

# 磷酸石膏로 製造된 新建築材料(MASAN)

閔 永 一 譯  
<韓國科學技術情報센터>

## 1. 磷酸石膏——그 問題點

酸性化反應을 통해 黃酸을 使用하는 濕式磷酸 製造工場에서 주로 生産되는 品目은 磷酸이 아니라 不純 石膏이다. 正確한 量은 磷鑛의 組成에 따라 다르지만 대체로 磷酸( $P_2O_5$ 로 表示됨) 1톤에 대하여 石膏가 4.5톤 정도 生産된다.

이 石膏는 磷酸 濃過時 물에 씻기어 찌꺼기로서 工場 밖으로 나온다. 이 特質은 不純物을 含有하고 있기 때문에 建築用 石膏를 만드는 天然材料의 代用品으로서 適合하지 못해 오랫동안 내버리기만 해 온 經濟性이 없는 物質로 여겨져 왔다.

해안 지대에서는 단지 磷酸石膏 찌꺼기를 바다로 퍼 내어 廢棄物로 處理하는 것이 보통이었다. 이때 石膏는 스스로 상당히 빨리 溶解되어 다른 有害한 影響을 미치지 않으며 含有되어 있던 遊離酸은 分散되어 事實상 流出口로부터 아주 가까운 거리에서도 感知할 수 없게 된다. 그 밖의 不純物들은 주로 容納할 수 있는 정도의 낮은 濃度로 存在하고 있다.

내륙 지방에 있는 공장은 有害한 不純物을 적당한 정도까지 吸收하고 회색할 만큼 물의 量이 充分치 못하기 때문에 石膏의 問題가 가장 심각하다. 규모가 커다란 工場에서는 막대한 量의 石膏가 생기므로 찌꺼기를 연못으로 퍼내어 물을 순환시키려면 상당히 커다란 연못이 필요하게 되므로 實用的이 못된다.

磷酸工場이 磷鑛山 옆에 位置하고 있으면 作業을 하지 않는 鑛山에 최소한 얼마간의 無水石膏를 매장할 수 있지만 大量으로 쏟아 버릴 수 없으므로 일반적인 方法이 못되고 운송비용 관계로 가능한 한 가까운 곳이어야 한다. 이 廢棄物은 곧 산더미같이 쌓여 지역적 풍경을 바꾸는 한편 含有되어 있는 不純物들이 증기로 發散되거나 酸性汚水가 되어 오염의 원인이 될 수 있다.

그래서 磷酸石膏를 그대로 내버리는 이 方法은 生態學的 理由와 美學的인 理由에서도 바람직하지 못하다. 경우에 따라 磷酸生産業者들은 현재 磷酸石膏 더미가 쌓여 있는 土地를 다른 目的을 위해 비우려고 이 쓰레기 더미를 除去하는 方法을 생각해야만 한다. 또한 土地가 가득차서 더 이상 버릴 장소가 없는 이유만으로도 다른 方法을 찾아야 하는 短點이 있다.

그렇게 多量으로 利用할 수 있는 物質의 用途는 建築敷地를 만드는데 있을 것이다. 그러나 磷酸石膏는 建物の 튼튼한 基礎를 이룰 만큼 그렇게 견고하지 못하고 필요한 荷重支持特性이 없다. 또한 그의 化學性分 때문에 콘크리트와 그의 強化劑에 害를 끼칠 가능성이 있다.

그래서 加工을 하지 않으면 磷酸石膏는 실제로 아무 소용이 없는 物質이다.

## 2. 轉化方法

### 1) 시멘트/黃酸

磷酸石膏는 오래된 無水石膏를 基礎로 하는

黃酸製造工程과 비슷한 工程에 의해 黃酸으로 變化시킬 수 있다. 이 工程에서 無水石膏은 코우크스로 구워서 二酸化黃과 시멘트 製造에 使用할 수 있는 크링카로 分解한다. 그러나 이와 같은 無水石膏의 黃酸製造工程이 磷酸石膏의 黃酸製造 工程에도 똑같이 適用될 수 있는지 의문된 점이 있고 지역적인 조건에 맞아야 하므로 지금까지 그런 工場은 두세개밖에 세워지지 않았다. 操作費는 黃이나 黃鐵鑛 燃燒式 工場보다 훨씬 많이 든다. 그 理由는 工程에 動力이 매우 많이 所要될 뿐만 아니라 裝置에 投資하는 資本金이 상당히 많기 때문이다. 특히 現代 規定에 따르는 汚染防止機器들을 갖춘다면 費用은 더욱 높아질 것이다.

