

마이크로 코일 스프링의 스프링 상수 평가

이종길* · 진병희**

Evaluation of the Spring Constant of a Micro Coil Spring

J. K. Lee and B. H. Jeon

Abstract

The spring constant of a micro coil spring was measured by uniaxial tensile test. The inner diameter of it is $35\mu\text{m}$ and the pitch size is about $23\mu\text{m}$. A spring constant measurement system was developed. It consists of control units, load cell units, linear stages and several specially designed jigs and fixtures. Load and displacement are measured using a commercial load cell of 1000g capacity and a magnetic scale of $0.5\mu\text{m}$ resolution. In this study, a method to measure the spring constant of micro coil spring is presented and the relationship between misalignment of specimen and measurement error is discussed.

Key Words : Micro Coil Spring, Spring Constant, Measurement, Tensile Test

1. 서 론

최근 MEMS(Micro Electro Mechanical System)기술의 발전으로 각종 기계장치의 초소형화 및 경량화가 가능해지면서 초소형 의료장비나 검사장비, 각종 센서들의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 초소형 기계장치는 동력 장치, 동력전달 장치, 서스펜션, 필요한 기능을 수행하는 기능장치 등으로 구성된다. 마이크로 서스펜션은 이 밖에도 마이크로 액츄에이터, HDD 나 DVD 등과 같은 기록장치, Ink-jet Printer, 휴대폰 진동자 등에 적용 가능한 기술이며, 그 핵심적인 구성요소의 하나는 마이크로 스프링이다. 마이크로 스프링은 또한 초소형 신장·수축 기구, IC Test Probe 등에 적용될 수 있는 주

요 기계 요소이다.

마이크로 코일 스프링을 초소형 기계장치에 사용하기 위해서는 그 기계적 특성을 정확히 파악하는 것이 필수적이다. 특히 스프링 상수의 평가는 필수적이며, 마이크로 인장·압축 실험을 통하여 측정될 수 있다.

마이크로 인장시험에 대한 연구는 1980년대 후반부터 본격적으로 시작되어 주로 MEMS소재에 대한 시험이 주류를 이루고 있으며, 반도체 부품, 박막, 미세 부품의 평가에까지 그 영역이 넓어지고 있다.⁽¹⁻³⁾

본 연구에서는 내경 $35\mu\text{m}$, 피치 $23\mu\text{m}$, 소선 직경 $17\mu\text{m}$ 의 텅스텐 코일 스프링의 스프링 상수를 측정하였다. 스프링 상수의 측정을 위하여 초소형 인장 시험 시스템을 개발하였다.

* 한국산업기술대학교 기계공학과

** 인덕대학 컴퓨터응용 기계계열

반복정밀도 $1\mu\text{m}$ 를 가지는 리니어 스테이지와 $0.5\mu\text{m}$ 의 분해능을 가지는 마그네틱 스케일을 위치 결정 기구로 사용하였고, 1000g의 하중용량을 가지는 스트레인 게이지 타입의 하중계를 이용하였다. 스프링의 장착을 위한 지그 및 고정 장치를 개발하여 실험을 수행하였다.

2. 시험 장치의 개발

2.1 시험장치 개발

일반적인 인장시험기는 구조부, 유압구동부, 로드셀, 제어부 그리고 시편 장착용 각종 그립들로 구성된다. 초소형 스프링 상수 평가 장치도 기본 개념은 인장시험기와 같다. 그러나 본 연구에서 측정하고자 하는 스프링은 직경과 피치가 모두 수십 마이크로미터 정도이므로, 개발하는 시험장치도 그에 부합하는 정도를 가지는 것이어야 한다. 따라서 전체적인 시스템은 정밀 이송기구, 초소용량 로드셀, PC연동제어부 그리고 시편 장착용 지그부로 구성하였다. 그리고 정확한 하중-변위 관계를 얻는 것이 주된 실험의 목적이므로, open loop control을 하면서 별도의 정밀 위치 정보 취득 장치를 이용하여 변위 정보를 정확하게 얻는다. 개발된 스프링 상수 평가 시스템의 개념도를 Fig. 1에 나타내었다.

