

키른 燃燒用 石炭의 스톡파일

朴 珍 浩(譯)

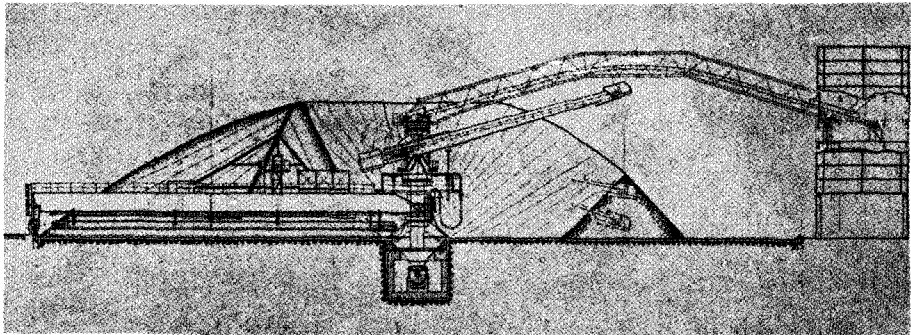
〈高麗大學校化學工學科研究室〉

I. 서 론

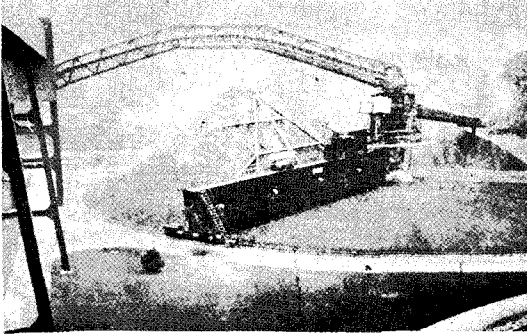
近來에 와서 石炭이 連續燃燒시스템의 燃料로 서 주목을 받게 됨에 따라 石炭의 前處理가 매우 중요한 과제로 되었으며 品質의 均一化도 要求되고 있다. 이를 위하여 層上混合 (bed blending)이 적용돼 큰 발전을 보게 되었다. 스톡파일에서 많은 量의 石炭을 混合·均一化하는 方法은 에너지를 절약할 수 있으며 洗炭이나 燃燒의 效率를 높여 주는 등 장점이 있으나 操業이 얼마나 용이하고 자동화될 수 있는가와 결과로 얼마나 높은 均一性을 얻을 수 있는가가 問題가 된다고 하겠다. 이를 解決하기 위하여 開發된 것이 Peha-Chevcon 시스템으로써 1980년 石炭鑛山에 洗炭을 위한 石炭混合用으로 처음 세워졌다. 이 시스템은 원래 洗炭을 위하여 개발된 것이나 시멘트와 제철공업의 原料粉體를

성공적으로 취급할 수 있는 방법이기도 하다.

이 새로운 Peha-Chevcon 시스템은 이미 잘 알려진 chevron방법과 cone-shell 방법의 조합으로써 原料를 上昇·下降 그리고 回轉 可能한 boom이 설치된 裝置를 이용, 層을 형성시켜 쌓는 방법이다. 이 장치의 回轉速度는 操業中 거의 일정하게 유지되며 石炭의 再採取는 電子式 油壓裝置로 작동되는 스톡파일을 깎아 내리는 기구와 bridge가 설치된 스크래퍼 (scraper) 로 스톡파일의 한쪽 끝인 作業面에서 수행된다(그림-1), (그림-2) 參照). 洗炭과정상 石炭의 均一化를 위하여 개발된 이 시스템에서 考慮되어야 하는 가장 중요한 것은 石炭을 조심성 있게 취급하여 分級과 粉塵發生이 최소한으로 되도록 스톡파일하여야 한다는 것이다. 이를 위하여 특별한 방법이 개발되었는데 즉 퇴적된 原料의 容積量에 따라서 한번의 回轉運動마다 조금씩 변화가



〈그림-1〉 粉體를 混合貯藏하는 스톡파일의 断面, 스톡파일을 형성하는 裝置, 그리고 再採取하는 裝置.

