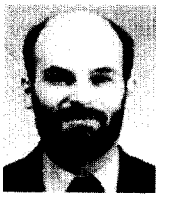
유한요소 해석법 사용상의 위험성

사무엘 존 라일
HW(Korea) 대표



●1957년생
●기계공학을 전공하였으며, 토목, 원자력, 해양과 자동차 산업에서 15년간의 공학해석 경험을 쌓았으며 현재 공학 구조해석 용역을 하고 있는 영국계 HW Structures Ltd.의 서울지사인 HW(Korea)의 대표이다.

1. 머리말

상업적인 유한요소 코드들은 오늘날 업계에서 공학 문제들을 해결하기 위해 널리 사용되고 있다. 이러한 코드들의 광범위한 사용으로 점점 많은 초보자들이 예전에 해결하지 못했던 여러 문제들을 해결하기 위해 이러한 코드들을 이용하게 되었다. 그러나 기술부족이나 잘못된 사용으로 인하여 분석 결과가 잘못되었다는 것이 시험부서 또는 기술·설계부서에서 곧잘 드러나게 된다.

이 글에서는 구조 해석자가 유한요소 분석 모델을 만드는 과정에서 범할 수 있는 실수들에 대해서 제언하고자 한다.

2. 문제제기

컴퓨터 소프트웨어 판매자가 절대로 밝히지 않는 것 중 한 가지는 그들의 상품을 사용하는 것이 매우 위험하고 시간을 허비하는 것이 될 수도 있다는 것이다. 특히 유한요소 해석(finite element analysis) 팩캐지에서 점점 그러한 현상이 늘고 있다. 왜냐하면 어떤 팩캐지는 정역학(static) 해석에는 좋으나 중간 과정(transient) 해석에는 적합하지 않고 어떤 것은 열전도 해석 능력이 있으나 열 대류 전달 문제는 잘 해석하지 못하는 등 대부분의 팩캐지들은 장·단점을 가지고 있기 때문이다. 또한 어떤 코드의 4절 요소(four noded element)가 다른 코드의 8절 요소(eight noded element)보다 좋을 수도 있는 것이다.

이러한 모든 문제점들은 유한요소 해석 프로그램들을 사용하기 이전에도 분명히 알 수 있다. 유한요소 해석 프로그램들은 그 자체가 매우 복잡하다. 따라서 효과적인 투자가 되기 위해서 이 프로그램들은 광범위한 문제들을 해결할 수 있어야 한다. 왜냐하면 사용자가 이번 주에는 단지 정역학적 해석만을 필요로 했으나 다음 주에는 중간 과정인 열응력 해석(thermal stress analysis)이 필요하다는 것을 깨닫게 될 수도 있기 때문이다.

다수의 코드에 각각의 교육 전문가들을 갖출 수 있으면 바람직하겠으나 그러한 여건을 갖출 수 있는 회사들은 거의 없다. 따라서 올바른 팩캐지를 구입하는 것이 기본적으로 필요하다. 코드 간에 결과의 정확성 비교와 같은 단기간의 평가만으로 그 코드의 장기적 유용성이나 손쉬운 사용들을 반드시 보장할 수 있는 것은 아니다. 사용설명서를 읽는 것이 성공을 보장하는 것 또한 아니다. 잘못된 번역이나 설명서상에 잘못 기술된 내용들이 오차 발생의 일반적 원인이 되고 있기 때문이다. 요소(element)들의 부정확한 사용, 잘못된 보요소(beam element)의 단면 방향, 동역학적 문제들에 대한 통일되지 않은 단위(unit)의 사용,

