

포트랜드 시멘트의 製造

2. 原料의 準備

金 炳 沂 번역

<雙龍企劃部生産管理課>

K. C. Barrell

- ……………本文은 K.C. Barrell (M.A. <Cantab>, C. Eng., F.I.……………○
- ……………Mech. E.)씨가 發表한 「The manufacture of portland……………○
- ……………cement」 중 제 2 장의 「Raw material preparation」을……………○
- ……………번역한 것으로서 그 內容은 주로 시멘트製造에 必要……………○
- ……………한 原料의 調達·저장·粉碎 및 配合 등 일련의 原料……………○
- ……………處理過程을 광범위하게 다루고 있으며, 부분적으로는……………○
- ……………原料粉碎를 위한 여러 형태의 유용한 Mill 에 관한 자……………○
- ……………세한 설명을 하고 있는 것이 특징이다.……………○

1. 原料의 組成

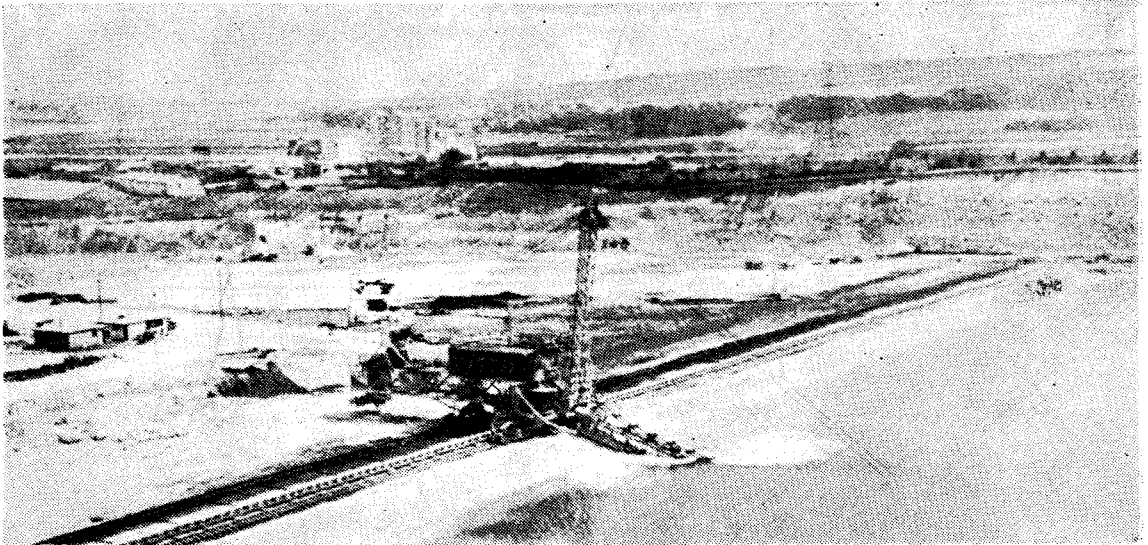
어떤 原料產地에서는 시멘트製造에 적합한 白粘土質 原料가 특별히 모래나 산화철이 포함되어 있을수 있지만 일반적으로 silica, alumina, iron oxide 가 알맞은 비율로 구성되어 있는 수가 있다. 또 어떤 지역에서는 부분적으로 少量의 高 CaCO₃ 含有原料만으로 구성된 混合物鑛床이 있다.

標準規格에 따르면 소성되는 원료는 CaCO₃ 76% + 他成分 24%로 조성되어 있는 것이 일반적이다. 이러한 비율은 지역별로 발견되는 鑛床의 成因에 따라서 달라진다. 그러나 silica ratio 와 lime saturation factor 는 일정한 限界內에 유지되어야만 하는 요구가 있다. silica ratio 는 alumina + lime oxide 에 대한 silica 의 비율이며 lime saturation factor 는 他成分과의 결합에 필요한 이론적인 양을 표시하며 CaO 와의 관련성을 표시하고 있다.

아주 최근까지는 他成分에 대한 결과는 數日間

의 完全分析을 요하므로 거의 즉각적인 CaO 의 결정에 관한 결과를 주는 化學分析에 의한 관리를 해왔던 것이다. 그래서 실제로는 粉碎工程에 들어가는 組合原料의 CaO 成分(정확히 표현하면 CaCO₃)으로서 조정하며 자주 完全分析의 결과에 따라 확인을 해왔다. 특정한 원료로부터 良質의 시멘트를 생산하기 위해서는 既要求되고 있는 CaCO₃ 成分의 ±5%의 오차로 유지시켜야 한다. 만일 原石供給에 있어 실질적인 큰 변화가 있어서 原料調整 및 혼합에 큰 어려움이 야기된다는 것은 바로 上記한 조건때문이다. 새로이 개발된 X-ray 기술은 신속한 完全分析을 可能케하며, 原料調整을 단순화시키고 있지만 아직도 대부분의 시멘트공업에서는 化學分析方法을 사용하고 있다. mill product 는 가끔 관리한계선 밖으로 벗어나는 수가 있으므로 kiln 에 투입되기 전에 저장·混合·均質化過程을 거쳐야한다.

이러한 원료의 組成뿐만 아니라 燒成工程時의 完全反應을 기하기 위해서는 충분한 微粉碎가 되어야 한다. 요구되는 粉末度는 170 sieve (4,900



〈그림-1〉 Buckau-Wolf bucket-chain excavator digging chalk under water

meshes/cm²)에 10%이하의 residue, 그리고 52 sieve (400 meshes/cm²)에 대한 trace이다.

2. 原料의 획득

원료는 전통적인 방법에 의하여 採石된다. 白堊質엔 face shovel, 粘土에는 dragline 이나 grab, 조건이 좋은 곳에서는 bucket-chain excavator 등이 사용된다. 작업의 규모가 그것을 정당화하고 chalk가 軟한 곳에는 bucket-wheel excavator를 가지고 계속적인 採掘作業을 하며, 地下水 下部 採掘時는 clay에서 사용되는 것과 유사한 bucket chain excavator를 쓴다²⁾. 그림 1은 buckau-Wolf bucket chain excavator이다. 이와같은 연속작업에서는 採掘場이 기계가 이동할 수 있는 적당한 水準의 평탄한 지대를 가진 幕場을 만들 수 있어야만 한다. 硬質原料에서는 發破가 필요하며 運鑛作業은 shovel이나 loader에 의한다.

3. 저장 및 배합

原石鑛山, 粘土供給地 및 工場의 상대적 위치는 공장까지의 원료의 운반방법 및 분쇄공정의 위치에 영향을 미친다.

1) 軟質原料

軟質原料는 보통 洗鑛粉碎機(wash mill)로 粉碎될 수 있고 原料置場은 slurry가 형성되어 운

할될 때까지는 필요치 않다. chalk와 clay는 철도·도로·벨트 콘베이어에 의하여 공장으로 운반되어 공장 wash mill로 투입되거나 그렇지 않으면 chalk quarry의 wash mill로 clay가 운반되어 產出되는 slurry를 공장으로 보내는 경우가 있다. clay quarry에 wash mill을 설치하는 경우도 마찬가지다.

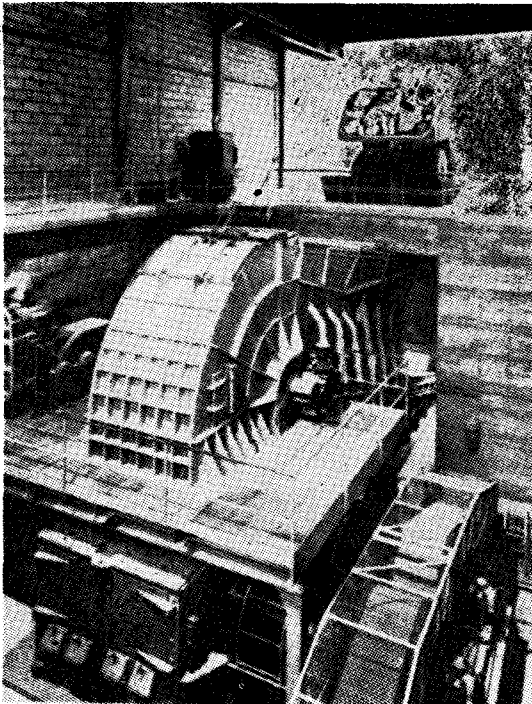
clay slip과 slurry는 level差에 의한 重力에 의하여 launder(세척장)로 對替된다. 그렇지 않으면 약 50 lb/in²까지의 head(水頭)에 대해서는 centrifugal pump를 사용하고 reciprocating pump(oilwell sludge에 사용되는 형태)는 더 高壓에 사용된다. slip과 slurry는 최근 장거리일 경우에도 pumping되고 있다. 一例로서 The Associated Portland Cement Manufacturers Ltd.의 Northfleet 공장에서는 clay slip이 Essex의 pit로부터 Kent의 chalk quarry의 washing plant까지 11km의 장거리를 pumping方法으로 운반되고 있으며 slurry는 공장까지 5km나 운반되고 있다. chalk slurry는 Dunstable 근처에서부터 90 km나 떨어진 Rugby 근처의 The Rugby Portland Cement Co. Ltd.의 공장까지를 pumping하고 있는데 이 거리는 세계에서 가장 긴 것으로 유명하다.

