

# 高温受熱된 無機質斷熱材의 物性變化에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on the Property Transformation for  
High-Heated Inorganic Insulation

金 峰 主\*

KIM, B. J.

金 泰 鎔\*\*

KIM, T. Y.

吳 昌 熙\*\*\*

OH, C. H.

---

## Abstract

The purpose of this study is to understand the variations of the properties of matters according to the heated temperature of inorganic insulation. As a result, from the variation of heat conductivity and maintaining from of insulation, the range of reusable heated temperature of inorganic insulation is as follows.

Glass wool : 400℃

Rock wool : 600℃

Perlite : 800℃

---

## 1. 序論

수차례에 걸친 油類波動에 의하여 世界各國의 에너지 절약에 대한 關心이 高潮되었다. 국내에서도 1975년 12월 에너지 절약의 차원에서 新規建築物에 대한 斷熱材使用을 義務化하는 法規가 制定되었으며, 그 후 몇 차례에 걸쳐 그 規定이 대폭

강화되었다. 이에따라 斷熱材는 그 사용이 크게 增加하였으며 현재에는 耐火被覆, 吸音 등의 斷熱이외의 목적으로도 다양하게 쓰이게 되었다. 특히, 建物火災로 인한 피해가 大規模化되어 建物內裝에 難燃性 材料가 要求되었다. 그러나 無機質 斷熱材의 高温受熱後의 斷熱性能評價에 대한 자료가 거의 없는 實情이다. 그러므로, 火災後 受熱된 상태의 모든 재료는 使用不可한 것으로 判斷하여 撤去되어 斷熱에 대한 再施工이 一般化 되고 있다.

---

\* 漢陽大學校 大學院

\*\* 正會員, 漢陽大 博士課程

\*\*\* 正會員, 漢陽大 教授, 工博

그러나 無機質 斷熱材와 같이 耐熱性이 우수한 材料는 受熱溫度에 따라 再使用이 가능할 수도 있으므로, 受熱程度에 따라 합리적인 使用이 바람직하다. 즉, 火災를 당한 火災室의 無機質 斷熱材를 완전히 撤去할 것이 아니라 損傷 有無와 그 程度에 따라 부분적인 再使用, 또는 補修 등의 措置를 통해 工期의 短縮 및 經濟적인 損失을 줄여야 할 것이다.

따라서, 本 研究는 受熱溫度에 따른 無機質 斷熱材의 物性變化를 檢討하여, 火災後의 受熱된 斷熱材의 再使用, 補修, 撤去 등의 措置를 위한 基礎 資料를 提供하는데 그 目的이 있다.

2. 實驗

2-1. 實驗概要

표2-1. 因子 및 水準

因子	水準	水準數
溫度(℃)	200, 400, 600, 800, 1000	5
試料種類	암면, 유리면, 퍼라이트	3

표2-2. 測定項目

測定時期	測定項目
加熱試驗前	含水率, 熱傳導率, 密度, 重量
加熱試驗中	爐溫度, 裏面溫度, 狀態變化 發熱狀態 表面溫度
加熱試驗後	熱傳導率, 形狀變化, 色相變化 密度, 重量

2-2. 試料 및 實驗機器

1. 試料

유리면, 암면, 퍼라이트는 각 KS基準에 준한 보온판 2호품을 사용하였으며, 시료의 크기는 30×30×5(cm)로 하였다. 본 실험에 사용된 시료의 밀도와 熱傳導率은 표2-3과 같다.

2. 實驗機器

1) 加熱爐: 製作한 電氣爐의 諸元은 다음과 같으며, 그 系統圖는 그림2-1과 같다.

種類	密度	熱傳導率(Kcal/mh℃)
유리면	0.039	0.027
암면	0.131	0.029
퍼라이트	0.273	0.073

① 熱源: 칸탈선A-1 (Kantal A-1: 소비전력 3KW, 發熱溫度 1350℃)

② 爐: 벽체는 1급耐火벽돌과 耐火모르타르로 제작하였으며 내부는 Cera-Cool로 단열하였다. 爐의 形狀 및 크기는 그림2-2와 같다.

