

# Gas 分析에 의한 流量計算

沈 龍 鎮

〈韓一시멘트 丹陽工場〉

## 1. 序

Rotary kiln line 에 intake 되는 air 量이나 燃燒 gas 量은 流量測定裝置(pitot tube)를 使用하여 實測하여온 것이 一般的인 傾向이다. 이중 燃燒 gas 量을 流量測定裝置로 實測치 않고 간단한 gas 分析에 의해 數式으로 算出하여 實測値와 比較코자 한다.

## 2. 計算實例

### 2.1 Bunker C oil 元素分析에 의한 理論 空氣量 및 理論 燃燒 gas 量 計算.

a) 理論 空氣量  $L_0$  Nm<sup>3</sup>/kg-oil

重油의 組成	反 應	mole 關係式	必要한 O <sub>2</sub> 量(Nm <sup>3</sup> /kg-oil)
C: 85.5%	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$1\text{kmole} + 22.4\text{Nm}^3 \rightarrow 22.4\text{Nm}^3$	$0.855 \times \frac{22.4}{12} = 1.596$
H: 11.3%	$(H - \frac{O}{8})_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	$1\text{kmole} + \frac{22.4\text{Nm}^3}{2} \rightarrow 22.4\text{Nm}^3$	$0.110 \times \frac{11.2}{2} = 0.616$
O: 2.7%	—	—	—
N: 0.2%	—	—	—
S: 0.3%	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	$1\text{kmole} + 22.4\text{Nm}^3 \rightarrow 22.4\text{Nm}^3$	$0.003 \times \frac{22.4}{32} = 0.002$
計 100.0%			O <sub>2</sub> 量=2.214Nm <sup>3</sup> /kg-oil

$$\begin{aligned} \therefore \text{理論空氣量 } L_0 &= 2.214 \times \frac{1}{0.21} \\ &= 10,538 \text{ Nm}^3/\text{kg-oil} \end{aligned}$$

b) 理論燃燒 gas 量  $G_0$  Nm<sup>3</sup>/kg-oil

重油의 組成	反 應	燃燒 gas 量(Nm <sup>3</sup> /kg-oil)
C: 85.5%	$C + O_2 \rightarrow CO_2$	$0.885 \times \frac{22.4}{12} = 1.596$
H: 11.3%	$H_2 + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow H_2O$	$0.113 \times \frac{22.4}{2} = 1.266$
O: 2.7%	—	—
N: 0.2%	—	$0.002 \times \frac{22.4}{28} = 0.002$
S: 0.3%	$S + O_2 \rightarrow SO_2$	$0.003 \times \frac{22.4}{32} = 0.002$
計 100.0%		理論空氣中 N <sub>2</sub> : $10.538 \times \frac{79}{100} = 8.325$
∴ 理論濕燃燒 gas 量 合計		11.191 Nm <sup>3</sup> /kg-oil

理論濕燃燒 gas 量  $G_{ow} = 11.191 \text{ Nm}^3/\text{kg-oil}$

∴ 理論乾 燃燒 gas 量  $G_{od} = 11.191 - 1.266$

$= 9.925 \text{ Nm}^3/\text{kg-oil}$

c) 理論乾燃燒 gas 量으로 理論 gas 分析值 計算

$$CO_2 = \frac{1.596}{9.925} \times 100 = 16.08\%$$

$$SO_2 = \frac{0.002}{9.925} \times 100 = 0.02\%$$

$$N_2 = \frac{8.327}{9.925} \times 100 = 83.90\%$$

100.00%

## 2.2 實際 gas 量 計算

sampling 日字: 76年 3月 11日 15.00時

clinker 生產量: 35 t/h

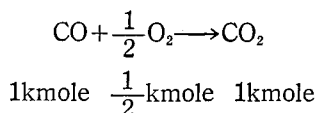
B.C oil 使用量: 3,820 l/h(110°C)

測定器具: Orsat gas 分析器

測定場所: kiln inlet, 1次排氣, 2次排氣

※ 測定結果 (dry base)

다음 表의 分析에서 檢出된 CO gas 를 完全 燃燒時의 容量百分率로 換算하면



3 시멘트 설포지움

gas	kiln inlet	1次排氣	2次排氣
CO <sub>2</sub>	21.2%	16.7%	13.6%
O <sub>2</sub>	1.0%	9.9%	12.7%
CO	1.8%	0.2%	0.1%
N <sub>2</sub>	76.0%	73.2%	73.6%
total	100.0%	100.0%	100.0%

즉 CO 1 kmole 을 消費하는데는  $\frac{1}{2}$  kmole 의 O<sub>2</sub> 가 必要하며 CO<sub>2</sub> 는 1 kmole 이 生成된다.  
위의 分析値에서 CO 를 完全燃焼로 하면 다음과 같다.

gas	kiln inlet	1次排氣	2次排氣
CO <sub>2</sub>	23.2%	16.9%	13.7%
O <sub>2</sub>	0.1%	9.8%	12.7%
CO	—	—	—
N <sub>2</sub>	76.7%	73.3%	73.6%
total	100.0%	100.0%	100.0%

※ 計算基準은 乾理論 gas 組成 %를 다음과 같은 gas 100 Nm<sup>3</sup> 로 한다.

