

# 各種 硅酸칼시움을 出發物質로 한 水熱反應에 關한 研究

李卿喜 · 大門正機 · 淺賀喜與志

〈明知大學校教授 · 東京工業大學教授 共同研究〉

## 1. 序 論

CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O系 水和物은 常溫에 있어서 시멘트 水和生成物으로써 生成되는 외에도 高溫高壓下에서 CaO와 SiO<sub>2</sub>를 出發物質로 하여 水熱反應에 依하여 얻어지는 시멘트系 建築資材의 重要構成 成分이다. 水熱反應에 依하여 얻어지는 建設材料나 工業材料는 一般的으로 反應容器的 이름을 따서 오토크레이브 처리材料라 불리기도 하며 오랜 역사를 가지고 있다.

또한 시멘트水和物の 耐久安定性 및 建築物의 組立化 等の 理由로 시멘트 使用 建築物의 프리캐스팅 및 오토크레이브 養生法은 시멘트 二次製品이라 불리어 많은 발전을 거듭하고 있다.

한편 最近에는 資源의 고갈 및 資源保存이라는 명제하에 모든 자원의 절약이 사회적 사명으로 등장함에 따라 시멘트 二次製品은 물론 칼시움시리케이트 製品, 나아가서는 시멘트生産에까지 파급되어서 이들 자원의 절감을 검토하게 되었고 그 결과 칼시움시리케이트源이라 할 수 있다. 각종 폐기자원의 活用問題가 연구되고 있다.

본 연구는 이와같은 추세에 발맞추어 현재 실시되고 있는 시멘트의 스라그의 混合에 따른 스라그성분의 시멘트 二次製品에 미치는 영향과 또한 오토크레이브 처리 제품에 스라그를 使用함에 따르는 제반 문제들을 검토하는데 목적을 둔다.

## 2. 實驗方法

### 2-1. 出發物質

#### a) SiO<sub>2</sub>

시리카源으로서는 브라질産試藥用 石英을 使用하였으며 粉碎後 粒度分離하여 300 mesh 以下の 것을 使用하였다.

b) CaO

Ca(OH)<sub>2</sub>를 使用하였으며 關東化學의 特級試藥을 使用하였다.

c) Alite

本研究室에서 合成한 것을 使用하였으며 粒度는 300 mesh under의 것을 使用하였다.<sup>1)</sup>

d) rC<sub>2</sub>S

本研究室에서 合成한 것을 使用하였으며 粒度는 300 mesh under의 것을 使用하였다.

e) Akermanite

本研究室에서 合成한 것을 使用하였으며 粒度는 300 mesh under를 使用하였다.

## 2-2. 實驗方法

液相濃度를 實驗할 때에는 스투리 형태로 水熱反應시켰으며 그 이외의 모든 실험은 鐵製몰드를 使用하여 60 kg/cm<sup>2</sup>의 加壓下에서 페레트成形後 各條件下에서 水熱反應 시켰다.

a) CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 스투리 반응

攪拌型 오토크레이브에 물과 고상비를 20 배로 하여 180 °C에서 1時間~ 5日間 反應시키면서 각각의 시간에 시료 채취후 液相의 濃度를 測定하였다.

b) CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 및 각종원료를 使用한 고상반응

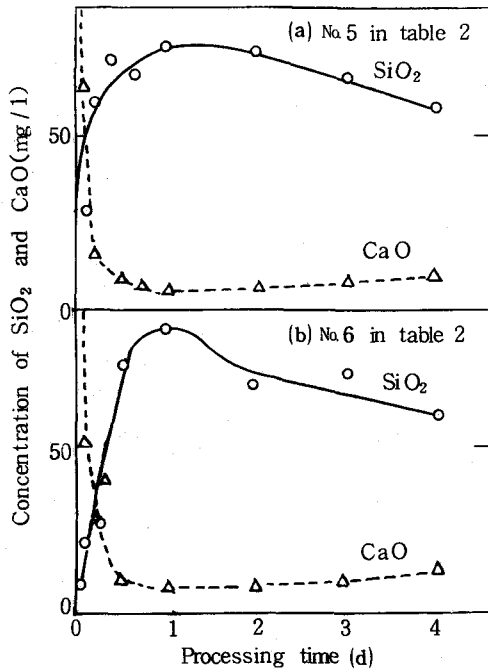
各種原料를 소정 조성이 되도록 알콜중에서 완전습식혼합한후 60 kg/cm<sup>2</sup>의 가압하에서 페레트로 만들어 오토크레이브 밑에 물을 깔고 그위에 지지대를 설치한후 지지대위에 시료를 놓고 수열반응 시켰다.

## 3. 實驗結果

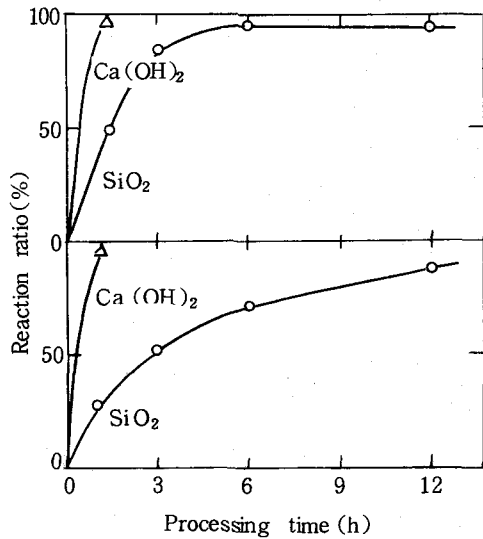
### 3-1. CaO-SiO<sub>2</sub>-H<sub>2</sub>O 스투리반응

混合試料 70gr을 1,400 ml의 순수에 현탁시켜 200 RPM으로 내부교반을 시키면서 1h, 3h, 6h, 12h, 24h, 2d, 3d, 4d, 5d 시점에서 내부반응 현탁액을 외부로 분출시켜 固-液分離 한후 액상의 SiO<sub>2</sub>·CaO 농도를 측정하였다. 이때 사용된 혼합시료의 C/S 몰비는 0.8로 하였다.

이때 얻어진 결과를 <그림-1>과 <그림-2>에 실린다. <그림-1>은 액상 분석 결과이며 <그림-2>는 이때 얻어진 반응생성물 및 미반응 물질의 분석결과를 나타낸다.



