

磷酸工場用主要裝置의 檢討(I)

(Phosphorus & Potassium No.174, July ~ August 1991)

編輯者註

磷酸製造工場の 反應部問에 있어서 主要한 두가지 目標은 磷鑛石을 될수 있는 대로 完全히 溶解시키고 굵고 均일한 結晶形石膏를 生産하는 것이다. 이 目的을 達成하기 위하여 여러가지 反應槽의 設計를 開發하여 왔다. 反應槽의 開發은 사용하는 탱크나 區間의 數가 다를뿐만 아니라 사용되는 攪拌器의 設計나 數도 다르다. 한편 濾過裝置는 단지 3가지범주 즉 水平벨트식 濾過裝置, 틸팅팬식 濾過裝置 및 테이블식 濾過裝置로 구분된다. 다음은 反應槽와 攪拌器 그리고 濾過裝置에 關하여 考察한것임.

磷酸生産工程의 基本原理는 매우 간단하다. 磷鑛石을 循環磷酸으로 녹여서 磷酸 1 石灰鹽으로 만든 다음 黃酸을 加하여 黃酸칼슘을 침전시킨다. 여기서 얻어진 黃酸칼슘水和物을 여과하여 磷酸으로부터 分離한 다음 洗滌하고 洗滌水는 循環磷酸에 加해진다. 그리고 마지막으로 濾過된 磷酸은 (만일 必要하다면) 증발하여 濃縮한다. 磷酸成分(P_2O_5) 回收率을 改善하고 더 순수한 黃酸칼슘을 생산하기 위하여 때로는 2重結晶化(Double Crystallization)라고 하는 제 2 단계 工程을 사용한다. 이 裝

置의 구성은 主濾過裝置에서 나온 黃酸칼슘을 1水和物로 부터 다른 水和物로의 변환을 증진시켜주는 條件인 濃도가 낮은 黃酸으로 再슬러리化한 다음 다시 濾過하고 이 여과에서 얻은 濾液과 洗滌液은 主濾過裝置의 洗滌水로 사용하도록 되어 있다. 여기에 추가해서 磷鑛石을 녹이고 濃縮할때 發生되는 증발물에는 주변환경으로 나가도록 許容할 수 없는 弗化物이 含有되어 있기 때문에 이것을 洗滌해줄 必要가 있다.

엄밀히 말해서 磷酸工程自體의 일부분으로 구성되어 있지 않은 磷鑛石의 분쇄와 送 入用裝置를 제외하면 磷酸工場의 裝置는 단지 6個範疇 즉 反應槽(또는 反應槽들), 통상적으로 包含되는 攪拌器(또는 攪拌器들), 濾過裝置(또는 濾過裝置들, 증발장치, 홀크크러버 및 循環펌프등으로 되어 있다. 工場의 나머지부분은 대부분 배관 및 덕트등으로 이루어져 있다. 2重結晶化工程은 또 다른 反應槽와 濾過裝置를 必要로 하며 배관과 펌프로 連結되어 있지만 工程의 條件에 따라서 약간의 또는 모든 여과장치를 必要로 하지 않을수도 있다.

어떤 주어진 工場의 P_2O_5 回收率은 주로 磷鑛石이 反應槽에서 그리고 작은 범위이지만 2重結晶化工場의 再結晶化 反應槽에서 磷酸溶液으로 되는 効率과 濾過裝置(2重結晶化工場의 경우 이 工程에 사용되는 여과장치도 包含)에서 黃酸칼슘으로 부터 磷酸이 分離되는 効率에 依存된다. 그러므로 이들 장치들의 배열과 설계는 지극히 重要한 것이다. 특히 反應槽의 경우 배치와 設計는 실제적으로 工程設計自體를 注文에 따라 맞추는 것이다. 磷酸工場의 反應槽는 完全히 한 工場의 目的에 對하여 獨特한 것이지 펌프나 발브처럼 規格品으로 製作되어 있어서 구입할 수 있는 것이 아니다. 마찬가지로 工程의 要求條件은 사실상 分離裝置의 選擇을 세가지 타입의 진공여과장치로 제한하고 있는 것이며 液體/氣體의 分離가 잘 안되는 원심분리기등은 부적합한 것이다.

그러므로 磷酸工場의 거의 모든 主要裝置의 設計는 効率增進을 겨냥하여 再檢討하지 않을 수 없다. 그리고 効率問題는 실제상 또는 期待상의 두가지 理由로 最近 工

場運轉要員들의 지대한 관심사가 되고 있다. 첫째는 生産容量이 需要를 超過하는 경향이어서 市場은 소비자편에 서게 되었으며 이러한 狀況下에서는 항상 製品을 싸게 만드는자 만이 販賣를 가장 많이 할 수 있다는 것이고 둘째는 品質이 좋은 鑛床이 消盡됨으로서 磷鑛石原料의 品質이 떨어졌다는 것이다. 그러므로 磷酸工程의 裝置設計는 지속적으로 再檢討해야 할 狀況에 있는 것이다.

本文은 2部로 나누어서 여기에 게재하는 第1部에서는 反應槽와 그 부속장치인 攪拌器 및 濾過裝置에 關하여 考察하고 증발장치, 스크러버 및 펌프에 대하여 考察하게 될 結論部分인 제 2부는 Phosphorus & Potassium紙 91年 11/12月號에 게재하고자 한다.

1. 反應시스템

(1) 一般基準

磷酸工場에 있어서 反應시스템의 設計는 지극히 重要的인 것이다. 이 시스템의 설계 방식이나 운전방식은 工場操業의 信賴性, 磷酸成分의 回收率 및 最終製品의 品質을 定하는데 결정적으로 重要的인 것이다. 대부분의 化學工程用 反應裝置의 상업적 具現은 類似한 設計로 開發되는데 反하여 磷酸工程의 設計技術에서는 反應槽의 商業的 設計를 다양하게 하고 있다.

反應시스템의 두가지 主要目的은 될수있는데로 많은 磷鑛石을 녹여서 磷酸의 產出率을 最大로 하고 濾過하기에 쉬운 굵고 均一한 黃酸칼슘結晶을 生産하는 것이다. 이 反應의 基本的制御에 影響을 미치는 主要變數는 反應溶液의 固形物의 含量, 磷酸의 濃度(P_2O_5 %), 溫度 및 黃酸基의 濃度등이다.

만일 磷酸工場에서 規定比率의 磷鑛石 및 물을 原料로 사용한다면 그 결과는 어느 정도 溼式 SSP나 TSP와 유사한 半固體物質로 된다. 生産된 磷의 일부를 再循環하

면 反應物質을 流體狀態로 유지할 수가 있으므로 反應이나 結晶化에 促進이 된다.

“遊離水” (실제로 生産된 酸의 濾過裝置洗滌에서 나온 洗滌水)와 黃酸을 再循環磷酸에 追加하여 反應시스템의 磷酸濃도와 黃酸의 含量을 調節해 준다.

(2) 固形物含量의 調節

단지 한가지 形態나 品質의 磷鑛石을 사용하는 工場에서 願하는 固形物含量을 유지하는데 必要한 往復酸(return acid)의 量을 결정하고 조절하는 것은 아주 간단하다. 그러나 磷鑛石의 分析値가 매일 변하던지 또는 여러가지 形態나 混合磷鑛石을 사용하는 工程에서는 固形物含量의 調節을 연속조정하거나 재조정하여야 한다. 이 조정은 磷酸製品의 濃도에 影響을 미치지 않아야 하며 그것은 反應시스템에 供給한 遊離水의 量이 磷酸의 단위처리량에 따라 변해서는 안된다는 것을 의미한다. 그러므로 反應슬러리중의 固形物含量은 往復酸의 流量變化에 의해서만 조절될 수 있다. 즉 遊離水의 含量을 동일하게 남아있게 하려면 反應物質의 密度는 올라가거나 떨어지게 하여야 한다.

(3) 磷酸濃도의 調節

磷酸工場에 있어서 사용하는 물의 量은 最終磷酸製品의 濃도를 결정하게 된다. 反應部門에 있어서 물은 磷鑛石, 黃酸 및 往復酸으로 부터 도입되는데 그것은 증발공정, 黃酸갈습의 結晶水 및 磷酸製品에 남아있게 된다. 酸의 濃도가 바뀌는 주요 이유는 濾過能의 變化에도 불구하고 反應部門의 條件을 일정하게 유지하기 때문이다. 濕式 또는 슬러리형 磷鑛石原料를 사용하는 反應시스템은 磷酸製品中の P_2O_5 含量을 조절하기 위하여 精密한 制御시스템이 必要하다.

濾過部門도 結晶이나 濾過裝置自體가 變化하더라도 流量이나 濃도가 同一하게 유지되도록 自動調節式으로 되어야 한다.

일정용량의 안정한工場에 있어서 酸濃度の調節에 必要한 유일한 변수는 往復酸中에 含有되어 있는 물의 量이다. 이 制御시스템은 진한 洗滌液의 濃度變動은 물론 黃酸칼슘케이크와 함께 남아있는 水量을 補償해줄수 있어야 한다.

(4) 溫度調節

溫度는 黃酸칼슘의 結晶水에 影響을 미치는 것이기 때문에 反應시스템에서 매우 중요한 것이다. 낮은 溫度는 2水石膏에 적절한 반면 높은 溫度는 半水石膏에 적절하다. 이 工程은 黃酸칼슘이 어떤 形態의 結晶으로 만들어지게 되는데 어떤 形態이던 간에 그것은 反應部門의 溫度를 คุม고 性質이 좋은 結晶이 될수있는데로 빨리 生成될수 있도록 하고 設計水準의 溫度로 유지해 주는것이 가장 중요한 것이다. 만일 이 溫度가 어떤 形態의 結晶이라도 만들수 있는 범위에 있다면 그 결과는 작고 濾過性이 나쁜 不良結晶을 生成하게 되며 磷酸成分(P_2O_5)의 損失이 증가하게 된다.

磷鑛石과 黃酸의 反應은 多量の 熱을 放出하는데 이것은 磷鑛石, 酸 및 물의 反應이 發熱反應인 理由만이 아니고 最初 黃酸을 희석할때도 熱을 發生하기 때문이다. 그러므로 슬러리의 溫度가 運轉值 以上으로 上昇하는 것을 방지하기 위하여 슬러리의 冷却이 必要하다. 이 슬러리의 冷却은 물을 증발시켜 줌으로서 이루어지는데 이것은 슬러리의 溫度를 낮추어줄뿐 아니라 願하는 濃度로 높여주는 役割도 한다. 이 冷却工程은 部分眞空의 순간冷却機(Flash Cooler)에서 슬러리를 순환하거나 反應槽自體를 부분眞공으로 유지 또는 反應槽의 프리보드(Freeboard)를 통하여 大氣壓의 空氣를 循環함으로써 달성될 수 있다.

(5) 黃酸의 調節

反應시스템의 總 黃酸이온은 엄격하게 제한되어야 한다. 만일 黃酸이온이 너무 낮으면 磷酸成分이 共有結晶化(Co-Crystallize)되어 損失이 증가되고 黃酸칼슘의 濾

過性質이 나빠지는 한편 黃酸이온이 너무 높게 올라가면 磷鑛石의 未反應으로 인한 損失이 發生한다. 磷酸成分의 共有結晶化로 인한 損失은 HPO_4^{2-} 이온이 黃酸칼슘結晶 格子의 올가미에 걸리기 때문이다. 이것은 HPO_4^{2-} 이온이 SO_4^{2-} 이온의 크기와 거의 같기 때문에 결과적으로 이 두 이온이 Ca^{2+} 이온과 結合하려고 競爭하기 때문에 일 어나는 것이다. 磷鑛石의 未反應으로 인한 損失은 黃酸칼슘이 磷鑛石粒자를 被覆하여 反應을 抑制하기 때문이다.

工場에서 수용하고 있는 制御시스템의 類形은 처리되는 磷鑛石의 각 성질에 따라 특히 磷鑛石의 粒子가 黃酸칼슘으로 被覆되는 경향에 의해서 지시된다. 센트랄 플로 리다 磷鑛石은 아마도 被覆되려는 경향이 가장 적은것일 것이다. 이것은 필경 이 磷鑛石中에 炭酸鹽이 함유되어 있기 때문일 것이다. 즉 反應에서 放出된 炭酸가스가 炭酸칼슘이 磷鑛石粒子에 밀착되어 被覆되는 것을 방지해 주는 것이다. “微小攪拌” (Micro-agitation)이라고 하는 이 理論은 粒子의 크기와 產源이 同一한 磷鑛石을 灰化한것과 灰化하지 않은 것의 被覆傾向의 差異에 의해서 뒷받침되고 있다. 보통 灰化하지 않은 高炭酸鹽 磷鑛石은 被覆될려고 하는 성질이 적다.

어떤 沈積 磷鑛石은 매우 多孔性이어서 이러한 경우 黃酸이온의 抑制가 점진적으로 증강되는 경향이 있다. 黃酸칼슘은 最初 아주 작은 細孔에 沈積되어 그로부터 沈積이 점차 넓은 面積으로 퍼져나가지만 결코 全體表面을 完全히 덮어 씌우지는 못한다. 이와같은 類形의 磷鑛石에 대한 黃酸이온의 조절은 상대적으로 쉬운편이다. 한편 火成 磷鑛石은 結晶으로 되려고 하는 경향이 높고 부드러운 表面을 가지고 있다. 그것은 最初의 黃酸칼슘沈積의 抑制에 잘 견디지만 黃酸이온이 反應이 始作되는 특정경계를 통과한 다음에는 새로 생긴 黃酸칼슘層이 全體 磷鑛石粒子의 表面을 덮어 씌워 사실 상 磷鑛石이 더 이상 溶解될 수 없게 된다. 衝擊處理 (Shock treatment) 또는 追突 (Bumping) 處理로 유명한 技術은 黃酸칼슘의 沈積경향이 높을때 통상 黃酸이온을 줄이기 위하여 사용된다. 이 技術은 黃酸이온의 反應이 始作되는 경계를 通過하는 것

을 防止해 준다.

