

## 간단한 膨脹壓力 測定方法

Kuhlmann J. & Lenzner D.

田 鍾 泰 譯

<延世大學校化學工學科助教>

### 1. 序 論

建材의 物性中에서 가장 중요하게 要求되는 條件은 體積의 安定性 내지 不變性으로서 가령 몰타르와 콘크리트가 建築構造物에 사용되었을 경우 硬化後에 體積變化가 일어난다면 이 構造物은 파괴되기가 십상이다. 즉 上記의 필수 조건에 대해 溫度影響에 따른 체적변화가 발생하든가 水分의 損失(膨脹과 收縮現象)이 생길 때에는 要求되는 物性을 만족하기가 매우 어려우므로 設計者는 이러한 영향 因子들을 충분히 고려하여야 한다.

本稿에서는 不安定한 接合劑나 遊離狀의 CaO, MgO 또는 시멘트중의 과도한 黃化物의 含量, 콘크리트중에 사용된 골재중의 알칼리에 민감한 反應을 나타내는 成分 및 硬化性 몰타르나 콘크리트에 대해 腐蝕作用을 하는 氣體나 溶液으로 因하여 발생하는 體積變化를 주로 다루려 한다.

熱膨脹과 濕潤膨脹은 上記 現象 이외에도 여러 가지 損失을 수반하는데 예를 들면 플로어링 플라스터 (flooring plaster)에 사용되는 石膏材料는 硬石膏를 含有하는 石膏化合物과 水硬性 몰타르에 의해 硬石膏가 水和反應을 일으키므로 해서 體積이 증가되기가 쉽다. 따라서 이에 대한 豫備測定實驗은 여러 종류의 建材에 대한 體積安定性試驗에 매우 중요한 기여를 해주는데 종래에는 주로 寸數 變化의 測定에 基準을 둔 方法으로 시행되어 왔다. 즉 1930年代 초반기까지만 해도 Hummel은 硬化性 콘크리트의 收縮擧動

測定으로 크래킹 가능성에 대한 것까지 명백한 추론을 유도해 낼 수 없음을 지적하였다. 그는 콘크리트 프리즘을 사용하여 콘크리트 内部에 引張強度를 발생케 하고 콘크리트의 收縮性을 방지해 주는 糸狀鋼鐵棒을 軸方向으로 強制 주입시키는 方法을 제안하였다. 이 引張強度는 配合되는 콘크리트의 材質特性에 따라 어느 정도의 크래킹성을 일으키는데 이 微細한 크래킹 現象은 장차 대규모의 크래킹을 生成케 하는 기준으로 간주되고 있다.

이 研究는 Grün에 의하여 계승되었는데 그는 길이가 50~100 cm 범위내의 試片과 棒을 사용하여 실험하였다. 收縮性 研究에 사용된 이러한 형태의 強制注入 방식은 최근 美國이나 日本에서 收縮性補強 콘크리트나 膨脹 콘크리트 製造時에 사용되는 膨脹性 시멘트의 膨脹 포텐셜 시험에 應用되고 있다.

이 試驗方法은 Rubin과 Polivka 및 Mehta 등을 포함하는 여러 저자들에 의해서도 발표되고 있으며 ASTM 規格에도 잘 나타나 있다. 膨脹 포텐셜이란 糸狀金屬棒의 강제 주입시 試片의 길이 變化 측정의 기본을 둔 것으로서 강제 주입 방식과 사용된 시멘트의 종류에 따라 다르다.

이것은 페이스트나 몰타르 또는 콘크리트의 強制 내지 自然的인 體積變化로 發生되는 壓力을 측정하는 비교적 간단한 방법이다.

本稿의 주요 목적은 이 方法의 應用에 관련되는 제반 技術的 문제를 檢討하며 實例를 들어 이 方法의 사용 가능성을 立證하고자 노력하였다. 研究의 첫단계로서 半水和物의 硬石膏 II 混合物에

대하여 實驗하였으며 선택 이유는 半水和物의 急速한 水和反應과 硬石膏의 오랜 反應滯留時間 및 急速한 強度生成과 측정 시간이 비교적 짧기 때문이다.

