

건축환경 및 설비의 전산유체해석(CFD) 프로그램 소개 및 해석사례

건축물 및 설비 분야에서 열 및 공기 유동해석에 활용되는 전산유체해석 프로그램 및 그 활용 사례를 소개하고자 한다.

이 정 재, 김 상 진

서론

최근, CFD(computational fluid dynamics, 전산유체역학)기술이 진보되어, 많은 분야에서 유체역학에 관련한 실용문제의 해결에 이용되어지게 되었다. 이것은 건축환경 및 설비 분야에 있어서도 예외가 아니다. 특히, CFD를 이용한 수치해석과 복사열전달 등을 연성하여 해석하는 것이 가능하게 되어, 각종의 요인이 복잡하게 관련되어 형성되는 환경물리의 실태를 구조적으로 분석할 수 있게 되었다. 연성해석 기술의 개발에 의하여 CFD는 단순한 해석기술로부터 탈피하여 환경설계의 강력한 도구로서 이용된다는 것이 확실시되었다. 이 기술개발을 통하여 이 분야를 체계화된 학문으로 하기 위한 기초가 정리되었다고 할 수 있다.

CFD는 근자에 새로이 탄생하여 약 20년 동안에 비약적으로 발전한 비교적 젊은 학문으로서, 계산물리, 계산화학, 계산역학 등과 함께 한마디로 계산과학(computational science, computational engineering)이라고 불려지는 분야에 속한다. 이들은 어느 것이라도 수치 시뮬레이션을 주된 해석도구로 한다. CFD와 같은 새로운 학문분야가 탄생하고, 그 후에 실용화가 진전된 배경으로 다음의 3가지가 지적되고 있다.

- 1) super computer 등의 고성능의 work-station, personal computer 등을 중심으로 하는 계산기의 발달에 의하여 계산속도가 비약적으로 향상된 점,
- 2) 각종의 실용적 software가 정비되어 온 점,

- 3) 통신 network의 발달에 의하여 분산처리가 가능하게 되어, 동시에 human interface의 기능이 향상된 점.

이들 중에서도 CFD는 특히 대용량의 계산기 자원을 필요로 하는 것이나 지배방정식의 비선형성에 의하여 수치해법이 복잡, 난해한 것으로부터 각종 계산과학 중에서도 주목되어, 특히 최근에 급속하게 발달한 학문분야이다. 인간 주거환경의 유동장, 온도장 등의 시간적, 공간적 구조를 3차원적으로 명확하게 하는 것은 종래의 수법으로는 거의 불가능했지만, CFD의 발전은 이들을 가능하게 하였다. 향후 CFD는 환경공학에 관계되는 각종 문제의 해결이나 설계에 있어서 강력한 도구가 될 것이라고 생각한다.

건축환경 및 설비분야 상용 CFD software

CFD 프로그램을 개인이 작성하는 것은 상당한 노력과 시간이 요구된다. 오늘날과 같이 사회가 세분화되고, 컴퓨터 기술이 급진전한 상황에서 간단한 구조물을 대상으로 하는 경우를 제외하면, 3차원이면서 복잡한 형상을 수치해석하기 위하여 스스로 프로그램을 작성하는 것은 많은 시간과 정력의 낭비라고 생각하는 학자들이 늘어나고 있다. 이로 인하여, 최근에는 상용 software를 사용하는 경우가 늘고 있다. 특히, 현존하는 수치해석용 패키지(또는 software)는 상당한 수준의 전문가들이 만들어 낸 산물로서, 사용자들이 가능한 간단히 사용할 수 있도록 도와주는 pre 및 post처리 기능을 겸비한 것이 대부분이다. 또한 현재

이 정 재 동아대학교 건축학부(jjyee@mail.donga.ac.kr)

김 상 진 전주대학교 건축공학과(kimsj@jeonju.co.kr)

CG기술의 발달로 계산결과를 그래픽화하여 쉽게 파악할 수 있게 되었다. 물론, 상용 software는 그 내부를 전부 들여다 볼 수 없어, 기본 구조를 바꾸는 것은 힘들지만, user subroutine 등을 이용하여 사용자의 의지를 어느 정도 반영시킬 수 있는 경우도 많다.

건축환경설비 분야의 상용 CFD software로서는 PHOENICS, STAR-CD, FLUENT 등의 수많은 수

치해석 프로그램이 이용되고 있다.

