

새로운 RTS 부하계산법

2005년도 ASHRAE Handbook, Fundamental에서 발표한 RTS법 (Radiant Time Series : 복사시계열법)을 바탕으로 한 새로운 부하계산방법을 소개하고자 한다.

김 석 현 / 국민대학교 기계공학부 (skim@kookmin.ac.kr)

김 선 하 / 목원엔지니어링 (ksk9548@hanmail.net)

나 정 서 / 나우설비기술 (rjsnow@korea.com)

머리말

건물에서의 효과적인 에너지 절약을 추진하기 위해서는 설계계획단계에서부터 에너지 효율을 신중히 고려하여 최적시스템의 채택, 고효율기자재 채용, 시공운영의 합리화 등을 추구하지 않으면 안된다. 이에 앞서서 무엇보다도 중요한 것은 우선 냉난방 부하를 정확히 계산하여 건물의 에너지수요를 확실하게 파악하는 일일 것이다.

냉난방부하는 실내 환경을 원하는 온도와 습도 조건으로 유지하기 위해 시간당 투입하거나 제거하는 에너지의 양으로 정의할 수 있다. 난방 및 공조시스템은 부하에 따라 그 소요에너지의 증감을 수행할 수 있도록 설계하여 그 용량이 정해지며 제어된다. 적절히 산정된 냉난방부하는 난방 및 공조시스템과 그 요소들의 설계 기초자료가 되며 배관이나 덕트, 취출구, 공조기, 보일러, 냉동기, 열교환기, 압축기, 송풍기 등 실내환경을 조절하는 시스템의 각 요소들의 크기를 정하는데 이용 된다. 이러한 냉난방부하 산정 즉, 냉난방부하 계산은 설비의 초기비용이나 거주자의 쾌적성과 생산성, 그리고 설비의 운영비와 에너지 소비량에 결정적인 영향을 주게 된다. 2005년도 ASHRAE Handbook Fundamental 제 30 장에 발표된 RTS (Radiant Time Series : 복사시계열법)에 의한 새로운 냉난방부하계산법을 소개하고자 한다.

냉난방부하계산방법의 변천과정

냉난방부하 계산의 중요성이 커지면서 다양한 이론들이 발표되었으며 그림 1에는 ASHRAE에 의한 부하계산이론의 변천과정을 나타내고 있다.

- ① 1960년대 : ETD(상당온도차)부하계산법으로 주기정상이론에 근거를 둔 방법이다.
- ② 1968년 : ASHRAE에서 Task Group on Energy Requirement for Heating and Cooling of Building 연구위원회를 결성하여 주기정상이론에 기초한 ETD계산방법을 개선하여 Response Factor 개념을 이용한 비정상열전달 계산법을 연구하여 발표하였다.
- ③ 1972년 : ASHRAE Handbook Fundamental에서 TETD / TA부하계산방법과 TETD / TFM 부하계산 방법이 발표되었다.
- ④ 1975년 : ASHRAE에서 RP-138 연구프로젝트를 진행하여 TETD / TA 방법과 TETD / TFM 방법의 통합에 의한 새로운 부하계산방법을 발표하였다.
- ⑤ 1977년 : ASHRAE Handbook, Fundamental에서 CLTD / CLF 부하계산방법이 발표되었으며, 이것은 TETD 방법에서는 순간적으로 취득되는 모든 열량이 냉방부하로 된다고 가정하였으며, CLTD방법에서는 취득된 열량이 각종 재료에 잠복되었다가 일정시간이 지나고 난 후 대류방열

되는 축열효과까지 모두 감안하여 보다 정확한 실제 냉방부하를 계산할 수 있게 되었다. CLTD/CLF법에 의한 계산결과는 일반적으로 TETD보다 약 10% 내외의 범위로 냉방 부하가 감소하게 되었다.

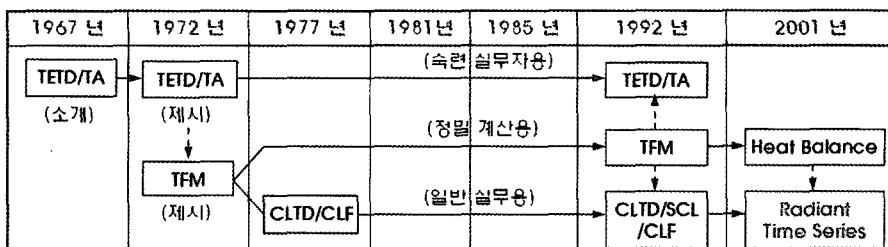
- ⑥ 1981년 : ASHRAE에서 RP-359 연구프로젝트를 진행하여 CLTD/CLF 부하계산방법을 보다 더 심화발전시켜왔다. 그러나 CLTD/CLF 방법은 정확하고 체계적으로 발전된 부하계산방법이지만 계산과정에서 적용할 Data 양이 상당히 많고 계산절차가 너무 복잡하여 수계산으로 하는데는 많은 시간과 노력이 들게 되어 전산프로그램이 등장하게 되었다.
- ⑦ 1993년 : TFM(Transfer Function Method) 즉, 전달함수법이 발표되었으며
- ⑧ 2001년도에 여기에서 소개할 복사시계열법 (RTS : Radiant Time Series)이 발표되었다.

일반건물의 냉난방부하계산

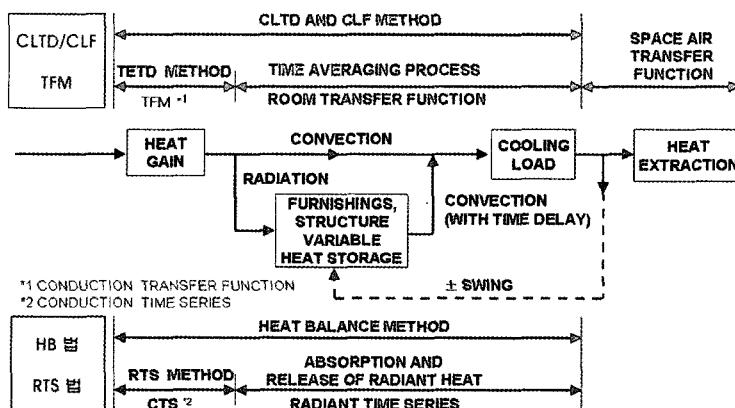
냉난방부하란 실내 환경을 원하는 온도와 습도 조건으로 유지하기 위해 시간당 투입하거나 제거하는 에너지의 양으로 정의할 수 있다. 난방 및 공조시스템은 부하에 따라 그 소요에너지의 증감을 감당할 수 있도록 설계하여 그 용량을 결정하게 된다.

또한, 적절히 산정된 냉난방부하는 난방 및 공조시스템과 그 요소들의 설계 기초자료가 되며 배관이나 덕트, 취출구, 공조기, 보일러, 냉동기, 열교환기, 압축기, 송풍기 등 실내환경을 조절하는 각종 시스템의 각 요소들의 크기를 정하는데 이용 된다. 이러한 냉난방부하 계산은 설비의 초기비용이나 거주자의 폐작성과 생산성, 설비의 운영비와 에너지 소비량에 설정 등에 큰 영향을 미치게 된다.

