천 히트노래방 화재(시너와 석유 불장난)



## 5) 악희 목적 방화(Vandalism)

악희 목적 방화는 문명사회에 대한 반작용적 심리로서 손괴행위 등과 함께 재물에 무차별 방화하여 소훼하고 만족감을 추구하는 행위이다. 이 유형에 속하는 방화는 미국에서는 매우 빈번히 발생하며 주로 청소년에 의하여 범행이 자행된다. 우리 한국에서도 최근에 급증하고 있고 지속적인 관심을 기울여야 하는 유형으로, 차량 또는 건축물에 대한 연쇄방화 등은 이런 유형의 방화로 취급하여야 할 것이다.



## 6) 방화 자살

방화를 자살의 수단으로 하는 유형으로, 비관자살의 경우도 있지만 사회적 저항 또는 격분에 대한 항의의 방법으로 방화 자살하는 유형이다.

### ✓ 사례

1999. 7. 13. 03:17분경 부산시 해운대구 ○○동 ○○번지 매집장내 차량에서 가정불화로 이혼 후 자녀 2명이 승차한 상태에서 휘발유를 뿌리고 방화하였는데 이 사고로 방화자를 포함하여 3명이 사망하였다.

## 7) 방화광 또는 방화증(Pyromaniac)에 의한 방화

방화광에 의한 방화는 실질적인 원인이나 물질적 이익에 대한 고려 없이 단지 스틸, 쾌감 등을 즐기기 위한 것으로 방화로 인한 감정적 만족을 얻기 위하여 방화하는 경우이다. 방화광은 정신 결함적 방화 범죄자로서 이상성격자나 정신이상자, 정신박약자, 정신병질자 등으로 심리학적 치료책을 필요로 한다.

## 8) 폭력/테러리즘에 의한 방화

폭력 또는 테러리즘에 의한 방화는 특정한 정치적 목적을 가진 집단이나 이익집단이 그들의 목적을 비합법적으로 성취하기 위하여 폭력시위용이나 테러형태로 방화하는 유형이다. 도심지의 건물 및 기타 재물이나 사람을 대상으로 하는 화염병 투척행위가 해당된다.

## 사. 기타 유형

방화로 인한 다른 유형으로는 불특정 대상물에 대해 방화를 하고 쾌감을 얻는 반사회적인 반발심리와 욕구 충족을 위한 연쇄성 방화, 염세, 자살, 가정불화로 인한 것들이 있는가 하면, 허영심이나 영웅심으로 인한 방화광(放火狂), 마약, 알코올 중독자 등 정신이상자에 의하거나 재앙을 예언했던 점쟁이가 의도한 방화나 변태성욕자 등 다양한 원인들이 있다.

## 2

## 방화원인의 감식 실무

방화원인의  
감식 실무

## 제1절 화재현장의 조사

## 1. 일반적인 화재조사 사항

화재조사자는 화재현장에서 화재기록, 사진, 스케치한 자료, 증인 확보와 채취에 노력하여야 하며, 화재발생 건물에 대한 내력과 화재의 정확한 모습을 이해할 수 있는 피해상황을 파악해야 한다. 화재원인이 실화가 아니라는 사실 증명을 위한 실화적인 요인의 배제상황 자료를 적극 수집하여야 한다. 방화로 확정되는 직접적인 증거나 정황증거(간접증거), 자백 행위, 화염이나 화세에 따른 연소 상황과 특징인(관계자, 목격자, 신고자 등) 진술 등을 청취하도록 노력하여야 한다.

[ 그림 5-9 ] 승례문 화재 현장( '08.2.10)





## 2. 화재현장의 조사 진행

화재현장에서는 관계자에 대한 아래사항을 합리적으로 수집 및 조사를 진행하여야 한다.

### 가. 피해자에 대한 조사사항

피해자와 그 가족을 상대로 화재 발견시간과 피해 발생상황, 피해자의 화재 전후의 주요 행적과 화재에 대한 전반적인 의견 등을 청취한다.

### 나. 발견자에 대한 조사사항

발견자를 상대로 화재를 발견한 시간과 동기, 경위, 연소상황과 그 이후 주요 행적과 제2, 제3 발견자나 같이 행동한 자에 대한 유무 등 동거자, 인근 거주자를 상대로 주변이나 동거자들의 각지상황과 의견, 가족관계(적자, 서자, 혈통 등)의 청취, 전언, 유언비어 등의 소문관계 등, 고용인, 식객, 평소출입자, 특이자 배회관계, 최근의 접근자, 전 고용자, 결인, 행상, 배달인등에 대한 전반적인 행적조사, 동거자 간 관계, 동거 사유와 그 외에 재산, 정당, 취미, 종교, 특정비밀, 임차, 거래, 보험관계 등에 대하여 충분한 조사를 실시한다.

### 다. 기타 주변상황

주변에 대하여 화재현장에서 반출된 물건이나 서류 등의 종류, 위치 등 현장 근처나 쓰레기장에서 피해물품이나 유류 용기 등이 버려지지 않았는지에 대하여 세심하게 조사한다.

## 3. 방화현장의 특징

방화 현장은 방화 시 주로 인화성 물질 및 타기 쉬운 가연물 등이 사용되므로 휘발유나 시너(Thinner) 등의 유류냄새가 나며, 이들을 담았던 용기나 각종 물품 등이 발견되기도 한다. 방화에 의한 화재는 짧은 시간에 방화 대상물을 연소시키며, 그 연소면적이 넓고 손괴 정도도 크다. 발화부가 여러 곳인 경우가 발견되기도 한다.

## 2

## 4. 방화 현장 조사

방화원인의  
감식 실무

## 가. 발화개소 확인

방화가 의심되는 경우에는 침입로 및 퇴로를 필히 확인하고 판단하며, 2개소 이상의 발화부가 발견되고 연소경로가 자연적이지 못한 경우는 방화일 가능성이 높다.

## 나. 발화장치 및 재료 등의 채취

방화에 사용된 발화장치 및 재료의 현장유무를 즉시 확인한다. 이 때 이들을 수납한 용기가 발견될 경우 물건이 파손되지 않도록 신중을 기해 이동시키고, 이동시킬 때에는 반드시 사진 등 기록을 남긴다. 발화개소로 추정되는 부근의 재나 흙 및 잔존물은 채취하여 빠른 시간 내에 유분을 감정하도록 한다.

## 다. 출입문의 개·폐 상태 확인

자물쇠 구멍에 검댕 부착여부 등을 상세히 관찰하고 발화시의 출입구 개·폐 또는 인위적 파괴여부를 확인한다.

## 라. 다른 범죄와의 연관성 조사

도둑맞은 물건이 있는지 장롱속의 귀중품 등을 확인해 보고 자물쇠가 훼손되었는지 확인한다. 소사체가 발견될 경우에는 자상, 외상의 흔적 및 약물 중독현상이 나타나는지 확인한다. 보험금을 노린 의도적 방화일 수 있으므로 건물 소유자 등의 보험가입 상태 등도 조사한다.

## 5. 질문 조사사항

## 가. 문답서 작성할 때 주의사항

문답서(질문기록서)를 작성할 때는 가능한 조기에 작성하여 진술의 신빙성을 확보하고, 진술내용 중 사실에 맞지 않는 내용이 나오면 모순점을 지적하여 확인하고, 주변인 및 관계자의 진술내용과 방화용의자의 진술내용일치(연관성) 여부를 반드시 확인한다.

## 나. 화재조사자의 자질 요건

화재조사자는 관계자 자료제출 명령을 통해 관계자가 솔직한 답변이 성립되는 장소 및 분위기 조성을 할 수 있어야 하며, 사실적 증거와 진술에 의한 사건이 일치되고 있



는지 확인하여야 한다. 평상시 조사자는 정치, 경제, 사회, 문화적 환경변화에 대한 관심과 연구가 생활화되어야 한다. 그러기 위해서 먼저 경제적 변화로서는 사회적 환경의 영향력과 반응상태가 가장 민감하게 반응하는 사회현상으로서 실업률, 주식 파동, 물가 파동은 사회 안전을 위협하는 요소이며, 실제로 재난현상을 초래하는 직접적인 원인으로 작용(부도업체, 섬유 등 사양산업의 방화 개연성)을 간파할 수 있어야 한다. 마지막으로 과학적 또는 합리적 사고의 기준은 과학 자체에 있는 것이 아니며, 생활과학의 합리적 사고라는 보편적인 사고중심으로 사회현상을 관심 있게 살피는 일이 쉽게 과학을 이해하는 방법으로 전제될 수 있도록 방화관련 지식 습득 및 데이터 등 정보관리에 보다 효율적인 관심이 전제되어야 한다.

#### 다. 질문내용 포인트

먼저 원인에 대해서는 화재발생 장소가 회사일 경우 퇴직자와의 갈등문제, 주택일 경우에는 이웃과의 갈등, 연애문제, 금전문제, 건물 및 토지의 임대 관계 분쟁유무에 대해 질문한다. 사업을 운영하고 있으면 경영상태, 금융기관 등에서 채무 문제, 차량일 경우 주차문제에 인한 시비(분쟁) 유무에 대하여 질문한다. 화재보험에 가입하였다면 초과보험 가입유무, 계약기간, 보험금액(증액의 시기가 있으면 그 시기, 발화건물 이외의 인근 연소건물의 피해자 및 화재보험계약상황에 대하여 질문한다.

발화건물 및 주변에서의 과거 화재발생 여부에 대하여 화재발생사실이 있으면 발생 연월일, 발화원인과 화재보험금 수령여부, 현장 부근에서 최근에 방화가 있는 경우 당해 화재와 관련성여부, 최근 동일 유형의 화재발생 여부에 대하여 질문한다. 유류성분 확인에 대하여 유분이 검출되어 종류가 밝혀지면 발화시체취 장소에서 동종의 유류 사용여부를 확인한다.

#### [ 그림 5-10 ] 인화물을 촉진제로 사용한 방화



## 2

방화원인의  
감식 실무

화재 피해품(연소피해가 아닌 물품) 관계에 있어서는 방화 현장(차량 연쇄방화, 강도, 절도 등 범죄 후 증거인멸)에서 없어진 물건이 확인되었을 경우 피해물품을 발견하도록 노력한다. 장물의 발견은 유류품의 발견과 같이 직접 방화 행위자와 연결될 수 있는데 피해물품으로 행위자의 성격 등을 파악할 수 있으며, 피해물품의 상태 여부, 없어진 시기, 인지 관련자, 확인 자에 대하여 파악하고 제품명, 수량, 생산자, 색, 기호, 번호 등에 대한 특징 등을 상세하게 파악한다. 그리고 화재현장에서 식별되는 유류 잔류물이나 유류품 즉 수첩, 지갑, 책, 명함, 편지, 영수증 등에서 가족, 친구, 지인(知人)이름이 기록될 수 있으므로 발견 장소, 발견상황을 정확하게 기록하고 발견자의 주소, 성명, 연령 등을 파악한다. 특히 방화와 관련된 현장에서는 주변인 및 관계자의 진술내용을 신속하게 확보하고 진술내용이 일치하는지 확인한다. 화재보험 계약상황이나 발화건물 및 그 주변에서 과거 화재가 발생했는지 여부 등도 질문조사 할 대상이다.

## 6. 화재현장의 탐문 조사

### 가. 탐문대상

탐문의 대상은 피해자, 목격자, 발견자, 신고자, 현장 인근 거주자, 현장 또는 부근 통행인(우유, 신문, 세탁, 가스, 석유, 음식배달 등), 피해자 가족, 유흥업소 주인이나 종업원, 교통경찰, 집배원 등 광범위하다.

### 나. 탐문상 주의 사항

탐문할 때에는 대상자에게 협력관계를 만들어 계획성 있고 끈기 있게 듣고 소홀함이 없어야 하며, 제보자 보호에 유의하되 아무 비판 없이 정보를 받아 들여 지나치게 과신하면 안 된다.



## 제2절 연쇄방화의 조사

### 1. 연쇄방화의 개념<sup>10)</sup>

방화범이 3번 이상 불을 지르고 각 방화시기 사이에 특이한 냉각기(Cooling off period)를 가지면서 저지르는 방화를 연쇄방화라고 한다. 방화의 다양한 형태를 설명하기 위해 일반적으로 널리 사용되는 용어로는 불을 놓은 횟수와 정도에 따라 단일(Single), 이중(Double), 3중(Triple), 연속(Spree), 연쇄(Serial)의 구별을 하고 이들 각각의 방화 사이에 존재할 수 있는 심리적 냉각기의 개념이 사용되었다.

[ 표 5-1 ] 방화의 횟수와 성격 분류

형 태	Single	Double	Triple	Mass	Spree	Serial
방화횟수	1	2	3	3회 이상	3회 이상	3회 이상
범 행 수	1	1	1	1	1	3번 이상
범행장소	1	1	1	1	3곳 이상	3곳 이상
냉 각 기	없음	없음	없음	없음	없음	있음

### 2. 연쇄방화범 분석조사(The Serial Arsonist Analysis)

미국 연방 수사국 FBI(Federal Bureau of Investigation) 소속의 ABIS(Arson and Bombing Investigative Service Subunit : 방화와 폭발물범죄 수사반)에서는 '90~'92년 미국에서 발생한 1,474건의 방화사건기록을 분석하고 10여개 교도소에 수감중인 83명의 방화범들을 대상으로 한 면담조사를 통하여 연쇄방화범과 사건들에 대한 특징들을 밝혀냈다.

#### 가) 연쇄방화범의 특징(Attributes of the serial arsonists)

대부분 연쇄방화범들은 백인(82%), 남성이고(94%), 27세 이하의 젊은 사람이었다. 연쇄방화범들의 대략적인 개인이력을 살펴보면 대개 가난하였고 개인적 인간관계가 상당히 불안한 상태였다. 연쇄방화범들의 평균적인 교육수준은 90%가 고졸 이하였다. 방화범들은 군복무에 있어서도 연쇄방화범 중 오직 1/7 정도만이 사고 없이 전역하였고 성적선호에 있어서도 25% 정도가 동성애이거나 혹은 양성애 경향을 가지고 있었다.

10) 중앙소방학교, 화재조사교재, 2001년

## 나) 연쇄방화범의 인생역정(Life History of Subjects)

연구로 밝혀진 것 중 중요한 것으로는 방화범들의 범죄경력이었다. 전체의 87%가 이전에 중죄로 인하여 구속된 적이 있었고 67%는 복합적인 중범죄 경력을 보여 주었다. 또 특이할만한 이력이라면 상당수의 연쇄방화범들이 이전에 다양한 수용시설에서 지낸 사실이 있다는 것이다. 83명의 방화범이 전체 횡수 637회나 서로 다른 수용시설을 거쳤다. 그 수용시설들은 교아원에서 교도소까지를 망라한다. 보고된 모든 경우가 다 이런 수용시설을 거친 것은 아니지만 전체적인 비율이 매우 높다는데 의미가 있으며 정상적인 가정에서 성장하지 못했다는 것이 특징으로 파악된다. 또한 교도소나 감호소에서 보냈다는 사실은 그들의 범죄적인 이력을 보여준다. 전체의 83%가 257개소 정신 감호소에 있었다는 사실은 그들의 정신적인 불안정성의 문제를 대변한다고 볼 수 있다. 약 50%의 연쇄방화범들이 이전에 정신건강상의 문제를 드러냈다고 보고되었다. 그들이 자살시도를 한 경력이 많다는 사실은 흥미 있는 부분인데 25% 정도가 적어도 한번은 자살시도를 한 적이 있다고 보고되었다.

이들 연쇄방화범들 중 1/3 정도만이 비교적 안정된 직업을 가지고 있었으나 그들마저도 전문직에 종사하는 사람은 없었고 대부분의 경우 가정생활이 불안전하였고 약 58% 정도만이 친부모 밑에서 자랐으며 약 11%는 재혼한 부모 밑에서 자라거나 혹은 양부모 밑에서 자랐다. 4%가 홀아버지, 13%가 홀어머니 밑에서 성장하였고 9% 정도가 대리가정에서 자랐으며 나머지 6%는 다른 친척 밑에서 자랐다. 연쇄방화범들은 그들의 어머니 혹은 아버지와 냉랭하거나 적대적인 혹은 공격적인 관계를 유지하였다.

## 다) 방화경력(History of arsons by subjects)

연령과 방화와의 관계를 다룬 데이터는 여러 가지 면에서 흥미롭다. 조사대상인 1,474건의 방화 중 59%가 18세 이전에 행해지고 80%가 30세 전에 행해졌다. 43%가 14세에서 18세 사이에 행하여졌다는 것이 특히 흥미롭다. 35명의 방화범이 14세에서 16세 사이에 평균 9.1회의 방화를 하였고 17세와 18세 사이에는 34명의 방화범이 평균 9회의 방화를 하였다. 반면에 19세에서 21세 까지의 방화범은 4.2회의 불을 놓았다. 전체적으로 14세에서 16세, 17세에서 18세 사이에 300건이나 다른 시기를 앞질렀다. 19세에서 21세 사이에는 방화범의 수가 100명에도 이르지 못하였다.

그러나 이와 같은 연령별 방화행위의 감소는 그 이후의 나이에까지 연결되지 않는다. 30세 또는 그 이상 나이에 방화자들은 그보다 젊은 방화자들에 비해 더 많은 불을 놓은 것으로 밝혀지고 있다. 13명이 30세에서 35세 사이에 있는 반면에 34명



은 41세에서 50세에서 사이이다. 19세가 방화범들에 있어 하나의 전환이 되고 있는 셈이다. 또한 그 나이 이후에는 방화를 저지르는 범죄적 방화범들은 오히려 더 많은 방화를 저지르고 있는 것이다.

이러한 방화범들은 약 31회의 불을 놓았으나 3개의 방화행위에 대해서만 기소되었고 유죄선고를 받았다. 나머지 25개의 방화는 선고에 영향을 주지 못하였다. 이와 같은 수치는 방화로 의심되는 건수 중 단지 11%만이 해결되지 못하고 있음을 의미한다. 범죄 현황분석에 따르면 방화범죄의 해결율은 전국적으로 1982년에는 1991년 사이에 단지 18%에 지나지 않았다. 이 수치는 여타 범죄에 비해 연쇄방화범의 기동성은 비교적 떨어지는 것으로 나타났다. 대개(약 61%)가 방화를 위해 도보로 이동하였고 70%가 자신의 거주지 주변 2마일 범위 이내에서 범죄를 저질렀다.

거의 모든 방화가 연쇄방화범 주변에서 발생하였다고 보면 된다. 차를 소유한 경우는 거의 없으며 자신의 이웃에게 방화를 저지른다. 대부분의 연쇄방화범이 수사관의 끈질긴 노력에 의해 인지되지만 15% 정도는 스스로 자백하기 위해 경찰서를 찾기도 한다. 자신의 정체를 숨기려 노력하는 경우는 드물다. 대부분이 스스로 방화행위에 대한 책임을 느끼고 유죄를 호소한다. 그들은 자신의 범행이 끝내 밝혀지지 않을 것이라 믿지 않는 경향이 뚜렷하다. 이와 같은 발견들은 연쇄방화행위가 강박관념 아래에서 자연스럽게 행해졌다는 사실을 추측케 한다.

#### 라) 방화의 양태(Characteristics of offenses)

연쇄 방화범들이 방화대상에 접근하는 방법으로 가장 흔한 것은 정문으로 들어가는 것으로 38%를 차지하였다. 19%는 창문으로 그리고 16%는 대상에 접근하기 위해 복잡한 도구를 사용하였다. 공범이 있는 연쇄 방화행위는 20%를 차지하였다. 공범이 있었다고 응답한 16명의 연쇄 방화범중 14명이 남성공범, 1명이 여성공범 그리고 1명이 남녀공범이 있었다. 거의 대부분이 불을 지르는데 단순한 도구를 이용했다. 불이 잘 붙는 가솔린을 가장 흔한 연소재로 썼으며 성냥이나 라이터로 불을 붙였다. 방화에 특별히 만든 도구를 쓰는 경우는 거의 없다. 약 절반 정도가 현장에 물건을 두고 오며 이 중에는 중요한 증거가 될 수 있는 것도 있다. 1/4이 불을 내기 전에 제거한다.

불을 지른 후에 1/3정도의 연쇄 방화범은 그 자리에 남아 불타는 광경을 지켜본다. 1/4정도는 대개 다른 지역으로 이동하였으며 이동 후에 불을 진화하는 작업을 지켜보았다. 약 절반이 넘는 수가 그 장소로 되돌아왔으며 1분 정도 있다가 그 장소에 되돌아오는 행위는 1주일 후에 돌아오는 행위와 그 빈도가 비슷하였으나 97% 정도는 24시간 이내에 범행 장소를 다녀간다고 알려졌다.

주거시설을 대상으로 하는 방화는 11% 정도였고 사업체는 18% 기타의 대상이 차지하는 비율은 전체의 15% 정도였다. 전체적으로 시설물 방화는 전체의 43%로 집계되었다. 자동차 대상 방화는 전체의 16%였다. 시설물이나 교통수단 외의 대상이 차지하는 비율은 41%에 이르렀다. 대다수의 연쇄방화범은 한 지역에 1개의 불을 놓는다. 그러나 같은 장소에 불을 놓기 위해 되돌아오는 경우도 더러 있다. 방화범의 절반 정도가 범행 전에 술을 마시고 26% 정도는 범행당시에는 그와 다른 종류의 술을 마신다고 보고되고 있다. 연쇄방화범의 1/3 정도는 방화행위가 계속되어 감에 따라 약물의 사용량이 현격히 증가하였다.

### 3. 연쇄방화 현장조사 사항

#### 가. 연고감(緣故感)

방화 행위자가 피해자나 피해건물에 대하여 잘 알고 있는가에 대한 것은 침입구나 도주로가 쉽게 알 수 없는 곳이나 시건장치의 특수성 감지, 건물구조의 숙지, 목표물이나 장소의 직행과 위장 행위를 한 흔적의 유무, 피해자의 이해 없이 행 할 수 있는 범행인가 등 연고감이 있는 범행에 대해서는 피해자의 주변을 탐색함으로써 찾을 수 있거나 행위자를 쉽게 식별할 수 있으므로 친척, 전고용인, 거래, 임대차 관계자, 배달원, 수금원, 청소원을 상대로 탐문조사를 실시하여야 한다.

#### 나. 지리감(地理感)

행위자의 행적에서 지역, 지리, 교통 등 사정에 익숙한지 여부에 대한 특징에 대하여는 행위자의 이동경로(그 경로는 일반적으로 선택되는 통로인가, 샛길이나 옆길은 아닌지, 막다른 길은 아닌지), 먼 곳에서 온 것은 아닌가, 교통수단은 어떤 것인가, 일한 사람, 현장 부근에 친척이나 아는 사람이 있어 자주 내왕이 있었던 자 등 어떤 인연으로 자주 다닌 일이 있었을 것으로 연고감이 있는지 탐문하여야 한다.

#### 다. 행위자의 행적(行蹟)

방화행위자는 방화 직후에는 수사기관에서 바로 체포할 수가 있으며, 사람들의 기억도 확실하므로 용의자나 목격자를 확보할 수도 있고, 기타 유류품이 멸실되기 전에 수집할 수 있지만 방화 행위 후 행적을 추적하는 것은 일반적으로 용이하지 않으므로 다음 사항을 반드시 확인하고 기록을 남겨두어야 한다.



#### 1) 발생시간

행위자의 현장 내왕시간을 중심으로 방화행위자를 본 사람 또는 그 가능성이 있는 사람으로부터 청취하고 발생시간을 확실히 측정하여 그 시간적 경과를 상정하여 행적을 추적한다.

#### 2) 목격자 발견

행위자, 목격자를 발견하기 위해서는 그 시각에 통행한 자(영업, 수금원, 집배원, 배달, 아침운전자) 등을 대상으로 조사한다.

#### 3) 음향조사

행적을 뒷받침할 수 있는 신발소리, 자동차, 오토바이, 자전거 및 개 짖은 소리 등도 조사한다.

#### 4) 행동 수상자

정거장, 대합실, 정류장 등에서 행동이 수상한 자를 상대로 집중 조사한다.

### 라. 방화행위자

행위자는 방화현장에서 피해자, 목격자 등 관계자에 의해 지목될 수 있으므로 행위자를 대할 시 고도의 면접기술을 요하며, 행위자의 성품, 경력, 알리바이 관계, 직장관계, 생활관계와 범행 전후의 언동, 행동, 알리바이 관계 등이 범인확인의 단서가 된 예가 많다. 그리고 방화직후의 행동은 알리바이(Alibi)와 직결되는 문제이므로 그 동태 파악과 확인이 중요한 것이다.

### 마. 알리바이(Alibi : 현장부재증명)

알리바이는 방화 실행 당시 행위자가 화재 현장에 있지 않았다는 현장 부재증명으로 이 사실이 명백하다면 방화관련성을 배제할 수 있다.

알리바이가 성립되는 것은 절대적인 요소로는 범위가 행하여진 그 시각에 현실적으로 다른 장소에 있었다는 사실이 명확하게 입증된 경우가 있고 상대적인 요소로 항상 시간과 장소가 문제가 된다.