③ 溫度制御機: Relay와 Digital Thermometer로 제작하여 사용하였다.

④ 溫度測定用 sensor: PT-R형(구 JIS 규준 PR1 3 使用溫度 0~1600℃, 오차±1.5℃)

2) 熱傳導率 測定機: AMACON MODEL88 (DOW CHEMICAL사 제품)

2-3. 實驗方法

1) 크기 및 두께측정

유리면은 KS L 9102(1986), 암면은 KS F

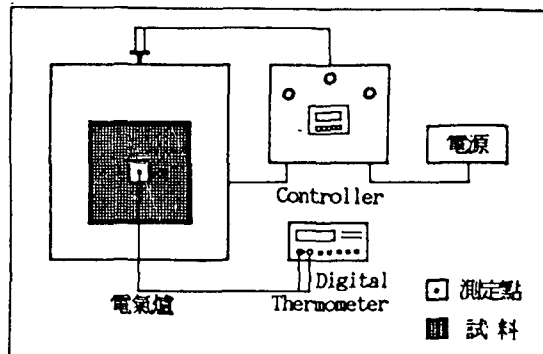


그림2-1. 加熱試驗 系統圖

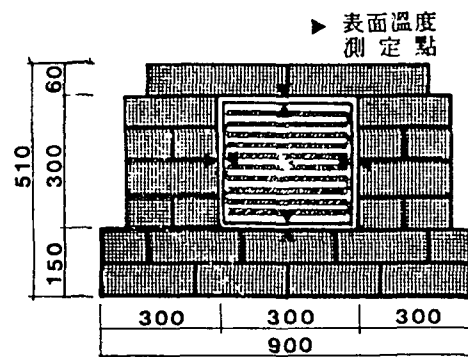
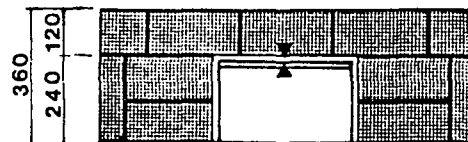


그림2-2. 爐의 形象 및 크기

4701(1986)에 準하여 크기 및 두께를 測定하였다. 또한 퍼라이트는 固體測定方法에 準하여 測定하였다.

2) 加熱實驗

試料를 製作한 電氣爐의 熱源 반대편에 설치하여 加熱하였다. 加熱은 持續加熱과 連續加熱로 區分하여 실시하였다. 爐內部溫度의 測定誤差는  $\pm 1^\circ\text{C}$ , 裏面溫度의 測定誤差는  $\pm 0.05^\circ\text{C}$ 이며, 爐內部溫度의 維持誤差는  $\pm 5^\circ\text{C}$ 로 하였다. 온도의 測定時間의 間隔은 1분으로 하였다.

3) 熱傳導率 測定

熱傳導率 測定은 加熱實驗前의 試料와 加熱實驗後 常溫에서 냉각시킨 試料에 대하여 실시하였다. 熱傳導率의 측정은 絶乾狀態에서 실시하였으며, 각 試料別로 2회 측정하여 그 平均값으로 하였다.

4) 重量 測定

持續加熱實驗의 前後에 측정하였으며, 측정시 試料의 狀態觀察을 동시에 실시하였다.

