

# 膨脹 시멘트에 대한 考察

全 宗 協

〈太原物産(株)蔚山工場生産課長〉

## I. 序 言

膨脹 시멘트는 물과 反應하여 硬化의 過程에서 膨脹하는 性質을 가지고 있는 시멘트로서 에트링자이트(ettringite  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$ )를 生成하여 膨脹하는 것과 수산화칼슘( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ )의 結晶에 의하여 膨脹하는 것이 있다. 現在는 膨脹成分을 單獨으로 燒成·粉砕한 膨脹性混合材로서 使用時 適量의 시멘트에 混合한 것, 工場에서 膨脹成分과 시멘트를 混合한 것 또는 燒成過程에서 膨脹成分을 含有한 膨脹 시멘트 크링카를 燒成·粉砕한 膨脹 시멘트 등이 있다. 膨脹 시멘트는 주로 물탈, 콘크리트로 使用되지만 鐵筋, 형틀, 교량 등의 拘束副材가 存在하면 콘크리트는 이의 膨脹力에 해당하는 壓縮力을 받아 pressconcrete와 같은 原理에 의하여 콘크리트가 緻密化되므로 強度性狀이 改善된다.

拘束이 적어지는 경우에는 콘크리트 自體도 膨脹하며 鐵筋 콘크리트에서는 鐵筋의 伸性으로 콘크리트에 壓縮應力이 發生하여 prestress가 導入됨으로써 이 膨脹力이 적은 경우 콘크리트의 건조·수축에 의한 引張應力을 補償하여 균열 방지의 효과가 있다. 또 膨脹力이 큰 경우에는 prestress의 原理로 引張強度가 改善된다. 균열 방지의 必要로서 比較的 膨脹力이 적은 膨脹 시멘트는 收縮補償 시멘트(shrinkage compensating cement)라 한다. 또 膨脹에 의하여 導入되는 prestress는 chemical prestress 혹은 selfstress라 칭하며 이의 目的에 使用되는 膨脹力이 큰 膨脹 시멘트는 selfstressing cement 또 膨脹力이 콘크리트의 組織을 緻密化시키는 것을

chemical press라 칭한다. 膨脹 시멘트의 膨脹因子로 생각되는 것은 많은 중에서도 實用化된 것은 ettringite系와 石灰系이다. ettringite의 研究는 1890년 Condlot에 의하여 行하여졌고 1892년 Michaelis가 黃酸鹽에 의한 콘크리트의 崩壞原因이 ettringite라는 것을 지적함으로써 이것을 生成하는 物質을 合成하여 膨脹 크링카 製造試驗이 H. Lossier에 의하여 시작되어 H. Lafuma가 이의 연구를 인정받았다. Klein은 石灰, 石膏와 bauxite의 混合物을  $1,300^\circ\text{C}$ 로 燒成하여 無水 calcium sulfoaluminate系 膨脹 크링카를 製造하여 今日的 膨脹 시멘트의 基礎를 만들었으며 美國의 實用化로 現在에 이르렀다. 日本에서도 1954年 田中, 渡邊은 膨脹의 有效成分과 이의 燒成方法의 研究를 行하였고, 近藤, 福田은 無水 calcium sulfoaluminate의 組成을 決定하는데 공헌하였다.

1968년 電氣化學工業社(日)는 calcium sulfoaluminate系 膨脹材를 製造 發賣하여 膨脹性混合材 混合 콘크리트의 發展에 기여하였다. 또 포틀랜드 시멘트의 알루미늄酸三石灰의 含有量을 많게 하고 여기에 石膏를 混合하여 膨脹 시멘트로 개발하였다. 소련에서는 알루미늄나 시멘트 또는 칼슘 알루미늄네이트 그렇치 않으면 이의 水和物과 石膏로부터 膨脹性混合材가 개발되었다. 또 한편 石灰의 膨脹利用에 관하여는 이의 水和速度가 빠르므로 有效한 膨脹成分의 開發이 지연되어 1971年 小野田社(日)가 世界最初의 石灰系 膨脹性混合材의 商品化에 成功하였다. 시멘트 물탈, 콘크리트 構造物의 균열 방지 및 引張強度의 改善에는 膨脹 시멘트가 가장 有效한 것으로 되어 있으므로 장래의 콘크리트의 多用化에는 이런 type의 시멘트가 急増할 것이 豫想된다.

