

STAR-CD

박 병 수*

1. CD adapco Korea

CD adapco Korea는 세계적으로 유명한 전산유체 역학 (CFD, Computational Fluid Dynamics) 소프트웨어인 STAR-CD의 개발사인 영국의 Computational Dynamics사와 STAR-CD의 공동개발 및 컨설팅 회사인 미국 adapco사가 합쳐진 CD adapco Group의 한국 현지법인으로서 국내 CFD 사용자들에게 STAR-CD의 판매 및 컨설팅을 수행하는 업체이다.

STAR-CD는 전세계적으로 약 5,000 카피 이상이 판매되어 사용 중에 있으며, 이중 약 95%가 산업체의 연구소 등에서 제품 개발에 사용되고 있다. 일본의 경우 산업체 상용 CFD S/W 시장의 약 65%를 차지하는 등 비약적인 성장을 계속하고 있다. 이러한 STAR-CD를 사용하는 고객들에게 지속적인 기술지원을 수행하고 향상된 기능과 서비스를 제공하기 위해 약 300명의 CFD 전문 엔지니어들이 영국 및 미국과 일본 등에서 STAR-CD의 개발과 지원 및 컨설팅 서비스에 관련된 업무에 종사하고 있다.

CFD란 유체의 유동 현상을 컴퓨터를 사용하여 해석하는 학문 분야이며, 이는 최근 자동차, 전자, 항공, 항공기, 조선, 환경, 건설 등 여러 산업 분야에서 적용되고 있다. 예를 들면, 자동차 분야에서는 자동차의 저저항 스타일링, 연소실 최적 설계 등 고성능 고효율화를 위하여 필수적이므로, 선진 자동차 업계에서는 거의 대부분 이러한 열·유체 유동 시뮬레이션을 위해 STAR-CD를 사용하고 있다. 최근 들어 STAR-CD의 격자제작 우수성과 프로그램 알고리즘의 최적성능 및 각종 해석 모델들의 기능 보강 등으로 인해 국내 제조 및 관련 업체의 연구 개발 부서, 정부출연 연구기관, 대학의 각종 연구실 등에서 STAR-CD를 사용하는 추세가 증가하고 있다. 당사에서는 이러한 STAR-

CD 프로그램의 판매뿐 아니라 교육 및 기술지원 및 고객 요구에 의한 프로그램 커스터마이징과 CFD 해석 프로젝트를 통한 기술용역 사업을 활발히 진행하고 있다.

CD adapco Korea의 직원들은 독자 여러분들이 STAR-CD를 이용하여 제품설계에 필요한 결과를 얻고, 시제품의 제작 없이도 제품의 기능 및 설계의 안정성 등을 평가 할 수 있도록 현장 위주의 기술지원과 응용 교육 등을 통해 제품의 품질경쟁력 강화 및 생산성 향상으로 우리나라 기반기술 및 응용산업 전분야의 고급기술 발전에 일익을 담당하고자 한다.

2. CFD (Computational Fluid Dynamics)

CFD란 Computational Fluid Dynamics의 약자로서 이는 컴퓨터를 이용하여 유체유동이나 열 전달들과 같은 물리적 (혹은 비물리적)현상들을 수학적으로 모델링하는 학문을 말한다.

유체유동은 공업이나 생산적인 모든 분야에 해당되며 특히 다양한 기계장치들의 생산과정이나 구동상태에서도 흔히 볼 수 있다. 예를 들어, 자동차 부문은 냉각, 연소, 환기, 공기역학과 같이 각기 다른 유체유동과 열 전달 메카니즘을 이해하는 것은 그 자체의 작동성능을 개선할 수 있다는 점은 물론이고, 대기 상태에 대한 악영향을 줄이는데도 매우 중요하다.

