

第 72 回 碩士學位論文
指導教授 李 彦 求

88-414811

에너지 절약설계시 외벽선정방법에
관한 연구

A Study on the Selecting Method of Exterior Wall in
Energy - Conscious Building Design

55608

中央大學校 大學院
建築工學科 建築學 專攻
權 寧 喆

1989. 12.

T
697

권영식/제1



에너지 절약설계시 외벽선정방법에 관한 연구

A Study on the Selecting Method of Exterior Wall in
Energy - Conscious Building Design

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

1989年 12月 日

中央大學校 大學院
建築工學科 建築學 專攻
權 寧 茜

權寧喆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 建築學 專攻

權寧喆

1989. 12.

감사의 글

인생과 학문의 기나긴 여정의 중간에서 대학원 생활을 마치며 잠시 뒤를 돌아보며 그동안 많은 도움을 주신 모든 분들께 깊은 감사를 드립니다.

특히 학문과 인격배양에 있어서 자상한 가르침을 아끼지 않으셨으며, 논문의 주제 선정에서부터 완성에 이르기까지 세심한 지도를 해주신 이 연구 교수님께 무한한 감사를 드립니다.

학부 때부터 지금까지 학문의 영역을 넓혀주셨고 개인적으로도 많은 도움을 주신 이 명호 대학원 원장님, 건축은 물론 인간적인 면에서도 많은 가르침을 주신 이현호 교수님, 서양의 현대건축에 대해 눈을 뜨도록 도움을 주셨던 손 세관 교수님, 항상 인자하신 신 현식 교수님, 늘 사랑으로 지켜보아 주신 김덕재 교수님, 수수함과 너그러움을 가르쳐주신 정 헌수 교수님께도 깊은 감사를 드립니다.

논문을 준비하는 과정에서 있지도 못할 도움을 준 이 관호 선배에게 깊이 감사드리며, 아낌없는 조언과 격려를 해주신 박사과정의 장 순익 선배님, 전 봉구 선배님, 송 국섭 선배님, 황 정하 선배님께도 깊이 감사드립니다. 또한 건축 환경연구실에서 기쁨과 어려움을 함께했던 박 진철형, 윤 덕규형, 강 일경, 그리고 함께 수업을 들으며 배움을 나누었던 천 재홍형, 김 영환형, 김 기홍형, 한 철수형, 김 인구형, 김 원우형, 김 회범형, 송 진언형, 손 지수, 이 주영학형에게도 감사의 뜻을 전하며, 지금껏 가졌던 마음이 계속되기를 바랍니다.

지극하신 사랑과 헌신으로 풍족한 환경을 만들어 주신 부모님과 부모님 못지않는 사랑과 관심으로 보살펴주신 숙부·숙모님, 장인·장모님께 진심으로 감사드리며, 못 다 갚을 은혜의 작은 보답으로 이 작은 결실을 바칩니다.

그동안 물심양면으로 많은 도움을 주신 고모, 이모, 외숙부님등 친지 여러분들께도 깊이 감사드리며, 항상 관심을 갖고 지켜봐준 친구들에게도 감사의 뜻을 전하고 싶습니다.

지금껏 끝없는 사랑으로 손주의 성장을 돌보아주시고 염려해주시는 할머님과 사랑하는 동생 영선, 영주, 영호와 사랑하는 아내 혜정, 그리고 갓 태어난 아기와 이 가쁨을 함께 나누고 싶습니다.

끝으로 Laser Printer로 논문을 인쇄하는 데 있어 많은 도움을 주신 삼보컴퓨터의 정 은미씨께 진심으로 감사드립니다.

1989.12.

권영철

목 차

국 문 요 약

제 1 장 서 론

1-1. 연구의 목적	1
1-2. 연구의 방법	2
1-3. 연구의 범위	5

제 2 장 동적 열류해석방법

2-1. 동적 열류해석방법에 관한 이론적 고찰	6
2-1-1. 타임-랙 방법	6
2-1-2. 응답계수법	8
2-1-3. 유한요소법	9
2-1-4. 유한차분법	12
2-1-5. 가중계수법	15
2-1-6. 행 열 법	16
2-1-7. 열시간상수법	18
2-2. 열시간상수법의 세부 알고리즘 검토	20
2-2-1. 총 열시간상수	20
2-2-2. 열용량, 태양복사 흡수율 그리고 장파복사 교환을 고려한 벽의 외부 표면온도 계산	23
2-2-3. 총 열시간 상수를 이용한 건물의 내부온도 계산	26

제 3 장 TTC 프로그램을 이용한 벽체의 열성능 씨뮬레이션	
3-1. 컴퓨터 프로그램	28
3-2. 씨뮬레이션 기초자료	30
3-2-1. 가상 DATA	30
3-2-2. 건축 재료들의 물리적 성질 DATA BASE	32
3-2-3. 씨뮬레이션 모델의 설정	39
3-3. 재료와 단열위치에 따른 벽체의 분류	40
3-4. 대표적인 벽체들에 대한 열성능 씨뮬레이션	47
3-4-1. 벽돌벽	48
3-4-2. 콘크리트벽	51
3-4-3. 판넬벽	54
3-4-4. 단열위치와 재료에 따른 벽체의 열성능의 비교	57
3-4-5. 벽체의 열관률값과 실내온도 변화폭의 관계	61
3-4-6. 종합TTC값에 따른 실내온도 변화	62
3-4-7. 열관률값과 TTC값을 동시에 고려한 실내온도 변화	64
3-5. 열성능 씨뮬레이션 결과 종합	65
제 4 장 결 론	66
■ 부 록	67
■ 참고 문헌	77
ABSTRACT	79

표 목 차

〈표 2-1〉 여러 벽에 대해 계산된 열시간 상수	21
〈표 3-1〉 씨뮬레이션에 사용된 기상데이터(온도, °C)	30
〈표 3-2〉 씨뮬레이션에 사용된 기상데이터(일사량, $\text{kcal}/\text{m}^2\text{h}$)	31
〈표 3-3〉 씨뮬레이션에 사용된 기상데이터(수증기 분압, mmHg)	31
〈표 3-4〉 구조재의 물리적 성질	33
〈표 3-5〉 외장-접합재의 물리적 성질	34
〈표 3-6〉 마감재의 물리적 성질	35
〈표 3-7〉 단열재의 물리적 성질	36
〈표 3-8〉 건물 내표면 공기층 저항	38
〈표 3-9〉 건물 외표면 공기층 저항	38
〈표 3-10〉 PATTERN B1, 적벽돌, 단열재 없음	41
〈표 3-11〉 PATTERN B2, 적벽돌+스치로풀, 내단열	41
〈표 3-12〉 PATTERN B3, 적벽돌+스치로풀+시멘트벽돌, 중단열	41
〈표 3-13〉 PATTERN B4, 스치로풀+시멘트벽돌, 외단열	42
〈표 3-14〉 PATTERN B5, 적벽돌+스치로풀+시멘트벽돌+석고보드	42
〈표 3-15〉 PATTERN B6, 적벽돌+스치로풀+시멘트벽돌+모르타르+석고보드	42
〈표 3-16〉 PATTERN C1, 콘크리트, 단열재 없음	43
〈표 3-17〉 PATTERN C2, 콘크리트+스치로풀, 내단열	43
〈표 3-18〉 PATTERN C3, 콘크리트+스치로풀+시멘트벽돌, 중단열	43
〈표 3-19〉 PATTERN C4, 스치로풀+콘크리트, 외단열	44
〈표 3-20〉 PATTERN C5, 콘크리트+스치로풀+석고보드	44

〈표 3-21〉 PATTERN C6, 콘크리트+스치로풀+합판	44
〈표 3-22〉 PATTERN P1, P.C. 판넬+스치로풀+모르타르, 내단열	45
〈표 3-23〉 PATTERN P2, P.C. 판넬+스치로풀+석고보드, 내단열	45
〈표 3-24〉 PATTERN P3, P.C. 판넬+스치로풀+시멘트벽돌, 중단열	45
〈표 3-25〉 PATTERN P4, 스치로풀+P.C. 판넬, 외단열	46
〈표 3-26〉 PATTERN P5, 스치로풀+석고보드, 단열재만으로 구성	46
〈표 3-27〉 PATTERN P6, 모르타르+스치로풀+모르타르, 거의 단열재만으로 구성	46
〈표 3-28〉 벽돌벽의 열성능 씨뮬레이션	48
〈표 3-29〉 콘크리트벽의 열성능 씨뮬레이션	51
〈표 3-30〉 판넬벽의 열성능 씨뮬레이션	54
〈표 3-31〉 종합TTC값에 따른 실내온도변화	62

그 림 목 차

[그림 1-1] 연구의 흐름도	4
[그림 2-1] 응답 계수	8
[그림 2-2] 단위요소의 에너지 거동	10
[그림 2-3] 표면각의 정의	25
[그림 3-1] 컴퓨터 프로그램의 흐름도	29
[그림 3-2] 씨뮬레이션에 사용된 아파트 단위 평면	39
[그림 3-3] 벽돌벽의 단열 위치에 따른 실내온도 변화	50
[그림 3-4] 콘크리트벽의 단열 위치에 따른 실내온도 변화	53
[그림 3-5] PC판넬벽의 단열 위치에 따른 실내온도 변화	56
[그림 3-6] 내단열한 벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽에 따른 실내온도 변화	57
[그림 3-7] 중단열한 벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽에 따른 실내온도 변화	58
[그림 3-8] 외단열한 벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽에 따른 실내온도 변화	59
[그림 3-9] 벽체의 열관류율값과 실내온도 변화폭	61
[그림 3-10] 종합 TTC값에 따른 실내온도 변화	63
[그림 3-11] 유사한 TTC값과 상이한 열관류율을 갖는 벽체의 열성능	64

국문요약

에너지 절약설계시 외벽 선정 방법에 관한 연구

중앙대학교 대학원
건축공학과
권영철

에너지 절약과 관련하여 고려해야 할 사항은 여러가지가 있으나 본연구에서는 건물의 열성능은 주로 건물외피에서의 일사수열량과 열손실량 및 측열성능에 크게 좌우된다는 점을 감안하여 에너지 절약적인 외벽 선정방법에 대해 알아보았다.

지금까지 이루어진 건물 외벽면의 열성능에 관한 연구들은 주로 단열을 통한 열손실 방지 방법에 관한 것으로 재료의 측열능력에 따라 달라지는 타임랙과 진폭감쇄율등을 무시하여 왔다. 또한 현행 건축법규에서도 지역별, 부위별 K값만을 규정함으로써 재료들의 열용량은 고려되어 있지 않다. 따라서 건축재료들의 열용량을 고려한 동적 열류해석에 의한 외벽 선정방법이 요구되고 있는 실정이다.

본 연구에서는 설계초기 단계에 에너지 절약적인 외벽을 선정하는 방법을 알아보고 그에따른 이상적인 외벽을 제시하기 위해 동적 열류해석방법의 일종인 열시간상수법을 이용해 아파트 주침실의 남면 외벽을 여러가지 벽체로 바꾸어 가며 각각에

대한 열성능 씨뮬레이션을 실시하였으며 그 결과를 종합정리해보면 다음과 같다.

첫째, 열관류율 값이 동일한 벽체라 하더라도 재료의 구성 방법에 따라 벽체의 열성능은 큰 차이가 남을 수 있었다.

둘째, 겨울철 태양의 일사가 미치는 남면의 벽체만 외부에 노출된 공간에서 자연실온 만을 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 열관류율 값이 1.5이상인 무단열 벽체는 4시간, 그외에 열관류율 값이 0.45 전후인 대부분의 벽체는 5시간으로 벽체의 구성방법에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다.

다섯째, 남면 벽체를 통한 일사의 영향을 고려한 자연실온의 경우 오전 9시에 최저, 오후 6시에 최고로 나타났다.

여섯째, 열관류율 값과 TTC값사이에는 단일 벽체에서는 반비례의 관계가 있으나, 여러가지 재료들로 이루어진 복합 벽체일 경우에는 거의 상관관계가 없었으며, 단지 TTC값이 동일한 경우에는 열관류율 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.

이상의 씨뮬레이션 결과를 토대로 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

첫째, 벽체의 열성능을 보다 정확히 판단하기 위해서는 열관류율값과 함께 동적 열류 해석에 의한 또다른 지표가 요구된다.

둘째, 자연 실온을 씨뮬레이션한 결과 남면 벽체의 경우에는 내단열이 외단열보다 열성능이 우수한 것으로 나타났다.

셋째, 에너지 절약 측면에서 열 물리적 특성인 열 관류율값과 TTC값을 제안하면 남면 벽체의 경우에 열관류율 값이 0.43-0.48일때 TTC값은 13-25가 이상적이다.

본 연구에서는 단지 에너지절약설계시 외벽선정을 위한 새로운 방법론을 제시하기 위한 목적으로 연구의 범위를 특정 조건으로 축소・제한하였다.

따라서 본 연구의 결과는 설정된 특정 조건에서만 성립되는 것이며 이를 일반화하기 위해서는 내부구조체의 열용량과 난방설비등에 의한 내부열발생을 고려한 열성능 분석, 남측 이외의 각 방위별 에너지 절약적인 벽체에 관한 연구, 두면 이상이 외기에 면한 공간의 열성능 분석등에 관한 연구가 보완되어야 할 것이다.

제 1 장 서 론

1-1. 연구의 목적

에너지 절약을 위한 환경설계란 건축의 기능적 요소, 구조적 요소 및 심미적 요소 등 기본적인 디자인 요소들을 만족하면서 동시에 에너지 절약을 이룩할 수 있는 새로운 디자인 방법론을 추가하는 것이다.

에너지 절약과 관련하여 고려해야 할 사항은 여러가지가 있으나 본연구에서는 건물의 열성능은 주로 건물외피에서의 일사수열량과 열손실량 및 측열성능에 크게 좌우된다는 점을 감안하여 에너지 절약적인 외벽 선정방법에 대해 알아보고자 한다.

모든 건축재료는 열전달을 억제하는 성질과 열전달을 자연시키는 성질을 동시에 가지고 있다. 지금까지 이루어진 건물 외벽면의 열성능에 관한 연구들은 주로 단열을 통한 열손실 방지 방법에 관한 것으로 재료의 측열능력에 따라 달라지는 타임랙과 진폭감쇄율등을 무시하여 왔다. 또한 현행 건축법규에서도 지역별, 부위별 K값만을 규정함으로써 재료들의 열용량은 고려되어 있지 않다. 따라서 건축재료들의 열용량을 고려한 동적 열류해석에 의한 외벽 선정방법이 요구되고 있는 실정이다.

동적 열류해석방법에 의한 건물의 열성능 평가 프로그램에는 응답계수법을 이용한 DOE-2와 TRANSYS등 여러가지가 개발되었으나, 이들은 주로 건물의 전반적인 열성능에 관한 분석에 초점을 두고 있기 때문에 건축물의 설계시 설계자의 관심이 되는 외벽의 선정에 효율적인 선택근거를 제공하기 어려울 뿐 아니라 건물 전체에 대한 입력 자료를 요구하기 때문에 건물의 최종 설계단계 이전에는 사용하기 어렵고 또한 계산시간과 소요 경비가 과다하다는 점 등 여러가지 어려운 문제점이 있다.

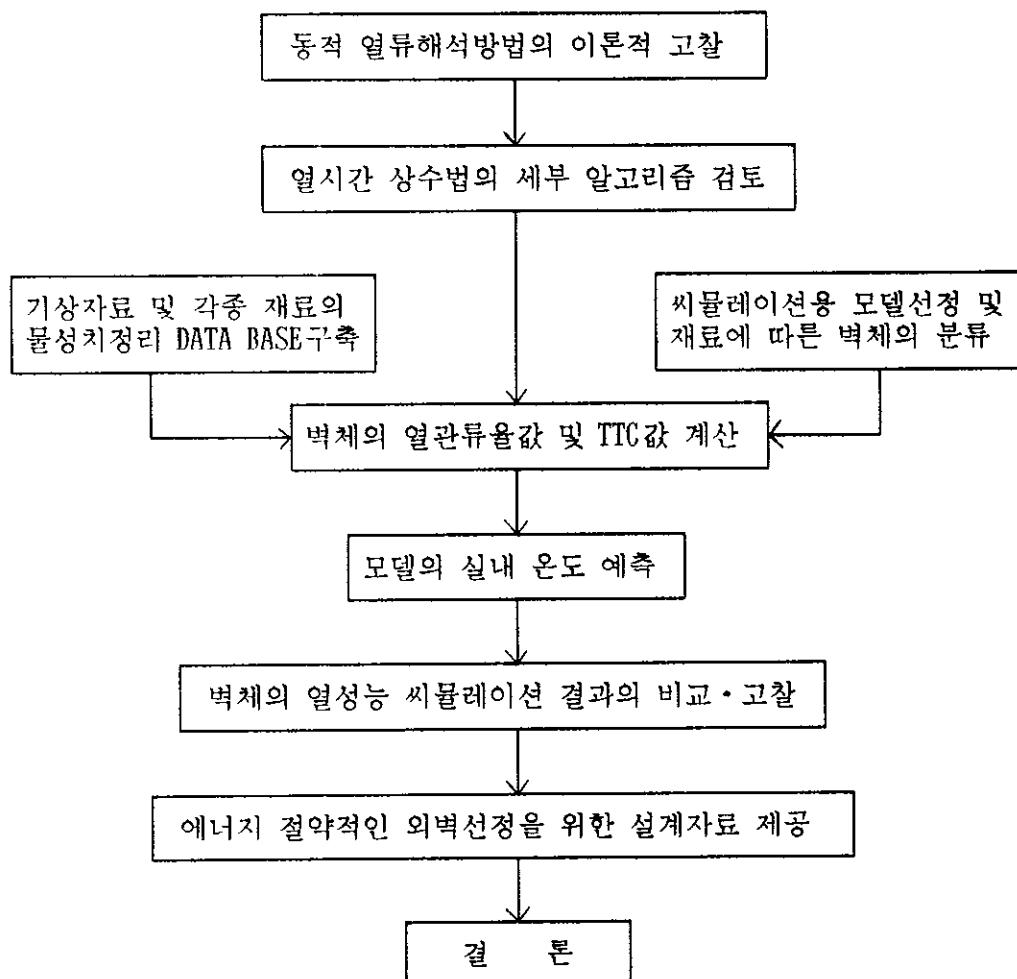
따라서 본 연구는 외벽의 구성이 공간의 에너지 부하에 미치는 영향을 효율적이고도 간편하게 산정할 수 있는 있는 방법론을 근거로 개발된 컴퓨터 프로그램을 이용한 열성능 씨뮬레이션을 통해 설계초기 단계에서 외벽 선택의 기준으로 삼을 수 있는 정량적 근거를 제시함으로써 에너지 절약을 위한 기초 설계자료를 제공하는데 그 목적이 있다.

1-2. 연구의 방법

에너지 절약을 위한 외벽의 구성을 결정하는 방법은 크게 두가지로 나눌수 있다. 하나는 특정재료들로 구성된 벽체의 열 성능을 각 재료의 주어진 열 전도율과 열 전달율을 이용하여 계산된 열 관류율(K -값)로 비교 평가하는 방법이며, 다른 하나는 벽체의 측열 성능을 고려하여 시간의 변화에 따른 벽체를 통한 동적 열전달을 계산하여 이에 따른 공간의 온도 변화를 비교하는 방법인데, 이중에서 후자는 계산이 복잡하고 많은 시간이 소요되므로 컴퓨터 프로그램의 사용이 필수적이다.

본 연구에서는 동적 열전달의 열류해석 방법을 고찰한 후, 이들 중 중앙대학교 건축학과 환경연구실에서 개발되어 모델 실험을 통해 타당성이 검증된 TTC법을 이용한 컴퓨터 프로그램을 활용하여 여러가지 외벽 구조에 대한 열성능 씨뮬레이션을 실시하고 그 결과를 통하여 에너지 절약을 위한 외벽 선정의 기준을 제시하였다.

본 연구의 종합적인 진행 흐름도는 [그림 1-1]과 같다.



[그림 1-1] 연구의 흐름도

1-3. 연구의 범위

에너지 절약 설계를 위한 외벽의 선정에서 고려해야 할 사항은 외벽의 위치와 향 및 기울기에 따라서 각각 다르나 선정을 위한 기본적인 방법론은 동일하다.

따라서, 본 연구에서는 연구의 범위를 축소하여 아파트 기준 주호의 남면을 대상으로 컴퓨터 씨뮬레이션을 실시하여 에너지 절약을 위한 외벽선정의 설계자료를 제시하고 있으나 이와 같은 방법론은 다른 외벽에도 확대 적용할 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구의 범위를 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 시공되고 있거나

열성능상 추천할만한 외벽 재료들로 구성된 벽체

5) 재료의 물성치

- 학술진흥재단, "건축물에 있어서 자연형 태양열 씨스템의 열성능 향상을 위한 실험적 기초 연구,-1차년도 중간보고서-", 1989.6., 중앙대학교, '건축 재료들의 물리적 성질 DATA BASE' 이용

제 2 장 동적 열류해석 방법

2-1. 동적 열류해석방법에 관한 이론적고찰

동적 열류해석방법에 의한 건물에너지분석 방법은 기본적으로 축열체내에서의 열전달을 비정상 상태의 동적 열 전달로 해석하여 컴퓨터를 이용하여 계산하는 방식이다. 이와같은 분석방법에는 타임랙을 이용한 방식(Time Lag Method), 응답계수법(Response Factor Method), 유한요소법(Finite Element Method), 유한차분법(Finite Difference Method), 가중계수법(Weighting Factor Method), 행렬법(Matrix Method), 열시간상수법(Thermal Time Constant Method)등 여러가지가 있는데 여기에서는 이들에 대한 이론을 간략하게 고찰하였다.

