

Dopol式

시멘트機械施設の 運轉實績

東洋시멘트工業株式會社
三陟工場生産部長

高 一 龍

恒常 先導의 立場에 있는 東洋시멘트 三陟工場은 지난 67年4月 우리 나라에서는 最初로 日産 1300屯規模의 Dopol kiln을 完工하였다. Dopolkiln의 優秀性은 이미 先進外國에서 널리 立證된 것이며 우리 나라에 있어서도 앞으로 新設 또는 增設될 Kiln은 大部分 Dopol인바 東洋의 이번 論考는 이러한 意味에서 매우 價値 있는 것이라 할 수 있다.

이와같이 實際 Data에 依한 論文의 繼續的인 發表가 所望된다. <編輯者 註>

In은 西獨 Polysius社에서 開發하여 最近 日本 三菱重工業과 技術提携를 하여 急速히 發展된 乾式의 最新의 燒成 Kiln이다. Polysius社 (Polysius G. m. b. H.) 덴마크의 F. L. Smidth社, 美國의 Alls charmer社와 같이 시멘트機械의 世界三大 maker의는 하나이며 1859年에 創設되어 一次世界大戰 以前부터 시멘트 機械의 製造設置에 많은 業績을 남겼고 1928年 Lepol Grate를 研究開發하여 시멘트 製造 方式의 새 起源을 이룬 것으로 有名하다.

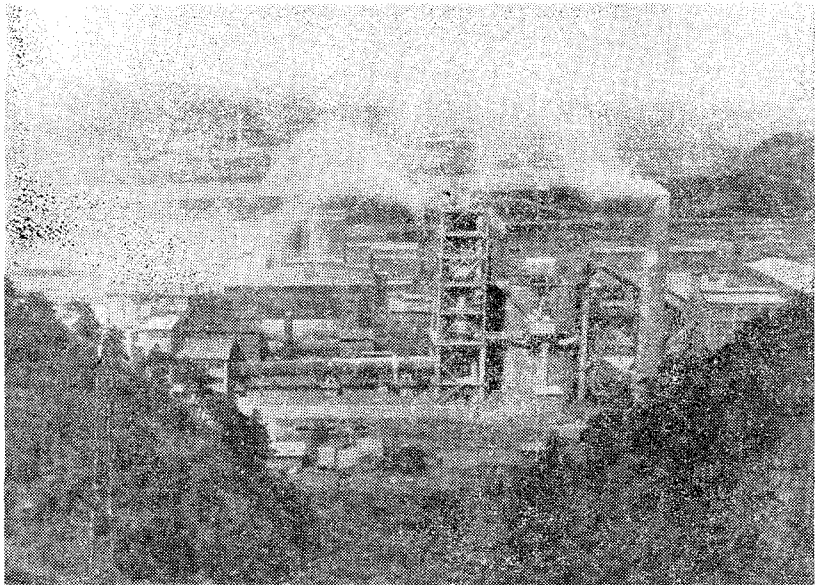
2次大戰後에도 곧 시멘트機械의 製作을 再開하여 1961년까지의 10年間に 200基以上의 Rotary Kiln을 製作한 實績이 있고 Dopol Kiln은

1. Dopol Kiln의 沿革
2. 三菱 Polysius Dopol Kiln의 概要와 特徵
3. Dopol Preheater의 原理와 構造
4. Double Rotator mill의 運轉實績
5. 結 言

1. Dopol Kiln의 沿革

Dopol의 語義는 Dopp-elstromvorwarmer(Double Flow Preheater)과 Polysius社의 頭文字를 따서 當初에는 Dostro-Pol이라고 稱하였다가 中間을 略하여 Dopol이라고 부르게 됐다.

當社에서 3次增設計劃에 採擇하여 今年 4월에 竣工을 보게된 Dopol Ki-



東洋시멘트 三陟工場全景 (前面에 보이는 kiln이 이번 完工된 것임)

년에 200 ton/D의 小型으로부터 始作하여 大型化하여 日産 3000ton/D 以上の manmos 에도 成功하였다. 또한 Double Rortator mill 5年 50基 以上 製作하고 있으며 Dopol Kiln 類이 그 性能이 優秀함이 널리 알려져있다.

