

에너지와 자원 및 環境面에서 본 美國 시멘트 工業

朴 章 秀(譯)
(漢學建設)

編輯者註

本稿는 앞으로 계속 대두되고 있는 美國시멘트工業의 에너지와 資源 및 環境保全의 必要性에 대해 廢棄物의 環境被害를 없애고 資源으로 利用함으로써 에너지 節減의 效果를 가져와 韓國의 시멘트工業에 다소나마 도움이 될까 하고 掲載한다. 이는 WORLD CEMENT TECHNOLOGY 78年 7, 8月号에 掲載되어 있는 것을 譯한 것이다. 本稿의 原稿가 必要할시는 編輯者에게 連絡을 바란다.

1. 緒 論

요즈음 에너지와 原料 및 環境保全의 必要性에 대한 自覺이 蔓延되어 있다. 個人과 工業經營者 및 公共機關은 環境의 公害와 有用한 天然資源의 消費를 縮小시키는 어떤 實際의인 進行이 이루어질 수 있기 전에 密接하게 相互 協同해야만 한다.

이 章에서는 서로 關聯된 問題와 展望에 대한 工業의 全般的인 分析을 다룬다. 여기 美國 시멘트工業의 包括的인 分析에 의하면 그 工業이 그 나라의 環境과 에너지 및 原料保存의 努力에 있어 重要한 役割을 擔當하고 있다는 것을 보여준다. 이것은 시멘트工業이 美國에서 第6位의 에너지 消費工業일뿐 아니라 또한 다른 工業으로부터 나오는 많은 量의 副産物을 利用할 수 있는 少數 工業中的의 하나이기 때문이다.

오늘날 世界에서 가장 널리 使用되는 시멘트는 포틀랜드시멘트이다. 포틀랜드 시멘트를 1톤 製造하는데에 必要한 平均 原料와 에너지 必要量은 1.2톤의 石灰質(石灰石과 泥灰土 등)과 0.3톤의 粘土質(粘土와 頁岩 및 砂岩등), 0.05톤의 石膏를 必要로 하고 있으며 한편 濕式工程의 시멘트製造에 必要한 0.074톤의 化石燃料 및

103KWh의 電力이다.

結果的으로 1975年 7億톤의 포틀랜드시멘트를 生産하기 위해 에너지와 原料의 全体的 消耗는 總8億4千萬톤의 石灰質과, 2億1千萬톤의 粘土質, 3千5百萬톤의 石膏, 7千萬톤의 化石燃料 및 7.2×10^{10} KWh의 電力이다. 머지않은 未來에 포틀랜드시멘트 콘크리트는 계속해서 世界에서 가장 널리 使用되는 建築材料로 남을 것이다.

1985년까지 年間 시멘트生産은 10億톤으로 上昇될 것으로 기대된다. 이것은 에너지와 原料의 需要에 對應해서 增加될 것이다.

에너지를 除外하고 포틀랜드시멘트를 製造하는데 必要한 原料는 世界어느곳에서든지 쉽사리 利用될 수 있으며 또 豊富한 것으로 알려질 지도 모른다. 그러므로 오직 에너지 資源만이 將來 시멘트生産에 있어 制限되어 있는 要素가 될수 있다.

效果的인 에너지 生産方法外에 많은 量의 工業 廢棄物을 利用함으로써 시멘트製造에 있어 에너지를 節約할 수 있다. 이것은 資源과 環境保全에 대해 비슷하게 有益한 效果를 가져올 것이다. 그러므로 이 章에서는 廢棄物 利用에 관한 시멘트工業의 位置를 다루고 있다.

美國 시멘트工業이 비록 世界의 關心거리가 될지라도 여기에 나타난 情報은 世界的인 基礎 위에 利用되어야만 한다.

1973년에 8千萬톤의 시멘트가 美國에서 生産되었다. 이 시멘트生産을 위해 使用된 에너지는 750萬톤의 石炭과 1,340萬톤의 BC油, 2,170億ft³의 天然Gas 및 110億KWh의 電力이다.

熱工程이나 크링카生産에 必要한 에너지 消耗은 濕式工程 키른에서 650萬 Btu/st과 乾式工程 키른에서 550萬Btu/st로서 平均 600萬 Btu/st를 消耗하고 있다. 그리고 平均 電力消耗은 140萬Btu/st에 相當하는 132KWh/st이었다. 그러므로 오늘날 美國에서 포틀랜드시멘트製造에 必要한 總에너지 消耗은 740萬Btu/st이고 總에너지의 80% 이상이 크링카生産에 必要한 化石燃料의 形態로 直接 使用된다.

電氣에너지에 대한 비슷한 絕緣破壞에 의하면 總電力의 70%가 原料混合과 優秀한 質의 시멘트 粉碎에 消耗되며 20%는 키른 運轉과 크링카 冷却機 및 燃料調合劑, 키른 粉塵 再生 시스템에 消耗된다.

統計表에서 이 課題가 重要한 理由는 最大한 에너지 節約 可能性이 크링카 生産과 粉碎工程에 있을뿐만 아니라 또한 美國 시멘트工業에 必要한 平均에너지 消耗과 美國과 外國에서 에너지 效率裝置에 대한 類似한 data들과 比較하면 科學技術이 이미 效率인 主要 에너지 節約에 利用된다는 것을 보여주기 때문이다. (表-1 參照).

(表-1)로서 우리는 最上의 實行에 관한 美國의 平均 에너지 消費 data가 이루어졌다는 것을 알 수 있다. 이 data로부터 2個의 明白한 結論을 끌어낼 수 있다.

첫째로는 美國시멘트 生産容量의 많은 部分(59%)이 아직 濕式工程에 使用되고 있으며 따라서 濕式工程으로 부터 乾式工程으로 시멘트 生産 容量을 轉換시키는데 에너지 節約 可能性이 있는 것이다.

둘째로 既存 美國 시멘트工場의 平均 性能은 化石燃料 消耗과 電力消耗 양면에 있어서 技術

的으로 成就할 수 있는 效果보다 훨씬 뒤떨어지고 있다.

濕式工程에서 原料는 35~40%의 물을 含有하고 있는 Slurry와 섞여 粉碎되는데 그것은 크링카로 되기 前에 蒸發되어야 한다. Slurry를 乾燥하는 데에는 濕式工程 키른에서 使用된 總熱의 약 45%가 消耗된다. 수증기에 있어서 에너지는 그것이 많은 量의 키른 排出 Gas가 낮은 溫度의 熱(200°C) 形態로 되기 때문에 熱回收가 힘들다. 흔히 效果的인 濕式工程 키른을 SP乾式工程 키른으로 轉換시키므로써 약200萬 Btu/t이나 혹은 40%의 熱에너지를 節約할 수 있다.

經濟的 觀點에서 濕式工程 키른을 乾式工程 키른으로 轉換하는 것이 하나의 防害要素로 나타나고 있다.

(表-1) 美國시멘트工業에 必要한 平均에너지 消耗

	最大實績	平均實績
燃料 : 百萬 Btu/t, clinker		
濕式工程	4.5	6.5
NSP	2.8	4.5
SP	-	5.5
全工場平均	3.6*	6.0
電力 : kWh/t cement :		
濕式工程	70-100**	126
NSP	110	149
SP	-	140
全工場平均	-	132

★ 360萬 Btu/t은 西獨시멘트工業에 必要한 平均 에너지 消耗이며 90% 이상이 乾式工程이다. 美國시멘트工業은 오직 41%만이 乾式工程이다. 日本과 스웨인과 같은 그러한 다른 主要시멘트 生産國은 75%가 乾式工程이다.

★★ 最近 硬質原料와 軟質原料 사이에 에너지 必要量의 차이.

