

# 循環系 시멘트 밀에서 粉碎助劑 使用의 一例

魯 甲 洙

〈雙龍洋灰 中央研究所〉

## 1. 緒 論

시멘트 工業에서 가장 많은 電力을 使用하는 部門은 시멘트 粉碎工程으로서 最近의 電力費 上昇은 에너지 節約의 必要性을 강조하고 있다. 粉碎助劑는 시멘트 밀의 單位 生産量을 增大시킴으로써 粉碎費用의 節減과 함께 盛需期를 對備한 生産性 增大, 品質, 輸送性 等の 向上을 목적으로 使用되고 있다.

시멘트밀에서 클링커 및 石膏를 微粉碎할 때 破壞된 結晶粒子的 劈開面上에 이온이 片寄되어 活性表面을 이루는데 이는 凝集(agglomeration)의 原因이 되고 凝集現象은 粉碎에 보다 많은 에너지를 必要로 한다. 粉碎助劑는 이러한 粒子的 活性表面에 吸着되어 凝集物의 生成을 防止 내지 遲延시켜 시멘트밀내 불코팅 또는 라이나 코팅의 附着을 감소시키고, 凝集物 대신 個個의 粒子로서 粉碎媒體와의 衝突時 쿠손效果의 防止로 보다 效果的인 粉碎가 이루어지게 한다. 또한 粉碎助劑는 粒子的 分散性を 좋게 하므로 循環系 밀에서 세퍼레타 分級效率의 向上을 기대할 수 있다.<sup>(1)</sup>

粉碎助劑의 效果는 各 밀의 狀態와 粉碎助劑의 使用方法에 따라 多少의 差異가 있으므로 經濟的인 粉碎助劑의 使用을 위하여 適切한 粉碎助劑의 選擇, 添加位置, 添加方法 밀 制御方式 및 運轉條件의 改善 等の 最適粉碎條件을 選定하여야 한다.

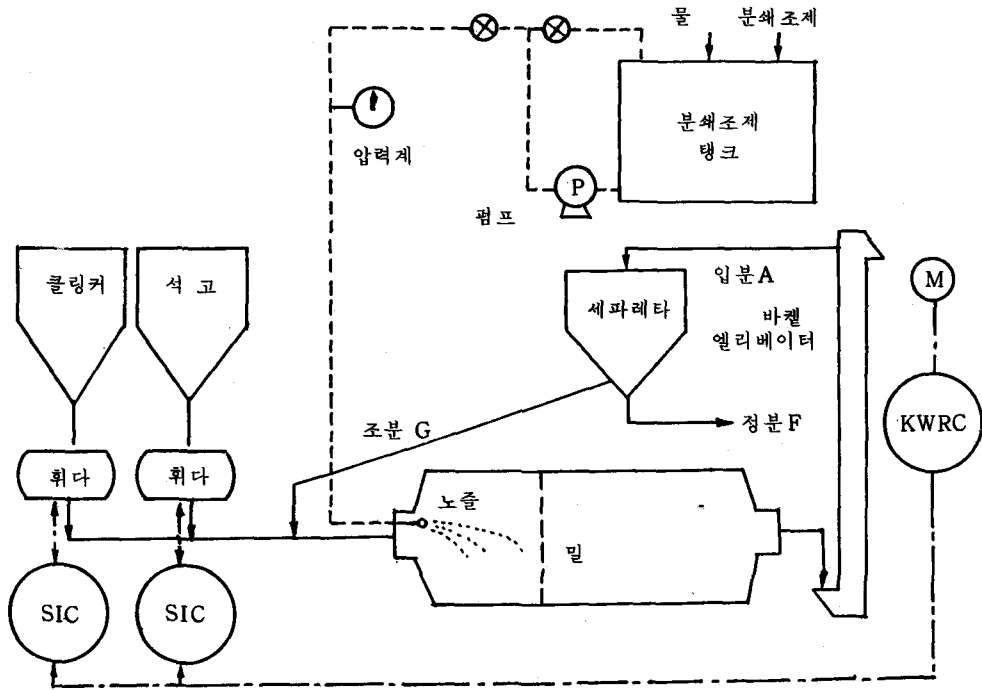
本 實驗에서는 閉回路 循環系 시멘트밀을 대상으로 粉碎助劑 使用에 따른 運轉條件의 改善을 위하여 粉碎助劑 使用 前後의 滯溜時間, 循環比, 세퍼레타 效率, 밀內 粉碎 狀況 等を 調査하였다. 本稿에서는 粉碎助劑 DEG 에 대하여 記述하였으며 HEA-2 에 대해선 要約된 結果만을 紹介하였다.

## 2. 實驗方法

### 2.1 시멘트 밀

粉碎助劑 試驗에 使用된 밀(No.1 시멘트 밀)은 싸이클론 세퍼레타를 連結한 閉回路 粉碎方式으로 밀의 크기는 3.3m $\phi$ ×10.6m인 2室 튜브 밀로서 回轉數 16.8 rpm(臨界 速度의 74%), 粉碎媒體 充填量 118 톤, 스크린 라이나의 開孔率은 1室 14.2%, 2

室 8.4%이다. 시멘트 밀의 制御는 <그림-1>과 같이 바켓엘리베이터 電力制御로 바켓엘리베이터의 電力量에 따라 供給物 휘다의 速度를 PID 制御하여 供給량을 調節하는 方式이다.



