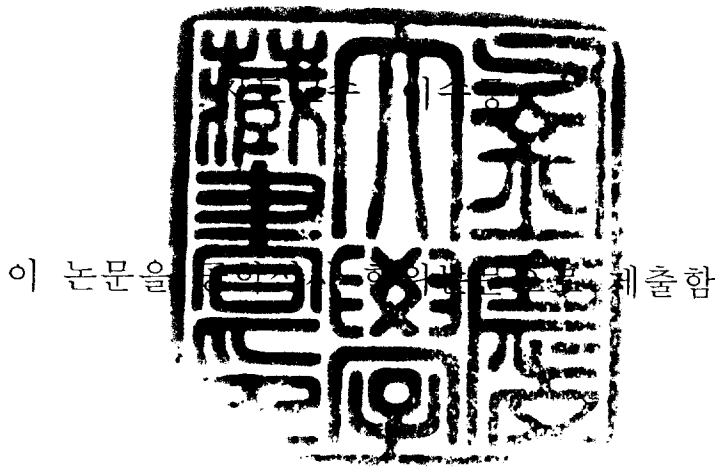


공 학 석 사 학 위 논 문

비틀림을 받는 Torsion Spring의
剛性에 관한 研究



2002년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

기 계 설 계 학 과

이 정 복

이 논문을 이정복의 공학석사
학위논문으로 인준함

2001년 12월 15일

주 심 공학박사 임 우 조



위 원 공학박사 김 형 자 (인)

위 원 공학박사 이 수 중



목 차

List of Figures	ii
List of Tables	iii
Nomenclature	iv
Abstract	v
1. 서론	1
1.1 연구의 목적	1
1.2 이론적 배경	3
2. 실험 장치 및 방법	5
2.1 시험편	5
2.2 실험 장치	10
2.3 실험 방법	12
3. 실험 결과 및 고찰	14
3.1 비틀림 각도 - 토크와의 관계	14
3.2 이론 토크와 실험 토크와의 비교 분석	17
4. 결 론	27
참고 문헌	28

List of Figures

Fig.1 Shape of torsion spring

Fig.2 View of torsion spring

Fig.3 View of torsion spring(specimen1)

Fig.4 View of torsion spring(specimen2)

Fig.5 Experimental apparatus

Fig.6 Schematic diagram of spring test

Fig.7 Comparision of experiment with theory for stiffness(specimen1)

Fig.8 Comparision of experiment with theory for stiffness(specimen2)

Fig.9 Relations between torque and angle when varing diameter(specimen1)

Fig.10 Relations between torque and angle when varing diameter(specimen2)

Fig.11 Relations between torque and angle when varing out diameter
(specimen1)

Fig.12 Relations between torque and angle when varing out diameter
(specimen2)

Fig.13 Relations between torque and angle when varing numbers of active
coil (specimen1)

Fig.14 Relations between torque and angle when varing numbers of active
coil (specimen2)

List of Tables

Table1. Chemical composition of material

Table2. Mechanical properties and tested result of spring(specimen1,2)

Table3. Dimension of torsion spring(specimen1,2)

Table4. Value of experiment and theory for angle

Nomenclature

E : Young's modulus [Kgf/mm²]

D : Mean out diameter of coils [mm]

d : Diameter of the material [mm]

n : Number of active coil [n]

M : Twisting torque [Kgf.mm]

I : Second moment of area [mm⁴]

l : Spread active length of spring [mm]

R : Radius of coils [mm]

ϕ : Twisting angle [°]

k : Stiffness coefficient [kgf/mm]

A Study on Stiffness of Torsion Spring with Twisting Moment

Jeong - Bok Lee

Department of Mechanical Design

Graduate School of Industry

Pukyong National University

abstract

When twisting moment acts double coil torsion spring, stiffness is influenced by twisting torque.

In this paper, to get a experimental value approaching a theoritical value of torsion spring decided the material and heat treatment, first we make change the condition of diameter of the coil, mean out diameter of coil, number of active coil and calculate the twisting and torque from it. Next we get each stiffness and make graph and then, from it, we make use of plan data on designing spring in fields.

The results are as following;

1. The stiffness of torsion spring showed linear relations in use limit.
2. The stiffness by experament nealy approximated the stiffness by theory and the stiffness by experament showed an aspect comparatively lower than the value of stiffness by theory.

3. The theoretical stiffness is related in diameter of the coil, number of active coil, mean out diameter of coil.
4. The stiffness is smaller as increasing number of active coil. as the number of active coil gets large, stiffness of spring showed a tendency to get smaller.

1. 서 론

1.1 연구의 목적

스프링은 인장, 압축 또는 비틀림의 외력으로 생긴 에너지를 이용하는 기계 요소로서, 힘의 측정, 압력 및 운동의 억제, 진동 및 충격력의 흡수, 에너지의 축적등 응용 범위가 넓고 그 종류도 많다.¹⁾²⁾³⁾ Torsion spring은 비틀림을 이용한 특성을 가지고 있으므로 공간을 효율적으로 이용할 수 있는 엘리베이터용 도어 잠금 장치, 자동차, 선박, 산업기계, 항공기, 생활용품, 계측기기 등에 널리 이용되고 있으며⁴⁾, 스프링의 재료는 탄성 한도, 피로 한도, 크리이프 한도가 높고 경우에 따라 내열성, 내식성, 비자성 및 전도성을 필요로 할 때도 있다.⁵⁾

Torsion spring은 끝은 봉의 한끝을 고정하고 다른 끝을 비틀어서 그 때의 비틀림 변형에 의한 스프링 작용을 이용하는 것이며, 단위 체적당 저장되는 탄성 에너지가 크고 경량이며⁶⁾, 장소를 많이 차지하지 않고 또한 형상이 간단하여 스프링 특성이 계산치와 잘 일치하는 이점이 있는 스프링이다.

