

증산을 위한 各種 機械 容量檢討와 實際

金 英 洙

〈星信洋灰(株) 丹陽工場生産 2課長〉

I. 序 言

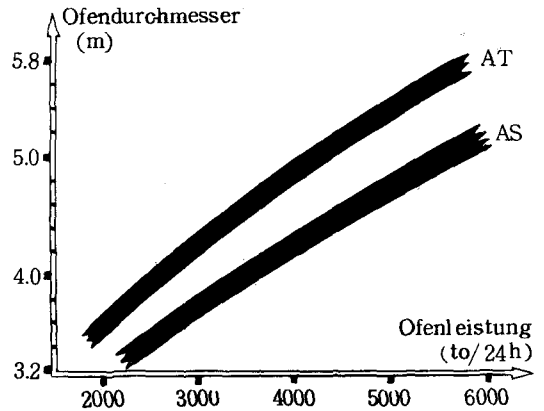
1979년 4월부터 시운전을 거쳐 정상 가동 중에 있는 prepol kiln은 당초 Polysius社에서 日産 3,000 t/d로 성능 보장을 하였으나 그 간 조업을 통해 여러가지 문제점을 개선하고 운전방법이 숙달됨으로써 日産 3,400 ~ 3,500 t/d까지 생산하여 왔다.

이제 시설용량을 최대로 활용코자 max. production을 日産 3,800 톤까지 증산한다는計劃에 따라 各種 機械의 施設容量을 검토, 증산가능성 여부와 문제점 등을 찾아보고자 하는 것이다.

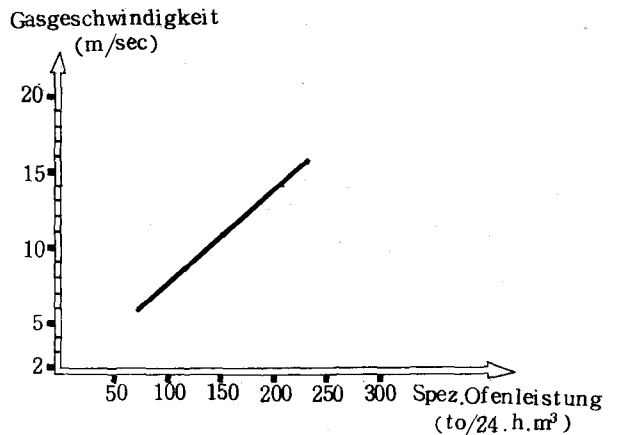
II. 各種 機械 施設의 容量 檢討

1. Kiln

〈表-1〉에서 보는 바와 같이 Polysius社의 일반적인 specific out put의 실제 기준치는 S·P의 경우 $1.8 \sim 2.1 \text{ t/m}^3 \cdot 24\text{h}$, N·S·P kiln의 경우 $3 \sim 4 \text{ t/m}^3 \cdot 24\text{h}$ 로서 prepol kiln의 경우 개조전 $3.5 \text{ t/m}^3 \cdot 24\text{h}$ 에 비하여 개조후는 $4.17 \text{ t/m}^3 \cdot 24\text{h}$ 까지 가능한 것으로 나타나 3,800 t/d를 지속적으로 생산하기는 다소 무리 할 것으로 예상되지만 Polysius의 실제 기준을 준한다면 약 3,650 t/d 정도는 생산이 가능할 것으로 예상된다.



〈그림-1〉 Kiln capacity and kiln diameter for AS and AT



〈그림-2〉 Gas velocity in Dopol kilns without precalcining

Comparison of kiln characteristics data

<表-1>

description	unit	specification		modified		remark	
		1,500 t/d plant	3,200 t/d plant	2,000 t/d plant	3,800 t/d plant		
type	形式	S.P	N.S.P	S.P	N.S.P		
dimmmension	m	4.4 φ × 70 m	4.8 φ/5.0 × 60/89.5 m	4.4 φ × 70 m	4.8 φ/5.0 × 60/89.5m		
L/D ratio		15.9	12.5	15.9	12.5	Polysius data	
						dopol	prepol
						14 ~ 17	12 ~ 16
specific output	t / m ³ · 24h	1.75	3.5	2.32	4.17	Polysius data	
						dopol	prepol
	t / m ² · 24h	122	210	163	250	Polysius data	
						dopol	prepol
						130	150 ~ 200
power requirement	kwh	spec 125	800	—	800		
		cal 125	667	167	792		
variable speed motor power	kwh	170	650 × 2	170	650 × 2		
specific volume for power	m ³ /kw	8.515	2.023	8.515	2.023		
kiln slope	%	3	3.5	3	3.5		
corresponding load	%	12	11	12	11		
kiln rotation	R.P M	2.0	3.2	2.0	3.2		
effective cross sectional area	m ²	10.8	13.5	10.8	13.5		
circumferenti- al speed	m/sec	0.461	0.804	0.461	0.804	dopol 0.5m/sec prepol 0.83 m/sec	
thermal load	10 ⁶ KJ / m ² · h	14.1	15.9	18.3	19.6 / 18.1	main burner 60 % 기준 oil전소 / 저질탄훈소	
heat consumption	kcal / kg_cli	820	795	798	822/761	oil 전소 / 저질탄훈소	
theoretical gas velocity in kiln	m/sec	13.7	18.8	18.3	22.4	specific gas flow rate dopol : 1.20 ~ 1.25 nm ³ / kg_cli. prepol : 1.0 nm ³ / kg_cli. Polysius 설계 기준치 S.P : 6 ~ 16 m/sec prepol AS : 12m/sec AT : 18 ~ 21m/sec	

kiln 비표면적당 생산량은 설계상 S·P 의 경우 130 t/m²·24h, N·S·P의 경우 150 ~ 200t/m²·24h이나 3800t/d로 개조시는 250 t/m²·24h으로 증가 할 뿐 아니라 kiln 내부의 流速 역시 개조된 18.8 m/sec에서 22.4 m/sec (설계기준치 AT: 18 ~ 21 m/sec)로 증가함에 따라 kiln 内部에서의 gas 와 원료간의 전열 效果는 저하할 뿐 아니라,

