

# 연소 이론

---



신성대학교  
소방안전관리과

# 의무소방 정보

○ 시험개요

1. 시험시기

매년 2회(4월, 11월중)예정

2. 시험주관

중앙소방학교장

3. 선발인원

1회 300명(1회 2기수 각 150명씩 선발)

4. 복무기간

약23개월(국방부 복무기간 단축 90일 반영)

5. 시험절차

시험구분	방법
선발시험 공고	중앙소방학교 홈페이지
원서접수(인터넷)	인터넷 원서접수 사이트(www.119gosi.kr)
서류제출 및 심사	병적증명서, 신체검사서, 최종학력증명서
1차: 체력측정	제자리멀리뛰기(205cm 이상), 윗몸일으키기(26회이상/1분), 50m다리기(8.5초내), 1,200m다리기(6분19초내)
2차: 필기시험	국어, 국사, 일반상식(소방상식 50%)
3차: 면접시험	직무수행 적격성 검증

6. 시험과목

총 3과목(국어, 국사, 일반상식「소방상식 포함」)  
- 06년부터 일반상식 과목 중 소방상식 문제 50% 반영 출제

7. 시험문항

총 60문항(과목별 20문항)

8. 응시자격

응시원서 접수일 현재 18세 이상의 제1국민역 또는 보충역에 해당하는 대한민국 남자로서  
- 다음 각호의 1에 해당되지 아니한 자  
① 현역병으로 징적이 결정된 자 (응시원서 접수일 현재 입영기일이 결정되었거나 입영기; ② 징병검사 또는 입영을 기피하고 있거나 기피한 사실이 있는 자  
③ 자격정지 이상의 형의 선고를 받고 그 형이 확정되어 집행이 종료(집행이 종료된 것으로  
니한 자

○ 시험방법

1. 신체·체력검사

신체조건 및 건강상태 검증  
- 신체검사: 체격·신장·체중·흉위·시력·색신·청력·혈압·운동신경

○ 의무소방원 신체검사의 기준(제7조제2항관련)

구분	기준
체격	체격이 강건하고 팔·다리가 완전하며, 가슴·배·입·구강 및 내장의 질환이 없는 자
신장	146cm 이상인 자
흉위	신장의 2분의 1 이상인 자
시력	나안시력이 각 0.1 이상 또는 교정시력 이 각 0.8 이상인 자
색각(色覺)	색각이상(色覺異常)·색맹 또는 적색약(赤色弱)을 말한대야 아닌 자
청력	청력이 완전한 자
혈압	고혈압(수축기 혈압이 145mmHg을 초과하거나 확장기 혈압이 90mmHg을 초과하는 것) 또는 저혈압(수축기 혈압이 90mmHg 미만이거나 확장기 혈압이 60mmHg 미만인 것)이 아닌 자

체력검사: 4종목(제자리멀리뛰기, 윗몸일으키기, 50m, 1,200m)  
· 합격자 결정: 합격 또는 불합격으로 결정(기준에 적합여부를 판정)

## 5. 구비서류

- 인터넷을 이용한 원서 접수(<http://www.119gosi.kr>)
- 사진파일(JPG) 규격은 3.5cm × 4.5cm이며, 해상도 100DPI이상
- 신체검사서 1부(국·공립병원 또는 종합병원의 장이 발행한 것에 한하며, 「의무소방대설치법 시행령」 제7조제2항의 규정에 의한 의무소방원 신체검사기준의 내용을 충족하여야 함)
- 병적증명서 1부(지방병무청장이 발행한 것)
- 최종학교 학력증명서 1부

## 6. 근무처 및 복무기관

- 배치된 시·도의 소방서 및 119안전센터 복무기간 : 23개월(교육훈련기간 포함-기간단축 적용)

## 7. 통계자료

### ▣ 최근 5기수 시험현황

구분	16차	17차	18차	19차	20차	21차
필기시험	'10. 1. 12	'11. 1. 31	'12. 1. 5	'12. 12. 12	'13. 5. 11	'13. 11. 21
응시인원	1,729명	1,279명	1,478명	1,387명	648명	1946명
선발인원	170명	90명	588명	600명	300명	320명
경쟁률	10 : 1	14 : 1	2.5:1	2.3:1	2.16:1	6.1:1

# 의무소방 정보



채용시험

승진시험

자격증시험

성적조회

마이페이지

경력경쟁

경력경쟁(특수분야)

소방간부

의무소방

## 채용시험

119의 미래를 책임질  
인재를 키웁니다.

세부일정

시험공고

원서접수

## 세부일정

중앙소방학교 119GOSI 에서 제공하는 현재 채용시험관련 일정 안내입니다.

세부일정

시험공고

원서접수

🏠 > 채용시험 > 원서접수

● 세부일정 (상기 일정은 차후 변경될 수 있음)

번호	내용	일시	비고
----	----	----	----

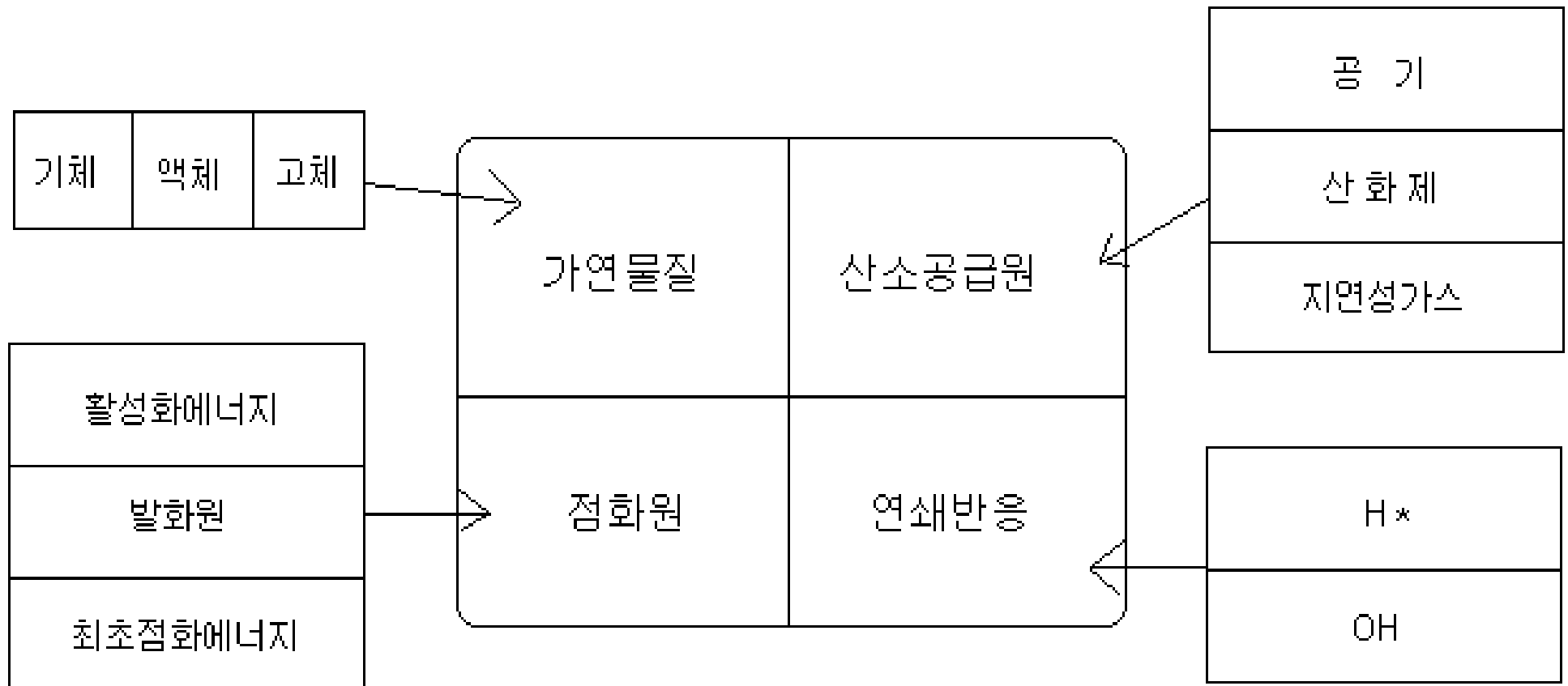
(상기 일정은 차후 변경될 수 있음)