<表-1>

膨脹 시멘트의 種類

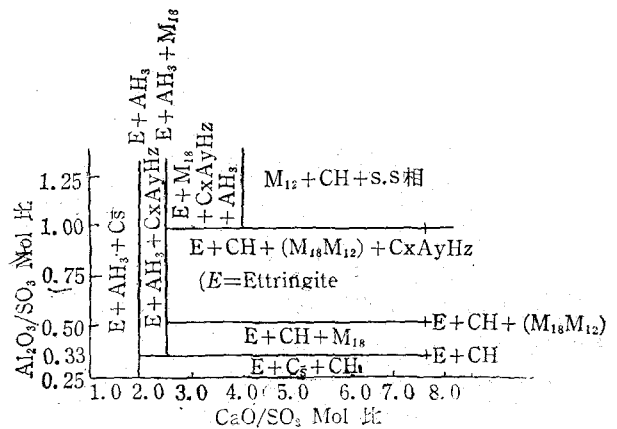
種類	成 分	使用方法	販賣形態	製 造 國 및 Maker
K	calcium sulfoaluminate ( $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4$ ) • CaO • $CaSO_4$	portland cement 에 混入 5~15%	① 膨脹 시멘트  ② 膨脹材	美國 5社 : Medusa Portland Cement CO., Penn Dixie Cement Corp., Kaiser Cement & Gypsum Corp., Southwestern Portland Cement Co., Texas Industries Inc.,  日本 2社 : 電氣化學工業社 日本 Cement 社
S	portland cement 中の $3CaO \cdot Al_2O_3$ 와 $CaSO_4$ 를  많게  함	이것을 直 接 使用	膨脹 시멘트	美國 2社 : General Portland Cement CO., Ideal Cement CO.,
M	alumina cement 또는 calcium aluminate (水和物) $CaSO_4$	portland cement 에 混入 5~15%	膨脹材	美國 : Universal Atlas Cement 소련 : 프랑스 : Ciments Lafarge
O	CaO	portland cement 에 混入 8~10%	膨脹材	일본 : 小野田 Cement 社

## II. 種類와 製造法

現在 美國에서는 膨脹 시멘트로 販賣가 되고 있고 日本에서는 膨脹性混合材로 販賣되어 使用時에 適量을 시멘트에 混合 使用하고 있다. 膨脹 시멘트는 <表-1>과 같이 K.S.M.O의 4種의 type 이 있다.

### II-1. K 型

良質의 白 bauxite, 石膏와 石灰石을 原料로 하여  $1,200^{\circ}C$  前後에서 燒成한 크링카를 粉碎한다. 단독으로는 膨脹性混合材로 하고 10% 程度 시멘트에 混合하여 膨脹 시멘트로서 使用한다. 이의 K 型膨脹性混合材의 主成分은 calcium sulfoaluminate ( $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4$ )이고 各膨脹性混合材의 명칭에 따른 이의 原料調合比 ( $CaO, Al_2O_3, CaSO_4$ 의 含量)는 각각 <그림-1>과 같다.



- E:  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 3CaSO_4 \cdot 32H_2O$  (ettringite)
- CH:  $Ca(OH)_2$
- Cs:  $CaSO_4$
- AH<sub>3</sub>:  $Al_2O_3 \cdot 3H_2O$
- CxAyHz:  $xCaO \cdot yAl_2O_3 \cdot zH_2O$  (calcium aluminate 水和物)
- M<sub>12</sub>:  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$
- M<sub>18</sub>:  $3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 18H_2O$
- SS相:  $4CaO \cdot Al_2O_3 \cdot 13H_2O - 3CaO \cdot Al_2O_3 \cdot CaSO_4 \cdot 12H_2O$  solid solution

<그림-1>  $3CaO \cdot 3Al_2O_3 \cdot CaSO_4 - CaSO_4 - CaO$  系의 水和生成物의 狀態圖

## II-2. S型

포틀랜드 시멘트중의  $3\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ 의 함량을 많이 調査하기 위하여 石灰石, 粘土類의 混合物를 燒成한 크링카에 石膏를 添加하여 粉碎한다.

## II-3. M型

alumina cement와 石膏를 混合하여 膨脹性 混合材를 만들어 시멘트에 混合 사용하거나 이것을 포틀랜드 시멘트 크링카와 同時 粉碎하여 膨脹 시멘트를 만든다. 이런 種類의 膨脹 시멘트는 주로 소련에서 實用化되어 있는데 詳細한 것은 不明한 點이 많다.

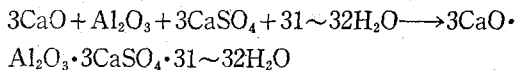
## II-4. O型(石灰系)

石灰石, 粘土類 또는 石膏를 原料로  $1,500^\circ\text{C}$ 以上에서 燒成한 크링카를 粉碎 製造한 것이다. 原料中の  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{SiO}_2$ 를 完全히  $\text{CaO}$ 와 反應시키고 다시  $\text{CaO}$  結晶이 남도록 原料는 配合이 되며, bauxite를 필요로 하지 않고 K型에 비해 燒成管理가 容易하여 製造上 利點이 많다.

## III. 化學的 性質

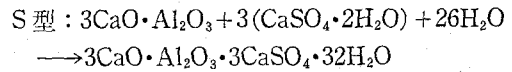
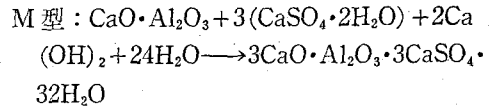
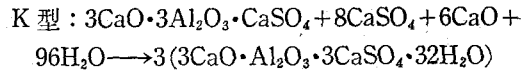
<表-2>는 膨脹性 混合材의 化學成分, 粉末度 및 比重을 表示하였다.

<그림-2>에서 K型膨脹 시멘트 혹은 膨脹性 混合材는  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaO}$ ,  $\text{CaSO}_4$ 가 主成分이고 石灰系 膨脹性混合材는  $\text{CaO}$ 가 主成分으로 되어 있다. ettringite를 構成하는 成分은  $\text{CaO}$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ,  $\text{CaSO}_4$  및  $\text{H}_2\text{O}$ 이다. 이것을 간단한 式으로 表示하면 다음과 같다.

