

技術論叢

포조란시멘트에對한考察

大韓洋灰開慶工場  
實驗課長 文 定 淵

< 內 容 >

- 一、머릿말
- 二、포조란의 特性
- 三、포조란의 種類
- 四、포조란의 評價法
- 五、試驗結果
- 六、試驗結果에 對한 考察
- 七、포조란시멘트의 長短點
- 八、포조란시멘트의 使用法 및 使  
用上 注意事項
- 九、맺 음 말

一、머릿말

포조란시멘트는 先進國에선 오래前부터 建設業界에서 常用하여 莫  
 重한 比重을 차지하여 왔고 그의 效果가 크다는 것은 여러 文獻  
 에도 明示되어 있지만 韓國에선 아직도 여기 對해서 큰 關心事가  
 되지 못하였고 國內 一部 研究所에서 포조란시멘트에 關한 試驗을  
 하고 있는 것으로 알고 있다. 大韓洋灰 開慶工場에선 識者들의  
 要求에 副應해서 數年前에 포조란시멘트에 對한 研究試驗을 行하여  
 1963年度에 國內 最初로 市場에 処女出荷하여 斯界에 여러 角度  
 로 旋風을 일으켰고 一部 施工業者들의 沒理解로 多少의 物議도  
 없지 않았으나 "春川땀" "蟾津江땀"을 爲始해서 여러 大小工事  
 에 使用하여 時間이 흐른 지금 포조란시멘트의 優秀性을 認定받게  
 됨에 이에 포조란시멘트에 對한 考察을 하여 檢討해 보고자 한다.

포조란시멘트는 실리카시멘트 (Silica Cement)라고도 불리우는  
 一種의 混合시멘트로서 一般포틀랜드시멘트用 크렁카에다 可溶性 실

리카(Silica)質 混合材인 포조란(Pozzolan)과 石膏를 適量 加하여 微粉碎시켜 얻은 시멘트를 말하며 이 포조란시멘트의 製造 目的은 이들 混合材의 種類와 配合方法에 따라 多少의 差異는 있 겠으나 一般的으로 시멘트의 耐久性, 後期強度, 化學的抵抗性, 水密性, 耐水性 등을 增加시켜 포틀랜드시멘트의 性質을 顯著하게 改善시켜 포틀랜드시멘트의 短点を 補完시키는데 있으며 또한 高價인 크링카 와 多量 置換케 되는 混合材(포조란)가 廉價이므로 生産코스트를 節約하고 生産量을 增加시켜 經濟的이라는데 그 目的이 크다고 보 겠다.

## 二、포조란(Pozzolan)의 特性

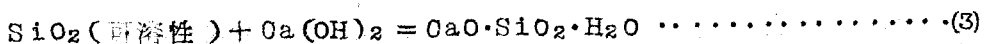
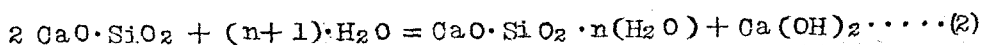
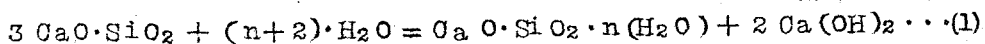
포조란이란 自体는 硬化하는 性質이 없으나 물의 存在下에 常溫 에서  $Ca(OH)_2$  와 쉽게 化合하여 不溶性 硬化性이 있는 化合物을 生成케 하는 成分(主로  $SiO_2$ )을 多量 含有하는 可溶실리카質 混合材를 말하며 그의 代表的인 特性은 다음과 같다.

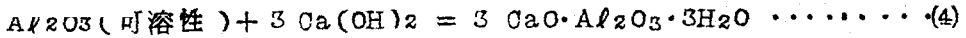
### 1) 化學的作用(포조란 反應)

포틀랜드시멘트의 短点的 하나는 水和에 依해서  $Ca(OH)_2$  가 많이 생겨 이것이 溶出할 때 틈(空隙)이 생기게 되고 또 이것 이 他鹽類와 反應하여 化合物을 만들게 되는 것이다.

