

早強시멘트의 種類와 特性

서울大學校 工科大學
材料工學科 教授

林 應 極

1. 概 說

우리나라 포오틀랜드 시멘트의 작년도 生産量은 486萬餘屯이고 白色시멘트는 約1.7萬屯이 었다. 시멘트는 이 以外에도 슬랙 시멘트, 쉘리카 시멘트, 플라이 애쉬 시멘트, 混合 시멘트 알루미나 시멘트, Pozzolan 시멘트 등이 있고 포오틀랜드 시멘트도 一般構造用 中庸熱 早強 低熱 및 耐黃酸시멘트로 分類된다. 이 중에서 우리나라에서는 포오틀랜드 시멘트中의 一般構造用밖에 生産을 못하고 있는 形便으로 그나마 今年에는 生産과잉狀態에 들어가 덤핑의 現象까지 나타나고 있다. 昨年 生産能力이 660萬屯이 었지만 雙龍, 忠北, 高麗 各 시멘트會社에서 增設 또는 新設을 습하면 우리나라의 시멘트의 生産能力도 1026萬t에 到達할 것이다. 人口 1人當 生産量을 世界的으로 比較할 때 1968年度에 韓國이 117.36kg로 12位를 차지 했는데 最高는 東獨의 471.69kg, 2位의 日本이 471.62kg였다. 이것이 昨年度에는 韓國이 162.16kg로 增加했고 全新設 및 增設이 끝나면 342kg로 增加할 것이 지만 單一種類로서의 消費問題가 크게 남아있다. 小單位에서 大單位에로 工場規模의 轉換은 벌써 부터의 世界的趨勢였지만 한 工場이 Leopold式을 建立하게 되어 7個工場中 4個工場이 이 方式을 採擇하였으나 粘土의 可塑性이 問題가 되어 現在는 Dopol式의 Suspension preheater만 쓰게 이르렀다. 이것은 計劃性이 없고, 技術的인 檢討가 되어 있지 않는데서 오는 것으로 經營主로서는 新種 시멘트를 만드는데 더욱 힘써야 할 것이다. 시멘트 製造用 機械를 모두 導入하는 現時에 있어서는 特히 市場性과 아울러 考慮해야 할 要因이 많으리라고 생각한다. 시멘트에는 硬化體가 時間의 經過와 더불어 僅少하지만 收縮하는 性質을 가지고 있다

는 것, 硬化體의 引張強度가 壓縮強度에 比하여 顯著하게 작다는 것 등의 결점이 있는데 이에 못지 않는 결점은 다른 建設用 結合材料에 比較하여 硬化速度가 늦다는 것일 것이다. 포오틀랜드 시멘트와 類似한 用途로 쓰이는 建設資材에는 알루미나 시멘트, 아스팔트, Epoxi樹脂, 其他의 有機質, 接着劑 등이 있다. 이들은 專用方法의 難易 耐久性 耐熱性 또는 價格 등의 點에 있어서 포오틀랜드 시멘트보다 劣等함에도 不拘하고 硬化速度가 빠르고 이들의 材料를 쓰면 短時間에 工事を 끝일 수 있다는 長點 때문에 緊急工事用 道路鋪裝用 등의 材料로서 꽤 多量으로 쓰이고 있다.

2. 알루미나 시멘트

알루미나 시멘트는 土木 建築 窯爐 其他 많은 工業分野에서 各國에서의 더욱 널리 利用되려 하고 있다. 그러나 1908년에 프랑스의 J. Bied가 原料에 石灰와 보오크사이트를 써서 알루미나 시멘트를 試作하고 1913년에 工業化된 以來 60년이 되었지만 우리나라에서는 아직 만들지를 못하고 있다. 시멘트로서 가장 널리 大量으로 쓰이고 있는 것이 포오틀랜드 시멘트系統이고 그 다음이 알루미나 시멘트이다. 特히 耐尺物 斷熱材用的 耐熱시멘트¹⁾로서 窯業分野에서 잘 쓰이는 것으로는 알루미나 시멘트 磷酸시멘트, 매그네시아 시멘트, 물유리系 시멘트가 있다. 其他 特殊成分으로 되는 硬化性을 갖인 化合物이 多數 알려져 있고²⁾ 今後에도 性質을 明白히 하고 利用에 關係해서도 考慮해 두어야 할 것이다.

