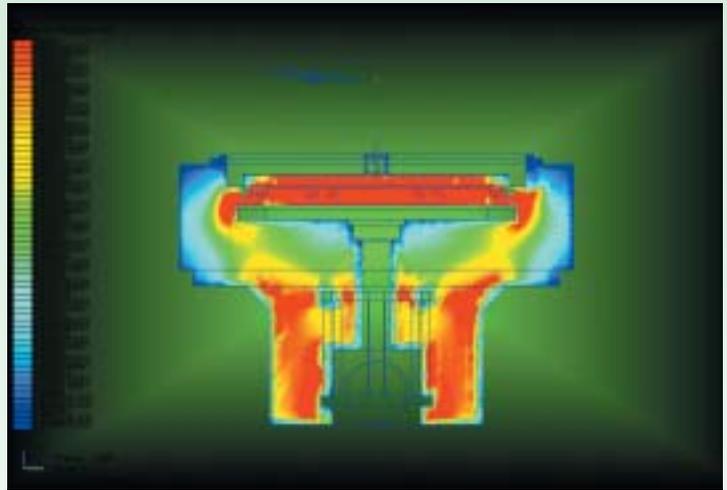


3G를 이용한 고객성공사례 18

Techo 200M의 최적설계를 위한 유동·진동해석



이번 호에서는 아이피에스에서 삼성반도체 납품을 위한 Tech● 200M의 최적설계를 위한 유동해석 및 열전도·분포, 열응력 해석 및 진동해석을 수행한 사례에 대해 소개한다.



이 기 연

아이피에스 제품개발팀 대리이다.

아이피에스는 1996년 국내 반도체 업계에서 미진한 전 공정 장비 개발을 통하여 반도체 산업 발전에 기여하고자 설립되었다. 설립 이후 끊임없는 노력의 결과로 그 동안 수입에만 의존하였던 전 공정 장비 중 하나인 Dry Etcher 장비를 국산화하는데 성공하여, 유수의 국내 반도체 제조 회사의 양산라인에 납품하였다. 이로 인해 명실공히 Dry Etcher 장비 국산화에 선두자리를 굳혔으며, 아이피에스는 최첨단 기술인 ALD 공정 장비를 개발, 국내 유수의 반도체 회사와 같이 세계 최초로 반도체 제조공정에 도입하고, 그 양산용 장비를 세계 최초로 개발 보급하는데 성공하여 국내외 우수 반도체 회사에 납품, 우수한 ALD 막에 안정된 성능으로 양산라인에서 성공적으로 사용하는 실적을 보여주었다.



▲ 차세대 메탈 장비, Tech●-200/300M

장성이 더욱 큰 Metal Barrier용 ALD/CVD, 그리고 일반 산업에 ALD Dry Etcher를 개발하여 적용 산업 분야를 다각화 함으로써 매출을 극대화 시켜 한국을 대표하는 반도체 및 LCD장비 회사로서 거듭나기 위해 최선의 노력을 다하고 있다.

3G 도입 이유

현재 반도체 증착 장비(Semi-conductor deposition equipment) 분야에서 선두를 달려온 아이피에스(주)는 이미 많은 신제품을 생산해 장비의 국산화를 이루어 내었다. 이전까지만 해도 희망사항이었던 반도체 전공정의 국산화에 발빠르게 대처하여 상당부분을 국산화하는데 성공하였으며, 더 나아가 국외로의 수출에도 박차를 가하고 있다. 이런 국산화 장비의 개발 및 신제품 개발에서의 필수적인 요소로서 CFD System 및 CAE System이 큰 영향을 차지하였고, 어떠한 설계변수(parameter)와 설계실수(error)를 줄이기 위하여 적극 도입하였다.

