

CFdesign v.9: 3D CAD 통합이라는 최신 CFD 경향의 선두 주자

김진권

1. 3D CAD의 변성과 CFD의 최신 경향

1990년대 중반에 PC (Personal Computer) OS (Operating System)의 주류가 텍스트 기반의 MS-DOS에서 GUI (Graphic User Interface) 기반의 MS-Windows로 바뀌고, PC의 성능이 급격히 향상되어 이전의 워크스테이션급 PC들이 엔지니어들에게 보급되기 시작하면서, CAD (Computer Aided Design) 및 CFD (Computational Fluid Dynamics, 전산유체역학) 시장에게 급격한 변화가 일어나기 시작했다.

2000년 전후로 PC의 계산성능 및 그래픽 처리 능력이 급격히 향상되면서, 3D CAD (3-Dimensional CAD, 3차원 CAD) 소프트웨어들이 이전의 Unix 워크스테이션 기반의 텍스트 기반 UI (User Interface)에서, 마우스 클릭의 편리한 사용법을 가진 Windows GUI 기반으로 재개발되기 시작하여, 현재는 Catia v5, UniGraphics NX, Pro/Engineer Wildfire, Solidworks, Solidedge, Inventor 등 거의 모든 3D CAD 프로그램들이 PC에서 원활하게 실행되고 있다.

또, 이전에 워크스테이션에 접근하기 어려웠던 많은 공학도 및 엔지니어들이 큰 부담없이 3D CAD를 접하고, 공부하고, 사용할 수 있어서, 점점 많은 엔지니어들이 제품의 설계, 제작, 생산에 3D CAD를 활용하고 있다. 최근에는 단순한 형상의 제품은 2D CAD를 이용해서 2차원 도면으로 그려지지만, 대부분의 복잡한 형상의 제품개발이 3D CAD를 이용해서 3차원 모델 형태로 작성되고, 이 3차원 모델들이 NC (Numerical Control) 가공이나, 정밀주조, RP (Rapid Prototype) 등의 제작, 생산에 이용되고 있다.

한편, CFD는 1960~70년대부터 많은 연구자들이 자체 컴퓨터 프로그램에 의한 연구를 수행하여오고 있으며, 1980년대 중반에 몇몇 상용 CFD SW (software)들이 등장했다. 이들 상용소프트웨어들은 1990년대 후반까지만 해도 주로 수퍼컴퓨터, 메인프레임이나, 워크스테이션 등 고가의 컴퓨터들에서 실행이 되었다. 당시에는 CFD의 대상이 되는 형상을 제작할 수 있는 다른 도구들이 없었기 때문에, 거의 모든 상용 CFD SW들이 preprocessor로서 자체적인 격자생성 모듈들을 가지고 있었고, 계산격자를 생성하는 것이 곧 해석형상을 생성하는 것과 동일한 작업이었다.

1990년대 중반 이후에 PC의 성능이 급격히 향상되고, 고해상도의 그래픽 처리가 가능해지면서, 3D CAD가 PC용으로 개발되어 시장을 급속히 넓혀가는 한편, 상용 CFD 들도 PC용으로 재개발되었다.

초기에 개발되었던 상용 CFD 코드들은 기존의 pre-processor 모듈로 형상 및 격자를 생성하는 방법을 위주로 하면서, 외부 CAD 프로그램의 데이터를 import 하는 기능을 추가한 반면에, 1990년대 중반에 시장 및 기능이 이미 성숙한 3D CAD에서 형상을 직접 받아들이고, 형상의 손실없이 격자를 자동 생성하는 최초의 CFD 소프트웨어인 CFdesign이 개발되었다. CFdesign의 이러한 기능은 3D CAD 모델링이 필수화 되어가는 최근의 설계, 제작, 생산 경향에 비추어 볼 때, 선견지명 있는 통찰력 있는 방향이었고, 수많은 설계자, CFD 전문가들이 그 유용함을 깨닫고 설계 및 해석에 채택하고 시장을 확대해 가고 있다.

이에 따라 최근에 대부분의 기존 상용 CFD 프로그램들도 이러한 추세를 반영하기 시작했으나, 이들 프로그램은 기존 프로그램 구조의 한계 때문에, 기존 자사 프로그램의 일부 기능을 제한하는 low-end 급으로 취급하는 경향이 있어서, 근본적으로 3D CAD 통합을 염두에

* (주)터보헤드 (TurboHead.com) 대표이사
E-mail : realdog@snu.ac.kr

두고 개발된 CFdesign이 구현하는 유동/열전달 분야의 multi-physics 문제의 신속하고 정확한 해석 제공과는 관점 및 기능에서 차이가 있을 수밖에 없다.

2. CFdesign v.9 소개

위와 같은 최신 CFD 경향을 주도하면서 개발된 CFdesign의 몇 가지 특징을 살펴보면 다음과 같이 요약될 수 있다.

(1) CFdesign은 3D CAD 통합형 CFD SW이다.

CFdesign은 Catia v.5, UG NX, Pro/Engineer Wildfire, Solidworks, Solidedge, Inventor 등 대부분의 3D CAD에서 클릭 한번으로 3차원 형상을 손실없이 CFdesign으로 넘기며, 3D CAD 내에서 정의한 각종 부품, 물성, 이름 등의 캐드정보도 그대로 받아들여, 경계조건, 물성 설정 등 CFD에 바로 사용할 수 있다.

