

외벽구성이 공간의 열성능에 미치는 영향에 관한 연구
- A Study on the Influence of Envelope Composition on the Thermal Performance of a Space -

연영철* 이연구**
Ewon, Young Chul Rhee, Bon Ku

ABSTRACT

This study aims to present a methodology for identifying proper wall compositions in energy conscious building design. A computer simulation using TTC Method, a simple unsteady state heat transfer analysis program, was used to quantify thermal performance of an apartment building for a case study. The result suggests including a dynamic heat-transfer index such as TTC in evaluating the thermal performance of a wall in addition to U-value.

I. 서론

1-1. 연구의 목적

에너지 절약과 관련하여 고려해야 할 사항은 여러가지가 있으나 본연구에서는 건물의 열성능은 주로 건물외피에서의 일사수열량과 열손실량 및 축열성능에 크게 좌우된다는 점을 감안하여 에너지 절약적인 외벽 선정방법을 고찰하였다. 지금까지 이루어진 건물 외벽면의 열성능에 관한 연구들은 주로 단열을 통한 열손실 방지 방법에 관한 것으로 재료의 축열능력에 따라 달라지는 타임랙과 진폭감쇄율 등에 대한 고려가 미흡한 실정이다. 또한 현행 건축법규에서도 지역별, 부위별 K값만을 규정함으로써 재료의 열용량은 전혀 고려하지 않고 있다.

따라서 본 연구는 외벽의 구성이 공간의 에너지 부하에 미치는 영향을 효율적이고도 간편하게 산정할 수 있는 방법론을 근거로 개발된 간단한 동적 열부하 계산 컴퓨터 프로그램을 이용하여 외벽의 열성능 시뮬레이션을 실시함으로써, 설계 초기 단계에서 외벽 선택의 기준으로 삼을 수 있는 정량적 근거를 제시하고 에너지 절약을 위한 기초 설계자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1-2. 연구의 범위 및 방법

본 연구는 아파트 기준 세대의 열성능을 일사를 받는 남면벽체를 변수로하여 컴퓨터 시뮬레이션을 실시한 것으로 범위와 방법을 요약하면 다음과 같다.

- 1) 건물 유형 : 전형적인 아파트형 공동주택
- 2) 건물 부위 : 남면 주침실 외벽
- 3) 이용한 열류 해석방법 : 열시간상수(TTC)법
- 4) 벽체 조합 : 국내에서 주로 사용되고 있거나 생산가능한 외벽 재료로 구성된 벽체
- 5) 재료 물성치 : 학술진흥재단, "건축물에 있어서 자연형 태양열 시스템의 열성능 향상을 위한 실험적 기초 연구", (1989.6., 중앙대학교)에 수록된 '건축 재료들의 물리적 성질 DATA BASE' 이용

II. 열시간상수(TTC)프로그램을 이용한 벽체의 열성능 시뮬레이션

2-1. 열시간 상수법(The Thermal Time Constant Method)의 개요

열시간 상수란 벽체 내부의 온도가 외부온도에 비해 1°C 상승함에 따라 단위면적당 축열되는 열량을 일관류를 값으로 나눈 값이다. Bruckmayer 에 의해 제안된 TTC의 개념은 Raychoudbury 등에 의해 건물전체의 열용량을 나타내는 총 열시간 상수의 개념으로 발전되었다. 이러한 벽체의 열시간 상수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$TTC_{wall} = \frac{Q}{U} \text{wall} = \sum_{j=1}^i \frac{Q_j}{U_j}$$

- Q : 외기온보다 실내온도가 1°C상승하는 동안 벽체에 축열된 열량 (kcal/m²°C)
- U : 열관류율 (kcal/m²h°C)
- i : 다층벽체의 층수

Q/U의 물리적인 의미는 벽체의 열손실율과 벽체내부의 온도변화가 일정하다고 가정했을 경우 벽체에 축열되었던 열량이 벽체를 통해 흘러 나가는 데 걸리는 시간인 것이다.

