

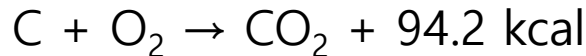
연소 란?

1. 연소의 개요

1) 연소의 정의

가연물이 공기 중의 산소 또는 산화제와 반응하여 열과 빛을 발생하면서 산화하는 현상(산화 반응과 발열반응이 동시에 일어나는 경우이며, 연소 속도는 산화속도와 같은 의미)

① 완전 연소



② 불완전 연소

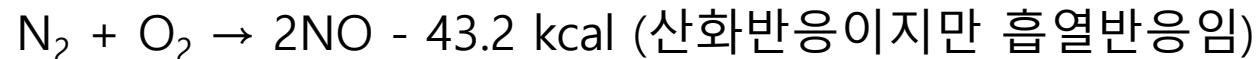


③ 연소라고 볼 수 없는 경우

철이 녹스는 경우



질소 산화물이 생성되는 경우



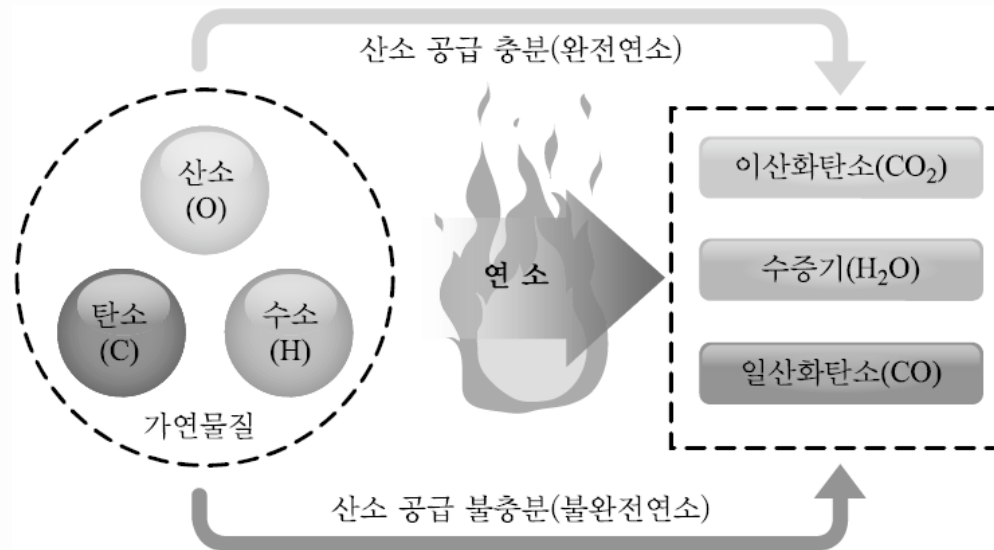
④ 탄화수소의 연소(CO_2 와 H_2O 생성)

완전 연소의 경우에는 탄산가스와 물이 생성되며, 불완전 연소의 경우 일산화탄소와 수소가 생성

완전 연소와 불완전 연소

완전연소 – 가연성분이 전혀 없는 상태(더 이상 탈 것이 없는 상태)

불완전연소 – CO, H₂, C 등의 가연성 성분이 남아 있는 상태



■ 그림 11-3 ■ 완전연소와 불완전연소

물질의 위험성

비점이 낮아질수록 위험

융점이 낮아질수록 위험

점성이 낮아질수록 위험

비중이 낮아질수록 위험

2) 연소의 양상

연소는 대체로 불꽃연소와 표면연소의 두 가지 양상으로 분류

표면연소는 고체 상태의 표면에 산소가 공급되어 연소가 발생

불꽃연소는 고체가 용해 후 증발, 액체가 증발하거나, 기체에 산소가 공급되어 연
쇄반응을 일으키는 현상

3)연소 불꽃의 색상

■ 표 11 - 1 ■ 연소불꽃의 색상에 따른 온도

연소불꽃의 색	온도(°C)
암적색	750
적 색	850
휘적색	950

연소불꽃의 색	온도(°C)
황적색	1,100
백적색	1,300
휘백색	1,500 이상

2. 연소의 용어정의

1) 인화점(점화원 있음)

