

建物 外壁의 伝熱特性 評價에 관한 實測 研究****

—단열재 위치에 따른 실험용 건물의 겨울철 열특성 평가를 중심으로 —

Experimental Study on the Evaluation of Heat Transfer

Characteristics of Buildings' External Walls.

—Focusing on the winter heat transfer characteristics of four experimental model buildings in accordance with the location of insulation.—

孫 章 烈*, 尹 東 源**, 朴 宰 亨***

J. Y. Sohn, D.W. Yoon, J. H. Park

ABSTRACT

This paper describes the experimental thermal performance results of four experimental model buildings insulated differently. For the purpose of examining the thermal characteristics of external walls and indoor thermal conditions, four experimental model buildings are constructed as externally insulated, internally insulated, non-insulated & light-weight curtain wall types with different K-values and heat capacities, respectively.

Through the measurements of temperatures at various points and solar insolation, the effects of insulation and heat capacities are evaluated, and the evaluated effects of each experimental model buildings are compared. Hence, the characteristics of temperature profiles, time-lag effects and decrement factors are discovered.

1. 머리 말

室內熱環境은 外氣溫度, 日射 등의 外部條件, 外壁, 지붕, 유리창 등의 建物條件과 室內의 사용 상황인 內部 條件 등에 의하여 영향을 받으며, 이는 冷暖房 負荷의 직접적인 요인으로 작용한다. 이들 중 建物條件은 設計 및 施工 단계에서 인위적인 조절이 가능한 것으로 室內의 熱環境 형성에 중요하게 작용한다.

建物 構造體의 熱特性은 크게 斷熱性, 蓄熱性, 氣密性 등으로 建物의 構造體 중에서 특히 外壁은 斷熱材의 시공위치와 방법에 따라 室內 熱環境은 外部氣象要素와 構造體의 熱 이동특성에 의해 조성되며, 이는 冷暖房 負荷의 직접적인 요인으로 작용한다. 특히, 建物의 外壁은 斷熱材의 시공위치와 방법에 따라 外 斷熱, 中間斷熱, 內斷熱 構造 및 斷熱材를 시공하지 않은 無斷熱 構造, 斷熱材만으로 구성된 鏡像구조 등으로 구분할 수 있다. 일반적

* 正會員, 漢陽大 副教授 工博

** 正會員, 忠清實業專門大學 助教授

*** 正會員, 漢陽大 大學院

**** 本 論文은 韓國科學財團 目的基礎研究費 (1987年 10月 개시)에 의하여 연구되었음.

으로 外斷熱 構造는 外壁의 室內側 部分의 熱容量 증가로 인하여 구조체의 蓄熱現象이 발생하기 때문에 內斷熱 구조와는 다른 熱性能을 나타낸다. 外壁의 材料가 동일하고 단열재의 위치만 다른 外斷熱 구조와 內斷熱 구조를 평가할 때 定常狀態로 해석하면 각각의 열관류율이 같아지므로 열특성을 正確히 評價할 수 없게 되며, 이러한 경우 非定常狀態로取扱하여야 한다. 건물의 단열방법이나 실내의 열용량이 室內 熱環境이나 冷暖房 負荷에 미치는 영향에 대해서는 각종 非定常 熱解析法을 이용한 시뮬레이션 방법에 의하여 검토되어 왔지만 실제의 건물에서 그 특성을 평가하는 연구는 아직 미흡한 실정이다.

이에 본 연구는 단열공법을 달리한 모델 건물을 시공하고 각 建物 外壁 構造體의 斷熱性能과 蓄熱性能에 따른 건물의 熱環境 특성을 평가하고자 한다. 특히 본 연구에서는 겨울철 동일한 기상조건에서 각 건물의 比較實驗을 통하여 自然室溫 變動特性和 建물의 有效 熱容量에 대하여 검토하여 斷熱材 위치가 建물의 室內 熱環境에 미치는 영향을 把握하였다.