<그림-1> 순환계 시멘트 밀과 분쇄조제 첨가 방법

No 2 시멘트 밀도 同種의 밀로서 粉碎媒體 組成, 스크린 라이나의 開孔率 등이 No 1 밀과 다소 差異가 있었다.

### 2.2 粉碎助劑 添加方法

粉碎助劑는 DEG (Diethylene glycol)와 Amine acetate 鹽을 主成分으로 하는 HEA-2를 使用하였으며, 添加方法은 <그림-1>과 같이 밀 1室 入口側에서 밀內部로 噴霧토록 하였다.

添加量은 DEG의 경우 0.03%로 물에 1:3으로 稀釋하여 No 1 시멘트 밀에 使用하였으며, HEA-2는 有效成分으로 0.012%와 0.015% (市販 HEA-2에는 물이 40% 混合되어 있음)를 1:5로 稀釋하여 No 2 시멘트 밀에서 使用하였다.

### 2.3 運轉條件

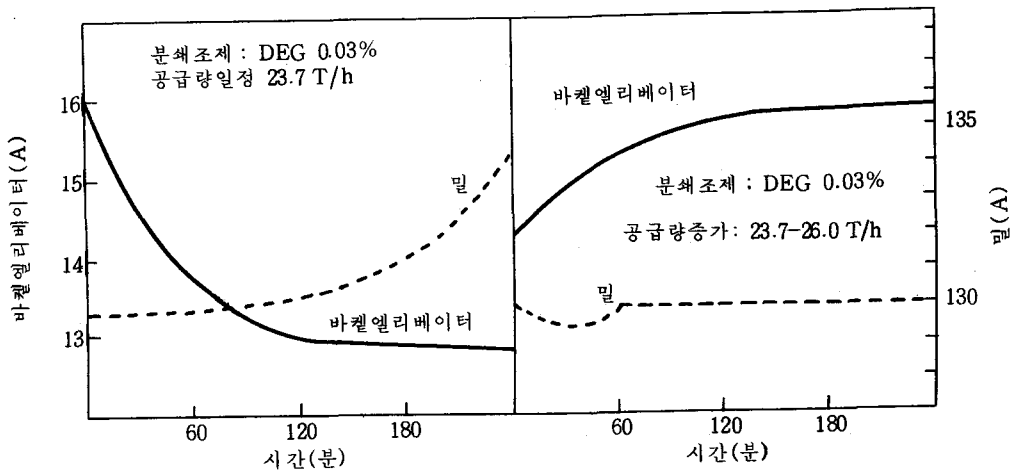
밀系에서 바켓엘리베이터의 콘트롤 포인트는 粉砕助劑 使用前에 75 (23.4 A)로 運轉되었으며 DEG 使用時 65 (20.8 A)와 75 (23.3 A)의 2 수준으로 運轉하였다.

시멘트 製品의 粉末度는 Blaine 2,900  $cm^2/gr$  로 一定하게 維持되도록 하였으며 粉砕系는 正常狀態가 되도록 運轉하였다.

## 3. 實驗結果 및 考察

### 3.1 一定 供給量에서 粉砕助劑 投入에 따른 밀狀態 變化

바켓엘리베이터 電力의 自動制御에 依하지 않고 밀에 被粉砕物의 供給量을 一定하게 維持하면서 粉砕助劑를 投入할 경우 바켓엘리베이터의 電流가 23.4 A에서 20.0A로 減少하고 밀의 電流가 265 A에서 280 A로 增加하였다. 이는 다음에서 記述하는 바와같이 粉砕助劑使用時 粉砕系의 밀滯溜時間과 循環比 減少에 따라 밀內 被粉砕物量이 減少하기 때문이며, 藤坂 等은<sup>(2)</sup> <그림-2>와 같이 助劑使用時 밀供給量을 增加시켜야



