

축열용량을 고려한 건물의 적정 외피설계방안에 관한 연구

A Study on the Optimum Envelope Design Method in Buildings
Considering Thermal Storage Capacity

김 기훈*, 권 영철, 이 연구(중앙대학교)

Abstract

The purpose of this study is to suggest an optimum envelope design method to reduce energy-load in buildings considering Thermal Storage Capacity of building envelopes.

Thermal storage capacity of eight different building materials was calculated through the laboratory experiments of specific-heat, density and thermal conductivity. Based on these values, computer simulation was conducted on the composite walls made up of several building materials having various thermal storage capacities and different orientations in order to determine building energy-load.

The results of the study indicates that the walls with high thermal storage capacities be employed in heating-load-dominated buildings, whilst for cooling-load-dominated buildings the lightweight walls with low thermal-storage-capacities be adopted.

1. 서론

본 연구에서는 건물의 외피에 사용되는 각종 건축재료들을 대상으로 다양한 벽체를 구성하여 벽체구성재료의 축열용량을 실험을 통하여 산정하고, 이들 벽체를 각 방위별로 배치한 후 방위별 건물 외피의 축열용량에 따른 진폭감쇠율을 이용하여 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 건물의 냉·난방부하를 해석하였다. 이후 축열용량에 따라 냉·난방부하를 최소화할 수 있는 적정 외피설계방안을 제안함으로써 에너지절약적인 외피를 선정할 수 있는 기초자료를 제시하고자 한다.

2. 축열용량에 관한 이론적 고찰

2.1 비열, 밀도

물체의 비열은 다음 식으로 구할 수 있다.

$$C_p = \frac{M_w * C_{pw}}{M * \frac{(T_2 - T_m)}{(T_m - T_1)}}$$

여기서, C_p : 시편의 비열 (kcal/kg°C), M_w : 증류수의 무게(kg)
 C_{pw} : 증류수의 비열(=1kcal/kg°C), M : 시편의 무게 (kg)
 T_m : 평형온도(°C), T_1 : 증류수의 처음온도(°C), T_2 : 시편의 처음온도(°C)

2.2 축열용량

일반적으로 열용량은 재료의 밀도와 비열을 곱함으로써 얻어진다. 그러나 열용량은 재료표면에서 내부로 흐르는 열전달량을 배제하고 있기 때문에 전체적인 축열용량은 비열과 밀도, 그리고 열전도율을 곱함으로써 산정할 수 있다.

$$\text{축열용량} (\text{kcal}^2 / \text{m}^4 \text{h} \text{°C}^2) = \text{비열} (\text{kcal} / \text{kg} \text{°C}) * \text{밀도} (\text{kg} / \text{m}^3) * \text{열전도율} (\text{kcal} / \text{mh} \text{°C})$$

2.3 진폭감쇠율

단일벽체에서의 진폭감쇠율(λ)은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\lambda = e^{-0.362L \sqrt{\frac{H}{\alpha T}}}$$

<표 2.1> K/L 과 $K\rho C$ 의 함수로서의 진폭감쇠율(Mackey와 Wright의 공식)

K/L $K\rho C$	1000	500	200	100	50	30	20	10	5	3	2	1	0.5
10000	0.62	0.51	0.28	0.33	0.07	0.04	0.02	-	-	-	-	-	-
5000	0.68	0.62	0.45	0.40	0.14	0.08	0.05	-	-	-	-	-	-
2000	-	0.69	0.62	0.50	0.32	0.20	0.13	0.06	-	-	-	-	-
1000	-	-	0.69	0.61	0.48	0.35	0.26	0.14	0.04	-	-	-	-
500	-	-	-	0.61	0.62	0.61	0.42	0.23	0.10	0.03	-	-	-
300	-	-	-	-	0.65	0.63	0.52	0.35	0.16	0.07	0.02	-	-
200	-	-	-	-	0.68	0.65	0.60	0.45	0.24	0.11	0.05	-	-
100	-	-	-	-	-	0.66	0.63	0.55	0.38	0.23	0.12	0.02	-
50	-	-	-	-	-	-	-	0.60	0.49	0.36	0.23	0.06	-
20	-	-	-	-	-	-	-	-	0.55	0.46	0.37	0.16	0.02
10	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.49	0.41	0.26	0.08
5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0.43	0.30	0.14

