

## 건축환경 및 설비의 전산유체해석(CFD) 사례 및 전망

김 상 진\*

### 1. 서 론

최근, CFD(Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학)기술이 진보하여, 많은 분야에서 유체역학에 관련한 실용문제의 해결에 이용되고 있다. 이것은 건축환경 및 설비 분야에 있어서도 예외가 아니다. 특히, CFD를 이용한 수치해석과 복사열전달, 수증기수송 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 상간에 비약적으로 발전한 비교적 젊은 학문으로서, 계산물리, 계산화학, 계산역학 등과 함께 한마디로 계산과학(Computational Science, Computational Engineering)이라고 불리는 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.

\* 전주대학교 공학부 건축공학과 조교수

### 2. 건축환경 및 설비분야 상용 CFD software

CFD의 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 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.

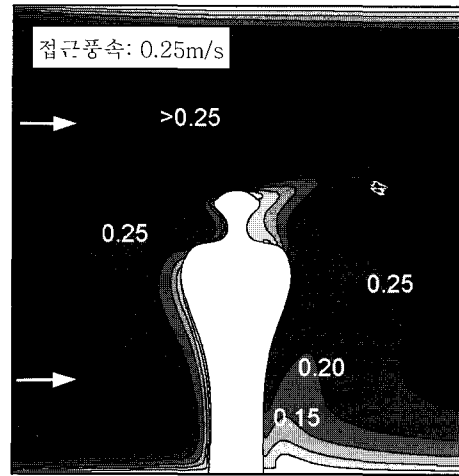
건축환경설비 분야의 상용 CFD software로서는 PHOENICS, STAR-CD, FLUENT 등의 수많은 수치해석 프로그램이 이용되고 있다.

### 3. 건축환경 및 설비분야에 대한 수치해석 사례

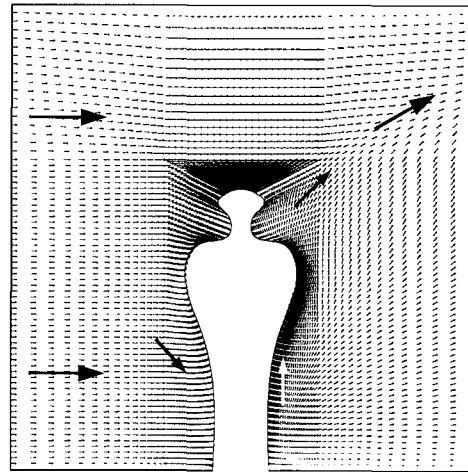
본 장에서는 상기의 상용 software와 개인이 작성한 프로그램 등을 이용한 수치해석의 결과들을 간략히 소개하기로 한다.

바람이 인체에 미치는 역학적 영향은 안전하면서 쾌적한 실내환경의 설계에 있어서 중요한 요소이다. 그러나, 이들의 현상은 대단히 복잡하기 때문에 종래의 풍동 등을 이용한 실험적 방법에만 의존하여 해석이 실시되어져 왔다. 그림 1에 사람이 접근풍(균일유동)속에서 바람에 대하여 옆으로 향하여 서 있을 경우의 풍속을 나타낸다.<sup>1)</sup> 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구에



(a) 풍속분포(m/s)

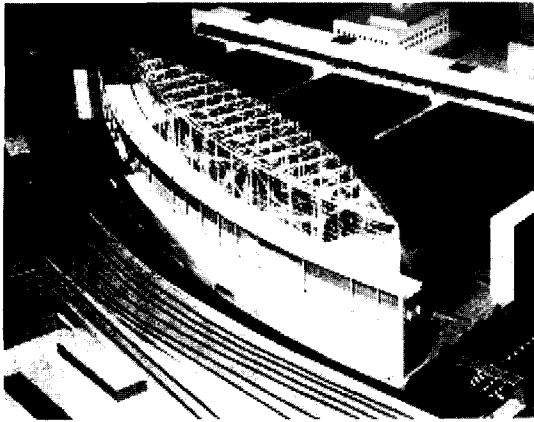


(b) 풍속벡터의 분포

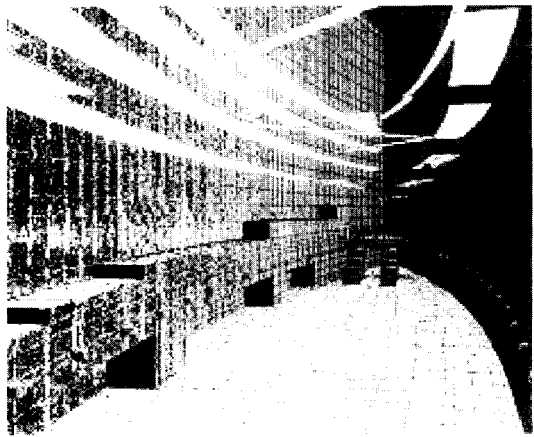
그림 1 접근풍(균일 유동장)일 경우의 풍속분포

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.