## 2. 測定方法的 原理

石膏 플라스틱의 제조시 水和反應에 의해 발생되는 壓力은 몰타르의 膨脹을 야기시켜 結果的으로 壓力 減少現象을 유발한다. 가령 材料의 膨脹을 억제시켜 주는 制限條件下에서는 高壓을 나타내는데 만일 膨脹이 자유롭게 進行될 경우에는 體積增加에 필요한 양만큼의 壓力이 발생된다. 가장 재미있는 現象은 一定한 體積下에서 水和反應이 발생할 때 高壓이 生成된다는 點이다. 그러나 이러한 實驗條件은 일정한 체적을 갖는 反應 容器를 정확히 제조할 수 없으므로 거의 불가능하다(Sahores, 참조 6). 그러나 測定 試片의 體積과 관계되는 反應器의 壁을 두텁게 하고 材質을 高彈性 모듈러스인 것으로 製造하면 反應條件이 가능하긴 하지만 壓力測定을 정확히 하기 어려운 難點이 있다. 壓力測定은 항상 幾何學的 變形을 요하는데 이는 機械的 變形과 아울러 電氣的 내지 光學的인 變化를 나타내기 때문이다. 變形 許容度를 최소한 감소시킨다 하더라도 測定の 正確性은 역시 감소되므로 一定 體積下에서의 測定은 거의 불가능하다. 따라서 材料의 體積變化를 최소한 허용하여 膨脹力 측정을 할 수 있게끔 하여야 한다.

### 2-1 膨脹強度 測定の 原理

膨脹強度는 各各의 미치는 要因에 따라 측정 가능한데 보통 測定値는 質量 결정에 따라 감소될 수도 있다. 측정 방법은 材料의 彈性變形을 측정하거나 彈性變形된 材料의 物性變化를 결정함으로써 행해진다. 壓力과 팽창 관계로 인한 少量의 體積變化는 水和壓力 측정시 허용될 수 있으므로 本 實驗에서는 高彈性 모듈러스를 가진 鋼鐵棒의 彈性變形에 기본을 두어 팽창력을 측정하기로 하였다. 本 測定方法은 「스트레스가 應力變形(strain)에 比例한다」는 Hooke의 法則에 기본을 두었으며 이 관계식에서 比例因子는 物質 固有의 常數인 彈性 모듈러스이다. 이 관계는 어느 정도의 限界(彈性限界)까지는 명확히 나

타나지만 材料에 따라서 서로 相異하다. 스트레스가 이 限界點을 초과하면 材料는 플라스틱 變形을 일으켜 적용되는 荷重에 比例 관계를 나타내지 않는다. 즉 스트레스와 應力變形간의 비례 관계는 더 이상 成立이 되지 않고 變形應力 측정으로부터 스트레스의 차수를 추측하기가 어렵게 된다. 따라서 變形應力이 材料의 彈性舉動範圍를 초과하지 않도록 확인할 필요가 있다.

본 측정 방법을 채택함에 있어서 材料의 팽창은 스테인리스 스틸의 充填으로 인해 억제가 되는데 이 鋼鐵 와이어의 充填方法은 試片을 통해 세로 方向으로 팽창 주입하며 兩端에 두개의 고정판으로 고정시킨다. 이 와이어는 試片中에서 세로 方向으로 작용하는 팽창력을 吸收하여 변형을 일으킨다. 와이어의 斷面積이 가령 材料膨脹을 억제할 수 있을 정도로 선택되어 試片中의 팽창력이 최소한의 길이 변화만을 나타내도록 하면 와이어의 變形舉動은 완전한 彈性力을 갖게 되므로 와이어가 나타내는 팽창량이 試片中에서 작용하는 팽창력의 측정치가 된다.

