

압축 하중을 받는 단순 코일 스프링에 관한 해석 결과 및 분석

윤 종 선^{1*} · 이 남 주¹

¹서울과학기술대학교 기계자동차공학과

초록

In this paper, a coil spring of the suspension components of the car is calculated through FEM(Finite Element Method) when a portion of the one is applied by an external load. we analyze the situation by using 'Large Deformation Analysis SW' in the EDISON structural dynamics server. Results of the analysis are about a displacement of the upper spring after deformation and total mass, and we use them to calculate the spring constant and maximum von-Mises stress by using Hooke's law and von-Mises stress equation. Finally, we visualize the relationship between the calculated spring constant and the mass through graphs and this data are beneficial for industries related to the spring.

Keywords : FEM(Finite Element Method), coil spring, displacement, von-Mises stress, spring constant

1. 서 론

최근 하나의 완전한 구조체인 기계장치를 연구하는 것뿐만 아니라, 그 장치를 구성하고 있는 부품들 또한 중요한 연구 주제로 대두되고 있다. 그 중 스프링은 운동 기구, 장난감, 볼펜에서 부터 자동차, 철도, 선박, 항공 산업까지 폭넓게 사용되고 있다.

특히, 스프링은 자동차의 현가장치(suspension system)에 커다란 영향을 미치는 부품으로써, 자동차의 상하진동을 완화해 승차감을 좋게 하고 한 부분에 과도한 부하가 걸리는 것을 방지해 준다.

본 연구에서는 압축 하중을 받는 코일 스프링을 모델로 선정했고, 스프링 형상(선두께, 권선수)에 따른 변형을 FEM(Finite Element Method)을 통해 해석하였다. 해석은 EDISON 구조 동역학 서버의 Software인 Large Deformation Analysis SW를 사용했다. 스프링 변형 후의 변위와 질량을 데이터 값으로 산출, 이를 통해 스프링 상수와 스프링 내부에 작용하는 최대 응력을 계산하였으며, 스프링 형상에 따른 스프링 상수와 질량의 관계 및 경향성을 확인해 보았다. 실제 현가장치 모듈을 직접 구현해 내는 것과 자동차의 스프링이 지속적인 피로에 노출되어서 성능이 저하되는 것 등의 복잡한 외부적 요인은 고려하지

않았다.

2. 본 론

이 장에서는 단순 코일 스프링을 3차원 요소를 이용한 모델링 과정을 소개한 후, 압축 하중에 따른 코일 스프링의 FEM을 통한 해석 결과를 살펴 볼 것이며, 산출된 데이터를 분석, 관계성을 규명·고찰해 볼 것이다.

2.1 유한요소모델

본 연구에서 스프링의 재료는 스프링 강이며 스프링은 tapering과 같은 구조적 변화를 주지 않은 단순 스프링 모델을 해석 대상으로 하였다. 해석 모델은 Fig. 1과 같으며, 해석의 효율성을 위해 동일 규격 모델을 대상으로 요소의 개수를 다르게 하여 해석을 수행해 보았다. 그 결과, 해석 소요 시간과 요소 개수 대비 최대 내부 응력 값의 수렴성을 고려하였을 때 가장 적절한 요소의 수는 약 10000~19000개로 판단되어 약 15000개의 요소 개수로 나누었으며, 요소의 Type은 보편적으로 많이 쓰이는 3차원의 Brick형태인 C3D8R요소를 선택하였고, Fig. 2에서와 같이 코일 스프링을 mesh하였다.

재료의 특성은 Table 1에 나타내었고, Isotropic한 재료로 가정하였으며, Static한 상황 하에서 압축 하중이 주어짐을 고려하였고, z축 방향으로만 스프링이 변형이 일어나도록 x,y축에 대해서는 구속하였다. 스프링이 사용되는 대표적인 분야 중 하나인 자동차의 현가장치를 고려할 때, 평균적인 차 중량을 1500Kg으로 가정하고 운전자의 무게를 60kg으로 하여 하중을 계산했을 때 그 값은 다음 식 (1)과 같다.

$$F = m \times g = \frac{(1500 + 60)}{4} \times 9.8 = 3822N \quad (1)$$

이렇게 얻어진 하중을 조정하여 스프링이 받게 되는 압축 하중을 4000N이라 가정하고 해석을 진행하였다.