CFD/CAE 프로그램의 초기 도입 시에는 CFD/CAE 프로그램이 기술경쟁력 확보에 반드시 필요하다는 판단에 의거, 도입을 결정하였지만, 기존의 전문가들의 영역인 CFD/CAE 분야를 어떻게 설계자에게 접목하여야 할지 많은 부분 고민이 되었던 것이 사실이다. 초기에는 전문가를 위한 프로그램을 검토하였으나, 중소기업의 현실상(빠른 결



ALD 공정은 현재 양산되고 있는 130 나노 미터급 소자부터 적용되기 시작하였으며, 특히 90나노 미터 이하의 소자 제조 공정부터는 현재의 연구 개발의 정도에 비추어 그 적용 범위가 크게 확대될 것으로 예상되어 아이피에스의 주력 비즈니스로서 향후 매출 확대에 크게 기여할 것으로 기대된다. 또한, 아이피에스는 반도체 전 공정 장비시장에서 질 연막용 ALD장비, Dry Etcher 외에 적용 영역을 확대하여 시

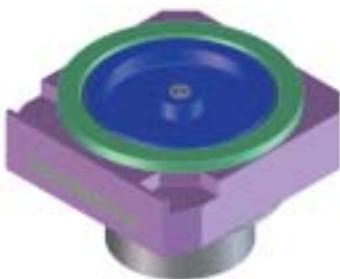
과 값 도출, 강한 맨 파워, 현업 적응력 등) 중소기업에 적용하기가 불가능하다는 결론을 내렸다. 이러한 이유로 설계자도 쉽게 사용이 가능하고, CAD 호환성도 뛰어나며, 세계적인 인증이 가능한 툴인 CFdesign, 3G를 테스트 하기 시작하였다. CFdesign/3G는 현재 삼성, LG등 국내 유수의 대기업뿐만 아니라, 케논, 히타치, 혼다, 필립스 등 수많은 국외의 대기업 들에서도 활발히 사용되는 프로그램이었다. 또한 신입사원의 교육에 FEM 이론 교육, 실무교육 및 프로젝트 교육에 적극 활용하고 있어 가장 적당한 프로그램이라고 생각되었다. 또한 반도체 장비에서의 얇고 긴 파트들이나 대용량 어셈블리를 손쉽게 해석할 수 있었다.

CFdesign/3G의 큰 특징은 PTC사의 Pro/ENGINEER, Inventor, SolidWorks, Solid Edge, I-dears, UG, CATIA 등과 같은 CAD툴과의 설계이력(History)을 포함한 완벽한 양방향의 호환성과 각각의 CAD 모델에 대한 설계 값에 대한 Unit을 바로 제어가 가능하여 설계자들이 특별한 환경을 설정하지 않고, 3D 모델링 파일을 바로 해석에 사용할 수 있다는 점이다. 또한 설계자들이 2일 정도의 교육으로 실무에 활용할 수 있다는 것이 CFdesign/3G의 큰 장점이었으며, 해의 정확성을 판단하는 빠른 수렴 부분도 상당히 강력한 기능이었다고 판단되었다. 해석 범위 또한 기존의 설계자를 위한 프로그램에서는 일반적인 기류 해석이나 열 전달을 주로 다루지만, CFdesign의 경우는 강력한 Motion 기능의 지원으로 폭넓은 부분의 모든 해석 분야를 설계자들이 쉽게 해석할 수 있는 프로그램이었다. 또, 3G는 CAD 모델의 설계이력을 직접 런치하여 설계 파라메트릭 해석을 실시하여, 보다 쉽고 빠르게 최적화를 실현 할 수 있는 점이 정말 매력 있었다.

해석 적용 사례

Techo 200M 장비의 유동 해석

Techo 200M 모델링



Techo 200M의 해석을 수행하기 위해, CAD 툴인 코크리에이트사의 Onespace designer(Solid designer)를 사용, 모델링을 수행하였다.

그림 1. OneSpace Designer 3D 모델링

OneSpace Designer 모델링 파일 Direct Launch

OneSpace Designer를 사용하여 제작된 모델링 중 Techo 200M 중착 작용의 핵심부인 일명 Shower head 영역을 CFdesign 8.0에 Direct Launch하였다. Direct Launch후 다음 그림과 같이 CAD(One space designer) 모델의 복잡한 파트들이 전부 형상 변화 없이 Import 된 것을 확인할 수 있었다. 즉, 두 번 모델링 하거나 수정

할 필요 없이 기존 설계 모델을 버튼 하나로 손쉽게 해석을 진행할 수 있게 된 것이다.