실제로 지금까지 제조 산업 현장에서 겪는 문제는 설계부서의 해석에 대한 요구와 CFD 해석 부서의 결과가 서로 일치하지 않아서 생기는 것이었다. 즉, 설계 부서에서는 약 1~2주 안에 해석 결과를 근거로 하여 설계변경을 할 것인지, 아니면 기존 설계 안을 가지고 금형 제작에 들어갈 것인지를 결정해야 하는데 이러한 이유에서 CFD 해석을 요청하는 경우 해석 담당부서의 해석소요 기간을 통상 1~2개월로 제시함으로써 양 부서간에 의견이 조율 되지 않고, 상호 불협화음이 발생하는 것이 우리의 현실이었다. 특히 CFD해석 과정 중 약 70%정도를 차지하는 격자 제작 기간이 길어서 생

* CD adapco Korea, 차장
E-mail : byungsoo.park@kr.cd-adapco.com

긴 문제였다. STAR-CD는 산업 현장의 실제 어려운 점을 파악하여 CAD 데이터의 인터페이스를 포함한 빠른 시간 내 해석에 필요한 격자를 제작하고, 짧은 시간 내에 CFD 해석을 통해 설계부서와 CFD 해석 부서가 원활하게 업무를 추진할 수 있도록 하는 신 개념의 CFD 해석기법을 제시하고 있다.

3. STAR-CD 소개

3.1 STAR-CD 란

STAR-CD는 영국 Imperial College의 David Gosman 교수 연구 그룹에 의해 개발되어 1985년경에 상용화되었다. 오늘날에는 가장 강력한 성능을 자랑하는 범용 CFD 소프트웨어로 미국, 영국, 독일, 일본, 프랑스 등 선진국에서 널리 사용되고 있는 열 유체 소프트웨어이다.

3.2 STAR-CD 의 특징

최근 CFD기술의 발달로 인해 환경분야를 비롯한 제조산업 분야에서 주로 발생하는 열전달, 물질전달, 화학반응 등을 포함한 유체유동 현상에 대한 시뮬레이션의 요구가 한층 강화되어 CAE기술 중 중요한 분야의 하나로 인식되고 있다. STAR-CD는 제조업체의 설계지원을 위한 CAE분야 중 열·유체 해석의 virtual prototyping tool이다. STAR-CD의 특징은 아래와 같다.

3.2.1 신속한 문제해결 (fast environment)

STAR-CD는 CFD 해석을 위한 격자 제작과 계산된 결과값의 출력을 담당하는 전/후처리기능(pre/post-processing)의 pro-STAR와 해석을 담당하는 CFD solver인 STAR로 구성되어 있다. STAR-CD는 복잡한 형상을 갖는 물체를 빠르게 모델링 할 수 있도록 세계 최초로 multi block 방식의 unstructured 격자계를 채택한 상용 CFD 프로그램이다. 또한 유동의 급격한 변화 또는 왜곡이 심한 곳도 국부적으로 조밀한 격자를 만들 수 있고, 사용자의 편의에 의해 multi block으로 만들어진 격자를 격자점이 일치하지 않더라도 자동으로 계산을 수행하는 완전 불연속 격자(arbitrary interface) 기능 등이 지원되어 빈번한 설계 변경 시 빠른 시간 내 모델링이 가능하다.

3.2.2 CAD와 Data Interface

STAR-CD는 대부분의 상용 CAD/CAE 소프트웨어 등과 Interface가 용이하다. CAD에서 만들어진 제품의 형상은 IGES, VDA, STL format 등 pro-STAR translator를 통해 data의 direct interface가 가능하며, CATIA4, CATIA5, Unigraphics, IDEAS, SolidWorks, Pro/ENGINEER 등의 3D CAD data 형상을 바로 불러들일 수 있다. 이외에도 구조 해석에서 주로 사용하는 NASTRAN, ANSYS, PATRAN, IDEAS등에서 만들어진 격자를 그대로 사용할 수 있는 기능이 있다. 최근에는 자동으로 격자를 생성한 후 이를 받아들이며 빠른 시간 내 모델링을 가능케 해주는 pro-am에서 interface 기능도 지원한다. 최근엔 STAR-CD가 CAD tools (Pro/ENGINEER, SolidWorks, Unigraphics NX, CATIA5)과 통합되어 제품의 모델링, 격자생성, post-processing 이 CAD 환경 내에서 이루어지며, 해석의 모든 과정이 자동으로 처리되어 초보자들도 쉽게 사용할 수 있다. STAR-Design, STAR-Pro/E, STAR-NX, STAR-Works, STAR-CAT5 등이 이에 해당하는 제품들이다.

