(技)(術)(論)(叢)

시멘트 微粉技術에 관한 現況

金 喆 熙 (譯)
<韓國料學技術情報센터>

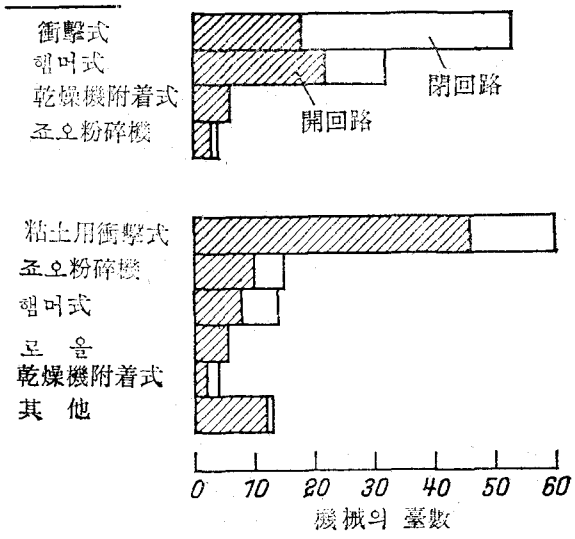
1. 머리말

오늘날 시멘트의 粉碎工程은 이에 사용되는 機械類가 그 동안 몇몇 部屬品의 形態 또는 機能만은 어느 정도 改善되었지만 아직도 옛날 그대로이기 때문에 시멘트 製造工程에 있어서는 가장 問題가 되고 있다. 지금까지 시멘트粉碎技術에 있어서는 별로 괄목할 만한 發展은 없었지만 部分的으로는 그래도 많은 改善이 이루어졌었다고 볼 수 있다. 따라서 本 說文에서는 시멘트 製造業과 關聯되는 原料粉碎技術에 관한 현황을 豫備(1次)粉碎와 濕式 또는 乾式 微粉用 粉碎機(raw-mill) 등을 機種別로 紹介하여 全世界的으로 시멘트 粉碎技術이 어디까지 왔나를 알아 볼까 한다.

2. 豫備粉碎機

현재 시멘트 業界에는 各種 原料의 豫備粉碎를 效果的으로 遂行할 수 있는 우수한 機種이 많이 開發되어 있다. 獨逸聯邦共和國의 시멘트 業界에서는 오늘날 거의 單軸 또는 複軸 햄머式 粉碎機를 사용하고 있으며 美國과 日本같은 곳에서는 자이로터리 粉碎機(gyratory crusher) 또는 衝擊式粉碎機를 사용하고 있다. 그 외에도 一段式粉碎機 또는 二段 및 三段式 粉碎機를 開回路(閉回路) 스크린 分級機와 連結하여 사용하는 工場도 가끔 볼 수 있다.

〈그림-1〉은 日本 시멘트 業界에서 많이 사용되고 있는 各種 粉碎機를 分析해 본 것인데, 위 그림은 石灰石用 衝擊式 粉碎機, 햄머式 粉碎機, 乾燥機 부착式 衝擊粉碎機 및 죠오粉碎機(Jaw-crusher)에 관한 分析이며, 밑 그림은 粘土用 衝擊式 粉碎機, 죠오粉碎機, 햄머式 粉碎機, 로울粉碎機 및 乾燥機가 부착된 衝擊式 粉碎機 등에 관한 것이다. 또한 〈그림-1〉에서 橫方向 눈금은 機械의 台數를 나타내며 斜線친 부분은 開回路(1段式)粉碎機를 말하며 白色부분은 閉回路粉碎를 뜻한다. 이 두가지 그림에서 알 수 있다는 것은 石灰石 粉碎用 機械가 그 半 以上이 衝擊型이라는 것이다. 그리고 이들 機械의 3분의 2가량이 스크린 裝置를 가진 開(閉)回路 粉碎機로 되어 있으며 粘土粉碎用 機械類의 종



〈그림-1〉 日本 시멘트 業界의 原料쑈碎機 利用現況

3분의 2는 衝擊式 粉碎機가 차지하고 있으며 그 중에도 겨우 20% 만이 分級裝置가 달린 開(閉) 回路式 粉碎機에 지나지 않는다. 日本의 全體 粉碎機 중에는 60%가 거의 1段式 粉碎機에 屬한다.

여러 型態의 粉碎機 가운데 原料의 特性에 맞는 것을 選定하는 基準은 H. Enri氏의 著書인 "Rohmaterial anfbereitung und Homogenisterung"에 詳細히 記述되어 있기 때문에 本 說文에서는 그에 補完事項만을 重點的으로 記述해 보기로 한다.

1段햄머式 粉碎機 및 衝擊式 粉碎機는 주로 별로 堅固하지 않으므로 機械磨耗率이 적고 含水量도 그리 많지 않은 原料에 적합하다. 오늘날의 獨逸에 있는 大 시멘트메이커들이 經驗한 內容을 參考로 본다면 複軸햄머式 粉碎機의 排出 그리드-바(grid-bar) 사이에는 60mm 간격으로 슬로트(slot)가 있는데 이 슬로트가 막히지 않고 粉碎物이 잘 排出되려면 原料의 含水量이 15%로도 充分하였는데 다른 곳의 工場에서는 100mm가 넘는데도 含水量 15%로는 도저히 않된다고 한다.

加熱되지 않은 單軸햄머式 粉碎機에 있어서는 적어도 含水量이 10%정도 낮아야 하지만 O & K-Hischmann會社가 製作한 單軸式 大型粉碎機를 이용하면 10% 以上의 水分을 含有하고 있는 塑性粘土라도 硬質의 石灰石과 混合해서 粉碎할 수가 있다고 한다. 이때에 이들 두 種類의 原料는 서로 直角으로 결합된 에이프론 콘베이어(apron conveyor)에 의해서 따로 따로 投入된다.

機械의 磨耗에 있어서도 衝擊式 粉碎機에 投入되는 原料 중에 10%의 自由실리카(free silica) 程度는 許容되며 햄머式 粉碎機의 경우에는 그 햄머가 固定된 브레이커 바(breaker bar) 보다 被粉碎物에 더 많이 接觸되기 때문에 原料 中의 실리카 含量이 5~6% 以上을 넘어서는 않된다. 오늘날에 와서는 粉碎機의 磨耗率을 豫測하기 위한 實驗室 테스트도 가능하게 되어 있다. 또한 機械의 磨耗에 있어서는 粉碎할 岩石의 强度도 考慮해야 할 要素중의 하나인데 보통 햄머式 粉碎機의 경우에는 岩石의 强度가 200N/mm² 程度를 넘어서는 않되고 衝擊式 粉碎機의 경우에는 250N/mm²를 超過해서는 않된다.

매우 堅固하고 磨耗를 심하게 이르키는 原料를 취급할 경우에는 자이로터리 粉碎機를 利用하여 壓縮力에 의한 微粉碎를 꾀하는 것이 유리하다. 또한 이런 型의 粉碎機를 사용하면 自淨能力이 있기 때문에 原料중에 약간의 濕氣가 있더라도 무방하다는 利點도 살릴 수 있다. 粘土와 같이 粘性을 갖는 原料에 대해서는 齒狀 압연粉碎機(teothed roll crusher)를 사용하면 훨씬 유리하기 때문에 새로 建設되는 시멘트 工場에는 많이 사용된다. 그 외의 各種 1次 粉碎機의 특성에 관한 것은 〈表-1〉에 자세히 種類別로 表示해 놓았는데 여기에는 各 粉碎機의 減速比, 排出量의 ton/hour 設備容量, 回轉速度 및 比重 등도 表示되어 있다. 또한 이 表에 의할 것 같으면 햄머式 粉碎機는 40~60 程度의 가장 높은 減速比를 나타내고 있는데 이것은 즉 1.5m 程度의 큰 岩石을 한번에 25mm 程度로 1次粉碎하여 보올밀(ball mill)에 알맞게 投入시켜 줄 수 있다는 것을 뜻한다.