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



(a) 외관



(b) 내부

그림 2 동경 국제포럼의 개요



그림 3 CG에 의한 유동의 가시화(1층 입구에서 위를 본 것)

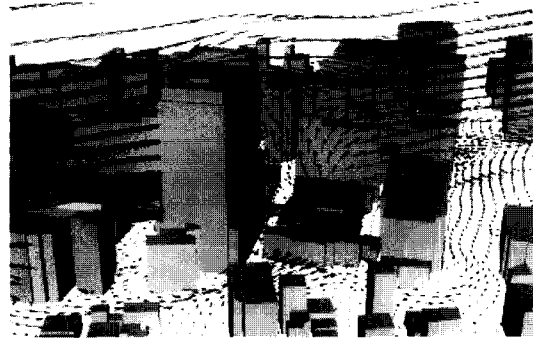


그림 4 시가지에서의 건물풍의 CFD해석

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 실내건축 환경설비뿐만 아니라, 실외부의 건축환경설비의 경우도 수치해석 기법은 유용한 온열환경평가 등의 도구로 사용되고 있다. 그림 4는 표준  $k-\epsilon$  모델에 기초한 도시의 시가지에서의 건물풍의 CFD해석 결과를 나타낸다.<sup>3)</sup> 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 오염물의 확산문제에의 예측과 해석은 환경공학상 중요한 과제가 된다. 그림 5는 건물 옥상면의 굴뚝으로부터 배출된 연기의 유동에 대하여 LES로 해석한 결과를 CG로 나타낸 것이다.<sup>4)</sup>

이러한 확산장을 수치해석 할 경우, 유동상 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 요구되

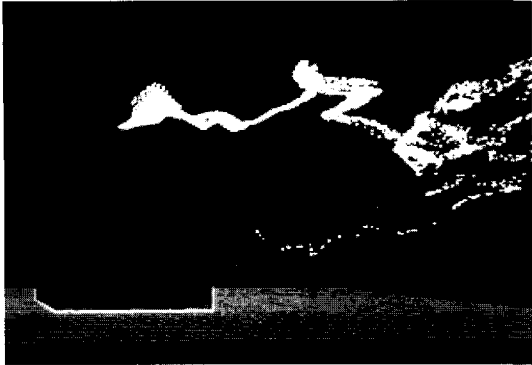
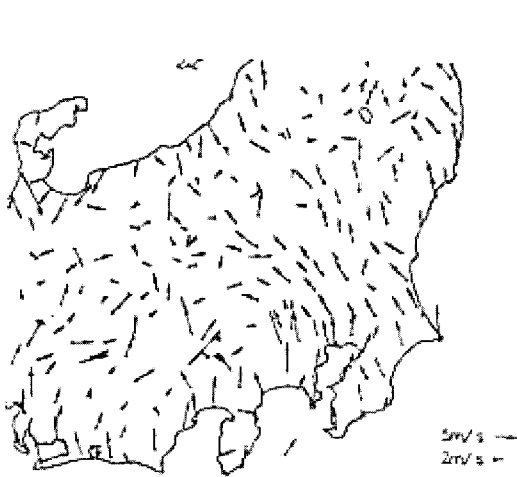