대표적인 상용 CFD software의 특징을 정리하면 표 1, 2, 3과 같다.

건축환경 및 설비분야에 대한 수치해석 사례

본 장에서는 상기의 상용 software와 개인이 작성한 프로그램 등을 이용한 수치해석의 결과들을 간략히 소개하기로 한다.

바람이 인체에 미치는 역학적 영향은 안전하면서 쾌적한 옥내환경의 설계에 있어서 중요한 요소이다. 그러나, 이들의 현상은 대단히 복잡하기 때문에 종래의

[표 1] PHOENICS의 특징

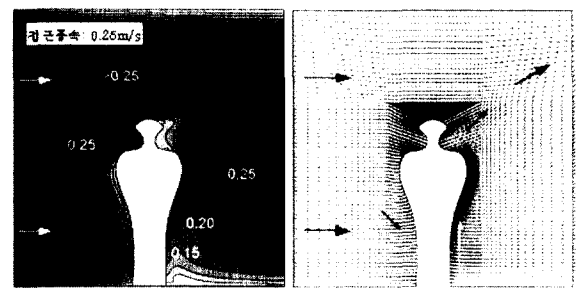
S/W명	PHOENICS(http://www.cham.co.uk)
개요	영국 CHAM사가 개발한 범용 전산 열유체 프로그램으로, 건축, 기계, 환경, 항공, 우주항공 등 모든 공학 분야에서의 열전달, 유체 유동, 화학반응 등을 해석
구성	PHOENICS는 크게 VR-EDITOR, EARTH 및 PHOTON으로 구성되며, VR-EDITOR는 최근에 사용하기 시작한 pre-processor이다. 기능은 이전 version인 SATELLITE와 동일하지만 window base에서 사용하도록 고안되었다. VR-EDITOR를 실행하면 각각의 설정사항들이 Q1 파일에 저장된다. EARTH는 해석을 수행하는 main이며 user에게는 공개되지 않는다. 해석을 수행하는 과정은 iteration에 따라 임의의 격자에서 변수 값과 error의 변화되는 값으로 수렴여부를 판단할 수 있다. PHOTON은 post-processor로서 해석결과를 확인하기 위하여 사용한다. contour, vector, stream line 등을 나타낼 수 있다.
특징	(1) SIMPLEST 알고리즘을 이용한 압력-속도 결합 (2) Linear and Non-linear equation solver 선택가능 (3) 다양한 2상유동(2-Phase Flow) 해석 알고리즘 (4) Linear/Inertia/Local Relaxation (5) Block Correction Facilities (6) Vectorised and optimised versions for many computer makes (7) Parabolic flow를 위한 Marching-integration solver (8) Reynolds Stress Models, Multi-Fluid Turbulence and Flux Models, RNG 및 2-scale 2-layer models를 포함한 다양한 난류모델 (9) 다공성물질(Porus Media) 내의 유동해석 (10) 다수의 복사모델 등

[표 2] STAR-CD의 특징

S/W명	STAR-CD(http://www.cd.co.uk)
개요	영국 Imperial College의 A.D. Gosman교수 연구 그룹에 의해 개발되어 1985년경부터 상용화된 범용되고 있는 열유체 해석 code
구성	이 패키지는 'prostar'와 'starlink'라는 두개의 큰 모듈로 나뉘어져 있다. prostar는 계산에 필요한 모든 제한 조건 및 격자 등을 설정하는 부분이고 starlink는 prostar에서 설정한 것을 바탕으로 실제계산을 위한 실행화일을 만드는 부분이다.
특징	STAR-CD는 FVM를 사용하며 비정규격자계(unstructured grid system)의 사용이 가능하며 3차원의 계산을 기본으로 2차원은 변형된 3차원의 격자계를 이용한다는 점이다. 또한 이 프로그램은 다른 유체패키지에 비해 상대적으로 적은 양의 메모리를 요구하며 계산의 실행은 별도의 생성된 실행화일로 패키지의 loading없이 이루어진다는 점이다. 이런 제한특성을 나열하면 다음과 같다. (1) 정상 및 비정상 유동해석 (2) 뉴턴 및 비뉴턴 유체계산 (3) 압축성 및 비압축성계산 (4) 열전달 (5) 물질전달(mass transfer) (6) 화학반응 (7) porous media (8) 다상유동 (9) sliding grid (10) moving grid