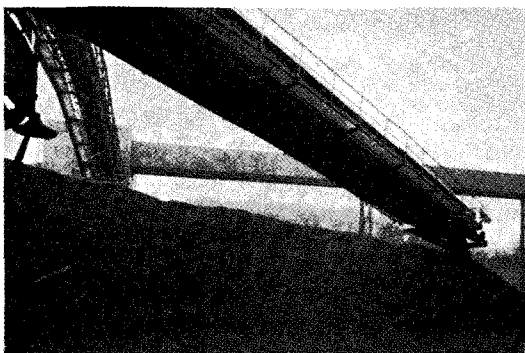


〈그림-2〉 **Sopia-Jacoba** 社の **Huckelhoven** 炭鑛에 설치된 **chevcon** 시스템을 적용한 원형 혼합 스톡파일

는 미리 정해진 길이 또는 회전角 안에서 原料를 쌓는 방법이다. 이때 스톡파일에 형성되는 層의 수는 boom의 회전速度와 그것의 單位時間當處理量에 따라 결정되는 것이다. 이 boom의 회전運動에는 같은 방법으로 作動되는 上下運動이 添加되어서 boom이 한번 회전하는 동안에 스톡파일의 가장 낮은 部分에서 가장 높은 部分으로 上昇되거나 또는 그 반대로 움직인다.

이러한 운동을 수행하는데 boom의 끝은 電子制御시스템에 의하여 스톡파일의 윗부분과 매우 近接되도록 유지되어 石炭의 落下距離를 매우 짧게 하여준다(그림-3).

또 미리 정해진 회전角을 조금씩 연속적으로 변화시켜 줌으로써 完全한 스톡파일의 斷面을 이룩, 스톡파일의 경사가 완만하여 질수록 하나의 層을 형성하는데 더 오랜시간이 요구된다.



〈그림-3〉 회전運動하는 boom으로 스톡파일을 형성할 때 落下距離를 최소한으로 유지하여야 한다.

이것은 石炭의 再採取時 오랫동안 더 많은 層으로부터 동시에 石炭을 採取할 수 있어 長期間 均一化效果를 얻을 수 있음을 의미한다. 또 연속적으로 스톡파일을 형성하고 再採取하기 때문에 스톡파일의 끝 부분이 없고 新·舊스톡파일의 구별이 없어 길게 또는 完全 원형으로 原料를 混合層으로 형성하는 chevcon 방법에서는 피할 수 없이 발생하는 한 스톡파일에서 다른 것으로 넘어 갈 때의 轉移點을 없앨 수 있다. 물론 한번 回轉運動으로 형성되는 層의 길이는 제한되어 있다. 즉 한번의 回轉運動이 처리할 수 있는 角에는 한계가 있어 그 이상이면 너무나 많은 貯藏容積을 損失할 수 있다. 실제의 경우 스톡파일을 형성하고 再採取를 용이하게 하기 위하여 이 角이 100°정도가 적당하다고 입증되었다. 〈그림-4〉에는 직경이 70, 80, 90m의 경우 원형 混合層의 貯藏容積이 나타나 있다. 完全한 원을 형성하였을 때의 스톡파일의 이론적인 容量과 실제로 貯藏할 수 있는 容量과는 차이가 있어 均一化를 確實하게 하는 범위안에서의 최대 貯藏量은 理論的인 값의 약 88% 까지 증가시킬 수 있다.

Sophia-Jacoba 社에 설치된 石炭의 再採取機에는 새로운 形態로 나누어진 콘베이어체인이 장치된 bridge가 있으며 이 체인에 "carrier cell"이라고 하는 특별히 고안된 부분이 있어 微粉의 石炭과 스톡파일을 깎아 내릴 때 밀로 떨어진 큰 덩어리의 混合物를 용이하게 採取한다. 또 이 carrier cell들은 上昇하지 않고 또 摩擦損失없이 中央의 호퍼로 石炭을 옮겨주고 거기에서 벨트콘베이어에 의하여 洗炭플랜트로 供給된다(그림-5). 원하는 石炭의 採取量を 變化시켰을 때 그 應答時間은 최소한으로 하기 위하여 체인의 速度를 아주 넓은 範圍로 變化시킬 수 있으며 이에 따라서 bridge의 콘베이어의 速度도 증가하게 된다.