2. 三菱 Polysius Dopol Kiln의 概要와 特徵

來의 시멘트製造方式으로서는 Polysius社가 한 Lepol Kiln이 獨逸에서 좋은 條件 밑에 達成되어 燃料費가 低廉하다는 點에서 널리 되어 우리 나라에서도 當社를 비롯해서 韓 現代 그리고 忠北等 各社에서 設備하고 있으며 原料의 均一性이 缺如되고 特히 粘土의 性質 生産能力을 低下시키고 있으며 또 操作의 複業에도 2~3人의 増員이 따르고 補修費等가 勿論할 때 生産 Cost가 반드시 싸다고는 할 수 없다.

Dopol Kiln에 採用되어 있는 Cyclon에 依한 換 方法은 오래前부터 利用되어 왔으나 原 排 gas 와의 熱交換이 不充分 하거나 原料 用途에 裨하지 않고 充分히 燃燒되도록 改良 함이 Dopol에서 發見할 수 있다.

따라서 燃料消費에서도 Lepol式에 比해서 200 Kcal/kg clinker 程度적게 들며 Kiln 以外의 Preheater 部分이 固定되어 補修費도 덜들고 그 도 여러가지 長點이 發見되었다. 重要한 特 點을 들어보면

- 1) 燃料消費量이 적다.
- 2) 燃料費熱量이 800 kcal/kg clinker 以下로서 足하 足한 Preheater 排氣 gas는 原料粉碎機(Dou- Rotator mill)에 보내서 原料乾燥에 利用되므 로 650~700 kcal/kg clinker 로 나출 수 있다.
- 3) Kiln 燒出能力을 增大 시킨다.
- 4) 工場의 Kiln의 燒出能力이 1300 ton/D 를 상 限 最高 1450 ton/D 程度로서 Shell 內 容積 1000 m³ 出量은 65~67 kg/m³ hr 로 從來의 Lepol 式과 같은 程度의 數値를 나타내고 있다.
- 5) 原料의 選擇이 不必要하다.
- 6) Lepol式에 適合한 造粒性이 좋은 것이 아니

드라도 큰 支障이 없다.

(4) 運轉 補修가 容易하다.

Preheater 各部의 溫度變化는 比較的 적고 Kiln 에 들어 가는 原料中의 石灰分의 約 40% 程度 가 이미 燃燒되어 있으므로 燒成帶가 安定하여 燥業이 容易하다 다만 最下段 Cyclon과 Kiln Nousing 部分에 Coating이 附着하므로 若干 問題 가 되고 있다. 또한 Preheater 部分에는 可動部 分이 없으므로 補修作業은 매우 簡單하다.

(5) 製品의 質이 좋다.

當工場은 air Blending을 하여 原料成分의 均 一化에 努力하고 있으며 그 外에 操業이 安定해 있으므로 製品의 品質이 濕式의 境遇나 다른 無이 優秀함이 確認되었다.

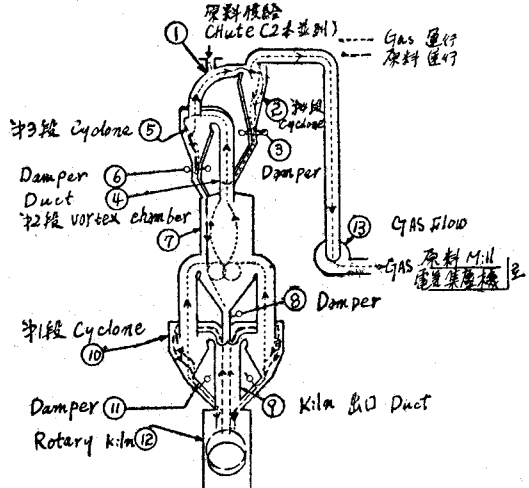
(6) 設置面積이 좁다.

Kiln의 길이는 짧고 Preheater의 斷面은 極히 작은 便이다.

