

697.18
운영자

第 74 回 碩士學位論文
指導教授 李 彦 求

~ 11/21/8



중앙대학교



T0015263

自然型 太陽熱 直接獲得方式에서의 바닥構造
選定과 蓄熱材 配置에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on Thermal Mass Arrangement and Floor
Material Selection for the Improvement of Thermal Performance
in Passive Solar Direct Gain System

. 61126

中央大學校 大學院

建築工學科 計劃 및 環境專攻

尹 德 珍

1990年 12月

自然型 太陽熱 直接獲得方式에서의 바닥構造 選定과 蓄熱材 配置에 關한 實驗的 研究

An Experimental Study on Thermal Mass Arrangement and Floor
Material Selection for the Improvement of Thermal Performance
in Passive Solar Direct Gain System

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함.

1990년 12월

中央大學校 大學院

建築工學科 計劃및環境專攻

尹 德 珍

尹德珪의 碩士學位 論文을 認定함.

審查委員長

(印)

審查委員

(印)

審查委員

(印)

中央大學校 大學院

建築工學科 計劃 및 環境專攻

尹 德 珪

1990年 12月

感謝의 글

가슴 벅찬 지난 2년간의 大學院 生活을 마치며, 작은 結實을 맷게 되어 매우 기쁜 마음입니다. 그 동안 이 작은 結實이 있기까지 도움을 주신 모든 분들에게 깊은 感謝를 드립니다.

먼저 本 論文의 시작에서 끝맺음까지 細心히 指導해 주시고 사랑과 人格修養에 가르침을 주신 李彥求 教授님께 깊은 感謝를 드리며, 學文의 門을 넓혀주시고 激勵를 아끼지 않았던 李明浩 大學院 院長님께 真心으로 感謝를 드립니다. 또한 저의 論文을 세심히 檢討하시고, 未備한 점을 修正·補完하여 주신 李賢浩 教授님, 孫世寬 教授님, 李熙奉 教授님, 溫和한 미소와 사랑으로 지켜봐 주신 辛鉉植 教授님, 金德在 教授님, 鄭憲秀 教授님께도 感謝를 드립니다.

論文이 完成되기 까지 남다른 助言과 도움을 주신 宋國燮 先輩님, 지난 겨울의 酷寒속에서도 따뜻한 마음으로 實驗을 도와주신 安泰慶 先輩님께 고마운 마음을 전합니다. 그리고 언제나 많은 助言과 聲援을 해주신 全鳳九 先輩님, 黃霆夏先輩님, 朴辰哲 先輩님께 感謝를 드리며, 2년동안 環境研究室의 生活을 하며 苦樂을 같이 했던 李寬鎬, 權寧喆, 康壹庚, 李東周, 論文作成에 시간을 割愛해 준 李承烈과 安瀟哲 後輩에 感謝를 表합니다. 또한 배움을 함께하며 기쁨과 슬픔을 같이 했던 建築科 大學院 先後輩들, 항상 말없이 激勵해 주었던 承柱와도 기쁨을 같이하고 싶습니다.

끝으로 오늘의 제가 있기까지 긴세월 동안 모든 犧牲을 감수하시고 무한한 사랑으로 돌봐 주신 父母님, 힘과 勇氣를 주신 두 兄님 内外분과 세 누님 内外분, 친지 어른분들의 잊지못할 恩惠에 이 작은 結實을 바칩니다.

1990. 12.

尹 德 珪

國文要約

中央大學校 大學院
建築工學科
尹 德 珪

自然型 太陽熱 시스템(Passive Solar System)은 機械的 裝置 없이 建物의 構造體에서 太陽熱을 集熱, 貯藏, 利用하는 方式으로, 經濟的이고 信賴度가 높아 최근 이에 대한 認識과 普及이 擴大되고 있다. 그러나 지금까지 대부분의 國內 研究는 外國에서 開發된 理論이나 實例를 中心으로 이루어져 우리나라의 氣候 條件과 建築 方式 및 生活 方式등과 차이가 있으므로 無分別 한 適用은 副作用을 招來 할 수 있다.

본 研究에서는 自然型 太陽熱 시스템 중에서 一般 住宅에서 쉽게 適用할 수 있는 直接獲得方式(Direct Gain System)을 中心으로, Scale Model을 利用하여 热性能 實驗을 實施하여 우리나라의 條件에 알맞는 自然型 太陽熱 시스템의 基礎 設計資料를 提示하고자 한다.

본 研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

1) 바닥 마감 구조 實驗에서 热性能이 가장 높게 나타난 것은 검정색 화강암이며, 그 다음은 흰색 화강암, 암스트롱, 마루구조 順으로 나타났다. 따라서 Direct Gain System의 集熱 性能을 높이기 위하여는 热抵抗이 낮은 材料를 使用하는 것이 效率的이며 色彩는 검정색 系統의 無光 마감이 性能을 높일 수 있다.

2) 바닥 表面의 마감에 따른 热의 吸收는 色彩에 따른 吸收率에 의해 決定되지만 放熱은 마감재의 色彩와는 큰 關係가 없는 것으로 나타났다.

3) 바닥 마감 構造 實驗에서 前面部의 유리窗을 통한 热損失의 影響으로 바닥 前後 表面의 溫度는 後面部가 前面部보다 1일 내내 높게 나타났다. 이러한 热損失을 줄이기 위해서는 夜間斷熱이 必須의이다.

4) PCM은 顯熱 蕃熱材에 비하여 溫度 振幅을 약 1/2 정도로 줄이는 效果가 있어서 過熱과 過冷 現象을 줄일 수 있는 우수한 材料로 評價 되며, 蕃

熱材의 容積을 줄일 수 있어서 室內空間을 넓게 使用할 수 있게 된다.

5) $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 는 27 - 30°C에서 相變化를 하는 것으로 나타났으나 相變化시 溫度의 變化는 一定하지 않고 相變化 溫度 範圍에서 震動하는 모양으로 나타났다. 따라서 一定溫度 變化를 위해서는 적절한 조핵제를 使用하여야 할 것이다.

6) 蓄熱材 配置 實驗에서 壁과 바닥에 蓄熱體를 分散 配置하는 方法이 集中 配置한 方法에 비하여, 室溫의 平均이 약 2 °C 더 높게 나타나 热性能이 우수한 것으로 評價되었다.

따라서 自然型 太陽熱 直接獲得 方式에서 直接 蓄熱 部位는 검정색 계통이고 热抵抗이 낮은 無光의 검정색 화강암, 자연석, 타일등을 使用하는 것이 效率的이며, 蓄熱性能이 좋고 热吸收 能力이 높은 重量構造物로 分散 配置하는 方法이 有利하고, 바닥에 家具를 配置하거나 輕量 構造物등을 使用해서는 안된다. 또한 過熱防止 및 室內空間을 넓게 사용할 수 있도록 相變化物質(PCM)을 使用하는 方法이 매우 效率的이며, 集熱窓은 夜間에 热損失이 매우 크므로 夜間斷熱 構造를 필수적으로 設置하여야 한다.

ABSTRACT

An Experimental Study on Thermal Mass Arrangement and Floor Material Selection for the Improvement of Thermal Performance in Passive Solar Direct Gain System

Yoon, Duk Gyu

Dept. of Arch. Engineering

The Graduate School of

Chung-Ang University

Advised by Rhee Eon Ku, Ph.D

The objectives of this experimental study are to develop the selection criteria of floor finish materials and to investigate the thermal performance of Phase Change Material(PCM) and to suggest the optimum arrangement of the thermal mass in Passive Solar Direct Gain System.

The data were obtained from test models: Four test model units were constructed with different floor materials: black granite pannel, white granite pannel, armstrong sheet and plywood flooring. Two other test models with identical sensible heat capacity were constructed with different thermal mass materials: brick, Phase Change Material and brick combined. The same test models were used to investigate the thermal performance of two different thermal mass arrangements: one with concentrated thermal mass and the other with dispersed thermal mass.

The results of this study can be summerized as follows:

- 1) The model with black granite floor showed the best thermal performance, followed by white granite floor, armstrong sheet and

plywood flooring in descending. Therefore, to improve thermal performance in Direct Gain System, floor finish material should have a low thermal resistance and color should be finished in a black tone.

2) The surface temperature of the front part of the floor was always lower than that of the backside due to the heat loss through south glazing. Therefore, in order to improve the thermal efficiency it is essential to install the night insulation device on the solar collecting window.

3) The magnitude of temperature swing in the model with brick as thermal mass was twice as high as that of temperature swing in the model with PCM and brick combined. It is determined that the PCM as thermal mass in direct gain system are not only able to improve thermal environment but to reduce energy consumption and to increase useful floor area.

4) Phase change of $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (PCM) was occurred between 27°C and 30°C. It is suggested to use appropriate Uncleating Agent Material to keep an uniform phase change temperature.

5) The average indoor temperature of dispersed thermal storage test model was about 2°C higher than concentrated test model. It can be suggested that dispersed thermal mass is more effective in terms of energy performance.

目 次

國 文 要 約

ABSTRACT

第 1 章 序 論	1
1 - 1. 研究의 目的	1
1 - 2. 研究의 方法 및 内容	2
第 2 章 直接 獲得 方式	4
2 - 1. 시스템의 概念	4
2 - 2. 시스템의 計劃	4
2 - 2 - 1. 集熱 部位	5
2 - 2 - 2. 蓄熱 部位	15
2 - 2 - 3. 利用 部位	22
第 3 章 Scale Model을 利用한 热性能 實驗	27
3 - 1. Scale Model의 製作	27
3 - 2. 實驗 器機	33
3 - 3. 바닥 마감재에 따른 热性能 實驗	35
3 - 3 - 1. 實驗의 目的 및 方法	35
3 - 3 - 2. 實驗 모델의 構成	35
3 - 3 - 3. 實驗 實測	41
3 - 3 - 4. 實驗 結果	42
3 - 3 - 5. 實驗 結果 小結	51
3 - 4. PCM을 利用한 热性能 實驗	53
3 - 4 - 1. 實驗의 目的 및 方法	53
3 - 4 - 2. 實驗 모델의 構成	53
3 - 4 - 3. 相變化 物質(PCM)의 製作	58
3 - 4 - 4. 實驗 實測	59

3 - 4 - 5. 實驗 結果	60
3 - 4 - 6. 實驗 結果 小結	67
3 - 5. 蕃熱材 配置에 따른 热性能 實驗	69
3 - 3 - 1. 實驗의 目的 및 方法	69
3 - 3 - 2. 實驗 모델의 構成	69
3 - 3 - 3. 實驗 實測	73
3 - 3 - 4. 實驗 結果	74
3 - 3 - 5. 實驗 結果 小結	82
第 4 章 結 論	83
參 考 文 獻	85

그림 目次

[그림 1- 1]	研究의 흐름도	3
[그림 2- 1]	透過體 종류에 따른 太陽光線의 透過率	5
[그림 2- 2]	入射角에 따른 透明유리의 透過率과 吸收率	6
[그림 2- 3]	透過體의 透過 過程	10
[그림 2- 4]	陰影角 분도기(Ⅰ)	14
[그림 2- 5]	陰影角 분도기(Ⅱ)	14
[그림 2- 6]	蓄熱材의 두께와 蓄熱 容量	19
[그림 3- 1]	實驗 모델의 全景	28
[그림 3- 2]	實驗 모델의 配置圖	28
[그림 3- 3]	A 實驗 모델 의 平面圖	30
[그림 3- 4]	A 實驗 모델 의 斷面圖	30
[그림 3- 5]	B 實驗 모델 의 平面圖	31
[그림 3- 6]	B 實驗 모델 의 斷面圖	31
[그림 3- 7]	A 實驗 모델 의 寫眞	32
[그림 3- 8]	B 實驗 모델 의 寫眞	32
[그림 3- 9]	實驗器機의 구성도	34
[그림 3-10]	實驗器機의 寫眞	34
[그림 3-11]	I, II 實驗 모델의 平面圖 및 센서 位置	36
[그림 3-12]	I 實驗 모델의 斷面圖 및 센서 位置	37
[그림 3-13]	II 實驗 모델의 斷面圖 및 센서 位置	37
[그림 3-14]	III, IV 實驗 모델의 平面圖 및 센서 位置	38
[그림 3-15]	III 實驗 모델의 斷面圖 및 센서 位置	38
[그림 3-16]	IV 實驗 모델의 斷面圖 및 센서 位置	39
[그림 3-17]	바닥 마감재별 實驗 모델의 寫眞	40

[그림 3-18]	測定 기간 동안의 氣象	41
[그림 3-19]	바닥 表面의 溫度 變化	42
[그림 3-20]	蓄熱體 下部에서의 溫度變化	44
[그림 3-21]	室內 氣溫의 變化	46
[그림 3-22]	바닥 前後面의 溫度 變化	48
[그림 3-23]	蓄熱 部位別 溫度 變化	50
[그림 3-24]	A 實驗 모델의 平面圖 및 센서 位置	55
[그림 3-25]	A 實驗 모델의 斷面圖 및 센서 位置	55
[그림 3-26]	B 實驗 모델의 平面圖 및 센서 位置	56
[그림 3-27]	B 實驗 모델의 斷面圖 및 센서 位置	56
[그림 3-28]	實驗 모델의 寫眞	57
[그림 3-29]	$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 의 製作	58
[그림 3-30]	PCM의 貯藏 容器	59
[그림 3-31]	測定기간 동안의 氣象	59
[그림 3-32]	前面 蓄熱部의 溫度 變化	60
[그림 3-33]	室內 氣溫의 變化	62
[그림 3-34]	PCM의 溫度 變化	64
[그림 3-35]	바닥 後面部의 溫度 變化	66
[그림 3-36]	分散 蓄熱 方式의 實驗 모델	70
[그림 3-37]	바닥 集中 蓄熱 方式의 實驗 모델	71
[그림 3-38]	實驗 모델의 寫眞	72
[그림 3-39]	測定 기간 동안의 氣象	73
[그림 3-40]	室內 溫度 變化	74
[그림 3-41]	表面 溫度 變化	76
[그림 3-42]	集中 蓄熱의 部位別 溫度 變化	78
[그림 3-43]	分散 蓄熱의 部位別 溫度 變化	80

表 目 次

< 표 2- 1 >	氣候條件에 따라 필요한 集熱窓 面積	7
< 표 2- 2 >	각 재료의 屈折率	11
< 표 2- 3 >	顯熱 蓄熱材의 热的 特性	16
< 표 2- 4 >	PCM의 材料	17
< 표 2- 5 >	각종 表面 마감에 따른 太陽熱 吸收率	20
< 표 2- 6 >	夜間 斷熱 構造의 作動 方式에 따른 分類	23
< 표 2- 7 >	直接 獲得 方式에 利用 가능한 夜間 斷熱 構造	24
< 표 3- 1 >	A 實驗 모델의 热性能	29
< 표 3- 2 >	B 實驗 모델의 热性能	29
< 표 3- 3 >	實驗에 사용된 實驗器機	33
< 표 3- 4 >	實驗 모델의 特性	36
< 표 3- 5 >	前面 바닥 表面의 最高 最低 平均 溫度	43
< 표 3- 6 >	前面 바닥 表面의 溫度 平均值	43
< 표 3- 7 >	蓄熱體 下部의 最高 最低 平均 溫度	45
< 표 3- 8 >	바닥 下部의 溫度 平均值	45
< 표 3- 9 >	室內 기온의 最高 最低 平均 溫度	47
< 표 3-10 >	室內 기온의 溫度 平均值	47
< 표 3-11 >	바닥 前後面의 最高 最低 平均 溫度	49
< 표 3-12 >	바닥 前後面의 溫度 平均值	49
< 표 3-13 >	蓄熱 部位의 最高 最低 平均 溫度	51
< 표 3-14 >	蓄熱 部位別 溫度 平均值	51
< 표 3-15 >	實驗 모델의 特性	54
< 표 3-16 >	蓄熱 部位의 最高 最低 平均 溫度	61
< 표 3-17 >	蓄熱 部位別 溫度 平均值	61

< 표 3-18 > 室内 기온의 最高 最低 平均 温度	63
< 표 3-19 > 室内 기온의 温度 平均值	63
< 표 3-20 > PCM의 最高 最低 平均 温度	65
< 표 3-21 > PCM의 温度 平均值	65
< 표 3-22 > 바닥 後面部의 最高 最低 平均 温度	67
< 표 3-23 > 蓄熱 部位別 温度 平均值	67
< 표 3-24 > 實驗 모델의 特性	69
< 표 3-25 > 室内 기온의 最高 最低 平均 温度	75
< 표 3-26 > 室内 기온의 温度 平均值	75
< 표 3-27 > 表面 기온의 最高 最低 平均 温度	77
< 표 3-28 > 表面 部位別 温度 平均值	77
< 표 3-29 > 集中 蓄熱의 部位別 最高 最低 平均 温度	79
< 표 3-30 > 集中 蓄熱의 部位別 温度 平均值	79
< 표 3-31 > 分散 蓄熱의 部位別 最高 最低 平均 温度	81
< 표 3-32 > 分散 蓄熱의 部位別 温度 平均值	81

第1章 序論

1-1. 研究의 目的

1970년대 두차례에 걸친 에너지 波動 이후 世界各國은 에너지 資源의 確保와 대체에너지 開發에 대한 研究가 활발히 進行되고 있다. 특히 全量의 石油資源을 収入에 의존하고 있는 우리나라의 입장에서는 최근 中東地域의 政勢變化에 따른 제 3차 에너지 波動이 豪慮되고 있는 점을 勘案하면 대체 에너지의 開發, 活用은 더욱 切實한 實情이다.

여러가지 代替에너지 중에서도 無限定하고 公害가 없으며 어느곳에서도 손쉽게 얻을 수 있는 太陽熱은 가장 經濟的인 代案으로 脚光을 받고 있다.¹⁾ 이에따라 國內의 경우 1980년대 부터 本格的으로 太陽熱을 利用한 시스템 開發에 노력하고 있으며, 建物 分野에서는 設計를 통하여 機械的 裝置 없이 建物의 構造體에서 太陽熱을 集熱, 貯藏, 利用하는 自然型 太陽熱 시스템(Passive Solar System)이 經濟的이고 信賴度가 높아 최근 이에 대한 認識과 普及이 擴大되고 있다. 그러나 지금까지 대부분의 國內 研究는 先進 外國에서 開發된 理論이나 實例를 中心으로 이루어져 우리나라의 氣候 條件, 生活方式등과 차이가 있으므로 無分別한 適用은 副作用을 招來 할 수 있다.

따라서 본 研究에서는 自然型 太陽熱 시스템의 效果적인 普及擴大를 위하여 一般 住宅의 形態에 쉽게 適用할 수 있는 直接獲得方式(Direct Gain System)을 中心으로 Scale Model을 이용한 實驗을 통하여 热性能 向上을 위한 方法을 提示하므로서 우리나라에 條件에 알맞는 自然型 太陽熱 시스템의 基礎 設計資料를 提示하고자 한다.

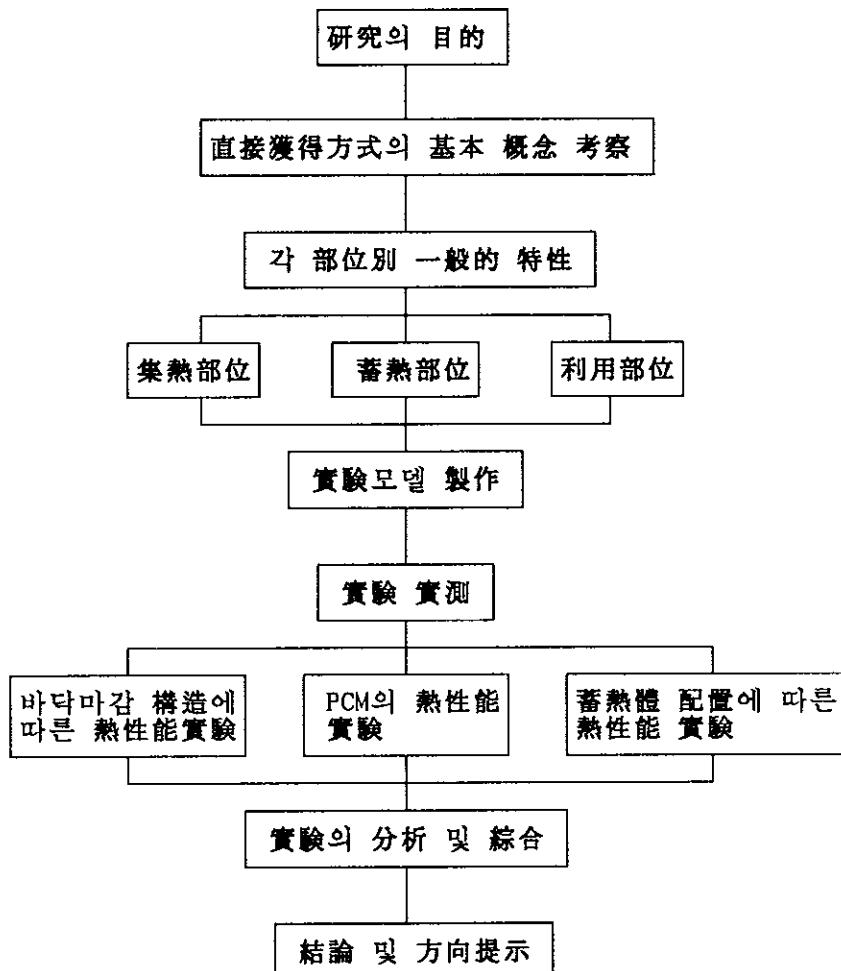
주 1) 學術振興財團, “建築物에 있어서 自然型 太陽熱 시스템의 热性能 向上 을 위한 實驗的 基礎 研究”, 제 1차년도 中間報告書, 1989, p. 6.

1-2. 研究의 方法 및 範圍

본 研究에서는 直接獲得方式의 热性能 向上을 위한 方法을 提示하여 基礎 設計資料를 提供하고자 하는 것으로 研究의 方法 및 範圍는 다음과 같다.

- 1) 直接獲得方式의 基本原理 및 각 部位別 热性能 向上을 위한 設計 方法 定立
 - 直接獲得方式의 基本 概念 및 시스템을 集熱部位, 蓄熱部位, 利用部位로 나누워 각 部位에 따른 热性能 向上을 위한 一般的 特性을 文獻을 통하여 考察한다.
- 2) 實驗 實測을 위한 모델의 製作
 - 시스템의 热性能 影響 因子를 評價하기 위한 實驗 모델을 製作하고 測定裝備를 利用하여 實驗 實測을 實施한다.
- 3) 直接獲得方式의 馬감재료에 따른 热性能 實驗
 - 實驗모델의 바닥마감을 검정색 화강암, 흰색 화강암, 암스트롱 마감, 나무마루 구조 마감으로 製作, 實測한 후 測定結果를 分析하여 热性能 向上을 위한 構造方法을 提示한다.
- 4) 相變化物質(PCM; Phase Change Material)에 따른 热性能 實驗
 - 顯熱材料인 붉은 벽돌과 潛熱材料(PCM)인 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 을 이용하여 實驗 實測한 후 測定結果를 相互 비교 分析해 봄으로써 시스템의 热性能을 항상 시킬 수 있는 戰略을 建立한다.
- 5) 直接獲得方式의 蓄熱材 配置에 따른 热性能 實驗
 - 두개의 實驗모델에 蓄熱體를 동일하게 設置하되 하나의 모델에는 바닥에 蓄熱體를 集中 配置하고 또다른 모델에는 바닥과 壁體에 分散 配置하여 각 모델의 热性能을 比較 分析함으로써 热性能 向上을 위한 設計原則을 提示한다.

上記의 研究 흐름도는 「그림 1-1」과 같다.



[그림 1-1] 研究의 흐름도

第 2 章 直接獲得 方式

2-1. 시스템의 概念

直接獲得方式은 自然型 太陽熱 시스템 중 가장 간단한 形態로 太陽에너지가 建物의 南面 集熱窓을 透過하여 居住空間을 직접 가열시키고, 太陽의 輻射熱은 室內의 蕎熱體에 일단 贯感된 후 일정한 시간이 지난 다음 실내로 放熱시키는 施工이 容易한 方式이다. 즉, 「太陽→居住空間→蓄熱→輻射」¹⁾의 經路를 거친다.

一般的인 建築 디자인 方法에서 窓은 採光, 換氣 및 眺望의 觀點에서 중요하게 취급되는 반면 이 方式은 集熱기능에 力點을 두고 있으므로 넓은 面積의 集熱窓이 필요하게 된다. 따라서 여름철 過熱現象 및 溫度 變化幅이 커지므로 이와같은 問題點을 解決하기 위하여 각 部位에 따라 적절한 시스템 計劃을 신중히 考慮하여야 한다.

2-2. 시스템 計劃

自然型 太陽熱 시스템의 基本 目標는 각 部位의 構造를 적절히 設計하여 自然的인 热傳達 方法에 의해 太陽에너지를 建物의 冷·暖房에 活用함으로써 建物의 에너지 消費를 節減하고 快適한 環境을 造成하는 것으로, 여기서 각 部位란 太陽에너지의 利用效率을 極大化하기 위하여 建築의 構造를 集熱部位, 蓄熱部位, 利用部位로 나누고 이를 시스템화 한 것이다.

주 1) 이명호, “太陽熱 시스템 設計”, 中央大學校 建設大學院, 1984, p. 14.

2-2-1. 集熱部位

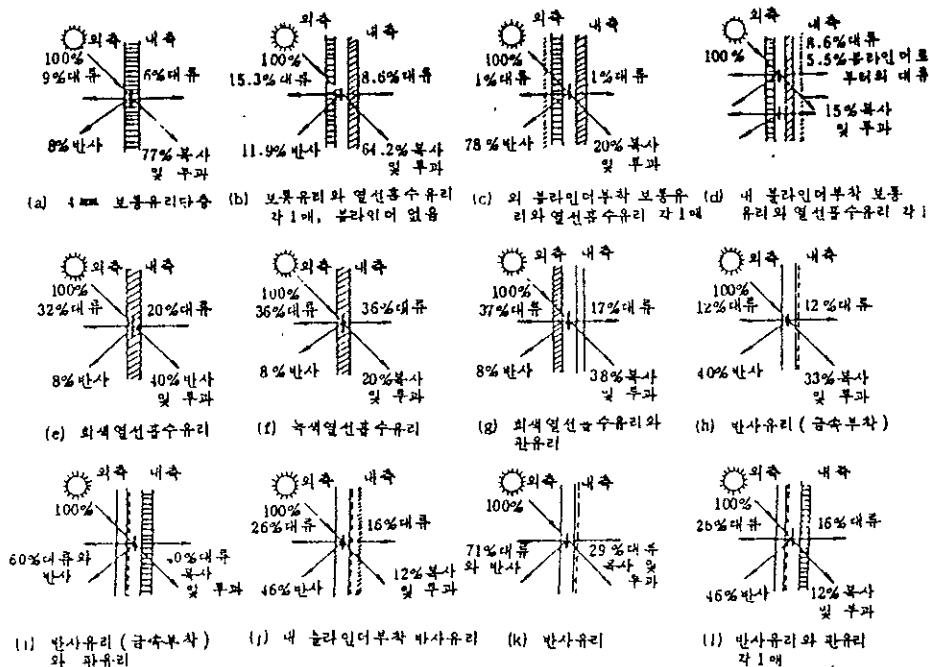
1) 集熱窓

集熱窓은 겨울에 室內로 取得되는 热이 最大가 되고 여름에 最小가 될수 있도록 正南向으로 配置하는 것이 有利하며 東西로 面할 경우에도 正南으로부터의 方位角이 25° 이내 이면 入射되는 太陽熱의 90%以上을 取得할 수 있다. 또한 集熱窓에 사용되는 透過體의 種類, 集熱窓의 面積, 集熱窓의 位置에 따라 集熱 效率은 큰 影響을 받게 된다.