또한, CFdesign의 CFD 결과를 검토하여 3D CAD에서 설계를 수정하면, 자동으로 CFdesign에 반영되어, 경계조건이나 물성 등을 새로 입력할 필요없이, 자동격자 생성과 CFD 계산 수행을 할 수 있어서, 진정한 3D CAD와 양방향의 통합을 구현하고 있다.

기존 상용 CFD SW의 관점에서 보면, CFdesign은 자체 형상 생성 모듈이 없는 절름발이 SW일 수도 있다. 그러나 3D CAD의 사용이 점점 필수적이 되어가고, 대부분의 3D CAD의 사용법이 비슷한 시대에, 엔지니어들이 제각기 다른 CFD SW들의 형상 생성 모듈을 익히느라 시간과 노력을 사용해야 할 필요가 있을까? 그리고, CFdesign은 모든 CAD에서 지원하는 acis (.sat) 나 parasolid (.x_t) 파일로부터 형상, 치수 및 부품명, 물성 등의 정보를 읽어들이기 때문에, CAD 없이도 CFdesign으로 CFD를 수행하는데 문제 없다.

(2) CFdesign은 FEM 기반 CFD SW이다.

대부분의 상용 CFD SW들이 FVM (Finite Volume Method)이라는 보존법칙 (conservation law)을 충실히 구현하도록 상대적으로 물리학적 개념이 강조된 소프트웨어인 반면에, CFdesign은 FEM (Finite Element Method)이라는 미분방정식의 차분 개념을 충실히 그리고 빠르게 구현하는 상대적으로 수학적인 개념에 충실한 유체/열전달 해석 SW이다.

이러한 개념상의 차이 때문에, CFdesign이 채택하는 FEM은 다양한 형상의 격자에 대해서 동일하게 적용될 수 있으며, 수렴과 정확성이 격자의 직교성이나 형상비 등에서 FVM에 비해 덜 영향을 받으므로, 복잡한 형상의 해석에서도 자동격자 생성을 통해서 CFD 격자를 생성하고, 수렴을 빠르게 이룰 수 있다. 이러한 특징이 CFdesign을 3D CAD의 형상을 단순화 없이 자동으로 격자를 생성하고, CFD에 이용하게 할 수 있는 근본 비결이다.

(3) CFdesign은 multi-physics 해석용 툴이다.

CFdesign은 자체적으로 층류/난류, 내부/외부, steady/transient, 비압축성/압축성, 아음속/천음속/초음속 유동에 대한 유동 해석 뿐만 아니라, 전도/자연대류/강제대류/복사 열전달 해석을 복합적으로 동시에 수행할 수 있다.

또, Motion 모듈을 이용하면, 유체 내부에 있는 고체의 선형/회전/orbital/nutation 및 이들의 혼합 운동에 따른 유동의 변화를 해석할 수 있고, 유동저항과 선형/비틀림 스프링 저항의 균형에 의한 고체위치의 변화를 해석할 수 있다. 이러한 기능을 이용하면, 유체기계 내부의 유동을 해석함으로써 성능을 예측할 수 있고, 밸브 내부의 유동을 해석하여, 밸브개도와 유량에 따른 밸브 압력 손실 및 유량에 따른 체크밸브의 개도 등을 예측할 수 있다.

또 CFdesign은 FEM 기법을 이용하기 때문에 CFD 해석결과를 Nastran, Abaqus, Ansys, Pro/Mechanica, I-DEAS, Cosmos, FEMAP, 3G 와 같은 거의 모든 구조 해석용 FEA (Finite Element Analysis) SW의 경계조건으로 mapping하는 아주 간단한 방법을 제공한다. 따라서 CFdesign 해석결과를 구조해석과 연동하여 진정한 유동-구조 연성해석을 할 수 있다.

(4) CFdesign은 다양한 문제에 대해서 정밀도와 신속성이 검증되었다.

구조해석 등에서는 압도적으로 사용되고 있는 FEM이, CFD 개발 초창기에 convection 및 conservation 등의 처리 때문에 정밀도에 문제가 있는 것으로 알려졌었으나, FVM에서 개발되었던 다양한 CFD 기법이 FEM CFD에도 적용됨으로써, 유체, 열전달 해석의 정밀도가 향상되어 왔다.

CFdesign은 층류/난류 유동, 정상/과도 유동, 전도/자연대류/강제대류/복사 열전달, 내부/외부 유동, 비압축성/압축성 유동, 아음속/천음속/초음속 유동, 뉴턴/비뉴턴 유체유동 등 다양한 문제들에 대해서, 검증이 이루어졌으며, 이론 및 실험적으로 알려진 해와 비교했을 때, 표 1에 나타난 바와 같이 대부분 10% 이내의 정밀도를 가지는 것으로 검증되었다.

(5) CFdesign은 CFD를 하루 만에 가능케 한다.

보통의 상용 CFD SW를 사용하는 경우, 실질적인 문제에 대해서 격자 생성이 보통 수일이 걸리는 반면에, 3D CAD 모델이 준비되어 있을 때, CFdesign으로 형상을 받아들이고, 경계조건 및 물성을 입력하고, 계산격자를 생성하고 해석을 준비하는데, 보통 15분 이내, 빠르면 5분, 복잡한 모델도 1시간 이내에 가능하다.