2-1-1. 타임-랙 방법(The Time-Lag Method) 주1)

이 분석법은 최초에 Mickey와 Wright(1944)에 의하여 제시되었으며, 구조체의 축열부에 남게 되는 열량을 고려할 수 있는 방법이다.

타임-랙(Time-Lag)은 열용량이 0인 벽체내에서 발생하는 열류의 최대치에 대하여, 주어진 구조체에서 일어나는 열류의 최대치의 자연시간을 말한다.

진폭감쇄율(Decrement Factor)은 하루동안, 주어진 구조체에서 일어나는 열류의 최대편차와 열용량이 0으로 가정된 구조체내에서 발생하는 열류의 최대편차와의 비를 말한다.

실내온도를 일정하게 가정하고 먼저 구조체의 표면의 sol-air온도를 산정한다.
어떠한 벽체의 일일 최고, 최저 sol-air온도는 decrement factor(λ)에 비례하여
외부온도 변화주기와 내부온도 변화주기를 구성하게 된다.

$$\theta_i = \lambda * \theta_o$$

θ_i : 실내 벽체 표면온도의 변화주기

θ_o : 실외 벽체 표면온도의 변화주기

이때 실내 벽체 표면온도가 최고온도에 이르는 시간은 타임-택(Φ)에 의하여
결정된다.

$$\lambda = e^{-0.362L * \sqrt{1/a}}$$

$$\phi = 1.38L * \sqrt{1/a}$$

$$a (\text{열 확산율}) = \frac{k}{\rho * C_p}$$

k : 열관류율

ρ : 밀도

C_p : 비열

또한 Mickey와 Wright는 다중 구조체에서의 열적특성을 이에 상당하는 단층
구조체로 변환시키는 일반화 공식을 제시하여 이 방법의 적용을 확장하였다.

$$Cc = 1.1 * (C1 + C2 + \dots + Cn-1) + A1 * \{R1 - 0.1 * (R2 + R3 + \dots + Rn)\} / Rc$$

C1: 외표면층의 열용량

A1: 외표면층의 열저항에 대한 열용량비

R1: 외표면층의 열저항

Rn: 외표면층으로부터 n번째층의 열저항

Cn: 외표면층으로부터 n번째층의 열용량

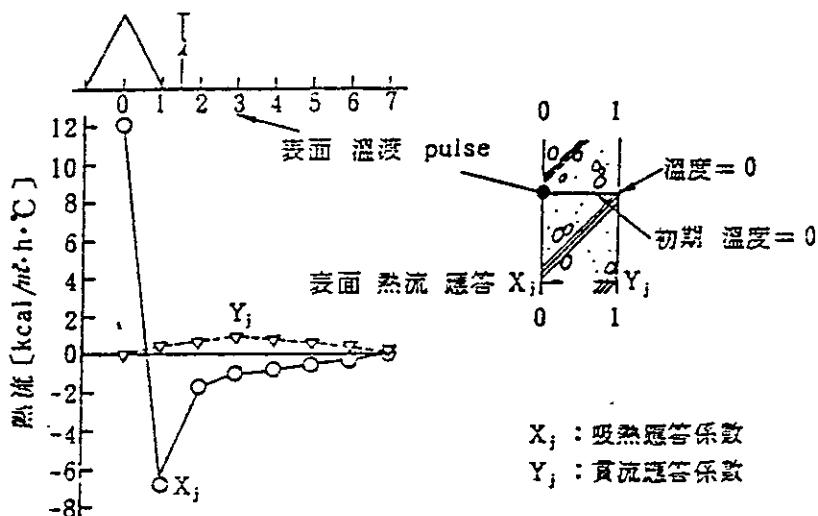
Rc: 다중구조 전체의 열저항

본 분석방법은 열저항과 재료의 열용량에 따른 시간지연효과를 동시에 고려한다는 점에서는 장점이 있으나 시간별 계산이 정확하지 못하고 다층 구조체에서 상당(equivalent)하는 비례개념을 도입하였기 때문에 개략적인 점에서는 단점이 있다.

2-1-2. 응답계수법(The Response Factor Method) 주2)

응답계수법은 1967년 Canada의 Stephenson과 Mitalas에 의해 이론적으로 정립된 열류해석 방법으로 여기서 응답계수란 임의의 시점에서 어떤 물체에 단위온도파 여진(Unit Thermal Excitation)이 작용할 경우 그 반응으로 나타나는 시계열의 열류응답으로 정의한다.

[그림 2-1]에 나타난 바와 같이 한쪽 표면온도가 주어지고 다른쪽 표면온도가 0°C 일때 양표면에서는 시간에 따라 열류 X_j , Y_j 가 나타난다.



[그림 2-1] 응답 계수

여기서 시간 t 에서 표면온도가 θ_{in} 이라면 열류 q 는 식(2.1)로 나타낼 수 있으며, 반대쪽 표면에서의 열류 q 는 식(2.2)과 같다.

또한 $X=1$ 에서 표면온도가 θ_0 으로 주어지면 표면열류 q 는 식(2.3)과 같으며,
 X 방향과 반대로 흐른다.

이때 $X=0$ 에서 표면열류 q 는 식(2.4)으로 되다.

여기서 Y_j 를 관류응답계수라하고 X_j , Z_j 를 흡열응답계수라 한다. 관류응답계수 Y_j 는 동일 구조체내에서는 항상 일정하고, 구조체가 대칭인 경우에는 $X_j = Z_j$ 가 된다. 또한 응답계수를 $t=0$ 에서 $t=\infty$ 까지 합하면 정상상태의 열관류율(K)이 된다. 응답계수는 가중계수를 시간으로 적분하여 얻는다.

2-1-3. 유한요소법(The Finite Element Method) 주3)

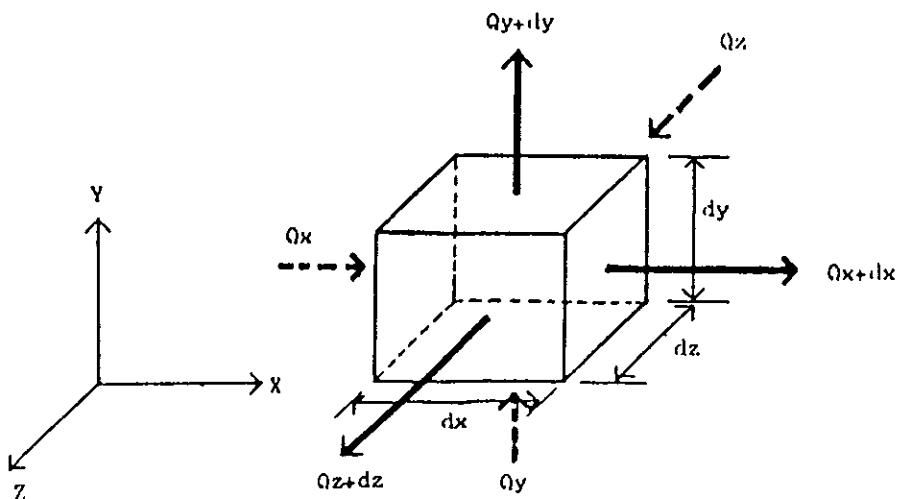
유한요소법은 공학계통에서 매우 광범위하게 사용되는 방법이며 지금까지 해결한

수 없는 문제로 간주되었던 많은 문제들을 이 해석방법으로 해결할 수 있게 되었고, 유한요소법의 개념에 대한 많은 연구가 진행되어 적용영역이 크게 확대되었다.

이 유한요소법은 연속체 이론을 적용하기가 어려운 단면을 가진 부재에도 적용할 수 있는 장점을 가지고 있으며, 요소를 작게 나누고 다향식의 항을 많이 전개함으로 정확한 값을 얻을 수 있으나 요소를 많이 나눔으로 해서 생기는 절점수의 증가에 따라 계산이 너무 복잡해지는 제한성이 있다.

유한요소법은 구조해석에 적용이 되도록 많은 발전이 있었으나, 이 이론이 더욱 정밀해지고 일반화되면서 열의 흐름(heat flow), 열역학과 같은 영역에서도 성공적으로 적용되기 시작하였다. 이러한 넓은 적용성과 컴퓨터 코드의 일반화의 결과로 이 해석방법은 많은 분야에서 응용되고 있다.

유한요소법의 개념은 구조체나 Body(유체 또는 고체)등을 유한요소라 불리우는 분할요소의 결합체로 표현하여 해결하는 방법이다. 이런 요소들은 절점에 의해 서로 연결되어 있는 것으로 간주되며 각각의 유한요소에 대한 거동을 근사화하기 위하여 간단한 함수가 선택된다.



[그림 2-2] 단위요소의 에너지 거동

[그림2-2]에 나타난 어느 한 요소의 에너지 평형 방정식은 식(2.6)로 나타낼 수 있다.

$$\dot{E}_{in} + \dot{E}_g = \dot{E}_{out} + \dot{E}_c \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.6)$$

여기서 \dot{E}_{in} = 시간 dt 동안 유입된 에너지

\dot{E}_g = 시간 dt 동안 내부에서 발생되는 에너지

\dot{E}_{out} = 시간 dt 동안 유출되는 에너지

\dot{E}_c = 시간 dt 동안 내부 에너지의 변화

Galerkin의 정리를 이용하면

$$\int_r N_i \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{1}{r} \frac{\partial T}{\partial r} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} + \frac{\dot{q}}{k} \right) dr = 0, \quad i = 1, 2, 3$$

위 식을 매트리스 형태로 나타내어 풀어보면

$$[\tilde{K}] \cdot \{\tilde{T}\} = \{\tilde{P}\} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.7)$$

여기서 $[\tilde{K}] = \sum_{e=1}^E ([K_1^{(e)}] + [K_2^{(e)}])$

$$\{\tilde{P}\} = \sum_{e=1}^E (\{P_1^e\} - \{P_2^e\} + \{P_3^e\})$$

각 절점의 온도는 경계조건을 대입한 후 식(2.7)에서 구해진다.

2-1-4. 유한차분법(The Finite Difference Method) 주4)

유한차분법은 시간을 변수로 하는 동적 열해석 방법에서는 매우 일반화되어 있는 방법이다. 벽체를 통하는 열류의 흐름은 시간에 따라 변하며 실제로는 x,y,z의 3방향으로 이루어지나 일반적인 벽체는 두께가 높이와 폭에 비하여 매우 작으므로 수직적인 방향으로만 이루어진다고 가정하여 해석할 수 있다.

벽체는 여러개의 얇은 두께로 이루어진 다층구조체의 결합으로 생각하여 각 층사이에 절점(node)를 두고 그 절점간의 열전달의 현상을 규명하는 것이다. 동시에 이러한 열류는 시간에 따라 계속적으로 변하기 때문에 time-dependent로 해석되어져야 한다.

이러한 열평형의 기본적인 기본개념을 공식화하면 다음과 같다.

$$dE = Q_{left} + Q_{right}$$

여기서, dE : 일정시간(dt)동안의 특정부분의 에너지 교환량

Q_{left} : 일정시간(dt)동안 특정부분에 순전달 에너지량

Q_{right} : 일정시간(dt)동안 특정부분에서 발생된 열량

이 열평형 방정식을 풀어쓰면,

$$dE = \rho * C_p * dx * A * (T_i + dt - T_i^-)$$

T_i^- : 시간 T 의 절점 (i)의 온도

$$Q_{left} = (\lambda / dx) * A * (T_{i-dx}^- - T_i^-) * dt$$

$$Q_{right} = (\lambda / dx) * A * (T_{i+dx}^- - T_i^-) * dt$$

Δt 동안 어떤 부분에서 발생된 열량은 건축구조체의 경우 대부분이 0이 되므로 다음식으로 변환될 수 있다.

$$M * T_i^{t+\Delta t} = T_{i-dx}^t + T_{i+dx}^t + (M-2) * T_i^t$$

$$\text{단, } M = (\rho * C_p / \lambda) * (dx^2 / dt)$$

$T_i^{t+\Delta t}$ 에 대하여 다시 정리하면

$$T_i^{t+\Delta t} = \frac{T_{i-dx}^t + T_{i+dx}^t + (M-2) * T_i^t}{M}$$

이 경우 dx (절점거리)와 dt (시간간격)가 작을수록 계산은 세분화되어 많은 시간이 소요되지만 정확한 계산 결과가 나온다. 이러한 계산법을 explicit법(forward difference)이라 한다.

열평형식을 해석하는 또 다른 방법으로 implicit법(backward difference)이 있다.

이 방법에 의하면

$$Qleft = (\lambda / dx) * A * (T_{i-dx}^t - T_i^{t+\Delta t}) * dt$$

$$Qright = (\lambda / dx) * A * (T_{i+dx}^t - T_i^{t+\Delta t}) * dt$$

위 식을 대입하여 정리하면

$$(M+2)*T_{i+dt} = T_{i+\frac{dx}{2}} + M*T_i \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.8)$$

위 식을 T_{i+dt} 에 대하여 풀면

$$T_{i+dt} = \frac{T_{i+\frac{dx}{2}} + T_{i-\frac{dx}{2}} + M*T_i}{M+2} \quad \dots \dots \dots \dots \quad (2.9)$$

이 방법에 의한 계산은 항상 안정하므로 큰값의 dx 와 dt 를 취하면서도 계산 결과의 정확성을 유지할 수 있다.

위 식(2.8), (2.9)를 합하여 i 에 대하여 풀면 다음식이 유도되며 이 해석은 두 방법에 의한 평균온도를 구하는 것이 된다.

$$T_{i+dt} = \frac{T_{i+dx} + T_{i+\frac{dx}{2}} + T_{i-dx} + T_{i-\frac{dx}{2}} + (2M-2)*T_i}{2M+2}$$

이 방법을 Crank-Nicolson법(central difference method)이라 부른다. 이렇게 평균 온도를 사용하게 되면, 큰 값의 dt 에 관하여 더 정확한 계산결과를 얻을 수 있다.

2-1-5. 가중계수법(The Weighting Factor Method) 주5)

실내외의 온도가 평형상태를 유지하고 있는 어떤 열류시스템(Thermal System)에 열이 여진으로서 주어진다면 실내온도가 상승하였다가 시간이 경과함에 따라 서서히 하강하여 다시 최초의 상태와 가깝게 된다.

이와같이 어떤 여진에 따라 응답으로 나타나는 온도의 변화를 시간의 함수로 나타낸 것을 실내온도변화의 가중계수라고 한다.

이때 주어진 열을 시간의 함수인 $H(t)$ 라고 하면, 온도의 변위 $\theta(t)$ 는 식(2.10)으로 표시된다.

$$\theta(t) = \int_0^t H(\tau) \Phi R(t-\tau) d\tau \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.10)$$

여기서 $\Phi R(t - \tau)$: 실온변화의 가중계수 ($^{\circ}\text{C}/\text{kcal}$)

또한 가중계수 $\Phi(t)$ 인 실에서 시간 $t=0$ 에서의 열공급이 $H(t)$ 였다면 실온변위 $\theta(t)$ 는 식(2.11)과 같다.

$$\theta(t) = \int_0^t H(t-\tau) \Phi R(t) d\tau \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.11)$$

여기서 $\theta(t)$: t 시에서의 실내온도(응답) ($^{\circ}\text{C}$)

$H(t-\tau)$: t 시부터 τ 시간전의 가열량(여진) (kcal/h)

이와같은 가중계수의 개념은 여진과 응답을 중첩시켜도 서로 대응한다는 "중첩의 원리"로 계산하는 것으로 위의식은 Duhamel의 방법이라고 한다.

가중계수의 방법은 열부하를 계산하기위해 시간적으로 변하는 여진, 즉 외기온도, 일사량 등을 시간의 함수로 나타내야 하므로 계산이 복잡하고 비교적 번거로운 문제점이 있다.

2-1-6. 행렬법(The Method of Matrix) 주6)

Gorcum에 의해 개발된 이방법은 매트릭스 계수를 이용해서 각 건물요소들의 열물리적인 특성을 나타내는 온도와 열흐름의 입력값에 따라 출력값으로 변환시켜 주는 것이다.

열관류율이 일정하고 코너부분에서의 열손실이 거의 없다고 가정할 때, 입출력 값사이의 관계를 나타내는 두개의 선형 방정식은 다음과 같다.

$$tos = Atis + Bgis$$

$$qos = Ctis + Dgis$$

여기서, tos = 표면 $X=0$ 에서의 온도

qos = 표면 $X=0$ 에서의 열량

tis = 표면 $X=L$ 에서의 온도

qis = 표면 $X=L$ 에서의 열량

이것을 행렬로 표시하면 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} tos \\ qos \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} tis \\ qis \end{bmatrix}$$

건축 재료의 구성법에 따른 A, B, C, D 계수는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$An = \cosh(1+i)\phi_n$$

$$Bn = R * \frac{\sinh(1+i)\phi_n}{(1+i)\phi_n}$$

$$C_n = \frac{(1+i)\phi_n}{R} \sin h(1+i)\phi_n$$

$$D_n = A_n$$

$$\phi_n = r(W_n CR/2) \quad W_n = \frac{2\pi n}{24}$$

L = 구성 재료의 두께

$$R = \frac{L}{K}, \text{ 구성 재료의 열저항}$$

$$C = L \rho c, \text{ 단위 면적당 열용량}$$

$$i = r - 1 \quad \sqrt{2}i = (1+i)$$

실내 온도는 다음과 같이 예측된다.

$$t_{ia,s} = \frac{\sum_s \frac{S_s}{R_o} + \sum_s t_{sol} \frac{A_s}{R_s} + \sum_s t_{oa} \frac{A_s}{R_s} + \sum_s W}{\sum_s \frac{A_s}{R_s}}$$

S_n = 벽의 유리 면적

A_s = 벽 면적

t_{sol} = 태양 복사열에 의한 Sol-air 온도

t_{oa} = 외기 온도

R_s = 벽체의 전체 열저항

$\sum W$ = t_{oa} NVC + 출입열 상수 또는 출입열 변동의 평균값

N = 환기 회수

V = 공기 용량

C = 공기 열용량

S = 벽체의 층수

2-1-7. 열시간 상수법(The Thermal Time Constant Method) 주7)

열시간 상수란 벽체 내부의 온도가 외부온도에 비해 1°C 상승함에 따라 단위면적당 축열되는 열량을 열관류율값으로 나눈 값이다.

Bruckmayer에 의해 제안된 TTC의 개념은 Raychoudhury 등에 의해 건물전체의 열응답을 나타내는 총 열시간 상수의 개념으로 발전되었다.

이러한 벽체의 열시간 상수는 식(2-12)와 같이 나타낼 수 있다.

$$TTC_{wall} = \frac{Q}{U}_{wall} = \sum_{j=1}^i \frac{Q}{U}_j \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.12)$$

여기서 Q : 외기온보다 실내온도가 1°C상승하는 동안

벽체에 축열된 열량 (kcal/m² °C)

U : 열관류율 (kcal/m² h °C)

i : 다층벽체의 층수

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

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

$$TTTC = TTC_{wall} + Q_{imass}(R_{wall} + R_{si} + \frac{1}{4}R_{i mass}) \quad \dots \dots \dots \quad (2.13)$$

여기서 $Q_{imass} = \frac{1}{2}(\text{단위 외표면적당 내부mass의 중량}) * \text{비열}$

Rwall : 외기로부터 내표면까지의 벽체의 열저항

Rsi : 내부표면의 열저항

Ri mass: 내부 mass의 열저항

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

$$TTTCB = \frac{\sum_k A_k(TTCK)}{\sum_k A_k} + Q_i \text{ mass} \left(\frac{\sum_k R_k}{\sum_k A_k} + R_{Si} + \frac{R_i}{4} \text{ mass} \right) \dots \dots \quad (2.14)$$

여기서 K : 벽체 K

Ak : K벡체의 면적

ΣA_k : 구조체를 둘러싼 벽체의 총면적
k

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

$$tia = \frac{\sum_k \frac{Sk}{Rk}}{\sum_k (\dots)} \quad \dots \quad (2.15)$$

여기서 S_k : 열전달 경로 K 벽의 내부 표면의 면적

Rk : 내부 공기층의 열저항을 포함한, 열전달 경로 K 벽의 열저항

tik: 총 열시간 상수에 따라 계산된 시간 i에서의 내표면 온도

2-2. 열시간상수(Thermal Time Constant)법의 세부 알고리즘 검토

정상 상태의 해석 방법은 시간에 따른 축열체 내부에서의 온도변화를 무시하였고, 비정상 상태의 해석 방법은 온도 변화를 고려했지만 계산 과정이 복잡하고 입력 자료 작성에 주의가 요구되며, 계산시간 및 소요경비의 과다로 일반화 하기에 어려움이 있다. 그러므로 비정상 상태의 해석 방법중 비교적 간단하면서 축열과 타임팩을 고려하는 열시간 상수법에 대해 알아보겠다.

2-2-1. 총 열시간상수(The Total Thermal Time Constant) 주8)

Raychoudhury, Chaudhury 그리고 Warsi와 Pratt 그리고 Ball은 Bruckmayer의 열시간 상수보다 더 발전된 개념을 제공했다. 열시간 상수는 건물 전체의 열응답을 나타내는 유일한 열물리적 매개변수이다.