各種 시멘트 中에서 포오틀랜드 시멘트와 알루미나 시멘트는 CaO, Al₂O₃ 및 SiO₂의 3成分을 主成分으로 하고 있고 強度와 耐久度가 優秀하다. CaO-Al₂O₃-SiO₂ 3成分系 狀態圖中의 化合物로서 C₃S, C₂S₁, C₃A₁, C₁₂A₇, CA, CA₂의 粉末

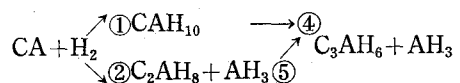
은 물과 作用하여 水和物을 形成하고 硬化하는 性質을 가지고 있다. 硅酸石灰 中에서 가장 물과 反應하기 쉬운 化合物은 C_3S 이므로 포오틀랜드 시멘트는 大概의 境遇 이것을 될 수 있는 데로 많이 形成시키게끔 化學成分이 定해 진다. 그러나 少量의 Al_2O_3 등의 存在를 許諾하면 燒成이 容易하게 되고 또 原料로서 손쉽게 얻을 수 있는 粘土를 利用할 수 있게 된다. 化合物 鑛物 組成을 $C_3S > C_2S > C_3A$ 로 된다. 한편 알루미늄산石灰의 性質로서 C_3A 는 물과의 反應이 너무 甚해서 急結하고 強度는 낮은 데 比하여 CA 는 물과 接觸後 몇 時間만에 急速히 反應을 始作하여 硬化하고 높은 強度를 낸다. $C_{12}A_7$ 은 이들 兩化合物의 中間의인 性質을 가지고 CA_2 는 CA 보다 反應이 늦고 얻어지는 強度는 어느程度 떨어진다. 따라서 알루미늄 시멘트는 大概의 境遇 CA 를 될 수 있는 데로 많이 生成하게끔 化學組成이 選擇된다. 그 原料는 石灰石 以外에 알루미늄 原料로서 一般으로 보오크사이트가 쓰인다. 이것의 組成은 $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$ 로 表示되지만 SiO_2 , Fe_2O_3 , TiO_2 등이 不純物로서 섞여 있다. 原料에 SiO_2 가 存在하면은 알루미늄 시멘트 中에 C_2S 또는 C_2As 가 섞여 있는 것으로 된다. C_2S 는 물과의 反應 또는 硬化가 가장 늦고 C_2As 는 거의 물과 反應하지 않는다. 알루미늄 시멘트와 포오틀랜드 시멘트의 共融點은 어느 것이나 Fe_2O_3 가 少量섞여 있으면 더욱 이 共融點을 낮추고 生成物로서는 水硬性을 가진 C_4AF 또는 C_6A_2F 에 가까운 組成의 Ferrite 團溶體를 形成한다. 또 TiO_2 는 燒成中에 SiO_2 와 같이 融溶中에 들어 가고 一部는 C_3S 및 특히 C_4S 中에 固溶하고 過剩의 增遇는 C_3T_2 또는 CT 가 생긴다. 포오틀랜드 시멘트는 燒成때에 共融點 以上の 溫度에서 融液이 생기고 溫度가 올라도 그다지 融液量을 增加하지 않지만 알루미늄 시멘트의 境遇는 配合物의 組成이 共融點에 가깝고 또 CA 의 融이 C_3S 나 C_2S 에 比해 낮으므로 融液量은 溫度上昇과 더불어 急激히 增加한다. 融液의 存在는 反應速度를 增加하거나 또는 燒成溫度를 低下시키는데 有效하지만 너무 많으면 크링카의 粒子는 서로 또는 內張耐火物과 融着하여 燒成을 困難케 한다. 따라서 알루미늄 시멘트를 燒成에 依하여 만드는 것은 一般으로 困難하지만 도리어 溶融시켜서 反應시키는 것이 보통으로 되어 있다.