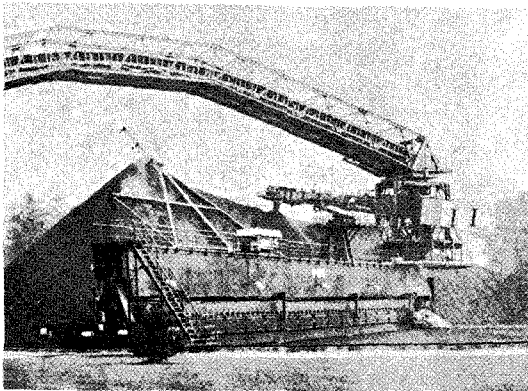
Chevcon 시스템으로 石灰石이나 鑛石같은 다른 물질을 취급할 때 어떤 고정된 높이에서 물질을 쌓는 것, 즉 上下運動없이도 원하는 층분 하나 실제로 落下距離가 너무 커서 많은 粉塵을 야기시키며 또 스톡파일을 너무 단단하게 다져 주기도 한다.

混合層의 貯藏容積, 直徑 ϕ (m)	70	80	90
(傾斜角이 38°)			
理論值 : 360° 형성(완전 원형으로 형성)			
100% :	22,800	31,600	49,000
최대 형성			再採取裝置
88% :	20,150	27,950	43,300
실제 容積			
72% :	16,100	22,400	34,600
chevcon 스톡파일의 定常操業時(回轉角 100°)			
78% :	18,000	25,000	38,600
chevcon 스톡파일의 最大容積			
88% :	20,150	27,950	43,300
chevcon 스톡파일의 실제容積(回轉角 100°)			
55% :	12,800	17,800	27,500
chevcon 스톡파일의 有效처리 가능容積(回轉角 100°)			
69% :	15,800	21,900	34,000
chevcon 스톡파일의 最大의 有效處理 可能容積			
72% :	16,100	22,400	34,600

CHEVCON-
回轉角이 포함하는
범위
→
최대 형성

<그림-4> 여러가지 直徑에 대한 원형 混合層의 體積

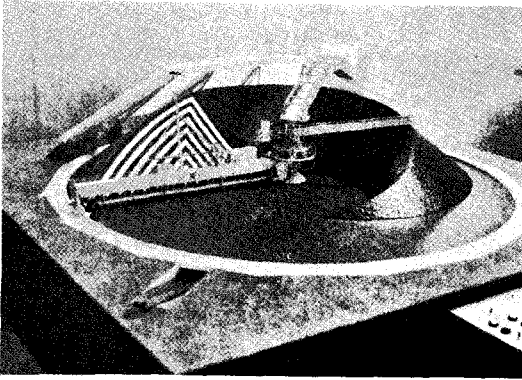
II. Chevcon 시스템의 說明



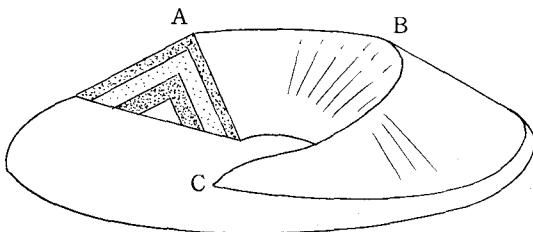
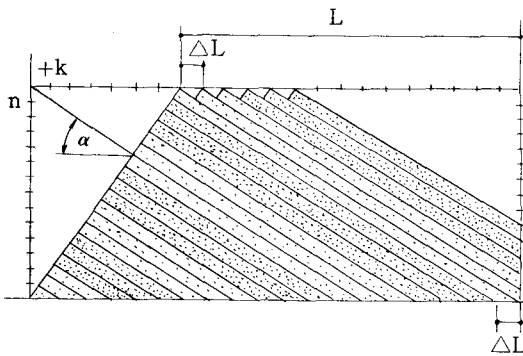
<그림-5> 콘베이어벨트가 설치된 石炭의 再採取裝置

中央에 설치된 스톡파일 형성장치는 조금씩 이동하는 미리 정해진 부분을 回轉運動시킴으로써 원형 스톡파일을 형성하고 또 原料를 均一化한다.

