

調合原料에 있어서의 炭酸칼슘鹽의 均質化

H. Sommer

崔 仁 壽 · 崔 權 共 譯

<韓國科學技術情報센터>

1. 序 論

1.1 一 般

燃料費의 急增으로 인해 시멘트 製造工程에 있어서 乾式工程이 더욱 널리 채택되지 않을 수 없겠끔 되어 있다. 동시에 高品位 鑛床이 거의 다 고갈되었기 때문에 시멘트 生産業者는 低品位의 原料 鑛床에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 오늘날 乾式工程이 당면하고 있는 가장 중요한 問題點은 어떻게 하면 良質의 均質 調合原料를 얻느냐 하는 것이다. 本文에서는 채석장에서 큰 入口에 이르기까지에 관련된 여러가지 問題點을 개괄적으로 제시하고 있으며, 또한 調合原料의 均質化에 사용되고 있는 方法들에 대해서 再考하고 있다.

1.2 良質 調合原料의 基準

調合原料의 化學組成에 基準을 둘 때에 標準 시멘트는 다음과 같은 條件을 만족시켜야 한다.

標準 石灰飽和度(Kühl 式)

$$= \frac{100\text{CaO}}{2.8\text{SiO}_2 + 1.1\text{Al}_2\text{O}_3 + 0.7\text{Fe}_2\text{O}_3} = 90 \sim 95$$

$$\text{珪酸率} = \frac{\text{SiO}_2}{\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3} = 2.0 \sim 3.0$$

$$\text{鐵 率} = \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{Fe}_2\text{O}_3} = 1.5 \sim 2.0$$

粒度組成의 범위는 다음과 같다.

0.09mm 체 (4900메쉬/cm²)에 12~16% 殘留

0.20mm 체 (900메쉬/cm²)에 1~1.5% 殘留

바라고자 하는 모듈러스值를 얻기 위해서는 체

석장에서 얻은 原料에 調整添加材(鐵鑛, 모오크 사이트, 黃鐵鑛, 珪砂 등)를 組合시켜 사용할 필요가 있다.

炭酸칼슘鹽(CaCO₃)은 調合原料의 主成分이기 때문에(75~80%), 이 CaCO₃ 組成을 가능한 한 거의 일정하게 유지시키기 위하여 노력하고 있으며, 또한 모든 生産工程도 이 方向으로 진력하고 있는 것이다.

獨逸標準 DIN 1319에 標準偏差(S)가 다음과 같이 定義되어 있다.

$$S = \sqrt{\frac{\sum(x_i - \bar{x})^2}{n-1}}$$

여기서 x = 각각의 測定值

\bar{x} = 모든 測定值의 算術平均

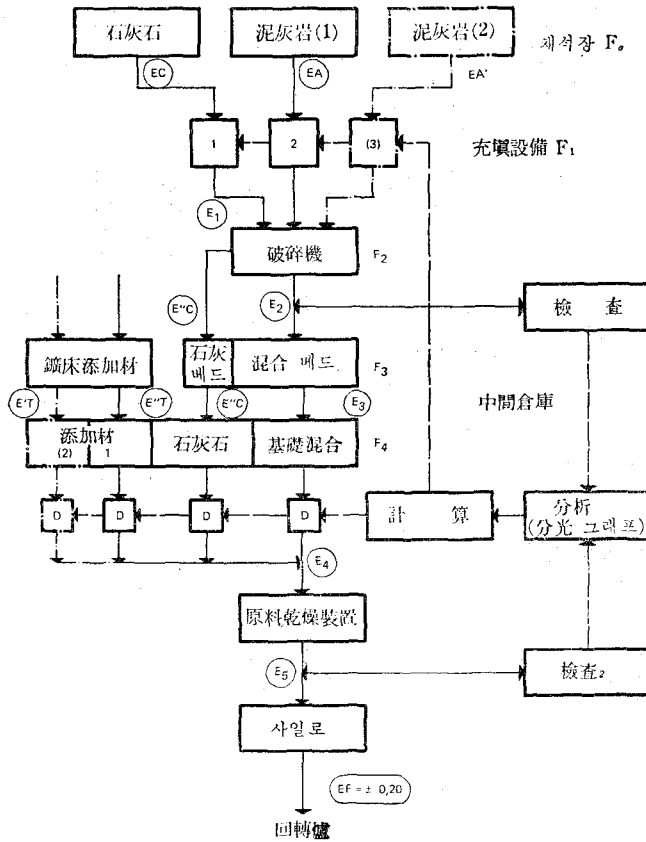
n = 測定值의 個數

단약 測定值의 分散이 가우스定規分布를 따른다면 測定值의 95%는 $\pm 2S$ 범위내에 있게 될 것이다.

原料의 標準偏差는 때때로 매우 크기 때문에(예, ± 10), 調合原料를 粉碎시키거나 化學적으로 調整시켜야 할 뿐만 아니라 調合原料 組成의 標準偏差가 큰 入口에서 $\pm 0.20\%$ 가 되게 하지 않으면 안된다. 물론 이 때에 있어서의 標準偏差는 調合原料 全體의 均質化 基準이 되는 것이다.

1.3 均質化 方法

均質化裝置의 性能을 평가하는 基準으로서는 最終結果뿐만 아니라 技術的 및 材料的 精巧性을 고려해야 하며, 또한 이들 裝置에 소요되는 支出面도 고려해야 한다. 이들 裝置의 모든 部



<그림-1> 블렌딩 베드를 사용한 調合原料의 製造

分은 가능한 한 합리적으로 操作되어야 하며, 制御 및 管理가 손쉬워야 한다. 絶對的으로 必要한 水準 以上으로는 均質化를 시켜서는 안된다.

2. 調合原料 製造플랜트의 一般적 構造

2.1 블렌딩 베드 및 連續 均質化 (<그림 -1 참조>)

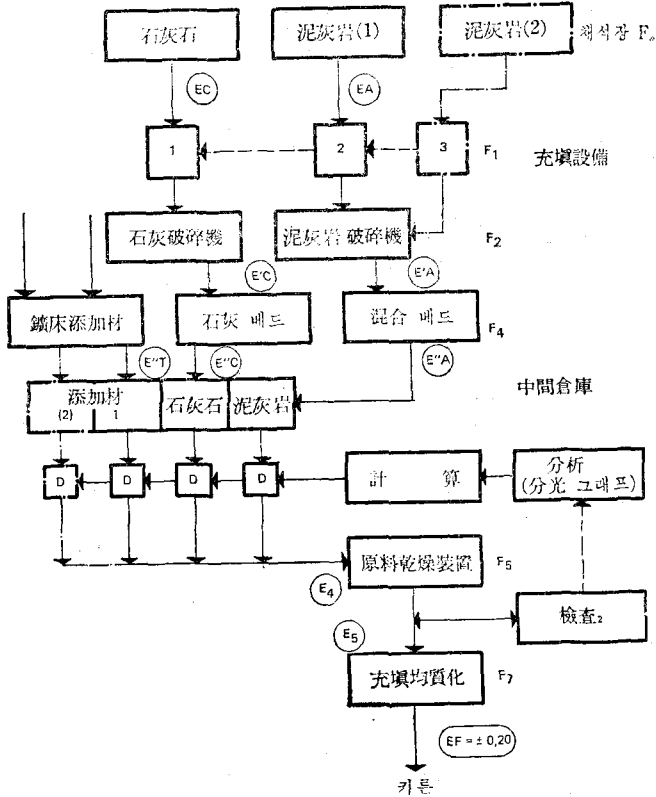
이런 種類의 設備은 다음과 같은 要素로 構成되어 있다.

- 채석장(1~3 성분)
- 破碎機(移動式 혹은 固定式)
- 1次 試料採取
- 시멘트 工場의 緩衝劑 備蓄用으로 作用하는 블렌딩 베드
- 보울 밀 혹은 로울러 밀로 運用되는 開回路 粉碎 및 乾燥플랜트, 原料는 여러가지 成分原料

를 貯藏하고 있는 原料 貯藏으로부터 供給된

- 高溫가스 파이프 라인, 補助 燒成시스템, 送風팬, 靜電 集塵器
- 2次 試料採取
- 均質化 및 貯藏사이로(連續 시스템)
- 比例式 혹은 連續式 計測設備이 있는 大きな 給送시스템

1次 및 2次 試料의 分析結果를 이용해 블렌딩 베드 및 粉碎플랜트로 運送된 여러가지 成分原料의 比率를 調整한다. 原料의 分析作業 및 調整作業은 手動的으로 행하거나 그렇지 않으면 螢光 分光分析器와 컴퓨터의 도움을 받아 完全自動 化工程으로 행할 수 있다. 이 制御시스템은 平均 化學組成을 늘 一定하게 유지시킬 수 있는 有用한 點도 있으나, 炭酸칼슘鹽含量의 均質化에는 그 能力이 매우 제한되어 있다. 이 制御시스템은



<그림-2> 블렌딩 베드를 사용하지 않은 조합원료의 제조

너무 不連續的이고, 또한 時間遲延性도 매우 높다. 따라서 조합원료의 均質化에 미치는 制御시스템의 영향은 무시하겠다.

2.2 回分式(斷續) 均質化(<그림 -2 참조>)

이 시스템의 構造는 다음과 같다.