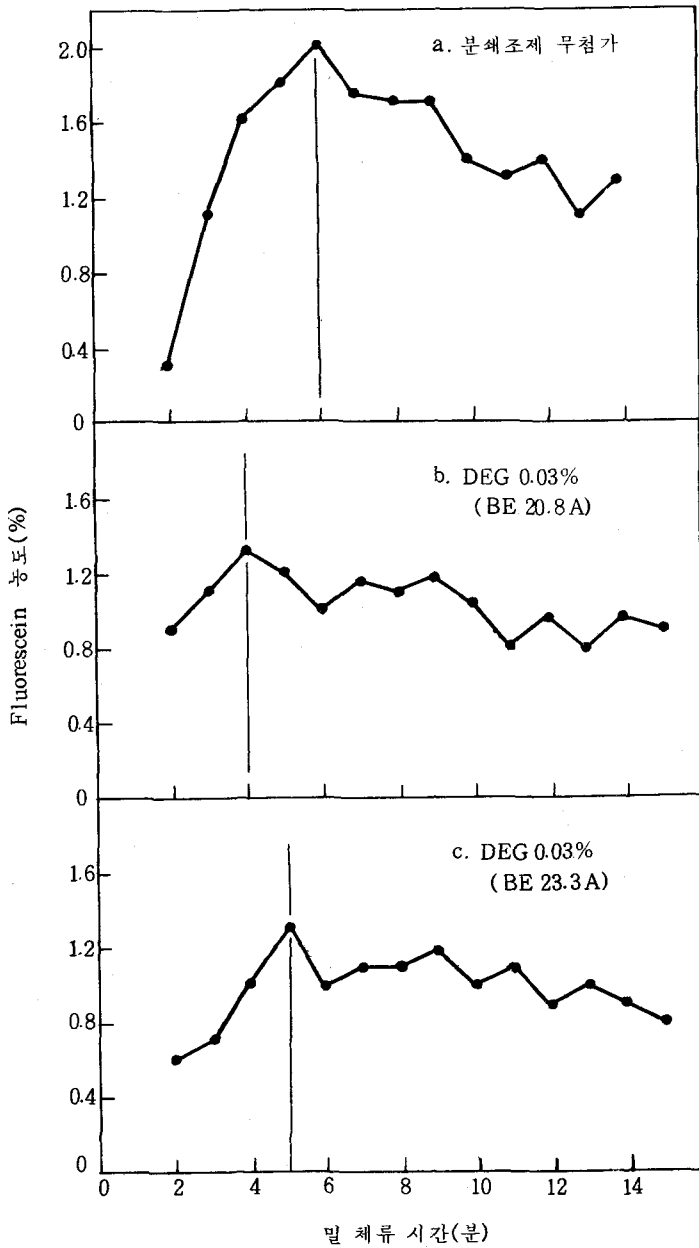
<그림-2> 분쇄조제 사용시 분쇄계 상태변화<sup>(2)</sup>

바켓엘리베이터 및 밀의 電流를 助劑使用前 水準으로 維持시킬수 있음을 報告하고 있다.

또한 밀의 一定 供給量에서 粉砕助劑를 계속 投入하다가 이를 中止하면 반대로 밀이 차는 現象을 볼수 있었다.

### 3.2 밀滯溜時間

플로우레진 태깅法(Fluorescein tagging method)으로 測定한 밀滯溜時間은 <그림-3>과 같이 粉砕助劑 無添加時 6分으로 나타났으나 助劑使用時 4分으로 2分程度



<그림-3> 밀 체류 시간

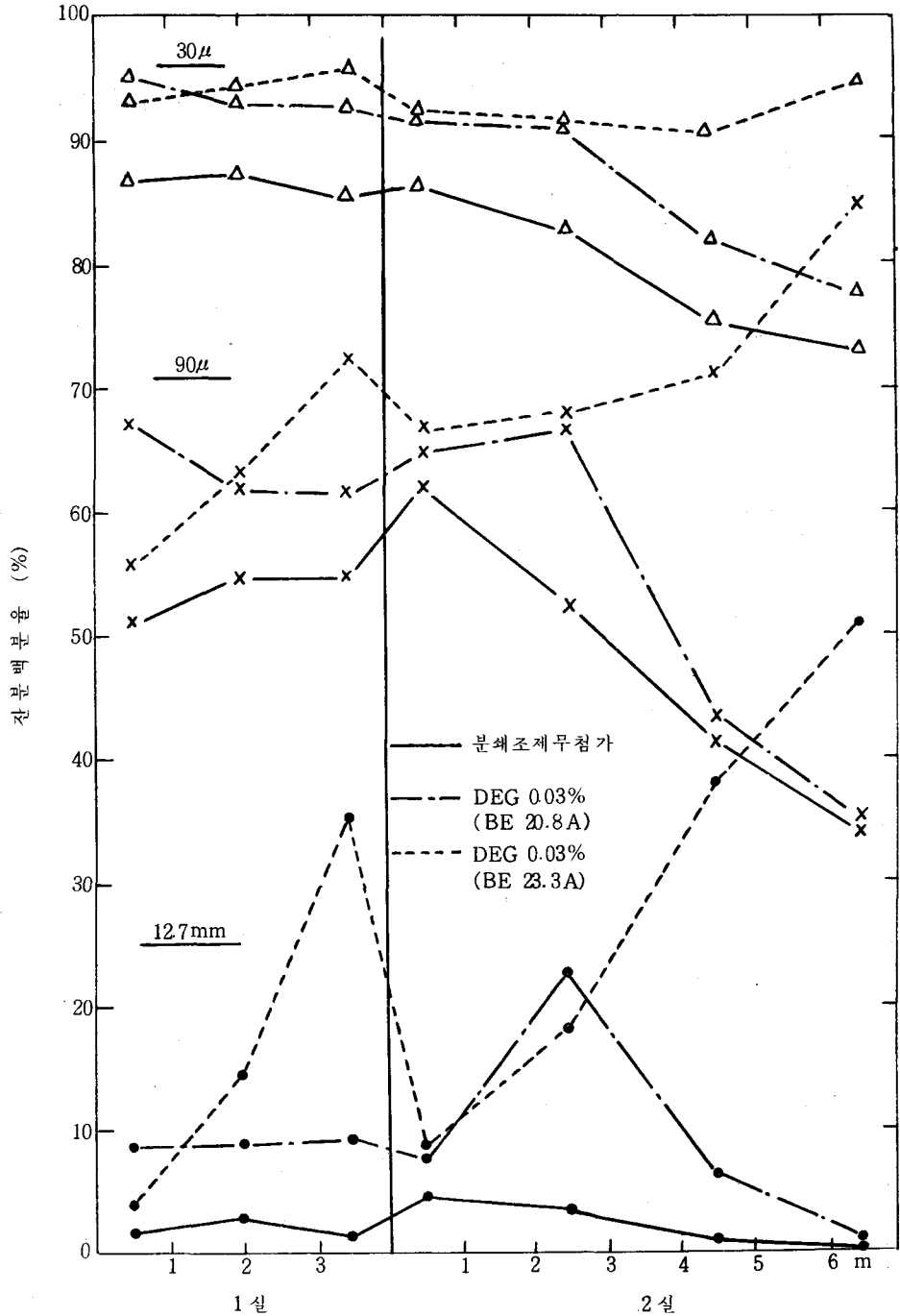
粗大한 粒子로 存在하나 밀出口側에서 비슷한 粒度로 되는것은 微粉碎段階에서 助劑의 機能이 발휘됨을 보여주고 있다.