비록 지난 5年동안 에너지 價格이 갑자기 引上 되었을지라도 에너지 節約에 대한 經濟的 動機는 濕式을 乾式으로 轉換시키는데 必要한 投資를 고루시키는데 아직 充分하지 않다.

濕式工程 키른을 乾式工程 키른으로 轉換하는데 必要한 噸당 費用 \$ 70은 年間² 噸당 費用 \$ 100으로 推定되는 새로운 乾式工程 시멘트 工場의 設置에 드는 費用과 比較하면 아주 높은 것이다.

한편 轉換時期에 生産과 利益面에서 상당한 損失이 있을 것이다.

유럽에서는 에너지 價格이 훨씬 비싼데도 불구하고 오직 工場 生産容量이 비슷하게 增加했을 때만이 濕式工程 키른을 乾式工程 키른으로 轉換하는데 效果가 있었다.

이러한 觀點에서 1975년부터 11年間 全般的으로 소수의 濕式工場이 乾式工場으로 轉換될 것이 예상¹되며 새로운 設備의 90% 이상이 乾式 SP키른이고 35年 以上이나 된 쓸모없는 에너지 多消費 工場이 문을 닫게 될 것이 예상된다.

에너지 價格에서 50%라는 實際的 增加는 대부분 濕式工程 키른을 갖고 있는 시멘트 生産工場業者들에게 轉換한다는 것은 財政的으로 아주 매혹적인 것으로 느껴지도록 할 것이다.

그러므로 變化된 에너지 狀態는 濕式을 乾式으로 轉換시키는 것을 價値있게 할 뿐만 아니라 事業을 계속하기를 원하는 시멘트 生産業者에 대해서도 必要하게 될 때가 머지않아 올 것이라는 것을 한번 간단히 생각해 볼 만한 일이다. 한편 歷史的으로 美國에서 SP 乾式工程 方式을 채택하는데 防害物이었던 알카리 問題를 調査해 보자.

2. 알카리 問題

美國서 시멘트 製造에 使用되는 粘土質原料는 종종 不純物의 粘土와 長石을 含有하고 있다. 이것이 흔히 原料調合에 있어서 K_2O 와 Na_2O 의 源泉이다. 만약 現在 原料나 燃料에 硫黃分이 거의 없다면 알칼리는 포틀랜드 크링카의 C_3A 와

C_2S 狀態를 $NC_{11}A_4$ 나 $KC_{23}S_{12}$ 로 바꾸는 경향이 있다. 그러므로 現在 알칼리를 $CaSO_4-K_2SO_4-Na_2SO_4$ 로 나타내는 2 倍의 黃酸鹽으로 轉換하도록 燃料나 原料에도 充分한 硫黃分이 있을 지도 노른다.

Mander에 의하면 키른 燒成帶에서 狀態가 酸化한다면 칼슘 langbeinite의 形態인 KC_2S_3 이 形成되며 縮小狀態는 apthitalite의 形態 즉 固形體인 $K_xN_yS_{x+y}$ 로 된다.

비록 알칼리 含有 化合物이 시멘트의 凝固와 硬化에 영향을 미칠수 있을지라도 그것은 키른에서의 工程上에 더 큰 영향을 미친다. 크링카에 있는 알칼리 黃酸鹽은 쉽게 휘발하고 Gas에 의해 키른 後尾로 運搬된다. 이러한 混合物들이 共融溶液(eutectic)에 接近하는 곳에서는 $800^{\circ}C$ 나 그 以下에서 溶解가 되며 적은 量의 鹽化物이 나타나는 곳에서는 $700^{\circ}C$ 나 그 以下에서 溶解가 된다. 乾式工程 SP키른에서 이러한 溶解는 豫熱帶에서 熱交換壁을 썩을수 있으며 또한 原料混合 凝固에 대한 中樞役割을 할수있다. 따라서 溶解될 때에는 plugging問題를 招來한다.

乾式工程 SP키른의 初期導入段階에서 豫熱機 plugging은 美國시멘트 工業에 의한 工程을 遂行하는데 심각한 問題가 되었다.

여러 시멘트機械 考案者들은 얼마안되는 키른 Gas가 豫熱시스템을 迂廻(bypass) 하도록 함으로써 이 問題를 解決했다. 迂廻Gas로부터 再生된 많은 알칼리 粉末은 크링카의 알칼리 含有量이 問題되지 않는다면 다시 使用된다. 때때로 Gas의 20~30%를 豫熱機에 迂廻하도록 만들어진다. 豫熱機를 迂廻하는 키른 Gas의 量이 많으면 많을수록 들어오는 原料調合에 먼저 熱을 加하기 위해 必要한 에너지는 더 적어진다. 이것은 確實히 크링카의 噸당 에너지 消費를 增加시킨다. 예를들면 20%의 迂廻에 의해 消耗된 에너지는 50萬 Btu/t 以上이 크링카의 키른 燃料에서 에너지 消耗가 增加된 것으로 알려³진다.

最近 키른과 豫熱機시스템사이에 反射爐나 燃燒裝置를 使用하는 것이 發達했다.

總燃料의 2/3까지는 calciners에서 直接使用될 수 있으며 키른에서 나머지 1/3의 燃料를 태우므로서 生産되는 많은 알칼리 키른 Gas는 豫熱機시스템으로 부터 100%까지 迂廻될 수 있으며 따라서 高알칼리 原料가 使用될때 熱損失을 最少로 줄인다.

豫熱機 稼動問題 외에도 高 알칼리原料로 부터 低 알칼리 시멘트를 生産하는데 키른 Gas가 迂廻爐를 使用한다. 이런경우 bypass 시스템으로 부터 再生된 많은 알칼리性 粉塵은 再循環 되는 것이 아니라 消耗된다.

低 알칼리 시멘트에 대한 ASTM說明書는 시멘트의 總 알칼리 含有量을 0.6%의 Na_2O 의 等量으로 制限하고 있다.

여러 調査에 의하면 0.6% 以上の 알칼리를 含有하는 시멘트는 어떤 反應이 있는 混合材와 結合해서 使用될때 콘크리트를 膨脹시키고 균열을 일으키는 要素로 알려져 있다.

키른 粉末再生과 粉塵 再循環 問題는 SP키른에만 한정되 있지 않다. 그것은 모든 시멘트키른에 適用된다. 일반적으로 10~20%의 粉塵이 키른 Gas에 나타날지도 모르며 環境의 大氣汚染 標準에 대응하기 위해 그것은 거의 充分히 再生되어야만 한다. 키른 粉塵이 再循環 되어야 하든 않든 키른 粉塵이 알칼리 水準으로 볼 때 보통 크링카와 比較할때 약 2배이기 때문에 키른 粉塵은 크링카의 허용 알칼리 含有量에 많이 의존하고 있다. 오직 포집된 粉末의 일부만이 再使用 된다면 그것은 結果적으로 原料損失과 環境汚染을 招來할 것이다.

그러므로 關聯機關의 사람들은 低 알칼리性 시멘트 없이도 지낼 수 있는지 低 알칼리시멘트를 使用할 것을 강요해서는 안된다.

사실 低 알칼리性 原料로부터 低 알칼리시멘트의 生産은 反應時 混合材의 使用으로 부터 잠재적인 問題로 바람직하지 못한 解決策으로서 점점 放觀되고 있다. 高 알칼리性 포틀랜드 시멘트에 pozzolans을 添加 함으로써 알칼리 混合劑 팽창을 억제하는 것은 더 좋은 解決策이 된다. 이것은 에너지와 原料保存뿐만 아니라 또

한 環境保全이다.

많은 시멘트 生産業者들은 크링카로 부터 알칼리 휘발을 促進하는 原料混合 粉塵에 있어 低 알칼리 시멘트를 濃縮하지 않고는 低 알칼리 시멘트를 만들 수 없다는 것이 알려져야만 한다. 따라서 大地·大氣·물 汚染을 招來하게 된다. 이것은 高 알칼리性 시멘트가 充分할 때 低 알칼리性 시멘트를 必要로 하는 어떤 關係機關이 에너지와 原料 및 環境保全 運動을 어떻게 해결 수 있는가의 전형적인 例이다.