5) 色相 및 狀態觀察

持續加熱實驗 후 色相의 변화 및 그 변화값이를 측정하였다. 또한, 각 溫度別 持續時間에 따른 차이와 色相變換을 일으키는 정확한 온도를 알기 위하여 各各 常溫에서  $200^\circ\text{C}$ ,  $300^\circ\text{C}$ ,  $350^\circ\text{C}$ ,  $400^\circ\text{C}$ ,  $450^\circ\text{C}$ ,  $500^\circ\text{C}$ ,  $550^\circ\text{C}$ ,  $600^\circ\text{C}$ ,  $650^\circ\text{C}$ ,  $700^\circ\text{C}$ 까지의 10가지로 細分하여 각 온도에 도달한 후 供히 30분간 加熱하였다. 이 實驗에서 사용된 試料의 크기는  $4 \times 2.5 \times 2(\text{cm})$ 로 四面加熱爐를 사용하여 가열하였다.

3. 實驗結果 및 考察

3-1. 爐溫度와 裏面溫度

1) 爐溫度와 裏面溫度

그림3-1은 連續加熱時 爐內部溫度를 나타낸 것으로, 斷熱材의 종류에 따라 온도가 서로 다르게 나타남을 알 수 있다. 유리면과 암면의 爐溫度는 퍼라이트에 비해 급격한 增加를 나타내는데, 이는 각 재료의 熱的性能에 다른 차이로 判斷된다. 또한, 유리면은  $600^\circ\text{C}$ , 암면과 퍼라이트는  $1000^\circ\text{C}$ 에 달해서는 爐溫度의 增加率이 低下되는데,

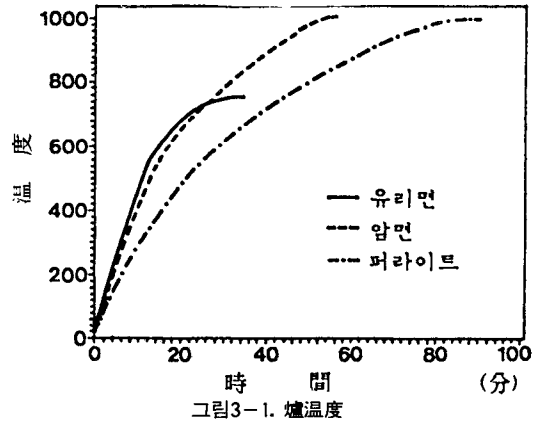


그림3-1. 爐溫度

이는 熱量이 試料의 鎔融에 消費되기 때문인 것으로 판단된다.

그림 3-2는 爐溫度에 따른 각 재료의 裏面溫度를 나타낸 것으로, 암면과 퍼라이트는 유리면의 경우보다 裏面溫度의 上昇이 緩慢하다. 특히, 퍼라이트의 경우 爐溫度  $950^\circ\text{C}$ 까지 裏面溫度는 爐溫度의 10%에도 미치지 않고 있다. 따라서 암면과 퍼라이트는 高溫에서의 斷熱性이 매우 우수한 것으로 判斷된다. 그림3-3은 시간에 따른 爐溫度와 裏面溫度를 나타낸 것으로, 爐溫度의 上昇에 따라 各 試料의 裏面溫度는 각각 다르게 나타난다. 이는 溫度上昇에 따라 熱傳導率이 달라지기 때문인 것으로 判斷된다.

2) 持續加熱實驗時 裏面溫度

各 受熱溫度別 維持時間에 따른 裏面溫度를 그림3-4, 5, 6, 7, 8에 나타내었다.

