

시멘트 粉末度 向上에 關한 小考

金 松 虎

〈東洋 시멘트工業(株) 企劃室係長〉

I. 序 言

이미 美國, 유럽 等地에서는 시멘트 販賣競爭에 이기기 爲해 시멘트 粉末度가 큰 問題로 抬頭되고 있으며, 最近 韓國에서도 시멘트 品質이 重要視되면서 시멘트 粉末度가 큰 問題로 부각될 것으로 생각되어진다.

시멘트 粉末度を 適正水準으로 維持하면 品質 向上은 물론 粉碎電力原單位도 低下된다.⁵⁾ 즉, 시멘트가 過多하게 微粉되거나 粗粉되는 것을 防止하고 適正 中間粒자를 많게 하면, 微粉하면

서 드는 電力費를 節減할 수 있고, 微粉이나 粗粉이 갖는 品質에 대한 惡影響을 除去시킬 수 있게 된다.

여기서는 日本과의 比較를 通해 韓國 시멘트 業界의 시멘트 粉末度 現況을 본 後, 粉末度 改善을 爲한 여러 技術에 對해 살펴 보고자 한다.

II. 韓國의 시멘트 粉末度 現況

1970~1980년 사이의 韓國과 日本시멘트 業界의 시멘트 粉末度を <表-1>에 나타냈다.

<表-1>에서 韓國은 日本에 比해 比表面積

<表-1> 韓國과 日本 시멘트 業界의 시멘트 粉末度(平均)

國別	年 度	blaine (cm ² /g)	88μm 殘查(%)	壓縮強度(kg/cm ²)			凝 結 始發-終結	備 考
				3 日	7 日	28 日		
韓國	1975	3014	6.0	146	200	287	2 : 17 - 4 : 55	
	1976	3123	6.3	168	233	319	1 : 57 - 4 : 05	
	1977	3029	6.8	160	217	304	2 : 33 - 5 : 05	
	1978	2893	5.9	155	220	327	2 : 44 - 5 : 11	
	1979	2943	7.0	151	210	304	3 : 20 - 5 : 03	
	1980	3079	5.3	166	228	332	3 : 18 - 6 : 18	
	1981	3245	5.3	166	230	325	2 : 20 - 4 : 55	
日本	1970	3100	2.4	129	228	416	2 : 37 - 3 : 34	參考文獻 ⁶⁾
	1973	3100	1.8	114	237	408	2 : 32 - 3 : 38	
	1975	3080	1.6	136	247	422	2 : 51 - 3 : 57	
	1976	3120	0.5	132	236	420	2 : 53 - 4 : 05	
	1977	3200	1.1	141	248	417	2 : 33 - 3 : 36	
	1978	3370	0.7	149	257	407	2 : 26 - 3 : 33	

(blaine)은 비슷한데 비해 88 μm 殘査가 相當히 많아 中間粒子가 적다는 것을 알 수 있고, 그 結果 粒子分布가 넓어서 凝結時間範圍(初結부터 終結까지)가 넓고, 初期強度가 높은 代身 後期強度가 顯著이 떨어지고 있음을 볼 수 있다.

Ⅲ. 시멘트 粒度分布와 品質

1. 시멘트 粒徑과 強度

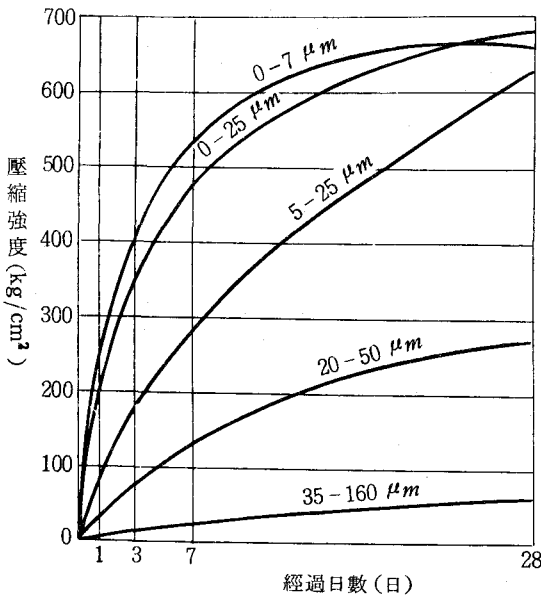
시멘트 強度發見에 가장 큰 影響을 미치는 粒子 範圍는 3~30 μm 으로 알려져 있다.^{1) 2)}