3. 既存工場에서의 에너지效率 改善策

대다수가 아주 오래된 現存 美國시멘트工場의 低 알칼리 效率은 에너지가 2~3年前만 해도 값싸게 活用되었기 때문에 일반적으로 에너지 長期保全이 미급한 것에 기인한다.

오늘날 시멘트生産에 대한 總에너지 必要量은 流動費用의 약 半이나 혹은 總시멘트 生産 原價의 약 1/3은 必要로 하기 때문에 美國시멘트 工業은 實行에 必要한 主要資本 費用과 大部分의 경우에 있어 짧은 時日內에 實現될 수 있는 經濟的 回復을 要하지 않는 에너지 節約 政策에 주의를 함으로써 많은 것을 얻을 것 같다.

첫째로 주의해야 할 段階는 原料調査의 燒成能이다. 크링카生産에 있어서 아마도 어떤 다른 理由에서라기 보다는 에너지에서 기인하는 混合原料의 어려운 燒成과 자주 일어나는 키른의 狀態不和 때문에 더 많은 에너지가 消耗된다.

石灰飽和度(L. S. F : Lime Saturation Factor), 高硅酸率(S. M : Silica Modulus), 高A. M(Alumina Modulus)와 粗粒子는 결국 燒成이 容易하지 않게 된다. 液体狀態가 現在 Al_2O_3 와 Fe_2O_3 로 直接的인 比率에서 올라가기 때문에 硅酸率(Silica Modulus)이 減少할때 燒成帶에서 形成된 液体의 量은 增加한다.

1338°C에서 液体狀의 量은 Lea & Parker의 式 $3.03\text{Al}_2\text{O}_3 + 1.75\text{Fe}_2\text{O}_3$ 에 의해 推定될 수 있다. 1,400°C에 대한 反應關係는 $2.95\text{Al}_2\text{O}_3 + 2.20\text{Fe}_2\text{O}_3$ 인데 그것은 Fe_2O_3 에서의 增加 (혹은 AM에서의 反應減少)가 일반적으로 도움이 되

는 理由를 나타낸다. 燒成帶에서의 液体狀態의 量과 그것의 生成溫度는 3 갈습 硅酸鹽 生成을 包含하는 最終反應 뿐만 아니라 크링카의 粉末度나 粒子에 영향을 미친다.

石灰飽和度(L. S. F)에 있어서의 減少 즉 98%에서 95%의 減少는 보통 結果的으로 더 좋은 크링카 粒子가 되는 原料調合의 燒成 쉽게 된다.

여러 시멘트工場에서 觀察한 結果 Johansen 은 高級燃料을 投入하므로써 難易한 燒成은 粉末生成을 增入시켰고 커론과 크링카 冷却機에서 狀態를 전복시켰다고 說明했고 또한 시멘트 粉碎로부터 에너지가 40%로 增加했을 때의 크링카 粒子가 노틀드로부터 粉末 혹은 浮石모양으로 바뀌었을때 그런 예가 보였다. 最適 燒成能에 대해 大部分의 시멘트 工場들은 다음 硅酸率 (SM)=2.2-2.6, AM=1.6-1.8, L. S. F. = 90-96에 對應하는 原料調合이 커론에 供給되게끔 生産할 수 있어야만 한다. 그러나 크링카를 만들기 위해 最少限의 에너지를 必要로 하며 또한 좋은 질의 시멘트를 生産할 수 있게끔 原料調合의 最適混是은 工場試驗에 의해 決定 되어야만 한다.

化學的 混合외에 鑛物學狀의 微粒 原料調合은 또한 燒成能에 대해 重要한 영향을 미친다.

Dorn⁶의 調査에 의하면 原料調合에 있어 1% 以上 石英이 存在하거나 또는 6% 以上의 方解石 粒子+90M(170 mesh sirve에 대한 잔유물)은 크링카에 있어서 石灰나 結合되지 않은 크링카 덩어리의 原因이 될수 있다고 또한 燃燒와도 關聯이 있었다.

비슷한 예로 gohassen은 工場作業에서 크링카 生産物에 있어서의 15%는 石灰飽和도가 98%에서 94%로 縮小되었을 때에 상당하는 에너지 節約과 함께 增加했고 原料調合은 >125 μ 의 方解石보다 많이 減少시키는데 도움이 된 90 μ sieve에 대해 17%에서 12%의 잔유물로 粉碎됐다. 質이 우수한 石英을 含有하고 있는 原料를 적당히 粉碎된 原料調合, 크기를 縮小시키는 作業을 하는데 에너지를 增加시킬 必要없이 50萬

Btu/t까지 熱 에너지를 節約할 수 있었다.

原料混合의 燒成能 管理에 의한 에너지 節約에 대한 앞서의 討論으로부터 시멘트工場 實驗室 管理는 原料調合과 크링카를 鑛物學的으로 分析하기 위해 設置되어야만 한다는 것은 明白하다. 많은 시멘트工場들은 이러한 調査를 위한 施設을 갖추고 있지 않다. 요즈음은 값이싼 X-ray 分析値와 현미경을 利用할 수 있으며 이것들은 흔히 大部分 豫備調査와 工場을 管理하는데 適合하다. 이 2가지 技術은 시멘트工場 化學管理技士에 의해 쉽게 익혀질 수 있다. 原料調合 燒成能 外에 시멘트工業에 있어서 可能한 에너지 保存에 대한 最近 여러가지 刊行物로부터 收集된 다음 對照表는 일반적인 에너지 保存狀態를 改善하는데 關心이 있는 시멘트 工場 經營者에게 有用함에 틀림없다.

(i) 커론 入口의 適節한 密閉-커론 入口에서의 空氣노출을 10%까지 縮小시키는 것은 濕式 工程 커론에 대하여 약 4萬 Btu/t의 크링카와 乾式 工程 SP커론에 대하여 8萬 Btu/t을 節約할 수 있다.

(ii) 1次空氣의 減少-1次空氣에 있어서 25%에서 15%로 酸化空氣의 減少는 濕式 工程에 대해 3萬 Btu/t과 乾式 工程 커론에 대해 8萬 Btu/t을 節約할 수 있다.

(iii) 反射에 의한 熱損失의 減少-反射에 의한 熱損失은 總熱消費의 10~15%이다.

이 熱損失은 대개 커론의 燒成帶와 冷却帶에서 기인되며 耐火 벽돌로 内部絶緣裝置를 設置함으로써 最少化 될수 있다. 보통 燒成帶에 使用될 수 있는 기초벽돌은 耐火粘土와 比較해 보면 무게가 무겁고 高熱轉度性이라는 特徵을 갖고 있다. 不充分한 경험은 耐火粘土 絶緣벽돌이 기초벽돌에 대한 内部絶緣体로서 使用될 때를 뜻하고 있다. 高알루미나 벽돌은 지금 이目的을 위해 調査中이다. 反射熱 損失을 줄이기 위한 값싼 方法은 燒成帶를 形成하고 있는 耐火 벽돌 위에 溶解된 크링카를 일정하게 coating하는 것이다.

(iv) 커론 排出溫度 減少-濕式 工程 커론과

long 乾式工程키른에 있어서 lifter와 체인과 같은 그러한 適節한 内部 熱較換 計劃의 保存과 裝置를 통해 키른 排出溫度를 낮추므로서 實際的으로 熱損失을 줄일 수 있다.