따라서 CFdesign을 CFD SW로 사용하면, 3D CAD 모델이 준비되어 있을 때, 실질적으로 하루 안에 CFD 결과를 얻고, 다양한 후처리로 결과를 검토한 후에, 각종 분석 그래프 동영상까지를 포함한 보고서 및 프레젠테이션 자료까지를 만들 수 있다.

실제 문제의 경우에는 여러가지 경우에 대한 CFD 결과를 비교, 검토할 필요가 있기 때문에, 1대의 PC로 작업한다면 경우의 수 배 만큼 시간이 늘어나겠지만, 여타 SW를 사용하는 경우에도 같은 비율로 늘어나므로 수주 걸릴 작업이 수일로 단축되는 효과가 있다.

3D CAD 모델이 없는 경우에는 CFdesign으로 CFD를 하기 위해서 3D CAD 형상을 만드는데, 타 CFD SW에서 격자 생성하는 정도의 시간이 걸릴 수 있다. 그러나 이 경우에도 같은 시간에 3D CAD 모델까지 가질 수 있다는 장점이 있고, 이 때 제작된 3D CAD 모델은 설계 검토 및 제작 과정에서 필수적이거나, 제작 과정을 획기적으로 단축시키는데 사용될 수 있고, 여러 가지 프레젠테이션에도 효과적으로 활용될 수 있다.

(6) CFdesign은 강력한 후처리 기능을 제공한다.

CFdesign은 반복계산을 시작하는 순간부터 강력한 후처리 기능을 모두 실시간으로 사용할 수 있다.

CFdesign이 제공하는 후처리 기능은 3D CAD 수준의 강력한 줌/이동/회전, 면/볼륨 선택/제거에 의한 내부형상 보기, 사용이 간단하고도 강력한 평면/곡면의 단면에서의 격자/컨투어/벡터 보기, 각종 변수에 대한 등가

Table 1 CFdesign 검증 예제들 및 정밀도

no.	Verification problem	Verification variable	error [%]
1	Laminar axisymmetric Pipe Flow	dP [kPa]	1.1
2	Turbulent axisymmetric Pipe Flow	dP [kPa]	4.3
3	Turbulent Pipe Flow - 3D	dP [kPa]	2.5
4	Starting Flow in a Circular Pipe	uMax at t=0.05	3.9
5	Drag Force on a Cylinder	Cd at Re=10e5	2.0
6	Turbulent Flow Over NACA0012	Cp curve	fits well
7	Pressure Drop Through an Orifice	Cd at Re=10e5	8.9
8	Laminar Flow Over a Backward-Facing Step	reattachment distance	3.3
9	Turbulent Flow Over a Backward-Facing Step	reattachment distance	3.0
10	Turbulent Flow Over Backward-Facing Step - 3D	reattachment distance	6.3
11	Turbulent Swirling Flow	W/r slope	0.05
12	Distributed Resistance Models	dP	1.9
13	3D Laboratory Pump Flow	Flow Rate[gpm]	9.86
14	Compressible Flow in a Converging-Diverging Nozzle	exit Ma number	2.4
15	Non-Newtonian Flow Around an Array Of Cylinders	dP [Pa]	3.0
16	Shocktube Transient Flow	T[K]	7.4
17	Transient Conduction Heat Transfer	T[C]	0.21
18	2D Axisymmetric Joule Heating	T[F] Q[Btu/hr-in]	0.06 0.07
19	3D Joule Heating	T[F] Q[Btu/hr-in]	0.07 0.10
20	Laminar Flow Over Heated Cylinder	Nusselt number	9.3
21	Turbulent Flow Over Heated Cylinder	Nusselt number	24.7
22	2D Water Flow Over a Heated Cylinder	Nusselt number	9.3
23	Turbulent Flow with a Heated Jet Injection Stream	Umax/Uinf at x/D=3.06	4.83
24	3D Natural Convection	heat transfer [Btu/hr]	11
25	3D Radiation Heat Transfer	heat transfer [Watt]	1.2
26	laminar thermal-driven cavity	max vel. position	0.58 2.2

곡면에서의 물리량 보기, 형상 회전 기능과 결합된 강력한 z-clip 및 crinkle cut 기능, 대칭면을 함께 보여주는 mirroring 기능, 입자 추적 기능 등이 있다.

또한 특정 단면이나 벽에서 각종 물리량의 분포를 xy plot으로 보고 Excel 등으로 export 할 수 있으며, 각종 물리량의 통계값을 볼 수도 있으며, 전체 노드에서의 물리량을 데이터 파일로 받을 수 있다. 강력한 CFdesign 후처리기능 때문에 불필요하겠지만, 사용자가 익숙한 다양한 후처리 전용 프로그램의 입력파일로 export 할 수 있다.

CFdesign 후처리 기능들은 강력한 것은 줌/이동/회전, 면/볼륨 선택/제거, 동영상 기능을 가진 VTF 포맷으로 제작하여 배포할 수 있다. 이 포맷은 독자적인 프로그램이나 ppt 파일에 포함되어 현란한 프레젠테이션에 사용할 수 있고, doc 파일에 포함되어 동영상 보고서나, 프레젠테이션 파일을 만들어 배포할 수 있다. 또, CFdesign의 project 기능을 사용하면, 다양한 조건의 해석 결과를 한 파일에서 동영상 형태로 결과를 비교하고, 프p제이션하고, 보고서에 포함할 수 있다.

(7) CFdesign은 시장에서 가장 빠른 성장률을 보이는 CFD SW이다.

