

# // 연소공학 //

## 1. 분자식

메탄  $\text{CH}_4$

아세틸렌  $\text{C}_2\text{H}_2$

에탄  $\text{C}_2\text{H}_6$

프로판  $\text{C}_3\text{H}_8$

부탄  $\text{C}_4\text{H}_{10}$

## 2. 공기의 특성 : 분자량 : 29

· 조성비

구분	산소	질소
중량비 (1kg 기준)	0.232	0.768
체적비 (1Nm <sup>3</sup> 기준)	0.21	0.79

공기비 (m) : 과잉공기 계수  $\rightarrow$  이론공기량에 대한 실제공기량의 비

$$m = \frac{\text{실제공기량}(A)}{\text{이론공기량}(A_0)} = \frac{A - A_0 + A_0}{A_0} = 1 + \frac{A - A_0}{A_0} = 1 + \frac{A_a}{A_0}$$

$$A_a (\text{과잉공기량}) = A - A_0 \quad [ \text{Nm}^3/\text{kg}, \text{Nm}^3/\text{Nm}^3 ]$$

이론보다 많다  
 $\rightarrow$  과잉공기량

\* m-1 : 과잉공기율

1. 배기가스 성분에 따른 공기비 (m) 계산

$\Rightarrow$  % 숫자 그대로 입력

$$\textcircled{1} \text{ 공기비}(m) = \frac{N_2}{N_2 - 3.76(O_2 - 0.5CO)}$$

유연연소 공기비 (m)  
 $\rightarrow$  COCKX

$$m = \frac{N_2}{N_2 - 3.76(O_2 - \frac{1}{2}CO)}$$

\* 완전연소시,  $H_2$ , CO 성분이 없거나 적은 경우 "CO = 0"

$\textcircled{2}$  탄산가스 최대치  $CO_{2max}$  에 의한 공기비 계산

$$\rightarrow \text{공기비}(m) = \frac{CO_{2max}}{CO_2}$$

$$CO_{2max} = \frac{21(CO_2 + CO)}{21 - O_2 + 0.395CO}$$

\* 완전연소시 "CO = 0"

• 이론 산소량 ( $O_0$ ): 연료를 산화하기 위한 이론적 최소 산소량

1. 고체 및 액체 연료

① 질량 ( $\text{kg}/\text{kg}$ ) 계산식

$$O_0 = 2.67C + 8\left(H - \frac{O}{8}\right) + S \quad [\text{kg}/\text{kg}]$$

② 체적 ( $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ) 계산식

$$O_0 = \left\{ 2.67C + 8\left(H - \frac{O}{8}\right) + S \right\} \times 0.7 \quad [\text{Nm}^3/\text{kg}]$$

$$\text{* 산소 분과 특성 : } \frac{22.4 \text{ Nm}^3}{32 \text{ kg}} = 0.7 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

2. 기체 연료 ( $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$ )

$$3. \text{ 산소 몰 분율} = \frac{\text{산소 몰 비}}{\text{공기 몰 비}}$$

2. 공기비 (m)가 클 때 (과잉공기량 증가) 나타나는 현상

- ① 연소온도 저하
- ② 배기가스에 의한 열손실 증가
- ③  $SO_x$  (무수화산)량의 증가로 저온부식 촉진
- ④ 고온에서  $NO_x$  발생이 심하여 대기오염 유발

3. 공기비 작을 때 (과잉공기량 감소) 나타나는 현상

- ① 미연소 연료에 의한 손실 증가
- ② 불완전 연소에 의한 매연 증가
- ③ 연소효율 감소
- ④ 미연 가스에 의한 폭발 사고의 위험성 증가

• 이론 공기량 ( $A_0$ ) : 이론 산소량 ( $O_0$ )를 공급하기 위한 최소한의 공기량으로

공기중의 산소의 무게로성과 몰적로성으로 구할 수 있다.

