

## CHAPTER 36

### COMPUTER APPLICATIONS

Computer System Architecture ..... 123	Computer-Aided Design ..... 131
Hardware Options ..... 123	Computer Graphics and Modeling ..... 131
Software Options ..... 124	Applications of Artificial Intelligence ..... 132
Design Calculations ..... 125	Communications ..... 132
Administrative Uses of Computers ..... 131	Data Acquisition ..... 132
Productivity Tools ..... 131	Monitoring and Control ..... 133

저가의 컴퓨터와 분석프로그램의 개발로 냉난방공조업계에 디지털 컴퓨터의 사용이 증가하고 있다. HVAC 냉난방부하 등은 컴퓨터를 이용하여 쉽고 저렴하게 계산이 가능하다. 또한, HVAC 장비의 관찰, 제어 및 진단 등 유지관리 분야에서 더욱 강력해진 컴퓨터의 도움을 받고 있다. 본 장에서는 (1) 컴퓨터의 활용, (2) 활용가능한 컴퓨터 하드웨어, (3) HVAC 시스템에서 사용가능한 소프트웨어에 대하여 다룬다.

#### COMPUTER SYSTEM ARCHITECTURE

현대의 컴퓨터 산업은 급속하게 변화하고 있으며, 정보를 교환하고 컴퓨터 시스템을 응용하는 기법이 시스템 설계 분야에도 도입되고 있다.

컴퓨터를 선정하기 이전에 각 조직에서는 정보시스템이 잘 이루어져 있는지를 확인하는 것이 중요하다. 사업분야에서는 최종 사용자의 요구가 가장 중요한 요인이므로 시스템 응용 역시 최종 사용자의 요구에 순응할 수 있도록 이루어져야 하며, 이로부터 컴퓨터를 활용하는 기술적 틀과 표준이 설정될 수 있다.

표준에는 몇 가지 형태가 있다. ISO, ANSI/IEEE.SQL과 같이 산업그룹에 의해 정의되고 조직화된 산업표준이 있으며, 기준이 적용되기 어려운 경우에 형성되는 각 조직내의 성능기준이 있을 수 있다. 또한, 개인용 컴퓨터의 운영시스템과 같은 실용적인 기준도 존재한다.

#### HARDWARE OPTIONS

컴퓨터 하드웨어는 장비의 등급을 고려하여 선정할 수 있으며, 대형(메인프레임 컴퓨터), 중형(미니컴퓨터, 랩탑, 노트북, PC), 소형(PDA)이 사용될 수 있다. 이러한 범주는 계산속도, 동시

사용자의 수 및 가격 등에 의해 결정된다.

#### Mainframe Computers

대형 컴퓨터는 유능한 관리자를 필요로 한다. 대형 컴퓨터를 사용하고자 하는 조직은 본 절에서 나타난 내용보다도 더욱 많은 경험을 가진 전문가를 갖추어야 한다. 대형 컴퓨터를 사용하는 데에는 다음의 세 가지 접근방법이 고려될 수 있다.

1. 대형 메인프레임 컴퓨터의 직접 소유
2. 컴퓨터 서비스 부서와의 작업계약
3. 시간할당제 회사와의 공동작업

외부의 서비스 부서와 계약하는 두 번째 방법이 실행하기에 가장 쉽고 빠른 방법이다. 문제점에 대한 책임은 컴퓨터 부서에 있으며, 업체에서는 고가의 하드웨어와 소프트웨어를 구매할 필요가 없다. 또한, 자체의 교육프로그램을 설정하거나 경험이 많은 컴퓨터 전문가를 고용할 필요도 없다. 대부분의 경우 비용은 높지만 전체 프로젝트 비용범위 내에 있을 수 있다.

그러나 이 방법은 몇 가지 단점을 가진다. 사내의 개인은 미래의 프로젝트에 대하여 전혀 경험을 얻을 수 없게 된다. 또한, 소비된 비용은 다음 작업에서 회수될 수 없으며, 작업에 소요된 시간 역시 제어할 수 없게 된다. 회사가 컴퓨터에 필요한 작업을 거의 하지 않고 단기간의 프로젝트만을 수행할 때에는 이러한 방법이 합리적이지만, 중규모 이상 대규모의 프로젝트를 수행하는 경우에는 상대적으로 짧은 시간 내에 대량의 작업을 운영할 수 있는 숙련된 기술자가 필요하며, 그러한 측면에서 이 접근방법은 한계를 가진다.

시간할당제 회사와의 공동작업인 세 번째 방법은 최소한의 하드웨어(터미널, 전화연결선 또는 모뎀)를 구매하거나 임차하여야 하며, 전화선으로 연결된 시간할당제 네트워크를 사용하게

된다. 두 번째 접근방법과 마찬가지로 초기투자 비용은 거의 없게 된다. 그러나, 서비스를 받는 회사에서도 작업의 많은 부분을 수행하게 되므로 문제에 대한 책임이 전적으로 컴퓨터 부서로 이관되지 못한다.

시간할당제 회사와의 공동작업에서 얻는 가장 큰 잇점은 대형 소프트웨어 자료실의 접근이 가능하다는 것과 방대한 양의 컴퓨터 능력을 대형 메인프레임 컴퓨터에 비해 저가로 사용할 수 있다는 점이다. 사내의 개인교육은 필수적이다. 관리진은 특정프로그램을 사용하기 이전에 프로그램 자체뿐만 아니라 서비스에도 익숙해져야 한다. 또한, 부수비용을 절감하기 위하여 유지관리에 대한 이해도 필요하다.

시간할당제 서비스의 한 가지 장점은 특정한 데이터베이스로의 접근이 편리하다는 것이다. 시스템에서 활용가능한 정보의 양은 방대하다. 데이터베이스로부터 인력, 재정, 법규, 의학, 과학, 문화 등을 쉽게 활용할 수 있다. 사용자는 데이터베이스로 접속한 후 정보검색을 통하여 원하는 자료를 얻게 된다.

#### Minicomputers, Microcomputers, Laptops, and Notebooks

저렴한 워크스테이션과 PC로 인해 모든 회사는 자체적인 컴퓨터 작업이 가능하게 되었다. 고정된 투자만으로 무한한 계산을 할 수 있다는 장점은 모든 회사로 하여금 컴퓨터를 사용하게 하였다.

대형 컴퓨터 시스템의 비용은 소규모 회사의 경우 부담스러운 정도이므로 첫 번째 프로젝트에서는 사용이 불가능하다. 또한, 하드웨어와 설치비용과 소프트웨어 구매비용 및 유지관리비용은 실질적인 컴퓨터 시스템의 전체 유지비를 상승시키게 된다. 하드웨어와 소프트웨어의 업데이트 역시 전체 비용에 포함된다. 대형 컴퓨터 시스템을 합리적으로 소유하기 위해 회사는 사용빈도를 늘려야만 한다. 그러나, PC의 네트워크 능력이 나날이 발전함에 따라 예전에 대형 컴퓨터에서만 가능했던 작업이 현재는 PC에서도 가능하게 되었다.

컴퓨터를 관리하는 데에는 소프트웨어와 개인적 비용 등 부가적인 비용이 발생한다. 소프트웨어는 반드시 구매하거나 개발하여야 한다. 소프트웨어 가격이 고가이지만 개발비용에 비하면 싼 편이다. 회사에서는 적어도 한 사람 이상의 시스템과 소프트웨어 전문가를 보유하고 있거나 계약할 수 있어야 한다.

#### Personal Digital Assistants

최근 극소화된 디지털 통신기기의 발전과 프로그래밍 기술의 발전으로 PDA라 불리는 새로운 형태가 개발되었다. 이러한 장치는 기기(전화, 팩스송신기, 랩탑, 전자메일 등)에 의해서만 얻을 수 있었던 자료를 사용자에게 직접 제공하게 된다.

### SOFTWARE OPTIONS

컴퓨터가 작업을 수행하기 위해서는 하드웨어와 소프트웨어를 가져야만 한다. 소프트웨어는 시스템 소프트웨어, 언어, 유틸리티, 응용프로그램의 네 가지 큰 범주로 나뉜다.

운영체제로 알려진 시스템 소프트웨어는 다른 프로그램이 가동될 수 있는 환경을 형성한다. 운영체제는 입력과 출력(키보드, 모니터, 프린터) 및 디스크와 메모리간의 파일전송을 담당하며, 다른 프로그램의 가동을 지원한다. 운영체제 소프트웨어는 컴퓨터 제조업체나 소프트웨어 회사로부터 얻을 수 있으며, 컴퓨터의 종류에 따라 설치되는 종류가 달라진다.

언어는 컴퓨터 프로그램을 작성할 때 사용되며, 어셈블리 언어 및 보다 상위레벨인 FORTRAN, BASIC, Pascal, C, C++이 있다. FORTRAN은 과학이나 수학적 응용 프로그램에 유용하다. BASIC은 개인용 컴퓨터를 사업용으로 만들었으며, 새로운 파생어는 많은 언어의 한계를 극복하였다. Pascal은 교육프로그래밍을 위해 개발된 체계화된 언어이다. C와 C++은 HVAC를 포함한 많은 산업분야에서 전문적인 프로그래밍을 위한 표준으로 선호된다. C 언어의 단점은 프로그램 작성에 높은 수준의 프로그래밍 기술이 필요하다는 것이다.

유틸리티 소프트웨어는 파일의 복사, 출력, 통합 등 컴퓨터의 데이터 정리작업과 조직화작업을 수행한다. 일반적으로 유틸리티 소프트웨어는 하나 혹은 두 개의 특정기능을 수행한다.

HVAC 응용프로그램은 부하, 에너지, 배관설계에 필요한 계산시 컴퓨터를 이용하기 위하여 개발되었다.

#### Purchased Software

컴퓨터 장비업자가 소프트웨어를 제공하기도 하지만 다른 경로도 존재한다. PC 소프트웨어는 제조업체, 소프트웨어 업체, 판매자 및 할인점에서 구매할 수 있다. 소프트웨어의 가격, 지원수준, 반품정책 등은 판매자에 따라 달라진다. 대

부분의 소프트웨어 회사는 몇 가지 방법으로 그들의 제품을 지원한다. 일부 업체는 고객지원에 대해 좋지 않은 평판을 받고 있으므로 구매자들은 특정 판매자로부터 지원수준을 파악하고 있어야 한다. 일부 판매자는 고객들이 소프트웨어를 시험사용하고 만족스럽지 않은 경우 반품할 수 있도록 하고 있다.

소프트웨어는 컴퓨터와 조화되어야 한다. 일부 판매자는 복사방지책을 사용하여 하나 이상의 컴퓨터에서 가동되지 않도록 하고 있다. 복사방지는 사용자를 불편하게 함에 따라 그 경향은 점차로 없어지고 있다. PC 소프트웨어의 구매시 사용자는 소프트웨어의 사용에 관한 라이선스를 부여받게 되며, 일반적으로 하나의 컴퓨터에서만 사용가능하다. 사용자는 포장을 개봉함으로써 라이선스의 내용에 동의하게 된다.