이 方法에서 측정된 팽창력은 體積變화와 充填된 補強 와이어의 두께(斷面積)에 無關하고 또한 上述한 바와 같이 一定한 體積下에서는 팽창력을 측정하기가 불가능하므로 최대 팽창력은 여러가지 相異한 두께의 와이어 充填으로 측정된 팽창력 값을 도식상의 외삽법으로 구해야만 한다. 本 實驗에서는 이러한 목적으로 直徑이 각각 다른 와이어가 사용되었다. 원래 세로 方向으로의 억제가 증가되면 팽창력은 더 이상 等方性을 나타내지 않으며 대신 횡방향으로 팽창이 증가되기 때문에 본실험에서는 횡방향 팽창에 대해서도 특별한 주의를 기울였다.

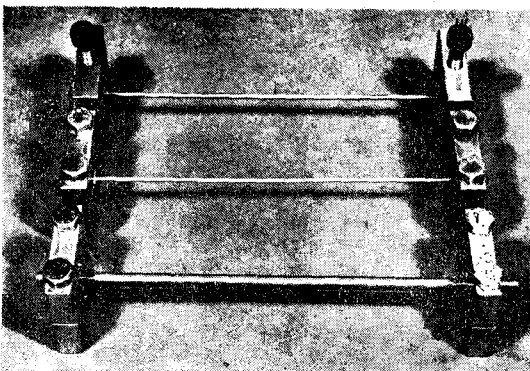
### 2-2 測定元素의 設計

上述한 바와 같이 材料內部에서 생성되는 팽창력은 體積變化가 最少가 될수록 더욱 증가된다. 測定裝置에 있어서의 誤差는 微少한 膨脹值에 대해 가장 重要한 測定範圍 내에서는 특히 잘 나타난다. 만일 와이어와 고정판간의 連結이 완전히 고정되지 않고 少量의 誤差만을 나타내거나 와이어가 고정판에 정확히 垂直이 되지 않으면 이 때 나타내는 부정확성은 팽창 初期에 측정상의 誤差를 유발케 한다. 이밖에 生成되는 誤

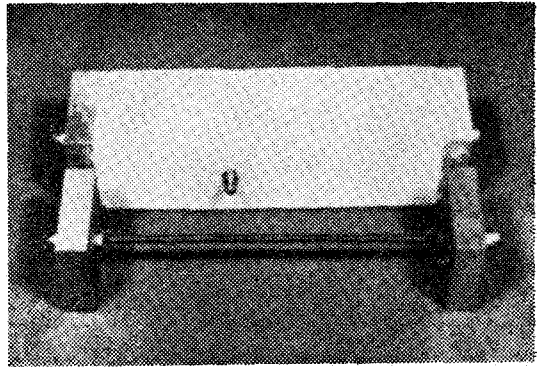
차는 試片 製造時 와이어의 완전한 平直性 결여로 기인되므로 와이어가 試片의 初期 팽창시 彈性變形이 진행되기 전에 팽팽히 당겨져야 한다. 신빙성 있는 측정치를 얻고자 할 때 와이어와 고정판간의 완전한 연결은 거의 필수적이다. 連結方法은 스크류 부착이나 마찰 그립(grip) 방식 및 熔接이나 接着方法 등으로 가능한데 熔接 및 接着方法에 있어서는 金屬이 超加熱되므로 金屬構造와 機械的 物性이 適用熱의 범위 내에서 변형되기도 한다. 이 現象은 게이지用 와이어가 全길이당 一定한 彈性值를 갖게 되지 않으면 變形應力으로부터 스트레스를 계산할 수가 없으므로 바람직한 것이 되지 못한다. 이 밖에도 高合金鋼은 熔接이나 接着이 불가능한 것으로 알려지고 있다.

마찰 그립 連結法에 있어서는 變形防止를 위한 마찰력이 壓力에 의해 生成되는데 이 마찰력은 適用壓力의 정도와 接觸面의 摩擦係數에 의존되며 <그림-1>에 이러한 連結을 획득하는 2가지 方法을 나타내었다. 接觸面上에서의 동일하고 精確한 연결 상태는 스크류를 적용해도 어려우며 또한 와이어의 斷面積이 連結部에서 弱화되기 때문에 이러한 方法은 몇번의 試驗測定을 통하여 포기되었다.