그림 5 굴뚝으로부터의 연기의 확산해석

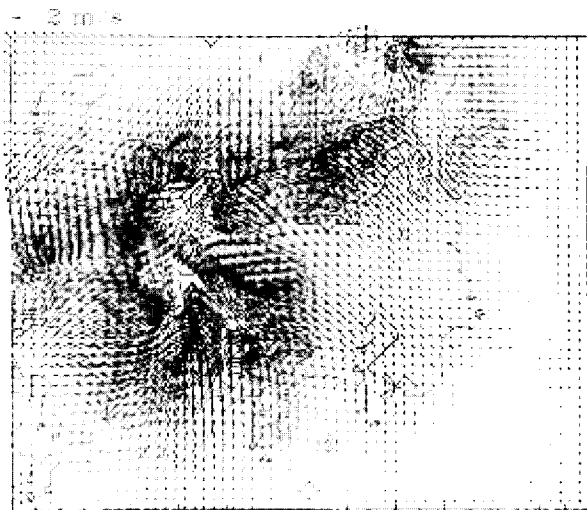
지만, 그것은 상당히 곤란하다. 그러므로 격자계를 분할하여 중복시킨 복합 격자계를 이용한 해석 수법을 이용한다. 이러한 복합 격자계에 관한 부분도 상당수의 상용 software들이 구비하고 있는 경우가 많아, 현재 많은 분야에서 사용되고 있다.

다음은 도시기후<sup>5)</sup>에 관한 이야기를 예를 들어 이야기 한다. 예전의 도시와는 달리 현대에 들어서는 도시화의 발달과 더불어 토지의 피복상태의 변화와 인공폐열량의 증가 등으로 열섬현상을 대표로하는 도시고유의 기후가 발생하게 되게 되었고, 이로인하여 도시의 열악한 열환경의 변화와 오염물질 등에 의한 새로운 환경문제가 등장하게 되었

다. 그러나, 이러한 도시기후를 실험에 의존하여 해석하기란 쉽지 않은 일이다. 특히, 건축분야에서는 간단한 수치해석만을 이용해 온 전례로 볼 때, 방대한 양의 계산과 그에 수반되는 기상문제의 유입이라는 큰 문제에 부딪히게 되었다. 그러나, 건축분야에서도 이들의 중요성을 파악하기 시작하여 근래에 들어서는 다수의 논문이 발표되는 등 상당한 성과를 보이고 있다. 도시기후의 형성과정에 관련한 열, 습기, 복사 등의 수많은 물리요소를 연성시킨 계산을 시도한 것이다. 그로인하여 이러한 도시기후 메커니즘의 종합적인 이해는 CFD를 이용한 각종 물리현상에 관한 수치해석의 연성에 의하여 처음으로 가능하게 된 것이다. 물론 이러한 연성해석은 원래 일기예보를 위한 기술로 개발되었다. 도시기후에 관련한 연성수치해석은 수많은 수치해석 중에서도 가장 방대하고 정교한 것 중의 하나이다. 그림 6에 도시기후 해석 예의 하나로 관측결과와 수치예측 결과의 비교를 나타낸다. 그림 6에서 볼 수 있듯이 현재의 수치해석의 예측결과는 관측치 즉 실제현상에 거의 근접한 결과를 나타내어 수치해석의 신뢰성을 한눈에 보여주고 있다. 그림 7에는 이러한 수치해석 기술을 이용하여 나타낼 수 있는 해석예의 일부로서 과거와 현재의 도시발달에 따른 기온의 변화를 나타낸다. 특히 이 수치해