## 2) 精製法

앞에서 說明한 바와 같이 建築用 石膏을 만드는 데 使用하는 原料는 天然石膏이다. 그래서 天然石膏의 代置品으로 磷酸石膏를 使用하기 위하여 高純度로 精製하는 方法을 考案하는데 막대한 努力을 수년 동안 傾注해 왔다. 石膏의 力學的인 特性은 그 形態에 따라 상당히 좌우된다는 사실은 그리 새삼스런 일이 아니다. 즉 이것은 알루미늄과 같은 어떤 不純物에 의해서 상당히 影響을 받는다. 不純物은 또한 石膏의 成形과 凝固時間에 影響을 준다.

磷酸石膏내에 存在하는 여러가지 不純物을 考慮해 볼 때 天然石膏와 같은 高純度로 精製하는 課題는 복잡해서 아무리 磷酸石膏가 처음 無料로 얻을 수 있는 物質이라 하더라도 經濟적으로 쉽게 處理해서 신뢰성 있는 工程을 考案해 내기는 어려운 일이다.

水成物質에 약간 녹는 황산칼슘은 溶液을 再結晶하여도 精製할 수 없다. 그러나 二水化物(石膏)과 半水化物的 두가지 형태의 含水化물로 나눌 수 있는데 이들은 각각 다른 結晶格子構造를 가지고 있다. 이 含水化물들은 서로 다른 水化물로 變換할 수 있고 이 工程에서 相互 結晶化된 不純物들이 除去된다. 이 水化物的 相互變換이 最近에 開發된 石膏精製方法의 核心이다. 이것은 液相에 있는 石膏를 半水化물로 變化시키고 放出된 不純物을 含有하고 있는 浮遊液으

로부터 分離함으로써 目的을 達成할 수 있다. 半水化물은 正常條件下에서 물의 存在時 石膏로 되돌아 가서 反應工程으로부터 그와 같이 除去되거나 그 이상의 段階에서 石膏로 되돌아가 더욱 精製할 수 있는 부수적인 利點을 가지고 있다.

生産品이 正確한 純度와 形態를 가지고 있도록 여러가지 段階에서의 條件들을 대단히 조심스럽게 制御해야 하고 磷酸石膏의 組成에 어떤 變化가 있다면 調整해 주어야 한다. 이것은 磷酸工場에 供給되는 巖石이 무엇으로 바뀌는가에 따라 全工程이 조심스럽게 再調整되어야 한다는 것을 의미한다. 磷酸石膏의 거의 모든 組成에 適用되도록 충분히 工程의 融通性을 갖추려면 일반적으로 工程이 복잡해지고 상당히 많은 工程段階과 裝置品目이 必要하다.

## 3) 乾燥 燒成法

石膏로부터 結晶水를 除去하는 方法中の 하나 는 燒成方法이다. 條件에 따라서 生成物은 半水化물이 또는 無水化물이 된다. 지금까지는 半水化물을 만드는 方法을 써 왔는데 단지 揮發性 不純物밖에는 除去되지 않아서 生成物의 特性이 磷酸工場에 供給되는 巖石의 組成에 상당히 많이 좌우되었다. 이러한 理由로 液體 媒介物內에서 再水化作用에 대한 研究가 그후 集中되었다.

高溫에서 燒成하면 無水石膏가 된다. 이 無水石膏는 半水化물과 같이 쉽게 再水化하는 特性을 나타내지 않으며  $\beta$ -半水化물의 경우처럼 아직도 磷酸石膏의 모든 非揮發性 不純物을 含有하고 있다. 그래서 石膏 플라스틱의 生産을 위한 用途로서는 아주 不適合하고 結果적으로 無水石膏를 만드는 乾燥燒成方法은 지금까지 거의 關心이 없었다.