短縮되었다. 助劑使用時 바켓엘리베이터를 23.3A로 運轉하는 경우가 20.8A로 運轉하는 경우보다 밀滯溜時間이 1分程度 遲延되는 것을 <그림-4>의 C와 같이 2室에 그릿트(클링커 덩어리)가 가득 채워져 있어 이것이 物質移動의 抵抗을 미치기 때문이다.

밀滯溜時間의 減少는 粉碎助劑가 시멘트 粒子들의 凝集現象을 防止하여 分散運動을 向上시키기 때문에 Mardulier 等은<sup>(3)</sup> 助劑使用에 따라 磨碎(attrition)에 對한 相對的인 衝擊(impact) 粉碎의 比를 增加하여 粉碎效率를 增進시키지만, 밀滯溜時間이 너무 떨어져 充分한 粉碎가 이루어지지 못하여 오히려 밀出粉의 粉末度가 減少함을 指摘하였다.

### 3.3 밀內 粉碎狀況

밀內 位置別 試料의 粒度에 따라 粉碎進行狀態를 <그림-4>에서 보면 助劑添加時 바켓엘리베이터 20.8A의 경우 助劑 無添加와 比較하여 2室중간까지는 더



< 그림-4 > 밀내 위치별 분쇄진행 상황

그러나 助劑使用時 바켓엘리베이터를 23.3 A로 運轉한 경우를 보면 2室出口側으로 갈수록 粒子가 粗大해지며, 特히 出口側에서 12.7 mm 以上の 粗大粒子가 52 %로서 2室에 많은 양의 그릿트가 存在함을 볼 수 있다. 이러한 현상은 助劑使用時 및 供給量을 增加시킬때 1室에서 粗碎되지 못한 클링커가 2室로 넘어가서 累積되는 것으로 2室의 充填率을 높이고 밀滯溜時間만 遲延시킬뿐<sup>(4)</sup> 그 자신은 쉽게 粉碎되지않고 오랫동안 滯溜하여 오히려 粉碎效率을 低下시킨다. 따라서 2室이 차는 現象과 小徑물에 의한 粉碎限界에 따라 結果적으로 밀供給量이 다시 적어지게 되고 밀運轉이 不安定하게 되어 生産量이 더 增加되지 않는 原因이 된다.

3.4 循環比

粉碎系의 粉末度로부터 (1)式에 의해 求한 循環比는 <表-1>과 같다.

$$L = \frac{S_F - S_A}{S_A - S_G} \times 100 \dots\dots\dots (1)$$

- 여기서, L : 세퍼레타의 循環比(粗粉/精粉), %
- S<sub>F</sub> : 세퍼레타精粉의 比表面積, cm<sup>2</sup>/gr.
- S<sub>A</sub> : 세퍼레타入粉의 比表面積, cm<sup>2</sup>/gr.
- S<sub>G</sub> : 세퍼레타粗粉의 比表面積, cm<sup>2</sup>/gr.

<表-1> 粉碎系의 粉末度와 循環比

粉 碎 助 劑		無 添 加	DEG 0.03 % (BE 20.8 A)	DEG 0.03 % (BE 23.3 A)	
				平 均	그릿트多量存在
比 表 面 積 cm <sup>2</sup> /gr	시멘트製品	2,909	2,914	2,857	2,597
	백필터捕集粉	2,747	3,202	3,685	3,807
	세퍼레타精粉	2,971	2,817	2,723	2,937
	세퍼레타精粉	1,000	602	609	590
	밀 出 粉	1,496	1,472	1,361	1,120
循 環 比, %		297	155	181	343

循環比는 粉碎助劑 無添加時 297%에서 助劑使用에 따라 155%로 크게 減少하였으며 이는 세퍼레타에서 精粉回收率의 增加를 意味한다.

