

溫度變化를 惹起하는 시멘트의 海水에 의한 乾濕反復試驗

笠井芳夫

日本大學 生産工學部 教授工博

徐 南(譯)

中村 登

元 日本大學 生産工學部 助手, 現 中村組

1. 概 要

海洋環境下에서 建設되는 構造物로서, 鐵筋콘크리트는 耐久性이 크고, 保守管理가 容易하기 때문에 앞으로 더욱 많이 利用될 것이라고 期待 된다. 그러나 海水中에는 硫酸나트륨(Na_2SO_4), 硫酸마그네슘(MgSO_4) 등, 硫酸鹽이 포함되어 있다. 이들의 硫酸鹽은 시멘트 속의 아르민酸三石灰($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$, A이라고 略記)와 反應하여 시멘트비치르스라고 불리우는 에트링가이트($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{Ca} \cdot \text{SO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$)를 生成한다고 한다. 에트링가이트는 32分子的 물을 가지며 體積膨脹을 일으켜 콘크리트를 破壞할 우려가 있다.

本 研究는 海洋環境下에 있는 콘크리트 耐海水性を 試驗하기 위하여 新規로 JIS R 5210(포르랜드시멘트)에 加하여진 耐硫酸鹽포르랜드^{註1} 및 耐海水성에 우수하다고 하는 高爐시멘트, 후리아트슈시멘트를 비롯하여, 普通·早強포르랜드시멘트 등의 耐海水性促進試驗方法을 確立하기 위하여 着手한 것이다. 이 試驗에서는, 海洋의 飛沫帶에 있는 콘크리트를 想定하여 乾濕이 轉換되는 試驗을 했지만, 그때 供試物체에 急激한 溫度變化를 周期的으로 주고 있다.

이와 같은 가혹한 條件下에서는 高爐시멘트 C種 등 混和劑의 含有比率이 많은 시멘트는 比

較的 빨리 금가고 틈이 發生하여 崩壞했다. 한편, 普通早強포르랜드시멘트는 금이나 틈의 發生은 거의 없으나, 表面에서 곰보모양으로 侵食되었다. 全般的으로 보아, 混和시멘트 C種보다 早強포르랜드 시멘트가 試驗成績이 좋았다. 耐硫酸鹽포르랜드시멘트도 특히 우수한 成績이라고 말하기 어려웠다.

또한 여기에 報告하는 結果는 반드시 自然海洋環境下에 있는 콘크리트의 耐海水性を 再現하고 있는 것이라고는 생각할 수 없다. 그러나, 콘크리트는 多種多樣한 目的으로, 여러가지 環境下에서 使用되는 것이다. 그 一例로서, 70, 80°C에서 乾燥되어 즉시 常溫의 海水를 살포한 다든가, 또는 海水에 侵蝕되는 것 같은 곳에 使用되는 수도 있으므로 耐海水性の 促進試驗方法의 하나로서 檢討를 加한 것이며, 시멘트의 種類와 耐海水性과의 關係를 比較하기 위한 標的을 얻기 위한 한 資料가 될수 있을 것이라고 생각된다.

또, 많은 因子에 左右되는 自然環境下에서의 狀態를 正確하게 再現하는것은 容易하지는 않지만, 시멘트의 耐海水性 促進試驗을 計劃하고 있는 분들에게도, 하나의 資料가 된다면 多幸이겠다.

시멘트의 種類, 물달의 調合, 供試體의 前養生方法, 促進試驗條件

시리즈	시멘트의 種類	물 달 의 조 합				前養生方法 및 促進試驗條件						
		W/C ¹⁾ (%)	單位水重 (kg/m ³)	單位시멘트 重 (kg/m ³)	標準砂重 (kg/m ³)	후로 (秒量으로) 조 정	前養生方法		乾 燥		海水浸漬	
						乾 燥 溫 度 (°C)	乾 燥 時 間 (h)	海水浸漬 溫 度 (°C)	海水浸漬 時 間 (h)			
I	普通, 早強, 超早強, 耐硫酸鹽, 高爐C, 후라이B, 아무리나, 耐硫酸鹽슬래그	70	365	521	1,250~1,302	180±20	20°C (空氣中 1日, 水中 4日, 以後空氣中 90日)	6	6	2倍濃度人工海水		170
II	普通, 早強, 超早強, 耐硫酸鹽, 高爐C, 후라이B, 耐硫酸鹽 슬래그	60~70	312~365	521	1,225~1,384	180±20	20°C (空氣中 1日, 以後水中 13日)	35	6	2倍濃度人工海水		160
III	普通, 早強, 超早強, 耐硫酸鹽, 高爐C, 후라이B, 耐硫酸鹽 슬래그	65~70	335~361	516	1,223~1,275	160~224	30°C (空氣中 1日, 以後水中 13日)	60	5	30	7	140
IV	普通, 早強	50~80	354	443~707	1,046~1,264	160~224		60	5	30	7	460
V	普通, 超早強, 高爐C	50~70	335~359	500~678	1,094~1,201	160~224		60	5	30	7	320
VI	普通, 早強, 耐硫酸鹽, 후라이B ²⁾ , 高爐A·B·C, 耐硫酸鹽 슬래그	68~70	329~360	482~515	1,185~1,251	180±20	80	6	6	水		160
VII	普通, 早強, 超早強, 耐硫酸鹽, 후라이B, 高爐A·B·C, 耐硫酸鹽 슬래그, 시리카A, 中燐熟	67~72	335~360	493~500	1,196~1,245	180±10	80	6	6	1倍濃度人工海水		3/27 140사이상進行中

註 1) 使用한 耐硫酸鹽 슬래그시멘트, 耐硫酸鹽 포트랜드시멘트(U): 30%, 高爐水 슬래그 70% 였다.
 2) VI, VII시리즈에 使用한 混合시멘트의 配合率은 高爐A種 슬래그 15%, 高爐B種 (슬래그 40%), 高爐C種 (슬래그 65%), 후라이앗수B種 (후라이앗수 15%) 이다.
 3) 供試물달의 W/C는 (表-4) 에 보인다.

