

# 시멘트 工業에 있어서 bed-blending 技術의 現況

R. Hasler  
K. Völlmin

崔 東 煥 譯  
〈現代시멘트管理課代理〉

## 1. 序 言

粗碎한 原石을 open stock pile에서 均一化하는 것은 石炭 및 鑛石 dressing에서 實用化된지 이미 오래다. 그러나 새로운 시멘트 工場의 建設이나 既存工場의 擴張 및 施設現代化時 原料를 均一化하기 위해 시멘트 工場에서 이 bed-blending system을 使用하게 된 것은 最近의 일이다. blending bed는 原料의 저장뿐만 아니라 均一화를 위해서 使用되는 것이다.

置場에서 blending bed를 使用할 때의 利點은 다음과 같다.

—採鑛活動과 시멘트 製造活動이 各各 直接的으로 聯關되지 않는다.

—鑛山에서 交代 근무를 하지 않고, 容量이 큰 裝備를 使用하여 鑛山運營을 合理化한다.

—騒音과 粉塵問題를 줄인다.

—kiln 容量이 漸次 커져도 原料의 均一한 供給이 可能하며

—粘結性原料의 取扱이 사이로에서 보다 容易하다.

—原料調整工程을 自動化하기 容易하다.

다음은 原料를 均一化하는 手段으로서 blending bed를 使用하는데 따른 利點이다.

—layout가 正確하다면 混合效果가 좋다.

—不均一한 鑛床에서도 原料採取가 可能하다.

—여러가지 原料性分の premixing이 이루어

진다.

—選擇採掘이 可能하다.

—시멘트 品質의 向上을 期할 수 있다.

本稿의 첫 部分에서는 既存 bed-blending 理論에 대해서 언급할 것이며 機械 및 process 工學的 檢討에 대해서는 다음 部分에서 다루기로 한다.

## 2. bed-blending의 理論

### 2-1 blending bed에서 均一化의 原理

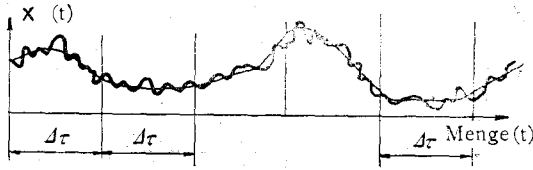
鑛山에서 나오는 原料는 性分上 어느 程度의 變動을 갖게 되는데 良質의 調合原料를 얻기 위해서는 이 性分들이 均一해야 한다. 연속적으로 原料調整을 하는데 있어서 blending bed는 이 變動을 줄여주는 役割을 하게 된다. 이 bed는 그 機能이 매우 單純하므로 極限的인 條件에서도 使用에 支障이 없어야 시멘트 工業에 適用될 수 있다.

原料를 水平으로 層(layer)을 이루게 쌓았다가 垂直으로 잘라 먹게 되어 있는 blending bed에서 混合(均一化)되는 經路는 다음과 같이 分析된다.

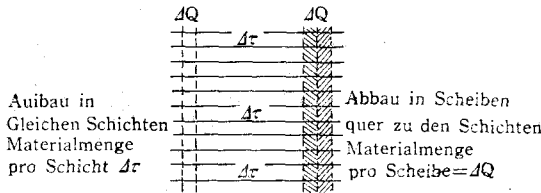
(a) 水平으로 층층이 쌓았으므로 原料는  $4r$ 톤씩 나누어진다(記號說明은 本文 맨끝에 있음).

(b) 따라서 原料의 흐름 속에서 생기는 特性 值的 變動도  $4r$ 와 같은 間隙으로 나누어진다.

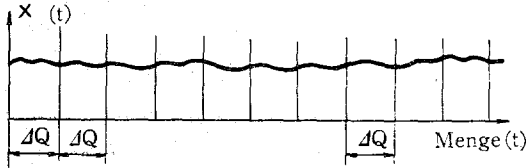
(c) blending bed에는 여러 層이 쌓이게 되는데 같은 層內에서도 性分の 變動이 있다.



〈그림-1〉 blending bed에 공급되는原料의變動



〈그림-2〉 原料의積載와引出을說明하는model



〈그림-3〉 blending bed에서均一化된原料의變動

(d) 따라서 垂直層(segment)間에 特性値의變動이 생긴다(以下 layer는 水平層, segment는 垂直層을 말함).

(e) 原料를 垂直으로 잘라 먹으면 그 斷面內에서의 成分變動이 減少된다. 各斷面間的變動은  $\Delta\tau$ 와 layer의數( $N$ )에 의해서豫測할 수 있으며 blending bed를 設計함에 있어서 가장 重要한問題는 各層의 原料量  $\Delta\tau$ 와 層의數  $N$ 이다.

이들을 土臺로 各層間的變動을 최소로 할 수 있는 點을 찾아야 한다.

blending bed의 機能은 〈그림-1〉, 〈그림-2〉, 〈그림-3〉에서 說明하고 있다. 一定한 層을 이루고 쌓여지므로 性分變動은  $2\Delta\tau$ 의 週期를 갖게 된다.  $N$ 가 增加할수록 各層의 量  $\Delta\tau$ 는 줄어든다. bed의 各層이 서로 關聯이 없는 鑛物일 때  $N$ 의 增加는 混合效果를 減少시킨다. 또 reclaiming machine의 形에 따라서도 混合效果에 많은 差異가 생긴다.

## 2-2 均一化에 必要한 parameter

blending bed의 特性은 다음 parameter에 달려 있다.

—input variation(置場에 들어오는 原料의變動)

—output variation(置場에서 引出하는 原料의變動)

—blending bed의 容量:  $M(t)$

—層의數:  $N$

—各層의 原料量:  $\Delta\tau$

—한번에 잘라 먹는量(한 segment의 量):

$\Delta Q$

### 2-2-1 input variation

blending bed에 들어오는 原料의變動은 다음과 같은 parameter에 따른다.

—標準偏差와 平均值:  $S_a, \bar{x}_a$

—頻度密度函數(frequency density function):  $H(x_a)$

—autocorrelation function:  $\phi_a(\tau)$

—performance spectrum:  $s_a(f)$

—標準偏差  $S_a$ 의 平均值  $\bar{x}_a$ 는 그 特性値가 正規分布를 할 때만 그變動의 特性을豫測할 수 있는 有用한 函數가 된다. 그러나 blending bed內에 原料特性値가 正規分布를 하지 않는 境遇가 자주 있으므로  $S_a$ 와  $\bar{x}_a$ 로서 母集團의 標準偏差  $\sigma_a$ 와 平均值  $\mu_a$ 를 推定하기가 困難하다. 따라서 이것이 統計的으로 보아 가장 適合한 推定方法이 될 수는 없다. 實際의 分布가 Gauss의 正規分布에서 크게 벗어나지 않으면 이 方法으로 推定하여도 큰 差異는 없다.