(v) 키른에 投入되는 slurry水分 減少 - 만약 濕式工程키른의 工場에서 키른에 投入되는 slurry水分을 35%에서 30%³로 減少시키면 약 30萬 Btu/t의 크링카를 節約할 수 있다.

slurry 水分에 있어서 그러한 減少는 粘土 대신에 flyash를 使用하는 것과 같은 그러한 原料 代替品이나 化學的 混合物를 使用함으로써 可能하다.

原料의 性質이 slurry 水分을 減少시키지 않는다면 물론 主要資產支出을 要할 또다른 接近은 약 15%의 수증기 含有量으로 slurry를 여과하여 그때 乾式工程에서 使用하기 위해 그것을 乾燥시키는 것이다. 이러한 類形의 裝置는 最近 報告⁷에서 說明된다.

4. 電氣에너지의 節約

비록 最近電氣에너지 消耗가 美國에서 시멘트 製造原價中 總에너지의 20%보다 약간 더 작을지라도 그것은 電氣에너지가 低質燃料 에너지보다 훨씬 더 많은 費用이 들기 때문에 시멘트 生産 費用의 重要한 構成要素이다. 크링카 燒成에 대하여 熱에너지 다음으로 最大限의 에너지 節約 可能性은 原料調合과 石炭 및 시멘트를 粉砕하는데 使用되는 電力에 있다는 것은 이미 지적해 왔다. 다음은 이런 觀點에서 본 Davis와 Stringer⁴ 見解의 要約이다.

ball 밀과 比較하여 垂直 spindle 밀이나 roller 밀은 原料톤당 약 1/2의 電力을 消耗 함으로써 原料調合이나 石炭을 粉砕할 수 있다. 이것은 roller 밀의 경우 粉砕된 原料는 신속히 粉砕機로부터 더 粉砕가 이루어 지지 않게 回收되기 때문에 over-grinding의 기회를 減少시킨다. 여기에 roller 밀은 ball 밀보다 약간 더큰 原料粉末을 수용할 수 있으며 따라서 3次粉砕에 대해 에너지 消耗는 必要하지 않다. roller 밀에 의한 낮은 電力消耗 가운데 약간은 오히려 높

은 fan의 電力消耗에 의한 것이다. 그러나 中間 정도의 단단한 石灰石에 대한 實驗室의 데이터와 工場에 기초를 두었기 때문에 만약에 roller 밀이 ball air-wept 밀 대신에 使用된다면 약 6 KWh/t의 크링카를 節約할 수 있다.

石炭을 粉砕하는데 있어 roller 밀과 ball 밀에 대한 石炭의 톤당 전통적인 電力消耗範圍는 5.5~8.2와 15.5~20.9 KWh/t인 것으로 알려지고 있다. 그러므로 에너지 保存 立場에서 roller 밀은 既存工場에서 原料調合이나 石炭粉砕 시스템을 現代化할 기회가 있을 때는 언제든지 신중하게 고려해야 한다.

roller 밀에서 크링카를 粉砕할때 엄청난 消耗問題가 뒤따르므로 이 目的을 위해 전통적인 ball 밀을 使用하는 것은 바람직 하다. 비록 開回路(open-circuit) 粉砕와 閉回路(close-circuit) 粉砕사이의 電力消耗에 있어서 全般的으로 차이가 아주 적을지라도 後者(close-circuit 粉砕)는 시멘트의 超微粉이나 過度한 燒成을 줄일수 있다.

크링카 供給時 아주 큰 덩어리의 크링카를 1/2로미리 粉砕될때 그리고 또한 粉砕를 돕는 物体가 使用될때 에너지가 節約된다는 것으로 알려지고 있다. 粉砕를 돕는 物体를 使用하는 것은 經濟的으로 利益이 없을지도 모른다. 그러나 研究結果에 의하면 보통 포틀랜드 시멘트에 대하여 4.5KWh/t까지 그리고 早強 시멘트(high early strength cement)에 대하여는 11.8 KWh/t까지 에너지가 節約됐다. 石膏는 粉砕를 촉진시켜 주는 좋은 物質이기 때문에 最適條件 水準보다 약간 더 높게 石膏를 使用하는데 따르는 利益과 損失을 調査해야만 한다. 크링카의 微細構造는 또한 粉砕力에 영향을 미친다. 適節한 크기의 構造를 가진 크링카는 통기성이 있고 일반적으로 粉砕하기가 더 쉽다. 반면에 過燒成하고 過溶劑된 크링카는 粉砕하기에 어렵다. 粉末과 輕石모양의 크링카를 粉砕하는데 必要한 에너지는 이미 言及했다.

마지막으로 시멘트 生産業者가 要求하는 바람직한 最少限의 強度를 開發하기 위해 必要한

生産品이라기 보다는 오히려 더 좋은 生産品을 粉碎하지 않는다면 결국 實際的으로 에너지가 節約된다. 예를 들면 3,000 HP 시멘트 밀의 電力消耗는 보통의 포틀랜드시멘트가 目標以上の 300cm²/g으로 粉碎되었을때 4.5KWh/t까지 增加한 일이 있었다고 어떤 報文⁴에서는 말하고 있다.

早強시멘트(High early strength cement)를 微細化하는데 비슷한 增加에 대한 電力 消耗增加는 약 10KWh/t인 것으로 알려졌다.

5. 工業廢棄物의 시멘트利用

포틀랜드시멘트 製造工業에 必要한 天然原料가 비록 豊富할지라도 시멘트工業은 크링카製造原料의 代用과 混合 포틀랜드시멘트 生産에 必要한 數百萬톤의 工業廢棄物의 最適利用 可能性을 提供하고 있다. 이것은 많은 工業廢棄物이 物理的 化學的 性能에 質이 좋은 시멘트를 만드는데 適合하기 때문이다. 예를 들면 石炭燃焼로

부터 나오는 副產物인 ash와 製鐵工業으로 부터 나오는 溶劑(광산찌꺼기 or slag)는 포틀랜드 시멘트와 結合해서 使用될때 시멘트의 特性에 도움이 되며 따라서 시멘트 混合物이나 不活性 混合物처럼 생각해서는 안된다.

美國에서 現在 포틀랜드시멘트의 生産은 重要하지 않다. 포틀랜드시멘트에 石炭燃焼와 製鐵工業으로 부터 나오는 副產物의 添加는 比較的 適節한 費用이 드는 範圍內에서 시멘트의 噸당 에너지 消耗減少는 問題에 대한 즉각적인 解決策을 提供해야만 한다.

NATO委員會가 現代社會에 대한 道進이란 報告書에(CCMS)의해 紹介된 高爐 溶劑와 fly-ash에다 포틀랜드시멘트를 混合하는 것이 프랑스와 네델란드에서 시멘트工業의 에너지 消耗率을 20~40% 까지 줄인 것으로 생각된다. 그러므로 混合시멘트의 特性과 限界에 대한 調査는 將來에 R&D가 해야할 급선무의 計劃으로서 CCMS에 의해 推薦 받았다. 전통적인 化學的 合成과 物理的 特性 및 1975년과 1985년 사

〈表-2〉 混合포틀랜드 시멘트 製造에 適合한 工業副產物

區 分	化 學 分 析 值 %							有用量(100萬톤)		物理的 特性과 比較
	S	A	F	C	M	S/SO ₂	LOI/CO ₂	1975	1985	
石炭副產物										
(a) Flyash										3000cm ² /g以上の 粉末度를 含有하고 있는 유리질의 둥근 알맹이는 混合 포틀랜드시멘트에서 우수한 pozzolanic性質을 나타낸다. 그러나 flyash보다 더 작은 粒子는 서로 粉碎함으로써 Type I P 시멘트 製造에 使用될 수 있다. 매우 큰 表面積은 10~30×10 ³ cm ² /g이다. (i)은 混合시멘트에 使用하는 것이 適合하다. (ii)는 크링카에 대한 鉍素로서 調査되어야 한다.
(i) Bituminous	59	31	6	1	1	0.5/	3/-	42	60	
(ii) Lignitic	38	25	4	24	6	1/	3/-			
(b) Bottom ash								13	20	
(c) Ash and slag from coal gasification								0	20	
(d) SO ₂ scrubber sludge										
(i) containing flyash	32	18	4	18	2	3/12	-3/	5	64	
(ii) without flyash	5	3	1	43	-	6/33	-/7			
製鐵工業의 副產物 高爐슬러그	36	13	2	47	1	-	0	27	n/a	좁은 덩어리의 溶劑는 유리질이 며 약간 水硬性을 지니고 있다. 그것은 대개 混合시멘트에 使用하는 것이 適合하다.
시멘트工業의 副產物 粉 塵	11	6	3	44	2	5/-	21/-	5	n/a	粉塵은 흔히 不必要한 알칼리와 여분의 石灰를 含有하고 있다. 그러므로 高度로 精鍊하는 대신에 多量의 原料는 混合포틀랜드시멘트 에 使用될 수 없다. 그러나 masonry 시멘트에서 그것을 使用할 수 있는가 研究해야 한다.