Thermal load 역시 15.9 × 10⁶ KJ/h·m² 에서 oil 전소시 19.6 × 10⁶ KJ/h·m² 저질탄 혼소시 18.1 × 10⁶ KJ/h·m² 로 증가하므로 (기존 1.2號 kiln 의 thermal load 18.3 × 10⁶ KJ/h·m²로서 일반적인 S·P kiln 의 경우 열부하가 상당히 높다.) kiln 内部에서의 열교환을 촉진시켜 주고 열부하를 감소시켜 주기 위해서는 prepol burner 의 oil 比를 가능한 한 적절히 증가시켜 주는 것이 타당하리라 본다.

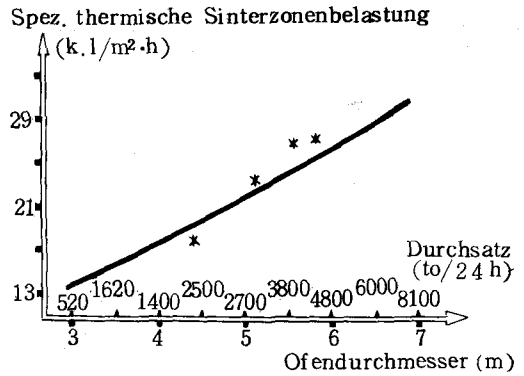
kiln driving power 는 일반적으로 kiln 기동시의 기동부하라든가 coating 또는 ring trouble 로 인한 갑작스런 부하를 감안하여 일반적으로 theoretical power requirement 보다 30 ~ 40 %의 여유를 감안하여 설계하는 것이 kiln 제작자들의 통례이다.

Polysius 의 설계 기준치에 의하면 cooler와 kiln이 분리된 kiln 의 경우 specific power는 2 kwh/t-cli. 이지만 planetary cooler를 가진 kiln 의 경우는 5kwh/t-cli. 이므로 power requirement 는,

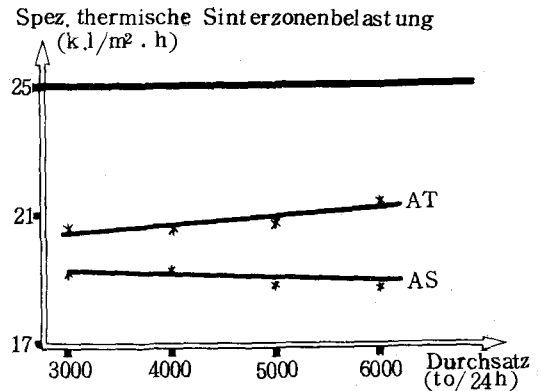
$$5 \text{ kwh/t-cli.} \times \frac{3,800 \text{ t/d}}{24 \text{ h/d}}$$

$$= 792 \text{ kwh} \approx 800 \text{ kwh}$$

로서 통상 설계상의 여유 36 %를 감안하면 800 × 1.36 = 1,088 kwh 이다.



<그림-3> Specific thermal load of Dopol kilns without Precalcining



<그림-4> Specific thermal load for AS and AT kilns

Preheater cyclone dimension & capacity

<表-2>

	dimension								cyclone diameter (Dm)	capacity (t/d)
	a	b	c	d	H	h	L	A ₂ /A ₁		
stage 1 cy.	0.596 D	0.337 D	0.128 D	0.550 D	1.579 D	0.642 D	-	1.18	5,490	3,351
stage 2 cy.	0.442 D	0.239 D	0.116 D	0.550 D	1.404 D	0.455 D	-	1.18	7,750	3,944
stage 3 cy.	0.596 D	0.337 D	0.128 D	0.550 D	1.579 D	0.642 D	0.572 D	1.18	5,490	4,092
stage 4 cy.	0.406 D	0.298 D	0.096 D	0.500 D	2.462 D	0.748 D	0.500 D	1.62	4,200	4,783
Average										4,043

그러나 現在 설치된 main drive motor power는 $650 \times 2 = 1,300$ kw로서 3,800 t/d 증산시도 충분한 용량을 갖고 있다고 보겠다.

2. Preheater

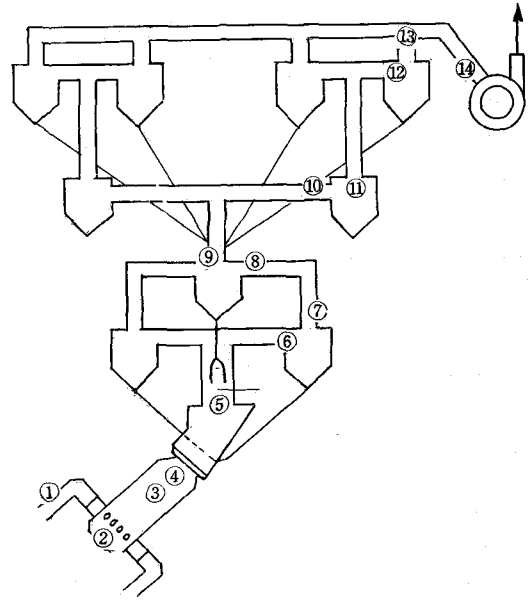
1) Preheater cyclone dimension & capacity

<表-2>에서 보는 바와 같이 cyclone 평균 용량은 4,043 t/d로서 日産 3,800 톤을 생산한다고 할 때 다소 여유가 있으나 단 1단 cyclone 용량이 3,351 t/d로서 그 용량이 미달됨을 알 수 있다.