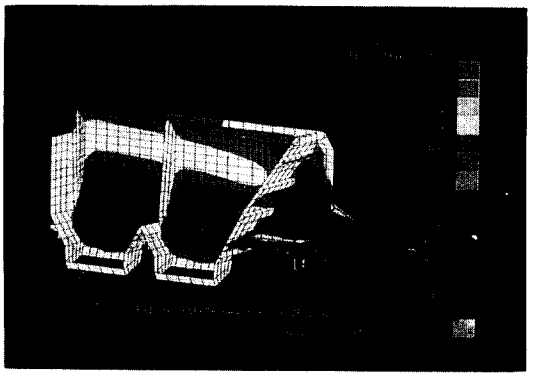


그림 1 철도 웨건 구조의 유한요소 모델

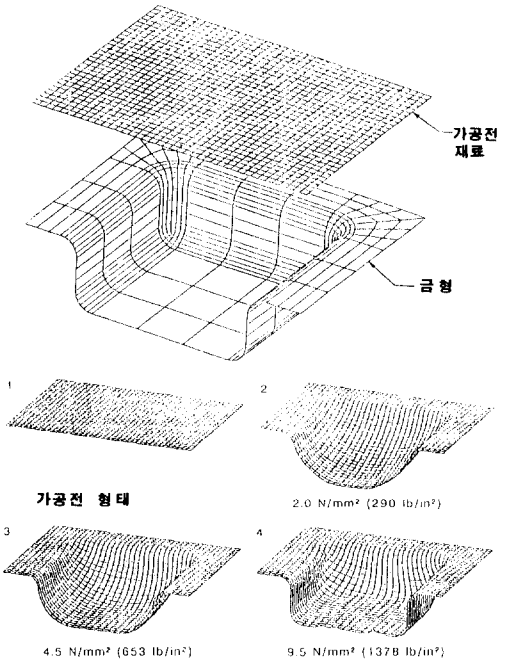


그림 2 금속 성형 과정의 해석

과잉 구속된(over constrained) 모델, 부정확하게 정의된 다점(multi-point) 구속, 컴퓨터 계산상의 오차 등은 경험이 부족한 사용자가 범하기 쉬운 오류의 영역이다. 설명서들은 사용상의 어떤 특정 문제를 어떻게 해결해야 하는지 말해주지 않는다. 따라서 문제를 정확히 정의하고 언제 국소 좌표계를 사용할 것인지, 연결시 국소 유연성(local flexibilities)을 어떻게 밝힐 것인지, 국소 불안정성을 어떻게 평가

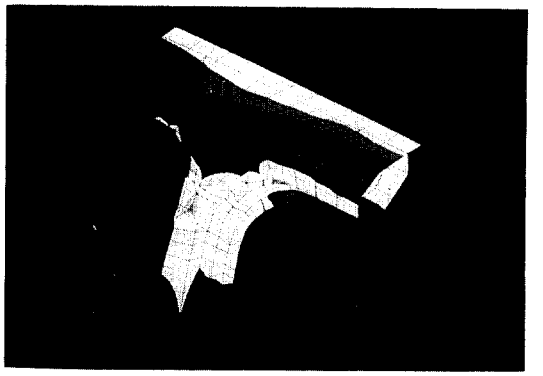


그림 3 자동화 접속 부분 해석

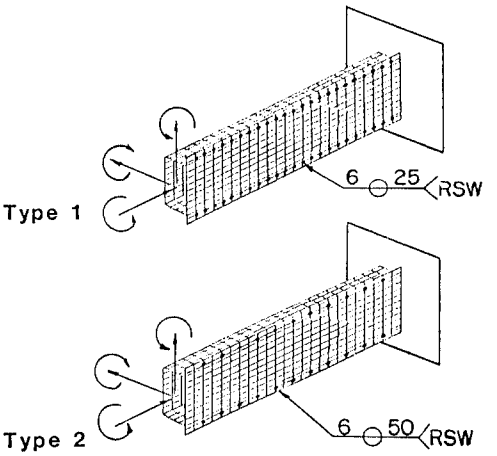


그림 4 단순 보(beam) 모델

할 것인지를 결정하는 것은 사용자의 책임이다. 이러한 의문들은 경험이 많은 구조 해석자에 의해 해결되어야만 한다.