### Public Domain Software

공공용 소프트웨어는 무료 또는 최소한의 비용으로 사용이 가능하다. 이러한 소프트웨어는 정부지원하에서 학교 또는 개인의 프로젝트를 통해 개발된 것이다.

공공용 소프트웨어는 컴퓨터 게시판이나 책자 또는 업체를 통해 얻을 수 있다. 일부 프로그램의 경우 바이러스를 안고 있을 수 있으므로 주의하여야 한다.

### Sources for HVAC Programs

ASHRAE Journal's HVAC Software Directory(1990)에는 HVAC에 관련된 소프트웨어의 목록을 제공하고 있다. 내용에는 각 프로그램에 대한 간단한 설명과 사용에 관한 정보가 수록되어 있다.

## DESIGN CALCULATIONS

설계프로세스상에서 컴퓨터가 널리 사용되고 있지만 대부분의 프로그램은 설계가 아닌 시뮬레이션에 사용된다. 이는 기술자들이 설계안을 제안하고 컴퓨터 프로그램이 계산을 하는 것을 의미한다. 대안들이 쉽게 표현되면 프로그램은 대안들을 시뮬레이션함으로써 설계가 가능하며 이후 초기에 의도한 목적에 따라 최적의 내용을 선정하게 된다. 따라서 연간 에너지사용량을 계산하는 프로그램은 건물의 시방과 시스템 자료가 필요하게 된다. 이후 프로그램은 특정 기후조건, 재실율, 스케줄에 따른 건물의 성능을 시뮬레이션하게 된다. 덕트설계 프로그램은 실제로

덕트의 크기를 결정할 수 있지만 일반적으로는 기술자가 송풍량, 덕트경로 등을 결정한다.

컴퓨터가 반복계산을 빠르고 정확히 할 수 있음에 따라 설계자는 더 많은 범위의 대안을 대상으로 연구할 수 있고 연간 에너지비용이나 전생애비용을 선별기준으로 할 수 있다.

### Heating and Cooling Loads

HVAC 선정과정에서 건물의 열부하를 계산하는 것이 필요하다. 난방기기는 모든 조건에서 실내온도를 만족스럽게 유지하여야 하며 최대난방부하는 일반적으로 정상상태의 조건에서 일사열이나 내부발열이 없는 조건으로 계산된다. 이와 같이 간단한 계산은 컴퓨터의 사용 또는 수계산으로 이루어질 수 있다.

최대냉방부하는 난방부하에 비해 더욱 유동적이다. 일사열 축열은 순간적인 열획득과 손실을 지연시키게 된다. 특히 냉방부하에서 이러한 지연은 최대부하의 크기가 줄어들고 시간적으로 지연되므로 실질적인 열획득량과 비교가 필요하며 따라서 매우 중요하다. 최대냉방부하를 계산하는 초기의 기법은 과다산정의 경향을 띠었다. 이것은 냉방기기의 과다설계를 낳았고 높은 초기투자비와 부분부하운전시의 비효율성을 가져왔다. 현대에는 냉방부하의 지연특성을 고려한 다양한 계산기법이 사용되고 있다. 건물요소의 설계부하를 산정하는 데 사용되는 기법은 다음과 같다.

- Transfer Function Method(TFM)
- Cooling Load Temperature Difference/  
Cooling Load Factor(CLT/CLF) Method
- Total Equivalent Temperature Difference/  
Time Averaging(TETD/TA) Method
- Steady-State Heat Transfer Method
- Response Factor Method
- Finite Difference Method

TETD/TA 기법 및 TFM 기법은 열획득과 열부하의 이력을 필요로 한다. 초기값을 0으로 두고 분석대상 건물의 적절한 24시간 부하 프로파일을 설정하기 위해 일간 기후데이터와 점유사이클 분석이 이루어진다. 따라서 TFM과 TETD/TA 기법을 이용할 경우에는 방대한 양의 계산이 필요하게 되며 이는 컴퓨터가 없이는 불가능하게 된다. 반면에 CLTD/CLF 기법은 스프레드시트 프로그램을 이용하거나 수계산이 가능하다. CLTD/CLF 사용에 필요한 표는 ASHRAE 1993

FUNDAMENTAL에 나와 있으며, 특정 형상과 건물구조에 TFM 기법을 응용한 것을 기반으로 한다.

**Characteristics of a Loads Program.** 일반적으로 부하 프로그램은 다음의 대부분을 사용자가 입력하여야 한다.

- 건물 전체 개요. 벽체 및 지붕, 유리창 등의 구조와 실, 존, 건물의 형상. 음영형상
- 조명과 기기로 인한 현열 및 잠열부하 및 가동 스케줄
- 인체로 인한 현열 및 잠열부하
- 실내외 설계조건
- 위도와 고도 등 지형학적 데이터
- 필요한 기량 및 침기량
- 시스템당 존의 수 및 시스템의 수

이러한 입력치를 이용하여 부하 프로그램은 냉난방부하를 계산하게 된다. 결과값은 실과 존의 최대부하, 급기량 및 전체 시스템(코일) 부하로 나타난다.

**Selecting a Loads Program.** 하드웨어와 소프트웨어와 같은 일반적인 특성과 더불어 접속의 종류, 매뉴얼의 활용도, 비용, 프로그램의 특성 등에 대한 고려가 부하해석 프로그램 선정시에 필요하다. 다음은 고려되어야 할 항목들을 나타내었다.

- 주거용 및 상업용 등 분석대상의 건물형태. 주거용 건물의 부하프로그램은 상업용이나 산업용 건물 등 일반 목적의 프로그램에 비해 사용이 간단하지만 한계를 가진다.
- 냉방부하의 계산 알고리즘
- 시스템, 존, 실, 실 표면의 수에 대한 프로그램의 한계
- 실내외 차양, 경사벽, 자연채광, 천창과 같은 모델링 기법의 복잡함
- 입출력의 단위
- 프로그램의 복잡성. 일반적으로 복잡하고 융통성있는 프로그램은 더욱 많은 입력자료를 필요로 하고 단순한 프로그램에 비하여 사용하기가 어렵다.
- 분석대상 시스템 종류의 제어능력
- CAD 및 기타 에너지분석 프로그램과의 호환기능

## Energy and System Simulation

건물에너지 시뮬레이션 프로그램은 최대부하 계산 프로그램과는 다르다. 에너지 시뮬레이션 프로그램의 경우 부하는 시간에 따라 누적되며, 부하에 대응하는 시스템이 고려되고, 기기에 필요한 에너지가 출력물로 계산된다. 현재의 프로그램은 기기용량, 풍량, 팬의 동력 등의 선정이 가능하지만 대부분의 에너지 프로그램은 기존에 설계된 시스템의 성능을 시뮬레이션한다. 에너지 프로그램은 설계단계에서 제안된 에너지절약기법의 성능을 정량화함으로써 전생애기간동안 건물 에너지사용의 측면에서 의사결정을 하기 위한 도구이다. 신축건물의 경우, 에너지 프로그램은 건물 시스템 및 기기의 적절한 종류와 용량을 결정하는 데 도움을 주며, 설계변경의 효과와 새로운 제어기법의 이익에 대한 평가 및 신장비의 효율평가에도 사용될 수 있다.

건물 에너지 프로그램은 건물의 운전이 효율적으로 되는지에 대한 결정에도 도움을 줄 수 있다. 또한, 중앙 냉난방 열원기로부터의 비용을 할당하는 데에도 사용된다. 그러나, 이러한 프로그램은 건물로부터 얻어진 측정데이터를 통하여 정확한 검증이 이루어져야 한다.

## Characteristics of Building Energy Simulation Programs.

대부분의 프로그램은 건물, 기계장비 및 제어옵션에 대한 광범위한 부분을 시뮬레이션한다. 화창한 날의 경우 일사열부하가 중요하지만 컴퓨터의 계산결과는 프로그램마다 달라진다. 차양, 인접건물로 인한 음영효과는 건물의 에너지소비량에 영향을 미치는 요인이 된다. 그러나, 부하계산 접근방법의 다양성은 결과 역시 다른 값을 나타내게 된다. 각 프로그램에는 다양한 기상자료가 사용되며, 기상자료는 다음의 5개 그룹으로 분할된다.

1. 평균 기상자료로부터 추출된 1년간의 시간별 데이터
2. 설계기간동안의 일반적인 설계조건 및 1년간의 시간별 데이터
3. 1년동안 각 월의 대표일 또는 대표기간을 이용한 축소된 데이터
4. 연결되지 않거나 bin 형태를 가진 전형적인 축소 데이터
5. 현장에서 기록된 실제 시간별 데이터. 시뮬레이션 분석시 결과는 실제 전기사용요금자료 또는 측정된 시간별 데이터와 비교

냉방부하 계산결과는 기상자료에 따라 달라진다.

열제거량은 공조시스템이 공조된 공간으로부터 제거하는 열량을 의미한다. 실내온도가 일정하게 유지될 경우 이 양은 냉방부하와 같아진다. 그러나, 이런 경우는 극히 드물게 발생하므로 열제거량은 일반적으로 냉방부하보다 작거나 더 커진다. 이러한 개념은 간헐적으로 운전되는 공조시스템에서 더 중요해진다. 이것은 부하와 실내온도와의 관계를 나타내주는 자료를 제공하며, 다양한 기기용량의 조합 및 예열/예냉기간을 통하여 예열/예냉부하의 계산이 가능하게 해 준다.

공기 및 에너지에 대한 시뮬레이션은 중앙식 난방, 환기공조시스템의 다양한 변화의 조절에 필요하다. 정확한 에너지사용량을 산출하기 위하여 시스템 설계, 운전계획 및 제어시스템의 각 조합에 대하여 시뮬레이션이 수행되어야 한다.

**Selecting an Energy Program.** 에너지해석 프로그램을 선정하는 데 있어서 비용, 활용도, 용이성, 기술지원, 정확성 등이 중요한 요인으로 작용한다. 그러나, 프로그램이 필요로 하는 요구 조건에 무엇이 있는지를 이해하여야 한다.

과거의 경우 컴퓨터 시뮬레이션은 열부하계산에 집중되어 있었으며, 시스템 시뮬레이션은 대부분의 일반적인 시스템으로 한정되어 있었다. 향후의 시뮬레이션 개발은 통합적인 시스템 기법이 될 것이다. 즉, 각각의 요소에 주어진 수학적 모델을 이용하여 시스템이 형성될 수 있다는 것이다.

에너지 프로그램에 사용되는 초기입력파일이 부하계산에 동시에 사용된다면 시간이 줄어들 수 있다. 일부 프로그램은 CAD 파일과 호환되며, 에너지 프로그램의 입력파일 작성에 필요한 시간을 현저히 줄일 수 있다.