가연성 증기를 발생하는 액체, 고체와 공기가 혼합되어 불꽃이 닿았을 때 연소가 일어나는데 필요한 최저의 온도

2) 발화점(점화원 없음)

외부의 직접적인 점화원이 없이 가열된 열의 축적에 의하여 발화가 되고 연소가 되는 최저의 온도

3) 연소점

연소상태가 계속될 수 있는 온도를 말하며 일반적으로 인화점보다 대략 10°C 정도 높은 온도로서 연소상태가 5초 이상 유지될 수 있는 온도

최저온도로서 인화점 < 연소점 < 발화점의 위치를 차지

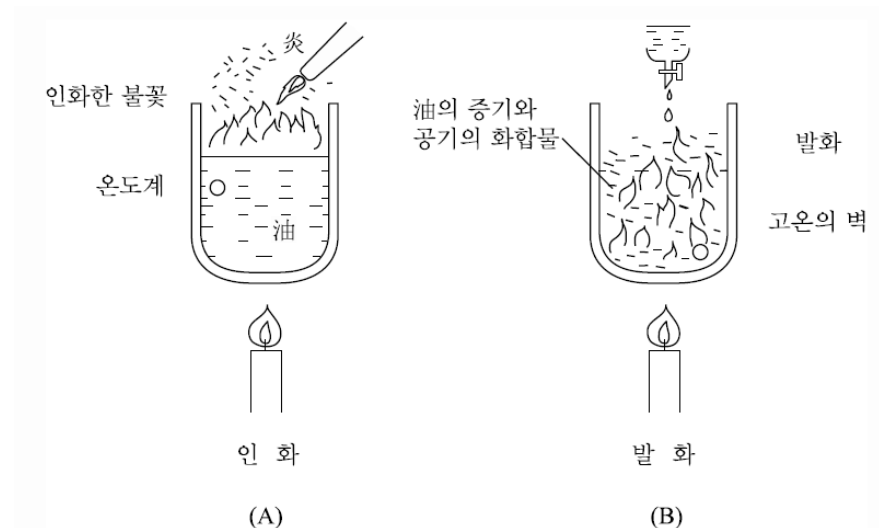


그림 11-1 인화와 발화의 차이

➤ **발화점이 달라지는 요인**

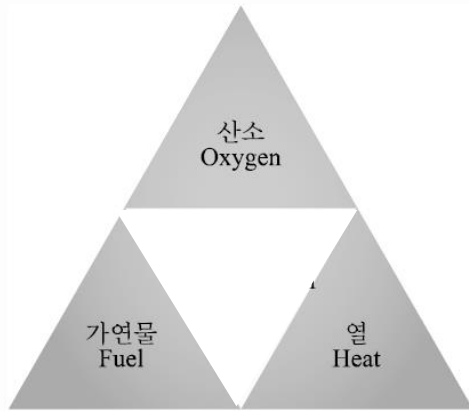
- ✓ 가연성 가스와 공기와의 혼합비
- ✓ 발화를 일으키는 공간의 형태와 크기
- ✓ 가열 속도와 가열 시간
- ✓ 용기벽의 재질과 촉매
- ✓ 점화원의 종류와 에너지 투입 방법

➤ **발화점이 낮아지는 경우**

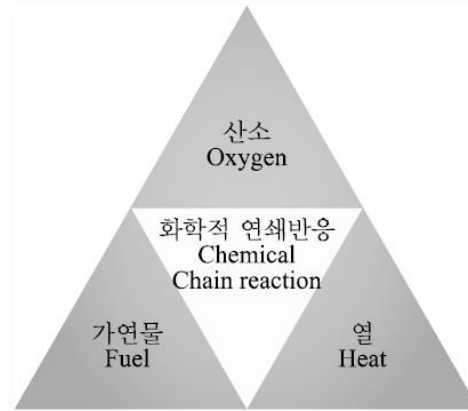
- ✓ 압력이 높을 때
- ✓ 발열량이 클 때
- ✓ 산소의 농도가 클 때
- ✓ 산소와 친화력이 좋을 때
- ✓ 증기압이 낮을 때
- ✓ 습도가 낮을 때
- ✓ 분자 구조가 복잡할 때
- ✓ 반응 활성도가 클 때