3.2.3 최고의 memory 성능

STAR-CD는 기존의 상용 CFD 소프트웨어와 비교하여 볼 때, 가장 뛰어난 memory performance를 나타내고 있다. 즉 약 100,000개의 격자를 구성하여 해석을 수행하기 위해서는 약 39MB의 memory만으로도 충분히 가능하다. 이는 타 상용 CFD S/W에 비해 평균 약 2.5배 이상의 뛰어난 메모리 성능을 나타낸다. 이러한 특성은 결국 동일한 메모리를 사용할 경우 약 2배 이상의 계산시간이 빠르다는 것을 간접적으로 암시하는 것이다.

3.2.4 부문별 자동격자 제작 틀 지원

최근에는 제조산업 중 특정 전문 분야의 CFD 해석에 소요되는 시간을 단축하기 위하여, 주어진 형상에 대해 자동으로 격자를 만들어 주는 자동으로 격자를 만들어 주는 자동격자 제작용 S/W가 개발되어 제공되고 있다. 해당되는 제품은 아래와 같다.

- es-turbo : turbo산업체에 적합한 내부 공기역학 유동을 위한 격자생성 유동
- es-fsi : 유체-구조 상호작용에 따른 문제를 해석하기 위한 모듈

- es-uhood : underhood 격자를 자동으로 생성하는 모듈
- es-ice : 내연 기관 전용 격자 생성모듈
- es-aero : 자동차 등의 외부 유동격자를 생성하는 모듈
- es-aftertreatment : 자동차 배기계 격자를 생성하기 위한 모듈
- es-pass : 자동차 승객실 해석을 위한 모듈
- es-spraydry : spraydryer 격자 생성을 위한 모듈
- es-pemfc : proton exchange membrane fuel cells (pemfc) 해석을 위한 모듈

이러한 전용 자동격자 툴을 사용할 경우 빠른 모델링과 함께 신속한 해석 결과를 제공함으로써 제품 설계의 생산성 향상에도 제 몫을 하고 있다. 특히 내연 기관 전용 자동격자 제작 툴인 es-ice의 경우 통상 피스톤과 흡·배기 밸브의 움직임을 고려하여 격자를 제작하고, 해석 시 평균 3개월 정도 소요되던 CFD 해석기간을 격자제작 2일, 해석에 3~5일 정도로 단축하여 평균 1주일에 CFD해석을 완료할 수 있도록 한다.

이 외에도 엔진, 흡·배기 매니폴드, 촉매변화장치, 소음기 등의 진동, 소음, 성능해석 등을 시뮬레이션 할 수 있는 GT-POWER, 공기·냉난방 기기업체에서 주로 사용할 수 있는 냉방 시스템 성능 시뮬레이션용 프로그램인 GT-COOL 등과의 인터페이스 기능을 통해 1-D & 3-D coupling 해석을 수행할 수 있다. 이는 향후 엔진개발 및 흡·배기나 공조 시스템 관련 업체 등에서 사용할 경우 강력한 엔지니어링 해석기능을 제공함으로써 신제품 개발 시간과 비용을 단축시킨다.

4. STAR-CD applications

4.1 유체기계분야 (turbomachinery)

STAR-CD는 초기 기본설계 단계부터 최적화를 위한 parametric 연구를 통한 전체 설계과정까지 열·유체 부분의 모든 과정을 시뮬레이션 할 수 있다. STAR-CD만의 향상된 기술을 가지고 터보기계의 시뮬레이션 값을 얻을 수 있다. 더 이상 물리적인 실험에만 의존할 이유가 없으며, 불충분한 실험값으로 고비용의 모형을 제작하는 번거로움을 해결할 수 있다.

STAR-CD에서 얻은 데이터 값은 터빈을 포함하여 연소, blade 냉각과 열 교환, 유체변속기, 팬, 펌프, 노즐, 덕트 등 터보기계 제품설계자에게 도움을 준다.

