

고무 부시 형상 최적화를 위한 해석 Workflow Simulation Workflow for the Optimization of Rubber Bush

차량에는 많은 부품이 사용된다. 각 금속부품이 직접 접촉이 일어나는 것을 방지하고, 차량소음과 진동을 줄이기 위한 목적으로 고무로 구성되는 마운트나 부시를 사용하게 된다.

이렇게 사용되는 마운트나 부시는 고무라고 하는 재료가 갖는 비선형적인 특징과 각 구성 부품간에 발생하는 접촉이 복합적으로 발생하고, 다축 하중과 다양한 하중 이력을 고려한 수명도 보증해야 하는 주요 부품이다. 이러한 부품을 효과적으로 거동 해석을 하고, 원하는 수명을 만족시키는 최적의 설계 안을 얻어낼 수 있을 것인가에 대한 고민을 바탕으로 적절한 해석 workflow를 제안하고자 한다.

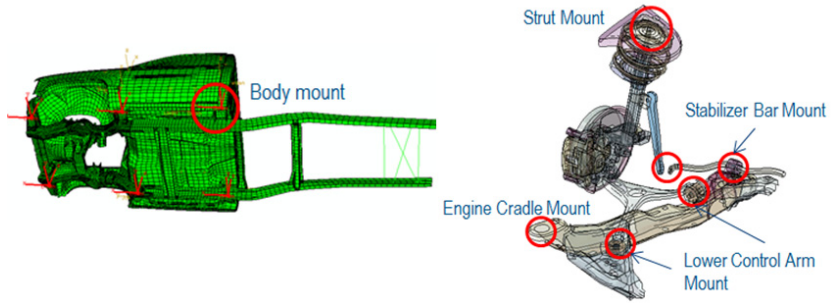


그림 1 부시나 마운트가 사용되는 부위 예

이러한 작업을 위해 부시 해석을 위한 Abaqus/Standard, 형상 최적화를 위한 Tosca Structure, 원하는 수명을 만족시키기 위한 fe-safe/Rubber, 설계자가 설정한 부시 강성을 만족하도록 하기 위한 Isight를 사용하였다.

대상 부품은 차량 현가 시스템에 사용되는 로어 암 부시를 선택하였다. 해석을 위한 부품 구성은 그림 2와 같다. 이 중, 축과 부시 캔은 강체로 설정하였고, 부시는 고무 물성을 이용하여 모델을 구성하였다.



김 영 진

다쏘시스템코리아 부장

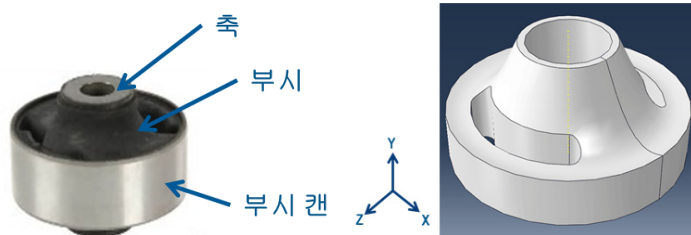


그림 2 부시 모델 구성 및 해석을 위한 부시 형상

해석 조건은 표 1과 같이 설정하였다.
최적화를 위한 작업은 그림 2와 같이 두 개의 Workflow로

표 1 해석 조건

경계 조건	부시 캔	고정
	부시	1/2 모델, 절단면 대칭
하중 조건 - 강제 변위	X,Z 방향	병진
	Y 방향	회전
모델링	요소 타입	부시 - C3D8R 부시 표면 - M3D4R
	부시 재료 물성	Mooney Rivlin K=6000 C01=0.1 C10=2.0

구성하였다. (a)는 Isight를 이용하여 부시 강성이 설계 목적치와 일치할 수 있도록 하기 위한 과정이다. 설계 형상을 결정하는 인자를 설계 변수로 설정하고, 그것을 바탕으로 하여 부시의 기존 형상을 결정하기 위한 것이다. 설계 변수를 바탕으로 한 파라메트릭 최적화는 'Isight'라는 제품을 이용하여 설정하였다.

(b)는 부시의 목적 수명을 만족하기 위한 과정으로 (a)에서 얻어진 결과를 바탕으로 하여 부시의 국부적인 영역에 대해 형상 최적화를 진행한다. 국부적인 영역의 형상 최적화에서는 모든 영역을 파라메타화할 경우, 많은 설계 변수가 발생하기 때문에 사용자가 설정과 해석에 많은 시간이 소요되므로, 'Tosca Structure'의 형상최적화 기능을 이용하였다.