3D CAD의 확산과 더불어 CFdesign의 정확성, 편리성 때문에, 수많은 설계자, 해석자들이 CFdesign을 채택하고 있다. CFdesign은 현재 시장에서 가장 빠른 성장률을 보이는 CFD SW이고, CFdesign을 제작, 판매하는 미국 BRNI (Blue Ridge Numerics Inc.)사는 수년째 미국에서 가장 빠른 성장률을 보이는 500대 기업에 선정되고 있다.

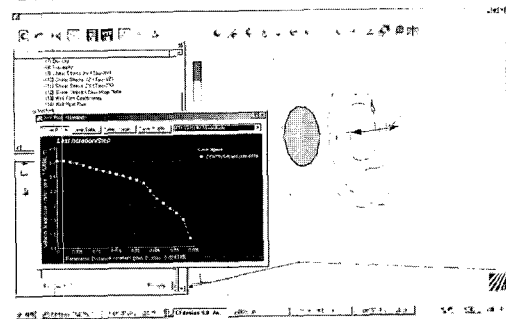
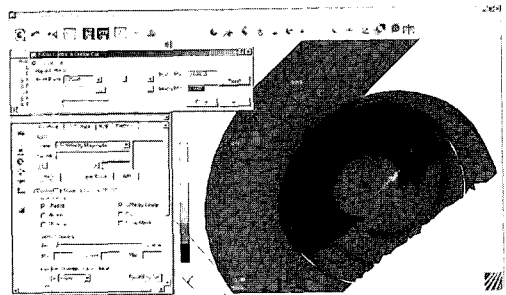
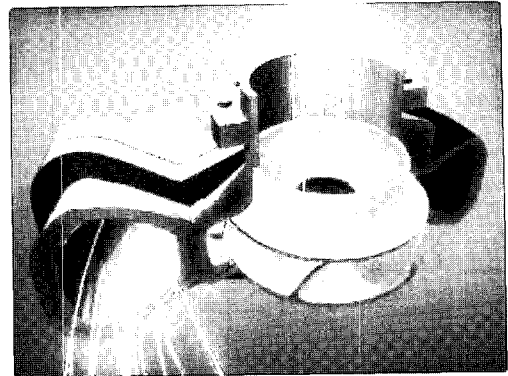
유체공학 분야에서, 설계부터 해석, 시험, 제작 등 토털솔루션을 제공하고 있는 (주)터보헤드도 CFdesign의 이러한 장점 및 가능성을 간파하고, CFdesign으로 CFD SW 판매 및 컨설팅 시장에 본격적으로 진출하기로 결정하였다.

3. CFdesign의 적용 분야

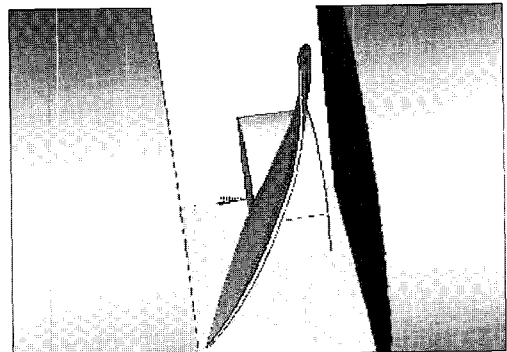
본 원고가 유체기계공업확회를 대상으로 한 것이므로, CFdesign의 주요 적용분야를 유체기계분야를 중심으로 간단히 설명한다.

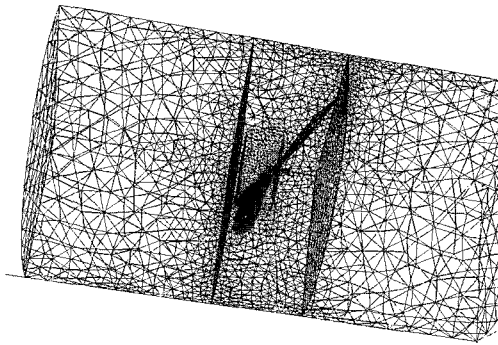
(1) 유체기계의 유동해석 및 성능예측

i. 원심 펌프/웬의 유동해석 및 성능예측

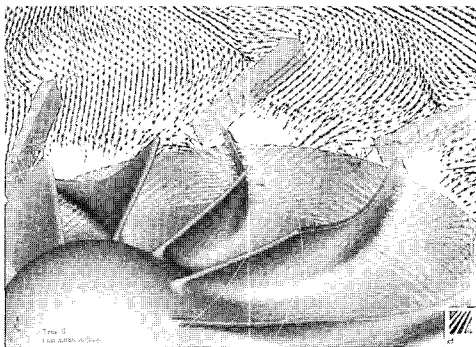
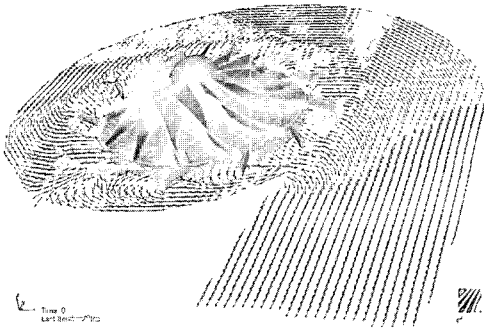