3. Dopol Preheater의 原理와 構造

Dopol Kiln은 從來부터 있던 Humbolt式 Suspension Preheater Kiln과 같이 4段의 Cyclone으로 된 豫熱裝置로 構成되어 있으나 其中 1段은 向流(或은 反流 Counter flow) 熱交換을 하는 點과 나머지 3段은 모두 2個 並列의 Cyclone으로 되어 있는 點이 그 特徵으로 되어 있 다. (第1圖 參照)

第1圖 Polysius式 Dopol Preheater 構造說明圖



乾式 原料 Mill 에서 粉碎된 原料는 Blending Silo 에서 그 成分을 再調整한 調合原料 定量供給機를 거쳐 Preheater 塔頂까지 輸送하여 原料 Chute (1) 부터 2個의 Cyclon chute 에 等量씩 供給되고 gas flow 에 浮遊하면서 平行히 달려있는 第4段 Cyclone(最上段) (2)에 運搬된다.

Cyclone 內에서 浮遊하면서 gas flow 에서 受熱하고 遠心分離되어 下部의 air lock damper 의 上部 chute (4)에 들어가 다시 上昇 gas flow 에 浮遊되어 第3段 Cyclone (5)에 들어가 同一한 方法에 따라 受熱分離되어 air lock damper (6) 을 거쳐 第2段 Voltex chamber (7)에 投入된다. Voltex chamber 는 Dopol Preheater 의 가장 重要한 裝置로서 여기서는 原料와 gas flow 는 서로 反流 또는 渦流에 依해서 熱交換을 極히 效果的으로 하여 原料는 充分히 受熱을 하면서 降下하여 下部의 air lock damper (8)을 거쳐 Kiln 出口 duct (9) 中에 흘러들어가 다시 上昇 Kiln 排 gas flow 에 依해서 浮遊하여 第1段 Cyclone (10)에 들어가고 이곳에서도 同一한 方法으로 受熱分離되며 air-lock-damper (11)을 거쳐 Rotary Kiln 에 供給된다.

이 동안에 原料는 800°~820°C 까지 加熱되어 殆半은 燃燒된 狀態가 되어 Kiln 에 들어간다.

Kiln 排氣는 第1段 Cyclone (10)-第2段 Voltex chamber (7)-第3段 Cyclone (5)-第4段 Cyclone 을 거쳐 I. D. Fan (13)으로 誘引되어 排出된다.

約 1,000°C 의 Kiln 排氣는 各 Cyclone 에서 熱交換을 하고 I. D. Fan 에서는 320~350°C 가 된다.

當社 3號基의 設備의 概略의 規格은 다음과 같다.

(a) Rotary Kiln

크 기 : $\phi 4.14 \text{ m} \times L 63 \text{ m}$
 燒成能力 : 公稱 1,100 Ton/day
 驅動電動機 : 110kw
 傾 斜 : 3.5%
 Kiln 回轉速度 : 45~135 sec/rev

(b) Preheater

No. 4 Cyclone : $3.8 \text{ m}\phi \times 9.0 \text{ mH}$ 2個

No. 3 Cyclone : $3.8 \text{ m}\phi \times 6.5 \text{ mH}$ 2個

Voltex Chamber : $5.0 \text{ m}\phi \times 11.0 \text{ mH}$ 1個

No. 1 Cyclone : $4.0 \text{ m}\phi \times 6.5 \text{ mH}$ 2個

補助煙突 : $2.2 \text{ m}\phi \times 46 \text{ mH}$ 1本

(c) Kiln I. D. Fan 1臺

驅動電動機 : 650 kw

風 量 : $3,300 \text{ m}^3/\text{min}$

gas 溫度 : 320~450°C

靜 風 壓 : 650mmAq

回 轉 數 : 600~1,200 r.p.m.

(d) Pillard Burner

이 Burner 는 Oil 의 噴霧化가 매우 良好한 油壓式 Burner 로서 重油噴流는 旋廻流인 一次油와 直進流인 二次油로 區分되어 Barner gun 先端을 spray plate 앞에서 混合되어 噴出하는 構造로 되어 있다. 또 一次空氣도 二重管에 依해서 旋廻와 直進流로 갈라져서 噴出되므로 이 兩者의 各經路로 分配되는 油量과 空氣量을 調整하므로써 效果的으로 火焰의 燃燒狀態를 調整할 수 있다. Oil 全燒를 할 境遇 1次空氣의 比率는 6~7% 로서 足하며 따라서 高溫의 二次空氣의 回收量이 增加해서 熱回收率도 向上된다.