2. 反應槽의 設計

2 水石膏工程用 反應槽의 設計는 일반적으로 단일탱크식 反應槽나 多重區間式 反應槽의 두가지 範疇中의 하나를 擇하는 것이다. 아주 다른 이들 두가지 設計에 대한 相對成績은 燐鑛石의 性질과 工程의 用途성에 대한 평가치에 依存한다.

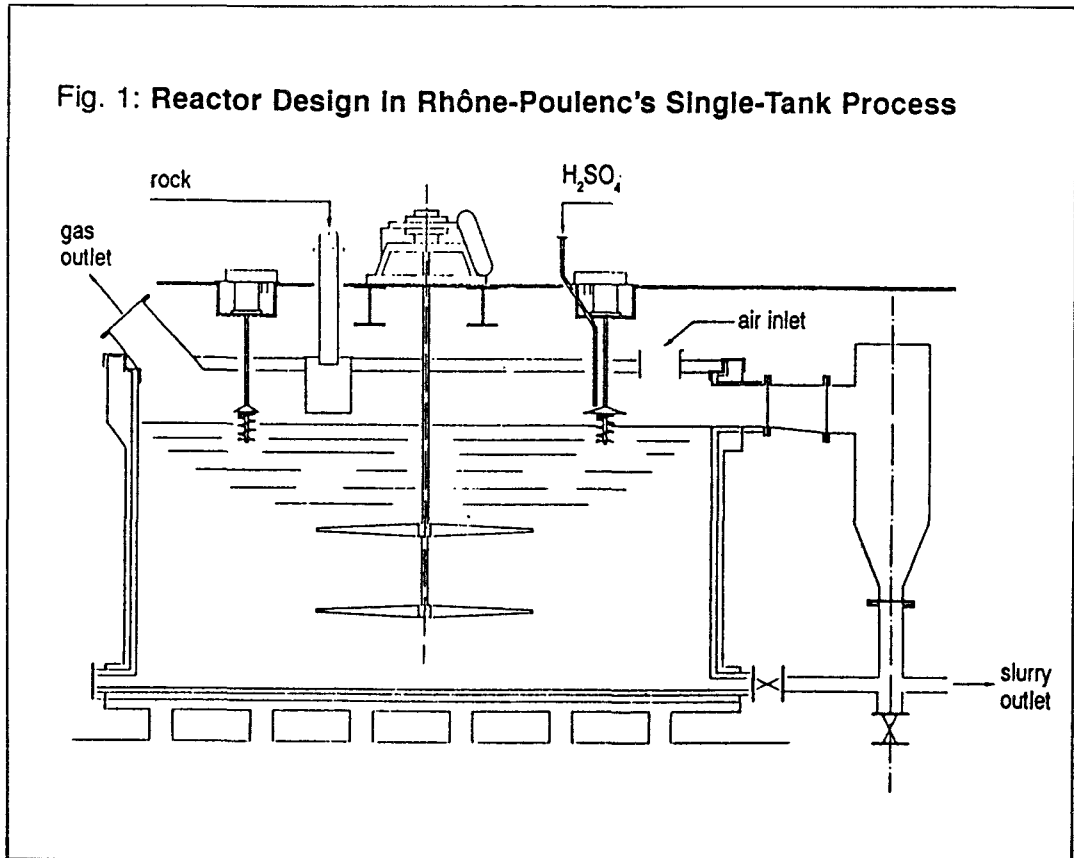
단일탱크식 反應槽를 活用하는 工程은 Rhone-Poulenc의 단일탱크工程, Badger社가 제작한 等溫燐酸反應槽工程, 튀니지인이 개발한 SIAPE工程 및 Jacobs社의 단일탱크工程등이 있다. 그러나 Jacobs社의 工程中에는 변형된 工程이 있는데 이것은 多重區間탱크의 특징중의 하나인 설과그래디언트(Sulfur gradient)로 운전이 가능하게 한다.

1개의 탱크 또는 1개구간 이상(여러개의 탱크 또는 區間)을 活用하는 反應槽의 工程은 Prayon社가 半水石膏工程의 PH범위개발로 유도했던 Prayon社의 Mark lv 2水工程과 Norsk Hydro社의 2水工程이 있는데 Norsk Hydro社는 이 2水石膏 工程으로 부터 HH工程과 HDH工程을 개발하였다.

(1) Rhone-Poulenc

Rhone-Poulenc社의 재래식 2水石膏工程에서는 反應槽가 非區間탱크로 되어 있으며 中央에 攪拌器가 設置되어 있다. 反應槽를 空氣로 冷却하여 溫度調節을 하도록 되어 있다. 反應탱크(Fig.1)는 고무로 被覆한 鋼板이나 콘크리트로 축조하여 炭素 브릭으로 內裝된다. 슬러리가 탱크내의 단일 물질로서 전체적으로 廻轉하는 것을 방 지하기 위하여 벽위에 배플(Baffle)이 設置된다. 反應槽의 덮개는 폴리에스테르나 에보나이트로 被覆한 판넬로 反應槽의 가장자리에 받쳐지게 設置한다. 각 탱크마다

Fig. 1: Reactor Design In Rhône-Poulenc's Single-Tank Process



獨立적으로 되어있는 中央攪拌器와 表面冷却器는 金屬骨組로 支持된다.

燐鑛石은 탱크의 크기에 따라서 한곳 또는 두곳의 圓桶형 스킨트내에 있는 특수 닥트를 통하여 送入되어 가스排出口의 반대쪽에 있는 中央攪拌器의 攪流地域으로 들어간다. 이와같은 장치의 배열은 燐鑛石이 가스스크러버로 넘어가게 되는 것을 방지하여 준다. 슬러리는 反應槽內的 슬러리의 높이를 일정하게 유지해 주는 濾過裝置의堰막이(Weir) 위로 흘러 들어간다.

黃酸은 표면冷却器의 驅動軸에 固定되어 있어 相互依存하는 1개 또는 몇개의 디스크위로 도입된다. 獨特한 이 裝置는 酸이 탱크의 全表面위로 고르게 분산되어 事前에 稀釋을 하지 않은 98%의 濃黃酸이 直接 送入되게 할 수 있으므로 結晶化에 역

影響을 미칠수 있는 黃酸濃度가 局所的으로 초과되거나 溫度가 올라갈 위험성은 없다.

슬러리의 冷却을 위해서 Rhone-Poulenc社는 슬러리의 表面위로 空氣의 흐름이 循環되는 시스템을 選擇하였다. 물의 증발잠열에 상당한 熱은 매우 작은 (全體의 約 6%) 空氣의 현열로 바뀌어진다. 슬러리 높이위의 1~1.2 m 사이에 위치한 反應槽의 덮개는 反應槽직경의 약 半을 가로질러서 大氣가 들어갈 수 있도록 구멍이 뚫려 있으며 反應槽의 反對쪽에 가스排出用 후드가 設置되어 있다.

空氣의 循環을 위하여 送風機가 설치되어 있으며 슬러리의 溫度는 送風機의 速度變化와 送風機吸入管의 調節弁에 의해서 조절된다.

Phone-Poulenc社의 Diplo工程은 단일탱크工程을 變更한 것이다. 이것은 단일 탱크工程과 같은 原理에 기준한 것인데 同一한 長點을 가지고 있지만 2개의 反應탱크가 直列로 連結되어 相互間의 循環없이 사용되고 있는것이 다르다. 이 工程은 低級 磷鑛石, 反應性이 낮거나 분쇄되지 않은 磷鑛石을 처리하는 工程으로 開發된 것이다.

두 탱크에는 磷鑛石, 黃酸 및 再循環酸이 채워진다. 磷鑛石의 약 75%가 들어가 있는 첫번째 탱크내의 磷酸濃度는 일부러 낮게 (24~28%) 유지하고 黃酸의 濃度는 磷鑛石을 溶解하기에 충분한 濃度로 유지한다. 이것은 石膏의 結晶을 좋게하여 주고 共有結晶으로 인한 磷酸成分의 損失을 낮게하여 준다.

磷鑛石, 黃酸 및 再循環酸의 나머지는 두번째 탱크에 들어가는데 여기서는 高濃度 (30~36%)의 磷酸이 얻어지는 한편 石膏의 結晶도 좋고 濾過도 잘 된다.

(2) Badger

Badger社가 제공한 等溫磷酸反應槽工程은 1971년에 商業化되었다. 最初의 原形 工程이 既存 磷酸工團에서 示範運轉된 以來 Badger社는 모두 7基의 反應槽에 적용한 5個 고객회사에 工程特許를 提供했다.

이 工程은 結晶化理論을 反應槽의 設計에 응용하였다. 反應槽의 溫度는 內容物을

빠른 速度로 循環하여 일정하게 유지 함으로 이름을 “等溫”이라 하였다. 反應條件은 여러가지 재래식 反應槽의 反應條件과 比較하여 여러가지 長點이 있다. 즉 原料活用の 効率が 향상되고 黃酸鹽과 製品の 組成을 조절하기 쉬우며 구연산가용성 磷酸成分의 損失을 줄이고 反應槽內의 슬러리형 固形物의 濃도와 이로인한 濾過率이 더 安定하게 되며 그리고 濾過裝置의 運轉周期를 더 길게 할 수 있다.

Badger 社의 等溫反應槽 (Fig.2)는 2 水石膏結晶의 成長促進을 조절할 수 있도록 특수설계한 것이다. 단일진공결정 조는 여러 工程에서 성공적으로 사용되어 왔는데 磷酸工程의 開發에서 여과성이 좋은 石膏結晶의 生産을 위하여 이 장치를 응용하는 것은 工程의 効率이나 磷酸成分의 回收率이 副産物石膏結晶의 成長에 크게 依存하기 때문에 필연적인 어려움이 있다.

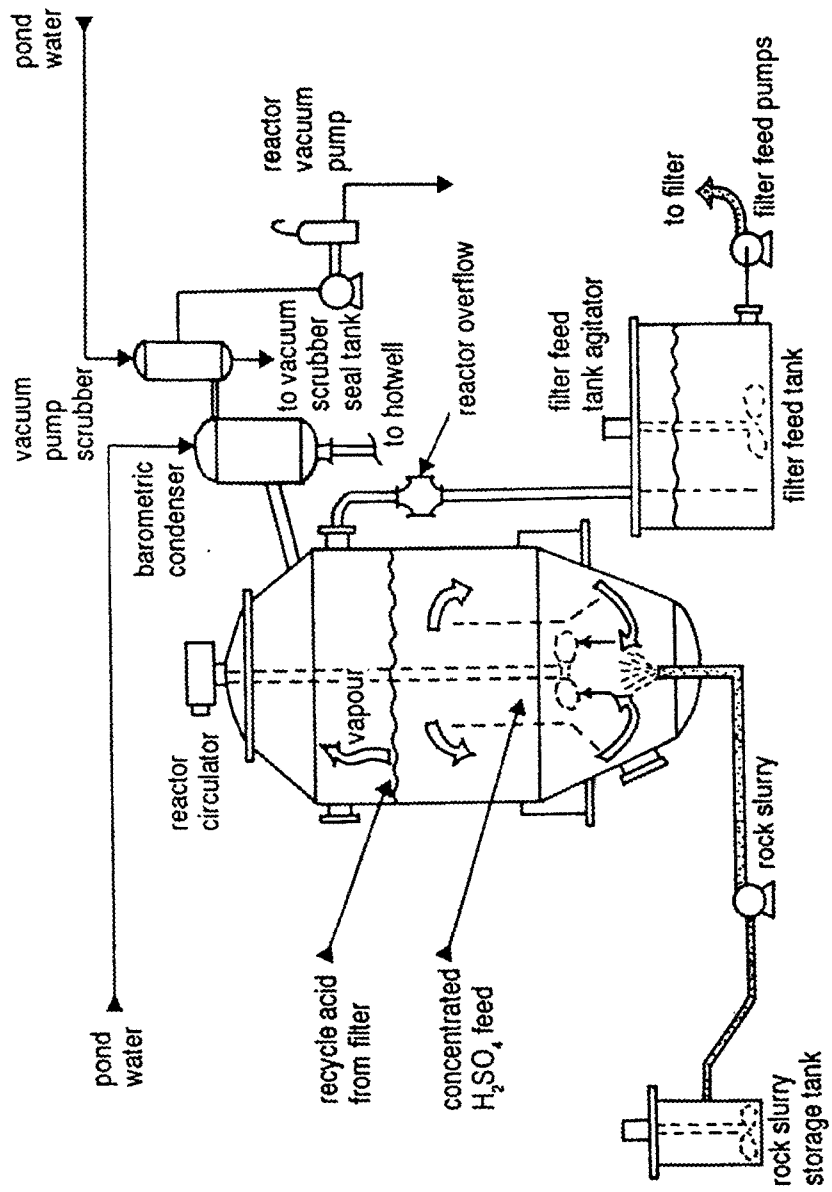
反應槽의 內部設計와 計裝은 工程의 最適調整을 위한 設計의 主要素가 된다. 진공순환증발은 反應槽에서 反應熱을 除去하는 가장 경제적이고 効率的인 방법이다. 安定된 溫度는 이러한 冷却方法의 사용과 反應槽內의 슬러리循環率을 높게 함으로서 유지된다. 슬러리의 높은 循環率은 또한 黃酸, 固形物 및 磷酸의 濃度を 정밀하게 調節할 수 있게 하여준다.

反應槽는 드라프트 튜브와 단일 순환임펠러를 包含한 1개의 反應區間으로 구성되어 있다. 磷鑛石슬러리는 저장탱크나 또는 사전混合탱크로 부터 예정된 比率로 덩핑되어 反應槽바닥의 임펠러로 둘러싸여 있는 드라프트튜브의 中心부근으로 도입된다. 이 導入地點은 磷鑛石이 임펠러를 통해서 흐름으로서 매우 効率的으로 循環슬러리內로 분산되기 때문에 가장 적합한 곳이다.

93 ~ 98 % 黃酸의 일정유량은 反應槽內 프로펠러의 바로 위에 있는 드라프트튜브로 도입된다. 이 지점의 攪流는 酸의 最大分散을 보장하여 준다.