그리고 냉방이나 난방용량은 시간에 따라 크게 달



[그림 1] ASHRAE 부하 계산 방법의 변천과정



[그림 2] ASHRAE 부하 계산법의 개념 비교

라지며, 외부와 내부인자(예를 들면, 외기온도나 실내 거주자의 수)에 따라 변한다.

최대부하계산법은 임의 건물의 냉난방을 위해 필요한 시간당의 최대 소요열량을 구하는 것으로 건물에너지소비량 산정을 위한 가정, 데이터, ASHRAE 제 32장 "에너지 산정과 모델링 방법"에 기술된 원리를 사용하여 계산하게 된다.

ASHRAE 제 30장에서는 내부열취득, 침입외기, 투습, 창문 열취득 등 냉방부하 계산의 일반적인 요소들이 다루어지고 열평형법(HB법)과 복사시계열법(RTS)에 의한 냉난방부하 계산법을 설명하기로 한다.

냉방부하계산의 요소

냉방부하는 건물 외표면을 통한 전도, 대류, 그리고 복사 열전달의 외적요인과 내부 발생열이나 시스템의 요소로부터 발생하며 냉방부하에 영향을 미치는 건물의 요소나 기타 인자들은 다음과 같다

- ① 외부요소 : 벽, 지붕, 창문, 칸막이벽, 천장, 바닥
- ② 내부요소 : 조명, 재설인원, 기구, 장비
- ③ 외기의 침투 : 침입외기와 투습
- ④ 시스템 요인 : 외기도입, 덕트누설, 재열요소, 송풍기와 펌프 등의 반송동력에 의한 발열량

냉난방부하계산관련 용어의 정의

냉난방부하 계산에 영향을 미치는 변수들은 수없이 많고 또한, 정확히 정의하기 어려우며 항상 복잡하게 상호작용을 하고 있다. 대부분의 냉방부하 요소들은 하루 중에도 큰 폭으로 변화하고 이러한 주기적인 변화는 대체로 일치하지 않기 때문에, 건물 또는 존(zone)의 최대 냉방부하를 구하기 위하여 각각의 부하 요소들이 분석되어야 한다. 어떤 한 존의 시스템 부하는 설계일 하루동안의 시간별 최대 존부하의 합계보다 크지 않은 냉방부하용량을 가져야 한다. 그러나 이것은 개별시간에 각 존의 최대냉방부하를 처리할 수 있어야 하며, 난방기 또는 중간기에는 어떤 존은 난방을 동시에 필요로 하지만 일부 존은 냉방을 필요로 하는 경우도 고려하여야 할 것이다.

1) 열전달율

공기조화 설계에 관련된 다음 4가지 시간당 열에너지 이동량의 개념은 명확히 구분되어 이해되어야 한다.

- ① 취득열량 (heat gain)
- ② 냉방부하 (space cooling load)
- ③ 열제거율 (space heat extraction rate)
- ④ 냉각코일부하 (cooling coil load)

2) 공간취득열량

순간열취득량은 단위시간당 실내공간으로 침입하는 열량 및 내부에서 발생되는 열량을 말하며, 취득 열량은 열이 취득되는 방식과 그 열이 현열인지 잠열인지에 따라 구분되어야 한다.

열취득 방식에는 (1) 투명한 창 표면 등을 통한 태양열 복사 (2) 외벽 및 지붕을 통한 열전도 (3) 천장, 바닥, 및 내벽을 통한 열전도 (4) 인체, 조명 및 기기 등에 의해 공간에 생성되는 열 (5) 환기나 침입외기에 의한 취득열량 그리고 (6) 기타 열취득이 있다. 현열은 전도, 대류, 복사에 의하여 공조공간에 직접적으로 전달된다. 잠열 취득은 습기가 공간에 공급될 때 발생한다(예 거주자와 장비에 의해 방출되는 수증기). 일정한 상대습도를 유지하기 위하여 수증기는 공간에 공급되는 비율과 같은 비율로 냉각장치에서 응축시켜 제거하도록 한다. 잠열 취득을 상쇄하는데 필요한 에너지의 양은 응축 비율과 응축 잠열의 곱과 기본적으로 같다. 냉방장치를 선정할 때 현열과 잠열 취득을 구별하는 것이 필요하다. 모든 냉방 장치는 특정한 운전 조건에서 최대 현열과 최대잠열 제거 용량을 가져야 한다.

3) 복사열 취득

복사 에너지는 먼저 벽, 바닥, 및 천장 등 주위표면과 가구 등 공간 내에 있는 물체에 흡수된다. 표면이나 물체의 온도가 실온보다 높아지면, 실내공기쪽으로 대류열전달이 일어난다. 주어진 복사에너지 입력으로 인한 표면온도의 변화는 물체나 표면의 축열특성에 따라 결정되며, 열취득의 복사부분과 그에 의한 냉방부하 기여부분에 관련된 사항을 결정하게 된다(그림 1). 축열효과는 주어진 공간의 순간열취득과 그 시점의 순간냉방부하를 구분하여 이해하는데

매우 중요한 요소이다.

주어진 여건에서 실제 냉방부하를 계산하기 위해서 이 현상의 특성과 크기를 적절히 파악하는 것이 설계엔지니어들의 오래된 관심사였다.

4) 냉방부하

냉방부하는 일정한 실내온도를 유지하기 위하여 공간에서 제거해야 하는 열량을 말한다. 어떤 특정 시간에 공간의 순간 열취득 합계는 그 시간의 공간 냉방부하와 반드시 일치하지는 않는다

5) 열제거율

열이 공조공간에서 제거되는 비율은 실내 온도가 일정하게 유지되는 경우에만 실내 냉방부하와 같다. 냉방 장비의 간헐운전으로 인하여, 제어특성상 실내 온도에 있어서 작은 폭의 주기적인 변화와 진동이 생기게 된다. 그러므로 제어 시스템의 적절한 시뮬레이션은 공간 냉방부하 값을 사용하는 것보다 일정한 기간에 대해서 더욱 실제적인 열량제거값을 제공하게 된다. 이 개념은 우선적으로 시간별 에너지 사용을 예측하기 위해 매우 중요하며, 장비 선정을 위한 최대 설계부하 계산에는 그리 필요하지 않다.

6) 냉각코일부하

1개 또는 그 이상의 공조 공간에서 작동하는 냉방 코일에서 제거되는 에너지의 비율은 코일이 담당하는 모든 공간의 순간냉방부하(또는, 실온이 일정하다고 가정할 경우 공간의 열 제거율)와 다른 외부부하를 합한 것과 같다. 시스템 부하는 팬의 반송동력에 의한 열취득, 덕트의 열취득, 그리고 환기 조건을

만족시키기 위하여 냉각 코일로 들어오는 외기의 현 열량과 습기에 의한 잠열량을 포함하여야 한다.

