

# 설계자를 위한 CAE

민 승 재 교수

Computational Design Laboratory  
Department of Automotive Engineering  
Hanyang University, Seoul, Korea



# 목차

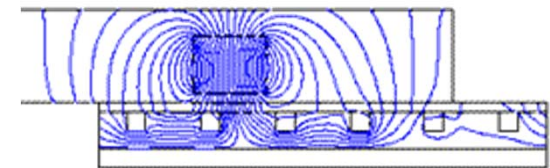
- CAE 개념 및 필요성
- CAE 역할
- CAE 적용분야
- CAE 활용현황
- CAE 중심 제품개발 프로세스
- CAE 프로세스
  - 요소망 생성 / 경계조건 적용 / 해석결과 분석

# CAE의 개념

- Computer-Aided Engineering
  - **해석**(지배방정식 수치해법), 시뮬레이션, 설계, 제조, 기획, 진단, 수리 등과 같은 엔지니어 업무를 지원하는 정보기술
  - 설계업무지원 CAE: 물리현상, 품질, 최적화, **CAD와 통합**
  - 제조업무지원 CAE: 사출성형, 스탬핑, 단조, 캐스팅
- 근사적 수치해석
  - 유한차분법, **유한요소법**, 유한체적법, 경계요소법 등
- 설계자가 많이 사용하는 CAE
  - **구조해석**(응력:강도, 변형:강성), 열해석, 고유치해석

# CAE의 필요성(1)

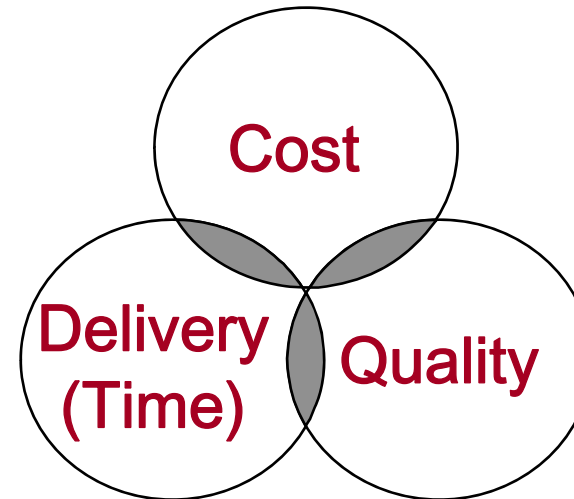
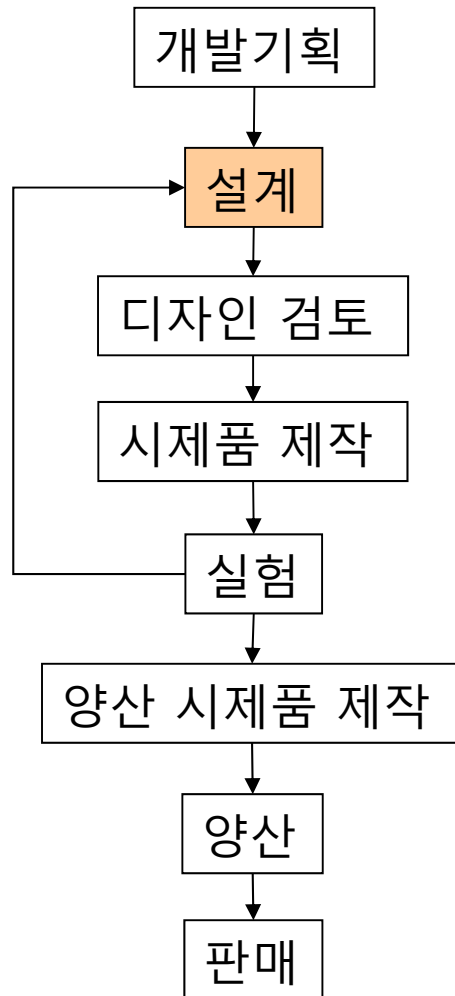
- CAE없이 알 수 없는 경우: 본질적으로 불가능
  - 재료 내부의 응력/자속 흐름
  - 전자파 전달
- CAE없이 불가능한 경우: 실제상 불가능한 현상
  - 기술적으로 재현할 수 없는 극한 환경
    - 온도가 100만°C, 중력이 만 배 되었을 때 어떠한가?
  - 초미소(원자단위), 초거대(우주단위)
  - 이론물리학의 검증
- 규제상의 문제: 핵분열 시뮬레이션
- 계산량이 많아 수작업으로 힘든 문제
  - 각종 최적설계



## CAE의 필요성(2)

- CAE없이는 곤란한 경우
  - 지구상의 재현이 곤란한 극한환경: 진공, 무중력상태
  - 위험을 동반한 실험: 눈길에서 시속 200km/h로 자동차가 급정지하는 거동
  - 엔진을 한계로 회전시킬 때 거동
  - 충돌 순간: 백만분의 1초 거동
- 막대한 실험비용이 소요되는 경우
  - 자동차 충돌, 핵실험, 시간단축가능
- 제3자를 이해시키는 경우
  - 이해하기 쉬운 후처리로 전문가 이외에도 결과를 이해 가능, 프리젠테이션 효과 큼

# CAE 역할 : 제품개발 프로세스

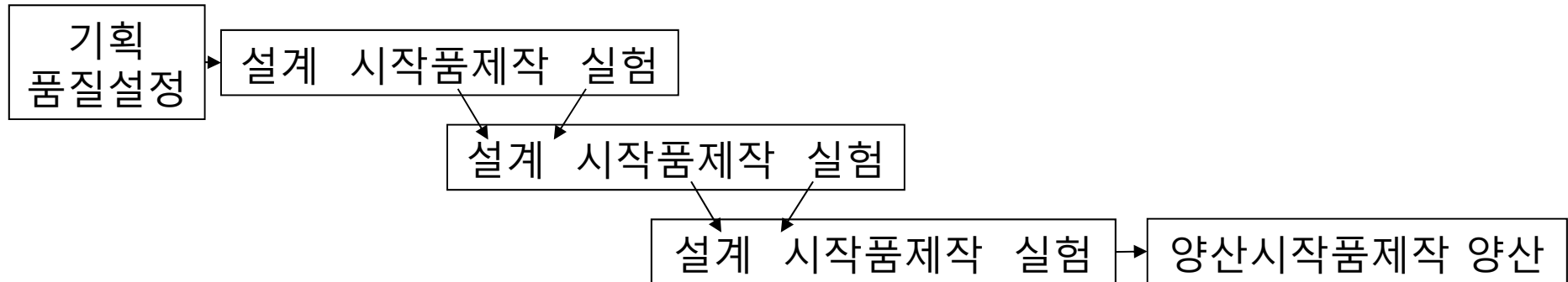


## 제품개발 초기단계에서 CAE 도입 장점

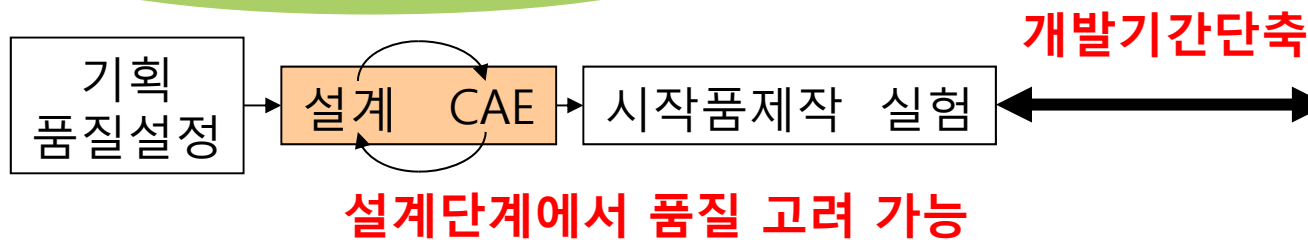
- 시제품 제작 이전에 설계안 평가 가능
- 설계변경의 자유도가 비약적으로 증대
- 시간 및 비용 절감