그러나 vortex chamber를 비롯한 3단, 4단 cyclone의 용량이 충분하기 때문에 kiln 생산 능력을 3,800 t/d로 증가함에 따라 기인되는 preheater 배 gas 中 dust load의 급격한 증가는 없을 것으로 예상되며 열 교환 역시 기존 kiln과 달리 vortex chamber를 cyclone形式으로 개조된데다 3단 cyclone meal chute를 2단 gas duct에 投入되도록 개조된 것으로 볼 때 preheater 전반에 걸친 열교환은 심각한 문제가 아닐 것으로 생각된다.

2) 개조 전후의 各 gas duct 流速分布

粉粒體와 gas 間의 열교환에서 중요한 因子의 하나인 gas velocity를 알아보기 위해 plant 전반에 걸쳐 各部分의 gas velocity를 조사하였다. 그 結果 개조전 3,200 t/d 생산시 kiln 内部에서의 gas velocity가 18.8 m/sec에 비해 3,800 t/d로 개조시는 22.4 m/sec로 증가하였고 planetary cooler에서는 3.1 m/



<그림-5> diagram of preheater

sec에서 3.68 m/sec로 증가함에 따라 열교환이 개조전에 비해 다소 저하되리라 예상된다.

특히 1단 cyclone 入口(point 6)의 流速이 設計上으로는 18.2 m/sec이나 operation condition에서는 이 부분에 dust 積粉으로 因해 단면적이 축소되어 gas velocity가 29.8 m/sec로 증가됨에 따라 1단 cyclone에서의 dust collection efficiency는 급격히 저하될 것으로 예상될 뿐 아니라 pressure drop이 증가되므로 相對的으로 kiln wast gas의 배풍량을 감소시켜 주는 요인이 되기 때문에 dust 積粉防止를 위한 대책이 마련되어야 할 것이다.

또 일반적으로 gas stream 上 neck point인 kiln inlet throat에서의 gas velocity의

<表-3> L/A ratio of gas duct

	prepol Kiln		dopol kiln	
	A	L/A	A	L/A
stage I gas duct	15.89 m ²	2.337	5.487 m ²	1.263
stage II gas duct	6.07 × 2 m ²	1.691	2.659 × 2 m ²	2.956 × 2
stage III gas duct	12.57 m ²	0.588	3.767 m ²	2.693
stage IV gas duct	5.85 × 2 m ²	1.622	2.573 m ²	3.707
Total Height	70 m		70 m	

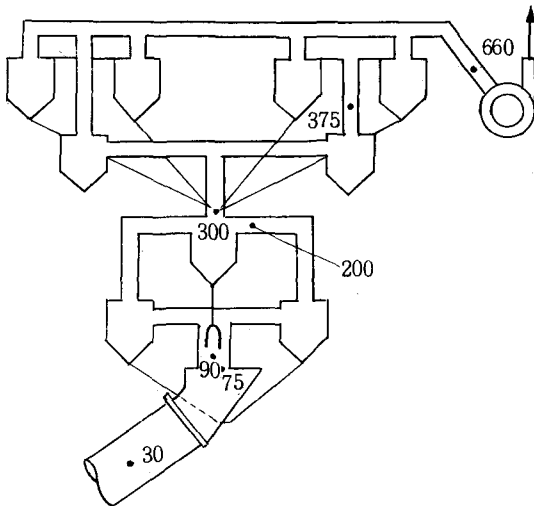
<表-4>

Gas velocity of preheater

point No.	gas duct		gas velocity		dopol kiln
	dimension	cross sec. hrea	개조전 3,200 ^t /d	개조후 3,800 ^t /d	
1	1,840/ 1,950 φ	2.82 × 9	3.1m/sec	3.68 m/sec	-
2	-	-	-	-	-
3	4.4 φ	15.2	18.8	22.4	18.3
4	3.43 φ	9.24	20.4	24.2	21.4
5	3.75 × 3.9	15.89	15.7	18.6	23.9
6	1.85 × 3.27 (1.85 × 2.0)	6.05 × 2	15.3	18.2 (29.8)	23.3
7	2.78 φ	6.07 × 2	15.4	18.3	21.2
8	1.85 × 3.27	6.05 × 2	14.8	17.6	21.9
9	4.0 φ	12.57	14.4	17.1	21.8
10	1.85 × 3.27	6.05 × 2	12.4	14.7	19.6
11	2.73 φ	5.85 × 2	13.2	15.7	30.5
12	1.25 × 1.704	2.13 × 2	15.6	18.5	23.3
13	1.50 φ	1.77 × 4	19.3	22.9	18.5
14	3.0	7.07	19.3	22.9	19.5

설계 기준치는 20 m/sec이나 3,800 t/d 로 개조시 20.4m/sec에서 24.2m/sec로 증가함에 따라 inlet throat 부근에서의 dust circulation의 증가로 인해 이 부분의 coating trouble이 예상된다.

3) 改造前后 Preheater 壓損分布



<그림-6> Preheater 부압분포

3. Firing system

1) Primary air 용량

① Assumption

clinker production : 3,800 t/day

heat consumption : 796 kcal / kg-cli.

(performance test)

fuel low calorie : 9,600 kcal / kg-oil.

