

高 알루미나 시멘트(HAC ; High Alumina Cement)의 特性 및 用途

崔 權 · 成 元 慶 譯

(雙龍洋灰(株) 中央研究所)

- ◇.....譯者註 : 80年度부터 年產 2,000萬톤을 돌파하게 되는 한국 시멘트 業界는 포.....◇
- ◇.....항제철의 850萬톤 擴張 및 增設外에도 第2, 第3 종합제철의 建設이 대두되는.....◇
- ◇.....이때 앞으로 막대한 소용량이 예상되는 캐스타블 耐火物用 基材인 HAC 生産.....◇
- ◇.....에 對處해야 할 것이다. 譯者는 HAC에 대한 우리 업계의 관심을 고취시키고.....◇
- ◇.....자 Adams Neville 著 "High Alumina Cement Concrete"(1975) 첫 2章을.....◇
- ◇.....번역 기고하는 바이다.◇

1. 高 알루미나 시멘트의 概要

1-1 HAC란 무엇인가?

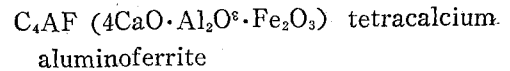
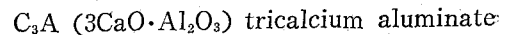
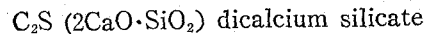
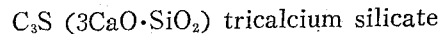
<포틀랜드 시멘트>

高 알루미나 시멘트(High Alumina Cement)는 간단히 略하여 HAC로 불리우는 耐火性 시멘트인데 1973年과 74年에 걸쳐 英國에서 일어난 崩壞事件과 이에 따른 真相調查 結果, 崩壞를 일으킨 原因物質로 밝혀져 最近에 이 分野 從事者들의 關心을 불러 일으켰던 시멘트이다. 그렇다고 HAC가 시멘트로서 기능을 喪失한 것은 아니다. 따라서 보통 시멘트와 마찬가지로 콘크리트도 만들 수 있고 기타 시멘트 用途에 사용할 수 있는 시멘트임에는 틀림없다.

HAC를 이해하려면 먼저 HAC는 우리가 흔히 시멘트라고 부르는 즉 포틀랜드 시멘트와는 근본적으로 다르다는 것을 認識하고 있어야 한다. 포틀랜드 시멘트는 콘크리트 製造에 가장 많이 사용되는 無機質接着材로서 상당한 기간 동안 사용해온 실적과 역사를 가지고 있다. 공교롭게도 HAC가 한창 論難의 對象이 되었던 1974年은 Joseph Aspdin 이 포틀랜드 시멘트

를 發明하여 特許를 획득한지 꼭 150週年이 되는 해였다.

포틀랜드 시멘트에는 여러가지 種類가 있으나 이들은 모두 한가지 共通點을 갖고 있다. 즉 이들은 모두 石灰와 SiO₂, Al₂O₃ 및 Fe₂O₃ 含有 鑛物들을 클린킹 溫度(完全 熔融點 바로 아래 溫度)로 燒成하여 製造하였기 때문에 主 鑛物 相은



로 構成되어 있다.

<高 알루미나 시멘트>

HAC의 主 鑛物은 위의 포틀랜드 시멘트의 鑛物에 比하여 鹽基度가 낮은 CA(CaO·Al₂O₃)와 C₃A₃(5CaO·3Al₂O₃)로 構成되어 있다. 그러므로 石灰 : 알루미나 比가 1.0에서 1.67의 範圍에 드는 낮은 값을 가지고 있다. 이에 반하여 포틀랜드 시멘트는 C₃A의 경우 3.0이나 되는 높은 값을 가지고 있으며 또한 石灰—실리카比도 높은 鑛物들을 含有하고 있다. 石灰—실리카比

나 石灰—알루미나비가 높다는 것은 바로 알칼리성 度가 높다는 것을 의미하며 이것은 시멘트의 耐알칼리성을 좌우하는 重要 因子로서 腐蝕으로부터 鋼補強材를 保護하는 구실을 한다.

시멘트中에 實在하는 化合物의 含量은 일반적으로 直接 定量되지 않고 다만 既知 酸化物的 組成比로부터 計算하고 있다. 그러나 이와같은 計算은 比較的 간단한 포틀랜드 시멘트의 경우이고 HAC의 경우에는 어떤 간단한 計算方法도 定立되어 있지 않다. 지금까지 HAC의 化合物 組成에 대하여 알려져 있는 것은 포틀랜드 시멘트에 비하여 매우 적은 形편이다.

〈表-1〉은 HAC의 典型的인 化學組成 範圍를 提示하고 있다.

〈表-1〉 HAC의 典型的인 化學成分

成 分	含 量(%)
CaO	35.0~39.0
Al ₂ O ₃	37.0~41.0
SiO ₂	3.5~ 5.5
Fe ₂ O ₃	9.0~12.0
FeO	4.0~ 6.0
TiO ₂	1.5~ 2.5
MgO	0.5~ 1.0
不 溶 解 分	1.0

英國標準規格 High Alumina Cement BS 915 : Part 2(1972年)에는 最低 알루미나 含量을 32%로 規定하고 있고 石灰—알루미나비에 있어서도 0.85~1.3 範圍에 들도록 要求하고 있다.

前述한 바와 같이 HAC 中에 實在하는 化合物들의 精確한 精질은 아직 충분히 確立되어 있지 않지만 가장 重要한 化合物이 CaO·Al₂O₃라고 하는 데는 의심할 餘지가 없다. 다른 矽酸알루미네이트는 대부분 5CaO·3Al₂O₃이라고 알려져 있다. HAC의 實質的인 組成은 12CaO·7Al₂O₃ (FeO, SiO₂ 및 TiO₂ 包含)³⁾에 近似하나 前述한 두 式이 전통적으로 認證받은 式들이다. 後述한 式으로 보면 石灰—알루미나비는 1.67이 아니고 1.71이 된다. 우리들의 立場에서 보면 이와같은 事實은 특별히 중요한 의미를 갖고 있지 않다. 다만 基礎化學의 單純한 化學量論的인 化合物이

시멘트中에 發見되는 復合 化合物의 경우에 있어서 是는 반드시 기대되는 것이 아니라 是 事實만 받아들여야 된다.

HAC 化學의 상세한 內容은^{2,3)} 다음에 언급하기로 하고 이곳에서는 HAC가 CaO·Al₂O₃ 및 12CaO·7Al₂O₃ 이외에도 CaO·2Al₂O₃, 2CaO·SiO₂, 2CaO·Al₂O₃·SiO₂ 및 CaO·TiO₂ 등의 化合物을 含有한다는 事實만 언급하기로 한다.

1-2 HAC의 水和反應

HAC는 포틀랜드 시멘트의 마찬가지로 水硬性 시멘트의 한 種類이며 물과의 化學反應에 의하여 凝結·硬化하여 물이 存在하는 狀態에서는 安定하게 된다.

이 系에 關連된 反應을 간단히 要約하면 다음과 같다.

〈水和反應〉

HAC 中의 化合物인 CaO·Al₂O₃의 反應은 가장 높은 強度發現 速度를 나타내며 CaO·Al₂O₃·10H₂O와 少量의 2CaO·Al₂O₃·8H₂O의 水和物 물과 알루미나겔狀을 生成시킨다.