밀出粉의 粉末度는 助劑使用時 바켓엘리베이터 20.8 A의 경우 助劑 無添加時와 거의 비슷한 水準이나, 바켓엘리베이터를 23.3 A로 높게 運轉할 경우 減少하는 傾向을 보이고 있으며 特히 밀運轉狀態 不安定에 따라 <그림-4>의 C와같이 2室內 그릿트多量存在하는 경우 밀出粉의 粉末度는 1,120 cm<sup>2</sup>/gr으로 크게 떨어지는 現象을 나타내고 있다. 이러한 경우에는 밀出粉의 粉末度が 減少함에 따라 循環率은 오히려 增加하

게 된다.

**3.5 세퍼레타 分級效率**

粉碎助劑 使用前後의 세퍼레타 分級特性으로 Tromp 分配率曲線과 세퍼레타 效率을 <그림-5>에 圖示하였다. 이에 對한 計算은 세퍼레타 入粉, 精粉 및 粗粉의 粒度分布로부터 다음의 (2), (3), (4), (5)式에 의하여 求하였다.<sup>(5)</sup>

$$U = \frac{\sum f - \sum g}{\sum a - \sum g} \dots\dots\dots(2)$$

$$t = \frac{\Delta g}{\Delta a_{err}} \cdot \left(1 - \frac{1}{U}\right) \dots\dots\dots(3)$$

$$\Delta a_{err} = \frac{1}{U} (\Delta f - \Delta g) + \Delta g \dots\dots\dots(4)$$

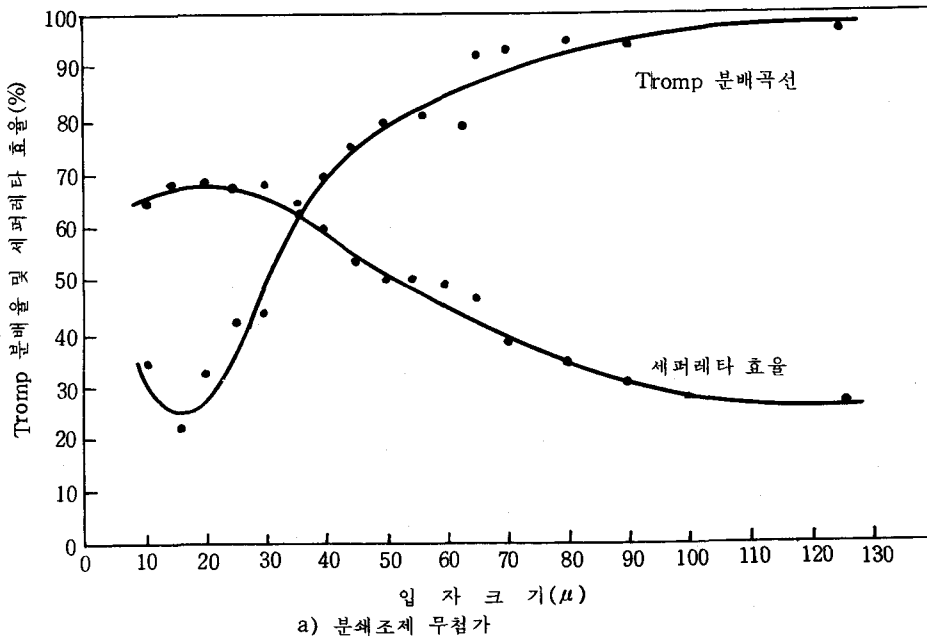
$$\eta = \frac{\sum f}{\sum a} \cdot \frac{100}{U} \dots\dots\dots(5)$$

여기서, U : 세퍼레타 循環比(入粉/精粉)

