

NSP 키른에서 일어나는 諸現象의 解析

李 相 淳 譯

高麗大學校 化學工學科 專任講師

시멘트의 새로운 生産技術로서 NSP 키른시스템(表-1)이 최근 日本, 西獨 등에서 開發되어 현재 이를 이용한 많은 플랜트가 稼動中이거나 新設中에 있다.

시멘트의 生産方式과 이에 의해 生産된 시멘트의 品質은 시멘트會社마다 다소 다르지만 대체로 共通點이 많다. 따라서 여기서 提示한 基礎實測資料는 어떠한 生産方式에 대해서도 共通的이라고 말할 수 있다.

〈表-1〉 NSP 키른시스템

名 稱	假 燒 獻 方 式	開 發 者
SF	Suspension Preheater & Flash Furnace	石川島播磨重工社 秩父セメント社
MFC	Mitsubishi Fluidized Calcinator System	三菱重工社 三菱鑛業セメント社
RSP	Reinforced Suspension Preheater	川崎 重工事 小野田セメント社
KSV	Kawasaki Spouted Bed & Vorex chamber	川崎重工社
PREPOL		Polysius 社

本 解設에서는 위의 NSP 키른시스템중 SF 키른시스템을 擇하여 키른과 煨燒爐의 運轉中에서의 實測値를 기조로 여기서 發生하는 現象의 内容과 이에 따르는 物質収支 및 熱量収支關係를 살펴보기로 한다.

1. 基礎가 되는 實測資料

(1) SF 키른시스템의 工程圖와 實測値

〈그림-1〉은 SF 키른시스템의 工程圖와 實測値를 나타낸 것이다.

(2) 시멘트의 原料와 그 物性

〈表-2〉는 시멘트原料의 原單位를 나타낸 것이고 〈表-3〉은 原料 各成分의 分解熱 및 生成熱을 提示한 것이다.

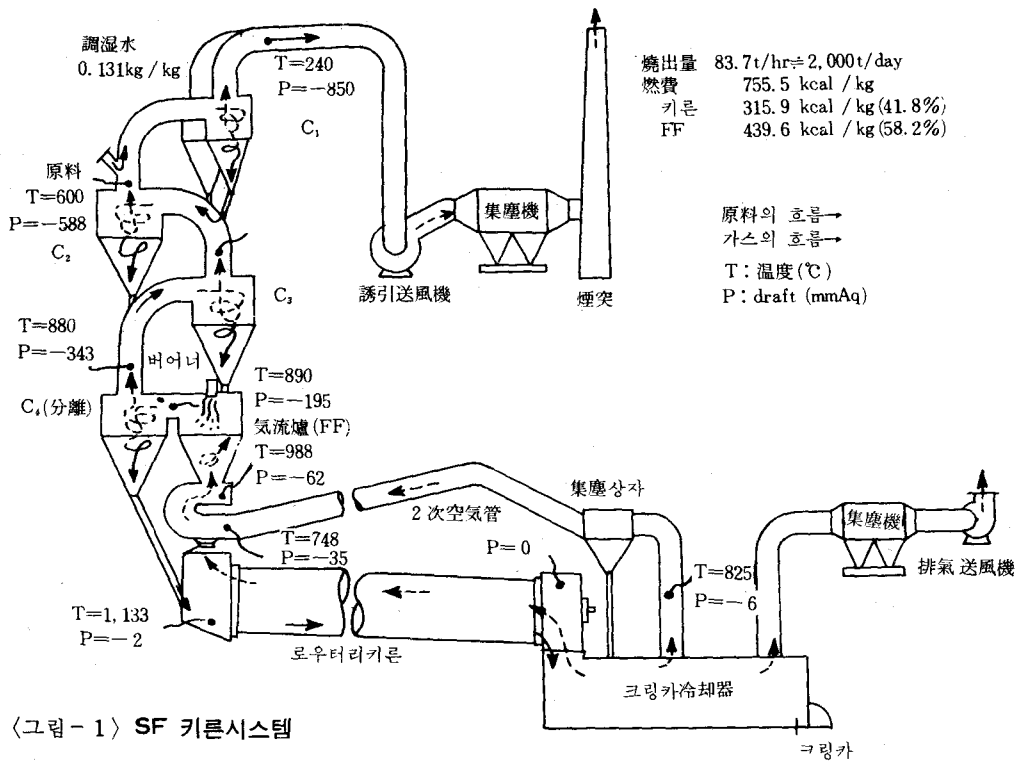
〈表-2〉로부터 다음과 같은 것을 알 수 있다.

① 乾燥原料 $W_D = 1.5410(t)$ 이 煨燒率 100% 로 煨燒되는 경우 CO_2 가 0.5171(t), 結晶水가 0.0239(t) 發生하고 나머지 1.000(t) 이 크링카의 素材가 되는데 이것이 燒成되어 크링카 1.000(t) 이 된다.

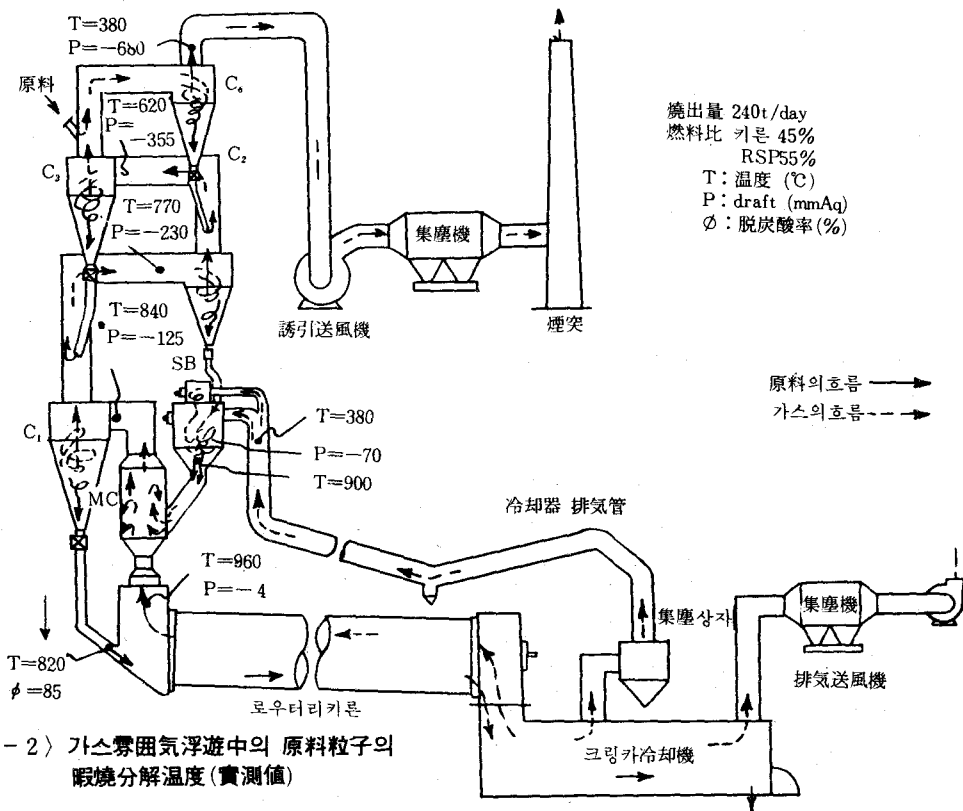
② 크링카 1.000(t) 의 素材成分은 SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , MgO 및 기타로 구분되는데 各成分의 重量은 〈表-2〉와 같다.

〈表-3〉으로부터는 다음과 같은 것을 알 수 있다.

① 石灰石 成分 $CaCO_3$ 이 CaO 와 CO_2 로 分解될 때의 分解率은 CaO Kg 當으로 나타내었고



〈그림-1〉 SF 키른시스템



〈그림-2〉 가스雰田氣浮遊中の 原料粒子的 假燒分解温度(實測値)

〈表-2〉 시멘트原料의 原單位(톤)(크링커 1톤當)

	W ₀	濕分	크링커素材 (1,000 t)					
			SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	其他
石灰石	1.2477	0.0216	0.0412	0.0150	0.0075	0.6563	0.0025	
粘土	0.1906	0.0191	0.1186	0.0366	0.0076	0.0008	0.0015	
軟硅石	0.0536	0.0008	0.0490	0.0017	0.0008	0.0004	0.0002	
鐵精礦	0.0207	0.0026	0.0062	0.0008	0.0140	0.0002	0.0002	
蛇紋岩	0.0284	0.0027	0.0112	0.0007	0.0024	0.0004	0.0096	
計	1.5410	0.0468	0.2262	0.0548	0.0323	0.6581	0.0140	0.0146

Ignition-loss	0.5410
發生하는 CO ₂	0.5171
發生하는 結晶水	0.0239

〈表-3〉 原料 各成分의 分解熱과 生成熱

	成分	熱量(kcal/kg)	
分解熱	MgO	⊖ 588	吸熱反應
	CaO	⊖ 714	"
	Al ₂ O ₃	⊖ 564	"
生成熱	CaO	⊕ 187	發熱反應
	MgO	⊕ 262	"
	Al ₂ O ₃	⊕ 159	"
	크링커	⊕ 100	"
	CaO·Fe ₂ O ₃	⊕ 87	"
	2·CaO·SiO ₂	⊕ 193	"
	2·CaO·Fe ₂ O ₃	⊕ 80	"
熱	3·CaO·Al ₂ O ₃	⊕ 77	"
	3·CaO·SiO ₂	⊕ 143.5	"

結晶水가 分解될 때의 分解率은 MgO와 Al₂O₃의 kg當으로 나타내었다.

② 分解에 의해 生成되는 CO₂와 結晶水, 燒成 工程에서 生成된 크링커, CaO, MgO, Al₂O₃ 및 其他의 各成分의 生成熱은 各成分의 kg當으로 나타내었다.

(3) 原料의 煨燒分解反應溫度

① 키른內에서의 煨燒分解浴度…… 原料는

키른內에서는 底部에 堆積하여 層別로 回轉運動과 移動運動을 하는데 層內의 原料粒子를 에워싼 CO₂의 分壓은 1기압이므로 原料의 溫度는 900℃이다.

② 煨燒爐內에서의 煨燒分解溫度…… 原料는 爐內의 가스霧圍氣中에서 單獨의 粒子群으로서 가스霧圍氣의 운동에 따라 浮遊旋回運動을 하는데 原料粒子를 에워싼 CO₂의 分壓은 일반적으로 150~230mmHg이므로 原料의 煨燒分解溫度는 약 800℃ 될 것이지만 實測値는 820℃이다. 〈그림-2〉에 시스템內 各部位에서의 實測溫度를 화살표로 나타낸다.