容 量 : 6.0T/H

噴射壓力 : 30 kg/cm²(昇壓 Pump 를 設置한 후에는 35 kg/cm² 가 됨)

油 溫 : 110~120°C

一次空氣Fan : 100kw(無煙炭一重油混燒用)

靜 壓 : 600 mmAq

(e) Clinker cooler

Cooler 는 1065 水平型의 Fuller grate Cooter 로서 新三要素式을 採用하고 있다. 三要素式은 다음 三가지 壓力을 適切히 調整하므로써 Cooler 의 效果的인 運轉을 하는 方式이다.

① Kiln hood 壓力

② 冷却 第一室 壓力

③ 第2室과 3室의 上部差壓

Kiln 의 公稱能力은 1,100 Ton/day 이나 運轉狀態가 安定됨에 따라 能力은 漸次 上昇하여 平均 1,300 Ton/day 로서 公稱能力의 約 120% 로서 shell 內容積當의 比能力은 65 kg/m².hr 가 되

叢

1)는 Lepol Kiln의 値와 거의 同等한 値를 내고 있다.

轉日數가 經過함에 따라 Dopol preheater의 ones에는 比較的 堅固한 原料 Coating이 形고 特히 第1段(最下段) Cyclone의 Chute部 Kiln入口側에 甚하게 附着하여 燒成能力이 低下되고 있다. 最近의 操業에 對한 結果 다음과 같다.

第1表Dopol Kiln의 熱收支計算

린카 生産量: 1,349 Ton/day

料使用量: 2,155 Ton/day, 濕分: 0.5%

heater에서 排出되는 Dust量: 100 Ton/day (4.8%)

煙炭使用量: 91 Ton/day

油使用量: 56,790 l/day

煙炭發熱量: 5,680 kcal/kg

油發熱量: 9,800 kcal/l

基準溫度 20°C

項 目	入 熱		出 熱	
	kcal/kg of Cl	%	kcal/kg of Cl	%
燃料의 燃燒 熱	803	97.0		
燃料의 顯 熱	3	0.4		
原料의 顯 熱	15	1.8		
空氣의 顯 熱	7	0.8		
合 計	828	100		
理論 燒成 熱量			420	
原料中水分의 蒸發 潛 熱			6	
排 gas 顯 熱			175	
크 린 카 顯 熱			42	
쿠라排氣 顯 熱			112	
Preheater Dust의 顯 熱			6	
放射對流損失其他			67	
合 計			828	

	Dopol Kiln	濕 式 Long Kiln	Lepol Kiln	Shaft Kiln	乾 式 Short Kiln	濕 式 Short Kiln
1) 燃料消費 (kcal/kg of Cl)	800	1,400	950	1,050	1,600	1,700
2) 린카 (%)	(基準) 100	260	95	100 (能力×台數)	150	175
3) 工場面積 (%)	(基準) 100	180	130	80	220	250
4) 資材費 (%)	(基準) 100	135	240	150	120	130
5) 生産率 (%)	(基準) 100	105	115	70	110	115

第2表 製造方式對比表

<第3表>

Clinker 급 Coating 의 化學分析值

	Ig loss	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	CaO	MgO	SO ₃	Total	Free lime	安定度	係 數				備 考
											H.M.	S.M.I.	M.A.I.	A.I.	
크린카 1	1.08	22.17	5.89	3.05	64.61	1.47	0.45	98.27	1.30	0.09	2.08	2.48	1.93	3.76	
“ 2	1.67	22.36	5.87	3.09	64.00	1.63	0.45	98.62	1.25	0.03	2.04	2.50	1.90	3.81	
“ 3	1.47	22.25	6.01	3.09	64.00	1.79	0.45	98.56	1.12	0.10	2.04	2.45	1.94	3.70	
“ 4	1.50	21.97	5.73	3.17	64.44	1.76	0.45	98.57	0.77	0.06	2.09	2.47	1.81	3.83	
“ 5	1.40	22.06	5.97	3.15	64.40	1.96	0.45	98.84	1.28	0.06	2.07	2.42	1.90	3.70	
3 段 Cyclone Coating	36.02	7.72	4.54	4.24	45.48	1.05	—	99.05	—	—	—	—	—	—	Cyclone 内壁에附着된 초크레트色の 堅固한 Coating