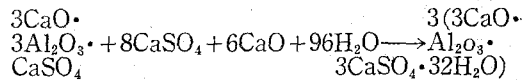


K.S.M型에 있어서의 ettringite의 生成反應을

表示하면 다음과 같다.



一般的으로 K型膨脹性混合材에 있어서 水和時의 容積變化를 計算하면 11%의 容積減少를 한다.

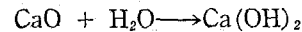


分子量	594	960	336	1.728	3.672
密度	2.60	2.96	3.32	1	1.73
分子量	229	324	101	1.728	2.123

水和에서의 容積增加率

$$= \frac{2123 - (229 + 324 + 101 + 1728)}{(229 + 324 + 101 + 1728)} = -11\% (\text{收縮})$$

그렇지만 실제로 있어서는 容積增加가 생기고 結果的으로는 膨脹을 發生시키는데 이에 대한 것은 充分한 解明이 되지 않고 있다. 近藤, 中山 등은 ettringite의 生成量과 膨脹量과의 사이에는 相關性이 認定되지 않고 ettringite의 生成이 終了된 後에도 여전히 膨脹은 계속된다. 어쨌든 膨脹은 生成된 ettringite의 結晶이 크게 길어지는 過程에서 膨脹되는 것으로 생각되고 있다. 한편 O型(石灰系) 膨脹性混合材의 水和反應은 ettringite의 경우와 같이 理論化學量에서 약 5%의 容積減少가 되고 現象的으로는 膨脹되는 것으로 종래부터 인정되고 있다.



分子量	56	18	74
密度	3.32	1	2.23
分子容	16.8	18	33.2

<表-2>

膨脹性混合材의 化學成分(美國, 日本)

type	商 品 名	比重	粉 末 度		化 學 成 分 (%)								
			88 $\mu\text{R}$ (%)	Blain值 (cm <sup>2</sup> /g)	Ig loss	insol	SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>	計
K	Chem. Comp(USA)		0.4	3960	0.8	0.5	20.3	5.4	2.7	63.1	1.2	4.3	98.3
K	덴enca CSA	3.01	34.9	2070	0.9	1.4	1.4	13.1	0.6	47.8	0.5	32.2	97.9
K	アサノジブカル	3.05	34.1	2250	0.4	0.3	1.6	7.3	0.4	57.6	0.4	29.7	99.7
O	小野田エクスパン	3.20	14.0	2500	0.4	—	13.1	2.9	2.0	76.9	1.1	3.0	99.4

$$\begin{aligned} \text{水和에 의한 容積變化} &= \frac{33.2 - (16.8 + 18)}{(16.8 + 18)} \times 100 \\ &= -4.6\% (\text{收縮}) \end{aligned}$$

CaO의 水和膨脹에 관하여 R.H Bogue에 의하면 시멘트中の 遊離石灰의 膨脹은 液相에 溶解되어 結晶된 水酸化칼슘에 의한 것이 아니고 固相反應으로부터 生成된 水酸化칼슘에 의한 것이라 하였다. 한편 E.H Lie는 組織內에 空隙을 남긴 상태로 水酸化칼슘이 異方性結晶으로서 生成될 때에 膨脹을 일으킨다고 했다.

다음으로 水酸化칼슘의 結晶의 크기와 形態는 水和條件에 따라 틀리고 J.E Gillot에 따르면 水中에서 水和된 水酸化칼슘은 水蒸氣中에서 水和된 것보다 結晶이 크고 後者는 無定形이 存在하는 것으로 알려져 있으며 한편 Chatterji에 의하면 沸騰水中에서 生成된 水酸化칼슘結晶은 針狀이라고 알려져 있다.

石灰系 膨脹性混合材의 水和, 膨脹機構에 관해서는 아직 充分한 解明이 없으나 이상에서 말한 CaO의 水和性狀에 近似하다고 생각된다. O型(石灰系) 膨脹性混合材는 CaO의 水和速度를 調節하기 때문에 ① 高溫燒成으로 인한 CaO 結晶의 粗大化, CaO 結晶을 他의 結晶中에 內包시켜 水和性物質에 의한 CaO 結晶의 被覆 ② 粉末度에 의하여 調整되고 있다. 또한 O型(石灰系) 膨脹材의 水和生成物은 表面에 calcium silicate의 水和物이 附着되어 있는 것으로 알려지고 있으며 石灰의 水和가 이의 表面에 덮여 calcium silicate 때문에 늦어지는 것이 알려졌다.

K型膨脹性混合材와 O型(石灰系) 膨脹性混合材 自體의 強度를 普通 포틀랜드 시멘트와 對比한 것은 <表-3>과 같다.

