

건축물 에너지 소비량 성능평가 프로그램의 최근 기술동향

최대부하 및 기간부하, 쾌적성능, 부분적 시스템 성능, 자연에너지 활용 시스템 등 건물의 종합적 에너지 성능을 평가하는 대표적 프로그램의 기술동향을 고찰한다.

윤종호

서론

1970년대 초부터 세계 각국의 여러 기관에서 본격 개발되기 시작한 건물의 종합에너지 성능평가 관련 프로그램들은 많은 변화를 거치며 일부는 사장되고 일부는 현재까지도 핵심 프로그램으로 활용되는 등 다양한 형태로 발전되어 오고 있다. 현재 활용되고 있는 다양한 종류의 시뮬레이션 프로그램 기법들은 사용자의 목적과 용도에 따라 각각 장단점과 고유한 특성들을 가지고 있으며, 건물의 에너지 성능 평가를 위해 나름대로의 역할을 담당하고 있다. 그러나 최근의 시뮬레이션 프로그램들의 개발동향은 부분 독립적이고 단순화된 기법을 탈피하여 가급적 가정요소를 줄이고 모든 부속시스템이 상호 연결된 통합된 하나의 시스템 내에서 최대한 건물의 실지 현상을 모사하려는 쪽으로 집중되고 있다. 이러한 모델링 기술의 발전과 변화 배경에는 컴퓨팅 환경의 개선이 결정적 역할을 담당하고 있다. 컴퓨터 하드웨어 산업의 급진적 발전으로 인한 개인용 컴퓨터의 성능향상 및 대중화, 소프트웨어 공학의 눈부신 발전 등은 건물의 에너지 성능을 보다 정밀하게 해석할 수 있는 기회를 증가시키고 있으며, 시스템의 통합화, 편리한 사용자 인터페이스 등을 통해 에너지 모델링 분야의 접근을 보다 용이하게 조성하려는 경향이 뚜렷해 지고 있다.

특히 최근 들어서는 건축물의 부속 시스템이 복잡해지고 상호 유기적인 연관관계를 가지는 특성이 강해지고 있으며, 태양에너지와 같은 자연에너지 활용 시스템의 적용이 일반화되어감에 따라, 과거 수작업

위주의 기계 설비 시스템 용량 결정 수준을 넘어 건축계획의 초기단계부터 각종 설계대안에 대한 종합적 성능평가를 수행할 수 있는 도구의 필요성이 증대되고 있다.

그동안 몇 차례의 강연회 및 논문을 통해 건축물의 종합에너지 성능평가를 위한 시뮬레이션 모델링 기법들의 발전과정과 주요 특징 및 알고리즘을 분석 고찰하고, 대표적 상용프로그램들의 특징 및 기술 동향을 소개한바 있다. 따라서 본 고에서는 기 소개한 프로그램들 중 미국의 대표적 건축물 종합에너지 해석 프로그램인 DOE-2, EnergyPlus, TRNSYS의 최근 소식을 위주로 개발동향을 소개하고자 한다.

DOE-2.x의 미래

DOE-2는 응답계수 및 가중계수, 전달함수 등과 같은 해석적 알고리즘에 기반을 둔 2세대 시뮬레이션 기법의 대표적 프로그램으로, 현재 미국 내 수많은 에너지 컨설팅 회사와 대학 및 연구기관 등에 매우 폭넓은 사용자 층을 확보하고 있으며, 우리나라에서도 가장 일반적으로 인식되고 있는 국외의 건물에너지 종합 성능평가 프로그램이다. 당초 1960년대에 미국 우체국 에너지 분석 프로그램 개발의 일환으로 에너지성(DOE, department of energy)의 지원을 받아 개발되기 시작한 이래, 캘리포니아의 로렌스 버클리 연구소를 중심으로 현재까지 30년 이상 꾸준히 개발되고 있다. 특히 DOE-2는 핵심적인 에너지해석 알고리즘 부분만 정부 지원 하에 개발되고, 사용자의 입출력 편의성을 위한 인터페이스는 제 3자, 즉 관심 있는 기업에서 개발 보급하도록 함으로서 많은 수의 버전을 가지