—頻度密度函數를 쓰면 原料特性値의 實際分布의 形態를 알 수 있다.

—( $S_a, \bar{x}_a$ )와  $H(x_a)$ 를 對照해 보고 autocorrelation function  $\phi_a(\tau)$ 를 使用하여 原料變動의 特性을 파악해 보면 隣接한 原料의 特性値에 관한 情報를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned}\phi_a(K\Delta\tau) &= \phi_a(K\Delta\tau) S_a^2 \\ &= \frac{1}{N-K-1} \sum_{i=0}^{N-K} (x_i - \bar{x}_a)(x_{i+K} - \bar{x}_a) \dots \dots (1)\end{aligned}$$

公式 (1)에서  $\phi_a$ 는 blending bed의 segment 斷面の 原料特性値의 相互關係를 나타낸다.

—performance spectrum  $s_a(f)$ 는 autocorrelation function  $\phi_a(\tau)$ 에 對應된다. 이 두 函數의 差異는  $\phi_a(\tau)$ 는 time range內에서의變動을 나타내고  $s_a(f)$ 는 frequency range內에서

의 變動을 나타내는 것이다.

2-2-2 output variation

output variation도 input variation과 같은 parameter로 나타낼 수 있다.

$$(S_\beta, \bar{x}_\beta), H(x_\beta), \phi_\beta(\tau), S_\beta(f)$$

2-3 blending bed의 評價

blending bed의 效果를 判定하는 基準으로 混合效果(e)를 使用한다. 이 基準值 e는 blending bed를 通過하기 前과 後의 標準偏差의 比로 나타낸다.

$$e = \frac{S_a}{S_\beta} \dots\dots\dots (2)$$

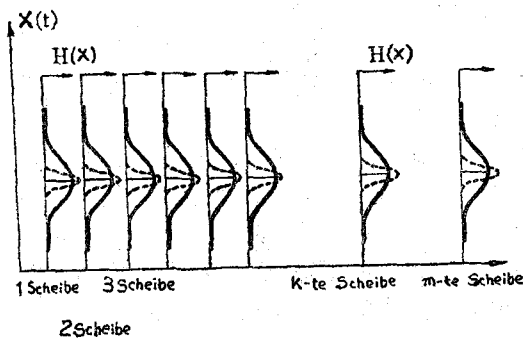
이 式은 變動의 形態가 어떤 種類인가( $S_\beta$ )를 알 수 없는 短點이 있다.  $S_\beta$ 는 原料調整裝置 및 blending silo와 같이 그 다음 工程에서 原料를 더욱 均一化시키기 위한 裝置를 設計할 때 매우 重要한 情報를 준다.

2-4 blending bed의 設計方法

blending bed 設計方法에 대해서 最近에 여러 가지 刊行物이 發刊되었다. 이들을 간추려서 여기서 比較 檢討코자 한다.

理想的인 blending bed라면 垂直層(segment)內에서만 原料特性值에 變動이 있고 segment內에서 原料特性值의 頻度密度函數의 平均値는 恒常 一定해야 한다( $\bar{x}_i = \bar{x}$ , <그림-4> 참조).

理論的으로 水平層(layer)의 數(N)를 增加시켜 reclaiming 裝置로 原料特性值를 均一化한다면 混合效果는 無限히 增大시킬 수 있다. 결국 原料特性值를 均一化하기 위해서는 頻度密度分布가 매우 좁아져야 한다는 것은 명백한 事實이다.



<그림-4> 理想的인 blending bed에서 각 segment內에서의 頻度分布

<그림-4>에서 實線은 均一化되지 않은 分布를 나타내고 點線은 reclaiming 裝置로 잘라낸 segment內의 原料特性值가 均一化되어 있는 分布이다.

理想的인 bed로부터 알 수 있듯이 實際的으로 bed는 reclaiming 裝置로 잘라낸 segment內의 變動과 segment間의 變動을 함께 包含하고 있으므로 各 segment의 頻度密度分布의 平均値는 一定할 수가 없다( $\bar{x}_i \neq \bar{x}$ , <그림-5> 참조).

다시 말해서 reclaiming 裝置는 各 segment內의 變動을 줄여서 頻度密度函數를 좁게 해주는 役割을 할뿐이지 segment間의 變動을 줄일 수는 없다(<그림-5> 참조). segment間의 平均値  $\bar{x}_i$ 가 統計的으로 獨立的이라는(즉 segment의 두께가 充分히 두껍다면) 假定下에 K. Stange는 다음과 같은 關係式을 導出했다.

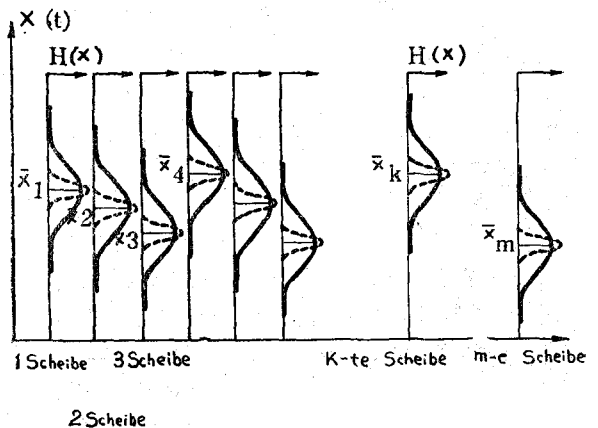
$$\sigma_a^2 = \sigma_o^2 + \sigma_x^2 \dots\dots\dots (3)$$

input되는 原料特性值의 實 variance( $\sigma_a^2$ )는 segment內의 variance( $\sigma_o^2$ )와 segment間의 variance( $\sigma_x^2$ )의 合과 같다.

