

## CAD와 연계된 CAE로 설계안 도출

발제인 \_ 민승재 \_ 한양대학교 미래자동차공학과 \_ seungjae@hanyang.ac.kr

3차원 설계에 따른 효과는 크게 두가지이다. 그 중 하나는 생산공정을 포함한 후공정에서 3차원 모델을 이용하여 얻는 효과라고 할 수 있다. 또 하나의 효과는 제품자체의 성능과 품질을 만족하는 설계를 할 수 있는 점이다. 이것을 조기에 실현하기 위한 핵심은 CAD와 연계된 CAE이다.

CAD나 CAE업체에서는 그림 1(a)과 같이 CAE가 개발프로세스 중에서 시작품제작을 대체하는 것으로 설명하는 경우가 많다. 이것을 "결과확인형 해석"이라고 한다. 이런 식으로 설계자가 CAE를 간단한 조작으로 수행할 수 있도록 "설계자용 CAE"라는 CAE S/W를 선택사양으로 포함하여 형상데이터를 그대로 해석용 모델로 이용할 수 있는 CAD를 제공하고 있다. 그러나 지금까지 개발현장에서 많은 설계와 해석 사례를 보아왔지만 이러한 종류의 CAD를 효율적으로 활용하는 경우는 의외로 적은 실정으로 거의 사용하지 않거나 잘못 사용하는 경우가 많다. CAE 사용자를 지원해 본 경험에 의하면 "설계자용 CAE"는 그 사용에 있어서 두가지 점을 주의할 필요가 있다.

1. 해석기능의 제한: 설계자용 사양으로 구성하기 위하여 해석에 필요한 선택사양을 간략화하여 원래

CAE S/W와 비교해 기능이 제한적인 경우가 많다. 그 때문에 시작품을 대체하기 위한 정확도를 추구하는 해석에는 적합하지 않은 경우가 있다.

2. 해석시간의 증가: CAD 데이터를 그대로 사용하여 해석을 수행하는 경우 설계현장의 실정에는 맞지 않을 정도로 해석실행에 시간이 소요되는 경우가 있다. 이러한 S/W는 도입하기는 용이할 수 있어도 사용할 때에 설계현장의 요구사항과 S/W의 특성을 제대로 파악하는 것이 중요하다. 이점은 업체도 실정을 확실히 이해하지 못하고 있다고 생각한다. CAE와 설계부서 양쪽에 정통한 인력의 존재가 도입과 활용의 열쇠가 된다.

동일한 CAE라도, 해석담당자와 설계자는 역할분담이 필요하다. CAE 전문가인 해석담당자는 CAE에 의해 시작품을 대체할 정도로 정확도가 높은 해석결과를 도출하는 업무를 수행한다. 이에 비해 설계자는 CAE에 의해 설계업무 중에 보다 좋은 의사결정을 하는 업무를 수행한다. 이렇게 설계를 진행하는 경우 해석수행의 시기는 그림 1(b)와 같이 설계가 고정되면서 부더가 아닌 설계전이나 설계중간에 필요에 따라 실시하는 것이다. 이러한 설계방법을 "해석주도형 설계"