長벨트콘베이어는 최근 數 km의 장거리까지 clay와 chalk를 운반하는데 사용되며 또한 연속

채굴작업을 위해서는 꼭 필요한 것이 되었다.

mill에 投入되는 chalk와 clay의 量을 調整하는 方法은 이미 위에서 언급한 바와 같이 諸 工程의 위치여하에 따라 크게 영향을 받는다. 사용될 물의 量은 fluid slurry를 만들만큼의 꼭 필요한 最少限 量으로 조절되어야만 한다. 또한 일정한 수준으로 그 비율이 조정되어져 있다. 이 조정수준범위는 어떠한 석회석의 경우에는 32%, chalk와 clay의 경우에는 42%까지 그 범위를 정하고 있다. 특별히 예외의 경우에는 50%를 초과하는 것도 許容될 때가 있다.

과거의 일반적인 통례로는 원료가 dump load의 數에 의한 비율로서 직접 wash mill에 투입되었다. 그러나 현재는 더 이상 上記와 같은 역지 방법을 쓰지않고 weigher 장치가 된 belt conveyor에 의해 投入되는 solid state(고체 덩어리상태)나, 그렇지 않으면 chalk, clay, water의 일정비율을 유지키 위한 調整計의 flowmeter에 의한 fluid state로서 사용되어지고 있다. 만일 chalk가 硬質이거나 excavator bucket의 크기가 커짐에 따라서 원료의 採掘이 大型化하는 경향이 있으면 rollcrusher가 사용되어서 그 크



<그림-2> MIAG Titan hammer-crusher installation

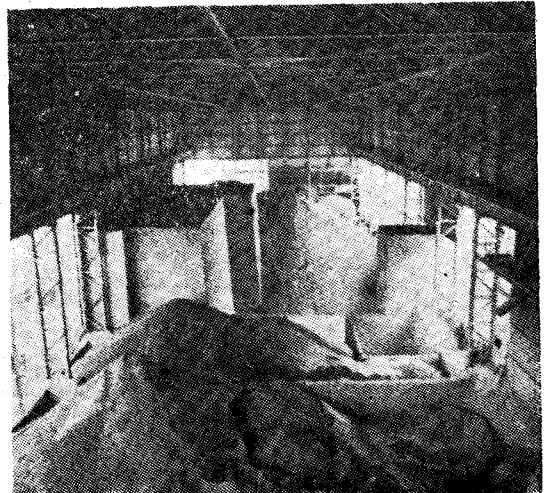
기를 150mm undersize로 粗碎하게 되는 수도 있다. crusher는 引受 hopper를 겸비하고 있어서 quarry의 운반차량에 의한 excavator 배출량과 conveyor system으로의 投入量을 均等히 調節하고 있다.

2) 硬質原料

발파 및 기계적 積載作業에 의하여 광산에서 생산되는 원료의 크기는 최종요구 粉末度로 粉碎可能케하는 mill 投入을 위해서는 너무 크기 때문에 粉碎에 앞서 粗碎過程이 있게된다. 경험적으로 볼때 feeding size가 250mm까지도 허용하는 특수 자동 mill을 제외하고는 25mm under size라야만 최적 조건이 된다. 원료라는(raw material) 것은 조쇄후 분쇄전에 있는 원료물질을 말하며, 組合物(raw-meal)이라는 것은 혼합이후 생산된 product를 말한다.

석회석과 shale은 동일 quarry 장소에서 생산되기도 하고 분리된 여러 quarry에서 생산되기도 한다. 일반적인 조쇄방법은 단일공정 조작으로만 mill 투입 크기까지 조쇄하는 hammer crusher이다. 粘着性물질을 조쇄할때는 traveling backplate가 있는 조쇄기가 필요하다. <그림-2>는 MIAG Titanhammer crusher와 apron feeder 장치를 보여주고 있다. 1, 2 차의 多段階조쇄 공정이 또한 사용되기도 한다.

軟質原料일 경우에는 여러개의 交換配列이 있다. 조쇄설비는 공장에 설치되어 있고, 석회석과 shale은 철도나 도로에 의하여 quarry로부터

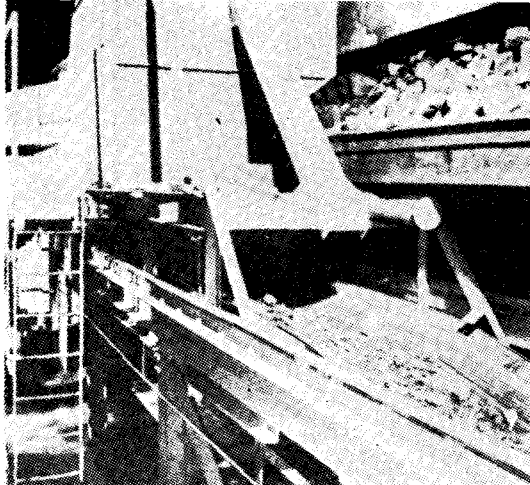


<그림-3> store with overhead crane

터 공장으로 dug 형태로 수송된다. 그리고 조쇄 설비는 conveyor 나 ropeway 등과 같은 것에 의하여 공장으로 쉽게 운반되어지도록 원료 크기를 작게하기 위해 quarry 에 설치되기도 한다. 만일 shale 이 분리된 他鑛山에서 생산된다면 공장에 2 차조쇄기가 필요해질 것이다.

조쇄된 원료의 치장은 대부분 기후의 변화가 있는 경우를 제외하고는 공장에 위치하고 있다. 오늘날 일반적으로 적용되고 있는 치장형태는 생산된 원료의 성분에 따라서 stockpile 을 區別 置場함으로써 mill 投入成分을 조정한다. 널리 사용되는 치장배열은 dutch barn 과 유사한 구축물이다. 즉 저장원료 더미를 보호유지하는 양쪽 벽과 한개 이상의 overhead travelling grab 로 구성되어 있다. 한 개의 큰 치장에 크링카, 석고 및 석탄뿐만 아니라 원료까지도 한개의 동일 지붕아래 저장하는 수가 가끔 있다 <그림-3참조>.

여기에 들어온 물질은 throw-off gear 나 shuttle 을 가진 conveyor 에 의하여 grab 에 의한 일정한 入庫點으로부터 적당한 위치에 분배될 수 있다. 원료 mill 과 시멘트 mill 은 이러한 형태의 치장내부에 투입 hopper 를 가진 치장근처에 위치해서 crane 에 의하여 원료 mill 에는 석회석과 shale 을 공급하고, 시멘트 mill 에는 크링카와 석고를 공급하도록 되어 있다. <그림-14>는 이러한 배열이 나타나 있다. 각 hopper 마다 mill 투입원료를 적정비율로引出하기 위한 feeder 가



<그림-4> tunnel beneath a stockpile with slot extraction and Buckau-Wolf rotary scraper

