

설계 라인에서의 CAE 활용

1. 서론

최근, 컴퓨터의 급속한 발달과 더불어 CAE (Computer Aided Engineering)를 대표하는 Digital Engineering(DE)은 기계산업에 커다란 변혁을 가져오고 있다. DE는 기획·설계 과정에서부터 제조 과정에 이르는 모든 개발 과정에 있어서 새로운 기술의 틀을 제공하고 있다. 여기에서는 기계 산업에서 중요한 개발 과정의 하나인 설계 과정에서 CAE의 적용 사례에 대하여 해설한다. 즉, 처음에는 기계 산업에 사용되고 있는 CAE의 현상에 대하여, 자동차 산업을 예로 하여 설명함과 동시에 설계 현장에 도입하는데 어려운 점에 대하여 지적한다. 다음으로 이러한 문제를 해결하기 위하여 실제로 설계 현장에 CAE를 적용할 때에 고려하여야 할 설계자 및 설계 현장의 가치관·고려하여야 할 점에 대하여 분석하고, 그것을 기초로 하여 설계 현장에서 필요로 하는 CAE에 대하여 논한다. 마지막으로 그것들을 구체화하고 있는 새로운 두 가지의 시도인 CAD Embedded CAE와 First Order Analysis에 대하여 소개한다.

2. 현재 CAE의 意義

요즈음, IT 기술의 근간을 이루는 컴퓨터의 비약적인 성능 향상과 더불어 자동차 산업으로 대표되고 있는 기계 산업에서 CAE의 역할은 점차 커지고 있다. 고성능화·대규모화를 목표로 한 CAE Tool의 많은 진전에 의하여, 기계 부품만이 아니고, 자동차 Body 구조와 같은 기계 구조 전체의 성능을 정량적으로 평가하는 것이 가능해졌다. 유한 요소법의 해석 모델도 100만 자유도를 넘어서 강성·진동의 성능 평가에 필요한 선형 해석에서 충돌·강도 평가에 필요한 비선형 해석에 이르기까지 많은 평가가 CAE에 의하여 가능해졌다.

이러한 CAE의 역할은 말하자면 시작(試作)의 대

체화이고, 지금까지의 실험 해석을 컴퓨터 상에서 충실하게 재현하는 것이다. 즉, 컴퓨터 상에서 가상적으로 수치 실험을 함으로써 성능 평가를 하는 것이 목적이고, 그러기 위해서는 대상이 되는 현상·구조물을 어떻게 하여 충실하게 표현할 수 있을가가 중요한 과제이다. 그러나, 이러한 수치실험의 대체 수법으로써 CAE를 그대로 실제의 설계에 이용하는 것은 곤란하다. 왜냐하면, 설계 현장은 CAE를 전문적으로 이용하여 평가하는 부서와는 다른 가치관을 갖고 있고, 설계 현장이 CAE에 기대하고 있는 의의나 역할도 다르기 때문이다. 예를 들면, 그림 1에 나타난 충돌평가를 하기 위해서는 모델 작성 담당자가 수개월을 걸려서 해석 모델을 작성하고, CAE의 담당자에 의하여 해석을 하지만, 통상 설계자에게 그러한 시간은 주어지지 않는다. 해석 결과로부터는 변형량, 응력값 등이 평가치로써 이용되지만, 설계자가 그것으로부터 좋은 설계안을 이끌어 낼 정보를 얻는 것은 그렇게 간단하지 않다.

3. 설계 현장에 필요한 CAE의 역할

자동차의 설계 현장을 예로, 설계 현장에 요구되는 CAE에 대하여 고찰한다. 자동차의 Body와 같은 비교적 규모가 큰 구조물의 설계에는 통상 수십

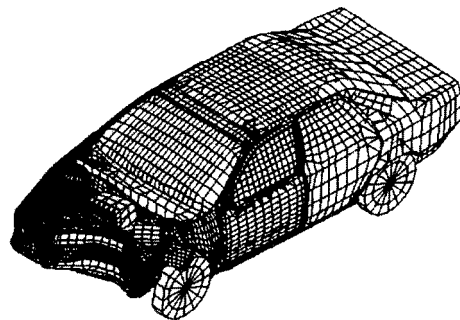


그림 1. 충돌 평가를 위한 비선형 해석 예(일본종합연구소, LS-DYNA에 의한 해석결과)

명의 설계자가 종사한다. 각 설계자는 상급 설계자의 지시에 따라 할당된 부위의 설계를 진행한다. 물론, 어떠한 방법으로도 구조의 검토는 이루어지고 있다. 그 검토 단계에 CAE를 도입한다고 하자. 그 경우에 CAE가 「최적의, 또는 만족하는 설계안」을 「자동적으로」 설계에 제공하는 방법이라고 하더라도 불충분하다. 만약, 이러한 CAE를 사용하여도 CAE를 사용하여 형상을 결정하였다고 하더라도 결코 어느 정도 설계에 종사한 사람들이 가슴을 펴고 말할 수 있을 것인가.