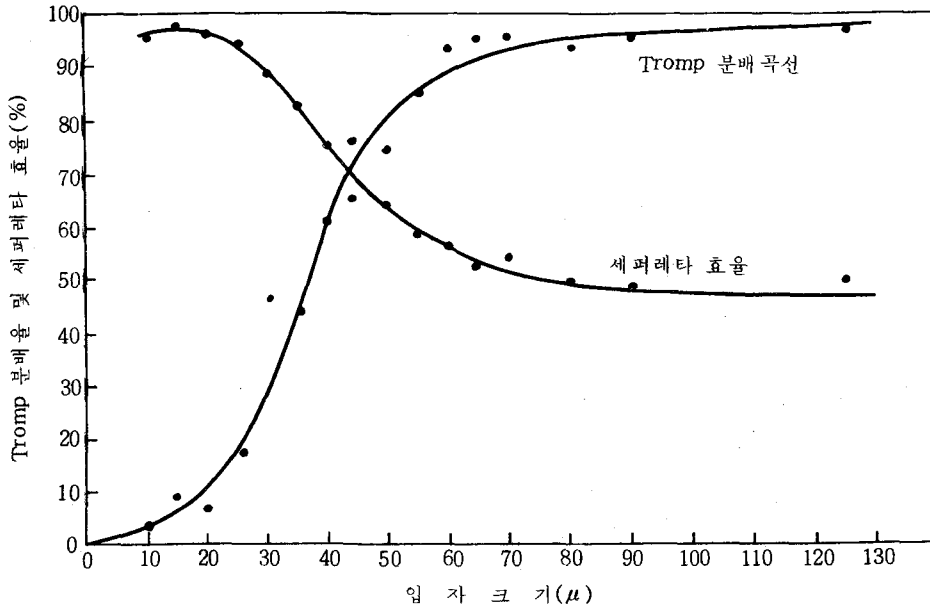
t : Tromp 分配率, %

$\Delta a_{err}$  : 세퍼레타 入粉에서 작은粒子크기 部分에 對한 補正된 重量分率, %

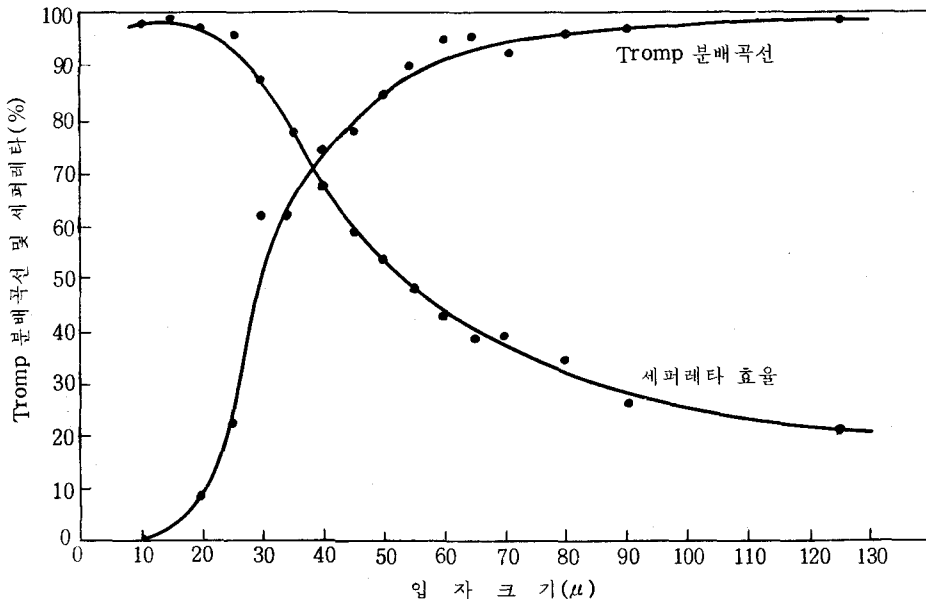
$\eta$  : 세퍼레타 效率, %



<그림-5> 세퍼레타 效率 및 Tromp 分배곡선



b) DEG 0.03% (BE 20.8A)



c) DEG 0.03% (BE 23.3A)



$a, f, g$ : 세퍼레타 入粉, 精粉, 粗粉에서 各粒子 크기에 對한 通過分의 重量分率, %

<그림-5>의 Tromp 分配率曲線은 세퍼레타에 供給되는 粉末의 各粒子크기部分에 대하여 精粉(上部)과 粗粉(下部)으로 分級되는 程度를 나타내며, 微粒分割率  $\alpha$ 와 粗粒分割率  $\beta$ 는 세퍼레타에서 正常的인 分級이 이루어지지 않고 各各 세퍼레타 精粉과 粗粉으로 단순히 나가버리는 量으로 시멘트 空氣分級裝置의 경우  $\alpha \approx 0$  이다.(6)

<表-2> 세퍼레타의 分級特性值

粉碎助劑	無添加	DEG 0.03% (BE 20.8 A)	DEG 0.03% (BE 23.3 A)
세퍼레타效率, $\eta$ (%)	40.6	52.9	41.4
粗粒分割率, $\beta$ (%)	25	1	0
入粉-粗粉 粒度差 (% , 44 $\mu$ )	14	21	16
세퍼레타 分離徑, $D_{50}^*$ ( $\mu$ )	37	36	30
Terra 指數, $E_p^*$ ( $\mu$ )	15.0	9.5	8.5
不完全度, $I^*$	0.41	0.26	0.28

\* ; 微粒分割率  $\alpha$ 와 粗粒分割率  $\beta$ 를 排除하여 正常分級상태로 補正한 값임.

$$t^* = \frac{t - \beta}{100 - (\alpha + \beta)} \dots\dots(6)$$

<그림-5>로부터 <表-2>에 整理한 세퍼레타 分級特性值를 보면, 粗粒分割率  $\beta$ 가 粉碎助劑 無添加時 25%로 助劑使用時보다 큰것은 微細한 粒子들의 相當량이 凝集物로 큰 粒子와 같이 作用하여 正常分級에 기여하지 못하고 粗粉으로 나가기 때문이다. 또한 세퍼레타 入粉과 粗粉의 粒度差가 적으면 세퍼레타의 過負荷를 意味하며,(7) 一般的으로  $\beta$ 는 循環比의 增加함수로 세퍼레타의 負荷가 增加할수록 커지게 된다.(8)