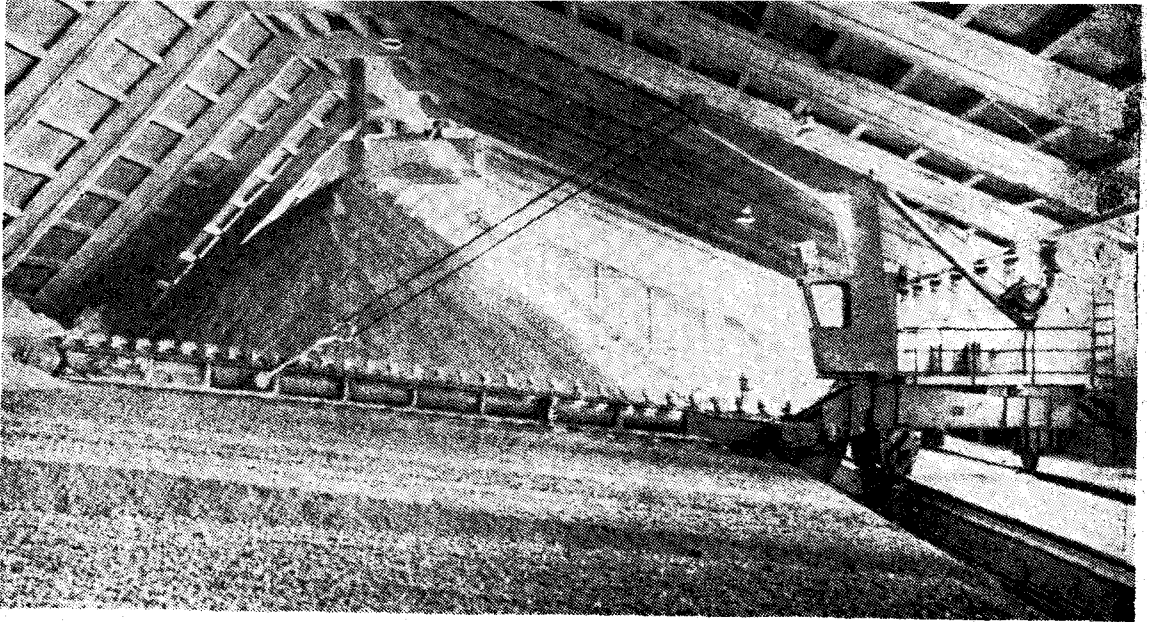
그 基底에 있다.

만일 원료가 粘着性이거나 덩어리라면 hopper 밑바닥에 위치한 제한된 出口를 통해서 자유롭게 흘러나가지 않을 가능성이 있으므로 투입원료 비율의 조정 및 배합의 곤란성을 야기시키게 된다. 맨처음에는 경험적으로 만들어진 rotary feeder table 을 사용했으나 이는 불규칙하다는 것이 判明되었다. 그래서 이것은 주로 weigher 와 결합된 vibratory extractor 혹은 belt 의 여러 형태에 의하여 對替되었다. 이 방법을 이용한 치장은 먼지가 대단히 많이 난다는 短點이 있다.

grab 에 의한 모든 원료물질의 共通引出방법은 거의 계속적인 grab 조작이 되어야 하므로 또 다 々 방법이 적용되고 있다. 즉 원료의 저장을 다른 원료의 저장과 구별하는 것이다. 이러한 형태로는 下部出口를 가진 stockpile 法이 있다. 이는 각 원료물질이 pile 로부터 적정배합비율로引出되어 hopper 나 feeder 를 거치지 않고 곧바로 mill 로 投入되는 것이다. 각원료의 더미는 별다른 보호 유지벽이 없이 기초 콘크리트 위에 평평하게 쌓여있다. 각 pile 의 흠으러짐을 막는 별다른 方法은 사용치 않으나 단지 주위를 정리하는 tent 모양의 지붕만 준비되어 있다.

그래서 각원료가 stockpile 에 운반되어오면 지붕위 頂點에 있는 conveyor 에 의해서 흘러지게 된다. 콘크리트 바닥 밑에는 tunnel 이 마련되어 있어서 콘크리트 바닥에 있는 數個의 出口로부터 tunnel 의 belt 위로 원료를 뽑아 내고 있다. 이때 出口의 extractor 에는 weigher 가 있어서 비율조정계에 의해 자동적으로引出량이 조정되게 되어있다. 각 extractor 의 weigher 는 한 종류만 원료를 조정하는데 이러한 weigher 의 交代配列이 되어 있어서 belt 위의 총량을 計量할 수 있게되며 또한 원료 비율차이도 조정가능하게 된다. extractor, weigher, conveyor 등 일련의 장치는 각각의 mill 마다 독립된 계열로 되어 있다.

자동 mill 에 투입되는 굉장히 큰 원료나 혹은 粘着性原料를 처리할 때는 이러한 出口 대신에 slot 가 되어 있어서 이를 통해서 ledge 로 원료가 떨어지게 되어 있다. slot 는 위에 있고 ledge



<그림-5> MIAG traversing scraper working on a covered stockpile

는 아래에 있어서 ledge 위에 원료가 짝 차게 되면 slot에서 원료가 내려오는 것을 막게 된다. slot 길이로 횡단하는 rotary scraper에 의해서 ledge 위의 원료가 conveyor로 빠져나가게 된다. 원료의 비율조정을 가능케하는 weigher가 달린 scraper는 원료 각요소들마다 있게된다(그림-4 참조)³⁾.

stockpile에서의 原料引出方法에는 또다른 하나의 方法이 있는데 이 方法은 횡단 scraper나 bucket-wheel reclaimer에 의한 方法이다. 그런데 이 方法의 단점은 원료조정이 mill의 hopper나 weigher만으로는 만족스럽지 않다는 점이다. <그림-5>는 covered pile에서 작업하고 있는 MIAG scraper를 표시하고 있다.

이상의 여러가지 方法中 어느 것을 擇하더라도 mill feed의 組成이 mill 工程 다음의 混合 工程에서 一定規格限界內로 均質化된 product가 되게끔 調整될 수 있다.

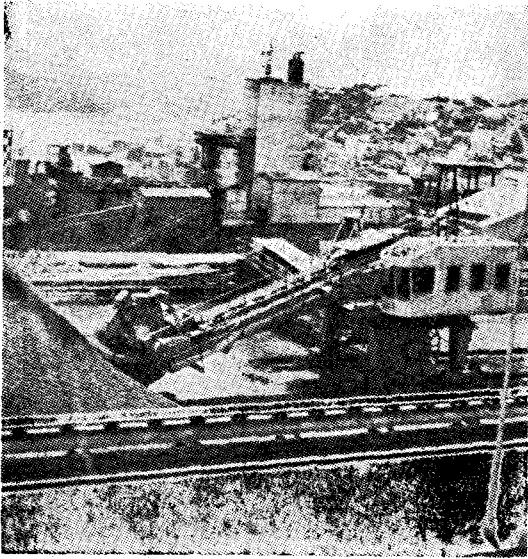
하나의 예로서 鑛山 全域에 걸쳐서 原料中 혼합된 成分組成의 극심한 변화가 있다면 bed-blending이나 prehomogenizing하는 方法이 적용될 수 있다⁴⁾. 또한 성분변화가 심한 양쪽요소에 대한 각각 5日간의 공급량을 유지키 위한 두

개의 stockpile 제도를 채택할 수도 있다. pile 全域에 stacking machine으로 각품질성분요소의 均質分布된 layer層으로 쌓아 놓을 수도 있다. 원료의 크기는 분쇄에 필요한 규격 즉 25mm 이하여야만 한다.

stack pile에 계속 들어오는 粗碎物에 대해서는 연속샘플링작업을 통해서 每時間마다 平均組成을 把握, 記錄하게 된다.

그리고 양쪽요소의 정확한 計量은 하지않고 粗碎機로 들어가는 각 성분요소의 운반비율에 따라서 概略的인 組成把握은 하여야한다. pile의 평균조성은 pile의 量이 늘어감에 따라 자주 계산과악되어야하고 pile 규모의 큰더미는 이러한 조성을 위한 충분한 시간을 마련해 주고있는 것이다.

complete pile로부터의 引出은 layer를 가로질러서 아래로 얇게 원료를 引出하는 reclaimer에 의하는데 이 方法은 완전한 混合을 가능케하며 이 混合物을 bucket wheel로 mill까지 운반하게 되는데 이때 surge-hopper나 single feeder가 필요하게 되며 reclaimer는 hopper에 있는 level에 의하여 조정하게된다. <그림-6>은 Spain에 있는 bed-blending stockpile의 Fives-Lille-



<그림-6> Fives Lille-Cail bucket wheel reclaimer at work

Cail reclaimer 를 보여주고 있다.

이러한 제도에 의한 mill product 는 또 더 이상의 혼합 과정이 필요없이 곧 kiln 에投入될 수 있는 충분한 均質狀態를 보여 주게 된다. 그러므로 만일 混合 silo 가 불필요하게 될수 있다고 생각된다면 grab 설치 및 각 mill 마다의 hopper 나 feeder 설치로도 資本費用이 싸게 먹힐

수 있다⁵⁾.