(polysius 계산근거)

② Calculation

fuel 소요량 (Mk)

Mk

$$= \frac{3,800 \text{ t/d} \times 1,000 \text{ kg/t} \times 796 \text{ kcal/kg-cli}}{24 \text{ h/d} \times 9,600 \text{ kcal/kg-oil}}$$

$$= 13,128 \text{ kg/h}$$

main burner oil 비를 60 : 40 으로 가정하면

(a) 오일 全燒時 fuel 량

main burner (Fm) : 7,877 kg/h

(8,854 ℓ/h at 130°C)

prepol burner (Fp) : 5,251 kg/h

(5,901 ℓ/h at 130°C)

Pressure loss of preheater

〈表-5〉

point No.	개 조 전 (3,500 t/d)		개 조 후 (3,800 t/d)	
	resistance coffi	pressure loss	resistance coffi	pressure loss
from 1 to 2	1.7403	20 mmWG	2.2153	30 mmWG
from 2 to 5	0.0723	35 mm WG	0.0791	45 mm WG
from 5 to @	0.0507	15 mm WG	0.0434	15 mm WG
from @ to 8	0.2976	85 mmWG	0.3259	110 mm WG
from 8 to 9	0.4688	120 mm WG	0.3322	100 mm WG
from 9 to 11	0.2296	45 mmWG	0.3246	75 mm WG
from 11 to 14	0.6828	265 mm WG	0.6223/0.5459	285/(250) mmWG
Total		585 mmWG		660/(625) mmWG

※ () 안의 숫자는 diaphragm 제거후의 pressure loss 임.

$$K = \frac{\Delta P}{Q^2} \cong \frac{\Delta P}{V^2} \quad (\text{단, 단면적이 일정}) \quad \begin{matrix} Q: \text{流量} \\ V: \text{gas velocity} \end{matrix}$$

① main burner

theoretical combustion air volume (Ath)

$$Ath = 0.85 \times \frac{h\ell}{1,000} + 2.0$$

$$= 0.85 \times \frac{9,600}{1,000} + 2.0 = 10.16 \text{ nm}^3/\text{kg-oil}$$

공기비율 10%라고 두면

$$A_{act} = 1.1 \times 10.16 \text{ nm}^3/\text{kg-oil}$$

$$= 11.18 \text{ nm}^3/\text{kg-oil}$$

combution air volume (L)

$$L = A_{act} \times F_m = 11.18 \text{ nm}^3/\text{kg-oil} \times 7,877 \text{ kg-oil/h} = 88,065 \text{ nm}^3/\text{h}$$

그러므로 primary air volume (P_A)

$$P_A = L \times 0.1 = 88,065 \times 0.1 = 8,807 \text{ nm}^3/\text{h} \cong 8,800 \text{ nm}^3/\text{h}$$

② prepol burner

Comparison of primary air volume on kiln & prepol

〈表-6〉

description		specification		theoretical		measuring	
		main burner	prepol burner	main burner	prepol burner	main burner	prepol burner
fuel output	normal	10,000 kg/h	4,000 kg/h	-	-		
	max	12,000 kg/h	6,000/8,400 kg/h	-	-		
fan capacity	normal	11,800 nm ³ /h	2,200 × 2 nm ³ /h	8,800 nm ³ /h (7,930)	5,800 nm ³ /h (5,290)	-	1,870 nm ³ /h × 2
	max	14,100 nm ³ /h	2,200 × 4 nm ³ /h	-	-	13,000 nm ³ /h	1,870 nm ³ /h × 2
combution air volume		141,000 nm ³ /h		88,000 nm ³ /h (79,300)	58,700 nm ³ /h (52,900)		
primary air factor		0.1	0.1	0.1	0.1		
steady operation fuel output		6.6 t/h	4.4 t/h	7,877 kg/h (7,091)	5,251 kg/h (4,728)		
fuel output factor		0.6	0.4	0.6	0.4		
계 산 근 거		oil 전소시 : 796 kcal / kg-cl coal 혼소시 : 78 ℓ / t-cl				※ () 안의 숫자는 coal shale 혼소시	

specific air volume

$$A_{act} = 11.18 \text{ nm}^3/\text{kg-oil}$$

combustion air volume

$$L = A_{act} \times F_p = 11.18 \times 5,251 \\ = 58,706 \text{ nm}^3/\text{h}$$

∴ primary air volume

$$P_A = L \times 0.1 = 58,706 \times 0.1 = 5,870 \text{ nm}^3/\text{h}$$

(b) Coal 혼소시 (coal shale 4% 혼입시)

coal shale 혼입량

$$Q = \frac{3,800 \text{ t/d} \times 1.63}{24} \times 0.04 \\ = 10.32 \text{ t-coal/h}$$

coal shale 에 의한 calorie (H)

$$H = 10,320 \text{ kg-coal/h} \times \\ 1,100 \text{ kcal/kg-coal} \\ = 11,352,000 \text{ kcal/h} \\ = 1,182.5 \text{ kg-oil/h} \\ = 1,235.6 \ell/\text{h} \text{ (Sg : 0.957 at } 15^\circ\text{C)}$$

그러므로 coal shale 혼입시 연료 기대량은
basis 796 kcal/kg-oil)

$$\frac{1,235.6 \ell/\text{h}}{85.75 \ell/\text{t-cli} \times 158.3 \text{ t-cli/h}} \times 100$$

= 9.1 %

예상되는 oil consumption 은

$$85.75 \ell/\text{t-cli} \times (1 - 0.091)$$

= 77.95 $\ell/\text{t-cli} \cong 78 \ell/\text{t-cli}$.

coal shale 혼입시 fuel 소요량 (M_k)

$$M_k = \frac{3,800 \times 78 \times 0.957}{24}$$

$$= 11,819 \text{ kg-oil/h}$$

main burner : prepol burner의 oil 비를

60 : 40 으로 두면

$$\text{main burner (Fm) : } 7,091 \text{ kg-oil/h} \\ (7,970 \ell/\text{h at } 130^\circ\text{C})$$

$$\text{prepol burner (Fp) : } 4,728 \text{ kg-oil/h} \\ (5,314 \ell/\text{h at } 130^\circ\text{C})$$