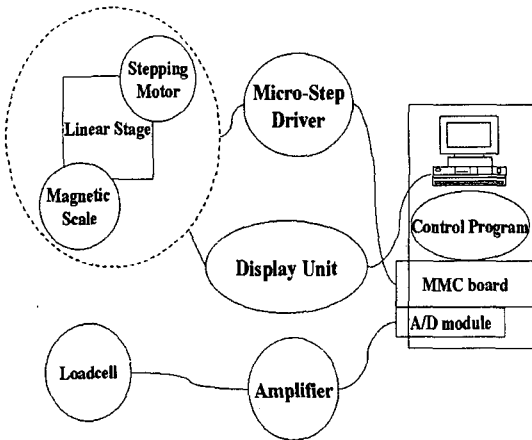


Fig. 1 Concept diagram of spring constant measurement system

정밀 이송장치는 스테핑 모터와 볼스크류 그리고 자기 스케일이 일체로 제작된 제품을 구입하여 사용하였고, 이에 따른 드라이버는 마이크로스텝드라이버를 이용하였다. 자기스케일에서 나오는 신호를 RS232C통신이 가능하도록 처리하는 모듈을 이용하여 PC에서 변위정보를 취득할 수 있도록 하였다. 마이크로스텝드라이버의 제

를 위하여 MMC(Multi Motion Control)board를 사용하였다.^(4,5)

하중계는 팬케익 형태의 스트레인 게이지 타입의 것을 사용하였으며, 하중용량은 1000g, 비선형성은 1/5000이다. 하중계에서 나오는 신호는 증폭기를 통하여 증폭되어 A/D 모듈로 입력되도록 하였다. A/D 모듈은 MMC board에 직접 장착되어 MMC board와 함께 연동 제어되도록 하였다.

2.2 지그 및 고정장치의 개발

마이크로 코일 스프링의 스프링 상수를 측정하기 위해서 시편을 고정하고 시험기에 장착되도록 하는 지그 및 고정장치가 필요하며, 다음의 조건을 만족해야 한다.

- 시편이 완전하게 고정되어야 한다.
- 자중이 작아야 한다.
- 시편의 정렬 및 장·탈착이 용이하여야 한다.

이상의 사항을 고려하여 본 연구에서는 시편 고정용 지그에 V형 홈을 가공하고, 시편을 홈에 넣어 수직 정렬이 용이하도록 하였으며, 지그에 시편을 고정하기 위하여 집착제를 사용하였다. 이는 일반적인 집착형의 그립을 사용할 경우 시편의 변형에 의한 손상 뿐만 아니라 변형 영향부가 시편의 유효변형 영역에 영향을 주게 되므로 시험 결과를 왜곡시킬 가능성이 높기 때문이다. 개발된 지그에 장착된 스프링 시편의 일례를 Fig. 2에 보였다.

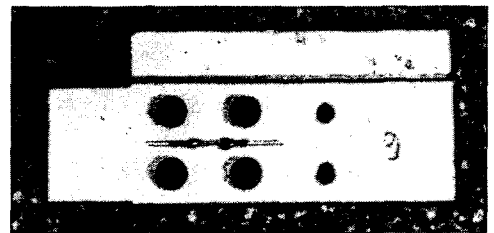


Fig. 2 Developed jig and fixture

3. 시험 결과 및 토의

3.1 스프링 상수 측정 방법

스프링 상수 측정 시험을 위하여 먼저 시편을 시편 고정용 지그의 위치 결정용 그루브에 정렬하고, 양 끝단을 집착제를 바르고 30분 정도 대기중에서 응고시켜 시편을 고정한다. 시편을 고정된 후, 실험에서 실제로 변형하는 유효 변형 구간의 길이를 측정하여야 한다. 이를 위해

현미경을 통하여 시편의 변형 가능구간 내에 있는 피치의 수와 양 끝단 고정부(접착제 도포부)의 피치수를 세어둔다. 접착제 도포부의 피치수를 세어두는 이유는, 실험후 이 부분의 변화를 모니터링하여 슬립이 일어났는지의 여부를 판정하기 위함이다.

다음으로 시편이 고정된 지그를 시험기에 장착한다. 이 때, 계속해서 로드셀에 걸리는 하중을 모니터링 하여, 위치 정렬 오차로 인한 이상하중을 최소화한다. 시험기에 시편이 장착되면, 5 μ m/sec의 속도로 약 1mm 가량을 당기면서 0.2sec 단위로 하중 및 변위 데이터를 취득하여 하중-변위 곡선을 만들고, 스프링 상수를 계산한다. 이상의 과정을 Fig. 3 에 정리하였다.