가) 透過體의 種類

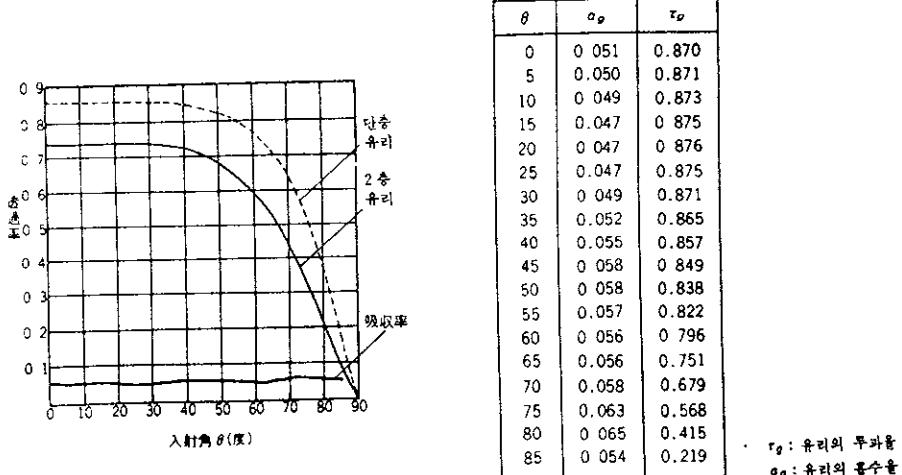
太陽光이 透過體를 通過할때 일부는 反射되고 일부는 吸收되는데 그 양은 재료의 特性에 따라 左右되며 외기로 損失되는 热量도 달라진다.

[그림 2-1] 는 透過體의 種類에 따른 太陽光線의 透過率을 나타낸 것이다.



[그림 2-1] 透過體 종류에 따른 太陽光線의 透過率

既存 建物에서 透過體로 사용될 수 있는 것으로는 보통유리, 強化유리, 擴散유리, 무늬유리, 接合유리, 複層유리등이 있다. 直接獲得方式에서는 透明한 複層유리를 사용하는 것이 有利하며 透過體 사이의 距離는 自體 空間內의 對流現象에 따른 熱損失을 줄일 수 있는 12mm이하로 하는 것이 바람직하다. 透明유리의 경우 겨울철 快晴한 날에 太陽에너지의 垂直窓에서 85%, 2중유리에서 75%를 透過¹⁾하는데 [그림 2-2]는 入射角에 따른 透明유리의 透過率과 吸收率을 나타내고 있다.



[그림 2-2] 入射角에 따른 透明유리의 透過率과 吸收率

나) 集熱窓의 面積

直接獲得方式에서 1일 室内平均 氣溫은 集熱窓의 面積에 따라 크게 左右된다. 集熱窓의 面積은 겨울철 하루 平均氣溫을 18°C - 21°C 를 目標로 設定하는데²⁾ 面積이 너무 크면 겨울철에 過熱現象이 자주 發生되므로 시스템의 性能을 정확히 豫測하고 또한 窓의 디자인, 眺望, 採光, 프라이버시, 窓의

주 1) Edward.Mazria, "The Passive Solar Energy Book", 1979, p. 17.

2) 이명호, op.cit, p. 26.

目的 등을考慮하여 그 規模를 決定하여야 한다. 面積의 決定에 있어서 寒冷氣候(겨울철 평균기온:-7~1°C)에서는 바닥面積의 0.19-0.38배, 약간 온화한 氣候(겨울철 평균기온:1~7°C)에서는 0.11-0.25배의 南面 集熱窓이 필요¹⁾하며 <표 2-1>은 여러 氣候에서 잘 斷熱된 住宅에 사용할 수 있는 集熱窓의 面積을 나타낸 것이다.

< 표 2-1 > 氣候條件에 따라 필요한 集熱窓 面積

겨울철 평균 기온(°C) ()는 디그리데이(deg·day/월)*1	창유리 면적의 바닥 면적에 대한비*2
-10°C(850)	0.27-0.42(야간단열 있음)
-7°C(720)	0.24-0.38(야간단열 있음)
-4°C(670)	0.21-0.33
-1°C(580)	0.19-0.29
2°C(500)	0.16-0.25
4°C(420)	0.13-0.21
7°C(330)	0.11-0.17

*1. 외기 온과 디그리데이는 12월과 1월(가장 추운달)의 데이타에서 구한다.

*2. 값의 폭은 위도에 따라 선택한다. 위도가 낮으면(예. 북위 35°C) 작은 쪽 값을, 높으면(예. 북위 48°C) 큰쪽 값을 사용한다.

주 1) Edward.Mazria, op.cit, p.68.

다) 集熱窓을 통한 日射獲得

日射量은 直達일사, 散亂일사, 反射일사등으로 나누어진다. 이것은 다시 水平面 全日射量, 垂直面 全日射量으로 나누어진다. 任意의 지방, 시각에서 日射量을 구하는 보통 計算式은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$P = \left(\frac{0.921}{1 + 0.3135 \times \operatorname{cosec} \gamma} \right) \sin \gamma \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-1)$$

$$H_b = J_o \times \sin \gamma \times P \cos \gamma \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-2)$$

$$H_d = J_o \times \sin \gamma \times 1.2 \times \frac{1 - P \cos \alpha \cos \chi}{1 - 1.4 \ln P} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-3)$$

$$H_r = (H_b + H_d) \times A_b \times 0.5 \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-4)$$

$$V_b = J_o \times \sin \gamma \times \cos(\alpha - Aw) \times \cos \gamma \times P \cos \gamma \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-5)$$

P : 大氣透過率 H_b : 水平面 直達日射量 (Kcal/m²hr)

V_b : 垂直面 直達日射量 (Kcal / m²hr)

H_d : 擴散日射量 (Kcal/m²hr) H_r : 反射日射量 (Kcal/m²hr)

γ : 太陽高度 J_o : 太陽常數 (1.95cal/cm²min)

A_b : 表面 反射率 α : 太陽方位角

Aw : 壁面 方位角

그러나 본 實驗에서는 日射械(Actinograph)을 사용하여 水平面 日射量을 测定하고 Bouger의 식에 따라 垂直面 日射量를 算出하였다. 소감계수(V), 太陽常數(J_o)등을 고려하여 垂直面 日射量을 구하는 公式은 다음과 같다.

$$J = J_0 P \cosech \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-6)$$

여기서 太陽常數(J_0)에 太陽과의 距離에 따른 수정을 가하면 (식 2-7)과 같다.

$$J = (J_0/R^2) P \cosech \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-7)$$

이 식을 벡터로 취급하여 水平面에 대한 傾斜角 i , 傾斜方向 a 인 일반 빗면에 대한 太陽高度를 h_i 라 하면 이 빗면에 대한 日射의 세기는 (식 2-8)과 같다.

$$J_i = J \cos\theta = J \sin h_i = (J_0/R^2) P \cosech \{ \sinh \cdot \cos i + \cosh \cdot \cos(A-a) \} \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-8)$$

위 식에서 水平面($i=0$), 垂直面 ($i=\pi/2$)의 日射세기에 대한 식은 다음과 같다.

$$\text{水平面 } (i=0) \quad ; \quad J_h = (J_0/R^2) P \cosech \cdot \sinh \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-9)$$

$$\text{垂直面 } (i=\pi/2) \quad ; \quad J_v = (J_0/R^2) P \cosech \cdot \{ \cosh \cdot \cos(A-a) \} \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-10)$$

a : 垂直面 外向 법선의 方位角

여기서 a 를 $0, \pi/2, \pi, -\pi/2$ 등이라 하면 각각 南向, 西向, 北向, 東向등의 垂直面에 대한 日射量을 구할 수 있다. 따라서 南向 垂直面에 대한 日射를 水平面에 대한 日射의 函數로 나타내면 다음식과 같다.

$$J_{vs} = J_h \times \cos A / \tanh \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-11)$$

上記 식에서 1일간 垂直面의 單位 面積에 받는 日射의 全量 (Q_i)에 대한 식은

$$Q_i = \int_{\tau_i}^{\tau_o} J_{vs} d\tau = \int_{\tau_i}^{\tau_o} J_h \times \cos A / \tanh d\tau \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-12)$$

여기서

τ_1 : 目出시각

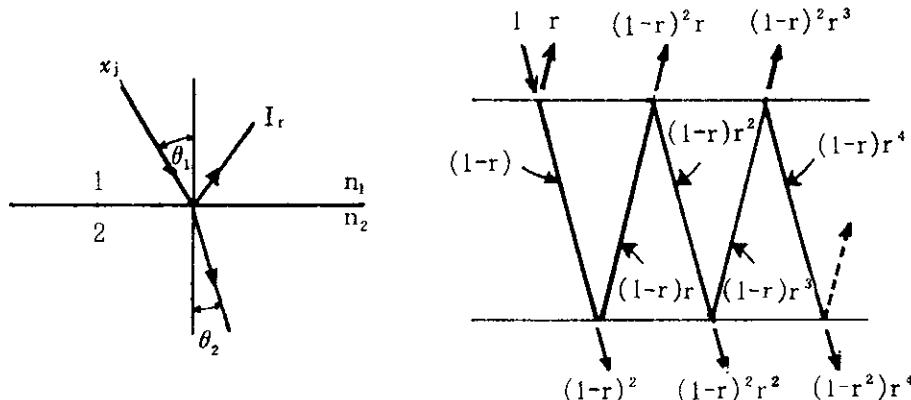
τ_2 : 日没시각

한편 日射의 세기가 분이므로 τ 와 시각 t 의 사이에는 $15\tau/60 = 180t/\pi$ 에서
 $\tau = 720t/\pi$ 인 관계가 있으므로 積分變數를 $(720/\pi)dt$ 로 바꾸어 쓰면

를 얻을 수 있다.

여기에서 透過體의 透過率을 곱하면 内部로 入射된 日射量을 구할 수 있다.

透過率이란 材料의 物理的 性質, 集熱窓의 두께, 光線의 方向, 波長등에 의해 影響을 받으며, 反射率을 考慮한 透過率과 吸收率을 考慮한 透過率로 크게 나눌 수 있다. 總 透過率은 이들 두가지 成分의 곱으로 우선 反射率을 考慮한 透過率 算定은 다음과 같은 方式으로 구할 수 있다.



[그림 2-3] 透過體의 透過 過程¹⁾

주 1) John A. Duffie 외, "Solar Energy of Thermal Process", A Wiley-Interscience Publication, 1980, p.172.

[그림 2-3]에서 θ_2 을 Snell의 法則에 의하여 구하면

$$\frac{n^1}{n_2} = \frac{\sin \theta_2}{\sin \theta_1}$$

여기서 각 매질의 屈折率을 나타내는 n_1, n_2 는 <표 2-2>에 따른다.

< 표 2-2 > 각 材料의 屈折率¹⁾

표 면 재 료	평균屈折率
Glass	1.526
Polymethyl methacrylate	1.49
Polyvinylfluoride	1.45
Polyfluorinated ethylene Propylene	1.34
Polytetrafluoroethylene	1.37
Polycarbonate	1.60

屈折率 n_1 의 매질로 부터 屈折率 n_2 의 매질로 輻射光이 進入할 때 垂直 및 水平面 反射率은 다음과 같다.²⁾

$$\gamma_v = \frac{\sin^2(\theta_2 - \theta_1)}{\sin^2(\theta_2 + \theta_1)} \quad \gamma_h = \frac{\tan^2(\theta_2 - \theta_1)}{\tan^2(\theta_2 + \theta_1)} \dots \text{식 2-14}$$

$$\gamma = \frac{I_r}{r_i} = \frac{1}{2} (\gamma_v + \gamma_h) \dots \dots \dots \text{식 2-15}$$

θ_1 : 入射角 θ_2 : 屈折角

γ_v : 垂直 反射 成分 γ_h : 水平 反射 成分

γ : 反射率

주 1) ibid, p.175.

2) ibid, p.171.

日射의 垂直面 透過率 (τ_v)을 바닥面에서 吸收率을 無視하면 (식 2-16)과 같다.¹⁾

$$\tau_v = (1 - \gamma_v)^2 \sum_{n=0}^{\infty} \gamma_v^{2n} = \frac{(1 - \gamma_v)^2}{(1 - \gamma_v^2)} = \frac{1 - \gamma_v}{1 + \gamma_v} \quad \dots \dots \dots \text{ (식 2-16)}$$

透過率은 垂直面과 水平面 成分의 값이 다르므로 이 두값을 平均하여 정의하면 反射를 考慮한 透過率(τ_r)이 된다.

$$\tau_r = \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \gamma_h}{1 + \gamma_h} + \frac{1 - \gamma_v}{1 + \gamma_v} \right) \quad \dots \dots \dots \text{ (식 2-17)}$$

따라서 光線의 透過體가 동일 材料로써 유리매수가 N일때 反射를 考慮한 透過率은 (식 2-18)과 같다.

$$\tau_r(N) = \frac{1}{2} \left(\frac{1 - \gamma_h}{1 + (2N-1)\gamma_h} + \frac{1 - \gamma_v}{1 + (2N-1)\gamma_v} \right) \quad \dots \dots \dots \text{ (식 2-18)}$$

吸收率을 考慮한 透過率 算定은 Bouger의 理論式을 이용할 수 있다. 즉, 透過體 통과시 吸收되는 輻射光의 比率은 다음식에 의해 구할 수 있다.

$$\tau_a = I_r/I_v = e^{-k_1/\cos\theta^2} \text{ (단창일 경우)} \quad \dots \dots \dots \text{ (식 2-19)}$$

$$\tau_a = I_r/I_o = e^{-2k_1/\cos\theta^2} \text{ (2중창일 경우)} \quad \dots \dots \dots \text{ (식 2-20)}$$

K: 유리상각 계수(0.004-0.32)

L: 輻射光線의 매질 透過 距離

光線의 追跡法에 의해 透過體의 透過率(τ), 反射率(ρ), 吸收率(a) 은 垂直인 경우 다음식과 같이 나타낼 수 있으며 水平인 경우도 동일하게 구할 수 있다.

주 1) ibid, p.173.

$$\tau_h = \frac{\tau_a(1-\gamma_h)^2}{1-(\gamma_h \cdot \tau_a)^2} = \tau_a \cdot \frac{1-\gamma_h}{1+\gamma_h} \cdot \frac{1-\gamma_h^2}{1-(\gamma_h \cdot \tau_a)^2} \dots \dots \dots \text{(식 2-21)}$$

$$\rho = \gamma_h + \frac{(1-\gamma_h)^2 \cdot \tau_a^2 \cdot \gamma_h}{1-(\gamma_h \cdot \tau_a)^2} = \gamma_h(1+\tau_a \cdot \tau_h) \dots \dots \dots \text{(식 2-22)}$$

$$a = (1-\tau_a) \frac{1-\gamma_h}{1-\gamma_h \cdot \tau_a} \dots \dots \dots \text{(식 2-23)}$$

따라서 總 透過率(τ)은 $\tau_a * \tau_r^1$ 가 된다. 그러나 이와같은 계산은 複雜하고 시간이 많이 걸리므로 일반적으로 일사량 補正係數를 나타내는 그래프로서 利用 가능한 日射量을 구한다.

2) 遮陽 設計

建物의 適正한 遮陽設計는 過熱기간 동안의 日射遮斷과 煙房기간 동안에 日射의 取得을 동시에 총족시켜 室內環境을 效率的으로 調節할 수 있고 에너지 節約을 기할 수 있다. 또한 리듬, 色彩, 陰影, 形態등 각 構成 方式에 따라 建物外觀에 커다란 變化를 주어 意匠的 面에서도 큰 役割을 할 수 있다.

遮陽裝置는 크게 固定式과 移動式으로 分류 할 수 있으며 그 종류는 다음과 같은 것들이 있다.

- 遮陽裝置
 - 固定式 : 水平遮陽, 垂直遮陽, 格子型 遮陽
 - 移動式 : 베네시안 블라인드, 휘장, 필름쉐이드, 斷熱셔터, 不透明 를 블라인드, 썬 스크린, 룰 블라인드, 斷熱 셔터, 햇빛막이등

건물의 構造體의 일부로 既存의 건물에 많이 사용되고 있는 固定式 遮陽裝置는 緯度와 經度, 건물의 方位角등에 따라 相異한 效果를 나타낼 수 있는데 일반적인 遮陽裝置의 設計過程은 다음과 같이 4단계로 進行할 수 있다.

- a) 室內의 基準(쾌적)온도를 設定한다.

실내의 快適溫度의 下限을 基準으로 하여 그 보다 높을때 日射의 遮斷을 考慮한다.

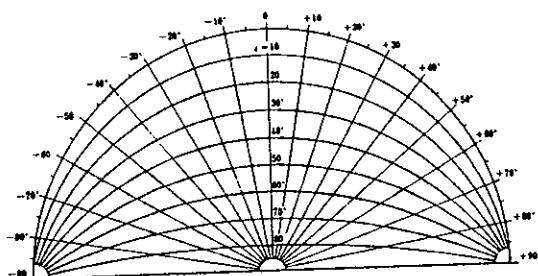
주 1) ibid, p. 176.

b) 過熱期間을 豫測한다.

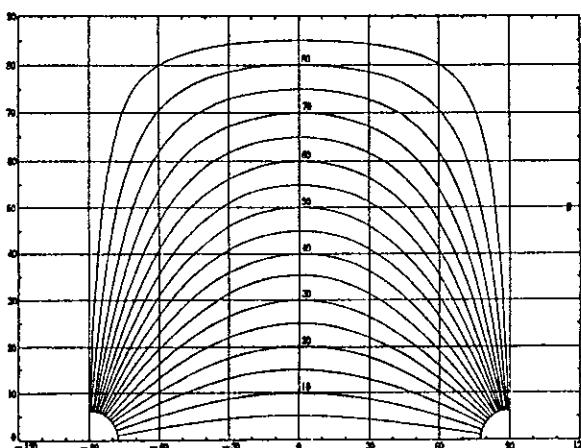
년중 過熱期間은 월 별로 각 시간의 온도를 記入하여 等溫線을 利用하는 方法과 각 시간별 온도 資料가 없을 경우 14-15시와 5-6시의 기온을 월 평균 最高·最低值로 가정하여 最高·最低값 사이의 사인(sin) 파의 週期로 변한다고 假定하여 週期의 變化에 따라 推定하는 方法이다.

c) 水平, 垂直 陰影角을 算定한다.

과열기간의 월, 일, 시간이 決定되면 陰影角 分도기 (I), (II)를 이용하여 垂直, 水平 陰影角을 算定한다.



[그림 2-4] 陰影角 分도기 (I)



[그림 2-5] 陰影角 分도기 (II)

d) 垂直, 水平濾陽의 길이를 算定한다.

水平遮陽의 길이

$$P = H \tan(90^\circ - \epsilon) = H \tan\phi \quad \dots \dots \dots \quad (식 2-24)$$

垂直遮陽의 길이

H : 창높이 W: 창폭

ϵ : 垂直陰影角 δ : 水平陰影角 ϕ : 緯度

2-2-2. 蓄热部位

蓄熱의 概念은 曇間의 충분한 日射를 건물의 構造體에 贯減해 두었다가 기온이 낮은 夜間에 利用하는 것으로 에너지 節減效果를 얻을 수 있고 温度變化幅을 줄이므로써 過熱 防止效果를 얻을 수 있다. 따라서 蓄熱부위는 Direct Gain System의 性能을 左右하는 가장 중요한 部分이다.

蓄熱의 可能性은 수많은 要素에 달려 있지만 크게 세 範疇로 나누어 볼 수 있다. 즉 蓄熱體의 材料, 蓄熱體 크기, 蓄熱과 放熱의 手段에 따라 蓄熱體 使用의 可能性이 左右된다.

1) 蕃熟體의 材料

太陽熱의 貯藏에는 固體나 液體의 比熱과 溫度 차이에 따라 발생하는 물질의 顯熱을 이용하는 축열재와 물질의 相變化에 隨伴하여 발생하는 潛熱을 이용하는 축열재로 크게 分類할 수 있다.

가) 顯熱 蕃熱材

顯熱蓄熱材는 보통比重, 热傳導度, 比热, 热容量의 4가지 物理的 特性에 左右된다.

固體나 液體의 顯熱에 의해 얻을 수 있는 에너지 크기는 (식 2-26)과 같다.

여기서 H : 热容量 m : 물질의 質量

C_p : 물질의 比熱 Δt : 온도차($t_2 - t_1$)

위 式에서 보는 바와 같이 比熱 比重이 클수록 같은 온도 차이에서는 더 많은 热을 貯藏할 수 있다.

<표 2-3>은 略熱體로 많이 사용되는 一般建築材料의 热的 特性을 나타내고 있는데 이중 콘크리트, 벽돌은 비교적 热容量이 큰 材料로 가장 많이 利用되고 있다.

〈表 2-3〉顯熱 蕃熱材의 热的 特性

구분 재료	밀도 kg/m ³	비열 Kcal/Kg·°C	전도율 Kcal/m·hr·°C	열용량 Kcal/m ³ ·°C
콘크리트	2200	0.21	1.3	462
벽돌	1800	0.25	0.75	450
나무	400	0.65	0.09	270
아도비벽돌	1700	0.24	0.45	408
불	1000	1.0	0.52	1000
흙	2000	0.21	0.8	420
석회암	2550	0.2	1.05	510

주 1) 한국動力資源研究所, “太陽에너지 利用技術 開發”, SERI-H-80-2, 1980. P. 175.

나) 潛熱 蕃熱材

물질의 相變化에 따라 隨伴되는 潛熱을 利用하는 蕃熱材는 여러가지가 있으나 이를 選擇하기 위한 基準은 一般的으로 다음과 같다.

- a) 適正한 轉移 온도의 領域을 갖을 것
- b) 潛熱量이 크고, 價格이 低廉한 潛熱材일 것
- c) 潛熱 蕃熱槽 開發을 고려한 寢食性이 적은 化合物일 것
- d) 潛熱溫度(相變化溫度) 調節이 비교적 容易한 潛熱材일 것
- e) 過冷, 相分離 現象등 物性 安定이 쉽고, 相變化 持續性을 쉽게 改善할 수 있는 化合物일 것

上記 조건에 대체적으로 滿足할 수 있는 蕃熱材는 < 표 2-4 >와 같다.

< 표 2-4 > PCM의 材料

잠열재	상변화 온도 (°C)	용융열(무게) (KJ/Kg)	밀도 (Kg/m ³)	용융열(체적) (MJ/m ³)
C ₁₅ - C ₁₆ 파라핀	44 - 48	209	786	160
CaCl ₂ · 6H ₂ O	27 - 30	170	1670	280
Ca(NO ₃) ₂ · 4H ₂ O	40 - 43	140	1830	260
NaCO ₃ · 10H ₂ O	32 - 35	247	1440	360
Na ₂ HPO ₄ · 12H ₂ O	35	265	1520	400
Na ₂ SO ₄ · 10H ₂ O	32	251	1460	370
Na ₂ S ₂ O ₃ · 5H ₂ O	48 - 49	210	1730	360

PCM의 太陽熱 貯藏은 보통 물질의 融解熱(고체-액체)을 이용하게 되는데 이 때 蓄熱材에 貯藏되는 總熱量(H)은 (식 2-27) 과 같다.

$$H = \int_{T_1}^{T_f} m \cdot (Cp)_s \cdot dt + H_f + \int_{T_f}^{T_2} m(Cp)_L \cdot dt^1 \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-27)$$

T_1 : 最初온도, T_f : 熔融온도, T_2 : 最終온도

$(Cp)_s$: 물질의 比熱 (固狀), $(Cp)_L$: 물질의 比熱 (液狀)

H_f : 물질의 熔融 潛熱

2) 蓄熱體의 크기

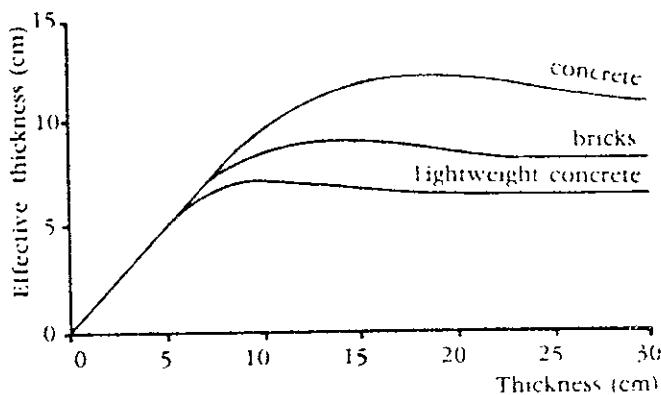
蓄熱體는 热을 内部에 貯藏하고 周圍溫度가 낮아질때 서서히 放出하기 때문에 두꺼운 部材를 한곳에 集中시키는 것보다 넓은 面積에 고루 分散시키는 것이 有利하며, 蓄熱體의 量을 적절히 調節하면 여름철 過熱現象과 겨울철 過冷現象을 줄일 수 있으며 室內溫度 變化幅을 크게 줄일 수 있다.

蓄熱體 容量은 그 位置에 따라서 달라지는데 直接獲得方式에서 蓄熱體의 容量 算定 原則은 直射光을 받는 蓄熱體의 경우 集熱窓 面積當의 蓄熱 容量은 $30\text{Btu}/^\circ\text{F}/\text{ft}^2$ (약 $600\text{KJ}/^\circ\text{C}/\text{m}^2$)이며 室內 空氣에 의하여 間接 蓄熱 될때는 $120\text{Btu}/^\circ\text{F}/\text{ft}^2$ 이 필요하다.²⁾ [그림 2-6]는 蓄熱壁 두께의 蓄熱 容量效果를 나타낸 것으로 蓄熱壁 두께가 콘크리트에서 약 18cm, 벽돌에서 약 12cm, 輕量 콘크리트에서 약 8cm를 超過하게 되면 더 이상 蓄熱 容量은 增加하지 않으므로 이보다 더 두껍게 하는 것은 별 意味가 없다.

바닥 蓄熱體는 室內溫度 變化에 따른 蓄熱이 잘 이루어지지 않게 되므로 바닥을 蓄熱材로 使用할 경우 10cm以上은 效率的이지 못하다.

주 1) ibid, p. 176.

2) 韓國科學財團, “'86目的基礎研究: 自然型 太陽熱 시스템을 이용한 건물에너지 節約技術에 관한 基礎研究(최종보고서), 1989, p. 311.



[그림 2-6] 蓄熱材의 두께와 蓄熱容量¹⁾

3) 蓄熱體의 蓄熱과 放熱

蓄熱體의 蓄熱에는 直接蓄熱, 間接蓄熱, 分離蓄熱로 分類할 수 있다. 直接蓄熱은 直達 日射가 들어오는 곳에 蓄熱體를 두는 것으로 가장 效果的인 蓄熱手段이다. 間接蓄熱은 蓄熱體周圍의 平均溫度가 表面溫度보다 높아 辐射熱에 의해서 蓄熱되는 것이고, 分離蓄熱은 가장 微弱한 蓄熱手段으로 集熱部에 의해 空氣가 먼저 데워지고 나서 對流에 의해서 蓄熱體로 热이 傳達되어 蓄熱 되는 것이다.

直接蓄熱體에서 많은 量의 太陽 辐射熱을 吸收하기 위해서는 檢정계통의 어두운 色과 放射率이 낮은 材料로 表面마감하는 것이 有利하다.

間接蓄熱體의 경우에는 直接蓄熱體가 있는 곳으로 부터 보이는 位置에 放射率이 높은 材料로 하는 것이 有利하다. 蓄熱體로 부터의 放熱은 辐射熱과 對流熱에 의해 일어난다.

주 1) P. Achard and R. Gioqvel, "European Passive Solar Handbook", 1986.