[표 3] FLUENT의 특징

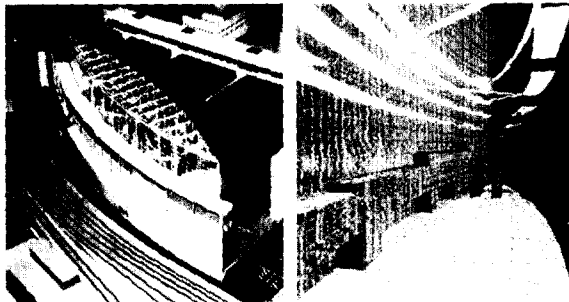
S/W명	FLUENT(http://www.fluent.com)
개요	질량, 운동량, 에너지 그리고 화학종의 보존방정식을 이용하여 비압축성, 압축성 유동에 관계없이 층류, 난류, 연소, 다상유동과 자유표면 및 화학반응이 있는 유동 등을 해석하는 범용 code
구성	Fluent는 여러 개의 모듈로 나뉘어져 있는데 'prebfc', 'fluent', 'geomesh', 'uns', 'tgrid' 및 기타의 작은 모듈이 있다. 이중 앞의 다섯 개를 중심으로 설명하면 다음과 같다. (1) prebfc : fluent의 기본적인 격자 생성 프로그램으로 정규격자를 생성한다. (2) fluent : prebfc에서 생성한 격자를 바탕으로 계산에 필요한 여러 가지 조건을 설정한 다음 계산을 수행하고 post-processing까지 한다. (3) geomesh : 최근에 추가된 기능으로 3차원의 복잡한 격자를 생성하는데 정규 및 비정규격자를 생성할 수 있다. (4) uns : fluent가 정규격자계에 대한 계산만을 수행하는데 비해 uns는 비정규격자계에 대한 계산을 수행한다. (5) tgrid : geomesh가 생성한 비정규격자계를 uns가 읽을 수 있도록 변환시켜주는 프로그램이다.
특징	(1) GUI환경이 뛰어나다. 이는 post-processing에서 많은 효과를 본다. (2) 주기조건을 사용할 수 있다. (3) 다양한 난류모델을 가지고 있다. (4) multi-block을 사용할 수 없고, 격자점들은 인접격자점과 연결이 되어야 한다. (5) moving grid calculation의 기능이 미약하다. (6) 여러 사람이 동시에 사용할 수 있다.



(1) 풍속분포(m/s) (2) 풍속벡터의 분포
[그림 1] 접근풍(균일 유동장)일 경우의 풍속분포

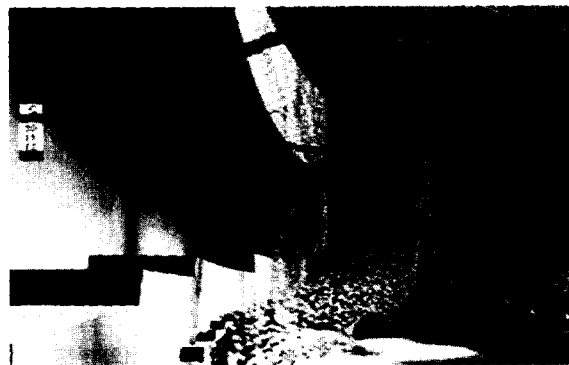
풍동 등을 이용한 실험적 방법에만 의존하여 해석이 실시되어져 왔다. 그림 1에 사람이 접근풍(균일유동) 속에서 바람에 대하여 옆으로 향하여 서 있을 경우의 풍속을 나타낸다.¹⁾ 이것은 CFD를 이용하여 실내에서 바람이 인체에 미치는 영향을 조사하기 위한 일례를 보인 것이다. 이 수치해석은 저 레이놀즈 $k-\epsilon$ 모델에 기초한 대류장 해석에 복사장 해석을 연성한 것이다.

다음에 동경 국제포럼(일본 동경도 千代田區에 위치)의 실내 환경에 관한 수치해석적 연구의 일부를 소개한다. 동경 국제포럼의 계획에 있어서 내부의 온열공기 환경을 수치해석적으로 검토하기 위한 일례이다. 먼저 그림 2에 건물의 개요를 나타낸다. 이 건물은 길이 200m, 폭 32m, 높이 65m의 거대한 유리의 아트리움으로, 그 바닥면적이 3,300㎡, 용적은 200,000㎡이다. 주된 거주지역은 실 중앙으로서 지하 1층에 해당되는 부분이다.