- 채석장(1~3 성분)
- 破碎機 2個(移動式 및/혹은 固定式)
- 2.1項에서 언급한 바와 같은 粉粹 및 乾燥 플랜트
- 2.1項에서 언급한 바와 같은 高溫가스 파이프 라인
- 2次 試料採取
- 均質化 및 貯藏사일로 (보통 回分式 原理로 運用됨)
- 比例式 혹은 連續式 計測設備가 있는 가마 給送시스템

3. 均質化의 計算分析

3.1 原 理

1.1項에서 설명한 바와 같이 조합원료의 均質

化 目的은 均質化基準으로서 간주되고 있는 炭酸칼슘鹽의 含量에 관한 標準偏差를 줄이는 데에 있다. 이에 관한 計算을 하기 위해서는 여러가지 成分의 炭酸칼슘鹽含量의 標準偏差를 알아야 한다. 즉 충분할만큼 試錐物을 여러번 分析해야 한다는 뜻이다. 그러나 특히 地質學·化學的 豫備 調査를 經濟化시키려는 경향 때문에 上記와 같은 分析은 별로 행하지 않고 있다.

計算에 사용할 데이터는 <表-1>에 표시되어 있다(<表-1>에서 사용하고 있는 略號는 註釋欄에 별도로 설명되어 있다).

文獻上으로 報告된 여러가지 實驗值와 情報를

<表-1> 計算用 데이터

原 料	重 量 比	CaCO ₃ 含量 %	標準偏差 %
石 灰 石	PC(0.70~0.85)	CC(70~95)	± EC
泥 灰 岩	PA(0.15~0.30)	CA(10~40)	± EA
添 加 材	PT(0.00~0.05)	CT(0~5)	± ET
키론入口에서 조합원료	PF(1)	CF(75~78)	± EF = 0.20

바탕으로 均質化因子($F_0 \sim F_7$)를 결정해 보면 다음과 같다.

채석 (選擇의인 채석)	$F_0=1 \sim 1.5$
中間 貯藏	$F_1=1 \sim 1.5$
破 碎	$F_2=1 \sim 1.5$
블랜딩 베드	$F_3=4 \sim 10$
中間 貯藏	$F_4=1 \sim 1.5$
原料 粉碎	$F_5=1 \sim 2$
連續 均質化	$F_6=3 \sim 6$
回分式 均質化	$F_7=5 \sim 30$

블랜딩 베드와 均質化플랜트가 가장 중요한 역할을 한다는 것은 분명하다. 製造工程중 이 2가지 段階에 대해서 표시한 因子는 數値測定과 既知情報에 의해 확정된 것이기 때문에 다른 段階에서의 因子보다 상대적으로 정확성이 결여되어 있다. 따라서 上記 2가지 因子에 대해서는 다소간 推定할 필요가 있다.

3.2 一般 計算¹⁾

3.2.1 블랜딩 베드와 連續均質化法을 사용한 調合原料의 製造 (<그림-1> 참조)

• 調合原料의 CaCO_3 含量:

$$CF = PC \cdot CC + PA \cdot CA + PK \cdot CK + PT \cdot CT$$

• 블랜딩 베드의 非效率性($RM\%$)을 감안할 때 이의 CaCO_3 含量

$$CF - RM = P'C \cdot CC + P'A \cdot CA (\%)$$

$P'C + P'A = 1$ 이므로 2가지 式을 이용하여 $P'C$ 및 $P'A$ 를 計算할 수 있다.

• 破碎機에 넣기 전에 있어서의 調合作業은 不正確하다. 따라서 이 不正確度를 DD 로 나타내면 다음과 같은 式을 얻는다.

$$(P'C \pm DD)(CC \pm EC) + (P'A \pm DD)(CA \pm EA) = (CF - RM) \pm E_1$$

2次積項을 무시하면

$$E_1 = \pm \sqrt{(P'C \cdot EC)^2 + (CC \cdot DD)^2 + (P'A \cdot EA)^2 + (CA \cdot DD)^2}$$

으로 된다. 破碎機에 넣은 다음의 標準偏差 E_2 와 블랜딩 베드에 넣은 다음의 標準偏差 E_3 는 다음과 같다.

$$E_2 = E_1 / F_2, \quad E_3 = E_2 / F_3$$

따라서 블랜딩 베드에 넣은 다음에 있어서의 炭酸칼슘鹽의 含量 CP 는 다음과 같은 式으로

주어진다.

$$CP = (CF - RM) \pm E_3$$

• 이 混合物을 石灰石과 添加材로 調整시켜 바라고자 하는 最終組成으로 만든다. 이곳에서 사용할 略號는 다음과 같다.

PP : 블랜딩 베드로부터 얻은 調合原料의 重量 %

PK : 調整된 石灰石의 重量 %

CK : 調整된 石灰石의 CaCO_3 含量

• 最終 調合原料에서 各成分의 重量比를 計算한다.

$$CF = PP(CF - RM) + PK \cdot CK + PC \cdot CT$$

$$PP + PK + PT = 1$$

PT 는 주어진 어떤 固定値이므로 PP 및 $P'C$ 를 計算할 수 있다.

• 調合原料의 標準偏差 計算

$$\text{調整 石灰石: } E''C = \frac{EC}{F_0 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_4}$$

$$\text{添加材: } E''T = \frac{ET}{F_0 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_4}$$

• 調合原料를 만들기 전에 있어서의 調合 不正確常數를 DB 로 잡으면

$(PP \pm DB) \{(CF - RM) \pm E_3\} + (PK \pm DB) (CK \pm E''C) + (PT \pm DB) (CT \pm E''T) = CF \pm E_4$ 를 얻는다. 2次積項을 무시하면 다음과 같이 된다.

$$E_4 = \pm \sqrt{(PP \cdot E_3)^2 + \{DB(CF - RM)\}^2 + (PK + E''C)^2 + (DB \cdot CK)^2 + (PT \cdot E''T)^2 + (DB \cdot CT)^2}$$

生原料 粉碎플랜트 直前に 있어서의 炭酸칼슘鹽含量은 $CF \pm E_4$ 이며 粉碎 후에 있어서의 $CF \pm E_5$ 이다. 단 여기서 $E_5 = E_4 / F_5$ 이다. 連續均質化處理를 한 다음의 EF 는 E_5 / F_6 로 된다(여기서 $EF = 0.20$ 으로 유지하고자 한다).

큰入口에 있어서의 炭酸칼슘鹽含量은 $CF \pm EF$ 이다.

3.2.2 블랜딩 베드로 사용하지 않는 回分式 均質化로 調合原料 製造 (<그림-2> 참조)

이제까지 사용한 略號를 그대로 사용하면

$$CF = PC \cdot CC + PA \cdot CA + PT \cdot CT$$

$$PP + PA + PT = 1 \text{을 얻는다.}$$

PT 는 既知이므로 PP 와 PA 를 計算할 수 있다.

$$E'C = \frac{EC}{F_0 \cdot F_1 \cdot F_2} \quad E'A = \frac{EA}{F_0 \cdot F_1 \cdot F_2}$$

$$E''C = \frac{EC}{F_0 \cdot F_1 \cdot F_2 \cdot F_4} \quad E''A = \frac{EC}{F_0 \cdot E_1 \cdot F_2 \cdot F_4}$$

破碎機로의 供給節次는 고려할 필요가 없다. 왜냐하면 여기서는 1成分밖에 취급하지 않기 때문이다. 따라서,

$$CF \pm E_4 = (PC + DB)(CC + E''C) + (PA \pm DB)(CA \pm E''A) + (PT \pm DB)(CT \pm E''T)$$

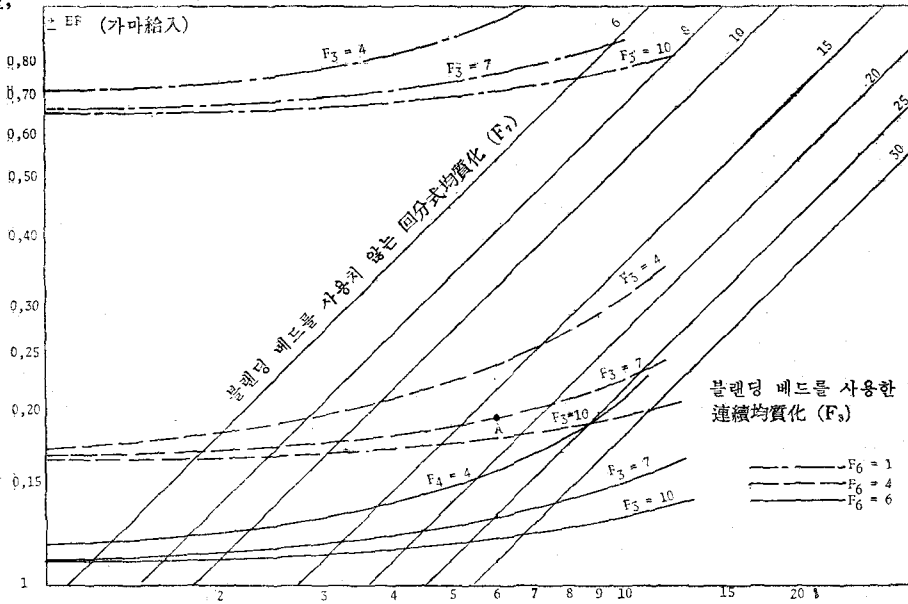
로 된다. 여기서 $E''T = ET/F_4$ 이다. 2次積項을 무시하면,

$$E_4 = \pm \sqrt{(PC \cdot E''C)^2 + (DB \cdot CC)^2 + (PA \cdot E''A)^2 + (DB \cdot CA)^2 + (PT \cdot E''T)^2 + (DB \cdot CT)^2}$$