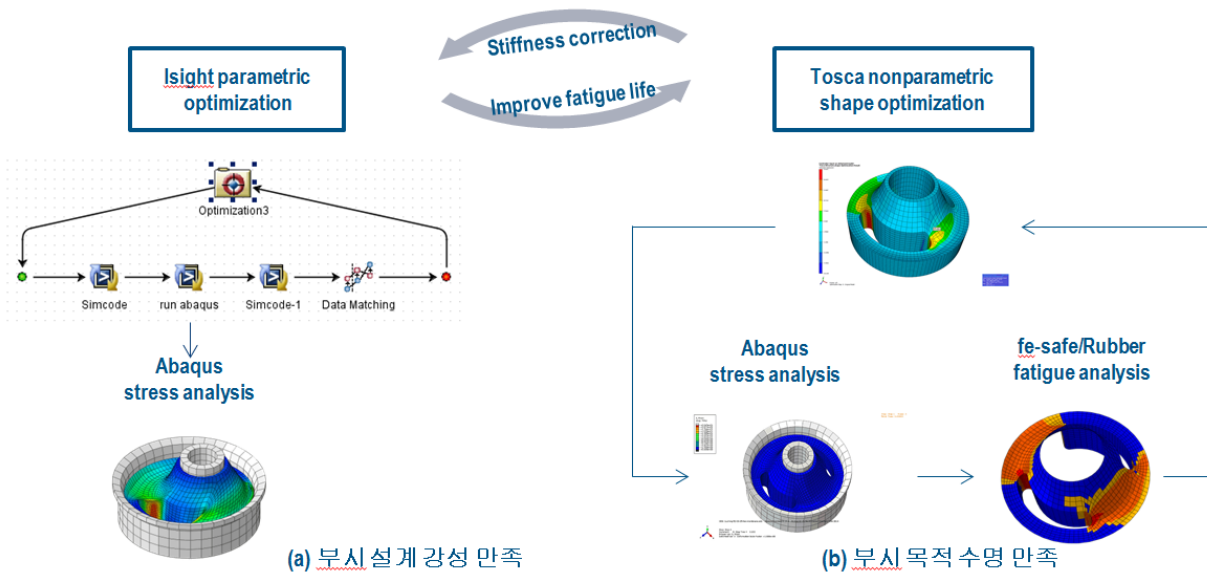


그림 3 부시 최적 설계를 위한 Workflow



자세한 설정은 뒤에서 살펴보기로 한다.

먼저, (a)의 구성에 대해서 알아보기로 한다. 이 과정은 그림 4와 같이 구성된다.

이 과정에서 자동적으로 형상이 변경되고 Mesh가 수행되어 Abaqus input file이 생성되어야 하는데, 이것은 Python script를 이용하여 Abaqus/CAE에서 자동적으로 진행될 수 있도록 하였다. 그림 5와 같이 Abaqus/CAE에서 자동적으로 형상을 변경하기 위하여 형상에 영향을 주는 인자를 변수화하였고, 이

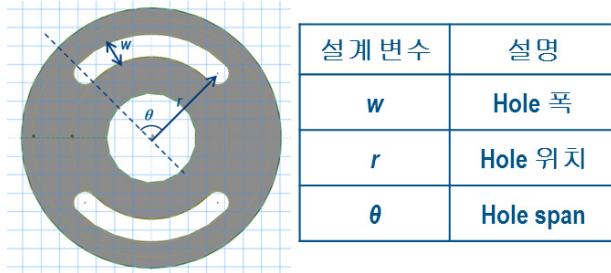


그림 5 설계 형상 및 설계 변수

것을 설계 변수로 Isight에서 지정하였다.

앞에서 설명한 것처럼 이 과정에서는 부시 강성 곡선을 만족시키는 형상을 구하는 것이 목적이므로 부시 강성 곡선이 목적 함수가 된다. 이를 위하여 Isight의 Data matching 기능을 이용하여 최적화를 진행하였다.

그림 6은 실험 결과(붉은 색)와 해석 결과(파란색)가 서로 차이가 발생되었고, 그것을 몇 번의 반복계산을 통해서 일치 시키는 것을 보여주고 있다. 이처럼 data matching이란 목표한 값이 실험이든 우리가 사례로 다루고 있는 목적 곡선이든 해석에 영향을 주는 인자를 조정하여 목표한 곡선과 일치 시켜 주도록 하는 것을 의미한다.