이러한 총 열시간 상수는 구조체(enclosure)의 열 흡수능력을 말한다. 열시간 상수가 작으면, 온도의 단위 변화를 유발하는데 필요한 열 유동은 작아지고, 커지면 온도의 단위 변화를 유발하는데 필요한 열 유동은 커진다.

이와같은 열류의 흐름이 내부 공간의 mass에 까지 전달된다고 생각할때 내부 mass까지의 열전달 정도에 대한 총열시간 상수(TTTC)는 다음과 같다.

$$TTTC = TTC_{wall} + Q_{mass} \frac{R_{wall} + R_{si} + \frac{1}{2}R_{imass}}{Q_{imass}}$$

$Q_{imass} = \frac{1}{2}(\text{단위의표면적당 내부mass의 총량}) \cdot \text{비열}$
 R_{wall} : 외기로부터 내표면까지의 벽체의 열저항
 R_{si} : 내부표면의 열저항
 R_{imass} : 내부 mass의 열저항

모든 외부 입력자료가 동일하다고 가정하면, 구조체의 총열시간 상수는 다음과 같다.

* 정희원, 중앙대 대학원, 工碩
** 정희원, 중앙대 부교수, 工博

$$TTTCB = \frac{\sum_k Ak(TTTCK)}{\sum_k Ak} + Q_{mass} \left(\frac{\sum_k Ak Rk}{\sum_k Ak} + R_{si} + \frac{1}{4} R_{mass} \right)$$

여기서 k : 벽체 K
 Ak : K벽체의 면적
 ΣAk: 구조체를 둘러싼 벽체의 총면적 k

그런데 환기를 고려한 총열시간상수를 Hoffman은 다음과 같이 정의 하였다.

$$TTTCV = \frac{(TTTCB) U_t}{U_t + N(\rho c)_{air} V / Ak}$$

Ut : 다른 외부 요소를 거쳐 내부에서 외기까지의 전체 벽체의 열관류율값의 평균
 N : 환기 횟수
 (ρc)air : 공기의 열용량
 V : 실의 내부용적

이와같은 방법을 적용하면 결국 실내공간의 기온을 예측할 수 있는 다음과 같은 식을 구할 수 있다.

$$tia = \frac{\sum_k Sk}{\sum_k Rk} \left(\frac{Sk}{k Rk} \right)$$

Sk : 열전달 경로 R 벽의 내부 표면의 면적
 Rk : 내부 공기층의 열저항을 포함한, 열전달 경로 R 벽의 열저항
 tik : 총 열시간 상수에 따라 계산된 시간 i에서의 내표면 온도

III. TTC 프로그램을 이용한 열성능 시뮬레이션

3-1. 컴퓨터 프로그램

본 연구에서 사용된 TTC법을 이용한 컴퓨터 프로그램은 중앙대학교 건축학과 환경연구실에서 개발되어 모델 실험을 통해 타당성이 검증된 것으로 TTC에 대한 이론적인 뒷바침은 사구 학자들에 의해 이미 30여년전에 이루어진 것이다. TTC를 이용하면 환기를 통한 열전달까지도 포함된 구조체의 열전달 미분방정식을 풀어서 실내의 온도 변화를 계산할 수 있다. 본 연구에서는 열환경에 영향을 주는 모든 변수의 값을 고려한 종합 TTC의 값을 사용하였다. 또한 일사율수율, 표면방사율, 태양의 고도, 벽체의 각도, 외기온, 일사, 수증기 분압 등의 데이터를 이용해 TTC법으로 구할 수 있는 수열면의 표면온도, 실내온도 등을 예측하였다.

3-2. 시뮬레이션 기초자료

3-2-1. 기상 DATA

기상 DATA는 외기온, 수평면 일사량, 수증기 분압을 시간단위로하여 1989년 1월 12일부터 18일

까지 1주일간의 DATA를 정리하여 기상 데이터 파일을 만들어 입력시켰다.