(a) 관측결과



(b) 수치예측 결과

그림 6 도시 풍속분포의 관측결과 와 수치예측 결과

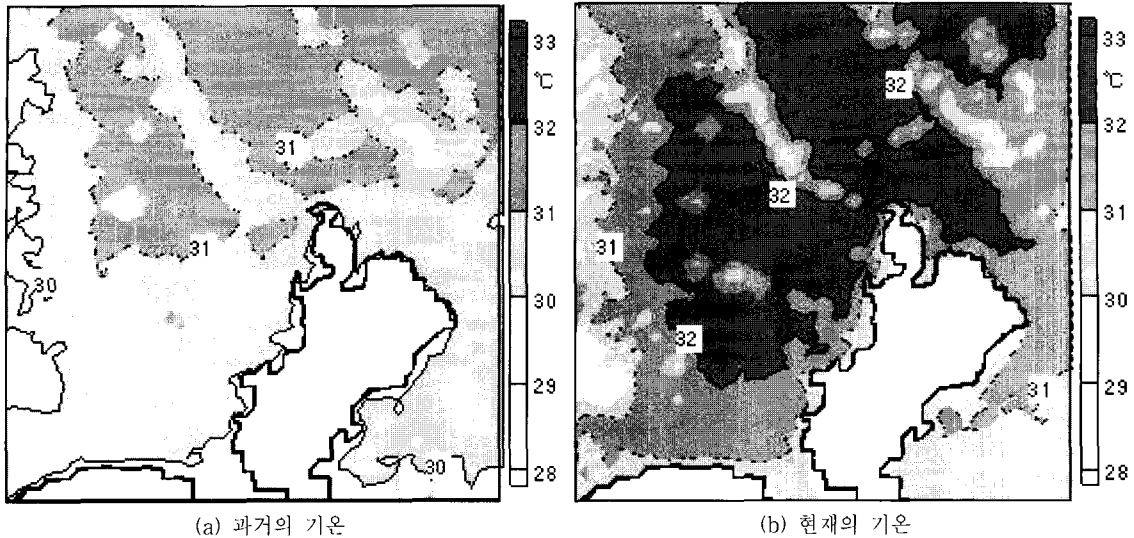


그림 7 과거와 현재의 기온의 변화에 대한 시뮬레이션 결과(일본동경)

석의 결과들을 이용하면, 도시계획 및 방재계획 등을 할 수 있다.

#### 4. CFD를 배경으로한 연성해석의 전망

앞에서 현재 행하여지고 있는 수치해석들의 사례를 나타내었다. 여기까지 기술한 연성시뮬레이션을 실현하기 위해서는 solver나 데이터베이스를 포함하는 많은 보조시스템이 이용된다. 따라서 연성시뮬레이션의 본체가 되는 시스템이 필요하게 된다. 연성시뮬레이션을 설계하는 도구로서 이용할 경우에는 특히 이점이 중요하게 된다. 도시환경 문제와 같이 수많은 요소가 연결된 복잡한 문제의 해석을 행하려고 하면 관련하는 요인의 방대함과 각종요인의 상호작용의 복잡함에 의하여 개별연구자나 기술자가 그 전체를 파악해서 예측 및 평가한다는 것은 아주 곤란하다. 예를 들어 ‘열섬현상을 어떻게 해석할까?’ 라고 하는 정책적 과제에 있어서 적절한 의사결정이 될 제안으로서 많은 요인을 조합한 종합적인 시뮬레이션에 기초하여 관련하는 요인의 각각의 기여율 또는 공헌도를 정량적으로 파악하는 것이 요구된다. 연성시뮬레이션의 대상이 되는 문제는 보통 많은 요소가 관계하는 복잡한 현상이고, 이것을 종합적으로 나타내기 위하여, 1) 검토대상인 현상을 구성하는 해석 soft

(solver), 2) 관련하는 기존의 각종 데이터베이스(입력조건, 검증데이터 등)을 연결하기 위한 기반 뼈대가 되는 soft의 개발이 바람직하다. 이들을 종합해서 여기서는 Platform이라 부르기로 한다. 이 Platform상에서는 대상이 되는 문제에 대응해서 network등을 통하여 필요한 기존의 soft(existing legacy code)나 데이터베이스를 선택, 조합해서 시뮬레이션을 행하는 것으로 종합적인 예측 및 평가가 가능하게 된다.

상기의 점들에 근거하여 연성시뮬레이션을 원활하게 적용하기 위한 Platform은 다음과 같은 기능이 필요하게 된다.

- 1) 검토대상인 각 문제(요소)를 해석하기 위한 ‘solver’
- 2) 대상이되는 문제에 대해서 필요한 ‘데이터베이스’
- 3) solver 및 데이터베이스 사이의 입력과 출력을 위한 ‘interface’
- 4) 문제에 대하여 필요한 요소기술(solver, 데이터베이스)를 적절히 추출하여 조합하고 해석하는 ‘컨설팅기능’

대규모의 Platform이 원활하게 기능을 다하려면 특히 3)의 interface가 중요하게 된다. 최근에는 특히 Interface Definition Language(IDL)이 개발되어 이들을 연결시키는 기능강화가 기대된다.