# 연소의 개념

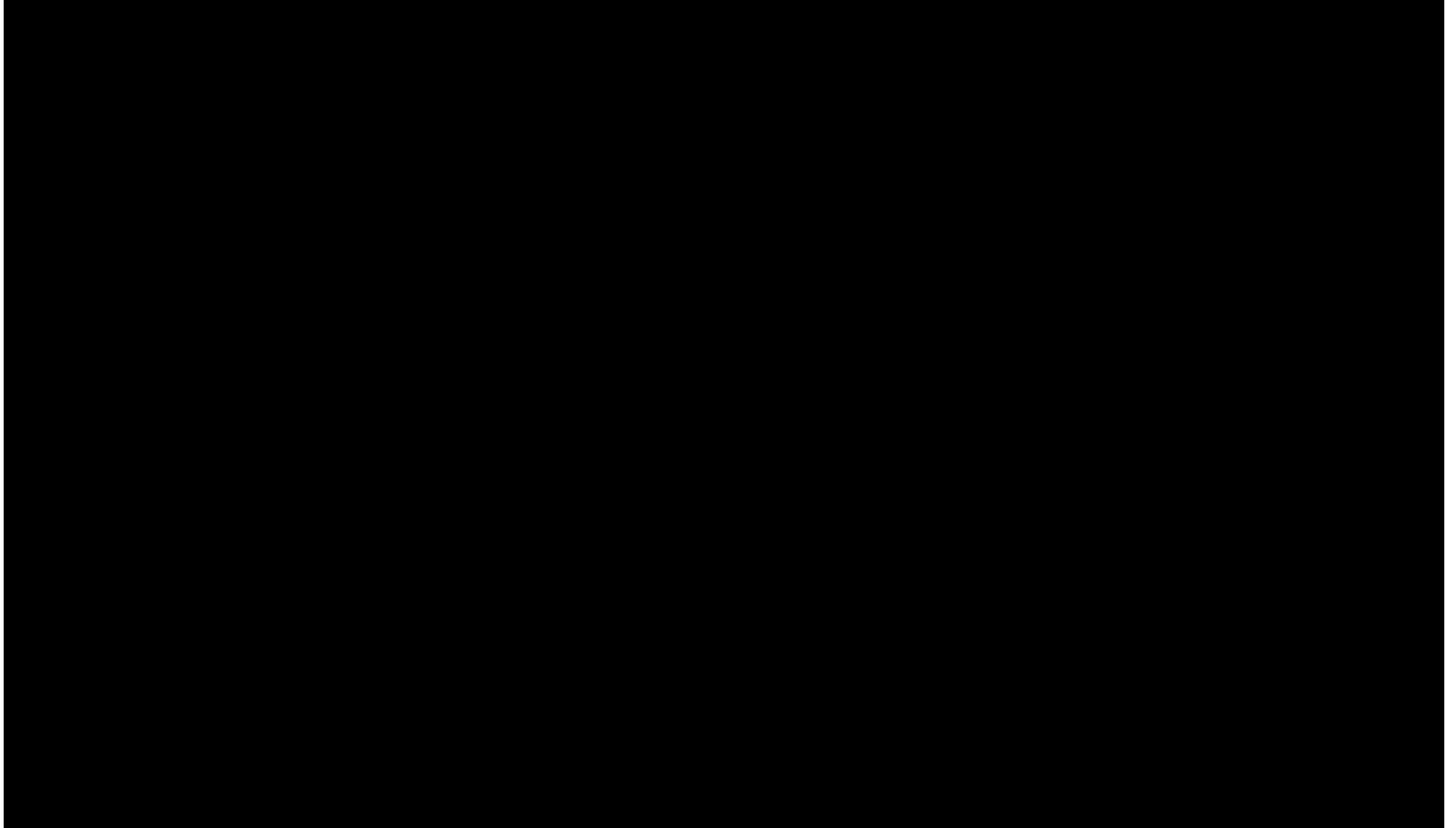
## 연소의 정의

- 연소란 「가연물이 공기중의 산소 또는 산화제와 반응하여 열과 빛을 발생하면서 산화하는 현상」을 말함
- 발열반응이 계속되면 발생하는 열에 의해 가연물질이 고온화되어 연소는 계속 진행됨
- 이러한 연소의 화학반응은 연소할 수 있는 가연물질이 공기 중의 산소뿐만 아니라 산소를 함유하고 있는 산화제에서도 일어나며 반응을 일으키기 위해서는 활성화에너지 (최소 점화에너지)가 필요한데 이 에너지를 점화에너지, 점화원, 발화원 또는 최소점화(착화)에너지라고 하며 약  $10^{-6} \sim 10^{-4}[\text{J}]$ 의 에너지가 필요함

# 연소의 3요소



## 연소의 3요소



## 연소의 3요소

- 가연물
  - 가연물은 우리 주위에 무수히 많이 잔존해 있는 유기화합물의 대부분과 Na, Mg 등의 금속, 비금속, LPG, LNG, CO 등의 가연성 가스가 해당됨
  - 즉, 산화하기 쉬운 물질이며 이는 산소와 발열반응을 일으키는 물질을 말함

## 연소의 3요소

- 가연물질의 구비조건

가연물질이 되기 위해서는 다음과 같은 조건을 구비하여야 한다.

- 1) 화학반응을 일으킬 때 필요한 최소의 에너지(활성화에너지)의 값이 적어야 한다.
- 2) 일반적으로 산화되기 쉬운 물질로서 산소와 결합할 때 발열량이 커야 한다.
- 3) 열의 축적이 용이하도록 열전도의 값이 적어야 한다.

[열전도율 : 기체<액체<고체 순서로 커지므로 연소순서는 반대이다]

## 연소의 3요소

- 가연물질이 될 수 없는 조건

1) 주기율표 0족의 불활성기체로서 이들은 결합력이 없으므로 산소와 결합하지 못한다

: 헬륨(He), 네온(Ne), 아르곤(Ar), 크립톤(Kr), 크세논(Xe) 등

2) 이미 산소와 결합하여 더이상 산소와 화학반응을 일으킬 수 없는 물질

: 물(H<sub>2</sub>O), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 산화알루미늄(Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), 산화규소(SiO<sub>2</sub>),

오산화인(P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>), 삼산화황(SO<sub>3</sub>), 삼산화크롬(CrO<sub>3</sub>), 산화안티몬(Sb<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) 등

※ 일산화탄소(CO)는 산소와 반응하기 때문에 가연물이 될 수 있다.

## 연소의 3요소

- 가연물질이 될 수 없는 조건

3) 산소와 화합하여 산화물을 생성하나 발열반응을 하지 않고 흡열반응하는 물질

: 질소 또는 질소 산화물  $N_2$ ,  $NO$  등

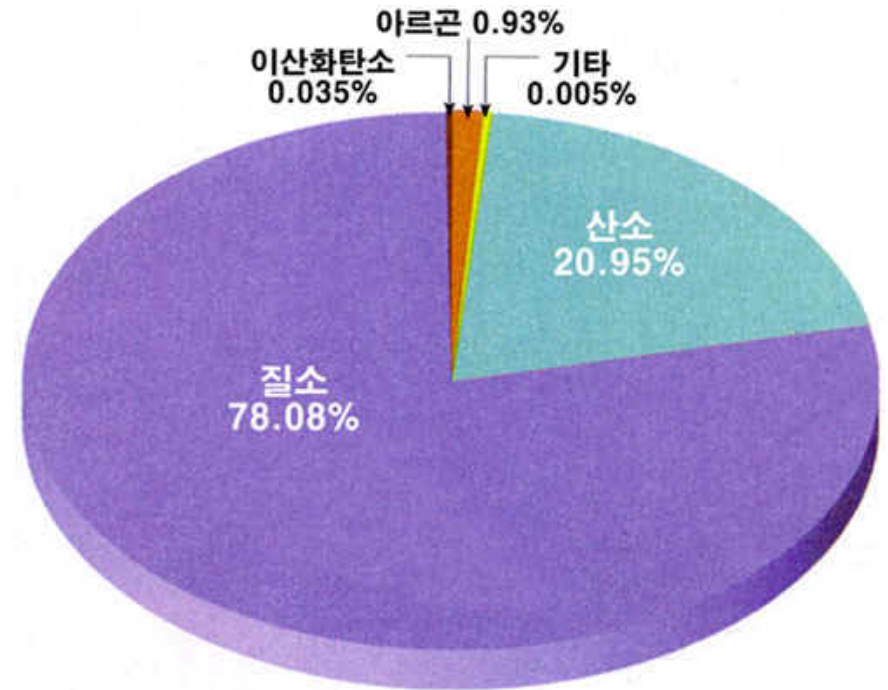
4) 자체가 연소하지 아니하는 물질 : 돌, 흙 등

## 연소의 3요소

- 산소공급원

- 가연물이 연소하려면 산소와 혼합되어 불이 붙을 수 있는 조건을 만들어야 하는데, 이를 연소 범위라 한다.
- 보통 공기 중에는 약 21%의 산소가 포함되어 있어서 공기는 산소공급원 역할을 할 수 있다.
- 일반적으로 산소의 농도가 높을수록 연소는 잘 일어나고 일반 가연물인 경우 산소농도 15%이하에서는 연소가 어렵다.