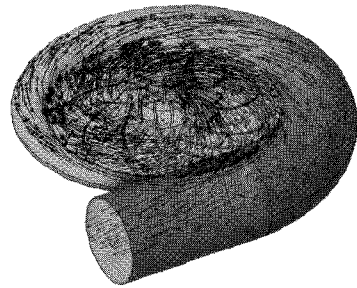


Fig. 1 Velocity vectors for turbo-machinery

4.1.1 Compressor and fans

STAR-CD는 안정 또는 불안정한 axial과 원심압축기 (centrifugal compressor) 성능을 시뮬레이션하여 문제점을 발견하고 해결할 수 있으며, tip/casing과 같은 복잡한 형상을 가진 부분을 쉽게 생성할 수 있다. 정상상태에서의 압축기나 fan의 multi-stage 성능은 STAR-CD가 가지고 있는 MRF 기능을 사용하여 "mixing plane" 혹은 "frozen rotor"를 쉽게 모델링할 수 있다. STAR-CD는 설계자가 어렵다고 생각하는 flutter boundary 평가, surge margin, 입구부분의 비틀림 정도를 예측하여 성능을 증대시킬 수 있다.

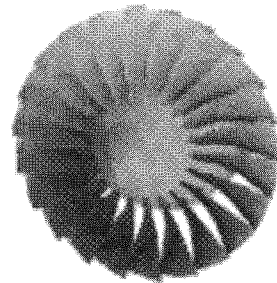


Fig. 2 Model for axial guide vane

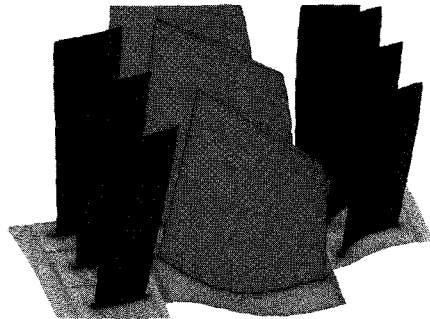


Fig. 3 Grid for stator-rotor interaction problem

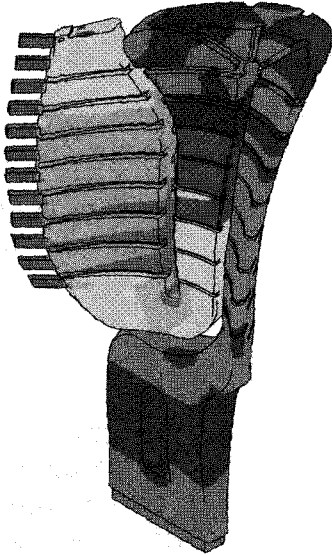


Fig. 4 Blade cooling with complete geometries handled

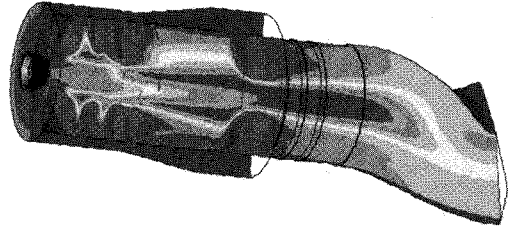


Fig. 6 Gas turbine combustor transition piece assembly

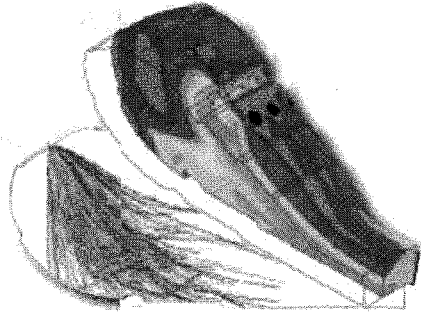


Fig. 7 Combustor

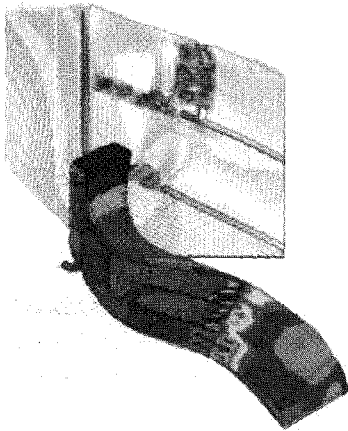


Fig. 5 Blade

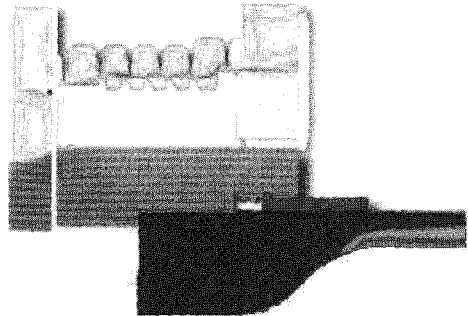


Fig. 8 Tip & casing treatments (1)