根本적으로 스톡파일은 <그림-6>에서 보여주는 것과 같이 Kelly 방법에 의하여 일정한 두께의 직선적으로 기울어진 層들로 형성된다. 길이 方向, 즉 스톡파일이 형성된 方向과 半徑 方向의 斷面에서 이렇게 형성된 層을 보면(그림-7)과 같으며 여기에서 여러가지 화색부분으로 나타난 것은 교대로 쌓여진 다른 品質의 石炭層을 나

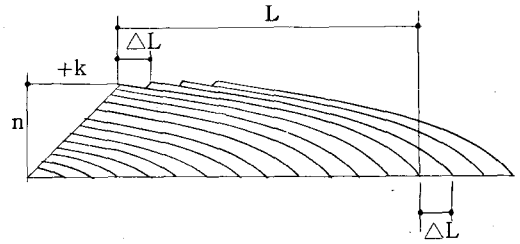


〈그림-6〉 원형 混合層의 모델(kelly 스톡파일)

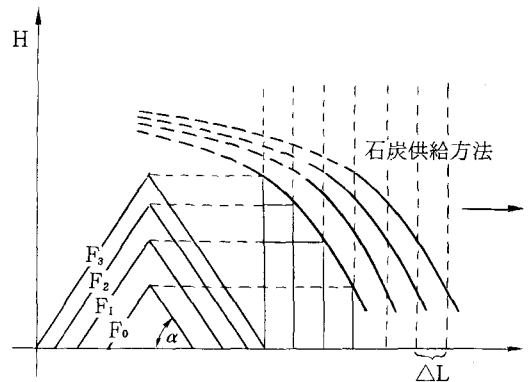


〈그림-7〉 스톡파일을 형성하는 개략도

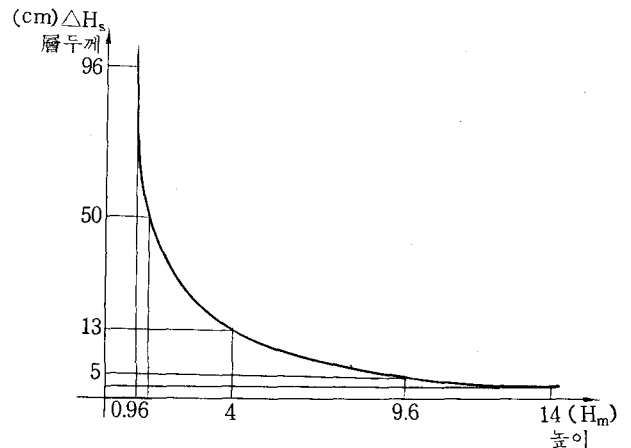
타내고 있는 것으로써 스톡파일內에서도 均一化 된다. 再採取時 거의 수직방향으로 깎아 내리고 다른 層을 형성하는 다른 品質의 石炭을 조금씩 採取함으로써 요구되는 品質을 가진 전체적인 混合物를 얻을 수 있게된다. 〈그림-7〉의 위 그림은 왼쪽 부분은 위에서 바닥까지 연장된 層으로써 完全히 형성된 부분을, 오른쪽은 형성되고 있는 부분을 나타낸다. 層의 경사를 더 완만하게 하면 동시에 再採取되는 層의 數를 더 증가시킬 수 있는 데 이는 〈그림-8〉과 같은 層의 위쪽부분의 두께가 더 적은 chevcon 시스템에도



〈그림-8〉 chevcon 스톡파일 시스템



〈그림-9〉 等面積 條件과 스톡파일의 모양



〈그림-10〉 스톡파일의 높이의 函數로서의 層의 두께

적용될 수 있다. 이것은 均一化 또는 混合效果에 관계되는 것으로 같은 均一化效果를 얻기 위하여 層의 數를 줄일 수 있으며 따라서 boom의 回轉速度를 줄일 수 있다. 그런데 이 장점은 비교적 길고 무게중심이 바깥에 있는 boom의 回轉運動이 方向이 바뀌는 부분에서 반복되는 減速과 또 그것을 상쇄하려는 加速化를 포함하

기 때문에 매우 중요하다. <그림-7>의 밑 그림은 스톱파일의 전망도이다. 이 그림에서 A와 B 사이의 부분은 완전히 형성된 부분이며 B-C는 형성되는 부분이다.

각 층에 쌓여지는 물질의 량이 동일하다면 그 층의 두께는 스톱파일의 높이가 증가할수록 적어진다<그림-9> 연속되는 각 층의 두께를 일정하게 하기 위하여 장치가 진행함에 따라 속도를 변화시키든지 또는 처리되는 량을 변화시켜야 한다. 즉 스톱파일의 윗부분에서는 느리게, 낮은 부분에서는 빠르게 하여야 한다. 그러나 이러한 빠른 속도로서도 스톱파일의 끝부분에서 층의 두께가 매우 커지기 때문에 경사의 모양이 바뀌는 것을 방지할 만큼 충분하지 못하여 boom의 끝부분이 처리하는 물질에 파묻히게 된다. 일정한 회전속도를 유지할 때 층의 두께를 스톱파일의 높이에 따라서 나타내면 <그림-10>과 같다.