(1) 외관 (2) 내부

[그림 2] 동경 국제포럼의 개요



[그림 3] CG에 의한 유동의 가시화(1층 입구에서 위를 본 것)

그림 3은 난방시의 동경 국제포럼 내부의 유동장을 CG를 이용하여 나타낸 것이다.²⁾ 이 수치해석은 표준 $k-\epsilon$ 모델에 기초한 대류장 해석에 복사장 해석을 연성한 것이다.

냉난방시의 극장, 체육관, 아트리움 등의 대공간에 있어서는 대류, 복사, 전도 등의 열이동 현상이 연성되어 복잡한 유동장, 온도장이 형성된다. 이러한 대공간의 온열환경을 실험적 방법으로 상세히 조사하여 그 내부 현상을 명확히 규명하는 것은 상당히 힘들다. 이러한 관점에서 볼 때 수치해석 수법은 대단히 유용한 하나의 도구라고 볼 수 있다.

비단 상기의 실내 환경뿐만 아니라, 실외 환경의 경우도 수치해석 기법은 유용한 온열환경의 평가도구로 사용되고 있다. 그림 4는 표준 $k-\epsilon$ 모델에 기초한 도시의 시가지에서의 건물풍의 CFD 해석결과를 나타낸다.³⁾ 이 경우, 실제의 시가지에 건설될 고층건물을 대상으로 하여 그 주변기류를 CFD로 예측할 때에는 입력 데이터로서 시가지내의 모든 건물의 형상 데이터가 필요하다. 이러한 건물들의 형상은 현재 리모트 센싱(remote sensing) 기술을 이용하여 건물을 3차원적으로 데이터 베이스화 하는 것으로 가능하게 되었다.

건물주변이나 시가지에 있어서 오염물 확산문제의 예측과 해석은 환경공학상 중요한 과제가 된다. 그림 5는 건물 옥상면의 굴뚝으로부터 배출된 연기의 유동에 대하여 LES로 해석한 결과를 CG로 나타낸 것이다.⁴⁾



[그림 4] 시가지에서의 건물풍의 CFD해석



[그림 5] 굴뚝으로부터의 연기가 확산해석

이러한 확산장을 수치해석 할 경우, 유동장 전체를 지배하는 건물의 스케일과 확산장의 초기 역학을 지배하는 배기구의 스케일의 크기(order)에는 큰 차이가 있다. 따라서, 흔히 말하는 구조 격자계의 단일 격자에서는 초기의 확산과정을 정확히 표현하기 위하여 충분히 세밀한 격자 분할이 요구되지만, 그것은 상당히 곤란하다. 그러므로 격자계를 분할하여 중복시킨 복합 격자계를 이용한 해석 수법을 이용한다. 이러한 복합 격자계에 관한 부분도 상당수의 상용 software 들이 구비하고 있는 경우가 많아, 현재 많은 분야에서 사용되어지고 있다.

맺음말

이상, 건축환경설비분야의 CFD 상용프로그램을 소개하고, 건축환경설비 분야에서의 실내·외 CFD해석

의 결과 사례를 소개하였다. 상기의 해석에서는 각각의 스케일에 맞도록 계산이 실시되고 있으나, 이러한 공간의 척도로부터 탈피하여 외부 공간과 내부 공간의 연결, 또는 환경상호 관계의 연성해석 등을 통한 해석 도구로서의 단순한 CFD가 아닌 설계 도구로서의 연성 CFD에 대한 연구 또한 활발히 진행되고 있다. 현대의 CFD는 건축환경설비에 대한 설계 도구로서의 역할을 충분히 하고 있고, 이러한 연구는 빠른 속도로 발전하는 컴퓨터 기술의 개발과 어우러져 큰 빛을 발휘할 것으로 생각된다.

참고 문헌

1. S. Murakami, J. Zeng and T. Hayashi, 1999 , CFD analysis of wind environment around a human body, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 83, 292~408.
2. 村上周三, 加藤信介, 大 聰, 尾關義一, 1994, 大規模ガラスホールの温熱空気環境に関する模型實驗(その3, 4), 空気調和 衛生工學會學術講演會講演論文集, 857~864.
3. S. Murakami, 1997, Current status and future trends in computational wind engineering, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 67/68, 3~34.
4. S. Murakami, A. Mochida, Y. Hyashi and K. Hibi, 1991, Numerical simulation of velocity field and diffusion field in an urban area, Energy and Buildings, 15/16, 245~356. 