#### 1) 범행시간

방화가 실행된 시간을 정확하게 확정하여야 하며, 방화 실행한 시점이 행위자의 행적(알리바이) 조사기준 시간이 된다.

## 2

방화원인의  
감식 실무

## 2) 이동시간 측정

행위자가 방화 실행 전후에 나타난 장소에서 현장까지의 이동하는데 소요되는 시간이 정확하게 측정되어야 하는데 측정은 도보나 차량 등 다각적으로 판단해야 한다.

## 3) 계획범행의 함정

계획적으로 자기 존재를 상징적으로 외부에 노출시키고 단시간 내 범행을 실행할 수 있으므로 알리바이를 성급하게 인정하여서는 안 되며, 계획적인 방화의 경우 알리바이 조작을 치밀하게 이루어지므로 주의하여야 한다.

## 4. 연쇄 방화 사례

## 가. 사례

## 1) 목포 연쇄방화

- 기 간 : '05. 1. 21 ~ 2. 26(37일간)
  - 장 소 : 전남 목포시 일원
  - 건 수 : 22건
    - ▶ 피해현황 : 인명피해 없음, 재산피해 700만원
    - ▶ 발생시각 : 야간 13건(59%), 주간 9건(41%)
    - ▶ 방화주기 : 평균 3일 간격으로 하루에 2건 실행  
주말 8건 (36.4%), 수요일 5건(22.7%)
    - ▶ 방화범 : 박\*\* (남, 32세), 무안군 거주
    - ▶ 방화의도 : 신용 카드 빚 때문에 신용불량자가 되어 생계를 위하여 절도를 하는 과정에서 화재현장에서 진압하는 소방관의 모습이 재미있어서 방화를 시작함.
- ※ 소방기관의 화재조사자가 화재현장 촬영 중 같은 인물이 여러 현장에서 카메라에 촬영된 사실을 확인하는 과정에서 검거됨.

## 2) 성북구 장위동 연쇄방화

- 일 시 : '05. 2. 11(금) 01:13 ~ 03:08(1시간 55분간)
- 장 소 : 서울 성북구 장위1동 233-414번지 일원
- 건 수 : 5건



- ▶ 피해현황 : 인명피해 없음, 재산피해 45만원
- ▶ 대 상 : 주택 1, 오토바이 1, 슈퍼마켓 1, 점포 1, 쓰레기 1
- ▶ 방화시각 : 새벽 1시부터 2시간 동안 발생
- ▶ 방화주기 : 반경 600m 이내에 14~43분 간격으로 발생

### 3) 서울 마포구 신수동·현석동 연쇄방화

- 일 시 : '05. 3. 27(일) 03:27 ~ 04:02(55분간)
- 장 소 : 서울 마포구 신수동 463번지 일대
- 건 수 : 6건
- ▶ 피해현황 : 인명피해 - 없음, 재산피해 - 415만원
- ▶ 대 상 : 재활용품(노상 방치물) 1, 점포 1, 인쇄소 1, 포장마차 1, 차량 1, 인쇄용지 1
- ▶ 방화시각 : 새벽 03~04 사이의 55분간 발생
- ▶ 방화주기 : 반경 200m 내에서 10여 분 간격으로 방화

## 나. 연쇄방화 특징

### 1) 주로 새벽시간대를 이용

주민들의 통행이 적고 깊은 취침 중인 시간대를 이용하거나 영업장소 등에는 영업 후 비어있는 상태에서 방화하나 주간에도 방화를 하는 대담성을 보인 사례도 있다. 야간에는 조기발견이 늦을 경우 연소 확대로 주민들이 숙면상태이면 인명피해 우려가 있고, 대형화재로의 발전 가능성이 있다. 대부분 방화행위자의 행동반경이 1km 이내로 짧다.

- ① '06. 1. 3 ~ 1. 5 고양시 일대 교회 6개소 인화물질 방화, 21:00~24:00 동일한 시간대 발생, 화재 장소 간 1km 이내로 도보로 이동하면서 방화함. '06. 2. 27. 20:20경 인근주민 신고로 경찰은 일정한 거처가 없이 교회 등에 무단 침입하여 노숙을 하던 방화행위자 김○○(남, 49세)을 검거하였으며 방화원인은 교회출입을 막은 교회관계자에게 복수하기 위해서라고 진술함.
- ② '05. 3. 30 ~ 4. 8. 서울동작구 사당동 주택가 및 봉천동 까치산 시유림 일대 15차례 연속방화 발생, 특히 4월 8일 23:40부터 9분 동안 30~50m 간격으로 연속 5건의 방화하다가 비상근무 중이던 경찰관에게 방화범 이○○(남, 39세, 경

기도 성남시 거주)체포, 검거당시 라이터 3개를 소지, 손에 그을림 흔적 있음. 방화용의자는 대학졸업 후 대기업 사원 퇴직, 당시 부동산 중개사사무소 운영자, 자동차 방화미수로 징역 2년(집행유예 3년)을 선고 받은 경력 있는 자로 방화 장소는 1km 이내로 도보로 이동하면서 방화함.

## 2) 『묻지 마』 식 방화

주로 『불만 해소』를 위하여 뚜렷한 동기의식이나 대상 선정 의식 없이 쓰레기, 주택, 술집, 점포 등으로 다양하며, '05. 3. 31. 서울 광진구 방화의 경우 주로 호프집 등 4건 중 3건이 술집 방화이며, 주로 노상에 방치중인 차량화재가 가장 많았다. '05. 2. 23. 전후로 전남 목포시내의 빈집과 사무실을 골라 20여 차례 방화한 연쇄 방화용의자 박○○(남, 32세)는 텔레비전 뉴스에서 당시 연쇄방화에 호기심을 생겨서 「묻지 마 식」 연쇄 모방 방화를 하였다.

## 제3절 방화 화재의 특징

### 1. 일반적인 특징

방화범은 단독범행이 많고 주로 야간 (21시~03시)에 많이 발생, 인화성물질(휘발유, 석유, 시너 등), 라이터, 신문지등의 가연물을 방화 매개체로 사용, 피해범위가 넓고 주로 인명을 대상으로 하기도 한다.

계절이나 주기와 상관없이 발생하므로 인명피해를 동반하는 경우가 많다. 일반적으로 방화행위자는 음주를 한 후 실행하는 경우가 많으며, 행위자가 현장에서 발견, 조사 시에는 극도의 흥분과 자제력을 상실한 상태로 난폭성을 보이기도 하므로 조심하여야 한다.

계획적이기보다는 우발적으로 발생하는 경우가 있으며, 여성에 비해 남성에 의해 실행되는 빈도가 상대적으로 높고 주택 및 차량에서 주로 발생한다.

### 2. 방화원인 감식의 특수성

방화원인 감식에 있어서 일반 화재 현장과는 달리 인화성물질 및 타기 쉬운 가연물 사용으로 급격히 연소되어 연소 패턴 식별이 곤란한 경우가 많으며, 촉진제를 사용한 경우에는 유류(휘발유, 시너, 석유 등) 냄새와 사용용기, 물품이 존재할 수 있다. 짧은 시간에 연소면



적이 넓고 손괴정도가 크며, 다툼이나 싸움이 선행되었을 때는 사상자가 발견, 다툼의 흔적이 식별이 된다.

인위적인 방화현장에서는 대체적으로 발화부가 여러 곳인 경우 (연소경로가 자연적이지 못한 경우)가 많으며, 화재보험금을 노린 사기성 방화일 경우 과다하게 보험에 가입, 피해를 부풀려 진술하는 경향이 많으며, 최근에 급증하고 있는 위장실화는 임의로 발화시간을 조작하거나 완전연소로 붕괴·훼손조장으로 증거를 찾지 못해 실화로 처리되기 쉬운 특수성을 갖고 있다.

[ 그림 5-11 ] 방화현장에서 소방·경찰 합동 감식



제4절 방화의 유형별 감식 특징<sup>11)</sup>방화원인의  
감식 실무

## 1. 자살방화 현장의 특징

## 가. 최근 경향

지난 '90년대 말 IMF 경제 환란 이후 사회적, 경제적 불안으로 자살방화가 계속적으로 증가하고 있는 실정이며, 특히 자살방화는 의도적, 계획적으로 발생하기 때문에 급격한 연소 확대로 초기진화가 어려워 많은 인명피해와 재산피해가 발생, 사회적으로 문제를 초래하고 있다.

## [ 그림 5-12 ] 가족불화로 다툼 후 옥상에서 분신자살



## 나. 특징

- 1) 유류(휘발유, 시너, 등유 등)와 사용한 용기 존재한다.
- 2) 1회용 가스라이터, 성냥 등 주변에서 발견될 수 있다.
- 3) 흐트러진 옷가지 및 이불 등이 식별된다.
- 4) 소주병 등 음주한 흔적이 보인다.
- 5) 급격한 연소·확대로 연소의 방향성 식별이 곤란하다.
- 6) 연소면적이 넓고 탄화심도가 깊지 않다.
- 7) 사상자가 발견되고 피난흔적이 없는 편이며, 유서가 발견된다.
- 8) 방화 실행 전 자신의 신세 한탄 등 주변인과의 전화통화 사례가 많다.

11) 권현석, 방화 감식에 관한 연구, (사)한국화재조사학회지 2004-2호



- 9) 자살에 실패하였을 경우 실행동기 및 방법에 대하여 구체적으로 진술한다.
- 10) 우발적이기보다는 계획적으로 실행하는 경우가 많다.

[ 그림 5-13 ] 유류 방화 연소 잔류물(침구류)



## 2. 부부싸움으로 인한 방화의 특징

### 가. 최근 경향

지난 IMF 이후 실직자의 증가로 인한 경제적 파탄, 무분별한 신용카드사용으로 인한 신용불량자의 양산, 이혼의 증가로 인한 가정파탄, 성 개방풍조에 의한 불륜관계의 증가 등으로 인해 발생되고 있으며, 특히 부부싸움 및 불륜(내연관계)으로 인한 방화는 의도적, 계획적이기 보다는 다투다가 우발적으로 발생하며, 많은 인명피해와 재산피해가 발생하여 사회적으로 심각한 문제를 초래하고 있다.

[ 그림 5-14 ] 현장에서 발견된 방화 자살자



## 2

## 나. 특징

- 1) 침구류, 가전제품, 창문, 현관문 등에서 파손 흔적이 여러 곳에서 발견된다.
- 2) 용의자 및 상대방의 신체에 방화전 부상(창상 등)흔적이 발견된다.
- 3) 유서가 발견되지 않는다.
- 4) 화재 인지 후 탈출을 시도한 흔적이 있다.
- 5) 안면부 및 팔과 다리부위에서 화상흔적이 발견된다.
- 6) 조사 시 극도로 흥분, 정신적 불안정하여 진술을 완강히 거부한다.
- 7) 도난물품이 확인되지 않는 경우가 많다.
- 8) 소주병 등 음주한 흔적 존재하는 경우가 많다.

방화원인의  
감식 실무

[ 그림 5-15 ] 화재현장에서 발견되는 술병



### 3. 유류 축진제를 이용한 방화

#### 가. 유류화재의 특수성

유류는 대부분 가연성 액체로서 매우 낮은 인화점을 갖고 있으므로 가연성 증기를 발생시키며, 이 증기가 공기와 적당히 혼합된 상태에서 불씨와 접촉하면 쉽게 인화되어 화재가 발생하게 된다.

유류 화재는 간혹 자연발화가 되기도 하지만 대부분 취급 부주의에 의해 발생하거나 축진제로 방화에 이용되기도 한다. 그러나 화재조사 시에는 증발과 연소의 용이성으로 인해 그 잔류물을 찾아 증명하기가 어려우므로 유류와 관련된 화재에서는 사람의 거동과 기름 유통 등 수사를 통한 증거 수집이 필요한 경우가 많다. 특히 유류는 탄화수소로 이루어져 연소 후 탄소 입자인 그을음을 대량 생성하는 특징을 남긴다.



[ 그림 5-16 ] 유류 방화 현장의 급격한 연소흔적



#### 나. 유류화재의 일반적인 요인

석유난로 등 유류기구를 과열시켜 놓은 후 장시간 자리를 비우게 되면 가연물질에 착화되는 경우가 있는가 하면 일정 공간에 분포된 유류의 증기가 공기와 적당히 혼합된 상태에서 점화원과 접촉했을 경우, 주유중이나 이동 중 흘린 기름이나 유류 기구에서 새어나온 기름에 화원에 닿을 경우, 석유 기구의 연료를 오용(등유기구에 휘발유 사용 등)하여 이상 연소를 일으키는 경우, 기구를 본래 용도 이외에 사용(조리용을 난방용으로)한 경우, 연소기구의 전도, 가연물 낙하 등에 의한 발화되는 경우, 이 밖에 유류 저장장소나 취급소에서 환기 불량으로 인한 인화성 증기 체류, 유류 이송 시 정전기 불씨에 의한 착화 등이 있을 수 있다.

#### 다. 유류에 의한 방화

##### 1) 유류 방화의 확인사항

먼저 화재현장에 유류가 존재하는가 하는 것이고, 그리고 존재하는 유류가 과연 촉진제로 사용되었는가 하는 것이다. 그러나 타고나서 재를 남기지 않는 유류는 그 존재를 매우 확인하기 어렵다. 그러기 위해서는 두 단계를 거쳐야 한다. 첫 단계가 현장에서 제대로 수거하는 것이다. 이것은 연소형상이나 조사 상 의심되는 부분에서 그러나 아주 작은 미량이라도 주의 깊게 이중 비닐 봉투에 수거하여야 한다.

[ 그림 5-17 ] 촉진제로 사용한 유류용기



방화원인의  
감식 실무

## 2) 수거 장소

가장 바람직한 곳은 유류가 스며들 수 있는 곳이면서 연소되지 않은 곳이다. 즉 마루바닥의 틈새나 책이나 의류 적재된 바닥 등이고 초기에 연소물이 떨어져 유류 잔해를 덮고 있는 부분이다. 그리고 방화행위자가 뿌리고 도주가 용이한 계단이나 문틀, 기둥주변 등을 빠뜨리지 않아야 한다. 유증(油蒸)을 찾아내기 위해 인화성 액체 탐지기를 사용할 수도 있고, 영국에서는 훈련된 화재조사건의 후각을 이용하여 유류 취향을 검출해 내기도 한다.

[ 그림 5-18 ] 영국에서 화재조사건을 이용한 유증 감식



## 3) 수거량

수거 양은 충분하게 대략 200g ~ 1kg 정도의 양이 권장된다. 그리고 수거한 후에는 이중으로 밀봉하는 것을 잊지 말아야 한다.

## 4) 성분 분석

수거된 물품에 대하여 국립과학수사연구소와 같이 전문 연구소의 고분자실에서 인화물질을 분석해 내는 것인데 많이 통용되는 분석 방법은 가스크로마토그래피



(Gas chromatography)이다. 이에 정밀성을 더하기 위해서 질량분광분석법과 함께 이용되기도 한다. 이들의 분석 방법은 매우 정확하고 단순하지만 화재현장에 수거되는 물질에 대한 분석은 매우 어렵다. 인화성 액체의 특성상 휘발되기 쉽고 화재현장의 주변 연소로 불순물이 개입될 여지가 많기 때문이다. 따라서 현장 수거 시 주변 연소물의 종류(특히 플라스틱 합성물질 연소 여부)를 기록하면 도움이 된다.

#### 5) 분석결과

인화성 액체가 확인되면 방화 여부를 위한 확인 작업은 인화성 액체가 촉진제로 사용되었는가 하는 점이다. 이것은 인화성 액체인 유류가 화재현장에 적치되어 있었던 것인지, 어떻게 반입된 것인지를 합리적으로 구별하여야 한다. 이를 위해 의심 행위에 대한 조사와 유통단계를 철저히 가려야 되겠지만 중요한 것은 현장에서 유류의 용기를 확보하는 일이다. 타지 않는 철제의 경우는 발견이 용이하지만 플라스틱의 경우라도 연소되면서 바닥에 납작하게 깔린 상태로 남는다. 현장의 철저한 발굴과 복원을 통해서 얻어질 수 있으며, 때로는 화재 현장이 아닌 곳에 버려져서 발견되므로 유의하여야 한다.

[ 그림 5-19 ] 휘발유 살포 연소 후 남는 흔적



#### 라. 인화성 촉진제 대상 위험물

- 1) 인화점 분류(대기압에서 인화점이 65℃ 이하인 가연성 액체)
  - 가) 인화점 -30℃ 이하 : 에틸에테르, 가솔린 등
  - 나) 인화점 30℃~0℃ : 노말헥산, 아세톤 등
  - 다) 인화점 0℃~30℃ : 메틸알코올, 에틸알코올 등
  - 라) 인화점 30℃~65℃ : 등유, 경유, 에탄, 프로판 등
- 2) 인화점이 30℃ 미만인 물질

상온에서 불꽃에 순간적으로 착화되는 물질로 화재 조사 시 불씨와의 관계에 따라 화재원인의 중요한 단서가 된다. 따라서 화재의 위험을 고려한 인화성 액체는 인화점이 30℃ 미만인 것으로 분류되기도 한다.

#### 가) 휘발유

주성분이  $C_5H_{12}$ ~ $C_9H_{20}$ 까지의 포화, 불포화 탄화수소의 혼합물인 휘발성 액체로서 인화점이  $-43^{\circ}C$ ~ $-20^{\circ}C$ , 발화점이 약  $300^{\circ}C$ , 연소범위가 1.4~7.6%로 화재에 매우 위험한 물질로 다른 명칭으로는 석유에테르, 석유벤젠, 석유나프타, 솔벤트나프타(B.T.X) 등으로 칭하며, 첨가제를 사용하여 공업용은 무색, 자동차용은 옐로우색(유연 가솔린), 노랑색(무연 가솔린)으로 구별된다.

상온에서도 휘발성이 강하여 밀폐공간에 개방 방치하는 경우 유증에 의한 폭발 발화의 위험이 있고, 촉진제<sup>12)</sup>로 사용하여 방화에 이용되면 액면이 넓게 분포하여 단위 시간당 증발량이 극대화되면 가연가스와 같이 점화 시 폭발적 연소를 일으킨다. 따라서 휘발유가 뿌려진 화재현장에서는 폭발현상을 보이기도 한다. 휘발성과 연소성 문제로 휘발유에 의한 화재는 그 흔적이나 잔류 성분확인도 불가능한 경우가 많으나, 특별히 연소되지 않는 바닥이나 신문, 책, 의류 등 적재물 밑면에 침투되어 미 연소된 휘발유 성분이 추출될 수도 있다.

#### 나) 등유

등유(Kerosene)는 석유제품 중 가장 오래 전부터 사용되어 온 것으로 대부분 등화용(燈火用) 연료로서 이용되어 왔으나 현대에 와서는 석유난로나 주방용 연료 등으로 많이 쓰인다. 등유는 비점 범위가  $160\sim 300^{\circ}C$ 로 휘발유 다음으로 유출되는 유분(溜分)으로 난방용, 동력용, 용제 등 사용 용도에 따라 그 성상이 다르다. 등유의 인화점은 보통  $40\sim 60^{\circ}C$  정도로 여름철 기온으로도 대기 온도보다는 높다. 따라서 휘발유와는 달리 순간적 불꽃에 착화되지 않는 이유이다. 수초 가열하여 온도를  $40^{\circ}C$  이상 상승시켜야 불꽃에 착화되는 것이다. 등유는 난방용, 동력용 이외에 페인트의 용매, 살충제, 농약유제 등의 용매, 아스팔트의 희석제 등에 사용된다.

#### 다) 경유

경유는 비점이  $200\sim 370^{\circ}C$  범위에 속하며 등유 다음으로 유출되는 것이다. 용도는 일부 보일러의 용도와 기계의 세척용, 기타 가스흡수용 금속가공유 원료 등으로 사용되나 대부분은 각종 디젤 엔진의 연료(등유와 중유도 사용됨)로 이용된다.

12) 촉진제(Accelerant)라 함은 발화에 이용되거나 화재 확대를 빠르게 광범위하게 증대시키는데 사용되는 물질(보통 인화성 액체)



다. 인화점은 저유황의 경우 45℃ 고유황의 경우 60℃ 이상으로 상온에서 일반 취급 시 화재에 큰 위험은 없다.

#### 라) 중유

중유는 내연기관용, 보일러용 및 각종 노(爐)의 연료로서 적합한 품질의 광유라고 정의하고 있다. 석유제품 중 품질면에서는 저급이라고 할 수 있으나 원유에서 필요한 석유제품을 빼내고 남은 것이 아니라 중유는 명확한 목적을 가지고 만들어진 석유제품이다. 중유는 다시 가공하여 윤활유, 아스팔트, 석유코크스 등을 제조할 수 있다.

### 마. 차량 방화

#### 1) 차량방화 감식의 특징

촉진제나 가연물의 첨가 없이 차체에 불을 붙이기가 용이하지 않기 때문에 인화물질의 촉진제를 사용하거나 주변의 신문지, 광고전단 등을 이용하여 엔진, 타이어 밑 부분, 범퍼 하단부에 놓고 불을 붙이는 경우가 많다. 연소물은 화재 진압 용수에 의해 쓸려나가 주변 가장자리로 이동된 사례가 많고, 범퍼나 엔진 내부의 저 용점 금속(알루미늄)이 녹고 바닥에 떨어지면서 연소물과 함께 응고되어 연소물 하단에 남아 있을 수 있으므로 연소물을 걷어내면서 정밀하게 조사한다.

#### [ 그림 5-20 ] 시트 위 화장지에 직접 방화 재현



#### 2) 창문과 문짝의 개폐 여부 감식

##### 가) 문짝의 개방 여부

연소된 후 문짝의 개폐여부는 두 가지 관점에서 감식한다. 문이 개방된 상태에서 연소되었는지, 닫힌 상태에서 연소가 진행되었는지를 살핀다. 이는 화염의 확

장 연속성과 페인트의 표면 연소 범위를 관찰하면 수열 정도의 차이나 연소 경계면 등에서 구별이 가능하다. 문짝이 개방상태에서 연소된 것이라면 사람의 인위적인 행위가 개입되었을 가능성이 매우 높다.

수열 흔적으로부터 연소의 연속성을 기준으로 연소 당시 문짝의 위치를 판별할 수 있으며 바닥을 치우지 않았다면 문짝의 연소물 낙하 위치를 확인할 수 있어서 문짝 위치를 구체적으로 알 수 있다.

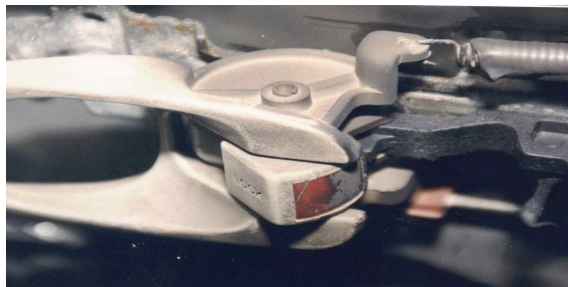
[ 그림 5-21 ] 문짝과 뒤 차체의 연소 불연속됨



#### 나) 도어록(Door rock)의 잠금 여부

문짝 자체의 개방은 아니라도 도어록이 잠긴 상태인지 열린 상태인지를 감식하여야 한다. 열린 상태에서는 역시 연소 전 사람의 착화 행위가 용이하다고 볼 수 있기 때문이다. 심한 연소 후 도어록의 잠김 여부를 판별하는 것이 쉬운 일은 아니나 연소 정도에 따라 문짝 내부의 누름스위치 위치를 판별하거나 매우 격렬한 연소일 때는 도어록 뭉치를 분해하여 정밀 감식을 하여야 한다.

[ 그림 5-22 ] 도어록 조사 시 열림 상태 확인

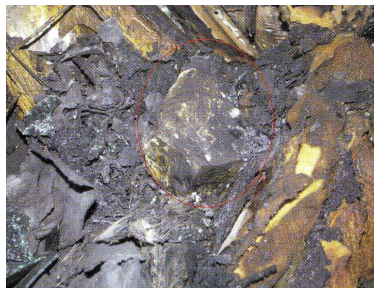




#### 다) 유리창의 상태

연소 후 유리창이 소실되면 유리창의 위치를 판별하기는 쉽지 않으나 문짝 틀에 남아 있는 유리의 잔해 위치나 문짝 내부의 유리 가이드 홈(Guide home) 위치 등을 분석하여 화재 당시 열리창문의 위치를 확인한다. 유리의 상태를 확인하는 것은 차량 잠금 시 유리가 모두 닫히지 않은 상태라면 사람의 접근이 용이할 뿐 아니라 연소 시 실내 연소 시간 해석에도 주요 영향인자가 되기 때문이다. 창문이 개방과 그렇지 않은 경우는 내부 폭발 시에도 차량의 변형에도 영향을 미친다. 즉 문짝이 모두 닫힌 경우에는 내부의 폭발 압력이 균등하게 작용되어 창문이 깨지기 보다는 문짝 전체가 밖으로 밀려나면서 내부 압력을 해소하게 된다. 그러나 문짝 중 어느 곳의 유리가 일부 개방되는 경우는 내부의 동압이 개방 공간으로 집중되면서 일부 개방된 유리를 모두 파열시키면서 압력이 해방된다.

