

설계자를 위한 해석입문 제 7 회(최종회): 해석결과 확인

발췌인 _ 민승재 _ 한양대학교 기계공학부/자동차공학과 _ seungjac@hanyang.ac.kr

그동안 연재를 통하여 메쉬생성 및 해석실행 시 과제와 해결방법에 대해 설명하였다. 이번 회의는 구조해석의 마지막으로 해석결과를 표시하여 평가 시 유의 사항에 대해 알아본다.

계산실행 이후 해석결과를 표시하거나 연산하는 과정을 일반적으로 “후처리(post-processing)”, 이를 위해 필요한 소프트웨어를 “후처리기(post-processor)”라고 한다. 후처리에 의한 평가에는 의도한 바와 같이 계산이 수행되었는지 여부를 확인하는 ①해석조건 타당성 평가와 해석목적인 응력이나 고유진동수 등의 정성적 경향이나 정량적 값을 알아보는 ②해석결과 평가로 그 역할을 구분할 수 있다. 계산이 종료되면 바로 ②에 해당하는 해석대상물체의 결과평가를 확인하고자 하지만, 그 이전에 우선 ①에서 제시한 해석의 타당성부터 확인해 보는 것이 바람직하다. 해석결과 평가는 타당한 해석조건인지 여부를 스스로 판정하는 것으로부터 시작한다. 설계자가 평가하고자 하는 대상물체를 해석모델로 올바르게 표현했는지 여부는 해석결과가 미리 가정한 결과인지 확인하면 대개 판단이 가능하다. 예상한 결과와 실제 해석결과를 비교하는데 있어서 우선 주의해야 할 사항은 응력해석을 예로 들면, 응력집중 위치, 변형을 예상한 응력작용 방향 등

이다. 가정대로 결과가 나왔다면 거의 해석은 문제 없이 실행되었다고 판단해도 좋다.

해석결과 타당성 여부를 판단하는데 있어서는 응력분포의 예측과 계산결과를 비교하는 것이 바람직하다. 그림 1과 같이 간단한 외팔보 모델의 해석을 생각해 보자. 직사각형 단면 보의 오른쪽 면을 완전구속하고 왼쪽 면 상단에 하중을 작용시킨 모델로 재료역학이나 구조해석 교과서에서 예제로 자주 볼 수 있는 모델이다. 재료역학적 관점에서 볼 때 그림 1과 같은 모델을 해석하면 보의 상부에는 인장응력, 하부에는 압축응력이 발생할 것이라고 쉽게 상상할 수 있다. 또한 우단 상부에 최대 인장응력이 발생하고 그 방향은 보의 길이방향이 될 것이란 사실도 예측할 수 있다. 실제로 해석한 결과는 그림 2에서 최대 주응력 윤곽선도로 확인할 수 있다. 최대 주응력은 인장응력을 나타내는 지표로서 예상대로 구속면 근처 윗면에 큰 인장응력이 발생함을 알 수 있다. 다음으로 응력의 발생 방향을 확인하기 위하여 벡터선도를 살펴본다. 벡터선도란 응력의 크기뿐만 아니라 응력이 발생하고 있는 방향도 알 수 있으므로 변형상태를 보다 상세히 파악할 수 있다. 여기서는 응력의 벡터선도로 최대 주응력 성분과 최소 주응력 성분에 주목해 본다. 우선 최대/최

소 주응력이 어떤 의미를 갖는지 살펴보면, 간단히 말해서 최대 주응력은 인장응력을 나타내어 항상 양의 값을 갖고, 반대로 최소 주응력은 압축응력을 나타내어 항상 음의 값을 갖는다. 예를 들어 단순히 갈라지거나 찌그러지는 것으로 물체가 파손된다고 생각하면 최대 주응력의 벡터는 갈라지는 방향과 직교하는 방향으로 최소 주응력의 벡터는 찌그러지는 방향과 일치하게 된다. 여기서 보의 길이 방향으로 응력이 발생할 것이라고 예상했던 것을 염두에 두고 그림 3의 결과를 살펴보면 예상대로 (a)에서는 보의 윗면에 큰 벡터가 (b)에서는 보의 아래면에 길이방향으로 응력이 발생함을 알 수 있다. 이러한 과정을 통하여 해석결과가 적어도 정성적으로 신뢰할 수 있는지 여부를 확인하는 것이 바람직하다.

그렇다면 해석결과와 경향이 생각한 것과 크게 다른 경우는 어떻게 해야 하는가? 우선 살펴볼 것은 변형도이다. 부여한 구속조건과 하중조건으로부터 예상했던 변형과 비교하여 계산결과와 변형이 가정한 범위 내에 있는지를 먼저 확인하는 것이 좋다. 구체적으로 설명하면 변형의 모습이 계산 전의 가정과 크게 달라지는 것에는 몇가지 원인이 있다. 우선 생각할 수 있는 것은 주로 다음 4가지 경우이다.