3 μm 이하의 시멘트 粒子는 水和가 빨리 일어나서 하루만에 最高強度가 나타나서 初期 強度에만 影響을 미치고, 더 나아가 지나치게 微粉된 시멘트(約 500 cm^2/g)은 強度發見에 이바지 못할 뿐 아니라 오히려 低下시킨다.

反面에 60 μm 以上の 시멘트 粒子는 水和가 늦게 일어나고 強度에는 큰 影響을 못미친다.²⁾

또한 지나치게 微粉과 粗粉이 많이 共存해 있는 시멘트는 水和反應의 差異에 依해 concrete crack 등의 問題가 發生할 우려도 많다.

시멘트 種類에 따른 3~30 μm 사이의 粒度分



〈그림-1〉 시멘트 粒子에 따른 壓縮強度發見

布는 다음과 같다.²⁾

- ① 普通 시멘트; 40~50%
- ② 高強度시멘트; 55~65%
- ③ 超高強度시멘트; 70%

시멘트 粒徑에 따른 壓縮強度 發見은 〈그림 1〉과 같다.²⁾

2. 시멘트 粒徑 分布式

一般的으로 粉末의 粒徑分布는 Rosin-Ramm-ler(R-R) 分布式에 잘 따른다고 알려져 있다.

$$R = 100 e^{-kD^n} \dots \dots \dots (1)$$

여기서 R = 殘分(%)

D = 粒徑(μm)

e = 自然對數

k · n = 常數

앞에서 言及한 바와 같이 品質向上과 電力節減을 위해서는 3~30 μm 의 中間粒子를 많게 하여야 하는데, 이 境遇 (1)式에서는 常數 n가 크고, k가 작게 된다.

(1)式을 便利하게 利用하기 위해 2番 自然對數를 取하면

$$\ln \ln \frac{100}{R} = \ln k + n \ln D \dots \dots \dots (2)$$

가 되는데, (2)式은 $\ln \ln \frac{100}{R}$ 과 $\ln D$ 의 直線關係이 되므로 便利하게 利用할 수 있다.

그 밖에도 粉末의 粒度를 나타내는 式은 Gaudin-Shuhmann 式, 定規確率 分布式, Gandin-Meloy 式 등이 있다.

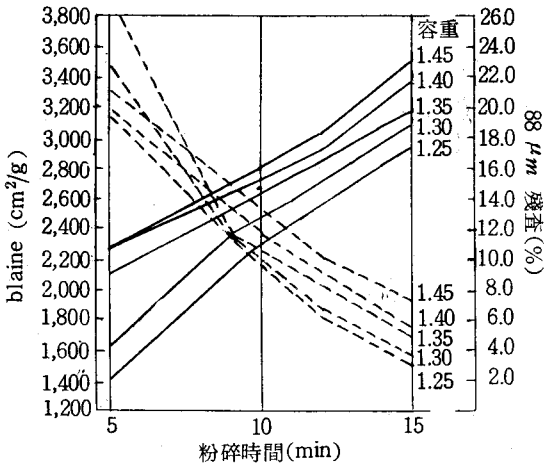
Ⅳ. 시멘트 粉末度 向上 方案

1. clinker와 石膏條件⁴⁾

clinker 粒子 크기와 容重(겉보기 比重)은 粉碎에 큰 影響을 미친다. 시멘트의 中間 粒子를 많게 하기 위해서는 clinker 粒子가 작고, 크기가 一定하여야 하며, 容重이 알맞아야 한다.

clinker 容重은 燒成狀態와 密接한 關係가 있으며, 1.35程度가 가장 좋고, 1.30以下는 燒成이 덜된 狀態고, 1.40以上은 過燒된 狀態다.