(b)의 구성은 유한요소해석은 Abaqus/Standard를 이용하였고, 수명 해석은 fe-safe/Rubber를 이용하여 수행하였다. 전체 구성은 Tosca Structure의 형상 최적화 기능을 이용하였다. 그림 7은 그 Workflow와 input 및 결과 파일, 형상이 변경될 부분을 표시한 것이다.

Tosca Structure는 형상을 변경하기 위한 인자를 설정하지

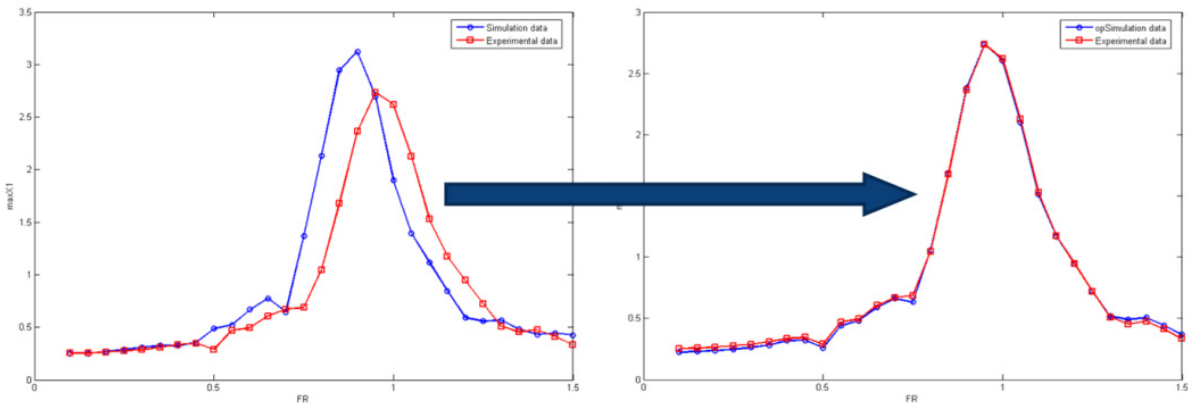
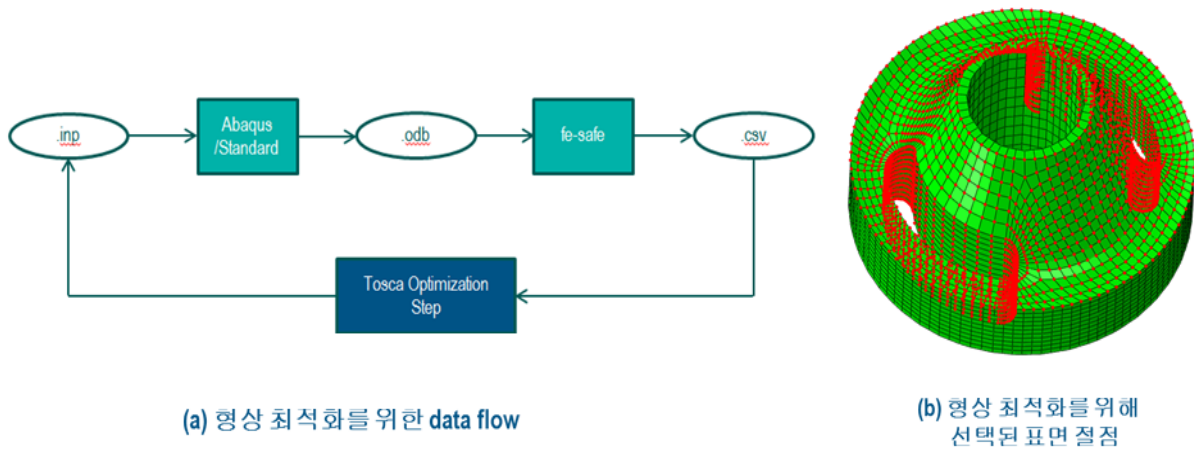


그림 6 Data matching



(a) 형상 최적화를 위한 data flow

(b) 형상 최적화를 위해 선택된 표면 절점

그림 7 형상최적화 Data flow와 선택된 절점

않고, 유한요소모델을 바로 이용할 수 있다. 다음 표 2는 형상 최적화를 위해 설정한 내용을 정리한 것이다.