지금, 상급 설계자의 입장에 서서, 신입 사원 A에게 「어떤 하중 조건 하에서도 가장 강성이 높고, 경량인 부품을 설계하라」고 하는 과제를 설정하였다고 하자. 다음 날, 설계안이 제출되어, 도면을 앞에 놓고, 그 내용을 검토하면서, 신입사원 A가 설계한 여러 부분의 형상에 대하여 하나하나 질문하여 본다. 그에게 물을 때마다, 그 답이 「최적설계 CAE S/W ○○○의 결과입니다.」라고만 한다면 아마 당신은 낙담할 것이다. 또는 재검토하도록 말하지는 않을까? 한편, 「CAE S/W ○○○로 계산하였지만 대학에서 배운 재료역학의 지식으로 계산결과를 검증하였습니다.」라고 말한다면, 당신은 안심할 것이다. 여기에서, 설계 현장에서는 A군이 「CAE S/W ○○○」를 사용하였다고 하더라도 그 결과를 다시 한번, 기초식에 근거하여 검토하거나, 또는 기존의 설계 예와 비교하여 확인하는 프로세스가 실제 작업에서는 중요하다. 그러면 A군이 사용한 CAE S/W의 역할은 어디에 있는가 하면, 신입사원인 그의 경험이 적은 것을 보충하여 주고, 기한 내에 도면화 한 점이다. 설계 부서에서는 혼자서 고민하는 것보다는 빨리 동료나 선배에게 보여주고 검토를 받는 것이 중요하다. 도면이라고 하는 누구라도 볼 수 있는 형상으로 하지 않으면 설계로부터 그 후에 계속되는 모든 프로세스는 이루어질 수 없다. 많은 사람들이 모여서 검토하는 것이 중요한 것이므로, 그러기 위해서는 아주 빨리 도면을 만들어내는 것이 최초에는 중요하다. CAE S/W는 우선 구상을 재빠르게 구체화하여 보여주는데 그 가치가 있다.

이상의 설계자가 이용하는 CAE의 진면목으로는 최적 설계법이라고 하는 역해석적인 벡터의 방향과 기본으로 돌아가 생각하는 순해석적 벡터의 방향이

둘 다 갖추어져 있는 형태가 요구되고 있다. 나아가, 하나하나 개발에 대한 안이나 그 구체화는 개인작업이므로 설계자의 CAE는 개인적인 환경에서 “혼자서 할 수 있다”라는 것도 중요하다. 즉, 설계자의 CAE는 설계 개념의 구체화와 그 타당성을 용이하게 검증할 수 있는 CAE 이다. 이것이 설계 업무에 기대되는 CAE의 모습이라고 생각한다.

이사의 고찰을 기초로 하여 설계 현장에서 필요하다고 생각되는 CAE에 대하여 정리하여 보자.

1. 설계 현장의 CAE는 성능에 관련된 현상이나 최적 구조를 제시할 뿐만 아니라 성능을 결정하고 있는 구조에 대비한 메커니즘을 설명하는 정보를 제공하지 않으면 안된다. 즉, 해석 결과가 얻어질 뿐만 아니라 그 결과가 얻어진 이유를 물리적으로 근거를 제시할 수 있는 방법이 필요하다. 따라서 간단한 수치 계산법이라고 하더라도 인간이 수치 계산 결과의 타당성을 판단할 수 있으면 설계에 이용될 가능성은 크다. 극단적으로 말하면, 설계 단계의 성능 평가와 최종적인 평가 단계에 있어서 전반적인 성능 평가란 정량적으로 달라도 된다. 설계 단계의 중요과제는 설계 지침을 부여하는데 있기 때문이다.
2. 설계자는 CAE의 전문가가 아니다. 따라서, 설계 현장의 CAE는 전문 지식이 없어도 간단히 CAE를 이용할 수 있지 않으면 안된다. 또, 설계 현장의 의사 결정은 제한된 시간에 하지 않으면 안되기 때문에 해석 모델의 작성 등을 단시간에 실행할 수 있어야 한다.
3. 설계 단계에 있어서는 설계 대상의 상세한 형상은 결정되어 있지 않고, 개략적인 검토가 필요하다. 즉, 설계 형상이 상세하게 결정되어 있지 않더라도 구조의 특성을 평가할 수 있는 CAE 이어야 한다.