한편 尖頭負荷(peak load)가 걸릴 때를 대비해서 時間當 材料 排出量에 따른 ton當 電氣設備容量은 보통 全體 電氣消耗量 보다 30~100% 더 높도록 設計하여야 한다. 그리고 別途의 粉碎機用 驅動裝置를 設置하는 費用을 切減하려면 가장 큰 2次 모멘트로 균등한 回轉速度를 내도록 設計하여야 한다. 〈表-1〉의 세번째 줄에 表示한 回轉速度는 粉碎機製造會社가 作成한 明細書에서 얻은 數値들이다. 대부분의 메이커들은 回轉體의 磨耗率이 速度의 自乘에 比例하기 때문에 자기 製品의 回轉速度를 가급적 적게 表示하려는 傾向이 있다. 〈表-3〉의 맨 밑에 表示된 數値와 같이 原料排出量이 同一할 경우 衝擊式

〈表-1〉 原料粉碎機의 種別特性

	햄머式	衝擊式	齒 狀	壓延式
	粉 碎 機			
粉 末 度	40—60	6—20	5—8	3—5
所要電力	1.5—2.0	0.7—0.8	0.15—0.3	0.3—0.6
回轉速度	30—48	27—36	—	5—8
比 重	1	0.6—1	1.6	0.85

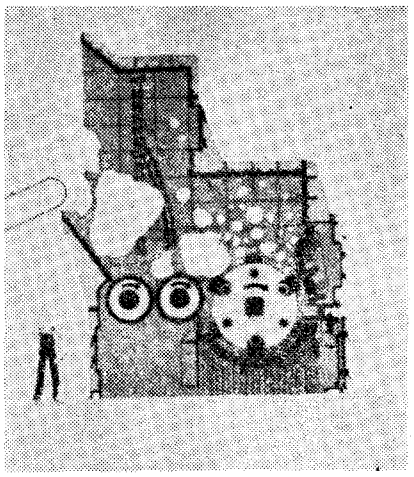
粉碎機와 壓延粉碎機는 햄머式 粉碎機 보다 가벼우며 자이로터리 粉碎機는 더욱 무겁다는 것을 알 수 있다. 粉碎機의 중량은 移動粉碎工場인 경우 무엇보다도 중요한 問題로 대두한다.

多段式 粉碎機 보다 單段式 粉碎機를 採用하는데는 다음과 같은 여러가지 요소들을 考慮하지 않으면 않된다. 즉 原料의 특성으로 보아서 햄머式 粉碎機를 사용할 수 없으면 다른 型의 粉碎機는 햄머式 粉碎機 보다 減少比가 적기 때문에 2段 또는 3段式 粉碎機를 사용하지 않을 수 없다. 또한 어떤 原料가 機械를 심하게 磨耗시키는 경우라면 2段 또는 그 以上의 多段式으로 나누어 粉碎機의 壽命을 延長시킬 수 있다.

어떤 시멘트 工場에서는 1次 粉碎機(raw mill)에 原料外에도 다른 材料를 混入해야 하기 때문에 多段式 粉碎機를 사용하는 例를 많이 볼 수 있다. 만일 衝擊式 粉碎機에서 나온 原料(豫備粉碎物)의 크기가 너무 커서 스크린에 남는 큰 것은 豫備粉碎機로 되돌려 보내야 하는 경우에는 分級機가 필요하게 된다. 따라서 衝擊式粉碎機는 이미 微粉된 原料를 또다시 投入시키지 않도록 하기 위해서 分離裝置를 附着하여 운용한다. 한가지 例를 들면 原料 가운데 石英砂(quartz sand)와 같은 成分을 含有하고 있을 때에는 粉碎機內에 投入되기 전에 原料에서 分離시켜야 한다.

시멘트 工場의 다른 어떠한 機械類와 마찬가지로 粉碎機 역시 過去數年間에 걸쳐 그 크기가 많이 늘어 났다. 최근 世界에서 가장 큰 複軸 햄머式 粉碎機가 Fives-cail-Babcock에 의해 製作되었다. 이 粉碎機는 時間當 3,000ton의 原料를 豫備粉碎할 수 있는 容量을 가진것으로 軸車(rotor)의 直徑은 2.50m이고 幅이 3.20m 되는 大型 粉碎機이다. 그리고 또 다른 大型 粉碎機는 1,700 ton/hour의 粉碎容量을 가진 單軸式으로 현재 O & O-Hischmann에 의해 製作중에 있다.

최근에 이룩된 가장 두두러진 진보는 〈그림-2〉에 圖示한 바와 같은 F.L. Smidth에서 製作한 衝擊式 粉碎機를 들지 않을 수 없을 것이다. 이것은 排出容量을 1,500 ton/hour까지 올릴 수 있도록 設計되어있다. 이 粉碎機의 100정도 높은



〈그림-2〉 衝擊式 햄머粉碎機(F.L. Smidth)

減少率은 原料投入口가 크고 排出그리드(grid: 석쇠)도 크기 때문에 쉽게 달성할 수가 있다. 특히 이 粉碎機의 특징으로는 두개의 특이한 피이드 롤(feed roll)이 부설되어 있는데 이것들이 서로 相異한 速度로 回轉하면서 微粉된 粒子들을 分離시켜 주는 機能을 맡아하는 것이라고 볼 수 있다.

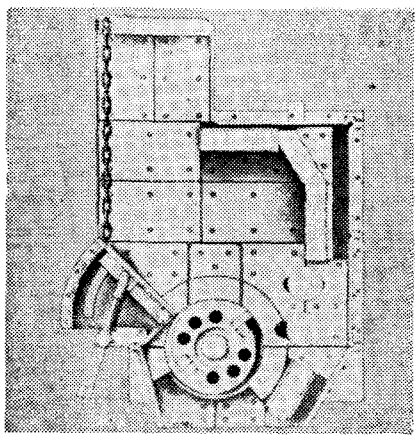
순전히 衝擊에 의해서 作用하는 粉碎機들은 주로 排出容量을 증대하는 方向으로 發展되었다. A. Andreas와 J. Jöbkes는 그들의 報告書에서 베네쥬엘라의 시멘트 工場에 設置된 4×12 m 되는 往復式 投入機(reciprocating feeder)를 갖인 1,200ton/hour의 Hazemag 粉碎機에 관해 紹介하고 있다.

粉碎機의 크기가 大型化되면 될 수록 驅動力을 모우터軸에서 粉碎機軸으로 傳達시키기가 어려워진다. V型벨트(vee-belt)로 減速시키려면 돈이 많이 들고 整備도 힘들다. 이러한 理由 등으로 해서 Sieman 會社에서는 直結 모우터를 1次 모우터 및 선형(sector) 모우터의 형태로 改善하였다. 이 모우터의 주요 특색은 粉碎機의 플라이휠(flywheel)을 모우터의 回傳子(rotor)로 이용했다는 것이다. 그리고 모우터 卷線機能(winding)은 플라이휠에서 誘導되는 過流(eddy current)로 對置되고 있으며, 固定子(stator)는 플라이휠의 180°섹터(sector)에만 감겨져 있다. 이러한 驅動시스팀의 主要利點은 이 機械自體가 堅固하며 토오크(torque) 特性이 粉碎機에 대단

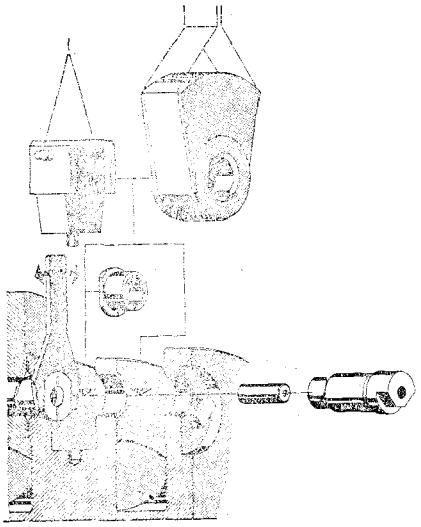
히 유리하게 되어 있을 뿐 아니라 起動電流도 아주 낮다고 볼 수 있다. 그리고 모우터는 대단히 小型으로 잘 組立이 되어 있기 때문에 移動式 粉碎工場에 적합하다. 현재 1,000KW 定格의 原型(prottoype)이 North German 시멘트 工場에 設置되어 있다. 그런데 불행히도 이 정도의 큰 섹터 모우터(sector motor)는 在來式 모우터 보다 약 3倍 정도 價格이 비싸지만 앞으로 점차로 底廉한 價格으로 供給될 것으로 展望된다.

