

설계 최적화를 위한 CFD와 CAD의 접합(Integration)

백영렬 / ATES(주), 부장

이 글에서는 CFD의 효율적인 적용 및 사용을 통하여 제품의 설계와 생산 공정의 최적화가 어떻게 구현될 수 있으며 CFD를 이용한 최적화 과정에서 걸림돌이 되는 것들로 어떤 요소들이 있는지 관하여 다루고자 한다. CFD와 같은 CAE tool을 이용한 설계 과정의 최적화는 최신의 기술을 장착하고 있는 상업용 CFD 소프트웨어들에 의하여 가능하며 이들 코드들에 관한 특성들도 이 글에서 취급하고자 한다. 잘 알려진 바와 같이 제품의 초기 개념 설계 단계에서부터 계획 및 상세설계에 이르기까지 각 단계에서 최적의 조건을 구하기 위해서는 주어진 구속조건에서 변수들에 관한 반복적인 시뮬레이션이 수행되어야 한다. 이러한 과정에서 각각의 조건에 관한 시뮬레이션 과정이 시간이 비교적 많이 소요되는 수동적인 방법으로 이루어질 경우 최적화는 불가능하다. 즉 각 설계 변수의 최적화 조건을 구하기 위하여 CAE 과정에서 자동화(automation)은 필수적인 것이다.

전산 유체 역학(computational fluid dynamics)은 지난 30여 년 동안 다양한 유체유동 및 열전달 분야에서 사용되어져 오고 있는 시뮬레이션 기술이다. 산업분야에서 CFD에 대한 요구가 증대됨에 따라 20여 년 전부터 상업용 CFD 코드가 등장하기 시작하였으며 근래 들어서는 약 80여 종류의 상업용 CFD 코드가 자동차, 전자, 항공, 건설, 조선, 제강과 같은 여러가지 종류의 산업분야에서 이용되어 오고 있다. 하지만 상업용 CFD 코드가 고가인 이유 때문에 비교적 풍부한 예산이 확보된 대기업 및 국책 연구소 중심으로 이에 관한 사용자 층은 매우 제한적이었다. 아울러 사용상의 난

점 때문에 CFD를 전공한 전문가 집단 위주로 사용되어 오고 있다. 이런 측면에서 볼 때 설계 분야에 종사하는 엔지니어들이 CFD를 이용하여 설계를 하는 데는 상당한 괴리감이 존재하게 된다. 전통적으로 CFD와 같은 해석은 설계에 대한 타당성 검증의 목적으로 설계 사이클에서 맨 마지막에 수행되어져 왔기 때문에 CFD가 설계에 직접적인 도움을 주지 못하고 보조의 역할밖에 하지 못하는 수동적인 도구로 여겨져 왔다. 이러한 설계 경향은 CFD가 설계 과정에서 요구하는 시간 내에 시뮬레이션이 불가능하기 때문에 나타난 현상이다. 상기에서 언급된 문제점인 시뮬레이션의 시간 단축은 설계 부서에서 사용되는 CAD 도구와 CFD와 같은 CAE tool을 적절하게 접목함으로써(integration) 가능할 것이다. 이후에서는 CFD의 시뮬레이션 과정을 자동화하기 위하여 고려되어야 할 요소들에는 어떤 것들이 있는지에 관하여 알아보려고 한다.

CAD Integration & Associativity

과거 10여 년 동안 Pro/Engineer, CATIA, UniGraphics 및 SolidWork와 같은 3차원 parametric CAD tool들은 산업 현장의 설계에 상당한 혁신을 가져왔으며 이로 인하여 복잡한 부품 및 어셈블리를 가지는 모델들을 매우 빠르게 생성할 수 있게 되었다. 아울러 이들 3차원 CAD 소프트웨어들은 제품의 modeling시 주요치수들을 변수로 지정할 수 있는 기능을 장착하고 있어서 설계 변경에 따른 제품의 기하학적 형상을 쉽게 재구성할 수 있다. 제품의

