

열유체 해석 및 설계용 국산 소프트웨어 현황

· 김 광 용 | 인하대학교 기계공학부, 교수
e-mail : kykim@inha.ac.kr

이 글에서는 국내에서 개발되어 상용화된 PUMP V2.0, COMP V2.0, iDesignFan, iDesignPump, iDesignComp, FANDA1.0, FanNoise 그리고 FANS 등 열유체 해석 및 설계용 소프트웨어들을 소개한다.

열유체유동의 지배미분방정식에 대한 수치해석기법으로 유한체적법을 제안하여 유명해진 영국 임페리얼 공대의 Spalding 교수에 의해 전산유체역학(CFD : Computational Fluid Dynamics)의 범용코드인 PHOENICS가 상용화된 이래 열유체 분야의 해석 및 설계용 상용코드들은 컴퓨터와 수치해석기법 등의 발달에 힘입어 지난 십여 년간 전 세계적으로 매우 활발하게 개발되어 왔다.

열유체 분야의 코드들은 크게 열유체유동의 해석을 위한 CFD 범용코드와 세분화된 분야의 해석 및 설계를 위한 전문 코드로 나눌 수 있다. CFD 범용코드를 지원하는 전처리(격자생성)와 후처리(결과처리) 코드들이 전문화하여 독립적으로 개발되기도 한다. 상용화된 CFD 범용 코드들의 종류는 매우 많으나, FLUENT, CFX, 그리고 STAR-CD 등과 같은 몇 가지의 지명도가 높은 코

드들이 실질적으로 전 세계 시장을 분할하고 있다.

국내 열유체 분야에서는 전산유체역학 등과 같은 소프트웨어적인 연구에 종사하는 학자들이 많은 데 비해 이들의 연구에서 파생된 소프트웨어들이 상용화되는 예는 그다지 많지 않다. 그러나 최근 들어 국내에서 개발되어 상용화되는 코드들이 급증하는 경향을 보이고 국가적으로 이러한 국산 소프트웨어들의 개발을 지원하는 프로그램이 신설되어 앞으로는 열유체 분야의 소프트웨어 산업도 활발해질 전망이다.

국내에서는 아직도 상용화된 CFD 범용코드가 나오지 않고 있다. 이는 기술적인 문제라기보다는 국내 시장이 미국이나 일본 등에 비해 상대적으로 작고, 이미 상기한 유명 코드들이 지배하고 있는 국제시장을 개척하기도 어려운 실정이어서 의욕적인 개발이 이루어지지 못했기 때문으로

보인다. 그러나 CFD 범용코드에 비해 개발이 비교적 쉬운 전문적인 해석/설계 코드들은 최근 활발한 개발과 상용화가 이루어지고 있다.

이러한 코드들은 주로 대학 연구실을 중심으로 개발이 이루어져 벤처기업 등을 통해 상용화되는 과정을 거치고 있다. 서울대학교 터보기계연구실에서 개발되어 (주)터보헤드를 통해 상용화된 PUMP v2.0와 COMP v2.0 등의 코드, 인하대학교 유동소음연구실과 (주)에어로네트에서 개발되어 상용화된 iDesignFan, iDesignPump 및 iDesignComp 등의 코드, 수원대학교 유체공학연구실과 (주)씨에프텍이 공동개발한 FANDA1.0 코드, KAIST 공력음향연구실에서 개발하여 ATES(주)를 통해 상용화한 FanNoise, 그리고 한양대학교 터보기계설계연구실에서 개발된 FANS 등의 코드들은 모두 송풍

기, 펌프 및 압축기 등의 유체기계의 성능 또는 소음 해석 및 설계를 위한 전문 코드들이다.

