

부하계산 프로그램

1. 부하계산의 방법

1) 개요

- 건물의 쾌적한 주거환경을 인공적으로 유지하기 위해 공기 조화설비가 사용되는데 이는 건물의 에너지소비와 직접적인 관계가 있다. 최근 에너지 소비절약에 대한 관심이 크게 증가 하면서 단순히 공조설비의 설계 및 운전은 물론 건물의 에너지 소비율을 예측하고 평가하기 위한 정확한 공조부하 계산 방법이 요구되고 있다.
- 공조부하의 계산방법으로는 연중 끊임없이 변화하는 기후에 따라 일정 기간 동안의 총량적인 에너지사용량 분석 등을 위해 사용하는 기간부하계산법과, 장비용량 산정 등을 위해 관심의 대상이 되는 특정시간대의 최대부하를 계산하는 최대 부하계산법 이 있다.
- 기간부하는 합리적인 공조설비의 계획과 연간운전비를 산출하기 위해 각 지역별 난방도일 또는 표준기상자료를 사용하여 계절 또는 1년 동안에 발생하는 총부하를 의미한다.
- 최대부하는 공조설비의 용량을 결정하기 위해 연중 가장 추운 날 또는 더운 날로 가정된 설계용 외기온도를 이용하여 계산한다.

2) 기간부하계산법

가. 냉난방도일법 (degree-day method)

- 평균 외기온도가 특정한 값일 때의 태양일사량과 내부발열에 의한 취득열량이 외피를 통한 손실열량과 상쇄된다는 경험에 기초하여 외기의 평균온도와 특정 외기온도의 차이에 에너지 소비율이 비례한다고 가정하여 계산하는 방법이다.
- 이방법은 매우 간단하기는 하지만 극히 제한된 적용범위를 지니고 있어 단순한 주택에 적용한다 하더라도 만족할 만한 결과를 얻기가 어렵고 대형 건축물에 적용하는 경우에는 거의 신뢰성을 확보할 수 없으며, 이를 보완하기 위해 ASHRAE에서 보정계수를 사용하는 수정된 냉난방도일법을 제안하였지만 이 역시 만족스러운 결과를 얻지는 못하였다.

나. 전부하상당시간법 (equivalent full load hours method)

- 공조기기의 최대부하시, 정격입력에 의해 연간 부하를 처리할 수 있는 운전시간 및 에너지 소비량을 계산하는 방법이다.
- 동일한 기후대에 속하는 동일한 종류의 건물에 대해 전부하시간을 조사하여 평균값을

구하고, 특정건물의 냉방에너지 요구량은 건물의 최대부하와 동일한 유형의 건축물에 대한 평균 전부하시간을 곱해서 산출한다.

- 설계용 부하만을 고려할 수 있으며 운전조건과 시스템의 종류는 고려할 수 없다.
- 대형 건축물의 에너지 소비량은 시스템의 운전조건 등에 따라서 크게 변화하기 때문에 통계적으로는 의미를 갖지만 각 건축물의 실제 에너지 소비량의 예측에는 정확한 값을 기대하기 어렵다.

다. 수정빈법 (modified BIN method)

- 빈이란 여러 조건에서 발생하는 순간부하를 계산한 후 그 결과를 일정 온도간격의 빈도수에 따라 가중 계산한 것으로, 빈법이란 다변부하의 개념을 도입하여 태양열취득과 내부발생열을 기후조건과 발생정도에 따라 가중 계산된 평균값을 각각의 빈에서 계산하는 방법이다.
- 즉 여러 경우의 외기온도에 대한 건축물의 순간부하를 계산하고 1년 동안 발생한 빈도수 또는 시간수를 곱하여 총 연간부하를 계산한다.
- 임의의 외기 온도에 대한 건축물의 외피 열부하는 설계용 냉난방부하를 나타내는 함수를 사용하여 보간법에 의해 구한다. 수정 빈법에서는 부분부하를 고려할 수 있고 공조설비에 대한 건물에너지의 계산이 가능하나, 공조부하가 외기온도에 따른 일차원 함수로 변하는 것으로 가정하기 때문에 중간기의 부하나 일사 특성 및 부하성분 사이의 상호작용의 영향 등을 파악할 수 없다는 단점이 있다.