# CAE 역할 : 개발기간 단축

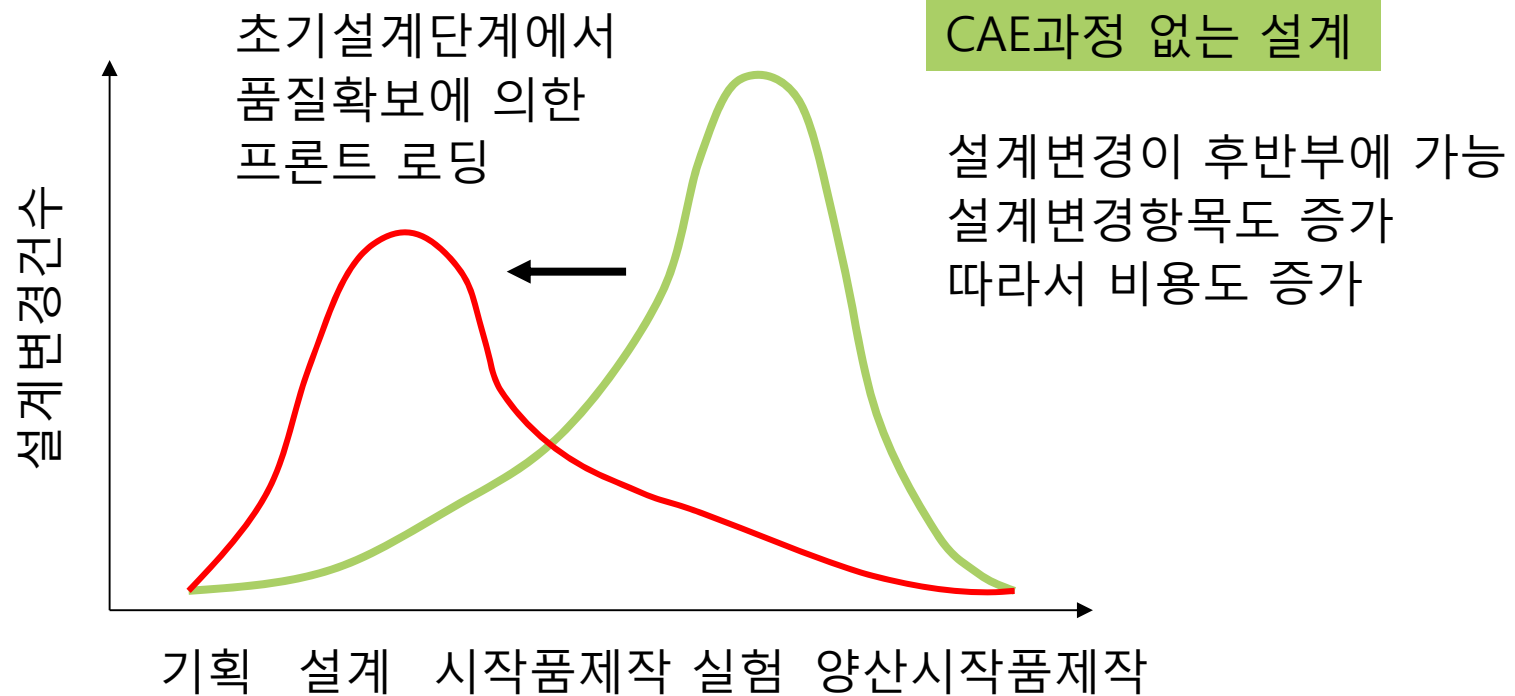
## 기존 설계



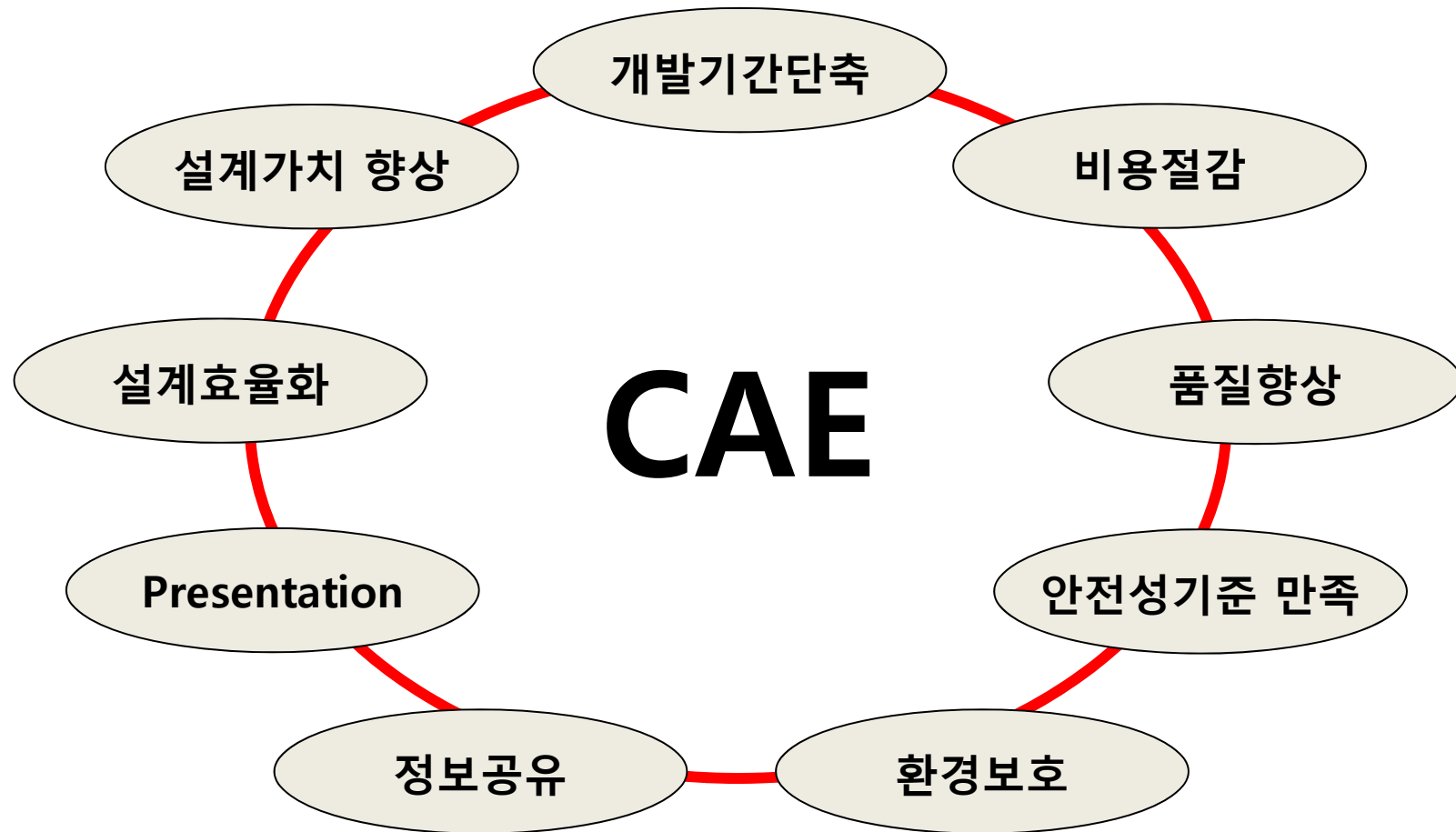
## CAE를 활용한 설계



# CAE 역할 : 프론트 로딩



# CAE 역할 : 장점

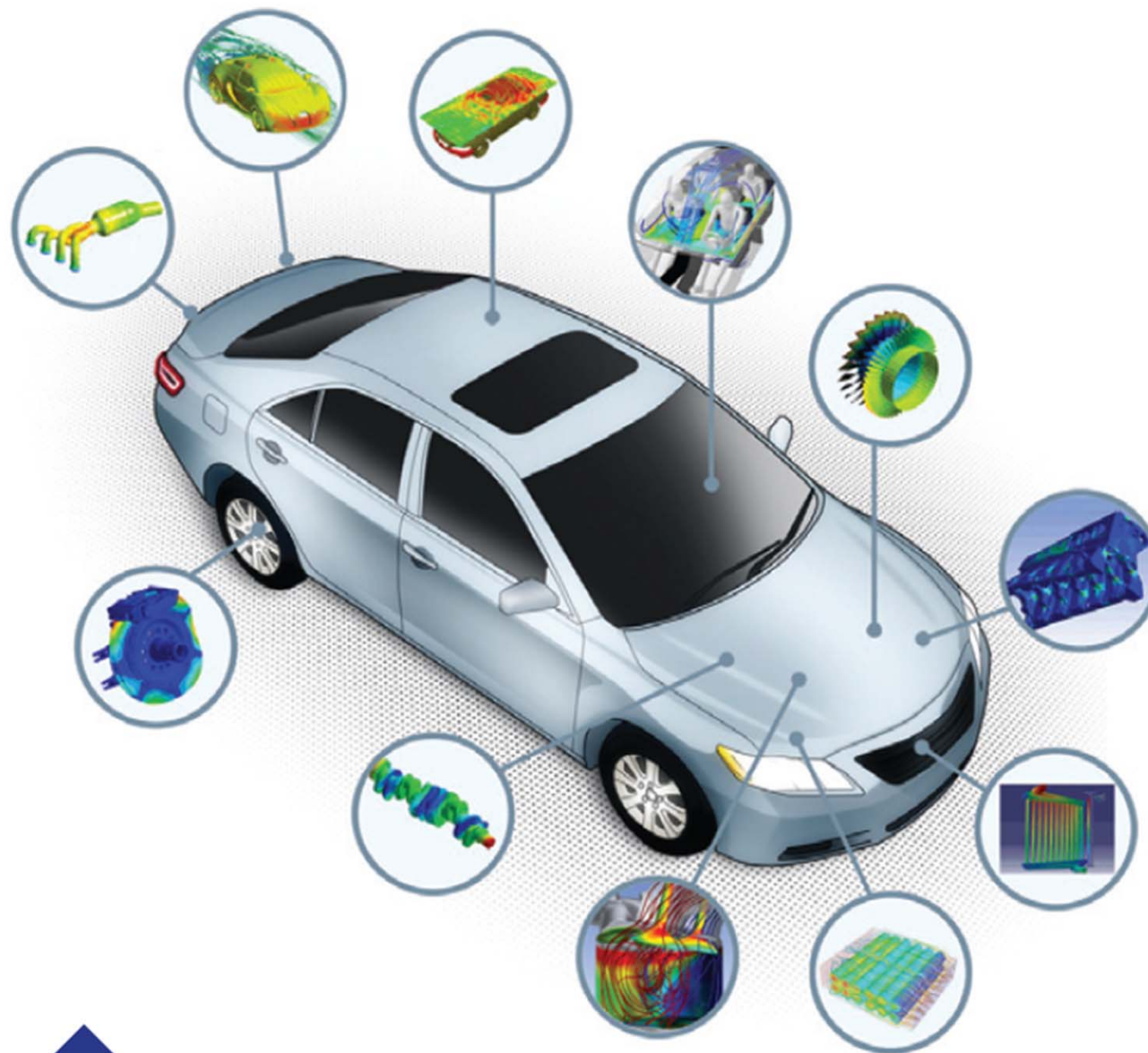


# CAE 적용분야

- 기계 구조물: 미세한 반도체 회로~항공기/플랜트
- 통신제어분야: 로직, 알고리즘 개발
- 구조역학, 유체역학, 기계역학, 열공학, 광학, 음향공학, 원자력공학, 항공우주공학, 전자공학, 정밀공학, 바이오, 케미컬공학, 환경공학, 생체공학, 금융공학



# 자동차 CAE



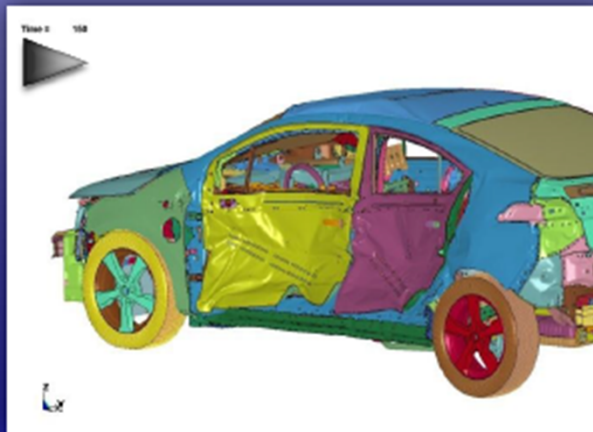
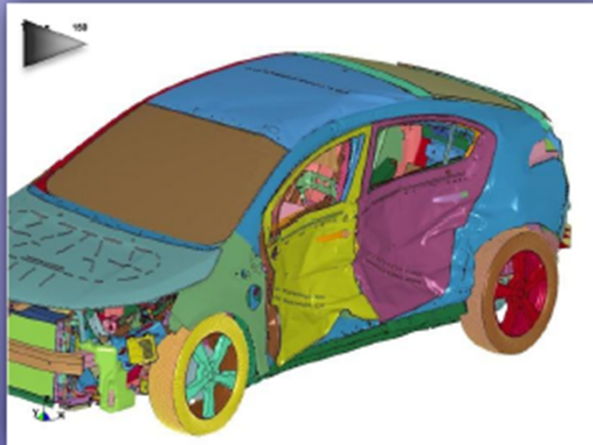
## Test



50 kph IIHS Side  
Impact Deformable  
Barrier

CAE accurately  
predicts physical test

## CAE Model



## Physical Test



- 시장 변화
  - 글로벌 경쟁
  - 고객 기대치 상승
  - 품질은 기본
  - 소비자 기호 다양화
  - 제품 주기 단기화