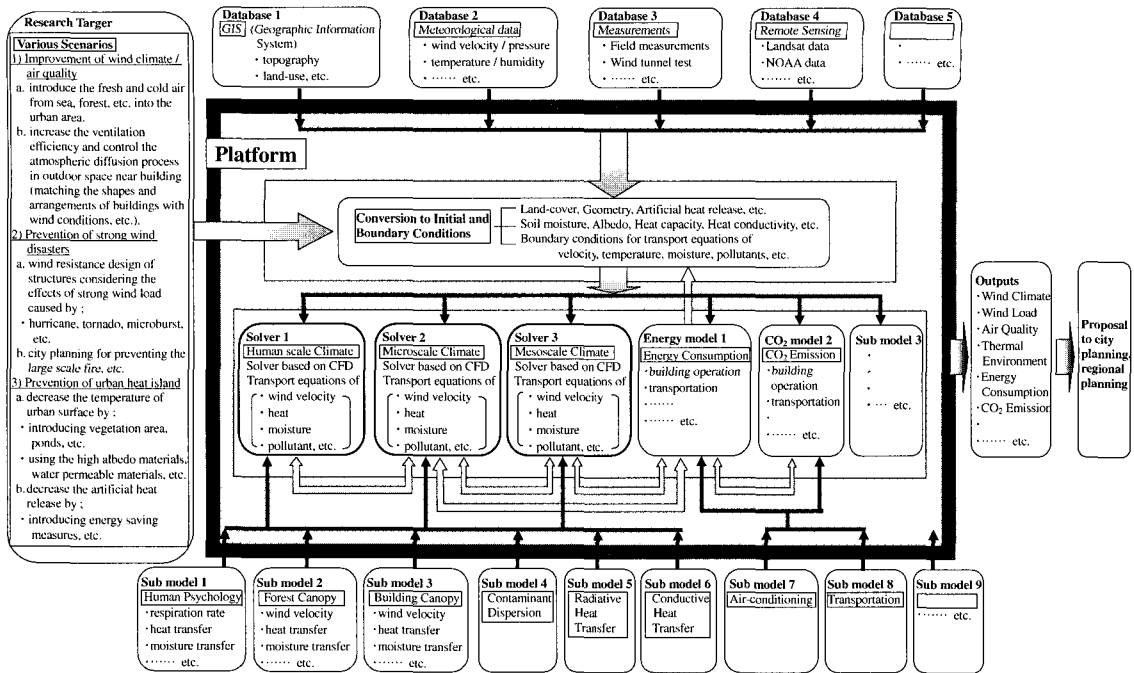


그림 8 열섬현상 해석과 대책 기술의 종합적 평가를 위한 Platform

그림 8에 열섬현상의 해석을 위한 Platform의 prototype을 나타낸다.<sup>6)</sup> 비단 이러한 열섬현상뿐만 아니라 사회적, 경제적, 과학적 기술 요소가 복잡하게 관계되는 커다란 문제의 해결에는 이러한 Platform의 구조가 불가결하다고 할 수 있으며, 향후 이들의 기술은 급속도로 발전하리라 예상된다.

### 5. 결 론

이상, 건축환경설비분야의 CFD 프로그램 및 건축환경설비 분야에서의 실내·외 CFD해석의 결과 사례와 향후의 연성해석의 발전전망을 소개하였다. 이들은 각각의 스케일에 맞도록 계산을 행하고 있다. 그러나 이러한 공간의 척도로부터 탈피하여 외부 공간과 내부 공간의 연결, 또는 환경상호관계의 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 톡톡히 하고 있고, 이러한 연구는 빠른 속도로 발전하는 컴퓨터 기술의 개발과 어우러져 큰 빛을 발

휘할 것으로 생각된다.

### 참 고 문 헌

1. S. Murakami, J. Zeng and T. Hayashi : CFD analysis of wind environment around a human body, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 83, 1999, pp.292~408
2. 村上周 三, 加藤信介, 大柿聡, 尾關義一 : 大規模ガラスホールの温熱空気環境に関する模型実験(その3, 4), 空気調和・衛生工學會學術講演會講演論文集, 1994, pp.857~864
3. S. Murakami : Current status and future trends in computational wind engineering, Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics, 67/68, 1997, pp.3~34
4. S. Murakami, A. Mochida, Y. Hyashi and K. Hibi : Numerical simulation of velocity field and diffusion field in an urban area, Energy and Buildings, 15/16, 1991, pp.245~356
5. 村上周 三, 持田灯, 金相璣, 大岡龍 三, 關東地方における土地利用状況の変化と流れ場, 温度場の關

- 係—Mellor-Yamada型の都市氣候モデルによる  
局地氣象解析—,日本建築學會計畫系論文集,  
D-1, 1997, pp.877~880
6. S. Murakami, A. Mochida, S. Kim, R. Ooka, S.  
Yoshida, H. Kondo, Y. Genichi and A. Shimada,  
: Software platform for the total analysis of  
wind climate and urban heat island, integration  
of CWE simulations from human scale to urban  
scale, Prep. of 3rd International Symposium on  
Computational Wind Engineering, 2000 