## 3. Maes 法과 MASAN

아직도 工程의 核心은 벨기에의 建築材料 專問家인 M.Gustave Maes가 開發한 轉化方法에 있고 現在 工業적으로로는 브루셀에 있는 Ultra International SA社에서 進行中에 있다. 이 方法은 지금까지 해온 磷酸石膏의 加工處理法과는 다소 다른 점에서 開發하였다. 不純物을 除去하

거나 最少한 그 效果를 줄임으로써 傳統的인 建築材料와 함께 使用하기 適當한 磷酸石膏를 精製하는 代身에 不純物도 必須部分으로 이루어진 MASAN 이란 乾燥中間體로 磷酸石膏를 변화시키는 것이다. 이 物質은 大氣로부터 濕氣를 吸收하지 않으므로 축축한 條件下에서도 그대로 저장할 수 있다. 그리고 물과 어떤 化學的인 活性物로서 시멘트나 石灰로서 使用할 수 있는 安定한 組成을 形成하거나 또는 充塡材나 強化 메트릭스와 함께 豫備建築構造나 裝飾用建築材料 등으로 廣範圍하게 使用할 수 있다.

本質的으로 Maes 法은 대단히 簡單하여 脫水, 燒成, 冷却 그리고 粉碎 등의 基本的인 네가지 段階로 되어 있다. 그러나 그중에서 가장 重要한 것은 燒成方法이다. 즉, 無水石膏와 不純物이 生成物내에 올바른 形態로 存在하도록 하기 위하여 豫定된 時間 동안 豫定된 溫度로 각 段階마다 加熱되고 維持되어야 한다. 이러한 溫度와 滯留時間은 加工處理할 磷酸石膏의 種類에 따라 특별히 決定되어야 한다.

工程을 계속 作動할 수 있도록 특수 內部構造를 가진 로우터리 키른을 使用한다. 로우터리 키른에는 內部에 溫度帶를 區分하는 構造가 있다. 이것은 한 溫度帶에서 다른 溫度帶로 移動하면서 火炎의 通路로 物質을 직접 대어 다음 段階의 溫度로 빨리 加熱되도록 한다. 썬코퍼올은 키른의 길이에 따라서 차이가 나는 溫度를 調節하고 시스템은 컴퓨터로 制御한다. 磷酸石膏의 分析에 관해서 프로그램을 하여 두면 磷酸工場에 供給되는 磷鑛石의 種類가 변하는 경우에 즉시 키른내의 條件들을 再調整하도록 한다.

#### 4. MASAN의 特性

生成物은 粗粒의 形態로 키른을 나온다. 이것은 가볍게 粉碎하면 滑石 모양의 微細한 無定形粉末로 된다. 낮은 水分을 함유한 磷酸石膏로 만든 MASAN은 색깔이 매우 희다. 대부분의 경우 脫色은 거의 問題視되지 않는다. 生成物은 그대로 팩에 넣어서 무한히 저장할 수 있다. 상당히 濕氣가 많은 條件에서도 水分을 吸收하지 않고 凝結現象을 일으키지 않는다. 그래서 防濕

팩을 특별히 使用할 必要가 없고 종이 팩이면 適當하다.

#### 1) 硬化

MASAN은 물과 結合劑로서 酸性物質과 鹽基性物質들을 混合하여 使用한다. 이것은 結晶構造가 再配列되는 과정에서 칼슘황산의 無水石膏의 吸收力을 증가시키는 效果를 준다. 이것이 生成物이 硬化되는 原因이다. 原理는 지금까지 天然 無水石膏에 局限하여 생각해 왔지만 새로운 것은 아니다. 天然 無水石膏를 使用하여 얻은 生成物은 比較的 低壓縮強度를 갖고 耐水性이 아니기 때문에 이 缺點을 補完하는 것이다. 그래서 MASAN은 結合劑와 물의 均衡을 適當히 맞추면 보다 높은 壓縮強度를 나타내는 製品이 된다. 그러나 特定한 結合劑나 結合劑와 물의 特定比率는 特定한 形態의 MASAN에만 적용된다. 즉 磷酸工場에 供給되는 磷鑛石이 변화하면 燒成條件을 修正해야 할 뿐만 아니라 結合劑 混合과 比率를 다시 決定해야 한다.