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

Bruckmayer에 따르면, 벽의 열시간 상수는 앞에서 정의된 것으로 다음과 같다.

$$TTC_{wall} = \left(\frac{Q}{U} \right)_{wall} = \sum_{j=i}^i \left(\frac{Q}{U} \right)_j \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.16)$$

여기서 i 는 벽체의 층수를 나타낸다.

$$\left(\frac{Q}{U} \right)_j = [R_{os} + \left(\frac{L}{K} \right) + \left(\frac{L}{K} \right) \dots \left(\frac{L}{K} \right) j - \dots + \frac{1}{2} \left(\frac{L}{K} \right) j] \times (L \rho c)_j \dots \dots \quad (2.17)$$

위와 같은 방법으로 여러벽에 대해 계산된 열시간 상수는 [표 2-1]과 같다.

[표 2-1] 여러벽에 대해 계산된 열시간 상수 주9)

Description of wall	t (thickness)	A	\sqrt{B}	$\phi_1 = 1.38 A \sqrt{B}$	$\lambda_1 = \exp [-0.362 A \sqrt{B}]$	TTC	$R_{\text{in}-\text{out}}$	U	
Wood shingles (ext.) expanded polystyrene gypsum plasterboard	1 cm $d \text{ cm} \rightarrow$ 1 cm	2 cm	0.61	2.06	1.73 h	0.64	1.9 h	0.80	1.25
		3 cm	0.90	2.11	2.62	0.50	2.9	1.09	0.92
		4 cm	1.18	2.16	3.50	0.39	3.6	1.37	0.73
		5 cm	1.44	2.20	4.36	0.32	4.5	1.63	0.61
		8 cm	2.32	2.34	7.50	0.14	7.5	2.51	0.40
		10 cm	2.90	2.42	9.65	0.08	9.7	3.09	0.32
Lightweight lime concrete steam cured, plastered on both sides (1 cm each)	20 cm + 2 × 1 cm	0.70	7.1	6.8 h	0.167	14.1 h	0.89	1.12	
Concrete hollow blocks plastered on both sides (1 cm each)	30 cm + 2 × 1 cm	0.414	15.2	8.6 h	0.105	23.7 h	0.60	1.22	
	20 cm + 2 × 1 cm	0.23	15.8	5.2 h	0.256	10.0 h	0.42	2.38	
Concrete wall cast on site 20 cm	20 cm	0.127	28.8	5.0 h	0.367	11.0 h	0.32	3.03	
Concrete with external dense stone covering Air Hollow concrete blocks plastered inside	20 cm 5 cm 7 cm 2 cm	0.41	18.5	10.5 h	0.065	23.8 h	0.60	1.67	
Concrete with external dense stone covering Air Lightweight lime conc. steam cured blocks plastered inside	20 cm 5 cm 7 cm 2 cm	0.63	17.1	14.8 h	0.030	18.4 h	0.82	1.22	
Face brick Common brick inside	10 cm 10 cm	0.254	15.2	5.3 h	0.244	11.1 h	0.44	2.28	
Face brick Cement mortar Common brick Air space Inside plasterboard	10 cm 1.5 cm 10 cm 5 cm 1 cm	0.54	12.0	9.0 h	0.102	11.4 h	0.73	1.37	
Face brick Cement mortar Common brick Expanded polystyrene Inside plasterboard	10 cm 1.5 cm 10 cm 5 cm 1 cm	1.71	6.9	16.1 h	0.015	12.2 h	1.90	0.52	
Roof rockwool ext. concrete int.	4 cm 10 cm	1.11	7.2	11.8 h	0.046	53.5 h	1.30	0.77	
Roof concrete ext. Rockwool int.	10 cm 4 cm	1.11	1.96	3.0 h	0.45	4.4 h	1.30	0.77	

이러한 열 경로가 내부 mass에 일어난다고 생각하면, 실내 mass까지 이러한 열전달 경로에 대한 총 열시간 상수(TTIC)는 다음과 같다.

$$TTTC = TTC_{\text{wall}} + Q_i \text{ mass} (R_{\text{wall}} + R_{\text{si}} + \frac{1}{4} R_{\text{ti}} \text{ mass}) \quad \dots \dots \dots \quad (2.18)$$

여기서, 내부 mass의 열용량은 다음과 같다.

Qi mass = $\frac{1}{2} x$ (단위 외표면적당 내부 축열체의 중량) x (비열)

R_{wall} : 외부에서 내부에 이르기까지의 벽체의 열 저항

Rsi : 내부 표면의 열 저항

Ri mass : 내부 mass의 열저항

모든 외부 입력 함수가 동일하다고 생각하면, 총 구조체(enclosure)의 총 열시간 상수는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{TTTCB} = \frac{\sum_k A_k (\text{TTTCK})}{\sum_k A_k} + Q_i \text{ mass} \left(\frac{\sum_k A_k R_k}{\sum_k A_k} + R_{si} + \frac{1}{4} R_i \text{ mass} \right) \dots \dots \dots \quad (2.19)$$

여기서, k : k 벽

Ak : 벡 K의 표면적

$$\sum_k A_k : \text{구조체의 총 외부 면적}$$

그런데 환기를 고려한 총열시간상수를 Hoffman은 다음과 같이 정의 하였다.

$$\text{TTTC with ventilation} = \frac{(\text{TTTCB}) Ut}{Ut + N(\rho c)_{\text{air}} V/Ak} \quad \dots \dots \dots \quad (2.20)$$

여기서, Ut : 다른 외부 요소를 거쳐 내부에서 외기까지의 전체

벽체의 열관류율값의 평균

N : 환기 횟수

$(\rho c)_{\text{air}}$: 공기의 열용량

V : 실의 내부용적

2-2-2. 열용량, 태양복사 흡수율 그리고 장파복사 교환을 고려한 벽의 외부
표면온도 계산 (주10)

외부표면 온도는 직달 일사량과 천공으로 부터 확산된 일사량 및 주변 환경으로
부터 반사되어 도달하는 일사량과 함께 표면에서 천공을 거쳐 외계로 방사되는
장파장의 복사열을 모두 고려한 복사열의 순(net) 교환량으로 부터 계산할 수 있다.
시간 i 에서 벽 K 의 표면 온도는 다음과 같이 계산된다.

$$tsk(i) = toa(i) + \sum_{j=i_0}^i \frac{1}{\frac{1}{Ros} + \frac{1}{Rs} \exp(-\frac{i-j}{TTCK})}$$

$$\times \Delta [\alpha Isk(j) + \sigma Toa'(j) \{a + bPw(j) - F\varepsilon\}]j \quad \dots \dots \quad (2.21)$$

여기서, TTCK : Bruckmayer에 의해 계산되는 요소 K의 열시간 상수

$\sum n \ln \rho n C_n$: 외부에서 내부층 n까지 요소 K의 외부 표면의 단위

당 열 용량

t_a : 외기온 ($^{\circ}\text{C}$)

T_a : ta + 273° (공기의 절대온도)

P_w : 공기의 수증기 분압 (mmHg)

ε : 표면의 방사율

F : 보정 계수

j : 적분의 지표 (시간)

i0, i : 적분의 범위 (시간)

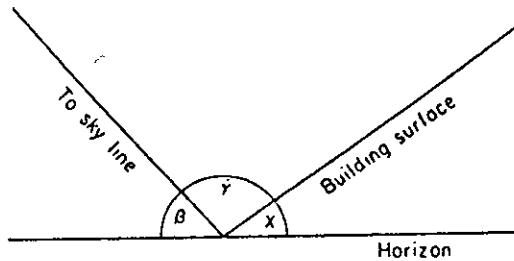
이 방정식에서, R_s 와 $TTCK$ 는 벽체내부의 건물재료의 열 물리적 특성을 R_{os} 는 풍속과 표면의 기하학적 특성에 따라 달라지는 표면의 열전달 특성을 나타내고, α 는 표면의 마감색상에 따라 달라지는 태양복사의 표면 흡수율이다. a 와 b 는 천공에 대한 표면의 향에 따라 결정되는 기하학적 계수이다.

Holden에 따르면 a와b는 다음과 같다.

$$a = 0.32 (1 - \cos \gamma) - 0.0297 (\gamma \cos \alpha + \sin \gamma \cos \beta) \dots \dots \dots \quad (2.24)$$

$$b = 0.0323 (1 - \cos \gamma), \text{ [mm]g}$$

[그림 2-3]는 이러한 방정식에 사용했던 각을 정의한다. 여기서 $\alpha I_{sk}(j)$ 항은 시간 j 에서 표면에 대한 태양 복사의 흡수를 나타낸다.



[그림 2-3] 표면각의 정의

천공과 표면 사이에 장파 복사 열교환은 다음의 Holdend의 공식으로 나타낼 수 있다.

$$\sigma T_{oa}^4 (a + b P_w),$$

또 표면으로부터 외계로 방사되는 장파장 복사는 다음의 Stefan Boltzmann 공식으로 나타낸다.

$$\sigma \epsilon F_{Toa}$$

2-2-3. 총 열시간 상수를 이용한 건물의 내부온도 계산 (주11)

시간 i 에서 가공의 내부총 온도 변화 Δt_{ik} 는 시간 j (i_0 와 i 사이의)에서 외부 표면온도 변화 $\Delta t(j)sk$ 의 결과로써, 내부 공간에 도달하는 각각의 열전달 경로 k 로 계산된다. 이와같은 온도 변화값은 임의의 시간 i 에서 다음의 Matrix 곱셈에 의하여 계산할 수 있다.

$$\Delta t_{ik} = \sum_{j=i_0}^i \Delta t(j)sk [1 - \exp(-\frac{i-j}{TTTCK})] \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.25)$$

그때, 임의 시간 i 에서 내표면 온도 t_{ik} 는 다음과 같다.

$$t_{ik} = t(i_0)sk + \sum_{j=i_0}^i \Delta t(j)sk [1 - \exp(-\frac{i-j}{TTTCK})] \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.26)$$

여기서 i 는 계산 시간이고, i_0 는 계산을 시작한 시간이다. 그때 겹치기 원리가 적용되고 내부 공기 온도 계산을 위한 다음의 방정식을 얻는다.

$$t_{ia} = \frac{\sum_k \left(\frac{Sk}{Rk} t_{ik} \right)}{\sum_k \left(\frac{Sk}{Rk} \right)} \quad \dots \dots \dots \dots \dots \dots \dots \quad (2.27)$$

여기서, Sk : 열전달 경로인 k 벽의 내부 표면의 면적

Rk : 내부 공기 저항을 포함하여, 열전달 경로 k 인 벽체의 열 저항

각주

- 주1) 이명호 외, "자연형 태양열 씨스템을 이용한 건물에너지 절약기술에 관한 기초 연구,-2차 중간보고서-", 한국과학재단, 1988, pp. II-8 - II-9.
- 주2) 김문한 외, "건물에너지 해석 전산화에 관한 연구,-제1차 분기 보고서", 한국 전력공사 기술연구소·서울대학교생산기술연구소, 1989, pp.9-11.
- 주3) 이명호 외, op. cit., pp. II-17 - II-18.
- 주4) 이명호 외, op. cit., pp. II-11 - II-14.
- 주5) 김문한 외, op. cit., p.11.
- 주6) B. Giboni, "Man, Climate & Architecture", VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1981, pp.424-430.
- 주7) B. Giboni, op. cit., pp.419-450.
- 주8) B. Giboni, op. cit., pp.419-437.
- 주9) B. Giboni, op. cit., pp.420-421.
- 주10) B. Giboni, op. cit., pp.437-442.
- 주11) B. Giboni, op. cit., pp.442-447.

제 3 장 TTC 프로그램을 이용한 벽체의 열성능 씨뮬레이션

3-1. 컴퓨터 프로그램

본 연구에서 벽체의 열성능 씨뮬레이션에 사용된 TTC법을 이용한 컴퓨터 프로그램은 중앙대학교 건축학과 환경연구실에서 개발되어 모델 실험을 통해 타당성이 검증된 것으로 TTC에 대한 이론적인 뒷바침은 서구 학자들에 의해 이미 30여년전에 이루어진 것이다.

열시간상수(TTC)란 건물 전체의 열응답을 나타내는 유일한 열물리적인 매개 변수이다.

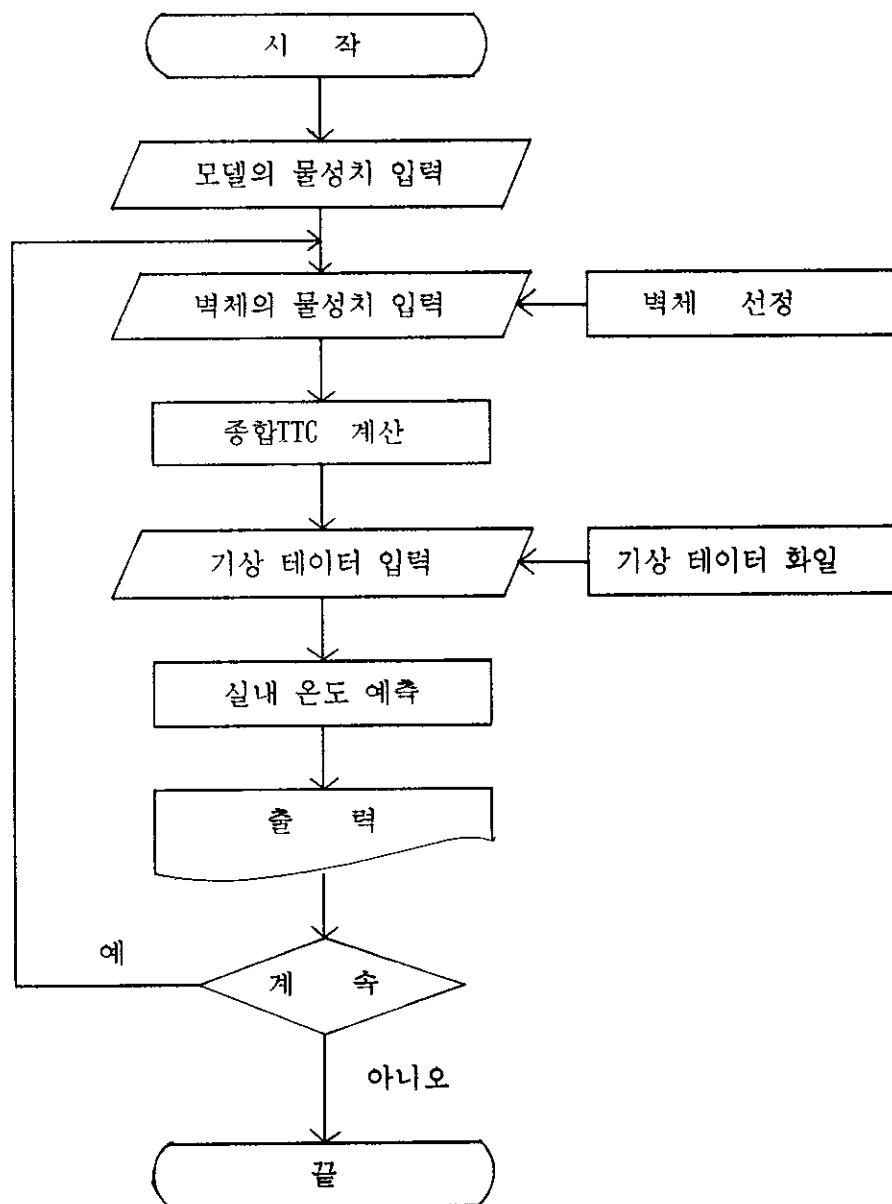
TTC를 이용하면 환기를 통한 열전달까지도 포함된 구조체의 열전달 미분방정식을 풀어서 실내의 온도 변화를 계산할 수 있다

본 연구에 사용된 TTC는 열환경에 영향을 주는 모든 변수의 값을 고려한 종합 TTC의 값을 사용하였다.

또한 온도 예측 부분에서는 일사흡수율, 표면방사율, 태양의 고도, 벽체의 각도, 외기온, 일사, 수증기 분압 등의 데이터를 이용해 TTC법으로 구할 수 있는 온도는 수열면의 표면온도, 실내온도 등이 있다.

TTC법은 수계산으로는 처리할 수 없기 때문에 이를 컴퓨터 프로그램으로 작성하여 계산하고 있다.

이러한 컴퓨터 프로그램의 흐름도는 [그림 3-1]과 같다.



[그림 3-1] 컴퓨터 프로그램의 흐름도

3-2 씨뮬레이션 기초자료

3-2-1. 기상 DATA

기상 DATA는 기상 테이터 파일을 만들어 입력을 시켰는데 기상 파일은 외기온, 수평면 일사량, 수증기 분압을 시간단위로 작성하였다.

기상 data중 기온은 중앙대학교 공과대학 옥상에 설치된 백엽상에서 sensor를 통하여 수거하였으며 일사량은 Actinograph를 같은 장소에 설치하여 수평면 일사량을 측정하였고 습도는 같은 기간동안 중앙관상대에서 측정된 수증기 분압을 사용하였다.

본 연구에서는 이와같은 기상자료중 1989년 1월 12일부터 18일까지 1주일간의 data를 정리하여 Simulation에 사용하였는데 외기온은 <표 3-1>, 일사량은 <표 3-2> 수증기분압은 <표 3-3>과 같다.

<표 3-1> 씨뮬레이션에 사용된 기상데이터(온도, °C)

일 시	1월 12일	1월 13일	1월 14일	1월 15일	1월 16일	1월 17일	1월 18일
00	4.7	3.2	-3.1	-1.0	1.2	1.8	1.8
01	3.5	2.8	-3.5	-1.5	1.3	1.8	1.8
02	4.3	2.9	-4.0	-1.1	1.2	1.8	1.8
03	4.1	2.7	-4.0	-2.3	1.6	1.6	1.6
04	4.6	2.7	-4.5	-2.4	1.3	1.5	1.5
05	3.8	2.4	-4.6	-2.4	1.4	0.9	0.9
06	3.6	2.3	-5.5	-2.4	1.4	0.6	0.6
07	3.7	2.1	-5.4	-2.7	1.1	0.7	0.7
08	4.6	1.9	-4.8	-2.4	1.6	0.1	0.1
09	4.5	1.7	-3.5	-1.2	3.2	0.4	0.4
10	4.8	1.6	-1.6	-0.7	5.0	2.3	2.3
11	4.3	2.1	0.3	2.2	6.0	4.3	4.3
12	4.6	2.6	0.7	2.1	6.3	6.7	6.7
13	4.7	3.2	2.3	3.9	6.2	7.1	7.1
14	4.7	3.8	2.0	3.1	6.5	7.4	7.4
15	4.3	4.4	2.3	2.8	6.5	6.6	6.6
16	4.3	2.3	0.5	2.1	5.5	5.3	5.3
17	4.0	1.6	0.7	1.4	5.3	4.3	4.3
18	4.2	1.2	0.2	1.8	5.0	3.5	3.5
19	4.5	0.4	-0.3	1.1	4.6	4.6	4.6
20	4.5	-0.4	-0.4	0.4	4.2	3.6	3.6
21	4.3	-0.2	-0.6	0.7	3.9	3.6	3.6
22	4.3	-2.0	-0.5	0.8	3.0	3.6	3.6
23	2.6	-2.3	-0.9	0.7	1.8	3.1	3.1

〈표 3-2〉 씨뮬레이션에 사용된 기상데이터(일사량, $\text{kg}/\text{m}^2/\text{h}$)

일 시	1월 12일	1월 13일	1월 14일	1월 15일	1월 16일	1월 17일	1월 18일
00	0	0	0	0	0	0	0
01	0	0	0	0	0	0	0
02	0	0	0	0	0	0	0
03	0	0	0	0	0	0	0
04	0	0	0	0	0	0	0
05	0	0	0	0	0	0	0
06	0	0	0	0	0	0	0
07	0	0	0	0	0	0	0
08	51	26	179	153	51	153	153
09	127	179	255	178	128	255	255
10	153	153	306	204	179	382	382
11	127	153	331	289	204	433	433
12	102	204	331	329	230	459	459
13	127	183	306	348	221	433	433
14	132	230	255	280	202	408	408
15	92	178	229	179	180	331	331
16	45	51	77	77	89	179	179
17	25	26	13	26	25	26	26
18	0	0	0	0	0	0	0
19	0	0	0	0	0	0	0

〈표 3-3〉 씨뮬레이션에 사용된 기상데이터(수증기 분압, mmHg)

일 시	1월 12일	1월 13일	1월 14일	1월 15일	1월 16일	1월 17일	1월 18일
00	3.45	4.28	1.73	2.63	2.40	3.38	3.38
01	3.45	4.28	1.75	2.68	2.53	3.40	3.40
02	3.45	4.28	1.78	2.73	2.65	3.43	3.43
03	3.45	4.28	1.80	2.78	2.78	3.45	3.45
04	3.45	4.23	1.78	2.75	2.80	3.40	3.40
05	3.45	4.18	1.75	2.73	2.83	3.35	3.35
06	3.45	4.13	1.73	2.70	2.85	3.30	3.30
07	3.45	4.03	1.75	2.68	2.90	3.30	3.30
08	3.45	3.93	1.78	2.65	2.95	3.30	3.30
09	3.45	3.83	1.80	2.63	3.00	3.30	3.30
10	3.60	3.80	1.78	2.68	3.13	3.25	3.25
11	3.75	3.78	1.75	2.73	3.25	3.20	3.20
12	3.90	3.75	1.73	2.78	3.38	3.15	3.15
13	3.88	3.68	1.83	2.73	3.35	3.18	3.18
14	3.85	3.60	1.93	2.68	3.33	3.20	3.20
15	3.83	3.53	2.03	2.63	3.30	3.23	3.23
16	3.93	3.25	2.15	2.38	3.20	3.30	3.30
17	4.03	2.98	2.28	2.13	3.10	3.38	3.38
18	4.13	2.70	2.40	1.88	3.00	3.45	3.45
19	4.18	2.35	2.43	2.00	3.08	3.40	3.40
20	4.23	2.00	2.45	2.13	3.15	3.35	3.35
21	4.28	1.65	2.48	2.25	3.23	3.30	3.30
22	4.28	1.68	2.53	2.30	3.28	3.33	3.33
23	2.28	1.70	2.58	2.35	3.33	3.35	3.35

3-2-2. 건축 재료들의 물리적 성질 DATA BASE

재료들의 물리적 성질은 실험치이므로 실험에 사용된 재료와 실험주제가 다름으로 인해 동일재료에 대한 특성들도 약간씩 다르게 나타난다.