# 연소의 3요소



성분 \ 조성비	산소	질소	이산화탄소	희가스
용량(vol%)	20.99	78.03	0.03	0.95
중량(wt%)	23.15	75.51	0.04	1.30

## 연소의 3요소

### ■ 산소공급원

- 산화제 : 위험물 중 제1류, 제6류 위험물로서 가열, 충격, 마찰에 의해 산소를 발생한다. 염소산염류, 과염소산염류, 과산화물, 질산염류, 과망간산염류, 무기과산화물류 등과 제6류 위험물인 과염소산, 질산 등이 있다.
  - 과산화칼륨( $K_2O_2$ ) : 물과 접촉하거나 가열하면 산소를 발생시킨다.
  - $2K_2O_2 + 4H_2O \rightarrow 4KOH + 2H_2O + O_2\uparrow$
- 자기반응성 물질 : 분자내에 가연물과 산소를 충분히 함유하고 있는 제5류 위험물로서 연소속도가 빠르고 폭발을 일으킬 수 있는 물질이며, 니트로글리세린(NG), 셀룰로이드, 트리니트로 톨루엔 등이 있다.

## 연소의 3요소

- 점화원
  - 연소반응이 일어나려면 가연물과 산소공급원이 적절한 조화를 이루어 연소범위를 만들었을 때 외부로부터 최소의 활성화 에너지가 필요한데 이를 점화원이라 하며 전기불꽃, 충격 및 마찰, 단열압축, 나화 및 고온표면, 정전기 불꽃, 자연발화, 복사열 등이 있다.

## 연소의 3요소

- 점화원

구분	종류
열적 점화원	적외선, 고열물, 복사열 등
기계적 점화원	단열압축, 마찰, 충격 등
화학적 점화원	연소열, 용해열, 자연발화에 의한 열 등
전기적 점화원	정전기, 전기저항열, 전기불꽃, 유도열 등

## 연소의 3요소

- 순조로운 연쇄반응
  - 순조로운 연쇄반응
  - 연소의 4요소: 순조로운 연쇄반응
  - 가연물이 점화원에 의해 불꽃연소, 분해연소, 증발연소 등 순조로운 화학적 연쇄반응을 할 수 있는 것
  - 불꽃연소와 작열연소
    - 불꽃연소(발염연소, 확산연소)
      - 불꽃연소: 고체가 용해·증발하거나 액체가 증발한다든지 또는 기체에 산소가 공급되어 연쇄반응을 일으키는 현상

## 연소의 3요소

- 순조로운 연쇄반응
  - 불꽃은 있으나 불티가 없는 연소
  - 확산연소: 가연성 기체(수소, 메탄, 암모니아)가 불꽃을 내면서 타는 연소형태
  - 혼합연소: 산소와 혼합된 후에는 매우 빠른 속도로 연소되는 것  
예 : 프로판, 부탄, 등유, 경유 등의 기체상태 연소

## 연소의 3요소

- 순조로운 연쇄반응
  - 작열(灼熱)연소(표면연소, 응축연소, 無焔연소)
    - 휘발분도 없고 열분해반응도 없기 때문에 불티는 있으나 불꽃은 없는 형태
    - 표면연소: 산화성고체의 고체연료 표면이 고온에서 고체결합이 부서지며 일어나는 연소
    - 응축연소라고도 함
    - 예 : 숯, 목탄, 석탄, 코크스, 금속분(마그네슘 등), 송문치 등이 타는 것

## 연소의 3요소

- 순조로운 연쇄반응
  - 불꽃연소+작열연소
    - 연소초기에는 불꽃연소하지만, 나중에는 불씨로 되면서 연소로 진행되어 불꽃연소와 작열연소를 같이 가지는 것
    - 예 : 나무, 종이, 짚 등의 고체

## 연소의 3요소

- 순조로운 연쇄반응
  - 혼합연소
    - 발염연소와 무염연소를 함께 가지는 것으로 고체의 연소가 대표적임
    - 나무, 종이, 짚 등의 고체가 있음

## 연소의 형태

- 연소의 형태는 기체가연물, 액체가연물 및 고체가연물을 구성하는 분자의 구조, 원소성분, 물성 등에 따라 기체연소, 액체연소, 고체연소로 분류되며 연소의 상태에 따라 정상적으로 연소하는 정상연소와 폭발적으로 연소하는 비정상연소로 구분된다.

# 연소의 형태

- 고체의 연소

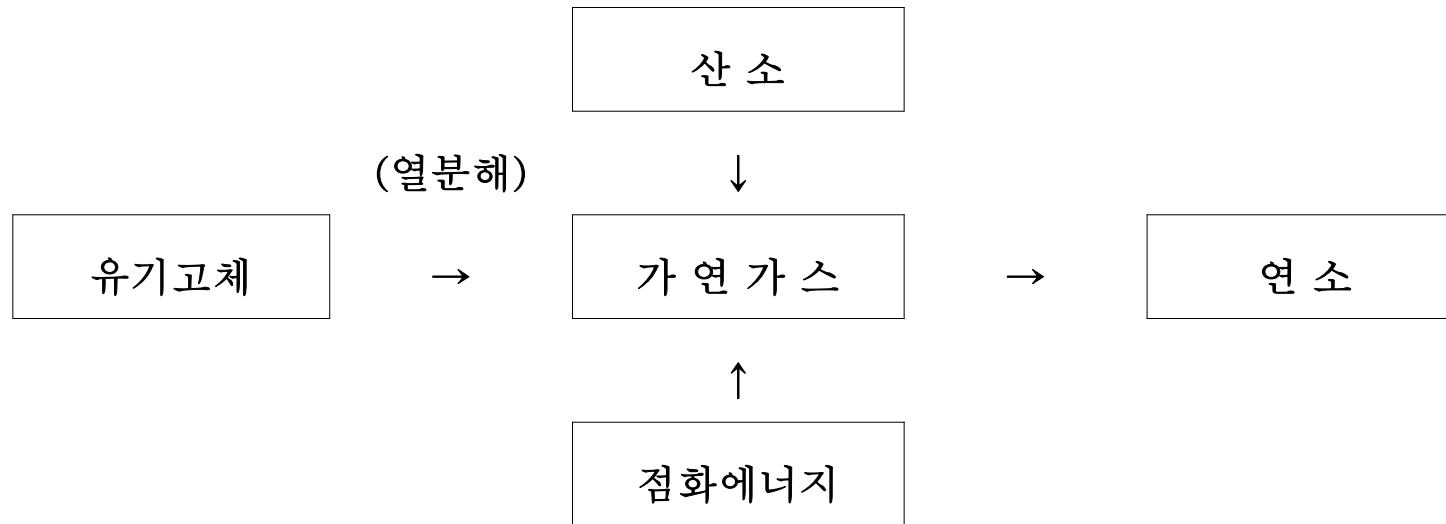
- 상온에서 고체상태로 존재하는 고체 가연물질의 일반적 연소형태는 표면연소, 증발연소, 분해연소, 자기연소로 나눌 수 있다.

