

# FLUENT Dynamic Mesh Method를 이용한 유압식 쇼크 업소버(shock absorber) 해석

최봉수\*

## 1. 서 론

컴퓨터가 발달하고 설계 기법이 고도화되면서 CFD (Computational Fluid Dynamics)의 활용 범위가 점차 확대되고 있다. 이에 따라 기존에는 정상 조건(steady condition)으로 고려하여 해석을 수행하던 영역에 대해서도, 컴퓨터 및 해석기법의 발달에 따라 비정상 조건(unsteady condition)으로 시간에 따른 경계 조건의 변화를 고려한 CFD 해석에 대한 요구가 점차 증대되고 있다.

터보 기계의 회전, 피스톤의 왕복, 밸브의 개폐에 대한 unsteady condition 해석을 위해서는 움직이는 부분의 경계면의 변화를 고려하여야 할 필요가 있다. 이러한 기능에 대하여 FLUENT에서는 Dynamic Mesh Method를 제공하여 경계면의 변위 조건을 모사한다.

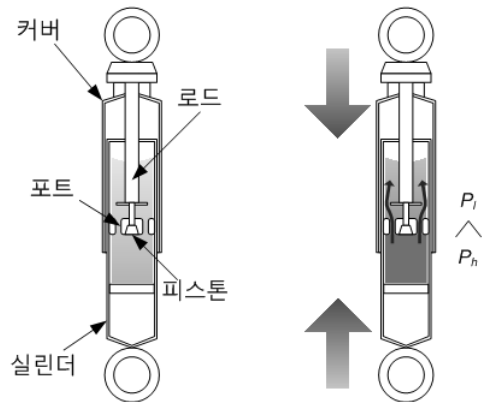
이에 본 고에서는 차량, 항공기 등의 충격을 완화하기 위하여 사용되는 유압식 쇼크 업소버를 대상으로 FLUENT의 Dynamic Mesh Method를 적용하여 해석을 수행한다. Fig. 1은 유압식 쇼크 업소버의 구조 및 외부 충격에 따른 감쇠 메커니즘을 나타낸 것으로, 쇼크 업소버의 수축 시 오일이 포트를 통과하는 과정에서의 점성 저항을 통해 감쇠되게 된다.

쇼크 업소버의 해석에는 기본적으로 포트 직경, 피스톤 등의 기본적 구성 요소와 더불어 피스톤과 실린더 사이의 미세한 간극에도 초점을 두어 진행하게 된다. 특히 이 간극은 극히 미세하기 때문에 약간의 설계 공차에 따라서도 설계 변위가 크게 되고, 경우에 따라서는 쇼크 업소버의 성능에도 영향을 줄 수 있어, 포트와 더불어 간극에도 주안점을 두어 모델링하였다.

## 2. FLUENT를 이용한 쇼크 업소버 해석

### 2.1 쇼크 업소버 모델링

유압식 쇼크 업소버 내부 피스톤의 운동은 식 (1)과 같이 외부 힘과 피스톤 주변 오일에 의하여 작용하는 힘으로 결정된다.



(a) Composition (b) Performance  
Fig. 1 Schematic diagram of a shock absorber

$$V_{p,i} = (F_{x,i} + F_{o,i}) \frac{dt}{m} + V_{p,i-1} \quad (1)$$

- 여기서,  $V_{p,i}$  : time=i에서의 속도
- $F_{x,i}$  : 피스톤에 걸리는 외력
- $F_{o,i}$  : 피스톤 주변 오일에 의한 힘
- $m$  : 피스톤 하중
- $dt$  : time step