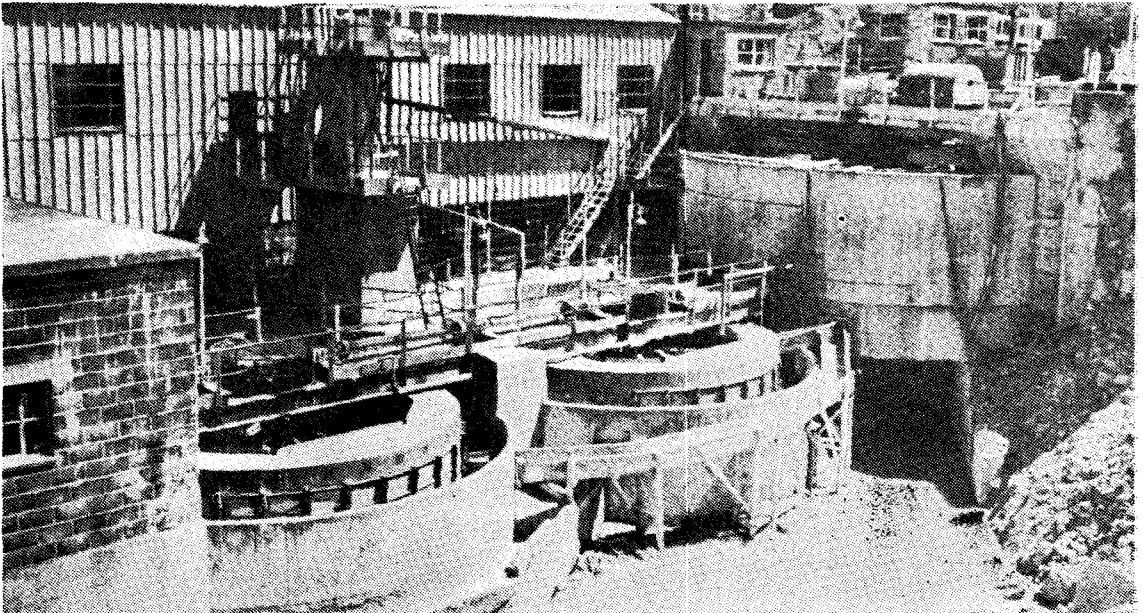
이러한 방법은 成分中の 어느 하나가 粘着性이거나 공정단계별 조작이 어려울 때는 유리할 것이다. 왜냐하면 조쇄기의 원료가 들어가는 입구에 분리된 feeder 를 설치함으로써 이러한 것들을 他原料要素와 함께 사이사이 끼워지게 함으로써 crusher 의 choking 부담을 덜어 주며 hopper 나 weigher, feeder 를 통한 유통이 改善되므로 각각의 원료 component 를 다루기 좋게 될과 동시에 잘 혼합될 수 있기 때문이다.

4. 粉 碎

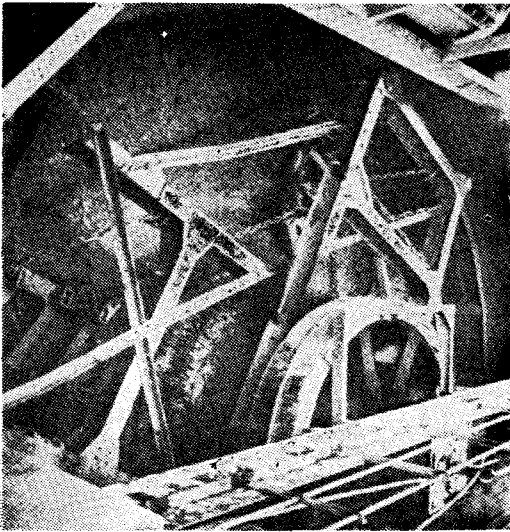
1) 습식공정에서의 軟質原料

wash mill 은 chalk 와 clay 등 연질원료에 사용되는 것으로서 분쇄단계가 roughing mill 과 finishing mill 두단계로 준비되어 있다 (그림 7 참조). roughing mill 은 2m deep 에 10m 직경까지의 원통형 (cylindrical basin)이다. 원주벽의 반은 hard brick 로 lining 이 되어있고 나머지 반은 vertical steel grating 으로 되어 있어서 원료가 粉碎되어 微細한 粒子가 되면 여기를 빠져 나가게 된다. grating 구멍은 원료의 종류에 따라서 20~25mm 로 되어 있다.

원통형의 가운데에는 원통형을 걸치고 있는



<그림-7> Roughing and finishing wash mills



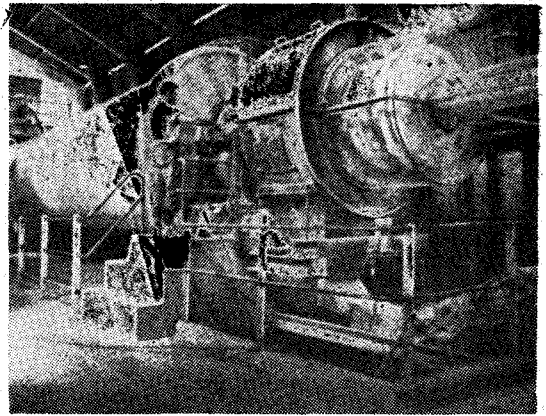
<그림-8> Harrows in a roughing mill

boom의 gear列을 통해서 約 350hp 모타가 회전시키는 vertical shaft를 支持하는 pier가 있다. 이 shaft는 <그림-8>에 나타난 것과 같은 steel-tynes에 붙어있는 썬래(harrows)를 달아매고 있는 framework(뼈대)를 가지고 있다. chalk와 clay는 필요한 량의 물과 함께 계속적으로 mill로 투입되며, rotating harrow가 덩어리를 부수워서 혼합물을 뿔뿔한 액체로 전환, 이는 grating을 통하여 roughing mill에 인접해 있는 finishing mill로 중력에 의하여 흘러가게 되어 있다.

finishing mill은 roughing mill과 비슷하지만 일반적으로 직경이 7m로 보다 작은 것이며 170hp의 모타로써 驅動된다. 이 finishing mill주벽에는 screen이나 sieves가 있어서 product가 washing되며 粉未도가 조정된다.

어떤 hard-chalk는 三段階의 washing이 必要하게 될지 모르며 微粉碎를 위한 tube mill로 통하게된다. <그림-9>는 wash mill과 함께있는 1,200hp vickers-mill을 표시하고 있다.

chalk의 flints는 washing 과정에서 흐터지게되며 mill 바닥에 가라앉게 된다. 그런후 이 flints는 주기적으로 제거된다. 만일 flint 함량이 많으면 rotary drum washer (F.L. Smidth에 의하여 만들어진)를 이용한다. 이것은 rotating horizontal cylindrical shell로 구성되어 있다. 원료와 물이 한쪽 끝에서 투입되어서 다른쪽 끝



<그림-9> Vickers 1,200hp tube mill for finishing

의 screen을 통해서 排出되며, roughing mill에 서와 같은 크기로 분쇄되어 나온다. 그와 동시에 계속적으로 flints(石英質)를 screening하며 깨끗하게 세척하여 운반함으로써 wash mill과 같은 번거러운 작업을 피할수 있게 된다. 여기서 나오는 product는 마지막 粉碎를 대비해서 다음 工程으로 보내진다.

2) 습식과 건식 兩工程에 있어서의 硬度가 높은 原料

여기에는 두개의 기본적인 grinding mill 형태가 있다. 그러한 형태의 하나는 ball, tube, compound mill처럼 落下하는 ball의 중력에 의한 압력으로 粉碎하는 것이고 다른 하나는 roller mill 등과 같이 원심력, spring, hydraulics에 의한 것이 있는데 後者는 습식에서는 사용치 않으나 硬度가 낮은 軟質原料에만 적합한 方法이다.