라. 현열부하계산법

- 현열부하의 계산방법으로는 열평형법과 가중계수법 및 열격자법 등을 들 수 있다.
- 열평형법 (heat balance method)은 에너지보존의 법칙에 기초한 방법으로 다른 방법들에 비해 상대적으로 적은 가정을 필요로 하나 복잡한 계산과정이 필요 하다.
- 가중계수법(weighting factor method)은 열평형법과 같이 복잡한 계산방법과 축열능력을 전혀 고려하지 않는 정상상태계산법과 같이 간단한 계산방법의 중간 정도의 것으로, 열취득과 공기온도에 대한 2개의 가중계수를 이용하여 일정한 실내 공기온도 하에서의 열취득을 건물의 물리적 제원과 외기조건 및 내부발열 분포로부터 구하는 방법이다.
- 열격자법 (thermal network method)은 건물 전체를 에너지가 흐르는 연결통로를 가진 격자로 나누어 계산하는 방법으로 아직 널리 사용되지는 않고 있다.

3) 최대부하계산법

가. TETD/TA 법

- TETD(total equivalent temperature differential) 법은 응답계수법에 벽과 지붕으로 구성되는 건물의 구조체를 적용하여 얻은 상당외기온도(sol-air temperature)와 실내 공기온도의 함수인 TETD 값을 이용한 부하계산 방법이다.
- 여기서는 태양복사, 전도열전달, 내부발열, 외기침입 및 투습성 벽체를 통한 잠열취득의 5가지 열취득요소 중, 현열부하를 대류와 복사성분으로 분리하여 대류성분은 공간의 열취득 요소와 내부 열취득 요소를 더함으로써 순간부하로 정하고, 복사성분은 구조체의 열용량에 따라 일정 시간동안의 열취득을 평균(time averaging)하여 구한 후 이를 대류성분에 더함으로써 TETD를 얻는다.
- 시간평균에는 작은 열용량을 갖는 경량 구조체의 경우에는 2~3시간, 큰 열용량을 갖는 중량 구조체의 경우에는 6~8시간 동안의 값을 사용하나 보통의 구조체에서는 4~5시간 동안의 값을 사용하는 것이 보통이다.
- 이 방법은 구조체의 축열현상을 정량적으로 다룰 수 있는 합리적인 방법이지만, 부하의 복사성분을 단순히 시간평균하여 구함으로써 실제 현상의 정확한 예측이 어렵고 적절한 평균시간의 선정등 사용자의 경험에 크게 좌우된다는 단점이 있다.

나. 전달함수법 (transfer function method)

- 전달함수법은 TETD/ TA법과 원리는 같으나 현열부하중 복사성분에 새로운 가중계수(weighting factor)를 도입한 방법으로 가중계수나 전달함수계수들을 다양한 구조체 및 상당 외기온도와 실내 공기온도의 차에 적용한다.
- 즉 열전달과정이 중첩의 원리를 이용할 수 있는 1차식으로 표현된다는 가정에서 시작하여 Laplace 변환(Z-transfer function)을 이용하여 여진(excitation)과 열부하의 관계를 특정 전달함수로 나타내며, 전달함수는 특정시간의 출력을 그 시간의 입력과 이전 시간의 입력 및 출력으로 나타내는 함수가 된다.

다. CLTD/ CLF/ SCL법

- CLTD(cooling load temperature differential) 법은 열부 하에 대한 기초연구를 바탕으로 외기온도, 태양일사 등의 기후조건과 내부발열 그리고 건물의 구조와 위치 및 재료 등의 영향을 종합적으로 고려하는 등가온도(equivalent temperature)의 개념인 CLTD를 도표화한 결과를 이용하여 간단하게 부하를 계산하는 방법이다.

- 여기서 CLTD는 '전도열전달에' 의한 건물 벽체의 축열능력을 나타내는 온도차원의 계수이며, 창을 통한 태양일사와 내부발열에 의한 부하의 계산을 위해서는 CLF(cooling load factor)가 사용되는데 이는 태양일사와 내부발열체로부터 열취득의 시간지연 효과를 나타낸다.
- 최근에는 정확도를 향상시키기 위해 추가적인 영향인자를 고려한 SCL계수(solar cooling load factor)라고 하는 창을 통한 태양복사 열부하의 보다 진보된 계수가 개발되었다.
- 이 방법은 계산과정이 간단하여 부하를 수계산으로도 얻을 수 있어 이용이 편리하고 입력자료가 적절히 사용된다면 계산결과도 비교적 정확한 것으로 알려져 있다.