<表-3> 膨脹性混合材 Paste의 壓縮強度

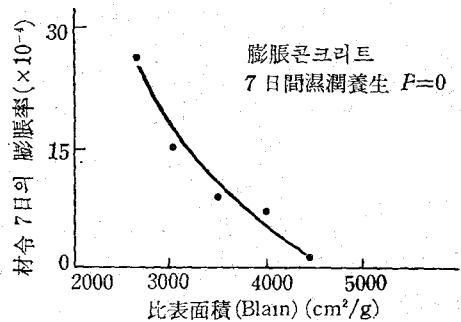
시멘트 또는 膨脹性 混合材	W/C 또는 W/膨脹性 混合材 (%)	壓縮強度 (kg/cm <sup>2</sup> )
普通 포틀랜드 시멘트	35.0	340
O型(石灰系) 膨脹性 混合材	"	440
K型膨脹性 混合材	"	140~20

養生: 成形 24hr 後 65°C 3hr 蒸氣養生

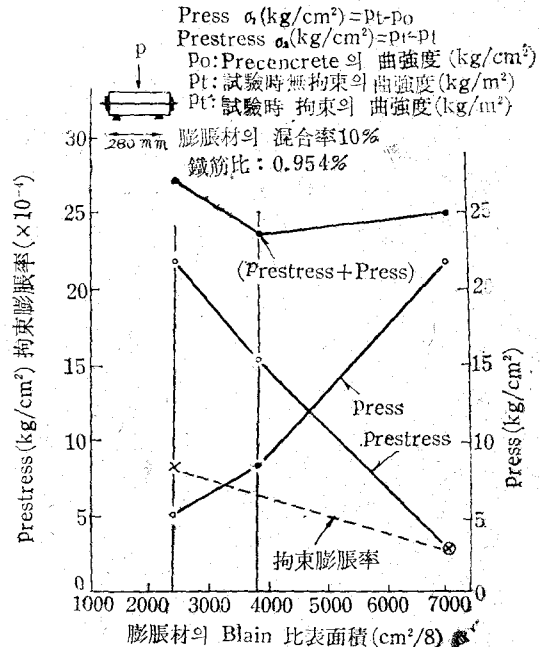
## IV. 物理的 諸性質

### IV-1. 膨脹 시멘트의 一般性質

美國의 膨脹 시멘트의 一例로서 Kaiser Cement & Gypsum Corp.의 K型膨脹 시멘트와 日本의 膨脹混合材의 粉末度 比重을 <表-2>에 表示하였다. K型膨脹性混合材는 比重 3.01~3.05로서 普通 시멘트보다 작고 粉末度도 거칠지만 O型(石灰系) 膨脹性混合材의 比重은 보통 시멘트와 큰 差가 없고 粉末度도 日本의 膨脹性 混合材中 가장 고운 것이 된다. 粉末度와 膨脹性能과는 密接한 關係가 있는데 <그림-2> <그림-3>에 의하면 比表面積이 크면 水和가 빨라



<그림-2> 膨脹 시멘트의 比表面積이 材속 7日의 膨脹 콘크리트의 自由膨脹에 미치는 영향

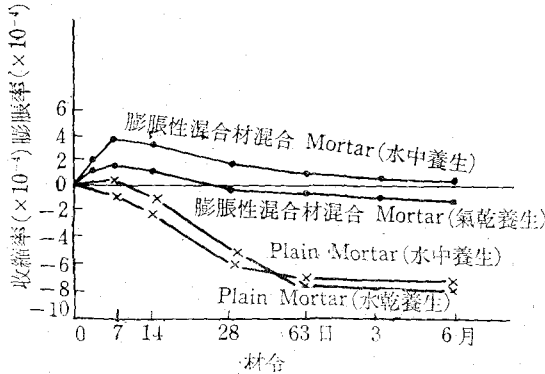


<그림-3> 石灰膨脹材의 粉末度와 콘크리트의 曲強度

저서 콘크리트의 팽脹은 작아지며 反面 콘크리트의 組織을 強化하여 press 效果가 커진다. 따라서 膨脹性混合材 또는 膨脹 시멘트는 用途에 따라 이의 粉末度가 決定된다. 그래서 chemical prestress 用으로는 粉末度를 거칠게 하고 chemical press 用으로는 粉末度가 고운 것이 좋다.

#### IV-2. 膨脹 시멘트 몰탈의 物理的 性質

膨脹 시멘트 몰탈은 一般적으로 壁의 바름用 몰탈로서 使用되며 이의 乾燥收縮을 補完하여 균열 發生을 방지하며 이의 物理的 性狀의 例는 <그림-4>, <表-4>에 表示하였다. <그림-4>에 表示한 것처럼 초기의 단계에서는 膨脹이 생겼다가 이후 乾燥를 하게 되면 보통 시멘트 몰탈에 비하여 收縮量이 적어지고 無收縮 몰탈에 가까운 性狀을 나타낸다.



<그림-4> 膨脹性混合材混合 몰탈의 膨脹收縮特性 曲線

<表-4> 膨脹性混合材混合 몰탈의 性質

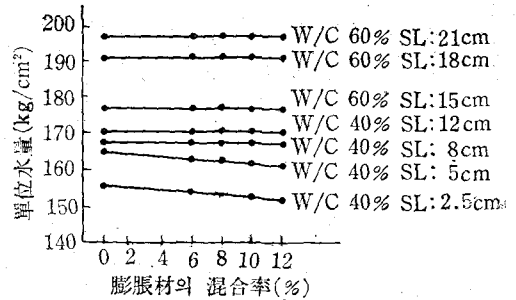
項 目	單 位	膨脹性混合材 混合 mortar	plain mortar	
作業性 (flow 值)	(mm)	183	179	
空 氣 量	(%)	7.8	3.2	
單位容積重量	(kg/l)	2.08	2.18	
水시멘트比	W/C(%)	53.1	53.1	
保水率	吸引前 flow值	(mm)	183	179
	吸引後 " "	(mm)	135	120
	保 水 率	(%)	74	67
強 度 (材齡 28日)	曲強度	(kg/cm <sup>2</sup> )	55.7	73.7
	壓縮強度	(kg/cm <sup>2</sup> )	295	429