7) 시간지연효과

벽, 바닥, 가구 등에 의해 흡수된 에너지는 일정 시간지연이 있는 후에야 실의 냉방부하에 기여하게 되며 그림 4에 보인 바와 같이 열원이 꺼진 후에도 계속 재복사되는 경향이 있다.

열원이 가동되는 시간과, 흡수된 에너지의 양과 재복사된 에너지의 양이 같아지는 시간사이에는 상당한 시간지연이 있다. 요구되는 부하가 순간적인 열취득보다 훨씬 적을 수도 있으므로 이러한 시간지연은 반드시 고려되어야 하며 최대부하에 현저하게 영향을 미치게 된다.

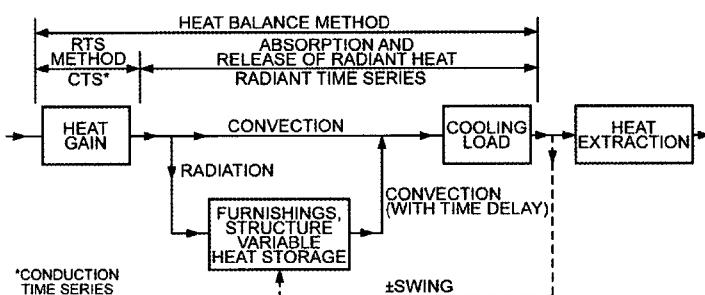
시간지연 효과를 설명하는 것은 냉방부하 계산에 있어 어려운 과제이다. 본 장에서 소개되는 이 두 가지를 포함한 여러 방법들이 시간지연 효과를 고려하기 위해 개발되어 왔다.

새로운 냉난방부하계산법

본 문에서는 종래의 방법과는 상당히 다른 두 가지 부하계산법을 소개하지만, 주어진

공간에서 열평형을 계산한다는 원리의 관점에서는 새로운 것은 아니다. 첫번째는 열평형법(HB법)이며 두번째는 열평형법의 과정을 단순화시킨 복사시계열법(RTS법)이다.

대형건물의 실제 냉방부하 계산에서는 두 방법 모두 복잡한 컴퓨터용 전산프로그램을 사용해야 할 것이다.



[그림 3] 순간열취득과 순간냉방부하의 차이



냉방부하 계산

부하계산은 대상 빌딩에 대한 부하를 정확히 설명하는 것이어야 하므로 모든 부하계산 입력은 안전계수를 적용하지 않아도 될 수 있도록 합리적이고 정확해야 한다. 왜냐하면 부하계산 시 여러 단계에서 안전계수를 적용하는 것은 비현실적이고 과도한 부하값을 초래한다.

건축재료와 복합자재에 대한 열관류율의 범위, 건설기술자들의 기술력과 숙련도의 차이, 그리고 건물의 실제운전에 따른 변동폭은 정확한 냉방부하 계산을 어렵게 하는 요소들 중 하나이다. 설계자가 이러한 요소들을 계산하기 위해 합리적인 절차를 사용한다 할지라도 부하계산법은 실제 부하에 근접하는 추정치 이상이 될 수는 없다. 일반적으로 냉방부하는 냉방 공간의 모든 변수가 적절히 정해지기 전에 계산되어야 하므로, 구체적인 공간분할 계획이나 가구, 조명, 배치가 확정되지 않은 미임대 상태의 공간이 대부분인 새 건물에서의 냉방부하계산을 해야한다. 입주후 거주자에 의한 변경사항도 미리 고려되어야 하고 적절한 부하예측을 위하여 기술적인 판단과 열평형 기초지식에 대한 이해가 함께 있어야 한다.

공조시스템의 정확한 설계와 크기의 결정은 냉방부하계산 이상으로 중요하다. 공조 시스템의 유형, 송풍에너지, 송풍기 위치, 덕트 열손실 및 취득, 덕트 누설, 조명부하, 그리고 환기 시스템의 유형 등이 공조시스템의 부하와 장비크기에 영향을 미친다. 적합한 공조시스템 설계와 장비의 크기 결정을 위해서는 시스템 성능이 습공기선도상에서의 상태 변화과

정으로 분석되어야 한다.

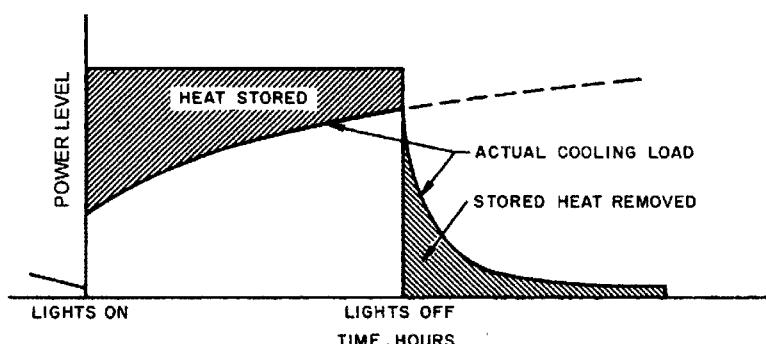
공조시스템 설계는 현열 또는 잠열부하에 좌우되므로 두 요소 모두 고려되어야 하며 일반적으로 현열부하가 큰 공간인 경우 냉방용 급기는 제습을 위한 여유 용량을 가지는 것이 일반적인 방법이다. 그러나 강당의 경우와 같이 잠열부하가 큰 공간에서는 현열부하에 기초한 공급공기로서는 과냉, 재열, 또는 다른 방식을 적용하고도 충분한 제습용량을 가지지 못할 수도 있다.

본 장에서는 주로 한 건물의 주어진 공간이나 존을 다룬다. 여러 존의 부하를 계산할 때에는 그 존들에 대하여 ① 동시유발효과, ② 인원, 조명, 혹은 다른 내부 부하원에 의한 열취득의 변화, ③ 환기의 유무, ④ 기타의 특수한 여건 등에 대하여 분석하여야 한다. 하나 이상의 공조시스템이 적용된 큰 건물에 대해서는 동시적인 부하와 다른 추가적인 동시사용율 값도 고려하여야 한다.

열평형법 (Heat Balance Method)

냉방부하계산은 각 실의 표면간의 전도, 대류, 복사열평형과 실내공기의 열평형계산을 포함하며 이 원리가 본 장에서 설명하는 모든 방법의 기초가 된다. 열평형법은 어떠한 열전달 변환과정을 도입하는 대신에 직접적으로 이 원리를 적용하고 임의의 매개 변수나 숨겨진 과정이 없는 것이 장점이다.

열평형법을 통한 계산을 위해서는 다음의 가정이 전제되어야 한다.