라고 한다. 해석주도형 설계에 의해 CAE를 사용하는 경우는 결과확인형 해석방법보다 그 사용빈도가 증가하고 사용시기도 앞당겨지므로 CAE의 (조작방법이 아닌) 사용법에 대해 이전부터 알려진 개념을 수정할 필요가 있다. 그림 2는 해석주도형 설계의 예로 체결부의 볼트크기와 볼트개수의 조합을 나타낸다. 일반적으로 설계는 이러한 다차원의 변수로 구성된 설계공간 내에서 수행된다. 설계초기단계에서는 CAD 데이터를 사용하는 경우 자연스럽게 기준모델의 사양을 적용하게 된다. 설계의 사용조건이 종래와 동일하면 그대로 사용해도 문제없지만 사용조건이 다른 경우는 CAE를 통해 확인할 필요가 있다. 해석으로 문제가 확인된 경우 설계자는 현재 설계가 설계NG영역인 것을 확인한다. 다음으로 설계자는 사용모델에 대해 대략적인 변경을 수행하여 (사용 가능한 최대크기로 볼트를 변경하거나 사용 가능한 최대수까지 볼트를 추가하는 등) 해석을 실시한 후 변경에 따른 효과를 확인한다. 가장 효과적인 설계안이 발견되면 그림 2(a)와 같이 설계에 관한 탐색영역을 좁혀나간다. 설계방식이 정해진 후에는 그에 따라 상세한 모델변경을 CAD상에서 수행하고 CAE로 그 효과를 확인한다. 또한 해석결과를 자세히 살펴봄으로써 사양을 만족시키기 위한 방법(설계OK 영역으로 이동)도 확인할 수 있다. 이때 비용증가를 지나치게 고려한 나머지 설계변경의 정도를 적게 억제하는 경향을 자주 볼 수 있으나 그렇게 하지 않도록 주의하는 것이 좋다. 설계사양을 설계OK영역으로 이동할 수 있다면 다음으로 그림 2(b)와 같이 비용 절감을 위한 최적화를 수행한다. CAE 해석결과의 특징 중 하나는 “부품 등을 추가한 경우의 성능변화”보다도 “부품 등을 제거한 경우의 성능변화” 쪽이 예측하기 쉽다는 것이다. 이것을 이용하면 보다 적은 회수의 시행오차로 최적설계 결과를 얻을 수 있다. 즉 설계OK영역 내에서의 최적화는 비교적 용이한 “제거형”이 된다. 이러한 이유로 설계NG영역에서 비용을

고려하지 않고 설계변경의 검토를 권장하는 것이다.

지난 20년간 하드웨어 성능은 현저히 발전했고 이에 따라 CAE의 해석처리 속도도 비약적으로 향상되어왔다. 한편으로 사용자가 취급하는 모델의 규모도 그에 따라서 비대화되어 해석업무에 필요한 시간은 오히려 증가하는 경향도 볼 수 있다. 해석주도형 설계에서 CAE를 이용하는 경우 해석에 필요한 시간은 설계 품질을 좌우한다. 예를 들어 어느 회사에서는 CAD모델에 대해 해석을 수행하기 위해 하나의 케이스에 2~4시간 정도 걸려 해석(요소망 작성 및 해석실행)을 수행해 왔다고 한다. 이런 경우 하루에 1~2개의 설계안 밖에 설계변경을 확인할 수 없어서 설계개선 효과 볼 수 없었다. 따라서 여러가지 방법으로 해석시간을 저감하기 위해 노력하여 1개의 설계안 당 처리시간을 15~30분으로 단축하였다. 그에 따라서 하루에 10개 이상의 설계안으로 설계변경 확인이 가능하게 되고 설계내용이 향상되었다. 그렇다면 어떤 방법으로 시간단축이 가능하였는가? 여러 방법을 사용했으나 대표적인 것은 ①해석모델의 간략화 ②해석모델로 사용한 요소의 변경 ③해석파라미터의 설정변경 등이 있다. ①에 관해서는 나중에 자세히 설명한다. ②는 설계자용 CAE에는 일반적인 사양으로 솔리드요소(CAE에 따라 명칭이 다른 경우가 있음)로 모델을 작성하도록 되어 있으나 이를 쉘요소로 모델화할 수 있도록 CAD모델을 수정하여 해석과정의 일부를 변경하였다. 이 방법은 판금이나 박판구조의 제품을 이용하는 업체에서는 상당히 유용한 방법이다. ③은 해석정확도를 향상시키기 위하여 모델 재구축 처리를 반복하는 기본설정을 강제로 해제시킨 것이다. 이러한 방법은 CAE를 도입한지 얼마 안된 부서에서는 상당히 특수한 일로 비치지만 이전부터 해석을 실시해 온 기업이나 부서에서는 주어진 하드웨어와 소프트웨어로 어느 정도 정확도를 갖는 해석결과를 얻기 위해서 보통 수행해 온 방법이다.