2. 室內의 有效 熱容量 推定

建物の 外部 기상요소가 시시각각 變化함에 따라 外壁 構造體에서는 열이동이 발생하고, 이에 따라 室內 熱環境이 형성된다. 이때 建物에서 冷暖房을 하지 않은 狀態에서의 室溫을 自然室溫이라고 한다. 겨울철의 自然室溫은 주간에는 日射, 外氣溫의 영향으로 상승되고 야간에는 하강하는 하루의 주기적 變動을 반복한다.

하루 중 外氣溫의 變化에 따른 自然室溫의 變化는 Fig.1과 같이 표시된다. 이때 外氣溫의 振幅 ΔT_o 에 대한 自然室溫의 振幅 ΔT_i 의 比를 室溫減衰率(decrement factor)이라 하며, 어떤 시각의 外氣溫 變化가 室內로 전달될 때 建物の 熱容量에 의한 시간 지연 현상이 발생하며 이를 시간지연(타임래: Time Lag)이라 한다.

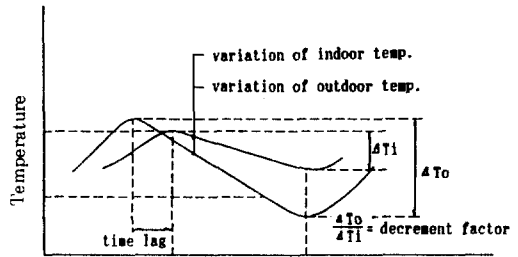


Fig.1 Fluctuation of Outdoor Temp. & Natural Indoor Temp.

한편, 建物の 熱容量에 의해 蓄熱되었던 熱은 야간에는 室內側과 外部로 放熱된다. 특히, 건물의 全體 熱容量 Q_e [kcal/°C]에 의하여 蓄熱되었던 熱 가운데 실내로 放熱되는 성분이 室溫變動에 영향을 미치는데, 이를 有效 熱容量 Q_e [kcal/°C]로 표시하며, 自然室溫이 1°C 하강할 때 室內로 放熱되는 구조체의 蓄熱량을 의미한다. 즉, 주간에 상승되었던 自然室溫 T_{im} 이 야간의 平均 外氣溫 T_{om} 에 의해 하강한다. 시간 t 에서의 自然室溫을 $T_r(t)$ 라 하면, 損失熱량은 건물의 總합 열관류율 K_{tot} (total heat transmission coefficient)와 室內外 溫度差에 의해 계산되며, 이것은 dt 시간 동안에 $d \cdot T_r(t)$ 만큼의 溫度變化에 必要한 蓄熱량과 같게 되어 식(1)과 같은 熱平衡式이 成立한다.

$$Q_e \times \frac{d \cdot T_r(t)}{dt} = K_{tot} \times A_{tot} \{T_r(t) - T_o(t)\} \quad \dots \dots \dots (1)$$

- Q_e : 有效熱容量 [kcal/°C]
- $T_r(t)$: 時間 t 의 自然室溫 [°C]
- $T_o(t)$: 時刻 t 의 外氣溫度 [°C]
- K_{tot} : 總합열관류율 [kcal/m²h °C]
- A_{tot} : 建物 外壁部分의 總面積 [m²]

여기에서 건물의 總합 열관류율 K_{tot} 는 식(2)와 같이 각 外壁部位의 열관류율의 面積平均으로 표시된다.

$$K_{tot} = \frac{\sum K_i \times A_i}{\sum A_i} \quad \dots \dots \dots (2)$$

- K_{tot} : 總합열관류율 [kcal/m²h °C]
- K_i : i 부위의 열관류율 [m²]
- A_i : i 부위의 면적 [m²]

식(1)에서 초기조건으로 $t=0$ 일 때, $T_r(t) = T_{im}$ 으로 하고, $T_o(t)$ 를 야간의 평균 外氣溫度 t_{om} 으로 치환하여 미분 방정식을 풀면, 室溫 $T_r(t)$ 는 식(3)으로 표시되며, 이를 식(4)의 有效熱容量의 식으로 표시할 수 있다.