Fig. 3에서 보이는 바와 같이 스프링 하단을 x, y, z축에 대한 변형을 구속하였고, 상단에 압축 하중을 주어 이에 따른 해석 결과를 분석해 보았다.

2.2 해석결과 및 분석

해석 결과 Fig. 4와 같은 모습을 보였다. Table. 2는 스프링의 권선수 R와 선두께 d의 변화에 따른 압축된 변

위 δ 와 질량 m을 나타내었다. 그리고 Hooke's law를 이용해 스프링 상수 k와 최대 von-Mises stress인 S를 구한 값을 나타내었다.

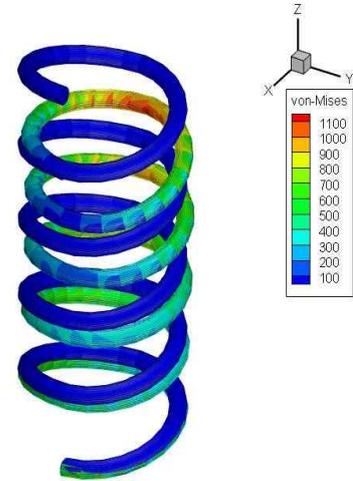


Fig. 4

S를 살펴보면 $R=5\sim7$, $d=18mm$ 인 경우 스프링강의 Elastic limit($7.36 \times 10^8 N/mm^2$)를 초과함을 알 수 있는데, 이는 스프링으로써의 역할을 제대로 수행 할 수 없음을 의미한다. 따라서 코일 스프링의 최소한의 규격은 해석 결과에 기초하여 20mm이상의 선두께 가져야 함을 알

Table 1 스프링강의 기계적 성질

	스프링강
Young's modulus	$2.16 \times 10^{11} N/mm^2$
Shear modulus	$8.63 \times 10^{10} N/mm^2$
Bulk modulus	$1.80 \times 10^{11} N/mm^2$
Poisson's ratio	0.3
Density	$7.85 \times 10^{-6} Kg/mm^3$
Elastic limit	$7.36 \times 10^8 N/mm^2$

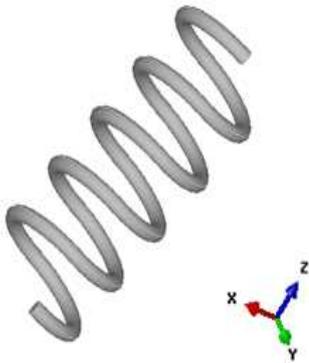


Fig. 1

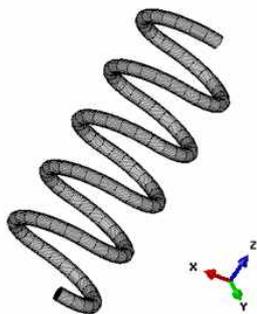


Fig. 2

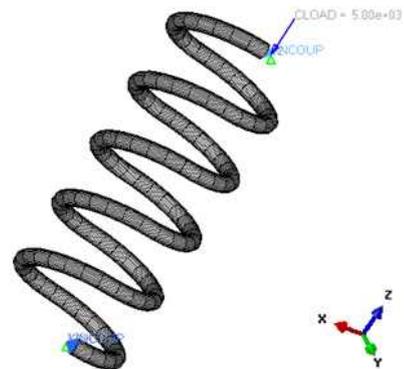


Fig. 3

수 있다.

Fig. 5은 선두께의 변화에 따라 변위의 변화를 보여주는데, 권선수가 많을 때 변위가 더 민감하게 변화하는 경향을 보였다. 반면에 Fig. 6에서는 선두께의 변화에 따라 k의 변화를 보여주는데, 권선수가 적을 때 k가 더 민감하게 변화하는 경향을 보였다.

