

새로운 超速硬 凝結調節 시멘트

— 제트 시멘트에 대하여 —

崔 權

<韓國科學技術情報센터 案業擔當>

I. 序 言

最近 先進國의 産業開發은 生活環境의 整備과 保護에 力點을 두어 空港, 港灣, 道路, 鐵道, 倉庫 등의 公共流通施設의 擴充 및 住宅의 建設, 都市의 再開發, 公害防止設備 등의 建設産業 分野에 投資가 活潑히 進行되고 있다.

또한 産業構造에 있어서도 公害의 要因이 되는 産業을 기피하는 傾向을 띄어 先進國의 시멘트 需要는 急增하고 있으나 生産成長率은 오히려 減퇴되고 있다.

우리나라의 시멘트 工業은 6.25事變後 복구를 위한 建設資材의 時急한 需要에 따라 發展하기 시작하여 5.16以後 産業近代化政策에 의하여 大單位가 促進되어 요즘에는 年產 1,000萬톤을 넘어서게 되었고 最近의 國際輸出市場의 好況으로 多量 輸出하여 外貨稼得率이 높은 戰略 수출 産業으로 各광을 받고 있다. 그러나 生産品種은 보통 포틀랜드 시멘트와 이 시멘트에 珪藻土를 混合한 포졸란 시멘트가 약간 生産되어 댐 工事 등에 사용될 뿐 多樣化한 시멘트의 各중 用途를 充當시키지 못하고 있다.

가장 많이 사용되는 포틀랜드 시멘트는 그 使用目的 및 特殊性에 따라 早強 포틀랜드 시멘트, 超早強 포틀랜드 시멘트, 低熱 포틀랜드 시멘트 등과 보통 포틀랜드 시멘트에 珪藻土, 高爐鑛率, 플라이 애쉬 등의 混合材를 加하여 耐久性, 長期強度 등의 向上과 增量效果를 기하여 價格低下 등 諸般 포틀랜드 시멘트의 缺點을 改善한 混合 시멘트 등으로 多樣化 되어 있다.

특히 최근에는 從來의 各種 포틀랜드 시멘트 및 超早強 시멘트의 弱點을 완전히 補強한 劃期的인 시멘트로서 超早強을 갖고 凝結時間을 자유로히 調節할 수 있는 凝結調節 시멘트(regulated set cement)가 美國의 포틀랜드시멘트協會研究所(PCA)에 의하여 發明되었다. 이 基本技術을 日本의 小野田시멘트社와 住友시멘트社가 共同으로 導入, 研究·改良하여 「제트 시멘트(Jet Cement)」라는 商品名으로 71年 10月부터 市販하고 있다.

이 種類의 시멘트는 注水 混練後 2~4時間만에 100kg/cm² 이상의 早期의 高強度를 發現하여 「1 hour cement」라고도 불리우며 이의 重要한 用途는 早強性이 時急히 요구되는 緊急工事, 寒中工事, 補修工事 등과 콘크리트 판넬, 블럭 등의 시멘트 2次製品製造 및 速硬性을 利用한 吹附工事, 鑄物型틀 製造 등 廣範圍한 用途에 실용되고 있다. 美國에서의 장래 需要豫測은 이 種類의 시멘트가 全시멘트 使用量의 10~20%를 占有할 것이라고 보고 있다.

이와 같은 新種 凝結調節 시멘트에 대한 우리나라의 動向은 이 種類의 시멘트의 國內開發 및 量產을 위하여 科學技術處와 某會社의 共同補助下에 韓基成, 崔相紇博士팀에 의하여 研究·開發이 進行中에 있다. 이 種類의 시멘트가 國內에서 量產되면 앞으로 계획된 地下鐵 및 高速道路 建設 등 기타 緊急性이 要求되는 各種工事의 工期短縮 및 經費節減에 크게 기여할 것이며 北傀의 끊임 없는 軍事的 挑發에 直面하고 있는 우리나라의 실정에서 보면 緊急 방커 및 토치카 構築, 對戰車障礙物 設置, 緊急橋梁 및 道路補修,

非常滑走路建設 및 補修 등 戰時狀況下의 각종 緊急土木工用 시멘트로서의 사용 가치도 크다고 하겠다.

本稿에서는 이와 같은 凝結調節 시멘트중에서 最近 日本이 開發한 제트 시멘트를 중심으로 이의 製造法, 시멘트 特性, 이를 사용한 몰탈 및 콘크리트의 性質, 建設工用에서의 事例와 使用上의 注意點 등에 대하여 紹介하고자 한다.

II. 제트 시멘트 크링카

제트 시멘트는 一種의 포틀랜드 시멘트로서 그 크링카 製造方法은 石灰石, 粘土, 珪石 등의 通常 포틀랜드 시멘트用 原料 以外에 알루미늄源으로서 보오크사이트(bauxite : $Al_2O_3 \cdot 2H_2O$) 또는 高嶺土(kaolin : $Al_2O_3 \cdot 2SiO_2 \cdot 2H_2O$)와 특히 弗素源으로서 螢石(fluorite : CaF_2)을 少量 사용하여 一定成分이 되도록 調合하여 混合한 다음 回轉爐에서 燒成하여 製造한 것이다.

이 크링카의 組成鑛物相은 $3CaO \cdot SiO_2$ 固溶體를 主成分으로 하는 에라이트(alite)相, $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 를 主成分으로 하는 알루미늄칼슘相 $2CaO \cdot SiO_2$ 를 主成分으로 하는 베라이트(belite)相, $2CaO \cdot Fe_2O_3 - 6CaO \cdot 2Al_2O_3 \cdot Fe_2O_3$ 系 固溶體를 主成分으로 하는 鐵固溶體相과 遊離 CaO, MgO 등으로 되어 있다. 이 주요 組成鑛物에는 少量의 Al_2O_3 , Fe_2O_3 , MgO, CaO, Na_2O , K_2O

및 SO_3 등이 固溶되어 있다.