다층구조체의 진폭감쇠율은 상당 L/K (A)와 $K\rho C$ (B)를 계산한 후, <표 2.1>로 구할 수 있다.

$$A = \left(\frac{L}{k}\right)_i + \left(\frac{L}{k}\right)_{m1} + \left(\frac{L}{k}\right)_{m2} + \dots + \left(\frac{L}{k}\right)_e$$

$$B = \frac{1.1}{A} \left[\sum \left(\frac{L}{k}\right) (K\rho C) - \left(\frac{L}{k}\right)_e (K\rho C)_e \right] + \frac{K\rho C_e}{A} \left[\left(\frac{L}{k}\right)_e - 0.1\left(\frac{L}{k}\right)_i - 0.1\left(\frac{L}{k}\right)_{m1} \dots \dots \dots \text{etc.} \right]$$

3. 건물 외피재료의 축열용량산정을 위한 열성능실험

본 연구에서 수행된 외피재료들의 열성능실험결과는 <표 3.1>과 같다.

<표 3.1> 각종 외피재료의 비열, 밀도, 열전도율 및 축열용량

종류	비열 (kcal/kg℃)	밀도 (kg/m ³)	열전도율 (kcal/mh℃)	축열용량 (kcal ² /m ⁴ h℃ ²)
보통콘크리트	0.225	2257	1.308	664.235
경량콘크리트	0.233	1681	0.933	365.431
A.L.C.	0.283	552	0.167	26.088
시멘트벽돌	0.231	1847	1.308	558.067
적벽돌	0.230	1795	0.971	400.877
모르타르	0.210	1983	1.841	766.648
단열재	0.349	20	0.034	0.237
석고보드	0.243	802	0.345	67.236

4. 벽체의 축열용량 및 단열위치에 따른 부하해석 시뮬레이션

본 연구에서는 MICRO-DOE2 프로그램을 이용하여 정남향의 가로 9m, 세로 9m, 높이 2.4m의 규모를 가진 모델 건물에 대해 시뮬레이션을 실시하였다.

4.1 진폭감쇠율과 단열위치에 따른 벽체의 분류

<표 4.1> 벽체의 구조, 열관류율 및 진폭감쇠율

벽체번호	구 조	열관류율	진폭감쇠율
No. 1	모르타르+A.L.C.+모르타르	0.44	0.01
No. 2	모르타르+A.L.C.+단열재+모르타르(내단열)	0.44	0.05
No. 3	모르타르+단열재+A.L.C.+모르타르(외단열)	0.44	0.05
No. 4	단열재+A.L.C.(외단열)	0.44	0.1
No. 5	A.L.C.+단열재(내단열)	0.44	0.15
No. 6	적벽돌+단열재(내단열)	0.44	0.16
No. 7	시멘트벽돌+단열재(내단열)	0.44	0.18
No. 8	보통콘크리트+단열재(내단열)	0.44	0.18
No. 9	경량콘크리트+단열재(내단열)	0.44	0.2
No. 10	A.L.C.	0.44	0.256
No. 11	단열재	0.44	0.877

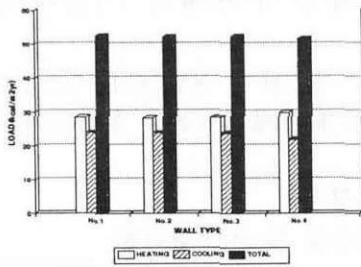
<표 4.1>에는 본 연구에서 이용된 벽체에 대한 자세한 정보가 나타나 있다.