① main burner

specific air volume :

$$A_{act} = 11.18 \text{ nm}^3/\text{kg-oil}$$

combustion air volume :

$$L = A_{act} \times F_m \\ = 11.18 \times 7,091 \\ = 79,277 \text{ nm}^3/\text{h} \cong 79,300 \text{ nm}^3/\text{h}$$

primary air volume :

$$P_A = 0.1 \times L \\ = 0.1 \times 79,300 \text{ nm}^3/\text{h} \\ = 7,930 \text{ nm}^3/\text{h}$$

② prepol burner

combustion air volume (L)

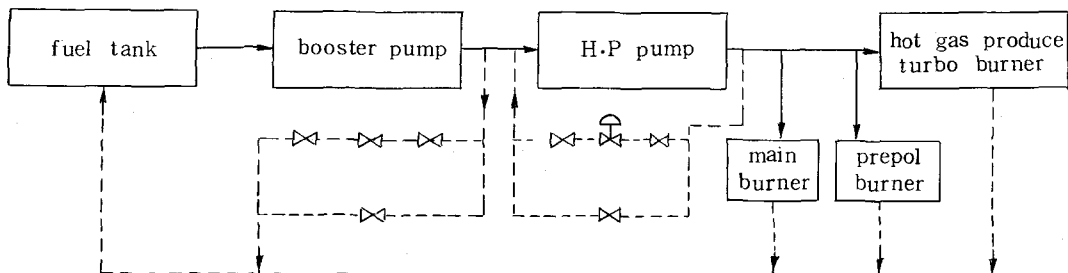
$$L = A_{act} \times F_p = 11.18 \times 4,728 \\ = 52,859 \text{ nm}^3/\text{h} \\ = 52,900 \text{ nm}^3/\text{h}$$

primary air volume (P_A)

$$P_A = 0.1 \times L \\ = 0.1 \times 52,900 = 5,290 \text{ nm}^3/\text{h}$$

③ 檢 討

上記 계산 결과에 의한 <表-6>의 data 를
고찰해보면 burner의 용량은 coal shale의 혼
소의 경우 그 용량이 充分하지만 oil 全燒의 경
우 prepol burner 2個 使用時 그 용량이 부
족되므로 prepol burner의 oil 비를 40% 까
지 유지시켜 주기 위해서는 burner를 3個 이



<그림-7> Fuel transfer circuit diagram

Specification of fuel transfer pump

〈表-7〉

description	booster pump	H·P pump
capacity	16 m ³ /h	13.2 t/h
power	7.5 kw	40 kw
pressure	3 bar	40 kg/cm ²
type of pump	gear pump	screw pump

상 사용하거나 oil tip의 개조가 불가피하다.

특히 coal shale 혼소시 prepol burner의 primary air volume 은 4,400 nm³/h 로서 용량이 부족되지만 통상 operation condition 에서 全燃燒 공기에 대한 primary air ratio는 통상 8%에 불과하므로 ($\frac{4,400}{5,290} \times 100 = 8.3\%$) 연소반응상 問題點을 야기시키지 않으리라 생각한다.

2) Fuel supply pump의 容量 檢討

〈그림-7〉과 〈表-7〉에서 보는 바와 같이 H·P pump의 용량은 13.2 t/h 으로서 coal shale 혼소시는 total fuel 소요량이 11.819 t/h 으로 용량이 충분하지만 oil 전소시는 13.128 t/h 이므로 piping에 의한 head 및 friction loss 를 감안 할 때 H·P pump의 용량은 거의 한계점에 달하므로 remote control 上에 問題點을 야기시킬 충분한 소지가 있으리라 생각된다.

3) Blast tube of main burner

(1) calculation

① fuel 소요량 (M_K)

$$M_K = \frac{3,800 \text{ t/d} \times 1,000 \text{ kg/t} \times 796 \text{ kcal/kg-cli}}{24 \text{ h/day} \times 9,600 \text{ kcal/kg-oil}} \times 1.2 = 15,754 \text{ kg/h}$$

(但 burner design factor 1.2)

② main burner의 fuel 공급량

제어 한계를 total oil의 70%로 보면
 $15,754 \text{ kg/h} \times 0.1 = 11,028 \text{ kg/h}$
 $\cong 11,000 \text{ kg/h}$

③ 연소공기량 (A_{act})

理論 연소공기량 $A_{th} = 0.85 \times \frac{9,600}{1,000} + 0.2$
 $= 10.16 \text{ nm}^3/\text{kg-oil}$

공기과잉계수를 10%라 두면
 연소공기량 $A_{act} = 1.1 \times 10.16 \text{ nm}^3/\text{kg-oil}$
 $\times 11,000 \text{ kg-oil/h} = 122,936 \text{ nm}^3/\text{h}$

④ Primary air volume

primary air ratio : 10%
 primary air volume

$P_A = 0.1 \times 122,936 \text{ nm}^3/\text{h} = 12,294 \text{ nm}^3/\text{h}$
 primary air temperature 40°C 이므로
 $LT = 12,294 \text{ nm}^3/\text{h} \times \frac{273 + 40}{273}$
 $= 14,095 \text{ nm}^3/\text{h}$
 $\cong 14,100 \text{ m}^3/\text{h}$

⑤ blast tube dimension

$H' = K \frac{rv^2}{2g}$ ①

where

- k : 선단형상에 의한 선단계수
- r : 공기비중 ($1.293 \times \frac{273}{273+x} \text{ kg/m}^3$)
- g : 9.8 m/sec²
- H : head loss (mmWG)