(1) 유리면

爐溫度가 一定하게 維持될 때 裏面溫度는 持

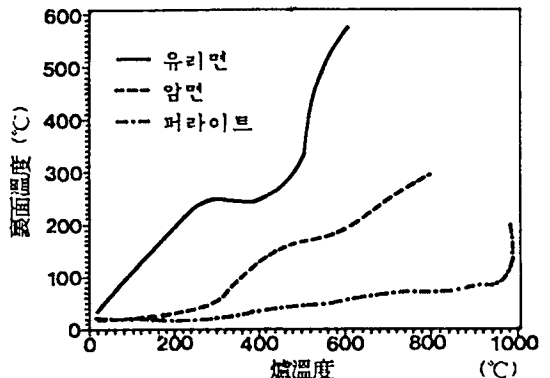


그림3-2. 爐溫度와 裏面溫度

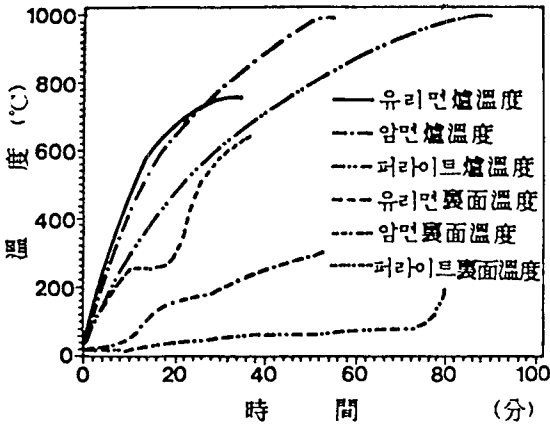


그림3-3. 時間에 따른 爐溫度와 裏面溫度

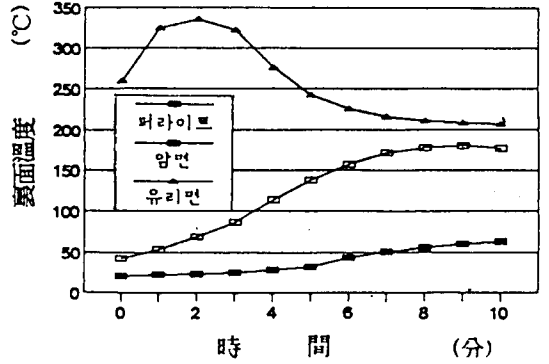


그림3-6. 爐溫度 600°C에서의 裏面溫度

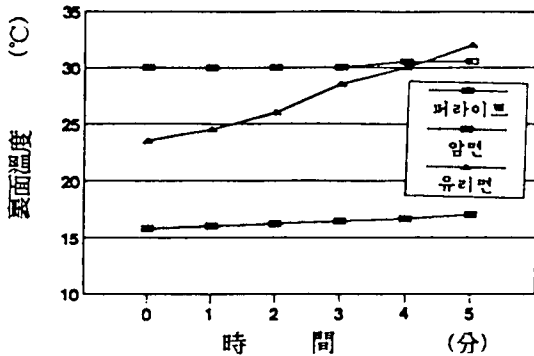


그림3-4. 爐溫度 200°C에서의 裏面溫度

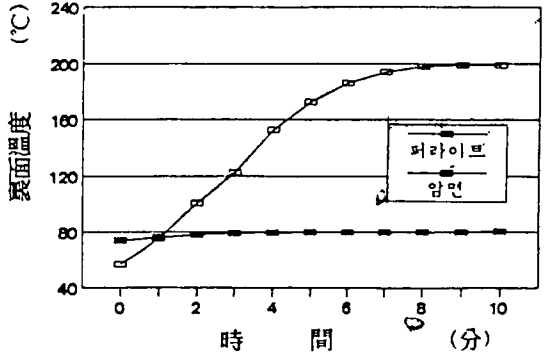


그림3-7. 爐溫度 800°C에서의 裏面溫度

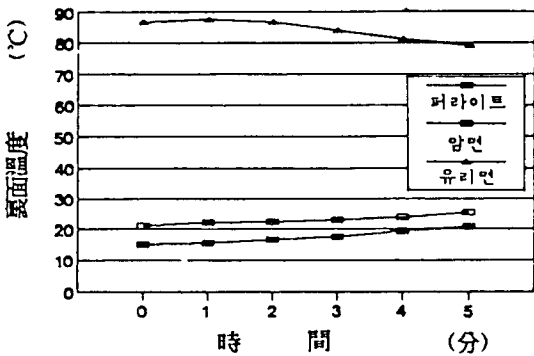


그림3-5. 爐溫度 400°C에서의 裏面溫度

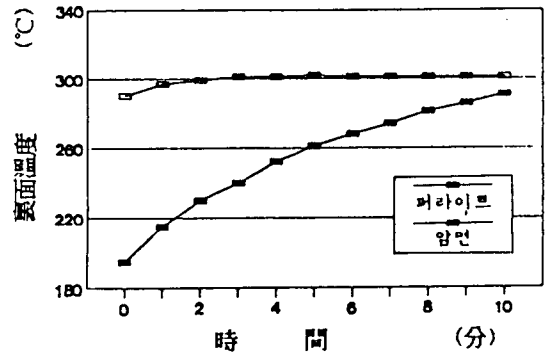


그림3-8. 爐溫度 1000°C에서의 裏面溫度

續上昇하여 維持時間 5분후에 定常狀態가 된다. 각 受熱溫度에서 유리면의 裏面溫度는 암면보다 높게 나타나고 있다. 이는 온도에 따른 熱定數가 급격히 上昇하기 때문이라고 생각된다. 爐溫度 400°C의 裏面溫度는 유리면이 암면이나 퍼라이트보다 50~60°C정도 높게 나타나고 있다. 爐溫

度 600°C에서는 암면의 裏面溫度와 40°C 정도의 差를 보였으나, 퍼라이트의 裏面溫度는 120~130°C의 큰 差를 나타내고 있다.