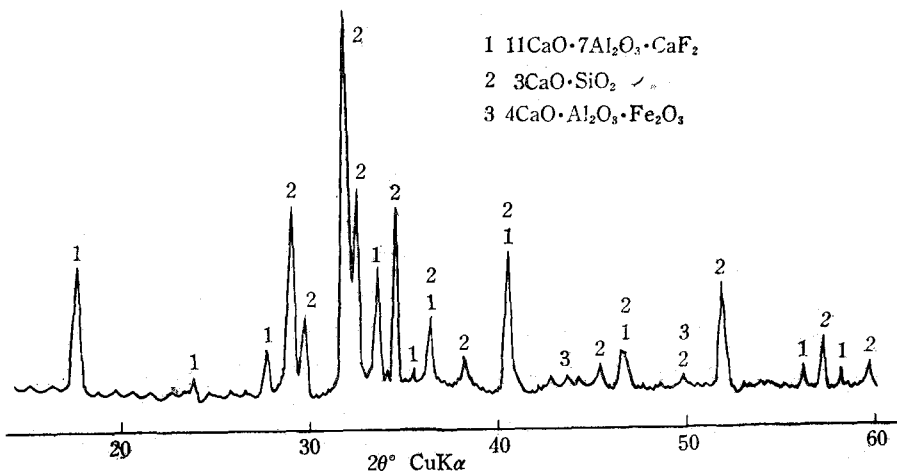
이 크링카의 粉末X線回折圖(<그림-1>)에 의하면 主構成鑛物相은 에라이트와 알루미늄칼슘이고 $2CaO \cdot SiO_2$ 는 量的으로 數% 以下이고 β型이 主體가 된 듯하다.

$3CaO \cdot SiO_2$ 固溶體는 通常 포틀랜드 시멘트中에 含有된 것과 큰 差가 없고 結晶粒徑은 $10 \sim 20\mu$ 으로 비교적 적고 單斜晶系 以上の 對稱性을 갖고 있다.

$11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 는 $12CaO \cdot 7Al_2O_3$ 相이 空孔이 많은 結晶構造를 갖고 있어 容易하게 그 空孔에 할로젠 元素 및 OH^- 를 쉽게 置還하여 $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 의 組成에 가까운 固溶體를 形成한 것으로 생각되며 또한 Fe_2O_3 는 $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 中の Al^{3+} 과 置還 固溶되어 있다. (1) 鐵固溶體相과 遊離 CaO, MgO 등은 보통 포틀랜드 시멘트(以下 보통 시멘트라고 함)와 別차가 없다.

제트 시멘트의 早期 및 初期強度의 發現을 支配하는 鑛物相은 $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 인데 이의 含有量에 比例하여 初期強度가 증가하나 40% 以上이 되면 이 관계를 벗어나게 된다.

이의 生成을 위하여 弗素源으로 供給된 螢石은 크링카의 主構成鑛物 生成과 微妙한 관계가 있다. Rankin과 Wright의 (2) $CaO - Al_2O_3 - SiO_2$ 系の 平衡狀態圖에서 考察하면 $3CaO \cdot Al_2O_3$ 의 初



<그림-1> 제트 시멘트 크링카의 粉末X線回折圖

晶領域은 CaF_2 添加量의 증가에 따라 감소하고 CaF_2 5%에서는 완전히 消失된다. 한편 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 의 初晶領域은 CaF_2 添加量의 증가에 따라 擴大됨과 동시에 低溫度側으로 移動하여 $1,500^\circ\text{C}$ 以上の 高溫에서는 $11\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaF}_2$ 는 生成되지 않고 $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 로 存在한다. CaF_2 量이 不足되어도 $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 가 生成되어 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 固溶體의 生成量이 감소하게 되고 凝結이 異常하게 됨과 동시에 初期의 強度發現이 不良해진다. 過剩으로 供給되면 $(3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)_3\cdot\text{CaF}_2\cdot(2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2)_2\cdot\text{CaF}_2$ 등의 弗化珪酸칼슘이 生成되어 같은 結果를 招來하게 된다. (2) 따라서 CaF_2 는 $3\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$, $11\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaF}_2$ 및 $2\text{CaO}\cdot\text{SiO}_2$ 등의 제트 시멘트 크링카 組成 鑛物相들의 平衡을 保持하고 이들을 高石灰領域에서 生成시키기 위해서 平衡을 移動시키는 役割도 겸하고 있다. 이와 같은 機能을 가진 物質로서는 할로겐化合物이면 모두 有效하나 다음과 같은 이유로 螢石이 주로 사용된다.

할로겐 元素中 沃素와 臭素는 高價이고 臭素는 惡臭를 내기 때문에 工業用原料로서는 不適當하다. 鹽素를 사용하는 경우는 $11\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaCl}_2$ 의 生成領域이 高溫側으로 移動되어 있어 製造上 불리하고 鹽素를 含有한 할로겐화알루미늄칼슘은 콘크리트로 사용할 경우 鐵筋을 腐蝕시킬 가능성이 있어 좋지 못하다. 이상과 같이 제트 시멘트 크링카는 生成條件이 까다로워 크링카 製造時에는 무엇보다도 適當한 原料調合과 燒成條件이 요구된다.

III. 제트 시멘트의 特性

제트 시멘트는 前述한 크링카에 無水石膏와 半水石膏를 適當한 比率로 混合한 것을 主體로 한 添加物을 加하고 粉碎混合하여 시멘트로 한 一種의 新種 포틀랜드 시멘트이다.

化學成分, 鑛物組成, 粉末度 및 比重을 通常 포틀랜드 시멘트와 比較한 實例은 <表-1>과 같다.

化學成分은 제트 시멘트가 他시멘트에 比하여 Al_2O_3 , SO_3 가 많고 SiO_2 가 약간 적으며 鑛物組成에서는 알루미늄칼슘이 많고 珪酸2칼슘이 적다.