註 1) JIS R5201에서는 C₃A를 4% 以下로 規定하고, 耐硫酸鹽性を 크게 하였다.

2. 試驗方法

試驗은 8 시리즈로서 되어있다. 시리즈II, III, VI에서는 主로 乾濕反復時의 溫度의 影響, 시리즈VI, V는 水시멘트 比의 影響, 시리즈 V는 AE劑에 의한 空氣連行의 影響, 시리즈 VI, VII, VIII는 海水의 濃度의 影響에 대하여 試驗했다. 試驗期間은 約 3年半 걸렸다. 試驗計劃의 大略을 (表-1)에 보인다.

(1) 使用材料

a. 시멘트: 試驗한 시멘트는 普通, 早強, 超早強, 耐硫酸鹽슬래그(耐硫酸鹽포트랜드시멘트 30: 高爐水슬래그 70, 高爐A·C種, 후라이앗수 B種 등, 全部가 12種이다. 同一種類의 시멘트에 대하여 1~3 商標를 試驗했다.

b. 모래: 豊浦産標準砂를 使用했음.

c. 반죽물: 上水道물을 使用했다.

(2) 供試物體

a. 물달의 調合: 물달의 調合은 후로-180±20 이 되도록 했다. 劣化促進을 위하여 시리즈I, II, III, VI, VII, VIII에서는 普通, 早強, 超早強,

耐硫酸鹽포트랜드시멘트의 水시멘트比를 70% 로 하고 混合시멘트등은 이와 同一후로-가 되도록 調整했다. 시리즈IV, V는 水시멘트比를 바꾸어 試驗했다(表-1), (表-4) 参照.

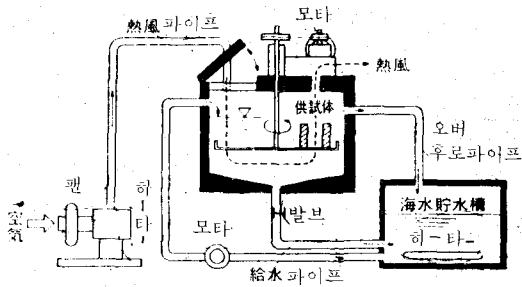
b. 供試物體의 製作: 칫수, 개수, 供試物體의 반죽, 成形方法은 JIS R5, 201(시멘트의 物理試驗方法) 에 準했다. 供試物體의 크기는 40×40×160mm이다. 供試物體는 3個를 한짝으로 하였다.

(3) 前養生方法

1. II 시리즈는 조금 다르지만 III~VI 시리즈는 모두 成形後 1日형틀속(30°C 室안), 脫型後 材今 14日까지 30°C 水中養生으로 하였다. 이것은 試驗開始할 때에 混合시멘트의 水和가 不充分하고 強度發現이 작고 그것이 試驗結果에 影響하지않도록 配慮했기때문이다.

(4) 促進試驗條件

a. 試驗裝置: 乾濕反復 試驗裝置는 (그림-1)에서 보인것과 같은것이고, 自動的으로 乾燥와 海水中浸漬을 되풀이하여 할수있는것이다. 乾燥時 槽內的 送風溫度는 室內溫度에서 80°C 까지 變化할수 있다. 供試物體는 턴테블에 세워놓고 항상 움직이고 同一試驗條件이 되도록 配慮했



〈그림-1〉自動乾濕促進試驗裝置

〈表-2〉自動乾濕試驗裝置의 性能

乾燥時 溫風溫度	浸漬時 海水溫度	乾燥時間	浸漬時間	供試物 치 수	供試物 個數	貯水槽 容量
室內溫度 ~80℃	室內溫度 ~40℃	24時間以內 에서可能	24時間以內 에서可能	4×4× 16cm	33 個	120ℓ

100ℓ 1倍 濃度人工海水에 必要한 藥品量

〈表-3〉(ASTM D1141에 準한 主要5成分

NaCl	MgCl ₂ · 6H ₂ O	Na ₂ SO ₄	CaCl ₂	KCl	NaCl 換算濃度
2,450g	1,110g	410g	120g	70g	3.27%

다. 裝置의 性能을 〈表-2〉에서 보았다.

b. 試驗條件: 浸漬海水溫度는 모두 30℃로 했다. 海水濃度는 I~VI 시리즈에서는 〈表-3〉에서 보인바와 같은 主要5成分을 포함하는 人工海水(1倍濃度)의 2倍濃度를 사용했다. VII 시리즈는 清水에 의한 劣化를 試驗하고, VIII 시리즈는 1倍濃度의 人工海水를 사용했다. 海水의 濃度는 比重 그 밖에 의하여 管理했다.