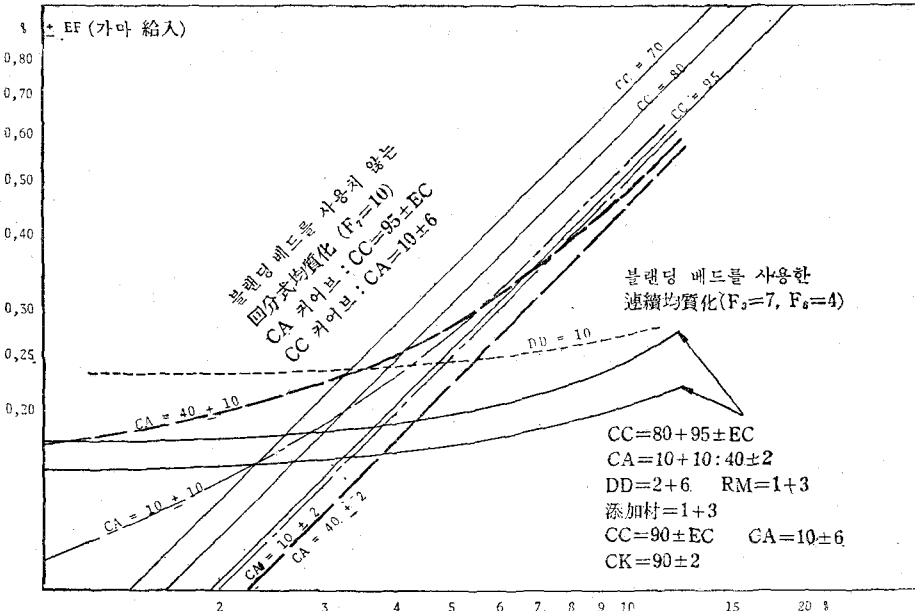
를 얻는다.

調合原料 粉碎플랜트에 넣은 다음에 있어서의 EF 는 E_5/F_5 이며, 均質化 후의 $EF = E_5/F_7 = E_4/F_5 \cdot F_7$ 이다.

키른入口에서의 炭酸칼슘鹽含量은 $CF \pm EF$ 이다 ($EF = \pm 0.20$).



<그림-3> 調合原料의 標準偏差에 미치는 블랜딩의 영향



<그림-4> 調合原料의 標準偏差에 미치는 石灰含量 및 添加材 質의 영향

<表-2>

計 算 用 假 定 値

	番 號	分 析	블렌딩 배 有無	假 定									그림
				CC	CA	CK	RM	F ₃	F ₆	F ₇	DD	PT	
A	1	原料의 石灰含量의 영향	有	80	10	95	2	7	4	—	2	2	4
	2			80	40	95	2	7	4	—	2	2	
	3			90	10	95	2	7	4	—	2	2	
	4			90	40	95	2	7	4	—	2	2	
	5			95	10	95	2	7	4	—	2	2	
	6			95	40	95	2	7	4	—	2	2	
B	7	原料의 石灰含量의 영향	無	80	10	—	—	—	—	10	—	2	4
	8			80	40	—	—	—	—	10	—	2	
	9			90	10	—	—	—	—	10	—	2	
	10			90	40	—	—	—	—	10	—	2	
	11			95	10	—	—	—	—	10	—	2	
	12			95	40	—	—	—	—	10	—	2	
C	13	블렌딩 베드 및 均質 化 사일로의 영향	有	90	10	95	2	7	6	—	2	2	3
	14			90	10	95	2	10	6	—	2	2	
	15			90	10	95	2	4	6	—	2	2	
	16			90	10	95	2	10	4	—	2	2	
	17			90	10	95	2	4	4	—	2	2	
	18			90	10	95	2	7	1	—	2	2	
	19			90	10	95	2	10	1	—	2	2	
	20			90	10	95	2	4	1	—	2	2	
D	21	回分式 均質化의 영향	無	90	10	—	—	—	—	15	—	2	3
	22			90	10	—	—	—	—	7	—	2	
	23			90	10	—	—	—	—	4	—	2	
E	24	調合正確度의 영향	有	90	10	95	2	7	4	—	5	2	3
	25			90	10	95	2	7	4	—	10	2	
F	26	調整石灰含量 및 블렌 딩베드의 正確度 영향	有	90	10	90	2	7	4	—	2	2	4
	27			90	10	90	1	7	4	—	2	2	
	28			90	10	95	1	7	4	—	2	2	
	29			90	10	90	3	7	4	—	2	2	
	30			90	10	95	3	7	4	—	2	2	
G	31	添加材動靜의 변화	有	90	10	95	2	7	4	—	2	1	—
	32			90	10	95	2	7	4	—	2	3	
	33			90	10	95	1	7	4	—	2	1	
	34			90	10	95	1	7	4	—	2	3	

3.3 前述한 여러가지 式의 프로그래밍

여러가지 因子를 자유자재로 변경시키고, 또 이들 因子가 미치는 영향을 조사하기 위하여 前述한 여러가지 式을 컴퓨터 프로그래밍시켰다. 計算結果를 그래프상으로 나타내면 <그림-3>, <그림-4> 와 같다. 이 그림에서 橫座標는 石灰

石의 CaCO₃ 含量 標準偏差(±EC)를 나타내며, 縱座標는 큰入口에서 調合原料의 CaCO₃ 含量 標準偏差(±EF)를 나타낸다. <表-2> 에 여러가지 變數를 수록했는데 B群과 D群은 블렌딩 베드를 사용치 않고 均質化시킨 것이고, 이를 제외한 나머지 群은 블렌딩 베드를 사용한 경우이다.

다음과 같은 假定을 하였다.

石灰石의 CaCO_3 含量(CC) :	80~95% ($\pm EC=2\sim 10\%$)
泥灰岩의 CaCO_3 含量(CA) :	10~40% ($\pm EA=2\sim 10\%$)
調整石灰石의 CaCO_3 含量(CK) :	90~85% ($\pm EK=2\%$)
添加材의 CaCO_3 含量(CT) :	5% ($\pm E^*T=1\%$)
調合原料의 CaCO_3 含量(CF) :	76% ($\pm EF=0.20\%$)
블렌딩 베드의 不正確度(RM) :	1~3%
調合原料에서의 添加材의 比率(PT) :	1~3%
破碎前의 調合正確度(DD) :	1~6%

調合原料 製造前에 있어서의 調合作業의 正確度 計算을 간단히 하기 위하여 다음과 같은 固定值를 택했다.

- 石灰石 $DBC=\pm 1\%$
- 泥灰岩 $DBA=\pm 0.3\%$
- 調整石灰石 $DBK=\pm 0.15\%$
- 添加材 $DBT=\pm 0.10\%$

均質因子를 다음과 같이 假定하였다.

- 채석장 $F_0=1$
- 破碎前의 中間貯藏 $F_1=1$
- 破碎플랜트 $F_2=1.25$
- 블렌딩 베드 $F_3=4\sim 10$
- 調合原料 製造前의 中間貯藏 $F_4=1.25$
- 生原料 粉碎플랜트 $F_5=1.25$
- 連續均質化 $F_6=1\sim 6$
- 回分式 均質化 $F_7=4\sim 15$

단지 3가지 因子 F_3, F_6, F_7 만이 變數이고 나머지 因子는 모두 고정되어 있다.

3.4 主要 計算結果

<그림-3>은 블렌딩 베드를 사용하지 않고 回分式으로 均質化시키는 方法, 블렌딩 베드를 사용하여 均質化시키는 方法의 각각에 있어서 調合原料의 CaCO_3 含量 標準偏差(EF)와 石灰石의 CaCO_3 含量 標準偏差(EC)間의 相關關係를 나타내고 있다. 因子 F_3, F_6 및 F_7 은 變數이다.

<그림-3>에서 볼 것 같으면 石灰石의 CaCO_3

含量 標準偏差가 꽤 클 경우에는 블렌딩 베드를 사용한 連續均質化法이 우수하다는 사실이 분명하다. 즉 $F_3=7, F_6=4$ 인 上記 시스템을 사용하면 $F_7=17$ 인 回分式 均質化시스템(高度로 정교한 시스템이다)을 사용한 것과 꼭 같은 $EC=6$ (點 A)이라는 結果를 얻는다.

石灰石의 組成이 매우 均一한 경우($EC\leq 3.5$)에는 $F_7=8\sim 10$ 인 回分式 均質化시스템을 채택하여도 충분하며, 또한 이렇게 하면 投資費와 運轉費를 적게 들이면서 最終目標인 $EF=\pm 0.20$ 을 달성할 수 있다.

블렌딩 베드는 緩衝備蓄所 역할을 할 뿐만 아니라 豫測하기 어렵고 測定이 불가능한 原料의 變動事項을 구체화시키는 緩衝因子 역할도 한다. 모든 計算과 結果는 統計的 平均值(예, 標準偏差에 基盤을 두었다는 사실을 염두에 두어야 하며, 또한 이들 平均值의 +와 -(예, $\pm EF$)는 어떤 때에는 고려하지 않았다는 사실도 알아야 한다.

$F_6=1$ (키른入口 도달前까지 均質化시키지 않은 것)인 경우에서 보면, 아무리 좋은 均質化因子와 매우 우수한 均質 石灰石을 블렌딩 베드에 사용하더라도 $EF=0.50$ 以下로 낮출 수 없기 때문에 均質化시스템을 채택치 않고 단지 블렌딩 베드만 사용하여 플랜트를 運轉한다는 것은 실용적이지 아니라는 것을 알 수 있다. 이는 베드에서 標準偏差가 큰 石灰와 添加材를 調整시켜 調合原料를 만들어야 되기 때문이다.

<그림-3>의 結果는 <表-2>의 C, D 群에서의 計算結果와 對應되는 것이다.