이상과 같은 설계 현장에서 CAE에의 요구에 대한 두 가지 예를 소개한다.

4. 설계 현장에 CAE를 보급시키는 두 가지 수단

앞에서 기술한 설계 현장에, CAE를 보급시키는

수단으로 두 가지의 방법을 고려할 수 있다. 하나는 CAD에 CAE를 포함시켜서, CAD를 이용할 때 하나의 옵션으로 CAE를 이용하는 방법이다.

CAD는 지금의 기계설계의 필수품이다. 3D-CAD의 도입에 의하여 CAD는 단지 도면을 그리는 도구로부터 3차원 형상의 검토가 가능한 기능을 시스템이 갖고 있다. 그리고, 설계자는 3D-CAD 상의 형상에 대하여 과거의 경험이나 도면에 기초하여 좋고 나쁨을 평가할 수 있다. 이러한 CAD에 간단한 CAE가 점차 도입되고 있다. 이러한 CAE를 이용하면 CAD를 이용한 검토 단계에서 어려운 지식이 없이도 버튼 하나로 CAD 모델로부터 FEM 모델을 자동적으로 작성할 수 있다. 나아가 해석 조건의 설정, 해석 결과의 평가까지 도해적인 지식에 따라 간단히 실행할 수 있다. 이러한 CAE는 CAD Embedded CAE라고 부르고, 현재, ANSYS 사로부터 Design Space, MSC 사로부터 MSC. visual Nastran Desktop, COSMOS Japan 사로부터 COSMOS/WORKS 등이 제공되고 있다.

예를 들면, 그림 2에 나타난 ANSYS 사의 Design Space에서는 대부분의 시판 CAD로부터 해석 모델을 자동적으로 작성하는 것을 가능하게 함과 동시에, 구조·진동·열 해석으로부터 형상 및 토폴로지 최적화를 간단히 실행할 수 있다. 이들 CAD Embedded CAE는 앞으로 더욱 많은 해석·최적화 기능을 설계자에게 제공할 것이다.

또 하나의 수단으로 토요타(豊田)중앙연구소와 미시간 대학은 새로운 설계 현장의 CAE로서 First

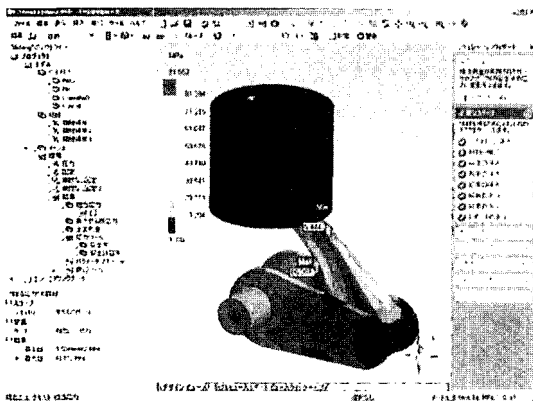


그림 2. CAD Embedded CAE의 한 예(ANSYS 사, Design Space)

Order Analysis(FOA)를 제창하고 있다. 이 CAE의 가장 기본적인 개념이 되고 있는 것이 특수화의 사고이다.

일반적으로 설계자는 설계 대상물을 중심으로 사고한다. 즉, 최초로 담당하는 설계 대상에 대하여 요구되는 기능과 그 성능을 결정짓는 설계 요인을 명확하게 하고, 그것을 기초로 하여 성능에 크게 관여하는 기본 요소의 구성을 결정한다. 그 설계 요소의 구성·배치가 끝난 다음에는 다소 부차적이지만 어느 정도 성능에 영향을 미치는 부위의 설계를 하고, 최종적으로 설계 대상의 상세 설계에 이른다. 예를 들면, 자동차 Body 부위를 설계하는 경우라면 최초로 골격 구조의 배치가 결정되고, 그 다음에 골격의 단면, 그리고 패널 형상과 같은 순서이다.