세퍼레타의 分級程度(selectivity 또는 sharpness of separation)로서 Terra指數  $E_p$ 와 不完全度  $I$ 가 적으면 分級이 예민하게 됨을 의미하며, 粉碎助劑는 粒子의 分散性을 向上시켜 <表-2>와 같이 分級特性을 改善시키며 세퍼레타의 效率를 增大시킨다.

$$E_p = \frac{1}{2} (D_{75} - D_{25}) \dots\dots(7)$$

$$I = \frac{E_p}{D_{50}} \dots\dots(8)$$

여기서,  $D_{75}, D_{50}, D_{25}$  : Tromp 分配率이 各其 75, 50, 25%가 되는 粒子의 크기,  $\mu$   
한편, 세퍼레타 精粉의 粒度分布는 式(9)의 Rosin-Rammler 分布를 잘 따르고 있

으며, <表-3>과 같이 粉碎助劑使用時 指數 n값의 增加는 粒度分布 範圍가 좁아지는 整粒으로 되는것을 뜻하며 이는 시멘트 強度發現에 寄與한다.(9)

$$R = 100 e^{-kx^n} \dots\dots\dots (9)$$

여기서, R : 殘分 百分率, %

X : 粒子크기,  $\mu$

n, k : 常數

3.6 밀內 滯溜하는 被粉碎物의 量

循環系密에서 밀內 滯溜하는 被粉碎物量은 다음式으로부터 求하여진다.

<表-3> 세퍼레타 精粉의 粒度分布

粉 碎 助 劑		無 添 加	DEG 0.03 % (BE 20.8 A)	DEG 0.03 % (BE 23.3 A)
Rosin - Rammler 分 布	n	1.03	1.16	1.10
	k	$40.7 \times 10^{-3}$	$25.1 \times 10^{-3}$	$30.8 \times 10^{-3}$

$$Q = \frac{PT(L + 100)}{100} \dots\dots\dots (10)$$

여기서, Q : 밀內 滯溜하는 被粉碎物量, t

T : 밀滯溜時間, hr.

L : 세퍼레타 循環比, %

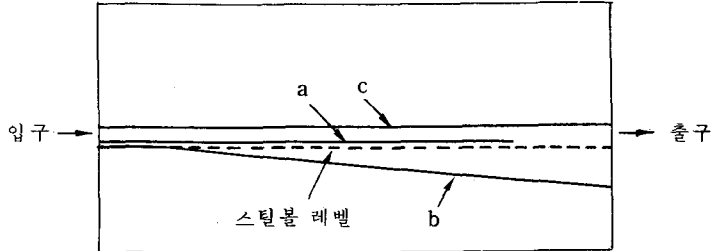
P : 밀供給量, t/hr.

上記 測定資料로 부터 求한 밀內 滯溜하는 被粉碎物量 Q는 <表-4>와 같다. 粉碎助劑 使用時 바켓엘리베이터를 20.8A로 運轉한 경우 被粉碎物量Q는 7.6t이며 被粉碎物量은 多少 增加하나 2室에 그릿트가 채워지는 傾向으로 上記한 바와같이 生産量은 더 增加하지 않는다. 2室에 그릿트가 多量存在하는 경우에는 밀出粉 粉末度 減少

<表-4> 밀內 滯溜하는 被粉碎物量

粉 碎 助 劑	無 添 加	DEG 0.03 % (BE 20.8 A)	DEG 0.03 % (BE 23.3 A)	
			平 均	그릿트多量存在
밀供給量, P (t/hr)	40.8	44.8	44.7	43.7
밀滯溜時間, T (min)	6	4	5	5
循環比, L(%)	292	155	181	343
被粉碎物量, Q (t)	16.2	7.6	10.5	16.1
스틸볼/클링커 比	7.5	15.9	11.6	7.5

에 따라 循環比가 增加하므로 式(10)으로 부터 計算된 被粉碎物量은 助劑無添加時와 비슷하나 實際로는 <그림-6>과 같이 充塡率이 높은 것은 2室의 그릿트가 쉽게 粉碎되지 못하고 累積되었기 때문이다.



- a) 분쇄조제 무첨가
- b) DEG 0.03% (BE 20.8A)
- c) DEG 0.03% (BE 23.3A)

<그림-6> 2실의 시멘트 충전 레벨

따라서 粉碎助劑 使用時 助劑效果를 充分히 발휘하기 위하여 밀滯溜時間과 循環比를 增加시키는 方法이 고려되어야 한다. (10, 11) 一般적으로 밀滯溜時間은 球徑 被粉碎物의 流動性, 스틸볼/클링커 比, 循環比, 밀內 通風量, 스크린라이나의 開孔面積 等에 의존되며, 循環比는 밀出粉의 粉末度, 세퍼레타 供給量 및 세퍼레타 分級特性에 의해 결정된다. 여기서 단순한 세퍼레타 調整에 의한 循環比 增加方法은 세퍼레타 效率를 減少시킬 수 있으므로, (12) 1次的으로는 밀滯溜時間을 增加시키는 方法으로 스크린라이나의 圓周部 閉塞와 2室內 小徑볼의 使用方法이 바람직하며 其他 세퍼레타 運轉條件 等의 適正化가 必要하다.