마지막으로 스크류 連結法에 의해 와이어와 고정판間을 固定하는 方法은 가능한 한 하나 와이어의 末端上에서 스크류糸를 절단하는 방식은 와이어의 物性을 部分的으로 弱화시키므로 역시 좋은 方法이 되지 못한다. 게이지用 와이어의 全



<그림-1> 스트레스 측정 요소(여러가지 직경의 스틸 와이어)와 強度 전달체(고정판) 사이의 摩擦 연결에 관한 장치



<그림-2> 스트레스 측정 요소(여러가지 직경의 糸狀棒)와 強度 전달체(고정판)간의 스크류-糸狀體 연결 방법

길이를 따라 一定條件을 갖게 하기 위해서 糸狀棒을 사용하여 各各의 고정판에 스크류로 조였으며 고정나트로 고정시켰다. 와이어의 充塡方法은 <그림-2>에 나타내었다.

最近 美國에서도 膨脹 시멘트의 測定用으로 이와 類似한 장치가 사용되고 있으나 아직까지도 실제 膨脹壓이 측정되지는 못하고 있다. 게이지用 와이어는 彈性 범위가 큰 鋼鐵로 조성되어야 하며 允當량이 허용 오차 범위내에 있도록 하기 위해 材料의 組成이 均일해야 하고 永久 均質體여야 하며 耐腐蝕性이 좋아 측정시 材質이 變化되지 않아야 한다. 이러한 理由로 가장 적합한 材質은 V4A 鋼鐵임이 밝혀졌다. 獨逸 規格 DIN 17440 에 따르면 室溫에서 오스테나이트 化 鋼鐵은  $20,300 \text{ kg/mm}^2$ 의 彈性 모듈러스와  $20 \text{ kg/mm}^2$ 의 스트레스로서 0.2%의 許容誤差를 가지고 있다. Schmidt氏에 의하면 스트레스가 上記의 값 以下 즉 70% 以下에서 발휘되는 한 測定值가 틀리게 나타나는 現象은 일어나지 않는다고 한다. 예를 들면 와이어 膨脹 過程中에 變形結果로 因하여 引張強度와 彈性限界가 상승되는 반면 彈性 모듈러스는 저하된다.

DEW에 의한 측정방법은 1.53 mm의 와이어가  $16,300 \sim 18,000 \text{ kg/mm}^2$ 의 탄성 모듈러스를 나타내고 있다. 아헨工大의 材料工學會의 측정법에 따른 結果値는 <表-1>과 같다. 이 表에서는 摩擦-그립 와이어의 상관 관계를 나타내고 있다.

上記 값은 원래 와이어의 직경이 變化될 경우

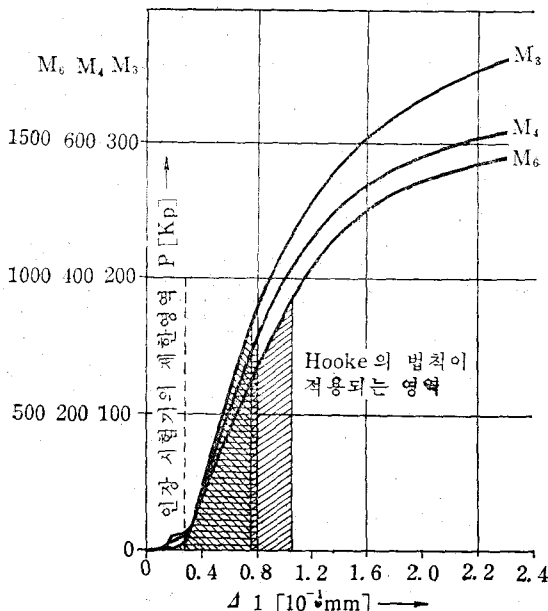
<表-1> 와이어와 糸狀棒의 탄성 모듈러스

와이어의 직경 (mm)	탄성 모듈러스 (kg/mm <sup>2</sup> )	
	와 이어	糸 狀 棒
0.5	15,650	12,000/14,400
0.99	16,400	13,750
1.50	17,200	12,300
1.99	17,450	—
3.00	17,200	—
3.98	17,200	—
4.99	17,400	(5,800)

標準測定器에 의해 측정된 값이며 와이어와 고정판간의 連結效果를 評價하기 위하여 全測定器 部品の 彈性 모듈러스도 아울러 측정되었다.