3-2-2. 건축재료들의 물리적 성질 DATA BASE

국내의 자료를 참고하여 컴퓨터 시뮬레이션에 필요한 건축재료의 물리적 성질을 정리하여 DATA BASE를 작성하였다.

<표3-1>은 그 중의 일부인 구조재료들의 물리적 성질을 보여주고 있다.

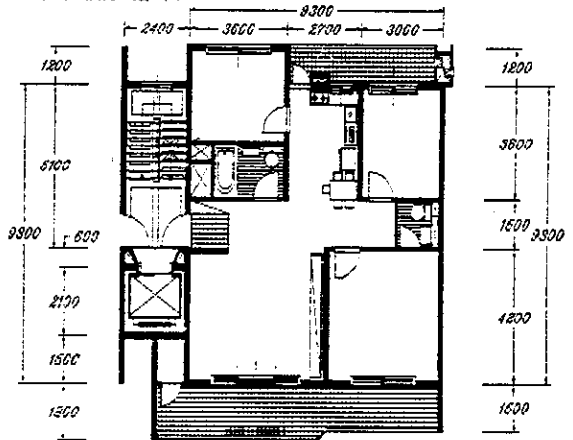
<표 3-1> 구조재(Structural Materials)의 물리적 성질

재 료	밀도 (kg/m ³)	비열 (cal/kg°C)	열전도율 (kcal/mh°C)	만용분면
목재(timber)				
참나무(oak)	577	0.57	0.17	4
노송나무(chonsa)	450	0.50	0.12	4
라 양(lauan)	470	0.54	0.15	4
소나무(pine)	480	0.50	0.15	4
상나무(cedar)	330	0.50	0.11	4
합 판(pylywood)	530	0.23	0.12	3
칩보드(chipboard)	800	0.31	0.13	3
석재(stone)				
화강암(granite)	2,600	0.22	2.15	3
석회암(limestone)	2,180	0.17	1.28	3
사암(sandstone)	2,000	0.17	1.12	3
대리석(marble)	2,500	0.19	1.72	3
벽돌(brick)				
시멘트벽돌(cement brick)	1,600	0.20	0.53	4
적벽돌(red brick)	1,660	0.20	0.67	4
내화벽돌(fire brick)	1,950	0.21	0.96	4
고양벽돌(engineering brick)	2,200	0.26	0.99	5
콘크리트(concrete)				
보통콘크리트(ordinary concrete)	2,200	0.21	1.49	5
개방콘크리트(lightweight C)	1,200	0.24	0.34	3
기포콘크리트(foam C.)	500	0.27	0.10	4
블럭(block)				
보통블럭(ordinary concrete block)		0.22	0.69	1
경량블럭(lightweight C.R.)	1,380	0.25	0.44	4
유벽(clay wall)				
	1,280	0.21	0.59	4

3-2-3. 시뮬레이션 모델의 설정

시뮬레이션 모델은 상하좌우가 인접주거에 둘러 쌓여 있는 아파트 기준체대를 선정하여 그 중에서 남면만 외기에 면하고 있는 남향의 주침실을 대상으로 하였다.

[그림 3-1]은 시뮬레이션의 모델로 사용된 주침실을 포함한 30평 규모의 아파트 단위 평면을 나타내고 있다.



[그림 3-1] 시뮬레이션에 사용된 아파트 단위 평면

3-3. 재료와 단열 위치에 따른 벽체의 분류

시뮬레이션에 사용된 벽체들은 크게 벽돌벽, 콘크리트벽, 판넬벽으로 나누고, 단열 위치와 재료들의 구성에 따라 18가지로 분류하였다. 다음은 벽돌벽의 벽체구성을 보여주고 있다.