처음의 重力에 의한 方法을 이용한 mill에서는 ball 충전량은 水平 cylinder volume의 30%까지 charging할 수 있다. cylinder는 mill 양쪽에 trunnion bearing을 휴대하고 있고, ball이 cylinder의 꼭대기까지 올라가서 하부로 되돌아올수있는 충분한 속도로써 회전된다. 원료는 한쪽 trunnion을 통해서 投入되어 다른쪽 trunnion을 통하여 排出된다. mill의 회전속도는 ball이 원심력을 얻게되며 또한 회전하면서 mill shell에 부딪친후 mill 내부에 남아있을 정도까지의 속도를 가져야 한다. 회전 속도는 15~23 rev/min.이다. mill이 크면 클수록 대개 speed는 낮

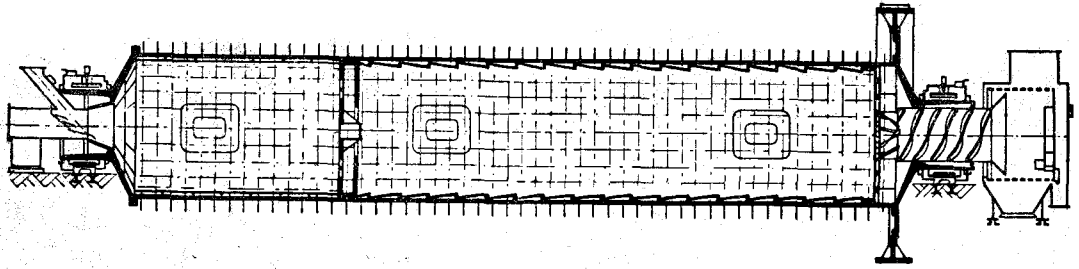


FIG. 10 Section of a compound mill with two chambers and a classifying lining

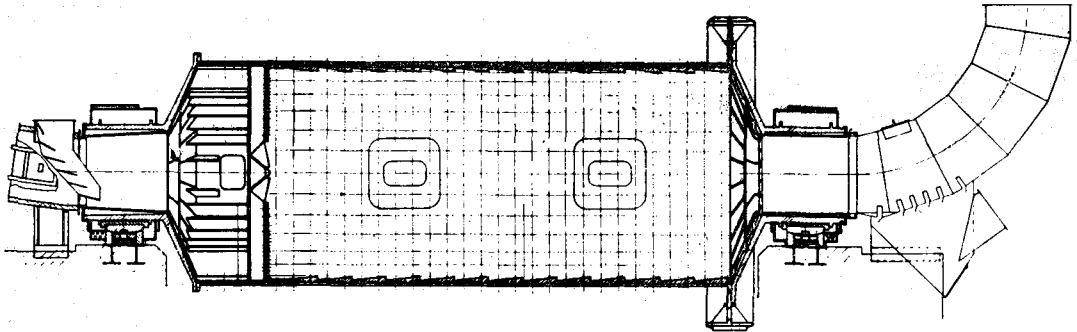


FIG. 11 Section of an air-swept tube mill

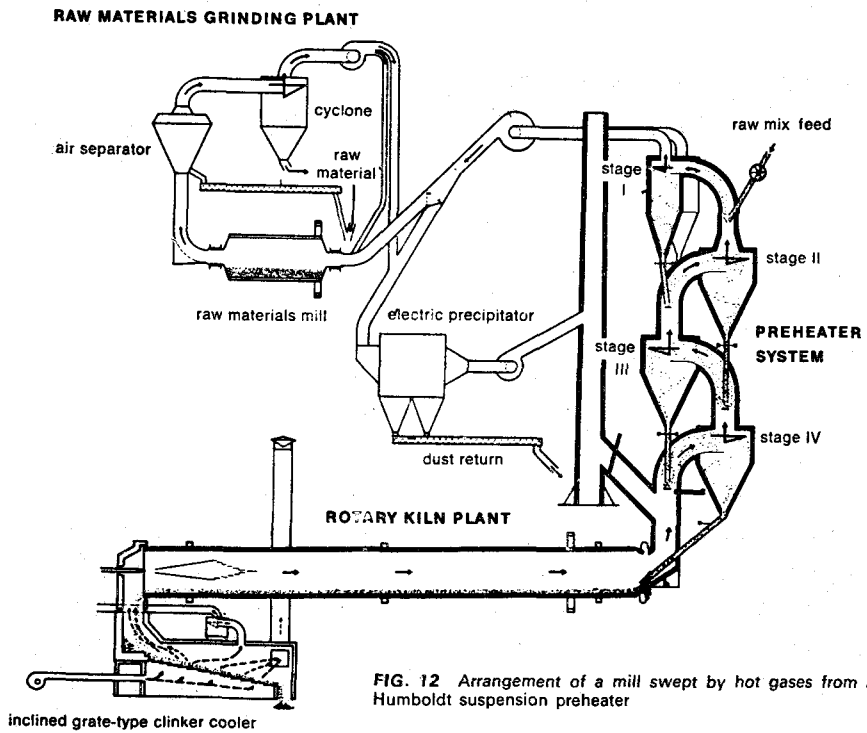


FIG. 12 Arrangement of a mill swept by hot gases from a Humboldt suspension preheater

아지나 이는 약 1,000hp 이상으로서 구동할 때에 문제점을 야기케 된다. 이러한 양상에 대해서는 크링카 분쇄를 다루는 章에서 더 깊이 고려될 것이다.

가) ball & tube mill

초기에는 ball mill과 tube mill이 함께 사용되어 왔다. ball mill은 큰 직경에 짧은 길이 즉 $4ft \times 8ft$ 이며 $3 \sim 5in$ 직경의 ball을 사용하게 된다(조쇄기에서 들어온 원료를 2in. 크기로 粉碎할 수 있는 ball을 사용하게 된다). 本 mill은 거칠게 분쇄된 原料를 tube mill로 통과시키는 peripheral screen으로 장치되어 있다.

tube mill은 작은 직경에 긴 길이로 되어 있다. 즉 $30ft$ by $6ft$ 이며 $\frac{5}{8} \sim 1in$ ball을 사용하며 원료는 더 이상의 screening 과정없이 분쇄 크기가 上限 아래로 분쇄될때까지 오랫동안 남아 있게 된다. 本 mill의 배치는 <그림-10>에 나타난 것과 유사하나, 두개로 나누어지는 횡격막은 없다. 원료투입은 왼쪽의 속이 빈 trunnion을 통해서 들어 온다. 오른쪽 排出口에는 점선으로된 횡격막(slotted diaphragm)이 粉碎매체는 못나가게 하지만 粉碎된 product는 통과하도록 장치되어 있다. diaphragm과 mill end 사이에는 outlet trunnion으로 product를 보내는 radial lifter가 있다.

나) compound mill (複合 mill)

약 50년전에는 약 $1in$ 크기의 mill feed를 생산하는 것이 實用的이어서 큰 ball이 더 이상 필요치 않아서 ball과 tube mill의 기능이 compound mill로 통합되어 있었다. 이 mill은 원료물질의 통과는 허용하지만 ball의 통과는 불허용케한 diaphragm에 의한 2~3개의 室로 갈라져 있었다.

각室은 원료물질의 크기에 적당한 ball로 충전되어 있어서 mill을 통과하는동안 粉碎된다. 예를들면 1室에는 $3\frac{1}{2} \sim 2in$, 2室에는 $2 \sim 1\frac{1}{4}in$, 3室에는 $1 \sim \frac{5}{8}in$ 의 ball을 사용한다.

원료물질이 diaphragm을 통해서 왕각 되돌아 흘러나오는 것을 막기위해서 "lifter diaphragm"이 사용된다. 이것은 中心에 구멍을 가지고 radial lifter arm에 의해 분리된 2개의 plate(즉 upstream slotted & downstream plain으로 구성

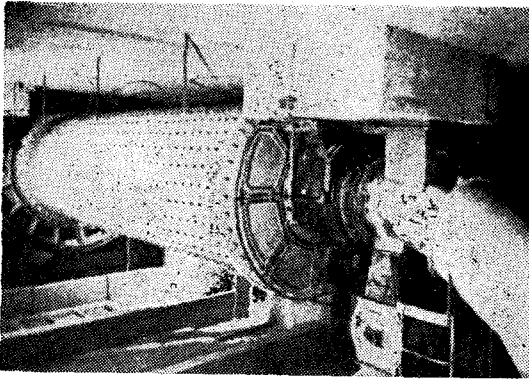
되어 있다. mill이 회전하게 되면 이 lifter diaphragm은 slots를 통해서 흘러온 원료물질을 다음室로의 배출을 위해서 downstream plate의 중심에 있는 구멍으로 들어 올린다.

mill shell은 mill shell에 체결한 liner plate에 의해서 마모되는 것이 방지되어 있다. 제 1室에서는 충전된 ball이 미끄러지는 것을 막기위해 stepped or corrugated lining을 하지만 다른室에는 작은 톱니모양의 평평한 lining으로 충분하다. lining의 형태는 각양각색이다. liner는 shell에 체결된 key bar에 의해 유지되거나, 개별적으로 체결되어지는 rectangular segment인데 cast alloy steel 혹은 hard alloy iron으로 되어 있다. 습식분쇄공정에서는 rubber lining이 요즘 잘 사용되고 있다.