代表的인 製品인 사망횡주는 溶融 시멘트라는 意味는 가지고 있고 美國의 롬나이트의 製造에는 로우터리 킬른이 쓰이지만 이것도 溶融 方式이다.

다음에 알루미늄 시멘트의 水和化合物에 關係서는 Gones,⁽³⁾ Lhopitalier,⁽⁴⁾ Schwiete et al,⁽⁵⁾ Segalova et al⁽⁶⁾ 등의 研究가 있다. 알루미늄 시멘트의 페이스트 또는 몰탈이 물과 混된 後 몇 時間 지나면 急速히 反應이 始作되어 硬化하고 약 하루사이에 포오틀랜드시멘트의 境遇의 28日 強度와 비슷한 높은 값을 내는 特徵을 갖고 있다. 이것은 主要 構成化合物인 CA 의 性質에 依한 것이지만 CA 는 水和하여 CAH_{10} 이 되고 이 水和物은 顯著하게 많은 물을 結合水로서 받아 들인다. 따라서 CA 는 一部 反應할 뿐이고 그 粒子間의 間격은 水和物로 거의 차고 더욱 CAH_{10} 은 形態가 表面積이 큰 필립狀이고 強度가 생기는데 有利하므로 빨리 또 強하게 硬化한다. CA 以外的 많은 不純物이 섞여 있는 알루미늄 시멘트를 샘플로 한 研究도 많고 많은 물에 分散시킨 方法에서 부터 現實에 가까운 條件으로 페이스트⁽⁷⁾나 몰탈狀⁽⁸⁾으로서의 물과의 反應狀態를 考察한 것도 있다.

또 最近에는 測定機器의 發達에 따라 X-線回折, DTA, 赤外線吸收⁽⁹⁾ 電子顯微鏡⁽¹⁰⁾ 走査電子 顯微鏡等 最新式의 機器를 驅使한 研究가 進行되고 있다.

이들의 結果는 純粹한 알루미늄산石灰로 한 結果와 一致하고⁽¹¹⁾ 알루미늄 시멘트의 水和反應은 化學組成에는 어느程度 差異가 있어도 同一한 反應이라고 生覺해도 좋다. 그리고 마지막 安定한 水和物에 이르는 途中에 條件에 따라 準安定한 六方晶系의 水和生成物이 생긴다. 가장 一般적으로 나타나는 反應으로서는 다음과 같은 反應式을 들 수 있다.



이 反應은 물과 反應하는 溫度에 따라 影響을 받고 30°C 以下에서는 主로 ①의 反應이 進行되고 時間의 經過에 따라 ④ 또는 ②→⑤의 反應(이것을 轉移라 칭함)이 進行하고 끝으로 C_3AH_6 와 AH_3 로 轉化하며 強度는 떨어진다. 그리고 이 溫度範圍에서는 ②의 反應은 極히 조금 밖에 일어나지 않는다. 30°C 以上の 溫度에서는 反對로

①의反應은 거의 없고 ②→⑤로 進行된다. 그리고 마지막 安定化合物 C_3AH_6 에 이르는 時間은 水和溫度와 그後 養生溫度가 높을 수록 짧다.

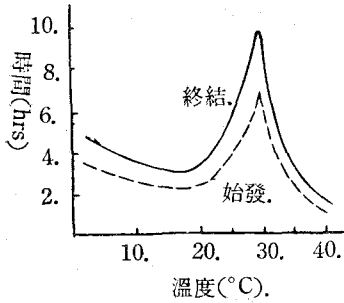
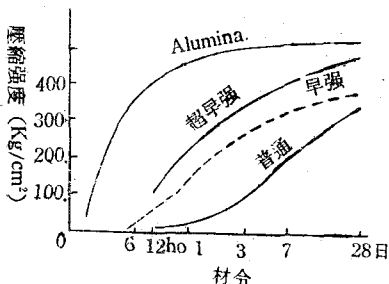


그림 1. Cement Paste의 凝結時間과 的 溫度와關係

그림 1은 凝結 時間과 水和溫度 的 關係를 表示 하는데 15°C~20 °C가 가장 짧고 30°C가 가장 길고 그 以上에서 急作히 또 짧아 지는 것을 보여 주고 있다.