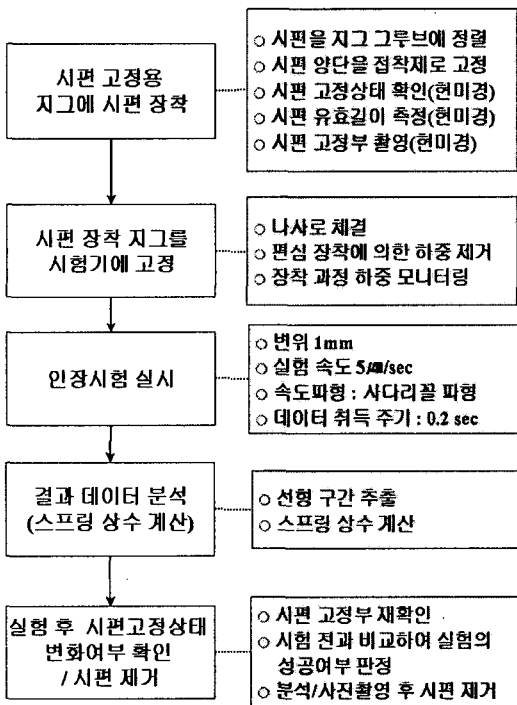


Fig. 3 Test flow

스프링 상수 측정 실험 과정에 있어서 기술적으로 가장 어려운 부분의 하나는 지그의 정렬상태 불량 문제이다. 본 연구에서 사용한 지그 세트는 Fig. 2 에 나타난 바와 같이 상부지그, 하부지그, 그리고 가이드부의 3 부분으로 구성된다. 지그 가이드부는 시편의 장착시 상·하부 지그 미소한 이동으로 인하여 발생할 수 있는 정렬상태의 문제를 최소화하기 위하여 제작·사용되었다. 따라서 실제 실험을 위해서는 제거되어야 하는데, 시

험기에 지그 세트를 장착한 후, 지그 가이드를 제거하고 나면 다시 상·하부 지그 그리고 시험기의 지그 장착부 사이에 미소한 위치 변화가 발생한다. 이로 인하여 시험 초기에 지그 위치 불안정에 의한 이상하중이 발생한다. 이러한 이상 하중은 시편이 온전한 인장 하중하에서 변형하고 있는 것으로 볼 수 없으므로, 이 구간은 유효하지 않은 구간으로 간주하고 제외하여 스프링 상수 값의 계산 시에 사용하지 않았다. 실험시작에서 지그 위치 안정기 사이에 발생하는 이상하중을 Fig. 4 에 나타내었다.

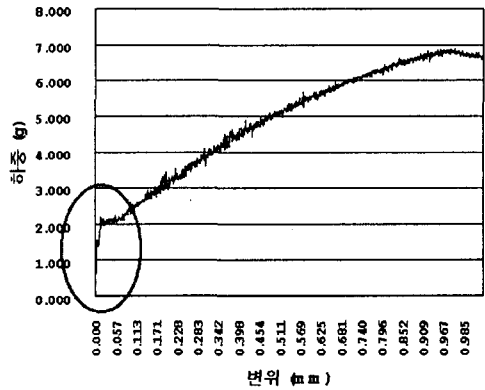


Fig. 4 Abnormal load during settling time of jig

3.2 스프링 상수 측정 결과 및 토의

마이크로 코일 스프링(내경 35 μ m, 소선 직경 17 μ m, 피치 23 μ m)의 스프링 상수를 측정하기 위하여 총 9회의 시험을 수행하였다. 9회의 시험 가운데 3회의 시험은 시편 고정상태 불량으로 인하여 유효한 결과를 얻지 못하였다. 스프링 상수를 구하기 위하여 각각의 시험에서 얻어진 하중-변위 곡선의 선형 구간을 찾아서 직선으로 근사한 후, 직선의 방정식을 구하여 스프링 상수를 계산하였다. 시험에 사용된 스프링들의 일관된 비교를 위하여 스프링의 변형 유효 길이를 1mm로 환산하였을 경우의 스프링 상수를 계산하였다. 시험결과 얻어진 하중-변위 곡선의 일례를 Fig. 5 에 나타내었고, 여기서 추출된 선형 구간과 근사 직선을 Fig. 6 에 보였다.

유효한 결과를 얻은 6회의 시험 결과를 Table 1 에 정리하였다. 본 연구에 시편으로 사용된 스프링은 유효 길이가 1mm일 경우, 약 186 g/mm 정도의 스프링 상수를 가짐을 알 수 있다. 또한 사용된 스프링들의 스프링 상수값의 표준 편차는 1.15 g/mm였다. 스프링 간의 편차의 원인은 스프링 제작 과정과 측정 과정으로 나누어 생각할 수 있다