$$T_r(t) = T_{om} + (T_{im} - T_{om}) \cdot \text{Exp} \left(\frac{-K_{tot} \times A_{tot}}{Q_e} \right) \dots \dots \dots (3)$$

$$Q_e = \frac{(-K_{tot} \times A_{tot} \times t)}{\ln \left\{ \frac{(T_r(t) - T_{om})}{(T_{im} - T_{om})} \right\}} \dots \dots \dots (4)$$

T_{im} : 平均 自然室溫(주간)[°C]
 T_{om} : 平均 外氣溫(야간)[°C]
 t : T_{im} 출현시각으로부터 경과시간

3. 實驗 概要

3.1 實驗用 모델 建物

건물의 外壁은 斷熱方法에 따라 斷熱性能과 蓄熱性能에 차이가 있으며, 이로 인하여 外氣條件에 대한 室內의 熱環境도 다르게 나타난다.

다. 本 研究에서는 모델건물의 外壁을 斷熱工法에 따라 ㉠外斷熱 構造, ㉡內斷熱 構造, ㉢無斷熱 構造, ㉣輕量 構造의 4가지로 구별하여 시공하였으며, 동일한 기상조건에서의 比較實驗이 可能하도록 H대학교 제3공학관 건물 屋上에 정남향으로 배치하였다. 모델 建物은 外壁 벽돌의 중심선과 중심선 사이가 각각 가로 2.1m, 세로 2.1m, 높이 2.25m의 단순 상자형 건물이며, 斷熱材 施工方法에 따라 바닥면적과 실용적은 야간의 차이가 나타난다. 각 건물의 南側壁에 가로 1.0m, 높이 0.6m의 복층유리창(3mm+6mm+3mm)을 시공하고, 北側壁에는 가로 0.8m, 세로 1.5m의 단열 출입문(50mm 스티로폴 부착)을 설치하였다.

Fig.2는 모델건물의 단면도와 평면도를 나타낸다. A동, B동, C동의 경우 시멘트 벽돌 1.0B를 기본으로 A동은 外部에 斷熱材를 시공한 外斷熱 구조이며, B동은 내부에 시공한 內斷熱 구조, C동은 단열재를 시공하지 않은 무단열 구조이다. D동의 경우에는 알루미늄