<表-1> 各種 시멘트의 化學成分, 鑛物組成, 粉末度 및 比重

시멘트種類	項 目				
	제트 시멘트	超早強 시멘트	早 強 시멘트	普 通 시멘트	
化學成分 (%)	ig. loss	0.6	0.9	0.9	0.6
	Insol	0.1	0.1	0.2	0.1
	SiO_2	13.8	19.7	21.0	22.2
	Al_2O_3	11.4	5.1	4.9	5.1
	Fe_2O_3	1.5	2.7	2.8	3.2
	CaO	59.1	64.7	66.2	65.1
	MgO	0.9	2.0	1.1	1.4
	SO_3	10.2	3.0	2.5	1.6
	Total	97.6	68.2	99.6	99.3
	鑛物組成 (%)	珪酸 3 칼슘	50.4	98.0	65.7
珪酸 2 칼슘		1.7	5.2	10.7	23.9
알루미늄칼슘		20.6	9.0	8.2	8.2
鐵알루미늄 4 칼슘		4.7	8.2	8.5	9.7
粉末度 (cm^2/g)	5,300	5,950	4,340	3,220	
比 重 (g/cm^3)	3.04	3.14	3.13	3.17	

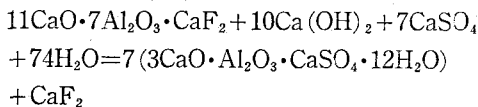
제트 시멘트의 알루미늄칼슘은 他시멘트와 같은 $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 型이 아니고 $11\text{CaO}\cdot 7\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaF}_2$ 型으로서 多量으로 存在하고 있다. 따라서 添加하는 石膏量은 他시멘트에 비하여 數倍가 필요하다. 物理的 性質에서 比重은 비교적 적고 粉末度는 상당히 높은 편이다.

添加하는 石膏는 특수한 성질이 요구되며 結晶變態, 結晶度, 粉末度, 微量成分의 種類 및 量, 石膏添加量 등이 微妙하게 제트 시멘트의 品質에 영향을 주는데 세계 各國에서 생산되는 이 種類의 시멘트의 노우하우(knowhow)가 이곳에 集中되어 있다. 基本的으로 無水石膏의 添加量은 알루미늄黃酸칼슘水和物이 最終적으로 1黃酸鹽型($3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{CaSO}_4\cdot 11\text{H}_2\text{O}$)의 組成이 되도록 添加하고 半水石膏는 強度發現을 低下시키지 않는 範圍에서 필요로 하는 凝結時間에 따라 添加量을 정한다. 無水石膏는 그의 비교적 낮은 溶解度 및 溶解速度 때문에 水和生成物의 物性, 그의 生成量의 調節에 適當하다. 따라서 제트 시멘트 페이스트(paste)中에 있어서 半水石膏와 같이 急激하게 알루미늄3黃酸칼슘을 生成시키지 않기 때문에 水和의 進行을 沮害하지 않고 良好한 強度發現에 寄與한다. 一定量까지 添加量을 증가시

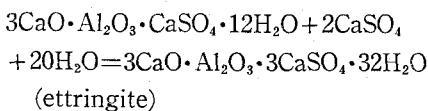
키면 強度가 증가한다. 半水石膏은 溶解度와 溶解速度가 상당히 크기 때문에 凝結調節劑로서 有效하게 이용된다. 제트 시멘트의 凝結時間은 이의 添加量에 따라 任意로 조절할 수 있으나 多量添加하면 硬化不良을 일으킨다. 이것은 급격하게 알루미늄酸3黃酸칼슘의 치밀한 皮膜이 生成되어 未水和 크링카의 表面을 皮覆하기 때문에 그 후의 水和反應을 크게 阻害함으로써 일어나는 것이다. 半水石膏의 添加量을 증가시키면 초기의 壓縮強度가 커지고 凝結時間이 길어지나 3% 이상이면 強度는 현저히 감소한다. 제트 시멘트의 石膏添加는 強度와 凝結時間 및 凝結遲延劑 제트세터(jetsetter)의 사용을 고려하여 無水石膏을 주체로 하여 여기에 약간의 半水石膏을 添加한 石膏混合粉末을 시멘트中 Al_2O_3/SO_3 의 比가 1.0 정도되는 範圍에서 添加하고 있다. (3, 4)

IV. 제트 시멘트의 水和反應 및 凝結, 硬化機構

제트 시멘트에 注水하면 $11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 는 곧 溶解하고 珪酸칼슘相의 溶解에 의하여 生成된 $Ca(OH)_2$ 와 反應하여 10秒程度에서 AH_2F , CAH_{10} , C_2AH_6 , C_4AH_{19} ¹⁾ 등의 알루미늄酸칼슘水和物을 生成하기 시작한다.



알루미늄酸1黃酸칼슘은 數分 程度에서 알루미늄酸3黃酸칼슘水化合物인 에트린자이트(ettringite)로 變化하기 시작한다.



石膏은 前述한 바와 같이 Al_2O_3/SO_3 의 比가 1.0 程度되도록 添加하였기 때문에 水和페이스트中的 石膏濃度에 따라서 그 후 生成한 水和物은

註: 1) C=CaO, A= Al_2O_3 , F= Fe_2O_3 , S= SiO_2 , M= MgS , H= H_2O , \bar{S} = SO_3 , \bar{F} =F