이러한 바람직하지 못한 경사의 모양 변화는 boom이 어떤 최소 높이까지 下降하였을 때 멈춰줌으로써 방지할 수 있는데 이때 층의 나머지 부분은 자연히 흘러내려 減速期間에 형성되며 이루는 角은 粉體의 repose angle에 따라 결정된다.

Chevcon 시스템으로 형성된 스톱파일의 대강의 斷面은 <그림-11>과 같이 kelly 방법의 직선적 모

양위에 이루어지는 拋物線이며 kelly 방법의 직선모양과 비교할 때 형성되고 있는 스톱파일의 일부분의 容積이 50% 정도 크다. 따라서 貯藏空間을 더 效率的으로 이용하는 것이 되며 동일한 최대의 回轉速度에 대하여 층의 數를 두 배로 증가할 수 있어 더 좋은 均一化效果를 얻을 수 있다<그림-12>.

Chevcon 스톱파일은 均一하게 형성되는 반면 直線層 方法에서는 스톱파일의 높이가 증가할수록 스톱파일 형성장치의 속도는 감소하기 때문에 스톱파일은 주로 위에서 형성되고 따라서 밑으로 먼거리를 굴러 내려야 하며 큰 粒子의 破碎도 일어난다. 이 chevcon 시스템의 다른 장점은 어떤 주어진 기간에 처리하고자 하는 물질의 량이 變하여도 boom의 回轉 또는 上下運動은 層두께의 均一性은 考慮하지 않고 수행할 수 있다는 것인데 이는 層數가 많음으로 拋物線모양은 대개 平均値를 유지하기 때문이다.

그럼으로 連續操業이 可能하며 또 供給되는 量의 심한 變化에도 큰 어려움없이 수행할 수 있게 된다. 原料物質의 供給이 完全히 끊어진 경우에는 이 장치가 아주 低速으로 變換된다.

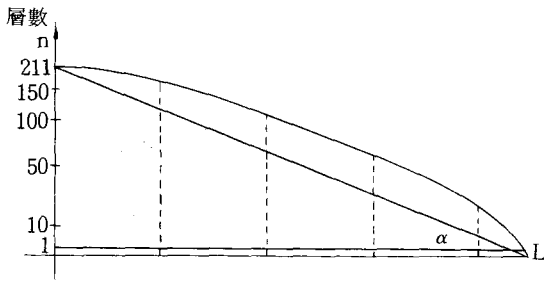
Sophia-Jacoba 社의 두개의 원형 混合層에 관한 기술적 操業데이터는 다음과 같다.

그동안의 근대화 과정에서 빚어진 온갖 非理와 頹廢, 物質만능과 出世至上주의 등의 풍조는 우리사회를 병들게하고 국민개개인의 가치관에 혼란을 가져오게 하였습니다.

80년대의 문턱을 넘어서면서 이러한 도덕적 타락과 가치관의 혼란을 그대로 방치하고 나간다면, 민족적 파멸을 초래하고 말 것임을 불을 보듯 분명한 일입니다.

부정과 부패, 무질서와 비리가 횡행하는 한, 그 사회는 외형적 성장에도 불구하고 내부적으로 붕괴의 길을 걷게 된다는 것은 준엄한 역사의 교훈인 것입니다.

全斗煥大統領 社會淨化國民運動 全國大會(81. 11. 30)에서

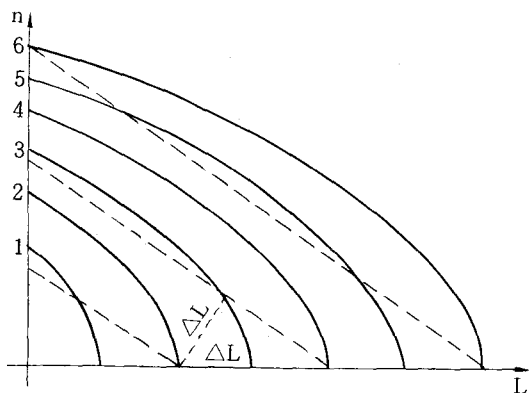


〈그림-11〉 스탁파일의 모양을 직선과 拋物線으로서의 비교

取給物質; 洗炭을 위한 無煙炭(크기 0~120 mm)
 水分含量; 6%
 貯藏能力; 스탁파일當 49,000 m³
 스탁파일의 直徑; 두개 모두 90 m
 處理量; 時間當, 스탁파일當 1,650 톤
 再採取量; 1,100 톤