4.1.2 Blade cooling

터보기계 설계자에게 있어서 터빈 blade 온도와 열 교환 계수를 정확하게 예측하는 능력은 터보기계의 성능을 증대시키는 중요한 요인이다. STAR-CD는 gas와 solid온도를 동시에 계산 할 수 있다. STAR-CD를 사용한 터보기계 엔지니어는 몇 가지 필름냉각 배열의 parametric 분석을 통해 터빈의 수명을 연장하였다.

4.1.3 Combustors

STAR-CD는 난류, 분무, 연소 모델을 사용하여 연

소기 내의 물리적 현상을 해석 할 수 있다. STAR-CD의 PPDF model 기법은 수정된 Zel'dovich model로 계산된 NOx의 생성 과정까지 자세히 모사할 수 있다. STAR-CD는 연소 과정을 모사할 뿐 아니라 엔지니어에게 실질적인 데이터도 제공한다.

4.1.4 Tip & casing treatments

저속과 고속 유동 모두를 모델링하는 es-turbo와 결합된 STAR-CD는 복잡한 형상을 포함한 경우를 set up하는 pro-am과 결합하여 routine 분석을 통해 tip과 casing 처리를 가능하게 한다.

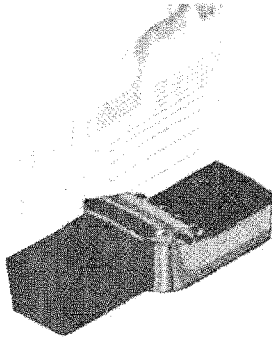


Fig. 9 Tip & casing treatments (2)

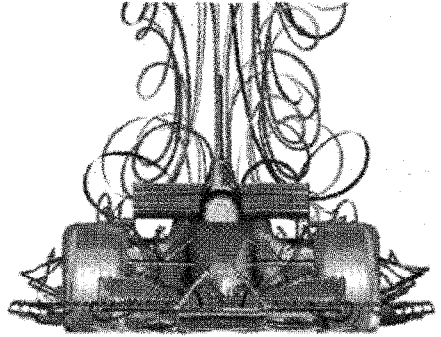


Fig. 12 Particle tracking around a racing car

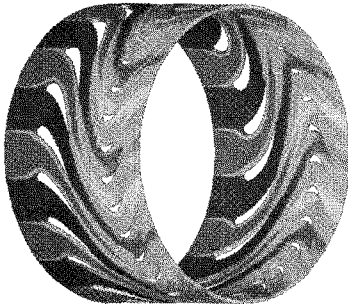


Fig. 10 Flow through axial cascades

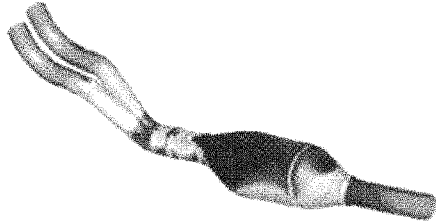


Fig. 13 Exhausted gas flow

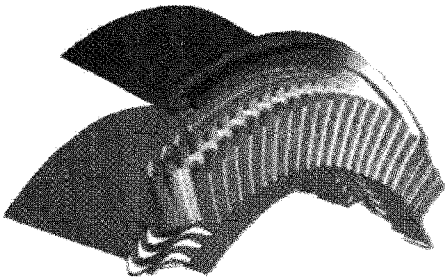


Fig. 11 Solid model for stator-rotor interacting flow in a turbine

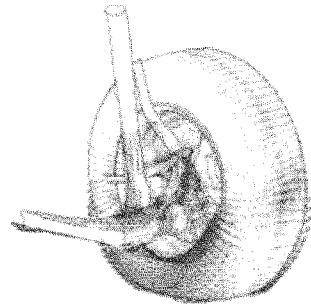


Fig. 14 Velocity vectors around a wheel

4.1.5 Turbines

극도한 온도와 하중을 견디는 요소는 turbine blade을 설계 시 가장 중요한 요소이다. STAR-CD는 터보기계의 streak를 정확하게 이동시키며, 고온의 충격, strong radial, circumferential과 터빈 blade의 수명과 관련된 유체량의 일시적인 변동을 예측할 수 있다.