< 표 2-5 > 각종 表面 마감에 따른 太陽熱 吸收率¹⁾

재	료	흡수율
무광택 흑색	페인트 (Flat black paint)	0.95
어두운 회색	페인트 (Dark gray paint)	0.91
어두운 청색	락 카 (Dark blue lacquer)	0.91
흑 색 유성	페인트 (Black oil paint)	0.90
어두운 갈색	페인트 (Dark brown paint)	0.88
어두운 청회색	페인트 (Dark blue-gray paint)	0.88
중 간 갈색	페인트 (Medium brown paint)	0.84
밝은 중간갈색	페인트 (Medium light brown paint)	0.80
갈 색 녹색	락 카 (Brown or green lacquer)	0.79
중 간 적갈색	페인트 (Medium rust paint)	0.78
밝은회색 유성	페인트 (Light gray oil paint)	0.75
적 색 유성	페인트 (Red oil paint)	0.74
붉 은	벽돌 (Red bricks)	0.70
콘 크 리 트	(Uncolored concrete)	0.65
중 간 연한녹색	페인트 (Medium dull green paint)	0.59
중 간 오렌지색	페인트 (Medium orange paint)	0.58
중 간 노란색	페인트 (Medium blue paint)	0.57
중 간 청 색	페인트 (Medium blue paint)	0.51
밝 은 녹 색	페인트 (Light green paint)	0.47

주 1) 建設部, “共同住宅의 에너지 節約을 위한 設計 基準研究”, 1985,
p. 52.

蓄熱體의 蓄熱 및 放熱에 의한 溫度 計算을 數式化하면 (식 2-28)과 같다.

$$A_f \times H_{ca} \times (T_{mass} - T_{mass}') + h_{tot} \times A_f \times (T_{mass} - T_i) + K_f A_f (T_{mass} - T_{gr}) = A_f \times \tau \times J \times a \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-28)$$

여기서 A_f : 바닥 面積 H_{ca} : 바닥 축열체의 热容量

T_{mass} : 현재 축열체의 온도 T_{mass}' : 전시간 축열체 온도

H_{tot} : 對流 輻射熱 傳達係數의 合

T_i : 室內 온도 T_{gr} : 地中 온도

K_f : 바닥의 热貫流率

위 식을 T_{mass} 에 대하여 整理하면 (식 2-29)가 된다.

$$T_{mass} = \frac{a \times \tau \times J + H_{ca} \times T_{mass}' + h_{tot} \times T_i + T_{gr} \times K_f}{H_{ca} + h_{tot} + K_f} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-29)$$

여기서 h_{tot} 는 對流와 輻射熱 傳達 係數合이므로 (식 2-30)과 같이 나타난다.

$$h_{tot} = h_r + h_c \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-30)$$

$$\text{여기서 } h_r = \varepsilon \times \delta \times (K_{mass}^2 + K_r^2) \times (K_{mass} + K_r)^{1/2} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-31)$$

$$h_c = 1.52 \times (T_{mass} - T_i)^{1/3} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-32)$$

$$h_{tot} = \varepsilon \times \delta \times (K_{mass}^2 + K_r^2) \times (K_{mass} + K_r) + 1.52(T_{mass} - T_i)^{1/3} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-33)$$

$$K_{mass} = 273 + T_{mass}$$

$$K_r = 273 + T_i$$

주 1) Edward E. Anderson, "Fundamentals of Solar Energy Conversion,
Addison, 1983, p. 174

2) ASHRAE FUNDMENTAL, 1986, p. 3.10.

2-2-3. 利用部位

1) 室内 마감

直接獲得 方式의 生活空間은 남측으로 향한 集熱窓에 바로 접해 있으며, 이 空間의 바닥이나 壁이 蕊熱體 役割을 하므로 建物 自體가 시스템이다. 따라서 室内 마감상태는 여려요소(미세기후등)를 신중히 考慮하여 決定하여야 한다. 室内 部位의 마감재료 및 色에 관한 一般的인 原則을 살펴보면 다음과 같다.

- a) 蕊熱用 바닥은 黑色系로 한다.
- b) 내부 蕊熱用 壁은 어떤 色彩라도 無關하다.
- c) 非蕤熱用 輕量 構造體(목조 칸막이등)는 백색계로 마감하는 것이 좋다.
- d) 黑色系의 蕊熱部位에 장시간 直達日射가 集中的으로 収熱되는 것을 피하여야 한다.
- e) 蕊熱部位에 카페트등 热傳導率이 낮은 마감재의 設置는 피하는 것이 좋다.

2) 出入口

겨울철 出入口의 開閉시 多量의 冷氣가 室内로 流入되고, 出入口 周圍에 空氣의 露出이 크게 되어, 小規模 住宅의 경우에 貫流 热損失을 包含하여 住宅 全體 热損失의 10%까지 올라가게 된다¹⁾. 따라서 出入口는 建物과 外部사이에 二重門이나, 機密性이 높은 密閉空間(玄關, 홀, 로비등)을 設置하여 热的 緩衝空間 役割을 할 수 있도록 하여야 한다. 또한 出入口의 方向을 겨울철의 北西風과 빗나가게 하여 出入口로 入射하는 風速을 弱化시키고, 外側門은 外開, 内側門은 内開로 하여 外氣의 濡氣와 内部空氣의 漏氣를 防止한다.

주 1) 李明浩, “太陽熱 시스템 設計”, 中央大學校 建設大學院, 1984, p. 24.

3) 夜間斷熱 構造

直接獲得方式은 建物에 충분한 太陽에너지를 받아들이기 위하여 넓은 面積의 集熱窗을 필요로 하지만 夜間에는 热損失의 가장 큰 要因이 된다. 즉, 效果的으로 斷熱하지 않을 경우에는 热性能이 급격히 低下되어 충분한 에너지 效果를 얻지 못할 뿐만 아니라 室內溫度 變動幅이 커져 室內環境의 悪化를 招來하게 된다. 따라서 우리나라와 같은 寒冷氣候에서 夜間斷熱 構造 설치는 必需的이라 할 수 있다.

夜間斷熱 構造는 크게 設置 位置와 作動 方式에 따라 구분되는데, 設置 位置에 따라 外部裝置, 内部裝置, 中間設置裝置로 구분되며, 作動 方式에 따라서는 <표 2-6>과 같이 구분된다.

이러한 夜間斷熱構造의 設計, 選擇 時에는 材料의 特異性, 構造의 經濟性, 生活習慣, 建築方式등을 고려하여 太陽熱 시스템의 热性能 向上이라는 目的에 附合될 수 있도록 하여야 한다.

直接獲得方式에 우리나라의 氣候條件 및 生活方式등에 適合한 夜間斷熱 構造는 <표 2-7>과 같은 것이 있다.

< 표 2-6 > 夜間斷熱構造의 作動 方式에 따른 分類

作動 方式		夜間斷熱構造
롤 형식의 쉐이드 (Roll Shade)		단층쉐이드(Single Shade) 다중쉐이드(Multiple Shade) 누빔구조(Quit or Fiberfill Shade) 슬래트쉐이드(Slatted Shade)
커튼 형식 (Curtain Type)	상부기폐식 측부기폐식	반사형직물커튼(Reflective Fibric Curtain) 섬유질충진커튼(Faberfill Curtain) 플라스틱베블커튼(Plastic Bubble Curtain)
셔터 형식 (Shutter)	완전분리형 셔터	판넬 통합 셔터 유리면에 밀착시킨 셔터
	롤형식셔터	롤단형식(Rolladen) 차고문형식(Garage)
	미닫이 또 는 힌지를 댄 셔터	측면에 힌지를 댄 셔터 바닥에 힌지를 댄 셔터 상부에 힌지를 댄 셔터 미닫이 셔터(Sliding Shutter)
투버 형식	수동식 자동식	

< 표 2-7 > 直接獲得方式에 이용 가능한 夜間斷熱 構造

位 置	夜間斷熱 構造의 種類
집열창 내부	커텐(측부, 상, 하부개폐), 다층 쇼이드(Multiple Shade), 슬래트 셔터(Slatted Shutter), 퀼트(Quilt)방식
집열창 사이	비이드-월 (Bead Wall), 하니-컴(Honey Comb), 지그-자그 폴드(Zig-Zag Folded)
집열창 외부	하부힌지 셔터(Bottom Hinged Shutter), 슬래트 셔터(Slatted Shutter), 접문(Folded Shutter), 슬라이드 셔터(Sliding Shutter)

4) 室內 傳達熱量

蓄熱體에서 室內로 傳達되는 輻射 傳達量, 對流熱 傳達量은 각각 (식 2-34)와 (식 2-35)과 같다.

위 式은 시간별 傳達量이므로 日別, 月別 傳達熱量은 (식 2-36)와 (식 3-37)가 된다.

5) 室內溫度 變化

室内溫度는 日射量, 热损失量, 실의 蓄熱 容量에 따라 크게 左右된다. 그런데 室에 蓄熱體가 없다고 假定할때 室内溫度는 室内空氣의 比重, 比熱, 容積에만 關聯된다. 이러한 경우 空氣는 热容量이 대단히 작아서 室内溫度變化幅이 매우 커진다. 그러나 실제로는 室内에 蓄熱體가 없다고 할지라도

構造體가 蓄熱體 役割을 함으로 室內溫度 變化幅이 줄어든다. 室內溫度는
晝間의 경우 材料의 热容量, 構造體를 통한 热損失, 室內 流入 日射量등에
의해 影響을 받으며, 夜間의 경우에는 材料의 热容量, 热損失量에 의해 影
響을 받는다. 이러한 概念을 式으로 나타내면 (식 2-38)과 같다.

$$H_{ca} \times \frac{d}{dt} T_i + \sum_{j=1}^n K_j A_j (T_i - T_0) = A_g \times \tau \times I \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-38)$$

H_{ca} : 材料의 热容量 (Kcal/Kg)

T_i : 室溫 ($^{\circ}\text{C}$) K_j : j 부재의 热貫流率 (Kcal/ $\text{m}^2 \cdot \text{h} \cdot ^{\circ}\text{C}$)

A_j : j 부재의 面積 (m^2) T_0 : 外氣溫 ($^{\circ}\text{C}$)

A_g : 窓面積 τ : 透過率 I : 室內 流入 日射量 (Kcal/ $\text{m}^2 \cdot \text{h}$)

이것을 평균 热傳導 概念으로 바꾸면 (식 2-39)가 된다.

$$H_{ca} \times (T_i - T_{i'}) + \sum_{j=1}^n K_j A_j (T_i - T_0) = A_g \times \tau \times J \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-39)$$

T_i : 現在의 室內溫度

$T_{i'}$: 1시간전의 室內溫度

蓄熱體 두께가 有限한 直接 蓄熱體의 蓄熱容量과 間接 蓄熱體의 蓄熱容量
은 (식 3-40)과 (식 3-41)이므로 (식 2-39)에 代入하면 (식 2-42)가 된다.

$$H_{ca} = \sqrt{K \times \rho \times C \times P/2\pi} \times \sqrt{(\cosh 2X - \cos 2X)/(\cosh 2X + \cos 2X)} \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-40)$$

$$H_{ca} = \sqrt{P \cdot K \cdot \rho \cdot C / 2\pi} \times \sqrt{(\cosh 2 - \cos 2X) / (\cosh 2X + \cos 2X)} \times \sqrt{1 / (\gamma + \cos \phi)^2 + \sin^2 \phi} \\ \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-41)$$

$$\sum_{j=1}^n A_j \times \sqrt{K_j \times \rho_j \times C_j} \times P/2\pi \times \sqrt{(\cosh 2X - \cos 2X) / (\cosh 2X + \cos 2X)} \times (1 - a_j)$$

$$+ \sum_{k=1}^n A_k \times \sqrt{K_k \times \rho_k \times C_k} \times P/2\pi \times \sqrt{(\cosh 2X - \cos 2X) / (\cosh 2X + \cos 2X)} \times$$

$$1 / \sqrt{(\gamma + \cos \phi)^2 + \sin^2 \phi} \times (T_i - T_{i'}) + \sum A_j K_j (T_i - T_0) A_g \times \tau \times I \quad \dots \dots \dots \quad (\text{식 } 2-42)$$

여기서

$$X: L \times \sqrt{\pi \rho C / PK} \quad L: 두께 (m)$$

K: 热傳導率 (Kcal/m·hr·°c) ρ : 比重(kg/m³)

C: 比熱 (Kcal/kg°C)

$$\phi = \pi/4 + \arctan (\sin 2x / \sinh 2x)$$

$$\gamma = 2 \sqrt{P \cdot K \cdot \rho \cdot C / 2\pi} \sqrt{(\cosh 2 - \cos 2X) / (\cosh 2X + \cos 2X)} / h \times P$$

위 (식 2-42)에서 T_i 즉 室內溫度에 대하여 整理하면 다음과 같다.

$$T_i = \frac{A_g \cdot \tau \cdot I + H_{ca} \times T_i' + \sum K_j A_j T_o}{H_{ca} \times \sum K_j A_j} \quad \dots \dots \dots \quad (식 2-43)$$

第 3 章. Scale Model을 利用한 热性能 實驗

본 研究에서는 直接獲得方式의 热性能 向上을 위하여 바닥 마감 구조 및 潜熱材(PCM:Phase Change Material)에 따른 热性能 實驗과 蓄熱材의 集中·分散 配置에 따른 热性能 實驗을 위하여 2종류의 實驗모델을 製作하였고, 각 部位別로 Sensor를 設置하여 測定, 分析하였다.

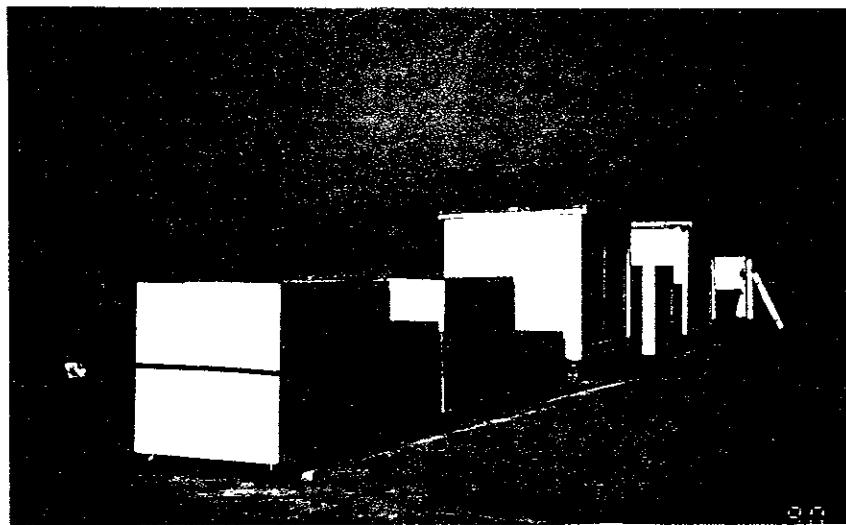
3-1. Scale Model의 製作

Scale Model은 바닥 마감 구조에 따른 热性能 實驗을 위하여 4個의 室(A 모델)을 製作하였고, 潜熱材(PCM)과 蓄熱材 配置에 따른 热性能 實驗을 위하여 2個의 室(B 모델)을 製作하였다.

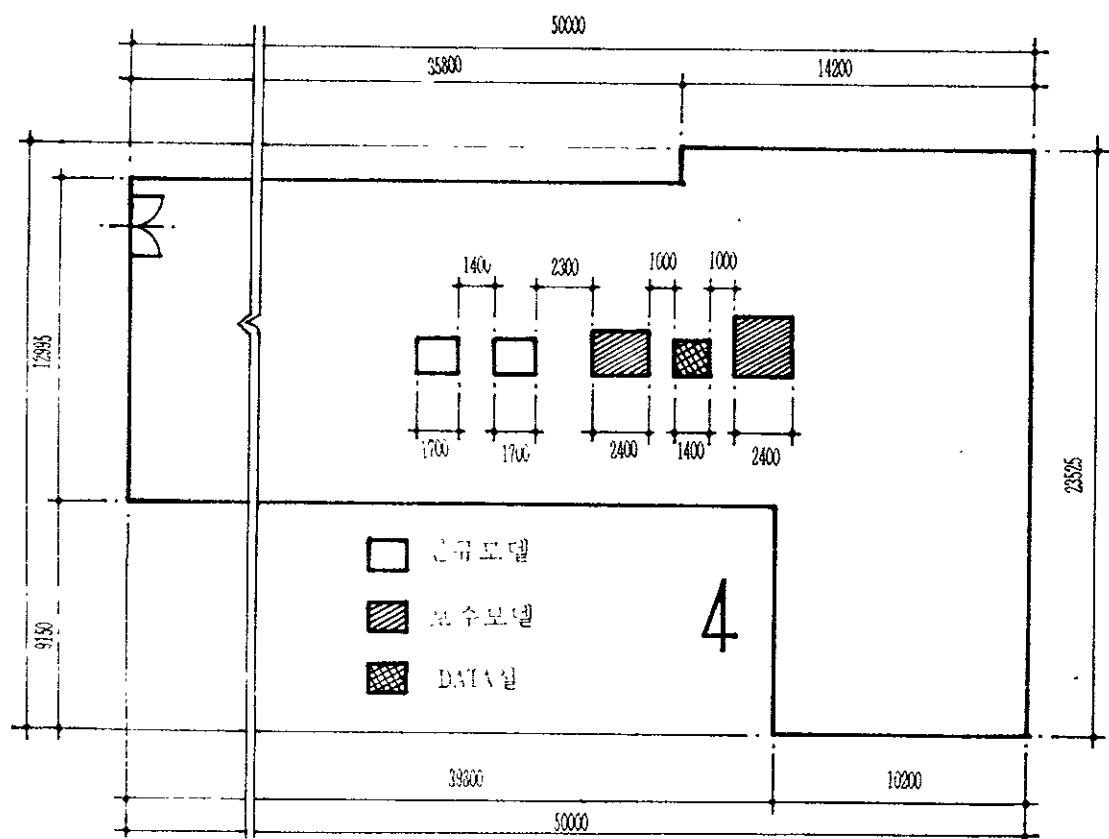
A 實驗 모델은 容積比 1.2m*1.8m*1.8m로 하여 2個의 室을 한동으로 하여 聯立 製作하였다. 모델의 南側面은 集熱窓(1.2m*1.8m)으로 2중유리(Pair Glass)를 使用하였고, 外壁은 100mm 유리섬유(Glass Wool)와 드라이비트(Dryvit)로 施工하여 斷熱 및 防水性이 優秀하도록 하였다. 北側面의 外壁에는 開閉가 可能하도록 450mm*1,050mm크기의 開口部를 두었다.

B 實驗 모델은 容積比가 1.4m*1.0m*1.2m로 製作하였으며, 南側面의 集熱(1.4m*1.0m)을 2중유리(Pair Glass)로 使用하였으며, 外壁은 150mm 폴리스틸렌으로 斷熱 施工하였다.

<표 3-1>과 <표 3-2>는 A 實驗 모델과 B 實驗 모델의 热性能을 나타내고 있다.



[그림 3-1] 實驗 모델의 全景



[그림 3-2] 實驗 모델의 配置圖

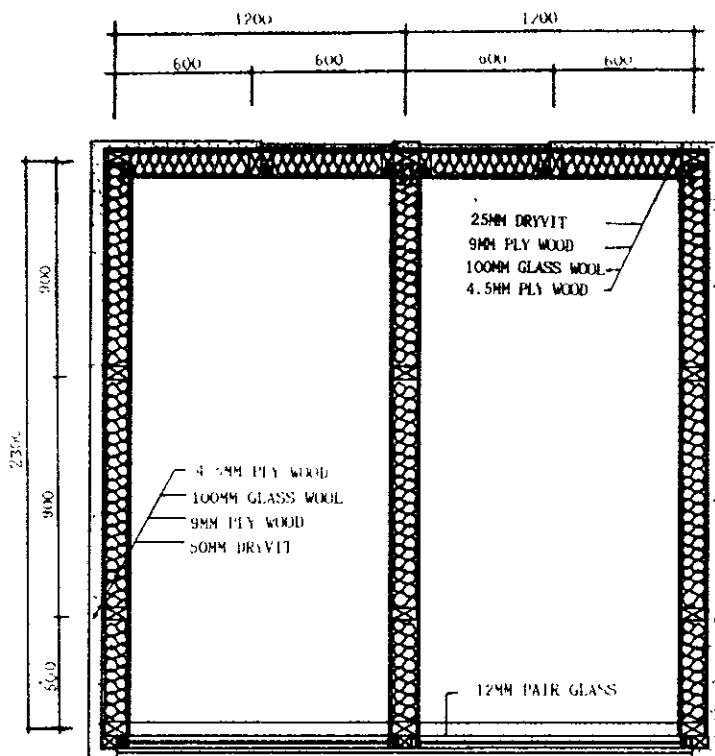
(中央大學校 工科大學 屋上 圖面)

< 표 3-1 > A實驗 모델의 热性能

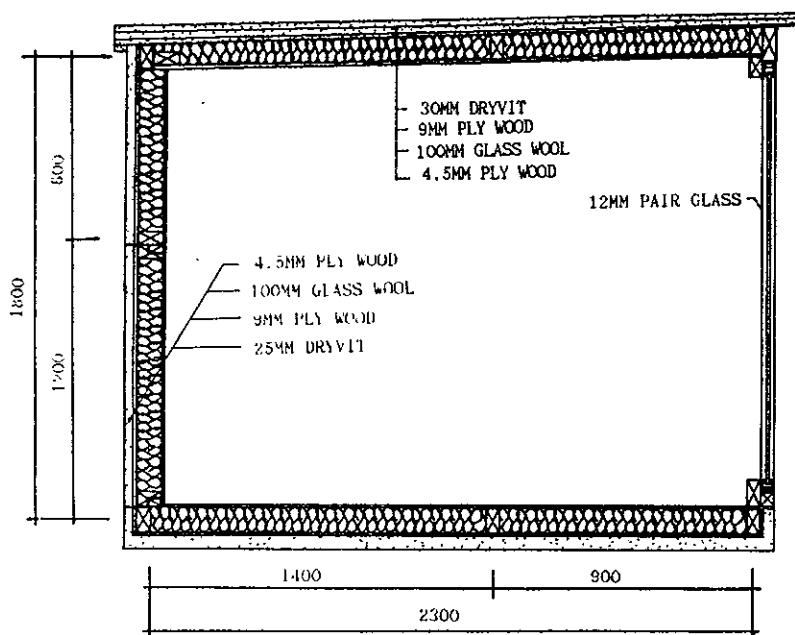
項 目	規 格	構 造	性能(Kcal/M ² h°C)
集熱窓	1.2M * 1.8M	3MM유리+6MM공간+3MM유리	3.846
側 壁	1.8M * 1.8M (A형과 B형) 2.3M * 1.8M	50MM DryVit + 9MM 합판 + 100MM Glass Wool + 4.5MM 합판	0.205
뒷 壁	1.2M * 1.8M	25MM DryVit + 9MM 합판 + 100MM Glass Wool + 4.5MM 합판	0.263
바 닥	1.2M * 1.8M	50MM DryVit + 9MM 합판 + 100MM Glass Wool + 4.5MM 합판	0.205
지 봉	1.2M * 1.8M	30MM DryVit + 9MM 합판 + 100MM Glass Wool + 4.5MM 합판	0.207

< 표 3-2 > B實驗 모델의 热性能

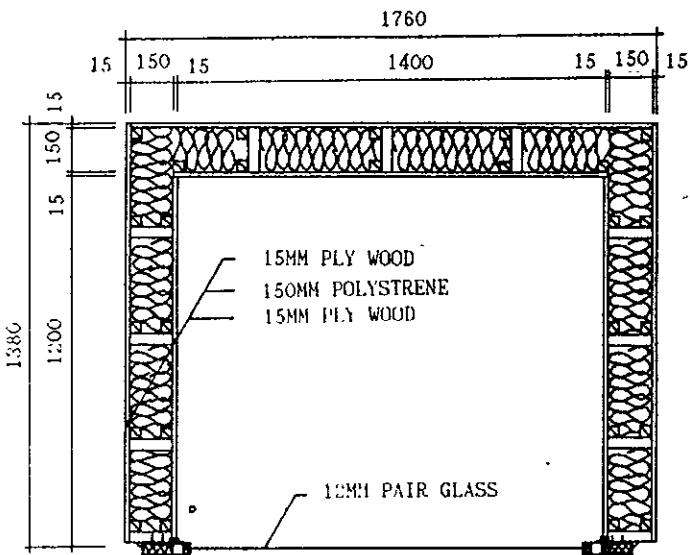
項 目	規 格	構 造	性能(Kcal/M ² h°C)
集熱窓	1.4M * 1.0M	3MM유리+6MM공간+3MM유리	3.846
側 壁	1.29M*1.18M	15MM 합판 + 150MM 폴리스 틸렌 + 15MM 합판	0.207
뒷 壁	1.58M*1.18M	15MM 합판 + 150MM 폴리스 틸렌 + 15MM 합판	0.207
바 지 봉	1.58M*1.29M	15MM 합판 + 150MM 폴리스 틸렌 + 15MM 합판	0.207



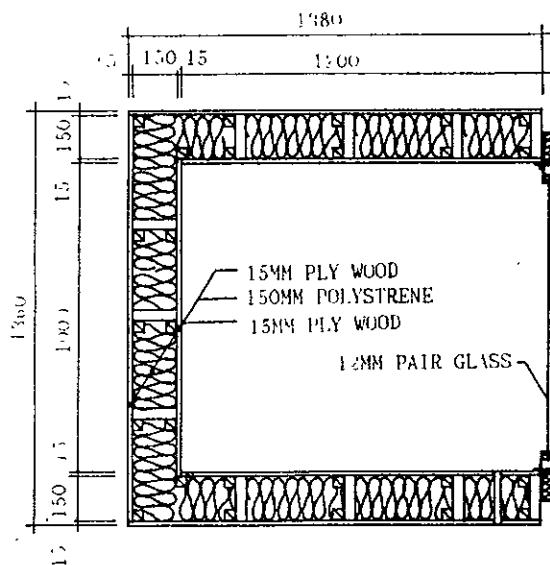
[그림 3-3] A 實驗 모델의 平面圖



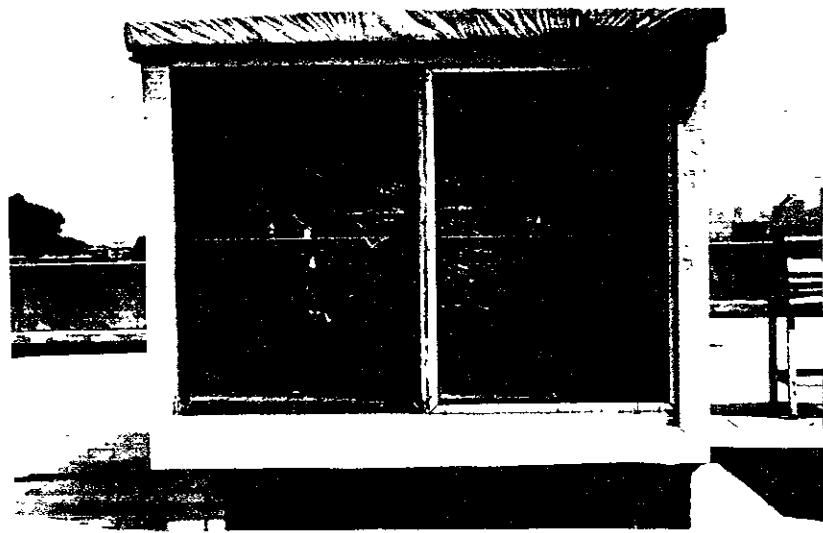
[그림 3-4] A 實驗 모델의 斷面圖



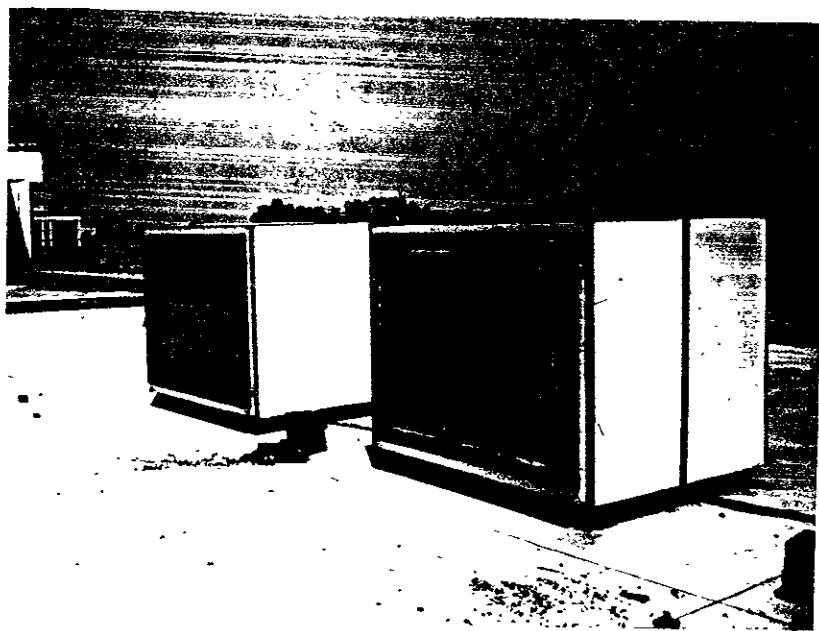
[그림 3-5] B 實驗 모델의 平面圖



[그림 3-6] B 實驗 모델의 斷面圖



[그림 3-7] A 實驗 모델의 寫眞



[그림 3-8] B 實驗 모델 의 寫眞

3-2. 實驗器機

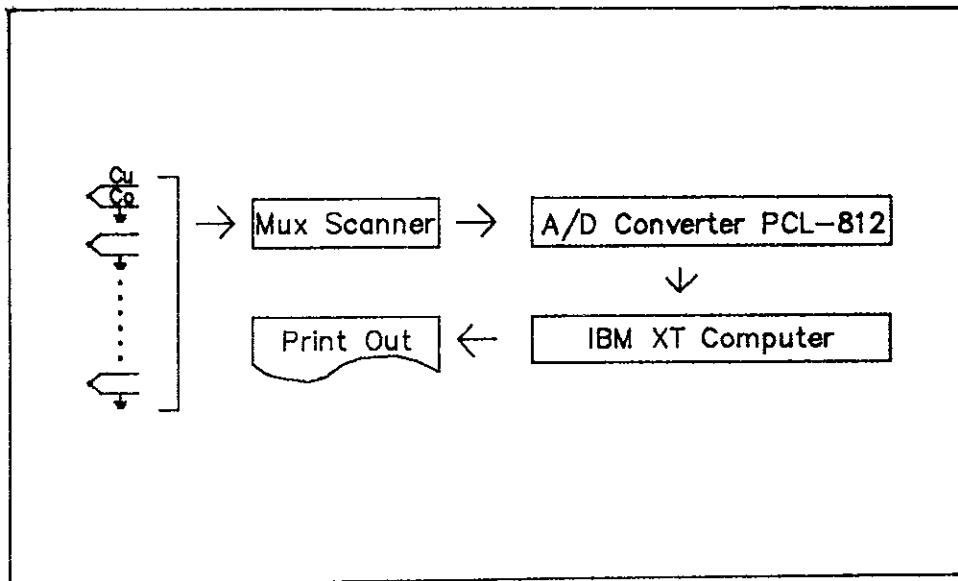
本研究에서 實驗 實測에 使用된 要素는 溫度, 濕度, 日射量으로 溫度는 각 部位別로 測定하기 위하여 컴퓨터를 利用한 多點溫度 計測 시스템을 構成하였고, 日射는 磁氣錄 日射計(OTA 23056)를 使用하여 測定하였으며, 濕度 Data에 대한 補助裝備로 磁氣錄 溫濕度計(Tomei Keiki 174)를 使用하였다.

