

수치적 시뮬레이션을 이용한 접시 스프링의 적층 방법에 따른 비선형 특성 분석 Non-linearity Analysis of the Disc Spring According to Lamination Method Using Numerical Simulation

박상길¹, 권오철¹, 누를파와지¹, *#오재응², 이정윤³

S. G. Park¹, O. C. Kwon¹, Noor Fawazi¹, *#J. E. Oh(jeoh@hanyang.ac.kr)², J. Y. Lee³

¹ 한양대학교 대학원 기계공학과, ² 한양대학교 기계공학부, ³ 경기대학교 기계시스템 디자인 공학부,

Key words : Disk spring, Non-linearity, Analysis of stiffness effect

1. 서론

기계 시스템의 진동/충격 절연은 절연 대상과 목적에 의해 여러 가지 방법이 있다. 즉, 절연 대상의 하중에 따라 요구되는 강성과 감쇠가 다르며 기계 시스템이 지상에 위치되어 있는가, 동적인 상태를 유지하는가 등의 조건에 의해 요구되는 절연 방식이 다르게 된다. 목적이 정해지면 그에 따른 설계 공간, 즉 절연이 되는 공간에 대한 허용치와 응답 허용치에 맞게 설계를 수행한다. 일반적으로 절연을 위해 사용되는 코일 스프링-댐퍼의 경우 수치적으로 선형적인 계산이 가능하여 널리 쓰여지고 있다. 하지만, 현재 다양한 절연 방법과 재료가 생겨나면서 절연 효과가 커지고 있고, 그 만큼 비선형화되어 수치적인 해석이 어려워지고 있다. 스프링에 대한 시편 시험의 경우 많은 회사들이 충격 시험 조건인 MIL-STD 를 기준으로 하고 있다. MIL-STD 규격은 미국군사규격으로 충격에 의한 시험이며 대상의 하중과 사용 목적에 따라 시험을 선택하고 시험결과에 대한 성능을 평가 받는다.

본 연구에서는 기계 시스템의 진동/충격 절연 설계를 목적으로 한정된 하중과 설계 공간의 제약 조건에 따라, 장시간 충격에 대한 절연이 이루어져야 하기 때문에 접시 스프링을 이용한 절연 설계를 하였다. 접시 스프링은 코일 스프링과는 달리 2, 3 차 강성이 포함되는 비선형 특성이 있다. 따라서 비선형 수치해석이 가능하도록 프로그램을 개발하여 절연 설계를 하였다. 접시 스프링의 경우 적층 방식에 따른 힘-처짐 특성이 달리 나타나므로 그에 따른 설계 인자가 포함되도록 선행 연구를 통해 수치해석을 수행하였다. 수치해석을 위해 사용된 입력은 BV-043 에 의거한 Double-Half Sine 파를 사용했으며 응답 허용치의 경우 변위는 특정 수준으로 정하였다. 응답인 충격 가속도는 MIL-S-810F 수준에 맞도록 설계하였다. 비선형 수치 해석을 통한 기계 시스템 설계에 알맞은 완충기를 설계하고, 접시 스프링의 적층 방법에 따른 비선형 특성을 분석하여 진동/충격 절연 효과를 분석하였다.

2. 접시 스프링의 적층 방법 정의

접시 스프링은 적층 개수 및 방식에 따라 응답 특성이 다르게 나타나게 된다. 접시 스프링의 적층 방식에 따른 힘-처짐 특성은 Fig. 1 에 나타난 것과 같다. 이를 바탕으로 Table 1 에 적층 방식을 정의하고 그에 따른 등가강성을 수식으로 예시하였다. 병렬로 적층 할수록 접시 스프링의 등가강성은 커지는 특징을 나타낸다. 접시 스프링의 적층 방법 이외에도 연결 방법이 있는데, 적층된 스프링 뭉치를 여러 개 연결하는 경우로 병렬, 직렬 연결이라고 정의한다.

2.1 적층 가능 개수 결정

병렬 적층 개수가 1 개라고 가정하면, 1/2 등분된 설계 허용 공간 250mm 에 만족하는 직렬 적층 가능 개수는 58

개가 된다. 이에 대해 수치적 시뮬레이션을 수행하면 가속도는 응답 특성에 만족하지만 변위는 그렇지 않다. 따라서 충격 가속도를 높이고 변위를 감소시키는 설계 변경이 필요하다. 시뮬레이션 최대 변위 44.3mm 에 처짐 높이 1.75mm 를 나누면 최소 직렬 적층 개수는 25.3 개 즉, 25 개의 최소 적층 개수가 결정 되었다.