스톡파일 설치시기; 1980년 1월과 6월
 chevcon 시스템 적용시기; 1980년 8월

이 두개의 石炭 層上混合 스탁파일은 원형모양이어서 긴 스탁파일보다 바람에 적은 斷面積을 노출시키기 때문에 또 風向에 따라 일어나는 스탁파일의 方向問題도 없기 때문에 지붕이 없다. 또 이는 屋外 環境問題와 잘 조화를 이룬다. 즉 石炭을 조심성있게 다루기 때문에 스탁파일의 형성이나 再採取時 아주 귀찮은 分塵問題가 거의 없으며 건조한 여름동안의 조건에 맞추기 위하여 鹽化칼슘溶液의 撒水裝置를 스



〈그림-12〉 스탁파일의 끝부분에서 같은 두께를 가질 때 直線層 시스템과 비교하여 chevcon 시스템을 두배의 層數를 가질 수 있다.

* 생활의 지혜 *

◆ 헌스타킹의 재활용

* 수도관의 동결방지 = 수도관에 테이프 대신 헌스타킹을 칭칭 감고 그 위에 비닐 또는 은박지로 다시 감아둔다. 온수파이프에도 이렇게 해주면 보온이 돼서 물이 잘 식지 않는다.

* 비누조각처리 = 헌스타킹을 적당한 길이로 잘라 두겹으로 만든다. 다음, 쓰다 남은 비누조각을 여기에 담아 쓰도록하면 끝까지 쓸 수 있어 경제적이다.

* 화초구근보관 = 화초의 구근을 헌스타킹에 넣어 통풍이 잘되는 곳에 매달아 둔다. 이때 꽃이름, 색깔을 적은 종이도 함께 넣어두면 편리하다.

* 방충제 사용 = 헌스타킹을 적당히 잘라 그안에 방충제를 넣고 양복장 위에 매달아 둔다. 스타킹이 매끄러워 다른 의복을 다치지 않아 상할 염려가 없다.

스톡파일형성장치 윗쪽에 설치하였다. 또 騒音量도 주어진 規定限界量보다 적다, 그리고 또 하나, 環境面에서의 타당성은 보조설비의 설치에서도 장점을 나타낸다는 것이다.

石炭은 密廢된 벨트콘베이어에 의하여 供給되어 内部에 密廢된 벨트콘베이어가 있는 鎔接된 truss girder bridge 에 의하여 스탁파일형성장치로 전달된다. 이 벨트콘베이어는 가장 최소의 크기로 설계되었으므로 모든 操業條件에서도 벨트의 引張力과 石炭要求量에 相當하도록 되어있다.

Ⅲ. 均一化效果의 計算

높이가 H, 길이가 L인 스탁파일이 完全히 형성된 부분의 무게(M)는 다음 식으로 표시된다.

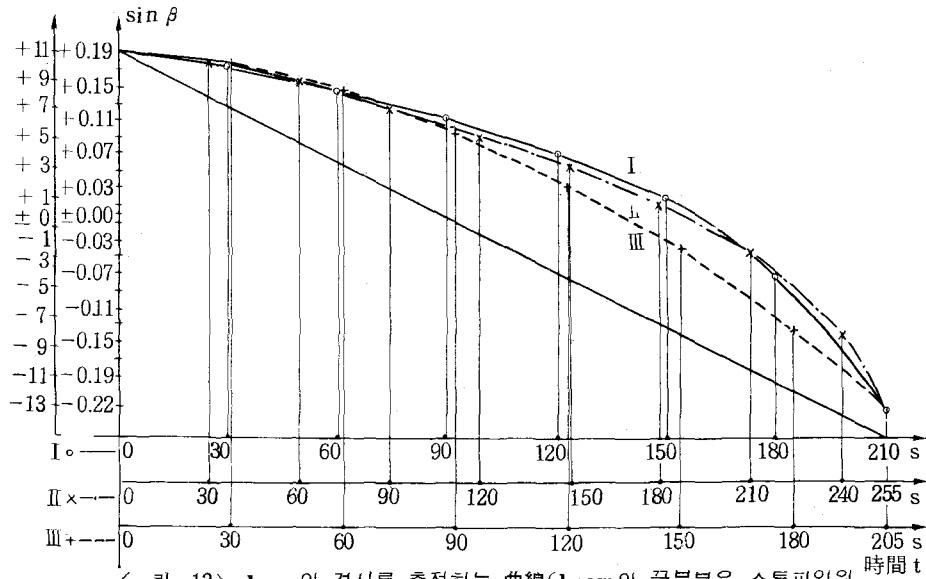
$$M = \rho L F = \rho L H^2 / \tan^2 \delta \dots\dots\dots(1)$$