### 3.7 백필터의 粉塵濃度

粉碎助劑의 使用은 <表-5>와 같이 粉碎系의 粉塵濃度を 增加시키므로 이에 대한 改善策이 必要하다.

<表-5> 粉碎系의 粉塵濃度 (gr/m<sup>3</sup>)

粉碎助劑	無 添 加	DEG 0.03%
밀出口다트	54.0	266.3
세퍼레타-백필터다트	3.72	19.1
백필터出口다트	1.13	1.68

대부분의 시멘트밀에서 集塵裝置로 사용되는 백필터의 경우 백材質의 改善, 濾過面積의 增大, 백 웨이킹回數增大 等을 고려할 수 있으며, <表-6>은 백 웨이킹回數增大에 따른 捕集粉의 粉末度 變化를 보여주고 있다. 즉 백의 捕集時間을 8分에서 4分으로 短縮

함에 따라 백에 粉塵層이 완전히 形成되기 前에 웨이킹함으로써 밀內 通風量의 減少를 防止할 수 있으며 백휠터의 捕集效率을 向上시킬 수 있다.

〈表-6〉 백휠터 웨이킹回数 增大에 따른 粉末度

백 捕集時間	8 分		4 分	
	無 添 加	DEG 0.03 %	無 添 加	DEG 0.03 %
粉 碎 助 劑				
시멘트	—	2,974	2,909	2,857
세퍼레타 精粉	2,957	2,848	2,971	2,723
백휠터 捕集粉	3,456	4,718	2,747	3,685

(Blaine, cm<sup>3</sup>/gr)

3.8 粉碎助劑 HEA-2의 實驗結果

粉碎助劑 HEA-2에 대하여 No 2 시멘트밀에서 實驗한 結果를 要約하면 〈表-7〉 과 같다. HEA-2의 경우도 循環系밀의 狀態變化로서 밀滯溜時間과 循環比가 減少하는 現象을 나타내고 있다.

HEA-2의 添加量 增加時 生産量이 增加하지 않은것은 DEG의 경우와 같이 바켓 엘리베이터의 콘트롤 포인트를 높게 運轉하여 2室內 多量의 그릿트 存在로 粉碎效率이 低下되었기 때문이다.

〈表-7〉 粉碎助劑 HEA-2의 實驗結果

粉 碎 助 劑 添 加 量	無 添 加	0.012 %	0.015 %
바켓엘리베이터 셀팅	37	37	37 - 41
세퍼레타 循環比, (%)	253	206	210 - 256
밀滯溜時間, (min)	6 ½	5 ½	5 - 5 ½
밀內 被粉碎物量, (t)	14.9	12.3	10.8 - 13.7
스틸볼/클링커 比	8.0	9.6	11.0 - 8.7
2室 充塡率, (%)	38.1	40.7	42.5
2室 그릿트量	小	小	多
밀出粉의 粒度 (44 μ 殘分率)	65.0	60.7	63.7 - 66.1
生産量 增加率, (%)	100	112.7	107.5

4. 結 論

以上の 循環系 시멘트밀에서 粉碎助劑 使用에 關한 實驗으로부터 다음과 같은 結論을 얻었다.

- (1) 粉碎助劑 使用時 밀滯溜時間과 循環比가 減少하며 이에따라 밀內 滯溜하는 被粉

碎物量이 減少하게 된다.

(2) 粉碎助劑 使用時 밀供給量만 增加시키면 2室에 그릿트가 多量存在하게 되어 粉碎效率을 低下시킨다.

(3) 粉碎助劑 效果를 充分히 발휘하기 위하여 스크린 라이나의 開孔面積을 減少시키고 2室에 小徑볼을 多量使用하는 것이 바람직하다.

(4) 粉碎助劑의 使用은 세퍼레타의 分級效率을 向上시키며 시멘트의 粒度分布를 改善시킨다.

(5) 粉碎助劑 使用時 粉碎系の 粉塵濃度가 增加하므로 이에 대한 改善策이 필요하다.

### 參 考 文 獻

- 1) 金泰千, 徐能一, 시멘트심포지움, 7, 42-56, (1979)
- 2) 藤坂正良, 北村 昭, 森岡一章, セメント製造技術シンポジウム, 26, (1969)
- 3) F. J. Mardulier, D. L. Wightman, Rock Products, June, 74, (1971)
- 4) 古川 猛, 阿南晃時, 山崎昂一, セメント技術年報, 25 (12), 69-75, (1971)
- 5) Sichteruntersuchungen, VDZ Merkblatt 28, (1965)
- 6) 白井皓司, 化學工學, 31, 295, (1967)
- 7) H. Dodson, P. W. Welch, F. J. Mardulier, Rock Products, June, 72, (1974)
- 8) セメント生産技術, 宇部興産, (1975)
- 9) G. Frigiene, S. Marra, Cem. Coner. Res., 6, 113-128, (1976)
- 10) F. J. Mardulier, Rock Products, 70 (5), 110-114, (1967)
- 11) 種村 正, 岩淵俊次, 岳上広光, 仲野三郎, セメント技術年報, 24, 133-138, (1970)
- 12) F. J. Mardulier, Rock Products, June, 68-73, (1969)