한편 포틀랜드 시멘트의 水和는 C_3S 로 부터 C-S-H 겔과 $Ca(OH)_2$ 가 생기지만 알루미늄 시멘트에서는 $Ca(OH)_2$ 가 不生진다. 알루미늄 시멘트의 礆化體는 比較的 溶解度가 높은 $Ca(OH)_2$ 가 들어 있지 않으므로 耐水性이나 $MgSO_4$ 溶液等에 對한 低抗性이 우수하다. 또 $Ca(OH)_2$ 는 400°~500 °C로 加熱되면 分解하여 CaO 로 되지만 그後 吸濕하여 $Ca(OH)_2$ 로 돌아갈때에 큰 부피變化(膨脹)을 일으켜 龜裂等의 破壞의 原因이 된다. 알루미늄 시멘트의 境遇 $Ca(OH)_2$ 가 거의 생기지 않고 이에 該當하는 것으로서 가 $Al(OH)_3$ 生成한다. 이것은 加熱 脫水하면 Al_2O_3 로 되어 空氣中에서도 安定하여 變化하지 않고 도리어 耐火性의 骨材의 役割을 하게 된다.

알루미늄의 強度는 포틀랜드 시멘트에 比해 強度가 매우 빨리 나타나는 데 注水後 6~12 時間에서 포틀랜드 시멘트의 28 強度에 該當하는 強度를 가지게 된다. 그리고 條件을 適當히 하면 主水後 4時間만에 壓縮強度 100kg/cm² 以上자는 콘크리트를 만드는 것도 可能하다 所謂 응결시간은 포틀랜드시멘트와 大差가 없고 응결이 始作된 다음에 급작히 硬化하고 強度가 커진다.



(그림 2) 알루미늄 시멘트와 포트랜드 시멘트의 強度化(20°C)

그림 2에 알루미늄 시멘트와 포틀랜드 시멘트의 強度의

發現의 狀況을 보여 주고 있다. 強度發現의 差異는 各시멘트의 主要構成物이 各 各 알루미늄 산화물과 硅酸石灰인 데 基因하는 것이다.

이와 같이 알루미늄 시멘트는 強度의 發現 增進이 快 빠르지만 前記한 바와 같이 CA의 水和反應이 溫度差에 따라 크게 影響을 받으므로 強度의 發現도 注水時의 溫度나 그 後의 養生溫度에 따라 꽤 變해 온다.

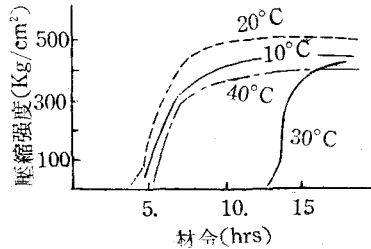


그림 3 水和 溫度가 變換 境遇의 強度가 나타날 때

그림 3은 各 溫度에 있어서의 強度의 發現을 보여주

고 있지만 亦是 30°C 程度에서 強度의 發現이 늦다는 것을 보여 주고 있다. 轉移가 일어나면 CAH_{10} (S. G. 1. 72)에서 C_3HA_6 (S. G. 2. 52)와 같이 比重差로 부터 組織이 氣孔性이 되므로 強度가 低下한다. 即 轉移 때에 많은 물을 放出하는데 이 물이 蒸發한 後로는 氣孔이 남게 된다. 이 強度 低下에 關하여는 많은 研究가 되어 있다.⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾ 轉移反應의 速度는 養生溫度에 依하여 左右되고 20 °C 以下の 低溫에서 養生된 境遇는 轉移가 끝일 때까지 매우 長時日을 要하지만 變溫에서 養生할 境遇에는 짧은 時間에 轉移는 끝난다. 塚山⁽¹⁵⁾는 이 性質을 利用하여 常溫에서 成形한 샘플을 50°C 水中에서 7日 以上 養生하여 完全히 轉移를 시켰다.