濾過과정으로 부터 나온 再循環酸 (18 ~ 20 % P_2O_5)은 反應槽의 上部로 다시 들어가서 反應槽內의 固形物含量을 調節해 주는 역할을 한다. 磷鑛石이 分解될때 炭酸

Fig. 2: The Badger Isothermal Reactor



가스와 기타 증기가 발생되는데 이것은 反應槽의 조절을 나쁘게 하는 不安定한 거품 (Foam)을 생성하는 경향이 있다. 그러나 이와같은 條件은 防泡劑를 添加함으로써 쉽게 조절할 수가 있다.

黃酸과 磷鑛石의 發熱反應에서 發生한 熱은 水分을 연속적으로 진공순간증발함으로서 제거된다. 슬러리의 溫度는 스팀에젝터나 진공펌프로 유지되는 反應槽의 壓力을 조정함으로서 유지된다.

反應內의 슬러리의 높이는 反應槽壁에 設置한 오버플로노즐에 의해서 드라프트튜브의 上部에 고정된다. 29%의 P_2O_5 와 38 ~ 40%의 고형물을 함유하는 最終슬러리는 濾過裝置의 送入탱크內에 있는 液體로 밀폐된 자동배출파이프를 통하여 넘쳐흐른다. 濾過裝置의 送入탱크는 反應槽 및 濾過裝置사이의 바 실탱크와 써지탱크로서 役割을 한다.

反應槽의 反應時間과 조절변수는 磷鑛石의 品質과 產源에 따라 다르다. 이 변수들은 벤치規模의 磷鑛石試驗에 의해서 物理적으로 測定된다. 그런데 代表的인 磷鑛石의 反應時間은 보통 4시간을 넘지 않는다.

反應槽內의 높은 循環率은 反應槽上部에 특별히 설계한 眞空軸실 (Seal)과 함께 조립하여 위로 설치하고 反應槽바닥에 外部的으로 堅固한 베어링을 설치한 프로펠러형 攪拌器에 의해서 유지된다. 임펠러는 드라프트튜브의 안쪽 바닥근처에 설치되어 있다. 특별設計로 만든 水冷式 견고한 고무베어링은 循環裝置軸의 정밀한 中心을 유지해주는데 사용된다.

等溫反應槽의 循環率 (反應槽內의 生産物의 流量이나 또는 濾過裝置로의 送入率로 區分되는 反應槽內의 再循環슬러리의 流量比率로서 定義됨)은 대부분의 再來式 多重 區間 反應槽의 것과 比較하여 약 10배에 이른다. 이와같은 循環率의 大量的인 差異는 溫度와 黃酸의 濃度を 均一하게 하고 石膏의 結晶을 더 곱게하여 주는 결과가 된

다. 굵고 均一한 石膏의 結晶은 그의 좋은 脫水特性으로 인해서 신속하게 濾過된다. 즉 이러한 石膏는 더 効率的으로 洗滌될수 있고 석고케이크속에 들어 있는 磷酸成分 (P_2O_5)의 損失을 줄일수 있으며 全體的인 磷酸成分의 回收率이 개선된다.

(3) SIAPE

Rhone-Poulenc의 시스템과 같은 방법으로 SIAPE社가 제공한 濇式 2水磷酸工程도 그의 設計는 어느정도 다르지만 反應部分이 단일탱크로 된 특징을 가지고 있다. 이 反應시스템은 磷鑛石, 黃酸 및 往復酸이 送入되는 中央區間으로 나누어진 圓桶形 탱크와 環形으로 된 外側區間으로 구성되어 있다. 이 탱크는 통상 콘크리트로 건설되며 바닥과 측면은 고무로 被覆한 다음 그 위를 炭素브릭으로 덮어 씌운다.

이 工程은 比較的 炭酸鹽含量이 많은 튀니지源產의 低級 Gafsa 磷鑛石을 活用하기 위하여 특별히 개발된 것이다. SIAPE工程은 反應部分에서 發生하는 炭酸가스로 슬러리의 循環을 促進하는 長點을 取한 것이다. 가스濃度가 높기 때문에 슬러리의 低密度域이 형성된다. 分離벽 꼭대기에 하나의 開口를 그리고 바닥에 다른 하나의 開口를 만들면 슬러리가 연속적으로 흘러나오게 하는 自然通風裝置 (Natural Draft)가 된다. 이 循環은 펌프처럼 작용하는 放射軸형 2重임펠러식 攪拌器에 의해서 더욱 향상된다.

磷鑛石의 品質이 계속해서 떨어지기 때문에 SIAPE社는 그의 工程에 2개의 攪拌器가 있는 浸漬탱크 (Digestion tank)를 추가하여 변형시켰다. $78 \sim 80^{\circ}\text{C}$ 의 슬러리가 反應槽의 外側部門으로 부터 反應槽의 中央區間으로 되돌아오기전에 $72 \sim 73^{\circ}\text{C}$ 로 冷却되는 浸漬탱크로 送入된다. 이와같은 裝置의 배열은 좋은 結晶의 成長을 위해 必要한 再循環슬러리와 어택탱크內的 슬러리間的 溫度句配가 유지되도록 하고 있다.

(4) Jacobs 엔지니어링

Jacobs 社의 2 水 磷酸 工程의 反應 시스템은 별도의 冷却 裝置실 (Seal) 과 濾過 裝置의 送 入 區間이 있는 環狀의 反應槽로서 특징이 있다. 이 反應槽의 設計는 磷 鑛石과 黃酸을 몇개의 지점에서 注 入되도록 設計되어 있다. 이 反應槽는 여러개의 攪拌器가 設치되어 있으며 冷却은 일반적으로 低水準 순간冷却 裝置로 되어 있다. 冷却器 循環 펌프의 複合作用과 교반기에서 교반기까지의 백믹싱 (Back-mixing)은 反應槽內에서 必要한 再循環度를 마련해 준다. 이 시스템은 黃酸의 調節, 좋은 結晶의 成長 및 낮은 結晶核生成率을 쉽게 하여준다.

Jacobs 社의 가장 最新工場은 Orissa주에 있는 Paradeep 磷酸工場이다. 最近에 運轉에 들어간 이工場은 공식생산용량이 750t/d(P_2O_5)이다. 그러나 運轉中 生産량은 1,000t/d(P_2O_5)에 도달하였으며 濾過磷酸製品은 30% (P_2O_5)이고 인산성분의 回收率은 Togo 磷鑛石을 사용할 경우 97%이었다. 工程의 設計는 Togo 磷鑛石에 추가하여 플로리다, 모로코 (Khouribga and Safi), 요르단, 북캐롤라이나 및 나우루 磷鑛石과 같은 다른 磷鑛石을 사용할 수 있도록 하였다. 反應槽시스템은 슬러리의 全體容積을 1,600 m^3 以上으로 하였다. 이工場은 Ucego No.12 (사진) 여과 장치를 사용하였다.

(5) Prayon

Prayon 社의 多重區間反應槽의 設計理論은 反應部門에 설과 그라디언트 (Sulfur gradient)를 설치하여 未反應 磷鑛石과 共有結晶化로 인한 磷酸成分의 損失을 最少化할 수 있게 하는 것이다. 反應條件은 여러가지 形態의 다른 磷鑛石을 사용하기 위하여 다양하게 되어 있지만 反應시스템이 몇개의 區間으로 구성됨으로서 Prayon 工

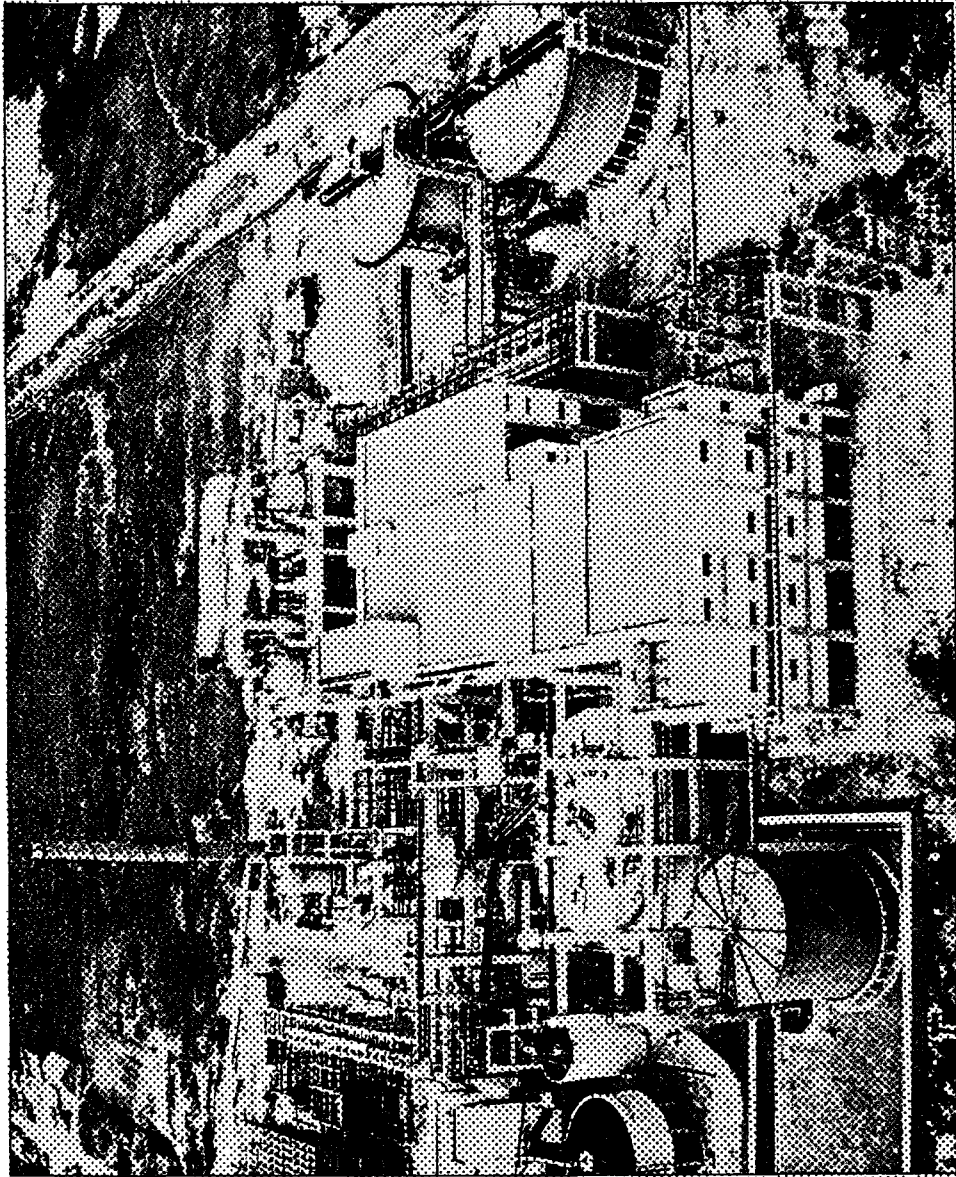
程의 運轉要員은 黃酸을 여러 地點으로 注入할 수 있는 融通성을 가지고 있다. 예를 들면 磷鑛石의 대부분이 溶解되는 점까지는 黃酸의 濃度가 낮아야 하고 그 뒤에는 높은 濃度의 黃酸이 요구된다.

Prayon社의 Mark IV 2水工程에서는 약 28% (P_2O_5)의 濃度를 가진 磷酸을 生産한다. 反應物質은 콘크리트로 건설하여 고무와 炭素브릭으로 內裝한 多重區間으로 된 어택탱크에 送入된다 (Fig.3). 특별히 설계된 開口를 反應슬러리가 한 區間에서 다음 區間으로 흘러갈수 있도록 어택탱크內 벽에 設置하였다. 各 區間은 混合, 固形物의 浮遊 그리고 破泡의 기능에 충족할 수 있도록 특별설계한 단일 攪拌器로 되어 있다.

어택탱크는 低水準순간冷却機를 통한 슬러리의 循環에 의해서 冷却되는데 그것은 反應슬러리中の 水分이 眞空狀態에서 증발함으로써 冷却되는 것이다. 循環動力의 要求條件은 軸流型 (Axial flow) 循環펌프의 사용과 어택탱크위에 있는 순간冷却器의 낮은 高度에 의해서 최소로 유지된다. 어택탱크內的 溫度는 순간冷却器에 걸려있는 眞空의 변화에 의해서 調節된다.