최근에는 mill의 2室과 3室에서도 區別된 lining이 開發되었다. plate는 plate의 各 ring이 배출구쪽으로 향해서 직경이 작아지는 원추형태로 되어 있다. 이것은 작은 ball이 배출구 끝으로 가고, 보다 큰 ball은 원료투입구쪽으로 가서 배열되도록 한다. 이렇게 하여 second diaphragm은 더 이상 필요치 않게되며, 2개의 室이 하나의 室로 통합되어서 특정 동력소모의 감소 및 charging의 단순화 등 장점을 갖게 됐다. <그림-10>은 건식분쇄공정에서 開放회로식으로 가동되도록 준비된 그러한 compound mill의 단면을 나타내고 있으며, product는 mill을 한번 통과함으로써 끝나게 된다. 그것은 크링카 분쇄나 원료의 건식, 습식 분쇄에서나 널리 사용되어 왔다. mill에 관한 세부사항 즉 drives와 lining은 크링카 분쇄공정에서 상세히 論議되겠다.

compound mill을 건식 mill로 사용할때는 첫째로 원료가 분리된 건조공정에서 건조 되어야만 하지만 오늘날에는 수분을 함유하고 있는 원료를 mill 자체內에서 건조할 수 있는 tube mill의 여러 변형체에 의해서 건식공정기능을 대신하고 있다.

습식 mill에서는 일반적으로 사용되어 지는 oversize를 원료투입구로 되돌려 보내기 위해서 hydrocyclones나 sieves를 가진 開放 혹은 閉回路式으로 운전된다. mill은 그 규모가 $2.2m \times$



<그림-13> View of Humboldt air-swept mill

12.2m²(700HP)로부터 2.75m²×13.7m²(1.500HP)까지 있다.

3) 水分含有原料의 粉碎를 위한 Mill

수분을 함유한 원료는 mill 내로 hot gas 를 통과시킴으로써 분쇄 및 취급상 충분한 건조가 되게끔 개발된 mill 이 있다. 즉

① air swept tube mill

② mill 양쪽끝이나 中央부분에서의 배출을 가능케하며, 재순환을 위한 bucket elevator 를 사용한 tube mill

③ autogenous mill

④ roller mill 등이다.

이 mill 들은 폐회로식 운전이다. 이와 같은 폐회로식 운전의 목적은 분쇄작용이 방해되거나 불필요한 微粉碎가 일어나지 않게 하기 위해 필요한 만큼의 粉碎가 되면 즉각 mill 에서 배출되게끔 하기 위한 것이다. 이러한 기능은 mill 로 원료를 신속히 통과시킨후 微細原料는 classifier 를 거쳐서 통과시키고 oversize 는 mill feed 로 되돌아 가게 함으로써 가능해진다. 이러한 폐회로식 운전은 개회로식 운전보다 product 의 粉末度變化가 훨씬 적다. 폐회로식에서는 순환하고 있는 원료량이 mill feed 보다 훨씬 많으며 개회로 복합 mill 에서와 같은 량의 product 를 생산키 위해서는 폐회로식 tube mill 은 순환량에 알맞게끔 직경이 충분히 크고 또한 원료통과시간을 줄이기 위해 길이가 짧아야 한다. 바로 이것은 건조하기에는 적합한 조건이 된다. mill 의 규모에는 2.2m²×6.5m²(700HP)에서부터 3.4m²×11m²(3,000HP)까지 있다.

가) air-swept tube mill

<그림-11>은 air swept mill 의 단면이다. 분쇄 원료에 대해서 mill 내부로 air heater 나 kiln 으로부터의 放出개스(exhaust gas)를 송풍기로 mill 의 왼쪽 trunnion 으로 끌어들이 다른 쪽 끝으로 휩쓸어 나가게 한다. 그림에 나타난 mill 은 mill inlet 끝에 lifter 를 가진 건조부분, 主粉碎室에 제한된 ball charge 및 水分을 함유한 원료에 필요한 장치를 갖추고 있다.

粉碎된 原料는 gas 흐름에 의하여 mill 로부터 static classifier 로 흘러가서 oversize 는 분리되어 다시 mill feed 로 되돌아 간다.

그리고 微細한 粒子들의 흐름은 meal 의 bulk 가 모이는 cyclone separator 를 통과한다. hot stream 이 furnace 에서 발생될때는 개스는 再循環하여 cyclone 다음의 fabric filter 를 통과하여 大氣로 빠져나가는 몫을 대단히 적게하고 이때 微細粒子는 다시 잡혀서 output 에 보태어진다. 이러한 furnace 장치에 따른 동력소모는 다른 형태의 mill 보다 훨씬 높아서 잘 사용되지 않는다.

그래서 주로 kiln 의 廢개스를 사용하게되며 그 온도는 350°C 를 넘지않아서 再循環되지는 않지만 cyclone 을 통과 한후에는 main kiln precipitator 로 배출된다.

Humboldt suspension preheater 를 장치한 도표가 <그림-12>에 나타나 있다. <그림-13>은 Humboldt air-swept mill 이다.

나) tube mills with bucket elevator

이 방법은 분쇄된 meal 을 air stream 으로引出하는 대신에 mill 끝에서 원료전체를 배출하여 elevator 에 의하여 rotary classifier 로 올라가서 oversize 가 분리되어 mill feed 로 되돌아 가는 것이다. 전형적인 장치가 <그림-14>에 나타나 있다. 송풍기에 의하여 mill 로 들어온 hot gas 는 grit 와 微細粒子가 포함되어 있기 마련이다. grit 는 static classifier 에서 抽出되어 elevator boot 로 되돌아가며 微細粒子는 filter 나 precipitator 에 모이고 개스는 大氣로 放出된다.

mill 은 投入原料의 特性和 水分含有量에 따라서 건조실을 가질것이나의 如否 및 一段이나 多段階室이냐가 결정될 것이다. 또다른 方法은 mill

工程 앞의 hammer crusher 나 혹은 classifier 에서 hot gas 로 건조시키는 방법도 있다. 多段階室을 가진 mill 에서는 一室에서 주로 密集되어 지는 경향이 있고, 이러한 현상을 개선하기 위하여 central discharging mill 이 開發되었다. <그림-15>는 Polysius 가 제작한 mill 의 단면이다. 이것은 elevator, classifier, hot gas stream, 그리고 mill 배출구 끝의 filter 로 되어있다. 왼쪽에서부터 오른쪽으로 건조, 粗粉碎, 排出 및 微粉碎室이다.

原料는 왼쪽으로 들어가며 粗粉碎된 product 는 shell 의 opening 을 통하여 elevator boot 로 배출되어 rotary classifier 로 옮겨진다. 일부 微

粉碎된 product 는 최종 product 가 있는 곳으로 가기 위하여 분리되며, oversize bulk 는 mill 의 오른쪽 trunnion 을 통해서 微粉碎室로 들어가고, 그 product 는 一室의 product 와 섞이기 위해 shell 의 中央出口를 통과한후 elevator boot 를 거쳐 classifier 로 가게 된다.

classifier 에서 거질분리된 부분은 main feed 로 되돌아 가기 위해 다른쪽 trunnion 으로 되돌아 간다. 그러므로 여기에서 mill 을 통과하는 二重循環이 있게된다. hot gas stream 은 양쪽 trunnion 으로 들어간후 mill 中央부분에서 빠져나와서 경우에 따라서는 再循環을 위한 static classifier 와 filter 를 통과한다. 독립된 air-heating 장치 가

- 1 Mill
- 2 Feeder
- 3 Aerated conveyor
- 4 Bucket elevator
- 5 Rotary classifier
- 6 Aerated grit conveyor
- 7 Static classifier
- 8 Filter
- 9 Exhauster
- 10 Aerated conveyor for finished product
- 11 Firing unit
- 12 Drive