例 $CAH_{10} = CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 10H_2O$

2) 시멘트 몰탈 및 콘크리트 施工後 그 表面에 微細物이 뜨는 現象

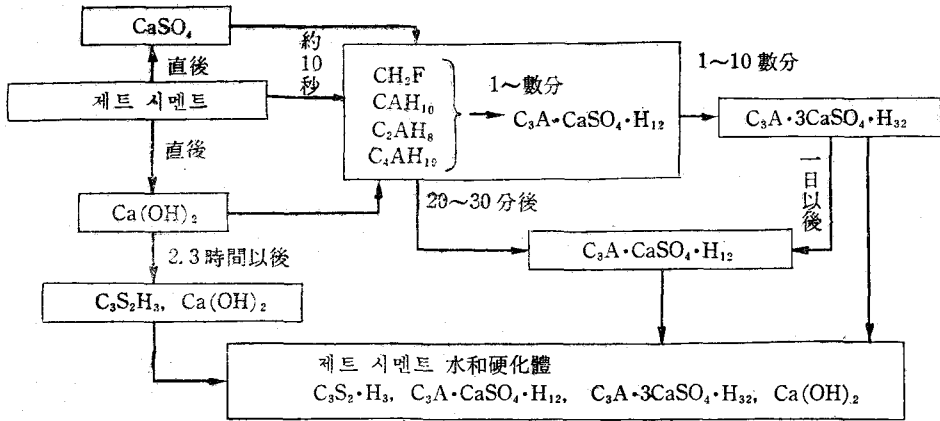
1黃酸鹽型이 증가하고 일단 生成된 3黃酸鹽型인 에트린자이트로 石膏固相이 隣接해서 存在하지 않으면 서서히 1黃酸鹽型으로 變化한다. 일반적으로 黃酸鹽水和物은 $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, CaF_2 등과 一聯의 C_4AH_n 系의 連續固溶體를 형성하는 것으로 알려져 있는데 제트 시멘트中的 알루미늄酸黃酸칼슘水和物도 一 $CaSO_4$ 가 一部, $Ca(OH)_2$, $CaCO_3$, CaF_2 등에 의하여 置換된 固溶體가 된 것이 確認되었다. 에라이트, 베라이트 및 鐵固溶體相의 水和反應은 反應速度가 빠르다는 것이 외에는 通常 포틀랜드 시멘트의 경우와 큰 차이가 없다.

제트 시멘트의 凝結硬化機構는 注水後 數分~10數分까지 상당히 多量 生成한 에트린자이트가 1分子當 32分子的 많은 물을 시멘트 페이스트中에서 吸水하여 물을 빼앗은 그 空隙中에서 큰 結晶으로 成長하여 이 空隙을 채우게 된다. 제트 시멘트 콘크리트에 있어서 블리이딩²⁾이 거의 없는 것은 이 때문이다.

初期의 큰 空隙이 存在한 상태에서 析出한 에트린자이트는 幅 0.2~0.3 μ , 길이 3 μ , 정도의 結晶이 대부분이고 結晶의 成長方向이 불규칙하게 되어 있으므로 이 結晶들이 서로 얽혀 결합한 결과, 遊離水を 잃은 시멘트 페이스트는 급속히 凝集하고 固化되어 早期의 強度를 發現하게 된다.

$11CaO \cdot 7Al_2O_3 \cdot CaF_2$ 및 그 水和物과 $CaSO_4$, $Ca(OH)_2$, 알카리 등에 있어서 相互間에 固相, 液相平衡이 부적당하게 되거나 에트린자이트의 析出速度가 過遲延되는 등의 異常現象이 있게 되면 析出하는 에트린자이트의 結晶은 幅 0.5 μ , 길이 1 μ 정도의 短胴型으로 成長하여 強度의 發現을 현저하게 低下시킨다. (1)

이 時期의 強度發現은 확실히 結晶도가 높은 水和物이 서로 얽혀 結合한 결과이고 보통 시멘트에 있어서와 같이 粒狀物質의 表面 에너지에 의한 것과는 상이하다. 따라서 1黃酸鹽은 平均 0.5~1.0 정도의 크기를 가진 空隙을 채우게 되어 단단한 固體를 형성하게 된다. 一部 偏在하고 있는 無水石膏의 固化 및 微量 殘存한 알루미늄酸칼슘의 水和物도 이 시기의 強度發現에 關係되어 있으나 그 寄與度는 극히 적다.



<그림-2> 제트 시멘트의 水和過程

에라이트相의 水和는 注水直後부터 시작하지만 활발히 水和反應을 일으키는 것은 1日 前後이고 그 時期는 SO_3 의 量과 관계가 있다.

그러므로 제트 시멘트의 凝結과 初期強度를 支配하는 것은 알루미나酸黃酸칼슘水和物이고 長期強度의 主體는 珪酸칼슘水和物이다.

室溫에서 제트 시멘트의 水和 및 凝結硬化 과정은 <그림-2>와 같이 要約된다.

는 보통 포틀랜드 시멘트의 2日強度에 해당한다.

2. 溫度特性

제트 시멘트 몰탈에 대한 養生溫度別에 따른 壓縮強度는 <그림-4>와 같이 低溫에서 高溫에 이르기까지 넓은 溫度에서 相當한 凝結時間과 良好한 強度를 發現하고 있다. 특히 低溫에서의 強度發現이 보통 시멘트에 비하여 우수하다.

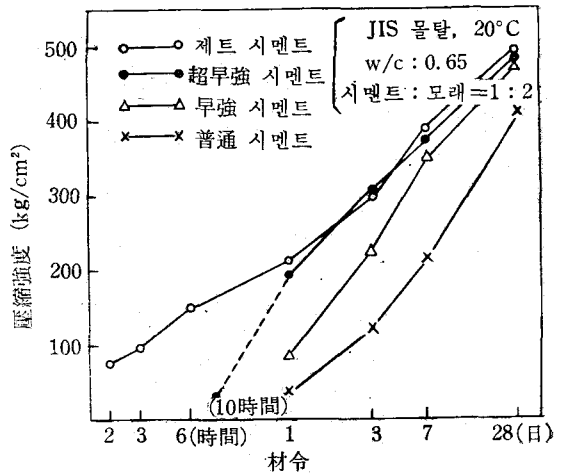
V. 제트 시멘트 몰탈 및 콘크리트의 性質

제트 시멘트는 최근에 개발되어 市販된 것이므로 이의 이용에 관한 研究는 적으나 이제까지 報告된 研究結果를 중심으로 제트 시멘트를 사용한 몰탈 및 콘크리트의 대표적인 性質을 기술한다.