#### IV-3. 膨脹 시멘트 콘크리트의 物理的 性質

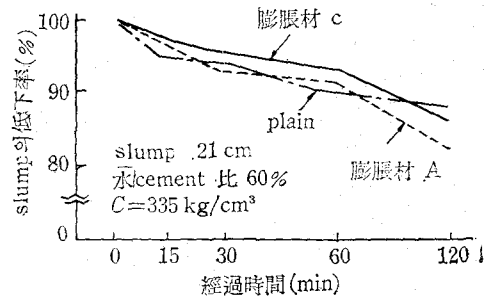
##### 1) 硬化前의 諸性質

##### ① 作業性

膨脹 시멘트 콘크리트의 作業性은 普通 시멘트 콘크리트와 거의 같으나 <그림-5>에서와 같이 膨脹性混合材의 粉末度가 普通 시멘트보다 거칠므로 單位膨脹材 量이 많은 경우에는 오히려 作業性이 良好한 傾向이라는 것을 알 수 있다. 膨脹 콘크리트의 slump의 經時變化는 <그림-6>에 表示한 것처럼 普通 콘크리트와 큰 差가 없다.



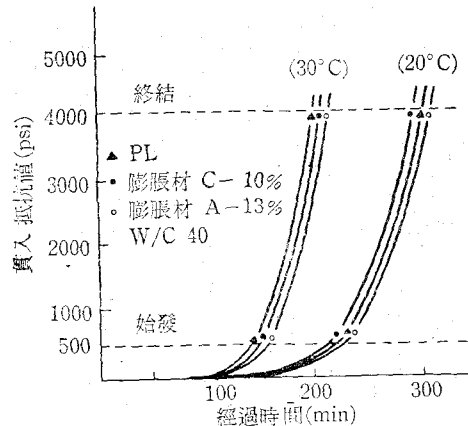
<그림-5> 膨脹混合率에 따른 單位水量의 變化



<그림-6> 膨脹 콘크리트의 slump 經時變化

##### ② 凝 結

콘크리트의 凝結時間測定試驗方法 (ASTM. C 403T)에 의하여 행한 膨脹 콘크리트의 응결 시



<그림-7> 콘크리트의 凝結

험 결과는 普通 콘크리트와 거의 同一하다(<그림-7>).

③ 單位容積重量

膨脹 콘크리트의 單位容積重量은 普通 콘크리트와 거의 같은 정도이다.

2) 硬化後의 諸性質

① 膨脹 및 收縮性狀

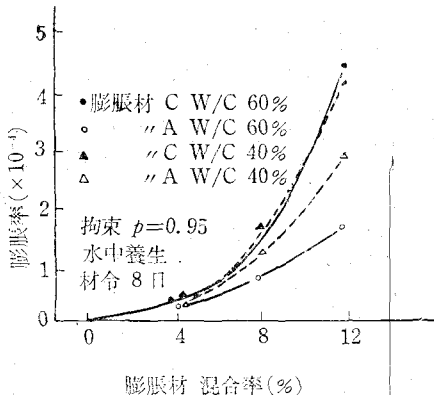
膨脹 콘크리트의 膨脹·收縮性狀에 영향을 미치는 要因은 많다.

- 粉末度의 영향

IV-1에 記述한 바와 같이 膨脹性混合材의 膨脹性狀은 粉末度和 粒度分布에 따라 현저한 영향을 미친다.

- 混合率의 영향

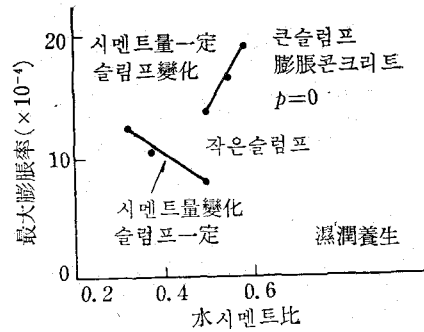
膨脹 콘크리트의 膨脹量은 膨脹性混合材의 混合率에 현저한 영향이 있으나 一般的으로 膨脹量은 混合率에 比例한다. 이의 代表的인 關係를 <그림-8>에 表示하였다.



<그림-8> 膨脹性混合材混合率과 拘束膨脹率과의 關係

- 水시멘트의 영향

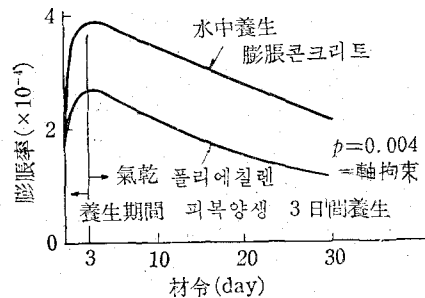
一般的으로 水 cement 比가 적으면 膨脹量이 커지는 경향이 있다. 이것은 同一 consistency의 경우에는 單位 시멘트量이 變化하고 水시멘트比가 작은 쪽이 單位膨脹材量이 많아지기 때문이다. 그렇지만 單位 시멘트量이 일정한 경우에는 單位膨脹材量은 一定하다. 水시멘트比가 적은 쪽이 強度는 크고 따라서 膨脹力을 억제하는 힘(自己拘束力)이 커지기 때문에 膨脹量은 적어진다. <그림-9>에 單位 시멘트量이 일정한 경우와 變化시킨 경우의 水시멘트의 영향을 表示하였다.