즉, 스프링이 일정한 압축 하중을 받을 때, 변위는 권선수와 비례 관계에 있고, 선두께와 반비례 관계에 있다. 이러한 결과를 토대로 스프링이 압축 하중을 받을 때, 동일한 k를 갖지만 질량을 최소화 할 수 있는 방향을 알아낼 수 있었으며, 이는 스프링 제작에서 소모되는 비용을 절감시킬 수 있는 효과를 거둘 수 있을 것이다. 예를 들어 Table. 2에서 R=5, d=22mm와 R=7, d=24mm의 k는 동일한 값을 보이지만, 질량은 약 4.6kg의 차이를 나타낸다.

3. 결 론

본 연구에서는 압축하중을 받는 단순 코일 스프링을 FEM을 통해 해석하였다. 권선수 및 선두께에 따른 질량과 스프링 변형 후 변위를 Large Deformation Analysis SW를 이용해 해석 결과를 얻었으며, 스프링 상수 및 최대 von-Mises stress를 산출하였다. 또한 변수에 따른 스프링 상수와 변위의 변화에 대한 경향성을 알아 보았다. 그리고 스프링 상수 대비 질량의 최소화를 이룰 수 있는 방향에 대해서 분석하였다.

외부에서 스프링에 압축 하중 4000N이 주어질 경우에, 스프링의 권선수와 선두께의 변화가 변위와 스프링 상수에 얼마나 민감하게 영향을 미치는지 알 수 있었다.

결과를 종합했을 때, 스프링이 일정한 압축 하중을 받을 때, 변위는 권선수와 비례 관계에 있고 선두께와 반비례 관계에 있다. 따라서 권선수와 선두께 두 개 모두를 줄이는 방향으로 간다면 스프링 상수 대비 무게 최소화를 이룰 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

Dowling, N.E. (2013) Mechanical Behavior of Materials, Prentice Hall, pp288~290
 Yeom, Y.J. (2010) Mechanics of materials, Bosunggak, pp44~48.

Table 2 변수에 따른 해석 결과

	d(mm)	S(Mpa)	δ(mm)	k(N/mm)	m(kg)
R=5	18.0	1055.12	80.80	50	4.7
	20.0	733.69	52.00	77	5.8
	22.0	561.58	35.20	114	7.0
	24.0	432.76	24.75	162	8.3
	26.0	341.98	17.94	223	9.7
R=6	18.0	1085.81	98.73	41	5.6
	20.0	730.71	62.93	64	6.9
	22.0	572.38	42.50	94	8.3
	24.0	440.25	29.81	134	9.9
	26.0	311.50	22.62	177	11.7
R=7	18.0	1103.53	118.15	34	6.5
	20.0	724.24	74.17	54	8.0
	22.0	575.74	50.20	80	9.7
	24.0	442.10	35.15	114	11.6
	26.0	309.60	26.50	151	13.6

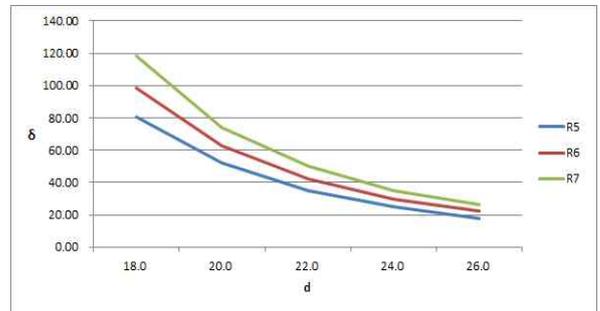


Fig. 5 δ-d 그래프

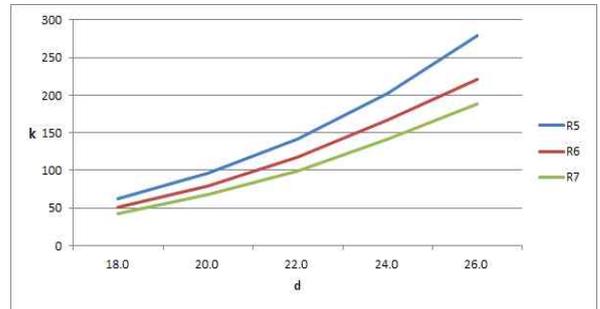


Fig. 6 K-d 그래프