측정기 부품의 彈性 모듈러스는 와이어 充填時 측정된 값으로 <表-1>의 세제칸에 나타냈으며 各個 와이어의 固有值보다 현저히 감소함을 볼 수 있다. 직경이 4.99mm 인 와이어로 充填시켰을 때의 摩擦 그림은 全膨脹力이 고정판으로부터 와이어로 완전히 傳達될 수 없었는데 이 非定常的으로 나타나는 낮은 값은 와이어와 고정판간의 連結部에서 슬립(slip) 現象이 일어나기 때문이다.

糸狀棒의 彈性 모듈러스는 실제로 와이어의 彈性 모듈러스보다 낮으며 이는 스크류의 糸狀工程



<그림-3> 10mm 고정판을 갖춘 糸狀棒(M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>6</sub>)의 強度 팽창선도

時 冷却作業과 糸狀棒의 切缺效果(notch effect)에 관련된 強度分布의 不均一性에 기인된 것이다.

<그림-3>은 強度와 變形應力간의 관계 도표로서, 보다 정확히 말하면, 糸狀棒의 斷面積을 고려하지 않은 3가지 크기의 糸狀棒에 대하여 適用 부하를 확장한 도표이다. 여러가지 다른 두께의 棒을 선택함으로써 넓은 측정 범위의 스트레스와 變形應力간의 線型關係를 획득할 수가 있으며 棒과 고정판간의 연결을 용이하게 하면 이에 따른 利點이 있는 반면 平板 와이어에 비해 糸狀棒의 均一한 彈性을 감소시키는 불리한 점도 수반된다. 糸狀棒의 직경이 3mm 이하인 것을 사용하면 실용적이 되지 못하며 더구나 이 棒을 더욱 팽팽히 잡아 당기므로 해서 最少의 強度를 측정하기는 거의 불가능하다. 따라서 摩擦—그립 연결에 관한 여러 실험이 현재 계획중에 있다. 고정판은 게이지用 와이어나 棒과 같은 材質로 되어 있으며 두께는 生成強度에 대해 완전한 硬直性を 나타낼 수 있도록 설계되었다.

2-3 誤 差

強度 測定에 있어서 充填物(棒과 고정판의 組立體)의 탄성 모듈러스와 充填試料가 나타내는 길이 변화를 측정할 필요가 있다. 스크류 糸狀 充填材의 彈性 모듈러스를 <表-2>에 열거해 놓았는데 이 表로부터 4개의 서로 相異한 메트릭 스크류 糸狀體의 크기를 볼 수 있으며 糸狀體의 코어 직경은 둘째 칸에 나타내었다. 彈性 모듈러스의 測定值中 誤差가 3% 이내로 추정되는데 이는 사용된 測定器가 아주 적합하지 않은 것으로 판단된다. 길이 변화는 2% 이내의 誤差로 다이얼 게이지에 의해 측정되었으며 참고로 強度測定과 관련된 최대 허용 오차는 5%이다.

그러나 이 측정 방법을 보다 더 발전시키고 改

<表-2> 스크류 糸狀棒의 彈性 모듈러스

스크류의 종류	M <sub>3</sub>	M <sub>4</sub>	M <sub>6</sub>	M <sub>8</sub>
糸狀棒 (mm)	2.35	3.09	4.7	6.37
E-모듈러스 (kg/mm <sup>2</sup> )	8,900	10,000	9,900	5,800
	10,700	11,300		
	11,100	11,500	12,100	6,200
	11,300	11,800		

良하여 측정중의 許容誤差는 최소한 감소시켜야 할 것이다.