- 구속조건이 생각했던 대로 설정되지 않은 경우
- 하중조건이 생각했던 대로 설정되지 않은 경우
- 재료물성이 틀린 경우
- 판두께가 틀린 경우 (판 구조물 해석인 경우)

해석결과에 확신이 가지 않는 경우 우선 위의 사항들을 점검해 본다. 결과를 보고 잘 생각하면 위에 언급한 바와 같은 오류를 발견할 수 있다. 하중조건, 구속조건, 물성 등의 설정에 오류가 없는 경우는 원인 규명이 다소 어렵다. 설정에 문제가 없는데 예상과 계산결과가 어긋나는 경우, 원인이라고 할 수 있는 것은 ①하중·구속조건이 가정한 물리현상을 올바르게 표현하지 않는 경우 ②계산결과를 맞는데 예상이 틀린 경우, 두가지 경우이다. 어떤 경우에도 가정한 물리현상

을 머리속에 그리고 변형도를 보면서 정말로 예상했던 변형이 타당한지, 그렇다면 왜 계산결과와 같은 변형이 되는지, 반대로 계산된 것과 같은 변형상태가 되려면 어떤 하중·구속조건을 가정할 수 있을지를 끝까지 파고 들어 생각하는 훈련을 반복하는 것이 필요하다. 이러한 과정은 어렵고 이렇다 할 비결도 없다. 처음에는 해석전문가의 협조를 구하면서 착실하게 검토를 반복하는 수 밖에 없다. 그렇지만 이러한 작업을 반복함으로써 머지않아 결과를 보는 것 만으로도 어디에 문제가 있는지를 파악할 수 있게 된다.

예상한 대로 해석이 수행된 것을 확인했다면 원래 목적인 정성적인 경향과 정량적인 응력값 등을 더 구체적으로 평가해 본다. 여기서는 결과를 평가하기 위한 기본적인 지표에 관해서 간단히 설명한다. 다만 본 연재 제 2 회(2006년 12월)에서 기술한 바와 같이 결과의 정량적인 정확도는 메쉬의 크기에도 의존하므로 바로 판단하기 어렵다는 사실을 항상 염두에 두는 것이 좋다. 필요하다면 조밀하지 않은 메쉬, 반대로 조밀한 메쉬 등 몇 가지 조밀도의 메쉬로 해석하여 응력이 집중되는 위치의 응력값을 확인하는 것이 한가지 방법이다. 구조해석의 결과로 가장 효과적인 것이 윤곽선도와 벡터선도이다. 다만, 응력이라고 해도 앞서 기술한 최대/최소 주응력 이외에 몇가지 종류가 있는데, 대표적인 것이 좌표축 방향 성분, von Mises 등이다. 최대 주응력과 최소 주응력에 대해서는 이미 기술한 바와 같으나 그림 3과 같이 벡터선도로만 검토하지 말고 그림 2와 같이 윤곽선도로 확인하는 경우도 많다. 주응력의 방향을 무시하고 여러 주응력의 값만을 윤곽선도로 나타낸다. 윤곽선도는 전체 응력분포를 확인하는 경우에 주로 사용한다. 예를 들어 그림 1의 모델과 같이 인장압축응력의 방향이 분명한 경우는 윤곽선도만으로 결과를 판단해도 괜찮다. 그림 4의 좌표축 방향 성분은 실험결과와 비교 등에 이용하는 경우가 많다. 실험에서 강성을 측정하는데 자주 사용하는 것이 스트레인 게이지인데, 스트레인 게이지에

는 방향이 있다. 따라서 해석결과와 비교하는 경우 특정 방향의 응력성분만을 추출하여 비교해야 한다. 이러한 경우 스트레인 게이지의 방향과 일치하는 방향성분에만 주목하여 비교할 수 있다. 그림 5의 von Mises 응력은 구조물의 파괴평가에 자주 사용된다. 일반적으로 설계하는 구조물은 3차원적인 응력상태이지만, von Mises 응력은 3축 방향의 응력을 이해하기 쉽게 스칼라값으로 변환한 물리량으로 이 응력값을 확인함으로써 재료의 항복여부를 체크할 수 있다. von Mises 응력값과 재료의 항복응력을 비교하여 von Mises 응력값이 더 크면 재료는 소성변형한다고 생각하는 편이 좋다. 마지막으로 그림 6의 스트레인 에너지는 변형에 의해 축적된 에너지양을 나타내는데, 파괴에너지가 모여있는 위치를 파악할 수 있다. 스트레인 에너지의 집중 위치를 확인하여 그 집중을 피하도록 설계를 변경함으로써 안전한 구조를 설계할 수 있다. 설계대상인 구조물을 어떤 기준으로 평가하느냐는 구조물이나 사용상황에 따라서 다르다. 맹목적으로 해석하지 말고 해석전문가와 상의하여 평가법을 결정한 후 해석을 수행하는 것이 바람직하다.



본 기사는 한양대학교 기계공학부/자동차공학과 민승재 편집위원이 NIKKEI MONOZUKURI 2006년 7월호 연재기사에서 발췌하였으며, 출판사인 Nikkei Business Publications, Inc.의 연락처는 다음과 같다.