<표 3-10> PATTERN B1, 벽돌, 단열재 없음

구 조	재 료	단 열 두 개		열전도율		전도저항
		kg/㎡	■	kw/mh°C	cm/kg°C	
	벽돌	1,660	0.19	0.67	0.20	0.28
	모르타르	1,865	0.01	0.62	0.20	0.02
	벽지	600	0.0005	0.10	0.48	0.005

<표 3-11> PATTERN B2, 적벽돌+스티로폼, 내단열

구 조	재 료	단 열 두 개		열전도율		전도저항
		kg/㎡	■	kw/mh°C	cm/kg°C	
	벽돌	1,660	0.19	0.67	0.20	0.28
	스티로폼	25	0.05	0.029	0.29	1.72
	모르타르	1,865	0.01	0.62	0.20	0.02
벽지	600	0.0005	0.10	0.48	0.005	

<표 3-12> PATTERN B3, 적벽돌+스티로폼+시멘트벽돌, 중단열

구 조	재 료	단 열 두 개		열전도율		전도저항
		kg/㎡	■	kw/mh°C	cm/kg°C	
	벽돌	1,660	0.09	0.67	0.20	0.13
	스티로폼	25	0.05	0.029	0.29	1.72
	시멘트벽돌	1,900	0.09	0.53	0.20	0.17
	모르타르	1,865	0.01	0.62	0.20	0.02
벽지	600	0.0005	0.10	0.48	0.005	

3-4. 대표적인 벽체들에 대한 열성능 시뮬레이션

3-4-1. 주요 재료에 따른 시뮬레이션 결과

각재료별 열성능을 알아보기 위해 각 벽체들의 열관류율값과 TTCwall값, 내부 구조체의 열용량값과 관련한 TTTCB값, 환기까지 고려한 종합TTC값인 TTTCV값을 구하고, 이에 따른 실내 온도 변화를 최고(Tmax), 최저(Tmin), 평균((Tmax + Tmin)/2)으로 나누어 표로 나타내었다.

주요 재료에 따른 시뮬레이션 결과는 <표3-2>, <표3-3>, <표3-4>와 같다.

<표3-2> 벽돌벽의 열성능 시뮬레이션

벽체의 구성 (외부로부터)	PATTERN B1	PATTERN B2	PATTERN B3	PATTERN B4	PATTERN B5	PATTERN B6	
	적벽돌19cm 몰탈 1cm (시멘트)	적벽돌19cm 단열재 5cm (스티로폼) 몰탈 1cm	적벽돌 9cm 벽돌 9cm 몰탈 1cm	몰탈 1cm 단열재 5cm 벽돌 19cm 몰탈 1cm	적벽돌 9cm 단열재 5cm 벽돌 9cm 최고단 1cm	적벽돌 9cm 단열재 5cm 벽돌 19cm 몰탈 2cm 석고단 1cm	
열관류율(K값)	1.94	0.45	0.44	0.43	0.43	0.40	
TTCwall(h)	12.70	19.57	68.44	127.66	64.63	151.42	
TTTCR (h)	21.25	51.07	100.19	160.34	97.30	186.69	
TTTCV (h)	3.69	18.30	35.90	57.45	34.86	66.89	
실내 온도	최저 (시간)	3.92°C (9시)	8.09°C (9시)	8.04°C (9시)	7.39°C (9시)	8.10°C (9시)	7.14°C (9시)
	최고 (시간)	11.16°C (17시)	14.24°C (18시)	11.48°C (18시)	9.75°C (18시)	11.64°C (18시)	9.19°C (18시)
	평균	7.54°C	11.17°C	9.76°C	8.57°C	9.87°C	8.17°C