유한요소 분할(mesh) 작업은 또 다른 관심의 영역이다. 몇몇 코드가 특이점을 피하고 문제 해결을 위한 지침을 주지만 실제 구조물을 고려한 분할 밀도, 요소의 가로와 세로 비(aspect ratio), 비틀림 등의 선택이 해석 결과에 영향을 미친다. 그러므로 다시 한 번 구조 해석자는 해석 결과를 분석하고 판단을 내릴 준비가 되어 있어야만 한다.

평형 조건의 검토, 결과치에서 변위(nodal results)와 응력(element results)의 검토, 그리고 포스트 프로세서를 이용한 (즉 그래픽을

이용한) 결과의 충분한 검토를 하지 않은 것도 일반적인 오차의 원인이 된다. 결과는 설명될 수 있어야 하고 공학 이론에 의해 뒷받침 되어야 한다. 그러므로 이치에 맞지 않는 결과는 어느 것이나 다른 모델링 방법 또는 다른 해석 코드를 이용하여 재해석·검토되어야 한다. 사용자로 하여금 결과를 먼저 철저히 검토하지 않고 마지막 결과만을 보도록 하는데 포스트 프로세서 팩캐지가 기여해 왔다.

트랜슬레이터, 프리프로세서 그리고 포스트 프로세서는 효율적이어야 하므로 결과를 제대로 산출할 수 있도록 정기적으로 점검을 하여야 한다. 절(node)의 번호가 응력 값으로 잘못 들어간 것과 같은 명백한 실수는 쉽게 찾을 수 있다. 그러나 구판의 트랜슬레이터를 사용했기 때문에 실제보다 30% 정도 적은 응력 값이 나오게 되는 실수를 발견하기는 더욱 어렵다.

속도가 빠른 컴퓨터는 사정을 더욱 좋지 않게 하고 있다. 사용자는 좀더 소홀해져서 필요 이상으로 큰 모델을 만들거나 대칭성과 중첩의 원리를 이용하지 않는 등 공학적 타당성을 소홀히 하여 일을 복잡하게 만든다. 수퍼컴퓨터가 제공하는 좀더 빠른 해석 시간은 구조 해석자에세 더욱 많은 일거리를 수행하고 빠르게 포스트 프로세스한 후 결과를 이해하는데 적절한 시간을 주지도 않은 채 다시 수행작업을 하도록 만든다. 느린 컴퓨터의 이점은 구조해석자에게 생각할 시간을 준다는 데에 있다.

3. 사례연구

유한요소 해석법을 이용함으로써 얻을 수 있는 이점과 사용자가 범하기 쉬운 오류들을 보여주기 위해 다음 네 가지의 사례들을 간단히 소개해 본다.

그림 1은 버퍼 하중을 받는 알루미늄 철도 웨건의 폰 미시스(von mises) 응력을 보여주고 있다. 이 웨건은 어떤 상세한 구조해석도 없이 설계되고 제작되었다. 결과적으로 이 웨건은 사용되지 못하였으며 소송을 통하여 반복하중이 가해짐으로써 강도가 감소되는 재료의 피로 문제에 주의를 기울이지 않았음이 밝혀졌다. 잘못된 설계와 약화 하중에 대한 주의 부족을 증명하기 위한 증거 제시에 유한요소 해석법이 이용 되었다.

해석 소프트웨어들의 기능이 날로 증가함에 따라 엔지니어들은 유한요소법을 이용해서 새로운 제조 방법이나 과거에는 상당 부분 실제적 실험과 경험에 의존했던 영역들도 직접 연구할 수 있게 되었다. 그림 2는 유압 금형의 비선형 제품 성형과정의 모형을 보여준다. 유한 요소 해석법이 금형지지력, 절단력(메탈 트리밍)과 프레스 소요 동력을 산정하는데 사용되었다. 여기에서 주의해야 할 위험 요소는 실제적인 경험이 배제된 해석을 이용하여 설계하는데 있다. 그림 2와 같은 해석방법은 그 복잡성 때문에 반복적인 실험을 통한 방법이 설계에 더 적합했으므로 이용되었다.