해석모델을 간략화하면 해석의 정확도가 떨어진다 고 생각할 수 있으나 반드시 그렇다고 말할 수 없다. 해석모델의 간략화는 해석대상인 제품의 대칭성을 이용하거나 불필요한 부분을 특별히 지정하는 등 해석의 목적에 맞추어 합리적으로 진행할 수 있다. 당연히 이러한 사항을 고려하지 않고 부분별하게 간략화하면 해석결과는 현실과 동떨어져 버린다. 다시 말해 간략화에는 특수한 기술이 필요한 것이 아니고 해석대상인 제품의 메커니즘을 숙지하고 있는 설계자라면 쉽게 대응할 수 있는 것이다. 여기서 주의해야만 하는 점은 간략화를 위한 작업공수이다. 해석시간을 단축하기 위해 간략화에 상당한 시간을 할애하는 것은 일의 순서가 바뀐 것이다. 따라서 해석주도형 설계로 작업을 진행하는 경우는 ①해석준비공수 ②해석수행공수 ③해석평가공수(모델규모가 클수록 증가함)를 염두에 두고 경우에 따라서는 "해석할 수 없는 경우"(의외로 많이 발생)에 대한 대비책도 마련한 뒤에 대처하는 것이 중요하다. 또한 설계자용 CAE에서 일반적으로 사용하는 해석방법인 "선형해석"의 특성을 이용하여 그림3과 같은 해석(배율비교법)도 가능하다.

여기서 해석결과를 설계에 반영하여 작업을 진행하는 해석주도형 설계의 구체적인 예를 살펴본다. 해석결과로부터 굽힘강성을 향상시키기 위한 설계변경방법을 검토해 본 사례이다. 여기서 이용한 해석모델은 형상 및 구속조건에 대해서만 어느 정도 올바르게 모델링되었고 재료특성에 대해서는 오차가 포함되어 있다. 설계자용 CAE에 의해 최초의 모델 A에 대한 해석결과(응력)는 그림 3(a)와 같다. 이 결과만으로는 고정부 근처에 높은 응력집중이 보일 뿐 구체적인 설계개선이 아이디어를 얻을 수 없다. 설계목적이 강성향상이므로 문제가 되지 않는다. 해석결과는 보는 방법이 중요하므로 그림 3(b)와 같이 변위를 기본설정보다 확대해 결과표시를 수행한다. 해석결과를 보면 최대변위가 45.64mm로 변형의 주원인은 고정부의 볼트배열에 있

다는 사실을 알 수 있다. 해석결과가 설계방향을 나타내는 하나의 예이다. 상기 결과에 의해 강성향상을 도모하기 위해서는 제품의 판두께 증가보다도 고정점을 변경하는 방법이 유효하다고 생각할 수 있기 때문에 고정점의 위상을 변경한 모델을 작성하여 재해석을 실시했다. 해석결과를 비교하면 그림 4(c)와 같이 최대 변위는 13.56mm로 감소하였음을 알 수 있다. 두가지 해석모델에 정의된 재료물성값에 오차가 있기 때문에 최대 변위량의 절대값은 오차를 포함하고 있다. 그러나 쌍방의 모델화 차이는 고정구멍의 위치뿐이므로 그림 4에 제시된 해석오차는 비교상 완전히 상쇄된다고 간주할 수 있다. 따라서 고정 구멍의 위치만을 변경함으로써 변위량을 약 0.3배로 억제할 수 있는 현상은 실제제품에도 동일하게 나타난다. 즉 재료를 전혀 증가시키지 않아도 3.4배의 강성을 얻을 수 있다고 예측할 수 있다. 이러한 해석방법만 습득하면 그다지 많은 노력 없이도 실제에 따른 효과를 효율적으로 얻을 수 있다. 한편 절대값으로 정확한 해석결과를 얻기 위해서는 재료시험 등을 포함해 충실한 노하우의 축적이 필요하다.