容重에 따른 88 μm 殘査와 blaine關係에 대한



〈그림-2〉 clinker 容重과 粉末

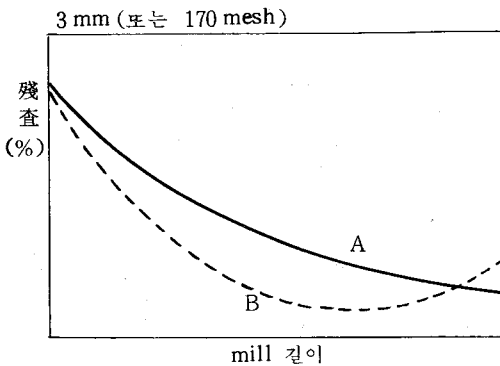
日本 宇部 cement 工場 試驗結果는 〈그림-2〉와 같다.

石膏는 clinker 에 비해 粉碎가 容易하므로 石膏를 增加시키면 blaine 은 增加하게 되나(그림-3), 中間粒子가 적어진다.⁴⁾

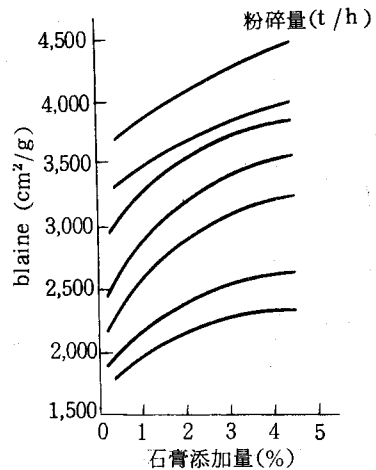
2. 鋼球充塡量과 配列

鋼球充塡量은 28~45%가 되어야 하지만²⁾ 實際 充塡量은 mill 容量, clinker 粒徑과 粉碎性에 따라 달라지며, 通常 30~32%程度가 좋다고 알려져 있다.⁴⁾

鋼球 크기와 配列은 Bond 등 여러사람이 提案한 式에 依해 理論的으로 計算할 수 있지만 實際的으로는 이것도 clinker 粒子크기, 粉碎性에 依해 그때마다 달라진다.



〈그림-4〉 mill 内部 cement 粒度分布

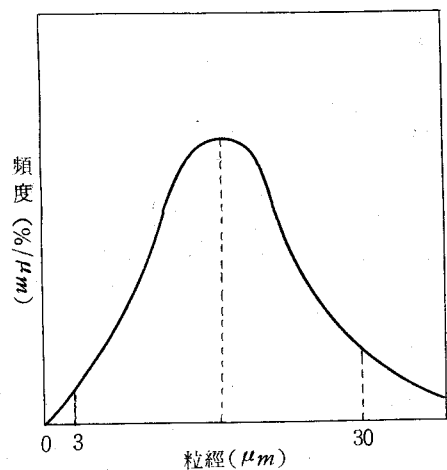


〈그림-3〉 石膏添加量과 blaine (2.4mφ × 12.0 mL mill)

即 粒子가 크거나 過燒되어 粉碎性이 나쁜 clinker 를 粉碎하는 境遇에는 計算된 鋼球 配列에서 큰 直徑의 鋼球를 많이 使用하는 것이 좋다.²⁾

最近에 많이 使用되는 閉回路 2室 mill의 境遇는 1室에 100-60 mmφ, 2室에 50-25 mmφ 鋼球를 投入하는 것이 좋은 것으로 나타나고 있으나²⁾, 實際 mill에 알맞는 配列은 工程上에서 찾아야 하는데, 이를 效率的으로 찾는 方法으로 다음을 利用할 수 있다.

mill을 空運轉하지 않고 세운 後, 中心에서 1m間隔으로 下向 10cm內외의 cement 試料를



〈그림-5〉 cement 定規分布

採取하여 3mm 또는 170 mesh 체로 選別하여 그 分布가 <그림-4>의 A와 같은 曲線이 되도록 한다.

mill 稼動中에는 시멘트 粒度 分布를 測定하여 <그림-5>와 같이 定規 分布 曲線을 그렸을 때 中間 粒子가 많도록 하여 그 形態를 보아 鋼球 크기를 再配列한다.