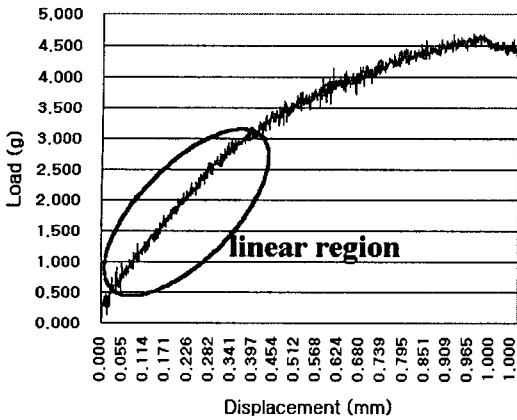


Fig. 5 Measured load-displacement curve

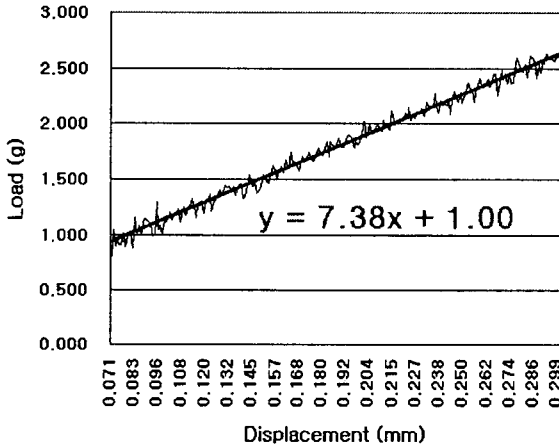


Fig. 6 Linear region of the load-displacement curve

Table 1 Measured spring constant

Test No.	Effective length of spring (mm)	Spring constant (g/mm)	Spring constant for unit length spring (g/mm)
1	2.58	7.0	18.1
2	2.60	7.1	18.4
3	2.60	7.5	19.6
4	2.70	7.5	20.3
5	2.30	8.0	18.1
6	2.32	7.4	17.3
Average			18.6
Standard deviation			1.15

스프링 제작 과정에서의 불균일성은 본 논문의 범위를 벗어나는 것이므로 논외로 한다. 측정 과정에서의 오차는 주로 스프링 장착 과정에서의 정렬 오차에 기인하는 것으로 판단된다. 스프링의 정렬오차와 스프링 상수의 편차(=해당 스프링 상수 값 - 스프링 상수 값 평균)의 관계를 Fig. 7에 나타내었다. 여기서 점선으로 표시된 1차 함수 근사선에 나타난 것처럼 스프링의 정렬 오차가 증가할수록 스프링 상수의 편차가 커짐을 알 수 있다.

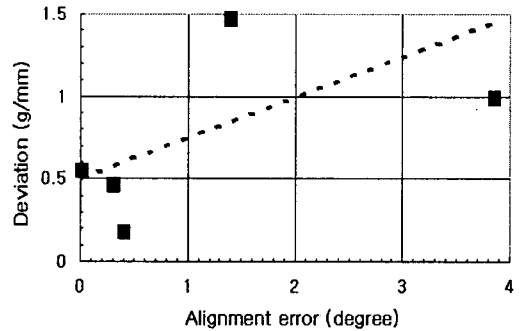


Fig. 7 Relationship between misalignment and spring constant deviation

4. 결론

본 연구에서는 마이크로 코일 스프링의 스프링 상수 평가 시스템을 개발하고, 내경 35 μ m, 소선 직경 17 μ m, 피치 23 μ m의 텅스텐 코일 스프링의 스프링 상수를 측정하였다. 본 연구의 결론은 다음과 같다.

(1) 개발된 스프링 상수 평가 시스템은 마이크로 인장 시험기의 형태를 가지며, 하중용량은 1000g, 위치 결정 분해능은 0.5 μ m이다. 스프링의 안정적인 장착을 위한 지그 및 고정장치를 개발하였으며, 장착 시 스프링의 손상을 최소화하기 위하여 접착제를 이용하는 스프링 고정방법을 도입하였다.

(2) 스프링 상수는 1mm길이의 스프링으로 환산할 경우, 약 18.6 g/mm 정도의 값을 가지는 것으로 평가되었으며, 개발한 시험 장치·방법이 타당함을 확인하였다.

(3) 성공으로 판정된 총 6회의 측정 결과와 스프링의 정렬 오차와의 관계를 분석한 결과, 스프링 정렬 오차가 클수록 평균치에 대한 스프링 상수값의 편차가 증가하는 것을 알 수 있었다.

후 기

본 연구는 과학기술처의 21세기 프론티어 사업 중 마이크로 시스템 개발 사업의 일환으로 이루어졌음을 밝힙니다.

참 고 문 헌

- (1) E. Mazza, G. Danuser, J.Dual, 1996, "Light optical deformation measurements in microbars with nanometer resolution", *Microsystem Technologies*, Vol.2, pp.83~91
- (2) Taechung Yi, Lu Li, Chang-Jin Kim, 2000, "Microscale material testing of single crystalline silicon: process effects on surface morphology and tensile strength", *Sensors and Actuators*, Vol.83, pp.172~178
- (3) 김경섭, 홍순형, 2001, "반도체 패키징용 Gold Bonding Wire의 변형특성 및 해석", *소성가공학회 춘계학술대회논문집*, pp.250~253
- (4) 삼성전자, "Multi-Motion Controller 사용자 매뉴얼"
- (5) 세운, "스텝핑 모터의 제어회로 설계"