[ 그림 5-23 ] 인위적으로 창문을 파괴한 돌



## 제5절 방화원인의 감식 진행

방화원인의  
감식 실무

## 1. 초동 조사(출동도중, 현장도착 시)

## 가. 연소상황

화재건물에 대하여 연기의 색, 냄새, 소리, 건물의 구조, 가연물 등이 일반화재에 비해 급격한 확산 여부 및 유류 폭발물 등 존재 유무를 확인한다.

## 나. 건물 개구부의 상황

창문, 통로, 출입문 등이 열린 채 화재의 진행여부를 확인하는데 이는 실화로 위장하려는 화재의 경우 문이 잠겨있거나 임의로 발화시간을 조작하여 지연 착화를 시도하는 경우가 많으며, 외부 침입자의 흔적 유무를 확인한다.

## 2. 현장조사

## 가. 발화개소 확인

방화로 의심되는 화재 감식에 있어서 화재현장의 발화부가 동시에 2개소 이상 여러 곳에서 화재의 진행여부를 확인하여야 하나 낙뢰, 비화에 의하여 복수의 발화개소 나타날 수 있으므로 유의한다.

## 나. 발화지점 잔류물 및 유증 등의 채취

방화의 수단으로 사용된 물품인 유류, 용기, 신문지, 연소·확대 물건 유무를 확인하여야 하며, 유류 또는 유류가 부착된 타고남은 물건 채취, 방화원인인 물적 증거를 채취 시 파손되지 않도록 유의한다.

## [ 그림 5-24 ] 현장에서 발견되는 유류용기





#### 다. 경보설비 등 작동

화재건물에 설치된 소방시설 중 경보설비, 무인경비시스템에 의한 각종 보안 장치, 또는 소화설비시스템이 고의로 작동되지 않도록 사전에 작동되지 않도록 고의로 전원 차단 및 단선여부를 확인한다.

#### 라. 연소된 물질의 현장 존재물품 여부 확인

방화현장에서 연소된 물질이 현장에 있던 물건인지 아닌지, 화재 후 없어진 경우 등 여러 가능성에 대하여 파악한다.

#### 마. 원거리에서 근거리 조사

방화현장 감식에 있어서 조사자는 화재발생장소의 주변 즉 일정 거리에서 화재현장의 중심지 근거리로 접근하면서 발화부를 판정하고 방화수단으로 사용된 유류통 등 버려진 방화 증거 물품을 찾는다.

### [ 그림 5-25 ] 전체적인 화재현장 관찰



#### 바. 방화물품 구입가능 장소 조사

방화현장 주변에서 방화수단으로 사용되었을 물품에 대해서는 인근의 주유소, 철물점 등을 조사하여 휘발유나 시너 등 방화 물품 구입여부를 확인한다.

#### 사. 유리창의 파손식별

현장 발화부 건물에서 쉽게 발견되는 유리의 파손에 대하여 강제 파손 시 깨어짐 형태인 방사상의 무늬 식별여부와 화재에 의한 파손 시 유리창의 한쪽 면에 그을림이 있는지에 대하여 감식한다.





## 제6절 방화행위의 입증 및 기구

### 1. 방화행위의 입증

#### 가. 방화행위의 입증 요소

방화행위를 입증하기 위해서 아래의 요소를 반드시 식별되어야 한다.

첫째, 먼저 방화의 수단과 방법이 실현가능하여야 한다.

둘째, 방화재료의 입수 경위가 밝혀져야 한다.

셋째, 방화를 한 장소 및 소훼물이 있어야 한다.

넷째, 방화의 수단이 가능한지 실증적으로 검토되어야 한다.

마지막으로 실화일 수 없는 필요·충분한 이유가 존재하여야 한다.

#### 나. 방화행위의 착수

일반적으로 독립적으로 목적물이 점화되었을 때 방화와 직접적으로 관련된 행위를 했을 때를 착수시기로 판단하고 있다.

#### 다. 방화판단 시 착안사항

첫째, 발화부가 일반적으로 평상시 화기가 없는 장소로 여러 곳에서 발화된 흔적이 식별될 수 있다. 이유는 방화행위자는 심리적으로 쫓기고 있으므로 반드시 성공하여야 한다는 강박감을 갖게 되어 일반적으로 2곳 이상에서 발화하여 화재조사자가 발화부를 알 수 없도록 위장 및 유도하기 위해서이다.

둘째, 발화부 주변에서 유류성분의 물질이 검출되며, 외부에서 반입한 유류통이 발견되기도 한다.

셋째, 강도와 절도 등이 관련된 방화 현장은 출입문, 창문 등이 개방된 상태로 식별되는 경우가 많다. 이는 방화행위자가 무단으로 침입하고 도망가기 바쁜 관계로 시건장치를 단속할 시간적 여유가 없기 때문이다.

넷째, 화재보험금을 노린 방화일 경우 다액의 화재보험에 가입되었거나, 여러 종류, 보험회사에 중복 가입되었거나, 보험만기가 가까워졌거나, 사업부진 등으로 채무에 시달리고 있거나, 노후 기계의 교체 필요성이 있거나 등이다.

다섯째, 불이 난 건물의 관계자 주변에 원한을 가진 자의 존재가 의심되고, 발화 상황

에 대한 진술이 부자연스럽고 진술 때마다 내용이 달라지는 등 진술에 일관성이 떨어지는 경우 방화를 의심할 수 있다.

### 라. 방화행위자의 특징

방화행위자는 구경이 가능한 높은 곳, 현장으로부터 일정거리에 떨어진 곳에 위치하여 구경꾼에 섞여 있는 경우가 많으므로 비디오 및 사진 등을 촬영하여 동일 인물이 여러 화재현장에서 계속 촬영되는지를 확인하여야 한다.

방화행위에 직접 착수한 행위자는 얼굴, 손, 손가락 등에 화상을 입는 경우가 있으므로 세심하게 살펴보고 또한 머리카락 및 눈썹 등이 타거나 그을린 자에 대하여 조사한다. 이는 최근 방화의 매개체로 위험물을 많이 사용하며, 위험물의 특성상 일정공간의 부분적인 폭발을 병행하기 때문이다. 또한 옷에 기름이 묻었거나 옷이 타서 눌러 붙은 흔적이 있는지를 확인하고 이상하게 흥분하거나 소화활동에 재미를 느끼는 자 등이 방화행위자의 주요 특징이다.

## 2. 방화입증 기구

### 가. 유류성분 감정 기구

유류 성분이 검출되어 종류가 밝혀지면 발화 당시의 채취 장소에서 동종의 유류 사용유무를 확인한다. 화재현장에서 유류의 존재를 입증하는 주된 분석방법을 설명하면 먼저종래부터 일반적으로 이용되는 것은 가스 크로마토그래피(Gas chromatography)에 의한 것이 있으며, 이 방법은 채취물(유류 또는 유류가 부착된 타고남은 물건 등)을 기기분석 한다. 또한 화재현장에서 간편하게 감별하는 방법으로 저비점 광물유 검지판 방식이 있다.

#### 1) 가스크로마토그래피 분석

이 방법은 여러 가지 성분이 혼합되어 있는 시료를 분석하는 방법으로 시료가 가스체라면 수 ml, 액체이면 0.05cc 가량의 양을 가스 상태로 해서 운반가스를 사용해 분리관을 통해 각 성분으로 검출하여 정성분석과 정량분석을 행하는 방법이다.

이 기기의 장점으로써 다음의 3가지가 있다.

- ① 물질이 유사한 여러 성분의 혼합계 분리에 매우 유효하다.
- ② 가스상태로 분석을 행하기 때문에 조작도 간단하고 시간도 빠르다.
- ③ 각 성분을 검출하여 그 양을 전기적인 신호로 기록계에 저장하고 가스크로마



토그래피로서 도형적으로 기록함으로써 분석결과가 객관적으로 보존된다.

[ 그림 5-28 ] 가스크로마토그래피



## 2) 석유류 검지관 분석

검지관은 가솔린, 등유 등 저비점 석유류를 대상으로 하고 있으며 분석원리는 방향족 탄화수소와 반응·착색하는 시약(유산과 호르마린의 혼합액)을 실리카겔에 스며들게 해서 유리관에 봉입한 다음 그것과 가솔린, 등유 중의 저비점 방향족성분과 반응착색시켜 그것의 색조와 탈색정도에 의해 유류를 판별한다. 현장에서의 사용방법으로는 가스 채취기에 검지관을 부착하고 시료에 근접시켜 채취기를 조작하여 가스를 흡입 후 검지관의 변색여부를 검사한다.

검지관 분석의 장점으로서는,

- ① 경량·소형으로 휴대가 편리하다.
- ② 실험조사 시에 판별이 가능하고 출하원인 판정에 있어서 이를 크게 반영할 수 있다.

[ 그림 5-29 ] 석유류 검지관



## 3

## 방화의 실행과 수단

방화의  
실행과 수단

## 제1절 방화의 실행

## 1. 직접착화

## 가. 착화 방법

가장 많이 사용하는 경우로 연소되기 쉬운 신문이나 의류, 이불 등을 모아 놓고 직접 라이터 등으로 불을 붙인다. 이 방법은 행위 장면이 주변에 노출될 경우가 많아 전문적인 방화범은 사용하지 않는 경향이 많으며, 인화성물질인 석유류 등을 바닥에 뿌리거나 가연물에 첨가하여 직접 불을 붙이는 경우를 많이 사용한다.

최근에는 도화선(긴 형검에 휘발유 묻혀 이용)을 이용하여 출입문이나 문밖에서 착화 시키기도 하고 화염병 등 착화물을 이용하여 원하는 곳으로 던지는 사례도 있다.

[ 그림 5-30 ] 비닐장판 유류 살포, 직접 착화 방화



## 나. 직접 착화 특이점

직접 착화에서는 방화자의 의류에 촉진제가 부착되거나 의류, 머리카락, 손과 발의 체모가 일부 그을리거나 탈 수 있으며, 인화물질을 이용 시 그 용기를 멀리 감추는 것보다 불속에 넣는 경우가 많다. 용기가 바닥에 접한 면은 진화 후 그 형체가 남을 수가 있으므로 발굴에 유의한다.



휘발유와 같은 인화물질을 뿌리고 착화시키면 폭발적 연소로 인해 자신도 큰 화상이나 신체 손상을 입을 수 있으며, 여러 곳에 착화시키면 화염이 성장 이전에 국부적 연소흔적만 남기고 멈추는 사례도 있다.

창문 유리는 내부 소행일 경우 원활한 화염 성장을 위해 열어 두거나 유리를 안에서 밖으로 깨며, 외부인일 경우는 출입문 대신에 창을 밖에서 안으로 깨고 침입하는 경향이 있다.

[ 그림 5-31 ] 차량시트 가연물에 직접 착화



#### 다. 직접 착화된 방화원인의 감식 요점

##### 1) 출입문 시건 여부

화재당시 사람의 출입 여부를 확인하고 내부 또는 외부 소행인지도 구별한다.

##### 2) 경보장치

경보장치의 적절한 작동 여부나 변형 여부를 확인하여 화재 시점과의 인과 관계를 밝힌다.

##### 3) 바닥 발굴

대부분 방화의 지점은 바닥에서 이루어지고 바닥의 연소가 확대되는 경우 적재물의 도괴로 덮이는 경우가 대부분이므로 발화점의 바닥은 세밀하게 발굴조사를 하여야 한다.

[ 그림 5-32 ] 적재물 제거후 잔존연소잔류물



방화의  
실행과 수단

#### 4) 첨가 가연물 존재 확인

연소 정도에 따라 남지 않는 경우가 있을 수 있으나, 화재 전에 없던 가연물(신문지, 전단지, 이불/의류의 이동 등)이 있거나 심하게 위치가 이동되어 연소가 되었던지를 관찰한다.

[ 그림 5-33 ] 장관위 신문에 직접 착화



#### 5) 인화물질 검지

기름띠가 형성되거나 적재물품의 바닥 등 기름이 스며들기 용이한 곳을 찾아 냄새를 맡거나 의심 물을 물에 띄어 보아서 기름띠가 형성되는 경우 증거물을 밀봉하여 전문기관에 성분을 의뢰한다. 흙이나 모래 등은 인화물질을 함유하면서 직접 연소되지 않으므로 그 잔유물이 남기 쉽다. 특히 계단을 따라 흐르거나 구석에 흘러 들어가 연소되는 경우 일반연소와의 구별이 용이하다.



### 6) 신체 탄화흔(炭火痕) 식별

행위자의 경우는 신발이나 의류에서 인화물질 취향이나 모발, 의류, 손과 팔의 체모에서 탄화흔적이 있는지를 확인한다.

### 7) 독립적 발화지점

주변의 가연물이 쉽게 타지 않는 가연물로 연소 확대가 기대 되지 않는 경우 여러 곳에 착화를 시키면 서로 연결되지 않는 독립적 발화 개소를 보여준다.

### 8) 유리 파편흔적 조사

유리조각의 비산 위치와 파단면 검사를 통해 충격방향을 확인한다. 평면유리에 충격이 가해지면 충격의 반대쪽 면에 방사형 방향으로 파괴기점이 나타나고 동심원 방향은 이와 반대쪽에 파괴 기점이 나타난다. 따라서 파편의 파단면이 방사형 부분인지 동심원 부분인지를 구분하여 그림과 같이 리플마크(Ripple marks)에서 파괴기점을 알아내면 유리의 외력방향을 알 수 있다.<sup>13)</sup>

[ 그림 5-34 ] 외력 충격 후 식별되는 Ripple Marks



## 2. 지연(遲延) 착화

### 가. 지연 착화의 방법

가장 많이 사용하는 방법으로 촛불을 이용하여 양초가 다 타고 난 다음 가연물에 접촉되도록 하여 시간을 지연시킨다. 촛불은 보통 4시간에서 60여 시간 이상까지도 길이와 두께에 따라 다양하게 조절할 수 있다.

13) 문용수, 『유리파단면의 형태식별 감정에 관한 연구』, (사)한국화재조사학회지, 2002

전기사고에 관한 국민 정서를 역으로 이용하여 최근 전기발열체에 가연물을 올려 놓고 시간을 지연시켜서 도피할 시간을 획득하거나 전기 실화로 위장하는 방화 사례가 있다. 최근 선진국 등에서 많이 사용하고 있는 것으로는 시계나 타이머를 이용하여 원하는 시간에 점화 스위치를 작동케 하여 발화시키는 장치 사용이 점차 늘고 있다.

[ 그림 5-35 ] 전기 발열체위 의류착화물



#### 나. 지연 착화의 특이점

지연 착화는 건물주(가옥주) 자신 또는 시주를 받은 사람이 실화를 위장하려고 하는 행위이거나 방화자가 도피할 시간을 갖기 위해 행하여진다.

건물주 자신이 방화할 때에는 출입문이나 방문의 시건장치가 잠긴 경우가 많다. 따라서 잠금장치가 잠겨있다는 이유만으로 사람의 출입을 배제하는 것은 큰 오류를 범할 수가 있다. 절도나 기타 범행 후 이의 은폐를 위한 방화는 문을 본래 상태로 잠그기 보다는 범행 현장으로부터 이탈이 급하므로 출입문이 열려 있는 곳이 많다.

특히 기존시설은 언제든지 착화가 가능한 상태로 방화자가 이용하기 쉽고 착화 시 방화자 자신에게 특별한 위해의 위험성이 적다. 따라서 기구의 이동이나 변형이 아닌 가연물의 이동이 중시되므로 소화 작업이 끝난 후의 흔적을 식별하는 것은 매우 신중한 조사가 필요하다.

#### 다. 지연 착화된 방화원인의 감식 요점

##### 1) 전원 통전여부 확인

전기기구(난로, 조리기)인 경우 통전상태였는지를 플러그 상태와 전기 단락흔 발생 유무로 확인한다.



## 2) 스위치

기구의 전원이나 가스가 인가된 상태에서 스위치가 작동되었는지를 확인한다. 사용자가 사용하지 않은 스위치 변형은 의심을 하여야 한다.

## 3) 가연물

가스가 누출되었거나 전기 전열기 면에 수건이나 의류가 발열체에 덮여 있는지 확인하여 이를 증명할 수 있게 한다.

## 4) 양초

연소 중심부에 보관상태가 아닌 양초 잔해가 발견되는지를 확인한다. 양초 주변에 착화 가능한 가연물이나 인화물질을 동반하는 것이 일반적이다.

[ 그림 5-36 ] 화재현장에서 식별되는 양초 잔해



## 3. 무인스위치 조작을 이용한 기구 착화

### 가. 착화 방법

일상생활에서 유용하게 사용되는 자동스위치가 방화에 이용되는 경우이다. 먼저 원격장치를 이용하여 집화스위치를 작동시키며 특히, 대형파괴를 목적으로 다이어나이트 도화선 등이 이용되기도 하며, 주위 온도를 이용하여 온도에 따라 작동되는 스위치로서 열감지센서 원리를 이용한다. 이는 사람과 같이 실내 온도보다 높은 온도가 접근되면서 작동되는 스위치원리를 이용한다. 광량을 이용한 스위치를 사용하는 경우로 어두워지

면 가로등에 자동으로 불이 들어오는 스위치 원리와 같다. 마지막으로 레이저 광선을 이용하여 스위치를 작동시키는데 이는 광선에 물체나 사람이 개입되어 빛을 차단하면 작동되는 스위치 원리를 이용한 것이다.

방화의  
실행과 수단

#### 나. 화재 특이점

기존시설의 스위치단자를 이용하거나 배터리 전원을 연결시켜 스위치만 작동하는 회로를 구성하여 스위치가 연결되었을 경우 코일이나 금속 그물망, 열선, 깨진 전구 등에 가연물을 접촉하여 발화케 한다.

#### 다. 원인 감식 요점

##### 1) 발화원

어떤 스위치든 최종 목적은 발화원을 구성시키는 요소이므로 발화원이 될 만한 전열 기구를 찾아 출처를 조사한다.

##### 2) 회로망

스위치로부터 전열기구로 가는 회로(전선)를 찾아 스위치와 전열기구와의 관계를 규명한다.

##### 3) 배터리(Battery)

기존의 실내 전원을 이용하기 힘들거나 제조의 편리성 때문에 발화 에너지원이 되는 별도의 배터리(건전지)를 사용하는 것이 일반적이므로 바닥에 설치되거나 떨어지면 식별 가능한 만큼 보존된다.

#### 라. 착화 방법

- 1) 빈집에 들어가 가스호스에 점화시키는 것으로 기밀을 파괴시켜 피해자가 조리 기구를 작동하는 순간 착화시킨다.
- 2) 집안 배선이나 전기기구를 미리 합선시켜 스위치가 작동하면 전기화재로 나타나게 한다.
- 3) 휘발유통이나 가방, 차량 등에 인화물질과 점화장치를 담아 손으로 만지면서 스위치를 작동케 해 피해자에게 위해를 가한다.



### 마. 화재 특이점

행위자가 직접 피해자가 되면서 행위자가 특별한 과실로 설명할 수 없는 화재 과정으로 일어난다. 즉 문을 연다든지, 전등 스위치를 켜다든지 등의 일상적인 행위로 인해 출화된다.

전기를 이용하는 경우 기존의 스위치 시스템에 발화와 관련된 점화시스템을 결합시켜 스위치 작동과 함께 발화에 이르게 한다. 특정한 개인, 집단, 불특정 다수에게 행해질 수 있다.

[ 그림 5-37 ] 휘발유통에 점화장치 부착 폭발



### 바. 원인 감식 요점

#### 1) 피해자 행위

피해자의 직접 행위에 의해 나타나는 화재의 경우 피해자의 구체적 행위가 가연물, 발화원에 영향을 미칠 수 있는지 파악한다.

#### 2) 외부 반입물

피해자 행위를 이용하더라도 기존 스위치 시스템에 연결되는 점화히터나 배선, 기존 발열체에 가연물 등 외부 반입물이나 이동물이 필요하게 된다.

소화 작업 후 발견하기가 쉽지 않겠지만 정확한 발화지점으로부터 조사를 시작한다면 외부 반입물품의 흔적을 찾을 수 있다.

#### 3) 점화원

점화원이 될 만한 전등이나 전열기 등에 부착물질이나 전원 변경 등을 확인한다.

## 4. 실화를 위장한 방화

### 가. 위장실화의 착화 방법

위장실화는 개인적인 이득을 취하기 위해 화재 후 조사원이 실화로 착각하도록 위장하려는 시도이다. 그러므로 보험금을 노리고 사람의 개입을 은폐하기 위해 전선에 인화물질이나 가연물을 놓고 착화시켜서 조사과정에서 발화지점이나 발화원이 전기적인 원인으로 판명 나도록 한다.

최근에는 재산적 보상을 위해 낡은 텔레비전(TV) 등 가전제품을 구입하여 제품 내부의 결함을 인위적으로 작용시켜서 발화시킨 사례가 있다.

### 나. 위장실화의 특이점

위장실화에 있어서 연소된 물품에 대한 감식만으로는 방·실화 여부를 확인하기가 매우 어렵다. 따라서 위장실화의 경우는 발화 여건이나 확대조건의 인위적 조성, 피해자의 방화여도 개연성 여부가 중요한 변수가 된다.

때로는 발화원인이 명확히 구분되고 피해자의 구체적 행위가 입증된다 하여도 피해자의 위장실화의 범의(犯意)를 밝히지 못할 때는 원인판정이 곤란할 수 있다.

### 다. 위장실화 가능 유형

특히 보험금 사취를 목적으로 하는 방화는 지능적으로 이루어지는 경향이 감지되고 있는데 그 유형은

첫째, 임의로 발화시간의 조장이 가능한 모기향(최장 6시간), 촛불 등을 이용 지연 착화시켜 자신의 알리바이를 통해 혐의를 벗어나려는 알리바이 주장형

둘째, 발열기구를 이용 방화하는 자기실수 인정형

셋째, 가전제품을 이용 방화하는 완전 면피형

넷째, 완전연소나 붕괴, 훼손조장으로 증거를 못 찾게 하는 증거 인멸형이 감지되고 있다.

알리바이 주장형은 사람에게 쉽게 발견되는 시간대에 갑자기 화염이나 연기의 분출로 발견된다. 연소기나 전열기를 이용하는 방화는 실화로 판정 나게 마련이지만 충분한 용의점이 있어도 충분한 수사 등 과실의 추궁 없이는 고의성이 드러나기 쉽지 않다.

가장 많이 사용되고 있는 방법이 증거 인멸형은 물적 증거로 방화입증이 불가능한 경우가 많으므로 대책이 시급한 실정이며, 제조물책임법의 시행과 관련 완전면피형의



증가되고 있다.

## 라. 위장실화의 원인감식의 요점

### 1) 실화인정

화재관련자가 실화(전기화재 등)를 쉽게 인정하거나 그 가능성을 조사자에게 필요 이상으로 설명하면 위장실화를 배제할 수 없다.

### 2) 증거인멸

가연물의 적재 상태나 연소 시간에 비해 심하게 연소되어 증거를 찾기 어렵거나 생업이나 안전을 핑계로 조사 이전에 현장을 심하게 훼손하는 사례이다.

### 3) 알리바이 강조

대낮이나 사람의 통행이 빈번한 곳에 쉽게 발견되도록 하고 관련자는 그 시간에 맞는 명확한 알리바이(현장부재증명)를 성립시키려고 한다.

마. 이와 같은 위장실화는 조사자가 현장 조사 이외에 광범위하게 행위자의 주변 인적 사항 및 화재 증거자료에 대하여 철저한 조사가 요구된다.

[ 그림 5-38 ] 헤어드라이기를 이용한 전기위장 화재 재현



## 제2절 방화의 수단

방화의  
실행과 수단

## 1. 방화 수단의 동기 및 방법

방화행위 즉 방화의 수단은 다양하지만 동기에 따라 일정한 경향을 보인다.

방화의 달성을 주요 목표로 하면 발각을 두려워하기보다 어떻게 하면 완전하게 태워 없앨 수가 있을까하는 본래의 목적달성에 의지를 쏟는 경향이 있다. 대개는 성냥이나 라이터로 가연물에 직접 점화하거나 유류를 뿌리고 점화시키는 단순한 방화방법을 선택한다.

또한 절도나 살인 등의 증거인멸 의도 또는 보험금사기 등의 목적으로 방화는 행위자가 자신의 안전을 최대한 도모한다. 한편 방화 행위의 발각되는 것을 막기 위해서 방화의 수단이 교묘해지고 때로는 실화같이 꾸미거나 타인의 방화로 위장하여 책임전가를 하려고 노력하는 자도 있고 은폐를 위하여 시한발화장치 등을 사용하기도 한다.

## 2. 방화수법의 검토

방화범은 범행을 할 때 최선을 다하여 적발되지 않을 방법을 선택하고 개개인의 습관 등을 이용하므로 범인이 숨길 수 없는 무형의 심리적인 자료가 범죄의 증거물로 남기므로 방화의 수법에 대한 검토를 하여야 한다.