여기서 ρ: 겉보기比重(여기에서는 1)

δ: repose angle(여기에서는 38.5°)

또 單位미터當 重量(\dot{m})은 다음과 같이 표시

boom의 경사각



<그림-13> boom의 경사를 측정하는 곡線 (boom의 끝부분은 스톡파일위 50cm 에 있으며 回轉角은 110°C 임)

할 수 있다.

$$m = \dot{M}/\nu \dots\dots\dots(2)$$

\dot{M} : 스톡파일의 형성속도

ν : 回轉速度

길이 ΔL (미터로 계산) 만큼 길어졌을 때 이에 해당하는貯藏量의 증가는 다음과 같다.

$$\Delta M = m \cdot \Delta L \cdot n \dots\dots\dots(3)$$

n : 層數

$$= \frac{H^2 \nu \rho}{M \tan \delta}$$

이것을 다시 쓰면

$$\Delta M = \Delta L \cdot L^2 \cdot \rho / \tan \delta$$

형성되고 있는 부분이 다음과 같이 계산되며 예를 들면 $M = 7,201t$ 이 된다.

$$M = \frac{M \cdot L \cdot n}{2 \cdot \nu} = \frac{L \cdot H^2 \cdot \rho}{\tan \delta \cdot 2}$$

예는 $M = \frac{45 \times 15.8^2 \times 1}{0.78 \times 2} = 7,201t$

스톡파일의 平均圓周 (u) 로 測定한 必要한 狐의 길이는 다음과 같다.

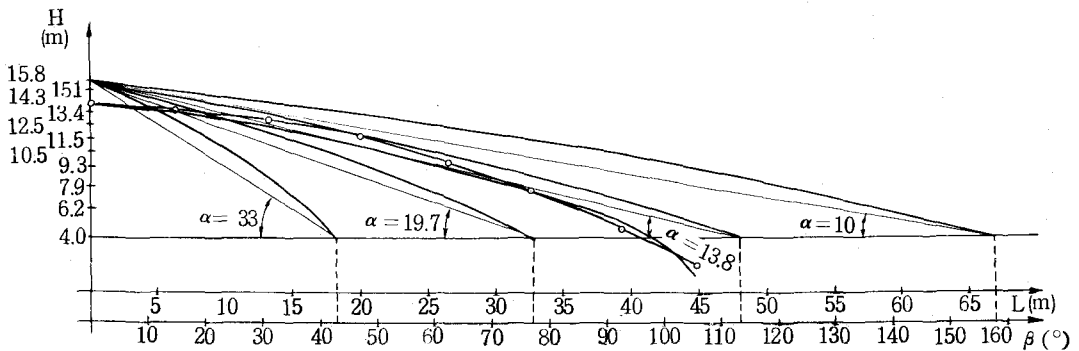
$$L = H / \tan \alpha$$

α : 스톡파일이 끝나는 부분에서 이루고 있는角 (<그림-7> 參照).

이 L 값에 해당하는 回轉角은 다음과 같다.

$$\beta = 360 \cdot L / u$$

다른 複雜한 영향들을 무시하고 간단하게 再採取된 石炭의 標準偏差 (S_2) 를 層數 (n) 로 표시하면 다음과 같다.



<그림-14> 측정된 것과 계산한 스톡파일모양의 비교

$$S_2 = S_1 / \sqrt{n}$$

S_1 : 供給되는 石炭의 標準偏差

따라서 결과적으로 얻는 石炭의 均一化效率은 다음과 같다.

$$\eta = (1 - S_2 / S_1)$$

IV. 操業經驗

플랜트 操業期間 중 石炭의 粒度測定을 정기적으로 하여본 결과 과거와 별로 차이가 없었으며 즉 粉碎效果는 아주 적게 나타났다. 均一化效果는 直接 測定하지는 않았으나 石炭의 洗炭 프로세스에서 증가되는 處理量, 따라서 단축되는 操業時間을 가지고 間接적으로 測定하였는데 이 처리량의 증가는 약 10~15% 정도 이었다.