近似的으로 實 variance 代身 推定值를 使用하면

$$S_a^2 = S_o^2 + S_x^2 \dots\dots\dots (4)$$

segment內의 變動이란 瞬間特性(short-term character)이며 어떠한 reclaiming 裝置를 使用하는가에 따라 blending bed로부터 原料를 引出할때 效果의으로 均一化가 이루어지게 된다. 例를 들어서 side-acting scraper는 front-acting



<그림-5> blending bed의 各 segment內의 實際頻度分布

scraper 보다 變動을 均一化한다는 面에서 볼때 비효과적이다. 이 瞬間變動後에 原料 밑에서나 아니면 blending silo에서 다시 均一化되기 때문에 瞬間變動은 別로 問題視할 必要가 없다.

그러므로 混合效果面에서 볼때 reclaimer의 型(front-acting, bucket-wheel, side-acting with step-by-step)이 다음으로 重要性을 갖게 된다. 그러나 blending bed가 없다면 瞬間變動을 均一化하는 데도 특히 注意를 기울일 必要가 있다(알맞은 reclaiming 方法을 選擇해야 함).

segment 間的 變動  $S_x^2$ 은 長期特性(long-term character)이다. 여기에는 全體 bed를 통한 segment別 變動이 包含되어 있다. 따라서 이 segment間的 變動( $S_x^2$ )은 原料 밑 以前에서 原料配合調整에 의해서 均一化해야지 blending silo에서는 할 수가 없게 된다. blending bed는 이러한 變動을 管理한다는데 主眼點을 두고 特別히 設計해야 한다.

그러므로 bed의 設計方法은 segment 間的 變動( $S_x^2$ )을 計算하는데 重點을 두고 있다. 다음에 各各의 方法을 서로 比較하기로 하자.

#### 2-4-1 方法 I

假說:  $N$ 層의 原料特性值는

- 正規分布를 하고
- 統計的으로 獨立이다.

以上の 假說에 따라 다음과 같은 關係式이 成立된다.

$$S_x^2 = S_a^2 \frac{1}{N} \dots\dots\dots (5)$$

層內的 變動은 問題가 안되므로 다음과 같은 關係式이 成立한다.

$$S_x^2 = S_b^2 \dots\dots\dots (6)$$

混合效果(premixing effect)는 다음과 같다.

$$e = \frac{S_a}{S_b} = \sqrt{\frac{S_a^2}{S_b^2} \frac{1}{N}} = \sqrt{N} \dots\dots\dots (7)$$

따라서 混合效果는 水平層의 數에만 依存한다.

이 方法에 의하면 混合效果( $e$ )가 주어지면 水平層(layer)의 數( $N$ )를 計算할 수 있다. 그러나 여기서는 blending bed의 規模에 대해서는 言及이 없으므로 이 規模는 blending bed에 供給되는 原料量, stacker belt conveyor의 速度 및

bed의 構造 등을 基礎로 하여 推定해야 한다(3-2 및 3-5項 參照).

이 方法은 blending bed의 供給者에게 有用한 方法이다.

#### 2-4-2 方法 II

假說:  $N$ 層의 原料特性值가 統計的으로 獨立이다.

blending bed中에 있는 原料가 正規分布를 하지 않을 때가 많다. 이런 때는 方法 I의 첫째 假說은 成立하지 않는다.

J. Parnaby는 다음과 같은 節次를 提案했다.

—input variation으로부터 頻度密度函數와 累積頻度を 計算한다. 이것으로부터 原料特性值의 實際分布를 알 수 있다.

—이 累積頻度を 基礎로 하여 segment間에 대한 原料特性值가 推定된다.

—다음에 各 segment의 推定原料特性值를 平均한다.

—各 segment의 平均値의 變動이 許容範圍內에 들때까지 層의 數( $N$ )를 增加시킨다.

이렇게 하여 層의 數가 決定되면 다음에 blending bed의 設計는 方法 I에 따른다.

#### 2-4-3 方法 III

세번째 方法은 方法 I의 두가지 假說 즉 正規分布와 統計的 獨立性을 適用하지 않는다.

만약 方法 I에서 層의 數( $N$ )가 獨立的으로 增加한다면 公式 (7)에 의해서 이렇한 混合效果를 要求하더라도 可能하게 된다. 그러나 실제로는 層의 數를 增加시켜도(層의 數는 原料條件에 따라 다르다) 混合效果는 어느 限界以上 增加되지 않는다. 이와 같은 事實로 미루어 볼때 各層이 統計的으로 獨立이 아니라 關係가 있다는 것을 알 수 있다. 즉 한 segment中에서 가까운 層의 性分은 멀리 떨어진 層의 性分보다 더욱 類似性을 갖게 된다.

이 關係가 密接하면 할수록 segment內的 變動( $S_b^2$ )은 減少한다. 그 理由는 隣接한 層間에 性分이 類似하므로 全體的인 變動이 크지 않기 때문이다. 그러나 (3)式에서 알 수 있듯이 segment間的 變動은 계속 더욱 增加하게 된다.

K. Stange는 belt conveyor에서 原料 sampling을 判定하면서 이와 같은 事實을 發見했다.

blending bed에 대해 이것을 제일 먼저 公式化한 사람은 Van der Morren이었다.

$$S_z^2 = S_\beta^2 = S_a^2 \left( \frac{1}{N} + \frac{2}{N^2} \sum_{K=1}^{N-1} (N-K) \varphi_a(K\Delta\tau) \right) \dots\dots\dots (8)$$

$$e = \frac{S_z}{S_\beta} = \left\{ \frac{1}{N} + \frac{2}{N^2} \sum_{K=1}^{N-1} (N-K) \varphi_a(K\Delta\tau) \right\}^{-\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (9)$$

層間에 서로 相關關係가 없으면 (8), (9)式에서 괄호 안에 두번째 項은 없어진다.

즉  $\varphi_a(K\Delta\tau) = 0$

따라서  $S_\beta^2 = S_a^2 \frac{1}{N}$   
 $e = \sqrt{N}$

反面에 層間에 相關關係가 있다면 (8), (9)式에서 두번째 項이 살게 되므로 層數(N)가 增加하면 實際 混合效果는 減少하게 된다.

따라서 blending bed의 層間的 相關關係를 考慮한다면 blending 效果는 方法 I, II와 반대로 blending bed의 層數(N)에 關係될 뿐 아니라 各層의 原料量( $\Delta\tau$ )에도 關係가 있다.

blending bed의 容量(M)은 다음과 같이 決定된다.

$$M = N\Delta\tau \dots\dots\dots (10)$$

bed 容量(M)이 주어지면 式 (9), (10)에 의해서 混合效果를 極大로 하는 適定層數(N) 및 層의 原料量( $\Delta\tau$ )을 求할 수 있는 方法 I, II에서는 層의 두께가 定해지지 않았으므로 이것이 不可能하다.