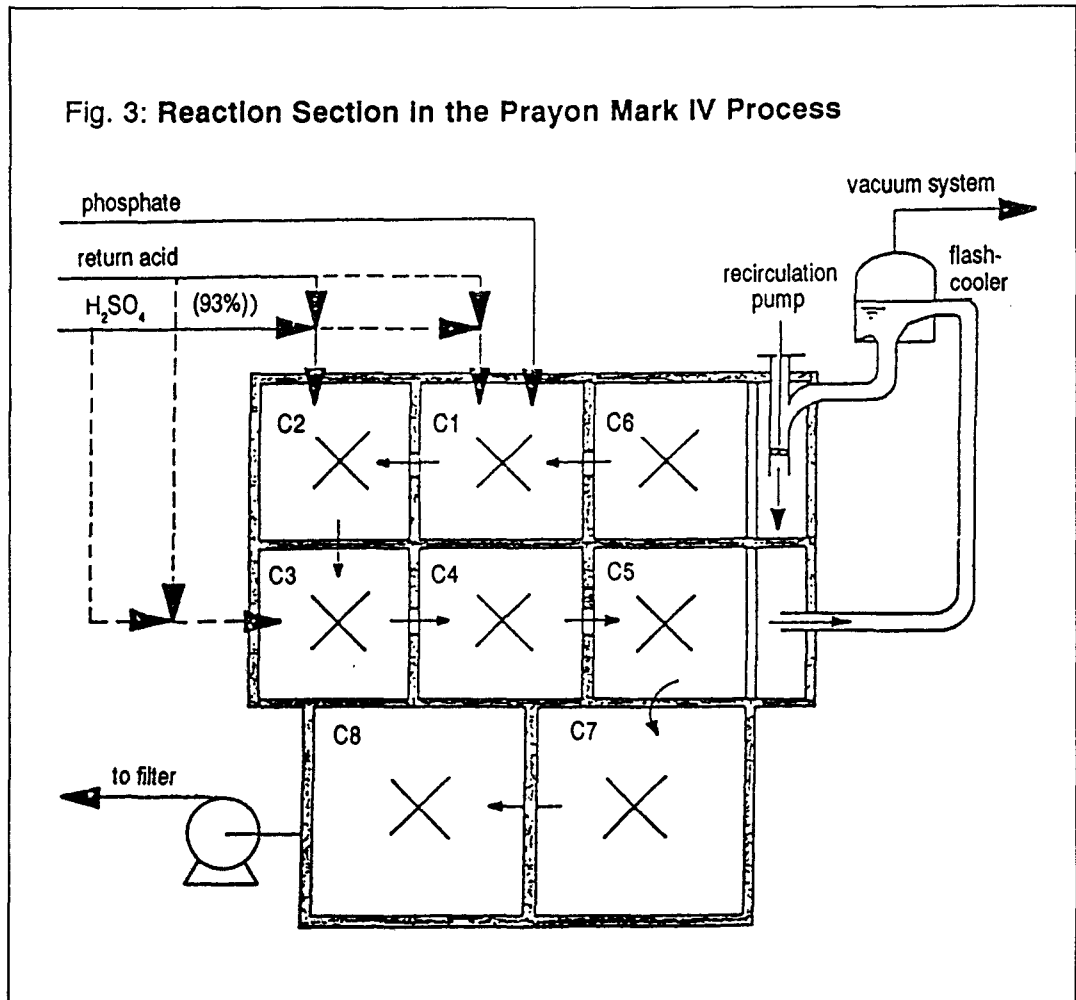
어택탱크에서 나온 슬러리는 이것이 “脫過飽和” (Desupersaturate) 되는 또는 평범한 말로하면 黃酸칼슘이 結晶化하는 浸漬시스템으로 넘쳐들어간다. 浸漬部門은 工場의 容量에 따라서 여러가지 物理的 形態로 變할수가 있다. 대형공장에서는 浸漬部門이 고무被覆 炭素鋼으로 만든 2~3基의 탱크로 구성되는데 各各 단일 攪拌器가 設置되어 있다. 이 교반기는 石膏結晶이 에너지節約方式의 浮遊狀態로 유지하도록 설계되어 있다.

世界 磷酸工場의 50% 이상을 占有하고 있는 Prayon社의 磷酸工程特許는 Davy McKee社 (美國과 英國)와 Coppee Lavalin社 (벨지움)가 가지고 있다.



The Jacobs phosphoric acid process was chosen for the new 750 t/d Paradeep phosphoric acid plant in Orissa State, India. The reactor system includes Jacobs' annular reactor plus separate cooler seal and filter feed compartments.

Fig. 3: Reaction Section In the Prayon Mark IV Process



(6) Hydro Agri

前 Norsk Hydro 라이선싱사인 Hydro Agri 국제라이선싱사는 2 단계로 된 半 2水(HDH) 磷酸工程의 創始者(Fisons Fertilizers) 이었다. 이 會社는 또한 1 단계로 된 2水(DH) 工程과 半水(HH) 工程의 特許를 가지고 있다.

약간의 舊工場에서는 여러 區間으로 된 反應槽가 사용되고 있지만 Hydro Agri 국제라이선싱사의 現행 어택부문의 設計는 段瀑型(Cascade)의 圓桶形 탱크列로 되

어 있는데 각각의 탱크에는 단일攪拌器가 設置되어 있다. 이 反應槽는 보통 軟鋼이나 콘크리트로 축조한 다음 부틸라바로 라이닝되어 있다.

HH 工程과 HDH 工程의 反應시스템은 2개의 反應區間 즉 磷鑛石의 溶解區間과 結晶化區間으로 나누어진 3개의 容器로 構成되어 있다. 첫번째 反應區間은 磷鑛石을 注入한 후 첫번째의 두 용기에서 磷鑛石의 溶解가 일어나며 대부분의 結晶化가 일어나는 세번째의 용기는 두번째 反應區間的 構成요소가 된다. 이들 두 反應區間的 容積比는 대략 2:1로 되어야 한다. 첫번째의 反應區間은 CaO의 여유가 있는 狀態로 運轉되고 두번째의 反應區間은 黃酸의 여유가 있는 狀態로 運轉된다. 最適結晶化를 달성하기 위하여 두 反應區間사이에 슬러리의 適當한 再循環이 유지되어야 한다.

재래식 HH/HDH 設計가 3개의 容器로 構成되었다 할지라도 이 시스템은 融通성이 매우 커서 대부분의 既存 2水反應槽를 적용할 수가 있다.

半水工程에서 發生하는 反應熱은 2水工程에서 發生하는 反應熱보다 약 20% 정도가 낮다. 더우기 半水工程의 反應슬러리는 100°C까지만 冷却되는데 반하여 2水工程의 反應슬러리는 80°C까지 冷却된다. 결과적으로 半水工程에서의 이 反應의 冷却負荷는 2水工程의것 보다 낮다. 半水시스템의 순간冷却裝置를 통과하는 適當한 溫度差는 2水시스템에서 보다 크다. 그러므로 既存 순간冷却裝置의 冷却容量이 증가될 수가 있다. Hydro Agri 社는 통상 순간冷却시스템을 活用하기 위하여 HH/HDH 工場을 設計하고 있다. 그러나 空氣冷却方式도 사용될 수 있으며 半水시스템에 쉽게 적용될 수 있다.

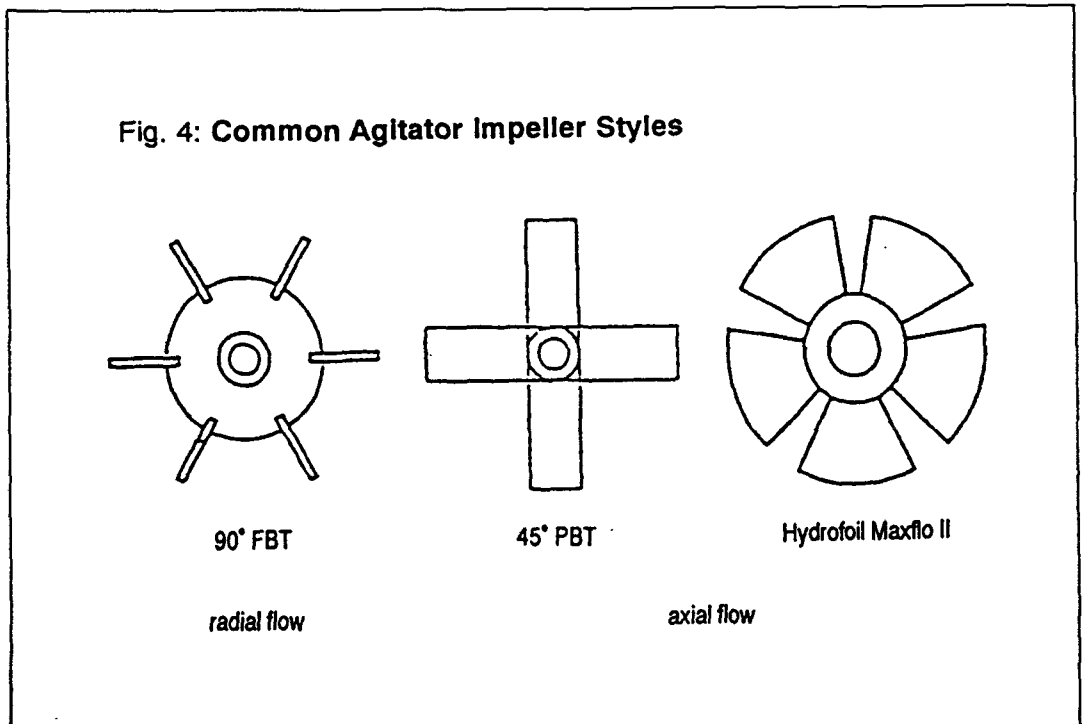
3. 攪拌器

磷酸工場의 어택탱크에 있어서 理想的인 攪拌器는 탱크內的 흐름을 均一하게 分散

하고 最大化하는 한편 剪斷 (Shear) 을 最小化하여 浮動하는 固形物과 거품을 浮遊시켜 운반할 수 있어야 하고 가스가 차 있는 條件下에서 멈추는 경향이 없어야 한다.

磷酸工業은 전통적으로 어택反應槽를 두가지의 임펠러식 즉 放射流型 (90°플랫 블레이드)터바인이나 또는 軸流型 (40° 피치 블레이드)터바인중 한가지를 사용하여 운전하여 왔다. Fig.4는 현재 사용되고 있는 임펠러식 교반기를 나타낸 것이다.

90°의 플랫 블레이드 (Flat blade)로 된 터바인은 전형적으로 4~5사이의 力價 (Power Number)를 가지고 있으며 大量輸送을 성취하기 위하여 固體 또는 가스 氣泡의 축소를 必要로 하는 개선된 공정 의 교반기에 여러해동안 사용되어 왔다. 단일 플랫블레이드식 터바인의 임펠러는 탱크內에 독특한 두개의 區域을 형성하는 한편 단일 軸에 多重임펠러로 된 것은 더 많은 區域을 형성한다. 이와같은 흐름의 分散은 플러그플로우 (Plug flow) 反應槽나 특정구역에 反應物質의 停滯를 造장하는데 有益하다.



磷酸工場の 어택탱크에 있어서 플랫블레이드식 터바인의 높은 剪斷은 酸의 浸蝕에 새로운 표면을 계속적으로 노출하게 함으로서 磷鑛石이 酸에 적시고 浸漬되는데 도움이 된다. 薄板으로 구성되는 이 裝置는 대부분의 工場內 整備所에서 간단하게 제작할 수가 있다.

플랫블레이드식 터바인의 短點은 攪拌區域이 反應物質의 分散狀態가 不均一하게 된다는 것이다. 이것은 특히 한 區域에 원하는 濃度보다 초과되거나 반대로 떨어질 수도 있는 黃酸이온에 적용되는 것이다. 溫度도 임펠러지역의 溫度가 탱크內的 다른地域의 溫度보다 더 높게 변할수도 있다.

石膏의 結晶核生成 (Nucleation) 을 방지하고 攪拌器의 速度增加에 의한 固形物의 부착을 완화하려는 시도는 사실상 動力消費量과 剪斷이 증가되기 때문에 통상적으로 自滅하게 된다. 더우기 浸漬中 發生된 炭酸가스의 停滯增加는 더 많은 거품을 發生시킬 수 있으며 이것을 바로잡기 위해서는 값비싼 破泡劑가 必要할수도 있다.

45° 피치블레이드 (Pitched blade) 터바인은 약 1.3의 力價를 가지고 있다. 이것은 力價가 줄어들었기 때문에 단위 消費動力當의 流量이 플랫블레이드 터바인 보다 상당히 더 흐르게 된다. 하나의 軸에 단일 또는 多重임펠러로 된것은 흐름의 모양이 圓環 (Torus) 처럼 되기 때문에 탱크를 통과하는 흐름의 分散을 均一하게 하여 준다.

45° 터바인의 主要長點은 剪斷이 감소된 정도에서 固形物의 浮遊狀態가 개선되어 反應物質과 黃酸이온의 分散이 더 均一해짐에 따라 石膏結晶의 成長이 더 좋아지고 固形物의 부착이 줄어들게 되는 것이다. 이것은 固形物의 浮遊운반과 건조한 磷鑛石을 적셔주는데 效果的인 장치이며 薄板으로 조립되어 있기 때문에 쉽게 제작하여 사용할 수 있다.

피치블레이드 터바인의 短點은 炭酸鹽을 含有한 磷鑛石을 사용하면 磷鑛石의 浸漬

中 다량의 炭酸가스가 發生하여 45° 터바인의 速度가 감소되거나 全體的인 弱화로 펄핑작용을 멎게하기 때문에 非效果的이게 된다는 것이다.

(1) Prochem 混合裝置

Prochem은 工場 및 工程엔지니어가 경험한 끊임없는 문제점에 대응하여 攪拌裝置의 연구분야에 參與하였다. 4半世期에 걸친 混合裝置의 設計에 혁신적인 研究開發에서 Prochem은 工程의 運轉을 어렵게 하는 問題點에 대한 效果的인 解決策을 찾아냈다.

磷酸工業에서 軸流型임펠러가 放射流型임펠러보다 더 效率的이 입증된후 Prochem은 그의 임펠러에 대하여 軸流概念을 採擇하고 水中임펠러 (Hydrofoil impellers)의 種類를 개발하여 왔는데 적절한 設計를 해도 이와같은 形態의 임펠러는 핏치블레이드형의 結合을 조금도 덜어주지 않았다. 設計中 고려해야 할 水中임펠러의 변수는 직경, 날개의 수, 챔버, 핏치 (Pitch), 면적, 견고성, 허브 (Hub)의 크기 및 速度등이다.

핏치블레이드 터바인은 그의 幅을 가로질러서 핏치가 固定되어 있기 때문에 그의 浸蝕角 (Angle of attack)은 임펠러의 직경에 따라 증대된다. 한편 水中임펠러는 핏치 (하단은 잠기게 하고 상단은 얇게함)가 가변적이기 때문에 일정한 浸蝕角을 나타낸다. 水中임펠러에 있어서 最大揚力 (Maximum lift)은 특정 浸蝕角을 위한 設計에 의하여 성취할 수 있는 반면 핏치블레이드로는 가변적 揚力에 의해서만 이것을 성취할 수 있다.

水中임펠러는 본질적으로 핏치블레이드 터바인과 동일한 흐름의 모양을 나타내지만 力價 (0.3 ~ 1.0)가 감소되고 力率 (Momentum Coefficient)이 커졌기 때문에 實 際 上 動力의 消費量은 감소된다.