\* 에이티이에스(주)  
E-mail : bschoi@ates.co.kr

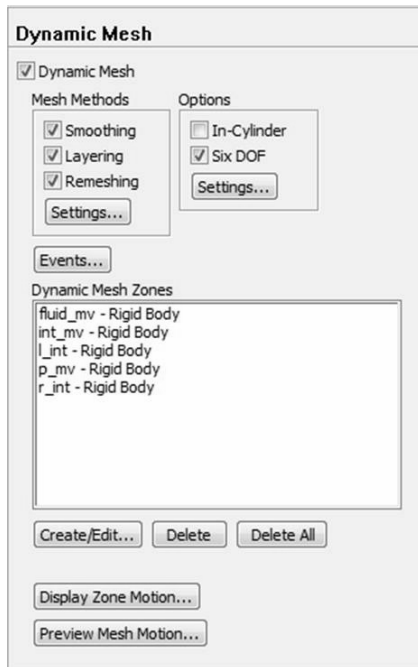


Fig. 2 Dynamic Mesh Setting Window of FLUENT 12

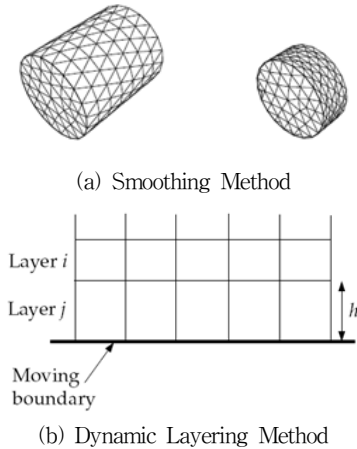


Fig. 3 Schematic diagram of a shock absorber

쇼크 업소버 모델링 및 초기 격자 생성을 위한 프로그램으로는 Gambit 2.4.6을 이용하였으며, 피스톤에 대한 운동 조건 설정에는 FLUENT 12.0.16을 이용하였다. FLUENT에서는 식 (1)과 같은 피스톤의 거동 모사에 대하여 Dynamic Mesh Model을 이용한다.

FLUENT의 경계 변위 모델링은 Fig. 2와 같은 Dynamic Mesh 창에서 수행한다. 경계 변위 모델로는 In-cylinder Model, 6-DOF Model 및 User-defined Function Model이 있다.

In-cylinder Model은 차량 엔진 등의 피스톤 운동 구현 등에 사용된다. 6-DOF Model은 질량 및 관성 모멘트 설정을 통해, 경계면에 작용하는 외력과 유체의 점성저항 등에 의해 경계면의 변위가 결정되는 경우에 적용된다. 또한 User-defined Function Model은 사용자가 별도의 함수를 이용하여 경계면의 변위를 입력하는 모델이다.

쇼크 업소버의 모델링에는 피스톤(경계면)의 변위가 외력과 내부 유체가 피스톤에 작용하는 힘의 관계에 따라 결정되는 점을 고려하여 6-DOF를 기본으로 축 방향의 1-Dimension만을 고려하도록 User-defined Function을 이용하여 모델링하였다.

## 2.2 쇼크 업소버 격자 변화

FLUENT의 Dynamic Mesh Model은 시간의 변화에 따른 경계면의 변화를 모델링하는 기법으로, 이에 따라 경계면 부근의 격자 형상 또한 변화하여 격자(mesh)의 수정 및 재생성이 필요하게 된다.

FLUENT에서는 경계면 변화에 따른 격자 수정에 대하여 Smoothing Method, Dynamic Layering Method 및 Remeshing Method를 이용하여 조절이 가능하다.

Smoothing Method는 2점 사이의 edge를 spring으로 상사하여 격자점의 변위를 결정하는 기법이다. Spring based Smoothing Method에서 격자의 절점(node)에서의 힘(force)은 훅의 법칙(Hook's law)에 따라 식 (2)와 (3)과 같이 정의할 수 있다.

$$\vec{F}_i = \sum_j^{n_i} k_{ij} (\Delta \vec{x}_j - \Delta \vec{x}_i) \quad (2)$$

$$k_{ij} = \frac{1}{\sqrt{|\vec{x}_i - \vec{x}_j|}} \quad (3)$$

여기서,  $\Delta \vec{x}_i$  : displacements of node i

$\Delta \vec{x}_j$  : displacements of node j  
(neighbor node of i)

$k_{i,j}$  : spring constant of node i, j

경계의 위치가 변하면 스프링과 연계된 절점(node)에서의 모든 힘에 대한 평형 방정식에 따라 절점의 변위는 식 (4)와 같이 정의할 수 있다.

$$\Delta \vec{x}_i^{m+1} = \frac{\sum_j^{n_i} k_{ij} \Delta \vec{x}_j^m}{\sum_j^{n_i} k_{ij}} \quad (4)$$

식(4)의 평행방정식은 모든 내부 절점(interior nodes)에 대하여 Jacobi sweep을 적용하여 식 (5)와 같이 정리할 수 있다. 식 (5)에서 n과 n+1은 각각 현재와 다음 Time Step의 위치를 나타내며, 이를 통해 Fig. 3의 (a)와 같은 형태의 거동을 모사하게 된다.