乾濕反復時의 供試物體의 乾燥溫度는 I 시리즈의 경우 80℃의 바람을 槽內에 불어넣어 試驗하였더니 劣化가 심했으므로, 또 II 시리즈는 35℃의 바람으로 했더니 거의 劣化하지 않았고, III, IV, V 시리즈는 60℃의 바람으로 했다. VI, VII, VIII 시리즈는 劣化를 促進시키기 위하여 다시 80℃의 바람으로 했다. 〈表-1〉參照

(5) 測定項目

a. 壓縮強度: 물달供試物體의 水和의 指標로서, II 시리즈以後는 促進試驗開始할때 壓縮強度를 試驗했다.

b. 供試物體의 質量: 促進試驗을 開始할때의 供試物質量W, (濕潤狀態), 所定의 사이클n에서 水中浸漬終了時의 質量Wnw, 및 乾燥終了時의 質量Wnd를 測定했다. 이 結果에 의하여, 所定의 사이클n에서 供試物體의 水分의 乾燥, 濕潤의 程度를 나타낸 乾燥率, 및 促進試驗開始時를 基準으로 하는 質量變化率(濕潤時의 變化率)은 다음 式에 의하여 求하였다.

$$\text{乾燥率 } dn = (Wnw - Wnd) / Wnd \times 100 (\%)$$

$$\text{質量變化率 } W = Wnw / Wo \times 100 (\%)$$

c. 相對動彈性係數: 促進試驗開始時의 動彈性係數Eo, 및 所定의 사이클n에서 海水浸漬終了時의 動彈性係數Enw를 測定하고, 相對動彈性係數 $\epsilon (= Enw / Eo \times 100)$ 를 求하여 劣化의 指標로 했다.

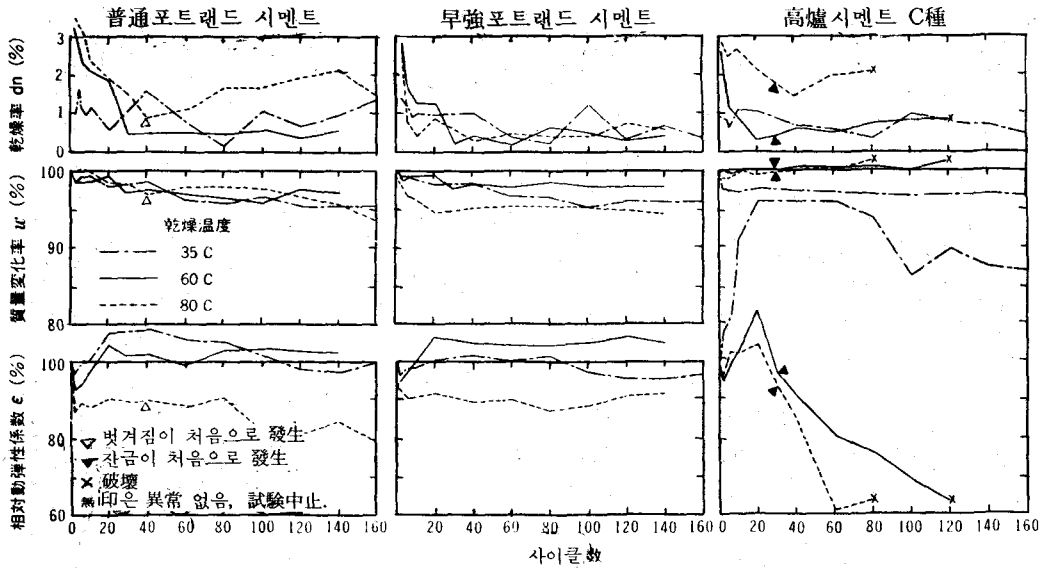
d. 目視에 의한 判定: 供試物體에 잔금이라든가 벗겨짐등의 異常이 發生한 사이클數를 確認하고, 劣化의 進行狀態를 스킷치나 사진으로 서 記錄하고, 目視判定을 하였다.

3. 結果 및 考察

〈表-4〉에 促進試驗開始時의 供試物體의 壓縮強度, 벗겨짐, 잔금 및 破壞가 發生한 사이클數를 보인다.

(1) 乾燥時의 溫度와 劣化(시리즈 II, III, VI) 乾燥時의 溫風溫度를 35℃, 60℃, 80℃로 한 경우의 乾燥率, 質量變化率, 및 相對動彈性係數의 變化를 〈그림-2〉에 例示한다 〈表-4〉參照.

a. 乾燥溫度35℃(시리즈 II)의 경우: 全般的으로 乾燥量이 적기 때문에 乾燥率은 적다. 質量變化率은 모두다 漸減한다. 相對動彈性係數는 일단 增大하고, 그 뒤 減少했다. 特히 高炉시멘트C種은 이 傾向이 심했으나, 이것은 前養生이 20℃, 14日間 水中養生이 있었으므로, 促進試驗中에 強度增強이 있었기 때문이라고 생각할 수 있다(III 시리즈以後는 前述 2, (3) 및 〈表-1〉에서 보인바와 같이 充分한 前養生을 하였다). 乾燥時의 溫度가 낮고 劣化促進條件이 完만하기 때문에, 目視에 의한 劣化는 보기 힘들었다. 160 사이클로서 試驗을 中止했다.