### 3. 測定材料와 實驗過程

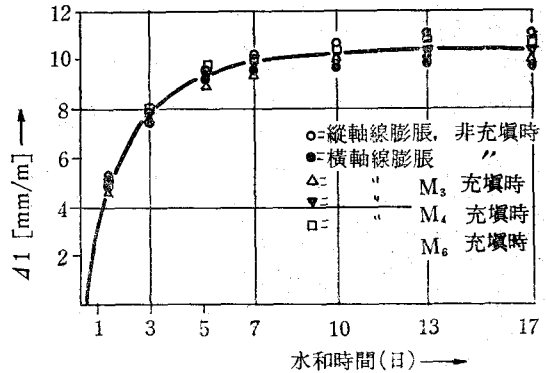
本 研究에 사용된 石膏 플라스틱은 市販用 燒石膏와 硬石膏의 비율을 1:2로 混合하여 제조되었다. 硬石膏는 450°C에서 煑소시켰으며 약 60% 가량을 63미크론 以下의 微細粉末로 粉碎하였다. 硬石膏는 水分率을 0.45로 하였으며 平板混合器에서 2分間 혼합하였고 <그림-2>에 圖示한 膨脹壓 측정용의 充塡材를 함유한 4cm×4cm×16cm의 成形體로 成形하였다.

混合後(DIN 1164 標準 프리즘 成形法에 따름) 즉시 成形體가 縮少되도록 볼트로 조였으며 成形에 따른 膨脹 억제효과를 피하였고 膨창압력이 모두 兩端의 고정판으로부터 金屬棒에 전달되도록 하였다. 石膏 플라스틱의 急速한 成形性으로 인해 試片은 20分 後에 離型될 수 있었으며 線形的으로 나타내는 測定値는 改良된 Graf-Kaufmann 장치를 이용해서 측정되었다. 非充塡 프리즘의 경우에는 측정치가 0이었으나 硬質充塡材가 충전되었을 때에는 成形體 内部에 설치되기 전의 측정치 0을 변경시켜 길이 변화에 대한 실험치로 취해질 수가 있었다.

硬質 프리즘이 100%의 상대 습도와 항온조중에 설치되어 있으므로 實驗中 과잉 混合水의 증발은 발생되지 않았으며 硬石膏II의 水和反應도 더욱 촉진되었다. 各各의 相異한 充塡強度(棒의 두께)와 水和時間의 함수로 얻어진 變形 길이의 線形 측정치는 만일 充塡材의 특이한 物性을 알 수 있다면 水和反應에 관련된 壓力를 계산해 낼 수 있게 해 준다. 따라서 時間의 함수에 따른 壓力의 측정용으로 V4A 강철 제품으로 된 糸狀棒이 본 실험에 사용되었다. 이 棒은 각각 다른 크기의 M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>6</sub>인 스크류糸로 구성되어 있다.

### 4. 測定結果

水和反應度에 관한 研究로부터 20分이 경과된 후 非充塡 試片이 측정치 0을 나타낼 때 燒石膏는 약 50%의 水和反應을 달성하며 硬石膏는 약 5%가 水和됨을 나타내 주고 있다. 水和反

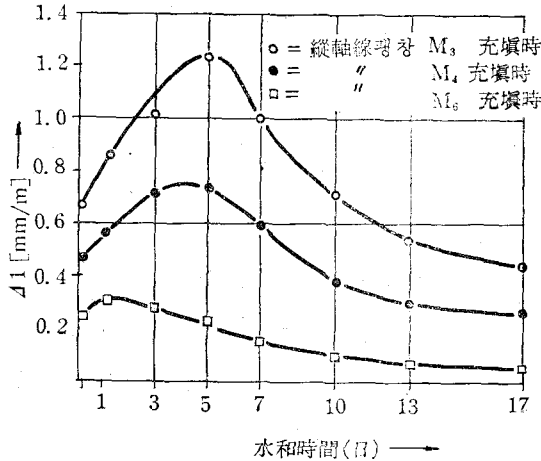


<그림-4> 水和時間에 대한 函數로서 糸狀棒(M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>6</sub>)을 충전한 프리즘과 非充塡 석고 프리즘의 횡축 및 종축 방향으로의 變形應力