六方晶系* 水和物인 CaO·Al₂O₃·10H₂O를 結晶變換과 關連되어 매우 흥미로운 反應 生成物이다. 이 水和物은 常溫 및 高溫狀態下, 모두에서 不安定하여 等方晶系* 結晶인 3CaO·Al₂O₃·6H₂O와 알루미나겔狀으로 結晶變換을 일으킨다. 等方晶系 水和物의 生成은 石灰分의 濃度가 높거나 알칼리 性度가 增加되면 促進된다⁴⁾.

5CaO·3Al₂O₃ 및 12CaO·7Al₂O₃의 水和反應 生成物은 2CaO·Al₂O₃·8H₂O로 간주되고 있다. 2CaO·SiO₂의 水和反應 生成物은 아직 精確히 밝혀지지 않은 數의 結晶水를 가진 矽酸矽酸水和物이며 기타 化合物들중 특히 鐵成分 含有 化合物의 反應은 어느 정도에 이르기까지는 精確히 調査되어 있지 않으나 유리相中(시멘트의 非晶質 部分)에 含有된 鐵成分은 不活性으로 反應에 關與하지 않는다⁵⁾.

〈水和反應水〉

HAC의 水和水量 즉 水和反應中 無水 시멘트

* 註: 水和反應 生成物의 結晶系를 指稱한 것이며 生成物의 外形을 가리키는 것은 아님

와 化學的으로 結合하는 水量은 시멘트 重量의 약 50%이다. 이 水量은 포틀랜드 시멘트가 水和反應에 필요로 하는 水量의 약 2배나 된다. 이와같은 水量은 콘크리트의 舉動에 관한 한 根本的인 의미는 없으나 HAC의 높은 水和水量은 높은 물시멘트比(0.5 以上)를 規定하는 基準이 되었었다. 이 規定은 약 15年前에 廢棄되었었다.

1-3 HAC의 發達史

HAC는 포틀랜드 시멘트가 黃酸鹽의 浸蝕에 弱한 缺點을 解決하기 위한 手段으로써 開發되었었다. 發明者는 프랑스의 Jules Bied氏로써 그는 칼슘알루미늄네이트는 칼슘실리케이트가 가지지 못한 耐黃酸鹽性을 갖고 있다는 것을 看破하고 HAC를 開發하여 1908年 프랑스의 特許를 획득하였다.

HAC는 品質管理上의 難點으로 因하여 1913年에야 비로서 生産이 開始되었으며 數次의 試驗을 거쳐 第1次 世界大戰末부터 商業的 生産이 이루어 졌다. 그동안에 HAC는 높은 早強性을 認定받아 1次大戰中 大砲陣地 構築에 使用되었으며 그후 기타 構造用 시멘트로서의 用途도 갖게 되었다. 이 結果 이 시멘트의 製造는 1924年에는 美國으로 1925년에는 英國으로 轉移되었었다. 英國에서는 北아일랜드 Magheramorne 地方에 그 地方産 보오크사이트(Bauxite)를 原料로 하여 로타리 키텐 工程을 使用한 最初의 HAC 製造工場이 British Portland Cement Manufacturers Ltd.社에 의하여 設立되었었다. 이 工場은 짧은 기간동안 操業을 계속하다가 中斷되었었다. 그후 1926年 Essex 洲 West Thurrock 에 Lafarge Aluminous Cement Co., Ltd社에 의하여 새로운 工場이 문을 열었고 이 工場이 현재 英國의 유일한 HAC 工場이다.

그후 HAC의 製造는 獨逸, 헝가리 등 유럽 諸國과 소련 및 日本 등에까지 轉移되어 HAC는 全世界 곳곳에서 널리 生産되어 사용되고 있다.

포틀랜드 시멘트가 全 世界的으로 포틀랜드라는 유일한 名稱을 갖고 있는데 반하여 HAC는 여러가지 명칭과 商品名으로 通用되고 있다. 예를 들면 英語名의 경우에도 "High Alumina Cement"와 "Aluminous cement"라는 2개의

基本的인 명칭이 있고 또한 市場機構에 따라 2개의 商品名; "Ciment Fondu"와 "Lightning" 시멘트가 있다. "Ciment Fondu"라는 명칭은 그 명칭 自體가 의미하듯이 HAC는 포틀랜드 시멘트와는 달리 製造工程中에서 完全히 熔融된 덩어리로 固化시켜 製造됨을 示唆하고 있다.

몇가지 흥미있는 外國의 명칭들도 있다. 프랑스의 "Ciment Alumineux"와 獨逸의 "Tonerdzement"나 "Tonerdzschmelzzement" 등이 있는데 이들은 모두 앞서 말한 英語名의 번역名에 불과하다. 美國에서 널리 알려진 商品名은 "Lumnite"이다.

現在 各國에서 生産되는 HAC는 原料에서부터 生産工程에 이르기까지 다소 相異하여 따라서 어느정도 特性도 달리하고 있다.

1-4 HAC의 製造

<原 料>

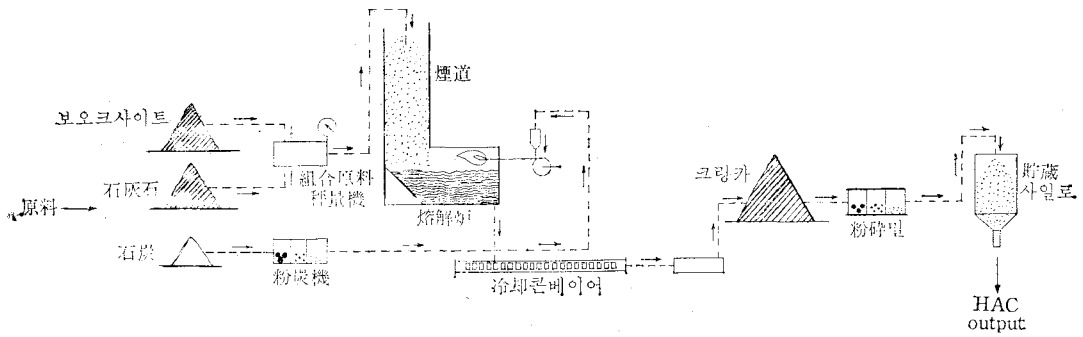
HAC의 製造工程은 포틀랜드 시멘트와 2가지 主要한 相異點을 가지고 있다. 포틀랜드 시멘트는 보통 原料로서 石灰石이나 白亞質 石灰와 粘土質 原料, 대개 粉土(clay)나 夏岩(shale)을 使用하나 HAC는 石灰石과 보오크사이트를 使用한다. 보오크사이트는 熱帶性 氣候下에서 火成 岩이 오랜 風化作用을 받아 生成된 알루미늄 成分이 높은 天然礦物이다.

<加熱處理>

또다른 相異點은 實際的인 加熱處理 方法에 있다. 포틀랜드 시멘트의 製造에 있어서는 原料를 適正 粒度까지 微細하게 粉碎하고 이것은 클린커링이라고 하는 熔融 바로 直前의 溫度까지 加熱하는 데 반하여 HAC는 原料를 完全히 熔融하여 製造한다. 따라서 프랑스나 英國에서 通用되는 "Ciment Fondu"라는 명칭은 이런 加熱處理 方式에서 緣由된 것이다. HAC의 製造 方法에 따라 붙여진 명칭은 다른 나라에서도 사용되고 있다. 原料의 特性에 맞추어 약간 다른 製造工程도 利用되고 있다.