ii. 축류 펌프/웬의 유동해석 및 성능예측

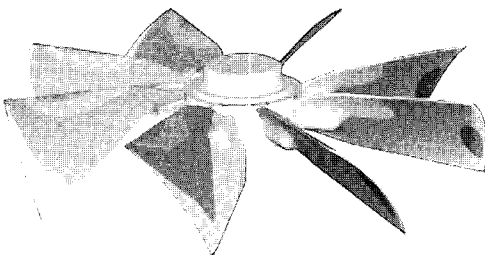




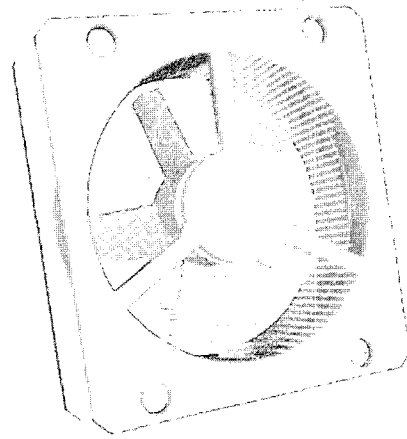
iii. 원심압축기 유동해석 및 성능예측



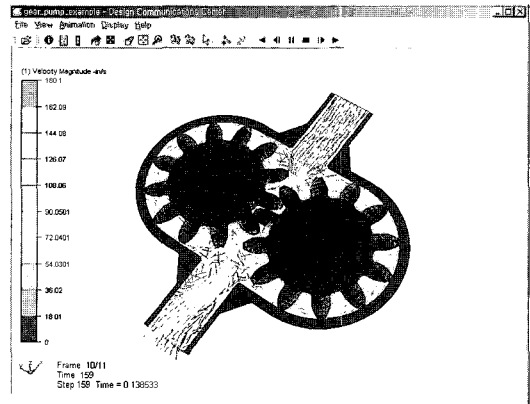
iv. 자동차용 라디에이터 팬 유동 및 성능해석



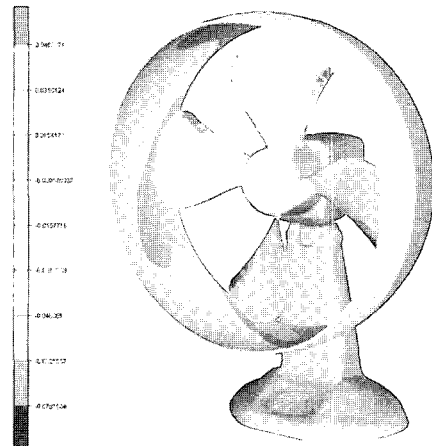
v. PC 쿨링팬 유동 및 성능해석



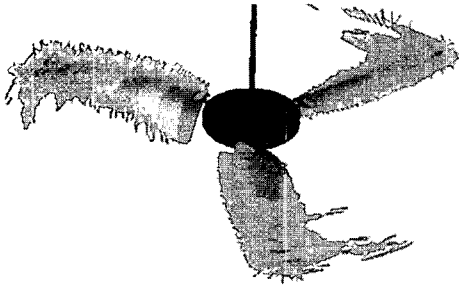
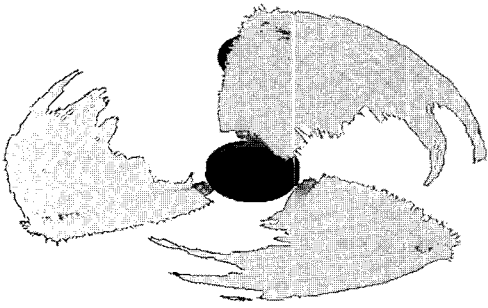
vi. 기어펌프의 유동해석 및 성능예측