- ✓ 분해연소

- 고체 가연물질을 가열하면 열분해를 일으켜 나온 분해가스 등이 연소하는 형태를 말하며 열분해에 의해 생기는 물질에는 일산화탄소(CO), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>), 수소(H<sub>2</sub>), 메탄(CH<sub>4</sub>) 등이 있다.
- 분해연소 물질에는 목재, 석탄, 종이, 섬유, 플라스틱, 합성수지, 고무류 등이 있으며 이들은 연소가 일어나면 연소열에 의해 고체의 열분해는 계속 일어나 가연물이 없어질 때까지 계속된다.

# 연소의 형태

- 고체의 연소



# 연소의 형태

- 고체의 연소

- 상온에서 고체상태로 존재하는 고체 가연물질의 일반적 연소형태는 표면연소, 증발연소, 분해연소, 자기연소로 나눌 수 있다.

- ✓ 표면연소(직접연소)

- 고체 가연물이 열분해나 증발하지 않고 표면에서 산소와 급격히 산화 반응하여 연소하는 현상 즉, 목탄 등이 열분해에 의해서 가연성 가스를 발생하지 않고 그 물질 자체가 연소하는 현상으로 불꽃이 없는 것(무염연소)이 특징이다.
- 예로서, 목탄, 코우크스, 금속(분. 박. 리본 포함) 등의 연소가 해당되며 나무와 같은 가연물의 연소 말기에도 표면연소가 이루어진다.



# 연소의 형태

- 고체의 연소

- 상온에서 고체상태로 존재하는 고체 가연물질의 일반적 연소형태는 표면연소, 증발연소, 분해연소, 자기연소로 나눌 수 있다.

- ✓ 증발연소

- 고체 가연물이 열분해를 일으키지 않고 증발하여 증기가 연소되거나 먼저 용해된 액체가 기화하여 증기가 된 다음 연소하는 현상을 말한다. 이것은 액체 가연물질의 증발연소 형태와 같으며 황(S), 나프탈렌(C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>), 파라핀(양초) 등이 있다.

## 연소의 형태



# 연소의 형태

- 고체의 연소

- 상온에서 고체상태로 존재하는 고체 가연물질의 일반적 연소형태는 표면연소, 증발연소, 분해연소, 자기연소로 나눌 수 있다.

- ✓ 자기연소

- 가연물이 물질의 분자 내에 산소를 함유하고 있어 열분해에 의해서 가연성 가스와 산소를 동시에 발생시키므로 공기 중의 산소없이 연소할 수 있는 것을 말한다.
- 위험물안전관리법시행령 별표 1의 제5류 위험물인 니트로셀룰로우스(NC), 트리니트로톨루엔(TNT), 니트로글리세린(NG), 트리니트로페놀(TNP) 등이 있으며 대부분 폭발성을 지니고 있으므로 폭발성물질로 취급되고 있다.

# 연소의 형태

## Nitro Cellulose And Cotton Ball (1)



# 연소의 형태

- 액체의 연소
  - 액체 가연물질의 연소는 액체 자체가 연소하는 것이 아니라 “증발”이라는 변화과정을 거쳐 발생한 기체가 타는 것이다.
  - 액체 가연물질이 휘발성인 경우는 외부로부터 열을 받아서 증발하여 연소하는 것을 증발연소라 하고 액체가 비휘발성이거나 비중이 커 증발하기 어려운 경우에는 높은 온도를 가해 열분해 하여 그 분해가스를 연소시키는 것을 분해연소라 한다.

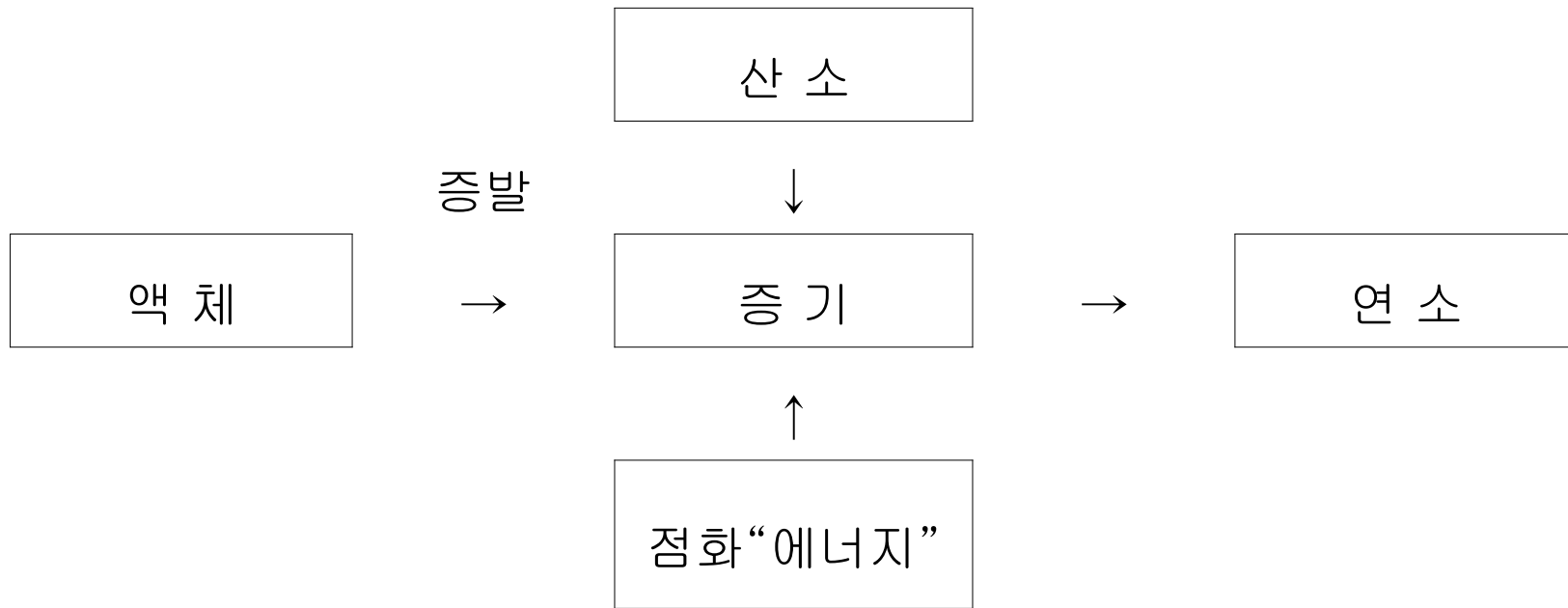
# 연소의 형태

- 액체의 연소

- 증발연소(액면연소)

- 액체 가연물질이 액체 표면에 발생한 가연성 증기와 공기가 혼합된 상태에서 연소가 되는 형태로 액체의 가장 일반적인 연소형태이다.
    - 연소원리는 화염에서 복사나 대류로 액체표면에 열이 전파되어 증발이 일어나고 발생한 증기가 공기와 접촉하여 액면의 상부에서 연소되는 반복적 현상이다.
    - 예로서, 에테르, 이황화탄소, 알콜류, 아세톤, 석유류 등이다.

# 연소의 형태



# 연소의 형태

- 액체의 연소
  - 분해연소
    - 점도가 높고 비휘발성이거나 비중이 큰 액체 가연물이 열분해 하여 증기를 발생케 함으로서 연소가 이루어지는 형태이며 이는 상온에서 고체상태로 존재하고 있는 고체 가연물질의 경우도 분해연소의 형태를 보여준다.
    - 또한 점도가 높고 비휘발성인 액체의 점도를 낮추어 버너를 이용하여 액체의 입자를 안개상태로 분출하여 표면적을 넓게 함으로서 공기와의 접촉면을 많이 하여 연소시키는 액적연소도 있다.