  - 수익얻기까지 시간 단축
  - 수익기간 단축
- 업체대응
  - 보다 좋고 많은 제품
    - 신속하게
    - 저렴한 가격으로
    - 적절한 시기에
  - 시장으로 공급
  - 소비자가
    - 다른 제품과 차별 할 수 있는
    - 열광할 수 있는
  - 제품을 설계, 제조

# CAE 활용 현황 (1)

- 성공사례: 자동차업계 (시간, 비용, 품질)
  - 20년간 개발기간 30~50% 단축
- CAE 전문가 → 설계자
  - 제품, 주변 부품, 의사소통 등 설계 이해
  - 설계자용 CAE S/W
- 설계부문에 도입되었지만 활용 저조
  - 시간 부족: 기존 업무에 추가되는 해석작업
  - 결과 타당성 우려: CAE의 정확성 보증
- 해결 방안
  - 설계자의 CAE 이해도 증진
  - 해석방법의 표준화

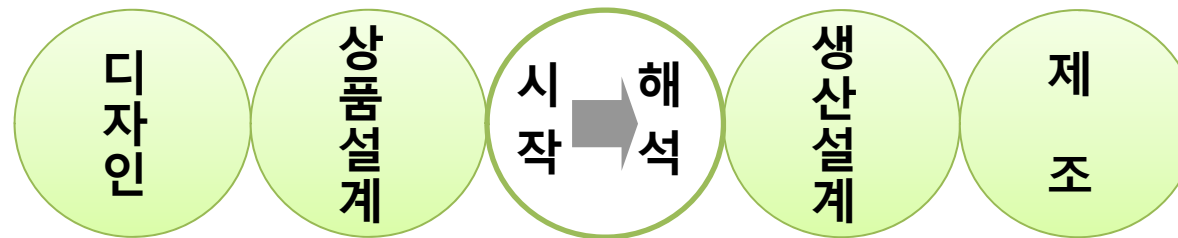
## CAE 활용 현황 (2)

- 제품 개발 업무에서 CAE 역할 변화
  - 해석자를 위한 도구에서 설계 및 생산을 위한 도구로 변화
  - 설계부서: 업무영역 확대, 출도 이전에 CAE 활용
  - 해석부서: 고급 해석전문가
- 설계자용 CAE S/W
  - CAD업체가 CAE업체 M&A
  - CAE업체간의 M&A
  - 해석 Solver의 정확도 평준화
  - 설계자용 GUI 개발 및 커스터마이징