## 가. 방화수법 요인

## 1) 사물인식

사람마다 성격이 다르다. 범죄수법도 상이할 수 있으므로 현장 접근 방법과 도주로의 선택에서 각각 다른 특징을 찾을 수 있다.

## 2) 신체적 조건

사람의 신체적 조건 차이는 그 행동능력의 차이를 만든다. 왼손·오른손잡이 행동인가, 힘 있는 청년과 노약자, 남성과 여성의 운동의 차이, 신장, 체중 등 생리적 여건에 따라서 행동양식이 달라져 범죄수법을 형성하는 요인으로 되므로 연속방화의 경우 행동거리나 반경에서 판단자료가 된다.

## 3) 지식경험

지식이나 경험이 수법형성의 요인이 된다. 연고감이나 지리감이라 하는 것은 피



해자의 인적사항과 화재현장 부근에 접근했던 경험이나 지식을 갖고 보험금 사취목적 방화에 있어서는 화재보험에 관한 지식과 과거 화재이력, 화재보험금의 수취이력 등이다.

#### 4) 직업적 능력

직업적 지식이나 경험이 수법을 형성할 수 있음은 전기나 화학약품에 의한 화재를 위장한 방화인 경우 전문적이고 직업적인 지식의 성격을 띠므로 행위자의 행동양식에 대한 관찰을 통하여 직업을 추정할 수 있다.

### 나. 방화행동 수법의 종류

#### 1) 시간대 특성

범죄를 시간적으로 검토하면 방화행위자의 시간적 행동습성을 알 수 있다.

#### 2) 장소적(대상) 선택

공장, 창고, 시장, 빌딩입구, 주택, 빈집, 관공서, 종교집회장(사찰, 교회, 성당 등), 자동차(자가용, 승용차, 택시, 화물차, 버스, 중기 등)를 선택한다.

#### 3) 접근 수법

방화보조 매개체로 사용된 유류, 가스, 불쏘시개, 종이, 성냥,ライター 등을 이용하여 방화 실행에 접근한다.

#### 4) 습벽(習癖)

낙서, 절도 등의 일정한 습관이 발생한다.

## 4

## 방화원인의 판정

방화원인의  
판정**제1절** 방화판정의 전제조건에 대하여

조사자가 방화라고 판정하기 위해서는 다음과 같은 방화의 증거가 있을 때인데,  
 첫째, 발화부위가 여러 곳일 때(연소경로가 자연적이지 못한 경우),  
 둘째, 이상 연소 잔해(가연물을 모아놓은 경우, 인화성 물질의 잔류)나 연소흔적(액상, 기상의 가연물 연소흔적)이 발견되었을 때,  
 셋째, 다른 발화원이 완전 배제되었을 때이다.

**제2절** 방화의 판정을 위한 10대 요건<sup>14)</sup>

방화원인의 판정을 위한 10대 요건을 정리함에 있어서 다음과 같은 사실이 있으면 실화가 아닌 방화로 조사하여야 한다.

**1. 여러 곳에서 발화(Multiple fires)**

발화점(Point of origin)이 2개소 이상인 경우는 통상방화로 추정할 수 있다. 그 이유는 사고에 의한 화재는 동시 또는 2개소 이상에서 발화될 가능성이 거의 없기 때문이다. 다만 제2의 발화(Second fire)가 최초의 발화(First fire)의 정상적인 확대나 전파로 인한 것이 아니어야 한다. 즉 최초의 발화에서 유래한 발화점은 1개소이지 결코 2개소 이상이 아니다.

**2. 연소촉진물질의 존재(Presence of flammable accelerants)**

화재의 확산을 가속화시키기 위한 가연액체(Flammable liquid, 휘발유, 석유 등) 연소촉

14) NFPA 921 CODE 2005(17-1)



진물질이 존재하거나 이와 같은 연소촉진물질을 사용한 흔적이 존재한 경우이다. 이러한 연소촉진물질은 거주자가 비치한 것이라도 화재에 이용될 수 있는 장소로 이동되었으면 방화로 추정되고, 또한 화재가 발생한 전체지역에서 발견되거나 여러 곳에 산재해 있으면 역시 방화로 추정한다.

### 3. 화재현장에 타 범죄 발생증거(Evidence of other crimes)

화재장소 또는 주위에 타 범죄가 발생한 사실이 있으면 타 범죄를 은폐 또는 용이하게 하기 위한 방화로 판정할 수 있다.

### 4. 화재발생 위치(Location of the fire)

화재발생 위치가 사고화재가 발생할 소지가 없는 장소일 때에는 방화로 추정할 수 있다.

### 5. 사고화재원인 부존재(Absence of all accidental fire causes)

실화, 자연화재의 원인을 발견할 수 없으면 방화로 추론할 수 있다.

### 6. 귀중품 반출 등(Contents out of place or contents not assemble)

평상시 일정장소에 있는 귀중품이 화재이전에 외부로 반출되었으면 방화로 추정할 수 있다. 화재 이전에 주요비품이 이동(Major appliance removed prior to fire)되거나, 화재이전에 주요부품이 하급물품으로 대체(Substitution of contents prior to fire) 혹은 일상생활용품의 부존재(Absence of personal items)하면 방화로 판정할 수 있다. 대부분의 가정과 업소에서 일상생활용품을 비치하고 있으며, 일상 사용하는 도구, 연장, 작업복, 작업용 기계, 잔돈, 기타 도구 등 없거나 또는 화재 전에 옮겨졌거나 중요서류의 부존재(Absence of important papers) 즉 등기서류, 거래 장부, 기타 중요문서를 비치 또는 보관하는데 이러한 서류가 없으면 방화로 판단할 수 있다.

## 7. 수선중의 화재(Fires during renovations)

건물의 수선 중에는 가연성 페인트(Flammable paint), 착색제(Stain) 등 인화물질이 주위에 산재하여 사고화재(Accidental fires)가 빈번히 발생하기 때문에 사고화재를 위장한 경쟁업자(건물의 수선완료 후 경영예정업종과의 경쟁업자) 등의 방화가능성이 있으므로 수선중의 화재는 방화로 추정할 수 있다. 현장에서 화재연장, 확산도구사용(Trailers)하여 일정지점의 화재를 다른 지점으로 확산시키기 위하여 가연물질을 이용한 사례이다. 예를 들면, 양쪽 문 사이를 가연물질로 연결시켜 한쪽 문의 화재가 다른 문에도 연장되게 하였으면 방화로 추정할 수 있다.

방화원인의  
판정

## 8. 화재이전에 건물의 손상(Structural damage prior to fire)

화재이전에 건물의 담, 마루, 지붕 등에 일부위에서 타부위로 불이 확산되도록 구멍이 뚫려 있으면 방화로 의심할 수 있다.

## 9. 동일건물에서의 재차 화재(Second fire in structure)

같은 건물 또는 같은 장소에서 2회 이상 연속해서 화재가 발생된 경우에는 방화로 판단할 수 있다. 단 최초 화재의 재발(Rekindle)이 아니어야 한다. 거주자 탈출이 지나치도록 신속히(Short period of time between exit of occupant and fire) 탈출한 경우는 방화로 추정할 수 있다.

## 10. 휴일 또는 주말화재(Fire occurring on holidays or Weekend)

휴일 또는 주말에는 거주자들이 외출하는 경우가 많다. 뿐만 아니라 부근에는 통행하는 사람들이 적어 화재의 발견이 쉽게 이루어지지 않기 때문에 휴일이나 주말을 택하여 방화하는 사례가 있으므로 휴일 또는 주말의 화재는 방화로 추정할 수 있다.

이 밖에도 화재로 인한 과대손상(Excessive fire damage)이 발생하였거나, 극심한 고열발생의 증거 식별, 그리고 소방요원의 진입방해(Entry of fire companies blocked)를 할 경우에도 방화를 의심할 수 있다.



### 제3절 방화수단 사례

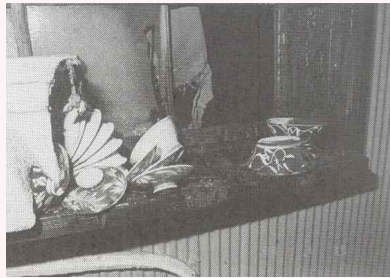
#### 1.ライター·성냥에 의한 방화

방화 발화원 중ライター에 의한 것과 성냥에 의한 것이 대다수를 차지하고 있다. 여러 가지 발화원인으로 사용하는 방화의 사례를 소개한다.

##### ✓ 사례1 : 주택의 부엌에 방화

\*년\*월 21시 00분경 1층 부엌의자, 창 부근의 집기류가 손상한 것으로 누군가가 창문유리 부근에 신문을 넣은 다음ライター 등을 사용해서 방화했다.

[ 그림 5-39 ] 주택 부엌에 방화



##### ✓ 사례2 : 주택 쓰레기 더미에 방화

\*년\*월 01시 19분경 공동주택외부에 설치된 쓰레기 더미에 방화범이 침입해서ライター 등을 사용하여 종이 휴지에 방화했다.

[ 그림 5-40 ] 쓰레기 더미에 방화



✓ 사례3 : 병실 내 침대에 방화

\*년\*월 05시 00분경 남성 입원환자가 이웃 병실에 침입하여 침대에 간이라이터(1회용 라이터)로 방화한 것으로 병실 내에서 모포, 베개, 침대가 각각 소훼되었다.

[ 그림 5-41 ] 병실 내 침대에 방화



✓ 사례4 : 오토바이 차체에 방화

\*년\*월 20시 00분경 외부인의 출입이 자유로운 부지 내에 놓여 있던 오토바이의 차체에 라이터 등으로 방화하였다.

[ 그림 5-42 ] 오토바이 방화

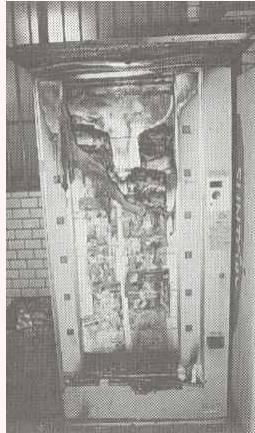




✓ 사례5 : 점포 앞 자동판매기 방화

\*년\*월 05시 38분경 잡지 자동판매기의 전시용 아크릴 커버에ライター 등으로 방화하여 자동판매기 1대가 소손되었다.

[ 그림 5-43 ] 점포 앞 자동판매기에 방화



✓ 사례6 : 길가에 설치된 우체통에 방화

\*년\*월 23시 46분경 우체통의 우편 투입구에 신문을 집어넣고 불쏘시개를 이용하여 방화했다. 우체통안의 우편대 2개, 봉투편지 169통이 소손되었다.

[ 그림 5-44 ] 길가에 설치된 우체통에 방화



✓ 사례7 : 고교 교실내 검도 의류 방화

\*년\*월 4시30분경 RC조 4층 건물의 고교의 1층 교실에 누군가가 침입하여 라이터 등으로 방화하고 학교의 표지판에도 방화했다.

[ 그림 5-45 ] 교실 내 검도의류에 방화



✓ 사례8 : 호텔 객실침대에 방화

\*년\*월 0시 32분경 남성 숙박자가 호텔 객실 침대에 라이터 등을 사용해 방화했다.

[ 그림 5-46 ] 호텔의 객실 침대에 방화





## 2. 발화장치에 의한 방화

### 가. 시한발화장치에 의한 방화

행위자는 시한발화장치를 사용하여 현장에서 떨어진 장소에서 발화를 일으키는 경우가 많고 시간이 충분하다면 화재 발생 시 다른 장소에서의 완전한 알리바이를 만들기가 가능하다. 시한장치에는 시계장치(타이머), 양초, 모기향, 담배 등이 사용되고 있다. 몇 가지 발화기구를 소개한다.

#### 1) 시계장치에 의한 경우

정치적인 목적에 의한 방화의 경우가 많다. 이것은 보다 여러 장소에 동시에 방화하기 위한 경우에 많이 사용된다.

발화수단으로서 배터리 또는 건전지를 전선에 따라 타이머(용수철식 또는 전자식)에 접속하여 배선중간에 니크롬선의 발열체를 설치한다.

타이머의 설정시간에 도달하면 스위치가 작동되어 통전상태로 된 니크롬선이 발열하여 인접하고 있던 종이 등 가연물을 착화시킨 다음에 연소 확대 매개체를 목적으로 용기 안에 담아둔 가솔린, 등유 등 유류를 연소시킨다.

또한 니크롬선을 사용하는 대신에 설정시간에 도달하면 배선의 플러스(+)선과 마이너스(-)선이 접속·단락하여 전기불꽃이 발생하도록 계획하여 근처에 배치한 가솔린 등 가연성 증기에 인화시키기도 한다.

최근에는 연소 확대의 목적으로 휴대용 가스봄베나 테르밋(Thermit ; 철 용접제로 알루미늄 분말과 산화철의 분말을 혼합한 것으로 점화시키면 격심한 발열 반응이 일어난다) 등을 사용하는 사례가 있다.

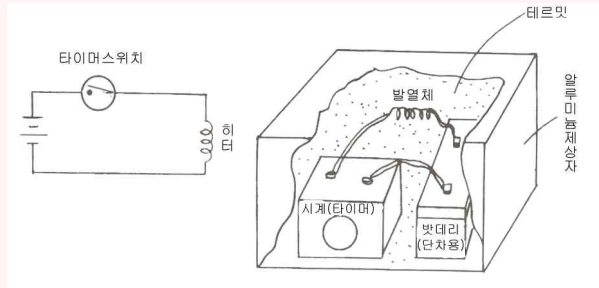
4

방화원인의  
판정

사례1

정치적 과격파 집단이 철도 궤도 신호기구 상자 앞에 설치한 시한발화장치를 작동시켜 기술련에 인화한 다음 테르밋(Thermit)을 매개로 하여 연소대를 도모하였다.

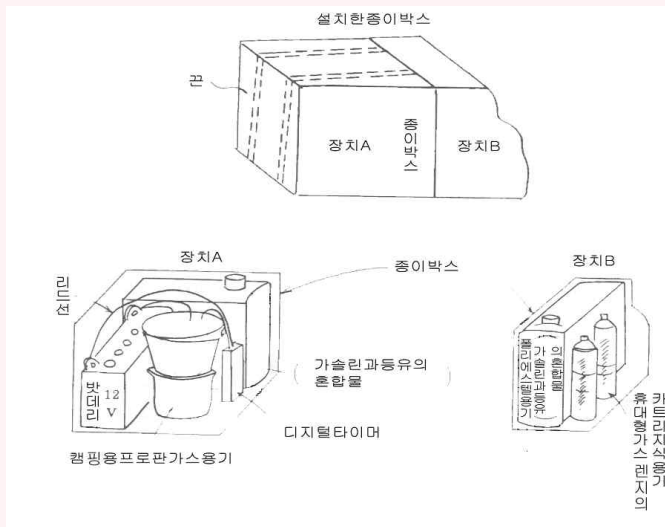
[ 그림 5-47 ] 발화장치1



사례2

빌딩의 4층 계단에 놓여 있던 금속제 책상 위에 시한발화장치 및 기술련이 든 폴리용기와 가스봄베를 조립한 골판지상자 2개를 장치했다.

[ 그림 5-48 ] 발화장치2





## 2) 양초에 의한 경우

양초를 사용한 시한발화장치는 예전부터 많았다. 방화범에 있어서 재료확보와 방화시간 조절도 용이하면서 처음부터 양초가 발화상태인 것 등으로 성공확률도 높다.

발화기구로서 양초에 불을 붙인 다음에 양초 밑 부분에 놓인 종이, 형겔, 유류 등의 가연물에 촛농이 녹으면서 자연스럽게 착화·확대하도록 하고 있다. 양 촛대를 사용할 경우 시판되고 있는 것을 사용하는 것이 아니고 나무판자 등에 못을 박아 세워 부근의 가연물을 연소함과 동시에 못은 진압용수 등에 망실되어 증거품을 찾을 수 없도록 유도한다.

### ✓ 사례3

마룻바닥 위에 가솔린이 든 비닐봉지를 놓은 후 그 위에다 간이촛대(널판지에 못을 박아 만든 것)에 세운 양초를 올려놓고 위로부터 구멍을 뚫은 신문지를 놓고 양초에 점화 후 일정 시간 방치하였다.

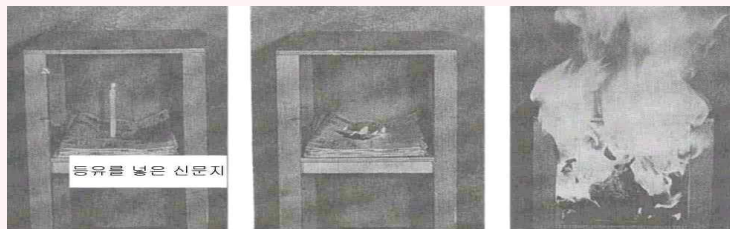
[ 그림 5-49 ] 양초 발화 실험(점화 1시간23분 후 발화)



### ✓ 사례4

천장 안에 등유를 적신 신문지를 깔고 그 위에 직접 양초를 세우고 양초에 점화해 방치하였다.

[ 그림 5-50 ] 양초와 등유를 적신 신문지 방화 재현(점화 1시간42분 경과 후 발화)



## 3) 모기향에 의한 경우

회전형 모기향의 연소시간은 무풍시(無風時)와 통풍시(通風時)에 차이가 있다. 받침대에 세웠을 경우 무풍에서 7시간 30분 전후이고 풍속 0.8~0.9m/s에서는 4시간 30분 전후이다. 방화행위자가 이 같은 연소시간을 효과적으로 이용했을 경우 원인 입증이 곤란해진다. 그리고 모기향은 재로 남기 때문에 받침대도 시판되고 있는 것 이외의 것을 사용했다면 발화원 입증은 어려워진다. 발화기구로서 회전형 모기향을 간이받침대에 세우고(판자에 못을 박아 세운 것) 소용돌이의 중심부에 성냥을 올려 놓고 모기향이 중심부까지 타 들어가면 성냥의 두약이 발화하고 연소확대를 위해 배치한 유류 또는 유류를 적신 종이나 쓰레기 등의 가연물에 불이 옮겨 연소를 확대시킨다.

[ 그림 5-51 ] 모기향으로 착화시킨 차량방화 재현



✓ 사례5

마루바닥 위에 회전형 모기향을 간이받침대에 세워 놓고 그 중심부에 성냥개비의 머리 부분을 놓아 가까운 위치에 가솔린이 든 라면 용기를 배치하고 이것들 위에 신문지를 펼쳐 썩우고 모기향을 점화 방치하였다.

[ 그림 5-52 ] 모기향 발화 실험 (점화 7시간30분 후 발화)





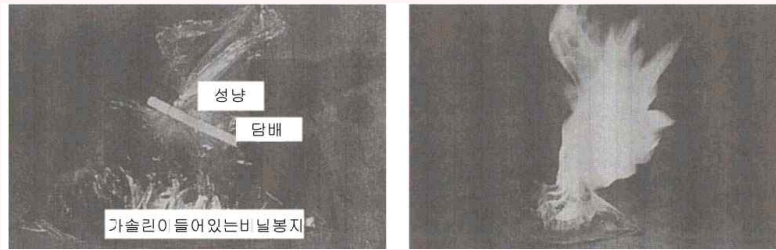
#### 4) 담배에 의한 경우

양초, 모기향에 비해서 연소시간은 담배 1개비는 15분~20분으로 짧아 알리바이 공작을 할 경우 시간적 제한이 있다. 발화기구로서 담배에 성냥개비를 찢러 넣거나 접속시킨 후 담배에 점화하여 연소가 진행되면 성냥의 두약이 발화하도록 장치하고 있다.

#### ✓ 사례6

담배에 성냥개비를 찢러 넣고 두약을 아래쪽을 향하게 한 다음 이것을 가솔린이 든 봉지위에 놓고 담배를 점화 방치하였다.  
성냥갑에서 다수의 성냥개비를 밖으로 내밀어 놓고 담배를 그 틈에 끼어 아래쪽을 실로 줄라매고 담배를 점화해 방치하였다.

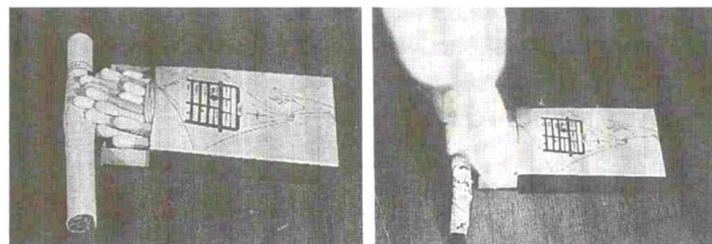
[ 그림 5-53 ] 성냥개비 발화 실험(점화 14분10초 후 발화)



#### ✓ 사례7

성냥갑에서 다수의 성냥개비를 밖으로 내밀어 놓고 담배를 그 틈에 끼어 아래쪽을 실로 줄라매고 담배를 점화해 방치하였다.

[ 그림 5-54 ] 성냥과 담배 발화 실험 (점화14분 10초 후 발화)



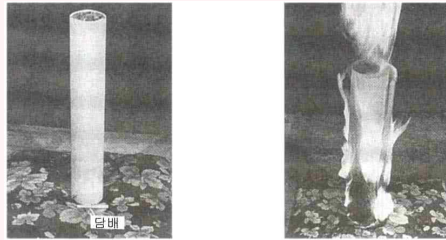
## 5) 무염연소(無炎燃燒)를 이용한 경우

담배 불 방치로 이불 등 가연물의 무염연소가 진행되는 시간적인 경과를 이용한 것이다. 그러나 이 방법은 무염연소만으로 끝나 발염상태에 이르지 못하고 실패로 끝나는 일도 많다. 발화기구로서 이불 위에 불이 붙어 있는 담배를 놓고 종이 같은 가연물을 배치 또는 무염연소 물건을 종이 등의 수직 가연재에 접근시켜 놓거나 또 특정 시각에 확실히 발염시키기 위해 성냥을 연소확대의 매개물로 사용하는 일이 있다.

✓ 사례8

방석위에 불이 붙어 있는 담배 3개비를 놓고 그 위에 도면을 말아 만든 종이관을 세워 천장에 타 옮겨가도록 장치해 방치하였다.

[ 그림 5-55 ] 담뱃불 발화 실험 (점화 14분 10초 후 발화)



## 6) 가열에 의한 경우

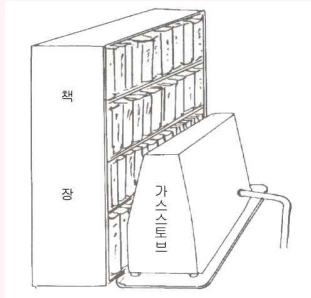
가스레인지, 스토브 등의 화원을 가연물에 접근시켜 시간의 경과와 함께 착화시키는 방법이다. 발화기구로서 가스레인지, 스토브 등의 화원을 가연물에 접촉 또는 접근시켜 사용 상태로 방치하여 발화하도록 장치한다. 이 경우 도중에서 발견되거나 발화원이 판명되어도 부주의에 의한 실화로 판명될 수 있다.



### ✓ 사례9

가스스토브를 최대 화력으로 점화하여 발열측을 그림과 같이 잡지가 꽂인 책장에 접촉시켜 방치하였다.

[ 그림 5-56 ] 스토브 과열에 의한 발화 실험



## 나. 기타 발화장치에 의한 방화

시한발화장치를 사용하지 않은 발화장치이다. 주로 발화장치를 숨기거나 방화범 자신의 위험방지 목적을 가지고 사용한다.

발화기구로서는 기름에 적신 실 등을 도화선으로 조금 떨어진 위치에서 점화하여 목적물을 연소시키거나 천장 등에 전기불꽃 발생장치를 설치하고 숨 같은 것에 착화시킨 후 유류를 사용하여 연소 확대시킨다. 여기서는 주된 두 종류를 골라 구조 및 발화기구를 소개한다.

### 1) 성냥 화염병

적당한 크기의 시험관에 농황산을 10~20cc 넣고 둘레를 염소산칼륨을 함유한 종이 또는 붕대로 감아 가솔린 또는 가솔린과 등유를 혼합한 것을 담은 콜라병과 실험관을 세로테이프 등으로 감아 붙인 것이다. 목적물을 향해 던지면 시험관과 가솔린 등이 들어 있는 병이 같이 깨져 시험관내의 농황산과 그 둘레에 감긴 종이 등에 배어있는 염소산칼륨이 급격한 반응을 일으켜 발화한다.

4

[ 그림 5-57 ] 성냥식 화염병

방화원인의  
판정



2) 직화식(直火式) 화염병

가솔린 등을 넣은 병의 입구에 10cm 정도의 가솔린을 적신 조각을 늘어뜨린 가장 단순한 구조의 화염병이다. 가솔린 등을 적신 헝겊조각을 성냥으로 점화 후 목표물을 향해 던지면 병이 깨지면서 유출한 가솔린에 인화하기 때문에 단번에 화염을 올려 연소한다.