통상적으로 유한요소모델을 이용하여 최적화를 수행하는 경우에 발생될 수 있는 문제 중 하나는 표면에 있는 절점을 이동하였을때, 요소의 품질에 따른 결과 신뢰도이고, Tosca

표 2 형상최적화를 위한 조건

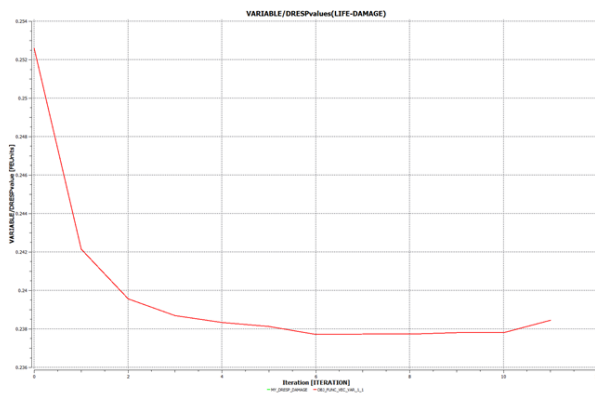
Design surface	부시 표면에 있는 절점	
제한 조건	대칭 조건	모든 design surface에 포함된 절점
	Stamping constraint	Hole span
	고정 조건	각 강체(축과 부시 캔)과 연결된 절점
목적 함수	Damage value(내구 수명 평가 변수) 최소화	

Structure는 이를 방지하기 위해 ‘Mesh smoothing’기능을 제공하고 있다. 이 사례에서도 마찬가지로 Mesh smoothing을 이용하였다.

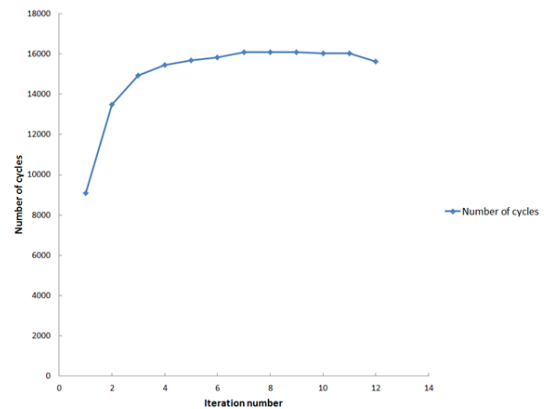
끝으로 결과를 살펴 보자. 먼저, 내구 수명에 대하여 최적화를 진행한 경우를 살펴 보자. 그림 9에서 나타난 그래프를 보면 형상최적화를 위해서 사용한 절점의 개수가 많음에도 불구하고, 최적화를 위한 반복계산이 13회 진행되었고, 8회 이후에는 거의 유사한 값을 갖는 것을 확인할 수 있다.

이처럼 Tosca Structure의 비파라미터 최적화 방식을 이용할 경우, 파라미터를 이용한 최적화 방식과 비교해서 해석 회수에 장점을 갖을 수 있다.

그 결과도 취약지점의 수명이 9,101회에서 16,088회로 약 77% 증가된 것을 확인할 수 있다. 하지만, 그림 10의 그래프에서 보는 것처럼 목표로 하였던 강성보다 강성이 약 10% 저



취약지점의 amage value 변화



취약점의 수명 변화

그림 9 최적화 과정

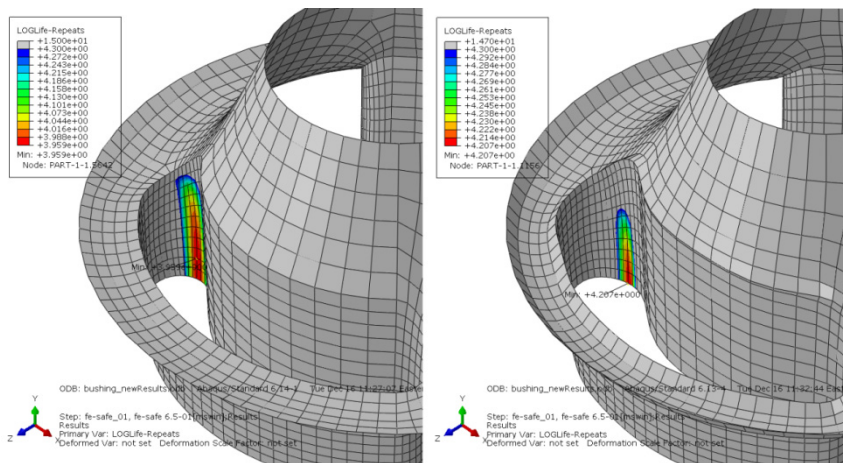


그림 10 내구 수명 형상 최적화 결과

하되는 것으로 나타났다.