〈그림-2〉 乾燥溫度를 變更한 경우의 乾燥率, 質量變化率, 相對動彈性係數의 變化(例示)

〈表-4〉 促進試驗開始時의 供試體의 壓縮強度, 벗겨짐, 잔금 및 破壞가 發生한 사이클數

시리즈	I				II				III				IV								
試驗中[170				160				140				460								
劣化의 狀況	시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			
			벗겨짐	잔금	破壞			벗겨짐	잔금	破壞			벗겨짐	잔금	破壞			벗겨짐	잔금	破壞	
供試 시멘트 의 種類	普通 (U) W/C: 70%	-	20	20	○	普通 (U) W/C: 70%	210	○	○	○	普通 (U) W/C: 70%	273	○	○	○	普通 (A) W/C: 80%	176	140	○	○	
	早強 (U) W/C: 70%	-	○	100	○	早強 (U) W/C: 70%	300	○	○	○	早強 (U) W/C: 70%	328	○	○	○	普通 (A) W/C: 70%	281	160	○	○	
	超早強 (A) W/C: 70%	-	○	100	○	超早強 (A) W/C: 70%	345	○	○	○	超早強 (A) W/C: 70%	356	○	○	○	普通 (A) W/C: 60%	301	260	○	○	
	耐硫酸塩 (U) W/C: 70%	-	○	80	○	耐硫酸塩 (U) W/C: 70%	165	○	○	○	耐硫酸塩 (U) W/C: 70%	214	○	○	○	普通 (A) W/C: 50%	425	○	○	○	
	高爐 C (S) W/C: 70%	-	○	60	80	耐硫酸塩 (U) W/C: 60%	217	○	○	○	耐硫酸塩 (O) W/C: 70%	221	○	30	100	早 (U) W/C: 70%	325	180	○	○	
	후라이 B (U) W/C: 70%	-	○	60	80	高爐 C (S) W/C: 69%	195	○	○	○	耐硫酸塩 (T) W/C: 70%	262	○	30	○	耐硫酸塩 증착 (U) W/C: 68%	305	○	30	60	
	아미너 (D) W/C: 70%	-	20	10	80	후라이 B (U) W/C: 65%	214	○	○	○	高爐 C (S) W/C: 69%	259	○	30	120	耐硫酸塩 증착 (O) W/C: 68%	295	○	40	60	
	耐硫酸塩 증착 (U) W/C: 70%	-	○	40	80	耐硫酸塩 증착 (U) W/C: 70%	150	○	○	○	후라이 B (U) W/C: 65%	229	○	60	○	耐硫酸塩 증착 (T) W/C: 68%	292	○	30	120	
시리즈	V				VI				VII				VIII								
試驗中[사이클數	320				160				500				140								
劣化의 狀況	시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			시멘트種類	壓縮強度 kg/cm ²	異狀發生 사이클數			
			벗겨짐	잔금	破壞			벗겨짐	잔금	破壞			벗겨짐	잔금	破壞			벗겨짐	잔금	破壞	
供試 시멘트 의 種類	普通 (A) W/C: 70% AE	233	○	○	○	普通 (U) W/C: 70%	307	40	○	○	普通 (U) W/C: 70%	328	○	○	○	普通 (A) W/C: 70%	287	40	○	○	
	普通 (A) W/C: 65%	291	○	○	○	普通 (A) W/C: 70%	337	○	○	○	早強 (A) W/C: 70%	342	○	○	○	早強 (A) W/C: 70%	326	80	○	○	
	普通 (A) W/C: 50%	437	○	○	○	耐硫酸塩 (U) W/C: 70%	239	20	○	○	耐硫酸塩 (U) W/C: 70%	223	○	○	○	早強 (A) W/C: 70%	344	100	○	○	
	普通 (A) W/C: 50% AE	376	○	○	○	耐硫酸塩 (T) W/C: 70%	261	20	○	○	耐硫酸塩 (T) W/C: 70%	254	○	○	○	耐硫酸塩 (U) W/C: 70%	221	40	○	○	
	超早強 (A) W/C: 70%	353	280	○	○	高爐 A (U) W/C: 68%	340	100	○	○	高爐 A (U) W/C: 68%	342	○	○	○	耐硫酸塩 (T) W/C: 70%	274	40	○	○	
	超早強 (A) W/C: 70% AE	345	260	○	○	高爐 A (S) W/C: 68%	339	100	○	○	高爐 A (S) W/C: 68%	332	○	○	○	高爐 A (S) W/C: 68%	346	126	○	○	
	高爐 C (S) W/C: 70%	269	○	80	140	高爐 B (U) W/C: 68%	309	80	60	○	高爐 B (U) W/C: 68%	297	○	○	○	高爐 B (S) W/C: 68%	341	○	40	100	
	高爐 C (S) W/C: 70% AE	251	○	80	140	高爐 B (S) W/C: 68%	294	80	40	120	高爐 B (S) W/C: 68%	302	○	○	○	高爐 C (S) W/C: 68%	303	○	40	80	
	高爐 C (S) W/C: 65%	236	○	80	140	高爐 C (U) W/C: 68%	263	○	30	80	高爐 C (U) W/C: 68%	254	○	○	○	후라이 B W/C: 70%	295	60	○	○	
	高爐 C (S) W/C: 50%	392	○	80	120	高爐 C (S) W/C: 68%	234	○	30	80	高爐 C (S) W/C: 68%	259	○	○	○	시리카 A (T) W/C: 70%	270	40	○	○	
	高爐 C (S) W/C: 50% AE	362	○	60	80	후라이 B (U) W/C: 70%	230	60	○	○	후라이 B (U) W/C: 70%	239	○	○	○	中熱熱 (A) W/C: 70%	231	60	○	○	
						耐硫酸塩 증착 (U) W/C: 67%	259	○	60	80	耐硫酸塩 증착 (U) W/C: 67%	283	○	140	200	耐硫酸塩 증착 (U) W/C: 67%	293	○	40	60	

註. 壓縮強度는 促進試驗開始時의 強度를 보임. ○은 試驗中止 사이클에서의 異狀이 보이지 않았다.