**Comparison of Energy Programs.** 에너지 해석용 컴퓨터 프로그램은 계산에 다른 기법을 사용하므로 결과 역시 매우 달라지게 된다. 많은 비교와 검증 및 타당성 입증이 보고되고 있다. 이러한 보고서의 결과는 다음과 같이 요약될 수 있다.

·동일한 건물을 대상으로 몇가지의 컴퓨터 프로그램을 사용함으로써 얻어진 결과는 유사한 값에서부터 전혀 다른 값에 이르기까지 넓은 범위에서 나타났다.

·유사함의 정도는 프로그램 사용자의 이해도와

컴퓨터 프로그램의 모델링 능력에 따라 달라진다.

·동일한 건물에 대하여 몇 가지 프로그램을 사용한 몇 명의 사람들은 각각의 에너지해석 결과를 동의하지 않을 수 있다.

·동일한 건물을 대상으로 다른 프로그램을 사용한 동일한 사람은 건물과 시스템의 복잡함 및 컴퓨터 프로그램의 특정 조건에 대한 모델링 능력에 따라 유사한 결과를 얻을 수도 그렇지 않을 수도 있다.

·주어진 형태의 기후조건, 재실률 등의 입력치를 입력하여 건물의 성능을 계산하는 프로그램이 설계목적에서는 가장 훌륭하다.

·일반적으로 복잡한 상업용 사무소 건물에는 사용 스케줄, 기기의 설정점과 관련한 세부적인 자료가 필요하며, 정확한 보정모델을 위해서는 현장실측이 필요하기도 하다.

·월간, 일간, 시간별 측정치로부터 얻어진 데이터를 이용한 그래프가 유용하게 사용될 수 있다.

·실험적 시스템 변수모델이 건물 에너지 사용특성을 결정하는 데 유용할 수 있다. 이러한 모델은 주어진 실제 성능데이터로부터 얻어진 건물 변수를 결정할 수 있다.

### Energy Programs to Model Existing Buildings.

기존 건물의 컴퓨터 에너지해석은 복잡한 설정, 많은 대안들이 에너지에 미치는 영향 평가, 상대적인 에너지사용량의 예측을 수행하였다. 활용가능성, 비용, 복잡함의 정도, 사용의 용이함에 따라 많은 프로그램이 존재한다.

기존 건물의 에너지 해석에는 일반적인 과정이 필요하다. 첫째, 1-2년간의 에너지소비량 데이터가 반드시 입수되어야 한다. 전력의 경우, 검침된 전기에너지 소비량과 적어도 1달을 주기로 하는 수요량을 가지고 있어야 한다. 천연가스의 경우, 데이터는 1달의 기준값을 가지고 있어야 한다. 전력과 천연가스를 동시에 사용하는 경우 검침이 이루어진 날짜를 기록하는 것이 도움을 줄 수 있다. 이러한 날짜들은 평균지불기간의 온도를 결정하기 위한 기상자료의 일반화에 중요하다.

일간 또는 월간 연료사용량이 검침되지 않았거나 측정되지 않았다면 1년 또는 한 계절 이하의 짧은 특정기간동안의 소비량은 결정되기 어려워진다. 데이터는 일간사용량으로 변환되어야 한다. 데이터는 얼마만큼의 양의 에너지가 건물 내부로 유입되었는지를 보여준다. 넓은 영역에

대한 보조검침이 사용되지 않았다면 언제 그리고 어떻게 에너지가 사용되었는지를 이해하는 것은 거의 불가능하다. 따라서 에너지사용량을 판단하기 위해서는 이러한 검침기의 설치가 필요하다.

건물과 시스템의 열 및 전기사용특성은 시간 변화의 함수로서 공기조건과 재실율이 반드시 결정되어야 한다. 대부분의 컴퓨터 프로그램은 건물과 기계 및 전기시스템에 관한 세부적인 정보를 사용하게 된다. 여기서 이러한 세부적인 정보는 에너지 사용에 영향을 미치게 되며 따라서 이러한 자료를 습득하는 것이 상당히 중요하다. 팬의 풍량, 압력, 제어설정점, 운전상태를 파악하기 위한 시험은 설계조건과의 차이에 대한 정보를 제공할 수 있게 된다. 펌프에 대한 시험 역시 유용하다.

건물 재실율에 관한 데이터는 가장 구하기 어렵다. 대부분의 에너지해석용 컴퓨터 프로그램은 건물을 1년동안의 시간단위로 시뮬레이션하므로, 이 시간동안 건물이 어떻게 사용되는지를 아는 것이 필요하다. 건물의 주간, 야간 및 주말의 관찰을 통하여 에너지소비체계와 정도를 알 수 있게 된다. 적어도 일주일동안의 시간별 측정데이터는 주중/주말의 스케줄 관련 부하계산에 필요하게 된다.

보통 1년간의 시간별 기상자료가 시뮬레이션에 필요하다. 실제 에너지소비량이 기록된 기간의 기상자료는 기존 건물의 시뮬레이션의 정확도를 매우 향상시킬 수 있다. 에너지소비특성이 외주부 부하보다 내주부 부하에 더 큰 비중을 가지는 건물은 기상자료의 중요성이 다소 떨어진다. 그러나, 주거용 건물이나 커다란 외주부하를 가진 건물의 경우 기상자료의 선정은 결과에 커다란 차이를 가져올 수 있게 된다. 시뮬레이션의 목적에 따른 기상자료의 선정은 특정 년의 자료, 장기간의 평균자료, 극한/극서점의 온도데이터가 될 수 있다.

초기의 컴퓨터 시뮬레이션 결과는 실제 검침된 에너지소비량 결과와 맞지 않을 수도 있다. 다음은 이러한 차이에 대한 이유를 나타낸다.

- 가장 큰 에너지소비시스템에 대한 불완전한 이해
- 재실율 및 건물사용시간대에 대한 부정확한 정보
- 풍량, 설정점 및 제어시퀀스에 대한 부적절한 정보

건물의 입력자료는 결과가 실제 에너지사용량과 유사할 때까지 조정되어야 한다. 검침된 에너지사용량과 정확히 일치시키는 것은 일반적으로 어렵다. 모든 월에서 결과가 10% 오차범위 내에 있으면 타당한 것으로 판단할 수 있다.

시뮬레이션 프로그램을 실측데이터와 비교하여 보정할 경우 다음의 기법을 고려하여야 한다.

- 부분검침 부하 또는 시뮬레이션된 전체 건물의 전력
- 부하 중 24시간의 프로파일을 측정데이터와 비교
- 시뮬레이션된 일간 전체 건물의 열부하와 일평균 측정 온도를 x-y 축으로 하는 그래프로 비교
- 시뮬레이션된 월간 에너지사용량과 수요량 프로파일 을 전력사용요금 데이터와 비교

다양한 대안이나 수정에 따른 에너지성능을 평가하기 위한 후속적인 에너지 시뮬레이션이 사용될 수 있다. 평가는 입력변수를 변경하고 프로그램을 다시 가동함으로써 이루어지며, 다양한 대안에 대한 영향이 비교되고 적절한 한 가지가 선정된다.

### Duct Design

덕트설계시에는 관경과 풍량의 분배 두가지를 중요하게 고려하여야 한다. 덕트의 관경결정과 기기의 선정은 모든 덕트설계에서 이루어진다. 풍량의 분배는 기존에 설치된 시스템에서 정해진 단면의 크기와 팬 특성을 이용하여 덕트의 단면과 터미널을 통해 취출되는 풍량을 계산하는 것이다.

**Duct Sizing.** 컴퓨터를 이용한 덕트 관경결정은 다음 두가지의 중요한 접근방식이 있다. (1) 컴퓨터를 이용한 수작업 과정의 응용. (2) 최적화

**Selecting and Using a Program.** 덕트설계는 덕트체계의 구축, 부속품의 선정, 관경의 결정과정으로 이루어진다. 덕트시스템과 조화를 이루어야 하는 컴퓨터 프로그램은 덕트 관경의 재계산을 필요로 한다는 단점을 가진다. 모든 계산에는 덕트 단면에서의 압력손실, 속도, 정압, 전압 및 손실에 대한 정확한 산출정보를 필요로 하며, 계산결과에 대한 세부적인 문서를 제공한다.

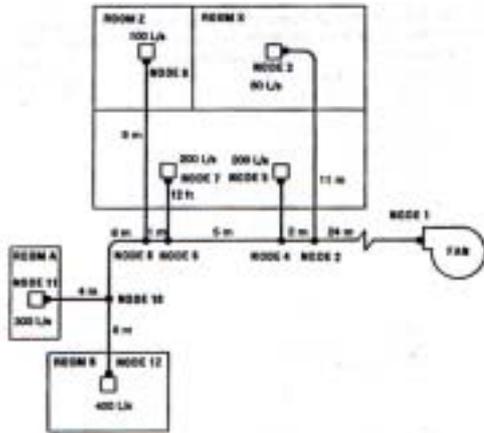


그림1. 덕트시스템 노트설정의 예

일반적인 컴퓨터 계산과정은 노드(덕트단면의 시작점과 끝점)의 숫자를 정하는 것이다. 각 노드에 대한 세부정보(부속품과 터미널에서 분기되는 풍량)와 노드간의 덕트단면에 대한 정보(최대풍속, 풍량, 길이, 부속기구, 한계, 단열, 소음기)가 입력자료로 사용된다(그림1).

덕트설계 프로그램의 특성은 다음과 같다.

- 급기, 환기 및 배기시스템의 계산
- 등마찰손실법, 등속법, 정압재취득법에 의한 관경결정
- 기존의 덕트체계에 대한 분석
- 다양한 일반 부속품 설치규정
- 최고 압력손실, 모든 개별덕트에서의 손실 결정
- 모든 입력데이터의 출력(검증용)
- 에러 메시지 제공
- 각 덕트단면에서의 풍량 계산 및 출력
- 풍속, 부위별 압력손실, 덕트 압력손실 및 전체 정압변화 출력
- 덕트 관경 및 형상, 풍량, 온도에 대한 라인 다이어그램 또는 계통도 표현
- 시스템에서의 열획득/손실 계산 및 관경재계산을 통한 온도, 풍량 보정,
- 최대풍속, 관경한계, 단열두께에 대한 설명서
- 단열 및 방음시 주의사항
- 강판, 단열, 소음기의 가격표
- 시스템 각 단면의 소음계산
- 스프레드시트 또는 CAD와 같은 다른 프로그램과의 파일 공유

많은 덕트설계 프로그램이 활용가능하므로 다음의 요인들이 프로그램 선정시에 고려되어야

한다.