만약 input variation이 正規分布가 아닌 任意的 分布를 한다면 이 方法으로 求한 e의 값은 正規分布를 할 경우에 비해 잘 맞지 않게 된다 (2-2-1項 參照).

2-4-4 方法 IV

이 方法은 原料의 變動을 表示하는 方法이 方法 III과 다르다. 즉 方法 III에서는 autocorrelation function  $\varphi(\tau)$ 를 使用했지만 이번에는 performance spectrum  $S(\omega)$ 를 使用한다.

Zulauf는 보다 나은 混合裝置를 設計하는 立場에서 spectrum을 쓰는 것이 더 有利하다는 事實을 立證했다.

output variation의 performance spectrum

(bed에서 잘라낸 原料 즉 segment 內的 變動)은 다음 式으로 表示된다.

$$(i\omega) = \{F(i\omega)\}^2 \cdot S_a(i\omega) \dots\dots\dots (11)$$

$$= \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_a(\omega) d\omega \dots\dots\dots (12)$$

$$= \int_{\omega_0}^{\omega_1} S_\beta(\omega) d\omega \dots\dots\dots (13)$$

$$e = \left( \frac{\int_{\omega_0}^{\omega_1} S_a(\omega) d\omega}{\int_{\omega_0}^{\omega_1} S_\beta(\omega) d\omega} \right)^{\frac{1}{2}} \dots\dots\dots (14)$$

blending bed의 頻度應答(frequency response)을 안다면 (11)式을 써서 output spectrum  $S_\beta(\omega)$ 를 計算할 수 있고 (14)式으로 混合效果를 計算할 수 있다. 이 方法에서는 output spectrum  $S_\beta(\omega)$ 로서 原料의 output variation을 알 수 있다는 것이 利點이다. 여기서는 原料粉砕 밀과 blending silo까지 합쳐서 綜合的인 成分管理 system 裝置를 設計할 때 有用하게 使用될 수 있다.

<그림-2>와 같은 單純한 blending bed의 model을 假定한다면 bed의 頻度應答는 다음과 같이 表示된다.

$$\left| F(i\omega) \right| = \frac{1}{N} \left| \frac{\sin(N\omega\Delta\tau/2)}{\sin(\omega\Delta\tau/2)} \right| \dots\dots\dots (15)$$

여기서도 역시 原料의 相關關係가 存在한다고 볼때 各層의 原料量은 중요한 役割을 하게 된다. bed 容量  $M = N\Delta\tau$ 가 주어지면 e를 極大로 하는 適正 M과  $\Delta\tau$ 를 求할 수 있다.

2-5 各方法의 比較檢討

方法 I : blending bed의 效果(e)를 迅速히 計算하는데 適當하지만 層間에 相關關係가 없고 各層의 量이 많을 때에만 밀을 단한 e의 값이 나온다. 만약 混合效果(e)를 높이기 위해 層을 얇게 하여 層數를 많이 했다면 이 方法에서 求해진 e의 값은 過大評價가 된다.

方法 II : 原料特性值의 실제 頻度密度函數를 導入했다는 點에서 方法 I보다 改善된 것이다. bed를 構成하는 各 層間에 相關關係만 存在하지 않는다면 이 方法은 비교적 正確한 값을 提示한다. 이 값이 어느 程度 正確하냐 하는 것은 실제 分布가 統計的인 正規分布와 어느 程度 類似하나에 달려 있다. 通常 그 差異가 그리 크지는 않지만 이 方法이 눈에 보일 程度의 뚜렷한 利點을 주지는 못한다.

方法 III : 層間的 相關關係를 考慮하고 있으므로 실제 分布가 正規分布를 할 경우에는 이 방법으로 正確한 混合效果( $e$ )를 計算할 수 있으며 또 blending bed를 最適化할 수 있다. 만약 原料의 特性值가 正規分布를 하지 않는다면 이미 言及한 바와 같이 標準偏差의 推定值가 意味가 없게 되므로 混合效果( $e$ )의 計算值가 맞지 않게 된다.

方法 IV : 方法 III과 같다. 그러나 bed-blending 裝置를 計算한다는 觀點에서 볼때 原料變動을 spectrum으로 表示하는 것이 autocorrelation으로 表示하는 것보다 더 效果의이다.

### 2-6 blending bed 設計上의 問題點

여기 言及된 設計方法을 適用함에 있어서 實際的으로 다음과 같은 問題點이 惹起된다.

—原料의 input variation을 決定하기 위한 data를 恒常 正確하게 얻을 수 없다.

—blending bed에 積載하는 方法 및 bed로부터 引出하는 方法이 假定한 model과 같이 理想的일 수 없다.

#### 2-6-1 不正確한 初期 data

blending bed를 既存 시멘트 工場에 適用한다면 鑛山으로부터 供給되는 原料의 變動을 잘 알 수 없을 뿐 아니라 위에서 概略的으로 言及한 設計方法들이 適切하게 適用될 수 있다. 그러나 新規 project에 대해서는 앞으로 供給될 原料의 特性을 알 수 있을 만큼 廣範圍하게 充分한 boring을 하지 못하는 것이 常例이다.

input variation을 正確히 알지 못하므로 推定值에 安全率을 두어야 하고 이렇게 되면 그 鑛山 實情에 맞는 blending bed라기 보다는 一般的으로 어디에나 適用할 수 있는 blending bed가 되기 마련이다.

—方法 I을 適用한다면 input variance를 測定해야 하고 여기에 安全率이 追加되므로 過大 評價(或은 臆測)가 된다.

—方法 II는 頻度密度函數  $H(x_0)$ 를 推定해야 하므로 마찬가지로  $H(x_0)$ 에 安全率이 追加되어야 한다.

—方法 III은 鑛山の 地層配置 및 採鑛計劃에 맞추어 autocorrelation function의 推定值가 나오게 된다. 그 假定은 다음과 같이 表示된다.

$$\varphi_a(\tau) = e^{-|\tau|/\lambda} \dots \dots \dots (16)$$

이 경우 autocorrelation function은 attenuation (damping) factor  $\lambda$ 를 갖는 指數函數가 되며  $\lambda$ 는 鑛山の 地層配置 및 採鑛計劃에 관한 函數이다.