직렬 적층은 접시 스프링 단품의 특성에 적층 개수에 대한 처짐량만 틀려진다. 접시 스프링 모델에 대한 처짐 높이는 정해져 있는 고정 설계 파라미터이다. 따라서 원하는 출력 허용치를 얻기 위한 설계 방법으로 적층 방식의 변경 즉, 병렬 적층 개수의 변경이 요구된다.

설계 가능 공간에 만족하도록 최소 직렬 적층 개수가 결정됨에 따라 접시 스프링의 설계 인자 중 병렬 적층 개수를 증가시켜 시뮬레이션을 수행하였다. 설계 가능 공간에 만족하도록 최대 3 개의 병렬 적층으로 설계 하였다.

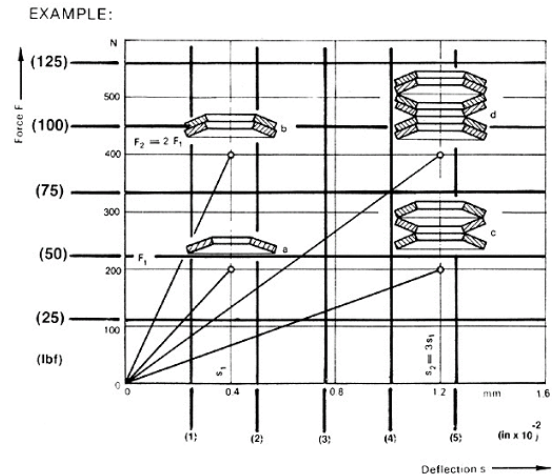


Fig. 1 Characteristics of disk springs according to lamination

Table 1 Definition of the lamination method and equivalent stiffness

Symbol	Lamination method	Equivalent stiffness
(a)	Single disk spring	k_1
(b)	Parallel lamination	$k_e = k_1 + k_1$
(c)	Series lamination	$1/k_e = 1/k_1 + 1/k_1 + 1/k_1$
(d)	Series + parallel	$k_e = (1/k_1 + 1/k_1 + 1/k_1) + (1/k_1 + 1/k_1 + 1/k_1)$

3. 시뮬레이션 및 고찰

시뮬레이션에 적용한 외부 입력은 Double half sine 을 사용하였으며 바닥 가진이다. 입력에 대한 결과로서 상대변위와 충격가속도를 구하였으며 접시 스프링의 병렬 적층 개수에 따른 상대변위와 충격가속도의 변화를 살펴보았다.

25 개의 직렬 적층에서 Fig. 2 와 Fig. 3 은 2 개의 병렬 적층일 경우의 시뮬레이션 결과를, Fig. 4 와 Fig. 5 는 3 개의 병렬 적층일 경우의 상대변위와 충격가속도를 나타낸 것이다.

