

ABAQUS를 이용한 다물체 동역학 해석

이 영 환 · 아바쿠스코리아㈜ 기술컨설팅부장

e-mail : YOUNGHWAN.LEE@ABAQUS.COM

이 글에서는 범용 유한요소해석 프로그램인 ABAQUS의 기능 중 다물체 동역학 해석과 연관된 부분에 대하여 소개하고 실제 적용 사례들을 살펴봄으로써 ABAQUS를 이용한 다물체 동역학 해석의 특징점을 살펴본다.

ABAQUS를 사용하고 계시거나 ABAQUS에 대해 잘 알고 계시다고 하는 분들 중에도 ABAQUS를 이용해서 다물체 동역학 문제를 해석할 수 있다는 점에 대해 말씀드리면 “ABAQUS에 그런 기능도 있었나?” 하시는 분들이 많이 계십니다. ABAQUS의 다양한 기능들 중에는 물체의 각 부품 간 연결 구조를 다양하게 표현할 수 있는 connector 요소가 있으며 이 요소가 각 부품 간 결합 구조 및 상대 운동 특성을 정확하게 구현함으로써 다물체 동역학 해석이 가능하게 되었습니다. 이는 제조, 조립 및 운전 과정 전반에 걸쳐 제품의 이력이 반영된, 단절 없는 해석 과정(seamless

simulation)을 위한 ABAQUS의 노력의 산물입니다.

과거 다물체 동역학 해석을 위해서는 대체로 물체를 구성하는 각 부품들은 강체(rigid body)로 모델링하고 각 부품들 간 연결 구조에 따른 강체들의 동적 특성만을 살펴보거나 각 부품들의 동적 특성을 사전에 계산된 진동 모드들의 선형 조합 형태로 간주하는 부분구조합성법(component mode synthesis) 등의 방법을 사용하여 해석을 수행하곤 하였습니다. 그러나 물체를 구성하는 각 부품들의 변형이 선형 탄성 구간 이내의 미소 변위만이 발생할 것이라는 가정 하에서의 해석은 실제 조건과의 큰

괴리를 보였고 경우에 따라서는 해석 결과의 신뢰도에도 나쁜 영향을 미칠 수밖에 없었습니다.

한계 하중 조건에서의 동적 거동 중인 부품에 작용하는 하중과 이에 따른 부품의 구조 강도 해석을 위해서는 시스템의 동적 거동과 이에 따른 각 부품들의 강도 해석이 동시에 이루어져야 합니다. 동시 해석을 위해서는 전체 시스템을 하나의 해석 모델로 구성, 해석을 진행하여야 하며 필연적으로 해석 모델의 크기가 기하급수적으로 증가할 수밖에 없습니다. 그러나 계산을 위한 컴퓨터 시스템의 발달과 이를 이용한 효율적 계산 방법의 개발로 이제는 전체 시스템의 동적 거동을 포함

한 비선형 특성 해석이 가능하게 되었습니다.

커넥터 요소

커넥터 요소는 ABAQUS Version 6.1부터 제공되는 요소로서 두 절점 간의 상대 위치 및 상대 운동 특성을 손쉽게 정의할 수 있도록 고안된 요소입니다. 물론 커넥터 요소가 발표되기 이전에 ABAQUS에는 커플링(coupling, kinematic or distributed), 방정식(equation), 다절점 구속조건(MPC : Multi-Point Constraint) 등과 같이 둘 혹은 여러 절점들 간의 상관관계를 정의할 수 있는 다양한 기능들이 존재하였습니다. 그러나 커넥터 요소는 기존의 기능 외에도 여러 절점들 간의 상대 운동 및 구속 조건 설정에 대한 보다 광범위하면서도 단순한 정의 방법을 제공하므로 해석 모델의 특성을 보다 간결하면서도 정확하게 표현할 수 있게 되었습니다.

커넥터 요소는 크게 두 절점 간의 병진 운동 특성을 표현하기 위한 것과 상대 회전 운동 특성을 표현하기 위한 것으로 구분할 수 있으며 표 1에서 다양한 종류의 커넥터 요소를 확인하실 수 있습니다.

각 부품 간 결합 구조는 표 1에 나타난 것과 같은 병진운동 특성, 또는 상대회전운동 특성이 각각 독립적으로 구현되기보다는

이 두 가지 특성이 서로 결합되어 특정 움직임을 표현하는 경우가 더 많습니다. 이에 ABAQUS는 흔히 사용되는 여러 가지 종류의 복합 움직임을 별도의 요소로 미리 만들어 제공함으로써 사용자의 모델링 작업에 대한 효율성을 높여 줍니다. 표 2는 여러 종류의 복합 거동 모사를 위한 커넥터 요소의 종류와 이 요소의 병진 운동 및 상대회전운동 특성을 설명하고 있습니다.