# CAE 수행 시기

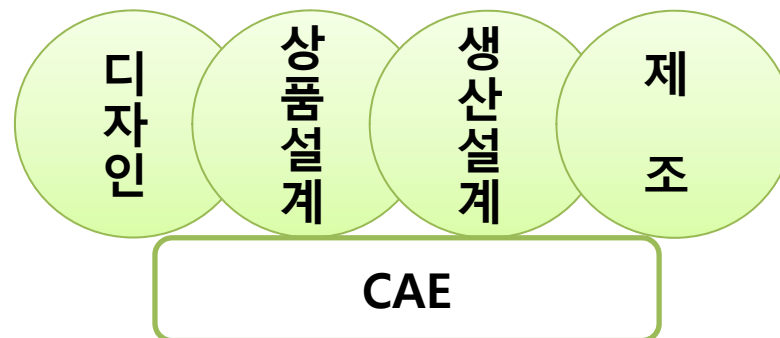
## 결과 확인형 CAE

제조 전에 설계 타당성을 시작품을 대신해 CAE로 확인



## CAE 중심형 설계

"해석"이란 독립된 업무가 아닌 디자인부터 제조과정에 이르는 정량적/효율적인 검토수단의 하나가 "CAE"  
반드시 "해석 = CAE"는 아님



# 제품 개발 프로세스의 패러다임

기존  
패러다임

설계  
기하형상 생성



평가  
해석, 제작, 시험

새로운  
패러다임

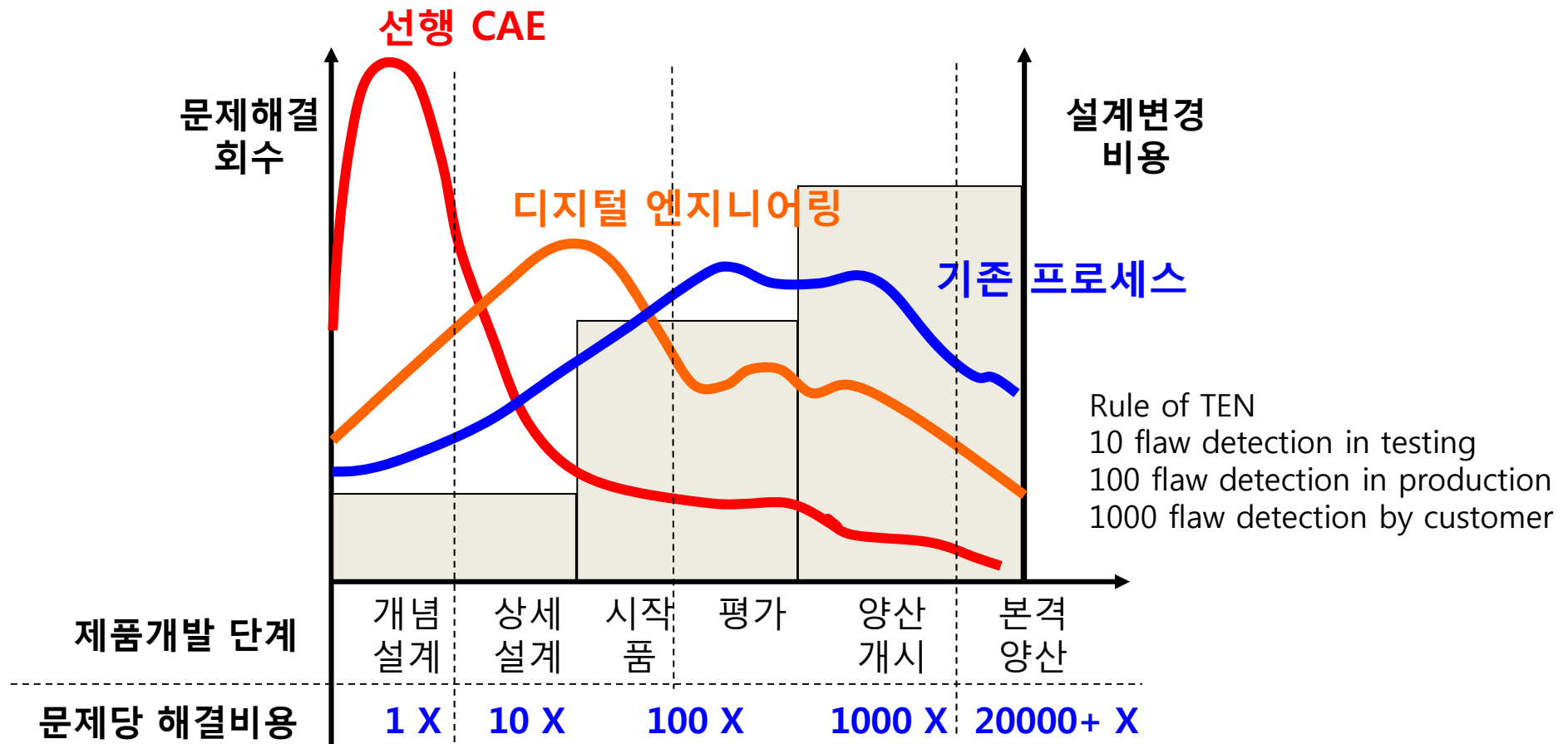
CAE  
검증된 기본  
컴퓨터 모델  
수정, 최적화



설계  
목표 달성을 위한  
기하형상 생성,  
재료 결정

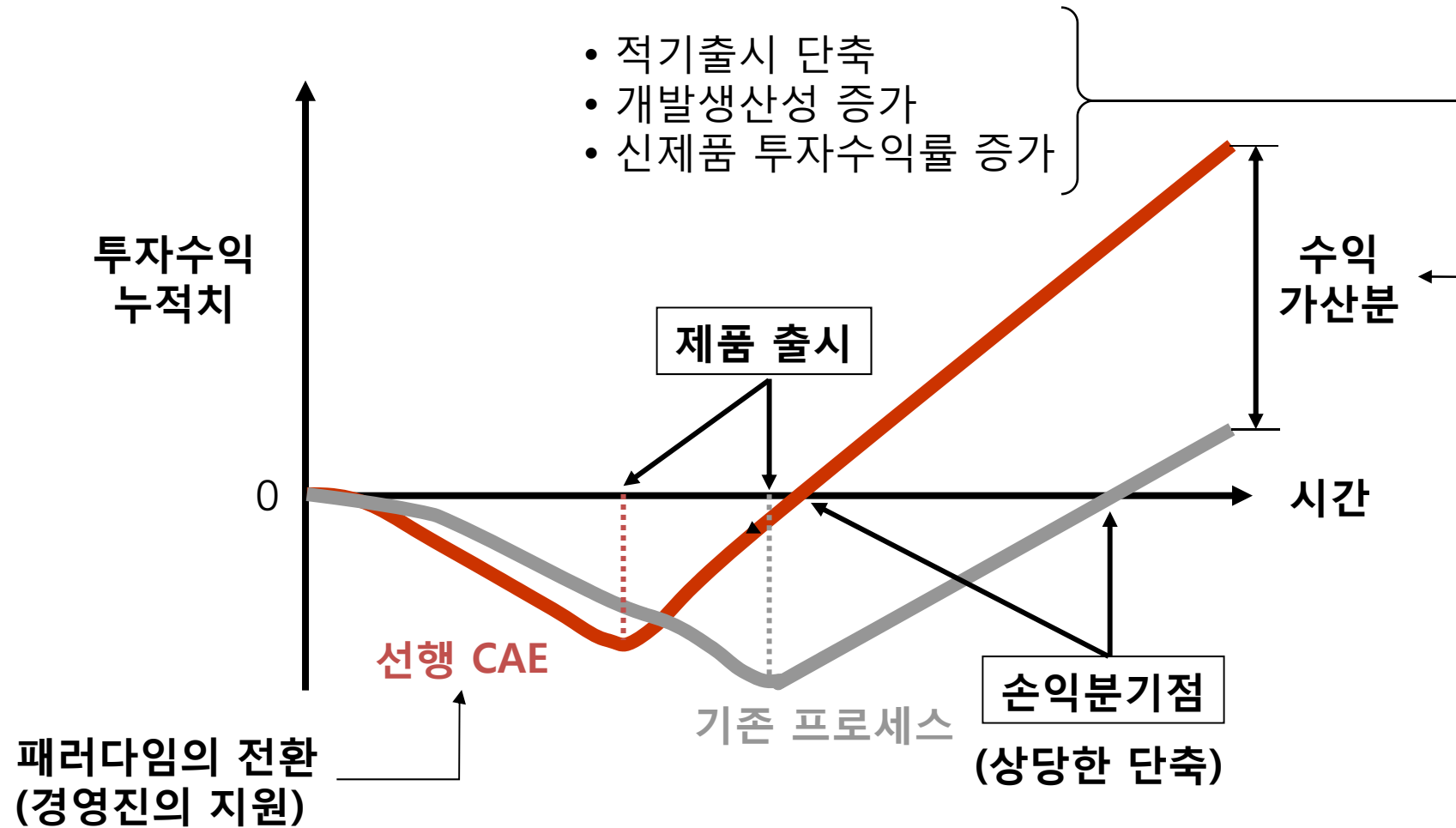
- 개념설계 단계에서 시뮬레이션 수행: 기능, 기하형상, 재료 등 주요 결정
- 상세설계 또는 시작품 제작 이전에 다양한 설계안 검토, 문제점 조기 발견, 제품성능 최적화