그렇지 않으면 R-R 式에서 $k \cdot n$ 이 크도록 鋼球를 配列하면 된다.

3. separator

separator 形態에 따른 시멘트 粒度 分布는 <그림-6>과 같고, R-R 式 (1) 式에 의한 n 과 k 값은 <表-2>와 같다.⁴⁾

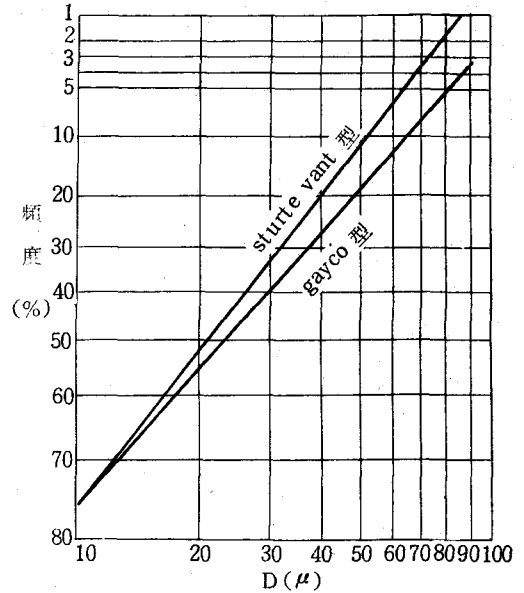
시멘트 粒度 分布는 gayco 型, sturte vant 型, cyclone 型, separator 順으로 좋아지고 있다.

sturte vant 型과 cyclone 型의 比較例는 <表-3>과 같다.²⁾ <表-3>에서도 볼 수 있듯이 電力原單位, 生産性, 粒度 分布 등에서 cyclone 型, separator 가 훨씬 效率의 임을 알 수 있다.

그러나 sturte vant 型 등 在來式 separator 도 運轉條件을 잘 맞추어 주면 分級 效果를 높일 수 있다.

cement 粉末을 調整할 수 있는 運轉條件은 다음과 같다.

① 内部 drum cover 에 設置된 control valve



<그림-6> separator 形態에 따른 시멘트 粒度 分布

<表-2> 시멘트 粉末의 n, k 值

項目	區分	n	k
開	回 路	1.07	0.0225
閉	回	1.10	0.0204
	回		
	回		
回	回 路	1.21	0.0165
回	回 路	1.27	0.0140

<表-3> cyclone 型과 sturte vant 型 separator 의 比較例

項目		區分	cyclone 型			sturte vant 型			備 考
循 環 率 (C, L%)			450 ~ 500			450 ~ 500			
電力原單位 (kwh/t)	mill		36			40			
	mill + 附帶施設		44			46			
mill 粉 碎 能 力			比較 10% 增加						
R-R 式 (1) 式	n		1.30			1.28			
	k		0.011			0.012			
粒 度 分 布 (%)		殘 分 (μ m)			殘 分 (μ m)				
		15	40	88	15	40	88		
入 粉		87	70	31	85	62	15		
粗 粉		94	81	36	89	71	22		
精 粉		69	26	1	66	24	1.3		

② 補助 또는 選擇 blade 數

③ 回轉速度 ④ 主 blade 數

여기서 微粉된 cement 를 더 많이 얻기위해
서는 control valve 를 더 안쪽으로 移動하거나,
補助 또는 選擇 blade 數를 增加시키거나, 回轉
速度的 減少, main blade 數를 減少한다.

그러나 이 境遇는 生産량이 減少하므로 適正
運轉條件을 찾아 내도록 하여야 한다.