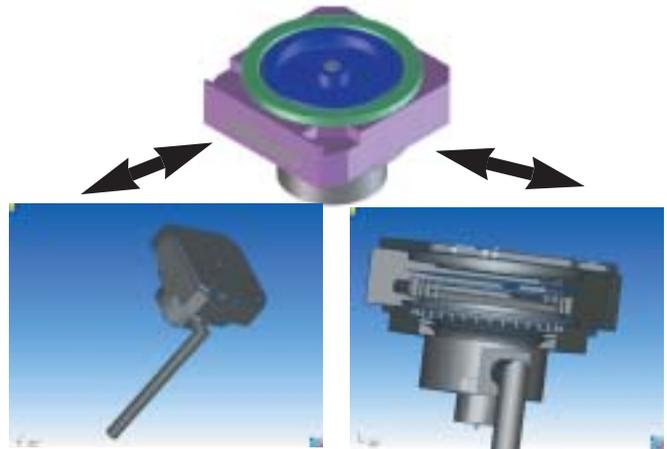


그림 2. OneSpace Designer의 모델을 CFdesign 8.0에 Import한 형상

해석 조건 입력(Boundary Condition)

CFdesign 8.0은 모든 과정이 아주 쉬운 프로세스 과정으로 되어 있기 때문에 다음 그림과 같이 수직도구바의 순서대로 입력만 해주면 된다. 먼저 가장 처음으로 해석을 진행하는데 있어서 적용되는 Boundary Condition(입·출구 조건 및 열 조건)을 입력하였다. 이 모델은 입구 압력, 출구의 압력으로 해석을 진행했다.

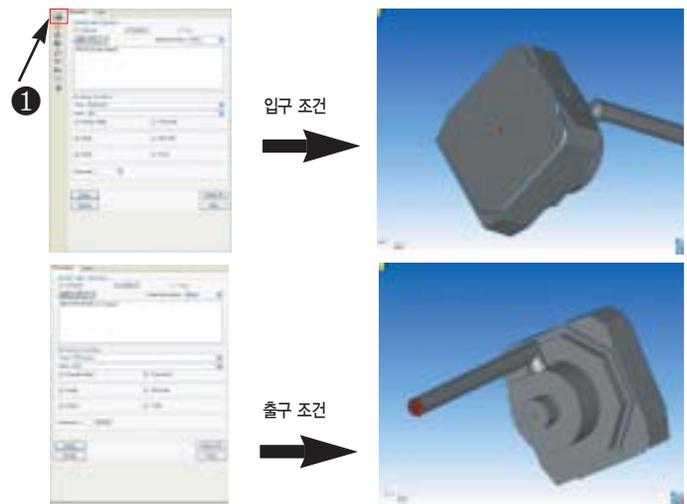


그림 3. 입·출구 조건 입력

Mesh Generation(격자 설정)

다음 단계인 수직도구바의 메시 크기를 설정해 준다. 기본적으로 CFdesign 8.0은 자동 메시 크기가 입력되어 있으나 본 해석 모델은 안쪽의 형상들이 복잡한 구조를 갖고 있기 때문에 직접 격자 크기를 작게 입력하여 주었다. CFdesign 8.0은 세계 최초로 CFD 해석에 FEM(Finite Element Method) 격자계를 적용시켜 보다 빠르고 쉽게 격자가 나오게 된다. 이는 바로 CFdesign 8.0이 기존의 툴보다 획기적인 해석 속도를 갖게 되는 가장 큰 요인인 것 같다. 또한 슬라이딩 격자기법을 사용하여 CFD 업계에서 최강의 모션을 쉽게 구현 할

수 있게 해주는 유일한 프로그램이다. 그리고 CFdesign 8.0은 Mesh Enhancement 기능을 사용하여 자동으로 벽면에 Boundary layer 를 만들어주는 강점도 갖고 있었다.

CFdesign 8.0은 자체 격자뿐만 아니라 I-dears, Nastran, Ansis, Abaqus 등의 CAD 메시 파일을 그대로 받아들여 적용시키는 것도 가능하였다.

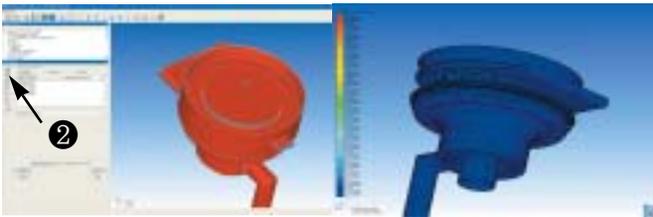


그림 4. Mesh Generation



그림 5. Mesh Generation, Mesh Enhancement

Materials(물성치 정의)

다음은 어셈블리 되어있는 각 part에 대한 물성치 정의이다. 아래에서 보는 것과 같이 각 part 별에 대하여 별도로 물성치를 적용할 수 있다. 각 요소 별 물성치는 CFdesign 8.0에 기본적으로 가지고 있는 물성치를 설정한다. 만약 물성치가 없다 하더라도, Create/Edit Material로 그 어떤 물성치라도 변환이 가능하였다. 그 뿐만 아니라 필터 및 FAN, Blower, Check Valve까지 물성치 입력이 가능한 것을 볼 수 있었다.