b. 乾燥溫度60℃(시리즈Ⅲ)의 경우: 乾燥率은 30사이클 정도까지 35℃의 경우보다 컸었지만, 그 뒤는 大差 없었다. 高爐시멘트C種, 耐硫酸鹽슬래그시멘트등은, 破壞가 가까워지면 質量이 약간 增加했다. 相對動彈性係數 ϵ 는 모두 20사이클 정도까지 增進하였지만 그 뒤 減少했다. 特히 高爐시멘트C種은 急激히 減少하고, 30사이클로 잔금이 發生하고 120사이클로 ϵ 가 60% 가까워지고 破壞했다.

c. 乾燥溫度80℃(시리즈Ⅵ)의 경우 乾燥溫度가 높기 때문에, 乾燥率은 앞의 二者에 比하여 또한 크다. 質量變化率은 60℃와 大差 없었다. 乾燥사이클의 經過에 따르는 相對動彈性係數 ϵ 의 減少는 60℃乾燥에 比하여 훨씬 빠르다. 普通포트랜드시멘트는 40사이클로 供試物體의 表面이 均대均대 腐食되어서 벗겨졌다. 이것이 進行하여 곰보 모양의 凹凸이 생겼다. 腐食에 의하여 생긴 物質은 부드럽고 검정 빛갈을 내고 있다. 60사이클로 ϵ 가 80%로 低下했다. 高爐시멘트C種, 耐硫酸鹽슬래그시멘트는, 表面은 健全하지만, 30~60사이클로서 잔금이 發生하고 80 사이클로서 ϵ 가 60%까지 到達하기 前에 破壞했다. 供試物體에 잔금이 發生하면, 乾燥率은 커진다.

d. 網狀잔금의 發生: 乾燥溫度 60℃, 80℃로는 溫度및 乾濕속크에 의한다고 생각되는 網狀잔금이, 混合시멘트에서는 6~10사이클로 포트랜드시멘트에서는 約10~20사이클로서 發生했다. 이 原因으로서는, 供試物體가 水中浸漬狀態에서 乾燥에 이르는 사이, 表面은 溫度에 의하여 熱膨脹함과 同時에 乾燥收縮하지만, 内部는 濕潤狀態에 있다. 또 乾燥狀態에서 水中浸漬으로 옮길때, 水温은 30℃이기때문에 急히 冷却되어, 表面은 收縮함과 同時에 물을 吸收하여 膨脹한다. 이것 이한組의 供試物體 表面에 作用하는 膨脹收縮의 代數和와 供試物體 表面에 對한 内部의 溫度含水率變化가 늦어지므로 서로 當겨진다는가 壓縮応力이 發生하여, 組織이 徐徐히 늦춰지기도하고, 잔금이 생기는 것이다. 結果的으로는 이와같은 網狀잔금이 混合

시멘트에는 發生하기 쉽고, 또한 잔금의 成長이 빠르다는 것이 된다. 그러나 海洋環境및 普通의 自然環境에서는, 이와 같은 急激한 溫度變化나 乾濕變化는 없으므로, 混合시멘트가 特히 잔금을 잘 發生시킨다고 볼 수 없을 것이다.

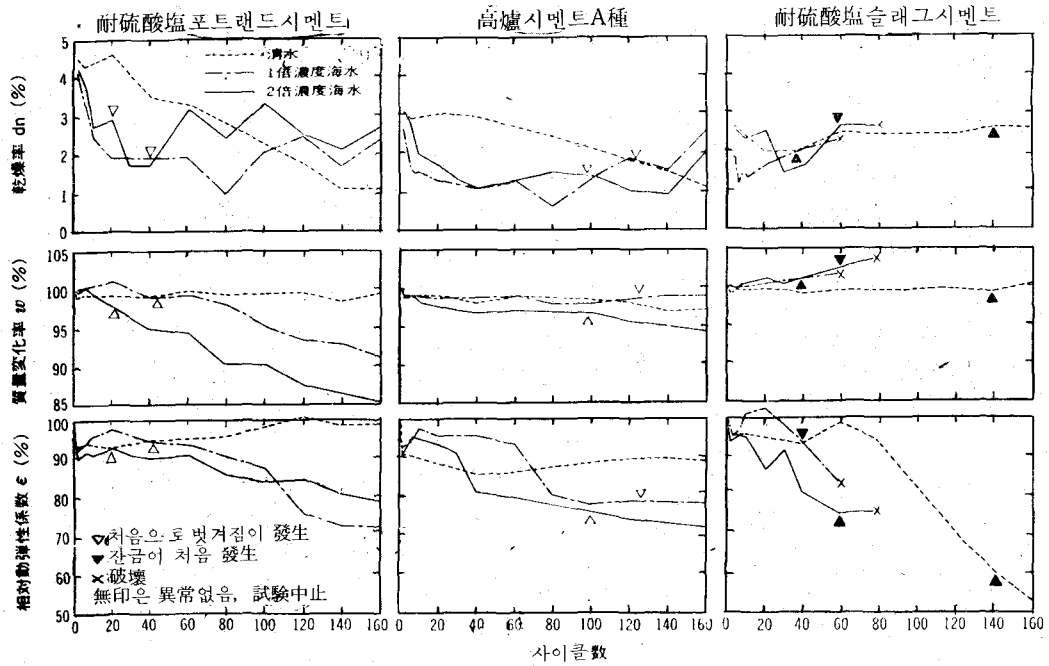
以上, 乾燥溫度를 바꾸어 乾濕試驗한 結果 乾燥溫度 60℃程度에서 劣化가 대단히 促進된다는 것이 明白하여졌다.