[그림 4] 조명으로 인한 냉방부하에서의 축열효과

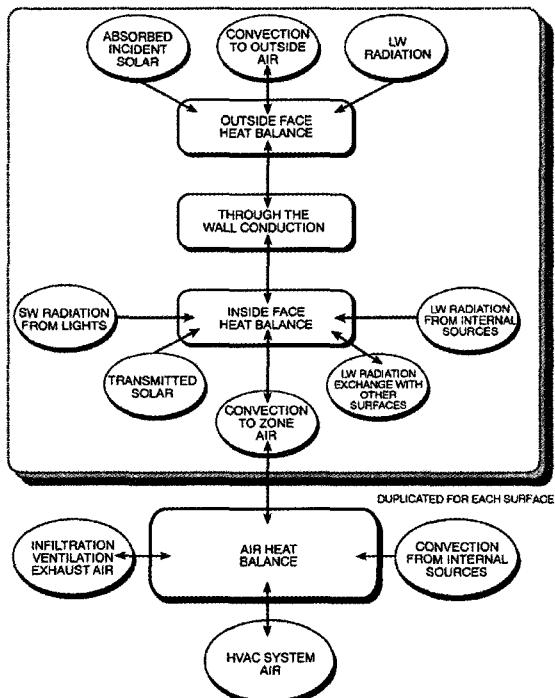
- ① 주어진 실의 공기는 잘 혼합이 되고 있으며 존 전체에서 일정하게 유지된다
- ② 대상 공간실의 표면(벽, 창문, 바닥, 등)은
 - 실의 표면온도가 균일하며
 - 균일한 장파장/단파장 일광 조사(Irradiation)를 받고 있으며
 - 확산복사표면이고
 - 벽체를 통하여 1차원 열전도가 일어난다

고 가정한다. 이에 따른 결과적 방식을 열평형모델이라고 하며 이러한 가정은 기본적인 것이기는 하나 매우 제한적이며, 이 모델로부터 얻어질 수 있는 자료 또한 제한적이 된다.

위에 주어진 가정 하에 열평형법은 다음 4개의 과정으로 구성되어 있다.

- 1) 외표면의 열평형
- 2) 벽체의 전도과정
- 3) 내표면의 열평형

그림 5는 하나의 불투명벽체에 대하여 이 열평형

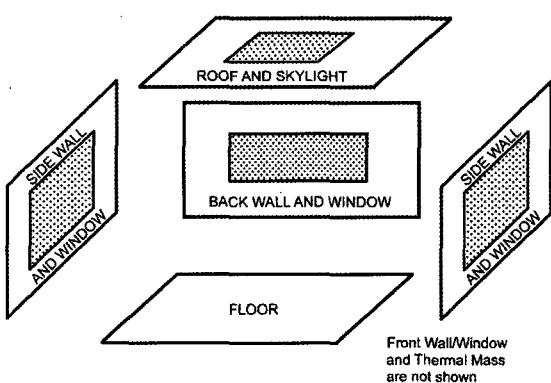


[그림 5] 열평형법의 개요도

흐름을 도시한 것이다. 윗부분에서 크게 음영처리된 네모상자 부분은 존에 포함된 각 표면들에 적용된다. 투명한 벽체표면도 유사한 절차로 되지만 태양열의 흡수가 외표면이 아니라 한단계 아래쪽에 있는 열전도 블록쪽에 표시되어야 한다. 또한 이 흡수된 부분의 일부는 내부로 일부는 외부로 분할되고 표면 열평형에 포함되게 된다.

그림 6에는 단일 공간 존에 대해 고찰한다. 열적 인 존(thermal zone)은 정해진 온도가 어떤 방법으로 제어되느냐에 따라 정의된다. 공기가 전체 건물을 순환하든가 주어진 공간이 잘 혼합되고 있다면, 그것은 하나의 열적인 존으로 볼 수 있다. 만약 각 실이 다른 제어방법을 쓴다면 별개의 열적 존으로 간주한다. 열평형 관점에서 4개의 벽, 천장이나 지붕, 바닥, 그리고 축열벽(thermal mass surface)을 포함하는 존의 설명이 완전하여야 한다. 각 벽과 지붕은 창문이나 천창을 포함할 수 있다. 따라서 12개의 표면이 주어지며 어떤 표면이 주어진 존에 없을 때는 면적이 0인 것으로 본다.

이러한 일반적인 형태의 존에 대한 열평형 계산과정은 24시간 시간대별로 정상-주기 조건으로 간주한다. 변수는 내외부의 12개 표면에서의 온도와 실내 공기가 주어진 온도로 유지되기 위한 HVAC 시스템 에너지 (또는 시스템용량이 주어진 경우는 실내공기 온도) 등이다. 따라서 $25 \times 24 = 600$ 개의 변수가 된다. 600개의 연립방정식을 구성하는 것도 가능 하겠지만 시간대별 문제의 종속성이 약하므로 반복계산법



[그림 6] 일반적인 열평형 존

으로 해를 구하는 것이 가능 하다. 주어진 시간에 모든 표면에 대한 반복계산이, 그리고 다른 한편으로 24시간에 대한 반복 계산이 수행된다. 이러한 계산 과정은 다른 열전달항목과 표면복사열전달 과정에서 다른 비선형성도 수용하게 된다.

- 위치데이터

계산과정에 태양열 계산이 포함되므로 위도와 경도, 시간대, 월일을 포함한 날짜, 존의 방위각, 높이(층고) 등 위치관련데이터가 필요하다. 외표면의 열전달계수를 변경시킨다든지 하는 유연성을 십분 활용하기 위하여는 풍속이나 풍향, 주변 지형 등을 정할 수도 있다. 보통은 이러한 변수들이 합당한 기본값으로 주어져 있으나 가변성이 있다.

- 각 벽체의 데이터

벽체의 경우 외표면과 내표면, 그리고 벽체를 통하는 전도, 등 세가지 중요한 계산요소에 포함되어 있으므로 다음과 같은 여러가지 자료를 정해 주어야 한다.

- 태양광선과 이루는 각도
- 수평면과 이루는 각도
- 면적
- 외표면의 태양복사 흡수율
- 외표면의 장파장복사 방사율
- 외표면의 단파장복사 흡수율
- 내표면의 장파장복사 방사율
- 외표면의 온도 경계조건 (일사가 있는 경우와 없는 경우 포함)
- 외표면의 거칠기
- 벽체의 각 층별 구조데이터

이중 일부는 기본값으로 설정할 수도 있으나 이의 변경은 자유로우며 이로써 열평형법이 실제 열전달 과정을 잘 묘사하는 특성이 있음을 알 수 있다.

- 각 창문의 데이터

창문의 경우 벽체와 유사하지만 태양열부하에 영향을 주기 때문에 다음과 같은 부가적인 자료가 필요하다.

요하다.

- 면적
- 수직방향 태양복사투과율
- 수직방향 SGHC값
- 수직방향 흡수율
- 외표면의 장파장복사 방사율
- 내표면의 장파장복사 방사율
- 양 표면사이 재질의 열전도특성
- 일사 노출부분(태양열 차폐)
- 오버행의 폭(태양열 차폐)
- 오버행(차양장치) 끝단으로부터 창문까지의 거리(태양열 차폐)

- 지붕과 바닥 관련자료

지붕과 바닥은 벽체와 유사한 자료가 필요하다. 바닥의 경우 외부 지표면조건이 필요한 경우가 많이 있다.