<그림-4>도 역시 EF와 EC間의 相關關係를 나타낸 것인데 여기서는 均質化因子가 變하는 것이 아니라 石灰石의 CaCO_3 含量(CC), 泥灰岩의 CaCO_3 含量(CA) 및 다음과 같은 因子가 變하고 있다.

- 破碎機에 보내기 전에 있어서의 調合不正確度(DD)
 - 블렌딩 베드에서의 非效率性(RM)
 - 調合原料에 添加하는 添加材의 比率(PT)
- 블렌딩 베드를 사용하지 않을 때에 있어서의 다음과 같은 현상이 일어난다.
- 泥灰岩의 CaCO_3 含量이 一定하고(10 ± 6) 均

質化因子가 一定할 때 ($F_7=10$) 石灰石의 CaCO_3 含量(CC)이 增加할 수록 標準偏差는 커진다.

· 泥灰岩의 CaCO_3 含量은 $EA < \pm 2$ 인 때에는 一定하다. 그러나 標準偏差가 클 경우에는 큰 問題點이 생긴다. 예를 들면, $CA=40 \pm 10$ 이고 $F_7=10$ 일 때에 $EF = \pm 0.20$ 을 달성하기 위해서는 石灰石의 CaCO_3 含量의 標準偏差(EC)가 $\pm 2\%$ 를 초과해서는 안된다는 사실이다.

$EC=3.5 \sim 4$ 를 상회할 때에는 블렌딩 베드를 사용한 시스템이 우수하다. 石灰石의 CaCO_3 含量, 泥灰岩의 CaCO_3 含量, 破碎機에 넣기 전에 있어서의 調合裝置의 不正確度(1~6%), 블렌딩 베드의 非效率性, 添加材量 등은 $EC=5 \leq 6$ 인 한 最終結果에 거의 영향을 미치지 않을 것이다. 그러나 調合 不正確도가 6%를 초과해서는 안된다. 만약 초과한다면 ± 0.20 이란 最終成果를 달성할 수 없기 때문이다. RM이 3을 초과할 수 있는 경우는 $EC = \pm 5\%$ 일 때까지만 가능하다.

3.5 均質化工程에 重點을 둔 結論

計算結果에서 보다시피 만약 石灰石의 標準偏差가 $\pm 3.5\%$ 以上이면 調合原料 製造플랜트에 $F_3=7$ 인 블렌딩 베드와 $F_6=4$ 인 連續均質化시스템을 設置해야 한다.

標準偏差가 $\pm 3\%$ 를 초과하지 않는 경우에는 調合原料로 직접 調合할 수 있고, 回分式 均質 시스템($F_7=10$)을 쓸 수 있다. 즉 裝置가 덜 經濟해도 된다는 뜻이다. 그러나 3.4項에서 언급한 블렌딩 베드의 長點은 무시해서는 안된다.

반면, 均質化시스템의 도움없이 블렌딩 베드 單獨으로는 石灰石의 標準偏差가 어떠한 간에 $EE = \pm 0.20$ 이란 結果를 얻을 수 없다.

각 成分의 CaCO_3 含量 自體는 標準偏差나 각 工程段階에서의 均質化因子보다 最終結果에 덜 영향을 미친다.

其他 因子들(블렌딩 베드의 不正確度, 添加材의 比率)은 대체적으로 1~5% 範圍內에서는 거의 영향을 미치지 않는다.

破碎機에 넣기 전에 있어서의 調合作業 正確度는 $\pm 5\%$ 以內에 있어야 한다. 그렇지 않으면 ± 0.20 이란 最終結果를 얻을 수 없다.

組成이 不均一한 石灰石($EC \geq 5 \sim 7\%$)의 경우

에는 $F_3=7$ 인 블렌딩 베드와 $F_6=4 \sim 5$ 인 連續均質化法을 사용하여 調合原料의 標準偏差를 $\pm 0.20\%$ 로 강하시키기는 불가능하다. 그러나 $\pm 0.25\%$ 以下로 유지시키는 것은 가능하다.

4. 調合原料 製造에 있어서의 工程段階 및 블렌딩效果

4.1 채석장

組成이 不均一한 材料가 採鑛되는 채석장에서 는 때때로 選擇的인 採鑛作業을 할 필요가 있다. 예를 들면 바다고자 하는 組成에 가장 近似한 組成을 가진 層에서만 原料를 採掘하는 作業이다. 물론 이렇게 하자면 채석장에 관한 매우 精確한 情報를 얻어야 하는데, 이는 단지 수많은 보오링試驗과 分析試驗을 행함으로써만 이룩될 수 있다. 더욱 상당히 숙련되고 경험있는 要員이 있어야 하고, 企業의 組織에 아무런 결함이 없어야 하며, 採取한 試料를 재빨리 評價할 수 있어야 한다.

上記와 같은 選擇 採石作業에는 多大한 努力과 經費가 들기 때문에 이 方法은 달리 어떤 代替 方法이 없을 때에만 채택하게 된다.

4.2 破碎作業

4.2.1 一般

블렌딩 베드와 調合原料 밀로 運送하기 전에 採石作業에서 얻은 岩石塊를 破碎시켜야 한다. 調合原料의 粉碎에 보울 밀을 사용할 경우 밀에 供給되는 原料의 95%는 30mm 以下の 사이즈로 만들어야 하며, 로울러 밀을 사용할 경우 原料의 95%를 100mm 以下の 사이즈로 만들어야 할 것이다. 그러나 後者의 경우 100mm 라는 數値는 너무 높아서 블렌딩 베드에 사용하기에는 적절하지 못하다. 왜냐하면 偏在現象이 일어날 염려가 있기 때문이다. 따라서 블렌딩 베드에 供給할 被破碎物의 사이즈는 60mm 를 초과해서는 안된다.

만약 原料를 벨트 컨베이어를 사용하여 채석장에서 시멘트工場으로 운반할 때에는 1次로 移動型 破碎機를 사용하여 現場에서 原料를 200mm 사이즈로 만든 다음, 시멘트工場에 設置한 2次破碎機를 사용하여 밀에 供給할 사이즈로 만드는 것이 유리하다. 만약 컨베이어 벨트를 사용하지 않고 一般 運搬車를 사용할 때에는 破碎하지 않

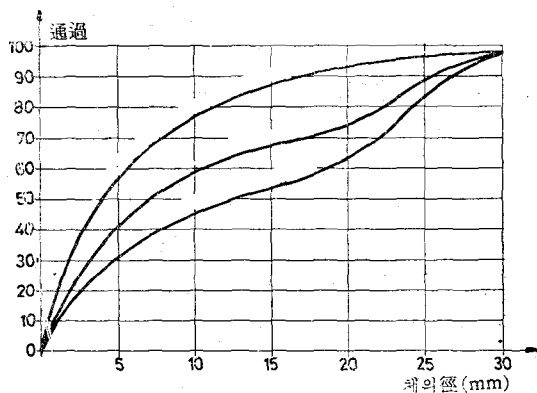
은 原料를 시멘트工場에 設置한 固定式 破碎機에 운반시킨 다음 이 破碎機에 石灰石과 泥灰岩 成分을 調査시켜 供給하는 것이 좋다. 濕한 原料를 다룰 때에 있어서의 粘結現象을 없앨 수 있을 뿐만 아니라 2가지 成分을 철저히 混合시킬 수 있기 때문에, 이 方法은 均質化의 觀點에서 볼 때에 바람직한 것이 된다.

여러가지 破碎機 중에서 鎚式破碎機와 임펠러型 衝擊式 破碎機가 시멘트産業에 가장 널리 사용된다. 이런 種類의 破碎機를 사용하던 단 한 번만에 사이즈를 1/20로 줄일 수 있을 정도로 高度의 微細粒子를 얻을 수 있는 반면, 조크라셔, 자이레토리크라셔, 로울크라셔를 사용 할 때에는 사이즈를 1/4 以上 줄일 수 없다(〈그림-5〉 參照). 濕分이 8% 以上인 原料를 破碎할 때에는 破碎機를 部分的(破碎機의 板)으로, 혹은 全的으로 加熱하는 것이 좋다.

〈그림-5〉에서 最上部 커어브는 鎚式크라셔와 임펠러크라셔를 나타내고, 가운데 커어브는 자이레토리크라셔, 最下部 커어브는 조크라셔를 나타낸다.

4.2.2 破碎機에 의한 均質化

鎚式크라셔와 임펠러크라셔의 블렌딩效果는 우수하다. 均質化라는 것은 標準偏差라는 概念으로 살펴 보면, 標準偏差를 1~1.5로 減少시키는 것을 의미한다. 그러나 均質化에 대해서 標準偏差와 같은 統計的 評價를 하기에는 아직 實際測定結果가 미약하다.



〈그림-5〉 여러가지 破碎機 製品의 粒狀學的 커어브

4.3 1次 試料採取

블렌딩 베드로 供給되는 原料의 平均組成을 一定히 유지하기 위해서는 中間貯藏槽와 블렌딩 베드 사이에서 一定하게 原料의 샘플을 採取해야 한다. 0~30mm 혹은 0~60mm 사이즈의 原料로부터 螢光分析에 적합한 0~0.16mm 試料를 採取한다는 것은 힘든 일이다. 少量 生産高를 가진 多段 試料採取裝置로서는 만족을 못 느끼기 때문에 設計者들은 가능하면 간단한 裝置, 즉 原料도 乾燥시킬 수 있는 高生産型(6~10t/h) 粉粹機를 만들려고 노력하고 있다.