해양대학교 유동정보연구실에서 개발된 기술을 기반으로 하여 (주)아이아이티에서는 유동가시화 계측장치로 각광을 받고 있는 PIV(Particle Image Velocimeter)용 소프트웨어인 CACTUS 2000을 상용화하였다. 이 외에도 상용화되지는 않았으나, 다수의 소프트웨어들이 각 대학 연구실들을 중심으로 개발되고 있으며, 일부는 무상으로 사용자에게 제공되기도 하는데 그 대표적인 예로 영남대학교 컴퓨터응용유체연구실에서 개발한 2차원 격자생성 프로그램인 GENGRID V2.1과 GENMESH V1.2, FEM에 의한 유동해석 프로그램인 FEMFLOW V1.0, 그리고 유동의 수치적 가시화 프로그램인 VISFLOW V1.0 등을 들 수 있다.

최근 이러한 소프트웨어산업의 중요성을 인식하고 정부에서는 과학기술평가를 통해 지난해 12월초부터 “공학용 해석 소프트웨어 기술개발사업”이라는 이름으로 소프트웨어의 개발을 목적으로 한 지원을 하고 있다. 이 프로그램은 1단계 2년, 2단계 3년, 3단계 3년으로 단계적으로 지원될 예정이다. 다음은 이 사업으로 현재 연구가 진행 중에 있는 열유체분야 과제들의 목록이다.

- 범용 열/유체 유동해석 프로그램 개발(서강대, 2단계)
- 팬 유동/소음 해석 소프트웨어 개발(KAIST, 1단계)
- 공기조화 및 열환경 해석 소

프트웨어 개발(한양대, 1단계)

- 정보통신기기 냉각용 방열기 최적 설계(KIST, 1단계)
- 정열 격자계를 사용하는 3차원 대류열전달 해석 프로그램 엔진 개발(국민대, 1단계)
- CMP공정을 위한 유체 및 분자동역학 엔진 개발(중앙대, 1단계)

이하에서는 이미 상용화 단계에 들어선 국산 소프트웨어들을 소개하고자 한다. 참고로 아래의 내용은 해당 회사에서 제공하는 자료나 홈페이지의 자료를 참고하여 작성하였다.

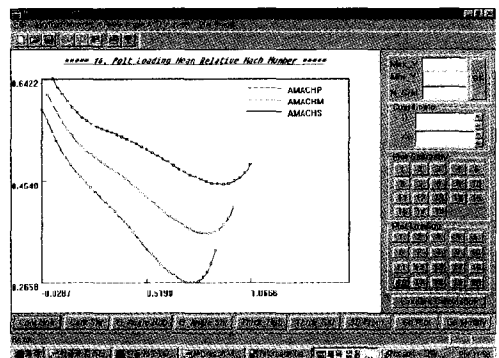
(주)터보헤드에서는 원심펌프, 원심압축기, 축류팬 및 배관시스템 등의 해석 및 설계 코드를 개발하였으며, 펌프와 팬의 성능시험자동화 코드 및 칼로리미터, 3공 및 5공 압력프로브, PIV계측용 소프트웨어들을 개발하였다. 이 중 펌프와 압축기의 해석/설계용 코드인 PUMP v2.0와 COMP v2.0 및 펌프 성능시험자동화 코드인 Th-PumpTest가 현재 상용화되었다.

원심펌프의 설계, 성능예측 및 유동해석 전용 코드인 PUMP v2.0은 각각의 모듈을 독립적으로 사용 가능하며, 각 모듈이 유기적으로 구성된 통합설계 툴을 제공한다. 이 소프트웨어가 제공하는 각 모듈의 기능은 다음과 같다.

