다물체 동역학 시뮬레이션에 의한 구조물의 동적계수 선정에 관한 연구

A study of choice to Dynamic Coefficient of a Structure using Multibody Dynamic Simulation

*#정훈형[1], 이동혁[1], 최지환[2], 김재실[3], 최헌오[4]

*#H. H. Jeong(jove390@naver.com)[1], D. H. Lee[1], J. H. Choi[2], C. S. Kim[3], H. O. Choi[4]

[1] 창원대학교 기계공학과 대학원, [2]창원대학교 기계공학과, [3]창원대학교, [4]한국기계연구원

Key words : Multi-body dynamic simulation, Dynamic coefficient, Dynamic structure

1. 서론

각종 산업 현장에 사용되고 있는 기계장치들은 여러 환경에서 작동되고 있는데 특히 필드에서 작업하는 장치들은 사용하는 기계장치의 엔진이나 작동체에서 진동이나 충격이 발생하기 마련이다. 기계장치를 작동하거나 직접적으로 사용하는 경우 사용자에게 진동이 그대로 전달되는 열악한 작업환경과 건강 및 작업효율을 저하시키는 요인으로 작용하고 있다. 그러나 이와 같은 진동발생에 대비하는 장치는 미흡한 실정이다. 이러한 진동 및 충격을 완화하기 위해서 각종 충격 및 진동 완화 기구를 설계하고 진동 감소 구조물을 부가하고 있다. 이러한 진동 감소 구조물의 대부분이 감쇠기와 스프링으로 이루어진다.

현재 구조물의 설계시 기존 설계를 참고하거나 경험에 의존하는 경우가 많다. 이러한 경우 초기 설계는 개발 구조물의 동특성에 대한 이해 부족으로 만족스러운 결과를 낳지 못하게 된다. 동적 구조물은 진동특성에 대한 이해를 바탕으로 감쇠기 및 스프링 등의 현가계 특성을 중점적으로 조정하는데, 이 과정에서 많은 시간이 소요된다. 이와같은 일련의 과정을 보다쉽고 단기간에 시행할 수 있는 방법으로 다물체 동역학 시뮬레이션을 도입하고 있다.

본 연구는 구조물의 동적계수를 기초 설계단계에서 선정할 수 있도록 기초 자료를 확보하는데 목적이 있다. 그 방법은 기존에 사용되었던 다물체 동역학 기법을 이용한 동적 구조물의 형태에서 다소 수정된 모델로써 에어 스프링 및 댐퍼를 선정하기위한 초기단계로 구조물의 동적계수를 구하기 위해 기구부를 다물체 동역학 해석이 가능한 유연한 모델로 구성하고, 다음 단계로 구성된 동역학 시뮬레이션 모델을 이용하여 실제 가진 조건을 재현 할 수 있는 하중조건과 자유도 구속 및 기구 움직임에 대한 세부적인 구속을 정의한다. 마지막으로 다물체 동역학 모델을 통해 다양한 조건에서 시뮬레이션 함으로써 동적 계수를 선정함에 있어 이와같은 방법의 타당함을 보이고자 한다.

2. 시뮬레이션 모델 구성

동적 구조물로써 진동 감소 기구부는 댐퍼와 스프링으로 이루어진 서스펜션 구조를 선정한다. Fig. 1과 같이 수직 방향 운동을 구현하기 위해 X형 링크기구와 스프링 및 댐퍼를 사용하여 작동 환경에 따라 발생하는 진동을 흡수하기 위한 장치이다. 기존에 사용되었던 다물체 동역학 모델에서 시스템 구조와 종류를 변경하여 새로운 다물체 동역학 시뮬레이션 모델을 구성하였다. 기존 모델의 경우 스프링의 위치가 상부프레임과 X형 링크를 연결하여 스프링의 초기 인장력을 수동으로 조절 가능하게 되어있었다.

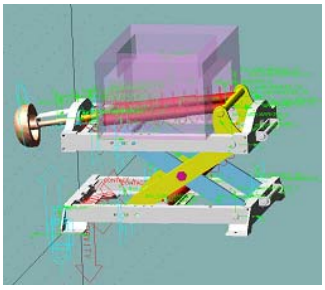

Fig. 1 Dynamic analysis model

이번 연구에 사용되는 모델은 에어 스프링을 사용하기 때문에 스프링의 인장력을 수동으로 조절레버가 없다. 따라서 스프링 계수의 선형성이 보장되는 모델을 구성하여 그 수치를 확인하고자 한다. 스프링의 위치도 기존의 모델과는 다르게 X형 링크의 조인트부분과 하부프레임을 연결하는 위치에 설치되어 보다 안정적인 구조로 되어있다. 댐퍼의 경우도 구조상으로 설치 위치가 변경되었다. 동적계수 선정을 위한 해석은 다물체 동역학 상용 소프트웨어인 ADAMS를 이용하였다.