①식을 정리하면

$$V = \frac{1}{\sqrt{K}} \times 0.24 \times \sqrt{323 H}$$

$$= K' \times 0.24 \times \sqrt{323 H}$$

N·F·K에 의하면 axial K' : 0.53
 rodial K' : 0.83

: axial flow : rodial flow = 40 : 60

으로 설정되어 있으므로 primary air flow 를 다음 조건에 충족시키기 위해 요구되는 flow rate를 구하면

axial flow : 1,200 mmWG
 rodial flow : 1,200 mmWG

$V_{axial} = 0.53 \times 0.24 \times \sqrt{323 \times 1,200}$
 $= 79.2 \text{ m/sec}$

$V_{rodial} = 0.83 \times 0.24 \times \sqrt{323 \times 1,200}$
 $= 124 \text{ m/sec}$

추방하자 허레허식

실천하자 근검절약

이므로 요구되는 단면적은

$$A_{axial} = \frac{14,100 \times 0.4 \times 10^4}{79.2 \times 3,600} = 198.45 \text{ cm}^2$$

$$A_{radial} = \frac{14,100 \times 0.6 \times 10^4}{124 \times 3,600} = 189.52 \text{ cm}^2$$

그러므로 blast tube 선단 반경은
radial flow :

$$\pi \left\{ r_1^2 - 74^2 \right\} - \frac{(6+15)(r_1-74)}{2} \times 12 = 18,952$$

$$\therefore r_1 = 115 \text{ mm}$$

$$\text{axial flow : } \pi \left\{ r_2^2 - (114.6 + 4)^2 \right\} = 19,845$$

$$\therefore r_2 = 143 \text{ mm}$$

<表-8>에서 보는 바와 같이 specification 이나 계산 결과가 별 차이가 없으므로 3,800 t/d 증산시에도 blast tube 를 개조 할 필요가 없겠다.

4) burner orifice tip 의 선정

① Oil 전소시

제어 한계를 total oil 의 70%라고 할 때
13,128 kg/h × 0.7 = 9,190 kg-oil/h

$$d = 0.2 \sqrt{\frac{9,190}{36}} = 7.8 \text{ mm}$$

② Coal shale 4% 혼소시

17,819 kg-oil/h × 0.7 = 8,273 kg-oil/h

$$d = 0.2 \sqrt{\frac{8,273}{36}} = 7.4 \text{ mm}$$

Blast tube dimension

<表-8>

description	specification	calculated
axial flow diameter	288 φ	286 φ
radial flow diameter	233 φ	230 φ

上記 계산 결과 main burner의 orifice tip은 oil 전소의 경우

상태 불량시 S·P로 전환 운전할 경우가 있으므로 그때 oil 량의 증가에 대비하여 7.8 mm 가 적합하리라 생각된다.

4. kiln IDF 및 E/P IDF 용량

1) kiln IDF의 용량

(calculation)

$$PW_{th} = \frac{Q \text{ (m}^3/\text{sec)} \times \Delta P_c \times g \times D_f}{y \times 10} = \frac{\left(\frac{600,000}{3,600}\right) \times 715 \times 9.81 \times 1.02}{80 \times 10}$$

$$= 1,490 \text{ kw}$$

$$\Delta P_c = (660 - 120) \times 1.325$$

$$= 715 \text{ mm WG}$$

(別異)

polysius 設計 기준치에 의하면 kiln exhaust fan power consumption이 9.3 kwh / t·cli. 이므로

$$\frac{3,800 \text{ t/day}}{24 \text{ h}} \times 9.3 \text{ kwh / t·cli.} = 1,473 \text{ kwh/h}$$

2) E/P I-D-F 의 용량

(calculation)

$$\text{maximum through output } 3,800 \text{ t/d} = \frac{3,800 \times 1,000}{24} = 158,333 \text{ kg-cli/h}$$

preheater exhaust fan gas volume :

$$600,000 \text{ m}^3/\text{h} \times \frac{273}{273+370} \times \frac{10,330-660}{10,330} = 237,500 \text{ nm}^3/\text{h}$$

specific gas volume :

$$\frac{237,500}{158,333} = 1.50 \text{ nm}^3/\text{kg-cli}$$

cooling water quantity (Q)

preheater exhaust gas temp 370°C

E/P 入口 temperature 150°C

$$Q = \frac{(0.357 \times 370 - 0.340 \times 150) \times 237,500}{655.8 - 5}$$

Comparison of kiln I·D·F capacity

<表-9>

description		개 조 전		개 조 후 (3,800 t/d)		remark
		3,200 t/d		specification	theoretical	
K/L I · D · F	fan capacity	$\frac{550,000 \text{ m}^3/\text{h}}{221,300 \text{ nm}^3/\text{h}}$	$\frac{603,100 \text{ m}^3/\text{h}}{238,700 \text{ nm}^3/\text{h}}$	$\frac{600,000 \text{ m}^3/\text{h}}{237,500 \text{ nm}^3/\text{h}}$		basis 1.5 nm ³ /kg-cl
	static pressure	- 600 mm WG	- 700 mm WG	- 660 mm WG		
	total pressure	645 mm WG	-	-		
	temperature	366 °C	370 °C	370 °C		
	power requirement	1,240 kw	1,490 kw	1,490 kw		
	motor rating	1,450 kw	1,700 kw	-		
	fan R·P·M	1,190	1,190	-		
	fan impeller diameter (mm)	2,350	2,585	-		