그러나 이러한 試料採取裝置는 그 初期投資費가 높고 整備面에서도 어려운 점이 많기 때문에 이 裝置가 언제나 늘 필요한 것인가에 대해서 여러모로 연구하고 있다. 실제로, 대부분의 경우 1次 試料採取시스템이 고장났을 때에도 良質의 시멘트를 生産할 수 있다. 原料의 主成分인 $CaCO_3$ 含量이 높고 標準偏差가 낮은 石灰石인 경우에는 전적으로 1次 試料採取시스템의 도움을 받을 필요가 없다. 20~25% 以下の 泥灰岩이 調合原料에 널리 分散되어 있을 경우에도 調合原料의 標準偏差에 미치는 그 영향은 근소한 것이 될 것이다. 블렌딩 베드로 供給하기 전에는 연속적으로 調整作業을 할 필요가 없다. 로우밀에 넣기 전에 있어서 調整할 필요가 있을 경우에는 이에 알맞게 $CaCO_3$ 를 블렌딩 베드에 供給해야 한다.

4.4 블렌딩 베드

4.4.1 一般 2~10)

블렌딩 베드의 基本原理는 原料를 規則적으로 層別로 혹은 列別로 堆積시킨 다음 이를 堆積方向과 垂直으로 採掘하는 것이다. 일반적으로 블렌딩 베드를 볼 것 같으면 한 쪽에서는 베드를 形成시키고 다른 쪽에서는 이 形成된 베드를 採取한다. 環狀 베드에서는 이 두 作業을 連續적으로 행할 수 있다.

블렌딩 베드를 만들려고 決定하기 전에 이 블렌딩 베드가 수행할 수 있는 均質化 效果를 고려해야 할 뿐만 아니라, 시멘트工場에서 어떤 때에 原料備蓄용으로 준비해야 하느냐 하는 사실도 고려할 필요가 있다. 채석장에서 作業時間은 週

當 5日, 1日 8時間인데 비해 시멘트工場에서는 週當 7日, 1일에 적어도 20時間 作業을 한다. 따라서 2~3日間 供給할 緩衝備蓄用 原料를 준비할 필요가 있다. 初期 費用面에서 볼 때에 3日間에 해당하는 緩衝備蓄用 原料를 처리할 電氣裝置 및 機械裝置 費用은 7日間の 베드 블랜딩 備蓄用原料를 처리하는 費用과 거의 비슷하다. 그러나 後者에 있어서 備蓄物을 積載하는 데에는 엄청난 費用이 들 것이다.

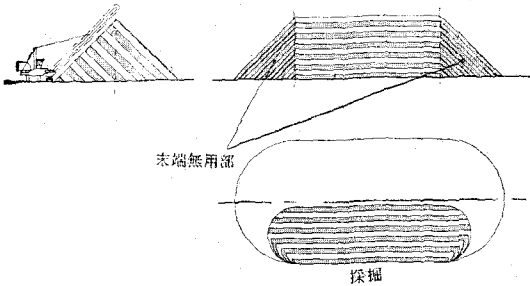
이러한 短點은 半週 베드 블랜딩 備蓄法을 채택함으로써, 즉 2.5日間 베드를 形成시키고, 나머지 3.5日은 採取함으로써 약간 除去시킬 수 있다. 그러나 이렇게 하면 베드 위에 堆積할 原料의 層數가 줄어들 것이기 때문에(물론 블랜딩 效果는 좋아진다), 堆積裝備의 運轉速度를 임의로 增加시킬 수 없다는 사실을 염두에 두어야 한다(4.4.2-5項 參照).

4.4.2 블랜딩 베드의 種類 및 問題點

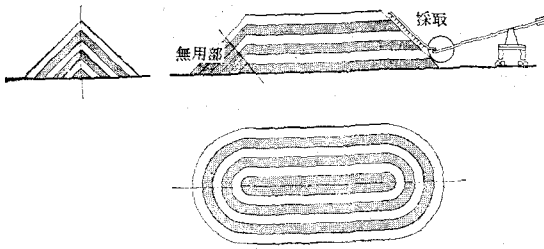
4.4.2-1 縱型 블랜딩 베드

主要 構築시스템은 地層시스템 (<그림-6> 참조), 山形시스템 (<그림-7> 참조), 風乾시스템 (<그림-8> 참조) 등이 있다.

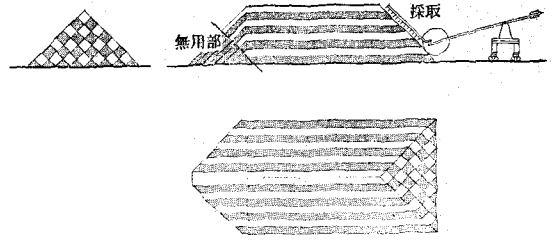
이 3가지 方法 외에도 여러가지 中間方法이



<그림-6> 地層시스템



<그림-7> 山形시스템



<그림-8> 風乾시스템

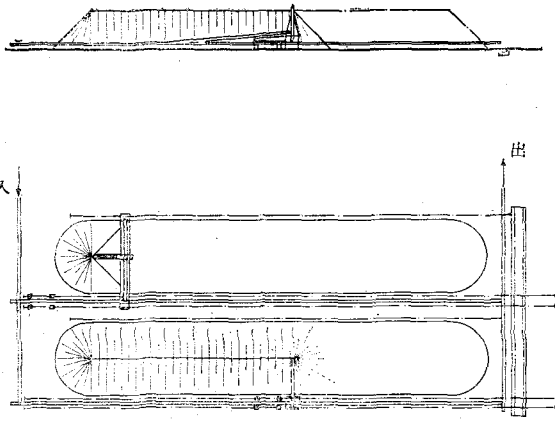
있다. 이 모든 시스템에서 問題가 되는 것은 그림에서 나타난 바와 같이 末端 圓錐形部分(堆積層의 半圓錐形 末端部分)이다. 末端部分의 어떤 點에서부터는 堆積機가 모든 層을 다 處理할 수 없다. 特別裝置를 設置함으로써 堆積層의 한쪽 末端部分의 採取를 시작할 수 있으나, 다른 쪽 末端部分의 어떤 點은 採取할 수 없게 된다. 均質化의 觀點에서 볼 때에 베드를 構築하는 가장 좋은 方法은 風乾法(凝結現象을 피할 수 있다)이나, 이 시스템은 正교하기 때문에 高價이다. 均質化效果와 費用面을 고려한 解決策은 山形시스템을 채택하는 것이다. 山形시스템에서는 장고지붕 가장자리에 쌓여있는 粉塵을 덜어 버리는 積層機를 쓰는 것이 컨베이어 벨트를 쓰는 것보다 더 바람직하다. 컨베이어 벨트는 乾燥한 原料로 인한 粉塵을 받아 들이고, 더욱 偏在現象을 유발하기 때문이다.

4.4.2-2 採取機

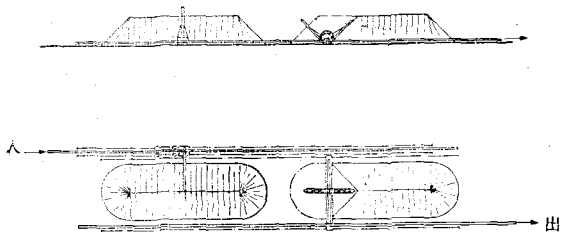
언급해 볼만한 採取機의 種類는 다음과 같다.

- 側面作用 採取機 및 前面作用 採取機
- 橋型 採取機
- 重疊 橋型 버킷트·휠 採取機 및 中央트랙이 있는 버킷트·휠 採取機
- 管狀 採取機

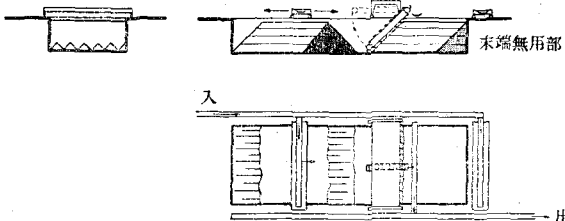
投資費와 均質化 效果는 上記 目錄順으로 커진다. 理論적으로 정말 좋은 均質化效果를 얻기 위해서는 採取機가 運轉중 堆積層의 全 斷面을 휩쓸어야 한다. 윈드스크린·와이어 機能을 하는 프레임, 갈퀴 혹은 와이어·로우프를 사용함으로써 上記 機能을 달성할 수 있다. 버킷트·휠 採取機에는 上記 目錄에서와 같이 2가지 種類가 있는데 이들 둘은 다 자기 나름대로의 長短點을 가지고 있다.



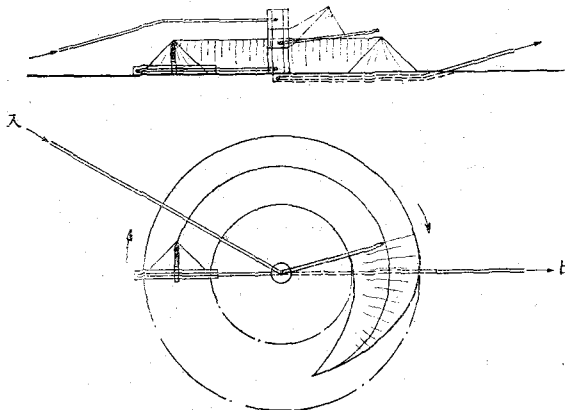
<그림-9> 縱型 블렌딩 베드; 平行



<그림-10> 縱型 블렌딩 베드; 인·라인



<그림-11> 建物內的 縱型 블렌딩 베드 (風乾시스템)



<그림-12> 베드를 連續 構築, 採取하는 環狀 블렌딩 베드

4.4.2-3 블렌딩 베드의 設計

<그림-9>부터 <그림-12>에서와 같이 블렌딩 베드에서 堆積層을 平行, 인·라인(in-line), 表面下 (탱크나 빌딩內에), 環狀으로 배열할 수 있다. 平行式(<그림-9>)의 경우 파일을 옮길 때마다 每週 採取機를 옮겨야 하지만, 空間을 절약하는 長點이 있다. 인·라인(<그림-10>)의 경우 이 배열은 길고 좁다. 그러나 트랙을 따라 採取機를 옮겨야만 할 필요는 없다. 表面下 배열(<그림-11>)에서는 空間이 거의 필요치 않으나 建設費가 매우 많이 든다. 環狀 베드 블렌딩 堆積層(<그림-12>)은 每週 2個의 파일로 構成되거나, 그렇지 않으면 連續의으로 處理되기도 한다. 平行式에는 아무런 長點이 없으나, 반면 環狀 블렌딩 베드는 構築과 採取를 連續의으로 할 수 있기 때문에 費用도 적게 들고 空間도 적게 든다. 이 때문에 環狀 블렌딩 베드에 대해 앞으로 더 考察하겠다.