4. Double Rotator mill (原料粉碎機) 의 運轉實績

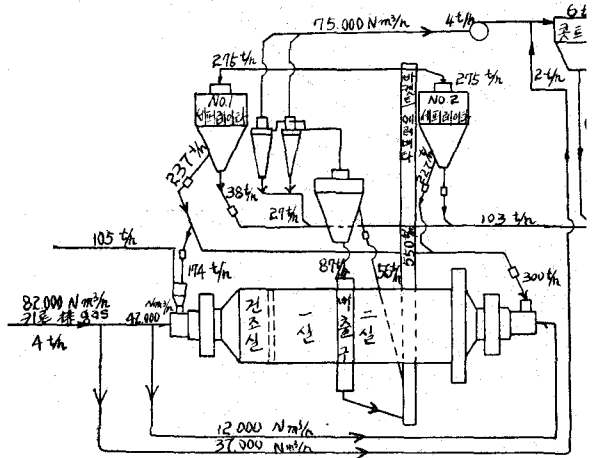
第2圖 Mill 風量 Balance 및 Material Balance

Double Rotator mill 에 對해서는 弊工場에 2 基가 그리고 韓一시멘트에 2 基가 있어 그 性能에 對해서 널리 알려져 있으리라고 믿고 今般 試運轉을 거쳐 本格的인 運轉을 하고 있는 3號基의 運轉實績과 그 粉碎能力과 Separator 의 效率及 乾燥能力에 對해서 略述하겠다.

1) 運轉狀況

이 粉碎機는 中央周邊排出方式이고 Air-swept mill 이며 Air-separator 를 가진 Close-circuit system 을 組合한 것이 그 特徵이 되어있다.

粉碎系統의 風量 balance 과 material Balance 及 重要 設備의 概要는 第2圖와 第4表와 같다.



<第4表>

粉 碎 室 主 要 設 備

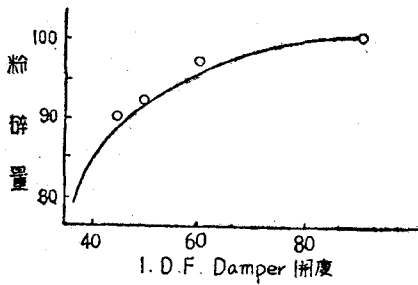
設 備 名	型 式	크 기	話 動 機	備 考
mill	Polysius 乾燥粉碎方式 中央排出方式 Air-Swept式	3.4mφ × 11.56mL	1,450kw	乾燥粉 1,374mL 1室 4,260mL 2室 4,535mL 室回轉速 16.3r.p.m.
Bucket Elevator	全密閉誘導排方式	550 Ton/hr	65kw	
Air-Separator	垂直轉遠心分級式	4.8mφ	85kw	2 基
Grid-Separator	慣性 Separator	3.5mφ		
Cyclone Collector	出口 Spiral管式	3.25mφ		2 基
L.D. Fan	Plat Fan	2,000m³/min × 500mmAp	350kw	gas Temp 90°C

mill 內通風量이 粉碎能力에 미치는 影響을 보면 第3圖와 같이 mill 의 粉碎能力은 通風量을 增加시켜 Air-swept 效果를 올리면 上昇한다. 그

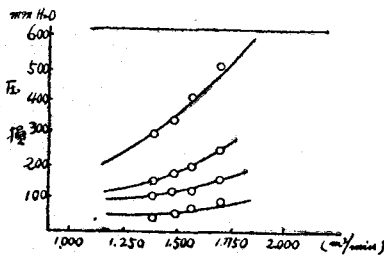
리하나 Air-swept 의 欠點은 通風을 위한 動力消費가 매우크다.