4.2 자동차분야 (automotive)

- 자동차 주위 공력해석

- 엔진부품 및 엔진 룸 열유동 해석
- 브레이크, 바퀴 주위 열유동 해석
- 열 교환기, 오일쿨러, 인터쿨러 열유동 해석
- 냉각 팬 및 전기 모터류 열 유동해석
- 엔진 블록, 헤드 열 전달 해석
- 유리창 defrosting, 헤드램프 습기제거 해석
- Rain management, wiper lift 해석
- Torque converter, A/T mission 유동해석
- 메탈 코팅 및 도금 침전물 유동해석 등 기타
- 연료 / 오일 필터 및 펌프 유동해석
- 공조 덕트 및 In & Ex manifold 유동해석

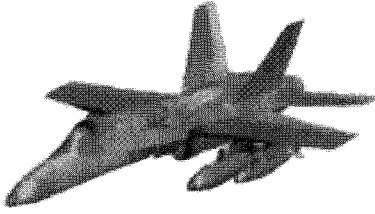


Fig. 15 Pressure contour for a flying fighter

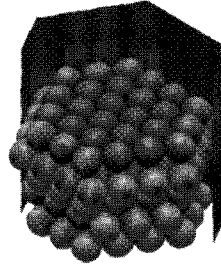


Fig. 17 Fixed bed reactor

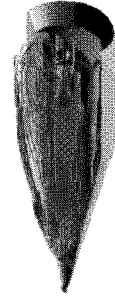


Fig. 18 Mixing in a cyclone

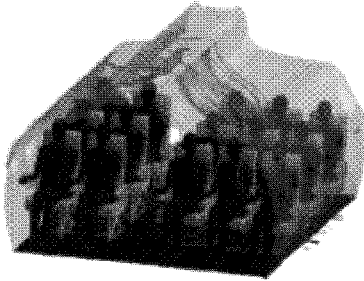


Fig. 16 Air conditioning / ventilation simulation in the airplane

4.3 항공분야 (aerospace)

- 항공기 공기역학
- 로켓 노즐 및 추진 시스템
- 제트 펌프 및 추력 증대기
- 고속의 발사체를 위한 shock/body 상호작용
- 공력소음
- 객실 환기

4.4 화학공정분야 (chemical process)

STAR-CD는 난류, 연소, 복사 및 다상(多相) 유동에 대한 풍부한 모델을 제공할 뿐만 아니라, 어떤 격자형태에도 모든 모델을 적용할 수 있는 산업용 CFD code이다. 복잡한 유동과 화학 반응의 처리, 유체들의 혼합 및 연료 연소 시 STAR-CD를 이용한 CFD 해석 값은 화학 및 공정 엔지니어에게 많은 도움을 준다. STAR-CD는 아래와 같은 분야에 적용할 수 있다.

- 유동 (flow regimes)
 - steady와 transient, 뉴턴 유동 (Newton fluid) 과 비뉴턴 (non-Newton fluid) 유동
 - 비압축성 및 압축성 (transonic와 supersonic 포함) 유동
 - 선회 (swirling)와 회전 (rotating) 유동

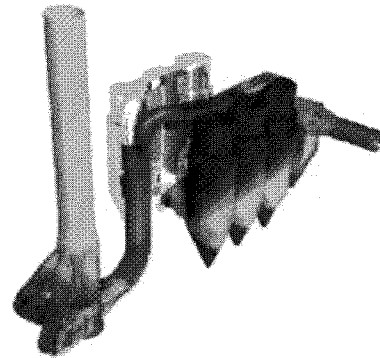


Fig. 19 Separation plant with 6 cyclone bag filters, extraction fans and chimney, Aerotherm