그림 6. Materials

Analysis Type and Option(해석 옵션 설정)

본 해석의 모델은 Wafer 증착 장비이다. 그러므로 유동 해석과 함께 열 해석을 실시하며 Radiation은 본 해석에는 맞지 않다. 또, 유동의 속도가 Mach number 0.3이하이기 때문에 비압축성 해석을 실시하였다.



그림 7. Analysis Type과 옵션

해석 결과

본 해석은 서두에 말했듯이 유동의 고른 분포와 Heater의 열 분포 및 변형이 관건이다. 장비 안쪽에 Shower head part의 Hole 분포와 그 밖의 Hole의 위치에 따른 유동 흐름의 변화를 관찰 하여 최적 설계에 적용하기 위해 해석을 실시하는 것이다. 아래 그림은 유체의 흐름을 Velocity Contour로 나타내 준 것이다.

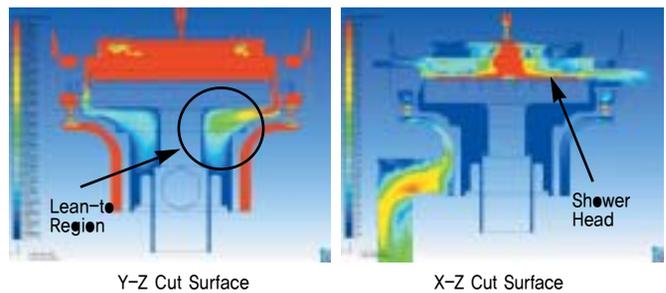


그림 8. Velocity Contour

위의 왼쪽 그림과 같이 좌측보다는 우측이 더 속도가 빠른 것을 확인할 수 있었다. 즉 유체의 흐름이 고르게 분포되지 않았다는 것이다. 오른쪽 그림을 보면 Shower Head부분을 지나 Heater까지의 유체의 분포는 고르다 볼 수 있다. 즉, Shower Head의 Hole분포는 적합하다 볼 수 있는 것이다. 다음은 Velocity Vector contour이다.

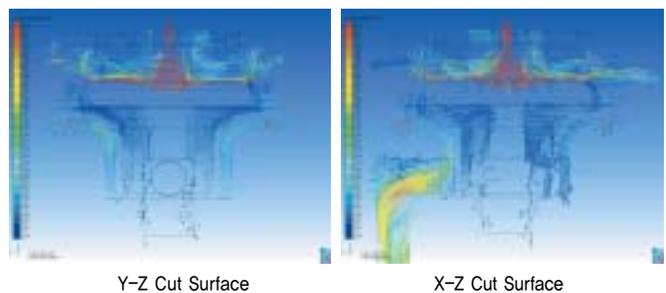


그림 9. Velocity Vector contour

위의 그림은 전체적인 유동의 흐름과 Vortex 현상이 발생하는 부분을 확인할 수 있었다. 역시 왼쪽 그림의 우측에 Vortex가 발생하는 것을 확인할 수 있다. 다음 그림은 각 영역의 속도를 X-Y Plot으로 나타낸 것이다.