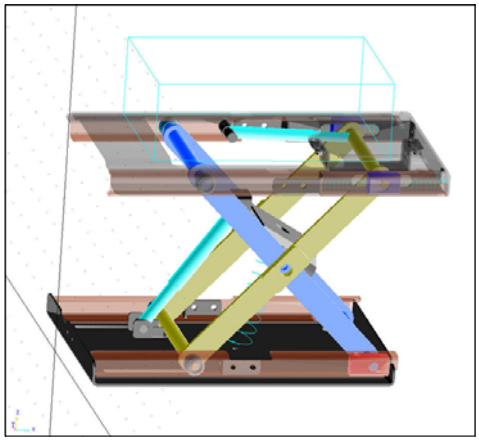

Fig. 2 Dynamic structure model

Fig. 2의 새로운 시뮬레이션 모델에서 중력방향의 진동 감쇠만을 고려하여 구성된 스프링과 댐퍼를 중점으로 동적 계수 선정에 관해 시뮬레이션을 실시하였다.

구조물의 상부에 하중조건으로 질량체를 올리고 중력조건하에 -z축 방향이며 조절이 가능하다. 상하부 프레임과 X형 링크 기구는 슬라이딩 운동을 하며 z축 방향으로만 진동특성이 발생한다. 가진력으로 Sine wave를 사용하였으며 스프링에서 발생하는 반력과 스프링의 변형량을 구하여 스프링계수를 나타내고, 댐퍼에서 발생하는 반력과 인장 및 압축시의 작동 속도로 댐핑 계수를 나타내었다.

Fig. 3과 4는 동적 구조물에 가진력으로 Sine wave를 사용하여 시뮬레이션을 시행한 결과로써 각각 댐퍼와 스프링의 반력 그래프를 나타낸다.

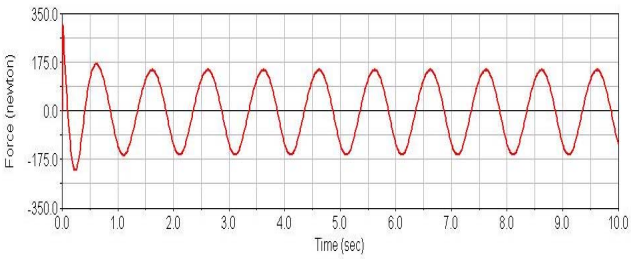

Fig. 3 Damping force

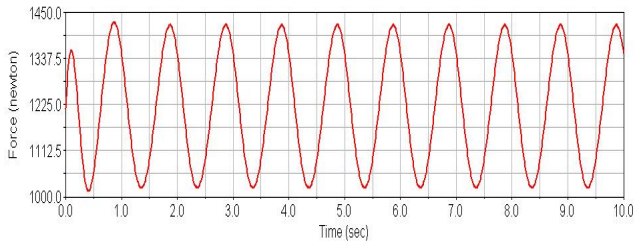

Fig. 4 Spring force

3. 동적 계수 선정

스프링은 하중의 작용에 따라 변형한다. 스프링에 외력이 작용할 경우 변형을 일으키므로 외력은 일을 한다. 즉 스프링의 동적 계수는 단위변형을 일으키는 힘으로 정의된다.

Fig. 1의 동적 구조물에서 상부 프레임의 초기 설계 높이에서 75mm를 낮추었을 때 스프링의 변형량은 일정하게 설정하고 각각의 하중에 따른 스프링 반력을 구하여 스프링 계수를 선정한다. Table 1은 각 하중에 따른 스프링 반력과 그에 따른 스프링 계수를 나타낸다.

Table 1 Simulation data of spring

Load (kg)	Spring force (P = N)	Spring coefficient (k = N/mm)	Spring length (δ = mm)
57.5	1215.7	29.2	41.6
74.5	1538.4	37.0	
91.5	1861.0	44.7	
108.5	2183.7	52.5	
125.5	2506.6	60.2	

Fig. 5는 시뮬레이션 결과를 바탕으로 스프링의 각 하중에 따른 스프링 반력을 그래프로 나타내었다.