<그림-1> Changes in  $\text{SiO}_2$  and  $\text{CaO}$  concentration with processing



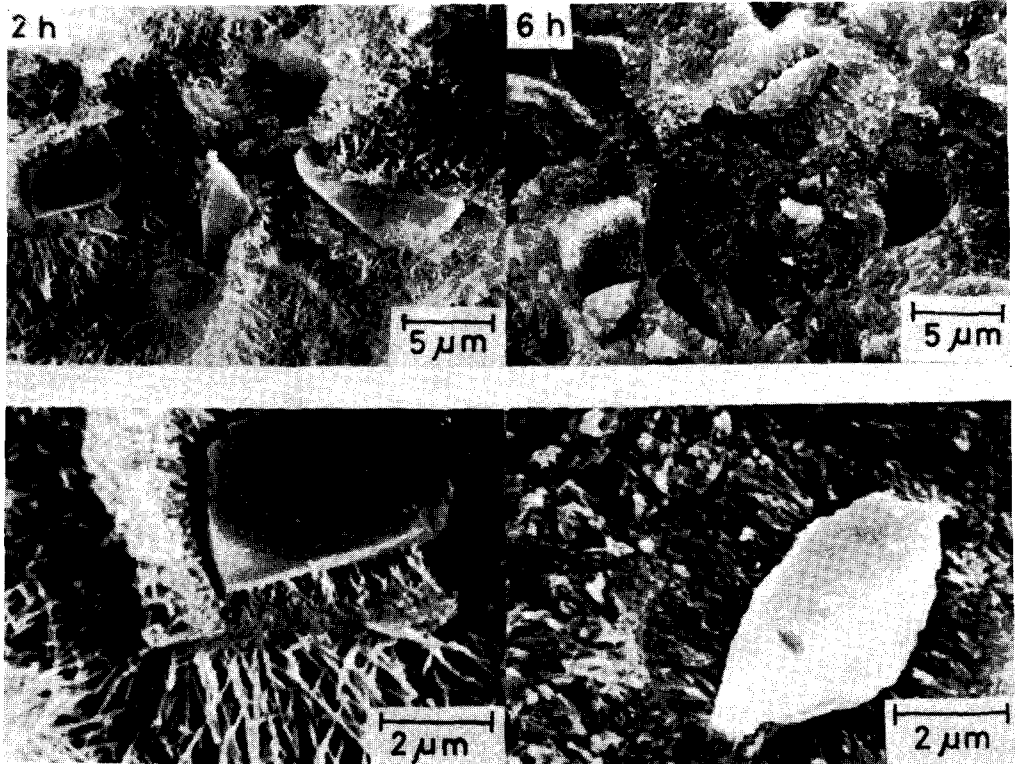
<그림-2> Changes in reacted quartz and  $\text{Ca(OH)}_2$  with processing

<그림-1,2>를 보면 오토크레이브내의 液相은 昇溫이 始作됨과 同時에 벌써  $\text{CaO}$ 의 濃度가 상당히 높은 상태를 하고 있음을 보여주며 이것은 昇溫途中과 所定溫度에 달한 직후에 生成되는 生成物의 C/S 물비가 상당히 높으며 이들 生成물은  $\text{SiO}_2$  농도가 높은 石英表面쪽에 선택적으로 生成될 것으로 생각된다. 그후 石英의 溶解가 進行됨에 따라서 初期生成 C/S 물비가 높은 것이 점차 C/S 물비가 적은 것으로 변할 것이다. 이러한 상황은 <그림-1>에서  $\text{SiO}_2$ 의 液相濃度가 約 1 時間을 前後하여 最高値를 나타내다가 점차 시간이 지남에 따라  $\text{CaO}$  濃度보다는 훨씬 높은 濃度를 유지하는 것으로 보아도 쉽게 이해할 수 있다.<sup>3)</sup>

### 3-2. 固相反應

#### a) $\text{CaO}-\text{SiO}_2-\text{H}_2\text{O}$ 系 反應

固相反應은 石英과  $\text{Ca(OH)}_2$ 를 C/S = 0.8 물비로 알콜을 使用하여 完全混式混合한후 물/고상 = 0.1 로하여 金型을 利用하여 반경 0.75 cm 높이 1 cm로 1.6 kg/cm<sup>2</sup>로 加壓 成형하여 다음과 같이 SEM에 依한 파단면 관찰, 窒素 gas 흡착, 등온線을 測定하여 細孔構造分析 등을 通하여 反應이 進行됨에 따라서 石英 및  $\text{Ca(OH)}_2$  粒子的 反應과정을 관찰하고 그에 따라 生成되는 反應生成物의 微細構造變化를 관찰



〈사진-1〉 SEM micrograph of sample A

하였다.

i) SEM 관찰

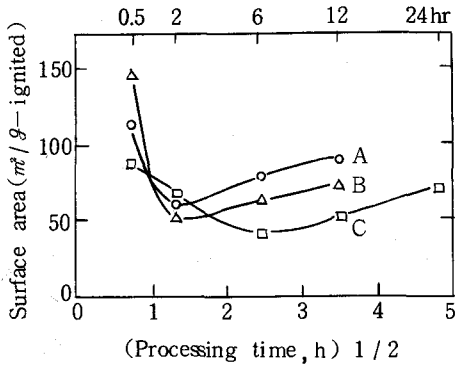
반응條件 180 °C에 있어서 2 時間, 6 時間 水熱反應시킨 시료의 파단면을 SEM 관찰한 결과를 〈사진-1〉에 실린다. 〈사진-1〉에 依하면 未反應 石英粒子 그리고 未反應 石英粒子가 빠져나간 자리의 周圍에 反應生成物이 마치 石英粒子를 싸고 生成되어 있음을 볼수 있다.

石英表面으로부터 약간 떨어진 곳에서 比較的 方向을 一定하게 하여 生成되어 있음을 볼수 있다.

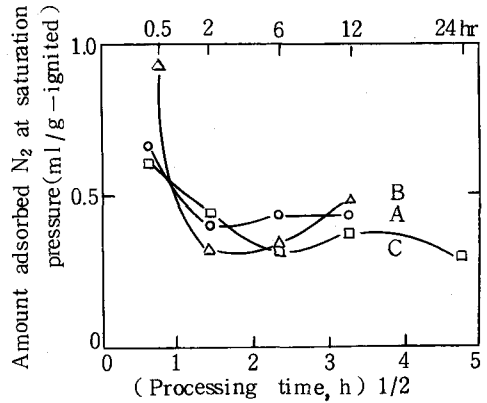
ii) 窒素가스 吸着에 의한 微細構造解析

〈그림-3〉, 〈그림-4〉에는 水熱反應後 反應生成物의 比表面積 및 飽和蒸氣壓 下에 있어서의 吸着量의 變化를 나타낸다. 여기에 表示되는 數值들은 모두 反應生成物의 強熱殘量을 基準로 한것이다.