<製造工程>

英國에서 사용되고 있는 HAC의 製造工程을 圖示하면 <그림-1>과 같다.



〈그림-1〉 HAC의 製造工程圖

이 工程은 本來 프랑스의 “Water-Jacket 工程”을 發展시킨 것으로서 L字形 反射爐가 本體를 이루고 있다. 이곳에서는 미리 定해진 組合에 따라 약 2 ton의 原料 Batch(石灰石과 보오크사이트)가 燃燒가스의 排氣通路를 마련해 줄 수 있도록 100mm 정도까지의 큰 粒度로 하여 수직 煙道로 바로 投入시키고 있다. 燃燒가스는 送風機의 도움을 받아 排出된다. 反射爐에 投入되는 보오크사이트의 粒子크기는 工程上 重要한 因子가 되어 있다. 만약 組合된 原料中에 微粒의 보오크사이트가 있게되면 이 原料는 소량의 HAC 시멘트로 成球하여 爐에 投入하지 않으면 안된다. 投入된 組合原料는 煙道의 下部에서 微粉炭燃燒炎으로 加熱된다. 이 工程에서 石炭使用量은 HAC 크링카 重量의 약 20~25%가 消耗되며 重油로도 代替하여 使用할 수 있다. 煙道를 따라 내려오면서 投入된 組合原料는 점차 脫水 및 脫炭酸化가 進行되어 酸化칼슘과 酸化알루미늄으로 되고 煙道의 基底部에서는 서로 反應하여 약 1,600°C에서 熔解된다.

이곳에서 부터 熔解된 組合原料는 反射爐의 水平部를 따라 연속적으로 出湯口로 移動하여 두꺼운 鋼板으로 製作된 冷却 콘베이어上에 注込된다. 이 冷却 콘베이어는 熔解된 原料를

定한 冷却 速度를 維持하면서 板狀으로 成形시켜 排出한다. 板狀으로 冷却된 熔融體는 破碎하여 크링카를 만들고 이 크링카는 貯藏파일로 옮겨 좀 더 冷却시킨 다음 粉砕 밀에 投入된다. 粉砕 밀로서는 포틀랜드 시멘트의 製造에 使用되는 것과 같은 블밀이 사용되고 있다.

포틀랜드 시멘트의 경우와 있어서는 凝結時間을 遲延시키고자 石膏를 添加하여 함께 粉砕하나 대체로 HAC 크링카에는 어떤 添加物도 加하지 않는다. HAC의 凝結時間의 調整은 原料成分을 調整하여 맞추고 있다.

HAC 크링카는 硬度가 매우 높기 때문에 밀 및 스크린의 磨損이 매우 크고 動力消耗도 많으며 값비싼 보오크사이트를 사용하기 때문에 자연 HAC의 價格은 高價가 될 수 밖에 없다.

數種의 보오크사이트 原料들의 典型的인 化學分析値는 〈表-2〉와 같다.

크링카 製造에 있어서 原料와 最終製品의 化學成分은 항상 分析하여 煙道(原料 投入口)에 供給되는 原料組合를 調整하는 것이 필요하다.

前述한 바와 같이 使用하는 原料의 特性에 따라 製造工程은 다소 달라지는데 가령 原料가 軟質이어서 爐에 投入時 부스러질 정도 라면 燃燒가스와 함께 排出되지 않도록 對策을 세워야 한

〈表-2〉

HAC 製造用 原料의 化學分析値

成分	產地	프랑스	그리스	유고	수리남	石灰石
SiO ₂		3.5~6.0	2.0~3.5	2.0~3.0	3.5	0.5~1.5
Al ₂ O ₃		45.0~55.0	50.0~58.0	50.0~55.0	56.0	0.3~1.0
Fe ₂ O ₃		20.0~25.0	25.0~30.0	20.0~25.0	14.0	0.2~0.6
CaO		0.5~3.0	0.5~3.0	0.5~3.0	—	53.0~55.5
TiO ₂		2.5~3.5	2.5~3.5	2.5~3.5	2.5	—
MgO		—	—	—	—	0.3~1.0
Ig. loss		11.5~12.5	11.0~12.5	18.0~25.0	24.0	42.0~43.5
結合水		5.0~10.0	1.0~3.0	3.0~8.0	3.5	0.1~2.0

다. 이런 경우 포틀랜드 시멘트 製造에 사용 되는 것과 類似한 로타리 키른 프로세스가 採用 되고 있다. 즉 爐에 投入하기 前에 原料를 微粉으로 粉碎·混合하여 키른에 投入하고 微粉炭으로 加熱한다. 加熱에 의하여 熔解된 物質은 키른 下端部에서 수거하여 冷却시키고 粉碎하여 크링카를 만든다. 이와같은 로타리 키른 프로세스는 주로 美國과 北아일랜드 工場에서 採用하고 있다.

2次 世界大戰中 英國은 보오크사이트가 不足하여 알루미늄源의 一部를 合成 알루미늄으로 代替하여 사용하였다. 이때 사용한 合成 알루미늄源은 알루미늄 製造過程에서 副産되는 알루미늄 드로스(Aluminum dross)와 赤泥(Red mud)였다. 몇가지 다른 製造工程이 사용되고 있으나 상세한 내용에 대한 참고자료가 아직 公表되어 있지 않다.

현재 生産되고 있는 HAC 製品의 典型的인 化學分析値는 <表-3>과 같다.

<表-3> 各國 HAC의 典型的 化學成分

生産國 成分	英·佛·유 ·스페인	체코	西獨	美國
CaO	35~39	35~39	38~42	35~39
Al ₂ O ₃	37~41	39~44	44~51	37~41
SiO ₂	3.5~5.5	3.5~5.5	5~8	8~10
Fe ₂ O ₃	9	9~14	0~1	4~6
FeO	6	0~1	0.5~2	4~6
TiO ₂	1.5~2.0	1.5~2.0	1~2	1.5~2
色相	暗灰色	黃褐色	매우 얇은 灰色	얇은 灰色
備考	添加物 없음	燒結法 SO ₃ 와 Fe 少量 含有		약간의 高爐 슬라고 添加

<年生産量>

英國의 HAC 年生産量은 12萬톤으로서 朝鮮을 제외한 세계 總生産量의 1/5을 占하고 있다. 英國의 경우 약 4萬톤이 耐火物 製造용으로 輸出되고 있다.

2. 高 알루미늄 시멘트(HAC)의
特性 및 用途

2-1 物理的 性質

AC의 物理的 性質을 일반적인 포틀랜드 시

멘트와 比較하면서 考察해 보는 것이 이해에 도움이 될 것이다.

<比重>

HAC의 겉보기 密度는 포틀랜드 시멘트의 그것에 비하여 큰 差異가 없다. 眞比重은 3.20내지 3.25로서 포틀랜드 시멘트와 거의 같거나 약간 큰 편이다.

<粉末度>

英國標準規格 BS 915; Part 2(1972)에 명시된 粉末度는 225m²/kg(2,250cm²/g) 이상이나 또는 BS No. 170체(90μm 孔)上的 殘留分이 重量로 8% 以下로 規定되어 있다. 실제 市販되는 HAC 粉末度는 이 보다 다소 높아서 약 300m²/kg 이상을 상회하고 있으나 포틀랜드 시멘트의 粉末度에 比較해서는 약간 낮은 편이다.