Fax: 81-3-5210-8122

URL: <http://techon.nikkeibp.co.jp/Monozukuri>

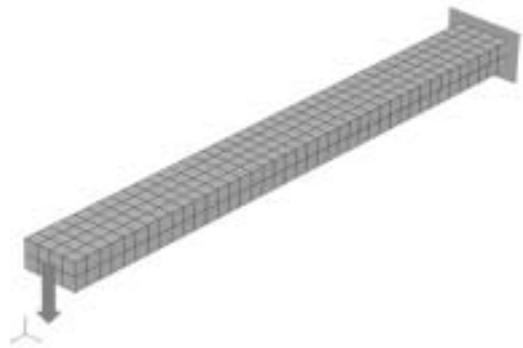


그림 1. 외팔보 모델

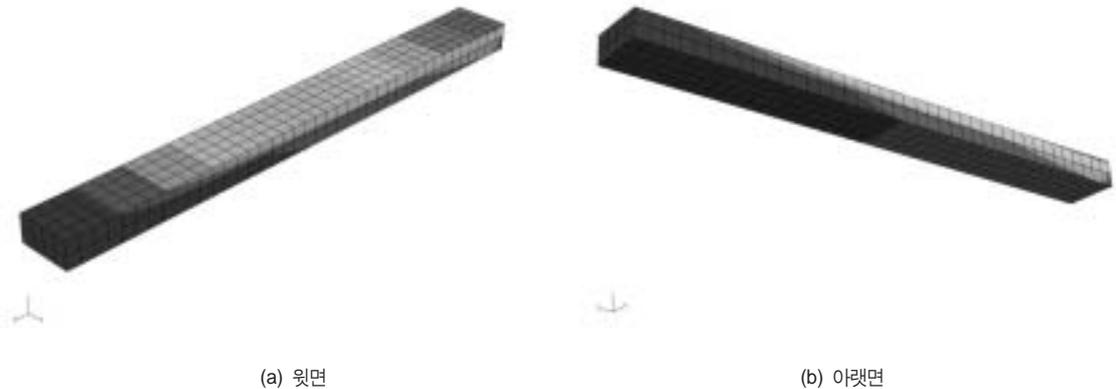
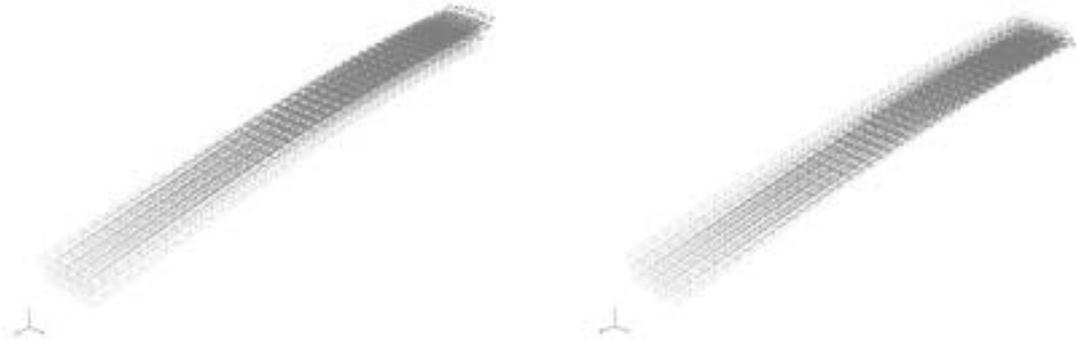


그림 2. 최대 주응력의 윤곽선도



(a) 최대 주응력

(b) 최소 주응력

그림 3. 최대/최소 주응력의 벡터선도



(a) x축 방향

(b) y축 방향

(c) z축 방향

그림 4. 응력의 좌표축 방향 성분

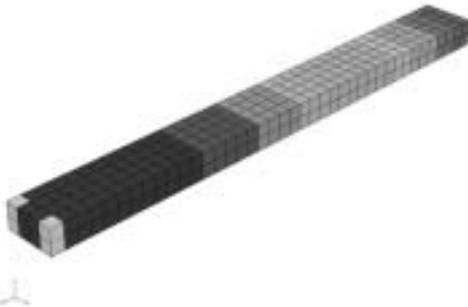


(a) 윗면

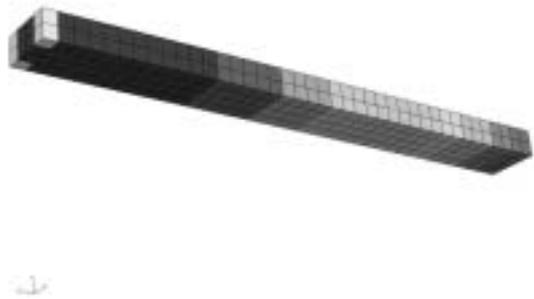


(b) 아랫면

그림 5. von Mises 응력 분포



(a) 윗면



(b) 아랫면

그림 6. 스트레인에너지 분포