外部水和物의 組織은 內部水和物보다 상당히 多孔性이므로, 外部生成物의 窒素吸着量은 內部生成物에의 吸着量과 比較하면 상당히 적다. 따라서 窒素吸着量으로부터 求해지는 比表面積은 內部水和物 微構造보다 밀접한 關係를 가진 數值로보아도 좋을



〈그림-3〉 Changes in surface area of products



〈그림-4〉 Changes in amount adsorbed N<sub>2</sub> at saturation pressure

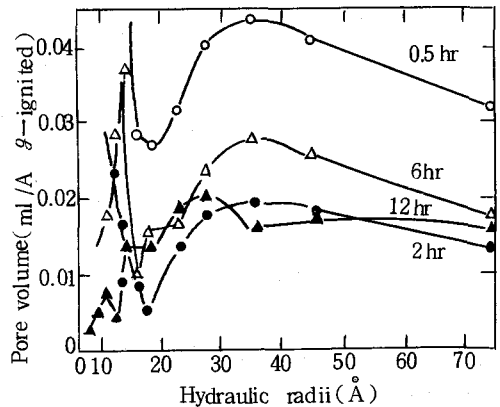
것이다. 즉 内部水和物の 比表面積은 反應時間 2時間에서 最小를 나타내고 있다.

한편 〈그림-5〉에는 ML法<sup>4,5,6)</sup>(Model Less)에 의한 細孔經分布 算出結果이다.

12時間 處理物을 제외하고 水理半徑 20 Å 以下の 細孔과 水理半徑 30 Å에 피크(peak)를 나타내는 두種類의 細孔이 있음을 알 수 있다.

b)  $r-C_2S$ 와  $SiO_2$ 의 水熱反應

$r-C_2S$ 와 石英을 出發原料로 하여  $r-C_2S$  단독,  $C/S = 1.5$ ,  $C/S = 1.0$ ,  $C/S = 0.8$  및  $C/S = 0.5$ 가 되도록  $r-C_2S$ 와  $SiO_2$ 를 混合한 것들을 180 °C와 300 °C에서 各各 6時間, 12時間, 24時間, 72時間

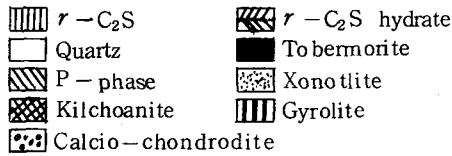
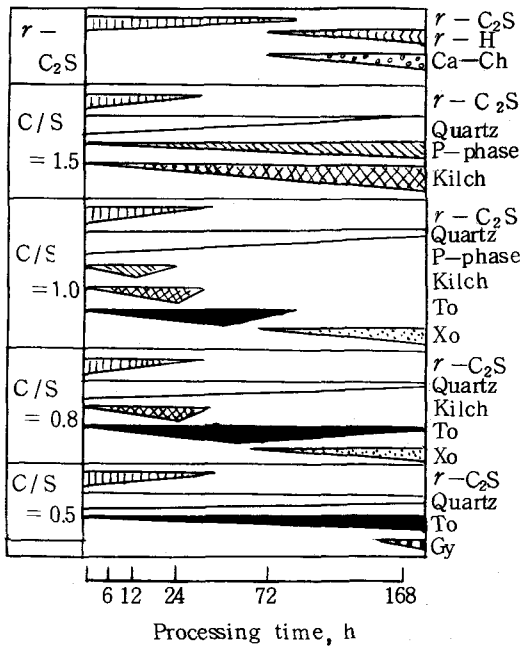


〈그림-5〉 Pore size distribution curves of sample B

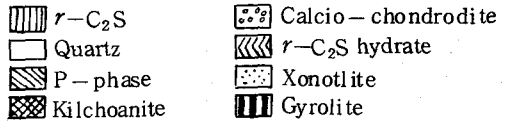
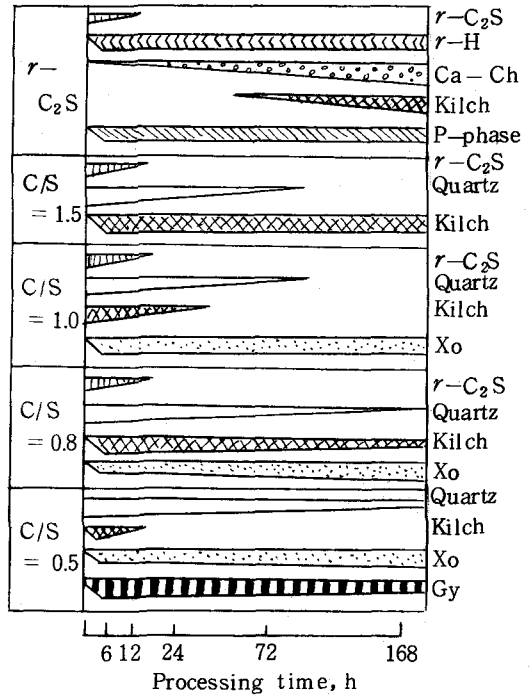
168時間 反應시킨후 매번 X-ray분말 회절을 使用하여 生成物의 同定과 함께 生成量의 相對的 量을 정리한 것을 〈그림-6〉, 〈그림-7〉에 실린다.

〈그림-6〉에 依하면  $r-C_2S$  단독인 경우 180 °C 72時間反應후부터  $r-C_2S$  수화물의 生成이 시작되며 이반응과 동시에 Calcio - Chondrodite가 生成되고 있음을 알 수 있다.

또한 이들의 生成은 아주 천천히 進行되어 反應 약 168時間까지도 서서히 生成되고 있음을 알 수 있다. 石英을 添加시켜  $C/S$  mole 比를  $C/S = 1.5$ 로 調整한 試料를 보면  $r-C_2S$  때와는 아주 다른 양상을 보여서 反應時間 24時間에서 초기 출발  $r-C_2S$ 는 거의 소진되며 그와는 반대로 石英의 反應은 아주 느리게 이루어지고 있다. 또한 生成물은 P-phase 및 Kilchoanite가 反應初期부터 生成되기 시



<그림-6> Phase detected by X-ray diffraction at 180°C



<그림-7> Phase detected by X-ray diffraction at 300°C

작하여 순조롭게 증가되고 있음을 알 수 있다. Kilchoanite는 Taylor에 依하면 石英과  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ 를 출발물질로 했을 경우 400°C 以上에서 安定한 상으로 되어 있으나  $r\text{-C}_2\text{S}$ 와 石英系에서는 180°C에서도 生成됨을 보여주고 있다.

$C/S = 1.0$ 으로 하면  $r\text{-C}_2\text{S}$  및  $\text{SiO}_2$ 는  $C/S = 1.5$ 일때와 거의 同一한 反應과정을 보여주지만 生成物인 P-phase, Kilchoanite는 초기에 生成 되었다가  $r\text{-C}_2\text{S}$ 가 소실되는 24時間을 전후하여 다시 소실되고 Tobermorite 및 Xonotlite만이 安定한 상으로 生成됨을 알 수 있다.