[ 그림 5-58 ] 직화식(直火式) 화염병

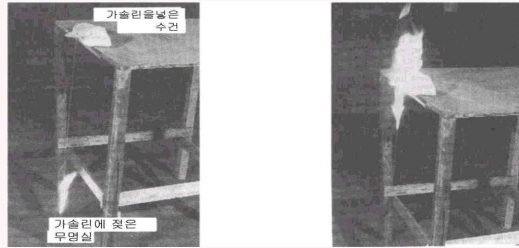




### ✓ 사례10

가솔린을 적신 헝겊을 작업장 내 창문 가까이 있는 작업대 위에 놓고 가솔린에 적신 목면 솜을 옮기면서 밖으로 늘어뜨린 후 끝부분에 성냥으로 점화하였다.

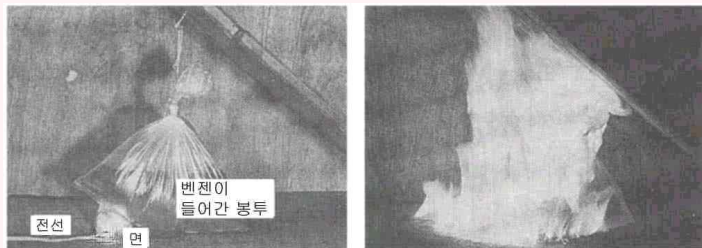
[ 그림 5-59 ] 가솔린 실험 (점화 후 5초 경과 발화)



### ✓ 사례11

천장 안에 벤젠이 들어 있는 비닐봉지를 고정시켜 전선이 단락되게 장치하고 그 곁에 솜과 휴지를 배치하여 단락 불꽃에 의해 솜 등에 타 들어가게 하는 상태로 해 놓고 스위치를 작동하였다.

[ 그림 5-60 ] 벤젠 비닐봉지 실험 (점화 후 15초 경과)



## 제4절 효율적인 방화원인 감식

방화원인의  
판정

방화는 무관심한 사회의 소홀함에 의하여 키워진 범죄(A crime which feeds on neglects)라고 지적되기도 하며, 지난 대구지하철 방화참사에서 볼 수 있듯이 아주 짧은 시간에 많은 인명피해 등을 가져 올 수 있는 위험범죄이기도 하다. 방화의 수단이 되는 “불”은 일단 인간의 손을 떠나면 어떻게 확산될지 예측하기 힘들기 때문에 막대한 공공피해를 가져올 가능성을 갖는다. 그러므로 방화 예방만이 최선의 길이고 차선책이지만 방화가 발생하면 소방과 경찰 그리고 보험사, 손해사정법인, 전기·가스안전공사 등 화재조사와 관련된 전 기관·단체에서 철저하고 유기적인 조사협력 체계를 구축하여 방화범에 처벌에 필요한 물증확보와 자료와 데이터를 수사기관에 적극 제공하여 방화범은 반드시 엄정한 법의 심판을 받는다면 모방범죄, 기타 보험사기성 방화를 감소하는데 기여할 수 있을 것이다.

일본 형법 제108조 건조물방화죄는 제199조 살인죄보다 죄가 무겁다. 일례로 2001년 5월에 아오모리현 고우젠시에서 발생한 금융업자 사무소 방화사건(사망자 5명)에서 범인이 체포되어 제1심에서 사형 판결을 받은 사실이 있다.<sup>15)</sup> 그러나 엄정한 법정징 및 집행만으로는 방화를 예방할 수 없으므로 효율적인 방화원인 감식을 위한 당면사항은 다음과 같다.

첫째, 방화는 사회의 안녕질서를 해치는 공공의 위험범죄라는 인식이 절대 부족하다. 소방청의 방화통계와 대검찰청의 방화사건의 통계차이에서 알 수 있듯이 소방에서 판정한 방화사건에 대한 자료와 정보가 수사기관의 방화범 수사에 제공되지 못하고 화재의 특성상 발생하는 물적 증거의 소실, 소훼 등으로 인하여 방화사건의 송치가 줄어서 기소 및 공소유지에 어려움이 발생하고 있는 실정이다. 그리하여 소방과 수사기관이 따로 조사 및 수사를 실시함으로써 방화범을 끝까지 색출하는데 유기적인 공조체계가 극히 미약하다고 할 수 있다. 일본 소방법 제35조 제1항은 화재원인조사의 우선권을 소방본부장, 소방서장에게 일원화함으로써 물적인 조사는 소방에서 주체가 되고, 인적인 수사의 주체는 경찰로 명확히 하여, 방·실화 사건에서 소방과 경찰의 상호협력조항을 두어 유사시 유기적인 공조체계를 갖추고 있다. 우리나라도 향후 화재조사자의 권한을 명확히 함은 물론 반드시 조사 책임의 소재도 분명히 하여 정확한 원인 판정은 담당기관·단체의 선택적인 사항이 아니고 법적의 무라는 인식이 하루빨리 정착되어야 한다.

둘째, 최근 방화의 최대 유발요인은 보험금을 사취하기 위한 사기성 방화이므로 범국가적으로 도덕적 불감증이 만연된 사회전반에 배금주의 풍토와 물질만능주의 병폐를 초래하여 보험사기공화국이라는 오명을 받는 일이 없도록 노력하여야 한다. 그러기 위해서는 미국의 전미 보험범죄 방지국(NICB), 보험사기국(IFB), 영국의 범죄 및 사기방지국(CFPB), 보

15) 서울특별시소방학교, 2003소방연구구번역자료집 (서울 : 서울특별시인쇄협동조합), P 234



협사기 방지관리소(CUE), 일본의 생보리서치센터, 생보경찰연합회의회, 손해보험방법대책협의회 등 선진국에서 시행하고 있는 보험범죄방지대책기구를 공공기관, 보험단체, 민간화재조사단체 제도를 설치·운영의 필요성을 검토하여야 한다.

셋째, 최근 선진국에서 방화가 폭발적으로 증가하고 있고, 일본에서는 방화가 꾸준히 20% 정도를 차지하고 있는 점으로 보아 우리나라도 전기, 부주의 등 통계상의 허수를 제외한다면 방화가 화재원인의 상위를 차지할 것으로 보인다. 그러므로 방화원인을 정확하게 감식·감정으로 이어져 방화범은 반드시 검거된다는 법적인, 사회적인 믿음을 확산시켜야 하며, 방화범에게는 엄정한 죄와 벌을 받도록 하여야 한다. 이를 위해서는 방화 원인 감식에 관한 조사기술이 과학적이고, 체계적인 연구가 진행되어 보다 정확한 조사가 이루어져야 하며, 화재조사 전문 인력의 양성과 방화를 억제하기 위한 관련법규의 처벌 조항 강화 등 재검토가 요구되고 있다.

무엇보다도 방화행위자에 대한 사회적 인식을 확립하는 것이 무엇보다 시급하다. 방화행위는 살인행위와 비교할 만한 반인륜적인 행위이므로 사회구성원이 자발적으로 감시하고, 유사시 신속하게 대처하는 환경을 조성하여야 한다.

그러기 위해서는 소방·경찰 등 조사기관은 보험사와 협력하여 필요한 지식과 정보를 최대한 공유하여 방화행위자가 반드시 조기에 검거되도록 공조체계를 구축하여야 한다. 사회악을 예방하고 제거하는데 있어서 모두 나서야 한다.

넷째, '08. 2. 10. 승례문 방화와 '03. 2. 18. 대구지하철 방화 참사 등 더불어 보상불만자 또는 정신질환을 앓고 있는 환자, 사회적 약자에 대한 애정과 관심을 갖고 우리사회의 어두운 면을 세밀히 살펴 사회적, 경제적, 정신적 불만 등 방화 유발 요인을 적극적으로 차단하여야 할 것이다. 또한 시위현장에서 화염병, 쏫불, LPG용기에 착화시켜 공권력에 대항하는 장면을 무분별하게 마스크에서 보도함으로써 자라나는 청소년 등에게 방화행위의식이 희박해 질 수 있으므로 절제되어야 한다.

다섯째, 방화가 발생하면 완벽히 대응하고 철저히 조사하여 방화범은 반드시 잡힌다는 인식을 사회적으로 심어줄 수 있다면 방화범죄는 줄어들 것이다.

그러나 소방, 경찰, 보험 등 각 파트가 처한 입장이 다르므로 방화화재를 각자 배타적으로 대응하고 있다. 각 파트의 역량을 결집할 수 있다면 강력한 시너지 효과를 얻을 수 있다.

지금까지 방화범죄에 대한 완벽한 대응을 위하여 각 파트에서 의견을 내놓고는 있지만 이 또한 각자의 입장에서 제시된 의견이므로 전체를 아우르는 데 한계가 있었다. 조직의 업무 범위를 해체하여 수술하고 통합하는 근원적인 처방은 그 이상은 원대하나 현실적으로 각 파트가 수용하기 어려우므로 현재의 체제에서 가동될 수 있는 공조체제를 모색하는 것이 대안이 될 수 있다.

방화로 의심되는 화재가 발생하였을 때 소방, 경찰, 보험 등이 같이 참여하여 각 파트가 가지고 있는 역량을 합하는 합동조사팀이 가동된다면 지금보다 훨씬 좋은 결과를 얻을 수 있을 것이다. 합동조사팀을 운영하기 위해서 관련 법규를 제·개정하는 것도 근원적인 방법이겠지만 우선 시행하기 쉬운 업무 규약을 체결하는 것도 하나의 방안이다.

유사 시 합동조사팀을 원활히 운영하기 위해서 민간 화재조사단체 등을 통한 학술교류뿐 아니라 지역적으로 소규모 스터디그룹 등을 운영하여 연구 분위기를 조성하고 친목을 도모하는 것도 도움이 될 것이다.

최근 보험감독원과 대한손해보험협회, (사)한국화재조사학회, (사)화재감식학회, 한국소방안전원 등에서는 최근 방화의 경각심을 고취시키기 위하여 매년 화재조사 및 방화학술제 등을 개최하여 화재조사 및 방화감식의 기술 등을 공유하고 있다. 또한 경찰에서도 과학수사전문팀(CSI)내에 화재·폭발 감식팀을 별도로 전문화 및 미국 공인 화재·폭발조사자 자격인 CFEI취득자 배치 등 최근 화재수사에 적극적으로 대응하고 있다.

끝으로 “원인 없는 화재는 결코 없다” 다만 밝히지 못할 뿐이다. 방화는 행위의 은밀성, 모방성, 이익의 기대성, 재앙으로 치부하려는 경향성 등을 이용한 의도된 인간의 불법착화 행위이다. 방화는 화재의 특성상 증거물이나 흔적이 소멸되어 조사에 어려움이 많지만 방화 관련 유관기관·단체와 전문가가 방화를 규명하려는 의무와 또한 조사에 권한을 가진 자가 책임감을 갖고 협력한다면 대한민국은 더 이상 방화하기에 좋은 나라가 아니고 방화범은 반드시 검거되어 무거운 형벌을 받는다는 사회적인 공감대와 믿음이 널리 확산되길 바란다.

붙임 : NFPA921 CODE Chapter22 Incendiary Fires(방화성 화재) 번역 1부. 끝



### 1. 방화의 특수성

방화는 일반 화재와 달리 의도한 사고성으로 은폐되는 경향이 많으며 방화행위자의 고의적인 범죄임을 곧바로 인지하기 어렵다. 뿐만 아니라 화재 진압을 위한 소화 활동의 특수성으로 물건의 이동과 파괴 등으로 방화 증거수집이 쉽지 않다. 방화범은 단독범행이 많고 범행수법이 야간에 은밀한 곳에서 행해지는 경우가 많아 발각이 어렵고, 모방성과 연쇄성이 강하여 사회 공공의 안전을 위협한다. 방화행위자는 인화성이 강한 위험물질을 사용하거나 다수의 발화부에 방화하는 경향이 있다. 방화행위는ライター 1개로도 충분하며 실행의 용이성 때문에 보험사기나 사회불만자, 원한 또는 경제적 이익 때문에 방화를 하는 경우가 많다.

### 2. 방화동기의 유형

- 가. 경제적 이익을 위한 방화
- 나. 보험 사기성 방화
- 다. 범죄은폐를 위한 방화
- 라. 범죄 수단을 목적으로 하는 방화
- 마. 선동적 목적을 달성하기 위한 방화
- 바. 보복성 방화

#### - 핵심사항(방화현장의 특징) -

- 유류(휘발유, 시너, 등유 등)와 사용한 용기 존재
- 1회용 가스라이터, 성냥 등 주변에서 발견
- 흐트러진 옷가지 및 이불 등이 식별
- 소주병 등 음주한 흔적
- 급격한 연소·확대로 연소의 방향성 식별이 곤란
- 연소면적이 넓고 탄화심도가 깊지 않음
- 사상자가 발견되고 피난흔적이 없는 편이며, 유서가 발견됨
- 방화 실행 전 자신의 신세 한탄 등 주변인과의 전화통화 사례가 많음
- 우발적이 아닌 계획적으로 실행하는 경우가 많음

## 3. 방화원인의 감식 실무

방화현장은 인화성 물질이나 타기 쉬운 가연물 등이 사용되는 경향이 많아 유류 등의 냄새가 나는 특징이 있으며 담았던 용기나 각종 물품 등이 발견되기도 한다. 또한 짧은 시간에 방화 대상물을 연소시키며 연소면적이 넓고 손괴 정도도 클 뿐만 아니라 발화부가 여러 곳인 경우가 발견되기도 한다.

화재조사자는 화재현장에서 화재기록, 사진, 스케치한 자료, 증인확보와 채취에 노력하여야 하며, 화재발생 건물에 대한 내력과 화재의 정확한 모습을 이해할 수 있는 피해상황을 파악해야 한다. 방화로 확정되는 직접적인 증거나 정황증거(간접증거), 자백행위, 화염이나 화세에 따른 연소상황과 특징인 진술 등을 청취하도록 해야 한다.

## 가. 조사진행

- 피해자에 대한 조사
- 발견자에 대한 조사
- 주변상황

## 나. 방화현장 조사

- 발화개소 확인
- 발화장치 및 재료 등의 채취
- 출입문의 개·폐 상태 확인
- 다른 범죄와의 연관성 조사

## 다. 질문조사

## 라. 현장 탐문조사



## 4. 방화의 유형별 특징

## 가. 자살을 위한 방화

- 1회용 가스라이터, 성냥 등 주변에서 발견될 수 있다.
- 소주병 등 음주한 흔적이 보인다.
- 사상자가 발견되고 피난흔적이 없는 편이며, 유서가 발견된다.
- 방화 실행 이전에 신세 한탄 등 주변인과의 전화통화 사례가 많다.

## 나. 부부싸움으로 인한 방화

- 침구류, 가전제품, 창문 등에서 파손 흔적이 여러 곳에서 발견된다.
- 신체에 부상 흔적이 발견된다.
- 화재 인지 후 탈출을 시도한 흔적이 있다.
- 극도로 흥분하거나 불안정하여 진술을 완강히 거부한다.

## 5. 방화행위의 입증

- 방화의 수단과 방법이 실현가능하여야 한다.
- 방화 재료의 입수 경위가 밝혀져야 한다.
- 방화를 한 장소 및 소훼물이 있어야 한다.
- 방화의 수단이 가능한지 실증적으로 검토되어야 한다.

## 6. 방화판정 주요 요건

- 여러 장소에서 발화 흔적이 보일 경우
- 유류 등의 연소 촉진제가 발견될 경우
- 화재현장에서 다른 범죄의 흔적이 발견될 경우
- 실화나 자연발화의 원인이 없을 경우
- 귀중품이 반출되었을 경우

- 01 방화자살과 부부갈등으로 인한 방화의 차이점은?
- 02 방화행위의 입증을 위한 요소들은 무엇인가?
- 03 방화의 사례와 동기는 무엇인지 살펴보았는가?
- 04 방화판정을 위한 요건은 무엇인가?

## [참고문헌]

## ○ 단행본

1. 중앙소방학교, 『화재조사 교재』, 2001·2009
2. 국립과학수사연구소외, 『화재수사 길라잡이』, 세일문화사, 2004
3. 대한손해보험협회, 『화재조사실무가이드』, 2002
4. 인천소방본부, 『화재원인조사기법』, 반도기확인쇄, 2003
5. 이태인, 『형법각론』, 형설사, 서울, 1997
6. 최성룡, 『화재조사론』, 도서출판 덕유, 2000

## ○ 연구논문

1. 권현석, 『방화원인 감식에 관한 연구』, 서울시립대학교 도시과학대학원 방재공학과, 2005
2. 안정미, 『방화범죄의 특성과 예방에 관한 연구』, 중앙소방학교, 제13기 소방간부후보생 논문, 2005
3. 최성룡, 『한국의 화재조사행정에 관한 연구』, 전남대학교 행정대학원 행정학과, 1999

## ○ 간행본

소방청·손해보험협회, 『방화예방대책 합동 세미나』, 2007

## ○ 외국서적

NFPA 921 『Guide for Fire and Explosion Investigations』 NFPA 2005



## 『NFPA 921 CODE』

### Chapter22 Incendiary Fires(방화성 화재)

22.1 Introduction. An incendiary fire is a fire that has been deliberately ignited under circumstances in which the person knows the fire should not be ignited. This chapter provides guidance to assist the investigator in identifying incendiary fires and documenting evidence regarding their origin and cause. In the event the investigator concludes that a fire was incendiary, other evidentiary factors are addressed regarding suspect development and identification. The existence of a single indicator or a combination of indicators is not necessarily conclusive proof that a fire is of incendiary cause. However, the presence of indicators may suggest that the fire deserves further investigation.

#### 22.1 개요 Introduction

방화란 발화하지 않아야 했을 화재로 인식된 상황 하에 고의로 발생한 화재이다. 다음의 단락은 방화를 확인하고 원인과 발생지에 관한 증거를 기록하도록 조사자를 지원하는 가이드를 제공한다. 조사자는 화재가 방화였다고 결론 내린 사건에서, 다른 증거 요소는 혐의 진전과 확신에 관해서 처리된다. 1개나 여러 단서의 조합의 존재는 화재가 방화로 인해 발생되었다고 결정하는데 꼭 필요한 증거는 아니다. 하지만 표시기의 존재는 화재가 심도 있는 조사가 필요하다는 점을 제시한다.

22.2 Incendiary Fire Indicators. There are a number of conditions related to fire origins and spread that may provide physical evidence of an incendiary fire cause.

#### 22.2 방화 화재 표시기 Incendiary Fires Indicator

화재 발화 장소와 확산에 관련된 수많은 상황은 방화 화재 발화 원인의 물증을 제공할 것이다.

22.2.1 Multiple Fires. Multiple fires are two or more separate, nonrelated, simultaneously burning fires. The investigator should search to uncover any additional fires sets or points of origin that may exist. In order to conclude that there are multiple fires, the investigator should determine that any "separate" fire was not the natural outgrowth of the initial fire.

## 22.2.1 다중화재 Multiple Fires

다중화재는 둘이나 그 이상 분리되어, 연관되지 않고 동시에 타오르는 화재이다. 조사자는 있을지 모르는 발생지점이나 추가 화재를 찾아내도록 조사한다. 다중화재로 결론 내리기 위해서는 조사자는 어떠한 독립적 화재도 초기 화재의 자연적 부산물이 아님을 결정해야 한다.

22.2.1.1 Fires in different rooms, fires on different stories with no connecting fire, or separate fires inside and outside a building are examples of multiple fires. A search of the fire building and its surrounding areas should be conducted to determine whether there are multiple fires.

22.2.1.1 다른 실의 화재, 다른 층의 연결되지 않은 화재, 한 건물의 내부와 외부의 독립 화재가 다중 화재의 예이다. 화재 건물과 주변 지역 조사에서 다중 화재가 있었는지 결정한다.

22.2.1.2 Apparent multiple fires can result through spread by the following means:

- (1) Conduction, convection, or radiation
- (2) Flying brands
- (3) Direct flame impingement
- (4) Falling flaming materials(i.e.,drop down)such as curtains
- (5) Fire spread through shafts, such as pipe chases or airconditioning ducts
- (6) Fire spread within wall or floor cavities within "balloon construction"
- (7) Overloaded electrical wiring
- (8) Utility system failures

22.2.1.2 명백한 다중 화재는 다음에 의한 확산의 결과로 발생할 수 있다.

- (1) 전도, 대류, 복사
- (2) 불티
- (3) 직접적인 화염 충돌
- (4) 커튼 등의 떨어지는 불타는 재료
- (5) 파이프 홈이나 공기조절 덕트 등의 샤프트를 통한 화재 확산
- (6) 경골 구조 내의 바닥, 벽 공동내부 화재확산
- (7) 과부하 된 전기배선
- (8) 지원설비의 고장



22.2.1.3 Apparent multiple points of origin can also result from continued burning at remote parts of a building during fire suppression and overhaul, particularly when building collapse or partial building collapse is involved.

22.2.1.3 명백히 다중 발생지점은 화재 진압과 분해 검사 시, 특히 건물 붕괴나 일부 건물이 붕괴될 때, 멀리 떨어진 곳에서 이어지는 화재의 결과일 수 있다.

22.2.1.4 The earlier a fire is extinguished, the easier it is to identify multiple points of origin. Once full room involvement or room-to-room extension has occurred, identifying multiple fires becomes more difficult and a complete burnout or "black hole" may make identification impossible.

22.2.1.4 초기 화재는 다양한 발생지점을 확인하여 빨리 진화한다. 실 전체를 휩쓸거나 실에서 실로 확산되면, 다중 화재 확인은 더 어려워지고, 완전히 타 버리거나 블랙홀이면 가능한 확인해야 할지 모른다.

22.2.1.5 If there has been a previous fire in the building, care should be taken not to confuse earlier damage with a multiple fire situation.

22.2.1.5 건물에서 전에도 화재가 발생했다면, 다중 화재 상황과 초기 화재의 손상을 혼동하지 않도록 주의한다.

22.2.1.6 Fire scene reconstruction (see Section 17.7), an important aspect of the fire scene examination, is especially important when multiple fires are suspected.

22.2.1.6 화재 현장 재현, 현장 검사의 중요한 관점은 특히 다중 화재로 의심될 때 중요하다.

22.2.1.7 A careful examination of the fire scene may reveal additional fire sets that are intended to ignite additional fires, particularly in the same type of area. For example, if the investigator observes or discovers an area of origin in a closet, an examination of other closets for additional fires or fire sets is prudent. The investigator may be required to obtain legal authority to conduct a search in areas not affected or involved in the discovered fire.(See 13.3.2 and 13.3.3)

22.2.1.7 화재 현장의 주의 깊은 조사는 특히 동일한 타입의 지역에서 추가 화재를 밝혀낸다. 예를 들어 조사자가 벽장에서 발화 장소를 발견하거나 관찰한다면 추가 화재나 화재 세트(추가 화재로 발화하려고 하는)의 검사는 신중해야 한다. 조사자는 밝혀 낸 화재에 포함되지 않거나 영향 받지 않은 지역을 조사 행동의 합법적 권한 획득이 요구될 지도

모른다.

22.2.1.8 Confirmation of multiple fires is a compelling indication that the fire was incendiary.

NFPA 921  
CODE

22.2.1.8 다중 화재의 확산은 화재가 방화인지 여부에 대한 강한 표시이다.

22.2.2 Trailers. After incendiary fires, when fuels have been intentionally distributed or "trailed" from one area to another, elongated patterns may be visible. Such fire patterns, known as trailers, can be found along floors to connect separate fire sets, or up stairways to move fires from one story or level within a structure to another. Fuels used for trailers may be ignitable liquids, solids, or combinations of these. (See Figure 6.18.1)

22.2.2 트레일러 Trailers

방화 후, 연료가 고의적으로 공급되었거나 한 지역에서 다른 지역으로 이동되었을 때 연장된 형태가 뚜렷할 것이다. 트레일러로 알려진 그러한 화재 형태는 바닥을 따라 독립적 화재와의 연결이나 층계로의 상승, 건축물 내부의 한 층에서 다른 층으로 불이 옮겨감을 알 수 있다. 트레일러에 쓰이는 연료에는 발화성 액체, 고체, 또는 이러한 것의 조합이 있다.

22.2.2.1 Materials such as clothing, paper, straw, and ignitable liquids are often used. Remnants of solid materials frequently are left behind and should be collected and documented.

22.2.2.1 옷, 종이, 짚, 발화성 액체 등의 재료가 자주 쓰인다. 고체 재료는 잔류물이 종종 남으며, 이 잔류물은 수집하여 기록한다.

22.2.2.2 Ignitable liquids may leave linear patterns, particularly when the fires are extinguished early. Radiant energy from the extension of flame or hot gases through corridors or up stairways can also produce linear patterns. As with suspected solid accelerants, samples of possible liquid accelerants should be collected and analyzed. (See Section 16.5)

22.2.2.2 발화성 액체는 특히 화재가 조기에 진화되었을 때 직선 형태로 남는다. 복도나 층계를 통해 확산된 고온 가스나 화염에서 나오는 복사에너지도 직선 형태를 만든다. 의심되는 고체 촉진제와 함께 가능한 액체 촉진제 샘플을 수집하여 분석한다.

22.2.2.3 Often, when the floor area is cleared of debris to examine damage, long, wide, straight patterns will be found showing areas of extensive heat



damage, bound on each side by undamaged or less damaged areas. These patterns have often been interpreted to be trailers. While this conclusion is possible, the presence of furniture, stock, counters, or storage may result in these linear patterns. These patterns may also result from fire impact on worn areas of floors and the floor coverings. Irregularly shaped objects on the floor, such as clothing or bedding, may provide protection to the floor, resulting in patterns that may be inaccurately interpreted.