(4) 使用燃料인 C重油와 그 燃燒가스 및 排氣 가스의 組成

① C重油의 燃燒에 관련된 物性…… 〈表-4〉에 이 物性を 나타낸다. 이 物性は 여러 가지 便覽으로부터 引用한 것이다. C重油는 燃燒時 噴霧性を 좋게 하기 위해 미리 110℃로 豫熱시켜 버어너로 보내므로 이 때의 熱에너지 Q_{oil}은 다음과 같이 된다.

$$Q_{oil} = 9,760 + 0.55 \times 100 = 9,820 \text{ (Kcal/kg-oil)}$$

〈表-4〉 C重油의 燃燒 物性

比熱 (Kcal/kg°C) (50~200 °C 平均)		0.55
化學成分 Wt %	C	83.03
	H	10.48
	O	0.48
	N	0.29
	S	2.85
眞發熱量 (Kcal/kg)		9,760
理論空氣量 (Nm ³ /kg)		10.3
水分 (wt%)		0.8以下

이 Q_{oil} 값은 시멘트業界에서 일반적으로 사용되는 數値이다.

② 實裝置에서 發生되는 가스의 組成…… 實裝置內에서 發生되는 가스를 Orsat 가스分析計로 분석한 標準分析値는 <表-5>와 <表-6>과 같다.

<表-5> 最終排가스의 組成

氣	Vol %
CO ₂	33.9
O ₂	1.6
N ₂	64.5
CO	0.0

<表-6> 燃料의 燃燒가스의 組成

氣	Vol %
CO ₂	13.7
O ₂	2.1
N ₂	84.2
CO	0.0

[註] (1) N₂는 空氣中에 存在하는 A_r를 포함한다.
(2) CO₂는 가스中에 存在하는 SO₂를 포함한다.

2. 實裝置에 있어서의 燃料 C重油의 燃燒

2.1 燃燒가스 計算式

어떤 燃料가 <表-7>과 같은 組成의 燃燒用 空氣에 의해 燃燒될 때 基本的인 燃燒가스 計算式은 다음과 같다.

- 1 kg의 燃料를 完全燃燒하는 데 필요한 最小限의 理論酸素量(Nm³) O_o는,

$$O_o = 22.4(C/12 + h/4 + S/32 - 0/32)$$
(Nm³/kg)
- 1 kg의 燃料를 完全燃燒하는 데 필요한 最小限의 理論乾燥空氣量(Nm³) A_o는,

$$A_o = O_o / 0.2095$$
(Nm³/kg)

<表-7> 燃燒用 空氣의 基準組成 및 諸性質

標準容積組成% (乾燥空氣)	N ₂	O ₂	A _r	CO ₂
	78.09	20.95	0.93	0.03
相當分子量	28, 966			
가스定數	29.27 kg·m/kg·°K			
比重量	1,293 kg/Nm ³			
比容積	0.7733 Nm ³ /kg			
溫度	20°C			
濕度	0.011 kg·H ₂ O/kg·dry air			

- 1 kg의 燃料를 完全燃燒시키기 위해 실제 供給하는 乾燥空氣量(Nm³) A는,

$$A = \mu A_o$$
(Nm³/kg)

(1) 發生가스의 容積(Nm³/kg) (完全燃燒)

$$V_{O_2} = (\mu - 1) O_o$$

$$= \mu \times 0.2095 \times A_o - 0.2095 \times A_o$$

$$V_{N_2} = A \times 0.7809 + 22.4 \times n / 28$$

$$= \mu \times 0.7809 \times A_o + 22.4 \times n / 28$$

$$V_{A_r} = A \times 0.0093 = \mu \times 0.0093 \times A_o$$

$$V_{CO_2} = A \times 0.0003 + 22.4 \times c / 12$$

$$= \mu \times 0.0003 \times A_o + 22.4 \times c / 12$$

$$V_{SO_2} = 22.4 \times s / 32$$

$$V_{H_2O} = A \times 1.293 \times H_o \times 22.4 / 18 + 22.4 (h/2 + w/18)$$

$$= \mu \times 0.0177 \times A_o + 22.4 (h/2 + w/18)$$

∴ 發生가스 全体의 容積 V_t는;

$$V_t = (\mu \times 1.0177 - 0.2095) \times A_o$$

$$+ 22.4 (n/28 + c/12 + s/32 + h/2 + w/18)$$

∴ 發生 乾燥가스 全体의 容積 V_{ta}는;

$$V_{ta} = (\mu - 0.2095) \times A_o + 22.4 (n/28 + c/12 + s/32)$$

(2) 發生가스의 重量(kg/kg) (完全燃燒)

$$W_{O_2} = (\mu \times 0.2095 - 0.2095) \times A_o \times 32 / 22.4$$

$$= (\mu \times 0.2993 - 0.2993) \times A_o$$

$$W_{N_2} = (\mu \times 0.7809 \times A_o + 22.4 \times n / 28) \times 28 / 22.4$$

$$= \mu \times 0.9761 \times A_o + n$$

$$W_{A_r} = (\mu \times 0.0093 \times A_o) \times 40 / 22.4$$

$$= \mu \times 0.0166 \times A_o$$

$$W_{CO_2} = (\mu \times 0.0003 \times A_o + 22.4 \times c / 12) \times 44 / 22.4$$

$$= \mu \times 0.0006 \times A_o + 3.6667 \times c$$

$$W_{SO_2} = (22.4 \times s / 32) \times 64 / 22.4 = 2s$$

$$W_{H_2O} = \{ \mu \times 0.0177 \times A_o + 22.4 (h/2 + w/18) \} \times 18 / 22.4$$

$$= \mu \times 0.0142 \times A_o + 18 (h/2 + w/18)$$

∴ 發生가스 全体의 重量 W_t는,

$$W_t = (\mu \times 1.3068 - 0.2993) \times A_o$$

$$+ \{ (n + 3.6667c + 2s) + 18 (h/2 + w/18) \}$$

$w/18)$

∴ 發生 乾燥가스 全体の 重量 W_{td} 는,

$$W_{td} = (\mu \times 1.2926 - 0.2993) \times A_o + (n + 3.6667c + 2s)$$

한편 A_o 의 重量은 $A_{ow} = A_o \times 1.293$, A 의 重量은 $A_w = \mu \times A_o \times 1.293$ 로 표시된다.

여기서 c, h, o, n, s, w 는 燃料 1kg에 포함되어 있는 탄소, 수소, 산소, 질소, 황, 수분의 重量比를 나타내고 μ 는 燃燒用 空氣比(= A / A_o)를 나타낸다. 또, H_o 는 標準空氣의 標準湿度로서 $0.011\text{kg} \cdot \text{H}_2\text{O} / \text{kg} \cdot \text{dry air}$ 이다.

(3) 發生가스의 組成

容積 ($\text{Nm}^3 / \text{Nm}^3$) 重量 (kg/kg)
(乾燥가스基準)

$$\begin{aligned} O_2 &= V_{O_2} / V_t & O_2 &= W_{O_2} / W_{td} \\ N_2 &= V_{N_2} / V_t & N_2 &= W_{N_2} / W_{td} \\ A_r &= V_{A_r} / V_t & A_r &= W_{A_r} / W_{td} \\ CO_2 &= V_{CO_2} / V_t & CO_2 &= W_{CO_2} / W_{td} \\ H_2O &= V_{H_2O} / V_t & \text{湿度 } H &= W_{H_2O} / W_{td} \end{aligned}$$

이상과 같은 燃燒 가스量 計算에서 重量計算은 가스霧圍氣의 熱에너지, 容積計算은 裝置의 크기, 容量 등을 구하는 資料가 된다.

2.2 C重油 1kg當의 燃燒 發生가스의 組成과 諸性質

〈表-4〉와 같은 物性を 갖고 있는 C重油를 키른 또는 煨燒爐內에서 〈表-7〉과 같은 組成의 燃燒用空氣에 의해 燃燒시킬 때 必要空氣量 및 發生가스의 組成은 위의 燃燒計算式으로부터 곧 구할 수 있다. 여기서 C重油에 대해서는 〈表-4〉로부터 $c=0.8303$, $h=0.1048$, $o=0.0048$, $n=0.0029$, $s=0.0285$, $w=0.008$ 이다. 또, Orsat가스 分析計에 의한, 實裝置로부터의 가스分析에 따르면 實裝置에 있어서 C重油는 燃燒用空氣比 $\mu=1.105$ 로 燃燒된다. 따라서 이들 값을 위의 燃燒計算式에 代入하면 다음 〈表-8〉과 〈表-9〉와 같은 結果를 얻을 수 있다.

3. 키른 및 煨燒爐內의 霧圍氣가스

C重油가 實裝置內에서 燃燒用空氣比 $\mu=$

1.105로 燃燒될 때 發生하는 가스는 위의 〈表-8〉 및 〈表-9〉에서 나타낸 바와 같다. 여기서 키른 및 煨燒爐內에서 發生하는 霧圍氣 가스는 〈表-8〉의 값과 燃料使用量으로부터 구할 수 있다.

3.1 키른의 霧圍氣가스

$$\text{必要熱量} = 31.59 \times 10^4 \text{ (Kcal/t 크링카)}$$

$$\text{燃料使用量} = 31.59 \times 10^4 / 9,820 = 32.17 \text{ (kg/t 크링카)}$$

따라서 다음과 같이 된다.

(1) 燃料가 燃燒된 直後의 霧圍氣가스

〈表-8〉 C重油 1kg當의 燃燒 發生가스量

容 積 (Nm^3)		重 量 (kg)	
V_{O_2}	0.2260	W_{O_2}	0.3229
V_{N_2}	8.8686	W_{N_2}	11.0858
V_{A_r}	0.1056	W_{A_r}	0.1885
V_{CO_2}	1.5533	W_{CO_2}	3.0511
V_{SO_2}	0.0200	W_{SO_2}	0.0570
V_{H_2O}	1.3836	W_{H_2O}	1.1118
V_t	12.1571	W_t	15.8171
V_{td}	10.7735	W_{td}	14.7053

〈表-9〉 C重油 1kg當의 燃燒 發生가스의 組成과 諸性質

	容 積 組 成 (濕란 가스 V_t 基準)		重 量 組 成 (乾燥 가스 W_{td} 基準)	
	燃 燒 發 生 가 스	O_2	0.0186	O_2
N_2		0.7295	$N_2 + A_r$	0.7667
A_r		0.0087	CO_2	0.2074
CO_2		0.1278	SO_2	0.0039
SO_2		0.0016	湿度 H	0.0756
H_2O		0.1138		
燃燒用空氣比	$\mu=1.105$			
理論 空氣量	A_o (Nm^3)	10.28	A_{ow} (kg)	13.29
供給 空氣量	A (Nm^3)	11.35	A_w (kg)	14.68

〈表-10〉 燃料가 燃燒된 直後の 雲圍氣가스

容 積 (Nm ³)		重 量 (kg)	
V _{O₂}	0.2260×32.17= 7.2704	W _{O₂}	0.3229×32.17= 10.3877
V _{N₂}	8.8686× " =285.3029	W _{N₂}	11.0858× " =356.6302
V _{A₄}	0.1056× " = 3.3972	W _{A₄}	0.1885× " = 6.0640
V _{CO₂}	1.5533× " = 49.9697	W _{CO₂}	3.0511× " = 98.1539
V _{SO₂}	0.0200× " = 0.6434	W _{SO₂}	0.0570× " = 1.8339
V _{H₂O}	1.3836× " = 44.5104	W _{H₂O}	1.1118× " = 35.7666
V _t	391.0940	W _t	508.8361
V _{td}	346.5836	W _{td}	473.0695

(2) 排氣가스

原料는 圀內에서는 15% 정도 暇燒分解되므로 原料로부터 이에 相當하는 量의 CO₂ 및 結晶水 H₂O가 發生한다.