(2) 암면

爐溫度 200°C와 400°C에서는 裏面溫度의 變化가 3~7°C로 매우 적었다. 그러나, 爐溫度 600°C와

800℃에서는 維持時間의 經過에 따라 裏面溫度가 持續 上昇하여 약 8분에 定常狀態가 되었다. 또, 爐溫度1000℃에서는 약2분에 定常狀態가 되는데 이는 爐溫度의 溫度上昇이 緩慢하기 때문에 생각된다. 反面의 裏面溫度는 爐內部溫度600℃에서 175℃, 800℃에서 200℃정도 밖에 上昇되지 않았다. 따라서 反面은 耐火被覆材로서 使用이 可能할 것으로 判斷되며 今後에 이에 관한 檢討가 要求된다.

(3) 퍼라이트

爐溫度200℃에서부터 800℃까지의 裏面溫度는 100℃이하로 다른 試料보다 낮게 나타났다. 이는 高温에서 熱傳導率이 낮은 값을 갖기 때문에 判斷된다. 그런, 爐溫度 1000℃의 持續加熱의 경우 爐溫度 約950℃부터 熔融이 시작되어 裏面溫度가 급격히 上昇하였다. 加열시간 約 10분에 一時的인 定常狀態가 維持되는데, 이는 熔融으로 인한 熱量 消耗에 기인한 것으로 判斷된다. 그러나, 維持時間이 15분을 경과하면서, 熔融으로 因而하여 試料의 두께가 얇아져 裏面溫度가 급격한 上昇을 보였다.

3-2. 物性變化

1) 重量減少

그림3-9는 受熱溫度에 따른 重量變化를 나타낸 것으로, 3種의 試料 供히 受熱溫度가 높을수록 重量은 減少하는 傾向을 보이고 있다. 이 減少의 原因을 TGA(Termo-Gravimetry Analsis)로 分析 하여 보았다(그림3-10) 反面과 유리면의 경우