윤종호 한밭대학교 건축공학과(jhyoon@hanbat.ac.kr)

고 있는 독특한 프로그램이다. 현재 상업적으로 구입 가능한 DOE-2 프로그램의 종류는 ADM-DOE2, Compare-IT, DOE-PLUS, EnergyPro, EZ-DOE, FTI/DOE2, PRC-DOE2, VisualDOE-3.0 등으로 매우 다양하지만, 데이터의 입출력을 담당하는 사용자 인터페이스만 틀릴 뿐, 실제 내부의 에너지 해석 알고리즘은 모두 DOE-2.1E 버전을 사용하고 있기 때문에 해석 결과는 모두 동일하다.

이외에도 건물의 성능 인증이나 주거건물의 부하계산과 같은 제한된 용도로 DOE-2의 해석 엔진을 사용한 CBIP, cool tools peter turnbull, desiCalc 2.9, Energy Gauge USA, Home Energy Saver, Perform-2001 및 RESFEN-3.1 등도 DOE-2의 특수 버전으로 분류할 수 있다.

한편 1993년 미국 에너지성(DOE)과 전력연구소(EPRI, electric power research institute)에서는 그 당시 최신버전인 DOE-2.1E의 내용을 발전시킨 새로운 버전 즉, DOE-2.2의 개발을 위해 국립 로렌스 버클리 연구소(LBNL, lawrence derkeley national laboratory)와 사설 에너지 컨설팅 회사인 JJH(James J. Hirsch & Associates)에 자금을 지원하였다. DOE-2.2의 개발을 통해 주로 HVAC 관련 부분 특히, 플랜트 부분에 많은 보완 및 개선이 이루어 졌으며, 입력언어 즉 BDL(building description language)의 개선을 통해 창호 및 조명, HVAC의 해석에 보다 정밀하고

유기적인 환경이 조성되었다. 국내에도 잘 알려져 있는 PowerDOE는 새로운 DOE-2.2 해석엔진을 이용해 개발된 대표적 프로그램이며, 이외에도 eQUEST가 DOE-2.2 알고리즘 기반 하에 개발된 프로그램이다.

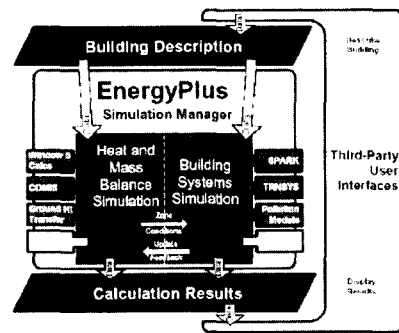
그러나 DOE-2.2는 DOE 및 LBNL의 국가기관과 JJH 민간기업의 공동작업을 통해 개발되었기 때문에 프로그램 출시에 따른 라이선스 협정이 문제가 되었으며, 수년간에 걸친 조정 협상도 결국 결렬되어, 미국 정부에서는 DOE-2.2의 공식 출시를 포기하고 DOE-2.1E를 DOE-2의 최종 버전으로 발표하였다. 이는 1996년부터 DOE-2.1과 또 다른 국가 지원 에너지 해석 프로그램인 BLAST를 병합한 EnergyPlus의 개발이 착수됨에 따라 DOE-2.1E가 정부 지원하

의 마지막 버전임을 의미하는 것이다. 혁신적인 그래픽 사용자 인터페이스를 채용함으로써 큰 관심을 모았던 PowerDOE도 결국 이러한 배경으로 인해 개발 및 보급이 답보상태에 머무르고 있는 것으로 추정된다.

건축물의 종합 에너지 성능평가를 위한 미국 정부의 공식 지원은 이제 EnergyPlus라는 새로운 프로그램으로 집중되었지만, 지난 30여년간 꾸준히 사용자 층을 확보해온 DOE-2 프로그램은 새로운 프로그램으로의 전환을 꺼리는 엔지니어링 분야의 보수성 및 신뢰성 확보를 위한 유예기간의 필요성 등으로 인해 앞으로도 상당기간은 주요 프로그램으로 활용될 것으로 판단된다.