이와 같은 커넥터 요소는 상대 움직임에 따른 두 절점 간에 작용하는 하중 전달 특성을 다양하게 정의할 수 있으며 탄성, 소성, 마찰, 파단 등의 조건과 변위 제

한, 잠김 기능, 상대 움직임 정의 등의 특성을 정의할 수 있습니다.

해석 사례

건설 및 토목 공사 현장 등에서 많이 사용되는 굴착기의 경우 굴착 작업 과정에서 로봇 팔을 포함한 링크 장치에 작용하는 하중을 견딜 수 있어야 하며 적절한 강도를 유지하여야 합니다. 혹은 로봇 팔이 굴착 작업 도중 과도한 변형을 일으키게 될 경우 관절부의 윤활막이 손상되거나 베어링 면에서 마모가 발생하여 수리 및 보수 주기가 짧아지게 될 뿐만 아니라 경우에 따라서는

표 1 병진 운동 특성과 상대 회전운동 특성 모사를 위한 커넥터 요소들






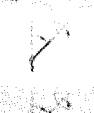

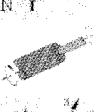
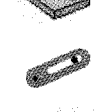

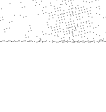












| Basic translational | | Basic rotational | |
|----------------------|---|----------------------------|---|
| ACCELEROMETER |  | ALIGN |  |
| AXIAL |  | CARDAN |  |
| CARTESIAN |  | CONSTANT VELOCITY |  |
| JOIN |  | EULER |  |
| LINK |  | FLEXION-TORSION |  |
| PROJECTION CARTESIAN |  | PROJECTION FLEXION-TORSION |  |
| RADIAL-THRUST |  | REVOLUTE |  |
| SLIDE-PLANE | | ROTATION | |
| SLOT | | ROTATION-ACCELEROMETER | |
| | | UNIVERSAL | |

표 2 복합 거동 특성 모사를 위한 커넥터 요소들

| Assembled | | Equivalent basic connection components (translational + rotational) | |
|-------------|---|--|-------------------------------|
| | | | |
| BEAM |  | JOIN | ALIGN |
| BUSHING |  | PROJECTION CARTESIAN | PROJECTION FLEXION-TORSION |
| CVJOINT |  | JOIN | CONSTANT VELOCITY |
| CYLINDRICAL |  | SLOT | REVOLUTE |
| HINGE |  | JOIN | REVOLUTE |
| PLANAR |  | SLIDE-PLANE | REVOLUTE |
| TRANSLATOR |  | SLOT | ALIGN |
| UJOINT |  | JOIN | UNIVERSAL |
| WELD |  | JOIN | ALIGN |

로봇 팔의 영구 변형을 야기할 수도 있습니다. 그림 1은 굴착기의 동적 거동 표현을 위한 모델링 예를, 그림 2는 실제 작업 과정에 대한 해석 결과 예를 보여주고 있습니다.

항공기 랜딩 기어의 경우 착륙 과정에서 매우 큰 동적 하중이 작용하므로 이에 견딜 수 있는 가벼우면서도 높은 강도의 부품들로 구성된 시스템 설계가 이루어져야 합니다. 물론 랜딩 기어를 동체에 감추었다가 이착륙 시 꺼낼 수 있도록 각종 기구 장치들이 시스템에 포함되어야 합니다. 그림 3은 랜딩 기어 시스템의 착륙 시 동적 거동과 시간대 별 응력의 변화를 해석한 사례를 보여주고 있습니다.

자동차는 수 만개의 부품들이

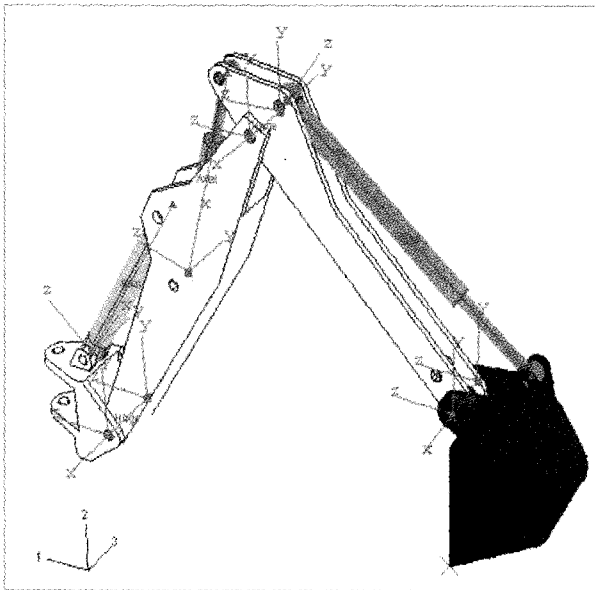


그림 1 굴착기 모델(부분)



그림 2 굴착기 모델의 굴착 과정 해석 예

유기적으로 결합되어 효율적인 움직임을 구현하는 장치입니다. 현가장치를 비롯하여 자동차에는 각 부품들 간의 상대운동이 발생하는 부품들이 상당수 존재하며 이들에 대한 모델링과 해석 또한 각 부품들 간의 움직임과 구속, 또는 간섭 조건 등이 명확히 표현되어야 합니다. 그림 4는 차량이 둔턱에 부딪히는 과정에서 현가장치를 통하여 전달된 하중이 새시 부분에 미치는 영향을 해석한 사례를 보여주는 것으로 다물체 동역학 해석의 좋은 예입니다.