임펠러에 대한 力價와 力率은 다음의 기본공식을 사용하여 計算할 수 있다.

$$HP = Np^{\circ} \times N^3 \times D^5$$

$$QV = Cm \times N^2 \times D^4$$

여기서 HP 는 마력 : Np° 는 임펠러의 力價 : N 는 回轉速度 (r/min) : D 는 임펠러의 직경 : QV 는 攪拌器에 의해서 생성되는 力率 : 그리고 Cm 은 임펠러의 定數이다.

핏치블레이드 터바인과 比較하면 水中임펠러는 50%의 動力節減을 달성하는데 그 결과로서 石膏結晶의 剪斷은 어느 흐름의 요구조건에 대해서도 最小化된다. 液體表面에 近接위치한 水中임펠러는 燐鑽石을 效果的으로 적시게 하고 거품을 浮遊시켜 運搬함으로 破泡장치가 不必要하다. 水中임펠러는 플렛블레이드나 또는 핏치블레이드 터바인처럼 개인공장에서 쉽게 제작할 수는 없지만 運轉壽命, 燐酸成分回收, 動力節減 등이 좋아지고 石膏의 부착이 줄어들므로 추가비용을 쉽게 상쇄할 수 있다.

Prochem은 燐酸工場用 高効率의 水中임펠러 두 種類를 제공하고 있다. Maxflo Mark II 임펠러는 水中임펠러용 厚板캐스트블레이드로 제작된다. 新型 Maxflo Mark III 임펠러는 固定 또는 移動形으로 제작한 水中임펠러의 블레이드가 특징이다. 兩임펠러는 最大의 強度를 위해서 內部를 보강한 직경이 큰 허브(Hub)를 活用하였다. 특정용도의 블레이드핏치의 最大의 効率을 위하여 工場에서 정밀하게 맞춘다.

Prochem의 水中임펠러 技術은 이제 주로 美國 및 캐나다의 많은 2水 및 半水燐酸工場에서 사용되고 있다. 여러 工場의 既存 교반기는 舊型裝置의 改裝을 하였는데 그것은 Prochem의 터바인이 45° 軸流型 터바인보다 약 50%까지 더 오래 견딜 수 있다는 것이다. 플로리다의 한 工場에서 1年間 사용한 결과 Prochem의 터바인블레이드의 複合的인 磨損이나 浸蝕狀態는 매우 미세하여 치수상의 변화나 成績상의 變化가 없었다. 이와 같은 期間中 45° 軸流型터바인은 工程能力의 損失이나 關聯된 損傷

이 매우 심하였다. 더우기 Maxflo " T " 區間內의 石膏더미의 형성은 같은 動力消費
量에 대하여 12 ~ 14 인치의 숫자에서 단지 2 인치로 감소되어 洗滌이 必要없게 되었
다. 다른 고객들도 磷酸回收率의 改善과 濾過性이 더 좋은 것은 물론 흐름의 양상이
더 均一하고 流體의 通路에 石膏더미가 적게 형성되었다고 보고하였다.

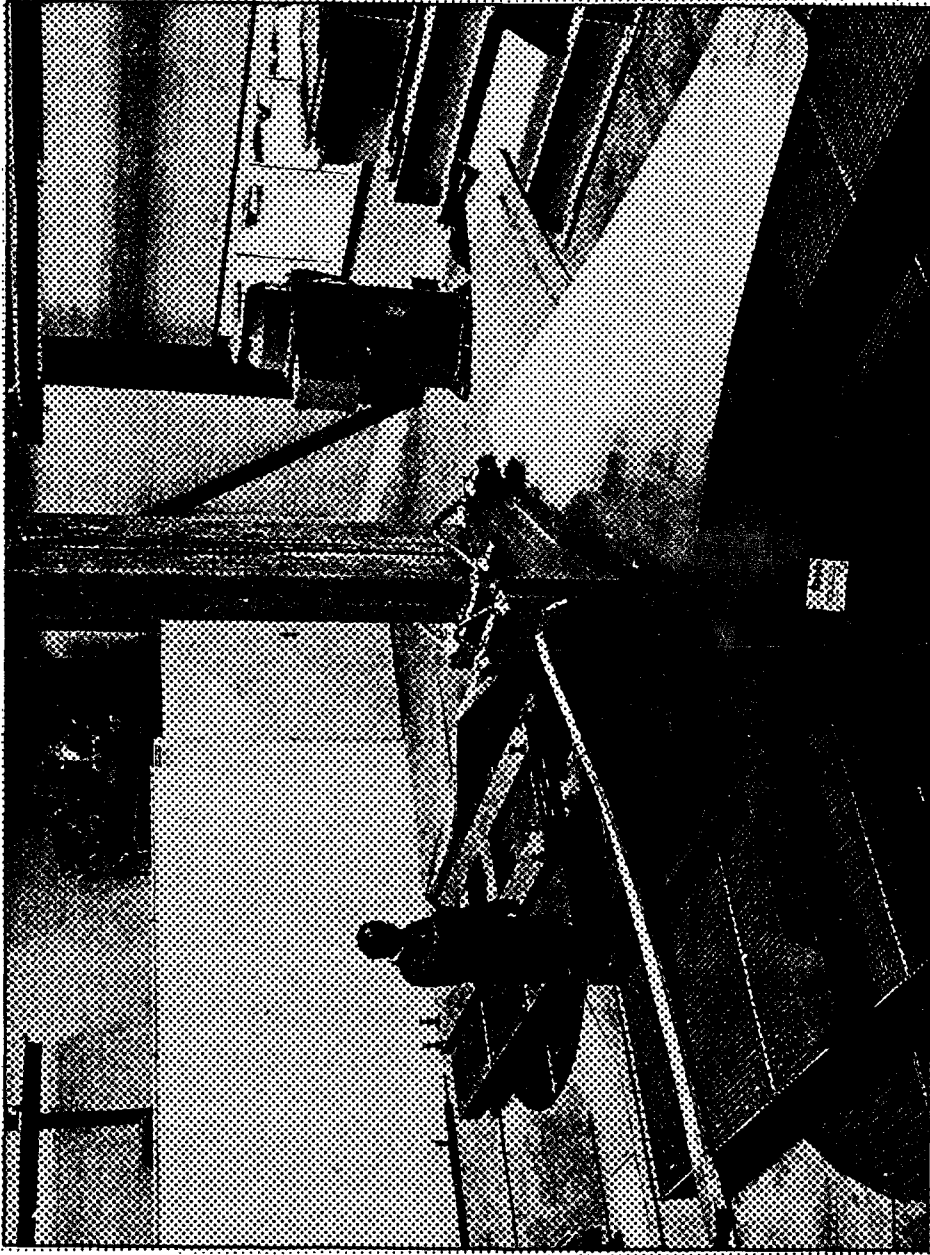
(2) Robin 인더스트리

Rhone-Poulenc 社의 磷酸工程에 攪拌器를 공급한 Robin 인더스트리社는 여러해
동안 攪拌裝置의 設計, 엔지니어링 및 건설공사에 적극적으로 參與하였다. 1962 年
以來 Robin 인더스트리社는 磷酸生産用 어택反應槽 70 여기를 供給하였다.

Rhone-Poulenc 社의 2 水磷酸工程의 어택部門은 단일 탱크에 中央攪拌器로 구성
되었다. 中央攪拌器 (사진 參照)는 送入되는 磷鑛石의 체류시간과 슬러리의 요구되는
높이에 따라서 1 개 또는 2 개의 프로펠러를 장치한 스퀘어샤프트 (Square Shaft)
로 組立되었다. 각 임펠러는 블트로 조인 4 개의 날개 (Blade)로 구성되었다. 이 변
형된 船舶用形態의 프로펠러가 選擇되었으며 工場經驗 및 Rhone-Poulenc 과 Rob-
in 인더스트리의 研究에 의해서 개선되었다. 이것은 재순환율을 크게 높이고 混合
成績의 效率을 좋게 하며 剪斷性이 낮게 抑制되도록 한 것이다.

再循環率 (再循環流量 및 탱크의 오버플로우율)은 既存 모든 工程中에서 가장 높
은 수치인 600 정도이다. 全體 슬러리는 每 8 秒마다 攪拌器의 날개를 통과한다.

이 方法에 있어서 遊離黃酸의 濃度는 反應物質 (濃度差는 탱크內의 어느 지점이나
1.5g/l 이하임)을 통하여 일정하게 유지된다. 이 工程의 높은 均質性은 충분히
작은 粒度的 分散으로 生産된 슬러리의 濾過가 잘되게 할 수 있는 계속적이고 안정
한 石膏結晶을 生産할 수 있게 하였다.



Robin Industries' agitator design for phosphoric acid, featuring a square shaft equipped with one or two propellers.

操業中인 工場으로 부터 얻은 결과를 토대로 最近에 開發된 것은 低速으로 운전되는 직경이 큰 임펠러를 사용하여 動力消費量을 줄이고 循環容量을 증가시킨 것이다. 이 직경의 比(탱크對 프로펠러)는 3 以下이다.

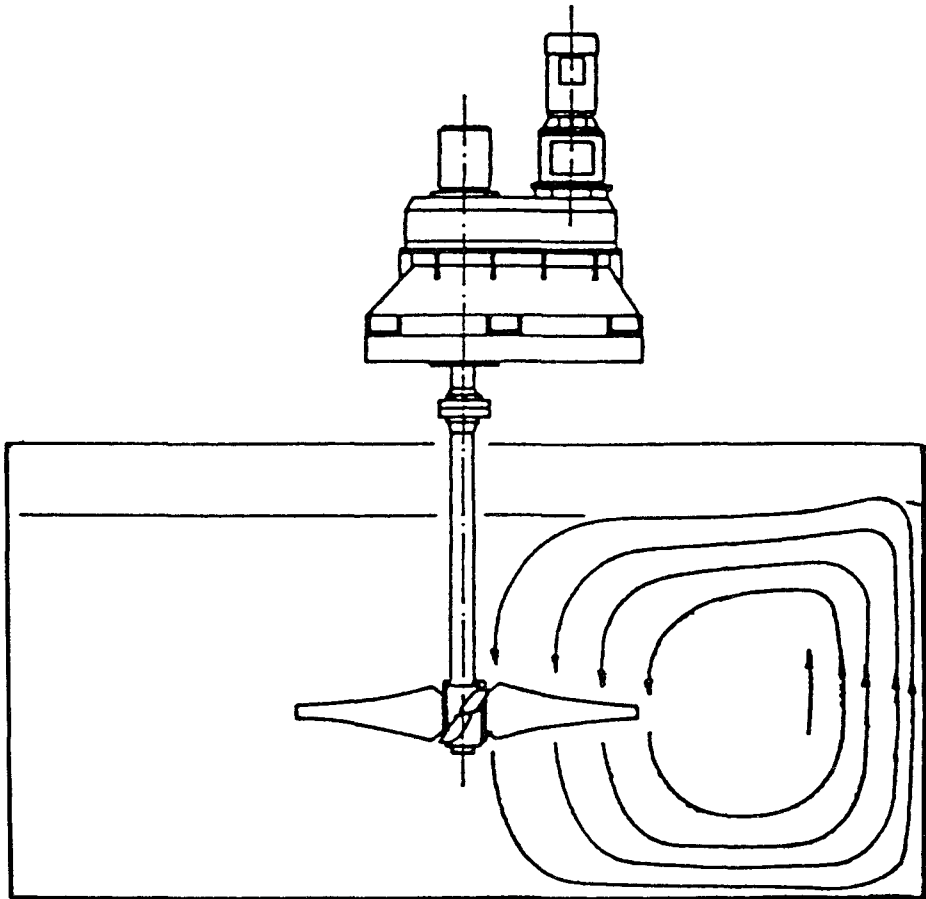
1980 年代初에 設計한 低에너지 攪拌器의 代表的인 電氣消費量은 $0.23 \text{ Kwh}/m^3 \sim 0.28 \text{ Kwh}/m^3$ 정도이다. 1986 年 以後에 設計한 工場은 에너지消費量을 약 10%까지 줄일수 있는 것으로 期待된다.

全體的인 슬러리의 容積이 滿轉(Vortex) 또는 소용돌이(Swirling)를 일으키는 것을 피하기 위하여 탱크의 벽에 수직바플(Baffle)을 장치하였다. 이것은 탱크의 全容積에 最大의 分散力을 보장하고 벽의 위를 향하여 올라가는 速度를 더 크게 하여 준다. 이 速度는 임펠러로 퍼내린 全體의 배출유량이 固體의 침강율(Settling rate)을 훨씬 초과하는 여유속도로 180° 의 方向을 바꾸어서 통과되도록 정한다. 代表的인 흐름의 모양은 Fig.5에 나타냈다.

Rhone-Poulenc 社가 설계한 단일탱크工程의 어택部門(가스스크러빙 包舍)은 整備補修의 必要가 거의 없다. 대부분의 整備補修는 年次補修期間(6~14日)중에 실시한다. 사소한 整備는 濾過裝置를 洗滌하기 위해서 工場을 세울때 실시한다(年間 720시간).

年次整備補修時 교반기 날개의 主要部分과 뒷전(trailing edge)은 每 1~2年마다 재조립하고, 하부임펠러는 每 3年마다, 상부임펠러는 每 4~5年마다 교체하며 표면 冷却器는 약 10年 그리고 黃酸分射裝置는 每 4年마다 교체한다.