原料로부터 發生하는 CO₂, H₂O의 量은 다음과 같다.

$$CO_2 = 517.1 \times 0.15 = 77.5650 \text{ (kg/t 크링카)}$$

$$= 77.5656 \times 22.4/44 = 39.4876 \text{ (Nm}^3/\text{t 크링카)}$$

$$H_2O = (541 - 517.1) \times 0.15 = 3.5850 \text{ (kg/t 크링카)}$$

$$= 3.5850 \times 22.4/18 = 4.4613 \text{ (Nm}^3/\text{t 크링카)}$$

따라서 다음 〈表-11〉과 같이 된다. 이 排氣가스는 暇燒爐에 들어간다.

〈表-11〉 排氣가스

容 積 (Nm ³)		重 量 (kg)	
V _{O₂}	7.2704	W _{O₂}	10.3877
V _{N₂}	285.3029	W _{N₂}	356.6302
V _{A₄}	3.3972	W _{A₄}	6.0640
V _{CO₂}	89.4573	W _{CO₂}	175.7189
V _{SO₂}	0.6434	W _{SO₂}	1.8339
V _{H₂O}	48.9717	W _{H₂O}	39.3516
V _t	435.0429	W _t	589.9863
V _{td}	386.0712	W _{td}	550.6347

3.2 暇燒爐의 雲圍氣가스

$$\text{必要熱量} = 43.96 \times 10^4 \text{ (Kcal/t 크링카)}$$

$$\text{燃料使用量} = 43.96 \times 10^4 / 9,820 = 44.77 \text{ (kg/t 크링카)}$$

(1) 燃料가 燃燒된 直後の 雲圍氣가스

暇燒爐에서는 크링카 冷却器로부터 보내온 燃燒空氣比 $\mu=1.105$ 에 相當하는 空氣量과 圀內으로부터 보내온 排氣가스 〈表-11〉의 混合雲圍氣內에서 燃料가 燃燒된다. 이 경우 燃料의 燃燒化學反應은 크링카 冷却器로부터 보내어진 空기에 의하여 일어난다.

〈表-12〉의 燃燒가스가 〈表-11〉의 圀內의 排氣가스와 混合되어 燃燒直後の 分위기가스를 형성한다.

〈表-12〉 冷却器로부터의 空기에 의해 燃燒되어 發生하는 燃燒가스

容 積 (Nm ³)		重 量 (kg)	
V _{O₂}	0.2260×44.77=10.1180	W _{O₂}	0.3229×44.77= 14.4562
V _{N₂}	8.8686× " =397.0472	W _{N₂}	11.0858× " =496.3113
V _{A₄}	0.1056× " = 4.7277	W _{A₄}	0.1885× " = 8.4391
V _{CO₂}	1.5533× " = 69.5412	W _{CO₂}	3.0511× " =136.5977
V _{SO₂}	0.0200× " = 0.8954	W _{SO₂}	0.0570× " = 2.5519
V _{H₂O}	1.3836× " = 61.9438	W _{H₂O}	1.1118× " = 49.7753
V _t	544.2733	W _t	708.1315
V _{td}	482.3295	W _{td}	658.3562

〈表-13〉 燃料가 燃燒된 直後の 雲圍氣가스

容 積 (Nm ³)		重 量 (kg)	
V _{O₂}	17.3884	W _{O₂}	24.8439
V _{N₂}	682.3501	W _{N₂}	852.9415
V _{A₄}	8.1249	W _{A₄}	14.5031
V _{CO₂}	158.9985	W _{CO₂}	312.3166
V _{SO₂}	1.5388	W _{SO₂}	4.3858
V _{H₂O}	110.9155	W _{H₂O}	89.1269
V _t	979.3162	W _t	1,298.1178
V _{td}	868.4007	W _{td}	1,208.9903

(表-14) 燃料가 燃燒된 直後의 霧圍氣가스 組成

容 積 組 成 (濕한 가스 V_i 基準)		重 量 組 成 (乾燥가스 W_{ia} 基準)	
O_2	0.0178	O_2	0.0205
N_2	0.6967	$N_2 + A_r$	0.7176
A_r	0.0083	CO_2	0.2583
CO_2	0.1623	SO_2	0.0036
SO_2	0.0016	濕度 H	0.0737
H_2O	0.1133		

(2) 排氣가스

暇燒爐內에서의 原料의 暇燒率은 다음과 같은 理由로 명확하지 않기 때문에 排氣가스의 量, 組成 및 諸性質을 알 수 없다. 즉, (그림-1)의 SF 시스템에 나타낸 바와 같이 原料는 사이클론 C_3 으로부터 暇燒爐의 上部로 보내어진다. 이 경우 原料는 750°C 까지 溫度가 올라가는데 原料의 溫度와 사이클론 C_3 中에 있는 분위기가스內의 CO_2 分壓과의 關係로부터 原料는 아직 暇燒分解反應을 개시하지 않았음을 알 수 있다. 이 關係로부터 暇燒爐內에서의 溫度가 820°C 일 때 이 反應이 開始되는데 이 溫度에서 暇燒反應을 계속하면서 暇燒爐로부터 나와 사이클론 C_4 에 投入된다. 이 안에서 어느 정도의 暇燒分解反應을 행한 후에 溫度 820°C, 暇燒率 85% 로서 圀에 投入된다. 따라서 原料는 暇燒爐와 사이클론 C_4 에서 合計 85%의 暇燒率로 分解되므로 暇燒爐만에서의 暇燒率은 알 수가 없다.

4. 圀 및 暇燒爐內에서 일어나는 各種 現象의 追求와 解析

裝置內에서 原料를 處理目的에 알맞게 처리할 경우 原料의 物性과 그 組成, 처리될 때의 原料의 狀態, 處理工程中에 있어서의 熱源關係와 原料의 物性과 組成變化 등의 相關性을 충분히 사전에 調查하여 파악하지 않으면 안된다 또한 實裝置의 稼動中에서의 각종 現象 (熱源

關係는 물론 그때 그때 발생하는 여러가지 現象 등을 포함)을 되도록 상세히 追求하지 않으면 안된다.

4.1 圀에 대하여

圀에 대해서는 圀에 投入되는 原料의 量과 圀內에서의 受熱反應現象에 대하여 記述하기로 한다.

(1) 投入되는 原料의 量

圀에는 사이클론 C_4 으로부터 暇燒分解率 85%, 溫度 820°C 의 細粒 原料가 暇燒分解反應을 계속하면서 슈우트(chute)를 통하여 投入된다. 이 때 原料 粉末粒子群의 몇 %는 圀 排氣가스로 排出되는데 이것은 粉塵으로서 暇燒爐, S, P, 마지막에는 集塵機에 각각 捕集되어 다시 原料로서 裝置內로 投入된다. 그 結果 製品으로서의 크링카는 原料의 原單位대로 생산된다. 따라서 單位時間當 圀에 投入되는 原料의 量은 巨視的으로는 크링카에 대한 原料의 原單位대로의 量이라고 생각된다. 이 경우 粉塵으로서 排出되는 量은 완전히 무시할 수 있다. 즉 原料가 圀에 投入되는 量은 $(1541 - 541 \times 0.85)$ (kg/t 크링카)이다.

(2) 原料의 圀內에 있어서의 受熱反應現象

原料는 前術한 狀態에서 暇燒分解反應을 계속하면서 圀中에 投入되는데 投入되는 場所의 霧圍氣溫度가 가령 1,133°C 와 같은 高溫에 있어서도 投入된 粒子 原料는 가스 霧圍氣中에 浮遊되어 있다가 곧 圀 內壁底面에 沈積하고 이 堆積層이 圀의 回轉에 따라 운동을 시작한다. 따라서 原料層의 內部에 있는 粒子群에 대하여 原料層으로서의 質量效果(mass effect)가 작용하고, 粒子群을 에워싸고 있는 CO_2 의 分壓이 곧 上昇한다. 따라서 이 때문에 暇燒分解反應이 停止한다. 그 후는 高溫의 熱가스와 爐壁으로부터 原料粒子層이 熱을 받아 溫度만 이 820°C 以上으로 올라가는데 이 溫度는 原料

層内の 粒子群을 에워싸고 있는 CO₂의 分壓 1 kg/cm²에 相當한 分解反應溫度가 900°C 까지 올라간다. 그 다음에는 다시 旺盛한 假燒分解反應을 開始한다. 여기서 이 反應이 일어나는 동안에는 原料層의 溫度는 900°C를 유지하게 된다.

原料層이 假燒分解反應을 끝낸 다음에는 다시 溫度가 올라가기 시작하는데 이 사이에 다음과 같은 여러가지 生成反應이 일어나 1,450°C에서 크링카가 生成되기 시작한다. 즉, 키른內에서의 原料의 受熱反應現象을 자세히 보면 매우 복잡다양하지만 原料가 그 사이에 받는 熱에너지는 燃燒가 燃燒를 끝낸 直後 發生하는 發生가스霧圍氣와 이와 같은 組成의 排氣가스霧圍氣가 保有하는 熱에너지의 差이다. 여기서 말한, 原料가 받는 熱에너지의 範圍는 原料에서 發生하는 CO₂ 및 水蒸氣 등이 받는 모든 熱ener지를 포함한다. 또, 原料가 熱을 받아들임에 있어서 原料粉末粒子에 原料의 推積層으로 인한 質量效果 抵抗이 작용되므로 주어진 熱ener지를 100% 이용하는 受熱反應은 거의 없다. 여기서 이 受熱反應效率은 키른의 原料에대

한 運轉性에 따라 左右된다.

(3) 키른內에서 일어나는 主現象

키른內에서 일어나는 主現象을 綜合하면 다음 <表-15>와 같다. 이 表에 나타낸 物質의 量과 熱量關係를 綜合하면 <表-16>과 같다. 또, <表-16>을 解析하면 <그림-3>과 같이 된다.