즉,  $r\text{-C}_2\text{S}$ 와 石英을 출발물질로 했을 경우 180°C 72時間후부터는  $\text{CaO-SiO}_2\text{-H}_2\text{O}$ 系와 同一하게 Tobermorite와 Xonotlite가 生成됨을 알 수 있다.

$C/S = 0.8$ 인 경우나  $C/S = 0.5$ 일 경우도 별로 다를 바는 없으나  $C/S = 0.5$ 일 경우 反應時間 168時間 전후하여 Gyrolite의 生成을 볼 수가 있다.

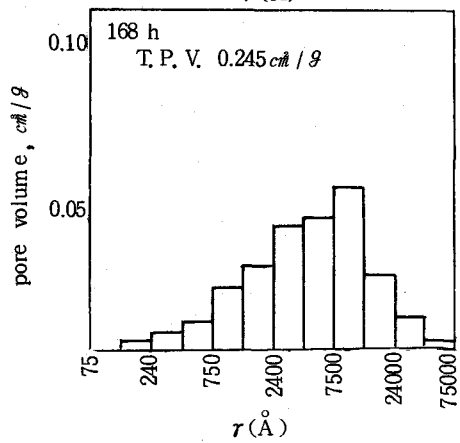
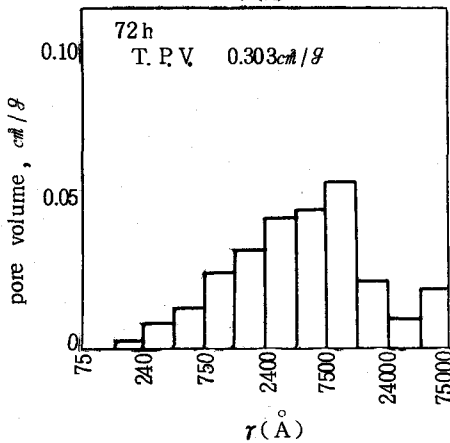
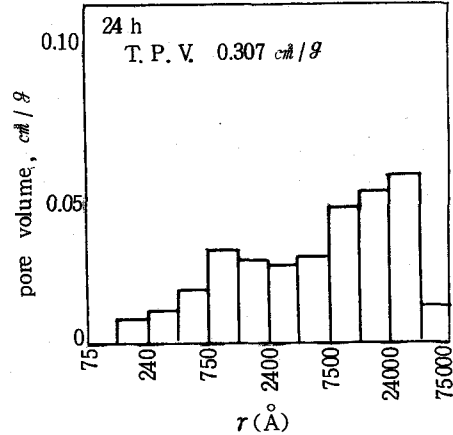
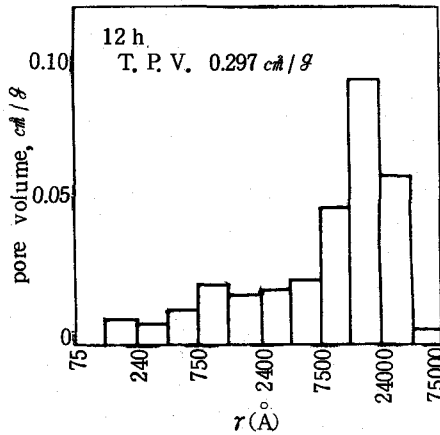
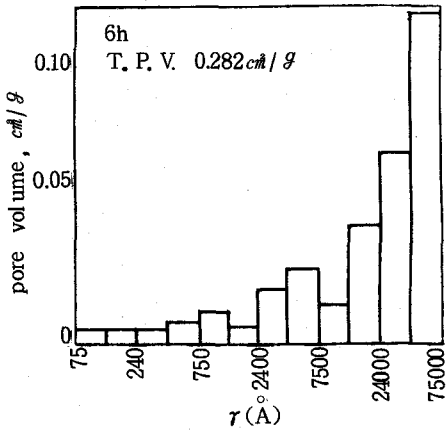
한편 反應온도가 300°C일 경우를 보면  $r\text{-C}_2\text{S}$ 의 反應이 대단히 활발하게 이루어 짐을 볼 수 있으며 <그림-7>에서와 같이  $C/S = 1.0$ ,  $C/S = 0.8$ 에서는 최

중 반응생성물이 모두 Xonotlite 로 되어있으며, C/S = 0.5 인 경우에는 Xonotlite 와 Gyrolite 가 주생성물로 됨을 알 수 있다. <그림-8>에는  $r-C_2S$  단독 180 °C 수열반응후의 각 반응시간에 따른 細孔分布를 질소흡착을 使用分析한 結果를 나타낸

다. <그림-9>에는 C/S = 1.0 으로 조정된 시료의 180 °C 反應後 各 反應時間別 生成物의 細孔分布를 나타낸다.

<그림-8>에 의하면 반응시간이 진전됨에 따라서 細孔의 분포가 큰 쪽에서 미세한 쪽으로 옮겨져 수열반응에 의한 生成物의 量의 增加를 보여주고 있으며 점점 組織의 弛密化가 이루어지고 있음을 볼 수 있다.

한편 <그림-9>에 依하면 전체적으로 보아 전체공량도 줄어 있으며 初期부터 적은쪽



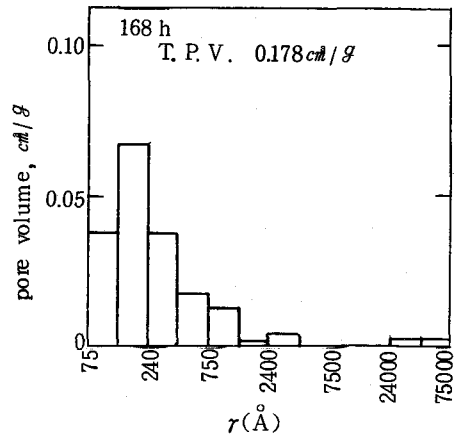
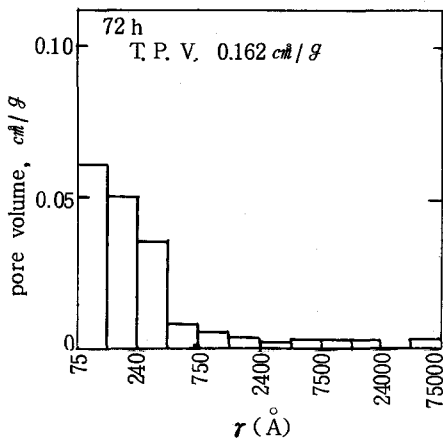
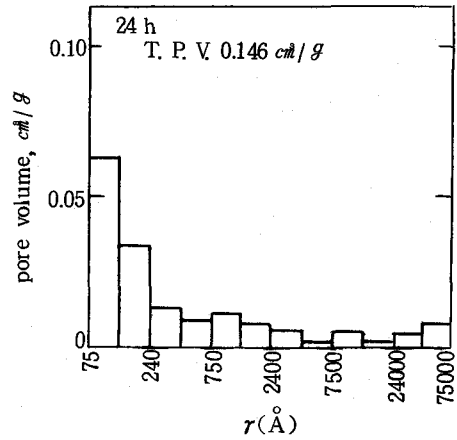
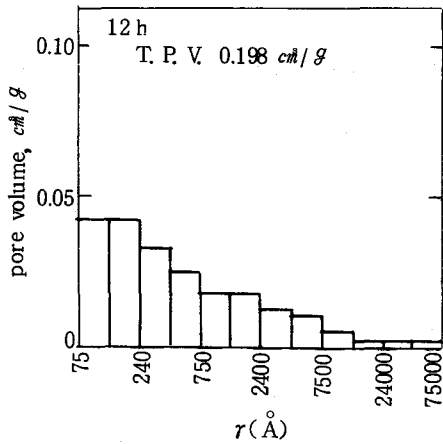
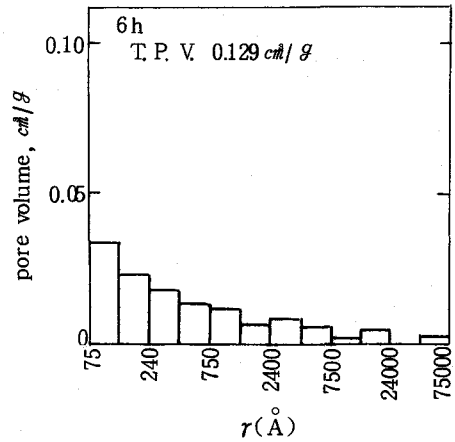
<그림-8> Pore size distribution (180 °C,  $r-C_2S$ )