- 기타 벽체 관련자료

기타 벽체 (thermal mass surface)가 여러 가지 기능을 위하여 설치된다. 이것은 공간내 다른 벽체와 복사열교환을 하지만 실내공기와 대류경계조건만 주면 된다. 이동식 간막이 벽에 대하여 예를 들어보겠다. 간막이벽은 벽체와 같이 복합층으로 되어 있고 벽과 같은 형태의 전도현상으로 열을 저장하거나 방출한다. 일반적인 정의로 이런 기타 벽체는 실내 공기에 노출된 표면중 벽, 지붕, 바닥, 그리고 창문을 제외한 모든 표면으로 정의되며 면적을 계산해야 한다. 벽체의 양쪽면이 모두 열전달에 관계가 있기 때문이다.

- 내부발열부하 관련자료

대상 공간의 내부발열원은 거주인원, 조명, 전기기구, 침입외기 등이 있다. 침입외기는 바로 실내공기의 열평형에 포함되기 때문에 가장 단순한 항목이다. 다른 항목들에 대해서는 다음과 같은 세부자료들이 주어져야 한다.

- 현열취득량

- 잠열취득량
- 장파장복사
- 단파장복사
- 대류로 실내공기에 직접 유입되는 열량
- 거주인원의 활동상태
- 조명열취득량 중 환기(return air)로 유입되는 부분

복사시계열법 (Radiant Time Series)

복사시계열법(RTS법)은 열평형법에서 파생되었으며 설계 냉방부하를 단순하게 계산하기 위한 방법이다. RTS법은 TFM, CLTD/CLF법, TETD/TA법과 같은 열평형법이 아닌 다른 모든 단순화된 방법들을 효과적으로 대체할 수 있으며 또한, 이 방법은 복잡하면서도, 반복적인 계산을 피하고 구성요소가 전체 냉방부하에 미치는 영향을 정량적으로 검토할 수 있도록 개발되었다. 이를 사용하면 다른 구조 및 존 형식에 대한 계수를 비교 조사하여 결과적으로 미치는 상대적 영향을 파악할 수도 있다. RTS방법의 이러한 특성은 냉방부하 계산과정 동안 사용자의 기술적인 판단을 쉽게 도울 수 있다.

RTS법은 최대부하 계산에 적합하지만, 이 방법의 고유한 제한가정 때문에 연간 에너지 시뮬레이션에는 부적합하다. 비록 개념이 간단하고, 예제에서 설명된 것처럼 간단한 전산 프로그램(스프레트시트) 상에서 쉽게 실행될 수 있지만, RTS법은 수계산으로는 어렵다. 수계산에 의한 냉방부하계산 방법은 ASHRAE Handbook 1997 Fundamentals 제 28장의 CLTD/CLF방법에 자세하게 설명되어있다.

가정과 원리

설계냉방부하는 정상-주기조건 (다시 말하면 설계일의 기후, 인체, 그리고 열 취득 조건이 그 전날들의 조건들과 같고, 그 부하들은 동일한 24시간의 주기를 가지고 반복되는 조건)의 가정에 기초를 둔다. 따라서 특정시간, 특정구성요소의 열취득은 24시간 전의 열취득과 같고, 이는 48시간전의 열취득과도 같다. 이 가정은 열평형법에서 RTS법을 도출하는 기초가 된다.

냉방 부하계산은 건물 열전달과정의 고유한 2개의 시간지연 효과를 포함하여야 한다:

- ① 불투명 중량구조체 외표면 (벽, 지붕, 또는 바닥)을 통한 전도 열취득의 지연효과
- ② 복사 열취득에서 냉방부하로의 변환지연효과.

외벽 및 지붕은 실내외 사이의 공기온도 차에 의하여 열을 전도하며, 부가적으로 태양복사열은 외표면에 도달한 후 흡수되고, 전도에 의하여 건물내부로 전달된다. 벽이나 지붕구조체의 질량과 열용량으로 인해, 외표면에 입력되는 태양열이 내표면의 열취득으로 되는데에는 상당한 시간지연이 있게 된다.

대부분의 열원은 대류와 복사의 조합을 통해 실내로 에너지를 전달하며, 열취득의 대류 부분은 즉시 냉방부하가 되지만 복사 부분은 실내 표면의 마감재와 물건들에 먼저 흡수되어있다가 대류에 의해 그 표면으로부터 실내공기로 옮겨진 후 냉방부하로 된다. 따라서, 복사열 취득은 어느 정도 시간지연이 있은 후에 냉방부하로 된다.

RTS법의 개요

그림 7은 RTS법의 개요를 보여주고 있으며, RTS에서 태양복사, 창문을 통한 태양열취득, 상당외기온도, 그리고 침입외기를 계산하는 방법은, TFM과 TETD/TA 등 이전의 단순화된 부하계산방법들과 같다. RTS법에서 특히 추가하는 중요한 분야는 다음과 같다.

- ① 전도열취득 계산
- ② 모든 열취득을 복사와 전도 부분으로 분할
- ③ 복사 열취득의 냉방부하로의 변환

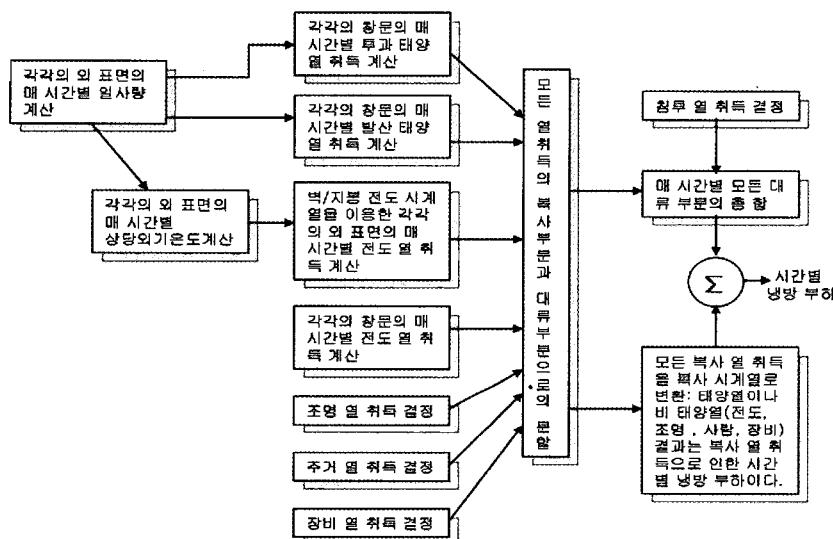
RTS법은 시간대별 열취득량에 24시간 시계열(time series)을 곱해서, 전도 시간지연분과 복사 시간지연분의 영향을 계산한다. 시계열을 곱하는 것은 사실상 열취득을 시간에 대해 분배하는 것이다. 복사시간 요소(radiant time factor)와 전도시간 요소(conduction time factor)라고 불리는 계열계수(series coefficient)는 열평형법을 사용하여 구한다. 복사시간요소는 총 복사열취득 대비 현재시간 동안

냉방부하가 되는 복사열취득의 백분율을 나타내며, 전도 시간요소는 벽이나 지붕 외면의 열취득 대비 현재시간동안 냉방부하가 되는 전도열취득의 백분율을 나타낸다. 정의에 의해, 각 복사 또는 전도 시계열의 총합은 100%가 되어야 한다.