- PUMP/DP : 원심펌프의 기본설계

및 성능예측 회전수 및 유량에 따른 성능예측, 성능예측 모드: 임펠러/디퓨저/볼루트/외부손실 해석, Two-zone 모델, TEIS(Two Element In Series) 모델

- PLOT/DP : PUMP/DP의 후처리 프로그램으로 원심펌프 각 유로영역에서 회전수 및 유량에 따라 원심펌프 성능을 포함한 관심 있는 여러 유동변수값을 제공
- PUMP/CAD : 원심펌프의 삼차원 날개형상을 제공하는 프로그램, Bezier polynomial을 사용하여 허브/시라우드 곡선, 날개각 분포, 날개두께 분포를 제공하며 실시간으로 형상변수 특성 및 rapid loading 계산에 의한 수역학적 특성 제공, 설계된 삼차원 형상은 auto cad로 변환가능하며, 이차원 도면형태로 제공
- PUMP/GRID : 원심펌프 임펠러의 점성유동해석을 위한 격자생성 프로그램
- PUMP/NS : 원심펌프 임펠러의 점성유동해석 프로그램,



COMP v2.0의 화면

유한체적법과 표준 k-(모델 사용

- PUMP/POST : PUMP/NS의 후처리 프로그램

원심압축기의 설계 및 성능해석 프로그램인 COMP v2.0은 다음과 같은 세 가지의 모듈로 구성되어 있다.

- 고효율 원심압축기 형상설계를 위한 DP 모듈
- 고효율 삼차원 임펠러 설계를 위한 CAD 모듈
- 원심압축기 임펠러 내 삼차원 압축성 난류유동 해석을 위한 NS 모듈

(주)에어로네트에서는 각각 펌프, 압축기 및 팬의 성능해석 및 설계 코드인 iDesignPump, iDesignComp 및 iDesignFan를 상용화하였으며, 이 중 iDesignPump는 역설계기법(inverse design method)을 사용하기 때문에 한번의 계산으로 설계사양을 만족하는 축류 및 원심형 펌프의 최적설계를 가능하게 한다. 블레이드 설계는 평균유선법을 이용하여 이루어진다. 이 프로그램의 기능 및 특징은 다음과 같다.

- 설계조건에 맞는 최적의 임펠러 또는 인듀서 설계
- 설계점 및 탈설계점에서의 성능예측
- 공동현상을 고려한 인듀서 설계
- 다양한 실용 익형 제공
- 출구 가이드베인 설계
- AutoCAD 상에서 도면작성을 위한 Script file 생성
- Rapid prototyping을 위한 S.L.S file 생성

- 3차원 형상 가시화

iDesignComp는 TEIS(Two Elements in Series)와 평균유선법이 역설계 개념으로 적용되도록 프로그램되어 있어 한번의 계산으로 설계사양을 만족하는 최적의 원심형 압축기

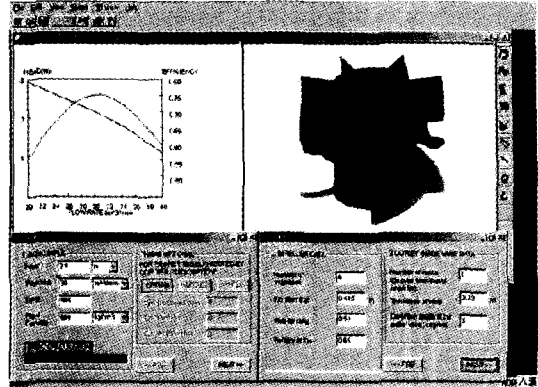
의 설계가 가능하며, 다음과 같은 특징을 지니고 있다.

- 설계조건에 맞는 임펠러와 가이드베인의 최적설계
- 설계점 및 탈설계점에서의 성능예측
- 설계된 압축기의 소음예측
- 디퓨저의 종류 선택가능
- AutoCAD상에서 도면작성을 위한 스크립트 생성
- 3차원 형상 가시화

iDesignFan은 팬 주위의 유동해석 및 이를 바탕으로 한 설계전용 소프트웨어로서 저소음 역설계방식을 채택하고 있으며, 다음과 같은 특징을 가지고 있다.