세 공이 주축을 이루고 수열반응이 훨씬더 활발하였음을 간접적으로 알 수 있다.

c) Alite와  $\text{SiO}_2$ 의 水熱反應

<그림-10>과 <그림-11>에는 Alite와 石英의 水熱反應 72時間 反應溫度  $180^\circ\text{C}$ 의 反應結果 反應物 및 未反應物의 分析結果에 의한 時間에 따른 反應率을 표시한다.

<그림-10>의 Alite의 반응율을 보면 Alite 單獨일 경우에 비하여 石英을 混合하여 C/S 몰비를 1.5~0.5로 조정함에 따라 반응속도가 反應時間 6時間 以後의 후기 반응이 상당히 빨라짐을 볼 수 있으며 <그



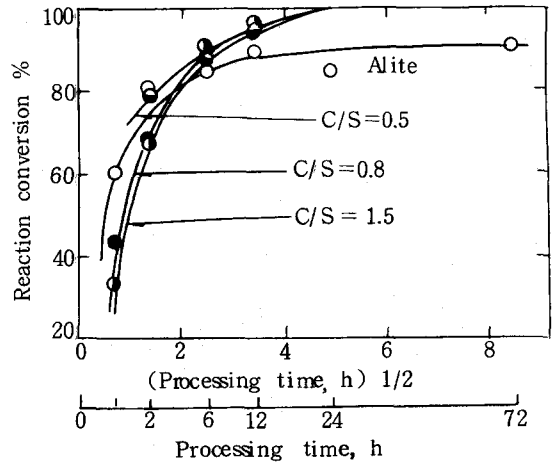
<그림-9> Pore size distribution ( $180^\circ\text{C}$ , C/S = 1.0)



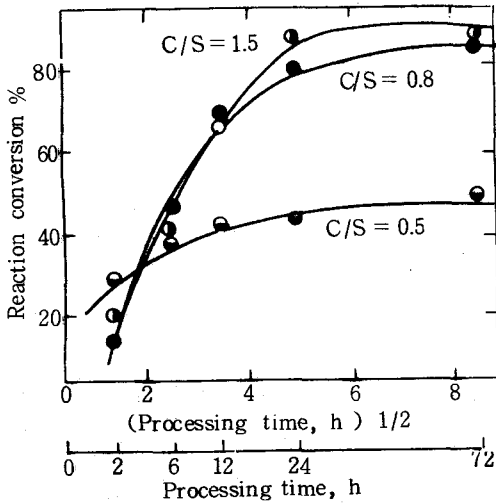
림-11 >의 石英의 경우 C/S몰비가 클수록 石英의 반응율이 높음을 알 수 있다.

<그림-12>와 <그림-13>에는 <그림-10>과 <그림-11>에서 측정된 반응율을 가지고 Yander의 반응 속도식에 대입시켜 구해본 Alite와 石英의 反應物의 두께를 나타낸다.

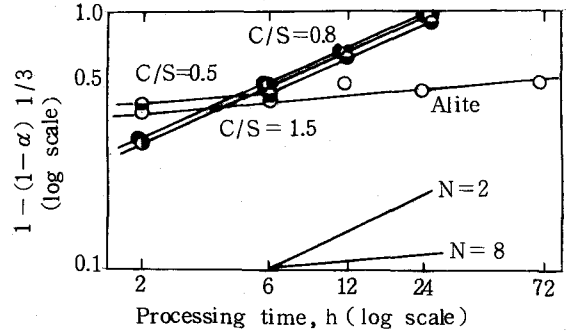
<그림-14>에는 水和生成物의 量과 거의 비례되는 作열감량을 水熱反



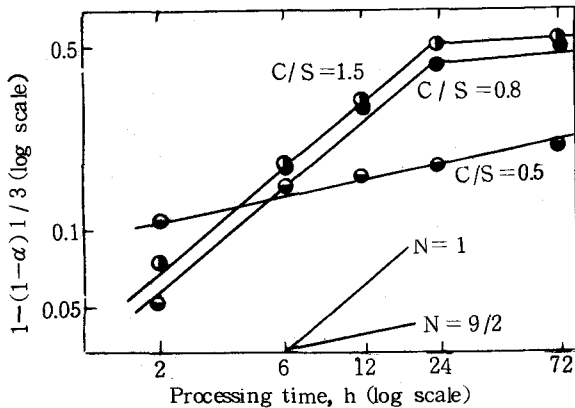
<그림-10> Relation between reaction conversion of alite and processing time



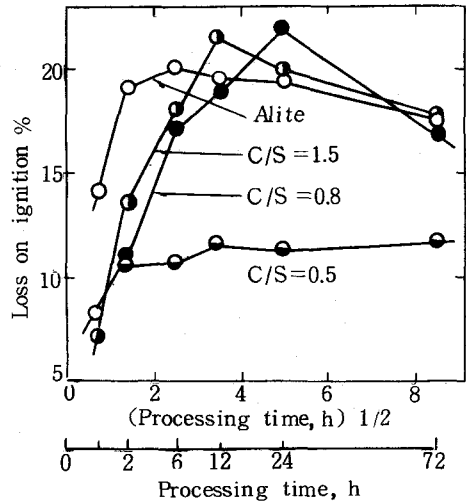
<그림-11> Relation between reaction conversion of quartz and processing time



<그림-12> Relation between reaction conversion of alite and processing



<그림-13> Relation between reaction conversion of quartz and processing time



<그림-14> Changes in loss on ignition with processing time

應時間에 따라 測定한 結果로써 이 그림에 依하면 전체적으로 보아 Alite + 石英의 系를 비교해 볼 때  $C/S = 0.8$ 까지의 총반응 생성물의 양은 거의 흡사한 수치를 나타내고 있음을 알 수 있다.