(2) 海水의 濃度와 劣化(시리즈Ⅵ, Ⅶ, Ⅷ) 浸漬溶液을 清水, 1倍濃度の 海水, 2倍濃度の 海水와 바꾸었을 경우의 測定結果를 <그림-3>에 例示한다 <表-4> 参照

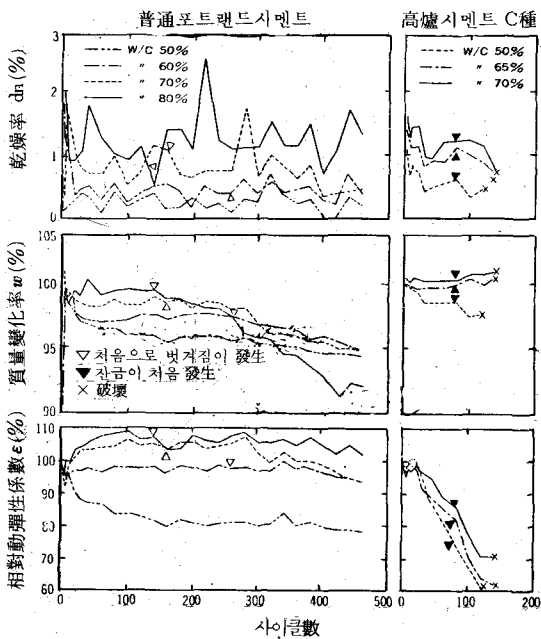
a. 清水에 의한 경우(시리즈Ⅶ): 乾燥率은 사이클數가 進行하면, 포트랜드시멘트는 減少하고, 混合시멘트는 일단 減少하고, 그後若干늘어난다. 前者의 경우 60~80사이클까지, 海水의 경우에 比하여 乾燥率은 컸었다. 이것은 清水가 海水보다 供試物體의 水分의 吸收放出이 容易하기 때문일 것이다.

供試物體의 劣化酸度는, 耐硫酸鹽슬래그시멘트만, 140사이클로 ϵ 가 60%까지 低下하고, 200사이클에서 破壞했다. 다른 시멘트는 普通시멘트를 비롯하여 벗겨짐, 잔금등 별다른 異常은 없었지만, 高爐시멘트C種은 功斷하여 觀察하였더니, 内部까지 毛狀크랙이 成長하여 드디어 같이 破壞할 것이라는 것을 알 수 있었다 <그림-2> 参照. 表面腐食이나 벗겨지는 것 같은 현상은 없었다. 試驗은 560사이클에서 中止했다. 이와 같이 清水라도 苛酷한 環境에 놓인 경우, 시멘트에 의하여 잔금發生에 着異가 있다는 것을 엿볼 수 있다.

b. 海水에 의한 경우(시리즈Ⅵ, Ⅷ): 乾燥率은 일단 減少하고, 그 뒤 若干增加하는 경우가 많다. 質量變化率은 포트랜드시멘트의 경우, 1倍濃度海水보다 2倍濃度海水가, 乾濕사이클의 經過에 따르는 減少量이 많다. 이것은 供試物體의 表面벗겨짐, 表面侵食은 海水濃도가 큰 편이 심한 것을 나타내는 것이다. 混合시멘트의 경우, 海水濃도에 의하여 大着 없고, 表面의 侵食이 없기때문에, 質量은 거의 變化



〈그림-3〉人工海水의 濃度를 變更한 경우의 乾燥率, 質量變化率, 相對動彈性係數의 變化(例示)



〈그림-4〉水시멘트比를 바꾼 경우의 乾燥率, 質量變化率, 相對動彈性係數의 變化(例示)

하지않지만, 全般的으로는 조금 늘어나는 傾向이고, 破壞가 가까우면 增加한다. 이것은 잔금에 吸收되기도 하고, 内部에 소로이蓄積되기 때문일 것이다. 相對動彈性係數는 海水의 濃度가 크면 클수록 빨리 減少했다.

以上 海水에 의한 劣化는, 海水濃度가 클수록 심하다는것을 明白히 하였다.

(3) 水시멘트比와 劣化(시리즈 IV, V)

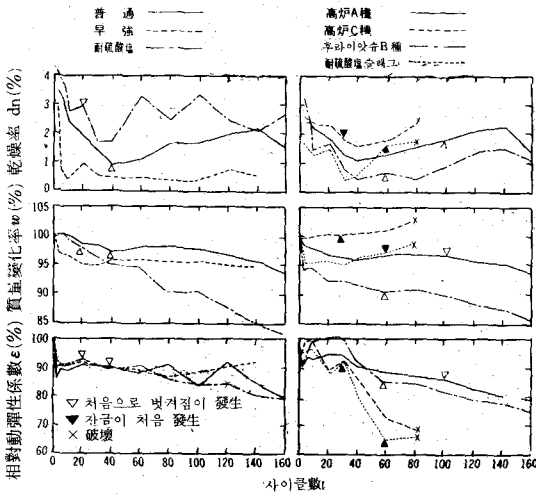
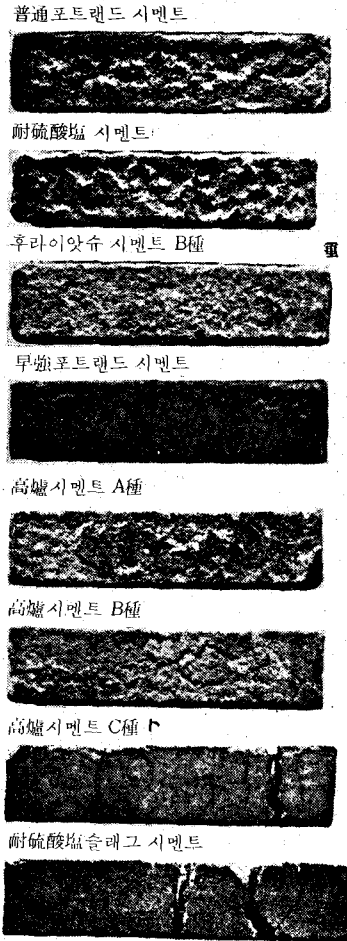
試驗물탈의 水시멘트比를 50~70%로 바꾼 경우의 測定結果를 〈그림-4〉에 보인다(表-4) 参照