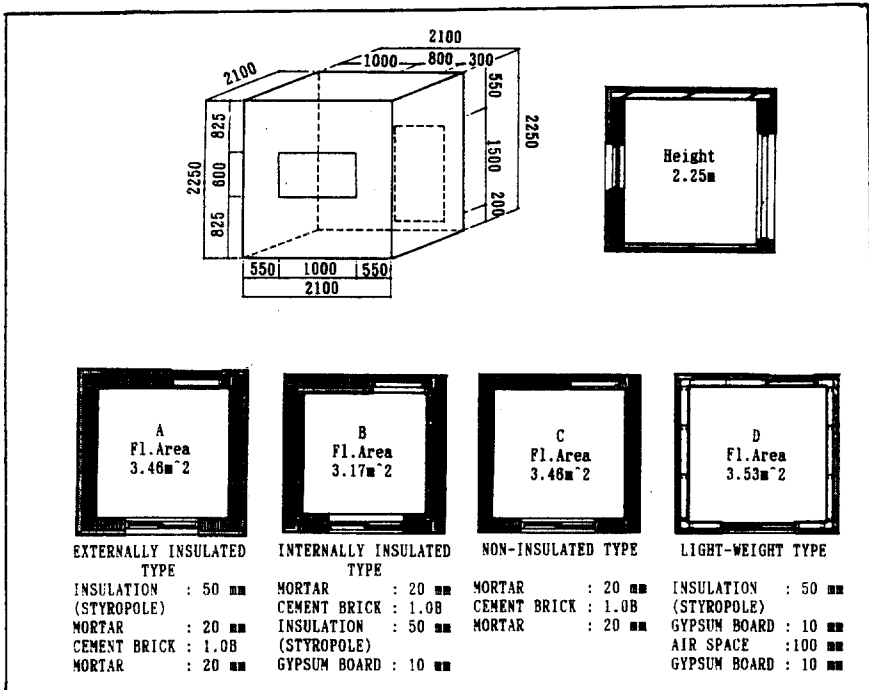


Fig.2 Floor Plans & Sections of Model Buildings

Table 1. Experimental Model Building Concepts & Thermal Characteristics

Experimental Model Building		Model A	Model B	Model C	Model D
Insulation Type		Externally Insulated	Internally Insulated	Non-Insulated	Light-Weight Structure
K-Value [kcal/m ² h °C]	Wall	0.50	0.51	2.65	0.52
	Roof (Slab)	0.53	0.54	3.55	0.52
	Window	2.50	2.50	2.50	2.50
	Door	0.53	0.53	0.53	0.53
Total Heat Transmission Coefficient [kcal/m ² h °C]		2.90	2.96	14.06	2.97
Total Heat Capacity [kcal/°C]		1.729	1.708	1.709	206

프레임의 外部에 단열재를 부착한 경량구조의 形態로 施工하였다.

Table 1은 모델 건물의 概要 및 熱性能을 나타낸다.

外壁의 열관류율은 A동, B동, D동에서 0.5 [kcal/m² h °C] 정도로 비슷하며, 건물의 전체 熱容量은 A동, B동, C동에서 1,700 [kcal/°C] 정도로 비슷하게 나타났다.

3.2 測定 概要

外壁의 斷熱性能이 서로 다른 建物の 室内

熱環境을 평가하기 위하여 實驗用 모델 建物を 대상으로 室内 및 外部의 熱環境 요소를 測定하였다. 실내의 틈새바람에 대한 영향을 방지하기 위하여 유리창 및 출입문의 틈새를 비닐 테이프로 密封하여 氣密性を 유지하였다.

測定은 1989년 2월 26일~3월 5일에 豫備測定, 3월 6일~3월 10일에는 本測定으로 구분하여 실시하였다. 각 부위의 溫度는 자동기록이 가능한 YODAC-85S 데이터 로거에 C-C 열전대를 연결하여 測定하고, 測定間隔은 30분으로 하였다. Table 2는 測定項目 및 測定方法을 나타낸다.

Table 2. Measuring Items & Points

	Items	Number of Measuring Points	Remarks
Indoor Thermal Conditions	* Dry Bulb Temp. * Wet Bulb Temp. * Globe Temp.	Center of Room 4 × 3 Points Tot. 12 Points	* Sensor : Copper-Constantan Thermo Couple
Structure	* Internal Surf. Temp. * External Surf. Temp. * Structure Interior	Wall, Roof, Floor Window, Door, etc 4 × 6 Points 4 × 6 Points 4 × 6 × 3 Points Tot. 120 Points	* Measurement Apparatus: YODAC-85S Data Logger System * Scanning Interval : 0.5 Hour
Outdoor Weather Conditions	* Dry Bulb Temp. * Wet Bulb Temp. * Globe Temp. * Horizontal Solar Insolation	4 Points Tot. 4 Points	* Measuring Period : Pre-Test : 1989. 2. 26 - 3. 5 Main Test : 1989. 3. 6 - 3. 10

4. 結果分析 및 考察

4.1 모델 建物の 自然室温 變化

建物の 自然室温은 外氣溫度, 日射量, 風向, 風速 등 外部 氣象 要素와 建物の 方位, 外壁 유리창등의 斷熱性能 및 熱容量과 같이 여러 가지 인자에 의해 결정된다. 따라서 동일한 기상조건에서 나타난 각 모델 건물에 대한 自然室温을 분석함으로써 구조체의 熱特性을 파악할 수 있다. Fig. 3은 동일한 기상조건에 의해 나타난 각 모델 건물의 自然室温을 표시한다. 측정기간의 外氣溫度는 최저 -4.1°C에서 최고 10.3°C까지 나타났으며 이에 대한 自然室温은 A 동 4.6°C~6.7°C, B 동 2.4°C~7.4°C, C 동 -0.8°C~7.4°C, D 동 -0.3°C~8.7°C의 변화를 보이고 있다. 외벽의 열관류율이 비슷한 A 동과 B 동을 비교하면, 실내쪽의 열용량이 상대적으로 큰 A 동에서의 室温이 완만하게 나타났으며 이는 구조체 축열효과에 의한 室温 완화 작용으로 평가된다. 무단열 구조인 C 동에서는 室温變化가 뚜렷하게 나타나고 있다.