DOE-2와 BLAST의 장점을 택한 새로운 코드 "EnergyPlus"

앞서 소개한 DOE-2와 함께 1970년대부터 미국 국방성의 지원을 받으며 개발된 BLAST는 대표적인 정부지원 건물에너지 해석 프로그램이다. 미국 정부(DOE)에서는 새로운 환경에 부응할 수 있는 건물에너지 성능평가 도구의 개발을 위해 1996년부터 LBNL과 일리노이 대학, 오클라호마 대학 및 미군 시공 엔지니어링 연구소(US army construction engineering research Lab) 주관으로 기존 DOE-2와 BLAST의 장점을 병합한 EnergyPlus의 개발을 추진하였으며, 몇 차례의 베타 테스트를 거쳐 2001년



[그림 1] Energy Plus의 구조

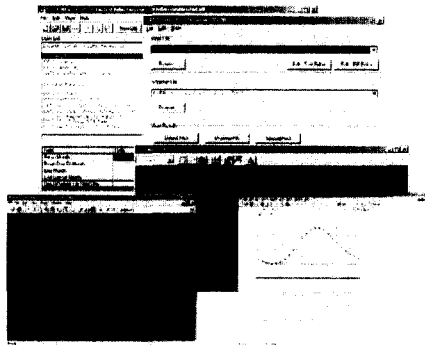
4월 정식으로 EnergyPlus 1.0이 선을 보였다.

EnergyPlus는 기존의 대다수 건물에너지 종합 해석 프로그램과 달리 건물에너지 시뮬레이션 기술이 어느 정도 확립된 90년대 후반에 새로이 착수되었다는 점과 이 부류의 대표적 프로그램인 DOE-2 및 BLAST의 장점만을 취사선택한다는 측면에서 전 세계적으로 매우 큰 관심 하에 진행되고 있다.

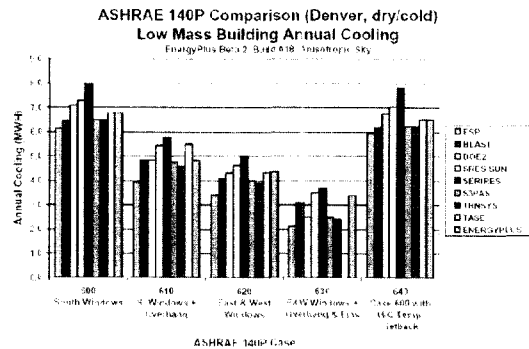
당초 계획은 이들 두 프로그램을 수정하여 병합하는 것으로 착수되었으나, 30여년 이상 수정 발전되어온 코드를 병합하는 것은 그들 표현대로 스파게티와 같이 엉킨 가락을 푸는 것보다 힘든 작업이었기에 완전히 새로운 드를 작성하는 것으로 계획이 수정되었다. 객체 지향언어인 C/C++ 등 최신의 컴퓨터 언어가 많은 장점을 가지고 있지만 완벽한 모듈형 구조의 새로운 코드를 작성하기 위해 Fortran 90를 이용해 작성되었다. 그림 1에 도식된 바와 같이 EnergyPlus는 heat & mass balance 시뮬레이션 모듈과 building system 시뮬레이션 모듈 및 시뮬레이션 전체 과정을 총괄하는 시뮬레이션 매니저 모듈의 3가지 기본 성분으로 구성되어 있다. 이론적 기반 측면에서 보면 부하부분의 경우 BLAST의 알고리즘, 시스템 해석부분의 경우 DOE-2의 알고리즘이 큰 영향을 미친 것으로 판단된다. EnergyPlus 1.0을 통해 나타난 새로운 특징을 살펴보면 시뮬레이션 시간간격(time step)을 자유로이 설정할 수 있으며, 모듈형 구조를 가지기 때문에 사용자가 자유롭게 시스템을 구성할 수 있으며, 기존