nm³/h
 = 29,592 kg-water/h
 ≅ 29,592 ton-water/h
 ≅ 36,800 nm³/h

direct operation 시 E/P gas volume

$$237,500 + 36,800 = 274,300 \text{ Nm}^3/\text{h}$$

combined operation 시 E/P gas volume

$$237,500 + (329,000 - 200,000)$$

$$= 366,500 \text{ nm}^3/\text{h}$$

$$= 503,300 \text{ m}^3/\text{h}$$

E/P IDF pressure

$$P = 150 \times \left(\frac{503,300}{450,000}\right)^2 = 187 \text{ mm WG}$$

E/P IDF power

$$\frac{PW_2}{PW_1} = \frac{\left(\frac{503,300}{3,600}\right) \times 187}{\left(\frac{450,000}{3,600}\right) \times 150} = \frac{PW_2}{348}$$

$$\therefore PW_2 = 485 \text{ kw}$$

3) 檢 討

<表-9>과 <表-10>에서 보는 바와 같이 이론상 요구되는 kiln I·D·F의 용량은 약 600,000 m³/h × 1,490 kw이나 Polysius에서 공급된 I·D·F 용량은 603,100 m³/h × 1,490 kw로서 여유가 있으며 E/P I·D·F 역시 이론상 503,300 m³/h × 485 kw 이지만 Polysius 공급분은 505,000 m³/h × 490 kw로서 용량이 충분

Comparison of E/P IDF capacity

<表-10>

description		개 조 전		개 조 후 (3,800 t/d)		remark
		3,200 t/d		specification	theoretical	
E/P I · D · F	fan capacity	$\frac{450,000 \text{ m}^3/\text{h}}{329,000 \text{ nm}^3/\text{h}}$	$\frac{505,000 \text{ m}^3/\text{h}}{368,000 \text{ nm}^3/\text{h}}$	$\frac{503,300 \text{ m}^3/\text{h}}{366,500 \text{ nm}^3/\text{h}}$		
	static pressure	- 150 mm WG	- 190 mm WG	- 187 mm WG		
	total pressure	180 mm WG	-	-		
	temperature	95 °C	95 °C	95 °C		
	power requirement	348 kw	490 kw	485 kw		
	motor rating	400 kw	560 kw	-		
	fan R·P·M	880	890	-		
	fan impeller diameter (mm)	1,870	2,050	-		

Specification of dosing equipment

<表-11>

description		specification	remark
intermediate hopper	capacity	50 m ³	
	outlet dimension	200 φ	
schenck weigher	capacity	240 t/h	scale 270 t/h
	regubting range	1 to 10	
	weighing precision	1 %	
roots blower	output	2 m ³ /min	
	pressure	0.3 bar	
	blower speed	2,100 R·P·M	
	power requirment	6.6 kw	
	motor power	9 kw-1,800 R·P·M	
	fludization air ratio	0.5 m ³ /t- raw mix	

분하리라 생각된다.

특히 의문시 되는 것은 일반적인 설계상 E/P I·D·F의 용량은 K/L I·D·F 용량의 약 1.4 ~ 1.5 배 정도이나 當 prepol kiln은 $\frac{368,000 \text{ nm}^3/\text{h}}{237,500 \text{ nm}^3/\text{h}} = 1.55$ 배로서 상당히 큰 것은 아마도 R/M exhaust gas 처리가 trouble pass에서 기인된 것이 아닌가 생각된다.

5. Dosing equipment

1) Schenck weigher

schenck weighing feeder 는 當初 240 t - R·M/h 로 설계된 것이나 증산계획에 대비하여 guarantee test 기간중 Polysius member 에 의해 270 t/h 로 scale up 했으므로 3,800 t·cl/d 증산시는 問題點이 발생되리라 예상 된다.

특히 3,800 t/d 로 증산시 fludization air volume 은

$$\frac{2 \text{ m}^3/\text{min} \times 60 \text{ min}/\text{h}}{270 \text{ t}/\text{h}} = 0.44 \text{ m}^3/\text{t- raw mix}$$

로서 실제 기준치인 0.5 m³/ t- raw mix에 미치지 못하므로 fludization air 의 증가를 위

Specification of pneumatic elevator

<表-12>

description		specification	actual
air lift	vessel dimension	1,600 φ × 7,500	
	lifting height	70 m	
	tubing dimension	φ NW 550 (559 φ × 7)	
	nozzle dimension	285 φ	
	reduction ratio	27 %	
	out put	270 t/h	
	density of raw mix	0.8	
	pressure	0.5 kg/cm ²	
	necessary air output	19.620 m ³ /h	
	air velocity in nozzle	86 m/sec	
roots blower	out put	6,540 m ³ /h × 3	
	pressure	0.5 kg/cm ²	
	requirment power	109 kw × 1,140 R·P·M	
	motor power	150 kw × 1,800 R·P·M	

Specification of planetary cooler

<表-13>

description	specification (3,200 t/d)	calculated (3,800 t/d)	remark
dimension	2.2 φ × 24/24.9 m		
L/D ratio	11		
quantity of cooling tube	9		
total volume	852 m ³		
specific output for cooler volume	3,756 t-cli/m ³ ·d	4,460 t-cli/m ³ ·d	Polysius 설계치 2.5 ~ 3.5 m/sec
gas velocity	3.1 m/sec	3.68 m/sec	
cooling water flow	200 m ³ /h × 2		
topping up water flow	133 m ³ /h		

해 2개의 hopper를 동시에 사용하는 방안과 必要에 따라 intermediator hopper의 원료인 출구 크기를 現在 200 φ보다 증가시켜 주는 것도 하나의 방법이라 하겠다.

2) Pneumatic elevator

aeropol의 일반적인 설계 rule에 의하면 reduction ratio 25 ~ 33%, nozzle에서의 air velocity가 88 m/sec로 설계하므로 3,800 t-cl/day로 증산시 <表-12>에서 보는 바와 같이 reduction ratio가 27% nozzle air velocity가 86 m/sec로서 pneumatic elevator의 용량은 충분하리라 생각된다.