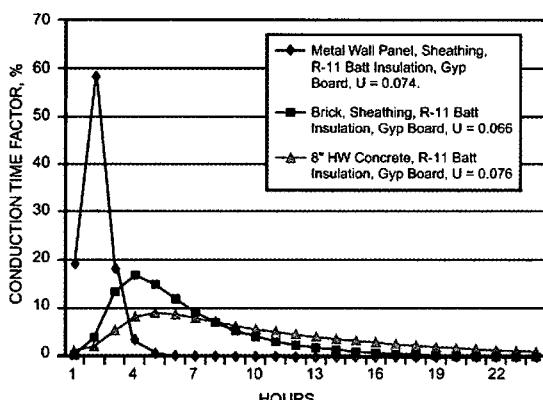
이러한 시계열(series)은 서로 다른 구조에서 발생하는 시간지연의 효과를 쉽게 비교할 수 있게 해준다. 구조의 모든 세부사항들이 결정되지 않았을 때, 선택하는 사항들을 비교할 수 있는 능력은 설계 과

정에 특별한 도움을 주며, 이런 비교는 선택하는 사항들이 부하에 미치는 양적 차이를 설명할 수 있어서, 엔지니어가 부하를 추정하는데 판단을 할 수 있는 더 많은 유용한 정보를 줄 수 있다.

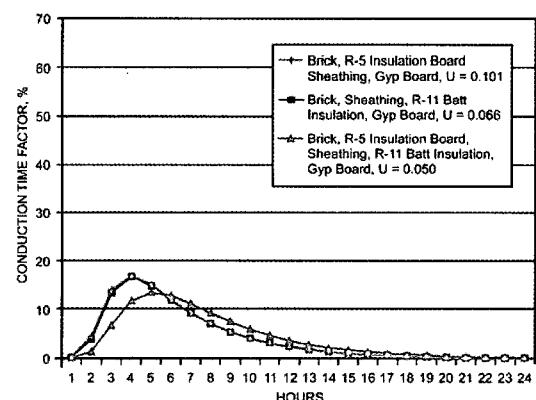
그림 8은 열관류율(U-factor)은 유사하나 경량구조에서 중량구조까지 다른 구조를 갖는 3개의 벽체에 대한 전도시계열(conduction time series, CTS)값을 나타내고 있으며, 그림 9에는 구조는 비슷하나 단열의 두께가 다르고 이로 인해 열관류율



[그림 7] RTS법의 개요도



[그림 8] 중량벽체에 대한 조명부하 CTS(전도시계수값)



[그림 9] 질량이 비슷한 단열벽체에 대한 CTS(전도시계수값)

이 상당히 다른 벽체 3개의 CTS값을 나타내고 있다. 그림 10에는 경량 구조에서 중량구조까지 다른 구조를 갖는 존의 RTS 값을 나타낸다.

RTS 계산절차

RTS법을 사용하여 각 부하인자(전등, 인체, 벽체, 지붕, 창문, 기구 등)들을 적용한 냉방부하를 계산하는 일반적인 절차는 다음과 같다.

- ① 설계일의 부하인자를 통한 열취득을 24시간대별로 계산한다. 전도의 경우, 먼저 전도 시간지연을 전도시계열(CTS)을 적용해 나타낸다.
- ② 열취득을 복사와 대류 부분으로 분할한다.
- ③ 냉방부하로 변환되는 시간지연을 수용하기 위하여 열취득의 복사부분에 적당한 복사시계열(RTS)값을 적용한다.
- ④ 대류에 의한 열취득과 시간지연 후의 복사열취득을 합하여 각 부하요소의 시간대별로 냉방부하를 계산한다.

각 인자의 시간대별 냉방부하를 계산한 후, 부하들을 더하여 시간대별 전체 냉방부하를 결정하고 공조시스템을 설계하기 위한 최대부하를 산정한다. 여러 달에 대해 이 과정을 반복함으로서 최대부하가 발생하는 시점(월)을 결정하며, 특히 창문이 남쪽으로 나있어서(위도가 남쪽인 지역에 대해서는 창문이 북쪽으로 나있는 경우), 최대냉방부하가 여름이 아닌 겨울에 일어날 수 있는 경우에는 반복해서 계산한다.

외표면을 통한 열취득

외부의 불투명한 표면을 통한 열취득은, 유사한 창문의 태양복사 및 온도구배로부터 구한다. 이런 요소들이 복합재료를 통하여 내부 표면으로 전달되는 전도 열전달에 영향을 미치기 때문에, 외표면을 통한 열취득은 주로 벽이나 지붕 구조체의 질량과 특성의 함수가 된다.

상당 외기온도 (Sol-Air Temperature)

상당 외기온도란 모든 복사의 변화가 없는 상태에서, 태양복사, 천공복사 기타 외부환경과의 복사에너지 교환, 그리고 외기와의 대류열전달을 모두 고려했을 때 발생하는 것 만큼의 열 입력량을 만드는 외기온도를 말한다.

전도시계열(CTS)을 이용한 전도 열취득의 계산

RTS법에서, 외벽과 지붕을 통한 전도는 전도시계열(CTS)값을 사용하여 계산한다. 벽과 지붕 등 외부의 전도 열입력량은 다음 식으로 계산한다.

$$q_{i,q-n} = UA(t_{e,q-n} - t_{rc})$$

여기서,

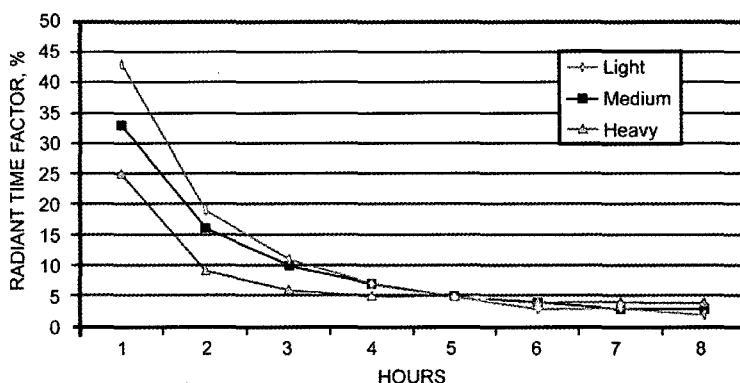
$q_{i,q-n}$ = n시간 전, 표면에의 전도열 입력량, W

U = 표면의 열관류율, $W/(m^2 \cdot K)$

A = 표면적, m^2

$t_{e,q-n}$ = n시간 전의 상당 외기온도, $^{\circ}C$

t_{rc} = 일정 실내온도, $^{\circ}C$



[그림 10] 구조체로 전달되는 조명부하 RTS값

벽이나 지붕을 통한 전도열취득은 현재 시간과 직전 23시간의 전도열 입력, 그리고 전도시계열을 사용하여 계산할 수 있다.