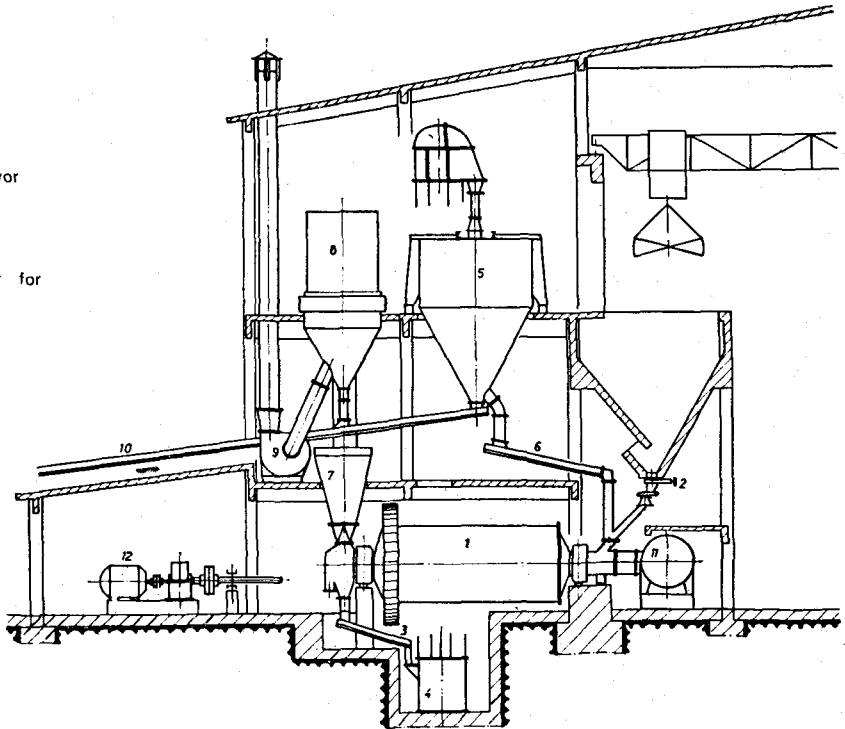
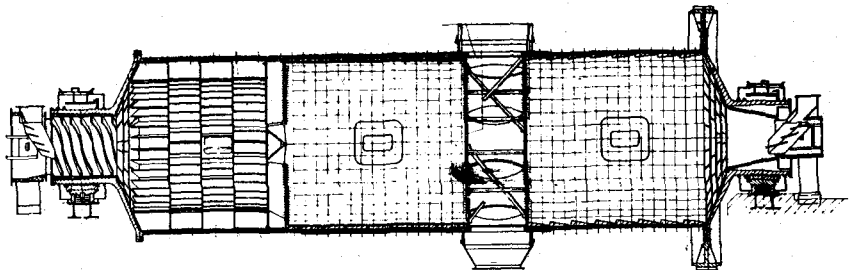
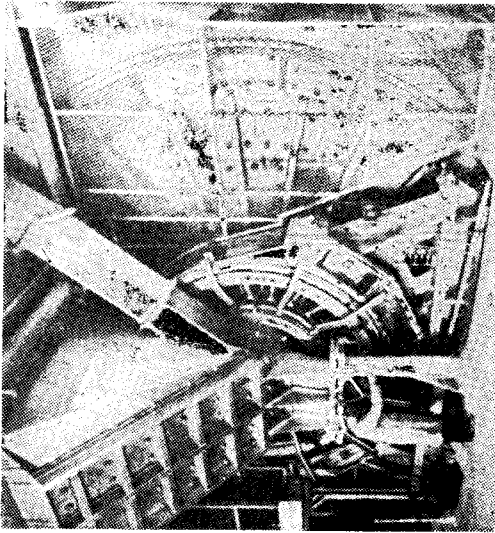


FIG. 14 Arrangement of a closed-circuit mill with bucket-elevator and air heater

FIG. 15 Section of a central-discharge mill





<그림-16> An aerofall autogenous mill

사용될때는 원료의 水分含有量 14%까지도 mill에서 許容될 수 있다.

다) autogenous mill

자동 mill은 큰덩어리의 原石이 投入될 수 있는, 直徑이 매우 큰 air-swept mill로서 큰덩어리의 原石 자체가 粉碎媒體로서 작용하는 mill이다. 이는 본래 比重이 큰 鑛石을 粉碎하는데 사용되어 왔지만 比重이 낮은 石灰石에 사용될때는 小直徑인 75~140mm의 ball 充填이 필요하게 된다. 이는 영국의 연합포틀랜드시멘트제조회사에서 처음으로 사용된 이후 현재는 4개 공장에서 사용되고 있다. 특히 水分을 含有한 경우나 石灰石 및 shale의 경우에는 二次粗碎나 hammer mill 工程을 省略함으로써 一次粗碎에서 바로 마지막 최종조합물을 생산케하는 기능을 갖고 있으므로 二次粗碎工程上的 운전곤란성 및 費用上的 長點이 많이 있다.

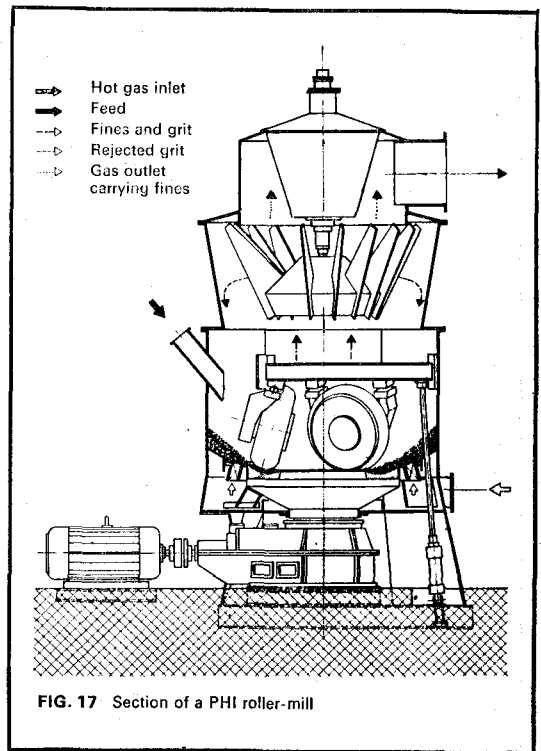
이 mill에서는 coarse rejects는 mill로 되돌아가고, medium rejects는 finishing mill로 보내며 微粉碎된 것은 최종 product로 보내기 위한 多段階 classifier로 粉碎된 原料를 운반하는 大量的 hot gas가 mill내부를 휩쓸어 가게된다. 이 개스는 filter를 통해서 정화되어 다시 순환하게된다. mill 자체에 閉回路조적이 있고 양끝이나 혹은 중앙에 배출구를 가지고 있는 그러한 형태의 mill은 finishing mill로 사용되기도 한다.

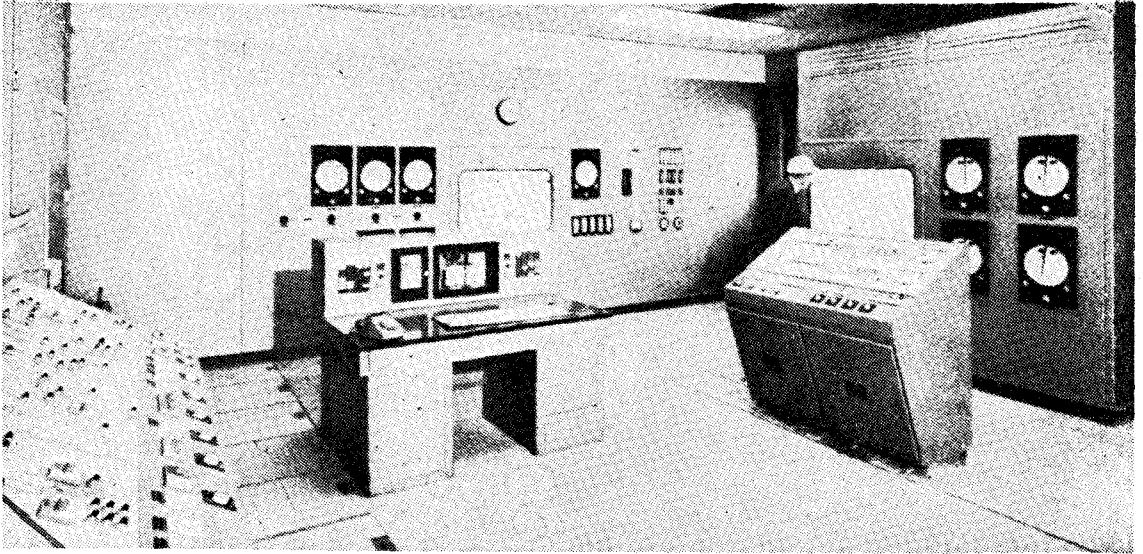
자동 mill에서의 粉碎는 mill內에 있는 원료

가 충분히 있으나에 달려있다. 원료투입량의 임계점판별은 mill에서 방출되는 소음의 一定한 變化로서 파악하여 원료투입률을 조정하게되며 또한 mill에 사용되는 동력소모량으로써도 조정한다. 만일 finishing mill이 자동 mill로부터 보내온 원료를 처리하지 못할 정도가 되면 자동 mill入口의 공급량을 줄이도록 조정하게 되는데, 새로이 공급될 원료는 자체내의 자동조정에 따라서 감소조정된다. <그림-16>은 동력 1,800HP, 直徑 7m의 aerofall autogenous mill이다.