또한 cyclone 型 separator 外에도 channel —
wheel separator 가 開發되어 應用中에 있다.³⁾

4. 分級 liner (classifying liner)

mill 内部 鋼球의 配列은 入口쪽에 直徑이
작은 鋼球가 位置하는게 理想的이지만 實際의으
로는 在來式 liner 의 境遇 여러크기의 鋼球가
mill 内部에 고루 섞여 있게되어 粉碎效率이 低
下되게 된다.

따라서 鋼球크기에 따라 理想的으로 mill 內
부에 配列되도록 한 것이 分級 liner 다.

分級 原理는 liner 와 落下된 鋼球 사이의 接
觸地點에서 liner 의 傾斜面에 依해 鋼球에 軸方
向의 推進力이 作用하여 鋼球가 分級되게 된다.

分級 liner 의 使用實績은 매우 좋아서 粉碎量
이 10~20% 增加하고 粉碎電力原單位가 10%
程度 節減되고, 粉末度도 向上되는 것으로 나타
나고 있다.⁷⁾ (<그림-7> 參照)

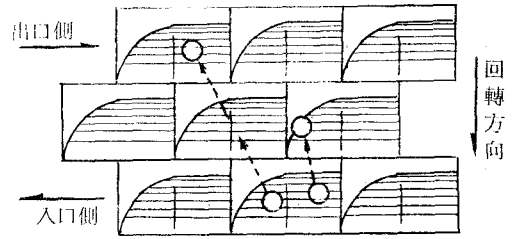
5. roller mill

ball mill에서 鋼球는 每千番 落下에 1回程
度만 粉碎에 도움을 주고, 나머지는 粉碎에 별
效果가 없는 非效率的인 運動을 하므로, 實際
使用 動力의 90% 以上이 熱과 騒音에너지 로
消耗되고 있다.²⁾

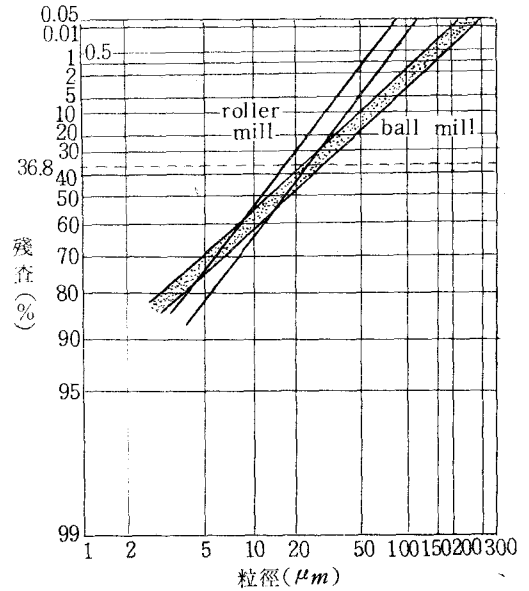
그 밖에도 騒音으로 인한 公害, 大型化로 인
한 넓은 空間차지 등의 問題를 解決하기 위해
登場한 것이 roller mill 이다.

ball mill 과 roller mill 의 粒度分布를 比較
하여 보면 <그림-8>에 나타난 바와 같이 roll-
er mill 이 效果의임을 알 수 있다.⁶⁾

이 境遇 粉碎電力原單位도 roller mill이 ball



<그림-7> 分級 liner 의 分級原理



<그림-8> ball mill 과 roller mill 의 粒度分布 比較

mill 에 비해 約 10% 程度 節減되는 것으로 報
告되고 있다.

6. cement 粉碎溫度

cement 粉碎溫度가 粉末度和 強度에 미치는
影響은 <表-4>와 같으며, 溫度가 130°C를 넘
으면 粒度分布가 急激히 나빠져서 強度가 크게
떨어짐을 볼 수 있다.⁴⁾

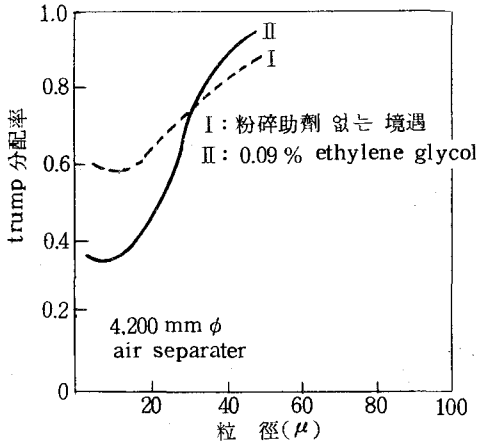
7. 시멘트 粉碎助劑

粉碎助劑를 使用하면 粉碎效率을 높여 粉碎能
力이 增大될 뿐만 아니라, 粒度分布도 좋아진다
(<그림-9>) 參照)).