$$q_q = C_0 q_{i,q} + C_1 q_{i,q-1} + C_2 q_{i,q-2} + C_3 q_{i,q-3} + \dots + C_{23} q_{i,q-23}$$

여기서,

q_q = 표면의 매 시간별 전도열취득량, W

$q_{i,q}$ = 현재 시간의 열취득량, W

$q_{i,q-n}$ = n 시간전의 열취득량, W

C_0, C_1, etc = 전도 시계열계수

Spitler와 Fisher(1999년)에 의해 증명되었듯이, 열입력이 정상적이고 주기적이라 가정하고 설계부하를 계산하면 전도전달함수가 주기적인 응답계수로 계산할 수 있다. 24개의 주기적인 응답계수를 전체 벽이나 지붕의 열관류율(U-factor)값으로 나누면, 주기적인 응답계수는 CTS로 간단히 주어진다. 전도시계수는 상기 식에 사용할 수 있고, 다른 벽과 지붕 구조 사이의 시간 지연 특성을 비교하는 수단으로도 사용할 수 있다.

주기적인 응답계수 (즉 CTS)를 사용하여 계산된 벽이나 지붕의 열취득은, 정상적이고 주기적인 조건 등을 가정하고 전도전달함수를 이용하여 설계냉방부하를 계산했을 때의 열 취득과 동일하다. 전도전달함수에서 주기적인 응답계수를 이용하여 계산하는 방법론은 원래 ASHRAE 연구과제 RP-87의 일부로 개발되었다. (Spitler 와 Fisher 1999b, Spitler 등 1997). 추가 데이터와 CTS 관련 전산프로그램이 Iu 등(2004)에 의해 발표되었다.

필요한 많은 계산을 위하여 컴퓨터 스프레드쉬트나 다른 컴퓨터 소프트웨어를 사용하면 시간을 절약 할 수 있을 것이다.

내부표면을 통한 열취득

공조공간이 다른 온도를 가진 공간에 인접해 있을 때에는, 두 공간을 분리하는 물리적 부분을 통한 열전달이 항상 고려되어야 한다. 이 경우의 열전달률은 다음과 같이 나타낸다.

$$q = UA(t_b - t_i)$$

여기서,

q = 열전달률(냉난방부하), W

U = 인접한 공간과 조절된 공간 사이의 구조체의 열관류율, $W/(m^2 \cdot K)$

A = (두 공간을) 분리하는 구조체의 면적, m^2

t_b = 인접공간의 평균실내온도, °C

t_i = 공조공간의 실내온도, °C

열관류율(U)값은 제 25장에서 구할 수 있다. 온도 t_b 는 t_i 와 크게 다를 수 있다. 예를 들어서 주방이나 보일러실의 온도는 외부온도보다 8 K에서 28 K만큼 높을 수도 있다. 가능하다면, 인접공간의 실제실내온도가 측정되어야 한다. 인접공간이 일반적인 건축물이고, 열원이 없고, 또한 그 자체가 많은 태양 열취득을 받지 않는다는 것 외에는 아무 것도 모르는 경우, $t_b - t_i$ 값은 외기온도와 공조공간의 설계온도(건구온도, DB)에서 3 K를 뺀 온도와의 차이로 간주될 수 있다. 경우에 따라서는, 인접공간의 공기온도가 외부온도와 같거나 그보다 높기도 한다.

바닥

환기나 공조가 없는 지하실 위에 있거나 지면과 접촉해 있는 바닥에 대한 냉방부하는 무시할 수도 있다.

냉방부하계산

순간 냉방부하는 한 시점에서 열에너지가 실 내부 한 지점의 공기로 대류되는 비율이다. 실의 내표면, 가구, 칸막이 그리고 다른 물체 사이의 복사교환으로 인해 냉방부하 계산은 복잡해진다. 대부분의 열취득은 대류와 복사를 통해 열을 전달한다. 복사열 전달은 시간에 의존하며 그 양은 쉽게 정량화되지 않는다. 복사열은 실 내부의 물체들에 의해 흡수되고 시간이 지나면 대류에 의해 공간으로 방출된다. 이 과정은 시간지연과 감쇠효과를 일으킨다. 이와는 반대로 대류부분의 열취득은 발생하는 즉시 냉방부하가 된다.

열평형계산은 그 표면온도와 방사율에 근거하여 표면들 간의 복사열교환을 계산한다. 그러나 인체,

전등, 기기, 장비를 포함한 내부부하의 복사 열교환에 대한 기여도를 결정하기 위해서는 추정된 복사/대류 분할에 의지한다. RTS법은 열평형법과 같이 각 표면의 순간적인 대류/복사 열전달을 동시에 해결하는 것 대신에 벽, 지붕의 전도 열취득의 추정된 복사/대류 분할에도 또한 의존함으로써 열평형법을 더욱 간단하게 한다.

따라서, 특정한 시간의 부하요소 (전등, 인체, 벽, 지붕, 창, 기구 등)의 냉방부하는 그 시간의 열취득의 대류부분에 그 시간과 그 전 23시간의 복사열취득 중 시간지연 후에 취득된 열을 더한 합이다.

난방부하계산

상업용이나 공공건물 또는 산업용건물을 위한 난방부하계산방법은 다음 사항들을 제외하고는 기본적으로 냉방부하계산의 경우와 똑같다.

- 외기온도는 일반적으로 실내온도보다 낮다.
- 태양열과 내부발생열량은 난방부하에 포함하지 않는다.
- 건물의 구조체나 가구에 대한 축열효과는 무시한다.

따라서 열손실(음의 열취득)은 순간치로 간주되며 열전달은 전도에 의한 것이고 잠열은 실내습도 대체 기능 중 외부로 손실되는 것만을 다룬다.

이와 같이 단순화된 접근방법은 난방계절에 발생 할 수 있는 가장 나쁜 조건에서의 난방 부하 항목을

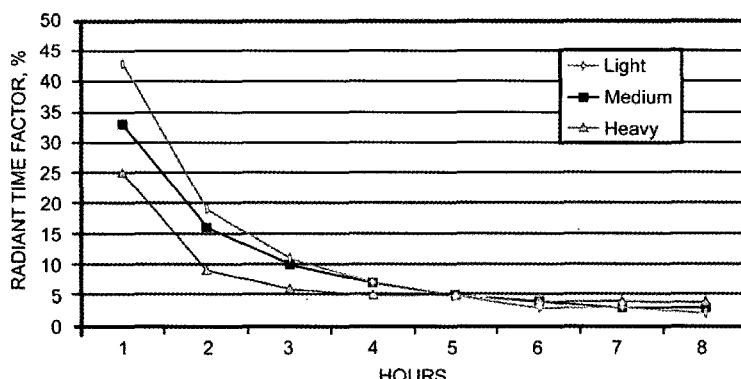
말하며, 가장 나쁜 조건이란 다음 항목과 같은 것들이다.