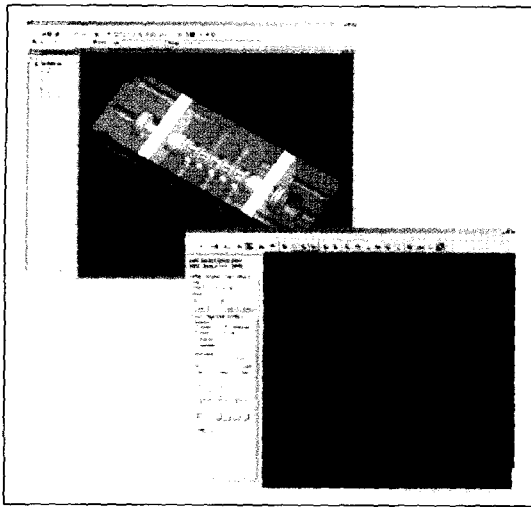


그림 1 CFD가 CAD 내에 Imbedded된 경우

설계는 초기의 개념설계부터 시작하여 최적의 최종 설계안이 확정되기까지 여러 번의 수정 과정을 거치게 된다. 이러한 설계 변경과정에서 시뮬레이션 도구가 주어진 시간 내에 설계자에게 적절한 피드백을 주게 되면 효율적인 설계가 가능할 것이다. 하지만 현실적으로 CAD 소프트웨어와 CFD 소프트웨어가 독립적으로 분리되어 있기 때문에 시뮬레이션을 위해서는 두 소프트웨어간의 데이터 교환이 이루어져야 한다. 이러한 데이터 변환 과정은 경우에 따라 엔지니어들의 많은 노고를 요구하기도 한다. 앞서 언급한 비효율성을 제거할 수 있는 방법 중의 하나는 CAD 소프트웨어 내부에 CFD solver와 같은 시뮬레이션 도구를 장착시키는 것이다. 이 경우 설계 환경(design environment)에 시뮬레이션 도구가 완벽하게 접합됨으로 인하여 설계 변경에 따른 제품의 성능 평가가 주어진 설계 시간 내에서 원활하게 수행할 수 있을 것이다. CFD가 CAD 내에 장착되었을 때 추가적인 변환 과정 없이 3D CAD 모델을 직접적으로 읽을 수 있으며 데이터 변환으로 인하여 발생된 데이터의 가공 및 기타 작업이 필요하지 않게 된다.

이는 설계 변경에 따른 형상 변경의 효과가 제품의 성능에 어떤 영향을 미치게 되는가에 대한 평가를 CAD 작업의 변경과 동시에 수행하게 될 수 있음을 의미한다. 이러한 특징을 가진 CFD 소프트웨어로는 Pro-E에 장착된 CDesign 및 Solidwork와 접목된 Flowworks 등이 있다.

Automatic Mesh Generation & Regeneration

FVM(Finite Volume Method)와 FEM(Finite Element) 방법에서 모델링 과정 동안 엔지니어들의 가장 많은 노고를 요구하는 과정 중의 하나는 격자생성(mesh generation)이다. 이 과정 역시 효율적인 제품의 설계를 위한 관점에서 볼 때 자동적으로 수동되어야 만이 주어진 시간 내에 설계자에게 도움을 줄 수 있다. 이때 생성된 격자들은 수치적인 정확성과 안정성이 보장되도록 생성되어야 한다. CFD분야에서 일반적으로 사용되어 오고 있는 자동 격자 생성 방법으로는 비정렬 delaunay tetrahedral mesh generation이 있는데 이는 일반적인 육면체 격자에 비하여 계산의 정확도가 떨어진다고 할 수 있으며 이를 보완하기 위하여 물리량의 변화가 큰 벽면 근처에서는 prismatic boundary layer element를 사용하게 된다. 아울러 사면체 격자(tetrahedral mesh)를 이용하여 자동격자를 생성할 경우 두께가 얇은 평판 또는 영역이 존재하는 경우에는 정확성을 보장받기 위하여 매우 많은 격자를 부여하게 되는데 이는 계산 시간과 직접적인 연관성을 갖는다. 이에 관해서는 이후에 다시 논의하기로 한다.