따라서 가능하면 국내에서 실험한 결과를 기초로 자료특성을 정리하려 했으나, 자료의 부족과 몇몇 재료에 대한 1983년도 국립건설시험소의 실험 결과가 ASHRAE HANDBOOK, 1985 FUNDAMENTALS의 값과 비슷하므로 주로 위의 자료를 참고로 하고, 기타 국내외 자료를 참고하여 컴퓨터 시뮬레이션에 필요한 건축재료의 물리적 성질을 정리하여 DATA BASE를 작성하였다.

우선 건축 재료를 용도에 따라 구조재, 외장재, 마감재, 단열재로 구분하여 정리했고 끝으로 건물부위별 표면 공기층 저항을 인용-정리 하였다.

각 재료별 물리적 성질은 여러가지 있지만 가장 기본이 되는 밀도, 비열, 열전도율 만을 인용했고, 참고로 인용 문헌을 code화해서 마지막 난에 적어두었다.

인용문헌 번호

1 "ASHRAE HANDBOOK, 1985 FUNDAMENTALS", 1985

2 설비 기술 연구회, "공조-위생기술 데이터북", 한미, 1986

3 EC 태양에너지 위원회, "EUROPEAN PASSIVE SOLAR HANDBOOK", 1986

4 건설부, "주택 건설의 공업화를 위한 주택 각 부위의 표준치수
설정과 주택 성능에 관한 연구", 1981

5 M.Evans, "Housing, Climate & Comfort", John Wiley & Sons, 1980

6 이건영. 서승직 편저, "건축 환경 공학", 영문사, 1984

1) 구조재 (Structural materials)

〈표 3-4〉 구조재의 물리적 성질

재료	밀도 (kg/m ³)	비열 (kcal/kg°C)	열전도율 (kcal/mh°C)	인용문헌
목재(timber)				
참나무(oak)	577	0.57	0.17	4
노송나무(obtusa)	450	0.50	0.12	4
라 왕(lauan)	470	0.54	0.15	4
소나무(pine)	480	0.50	0.15	4
삼나무(cedar)	330	0.50	0.11	4
합 판(plywood)	530	0.29	0.12	3
칩보오드(chipboard)	800	0.31	0.13	3
석재(stone)				
화강암(granite)	2,600	0.22	2.15	3
석회암(limestorn)	2,180	0.17	1.28	3
사암(sandstorn)	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
고압벽돌(engineering brick)	2,200	0.26	0.99	5
콘크리트(concrete)				
보통콘크리트(concrete)	2,200	0.21	1.40	5
개량콘크리트(lightweight C.)	1,200	0.24	0.34	3
기포콘크리트(foam C.)	500	0.27	0.10	4
블럭(block)				
보통블럭(concrete block)		0.22	0.69	1
경량블럭(lightweight C.B.)	1,380	0.25	0.44	4
흙벽(clay wall)	1,280	0.21	0.59	4

2) 외장-접합재(External/cladding materials)

〈표 3-5〉 외장-접합재의 물리적 성질

재료	밀도 (kg/m ³)	비열 (kcal/kg°C)	열전도율 (kcal/mh°C)	인용문현
유리(glass)				
창유리(window glass)	2,500	0.43	0.90	3
크라운유리(crown glass)	2,470	0.18	0.86	1
플린트유리(flint glass)	4,280	0.12	1.20	1
내열유리(pyrex)	2,230	0.20	0.86	1
기포유리(foam glass)	136	0.18	0.04	1
금속(metal)				
알루미늄(aluminum)	2,740	0.215	190	1
구리(copper)	8,910	0.094	338	1
황동(brass)	8,310	0.096	103	1
연철(soft iron)	7,830	0.120	39	1
강철(steel)	7,760	0.110	43	5
탄소강(carbon steel)	7,800	0.120	43	3
스레이트(slate)				
천연슬레이트(natural slate)		0.30	1.24	1
석면슬레이트 (asbestos slate)	1,500	0.29	1.03	6
기와(roofing tile)	2,000	0.18	0.86	6
아스팔트 루우핑 (asphalt roofing)	1,000	0.22	0.095	6
모르타르(cement mortar)	1,865	0.20	0.62	1
진흙(clay)	1,600	0.90	0.39	6
모래(sand)	1,520	0.19	0.28	1
자갈(gravel)	1,850	0.20	0.68	4
사질점토(sandy clay)	1,780	0.33	0.79	2
시멘트 공사 (sand cement render)	1,570	0.24	0.97	3

3) 마감재(Finishes)

〈표 3-6〉 마감재의 물리적 성질

재료	밀도 (kg/m ³)	비열 (kcal/kg°C)	열전도율 (kcal/mh°C)	인용문현
회반죽 바르기(plastering)				
석고(gypsum)	1,120	0.24	0.33	3
질석(vermiculite)	640	0.24	0.24	3
모래시멘트(sand cement)	1,570	0.24	0.46	3
석회(lime)	1,320	0.25	0.64	4
타일(tile)				
아스팔트(asphalt)	1,830	0.26	0.28	4
고무(rubber)	1,780	0.38	0.34	4
도자기(tile)	2,400	0.26	1.10	4
코르크(cork)	540	0.48	0.07	3
플라스틱(plastic)	1,050	0.29	0.43	3
PVC 석면(PVC asbestos)	2,000	0.24	0.73	3
바닥마감(flooring)				
목재(timber)	650	0.28	0.12	3
고무(rubber)	1,600	0.48	0.26	3
하드보드(hardboard)	600	0.48	0.07	3
석고판(gypsumboard)	800	0.26	0.14	1
석면시멘트판 (asbestos-cement board)	1,920	0.24	0.50	1
콘크리트마감(concrete)	2,100	0.24	1.10	3
경량콘크리트(lightweight C.)	1,200	0.20	0.35	3
양탄자(carpeting)	400	0.19	0.07	6
리놀륨(linoleum)	1,190	0.30	0.17	4

4) 단열재(Finishes)

〈표 3-7〉 단열재의 물리적 성질

재료	밀도 (kg/m ³)	비열 (kcal/kg°C)	열전도율 (kcal/mh°C)	인용문현
섬유판(fiber board)				
연질(fiber board)	288	0.31	0.05	1
경질(hard board)	880	0.32	0.10	1
파티클(particle board)	592	0.31	0.07	1
발포수지(foamed plastics)				
페놀발포(phenolic plastics)	30	0.33	0.033	3
폴리스티렌 (polystyrene board)	15	0.33	0.032	3
폴리스티렌 (polystyrene board)	25	0.29	0.029	3
폴리스티렌 (polystyrene board)	36	0.29	0.025	3
압출폴리스티렌 (extruded polystyrene board)	28	0.33	0.031	3
풀리우레탄 (polyurethane foam board)	30	0.38	0.022	3
풀리에틸렌 (polyethylene foam board)	30	0.35	0.030	4
경질고무 (expanded rigid rubber)	72	0.40	0.028	1
우레아폼 (urea formaldehyde foam)	10	0.33	0.034	3
퍼어라이트 (perlite foam board)	65		0.036	1

재료	밀도 (kg/m ³)	비열 (kcal/kg°C)	열전도율 (kcal/mh°C)	인용문현
섬유재(fibers)				
유리섬유(glass wool(fiber))	200	0.20	0.036	4
암면(rock wool)	200	0.20	0.038	4
광재면(mineral fiber mat)	25	0.23	0.034	3
광재면(mineral fiber mat)	180	0.24	0.036	3
암면성형판(rock wool board)	330	0.20	0.053	4
유리면성형판 (glass fiber board)	100	0.23	0.031	1
셀룰로우수면 (brown cellulose fibers)	45	0.33	0.039	3
입자형(granules)				
질석(vermiculite)	550	0.24	0.10	4
톱밥(saw dust)	200	0.50	0.11	4
퍼어라이트(perlite)	65		0.036	1
짚(thatch)				
갈대(reed)	270	0.24	0.077	3
밀짚(straw)	240	0.24	0.060	3
코르크판(cork board)	160	0.40	0.038	4

6) 건물 부위별 표면 공기층 저항

i) 건물 내표면 저항

<표 3-8> 건물 내표면 공기층 저항

건물 부위	표면 방사율	열이동방향	표면저항($m^2h^{-1}C/kcal$)
벽 면	높 음	수 평	0.143
	낮 음	수 평	0.354
천장이나 지붕 과 바닥	높 음	상 향	0.123
	낮 음	상 향	0.254
천장과 바닥	높 음	하 향	0.174
	낮 음	하 향	0.654

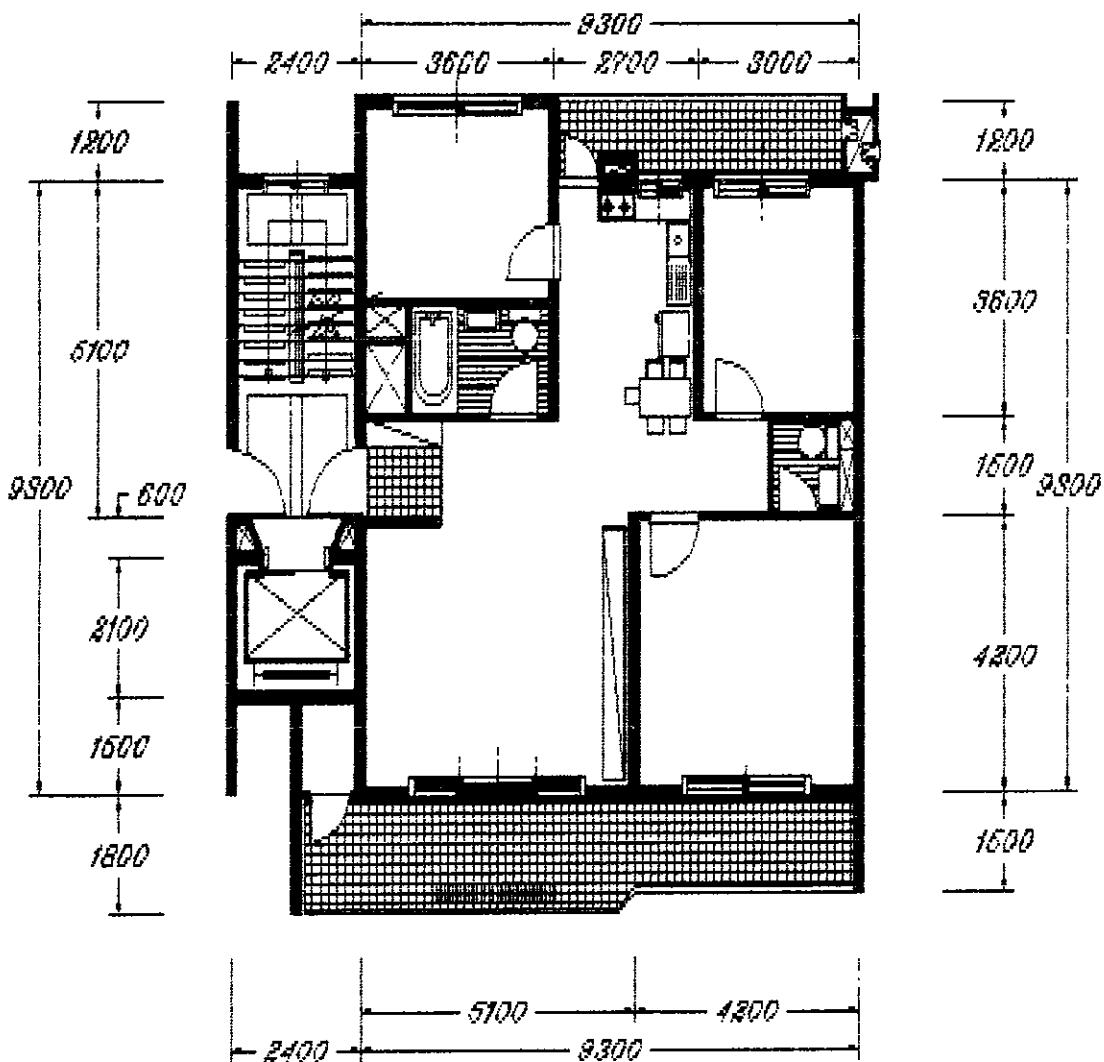
ii) 건물 외표면 저항

<표 3-9> 건물 외표면 공기층 저항

건물 부위	표면 방사율	노출 정도에 따른 표면저항($m^2h^{-1}C/kcal$)		
		둘러싸임	보통정도	노출 심하게
벽 면	높 음	0.093	0.064	0.035
	낮 음	0.128	0.070	0.035
지붕	높 음	0.081	0.052	0.023
	낮 음	0.105	0.062	0.023

3-2-3. 씨뮬레이션 모델의 설정

씨뮬레이션 모델은 상하좌우가 인접주거에 둘러 쌓여 있는 아파트 기준세대를 설정하여 그 중에서 남면만 외기에 면하고 있는 남향의 주침실을 대상으로 하였다. [그림 3-2]는 씨뮬레이션의 모델로 사용된 주침실을 포함한 30평 규모의 아파트 단위 평면을 나타내고 있다.



[그림 3-2] 씨뮬레이션에 사용된 아파트 단위 평면

3-3. 재료와 단열 위치에 따른 벽체의 분류

씨뮬레이션에 사용된 벽체들은 현재 국내에서 시공되고 있거나 열성능상 추천할 만한 외벽 재료들로 구성된 것들로 이를 크게 벽돌벽, 콘크리트벽, 판넬벽으로 나눈 뒤 단열 위치와 재료들의 구성에 따라 <표 3-10>부터 <표 3-27>까지 나타난 것과 같이 18가지로 분류하였다.

분류한 벽체들에 대해서는 주요재료와 단열재의 위치에 따라 PATTERN B1 (벽돌벽 1번), PATTERN C2 (콘크리트벽 2번), PATTERN P3 (판넬벽 3번)과 같이 고유번호를 부여하였다.

PATTERN B1, PATTERN C1은 각각 적벽돌과 콘크리트만 이루어진 벽체로 별도의 단열재가 없어 열관류율 값이 매우 큰 벽체를 대표한다고 볼 수 있다.

그리고 PATTERN B, PATTERN C, PATTERN P 다음의 숫자가 2, 3, 4번인 벽체들은 각 재료별 내단열, 중단열, 외단열된 것으로 분류되어 있다.

PATTERN P5와 PATTERN P6는 단열재를 주로한 대표적인 판넬벽으로 열용량은 거의 없지만 열관류율 값이 매우 낮은 벽체를 대표하는 것들이다.

P.C판넬과 콘크리트의 물성은 비슷하지만 생산 및 건축과정이 전혀 다르고 P.C판넬은 공업화를 통한 대량 생산의 가능성이 있으므로 따로 분류하였다.

<표 3-10> PATTERN B1, 적벽돌, 단열재 없음

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	적벽돌 모르타르 벽지	1,660 1,865 600	0.19 0.01 0.0005	0.67 0.62 0.10	0.20 0.20 0.48	0.28 0.02 0.005

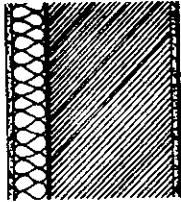
<표 3-11> PATTERN B2, 적벽돌+스치로폴, 내단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	적벽돌 스치로폴 모르타르 벽지	1,660 25 1,865 600	0.19 0.05 0.01 0.0005	0.67 0.029 0.62 0.10	0.20 0.29 0.20 0.48	0.28 1.72 0.02 0.005

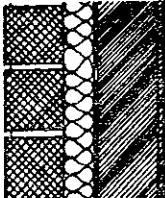
<표 3-12> PATTERN B3, 적벽돌+스치로폴+시멘트벽돌, 중단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	적벽돌 스치로폴 시멘트벽돌 모르타르 벽지	1,660 25 1,600 1,865 600	0.09 0.05 0.09 0.01 0.0005	0.67 0.029 0.53 0.62 0.10	0.20 0.29 0.20 0.20 0.48	0.13 1.72 0.17 0.02 0.005

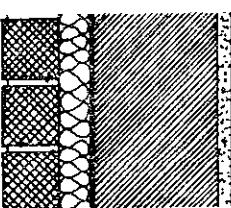
〈표 3-13〉 PATTERN B4, 스치로풀+시멘트벽돌, 외단열

구 조	재 료	밀 도	두께	열전도율	비 열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르 스치로풀 시멘트벽돌 모르타르 벽 지	1,865 25 1,600 1,865 600	0.01 0.05 0.19 0.01 0.0005	0.62 0.029 0.53 0.62 0.10	0.20 0.29 0.20 0.20 0.48	0.02 1.72 0.36 0.02 0.005

〈표 3-14〉 PATTERN B5, 적벽돌+스치로풀+시멘트벽돌+석고보드

구 조	재 료	밀 도	두께	열전도율	비 열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	적 벽 돌 스치로풀 시멘트벽돌 석고보드 벽 지	1,660 25 1,600 800 600	0.09 0.05 0.09 0.01 0.0005	0.67 0.029 0.53 0.14 0.10	0.20 0.29 0.20 0.26 0.48	0.13 1.72 0.17 0.06 0.005

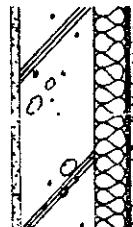
〈표 3-15〉 PATTERN B6, 적벽돌+스치로풀+시멘트벽돌+모르타르+석고보드

구 조	재 료	밀 도	두께	열전도율	비 열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	적 벽 돌 스치로풀 시멘트벽돌 모르타르 석고보드 벽 지	1,660 25 1,600 1,865 800 600	0.09 0.05 0.19 0.02 0.01 0.0005	0.67 0.029 0.53 0.62 0.14 0.10	0.20 0.29 0.20 0.20 0.26 0.48	0.13 1.72 0.36 0.03 0.06 0.005

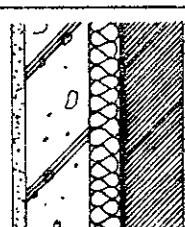
〈표 3-16〉 PATTERN C1, 콘크리트, 단열재 없음

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	콘크리트	2,200	0.20	1.40	0.21	0.14
	벽지	600	0.0005	0.10	0.48	0.005

〈표 3-17〉 PATTERN C2, 콘크리트+스치로폴, 내단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르 콘크리트 스치로폴 모르타르 벽지	1,865 2,200 25 1,865 600	0.01 0.12 0.05 0.01 0.0005	0.62 1.40 0.029 0.62 0.10	0.20 0.21 0.29 0.20 0.48	0.02 0.09 1.72 0.02 0.005

〈표 3-18〉 PATTERN C3, 콘크리트+스치로폴+시멘트벽돌, 중단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르 콘크리트 스치로폴 시멘트벽돌 모르타르 벽지	1,865 2,200 25 1,600 1,865 600	0.02 0.10 0.05 0.09 0.02 0.0005	0.62 1.40 0.029 0.53 0.62 0.10	0.20 0.21 0.29 0.20 0.20 0.48	0.03 0.07 1.72 0.17 0.03 0.005

〈표 3-19〉 PATTERN C4, 스치로풀+콘크리트, 외단열

구 조	재 료	밀 도	두께	열전도율	비 열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르 스치로풀 콘크리트 모르타르 벽 지	1,865 25 2,200 1,865 600	0.01 0.05 0.12 0.01 0.0005	0.62 0.029 1.40 0.62 0.10	0.20 0.29 0.21 0.20 0.48	0.02 1.72 0.09 0.02 0.005

〈표 3-20〉 PATTERN C5, 콘크리트+스치로풀+석고보드

구 조	재 료	밀 도	두께	열전도율	비 열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	콘크리트 스치로풀 석고보드 벽 지	2,200 25 800 600	0.20 0.05 0.01 0.0005	1.40 0.029 0.14 0.10	0.21 0.29 0.26 0.48	0.14 1.72 0.06 0.005

〈표 3-21〉 PATTERN C6, 콘크리트+스치로풀+합판

구 조	재 료	밀 도	두께	열전도율	비 열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르 콘크리트 스치로풀 합 판 벽 지	1,865 2,200 25 530 600	0.02 0.10 0.05 0.0045 0.0005	0.62 1.40 0.029 0.12 0.10	0.20 0.21 0.29 0.29 0.48	0.03 0.07 1.72 0.04 0.005

〈표 3-22〉 PATTERN P1, P.C.판넬, 내단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	P.C.판넬 스치로폴 모르타르 벽지	2,400 25 1,865 600	0.14 0.05 0.02 0.0005	1.40 0.029 0.62 0.10	0.19 0.29 0.20 0.48	0.10 1.72 0.03 0.005

〈표 3-23〉 PATTERN P2, P.C.판넬+스치로폴+석고보드, 내단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	P.C.판넬 스치로폴 석고보드 벽지	2,400 25 800 600	0.12 0.05 0.01 0.0005	1.40 0.029 0.14 0.10	0.19 0.29 0.26 0.48	0.09 1.72 0.06 0.005

〈표 3-24〉 PATTERN P3, P.C.판넬+스치로폴+시멘트벽돌, 중단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	P.C.판넬 스치로폴 시멘트벽돌 모르타르 벽지	2,400 25 1,600 1,865 600	0.14 0.05 0.09 0.02 0.0005	1.40 0.029 0.53 0.62 0.10	0.19 0.29 0.20 0.20 0.48	0.10 1.72 0.17 0.03 0.005

〈표 3-25〉 PATTERN P4, 스치로풀+P.C.판넬, 외단열

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르	1,865	0.02	0.62	0.20	0.03
	스치로풀	25	0.05	0.029	0.29	1.72
	P.C. 판넬	2,400	0.14	1.40	0.19	0.10
	벽지	600	0.0005	0.10	0.48	0.005

〈표 3-26〉 PATTERN P5, 스치로풀+석고보드, 단열재만으로 구성

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르	1,865	0.002	0.62	0.20	0.003
	스치로풀	25	0.03	0.029	0.29	1.03
	석고보드	800	0.01	0.14	0.26	0.06
	벽지	600	0.0005	0.10	0.48	0.005

〈표 3-27〉 PATTERN P6, 모르타르+스치로풀+모르타르, 거의 단열재만으로 구성

구조	재료	밀도	두께	열전도율	비열	전도저항
		kg/m ³	m	kcal/mh°C	kcal/kg°C	m ² h°C/kcal
	모르타르	1,865	0.01	0.62	0.20	0.02
	스치로풀	25	0.11	0.029	0.29	3.79
	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 씨뮬레이션

3-3. 절에서 분류한 벽체들에 대한 열성능 씨뮬레이션 결과와 그에 대한 고찰은 우선 벽체를 주요 재료에 따라 벽돌벽, 콘크리트벽, 판넬벽으로 나눈 다음, 각재료별 열성능을 알아보기 위해 각 벽체들의 열관률값과 TTCwall값, 내부 구조체의 열용량을 고려한 TTTCB값, 환기까지 고려한 종합TTC값인 TTTCV값을 구하고 이에 따른 실내온도 변화를 최고(T_{max}), 최저(T_{min}), 평균($(T_{max} + T_{min})/2$)으로 나누어 표로 나타내었으며 특히 단열 위치에 따른 온도 변화는 그래프로 나타내어 단열위치에 따른 열성능을 비교 분석 하였다.