(4) 物質量 및 熱量收支

原料가 키른內에서 受熱反應을 할 경우 이것이 접하고 있는 熱가스의 熱ener지를 100% 利用하지는 못한다. 따라서 物質量과 熱量收支는 앞서 말한 <表-15> 및 <그림-3>를 참조할 때 크링카 1톤當 다음과 같은 關係式이 成立한다.

$$K \{W_{ca} (i_{t1} - i_{t2})\} = Q_6 + Q_9 - Q_1 \dots\dots\dots (1)$$

여기서 K=熱量損失係數

W_{ca}=燃料가 燃燒를 끝냈을때의 燃燒乾燥가스 重量(kg)

<表-15> 키른內에서 일어나는 主現象 (크링카 1톤當)

No.	溫度(°C)	發生하는 主現象	熱量(kcal/t 크링카)
1	820	사이클론 C ₄ 로부터 原料가 溫度820°C, 假燒率85%로써 投入된다. $Q_1 = (1,541 - 541 \times 0.85) \times 820 \times 0.235$	原料가 갖고 있는 熱量 $Q_1 = 20.83 \times 10^4$
2	820→900	原料가 820→900°C로 昇溫 $Q = (1,541 - 541 \times 0.85) \times (0.24 \times 900 - 0.235 \times 820)$	原料의 昇溫用 熱量 $Q_2 = \oplus 2.96 \times 10^4$
3	900	原料의 未分解成分이 分解反應한다. $Q_3 = 714 \text{kcal/kg} \cdot \text{CaO} \times 658.1 \times 0.15$ $+ 588 \text{kcal/kg} \cdot \text{MgO} \times 14 \times 0.15$ $+ 564 \text{kcal/kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 54.8 \times 0.15$	原料의 分解反應 熱量 $Q_3 = \oplus 7.64 \times 10^4$
4	900	原料로부터 發生된 CO ₂ , 結晶水가 發熱한다. $Q_4 = 187 \text{kcal/kg} \cdot \text{CaO} \times 658.1 \times 0.15$ $+ 262 \text{kcal/kg} \cdot \text{MgO} \times 14 \times 0.15$ $+ 159 \text{kcal/kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 54.8 \times 0.15$	原料의 反應 發熱量 $Q_4 = \ominus 2.03 \times 10^4$
5	900 1,133	發生된 CO ₂ , 結晶水를 900→1,133°C (排氣溫度)까지 昇溫 $Q_5 = 517.1 \times 0.15 \times (1,133 \times 0.314 - 900 \times 0.305)$ $+ (541 - 517.1) \times 0.15 \times (1,133 \times 0.613 - 900 \times 0.577)$	發生된 CO ₂ , 結晶水의 昇溫 用 熱量 $Q_5 = \oplus 0.69 \times 10^4$

6	1,133	發生된 CO ₂ , 結晶水가 1,133°C에서 배출된다. Q ₆ = 517.1 × 0.15 × 1,133 × 0.314 + (541 - 517.1) × 0.15 × 1,133 × 0.613	發生된 CO ₂ , 結晶水가 갖고 나가는 熱量, Q ₆ = 3.01 × 10 ⁴
7	900 ↓ 1,450	分解完了된 原料를 900 → 1,450°C까지 昇溫시킨다. Q ₇ = 10 ³ × (1,450 × 0.25 - 900 × 0.24)	分解完了된 原料의 昇溫用 熱量 Q ₇ = ⊕ 14.65 × 10 ⁴
8	1,450	크링카가 生成熱을 發熱 Q ₈ = 100 kcal/kg · 크링카 × 10 ³	크링카의 生成 發熱量 Q ₈ = ⊖ 10.00 × 10 ⁴
9	1,450	크링카가 1,450°C에서 배출된다. Q ₉ = 10 ³ × 1,450 × 0.265	크링카 熱量 Q ₉ = 38.43 × 10 ⁴
10	800以上	CaO + Fe ₂ O ₃ = CaO · Fe ₂ O ₃ + 87 kcal/kg · CaO · Fe ₂ O ₃ 의 發熱이 일어난다.	反應發熱量 Q ₁₀ = ⊖ 0.03 × 10 ⁴
11	800以上	2 · CaO + Fe ₂ O ₃ = 2 · CaO · Fe ₂ O ₃ + 80 kcal/kg · 2 · CaO · Fe ₂ O ₃ 의 發熱이 일어난다.	反應發熱量 Q ₁₁ = ⊖ 0.01 × 10 ⁴
12	900 ~ 1,200	2 · CaO + SiO ₂ = 2 · CaO · SiO ₂ + 193 kcal/kg · 2 · CaO · SiO ₂ 의 發熱이 일어난다.	反應發熱量 Q ₁₂ = ⊖ 0.08 × 10 ⁴
13	1,200 ~ 1,300	3 · CaO + Al ₂ O ₃ = 3 · CaO · Al ₂ O ₃ + 77 kcal/kg · 3 · CaO · Al ₂ O ₃ 의 發熱이 일어난다.	反應發熱量 Q ₁₃ = ⊖ 0.01 × 10 ⁴
14	1,200 ~ 1,300	3 · CaO + SiO ₂ = 3 · CaO · SiO ₂ 의 + 143.5 kcal/kg · 3 · CaO · SiO ₂ 의 發熱이 일어난다.	反應發熱量 Q ₁₄ = ⊖ 0.04 × 10 ⁴
15	1,133	燃燒發生가스가 1,133°C에서 배출된다. Q ₁₅	燃燒發生가스가 갖고 나가는 熱量 Q ₁₅
16		1 ~ 5의 現象이 順調롭게 일어나도록 燃料과 冷却器 로 부터 키른으로 熱量이 投入된다. 燃料으로 부터 Q ₀₁ 燃料으로부터 Q ₂₀	供給되는 熱量 Q ₁₆ = Q ₀₁ + Q ₂₀

[註] ① 原料의 量은 <表-2>에 의한다.

② 原料의 比熱(kcal/kg · °C)는 「시멘트生産技術」(日本資料)에서, 가스의 定壓比熱(kcal/kg · °C)는 각종 便覽에서 引用

③ 熱量의 부호에 있어서 熱源을 소비하는 熱量은 ⊕, 發熱量은 ⊖로 表示.

④ Q₁₀, Q₁₁, Q₁₂, Q₁₃, Q₁₄는 다음과 같다.

$$Q_{10} = 87 \times (658.1 + 32.3) / (56 + 160) = 0.03 \times 10^4$$

$$Q_{11} = 80 \times (658.1 + 32.3) / 2(56 + 160) = 0.01 \times 10^4$$

$$Q_{12} = 193 \times (658.1 + 226.2) / 2(56 + 60) = 0.08 \times 10^4$$

$$Q_{13} = 77 \times (658.1 + 54.8) / 3(56 + 102) = 0.01 \times 10^4$$

$$Q_{14} = 143.5 \times (658.1 + 226.2) / 3(56 + 60) = 0.04 \times 10^4$$

t_1, t_2 = 燃料가 燃燒를 끝내었을 때의 燃燒發生가
스霧圍氣의 溫度(°C) 및 이 가스霧圍氣의
排氣溫度(°C). 여기서는

$$t_2 = 1,133^\circ\text{C} \text{ (〈그림-1〉 참조)}$$

i_{t1}, i_{t2} = 溫度 t_1 및 t_2 에서의 燃燒가스霧圍氣의
엔탈피 (Kcal/kg - W td)

$$Q_6 = 3.01 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

$$Q_9 = 38.43 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

$$Q_1 = 20.83 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

$$W_{ai_{t1}} = Q_{oil} + Q_{20} \dots \dots \dots (2)$$

여기서 $Q_{oil} = 31.59 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$ (〈그림-1〉
참조)

Q_{20} = 冷却器로부터 溫度 850°C로 들어오는 空
氣의 熱量 (kcal)

$$Q_{20} = G_{oi_{850}} \dots \dots \dots (3)$$

여기서 G_0 = 冷却器에서 들어오는 850°C 空氣

〈表-16〉 키른内的 物質量과 熱量關係 (크링카 1 톤當)

No.	項目	投入되는 熱量 (kcal)	排出되는 熱量 (kcal)
1	熱源關係	燃料로부터 Q_{oil} 冷却器로부터 Q_{c0}	排氣로부터 Q_{15}
		$Q_{16} = Q_{oil} + Q_{c0}$	Q_{15}
2	原料關係	$Q_1 = 20.83 \times 10^4$	$Q_6 = 3.01 \times 10^4$ $Q_9 = 38.43 \times 10^4$
		$Q_1 = 20.83 \times 10^4$	$Q_6 + Q_9 = 41.44 \times 10^4$
3	原料의反應熱量關係	$Q_2 = \oplus 2.96 \times 10^4$	$Q_4 = \ominus 2.03 \times 10^4$
		$Q_3 = \oplus 7.64 \times 10^4$	$Q_8 = \ominus 10.00 \times 10^4$
		$Q_5 = \oplus 0.69 \times 10^4$	$Q_{10} = \ominus 0.03 \times 10^4$
		$Q_7 = \oplus 14.65 \times 10^4$	$Q_{11} = \ominus 0.01 \times 10^4$
			$Q_{12} = \ominus 0.08 \times 10^4$
			$Q_{13} = \ominus 0.01 \times 10^4$
			$Q_{14} = \ominus 0.04 \times 10^4$
	$Q_a = 25.94 \times 10^4$	$Q_b = 12.20 \times 10^4$	

의 乾燥重量 (kg)

i_{850} = 標準空氣 (湿度 $H_0 = 0.011$) 의 850°C 에서의 엔탈피 = $0.278 \times 850 + 0.011 (597 + 0.568 \times 850) = 248.18$ (Kcal/kg - Go)

$$W_{oil} = Q_{oil} / 9,820 \dots\dots\dots (4)$$

여기서 W_{oil} = 燃料의 使用量 (kg)

$$\left. \begin{aligned} G_0 &= 14.68 \times W_{oil} \\ W_{ta} &= 14.70 \times W_{oil} \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (5)$$

이것은 〈表-8〉로부터 燃燒用空氣比 $\mu = 1.105$ 일때의 燃料 1kg當의 燃燒空氣重量 14.68 (kg/kg-oil), 發生乾燥가스重量 14.70 (kg/kg-oil) 을 구한 것이다.

여기서 (2), (3), (4), (5)式으로부터 다음과 같은 값을 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} W_{oil} &= 31.59 \times 10^4 / 9,820 \\ &= 32.17 \text{ (kg/t-크링카)} \end{aligned}$$

$$G_0 = 14.68 \times 32.17 = 472.26 \text{ (kg/t-크링카)}$$

$$W_{ta} = 14.70 \times 32.17 = 472.90 \text{ (kg/t-크링카)}$$

$$Q_{20} = 472.26 \times 248.18 = 11.72 \times 10^4 \text{ (Kcal/t-크링카)}$$

$$i_{t1} = (31.59 + 11.72) \times 10^4 / 472.90$$

$$= 915.84 \text{ (Kcal/kg - Wtd)}$$

$i_{t1} = 915.84$ (Kcal/kg - Wtd), $t_2 = 1,133$ ($^\circ\text{C}$) 이므로 燃燒直後의 가스霧圍氣의 溫度 (즉, 키른内的 入氣溫度와 排氣의 溫度 $1,133^\circ\text{C}$ 에 있어서의 霧圍氣의 엔탈피는 다음과 같다.