方法 IV는 input spectrum이 推定值이다. boring에 의해 確認된 地層配置와 鑛山開發計劃에 의해 平均頻度  $f(t^{-1})$ 를 推定함으로써 input spectrum을 推定할 수 있다. 이 平均頻度は 매우 자주 일어나게 되는데 地層配置와 採鑛計劃에 따라 높은 頻度和 낮은 頻度가 複合되어 더 縮少된 形態로 나타난다. 매우 높은 頻度は 重要性이 없으며 매우 낮은 頻度は 不幸히도 無視되어 버린다.

#### 2-6-2 blending bed에 實際的인 積載

本論文의 첫부분에 blending bed는 各層에 同一量의 原料를 積載하는 것으로 假定했다. 그러나 現實的으로는 이와 같은 理想的인 bed는 不可能하다.

—blending bed가 되는 置場의 양쪽 끝에서는 層의 다른 部分과 같은 두께로 分布가 되지 않는다. 따라서 混合效果는 漸次 減少하게 된다. 이와 같은 現象을 改善하기 위한 方案은 3-5項에 記述하기로 한다.

—積載機(stacker machine)가 쌓여있는 原料 위를 往復運動하고 있으므로 各層마다  $\Delta\tau$ 톤씩 分離되어 쌓이는데 stacker가 되돌아오는 點(返換點)에서 隣接된 層間的 相關關係가 增加할 것으로 豫想되며 이것은 隣接한 層間的 混合效果를 向上시키는 作用을 하게 된다. 現實的으로 層의 數  $N$ 은 주어진 混合效果( $e$ )를 얻기 위해 計算으로 算出한 數置에 恒常 倍를 해주어야 한다.

—blending bed의 原料積載速度는 항상 一定하지가 않다. 따라서 層의 두께 역시 一定하지 않다. 그러나 이 積載速度가 random性을 갖기 때문에 全體的으로 볼때 그 variation이 均一化되고 全體的인 混合效果에는 惡影響을 미치지 않는다. 만약 原料의 變動이 週期性을 갖는다면 어떤 segment 內의 層은 非理想的인 이 되고 混合效果도 나빠진다. 이러한 現象은 週期的인 變動을 除去함으로써만이 改善될 수 있다.

2-6-3 blending bed로부터의 實際的인 引出

blending bed로부터 引出할 때 水平層(layer)에 대해서 垂直으로 자르고 그 자른 segment가 모든 層을 全部 包含하고 있다면 non-ideal reclaiming 方法에서 일어나는 瞬間變動(short-term variation)도 blending silo에서 再混合이 되므로 別로 問題視되지 않는다.

그러나 blending silo가 없다면 이 瞬間變動이 許容되어서는 안된다. 이 變動을 適定線으로 均一化하기 위해서는 全層(layer)을 항상 垂直으로 잘라 먹을 수 있는 reclaiming 設備가 要求되며 또한 segment의 두께도 均一한 混合狀態를 維持할 수 있도록 定해져야 한다.

2-7 經驗值

適定混合效果는 다음과 같다.

—segment 内の 瞬間變動을 均一化하지 않는 境遇

$$e=3\sim6$$

—segment 內에서 瞬間變動을 均一化할 境遇

$$e=6\sim15$$

混合效果는 blending bed에 積載된 原料의 變動(input variation)이 얼마나 크나에 따라 變하므로 위에 提示한 값은 단지 推定值에 不週하다. 같은 blending bed라도 input variation이 적은 쪽이 큰 쪽보다 混合效果가 적게 나타난다.

blending bed를 使用하면 長期變動(long-term variation)의 週期는 blending bed 容量의 2배가 되고 瞬間變動은 한번에 잘라먹는 segment의 量에 相當하는 期間이 된다. 使用하는 reclaiming 設備의 型에 따라 瞬間變動은 效果的으로 克服할 수 있다.

2-8 앞으로의 展望

지금까지 展開한 理論으로서(특히 設計方法 III, IV를 利用) 原料의 input variation만 알면 最適 blending bed의 layout을 作成할 수 있다. 必要한 情報을 얻자면 core drilling을 해야만 되고 이것은 莫大한 費用이 所要되므로 대개는 不正確한 原料 data로서 새로운 project를 設計해야 하는 데서 어려움이 따르게 된다.

앞으로 開發해야 할 문제는 geostatic method

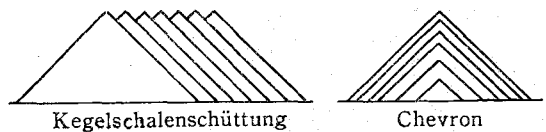
와 같은 手段을 利用하여 보다 적은 노력과 費用으로서 原料에 관한 보다 正確한 data를 입수하는 것이다.

3. 機械 및 工程技術

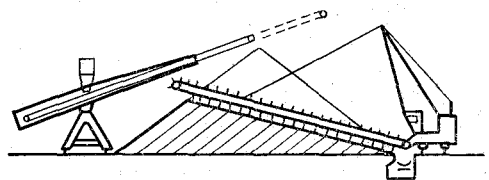
3-1 blending bed system

그동안 可能한 限 적은 費用으로 理論的인 概念을 實現시키기 위해 여러가지 system과 type의 機械가 開發되었다. 初期에 가장 널리 使用된 bed-blending system의 reclaiming 設備(現在도 많이 使用되고 있음)은 portal scraper, semiportal scraper, two-rail side-acting scraper와 같은 travelling scraper였고 原料는 圓錐 모양으로 積載했다. 그러나 이 두 組合(scraper와 原料의 積載方法)은 混合能率을 向上시키는데 適當치 못하다는 것이 判明되었다. 이를 改善하기 위해서 먼저 原料의 積載方法이 여러가지로 開發되었다.

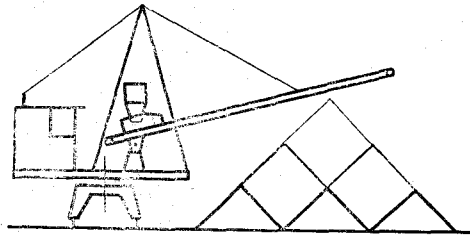
결국 travelling scraper와 가장 잘 맞는 積載方法은 層積方法(strata stacking method)이었다 (<그림-7> 참조). 또한 混合效果를 改善하기 위한 方法으로서 travelling scraper 自體의 改善作業도 試圖되었으며 여기서 Miag의 step-by-step method가 나오게 되었다. Miag의 step-by-step method에서는 쌓여 있는 原料가 置場의 全長을 往復하는 機械에 의해서 全區間의 것을 골고루 섞어 먹는 것이 아니고 scraper boom을 利用하여 한쪽 끝에서부터 차레로 먹는다(front-acting reclaimer와 같다).