- 계산가능한 최대 가지관의 수량
- 계산가능한 최대 터미널의 수량
- 선정가능한 부속품의 종류
- 각 가지관에 수용가능한 다른 형태의 부속품의 수량
- 가지관에서 발생하는 압력손실의 균형 유지능력
- 2차원 및 3차원 레이아웃 구성능력
- 이중덕트 시스템 관경결정능력
- 유입 및 유출시스템의 조절능력
- 비용산정
- 팬 모터동력 산정
- 각 터미널에서의 소음요구사항 만족 능력
- 부속품 라이브러리의 업데이트 능력

**Optimization Technique for Duct Sizing.** 최

적화된 덕트설계를 위해서는 팬 압력과 덕트의 단면이 최소한의 전생애비용과 요구성능을 객관적으로 만족시키며, 초기투자비와 에너지비용 범위 내에서 선정되어야 한다. 또한, 압력균형, 소음기준, 관경 등에 관한 많은 문제점을 만족시켜야만 한다. 덕트의 최적화는 비선형적인 객관함수를 가진 수학적인 프로그래밍 문제이다. 대책은 표준관경과 표준기기의 조합으로 마련되어야 한다. T-Method(Tsal 등, 1988), Coordinate Descent(Tsal and Chechik, 1968), Lagrange Multipliers(Stoecker 등, 1971, Kovarik, 1971), Dynamic Programming(Tsal and Chechik, 1968), Reduced Gradient(Arkin and Schitzer, 1979)와 같은 덕트 최적화에 관한 몇 가지 수학적 기법이 있다.

**Flow Distribution.** 또 하나의 문제점은 팬 특

성을 알고 있는 시스템에 결정된 관경의 각 단면에서의 기류분포 예측이다. 이것은 풍량분포 또는 에어덕트 시뮬레이션이라고 불리워진다. 기존의 덕트시스템을 개수하는 것이 고려될 경우에는 언제든지 풍량문제를 계산해야 할 필요성이 발생한다. HVAC 기술자들은 그 때 다음의 질문을 하게 된다.

- 개수가 기존 터미널조건에 어떤 영향을 미칠 것인가?
- 동일한 팬을 사용하면서 모터만의 교환이 가능한가?
- 팬 특성에 있어서 새로운 운전포인트는 무엇인가?

- 어떤 덕트의 관경이 변화하여야 하는가?
- 새로운 덕트의 관경은 얼마이며, 댐퍼가 완전히 개방된 경우 기류의 흐름은 어떠한가?
- 기존의 시스템에 취출구를 추가하기 위한 가장 좋은 방법은 무엇인가?

시뮬레이션 프로그램은 이러한 질문에 도움을 줄 수 있다. 또한, 제어시스템의 효율을 효과적으로 분석할 수 있다. 많은 수의 병렬 팬의 성능을 검토함으로써 하나가 동작하지 않을 경우 실에서의 공기균형을 예측할 수 있다. T-Method(Tsal, 1988)와 Gradient Steepest Descent Method(Tsal and Chechik, 1968)가 덕트시스템을 시뮬레이션하는데 사용되어 왔다.

**Piping Design**

배관시스템의 관경과 형태를 결정하기 위한 많은 컴퓨터 프로그램이 존재한다. 관경결정 프로그램은 일반적으로 배관의 관경을 결정하고 유속과 압력강하를 근거로 시스템 내 펌프의 수두를 산출한다. 또한 일부는 배관단면에서의 열획득과 열손실을 고려하기도 한다. 몇 가지 프로그램에서는 자재의 비용과 배관시스템의 비용을 산출하기도 한다. 배관체계 형태구축 프로그램은 배관의 강도와 꺾임을 다룬다. 많은 배관설계 프로그램은 배관의 관경, 꺾임, 강도 및 하중 등에 대한 열특성을 설명할 수 있다.

배관설계 문제를 계산하는 일반적인 기법은 덕트설계와 유사하다. 전형적인 배관의 문제는 그림2에 표현한 노드 표시이다.

- 유용한 배관프로그램은 다음을 실행한다.
- 충분한 설계정보를 제공
  - 개방 및 밀폐시스템에서의 계산을 수행
  - 시스템 각 단면에서의 유량, 배관경, 압력강하를 계산
  - 3차원 배관시스템을 조정
  - 솔레노이드 및 정압밸브 등 특수밸브에 대한 자료를 포함하여 일반적으로 사용되는 밸브 및 부속품의 넓은 선정이 가능한 자료를 제공
  - 일반화된 마찰계수 경로를 이용하여 강관, 동관, 플라스틱 등 다른 배관재료의 고려가 가능
  - 적정한 유체의 정보를 제공함으로써 액체, 기체, 증기 수용이 가능
  - 펌프 용량과 수두 계산
  - 단관형 시스템에서 사용가능한 터미널의 압력 계산
  - 팽창탱크의 용량 결정

- 시스템의 각 부분별 열획득/손실 계산
- 배관, 단열재 및 인건비 등을 포함한 시스템의 비용 산출
- 최종 시스템 구축에 필요한 자재비 항목 출력
- 밸브균형시 필요사항 계산
- 배관형태의 융통성 분석 수행
- 배관시스템의 강도분석 수행
- 시스템의 그래픽 표현물 출력
- 최고 및 최대 유속, 최대압력강하, 응축온도, 과열온도 등 특정 설계변수와 조건의 조율
- 설계조건 이외에서의 배관시스템 평가
- 장비 시뮬레이션 프로그램과 같은 다른 프로그램과의 연계

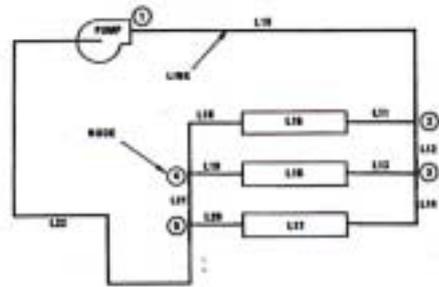


그림2. 배관시스템의 노드체계

배관 프로그램에 있어서 고려되어야 할 제약요소는 다음과 같다.

- 프로그램이 수용할 수 있는 터미널의 최대 수량
- 프로그램이 조정할 수 있는 회로의 최대 수량
- 각 회로가 가질 수 있는 노드의 최대 수량
- 프로그램이 조정할 수 있는 노드의 최대 수량
- 기체와 증기 사용시의 압축능력
- 2개의 상을 가지는 유체의 공급

**Equipment Selection and Simulation**

장비와 관련한 컴퓨터 프로그램의 세 가지 종류는 장비선정, 장비최적화 및 장비시뮬레이션 프로그램이다.

장비선정 프로그램은 기본적으로 기준을 만족시키기 위한 기존의 장비모델 목록이다. 결과는 모델번호, 성능데이터 및 대안으로 나타난다.

장비최적화 프로그램은 모든 가능한 장비대안을 나열하고 성능데이터나 초기투자비를 표현해 줌으로써 사용자의 선정범위를 좁혀 준다. 사용자는 최적안이 얻어질 때까지 선정범위를 계속 더 좁혀갈 수 있다.

장비시뮬레이션 프로그램은 특정 장비에 있어서 시간경과에 따른 전부하 또는 부분부하시의 특성을 계산한다(일반적으로 1년). 계산된 성능

은 단위시간당 에너지사용량을 결정하기 위하여 장비의 부하 프로파일과 비교된다. 전기요금 체계와 관련된 경제성 자료는 이후 장비의 유지비, 전생애비용 및 투자회수기간을 산정할 수 있게 된다.

장비프로그램을 사용함으로써 얻을 수 있는 장점은 다음과 같다.

1. 선정과정에서의 빠른 속도와 정확성
2. 최근의 경향에 따른 타당한 데이터의 제시
3. 수작업에 비해 더욱 일정한 선정
4. 더욱 폭넓은 선정범위 및 능력
5. 다양한 대안 제시
6. 시방서의 작은 변경 또는 운전변수의 쉽고 빠른 평가
7. 스프레드시트나 CAD와 같은 다른 프로그램과의 데이터 호환성

시뮬레이션 프로그램은 (1) 부분부하 특성을 빠르고 정확하게 알 수 있고, (2) 최소부분부하 특성을 설정할 수 있으며, (3) 유지관리비와 투자회수기간을 예측할 수 있는 장점을 가진다.

대부분의 HVAC 장비에는 해당 프로그램이 존재하며, 선정과정에서 산업표준이 적용될 수 있다. 일반적인 장비 프로그램에서 최적화와 관련된 변수는 다음과 같다.

공기분배장치	압력손실, 초기투자비, 소음
공기조화기	동력, 초기투자비, 소음, 여과성능, 냉난방용량
보일러	초기투자비, 효율, 연돌손실
냉각탑	초기투자비, 설계용량, 동력, 유량, 공기온도
냉동기	응축압력, 증발압력, 용량, 동력, 초기투자비, 압축기용량, 증발기용량, 응축기용량, 냉동형태
코일	용량, 초기투자비, 수압강하, 기압강하, 열, 핀 간격
팬코일유닛	용량, 초기투자비, 소음, 동력
팬	풍량, 동력, 소음, 초기투자비, 최소풍량
열회수장치	용량, 초기투자비, 기압강하, 수압강하, 효율
펌프	용량, 수두, 임펠러 크기, 초기투자비, 동력
터미널 유닛	풍량, 기압강하, 소음, 초기투자비

확장된 선정프로그램도 출현하고 있다. 예를 들어 코일선정 프로그램은 증기, 온수, 냉수 및 냉매를 사용할 경우의 코일을 선정할 수 있다.

일반적으로 이러한 프로그램들은 ARI Standards 410과 430(ARI 1991, 1989)을 따르고 있다.

냉동기와 냉동장비의 선정 프로그램을 이용하여 초기투자비가 가장 낮은 요소, 효율이 가장 높은 요소, 전생애성능이 가장 훌륭한 요소들에 근거한 적정 장비를 선정할 수 있다. 또한 일부 제조업체에서는 자신들의 생산품을 조율하여 모듈화한 장비를 제공하기도 한다. 이러한 형태의 장비들은 컴퓨터를 이용한 선정과정에서 매우 이상적인 형태이다. 최근에는 냉매의 종류와 오존층 파괴잠재력에 중점을 둔 냉동기 선정 프로그램이 대두되고 있다.

## ADMINISTRATIVE USES OF COMPUTERS

- Word Processing
- Specification Writing
- Desktop Publishing
- Management Planning and Decision Making
- Employee Records and Accounting
- Project Scheduling and Job Costing
- Security and Integrity

## PRODUCTIVITY TOOLS

- Spreadsheet Software
- Graphics and Imaging Software
- Communication Software
- Database Software
- Special-Purpose Software
- Advanced Input and Output Options

## COMPUTER-AIDED DESIGN

- Capabilities
- Hardware Considerations
- Software Considerations

## COMPUTER GRAPHICS AND MODELING

## APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE

인간이 불완전하고 불확실한 정보를 이용하여 의사결정을 하는 것처럼 시스템을 이해하고 음성을 인식하는 넓은 범위에 걸쳐 인공지능을 적용하는 다양한 방안들이 대두되고 있다. 인공지능 기술은 일반적으로 설계, 제어 및 진단의 세 가지 범주에서 사용된다.