	1,133 $^\circ\text{C}$ 에서	2,300 $^\circ\text{C}$ 에서	2,400 $^\circ\text{C}$ 에서
W_{O_2}	0.0220×0.2717	$\times 0.292$	$\times 0.293$
W_{N_2}	0.7667×0.2950	$\times 0.310$	$\times 0.311$
W_{CO_2}	0.2074×0.3143	$\times 0.337$	$\times 0.338$
W_{SO_2}	0.0039×0.2083	$\times 0.214$	$\times 0.214$
평균	0.2982	0.3148	0.3157
湿度 H	0.0756		
H_2O	0.6126	0.720	0.0725

(註) 가스의 定壓比準 G (Kcal/kg· $^\circ\text{C}$) 는 便覽에 의하고 組成은 〈表-9〉에 의한다.

$$\begin{aligned} \therefore i_{1,133} &= 0.2982 \times 1,133 + 0.0756 \\ &\quad (597 + 0.6126 \times 1,133) \\ &= 435.47 \text{ (Kcal/kg - Wtd)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_{2,300} &= 0.3148 \times 2,300 + 0.0756 \\ &\quad (597 + 0.720 \times 2,300) \\ &= 894.37 \text{ (Kcal/kg - Wtd)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} i_{2,400} &= 0.3157 \times 2,400 + 0.0756 \\ &\quad (597 + 0.725 \times 2,400) \\ &= 934.36 \text{ (Kcal/kg - Wtd)} \end{aligned}$$

또 t_1 은 다음과 같이 比例法에 의해 구한다.

$$\begin{aligned} t_1 &= 2,300 + 100 \times \frac{(915.84 - 894.37)}{934.36 - 894.37} \\ &= 2,354 \text{ (}^\circ\text{C)} \end{aligned}$$

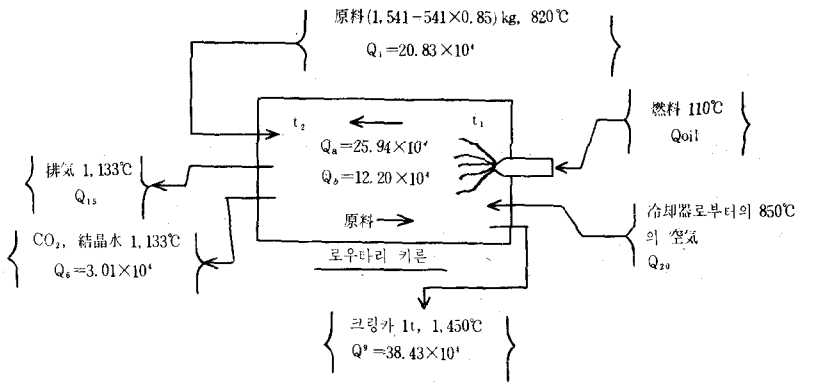
$$\begin{aligned} \text{따라서 入氣熱量} &= W_{ta} \times i_{2,354} \\ &= 43.31 \times 10^4 \text{ (Kcal/t-크링카)} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{排氣熱量} &= W_{ta} \times i_{1,133} = 20.59 \times 10^4 \text{ (Kcal/t-크링카)} \end{aligned}$$

의로부터 (1)式의 熱損失係數를 구할 수 있다.

$$K = \frac{(3.01 + 38.43 - 20.83) \times 10^4}{(43.31 - 20.59) \times 10^4} = 0.9073$$

이 K값으로부터 키른系的 損失熱量 Q_{loss} 가 구



〈그림-3〉 表-16의 說明用 解析圖 (〈그림-1〉참조)

해진다.

$$Q_{loss} = W_{ta} (t_{2,354} - t_{1,133}) \times (1 - K)$$

$$= 2.11 \times 10^4 \text{ (Kcal/t)}$$

이상의 計算結果를 정리하면 다음과 같다.

● 燃 料

C重油 燃燒用空氣比 $\mu = 1.105$
 必要熱量 $Q_{oil} = 31.59 \times 10^4 \text{ (Kcal/t-크링카)}$
 使用量 $W_{oil} = 32.17 \text{ (kg/t-크링카)}$

● 入 氣

溫 度 $t_1 = 2,354 \text{ (}^\circ\text{C)}$
 乾燥가스重量 $W_{ta} = 472.90 \text{ (kg/t-크링카)}$
 엔탈피 $t_{2,354} = 915.84 \text{ (Kcal/kg-W}_{ta})$
 熱 量 $W_{ta} \times i_{2,354} = 43.31 \times 10^4 \text{ (Kcal/t-크링카)}$

● 排 氣

溫 度 $t_2 = 1,133 \text{ (}^\circ\text{C)}$
 乾燥가스重量 $W_{ta} = 472.90 \text{ (kg/t-크링카)}$
 엔탈피 $t_{1,133} = 435.47 \text{ (Kcal/W}_{ta})$
 熱 量 $W_{ta} \times i_{1,133} = 20.59 \times 10^4 \text{ (Kcal/t-크링카)}$

● 燃燒用空氣

溫 度 $850 \text{ (}^\circ\text{C)}$
 空氣重量 $G_o = 427.26 \text{ (kg/t-크링카)}$
 엔탈피 $i_{850} = 248.18 \text{ (Kcal/kg-G}_o)$
 熱 量 $G_o i_{850} = 11.72 \times 10^4 \text{ (Kcal/t-크링카)}$
 이것을 綜合하면 〈表-17〉과 같고, 〈表-16〉에서 數値가 未確定인 곳을 完善하면 〈表-18〉과 같다.

〈表-17〉 熱量關係 (크링카 1 噸當)

① 키른內의 熱原關係

入 熱 量(A) (Kcal/t-크링카)	燃 料	$Q_{oil} = 31.59 \times 10^4$
	空 氣	$Q_{20} = 11.72 \times 10^4$
出 熱 量(B) (Kcal/t-크링카)	排 氣	$Q_{15} = 20.59 \times 10^4$
差	(A)-(B)	22.72×10^4

② 키른內의 原料關係

가지고 들어오는 熱量 (Kcal/t-크링카)	原 料	$Q_1 = 20.83 \times 10^4$
가지고 나가는 熱量 (Kcal/-크링카)	크링카	$Q_b = 38.43 \times 10^4$
	發生가스	$Q_6 = 3.01 \times 10^4$
	計	41.44×10^4
	吸熱量	$Q_a = 25.94 \times 10^4$
	發熱量	$Q_b = 12.20 \times 10^4$

〈表-18〉 키른內的 物質量과 熱量收支

(크링카 1 톤當)

入 熱 量 (Kcal/t-크링카)	燃 料	$Q_{oil}=31.59 \times 10^4$
	空 氣	$Q_{20}=11.72 \times 10^4$
	原 料	$Q_1=20.83 \times 10^4$
	計	64.14×10^4
出 熱 量 (Kcal/t-크링카)	排 氣	$Q_{15}=20.59 \times 10^4$
	發 生 氣 斯	$Q_6=3.01 \times 10^4$
	크 링 카	$Q_8=38.43 \times 10^4$
	熱 量 損 失	$Q_{loss}=2.11 \times 10^4$
	計	64.14×10^4
反 應 熱 量 (Kcal/t-크링카)	吸 熱 量	$Q_a=25.94 \times 10^4$
	發 熱 量	$Q_b=12.20 \times 10^4$
原 料 的 受 熱 効 率 n_1	$(A)-(B)=Q_a/n_1-Q_b$ $n_1=\frac{25.94}{34.92}=74.3(\%)$	
熱 損 失 率 n_2	$n_2=\frac{Q_{loss}}{Q_{oil}}=\frac{2.11}{31.59}=6.68(\%)$	
原 料 的 暇 燒 分 解 率	15(%)	

다음에 霧圍氣가스에 대해서는 다음 〈表-19〉, 〈表-20〉과 같다.

〈表-19〉 燃料가 燃燒를 끝낸 直後의 霧圍氣 (크링카 1 톤當)

Vo_2	容積 (Nm ³) 7.2704	Wo_2	重量 (kg) 10.3877
VN_2	285.3029	WN_2	356.6302
$VA r$	3.3972	$WA r$	6.0640
VCo_2	49.9697	WCo_2	98.1539
VSo_2	0.6434	WSo_2	1.8339
VH_2O	44.5104	WH_2O	35.7666
V_t	391.0940	W_t	508.8361
V_{td}	346.5836	W_{td}	473.0695

4. 2 暇燒爐에 대하여

暇燒爐內에서의 가스發生效象은 키른의 경우와 전혀 다르다. 특히 霧圍氣가스의 特性, 熱源

으로서의 熱가스와 原料 사이의 熱에너지의 交換現象, 燃料의 燃燒現象, 및 原料의 爐內에 있어서의 狀態 등이 전혀 다르다. 이에 대하여 간단히 記述하면 다음과 같다.

(1) 霧圍氣와 燃料 및 原料와의 相關關係

가스霧圍氣는 暇燒爐 底部로부터의 키른 排氣가스와 冷却器로부터의 豫熱空氣와 混合되어 격렬한 渦流旋回運動을 일으키면서 爐內에 送 入되고 全体的으로 이 運動을 계속하면서 서서히 위로 上昇하는데 上昇途中 燃料의 燃燒에 의해 燃燒가스가 점점 증가하고 마지막에는 完全한 燃燒가스와 爐內에서 原料로부터 發生하는 CO_2 와 結晶水 등을 포함한 排氣가스로서 爐外로 排出된다.

燃料은 天井部로부터 複數번머너(이 경우는 spray nozzle 이라고 부르는 것이 適切하다)에 의해 爐內全體에 가는 雨霧모양으로 噴射投入되어 가스霧圍氣의 渦流旋運動과 相對運動을 따라 하는데 그 後 이 油滴群은 가스霧圍氣의 上昇運動을 거슬러 서서히 下降한다. 이 下降途中에 가스霧圍氣로부터 熱을 받아 着火燃燒 溫度까지 昇溫되므로 霧圍氣內에서 燃燒用的 酸素를 필요로 하여 그 흐름에 따라 서서히 燃燒를 계속하면서 더욱 더 下降運動을 하지만 그 後 油

〈表-20〉 排氣가스

(크링카 1 톤當)

	容積 (Nm ³)		重量 (kg)
Vo_2	7.2704	Wo_2	10.3877
VN_2	285.3029	WN_2	356.6302
$VA r$	3.3972	$WA r$	6.0640
VCo_2	89.4573	WCo_2	175.7189
VSo_2	0.6434	WSo_2	1.8339
VH_2O	48.9717	WH_2O	39.3516
V_t	435.0429	W_t	589.9863
V_{td}	386.0712	W_{td}	550.6347

滴의 크기는 燃滯에 따라 점점 작아지며 따라서 下降運動도 점점 느려진다. 마지막에 油滴은 爐內 가스霧圍氣의 下層部에 도달하여 그 燃燒를 완료하고 完全한 燃燒가스로 되어 霧圍氣가스와 같은 運動을 한다.

原料는 細粒의 單獨粒子群으로서 燃料과 마찬가지로 天井部로부터 投入되어 霧圍氣가스와 相對運動을 하면서 역시 서서히 下降한다. 下降途中 原料는 가스霧圍氣로부터 熱을 받아 煨燒分解反應溫度에 도달한 다음 가스霧圍氣로부터 分解反應을 위한 熱에너지를 받아 分解反應을 시작한다. 그 동안 原料는 가스霧圍氣中 單獨粒子群으로 浮遊해 있는데 分解反應이 進行됨에 따라 粒子의 眞比中이 減少하므로 가스霧圍氣中의 下降運動이 燃料油滴의 경우와 마찬가지로 느려진다. 마지막으로 煨燒分解率이 85% 가 가까이 되면 完全히 가스霧圍氣의 運動에 따라서 爐外로 排出된다.