粉碎機의 運營上 주요한 事項은 가급적 機械의 故障 및 破壞가 일어나지 않도록 하여야 하며 만일 發生하더라도 즉시로 修正 및 是正하여야 한다. 이러한 한 故障 내지는 破壞가 原料를 投入할 때 過大하게 큰 덩어리를 넣기 때문에 생기는데 이것을 미리 豫防하려면 〈그림-3〉에 圖示한 것과 같은 流入슈우트(inlet chute)의 回轉받침대(swivelling bottom section)를 豫備粉碎機에 附着시켜 주면 좋다. 만일 커다란 原料 덩어리가 粉碎機에 걸려서 衝擊俸(impactor bar)을 빠져 나가지 못하게 되면 이것은 回轉받침대에 의해 回轉子쪽으로 빠져 나갈 수 있게 하여 준다.

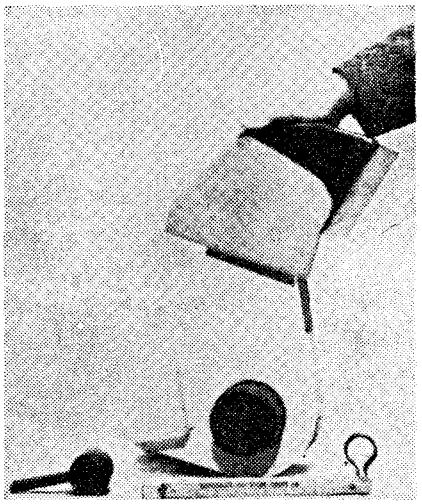
또 다른 중요한 裝置는 햄머라든지 粉碎俸軸受(breaker bearing) 및 粉碎部分 등의 磨耗部分은 항상 수시로 交替되어야 한다. 〈그림-4〉에는 Polysius 工場에 設置된 피봇트(pivots)가 붙은 햄머마운팅시스팀을 圖示해 놓았다. 이 햄머는 각 피봇트를 分解하면 하나씩 모두 交替할 수 있도록 設計되어 있다. 그리고 〈그림-5〉에는



〈그림-3〉 回轉받침대가 附着된 衝擊式 粉碎機



〈그림-4〉 **Polysius 工場에 설치한 피봇트(pivots)가 붙은 햄머마운팅시스팀**



〈그림-5〉 **尖頭를 再生 및 交換할 수 있는 2次粉碎機用 햄머의 모델**

또 다른 整備가 容易하게 設計된 例를 圖示하여 놓았는데 이것은 KHD가 開發한 것으로 햄머尖頭를 완전히 새것과 마찬가지로 재생시킬 수 있도록 設計된 것이다. 이러한 粉碎機는 原來 2次粉碎用으로 設計製作된 것으로 運轉할 때에는 햄머헤드가 순전히 遠心力에 의해 햄머캐리어(carrier)와 함께 支持되도록 設計되어 있다. 圖表에 나타난 핀(pin) 역시 이것을 위해 圓形클립으로 고정되어 있는 것이다. 검게 표시된 部

分은 햄머尖頭의 磨耗部分을 뜻한다.

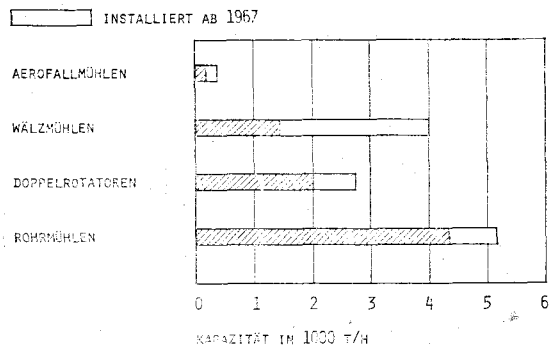
한편 Magotteaux社는 햄머헤드가 耐磨耗性鋼鐵로 만들어 졌으며 샤프트는 靭性鋼으로 만들어 진 햄머와 小型 햄머粉碎機를 開發하였다. 여기에 사용한 햄머와 샤프트는 두 材料를 同時에 함께 鑄造된 것으로 一般 鍛造햄머 보다 3倍정도 耐久性이 있다고 한다. 그러나 이러한 것은 덧붙임熔接(buil-up welding)으로 재생시킬 수 없는 결점을 갖고 있다. 현재로서는 중량이 50 kg 정도 되는 小型은 購入이 가능하다.

3. 2次粉碎機(raw grinding mills)

3.1 乾式 粉碎(dry grinding)

豫備 粉碎機에서와 같이 2次粉碎機에도 여러가지 技術이 開發되어 있다. 그런데 주어진 條件에서 가장 적합한 2次 粉碎시스팀을 選定하려면 各種 工程工學(process engineering) 및 經濟的 要因들을 考慮하지 않으면 않된다. 이러한 問題들을 다룬 훌륭한 文獻들을 本 說文의 參考資料에 紹介하여 놓았는데 위에서 言及한 要素外에도 工程管理, 整備可能性 등도 決定基準에 包含시켜 工程에 참여하는 工員들에게 제공할 수 있는 技術訓練의 水準도 考慮하지 않으면 않된다. 또한 工場周圍의 住民들을 위한 環境保護도 無視할 수 없으며 특히 dry-cum-grinding 工場에서는 粉塵汚染이라던가 騷音 등을 考慮해서 工程採用을 實施해야 할 것이다.

〈그림-6〉에는 獨逸 시멘트 業界에 많이 採用되고 있는 에어로포올-밀(aerofall-mill), 로울러-밀, 더블 로우테이터 및 튜-브밀 등과 같은 여



〈그림-6〉 獨逸聯邦共和國 시멘트工場에 設置된 原料未分體 粉碎工場

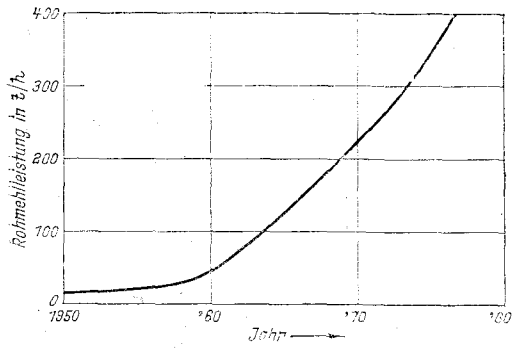
러가지 밀-시스팀의 강복현상을 圖示하여 놓았는데 한 部分은 1967年 以後에 設置된 粉碎機를 말한다. 이 圖表에서 볼것 같으면 바켓으로 퍼올리도록 된 上下콘베어 시스팀이 附設된 閉回路 밀과 送風 밀 및 튜-브 밀은 粉碎容量의 약 2/3 정도를 카버하는 것을 알 수 있다. 그 나머지 1/3은 로울러 밀이 차지하고 있다.

오늘날 獨逸에서 海外에 供給하는 原料粉碎機는 대부분이 送風 밀(air-swept mill)이 차지하는데 어떤 것은 容量이 큰 것도 있다. 例를 들면 Polysius가 지금까지 供給해 온것 중에서 가장 큰 튜-브 밀은 送風 밀型으로 直徑이 5.8 m, 길이가 14.75m 되는 320t/hour 容量을 갖은 것이었다. 送風型이 많이 採用되게 된 것은 그 乾燥能力이 우수하다는 것 外에 設置가 간단하고 運用 및 整備가 용이하기 때문이다. 以上에서 言及한 機械選定基準에 의하면 이러한 型의 粉碎機는 특히 高度의 訓練을 받은 操作員을 구하기 어려울 때에 유리하지만 이 送風型 粉碎機의 電力 消耗量은 바켓 上下콘베어式 閉回路 밀 보다 一般的으로 높은 것이 缺點이다. 특히 乾燥시킬 때 보다 原料移送 때에 더 많은 가스 流出量을 필요로 하는 送風式 粉碎시스팀인 경우에 電力消耗가 많이 된다.