### 1. 고체 및 액체 연료

#### ① 중량 계산식

$$A_0 = \frac{O_0}{0.232} \quad [ \text{kg/kg} ]$$

\* 0.232 공기중 산소  
중량 조성비 23.2%

#### ② 체적 계산식

$$A_0 = \frac{O_0}{0.21} \quad [ \text{Nm}^3/\text{kg} ]$$

\* 0.21 공기중 산소  
체적 조성비 21%

$$= \frac{ \left\{ 2.67C + 8 \left( H - \frac{O}{8} \right) + S \right\} \times 0.9 }{0.21} \quad [ \text{Nm}^3/\text{kg} ]$$

### 2. 기체 ( $\text{Nm}^3/\text{Nm}^3$ )

• 실제 공기량 ( $A$ ) : 이론 산소량에 의해 산출된 이론 공기량 ( $A_0$ )을 연료와 혼합하여

실제 연소할 경우 완전 연소가 불가능하기 때문에 실제 공기량 이상의 공기를 공급해야 한다.

$$\bullet \text{ 실제 공기량 } (A) = \text{이론 공기량 } (A_0) + \text{과잉 공기량 } (A_a)$$

$$= m \times A_0$$

\* m: 공기비

## 연소가스량

### 1. 건 연소가스량

① 연소가스 중 수증기 발생량 ( $W_g$ )

가) 중량 계산식 ( $\text{kg/kg}$ )

$$W_g = 9H + W(\text{H}_2\text{O}) \quad [\text{kg/kg}]$$

나) 체적 계산식 ( $\text{Nm}^3/\text{kg}$ )

$$W_g = \frac{22.4}{18} \times (9H + W) \quad [\text{Nm}^3/\text{kg}]$$

\* 18:  $\text{H}_2\text{O}$  분자량

② 이론 건연소가스량 ( $G_{od}$ ) =  $G_{ow} - W_g$  [ $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ,  $\text{kg/kg}$ ]

$G_{ow}$ : 이론 습연소가스량

③ 실제 건연소가스량 ( $G_d$ ) =  $G_{od} + (m-1)A_0$  [ $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ,  $\text{kg/kg}$ ]

### 2. 이론 습연소가스량 ( $G_{ow}$ )

① 중량 ( $\text{kg/kg}$ ) 계산식

$$G_{ow} = (1 - 0.232)A_0 + 3.67C + 9H + 2S + N + W(\text{H}_2\text{O})$$

② 체적 ( $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ) 계산식

$$G_{ow} = (1 - 0.21)A_0 + 1.867C + 11.2H + 0.7S + 0.8H + 1.244W$$

3. 실제 습연소가스량 ( $G_w$ ) =  $G_{ow} + (m-1)A_0$

$G_{ow}$ : 이론 습연소가스량 [ $\text{kg/kg}$ ,  $\text{Nm}^3/\text{kg}$ ]

◦ 발열량

1. 고체, 액체 연료

① 고위 발열량 ( $H_H$ ) =  $8100C + 34200(H - \frac{O}{8}) + 2500S$  [kcal/kg]

② 저위 발열량 ( $H_L$ ) =  $8100C + 28800(H - \frac{O}{8}) + 2500S - \frac{600W}{1.20}$  [kcal/kg]

③ 저위 발열량과 고위 발열량의 관계

$H_H = H_L + 600 \times (9H + W)$  [kcal/kg] ↖ H<sub>2</sub>O

\* 저위 발열량 = 배기가스량 ( $G_w$ ) × 배기가스비열 × 이론 연소온도 (K)

2. 기체 연료

① 고위 발열량 ( $H_H$ ) = 저위 발열량 + H<sub>2</sub>O 잠열

H<sub>2</sub>O 잠열 { 증발기온 600 kcal/kg  
 체적기온 480 kcal/H<sub>2</sub>

\*  $\frac{Q_1 \times T_1}{P_1} = \frac{Q_2 \times T_2}{P_2}$

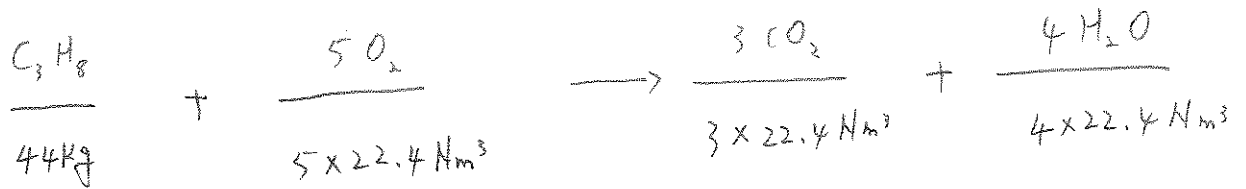
$Q_1, Q_2$  :  $P_{1,2}, T_{1,2}$  상태에서 저위 발열량