다음으로 각 재료별 특성을 서로 비교하기 위해 단열위치가 같은 벽체들의 열성능을 함께 그래프로 나타내었다.

또한 벽체의 열관률값과 실내온도 변화와의 관계를 알아보기 위해 열관률값에 따른 온도 변화를 그래프로 나타내었으며 벽체의 종합 TTC값에 따른 온도 변화를 표와 그래프를 통해 살펴보았고, TTC값은 비슷하지만 열관률의 차이가 많은 벽체들의 열성능을 상호 비교해 보았다.

마지막으로 벽체들의 열성능 씨뮬레이션 결과를 종합정리 하였다.

3-4-1. 벽돌벽

PATTERN B1-B6까지의 벽체에 대한 씨뮬레이션 결과를 <표 3-28>에 나타내었다.

<표 3-28> 벽돌벽의 열성능 씨뮬레이션

		PATTERN B1	PATTERN B2	PATTERN B3	PATTERN B4	PATTERN B5	PATTERN B6
벽체의 구성 (외부로부터)		적벽돌19cm 몰 탈 1cm (시멘트) 몰 탈 1cm	적벽돌19cm 단열재 5cm (스치로폼) 몰 탈 1cm	적벽돌 9cm 단열재 5cm 벽 돌 9cm 몰 탈 1cm	몰 탈 1cm 단열재 5cm 벽 돌19cm 몰 탈 1cm	적벽돌 9cm 단열재 5cm 벽 돌 9cm 석고판 1cm	적벽돌 9cm 단열재 5cm 벽 돌19cm 몰 탈 2cm 석고판 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
TTTCB (h)		24.25	51.07	100.19	160.34	97.30	186.69
TTTCV (h)		8.69	18.30	35.90	57.45	34.86	66.89
실내온도	최저 (시각)	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 (시각)	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

PATTERN B1은 적벽돌 1.0B에 모르타르 마감한 벽으로 단열재를 쓰지 않아 열관류율이 1.94, 종합TTC가 8.69로 실내온도는 최저 3.92°C에서 최고 11.16°C까지 온도 변화폭이 매우 크게 나타났는데 열관류율 값이 크면 벽체를 통한 열출입이 쉽게 이루어 진다는 것을 알 수 있었다.

PATTERN B2는 적벽돌 1.0B 안쪽에 5cm 스치로풀로 내단열한 벽체로 열관류율이 0.45, 종합TTC가 18.3으로 실내온도 변화폭은 8.09-14.24°C, 평균 실내온도는 11.17°C로 씨뮬레이션한 6개의 벽돌벽 중에서 평균온도가 가장 높은 것으로 나타났다.

PATTERN B3는 0.5B 적벽돌과 0.5B 시멘트 벽돌 사이에 스치로풀을 설치한 중단열 벽체로 열관류율이 0.44, 종합TTC가 35.9로 실내온도는 8.04-11.4°C, 평균온도가 9.76°C이다.

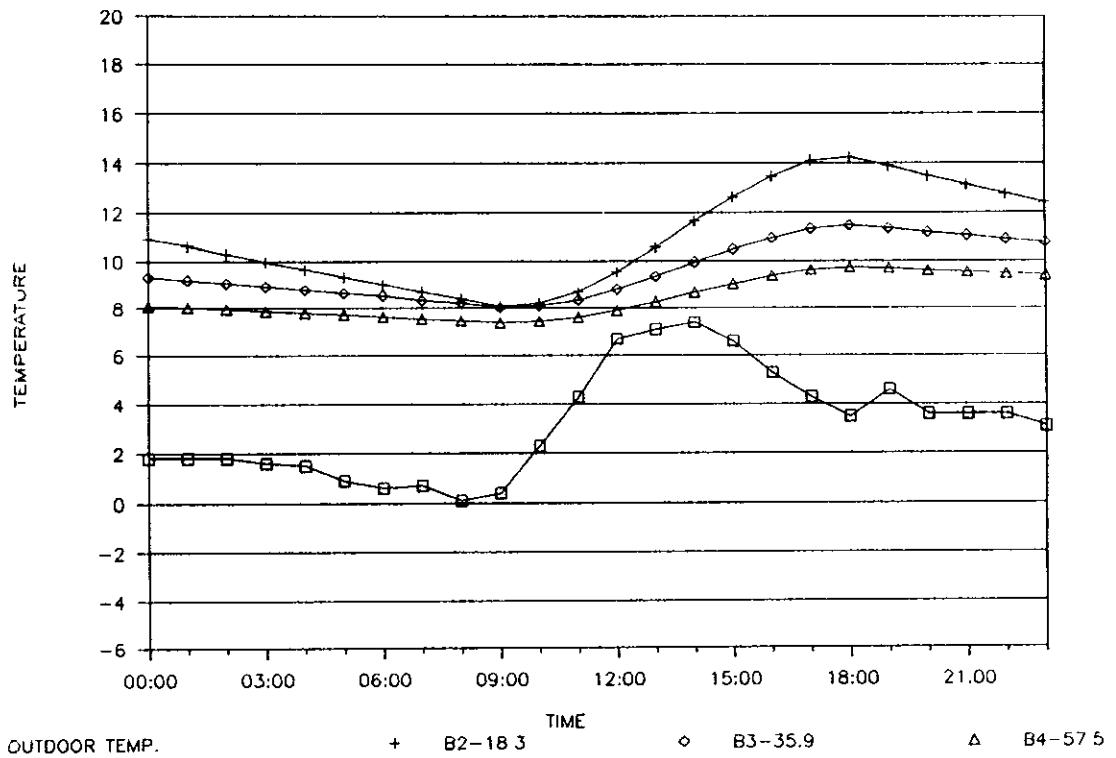
PATTERN B4는 1.0B의 시멘트 벽돌을 5cm스치로풀로 외단열한 벽체로 열관류율이 0.43, 종합TTC가 57.45로 실내평균온도는 8.57°C여서 내단열과 중단열에 비해 낮으며 동시에 실내온도 변화폭도 7.39-9.75°C로 매우 작게 나타났다.

PATTERN B5는 중단열벽 내부에 석고보드를 부착함에 따라 열관류율이 0.43, 종합TTC는 34.86으로 실내 평균온도는 9.87°C로 나타났다.

PATTERN B6는 0.5B적벽돌에 5cm스치로풀, 1.0B시멘트 벽돌, 2cm몰탈, 1cm석고보드를 조합한 다소 두꺼운 벽돌로 열관류율이 0.40, 종합TTC가 66.89로 6개 벽돌벽 중에서 종합TTC가 가장 큰데 실내 온도 변화폭은 7.14-9.19°C로 가장 작게 나타났다.

따라서 종합TTC값이 클수록 실내 온도 변화폭은 줄어든다는 사실을 알 수 있다. 또한 실내온도가 최소일 때와 최대일 때의 시간은 열관류율이 높은 B1을 제외한 모든 벽체들이 오전 9시와 오후 6시로, 벽체에 따른 열전달 지연 효과(Time-Lag)는 비슷한 것으로 나타났다.

<표 3-28>에서 PATTERN B2, B3, B4는 각각 내단열, 중단열, 외단열한 벽돌 벽체들로 이벽체들에 따른 실내온도 변화를 그래프로 나타내면 [그림 3-3]와 같다.



주. B2-18.3에서 18.3은 PATTERN B2의 종합 TTC 값이다.

[그림 3-3] 벽돌벽의 단열 위치에 따른 실내온도 변화

<표 3-28>와 [그림 3-3]에서 알수 있듯이 내단열, 중단열, 외단열한 벽돌벽의 경우 실내 온도 변화폭은 각각 $8.09\text{-}14.24^{\circ}\text{C}(6.15^{\circ}\text{C})$, $8.04\text{-}11.48^{\circ}\text{C}(3.44^{\circ}\text{C})$, $7.39\text{-}9.75^{\circ}\text{C}(2.36^{\circ}\text{C})$ 로, 실내 평균 온도는 11.17°C , 9.76°C , 8.57°C 로 나타났다.

3-4-2. 콘크리트벽

PATTERN C1-C6까지의 벽체에 대한 씨뮬레이션 결과를 <표 3-29>에 나타내었다.

<표 3-29> 콘크리트벽의 열성능 씨뮬레이션

벽체의 구성 (외부로부터)	PATTERN C1	PATTERN C2	PATTERN C3	PATTERN C4	PATTERN C5	PATTERN C6
	콘크리트 20cm	몰 탈 1cm 콘크리트 12cm 단열재 5cm 몰 탈 1cm	몰 탈 2cm 콘크리트 10cm 단열재 5cm 벽 돌 9cm 몰 탈 2cm	몰 탈 1cm 단열재 5cm 콘크리트 12cm 몰 탈 1cm	콘크리트 20cm 단열재 5cm 석고판 1cm	몰 탈 2cm 콘크리트 10cm 단열재 5cm 합판 0.5cm
열관류율(K값)	2.82	0.48	0.45	0.48	0.47	0.48
TTCwall(h)	10.30	13.02	77.51	108.58	14.44	7.21
TTTCB (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
실내온도	최저 (시각)	3.45°C (9시)	7.75°C (9시)	7.96°C (9시)	7.47°C (9시)	7.90°C (9시)
	최고 (시각)	12.04°C (17시)	14.89°C (18시)	11.20°C (18시)	10.02°C (18시)	14.70°C (18시)
	평균	7.75°C	11.32°C	9.58°C	8.75°C	11.30°C

PATTERN C1은 20cm 콘크리트로만 된 벽체로 열관류율이 2.82, 종합TTC가 7.18 이어서 실내온도 변화폭은 매우 큰 3.45-12.04°C(8.59°C)로 나타났다.

PATTERN C2는 12cm콘크리트에 5cm스치로풀로 내단열한 벽체로 열관류율은 0.48, 종합TTC는 15.32, 실내 평균온도가 11.32°C로 나타났다.

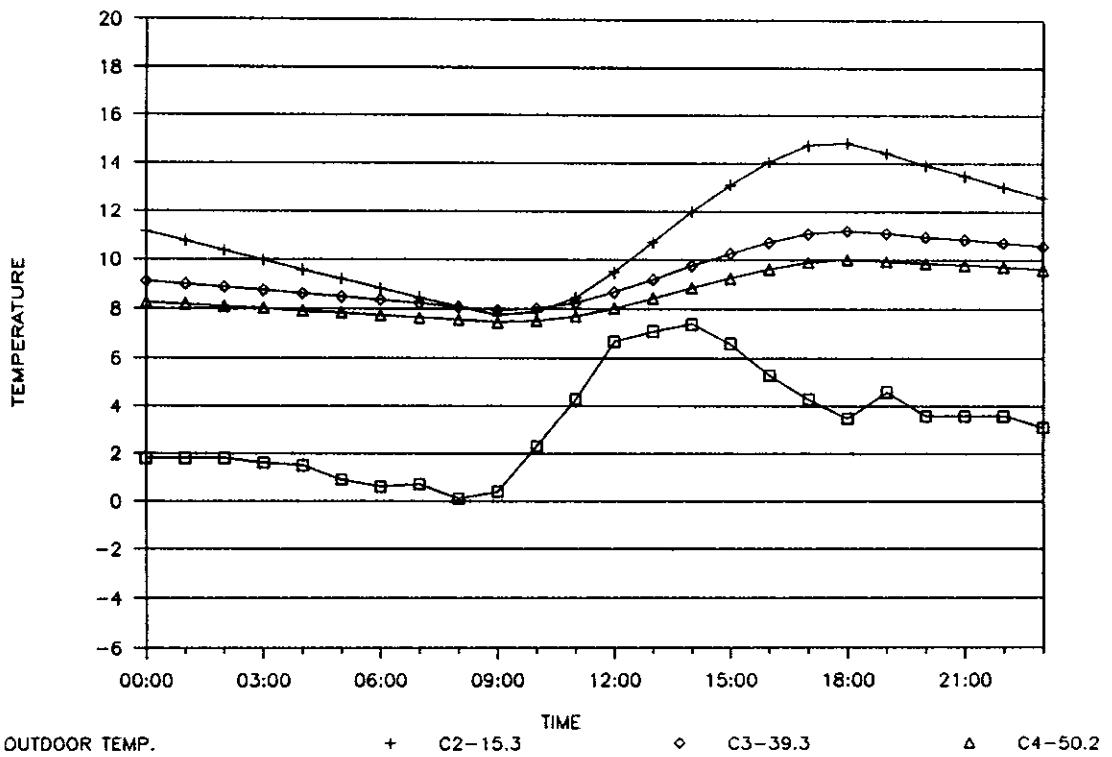
PATTERN C3는 콘크리트와 벽돌사이에 스치로풀이 들어간 중단열 벽체로 열관류율0.45, 종합TTC39.26으로 실내 평균온도가 9.58°C였고, PATTERN C4는 12cm콘크리트를 5cm스치로풀로 외단열한 벽체로 열관류율 0.48, 종합TTC 50.15여서 6개 콘크리트 벽체중 가장높은 TTC값과 가장적은 실내온도 변화폭(7.47-10.02°C)을 기록했다.

PATTERN C5는 스치로풀과 석고보드가 콘크리트 내부쪽에 있어서 내단열 벽체라 볼 수 있는데 열관류율은 0.47, 종합TTC 16.21로 실내온도 변화폭은 7.9- 14.7°C로 PATTERN C2와 비슷한 온도 분포를 갖고 있었다.

PATTERN C6는 콘크리트 안쪽에 스치로풀과 합판을 대어 열관류율 0.48, 종합TTC 13.34인 내단열 벽체로 실내온도 변화폭은 7.53-15.55°C, 실내 평균 기온은 11.54°C로 6개 콘크리트 벽체 중 가장 열성능이 뛰어난 벽체로 나타났다.

콘크리트 벽체에서는 열관류율이 2.82인 C1벽체를 제외하고 나머지는 모두 최저, 최고 실내 온도를 나타낸 시간이 오전 9시와 오후 6시로 나타나 단열 위치에 따른 Time-Lag의 변화는 미약한 것으로 보였다.

<표 3-29>에서 PATTERN C2, C3, C4는 각각 내단열, 중단열, 외단열한 콘크리트 벽체들로 이벽체들에 따른 실내 온도 변화를 그래프로 나타내면 [그림 3-4]와 같다.



주. C2-15.3에서 15.3은 PATTERN C2의 종합 TTC값이다.

[그림 3-4] 콘크리트벽의 단열 위치에 따른 실내온도 변화

<표 3-29>과 [그림 3-4]에서 알 수 있듯이 내단열, 중단열, 외단열한 콘크리트벽의 경우 실내온도 변화폭은 각각 $7.75\text{-}14.89^{\circ}\text{C}(7.14^{\circ}\text{C})$, $7.96\text{-}11.20^{\circ}\text{C}(3.24^{\circ}\text{C})$, $7.47\text{-}10.02^{\circ}\text{C}(2.55^{\circ}\text{C})$ 로, 실내 평균 온도는 11.32°C , 9.58°C , 8.75°C 로 나타났다.

3-4-3. PC판넬벽

PATTERN P1- P6까지의 벽체에 대한 씨뮬레이션 결과를 <표 3-30>에 나타내었다.

<표 3-30> 판넬벽의 열성능 씨뮬레이션

벽체의 구성 (외부로부터)	PATTERN P1	PATTERN P2	PATTERN P3	PATTERN P4	PATTERN P5	PATTERN P6
	PC판넬14cm 단열재 5cm 몰 탈 2cm	PC판넬12cm 단열재 5cm 석고판 1cm	PC판넬14cm 단열재 5cm 벽 돌 9cm 몰 탈 2cm	몰 탈 2cm 단열재 5cm PC판넬14cm	몰탈 0.2cm 단열재 3cm 석고판 1cm	몰 탈 1cm 단열재11cm 몰 탈 1cm
열관류율(K값)	0.48	0.48	0.45	0.48	0.76	0.25
TTCwall(h)	20.28	8.55	77.71	118.63	2.47	7.21
TTTCB (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
실내온도	최저 (시각)	7.98°C (9시)	7.59°C (9시)	7.93°C (9시)	7.36°C (9시)	5.66°C (9시)
	최고 (시각)	14.15°C (18시)	15.41°C (18시)	11.11°C (18시)	9.79°C (18시)	16.71°C (18시)
	평균	11.07°C	11.50°C	9.52°C	8.58°C	11.19°C
						11.54°C

PATTERN P1은 14cm PC판넬에 5cm 스치로풀로 내단열한 벽체로 열관류율 0.48, 종합TTC 17.98, 평균 실내온도 11.07°C로 PATTERN P2와 비슷한 온도 분포를 보이고 있다.

PATTERN P3는 PC판넬과 벽돌사이에 스치로풀을 넣은 중단열 벽체로 열관류율은 0.45, 종합TTC는 39.27, 실내온도 변화폭은 7.93-11.11°C(3.18°C), 실내 평균기온은 9.52°C로 나타났다.

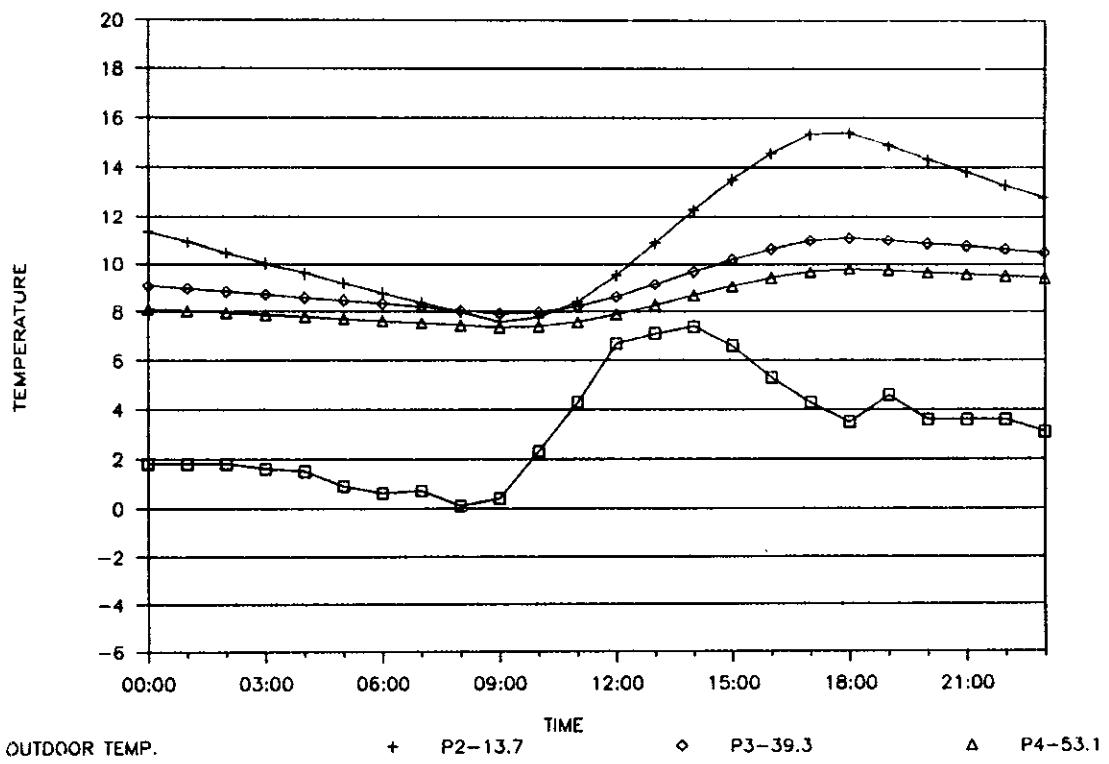
PATTERN P4는 외단열된 PC판넬벽으로 열관류율은 0.48, 종합TTC는 53.1, 실내온도 변화폭은 7.36-9.79°C(2.43°C), 실내 평균기온은 8.58°C로 나타나 PC판넬벽도 벽돌벽이나 콘크리트 벽과 마찬가지로 외단열이 내단열보다 실내 평균기온이 낮아지고 동시에 실내온도 변화폭도 작아지는 것으로 나타났다.