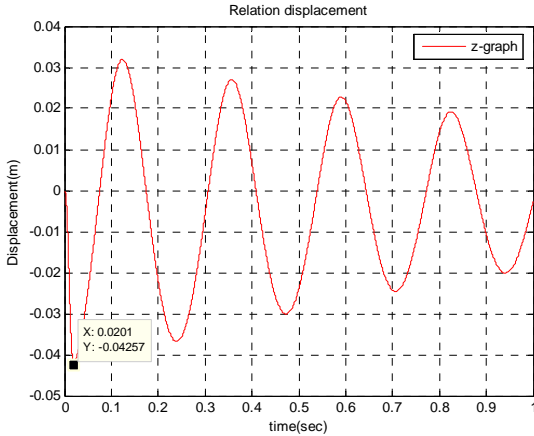


Fig. 2 Response of Relation-Displacement

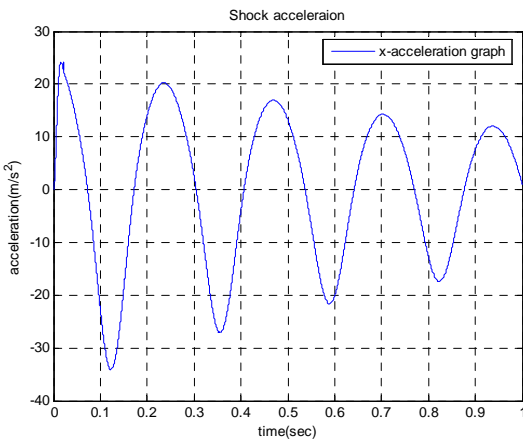


Fig. 3 Response of Shock-Acceleration

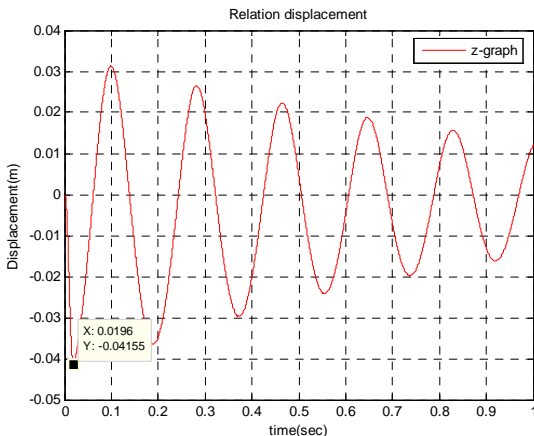


Fig. 4 Response of Shock-Acceleration

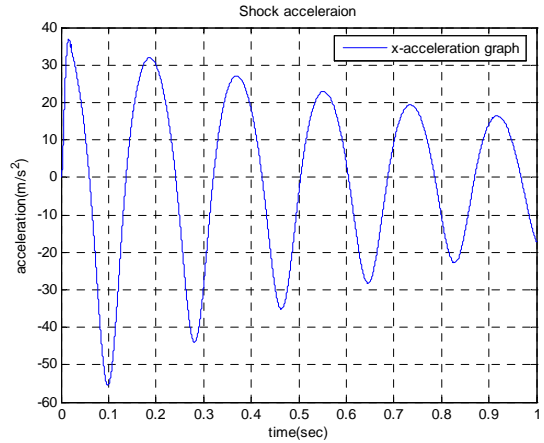


Fig. 5 Response of Shock-Acceleration

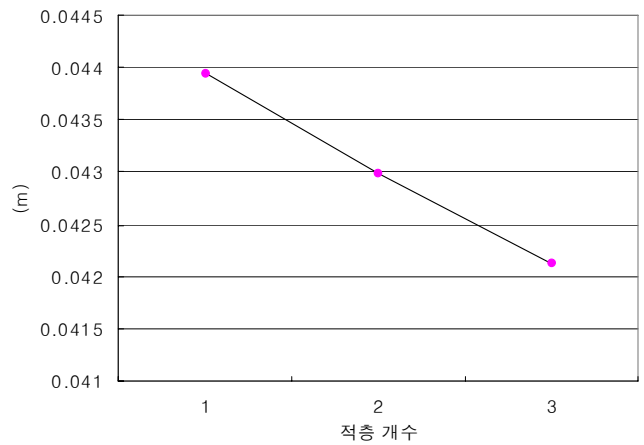


Fig. 6 Displacements according to parallel lamination

병렬 적층 개수가 증가할수록 변위 감소와 가속도 증가가 동시에 나타났다. Fig. 6 의 그래프에 병렬 적층 개수 증가에 따른 변위를 정리 하였다. 설계 가능 공간 내에서 최대 병렬 적층 가능 개수는 3 개이며 더 이상의 강성 증가는 불가능 하므로, 추후 완충기끼리의 연결인 병렬 연결을 통하여 변위를 줄이는 설계가 필요하다.

4. 결론

본 연구를 통해 접시 스프링의 적층 방법에 따른 진동/충격 응답 특성에 대한 시뮬레이션 특성을 분석하였다. 적층 방법에 따라 강성의 변화로 변위 및 가속도의 응답 특성이 달라지게 된다. 직렬 적층 개수가 감소함에 따라, 병렬 적층 개수가 증가함에 따라 강성이 증가하여 변위가 감소하고 가속도가 증가하게 된다. 설계 가능 공간의 조건을 고려하여 진동/충격의 응답 특성을 만족하려면 접시 스프링의 적층 방식을 직렬, 병렬 적층 외에 연결 방법에 대한 시뮬레이션 고찰도 필요하다.

참고문헌

1. Daniel J. Inman, "Engineering Vibration", Prentice Hall .
2. KEY BELLEVILLES. INC, "Engineering Handbook", KEY BELLEVILLES. INC
3. Robert L. Norton, "Machine Design", Prentice Hall.