또 이 轉移反應은 물이 重要한 役割을 한다. 即 시멘트 硬化體 中에 自由水가 많으면 轉移는 빨리 進行한다. 이 事實은 물 시멘트의 比(W/C)가 높은 콘크리트일 수록 轉移가 進行하기 쉽게 된다는 것을 뜻한다.

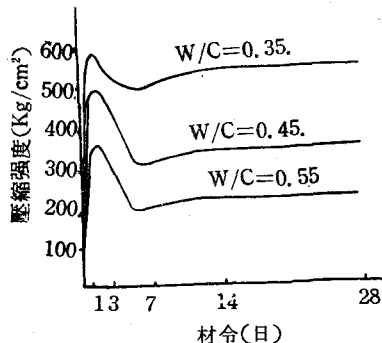


그림 4. 36°C 水中養生일 境遇의 물 시멘트 比와 壓縮強度

그림 4는 물 시멘트가 다른 콘크리트의 強度變化⁽¹⁶⁾를 보여주고 있다. 高溫이 될수록 強度 低下는 빨리 일어나고 또

W/C가 클 수록 強度低下가 크다는 것을 알 수 있다. 또 M deley⁽¹⁷⁾에 依하면 轉移의 速度가 重要한 原因이 되어 低溫에서 천천히 轉移한 境遇에는 強度는 低下하지 않는다고 하였다.

3. 早強포오텔랜드 시멘트

(1) 포오텔랜드 시멘트와 結合材

硬化速度가 느린 포오텔랜드 시멘트의 결점을 補充하기 爲하여 그 硬化를 足進시키는 여러方法이 考案되어 있고 그들 중에서도 硬化足進劑를 混和하는 方法과 養生時에 콘크리트나 몰탈을 加熱하는 方法 등은 널리 應用되고 있다.

시멘트의 硬化를 足進시키는 混和劑中에서 가장 一般的인 것은 鹽化칼슘이고

그 效果가 크고 값이 싸므로 緊急 콘크리트 工事나 寒中 콘크리트 工事に 쓰이는 수가 많지만 鐵筋콘크리트 工事의 境遇는 이것을 混合하면 鐵筋의 腐蝕을 招來할 念慮가 있다. 콘크리트의 調合 計量 混練 施工 등의 作業을 嚴重히 管理하여 物質이 緻密한 콘크리트로 만들 수 있다면 시멘트에 對하여 2%以下의 鹽化칼슘의 添加는 鐵筋에 對하여 無害하다는 試驗結果도 報告되어 있다. 實際의 콘크리트 工事의 境遇에는 철근의 腐蝕을 막을 수 있겠음 緻密한 콘크리트를 만드는 것은 가장 힘들다. 따라서 鐵筋콘크리트 工事中에는 鹽化칼슘을 쓰지 않는 것이 常例로 되어 있다. 鹽化칼슘 以外の 것으로 시멘트의 硬化를 促進시키고 또 鐵筋에 無害한 混合劑도 있지만 그 效果나 經濟性에 問題가 있으므로 그다지 많이 쓰이지 않고 있는 것 같다.

콘크리트를 養生하는 경우에는 이것을 加熱하여 硬化를 促進시키는 方法中에서 가장 많이 쓰이고 있는 方法은 水蒸氣에 依한 加熱의 方法 即 蒸氣養生方法이다. 蒸氣養生 方法이란 成形後에 아주 充分히 硬化되지 않는 콘크리트 製品 등을 蒸氣養生室 또는 오우토클레이브 속에 넣고 常壓 또는 變壓의 水蒸氣를 通하여 加熱하여 硬化시키는 方法으로 이와 같이 하면 成形 數時間 乃至 10數時間後에 充分한 強度를 가진 製品을 얻을 수 있으므로 製品의 成形에 必要한 틀이 적어도 되고 製品養生用의 넓은 敷地도 必要없다는 利點이 있다. 이 方法은 主로 콘크리트포울 콘크리트 파이프, 홈관, 프레하브건축용 部材 슬레

이트 기타의 시멘트 二次製品의 製造에 應用되고 있지만 보일러, 蒸氣養生室 또는 오우토클레이브 等약간 高價인 設備과 蒸氣를 發生시키기 위한 燃料를 必要로 하는 것. 一般의 콘크리트 工事中에는 거의 應用할 수 가없고 시멘트 二次製品이라도 大型의 것에의 應用이 困難하다는 說들은 이 方法의 結점이다. 以上과 같은 포오텔랜드 시멘트의 硬化를 促進시키는 各種의 方法에는 多少 問題가 있으므로 緊急을 必要로 하는 境遇에도 上記의 어느 方法도 應用할 수 없는 境遇가 많다.