4.3 방위별 부하해석 시뮬레이션 결과 비교분석

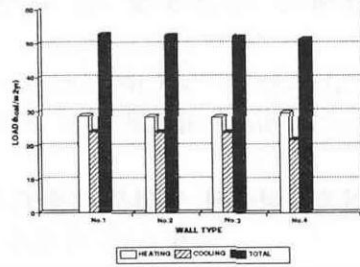
(1) 방위별 벽체변화시 부하변동 비교분석

<표 4.2> 방위별 벽체변화시 부하변동(단위 : kcal/m²년)

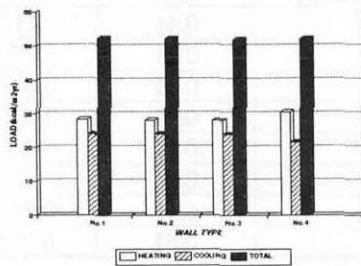
		1	2	3	4
동측벽체	난방부하	28.59	28.37	28.45	29.93
	냉방부하	23.91	23.84	23.80	21.81
	총부하	52.50	52.21	52.25	51.74
서측벽체	난방부하	28.66	28.63	28.36	29.69
	냉방부하	23.93	23.93	23.75	21.75
	총부하	52.59	52.56	52.11	51.44
남측벽체	난방부하	28.40	28.23	28.13	30.55
	냉방부하	24.03	23.95	23.83	21.56
	총부하	52.43	52.18	51.96	52.11
북측벽체	난방부하	28.81	28.72	28.62	29.19
	냉방부하	23.72	23.72	23.61	22.30
	총부하	52.53	52.44	52.53	51.49



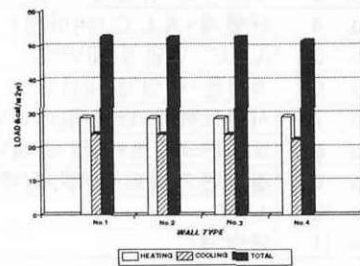
(a) 동측벽체 변화시 부하변동



(b) 서측벽체 변화시 부하변동



(c) 남측벽체 변화시 부하변동



(d) 북측벽체 변화시 부하변동

(그림 4.1) 방위별 벽체변화시 부하변동

<표 4.2>와 (그림 4.1)은 구해진 벽체의 진폭감쇠율 중 4가지 크기의 진폭감쇠율을 가지는 No.1, No.4, No.9, No.11 벽체를 대상으로 변수를 조합하여 방위별로 벽체를 변화시켰을 때의 평균치에 대하여 부하변동 및 냉·난방부하의 분포를 분석한 결과이다. 여기서, 1=No.1, 2=No.4, 3=No.9, 4=No.11 벽체를 의미한다.

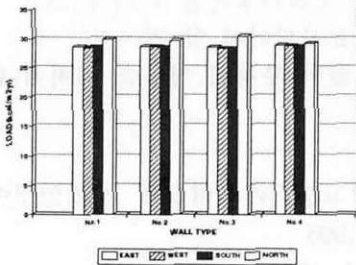
<표 4.2>와 (그림 4.1)로부터 난방부하에서는 1, 2, 3번벽체 사이에서는 그리 큰 차이를 보이지 않는 반면, 4번벽체를 적용한 경우 1, 2, 3번벽체 적용시에 비해 동측 1.56, 서측 1.33, 남측 2.42kcal/m²년의 차이로 4번벽체 적용시 가장 큰 난방부하값을 나타냄을 알 수 있다. 반면, 냉방부하에서는 4번벽체가 1, 2, 3번벽체에 비해 동측 2.10, 서측 2.18, 남측 2.47kcal/m²년의 차이로 가장 낮은 부하를 나타내고 있음을 알 수 있다. 북측벽체는 냉·난방부하 및 총부하에서 북측벽체를 통한 일사가 없으므로 인해 변화가 거의 없었다.

따라서, 난방위주의 건물에 있어서 동, 서, 남측벽체는 진폭감쇠율이 작은 중량벽체를 적용하는 것이 부하절감에 유리하며, 냉방위주의 건물에서는 동, 서, 남측벽체를 진폭감쇠율이 큰 경량벽체를 적용하는 것이 부하절감에 유리할 것이다.