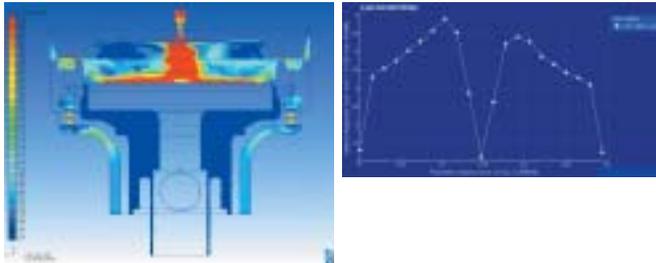


그림 10. Wafer region Velocity X-Y Plot

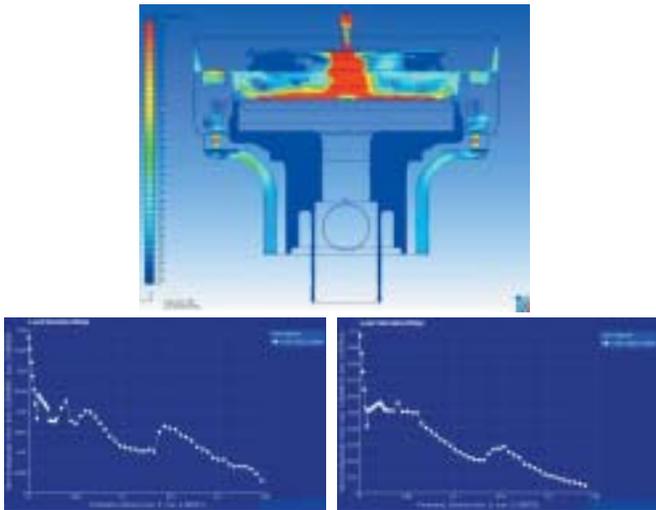


그림 11. Velocity X-Y Plot

결론

기존에 Shower Head의 Hole 패턴에 따라 고른 유동 분포가 나타날 것이라는 예상을 뒤집고 오히려 장비 내부의 Hole의 위치에 따라 최적의 유동 분포가 일어나게 되었다. 이는 해석 결과 단순히 경향만을 보더라도 Heater 상부에는 고른 유동 분포가 일어났으나, Heater를 지나 출구 쪽으로 빠져나가면서 내부의 Hole들을 지나게 된다. 이때 특정 위치에 있는 여러 개의 Hole들을 지나면서 Vortex를 일으켜 쓸림 현상이 일어나게 된 것이다. Hole들의 간격을 더 넓게 하여 Parametric 해석을 실시하였다. 다음 그림은 CFdesign8.0의 Parametric 해석을 실시하여 만들어낸 최적의 모델 해석 결과이다.

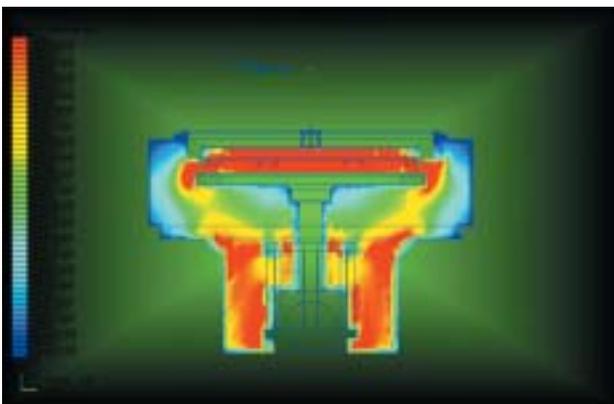


그림 11. Velocity X-Y Plot

CFdesign 8.0의 열 해석 결과를 바탕으로 구조해석 프로그램인 3G를 이용하여 연동해석(Mapping analysis)을 수행하였다.

해석 적용 사례

TECHO 200M 의 열 전달해석 및 열 응력해석

3G 모델링 파일 Import

CFdesign 8.0에서 나온 해석 데이터를 이용 3G에서 열 전달 및 열 응력 해석의 Input data로 사용하였다. 아래의 그림은 TECHO 200M의 3D CAD 파일을 3G로 불러온 후의 형상이다. 3G에서는 절단면 보기 기능을 통하여 모델의 단면을 확인할 수 있었다.

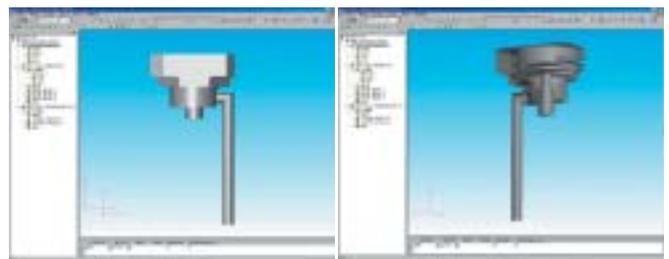


그림 12. TECHO 200M의 CAD 파일을 3G로 Import한 형상

해석(Analysis) Type 설정

3G로 입력된 TECHO 200M 모델에 대하여 해석타입을 Thermal Static으로 적용 모델에 대한 열전달 해석을 수행 TECHO 200M 모델에 대한 열 분포도를 확인한다. 또한 해석 시 필요한 요소망(Mesh) 생성에 관련하여, 사용되는 요소 사이즈에 대하여 확인할 수 있었다.