22.2.2.3 종종 손상 검사를 위해 바닥의 파편을 치울 때 길고 방대하고 직선적인 형태는 방대한 열 손상 부분을 보여주면서 발견되며, 손상되지 않았거나 덜 손상된 지역에 의해 각 모서리는 인접한다. 이러한 형태는 종종 트레일러라 설명되어 진다. 이것이 가능한 반면, 기구, 저장품, 조리대나 저장실 존재는 이러한 직선 형태를 끝난다. 이런 형태는 또한 바닥의 닳은 부분이나 바닥 장식재에 대한 화재의 영향으로 생긴다. 천이나 침구같이 불 규칙하게 바닥 위에 정리되는 물체는 바닥을 보호하여 잘못 해석될 지도 모르는 형태 결과를 생기게 한다.

22.2.2.4 For example, gasoline itself poured out to assist the fire is an accelerant. It is the deliberate use of the gasoline to spread the fire from one location to another that causes the stream of gasoline to be a trailer. Trailing gasoline from one room to another and up the staircase constitutes laying a trailer. Dousing a building with gasoline from cellar to rooftop or over a widespread area does not constitute laying a trailer ; instead, it is considered using an accelerant. So it can be seen that the fuel does not constitute a trailer, but rather the manner in which the fuel or accelerant is used. This distinction is similar to the "use" requirement in the definition of an accelerant. The burning action has no effect on whether there is a trailer. Gasoline, rags, or newspapers can all be used as trailers, but they burn differently. The pattern that is left by a trailer is evidence of the trailer ; the patterns is not the trailer. If an arsonist lays a trailer but is arrested prior to ignition, there is still a trailer.

22.2.2.4 예를 들어, 스스로 뿜어 나와 화재를 돕는 가솔린은 촉진제이다. 화재를 다른 지역으로 퍼지게 하여, 가솔린 유출이 트레일러가 되게 하므로 가솔린은 신중하게 사용한다. 이 실에서 저 실로, 층계를 올라가며 길게 이러지는 가솔린은 트레일러를 만든다. 지하실에서 지붕 꼭대기까지 가솔린이 있는 건물을 트레일러를 구성하지 않고 촉진제로 사용한다. 그래서 연료가 트레일러를 구성하는 것을 볼 수 있지만, 연료나 촉진제가 쓰여

진 방법은 좀처럼 볼 수 없다. 이는 촉진제의 한정에서 사용요구와 동일하다. 불이 타는 것은 트레일러가 있던지, 없던지 아무 영향이 없다. 가솔린이나 냄파, 신문은 모두 트레일러로 쓰일 수 있지만, 각기 다르게 탄다. 트레일러에 남아 있는 형태는 트레일러의 입증이다. 즉 형태가 트레일러는 아니다. 방화범이 트레일러를 놓았으나, 발화전에 체포되었다면, 여전히 트레일러는 존재한다.

22.2.3 Lack of Expected Fuel Load or Ignition Sources. When the fire damage at the origin is inconsistent with the expected low fire loads, limited rates of heat release, or limited potential accidental ignition sources, the fire may be incendiary. An example of all three is an isolated burn at floor level in a large, empty room. Examples of limited fire load areas include corridors and stairways. Stairways, while usually having limited fire loads, may promote rapid fire spread by allowing flames or hot gases to travel vertically to other areas. This action may cause severe damage on exposed stairway surfaces. Additional examples of areas with limited potential-accidental ignition sources include closets, crawl spaces, and attics.

22.2.3 예측되는 가연물 하중이나 발화원의 부족(Lack of Expected Fuel Load or Ignition Sources)

발생지점의 화재 손상이 예측된 낮은 가연물 하중이나 제한된 비율의 열 방출, 제한된 전압의 우발적 발화원과 모순될 때 화재는 방화성일 수 있다. 이 3가지 예 모두는 거대한 텅 빈 실의 바닥에 고립된 화재이다. 제한된 화재 하중 지역의 예에는 복도와 층계가 있다. 층계는 제한된 화재 하중이 있는 동안, 화염이나 고온 가스를 수직으로 다른 지역에 가게 하여 급격히 화재를 확산시킨다. 이런 활동은 노출된 층계 표면에 심각한 손상을 초래한다. 제한된 전압의 우발적 발화원을 갖는 부분의 추가되는 예에는 벽장과 높이가 낮은 내부 공간, 다락이 있다.

22.2.4 Exotic Accelerants. Mixtures of fuels and Class 3 or Class 4 oxidizers (see NFPA 430, Code for the Storage of Liquid and Solid Oxidizers) may produce an exceedingly hot fire and may be used to start or accelerate a fire. Thermite mixtures also produce exceedingly hot fires. Such accelerants generally leave residues that may be visually or chemically identifiable.

22.2.4 색다른 촉매(Exotic Accelerants)

연료들과 3차, 4차 산화제들은 매우 뜨거운 불을 생성하고, 화재가 발화하거나 연소가 확대하는 데 사용된다. 테르밋(소이탄) 혼합물 역시 매우 뜨거운 불을 만든다. 이러한 촉



매들은 일반적으로 눈에 보이거나 화학적으로 구별이 가능한 잔재물(residue)을 남긴다.

22.2.4.1 Exotic accelerants have been hypothesized as having been used to start or accelerate some rapidly growing fires and were referred to in these particular instances as high temperature accelerants(HTA). Indicators of exotic accelerants include an exceedingly rapid rate of fire growth, brilliant flares(particularly at the start of the fire), and melted steel or concrete. A study of 25 fires suspected of being associated with HTAs during the 1981–1991 period revealed that there was no conclusive scientific proof of the use of such HTA.

22.2.4.1 색다른 촉매들은 성장 속도가 급격한 화재의 시작이나 발달에 사용되었다고 가정된다. 혹은 이들은 고온 촉매제의 특수한 예로 간주되기도 한다. 색다른 촉매의 표시기는 급격한 화재의 성장, 빛나는 섬광, 녹은 콘크리트나 철 등이 있다. 1981년에서 1991년 사이에 고온촉매제와 연관 있는 25건의 화재 분석에서 이러한 고온 촉매제의 사용의 결정적인 과학적 증명은 없었다.

22.2.4.2 In any fire where the rate of fire growth is considered exceedingly rapid, other reasons for this should be considered in addition to the use of an accelerant, exotic or otherwise. These reasons include ventilation, fire suppression tactics, and the type and configuration of the fuels.

22.2.4.2 화재의 확대 속도가 무척 빠르다고 간주되는 어떤 화재에서라도 이에 대한 다른 원인들은 색다르거나 다른 촉매의 사용도 고려하여야 한다. 이들은 통풍(ventilation), 화재 진압 전술(fire suppression tactics), 그리고 연료의 종류와 배치에(the type and configuration of the fuels) 대한 원인도 포함한다.

22.2.5 Unusual Fuel Load or Configuration. If the investigation reveals the presence of an unusually large fuel load in the area of origin, or a fuel load in the area of origin that either would normally not be expected in that area or would not be expected to be in the configuration in which it was found, the fire may be incendiary. An example of an unusual configuration is where furniture, stock, or contents are deliberately stacked or piled in a configuration to encourage rapid or complete fire development. An example of an unusually large fuel load is where accumulations of trash, debris, or cardboard cartons are deliberately introduced into a room or space in order to encourage greater fire involvement.

22.2.5 특이한 가연물 하중 또는 배치열(Unusual Fuel Load or Configuration)상태를 조사할 때 발화 지역에 특이한 대형 가연물 하중이나 발화 지역의 가연물 하중이 보통 그 장소에서 기대되는 것이 아니거나 그 배치 상황에서 이것이 갖춰진다고 기대되지 않는다면 화재는 아마도 방화성이다. 생소한 배치의 예에는 급격한 화재가 발생하도록 가구나 저장품, 수용품이 고의적으로 쌓아올려진 곳이다. 특이하게 거대한 가연물 하중의 예는 대형 화재로 연관시키기 위해 쓰레기나 파편, 판지상자가 고의적으로 반입되어 있는 곳이다.

22.2.6 Burn Injuries. The manner and extent of burn injuries may provide clues to the origin, cause, or spread of the fire. Burn injuries may be sustained while setting an incendiary fire. The investigator should ascertain whether the fire victim's burns and the nature and extent of the injuries are consistent with the investigative hypothesis regarding fire cause and spread. The investigator should check the local hospitals for the identification of any persons admitted or treated for burn injuries.

#### 22.2.6 화상 (Burn Injuries)

화상의 방식과 크기는 발화원이나 발화지점, 화재 확산의 실마리를 제공한다. 화상은 방화성 화재를 설정하는 동안 확인된다. 조사자는 화재 피해자의 화상과 손상의 성질 및 크기는 화재 원인과 확산에 대한 연구적인 가설과 앞뒤가 맞아야 한다. 조사자는 화상을 치료하거나, 화상을 입었다고 인정된 사람에 대한 신원확인을 위해 지역병원을 확인해야 한다.

22.2.7 Incendiary Devices. Incendiary device is a term used to describe a wide range of mechanisms used to initiate an incendiary fire. In some cases, the firesetter may have used more than one incendiary device. Frequently, remains of the fuel used will be found with the ignition device. If an incendiary fire is suspected, the investigator should search for other fire sets that may have burned out or failed to operate.

#### 22.2.7 방화장치(Incendiary Devices)

방화장치는 방화성 화재를 개시하는 광범위한 기계를 묘사하는 데 쓰이는 용어이다. 어떤 경우 방화범은 한 가지 이상의 방화장치를 쓴다. 흔히 사용되고 남은 가연물에서 발화장치는 선별된다. 방화성 화재가 의심된다면, 조사자는 타 버리거나 작동이 고장 난 다른 화재장소를 조사해야 한다.



WARNING : When an incendiary device is discovered that has not activated, do not move it! Such devices must be handled by specially trained explosive ordnance disposal personnel. Touching or moving such devices is extremely dangerous and can result in an ignition or explosion.

경고(warning) : 작동하지 않는 방화장치가 발견되었을 때 그것을 건드리지 않아야 한다. 이러한 장치는 특별히 훈련된 폭발물 처분 요원에 의해 다루어져야 한다. 이러한 장치를 건드리거나 옮기는 것은 매우 위험하고 화재나 폭발을 일으킬 수 있다.

22.2.7.1 Examples of Incendiary Devices. Examples of some incendiary devices, and the evidence that may establish their presence or use, are as follows:

- (1) Books of paper matches and cigarettes from which the striker from the matchbook, cigarette filters, remaining cigarette ash, and the combustible materials ignited by the matches or cigarettes may be found in the area of origin
- (2) Candles from which their wax and the remains of any combustible material ignited by the candles may be found in the area of origin
- (3) Wiring system or electric heating appliances to initiate a fire(which may be evidenced by indications of tampering or modification of the wiring system, by the movement or arrangement of heat-producing appliances to locations near combustible materials, or by evidence of combustible materials being placed on or near heat-producing appliances)
- (4) Fire bombs, commonly called Molotov cocktails (which leave evidence in the form of the ignitable liquid, chemicals, or compounds used within them, the broken containers, and wicks)
- (5) Paraffin wax-sawdust incendiary device(which can be evidenced by remains of wax impregnated with sawdust, e.g.,artificial fire logs)

22.2.7.1 방화 장치 예(Examples of Incendiary Devices)

몇 가지 방화 장치의 예와 방화 장치의 존재나 사용을 확인할 만한 입증은 다음과 같다:

- (1) 성냥이나 담배에 의해 발화되는 남아 있는 담배, 담배 필터, 종이 성냥, 가연성 물질이 발생지점 안에서 발견될지 모른다.
- (2) 양초에 의해 연소되는 어떤 가연성 물질의 잔해와 양초가 발생지점안에서 발견될지

모른다.

- (3) 화재를 일으키는 배선설비나 전기/열기구는 배선 선비의 조작 및 수정, 열기구를 가연성 재료 근처로 위치 이동이나 배치, 열기구 근처나 위로 위치한 가연성재료 증거의 표시로 증거가 될 수 있다.
- (4) 일반적으로 화염병이라 불리는 화재폭탄은 발화성 액체, 화학약품, 그 안에 쓰인 혼합물의 형태로 증거를 남긴다. 깨진 그릇과 심지 또한 그렇다.
- (5) 파라핀 왁스-톱밥 방화 장치는 톱밥, 왁스를 함유한 톱밥의 찌꺼기에 의해 입증된다. (예, 인공 화재 기록)

22.2.7.2 Delay Devices. Timers or delay devices can be employed to allow the firesetter an opportunity to leave the scene and to possibly establish an alibi prior to the ignition. Common delay devices include candles, cigarettes, and mechanical or electrical timers.

#### 22.2.7.2 지연 장치(Delay Devices)

방화범이 현장을 떠나서 발화전에 알리바이를 만들도록 가능케 하는 타이머나 지연 장치가 사용될 수 있다. 일반적인 지연 장치에는 양초, 담배, 자동 타이머나 전기 타이머가 있다.

22.2.7.3 Presence of Ignitable Liquids in Area of Origin. The use or presence of ignitable liquids is generally referred to as a liquid accelerant when used in conjunction with an incendiary fire.

#### 22.2.7.3 발화 지점안의 발화성 액체의 존재(Presence of Ignitable Liquids in Area of Origin)

발화성 액체의 사용이나 존재는 일반적으로 방화 화재와 결합하여 사용된 액체촉진제로 인정된다.

22.2.7.3.1 The presence of ignitable liquids may indicate that a fire was incendiary, especially when the ignitable liquids are found in areas in which they are not normally expected. Containers of ignitable liquids in an automobile garage may not be unusual, but a container of ignitable liquids found in a bedroom may be unusual. In either case, the presence of ignitable liquids near the area of origin should be fully investigated.

22.2.7.3.1 발화성 액체의 존재는 특히 발화성 액체가 보통 기대되지 않는 장소에서 발견



된다면, 이는 방화 화재의 표시이다. 차고에 있는 발화성 액체용기는 이상하지 않지만, 침실에서 발견되는 발화성 액체 용기는 이상한 것이다. 어떤 경우든 발화 지점 근처에 발화성 액체가 있다면 충분한 조사를 진행해야 한다.

22.2.7.3.2 "Irregular patterns"(see 6.17.8.2) may indicate the presence of an ignitable liquid. If the investigator observes patterns associated with a liquid accelerant, he or she may also observe the remains of a container used to hold the liquid.

The investigator should ensure that samples are taken from any area where ignitable liquids are suspected to be present.

22.2.7.3.2 이례적인 형태는 발화성 액체의 존재를 표시할지 모른다. 조사자가 액체 촉매제와 관련 있는 형태를 관찰한다면 액체를 담는데 썼던 용기의 찌꺼기도 관찰해야 한다. 조사자가 있는 장소가 의심을 살 만한 곳에 있는 발화성 액체를 가져와 견본으로 확인해 보아야 한다.

22.2.8 Assessment of Fire Growth and Fire Damage. Investigators may form an opinion that the speed of fire growth or the extent of damage was greater than would be expected for the "normal" fuels believed to be present and for the building configuration. However these opinions are subjective. Fire growth and damage are related to a large number of variables, and the assumption made by the investigator are based on that investigator's individual training and experience. If subject language is used, the investigator should be able to explain specifically why the fire was "excessive," "unnatural." or "abnormal."

22.2.8 화재 성장 및 화재 피해 평가(Assessment of Fire Growth and Fire Damage)

조사자는 있을 거라 믿어지는 보통 연료와 건물 배치를 기대하는 것보다 화재 속도나 손상 범위가 크다는 견해를 가질 수도 있다. 이러한 견해는 주관적이다. 그러나 화재 성장과 손상이 수많은 변수와 관련되어 있고, 조사자에 의해 형성되는 가정은 조사자의 개인적 훈련과 경험에 기초한다. 주관적 언어가 쓰여 지면, 조사자는 특별하게 왜 화재가 초과, 인위적인지, 변칙적인지 설명할 수 있어야 한다.

22.2.8.1 What an investigator may consider as "excessive," "unnatural," or "abnormal" can actually occur in an accidental fire, depending on the geometry of the space, the fuel characteristics, and the ventilation of the compartment(see5.5.4). Some plastic fuels that are difficult to burn in the open may burn vigorously when subjected to thermal radiation from other

burning materials in the area. This type of burning might occur in the conditions during or after flashover.

22.2.8.1 조사자는 초과, 인위적인, 변칙적이라고 간주할지 모르는 것은 실제로 실화에서 발생한다. 이 화재는 공간의 외형, 연료특성, 구획실의 통풍에 달려있다. 야외에서 타기 어려운 일부 플라스틱 연료는 플래시오버 후나 플래시오버 중에서 발견되는 것처럼 그 지역의 다른 화재로부터 고온 열이 복사 받기 쉬울 때 활발히 타오를지 모른다.

22.2.8.2 The investigator is strongly cautioned against using subjective opinions to support an incendiary cause determination in the absence of physical evidence.

22.2.8.2 조사자는 개인적 견해로 물증 없이 행하는 방화성 원인 결정을 매우 경계해야 한다.

22.2.8.3 Mathematical models of fire growth exist that can provide assistance, if used properly, in assessing the potential accuracy of these subjective observations.

22.2.8.3 화재성장의 수리적 본보기를 적절히 사용하면, 이러한 개인적 관찰의 잠재적인 정밀도 평가에 도움을 줄 수 있다.

22.3 Potential Indicators Not Directly Related to Combustion. These indicators are generally conditions or circumstances that, in and of themselves, are not directly related to the fire or explosion cause, but that may be used by the investigator to develop ignition hypotheses, to select witnesses for interviewing, to develop suspects, and to develop avenues for further investigation. The indicators in this section are those that tend to show that somebody had prior knowledge of the fire.

22.3 직접적 연소와 관계없는 잠재적인 표시기(Potential Indicators Not Directly Related to Combustion)

이러한 표시기는 일반적으로 직접 화재나 폭발원과 관계없으나 조사자가 가설을 개발하고 목격자를 인터뷰하거나 가능한 혐의의 개발과 추후 조사를 위한 방법의 기초로서 조사자가 사용한다. 이 장에서 표시기는 어떤 이가 화재에 선행 지식을 가지고 있다는 것을 보여준다.

22.3.1 Remote Locations with View Blocked or Obscured. A fire in a secluded location or where the view is hidden from observation may indicate a firesetter who did not want to be seen or caught. Fires at such locations



would also allow the fire to develop before it was discovered. Examples include situations where windows are painted over or paper covers the windows for no apparent reason other than to conceal the fire.

#### 22.3.1 시계가 방해되거나 흐릿한 원거리 위치(Remote Locations with View Blocked or Obscured)

격리된 장소나 관찰하기 어려운 곳의 화재는 방화범이 보여 지지 않거나 잡히지 않기를 바란다는 것을 나타내는 것인지 모른다. 이런 곳에서의 화재는 또한 불이 발견되기 전에 화재는 진행된다. 예를 들어 화재를 숨기는 것 말고는 다른 뚜렷한 이유 없이, 창문이 페인트칠해졌거나, 창문을 종이로 덮은 경우이다.

22.3.2 Fires Near Service Equipment and Appliances. A fire near gas or electrical equipment, appliances, or fireplaces may be intended to make the fire appear to be from an accidental cause. The investigator should examine the fuel supply or service connections to determine whether they were loose or disconnected and then should determine whether tampering or sabotage of the equipment or appliances has occurred. If the investigator does not have sufficient knowledge regarding the equipment or appliance, it should be examined by qualified personnel.

#### 22.3.2 인입구장치와 기구 근처 화재(Fires Near Service Equipment and Appliances)

가스나 전기장치, 전기기구, 난로 근처의 화재는 화재가 우연한 것처럼 보이게 의도한 것을 수도 있다. 조사자는 연료공급이나 시설 접속이 느슨해지거나 끊어졌는지 확인한 다음 장치나 기구의 개봉이나 파괴가 발생했는지를 확인해야 한다. 조사자가 장치나 기구에 대해 충분한 지식이 없을 때, 자격 있는 요원에 의해 검사 받아야 한다.

22.3.3 Removal or Replacement of Contents Prior to the Fire. Through the course of the investigation, the investigators may believe that prior to the fire, the contents of a building have been removed or replaced with less or more valued items.

#### 22.3.3 화재 전 수용품 교체 또는 제거(Removal or Replacement of Contents Prior to the Fire)

조사의 진행을 통해, 조사자가 화재 전에 건물의 수용품이 많은 적든 가치 있는 품목으로 제거되었거나 교체되었다고 믿을 수 있다.

##### 22.3.3.1 Replacement. When the investigator believes the contents to have

been replaced, as complete an inventory as possible of the contents should be made prior to release of the building. The inventory of the pre-fire structure should be obtained and corroborated through witness statements, invoice and inventory receipt, and so forth. The insurance proof of loss and underwriting file will provide a list of what was claimed to have been present. If contents that are abnormal to the occupancy are found, this can be another indicator that someone had prior knowledge of the fire. The items and contents that may be replaced depend on the occupancy of the building or space. Consider the following examples:

- (1) Residential occupancy – furniture, clothing
- (2) Industrial/commercial occupancy – machinery, equipment, stock, merchandise
- (3) Vehicles – tires, batteries

#### 22.3.3.1 교체(Replacement)

조사자가 수용품이 교체되었다고 믿을 때, 가능한 완벽한 물품 목록 기록을 수용품이 건물을 빠져나가기 전에 만들어야 한다. 화재 전 건물의 물품목록은 입회 진술문, 명세 기입 청구서와 물품 목록 영수증 등을 확보하고 정식으로 확인해야 한다. 분실의 확실한 증명과 인수된 파일은 있었음을 주장하는 것의 목록을 제공할 것이다. 교체되었는지 모르는 품목과 수용품은 건물이나 공간의 용도에 달려 있다. 다음의 예를 고려해 보아라.

- (1) 주거용도- 가구, 의류
- (2) 산업/상업용도- 기계류, 장치, 저장품, 제품
- (3) 차량- 타이어, 배터리

수용품이 비정상적인 용도에서 발견된다면, 이는 또 다른 표시가 된다.

22.3.3.2 Removal. Fire scenes or fire buildings that are devoid of the "normal" contents reasonably expected (or identified through witness statements, etc.) to be in the structure prior to the fire should be investigated and explained. The items removed are generally valuable items, such as television sets, VCRs, stereo systems, computers, camera equipment, stock, or equipment, or items that are difficult to replace, including files, business records, and so forth. Other items that may be removed prior to a fire may be those incriminating to a firesetter.



### 22.3.3.2 제거(Removal)

정상적인 수용품이 결여된 화재 현장이나 건물은 확실히 화재 전 구조상 있었을 것이라 기대되는 것(혹은 목격자 진술을 통해 확인되는 것 등)을 조사하고 설명해야 한다. 이동된 부품은 일반적으로 가치 있는 부품(TV, VCR, 스테레오, 컴퓨터, 카메라, 저장품, 장비 등)이거나, 대신하기 어려운 부품들(파일이나 사무기록 등)이다. 화재 전에 이동될지 모르는 다른 부품은 방화범에게 죄가 있음을 보여주는 것일지도 모른다.

22.3.3.3 Absence of Personal Items Prior to the Fire. The absence of items that are personal, irreplaceable, or difficult items to replace should be investigated. Examples of those items include jewelry, photographs, awards, certificates trophies, art, pets, sports and hobby equipment, and so forth. Also, the removal of the important documents(e.g.,fire insurance policy, business records, tax records) prior to the fire should be investigated and explained.

22.3.3.3 화재 전 사라진 개인 물품(Absence of Personal Items Prior to Fire)  
사라진 물품이 개인적이거나, 대체할 수 없는 물품이거나, 대신하기 어려운 물품이라면 조사해야 한다. 예를 들어 보석, 사진, 판정서, 인증서, 트로피, 미술품, 애완동물, 스포츠/취미기기 등이다. 화재 전 중요한 기록(화재보험정책, 사무기록, 세무기록)이 교체 또한 조사하고 설명해야 한다.

### 22.3.4 Entry Blocked or Obstructed.

#### 22.3.4 진입파손이나 차단(Entry Blocked or Obscured)

22.3.4.1 The entrance to a structure or to the property may be blocked or obstructed to hamper fire fighters from extinguishing the fire. Obstructions to the property may include fallen trees, street barricades, or construction features that deny fire vehicle access, such as masonry columns, fences, and gates.

22.3.4.1 건물이나 소유지의 입구가 소방대원의 화재진화를 방해하도록 파손되거나 차단됐을지 모른다. 소유지로의 차단에는 소방차량의 접근을 방해하는 넘어진 나무, 거리의 방책, 석조기둥, 울타리, 대문 같은 건축물 특성이 있다.

22.3.4.2 Obstructions to the structure may include what appear to be "security" measures, such as boarded up windows and doors, "security grilles," and chains and locks, to the building.