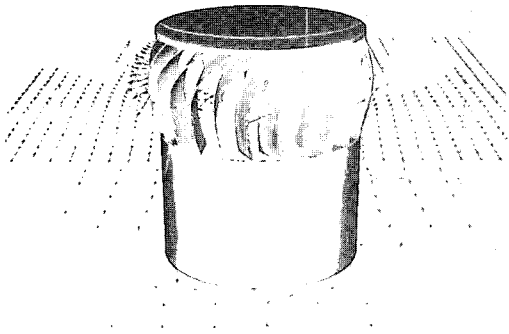
vii. 가정용 선풍기의 유동해석 및 성능예측



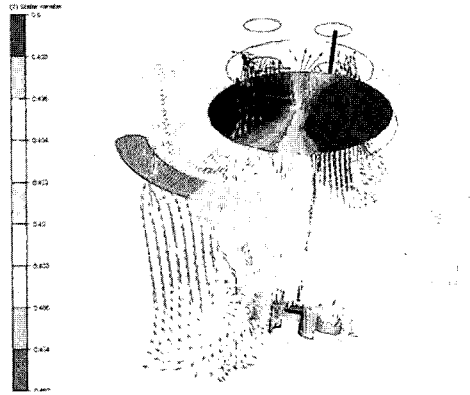
viii. 천정용 순환팬 유동 및 성능해석



ix. 옥상 환기팬의 유동 및 성능해석

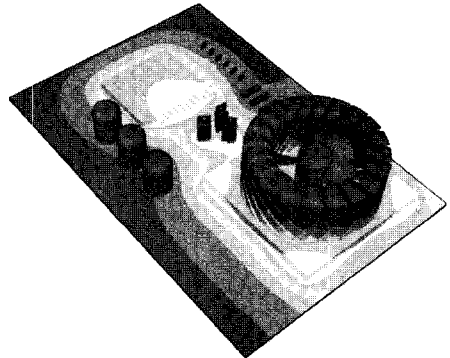


x. 믹서 및 교반기의 유동 및 성능해석

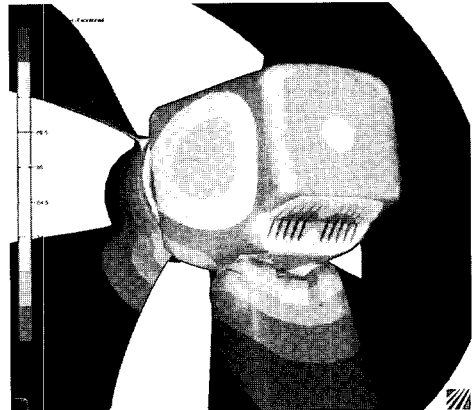


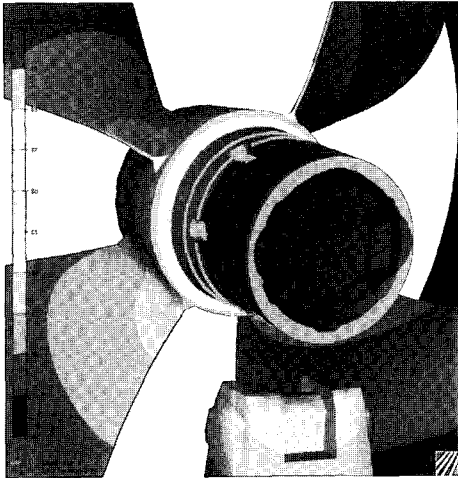
(2) 유체기계 유동해석을 포함하는 시스템 해석

i. CPU 쿨링팬 유동 및 메인보드 냉각 해석

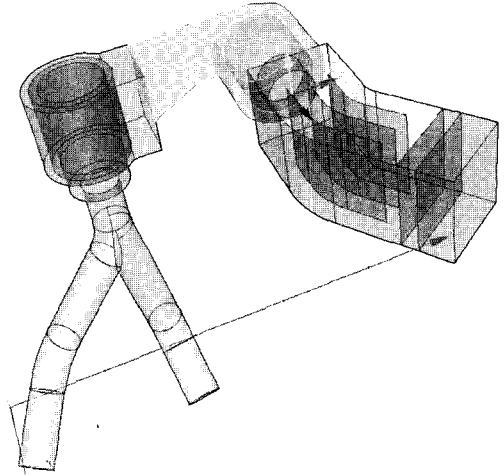


ii. 선풍기 모터의 열전달, 냉각 성능 해석



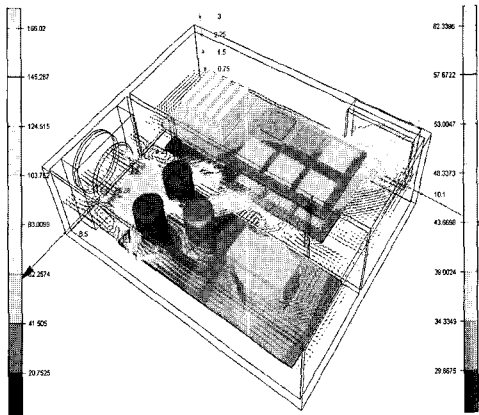


ii. 송풍기 모델링을 사용한 HVAC 시스템 유동 및 성능 해석

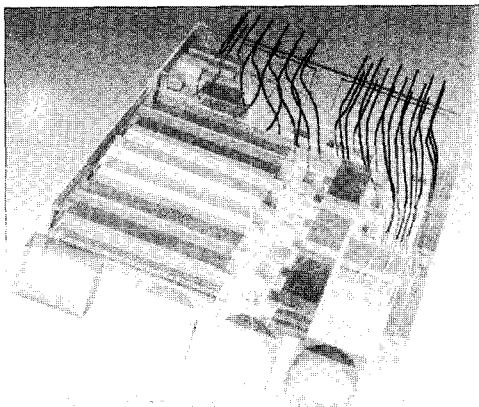
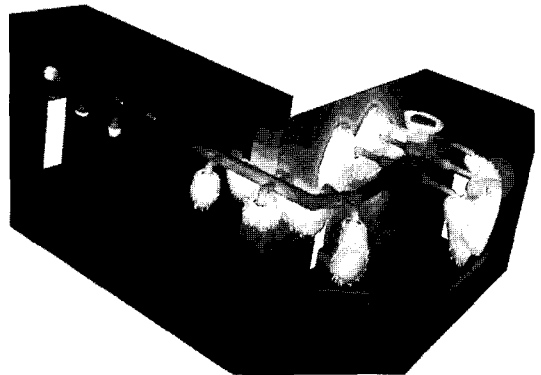