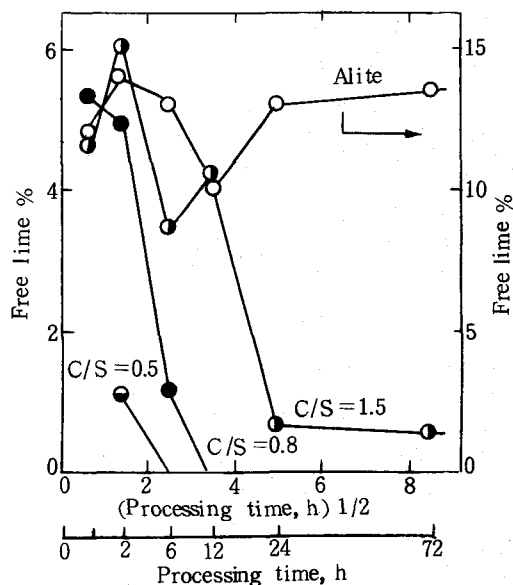
<그림 - 15>에는 반응후 未反應 CaO의 量을 측정한 結果를 나타내며 Alite 單獨을 제외한 모든 Alite + 石英系는 비교적 未反應石灰가 반응이 進行됨에 따라 아주 적게 存在함을 알 수 있다.

d) Akermanite와  $SiO_2$ 의 水熱反應

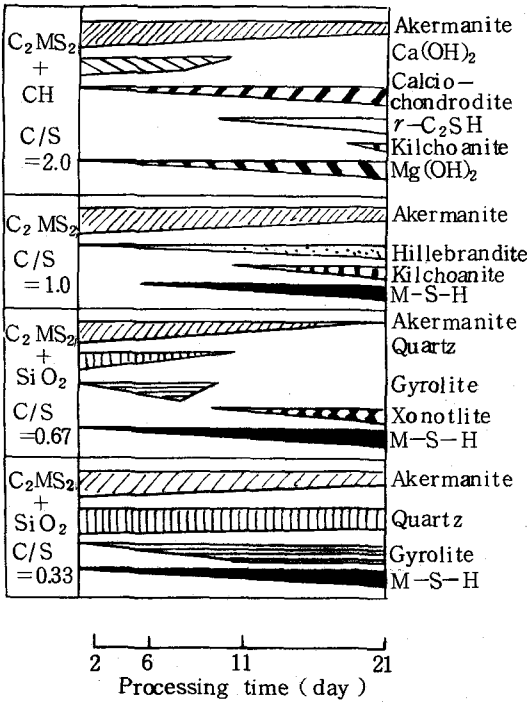
<그림 - 16>과 <그림 - 17>은 Akermanite와  $Ca(OH)_2$ , 그리고 Akermanite와  $SiO_2$ 를 혼합한 시료의  $210^\circ C$ 에서 2日~21日까지 그리고  $350^\circ C$ 에서 1時間~162時間까지 반응시킨 결과 各處理時間 및  $C/S$  몰비에 따른 반응생성물을 나타내 준다. <그림 - 16>에 依하면  $C_2MS_2$ 에  $Ca(OH)_2$ 를 첨가하여  $C/S = 2$ 로 조정했을 경우  $C_2MS_2$ 는 反應時間 21日까지 거의 반응율이 낮으며 한편  $Ca(OH)_2$ 는 반응시간 11日경에는 소실되어 있음을 볼 수 있으며 生成物로서는 Calcio - Chondrodite가 반응초기부터 순조롭게 생성되며 반응후기에는  $r-C_2SH$ , Kilchoanite,  $Mg(OH)_2$  등이 生成됨을 알 수 있다.  $C/S = 1.0$ 에서는 生成物로서는 Hillebrandite 및  $M-S-H$ 가 생성되며  $C/S = 0.67$ 이되면  $C_2MS_2$ 의 반응은 어느정도 빨라지며 石英은 11日 정도에서 소실되고 生成物로서는 초기에 Gyrolite가 그리고 反應後期에는 Xonotlite와  $M-S-H$ 가 주축을 이루게 된다.

한편  $C/S$  몰비가 0.67이하로 되면 主生成物은 Gyrolite가 됨을 볼 수 있다.

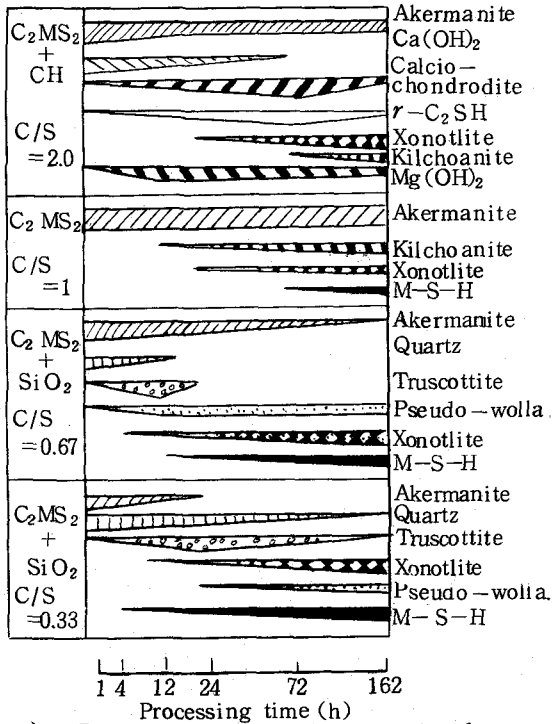
<그림 - 17> 즉 반응온도가 높아지면 일반적으로  $C_2MS_2$ 의 반응성은 좋아지게 되며  $C/S = 0.67$ 에서는 Pseudo-wallastonite 그리고  $C/S = 0.33$ 에서는 Truscottite가 생성되고 있음을 알 수 있다.