본 절에서는 각 기술이 별개로 논의되지만 하나의 환경을 창출해 내기 위해 몇 가지의 인공지능 기술을 조합한 소프트웨어 패키지도 존재한다.

### Knowledge-Based Systems

지식기반시스템은 전문가시스템으로도 불리며 인간과 유사한 의사결정을 할 수 있는 시스템이다. 지식기반시스템은 사실에 입각하여 의사결정을 하는 모델이다. 대부분의 지식기반시스템 도구는 다른 프로그램과의 연계, 데이터베이스로의 접근, 그래픽 자료의 전송이 가능하다. 전문가시스템은 명령체계와 데이터베이스개발 도구, 오류 탐지시설 및 사용자 인터페이스가 용이한 완전한 개발 패키지이다. 지식기반시스템 도구를 선정하는 데 있어서의 고려사항이 Shams 등(1994a)에 의해 연구되었으며, 전문가시스템의 개발 연구가 Shams(1994b)와 Nielsen, Walters(1988)에 의해 수행되었다.

지식기반시스템은 의사결정, 시스템의 오류 진단, 감시 및 제어시스템의 운영, 지침서의 개발에 사용되어 왔다. 지식기반시스템을 채택한 HVAC 시스템의 적용방안에 관한 연구로는 소형 사무조건물에서의 HVAC 시스템 선정(Shams 1994a, 1994b), 건물 에너지 소비량 해석(Haberl and Claridge 1987, Haberl 1988), 권장 에너지절약기법(Meadow and Brothers 1989), 건물 에너지시스템의 개념설계방안(Doheny and Monaghan 1987, Mayer 1991), 건물 법규의 설계로의 통합(Cornick 1990), HVAC 장비의 모니터링(Kaler 1990), 냉방부하의 관리(Potter 1991), HVAC 장비 문제점의 진단 등이 있다.

### Artificial Neural Networks

인공신경망은 개개의 상호연결된 유닛으로, 정보는 상호연결장치를 따라 유닛간에 전송된다. 인공신경망이 컴퓨터에서 운영되지만 특정 작업을 위한 프로그램이 필요한 것은 아니다. 다만,

반복된 데이터와 더불어 시스템의 패턴을 표현할 수 있을 때까지 지속적인 학습이 필요하며, 학습이 마무리되면 새로운 패턴이 표현될 수 있다.

### Fuzzy Logic

퍼지논리<sup>1)</sup>는 부정확하고 불확실한 입력치를 이용하여 정확한 계산을 수행하는 일종의 수학적 형태이다. 퍼지논리는 각각의 입력치로 설정된 퍼지에 각각의 소속함수에 따른 대응치를 할당시킴으로써 운영된다. 예를 들어 22°C의 온도 조건에서 (대응치, 퍼지값)의 조합은 [(0.0, 매우 춥다), (0.1, 춥다), (0.7, 쾌적하다), (0.3, 따뜻하다), (0.0, 덥다)]가 될 수 있다. 대응치는 1.0을 넘어서면 안 된다. 수학적 법칙이 이후 퍼지값(매우 춥다, 춥다, 쾌적하다, 따뜻하다, 덥다)에 적용되어 퍼지출력치로서 결과를 추론하게 된다. 실제의 값이 필요한 경우 퍼지출력치는 중심기법을 이용하여 비퍼지화된다. 퍼지논리는 냉동기 제어, ABS 시스템, 자동충전 비디오 시스템, 세탁기 제어에 적용되고 있다.

### Case-Based Reasoning

### Genetic Algorithms

### Natural Language Processing

### Optical Character Recognition

### Virtual Reality

## COMMUNICATIONS

## DATA ACQUISITION

1) 애매하고 불분명한 상황에서 여러 문제들을 두뇌가 판단, 결정하는 과정에 대하여 수학적으로 접근하려는 이론을 말한다. 언어 등의 애매함을 정량적으로 표현하기 위하여 1965년 미국 버클리대학교의 A.자데(Zadeh) 교수에 의해 도입된 퍼지집합의 사고방식을 기초로 하고 있다. 퍼지집합의 개념은 각 대상이 어떤 모임에 속한다 또는 속하지 않는다는 이진법 논리로부터, 각 대상이 그 모임에 속하는 정도를 소속함수(membership function)로 나타냄으로써 수학적으로 표현할 수 있다. 또한 퍼지측도(fuzzy measure)는 일반집합 A에서 위치가 애매한 원소 a가 A의 부분집합 P에 속한다는 말의 애매한 정도를 나타냄으로써 a와 A의 관계를 수학적으로 표현한다. 최근 퍼지이론을 응용하여 인간의 사고 능력에 가까운 기능을 구현하는 연구가 활발하게 진행되고 있으며, 가전제품, 자동제어 분야에 응용한 제품이 출현하였다. 주요 응용분야인 퍼지제어기는 퍼지화기(fuzzifier), 규칙 베이스(rule base), 퍼지 추론기(fuzzy inference engine), 비퍼지화기(defuzzifier)로 구성되어 있다. 퍼지제어기는 복잡한 비선형 시스템의 제어시 퍼지집합을 분할하여 각 영역에 따른 규칙 베이스를 구성하면 기존의 비선형 제어기에 비해 훌륭한 성능을 얻을 수 있다.

Data Acquisition System Hardware  
Data Acquisition System Software

## MONITORING AND CONTROL

HVAC 구성요소의 DDC(Direct Digital Control) 제어방식은 일반적으로 사용되는 공기식 비례제어에 비하여 더욱 정확하고 융통성 있는 방법이다. 이러한 융통성은 컨트롤러가 제어 알고리즘을 대체하거나 확장할 수 있음을 의미한다(Nesler 1986). 예를 들어 DDC 마이크로 프로세서는 단지 건구온도 센서만을 이용하여 VAV Box의 온도를 조절할 수 있다. 동일한 마이크로 프로세서는 상대습도와 평균복사온도를 확인하도록 수정될 수 있으며 보다 더 쾌적한 조건으로 유지하도록 건구온도 설정점을 변경할 수도 있다(Int-Hout 1986). 또한, DDC는 개개 사무실의 재실센서를 이용하여 풍량과 온도를 조정할 수 있다. 데이터를 중앙의 팬을 제어하는 컴퓨터로 전송함으로써 마이크로 프로세서는 주어진 풍량을 제공하면서 팬 동력을 최소화하게 된다(Englander and Norford 1988). 마지막으로 실내의 재실자 수에 따른 CO<sub>2</sub> 측정치에 근거하여 필요한 외기를 공급하게 된다.

현재 마이크로 프로세서 기반의 장비들은 비공조기간동안 열회수를 위한 냉동기와 보일러의 적정 가동시간 결정에 사용된다. 필요한 프로그램은 건물의 열적 거동을 모니터하고 장비의 가동시간을 조정한다. 이러한 제어는 축열이나 야간환기를 통한 스케줄 예냉성능을 향상시킬 수 있는 기후예측 알고리즘으로 연장될 수 있다(Shapiro 1988).

지역 마이크로 프로세서 컨트롤러와 중앙의 연계는 관리용 중앙 컴퓨터는 HVAC 시스템과 보안, 방재 및 조명시스템의 제어를 통합시킬 수 있게 된다.

중앙 컴퓨터는 개별 컨트롤러로부터의 데이터를 취합하는 데 사용되어 왔으나, 일반적으로 최소한의 데이터 분석만이 이루어졌다. 전문가에 의한 분석을 통하여 장기간의 에너지소비 경향을 예측할 수 있고, 장비운전에 있어서 장단점을 파악할 수 있으며, 기후조건에 따른 에너지소비를 일반화할 수 있다. 이러한 분석 프로그램은 현장의 컴퓨터와 연결될 수 있으며, 이로부터 운전자와 관리자에게 직접 활용가능한 정보를 제공할 수 있게 된다(Anderson 1989).

## REFERENCES

- 김광우, 건물 에너지의 해석방법
- 김광우, TFM법과 CLTD법에 의한 부하계산
- ASHRAE, ASHRAE Handbook 1993 Fundamentals, 1993.
- Faye C. McQuiston, Jeffrey D. Spitler, Cooling and Heating Load Calculation Manual, 2nd Edition, ASHRAE, 1992.

## [부록-1] 건물부하 및 에너지 해석 - TFM법과 CLTD법을 중심으로

### 1. 개요

건물에너지해석은 건물이 그 기능에 적합하도록 실내환경을 유지하는 데 필요한 에너지요구를 일정기간에 걸쳐 예측하거나 계산하는 것을 말한다. 건물에너지해석의 목적은 일년 또는 일정기간동안에 발생하는 건물의 에너지소비량을 예측하고 건물의 열성능에 영향을 주는 설계 인자들의 원인분석, 냉방, 난방, 조명, 환기 등에 소비되는 에너지의 소비패턴분석, 시간에 따른 소비특성분석 등을 통하여 건축설계의 향상과 더불어 건물에너지 소비량을 줄이고자 하는 점에 있다. 건물에너지해석을 통하여 의사결정을 하는 데 사용하는 해석단위는 부하(Load), 에너지소비량(Energy Consumption), 에너지비용(Energy Cost)의 3가지를 들 수 있다.

부하는 건물 실내공간의 쾌적조건을 유지하기 위하여 건물 내외부의 열적요인을 완화할 때 실내공간에 투입 또는 실내공간으로부터 제거하여야 할 순수한 열량으로서 건물에 장치된 냉난방 설비를 통하여 처리되는 에너지를 의미하며, 부하처리를 위해 설비시스템에 의하여 소비되는 에너지는 포함하지 않는다. 따라서 부하계산에서 산출된 에너지량은 열원장치에서 소비된 연료나 전력의 에너지총량과 일치하지 않는다. 예를 들면 난방용 가스보일러의 효율이 80%라고 하면 건물의 난방부하가 1kW일 때 보일러에서 소비되는 가스에너지량은 1.25kW가 될 것이다. 마찬가지로 냉방설비의 연간평균 COP가 3.0이라고 하면 일년동안 냉방설비를 운전하는 데 필요한 전력량의 3배에 해당하는 에너지량이 건물의 연간냉방부하라고 할 수 있다. 이와 같이 부하계산은 설비의 효율을 고려하지 않기 때문에 건물의 연간 총부하에서 차지하는 냉난방 및 조명부하의 상대적 비교값은 건물이 실제로 사용한 연간 총에너지량에서 차지하는 냉난방 및 조명에너지의 상대적 비교값과 일치하지 않는다.