라. RTS 법

- RTS (radiant time series) 법은 HB(heat balance) 법을 간소화하여 설계 냉난방부하를 단순하게 계산하는 방법이다.
- RTS 법은 기본적으로 TFM, CLTD/ CLF법, TETD/ TA 법과 마찬가지로 또 다른 단순화된 방법으로 HB법을 대체한다.
- 이 방법은 기본적으로 열취득 계산을 위해 TFM의 전도전달함수와 유사하게 전도시계열(conduction time series)를 사용하고, TFM의 룬전달함수는 복사시계열(radiant time series)을 사용하여 정밀하면 서로 반복적인 계산을 요구하지 않고, 또한 각 구성요소가 전체 공조부하에 미치는 영향이 정량화되도록 개발되었다.
- 또 이 방법은 서로 다른 구조 및 존의 구성에 대한 계수의 비교를 통해 그들의 상대적 영향을 설명하는 형식으로 분석할 수 있으며, 공조 부하 계산 과정 동안 사용자의 기술적인 판단을 돕는다.

2. 부하계산 프로그램의 변화

- 1960년대 후반 이후 수많은 건물에너지 해석 시뮬레이션 프로그램이 개발되어 30여년 이상 나름대로의 정확성을 신뢰 받으며 사용되어 왔으나, 실제로는 현실과 상당한 차이가 있음이 간단한 실험을 통해서도 입증되고 있다.
- 1973년 제1차 석유파동 이후 이러한 프로그램들은 주로 냉난방, 공기조화 설비의 용량 결정을 위해 활용되어 왔고, 건물 외피나 공조시스템의 부하를 정밀하게 예측할 수 있는 능력에 대해서는 크게 관심을 두지 않았다.
- 1976년 이후부터는 건축 계획적 측면에서 공조부하의 감소를 위한 건물 구조체의 합리적 변화와 자연에너지를 적극적으로 활용하려는 자연형(passive) 설계전략에 관심이 집

중되었다. 이와 같은 새로운 상황에 기존의 프로그램들은 적절히 대처하기에 부족한 요소가 많았고, 결국 근본적인 열적 해석 알고리즘의 필요성이 대두되어 오늘날 새로운 세대의 상세 건물에너지 해석 시뮬레이션 프로그램들이 개발, 활용되기에 이르렀다.

- 가장 기본적인 정상상태(steady state)모델이 있다. 정상상태란 시간에 따른 온도변화를 무시하는 것으로, 월평균 외기온도와 같은 대표값 형태의 외기온도와 고정된 실내온도사이 열전달을 산출하는 개념으로 설비용량 결정을 위해 최대 냉난방부하 등을 산출하는 데 주로 이용된다.
- 관심대상의 시스템에 대한 경계조건을 정의하면 건물 구조체 내의 열흐름을 지배하는 편미분 방정식을 풀 수 있으며, 이는 곧 건물의 동적 응답을 모델링할 수 있는 수단을 제공한다. 이러한 방식을 도입한 모델링 기법들을 응답함수(response function) 방식이라 하며 현재 세계적으로 가장 널리 활용되고 있다.
- 컴퓨터 산업의 급속한 발전에 힘입어 복잡한 많은 문제들이 강력한 컴퓨팅 환경을 기반으로 수치해석 방법에 의한 동적 모델링 방식에 의해 해결될 수 있게 되었다.

3. 해외 부하계산 프로그램

1) DOE-2

- 미국 정부(DOE)의 지원 하에 LBL(Lawrence Berkely Laboratory) 에서 개발 하였으며, 응답계수 및 가중 계수, 전달함수 등과 같은 해석적 알고리즘에 기반을 둔 2세대 시뮬레이션 기법의 대표적 프로그램이다.
- 입력자료 준비를 간단하고 편리하게 하기 위해서 BDL(Building Description Language) 이란 언어가 사용되었고, HVAC 시스템 및 열원 기기 시뮬레이션 프로그램, 태양열 시뮬레이션과 경제성 평가를 위한 프로그램이 포함되어 있다.
- 이 프로그램은 시뮬레이션이 가능한 HVAC 시스템 및 열원기기 종류의 다양함과 해석 정밀도가 우수하여 현재 발표되고 있는 프로그램들의 타당성을 검토하는데 이용되고 있다.