그림 13. 해석 영역 설정 및 요소망 생성 방법

재료 물성치 정의

다음은 Assembly 되어 있는 각 part에 대한 물성치 정의이다. 아래에서 보는 것과 같이 각 part 별에 대하여 별도로 물성치를 적용할 수 있다. 각 요소별 물성치는 기본적으로 3G에서는 물성치 웹사이트

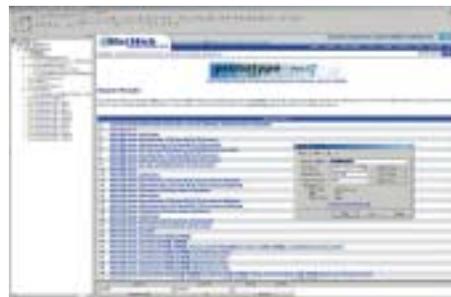


그림 14. 재료 물성치 정의

를 기본으로 제공하고 있으며, 49,000개의 물성치를 데이터베이스화 하여, 설계자들이 쉽고, 빠르게 정의할 수 있었다.

모델에 대한 적용 물성치는 각각에 맞는 최적의 데이터를 물성치 웹사이트를 이용하여 쉽게 입력이 가능하였다. TECHO 200M 모델에 대해서는 모든 파트를 알루미늄으로 정의하였다.

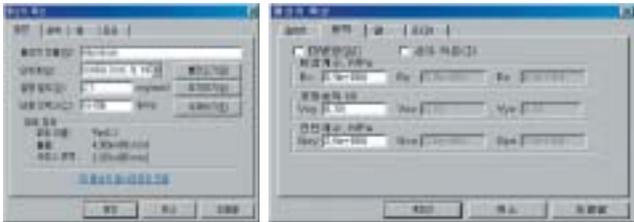


그림 15. 물성치 정의

열 하중 및 대류조건 적용(Boundary Condition)

TECHO 200M 모델에 대하여 우선 Heater 부분에 340℃ 의 온도를 주었다.(아래의 그림에서 노란색으로 선택되어진 부분) 그 후 Heater 부분을 제외한 모든 면에 대하여 대류계수 0.01N/(mm*s*℃) 대기온도 20℃를 적용하였다.

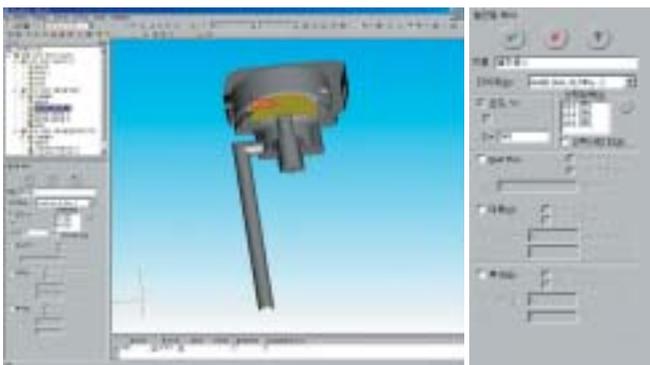


그림 16. 온도조건 적용

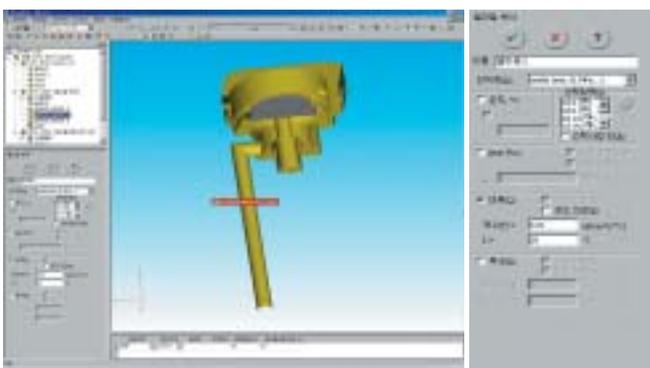


그림 17. 대류조건 및 대기온도 적용

요소망 확인(Mesh Generation)

해석 수행에 앞서, 생성된 모델에 대한 요소망을 확인하였다. 우선 3G에서는 자동적으로 요소망을 생성해 준다. 기본적인 Default에 의해 요소망을 생성하고, 해석 시, Adaptive P-H법을 사용하여, 응력이 집중되는 부분에 대해서는 수렴 판정치를 기준으로 요소를 추가, 해석 결과에 대한 정확도를 높이고 있다.