이러한 설계 순서를 통상의 CAE 해석 모델의 작성 순서와 비교하면, 그 순서가 전혀 다른 것을 이해할 수 있다. 즉, 통상의 CAE 해석 과정에서는 설계 대상과 성능의 관련성을 판단하지 않고, 설계 대상으로부터 추상화, 일반화 한 Mesh Model을 작성하고, 일반화된 해석하는 순서에 따르는데 대하여, 설계 과정에서는 특정화 또는 특수화된 설계 대상의 성능을 결정짓는 본질적인 부위로부터 설계를 하여 나간다. 설계 현장에서는 이러한 설계 과정에 잘 맞는 CAE가 바람직하다. 그래서 이 방법에서는 그림 3에 나타난 것과 같이 각 설계 대상에 특화된 인터페이스를 작성한다. 그리고, 해석 모델의 작성은 설계 순서에 따른 것이면서 동시에 해석순서·해석조건은 인터페이스에 포함시킨다. 여기에서는 이러한 사고를 각 설계 대상(Product)의 설계 순서에 입각하고 있으므로 Product Oriented Analysis(POA)라고 부른다.

이 방법의 가장 유리한 점은 설계 현장이 갖고

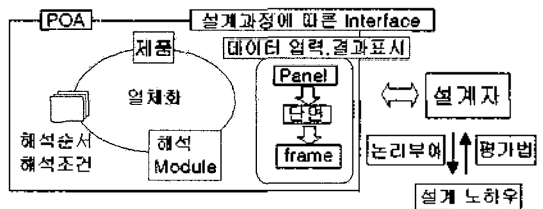


그림 3. Product Oriented Analysis(POA)의 개념

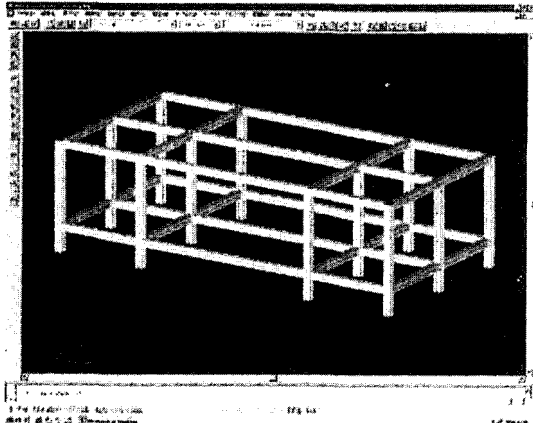


그림 4. 각 제품에 따라 특화된 CAD 시스템(알모니코스사, 알루미늄 Frame 구조재 설계 CAD)

있는 과거 설계 노하우나 지식과 링크시키는 것이 용이한 것이다. 왜냐하면, 이들 노하우나 지식은 각 제품별로 축적된 것이므로 각 제품으로 특화된 인터페이스를 갖는 POA에는 해석 순서의 참조 데이터로써 열거하며 해석하면서 그들이 노하우나 지식을 확인할 수 있기 때문이다.

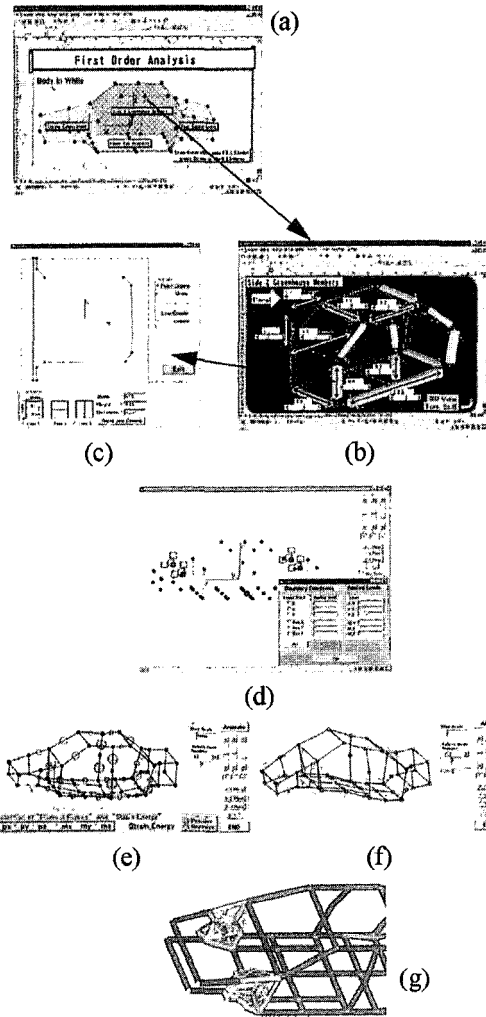
이러한 개념은 알모니코스사의 CAD 시스템에서도 볼 수 있다. 동사에서는 각 제품에 특화된 기능을 부여한 새로운 형식의 CAD를 개발하고 있다. 예를 들면, 그림 4에 나타낸 CAD는 알루미늄 압출재로 구성된 구조물의 설계로 특화되어 있어서 숙련 설계자의 지식에 기초하여 알루미늄 재료의 기본 배치에서부터 단면 설계, Bracket·Panel의 배치까지 자동적으로 결정할 수 있다. 확실히 기능으로 특화된 CAD이기 때문에, 범용적으로는 이용할 수 없으나 특화하였기 때문에 종래의 설계 노하우나 지식을 집어넣을 수 있다고 하여, 설계 현장에서는 매우 유의한 장점을 갖는 CAD 시스템을 실용화하는 것이 가능하다고 한다.