結合劑를 正確히 混合함에 있어서 알맞은 硬化時間을 定할 必要가 있다. 結合劑의 比率는 組成을 이루는 다른 成分이나 生成物을 利用하려고 하는 궁극적인 目的에 따라 變化한다. 結合劑物質은 간단하고 일반적으로 市場에서 쉽게 구할 수 있는 化學物質이다.

MASAN의 가장 重要한 特性은 硬化時 눈에 띄도록 收縮하지 않는다는 점이다. 收縮되는 길이를 測定해 보면 1m當 0.03mm밖에 되지 않는다. 이것은 MASAN의 再結晶化에 있어서 必要한 量만큼 물이 結合劑와 함께 添加되기 때문이다. 그래서 硬化組成物은 시멘트나 콘크리트처럼 乾燥시키지 않는다. MASAN은 물의 量을 적게 使用하기 때문에 보통 시멘트 混合機로 섞지 않고 그 대신에 2重往復 混合機를 使用한다. 이것은 低廉하게 널리 利用된다.

#### 2) 壓縮強度

實驗室에서 여러번 試驗해 본 結果 MASAN 試料는 대부분의 시멘트보다 상당히 더 높은 壓縮強度를 나타내었다. 1日과 3日 그리고 28日이 각각 지난 3가지의 MASAN 試料들을 標準方法으로 測定한 壓縮強度值과 28日이 지난 3가지

의 商品用 시멘트에 대한 壓縮強度最少數値를 아래의 表에서 比較해 놓았다.

商業用 시멘트의 明細書 數値와 함께 MASAN의 耐衝擊値와 天然 無水石膏 組成物의 耐衝擊値와의 比較	kg/cm <sup>2</sup>
MASAN (1日)	579
MASAN (3日)	710
MASAN (28日)	1,100
天然 無水石膏 (7日)	50-200
天然 無水石膏 (28日)	150-400
Portland 300 (28日)	300以上
Portland 400 (28日)	450以上
Rocobourg (28日)	500以上

### 3) 耐水性

天然 無水石膏를 基礎로 하는 그와 비슷한 組成物들은 물의 浸透에 抵抗力이 없다는 것을 이미 言及한 바 있다. MASAN은 물이 浸透되더라도 特殊한 防水 添加劑를 混合함으로써 防水性을 가질 수 있다. 短期 試驗의 結果로 MASAN 試料는 2주일 동안 물에 담가 놓았다가 빼어도 무게가 늘지 않는다는 것을 알았다.

## 5. MASAN의 應用

MASAN은 이미 混合해 놓은 乾燥結合劑와 함께 敷地를 만드는 데 使用할 수 있는데 이 경우에는 防濕 벽에 포장되어 있다. 結合劑의 組成은 보통 3~8 重量%로 한다. MASAN은 석고 플라스터와 같은 組成物이나 建築用 접착물로서 使用할 수 있다. 이러한 建築用 接착物의 特性은 아주 만족스러운 것으로 알려져 있다. 즉 最高級品은 一般의 特別한 組成을 必要로 하고 大部分의 建築用 接착物 이상의 用途로 使用되는 폴리스티렌을 보호한다.

주로 MASAN을 포함한 시멘트 組成物은 傳統的인 시멘트의 直接的인 代置品으로 使用할 수 있게 만들어졌다. 45~65%가 MASAN이고 그 나머지(添加劑는 除外)는 高爐 슬래그로 되어 있다. MASAN의 대단히 낮은 凝縮性 때문에 이 組成物은 均열될 염려 없이 表面積이 넓은 곳에 利用할 수 있다.

### 1) 半製品

MASAN은 混合 組成物이나 敷地를 만드는 組成物의 用途 이외에 캐스터블 成形 또는 押出成形하여 各種組立式 建築材料를 만드는 데에도 使用한다. 캐스터블 成形된 MASAN은 比重이 2.2~2.3이고 押出成形하면 좀더 稠密해져서 比重이 2.7 정도로 된다. 콘크리트 製造用의 碎石을 使用하여 MASAN은 캐스터블 成形에 의하여 단단한 建築 블럭을 만들거나 押出成形에 의하여 空洞建築 블럭을 만들거나 押出成形에 의하여 파이프도 만들 수 있는데 이것은 사실상 凝縮性이 없기 때문에 콘크리트 파이프로보다 훨씬 길게 만들 수 있다.