건물에서 소비된 에너지소비량은 부하처리를 위하여 설비시스템에 의하여 소비되는 에너지를 포함한 에너지량이라고 할 수 있다. 따라서 이 단위는 부하에서 계산된 건물에 대한 성능분석과 냉난방을 위한 특정 설비의 성능에 대한 분석도 함께 포함한다고 볼 수 있다. 에너지소비량의 단점은 냉방, 난방, 그리고 조명에 사용된 에너지원과 에너지량이 모두 동등하게 취급된다는

점이므로 합리적인 에너지소비량을 해석하기 위해서는 에너지원별 원단위를 이용하는 것이 바람직하다. 또한, 에너지 해석단위로서의 에너지 소비량은 건물운영에 필요한 에너지량을 의미하며 건축자재의 생산, 건물의 신축, 연료의 생산 및 운송, 전기의 발전 및 송전 등을 위하여 건물 밖에서 소비된 부차적인 에너지는 포함되지 않는다.

마지막으로 에너지 해석단위로 널리 이용되고 있는 것은 에너지비용이다. 에너지비용은 에너지 소비량에 지역의 연료비 단가를 곱하여 사용된 상대적인 에너지량을 표현할 수 있는 단위이다. 건물의 전체 설계과정동안 건물 에너지수요에 대한 편익비용분석을 위해서는 필연적으로 에너지비용이 필요하므로 에너지비용으로 에너지해석을 하는 것은 비용의 절감을 통한 경제적 이익을 판별하는 것을 가능하게 해 준다.

### 2. 건물부하 및 에너지 해석기법의 종류

에너지해석은 설계안의 방향설정을 위한 기후 자료분석에서부터 에너지요소들이 건물에너지 사용량에 미치는 영향의 정도를 개략적으로 예측하고자 개념설계단계에서 이용하는 간이기법, 기본계획설계단계에서 설계대안들의 비교평가를 목적으로 더 나은 설계안을 선택하고자 할 때 이용하는 민감도분석기법, 설계발전단계 또는 설계를 마친 뒤 건물의 에너지소비량을 정밀하게 예측하고자 할 때 사용하는 정밀해석기법 등 설계진행과정의 여러 단계와 관련하여 분류될 수 있다.

건물의 에너지해석에 필요한 변수의 수나 계산빈도에 따라 다양한 해석기법이 개발되어 사용되고 있으며, 사용자의 편의를 위한 컴퓨터 프로그램들도 많이 개발되고 있다<sup>2)</sup>.

건물의 부하계산 혹은 에너지해석 방법은 변수의 수나 정확도에 따라 단일척도방식(Single Measure Method), 단순다중척도방식(Simplified Multiple Measure Method) 및 정밀 시뮬레이션 방식(Detailed Simulation Method) 등으로 분류할 수 있다. 여기서 단일척도방식과 단순다중척도방식은 정적 열부하 계산방법이라고 할 수 있고, 정밀 시뮬레이션방식은 동적 열부하 계산방식이라고 볼 수 있다. 단일척도방식은 연간 난방

2)  
[http://www.eere.energy.gov/buildings/tools\\_directory/](http://www.eere.energy.gov/buildings/tools_directory/)

<http://eetd.lbl.gov/Seminars.html>

<http://www.aud.ucla.edu/energy-design-tools/>

도일과 같은 오직 한가지 조건만을 이용하게되며, 이러한 방법은 단순한 건물에만 적용이 가능하다. 그러나, 단순계산을 확대하여 어떤 특정조건이 발생하는 시간의 수와 같은 몇 가지의 자료를 더 이용하게 되면 계산의 정확도를 향상시킬 수 있을 것이다. 이를 단순다중척도방식이라고 하며 여기에는 빈(BIN)방식 등이 있다. 건물 에너지해석 방법 중 가장 발전되고 자세한 방법은 주어진 분석기간동안 매 시간당 에너지균형을 계산하는 정밀 시뮬레이션 방식이다.

**2.1 단일척도방식(Single Measure Method)**

단일척도방식은 부하계산의 척도로 난방도일 한 가지만을 사용하는 방식으로 주거용 건물과 같이 단순한 외피부하 위주의 건물에서 흔히 사용되며, 디그리데이방식, 수정 디그리데이방식, 가변 디그리데이방식 등이 있다.

**(1) 디그리데이방식(Degree-Day Method)**

디그리데이방식은 오랜 기간동안의 관찰에 근거하여 일평균 기온이 일정온도(일반적으로 18℃가 되면 태양열이나 내부열 발생으로 인한 취득열이 열손실량을 상쇄하게 되며, 또한 하룻동안의 난방부하는 기준온도와 일평균기온의 차이와 비례한다는 가정에 근거를 둔 것이다. 이 방식에 의한 연간난방부하(AHL)는 다음의 식으로 구한다.

$$AHL = \frac{q \times 24 \times HDD}{\Delta t}$$

*q* : 최대난방부하(kcal/h)  
*HDD* : 연간난방도일(℃ day/yr)  
 $\Delta t$  : 설계온도차(℃)

**(2) 수정 디그리데이방식(Modified Degree-Day Method)**

디그리데이방식의 18℃ 기준은 과거 건물의 단열상태가 불량하고 내부열발생도 극히 적은 경우에 연구된 것이다. 그러나 최근의 건물은 단열시공이 필수적이고 또 전기기구 등 각종 내부열발생량이 많은 생활용품의 사용으로 실제로 18℃의 일평균 기온에서는 냉방부하가 발생하게 된다. 따라서 18℃를 기준으로 계산된 연간 난방부하는 실제보다 훨씬 큰 값을 가지게 되므로 수정 디그리데이방식에서는 이에 대한 보완으로 기후조건에 따라 실측자료에 의한 보정계수를 이용하여 디그리데이방식의 문제점을 보완하고 있다. 여기서 보정계수는 연간난방도일에 따라 그래프에서 구하는데 대개 0.5 ~ 0.8의 값을 갖

는다.

$$AHL = \frac{q \times 24 \times HDD}{\Delta t} \times cd$$

*Cd* : 보정계수

**(3) 가변 디그리데이방식(Variable Base D-D Method)**

가변 디그리데이방식은 난방도일 산정의 기준으로 균형점 온도의 개념을 도입한 것이다. 즉, 건물의 에너지부하가 영(zero)이 되는 균형점 온도를 계산한 뒤 이에 맞는 난방도일을 산정하여 연간 난방부하를 계산하는 방법이다.

$$AHL = \frac{q \times 24 \times DDTb}{\Delta t}$$

*Tb* : 균형점온도 ( $Tb = Ti - Qg / BLC$ 의 식으로계산)  
*DDTb* : 균형점온도를 기준으로 계산한 연간난방도일(℃ day/yr)  
*Ti* : 실내기준온도(℃)  
*Qg* : 태양복사열 취득과 내부열발생의 합  
*BLC* : 열손실계수( $q / \Delta t$ )

**2.2 단순다중척도방식(Simplified Multiple Measure)**

단일척도방식은 수많은 에너지 요소들의 복합적 상호작용을 고려하지 않으므로 형태나 기능이 복잡한 경우에는 연간부하계산이 부정확해진다. 따라서 중요한 몇개의 변수로 부하계산을 다른 외기조건에서 한 후 이를 외기조건 발생빈도에 따라 합산하는 방식이 개발되었다.

**(1) 빈방식(BIN Method)**

빈방식이란 여러 가지 외기조건에서 일어나는 순간 열부하를 계산한 후 그 결과를 계산된 외기조건을 포함하는 소위 빈으로 불러주는 온도간격의 빈도 수에 따라 가중계산하는 방식이다. 빈은 임의의 간격으로 정할 수 있으나 보통 5°F (섭씨의 경우 3℃)의 간격을 많이 사용한다. 빈방식에서는 건물의 점유기간과 비점유기간동안의 열부하를 따로 계산하는 것이 보통이며, 또한 균형점온도를 사용하여 내부열발생과 태양열취득의 영향을 고려하기도 한다. 다음은 빈방식에서의 열부하계산의 예이다.

빈(BIN) = 11 ~ 14℃(3℃ 간격), 중간온도 = 12.5℃  
 빈도 = 620시간, BLC = 210kcal/h·℃, *Tb* = 15.5℃  
 이에 해당하는 빈에서의 난방부하  
 = 210 × (15.5 - 12.5) × 620 = 390,600kcal

**(2) 수정 빈방식(Modified BIN Method)**

수정 빈방식은 재래의 빈방식에 추가로 평균 부하 혹은 다변부하의 개념을 도입하여 태양열 취득과 내부열 발생을 기후조건과 발생정도에 맞도록 가중계산된 평균값을 각각의 빈에서 계산하는 방식이다. 또한 이 방식에서는 축열계수(혹은 냉방부하계수 CLF)를 사용하여 구조체의 축열성능도 동시에 고려하고 있으며, 단순계산방식 중에서는 비교적 정밀한 방식의 하나이다.

(3) 확장 디그리데이방식(Extend D-D Method)

디그리데이방식을 보완한 방식으로 일사열 취득, 내부열 발생 및 야간 복사열의 영향 등을 고려하고 있다.

$$Q_{total} = Q_t + Q_s + Q_i$$

$$= 24 \sum \left\{ Kt \left( T_i - T_{oj} + \frac{\epsilon}{\alpha_0} I_{ij} \right) - \mu I_{sj} - G \right\}$$

$$= 24 Kt \sum \left( T_{ref} - T_{oj} + \frac{\epsilon}{\alpha_0} I_{ij} \right) - \rho I_{sj}$$

$Q_t$ : 관류열부하,  $Q_s$ : 일사열부하

$Q_i$ : 내부발열부하,

$Kt$ : 열손실계수( $kcal/m^2h^\circ C$ )

$\epsilon$ : 외표면 방사율,

$\alpha_0$ : 외표면 열전달율( $kcal/m^2h^\circ C$ )

$I_s$ : 입사일사량( $kcal/m^2h$ ),

$I_i$ : 야간복사량( $kcal/m^2h$ )

$G$ : 바닥면적당 내부발열량( $kcal/m^2h$ )

$\mu$ : 일사취득계수( $= \sum n_i A_i / A_f$ )

$T_{ref}$ : 참고온도( $= T_i - G/Kt$ ),

$\rho$ : 투과관류비( $= \mu/Kt$ )

2.3 정밀 시뮬레이션방식(Detailed Simulation)

정밀 시뮬레이션방식에 의한 건물에너지 계산은 기본적으로 축열체 내에서의 열전달을 컴퓨터를 이용하여 비정상상태의 동적 열전달로 해석, 계산하는 방식이다. 여기서는 가장 정밀하다고 알려져 있는 전달함수법의 응답계수와 가중계수의 개념을 간략하게 살펴본다.

(1) 응답계수(Response Factor)

응답계수는 1967년 캐나다의 Stephenson과 Mitalas에 의해 제안된 것으로서 임의의 시점에서 어떤 물체에 단위온도파 여진(Unit Thermal Excitation)이 작용할 경우 그 반응으로 나타나는 시계열의 열류응답으로 정의된다. 그림1에서와 같이 한쪽 표면에 온도여진이 주어지고 다른 쪽 표면의 온도가 0°C이면 양표면에서는 시간에

따라 열류  $X_j, Y_j$ 가 나타난다.