# 선행(UP-FRONT) CAE



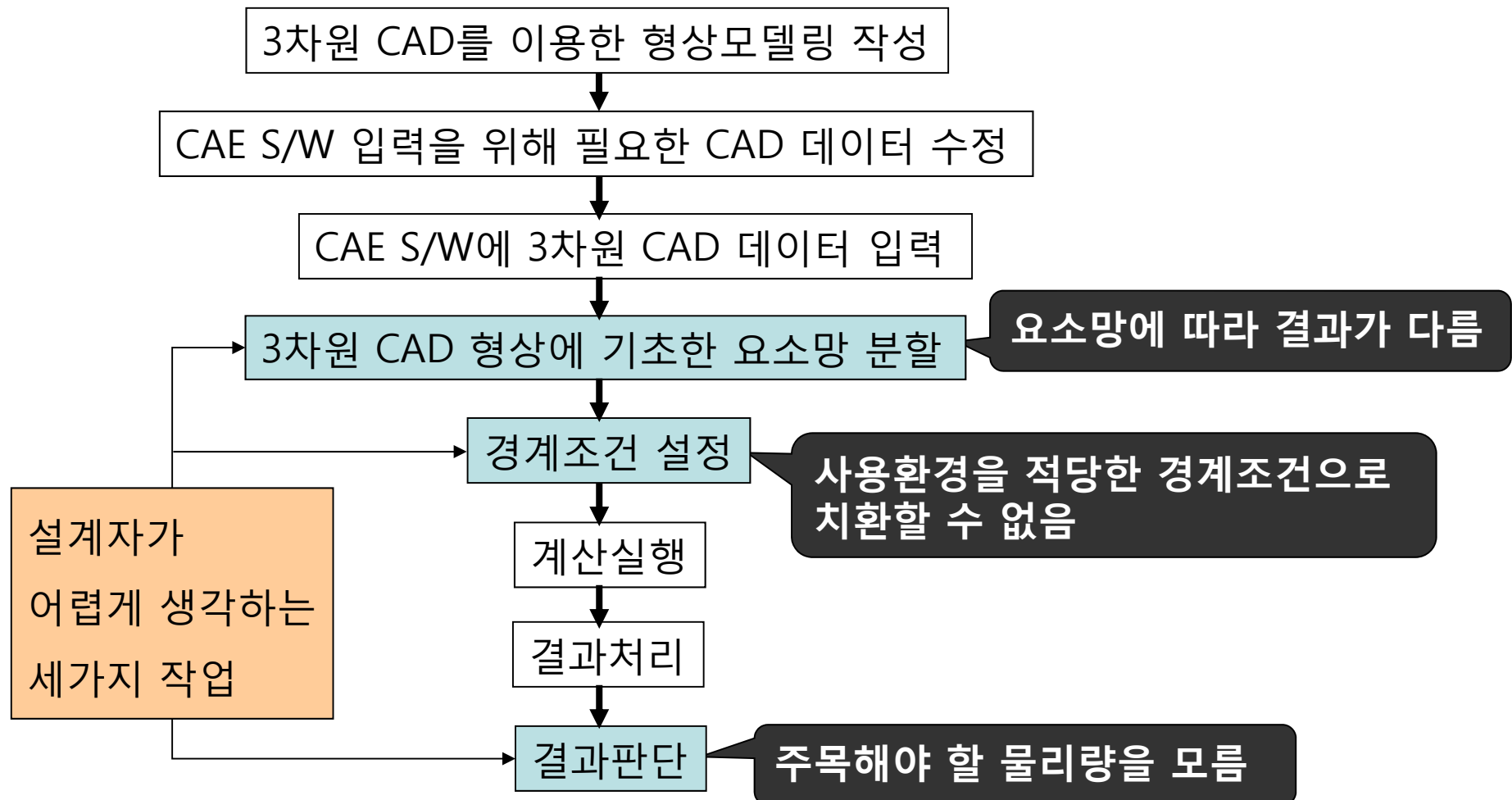
www.iti-global.com

# 투자수익률(ROI)



www.iti-global.com

# CAE 프로세스



# CAE 프로세스: 요소망 생성

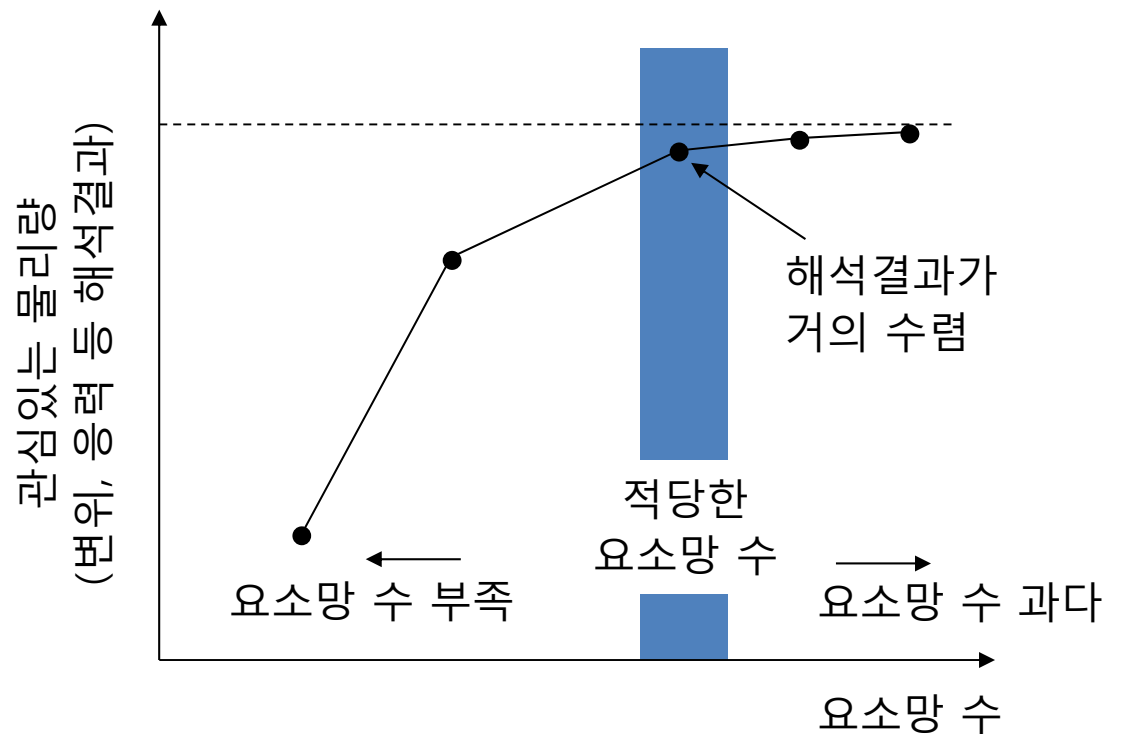
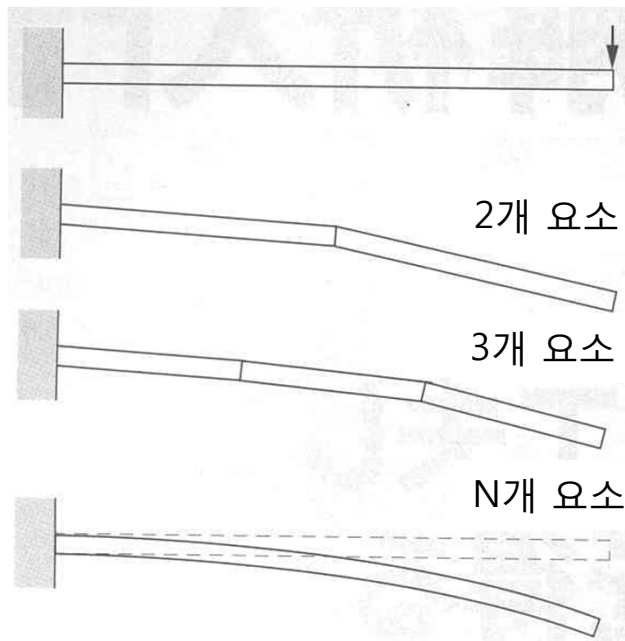
- 해석대상인 형상을 컴퓨터에서 계산 가능하도록 단순한 형상의 작은 요소 집합으로 표현
  - 요소망, 그물망, 메쉬
  - 빔, 강체바 (1차원), 쉘 (2차원), 솔리드 (3차원)
- 사용자가 설정한 자유도로 계산
- 자동생성 기능
  - 평균적 요소길이 설정 가능: 조밀도 조절
  - 설계자가 판단

# 요소망 생성시 고려사항

- 수행할 해석 판단
  - 강도(응력)? 민감
  - 강성(변형량)? 고유주파수? 덜 민감
- 고려사항
  - 요소망 수
  - 요소망 조밀도
  - 요소망 형상 (품질)
  - 요소망 차수
- 요소망 생성 실패의 위험성
  - 설계과정에서 형상변경을 반복함에 따른 데이터의 불일치
  - CAD데이터의 품질 확인