Fig. 5: A Typical Flow Pattern for the Central Agitator in Rhône-Poulenc's Single-Tank Process



가정에는 소비절약 기업에는 원가절감

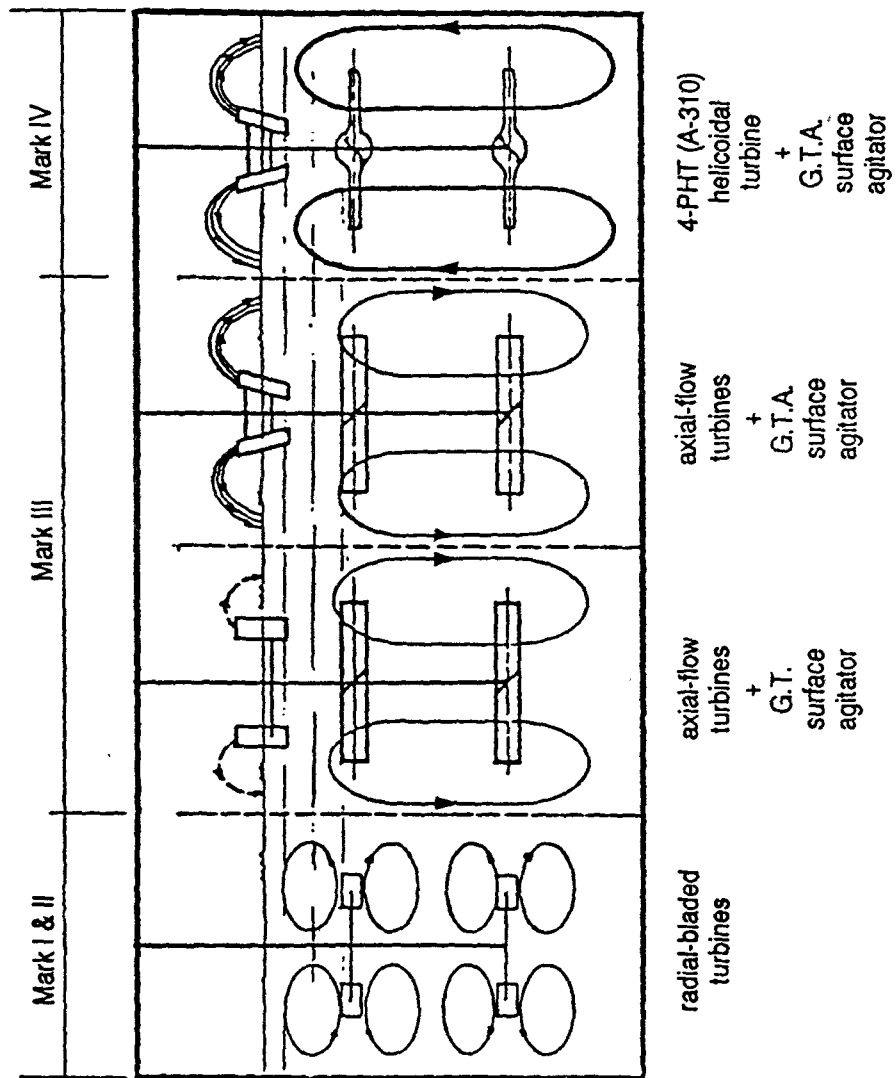
(3) Prayon

Prayon 工에서 오랫동안 設計하고 사용해온 많은 攪拌器는 몇차례 변경된바 있다 (Fig.6 參照). Prayon 社의 Mark I 과 Mark II 2 水工에서는 放射翼型 교반기를 사용하였다. 그러나 剪斷의 문제점을 초래한 이 교반기의 設計는 動力의 消費量이 너무 많았고 탱크內容物의 効果的인 均質化를 달성하지 못하였다. 1970 年代에 Engis 에 있는 Prayon 社의 工場은 에너지節約型으로 입증된 핏치블레이드 軸流型 로터 (Rotor) 로 된 攪拌器로 전환하였다.

磷鑛石의 發泡傾向이 점진적으로 증가됨에 따라 기계적인 破泡장치로서 作用할 수 있는 表面攪拌장치의 추가가 必要하다고 판단하고 放射型블레이드 페달셋트를 最初로 表面에 設置하였다. 이 블레이드는 변동성 거품의 높이에 대처할 넓은 수직단면을 가지고 있어야 한다는 것이 나중에야 알게되었다. 이 設計는 GTA (Gross Tete Agitateur) 設計라고 하는데 이것이 샤프트에 조립한 最後의 破泡장치라고 생각하고 있다.

사용한 動力의 水準과 同一한 水準의 높은 均質化의 달성을 겨냥한 45° 핏치블레이드 터바인에 대한 그 다음의 개발은 Prayon 社의 나선형 터바인 (Prayons Helicoidal Turbine) 에 귀착되었다. 이와같은 타입의 교반기에 대한 기계적 설계는 입증되기가 좀 어렵기 때문에 Prayon 社는 攪拌器製作의 전문회사와 특허계약을 맺기로 결정하였다. 그 결과 Prayon-Lightnin 교반기가 나오게 된 것이다. Lightnin 社의 攪拌器는 自社가 관계했던 것과 유사한 타입의 임펠러인 A-210 을 選擇하였는데 이것은 Prayon 社의 나선형 터바인에 레이저光線의 實驗室 研究에서 얻은 高度의 技術을 適用할 수 있었던 것이다. 그 결과 Prayon Lightnin 社가 설계한 A-310 은 이제 磷酸工場뿐만 아니라 모든 化學工程의 分野에서 사용할 수 있게 되었다.

Fig. 6: The Development of Prayon Agitator Designs



最新 標準設計인 Mark IV 설계는 Prayon-Lightnin社의 A-310 (또는 4-PHT)
인데 이것은 두 세트의 軸流型블레이드와 하나의 표면 GTA (破泡裝置) 를 가지고
있다.

4. 濾過裝置의 設計

기계적으로 설명을 한다면 濾過裝置는 磷酸工場에 있어서 複雜한 裝置品目中의 하
나이며 磷酸工場에 대한 投資費의 重要한 몫을 차지하고 있는 것이다. 酸과 眞空,
配管과 펌프를 包含하는 濾過裝置는 2 水工場에 대한 投資費의 약 50%를 차지한다.
그러므로 가장 좋은 濾過裝置를 選擇하는 것은 매우 중요한 것이며 磷酸製造用 장치
로서 적합한 것은 단지 세가지 기본적인 타입으로 壓縮된다.

濾過裝置의 運轉사이클에는 다섯가지 기능이 있다. 첫째 酸製品이 石膏케이크와 分
離되고 다음에 여과된 케이크는 케이크중에 남아있는 磷酸成分을 더 回收하기 위하여
洗滌 (통상 2~3 단계洗滌) 한 後 工程水의 節約과 아직도 케이크중에 남아 있는 磷
酸成分의 損失을 最少化하기 위하여 케이크중의 水分을 脫水한다. 脫水된 케이크는
放出하고 마지막으로 여과장치의 濾布를 洗滌한다. 슬러리가 처음 침전될때 약간의
微細한 固體는 最初의 혼탁한 濾液을 만들면서 치밀한 여과케이크가 형성되기 始作할
때까지 濾布를 통과한다. 이 初期의 濾液은 별도로 분리하여 슬러리 送込部門으로
되돌려 보낸다. 濾布밀쪽에는 濾液의 通過率을 促進하며 치밀하고 均一한 濾過케이크
가 生産되도록 眞空을 걸어주어야 한다. 이와같은 연속운전을 수행할 수 있는 濾過裝
置의 유일한 타입은 Eimco, Delcor 및 Pannevis 와 같은 會社가 供給하는 水平
벨트식 眞空濾過裝置, Bird and Profile社가 供給하는 Bird-Prayon 틸팅 팬식
眞空濾過裝置 및 Rhone-Poulenc가 供給하는 UCEGO 회전테이블식 진공여과장치이다.

(1) 진공벨트식 濾過裝置

眞空벨트식 濾過裝置에 있어서 슬러리와 洗滌水는 고무벨트나 또는 기타 支援裝置의 위에 設置된 연속적으로 움직이는 濾布의 리본(Ribbon) 위에 일정한 간격으로 던져진다. 고무支持벨트의 上部表面은 벨트의 全幅에 걸쳐서 眞空을 걸어주고 濾液과 洗滌水가 벨트의 中央으로 올라가는 線과 일치한 排水구멍을 통해서 흐르게 하는 濾布의 밑에 깨끗한 通路(水路)를 마련하여 주기 위하여 옆으로 골이지게 되어있다. 液體가 가급적 빨리 排水되는 것을 보장하기 위하여 가로軸에는 벨트의 가장자리로부터 中央으로 傾斜가 지게 홈을 파 놓았다. 이 벨트의 구멍은 液體가 벨트통로위에 있는 眞空박스의 直線配列로 排水할 수 있도록 되었다. 각 眞空박스에서 나온 排水口는 그의 성질에 따라서 工場의 적당한 위치로 보내진다.

대부분의 磷酸工場에 있어서 지지벨트에 사용되는 材料들은 통상 انسان공장에서 부닥치게 되는 複雜한 條件에 견딜수 있는 특별한 형식의 스타이렌-부타디엔 合成고무(SBR)로 제작된다.

抗張力과 伸張強度는 고무의 구조를 구분하는데 예민한 인디케이터가 된다. 즉 이들 두 파라미터의 변화는 여러가지 合成고무형식의 적합성을 比較하는데 사용된다.

벨트中央의 아랫쪽과 眞空박스포트 사이에는 氣密室(Seal)이 되어 있기 때문에 이 部分은 대부분 닳아지는 경향이 있다. 그리고 벨트는 中央部位가 제일 두텁기 때문에 이 表面과 반대쪽 表面위에 있는 홈의 가장자리도 벨트가 마지막 롤러를 통과 할때 팽침과 壓縮을 크게 받지 않으면 안된다. 그러므로 벨트의 故障은 대부분 中央部分에서 발단되게 된다. 變形되는 損傷을 가급적 최대로 줄이기 위하여 벨트는 절대적으로 必要以上 두껍게 만들면 안되며 이것은 특히 工程의 條件이 더 까다로운 半水工場의 運轉에 중요하다.

濾過工程은 石膏케이크의 生成域으로 부터 여러가지 洗滌域으로 진행됨으로 이 두 工程域은 分離해서 생각할 수 있으며 濾液이 한 단계에서 다음 단계로 넘어가는 것을 최소로 줄여야 한다. 이것은 경사지게 만든 홈에 의해서 성취될 수 있다.

벨트의 中央線에 따라 있는 구멍들도 벨트를 弱化시키는 원인이 된다. 이 구멍들은 液體가 眞空박스의 밑으로 자유롭게 흐를수 있도록 충분히 커야 하지만 벨트를 支持해 주기 위해서는 충분한 고무에 의해서 구멍들의 간격이 벌어져 있어야 한다. 벨트를 사용하는 동안 酸은 필연적으로 고무의 表面 특히 구멍의 口邊을 침식한다. 벨트의 伸縮이 반복되면 단단한 고무에 균열이 생겨 고무內部로 酸이 침투하게 된다. 결국 벨트는 구멍들의 線을 따라서 갈라지게 된다. 그러므로 구멍들의 간격을 더 많은 고무바닥으로 벌려 놓을수록 벨트는 더 오래 사용할 수 있다.

濾布는 벨트의 兩가장자라에 있는 원위치에 支持되게 하고 送入 슬러리와 洗滌水가 벨트의 옆으로 업질러지는 것을 방지할 수 있도록 융통성이 있는 조임틀(Curb)로 연속적으로 고정되어 있다. 後者(조임틀)의 기능을 効率的으로 하려면 조임틀의 높이는 대략 4인치(12.5 cm) 정도가 되어야 한다. 조임틀 셋트의 수명은 일반적으로 융통성이나 酸의 條件에 따라 2~5年이다. 조임틀의 제작과 設置方法이 크게 發展되어 왔지만 벨트와 같은 壽命을 가진 조임틀은 아직까지 開發되지 못하였다. 濾布의 選擇과 편성(Tracking) 및 伸張力調節(Tensioning) 시스템은 벨트식 濾過裝置에 매우 심각한 경제적 영향을 미치는것이 틀림없다. 벨트의 運轉壽命은 약 20年 정도이다. 이 운전수명이 지나면 濾布의 소비량은 最初의 濾過裝置의 가격과 같거나 두 배 또는 세배가 된다.

濾布用 材料는 耐蝕性和 耐熱性이 있는것을 選擇하여야 하며 그 織物은 충분히 뻣뻣하거나 또는 주름이 잡이지 않도록 실을 촘촘하게 짜야 한다. 이 基準에 맞는 실은 대부분의 폴리에스터 모노필라멘트絲가 적합한 것이다.

(2) Eimco

Eimco-Extractor의 水平벨트식 眞空濾過裝置는 1960年代初에 처음으로 소개된 이래 磷酸製造工場을 包含한 여러가지 工程用으로 世界各國에 650여기를 設置하였다. Fig.7은 이 벨트의 설계를 나타낸 것이다.

水平벨트식 濾過裝置의 가장 중요한 部分은 排水벨트이다. 이 設計의 主要素는 均一한 濾過性和 기계적 強度가 좋고 化學物質에 견딜수 있는 것이다. Eimco社의 벨트제작기술의 지식(Know-how)과 계속인 研究의 結合은 이 會社를 加黃處理(Vulcanization) 및 뼈대용 탄성중합체(Carcass elastomer)의 선정에 있어서 전문가가 되게 한 것이다. 接着은 接着強度를 최대로 높이고 뼈대보호를 確實히 하기 위하여 熱加黃處理를 하였다. 뼈대는 化學浸蝕과 葉裂(Delamination)을 방지하기 위하여 전체를 캡슐로 씌우는 것이 중요하다.

(3) Delkor

Delkor社의 水平벨트식 濾過裝置는 원래 까다로운 大形鑛産內의 工程에서 연속적 무사고로 操業을 할수 있는 必要條件에 만족하도록 개발된 것이다. 그러나 세월이 지나면서 磷酸工場의 用途가 증가되어 사실상 모든 타입의 磷酸工程에 사용되었다. Delkor社는 지금까지 韓國 南海化學의 磷酸工場에 世界最大의 水平벨트식 濾過시스템(Delkor社의 4.2 m幅의 운반여과벨트를 活用한 $2 \times 110 m^2$ 의 酸濾過裝置)을 제작 설치하였다.

Delkor社의 벨트식 여과장치는 가장 힘든 條件의 運轉에 견딜수 있도록 設計되었다. 이 裝置는 運轉을 쉽게 하기 위해서 단순화하였지만 아직도 일상적인 整備目的의 모든 닳는 부품은 사용하기 편리하게 남아 있다.