포조란은 上記의  $Ca(OH)_2$  를 消化시켜 大端히 安定한 水硬性物 質인 珪酸鹽化合物을 만들게 되므로 化學的抵抗性을 相當히 높혀 주게 되는 것이다.

이 포조란 反應狀態를 化學方程式으로 表示하면 다음과 같다.





上記 化学式에서 (1)(2) 式은 시멘트의 重要 水硬 鈹物인 3 CaO·SiO<sub>2</sub>, 2 CaO·SiO<sub>2</sub> 가 水和에 依해서 遊離石灰를 溶出시키는 過程이며 (3)(4) 式은 溶出되는 遊離石灰와 可溶性 SiO<sub>2</sub> 와 可溶性 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 가 結合에 依해서 시멘트 鈹物水和物로 結合되는 過程이다.

2) 機械的作用 (몰탈空隙充塡作用)

포조란은 比重이 約 2.4 g/cm<sup>3</sup> 内外로서 (大韓洋灰用 포조란은 比重이 平均 2.2 g/cm<sup>3</sup>) 一般 포틀랜드시멘트보다 相當히 가 벼운데다가 微細한 포조란의 微粒子가 몰탈 콘크리트의 틈을 빈틈 없이 充塡시켜 緻密하게 되므로 空隔充塡効果는 顯著하며 따라서 水密性을 向上시켜 주는 것이다.

三、포조란의 種類

포조란시멘트의 混合材인 포조란은 便宜上 다음과 같이 天然混合材와 人工的으로 加工한 人工混合材로 分類한다.

1) 天然混合材

天然混合材는 大体로 天然石 및 그의 風化物로서 重要的 것은 다음과 같다.

① 珪酸質白土

火山岩의 風化에 依해서 生成된 것으로서 主로 珪酸鈹物을 主成分으로 하고 少量의 粘土鈹物이 含有되어 있다.

② 셰일 (Shale)

水成岩의 一種으로서 粘土가 不完全하게 傭킨 層狀으로 되어 있다.

③ 凝灰岩 (Tuff)

火山爆發에 依해서 噴出된 火山灰가 地上 또는 水中에 堆積

하여 생긴 岩石이다.

④ 火山灰

火山의 爆發에 依해서 排出된 噴出岩의 一種으로서 可溶性珪酸을 多量 含有하고 있다.

⑤ 珪藻土

二酸化珪素水化物인 軟質의 岩石 또는 土塊로서 珪藻類의 遺骸가 堆積된 것이다.

2) 人工混合材

人工混合材는 一般的으로 工業副産物 또는 天然原料를 煨燒한 것으로서 重要한 것은 다음과 같다.

① 플라이 애쉬 (Fly Ash)

火力發電所에서 微粉炭, 燃燒時 생기는 石炭灰이다.

② 粘土, 웨일의 煨燒物

#### 四、포조란의 評價法

優秀한 포조란을 選擇해야만 混合시멘트의 效果를 充分히 發揮할 수 있다는 것은 周知의 事實이나 이 포조란의 優劣을 評價하는데는 여러가지 方法이 利用되고 있으며 예를 들면 알카리 減少度 試驗法, 트리브롬페놀 (Tribrom phenol) 法, 石灰吸收能 試驗法, 可溶成分分析法, 石灰吸着試驗法, 알카리 處理法, 불탈強度 試驗法等이 있다. 위의 試驗法은 모두 一長一短이 있으며 이들 試驗은 混合材 單獨으로서의 試驗, 混合材-石灰의 反應物로서의 試驗 및 混合材-시멘트의 水和物로서의 試驗으로 三大別로 分類할 수 있고 分類別로 列記하면 다음과 같다.