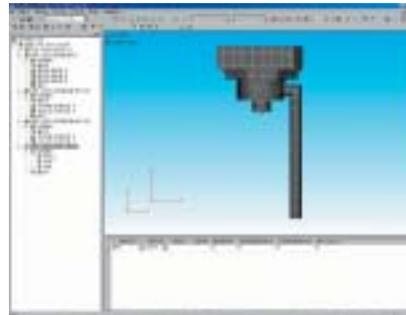


그림 18. 요소망 생성

해석 결과

이전에 정의된, 열 하중 및 대류조건에 의한 3G에서의 온도분포의 해석결과는 다음과 같다.

Heater 와 인접해 있는 파트들이 대류조건에 의해서 열이 분포되는 것을 아래의 그림에서 확인할 수 있다. 또한 온도분포가 나온 곳의 경로를 그려 그 경로에 대한 온도 및 Heat Flux에 대한 결과값을 그래프로 확인하였다.

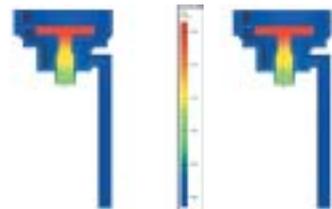


그림 19. 온도분포

그림 20. 경로생성

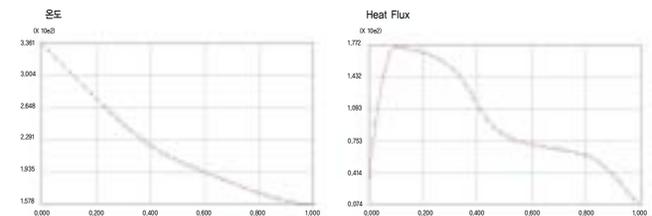


그림 21. 경로생성

해석(Analysis) Type 설정

전의 Thermal Static 해석에서 나온 온도분포 데이터를 이용 열 응력 해석을 수행하였다. TECHO 200M 모델에 구속 및 하중조건을 부여, 또한 온도분포 데이터를 적용하여 열팽창에 대한 응력 및 변위를 확인할 수 있었다. 해석 스텐디의 특성에서 온도 결과 가져오기를 체크 이전에 열 전달 해석을 수행한 해석 스텐디를 선택 온도분포 결과를 적용할 수 있다.



그림 22. 해석 영역 설정 및 요소망 생성 방법2

하중조건 및 구속조건 적용(Boundary Condition)

TECHO 200M 모델에 대하여 Heater의 윗면에 200Pa의 하중조건을 적용 또한 구속조건은 전체 모델의 윗면과 파이프의 아래 바닥면을 고정으로 선택하였다.



그림 23. 하중조건 적용

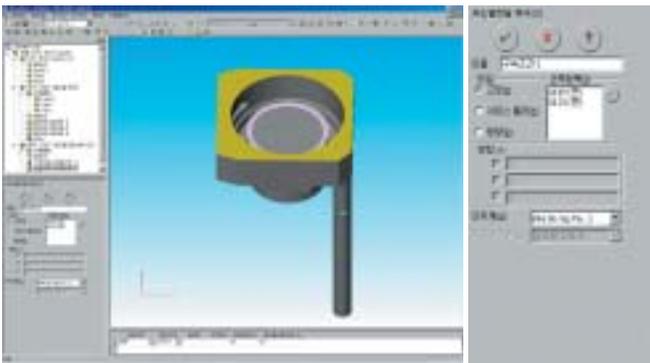


그림 24. 구속조건 적용

해석 결과

Thermal Static의 온도 데이터를 이용 하중 및 구속조건을 적용하여 Thermal Stress 해석을 통하여 열팽창에 의한 응력 및 변위결과를 확인할 수 있었다. 열팽창에 의한 응력 값은 170MPa, 변위는 0.9mm가 나온 것을 확인할 수 있었다.