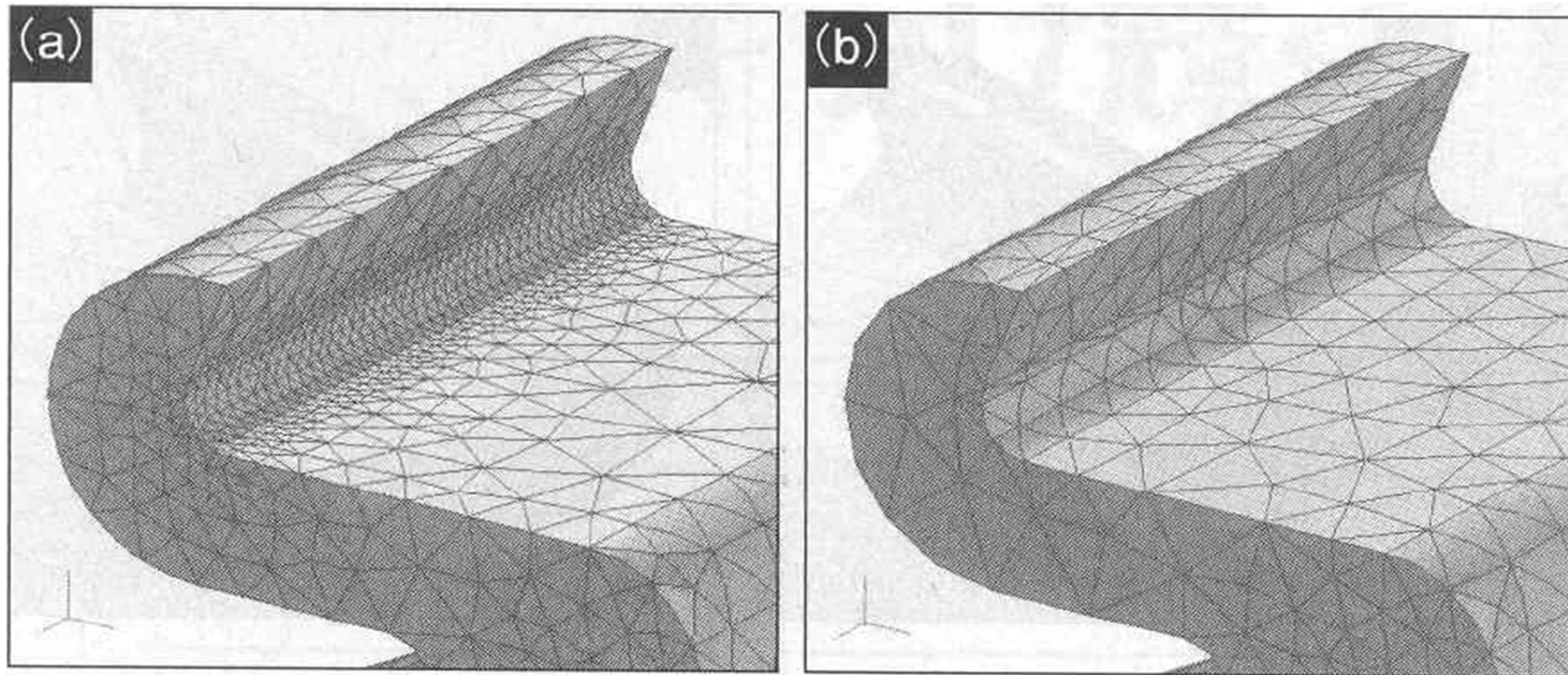
# 요소망 수 검토

- 필요한 요소망 수?
  - 요구되는 정확도, 해석대상의 크기/재질/형상 등
- 여러가지 크기의 요소망으로 분할하여 계산



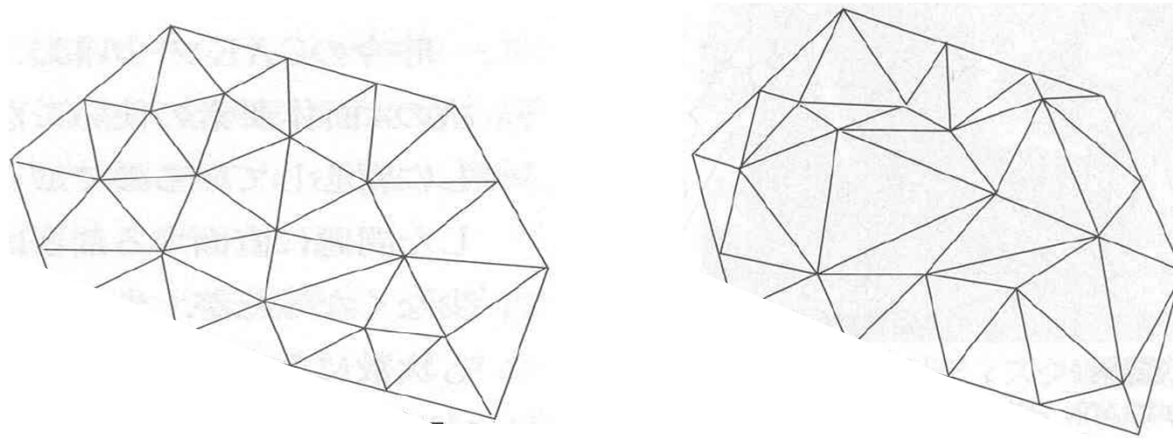
# 요소망 조밀도 변화

- 응력 집중부 등 특별한 부위에 평균적인 요소크기와는 다른 국소적인 요소크기를 설정
- 휠렛부를 6등분 정도 분할



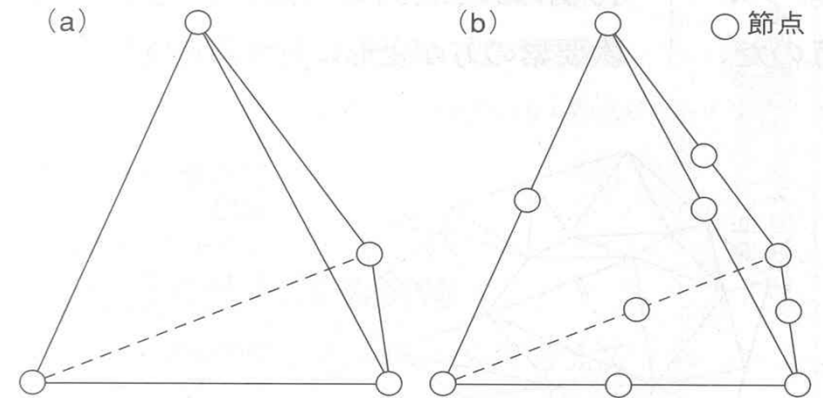
# 요소망 형상 (품질)

- 정량적 지표: 뒤틀림 정도
  - 정사면체/정육면체 (솔리드), 정삼각형/정방형 (셀)
- 품질향상 방법
  - 요소망 크기를 줄여서 요소망 개수 증가
  - 국소적인 요소망 형상 수정
  - CAD 데이터의 서피스를 재분할하여 요소망 생성