DOE-2 프로그램의 가장 큰 단점이었던 통합된 열 및 매스밸런스에 기준한 존 시뮬레이션이 가능하고, 다중 존 간의 유동해석, 오염 물질 전달과정의 해석, 습기전달 문제, 태양광발전(PV)과 같은 대체에너지 시스템의 해석이 보완되었다. 또한 DOE-2의 경우와 동일하게 EnergyPlus에서는 핵심적인 시뮬레이션 엔진만 개발하고 사용자 인터페이스는 관련 기업에서 개발하는 형태를 취하였다. 한편 그림 1에서도 도식된 바와 같이 EnergyPlus에서는 철저한 모듈형 구조 및 에너지 밸런스에 기준한 해석 알고리즘을 채택하였기 때문에 매 시간간격 별로 기존의 다른 프로그램과의 연계 운영을 손쉽게 구현할 수 있다. 예를 들어 존 간의 유동문제를 보다 세부적으로 해석하기 위해 COMIS를, 태양열 집열기와 같은 특수 설비시스템의 해석을 위해 TRNSYS와의 연계 해석이 가능하도록 되어있으며, 이러한 작업은 모두 시뮬레이션 매니저를 통해 수행된다. 그림 2는 실행화면의 일례를 나타낸 것이다.

한편 새로운 에너지 해석 프로그램이 개발될 경우 결과의 신뢰성에 대한 검증작업이 필수 수반되어야 할 것이다. 이를 위해 EnergyPlus의 경우 다른 대표적 프로그램과의 상대비교를 통한 공인된 검증방식인 ASHARE Standard 140~2001 및 IEA의 BESTEST의 과정에 따라 신뢰성을 검토하였다. 그림 3은 덴버 지역을 대상으로 ASHRAE 140P 과정에 따라 기존의 대표적 종합 에너지 해석 프로그램 8종과 비교한 결



[그림 2] Energy Plus 1.0의 실행화면 예



[그림 3] EnergyPlus 와 다른 프로그램과 상대비교를 통해 신뢰성 검증을 수행한 결과의 일례

과의 일례를 나타낸 것이다. 여러 항목의 평가결과에서 현재까지는 기존 프로그램들과 큰 차이 없이 신뢰할 수준인 것으로 인정되고 있다.

EnergyPlus는 이제 공식적인 첫 버전을 출시한 것으로 2003년 중에 전기 시스템 모델링, 연료전지, 첨단창호, 자연채광 등에 대한 해석이 포함된 두 번째 버전이 발표될 것으로 알려지고 있다. EnergyPlus가 완벽한 형태의 건축물 종합에너지 성능평가 프로그램으로 자리 잡기 위해서는 아직 다소간의 시간을 기다려야 할 것이지만, 건물에너지 시뮬레이션 분야의 가장 최첨단기술이 접목될 것이라는 기대로 인해 앞으로도 많은 관심이 집중될 것으로 보인다.

보다 안정된 그래픽 환경으로 개선된 TRNSYS 15

당초 태양열 시스템의 해석을 목적으로 개발된 TRNSYS(transient system simulation program)도 25년 이상의 역사를 가진 대표적 에너지 해석 프로그램이다. 1975년 미국 위스콘신 대학의 SEL(solar energy lab)에서 개발하기 시작한 이 프로그램은, 현재는 유럽을 비롯한 세계 각 국에서 공동으로 개발되고 있으며 약 3,000명의 사용자가 이용하고 있다. 모듈형식의 프로그램 구조로 인해 확장성과 호환성이 매우 뛰어난 이 프로그램은 주로 HVAC 시스템의 규모산정 및 해석, 태양열 시스템의 해석, 제어 시스템 분석 등과 같이 건물 구조체의 성능보다는 설비 요소와 같은 시스템의 해석능력에 많이 응용되고 있다.

버전 14.1 부터는 그래픽 사용자 인터페이스를 만들어 주는 IISiBat 환경과 결합함으로써 과거에 힘들었던 입력화일의 작성이 손쉽게 해결되었고, 초보자도 쉽게 접근가능하게 됨으로서 보다 많은 사용자 층을 확보하고 있다. 특히 멀티존 모델을 보다 쉽게 작성할 수 있도록 해주는 PREBID의 개발을 통해 기존의 설비시스템 해석이 주를 이루던 한계를 넘어 건축물의 종합에너지 해석에도 활발히 사용되고 있다.