# 연소의 형태

- 액체의 연소

- 분무연소

- 벙커C유와 같이 가열하여 점도를 낮추어 버너인 분무기를 사용하여 액체연료를 수십 혹은 마이크론의 액정으로 안개상으로 미립화 하여 증발
    - 증발 표면적을 증가시켜 연소시키는 방법으로 가스터빈, 석유스토브 일부에 사용



# 연소의 형태

- 기체의 연소
  - 연성 기체는 공기와 적당한 부피비율로 섞여 연소범위에 들어가면 연소가 일어나는데 기체의 연소가 액체 가연물질 또는 고체 가연물질의 연소에 비해서 가장 큰 특징은 연소시의 이상 현상인 폭굉이나 폭발을 수반한다는 것이다.
  - 기체의 연소형태는 확산연소, 예혼합연소, 폭발연소로 나눌 수 있다.
  - 폭발 : 압력전파를 일으켜 고압으로 팽창 도는 파열현상
  - 폭굉 : 음속을 초과하여 충격파를 형성

# 연소의 형태

- 기체의 연소
  - 확산연소(발염연소)
    - 연소버너 주변에 가연성 가스를 확산시켜 산소와 접촉, 연소범위의 혼합가스를 생성하여 연소하는 현상으로 기체의 일반적 연소 형태이다.
    - 예를 들면 LPG - 공기, 수소 - 산소, 아세틸렌 - 산소의 경우이다.

**Acetylene Tank  
On Fire in Mt.  
Jerkmore**

# 연소의 형태

- 기체의 연소
  - 예혼합연소
    - 기체연료에 연소에 필요한 공기 중 산소를 연소시키기 전에 이미 혼합한 혼합기를 분출 / 연소시키는 것으로 기체의 연료에 미리 산소량을 미리 섞어서 연소하는 것을 말함

# 연소의 형태

- 기체의 연소

- 폭발연소

- 가연성 기체와 공기의 혼합가스가 밀폐용기 안에 있을 때 점화되면 연소가 폭발적으로 일어나는데 예혼합연소의 경우에 밀폐된 용기로의 역화가 일어나면 폭발할 위험성이 크다. 이것은 많은 양의 가연성 기체와 산소가 혼합되어 일시에 폭발적인 연소현상을 일으키는 비정상연소이기도 하다.

# 연소의 온도

## 인화점

- 연소범위에서 외부의 직접적인 점화원에 의하여 인화될 수 있는 최저 온도 즉, 공기 중에서 가연물 가까이 점화원을 투여하였을 때 붙는 **최저의 온도이다.**
- 예를들면 **디에틸에테르의 경우는  $-45^{\circ}\text{C}$ 이하에서 인화성 증기를 발생하여 연소 범위를 만들어 점화원에 의하여 인화한다.**

# 인화점

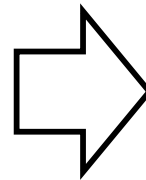
액체가연물질	인화점(°C)	액체가연물질	인화점(°C)
디에틸에테르	-45	클레오소오드유	74
이황화탄소	-30	니트로벤젠	87.8
아세트알데히드	-37.7	글리세린	160
아세톤	-18	방청유	200
휘발유	-20 ~ -43	메틸알콜	11
톨루엔	4.5	에틸알콜	13
등유	30 ~ 60	시아나화수소	-18
중유	60 ~ 15	초산에틸	-4

## 연소점

- 연소상태가 계속될 수 있는 온도를 말하며 일반적으로 인화점보다 대략  $10^{\circ}\text{C}$  정도 높은 온도로서 연소상태가 5초이상 유지될 수 있는 온도이다.
- 이것은 가연성 증기 발생속도가 연소 속도보다 빠를 때 이루어진다.

# 연소점

액체가연물질	인화점(°C)	액체가연물질	인화점(°C)	액체가연물질	인화점(°C)	액체가연물질	인화점(°C)
디에틸에테르	-45	클레오소오드유	74	디에틸에테르	-35	클레오소오드유	84
이황화탄소	-30	니트로벤젠	87.8	이황화탄소	-20	니트로벤젠	97.8
아세트알데히드	-37.7	글리세린	160	아세트알데히드	-27.7	글리세린	170
아세톤	-18	방청유	200	아세톤	-8	방청유	210
휘발유	-20 ~ -43	메틸알콜	11	휘발유	-10 ~ -33	메틸알콜	21
톨루엔	4.5	에틸알콜	13	톨루엔	14.5	에틸알콜	23
등유	30 ~ 60	시안화수소	-18	등유	40 ~ 70	시안화수소	-8
중유	60 ~ 15	초산에틸	-4	중유	70 ~ 25	초산에틸	6



## 착화점(자연발화)

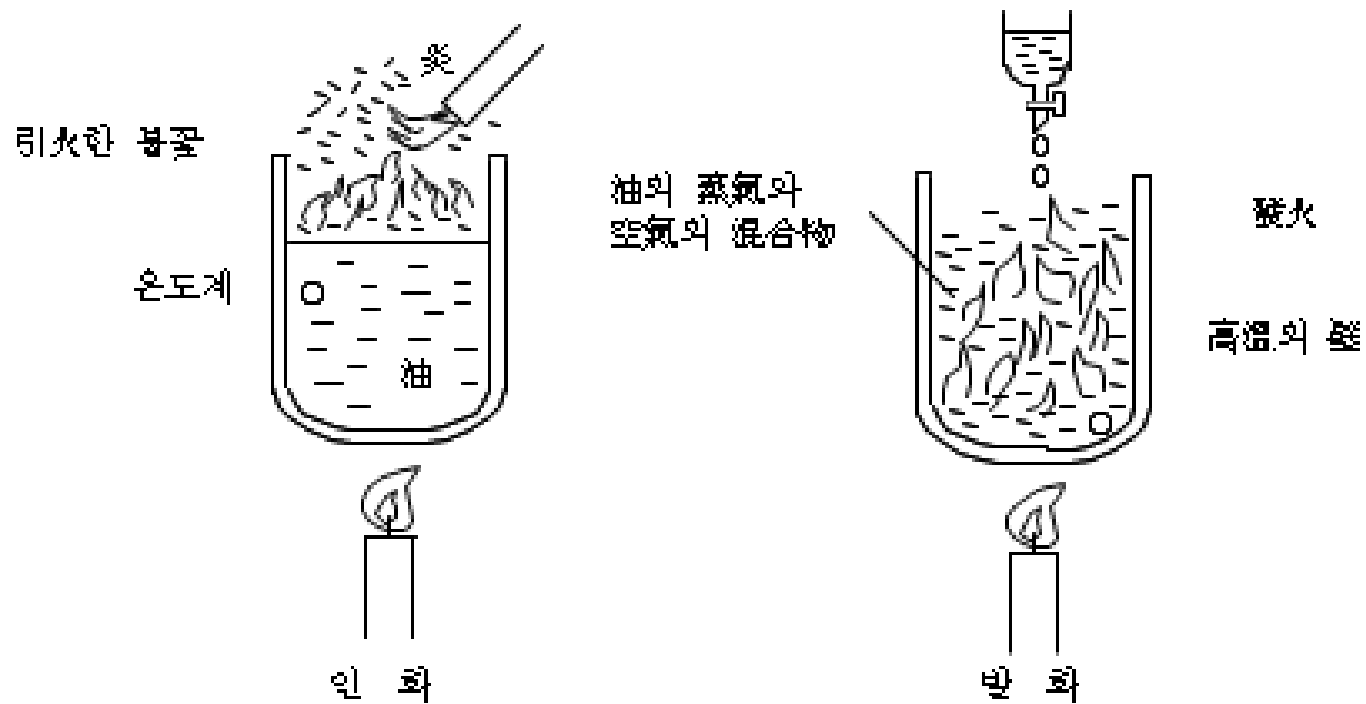
- 착화점이란 물질이 점화원의 접촉 없이 연소를 시작할 수 있는 최저온도임
- 일반적으로 산소와의 친화력이 큰 물질일수록 발화점이 낮고 발화하기 쉬운 경향이 있으며 고체 가연물의 발화점은 가열공기의 유량, 가열속도, 가연물의 시료나 크기, 모양에 따라 달라진다.
- 일반적으로 발화점이 낮아지는 이유로는 ①분자의 구조가 복잡할수록 ②발열량이 높을수록 ③압력, 화학적 활성도가 클수록 ④산소와 친화력이 클수록 ⑤금속의 열전도율과 습도가 낮을수록 등이다. 또한 발화점이 달라지는 요인으로는 ①가연성가스와 공기의 조성비 ②발화를 일으키는 공간의 형태와 크기 ③가열속도와 가열시간 ④발화원의 재질과 가열방식 등에 따라 달라진다.