약 10餘年 前에 KHD社가 開發한 送風式과 衝擊式 햄머 粉碎機를 결충한 併列式 粉碎機는 오늘날 320ton/hour의 排出容量까지 發展되었다. 그런데 이 시스팀은 햄머 밀을 거칠 때 이미 30%의 微粉體를 含有하게 되기 때문에 比較的 電力消耗가 적으며 原料에 石英砂(quartz sand)를 混入하게 되면 이 石英砂는 衝擊式 햄머 粉碎機를 거치지 않고 바로 튜-브 밀로 投入되기 때문에 過度한 機械磨耗를 피할 수 있는 利點을 갖고 있다.

또한 대단한 粘性을 가진 原料를 취급하기 위해서 Polysius 會社에서는 소위 分散乾燥機(dispersion dryer)라고 하는 높은 蒸發能力을 가진 比較的 짧은 드럼型 로타리 乾燥機(rotary dryer)를 開發하였다.

各種 粉碎機의 個別的인 容量도 1960年 以後로 괄목할 만한 진전을 이룩하였다. 앞에서 본 〈그림-7〉에도 나타나 있듯이 가장 큰 粉碎機의



〈그림-7〉 數年에 걸친 로울러 밀의 最大 原料未分體 排出量의 增大

排出量(ton/hour)은 每年 增加하고 있음을 알 수 있다.

유럽에 있어서는 지난 5年間에 걸쳐 약 30臺의 로울러 밀이 供給되었는데 그 중의 대부분은 大容量의 것들이다. 또한 같은 期間 동안에 北美地方에는 19臺의 大容量 플랜트가 供給되어 그 중 13個所는 이미 稼動되고 있다. 美國에 있어서는 1次粉碎가 끝난 原料粗粉體를 만들어 내는 로울러 밀의 排出率은 1978年에 가서 10%를 훨씬 초과할 것으로 기대되고 있다. 그런데 한 가지 여기서 부언해 둘것은 美國의 시멘트 製造工法은 半 以上이 모두 濕式工法이라는 것이다. W. Schildnecht 氏는 大型 로울러 밀에 관한 그의 運轉經驗을 통해서 왜 이러한 2次粉碎機들이 날로 인기를 끌고 있는가에 관한 몇가지 理由를 그의 著書에서 說明하고 있다.

Loesche와 pfeiffer 및 polysius가 各各 製造한 3가지 型의 로울러 밀에 있어서 設計上의 差異는 여러가지 刊行物을 통해 記述되어 있다. 그런데 이들 로울러 밀이 갖고 있는 共通點은 粉碎로울러가 水壓機(hydropnenmatic)로 支持되어 있어서 機械가 稼動중에 있어도 신속히 간단하게 變換될 수 있는 壓力을 供給해 준다. 이러한 壓力의 調整은 投入하는 原料의 形態가 多樣할 때 대단히 必要하게 된다.

대부분의 새로 建設된 시멘트 工場에서는 微粉體 및 粗粉體들을 靜電沈澱器에 蒐集하고 별도의 豫備工程을 제거하므로서 팬(fan)의 電力消費를 1~2KWh/ton 정도 절감할 수 있기 때문에 이 절약된 金額은 大型 沈澱器를 購入하는데 드는 費用을 충분히 보상할 수 있다.

粉碎板 또는 粉碎筒(bowl)을 支持하기 위한 弧狀스러스트 軸受(segmental thrust bearing)는 밀의 作動裝置 중에서 가장 代表的인 장치로서 특히 大型 밀에 있어서는 水壓에 의한 注油를 實施하는 것이 보통이다. Renk에서는 스러스트 베어링을 完全히 對角으로 支持할 수 있도록 하기 위해서 圓形 케이스로 된 새로운 기어박스(gear-box)를 開發하였다. 이러한 裝置는 두개의 스퍼기어(spur gear)를 한개의 差動裝置(planetary gear)로 바꾸어 줌으로써 가능하게 되었다. 좀더 높은 驅動電力 定格을 위해서는 Tacke가 밀의 原料投入段階에 있는 冠齒車(crown wheel) 및 베벨피니온기어를 除去하고 垂直으로 設置된 모우터와 연결된 스퍼기어를 사용하도록 한 gear-box를 開發하였다.

로울러 밀의 特殊製造技術에 있어서 새로운 發展이라고 할 수 있는 것에는 Loesch의 大型 밀의 在來式 2로울러대신 4로울러를 採用하기 始作하였다는 것을 빼 놓을 수는 없다. 이 시스템에서 가장 중요한 着想은 오늘날의 大型 키른이 要求하는 밀로 부터의 보다 높은 排出容量을 충족시키기 위한 것이라고 볼 수 있다.

현재 採用되고 있는 世界에서 가장 큰 로울러 밀은 400ton/hour 容量을 가진 Loesche의 4로울러 밀이다. 최근에 와서는 이 Loesche에서 3臺의 粉碎로울러를 가진 85~100ton/hour의 中型 밀을 製作하였다고 한다.

Pfeiffer社는 지금까지 MPS로울러로 材料(原料)移送할 때 30~50% 정도의 電力이 더 많이 消耗되기 때문에 空氣를 이용하는 뉴메틱(pneumatic) 原料移送裝置開發에 많은 관심을 집중시켜 오던 중 電力消耗도 약 2KWh/ton 정도 줄이면서 뉴메틱 原料移送으로 밀의 容量을 增大시킬 수 있다는 것을 立證하기에 이르렀다. 또한 原料移送을 위한 空氣速度를 낮춤으로써 밀 하우징(mill housing)의 磨耗도 줄일 수 있다고 한다. 따라서 현재 MPS 밀은 이 분야의 機械類중에서 가장 量容이 크고 粉碎하기 곤란한 原料도 능히 解決할 수 있는 代表的인 機種으로 부각되고 있다. 이에 뭇지 않게 Polysius社에서도 400ton/hour의 容量을 가진 2로울러밀을 開發하여 Pfeiffer社와 경쟁에 맞서고 있다.

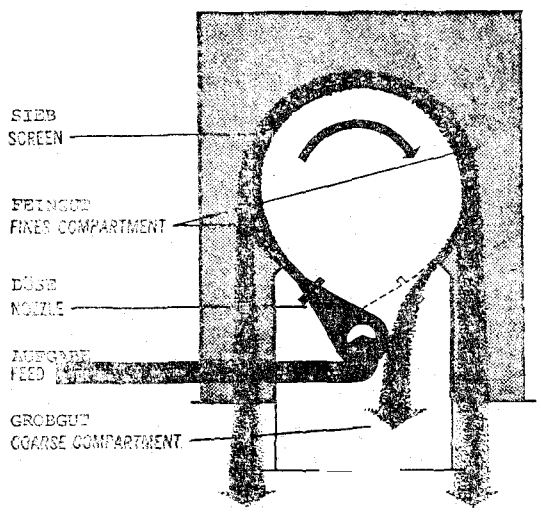
前에는 이 로울러 밀을 주로 石灰粉碎에 많이 이용해 왔으나 오늘날에 와서는 그 用途가 多樣해졌다고 볼 수 있다. W. Weztzel氏는 그의 著書에서 Peter's Ball-ring Mill을 로타리 키른을 加熱하는데도 사용할 수 있음을 示唆하고 있다.