第4圖는 mill 의 通風抵抗測定值를 表示한 것

第3圖 I. D. F. Damper 開度 V.S 粉碎量 (B.E 負荷 50 kw)



第4圖 誘引風量 V.S 通風抵抗

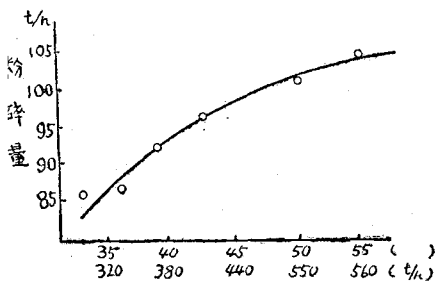


로서 mill 內通風抵抗이 全抵抗의 約 50% 를 하고 있음을 알 수 있다.

通風量의 增加는 電力消費의 增大를 隨伴하므 이 mill 은 Closed-circuit 方式으로 되어 그 欠을 補充하고 있다. 誘引通風機(I.D.F)의 動力費는 原料屯當 3^{kwh} 程度이며, 反面에 Air-ept 에 依한 mill 本體의 粉碎效率과 Separator 分級效率이 높아져 있음을 알 수 있다.

1의 粉碎能力은 循環率에 따라 變한다는것 諸文獻에서도 밝혀져있듯이 當工場의 原料에도 mill 의 循環率과 粉碎能力과의 關係에 對

第5圖 Bucket Elevator 負荷 v.s 粉碎量



해서 第5圖와 같은 結果를 얻었고 Bucket Elevator 의 運搬能力範圍內에서는 循環率을 높이므로서 粉碎量이 增加되고 있다.

Separator 서 循環되는 戻粉은 2室뿐만이 아니라 乾燥室에도 適當히 配分하므로서 粉碎量도 올리고 있고 또한 乾燥室에 供給되는 原料에 乾燥된 粗粉이 섞이므로서 相對的인 水分이 低下되고 1室의 粉碎性이 上昇하며 室의 負荷가 떨어져 粉碎能力의 向上에도움을 주고 있다.

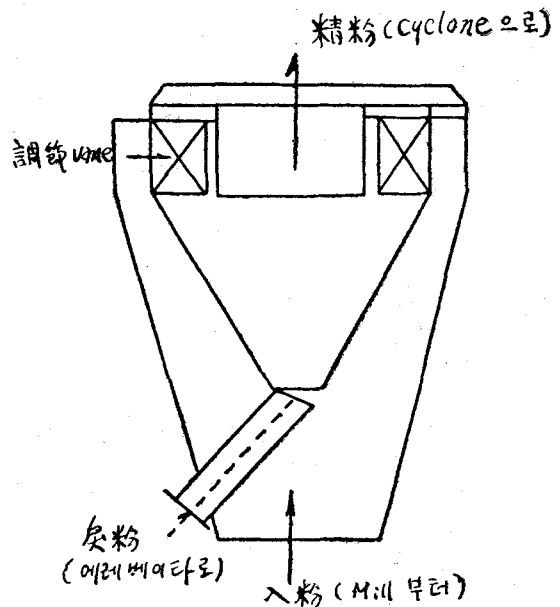
2. 粗粒分離器(Grid-Separator)과 Polysius 式 Air Separator

Grid-Separator 는 第6圖에서 보는 바와 같이 簡單構造의 慣性式 Separator 이고 調整 Vane 의 角度를 變更하므로서 內筒에서의 氣流의 旋廻力을 變化시켜 Cyclone 蒐集粉末의 粉末度를 調節하는 것이고 分級性能도 比較的 良好하다.

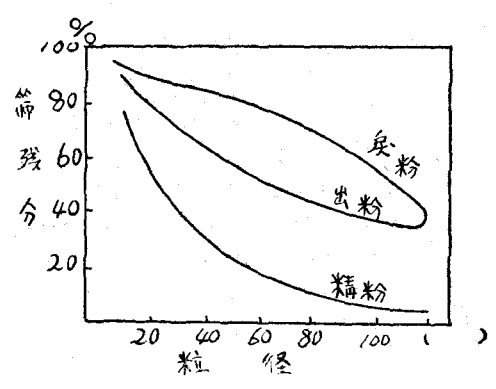
Polysius 型 Air Separator 는 第8圖와 같은 構造로서 上部 Fan, 分散板, 이에 붙어 있는 旋廻 Vane 板, 下部 Fan 은 同一廻轉軸에 固定되어 一定한 廻轉數(190 r.p.m)로 廻轉하고 있다.