어느 가전업체는 CAE환경도 정비하고 사내교육 프로그램까지 완비되어 있으나 실제로 설계자가 CAE를 이용하는 경우가 극히 적었다. 따라서 ①이 업체에서 취급하는 제품에 특화된 해석주도형 설계의 훈련과 교재작성, ②합계 약 6시간만의 해석훈련을 실시, ③그 후 약 반년 간의 Q&A에 의한 후속조치를 실시한 결과, 다음과 같은 효과가 나타났다.

1. 문제점의 조기 가시화: 지금까지는 다양한 설계 변경 의뢰에 대응하여 "우선 만들어 보자"란 입장에서 설계를 진행하였다. 그 변경이 나중에 고비용이 되는 것으로 판명되면 급하게 설계안을 수정하거나 포기하여 비용이 든 상태로 진행되는 경우도 있었다. 그러나 해석시간 단축방법을 습

독함으로써 설계결정에 필요한 사항을 조기에 제시할 수 있게 되었다. 그 때문에 각부서로부터의 요구사항을 적절히 선별하여 불필요한 검토를 줄임으로써 리드타임을 단축하였다.

2. 시제품제작 비용의 삭감: 지금까지는 성능확인을 목적으로 시작품을 우선 제작했기 때문에 동일한 부분에서 약 20회까지도 시험제작을 반복하였다. 그러나 정확도가 높은 설계해석방법의 습득으로 인해 단지 2개의 시작품을 만드는 단계에서 조기에 목표스펙을 달성하게 되었다. 예정기간의 반 정도로 설계는 완료하였으나 타부서와 보조를 맞추기 위해서 남은 기간 동안 변민한 비용저감대책을 실시하여 대폭적인 비용절감도 도모할 수 있었다.

3. 설계기술의 향상: 설계자는 시작품을 제작하는 수만큼 경험을 축적할 수 있으나 여기에는 시간이 필요하므로 단기간에 많은 노하우를 습득해 기술을 향상하는 것은 곤란했다. 그러나 CAE의 경우 시작품을 시험하는 이상으로 다면적인 결과분석이 단시간에 가능하고 검토회수도 압도적으로 증가시킬 수 있다. 그 때문에 설계자의 설계기술이 단기간에 향상하였다.