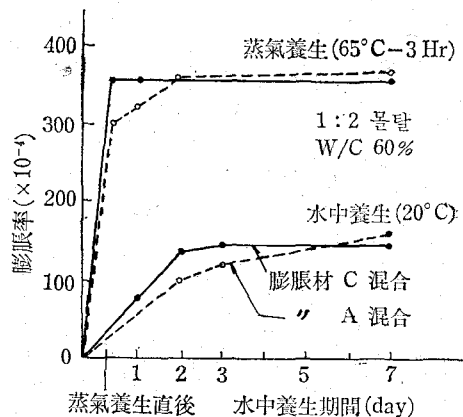
<그림-9> 單位 시멘트量을 一定하게 했을 때와 變化시켰을 경우의 膨脹 콘크리트의 膨脹에 따른 水시멘트의 영향

- 養生方法의 영향

一般的으로 콘크리트 養生의 重要性은 물론이지만 膨脹 콘크리트의 경우에는 특히 養生은 重要한 因子가 된다. <그림-10>에 膨脹과 水中養生 그리고 폴리에틸렌 被覆養生의 영향을 表示하였다.



<그림-10> 水中養生과 폴리에틸렌 被覆養生時의 膨脹 콘크리트의 膨脹對比



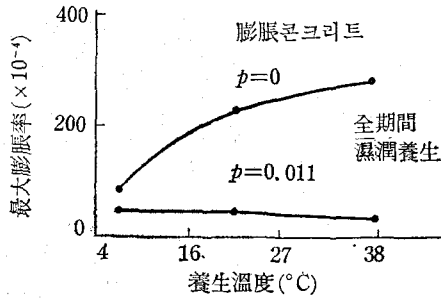
<그림-11> 몰탈의 膨脹性狀

또 <그림-11>에는 水中養生과 蒸氣養生과의 영향을 表示하였다.

<그림-10>, <그림-11>로부터 養生條件에 따라 膨脹量이 현저히 差가 있다는 것을 알 수 있다.

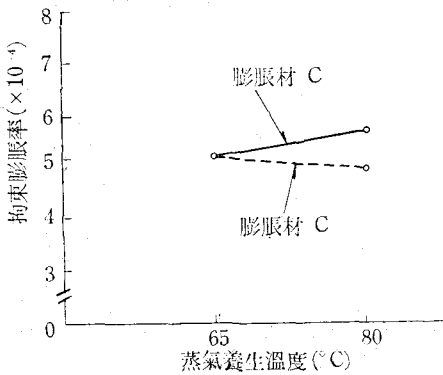
• 養生溫度의 영향

膨脹 시멘트나 一般 콘크리트도 다같이 溫度의 영향을 받는다. <그림-12>에 拘束과 無拘束條件下에서 養生溫度의 영향을 表示하였다.



<그림-12> 膨脹 콘크리트의 自由膨脹과 拘束膨脹에 있어서 養生溫度의 영향

無拘束條件에서는 養生溫度가 높으면 膨脹量은 커지고 拘束條件下에서는 溫度의 영향을 적게 받는다. 그러나 <그림-13>과 같이 拘束條件下의 콘크리트에서도 어떤 膨脹材는 高溫養生 쪽이 膨脹量이 큰 것으로 報告된 것도 있다.



<그림-13> 蒸氣養生溫度와 拘束膨脹  
材齡: 蒸氣養生直後 (p=0.954)

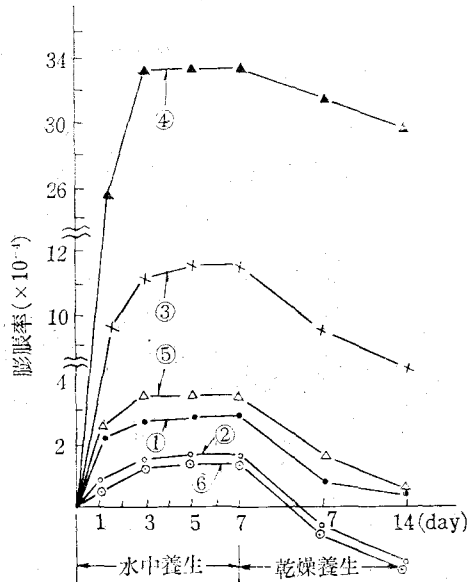
• 混練時間

一般的으로 膨脹性混合材는 콘크리트의 混練時에 所要材料를 동시에 計量하여 混練하지만 普通 콘크리트보다는 충분히 混練할 필요가 있다.