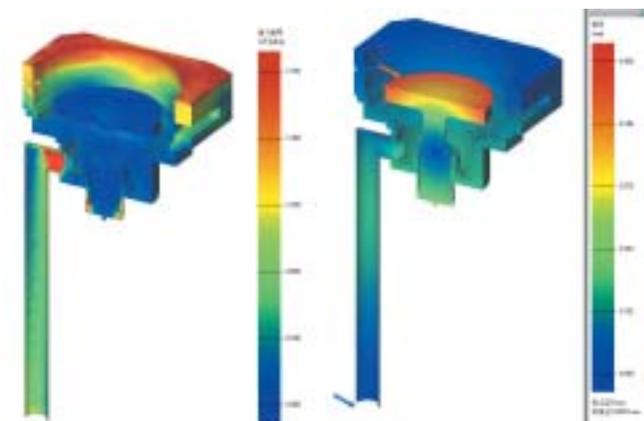


그림 25. 등가응력 결과

그림 26. 변위 결과

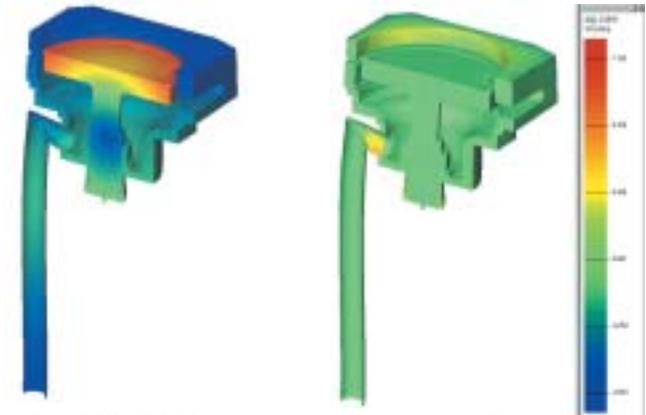


그림 27. 열 변형 애니메이션

그림 28. Heat Flux 결과

결론

TECHO 200M 모델에 대하여 CFdesign 해석결과에서 나온 온도 결과를 3G에서 이용 열전달 해석 및 열 응력 해석을 수행하여 TECHO 200M 모델에서의 열 분포와 열팽창에 의하여 발생하는 등가응력 및 변위결과를 통하여 최대 응력 및 변위에 대한 최적의 TECHO 200M 형상을 구현할 수 있다. Heater의 온도가 340℃일 때 TECHO 200M 모델의 등가응력은 170Mpa 최대변위는 0.9mm가 나오는 것을 확인할 수 있었다.

맺음말

이와 같이 최적의 장비를 만들기 위해서는 어느 부분이 문제인지, 어느 Part가 영향을 미치는지 설계자조차도 모르는 곳을 CFdesign, 3G는 아주 쉽고 빠르게 알려 주었다. 반복적인 제조와 실패를 거듭하는 것보다, 정말 획기적인 방법이였다.

IPS는 CFdesign/3G를 이용하여 열 유체유동 해석과 열 응력 해석을 통한 구조물의 미세한 부분의 문제를 해결하고, 자체의 기술축적을 기본으로 세계 최고의 제품에 한발 한발씩 전진하고 있다. CFdesign/3G를 적용하면서 설계자들은 본인이 설계한 제품에 대하여 본인이 구조적인 문제점을 바로 찾아내고, 이에 대한 개선점을 바로 실무에 적용하고 있다. 또한 이를 바탕으로 설계자들은 본인이 설계한 제품에 대하여 설계 자신감을 얻게 되어 보다 경쟁력 있는 제품을 빠른 시간 내에 생산해내고 있다.

CFdesign/3G는 세계적인 트렌드로 짧아진 라이프 사이클에 맞게 설계자들이 설계하고, 빠르게 검증하는 설계자용 CFD/CAE 프로그램이라고 할 수 있다. 이러한 점이 CFdesign/3G를 국내·외의 우수 기업들이 적극적으로 도입을 하고 있는 이유라고 생각된다. 또한 CFdesign/3G는 Chamber 장비, Clean Room, Valve 장치 회사 및 철강제조설비와 중공업에 필요한 산업기계 및 부분 설비의 바쁜 설계 일정에도 신속히 기술적 대응을 할 수 있는 최적의 프로그램이라고 생각된다. 향후 IPS는 기존의 열 유체 유동해석 및 구조해석 프로그램인 CFdesign/3G를 이용하여 자체 기술력 배양은 물론이고, 반도체 및 LCD 장비산업의 선두로 나갈 것이다.