


# 액체 이산화탄소 폭탄은 기온에 얼마나 영향을 줄 것인가?



2007 - 10897 김왕호  
2007 - 10898 김국화  
2007 - 10899 김민정

# 목적

- 지금까지 배워온 지식들의 활용
- 다양한 경우에 열역학을 적용



# 기본적인 가정

- 이산화탄소 폭탄은 폭발 시 충격파를 만들지 않는다.
- 대기는 항상 1기압을 유지하고 있음
- 액체 이산화탄소는 모두 즉시 기체가 된다.



# 액체이산화탄소 폭탄

- 쉬운 계산을 위하여 일정 부피만을 상정함. ( $1\text{m}^3$ )
- $223\text{K}$ ,  $6.7\text{atm}$ 으로 냉각 압축한 이산화탄소 폭탄을 가정.
- 폭발 시 액체 이산화탄소가 공기 중  
에 고르게 퍼짐



# 조사 중에 가정한 이산화탄소 폭탄의 폭발과정

1. 외벽이 사라지면서 압력이 감소
2. 일정 기압에서 액체가 기체로 바뀜
3. 기체의 단열팽창



# 1. 압력의 감소

- 압력이 감소할 때의 온도변화는  
없다고 가정

$$\frac{dT}{dp} = 0$$



## 2. 기화

- 기화는 압력변화에 의해 강제적으로 일어나기 때문에 주변(대기)으로부터 에너지흡수

$$\delta Q = m_{CO_2} \times l_{CO_2}$$

$$l_{CO_2} = l_{0,CO_2} - (C_{p,CO_2} - C_{v,CO_2})(T_0 - T)$$



### 3. 단열팽창

- 가정에 의하여 1 기압이 될 때까지 팽창한다고 생각함.

$$Tp^{\frac{1-\gamma}{\gamma}} = \text{Constant}$$
$$\gamma = \frac{c_p}{c_v}$$

- 이산화탄소 기체에 대해





# 폭발 이후

- 이산화탄소가 주변 공기와 섞임
- 이때 이산화탄소 물수의 10배 만  
크의 공기와 혼합한다고 가정하고  
주변의 변화를 가정



# 폭발에 의한 기온 감소

1. 기화에 필요한 에너지 = 주변대기  
에서 뺏기 는 에너지  $\rightarrow$  기온 감소

2. 이산화탄소와 섞이며 기온 감소



$$\delta Q = l_{CO_2} m_{CO_2} = c_p m_{atm} (T_f - T_0)$$

$$m_{CO_2} c_{p, CO_2} dT + m_{atm} c_{pd} dT = 0$$

$$m_{CO_2} c_{p, CO_2} (T - T') + m_{atm} c_{pd} (T - T_f) = 0$$

$$T = \frac{m_{CO_2} c_{p, CO_2} T' + m_{atm} c_{pd} T_f}{m_{CO_2} c_{p, CO_2} + m_{atm} c_{pd}}$$



## 실제 적용 - 계산하기

### 이산화탄소의 경우

$$V=1 \text{ (m}^3 \text{ )}$$

$$\text{at } 248\text{K}, \rho=1153500 \text{ (kg/l)}$$

$$n=m/M=1.0526 \times 10^9 / 44 = 23922727.27$$

$$c_p = 0.037 \text{ kJ/(mol.K)}$$

$$c_v = 0.028 \text{ kJ/(mol.K)}$$



## 기화열 구하기

- $lv$  at 223=337kJ/kg

- 위의 계산은 증발 잠열의 변화가 수증기와 같은 방식인 것이라고 가정한 것입니다

- 액체 이산화탄소의 등압 비열은 0

In[81]:= 기화열 구하기

$lv_{223} = 80.55 * 4.186 * 1000$

$dQ = lv_{223} * m_{CO2}$

Out[83]=  $3.8894 \times 10^{14}$



## 단열과정

- 단열과정의 결과 드라이아이스가 되는 것을 알 수 있다(승화점 (194K) 아래로 떨어짐)
- 약  $-134$ 도씨.
- 이 과정을 막기 위해 일부의 이산화탄소가 드라이아이스가 되어야 한다

### 단열과정을 계산하자

```
gam = Cp / Cv  
kap = (gam - 1) / gam  
pi = 6.97  
p0 = 1  
tco2 = t0 (pi / p0) ^ (-kap)
```

```
Out[18]= 139.057
```



$$\delta Q = c_p (m_{CO_2} - dm) dT = dm \times l_{evp, CO_2}$$

$$dm = \frac{c_p m_{CO_2} dT}{c_p dT + l_{evp, CO_2}}$$

In[64]:= **고체로 되는 이산화탄소**

**tv = 194.5**

**vco2 = 5 713 000 000**

**dm = Cp \* mco2 \* (tv - tco2) / (vco2 + Cp \* (tv - tco2))**

Out[67]= 9413.31

약 214톤이 드라이아이스가 됨. 이때, 이산화탄소 가스의 온도는 섭씨 -78.5 도씨



## 주변 공기와의 혼합

- 드라이아이스가 된 양을 제외하고 계산

- $n = 26215909 - 213$   
 $= 26215687$

- 주변 공기는 위의 기열로 인하여 온도가 낮아져 있는 상태

$$n1 = (mco2 - dm) * 1000 / 44$$

In[57]:= **낮아진 공기의 기온**

$$Md = 28.97$$

$$cpd = 1004.64$$

$$md = Md * n1 / 100$$

$$tf = (cpd * md * ti - dQ) / (cpd * md)$$

Out[57]= 237.025





## ○ 그러므로 혼합된 공기의 기온은

In[37]:= 최종 기온

$$m = m_{CO2} - dm$$

$$t = (m * C_p * t_v + m_d * c_{pd} * t_f) / (C_p * m + m_d * c_{pd})$$

Out[39]= 232.226



# 결론

- 이산화탄소 폭탄이 터졌을 경우에 위에서 가정한 상황이라면 큰 기온감소를 보여준다.
- 이 기온 감소의 대부분의 원인은 이산화탄소가 기화할 때 흡수하는 에너지다.
- 그러나 실제로는 모든 액체가 순간적으로 기화하지도 않고, 수증기, 대류 등은 전혀 고려하지 않았으므로 위에서 구한 값보다는 기온감소가 적을 것이다.