Mill 出粉은 回轉轉周邊을 通해서 Separator 에

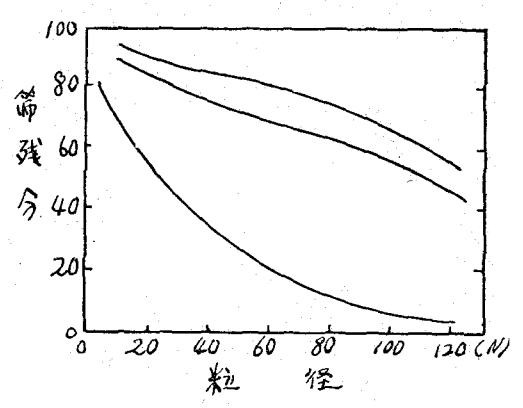
第6圖 Grid - Separator



第7圖 Grid Separator 前位의 粒度分布

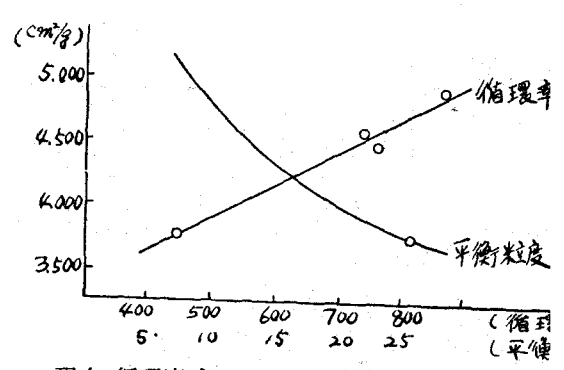


第9圖 Separator 前位 粒度分布

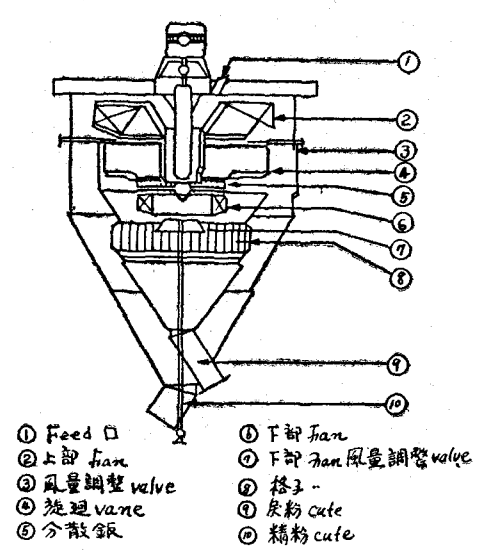


들어가고 遠心力과 氣流에 依해서 分級되며 精粉의 粉末度는 上部 Fan 用 風量調整 Valve (Control Valve), 旋廻 Vane의 角度와 Vane의 個數를 變更하거나 下部 Fan 用 風量調整 Valve를 變更하므로써 調整한다.

第10圖 比表面積 v.s 循環率 平衡粒度



第8圖 Polysius Type Air Separator



運轉實績에 依하면 下部 Fan 用調節 Vane에 依한 粉末度의 調節은 效果가 거이 없으며 旋廻의 角度와 數量에 따라 크게 調節됨이 밝혀졌고 精粉의 比表面積과 Separator 循環率 또는 平衡粒度와의 關係는 第10圖와 같이 循環率을 높이므로써 精粉의 粉末度가 적어짐을 表示하고 있다.

現在 循環率이 450%程度이나 600%까지 올리고 粗粒分離器(Grid Separator)를 適切히 調節하므로써 粉碎量도 相當히 上昇시킬 수 있다고 確信된다. 精粉의 粒度 6%에 있어서 動力消費量은 原料噸當 13~14^{kwh}에 不過하다.

3) Mill의 乾燥能力과 Kiln 廢熱의 回收

Double Rotator Mill의 特徵의 하나로서 比較的低溫度의 熱風을 利用해서 原料의 乾燥과 粉碎를 並行하고 있는 點을 들 수 있다. Dopa Preheater의 排 gas溫度는 330~350°C이고 또한 Mill에 吸込할 수 있는 風量에도 限度가 있으므로 乾燥能力에도 一定한 限度가 있다.