- 열전달 유(有)·무(無)에 따른 주기적인 유동
- 난류 유동 (turbulent flow), 층류 유동 (laminar flow)
- Moving boundary에서 일어나는 불안정한 유동 (예 : 내연기관, mixer, stator/rotor)

- 열·물질 전달 (heat and mass transfer)
 - 대류 (convection), 전도 (conduction), 복사 (radiation)에 의한 열 전달
 - Solid media를 포함하는 thermal과 태양 복사 (solar radiation)
 - 물질 전달 (mass transfer)

- 화학 반응과 연소 (chemical reaction and combustion)
 - 다중 이종·다중 균질의 화학반응 (NOx 혼합물 포함)
 - 화학평형을 만들기 위한 알고리즘
 - 기체·액체·고체 연료의 연소

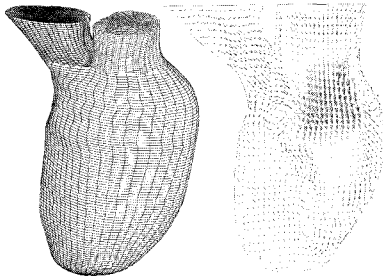


Fig. 20 Blood flow in the heart

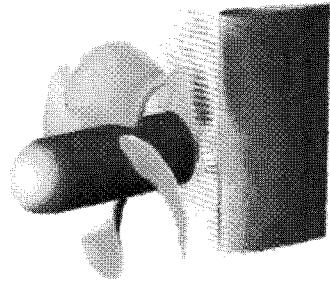


Fig. 22 Solution for marine blade

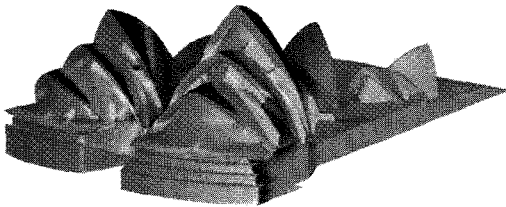


Fig. 21 Pressure distribution for the Sidney opera house

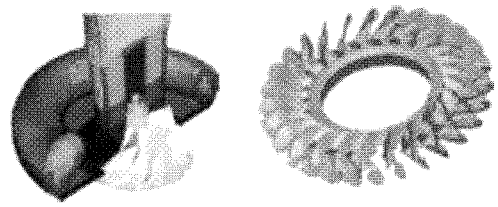


Fig. 23 Turbochargers

- 내연기관에서의 특별한 연소 (휘발유나 디젤유)

- 다상 (multiphase)
 - Multi-phase Lagrangian 유동
 - Two-phase 유동
 - 자유 표면 모델링 및 cavitation
 - Multiple fluid streams
 - 다공 매질 (porous media)
 - 주조 (casting), 응고 (solidification), 부식 (ero-sion)

4.5 생의학 분야 (biomedical)

생물학 시스템의 복잡한 유동을 이해하는 것은 건 강 산업에 종사하는 전문가들과 생명 공학 엔지니어들 에게 중요한 정보를 제공한다. STAR-CD는 수술이 힘들고, 주로 접근할 수 없는 부위를 통찰할 수 있는 수단으로 제공되며, 진단하고 교정하는 시스템의 설계 와 개발을 돕는다.

- 호흡 기관
- 제약 시스템
- Drug delivery (흡입기 등)
- Blood handling (펌프, separators)
- 생체 내 혈액 및 비혈액 유동

4.6 빌딩 및 환경 (building and environmental)

- 난방 및 환기
- 연기와 오염물질 전파 및 화재 위험 해석
- Clean room 설계
- 건물의 바람으로 인한 부하
- Hydrology

4.7 해양 (marine)

- Offshore 및 해저 구조물에 대한 바람 및 파도에 의한 부하
- 선박 안전 및 사고 생존 능력
- Sloshing, slamming 및 green-water 현상
- 오일 및 오염물질 분산
- 추진 시스템 최적화 및 저항 최소화

4.8 중공업 (power generation)

- Furnace 및 보일러 설계와 개발
- 열 교환기 시스템
- 압력 용기 설계
- 연소 및 오염물질 방출
- 원자력 발전
- Fuel cell