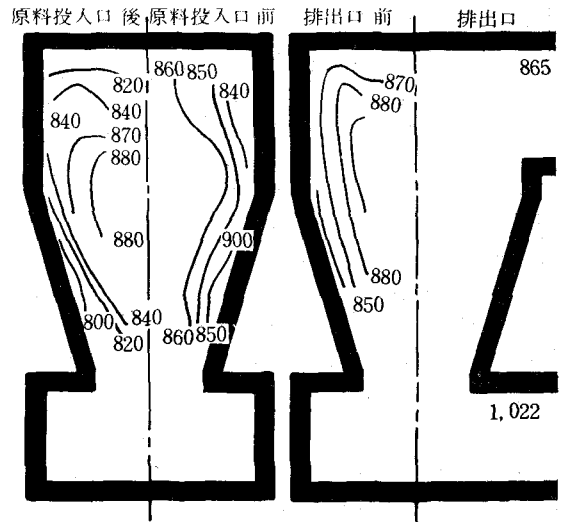
(2) 投入되는 原料의 量

크링카 1 噸當 原料原單位로서 原料 1,541 톤이 사이클론 C₃로부터 750℃에서 完全히 乾燥된 狀態로 投入된다.

(3) 가스霧圍氣內에서 燃料가 내는 熱에너지와 原料가 必要로 하는 煨燒分解用 熱에너지와의 變換現象.

原料는 細粒의 單獨粒子群(平均代表粒徑은 40 μ라고 생각된다)으로서 가스霧圍氣內로 投入되므로 原料의 各 粒子가 霧圍氣로부터 받는, 煨燒分解反應을 위한 熱에너지와 가스霧圍氣의 熱에너지는 매우 効率 좋게 交換된다. 이에 대해서는 <그림-1>의 SF 키른시스템 및 <그림-4>의 氣流爐內 溫度分布(SF 키른시스템에서는 煨燒爐를 그 特性上 氣流爐라고 부른다)를 볼 때 爐內의 가스霧圍氣溫度는 거의 900℃에 이르고 그 平均溫度는 排氣가스溫度 890℃와 같다는 사실을 들 수 있다.

이 現象은 가스霧圍氣內에서 燃料가 앞서와



<그림-4> 氣流爐內 溫度分布

같이 燃燒되고 이 때 발생하는 熱에너지와 原料의 煨燒分解에 必要한 熱에너지가 동시에 交換되고 더구나 이 交換率이 100%가 됨을 알려준다. 즉 이 熱에너지는 동시에 原料의 煨燒分解反應을 위한 熱에너지로서 100% 消費되므로 爐內 가스霧圍氣溫度는 入氣, 排氣를 포함하여 거의 같다고 할 수 있다.

(4) 煨燒爐內에서 일어나는 主現象

原料는 溫度 820℃에서 煨燒分解反應을 시작하여 煨燒率 85%로서 사이클론 C₄로부터 키른으로 投入된다. 따라서 原料의 煨燒率 85%라는 것은 煨燒爐內의 사이클론 C₄內에서 일어난 결과이다. 그러므로 煨燒爐內에서만의 煨燒率은 알 수 없기 때문에 爐內의 發生現象을 追求함에 있어서는 이 點을 미리 생각해야 한다. 이를 고려하면서 煨燒爐內에서 일어나는 主現象을 追求하면 다음 <表-21>과 같이 정리된다. 또, 이 表에 나타낸 物質의 量과 熱量關係를 종합하면 <表-22>와 같다. <表-22>를 圖式化 하면 <그림-5>와 같다.

(5) 사이클론 C₄內에서의 煨燒比 y

〈表-21〉

煨燒爐內에서 일어나는 主現象 (크링카 1톤當)

No.	溫度(°C)	發生하는 主現象	熱量(kcal/t크링카)
1	750	原料 1,541kg가 750°C에서 들어간다. $Q_1 = 1,541 \times 0.25 \times 750$	原料가 갖고 있는 熱量 $Q = 28.89 \times 10^4$
2	750→ 820	原料 1,541kg가 750→820°C로 昇溫 $Q_2 = 1,541 \times 0.25 \times (820 - 750)$	原料의 昇溫用 熱量 $Q_2 = \oplus 2.70 \times 10^4$
3	820	原料가 煨燒分解反應을 한다. $(Q_3)_{100} = 714 \text{ kcal/kg} \cdot \text{CaO} \times 658.1 \times 1.0$ $+ 588 \text{ kcal/kg} \cdot \text{MgO} \times 14 \times 1.0$ $+ 564 \text{ kcal/kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 54.8 \times 1.0$ $(Q_3)_{0.85} = (Q_3)_{100} \times 0.85, 0.85 = \text{煨燒率 } 85\%$ $(Q_3)_{0.84} = (Q_3)_{100} \times 0.84, 0.84 = \text{煨燒率 } 84\%$ $(Q_3)_{0.83} = (Q_3)_{100} \times 0.83, 0.83 = \text{ " } 83\%$ $(Q_3)_{0.82} = (Q_3)_{100} \times 0.82, 0.82 = \text{ " } 82\%$	原料의 分解反應 熱量 $(Q_3)_{100} = \oplus 50.90 \times 10^4$ $(Q_3)_{0.85} = \oplus 43.27 \times 10^4$ $(Q_3)_{0.84} = \oplus 42.76 \times 10^4$ $(Q_3)_{0.83} = \oplus 42.25 \times 10^4$ $(Q_3)_{0.82} = \oplus 41.74 \times 10^4$
4	820	原料로부터 生成되는 CO_2 , 結晶水가 發熱한다. $(Q_4)_{100} = 187 \text{ kcal/kg} \cdot \text{CaO} \times 658.1$ $+ 262 \text{ kcal/kg} \cdot \text{MgO} \times 14$ $+ 159 \text{ kcal/kg} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \times 54.8$	原料의 發熱反應 熱量 $(Q_4)_{100} = \ominus 13.54 \times 10^4$ $(Q_4)_{0.85} = \ominus 11.51 \times 10^4$ $(Q_4)_{0.84} = \ominus 11.37 \times 10^4$ $(Q_4)_{0.83} = \ominus 11.24 \times 10^4$ $(Q_4)_{0.82} = \ominus 10.97 \times 10^4$
5	820 ↓ 890	發生된 CO_2 , 結晶水를 820→890°C (排氣溫度)로 昇溫 $(Q_5)_{100} = 517.1 \times 1.0 \times (890 \times 0.305 - 820 \times 0.301)$ $+ (541 - 517.1 \times 1.0) \times (890 \times 0.575 - 820 \times 0.563)$ $= 517.1 \times 1.0 \times 24.63 + (541 - 517.1 \times 1.0) \times 50.09$	發生된 CO_2 , 結晶水의 昇溫用 熱量 $(Q_5)_{100} = \oplus 1.39 \times 10^4$ $(Q_5)_{0.85} = \oplus 1.18 \times 10^4$ $(Q_5)_{0.84} = \oplus 1.17 \times 10^4$ $(Q_5)_{0.83} = \oplus 1.15 \times 10^4$ $(Q_5)_{0.82} = \oplus 1.14 \times 10^4$
6	890	發生된 CO_2 , 結晶水가 890°C에서 排出된다. $(Q_6)_{100} = 517.1 \times 1.0 \times 890 \times 0.305$ $+ (541 - 517.1) \times 1.0 \times 890 \times 0.575$	發生된 CO_2 , 結晶水가 갖고 나가는 熱量 $(Q_6)_{100} = 15.26 \times 10^4$ $(Q_6)_{0.85} = 12.97 \times 10^4$ $(Q_6)_{0.84} = 12.82 \times 10^4$ $(Q_6)_{0.83} = 12.67 \times 10^4$ $(Q_6)_{0.82} = 12.51 \times 10^4$
7	820	煨燒分解中の 原料가 820°C에서 排出된다. $(Q_7)_{100} = (1,541 - 541 \times 1.0) \times 820 \times 0.235$	原料가 갖고 나가는 熱量 $(Q_7)_{100} = 19.27 \times 10^4$ $(Q_7)_{0.85} = 20.83 \times 10^4$ $(Q_7)_{0.84} = 20.94 \times 10^4$ $(Q_7)_{0.83} = 21.04 \times 10^4$ $(Q_7)_{0.82} = 21.15 \times 10^4$
8	-	키른으로부터 排氣가스가 들어온다. $Q_8 = Q_{15} + Q_6$ (表-17 參照) $= (20.59 + 3.01) 10^4 = 23.60 \times 10^4$	키른으로부터의 熱量 $Q_8 = 23.60 \times 10^4$
9	890	燃料의 燃焼에 관련된 가스가 890°C에서 排出된다. Q_9	가스가 갖고 나가는 熱量 Q_9
10	-	1~9의 現象이 순조롭게 일어나도록 燃料과 冷却器로부터 煨燒爐로 熱量이 投入된다. 燃料로부터 Q_{on} 冷却器로부터 Q_{30}	供給되는 熱量 $Q_{10} = Q_{on} + Q_{30}$

〔註〕 ① $(Q_n)_{100}$ 은 原料의 煨燒率이 100%인 경우
 $(Q_7)_{0.85}$ 는 原料의 煨燒率이 85%인 경우

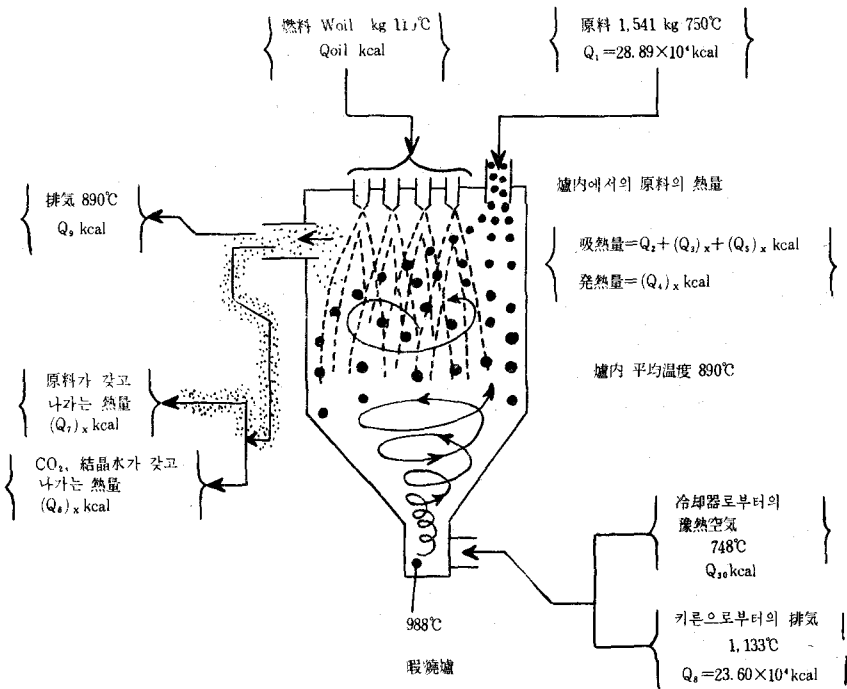
〈表-22〉 煨燒爐內的 物質量과 熱量關係
(크링카 1 톤當)