이 美國에서 石炭燃焼와 製鉄工業으로 부터 나오는 副産物의 利用量은 NBS⁹報告에 기초를 둔 <表-2>에서 볼수 있다.

6. 포틀랜드 flyash 시멘트

1973年 프랑스에서 flyash와 高爐 Slag를 含有하고 있는 混合 포틀랜드시멘트의 生産은 純粹포틀랜드시멘트³의 生産을 能加했다. 반면에 1973年 美國에서는 거의 아무런 混合 포틀랜드시멘트도 生産하지 못했다. 단지 150萬톤의 fly-ash(利用 可能한 3,500萬톤으로 부터)만이 콘크리트에 必要한 Pozzolanic混合物로서 使用됐다. 乾式을 包含하여 flyash 調製에 必要한 에너지 費用은 약 4萬에서 40萬 Btu/t에 이르기 때문에 混合生産物에 있어서 flyash에 의한 포틀랜드시멘트를 20%代替하는데 19%까지 에너지를 節約할 수 있다. 이와같이 시멘트工業에 있어서 에너지 保存입장에서 볼때 포틀랜드 fly-ash 시멘트에 의한 포틀랜드시멘트 生産容量의 部分的 代替는 쉽사리 성취될 수 있는 国家的 目標의 급선무 이다. 이 目標을 성취하는데 直面할지도 모르는 flyash 유용성과 質 및 費用과 같은 그러한 問題를 調査해 보자.

<表-2>에 있는 data에 의하면 1975년에 fly-ash는 4,200萬톤의 比率로 生産되었고 1985년에 그 生産性은 한해에 6,000萬톤으로 增加할 것이다. flyash의 半以上은 계속해서 역청탄으로부터 나오며 나머지는 갈탄이 燃焼될때 나온다. 그러나 일반적으로 갈탄 flyash의 Pozzolanic 特性은 또한 ASTM Type I 포틀랜드시멘트를 必要로 하는 物理的 特性에 對應하는 混合시멘트 製造에 適合하다.

高CaO와 Al₂O₃의 存在때문에 갈탄 flyash의 약간은 C₃A를 含有하고 있는 것으로 생각된다. ash에 있어서 C₃A의 存在는 凝決時間 問題를 일으킬지도 모르며 그 凝決時間 問題는 갈탄 fly-ash가 콘크리트에 대한 混合物로서 使用될 때 觀察된다. 그러나 ash가 Type I 포틀랜드시멘트의 成分일때 그 問題는 混合시멘트의 石膏

含有量을 調節 함으로써 統制될 수 있다.

그러므로 약간의 갈탄 flyash는 콘크리트에 있어 pozzolanic混合物로서 使用하는데 보다는 오히려 Type I 포틀랜드 시멘트를 만드는데 더 適合할지도 모른다.

flyash의 pozzolanicity는 주로 glass 含有量과 純度에 달려있다. 만약 flyash가 고르지 못하거나 純度에 있어서 變化가 심하다면 flyash와 크링카를 intergrinding 함으로써 混合시멘트를 만드는 것은 바람직하다. flyash에 있어 5% 이상의 타지않은 炭素의 存在는 포틀랜드 flyash 시멘트의 凝決과 硬化에 다소 해가 되는 것으로 알려지고 있다.

電力生産工場이 石炭을 供給하는 混合物에 있어서 最少의 變化에 의한 flyash의 質이나 혹은 工場 稼動問題에 의한 flyash 質에 있어서의 變動은 흔히 材料를 큰 silo에 저장하여 混合함으로써 취급될수 있다.

flyash 中の 약간은 알카리의 보통量 以上을 含有하고 있고 따라서 알카리 浸蝕이 可能한 ag-gregates와 함께 使用하는 것이 必要할지도 모르는 Type I 포틀랜드 시멘트에 flyash를 使用하는 의문을 일으킨다. 불행이도 混合시멘트에는 잠재 可能한 alkali-aggregate反應에 대한 시멘트 評價를 위해 作業檢査(performance tests for evaluating cements)나 最大로 可能한 알카리 含有量을 제한하는 아무런 化学的 說明書도 없다. 反應이 있는 aggregates와 結合해서 使用될 시멘트의 잠재反應 評價에 대한 說明書와 試驗法이 없기때문에 알카리에 있어서 (2~3%의 Na₂O와 等量) 比較的 높은 低質의 역청탄과 갈탄의 flyash를 利用하는데 심한 장애를 받을 것이다.

水和作用에 대한 低熱과 높은 化学的 내구성 및 alkali-aggregate反應에 대한 저항을 必要로 하는 適用에 대하여는 25%나 그 以上の 低 알카리 역청탄 flyash를 가지고 製造된 Type I 포틀랜드시멘트를 使用하는 것이 바람직 하다. 그러나 일반적으로 25% 以上の flyash를 含有하는 포틀랜드 flyash시멘트는 보통 포틀랜드시멘

트 보다 더 낮은 初期強度를 보이며 따라서 추운날에 使用하는 것은 適合하지 않을지도 모른다.

Type I 포틀랜드시멘트와 Type I 슬러그시멘트에 대하여 ASTM이 必要로 하는 強度는 같기때문에 비록 初期強度가 낮은 Type I 포틀랜드시멘트는 많은 建築用材에 利用될지라도 良質의 flyash-h 混合시멘트를 과잉 粉碎하는 경향이 있다. 이러한 觀點에서 시멘트가 強度別로 分類되어 이것은 世界 여러 地域에서 널리 實行되는데 그 時期가 美國에도 왔다는 見解이다. 그러므로 보통의 포틀랜드시멘트 代身에 큰 規模의 混合시멘트를 使用해서 에너지 保存을 成취하기 위해 시멘트 標準에 책임을 지고있는 ASTM과 다른 機關은 強度別로 시멘트에 대한 說明書を 취해야 한다.

混合 포틀랜드시멘트에 10%까지 flyash를 代用하거나 15%까지 高爐슬러그 溶劑를 代用하는 것은 初期強度에 아무런 영향을 미치지 않는다. 그러므로 Type I 포틀랜드시멘트와 Type I slag 시멘트에 대하여 ASTM 標準值에는 15% 以下の flyash와 25% 以下の slag 溶劑를 添加하지 못하도록 한다.

또한 歷史的 理由때문에 포틀랜드시멘트의 粉未度는 ASTM 明細書 C150에 의해 保護되는데 ASTM 明細書 C150은 비록 生産物이 포틀랜드시멘트 처럼 市場에서 거래 될지라도 포틀랜드시멘트에 害가없는 混合物을 약간 添加하는 것조차 (<10%) 허락하지 않는다.