3.2 濕式粉碎(wet grinding)

過去 數年間에는 별로 새로운 濕式粉碎工程을 採擇한 시멘트 工場은 많이 建設되지 않았지만 아직도 많은 나라에서는 이 濕式粉碎工法이 시멘트 業界에서 대단히 중요한 役割을 담당하고 있다. 특히 시멘트의 原料에 따라서는 이 濕式粉碎工法이 절대로 필요한 工法으로서 앞으로도 軟性白墨(soft chalk)이나 粘土와 같이 20~30%의 水分을 含有하고 있는 原料를 위해서는 經濟的으로나 技術的으로 유리한 工法이 될 것이다. 獨逸에 있어서는 주로 北部 海岸地方에서 이러한 시멘트 原料들이 많이 채굴된다. 위에서 말한 정도의 水分을 含有한 이러한 原料를 채굴하고 마련하는데는 무엇 보다도 軟性鑛物이기 때문에 電力消耗가 적게 든다(약 8.5KWh/ton).

이와 같은 현상은 인접국가인 덴마크에서 볼 수 있는데 이러한 原料를 채굴하는데 人力이 1個 크링카 當 0.09man-hour/ton 밖에 않된다는 것이다.

그러나 比較的 硬質의 原料를 濕式法으로 粉碎할 때에는 電力消耗가 乾式法보다 적게 든다고는 말할 수 없다. 66個所의 濕式밀에 대한 平均 電力消耗量은 약 19KWh/ton 정도인데 閉回路式 粉碎시스팀을 採用하면 약간의 消耗量은 減少시킬 수 있을 것이다. 현재 美國에 있는 大部分의 濕式粉碎 밀은 〈그림-8〉에서 본 바와 같이 주로 DSM 구부러진 스크린型의 分給裝置가 附着되어 있다. 이 시스팀에서 슬러리는 약 30 m/sec의 速度로 시린더와 같이 생긴 內部表面에 있는 노즐이나 돌출물을 통해 投入되도록 되어 있기 때문에 이 슬러리는 270°의 弧形으로 진행한다. 이 스크린은 그 그물구멍이 粒子보다 약 두배 정도 크기 때문에 막히지 않으므로 신속하게 스크린 할 수 있다. DSM 스크린을 사용함으로써 과거 20여년간 美國에서는 이 濕式 粉碎機로 5~10%의 平均 電力減少를 볼 수 있었다. 그리고 個別的인 경우로는 排出容量이 30% 혹은 그 以上으로 증대시킬 수 있었기 때문에 펌프로 인한 追加 電力消耗를 加算한다 해도 약 15%의 電力消耗를 줄일 수 있다고 본다.



〈그림-8〉 DSM 스크린(Dorr-Oliver)

分級裝置로서는 弧狀스크린 外에 振動스크린, 모겐센(Mogensen) 스크린, 遠心分離型 스크린 및 하이드로사이클론(hydrocyclone) 등도 使用된다.

分級裝置와 펌프의 磨耗部分을 整備한다던지 再生시키는데 요하는 費用도 電力節約과 均衡을 마추지 않으면 않된다. 예를 들면 遠心分離式 스크린의 有效壽命은 200~400時間인데 밀 1臺當 필요로 하는 스크린은 整備하는데 많은 人力과 費用이 든다는 것을 考慮하지 않으면 않된다. 따라서 分級裝置는 오늘날 별로 많이 사용되지 않고 다만 기존 設備의 容量을 늘려야 할 경우에만 국한하여 사용된다.

한편 F.L. Smidth社는 슬러리 밀에 댐링(dam ring)을 設置하므로서 25%의 排出容量을 증대시켰다. 이 링은 原料粒子들을 보다 균등한 速度로 移動하도록 만들어 주기 때문에 일종의 피스톤 플로우(piston flow) 現象을 만들어 주기도 한다는 것이다.

M. M. Ivanov, M. A. Verdiyan 및 G. S. Krikhtin의 報告書에 의할 것 같으면 소련의 시멘트 業界에서는 슬러리粉碎에 落水를 利用한

하이드로폴-밀(hydrofall mill)을 開發하여 利用하고 있다고 하는데 이것으로 300~700ton/hour의 排出量을 달성할 수 있다고 한다.

보올밀에 있어서의 粉碎媒體나 라이닝은 磨擦이나 腐蝕으로 인해 磨耗되는데 최근 Magotteaux社는 높은 耐磨耗性을 갖고 있을 뿐 아니라 우수한 耐蝕性을 갖는 특수한 粉碎媒體를 새로이 開發하였다. 이것은 어떠한 경우에도 슬러리의 類形에 맞도록 熱處理를 할 수 있으며 30% 크로뮴(chromium)을 함유하는 보올이기 때문에 200g/t의 磨耗率을 減少시킬 수 있을 뿐 아니라 平均 15~25% 까지 磨耗率을 감소시킬 수 있다고 한다. 밀의 라이너 板도 同一한 材料로 製造할 수 있다고 한다.

슬러리 밀의 微粉裝置에 있어서 고무製 라이닝은 在來式 라이닝 보다 약 3倍 정도는 經濟的이라고 말하고 있다. 한편 粗粉裝置에서는 이러한 고무製 라이닝은 별로 이롭지 못하지만 고무로 덮은 구멍뚤린 振動板(slotted diaphragm)은 끝이 잘 털리기 때문에 구멍이 막히지 않는 利點을 갖고 있다. 微粉用 分級器의 고무製 라이닝은 주로 skega社 및 Trelleborg社가 製作하여 供給한다.

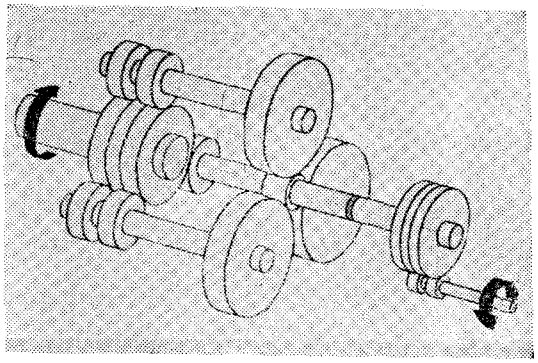
4. 시멘트 微粉機(cement mills)

4.1 機械工學的인 特性

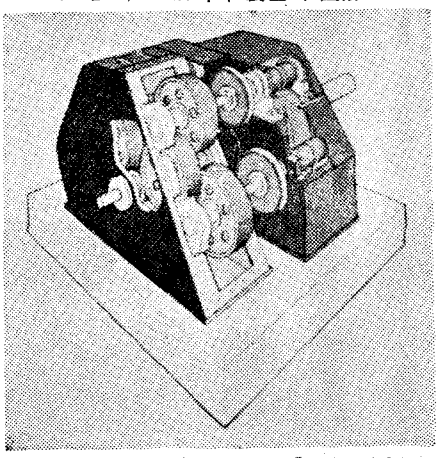
1970年 初에 微粉機 設計者들은 어떠한 驅動시스팀이 5,000~6,000KW 및 그 以上의 高壓電力 인프트를 원만히 傳導해 줄 수 있는지를 결정해야 하는 問題에 봉착했다. 그러나 오늘날에 와서는 시멘트 밀의 發達로 이러한 問題는 극복되었다고 볼 수 있다.

특히 獨逸製造業者들에 의해 供給되고 있는 대부분의 大型 시멘트 粉碎機는 주로 2個의 모우터와 두개의 피니온 기어가 달린 거어스 기어(girth gear) 驅動機를 갖고 있다. 거어스 기어와 피니온 驅動機의 上限値는 피니온當 2,750~3,000kW로 볼 수 있다. 2,000KW 以上이 되면 지금까지는 나선형 기어를 採用해 왔다.