연소의 구비 조건

연소의 3요소와 연소의 4요소



[연소의 3요소]



[연소의 4요소]

- ㉠ 가연물 : 연소가 일어나려면 발열 반응을 일으키는 것
- ㉡ 조연물 : 가연물을 산화시키는 것
- ㉢ 점화원 : 가연물과 조연물을 활성화시키는데 필요한 에너지
- ㉣ 순조로운 연쇄 반응

위험물과 연소의 4요소

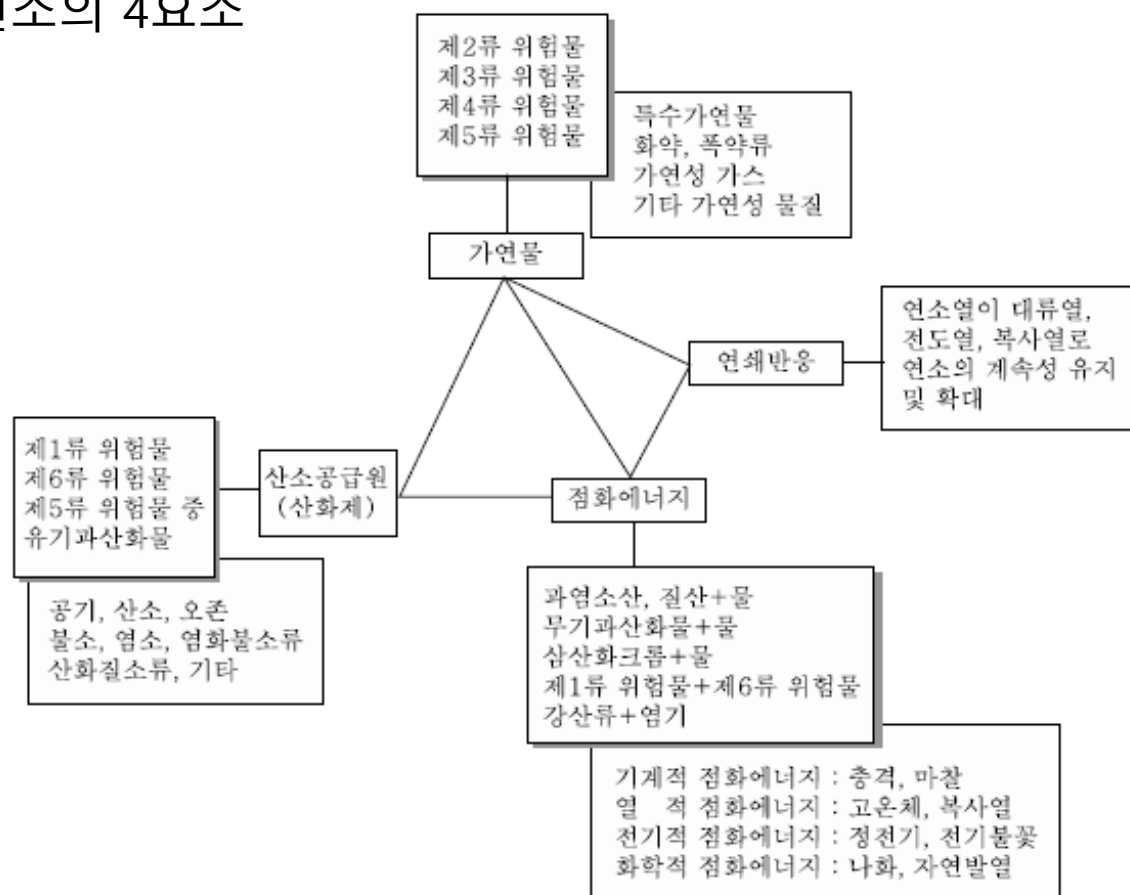


그림 8 위험물과 연소 4요소의 관련성

제2류 위험물(가연물) + 제1류 위험물(산화제) + [무기과산화물 + 물](점화에너지) 형태라면 외부에서 점화에너지의 지원 없이도 연소

㉑가연물 : 산화 작용을 일으킬 수 있는 모든 물질

*** 가연물의 조건**

가연물이 되기 쉬운 조건	가연물이 될 수 없는 경우
• 산소와의 친화력이 클 것 - 화학적 활성이 강할 것 • 열전도율이 적을 것 • 산소와의 접촉 면적이 클 것 - 표면적이 클 것 • 발열량(연소열)이 클 것 • 활성화 에너지가 적을 것 - 발열 반응을 일으키는 물질 • 건조도가 좋을 것 - 수분의 함유가 적을 것	• 주기율표상 0족 원소(비활성원소) - He, Ne, Ar, Kr, Xn, Rn 등 • 이미 산소와 화합하여 더 이상 화합할 수 없는 물질 - CO_2, P_2O_5, Al_2O_3, SO_3 • 산화반응은 일어나지만 발열반응 물질이 아닌 경우(흡열반응) - 질소 또는 질소화합물

㉔ **조연물(지연물)** : 연소는 산화반응이므로 가연물이 산소와 결합
즉 다른 물질의 산화를 돕는 물질

공기/산화제(제1류, 제 6류 위험물) / 자기 반응성 물질(제 5류 위험물)

㉕ **점화원** : 가연물을 연소시키는데 필요한 에너지원으로서 연소 반응에 필요한
활성화 에너지를 부여하는 물질

에너지의 종류	종 류