<그림 - 15> Changes in free lime with processing time



<그림-16> Phases in the samples autoclaved at 210°C

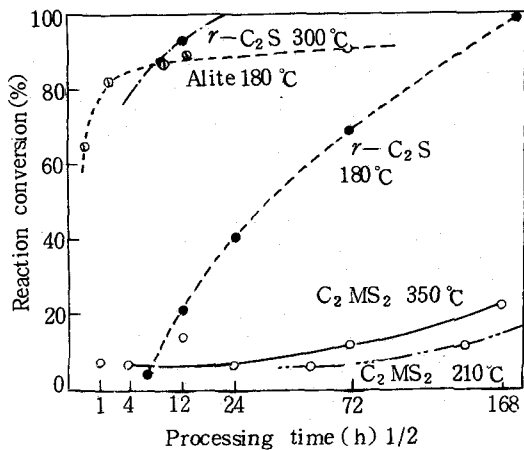


<그림-17> Phases in the samples autoclaved at 350°C

4. 考 察

<그림-18>에는 各種 칼시움시리케이트源을 出發物質로 단독으로 使用했을 때 各 溫度 및 反應時間에 따른 反應率을 그리고 <그림-19>에는 이를 各種 칼시움시리케이트에 石英을 混合하여 C/S 몰비를 變化시켜가면서 出發物質의 反應率을 모아서 함께 도표화 시킨 것이다.

이 결과에 依하면 各種 칼시움시리케이트源을 단독으로 使用했을 경우  $r-C_2S$  300°C 處理의 경우 反應速度가 가장 빨라서 反應時間 24 時間에는 거의 100%의 反應을 보이고 있으며 Alite 180°C의 반응은 初期 約 4 時間까지는 反應率이 매우 높아 約 80% 反應을 보이나 反應 後期에 가서는 반응이 거의 정체상태로 되어 反應時間 72



<그림-18> Comparison of the reaction conversion of alite,  $\gamma-C_2S$  and  $C_2MS_2$  (without quartz system)

時間에도 90% 以上の 반응은 어려움을 보여주고 있다.  $r-C_2S$  180°C 反應을 보면 初期의 反應은 대단히 늦어 거의 反應이 進行되지 않다가 反應時間 10時間 前後하여 급격히 進行되어 상당히 빠른 속도로 反應하여 反應時間 168時間에는 거의 100%의 反應을 보여 준다. 한편  $C_2MS_2$  350°C 및 210°C 反應을 보면 반응시간 168時間에도 거의 反應은 20% 전후로서 단독반응이 매우 어려움을 보여주고 있다.

즉, 단미를 使用한 수열반응의 속도를 보면 Alite의 반응이 가장 빠르나 후기 반응의 정체가 따르며  $r-C_2S$ 의 경우는 初期反應은 약간 느리나 후기 반응에 정체가 되는 현상은 없고  $C_2MS_2$ 의 단독수열반응은 기대하기 어렵다.

<그림-19>에 依하면 거의 모든 경우 단독수화의 경우와 흡사하나  $C_2MS_2$ 의 반응은  $C/S = 0.67$ 에서 反應이 급작스럽게 향상되며 특히 초기수열반응(12時間까지)의 향상은 괄목할 만하다.

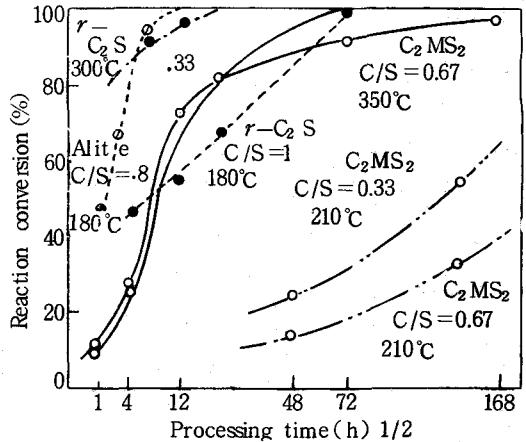
<그림-18>, <그림-19>를 비교하면 수열반응 초기 出發物質은 Alite-石英-H<sub>2</sub>O의 반응 및  $r-C_2S$ -石英-H<sub>2</sub>O의 반응은 상당히 빨라 工業적 利用에 충분히 바람직하며  $C_2MS_2$ 의 경우라 할지라도  $C/S = 0.67$  정도에서 350°C의 조건이라면 충분히 使用가능할 것으로 생각된다.

<그림-20>에는 各種 칼시움시리케이트源 단독수열 반응 후의 반응시간과 生成物의 압축강도와와의 관계를 정리하였다.

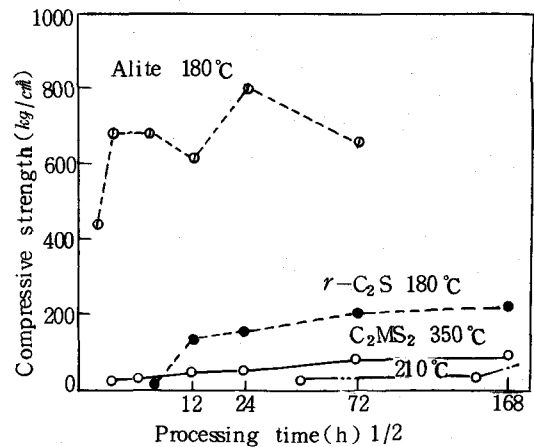
이 결과에 의하면 Alite의 경우는 반응시간 72時間에서 약 700 kg/cm<sup>2</sup>의 강도를 보이며  $r-C_2S$  및  $C_2MS_2$ 의 경우는 200 kg/cm<sup>2</sup>의 아주 약한 강도를 보이고 있다.

<그림-21>에는 이들 각종 칼시움시리케이트源에 石英을 添加시켜  $C/S$ 몰비를 조정했을 경우 반응시간에 따른 生成物의 압축강도를 나타낸다.

이 결과에 依하면 Alite 180°C  $C/S = 0.8$   $r-C_2S$  180°C,  $C/S = 0.5$ 의 경우는 반응시간 24時間에 1,000 kg/cm<sup>2</sup>의 강도를 나타내고  $r-C_2S$  180°C,  $C/S = 1$  및  $C_2MS_2$



<그림-19> Comparison of the reaction conversion of alite,  $r-C_2S$  and  $C_2MS_2$  (with quartz system)



<그림-20> Comparison of the reaction conversion of alite,  $r-C_2$  and  $C_2MS_2$  (without quartz system)

350 °C, C/S = 0.67 은 反應時間 72 時間에 600 kg/cm<sup>2</sup>, 그리고 r-C<sub>2</sub>S 300 °C, C/S = 0.5, 1.0 등은 反應時間 72 時間에 400 kg/cm<sup>2</sup>를 나타내고 있다.

5. 結 論

資源의 節約이라는 側面에서 칼시움시리케이트 水熱反應에 依存되는 오토크레이브 處理 建築材料 및 시멘트 二次製品에 있어서 各種칼시움시리케이트源을 使用하여 反應溫度 180 ~ 350 °C 反應 時間 1 時間 ~ 6 日까지의 水熱反應을 하였다. 出發物質로서는 石英, Ca(OH)<sub>2</sub>, r-C<sub>2</sub>S, Alite 및 Akermanite가 使用되었다.