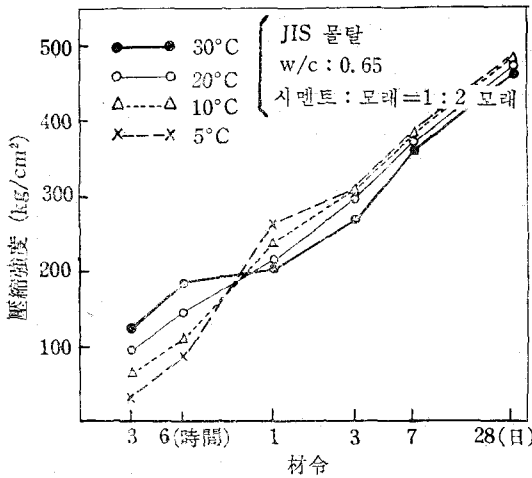
1. 強度

제트 시멘트와 他포틀랜드 시멘트의 JIS R 5201에 의한 몰탈의 強度試驗 結果는 <그림-3>과 같다.

제트 시멘트는 早期 및 初期強度에 있어 他포틀랜드 시멘트의 추종을 不許하는 높은 強度를 나타내고 있고 長期強度에 있어서는 현존 常用되고 있는 超早強 및 早強 시멘트와 거의 같은 強度를 發現하고 있다. 제트 시멘트의 2時間強度



<그림-3> 各種 시멘트의 몰탈 壓縮強度



<그림-4> 養生溫度別에 따른 제트 시멘트 몰탈의 強度比較

3. 水和熱

<表-2>에서 보던 1日 以內의 水和熱은 他포틀랜드 시멘트에 비하여 월등히 크나 材令 1日 以後는 超早強 시멘트와 거의 같다.

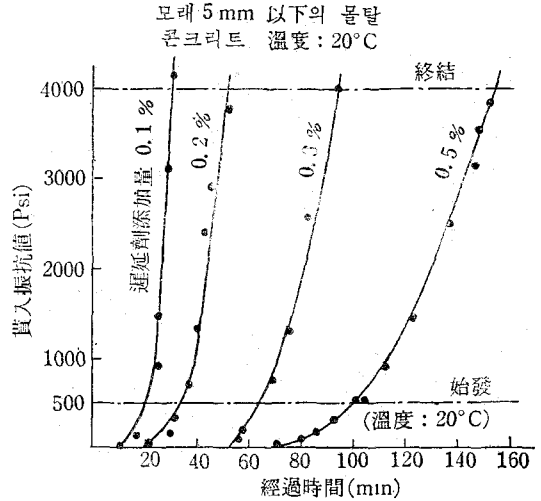
<表-2> 水和熱

項目	水和熱 (cal/g)						
	1時間	3時間	6時間	1日	3日	7日	28日
제트 시멘트 의 種類							
제트 시멘트	16.9	39.3	57.9	65.1	82.0	87.3	96.5
超早強시멘트	6.9	8.1	11.2	66.0	81.0	89.0	97.0
早強 시멘트	4.8	6.7	11.1	49.8	65.9	83.1	92.9
普通 시멘트	3.8	5.1	7.7	39.3	57.6	72.0	89.8

4. 콘크리트의 凝結時間

제트 시멘트는 專用 遲延劑(retarder), 제트세터(jetsetter)를 사용하여 強度의 損失 없이 凝結時間을 필요에 따라 조절하도록 되어 있는데 江모래 콘크리트에 대하여 遲延劑의 使用量의 변화에 따른 貫入抵抗試驗器에 의한 凝結時間의 測定結果는 <그림-5>와 같다.

凝結時間은 始發 5時間, 終結 7時間인 보통 시멘트에 비하여 극히 빠르다. 遲延劑의 添加量을 증가시켜 다소 凝結時間을 지연시킬 수가 있으나 施工을 재빨리 하지 않으면 실패하기 쉽다.



<그림-5> 遲延劑使用量 및 凝結時間에 따른 貫入抵抗値

毛見에 의하면 25°C 이상에서 遲延劑에 의한 凝結時間의 延長은 어렵고 따라서 레미콘의 장거리 운반은 困難하다. (5)

5. 分散劑 및 AE劑의 效果

各種 分散劑 및 AE劑를 사용한 제트 시멘트 콘크리트의 諸般物性은 <表-3>과 같다.

一般的으로 AE劑 사용에 있어서 同一使用量으로는 제트 시멘트가 보통 시멘트보다 連行空氣量이 적은 경향이 있고 보통 시멘트와 同一한 정도의 減水率을 얻기 위해서는 약 1.5배의 添加量이 소요된다. (6)

6. 配合과 施工軟度

제트 시멘트는 보통 시멘트에 비하여 粉末度가 높기 때문에 콘크리트의 粘稠性이 크다. 즉 粘性이 있어 材料分離에 대한 抵抗性이 크기 때문에 동일한 시멘트量으로는 보통 시멘트 콘크리트보다 細骨材使用量을 3~5% 低下시키는 것이 좋다.

最大 치수 20mm의 江모래와 碎石의 경우에 VB値가 最小로 되는 最適骨材率은 <表-4>와 같다. 슬럼프値가 같은 경우 제트 콘크리트쪽이 VB値가 약간 크지만 同一 슬럼프値를 얻는데 필