Sensor는 CC Thermocouple을 使用하였으며, Mux Scanner는 16個의 Channel로 이루어진 ACLE 789 Card를 3 Card로 組合하여 Channel 選擇의 融通性을 갖도록 하였다. A/D Converter는 PCL 812 Card를 使用하여 Mux Scanner로부터 入力되는 Analog 信號를 Digital 信號로 바꿔 주고 컴퓨터의 CPU로 入力 되도록 하였다.

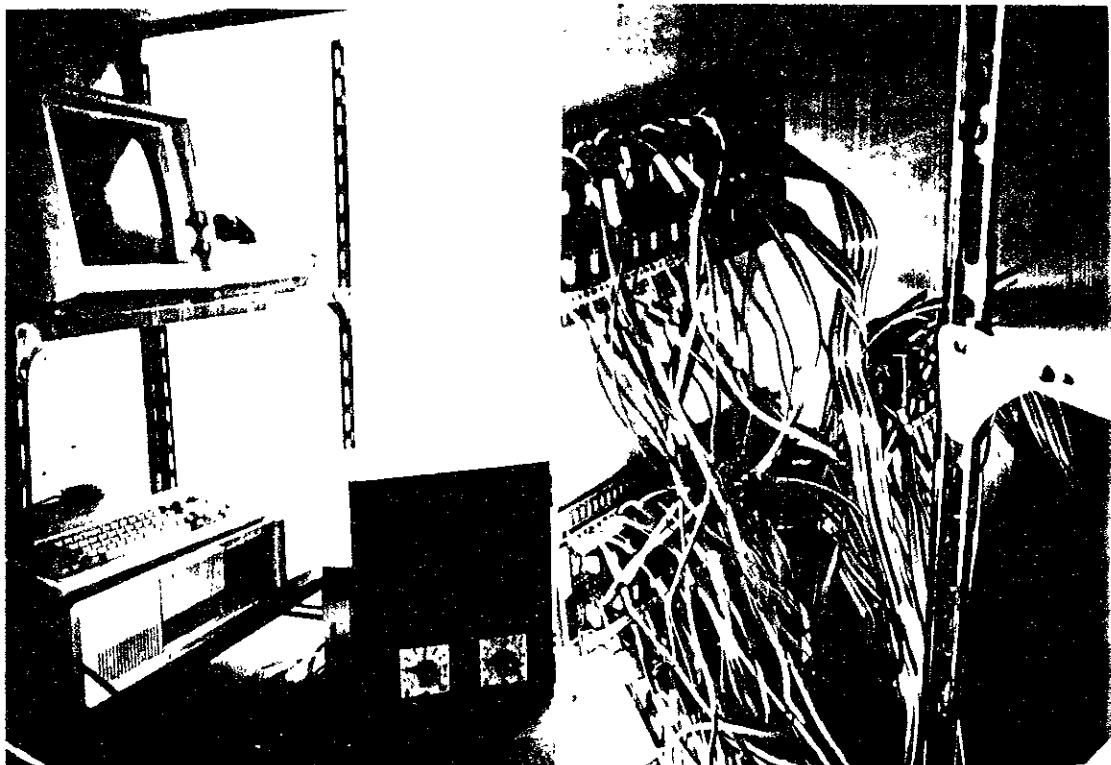
<표 3-3>과 [그림 3-9]는 測定에 使用된 實驗器機 및 構成圖를 나타내고 있다.

<표 3-3> 實驗에 사용된 實測器機

기 기	특 징	비 고
Sensor	CC thermocouple	Ground Line으로 오차 보정
Mux Scanner	ACLD 789 Card	Channel(32-48) 자동 선택
A/D Converter	PCL 812 Card	Analog 신호를 Digital로
Computer	IBM Compatible	File 저장과 Print OutPut
일사계	OTA 23056	
자기록 온습도계	Tomei Keiki	



[그림 3-9] 實驗器機의 構成圖



[그림 3-10] 實驗器機의 寫真

3-3. 바닥 마감재에 따른 热性能 實驗

3-3-1. 實驗의 目的 및 構成

直接獲得方式에서 集熱窓을 통하여 入射한 太陽에너지에는 바닥재료에 吸收되어 蓄熱 및 放熱됨으로써 構造體의 辐射溫度와 室內溫度를 決定하게 된다. 따라서 본 實驗에서는 한국의 氣候方式과 生活 習慣에 따라 일반적으로 使用되는 바닥 마감 構造材를 利用하여 日射의 集熱, 蓄熱性能을 測定하여 蓄熱體로의 热흐름 및 室溫의 變化를 測定하여 日射가 미치는 바닥 뿐만 아니라 壁體의 構成, 家具의 設置등에 따른 热性能을 推論하여 直接獲得 方式設計에 利用할 수 있는 基礎資料를 定立하고자 하였다.

實驗 方法은 4가지의 바닥 마감재를 利用하여 實驗모델을 製作하였고 각 構造體의 節點(node)에 sensor를 設置하여 热流의 흐름을 알 수 있도록 하였고, 相互 측정치를 比較·分析하여 自然型 太陽熱 시스템의 設計戰略에 利用할 수 있도록 하였다.

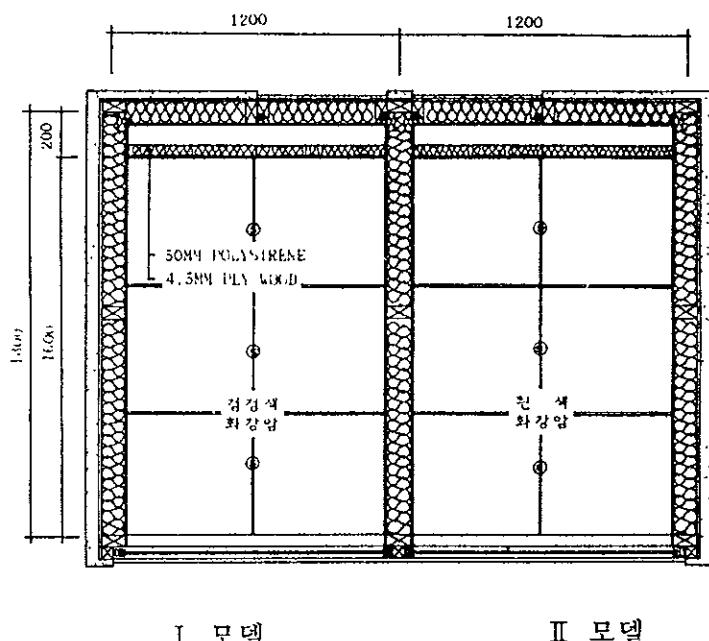
3-3-2. 實驗모델의 構成

實驗 모델은 바닥 마감구조를 제외한 集熱窓과 外壁 등을 同一한 性能으로 統一하여 製作 하였으며 모델 1과 모델 2의 깊이가 다른 것은 假壁을 設置함으로써 容積을 統一 하였다.

바닥 마감재는 검정색 화강암(색채 : N8), 흰색 화강암(N3), 암스트롱 장판지(5B 6.5/6), 나무 마루 후로링(10YR 7.5/4)으로 하였고 蓄熱量은 벽돌 1커 위에 2.5cm두께의 화강암을 統一하여 깔았다. 蓄熱體 内部에서 發生할 수 있는 空氣의 流通(對流)을 防止하기 위하여 벽돌과 화강암 사이는 모래로 충진하였다. 벽돌과 모래는 結露 現象을 防止하고자 충분히 乾燥하여 使用하였으며 壁體는 알루미늄 薄板으로 마감하여 壁體의 吸熱 效果에 따른 影響을 最小化 하였다.

< 표 3-4 > 實驗 모델의 特徵

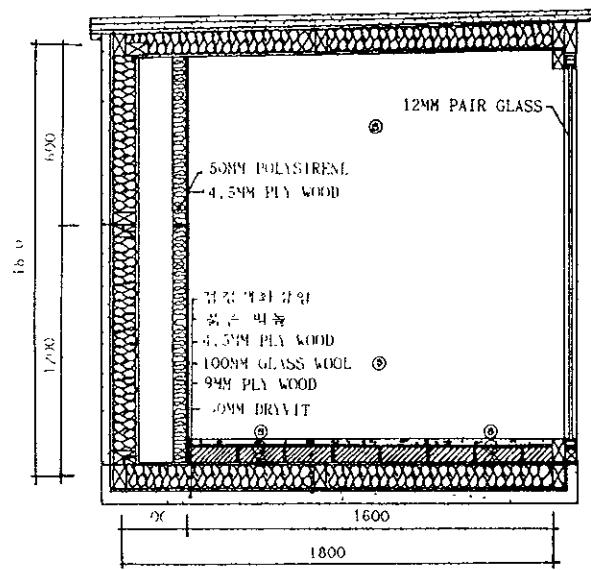
항목 \ 모델	I 모델	II 모델	III 모델	IV 모델
바닥 마감재	검정색 화강암	흰색 화강암	암스트롱깔기	나무 후로링
색 채	검정 (N8)	흰색 (N3)	청색 혼합 (5B 6.5/6)	나무 자연색 (10YR 7.5/4)
마감재 열저항	없 음	없 음	암스트롱	나무 마루
축 열 체	벽돌 1층위 두께 25MM의 화강암을 통일하여 깔았음			



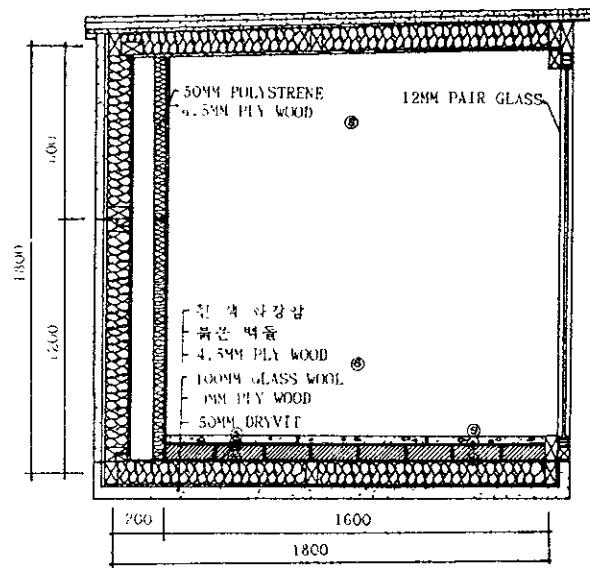
I 모델

II 모델

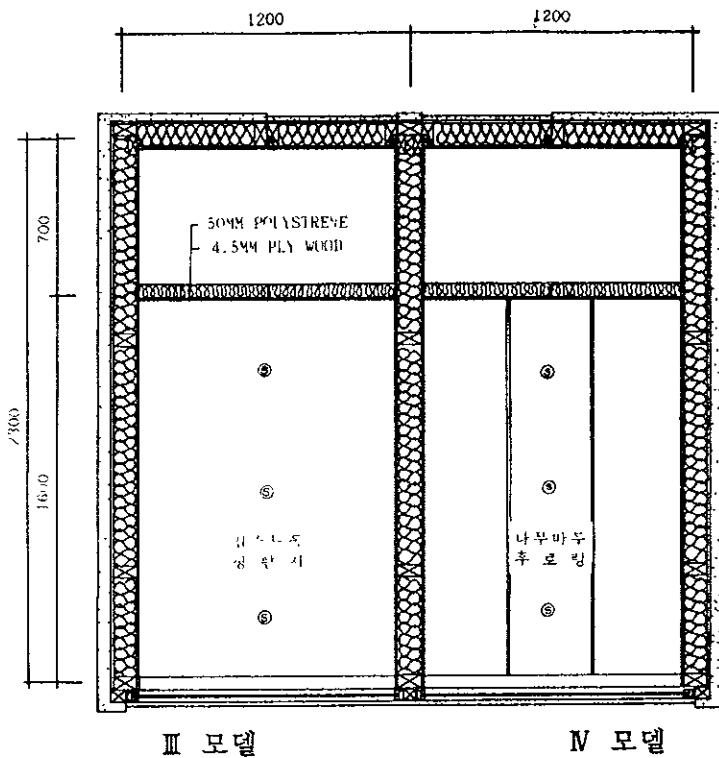
[그림 3-11] I, II 實驗 MODEL의 平面圖 및 Sensor 위치



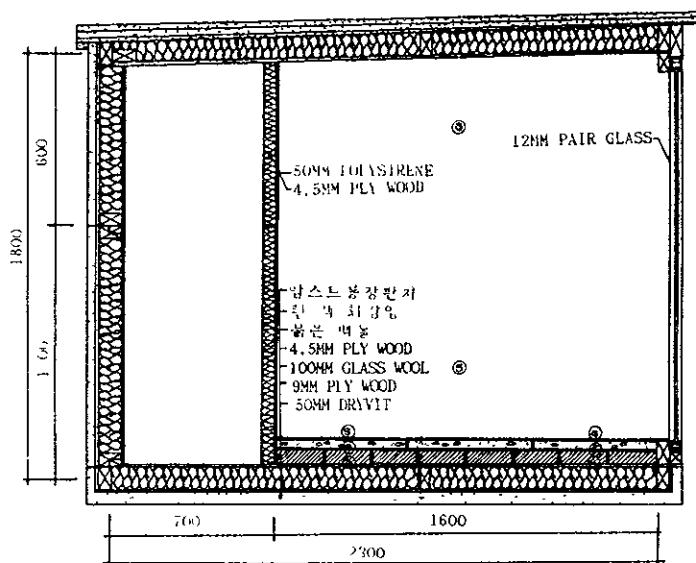
[그림 3-12] I 實驗 MODEL의 斷面圖 및 Sensor위치



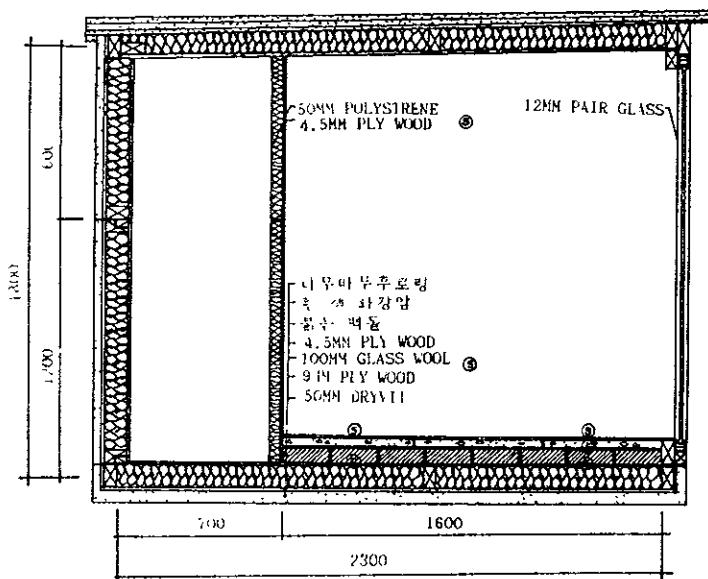
[그림 3-13] II 實驗 MODEL의 斷面圖 및 Sensor위치



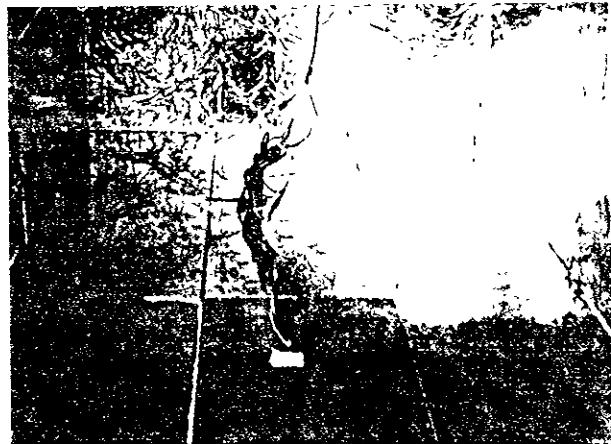
[그림 3-14] III, IV 實驗 MODEL의 平面圖 및 Sensor 위치



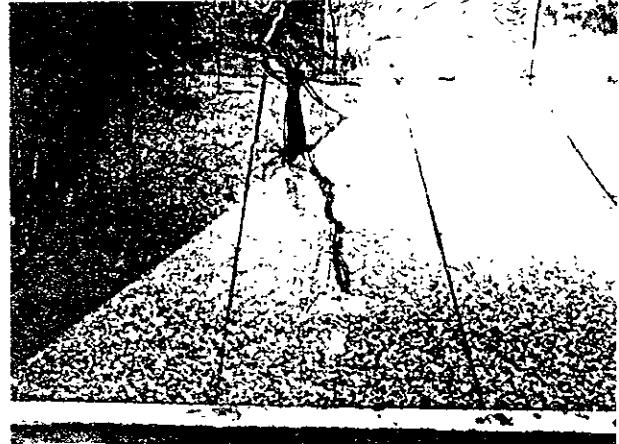
[그림 3-15] III 實驗 MODEL의 斷面圖 및 Sensor 위치



[그림 3-16] IV 實驗 MODEL의 斷面圖 및 Sensor 위치



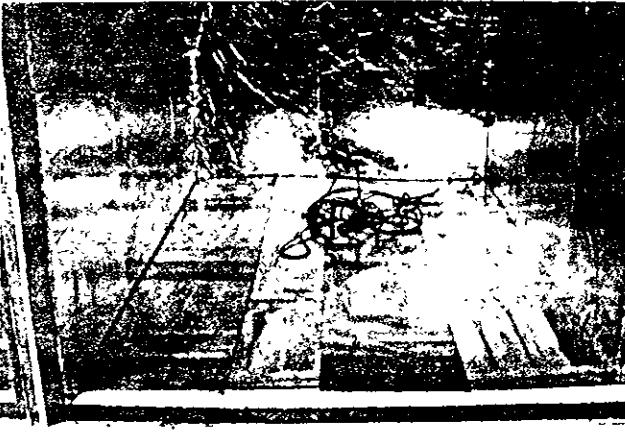
I 모델 사진



II 모델 사진



III 모델 사진

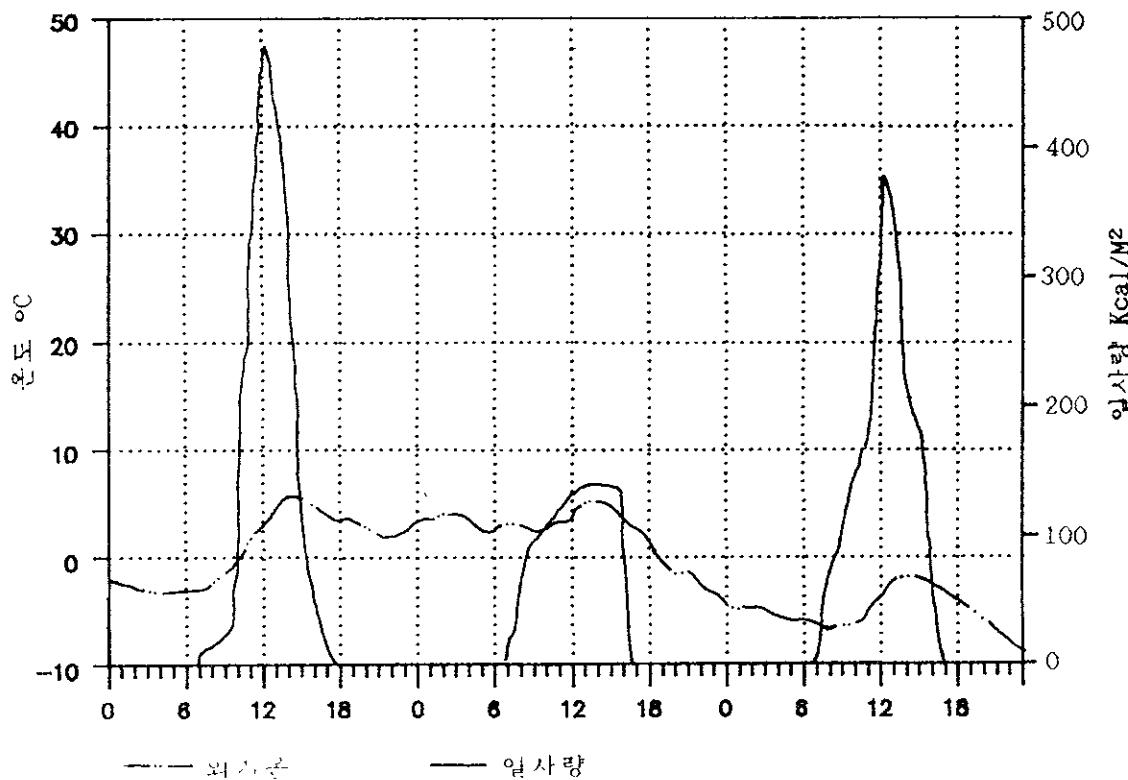


IV 모델 사진

[그림 3-17] 바닥 마감재별 實驗 모델 寫眞

3-3-3. 實驗 實測

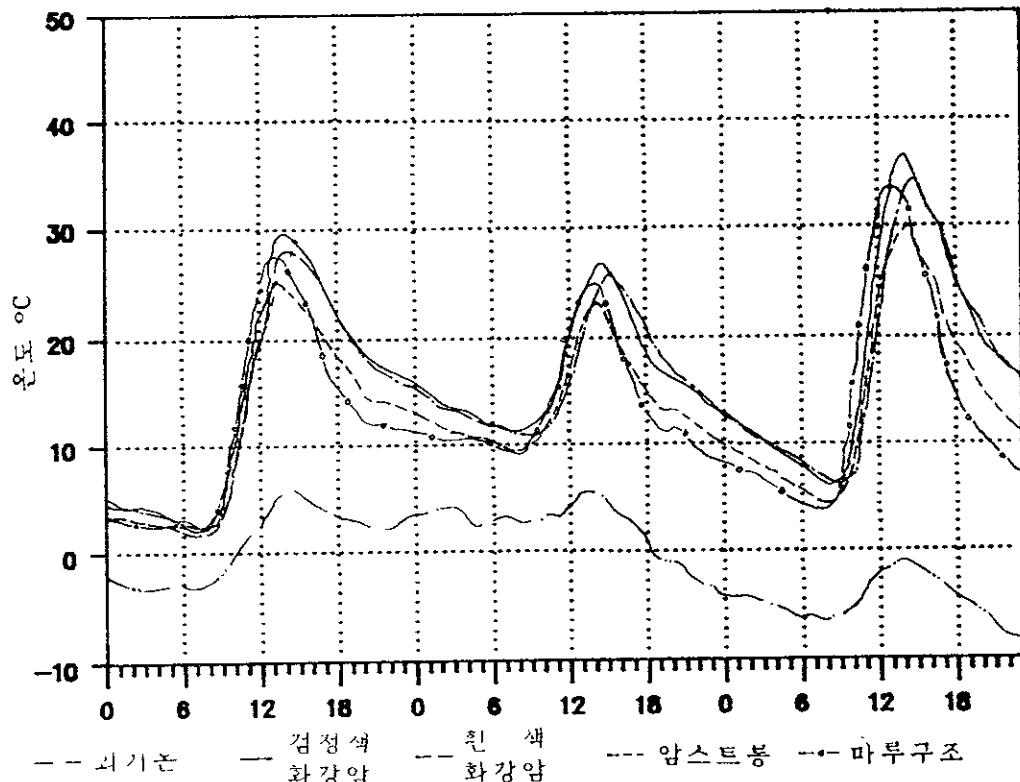
實驗 實測은 1990년 1월 17일 0시 부터 1월 24일 23시 까지 8일간 中央大學校 工科大學 屋上에서 實驗 하였다. 測定 기간 동안의 氣象은 다음 [그림 3-18]과 같다.



[그림 3-18] 측정 기간 동안의 氣象

3-3-4. 實驗 結果

1). 바닥 표면의 溫度 變化



[그림 3-19] 바닥 표면의 溫度 變化

바닥 表面의 溫度는 室溫을 決定하고 下部 蓄熱體에 热을 傳達하는 經路에 位置한 部位로, 日射의 吸收와 放射 能力を 나타내고 있다. 測定 結果를 보면 午前中の 溫度 變化에서 처음에는 같은 速度로 溫度가 上昇하다가 검정색 화강암이 가장 높게 上昇하며 흰색 화강암, 마루 구조, 암스트롱의 順으로 室溫이 上昇된다. 午後에 溫度 下降 過程을 보면 검정색 화강암과 흰색 화강암이 거의 같은 溫度를 維持하며 下降 한다. 이는 화강암의 放射係數가 같음을 나타내며 短波長에 의한 日射熱의 吸收는 表面色에 따라 성

능이 決定 되지만, 長波長의 放熱은 色彩와는 큰 관계가 없음을 나타내고 있다. 夜間에 가장 温度가 낮은 表面은 마루 구조로, 나무 재료는 热抵抗이 다른 材料에 비하여 크므로 蓄熱 效果가 떨어지기 때문으로 생각된다.