실험결과를 정리하면 다음과 같다.

① 石英 - Ca(OH)<sub>2</sub> - H<sub>2</sub>O 系 反應

출발물질을 石英, Ca(OH)<sub>2</sub>를 使用했을 경우 스러리 反應은 固相反應보다 反應속도가 빠르며 고상반응일 경우 초기수화물은 石英을 중심으로 石英粒자를 싸고 형성된다. 이때의 反應 速度는 反應時間 3 時間 溫度 180 °C, C/S = 0.8의 경우 95%의 反應율을 보인다.

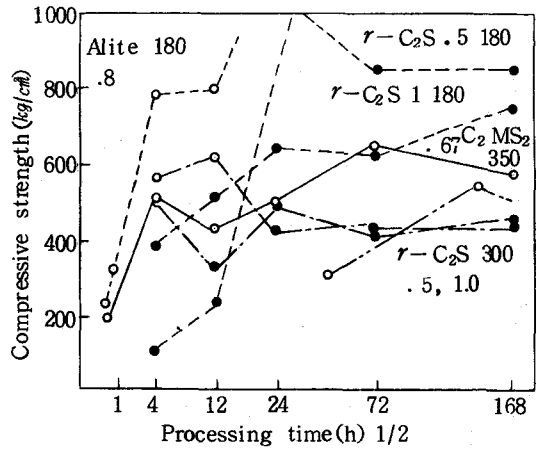
한편 스러리반응의 경우 액상 濃度는 反應 초기에는 CaO의 濃度가 높으며 反應 時間 30 分後 부터는 SiO<sub>2</sub>의 濃度가 높은 상태로 反應이 r-C<sub>2</sub>SH, Calcio - Chondrodite, P - Phase, Kilchoanite, Tobermolite, Xonotlite, Gyrolite, r-C<sub>2</sub>S 및 r-C<sub>2</sub>S + SiO<sub>2</sub> 系の 300 °C 反應生成物은 다음과 같다.

r-C<sub>2</sub>SH, Calcio - Chondrodite, P - Phase, Kilchoanite, Xonotlite, Gyr - olite.

한편 이들 반응계의 反應生成物 氣孔構造를 보면 r-C<sub>2</sub>S 및 r-C<sub>2</sub>S + SiO<sub>2</sub> 系 모두 반응시간과 더불어 세공이 큰것이 작은 쪽으로 움직여 내부조직의 치밀화를 알 수 있게 진행된다.

이와같은 現象은 固相反應에서도 同一할 것으로 추측된다.

固相反應의 微細構造를 보면 反應初期에는 氣孔量이 많은 것이 反應進行과 동시에 줄어들어 水和物의 조직의 치밀화가 일어남을 알 수 있으며 세공의 성격을 보면 10 Å 전후의 것과 40 Å 전후의 두 종류로 되어 있음을 알 수 있다.



〈그림-21〉 Comparison of the compressive strength of alite r-C<sub>2</sub>S and C<sub>2</sub>MS<sub>2</sub> (with quartz system)

②  $r - C_2S$  와  $SiO_2$ 의 水熱반응

$r - C_2S$  단독 및  $r - C_2S + SiO_2$ 系에 있어서  $180^\circ C$  反應生成物은 다음과 같다.

③ Alite 와  $SiO_2$ 와의 水熱反應

Alite의 水熱反應 速度는 石英을 添加하여 C/S 몰비를 낮게하면 反應속도가 빨라지며 이系에 있어서 석영의 反應율은 C/S 몰비가 클수록 빠르다.

④ Akermanite 와  $SiO_2$ 의 水熱反應

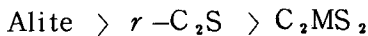
Akermanite 단독 및 Akermanite +  $Ca(OH)_2$ , Akermanite +  $SiO_2$ 의 反應에 있어 反應生成物은 反應溫度  $210^\circ C$ 에서 다음과 같다.

Calcio - Chondrodite,  $r - C_2SH$ , Kilchoanite,  $Mg(OH)_2$ , Hillebrandite, Gyrolite, M-S-H, Xonotlite.

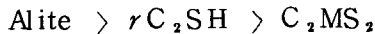
한편  $350^\circ C$  反應결과 生成物은 다음과 같다.

Calcio - Chondrodite,  $r - C_2SH$ , Xonotlite, Kilchoanite,  $Mg(OH)_2$ , M-S-H, Akermanite, Truscottite, Pseudo - Wallastonite,

⑤ Alite,  $r - C_2S$ ,  $C_2MS_2$ 의 단독수열 반응 속도를 비교하면 다음과 같다.

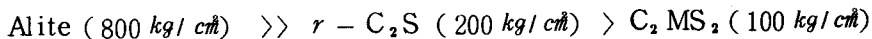


⑥ Alite +  $SiO_2$ ,  $r - C_2S + SiO_2$ ,  $C_2MS_2 + SiO_2$ 의 수열반응 속도를 비교하면 다음과 같다.

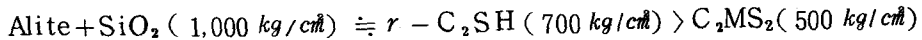


⑦  $C_2MS_2$ 는 단독일때는 수열반응 속도가 아주 늦지만  $SiO_2$ 를 添加시켜 C/S = 0.67로하여  $350^\circ C$ 에서 反應시키면  $r - C_2S$ 와 거의 同一한 정도의 속도로 反應이 進行되며 최종 生成物 역시 Xonotlite를 얻을 수 있다.

⑧ Alite,  $r - C_2S$ ,  $C_2MS_2$  단독수열반응 生成물의 강도를 비교하면 다음과 같다.



⑨ Alite +  $SiO_2$ ,  $r - C_2S + SiO_2$ ,  $C_2MS_2 + SiO_2$  수열반응 生成물의 강도는 다음과 같다.



參 考 文 獻

- 1) 山口悟郎, 内川浩, 河村繁雄  
窯業協會誌, 70, p 209 - 220 (1962)
- 2) 石灰硅酸系水熱反應中の 液相組成

李 卿喜, 志村優, 大門正機, 近藤連一

窯業協會誌, 85〔6〕1977. pp. 281 ~ 286

3) 石灰硅酸系 水熱反應の 速度と 機構

近藤連一, 李 卿喜, 大門正機

窯業協會誌, 84〔1〕, 1976. pp. 573 ~ 578

4) R. S. Mikhail, S. Bsunauer, E. E. Bordor. J. Colloid and Interface Sci, 26, 45 - 53 (1968).

5) R. S. Mikhail, S. Bsunauer, E. E. Bordor, J. Colloid and Interface Sci, 26 54 - 61 (1968).

6) S. Bsunauer, R. S. Mikhail, E. E. Bordor, J. Colloid and Interface Sci, 451 - 463 (1967).