ASTM COI 混合시멘트 分科委員會의 作業單位에서는 1%~10%의 flyash나 1%~25%의 slag를 含有하도록 混合포틀랜드시멘트에 明細되어 있다. 만약 이러한 시멘트가 現在나 未來의 포틀랜드시멘트 生産容量의 主要部門을 대신하지 않는다면 이러한 接近은 에너지節約 運動에 도움이 되지 않을 것이다.

이러한 觀點에서 歷史的으로 工業이 少量의 特殊시멘트를 만드는데 있어 經濟的 利點을 좀처럼 찾지 못했기 때문에 展望은 樂觀的이 아니다.

포틀랜드시멘트에 10%에서 20% 까지 害가없는 材料를 含有하도록 하는 것은—그것은 이미 프랑스와 러시아 및 여러 다른 큰 시멘트 生産業者들에게 관심있게 행하여지고 있다.—이 目的(에너지節約)을 達成하기 위한 또 다른 方法이다. 그러므로 工業廢棄物의 利用을 통한 에너지節約에 있어서 그렇게 添加하는 것이 生産品의 品質을 改善하거나 사실상 變更시키지 않는다면 포틀랜드시멘트에 약간의 添加를 防害하는 모든 장애물은 迅速히 除去되어야 한다는 것은 절대 必要한 것이다.

經濟的 實現 可能性에 관하여 시멘트 生産業者가 포틀랜드 flyash시멘트를 만드려고 할때 높은 利益보다는 오히려 에너지節約이 첫번째 관심사일 것이다.

보통의 flyash는 \$ 3/t F.O.B의 費用이 들고 500마일까지의 運賃料는 \$12/t 인 것으로 알려지고 있다.

이와같이 flyash 生産業者들이 ash F.O.B 價格을 維持함으로써 相互 協同한다면 그리고 運賃料가 가까운 未來에 크게 引上되지 않는다면 美國에 있는 대부분 시멘트工場은 포틀랜드 크링카의 일부 대신에 flyash를 쓰는 것이 利益이 있다는 것을 알아야만 한다.

7. 포틀랜드 高爐슬러그 시멘트

포틀랜드 flyash시멘트에 대한 批評은 일반적으로 포틀랜드 高爐슬러그시멘트 에도 適用된다. 그러므로 포틀랜드 高爐슬러그시멘트에 대하여는 여기서 간단히 論하겠다.

1985년에 利用 可能한 高爐슬러그 量은 flyash-h의 量보다 훨씬더 적다. 또한 生産된 대부분의 ash가 消耗되어야 하기때문에 flyash처분은 심각한 環境問題가 된다. 반면에 실제적으로 모든 利用 可能한 高爐슬러그는 空氣로 冷却되어 지며 鋪裝道路 建設에 대한 기초자료로서 그리고 콘크리트 aggregate로서 利用된다.

큰 덩어리의 高爐슬러그—그것은 溶解된 슬러그를 물로 急冷하므로써 만들어지는데—는

보통 半結晶体이며 反應이 있다. 그러므로 이것은 混合포틀랜드시멘트를 만드는데 適合하다. 그것은 따로 혹은 포틀랜드크링카와 結合해서 使用하기 前에 乾燥되고 잘 粉碎되어야 한다.

큰 덩어리의 高爐슬러그를 乾燥시키고 粉碎하는데 消耗된 에너지는 약 140萬~190萬 Btu/t^o이다. 포틀랜드시멘트에 있어서 溶劑를 30% 代用하는 것은 시멘트의 에너지 消耗를 22%¹¹ 까지 縮小시킬수 있다. 슬러그 代用に 의한 에너지 保存은 거기에 상당하는 flyash代用に 의한 에너지 保存보다 더 못할지라도 큰 덩어리의 高爐슬러그의 더 많은 量은 初期強度를 實際로 減少시키지 않고 混合시멘트에 混合될 수 있다.

무게로 큰 덩어리의 高爐슬러그를 30% 代용하는데 따라 混合포틀랜드시멘트는 Type I 포틀랜드시멘트¹²에 대한 ASTM 強度 必要條件에 대응할 수 있다.

폴란드, 체코슬로바키아, 헝거리, 루마니아와 같은 그러한 東部유럽에서 生産된 總시멘트 가운데 40~50%는 포틀랜드 高爐슬러그形 시멘트이다. 이것은 포틀랜드 크링카 대신에 큰 덩

어리의 高爐 슬러그를 使用하는 것이 슬러그를 가장 有用하게 使用하는 것이기 때문이다.

8. 시멘트工業에 대한 原料로서의 工業廢棄物

시멘트工業에서 使用하기에 適合한 많은 工業廢棄物의 物理的 化學的 性質과 利用 可能한 量은 <表-3>에 要約되어 있다.

많은 鉍物의 採鉍과 다른 生産過程에서 나오는 찌꺼기-예를들면 구리광석, taconite, 石炭-은 일반적으로 알맞은 크기의 粒子에서 使用될 수 있다. 이것은 粘土, 頁岩, 砂岩, 鐵鉍石이 全體的으로 혹은 部分的으로 代替될 때 시멘트 製造目的을 위해 더 粉碎하는데 있어서 거의 에너지 支出을 要하지 않는다. 알루미늄率을 낮추므로써 크링카의 燒成能이 改善될수 있기 때문에 에너지 觀點에 있어 taconite의 多量의 鐵含有量은 쓸모가 있을지도 모른다. 石炭찌꺼기는 粘土質性분에 도움이 될 뿐만 아니라 타지 않은 炭素(에너지 原泉)를 含有하는 利點을 가질수

<表-3>

시멘트 工業에 必要한 原料로서의 工業副産物

區 分	化 学 分 析 值 %								有用量(100萬톤)		物理的特性과 比較
	S	A	F	C	M	S̄	Alk	LOI	연간	누계	
廢鉍物											
(a) 구리폐기물	71	13	5	1	2	—	3	2	234	7700	材料의 90%는 75M 以下일 수 있다. Fe ₂ O ₃ 에서 質이 좋은 찌꺼기는 粘土에 대한 部分的 代用物로서 調査되어야한다. 그러나 그것은 大部分 熱水作用으로 生産된 포틀랜드시멘트에 適合하다. 타지않은 炭素를 含有하고 있는 石炭찌꺼기는 만약 그것이 粘土대신 使用된다면 熱料를 약간 節約할 수 있다.
(b) 타코나이트 폐기물	59	3	21	3	4	—	—	7	109	3600	
(c) 石炭찌꺼기											
(i) anthracitic	55	35	5	1	—	—	—	—	100	2700	
(ii) bituminous	50	22	15	5	1	1	—	—			
기타폐기물											
(a) 磷石膏	12	3	—	35	—	49	—	—	5	136	磷石膏는 포틀랜드시멘트에서 直接石膏代身에 使用하기에는 不適合한 것으로 알려진 不純物을 含有하고 있을지도모른다. 그러나 이것은 크링카에 대한 鉍素로서 使用될 수 있다. 붉은진흙과 갈색진흙은 鐵鉍石과 石灰岩의 代用物로서 調査되어야 한다. 강철찌꺼기는 시멘트를 製造하는데 있어 石灰岩, 粘土, 鐵鉍石의 우수한 代用物이다.
(b) 붉은진흙	3	20	49	7	—	—	3	13	10	90	
(c) 갈색진흙	23	6	6	47	—	—	4	7			
(d) 제철슬러그 Foundry slags	33	18	10	40	4	—	—	—	20	n/a	
Converter slags											
(i) Open hearth	25	7	16	25	11	—	—	—	10	n/a	
(ii) BOF	22	4	15	40	4	—	—	—			

있다.

工業鉍物 生産過程에서 나오는 廢棄物

찌꺼기는 많이 利用될 수 있다. 그러나 아직 少量만이 시멘트製造에 使用된다.