(3) 유체기계 유동 모델링을 포함하는 시스템의 유동 및 냉각 성능해석

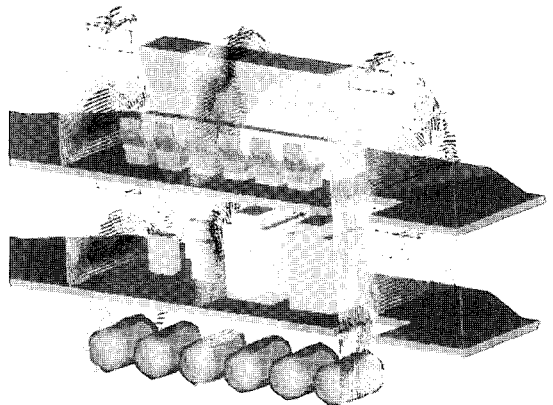
i. 냉각팬 모델링을 이용한 전자장비 패키지 냉각 유동해석 및 냉각성능 예측



iii. 실내 환기용 덕트의 유동 및 성능 해석

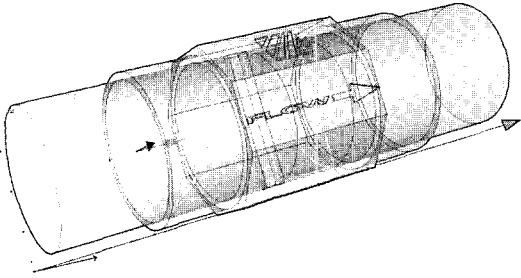


iv. 여객기 내부의 공기조화 유동 및 열전달 해석

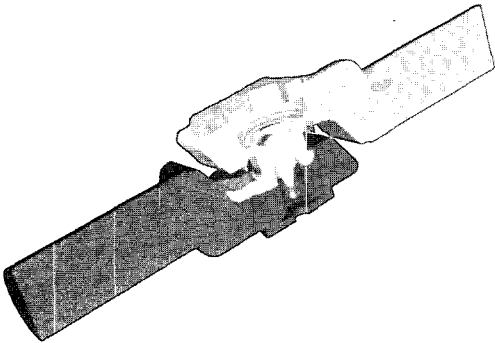


(4) 밸브 내부의 유동해석 및 성능예측

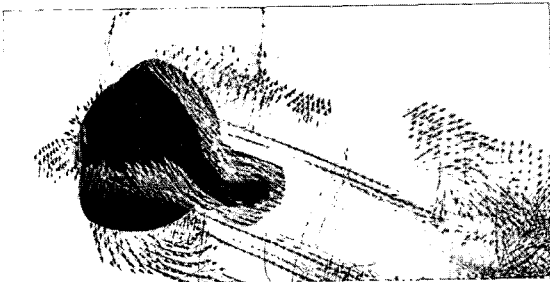
i. 회전식 체크밸브의 유동해석 및 성능예측



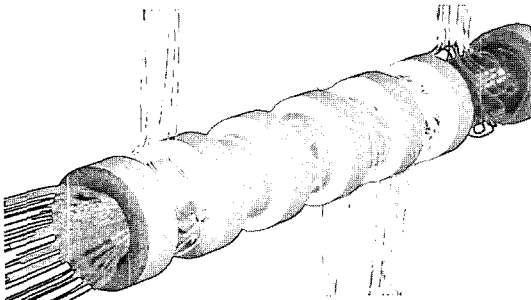
ii. 글로우브 밸브 내부의 유동해석 및 성능예측



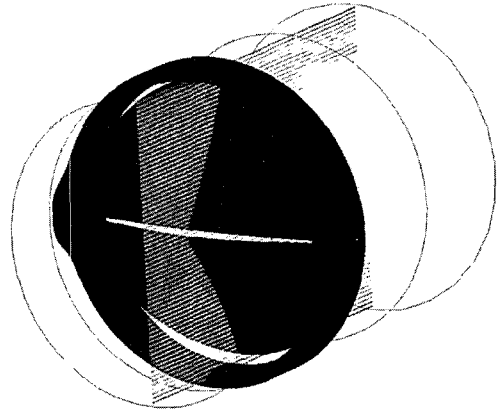
iii. 유동과 밸브스프링에 의한 균형해석



iv. 유압밸브 내부의 유동 및 힘밸런스 해석

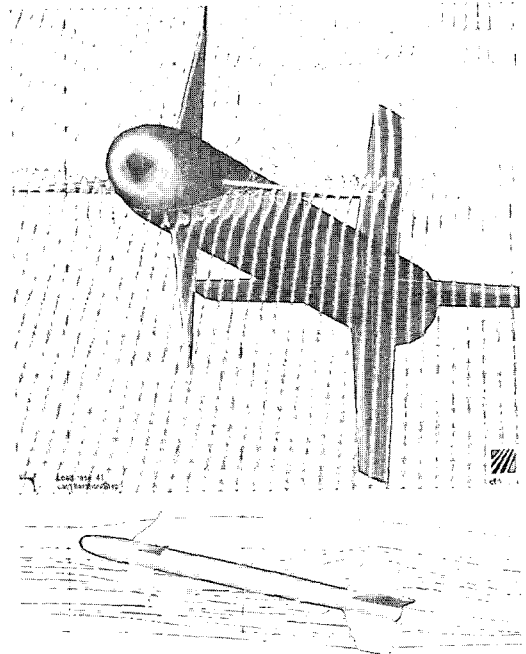


v. 심장판막 체크밸브의 유동해석 및 성능예측



(5) 유체기계 이외의 분야에서의 CFD 적용 예

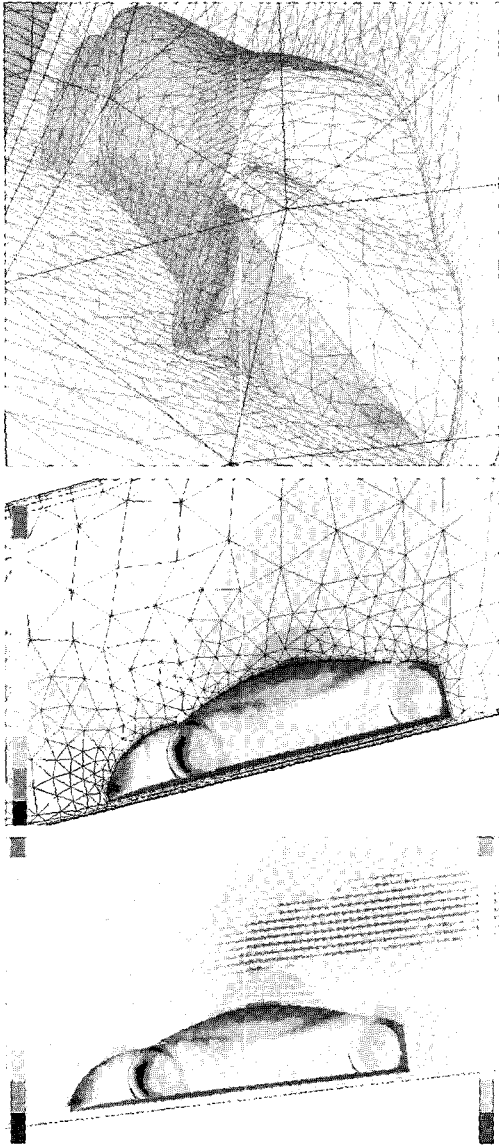
i. 비행체의 유동해석 및 안정성 분석



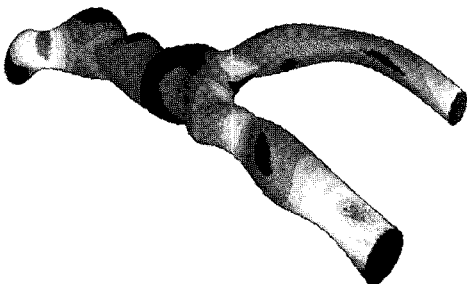
ii. 자동차 디스크 브레이크 냉각 해석



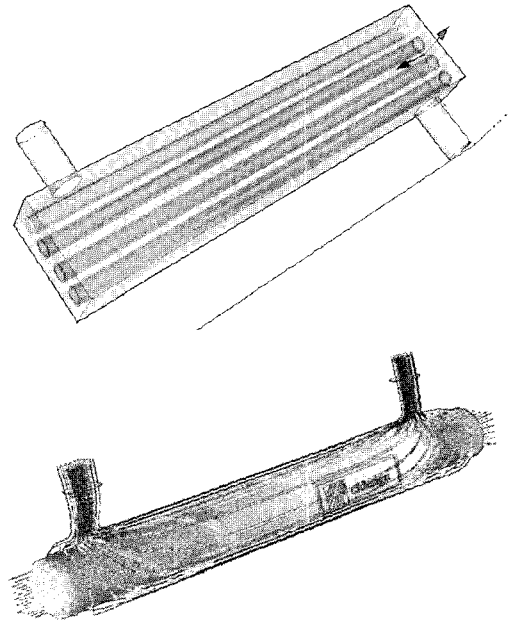
iii. 자동차 외부 유동 해석 및 공기저항 예측



iv. 혈관 내의 혈류 유동해석



v. 열교환기 내부의 열전달 유동 해석 및 성능예측