다만, 이 과정에서 최적화에 의해 얻어진 부시 강성이 그 목표 강성 보다 10%정도 강성 저하가 발생되었다. 그림 11은 그것을 나타낸 것이다.



그림 11 목표 강성과 형상최적화 강성 비교

이런 문제를 해결하기 위해 data matching을 통한 목표 강성을 맞추도록 하는 것까지 포함하여 그림 12와 같은 결과를 얻을 수 있었다.

또한, 그림 13과 같이 취약점 수명이 6,833회에서 13,662회로 거의 2배 정도 향상된 것을 확인할 수 있다.

우리는 설계 목표를 만족시키고 내구 수명을 증대할 수 있는 방법에 대한 Workflow를 구성하고 그 결과를 살펴보고, 이를 위해 Isight와 Tosca Structure를 이용하였다. 이렇게 최적화 S/W를 이용해 구성되는 workflow는 해석을 보다 효율적으로 수행하고 나은 결과를 도출하는데 많은 도움을 줄 수 있을 것이다. 또한, 개선된 설계안을 도출하는데 해석이 좋은 바탕을 제공할 수 있을 것이다.

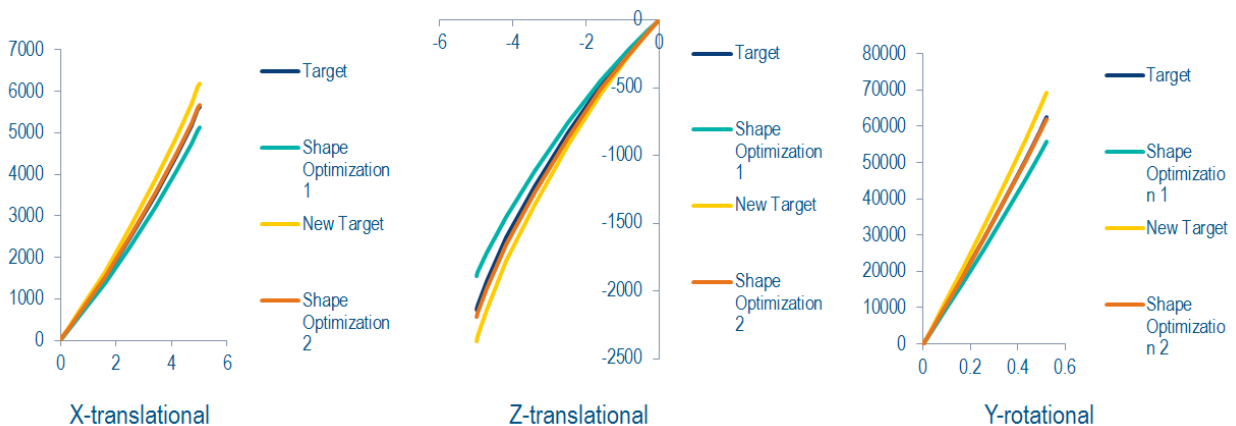


그림 12 각 방향별 강성 비교

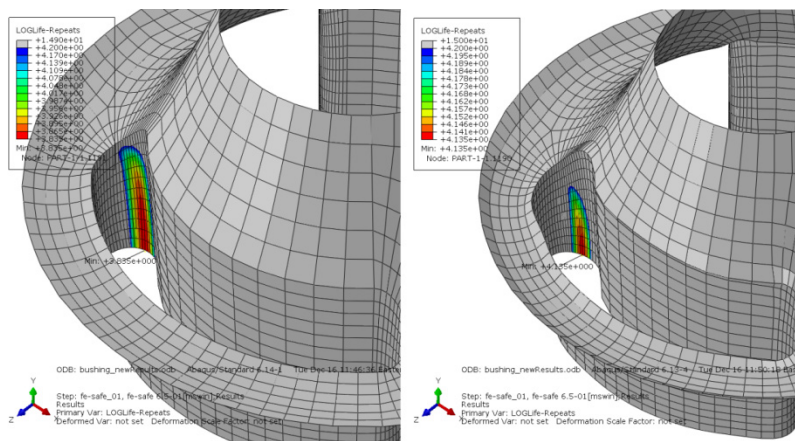


그림 13 최적화 결과