2) TRNSYS

- TRNSYS는 미국 위스콘신 대학에서 당초 태양열 시스템의 해석을 목적으로 개발한 30년 이상의 역사를 가진 대표적 에너지해석 프로그램으로, 현재 유럽을 비롯한 세계 각 국에서 공동으로 개발되고 있다.
- AHSRAE 전달함수(Transfer functiSn) 법에 근거하여 개발 되었다.

- 모듈형식의 프로그램 구조로 인해 확장성과 호환성이 매우 뛰어난 이 프로그램은 주로 HVAC 시스템의 규모산정 및 해석, 태양열 시스템의 해석, 제어시스템의 분석 등과 같이 건물 구조체의 성능보다는 설비 요소와 같은 시스템 해석능력이 우수하다.

3) SESP-r

- 수치해석적 기법의 대표적 시뮬레이션 모델로는 현재 유럽공동체(EU) 에서 자연형 태양 열 건물해석 표준 프로그램으로 지정한 ESP-r (environmental system performance reference)를 들 수 있다. 이 모델은 유한체적법을 기본알고리즘으로 적용하였고 Unix 운영체계의 워크스테이션 환경에서 수행된다.
- ESP-r은 EU의 자연형 건축 프로젝트인 PASSYS (passive solar components and system testing)의 국가 간 실증실험을 통한 검증모델로 최근 유럽에서 활발히 이용되고있으며, 지속적으로 개발 중에 있다.

4) Energy Plus

- 최근 미국 정부(DOE)의 지원으로 개발한 Energy Plus도 차세대 건물 에너지 해석 프로그램으로 기대되고 있다.
- Energy Plus는 기존의 3세대 모델의 에너지 밸런스 알고리즘을 적용한 일리노이 대학의 BLAST 프로그램과 해석적 알고리즘의 대표격인 DOE-2 프로그램을 통합하여 새로운 형태의 건물에너지 해석프로그램으로 개발되었다.
- Energy Plus에서는 철저한 모듈형 구조 및 에너지 밸런스에 기준한 해석 알고리즘을 채택하였기 때문에 매 시간간격 별로 기존의 다른 프로그램과의 연계운동을 손쉽게 구현할 수 있다.
- Energy Plus는 공인된 검증방식인 ASHARE Standard 140(2001) 및 IEA 의 BESTEST의 과정에 따라 여러 항목의 평가결과에서 신뢰성을 인정받았으며, 건물에너지 시뮬레이션 분야의 가장 최신기술이 접목될 것이라는 기대로 앞으로도 많은 관심이 집중될 것으로 보인다.

4. 국내 부하계산 프로그램

1) RTS-SARK

- 2001년 ASHRAE Fundamental에 처음 소개된 이후 계속 수정 발표된 RTS법(Radiant Time Series: 복사시계열법)을 채택하여 장비선정까지 수월하게 수행하는 국내 표준프로

그램이다.

- 복사시계열(RTS, radiant time series) 법은 열평형법으로부터 유도된 난방부하계산의 설계 수행을 위한 간이법이다.
- 이 방법은 전달함수법(TFM), 냉방부하온도차/냉방부하요소(CLTD/ TA) 법과 총 등가온도차/시간평균(TEFD/TA) 법과 같은 기타 단순화된 비열평형법을 대체한다.
- 이 방법은 엄밀하지만 반복 계산을 요구하지 않는 방법을 제공하며 각 요소들이 총 냉방부하에 대한 기여도를 정량화 한다. 뿐만 아니라 사용자가 다른 구역과 건축물 형태에 대한 계수들의 영향이 미치는 영향을 감시하고 비교할 수 있도록 하는 바람직한 요소를 가지고 있다.
- RTS법은 첨부설계 부하계산에 적합하다. 그러나 이 방법은 원초적으로 내재된 가정들 때문에 연간에너지 시뮬레이션에 사용되어서는 안 된다. 개념이 단순해서 전산시트에 쉽게 올려질 수 있으나 RTS 법은 수 계산이 어렵다.

참고문헌

1. 설비공학 편람 3판 제2권 공기조화, 대한설비 공학회