1) 混合材 單獨으로서의 試驗

① 化學成分分析

- ② 顯微鏡, X線 觀察
  - ③ 石灰吸取能 試驗
  - ④ 可溶成分 分析
- 2) 混合材-石灰의 反應物로서의 試驗
- ① 몰탈強度試驗 (포조란強度試驗)
  - ② 未化合石灰의 定量
  - ③ 酸不溶殘分の 定量
- 3) 混合材-시멘트의 水和物로서의 試驗
- ① 몰탈強度 試驗
  - ② 遊離石灰 또는 不溶殘分の 定量
  - ③ 알카리 骨材反應 試驗
  - ④ 耐硫酸鹽 試驗

上記에서 記述한 바와 같이 포조란의 優劣을 判定하는 方法이 多様多色하나 가장 效果的이고 簡便한 方法을 揀해야 될 것이고 大韓洋灰 開慶工場에서의 오랜 研究試驗에 依하면 可溶成分 分析和 포조란強度 (Pozzolanic Activity)의 두가지만 하여도 滿足할만한 結果를 얻을 수 있으며 實際 이 可溶成分 含量과 포조란強度가 시멘트의 強度에 거의 比例하게 되는 것이다.

可溶成分 分析에 있어서는 "Nagais Method" 와 "R.Feret's Method" 등 여러가지 있으나 그동안의 実績에 依하면 "Nagai's Method"가 가장 信賴할 수 있는 것으로 보며 本欄의 試驗法도 이를 揀하였고 포조란 強度試驗은 KS L 5401 (포틀랜드 포조란 시멘트)의 7.2項 포조란強度 試驗方法에 準하였다.

### 五、試驗結果

為先 東海岸 一帶에서 産出되는 8種의 天然 포조란을 所期의 粉末度가 되도록 實驗用 볼밀에서 粉末하여 포조란의 試料로 使用 하고 이들 8個의 試料를 시멘트 밀 (Cement Mill)에서 나온 포틀랜드시멘트에 20% 및 30%의 두가지로 混合하여 모두 16種의 포조란시멘트 試料를 만들어 KS L 5401의 試驗方法에 따라 各種 試驗을 行하였다.

#### 1) 포조란의 試驗結果

Sample No	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	Ig. loss	Sum	可溶成分		포조란強度 Kg/cm <sup>2</sup>
	%	%	%	%	%	%	%	SiO <sub>2</sub> %	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> %	
A	80.10	18.40	2.65	2.08	1.81	4.60	104.14	33.74	5.90	87
B	73.45	14.90	1.94	2.20	0.74	8.20	101.39	15.24	4.79	34
C	77.55	9.51	0.99	2.30	1.01	8.50	99.86	61.92	4.43	161
D	73.90	20.04	0.66	0.55	1.58	4.10	100.83	23.90	2.68	18
E	85.68	8.37	1.43	Trace	0.41	3.55	99.44	68.84	4.36	112
F	81.65	7.91	1.04	1.45	0.51	10.10	102.66	80.18	1.87	143
G	70.30	18.38	0.40	1.36	2.51	7.20	100.15	45.86	8.28	34
H	62.25	18.43	0.72	1.90	3.40	9.20	95.90	47.04	10.64	56

2) 포조란시멘트의 試驗結果

① 20% 포조란 使用試料의 試驗結果

Sample No	粉 末 度 (%)		安定度 (%)	凝 結 時 間 初結(分) 終結(時間)	量 量 (%)	乾 燥 收 縮 度 (%)	引 張 強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )			壓 縮 強 度 (kg/cm <sup>2</sup> )			
	+149#	+44#					3 日	7 日	28 日	3 日	7 日	28 日	
K S	1.0 以下	12.0 以下	0.5 以下	60 以後	10 以內	64 以下	0.15 以下	-	-	-	-	105 以上	210 以上
밀시멘트	0.2	21.2	0.40	67	2:18	49.6	-	23.9	26.7	28.6	200	252	318
A	0.1	19.2	-0.01	85	2:30	57.0	0.13	23.1	24.8	27.5	162	216	272
B	0.0	19.2	0.13	80	2:25	51.0	0.10	22.2	24.3	29.2	182	246	316
C	0.0	19.2	0.07	80	2:32	62.0	0.14	16.0	23.7	32.4	118	196	390
D	0.1	11.5	0.07	95	3:10	52.0	0.11	19.7	23.4	25.7	154	214	288
E	0.0	13.4	0.15	95	2:35	61.0	0.14	15.7	20.8	28.9	130	180	332
F	0.0	9.6	0.00	80	3:00	60.0	0.14	17.6	25.9	36.1	146	228	364
G	0.1	12.5	0.12	70	2:40	57.0	0.18	15.1	22.4	32.8	124	192	286
H	0.0	10.6	0.06	75	2:50	53.0	0.15	18.9	27.9	33.5	140	230	334