No. 項目	投入 熱量 (kcal)	排出 熱量 (kcal)
1 熱源關係	키른 $Q_8 = 23.60 \times 10^4$ 燃料 Q_{oil} 冷却器 Q_{30}	排氣 Q_9
	$Q_8 + Q_{oil} + Q_{30}$	Q_9
	$Q_1 = 28.89 \times 10^4$	$(Q_6)_x$
		$(Q_7)_x$
		$(Q_6)_x + (Q_7)_x$
	爐內油費熱量	
	吸熱量	發熱量
	$Q_2 = 2.7 \times 10^4$	$(Q_4)_x$
	$(Q_3)_x$	
$(Q_5)_x$		
$Q_1 = 28.89 \times 10^4$	$Q_2 + (Q_3)_x + (Q_5)_x - (Q_4)_x$	
	$\{(Q_6)_x + (Q_7)_x\} +$	
	$\{Q_2 + (Q_3)_x + (Q_5)_x - (Q_4)_x\}$	

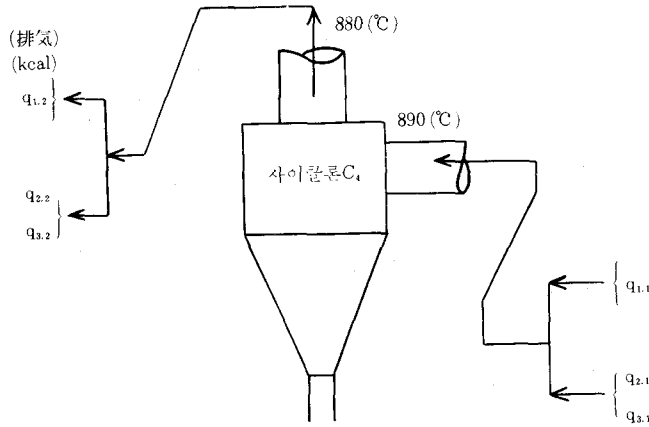
原料는 煨燒爐內와 사이클론C₄內에서 煨燒率 85%로 煨燒되므로 煨燒爐內에서의 煨燒比를 X, 사이클론C₄內에서의 煨燒比를 9P라 하면

$$X + Y = 0.85 \dots\dots\dots (7)$$

이 式에서 Y를 구하면 X를 구할 수 있으므로 煨燒爐內的 物質量과 熱量收支 關係를 구할 수 있다. Y는 〈그림-1〉의 SF키른시스템에서 사이클론C₄의 入氣와 排氣의 各溫度를 基準으로 하여 算出할 수 있다. 즉, 煨燒爐로부터 이 爐의 排氣와 함께 原料가 煨燒分解를 계속 하면서 사이클론 C₄中에 投入되는데 이때 原料는 사이클론 C₄內의 가스霧圍氣로부터 煨燒分解를 위한 熱에너지를 받아 煨燒率85%의 狀態에서, (820℃에서) 키른에 投入되므로 原料가 가스霧圍氣로부터 받는 熱에너지는 原料의 煨燒分解를 위한 熱에너지와 같다. 또, 入氣가스는 原料에 配앗기는 熱에너지만큼 溫度가 낮아져 排氣가스로 排出된다. 이 關係를 〈그림-6〉에 나타낸다.



〈그림-5〉 表-22의 說明用 解析圖 (〈그림-1〉 참조)



〈그림-6〉 사이클론 C₁의 入氣와 排氣를 그 溫度 및 熱量으로부터 본 說明用 解析圖

따라서 入氣가 사이클론 C₁에서 原料의 煨燒分解에 必要한 熱에너지를 供給하기 위해 빼앗기는 熱量을 Q_A, 原料가 煨燒分解을 위해 入氣로부터 빼앗는 熱量을 Q_B라 하면 다음 關係式이 성립한다.

$$Q_A = \{q_{1.1} + q_{2.1} + q_{3.1}\} - \{q_{1.2} + q_{2.2} + q_{3.2}\} \quad (8)$$

$$Q_B = (Q_3)y + (Q_3)'y - (Q_4)y \quad (9)$$

$$Q_A = Q_B \quad (10)$$

여기서 q_{1.1}, q_{1.2} = 煨燒爐에서 燃料가 燃燒된 가스 霧圍氣의 890°C, 880°C에서의 保有熱量 (Kcal)

q_{1.1}, q_{2.2} = 煨燒爐內에서 發生된 CO₂의 890°C, 880°C에서 保有熱量 (Kcal)

q_{2.1}, q_{3.2} = 煨燒爐內에서 發生된 結晶水의 890°C, 880°C에서의 保有熱量 (Kcal)

(Q₃)y, (Q₄)y = (Q₃)₁₀₀, (Q₄)₁₀₀에 대한 煨燒比 y의 熱量과 같은 熱量 (Kcal)

$$\begin{aligned} (Q_3)'y &= (Q_3)y \text{에 相當하는 熱量} \\ &= 517.1 \times y \times (880 \times 0.3040 - 820 \times 0.301) \\ &\quad + (541 - 517.1) \times y \times (880 \times 0.5734 - 820 \times 0.563) = 1.1730 \times y \times 10^4 \text{ (Kcal)} \end{aligned}$$

따라서 各 燃量의 計算式은 다음과 같다.

$$q_{1.1} = W_{td} i_{890}$$

$$q_{1.2} = W_{td} i_{880}$$

$$\begin{aligned} q_{2.1} &= 517.1 \times (0.85 - y) \times 890 \times 0.3045 \\ &= (0.85 - y) \times 14.0137 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{2.2} &= 517.1 \times (0.85 - y) \times 880 \times 0.3040 \\ &= (0.85 - y) \times 13.8335 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{3.1} &= (541 - 517.1) \times (0.85 - y) \times 890 \times 0.5752 \\ &= (0.85 - y) \times 1.2235 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} q_{3.2} &= (541 - 517.1) \times (0.85 - y) \times 880 \times 0.5734 \\ &= (0.85 - y) \times 1.2060 \times 10^4 \end{aligned}$$

$$(Q_3)y = 50.90 \times 10^4 \times y$$

$$(Q_4)y = 13.54 \times 10^4 \times y$$

$$(Q_3)'y = 1.1730 \times 10^4 \times y$$

다음에 q_{1.1} 및 q_{1.2}의 W_{td} 및 i₈₉₀와 i₈₈₀은 다음과 같이 구해진다.

$$W_{td} = 1,208.9903 \text{ (kg)} \quad (\langle \text{表-13} \rangle \text{으로 부터})$$

〈表-14〉의 가스重量組成으로부터

	C _p (890°C)		
WO ₂	0.0205 × 0.2657	}	0.2883
WN ₂	0.7176 × 0.2836		
WCO ₂	0.2583 × 0.3045		
WSO ₂	0.0036 × 0.2048		

	C _p (880°C)		
	× 0.2654	}	0.2878
	× 0.2832		
	× 0.3040		
	× 0.2046		

温度H 0.0737

H₂O 0.5752 0.5734

$$\therefore i_{890} = 0.2883 \times 890 + 0.0737 (597 + 0.5752 \times 890) = 338.3150 \text{ (Kcal/kg - } W_{ta})$$

$$\therefore i_{880} = 0.2878 \times 880 + 0.0737 (597 + 0.5734 \times 880) = 334.4513 \text{ (Kcal/kg - } W_{ta})$$

따라서 q_{1.1} 및 q_{1.2}는 다음과 같다.

$$q_{1.1} = 1,208.9903 \times 338.3150 = 40.9020 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

$$q_{1.2} = 1,208.9903 \times 334.4513 = 40.4348 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

以上으로 부터 (8), (9)式은 다음과 같다.

$$Q_A = \{0.6352 - 0.1977 \times y\} \times 10^4 \dots\dots\dots(8)$$

$$Q_B = 38.53 \times y \times 10^4 \dots\dots\dots(9)$$

$$\therefore 0.6352 - 0.1977 \times y = 38.53 \times y$$

$$\therefore y = 0.0164$$

즉, 사이클론 C₁内에서 原料는 煨燒分解率 1.64%로서 煨燒分解된다. 따라서 煨燒爐内에서는 x=0.85-0.0164=0.8336, 즉 83.36%의 煨燒分解率로 煨燒된다.

(6) 煨燒爐內的 物質質量 및 熱量收支

煨燒爐內的 가스雰圍氣中에는 燃料가 燃燒되어 發生하는 熱에너지와 原料가 煨燒分解 하는데 必要한 熱에너지는 同時 交換되며, 더우기 그 交換率은 100%이다. 따라서 <表-21> 및 <表-22>와 <그림-5>등을 참조하면 다음과 같은 關係式이 성립한다.

$$K \times \{Q_{oil} + Q_6 + Q_{30} - Q_A\} = \{(Q_6)_x + (Q_n)_x\}_1 + \{Q_2 + (Q_3)_x - (Q_4)_x + (Q_5)_x\}_2 - Q_1 \dots\dots\dots(12)$$

여기서 K=熱量損失係數

{ }₀ = 燃燒發生가스와 排氣가스가 保有하는 熱量의 差(Kcal)

{ }₁ = 原料가 갖고 나가는 熱量(Kcal)

{ }₂ = 原料가 爐內에서 消費하는 熱量(Kcal)

x = 爐內에서의 原料暇燒比=0.8336

의로부터 다음 關係式이 성립한다.

① 必要熱量과 燃料使用量

$$Q_{oil} = 43.96 \times 10^4 \text{ (Kcal/t - 크링카)}$$

<<그림-1> 참조

$$W_{oil} = Q_{oil} / 9,820 = 44.77$$

(kg/t - 크링카)

}... (13)

② 冷却器로부터의 豫熱空氣와 그 熱量 Q₃₀

$$Q_{30} = G_0 i_{748}$$

여기서 豫熱空氣의 湿度는 748°C (<<그림-1> 참조), 湿度H₀는 0.011 이고 燃料의 燃燒用 空氣W_a는 14.68 (kg/kg-oil) (<<表-8> 참조) 이므로

$$i_{748} = 0.2735 \times 748 + 0.011 (597 + 0.550 \times 748) = 215.67 \text{ (Kcal/kg - } G_0)$$

$$G_0 = 14.68 \times 44.77 = 657.22 \text{ (kg/t - 크링카)}$$

$$\therefore Q_{30} = 657.22 \times 215.67 = 14.17 \times 10^4$$

(Kcal/t) (14)

③ x=0.8336이므로 다음과 같은 여러가지 熱量이 求解진다 (<<表-21> 참조).

$$\{(Q_6)_x + (Q_7)_x\}_1 = 33.72 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

$$(Q_6)_x = 15.26 \times 10^4 \times 0.8336$$

$$= 12.72 \times 10^4$$

$$(Q_7)_x = (1,541 - 541 \times 0.8336) \times 820$$

$$\times 0.235 = 21.00 \times 10^4$$

}... (15)

$$\{Q_2 + (Q_3)_x + (Q_5)_x - (Q_4)_x\}_2 = 35.45 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

$$Q_2 = 2.70 \times 10^4 \quad (Q_3)_x = 42.43 \times 10^4$$

$$(Q_5)_x = 1.61 \times 10^4 \quad (Q_4)_x = 11.29 \times 10^4$$

④ Q₁, Q₃, Q₅에 대하여

<<表-21> 으로부터

$$Q_1 = 28.89 \times 10^4 \text{ (Kcal)},$$

$$Q_3 = 23.60 \times 10^4 \text{ (Kcal)} \dots\dots\dots(16)$$

Q₅는 이미 (8)式中的의 q_{1.1}으로 算出되었다.