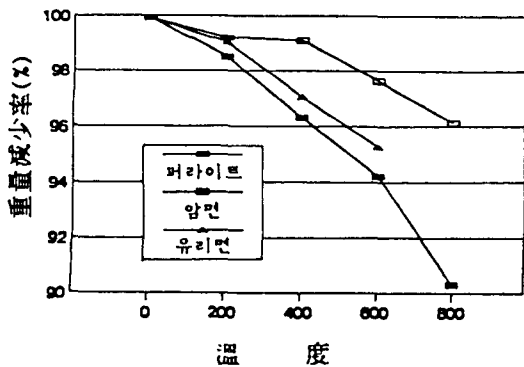


그림3-9. 受熱溫度에 따른 重量減少率

200℃까지는 含有水分의 蒸發로 因하여 重量減少 가 나타난 것으로 보이며, 200℃에서 600℃까지의 급격한 감소는 製品製造時 連續氣泡의 形成 및 維持를 위하여 사용된 페놀레진의 分解에 의한 現狀으로 판단된다. 600℃ 以上에서는 불안정한 알카리성분이 溶出되어 重量이 減少한 것으로 판단된다. 比重과 比熱이 큰 反面은 試料內部溫度 의 上昇이 늦어 페놀레진의 分解速度가 緩慢하므 로 重量減少도 遲延되는 적으로 判斷된다. 퍼라이 트의 경우 約150℃까지 是 水分蒸發에 因하여 重量 이 減少하며, 그 이후의 減少는 有機纖維 및 不純 物의 燃燒에 起因한 것으로 判斷된다. 그림3-9 에서 보는 바와 같이 各 試料가 一定한 減少傾向 을 보이는 것은 一面加熱의 實驗條件때문인 것으 로 思料된다.

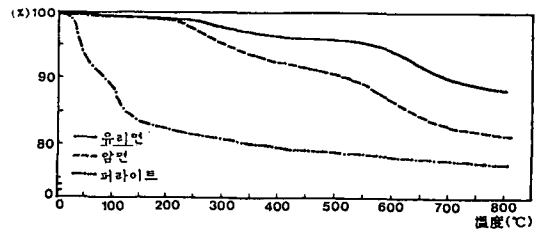


그림3-10. TGA 結果

2) 高温受熱後 常溫에서의 熱傳導率

그림3-11은 高温受熱後 常溫에서의 熱傳導率을 나타낸 것이다. 反面과 유리면의 熱傳導率 값은 거의 차이가 없었으나, 퍼라이트는 受熱溫度가 높아짐에 따라 熱傳導率값이 적어지는 것으로 나타났다. 이는 유리면과 反面은 高温에서 熔融시 켜 製造되었으므로 熔融點이하로 受熱되었을 경우 에 페놀레진의 分解이외에는 化學적인 變化가 없고 連續空氣泡의 形狀이 維持되었기 때문에 判斷된다. 퍼라이트는 水分의 蒸發과 有機質纖維 의 燃燒로 因하여 內部空腔이 增大되었기 때문인 것으로 판단된다.

3) 受熱溫度別 色相 및 形狀變化

표3-1은 受熱溫度에 다른 色相 및 形狀變化를 나타낸 것이다. 유리면은 SiO<sub>2</sub>가 主成分인 纖維와 接着劑로 사용된 페놀레진으로 構成되어 있으며, 受熱에 따라 이러한 成分들이 變함으로써 色相도

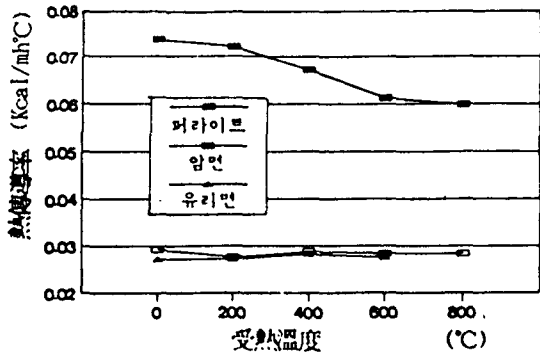


그림3-11. 受熱溫度別 熱傳道率 (수열후 상온에서의 열전도율)

변화한다. 受熱溫度200°C에서는 常溫에서 黃色인 페놀레진이 炭化되어 연갈색을 나타내며, 400°C에서는 진갈색을, 600°C에서는 페놀레진이 완전히 熱分解되어 SiO<sub>2</sub>가 갖는 흰색으로 변화하게 된다.