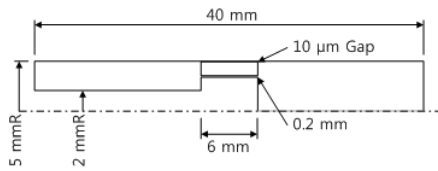
$$\vec{x}_i^{n+1} = \vec{x}_i^n + \Delta \vec{x}_i^{m.converged} \quad (5)$$

Dynamic Layering은 표면에 인접한 격자의 높이를 기준으로 움직이는 영역에 접한 격자를 더하거나, 제거하는 기법이다. 식 (6)과 식 (7)은 Dynamic Layering Method에서 Layer 성장 및 축소 시의 셀(Cell) 높이 결정을 통한 Layer 분할/병합 관계식이다.

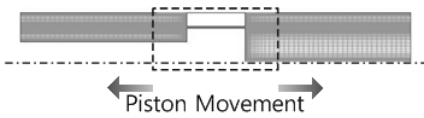
$$h_{min} > (1 + \alpha_s) h_{ideal} \quad (6)$$

$$h_{max} < \alpha_c h_{ideal} \quad (7)$$

- 여기서,  $h_{min}$  : minimum cell height
- $h_{max}$  : maximum cell height
- $h_{ideal}$  : ideal cell height
- $\alpha_s$  : layer split factor
- $\alpha_c$  : layer collapse factor



(a) dimension of the model



(b) mesh of the model

Fig. 4 Schematic diagram of a shock absorber

Remeshing Method는 경계의 변위에 따른 격자의 변형에 대하여, 격자의 비틀림정도(skewness)가 증가하여 격자의 질(quality)이 저하될 때, 부분적으로 격자를 재생성(remeshing)

하여 경계면의 변위를 모델링하는 기법이다. FLUENT에서는 Local Remeshing, Local Face Remeshing 등 여러 가지 Remeshing Method를 제공하고 있다.

쇼크 업소버는 기본적으로 실린더 형태의 거동을 취하지만, 피스톤과 실린더 사이의 미세한 공극에서의 유동도 고려할 필요가 있기 때문에, Dynamic Layering Method를 적용하여 모델링하였다. Fig. 4는 CFD 해석을 위하여 모델링된 격자를 나타낸 것으로, 10 mmφ × 40 mm의 실린더에 대하여 피스톤과 실린더 사이에 10 μm의 공극을 가지고, 0.2 mm의 오리피스를 가지는 조건으로 격자를 생성하였다.

### 2.3 쇼크 업소버 해석 및 결과

쇼크 업소버의 해석 프로그램으로는 FLUENT 12.0.16을 이용하였다. SAE 30 오일을 작동유체로 하였으며, 쇼크 업소버에 작용하는 외력은 Fig. 5과 같이 시간당 2,400 cycle의 주기를 가지는 Cosine Wave 형태로 입력하였다. 외력의 최대값은 220 N이며, 하중은 27 kg으로 적용하였다.

FLUENT 해석 시, unsteady condition으로 density based solver를 적용하였다. 난류모델로는 Spalart-Allmaras model을 적용하였으며, time step은 0.00001 sec로 시작하여 시간에 따라 0.001 sec까지 증가시키며 해석을 진행하였다.

초기 time step을 작게 고려한 이유로는, cosine wave(220 N@time=0 sec)로 초기 time step에서 압력 및 유속 등에 대한 변위가 크고, 초기 time step에서 충분히 압력 등에 대한 유체 정보가 계산된 이후 다음 time step으로 넘어가야 해석 시 발생할 수 있는 이전 time step에 의한 누적 오차를 줄일 수 있기 때문이다. 해석결과 Fig. 6의 (b)에서 보이는 바와 같이, 기본적으로는 오일의 유동은 피스톤의 오리피스 부분에서 유속이 크며, 1.5 sec와 3.0 sec에서와 같이 쇼크 업소버의 중심부를 지나는 지점(좌, 우측에 대하여 압력 고/저가 바뀌는 지점)에서 피스톤과 실린더 사이의 미세한 틈새에서 유동이 발생함을 확인할 수 있다.