應의 진행은 硬質 脫水 構造의 相對的 膨창으로 말미암아 線形的 變化를 일으키는데 이 관계를 <그림-4>에 나타내었다. 非充塡 試片의 횡적 膨창이 수직 膨창과 약간 相異함을 나타내고 있으나 이 차이는 프리즘의 수직 방향이 16cm나 되는데 비해 횡방향으로는 4cm로서 게이지가 짧기 때문이며 이 差異는 充塡材의 존재로 더욱 방해를 받게 된다. 즉 횡적방향으로의 膨창치가 약간 감소됨을 의미하므로 본 계산상에서도 고려되었다. 그러나 <그림-4>에 나타낸 곡선은 2-3절에서 언급한 측정오차를 감안할때 횡적 및 수직방향으로의 자유膨창이 제한된 수직 膨창 및 횡적膨창과 함께 모두 일치함을 나타내고 있다.

<그림-4>는 水和反應시간에 대한 膨창치의 플롯으로서 ○표시는 수직방향으로의 膨창을 나타내며 ●표시는 非充塡試料의 횡적膨창을 나타낸다. 다른 點들은 充塡試片中에서의 횡적膨창과 관련된 것이다. 또한 그림으로부터 充塡效果가 횡적膨창의 차수에 영향을 미치지 않음은 좀 특이한 현상이다.

<그림-5>는 여러가지 充塡 프리즘의 膨창거동을 나타낸 것으로서 최대 길이 변화는 非充塡 프리즘보다도 10~30배나 적으며 20分이 채 못되어 측정치 0이 작동하긴 하였으나 石膏 속에 충전되기 전 充塡材 시스템 表面에서 측정되었다. 이 그림에서는 세가지 크기의 糸狀棒에 관한



<그림-5> 水和時間에 대한 函數로서 糸狀棒(M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>6</sub>)을 充填한 石膏 프리즘(4 cm×4 cm×14 cm)의 線形的 變化

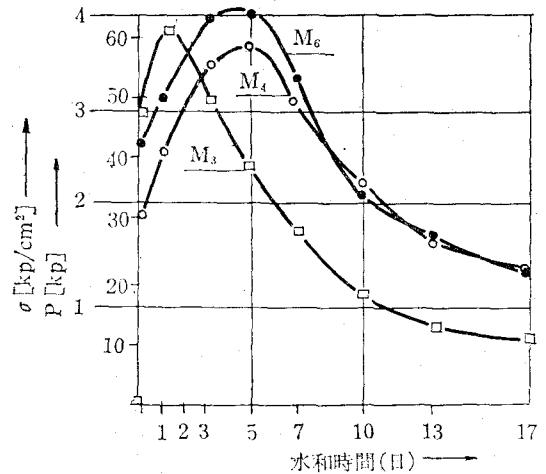
곡선을 나타내고 있다.

이상과 같은 예비실험을 거쳐 燒石膏의 급속한 水和反應으로 初期 팽창치를 측정할 수 있으며 접근선으로 거의 최대치에 도달되는 포물선형의 充填材는 횡적 및 수직방향으로 팽창함에 반하여 充填 프리즘은 수직방향으로만 少量 팽창되고 있음을 볼 수 있다. 이 팽창량은 M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>6</sub> 등 사용된 充填材의 두께에 따라 變化되며 충전재의 직경을 보다 크게 함으로써(즉, 膨脹效果에 보다 큰 제한요소를 가하여) <그림-5>와 같이 初期에 최대 팽창치를 얻을 수 있다.

최대 팽창치는 收縮性도 수반하는데 그림중의 커브는 어느 정도 永久膨脹值까지 단조롭게 하강하고 있다. 이는 充填棒의 직경을 작게 함에 따라서 점차 증가된다. 充填 프리즘으로 측정된 팽창치는 <그림-3>에 나타낸 바와 같이 鋼鐵의 變形이 彈性範圍內에 있으므로 스트레스와 變形應力간의 관계가 線形的 관계에 있음을 알 수 있다.