유리면의 경우와 같이 암면도 接着劑로서 페놀레진이 사용되었으므로 受熱溫度200°C와 400°C에서의 色相變化는 유리면과 類似하다. 그러나 600°C이상에서는 페놀레진이 완전히 分解되어 암면 본래의 色相인 회녹색으로 변한다. 암면의 회녹색을 띠는 이유는 國產암면의 主原料인 slag에 含有되어 있는 Fe와 MgO의 영향으로 판단된다. 유리면과 암면은 受熱溫度에 따른 色相變化가 매우 明確하게 區分되었다.

표3-1에서 보는 바와같이 高温受熱時 암면과 유리면은 깊이별로 그 色相의 差異가 明確하였다. 따라서, 단면에서 各層의 受熱溫度를 概略적으로 確定할 수 있었고 깊이별 溫度分布로 火害程度를 維持할 수 있다고 思料된다.

퍼라이트의 경우 色相의 變化는 없었으나, 受熱溫度400°C와 600°C에서는 表面에 微細한 地圖狀 龜裂을 보였다. 이는 結合水蒸發에 의하여 發生한 收縮應力에 起因된 것으로 판단된다. 그러나, 800°C에서는 表面의 熔融으로 龜裂이 보이지 않았으며, 1000°C에서는 완전히 熔融되었다.

사진3-1은 유리면의 受熱溫度600°C의 경우를 100배로 擴大한 것으로, 纖維가 融着되거나 파괴된 부분이 보이며, 흰 꽃같은 무늬는 不安定알카리의 溶出로 인한 痕跡으로 보인다. 사진3-2는 受熱前의 암면상태로 깨끗한 表面狀態를 보이고 있다. 사진3-3은 受熱溫度1000°C의 경우, 암면의 纖維狀態를 나타낸 것으로 溶出알카리와 不純物이 融着된 모습을 보이고 있다. 常溫, 受熱溫度600°C, 800°C에서 퍼라이트의 狀態를 사진3-4, 5, 6에 나타내었다. 600°C의 경우 常溫에서 보이지 않던 龜裂을 볼 수 있으며, 800°C에서는 퍼라이트 조각의 모서리등이 熔融된 상태와 熔融에 의하여 龜裂이 사라진 것을 볼 수 있다.

表 3-1. 受熱溫度에 따른 유리면의 形狀 및 色相變化(깊이는 受熱面으로 부터의 깊이)

試料	受熱溫度	200	400	600	800	1000
유리면	形狀變化	變化없음	變化없음	中央部1cm陷沒	熔融됨	試驗不能
	色相變化	表面 일부분 연갈색	1 cm진갈색 2.4cm 연갈색	2.5cm 흰 색 3.5cm 진갈색 4.3cm 연갈색	전체 흰색	
암면	形狀變化	變化없음	變化없음	일부 결 갈라짐 面方向(側面결)	表面軟화로 인한 坼發生	表面熔融으로 冷却후 硬化
	色相變化	表面일부분 그을림	0.5cm 진갈색 1.0cm 연갈색	1.0cm 얼은회색 1.8cm 회갈색 3.0cm 진갈색 4.0cm 연갈색	3.0cm 연미색 3.7cm 회갈색 4.5cm 진갈색 5.0cm 연갈색	表面 연한 커피색으로 變함
퍼라이트	形狀變化	變化없음	표면돌출섬유 연소흔적	表面에 微細한 龜裂이 地圖形象으로  발생	表面이 조금 熔融되어 表面 龜裂 없음	熔融으로 坼 表面-거북등의 形象이 됨
	色相變換	없음	없음	없음	없음	연조록의 半透明體