## 착화점(자연발화)

물 질	발화점(℃)	물 질	발화점(℃)
황 린	34	셀룰로이드	180
이황화탄소	100	무 연 탄	440 ~ 500
적 린	260	목 탄	320 ~ 400
에틸알콜	363	고 무	400 ~ 450
탄 소	800	프 로 판	423
목 재	400 ~ 450	일산화탄소	609
견 사	650	헥 산	223
휘 발 유	257	암모니아	351
부 탄	365	산화에틸렌	429

# 착화점(자연발화)

- 인화와 발화의 차이점



# 연소 생성물

## 연소가스(독성가스)

- 화재시 연소생성물 중 인체에 미치는 영향이 가장 큰 것은 가스임
  - 가스는 인간의 행동장애를 가져옴



# 연소가스(독성가스)

- 연소가스의 종류

- 일산화탄소(CO): 가연물질의 완전연소시에는 공기의 공급량이 충분하기 때문에 연소불꽃은 흰색으로 나타나고 보통 불꽃온도는 1500°C에 이르게 되며 금속이 탈 때는 3000°C내지 3500°C에 이른다. 그러나 공기중의 산소의 공급이 부족하면 연소불꽃은 담암적색에 가까운 색상을 나타내며 생성물인 일산화탄소를 많이 발생하여 사람이 마시면 혈액 속에 들어있는 헤모글로빈과 결합으로 질식사하게 된다.

## 연소가스(독성가스)

공기중의 농도		경과시간(분)	중독증상
%	ppm		
0.02	200	120 ~ 180	가벼운 두통 증상
0.04	400	60 ~ 120	통증.구토증세가 나타남
0.08	800	40	구토.현기증.경련이 일어나고 24시간이면 실신
0.16	1,600	20	두통.현기증.구토 등이 일어나고 2시간이면 사망
0.32	3,200	5 ~ 10	두통.현기증이 일어나고 30분이면 사망
0.64	6,400	1 ~ 2	두통 .현기증이 심하게 일어나고 15~30분이면 사망
1.28	12,800	1 ~ 3	1~3분내 사망

## 연소가스(독성가스)

- 연소가스의 종류
  - 이산화탄소 ( $\text{CO}_2$ ): 이산화탄소는 무색, 무미의 기체로서 공기보다 무거우며 가스 자체는 독성이 거의 없으나 다량이 존재할 때 사람의 호흡 속도를 증가시키고 혼합된 유해 가스의 흡입을 증가시켜 위험을 가중시킨다

## 연소가스(독성가스)

### 이산화탄소가 인체에 미치는 영향

이산화탄소 농도 (공기중 산소 농도 vol%)	증상
1.0(20.79)	공중 위생상의 허용 농도
2.0(20.58)	불쾌감은 있으나 수 시간의 흡입으로도 큰 증상 없음
3.0(20.37)	호흡수가 늘어나고 호흡이 깊어짐
4.0(20.16)	눈, 목의 점막에 자극이 오며 두통, 귀울림, 어지러움, 혈압 상승
6.0(19.74)	호흡수 현저히 증가
8.0(19.32)	호흡 곤란
10.0(18.90)	시력 장애, 몸이 떨리고 2~3분이내에 의식을 잃으며 방치하면 사망
20.0(16.80)	중추 신경이 마비되어 사망

## 연소가스(독성가스)

- 연소가스의 종류
  - 포스겐( $\text{COCl}_2$ ): 열가소성 수지인 폴리염화비닐(PVC), 수지류 등이 연소할 때 발생되며 맹독성가스로 허용농도는  $0.1\text{ppm}(\text{mg}/\text{m}^3)$ 이다.
  - 황화수소( $\text{H}_2\text{S}$ ): 황을 포함하고 있는 유기 화합물이 불완전 연소하면 발생하는데 계란 썩은 냄새가 나며  $0.2\%$ 이상 농도에서 냄새 감각이 마비되고  $0.4 \sim 0.7\%$ 에서 1시간 이상 노출되면 현기증, 장기혼란의 증상과 호흡기의 통증이 일어난다.  $0.7\%$ 를 넘어서면 독성이 강해져서 신경계통에 영향을 미치고 호흡기가 무력해진다.

## 연소가스(독성가스)

- 연소가스의 종류
  - 아황산가스( $\text{SO}_2$ ): 유황이 함유된 물질인 동물의 털, 고무 등이 연소하는 화재시에 발생되며 무색의 자극성 냄새를 가진 유독성 기체로 눈 및 호흡기 등에 점막을 상하게 하고 질식사 할 우려가 있다. 특히 유황을 저장 또는 취급하는 공장에서의 화재시 주의를 요한다.
  - 암모니아( $\text{NH}_3$ ): 질소 함유물(나이론, 나무, 실크, 아크릴 프라스틱, 멜라닌수지)이 연소할 때 발생하는 연소생성물로서 유독성이 있으며 강한 자극성을 가진 무색의 기체이다. 냉동시설의 냉매로 많이 쓰이고 있으므로 냉동창고 화재시 누출가능성이 크므로 주의해야 한다.

## 연소가스(독성가스)

- 연소가스의 종류
  - 시안화수소(HCN): 질소성분을 가지고 있는 합성수지, 동물의 털, 인조견 등의 섬유가 불완전 연소할 때 발생하는 맹독성 가스로 0.3%의 농도에서 즉시 사망할 수 있다.
  - 염화수소(HCl): PVC와 같이 염소가 함유된 수지류가 탈 때 주로 생성되는데 독성의 허용농도는 5ppm( $\text{mg}/\text{m}^3$ )이며 향료, 염료, 의약, 농약 등의 제조에 이용되고 있고 부식성이 강하여 쇠를 녹슬게 한다.

## 연소가스(독성가스)

- 연소가스의 종류
  - 이산화질소( $\text{NO}_2$ ): 질산셀룰로즈가 연소 또는 분해될 때 생성되며 독성이 매우 커서 200 ~ 700ppm정도의 농도에 잠시 노출되어도 인체에 치명적이다.
  - 불화수소(HF): 합성수지인 불소수지가 연소할 때 발생하는 연소생성물로서 무색의 자극성 기체이며 유독성이 강하다. 허용농도는 3ppm( $\text{mg}/\text{m}^3$ )이며 모래, 유리를 부식시키는 성질이 있다.

# 연소가스(독성가스)

- 연소의 범위(Vol %)
  - 가연성증기와 공기와의 혼합 상태에서의 증기의 부피를 말하며 연소 농도의 최저 한도를 하한, 최고 한도를 상한이라 한다.
  - 예를 들면, 수소와 공기 혼합물은 대기압 21°C에서 수소비율 4.0 ~ 75%의 경우 연소가 계속된다.
  - 혼합물중 가연성 가스의 농도가 너무 희박해도 너무 농후해도 연소는 일어나지 않는데 이것은 가연성 가스의 분자와 산소와의 분자수가 상대적으로 한쪽이 많으면 유효충돌횟수가 감소하여 충돌했다 하더라도 충돌에너지가 주위에 흡수. 확산되어 연소반응의 진행이 방해되기 때문이다. 연소 범위는 온도와 압력이 상승함에 따라 대개 확대되어 위험성이 증가한다.