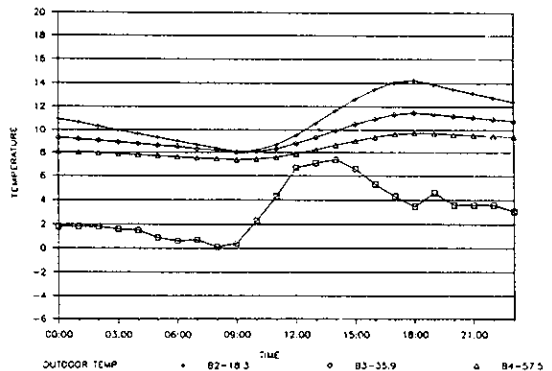
<표3-3> 콘크리트벽의 열성능 시뮬레이션

벽체의 구성 (외부로부터)	PATTERN C1	PATTERN C2	PATTERN C3	PATTERN C4	PATTERN C5	PATTERN C6	
	콘크리트 30cm	몰탈 1cm 콘크리트 12cm 단열재 5cm 몰탈 1cm	몰탈 2cm 콘크리트 10cm 벽돌 9cm 몰탈 2cm	몰탈 1cm 콘크리트 5cm 몰탈 1cm	콘크리트 20cm 단열재 5cm 석고단 1cm	몰탈 2cm 콘크리트 10cm 단열재 5cm 몰탈 0.5cm	
열관류율(K값)	3.82	0.48	0.45	0.48	0.47	0.48	
TTCwall(h)	10.30	13.02	77.51	108.58	14.44	7.21	
TTTCR (h)	20.03	42.76	109.58	139.97	45.24	37.23	
TTTCV (h)	7.18	15.32	39.26	50.15	16.21	13.34	
실내 온도	최저 (시간)	3.45°C (9시)	7.75°C (9시)	7.96°C (9시)	7.47°C (9시)	7.90°C (9시)	7.53°C (9시)
	최고 (시간)	12.04°C (17시)	14.89°C (18시)	11.20°C (18시)	10.02°C (18시)	14.70°C (18시)	15.55°C (18시)
	평균	7.75°C	11.32°C	9.58°C	8.75°C	11.30°C	11.54°C

<표3-4> 판넬벽의 열성능 시뮬레이션

벽체의 구성 (외부로부터)	PATTERN P1	PATTERN P2	PATTERN P3	PATTERN P4	PATTERN P5	PATTERN P6	
	PC판넬14cm 단열재 5cm 몰탈 2cm	PC판넬12cm 단열재 5cm 석고단 1cm	PC판넬14cm 단열재 5cm 벽돌 9cm 몰탈 2cm	몰탈 2cm 단열재 5cm PC판넬14cm	몰탈 0.2cm 단열재 3cm 석고단 1cm	몰탈 1cm 단열재 11cm 몰탈 1cm	
열관류율(K값)	0.18	0.48	0.45	0.48	0.76	0.25	
TTCwall(h)	20.28	8.55	77.71	118.63	2.47	7.21	
TTTCR (h)	50.19	38.34	109.61	148.20	23.39	37.23	
TTTCV (h)	17.98	13.74	39.27	53.10	8.38	13.34	
실내 온도	최저 (시간)	7.98°C (9시)	7.59°C (9시)	7.93°C (9시)	7.36°C (9시)	5.66°C (9시)	7.53°C (9시)
	최고 (시간)	14.15°C (18시)	15.41°C (18시)	11.11°C (18시)	9.79°C (18시)	16.71°C (18시)	15.55°C (18시)
	평균	11.07°C	11.50°C	9.52°C	8.58°C	11.19°C	11.54°C

[그림 3-2]는 벽돌벽의 단열 위치에 따른 실내 온도 변화를 나타내고 있다.



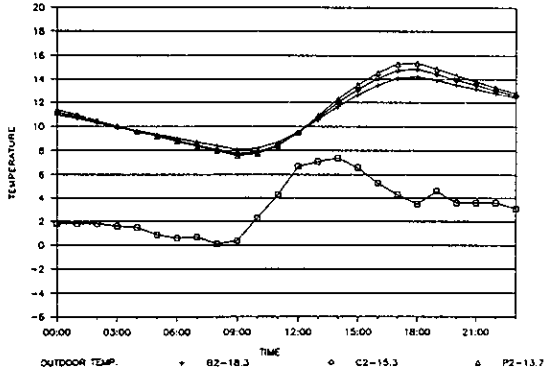
B2-18.3에서 18.3은 PATTERN B2의 종합 TTC값임 [그림3-2] 벽돌벽의 단열위치에 따른 실내온도변화