PATTERN P5는 외단열 공법에서 단열재로 많이 쓰이는 드라이 비트의 구성을 그대로 열성능 씨뮬레이션한 것인데 실내 평균기온은 높으나 동시에 실내온도 변화의 폭이 매우 크게 나타났다.

PATTERB P6는 11cm 스치로풀 양면에 1cm씩의 모르타르를 바른 단열재가 벽체의 주요성분인 단열벽이라 볼 수 있다. 두께 13cm의 단열벽이 평균 실내온도 11.54°C로 판넬벽중 가장 높으나 역시 온도 변화의 폭이 매우 크다.

실내 온도의 최저, 최고 시간이 6개 벽체 모두 오전 9시와 오후 6시로 나타났는데 판넬벽 역시 Time-Lag은 단열재의 위치에 관계없이 거의 같음을 알 수 있다.

<표 3-30>에서 PATTERN P2, P3, P4는 각각 내단열, 중단열, 외단열한 PC판넬 벽체들로 이벽체들에 따른 실내 온도 변화를 그래프로 나타내면 [그림 3-5]와 같다.



주. P2-13.7에서 13.7은 PATTERN P2의 종합 TTC값이다.

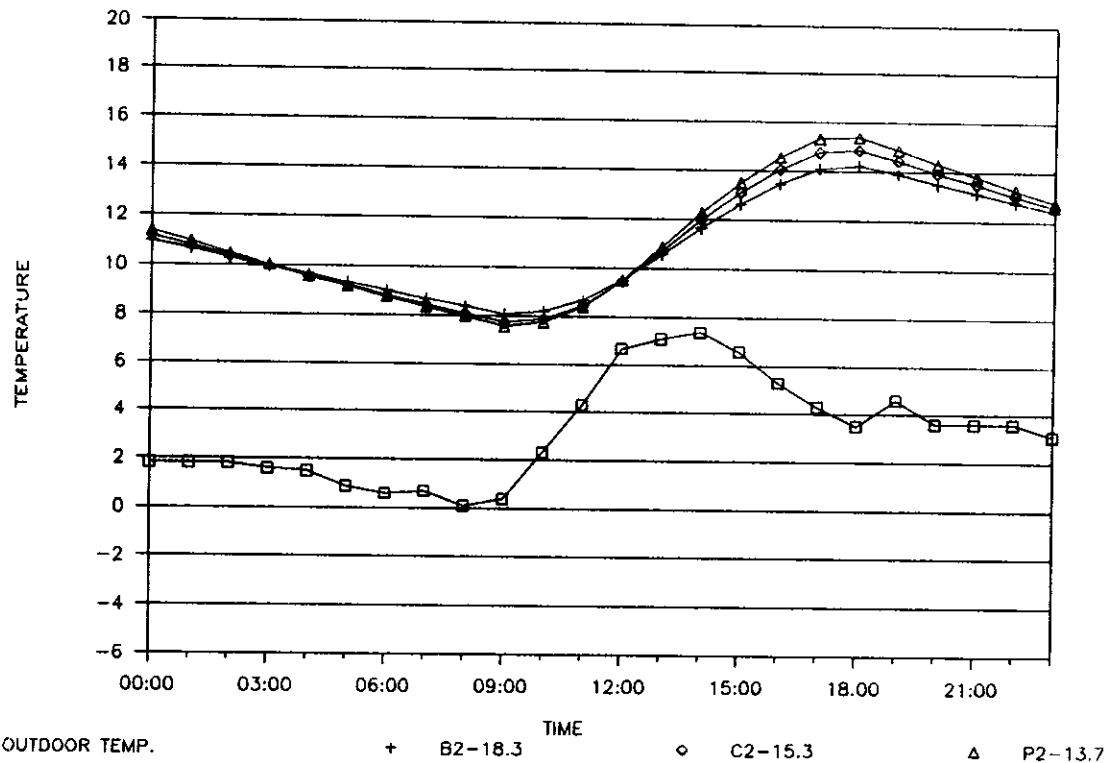
[그림 3-5] PC판넬벽의 단열 위치에 따른 실내온도 변화

<표 3-30>과 [그림 3-5]에서 알 수 있듯이 내단열, 중단열, 외단열한 PC판넬벽의 경우 실내온도 변화폭은 각각 $7.59\text{--}15.41^{\circ}\text{C}(7.82^{\circ}\text{C})$, $7.93\text{--}11.11^{\circ}\text{C}(3.18^{\circ}\text{C})$, $7.36\text{--}9.79^{\circ}\text{C}(2.43^{\circ}\text{C})$ 로, 실내 평균 온도는 11.50°C , 9.52°C , 8.58°C 로 나타났다.

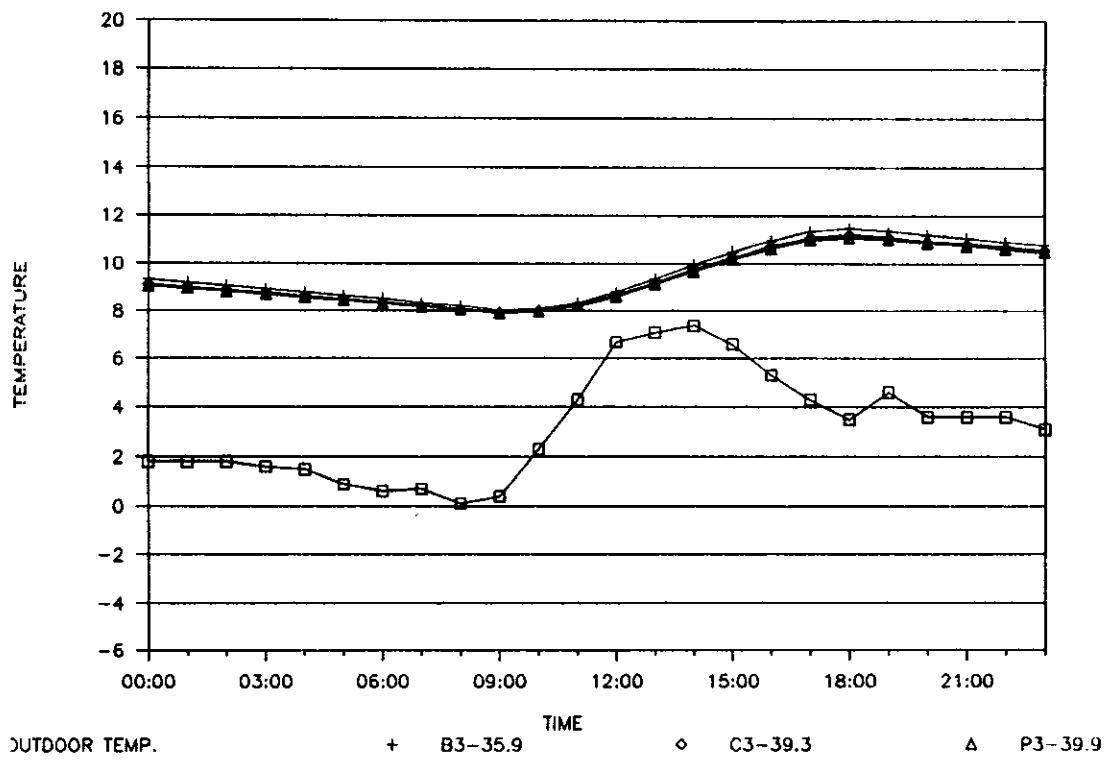
3-4-4. 단열재 위치와 재료에 따른 벽체의 열성능의 비교

벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽의 경우 재료에 따라서 온도 변화가 다르게 나타나지는 않았다. 단지 단열재의 위치가 온도 변화에 큰 영향을 미치는 요소임을 알수 있었다.

각 재료별 단열위치에 따른 실내온도 변화는 [그림 3-6], [그림 3-7], [그림 3-8]에 나타나 있다.

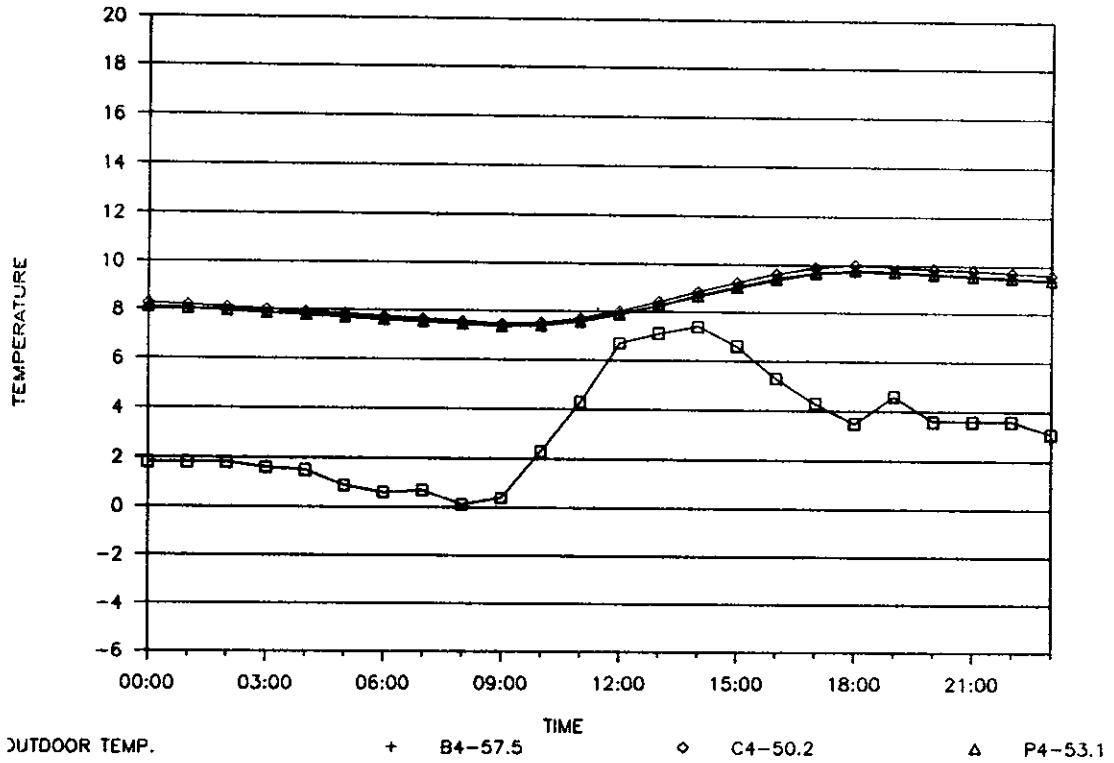


[그림 3-6] 내단열한 벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽에 따른 실내온도 변화
세 벽 모두 비슷한 실내온도 변화를 보이며, 변화폭은 대개 8-15°C, 평균 11.33°C, 표준편차 0.165°C로 나타났다.



[그림 3-7] 중단열한 벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽에 따른 실내온도 변화

중단열한 벽체들의 경우 실내온도 변화폭은 8-11.5°C정도이며, 평균 9.62°C, 표준편차 0.125°C로 세 벽체간의 온도 차이는 거의 없는 것으로 나타났다.



[그림 3-8] 외단열한 벽돌벽, 콘크리트벽, PC판넬벽에 따른 실내온도 변화

세 벽 모두 실내온도 변화폭은 $7.5\text{--}10^{\circ}\text{C}$ 로 매우 낮은 온도 변화폭을 나타내고 있으며, 평균 8.63°C , 표준편차 0.101°C 로, 외단열한 벽체들 사이에서도 재료들간의 온도변화가 거의 일치하는 것을 볼 수 있다.

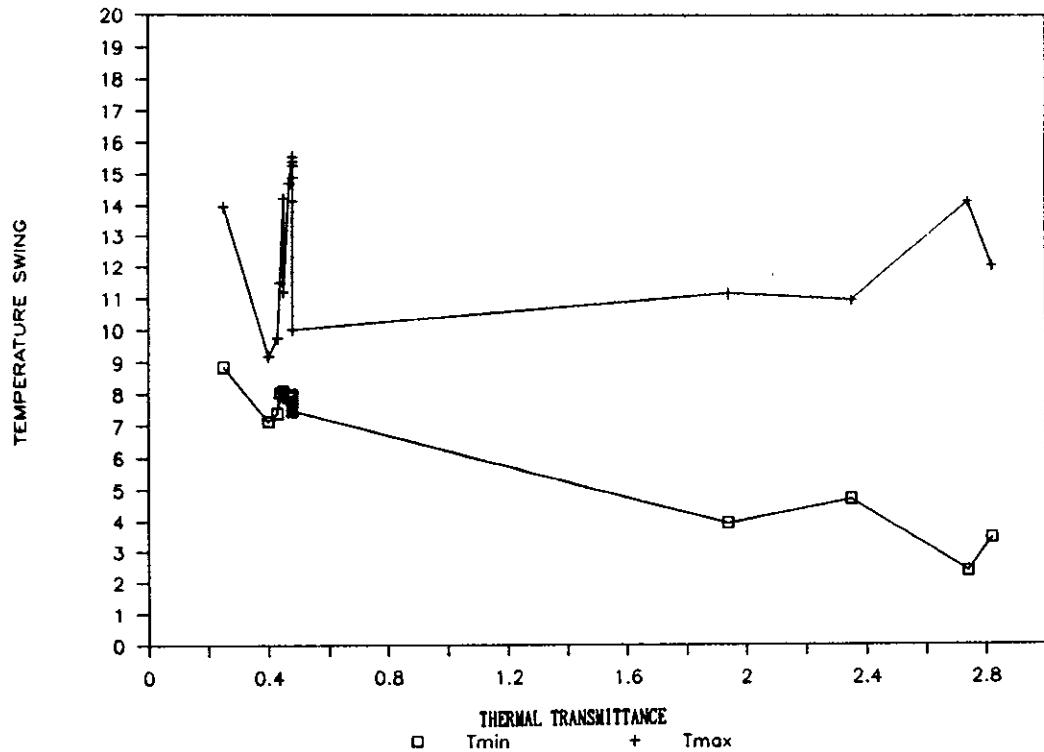
따라서 외벽의 열성능은 구성재료 자체의 물성보다 재료의 구성방법에 따라 결정되는 것을 알 수 있다. 즉, 내단열의 경우 주간에는 일사열을 흡수한 바깥쪽의

벽체가 축열체로 작용하여 벽체의 온도가 상승한 후 실내측으로 전달되므로 실내온도가 상승하지만, 야간에는 벽체가 바로 외기에 면하게 되므로 역으로 축열된 열을 빼앗기게 된다. 따라서 실내온도의 변화폭이 크게 되지만 일사량이 충분하여 축열량이 많은 경우에는 평균온도가 높게 된다. 그러나 외단열의 경우 바깥쪽에 위치한 단열재는 일사열의 축열성능이 거의 없고 외기로의 열손실도 억제되므로 실내온도의 변화폭이 매우 작으며 내부열 발생이 없는 경우 실내 평균기온도 낮게 된다.

따라서 태양의 강한 일사가 미치는 남면 벽체의 경우, 보조난방이 없는 자연실온만을 고려하면 내단열 벽체의 열성능이 우수하다고 볼 수 있다.

3-4-5. 벽체의 열관류율값과 실내온도 변화폭의 관계

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



[그림 3-9] 벽체의 열관류율값과 실내온도 변화폭

위의 [그림 3-9]에서 0.45전후의 열관류율값을 갖는 여러 벽체에 대한 실내온도 변화를 살펴보면 그 값이 거의 같음에도 불구하고 매우 큰 진폭을 나타내고 있음을

알 수 있다.

따라서 벽체의 열성능을 보다 정확히 판단하기 위해서는 열관류율 값뿐만 아니라 동적 열류 해석에 의한 또 다른 지표의 도입이 요구된다는 점을 미루어 짐작할 수 있다.

3-4-6. 종합 TTC값에 따른 실내온도 변화

동적 열류해석 방법의 일종인 TTC법을 이용하여 벽체의 열성능을 고찰해 보았다.

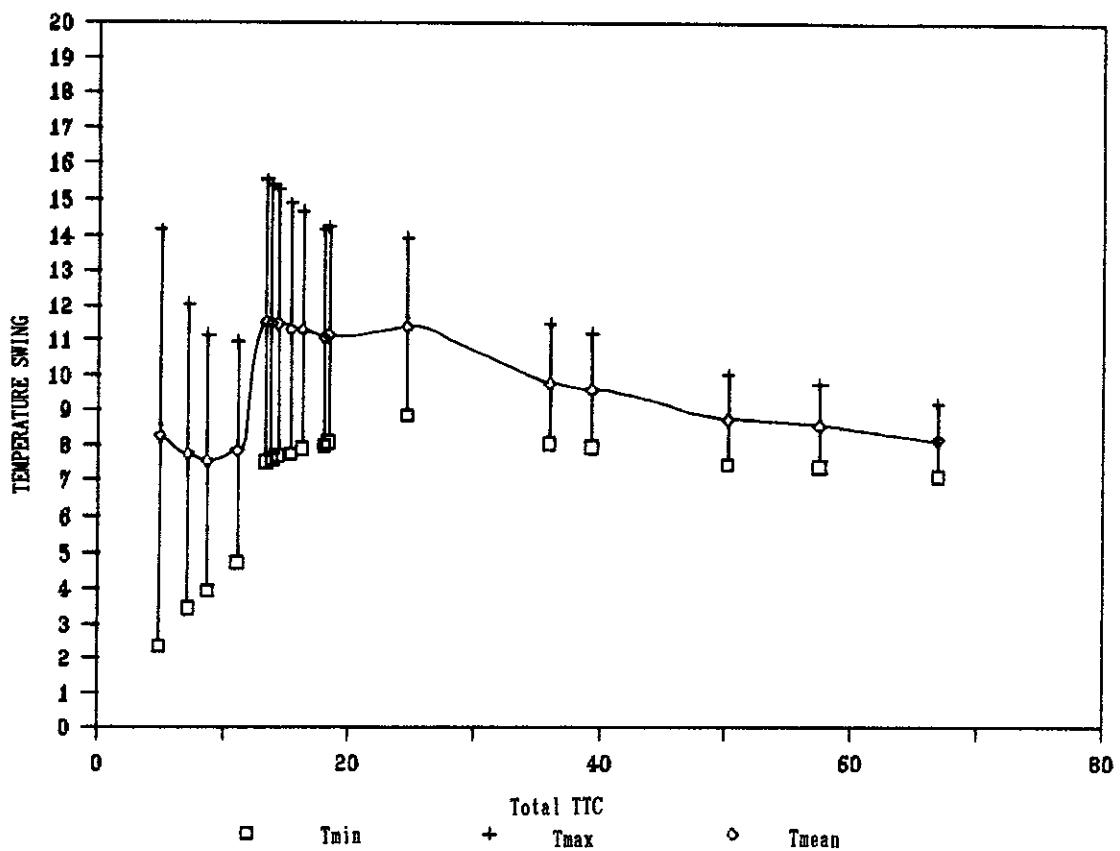
〈표 3-31〉은 씨뮬레이션에 이용된 여러 벽체들의 종합 TTC값에 따른 실내온도 변화를 나타낸 것이다.

〈표 3-31〉 종합 TTC값에 따른 실내온도 변화

종합TTC	최저온도	최고온도	평균온도	종합TTC	최저온도	최고온도	평균온도
4.91	2.37	14.15	8.26	16.21	7.90	14.70	11.30
7.18	3.45	12.04	7.75	17.98	7.98	14.15	11.07
8.69	3.92	11.16	7.54	18.30	8.09	14.24	11.17
11.09	4.71	10.97	7.84	24.54	8.85	13.96	11.41
13.34	7.53	15.55	11.54	35.90	8.04	11.48	9.76
13.74	7.59	15.41	11.50	39.26	7.96	11.20	9.58
14.26	7.68	15.26	11.47	50.15	7.47	10.02	8.75
15.32	7.75	14.89	11.32	66.89	7.14	9.19	8.18

[그림 3-10]은 이를 그래프로 나타낸 것이다.

[그림 3-10]에서 알 수 있듯이 종합 TTC값이 클수록 온도 변화폭은 줄어들지만 평균온도가 너무 낮아지는 경향이 있다.