<色相>

HAC의 色相은 보통 暗灰色으로 포틀랜드 시멘트 보다 짙은 편이다. 色相은 주로 鐵分の 含量과 酸化狀態에 따라 決定되는데 鐵分이 많으면 많을수록 2價鐵의 形態로 存在하면 할수록 점점 더 짙은 色相을 나타내게 된다. 3價鐵 化合物은 褐色을 나타내도록 한다. HAC의 色相은 建築物의 美觀上 문제가 되나 콘크리트의 強度發現에는 하등의 영향을 미치지 않는다.

캐스타블 耐火物 製造에는 白色 HAC가 사용 되는데 이 HAC는 SiO₂와 鐵分の 含量이 매우 적고 Al₂O₃ 含量이 70~80%級의 高品位 알루미늄나 原料로 製造된다. 따라서 白色 HAC는 보통 HAC보다 높은 熔解溫度를 가지고 있고 값도 高價이며(£ 145/ton) 用途에 있어서도 特殊而 耐火物용으로 제한되어 있다.

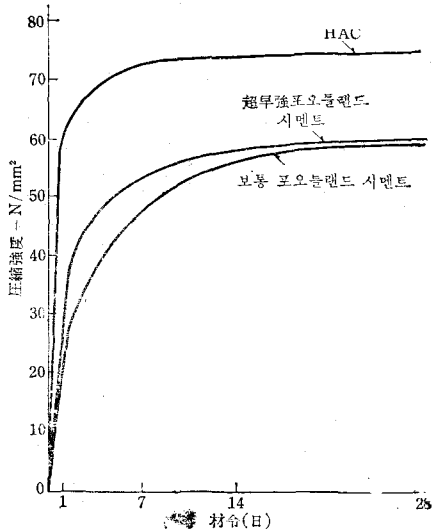
<壓縮強度>

英國標準規格 BS 915; Part 2(1972)에 명시된 HAC의 壓縮強度를 보면 물시멘트比 0.4, 1:3몰탈試驗에서 24時間強度 42N/mm² 以上, 3日強度 49N/mm² 以上을 規定하고 있고 단서로서 3日強度는 24時間強度보다 커야 한다는 條件을 부치고 있다.

〈凝結時間〉

前述한 BS規格이 명시된 凝結時間을 보면 初結은 2~6時間이고 終結은 初結이 일어난 후 2時間以內에 들어야 한다고 規定하고 있다. 실제로 典型的인 製品은 初結 2시간 30분, 終結 3시간 20분의 값을 가지고 있다. 그렇지만 HAC 콘크리트에 있어서 일단 水和反應이 始發되면 바로 굳기 시작하기 때문에 HAC 콘크리트의 作業時間은 포틀랜드 시멘트 보다 다소 짧다.

위에 열거한 數値로 보면 HAC는 凝結이 늦은것 같으나 이어 시작되는 強度發見速度는 지극히 빠르다. 따라서 HAC는 超速硬 시멘트라고 할 수 있다. 典型的인 HAC 및 포틀랜드 시멘트의 強度—時間曲線(물시멘트比; 0.4)을 <그림-2>에 圖示하였다.



〈그림-2〉 HAC와 포틀랜드 시멘트의 強度發見

〈水和熱〉

迅速히 硬化한다는 것은 水和反應이 迅速히 일어나서 결과적으로 水和熱이라고 하는 熱을 放出하게 되는 것인데 HAC는 發熱速度가 매우 크다. <表-4>에 HAC와 포틀랜드 시멘트의 水和熱을 對比하였다³⁾. SiO₂含量이 적은 HAC의 경우 最大 發熱速度는 混合後 약 6時間 정도에서 일어나기 때문에 콘크리트는 8~10時間 정도에서 最高溫度에 到達하게 된다. 실제 使用條件下에서의 水和熱은 콘크리트 매스의 크기에

좌우되기 때문에 위의 결과와는 다소 달라진다.

〈表-4〉 HAC와 포틀랜드 시멘트와의 水和熱 比較

시멘트	水和熱 Cal/g				
	1日	3日	7日	28日	90日
H A C	77~93	78~94	78~85	—	—
超早強포틀랜드 시멘트	35~71	45~89	51~91	70~100	—
보통포틀랜드 시멘트	24~46	42~65	47~75	66~94	80~105

만약 熱放出이 제한된 상태 즉 養生條件이 斷熱狀態(大型 콘크리트中の 內部)로 되면 물시멘트比 0.6; 1:2:4配合 콘크리트의 內部溫度는 10時間에 35°C, 24時間에 42°C, 3일에 45°C까지 上昇된다³⁾. 콘크리트 配合비가 溫度上昇에 미치는 영향은 <表-5>와 같다.

〈表-5〉 密閉 斷熱條件下 HAC 콘크리트의 溫度上昇

시멘트—骨材比	3溫度上昇 °C	全發熱量 Cal/g
1:5.25	50	76
1:6	45	77
1:9	33	82
1:12	23	76

〈安定度〉

HAC는 遊離石灰를 含有하지 않고 있기 때문에 安定性에는 이상이 없고 다만 使用中에 서서히 膨脹할 뿐이다. 그러나 BS規格에는 Le Chatelier 安定度 試驗을 規定하고 있는데 이는 별 의미가 없는 것이다.

〈氣孔率〉

前項에서 HAC의 水和反應에는 많은 水量을 필요로 한다고 언급하였는데 이것은 同一한 配合比에 대한 效果를 말한 것이다. HAC는 低氣孔性 콘크리트를 만들기 때문에 포틀랜드 시멘트 보다 透水度가 낮다.

〈施工軟度〉

施工軟度の 觀點에서 所要水量에 대한 몇가지 觀察結果를 보면, HAC粒子的 表面은 낮은 粗度 즉 포틀랜드 시멘트 보다 매끄러운 面을 形成한다. 결과적으로 同一한 水量이라면 施工軟

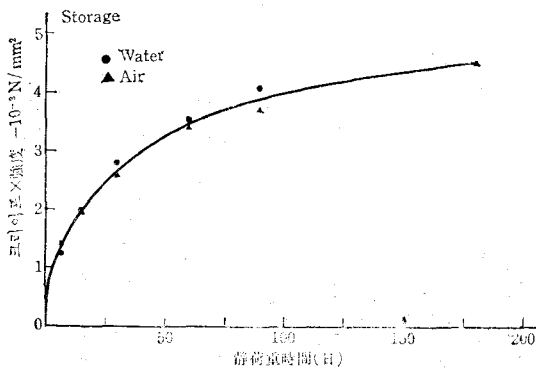
도가 크다. 逆으로 기타 다른 條件이 同等한 상태에서 同一한 施工軟度を 얻기 위해서는 어느 정도 水量이 적어도 된다²⁾.

〈收縮性〉

HAC 콘크리트의 收縮은 포틀랜드 시멘트와 거의 같은 정도이나 어느정도 迅速히 일어난다.