- 설계점/탈설계점의 부하조건을 고려한 최적설계
- 주어진 소음분포를 만족하는 팬 형상구현
- 설계된 팬 형상의 solid modeling 및 CAD 도면화
- 설계된 팬의 공기역학적 성능 및 소음 SPL 예측
- 다양한 실용익형 DB 제공
- SLS Rapid proto 제작 및 성능/소음 평가, 검증

(주)씨에프텍의 FANDA1.0은



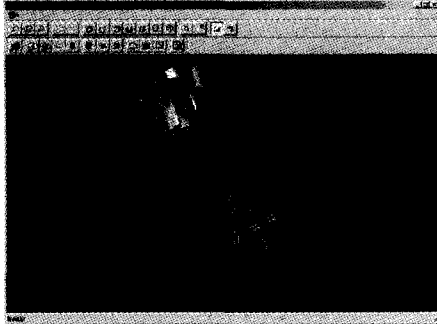
iDesignPump의 화면

축류형 팬 전용의 성능과 소음해석 및 설계 소프트웨어로서, 각종 공기조화 및 냉각용 팬의 해석과 설계에 유용하게 사용될 수 있다. 이 소프트웨어의 특징은 다음과 같이 요약할 수 있다.

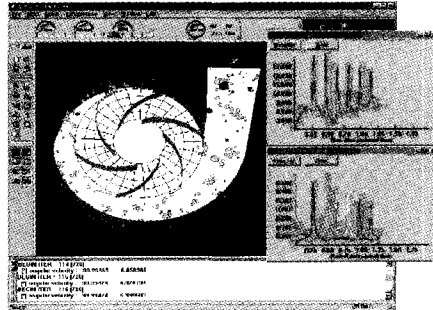
- 편리한 입력 및 사용자 친화적인 GUI 구성
- 삼차원 그래픽을 통한 입체적 팬 형상 뷰어
- 설계부터 성능해석, 소음해석, 최적설계까지 5분 이내에 결과 도출
- 해석과 실험 결과를 동시에 비교가능

FANDA1.0에서 팬의 공력해석과 설계에 사용하는 이론적 방법들은 다음과 같다.

- 준3차원 유선곡률방법(SCM : Streamline Curvature Method)
- Euler 일 방정식(Euler's Work Equation)
- 전체 질량보존관계식(total mass converison equation)
- 유동편차각(Carter's law, 탈설계점효과 고려)
- 전압력손실모델(익렬형상손



FANDA1.0을 이용한 3차원 팬 형상



FanNoise의 원심팬 적용사례

- 실, 이차유동손실, 벽면 및 끝간격손실)
- 성능변수산출(질량평균기법) 아울러, 이 코드의 기능은 다음과 같이 요약된다.
- 공기조화용/산업용 축류팬의 공기역학적 성능(토출압력, 효율, 소요동력) 예측
- 설계점 및 탈설계점의 부하 조건에 따른 성능해석
- 1단 및 다단(Multi-stage) 축류 송풍기 성능해석
- 회전익(Rotor-only) 축류팬 성능해석 가능
- 다양한 실용 익형 DB 제공 (NACA, C4, CLARK-Y, DCA 시리즈, 및 평판 등)
- 다양한 가스 DB 제공(100여 종의 화학식 및 물성치)

ATES(주)에서 취급하는 코드인 FanNoise는 원심형과 축류형 팬의 유동 해석, 자유 공간에서 acoustic analogy를 이용한 소음 해석, 그리고 팬 주위에 케이싱이나 덕트 같은 산란 물체가 있는 경우의 소음 해석의 세 가지 모듈로 구성 되어있다. FanNoise에서는 팬과 주위 구조물에 의한 산란효과를 고려한 시스템의 소음 해석이 가능하다.

- 원심형 및 축류형 팬의 유동 해석
 - 팬의 유량 및 기하학적 변수들의 변화에 의한 유동 및 소음 변화 해석
 - 케이싱이나 덕트의 변화에 의한 음향장 해석
- 이 코드는 새로운 팬을 설계하기 위해서 다음의 세 단계를 수행한다.
- 1) 요구되는 유량과 수두(혹은 압력)를 이용해서 어떤 종류의 팬을 사용할지 선택해준다. 또한, 적절한 직경과 깃의 수 등을 제공하여 기본적인 형상을 확인해 볼 수 있도록 한다.