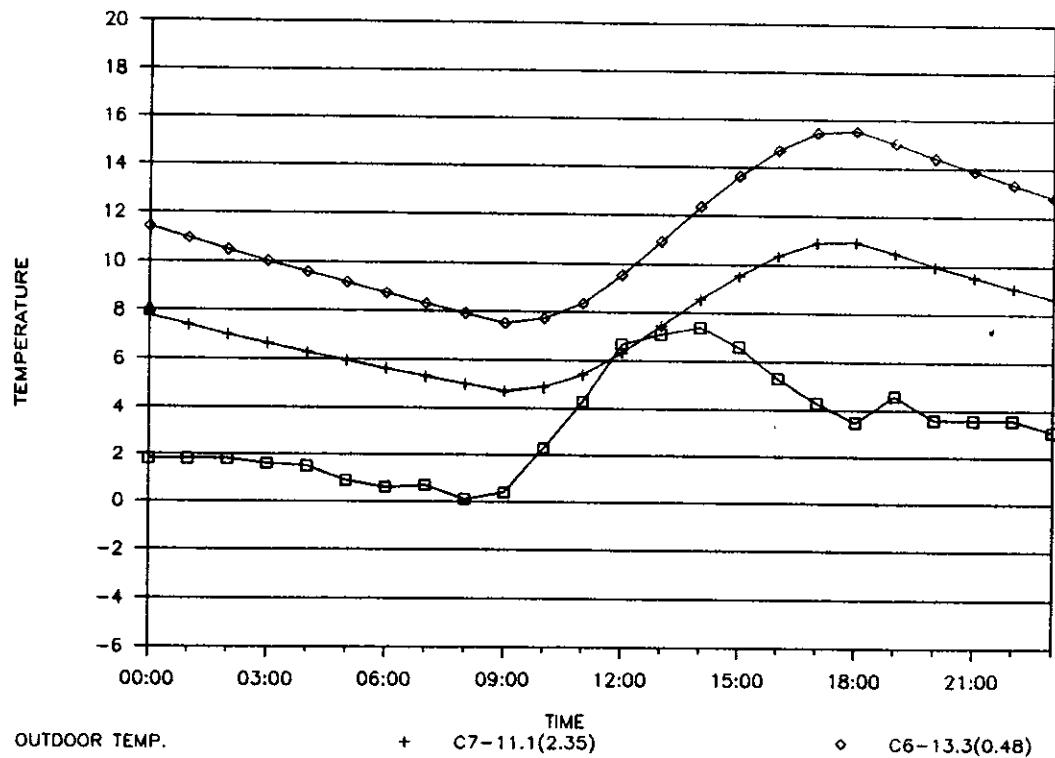


[그림 3-10] 종합 TTC값에 따른 실내온도 변화

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 볼 수 있다.

3-4-7. 열관류율값과 TTC값을 동시에 고려한 실내온도 변화

[그림 3-11]은 TTC값은 비슷하지만 열관류율값이 크게 차이나는 벽체들에 따른 실내온도 변화를 보여주고 있다.



()안의 값은 열관류율

[그림 3-11] TTC값은 비슷하나 열관류율값이 크게 차이나는 벽체의 열성능

[그림 3-11]에서 알 수 있듯이 TTC값이 비슷한 벽체라 하더라도 열관류율값의 차이가 큰 경우에는 열관류율 값이 낮은 쪽이 열성능이 우수하게 나타났다. 관류율 값이 2.34인 벽체(콘크리트 30cm 벽체) 보다 0.48인 벽체(콘크리트 12cm+스치로폼 5cm, 내단열한 벽체)가 대개 4-6°C 높은 온도 변화를 나타내고 있다.

3-5. 열성능 씨뮬레이션 결과 종합

제3장의 씨뮬레이션 결과를 종합정리해보면 다음과 같다.

첫째, 열관류율 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 자연실온 만을 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 열관류율 값이 1.5이상인 무단열 벽체는 4시간, 그외에 열관류율 값이 0.45 전후인 대부분의 벽체는 5시간으로 벽체의 구성방법에 관계없이 거의 일정한 것으로 나타났다.

다섯째, 남면 벽체를 통한 일사의 영향을 고려한 자연실온의 경우 오전 9시에 최저, 오후 6시에 최고로 나타났다.

여섯째, 열관류율 값과 TTC값사이에는 단일 벽체에서는 반비례의 관계가 있으나, 여러가지 재료들로 이루어진 복합 벽체일 경우에는 거의 상관관계가 없었으며, 단지 TTC값이 동일한 경우에는 열관류율 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.

제 4 장 결 론

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

첫째, 벽체의 열성능을 보다 정확히 판단하기 위해서는 열관류율값과 함께 동적 열류 해석에 의한 또다른 지표가 요구된다.

둘째, 자연 실온을 씨뮬레이션한 결과 남면 벽체의 경우에는 내단열이 외단열보다 열성능이 우수한 것으로 나타났다.

셋째, 에너지 절약 측면에서 열 물리적 특성인 열 관류율값과 TTC값을 제안하면 남면 벽체의 경우에 열관류율 값이 0.43-0.48일때 TTC값은 13-25가 이상적이다.

본 연구에서는 단지 에너지절약설계시 외벽선정을 위한 새로운 방법론을 제시하기 위한 목적으로 연구의 범위를 특정 조건으로 축소・제한하였다.

본 연구의 결과는 설정된 특정 조건에서만 성립되는 것이며 이를 일반화하기 위해서는 다음과 같은 연구가 보완되어야 할 것이다.

첫째, 내부구조체의 열용량을 달리했을때의 열성능 분석

둘째, 난방설비등에 의한 내부열발생에 대한 고려

셋째, 남측 이외의 각 방위별 에너지 절약적인 벽체에 관한 연구

넷째, 두 면 이상이 외기에 면한 공간의 열성능 분석

■ 부 록

1. TTC법을 이용한 프로그램 입력 자료의 예 (PATTERN C6)

*** 건물 조건을 입력하시오 ***

축열 구조체의 수 -----	2.00
단위 외표면적당 내부 축열체의 중량 -----	150.00
내부 축열체의 비율 -----	0.21
내부 표면의 열저항 -----	0.35
내부 축열체의 열저항 -----	0.14
외벽의 전체 열관류율에 대한 평균값 -----	0.34
환기 회수 -----	0.50
공기의 열용량 -----	0.29
실 용적 -----	40.57
축열체 이외의 구조체 수 -----	5.00

*** << TTC 계산 >> ***

1 벽체 명 : CONC.+I+P 벽체 면적 : 7.1 층 수 : 6

재료명	밀도 d	두께 L	열전도율 k	비열 s	전도저항 r	부분 TTC	TTC 누계
OUTDO-AIR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04		0.00
C. MORTAR	1,865.00	0.02	0.62	0.20	0.03	0.42	0.42
CONCRETE	2,200.00	0.10	1.40	0.21	0.07	4.99	5.41
FOAMBOARD	25.00	0.05	0.03	0.29	1.72	0.36	5.77
P.E. FILM	1,200.00	0.00	0.18	0.30	0.00	0.13	5.91
PLYWOOD	530.00	0.00	0.12	0.29	0.04	1.31	7.21
WALLPAPER	600.00	0.00	0.10	0.48	0.01	0.27	7.49

*** << TTC 계산 >> ***

2 벽체 명 : WINDOW 벽체 면적 : 2.56 층 수 : 3

재료명	밀도 d	두께 L	열전도율 k	비열 s	전도저항 r	부분 TTC	TTC 누계
OUTDO-AIR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.04		0.00
D.GLAZING	1,450.00	0.01	0.67	0.18	0.02	0.15	0.15
AIR	0.00	0.00	0.00	0.00	0.24		0.15
S.GLAZING	2,500.00	0.00	0.90	0.43	0.00	0.97	1.12

=====

TTTCB = 37.23

=====

=====

TTTCV = 13.34

=====

*** << 측정된 이외의 면적에 관하여 입력하시오 >> ***

구조체 번호	구조체 명	면 적	열 저항
1	EASTWALL	9.66	3.00
2	WESTWALL	9.66	3.00
3	NORTHWALL	9.66	3.00
4	CEILING	17.64	3.00
5	FLOOR	17.64	3.00

<< 다음 변수의 값을 입력하시오 >>

Ros -----	0.12
일사 흡수율 -----	0.70
표면 방사율 -----	0.90
F (correcting operative factor)---	1.02
위도 -----	37.50
1월 1일 부터의 일수 -----	12.00
벽체의 각도 -----	90.00

기상 파일명 ----- APT89

2. PATTERN C6벽체에 대한 시뮬레이션 결과 (6,7일)

***** SIMULATION RESULT *****

DAY	TIME	OutdoorTem	Insolation	SolAirTem	SurfaceTem	IndoorTem
6	0	1.80	0.00	4.13	9.40	8.12
6	1	1.80	0.00	4.06	9.08	7.85
6	2	1.60	0.00	3.84	8.78	7.58
6	3	1.50	0.00	3.70	8.49	7.33
6	4	0.90	0.00	3.14	8.20	7.08
6	5	0.60	0.00	2.83	7.90	6.84
6	6	0.70	0.00	2.84	7.59	6.59
6	7	-0.10	0.00	2.15	7.31	6.34
6	8	0.40	153.00	11.80	7.00	6.10
6	9	2.30	255.00	19.60	7.29	5.84
6	10	4.30	382.00	28.98	8.02	6.08
6	11	6.70	433.00	34.14	9.28	6.70
6	12	7.10	459.00	36.34	10.77	7.75
6	13	7.40	433.50	35.40	12.30	8.99
6	14	6.60	408.00	33.63	13.68	10.26
6	15	6.60	331.50	29.35	14.87	11.42
6	16	5.30	178.50	19.40	15.74	12.42
6	17	4.30	25.50	9.48	15.96	13.14
6	18	3.50	0.00	7.22	15.57	13.32
6	19	4.60	0.00	7.95	15.07	13.00
6	20	3.60	0.00	7.01	14.64	12.58
6	21	3.60	0.00	6.88	14.19	12.22
6	22	3.60	0.00	6.76	13.75	11.84
6	23	3.10	0.00	6.25	13.33	11.48
7	0	1.80	0.00	5.09	12.91	11.13
7	1	1.80	0.00	4.99	12.44	10.78
7	2	1.60	0.00	4.73	11.99	10.39
7	3	1.50	0.00	4.55	11.56	10.01
7	4	0.90	0.00	3.96	11.14	9.65
7	5	0.60	0.00	3.61	10.71	9.30
7	6	0.70	0.00	3.59	10.29	8.94
7	7	-0.10	0.00	2.86	9.89	8.59
7	8	0.40	153.00	12.48	9.47	8.25
7	9	2.30	255.00	20.24	9.65	7.90
7	10	4.30	382.00	29.59	10.28	8.05
7	11	6.70	433.00	34.71	11.44	8.58
7	12	7.10	459.00	36.89	12.83	9.55
7	13	7.40	433.50	35.92	14.27	10.71
7	14	6.60	408.00	34.13	15.56	11.91
7	15	6.60	331.50	29.83	16.67	12.99
7	16	5.30	178.50	19.86	17.46	13.92
7	17	4.30	25.50	9.91	17.60	14.58
7	18	3.50	0.00	7.63	17.14	14.70
7	19	4.60	0.00	8.35	16.58	14.31
7	20	3.60	0.00	7.39	16.08	13.84
7	21	3.60	0.00	7.23	15.56	13.43
7	22	3.60	0.00	7.09	15.06	12.99
7	23	3.10	0.00	6.56	14.59	12.57

3. 기상 데이터 입력 프로그램

```
10 '기상 데이터 입력 파일, 1988/12/4, Song Gook Sup, File Name : CLIMATE
20 DIM TEM(23),INSOL(23),PW(23)
30 GOSUB 380
40 KEY OFF:SCREEN 0,0,0:CLS:RN%=0
50 LOCATE 2,1:PRINT "***<<< 외기온 일사량 수증기 분압 데이터 작성 >>>***":PRINT
60 FOR I=1 TO 79:PRINT "=";:NEXT I:PRINT:COLOR 0,7,0:PRINT "[1]";:COLOR 7,0,0:PRIN
T " 시간별 외기온을 입력하시오"
70 LY=6:GOSUB 360:PRINT:FOR I=1 TO 79:PRINT "-";:NEXT I:PRINT:COLOR 0,7,0:PRINT "[
2]";:COLOR 7,0,0:PRINT "시간별 일사량을 입력하시오":LY=12:GOSUB 360:PRINT:FOR I=
1 TO 79:PRINT "-";:NEXT I
80 COLOR 0,7,0:PRINT "[3]";:COLOR 7,0,0:PRINT "시간별 수증기분압을 입력하시오":LY
=18:GOSUB 360:PRINT:FOR I=1 TO 79:PRINT "=";:NEXT I
90 PRINT      [E] : 수정      [RETURN] : 계속 입력      [ESC] : 입력 끝"
100 '기상 데이터 입력
110 OPEN FILENA$+".TEM" AS#1 LEN=4
112 OPEN FILENA$+".SOL" AS#2 LEN=4
114 OPEN FILENA$+".PWP" AS#3 LEN=4
120 FIELD#1, 4 AS TEMP$
122 FIELD#2, 4 AS SOLR$
124 FIELD#3, 4 AS PWVP$
125 LOCATE 3,1:COLOR 0,7,0:PRINT USING "### ";INRN+1;:COLOR 7,0,0:PRINT "일 데일
    월 입력"
130 FOR I=0 TO 11:LOCATE 7,(I*6+1):GOSUB 370:LOCATE 7,(I*6+2):INPUT "",TEM(I):LO
    CATE 7,(I*6+1):COLOR 7,0,0:PRINT USING "####.#";TEM(I):NEXT I
140 FOR I=12 TO 23:LOCATE 9,(I-12)*6+1:GOSUB 370:LOCATE 9,(I-12)*6+2:INPUT "",TE
    M(I):LOCATE 9,(I-12)*6+1:COLOR 7,0,0:PRINT USING "####.#";TEM(I):NEXT I
150 FOR I=0 TO 11:LOCATE 13,(I*6+1):GOSUB 370:LOCATE 13,(I*6+2):INPUT "",INSOL(I)
    :LOCATE 13,(I*6+1):COLOR 7,0,0:PRINT USING "###.#";INSOL(I):NEXT I
160 FOR I=12 TO 23:LOCATE 15,(I-12)*6+1:GOSUB 370:LOCATE 15,(I-12)*6+2:INPUT "",I
    NSOL(I):LOCATE 15,(I-12)*6+1:COLOR 7,0,0:PRINT USING "####.#";INSOL(I):NEXT I
170 FOR I=0 TO 11:LOCATE 19,(I*6+1):GOSUB 370:LOCATE 19,(I*6+2):INPUT "",PW(I):L
    OCATE 19,(I*6+1):COLOR 7,0,0:PRINT USING "###.#";PW(I):NEXT I
180 FOR I=12 TO 23:LOCATE 21,(I-12)*6+1:GOSUB 370:LOCATE 21,(I-12)*6+2:INPUT "",P
    W(I):LOCATE 21,(I-12)*6+1:COLOR 7,0,0:PRINT USING "###.#";PW(I):NEXT I
190 PASS$=INKEY$:IF PASS$="" THEN 190
192 IF PASS$="E" OR PASS$="e" THEN 130
210 'DATA FILE CREATIONS
212 INRN=INRN+1
214 FRN%=(INRN-1)*24:TRN%=FRN%:SRN%=FRN%:PRN%=FRN%
220 FOR I=0 TO 23
230 TRN%=TRN%+1
240 LSET TEMP$=MKS$(TEM(I))
250 PUT#1, TRN%
260 NEXT I
```

```

270 FOR I=0 TO 23
280 SRN% = SRN% + 1
290 LSET SOLR$ = MKS$(INSOL(I))
300 PUT#2, SRN%
301 NEXT I
302 FOR I=0 TO 23
304 PRN% = PRN% + 1
306 LSET PWVP$ = MKS$(PW(I))
308 PUT#3, PRN%
310 NEXT I
320 IF PASS$ = CHR$(27) THEN COLOR 7,0,0:CLOSE:END
330 LOCATE 7,1:FOR I=1 TO 79:PRINT" ";:NEXT I:LOCATE 9,1:FOR I=1 TO 79:PRINT" ";
:NEXT I:LOCATE 13,1:FOR I=1 TO 79:PRINT" ";:NEXT I:LOCATE 15,1:FOR I=1 TO 79:PRI
NT" ";:NEXT I
335 LOCATE 19,1:FOR I=1 TO 79:PRINT" ";:NEXT I:LOCATE 21,1:FOR I=1 TO 79:PRINT"
";:NEXT I
340 GOTO 125
350 COLOR 7,0,0:END
360 FOR I=0 TO 11:LOCATE LY,(I*6+1):PRINT USING "#####";I;:NEXT I:PRINT:PRINT:F
OR I=12 TO 23:LOCATE LY+2,((I-12)*6+1):PRINT USING "#####";I;:NEXT I:PRINT:RETU
RN
370 COLOR 0,7,0:PRINT"-----":RETURN
380 KEY OFF:CLS
390 LOCATE 4,1:PRINT"**** << 기상 데이터 작성 파일 >> ****":PRINT:FOR I=1 TO 7
9:PRINT"=";:NEXT I:PRINT:PRINT
392 PRINT"파일의 종류 -----":PRINT      1. 신규 파일 작성":PRI
NT"      2. 기존 파일 연속 작성":PRINT
400 PRINT"파일 명 -----":PRINT:PRINT"데이터 시작일 -----"
-----":PRINT:PRINT"데이터 입력 초기일 (mm/dd/yy) ---":PRINT:FOR I=1 TO 79:P
RINT"=";:NEXT I
410 PRINT"[E] 데이터 수정 [RETURN] 데이터 입력 [ESC] 작업 끝"
412 LOCATE 8,35:COLOR 0,7,0:PRINT"      ":LOCATE 8,35:INPUT "",FILESOR:COLOR 7
,0,0:LOCATE 8,35:PRINT USING "#####";FILESOR
420 LOCATE 12,35:COLOR 0,7,0:PRINT"      ":LOCATE 12,35:INPUT "",FILENA$:COLOR
7,0,0:LOCATE 12,35:PRINT"      ":LOCATE 12,35:PRINT FILENA$
430 LOCATE 14,35:COLOR 0,7,0:PRINT"      ":LOCATE 14,35:INPUT "",DAQT:COLOR 7,
0,0:LOCATE 14,35:PRINT USING "#####";DAQT
440 LOCATE 16,35:COLOR 0,7,0:PRINT"      ":LOCATE 16,35:INPUT "",MDY$:COLOR 7,
0,0:LOCATE 16,35:DATE$ = MDY$:PRINT DATE$ : INRN = DAQT - 1
450 PASS$ = INKEY$:IF PASS$ = "" THEN 450
460 IF PASS$ = "E" THEN 380
470 IF PASS$ = CHR$(27) THEN CLOSE:CLS:END
480 IF PASS$ = CHR$(13) THEN RETURN ELSE 450

```

4. TTC방법을 이용한 열성능 씨뮬레이션 프로그램

10 'TTTCB Calculation, 1988/11/30, Song Gook Sup, Lee Kwan Ho, Kwon Young Chul,
File Name : TTCSK
20 KEY OFF:CLS
30 LOCATE 7,1:PRINT" " "
40 LOCATE 8,1:PRINT" " "
50 LOCATE 9,1:PRINT" " "
60 LOCATE 11,1:PRINT" " "
70 LOCATE 14,1:PRINT" " "
80 GOSUB 1710:LPRINT CHR\$(27);";N";CHR\$(10);CHR\$(27);";h";CHR\$(27);";W";
110 DIM BLDATA(20),MES\$(10),VALUE(20,20,10),MANA\$(20),RK(20,2),WANA\$(20),TTC(20)
,H(20),EXWN\$(20),EXWR(20),EXWS(20),SR(20),DELT(168),TEM(168),SOL(168),PWP(168),TSK(168),TIK(168),TIA(168)
120 KEY OFF:SCREEN 0,0,0:CLS
130 DATA 재료명, 밀도, 두께, 열전도율, 비열, 전도저항, 부분 TTC, TTC 누계
140 FOR I=1 TO 8:READ MES\$(I):NEXT I
150 'Total TTC
160 LOCATE 3,1:PRINT"*** 건물 조건을 입력하시오 ***":PRINT:FOR I=1 TO 79:PRINT
"=";:NEXT I
170 PRINT"축열 구조체의 수 -----"
180 PRINT"단위 외표면적당 내부 축열체의 중량 ----"
190 PRINT"내부 축열체의 비열 -----"
200 PRINT"내부 표면의 열저항 -----"
210 PRINT"내부 축열체의 열저항 -----"
220 PRINT"외벽의 전체 열관류율에 대한 평균값 -----"
230 PRINT"환기 회수 -----"
240 PRINT"공기의 열용량 -----"
250 PRINT"실 용적 -----"
260 PRINT"축열체 이외의 구조체 수 -----"
270 FOR I=1 TO 79:PRINT"=";:NEXT I
280 FOR I=1 TO 9:LOCATE I+5,42:GOSUB 1690:LOCATE I+5,43:INPUT "",BLDATA(I):LOCATE I+5,42:COLOR 7,0,0:PRINT USING "#####.##";BLDATA(I):NEXT I
290 LOCATE 15,42:GOSUB 1690:LOCATE 15,43:INPUT "",BLDATA(10):LOCATE 15,42:COLOR 7,0,0:PRINT USING "#####.##";BLDATA(10)
300 GOSUB 1710
310 '각 구조체별 TTC, Area, Rk,
320 WALLNO%=BLDATA(1)
330 FOR WALL%=1 TO WALLNO%
340 'TTC Internal Air Temperature Prediction, 1988/11/28, File Name : TTC
350 KEY OFF:SCREEN 0,0,0:CLS:VA=0:TTC=0:RK=0
360 LOCATE 2,1:PRINT "*** << TTC 계산 >> ***":PRINT:PRINT USING "##";WALL%:PRINT TAB(5);"벽체 명 :";TAB(30);"벽체 면적 :";TAB(55);"층 수 :":FOR I=1 TO 39:PRINT"=";:NEXT I:PRINT
370 FOR I=1 TO 8:LX=I*10-LEN(MES\$(I))-1:LOCATE 6,LX:PRINT MES\$(I):NEXT I:LOCATE
7,16:PRINT"d":LOCATE 7,26:PRINT"L":LOCATE 7,36:PRINT"K":LOCATE 7,46:PRINT"s":LOC
ATE 7,56:PRINT"r":FOR I=1 TO 39:PRINT"--";:NEXT I:PRINT