〈크리이프성〉

일반적으로 HAC 콘크리트의 크리이프는 포틀랜드 시멘트와 大同小異하다. 그러나 HAC의 크리이프는 應力—強度比에 比例하기 때문에 結晶 變換에 따른 強度損失이 크리이프를 增加시킨다. 1939年 HAC의 크리이프는 乾燥養生한 것이 濕潤養生한 것보다 적다는 것이 밝혀졌다⁷⁾. 이러한 현상은 포틀랜드 시멘트 콘크리트의 擧動에 상반되는 것으로써 이 때문에 HAC의 크리이프성은 여러번 다시 再考되었던 것 같다. 이 현상은 HAC의 結晶變換으로 說明할 수 있다⁸⁾. 또한 이 現象은 크리이프를 測定하기 위하여 試片에 靜荷重을 부여하면 적은 試片은 다른 試片보다 強度가 높다는 사실에 起因한 것이다. 兩 試片에 加한 應力이 동등하고 應力—強度比가 같도록 했음에도 불구하고 이 두개의 試片間에 매우 작은 크리이프 變形率의 差가 나타났다⁹⁾. (〈그림-3〉 參照)이 결과를 報告한 原文에는 強度差에 대한 어떤 原因도 밝혀지 않았으나 結晶變換이 濕潤養生下에서는 일어나나 乾燥養生下에서도 일어나지 않는다고 速斷할 수도 있는 것이다.



〈그림-3〉 乾燥 및 濕潤 HAC 콘크리트의 時間에 따른 콘크리트 強度의 變化

HAC 콘크리트의 透水性, 熱膨脹係數, 彈性率은 같은 配合比로 만든 포틀랜드 시멘트의 것과 거의 같은 水準이다²⁾. HAC 콘크리트 養生時 처음 24時間 동안은 반드시 젖은 狀態로 養生할 것을 強力히 勸奨하는 바이다. 이러한 養生은 水和熱의 충분한 冷却手段을 마련해 준다. 그렇다고 濕潤養生이 필수 불가결한 것은 아니다. 이러한 견해는 앞서 주장한 바에 相反되나 이것은 다음과 같은 사실에 근거를 두고 있다.

HAC가 充分한 水和反應을 일으키기 위해서는 자체 重量의 50%에 해당하는 물을 필요로 하여 물을 잃게 되면 水和되는 範圍가 減少될 것이다. 그러나 HAC는 일단 硬化가 일어나면 水中養生이라도 結合水量을 크게 增加시키지 못한다¹⁰⁾. 이 理由 때문에 打設後 24時間 동안은 물을 잃지 않도록 防備하지 않으면 안된다. 低氣孔의 緻密한 겉이 生成되어 있으면 充分한 水和反應이 필요한 水量이 없더라도 높은 強度를 얻을 수 있다. 그러나 水和反應 初期段階에서 表面을 마르게 하면 다스팅(dusting)이 일어나기 쉽게 된다. 다스팅을 일으키는 原因은 濕潤養生을 하지 않아서만 일어나는 것은 아니다. 왜냐하면 mould에 직접 接觸되어 있는 試片의 表面에서는 다스팅 현상을 볼 수 없고 다만 接觸되어 있지 않은 上部 露出面에서 만 다스팅 현상을 볼 수 있기 때문이다. 따라서 다스팅 현상은 急速한 乾燥에 의하여 促進된 炭酸化作用에 原因이 있는 것 같다.¹⁰⁾

〈養生〉

初期 水和反應에 따른 콘크리트의 溫度上昇을

HAC의 콘크리트의 溫度와 強度에 미치는 養生條件의 影響

初期24時間의 養生條件	水中 5°C	大氣 5°C
時間經過에 따른 溫度	0 h 10 3 h — 4.5 h 9 6.5 h 17 24 h 8	10 6 21 48 6
材 壓 縮 強 度 (N/mm ²)	7日 60	28日 20

減少시키기 위한 가장 效果의인 方法은 濕潤養生이다. 이를 뒷받침하는 데이터는 <表-6>에 나와 있다.

위 試驗은 물 시멘트比 0.48, 溫度 10°C에서 240mm 실린더를 사용하여 100mm 콘크리트 試片 두 그룹을 成形하고 이들을 5°C의 水中과 空氣中에서 各各 24時間 養生시켰다. 初期 24時間 養生後 두 그룹의 試片은 모두 5°C 空氣中에 放置하였다. 콘크리트의 最高溫度는 空氣中에서 養生한 것이 48°C를 기록하였는데 반하여 水中 養生한 것은 17°C을 나타내었다. 이것은 바로 水中養生이 콘크리트의 冷却手段으로써 效果의임을 나타내는 것이다. 空氣中에서 養生한 試片은 溫度上昇으로 인한 強度損失이 크게 나타났다.

2-2 耐化學性

포틀랜드 시멘트에서의 칼슘실리케이트와는 달리 HAC의 칼슘알루미늄에이트는 水和, 硬化中 칼슘水酸化물을 遊離시키지 않는다. 水利된 시멘트 페이스트中 바로 이 成分이 여러가지 物質에 의해 침해되는 것이기 때문에, 이 成分이 없는 HAC가 여러가지 형태의 化學的 侵蝕에 대해 低抗性を 갖는 理由이다. 그러나 水和中 生成된 겔 形態의 알루미늄 水酸化物($Al_2O_3 \cdot aq$)은 Na, K의 水酸化物과 같은 苛性 알칼리에 의해 侵蝕받는다. 그러므로 HAC는 이러한 알칼리에 대한 저항성은 없다.

앞에서 언급 한 바와같이 HAC는 耐黃酸鹽 시멘트로 開發된 것이다. 黃酸鹽 含有 土質과 海水에 대해 좋은 施工性を 갖는 것 외에 HAC는 또한 여러가지 形態의 묽은 酸 侵蝕에 대해 低抗性を 갖는다. 예를들면 아래와 같다.

酸의 形態	産業 用	濃 度
Sulphuric	gas-washing plant	above pH4
Sulphurous	bleaching chambers	up to 1 per cent
Lactic	dairy	
Tannic	tannery	
Humic	peaty waters	
Carbonic	mineral waters	
Butyric	brewery	

HAC가 큰 低抗性を 發揮하는 다른 物質들로서는 食糖, 果汁, 魚油, 家畜場 廢物 및 血液類 등이 있고, 適當한 低抗性を 나타내는 對象으로서는 化學廢棄物로 汚染된 地盤(濃縮된 酸類가 없는), 시안나이드類, 漂白劑類(鹽素系), 카본 디설파이드, 소류비설피이트, 사진현상액, 글리콜, 글리세린 등이 있다¹¹⁾. 그러나 빈配合(骨材 시멘트比 9以上)인 경우에는 耐化學性を 發揮하지 못한다는 것에 유의해야 한다.

HAC의 黃酸鹽 侵蝕에 대한 低抗性は 結晶變換이 일어나면 弱화되며 특히 黃酸 마그네슘의 浸蝕에 弱하다. 여러 試驗 결과 結晶變換이 일어나면 透水度가 증가하여 凍結融解 低抗성이 減少한다¹²⁾. 酸에 대한 低抗性は 結晶變換에 의하여 손상받지 않는 것 같다. 그 原因은 어떤 化學反應도 일어나지 않기 때문인 것으로 생각된다.

포틀랜드 시멘트와 달리 HAC는 알루미늄이나 鉛은 浸蝕시키지 않으므로 HAC 콘크리트에는 이러한 金屬을 삽입할 수 있다.

2-3 耐火物 用途

포틀랜드 시멘트 콘크리트의 強度는 약 300°C以上 溫度에서 서서히 減少한다. 400~450°C에서 수산화칼슘은 脫水되며, 600°C範圍를 超過하면 대부분의 骨材 조차도 격감한 強度減少가 있다. 대개의 耐火 콘크리트는 900°C에 露出되면 短時間 동안만 견딜 수 있다.