- 실내와 외기의 설계온습도조건
- 침입외기와 환기를 포함한다.
- 태양열 효과는 무시 (야간이나 흐린 날)
- 주기적인 재실인원, 조명, 기기발생열 등을 안전 치로 적용

전형적인 상업용 또는 상가건물의 경우, 야간에는 건물을 비우게 되고 환기나 조명, 기기 등은 모두 꺼지게 되며 야간의 열손실은 주로 전도에 의한 것이다. 이후에도 설명하겠지만 건물은 출근 전에 설계 온도로 가열되어야 한다. 근무시간 중의 조명이나 기기, 재실자로부터의 발생열량 때문에 벽체를 통한 전도열량을 적계할 수 있으며 환기부하가 일차적인 난방부하로 된다. 여기서 환기로 인한 난방부하는 열회수장치를 사용하여 줄일 수 있다. 이러한 전도열손실, 예열부하, 그리고 환기부하 등은 동시에 발생하는 것이 아니므로 상호간의 작용을 신중히 분석하여 최종적인 난방기기의 용량산정에 활용하여야 한다.

종래의 냉난방부하계산법

본 문에서 설명된 부하계산절차는 주어진 건물공간에 대한 냉방부하를 산출하는 방법 중 가장 최신내



[그림 11] 구조체로 전달되는 조명부하 RTS값

용으로 과학적으로 얻어진 방법이다. 그러나 ASHRAE Handbook의 이전 판에 있는 방법들도 여러 경우에 유용하게 적용할 수 있다. 이전 방법들은 열평형법의 원리에서 단순화된 형태이며, 이를 사용하기 위해서는 불규칙적이고 일반적이지 않은 상황들을 다루어 본 경험을 필요로 한다. 사실, 어떤 냉난방부하 계산방법일지라도 다양한 외벽체의 물리적 구성, 주거와 용도의 조건, 그리고 주위의 기후 같은 조건과 변수들을 정하는데 적용된 가정들을 전제로 하며, 전문가의 경험은 절대로 무시될 수가 없다.

열평형법 및 RTS법과 예전 방법들 사이의 근본적인 차이점으로서는 전에 이용 가능한 컴퓨터의 제한된 능력으로 인하여 단순화 시키는 기술들이 필요했던 것과는 달리 보다 새로운 방법으로 직접적인 접근이 가능하다는 것이다.

예를 들면, TFM법은 많은 계산 단계가 필요하며, 이 방법은 일별, 월별 및 연간 에너지 이용에 비중을 두고 에너지 분석을 위해 설계되었고, 그리고 설계 최대부하보다 시간대별 평균냉방부하값을 지향하도록 설계되어있다.

TETD/TA는 주관적이지만 1967년 ASHRAE Handbook Fundamentals에 처음 소개된 이래로 높은 정확성을 가진 부하계산방법이었으며 원래 수계산법으로 고안된 방법이다. TETD법은 건물의 총체적인 질량을 나타내기 위하여 인지된 시간에 대해서 복사계수들의 평균치를 내는데 이용되는 시간별 열취득 값의 확장된 프로파일을 계산하는데 필요하기 때문에 컴퓨터의 적용에만 적합하다고 할 수 있지만 사용자가 변수판단에 대한 정보가 거의 없는 채로 주어진 건물의 열저장 특성을 파악하는 것에는 거의 주관적이므로, 경험 있는 엔지니어가 있어야 TETD/TA를 유용하게 쓸 수 있었다.

CLTD/CLF방법은 2단계의 TFM과TETD/TA 방법을 복사열 취득의 중간 변환 없이 미가공 데이터로부터 냉방부하를 구하는 1단계의 기술로 간단하게 하는 시도였으며 냉방부하 온도와 냉방부하 요소 같은 일련의 요소는 냉방 부하계산 결과(정교한 방법에 의해 진행되는)로 얻어지고 전통적인 전도식 ($q=UA t$)을 사용한다. 그러나, 그 결과는 단순한 열취득 값이

아닌 개략적인 냉방부하 값이다. 이런 요소들을 구하는데 사용되는 단순화와 가정들은 이 방법의 적용성을 CLTD/CLF요소들이 얻어진 건물종류와 조건들로 제한한다 이 방법은 이런 적용의 범위를 넘어서 사용될 수는 없다.

비록 TFM, TETD/TA, 그리고 CLTD/CLF 절차가 이 장에서 다시 다루어지지는 않았지만 이 방법들이 효용성이 없거나 신용이 떨어졌거나 한 것은 아니다. 숙련된 엔지니어들이 전세계 수백만개의 건물에 이 방법들을 사용해 왔다. 실제 냉방부하 계산의 정확성은 주로 정확한 정보의 이용 가능성과 이용가능한 정보를 다루는데 사용된 가정에 대한 설계 엔지니어의 판단에 의존한다. 어떠한 프로젝트의 성공에는 특정한 냉방부하 계산 방법의 선택보다 이런 입력요소들의 정확성이 훨씬 더 많은 영향을 미치게 된다.

열평형법과 RTS법 계산의 주된 이득은 순전히 주관적인 입력(예를 들어, TETD/TA를 사용할 때 시간에 대한 평균을 내기 위한 적당한 기간을 정하는 것과 반올림된 TFM결과에 더할 적당한 안전계수의 확정, CLTD/CLF계수가 특별하고 고유한 곳에 적용이 가능한지 결정하는 것)에 대한 의존성을 어느 정도 줄였다는 것이다. 그러나 실제 설계에 가장 최신의 기술을 사용하는 것은 아직도 설계 기술자의 경험과 판단이 필요하고 조심스럽게 적당한 가정을 선정해야 한다.

맺는말

2005 ASHRAE Handbook, Fundamental 제30장에 있는 열평형법(HB)과 복사시계열법(RTS)에 의한 새로운 부하계산법을 원문번역 위주로 소개하였다.

2005년 12월부터 약 1년간 대한설비공학회 공조부하계산 표준화 프로그램 특별위원회(오명도 위원장)에서는 RTS법에 의한 새로운 냉난방프로그램 "RTS-SAREK"을 개발 완료하였으며, 오는 11월 1일에 신규 프로그램에 대한 강습회를 통하여 관심있는 모든 회원들에게 홍보와 보급을 하고자 한다. 많은 회원들의 참여 속에 새로운 RTS 부하계산법이 널리 보급되었으면 한다. (※)