特記. 할만한 것은 그간 운전 경험을 통해 볼 때 roots blower를 2台南 가동하여도 원료의 수송이 가능하다는 점이다. (nozzle air velocity 57 m/sec 이지만)

6. Planetary cooler

3,800 t/d로 증산시 planetary cooler 내부에서의 cooling air velocity가 3.1 m/sec에서 3.68 m/sec로 증가하므로 clinker와 cooling air 간의 열교환은 현저히 저하될 뿐 아니라 clinker의 溫度를 개조전과 동일 조건으로 유지해 주기 위해선 cooler 단위 체적당 처리 能力이 3,756 t-cl/m³·d에서 4,460 t-cl/m³·d로 증가되어야 한다.

따라서 cooling 效果를 증대하여 주기 위해 planetary cooler 내부에 살수를 시켜주는 方

法도 있겠으나 냉각수의 증발로 combustion air를 감소시켜 주는 結果가 초래될 뿐 아니라 同一 combustion air를 유지시켜 주기 위해서는 kiln I·D·F의 capacity가 상대적으로 증가되어야 하는 문제가 생긴다.

그러므로 pump의 용량을 최대한 이용하여 살수를 증가하거나 일단 살수된 냉각수는 회수하지 않고 방출함으로써 냉각수의 溫度를 낮추어 주는 것이 간접적으로 cooling 效果를 증대시키는 方法이라고 생각된다.

III. 綜 合

진술한 바와 같이 各種 기계장치들을 檢討해 본 結果 다음과 같이 요약할 수 있다.

① kiln capacity는 max 3,800 t/d까지 生産은 可能하나 specific output 또는 thermal load 등을 감안 할 때 3,800 t/d를 지속적으로 생산하기는 다소 무리이며 Polysius의 설계치를 준한다면 3,650 ~ 3,750 t/d 정도는 생산 可能하리라 본다.

② preheater의 평균 용량은 4,043 t/d로서 충분하나 1단 cyclone 入口의 dust 積分으로 因해 dust collection efficiency의 저하와 pressure drop으로 因한 kiln waste gas의 배풍량을 감소시켜 주는 結果를 초래하므로 automatic poking system을 설치하여 dust 적분을 방지시켜 주는 것이 바람직하다.

③ kiln firing system 中 primary air 용량은 충분하지만 oil 전소시 13,128 kg/h(oil

Prepol kiln 개조후 (3,800 t/d) 가동현황

<表-14>

description	data	remark
Prepol preheater		
◦ exhaust gas	1.30 nm ³ /kg- cli	
◦ wast gas temperature	380°C	
◦ O ₂ content in		
wast gas	4 %	
3 stage gas duct	1 %	
◦ dust load wast gas (wet base)	68.6 g/nm ³	
◦ specific heat consumption of prepol burner	290.4 kcal/kg- cli	31.4 ℓ- oil / t- cli
◦ ratio to total heat consumption	40 %	
◦ prepol primary air volume	0.0112 nm ³ /kg- cli	
◦ decarbonation ratio	88 %	
◦ pneumatic conveying air for raw meal	0.103 nm ³ /kg- cli	
Rotary kiln		
◦ clinker production	3,726 t/d	
◦ specific heat consumption	436 kcal/kg- cli	47.0 ℓ- oil / t- cli
◦ ratio of total heat cons.	60 %	
◦ primary air volume	0.0820 nm ³ /kg- cli	
◦ kiln revolution	3.2 R·P·M	
◦ volumetic specific out put	4.1 t/nm ³ ·d	
Planetary cooler		
◦ clinker inlet temperature	1,130°C	
◦ clinker outlet temperature	140°C	
◦ volumetic specific output	4.37 t- cli/m ³ ·d	
◦ cooling water flow	134 m ³ /h	

consumption 796 kcal/kg- cli)가 요구되므로 현재의 H·P pump 용량인 13,200 kg/h 으로서는 그 용량이 거의 한계에 달한다.

④ blast tube 의 용량은 3,800 t/d 생산시에도 별다른 問題點이 없으리라 예상된다.

⑤ kiln I·D·F와 E/P I·D·F 용량 역시 3,800 t/d 생산시 무난하리라 생각된다.

⑥ schenck weigher 의 용량이 당초 설계치 240 t/h 에서 270 t/h 으로 처리 용량이 증가됨에 따라 W/F hopper 를 2개 병행 운전하든가 원료 인출구의 크기를 200 φ에서 212 ~ 225 φ로 증가시켜 주는 것이 바람직하다.

⑦ pneumatic elevator 의 용량은 당초 P-olysius 측에서 3,800 t/d 생산시에 대비하여 공급된 것으로 용량이 충분할 것으로 보며,

⑧ planetary cooling efficiency 를 증가시켜 주기 위해선 살수된 냉각수는 회수하지 않고 방류하여 냉각수의 溫度를 낮추어 주는 것이 可할 것으로 보며 support roller metal cooling 用 냉각수를 회수 보충토록 한다.

IV. 改 造 成 果

3,800 t/d capacity로 전환 공사 이후 최근 2個月間의 운전실적을 보면 매우 성공적이어서 일산 최고 3,800 톤까지 생산하였으며 현재는 연료비 절약을 위해 coal shale 4% 정도를 원료에 혼합하여 사용하고 있고 kiln 의 안정화를 기하기 위해 3,700 ~ 3,750 톤 정도로 운전하고 있다. 現在 가동중인 3號 kiln 의 가동상태는 <表-14> 와 같다. ❀❀