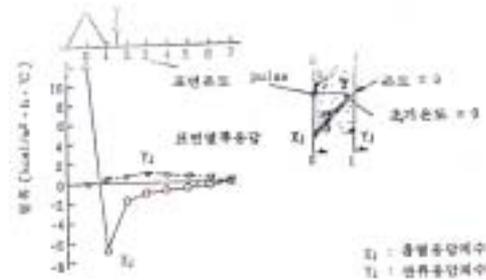


그림1. 응답계수

(2) 가중계수(Weighting Factor)

실내외의 온도가 평형상태를 유지하고 있는 어떤 열류시스템에 열이 여진으로서 주어진다면 실내온도가 상승하였다가 시간이 경과함에 따라 서서히 하강하여 다시 최초의 상태와 가깝게 된다. 이와 같이 어떤 여진에 따라 응답으로 나타나는 온도의 변화를 시간의 함수로 나타낸 것을 실내 온도변화의 가중계수라 한다. 이와 같은 가중계수의 방법은 열부하를 계산하기 위해 시간적으로 변하는 여진, 즉 외기온도, 일사량 등을 시간의 함수로 나타내야 하므로 계산이 복잡하고 번거로운 문제점이 있다.

3. 부하계산법(TFM법과 CLTD법)

부하계산의 방법은 최대부하계산과 연간부하계산의 목적에 따라 다양한 계산방법이 있다. 과거에는 주로 장비용량 산정을 위해 정적 계산에 의한 최대부하계산이 실시되어 부하가 과다하게 산출되는 경우가 많았다. 이후 정밀시뮬레이션방법인 TFM(Transfer Function Method)이 ASHRAE에서 개발되었으나 계산량이 방대하여 컴퓨터를 이용한 계산만이 가능하므로 수계산으로도 가능한 CLTD(Cooling Load Temperature Difference)법이 개발되었다.

CLTD법은 연간부하의 계산뿐 아니라 최대부하의 계산에서도 상당온도차, 일사열, 축열부하계수 등을 적용하여 계산할 수 있으며, 수계산뿐 아니라 컴퓨터를 이용한 계산으로 현재까지 주로 사용되고 있다. 근래 컴퓨터의 발달과 보급이 급속히 진전되면서 ASHRAE의 부하계산도 TFM이 기준을 이루며, CLTD법은 보조적인 방법으로 사용되게 되었다.

정밀계산에 의한 난방부하의 계산은 기본적으로는 냉방부하의 계산방법과 동일하다. 난방부하의 계산도 TFM이나 CLTD법을 사용하여 계산할



다. 실제의 운전에 있어서는 시스템의 운전상태에 따라 실온의 값이 변동하게 되며, 이에 따라 실온은 설정온도와 다른 값으로 변화하게 된다. 이의 대표적인 예는 시스템이 꺼진 상태에서의 실온변동을 들 수 있다. 따라서 시스템의 부하산정을 위해서는 냉난방부하계산에서 계산된 기준 부하조건을 바탕으로 실제의 실온도와 이를 바탕으로 한 실질부하를 계산해야만 한다. 실질부하는 열제거율이라고도 표현되며, 열제거율과 실온은 실공기전달함수에 의해 영향을 받게 된다.

**3.2 CLTD/SCL/CLF법에 의한 부하계산법**

CLTD/SCL/CLF법은 TFM을 기초로 하여 수계산에 의해 공간의 냉방부하를 계산할 수 있도록 개발되었다. 이 방법은 창문, 지붕, 벽과 같은 표면을 통한 전도열 획득, 투과에 의한 태양열 획득, 조명, 사람, 장비로부터의 열 획득 및 침기에 의한 열 획득을 계산하며, TFM을 기초로 하여 외피에서의 전도열 획득의 타임랙 효과와 열용량에 따른 복사열의 시간지연효과를 고려할 수 있어 자료들을 유효하게 이용한다면 TFM에 의한 계산결과와 일치하게 된다. 표2에 CLTD/SCL/CLF법에 의한 부하계산 방법을 요약하였다.

표2. CLTD/SCL/CLF법에 의한 부하계산방법의 요약

부하 분류	부하요소	계산식
외피 부하	지붕 전도열	$q = K \times A \times CLTD$
	벽체 전도열	$q = K \times A \times CLTD$
	창문 전도열	$q_{con} = K \times A \times CLTD$
	창문 일사열	$q_{rad} = A \times SC \times SCL$
	칸막이, 천장, 바닥 전도열	$q = K \times A \times \Delta T$
내부 부하	인체 발열	현열 $q_s = No \times Sens. H. G. \times CLF$ 잠열 $q_l = No \times Lat. H. G.$
	조명 발열	$q = INPUT \times CLF$
	기기 발열	현열 $q_s = HEAT GAIN \times CLF$ 잠열 $q_l = HEAT GAIN$
	동력기기 발열	$q_s = HEAT GAIN \times CLF$
	환기 부하	환기 및 침기부하 현열 $q_s = 1.23 \times V \times \Delta T$ 잠열 $q_l = 3010 \times V \times \Delta W$ 합 $q = 1.20 \times V \times \Delta h$

(1) 지붕과 벽체를 통한 열 획득으로 인한 냉방부하

① 지붕 CLTD 값의 선택

- 단열재와 구조체의 배치
- 지붕의 열관류저항
- 지붕의 주재료
- 반사의 유무

② 벽체 CLTD 값의 선택

- 단열재와 구조체의 배치
- 벽체의 열관류저항
- 벽체의 주재료

(2) 창문을 통한 열 획득

냉방부하는 전도성분과 일사성분의 열 획득으로 나누어진다. 전도에 의한 냉방부하는 CLTD법을 이용하여 구한다. 창문을 통한 일사유입 냉방부하를 구하는 데에는 새로운 용어인 SCL(Solar Cooling Load)이 도입되며, 유리에 의해 흡수되거나 유리를 통해서 들어오는 태양복사로 인한 단위면적당 냉방부하를 구하게 된다.

창문을 통한 총 냉방부하는 전도성분과 복사성분의 합이 된다. 특정한 존에 대한 SCL은 위도, 향, 내부존의 변수에 따라 다르다. 따라서 존 타입을 결정한 후 표를 이용하여 각 위도에 따른 SCL을 구하게 된다.

(3) 내부열 획득에 의한 냉방부하

내부에서 발생하는 열은 총 냉방부하에 큰 영향을 미친다. 이러한 내부열원으로는 인체, 조명, 여러 가지 기기들이 포함된다. 내부열 획득에 의한 냉방부하 계산에는 CLF(Cooling Load Factor)가 사용된다.

① 인체

인체로부터의 열 획득에는 현열과 잠열의 두 가지 요소가 동시에 존재한다. 잠열 획득은 직접 공기로 저달되므로 즉시 냉방부하가 된다. 인체 발열에 대한 CLF는 인체로부터의 현열 획득으로 인한 냉방부하를 계산하기 위해 사용된다. CLF는 여러 가지 존 변수에 의해 결정된다. 냉방시스템이 24시간 작동되지 않을 때는 CLF=1.0으로 보며, 강당이나, 극장 또는 재실밀도가 100m<sup>2</sup>당 100명 이상으로 높은 곳에서도 CLF=1.0으로 한다.

② 조명

특정한 존에 대해서 조명에 의한 냉방부하는 존 타입을 결정한 후 이루어진다. 존 타입이 결정되면 CLF는 존 타입과 시간의 함수로서 표에서 구할 수 있다. CLF 표는 8, 10, 12, 14, 16 시간 및 연속사용하는 경우에 대해 구해져 있음

므로 상황에 맞게 선택해서 사용해야 한다. 이 표들은 실온을 항상 일정하게 유지한다는 가정을 토대로 한 것이다. 만약 냉방시스템이 조명이 켜져 있는 시간에만 작동된다면  $CLF=1.0$ 을 사용한다.

### ③ 기기

잠열획득은 즉시 냉방부하가 된다. 후드나 배기장치가 없는 기구나 장비로부터의 현열획득은 복사와 대류성분을 가지고 있고 인체로부터의 열획득과 같은 표를 이용하여 CLF를 구한다. 배기장치가 있는 기기로부터의 열획득에 대하여는 대류성분은 실로부터 완전히 배기되는 것으로 가정하고, 복사성분에 대하여는 별도의 표를 이용하여 CLF 값을 구한다. CLF는 여러 가지 조건 변수에 따라 다르며, 냉방시스템이 24시간 작동되지 않을 때  $CLF=1.0$ 이다.

### ④ 동력 기기

공조되는 공간에서 전기모터에 의해 작동하는 기기에 의한 열획득 역시 CLF를 이용하여 구하게 된다.

### (4) 침기에 의한 냉방부하

모든 구조체는 틈새를 통해 침기가 이루어지고 있다. 다습한 외기는 설계조건에 맞게 냉방이 되고 제습이 되어야 하기 때문에 열획득요소로 작용한다.

**[부록-2] 전산유체역학**  
**Computational Fluid Dynamics, CFD**

**1. CFD 해석의 개념**

공간 내에서의 유체의 거동을 분석하고 예측하는 데에는 일반적으로 전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics)을 이용한다. CFD 해석은 해석하고자 하는 공간을 미세한 격자로 분할하여 각 격자에서의 유체의 물리적 거동이 인접격자에 미치는 영향을 수치적인 알고리즘을 활용하여 반복계산함으로써 공간 전체의 물리적 거동을 하나의 특정 해로 수렴시키는 방식의 해석법이다. 따라서 CFD 해석은 대상모델의 형상에 따른 내부공간의 격자형성 및 유체의 유동에 적절히 대응할 수 있는 격자의 적절한 배열이 결과치의 정확도에 영향을 미치는 가장 중요한 변수가 될 수 있다.

반면, CFD 해석방법은 실험이 어려운 대공간 등을 대상으로 하는 경우가 많기 때문에 해석 결과에 대한 실험적 검증이 어려운 특징이 있다. 즉, 현재까지 사용되는 상용 code를 이용하여 공간 내에서의 유체유동을 해석하는 데 있어서는, 복잡한 형상에서의 불규칙적인 격자 형성이나 격자의 크기, 형태, 간격 등의 입력이 결과의 정확도에 제한적인 요소로서 작용할 수 있게 된다. 따라서 대공간 등을 대상으로 하는 CFD 해석에는 우선적으로 실제 공간의 부위별 기류특성을 실시한 후 측정결과와 해석결과를 비교·검증하는 단계가 필요하게 된다.