② 50% 프초란 使用飼料의 試驗結果

Sample No	粉末度 (%)		安定度 (%)	凝結時間 (時間)		乾燥收縮率 (%)	引張強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			壓縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )			
	+149μ	+44μ		初結分	終結分		3日	7日	28日	3日	7日	28日	
K S	1.0以下	12.0以下	0.5以下	60以下	10以內	64以下	0.15以下	-	-	-	-	105以上	210以上
발시멘트	0.2	21.2	0.40	67	2:18	49.6	-	23.9	26.7	28.6	200	252	318
A	0.0	8.6	-0.03	80	2:27	59.0	0.15	19.4	22.6	24.1	136	188	232
B	0.0	9.6	0.11	95	2:35	53.0	0.12	18.7	23.1	28.1	144	194	246
C	0.1	10.6	-0.06	86	2:38	64.0	0.18	13.5	18.7	31.9	82	152	340
D	0.0	7.7	-0.03	160	3:35	55.0	0.14	14.8	19.7	22.4	102	112	218
E	0.1	8.6	0.05	90	2:30	63.0	0.18	13.9	19.2	29.7	76	138	278
F	0.0	9.6	0.01	85	3:05	62.0	0.17	16.4	23.0	37.3	76	178	322
G	0.0	9.6	-0.01	75	2:50	63.0	0.36	13.7	20.8	33.8	68	140	196
H	0.1	9.6	-0.02	80	3:00	56.0	0.30	17.8	25.2	34.2	108	192	282



## 六、試驗結果에 對한 考察

5項에서 表示한 試驗結果에 對하여 具體적으로 考察하면 다음과 같다.

### 1) 粉末度

粉末度에 對한 結果中 포조란을 20% 混合한 試料의 44% 殘渣가 規格에 未達이나 이것은 元來 밀에서 나온 시멘트가 포조란시멘트用으로 製造한 것이 아니므로 實地 포조란시멘트 製造時에 는 自由自在로 調節할 수 있으므로 別 問題가 되지 않는다.

### 2) 安定度

밀시멘트(Mill Cement)는 오오토클레이브 試驗에서 0.40% 가 나왔는데 포조란을 20% 混合한 시멘트는 거의 零에 가깝고 포조란을 30% 混合한 시멘트는 오히려 取縮하는 傾向이 있으나 그 率도 거의 零에 接近하므로 安定度에는 極히 좋은 成果를 나타낸다고 볼 수 있다.

### 3) 凝結時間

凝結時間은 밀시멘트보다 若干 늦어지는 傾向이 있으므로 오히려 石膏 混入量을 줄일 수 있다.

### 4) 引張強度 및 壓縮強度

시멘트 品質中에서 가장 重要한 役割을 하고 있는 이들 強度에 있어서는 포조란을 20% 混合한 試料가 30% 混合한 試料보다 훨씬 높은 數値를 나타내고 있으며 두가지 다 3日 強度는 밀시멘트보다 낮은 數値를 나타내나 28日 強度에 있어서는 거의 같은 數値이거나 오히려 凌駕하는 것도 있다.

實地 포조란시멘트 製造時 밀에서 直接 클링카와 포조란을 同時에 混合粉末한다면 混水量이 줄어 強度는 5項의 結果보다 많이

向上될 수 있다. 여기서 포조란의 可溶性  $SiO_2$  분과 壓縮強度 28日 數値를 比較해 보면 거의 比例的인 數値를 나타내고 있음을 알 수 있으며 可溶性  $SiO_2$  분이 많은 混合材를 使用한 試料는 3日 強度에 있어서는 他試料보다 낮으나 날이 經過될수록 急進的으로 上昇하여 28日 強度에서는 極히 優秀한 成績을 나타내고 있다. 포조란을 30% 混合한 試料는 強度에 있어 規格值 以上은 無難히 突破하고 있으며 20% 포조란시멘트로서는 品質이 極히 優秀한 製品임을 証明해 주고 있다.