<표3-2>와 [그림3-3]에서 알수 있듯이 내단열, 중단열, 외단열한 벽돌벽의 경우 실내 온도 변화 폭은 각각 8.09-14.24°C(6.15°C), 8.04-11.48°C(3.44°C), 7.39-9.75°C(2.36°C)로, 실내 평균 온도는 11.17°C, 9.76°C, 8.57°C로 나타났다.

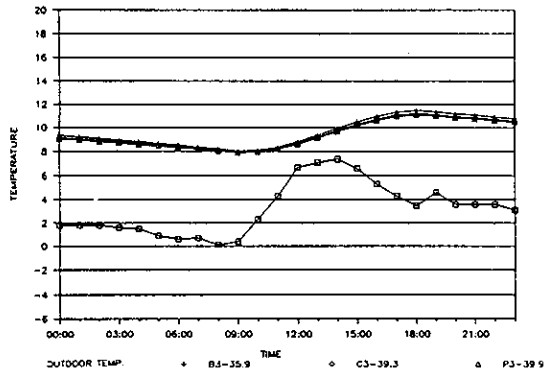
3-4-2. 단열재 위치에 따른 벽체의 열성능의 비교

벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽의 경우 단열재의 위치가 온도 변화에 큰 영향을 미치는 요소임을 알 수 있었다.

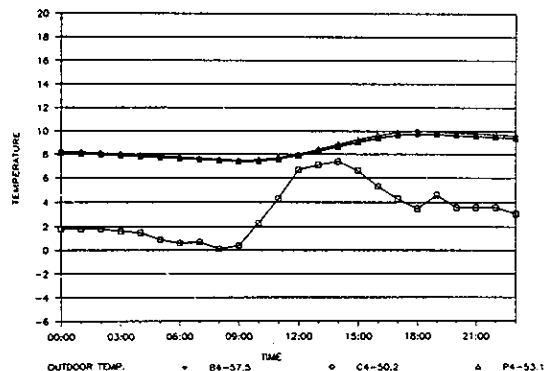
각 재료별 단열위치에 따른 실내온도 변화는 [그림3-4], [그림3-5], [그림3-6]에 나타나 있다.



[그림3-4] 내단열한 각 벽체에 따른 실내온도변화



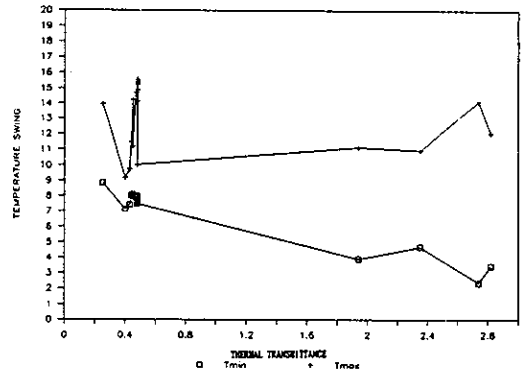
[그림3-5] 중단열한 각 벽체에 따른 실내온도변화



[그림3-6] 외단열한 각 벽체에 따른 실내온도변화

3-4-3. 벽체의 열관류율과 실내온도변화폭의 관계

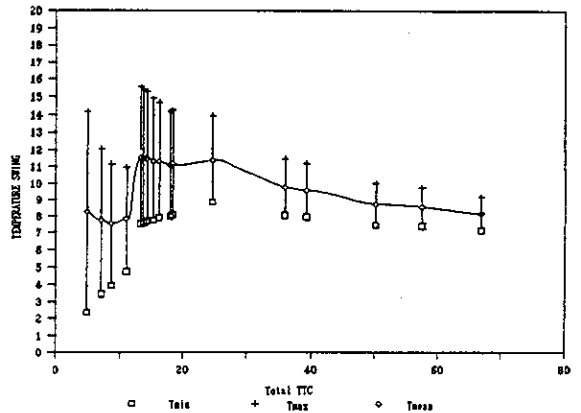
벽체의 열관류율값에 따른 실내온도변화는 일정한 규칙성을 갖고 있다고는 볼 수 없으며, 동일한 열관류율값을 갖는 벽체라 하더라도 재료의 구성 방법에 따라 열성능은 크게 차이가 나는 것을 알 수 있다.