이와 같은 境遇의 解決策으로 생각할 수 있는 것은 硬化速度가 빠른 시멘트를 쓰는 法이다. 포오텔랜드 시멘트 中에서도 早強포오텔랜드 시멘트는 다른 것보다 硬化가 빠르므로 緊急 콘크리트 工業 寒中콘크리트 工事 프리스트레스트 콘크리트 製品 기타의 시멘트 二次製品으로서 多量으로 使用되고 있다. 그러나 建設 工事의 早速化 二次製品 工業의 省力化 및 生産性向上이 더욱 더 要求됨에 이르렀음으로 從來의 早強포오텔랜드 시멘트 보다 더욱 硬化가 빠른 시멘트에 對한 使用者의 要求가 높아 日本에 따라 各國에서는 이에 對한 研究를 많이 하고 있다.

今年度에 들어 美國의 포오텔랜드 시멘트 協會에서는 施工後 15分만에 걸을 수 있을 程度로 빨리 굳은 特殊早結시멘트(jet set)를 開發하였다. 이 시멘트는 強度 耐久性, 및 使用方法是 보기에 普通포오텔랜드 시멘트와 變함이 없다. 交通量이 많은 道路, 高速道路, 空港의 활주로의 補修에 이것을 쓰면 時間을 短縮시킬 수 있다. 또한 美國의 Pocombe Fabricators Inc. Div of Pater sonkelly Co. 에서도 콘크리트나 돌벽의 修理 등에 強力하고 다루기 簡便한 早凝結 시멘트를 開發하였다. 이 시멘트에는 新型的의 添加劑가 들어 있어 40分만에 凝結한다. 또 1時間後에는 사람이 그 위를 걸을 수가 있고 3時間後에는 추력이 다닐 수 있을 程度의 굳은 시멘트이다. 昨年부터 日本 시멘트 會社에서는 超早強시멘트를 量産하기 始作하였고 今年부터는 日本小野田시멘트會社에서도 量産하기에 이르렀다.

(2) 超早強포오텔랜드 시멘트

前記한 바와 같이 各國에서는 超早強포오텔랜드 시멘트의 研究를 이미 끝마치고 工業化 段階에 이르고 있으므로 이것을 早強 및 普通포오텔랜드

시멘트와 比較해 불려고 한다.

表 1은 物理試驗值 表 2는 化學分析值와 그 分析으로 計算한 成分間的 係數 및 化合物組成이다. 그림 2는 表 1 中の 壓縮強度와 材齡과의 關係를 보여주고 있다. 表 1-2에서 보는 바와 같이 物理試驗值로서 크게 다른 것은 比表面積이다. 化學分析值로는 그다지 區別할 수 없지만 超早強포 오틀랜드 시멘트는 早期強度를 左右하는 C_3S 가 가장 크고 後記強度를 左右하는 C_2S 를 대폭 줄인 것을 알 수 있다. 이 比表面積과 C_3S 로서 超早強의 性質을 나타내게 함은 알루미나 시멘트가 比表面積 $4500\text{cm}^2/\text{g}$ 으로서 더 빠른 效果를 나타내는 것과 比較할 때 前記한 바와 같이 物理的 性質뿐만 아니라 化學的 性質에서 오는 것이 더욱 크다는 것을 알 수 있다. 또한 超早強포오틀랜드 시멘트를 만들 때는 그 原料調合에서 水硬率을 높이고 活動係數를 주리는 데 努力했다는 것을 알 수 있다. 壓縮強度는 1日 強度가 早強포 오틀랜드 시멘트의 4배나 되고 7日 強度에 該當하는 $200\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 보여 주는데 引張強度에서도 볼 수 있는 같은 現象이다.