검정색 화강암과 나무 마루 구조의 平均 温度는豫熱을 충분히 받은 19일에 3.7°C 의 差異를 보이고 있어서, Direct Gain System에서 마감재에 따른 日射의 吸收能力이 중요한 要素임을 나타내고 있다.

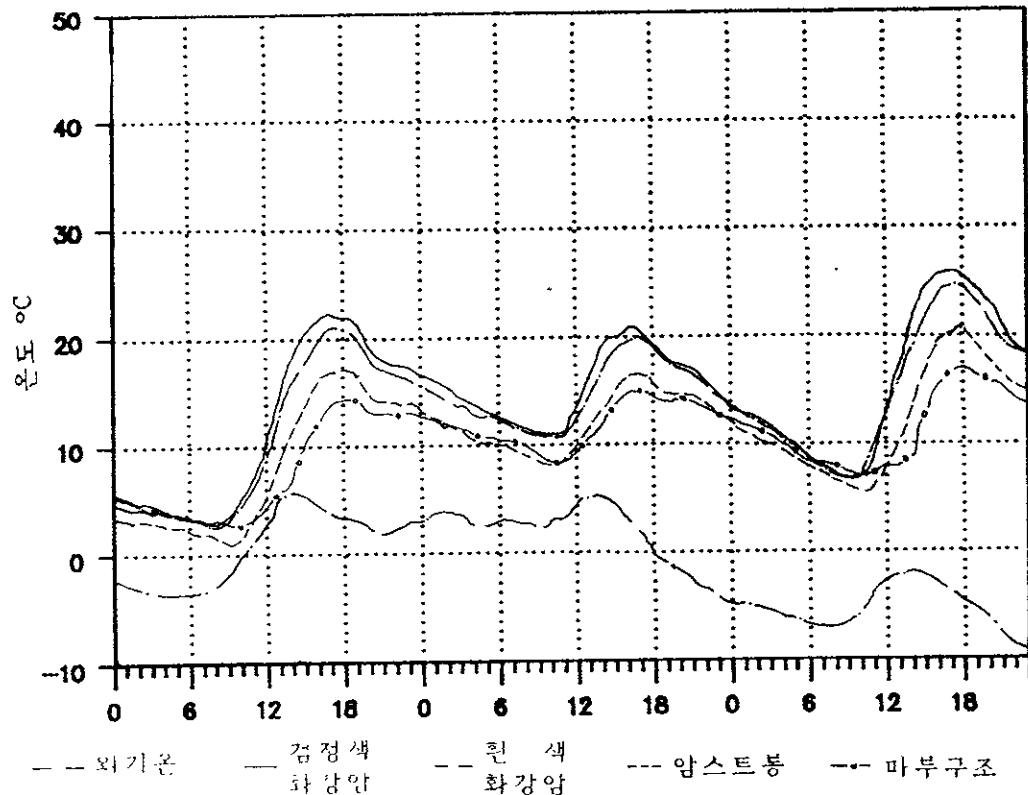
< 표 3-5 > 前面 바닥 表面의 最高 最低 平均 温度

기호	기호 설명	17 일 최고 최저 평균			18 일 최고 최저 평균			19 일 최고 최저 평균		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	검정색 화강암	29.7	2.2	14.2	27.0	11.2	16.4	36.6	5.7	17.7
---	흰색 화강암	28.2	2.2	13.3	25.7	10.4	15.5	33.8	5.4	16.7
---	암스트롱	25.1	1.5	11.5	23.2	9.4	13.6	30.2	4.2	14.2
—o—	마루 구조	28.1	1.9	11.9	25.4	9.3	13.7	33.6	4.0	14.0

< 표 3-6 > 前面 바닥 表面의 温度 평균치

항 목	최 고	최 저	진 폭	평 균	최 고	최 저	진 폭	평 균
모델	I	실험 모델 (검정 돌)			II	실험 모델 (흰 돌)		
온도	31.1	6.4	24.7	16.1	29.2	6.0	23.2	15.2
모델	III	실험 모델 (암스트롱)			IV	실험 모델 (나무마루)		
온도	26.1	5.0	21.1	13.1	29.0	5.0	24.0	13.2

2). 蓄熱體 下部에서의 溫度 變化



[그림 3-20] 蓄熱體 下부에서의 溫度 變化

蓄熱體 下部에서의 溫度는 吸收된 日射에너지가 效率的으로 蓄熱되는 알 수 있으며 夜間과 日射가 적은 날에 室溫을 決定하는 에너지원이 된다. 4개의 實驗 모델에서 가장 性能이 좋은 것은 검정색 화강암이며 그 다음은 흰

색 화강암, 암스트롱, 나무마루 마감의 順序로 나타났다. 豫熱을 충분히 받은 19일의 모델별 平均 溫度를 보면 가장 性能이 좋은 검정색 화강암과 성능 나쁜 나무마루 마감과의 平均 溫度差는 4.3°C 로 나타나 검정색 화강암이 가장 우수한 마감재료임을 나타내고 있다.

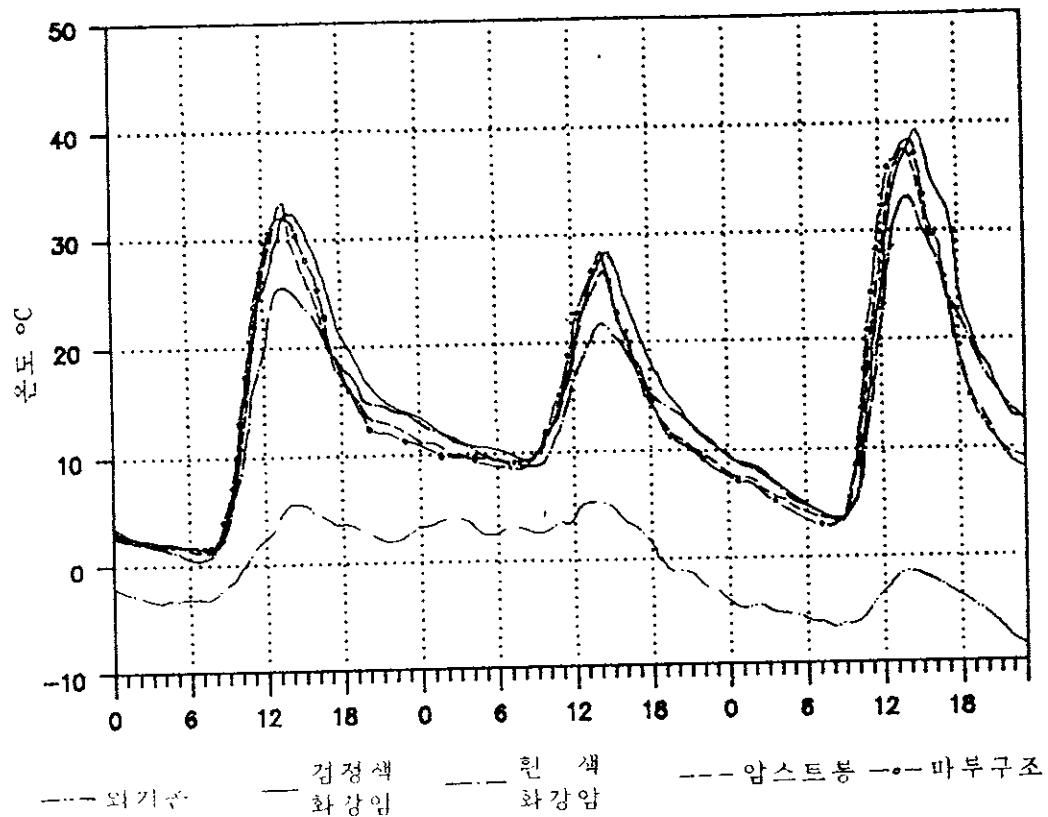
< 표 3-7 > 蓄熱體 下部의 最高 最低 平均 溫度

기 호	기호 설명	17 일			18 일			19 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	검정색 화강암	22.5	2.8	11.6	21.9	11.3	15.7	26.4	6.9	15.9
---	흰 색 화강암	20.9	2.7	10.8	20.2	10.4	14.7	24.7	6.3	15.3
---	암 스 트 롱	17.4	1.1	8.2	16.8	8.1	12.4	20.6	5.2	12.1
--	마 르 구 조	14.4	2.4	7.5	15.4	8.5	12.2	17.4	6.8	11.6

< 표 3-8 > 바닥 下部의 溫度 평균치

항 목	최 고	최 저	진 푸	평 균	최 고	최 저	진 푸	평 균
모 델	I 실험 모델 (검정 돌)				II 실험 모델 (흰 돌)			
온 도	23.6	7.0	16.6	14.4	21.9	6.5	15.4	13.6
모 델	III 실험 모델 (암스트롱)				IV 실험 모델 (나무마루)			
온 도	18.2	4.8	13.4	10.9	15.6	5.9	9.7	10.4

3). 室内 氣溫의 變化



[그림 3-21] 室内 氣溫의 變化

實驗 첫날인 17일 0시 부터 8시 까지 4개의 實驗 모델 内部 溫度가 비슷한 形態로 나타났다. 이는 4개의 모델이 같은 斷熱性能을 갖고 있기 때문이다.

검정색 화강암은 높은 吸收率과 放射率로 인하여 낮과 밤 모두 热性能이 가장 우수한 것으로 나타났고, 암스트롱과 마루 구조는 비슷한 溫度 分布를 보여 주고 있다. 흰색 화강암은 낮에는 性能이 가장 낮고 밤에는 암스트롱, 마루구조 보다 優秀하였다. 낮에 性能이 낮은것은 물갈기 處理로 인하여 매끄러운 表面에서 热이 反射되고 표면색깔이 흰색으로 热吸收率이 낮기 때문

이며, 밤에 性能이 우수한 것은 화강암과 벽돌에 蕃熱하였기 때문이고 암스트롱과 마루구조는 热傳導率이 낮아 蕃熱하지 못하였기 때문이다. 또한 短波長의 热輻射는 吸收와 放射에 의하여 長波長의 赤外線으로 바뀌어 溫室效果를 誘發할 수 있으나, 反射는 短波長 그대로이기 때문에 溫室效果를 낮추는 것으로 풀이된다.

따라서 Direct Gain System의 바닥 마감재는 热吸收率이 높고 热傳導性能이 좋으며 反射率이 낮은 材料가 適當할 것으로 생각된다. 예를 들면 검정색 무광의 화강암, 자연석, 타일등이 좋은 마감재가 된다.

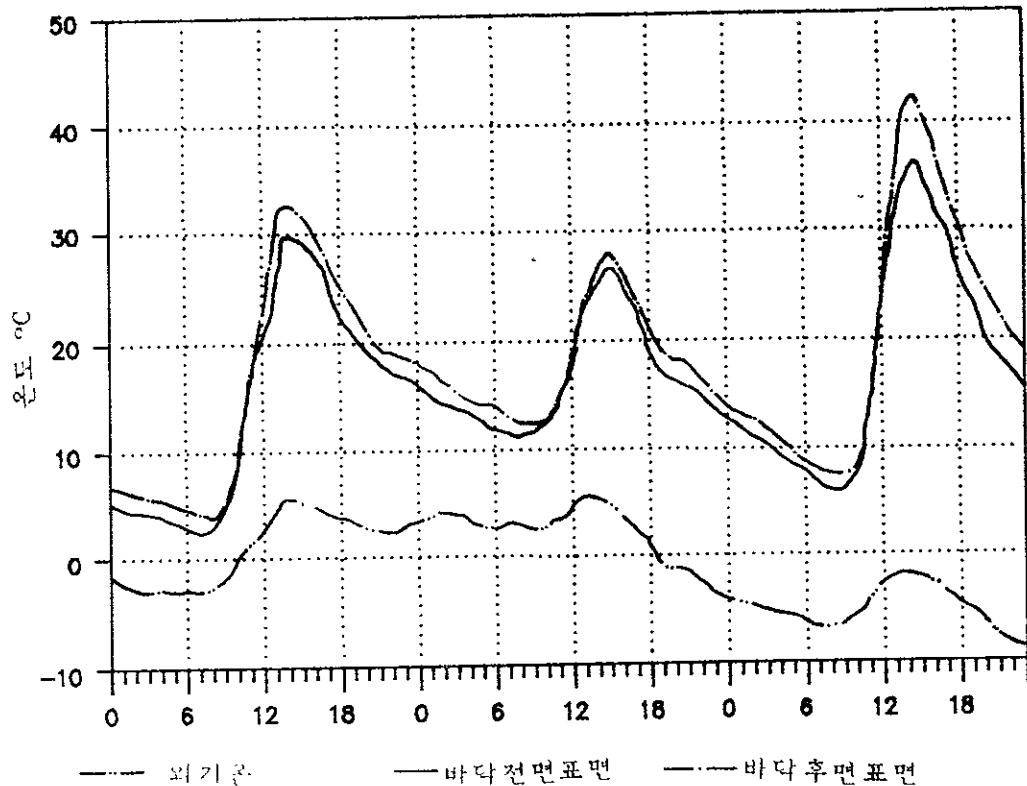
< 표 3-9 > 室内 기온의 最高 最低 平均 溫度

기 호	기호 설명	17 일			18 일			19 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	검정색 화강암	33.0	1.3	14.0	28.8	9.2	14.8	39.3	3.5	16.4
----	흰색 화강암	25.6	0.3	11.2	22.0	8.4	13.1	33.2	3.5	14.6
---	암스트롱	34.5	1.3	12.9	26.8	9.1	13.5	37.8	3.1	14.5
---	마루구조	32.3	1.4	13.1	28.5	8.3	13.4	38.6	2.3	14.3

< 표 3-10 > 室内 기온의 溫度 평균치

항 목	최 고	최 저	진 폭	평 균	최 고	최 저	진 폭	평 균		
모 델	I 실험 모델 (검정 돌)					II 실험 모델 (흰 돌)				
온 도	33.7	4.7	29.0	15.1	26.9	4.1	22.8	13.0		
모 델	III 실험 모델 (암스트롱)					IV 실험 모델 (나무마루)				
온 도	30.0	4.5	25.5	13.6	33.1	4.0	29.1	13.6		

4). 바닥 前面과 後面의 溫度 變化



[그림 3-22] 바닥 前後面의 溫度 變化

前面은 낮동안 直達 日射를 받고 後面은 午前과 午後에 잠시동안 直達 日射를 받지 못하지만, 實驗의 結果는 午前과 午後에 直達 日射를 받지 못하는 後面의 溫度가 높게 나타났다. 實驗 모델은 集熱窓의 높이가 幅에 비하여 큰 模樣을 하고 있어서 바닥 後面 까지 日射가 비교적 충분히 傳達되는 반면, 바닥 前面은 남쪽 유리窓과 거리가 가까워 热損失이 後面 보다 많기

때문에 많은 日射를 받음에도 불구하고 낮은 溫度로 나타난 것으로 생각 된다. 바닥 前後面의 온도차는 19일의 경우 最高 溫度에서 6.2°C , 平均 溫度에서 2.9°C 로, 유리窓을 통한 热損失의 影響이 큰것을 알 수 있었다. 따라서 유리窓을 통한 热損失을 줄이기 위하여 夜間斷熱 構造가 必要하다. 또한 热 解析에도 바닥전체를 하나의 統合媒體로 解析하던 方法을 脱皮하여 정확한 Matrix 分割 方法이 필요하다고 생각된다.

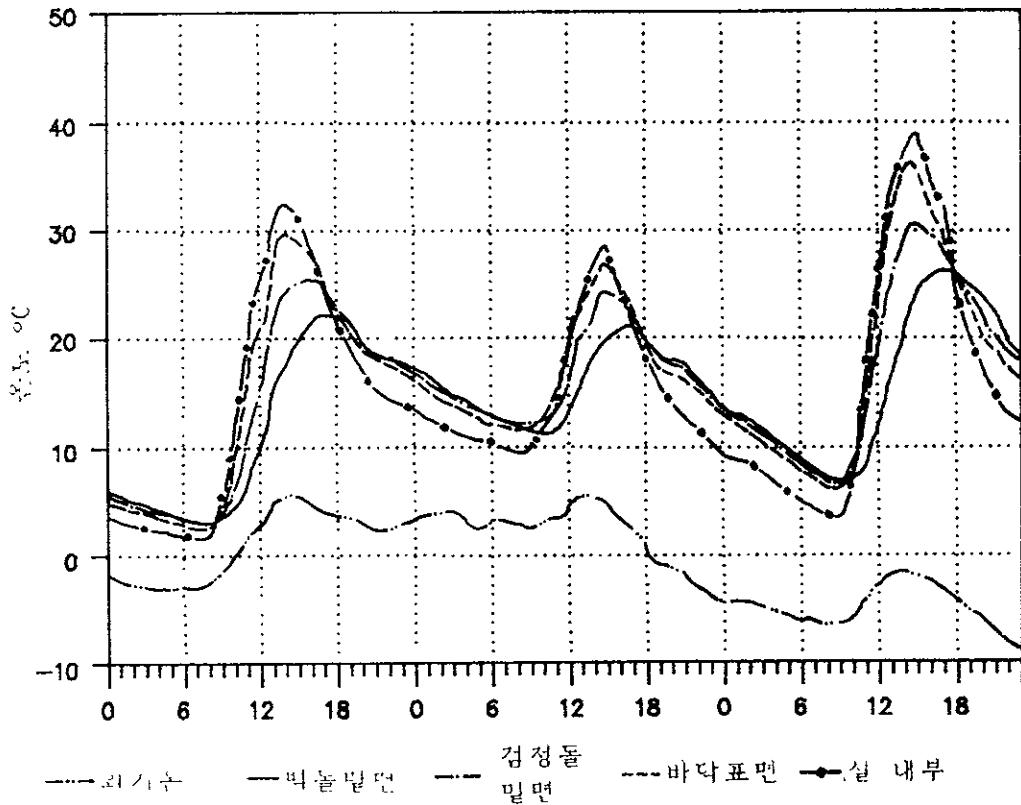
< 표 3-11 > 바닥 前後面의 最高 最低 平均 溫度

기 호	기호 설명	17 일			18 일			19 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	바닥 전면 표면	29.8	2.2	14.2	27.0	11.2	16.4	36.6	5.3	17.7
---	바닥 후면 표면	33.3	3.6	16.3	28.5	12.5	17.8	42.8	7.1	20.6

< 표 3-12 > 바닥 前後面의 溫度 평균치

부 위	최 고	최 저	진 폭	평 균
바 닥 전 면 표 면	31.1	6.4	24.7	16.3
바 닥 후 면 표 면	34.9	7.3	27.6	18.2

5). 蕃熱 부위별 溫度 變化



[그림 3-23] 蕃熱 부위별 溫度 變化

벽돌 밑(최하부), 화강암 밑, 바닥 표면, 室內氣溫의 相互 比較로 熱이 전파되고 蕃熱되며 放熱되는 現象을 알 수 있다.

蕃熱과 放熱이 反轉되는 시간은 1일째에는 오전 9시와 16시, 2일째에는 오전 10시와 16시로 나타났음으로 夜間 斷熱을 효율적으로 이용하기 위해서는 夜間 斷熱의 설치 시각은 16시-17시 사이에 設置하고 除去 시각은 해가 뜨기 시작하는 시각으로 하는 것이 가장 效率的인 것으로 判断된다.

< 표 3-13 > 蕃熱부위의 最高 最低 平均 溫度

기호	기호 설명	17 일 최고 최저 평균			18 일 최고 최저 평균			19 일 최고 최저 평균		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	벽돌 밀면	22.5	2.8	11.7	21.2	11.3	15.7	26.4	6.9	15.9
---	검정돌 밀면	25.4	2.7	13.2	24.1	11.6	16.2	30.6	6.4	17.0
---	바 닥 표면	29.7	2.2	14.2	27.0	11.2	16.4	36.6	5.7	17.7
-o-	실내부	33.0	1.3	14.0	28.8	9.2	14.8	39.3	3.5	16.4

< 표 3-14 > 蕃熱 부위별 溫度 평균치

부위	최고	최저	진폭	평균
벽돌 밀면	23.4	7.0	16.4	14.3
화강암 밀면	26.7	6.9	19.8	15.4
바 닥 표면	31.1	6.4	24.7	16.1
실내기온	33.7	3.0	30.7	15.1

3-3-5. 實驗 結果 小結

Direct Gain System에서 一般的으로 利用되고 있는 검정색 화강암, 흰색 화강암, 암스트롱 장판지, 나무 마루 구조를 바닥 마감재로 使用하여 實驗을 實施한 結果 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) 검정색 화강암의 實驗모델이 나무 마루 구조보다 바닥 表面의 溫度가 약 3.2°C 높게 나타나 Direct Gain System의 集熱 性能을 높이기 위하여는 热抵抗이 낮은 材料를 使用하는 것이 效率的이며, 色彩는 검정색 계통의 무광 마감이 性能을 높일 수 있었으므로 無光의 검정색 화강암, 자연석, 타일 등을 利用하여야 한다.

2) 日射를 直接 받는 부위에 热抵抗이 높은 材料를 사용하여 마감한 경우 즉 家具의 配置, 輕量 칸막이등은 集熱 效率을 낮게하는 原因이 됨으로 自然型 太陽熱 시스템의 效率을 向上시키기 위해서는 이와같은 材料를 사용하여서는 안된다.

3) 바닥 表面의 마감에 따른 热의 吸收는 色彩에 따라 決定되지만 放熱은 마감재의 色彩와는 큰 관계가 없는 것으로 나타났다.

4) 바닥 前後 表面의 溫度는 後面部가 前面部보다 1일 내내 높았으며 最高 溫度에서 6.2°C , 平均溫度에서 2.9°C 가 더 높게 나타났다. 이러한 이유는 前面部의 유리窗을 통한 热損失의 影響 때문으로 热損失을 줄이기 위하여 夜間斷熱이 必須의이다.

3-4. PCM을 利用한 热性能 實驗

3-4-1. 實驗의 目的 및 方法

Direct Gain System에서 日射를 直接 받는 蕎熱體(Target Thermal Mass)의 온도는 낮과 밤에 큰 溫度 振幅을 보이며, 특히 日射가 많이 미치는 낮에 過熱現象이 발생하는 問題點을 가지고 있다. 이에따라 構造體 각 부위 온도차도 심하게 발생하여 輻射에 의한 열 이동시 室內 居住者에게 不決感을 줄 수 있을 것으로 判斷된다. 이와같은 問題點을 解決하기 위한 方法으로 相變化物質 (PCM: Phase Change Material)을 이용하면 이와같은 短點을 改善할 수 있을 뿐만아니라 열 에너지 貯藏에 필요한 空間을 節約할 수 있다.

따라서 본 實驗에서는 相變化 物質(PCM)을 自然型 太陽熱 直接獲得方式에 適用할 경우에 热性能을 改善할 수 있는지를 檢討하고 시스템 設計에 필요 한 基礎資料를 提供하고자 한다.

實驗의 方法은 相變化 物質(PCM) 材料와 일반 벽돌 材料를 利用하여 實驗 모델을 製作하고, Sensor를 벽돌과 相變化 物質(PCM)의 각 部位에 設置하여 溫度를 測定하고 相互 分析하여 自然型 太陽熱 시스템의 設計 戰略에 利用할 수 있도록 하였다.

3-4-2. 實驗 모델의 製作

潛熱을 利用하는 PCM 材料와 顯熱만을 利用하는 일반벽돌 材料의 相互 热性能을 比較하여 PCM의 影響을 評價하기 위하여 2개의 實驗 모델을 製作하였다.

한개의 모델에는 直接蓄熱 部位에는 PCM을, 間接蓄熱 部位에는 벽돌을 섞어서 設置하였고, 다른 하나의 모델에는 顯熱材인 벽돌만을 使用하여 製作하였다. 두 모델의 顯熱量은 同一하게 統一시켰으며 두 實驗 모델의 特性은 <표 3-15>와 같다.

< 표 3-15 > 實驗 모델의 特性

항 목	A 모 델	B 모 델
축 열 재	변색의 붉은 벽돌	PCM + 변색 벽돌
축열량	모델 1과 모델 2는 동등한 축열량으로 하였다.	

모델 2의 热容量 計算 (顯熱量에 한함)

PCM	Cell Volume	$0.05 * 0.05 * 3.14 * 0.065$ $= 0.00051 \text{ (M}^3\text{)}$
	Cell Capacity	$0.0051 * 0.5 * 1802$ $= 0.45951 \text{ (Kcal/Cell } ^\circ\text{C)}$
	Cell Quantity	$= 60$
	PCM Volume	$0.0051 * 60 = 0.0306 \text{ (M}^3\text{)}$
	PCM Capacity	$0.45951 * 60$ $= 27.5706 \text{ (Kcal/PCM } ^\circ\text{C)}$

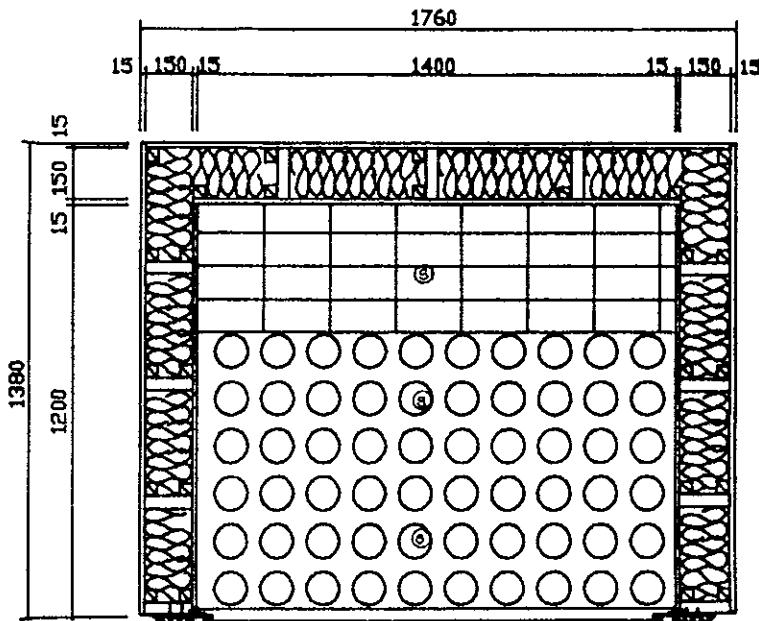
Brick	Floor Area	$1.4 * 1.2 = 1.68(\text{M}^2)$
	Floor Volume	$1.4 * 1.2 * 0.06 = 0.1008 \text{ (M}^3\text{)}$
	Pure Brick Volume	$0.1008 - 0.0306 = 0.0702 \text{ (M}^3\text{)}$
	Brick Capacity	$0.0702 * 332$ $= 23.3064 \text{ (Kcal/Brick } ^\circ\text{C)}$
Total Heat Capacity		$27.5706 + 23.3064$ $= 50.877 \text{ (Kcal/Model } ^\circ\text{C)}$

모델 1의 热容量 計算

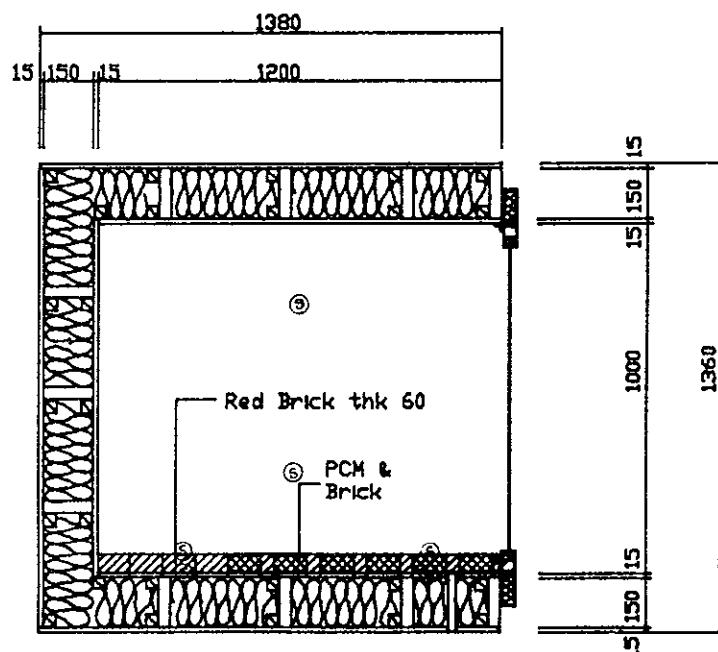
Brick	Alt 1	Alt 2	Alt 3	Alt 4
Floor Area	1.68	1.68	1.68	1.68
Thickness	0.06	0.10	0.16	0.20
Floor Volume	0.101	0.168	0.269	0.336
Heat Capacity	33.466	55.776	89.242	111.552

Brick Volume	$0.2 * 0.1 * 0.06$	=	0.0012
Brick Capacity	$0.0012 * 332$	=	0.3984
Brick Quantity	$50.877 / 0.3984$	=	127.7033

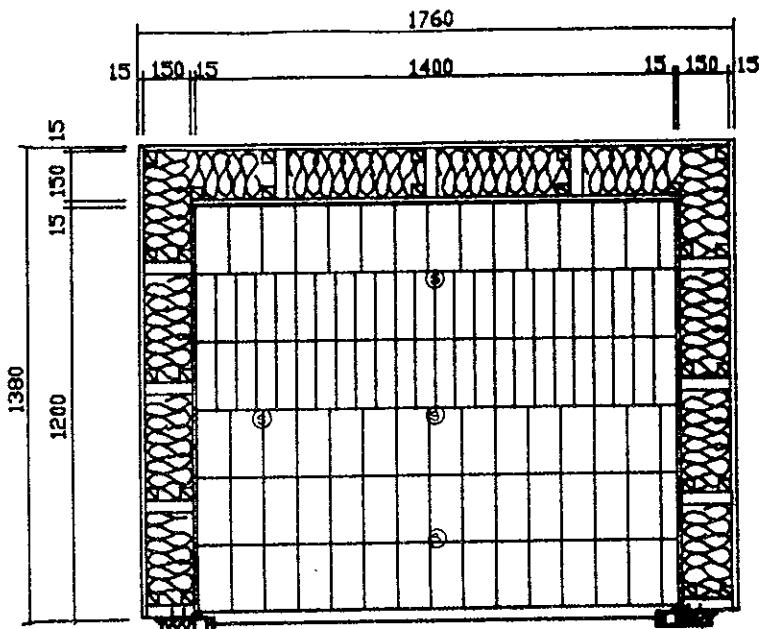
B모델 의 蕃熱材를 벽돌 128개로 하면 A모델 과 顯熱量이 같아 진다.