## 연소가스(독성가스)

기체 또는 증기	연소범위 (vol%)	기체 또는 증기	연소범위 ((vol%)
수소	4.1 ~ 75	에틸렌	3.0 ~ 33.5
일산화탄소	12.5 ~ 75	시아화수소	12.8 ~ 27
프로판	2.1 ~ 9.5	암모니아	15.7 ~ 27.4
아세틸렌	2.5 ~ 82	메틸알콜	7 ~ 37
에틸에테르	1.7 ~ 48	에틸알콜	3.5 ~ 20
메탄	5.0 ~ 15	아세톤	2 ~ 13
에탄	3.0 ~ 12.5	휘발유	1.4 ~ 7.6

# 연소가스(독성가스)

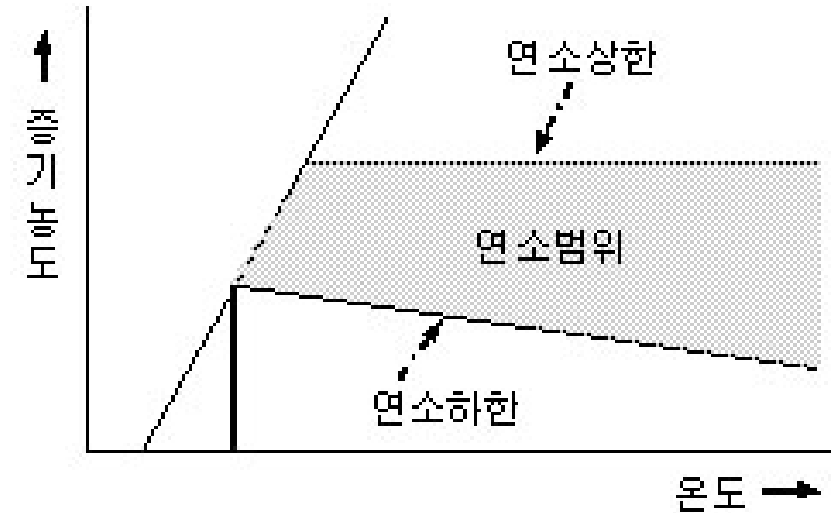
- 위험도

- 위험도(H) = (U-L)/L

- U : 연소 상한계
- L : 연소 하한계

- 연소범위 및 폭발범위의 특징

- 연소범위의 하한계 값이 낮으면 위험이 증가
- 연소범위 상한계 값이 높으면 위험이 증가
- 연소범위가 넓으면 위험이 증가
- 위험도가 높으면 위험이 증가



# 연소가스(독성가스)

- 위험도
  - 위험도(H) = (U-L)/L
    - U : 연소 상한계
    - L : 연소 하한계

	상한계	하한계	식	위험도
수소	75	4.1	$(75-4.1)/4.1$	17.29
일산화탄소	75	12.5	$(75-12.5)/12.5$	5.00

어느 물질이 더욱 위험한가?

# 연소가스(독성가스)

- 연소속도
  - 가연물질에 공기가 공급되어 연소가 되면서 반응하여 연소생성물을 생성할 때의 반응속도이며 연소생성물 중에서 불연성 물질인 질소(N<sub>2</sub>), 물(H<sub>2</sub>O), 이산화탄소(CO<sub>2</sub>) 등의 농도가 높아져서 가연물질에 산소가 공급되는 것을 방해 또는 억제시킴으로서 연소속도는 저하된다.

# 연소가스(독성가스)

- 연소속도

- 연소속도에 영향을 미치는 요인으로는

- ① 가연물의 온도

- ② 산소의 농도에 따라 가연물질과 접촉하는 속도

- ③ 산화반응을 일으키는 속도

- ④ 촉매

- ⑤ 압력 등이 있다.

- 온도가 높아질수록 반응속도가 상승하며, 압력을 증가시키면 단위부피 중의 입자수가 증가하므로 결국 기체의 농도가 증가하므로 반응속도도 상승한다.

- 촉매는 반응속도를 변화시키는 물질로서 반응속도를 빠르게 하는 정촉매와

반응속도를 느리게 하는 부촉매가 있다.

## 연소가스(독성가스)

- 증기비중(증기밀도)
  - 어떤 증기의 “증기밀도”는 같은 온도, 같은 압력하에서 동 부피의 공기의 무게에 비교한 것으로 증기 밀도가 1보다 큰 기체는 공기보다 무겁고 1보다 적으면 공기보다 가벼운 것이 된다.

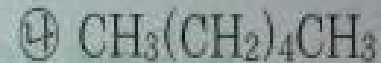
$$\text{증기밀도} = \frac{\text{분자량}}{29}$$

## 연소가스(독성가스)

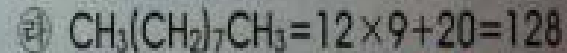
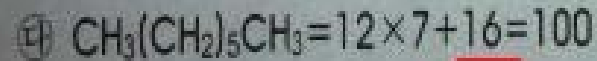
- 증기비중(증기밀도)
  - 특정 증기가 공기보다 무겁거나 가벼운 정도를 의미
  - 공기의 평균분자량 : **29**
    - 이산화탄소의 분자량이 **44**라고 한다면,
    - 이산화탄소의 증기비중 =  $44/29 = 1.52$
    - 그러므로 이산화탄소는 공기보다 무겁다.
    - 그러므로 이산화탄소 검지기는 아래에 설치해야 함

## 연소가스(독성가스)

48. 다음 위험물 중 증기 비중이 가장 큰 것은? (단, 공기의 평균 분자량은 29이고, C, H, O의 원자량은 각각 12, 1, 16 이다)



증기비중이 가장 큰 것은 분자량이 가장 큰 것



## 연소가스(독성가스)

- 이산화탄소 체적농도
  - 이산화탄소를 방출하여 산소의 양을 줄여 소화를 하고자 할 때 사용되는 이산화탄소의 체적농도를 계산
    - 이산화탄소의 체적농도 : 21
    - 산소농도 12% -> 산소농도가 15%이하이면 ?
    - 즉,  $21 - O_2 / 21 * 100$
    - 산소농도가 9%되는 이산화탄소의 농도를 구하면?
    - $((21 - 9) / (21)) * 100 = 57.142$
    - 57.142에 의미는 산소농도를 9% 낮추기 위해서 이산화탄소가 57.1%가 필요함

## 전역방출방식 CO<sub>2</sub> 소화설비의 설계농도 및 유지시간 검증을 위한 직접방사실험에 관한 연구

이세명<sup>†</sup> · 문성웅 · 유상훈  
주식회사 페스텍 화재시험연구소

### A Study on the Direct Discharge Test for Verifying Design Concentration and Soaking Time for CO<sub>2</sub> Fire Extinguishing System of Total Flooding

Se-Myeoung Lee<sup>†</sup> · Sung-Woong Moon · Sang-Hoon Ryu  
Fire Testing Laboratory, Festec International Co., Ltd.

(Received March 28, 2012; Revised November 5, 2012; Accepted December 7, 2012)

#### 요 약

CO<sub>2</sub> 소화설비의 소화성능 시험방법에는 직접시험방법이 가장 좋지만, 고비용과 환경문제 그리고 시험절차의 어려움으로 간접시험방법을 사용하는 경우가 많다. 그러나 석유화학플랜트나 원자력발전소와 같은 국가 중요위험시설은 화재가 발생하면 대형피해가 발생할 수 있으므로 직접방사시험을 통해 소화성능을 검증할 필요가 있다. 본 연구는 국가 중요위험시설에 설치된 전역방출방식의 CO<sub>2</sub> 소화설비 중에서 표면화재 방호구역과 심부화재 방호구역을 각각 선정하여 CO<sub>2</sub> 소화설비의 소화성능을 검증해 보았다. 소화성능은 방호구역 내에 방사된 CO<sub>2</sub>의 농도가 설계농도기준(NFSC 및 NFPA)에 만족해야 그 성능을 인정받을 수 있다. 여기서, 설계농도는 CO<sub>2</sub> 소화약제가 화염을 제어할 수 있는 소화농도에 여유율 20%를 감안한 농도를 의미한다. 시험결과 표면화재와 심부화재 방호구역 모두 CO<sub>2</sub> 설계농도를 확보하고 있음을 확인하였고 심부화재의 경우에는 20분 이상 설계농도가 유지되었다. 본 연구를 통해 국가 중요위험시설에 대한 직접방사 시험 방법 및 판정방법을 소개하였고 향후 이와 같은 국가 중요위험시설에는 직접방사시험을 통해 소화설비의 신뢰성을 검증해야 할 필요성을 제기하였다.