Fig. 4는 측정기간의 외기온도와 각 건물의 자연실온의 최대, 최소 평균값을 나타낸다. 測定期間의 平均室温은 A 동 5.5°C, B 동 5.0°C, C 동 2.7°C, D 동 4.2°C로 나타났으며 外氣溫度 變化에 대한 自然室温의 變化幅은 A 동에서 가장 적고, B 동, C 동의 순으로 나타

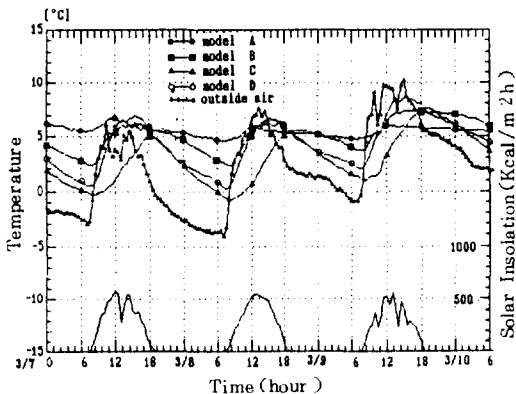


Fig. 3. Variation of Indoor Air Temp & Outdoor Air Conditions

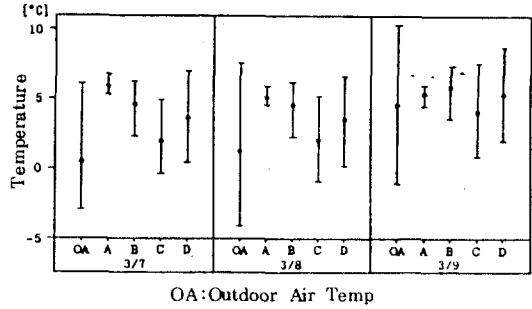


Fig. 4. Max, Min, Avg. of Outdoor & Indoor Air Temp

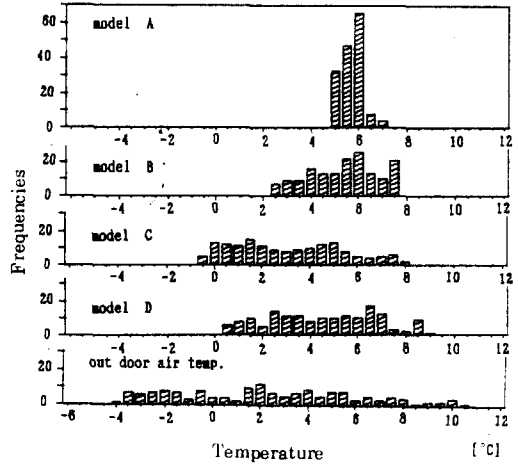


Fig. 5. Frequencies of Room Air Temp & Outdoor air Temp in 0.5°C Temp. Bin

났다. 輕量構造인 D 동에서는 平均室温이 무단열 구조인 C 동보다 약간 높지만 室温의 變化幅은 비슷하게 나타난 것이 특징이다.

Fig. 5는 外氣溫度과 각 건물의 自然室温의 출현빈도를 0.5°C 간격으로 표시한 것이다. 넓게 분포된 外氣溫度에 대하여 A 동에서는 6.0°C 부근에서 집중되고 있으며, B 동은 A 동보다 넓게 분포되고 있다. 한편, 無斷熱構造인 D 동보다 平均실온이 약간 낮지만 비슷한 변화폭을 보이고 있으며 C 동을 높은 온도, D 동은 낮은 온도 부근의 출현빈도가 높게 나타났다.