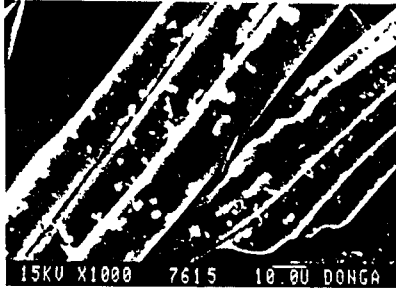


사진3-1. 유리면 600°C受熱後 纖維狀態



사진3-4. 펄라이트 상온상태

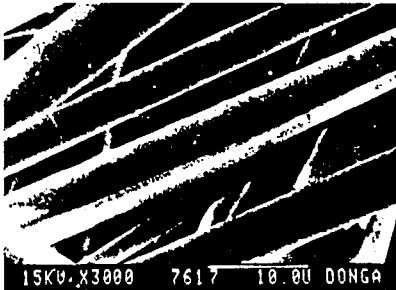


사진3-2. 암면 600°C受熱後 纖維狀態



사진3-5. 펄라이트 600°C受熱後 상온상태

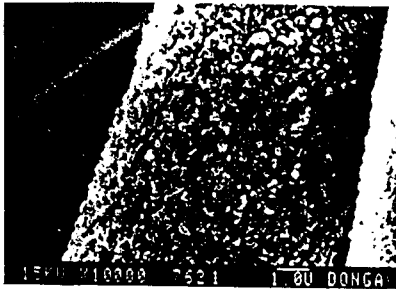


사진3-3. 암면 800°C受熱後 纖維狀態

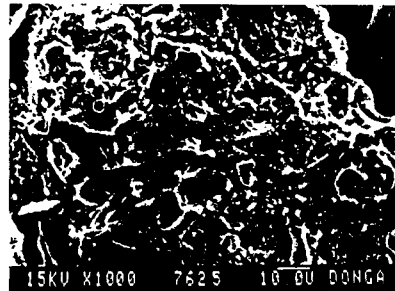


사진3-6. 펄라이트 800°C受熱後 상온상태

#### 4. 結論

本 研究에서는, 受熱溫度에 따른 無機質 斷熱材의 物性變化를 檢討하기 위한 實驗結果에서 다음과 같은 結論을 얻었다.

1) 암면과 유리면은 200°C에서 페놀레진의 分解가 시작되며, 유리면은 400°C, 암면은 600°C에서 不安定 알카리 성분이 溶出되어 纖維가 熔融된다. 또한, 펄라이트는 800°C에서 熔融된다. 따라서 유리면은 400°C, 암면은 600°C, 펄라이트는 800°C이하로 受熱될 경우 원래의 形狀은 變化하지 않는다.

2) 유리면과 암면은 高温受熱後 常溫에서의 熱傳導率은 受熱前에 比較하여 거의 變化되지 않는다. 이는 內部에 存在하는 連續氣泡의 形狀이 계속 維持되기 때문이다. 또한 펄라이트는 受熱溫度에 따라 熱傳導率이 2~19%減少하였다. 따라서 유리면은 600°C, 암면과 펄라이트는 800°C이하로 受熱될 경우에는 熱傳導率上의 問題點은 없는 것으로 判斷된다.

3) 이상의 1), 2)결과를 綜合하여 熱傳導率의 變化 및 形狀維持狀態로 판단한 再使用 可能 受熱溫度의 範圍는 다음과 같다.

유 리 면 : 400°C(색상: 진갈색)

암 면 : 600°C(색상: 회갈색)  
퍼라이트 : 800°C

參 考 文 獻

1. 青木 鎬외 ; 無機質系斷熱材의 防耐火性實驗 日本建築學會大會學術講演梗概集 1989. 10.
2. 中村 賢一 ; 耐火時間による防火被服材料の評價 日本建築學會大會學術講演梗概集 1980. 9.
3. 森 實 ; 建築材料の火災時における高温性狀に關研究 博士學位論文 1977.
4. 成凍 頁省 ; 카라스工學 共立出版株式會社.
5. 吳 昌 熙 ; 火害建物の 構造耐力에 關한 研究 博士學位論文. 1983.