<그림-6> 積載方法(順序)



<그림-7> travelling scraper와 層積方法

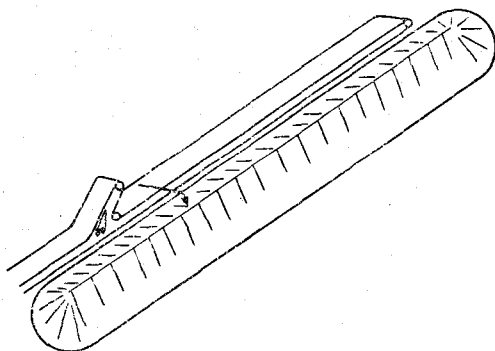


<그림-8> slewing belt stacker와 windrow depositing

그러나 全斷面을 一時에 處理하지는 못하고 上 부분과 아랫부분 즉 두 부분으로 나누어서 먹게 된다. 이 방법은 原料의 引出速度에 따라 어느 程度 變動이 생기게 될 뿐 아니라 原料의 粒度 때문에 생긴 分離現象으로 인해 밀(항상 一定하게 運轉하고 있는)이 영향을 받게 된다.

<그림-8>과 같이 置場의 原料를 골을 지어 積載함으로써 (windrow stacking) 粒度分離現象을 막을 수 있다. 原料를 積載하고 reclaiming하는 데 보다 精巧한 機械와 管理方法을 適用함으로써 step-by-step 方法으로도 混合效果를 改善시킬 수 있다.

現在에 와서는 front-acting reclaimer와 chevron stacking을 잘 組合하여 適用範圍가 넓은 有用한 system이 開發되었다. 즉 이 方法으로 積載하면 별로 精巧하지 않은 機械를 使用하더라도 所期의 目的을 達成할 수 있으며 이 方法의 弱點을 front-acting reclaimer가 補償하게 된다. windrow stacking(골쌓기)은 綜合 blending bed에서만 適合하다. 綜合 blending bed는 raw mix



<그림-9> throw-off carriage와 chevron depositing

의 各成分이 서로 組合을 이루어 置場의 가운데나 끝에서 모두 正確한 값이 얻어져야 한다.

### 3-2 積載機 (stacking machine)

原料를 積載하는 데는 原則적으로 두 가지 型의 機械가 있다. throw-off carriage와 boom stacker가 그것이다. 지붕의 가장자리를 따라 運轉하는 throw-off carriage는 높은 位置에서 原料가 떨어지므로 粒度分離現象이 일어나고 먼지의 飛散이 많은 短點이 있으나 이와 같은 短點은 stacker에 上下로 움직일 수 있는 boom을 設置함으로써 補正이 可能하다. 代身 이 機械는 boom을 維持하는데 必要한 counterweight를 反對쪽에 달아야 하므로 置場建物內에 넓은 working space를 차지하는 短點이 있다.

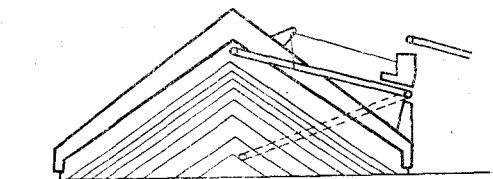
最近에 engineering 會社인 Wetzels에서 屋內置場用으로 設計한 portal stacker를 새로이 선보였다(<그림-10> 참조). 이것은 boom을 上下로 움직일 수 있으면서도 working space를 적게 차지하는 것이 長點이다.

積載할 原料의 最大 層數는 積載方法과 stacker의 速度에 달려 있다. stacker의 最大 運轉速度는 25~30m/min이며 原料層은 400~500層을 쌓을 수 있다.

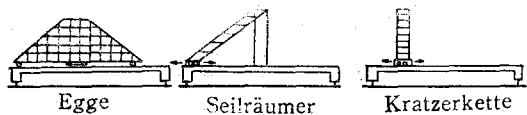
그러나 대개의 境遇 實際로 이렇게 많은 層을 쌓지 않는다. 그 理由는 有效層數가 이 숫자보다 훨씬 적기 때문이다(2-4-3 및 2-6-2項 參照).

### 3-3 front-acting reclaiming machine

front-acting reclaimer는 모두 置場의 바닥에서 原料를 긁어 모으게 되어 있다. dislodging 장치가 置場의 한쪽 끝에서부터 傾斜를 利用하여



<그림-10> Wetzels portal stacker



<그림-11> slope scraper



原料를 끌어 내리는데 原料가 굴러 내리는 동안 blending이 일어난다. 混合效果를 높이기 위해서는 dislodging 장치가 全體面을 끌어 내리는 것이 바람직하다. dislodging 장치로서는 harrow, rope-operated scraper, scraper chain 등이 있다(<그림-11> 참조).

front-acting reclaimer는 다음과 같이 4種이 販賣되고 있다.

### 3-3-1 bridge-type scraper reclaimer

이 機械는 여러 maker가 供給하고 있다.

PHB(rope-operated scraper 附)

Bühler-Miag

MVT

Schade

(harrow 附) (<그림-12> 참조)

이들 bridge-type reclaimer의 最高作業能率은 500m<sup>3</sup>/h 前後이던 bridge span은 50m까지 使用하고 있다.

#### 長點:

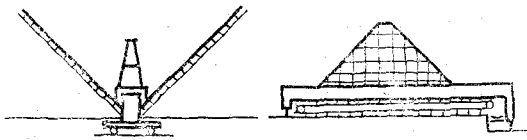
- 混合效果 良好
- 生産量(output rate)이 一定하고 管理容易
- working space를 적게 차지한다.

#### 短點:

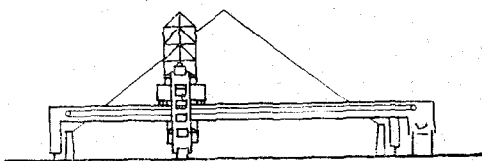
- 生産量에 制限이 있다.
- stockpile의 有效幅이 좁아진다.