브록·벽돌·precasting houeng 性분과 같은 포틀랜드시멘트를 製造하는 熱水過程에서 이 廢棄物(本來 粉碎된 모래)를 利用하는 것은 또 다른 에너지와 資源保存의 아이디어이다. 이상적으로 SP乾式工程키른의 生産에 含有된 多量の 낮은 溫度의 熱(300~350°C)이 포틀랜드시멘트 生成物을 위해 시멘트工業 團地에 生産施設을 設置함으로써 利用될 수 있다면 시멘트製造에 必要한 에너지 消耗을 훨씬 줄일수 있다.

副産物 石膏를 생각해 보면 비록 磷酸工業으로 부터 나오는 磷 石膏는 廢棄物 石膏의 유일한 源泉일지라도 多量の 비슷한 材料는 弗化水素酸 工業과 枸橼酸 工業 및 硫黃의 中和作業에서 産出되고 있다. 그 産出物은 찌꺼기의 形態로 되었으며 80~90%의 石膏와 포틀랜드시멘트에 대한 防害物로서 直接 使用하기에 不適合한 것으로 알려진 不純物로 構成되어 있을지도 모른다. 그러나 만약 少量의 副産物 石膏(포틀랜드시멘트에 대한 可能한 SO₂ 水準에서)가 原料調合에 混合된다면 不純物로 인한 피해는 減少될 수 있고 에너지를 節約할 수도 있다.

크링카에 있어서 6~20%의 SO₂에 対応하는 상당히 많은 量의 石膏는 값이비싼 시멘트와 早強시멘트와 多量の 鉄酸化 시멘트와 같은 그러한 特別한 시멘트製造에 必要하다. 그러므로 副産物 石膏의 利用은 特別한시멘트를 生産하는데 經濟적인 자극을 찾을지도 모르는 시멘트 生産業者에게는 관심거리임에 틀림없다.

붉은진흙과 갈색진흙은 알루미늄 生産에서 나오는 副産物 찌꺼기의 形態로 生成된다. 붉은진흙은 Jamaica나 Surinam에서 輸出된 보오 크사이트가 알루미늄을만드는데 原料로써 生成될때 生成된다.

붉은진흙은 鉄氧化物과 알루미늄에 있어서 매우 重要하고 따라서 포틀랜드크링카나 질이 좋은 鉄酸化시멘트 生産에 대한 flux로서 適合

하다.

비슷한 에너지 觀點에서 보면 石灰와 鉄氧化物에 있어서 重要한 鋼鉄과 鑄造溶劑는 만약 그것이 石灰岩과 粘土대신에 使用된다면 시멘트製造에 대한 原料인 것으로 알려지고 있다.

9. 포틀랜드시멘트의 合成物을 變化시키는 새로운 아이디어

시멘트工業이 에너지와 資源保存의 役割을 할수 있다는 앞서의 견해는 확실히 證明된 方法의 재주장에 지나지않는다. 그러나 우리는 未來의 에너지 保存努力에 대한 더 많은 必要性을 느낄 것이다. 이러한 일이 發生 할지라도 사람들은 다음과 같은 가장 기초적인 질문을 하지않을수 없다. 水硬性物質과 에너지 必要見地에서 볼때 포틀랜드시멘트는 最適의 化合物을 提供하고 있는가?

이 質問에 대답하기 前에 전형적인 포틀랜드시멘트 크링카 成分을 合成하는데 必要한 熱에너지를 分析해 보자.

SP乾式工程 포틀랜드시멘트 키른에 대한 比較는 <表-4>에서 볼수 있다. 이 資料에 의하면 두개의 주요한 熱吸取 item은 原料調合後 크링카製造를 위해 加熱하는데 必要한 熱과 CaCO₃를 CaO로 分解하는데 必要한 熱이다. 이론적으로 볼때 前者는 시멘트의 合成物을 알맞게 變化시키거나 鑛化劑를 添加해서 크링카 溫度를 낮추므로서 縮小될 수 있다. 그러나 實際적으로 낮추어진 크링카 溫度에서 기인하는 熱節約은 크링카와 키른 Gas의 冷却으로부터 나오는 低再生熱 때문에 없어질지도 모른다.

熱消耗의 두번째 主要 Item은 즉 CaCO₃를 CaO로 分解하는데 必要한 熱은 原料調合에 있어서의 CaCO₃의 比率이나 크링카에 必要한 總 CaO에 달려 있는데 그것은 크링카 生成物에 要求된 化合物에 의존한다.

50%의 C₂S와 25%의 C₃S, 12%의 C₃A, 10%의 C₄AF를 含有하는 전형적인 ASTM type I 포틀랜드 크링카는 原料調合에 있어 現在 CaCO₃

〈表-4〉最近 乾式工程시멘트 키른의 전형적인 熱精算

A: 熱 吸 收	
크링카製造를 위한 原料의 燒成(1,400℃)	
	500kcal/kg-cli
CaCO ₃ → CaO로 分解	475
粘土鑛物의 脫水	50
기 타	25
計	1,050
B. 最大 回收熱	
시멘트混合의 生成熱	100
키른 Gas와 크링카의 冷却으로 부터	500
計	600
C. 理論要求熱量(A-B)	
	450
D. 키른 Gas로 부터 損失熱量	
	175
冷却空氣로 부터의 熱	100
放 熱	75
計	350
E. 總熱消耗量(C+D)	
理論要求熱量	450
損 失 熱	350
計	800

※ 註: 1 kcal/kg=3,600Etu/t

의 分解에 의해 提供되어야만 하는 總 66%의 CaO를 必要로 한다. 그러므로 多量의 石灰化合物에서 低石灰化合物로 크링카化合物이 移動되면 만약 生成物의 重要한 實行에 있어 特性에 害를 끼치지 않는다면 CaO는 尠 必要할 것이며 따라서 더 적은 CaCO₃의 分解에 必要한 熱에너지를 減少시킬 것이기 때문에 에너지 節約이 된다.

포틀랜드와 다른 시멘트에서 發生하는 化合物의 酸化物 分析은 〈表-5〉에서 볼 수 있다. 에너지 保存立場에서 볼때 C₄AF, C₄A₃S, CS로 構成되 있는 合成物은 주로 C₃S, C₂S와 C₃A로 構成돼 있는 포틀랜드시멘트 合成物에 오히려 더 適合하다.

잠재 可能한 30%의 C₄AF, 20%의 C₄A₃S, 15%의 CS와 35%의 C₂S의 化合物을 含有한 多

量의 鐵酸化시멘트¹⁶는 50%의 CaO와 16%의 Al₂O₃, 10%의 Fe₂O₃, 11%의 SO₃와 12% SiO₂를 含有하고 있는 原料調습으로 부터 만들어져 있다.

黃酸과 鐵酸化物의 鑛化效果 때문에 크링카反應은 약 1,200℃에서 끝난다. 化

〈表-5〉生成化合物에서 必要한 酸化物, %

	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	SO ₃
C ₃ S	73.7	26.3	-	-	-
C ₂ S	65.1	34.9	-	-	-
C ₃ A	62.2	-	37.8	-	-
C ₄ AF	46.2	-	21.0	32.8	-
C ₄ A ₃ S	36.7	-	50.2	-	13.1
CS	41.2	-	-	-	58.8

化合物들은 포틀랜드크링카보다 훨씬 더 낮은 溫度에서 生成되었기 때문에 시멘트가 현저하게 反應했다는 것이 發見되었다.

보통의 粉末度에 있어서(3,500cm²/g) ASTM C109모르타르 입방체는 8h와 24h에서 1,000psi와 4,200psi의 壓縮力 있는 힘을 보였다. 크링카는 보통의 포틀랜드 크링카보다 훨씬 더 낮은 약 25%의 에너지를 消耗함으로써 만들어질 수 있다고 생각된다.