비가 내리거나 폭풍이 있는 곳에서는 블렌딩 베드를 창고에 넣어둔다든가 하는 방법으로 보호해야 한다.

4.4.2-4 連續 環狀 블렌딩 베드^{3,4,5)}

縱型(線形) 블렌딩 베드와 環狀 블렌딩 베드를 比較計算해 보면 다음과 같다.

[1週 供給用 縱型 베드]

$$\text{容積 } V = \frac{7 \cdot 1.6 \cdot Q \cdot h}{W} = 8.34Q (\text{m}^3)$$

여기서 $Q=1$ 日 크링카 生産高(t/d)

$W=$ 블렌딩 베드의 體積密度(1.45t/m³)

$h=$ 블렌딩 베드의 混分含量(8%)=1.08

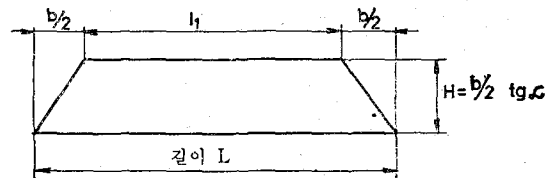
質量 $M=8.34 \cdot 1.45 \cdot Q=12Q$ (t)

$$\text{斷面積 } S = \frac{b^2}{4} \cdot \text{tg}\alpha = 0.195 \cdot b^2 (\text{m}^2)$$

여기서 $\alpha=38^\circ$, $\text{tg}\alpha=0.78$, $b=$ 堆積層의 幅 半圓錐形 末端部分을 고려한 總括體積

$V=0.195b^2 \cdot (l_1 + 0.523b) = 8.34Q$, 그리고

$L=l_1 + b = 42.76Q/b^2 + 0.477b$ (<그림-13 참조>)



<그림-13> 縱型 블렌딩 베드의 值數

[1週 供給用 環狀 베드]

縱型 베드의 경우와 同一한 假定을 하였다. 즉
斷面積 $S=0.195b^2$

連續 構築 및 採取

- 構築 : 7.7h/日, 5日/週
- 採取 : 20h/日, 7日/週

採取量 $q = \frac{8.34Q}{7.7 \cdot 20} = 0.054Q \text{ (m}^3/\text{h)}$

<그림-14>와 같은 山形시스템을 참조하여 길이를 계산해 보면(1.5日 備蓄의 경우),

$$L_{max} = \frac{0.054 \cdot Q \cdot 20}{0.195b^2} \left(7 - 5 + 1.5 + \frac{20 - 7.7}{20} \right) = 22.50 \frac{Q}{b^2}$$

均質化 길이를 縱型 備蓄層의 길이와 같다고
잡으면,

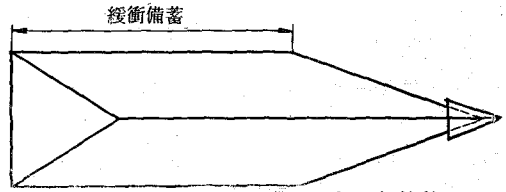
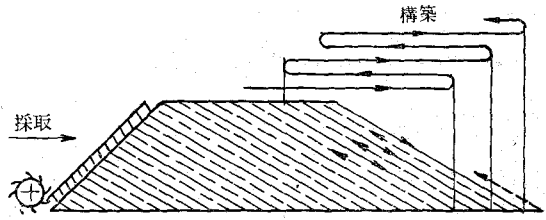
$H = 42.76 \frac{Q}{b^2} + 0.477b$ 가 된다. 採取機用으로

10m 여분을 고려하면,

總括길이 $L = L_{max} + H + 10$

$$= \frac{Q}{b^2} (22.5 + 42.76) + 0.477b + 10 = \pi D_m$$

따라서 平均直徑 D_m 은 다음과 같다.



<그림-14> 環狀 블랜딩 베드의 值數

$$D_m = 20.77 \frac{Q}{b^2} + 0.152 \frac{Q}{b^3} + 3.183$$

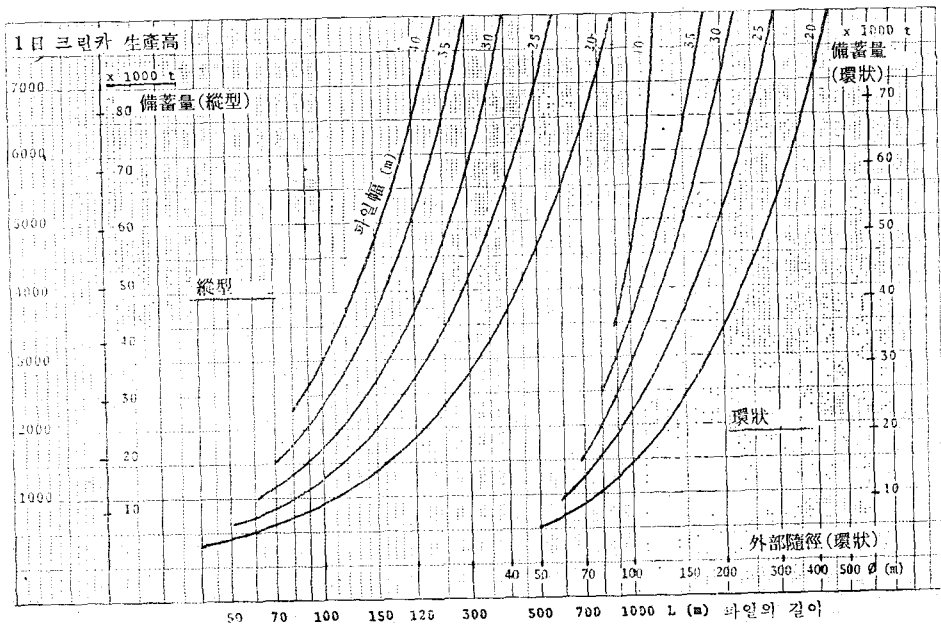
여기서 $0.152 \frac{Q}{b^3}$ 項을 무시하면

$$D_m = 20.77 \frac{Q}{b^2} + 3.183$$

外部 直徑 $D_a = D_m + b$

內部 直徑 $D_i = D_m - b$

따라서 蓄積容積 $V = 7.15Q \text{ (m}^3)$, 質量 $M = 10.37Q \text{ (t)}$ 이 될 것이다. <그림-15>에 나타낸 커어브는 이러한 原理에 基礎한 것이다.



<그림-15> 縱型 備蓄層과 環狀 備蓄層의 比較

縱型 파일 및 環狀 파일의 길이 및 直徑은 파일의 幅과 1日 크링카 生産高의 函數로 되어 있다. <그림-15>의 왼쪽 커어브는 縱型 備蓄層에 관한 것인데 여기서 가로軸은 파일의 길이, 세로軸은 備蓄量을 나타낸다. 오른쪽에 있는 커어브는 環狀 備蓄層에 관한 것인데 여기에서 가로軸은 파일의 外部 直徑을 나타낸다. 제일 왼쪽에 있는 세로軸은 1日 크링카 生産高(t)를 표시하고 있다.

計算의 편리상 調合原料/크링카 比를 1.6으로 原料의 體積密度를 1.45t/m³로 잡았다. 만약 이 數値를 바꾼다면 計算을 다시 해야 한다.

4.4.2-5 結 論

<그림-15>로부터 다음과 같은 結論을 내릴 수 있다. 1日 크링카 生産高가 4,000톤, 베드 幅이 30m 인 경우 縱型 블랜딩 베드에서는 1週日 間 供給하기 위하여 길이 210m인 파일이 2個 있어야 한다. 파일을 인·라인 배열시킬 경우 창고의 床面積은 22,500m², 平行式으로 배열시킬 경우 床面積은 20,700m²가 된다.

이에 반해 連續式 環狀 베드에서는 床面積이 14,350m² 밖에 소요되지 않아 上記 縱型 베드의 약 60%에 해당된다.

大量 生産化되어가고 있는 오늘날에 있어서 縱型 블랜딩 베드를 쓰면 매우 큰 창고가 필요하게 된다. 반면 環狀 블랜딩 베드를 쓰면 空間도 절약하고 經濟的 利點도 얻을 수 있다. 環狀 블랜딩 베드에 관련된 현존 電氣工學·機械工學上 問題點은 해결되리라 생각한다.

費用을 적게 들이고 블랜딩 베드를 構築하는 또 다른 方法은 2.5日間 構築하고, 3.5日間 採取하는 方法이다. 물론 얻을 수 있는 블랜딩 效果도 고려해야 한다. 블랜딩 效果는 베드의 堆積層數의 函數이기 때문에 堆積層이 적으면 均質化 效果도 줄어든다. 堆積機의 同一 運轉速度(약 0.50m/sec)와 時間當 同一 生産高에서는 回轉點에서 이 堆積機의 滯留時間이 길어지기 때문에 堆積層數는 적어진다.