#### ABSTRACT

Indirect Test Method is often used instead of direct test method in test method for extinguishing performance of CO<sub>2</sub> extinguishing facility because of high cost, environment problems and difficulties of procedure. But in the danger facilities for a unit of nation, such as a petrochemical plant, a nuclear power plant, or etc. is better to verify the performance of the extinguishment through direct discharge test. In CO<sub>2</sub> extinguishing system for total flooding system installed in dangerous facilities in Korea, each protected area in surface fire and deep-seated fire had selected and verified of extinguishing performance of CO<sub>2</sub> extinguishing facilities. To get recognized as extinguishing performance, discharged CO<sub>2</sub> concentration to protected area should be equivalence with design concentration standards (NFSC and NFPA). The Design Concentration means that CO<sub>2</sub> extinguishing agent is considerate of concentration for percentage of allowance (20%) from extinguishing concentration which available to control of flame. As test result, surface fire and deep seated fire in protected area is obtained CO<sub>2</sub> design concentration and maintained design concentration more than 20 minutes as deep-seated fire. Through this study, we introduced direct discharging test method and decision method. And furthermore, especially in the dangerous facilities as a unit of Nation, we suggested necessity about reliability of extinguishing facilities to use direct test method.

**Keywords** : Fire extinguishing systems, Direct test method, Design concentration, Soaking time

#### 1. 서 론

CO<sub>2</sub> 소화약제는 부식성이 없고 화재진압 후에 잔류물을

남기지 않으며, 또한 전기 전도성이 없기 때문에 통전 중인 전기설비 화재에서도 사용될 수 있는 장점이 있다<sup>(1)</sup>. 또한, 별도의 가압원이 없어도 자체압력으로 원활하게 소

<sup>†</sup>Corresponding Author, E-Mail: smlee@festec.co.kr  
TEL: +82-10-3198-8431, FAX: +82-2-575-5971

ISSN: 1738-7167  
DOI: http://dx.doi.org/10.7731/KIFSE.2012.26.6.015

### 3.1 설계농도

#### 3.1.1 표면화재

공기 중 산소농도를 한계산소농도(15%) 이하로 낮추기 위해 필요한 CO<sub>2</sub>의 최소이론농도는 식(1)로 구할 수가 있다<sup>(1)</sup>.

$$CO_2(\%) = \frac{21 - O_2(\%)}{21} \times 100 \quad (1)$$

식(1)에서 O<sub>2</sub>(%)에 15%를 대입하면 CO<sub>2</sub>의 최소이론농도는 28%가 된다. 그리고 CO<sub>2</sub>의 설계농도는 CO<sub>2</sub>의 최소이론농도에 20%를 가산한 34%가 된다. 따라서 표면화재를 위한 CO<sub>2</sub>의 설계농도는 어떤 경우에도 34% 미만이 되어서는 안 된다<sup>(3)</sup>.

## 폭발

- 발을 명확히 정의하는 것은 어려우나 「압력의 급격한 발생 또는 해방의 결과로서 굉음을 발생하며 파괴하기도 하고, 팽창하기도 하는 것」, 「화학변화에 동반해 일어나는 압력의 급격한 상승현상으로 파괴 작용을 수반하는 현상」 등으로 설명할 수 있다.

# 폭발

- 폭발반응의 원인
  - 발열화학반응시에 일어난다.
  - 강력한 에너지에 의한 급속가열로 예를들면 부탄가스통의 가열시 폭발하는 것과 같다.
  - 액체에서 기체상태로 변화를 증발, 고체에서 기체 상태로의 변화를 승화라 하는데 이처럼 응축상태에서 기상으로 변화(상변화)시 일어난다.

# 부담



## 폭발-폭굉

AtomCentral.com

# 폭발

- 폭연과 폭굉

- 폭연 : 폭발충격파가 미반응 매질속에서 음속 이하의 속도로 이동하는 폭발
- 폭굉 : 폭발충격파가 미반응 매질속에서 음속보다 큰 속도로 이동하는 폭발

**\* 폭발압력  $P_{det} > P_{def}$  (약 100~1000배 크다)**

# 폭발

- 폭발과정에 의한 분류
  - 물리적 폭발
    - 진공용기의 파손에 의한 폭발현상, 과열액체의 급격한 비등에 의한 증기폭발, 고압용기에서 가스의 과압과 과충진 등에 의한 용기의 파열에 의한 급격한 압력개방 등이 물리적인 폭발이다.

# 폭발

- 폭발과정에 의한 분류

- 화학적 폭발

- 1) 산화 폭발

- 산화 폭발사고는 대부분 가연성 가스가 공기 중에 누설되거나 인화성 액체 저장탱크에 공기가 혼합되어 폭발성 혼합가스를 형성함으로써 점화원에 의해 착화되어 폭발하는 현상이다.
    - 공간부분이 큰 탱크장치, 배관 건물 내에 다량의 가연성 가스가 공간 전체에 채워져 있을 때 폭발하게 되지만 큰 파괴력이 발생되어 구조물이 파괴됨 - 예를들면 LPG-공기, LNG-공기 등이며 가연성 가스의 혼합가스 점화에 의한 폭발을 말한다.

# 폭발

- 폭발과정에 의한 분류

- 화학적 폭발

- 2) 분해 폭발

- 산화에틸렌( $C_2H_4O$ ), 아세틸렌( $C_2H_2$ ), 히드라진( $N_2H_4$ ) 같은 분해성  
가스와 디아조화합물 같은 자기분해성 고체류는 분해하면서 폭발하며  
이는 단독으로 가스가 분해하여 폭발하는 것이다

# 폭발

- 폭발과정에 의한 분류

- 화학적 폭발

- 3) 중합폭발

- 중합해서 발생하는 반응열을 이용해서 폭발하는 것으로 초산비닐, 염화비닐 등의 원료인 모노머가 폭발적으로 중합되면 격렬하게 발열하여 압력이 급상승되고 용기가 파괴되는 폭발을 일으키는 경우가 자주 있다.
      - 중합폭발을 하는 가스로는 시안화수소(HCN), 산화에틸렌(C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>O) 등이 있다.
      - 반응중지제 준비
      - 또한 한 장소에 장시간 저장 금지

# 폭발

- 폭발과정에 의한 분류

- 화학적 폭발

- 4) 촉매폭발

- 촉매에 의해서 폭발하는 것으로 수소(H<sub>2</sub>)+산소(O<sub>2</sub>),  
수소(H<sub>2</sub>)+염소(Cl<sub>2</sub>)에 빛이 쬐일 때 등에 일어난다.

# 폭발

## ■ 폭발방지

- 2차 폭발을 방지하기 위하여 분체를 다루는 장치는 가능한한 옥외에 설치하여야 한다. 단, 옥내에 설치된 경우는 폭발생성물이 옥외로 배출 되도록 해야 한다.
- 분체를 취급하는 주격은 접지된 금속주격을 사용하여 정전기 발생으로 인한 방전을 예방하여야 한다.
- 진공청소기를 사용할 때는 모든 금속부분이 접지된 방폭용을 사용해야 한다.
- 배관속에 분진이 누적되는 것을 방지하기 위하여 이동속도를 **20m/sec** 이상 유지해야 한다.
- 불필요한 금속조각이 분쇄기에 들어가지 않도록 해야 한다.
- 혼합가스 생성방지
- 방폭구조로된 시설 설치

# 불꽃

- 연소불꽃의 색상

- 연물질의 완전연소시에는 공기의 공급량이 충분하기 때문에 연소불꽃은 흰색으로 나타나고 보통 불꽃온도는  $1500^{\circ}\text{C}$ 에 이르게 되며 금속이 탈때는  $3000^{\circ}\text{C}$ 내지  $3500^{\circ}\text{C}$ 에 이른다. 그러나 공기중의 산소의 공급이 부족하면 연소불꽃은 담암적색에 가까운 색상을 나타내며 생성물인 일산화탄소를 많이 발생하여 사람이 마시면 혈액 속에 들어있는 헤모글로빈과 결합으로 질식사하게 된다.

# 불꽃

연소불꽃의 색	온도(°C)	연소불꽃의 색	온도(°C)
암 적 색	700	황 적 색	1100
적 색	850	백 적 색	1300
휘 적 색	950	휘 백 색	1500이상

# 불꽃

- 가연물질의 연소온도

- 연소의 온도는 가연 물질의 조건에 따라 달라진다고 할 수 있으나 대체로 다음과 같은 온도를 가진다.

연소물질	온도(도)	연소물질	온도(도)
담배불꽃	550-650	알코올	1700
내화화재	900-1100	가스불꽃	1800
목재화재	1100-1300	전구필라멘트	2100
촛불	1300-1400	전기용접 불꽃	3000-4000
복합화재	1500-1800	아세틸렌 불꽃	3300

Q & A