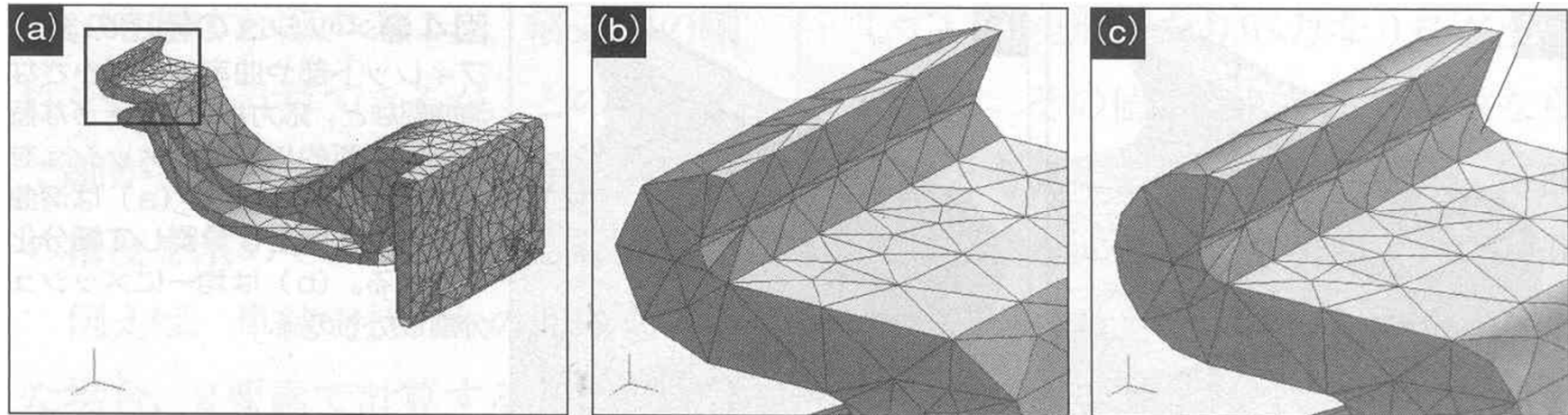


# 요소망 차수

- 차수: 요소망 형상의 근사표현 정확도
- 단순지지 보 해석
  - 육면체 1차 요소, 사면체 1차 요소, 사면체 2차 요소



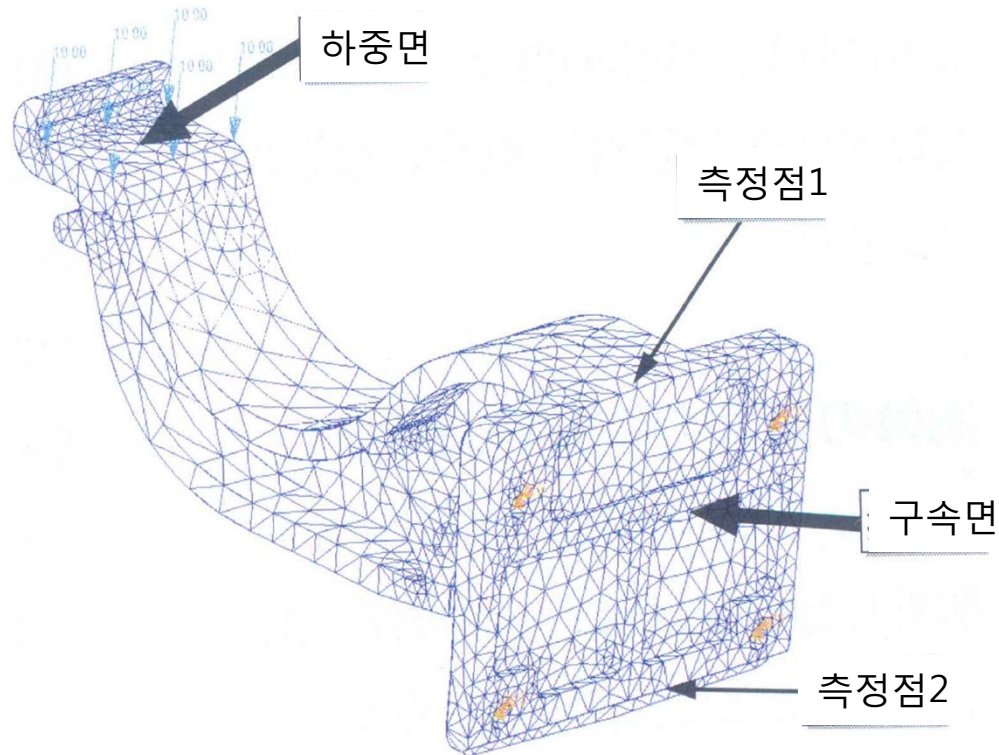
요소가 접혀 있음 (품질 악화)



# CAE 프로세스: 경계조건

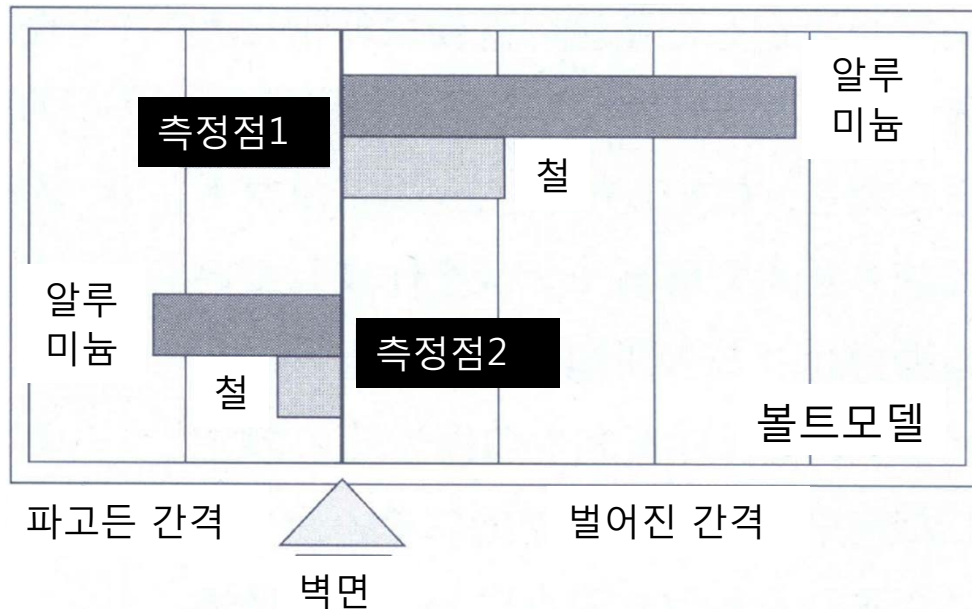
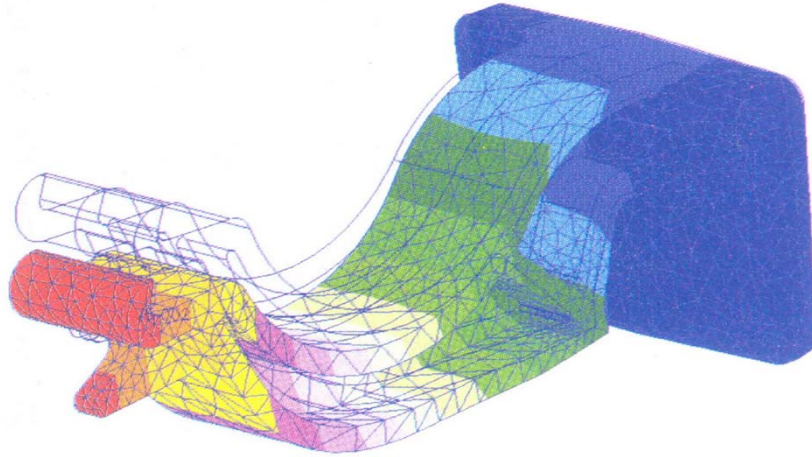
- 해석대상이 어떠한 환경에 놓여 있는가를 판단하여 그 경우 작용해야 하는 외부적 요인을 정의
  - 해석결과의 정확도를 좌우
- 하중조건: 비교적 용이
  - 어느 곳에 얼마만큼의 힘을 부여하는가?
- 구속조건: 고민?
  - 설계대상물을 어떻게 지지하는가?
  - 볼트고정, 용접, 리벳접합, 접착, 접촉 등

# 조인트 구조해석



- 볼트체결의 구속조건?
  - 볼트의 개수
  - 실제 벽의 강성 (강체/유연체)
- 전체고정모델
  - 조인트 구조물의 구속면 전체를 고정한 경우
  - 볼트에 충분한 강도가 있다고 판단
- 볼트모델
  - 볼트구멍 주위만을 고정한 경우
  - 볼트강성을 무한대로 가정