[그림3-7] 벽체의 열관류율값과 실내온도 변화폭

위의 [그림3-7]에서 0.45전후의 열관류율값을 갖는 여러 벽체에 대한 실내온도 변화를 살펴보면 그 값이 거의 같음에도 불구하고 매우 큰 진폭을 나타내고 있음을 알 수 있다.

3-4-4. 종합 TTC값에 따른 실내온도 변화

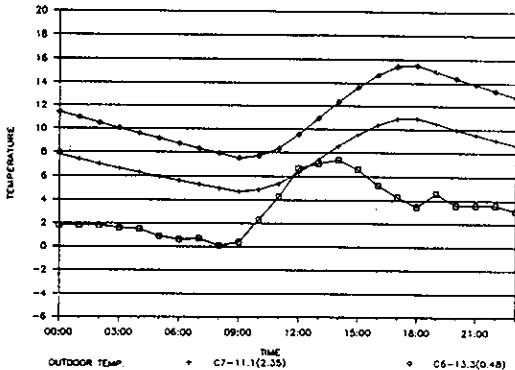


[그림3-8] 종합 TTC값에 따른 실내온도 변화

[그림3-8]에서 알 수 있듯이 종합 TTC값이 클수록 온도 변화폭은 줄어들지만 평균온도가 너무 낮아지는 경향이 있다.

또한 종합 TTC값이 11이하일 경우는 최저온도가 급격히 떨어짐과 동시에 실내온도 변화폭이 너무 커져 에너지 절약적인 측면에서는 물론 쾌적 온열 환경의 측면에서도 바람직한 벽체라 할 수 없다. 따라서 종합 TTC값의 범위가 13-25정도되는 벽체들이 보다 이상적이라 할 수 있다.

3-4-5. 일관류를값과 TTC값을 동시에 고려한 실내온도 변화



()안의 값은 일관류를
[그림3-9] TTC값은 비슷하나 일관류를값이 크게
차이 나는 벽체의 열성능

[그림3-9]은 TTC값은 비슷하지만 일관류를값이 크게 차이 나는 벽체들에 따른 실내온도 변화를 보여주고 있다. TTC값이 비슷한 벽체라 하더라도 일관류를값의 차이가 큰 경우에는 일관류를 값이 낮은 쪽이 열성능이 우수하게 나타났다. 관류를 값이 2.34인 벽체(콘크리트30cm)보다 0.48인 벽체(콘크리트12cm+스티로폼5cm, 내단열)가 대개 4-6°C 높은 온도 변화를 나타내고 있다.

3-5. 열성능 시뮬레이션 결과 종합

제3장의 시뮬레이션 결과를 종합정리해보면 다음과 같다.