第5表에 Mill의 熱 Balance의 一例를 들었고 이 熱收支에 여러가지 條件을 달리 했을때 나온 結果에서 分析한 Mill의 乾燥能力은 第6表와 같은 値를 얻었다.

Preheater 排 gas를 利用한 境遇 現在의 粉碎

있어서의 습수분의 限界는 5% (wet-base) 가 된다. 當工場에서는 粘土의 습수분이 相 높기 때문에 이것을 二次에 걸쳐 Rotary 에서 水分을 9~11%까지 豫備乾燥를 하여 水量은 5% 以內 通常 3% 程度로 해서 運 고 있다.

表5 > Mill 熱收支表(基準溫度 20°C)

熱 (kcal/kg.H ₂ O)	出 熱 (kcal/kg.H ₂ O)
eater排 gas 顯熱 1,251	Mill 排 gas 顯熱 432
eater Dust 顯熱 41	原料 顯熱 354
動力 241	原料中水分 顯熱 7
顯熱 -3	水分蒸發潛熱 586
水分顯熱 -7	輻射對流損失 134
空氣顯熱 -11	
計 1,513	合 計 1,513

表6 > Mill 의 乾燥能力

分	排氣 gas	Mill 粉 碎 量	
		95 tor/hr	100 tor/hr
蒸發 水分	90°C 때	4.72 t/h	4.62 t/h
	80°C 때	5.67 t/h	5.59 t/h
持 出 分	90°C(精粉 水分0.5%)	0.48 t/h	0.50 t/h
	80°C(精粉 水分0.6%)	0.57 t/h	0.60 t/h
의 습 (%)	90°C 때	5.2 %	4.9 %
	80°C 때	6.2 %	5.8 %

의 乾燥에 Dopol Preheater 排 gas 顯熱을 卡므로서 Kiln 廢熱의 回收를 하고 있는데 實績으로 부터 回收熱량을 算出해보면 다음

原單位 ;

b : 1.525 kg Raw meal/kg of clinker
 ll Feed 습水分;

w_f : 0.0395 kg H₂O/kg Raw meal

分습水分 ;

w_m : 0.0042 kg H₂O/kg Raw meal

蒸發水分 ; $w_o = w_f - w_m = 0.0353$

kg·H₂O/kg·Raw meal

Mill 에 있어서의 水分蒸發所要熱 ;

q_m : 1,250 kcal/kg·H₂O

따라서 Mill 에 있어서 回收되는 熱量(Q_m)는

$$Q_m = b \times w_o \times q_m = 67 \text{ (kcal/kg of clinker)}$$

全原料를 Dryer 를 使用하고 別途의 熱源을 써서 乾燥한다면 所要熱량은 1,100kcal/kgH₂O 라고 推定되므로 原料乾燥用熱量 Q 는

$$Q = b \times w_o \times 1100 = 58 \text{ kcal/kg of clinker}$$

가 된다.

preheater 廢 gas 는 溫度가 낮기때문에 Mill 에 있어서의 排 gas 損失이 커짐으로 熱風爐를 利用 할 때 보다 水分蒸發에 要하는 熱량은 커지며 따라서 利得이 되는 熱량은 55 kcal/kg·clinker 의 値를 擇하는 便이 適切하다고 生覺된다.

5. 結 言

外資 \$2,089,000 과 內資 ₩570,000,000 의 資金에 依해서 竣工된 3號基의 試運轉을 끝마치고 短時日內에 正常稼動을 하기에 虛多한 難關이 있었다.

특히 全機械施設中 約半에 該當되는 部分은 國內製作을 한 것이니 만치 運轉初期에 어려운 問題가 惹起되었었다.

또한 새로운 工場建設과 달라 增設工事이니 만치 既存機械施設과의 聯關性 生産과 建設工事を 併行해야 하는 點等等 앞으로 各社가 겪어야 할 問題를 겪은 셈이 되었다.

처음 國內에 선을 보인 Dopol 式 水泥 製造 方式에 對해서 外國특히 日本에 있어서 脚光을 받고 있는 것이므로 業界의 關心이 크리라고 生覺하여 于先 그 內容을 說明하고자 하였다.