<高溫下의 舉動>

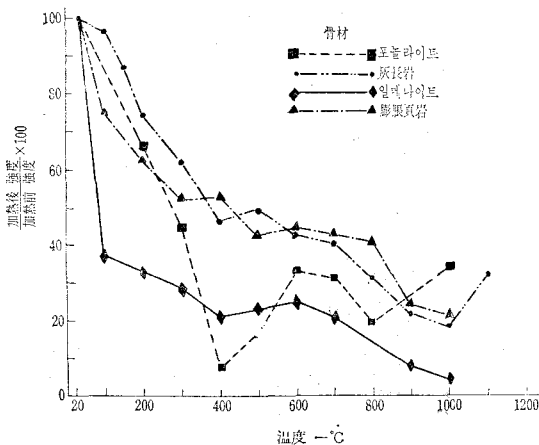
HAC 콘크리트의 舉動은 여러 중요한 點에 있어 相異하다. 그 舉動은 室溫에서 進行되며 약 500°C以上일 때는 포틀랜드 시멘트 콘크리트보다 열등하고, 800°C以上 되면 비슷해지나 약 1,000°C以上에서 HAC는 특출한 性能을 發揮한다.

1,100°C以上 溫度 範圍에서 4種의 骨材로 만든 HAC 콘크리트의 舉動을 <그림-2, 3>에 圖示하였다¹³⁾. 膨脹性 頁岩(shale)과 灰長岩(anorthosite) 骨材로 만든 콘크리트는 400°C에 露出되면 절반 정도의 強度를 상실하고 1,000°C로 加熱하면 加熱前 壓縮強度의 18~26%까지 強度상실이 일어난다.

1, 100°C에서 灰長岩 骨材 콘크리트는 強度面에서 약간 得을 볼 수 있다. 포놀라이트(phonolite) 콘크리트 試片의 壓縮強度는 400°C에서 最低 8%에 달한다. 400°C~1,000°C에서 그들의 強度는 回復되어 1,000°C에서 35%에 도달한다. 일메나이트(Ilmenite) 콘크리트의 殘留強度는 단지 4.5%에 지나지 않는다¹³⁾. 포놀라이트와 灰長岩 콘크리트 各各에 대한 1,000~1,100°C에서의 強度 利得은 세라믹 본드의 發達에 좌우된다는 點이 흥미롭다.

〈세라믹 본드〉

이것은 說明이 조금 필요하다. 물 配合時 HAC는 水和反應에 의해 硬化하여 水和 본드란 것으로 發達한다. 이는 포틀랜드 시멘트에서와 類似하다. 본드는 高溫에서 약해져(〈그림-2, 3〉 參照) 高品位의 HAC 콘크리트라 할지라도 壓縮強度가 7N/mm²까지 減少한다. 그러나 약 700°C 이상이 되면 骨材의 種類에 따라 세라믹 본드란 새로운 形態의 본드가 形成되기 시작한다. 본드는 시멘트와 骨材間의 固相反應으로 생성되어, 반응의 進行과 溫度上昇에 따라 증가된다. 그 결과, HAC 콘크리트는 耐火粘土 骨材인 경우는 약 1,350°C까지 특수한 骨材를 사용하면 약 1,600°C까지의 高溫에도 견딜 수 있다. HAC 콘크리트는 優秀한 耐火物이다. 처음 HAC가 開發되었을 때 이것의 用途에 대하여 眞價를 認定하지 않았으나, 오늘날에는 이것의 特征이



〈그림-4〉 各種 骨材를 사용한 HAC 콘크리트의 溫度-強度 曲線

널리 알려져 있고, 또한 廣範圍하게 使用되고 있다.

〈白色 HAC〉

白色 HAC에 熔融 알루미늄과 같은 特殊 骨材를 사용하면 훨씬 高溫인 1,800°C에서도 長期間 견딜 수 있는 콘크리트를 만들 수 있다. 耐火 HAC 콘크리트는 硬化되면 바로 豫熱하지 않고 使用溫度까지 加熱할 수 있다. 처음 가열하면 콘크리트의 熱的膨脹이 일어난다. 그러나 시멘트 페이스트의 수축(팽창한만큼)에 의해 均衡이 이루어지기 때문에 純 수축 또는 팽창(골재에 따른)은 적다. 따라서 重要한 點은 膨脹帶를 줄 필요가 없다는 것이다. 보통 버트 膨脹帶를 둔다. 그러면 使用溫度 以下로 冷却되는 경우 작은 틈이 열리게 된다.

〈耐火物 用途〉

어떤 用途에 있어서도 알맞은 耐熱性을 가진 적합한 骨材의 선택이 중요하다. 輕量骨材를 사용하면 HAC는 950°C 정도까지 使用할 수 있는 斷熱耐火 콘크리트가 된다. 이 分野의 用途는 建築用은 아니나 흥미로운 점이 있다. HAC는 큰 라이닝, 煙道 라이닝, 爐門 등 爐材築造와 各種 爐(Furnace), 코우크스爐, 보일러 설치용 基礎築造에 사용된다. 특수한 形狀을 쉽게 成形할 수 있고, 單一構造 築爐도 가능하며, 모르타르는 耐火物 라이닝을 형성하도록 噴射할 수도 있다. HAC 콘크리트 큰 熱衝擊에도 견딜 수 있다.

2.4 早強性

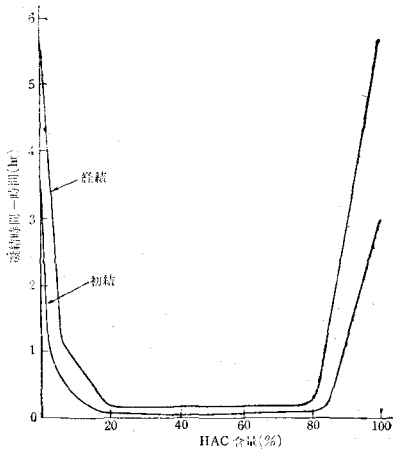
처음 개발 당시 깨닫지 못했던 HAC의 또다른 유용한 점은 早強性이 매우 크다는 점이다. HAC의 凝結時間은 포틀랜드 시멘트의 凝結時間과 對等한 정도여서 速硬性은 없다(〈그림 2-1〉 참조). 그러나 HAC는 일단 凝結하면 24時間內에 그 콘크리트의 壓縮強度는 最終強度值의 90% 정도의 높은 강도를 發現한다. 〈그림-2〉에 전형적인 強度-時間 曲線이 圖示되어 있다. 次後 論할 프리캐스트 콘크리트 산업에서의 用途는 별도로 하고, HAC의 이러한 性質은 많

은 利點이 있으며, 긴급한 모든 비상 보수 작업에 使用된다. 예를 들면 긴급도로 보수 작업 공장의 바닥 및 機械臺, 파이프 연결, 철도 및 활주로 보수작업 등에 有用하다.

〈凝結性〉

補修作業에 관련된, HAC의 응결성에 대하여 添言하면, 포틀랜드 시멘트와 HAC 混合物의 凝結時間과 強度는 本來의 것보다 減少된다.

이 시멘트 混合物은 매우 신속히 응결이 完了되기 때문이다. 이 현상을 急結이라 한다. 응결 시간과 포틀랜드 시멘트와 HAC와의 混合比間的 關係를 〈그림-5〉에 圖示하였다. 그러나 이는 다만 거동을 指示한 것에 불과하며 실제로 사용할 두 시멘트의 混合比는 엄밀하게 시험하여야 한다. 시멘트 혼합물의 급결로 인해 얻는 이점이 補修工事中에 가끔 있다. 예를들면 數分以上 물의 進入이 계속될 때에는 보통 콘크리트보다 모르타르를 사용한다.