4.4.3 블랜딩 效果

블랜딩 베드에 넣기 전에 있어서의 原料의 標準偏差를 EC₂라 하고, 베드를 통과한 다음에 있어서의 原料의 標準偏差를 EC₃라 하면 다음과 같은 關係가 成立한다.

$$EC_3 = \frac{EC_2}{F_3} = \frac{EC_2}{\sqrt{N}}$$

여기서 N은 層이나 列의 數이다. 예를 들어 N=50이면 F₃=7이 되고, N=100이면 F₃=10이 된다.

이 公式를 有效하게 이용하기 위해서는 블랜딩 베드를 理論적으로 精確하게 構築하고 採取해야 한다. 4.4.2-5項에서 이미 언급한 바와 같이 일단 어떤 種類의 블랜딩 베드를 選定하고 나면 堆積層數는 堆積機의 運轉速度에 따라 제한을 받게 된다.

4.4.4 結 論

블랜딩 베드의 設計 및 機能은 取扱原料, 有效 空間面積, 均質化 基準에 따라 좌우된다. 아직 가진 큰 供給原料를 中間貯藏할 필요성을 느끼기 때문에 이로 인해, 전반적인 均質化를 저해함이 없이 블랜딩 베드에 관련된 經費를 줄일 수 있다.

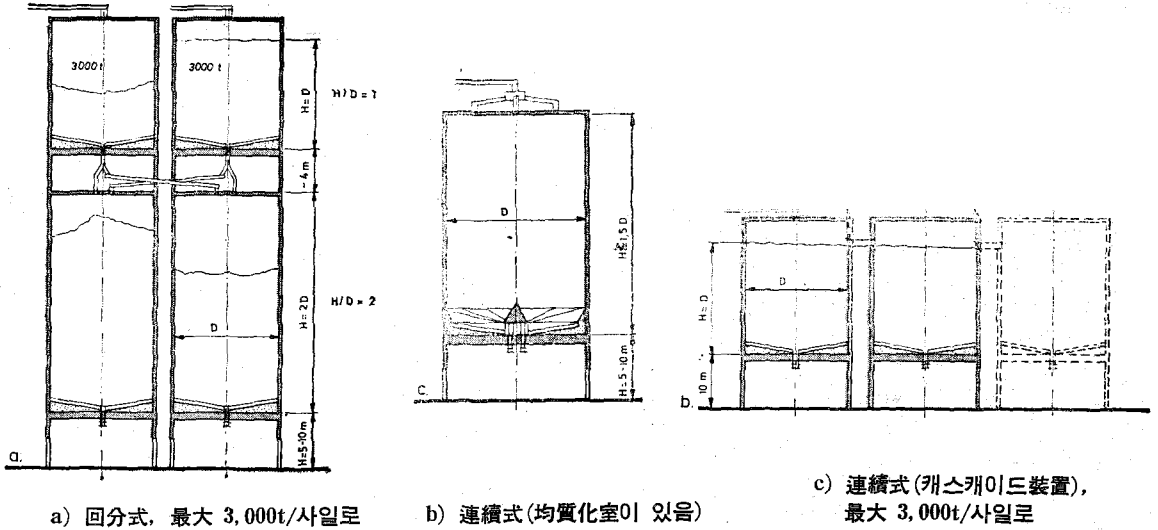
4.5 生原料의 粉碎

生原料 粉碎플랜트를 거침으로써 標準偏差를 낮게 할 수 있다는 것은 명백한 사실이다. 그러나 統計値가 아직 不備하기 때문에 推定할 도리밖에 없다. 均質化因子 F₃를 1.25(1.0과 1.50의 平均)로 잡았다(3項 參照). 調合裝置를 精確하게 사용하지 못한다면 아무런 效果도 바랄 수 없다는 사실을 명심해야 한다.

4.6 均質化

4.6.1 一般^{11~12)}

生原料 粉碎플랜트를 거친 다음, 粉碎플랜트에 技術上의 問題點이 있을 때 마다 큰 運轉을 中止시키지 않기 위해서 緩衝備蓄 原料를 준비해야 한다. 대부분의 경우 電氣消費가 極에 달할 때에는 粉碎플랜트의 稼動을 중지시킨다고 한다(일반적으로 하루에 3~4時間). 일반적으로 緩衝備蓄用 原料로서 큰의 1日 生産高의 3~4배에 해당하는 量을 준비한다고 한다. 日本에서는 6~10時間 큰에 供給할 量만 緩衝備蓄用으로 준비해도 충분하다고 하나 上記 數値와 이 數値의 中間值 즉 큰에 2日間 供給할 수 있는 量을 준비하는 것이 좋다고 제안할 수 있다. 이는 플랜트의 運轉信賴度가 커지고 있는 경우에 더욱



<그림-16> 均質化 사일로

합당하다고 생각한다.

4.6.2 均質化法

현재 널리 사용되고 있는 2가지 方法에는 回分式과 連続式이 있다(<그림-16> 参照). 技術的인 面은 略하고 단지 均質化效果에 관해서만 論하겠다.

回分式 均質化에서는 2개의 2層 사일로가 필요하기 때문에 이러한 裝置의 建設費와 運轉費가 高價이다. 그러나 이 및가로 물론 空氣 供給速度와 原料의 滯留時間에 따라 變하겠지만 均質化 因子 $F_T=30$ 을 얻을 수 있다. ^{13,14,18)}

<그림-17>은 3가지 F_T 值를 나타낸 것이다. 여기서 가로軸은 均質化時間(hr), 세로軸은 空氣速度($m^3/min/$ 사일로 底面積 m^2)를 나타낸다.

連續 均質化는 다음과 같은 2가지로 더 細分할 수 있다.

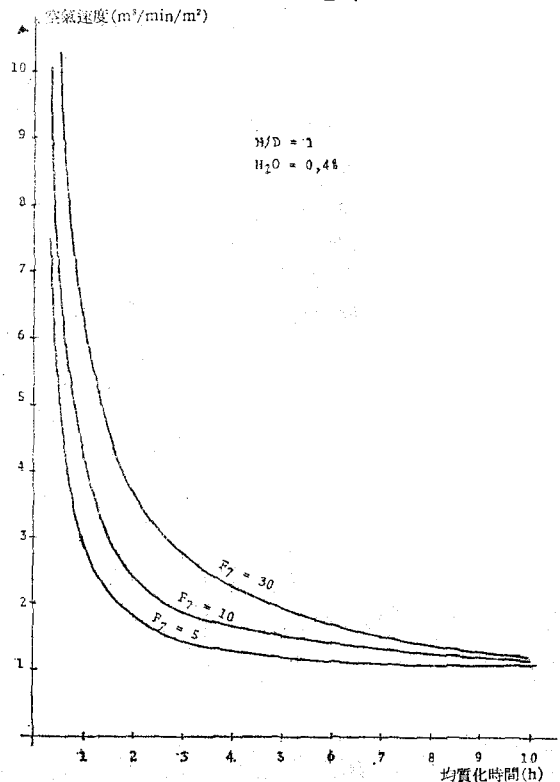
- 過多流가 다음 사일로로 흐름(캐스캐이드式) ^{12,15)}

- 出口前에 均質化室이 있는 것 ^{13~17)}

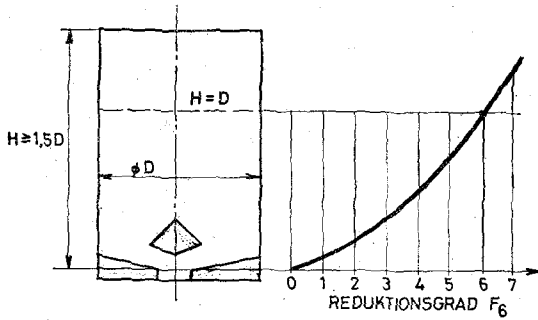
이들 裝置를 사용할 때에는 적어도 6時間에 해당하는 均質化時間이 필요하다.

均質化因子는 選擇한 均質化方式에 따라 큰 영향을 받는다. 캐스캐이드法에 있어서 두번째 사일로의 바닥이 通氣式으로 되어있던가 두번째 사일로 內容物이 첫번째 사일로로 再循環된다면 F_T 은 15가 될 것이다. 캐스캐이드式으로 하거나

여러개의 사일로를 連鎖로 만들 수도 있다. 캐스캐이드式에 있어서 가장 큰 사일로는 그 直徑이 15m, 容量이 3,000t이다. 製造業者에 의할 것 같으면 이보다 큰 사일로에서는 空氣消費가 너무 많아서 非經濟的이라 한다.



<그림-17> 回分式 均質化



<그림-18> 充填原料의 높이에 따른 圓錐形 混合室 사일로의 均質化因子的 變化

반면 均質化室을 갖춘 사일로는 어떠한 사이 크로도 만들 수 있다. 12,000t 용량을 가진 사일로를 이미 建造한 바 있다. 그러나 下層土가 견고하지 못할 경우 사일로가 높다면, 즉 높이/直徑의 비가 1.5~2를 초과한다면 基礎工事に 어려움이 생긴다. 均質化因子는 다른 均質化 사일로에서보다 낮으며, 사일로에 充填된 原料의 높이에 따라 크게 좌우된다. 圓錐形 混合室을 갖춘 사일로에 있어서의 相關關係를 나타내면 <그림-18>과 같다.