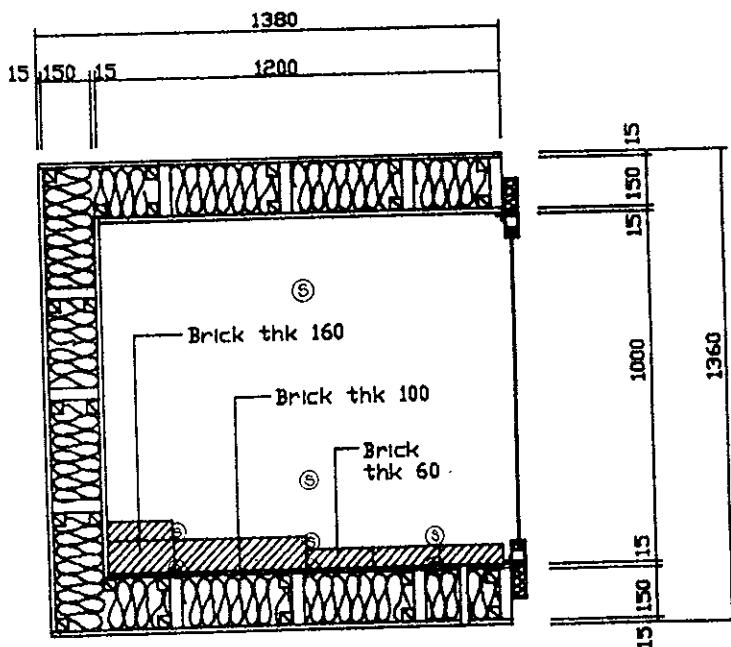
[그림 3-24] A 實驗 MODEL의 平面圖 및 Sensor위치



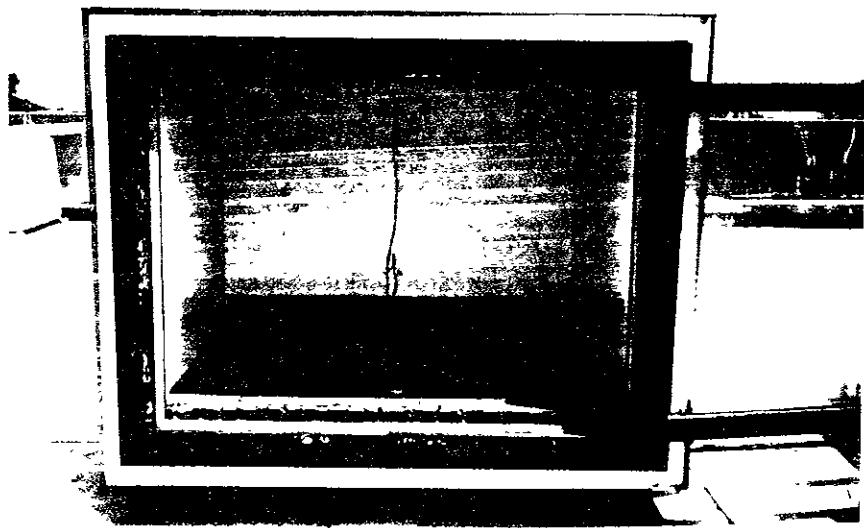
[그림 3-25] A 實驗 MODEL의 斷面圖 및 Sensor위치



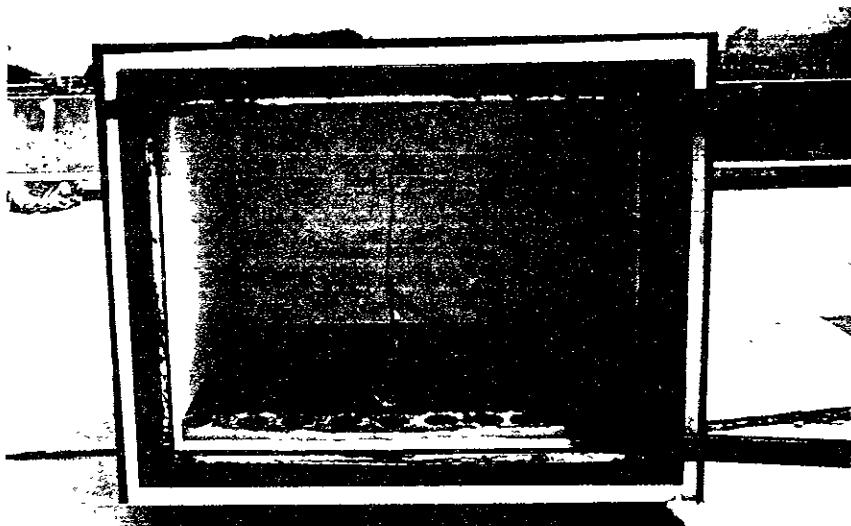
[그림 3-26] B 實驗 MODEL의 平面圖 및 Sensor위치



[그림 3-27] B 實驗 MODEL의 斷面圖 및 Sensor위치



(붉은 벽돌을 設置한 MODEL)



(PCM을 設置한 MODEL)
[그림 3-28] 實驗 MODEL의 寫真

3-4-3. 相變化 物質(PCM)의 製作

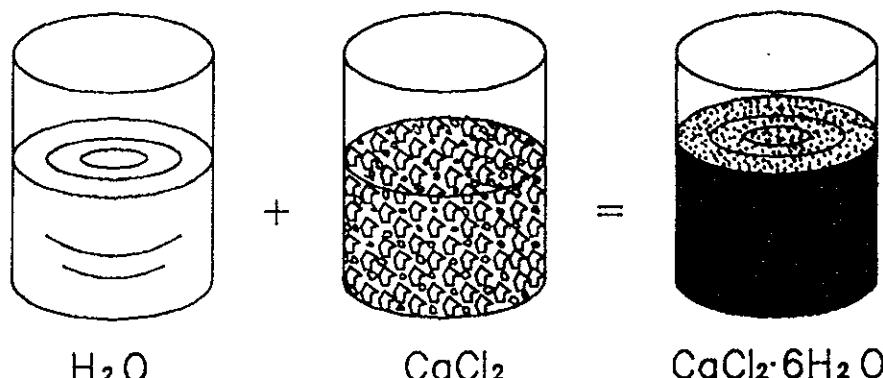
相變化 物質(PCM)은 相變化에 따른 潛熱을 利用하는 것으로 여러가지 材料가 있으나 適正한 轉移溫度의 領域, 热容量, 潜熱, 過冷現象, 化學的 安定性, 反復性, 再現性등 여러가지 條件이 符合되어야 한다. 따라서 본 實驗에서는 國내에서 市販되는 기준의 相變化 物質(PCM)이 없으므로, 비교적 上記의 條件에 가깝고 直接 製作하기 容易한 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 를 選擇하여 實驗體를 만들었다.

$\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 의 製作過程은 다음과 같다.

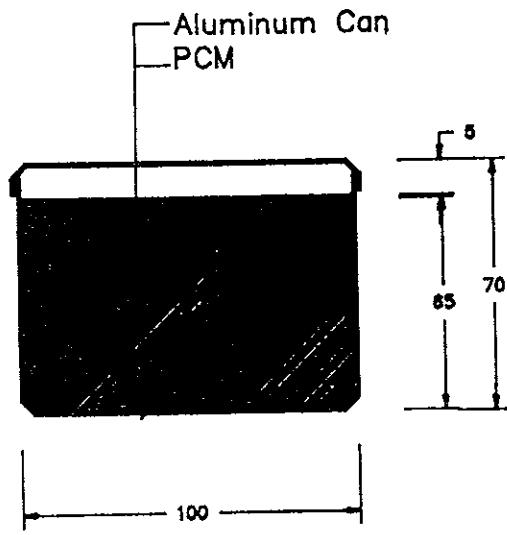
- (1) 上水道 물을 약 80°C 로 데워 溫水를 만든다.
- (2) 염화 칼슘을 溫水에 넣은 후 천천히 저어 溶解 시킨다.
- (3) 염화 칼슘과 물과의 混合 容積比는 $8 : 21$ ($1 : 1.6$)으로 하였다.
- (4) 온도를 낮추면서 相이 變化 하는지를 觀察 한다.
- (5) 相이 變化하면 알미늄 容器에 담아 密封한다.

이 때 $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 의 體積 膨脹을 考慮하여 容器에 여유가 있도록 하였다.

本 實驗에 使用된 容器는 높이 70MM 의 알미늄 캔으로 65MM 높이 만 PCM을 담아 體積 膨脹을 考慮하였다.



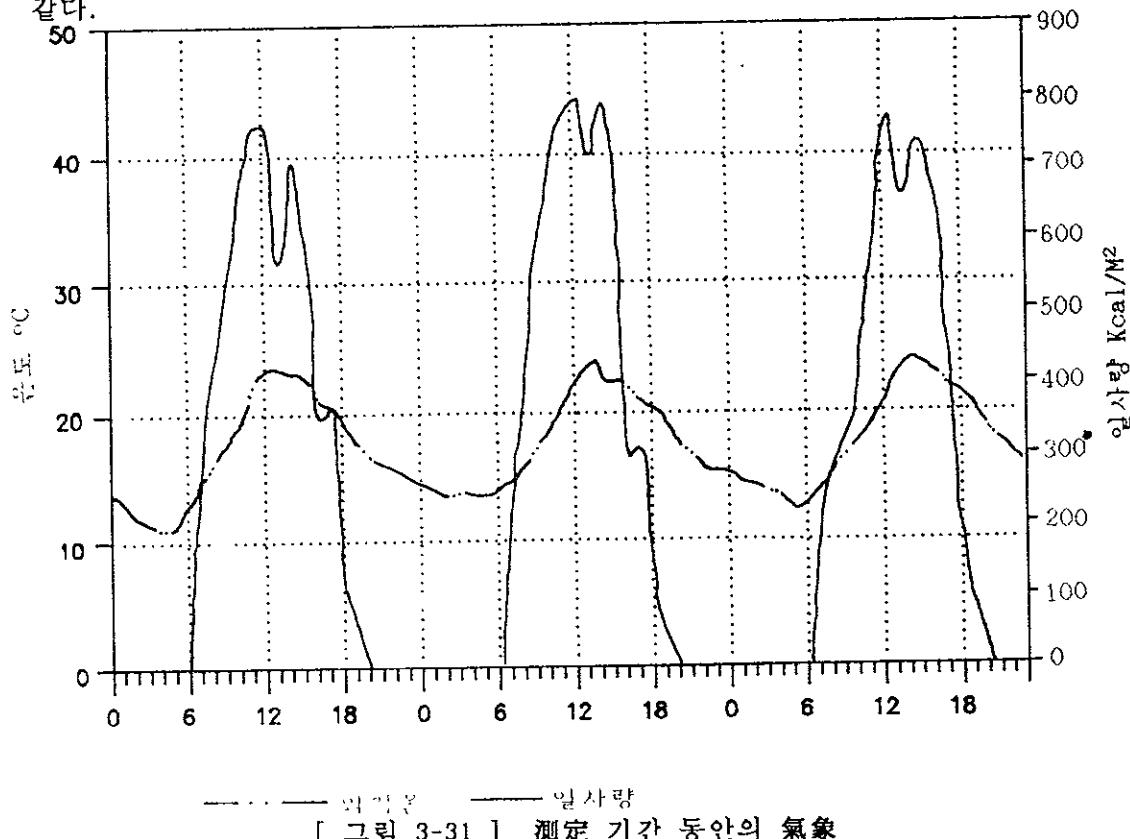
[그림 3-29] $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 의 製作



[그림 3-30] PCM 貯藏 容器

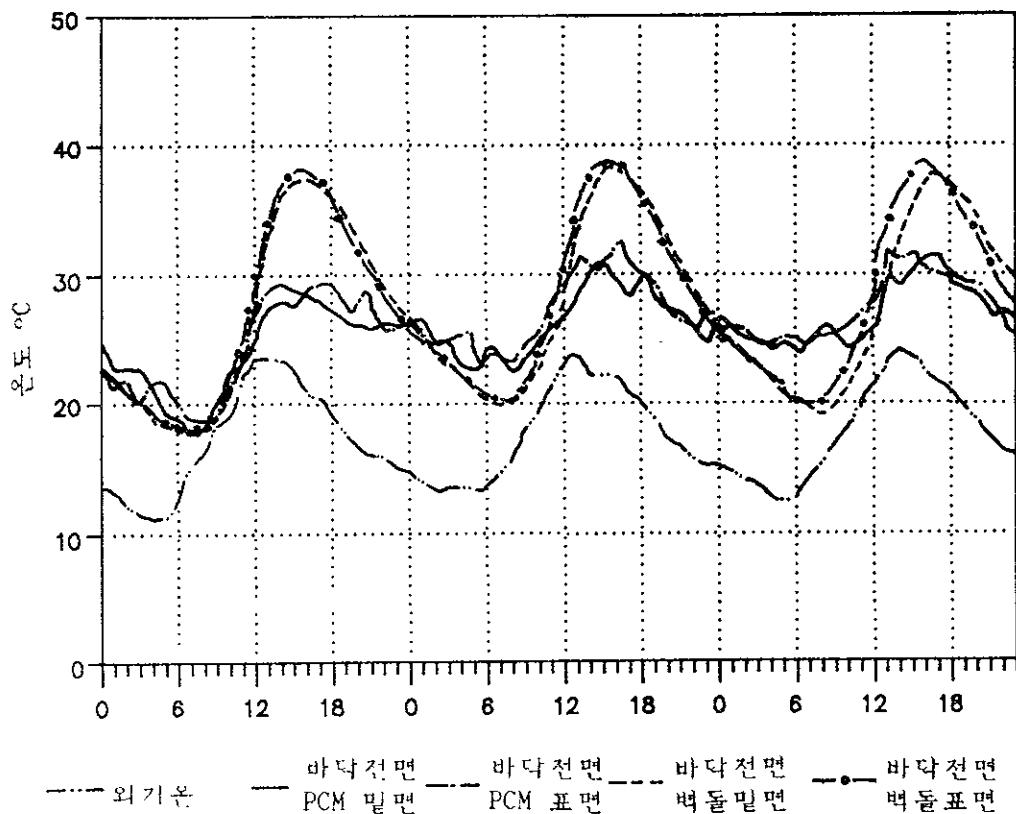
3-4-4. 實驗 實測

實驗 實測 期間은 1990년 5월 21일 부터 5월 27일 까지 中間期에 實施하였다. 본 研究는 Direct Gain System에 PCM의 使用 可能性을 確認하기 위하여 實驗 實測한 것으로서 測定期間 동안의 氣象은 아래 [그림 3-31]과 같다.



3-4-5. 實驗 結果

1). 蓄熱 部位별 溫度 變化



[그림 3-32] 前面 蓄熱부위의 溫度 變化

모델의 前面 部位에서 PCM이 設置된 모델에서는 溫度 變化幅이 약 9°C 로 나타난 반면 일반 벽돌 設置 모델에서는 약 19°C 로 나타나, 溫度 變化幅이 매우 큰 差異를 나타났다. 따라서 PCM 材料는 溫度 振幅을 줄이는데 매우 效率的인 材料로 室內의 快適 還境과 여름철 冷房 期間에는 冷房 負荷를 크게 줄일 수 있고 겨울철 煙房 기간 중에는 煙房 負荷를 크게 줄일 수 있는材料로 評價 된다.

또한 温度 變化 曲線上에서 PCM 모델의 경우 振幅이 緩慢하지 못하고 들속 날속한 경우를 볼 수 있다. 이것은 PCM 材料의 製造가 正確하지 못하여 相 變化 温度에서 약간씩의 差異가 있었기 때문이며 또한 容器의 上部에 空 氣層이 있어서 空氣層의 影響을 받은 것도 한가지 要因으로 보인다.

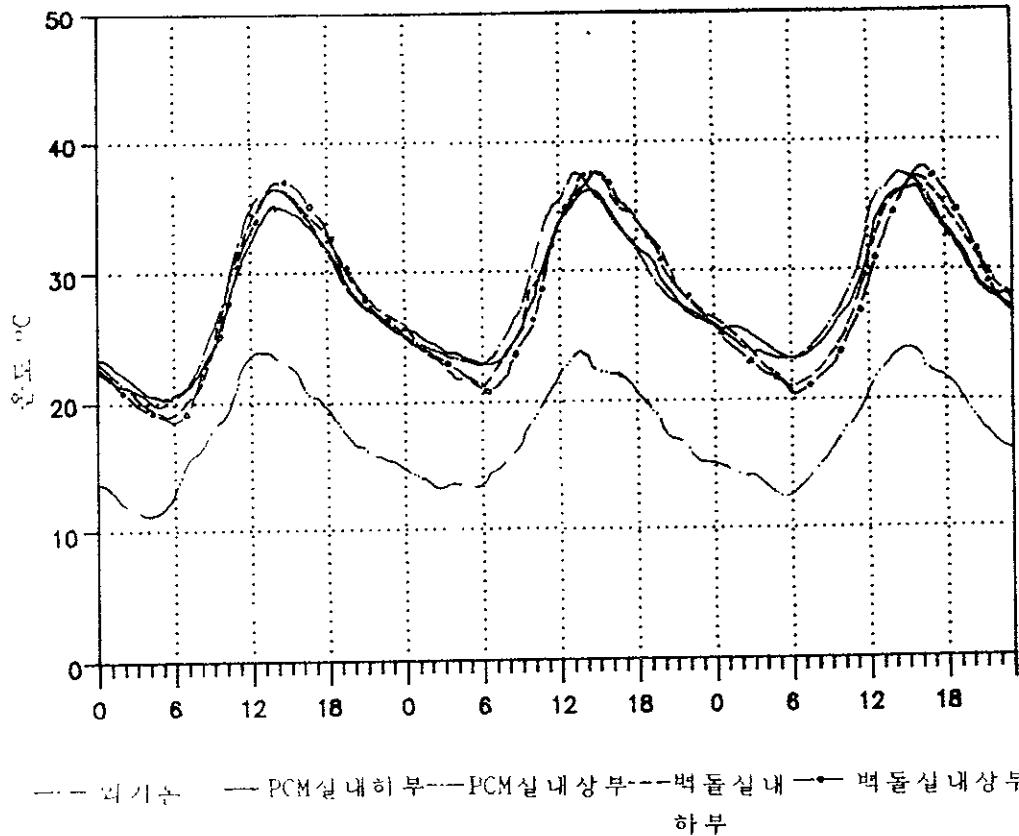
< 표 3-16 > 蕃熱부위의 最高 最低 平均 温度

기 호	기호 설명	23 일			24 일			25 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
----	외 기 온	23.9	11.2	17.1	23.9	13.1	17.5	24.1	12.2	17.7
---	바닥전면 PCM밀면	28.5	17.5	24.0	31.3	21.8	26.2	31.4	23.6	26.7
---	바닥전면 PCM표면	29.5	18.5	24.7	31.7	22.8	27.3	32.1	24.0	27.5
---	바닥전면벽돌밀면	37.4	17.6	26.7	38.6	19.7	28.1	37.8	19.2	27.8
---o-	바닥전면벽돌표면	38.5	17.9	27.1	39.2	20.0	28.5	38.6	19.6	28.2

< 표 3-17 > 蕃熱 부위별 温度 평균치

\ 모델별 온도구분 부위	A 실험 모델				B 실험 모델			
	최 고	최 저	진 폭	평 균	최 고	최 저	진 폭	평 균
전면 바닥 밀면	30.4	21.0	9.4	25.6	38.0	18.8	19.2	27.5
전면 바닥 표면	31.1	21.8	9.3	26.5	38.8	19.2	19.6	27.9

2). 室內의 氣溫 變化



[그림 3-33] 室內 氣溫의 變化

두 實驗 모델의 溫度 평균치는 거의 같은 것으로 나타났다. 이는 實驗 모델의 蓄熱量을 相互 統一하였기 때문으로 풀이 된다. 室內 溫度의 決定은 PCM 뿐만 아니라 一般 顯熱材의 影響도 받기 때문에 바닥일부에 PCM을 設置 하여도 平均溫度는 큰 差異가 없었으나, PCM을 설치한 實驗 모델의 경우 溫度變化의 振幅이 약 2-3°C 以上 줄어든 것을 보여 주고 있어서 PCM이 실내 溫度變化에 影響을 미쳤음을 알 수 있다. 본 實驗에서는 모델 容積의 제

한 때문에 小量의 PCM만을 使用하였으나 좀더 많은 양의 PCM을 使用하면
 室内 温度 變化에 더욱 큰 影響을 미칠 것으로 생각되며 温度 性能은 더욱
 우수하여 여름철 冷房 負荷의 減少에 큰 影響을 미칠 것으로 풀이되며 最大
 負荷量이 줄어 들어 冷房 器機의 容量을 줄이는 데에도 效率的일 것으로 判
 斷된다. 또한 煙房期間에도 冷房期間처럼 最大負荷量 줄이고 蓄熱材의 容積
 을 줄일 수 있어서 空間 活用에 有利할 것으로 보인다.

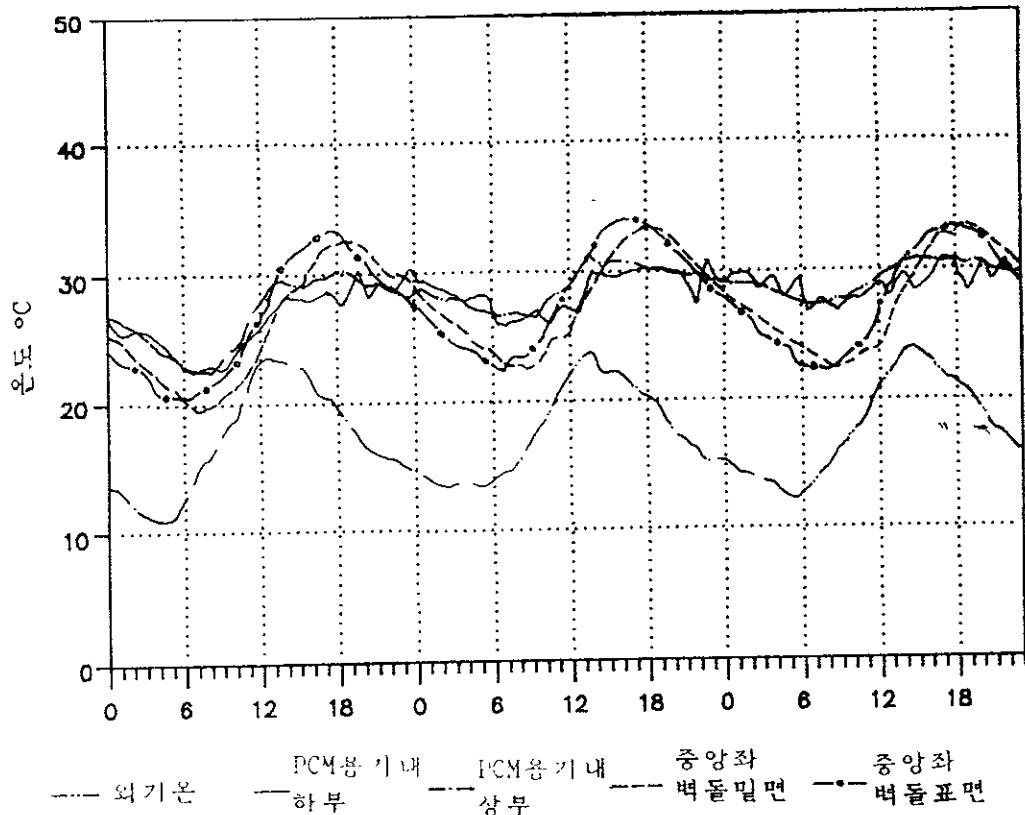
< 표 3-18 > 室内 氣溫의 最高 最低 平均 温度

기 호	기호 설명	23 일			24 일			25 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	실내기온 하(PCM)	35.2	20.3	27.0	36.3	23.1	28.4	36.1	23.1	28.7
----	실내기온 상(PCM)	36.8	19.7	27.4	37.6	22.8	28.7	37.3	23.0	28.7
---	실내기온 하(Bri)	36.6	18.7	27.2	37.4	20.9	28.5	37.1	20.6	28.2
—o—	실내기온 상(Bri)	37.1	18.6	27.4	37.9	20.9	28.5	38.5	20.2	28.1

< 표 3-19 > 室内 기온의 温度 평균치

\ 모델별 온도구분	A 실험 모델				B 실험 모델			
	최 고	최 저	진 폭	평 균	최 고	최 저	진 폭	평 균
부 위								
실내 기온 하부	35.9	22.2	13.7	28.0	37.0	20.1	16.9	28.0
실내 기온 상부	37.2	21.8	15.4	28.3	37.8	19.9	17.9	28.0

3). PCM의 溫度 變化



[그림 3-34] PCM의 溫度 變化

PCM의 溫度 變化는 27 - 30 °C 사이에서 上下 震動하는 듯한 모양을 보여 주고 있어서, 이 部分의 온도에서 相이 변하고 있음을 보여 주고 있으나, 相變化에 따른 潛熱 效果는 明快하게 나타나지 않아 PCM相이 일시적으로 均一하게 변하지 않는다는 것을 나타내고 있다. 따라서 적절한 조력제를 混合할 경우에는 이러한 現象을 줄일 수 있을 것으로 보인다.