<表-3>

無筋 콘크리트의配合

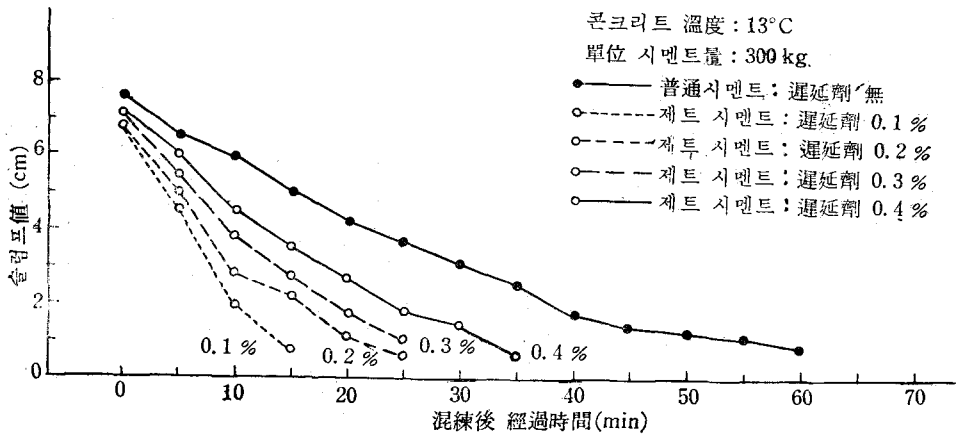
目標슬럼프值(cm)	M. S. (mm)	C(kg)	W(kg)	W/C(%)	s/a(%)	實測슬럼프值(cm)	air(%)
8	25	336	168	50	36	8.5	1.2

混和劑種類	添加量(C×%)	實測슬럼프值(cm)	air(%)	目標슬럼프值로했을 때의 減水效果		壓縮強度 (kg/cm ²)					
				W(kg)	減水率(%)	3時間	6時間	1日	3日	7日	28日
無筋	—	8.5	1.2	—	—	128	187	277	290	345	401
포조리스 5L	0.25	7.8	1.5	147	12.5	154	199	298	303	361	512
포조리스 8A	0.25	5.4	2.5	151	10.1	152	192	280	298	362	489
빈 줄	0.04	11.8	4.2	135	19.6	—	—	—	—	—	—
"	0.06	4.1	2.6	165	1.8	134	173	249	270	302	432
듀 폴 (C)	0.04	7.2	7.6	144	14.3	—	—	—	—	—	—
"	0.06	5.5	2.2	166	1.2	148	189	280	288	342	450
"	0.06	5.7	2.9	157	6.5	—	—	—	—	—	—

요한 單位水量은 遲延劑 使用量, 成形溫度, 配合比 등에 따라 달라진다. 300kg까지의 配合에 遲延劑를 사용하면 보통 시멘트보다 單位水量은 적게 된다. 單位水量 增減에 따른 슬럼프值의 변

동은 모래, 碎石 콘크리트의 경우에 있어서도 시멘트 종류에 따른 차이는 별로 없다.

슬럼프值 1cm의 增減에 대하여 單位水量 2~3kg(1~1.8%)의 增減이 필요하다. (7)



<그림-6> 遲延劑使用量과 슬럼프值의 經時變化

<表-4>

最大 치수 20mm의 骨材를 사용한 콘크리트의 最適細骨材率 (%)

骨材의 種類	250 kg		300 kg		350 kg	
	江 모래	碎 石	江 모래	碎 石	江 모래	碎 石
제트 시멘트	45~46	50~51	40~41	44~45	38~39	42~43
普通 시멘트	49~50	54~55	44~45	49~50	41~42	46~47

7. 슬럼프值의 經時變化

제트 시멘트는 <그림-6>과 같이 슬럼프值의 經時變化가 크고 遲延劑를 0.2% 사용한 경우에 있어서도 10時間에 약 3cm 정도의 슬럼프值의 低下를 나타내고 있다. 따라서 콘크리트의 取扱時間을 延長하기 위해서는 外氣溫度와 使用條件에 따라서 遲延劑를 適當量 加할 필요가 있다. 특히 氣溫이 높을 때는 添加量을 증가시키지 않으면 안된다.

8. 블리딩(bleeding)

제트 시멘트를 사용한 콘크리트의 블리딩은 슬럼프值 15cm 이하의 土木用 配合에서는 거의 발생하지 않고 建築用 콘크리트에 있어서도 겨우 번지는 정도이다. 블리딩에 의한 材料分離는 극히 적다고 할 수 있다.

블리딩이 없기 때문에 打設後 表面 마무리는 될 수 있는 데로 빨리 시행하는 것이 좋다.

9. 耐 久 性

凍結融解에 대한 抵抗性은 AE 콘크리트로 하면 보통 시멘트 콘크리트와 같게 되고 磨耗抵抗도 보통 시멘트와 거의 같다. 化學抵抗性은 黃酸 마그네슘 10% 溶液에 浸漬시킬 경우에는 品質低下가 나타나지 않으나 黃酸나트륨 溶液에 대하여는 弱한 것으로 보고되어 있다. (5)

10. 水 密 性

外壁式 透水試驗器를 사용하여 비교적 貧配合의 碎石콘크리트에 대하여 透水試驗 結果는 <表-5>와 같다.

제트 시멘트는 보통 시멘트에 비하여 水密性

이 우수하고 특히 初期材습에 있어서 그 차이가 현저하다.

VI. 제트 시멘트의 用途

제트 시멘트 콘크리트는 前述한 바와 같이 ① 凝結時間이 짧아 곧 硬化하며 ② 成形後 짧은 時間에 높은 強度를 얻을 수 있고 ③ 低溫時에도 強度發現이 좋으며 ④ 長期間에 걸쳐 安定한 性質을 나타내고 ⑤ 乾燥收縮이 적으며 水密性이 우수하다는 등의 특성이 있기 때문에 土木, 建築分野의 緊急工事 등에 사용되는데 각 分野別로 施工例를 들어 紹介한다.

1. 빌딩의 기둥, 壁 및 슬래브의 急速施工

빌딩의 新築工事は 2月の 低溫時(5~8°C)에 資材의 搬入通路를 確保하기 위하여 急速施工이 필요하게 되었다. 1層의 기둥, 壁과 2層의 슬래브에 目標 슬럼프值 18cm로 한 제트 시멘트 콘크리트를 사용하였다.