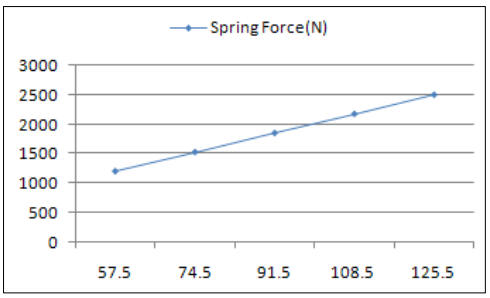

Fig. 5 Spring force

Fig. 5에 나타난 스프링 반력을 이용하여 아래 식에 적용하면 스프링계수는 Table 1에 나타난 결과와 같다. 에어 스프링의 경우 Fig. 6과 같이 하중에 따른 스프링 계수가 선형성이 보장되도록 적용하여야 한다. 여기서 P는 외력, δ는 변형량을 나타낸다.

$$k = \frac{P}{\delta} \tag{1}$$

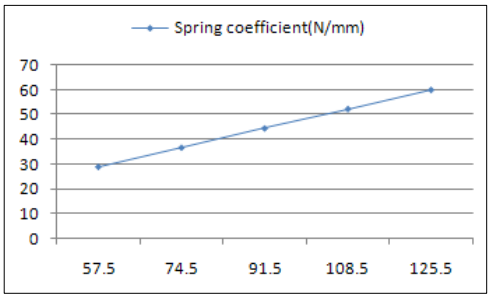

Fig. 6 Spring coefficient

동적 구조물의 스프링 움직임을 억제하기 위해 스프링 탄력에 비례하는 반발력으로 작용하는 힘이 필요한데 이 힘을 감쇠력이라 한다. 위와 같은 동적 구조물에서 적절한 감쇠력을 얻기 위해 적용 가능한 댐퍼의 댐핑 계수는 다음과 같이 구한다. F는 반력, v는 작동 속도를 나타낸다.

$$c = \frac{F}{v} \tag{2}$$

Table 2는 사인파를 사용하여 동적 거동을 하는 구조물에서 발생하는 댐퍼의 반력과 인장과 압축시 속도를 구하였고 이에 따른 댐핑 계수를 나타내었다.

Table 2 Simulation data of damper

Load condition (kg)	57.5	
Operating velocity (mm/s)	tension	26.12
	compression	28.26
Damping force (F = N)	tension	146.04
	compression	158.00
Damping coefficient (c = N-s/mm)	5.59	

4. 결론

기존의 다물체 동역학 해석 기법으로 검증된 구조물에서 다소 수정된 구조물의 다물체 동역학 시뮬레이션을 통해 동적계수 선정을 위한 기초 설계자료를 구축하였다.

Table 1의 시뮬레이션 결과에서 볼 수 있듯이 스프링의 변형량을 일정하게 설정하고 여러 가지 하중조건을 부여했을 때 발생하는 반력을 통해 스프링 계수 선정이 가능하고, 에어 스프링 적용시 선정된 스프링 계수는 Fig. 6과 같이 선형성이 보장되어야한다. 또한 Table 2의 시뮬레이션 결과를 통해 어떤 작동 속도에서 발생하는 댐퍼의 반력을 구해 그에 맞는 댐핑 계수 선정이 가능하다.

후기

본 연구는 산업자원부[RTI04-01-03] 사업지원으로 수행되었습니다.

참고문헌

1. 나재봉, 이원창, 정훈형, 김재실, 김성원, 김광영, “다물체 동역학 기법을 초고속 유연회전체 제어,” 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 265-266, 2006.
2. 이원창, 정훈형, 김수연, 김재실, “다물체 동역학 기법을 이용한 중장비 시트의 진동 특성에 관한 연구,” 한국정밀공학회 춘계학술대회논문집, 117-118, 2007.
3. 이원창, 정훈형, 김수연, 김재실, “미소 감쇠력을 고려한 서스펜션 시트의 진동 특성 예측,” 한국정밀공학회 추계학술대회논문집, 413-414, 2007.
4. Singiresu. S. Rao, "Mechanical Vibrations," Addison wesley, 22-40, Third edition.
5. 홍장표, “기계설계 이론과 실제,” 북스힐, 786-813, 2004