4.2 外壁 構造體의 傳熱 特性

건물의 外壁에서는 外氣溫, 日射 등의 영향으로 나타난 外表面 溫度의 變化가 구조체 내부를 통하여 內表面에 전달되고 室溫變動에 영향을 준다. 이때 구조체의 斷熱性能과 蓄熱性能에 따라 外壁의 內표면에서는 外表面 溫度에 대한 진폭감쇄 효과와 시간지연 효과가 나타난다. Table 3은 각 모델 건물의 남쪽 외벽과 지붕구조에 대한 진폭감쇄율(decrement factor)과 시간지연(타임랙 : Time Lag)을 비교한 것이다. 외벽의 경우 진폭감쇄율은 A 동에서 0.07로 가장 낮게 나타났으며, B 동 0.29, D 동 0.34, C 동 0.49의 순으로 나타났다. 한편, 벽체의 시간지연은 외단열 구조에서 7.0h로 가장 길고, 내단열 구조 6.0h, 무단열 구조 4.5h, 경량구조 2.5h 순으로 나타났으며, 120mm 보통 콘크리트와 斷熱材로 시공된 지붕구조에서는 外壁과는 다소 차이가 있으며, 진폭감쇄율은 A 동, D 동, B 동, C 동의 순으로 나타났고, 시간지연은 Table 3과 같다.

Table 3. Comparison of Decrement Factor & Time Lag

Structure Element	Items	Experimental Model Building Index			
		A	B	C	D
Wall	Decrement Factor	0.07	0.29	0.49	0.34
	Time Lag [hour]	7.0	6.0	4.5	2.5
Slab	Decrement Factor	0.06	0.33	0.82	0.29
	Time Lag [hour]	5.0	2.5	2.0	3.0

5. 建物の 有効熱容量 評價

建物の 自然室溫의 變化는 구조체의 斷熱性能과 蓄熱性能에 의하여 그 특성이 나타나며, 이때 축열성능은 建物の 熱容量에 의해 평가될 수 있다. 따라서 建物 전체의 熱容量 중 실제로 自然室溫에 영향을 주는 有效熱容

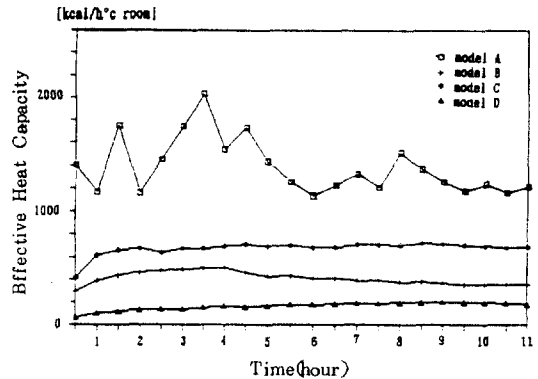


Fig. 6. Variation of Effective Heat Capacities

量 Q_e 를 파악하는 것은 매우 중요하게 생각된다.

Fig. 6은 3월 7일 20:00 시를 기준으로 外氣溫의 變化와 각 建物の 自然室溫 變化로부터 식(4)에 의해 추정된 有效熱容量의 時間 變化를 나타낸다.

A 동에서는 처음에는 평균 1237[kcal/°C]로 비교적 안정된 값을 보이고 있다. B 동에선 처음에는 약간 크게 산정되었으나 6시간 이후부터 평균 363[kcal/°C]로 일정하게 나타났다. 처음에 크게 산정된 것은 주간에 축열된 열이 미세한 영향으로 작용하기 때문으로 생각된다. C 동과 D 동에서는 비교적 일정하게 추정되어 각각 703, 196 [kcal/°C]로 나타났다.