**2. 유체유동의 기본 지배방정식**

유체역학의 기본 지배방정식은 연속방정식, 운동방정식, 에너지방정식으로 구분되며, 각 지배방정식은 유체역학의 3가지 물리적 원리를 수학적 표현으로 나타내고, 유동Model에 3가지 원리를 적용시켜 도출되었다. CFD에 적용되는 3가지의 물리적 원리는 다음과 같다.

- (1) Mass is Conserved
- (2)  $F = m \cdot a$  (Newton's Second Law)
- (3) Energy is Conserved

**2.1 연속 방정식(The Continuity Equation)**

연속방정식의 물리적 기본원리는 질량보존의 법칙이며, 유한제어체적을 통과하는 유체는 제어체적을 통과하기 전, 후의 질량에 변함이 없다는

점을 이용하고 있다. 즉, 유동장 내에서 유한제어체적은 임의로 추출될 수 있기 때문에 모든 제어체적 내부에서 질량변화의 적분치는 0이 된다는 내용을 방정식화한 것이 연속방정식이다.

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho V) = 0$$

**2.2 운동 방정식(The Momentum Equation)**

물리적 기본원리는 뉴턴의 제2법칙이며, 유체 요소에 작용하는 벡터가운데 X방향을 고려한다면  $F_x = ma_x$  로 나타나고, 이 때 요소에 작용하는 힘은 Body Force와 Surface Force 두 가지로 분류된다.

Body Force는 유체요소의 체적에 따른 질량에 작용하는 힘으로, 일정정도의 거리를 가지며 중력, 전기력, 자기력 등이 그 예이다. Surface Force는 유체요소의 표면에 작용하는 힘으로 이 힘은 첫째, 유체요소 주위의 노출된 표면에 작용하는 외부유체의 압력분포와, 둘째, 마찰에 의해 노출된 표면에 작용하는 전단응력 및 법선응력에 의해 발생한다.

17세기 말엽 뉴턴이 “유체의 전단응력은 변형의 빠르기에 비례한다”는 설을 발표함에 따라 이러한 성질을 지니는 유체를 뉴턴유체라 부르게 되었으며, 오늘날 대부분의 공기역학적인 문제에서 유체는 뉴턴유체로 가정하는 것이 일반화되어 있다. 뉴턴유체로 가정된 유체의 운동 방정식[Navier-Stokes 방정식]은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho u \vec{V}) &= -\frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + \rho f_x \\ \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho v \vec{V}) &= -\frac{\partial p}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yy}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + \rho f_y \\ \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \nabla \cdot (\rho w \vec{V}) &= -\frac{\partial p}{\partial z} + \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zz}}{\partial z} + \rho f_z \end{aligned}$$

**2.3 에너지 방정식(The Energy Equation)**

물리적 기본원리는 열역학 제 1법칙인 에너지 보존의 법칙이며, 유동유체에서의 단위질량당 전체 에너지는 움직이는 유체의 내부에너지( $e$ )와 운동에너지( $\frac{V^2}{2}$ )의 합 즉,  $e + \frac{V^2}{2}$ 으로 나타난다. 물질미분에 의해 단위질량당 에너지의 변화율( $A$ )은

$$A = \rho \frac{D}{Dt} (e + \frac{V^2}{2}) dx dy dz$$

와 같이 나타내며, 전체 에너지 방정식은 다음과 같이 정리될 수 있다.

$$\begin{aligned} \frac{\partial}{\partial t} [\rho (e + \frac{V^2}{2})] + \nabla \cdot [\rho (e + \frac{V^2}{2}) \vec{V}] \\ = \rho \dot{q} + \frac{\partial}{\partial x} (k \frac{\partial T}{\partial x}) + \frac{\partial}{\partial y} (k \frac{\partial T}{\partial y}) + \frac{\partial}{\partial z} (k \frac{\partial T}{\partial z}) \\ - \frac{\partial(\rho u p)}{\partial x} - \frac{\partial(\rho v p)}{\partial y} - \frac{\partial(\rho w p)}{\partial z} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & + \frac{\partial(ur_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(ur_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(ur_{zx})}{\partial z} + \frac{\partial(vr_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(vr_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(vr_{zx})}{\partial z} \\
 & + \frac{\partial(wr_{xy})}{\partial x} + \frac{\partial(wr_{yx})}{\partial y} + \frac{\partial(wr_{zx})}{\partial z} + \rho \vec{f} \cdot \vec{V}
 \end{aligned}$$

**3. 난류모델**

난류유동은 속도장의 변동에 의해 특성화된다. 이러한 변동은 운동량, 에너지, 특정물질의 농도와 같은 수송량을 혼합시키게 되고, 따라서 수송량 또한 변동시키게 된다. 이와 같은 변동은 작은 폭의 높은 주파수로 나타나므로 계산량이 상당히 방대해져 실제 공학계산으로는 불가능해진다. 반면, 순간적인 지배방정식은 이와 같은 속도장 변동의 작은 폭을 제거하기 위하여 시간평균, 조화평균, 기타 다른 형태로 가공될 수 있으며, 결과적으로 수정방정식의 형태로 나타나게 된다. 그러나, 수정방정식은 미지의 변수를 포함하고 있으므로 이미 알고 있는 양의 관점에서 이러한 미지변수를 결정하기 위해서는 난류모델이 필요하게 된다.

Standard k-ε 모델은 난류의 운동에너지(k)와 그 소산율(ε)에 대한 모델 수송방정식을 근거로 한 반실험적 모델이다. 모델 수송방정식에서 k는 정확한 방정식으로부터 도출되었으나, ε는 물리적 추론으로부터 얻어졌으며, 수학적으로 정확히 대응하는 값은 없다. 난류 운동에너지 k와 소산율 ε는 다음 방정식으로부터 유도되었다.

$$\rho \frac{Dk}{Dt} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M$$

$$\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$$

G<sub>k</sub>는 평균속도구배에 의한 난류 운동에너지의 생성항을, G<sub>b</sub>는 부력효과에 의한 난류 운동에너지의 생성항을 나타내며, Y<sub>M</sub>은 전체 난류 소산율 대비 압축성 난류에 있어서의 변동범위의 기여도이다. C<sub>1ε</sub>, C<sub>2ε</sub>, C<sub>3ε</sub>는 상수이고, σ<sub>k</sub>, σ<sub>ε</sub>는 k와 ε에 있어서 각각의 난류 Prandtl 수이다. Eddy 혹은 난류점성 μ<sub>t</sub>는 다음과 같이 k와 ε의 조합에 의해 계산된다. 단 C<sub>μ</sub>는 상수이다.

$$\mu_t = \rho C_\mu \frac{k^2}{\epsilon}$$

이상의 기본값은 균일응력 유동장을 포함한 기초적인 난류응력 유동장에서의 실험으로부터 도출되었으며, 경계벽체 및 자유응력 유동장에 있어서 광범위하게 적용이 가능하다. 난류모델은 유동장 전체에 펼쳐진 물리력, 특정문제에서 사용되는 관례, 요구되는 결과의 정확도, 해석에

사용가능한 컴퓨터용량 및 해석에 사용가능한 시간 등에 중점을 두고 선정하여야 하며, 해석수행시 가장 적절한 난류모델을 선정하기 위해서는 다양한 조건에서의 난류모델별 수행능력과 한계를 이해하여야 한다.

표1. CFD 해석 기본지배방정식 및 난류모델

지배방정식	연속	$\frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} = 0$
	운동	$\rho \left( \frac{\partial u}{\partial t} + u \frac{\partial u}{\partial x} + v \frac{\partial u}{\partial y} + w \frac{\partial u}{\partial z} \right) + \frac{\partial p}{\partial x}$ $= \mu \left( \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 u}{\partial z^2} \right) + g_x \rho$
	에너지	$\rho C_p \left( \frac{\partial T}{\partial t} + u \frac{\partial T}{\partial x} + v \frac{\partial T}{\partial y} + w \frac{\partial T}{\partial z} \right)$ $= \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \right) + Q$
난류모델	k-ε	$\rho \frac{Dk}{Dt} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_k} \right) \frac{\partial k}{\partial x_i} \right] + G_k + G_b - \rho \epsilon - Y_M$ $\rho \frac{D\epsilon}{Dt} = -\frac{\partial}{\partial x_i} \left[ \left( \mu + \frac{\mu_t}{\sigma_\epsilon} \right) \frac{\partial \epsilon}{\partial x_i} \right] + C_{1\epsilon} \frac{\epsilon}{k} (G_k + C_{3\epsilon} G_b) - C_{2\epsilon} \rho \frac{\epsilon^2}{k}$ $C_{1\epsilon} = 1.44, C_{2\epsilon} = 1.92, C_{3\epsilon} = 0.09, \sigma_k = 1.0, \sigma_\epsilon = 1.3$

**4. 해석도구**

본 연구에서는 현재 국내에서 상용코드로 사용되고 있는 FLUENT 5.5를 해석의 도구로 사용하였다. FLUENT는 Pre-Processor 기능의 GAMBIT과 Solver 및 Post-Processor 기능의 FLUENT로 구성되어 있다.

GAMBIT에서는 Edge와 Face, Volume의 3가지 요소로 모델의 기하학적 형태를 형성할 수 있으며, 각 요소별로 격자의 형성이 가능하다. 또한, 격자계는 사각형 격자, 삼각형 격자, 원형 격자 등을 사용하여 정렬, 비정렬, 혼합격자계를 사용할 수 있다.

계산영역인 FLUENT에서는 이산화방법으로 유한체적법(Finite Volume Method)을 사용하고 있으며, 비압축성 기류, 경미한 압축성 기류, 복잡한 물리학을 포함하는 기류에 가장 적합한 Solver로 알려져 있다. 전체적인 FLUENT의 구성과 본 연구에서 수행한 기류해석의 내용 및 목적을 표2와 표3에 정리하였다.

표2. 해석도구 FLUENT의 구성

GAMBIT	생성 File	FLUENT	생성 File
·Geometry Setup ·Mesh Generation	*.dbs *.jou *.msh	⇒ ·Grid Import ·Physical Model ·Boundary Condition ·Fluid Properties ·Calculation ·Post-Processing	*.cas *.dat

표3. 지하 전철구간의 기류해석 내용 및 목적

조 건	대상부위	목 적
열차 비주행시 공조설비 기류해석	대합실 취출구 / 환기구 승강장 공조공기 취출구 승강장 외기 취출구 선로 배기구	승강장과 대합실의 취출 및 배기기류 설계치를 CFD로 해석하고 실측치와 비교함으로써 현행 공조시스템 설계의 문제점을 이해하며, 공간내 기류분포 해석시 경계조건으로서의 타당성을 검토
열차 비주행시 역사공간 기류해석	대합실 승강장	현행 공조설계에 따른 역사 내 기류분포를 해석하여 예측함으로써 설계의 적정성 확인
열차 주행시 본선터널 및 역사공간 기류해석	승강장	열차의 진입에 따른 열차풍이 승강장 승객에게 미치는 영향을 파악하고, 개선방안을 마련