### 3.3.2 bridge-mounted bucket-wheel reclaimer

Hewett-Robins와 Salzgitter社가 供給하고 있다(<그림-13> 참조).



<그림-12> harrow 附 bridge-type reclaimer (slope scraper)



<그림-13> bucket-wheel reclaimer(bridge-type)

#### 長點:

- 混合效果 좋다.
- 生産能率(output performance)에 制限이 없다.
- bridge-type에 비해 energy 節減이 可能하다.

#### 短點:

- 引出速度가 一定치 못하다.
- bridge-type에 비해 working space를 많이 차지한다.
- 作業方向을 바꿀때 blade가 反對로 되어야 한다.

### 3-3-3 bucket-wheel reclaimers with slewing machine

Five-Cail-Babcock社와 캐나다의 Stephens-Adamson社가 製作하고 있다. 깎아 먹는 面이 平面이 아니고 曲面을 이루고 있다는 것 외에는 3-3-2와 같다(<그림-14> 참조).

#### 長點:

- bridge-mounted bucket wheel reclaimer와 같음.
- 機械가 얹어져 있는 rail이 stockpile 內에 있으므로 space가 더 節約된다.

#### 短點:

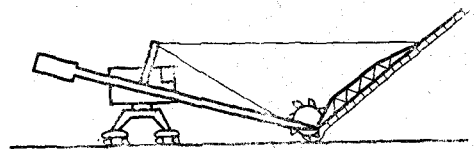
- bridge-mounted bucket wheel reclaimer와 같음.
- 建物內에서 機械가 回轉하는데 많은 space를 요한다.

### 3-3-4 tube reclaimer

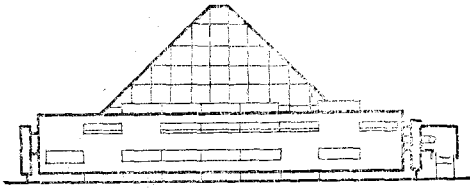
原料는 回轉하는 tube나 dum 위에 設置된 삽(scoop)으로 끌어 올려서 tube 내에 있는 belt conveyor에 쌓게 된다(<그림-15> 참조).

이 機械는 Weserhütte社가 供給하고 있다.

混合效果는 매우 좋으나 이 機械가 精巧해서 값이 비싸기 때문에 2000t/h 이상의 處理物量을



<그림-14> bucket wheel reclaimer (slewing machine)



<그림-15> tube reclaimer

要求하는 데서만 經濟性이 있다.

### 3-4 粘結性原料를 處理하기 위한 機械

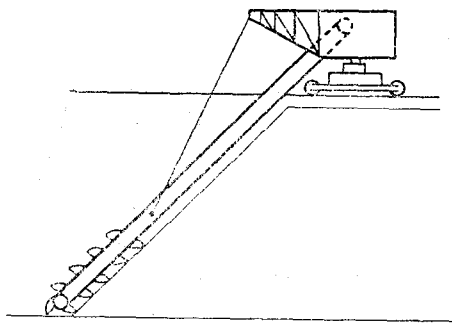
시멘트 工業에서 가끔 粘結性이 있는 原料를 處理할 必要가 생기는데 이때 以上에서 言及한 機械는 모두 문제가 생기게 된다.

side-acting scraper와 slewing-boom bucket-wheel reclaimer가 약간 有利하기는 하나 混合效果는 많이 減少된다. 이러한 機械外에 混合效果를 低下시키지 않는 裝置를 Buckau-Wolf社, Bühlar-Miag社 및 F.L. Smidth社가 공급하고 있다(<그림-16> 참조).

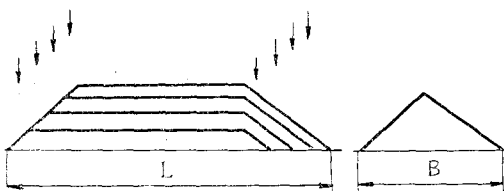
### 3-5 圓錐問題

stockpile의 兩쪽 圓錐形 끝에서 특별한 문제가 생긴다.

— 맨끝에 圓錐部分에서는 segment의 斷面이 reclaimer가 進行함에 따라 變하므로 引出量이



<그림-16> bucket chain附 混合設備



<그림-17> 積載機의 轉換點

一定하지 않다.

— 粒度分離現象이 생겨서 이 부분에서 採取되는 原料는 粒度가 크다.

이와 같은 문제점을 解決하기 위한 方法은 여러가지가 있다.

— 치장의 L/B ratio(length/width ratio)를 높여서 圓錐部分의 體積을 줄인다. L/B는 最少限 4는 되어야 한다(L/B=4일 때 圓錐部分의 體積은 약 15%, L/B=3일 때는 약 20%임) (<그림-17> 참조).

— reclaimer가 進行하는 方向으로 맨 끝 圓錐部分은 恒常 남아 있게 되든지 아니면 부분적으로밖에 採取되지 않는다. 따라서 置場의 有效體積에 loss가 생기게 된다.

— 圓錐部分에 있는 原料는 置場으로 循環시킬 수도 있으나 이 경우에는 時間과 energy가 많이 所要되므로 特別한 境遇에만 適用한다.

— 積載機의 轉換地點이 置場의 높이에 따라 라진다(<그림-17> 참조).

— 圓形置場을 採擇한다면 圓錐問題는 없어진다.

### 3-6 blending bed의 layout

blending bed로 使用할 置場은 原料가 引出되기 前에 쌓여져 있어야 하므로 一定量의 原料를 繼續 供給하기 위해서는 두개의 置場이 있어야 한다. 한쪽 置場에서 引出하는 동안 다른 한쪽 置場에서는 原料를 쌓아야 한다. 置場의 配列은 並列의 경우와 直列의 경우가 있다.

blending bed 를 設置하기 위해 layout을 選擇할 때는 다음의 事項을 考慮해야 한다.

— space는 얼마나 必要한가?

— 工場의 다른 부분의 layout과 잘 調和되고 있으며 장래의 增設計劃과도 調和를 이루고 있는가?

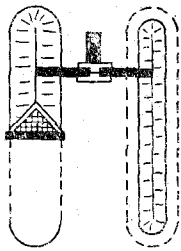
— 地形條件

— layout은 確實한 根據에 立却하여 選擇되었는가?

물론 가장 經濟的인 解答을 얻기 위해서는 具體的인 cost 比較가 先行되어야 한다.

並列置場: <그림-18> 참조.