Table 4는 각 모델 건물의 熱特性을 종합적으로 비교한 것이며, 건물의 전체 열손실계

Table 4. Comparison of Thermal Characteristics

Model Index	A	B	C	D
Total Heat Conductance [kcal/h°C]	12.80	13.04	61.99	13.10
Total Heat Capacity [kcal/°C]	1729	1708	1709	206
Effective Heat Capacity [kcal/°C] (Efficiency)	1239 (71.5%)	363 (21.3%)	703 (41.1%)	197 (95.6%)
Time Lag of Indoor Temperature [hour]	7.0	2.5	4.5	1.0
Decrement Factor	0.11	0.33	0.51	0.54

수는 A 동, B 동, D 동이 비슷하고, 無斷熱인 C 동이 크게 나타났으며 전체 熱容量은 A 동, B 동, C 동이 1700 [kcal/°C] 정도이고, 輕量構造인 D 동은 아주 작게 나타났다.

實測値로부터 推定한 有效熱容量은 A 동에서 크고, C 동, B 동, D 동 순으로 나타났다. 建物全體 熱容量에 대한 有效熱容量을 표시한 有效率은 A 동 71.5%, B 동 21.3%, C 동 41.1%, D 동 95.1%로 나타났으며, 여기서 같은 재료로 구성된 外斷熱構造가 內斷熱構造보다 室內側의 熱容量이 크게 증가하는 것을 알 수 있다.

한편, 外氣溫에 대한 自然室溫의 시간지연은 A 동, B 동, C 동에서 각각 7.0h, 2.5h, 4.5h 1.0h 으로 나타났다. 앞집의 推定한 外壁자체의 시간지연과 自然室溫의 시간지연에는 다소 차이가 나타나며, 이것은 유리창을 투과한 日射量이 自然室溫에 직접 영향을 주기 때문으로 판단되며 이에 대한 자세한 分析은 차후에 발표할 예정이다.

6. 맺음말

本 研究는 外壁의 斷熱方法이 다른 4棟의 실험용 建物을 대상으로 室內외의 熱環境을 測定하고 建物 外壁 構造體의 熱特性和 室內의 自然室溫 變動 特性을 비교 分析하였다.

外壁의 斷熱性能和 蓄熱性能은 自然室溫 형성에 큰 영향을 미치며, 특히 外斷熱 構造는 室內의 熱容量 증가로 室溫 變動에 대한 완화작용이 뚜렷하게 나타났다. 外氣溫變化에 대한 각 建物의 室溫減衰率은 外斷熱 構造 0.11 內斷熱 構造 0.33 無斷熱 構造 0.51. 輕量 構造 0.54로 나타났고, 시간지연은 각각 7.0시간, 2.5시간, 4.5시간, 1.0시간으로 나타나

外斷熱 構造에서 斷熱性能和 蓄熱性能이 가장 큰 것을 알 수 있다.

한편, 自然室溫 變化에 작용한 건물의 有效熱容量도 外斷熱 構造가 1239[kcal/°C]로 가장 크게 나타났고, 內斷熱 363[kcal/°C] 無斷熱 703[kcal/°C], 輕量 構造 197[kcal/°C]로 나타났으며 특히 內斷熱 構造의 有效熱容量이 낮게 추정되고 있다.

本 研究에서는 겨울철 동일한 氣象條件에 의한 建物의 熱環境에 대하여 測定資料를 中心으로 살펴보았으나 차후에 斷熱材 위치와 構造體의 蓄熱性能이 熱負荷에 미치는 영향과 이에 대한 계절별 特性에 관하여서도 分析 검토할 예정이다.

끝으로 모델 건물 的 제작에 도움을 주신 (주)효성드라이비트 관계자 여러분께 감사드립니다.

參 考 文 獻

1. 伊藤直明外 1人: 다이렉트게인시스템における熱容量と期間補助暖房量に関する實驗的研究, 日本建築學會 計劃系 論文報告集, 第397號, p. 38~47, 1989. 3
2. 長谷川房雄外 4人: 패시브솔라시스템試驗家屋を用いた蓄熱床方式に関する實驗的研究, 日本建築學會 計劃系 論文報告集, 第366號, p. 33~40, 1987. 8
3. 木村建一: 建築設備基礎理論演習 p. 107~108, 東京學獻社, 1975.
4. B. GIVONI: MAN, Climate and Architecture p. 120-144. LONDON APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD, 1976.