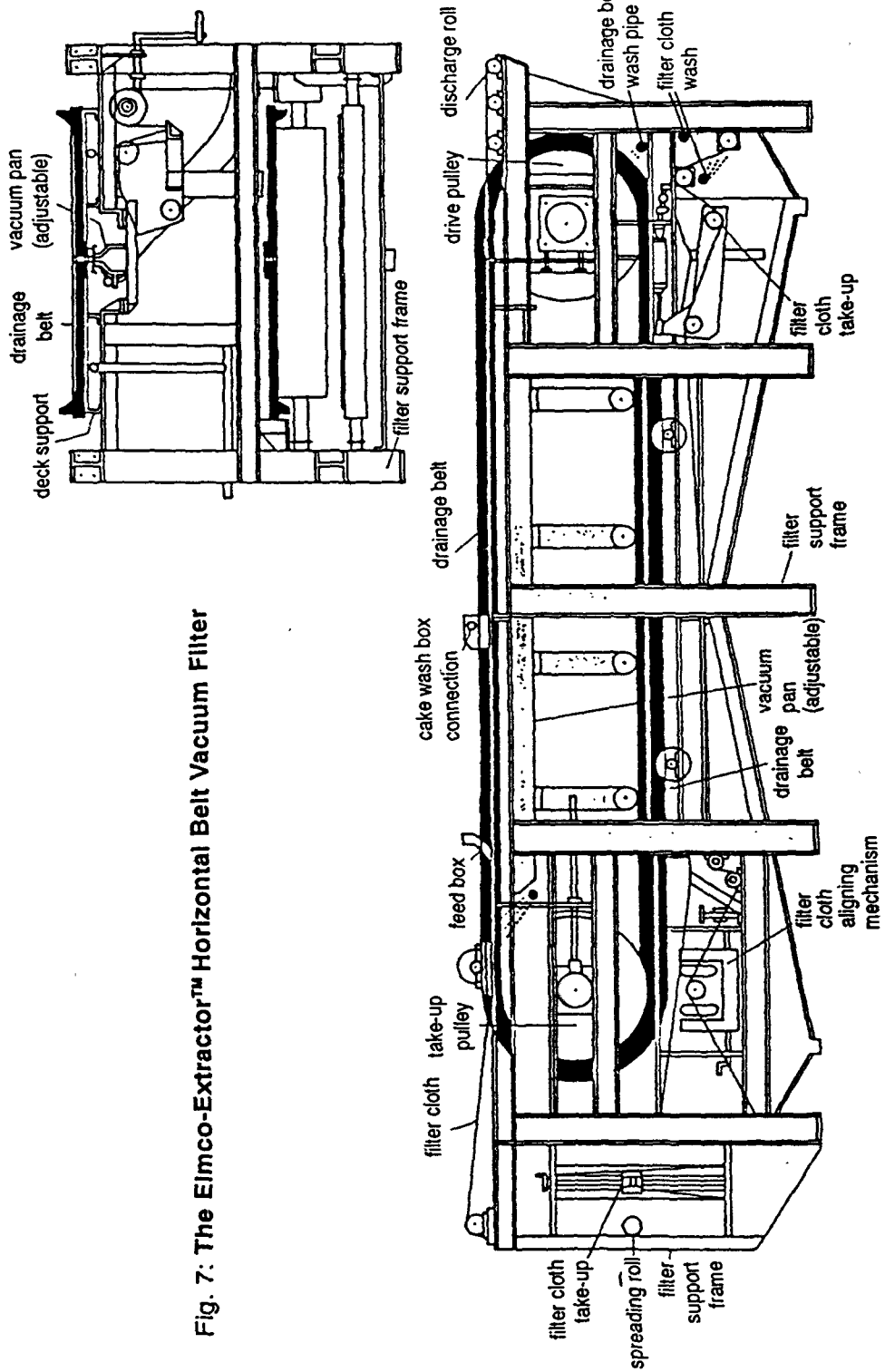


Fig. 7: The Elmco-Extractor™ Horizontal Belt Vacuum Filter

Delkor 社は 250 m³까지의 磷酸工場用 여과장치를 供給할 수 있다. 速度가 15m/min인 代表的인 벨트는 18~20 inHg의 眞空으로 사용된다. 여기서 濾過된 케이크는 平均 30 mm의 두께이며 水分含量은 25~30%이다.

濾過裝置의 骨組는 스테인레스 스틸로 되어있다. 濕式工程用 部品製作에 必要한 유일한 특수자재는 904 L이다. 대형 여과장치는 고객의 현장에서 建立되지만 작은 濾過裝置는 Delkor 社の 제작소에서 組立된 다음 顧客의 工場으로 輸送됨으로 設置時間이 短縮된다.

마찰이 적은 材料로 만든 웨어스트립(Wear Strips)은 眞空박스위에 볼트로 부착되어 있다. Delkor 社は 신속하게 교체할 수 있는 헐거운 웨어벨트(Loose Wear belt) 시스템(主운반벨트에 결합시킨 것이 아님)을 사용한다. 代表的인 웨어벨트의 壽命은 12개월정도가 期待되며 값이 低廉한 새 웨어벨트 셋트는 眞空박스를 올리거나 내리는 간단한 카운터웨이트(Counter Weight) 시스템을 사용하여 한시간 이내로 설치할 수 있다.

Delkor 社の 眞空박스는 바 실(Seal)을 미끄럽게 하거나 冷却하기 위하여 사용되는 실워터(Seal water)가 넘치는 것을 즉시 集水하거나 排水하여 骨組위에 壓질러진 것을 모두 제거할 수 있도록 설계되었다.

이 運搬벨트는 에어박스로 마련된 에어쿠션으로 支持된다. 低壓의 空氣가벨트의 견인력을 最小로 줄이면서 사방으로 分散된다. 이 일을 하고 나온 空氣는 工場操業을 깨끗하게 하고 물이 汚질러지는 危險이 없도록 하는데 사용된다.

Delkor 社は 磷酸工場에 폴리에스터 濾布를 사용한다. 濾布를 짜는 방법은 2水 또는 半水結晶의 分離工程에 따라 여러가지로 組立된다.

2水나 半水用 濾布의 壽命은 각각 3~12개월과 3~4개월이다.

Delkor 社の 濾布트랙킹시스템은 까다롭고 完全하게 密封된 센서에 의해서 作動되

는 濾布트랙킹시스템으로 구성되어 있다. 주름을 펴는데는 활모양의 롤러를 사용한다.

(4) Pannevis

水平眞空式 濾過와 高効率의 洗滌 및 脫水分野에서 전문회사인 Pannevis 社는 世界 各國에 500여개의 여러가지 工程用 濾過裝置를 設置하였다. 이 會社는 最近 半水 工程用 90 m²의 고무벨트식 (RB 타입) 여과장치를 화란에 있는 Hydro Agri社에 판매하였다.

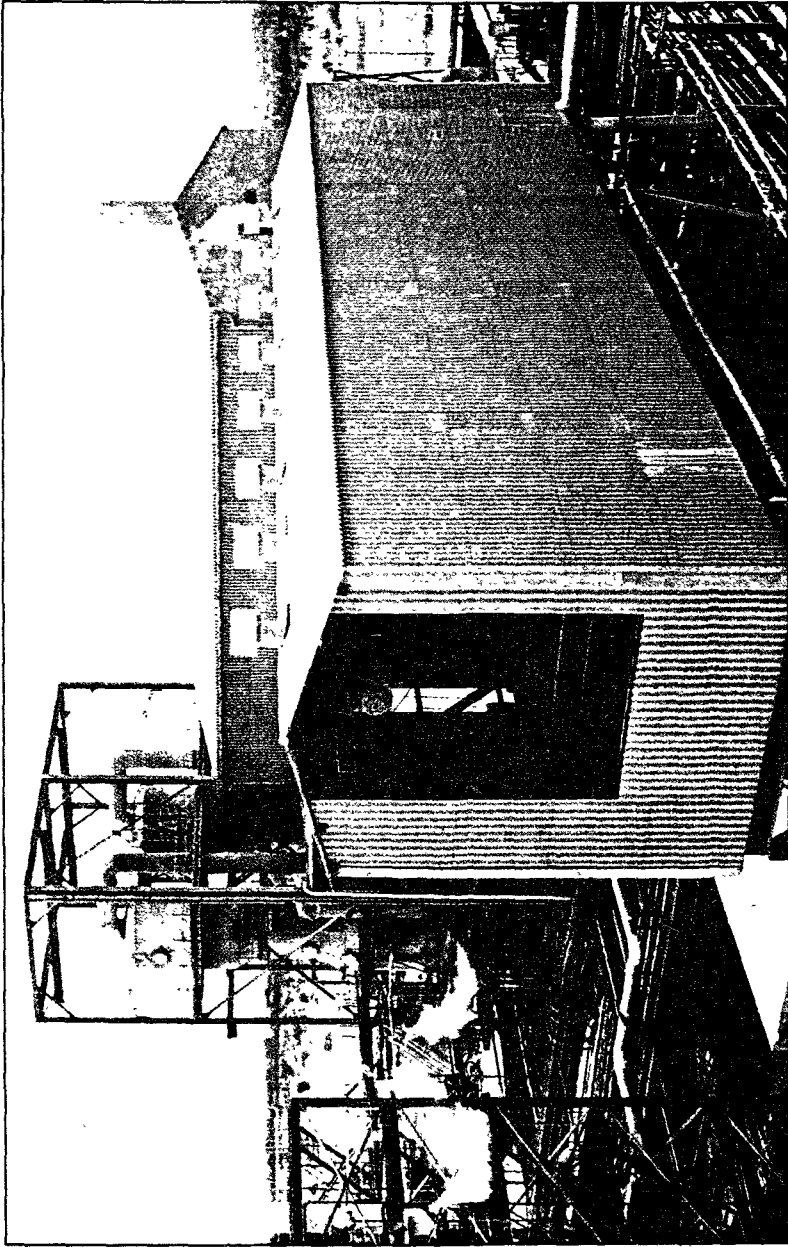
RB 타입 여과장치는 3層의 고무벨트로 되어 있는데 맨 아래의 고무층은 4~8 mm 두께에 플라스틱보강의 5겹천으로 되어 있으며 맨 위의 고무층은 그 두께가 8~25 mm이다. 윗층에는 液體를 排水하기 위한 홈이 파져있다. 다른 벨트의 설계와 마찬가지로 이 벨트는 양쪽에 부드러운 고무조임틀이 설치되어 있다. 이 조임틀의 바닥은 벨트와 조임틀 사이의 結合面積을 크게 하기 위하여 특별히 크게 되어 있는데 이것은 剪斷力에 對한 저항이 증가된다.

이 벨트는 스테인레스 스틸로 全體가 支持되고 작동변속장치가 있는 전동기나 水力學的 시스템으로 구동된다 (사진 參照).

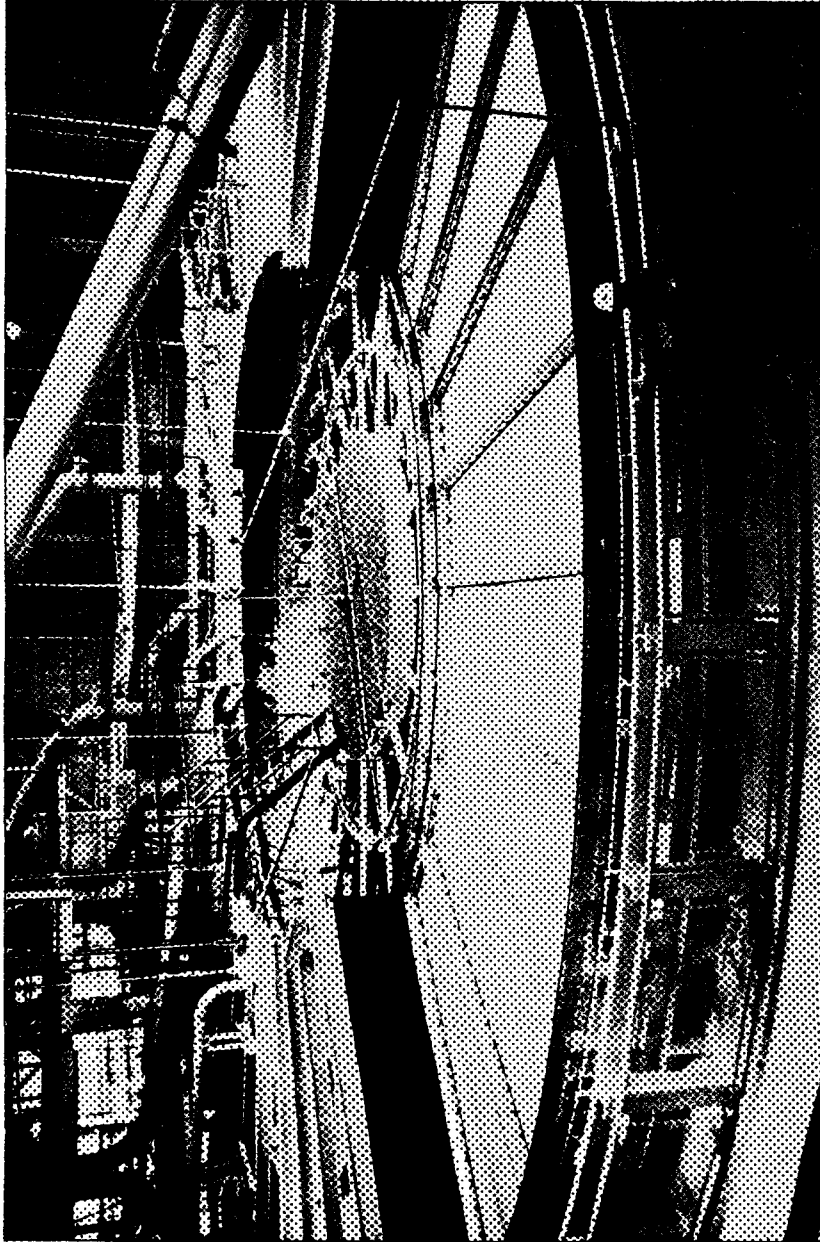
주름이 안잡히는 濾布에 대한 重要性의 견지에서 Pannevis 社는 이 문제에 많은 관심을 기울였으며 핀칭 (Pinching) 롤러셋트와 曲軸의 주름이 안잡이게 펴주는 롤러셋트 시스템을 提案하고 Pan strecker 시스템을 개발하였다.