화학적 에너지원	연소열, 자연발화, 분해열, 용해열
전기적 에너지원	저항열, 유도열, 유전열, 정전기열(정전기 불꽃), 낙뢰 에 의한 열, 아크열(전기불꽃에너지)
기계적 에너지원	마찰열, 마찰 스파크열(충격열), 단열 압축열
원자력 에너지원	핵분열 열, 핵융합 열

* 점화원이 되지 못하는 것 → 기화열(증발 잠열), 온도, 압력, 중화열

4) 연소의 난이성

- 산화되기 쉬운 것일수록 연소하기 쉽다
- 산화와의 접촉 면적이 클수록 연소하기 쉽다.
- 발열량이 큰 것일수록 연소하기 쉽다.
- 열전도율이 작은 것일수록 연소하기 쉽다.
- 건조제가 좋은 것일수록 연소하기 쉽다.

5) 정상연소와 비정상연소

① 정상연소(화재)

연소로 인한 열의 발생 속도와 확산 속도가 평형을 유지하면서 정상적으로 연소하는 형태

② 비정상 연소(폭발)

연소로 인한 열의 발생 속도가 확산 속도를 능가하여 일어나는 연소 형태

연소 형태

연소 형태	연소 종류	예
기체	확산연소	아세틸렌, LPG, LNG 등 가연성 기체
액체	증발연소	휘발유, 등유, 에테르 등 가연성 액체
고체	표면연소	숯, 목탄, 코크스, 금속분
	증발연소	유황, 파라핀, 나프탈렌, 왁스
	분해연소	석탄, 목재, 플라스틱, 종이 등
	자기(내부)연소	질화면, 셀룰로이드, 니트로글리세린 등 제 5류 위험물 등

①기체의 연소(발염 연소, 확산 연소)

가연성 기체와 공기의 혼합 방법에 따라 확산 연소와 혼합 연소로 구분

- 확산연소(불균질 연소) : 불꽃은 있으나 불티가 없는 연소
- 혼합연소: 가연성 기체를 공기와 혼합시켜 놓고 연소하는 방식

②액체의 연소(증발 연소)

액체 표면에서 발생한 가연성 증기가 착화되어 화염을 발생시키고 이 화염의 온도에 의해 액체의 표면이 더욱 가열되면서 액체의 증발을 촉진시켜 연소를 계속해 가는 형태의 연소