乾燥率은 水시멘트比가 큰 물탈이 작은것 보다 크다. 普通ポルトランド시멘트의 경우, W/C 80%의 乾燥率은 W/C 50%의 約3倍가 되었다. 이것은 水시멘트比가 클수록 組織이 粗雜하기때문에 물의 吸水放出이 容易하기 때문이다. 質量變化率은, 普通ポルトランド시멘트의 경우, 乾濕사이클數가 적은때는 水시멘트比가 클수록

減少량은 작지만 200사이클 정도를 넘으면 갑자기 減少량이 커진다. 이것은 表面의 侵食이 차차 内部에 스며 들어 버석버석하게 벗겨지기 시작하기 때문일 것이다.

相對動彈性係數 ϵ 는 普通포트랜드 시멘트의 경우 $W/C70$, 80%의 경우 100사이클쯤까지 增加하고, 그 뒤 천천히 減少했지만, W/C 50%의 경우는 反對로 ϵ 는 100~150사이클에서 80%쯤으로 減少하고 그 뒤는 그다지 變化하지 않았었다. 高炉시멘트C種은 120~130 사이클

〈사진-1〉 各種시멘트의 劣化狀況 (시리즈VI, 160사이클時)



〈그림-5〉 시멘트의 種類를 바꾼 경우의 乾燥率, 質量變化率, 相對動彈性係數의 變化 (例示)

劣化의 타인別 分類

〈表-5〉

타인	1. 乾燥率, 2. 質量變化率, 3. 相對動彈性係數의 特徵	目視觀察	시멘트의 種類(1)
A	1. 比較的 크다. 2. 천천히 減少한다. 3. 천천히 減少한다.	表面이 곧바로 양으로 侵食된다. 잔잔금이 發生하기 어렵다.	普通, 耐硫酸鹽, 中熱, 시리크A種, 후라이앗슈A種(3), 후라이앗슈B種, 2) 시리크B種(3)
B	1. 比較的 작다. 2. 그다지 變化하지 않는다. 3. 천천히 減少한다.	벗겨짐이든가 잔금이 아주 輕微한것.	早強, 超早強, 高爐A種
C	1. 比較的 크고, 또한 일단 減少한 뒤, 또 增加한다. 2. 破壤이 가까워지면 增加한다. 3. 80°C 乾燥試驗에서는 急激히 減少한다.	表面은 모두 健全하지만 30°~60° 사이각에서 碎片이 고 떨어져진다. 180사이클후 破壤된다.	高爐B種, 高爐C種, 耐硫酸鹽 슬래그

註. 1) 아르미하는 벗겨짐, 잔금이 發生했다.
2) 후라이앗슈B種은 벗겨짐이 發生하는 경우가 많지만 본시리즈에서는, 잔금이 생기고 있다.
3) 후라이앗슈A種, 시리크B種을 試驗은 안했지만, A타인에 속하는 것이라고 해도 좋겠다.

에서 ϵ 가 70~60%로 減少하고 破壞했다. 高爐 시멘트C種의 異常發生사이클數는 水시멘트比에 의하여 大差없었다.

(4) AE劑 添加의 有無와 劣化(시리즈V)

混合시멘트의 잔금에 의한 破壞가 膨脹性物質의 生成등과 關係있다고 한다면, AE劑를 添加하여 空氣를 連行시키는 것에 의하여 改善될지도 모르겠다고 생각하여 普通, 超早強포트랜드, 및 高爐시멘트C種에 대하여 AE劑를 添加한 몰탈을 만들어 試驗했으나 無添加몰탈에 比하여 特히 劣化를 둔화시키는것같은 効

果를 볼 수 없었다. 이것은 몰탈試驗에 의하여 기때문에 充分히 連行空氣가 들어가지 않았던것에도 原因이 있었는지도 모르지만 더욱 더 追加試驗이 必要하다.

(5) 시멘트의 種類와 劣化

各種시멘트의 測定結果를 例示하면 (그림-5)와 같다. 또 各種시멘트의 劣化狀況을 보이면 (사진-1) 과 같다(시리즈VI).

시멘트의 劣化狀況을 乾燥率, 質量變化率, 相對動彈性係數의 變化, 벗겨짐, 잔금 및 破壞를 發生한 사이클數에 의하여 別로 分類하면 (表-5)와 같다. 이表에 있어서 시멘트의 商標, 試驗條件(특히 乾燥溫度)에 따라 若干 差異가 있지만, 全般的으로는 表中의 화살표의 方向에 따라 劣化가 심한 傾向이 있다.

타일 A는 普通포르랜드시멘트에 의하여 代表되는 것이고, 表面에서 凹狀의 腐蝕을 만들고 侵食된다. $MgSO_4$ 溶液, Na_2SO_4 溶液, $MgCl_2$ 溶液 속에 長期間 浸漬한 경우 徐徐히 軟化하기도 하고, 膨潤하여 強度의 減少를 일으키고 심할 때는 崩壞하지만(2-5) 本試驗에 있어서 普通 포르랜드시멘트에서 생긴 侵食은, $MgSO_4$ 溶液 또는 $MgCl_2$ 溶液에 의한 浸漬試驗 結果에 比하여, 化學的 侵食의 程度는 작았다.