長點:



<그림-18> 並列置場

—시멘트 工場의 layout에 맞추어 適當한 L/B ratio를 쉽게 찾을 수 있다.

—容량의 增加가 容易하다.

**短點 :**

—reclaimer가 한 置場에서 다른 置場으로 옮겨져야 한다.

—stacker는 boom이 두개 있어야 한다.

—belt conveyer의 숫자가 많아지고 연결 부분도 많아진다.

—지붕 span이 길다.

—機械가 轉換(change-over)하기 위한 追加 space가 必要하다.

—圓錘問題가 생긴다.

**直列 :** <그림-19> 참조.

**長點 :**

—機械가 轉換할 必要가 없다.

—stacker가 水平移動할 必要가 없다.

—belt conveyor는 2臺면 된다.

—지붕 span이 짧다.

—용량을 增大시킬 수 있다.

**短點 :**

—shed(山)가 길다.

—圓錘問題가 있다.

—L/B ratio가 크므로 용량이 클 때는 길이가 길어지므로 시멘트 工場의 layout에 不適合할 수도 있다.

**圓形置場 :** <그림-20> 참조.

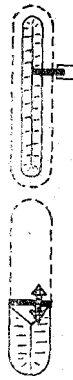
**長點 :**

—belt conveyor의 길이가 매우 짧다.

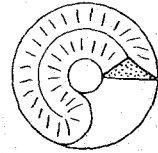
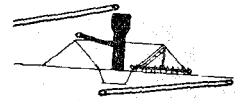
—지붕 설치가 簡單하다.

—圓錘問題가 없다.

—引出量을 一定하게 維持하기가 쉽다.



<그림-19> 直列置場



<그림-20> 圓形置場

—面積이 直線型보다 약 40% 적게 소요된다.

—reclaimer의 回轉이 不必要하다.

**短點 :**

—시멘트 工場 layout에 맞추는데 어려움이 있다.

—粘結性原料를 처리할 때 chute가 막힐 염려가 있다.

—만약 地下水가 있으면 引出用 tunnel을 만들 수 없다.

—容량을 增大시킬 必要가 있을 때는 새로운 置場을 設置해야 한다.

**homogenizing tank :** <그림-21> 참조.

**長點 :**

—space를 有用하게 利用할 수 있다.

—windrow stacking이 된다.

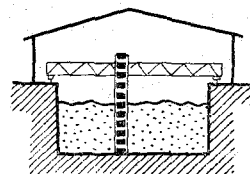
—圓錘問題가 없다.

—지붕을 간단하고 가볍게 設置할 수 있다.

**短點 :**

—기계가 비싸다.

—tank 設置費用이 크다.



<그림-21> homogenizing tank

—原料의 落差가 커서 粉塵의 飛散이 많다.

### 3-7 blending bed의 지붕

blending bed用 機械는 露天에서 使用토록 設計되고 있다. 그러나 氣候條件이나 粉塵公害를 防止하기 위해서 屋內施設을 必要로 할때가 가끔 있다. 最近에는 鐵骨로 하여 slate로 막는 構造를 主로 使用하고 있다. 더구나 圓型 blending bed는 dome-type의 構造로서 比較的 적은 費用으로 지붕을 할 수 있다.

圓型 blending bed의 stacker는 直線型 blending bed에 비해서 여유 space를 더 적게 必要로 한다.

blending bed의 建物費는 機械費와 맞먹는다. 그러므로 建物과 機械 양쪽 모두의 費用을 注意 깊게 檢討하여 適定線을 찾는다는 것은 어떤 경우에도 매우 重要的 일이다.

### 3-8 실제 經驗

현재 blending bed의 設置面에서는 技術的으로 상당한 水準에 到達해 있다.

다만 경우에 따라서는 reclaiming scraper의 travelling system과 driving system을 더 強化한다든가 或은 改善할 必要가 더러 생기는 경우가 있다. 이것은 travel drive에 過負荷 및 bridge 구조에 機械的인 trouble이 생길 수가 있기 때문이다.

設計段階에서 置場의 저장능력을 計算할때 原料의 安息角을 실제보다 크게 推定해서 設計된 置場의 실제 容量이 작아지는 경우가 있다. 이와 같은 過誤를 피하기 위해서 crushed lime marl의 경우 安息角을 37°로 보는 것이 좋다.

### 3-9 展望

전격적으로 새로운 blending bed system이 開發되리라 고는 기대하기 어렵다. 다만 지금까지 言及된 system에 대한 보다 具體的인 改善의 餘地는 있다. 各 機械 및 建築部分의 適切한 調整이라든가 여러가지 bed-blending system을 組合하여 더욱 完全한 system으로 開發하는 문제 등이 앞으로 關心의 對象이 될 것으로 본다. 이

미 設置된 장치나 앞으로 설치할 장치를 막론하고 이같은 點을 念頭에 두고 檢討해야 할 것이다.

長期的으로 볼때는 原料의 混合과 저장의에도 blending bed는 다른 分野에도 適用될 展望이 充分히 있다. 특히 석탄의 blending bed가 많은 關心을 끌고 있으며 크링카 치장에도 이 system이 이미 使用되고 있다. bed blending system은 멀지않은 장래에 시멘트 工業에서 確固한 位置를 占하게 될 것을 確信한다.

#### 〔記號說明〕

- $e$  混合效果(homogenizing effect)
- $F$  頻度應答(frequency response)
- $f$  頻度(frequency :  $f^{-1}$ )
- $H(x)$  頻度密度函數(frequency density function)
- $M$  blending bed 용량
- $N$  層數(number of layer)
- $s(f)$  performance spectrum
- $S$  推定標準偏差
- $S^2$  variance
- $x$  原料特性值의 크기(characteristic raw material size)
- $\bar{x}$  推定平均値
- $\lambda$  material-specific constant
- $\mu$  眞平均
- $\phi(\tau)$  autocorrelation function
- $\varphi(\tau)$  normalized autocorrelation function
- $\sigma$  眞標準偏差
- $\tau$  sampling quantity interval
- $4Q$  segment當 원료량(quantity of material per reclaimed slice)
- $4\tau$  stockpile 각층의 원료량(quantity of material per stockpile)
- $\omega$  circular frequency
- $\alpha$  投入原料(incoming material)
- $\beta$  引出原料(reclaimed material)
- $k, i$  running parameters
- $S_0^2$  segment 內
- $S_{\pm}^2$  segment 間