# 해석 결과

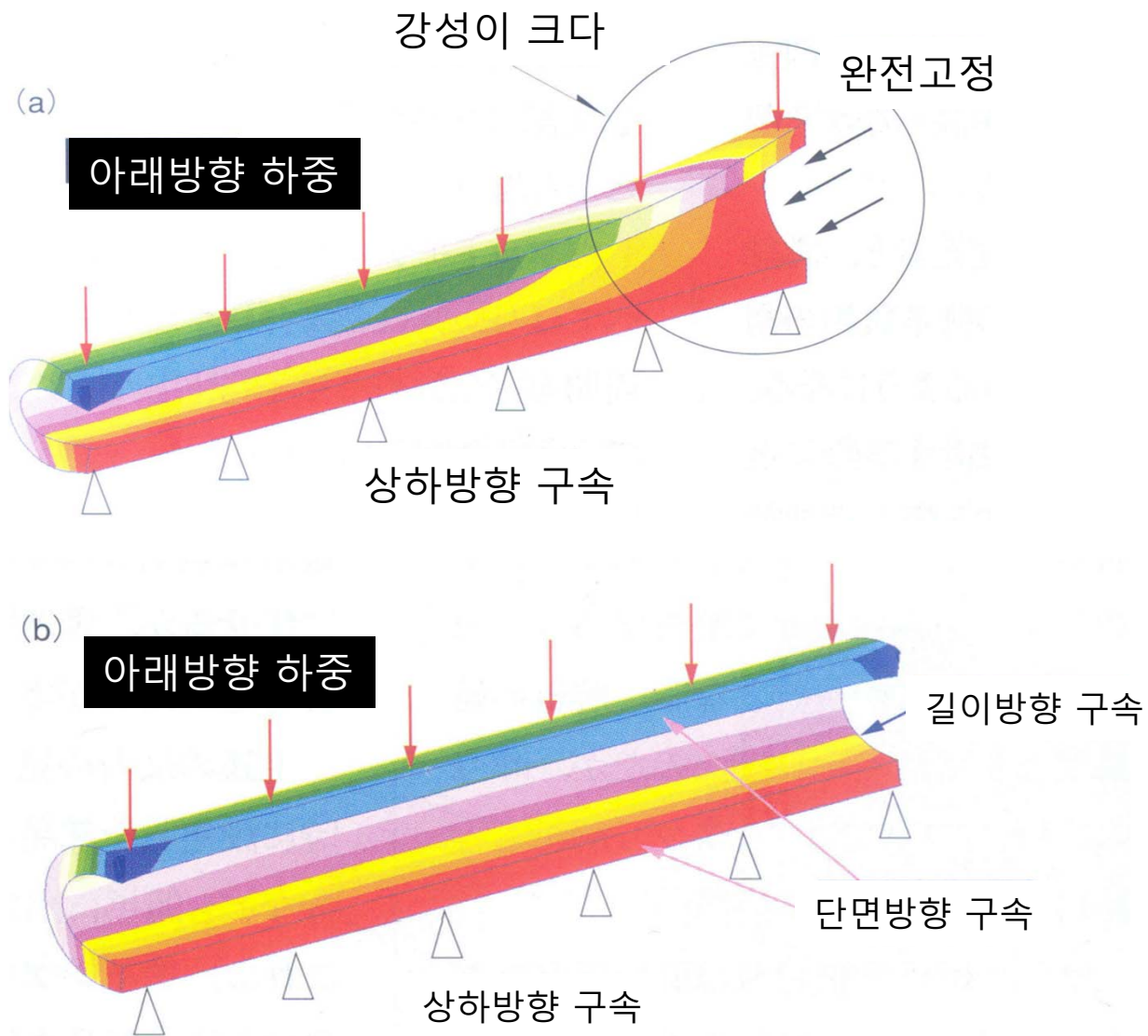


- 전체고정모델
  - 벽면에서 간격 0 ?
  - 벽과 볼트의 강성이 크고 체결 토오크가 충분한 경우
- 볼트모델
  - 파고든 간격(-) 존재?
  - 볼트의 개수가 적은 경우

# 구속조건 설정

- 용접: 전면고정
    - 후처리에서 반력이 용접강도를 초과하는지 여부를 확인
  - 리벳트 접합: 볼트모델조건
    - 반력이 리벳트의 강도를 초과하지 않는 것을 확인
  - 접착: 전면고정
  - 끼워넣기: ? (전문가와 상의)
- 
- 어느 정도 계산결과를 예상하여 경계조건을 설정
  - 설계지식이나 경험이 요구

# 구속조건의 영향

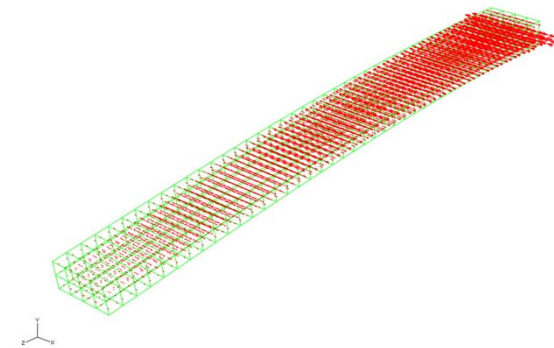
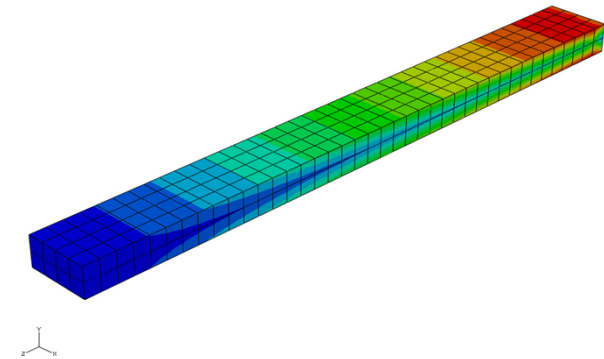


# CAE 프로세스: 해석결과

- 후처리(Post-Processing)
  - 계산실행 후 해석결과를 표시하거나 연산하는 과정
- 후처리에 의한 평가
  - 해석조건의 타당성 평가: 예상대로 계산되었는지 확인
  - 해석목적에 따른 평가: 강도, 고유치 등의 정성적 경향과 값을 파악

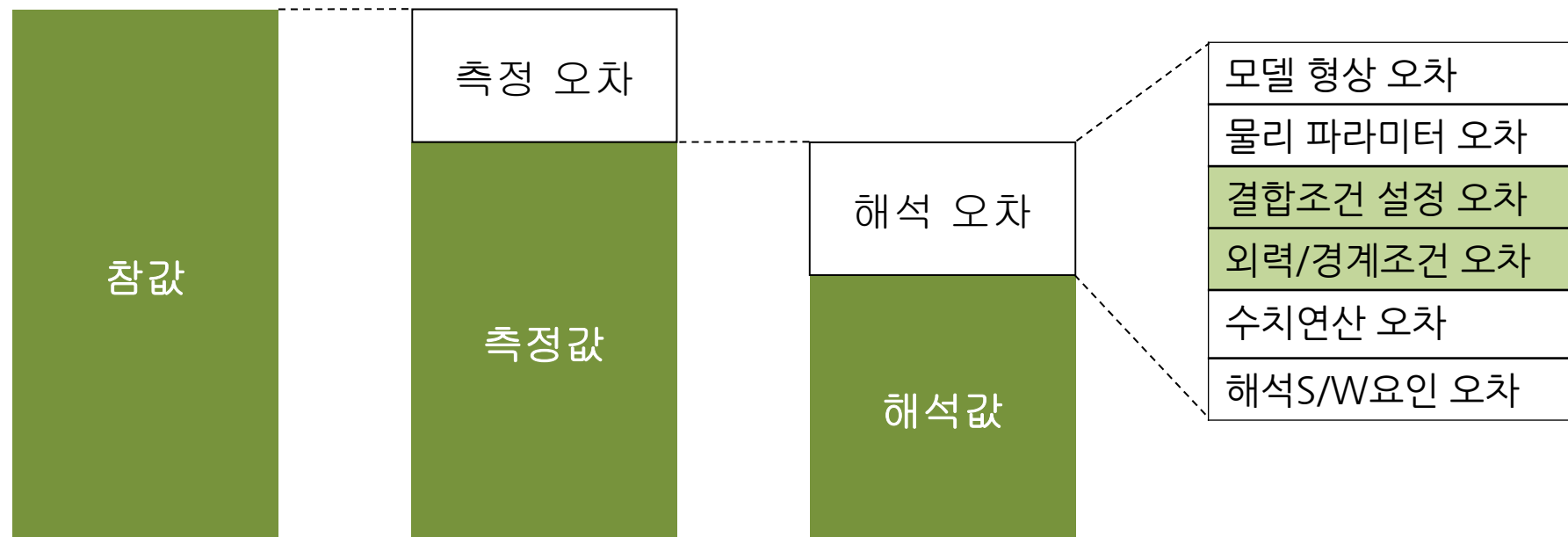
# 구조해석결과의 평가: 응력

- 등고선도(contour): 전체분포 확인
  - 벡터선도(vector plot): 크기 및 방향 확인
- 
- 최대/최소 주응력
  - 좌표축 방향 성분
    - 실험과 비교 (스트레인 게이지)
  - von Mises 응력
    - 재료항복 판단, 소성변형 예측
  - 스트레인에너지
    - 집중위치 파악, 파손방지 설계변경



# 오차 내역

- 상대값: 해석 오차 상쇄
  - 설계변경에 의한 효과 확인
- 절대값
  - 재료시험 등 포함해 충실한 노하우의 축적이 필요



## 해석결과가 예상과 다른 경우

- 해석결과의 경향이 예상과 다른 경우 (변형도로 확인), 원인?
  - 구속조건, 하중조건, 재료물성
  - 판 두께 (판 구조물 해석의 경우)
- 위 조건이 틀리지 않은 경우, 원인?
  - 하중·구속조건이 예상한 물리현상을 제대로 표현하지 못함
  - 계산결과가 맞고 예상이 틀림
- 훈련 필요 ! (해석전문가의 도움)
- 실험을 통한 교정

## CAE 프로세스 : 주의사항

- 실제와는 다른 국소응력이 발생
  - 구속조건 설정 절점이 1개이거나 몇 개로 적은 경우
  - 한 점에 어떤 하중을 작용하는 경우
- 최대응력 값의 발생장소가 경계조건을 설정한 부분 근처는 아닌지 검토
  - 수학적으로 발생한 응력이 아닌지 의심
- 경계조건에 대하여 가정한 것과 같은 변형이 발생했는지 확인
- 계산된 응력 값을 충분히 음미

# CAE 강좌: CAE의 시작과 모든 것

## 온라인학습/CAE기초강좌

<https://kor.midasuser.com/meshfree/education/online-main.asp>

- 01강. 설계최적화를 위한 CAE 활용방안
- 02강. 선형해석에 대한 이해
- 03강. 비선형해석에 대한 이해
- 04강. 모드해석에 대한 이해
- 05강. 진동해석에 대한 이해
- 06강. 열전달, 열응력해석에 대한 이해
- 07강. 최적설계에 대한 이해