• 시멘트 種類의 영향

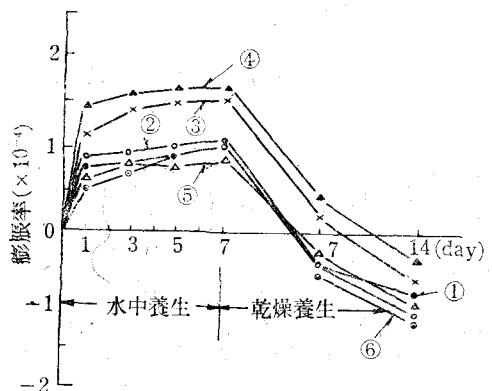
膨脹 콘크리트의 膨脹量은 <그림-14>, <그림-15>에 各種 시멘트를 使用한 O型(石灰系) 膨脹性混合材 混合 콘크리트의 自由膨脹量과 拘束膨脹量을 表示하였다.

自由膨脹率은 混合系 시멘트>中庸熱 시멘트>普通 시멘트>早強 시멘트>超早強 시멘트의 順으로 크며 시멘트의 初期強度發現性은 적을수록



- ① 普通 시멘트
- ② 早強 시멘트
- ③ B種 fly ash 시멘트
- ④ B種 高爐 시멘트
- ⑤ 中庸熱 시멘트
- ⑥ 超早強 시멘트

<그림-14> 各種 시멘트의 自由膨脹 SI 21cm (膨脹材 9%)



- ① 普通 시멘트
- ② 早強 시멘트
- ③ B種 fly ash 시멘트
- ④ B種 高爐 시멘트
- ⑤ 中庸熱 시멘트
- ⑥ 超早強 시멘트

<그림-15> 各種 시멘트의 拘束膨脹과 SI 21cm (膨脹材 9%)

膨脹량이 크다. 拘束狀態에서는 시멘트의 種類에 따른 영향이 적다.

• 混合材의 영향

普通 콘크리트의 경우에는 同一 consistency의 AE 콘크리트와 plain-concrete 間에는 길이의變化가 거의 인정되지 않지만 膨脹 콘크리트의 경우에는 AE 劑를 使用함에 따라 膨脹量에 약간의 差가 있다.

• 拘束度의 영향

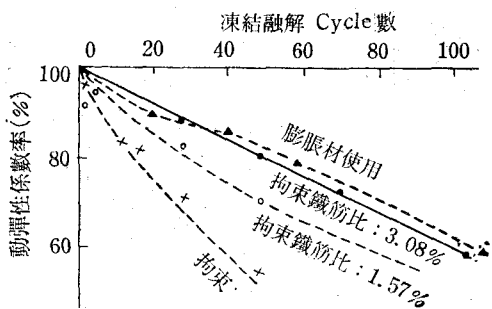
膨脹 콘크리트의 拘束度와 膨脹量과의 관계는 一般的으로 拘束度(鐵筋比)가 增加함에 따라 拘束膨脹量은 적어진다.

② 強度와 彈性係數

無拘束狀態의 膨脹 콘크리트 壓縮強度는 膨脹率에 커짐에 따라 低下되지만 拘束狀態에서 膨脹 콘크리트의 壓縮強度는 普通 콘크리트와 同程度 내지 약간 增加한다. 拘束을 행한 경우의 壓縮強度는 前述한 chemical press 效果에 따라 콘크리트의 組織이 緻密化되어 plain 콘크리트보다 약간 強度가 增大된다. 흔히 拘束이 크게 되면 plain 콘크리트에 비하여 膨脹 콘크리트의 強度가 增加하는 率이 크다.

③ 熱膨脹係數

熱膨脹係數는 콘크리트의 調査과 骨材의 種類에 따라 差가 있다. <그림-16>에 表示한 것처럼 拘束度가 큰 경우는 普通 시멘트보다 凍結融解抵抗性이 優秀하지만 拘束程度가 작은 경우는 普通 콘크리트와 같은 정도이다.



單位 시멘트 膨脹混合材量: 450kg/m<sup>3</sup>  
 水시멘트 膨脹混合材比: 38%  
 膨脹混合材率: 15%  
 試驗開始時의 材齡: 14日

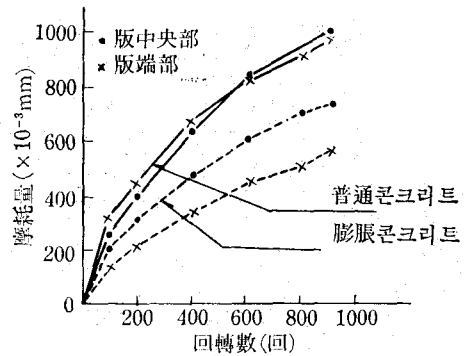
<그림-16> 拘束鐵筋比의 膨脹性混合材를 使用한 콘크리트의 凍結融解에 대한 抵抗性과 영향

④ 耐黃酸鹽의 抵抗性

콘크리트의 耐黃酸鹽抵抗性은 使用 시멘트의 化學成分에 따라 差가 있다. C<sub>3</sub>A (3CaO·Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>)가 적어지는 만큼 抵抗性이 커진다. 膨脹 콘크리트의 耐黃酸鹽抵抗性은 膨脹 시멘트의 C<sub>3</sub>A가 콘크리트中에서 黃酸鹽과 水和反應하는 速度 및 使用 시멘트中의 黃酸鹽 含有量에 의하여 影響을 미친다. 一般적으로 拘束條件下의 膨脹 콘크리트는 水和反應이 매우 빨리 早期에 完了되며, 또한 콘크리트의 組織을 緻密化시켜 콘크리트中의 毛細管이 減少하여 耐黃酸鹽抵抗性은 普通 콘크리트에 비하여 약간 크다.