③고체의 연소

표면연소 : 열분해에 의해 가연성 가스를 발생시키지 않고 그 자체가 연소하는 형태(즉, 가연성 고체가 열분해하여 증발하지 않고 고체의 표면에서 산소와 직접 반응하여 연소하는 형태) 예) 숯, 목탄, 코크스, 금속분(아연분) 등

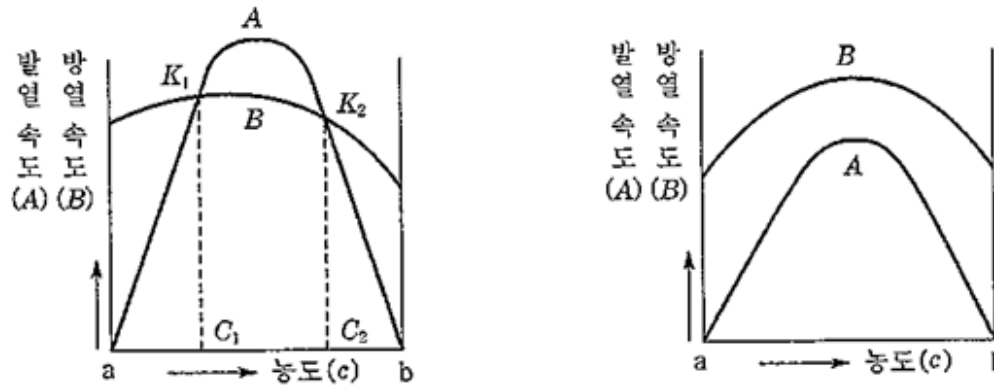
분해연소 : 가연성 고체에 충분한 열이 공급되면 가열 분해에 의하여 발생된 가연성 가스가 공기와 혼합되어 연소하는 형태 예)목재, 석탄, 종이, 플라스틱 등

증발연소 : 고체 가연물을 가열하면 열분해를 일으키지 않고 증발하여 그 증기가 연소되거나 열에 의해 상태 변화를 일으켜 액체가 된 후 어떤 일정한 온도에서 발생된 가연성 증기가 연소하는 형태 예) 유황, 나프탈렌, 장뇌, 파라핀, 고급 알콜 등

내부(자기)연소 : 가연성 고체 물질이 자체 내에 산소를 함유하고 있거나 분자 내의 니트로기와 같이 쉽게 산소를 유리할 수 있는 기를 가지고 있어 외부에서 열을 가하면 분해되어 가연성 기체와 산소를 발생하게 되므로 공기 중의 산소를 필요로 하지 않고 그 자체의 산소에 의해 연소하는 형태

예) 질산에스테르류, 니트로 화합물 과 같은 제 5류 위험물 등

연소 범위(연소한계, 폭발범위, 폭발 한계, 가연범위, 가연한계)



Ⅱ 가연성 혼합기의 발열 속도와 방열 속도의 변화 관계 Ⅱ

발열속도(A)가 방열속도(B)보다 클 때의 혼합 비율($C_1 \sim C_2$)에서만 연소가 발생
 연소 하한 (C_1 , LEL) : 공기 등 지연성 가스의 양은 많으나 가연성 가스의 양이 적어 연소가
 전파 또는 지속될 수 없는 한계치
 연소 상한(C_2 , UEL) : 가연성 가스의 양이 많으나 공기 등의 지연성 가스 양이 적어 연소가
 전파 또는 지속될 수 없는 한계치

연소 범위에 영향을 주는 인자

온도 : $T \uparrow \rightarrow \text{LEL} \downarrow, \text{UEL} \uparrow$, 연소범위가 넓어짐

압력 : $P \uparrow \rightarrow \text{LEL}$ 일정, $\text{UEL} \uparrow$, 연소범위가 넓어짐

농도 : 산소 농도가 증가할수록 $\text{UEL} \uparrow$, 연소범위가 넓어짐

화재의 위험성이 증가하는 이유

발화점이 낮아지고 인화점이 낮아질수록 폭발 하한 값이 작아지고

폭발 범위가 넓어질수록, 주변온도가 높을수록, 산소농도가 높을수록