이상의 POA 개념을 기초로, 새로운 설계 지원 툴로써의 CAE인 FOA를 전개하고 있다. FOA는 구체적으로는 이하의 구성요소에 의하여 개발되고 있다.

1. 보 요소나 패널 요소 등의 기능이 명확한 요소를 이용한 강성(剛性)해석과 진동해석 : 이것에 의하여 각 구조 요소의 구조적인 메커니

즘을 명확하게 할 수 있다. 해석 모델은 약 수백 자유도로 하여서 해석 결과는 수 분 정도에 얻을 수 있다.

2. POA의 개념에 근거한 Microsoft/Excel을 이용한 인터페이스 : 이것에 의하여 현장의 설



- (a) 자동차의 Body 구조
- (b) 단면설계·평가
- (c) 보 요소와 패널 요소에 의한 해석 모델
- (d) Cabin 부분의 설정
- (e) 강성해석
- (f) 진동해석
- (g) 토폴로지 최적화

그림 5. Body 구조 설계를 위한 FOA 시스템

계자는 어떤 전문 지식이 없어도 CAE를 실행할 수 있다.

3. 보 요소를 이용한 토폴로지 최적화 : 이것에 의하여 구조 배치의 개량이나 보강 부재의 설정 등을 구조적인 메커니즘을 명확하게 하면서 유도할 수 있다.
4. 보 구조의 단면 설계·평가법과 접합 부위의 성능 평가법 : 이러한 구조 설계로 특화된 해석·평가 틀에 의하여 과거의 노하우에 따라서 간단히 설계가 가능하다.

이상의 구성요소에 기초한 Body 구조 설계를 위한 FOA 프로그램의 한 예를 그림 5에 나타낸다. 예를 들면, Body 구조의 Cabin 부분(그림 5(a))을 클릭하면, Cabin의 설계 Sheet(그림 5(b))가 나타난다. Sheet 상의 Slider Bar와 Button을 조작함으로써 설계 재원을 변경할 수 있다. 또, Frame 부분을 클릭하면 Frame의 단면 설계·및 평가(그림 5(c))가 가능하다. 다음에 설계 재원을 기초로 자동적으로 보 요소와 패널 요소를 이용한 해석 모델을 작성하여(그림 5(d)), 강성해석(그림 5(e)), 진동해석(그림 5(f)), 토폴로지 최적화를 실행한다(그림 5(g)).

이상과 같이 Body 구조 설계자는 Microsoft/Excel 상의 Slider Bar와 Button을 이용하는 것만으로 간단히 해석을 할 수가 있다. 설계 현장에

서는 이러한 간단하지만 설계 대상에 특수화된 CAE가 앞으로 중요한 역할을 할 것으로 생각한다.

5. 결 론

설계 현장에서의 CAE의 의의·역할에 대하여 고찰함과 동시에 설계 현장에서 이용을 전제로 한 CAE의 두 가지 흐름에 대하여 소개하였다. 이들 두 가지 방법은 전혀 별개의 것이 아니고, 지금까지 유기적으로 결합하고 나아가 커다란 CAE의 뼈대가 될 것이다. 그 경우에 특수화의 개념은 CAE와 설계 현장을 연결하기 위한 커다란 의미를 갖는다고 생각한다. 그리고, 특수화를 주축으로 한 CAE는 설계라고 하는 Synthesis 행위를 지원하기 위해서는 필수 불가결하다고 예상된다.

본 기사는 건국대학교의 이성수 편집위원이 "일본정밀공학회지" 2001년 11월호 pp.1760-1763을 번역한 것으로 일본정밀공학회지의 연락처는 다음과 같다.

- 주소 : ☎ 102-0073 東京都千代田區 九段北 1-5-9, 九段誠和Building 2F
- 전화 : +81-3-5226-5191
- FAX : +81-3-5226-5192
- URL : <http://www.jspe.or.jp/>