오늘날에 와서는 動力定格이 6,000~14,000 KW되는 새로운 驅動裝置가 開發되었으며 이런



〈그림-9〉 3段기어 裝置의 圖解

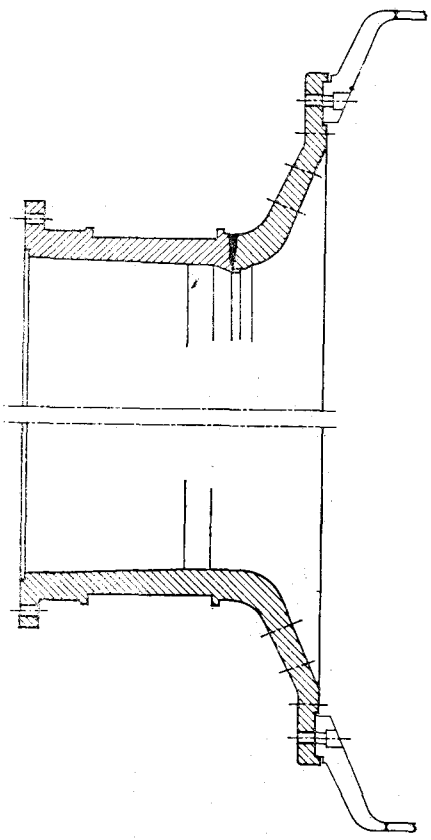


〈그림-10〉 4段기어 裝置(F.L. Snidth)

水準의 動力을 전달하는데는 3~4個의 傳導軌道(transmission path)에 토오크(torque)를 分散시킬 필요가 생긴다(〈그림-9, 10〉 參照).

差動裝置시스팀은 그 運營이 대단히 信賴性이 있으며 大型 밀에는 지금까지 많이 사용되어 왔다. 따라서 6,200KW用 Maag의 差動裝置시스팀의 齒形플랭크(tooth flank)는 아직도 20,000 時間을 사용한 후에도 제 機能을 그대로 發揮하고 있으며 별로 磨耗가 되지 않았다. 粉碎機시스팀의 中央 驅動裝置에 쓰는 差動裝置는 주로 Citroen이나 Renkon에 의해 供給되고 있다.

지금까지 약 25個의 原料 밀 또는 시멘트 밀은 링모우터나 回轉모우터(circumferential motor) 등과 같은 第3型 驅動裝置로 設備되어 왔으나 General Electric社와 같은 메이커가 供給하는 이런 驅動裝置는 그 모우터들이 BBC나 Siemen과 같은 會社들이 製作하여 例外的인 경우도 없지는 않다. 各 모우터의 여러가지 速度에 따른 工程工學的인 情報資料는 L. Olivero, F. Caire,



〈그림-11〉 **大型 밀用 端壁의 斷面圖**

G. Pintor 및 P. Bianchi 등이 發表한 報告書에 상세히 나와 있다.

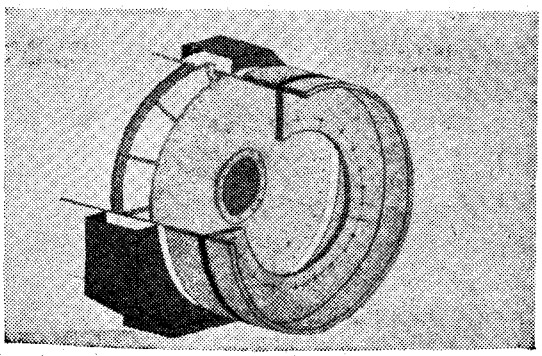
그런데 이들 3가지 類形의 밀 驅動裝置에는 投資金額에 차이가 있다. 中央驅動裝置를 設置하는데에는 거어스 기어裝置보다 6% 정도 비싸지만 링 모우터 보다는 약간 싸다고 말할 수 있다. 그러나 밀 驅動裝置의 3가지 類型을 比較함에 있어서는 效能 및 消耗品 要求量과 같은 要素도 充分히 考慮하지 않으면 않된다.

밀의 容量을 늘릴 때 발생하는 機械的인 問題들은 밀의 尖頭(head)에 주로 기인한다(〈그림-11〉 參照). 즉 部屬品이 커지고 두꺼워지면 질수록 鑄造하기가 어려워 지는데 이것은 주로 밀 尖頭의 圓錐形 접시모양의 部分과 耳軸 사이의 金屬이 두껍게 겹치는데서 發生하는 應力과 鑄造의 材料異質性 때문에 더욱 힘 들다고 볼 수 있다. 결국 應力이 交替되기 때문에 심한 機械的 負荷가 걸리는 것은 바로 이 밀의 尖頭이기 때문이다. 대체로 이 部分은 年間 4~5백만 回數의 負荷交替가 걸린 후에는 龜裂이 발생하기 마련이다.

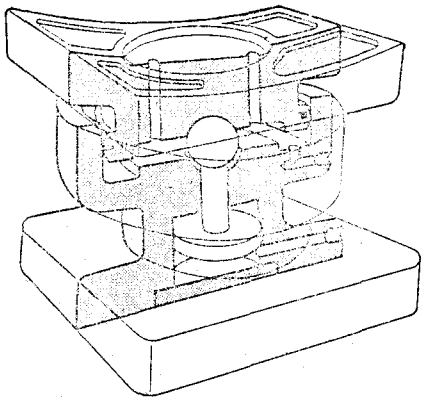
이러한 問題를 극복하기 위해서 밀의 設計專門家들은 應力分析 및 金屬鑄造 技術開發 등의 형식으로 많은 努力을 경주해 왔으며 〈그림-11〉에 보인 바와 같은 設計特性도 修正해 보았다. 즉 〈그림-11〉의 밑 그림은 밀 尖頭의 圓錐形 部分을 안쪽과 바깥쪽으로 分離시켜 본 것이다. 이렇게 하므로서 耳軸으로 향한 임계傳導를 담당한 안쪽부분의 크기를 감소시켜 쉽게 鑄造할 수 있다. 바깥쪽 부분은 안쪽 부분과 볼트로 接하고 동시에 밀쉘(mill shell)에 熔接된다. 만일 가능하다면 尖頭와 耳軸의 내부 圓錐形 부분은 個別로 하여 鑄造하여 〈그림-11〉의 위 부분과 같이 熔接으로 연결시킬 수도 있다.

經驗에 의할것 같으면 과중하게 負荷가 걸리는 밀 尖頭에는 그 表面에 조그마한 상처가 생겨도 즉시 龜裂이 생긴다고 한다. 따라서 오늘날 熔接用 토오치와 같은 부적당한 用具로 밀 尖頭를 수리한다거나 정비하는 것은 엄금하도록 되어 있다.

오늘날에 와서는 大型 밀의 尖頭가 베어링反應을 모면할 수 있도록 하기 위해서 밀쉘을 미끄러운 베어링臺에 올려 놓는 대신 옛날과 같이 타이어를 다시 사용하자는 主張도 대두하고 있다. F.L. Smidth社는 1920年代 後半期 부터 이러한 베어링을 送風式 밀의 原料投入 끝 部分에 使用함으로써 耳軸베어링 問題를 해결하였다. 이러한 베어링은 여러가지 形態로 만들어 지는데 〈그림-12〉에는 실제로 밀쉘의 연장이며 내부



〈그림-12〉 **末端排出裝置를 가진 튜브밀의 슬라이딩 베어링-링**(Fives-cail-Babcock)



〈그림-13〉 水壓式 注油裝置(SKF)를 가진 슬라이딩 베어링 裝置

링에 의하여 덧대어져 있는 熔接型 링을 圖示해 놓았다. 밀의 尖頭 그 自體는 넓적한 디스크 모양을 하고 있다. 그리고 새로 開發한 슬라이딩 패드(sliding pad)는 〈그림-13〉에 圖示하여 놓았다. 실제로 슬라이딩 하는 윗 부분은 보울 위에 마운트 되어 있으며 패드와 보울은 壓力을 받고 있는 油類에 의해 눌려서 固定되어 있다.

이제는 粉碎媒體 및 라이닝에 쓰이는 高 크로뮴合金이 開發되어 이 分野의 技術은 절정에 다다른 것 같이 보인다. 오늘날 가장 보편적인 粒子의 시멘트를 微粉하는데 25~40g/h 정도 磨耗한다고 볼 때 이러한 磨耗部分을 위한 더 이상의 金屬材料 改善을 추구한다는 것은 非經濟的이 될 수도 있다. 12%의 크로뮴으로 만들어진 金屬라이닝으로는 粗粉體를 粉碎하는데 30,000~40,000時間의 機械壽命을 기대할 수 있으며 微粉體의 경우에는 100,000時間의 壽命을 기대할 수 있다. 튜우브 밀의 磨耗에 관한 상세한 資料는 B. Kos 및 G. Mayerbock의 報告書를 보면 參考가 될 것이다.