$T_{1,2}$  : ①, ② 상태에서 저위 발열량

$P_{1,2}$  : ①, ② 상태에서 저위 발열량

연소 반응식에 의한 이론 산소량, 이론 공기량

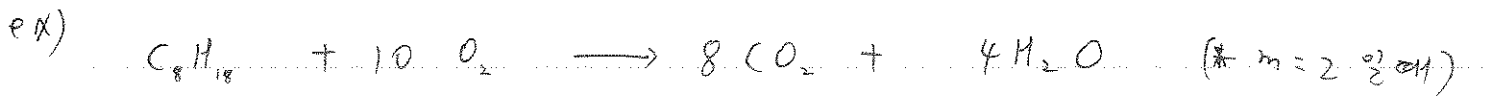
예) 프로판  $C_3H_8$



$$\textcircled{1} \text{이론 산소량 } (O_0) = \frac{5 \times 22.4}{44} = 2.545 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$

$$\textcircled{2} \text{이론 공기량 } (A_0) = \frac{\text{이론 산소량}}{0.21} = \frac{2.545}{0.21} = 12.12 \text{ Nm}^3/\text{kg}$$





• 이론 산소량 ( $O_0$ ) =  $10 \text{ m}^3 / \text{kg}$

• 이론 공기량 ( $A_0$ ) =  $\frac{O_0}{0.21} = \frac{10}{0.21} = 47.62 \text{ m}^3 / \text{kg}$

• 실제 공기량 ( $A$ ) =  $m \times A_0 = 2 \times 47.62 = 95.24 \text{ m}^3 / \text{kg}$

• 이론 배기가스량 ( $G_{0w}$ ) =  $(1 - 0.21) \times A_0 + CO_2 + H_2O$

=  $(1 - 0.21) \times 47.62 + 8 + 4$

=  $49 \text{ m}^3 / \text{kg}$

• 실제 배기가스량 ( $G_w$ ) =  $G_{0w} + (m - 1)A_0 = (m - 0.21)A_0 + CO_2 + H_2O$

=  $49 + (2 - 1) \times 47.62 = (2 - 0.21) \times 47.62 + 8 + 4$

=  $96.62 \text{ m}^3 / \text{kg} = 97.23 \text{ m}^3 / \text{kg}$

• 산소 물 부족률 =  $\frac{\text{산소량 } (O_0)}{\text{실제 흡연소가스량 } (G_w)} = \frac{10}{96.62} = 0.1034$

• 이론 건연소 가스량 ( $G_{0d}$ ) =  $(1 - 0.21) \times A_0 + CO_2$

=  $(1 - 0.21) \times 47.62 + 8 = 45.62 \text{ m}^3 / \text{kg}$

기타

$$1. \text{연료비} = \frac{\text{고정 연소} [\%]}{\text{회발분} [\%]}$$

$$\textcircled{1} \text{고정 연소} = 100 - (\text{수분} + \text{회분} + \text{회발분}) \quad [\%]$$

$$\textcircled{2} \text{수분} (w) = \frac{\text{갈량무게}}{\text{시료무게}} \times 100 \quad [\%]$$

$$\textcircled{3} \text{회분} (A) = \frac{\text{회화량}}{\text{시료무게}} \times 100 \quad [\%]$$

$$\textcircled{4} \text{회발분} (V) = \frac{\text{갈량무게}}{\text{시료무게}} \times 100 - \frac{\text{수분}(w)}{[\%]} \quad [\%]$$

$$2. \text{집진장치의 효율} (\eta_c) = \eta_m + \eta_p (1 - \eta_m)$$

$\eta_m$  : 주처리장치 효율,  $\eta_p$  : 전처리장치 효율

$$3. \text{API} = \frac{141.5}{\text{비중}} - 131.5$$

$\rightarrow 60^\circ\text{F}/60^\circ\text{F}$  기준

$$4. \text{AFR (공 연비)} = \frac{\text{이론공기량} (A_0)}{\text{연료량} (F_0)} = \frac{A_0}{F_0}$$