2) 상세 설계 원심팬의 경우, 적절한 유량 각과 입구 직경, 출구 직경을 선택해 준다. 또한 이 자료를 바탕으로 전체적인 형상을 확인해 볼 수 있도록 화면으로 나타내 준다. 축류팬의 경우 깃의 단면 형상과 비틀림 각(twist angle) 그리고 후퇴각(swept angle) 등을 선택해서 각 반경방향 단면 형상을 자세히 얻고, 화면에 나타내 주는 역할을 수행한다.

3) 위의 단계에서 얻은 자료를 이용해서 정확한 형상을 구성하고, 성능이나 소음을 해석 프로그램을

이용해서 바로 계산할 수 있다.

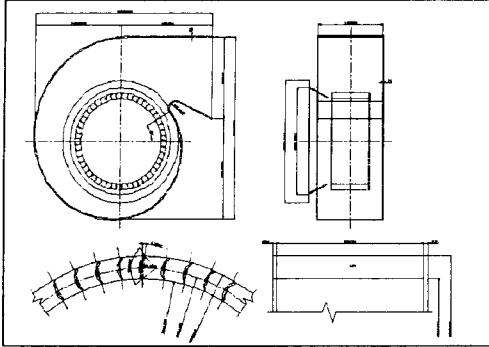
FanNoise가 수행할 수 있는 해석 범위는 대략 다음과 같다.

- 초기 팬 설계 단계에서의 설계
- 설계된 팬의 성능, 유동장 및 소음 예측
- 기존에 있는 팬의 소음원 파악과 저소음화
- 저소음화를 목적으로 하는 최적 설계

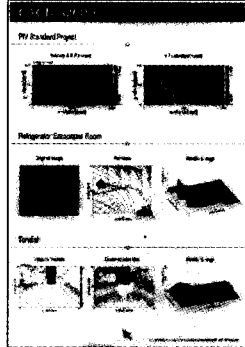
한양대학교 터보기계설계연구실이 개발한 FANS(Fan Auto-design & Selection)는 산업체에서 널리 사용되는 세 가지 범용 송풍기인 축류, 터보 및 시로코 팬을 통합한 설계 시스템으로, 설계 사양이 주어지면 누구라도 쉽게 각종 팬의 공기역학적 성능 예측 및 제작도면 출력이 가능하도록 구성된 것이 특징이며, 공개 소프트웨어로서 산업체에 무상제공 예정이다.

- 설계사양의 신속한 예측
- 예측결과의 그래프 처리 (Tecplot)
- 사용자편의 인터페이스 GUI 방식
- 제작도면 즉시 출력(AutoLISP 언어)

FANS는 세 가지 팬의 설계점 및 탈설계점의 성능해석이 가능하다. 이론적 해석에서는 미끄럼계수로 터보팬에 대해서는 Wiesner식, 시로코 팬에 대해서는 ECK식을 사용하며, 손실모델로 터보와 시로코 팬에 대해서는 날개통로 마찰 손실, 케이싱 손



FANS에 의해 설계된 시로코 팬의 도면



CACTUS2000의 적용 예

실, 흡입구 손실, 원판마찰 손실, 및 누설손실 등을 고려하고, 축류팬에 대해서는 날개형상 손실, 이차유동 손실 및 끝간극 손실 등을 고려한다. 탈설계점 성능해석을 위해서는 터보와 시로코 팬에 대해서는 유량변화에 따른 손실수두를 이용하나 축류팬에 대해서는 유선곡류법을 사용한다.