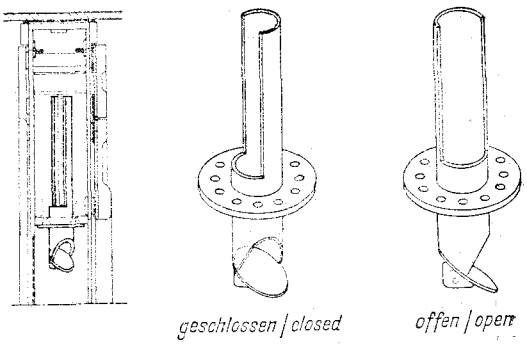
또한 밀의 라이닝을 볼트를 利用하지 않고 固定시키는 方法이나 다만 몇개의 볼트만을 가지고 固定시키는 方法도 大型 밀에 많이 使用되고 있다. 直徑이 4m 以上 되는 밀에 있어서는 4個의 從斷 라이너板을 볼트로 접속시켜 安全을 도모하고 있다. 이러한 것은 6m의 直徑을 가진 1次粉碎밀의 라이닝으로 Magotteaux에 의해 採用되고 있다.

4.2 工程技術의 發達

G. Sudoh, M. Tanaka, M. Sawada 등의 報告書를 보면 크링카의 微粉度와 그 特性의 函數로 가장 적합한 粉碎媒體의 크기가 어떤 것인가를 알 수 있다. 이들은 實驗室에서 최적의 보울直徑은 粒子크기의 제곱根과 比例한다는 것을 알아냈다. 그런데 이러한 關係式은 여러치수의 原料混合物에서 가장 큰 보울을 이용하여 이미 Bond에 의해 적용된 바가 있다. 또한 이러한 關係式은 分級라이닝이 附着된 밀이 정상적으로 作動하는 微粉機의 경우 原料의 平均粒子의 치수가 줄어들면 보울의 크기도 감소된다는 것을 살펴 봐도 쉽게 알 수 있다.

粉碎作用은 밀 內에서 粉碎되고 있는 原料의 投入量 또는 遲延時間에 의해서도 대충은 測定할 수가 있다. 그래서 Slegten會社는 리프터 스쿠우프(lifter scoop)에 맞는 中間 振動板을 開發하였다(〈그림-14〉 參照). 여기에서 半圓筒形 스쿠우프는 振動板 바닥에서 開口部分이 닿는 상태에 따라서 많이 퍼 내기도 하고 적게 퍼 올리기도 한다.

오늘날 밀의 규모가 커짐에 따라 粉碎物의 冷却問題가 대두되고 있는 실정이다. 보통 粒子의 시멘트 1kg 粉碎하는데 약 25kcal의 熱量이 發生한다. 만일 이 熱을 除去하지 않으면 밀 內의 原料溫度가 140°C까지 上昇하게 된다. 만일 밀의 排出口에 있는 시멘트가 밀 內로 投入되는 크링카보다 높은 곳에 있으면 除去해야 할 熱量은 적어지지만 그 반대인 경우에는 더 많아진다.



〈그림-14〉 中間振動板(slegten)用 리프터 스쿠우프

原料를 冷却시키는 가장 간단한 方法은 밀의 原料 移送을 送風式으로 하는 것이 가장 좋다. 복사열이나 대류를 무시할 때, 크링카 1kg當 약 0.9m³의 空氣量이 粉碎作業으로 인해 발생한 熱을 除去할 수 있다. 그러나 밀의 規模가 커질 수록 밀에서 排出되는 排出量은 밀의 自由斷面에서 끌어낼 수 있는 空氣量 보다 더 빨리 늘어난다. 이러한 경우에는 다른 冷却方法을 강구해야 하는데 가장 效果的이며 廉價인 方法은 밀內에 물을 注入하는 것이다. 水分蒸發만으로 粉碎熱을 除去하려면 普通粒子의 시멘트粉碎인 경우 약 4%의 水分이 필요하다. 이러한 冷却法을 적용함에 있어 가장 중요한 조건은 밀 運營指針에 따라야 한다는 것이다. 冷却水 注入工法에 관한 시멘트化學問題는 F.W. Locher가 發表한 "Inflnence of process technology on cement properties"라고 하는 報告書에서 다루고 있다.

閉回路 粉碎시스팀에 있어서는 冷却水熱交換機를 使用하면 原料의 溫度를 낮출 수 있다. Claudius Peters와 Fuller는 流體 밀 床冷却機를 사용하고 F.L. Smidth와 Bühler-Miag는 나사型 또는 웜(worm)型 冷却機를 사용한다.

〈그림-15〉에는 大型 시멘트 밀에 使用하는 流體 밀 床冷却機의 使用法을 圖解하여 놓았는데 밀에서 부터 발생하는 原料의 總流出物은 이 冷却機를 통과하도록 되어 있다. 圖表에 表示된 溫度는 冷却效果를 나타낸다. ( )속의 數値는 이 시스팀이 冷却裝置를 使用하지 않았을 때에 測定한 溫度를 뜻한다. 이 圖表에서 보면 밀에서 排出된 原料의 溫度는 약 40°C 가량 低下되었고 粉碎시스팀에서 나온 完製品은 밀에서 排出된 原料가 9t/hour로 그 量이 증가하는 反面에 50°C 가량 冷却됨을 알 수 있다. 이 경우 물 消費量은 生產되는 시멘트量의 1kg當 再冷却水가 2kg 필요하다. 오늘날 冷却은 原料의 찌꺼기(즉 再次 粉碎되기 위해서 分離器로 부터 밀로 되돌아 가는 過大粒子)에만 局限되어 있기 때문에 시멘트完製品의 溫度는 더 높아 지지만 적은 규모의 冷却器로도 동일한 冷却效果를 걷을 수가 있다.

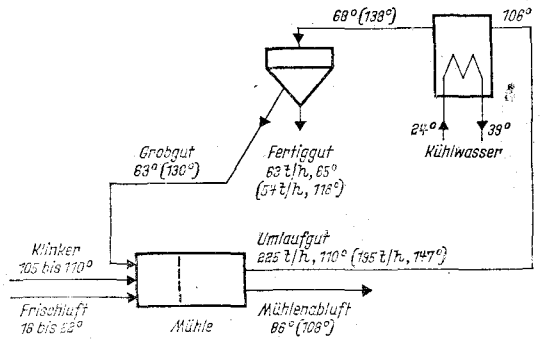


그림-15〉 冷却水 流體床 熱交換機 內의 回轉原料 冷却回路

效果的인 冷却은 空氣分離器 自體에서도 행할 수 있다. 그러나 이 경우에는 다만 完製品인 시멘트의 溫度만을 약간 低下시킬 뿐 밀의 溫度는 아무 영향을 주지 못한다. 그 理由는 찌꺼기는 별로 冷却되지 않기 때문이다. 결국 分離器에서 冷却시킬 수 있는 길은 두 가지가 있는데 그 하나는 分離室을 통과하는 신선한 空氣와 다른 하나는 分離器 케이스에 있는 자켓트를 通過하는 冷却水를 이용하는 것이다. 이러한 空氣로는 水離器에서 排出되는 微粉體는 약 25°C 가량 冷却되고 冷却水로는 약 35°~40°C 가량 冷却效果를 얻을 수 있다.

포틀랜드 熔鑛爐시멘트工場을 위한 粉碎工場에서는 粉碎로 인해 發生하는 熱을 밀에 投入되는 濕氣로 덩어리진 슬래그를 乾燥시키는데 활용한다. 이러한 시멘트工場에서는 별도로 슬래그 乾燥器를 사용하지 않고 밀內에서 粉碎하는 도중에 乾燥시킨다. 이러한 乾燥法은 補助加熱시스팀에서 생기는 뜨거운 空氣로 열을 더 올릴 수 있다.