이 시멘트는 上記와 같이 從來의 포오틀랜드 시멘트에 比하여 硬化速度는 가장 빠르지만 凝結時間은 이것과 大差가 없고 粉末度가 微細한 것과 水和熱의 發熱速度가 좀 큰 것을 除外하면 硬化體의 건조수축 化學的 抵抗性 長期強度 등의 性質은 普通 또는 早強포오틀랜드 시멘트와 거의 變함이 없다. 따라서 그 使用方法이나 使用上의 注意도 다른 포오틀랜드 시멘트와 다름이 없고 콘크리트로서 使用하는 境遇의 믹서車에 의한 運搬이나 콘크리트 펌프에 의한 壓送도 전혀 支章없이 할 수 있다.

다만 粉末度가 微細하므로 紙袋에 넣어서 長期間 貯藏한 境遇에 空氣中の 濕分이나 CO_2 의 作用을 받아서 品質이 劣化하기 쉬운 것, 初期의 水和熱이 크므로 大型의 橋梁等 斷面積이 큰 콘크리트部材의 境遇에는 施工 數時間 後에 內部的 溫度가 上昇한다. 所謂 溫度龜裂을 發生시키는 傾向이 큰 것 등은 이 시멘트의 缺點이다.

그러나 上記한 特性을 가지고 있으므로 호텔, 住宅, 事務所, 工場 등의 建築 道路鋪裝 機械類의 基礎等 工業用으로서 또 시멘트 二次製品用으로서도 相當한 量이 쓰이고 있다. 다만 上記한 바

와 같은 缺點을 補充할 研究는 더욱 계속되어야 할 것이다.

表 1. 物理試驗 結果

	普通 Portland Cement	早 Portland Cement	超早強 Portland Cement	Alumina Cement		
比 重	3.15	3.14	3.13			
粉末度	比表面積 (cm^2/g)	3,090	4,150	5,040	4,500	
	88 μ 체殘 分(%)	2.2	1.1	0.2		
安 定 性	良好	良好	良好			
凝 結 (20°C)	始 發 (hr-min)	2-31	2-35	2-07	4-12	
	終 結 (hr-min)	3-43	3-47	3-25	6-03	
強 度	引 張 (kg/cm^2)	1日	13.1	27.5	46.2	
		3日	31.5	48.1	57.4	
		7日	46.5	62.5	68.3	
		28日	69.8	77.7	76.8	
	壓 縮 (kg/cm^2)	1日	42	103	205	450-668(19°C)
		3日	128	228	330	
		7日	219	339	407	155-506(6D)
		28日	403	468	472	(38°C)

表 2. 化學分析試驗值

	普通 Portland Cement	早 Portland Cement	超早強 Portland Cement	Alumina Cement	
化 學 成 分 (%)	強熱減量	0.6	0.6	1.1	
	不溶殘分	0.4	0.6	0.2	
	SiO ₂	22.2	21.1	19.5	4 7
	Al ₂ O ₃	5.2	4.7	5.2	52.9
	Fe ₂ O ₃	3.1	2.8	2.6	5.7
	CaO	64.5	65.6	64.9	34.0
	MgO	1.2	1.2	1.1	0.4
	SO ₃	2.0	2.4	3.3	
	TiO ₂				2.3
	Na ₂ O	0.28	0.24	0.21	
	K ₂ O	0.60	0.43	0.31	
	total	100.1	99.7	98.4	
	率 係 表	水 硬 率	2.07	2.23	2.29
		活 動 係 數	4.3	4.3	3.8
硅 酸 率		2.7	2.8	2.5	
鐵 率		1.7	1.7	2.0	
石灰飽和度		0.90	0.96	1.00	
3CaO, SiO ₂	49	64	68		
2CaO, SiO ₂	27	12	5		
3Al ₂ O ₃ , SiO ₂	9	8	9		
4CaO, Al ₂ O ₃ , Fe ₂ O ₃	9	9	8	5-10	
CaO, Al ₂ O ₃				55-65	
4CaO, 6Al ₂ O ₃ , FeO, SiO ₂				15-25	
FeO				10-15	