그림 3에서는 자동차 접속부 구조 해석에 있어서 해석과 실험을 반복적으로 비교하지 않았을 때 생길 수 있는 위험을 보여주고 있다. 그림 3에 나타난 결과는 같은 소프트웨어를 다른 컴퓨터에서 사용했을 때보다 폰 미시스 응력이 30% 높게 나타나고 있다. 문제는 고객의 포스트 프로세싱 시스템에서 발견되었는데, 프로그램이 장착 당시에는 정확했을지라도 고객이 이를 신판 프로그램으로 계속 바꾸어 주는데 소홀했기 때문에 잘못된 해석 결과가 나온 것이다.

아주 간단한 모델들도 잘못 해석될 수 있다. 그림 4는 단순 비틀림에 의한 MSC/NASTRAN QUAD4 Shell 요소를 이용하여 구성된 단순 비틀림에 의한 단순지지 박판보(simple thin walled cantilever structure)와 보(beam) 요소를 이용하여 구성된 박판보가 서로 다른 강성(stiffness) 결과를 보여준다. 이러한 오차는 모델을 잘 못 만들었기 때문이 아니라 비틀림에서 기인한 것이다.

아래에 나타낸 검사 기준표는 모델 검사에

사용되는 가장 대표적인 것으로 참고로 소개한다.

요한요소 해석 모델 검사 기준표의 내용을 소개하면 아래와 같다.

○모델을 만들기 전에 분석의 진정한 목적을 결정한다.

○급격한 응력 변화가 예상되는 부분에 좀더 세밀한 유한요소 분할(mesh)이 이루어졌는가?

○요소들의 성질들의 판 두께, 보의 단면 제원, 단면 변화, 보강판(gusset) 그리고 다른 중요한 구조적 특징 등을 정확히 반영하고 있는가?

○모델링을 하지 않은 대형 저응력 구조와 홀(hole) 주위의 볼트 하중의 분포를 나타내거나, 판 끝단에 힘을 분배하고 부수구조를 연결하기 위한 강성 요소들의 사용이 모델에 적합한가?

○재료의 성질은 정확한가? 온도에 따른 성질 변화와 비선형 응력(nonlinear stress) 관계는 고려될 필요가 있는가?

○경계조건(boundary condition)은 정확한가? 모델링 해석과 시간을 절약하기 위해 대칭성(symmetry)이 사용될 수 있는가?

○모델의 무게는 검토되었는가?

○집중 질량과 비구조 질량의 분배는 정확한가? 중력이나 원심력이 작용하는 경우와 천이(transient)나 진동 하중이 작용하는 경우 질량 분배는 특히 중요하다.

4. 맺음말

이상에서 본 바와 같이 실제 위험은 해석 코드 그 자체에 있는 것이 아니라 그 코드들을 이용하는 데에 있는 것이다. 많은 소프트웨어 판매자들은 사용자가 자기들의 팩캐지를 사용하여 해석하고자 하는 많은 문제 중 어떤 것들에 대해서는 생각해 본적이 없다고 말할 수도 있을 것이다.

그리고 아마도 가장 위험한 사용자는 파트타임 사용자가 될 것이다. 구조해석자들은 팩캐지들에 친숙해지도록 노력을 하여야 하고, 또한 그 팩캐지가 갖고 있는 한계를 알고 산출된 결과가 언제나 옳은 것은 아니라는 것을 받아들여야만 한다.

기업들이 좀더 나은 생산품을 개발하기 위해 이러한 팩캐지들을 점점 더 많이 사용하면 할수록 오로지 기초적인 것만 읽고 멋진 그림만 보는 것은 위험하다는 것을 깨달아야 할 것이다.