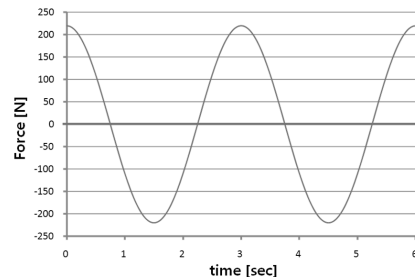


Fig. 5 Force vs time

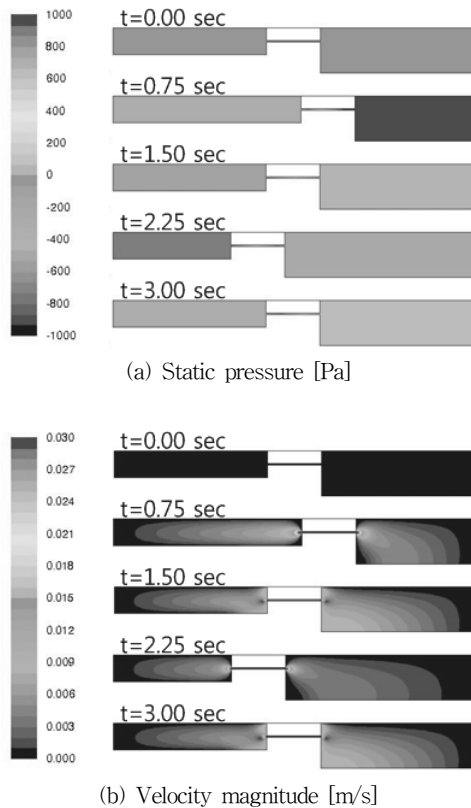


Fig. 6 Results of shock absorber using FLUENT

#### 4. 결 언

FLUENT를 이용하여 유압식 쇼크 업소버에 대한 모델링 및 해석 방안에 대하여 소개하였다. Dynamic Mesh 기능을 이용한 유압식 쇼크 업소버 모델링에 대하여 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1) 피스톤형 유압식 쇼크 업소버에서 시간에 따른 변위를 가

지는 피스톤 경계에 대한 모사는 FLUENT의 User-defined Function을 이용한 6-DOF Method과 Dynamic Layering Mesh 기능을 이용하여 모델링이 가능함을 확인하였다.

2) FLUENT 상에서 안정적인 unsteady condition 해석을 위해서는 초기에 압력에 의한 변위가 큰 점을 고려하여, 초기 time step을 0.00001 sec 수준으로 충분히 작게 가질 필요가 있다.

3) 해석을 통하여, 압력의 압력 구배가 유지되는 운동 조건 (0.75 sec 부근)에서는 포트를 통하여서만 유동이 발생하지만, 피스톤이 중심점을 통과하며 압력의 구배가 바뀌는 지점을 통과할 때(1.5 sec 부근)에는 쇼크 업소버의 미세한 간극에서도 유동이 발생함을 확인하였다.

본 검토를 통하여 외력에 의하여 피스톤의 변위를 가지는 유압식 쇼크 업소버에 대하여서도 FLUENT의 Dynamic Mesh 기능을 이용하여 모델링 및 해석이 가능함을 확인하였다.

#### 참고문헌

- (1) ANSYS, Inc., "ANSYS FLUENT User's Guide", ver. 12.0, 2009.
- (2) ANSYS, Inc., "ANSYS FLUENT Tutorial Guide", ver. 12.0, 2009.
- (3) 박상길, 방승우, 권오철, 이정윤, 오재웅, 2008, 수치적 시뮬레이션과 충격 시험을 통한 수직방향 진동절연 완충기 설계 및 성능 평가, 한국소음진동공학회 논문집 제18권 제5호, pp. 558~563
- (4) 박태조, 구철효, 조광한, 이동렬, 이현, 김연환, 1997, 발전소 배관지지용 유압완충기 개발, 한국 윤활학회 학술강연회 제 26권 제28호, pp. 232~238.
- (5) 서진원, 2007, 밸브 타이밍 변화에 따른 가솔린 엔진의 유동 및 연소 특성에 관한 수치 해석적 연구, 아주대학교.