Real World FEA

'Real World FEA'는 엔지니어가 어셈블리 및 단품을 해석하는 데 있어서 실험 또는 실제 작동상태에 대한 거동을 정확하게 해석적으로 모사하는 것을 말합니다. 또한 제품에 가해지는 하중

및 경계조건, 재료 및 기타 비선형성에 대하여 신뢰할만한 모델링을 의미합니다.

실제 현상은 모두 비선형 거동을 합니다. ABAQUS는 실제 현상으로 나타나는 각종 특성들을 최대한 사실적으로 모사할 수 있는 기능들을 제공함으로써 신뢰할 수 있는 결과를 도출하는 프로그램으로 많은 사람들에게 인식되어 왔습니다. ABAQUS의 다물체 동역학 분야 해석 기능 또한 기존 해석 프로그램들의 기능을 답습하는 수준이 아닌, 실제 현상에 대한 완벽한 구현을 위한 노력 과정에서 탄생한 것으로 전세계 많은 사용자들이 이 기능을 이용하여 기존 시스템을 분석하고 혁신적 제품 설계를 위한 도구 사용하고 있습니다.

ABAQUS, Inc.

ABAQUS, Inc.는 1978년 Hibbitt, Karlsson 및 Sorenson에 의하여 설립되었고, 최근 Dassault Systemes 그룹의 일원이 되어 혁신적 제품 개발 및 자원 관리 공정에서 필수적이라 할 수 있는 컴퓨터를 이용한 해석 분야에서 핵심 역할을 맡고 있습니다.

ABAQUS Inc.는 그동안 비선형 유한요소 해석 프로그램인 ABAQUS를 공급하는 회사로서, 유한 요소 해석 기술 분야에만 모든 노력을 치중하여 세계 일류 제품을 개발하는 회사들에게 그들이 필요한 필수적인 툴을 공급하고자 노력하였고 전세계 사용자들로부터 높은 신뢰를 얻었던 만큼 앞으로도 고객의 요구에 대해 끊임없이 혁신적인 개발을 통한 제품 공급과 기술 지원 서비스를 제공해드릴 것입니다.

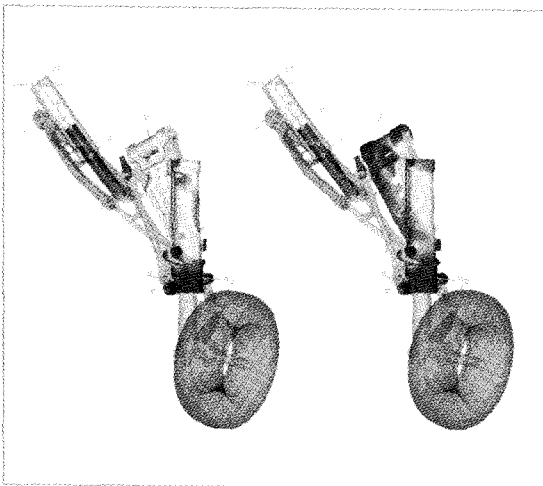


그림 3 항공기 랜딩 기어 시스템의 응력 해석 예

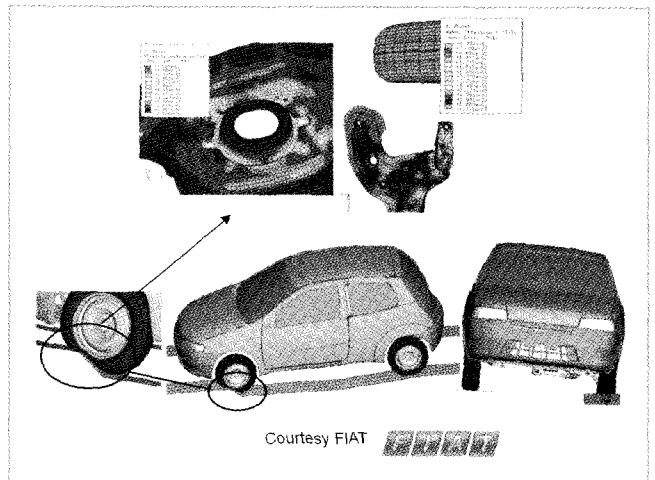


그림 4 자동차 새시의 구조 강도 해석 예