所要強度는 現場養生 $\sigma_{24h}=150\text{kg/cm}^2$ 를 目標로 해서 제트세터는 0.5%를 사용하였고 케미콘 工場에서 出荷하여 30분이 지난 打込時까지의 슬럼프值 低下는 1cm였다. <表-6>①의 配合 콘크리트로서 現場養生強度는 $\sigma_{24h}=127\sim 143\text{kg/cm}^2$ 가 되어 目標值보다 약간 낮았다. 그러나 실제의 打設 콘크리트의 溫度는 供試體보다 15°C 정도 높기 때문에 어느 정도 強度增進이 예상된다.

콘크리트 펌프에 의한 打込時 펌프 效果(pumpability)도 良好하고 블리딩이 거의 없기 때문에 打設後 곧 表面 마무리를 하였다.

安全을 고려하여 打設 1日後에 기둥 및 壁의

<表-5>

碎石 콘크리트의 透水試驗結果의 比較

使用 콘 크 리 트			透 水 係 數 K (cm/sec)			
시멘트의 種類	시멘트量(kg)	슬럼프值(cm)	材令 3日	7 日	28日	91日
제트시멘트	230	7	32.0×10^{-9}	12.6×10^{-9}	2.50×10^{-9}	1.09×10^{-9}
	280	7	10.4 "	4.5 "	0.25 "	0.03 "
普通시멘트	230	7	1740 "	45.1 "	2.96 "	1.34 "
	280	7	158 "	8.0 "	0.57 "	0.04 "

<表-6>

各種 工事に 사용한 제트 시멘트 콘크리트 配合과 壓縮強度

配合 No.	工 事 の 種 類	最大치수 (mm)	슬럼프值 (cm)	W/C (%)	s/a (%)	單 位 量 (kg/m³)			
						W	C	S	G
①	6-1 빌딩의 急速施工	25	18	40.8	45.0	175	400	789	964
②	6-2 콘크리트 鋪裝	40	12	45.0	34.6	186	414	600	1,170
③	6-3 鐵橋의 橋脚工事	25	8~10	40.5	36.0	170	420	—	—
④	6-4 機械基礎의 補修	20	18	54.0	44.0	188	344	797	1,042
⑤	6-5 시멘트 블럭	30	8~10	52.0	50.0	162	311	970	1,007
⑥	6-6 P C 널 판	10	10~13	35.0	33.0	125	500	505	1,153

配合 No.	工 事 の 種 類	遲延劑 添加量 (%)	콘크리트 氣溫 (°C)	氣溫 (°C)	콘크리트의 壓縮強度(kg/cm²)					養生條件
					2h	3h	6h	1d	28d	
①	6-1 빌딩의 急速施工	0.5	10~12	6	—	—	—	127~143	286~302	現場養生
②	6-2 콘크리트 鋪裝	—	24	22	98	131	170	243	417	''
③	6-3 鐵橋의 橋脚工事	—	3	-7~-3	—	—	(9h) 25	177	395	''
④	6-4 機械基礎의 補修	0.5	11~13	5~10	—	—	(11h) 17	175~189	428~452	''
⑤	6-5 시멘트 블럭	—	10	10	—	—	75	206	475	''
⑥	6-6 P C 널 판	0.2	7~12	6~8	—	(4h) 237	284	325	573	''

型틀을 除去하고 2日後에 슬래브 바닥의 型틀을 제거하였으나 균열의 발생은 없었다.

2. 콘크리트 道路鋪裝

콘크리트 鋪裝을 한 후 道路를 즉시 사용할 목적으로 <表-6> ②에 表示한 물 시멘트 比 45%, 슬럼프值 12cm의 配合을 써서 施工하였다. 다지기를 끝낸 후 45분 지나서는 사람이 鋪裝한 위를 걸어도 아무런 이상이 없었고 2시간 후에는 트럭의 通行이 可能하게 되었다. 코어 供試體로서 壓縮強度를 조사한 결과 2시간에서 98kg/cm², 3시간에서 131kg/cm², 1日後에는 243kg/cm²의 強度를 나타내어 다음날 交通開放이 가능하게 되었다.

3. 鐵橋의 橋脚工事

列車의 通行이 없는 6~9시간을 이용하여 舊橋脚의 周圍에 新基礎를 構築하기 위하여 제트 시멘트 콘크리트로서 新基礎와 橋脚의 一體化工事を 12月初 氣溫 -3~-7°C의 場所에서 施工하였다.

— 施工할 콘크리트는 6~9시간에 150~200kg/

cm²의 強度가 필요하고 凍害抵抗性を 고려하여 AE 콘크리트로 하였다. 콘크리트의 配合은 여러 가지 配合試驗中에서 슬럼프值 8~10cm, 물시멘트 比 40.5%, 시멘트量 420kg의 配合(<表-6> ③)에 포조리스(pozzolith) No.5 LA를 0.25% 사용한 것으로 하였고 混練은 60°C 溫水를 써 콘크리트 溫度는 6°C를 確保하였다. 콘크리트 打設에 2시간이 걸렸고 다음에 시트를 덮어 保溫養生하였다.

4~5시간 후에 콘크리트 溫度는 15~17°C가 되어 打設直後보다 10°C 上昇하였고 9시간 후 列車가 通過하였으나 어떤 이상도 발견되지 않았다.

4. 機械基礎의 補修

시멘트 工場의 機械基礎 補修에 슬럼프值 18cm, 單位 시멘트量 344kg의 配合(<表-6> ④)을 하여 2月下旬 氣溫 10°C 前後의 時期에 나비 2~7.5m, 깊이 2m, 길이 30m 정도의 小型 매스 콘크리트를 施工하였다. 펌프車를 이용하여 2日間에 390m³의 콘크리트를 打設하였고 現場養生하여 175~189kg/cm²의 壓縮強度를 얻었다. 콘크리트의 溫度上昇은 打込時 溫度보다 最高 60°C

(2日後) 높았으나 引張強度는 약 $29\text{kg}/\text{cm}^2$ 가 되었고 그 정도의 工事規模에서는 균열이 발생하지 않았다.