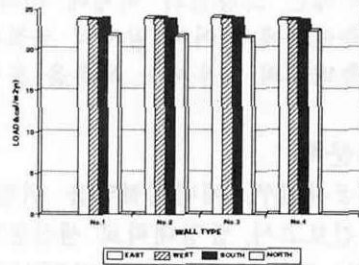
(2) 부하분포 비교분석(<표 4.3> 및 (그림 4.2)참조)

<표 4.3> 방위별 부하분포(단위 : kcal/m²년)

		1	2	3	4
난방부하	동측	28.59	28.37	28.45	29.93
	서측	28.66	28.63	28.36	29.69
	남측	28.40	28.23	28.13	30.55
	북측	28.81	28.72	28.62	29.19
냉방부하	동측	23.91	23.84	23.80	21.81
	서측	23.93	23.93	23.75	21.75
	남측	24.03	23.95	23.83	21.56
	북측	23.72	23.72	23.61	22.30



(a)방위별 난방부하분포



(b)방위별 냉방부하분포

(그림 4.2) 방위별 부하분포

<표 4.3>과 (그림 4.2)로부터 난방부하의 경우 동, 서, 남측벽체는 일사를 유입시키지 않고 차단시키는 4면벽체에서 가장 큰 값을 나타내고, 이외의 벽체에서는 모두 비슷한 값을 보임을 알 수 있다. 따라서 난방위주의 건물에서는 동, 서, 남측의 벽체로 일사를 유입할 수 있는 축열용량이 큰 벽체를 적용하는 것이 난방부하절감에 유리함을 알 수 있다. 특히 남측의 경우는 진폭감쇠율에 따라 부하변화폭이 크므로 남측벽체를 통한 적극적인 일사수열이 부하절감에 유리할 것임을 알 수 있다. 또한 냉방위주의 건물에서는 외부일사열을 최대한 차단시키는 것이 냉방부하절감에 유리하고, 그와 같은 결과를 얻기 위해서는 4면벽체와 같은 축열용량이 작은 저항형 단열설계를 해 주는 것이 유리할 것으로 보이며, 특히 남면을 통한 일사를 최대한 차단하는 것이 냉방부하절감에는 가장 중요시되어야 할 것으로 보인다. 이러한 결과는 앞의 방위별 부하변동분석결과와도 일치한다.

5. 결론

지금까지의 연구로 나타난 결론을 요약하면 다음과 같다.

1. 시뮬레이션 결과, 벽체의 축열능력이 서로 다른 경우에는 열관류율이 일정하더라도 건물의 에너지부하가 차이가 나는 것을 확인하였다.
2. 난방위주의 건물에서는 축열용량이 큰 중량벽체를 적용하여 시간대에 따른 외부일사를 적극적으로 유입하는 것이 유리하다. 즉, 동, 서, 남측벽체의 축열능력을 충분히 활용하여 용량형 단열효과를 얻을 수 있도록 진폭감쇠율이 작은 중량구조로 설계하는 것이 난방부하절감에 유리함을 알 수 있었다.
3. 냉방위주의 건물에서는 축열용량이 작은 경량벽체를 적용하여 외부로부터의 일사열을 최대한 차단시키는 것이 중요하다. 즉, 동, 서, 남측벽체를 축열능력을 고려한 축열설계보다는 외부기후에 저항할 수 있는 저항형 단열설계에 더욱 중점을 두어 진폭감쇠율이 큰 경량벽체로 설계함으로써 부하를 절감시킬 수 있음을 알 수 있었다.
4. 방위별 벽체변화시 부하변동 및 방위별 부하분포 비교분석 결과, 남측벽체의 경우에는 타방위의 벽체에 비하여 커다란 부하변동폭을 나타내었다. 따라서 남측벽체에 있어서 일사의 조절은 더욱 중요시되어야 할 것이다.
5. 북측벽체의 경우에는 북측을 통한 일사가 없어 부하에 영향을 미치지 않았다.

참고문헌

1. 상공자원부, 에너지절약을 위한 단열경량고강도콘크리트의 개발연구에 관한 중간보고서, 중앙대학교 생산공학연구소, 1995
2. LBL, DOE-2 USER'S GUIDE Version 2.1, 1980
3. B. Givony, Man, Climate & Architecture, Van Nostrand Reinhold Co., 1976
4. Fuller Moore, Environmental Control System, McGraw-Hill, Inc., 1993