처음 調査에 의하면 多量의 鐵酸化 시멘트의 見本이 만들어진 實驗室은 容積에 대한 安定性과 黃酸浸蝕에 대한 내구력과 물에 대한 長期間의 노출에 대하여 아주 만족할만한 것이었다. 이러한 시멘트에 必要한 Al₂O₃와 Fe₂O₃ 및 SO₃는 이들 成分의 하나 혹은 그 以上을 含有하고 있는 工業廢棄物이 쉽사리 利用될 수 있는 곳에서 유리하다. 알루미늄製造工業과 鋼鐵鑄造溶劑 및 副產物 石膏로 부터 나온 붉은 진흙은 多量의 鐵酸化시멘트를 만드는데 適合한 工業廢棄物의 예다.

물론 모든 새로운 시멘트의 合成物이 長期間의 作用과 技術的 可能性을 證明하기 위해 더 많은 調査와 開發이 必要하지만 150年間の 포틀랜드시멘트 合成物에 있어서 우리는 實際的으

로 그 材料의 有用한 技術의 特性을 바꾸지 않고 에너지를 保存토록 하는 適切한 수정안을 적극적으로 찾아야 한다. 여기에서 우수한 長期間의 내구력을 지니고 있는 오래된 이집트 시멘트 모르타르(BC. 3,000)는 多量의 paris 燒石膏을 含有하고 있는 것으로 알려지고 있다는 것은 지적할만하다.

石膏로부터 燒石膏을 製造할 때는 단지 약 100萬 Btu/t 熱에너지만을 必要로 한다. 建築에 있어 비록 石灰石이 石膏보다 더 豊富하고 더 구하기 쉬울지라도 石灰 대신에 石膏를 使用하는 理由는 燃料不足⁸ 때문이었다. 일부 낮은 주위의 濕氣와 石灰 및 구조물의 不純物 出現은 長期間의 外部 노출에 나타난 그 生産物의 내구력 때문이다. 그러므로 에너지節約 立場에서 볼때 多量의 paris 燒石膏나 硬石膏를 含有하고 있는 水硬시멘트 生産은 調査할 가치가 있다.

10. 結論과 推薦

美國시멘트工業은 에너지와 材料 및 環境保全을 향한 國家的 努力에 있어 主要한 役割을 할 유일한 위치에 있다.

이러한 點에서 다음과 같은 結末을 얻을 수가 있다.

(1) 만약 濕式工程키른을 豫熱式 乾式工程키른으로 代替된다면 熱節減이 半으로 減少될 수 있다.

濕式에서 乾式으로 既存 生産施設의 轉換은 經濟적으로 實行可能하지 않다.

그러나 새로운 乾式工程이 設置될 것이고 非效果의인 濕式工程키른은 점차적으로 除去되어야만 한다.

(ii) 豫熱式 乾式工程키른에서 多量의 알카리 燃料때문에 일어나는 作業問題는 bypass 시스템을 통해 成功的으로 調整될 수 있다.

環境과 에너지를 생각해 볼때 키른 粉末은 作業時 再循環되어야 한다. 反應混合劑가 알카리 混合劑 反應問題를 일으킬지도 모르는 곳에서 그 反應 統制策은 多量의 알카리原料로부터 만

들어진 低알카리시멘트보다는 오히려 pozzolans 와 같은 그러한 混合物를 통해 추구되어야만 한다.

(iii) 에너지節約面에서 볼때 대부분 美國시멘트 工場에서는 일반적으로 工場内部狀態를 改善할 기회가 많다. 이것은 自算支出을 要하지 않으며 대부분의 경우에 調査에 대한 報告가 빨리 이루어질 것이다.

(iv) 將來시멘트 需要增加는, 純粹포틀랜드시멘트 보다는 오히려 混合포틀랜드시멘트의 生産增加 容量에 따라 對應되어야 한다.

시멘트 生産業者들이 포틀랜드 flyash나 포틀랜드 高爐슬라그 시멘트를 만드는데 損害를 입지 않는한 그들은 그들 시멘트製造 可能性을 신중하게 調査해야만 한다.

政府와 指定機關은 混合포틀랜드시멘트 消費를 增加시키는데 充分한 努力을 해야 한다.

(v) 天然시멘트 製造原料 대신에 工業廢棄物을 使用하는 範圍內에서 調査되고 開發 되어야 한다.

(vi) 에너지保存 立場에서 볼때 포틀랜드시멘트 製造過程에 있어서 비슷하지만 商業的 生産에 있어 훨씬 더 적은 에너지를 要할 水硬 生産物을 開發하기 위해 포틀랜드 시멘트의 化合物을 變更시킬 必要가 있다.

參考文獻

1. Jorgen, Svendsen. Energy Saving in the cement Industry. Energia Conference 1976, Oslo, Norway, 11-15 May 1976.
2. Rock Products. Producer-Manufacturers Energy panel. Proceedings of the 12th International cement Industry seminar, Chicago, 12 1977.
3. Portland cement Association Energy Conservation potential in the cement Industry. FEA sponsored Report No. PB-245159, prepared by the Portland

- cement Association, 1975.
4. DAVIS, P, and Stringer, J. A. potential for Energy Economy in cement operations, Proceedings of the 12th International cement Industry Seminar. Rock product, Chicago, 12, 1977.
 5. Johansen, V, Burning of portland cement clinker in Rotary Kilns, Material de construccion, Instituto Eduardo Toroja de la Construccion y del Cemento, Madrid, 1977.
 6. Dorn, J, D, Interesting Correlation, Between Raw Materials, clinker, and Burnability, *Am Ceram Soc*, 30th Pacific Coast Regional Meeting, Los Angeles, 1977.
 7. MEEDOM, V. H Compact System for the Burning of filter Cake. *Zement Kalk Gips*, No. 8, 1977.
 8. WARSHAWSKY, JAY, Technology, Energy and Cement. Proceedings of the 12th International Cement Industry Seminar Rock products, Chicago, 1977.
 9. CLIFTON, J. R., BROWN, P. W. and FROHNS DORFF, G. Survey of Uses of Waste Materials in Construction in the United States. NBSIR 77-1244, National Bureau of Standards, 1977.
 10. BERRY, E. E Calculated Energy Savings for Blended cements Made From portland cement, Granulated slag, and Flyash, CANMET Report No. MRP/MSL 77-178(J), 1977.
 11. LANKARD, D. R. The performance of Blended cements in Concrete Viewed in Relation to the potential offered by these cements for Reducing Energy Consumption in cement Manufacture. FEA sponsored Report, prepared by Battelle columbus Laboratories, 1977.
 12. TEWARI, R. P. and MAHTA, P. K. Fluorogypsum as a Mineralizer in Portland Cement clinker Manufacture, Bulletin of the American Ceramic Society, Vol. 51, No. 5, 1972.
 13. MEHTA, P. K. and BRADY, J. R. utilization of Phosphogypsum in portland Cement Industry, Cement and Concrete Research, Vol. 7, No. 5, 1977.
 14. KLEIN, A. and TROXELL, G. E. Studies of Calcium Sulfoaluminate Admixture for Expansive cement proceeding, ASTM, Vol, 58, 1958.
 15. OST. B. W. A., SHIEFELBEIN, B and summer FIELD, J. M. Very High Early Strength Cement, US Portland No. 3860, 433, 1975.
 16. MEHTA, P. K. High Iron-Oxide Hydraulic cement, US Patent No. 4036, 657, 1977.
 17. KONDO, R., DAIMON, M. and GOTO, S. Fuel Economized Ferrite cement Made From Blast-Furnace and converter slags, Fourth Mining Waste utilization Symp., Chicago, 1976.
 18. LEA, F. M. The Chemistry of cement and concrete, Chemical Publishing Company, Third Edition, 1971.