- 1) 近藤連一 工業斗 製品 No. 8 81-86(1963)
- 2) N.F. Fedorov, 5th International Symposium on the Chemistry of Cement, S.P. No. 96 Tokyo (1968)
- 3) FE Jones, Chemistry of Cement Proc, 4 th International Symposium, Washington, I. 205-246(1960)
- 4) P. Lhopitalier, ilid., II. 1007-1633(1960)
- 5) H.E. Schwiete, et, al., Silikattechnik 16(4) 103-109(1965) : 16(5) 146-152(1965)
- 6) E.E. Segalova et al., Zh, Pvih, Klim 37(6) 1229-34 (1964) : J. Appl. Chem, 37(6) 1229-34(1964)
- 7) H. Lehman, K.J. Leer, Tonind, Ztg, 87 29-41(1963) : H.G. Midgley, Trans, Brit, Cer. Soc, 66(4) 161-187(1967)
- 8) K. Mishima, 5th, Intern, Symp. on Chem, of Cement, Tokyo, S.P. III-88(1968)
- 9) J. Valant, Rev, Matir, Const., No. 635-36, 313-323(1968)
- 10) H.E. Schurete, U. Ludurig, P. Miller, Betonstein Ztg., (3) 141-49(1966)
- 11) S. Chatterji, J.W. Jeffery, Trans, Brit, Ceram, Soc, 67(5) 171-183(1968)
- 12) P.K. Mehta, 5th, Intern, Symp. on Chem of Cement, Tokyo, S.P. II-67(1968)
- 13) A.M. Neville, Proc. Inst. Civil Eng. 25(7) 287-324 (1963)
- 14) R. Tsukayama, 5th Intern, Symp, on Chem, of Cement, Tokyo, S.P. III-123(1968)
- 15) 塚山隆一, 日土木學會 22回 年會(1967)
- 16) T.D. Robson, High Alumina Cements & Concretes, John Wily & Sons Inc., N.Y. (1962)
- 17) H.G. Midgley, Trans, Brit Ceram, Soc. 66(4) 161-187(1967)

〈近着外國文獻〉

◎ Rock Products (美國) June 1970

1. Pneumatic unloading system speeds rail to truck cement transfer
2. High efficiency dust collecting for light-weight aggregate production
3. Automatic control of roller mills

◎ Rock Products July 1970

1. A comparison of modern lime calcining systems
2. Limestone calcination in various atmospheres
3. Evaluation of kiln
4. IEEE Cement conference highlights computer-controlled plants

◎ Rock Products (美國) August 1970

1. Limestone qlasting costs slashed
2. Prescription for cement plant dust control
3. The cement industry-victim of fads & fashions

◎ Cement, Lime and Gravel (英國) July 1970

1. Extracting iron ore with sand and gravel
2. The aggregates industry in the 1070 s.
3. Cement and concrete in South africa

◎ Cement Technodgy (英國) July 1970

1. Modification of a clinker cooler to increase its capacity.

2. The siting and construction of cement works

3. Heat generation in the hardening of magnesite cements.

4. Development of raw-materials equipment for the cement industry

◎ Asian Industry. Hong kong sep. 7970

1. Korea cement industial association
2. Korea exchange bank
3. Ssangyong cement IND, co, LTD.
4. General motors overseas distributors cooperation.

◎ Mordern Asia Hong kong July 1970

1. New-zealand mini container for maxi loads.
2. Think like the boss.
3. Trained to think
4. Korea; Benefits for all.

◎ Industrial World (美國) July 1970

1. metalworking U.S.A.
2. EDM. ECM or ELG; which one?

◎ Industrial World 美國 Augst 1970

1. Special report; Power
2. Automate weighing, Save time and money.
3. Stretch that steel

◎ Cembureau. France. 1970 No. 53

1. World cement production
2. Cement prices and distribution
3. Per-capita consumption in cem. countries
4. Concrete industry