TTC법을 이용한 열류 해석

```

380 LOCATE 4,15:GOSUB 1690:LOCATE 4,15:INPUT "",WANA$(WALL%):COLOR 7,0,0:LOCATE
4,15:PRINT "           ":LOCATE 4,15:PRINT WANA$(WALL%)
390 LOCATE 4,42:GOSUB 1690:LOCATE 4,43:INPUT "",RK(WALL%,1):COLOR 7,0,0:LOCATE 4
,42:PRINT "           ":LOCATE 4,43:PRINT RK(WALL%,1)
400 LOCATE 4,64:GOSUB 1690:LOCATE 4,65:INPUT "",LAYER:COLOR 7,0,0:LOCATE 4,64:PR
INT "           ":LOCATE 4,65:PRINT LAYER
410 '=====
420 ' VALUE (WALL%,I,J): J 값에 따른 참고
430 '+-----
440 '|   1   |   2   |   3   |   4   |   5   |   6   |   7   |   8   |   9   |
450 '|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
460 '| density| thick |   k   | s.heat| r 2/3 | 1*2*4 | Md_1Ac | TTC   | Ac TTC |
470 '|-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+-----+
480 '=====
490 'RK(I): RK 값에 따른 참고
500 '+-----
510 '|   1   |   2   |
520 '|-----+
530 '| AREA   |   RK   |
540 '|-----+
550 '| AREA   |   RK   |
560 FOR I=1 TO LAYER+1:LOCATE I+8,1:PRINT USING "#";I:NEXT I:FOR I=1 TO 39:PRINT
"==";:NEXT I:PRINT
570 FOR I=1 TO LAYER+1:LOCATE I+8,1:GOSUB 1690:LOCATE I+8,1:INPUT "",MANA$(I):CO
LOR 7,0,0:LOCATE I+8,1:PRINT "           ":LOCATE I+8,1:PRINT MANA$(I)
580 FOR J=1 TO 4:LOCATE I+8,J*10:GOSUB 1690:LOCATE I+8,J*10+1:INPUT "",VALUE(WAL
L%,I,J):COLOR 7,0,0:LOCATE I+8,J*10:PRINT USING "###,###.##";VALUE(WALL%,I,J):NE
XT J
590 IF VALUE (WALL%,I,1)=0 THEN LOCATE I+8,50:GOSUB 1690:LOCATE I+8,51:INPUT "",V
ALUE(WALL%,I,5):LOCATE I+8,50:COLOR 7,0,0:PRINT USING "###,###.##";VALUE(WALL%,
I,5):VA=VA+VALUE(WALL%,I-1,5):VALUE(WALL%,I,7)=VA+(VALUE(WALL%,I,5)/2):GOTO 630
600 VALUE(WALL%,I,5)=VALUE(WALL%,I,2)/VALUE(WALL%,I,3):LOCATE I+8,50:PRINT USING
"###,###.##";VALUE(WALL%,I,5)
610 VA=VA+VALUE(WALL%,I-1,5)
620 VALUE(WALL%,I,6)=VALUE(WALL%,I,1)*VALUE(WALL%,I,2)*VALUE(WALL%,I,4):VALUE(WA
LL%,I,7)=VA+(VALUE(WALL%,I,2)/(2*VALUE(WALL%,I,3))):VALUE(WALL%,I,8)=VALUE(WALL%
,I,6)*VALUE(WALL%,I,7):LOCATE I+8,60:PRINT USING "###,###.##";VALUE(WALL%,I,8)
630 TTC=TTC+VALUE(WALL%,I,8):VALUE(WALL%,I,9)=TTC:LOCATE I+8,70:PRINT USING "###
,###.##";VALUE(WALL%,I,9)
640 RK=RK+VALUE(WALL%,I,5):LPC=LPC+VALUE(WALL%,I,6):TTCK=TTCK+VALUE(WALL%,I,8):N
EXT I
650 RK(WALL%,2)=RK:TTC(WALL%)=TTCK:COLOR 7,0,0
660 GOSUB 1710
670 NEXT WALL%

```

680 '구조체 체의 TTCB 계산
 690 ======
 700 'TAK : 구조체 면적의 합계, TRK : 구조체 열항 합계
 710 'AKRK: $\Sigma AK \cdot RK$ AKTK: $\Sigma AK \cdot TTC$
 720 '
 725 TAK=0:TRK=0:AKRK=0:AKTK=0:TTC=0
 730 FOR WALL% = 1 TO WALLNO%:TTC=TTC+TTC(WALL%):TAK=TAK+RK(WALL%,1):TRK=TRK+RK(WALL%,2):AKRK=AKRK+(RK(WALL%,1)*RK(WALL%,2)):AKTK=AKTK+(RK(WALL%,1)*TTC(WALL%)):NEXT WALL%:TSK=TAK/TRK
 740 TTCB=(AKTK/TAK)+(.5*BLDATA(2)*BLDATA(3))*(AKRK/TAK+BLDATA(4)+.25*BLDATA(5))
 750 'TTTCV, 환기를 고려한 TTC 계산
 760 TTTCV=(TTCB*BLDATA(6))/(BLDATA(6)+(BLDATA(7)*BLDATA(8)*BLDATA(9)/TAK))
 765 CLS:LOCATE 10,15:PRINT"
 766 LOCATE 11,15:PRINT" | TTCB = ";;:PRINT USING "###,###.##";TTCB;:PRINT "
 767 LOCATE 12,15:PRINT" | TTTCV = ";;:PRINT USING "###,###.##";TTTCV;:PRINT "
 768 A\$=INKEY\$:IF A\$="" THEN 768
 770 CLS:LOCATE 10,15:PRINT"
 780 LOCATE 11,15:PRINT" | TTTCV = ";;:PRINT USING "###,###.##";TTTCV;:PRINT "
 790 LOCATE 12,15:PRINT" | TTTCV = ";;:PRINT USING "###,###.##";TTTCV;:PRINT "
 800 A\$=INKEY\$:IF A\$="" THEN 800
 810 '축열 이외의 구조체 특성, File Name : EXWALL
 820 CLS:K=BLDATA(10)
 830 CLS:LOCATE 3,1:PRINT"*** <<< 축열벽 이외의 열특성에 관하여 입력하시오 >>> **
 *":PRINT:FOR I=1 TO 79:PRINT"=";;:NEXT I
 840 PRINT"구조체 번호";TAB(20);"구조체 명";TAB(40);"면 적";TAB(60);"열 저 항"
 ":FOR I=1 TO 79:PRINT"-";:NEXT I:PRINT
 850 FOR I=1 TO K:PRINT USING "#####";I:FOR I=1 TO 79:PRINT"=";;:NEXT I
 860 FOR I=1 TO K
 870 LOCATE I+7,20:COLOR 0,7,0:PRINT"-----":LOCATE I+7,20:INPUT "",EXWN\$(I):
 COLOR 7,0,0:LOCATE I+7,20:PRINT"-----":LOCATE I+7,20:PRINT EXWN\$(I)
 880 LOCATE I+7,40:COLOR 0,7,0:PRINT"-----":LOCATE I+7,40:INPUT "",EXWS(I):C
 OLOR 7,0,0:LOCATE I+7,40:PRINT USING "###,###.##";EXWS(I)
 890 LOCATE I+7,60:COLOR 0,7,0:PRINT"-----":LOCATE I+7,60:INPUT "",EXWR(I):C
 OLOR 7,0,0:LOCATE I+7,60:PRINT USING "###,###.##";EXWR(I)
 900 SR(I)=EXWS(I)/EXWR(I):SR=SR+SR(I)
 910 NEXT I
 920 GOSUB 1710
 930 '표면온도 계산
 940 CLS:LOCATE 3,1:PRINT"***<<< 다음 변수의 값을 입력하시오 >>>***":PRINT:GOSUB
 1700
 950 PRINT"Ros -----":PRINT"일사 흡수율 -----"
 960 PRINT"표면 방사율 -----":PRINT"F (correcting operative facto
 r)":PRINT"위도 -----":PRINT"1월 1일 부터의 일수 -----
 -----":PRINT"벽체의 각도 -----":PRINT
 970 PRINT "기상 파일명 -----":PRINT:GOSUB 1700

```

980 LOCATE 6,35:GOSUB 1690:LOCATE 6,35:INPUT "",ROS:LOCATE 6,35:COLOR 7,0,0:PRINT
T USING "#####.##";ROS
990 LOCATE 7,35:GOSUB 1690:LOCATE 7,35:INPUT "",ALP:LOCATE 7,35:COLOR 7,0,0:PRINT
T USING "#####.##";ALP
1000 LOCATE 8,35:GOSUB 1690:LOCATE 8,35:INPUT "",EMI:LOCATE 8,35:COLOR 7,0,0:PRINT
NT USING "#####.##";EMI
1010 LOCATE 9,35:GOSUB 1690:LOCATE 9,35:INPUT "",F:LOCATE 9,35:COLOR 7,0,0:PRINT
USING "#####.##";F
1020 LOCATE 10,35:GOSUB 1690:LOCATE 10,35:INPUT "",PHI:LOCATE 10,35:COLOR 7,0,0:
PRINT USING "#####.##";PHI
1030 LOCATE 11,35:GOSUB 1690:LOCATE 11,35:INPUT "",DAY:LOCATE 11,35:COLOR 7,0,0:
PRINT USING "#####.##";DAY
1040 LOCATE 12,35:GOSUB 1690:LOCATE 12,35:INPUT "",ALPHA:LOCATE 12,35:COLOR 7,0,
0:PRINT USING "#####.##";ALPHA
1050 LOCATE 14,35:GOSUB 1690:LOCATE 14,35:INPUT "",FILENA$:LOCATE 14,35:COLOR 7,
0,0:PRINT "           ":LOCATE 14,35:PRINT FILENA$
1060 GOSUB 1710
1070 CLS
1080 '태양의 고도 계산
1090 PI=3.141592:DELTA=23.45*SIN(PI/180*(.986*(284+DAY)))
1100 I=0:FOR T=-120 TO 120 STEP 15:I=I+1:H=(SIN(PI*PHI/180)*SIN(PI*DELTA/180))+(COS(PI*DELTA/180)*COS(PI*PHI/180)*(COS(PI*T/180))):HRAD=ATN(H/SQR(1-H^2)):H(I)=H
RAD*180/PI:NEXT T
1110 '=====
1120 '    4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15  16  17  18  19  20
1130 '    1   2   3   4   5   6   7   8   9   10  11  12  13  14  15  16  17
1140 '-120 -90 -60 -30      0   30   60   90   120
1150 '=====
1160 '=====
1170 '
1180 '          W          /
1190 '          W          /
1200 '          TO W          / BUILDING
1210 '          SKY LINE W GAMMER / SURFACE
1220 '          W          /
1230 '          W          /
1240 '          BETA ( W / ) ALPA
1250 ' -----
1260 '
1270 '=====
1280 '기상 파일 이용
1290 OPEN FILENA$+".TEM" AS#1 LEN=4
1300 OPEN FILENA$+".SOL" AS#2 LEN=4
1310 OPEN FILENA$+".PWP" AS#3 LEN=4
1320 FIELD#1, 4 AS TEMP$
1330 FIELD#2, 4 AS SOLR$
1340 FIELD#3, 4 AS PWVP$

```

```

1350 '기상 파일 읽기
1360 FOR RN%=1 TO 168
1370 GET#1, RN%
1380 TEM(RN%)=CVS(TEMP$)
1390 GET#2, RN%
1400 SOL(RN%)=CVS(SOLR$)
1410 GET#3, RN%
1420 PWP(RN%)=CVS(PWVP$)
1430 NEXT RN%
1440 CLOSE:RN%=0
1450 LPRINT "***** SIMULATION RESULT *****":LPRINT
1460 FOR I=1 TO 79:LPRINT "=";:NEXT I:LPRINT "DAY TIME OutdoorTem Insolatio
n SolAirTem SurfaceTem IndoorTem":FOR I=1 TO 79:LPRINT "-";:NEXT I:LPRIN
T
1470 FOR REREN=1 TO 7:RN%=(REREN-1)*24
1480 FOR TIM=0 TO 23:RN%=RN%+1
1490 IF TIM>=4 AND TIM<=20 THEN BETA=H(TIM-3) ELSE BETA=0
1500 IF BETA<=0 THEN BETA=0
1510 GAMMER=180-ALPHA-BETA
1520 A=.32*(1-COS(PI*GAMMER/180))-.0297*(GAMMER*COS(PI*ALPHA/180)+(SIN(PI*GAMME
R/180)*COS(PI*BETA/180))):B=.0323*(1-COS(PI*GAMMER/180))
1530 FOR I=1 TO RN%
1540 DELT(I)=ALP*SOL(I)+(4.88E-08*((TEM(I)+273)^4))*(A+(B*PWP(I)^.5)-F*EMI):NEXT
I
1550 DELT(0)=DELT(1)
1560 FOR I=1 TO RN%:TSOL=TSOL+(1/(1/ROS+(1/RK*(EXP(-(RN%-I)/TTCV))))*(DELT(I)-D
ELT(I-1))):NEXT I
1570 TSK(RN%)=TEM(RN%)+TSOL:TSOL=0
1580 '실내측 표면온도 예측
1590 TSK(0)=TSK(1):FOR I=1 TO RN%
1600 DELTSK=DELTSK+((TSK(I)-TSK(I-1))*(1-EXP(-1*(RN%-I)/TTCV)))
1610 NEXT I
1620 TIK(RN%)=TSK(1)+DELTSK:DELTSK=0
1630 '실내온도 예측
1640 FOR I=1 TO K:TIAUP=TIAUP+(SR(I)*TIK(RN%-1)):TIADN=TIADN+SR(I):NEXT I:TIADN=
TIADN+TSK
1650 TIA(RN%)=TIAUP/TIADN:TIAUP=0:TIADN=0
1660 LPRINT USING "### ## ###,##.## ###,##.## ###,##.## ###,##.## ###,##.## ##
##,##.## "#";REREN,TIM,TEM(RN%),SOL(RN%),TSK(RN%),TIK(RN%),TIA(RN%)
1670 NEXT TIM,REREN
1675 FOR I=1 TO 79:LPRINT "-";:NEXT I:LPRINT
1680 COLOR 7,0,0:END
1690 COLOR 0,7,0:PRINT"           ":RETURN
1700 FOR I=1 TO 79:PRINT"-";:NEXT I:RETURN
1710 PASS$=INKEY$:IF PASS$="" THEN 1710 '프린트를 위한 정지
1720 RETURN

```

■ 참 고 문 헌

1. 이명호, "태양열 주택의 열 기능적 외벽구성에 대하여", 건축, 대한건축학회지, Vol.23, No 91, 1971.
2. 이연구·김광우역, "건축 환경 과학", 태림 문화사, 1987.
3. 이관호, "자연형 태양열 시스템의 열성능 분석을 위한 열류해석 방법에 관한 고찰", 중앙대학교 대학원 석사논문, 1988.
4. 강대호, "주거용건물 남면불투명벽면의 열성능에 관한 연구", 연세대학교 대학원 박사논문, 1988.
5. 이명호 외, "자연형 태양열 시스템을 이용한 건물 에너지 절약 기술에 관한 기초 연구 -제 2차 중간보고서-", 한국과학재단, 1988.
6. 이명호 외, "건축물에 있어서 자연형 태양열 씨스템의 열성능 향상을 위한 실험적 기초 연구-제1차년도 중간 보고서-", 학술진흥재단, 1989.
7. 김문한 외, "건물에너지 해석 전산화에 관한 연구 -제1차 분기 보고서-", 한국전력공사 기술연구소·서울대학교생산기술연구소, 1989.
8. 이경희 외, "공동주택의 에너지 절약을 위한 설계 기준 연구", 대한주택공사, 1985.
9. 이경희 외, "주택정책방안에 관한 연구(7) -에너지 절약형 주택의 설계및 시공", 건설부, 1985.
10. 건설부, "주택 건설의 공업화를 위한 주택 각 부위의 표준치수 설정과 주택 성능에 관한 연구", 1981
11. 박병전, "건축 환경 계획 원론", 기문당, 1985.
12. 이건영·서승직 편저, "건축 환경 공학", 영문사, 1984.

13. 설비 기술 연구회, "공조-위생기술 데이타북", 한미, 1986.
14. 기술 문화사 편집부, "패시브 건축수법 사전", 기술 문화사, 1984.
15. 오정무외, "자연형 태양열 시스템 개발(3)", 한국 동력자원 연구소, 1984.
16. B. GIVONI, "Man, Climate & Architecture", VAN NOSTRAND REINHOLD COMPANY, 1981.
17. ASHRAE, "ASHRAE HANDBOOK, 1985 FUNDAMENTALS", 1985.
18. EC 태양에너지 위원회, "EUROPEAN PASSIVE SOLAR HANDBOOK", 1986.
19. M. Evans, "Housing, Climate & Comfort", John Wiley & Sons, 1980.
20. R.W.R. MUNCEY, "Heat Transfer Calculations for Buildings",
APPLIED SCIENCE PUBLISHERS LTD., 1979.
21. Edward Mazria, "The Passive Solar Energy Book", Rodal Press, 1979.
22. J.D. Balcomb, "Passive Solar Design Hand Book", Vol. I. II. III., 1980.1983.
23. John A. Duffie, "Solar Engineering of Thermal Process", 1980.
24. J.K. Paul, "Passive Solar Energy Design & Materials", 1979.

ABSTRACT

A Study on the Selecting Method of Exterior Wall in Energy-Conscious Building Design

Kwon, Young-Chul

Dept. of Architectural Engineering
The Graduate School of
Chung-Ang University

Advised by Rhee Eon-Ku, Ph.D

There are many things that should be considered in energy-conscious building design. In this study, considered that the thermal performance of a building primarily depends on the solar heat gain, the heat loss and the thermal storage efficiency of a building envelope, the selecting method of less-energy consuming exterior wall was investigated.

The existing studies about the thermal performance of a building envelope have mostly dealt with heat preservation using insulations and ignored the time-lag and decrement factor which varies with the thermal storage efficiency of a building envelope. Even in building law, only U-values according to the region where a building is built and the portion of a building are prescribed, the thermal capacity of materials is not considered. Thus it is necessary to study the selecting method of exterior wall using the unsteady state heat transfer analysis which takes account of the thermal capacity of materials.

To present an ideal exterior wall in energy-conscious building design, the method selecting a less-energy consuming exterior wall at the early stage of design was studied, and then the simulations of the thermal performance of

various walls of south-facing main bed room in a typical apartment house using TTC Program which is a kind of the unsteady state heat transfer analyses was made. The results of simulations are as follows:

- 1) The walls with the same thermal transmittance showed significant difference in thermal performance because of the different compositions of materials.
- 2) In the space where only the south wall is exposed to solar radiation in winter, considered only the natural indoor air temperature, the thermal performance of internal insulation was better than that of external insulation.
- 3) The thermal performance of red brick walls, concrete walls, P.C.panel walls was mainly influenced not by the materials of a wall but by the position of insulation.
- 4) The Time-Lag of walls with thermal transmittance above 1.5 and around 0.45 was 4 and 5 hours respectively. It was almost constant apart from the compositions of walls.
- 5) Considered the influence of solar radiation on south wall, the minimum of natural indoor air temperature was indicated at 9am, maximum at 6pm.
- 6) There were in inverse proportion between the thermal transmittance and the TTC of the wall which consists of single material, but no relation, of various materials. In case of the two walls with the same TTC, the thermal performance of wall with the lower thermal transmittance was better.
- 7) As the TTC increased, the indoor air temperature swing grew lower, but at

the same time the indoor mean air temperature became smaller. Taken overall temperature into account, the ideal TTC is from 13 to 25.

Based upon the above results, conclusions can be summarized as follows:

- 1) For the still correcter estimation of the thermal performance of a wall, not only the thermal transmittance but also another index using unsteady state heat transfer analysis is necessary.
- 2) Considered only the natural indoor air temperature, the thermal performance of internal insulation was better than that of external insulation in south wall.
- 3) It can be suggested that the TTC of a wall be from 13 to 25 with the ideal thermal transmittance from 0.43 to 0.48 in energy-conscious building design.

In this study, with the purpose of just presenting a new methodology in selecting less-energy consuming wall, the limits of the study were reduced and set to a specific condition. Therefore the results of this study came into existence only in the specific condition.

To generalize the results of this study, the analysis of the thermal performance of a wall considering the thermal capacity of internal structure and the internal heat gain especially by heating arrangements, a study on the thermal performance of walls of other orientations but south wall, a study on the analysis of the thermal performance of the space over two sides of which are facing outdoor air, should be supplemented.