vi. 공기혼합기의 온기/냉기 혼합 성능해석, 설계



4. TurboHead.com의 차별화된 기술지원

CFD 해석결과는 물리적인 현상을 충실히 이해하는 합리적인 공학적 판단이 뒷받침되어야 설계 채택이나 수정에 반영할 수 있다는 점에서, SW의 사용법보다는 해석결과의 판단이 훨씬 중요하며, 합리적인 공학적 판단이 뒷받침되지 않는 CFD 결과는 백해무익할 수 있다.

이러한 점에서 간단한 SW 사용법 교육 후에 실제 설계에서 실력을 발휘하는 보통의 3D CAD 사용자들이 CFD SW를 제대로 활용하는 데는 한계가 있고, 자칫하면 CFdesign의 간단한 사용법과 막강한 후처리 기능으로 의미없이 현란한 보고서/발표자료 작성용 툴로 인식될 수 있다.

현재까지 3D CAD와의 통합을 강조하는 CFdesign의 주된 마케팅 대상은 3D CAD 설계자들이었다. 앞서 제시한 CFdesign의 다양한 유동, 열전달 해석에서의 신뢰성에도 불구하고, 3D CAD 설계자들의 편리한 사용을 지나치게 강조하는 마케팅 때문에, 유체전문가들의 신뢰를 잃을 수 있다.

이러한 관점에서 유체공학 분야에서 설계, 해석, 시험, 시스템 제작 등 토털솔루션을 제공하는 (주)터보헤드가 유체전문가들에게 유체전문가적인 관점에서 수행하는 CFdesign 판매 / 기술지원 및 CFD 컨설팅은 CAD 시장 차원에서 접근하는 타 채널과 차별화된다. (주)터보헤드에서는 CFdesign을 지원하기 위한 각종 3D CAD SW 판매 / 기술지원 및 모델링 컨설팅도 경쟁력 있는 가격에 지원한다.

참고문헌

- [1] CFdesign v.9 User Manual.
- [2] CFdesign v.9 Example Manual.
- [3] CFdesign v.9 Technical Reference.
- [4] www.CFdesign.com website.