현재 시장에 출시중인 상당수의 시뮬레이션 프로그램과 달리 TRNSYS를 통해서 사용하는 사용자가 각 시스템

컴포넌트 사이의 모든 상호관계를 완벽하게 모사하고 모니터 할 수 있다. 또한 시뮬레이션 시간간격도 몇시간부터 몇초까지 자유롭게 설정가능하다. 각 시스템 컴포넌트가 모듈식 구조이기 때문에 펌프, 칠러, 냉각탑, 태양열 집열기 등 원하는 사양대로 자유롭게 시스템을 구성할 수 있다.

TRNSYS는 모듈구조로 형성된 프로그램이기 때문에 유연성 및 확장성에 있어 매우 큰 장점을 가지고 있으며, 따라서 TRNSYS 표준 라이브러리에 포함되지 않은 수학적 모델들도 얼마든지 자유롭게 TRNSYS에 부가시켜 사용할 수 있다. 가장 최신 버전인 TRNSYS 15의 경우 Fortran, C, C⁺⁺ 등의 언어를 이용하여 DLL들을 생성시킬 수 있는 개발환경이면 새로운 컴포넌트를 자유롭게 부가시킬 수 있다. 심지어 EES (engineering equation solver) 프로그램과 연동하여 부속 시스템을 연계 해석하는 것도 가능하다. 즉 매 time-step 마다 TRNSYS가 외부 프로그램인 EES를 실행하여 원하는 수학적 해석결과를 넘겨받으면서 시뮬레이션을 진행시키는 것도 가능하다.

TRNSYS는 다른 에너지 해석 프로그램과의 인터페이스도 제공한다. 예를 들어 다중 존간의 침기나 환기, 오염원 전달 등 1차원 유동해석 전문 시뮬레이션 프로그램인 COMIS와 연계해서 해석을 수행할 수 있으며, 건물의 기하학적 형상을 정의하기 위해 SimCad와 같은 CAD 프로그램과 연동될 수도 있다.

TRNSYS는 HVAC 기기, 멀티존 모델, 각종 컨트롤러 및 태양열 집열기와 같은 약 60여개의 표준 컴포넌트 모델을 제공하며, 기상화일 처리기 및 스케줄 관리기, 결과 출력장치 등을 제공한다. 특히 TRNSYS 현재 출시되어 있는 건물 성능 시뮬레이션 프로그램 중 건물의 실질적 동적 반응을 모사할 수 있는 temperature-level-control로 건물의 해석할 수 있는 몇 안되는 프로그램 중 하나이다.

그림 4는 새로이 바뀐 TRNSYS 15의 작업환경을 나타낸 일례로, 다중 운영체제에서 활용하기 위한 목적으로 작성되었던 LISP언어를 32비트 체제의 완전한 윈도우 환경 언어로 수정함으로써 기존 버전 14.1에서 보여주었던 그래픽환경의 불안정성이 깨끗이 해

결되었다.

현재 TRNSYS는 미국을 비롯한 여러 나라의 기관에서 공동으로 개발 보급되고 있다. 윈 소스 프로그램의 개발기관인 위스콘신 대학의 SEL을 비롯해, Trnsys의 특수한 라이브러리 개발 및 관련 컨설팅 업무를 주로 하고 있는 미국의 TESS, 기존 텍스트 기반의 입력방식에서 IISiBat 방식의 그래픽 사용자 입력 방식으로 변화시켜 TRNSYS의 범용적 활용성을 크게 개발시킨 프랑스의 CSTB, 건물의 멀티존 모델 즉, Type 56을 그래픽 사용자 인터페이스를 통해 손쉽게 작성할 수 있도록 해주는 보조 프로그램인 PREBID를 개발한 독일의 TRANSSOLAR 및 스웨덴의 SERC, 벨기에의 Liege 대학, 스페인의 Aguasol 등이 주축이 되어 지속적으로 프로그램을 발전 보급시키고 있다.