나무조각이나 부풀린 폴리스티렌 또는 글라스 纖維 등과 같은 充填材를 使用하여 低密度의 製品을 만들 수도 있다. 이러한 方法으로 MASAN은 0.8 정도의 低密度인 凝集性 物質을 만들어 內裝用 패널이나 絕緣材料 그리고 그밖의 低密度의 製品을 만든다. 堅固性을 增大시키기 위하여 철사나 纖維補強材를 使用할 수도 있다.

必要에 따라 裝飾을 目的으로 色素를 MASAN과 함께 섞어 使用한다. 裝飾用 製品 가운데에는 세라믹스 모양을 갖는 타일을 만들 수도 있다.

## 6. 工業的인 現況

目的에 適合한 現存하는 로우더리 키론을 使用하여 Maes法을 파일롯 플랜트로 試驗해 왔다. 100t.p.d의 乾燥製品을 生産할 수 있는 能力을 가진 工場의 製品이 現在 建築用 石膏를 만드는 데 工業的으로 利用되고 있다.

工業的인 生産 工場이 벨기에의 Ostende에서 아마 금년에 처음으로 稼動하게 될 것이다. Ostende City Council과 Union Chimique Belge (UCB)가 共同으로 소유하는 이 工場은 UCB가 作動하는 磷酸工場에서 나오는 磷酸石膏를 加工하게 될 것이다. 이 磷酸石膏는 現在 Ostende City Council이 賃貸한 土地 위에 내 버리고 있다. 버리는 값은 현재 UCB가 石膏 덩이 1톤당 2弗 정도 지불하고 있다. 工場에서 나온 MASAN은 그 지역의 失業者들을 救濟하기 위하여 의도적 勞動強化 方法으로 콘크리트 製品

을 만드는 데에 使用할 것이다.

最少한 北西 유럽에 있는 主要한 磷酸生産業體 하나와 대규모 시멘트 製造業體 하나가 現在 MASAN 製造工程을 考慮中에 있다.

### 7. 價格

먼지制御裝置의 費用을 포함하여 2,000t.p.d. 의 乾은 石膏(1,320 t.p.d. 의 乾燥石膏)를 加工하기 위한 總施設費는 最近 대략 4 백만弗로 推定된다.

目的을 위해 특별히 設計한 工業的인 工場에서는 磷酸石膏의 價格을 0 으로 假定하고 燃料을 2弗 가량 든다고 하면 1톤당 5弗 정도의 生産費가 드는 것으로 推定된다. 여기에 結合劑(대략 5弗)의 값과 포장료 그리고 利用者에게 전해주는 取扱과 運送料 등을 添加해야만 한다. 그렇다 하더라도 全體的인 價格은 勞賃費를 除하고 1톤당 20~24弗 가량하는 Portland 300의

價格보다는 훨씬 저렴하다. 그래서 MASAN 은 傳統的인 시멘트(소매가격: 40~45弗)와 石灰(소매 가격: 70弗 가량)에 비하여 경쟁력이 우수하다.

### 8. 石膏試驗

Maes 法과 製品에 대하여 앞에서의 考察에서 分明해진 바와 같이 MASAN 은 作業條件과 結合劑 配合이 각 磷酸工場에 따라 달리 決定되어야 한다. 磷酸石膏 試料에 관한 일련의 試驗으로 磷酸工場에 供給되는 磷鑛石과 磷酸石膏를 分析하여 이것을 決定할 수 있다. 磷酸工場에 供給되는 磷鑛石에 變化가 있을 때마다 이 方法을 계속해야 한다. 그러나 이것은 거의 즉석에서 행할 수 있고 酸工場에서의 最適試驗値와 一致할 수 있다(出典: Phosphorus & Potassium No. 85, p. 44~48, 1976).

원유가 인상 부담 열관리로 상쇄하자

熱 管 理 標 語