Solver Technology for Fast, Accurate Solutions

현재 개발되어 보급되고 있는 80여 종류의 상업

용 CFD 소프트웨어들은 일반적인 문제에 해당하는 난류 열전달 현상을 취급할 수 있다. 이러한 물리적 현상이 산업체에서 취급되고 있는 문제의 60% 이상이라고 판단되며 이때 사용되는 수치적인 방법으로는 FEM과 FVM 방법이 채용되고 있다. 잘 알려진 바와 같이 전자의 방법은 후자의 경우에 비하여 정확성측면에서 유리하지만 지배 방정식인 PDE(Partial Differential Equation)가 LE(Linear Equation)으로 변환된 후 행렬의 bandwidth가 매우 크기 때문에 계산 시간 및 메모리 측면에서 매우 불리하다. 이런 이유로 계산 시간 및 격자의 수가 많이 요구되는 CFD 코드들은 FVM 방법을 채용하고 있다. CFD 해석에서 얻어진 해의 정확도는 격자의 질과 격자의 수에 의하여 좌우된다고 하여도 과언은 아닐 것이다. 즉 일반적으로 해의 정확성을 보장받기 위해서는 많은 수의 격자를 사용하게 되는데 앞서 언급한 바와 같이 고성능 고용량의 해석 시스템을 요구하게 된다. 근래 들어서는 계산 시간의 단축을 위하여 여러개의 CPU를 병렬로 연결하여 격자의 수가 많은 문제를 계산하는 병렬계산(parallel computing)의 사용이 확대되고 있다. 특히, 1-2년 전부터 개발되어 상용화되고 있는 clustering 기법은 기존의 SMP 시스템에 비하여 비용 대비 성능이 우수하여

사용자 층이 빠르게 확대되고 있는 실정이다.

Post-processing & CAE Integration

일반적으로 CAE 과정은 pre-processing, solving 및 post-processing으로 대별될 수 있다. 여기서 마지막에 해당하는 post-processing 과정에서는 여러가지 계산 조건에 결과의 비교 검증 작업을 통하여 설계안이 도출되기 때문에 현장에서 설계업무에 종사하는 비전문가들도 사용할 수 있도록 구성되어야 한다. 근래들어서는 CFD 해석, 구조해석, 소음해석 및 전자기 해석이 연계된 문제들도 산업 현장에서 쉽게 찾아 볼 수 있다. 구조물 내부의 열용력을 해석하기 위하여 CFD를 이용한 구조물의 표면 및 내부에서의 정확한 온도해석이 필요한 것이 상기의 대표적인 예일 것이다. 이런 관점에서 볼 때 CAE 소프트웨어들 간의 데이터 호환도 CAE 기법을 이용한 효율적인 설계에 중요한 요소로 작용하게 될 것이다.

이 글에서는 주로 CFD 도구가 CAD 내부에 장착되었을 경우 얻을 수 있는 장점에 관하여 논의 하였으며 이는 CFD 해석 기법에만 국한되는 것이 아니라 다른 CAE 기법에서도 유사할 것이라 사료 된다.

(백영렬 위원 : yrback@ates.co.kr)

공리적 설계(Axiomatic Design)

설계를 할 때 좋은 설계를 할 수 있도록 설계원리를 제공하는 설계방법이다. 설계자는 독립공리와 정보공리의 두 가지 공리를 바탕으로 설계를 행해야 한다. 설계의 목적을 기능적 영역에서의 기능요구와 그 목적을 달성하기 위한 수단을 물리적 영역에서의 설계파라미터로 정의하여 설계를 행하는 데, 두 가지 공리는 만족해야 하는 지침이 된다.