#### 5) 물 量

이 물량은 시멘트 몰탈을 만들때 所要되는 混合水의 量으로서 밀시멘트보다 相當히 많은 量을 나타내고 있다. 이것은 포조란이 吸收性이 큰데다가 밀시멘트를 粉末된 포조란과 實驗室에서 混合하였기 때문에 물 量이 더욱 많아졌으며 實地 포조란시멘트 製造時 클링카와 포조란을 함께 밀에 넣어 粉末하면 이보다 2~3%는 줄게 되는 것이다.

포조란시멘트의 물 量이 많다는 것은 이 시멘트의 큰 短点의 하나이지만 시멘트 使用時 指定水量을 잘 지키면 別 支障은 없다.

#### 6) 乾燥收縮度

포조란의 混入量이 많을수록 乾燥收縮度의 値도 커지는데 實地 시멘트 使用時 養生을 徹底히 하면 이의 欠点은 解消시킬 수 있으므로 큰 問題가 안될 것이다.

### 7. 포조란시멘트의 長短点

以上の 試驗結果에서 나타난 바와 같이 포조란 自体로서는 시멘트의 性能을 나타내지 않으나 一般 포틀랜드 시멘트用 클링카에 混入하여 混合粉末 하므로서 普通 포틀랜드 시멘트가 가지는 여러가

지 欠員을 補正하고 各種 特性을 나타내기도 하지만 反面 短点도 隨伴하게 된다. 이들 포조란시멘트의 長短点을 試驗結果 또는 文獻上에서 간추려 본다면 다음과 같다.

1) 長 点

- ① 後期強度가 顯著히 높다.
- ② 水密性和 耐久性이 높다.
- ③ 化學抵抗性이 크다.
- ④ 水和熱이 적다.
- ⑤ 알칼리 骨材反應에 의한 膨脹을 防止한다.
- ⑥ 施工性 (Workability) 이 좋다.
- ⑦ 高熱에 對한 抵抗性이 크다.
- ⑧ 經濟的이다.

2) 短 点

- ① 初期強度가 낮다.
- ② 乾燥收縮度가 多少 크다.
- ③ 市場性이 적다. (널리 宣傳이 안되었기 때문이다)

8. 포조란시멘트의 使用處 및 使用上 注意事項

1) 포조란시멘트의 使用處 (用途)

- ① 一般建築, 土木工事
- ② 댐 (Dam) 工事
- ③ 海水工事 (防波堤 其他)
- ④ 河川工事
- ⑤ 工場 및 鉸山等의 排水工事
- ⑥ 터널 (Tunnel) 工事
- ⑦ 其他 大小 水利工事

2) 使用上의 注意事項

이 포조란시멘트의 欠点을 補完하기 爲해서는 다음과 같은

施工에 있어 注意事項을 들 수 있다.

- ① 使用水量이 많아지는 傾向이 있으므로 슬럼프(Slump)試驗에 依한 물-시멘트比를 嚴守해야 한다.
- ② 포조란시멘트는 比重이 가벼움으로 콘크리트 配合時 重量配合를 해야 한다.
- ③ 初期強度가 比較的 낮음으로 木型 除去時 注意해야 한다.
- ④ 收縮龜裂을 防止하기 爲해 養生을 充分히 해야한다.

### 9. 멧음달

多幸히도 韓國에는 優秀한 포조란시멘트의 原料인 可溶性 실리카 質混合材가 無尽藏으로 産出되고 있으며 現今 國內 시멘트 實情이 供給이 需要에 미치지 못하고 있는 現實임으로 品質管理를 徹底히 하여 製造한 포조란시멘트를 그 特性에 맞는 工事に 使用하게 되면 시멘트難의 解決面에서도 보탬이 될 것이고 施工物에 對해서도 제대로의 特性을 살려 相當히 有益하리라 믿는다.

단지 아직껏 需要者側에서 포조란시멘트에 對한 認識이 不足하고 施工上 多少 까다로워 市場性이 큰 問題가 되겠으나 世界的인 推移로 보아 이러한 難關도 時間問題인 것으로 보며 끊임없는 宣傳과 啓蒙 또한 必要하다 보겠다.