앞서 언급된 소프트웨어들이 주로 각종 이론 해석과 최적화 기법을 바탕으로 한 해석 및 설계 전용 소프트웨어라면, (주)아이아이티에서 개발한 CACTUS는 PIV를 이용한 실험 전반을 제어 해 주는 소프트웨어이다. 이 소프트웨어는 실험 데이터의 추출에서 사용자가 원하는 변수의 가시화까지 일련의 과정을 제어하는 소프트웨어로서 기존의 FFT (Fast Fourier Transform)보다 CPU 시간이 약 1/50 정도밖에 소요되지 않는 장점이 있다.

전술한 바와 같이 현재까지 국내에서 상용화된 열유체분야의 소프트웨어들은 대부분 송풍기, 펌프 및 압축기 등과 같은 유체기계 해석과 설계를 위한 전문 코드에 편중되어 있으며, 이러한 소프트웨어들이 상용화된 것은 최

근 수년간에 불과하여 아직 국내에서 충분한 수요를 찾지 못하고 있으므로 해외시장에 진출할 준비가 이루어지지 못하고 있다. 그러므로 국내에서 열유체 관련 소프트웨어 산업은 아직 초기단계에서 벗어나지 못하고 있다고 말할 수 있다.

앞으로 이 분야의 국내 소프트웨어 산업이 발전을 하기 위해서는 국제적인 경쟁력을 갖춘 범용 CFD코드와 아울러 부수적인 전처리 및 후처리 코드의 상용화 개발이 필요하며, 전문 해석 및 설계 코드의 경우에도 유체기계뿐 아니라 보다 다양한 분야(예를 들어, 환기, 배관, 전자장비 냉각 등)로 그 개발이 확산될 필요가 있다. 이러한 개발에는 앞서 언급한 정부의 소프트웨어 육성지원 사업이 큰 힘이 될 수 있을 것으로 생각되며, 좁은 국내 시장만을 생각할 것이 아니라 개발과 동시에 국제시장에 진출할 수 있을 만큼 경쟁력 있는 코드들의 개발이 필요할 것이다. 여기에는 정부의 지원뿐 아니라 자본력과 의욕을 갖춘 관련 업체들과 대학 및 연구소의 적극적인 산학협동 연구개발이 필수적이다.

기계공업 분야의 국내 기술이 국제적인 경쟁력의 측면에서 예를 들어 전자공업 분야 등에 비해 상대적으로 뒤떨어지는 이유는 기계공업의 하드웨어 기술들은 그 특성상 아무리 많은 투자가 이루어진다고 하더라도 단기간에 발전하기가 쉽지 않기 때문이다. 그러나 열유체 분야의 소프트웨어 기술은 하드웨어 기술과는 달리 세계적으로도 그 역사가 길지 않고 이미 기초기술의 경우 국내의 수준이 국제적인 첨단 수준에 접근하고 있으며, 국내의 석·박사급 전문연구인력도 충분하다고 사료되어 정부의 적극적인 지원이 이루어진다면 얼마든지 경쟁력 있는 소프트웨어들이 개발될 수 있을 것으로 사료된다.

기술적인 측면에서는 전문 해석 및 설계코드의 경우, 터보기계 분야를 예로 든다면 그 동안은 해석에 소요되는 계산시간의 문제 때문에 손실모델에 기초한 평균 유선법이나 비점성 준삼차원 해석기법 등 단순하고 기초적인 해석을 바탕으로 한 설계기법들이 사용되어 왔으나, 급속히 발전하는 컴퓨터의 계산속도를 감안할 때 삼차원 RANS(Reynolds-Averaged Navier-Stokes)방정식 해석기법 등의 고차적인 해석기법을 바탕으로 하는 수치최적설계기법이나 역설계기법 등이 터보기계의 해석에 실용화될 수 있는 날이 멀지 않았다. 그러므로 이러한 새로운 기법들을 이용한 설계 소프트웨어의 개발을 준비함으로써 이 분야의 국제수준에서 앞서 가기 위한 시도도 필요하다고 사료된다.