⑤ 耐摩耗性

<그림-17>에 表示한 膨脹 콘크리트 PC 鋪裝版의 磨耗試驗結果에 따르면 膨脹 콘크리트는 普通 콘크리트에 비하여 磨耗量이 적다.



<그림-17> 磨耗狀態의 比較

⑥ 透水·吸水性

膨脹을 充分히 拘束한 膨脹 콘크리트의 경우에는 이의 組織이 緻密해져서 透水·吸水性이 普通 콘크리트에 비해 良好한 편이다.

⑦ 安定性

膨脹 콘크리트의 長期安定性을 判定하기 위하여 實施한 autoclave 促進養生試驗의 結果를 <그림-18>에 表示하였다. 膨脹反應이 終了한 膨脹 콘크리트는 autoclave 養生終了時의 plain 콘크리트의 膨脹量과 거의 같은 정도이며 膨脹 콘크리트의 長期安定은 良好한 것으로 알려져 있다.

⑧ 耐熱性

膨脹 콘크리트의 耐熱性에 관한 報告例는 거의 없는 상태이다. 岸谷의 報告에 의하면 calcium



## V. 用 途

### V-1. 균열 방지

콘크리트의 硬化·乾燥收縮을 補償하는 程度의 比較的 작은 膨脹을 미리 줌으로써 硬化·乾燥收縮에 의한 균열을 방지한다. 用途는 一般土木 建築構造物이 對象이 된다.

### V-2. 高強度 콘크리트 製品

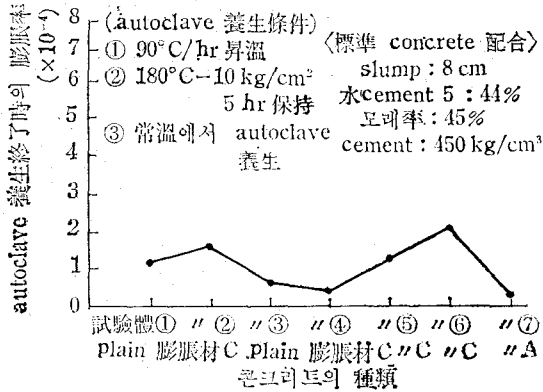
콘크리트에 積極的인 큰 膨脹의 부여로 引張強度를 改善한다. 一般的으로 콘크리트의 2次製品이 대상이 된다.

### V-3.

各種 기계의 기초, 各種 anchor bolt의 固定用 등이 대상이 된다.

#### [引用 文 獻]

- 1) 日, Gypsum and Lime No. 121(1972)
- 2) ASTM Vol. 58(1958)
- 3) 日, 시멘트 技術年報 VIII(1954)
- 4) 日, 시멘트 技術年報 K(1955)
- 5) 日, 시멘트 技術年報(1970)
- 6) 日, 시멘트 技術年報(1971)
- 7) 日, 시멘트 技術年報(1972)
- 8) 日, 窯業協會誌 73(1)(1965)
- 9) R.H. Bogue: The chemistry of Portland Cement(1955)
- 10) 日, 시멘트工業 No. 109(1971)
- 11) 日, 시멘트工業 No. 111(1971)
- 12) 日, 建築技術 No. 253(1972)
- 13) 日, 土木學會 Symposium: 膨脹性 시멘트混合材를 使用한 콘크리트에 관하여(1972)
- 14) 日, 小野田 시멘트(株): “小野田 Expan” 技術資料



<그림-18> 膨脹 콘크리트의 安定性 (autoclave 에 依한 促進試驗)

- 試驗體 ① : 水中 7日—乾燥 72日—水中 21日(材齡 100日)  
 φ 12mm pc 鋼棒에 의한 拘束試驗體
- " ② : 水中 7日—乾燥 72日—水中 21日(材齡 100日)  
 φ 12mm pc 鋼棒에 의한 拘束試驗體
- " ③ : 蒸氣養生—水中 7日—乾燥 72日—水中 21日(材齡 100日)  
 φ 12mm pc 鋼棒에 의한 拘束試驗體
- " ④ : 蒸氣養生—水中 7日—乾燥 72日—水中 21日(材齡 100日)  
 φ 12mm pc 鋼棒에 의한 拘束試驗體
- " ⑤ : 蒸氣養生(65°C 3hr—常溫에서 槽內徐冷)(材齡 1日)  
 φ 12mm pc 鋼棒에 의한 拘束試驗體
- " ⑥ : 蒸氣養生(65°C 3hr—常溫에서 槽內徐冷)(材齡 1日)  
 無拘束試驗體
- " ⑦ : 蒸氣養生—水中 7日—乾燥 72日—水中 21日(材齡 100日)  
 φ 12mm pc 鋼棒에 의한 拘束試驗體

sulfoaluminate 系 膨脹性混合材를 混合한 膨脹 시멘트 몰탈의 耐熱性狀은 加熱溫度 80°C 이상에서 收縮이 급격히 증가하고 300°C 에서는 普通 시멘트의 2배에 달한다. O型(石灰系) 膨脹 시멘트 몰탈의 경우에는 普通 시멘트 몰탈과 같은 程度의 耐熱性을 나타낸다.