CO <sub>2</sub> .....16.1%.....16.1 Nm <sup>3</sup>
N <sub>2</sub> .....83.9%.....83.9 Nm <sup>3</sup>
100.0%      100.0 Nm <sup>3</sup>

理論 燃焼 gas 中 水分 % 는

$$\frac{V_{H_2O}}{G_{OW}} \times 100 = \frac{1.266}{11.191} \times 100 = 11.3\%$$

2.2.1 kiln inlet gas

kiln inlet gas 分析値中

{ 原料에서 發生된 CO<sub>2</sub> 量 : x Nm<sup>3</sup>  
燃焼時 excess air 中 O<sub>2</sub> 量 : y Nm<sup>3</sup> } 라고 하면 아래 表와 같다.

16.1 + x = 0.232(100 + x + 4.76y).....①

y = 0.001(100 + x + 4.76y).....②

83.9 + 3.76y = 0.767(100 + x + 4.76y).....③

위 式의 連립방정식을 풀면

x = 9.40 Nm<sup>3</sup>      y = 0.11 Nm<sup>3</sup>

그러므로 kiln inlet gas 는 100 Nm<sup>3</sup> 理論

gas	Nm <sup>3</sup>	Vol %
CO <sub>2</sub>	16.1 + x	23.2%
O <sub>2</sub>	y	0.1%
N <sub>2</sub>	83.9 + $\frac{79}{21}y$	76.7%
計	100 + x + 4.76y	100.0%

gas 에 대하여 다음과 같다.

gas	理論 gas	原料의 CO <sub>2</sub> (x), excess air 中 O <sub>2</sub> (y)	kiln inlet gas 量
CO <sub>2</sub>	16.1 Nm <sup>3</sup>	9.40 Nm <sup>3</sup>	25.50 Nm <sup>3</sup>
O <sub>2</sub>	—	0.11 Nm <sup>3</sup>	0.11 Nm <sup>3</sup>
N <sub>2</sub>	83.9 Nm <sup>3</sup>	0.41 Nm <sup>3</sup>	84.31 Nm <sup>3</sup>
計	100.0 Nm <sup>3</sup>	9.92 Nm <sup>3</sup>	109.92 Nm <sup>3</sup>

### 2.2.2 1次 排氣 gas

1次 排氣中

原料에서 發生된 CO<sub>2</sub> 量 :  $x_1$  Nm<sup>3</sup>

leakage air 로 들어간 O<sub>2</sub> 量 :  $y_1$  Nm<sup>3</sup> 라고 하면

2.2.1 항과 같은 방법으로 계산하여 연립방정식을 풀때 다음과 같게 된다.

$$x_1 = 22.80 \text{ Nm}^3 \quad y_1 = 22.56 \text{ Nm}^3$$

100 Nm<sup>3</sup> 理論 gas 에 대하여

gas	理論 gas	$x_1, y_1$	1次 排氣 gas 量
CO <sub>2</sub>	16.1 Nm <sup>3</sup>	22.80 Nm <sup>3</sup>	38.90 Nm <sup>3</sup>
O <sub>2</sub>	—	22.56 Nm <sup>3</sup>	22.56 Nm <sup>3</sup>
N <sub>2</sub>	83.9 Nm <sup>3</sup>	84.83 Nm <sup>3</sup>	168.73 Nm <sup>3</sup>
計	100.0 Nm <sup>3</sup>	130.19 Nm <sup>3</sup>	230.73 Nm <sup>3</sup>

### 2.2.3 2次 排氣 gas

2次 排氣中

原料에서 發生된 CO<sub>2</sub> 量 :  $x_2$  Nm<sup>3</sup>

leakage air 로 들어간 O<sub>2</sub> 量 :  $y_2$  Nm<sup>3</sup> 라고하면

2.2.1 항과 같은 방법으로 계산하여 연립방정식을 풀때 다음과 같게 된다.