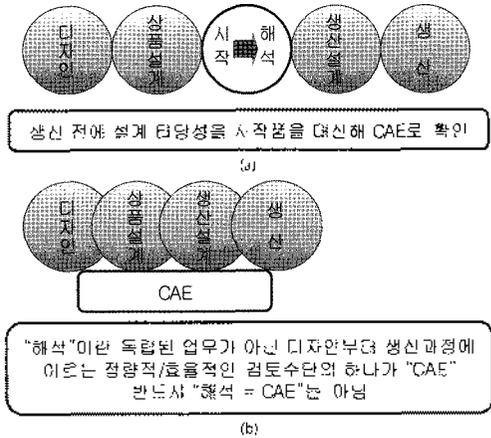


그림 1. 해석작업(CAE)의 수행시기: (a) 일반적인 해석 (결과확인형 해석) (b) 해석주도형 설계의 해석

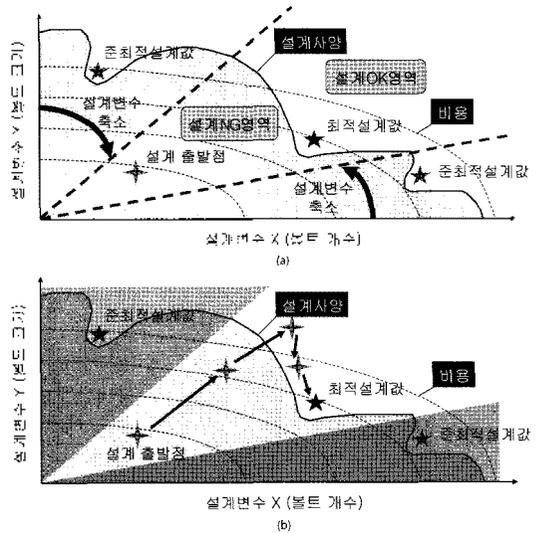


그림 2. 해석주도형 설계에 의한 설계접근방법: (a) 우선 대강의 변경을 검토하고 설계가 성립하도록 방침을 결정한 다음, (b) 요구사항을 명확히 하고 비용절감을 위해 최적화 수행

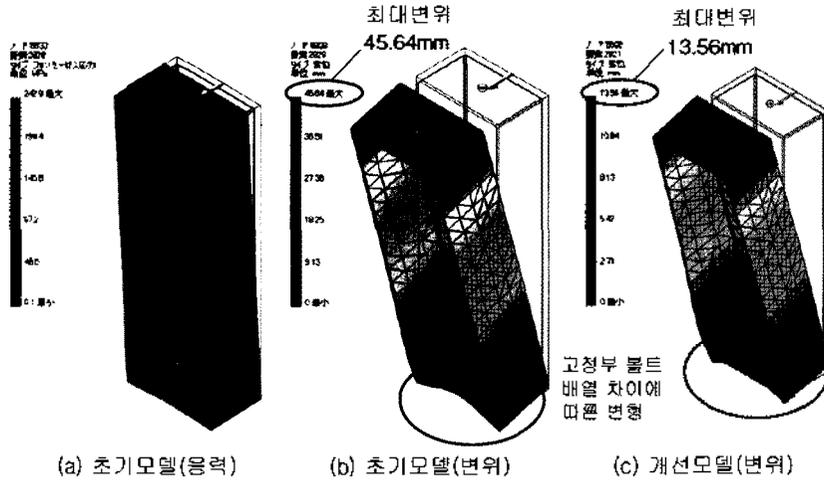


그림 3. 해석결과 (a)와 (b)는 초기설계로 (b)는 변위를 강조하여 표시, (c)는 고정점이 변경된 모델에 의한 계산결과, (b)와 (c)는 변위가 비슷하게 보이나 표시상 강조 정도가 다른 효과로 실제로는 변위를 약 0.3배 감소시킨 설계

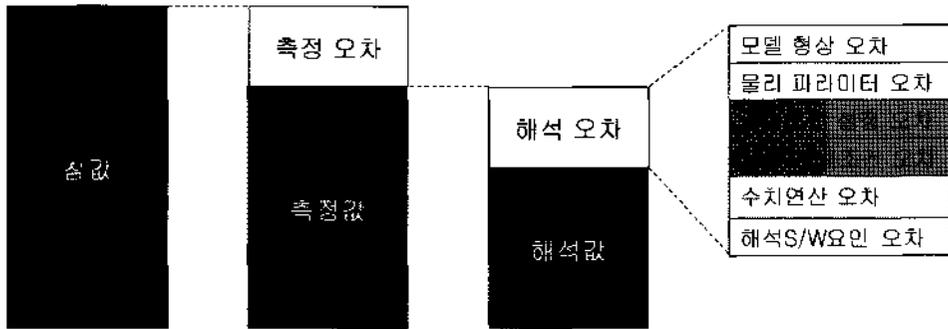


그림 4. 오차내역: 해석에는 측정값과 비교하여 오차가 존재하지만, 오차의 조건이 동일한 해석결과와 설계상 엄밀한 비교가 가능하다.

●●●●●  
 본 기사는 한양대학교 미래자동차공학과 민승재 편집위원이 NIKKEI MONOZUKURI 2010년 10월호에서 발췌하였으며, 출판사인 Nikkei Business Publications, Inc.의 연락처는 다음과 같다.  
 Fax: 81-3-5210-8122, URL: <http://techon.nikkeibp.co.jp/Monozukuri>