(5) Prayon

1940年代初 以來 Bird-Prayon 濾過裝置는 世界各國의 磷酸工場에 250여기를 설치하여 왔다. 美國 사우드 윌폴 (Wapole)에 있는 Bird Machine 社는 1977년에 처음으로 Prayon 여과장치의 면허자가 된 이래 Bird-Prayon의 이름으로 Prayon



The building requirements for retrofitting a Delkor belt filter into a phosphoric acid plant are very simple, even if a new building is required. This building houses a 50-m² Delkor phosphoric acid filter. To minimize scaling and pumping problems the building is raised to allow gravity flow of filtrates into barometric seal tanks.



The Bird-Prayon tilting pan filter, marketed by the Bird Machine Company and Profile.

의 털팅팬식 濾過裝置를 販賣하여 왔다. Prayon社는 이제 두번째 면허자가 되었는데 (사진參照) 그것은 1990年 7月에 樹立되었으며 유럽지역의 市場開發 책임을 인수받았다.

Bird-Prayon 濾過裝置는 본래 中央분사장치의 주위로 회전하는 원형水平式 骨組 위에 固定된 各 濾過팬列로 만들어져 있다. 이 팬위로 濾過될 슬러리가 떨어지고 이어서 洗滌液이 분사된다. 팬은 眞空으로 되어 있는 中央분사 장치나 中央발브에 裝甲 호스로 연결된다. 분사장치는 濾液의 排水가 酸의 濃度에 따라 팬에서 몇개의 區間으로 들어가도록 한다. 팬이 뒤집인후 케이크는 가벼운 空氣壓力의 도움으로 排出된다. 팬이 아직 뒤집혀 있는 위치에서 濾布를 洗滌해주는 물이 분사된다. 그 다음 팬은 水平位置로 되돌아 와서 여과싸이클의 반복에 대비된다.

Bird-Prayon 여과장치의 設計와 效率를 改善하기 위하여 最近 여러가지 開發을 하여 왔는데 이중의 몇가지를 요약하면 아래와 같다.

1989年에 신형 셸보텀(Cell bottom)의 設計가 開發되었다. 特許申請은 그들의 高速排水셸의 設計에 관한 部分이었다. 스테인레스 스틸로 構造를 만들고 熔接하여 축조한 사다리꼴 모노코크구조(Monocoque)의 케이싱에 內外側 베어링을 통하여 지나가는 2개의 耳軸(Trunnions)이 設置된다. 內側 耳軸은 空氣와 濾液의 통로로 사용되고 外側 耳軸은 傾斜動作을 보장해주는 2個의 팬유도롤러를 가지고 있는 유도레버가 갖추어져 있다. 셋째 롤러시스템은 전체의 濾過싸이클기간중 셸이 自動적으로 完全한 水平位置에 있도록 유지해 준다. 케이싱은 濾布支持臺와 적당한 濾布로 장치되어 있는데 濾布支持臺와 濾布가 모두 특히 튼튼하게 組立되도록 熱쇠기클램프 셋트로 케이싱에 고정되어 있다.

신형 셸과 구형 경사셸(Slop bottom cell)의 排水時間을 比較하기 위하여 試驗을 실시하였다. 이 試驗은 첫번째(強酸)의 케이크洗滌液이 셸에 채워진후 여과되는

時間差를 測定하는 것으로 하였다. 이 强酸性 洗滌母液이 여과되기 전에 케이크가 完全히 형성되고 그중의 한 썰의 표면이 언젠가 건조하게 된다. 그 결과 乾燥된 케이크가 신형 썰에서 빨리 나타난다는 것을 보여 주었다(총 여과싸이클의 71% 대신 68%). 濾液이 케이크表面으로 부터 마지막 여과되고 분사장치가 다시 作動할때까지의 排水時間은 신형의 썰이 훨씬 짧았다(구형 29%에 比하여 신형 9%).

신형 高速排水썰은 排水時間이 짧기 때문에 여과장치의 여과容量이 그의 크기에 따라서 8~10%까지 커지게 된다. 기타의 경우 그 目標가 容量을 증가시키지는 못할지라도 水溶性 인산성분의 損失은 줄일수가 있다. 이것은 全體的으로 썰의 排水能力이 改善됨으로 인하여 洗滌液의 累積的인 量의 節減에 영향을 미치게 된다. 容量의 추가를 제한하는 것은 케이크가 排出狀態로 되기전에 분사장치내에 濾液이 더 오래 남아있게 함으로서 過負荷되는 여과장치에서 볼수 있는 인산성분의 損失을 줄이는데 유용하게 될수도 있다.

두번째 개발은 다른 타입의 분사장치를 도입하는 것이다. 原來의 타입인 AL(Lateral Apiration)의 設計는 팬에 연결되어 廻轉骨組에 의해서 驅動되는 上部 廻轉部分과 重力과 遠心力에 의해서 氣體로 부터 濾液을 分離하는 몇개의 受器(Receivers)에 그들의 內容物에 따라서 濾液이 분사되는 中間층에 스틸 支持臺로 견고하게 固定한 下部固定部分으로 구성되어 있다.

신형인 AC(Central ASpiration)의 設計가 구형인 AL의 設計와 다른 점은 분사장치의 中間에 위치한 氣體와 濾液을 미리 分離해 주는 分離 바가 있는 점이다. 구형인 AL 분사장치와 比較하여 이 신형발브의 長點은 여과장치의 層高를 낮추는 것인데 4m까지 줄일수도 있다. 이것은 受器와 그 連結配管을 제거함으로써 가능한 것이다. 濾液이 흐를수 있는 能力도 발브내부와 眞空回路를 통한 壓力降下가 작기 때문에 改善된다. 初期에 液體와 가스를 分離하는 것도 스케일이 끼지 않게하는 문제

에 도움이 된다.

濾過裝置에 대한 기타의 改善은 廻轉速度가 커지게 함으로서 濾過能力을 증가시켜 주는 신형 低加速 廻轉트랙 (Inverting track) 과 보조시스템 : 스케일이 심하게 끼는 경향이 있는 슬러리에 대한 추가洗滌 시스템 : 슬러리를 送入하는 동안 일으키는 攪流를 줄이기 위한 2重送入口의 신형 슬러리 送入박스 및 濾過싸이클기간중 쉘을 水平으로 유지하기 위한 기계식 자동시스템 등이 있다.

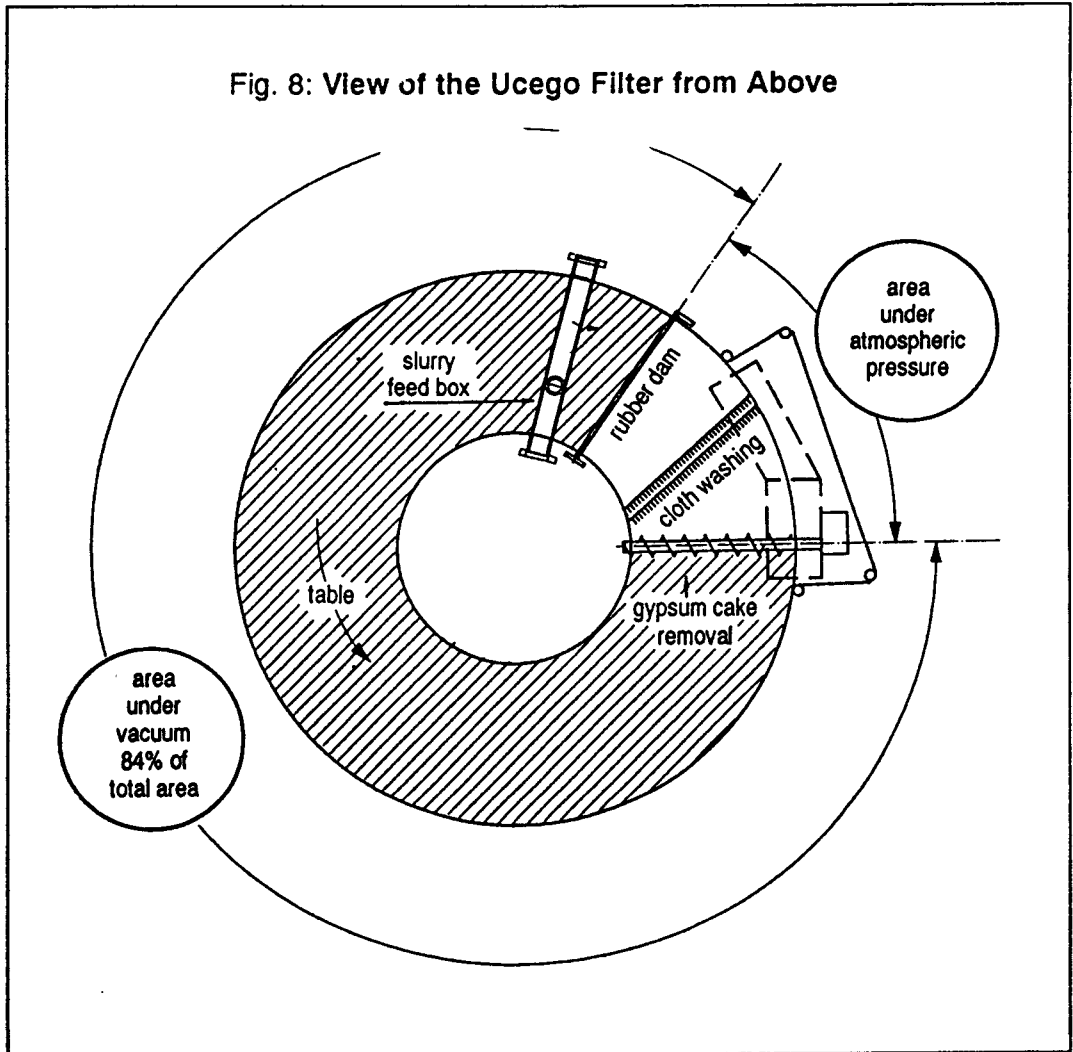
(6) Rhone-Poulenc

UCEGO 廻轉테이블식 濾過裝置는 Rhone-Poulenc 社의 磷酸工場 전문가들이 F. Aoustin & cie와 協力하여 設計開發한 것인데 현재 이 장치는 眞空狀態의 效果的인 濾過面積 $9\text{ m}^2 \sim 320\text{ m}^2$ 범위내에서 15가지의 크기가 다른 여과장치를 제작할 수 있다.

UCEGO 濾過裝置는 수직中央軸의 주위를 廻轉하는 輻狀의 水平테이블로 구성되어 있다. 슬러리는 단일분사장치로 送入된다. 테이블面積의 대부분은 磷酸슬러리의 여과를 위한 眞空으로 되어 있고 나머지 面積으로는 大氣壓下에서 濾布를 洗滌한다 (Fig. 8). 特許인 “浮動시스템”은 테이블을 水平으로 유지해 준다. 濾過裝置의 크기에 따라서 테이블은 30 또는 36개 隣接濾過區域으로 나누어진다. 各 區域은 슬러리를 濾過하고 濾液이 일반 파이프를 경유하여 眞空박스로 排出되는 3개 또는 4개의 팬으로 구성되어 있다. 整備와 조정을 위하여 上下로 올리고 내릴수 있는 眞空박스의 움직이는 部分은 自體潤滑性이 있는 특수 플라스틱 가스켓으로 密封되고 있는 固定部分위에 자유롭게 얹혀있다. 洗滌液用 분사장치와 댐 (Dam)의 위치는 濾過裝置에 대한 슬러리의 性質에 적합하도록 쉽게 變更될수가 있다.

最近 濾過裝置에 대하여 여러가지 開發이 이루어졌는데 물을 消費하지 않는 신형

Fig. 8: View of the Ucego Filter from Above



케이크 제거시스템이 소개되었고 설계비가 減少되었으며 濾布洗滌方法의 改善과 運轉方法이 전반적으로 간편하게 되었다.

Rhone-Poulenc 社は 300여가지의 타입이 다른 磷鑛石을 처리하여 生産되는 石膏의 濾過性質에 대하여 研究를 하였다. 이들중 약간은 다른것보다 濾布를 매우게 하는 경향이 크다는 것을 알았다. 濾布위에 형성되는 스케일의 化學成分은 통상 다음과 같

은 化合物로 볼수 있다 : 추크로바이트 ($\text{CaSO}_4 \cdot \text{CaSiF}_6 \cdot \text{Ca}(\text{OH})_2 \cdot \text{AlF}_6 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$), 불화칼슘 (CaF_2), 황산칼슘 ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ 또는 $\text{CaSO}_4 \cdot \text{H}_2\text{O}$) 및 규불화나트륨 (Na_2SiF_6). 주로 규불화나트륨으로 구성된 모로코産이나 알제리産 磷鑛石과 같이 炭酸鹽含量이 많은 磷鑛石은 炭酸鹽이 스케일 형성의 원인이 되며 주로 추크로바이트 (Chukhrovite)로 구성된 토고産이나 세네갈産 磷鑛石과 같이 규소함량이 많은 磷鑛石은 규소가 스케일 형성의 원인이 된다.

스케일 문제를 극복하기 위하여 Rhone-Poulenc 社는 加壓清水 ($725 \sim 1,085 \text{ lb} / \text{in}^2 \text{g}$)를 必要로 하는 니플젯트식 스프레이노즐이 있는 高壓濾布洗滌 시스템을 開發하였다. 濾布위의 워터젯트의 幅과 일치하는 핏치에서 점진적으로 濾布를 교차하여 노즐을 움직여 주는 放射型 排水裝置는 每 3~4 時間마다 濾布를 完全하게 洗滌해 준다. 洗滌水의 總 流量은 $2 \sim 3 \text{ m}^3 / \text{h}$ 를 초과하지 않는다.

UCEGO 濾過裝置의 詳細한 記述과 運轉方法은 前刊 Phosphorus & Potassium 紙에 게재되어 있다.