5. 시멘트 불력의 製造

型틀의 回轉率을 向上시키기 위하여 시멘트 불력의 製造에 제트 시멘트를 사용하였다. 最大 치수 30mm, 슬럼프值 8~10cm, 單位 시멘트量 311kg의 配合(<表-6>⑤)으로 1日 3~4回 생산하였다. 그래도 材令 1일에 $209\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 강도가 發現되어 즉시 出荷가 가능하였다.

6. PC 널판의 製造

<表-6> ⑥에 표시한 單位 시멘트量 500kg의 富配合 콘크리트를 써 蒸氣養生하여 1日 2回, 즉 6시간에 壓縮強度 $300\text{kg}/\text{cm}^2$ 를 얻어 프리스트레스를 導入할 目的으로 제트 시멘트를 사용하여 PC 널판을 製造하였다. 12月の 氣溫 10°C 의 條件에서는 6시간에 $150\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 強度가 發現되어 打込後 $25\sim 30^\circ\text{C}$ 로 溫度를 上昇시키지 않으면 所要強度의 確保가 困難하였다. 따라서 $5\sim 6^\circ\text{C}$ 의 低溫에서 成形하고 65°C 로 1시간 蒸氣養生하여 4시간에 $339\sim 349\text{kg}/\text{cm}^2$ 의 強度를 얻을 수 있어 프리스트레스의 導入이 가능하였다.

VII. 제트 시멘트의 使用上 注意

제트 시멘트는 보통 시멘트에 비하여 多少 다른 특성을 갖고 있기 때문에 使用上 다음과 같은 주의를 요한다.

1) 콘크리트 配合는 보통 시멘트를 사용하는 경우에 비하여 細骨材率을 3~5% 낮게 할 수 있다. 所要強度가 얻어지는 範圍內에서 單位 시멘트量을 감소시켜도 좋다.

2) 氣溫과 콘크리트 取扱時間을 고려하여 遲延劑의 使用量을 결정하지 않으면 안된다. 遲延劑를 사용해도 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 凝結時間이 상당히 빠르기 때문에 施工을 빨리 하지 않으면 안된다.

3) 슬럼프值의 低下는 遲延劑를 0.2% 정도 사용한 콘크리트에서 10분간에 3cm 정도가 되므로

經過時間이 길게 되면 펌프 效果 및 締固效果 등에 影響을 주기 때문에 충분한 配慮가 필요하다. 특히 溫度가 높을 때는 遲延劑의 使用量을 증가시킬 필요가 있다.

4) 제트 시멘트 水和熱에 의한 溫度上昇이 크기 때문에 매스콘크리트로 할 경우에는 溫度 균열을 방지할 配慮를 하여 施工하지 않으면 안된다.

5) AE劑, 減水劑 등의 混和劑를 사용하는 경우에는 먼저 試驗을 하여 減水率, 空氣量 등에 미치는 影響을 確認하고 사용할 필요가 있다. 일반적으로 제트 시멘트로써 보통 시멘트와 같은 정도의 連行空氣量을 얻기 위해서는 使用量을 다소 증가시켜야 한다.

6) 플라이애쉬의 代替는 經濟的 配合를 할 수 있어 유리하나 初期強度의 損失을 고려하여 20% 정도가 바람직하다. 보통 시멘트와의 混用도 가능하나 보통 시멘트의 混入率은 40% 정도까지가 無難하다.

7) 제트 시멘트를 사용한 콘크리트는 블리딩이 거의 없기 때문에 보통 시멘트 콘크리트에 비하여 슬럼프值가 큰 配合를 해야 하고 表面마무리는 打設後 加급적 빨리 施行하여야 한다.

8) 콘크리트 工場에서 出荷한 것을 사용할 때에는 運搬時間과 슬럼프值 低下와의 關係를 충분히 조사하여 加급적 短時間에 供給할 수 있는 工場을 選定해야 한다. 믹서, 콘크리트 用具 등에 附着한 제트 시멘트는 硬化가 빠르므로 신속히 除去하여야 한다.

9) 제트 시멘트 콘크리트의 混練은 強制混練式 믹서를 사용하는 것이 좋다. 콘크리트 製品에 사용할 경우에는 製造工程을 시스템化하여 自動化로 大量生産이 가능한 工程을 취할 필요가 있다.

VIII. 結 言

凝結調節 시멘트는 開發되어 사용되기 시작한 것이 先進國에 있어서도 약 3년밖에 되지 않고 보통 시멘트에 비하여 高價인 데다가 使用法에 대한 未熟 등으로 아직 그 生産量은 극히 적은 편이다. 앞으로 이 種類의 시멘트에 대한 品質

改善과 이를 사용한 몰탈 및 콘크리트의 基礎的
성질과 그 使用法에 대한 보다 많은 연구가 필요
하다고 본다. 이 種類의 시멘트는 점점 高速化

하는 現代物質文明에 가장 適合한 시멘트로서 人
類社會의 福祉向上을 위해 크게 寄與할 것으로
기대된다.

[參 考 文 獻]

- (1) 內川浩, 松崎安宏, セラミックス, v.7, n.4, pp. 41~53 (1972)
- (2) Rankin G.A., Wright F.E. Am. J. Sci. 39, pp. 1~79 (1915)
- (3) 內川浩, 宇智田俊一郎, Gypsum & Lime n. 117, pp. 72~77 (1972)
- (4) 內川浩, 宇智田俊一郎, Gypsum & Lime n.118, pp.121~128 (1972)
- (5) 毛見, 平賀, 倉川, 建築の技術施工 n.9, pp.37~44, n.10, pp.63~70 (1972)
- (6) 平賀, 倉林, 毛見, セメント技術年報 XXVI, pp. 365~367 (1972)
- (7) 河野清, セメント・コンクリート n.320, pp.110~121 (1973)
- (8) Williams, Proc, Fifth Int. Symp. on the Chemistry of Cement, v.2, pp.366~369 (1968)