22.3.4.2 건물로의 차단에는 두들긴 창문과 문같이 건물의 보안 수단으로 보이는 널판지

창문과 문 같은 것 보안격자창 체인과 자물쇠 등이 포함된다.

### 22.3.5 Sabotage to the Structure or Fire Protection Systems.

#### 22.3.5 건물 파괴 또는 방화 설비(Sabotage to the Structure or Fire Protection Systems)

22.3.5.1 Introduction. Sabotage refers to intentional damage or destruction to the physical structure of the building, or intentional damage to a fire protection system or system components.

##### 22.3.5.1 개요(Introduction)

파괴에는 건물의 물리적 구조를 고의적으로 손상하거나 무너뜨리는 것이나 방화설비나 설비부품의 고의적 손상이 해당된다.

22.3.5.1.1 A firesetter is often intent on developing conditions that will lead to the rapid and complete destruction of the building or its contents. In order to fulfill this goal, the firesetter may sabotage the structure (fire-resistive assembly) or the fire protection systems.

22.3.5.1.1 방화범은 종종 건물이나 그 구성물이 빠르고 완벽하게 파괴하도록 유도하고 성장조건에 전념한다. 이 목표를 달성하기 위해 방화범은 구조나 방화설비를 파괴한다.

22.3.5.1.2 Investigators should determine whether the failure of structural components or fire protection systems was the result of deliberate sabotage or other factors, such as improper construction, lack of maintenance, system shutdown for maintenance, improper design, or equipment or structural assembly failure.

22.3.5.1.2 조사자는 건물 구조부품의 고장인지 방화설비가 고의적으로 파괴된 결과인지, 부적절한 디자인이나 장치, 건축조립품 고장 등의 부적당한 구조—보수나 보수를 위한 시스템운전정지, 정비 부족인지 결정한다.

22.3.5.2 Damage to Fire-Resistive Assemblies. Fire resistive design, accomplished through the construction of various fire resistance-rated assemblies (e.g., wall, ceilings, and floors) and the proper protection of openings (e.g., fire doors, windows and shutters, and fire dampers) is intended to separate portions of a structure into "compartments" or "fire areas" that confine a fire within the "compartment" in which the fire originated, preventing smoke and fire movement to other portions of the



building.

#### 22.3.5.2 내화성부품 손상(Damage to Fire-Resistive Assemblies)

내화설계, 다양한 내화도로 완성된 부품(벽, 선반, 바닥), 개구부의 적절한 방호(방화문, 방화창, 셔터, 방화담퍼)의 건물의 일부를 구획실이나 화재 지역으로 분리하며 이는 화재가 시작된 구획실 안의 화재를 제한시키며, 연기나 불을 건물의 다른 부분으로 이동됨을 방지한다.

22.3.5.2.1 Penetrations in fire-resistant assemblies may be an indication that the firesetter attempted to spread the fire from one area to another. The investigator should try to determine whether the penetrations occurred with the intent of spreading the fire. Penetrations of fire resistance-rated construction may be the result of poor initial construction, renovations, service wiring, or cables, or may be may be the result of fire-fighting activities, such as ventilation or overhaul.

22.3.5.2.1 내화성 부품 안으로의 침입은 방화벽이 화재를 다른 지역으로 퍼지게 하려고 시도했다는 표시이다. 조사자는 침입이 화재확산의 의도로 일어났는지를 확인하도록 노력해야 한다. 내화구조로의 침입은 빈약한 인화 구조, 개수, 인입 배선이나 케이블 때문이거나 환기나 잔화소화 등의 진화 활동 결과이다.

22.3.5.2.2 Open doors are the most common method of fire travel through a structure. Sabotage to fire or smoke doors (e.g., wedging doors open) or fire shutters can increase fire and smoke spread throughout the structure. Sabotage to stairway doors can further increase rapid smoke and fire spread. However, frequently these doors are held or propped open by building occupants to improve ventilation or access during regular building operations. The investigator should determine whether the doors and other opening protection were intentionally opened by the firesetter or were open as a normal operational use of the building.

22.3.5.2.2 열려진 문은 불이 건물 구조를 통해 이동하는 가장 평범한 방법이다. 방화문, 방연문, 방화셔터, 즉 닫히지 않게 받쳐 놓은 문의 췌기는 화재가 건물 전체로 확산되도록 할 수 있다. 층계문의 파괴는 더군다나 더 빠르게 연기 및 화재를 전체로 확산하도록 할 수 있다. 그러나 자주 이러한 문은 정기적 건물 작동 동안 접근을 위해서나 통풍을 증가하기 위해 건물입주가 닫히지 않은 상태로 유지하기도 한다. 조사자는 문이나 다른 개구부 방호장치가 방화벽에 의해 고의적으로 열렸는지 건물의 운영상의 일반적 사용인

지를 확인해야 한다.

22.3.5.3 Damage to Fire Protection Systems. Fire protection systems include heat, smoke, or flame detection; alarm and signaling systems; sprinkler and standpipe systems; special extinguishing systems, such as those using carbon dioxide, foam, or halon; and private water mains and fire hydrants.

#### 22.3.5.3 방화설비 손상(Damage to Fire Protection System)

방화설비에는 열, 연기 또는 화염 감지기: 경보 및 신호설비, 스프링클러 및 스탠드파이프설비 : 이산화탄소, 포 또는 할론을 사용하는 특수 소화설비 및 사설 급수 본관 및 소화전을 포함한다.

22.3.5.3.1 Sabotage to fire protection systems or components can delay notification to occupants and the fire department and can prevent the control or extinguishment of the fire. Such sabotage is intended to allow the fire to develop fully and to create greater destruction.

22.3.5.3.1 방화설비나 부품의 사버타지는 거주자 및 소방서 연락을 지연시키고, 화재 제어 또는 진화를 방해한다. 이러한 사버타지는 화재가 완전히 전개되고 더 큰 붕괴를 유발하도록 하기 위한 것이다.

22.3.5.3.2 Sabotage can include removing or covering smoke detectors; obstructing sprinkler heads; shutting off control valves; damaging threads on standpipes, hose connections, or fire hydrants; and obstructing or placing debris in fire department Siamese connections or fire hydrants.

22.3.5.3.2 사버타지에는 연기감지기 제거 또는 덮기 : 스프링클러헤드 막기 : 제어밸브 차단 : 스탠드파이프, 호스 연결구 또는 소화전 나사 손상 : 소방서 Y형 소화전이나 일반 소화전을 막거나 잔해 삽입 등이 포함된다.

22.3.5.3.3 Another type of sabotage, although more subtle, is igniting multiple fires (see 22.2.1). In addition to increased destruction from additional fires, multiple fires can have the effect of overtaxing the fire suppression system beyond its design capabilities. Assistance may be needed to determine the design limitations on the fire protection system. (See Section 14.5.)

22.3.5.3.3 또 다른 사버타지 유형으로는 드물지만 복합 화재를 착화시키는 것이다. 추가 화재로 파괴가 늘어나는 것 외에 복합 화재는 진화설비를 설계 진화력 이상으로 과작동시키게 한다. 방화설비의 설계 한계를 정하는 보조자가 필요할 수 있다.



22.3.6 Open Windows and Exterior Door. Open windows and exterior doors can speed the growth and spread of a fire. When these conditions exist during cold weather or in violation of normal building security, it may be an indicator that someone attempted to provide extra ventilation for the fire. Windows may have been broken out for the same purpose.

#### 22.3.6 열려진 창문 및 외부 문(Open Windows and Exterior Doors)

열려진 창문과 바깥문은 화재 확산과 성장을 가속화시킨다. 이 상황이 추운 날씨이거나 일반적인 건물 안전 위반이라면, 이는 누군가가 화재를 위한 별도의 환기를 제공하려 시도했음을 가리킨다. 창문은 같은 이유로 깨진다.

#### 22.4 Other Evidentiary Factors.

##### 22.4 다른 입증 요인(Other Evidentiary Factors)

22.4.1 Once the investigator has completed the fire scene examination and has concluded that the fire was incendiary, there are other evidentiary factors that should be recorded and examined, which may be critical regarding future suspect development and identification.

22.4.1 조사자가 화재 사건에 대해 예리한 검토를 하여 그 화재는 방화였다고 결론을 내리게 되었을 때, 비판과 의심이 주목되는데 확실하게 증명될 수 있는 다른 증거 요인이 있어야 한다.

22.4.1.1 These evidentiary factors regarding the identification of a suspected firesetter, or the "motive" or opportunity for the fire, cannot be substituted for a properly conducted investigation and determination of the fire's origin and cause.

22.4.1.1 방화자에 대한 확실한 입증 요인, 또는 동기나 기회라는 것은 화재의 기원과 원인의 조사로써 대신 되는 것이 아니다.

22.4.1.2 In the absence of physical evidence of and incendiary fire, the investigator is strongly cautioned against using the discovery or presence of these other evidentiary factors in developing an hypothesis, forming opinions, or drawing conclusions concerning the cause of the fire.

22.4.1.2 방화 화재에 대한 물증이 없더라도, 조사자는 다른 증거를 찾기 위해 주의 깊게 행동한다. 가령, 가설을 세워, 의견을 형성하고, 화재의 원인에 관계되는 결론을 유도한다.

22.4.2 Analysis of Confirmed Incendiary Fires. It is through the analysis of confirmed incendiary fires that trends of patterns in repetitive firesetting behaviors may be detected. The key to this analysis is whether the firesetting is repetitive or not. This analysis may assist the investigator in the development and identification of possible suspects. Repetitive firesetting, sometimes called serial fire setting or serial arson, refers to a series of three or more (incendiary) fires, where the ignition is attributed to the individual or a group acting together. There are three principal trends that may be identified through analysis; these are geographic area or "clusters," temporal frequency, and materials and methods.

#### 22.4.2 명백한 방화 화재 분석(Analysis of Confirmed Incendiary Fires)

반복되는 화재의 경향과 형태는 확실한 방화 화재의 분석을 통해 방화 범죄자를 잡을 수 있는 것이다. 분석에 대한 열쇠는 그 화재가 반복적이었느냐 그렇지 않았느냐는 것이다. 분석이란 조사자가 예측으로부터 확신할 수 있도록 도와준다. 반복되는 화재는 연쇄방화, 연쇄화재라고 불리는 데, 2번 이상 된 화재를 말하며, 발화는 개인과 단체가 함께 행동할 수 있는 곳에서 기인한다. 분석을 통해 확인된 것 중에 3가지 주요한 경향이 있다. 이것들은 지리적 지역 혹은 집단 지역, 일시적인 빈번함, 재료와 방법이다.

22.4.2.1\* Geographic Area, Clusters. Repetitive firesetting activities tend to group within the same geographic location(i.e., same neighborhood), or cluster. Locating incendiary fires by utilizing computer-assisted pattern recognition systems such as the Arson Information Management System(AIMS) or by looking at a map of the local area can assist the investigator in identifying clusters.

##### 22.4.2.1 지리적 지역, 집단(Geographic Area, Clusters)

반복 화재는 같은 지리적 위치 혹은 집단에서 일어나는 경향이 있다. 지역적 방화성 화재는 방화정보관리시스템(AIMS) 등의 컴퓨터시스템과 지역지도를 활용하여 조사자가 집단을 확인하도록 돕는다.

22.4.2.2 Temporal Frequency. Incendiary fires set by the same individual often occur during the same time period of the day or on the same day of the week. This occurrence may have several reasons, including the level of activity in the area, the firesetter's assessment of his or her chances of success, or the firesetter's routine. For example, the firesetter may pass the



location (to or from work or to or from a bar) during a certain period of the day or on a certain day of the week.

#### 22.4.2.2 일시적 빈번함(Temporal Frequency)

방화성 화재는 한 개인이 같은 날, 같은 시간에 방화하는 경향이 있다. 그것은 몇 가지 이유가 있는데, 그 지역 사람의 활동 시간, 방화에 대한 성공 여부의 확실성, 방화자의 일상 습관에 의한 것이다. 예로는 방화자가 어떤 기간에 그 지역을 그냥 지나갈 수 있다.

22.4.2.3 Materials and Method. The method and material used in the ignition of incendiary fires vary according to the firesetter. Generally, however, once a firesetter begins repetitive firesetting behavior, the materials and method tend to remain similar, as do the locations of the incendiary fires.

#### 22.4.2.3 재료와 방법(Materials and Method)

방화성 화재의 발화에 사용되는 재료와 방법은 방화자에 의해 다양화 된다. 그러나 일반적으로 한 방화자가 반복적인 방화를 시작했다면 방화성 화재의 지역이 그러하듯, 유사한 방법과 재료를 사용한다.

#### 22.4.3 Evidence of Other Crimes, Crime Concealment.

#### 22.4.3 다른 범죄 증거, 범죄은폐(Evidence of Other Crimes, Crime Concealment)

22.4.3.1 An incendiary fire may be an attempt to conceal other crimes, such as homicides and burglaries. In other cases, a staged burglary may occur to disguise an incendiary fire. The issue of which occurred first, the other crime of the fire, is more related to the motive for the fire and has little to do with the cause of the fire.

22.4.3.1 방화성 화재는 다른 범죄를 숨기기 위해서 시도되는데, 살인이나 강도가 그 예이다. 다르게 말하면, 잘 훈련된 강도는 방화성 화재를 가장하여 나타날 수 있다. 화재와 범죄 중에 먼저 발생한 것이 무엇인가에 대한 문제는 불이 일어난 동기와 관련이 있지, 불의 원인과는 관계가 없다.

22.4.3.2 Although possible motives do not determine a fire's cause (i. e., if the motive was to burglarize the structure and to conceal the burglary with a fire, or to set a fire but make it appear as a burglary), motives may lead the investigator to approach the investigation (i. e., the search for evidence) and possible suspects differently.

22.4.3.2 비록 가능성이 있는 동기가 화재의 원인을 조사하는데 결정적이지 못하더라도(다시 말해 건물을 강도질하여 불로 범죄를 숨기려 하는 것이나, 불을 저질러 강도처럼 꾸미는 동기)동기라는 것은 조사자가 확실한 조사(증거를 찾는)와 가능성 있는 추측을 하도록 이끈다.

22.4.4 Indications of Financial Stress. The investigation may reveal indicators of financial stress. These indicators may include the following: liens, attachments, unpaid taxes, mortgage payments in arrears, real estate for sale (inability to sell, property is nonmarketable, etc.), poor business location, or new competition.

#### 22.4.4 재정 압박 표시(Indications of Financial Stress)

조사는 재정 압박의 표시를 나타낸다. 이 표시는 담보권, 압류, 미지불 비용, 지불 연장으로 인한 저당, 팔고자 하는 토지(팔 수 없는 것, 재산이 팔리지 않음은), 불리한 사업, 또는 새로운 경쟁자를 포함한다.

22.4.4.1 Financial stress may also be indicated by factors associated with the use or type of occupancy of the building. For business occupancies, indicators may include periods of economic decline, particularly within that industry; changes within an industry, in either product or equipment; obsolescence of equipment; and new competition within the industry. Other indicators can include factors such as the need to relocate or new competition in the same geographic region or area.

22.4.4.1 재정 압박은 건물 점유의 쓰임과 관련된 요인에 따라 표시된다. 왜냐하면, 사업점유자나 표시자는 경제 쇠퇴기간을 포함하는데 특히 생산과 정비를 할 수 있는 산업범위 안에서 경제를 생각한다. 다른 표시는 새 지리적 요건과 같은 지역이지만 새로운 경쟁과 같은 요인을 포함한다.

22.4.4.2 Examples of financial stress for residential properties can include landlords who cannot collect rent or who cannot rent out vacant units, rent control, the owner's need to relocate, and mass loss of jobs within the region resulting from industrial cutback or closings.

22.4.4.2 거주 재산에 대한 재정 압박의 예로는 집세를 받을 수 없는 집주인, 전세 준 빈집이 있다. 건물주는 임대조절, 산업 축소와 폐쇄로 생기는 그 지역 내의 대량 실직으로 재조정이 필요하다.



#### 22.4.5 Existing or History of Code Violations.

##### 22.4.5 현재의 규칙위반이나 그 경력(Existing or History of Code Violations)

22.4.5.1 Closely related to, and possibly another indication of financial stress, is the existence of or a history of building, fire safety, housing, or maintenance code violations. This may indicate either the financial inability to maintain the building or the intentional choice to let the building deteriorate (refusal to reinvest in the structure).

22.4.5.1 재정 압박과 밀접한 관련이 있으며, 가능성 있는 또 다른 표시는 건물이나 화재 안전, 주택 유지 관리 규칙 위반의 경력이나 현존이다. 이는 건물을 유지할 재정적 무능력이나 건물의 가치를 저하시키도록 하려는 고의적인 선택 (건물 재투자자의 거절)을 가리킨다.

22.4.5.2 Where the deterioration of a building is intentional, other indicators related to financial stress, such as overinsurance or the inability to sell the property, may be discovered during the investigation.

22.4.5.2 건물의 가치 하락이 고의적이고, 보험금 초과나, 재산을 팔 수 없는 것과 같은 표시가 재정 압박과 관계가 있는 곳에서는 조사 진행 시 발견된다.

22.4.6 Owner with Fires at Other Properties. If a structure is owned by persons who have had incendiary fires at other properties, especially if they have collected insurance as a result of those fires, there is a possibility they will experience another incendiary fire.

##### 22.4.6 다른 재산에 화재가 있었던 소유자(Owner with Fires at Other Properties)

건물이 다른 재산에도 방화성 화재가 났었던 사람들이 소유한다면, 특히 화재로 인한 보험에 들어 있다면 그들이 다른 방화성 화재를 경험한 가능성이 있다.

22.4.7 Overinsurance. Another indicator closely related to financial stress is overinsurance. Overinsurance is a condition whereby the insurance coverage is greater than the value of the property in a valued policy state or whereby there are multiple insurance policies on the property.

##### 22,4,7 초과 보험(Overinsurance)

재정 압박과 밀접히 연관된 다른 표시는 초과 보험이다. 초과 보험은 그 재산에 다중 보험 정책이 있거나, 정약 보험 증권 상태의 재산 가치보다 보험금의 포용범위가 클 때이다.

22.4.8 Timed Opportunity. Timed opportunity refers to the indicators that a firesetter has timed the fire to coincide with conditions or circumstances that assist the chances of successful destruction of the target (property) or to utilize those conditions or circumstances to increase the chances of not being apprehended.

#### 22.4.8 시간을 맞춘 기회(Timed Opportunity)

시간을 맞춘 기회는 방화범이 화재가 목표(재산)를 성공적으로 파괴할 기회를 제공하는 상태나 환경과 일치하도록 시간을 정해 놓았거나 걱정되지 않는 기회를 늘려 이 상태와 환경을 이용하려는 표시와 관련이 있다.

22.4.8.1 Fires During Severe Natural Conditions. Fires during period of extreme natural conditions such as floods, snowstorms, hurricanes, or earthquakes may delay fire department response or hinder fire-fighting capabilities. Other natural conditions to note are electrical storms, periods of high winds, low humidity, and freezing or extremely high temperatures.

#### 22.4.8.1 심각한 자연 상태에서의 화재(Fires During Severe Natural Conditions)

홍수나, 눈 폭풍, 허리케인, 지진 같은 심각한 자연 상태 기간의 화재는 소방대의 응답을 늦추거나 진압 가능성을 막는다. 참고해야 할 자연 상태는 전기적 폭풍, 바람이 심하게 부는 기간, 낮은 습도, 낮거나 높은 온도이다.

22.4.8.2 Fire During Civil Unrest. This is a type of opportunistic fire. Other indicators such as financial stress often accompany this indicator.

22.4.8.2.1 Also, incendiary fires during civil unrest usually do not involve elaborate ignition devices or materials, although "fire bombs" or liquid accelerants are sometimes used. More often, available materials are utilized as an initial fuel.

#### 22.4.8.2 사회 불안 시기의 화재(Fires During Civil Unrest)

이는 기회성 화재형태이다. 재정 압박과 같은 다른 표시도 이 표시를 수반한다.

22.4.8.2.1 Also, incendiary fires during civil unrest usually do not involve elaborate ignition devices or materials, although "fire bombs" or liquid accelerants are sometimes used. More often, available materials are utilized as an initial fuel.



22.4.8.2.1 또한 사회 불안 시기의 방화성 화재는 비록 소이탄이나 액체 촉진제가 가끔 쓰이지만 일반적으로 정교한 발화장치나 재료를 포함하지 않는다. 좀 더 자주 이용 가능한 재료가 초기 연료로 쓰인다.

22.4.8.2.2 A similar pattern may develop when repetitive fires or a series of incendiary fires occur in the same geographic area (see 22.4.2.1). The owners or occupants may attempt to set a fire and have the cause attributed to another firesetter. In these instances, the investigator may discover a difference in the method (such as time of day, days of the week, location of the fire), the materials (such as different fuels) used, or ignition source that does not fit the established firesetting pattern.(See 22.4.2.)

22.4.8.2.2 반복 화재나 일단의 방화 성화 재가 동일한 지역 내에서 발생할 때 유사 형태는 발전한다. 다른 방화범의 탓으로 돌릴 원인이 있으니 건물주나 세입자가 방화를 시도할 수 있다. 이러한 사실에서 조사자는 방법(하루의 어느 때, 한 주의 어느 날, 화재지역 같은)의 차이와 사용된 재료(다른 연료 같은)나 다른 발화원을 발견한다. 이는 확립된 방화 형태에 적합하지 않다.

22.4.8.3 Fire Department Unavailable. Fires may be set at times when the fire department is unavailable. Examples include deliberately calling in a false alarm to get the fire department away from the area or starting the fire while there is a working fire in progress or when the fire department is involved in a parade or other community function.

22.4.8.3 이용할 수 없는 소방대 (Fire Department Unavailable)

화재는 소방대를 이용할 수 없을 때 일어날 수 있다. 그 예로는 거짓 경보로 소방대를 화재 지역에서 떨어지게 하거나 진행 중인 화재로 일하는 동안이나 소방대가 퍼레이드나 다른 지역 사회의 행사에 참여할 때가 있다.

22.4. 9\* Motives for Firesetting Behavior.

22.4.9 발화 동기(Motives for Firesetting Behavior)

22.4.9.1 General. Motive indicators should not be included or substituted as analytical elements of the fire scene for the purpose of determining or classifying the fire cause. the proper use of motive indicators in the fire investigation process is in identifying potential suspects only after the fire origin and cause has been determined and the fire has been classified as

incendiary.

#### 22.4.9.1 개론(General)

동기 표시기는 화재의 원인을 분류하거나 규정하기 위하여 현장의 분석적인 요소들을 포함하거나 대체하지는 않아야 한다. 화재 조사에 있어서 동기 표시기의 적절한 사용은 화재의 근원과 원인이 결정되고 그것이 방화로 분류된 후에 잠재적인 용의자를 확인하는 데 사용하는 데 있다.

22.4.9.1.1 Motive is defined as an inner drive or impulse that is the cause, reason, or incentive that induces or prompts a specific behavior. The identification of an offender's motive is a key element in crime analysis. Crime analysis is a method of identifying personality traits and characteristics exhibited by an unknown offender. It is the identification and analysis of the personality traits that eventually lead to the classification of a motive. Once a possible motive is identified, the investigator can begin to evaluate potential suspects for the incendiary fire.

22.4.9.1.1 동기는 특정한 행동을 유도하거나 행하게 하는 이유, 원인 혹은 인센티브 등의 내적 욕구나 충동을 의미한다. 범죄자의 동기의 인지는 범죄 분석의 중요한 요소이다. 범죄 분석은 미상의 범죄자에 의해 표시되는 개인의 특성과 성격을 구분지어 주는 방법이다. 개인 특성의 분석과 인지는 결과적으로 동기를 구분지어 준다. 일단 가능한 동기가 인식되면 조사자는 잠재적인 방화자를 평가하기 시작할 수 있다.

22.4.9.1.2 Behaviors related to the classifications of motive may not be exclusive to one motive classification but may appear to overlap categories and to be similar for different motives. In these instances, it is important to obtain additional information that may clarify the behaviors.

22.4.9.1.2 동기의 분류와 관련 있는 행동들은 한 동기의 구분에 배타적일 뿐 아니라 분류들과 중복된 것처럼 보이고, 다른 동기와 유사해 보일 수 있다. 이러한 예들에서 행동을 명확히 해주는 추가적인 정보의 획득은 중요하다.

22.4.9.1.3 In addition to the identification of a motive, other analysis should be considered that might assist in determining if a serial firesetter exists. Through the analysis of confirmed incendiary fires, trends or patterns in repetitive firesetting behaviors may be detected. The three principal trends that may be identified are geographic clustering, temporal frequency, and methods and materials. (See 22.4.1.)



22.4.9.1.3 동기의 구분에 덧붙여 연쇄방화가 있다면 이를 확인하는데 도움을 주는 다른 분석들도 고려되어야 할 것이다. 확실한 방화의 분석을 통하여 반복되는 방화 행동의 경향이나 패턴이 발견될 것이다. 3가지 주요한 경향은 지리적인 밀집(geographic clustering), 일시적 빈번함(temporal frequency), 그리고 방법과 재료(methods and materials)이다.