〈그림-5〉 HAC와 포틀랜드 시멘트 混合物의 凝結時間

雜物에 對한 오염은 포틀랜드 시멘트와 HAC 혼합물의 급결을 방해하기 때문에 混合機 및 도구에 대한 철저한 청결이 필요하다. 그러나 기존 시멘트 혼합물이 界面에서 서로 混合을 저지할 정도로 硬化되면 이 혼합물은 각각 분리된 상태로 콘크리트를 형성한다. 소요기간은 溫度에 따라 달라지나 대체로 처음 HAC 콘크리트 注込後 하루, 포틀랜드 시멘트 콘크리트 注込後 이를 정도이다.

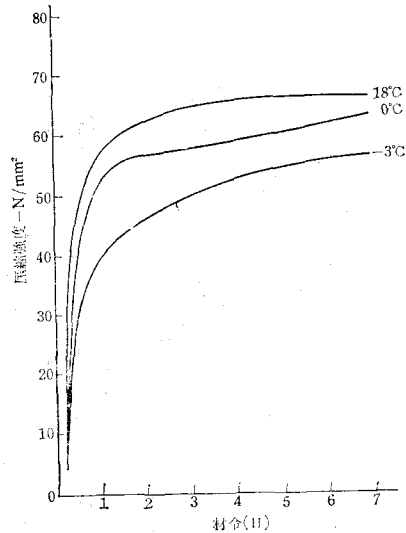
〈汚染〉

여기서는 HAC가 HAC의 凝結 또는 硬化에 有害한 물질에 오염되지 않아야 된다는 것을 언급코자 한다. 포틀랜드 시멘트에는 먼저 언급한 바와 같이, 石膏, 石灰 및 有機化合物 등을 添加할 수 있다. 그러나 HAC의 수화반응은 配合水中에 含有된 불순물에 의하여 큰 영향을 받기 때문에 海水나 汚染된 물을 사용해서는 안된다.

〈寒冷氣候 條件下의 使用〉

2-1에 언급한 바와 같이 HAC가 放出한 總水和熱量은 同量의 보통 또는 速硬性 포틀랜드 시멘트가 放出한 것과 對等하다. 그러나 HAC의 速硬性에 對한 利點은, 결과적으로 水和熱이 포틀랜드 시멘트 경우보다 매우 짧은 시간에 放出된다는 것을 의미한다. 斷熱條件下에서 콘크리트 中心의 온도는 짧은 시간내에 크게 上昇하기 때문에 이 熱이 酷한에서 콘크리트를 스스로 保護하는 役割을 한다.

그러므로 HAC는 冷凍工場, 高山地方, 極地方 등에서의 建設工事に 使用된다. 그러나 극히 酷한 상황하의 콘크리트 공사는 많은 주의가 따른다. 凍結된 骨材나 氷點에 가까운 配合水を 사용해서는 안된다. 따라서 콘크리트 配合物은 發熱始作되기 前인 처음 4~6시간 동안은 凍結



〈그림-6〉 低溫下에서 HAC 콘크리트의 強度發現

을 방지해 주어야 한다. 만일 이러한 點에 유의한다면 하루 또는 그후 高强度가 發現된다. <그림-6>에 물-시멘트比 0.50, 1:6의 배합으로 만든 70mm HAC 立方體 試片에 대한 強度測定 결과를 圖示한다. 배합수의 溫度는 0°C~4°C이었고 시멘트와 骨材는 시험온도이었다. 그후 -6°C에서의 시험결과는 24시간 強度가 28N/mm² 이었다.

2.5 構造用 프리캐스트 콘크리트

이미 언급한 바와 같이, 프리캐스트 콘크리트 製品에 HAC의 早強特性이 많이 利用되어 왔다. 1972年 英國에서 使用된 HAC 總量의 1/4이 여기에 消費되었다. HAC의 主된 용도는 프리스트레스트 콘크리트 製品에 있어서 프리스트레스트 製品을 鑄型後 약 18~19時間內에 脫型할 수 있는 早強性 發現에 있다. 프리캐스팅 하는 경우 가능한 한 형틀을 빨리 회전하는 것은 다시 말해 짧은 시간내에 脫型하는 것은 경제적인 관점에서 볼 때 매우 중요한 것이다. 이것은 製造業者가 제한된 형틀을 가지고 더 많은 製品 生産을 가능케 할 뿐만아니라 製品積置 空間을 최소화 할 수 있으므로 투자자본에 대한 총 매 상액을 증대 시킬 수 있다. 프리캐스트 프리텐 손제품 제조에서 형틀은 그 제품을 옮긴 후에만 제거가 가능한데 이것은 콘크리트 壓縮強度가 약 35N/mm²에 이르렀을 때 가능한 것이다.

가능한 한 짧은 시간안에 이러한 강도를 얻기 위하여 製造業者는 몇가지 方法을 試圖할 수 있다. 方法중 하나는 보통 포틀랜드 시멘트를 使用하여 飽和 또는 不飽和 수증기로 高溫下에서 製品을 養生하거나 형틀을 加熱하여 양생하는

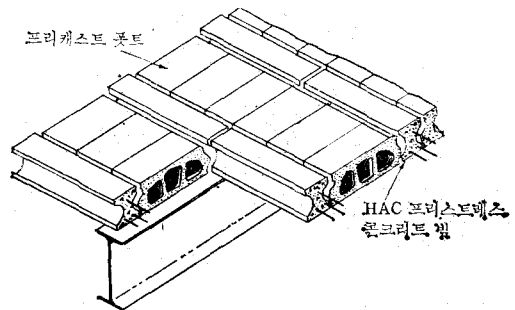
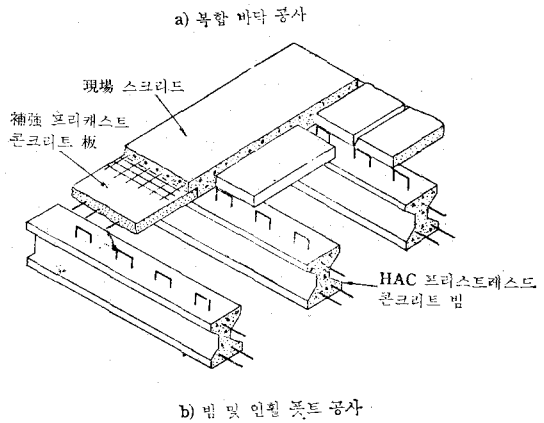
것이다. 그리고 急結 포틀랜드 시멘트를 使用하는 方法이 있는데 이는 早期強度를 얻을 수는 있지만 경제적으로 다소 不利한 點이 있다. 이러한 方法들 중 어느 것을 使用하든 1日 내지 3日 經過後 프리스트레스트 製品을 脫型할 수 있는 것이다. 脫型時間을 더욱 短縮하기 위해서는 超早強 포틀랜드 시멘트를 使用하므로서 가능하 다¹⁵⁾(表-7. 參照).

또 다른 한 方法으로서 HAC의 使用이 있다. 이는 高溫養生을 거치지 않으므로 附帶設備을 필요로 하지 않고서도 24時間內에 용이하게 脫型을 가능케 한다. 그러나 HAC가 價格이 通常 포틀랜드 시멘트보다 3倍 또는 그 以上이므로 HAC의 使用選擇이 그리 간단하지는 않다. 더구나 HAC使用이 全 工程과 圓滑해야 한다. 두가지 종류의 시멘트가 혼합되면 急速凝結의 위험이 있기 때문에 같은 生産라인에서의 포틀랜드 시멘트 사용은 곤란하다(2-4 參照).