동일한 장소에서 顯熱材인 벽돌과 PCM의 热性能을 비교하면 PCM의 振幅이 약 60°C 인 반면 벽돌은 약 120°C 인 것으로 나타나, 温度 變化 振幅이 PCM의 경우 약 반으로 줄어 最高 温度를 낮추고 最低 温度를 높일 수 있는 우수한 热性能 材料임을 나타내고 있다.

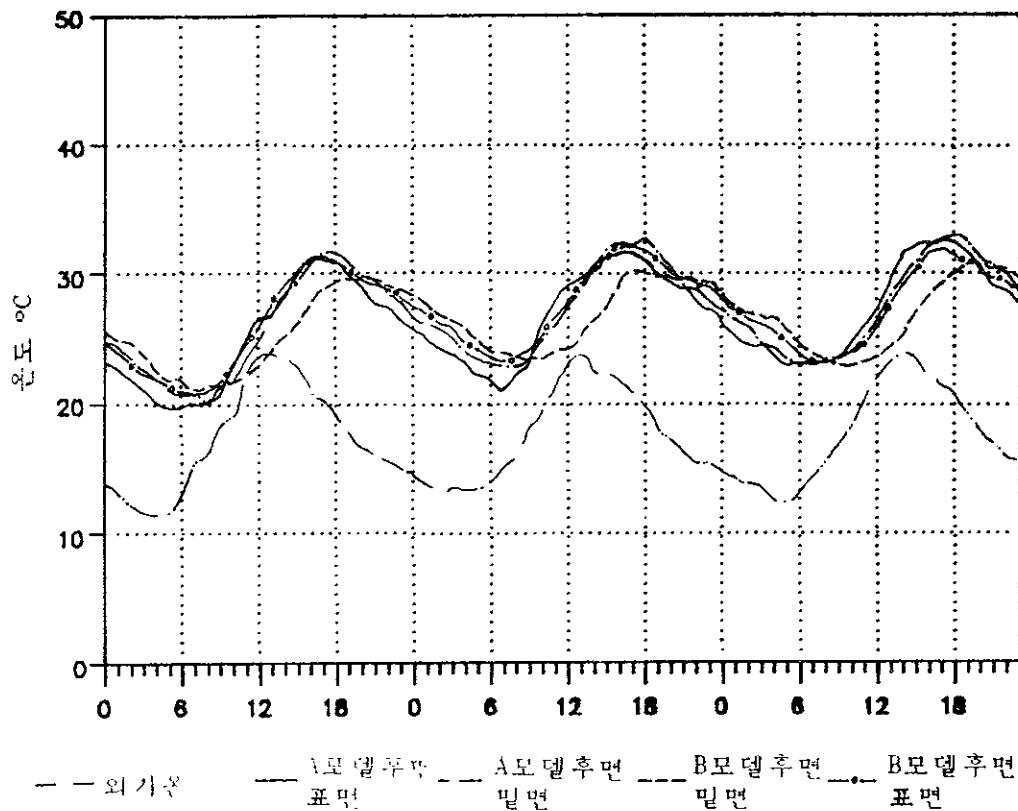
< 표 3-20 > PCM의 最高 最低 平均 温度

기 호	기호 설명	23 일			24 일			25 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	PCM 용기내 하부	30.5	22.6	26.6	31.0	26.1	28.6	31.1	26.5	28.9
---	PCM 용기내 상부	30.5	22.8	27.1	31.5	26.7	29.0	31.4	27.4	29.5
---	중앙좌 벽돌밑면	32.8	19.7	26.3	33.5	22.5	27.9	33.5	22.5	27.7
-o-	중앙좌 벽돌표면	33.5	20.6	26.6	34.2	22.4	28.1	33.3	21.9	27.8

< 표 3-21 > PCM의 温度 평균치

\ 모델별 온도구분 부위	A 실험 모델 (PCM)				B 실험 모델 (Brick)			
	최고	최저	진폭	평균	최고	최저	진폭	평균
중앙 좌 하부	30.9	25.1	5.8	28.0	33.2	21.6	11.6	27.3
중앙 좌 상부	31.1	25.6	5.5	28.5	33.7	21.6	12.1	21.6

4). 바닥 後面部의 溫度 變化



[그림 3-35] 바닥 後面部의 溫度 變化

바닥 後面 部位는 벽돌의 顯熱材로만 되어 있으며 日射가 직접 미치지 못하는 間接 蓄熱體로 A모델은 1커(60MM) 두께로 되어 있으며 B모델은 벽돌을 옆세워 깔고 1커의 벽돌을 追加로 깔려 있어서(160MM) B 모델의 蓄熱材가 훨씬 두껍게製作되어 있다.

A 모델과 B 모델이 모두 顯熱材인 벽돌로製作되어서 溫度 變化曲線上 서로 같은 形狀을 보이고 있으며, B 모델이 A 모델에 비하여 약 1°C 정도 낮는 振幅을 보여 주고 있다. 이는 두께의 差異가 큼에도 不具하고 적은 차

이를 나타내고 있어서 間接 蕎熱體는 直接 蕎熱體 만큼 敏銳한 反應을 보이지 않고 있음을 알 수 있다.

< 표 3-22 > 바닥 後面부의 最高 最低 平均 溫度

기 호	기호 설명	23 일 최고 최저 평균			24 일 최고 최저 평균			25 일 최고 최저 평균		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	A 모델 후면 밀면	31.6	18.4	25.1	31.5	20.5	26.8	32.5	22.5	26.8
---	A 모델 후면 표면	31.8	20.0	25.7	32.6	22.7	27.3	33.0	22.7	27.3
---	B 모델 후면 밀면	29.8	20.8	25.2	30.2	23.3	26.8	30.8	22.6	27.4
-o-	B 모델 후면 표면	31.2	20.9	26.0	32.1	23.4	27.7	31.7	23.1	27.7

< 표 3-23 > 蕎熱 부위별 溫度 평균치

\ 모델별 온도구분 -----\ 부위 \	A 실험 모델				B 실험 모델			
	최고	최저	진폭	평균	최고	최저	진폭	평균
후면 바닥 밀면	31.9	20.5	11.4	26.2	30.3	22.2	8.1	26.5
후면 바닥 표면	32.5	21.8	10.7	26.8	31.7	22.5	9.2	27.1

3-4-6. 實驗 結果 小結

PCM 재료를 사용하여 實驗 모델을 통한 各 部位의 溫度 變化와 热流 흐름을 實驗 研究를 통하여 進行한 결과 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

1) PCM은 顯熱 蕎熱材에 비하여 溫度 振幅을 약 1/2 정도로 줄이는 效果가 있어서 過熱과 過冷 現象을 줄일 수 있는 우수한 재료로 評價 되었다. 따라서 겨울철에는 煙房負荷를 줄일 수 있으며 여름철에는 冷房負荷를 줄일 수 있다.

2) 蓄熱材의 顯熱量을 統一하였기 때문에 두 모델의 室內 平均 溫度는 서로 큰 差異가 없었다. 그러나 PCM의 量을 충분히 사용하면 室內 溫度 變化도 큰 差異를 보이며 蓄熱體의 容積을 줄일 수 있어서 室內空間을 넓게 사용할 수 있게 된다.

3) $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 는 27 - 30°C에서 相變化를 하는 것으로 나타났으나 相變化 시 온도의 變化는 一定하지 않고 相變化 溫度 範圍에서 진동하는 모양으로 나타났다. 따라서 一定溫度 變化를 위해서는 적절한 조제제를 사용하여야 할 것이다.

4) 間接 蓄熱體 (Secondary Thermal Mass)는 直接 蓄熱體 (Target Thermal Mass) 만큼 敏銳한 열의 吸收와 蓄熱 性能을 보이지 않고 있음을 알 수 있었다. A 모델의 60MM 두께와 B 모델의 160MM 두께의 蓄熱材 溫度 差異는 약 1 - 2°C로 나타났고 溫度 振幅과 Time Lag이 비슷하게 나타났다.

3-5. 蓄熱材 配置에 따른 热性能 實驗

3-5-1. 實驗의 目的과 方法

Direct Gain System에서 蓄熱材를 바닥에 集中 配置하는 方法과, 바닥 벽 체등에 分散 配置하는 方式을 相互 比較하여, 热性能이 우수한 시스템을 類 推하고 蓄熱材 配置에 關한 基礎資料를 提供하기 위하여 實驗을 實施하였다.

本 實驗에서는 바닥을 直接 蓄熱體로, 壁을 間接 蓄熱體로 이용하여 實驗 하였으며, 各 部位別로 溫度 Sensor를 設置하여 實驗 實測하고 열흐름에 대 한 定量 分析과 定性 分析을 통하여 蓄熱材 配置에 關한 基本 計劃을 세울 수 있도록 하였다.

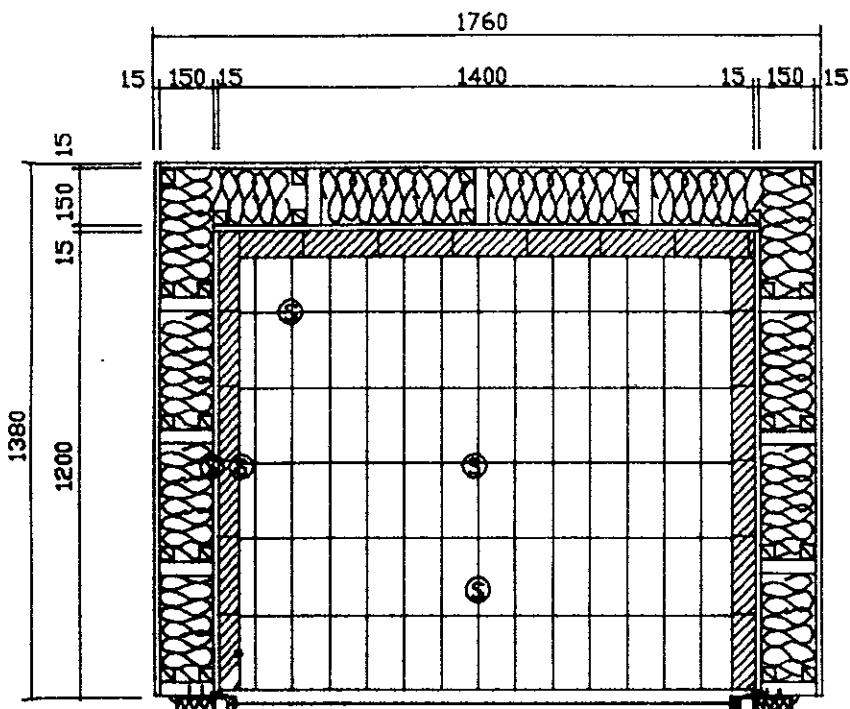
3-5-2. 實驗 모델의 構成

2개의 實驗 모델을 製作하여 1개의 모델에는 바닥에 蓄熱材를 集中 配置하였고, 또 다른 모델에는 바닥과 벽에 分散 配置하였다.

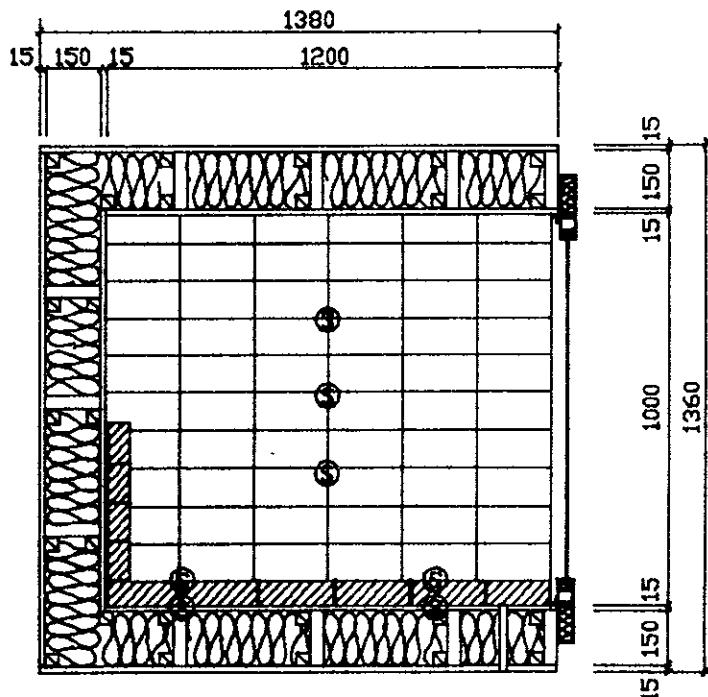
蓄熱材는 變色 벽돌을 使用하였으며 蓄熱量을 同一하게 134장씩 統一하였다.

< 표 3-24 > 實驗 모델의 特性

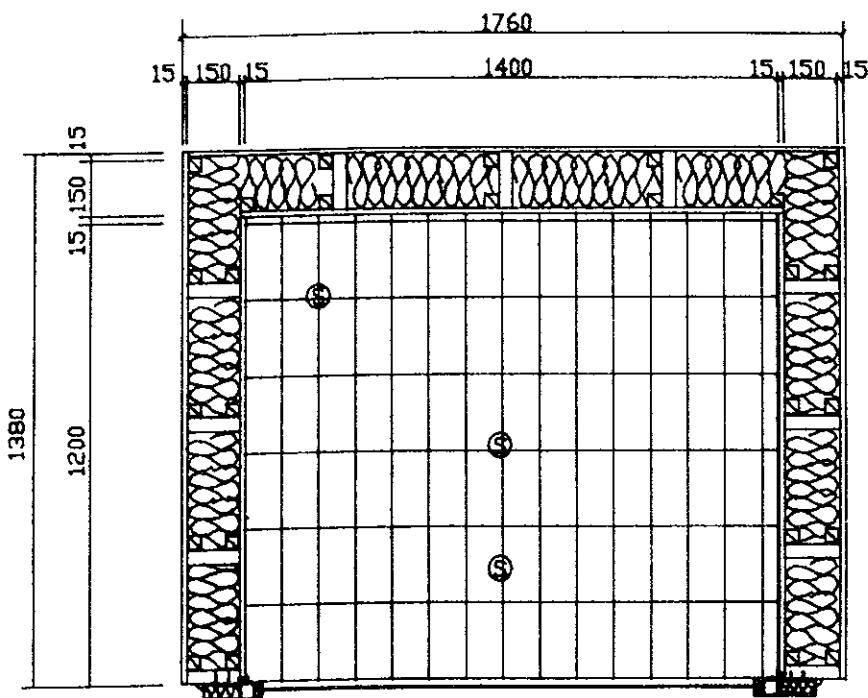
특성	모델 1	모델 2
축열재 배치	바닥 집중 축열	바닥과 벽체에 분산 축열
축열량	변색 벽돌 134장	변색 벽돌 134장



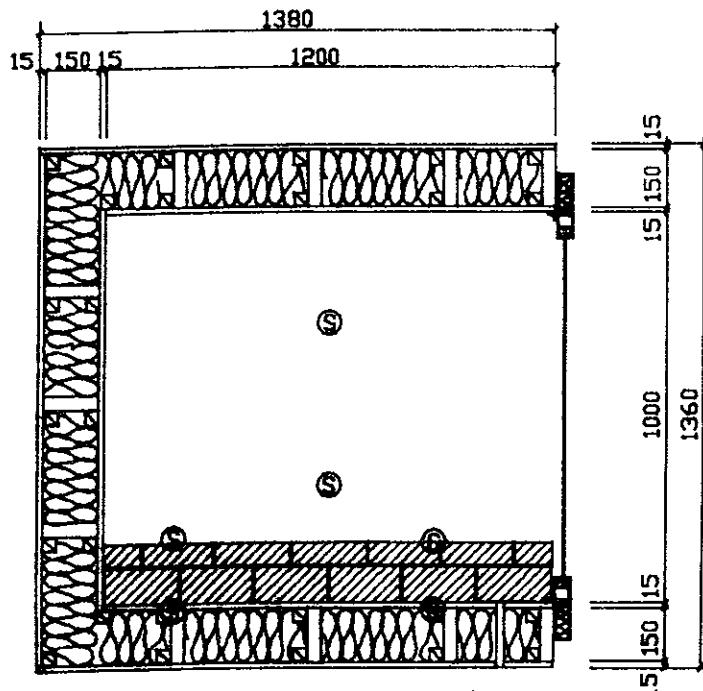
(平面圖 및 sensor 위치)



(断面圖 및 Sensor 위치)
[그림 3-36] 分散 蕃熱 方式의 實驗 모델

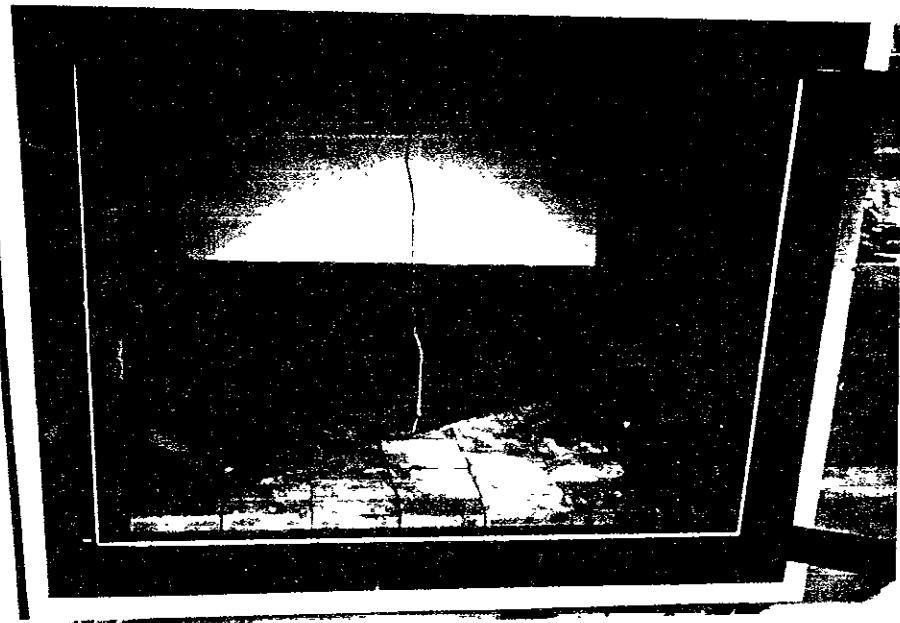


(平面圖 및 Sensor위치)

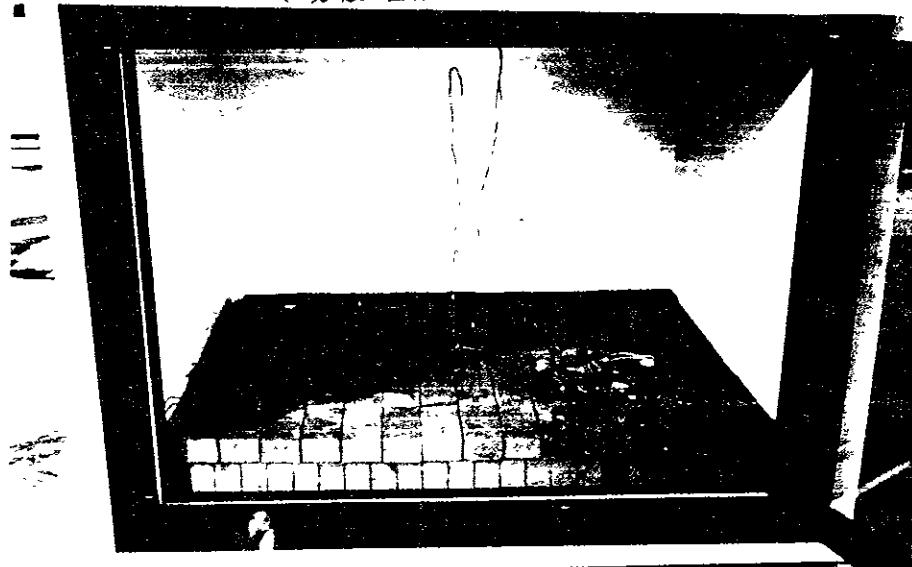


(斷面圖 및 Sensor위치)

[그림 3-37] 바닥 集中 蓄熱 方式의 實驗 모델



(分散 蓄熱 方式)

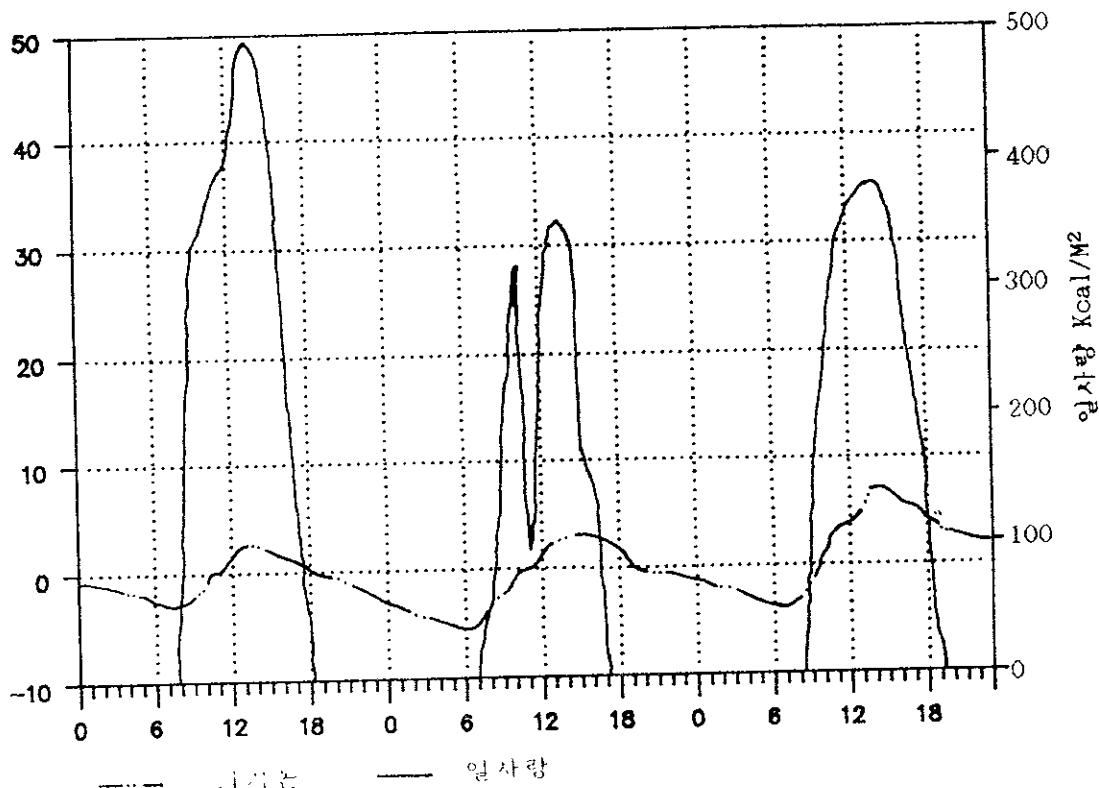


(集中 蓄熱 方式)

[그림 3-38] 實驗 MODEL의 寫眞

3-5-3. 實驗 實測

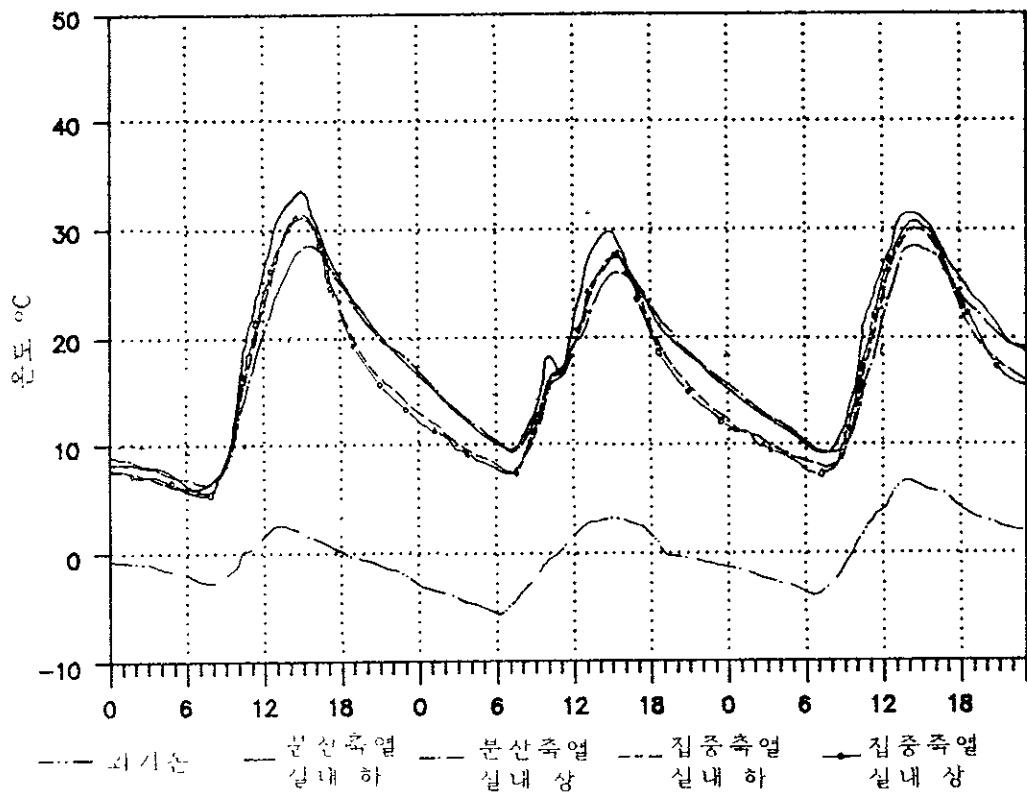
實驗 實測은豫備 實驗 期間을 包含하여 1990년 2월 18일 0시부터 2월 27일 23시 까지 10일간 中央大學 工科大學 屋上에서 實施하였다. 測定期間 동안의 氣象은 다음 [그림 3-37]과 같다.



[그림 3-39] 測定 期間 동안의 氣象

3-5-4. 實驗 結果

1). 室内 氣溫의 變化



[그림 3-40] 室内 温度 變化

바닥에 集中 蕃熱한 모델에서 室内 上下의 温度 差異는 낮과 밤을 통하여 거의 없는 것으로 나타났다. 반면에 바닥과 壁에 蕃熱體를 分散 配置한 모델에서는 室内 上下의 温度 差가 日射의 影響이 미치기 시작하는 午前에 약 4 - 5 °C 나타났으며 午後에는 거의 없는 것으로 나타났다. 이와같은 現象은 바닥 集中蕃熱 方式에서 室内 温度 決定은 바닥 表面으로 부터의 對流作用에 依存하기 때문이며, 分散 蕃熱의 경우 午前에 室内 上下의 温度 差가 發生하는 것은, 下部 温度는 바닥 表面의 影響을 받지만 上부는 壁體의 영

향을 많이 받기 때문으로 생각된다. 즉 오전의 日射는 바닥에 蓄熱되어 直接 蓄熱體 溫度를 높이고 바닥 蓄熱體는 對流 現象으로 室內 下部 氣溫을 높이면서, 輻射作用에 의해서 壁體로 热이 移動하고, 壁體에서 對流現象이 일어나 上部 室溫을 決定하는 것으로 생각된다. 오후에 室內 上下의 溫度差가 크지 않은 것은 壁體의 溫度와 바닥의 溫度差가 적기 때문으로 보인다.

夜間에는 分散 蓄熱 方式이 集中 蓄熱 方式보다 平均 室內溫度가 약 3 - 4 °C 높게 나타났다. 이는 集中 蓄熱 方式의 경우 室溫을 決定하는 热源을 바닥에만 依存하는 반면, 分散 蓄熱의 경우는 바닥과 壁體가 모두 室內溫度를 決定하는 热源으로 作用하기 때문으로 생각된다.