$$Q_5 = q_{1.1} = 40.90 \times 10^4 \text{ (Kcal)} \dots\dots\dots(16)$$

따라서 (13), (14), (15), (16)式의 數值를 (12)式에 代入하면 (12)式은 다음과 같이 된다.

$$K \times 40.83 \times 10^4 = 40.28 \times 10^4$$

$$\therefore K = \frac{40.28}{40.83} = 0.9865 \dots\dots\dots(17)$$

따라서 이 K값으로부터 暇燒爐系의 損失熱量

〈表-23〉 暇燒爐의 排氣가스 (크링카 1 噸當)

容 積 (Nm ³)		重 量 (kg)	
VO ₂	17.3884	WO ₂	24.8439
VN ₂	682.3501	WN ₂	852.9415
VA _r	8.1249	WA _r	14.5031
VCO ₂	378.4445	WCO ₂	743.3712
VSO ₂	1.5388	WSO ₂	4.3858
VH ₂ O	135.7086	WH ₂ O	109.0499
V _i	1,223.5553	W _i	1,749.0954
V _{ia}	1,087.8467	W _{ia}	1,640.0455

〈表-24〉 暇燒爐에서의 熱源關係 (크링카 1 噸當)

品 種	C 重 油		使用溫度 = 110℃	
	燃 燒 (/kg·oil)	μ (A/Ao)	Ao (Nm ³)	Wa (kg)
1.105		10.28	13.29	
料	使用量 (/t·크링카)	Qoil (kcal)	Woil (kg)	
		43.96×10 ⁴	44.77	
入	키 른	Q _s = 23.60×10 ⁴ (kcal)		
		W _{ia} = 550.6347 (kg)		
		t = 1,133 (℃)		
氣	冷却器	Q _{so} = 14.17×10 ⁴ (kcal)		
		G _o = 657.22 (kg)		
		t = 748 (℃)		
排氣가스	Q _s = 40.90×10 ⁴ (kcal)			
	(Q _s) _x + (Q _s) _x = 33.72×10 ⁴ (kcal)			
	W _{ia} = 1,640.0455 (kg)			
	V _i = 1,223.5553 (Nm ³)			
			t = 890 (℃)	

Q_{loss}를 구할 수 있다.

$$Q_{loss} = 40.83 \times 10^4 \times (1 - 0.9865) = 0.55 \times 10^4 \text{ (Kcal)}$$

排氣 가스에 대해서는 暇燒爐 內에서의 暇燒率 $x=0.8336$ 이 判明되었으므로 排氣 가스 中의 CO₂와 結晶水 發生量이 求해진다.

$$CO_2 \text{의 發生量} = 517.1 \times 0.8336 = 431.0546 \text{ (kg)} = 431.0546 \times \frac{22.4}{44} = 219.4460 \text{ (Nm}^3\text{)}$$

$$\text{結晶水의 發生量} = (541 - 517.1) \times 0.8336 = 19.9230 \text{ (kg)} = 19.9230 \times \frac{22.4}{18} = 24.7931 \text{ (Nm}^3\text{)}$$

따라서 이 發生 가스를 〈表-13〉에 合하면 排氣 가스는 〈表-23〉과 같이 된다.

以上の 事項을 綜合하면 〈表-24〉 및 〈表-25〉와 같다.

〈表-25〉 暇燒爐內의 物質量과 熱量收支

(크링카 1 噸當)

投入되는 熱量 (kcal)		갖고나가는 熱量 (kcal)	
燃 料	Q _{oil} = 43.96×10 ⁴	排氣가스	Q _s = 40.90×10 ⁴
冷却器	Q _{so} = 14.17×10 ⁴	發生가스	(Q _s) _x = 12.72×10 ⁴
키 른	Q _s = 23.60×10 ⁴	原 料	(Q _i) = 21.00×10 ⁴
原 料	Q _i = 28.89×10 ⁴	消費되는 熱量 (kcal)	
		原料의昇溫 Q _s = 2.70×10 ⁴	
		(Q _s) _x = 2.43×10 ⁴	
		反應熱量 (Q _s) _x = 1.61×10 ⁴	
		(Q _s) _x = 11.29×10 ⁴	
		損 失 熱 量 (kcal)	
		爐 體 Q _{loss} = 0.55×10 ⁴	
合 計	110.62×10 ⁴	合 體	110.62×10 ⁴
熱損失率 $n = Q_{loss}/Q_{oil} = 1.25\%$			
暇燒爐內에서의 暇燒率 $x = 0.8336$			
사이클론 C ₁ 內에서의 暇燒率 $x = 0.0164$			

5. NSP 키른시스템의 今後의 課題

시멘트의 새로운 生産方式으로 NSP 키른시스템을 採擇함에 있어서 今後의 課題는 시멘트의 生産原單位를 더욱 더 向上시키는 것이다. 이것은 以上과 같은 論議로부터 다음과 같은 項目에 의해 解決할 수 있으리라 생각된다.

(1) 熱氣 利用率의 向上

① 冷却器로부터의 熱量回收率의 向上... 현재로서는 이 回收率은 約 34.3%에 지나지 않지만 이 回收率을 더욱 더 向上시키려면 設備費의 經濟性으로부터 冷却器의 構造와 性能에 이르기 까지 많은 改善이 必要하다.

② 裝置表面으로부터의 損失熱量的 低減..... 暇燒爐와 사이클론 C₁에 대해서는 이미 거의 만족한 極限에 달하여서, 키른에 있어서는 熱損

失率在 약 6.7% (<表-18> 참조)에 불과하다. 이 熱損失率은 熱工學的인 對策에 의해 經濟的으로 약 3.0% 정도 더 低減시킬 수 있으리라 생각된다.

③ 系外로 排出되는 排氣가스溫도의 低下... 이 경우 系內라 하는것은 SP로부터 排出되는 排氣가스가 原料의 粉碎乾燥處理에 사용되는 경우도 포함하여 集塵機를 통과, 排氣가스塔으로부터 大氣中으로 放出하기 까지의 系를 말한다. 이 경우 현재로서는 NSP 키른시스템에서도 排氣가스의 溫度는 약 320~380℃에 이르고 있다 (단, SP 키른시스템에서는 調濕水를 噴入함으로써 이 溫度를 240℃로 調整할 수 있다). 이 溫度는 最低 200℃까지 내릴 수 있다고 생각된다. 이 最低溫度를 200℃로 設定하는 理由는 다음과 같다.

i. C重油中の 硫黃分은 燃燒後 SO₂가 되는데 이 중 1~5%는 SO₃가 되기 때문에 燃燒가스의 露點이 현저히 높아져 空氣豫熱器와 같은 低温金屬表面에 水滴을 凝縮시키고 H₂SO₄에 의한 腐食을 일으킨다. 여기서 燃燒가스에 SO₃가 0.001~0.005% (體積) 존재하면 露點은 140~170℃만큼 上昇한다. 따라서 H₂SO₄에 의한 集塵機 등의 腐食에 대한 안전을 고려하면 排氣가스의 最低溫度는 200℃ 도일 것이다.

ii. C重油의 燃燒性を i과 比較하여 생각하면 다음과 같다. 즉, 3.4C重油에 대한 燃燒가스 計算式으로부터 다음 關係式이 성립한다.

$$\frac{V_{SO_2}}{V_i} \times (1 \sim 5) \times \frac{1}{100} = \frac{V_{SO_3}}{V_i}$$

$$= (0.001 \sim 0.0005) \times \frac{1}{100}$$

여기서 $V_{SO_2} = 0.0200 (Nm^3/kg - oil)$,

$V_i = \mu \times 10.4570 + 0.6023 (Nm^3/kg - oil)$, 體積比率는 最低의 것을 택한다.

$$\frac{0.0200}{\mu \times 10.4570 + 0.6023} \times \frac{1}{100} = 0.0001 \times \frac{1}{100}$$

$$\therefore \mu = 1.855$$

즉, SO₂의 1%가 SO₃로 되는데, 이 SO₃가

燃燒가스中에 0.0001% (體積) 포함된 C重油의 燃燒性は 燃燒用空氣比 $\mu = 1.855$ 로 표시된다. 그런데도 C重油는 實裝置에 있어서 燃燒用空氣比가 $\mu = 1.105$ 이므로 당연히 SO₃의 量이 많게 된다. 따라서 H₂SO₄에 의한 低温金屬의 腐食性を 고려에 넣지 않으면 안된다. 이를 防止하기 위해서는 排氣가스의 溫度를 最低 200℃를 유지할 必要가 있다.

④ 原料가 키른에 投入될 때의 暇燒率을 100%로 向上..... 현재로서는 가스圍氣中의 CO₂分壓關係에서, 原料가 사이클론 C₃로부터 溫度 750℃에서 暇燒爐로 投入될 경우, 暇燒分解反應을 일으키지 않는다고 생각된다. 그러나 熱源의 利用率向上이라는 點에서 보면 사이클론 C₃內에서는 적어도 原料가 暇燒分解하기 시작하면서 820℃에서 暇燒爐에 投入되도록 해야 사이클론 C₄로부터 키른으로 原料가 投入될 때 暇燒分解率이 100%, 溫度가 820℃로 된다고 생각된다.

(2) 原料의 裝置內에서의 反應受熱效率 向上

이 系內에서 問題되는 것은 키른인데 이 안에서의 原料의 反應受熱效率은 약 74.3% (<表-18> 참조)이다. 앞서 말한 바와 같이 投入 原料의 暇燒率을 100%로 하면 키른內에서 原料가 받아야 할 熱量을 減少시킬 수 있지만 反應受熱效率의 向上과는 관계가 없다. 이 受熱效率은 키른의 運轉條件에 따라 左右되는데 이 경우 原料의 滯溜時間으로부터 특히 키른의 傾斜와 回轉數에 이르기까지 여러가지 條件에 따라 左右된다. 受熱效率의 向上은 原料의 處理時間에 따라서 그 키른內의 滯溜時間을 減少시킬 수 있으므로 크기가 같은 키른에 대해서 시멘트의 生産量을 增加시킬 수 있다. 다시 말하여 最新의 NSP 키른 시스템에서는 키른의 傾斜가 在來의 것과 같지만 그 回轉數는 在來의 키른에 비해 약 2.5~3.0倍이며 그에 따라 시멘트生産量도 增大한다. 이것은 위와 같은 理論으로부터 理解할 수 있다.

(3) 冷却器의 排氣 熱에너지의 利用

이 排氣는 크링카를 될 수 있는 대로 低溫에서 排出시켜야 하기 때문에 그 溫度가 낮다. 따라서 NSP 自体의 系内에서는 그 排氣 熱에너지의 利用價値가 별로 없고 系外에서 利用되므로 여기서는 省略한다.

나라가 富強해야 國民이 땀땀이 잘 살수 있으며 富強한 나라는 모든 國民이 어려움을 참고 견디면서 더 큰 目標를 尙해 땀흘려 努力하는 가운데서만 實現되는 것입니다.

- 朴 大統領 汎國民貯蓄生活化 運動에 즈음하여 -

誠實하게 努力하며 사는 사람이 待接받는 社會를 建設하는 것이 참다운 社會正義의 實現입니다.

- 朴 大統領 汎國民貯蓄生活化 運動에 즈음하여 -