$$x_2 = 28.36 \text{ Nm}^3, \quad y_2 = 41.22 \text{ Nm}^3$$

100 Nm<sup>3</sup> 理論 gas 에 대하여

gas	理論 gas	$x_2, y_2$	2次 排氣
CO <sub>2</sub>	16.1 Nm <sup>3</sup>	28.36 Nm <sup>3</sup>	44.46 Nm <sup>3</sup>
O <sub>2</sub>	—	41.22 Nm <sup>3</sup>	41.22 Nm <sup>3</sup>
N <sub>2</sub>	83.9 Nm <sup>3</sup>	154.99 Nm <sup>3</sup>	238.89 Nm <sup>3</sup>
計	100.0 Nm <sup>3</sup>	224.57 Nm <sup>3</sup>	324.57 Nm <sup>3</sup>

## 2.3 2次 排氣의 實際 gas 量 計算

2.2 項에서 測定分析된 理論乾燃燒 gas 를 給合하면 다음과 같다.

gas	乾 理 論 gas(Nm <sup>3</sup> )	kiln inlet (Nm <sup>3</sup> )	1 次 排 氣 (Nm <sup>3</sup> )	2 次 排 氣 (Nm <sup>3</sup> )
CO <sub>2</sub>	16.1	25.50	38.90	44.46
O <sub>2</sub>	0.0	0.11	22.56	41.22
N <sub>2</sub>	83.9	84.31	168.73	238.89
計		109.92	290.19	324.57
原料에서 發生된 CO <sub>2</sub> excess 및 leakage air		9.40 0.52	22.80 107.39	28.36 196.21

理論 乾 燃 燒 gas 量  $G_{od}=9.925 \text{ Nm}^3/\text{kg-oil}$  [(2.1. b) 항]

B.C oil 使用量 3,820 l/h at 110°C

B.C oil 比重 0.914 kg/l at 110°C

2次排氣量  $G_{II} \text{ Nm}^3/\text{h}$

1) 理論 乾燃燒 gas 量  $G_{od}(\text{Nm}^3/\text{h})$

$$G_{od}=9.925 \text{ Nm}^3/\text{kg-oil} \times 3,820 \text{ l/h} \times 0.914 \text{ kg/l}=34,653 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

2) 原料에서 發生되는 CO<sub>2</sub> gas 量  $V_{CO_2}(\text{Nm}^3/\text{h})$

$$V_{CO_2}=G_{od} \times \frac{28.36}{100}=34,653 \times 0.2836=9,828 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

3) leakage air (excess air 포함) 量  $V_{air}(\text{Nm}^3/\text{h})$

$$V_{air}=G_{od} \times \frac{196.21}{100}=34,653 \times 1.9621=67,993 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

4) 燃料(B.C oil)에서 發生된 H<sub>2</sub>O vapor 量  $V_{H_2O}(\text{Nm}^3/\text{h})$

$$V_{H_2O}=G_{od} \times \frac{11.3}{100}=34,653 \times 0.113=3,916 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

5) 原料에서 發生된 H<sub>2</sub>O vapor,  $R_{H_2O}(\text{Nm}^3/\text{h})$

$$R_{H_2O}=35,000 \times 1.54 \times 0.125 \times \frac{22.4}{18}=8,384 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

$$\text{計 } G_{II}=G_{od}+V_{CO_2}+V_{air}+V_{H_2O}+R_{H_2O}=124,774 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

2次排氣中 水分 % 는

$$\frac{V_{H_2O}+R_{H_2O}}{G_{II}} \times 100 = \frac{3,916+8,384}{124,774} \times 100 = 9.86 \%$$

2次排氣 gas 量 $G_{II}$	Nm <sup>3</sup> /h	%	備 考
1. 理論 乾燃燒 gas( $G_{od}$ )	34,653	27.78	} 9.86%
2. 原料에서 發生되는 CO <sub>2</sub> ( $V_{CO_2}$ )	9,828	7.88	
3. excess 및 leakage air ( $V_{air}$ )	67,993	54.49	
4. 燃料燃燒에서의 H <sub>2</sub> O( $V_{H_2O}$ )	3,916	3.14	
5. 原料에서 發生된 H <sub>2</sub> O( $R_{H_2O}$ )	8,384	6.72	
計	124,774	100.00	

### 3. 實測値와 計算値比較

2次 排氣 gas 量에 pitot tube 를 使用하여 測定한 實測値와 gas 分析에 의한 計算値를 比較하면 다음과 같다.

(단위 : Nm<sup>3</sup>/h)

測定回數	1 次	2 次	3 次	4 次	平 均	備 考
實 測 値	131,040	126,330	125,500	119,620	125,620	實測値와의 차이
計 算 値	123,576	120,590	124,774	114,482	120,860	-4,760(3.8%)

### 4. 結 論

流量 測定裝置를 使用한 實測値와 gas 分析値를 利用한 計算値 차이는 무시할 정도이다. 이 差異는 實測時 測定 誤差와 B.C oil 元素分析値 적용 差異에서 오는 것으로 생각된다.