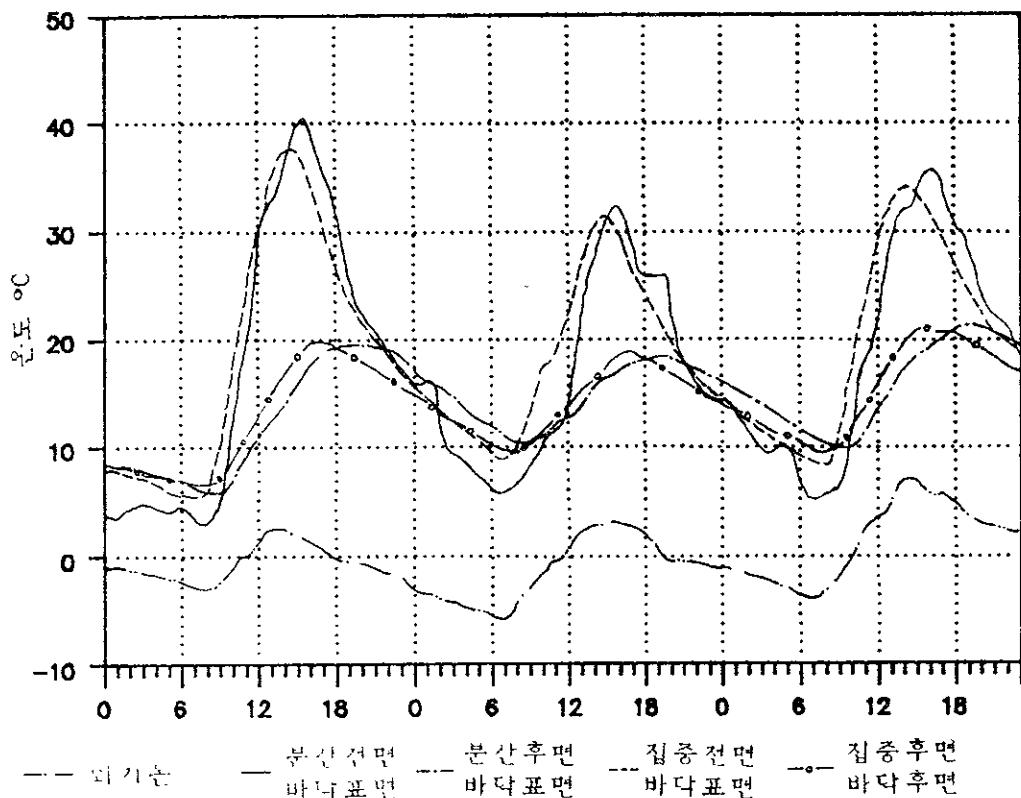
< 표 3-25 > 室內의 最高 最低 平均 溫度

기 호	기호 설명	25 일 최고 최저 평균			26 일 최고 최저 평균			27 일 최고 최저 평균		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
---	외 기 온	2.5	-3.1	-0.6	3.3	-5.9	-1.3	6.8	-4.0	1.2
---	분산축열 실내하	33.6	5.5	17.6	30.0	9.2	17.9	31.4	8.8	19.4
---	분산축열 실내상	28.8	6.1	16.3	26.4	9.1	17.2	28.7	9.3	18.6
---	집중축열 실내하	31.3	5.6	15.7	27.7	7.3	15.7	30.3	7.6	17.5
---o-	집중축열 실내상	31.7	5.4	15.5	27.9	6.9	15.4	30.8	7.0	17.1

< 표 3-26 > 室內 기온의 溫度 평균치

\ 모델별 온도구분 부위	A 실험 모델				B 실험 모델			
	최 고	최 저	진 폭	평 균	최 고	최 저	진 폭	평 균
실내 기온 하부	31.6	7.8	23.8	18.3	29.7	6.8	22.9	16.3
실내 기온 상부	27.9	8.1	19.8	17.3	30.1	6.4	23.7	16.0

2). 表面 溫度 變化 比較



[그림 3-41] 表面 溫度 變化

分散 蓄熱의 前面 바닥온도가 가장 溫度變化幅이 큰것으로 나타났는데, 이는 蓄熱體의 두께가 얕아서 日射가 미치는 오전에 빠른 속도로 溫度가 上昇하며, 밤에는 相對的으로 빠르게 放射하기 때문으로 생각된다. 分散 蓄熱의 後面 바닥온도는 Time Lag이 가장 길게 나타났으며, 溫度 振幅에서는 集中 蓄熱의 後面 바닥온도와 비슷하게 나타났다. 바닥 後面의 溫度 振幅이 적으며 Time Lag이 긴 이유는, 直接 蓄熱體인 바닥에서 放射된 热이 傳導 및 對流 作用을 통하여 이동된 間接 蓄熱體이기 때문으로 생각된다.

集中 蓄熱의 前面 바닥온도는 分散 蓄熱의 前面 바닥온도보다 낮은 振幅

을 나타냈다. 특히 하루중 最低溫度가 되는 오전 7 - 8시 경은 分散 蕃熱의 前面 바닥 보다 2 - 3 °C 높게 나타났다. 이는 蕃熱體가 두꺼워 아침까지 放射할 蕃熱量이 많기 때문이다.

後面 바닥 온도는 낮동안 前面 바닥보다 낮으며 밤에는 높게 나타났는데, 이는 前面 바닥에서는 夜間에 유리窓을 통한 热損失이 크기 때문이다.

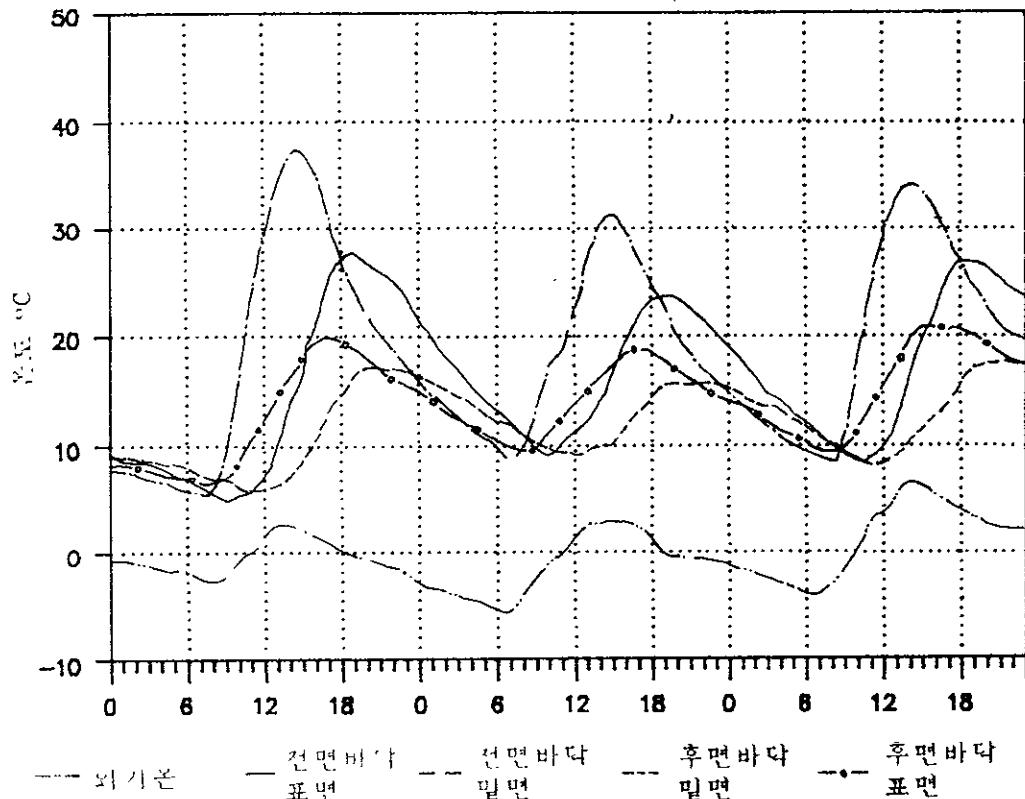
< 표 3-27 > 表面 溫度의 最高 最低 平均 溫度

기 호	기호 설명	25 일 최고 최저 평균			26 일 최고 최저 평균			27 일 최고 최저 평균		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	분산전면바닥표면	41.3	2.6	18.3	32.8	6.8	16.6	35.8	5.4	19.0
---	분산후면바닥표면	20.1	6.2	12.5	18.5	10.3	14.9	21.1	9.5	15.6
---	집중전면바닥표면	37.7	5.4	18.5	31.7	8.4	18.3	34.4	8.3	20.0
-o-	집중후면바닥표면	20.1	6.5	12.7	18.9	9.7	14.2	20.8	9.2	15.2

< 표 3-28 > 表面溫度의 溫度 평균치

\ 모델별 온도구분 부위	A 실험 모델				B 실험 모델			
	최 고	최 저	진 폭	평 균	최 고	최 저	진 폭	평 균
전면 바닥 표면	36.6	4.9	31.7	17.9	34.6	7.3	27.3	18.9
후면 바닥 표면	19.9	8.6	11.3	14.3	19.9	8.4	11.5	14.0

3). 集中蓄熱의 부위별 温度變化



[그림 3-42] 集中蓄熱의 부위별 温度變化

바다前面表面溫度는 日射에 敏感하게 反應하여 낮동안 가장 높은 온도로 上昇 하였으며 温度振幅도 後面보다 크게 나타났다. 前面蓄熱體는 日射의 影響을 直接 받는 蓄熱體이기 때문이며, 後面蓄熱體는 前面蓄熱體로부터 對流 및 傳導에 의하여 热을 供給받는 間接蓄熱體이기 때문이다. 直接蓄熱體와 間接蓄熱體는 같은 表面에서도 3-4 시간의 热傳達 遲延效果

(Time Lag)를 나타내고 있어서, 間接 蓄熱體를 이용하여 遲延 時間을 調節하는 戰略을 세울 수 있을 것으로 본다. 前面 바닥 表面의 溫度는 하루 중 最低 溫度가 되는 7-8시에 分散 蓄熱의 表面보다 2-3°C 높게 나타났다. 이는 蓄熱體의 두께가 두꺼워 아침까지 放射할 蓄熱量이 많기 때문이다.

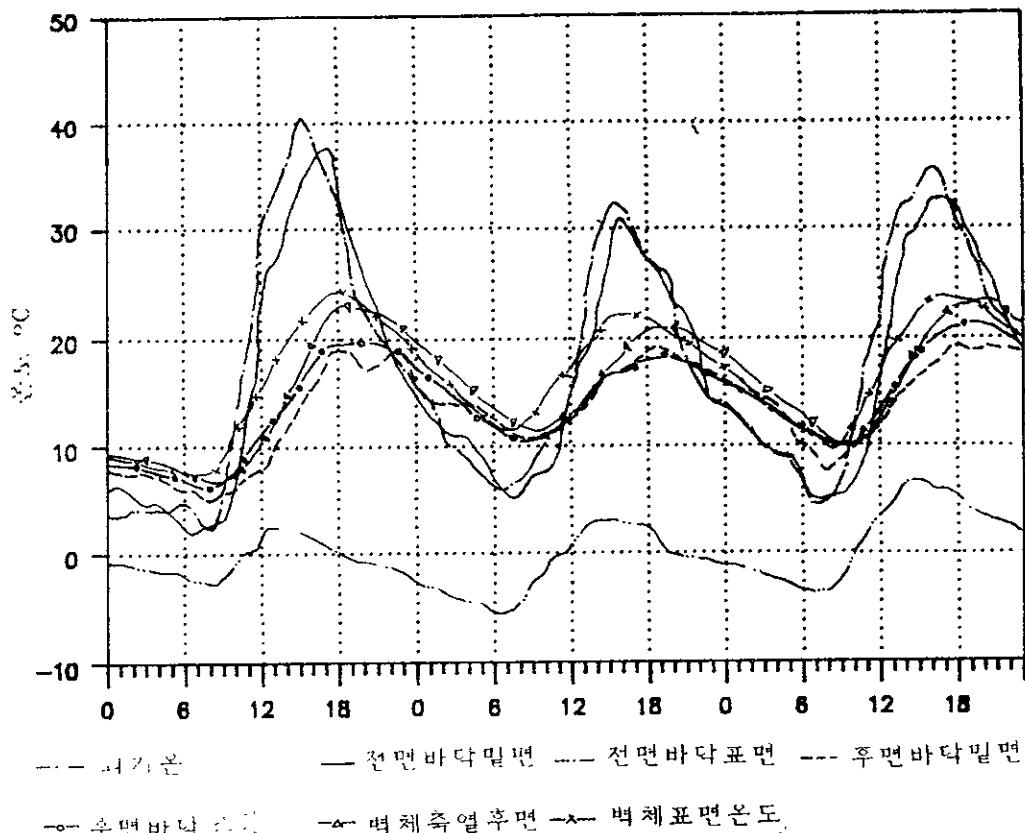
< 표 3-29 > 集中 蓄熱의 부위별 最高 最低 平均 溫度

기호	기호 설명	25 일			26 일			27 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	전면 바닥 표면	37.7	5.4	18.5	31.7	8.4	18.3	34.4	8.3	20.0
---	전면 바닥 밀면	28.0	4.7	14.2	23.9	8.9	16.8	27.4	8.3	17.6
---	후면 바닥 표면	20.1	6.5	12.7	18.9	9.7	14.2	20.8	9.2	15.2
-o-	후면 바닥 밀면	17.6	6.0	10.5	16.4	9.3	13.3	18.7	8.9	13.7

< 표 3-30 > 集中 蓄熱의 부위별 溫度 평균치

부위	모델별 온도구분	전면 부위				후면 부위			
		최고	최저	진폭	평균	최고	최저	진폭	평균
바닥 표면		34.6	7.3	27.3	18.9	19.9	8.4	11.5	14.0
바닥 밀면		26.4	7.3	19.1	16.2	17.5	8.0	9.5	12.5

4). 分散蓄熱의 부위별 温度變化



[그림 3-43] 分散蓄熱의 부위별 温度變化

바닥과 壁에 蓄熱材를 分散 配置한 實驗 모델에서는 集中 蓄熱 方式보다複雜한 热流現象을 보여주고 있다. 가장 振幅이 크게 나타난 부분은 前面 바닥온도로, 日射가 直接 미치는 蓄熱體(Target thermal mass) 이기 때문이며, 다음으로 振幅이 큰 部位는 室內 下部溫度로 前面 바닥의 影響을 1次的으로 받기 때문으로 생각된다. 오전중 室內 上部의 溫度가 下部의 溫度와 약 3 ~ 4 °C 差異를 나타낸 것은 壁體의 影響을 받기 때문이며, 벽체는 直接 蓄熱體인 前面바닥 部位로 부터 放射되는 輻射熱과 空氣의 對流 現象으로 热이 移動되기 때문으로 풀이된다. 午後가 되면 壁體의 溫度가 충분히 上昇되고 蓄熱되었던 热이 放射되어 室內 上部의 溫度와 下部의 溫度가 거의 같아지게 된다.

바닥 後面部의 表面溫度는 낮동안 가장 낮은 溫度를 나타내고 있는데, 이는 日射의 影響圈에서 벗어난 구석이기 때문으로 생각되며, 밤부터 日出前 까지 前面 바닥보다 높은 溫度를 나타낸 것은 前面部는 유리窗을 통한 热損失이 크기 때문으로 생각된다. 이 方式은 集中 蓄熱 方式보다 室內 空氣溫度의 평균치는 높았으나, 각 構造體別 溫度差가 시간에 따라 最大 약 20°C로 심하게 發生하였다. 前面 바닥부위는 日射가 좋은 낮동안 심한 過熱 現象을 보였으며 밤에는 가장 낮은 溫度를 나타내었다. 따라서 前面 바닥부위의 蓄熱體를 相變化 物質(PCM)을 이용하면 過熱 現象도 豫防되며 蓄熱體別 溫度差도 줄어 室內 邊境의 快適感을 높일 수 있을 것으로 判斷된다

< 표 3-31 > 分散 蓄熱의 부위별 最高 最低 平均 溫度

기 호	기호 설명	25 일			26 일			27 일		
		최고	최저	평균	최고	최저	평균	최고	최저	평균
—	전면 바닥 표면	41.3	2.6	18.3	32.8	6.8	16.6	35.8	5.4	19.0
—·—	전면 바닥 밀면	38.2	2.7	16.9	31.3	6.6	16.0	32.6	4.6	17.7
—·—	후면 바닥 표면	20.1	6.2	12.5	18.5	10.3	14.9	21.1	8.6	15.6
—·—	후면 바닥 밀면	20.1	4.7	11.3	18.0	8.2	14.0	20.9	8.6	15.3
—△—	벽체 표면 온도	25.0	7.0	15.3	22.5	11.2	17.6	24.9	10.8	18.3
—×—	벽체 축열 후면	23.5	6.6	13.7	21.1	11.3	16.6	23.9	9.8	17.1

< 표 3-32 > 分散 蓄熱의 부위별 溫度 평균치

부 위 부위	표 면				밀 면			
	최 고	최 저	진 폭	평 균	최 고	최 저	진 폭	평 균
전 면 부 위	36.6	4.9	31.7	17.9	34.0	4.6	29.4	16.8
후 면 부 위	19.9	8.3	11.3	14.3	19.6	7.1	12.5	13.5
벽 체	24.1	9.6	14.5	17.0	22.8	9.2	13.6	15.8

3-5-5. 實驗 結果의 小結

蓄熱體를 바닥에 集中 配置하는 方法과 바닥과 壁體등에 分散 配置하는 方法에 관하여 實驗 研究를 하였는 바 다음과 같은 結論을 얻을 수 있었다.

- 1) 벽과 바닥에 蓄熱體를 分散 配置하는 方法이 集中 配置한 方法에 비하여, 室溫의 平均이 약 2°C 더 높게 나타나 热性能이 우수한 것으로 評價되었다. 이는 벽체에서 日射가 吸收된 경우와 逆反射된 경우의 性能을 나타낸 것으로써, Direct Gain System에서 찬막이 벽등은 蓄熱性能이 좋고 热吸收能力이 높은 치장벽돌 마감등 重量 構造物로 만드는 것이 有利하다.
- 2) 바닥에 蓄熱體를 集中 配置한 方法은 室內 上下의 溫度差가 거의一定하였으나, 分散 蓄熱의 경우는 日射가 미치는 오전중 약 $3 - 4^{\circ}\text{C}$ 의 溫度差를 나타내었으며 바닥 下部의 溫度가 높았고, 오후에는 室內 上下의 溫度差가 거의 없었다.
- 3) 溫度 振幅이 가장 큰 部位는 日射의 影響을 직접 받는 前面 바닥부위로 日射가 좋은날 集中 蓄熱의 경우 약 38°C 정도였고, 分散 蓄熱의 경우 40°C 以上 上昇하였다. 過熱을 防止하기 위하여 直接 蓄熱體(Target thermal mass)를 相變化 物質 (PCM : Phase Change Material)로 사용하는 代案도 생각할 수 있다.
- 4) 分散 蓄熱의 경우 直接 蓄熱體에서 間接 蓄熱體 (Secondary thermal mass)로 热流가 이동하는 現象을 알 수 있었다. 直接 蓄熱體인 바닥에서 對流現象으로 下部 空氣 溫度를 높이고 辐射 現象으로 壁體의 溫度를 높이며 室內 上部의 空氣 溫度는 壁體의 影響을 더 받는 것으로 評價 되었다. 따라서 오전중 部位別로 溫度差가 심하게 나타났으며 오후에는 溫度 平衡이 이루어 진것으로 풀이된다.

第4章, 結論

本研究에서는 直接獲得方式(Direct Gain System)의 基礎 設計 資料를 提供하기 위하여 一般的으로 많이 使用되고 있는 바닥 蓄熱材의 바닥 마감構造의 種類에 따른 热性能 分析을 實施하였고 直接獲得 方式에서 發生하기 쉬운 過熱現象 및 溫度 變化幅을 줄일 수 있는 相變化 物質(PCM)을 蓄熱體로 使用하여 热性能을 實驗하였으며, 蓄熱材를 바닥에 集中 配置하는 方法과 바닥과 壁體등에 分散 配置하는 方法에 관하여 實驗研究를 實施하였다. 本研究의 結果를 要約하면 다음과 같다.

- 1) 바닥 마감 구조 實驗에서 热性能이 가장 높게 나타난 것은 검정색 화강암이며, 그 다음은 흰색 화강암, 암스트롱, 마루구조 順으로 나타났다. 따라서 Direct Gain System의 集熱 性能을 높이기 위하여는 热抵抗이 낮은材料를 使用하는 것이 效率的이며, 色彩는 검정색 系統의 無光 마감이 性能을 높일 수 있었으므로 無光의 검정색 화강암, 자연석, 타일등을 利用하여야 한다. 또한 日射를 直接 받는 部位에 热抵抗이 높은 材料인 家具의 配置, 輕量 칸막이등은 集熱 效率을 낮게하는 原因이 됨으로 의 效率을 向上시키기 위해서 이와같은 材料를 使用하여서는 안된다.
- 2) 바닥 表面의 마감에 따른 热의 吸收는 色彩에 따라 決定되지만 放熱은 마감재의 色彩와는 큰 關係가 없는 것으로 나타났다.
- 3) 바닥 마감 構造 實驗에서 바닥 前後 表面의 溫度는 後面部가 前面部보다 1일 내내 높게 나타났다. 이러한 理由는 前面部의 유리窗을 통한 热損失의 影響 때문이며, 이러한 热損失을 줄이기 위해서는 夜間斷熱이 必須의이다.
- 4) PCM은 顯熱 蓄熱材에 비하여 溫度 振幅을 약 1/2 정도로 줄이는 效果가 있어서 過熱과 過冷 現象을 줄일 수 있는 우수한 材料로 評價 되며, 蓄熱材의 容積을 줄일 수 있어서 室內空間을 넓게 使用할 수 있게 된다.
- 5) $\text{CaCl}_2 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 는 $27 - 30^\circ\text{C}$ 에서 相變化를 하는 것으로 나타났으나 相變化시 溫度의 變化는 一定하지 않고 相變化 溫度 範圍에서 震動하는 모양

로 나타났다. 따라서 一定溫度 變化를 위해서는 적절한 조작제를 使用하여 야 할 것이다.

6) 蓄熱材 配置 實驗에서 壁과 바닥에 蓄熱體를 分散 配置하는 方法이 集中 配置한 方法에 비하여, 室溫의 平均이 약 2°C 더 높게 나타나 热性能이 우수한 것으로 評價되었으며, 室內 上下의 溫度差는 바닥에 蓄熱體를 集中 配置한 方法에서 거의 一定하였으나, 分散 蓄熱의 경우는 日射가 미치는 오전중 약 $3 - 4^{\circ}\text{C}$ 의 溫度差를 나타내었으며 바닥 下部의 溫度가 높았고, 오후에는 室內 上下의 溫度差가 거의 없었다. 이는 壁體에서 日射가 吸收된 경우와 逆反射된 경우의 性能을 나타낸 것으로써, Direct Gain System에서 칸막이 壁등은 热性能이 좋고 热吸收 能力이 높은 重量 構造物로 만드는 것 이 有利하다.

7) 蓄熱材 配置 實驗에서 溫度 振幅이 가장 큰 部位는 日射의 影響을 直接 받는 前面 바닥 部位으로 나타났고, 最高溫度는 日射가 좋은 날 集中 蓄熱의 경우 약 38°C 정도였고, 分散 蓄熱의 경우 40°C 以上 上昇하여 過熱現象이 나타났다. 따라서 過熱을 防止하기 위해서는 直接 蓄熱體(Target the thermal mass)部位에 相變化 物質(PCM : Phase Change Material)를 使用하는 것을 고려할 수 있다.

8) 分散 蓄熱의 경우 直接 蓄熱體에서 間接 蓄熱體(Secondary thermal mass)로 热流가 移動하는 現象을 알 수 있었다. 直接 蓄熱體인 바닥에서 對流現象으로 下部 空氣 溫度를 높이고 辐射 現象으로 壁體의 溫度를 높이며 室內 上部의 空氣 溫度는 壁體의 影響을 더 받는 것으로 評價 되었다. 따라서 午前中 部位別로 溫度差가 심하게 나타났으며 午後에는 溫度 平衡이 이루어 진것으로 풀이된다.

따라서 自然型 太陽熱 直接獲得 方式에서 直接 蓄熱 部位는 검정色 계통이고 热抵抗이 낮은 無光의 검정색 화강암, 자연석, 타일등을 使用하는 것이 效率的이며, 蓄熱性能이 좋고 热吸收 能力이 높은 重量構造物로 分散 配置하는 方法이 有利함으로 바닥에는 家具를 配置하거나 輕量 構造物등을 使用해서는 안된다. 또한 過熱防止 및 室內空間을 넓게 사용할 수 있도록 相變化 物質(PCM)을 使用하는 方法이 매우 效率的이며, 集熱窗은 夜間에 热損失이 매우 크므로 夜間斷熱 構造를 필수적으로 設置하여야 한다.

参考文獻

- 1) 學術振興財團, “建築物에 있어서 自然型 太陽熱 시스템의 热性能 向上 을 위한 實驗的 基礎研究”, 제1차년도 中間報告書, 1989.
- 2) 이명호, “自然型 太陽熱 시스템 設計”, 중앙대학교, 1985.
- 3) 이언구·김광우역, “建築 邊境 科學”, 태림문화사, 1987.
- 4) 건설부, “共同住宅의 에너지 節約을 위한 設計基準研究”, 1985.
- 5) 韓國動力資源研究所, “自然型 太陽熱 시스템 開發”, KE-81T-22, 1981.
- 6) 韓國科學財團, “自然型 太陽熱 시스템을 利用한 建物에너지 節約 技術에 관한 基礎研究”, KOSEF86-0705, 1989.
- 7) 대한건축학회, “潛熱 貯藏材 適用處 調查 研究”, 1988.
- 8) 과학 기술처, “潛熱 貯藏材 開發 研究”, 1989.
- 9) 동력자원연구소, “太陽 에너지 利用 開發”, SERI-H-80-2, 1980.
- 10) 이경희, “建築 環境 計劃”, 문운당, 1988.
- 11) 안태경, “自然型 太陽熱 直接獲得 方式에서의 夜間斷熱 構造의 開發 및 热性能에 대한 研究”, 中央大學 碩士學位 論文, 1988.
- 12) 강일경, “共同住宅의 自然型太陽熱 改修에 따른 에너지 節約 效果에 관한 研究”, 中央大學 碩士學位 論文, 1990.
- 13) 김동환, “自然型 太陽熱 트롬월 方式에서의 夜間斷熱에 관한 實驗的 研究”, 中央大學 碩士學位 論文, 1988.
- 14) 박진철, “自然型 太陽熱 蓄熱壁 方式에서 夜間斷熱 構造의 热性能에 관한 實驗的 研究”, 中央大學 碩士學位 論文, 1989.
- 15) 이관호, “自然型 太陽熱 시스템의 热性能 分析을 위한 热流解析 方法에 관한 考察”, 中央大學 碩士學位 論文, 1988.
- 16) 권영철, “에너지 節約 設計時 外壁 選定 方法에 관한 研究”, 中央大學 碩士學位 論文, 1989.
- 17) E.Mazria, "The Passive Solar Energy Book", Rodale Press, 1979.

- 18) M.Evans, "Housing Climate and Comfort", The Architectural Press,
1980.
- 19) K.Williams, "Minimum Energy Dwelling", Craftman Book Co., 1979.
- 20) RALPH M LEBENS, "Passive Solar Heating Design", Applied Zcience
Publishers LTD, 1980.
- 21) Duffie, John and William a Beckman, "Solar Engineering of Thermal
Process", John Willy and Sons, New York, 1980.
- 22) "ASHRAE HANDBOOK, 1985 FUNDAMENTALS", 1985.
- 23) B.Givoni, "Man Climate and Architecture", 1981.
- 24) Balcomb, J.Douglas et al., "Passive Solar Design Handbook
Volume 2", DOE/cs-0127/2, US-59, American Solar Energy
Society, Inc., 1980.
- 25) P.ACHARD and R.GIOQVEL, "European Passive Solar Handbook", 1986.
- 26) Levy,M,Emanual etal., "Passive Solar Construction Handbook",
Steven Winter Associates, Inc., Rodale Press,
1983.
- 27) Edward E, Anderson, "Fundamentals of Solar Energy Conversion",
Addison, 1983.