각각의 측정된 길이 변화와 고정판의 면적이 16 cm<sup>2</sup> 라는 점(이것은 糸狀棒의 斷面的으로부터 추론해 낼 수 있음)으로부터 각각의 膨脹強度를 계산해 낼 수 있고 이로부터 팽창압력도 계산해 낼 수 있다.

<그림-6>은 水和時間에 대한 函數로서 強도와 壓力를 나타내었다. 이 그림으로부터 充填材와는 관계 없이 최대 팽창압력 3.9 kg/cm<sup>2</sup>에



<그림-6> 水和時間에 대한 函數로서 硬石膏 프리즘(4 cm×4 cm×16 cm)에 대한 強도와 스트레스간의 관계

해당되는 62±2 kg의 팽창강도까지 증가시킬 수 있었다. 확실히 硬化 石膏의 構造는 水和反應의 감소로 보다 높은 스트레스에 충분히 견디지 못하고 결과적으로 최대 스트레스는 硬石膏Ⅱ의 水和反應으로 인해 壓力이 점차 감소하여 石膏 構造 安定性和 平衡을 이루는 스트레스 상태까지 감소된다.

측정기간의 종말에는 이 平衡상태가 완전히 확립되지 않음을 볼 수 있으며 커브상태로 보아 濕氣 함량과 多孔性의 존재로 平衡應力이 1 kg/cm<sup>2</sup> 정도에 달하고 있음을 볼 수 있다.

M<sub>3</sub>, M<sub>4</sub>, M<sub>6</sub> 등 各各의 充填材로 행한 팽창 압력측정에서 나타낸 훌륭한 一致性은 이 방법이 보다 넓은 범위의 팽창 압력측정에 사용될 수 있음을 시사해 주고 있으며 보다 두꺼운 充填棒을 사용함으로써 측정 범위를 확대시킬 수 있다. 硬化時 체적 변화나 後續反應의 결과로서 팽창이 발생하는 어떠한 建材에 있어서도 적당한 強度의 充填材를 선택함으로써 最大壓力은 측정될 수 있다.

고도로 팽창된 石膏混合物에 관한 본 研究에 있어서 測定時 사용된 化合物의 組成은 특히 짧은 水和反應 시간을 갖고 있고 본 測定方法의 적합성 테스트를 목적으로 하여 선택되었으므로 充填材 M<sub>3</sub> 및 M<sub>4</sub>는 최대 발생압력을 측정하는데 가장 적합하다는 것을 나타내고 있다. 실제적으

로 建築材에 사용된 石膏 플라스터는 各各의 組成과 水/石膏의 비율 및 사용된 混合物과 기타 因子에 따라서 보다 적은 量의 팽창을 일으킨다는 것을 염두에 두어야 한다.

[ 參 考 文 獻 ]

1) Hummei, A: Zur Bewertung der Schwindzahlen von Leichtbeton. Zement 19(1930), 1062.  
 2) Grün, R: Schwinden von Mörtel und Beton. Zement 28(1939), 374.  
 3) Rubin, E.H: A testing agency's experience with expansive cements. ACI Special Publication, Nr. SP-38-16(1973), 341.  
 4) Polivka, M: Factors influencing expansion of

expansive cement concretes. ACI Special Publication, Nr. SP-38-11(1973), 239.  
 5) Mehta, P.K. und Polivka, M: Expansive cements. VI. International Congress on the Chemistry of Cement, Moskau, September 1974.  
 6) Sahores, J: Contribution à l'étude des phénomènes mécaniques accompagnant l'hydratation de l'anhydrite. Rev. Mat. de Constr. (1962), 558, 65; 559, 97; 560, 131; 561, 157; 562, 210; 564, 257; 565, 285; 566, 325; 567, 357.  
 7) Kohlrausch, F: Praktische Physik, Bd. 1(1960), 154.  
 8) Schmidt, W. und von den Steinen, A: Besonderheiten des Kriechens von Stählen bei Raumtemperatur. Materialprüfung 14(1972), 183.



雙龍 싱가포르工場 完工  
 現代 바레인工場 完工