라) roller mill

오늘날의 roller mill은 tube mill의 出現以前에 사용되어오던 edgerunner mill에서 개발된 것이다. 原料는 수직축에 있는 spring이나 水壓에 의해 눌러져있는 pan이나 table의 회전에 의하여 粉碎된다. 이러한 mill은 mill全體構造를 둘러싸고있는 airtight casing에 鑲嵌되어 있는 classifier를 갖추고 있으며, 粉碎時 건조를 위해 hot gas를 사용하는 air-swept type이다. <그림-17>은 PHI mill의 단면이다. table은 그아래에 있는 gear列을 통해서 구동되어진다. table은 필





<그림-20> controll room for all stages of raw material preparation

요성에 따라 조정되는 spring 에 의해서 roller 를 높르고 있다.

table 돌레 주위에는 airport 의 固定링이 있다. fan 은 table 주위에 분출 ring 을 形成하면서 port 內로 hot gas 흐름을 끌어들인다. 원료물질은 air-lock 로 投入되어 table 위에 떨어진 다음, roller 의 速度에 옮겨지는데 여기서 조쇄된 후 gas 분출기가 있는 지대로 투입된다. 충분히 微粉된 원료는 개스흐름에 의해 classifier 로 가는 반면 rejects 는 table 로 되돌아가며 微粉碎된 粒子는 cyclone, filter 나 precipitator 에 의해 모이게 된다. 그리고 gas 분출에 의해 올라가지 않은 거칠은 원료물질은 더 粉碎되기 위해 roller 速度로 재운반된다. Polysius 제작 mill 에서는 거친 원료 물질은 mill 밖에 있는 elevator boot 에 떨어져서 다시 mill feed 로 되돌아가며, air-sweeping 을 하는 물리적인 재순환과 결합하게 된다. gas 분출기와 classifier 를 거치는 동안에는 압력저하 현상이 나타나므로 이런 형태의 mill 에서는 粉碎動力은 적지만 追加된 fan 의 동력소모로 因해 他 mill 의 동력 소모량과 거의 같게 되어 버린다. 이 mill 은 medium hard material 분쇄에 아주 적합한 것이 된다.

5. slurry 와 raw-meal 의 混合 및 저장

stock 로부터의 引出方法 및 粉碎 mill 로의 원

료들을 供給하는 方法의 調整으로서만 原料의 $CaCO_3$ 含量이 特定規格內에 들어간다고 말하기는 困難하다. 그래서 粉碎工程 다음에 原料의 調整方法이 別途로 있게 되는 것이다. 오늘날 이러한 方法은 slurry 나 raw-meal 에 다같이 類似한 方法을 使用하고 있다. mill product (組合物) 은 tank 나 silo 로 들어간다. 그래서 tank 가 차감에 따라서 $CaCO_3$ 含量을 確認하기 위하여 짧은 時間간격으로 sampling 을 하고 數分後에 곧 그 結果를 알 수 있도록 한다.

tank 가 차차 차게 됨에 따라서 tank 內의 平均成分이 計算되어지며, 必要한 補正措置는 mill 로의 投入比率를 事前調整하도록 한다. 그리고 tank 가 가득차면 tank 內의 약간씩 다른 組成層들은 混合設備에 依해서 微低히 混合되며 잘 混合된 slurry 나 raw-meal 은 storage 로 빠져 나간다. 다른 하나가 비어있는 동안에 한개는 채워서 混合을 하게 되므로 적어도 2개의 tank 가 必要하다

1) slurry

slurry 를 담는때는 흔히 doctor tank 라 불려지고 slurry 400 ton 을 담을 수 있는 철강이나 콘크리트로 만든 깊은 수직 원형통 vessel 을 사용하게 된다. tank 아래에는 tank 가 가득 찼을때 壓縮空氣가 들어 갈 수 있도록 된 nozzle 들이 있는데 이것에 의해서 약 5분 동안 철저한 內容

物(組合物)의 混合이 이루어진다.

main storage는 보통 直徑 35m, 깊이 6m 정도 的 많은 open basin으로 構成되어 있으며 stirring gear가 준비되어 있어서 內容物(組合物)의 固着을 방지하고 있다. 이 stirring gear는 basin을 걸치고 있는 bridge로 보통 構成되어 있고, basin wall 꼭대기에 있는 케도위를 움직이는 wheel을 가지고 있다. 이 bridge는 slurry 속에 담겨있는 nozzle이 있는 일련의 pipe를 가지고 있어서 bridge뒤에 설치된 blower에 의해 30 lb/in²의 壓力으로 空氣를 通過시키게 되어 있다. 이 bridge는 wheel을 움직이고 있는 모타에 의하여 천천히 회전된다. 가끔 混合過程이 이와 類似한 basin에서 행하여지기도하나, 規模가 작고 rotating bridge를 가지고 있는 air agitating gear에 의해 混合이 되기도 한다.

2) raw-meal

raw-meal을 混合하는 現代의 技法은 약간 경사진 troughs로 흘러내리거나 혹은 pumping으로서 운반流入되는 流動體 등의 特性에 따라서 左右된다. 시멘트 역시 이러한 特性을 지니고 있으며 이 handling 方法은 크링카粉碎를 다루는 章에서 記述하겠다. 混合用 silo는 두개 준비되어 있으며, 한 개의 容量은 raw-mill의 “8時間 生産量”을 넣을 정도가 보통이다.

이 混合 silo는 main storage silo의 上部에 位置하고 있어서 混合될때 重力에 의해 必要한 silo로 흘러들어가게 된다. 각 混合 silo의 全體 바닥면적은 panel에 의해 덮혀져 있으며 上部表面은 壓縮空氣가 通過할 수 있는 透氣性 物質로 만들어져 있다. panel은 quadrant(四分圓)으로 構成되어서 각 四分圓으로 空氣의 個別的 供給이 되게 되어 있다.

silo가 채워지는 동안 slurry doctor tank에서 처럼 定期的인 sampling에 의하여 平均 組成이 決定된다. silo가 가득차서 混合준비를 할때 壓縮空氣는 組合物을 流動시키기에 充分한 壓力을 가지고 모든 四分圓으로 들어간다. 壓縮空氣의 흐름은 silo 높이에 따라서 다르지만 약 30 lb/in²의 壓力으로 한 개의 四分圓을 통과하게 된다. 이 四分圓위에 있는 組合物 밀도는 부피가 30%

가량 증가함에 따라 減少하게 되며, 이러한 현상은 마치 쏘오스 남비속의 물이 끓는 것처럼 silo 전체에 강력한 循環을 유도하게 된다.

10 내지 15分후에는 空氣의 供給은 다음 四分圓으로 연결되며 이같은 方法이 잇달아 일어나서 四分圓 全體를 돌게한다. 이러한 연결은 자동적으로 調整되며 약 두시간 후면 두번의 순환 cycle과정을 밟아서 完全한 混合이 된다. 이러한 方法에 의한 混合過程에서는 0.2%이하의 平均値 에러가 있다. 이 方法은 한개의 silo가 비어 있는 동안에 다른 silo는 채워져서 混合되는 “batch operation”이다.

앞으로 연속적으로 두 개의 silo를 가동하는 方法이 더 開發되어야 할 것이다. 組合物은 quadrant sequence에 의하여 각각 연속적으로 空氣를 썩워가게 된다. 空氣를 썩 組合物은 mill output의 生産율과 동등하게 調整된 비율로 연속하여 처음 上位 四分圓에서 다음 四分圓으로 overblow 되어간다. 샘플링 및 調整방법의 單純化에 따른 利益은 계속적인 air blower의 운영에 따른 특별비용을 능가한다는 點이다.

6. 調 整

原料의 準備 및 配合調整에 따른 일련의 모든 段階上의 諸機能을 單一된 原料 調整실에서 統合하여 管理하는 것이 실제 일반적인 것이다. crusher feed나 stockpile 혹은 bunker의 level과 같이 눈에 보이는 調整方法은 閉回路式 텔레비전으로 可能하다. 原料조정실의 시험실에서는 비율배합을 조정하기 위하여 각 단계별 시험분석 결과를 즉각 수집하여야 할 것이다. <그림-18>은 전형적인 原料조정실을 표시하고 있다.

참고 서적

- 1) Barrell, K.C.; Bucket-wheel excavators'. Cement Technology, vol. 1, no. 1, Jan/Feb 1970, p.22.
- 2) Barrell, K. C.; Multi-bucket chain excavators', Cement Technology, vol. 1, no. 4, Jul/Aug 1970, p. 129.
- 3) Barrell, K.C.; The slotbunker'. Cement Technology, vol.1, no. 3. May/June, 1970, p.85.
- 4) Barrell, K.C.; Bed-blending of raw materials for the dry process'. Cement and Lime Manufacture, vol. 41, no. 3, May 1968, p.37
- 5) Bemelman, W.A. : Row-material blending beds'. Zement Koik Gyps Year, Vol. 19, no. 7, 1966.