타일 B는 高爐시멘트 A種에 의하여 代表되는 것이고 表面의 侵食도 적고 또한 잔금에 의한 破壞도 比較的 생기지 않는 것이다. 이번과 같은 急激한 溫度變化와 乾濕變化를 惹起하는 海水에 依한 乾濕作用에 對하여는 타일 B에 屬하는 시멘트가 매우 적합하다.

타일 C는 高爐시멘트 C種, 耐硫酸鹽 슬래그 시멘트로 代表되는 것이고, 表面은 아주 健全한 것 같지만, 잔금이 進行하여 破壞하는 타일이다. Na_2SO_4 溶液에 高爐시멘트 C種을 長期間 浸漬하면 부록狀에 破壞하는 것 같은 경우도 있지만³⁾ 이번의 實驗으로는, 溫度變化를 야기하는 苛酷한 乾燥·濕潤作用에 의하여 잔금을 發生한 海水의 侵入을 수반하여, 乾燥時에 海水成分의 結晶生成에 의한 膨張壓에 의하여 잔금의 成長이 促進된 것이라고 생각된다.

4. 맺 음

各種시멘트에 대하여, 標準砂를 사용한 몰탈에 의하여, 急激한 溫度變化와 乾濕變化를 수반하는 海水에 의한 乾濕促進試驗을 하였다. 그 結果 本試驗의 範圍에서 다음과 같이 말할 수 있다.

(1) 乾燥時의 溫度가 $60^{\circ}C$ 程度를 넘으면 劣化가 빨라진다.

(2) 海水濃度의 大小에 의한 劣化程度는 1倍濃度(天然海水의 濃度와 거의 같은 濃度)보다 2倍濃度가 劣化가 빠르다. 清水에 의한 劣化는 극히 느리지만 急激한 溫度變化와 水中浸漬의 反復때문에 잔금이 생긴다는 것을 알 수 있었다.

(3) 普通포르랜드시멘트를 비롯하여 一般的으로 水시멘트비가 작은편이 劣化는 느리지만 高爐시멘트 C種은 水시멘트비가 50~70%로 變해도, 破壞한 사이클數는 120~140 사이클이며 大差는 없었다.

(4) 시멘트의 種類에 따라 劣化狀態 및 劣化程度는 3 타입으로 分類할 수 있다. (表-5) 參照. 即, 타입 A는 表面에서의 侵食되는 것, 타입 B는 表面에서의 侵食잔금의 어느 것도 잘 안 생기는 것, 타입 C는 表面에서의 侵食은 없으나, 잔금에 의하여 破壞하는 것이다. 本試驗에 對하여는, 高爐시멘트 A種, 超早強포르랜드 시멘트는 타입 B에 屬하고, 抵抗性이 컸었다.

今般의 結果는 標準砂를 사용한 몰탈에 대하여 한 것이고, 또한 供試物體의 乾燥는 濕潤供試物體에 對하여 $60^{\circ}C$ 或은 $80^{\circ}C$ 의 高溫의 바람을 槽內에 불어넣어서 했고, 浸水試驗으로 옮길 때는 供試物體의 溫度가 높은 그대로 즉시 $30^{\circ}C$ 의 人工海水 속에 浸漬하도록, 극히 苛酷한 乾濕反復試驗에 의하여 얻어진 것이다. 이 結果 混合材의 混合比率가 많은 高爐시멘트 C種등은, 表面은 아무런 侵食이 없으나 잔금이 發生하여 崩壞한 것이고, 이것으로서 自然海洋環境下에 있어서 高爐시멘트 C種이 이와같은 劣化를 일으키는 것인지 아닌지는 判斷할 수 없다. 앞으로는 콘크리트에 의한 試驗을 進行해 보고 싶다.

[文 獻]

- 1) 近藤外 5 名, 시멘트技術年報 X X VIII 昭49, pp. 131~135.
- 2) 小林, 시멘트技術年報 X VIII 昭39, pp. 141~147.
- 3) 小林, 岡林, 片岡 시멘트技術年報 X X VIII 昭49, pp. 116~120.
- 4) 小林, 岡林 시멘트 技術年報 X X X I 昭 52, pp. 75~78.
- 5) 須藤, 秋葉 硫酸工業 昭51年 6 月號 pp.

庶政刷新에 關한 大統領閣下말씀

- 가. 國民生活이 向上될수록 國民들의 期待水準은 이에 比例하여 急激히 上昇할 것이나 우리는 스스로 이를 調節할 줄 알아야 하고 우리 마음속에 싹트기 쉬운 自慢과 安逸과 奢侈와 浪費等 우리 内部의 挑戰에도 果敢하게 싸워서 이길 수 있는 슬기와 勇氣가 있어야 하겠다.
- 나. 傳來의 美風인 勤勉, 協同을 바탕으로 부지런하고 誠實하게 사는 사람이 優待를 받고 보람을 누릴 수 있게 하며, 저마다 資質과 能力을 살릴 수 있도록 해 나갈 것이다.
- 다. 格調높은 民族文化를 꽃피우고 豊富하고 品位있는 福祉社會를 建設하기 爲하여 基本이 되는 것은 健全한 國民精神과 社會紀綱의 確立인 것이다.

(78. 12. 27. 第 9 代 大統領就任辭에서)