4.6.3 結論

예를 들어 每日 3,000톤의 시멘트를 製造하는 工場이 단지 2日間 使用할 原料밖에 備蓄하지 못하고 있다면 이 工場에서는 적어도 2개의 2層 回分式 사일로나, 4개의 連續式 개스캐이드 사일로나, 1~2개의 均質化室 사일로가 필요할 것이다. 제일 마지막으로 언급한 시스템에서는 空氣가 原料를 流動시키는데 거의 전부 사용되기 때문에 空氣消費率이 가장 낮다. <表 3>은 既知 情報를 참조하여 작성한 것인데 여기서 볼 것 같으면 均質化因子가 4~6이 되더라도 좋을 경우 제일 마지막 型, 즉 均質化室을 가진 連續式 사일로가 가장 우수하다는 것을 알 수 있다.

<表-3> 回分式 및 連續式의 特性值

	回分式	連續式	
		개스캐이드	均質化室
投資費/t	100%	120%	65%
裝置 kw	100%	85%	35%
全體 에너지 消費(kwh/t)	1.65	2.80	1.30
블렌딩(均質化) 效果	10÷30	5÷15	3÷8

5. 工程으로 粉塵의 歸還

5.1 一般

冷却器나 靜電 集塵機에 採取된 粉塵은 이를 高濃度 알칼리나 鹽素로 處理하지 않는다면 製造 工程으로 다시 돌아올 것임에 틀림없다.

이 粉塵의 組成은 調合原料와 조금 다르다. $CaCO_3$ 含量은 더 높아지고(1.5~2.5% 높아짐), 珪酸率은 낮아지며, 石灰 飽和度는 약간 높아진다.

따라서 粉塵이 시멘트 工程에 再投入되면 調合 原料의 標準偏差가 커질 것이다. 複合操業 方式에서는 調合原料 밀과 2次 試料採取 시스템 사이에 粉塵을 歸還시킴으로써 아주 간단하게 이 問題點을 해결할 수 있다.

直接操業 方式에서는 큰 供給시스템前에 있는 緩衝槽에 直接 粉塵을 歸還시키는 것이 바람직하다.

그렇지 않으면 밀을 停止시킨채 全 사일로 供給시스템을 稼動시켜야 하기 때문에 이 경우 調合物의 量은 매우 적어지고 결과적으로 總括操業 效率도 매우 낮아질 것이다. 이 외에도 連續均質化에서는 高濃度의 粉塵層이 原料와 잘 섞여 지지도 않은채 사일로에 남게 될 것이다.

5.2 直接操業 方式에서의 粉塵의 영향

5.2.1 基礎 데이터

큰 出口가스에서의 粉塵의 比 : 60~70g/Nm³

出口가스量 : 1.65Nm³/크링카 kg

粉塵量 : 110g/크링카 kg

調合原料에서의 粉塵 比 : 약 7%

調合原料의 $CaCO_3$ 含量 : $CF \pm 0.20\%$

粉塵의 $CaCO_3$ 含量 : $CF = (CF + 2.5) \pm 0.25$

調合原料의 比 : 93%

粉塵의 比 : 7%

5.2.2 粉塵의 영향

粉塵-調合原料의 $CaCO_3$ 含量은 다음과 같다.

$$C_M = 0.93(CF \pm 0.20) + 0.07(CF + 2.5) \pm 0.25$$

$$= 0.93CF + 0.07CF + 0.07 \cdot 2.5$$

$$\pm \sqrt{(0.93 \cdot 0.20)^2 + (0.07 \cdot 0.25)^2}$$

$$= (CF + 0.175) \pm 0.168$$

標準偏差는 실제로 변하지 않는데 비해 $CaCO_3$ 含量은 0.175% 높아진다. 粉塵의 影响은 너무

작아서 정확히 이를 확인할 수 없었다. 計算에 채택한 數値는 가장 가능한 最大值를 택했음을 알려둔다.

5.3 複合操業 方式에서의 粉塵의 영향

5.3.1 基礎 데이터

키른 出口가스에서의 粉塵의 比 : 230g/Nm³

出口가스量 : 3.15Nm³/크링카 kg

粉塵量 : 720g/크링카 kg

調合原料에서의 粉塵 比 : 약 45%

調合原料의 CaCO₃ 含量 : 55% = CF ± 0.20%

키른 粉塵에서의 CaCO₃ 含量 : 7% = CP_F

$$= (CF + 2.5) \pm 0.25$$

調合原料粉塵에서의 CaCO₃ 含量 : 38% = CP_B

$$= (CF \pm 1)$$

5.3.2 粉塵의 영향

均質化 사일로와 키른供給시스템 사이에 있는 緩衝槽에 全量의 粉塵을 歸還시킬 때에 混合物의 CaCO₃ 含量은 다음과 같다.

$$C_M = 0.55(CF \pm 0.20) + 0.07\{(CF + 2.5) \pm 0.25\} + 0.38(CF \pm 1) = 0.55CF + 0.07CF + 0.07 \cdot 2.5 + 0.38CF \pm \sqrt{(0.55 \cdot 0.20)^2 + (0.07 \cdot 0.25)^2 + (0.38)^2} = (CF + 0.175) \pm 0.396$$

이 경우 標準偏差는 매우 커진다. 따라서 複合操業 方式에서 키른에 넣기 전에 모든 粉塵을 緩衝槽에 歸還시킨다는 것은 전적으로 實用性이 없다. 대신 均質化 사일로에 넣기 전, 2次 試料採取전에 冷却器나 靜電 集塵機에 粉塵을 歸還시키는 것이 바람직하다.

[註釋]

重量比

PC 石灰石

P'C 블랜딩 베드에서의 石灰石

PA 泥灰岩

P'A 블랜딩 베드에서의 泥灰岩

PT 添加材

PP 블랜딩 베드에서의 블랜딩

PK 調整 石灰石

CaCO₃ 含量 (%)

CC 石灰石

CA 泥灰岩

CT 添加材

CK 調整 石灰石

CF 調合原料

調合 正確度

DD 1次 破碎機에 넣기 전

DB 調合原料 밀에 넣기 전

標準偏差

채석장 EC 石灰石

EA 泥灰岩

破碎機에 넣기 전, E₁ 混合物

破碎機에 넣은 후, E₂ 混合物, E''C 調整石灰石

E'C 石灰石

E'A 泥灰岩

블랜딩 베드에 넣은 후, E₃ 混合物

中間貯藏 후, E''C 石灰石

E''T 添加材

生原料 粉碎플랜트에 넣기 전, E₄

生原料 粉碎플랜트에 넣은 후, E₅

最終 調合原料, EF

블랜딩 베드의 非效率性, RM(%)

[參 考 文 獻]

- 1) Cuénod, M.: Méthodes d'identification chapitres V á VII. Collection ANRT, Paris 1975.
- 2) Weddig, H. J.: Methoden des Auf- und Abbaus von Schüttguthalden. Aufbereitungs-Technik 12(1971), 328.
- 3) Gerstel, A. W. und Luttekens, E.: Homogenisieren in Mischbetten. Zement-Kalk-Gips 26(1973), 6.
- 4) Gerstel, A. W.: Eine neue Betrachtungsweise des Systems zum Homogenisieren, Lagern und Zusammensetzen von Zementrohstoffen. Zement-Kalk-Gips 26(1973), 571.
- 5) Heer, J. H.: Homogenisierungseffekt durch Seitenkratzer in Scheibenabbau. Zement-Kalk-Gips 27(1974), 371.
- 6) Blatton, B.: Stellungnahme zum Artikel von J. H. Heer in ZKG 1974, S. 371. Zement-Kalk-Gips 27(1974), 570.
- 7) Blatton, B. und Brandtner, K.: Gegenüberstellung von verschiedenen Bauformen von Mischbetтанlagen. Aufbereitungs-Technik 15(1974), 626.

- 8) Kamm, K.: Rohmateriallagerung mit Homogenisierereffekt. *Aufbereitungs-Technik* 15(1974), 620.
- 9) Zimmer, K. E. und Frommholz, W.: Kreislager als Homogenisieranlage. *Aufbereitungs-Technik* 16(1975), 80.
- 10) Parigot, A.: Parcs d'homogénéisation-problèmes des bouts des tas. *Révue de l'Industrie minérale* 1968.
- 11) Weislehner, G.: Pneumatische Mischung von Rohmehl in der Zementindustrie. *Aufbereitungs-Technik* 10(1969), 561.
- 12) Jackson, W. S.: Homogenizing silos answer blending news. *Rock Products* 1970, No 4, S. 60.
- 13) Klein, H.: Betrachtungen über diskontinuierliche und kontinuierliche Misch- und Homogenisierverfahren. *Aufbereitungs-Technik* 12(1971), 324.
- 14) Ahrens, N.: Tendenzen der Rohmaterialhomogenisierung. *Zement-Kalk-Gips* 26(1973), 1.
- 15) Kirchhoff, K., Clausen, J. und Hansen, F. E.: Mathematische Beschreibung einer Rohmehlhomogenisierung ohne Luft. *Zement-Kalk-Gips* 26(1973), 514.
- 16) Kirchhoff, K. und Johansen, V.: Homogenisierung von Rohmehl im "Funnel-Flow"-Verfahren. *Zement-Kalk-Gips* 27(1974), 373.
- 17) Backsen, H. und Taprogge, R.: Kontinuierliche Misch- und Entleerungssysteme für Silos. *Aufbereitungs-Technik* 15(1974), 615.
- 18) Thomas, J. C.: Problèmes de mélange de la farine crue par procédé discontinu. *GATX-Fuller*, Paris 8/1974.

謹 賀 新 禧

丁巳年 元旦

韓國洋灰工業協會 任職員 一同