확실히 프리캐스팅으로 HAC의 使用은 유리하다. 그래서 몇몇 製造業者들은 HAC를 選

<表-7> 超早強 포틀랜드 시멘트로 만든 1:3콘크리트의 強度值

時 間	물-시멘트비에 따른 壓縮強度(N/mm ²)		
	0.40	0.45	0.50
8 時間	12	10	7
16 時間	33	26	22
24 時間	39	34	30
28 時間	59	57	52
1 年	62	59	57



<그림-7> HAC 프리스트레스트 콘크리트 梁을 利用한바닥 및 지붕 工事의 代表的인 例

擇 사용하고 있지만, 그외의 製造業者들은 포틀랜드 시멘트를 고수하면서도 좋은 品質의 構造物用 프리캐스트·프리텐손 콘크리트 製品을 타산적으로 生産하고 있다. 어느 경우에 있어서나 그 選擇은 의심할 여지없이 生産性·市場性 그리고 長期的인 生産計劃에 좌우된다.

실제로 英國의 매우 큰 프리캐스트 콘크리트 製造業者는 HAC 使用을 決定했으며 지금은 이 두 業者가 만드는 프리스트레스 콘크리트 製品 대부분에 HAC 를 사용하고 있다. 이들 生産量의 약 90%가 <그림-2,6>의 例에서 보는 바와같은 빔, 인필 形 바닥 材, 지붕건설에 사용되고 있다. 빔의 컷수와 프리스트레스 方法은 스펠 그리고 하중조건에 따라 달라진다. 이러한 시스템에 일반적으로 지붕 또는 바닥 처리(screed)는 <그림-7>에서 보는 바와같이 復合構造로 하는 경우도 있다.

설계자가 그 자신의 설계 시스템에 이러한 제품을 사용하지 않는 이유는 물론 없지만 이러한 제품들이 부품으로는 사용될 수 있다. 이러한 예는 학교 건물에서 볼 수 있다.

2.6 基礎工事用 用途

2-2에서 非構造用으로 사용된 HAC 의 耐化學性이 논의되었다. 그러나 많은 구조물이 여러 가지 有害物質을 함유한 토양에 세워졌다. 黃酸鹽 含有 토양 또는 전에 가스공장이나 화학공장이 있었던 부지의 토양은 포틀랜드 시멘트에 해로운 化學물질을 포함하고 있다. 이러한 물질들의 농도에 따라 토목 기술자는 몇가지 선택적

인 方法을 취한다. 시멘트량을 增加시키면 通常 포틀랜드 시멘트의 사용도 무방하다. 경우에 따라서는 耐黃酸鹽 시멘트의 사용이 필요하다. 그러나 특정조건하에서 耐黃酸鹽 시멘트로서도 충분하지 않으면 콘크리트의 표면을 불투막으로 보호할 수도 있다. 조건이 매우 심각할 때는 포틀랜드 시멘트보다 더욱 高價 임에도 불구하고 특수 시멘트 사용을 설계자가 제안해야 한다. 그러한 조건하에 가장 일반적으로 사용되는 두가지 타입의 시멘트는 HAC 와 高黃酸鹽 시멘트가 있다. 여러가지 제조상의 문제때문에 高黃酸鹽 시멘트의 제조는 1974년에 중단되었다. 그러나 高黃酸鹽 시멘트 콘크리트로 만들어진 기초위에 세워지는 많은 건물이 있다. 위와 같은 경우에 HAC 콘크리트를 사용한 기초위에 건물이 세워진다.

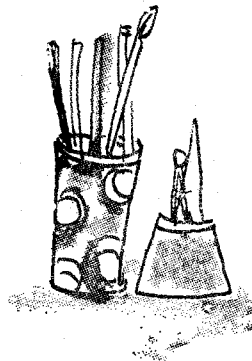
2.7 현장 작업

HAC 는 이미 언급된 기초공사와 긴급보수 이외에 구조물공사의 현장용으로 간혹 사용될 뿐이다. 實用化에 있어서의 여러가지 제약은 HAC 의 높은 가격에도 그 근본 이유는 있지만 施工性和 養生條件이 관련된 실제적인 또 다른 이유가 있다. HAC 콘크리트를 충분히 양생하기 위해서는 시공후 적어도 24시간 동안 계속적으로 물을 뿌려 주어야 한다. HAC 콘크리트의 養生初期에 濕度 및 溫度條件이 後期強度에 미치는 영향이 포틀랜드 시멘트 콘크리트보다 훨씬 더 중요하다.

[參 考 文 獻]

1. T.W. Porker, "The constitution of aluminous cement". 3rd Int. symp. chem. Cement, London, 1952, pp. 485~515
2. F.M. Lea "Chemistry of Cement and concrete", Revised edition of the "Chemistry of Cement and Concrete" by F.M. Lea and E.H. Desch. Arnold, London, 1956, revised edition 1970, pp. 727
3. T.D. Robson, "High-alumina cements and concretes Contractors Record Ltd., London, 1962, pp. 263
4. H. Lafuma. "Quelques aspects de la physico-chimie des ciments alumineux." Rev. Gen. Sci. Appl., Vol. 1, No. 3, 1952, pp. 3-11
5. F.M. Lea. "Cement and concrete." Lecture delivered before the Royal Institute of chemistry, London, 19th December 1944
6. T.D. Robson "High alumina cement". Arch, Sci, Rev., Vol 11, No. 1, March 1959, pp. 49-56

7. W.H. Glanville and G.F. Thomas. "Further investigations on the creep or flow of concrete under load." Build. Res. Tech. Paper, No. 21, London, 1939, pp. 44
8. A.M. Neville and H.W. Kennington. "Creep of Aluminous cement concrete." 4th Int. Symp. chem. cement, Washington D.C., 1960, pp. 703-708
9. A.M. Neville. "Creep of concrete; plain, reinforced and prestressed." North-Holland, Amsterdam, 1970, pp. 622
10. F.M. Lea. "effect of temperature on high-alumina cement." Trans. Soc. Chem. Ind., Vol. 59, 1940, pp. 18-21
11. Blue Circle Group, Cement Marketing Co. Ltd. "Lightening concrete for strength and chemical resistance". Technical note 723, December 1972, pp. 11 (reprint of technical note 713, December 1971)
12. R. Tsukayama. "effect of conversion on properties of concrete using high-aluminous cement." proc. 5th Int. Symp. chem. Cement. Tokyo, 1968, Part 3, pp. 316-327
13. N.G. Zoldners and V.M. Malhotra. "Discussion on reference" 45. Proc. Instn. Civil Engrs., Vol. 28, May 1964, pp. 72-73
14. Lafarge Aluminous Cement Co. Ltd. "ciment Fondu concreting in cold weather." Technical data sheet no. SA₂, October 1973, pp 3
15. Agreement Board. "certificate No. 69/32 of 14th April 1969 for swiftcrete ultra high early strength portland cement", pp. 11
16. British Standards Institution. "the structural use of precast concrete." Code of Practice CP 116: Part 1 (Imperial units): 1965, 156pp., CP 116: Part 2 (Metric): 1969, pp. 156



서 정 책 신 완 수 하 여

건 전 사 회 이 룩 하 자