시멘트 粉碎溫度가 強度에 미치는 影響

<表-4>

粉碎溫度 (°C)	blaine (cm ² /g)	88 μm 殘查 (%)	15-40 μm 粒粉 (%)	R=100e ^{-kDⁿ}		壓縮強度 (kg/cm ²)			備考
				n	k	3日	7日	28日	
20 ± 5	3450	0.3	40.0	1.20	0.0168	172	328	478	
85 ± 5	3460	0.3	39.0	1.17	0.0178	183	329	469	
105 ± 5	3460	0.3	39.6	1.19	0.0175	181	336	481	
130 ± 5	3460	1.2	34.0	1.02	0.0304	161	283	431	
150 ± 5	3440	1.4	33.8	1.02	0.0295	162	290	406	



<그림-9> 粉碎助劑가 分級成績에 미치는 영향

I		II	
t/h		cm ² /g	
M 600	600	1970	1460
P 123	137	3530	3570
R 477	463	1515	840

M : 分級原料, P : 微粒(製品), R : 粗粒

8. 循環率(circulation load)

一般的으로 循環率이 커지면 粒度分布는 고르게 되지만 粉碎效率이 問題가 됨으로 適正水準으로 維持하여야 한다. 普通 200~500%로 調節하고 있으며, 分級 liner 등이 導入되어 粉碎效率이 增加하면서 循環率이 漸次 줄어드는 趨勢다. 即 從前에는 循環率이 400~500%였으나, 現在는 200~300%程度로 떨어지고 있다.

그러나 循環率 自體만으로는 粉末度를 論할 수 없고, 이에 따른 鋼球配列, separator 運轉條件 등이 調節되어야 한다.

V. 結 言

韓國 시멘트 業界의 實情으로 볼 때 앞으로 시멘트 販賣競爭이 熾熱해지고 이에 따라 品質의 重要性이 漸次 增大될 것으로 豫想된다. 따라서 시멘트 強度向上과 crack發生防止 등 品質에 앞서기 위해서는 시멘트 粉末度 向上도 解決되어야 할 必須의인 課題다.

이와 더불어 에너지比重이 큰 시멘트 業界의 實情으로 볼 때 原價節減을 위해서는 粉碎效率도 向上되어야 할 것이다.

이러한 觀點에서 本稿에서는 시멘트 粉末度 向上에 對한 完全한 問題解決보다 概略的인 觀察을 通해 이에 對한 關心度를 높여 보고자 하였다.

<參 考 文 獻>

- 1) Beckum P. T., "Trends and Developments in Dry Raw Material and Clinker Grinding", TIZ-Fachberichte, 106(2), 100-104 (1982)
- 2) Duda W.H. "Cement Data Book", 2nd ed., Bauverlag GmbH, Berlin, 1977.
- 3) Knobloch, O., "High-rating Separators for the Cement Industry", Rock Products, 88-92 (Oct 1980)
- 4) "Cement 技術總論" 산업도서(주), 東京, 1980.
- 5) "Particle Size Control Results in Savings", Rock Products, 84(8), p. 48 (Aug. 1981)
- 6) Fuller 및 MPS Roller Mill Catalogue
- 7) Kawasaki 分級 Liner Catalogue
- 8) 野木孝次, "Cement 共同試驗結果", Cement & Concrete, 293, p. 8 (1971); 330, p. 26 (1974); 354, p. 20 (1976); 366, p. 38 (1977); 378, p. 20 (1978); 413, p. 30 (1981) ♣♣