포틀랜드 熔鑛爐시멘트를 위한 現代式 粉碎機에 관한 文獻은 D. Wiegemann과 H.G. Ellerbrock의 報告書를 參照하면 좋을 것이다.

4.3 空氣式 分離機(分級機)

시멘트의 粒子를 균등하게 분포시키면 보다 높은 콘크리트의 强度를 올릴 수 있다고 하는데 그렇다면 이러한 균등한 粒子分布를 일반 시멘트工場에서 어떻게 달성하느냐가 問題로 등장한다. 原則的으로는 가급적 대단히 微細한 粒子의 比率을 적게 하기 위해서는 粉碎工程에서 原料의 지체시간을 짧게 하여야 한다.

특수 均等粒子의 시멘트를 製造하는 方法가운데 로울러 밀에서의 시멘트 粉碎에 관해서는 S.Schauer의 報告書를 參照하고 젯트 밀을 이용하는 경우에 관해서는 J.E. Deschko의 報告書를 보면 상세히 취급하고 있다.

대단히 正確한 分離壓力과 신속한 再循環能力을 갖고 있는 閉回路 粉碎시스팀을 갖고 있으면 均等粉末度와 보다 높은 强度를 얻을 수 있다는 것을 처음으로 實驗을 통해 확인한 硏究者는 J. Cleemann과 C. Modeweg-Hansen이었는데 그들은 또한 開回路 粉碎시스팀에서도 이와 같은 效果를 얻을 수 있다고 말하고 있다. 또한 H. Rock은 그의 報告書에서 시멘트의 强度開發과 電力消耗의 감소를 보다精密한 시멘트 粒子分布로 달성할 수 있다고 主張하고 있다.

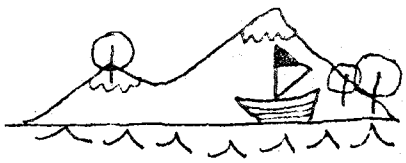
이미 設置되어 있는 分離機를 가지고 시멘트 粒子分布를 균등하게 하려면 팬(fan)의 回轉速度를 높혀서 分離室內의 空氣速度를 증가시켜 준다던지, 아니면 補助팬의 回轉速度를 높혀 주면 쉽게 達成할 수 있다. 비록 이것은 電氣消耗가 많이 되지만 플랜트 전체로 보아서는 消耗量이 줄어 든다고 볼 수 있다. 空氣移動의 高速으로 인한 심한 機械의 磨耗는 耐磨耗性 保護라이닝을 磨耗되는 부문에 대어주면 방지할 수 있다. 空氣式 分離機의 팬에 주로 적용하는 回轉速度는 보통 35~37m/sec이고 최근의 보다 현대적인 分離機에 있어서는 취급하는 原料의 性質에 따라 45m/sec까지 적용할 수 있다.

分離機의 크기 및 容量設計는 보통 소위 分離負荷에 基準을 두고 행해 지는데 이 負荷는 分離機筒의 共稱斷面積當 시멘트 完製品의 生產量으로 規定한다. 空氣式 分離機의 製造業者들의 經驗에 의하면 2,800cm²/g의 粉末度를 갖는 시멘트를 生產하는데 요하는 負荷는 2.4~3.2t/m² 정도라고 한다. 밀의 驅動모우터의 設備容量에 대한 分離機 케이스斷面積比를 가지면 空氣分離機의 치수設備의 特性을 알 수 있다. 그 理由는 이 比를 형성하는 量이 어떤 일정한 微粉度의 完製品 生產量과 比例하기 때문이다.

〔參 考 文 獻〕

1) Cement Association of Japan: Review of the 27th General Meeting. Tokyo 1973.
2) Erni, H.: Rohmaterialaufbereitung und Homogenisierung. ZKG 25 (1972), 1—9 sowie Verfahrenstechnik der Herstellung von Zement, VDZ-Kongreß '71, hrsgg. v. Verein Deutscher Zementwerke e.V., Düsseldorf. Wiesbaden: Bauverlag 1972
3) Dosihn, U.: Das neue Klinkerwerk im Werk Amöneburg. ZKG 23 (1970), 449—461
4) Parisis, J.: Die neue Produktionslinie nach dem Trockenverfahren des Zementwerks C.B.R. in Lixhe-Belgien. ZKG 30 (1977), 351—356
5) Nahrmann, N. und Biernat, D.: Kalkstein-Aufbereitungsanlage zur Qualitätsverbesserung von Zementrohmehl mit Hochleistungs-Schwingsieben. Aufbereitungs-Technik 17 (1976), 75—77
6) Altmann, H.F., und Liebmann, R.: Wanderfeldmotor als Antrieb eines Schreitbrechers. ZKG 28 (1975), 53—56
7) Heinrici, K.: Möglichkeiten der trockenen Zementroh-materialvermahlung. Polysius teilt mit (1969), H. 11
8) Hoppen, H.: Choice and application of new grinding plants. Proceedings Eleventh International Cement Seminar, S. 104 bis 111. Hrsgg. v. Rock Products, Chicago 1976
9) Tiggesbäumker, P. und Williams, J.: Large mills for dry raw material and clinker girnding. Vortäge zur 17th IEEE Cement Industry Technical Conference, Montreal. Mai 1975
10) Stiles, L. und Krekel, R.J.: Update on roller mills 1977. Vorträge zur 19th IEEE Cement Industry Technical Conference, Omaha, Mai 1977
11) Brundiek, H. und Beckmann, R.: Getriebe für Walzenmühlen in Zementwerken. ZKG 30 (1977) 170—180
12) Ziegler, E.: Erweiterung des Zementwerkes Burglengenfeld. ZKG 29 (1976), 479—484
13) Hochdahl, O.: Erste Betriebsergebnisse einer 3300-t/d-Produktionslinie mit Lepolofen im Werk Lägerdorf. ZKG 28 (1975), 18—28
14) Christensen, B.: Die Zementfabrik Rørdal

bei Aalborg, Dänemark. ZKG 24 (1971), 407—412
15) Energy conservation potential in the cement industry. Conservation paper no. 26, hrsgg. von der Federal Energy Administration, Washington D.C., 1975
16) Sillem, H.: Mahlen und Lagern von Klinker und Zement, ZKG 25 (1972), 53—62.
sowie Verfahrenstechnik der Herstellung von Zement, VDZ-Kongreß '71, hrsgg. v. Verein Deutscher Zementwerke e. V., Düsseldorf. Wiesbaden: Bauverlag 1972
17) Tiggesbäumker, P.: Große Rohrmühlen mit getriebelosem Antrieb. Polysius teilt Nr. 27, Juli 1974. Kurzfassung: ZKG 27 (1974), 396
18) Ackle, W.: Wirtschaftlicher Antrieb von großen Rohrmühlen durch Planetengetriebe. ZKG 28 (1975), 43—50
19) Nørholm, A.: Kühlung durch Eindüsen von Wasser in Zementmühlen. ZKG 26 (1973), 316—319
20) Tiggesbäumker, P. und Eickholt, H.: Kühlung von Zement im Sichter—Betriebsergebnisse. ZKG 30 (1977), 310—313
21) Hilgard, G.: Das neue Hochofenzement-Mahlwerk Duisburg-Schwelgern. ZKG 29 (1976), 499—505
22) Locher, F.W., Sprung, S. und Korf, P.: Der Einfluß der Korngrößenverteilung auf die Festigkeit von Portlandzement. ZKG 26 (1973), 349—355
23) Sillem, H.: Einfluß des Mahlverfahrens auf den Kornaufbau des Zements. Vortragsreferat in ZKG 25 (1972), 563
24) Cleemann, J. und Modeweg-Hansen, C.: Der Einfluß des Sichters auf den Arbeitsbedarf und die Kornverteilung bei der Kreislaufmahlung. ZKG 27 (1974), 337—343



서 정 쇄 신 앞 장 서 서

민 족 중 흥 이 룩 하 자