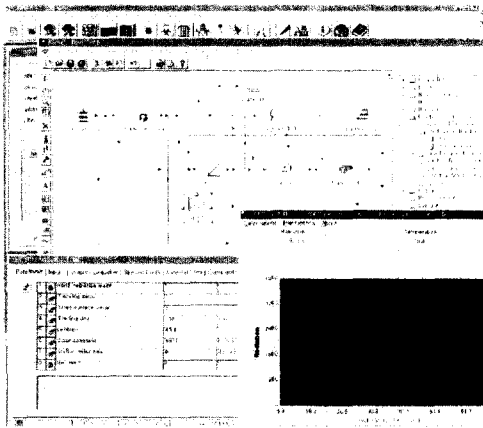
현재 TRNSYS 16의 새로운 버전 준비 작업이 한창 진행 중이다. 새로운 버전에서는 HVAC 컴포넌트의 확장작업 및 표준 라이브러리화, EnergyPlus와 TRNSYS의 연계 작업 즉, EnergyPlus의 시스템 일부와 TRNSYS 시스템의 일부를 부분적으로 혼합 정의하여 시뮬레이션이 가능하도록 하는 개념으로 온도, 유량 등의 데이터를 매 시간간격 주고 받을 수 있도록 하는 것이다. 또한 비표준 컴포넌트의 Fortran 소스코드 재컴파일 없이 DLL화일로 간단히 해석 가능하도록 하는 기능과 스텝터빈이나 왕복동식 엔진과

같이 열병합 발전을 위한 100여종의 각종 시스템 컴포넌트가 개발 중에 있다.

맺음말

1999년 일본 교토에서 열린 국제 건물성능 시뮬레이션 학회인 IBPSA(international building performance simulation association) 컨퍼런스에서 미국 건물성능평가 시뮬레이션 발전과정의 산 증인 중 한사람인 Tamami Kusuda 선생은 50년대 이후부터 현재에 이르기까지 건물성능 시뮬레이션 분야의 발전에 대한 인상적인 기조연설을 한바 있다. 그의 연설에 나타난 바와 같이 건물의 에너지 성능에 대한 동적 해석방법의 본격적 발전은 불과 30여년의 짧은 역사 속에 눈부신 발전을 해 온 것이며, 특히 컴퓨터 하드웨어 및 소프트웨어 기술의 발전에 큰 영향을 받으며 변화되어 온 것이다. 이러한 기술적 진보는 앞으로 더욱 큰 가속도로 진행될 것이 자명하다.

한편 실내 쾌적에 대한 요구수준은 갈수록 높아지는 반면, 건물을 구성하는 부속 에너지 시스템은 복잡 다양화되고 있다. 특히 최근 건축물 에너지 시스템의 특징은 자연형 태양열 시스템이나 건물일체형 태양광 발전(BIPV)과 같이 건물 구조체와 일체화되는 경향이 뚜렷이 나타나고 있다. 따라서 건물의 동적 특성에 대한 중요성이 더욱 커지고 있으며, 열을 비롯한 빛, 음, 공기, 전기 등 각종 영향인자를 종합적으로 고려해야 하는 통합성능평가의 필요성이 절실해지고 있다. 과거와 같이 기계실에 설치된 설비시스템의 장치용량 결정을 위한 최대부하 산출과정이 설비설계 업무의 주 내용이 되던 시대는 이미 지나갔다고 판단된다. 건축물의 외피나 구조체와 결합된 에너지 시스템의 성능 해석은 필히 설계 초기단계부터 평가되어야 하며, 각종 설계 대안에 대한 의사결정은 건물을 구성하는 부속 시스템의 유기적 상호관계가 통합 고려된 종합 에너지 성능평가 도구를 통해 수행되어야 할 것이다. 따라서 건축물의 종합 에너지 성능평가 프로그램에 대한 필요성 및 활용성은 시간이 지날수록 더욱 커질 것으로 기대된다. ㉔



[그림 4] TRNSYS 15의 새로운 작업환경