스톡파일의 경사모양을 測定·監視하기 위하여 스톡파일형성장치 끝이 지나가는 과정을 水平角 및 俯仰角을 測定하는 經緯儀(theodolite)와 秒時計로서 測定하였다. 앞에서 이미 설명한 것과 같이 boom의 끝은 스톡파일의 윗쪽에 50cm의 짧은 거리를 항상 유지한다(그림-13). 이때 boom의 回轉運動이 包含하는 구간은 그 각이 약 110°를 이루고 있다. 測定에 의하여 얻어진 스톡파일 모양의 曲線을 理論적으로 계산한 모양과 비교하면 <그림-14>와 같다. 여기서 보는 것과 같이 약간의 偏差가 있는데 이는 原料物質의 供給量의 不均一性 때문이다. 그러나 실제 曲線의 모양은 確實히 拋物線이다.

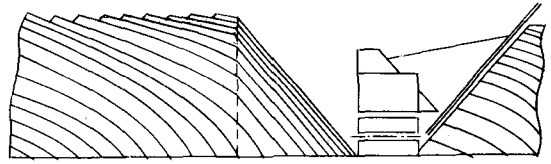
V. 結 論

Peha-Chevron 시스템은 shevron 그리고 cone-shell 방법의 장점을 조합한 것으로써 投資費도 상당히 적다. 이 시스템은 다음과 같은 特徵이 있다.

(1) chevron 방법의 원리처럼 물질을 길이 방향으로 分配시키고 끝 부분에서 全斷面에 걸쳐 再採取하므로 좋은 均一化效果를 얻는다.

(2) cone-shell 방법처럼 層을 경사지게 배열함으로써 再採取의 層數를 약 30% 증가시키고 따라서 더 좋은 均一化效果를 얻는다.

(3) 물질의 品質 變化를 완만하게 하여준다.



스톡파일의 끝
<그림-15> 貯藏空間의 최대 이용

스톡파일의 角을 적게 할수록 새로운 물질을 옛날 물질 사이에 쌓을 수 있어 함께 再採取할 수 있다. 다른 鐵脈 등에서 採鑛하는 등 다른 物理的 性質을 갖는 물질에서도 잘 混合되어 좋은 均一化效果를 얻을 수 있다.

(4) boom의 끝 부분의 속도를 증가시킴으로 많은 數의 얇은 層을 형성시킬 수 있으며 특히 원형으로 層을 형성시키면 간단하게 均一化效果를 높일 수 있다.

(5) chevron 방법과 같이 完全히 형성된 스톡파일에 校正用 層을 몇개 쌓을 수 있다.

(6) 容量을 증가시켜 操業하고자 할 때 上下運動의 驅動裝置와 制御機構를 바꾸는 以外에 다른 變化가 없다. 에너지절약을 위하여 boom의 반대편에 重量을 주어 重量平衡을 이루도록 한다.

(7) 스톡파일의 끝 부분이 必要한 減速期間에 自然히 형성되며 모양의 自動監視裝置가 없어도 되어 制御가 단순하다.

(8) 이 스톡파일시스템에서는 구별된 부분이 없어 물질의 轉移點이 없고 따라서 特性의 심한 變化가 없다.

(9) 스톡파일을 형성하는데 原料物質의 落下距離와 굴러 떨어지는 距離가 적다. 즉 형성은 밑에서 위 방향으로 형성되기도 한다.

(10) 스톡파일의 형성과 再採取는 連續적인 操業을 可能케 한다.

(11) 理論적인 스톡파일의 容量과 실제 容量의 비는 합당하다.

(12) 어떤 형태든 원하는 임시 體積으로 貯藏하는 것이 可能하며 이 限界를 變化시켜줌으로써 再採取裝置 바로 뒤까지 스톡파일을 형성시킬 수 있어 貯藏空間을 최대한으로 利用할 수 있다.

(<그림-15> 參照). ♣♣♣

(ZEMENT-KALK-GIPS No. 8/1981, 本文(獨文)은 同 No. 6/1981)