- 첫째, 일관류를 값이 동일한 벽체라 하더라도 재료의 구성 방법에 따라 벽체의 열성능은 큰 차이가 남을 알 수 있었다.
- 둘째, 겨울철 태양의 일사가 미치는 남면의 벽체만 외부에 노출된 공간에서 자연실온만을 고려할 경우 내단열이 외단열 보다 열성능이 우수한 것으로 나타났다.
- 셋째, 벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽의 열성능은 단열재의 위치에 좌우되며 벽체의 주요재료와는 큰 관계가 없는 것으로 나타났다.
- 넷째, 벽체들의 열전달지연효과(Time-Lag)는 일관류를 값이 1.5이상인 무단열 벽체는 4시간 그외에 일관류를 값이 0.45 전후인 대부분의 벽체는 5시간으로 벽체의 구성 방법에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다.
- 다섯째, 남면 벽체를 통한 일사의 영향을 고려한 자연실온의 경우 오전 9시에 최저, 오후 6시에 최고로 나타났다.
- 여섯째, 일관류를 값과 TTC값사이에는 단일 벽체에서는 반비례의 관계가 있으나, 여러가지 재료들로 이루어진 복합 벽체일 경우에는 거의 상관관계가 없으며, 단지 TTC값이 동일한 경우에는 일관류를 값이 낮은 쪽이 열성능이 우수하게 나타났다.
- 일곱째, TTC값에 따른 실내온도 변화폭은 TTC값이 클수록 작아졌으나 실내 평균온도가 너무

낮아져, 전체적인 온도 분포를 고려하면 TTC값이 13-25정도가 이상적이라 할 수 있다.

IV. 결론

본 연구에서는 설계초기 단계에 에너지절약적인 외벽을 선정하는 방법을 알아보고 그에 따른 이상적인 외벽을 제시하기 위해 동적 열류해석방법의 일종인 열시간상수법을 이용해 아파트 주침실의 남면 외벽을 여러가지 벽체로 바꾸어 가며 각각에 대한 열성능을 시뮬레이션을 실시하였으며 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

- 첫째, 벽체의 열성능을 보다 정확히 판단하기 위해서는 일관류를 값과 함께 동적 열류 해석에 의한 또다른 지표가 요구된다.
- 둘째, 자연 실온을 시뮬레이션한 결과 남면 벽체의 경우에는 내단열이 외단열보다 열성능이 우수한 것으로 나타났다.
- 셋째, 에너지 절약 측면에서 열 물리적 특성인 일관류를 값과 TTC값을 제한하면 남면 벽체의 경우에 일관류를 값이 0.43-0.48일 때 TTC값은 13-25가 이상적이다.

본 연구에서는 단지 에너지절약설계서 외벽선정을 위한 새로운 방법론을 제시하기 위한 목적으로 연구의 범위를 특정 조건으로 축소·제한하였다. 본 연구의 결과는 설정된 특정 조건에서만 성립되는 것이며 이를 일반화하기 위해서는 내부구조체의 열용량과 난방설비 등에 의한 내부열 발생을 고려한 열성능 분석, 남측 이외의 각 방위별 에너지 절약적인 벽체에 관한 연구, 두 면 이상이 외기에 면한 공간의 열성능 분석 등과 같은 연구가 보완되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. 이명호 외, "자연형 태양열 시스템을 이용한 건물 에너지 절약 기술에 관한 기초 연구", 한국과학기술단, 1988.
2. 이명호 외, "건축물에 있어서 자연형 태양열 시스템의 열성능 향상을 위한 실험적 기초 연구", 학술진흥재단, 1989.
3. 이연구 ● 김광우역, "건축 환경 과학", 태림문화사, 1987.
4. 이관호, "자연형 태양열 시스템의 열성능 분석을 위한 열류해석 방법에 관한 고찰" 중앙대학교 대학원 석사논문, 1988.
5. 강대호, "주거용건물 남면불투명벽면의 열성능에 관한 연구", 연세대학교 대학원 박사논문, 1988.
6. 김문한 외, "건물에너지 해석 전산화에 관한 연구", 한국전력공사 기술연구소 ● 서울대학교생산기술연구소, 1989.
7. 이경희 외, "주택정책방안에 관한 연구(7) -에너지 절약형 주택의 설계및 시공" 건설부, 1985.
8. B. GIVONI, "Man, Climate & Architecture", VAN NOSTRAND RBINHOLD COMPANY, 1981.
9. ASHRAE, "ASHRAE HANDBOOK, 1985 FUNDAMENTALS" 1985.
10. EC 태양에너지 위원회, "EUROPEAN PASSIVE SOLAR HANDBOOK", 1986.