22.4.9.2 Motive versus Intent. There is an important distinction to be made between motive and intent. Intent refers to the purposefulness or deliberateness of the person's actions or, in some instances, omissions. It also refers to the state of mind that exists at the time the person acts or fails to act. Intent is generally necessary to show proof of crime. the showing of intent generally means that some substantive steps have been taken in perpetuating the act. Motive is the reason that an individual or group may do something. It refers to what causes or moves a person to act or not to act and the stimulus that causes action or inaction. Motive is generally not a required element of a crime. For example, a person with indications of "financial difficulty" could experience a fire to his insured property that is ignited by his falling asleep with a lit cigarette. While this person may have motive to cause a fire, that person did not intend to have a fire. Thus, no element of intent existed.

#### 22.4.9.2 동기 vs. 의도(Motives Versus Intent)

동기와 의도를 구분 짓는 중요한 차이가 있다. 의도는 개인행동의 목적성이나 정교함에 있다. 의도는 개인행동의 목적성이나 정교성 혹은 일부 사례에서는 실수 등을 의미한다. 또한 마음의 상태는 개인이 행동을 하거나 실패시의 존재하는 시간을 뜻한다. 의도는 일반적으로 범죄의 증명을 입증하기 위해 필요하다. 의도를 보여주는 것은 일반적으로 행동을 영속화시키는데 실제적인 과정이다. 동기는 개인이나 그룹이 어떤 일을 하는 이유이다. 이는 무엇이 개인으로 하여금 행동을 하거나 하지 않도록 자극하여 행동을 일으키거나 그러지 않도록 하게 하는 원인이 되는 무엇이다. 동기는 일반적으로 범죄의 요소가 되지는 않는다. 예를 들어 재정적인 어려움을 겪고 있는 개인이 불이 꺼지지 않은 담배를 가지고 졸다가 보험에 들어놓은 재산에 화재가 발생할 수 있다. 이 사람이 화재를 발생시킬 동기가 있다고 하더라도 의도를 가지고 있다고 볼 수는 없다. 그러므로 어떤 동기의 요소도 존재하지 않는다.

#### 22.4.9.3\* Classifications of Motive.

## 22.4.9.3 동기의 분류(Classification of Motive)

22.4.9.3.1 Introduction. The classifications discussed in this chapter are those identified in Douglas et al., Crime classification Manual (CCM). The CCM uses a diagnostic system intended to standardize terminology and formally classify the critical characteristics of the perpetrators and the victims of the three major violent crimes: murder, arson, and sexual assault.

## 22.4.9.3.1 개요(Introduction)

이 장에서 논의되는 분류는 Crime Classification Manual(줄여서 CCM)에서 인식되는 것들이다. CCM은 용어를 표준화하고 공식적으로 3가지 주요 범죄; 살인, 방화 그리고 강간에 대한 범죄자와 피해자의 중요한 특징을 구분하기 위해 의도된 진단 시스템이다.

22.4.9.3.1.1. The CCM identifies analytical factors that have been identified as essential elements in order to classify the motive of an offense. these factors include information about the victim, the crime scene, and the nature of the victim offender exchange. Not all the information will be, or should be expected to be, present in every case. The intent is to provide the fire investigator with as much information as possible.

22.4.9.3.1.1 CCM은 분석적인 요소를 확인해준다. 이 요소들은 범죄의 동기를 구분하기 위한 필수적인 점들을 구분해 준다. 이 요소들은 피해자, 사고 현장, 피해자-가해자 관계에 대한 본성에 대한 정보를 포함하고 있다. 모든 정보가 모든 사례에서 들어맞는 것은 아니다. 목적은 조사자에게 가능한 많은 정보를 제공하는 데 있다.

22.4.9.3.1.2 The behaviors that may identify a possible motive, and thus a possible suspect, apply whether the fire is the result of a one-time occurrence or multiple occurrences, such as with a repetitive or serial arson, spree arson, and mass arson. The terminology used in classifying a repetitive firesetter is similar to the terminology used in murderers. Serial arson involves an offender who sets three or more fires, with a cooling-off period between the fires. Spree arson involves an arsonist who sets three or more fires. at separate locations with no emotional cooling-off period between fires. Mass arson involves an offender who sets three or more fires at the same site or location during a limited period of time.

22.4.9.3.1.2 가능한 동기와 유력한 용의자를 구분하는 행동은 화재가 일시적인 혹은 다중



적인 발생에 의한 결과인지를 판단하는데 적용한다. 연쇄 발화 행동에는 세 가지 구분이 있다. 이들은 연속방화, 탐닉방화, 대량방화이다. 연쇄방화자를 구분하는데 사용하는 용어는 살인을 구분하는데 사용되는 용어와 유사하다. 연속방화는 간격이 있는 3건이나 그 이상의 화재를 저지른 가해자에 연관이 있다. 탐닉방화는 3건이나 그 이상의 화재가 화재 간 감정적인 간격이 없고 그 발생장소가 떨어져 있는 것과 연관이 있다. 대량화재는 3건이나 그 이상의 화재가 같은 장소나 시간의 제약이 있는 장소에서 벌어진 것과 관계가 있다.

22.4.9.3.1.3 The numerical classifications, Which appear in the parentheses behind the classifications and the subclassifications, correspond with the classification of the crime classification manual.

22.4.9.3.1.3 여기에 등장하는 많은 분류(classification)들과 그에 따른 소분류(subclassification)는 범죄 분류 설명서(the Crime Classification Manual)에 따라 나누었다.

22.4.9.3.1.4 The National center for the Analysis of Violent Crime(NCAVC)has identified the six motive classifications as the most effective in identifying offender characteristics for firesetting behavior, as follows:

- (1) Vandalism
- (2) Excitement
- (3) Revenge
- (4) Crime concealment
- (5) Profit
- (6) Extremism

22.4.9.3.1.4 국립 폭력 범죄 분석 센터(the National Center for the Analysis of Violent Crime)는 방화 행위에 관련한 범죄자의 특성을 6가지 동기로 구분하였다.

- (1) 반달기질(Vandalism)
- (2) 흥미(Excitement)
- (3) 복수(Revenge)
- (4) 범죄 은닉(Crime Concealment)
- (5) 이익(Profit)

## (6) 과격주의(Extremism)

22.4.9.3.2 Vandalism. Vandalism-motivated firesetting is defined as mischievous or malicious firesetting that results in damage to property. Common targets include education facilities and abandoned structures, but also include trash fires and glass fires. Vandalism firesetting categories include willful and malicious mischief and peer or group pressure.

## 22.4.9.3.2 반달기질(Vandalism)

반달기질에 동기화된 발화는 재산에 피해를 입히는 유해하거나(mischievous) 악의 있는(malicious) 방화이다. 이 방화의 목표물은 교육시설이나 폐기된 건축물뿐만 아니라 쓰레기 화재, 임야화재를 포함한다. 반달기질에 의한 화재는 다음과 같이 두 가지 유형으로 나뉜다.

(A) Willful and Malicious Mischief. These are incendiary fires that have no apparent motive or those that seemingly are set at random and have no identifiable purpose. These are fires that are often attributed to Juveniles or adolescents.

(A) 고집 세고 악의 있는 악영향(Willful and Malicious Mischief)  
이것들은 명백한 동기가 없거나 뚜렷한 목표없이 무작위로 행하는 방화를 의미한다. 이들은 유소년이나 청소년층에 의해 종종 행하여진다.

(B) Peer or Group Pressure. Recognition or pressure from peers is sometimes regarded as a reason for firesetting, particularly among juveniles.

(B) 동료나 그룹의 압력(Peer or Group Pressure)  
동료에 의한 인지나 압력은 때때로 특히 유·소년층 사이에서 화재의 원인으로 간주된다.

22.4.9.3.3\* Excitement. The excitement-motivated firesetter may enjoy the excitement that is provided by actual firesetting or the activities surrounding the fire suppression effort, or may motivated offender is often a serial firesetter. This firesetter will generally remain at the scene during the fire and the surrounding activities. The excitement-motivated firesetter's targets range from small trash and grass fires to occupied buildings.

## 22.4.9.3.3 흥미(Excitement)



흥미에 의해 동기화된 방화자들은 실화나 화재 진압 과정에서 흥미를 가지게 된다. 또는 이들은 주목의 생리학적 요구를 가진다. 흥미에 동기화된 범죄자들은 대개 연쇄방화자들이다. 이들 방화자는 일반적으로 화재가 발생하는 동안 현장에 머물러 있으며 화재에 대응하는 위치에 참가하거나, 화재와 진압활동을 지켜본다. 이들 방화자들의 목표는 작은 쓰레기에서 건물에 포함되어있는 임야화재까지 분포하고 있다.

22.4.9.3.3.1 The excitement-motivated firesetter includes the following subcategories.

22.4.9.3.3.1 흥미에 동기화된 방화자들은 아래의 세부 분류로 나뉜다.

(A) Thrill Seeking. Setting a fire provides this offender with feelings of excitement and power. the thrill-seeking firesetter is often a repetitive firesetter, who compulsively sets fires to satisfy some psychological desire or need.

(A) 전율 추구(Thill Seeking)

불을 지르는 것은 이들 가해자들에게 환희와 힘에 대한 느낌을 제공한다. 이런 전율 추구형 발화자들은 때때로 연속적인 발화자이기도 하다. 이들은 일정한 생리학적 욕구를 만족시키기 위하여 강박적으로 불을 지른다.

(B) Attention Seeking. These firesetters have a need to feel important, and they set fires in order to satisfy a psychological need.

(B) 주목 추구(Attention Seeking)

이들 발화자들은 중요함을 느끼고자하는 용구가 있으며, 그들은 생리학적 욕구를 만족시키기 위하여 불을 지른다.

(C) Recognition. These firesetters are sometimes described as the hero or vanity firesetter. These firesetters often remain at the fire scene to warn other, report the fire, or assist in firefighting efforts. They enjoy or may seek the recognition and praise they receive for their efforts. Typical among these firesetters are security guards and fire fighters. Occasionally these firesetters may take responsibility for the setting the fire.

(C) 인지(Recognition)

이들 발화자들은 때때로 영웅이나 허영심 있는 방화자로 묘사된다. 이들 발화자들은 때때로 화재현장에서 다른 이들에게 경고하고, 화재를 보고하며, 혹은 화재진압활동을 돕는다. 그들은 그들의 노력이 인식되고 칭찬받기를 추구한다. 이러한 발화자들

중 전형적인 이들은 안전요원이나 소방관들이다. 때때로 이들은 발화에 대한 책임을 지기도 한다.

(D) Sexual Gratification or Perversion. These are firesetters who set fires as a means of sexual release. The firesetter in this category is considered rare.

(D) 성적 만족 혹은 성도착(Sexual Gratification or Perversion)

이들은 성적만족을 위해 불을 지른다. 이 분류의 발화자들은 거의 고려되지 않는다.

22.3.9.3.3.2 Attention-seeking, recognition, and sexual gratification firesetters rarely attempt or intend to harm people, but these firesetters may disregard the safety of innocent bystanders or occupants. However, the thrill-seeking offender, whose compulsion requires the inherent sense of satisfaction, will often set a big fire, or a series of bigger fires. Fires will typically involve structures, but when vegetation is involved, these fires are also large.

22.4.9.3.3.2 주목 받기 위한, 인지나 성적 만족을 위한 발화자들은 사람을 해치기 위한 목적을 가지고 시도하지는 않는다. 하지만 이들 발화자들은 무고한 주변인들이나 거주자의 안전은 고려하지 않는다. 하지만 본능적인 만족의 욕구를 가진 전율을 추구하는 발화자들은 종종 큰 불을 지르거나 연쇄적인 큰 불을 지른다. 화재는 전형적으로 건물과 관계가 있다. 하지만 초목과 관계가 있을 때 화재는 또한 확대된다.

22.4.9.3.4\*Revenge.

22.4.9.3.4 복수(Revenge)

22.4.9.3.4.1 The revenge-motivated firesetter retaliates for some real or perceived injustice. An important aspect is that a sense of injustice is perceived by the offender. The event or years before the firesetting activity. A fire by the revenge-motivated offender may be a well-planned, one time event or Serial offenders may direct their retaliation at individuals, institutions, or society in general.

22.4.9.3.4.1 복수에 의해 동기화된 발화자들은 실제적인 혹은 인지된 불공평 때문에 복수를 한다. 중요한 점은 불공평의 느낌은 가해자에 의해 인지된다는 점이다. 인지된 사건이나 환경은 화재가 발생하기 몇 달 혹은 몇 년 전에 인지된다. 복수하기 위해 방화자에 의한 화재는 잘 계획되고, 일회성 화재이거나 계획없이 연쇄방화의 형태로 나타날 수 있다. 연쇄방화자는 그들의 개인, 기관, 혹은 일반적인 사회에 대한 복수를 직접적으로 표



출한다.

22.4.9.3.4.2 Subcategories of revenge firesetting include personal, societal, institutional, and group retaliation.

22.4.9.3.4.2 방화에 의한 발화의 세부 분류는 개인적, 사회적, 기관적, 그룹 복수와 관련이 있다.

(A) Personal Retaliation. The triggering event for this motive may be an argument, a fight, a personal affront, or any event perceived by the offender to warrant retaliation. Favorite targets include the victim's vehicle, home, or personal possessions. The specific location and the materials involved in the fire may be a significant factor in identifying the offender. Igniting clothing or other personal possessions is seen as a more personal affront to the victim than simply setting a fire in a common area. The fire scene may also be vandalized. These fires may be a one-time event or an act of serial arson.

(A) 개인적 복수(Personal Retaliation)

이 동기에 영향을 주는 사건으로는 논쟁, 다툼, 개인적 모욕, 혹은 복수가 정당화되는, 가해자에 의해 인지된 사건 등이 있다. 주된 목표는 피해자의 자동차, 집, 혹은 개인 물품 등이다. 화재에 있어 특정한 장소와 사물은 가해자를 구별하는 데 있어 중요한 요소이다. 옷이나 다른 개인의 사물에 불을 붙이는 것이 공공장소에서 불을 붙이는 것처럼 보이기보다는 피해자에게 개인적인 모욕을 가하기 위한 것처럼 보일 때 화재현장은 파괴될 것이다. 이러한 화재는 단발성 화재일 것이다.

(B) Societal Retaliation. This offender usually suffers from a feeling of inadequacy, loneliness, persecution, or abuse. The societal retaliation offender generally is not satisfied with a single fire or even a series of fires. Therefore, this serial offender is likely to set many more fires than other revenge-motivated firesetters.

(B) 사회적 복수(Social Retaliation)

가해자는 종종 부적합함, 외로움, 박해나 남용 등의 상태를 겪는다. 사회적 복수의 가해자는 일반적으로 한 번의 방화에 만족하지 않는다. 그러므로 연쇄적인 가해자는 다른 요소에 의해 동기화된 방화자들보다 더 많은 불을 지른다.

(C) Institutional Retaliation. This classification of offender targets institutions such as religious, medical, governmental, and educational institutions, or

corporations. The firesetter may be a disgruntled employee, a former employee, a customer, or a patient.

(C) 기관 복수(Institutional Retaliation)

이 분류에서 가해자는 종교와 의학적, 정부 그리고 교육 기관 혹은 회사를 목표로 삼는다. 발화자는 기분이 상한 종업원이나, 전직 직원, 고객 혹은 환자 등이 있다.

(D) Group Retaliation. Targets for group retaliation may be religious, racial, fraternal, or other groups, including gangs. Graffiti, symbols or markings, and other vandalism may accompany the fire.

(D) 그룹 복수(Group Retaliation)

그룹 복수의 목표물은 종교적, 인종적, 형제적 혹은 다른 그룹이다. 이는 갱들도 포함한다. 낙서, 심볼이나 표시, 다른 반달기질들은 화재와 동반한다.

22.4.9.3.5 \* Crime Concealment. This category involves firesetting that is a secondary or a collateral criminal activity, perpetrated for the purpose of concealing the primary criminal activity. In some cases, however, the fire may actually be part of the intended crime, such as revenge. Many people erroneously believe that a fire will destroy all physical evidence at the crime scene. Categories for crime concealment firesetting include murder of burglary concealment and destruction of records of documents.

22.4.9.3.5 범죄 은닉(Crime Concealment)

이 분류는 본래 범죄행위를 은폐하기 위한 목적으로 행해지는, 이차적 혹은 부수적인 범죄 행위와 연관 있는 발화행위이다. 하지만, 일부 사례에서 화재는 실제로 복수와 같은 의도된 범죄의 일부이다. 많은 이들은 화재가 모든 범죄현장에서 모든 물리적 증거를 파괴한다고 잘못 믿고 있다. 화재 범죄 은폐의 분류는 강도나 살인 은폐와 기록이나 문서의 파괴 등도 포함하고 있다.

(A) Murder Concealment. This scenario is where a fire is set in an attempt to conceal the fact that a homicide has been committed, to destroy forensic evidence that may identify the offender, or to conceal the identify of the victim.

(A) 살인 은닉(Murder Concealment)

이 시나리오는 화재가 살인이 생해진 사실을 숨기려는 의도, 가해자를 확인할 수 있는 법률적 증거를 파괴하기 위한 목적으로, 혹은 범죄자의 확인을 은폐하기 위한 목



적으로서 화재가 발생한다고 본다.

(B) Burglary Concealment. This is a fire that is set in an attempt to conceal the fact that a burglary has occurred or to destroy forensic evidence that may identify the offender.

(B) 강도 은닉(Burglary Concealment)

이는 화재가 강도행위가 일어났거나 가해자를 확인할 수 있는 법률적 증거를 파괴하기 위한 목적으로 화재가 발생한다고 본다.

(C) Destruction of Records of Documents. This is a fire that targets records of documents. These fires may involve files ignited still in their folders of an origin inside a file cabinet. It may involve ordinary combustibles located in an exposure position to the files, such as a trash and moved adjacent to the files. Potential suspects in these incidents involves those who have some interest in the documents or records that were targeted.

(C) 기록이나 문서의 파괴(Destruction of Records or Documents)

이는 기록과 문서를 목표로 삼는다. 이 화재들은 파일 수납장안 혹은 폴더에서 화재가 발화하는 것과 연관이 있다. 이는 통상적인 가연물질이 파일 옆에 노출된 것과 연관이 있다. 이러한 사건의 잠재적인 용의자들은 그들이 목표로 하는 문서나 기록물에 관심을 가지고 있는 자이다.

22.4.9.3.6 \* Profit. Fire set for profit involve those set for material or monetary gain, either directly or indirectly. The direct gain may come from insurance fraud, eliminating or intimidating business competition, extortion, removing unwanted structures to increase property values, or from escaping financial obligations.

22.4.9.3.6 이익(Profit)

이익을 위한 화재의 발화는 물질적, 화폐적 취득과 직간접적으로 연관되어 있다. 직접적인 취득은 보험사기, 경쟁사업체 제거, 강탈, 재산가치의 증가를 위해 원하지 않는 건축물을 제거하는 것, 혹은 재정적 제약에서 탈출하기 위해서 등이 있다.

22.4.9.3.6.1 The broad category of fraud is frequently identified as an arson motive. However fraud is classified as a sub-category in the profit motive category. Fraud-motivated fires may include commercial or residential properties. Commercial fraud fires may be set or arranged by an owner to

destroy old or antiquated equipment, to destroy records to avoid taxes or audits, or for the purpose of obtaining insurance money. Fires may be set by a competitor to gain market advantage, or by agents of organized crime for purposes of extortion, protection rackets, or intimidation. Residential fraud may include an owner intending to defraud an insurance carrier, or a tenant defrauding an owner or a welfare agency. Increasing taxes, physical deterioration (and legally mandated repairs such as by code enforcement agencies), vacancy or inability to rent, or statutory rent-control measures may be reasons for a landlord to consider burning the structure.

22.4.9.3.6.1 사기의 넓은 분류는 종종 그것을 방화의 동기로 인식하기도 한다. 하지만 사기는 이익 동기 목록의 세부 목록으로 분류된다. 사기에 동기화된 화재는 상업적 혹은 주거 재산을 포함한다. 상업적 사기와 관련 있는 화재는 오래된 기구를 파괴하기 위해서 혹은 세금이나 감사와 관련 있는 기록을 파괴하기 위해 또는 보험금을 타내기 위해 소유주에 의해 행하여진다. 화재는 시장 이익을 위해 혹은 강탈을 목적으로, 횡령을 보호하기 위해, 혹은 위협을 위해 대리인에 의한 조직된 범죄이다. 주거 사기는 보험업자를 속이는 것, 혹은 세입자가 주인이나 복지기관을 속이는 행위를 포함한다. 세금증가와 물리적 파괴, 빈집의 임대, 혹은 법정 임대 관리는 집주인이 건물을 태우는 것을 고려할 요인이 된다.

22.4.9.3.6.2 There are several subcategory that further identify fraud as a motive. These include fraud to collect insurance, fraud to liquidate property, fraud to dissolve a business, and fraud to conceal a loss or liquidate inventory. The other category include employment, parcel/property clearance, and competition.

22.4.9.3.6.2 동기를 사기로 인식하는 여러 세부 분류가 있다. 이는 보험금 사기, 부채 청산 사기, 계약 해지 사기, 재고 손실, 청산 사기 등이 있다. 다른 분류는 고용, 소포/재산 청산, 경쟁 등을 포함한다.

22.4.9.3.7 \* Extremism. Extremist-motivated firesetting is committed to further a social, political, or religious cause. Fires have been used as a weapon of social protest since revolutions first began. Extremist firesetting may work in groups or as individuals. Also, due to planning aspects and the selection of their targets, extremist firesetters generally have a great degree of organization, as reflected in their use of more elaborate ignition or incendiary devices. subcategory of extremist firesetting are terrorism and riot/civil disturbance.



#### 22.4.9.3.7 과격주의(Extremism)

과격주의에 동기화된 방화자는 사회적, 정치적 혹은 종교적 이유에 의해 행동을 취한다. 화재는 혁명이 발생한 이래로 사회적 저항의 무기로 사용되고 있다. 과격 발화자들은 그룹을 이루어서 혹은 개인별로 행동한다. 또한 상황을 계획하고 목표를 선정하기에 과격 발화자들은 일반적으로 높은 수준의 조직을 구성하고 있다. 이는 그들이 더욱 정교한 발화나 방화도구를 사용하는 것을 반영한다. 과격주의에 의한 발화는 아래와 같이 테러리즘에 의한 것과 반역, 사회 불안에 의한 것으로 구성된다.

(A) Terrorism. The targets set by terrorist may appear to be at random; However, target locations are generally selected with some degree of political or economic significance. Political targets generally include government offices, newspapers, universities, political party headquarters, and military or law enforcement installations. Political terrorists may also target divers properties such as animal research facilities or abortion clinics. Economic target may include business offices, distribution facilities o utility providers (e.g., atomic generation plants), banks, or companies thought to have an adverse impact on the environment. Fires or explosions become a means of creating confusion, fear, or anarchy. The terrorist may include fire as but one of a variety of weapons, along with explosive, used in furthering his or her goal.

#### (A) 테러리즘(Terrorism)

테러리스트에 의해 정해진 목표물은 일정치 않은 것처럼 보인다. 그러나 목표지점은 일정한 정치적 경제적 중요도에 따라 선택이 된다. 정치적 목표물은 일반적으로 정부 청사, 신문사, 대학, 정당 본부, 그리고 군사, 법률기관 등이 있다. 정치적 테러리스트들은 다양한 자산 예를 들어, 동물 연구소나 낙태 클리닉 등을 목표로 삼는다. 경제적인 목표는 회사 사무소, 공공시설 공급자(예; 원자력발전소), 은행, 혹은 환경에 악영향을 끼치는 회사들이 있다. 화재나 폭발은 혼란, 공포, 혹은 무정부 상태를 야기하는 수단이 되고 있다. 테러리스트는 본인의 목표를 달성하는 수단으로서 다양한 무기 중에 하나로 화재와 폭발을 사용한다.

(B) Riot/Civil Disturbance. Intentionally set fires during riots or civil disturbance may be accompanied by vandalism and looting. It is worth nothing that all fires ignited during periods of civil unrest may not be the result of the extremist firesetter but may be set by other, such as owners, hoping that the fire is attributed to the extremist firesetter and

## 부록

NFPA 921  
CODE

the circumstance surrounding the civil disturbance. (the end)

(B) 반역/사회 불안(Riot/Civil Disturbance)

반역이나 사회 불안 도중에 의도적인 발화 행위는 반달리즘이나 약탈과 동행한다. 사회가 불안정한 시기에 모든 화재의 발화는 과격주의의 결과가 아니라 과격주의 발화 자들과 사회 불안 환경이 화재에 의해 영향 받기를 기대하는 자들에 의해 발화된다.

## ■ 참여한 사람들 ■

집필위원 외래교수 한영수

검토위원

외래교수 최규출  
외래교수 손원배  
외래교수 천성수  
외래교수 황인환

## 화재조사실무 V

발행일 2018년 12월

발행 중앙소방학교

인쇄처 (주)프리비(Tel. 061-332-1492)

※ 본 교재는 2018년도 교재를 기반으로 개발되었습니다.

※ 이 책의 내용은 저자와 협의 없이 無斷再製 또는 轉載를 금합니다.