Torsion spring을 설계할 때 비틀림각-토크 관계에서 일정한 선형 관계가 유지될 수 있어야 하므로 여러 가지 조건들이 고려된 식이 이용되어야 할 것이다.⁷⁾ 비틀림을 받는 torsion spring을 설계하고 제작하는데 있어서 비틀림각-토크에 의한 관계식에서 강성계수를 구할 경우 암의 길이가 60mm이내 일 때는 암(arm)의 길이를 고려하지 않는 일반식을 사용하는 경우가 많다.⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾

스프링을 설계, 제작하는데 있어서 스프링 강성계수는 스프링의 성능에 큰 영향을 미치므로 이론에 의한 계산치에 근접하는 실험치의 정확한 상수값이 얻어져야 한다.

따라서 강성계수의 정확한 값을 구하기 위해서는 실험치와 이론치의 차이가 가장 작은 값으로 되는 근접하는 값이 되어야 한다. 이러한 목적을 달성하기 위해서는 재질의 성분과 열처리의 방법에 의해 필요한 상수값을 얻을 수 있으나 소선의 지름과 외경, 그리고 권수를 변화시킨, 즉 기하적 형상을 변화시켜 설계시에 요구되는 스프링 강성계수의 값을 구할 수도 있다.

따라서 본 연구에서는 재질과 열처리 방법이 결정된 torsion spring의 이론치에 근접하는 실험치의 값을 얻기 위하여 소선의 지름, 외경, 권수 등의 조건을 변화시켜 그에 따른 비틀림과 토크를 계산하여 각 강성계수 값을 얻어서 선도를 작성하고 이를 이용하여 현장에서 스프링을 설계할 때에 설계 자료로 활용하고자 한다.¹¹⁾¹²⁾¹³⁾

1.2 이론적 배경

Fig.1은 torsion spring의 형상을 나타낸 것이다. 계산을 간단하게 하기 위해 소선(素線) 각 부분에 작용하는 모멘트는 일정한 것으로 가정하고 모멘트 외의 다른 외력은 작용하지 않는 것으로 한다.

비틀림각의 계산은 미소 부분의 길이를 d_s 라 하면, 미소 부분의 각도 변위 $d\psi$ 는

$$d\psi = \frac{M d_s}{EI} = \frac{64M d_s}{\pi d^4 E} \quad (1)$$

이다.

스프링의 각도 변위는 유효권수를 n , 유효 길이를 $l=2\pi Rn$ 으로 하면

$$\psi = \int_0^{2\pi Rn} \frac{64M d_s}{\pi d^4 E} = \frac{64nDM}{E d^4} \text{ (rad)} \quad (2)$$

가 된다.

따라서 비틀림 스프링 상수는 다음과 같다.

$$k = \frac{M}{\psi} = \frac{E d^4}{64nD} \quad (3)$$

식(2)를 각도 단위로 변환하면

$$\psi = \frac{64nDM}{E d^4} \times \frac{180}{\pi} = \frac{3667nDM}{E d^4} \quad (4)$$

가 된다.

이중 코일은 단일 코일의 2배 값을 가지므로

$$2\psi = \frac{3667nDM}{E d^4} \quad (5)$$

따라서 식(5)를 식(3)에 대입하여 스프링의 강성계수 k 를 구하면

$$k = M \times \frac{2E d^4}{3667nDM} = \frac{2E d^4}{3667nD} \quad (6)$$

가 된다.

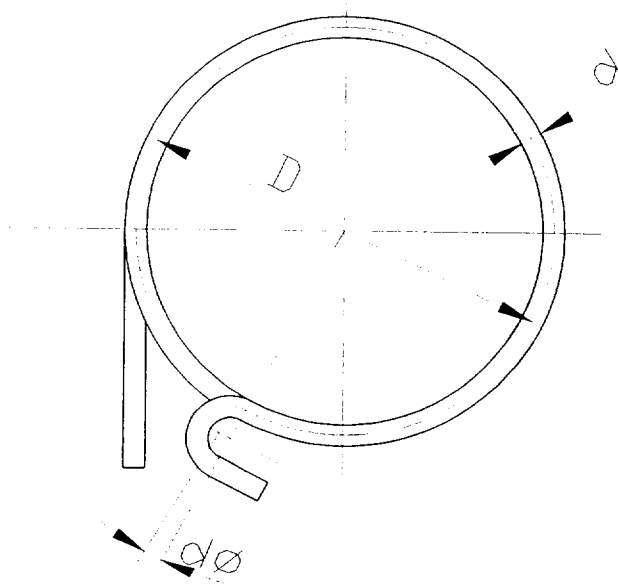


Fig.1 Shape of torsion spring

2. 실험 장치 및 방법

2.1 시험편

Fig.2는 본 실험에 사용된 시험편으로 국내 D사에서 제작한 STS 304-WPB140 재질 스프링의 외관을 나타낸 것이다. 실험의 정확을 기하기 위하여 시험1(소선의 지름1.35mm, 유효지름27.95mm, 유효권수6, 이중코일), 시험2(소선의 지름1.6mm, 유효지름30.6mm, 유효권수4.82, 이중코일)로 나누어서 시험하였다. 시험편 (1),(2)는 tempering 열처리하고 anti rust additive로 코팅 처리 하였다.

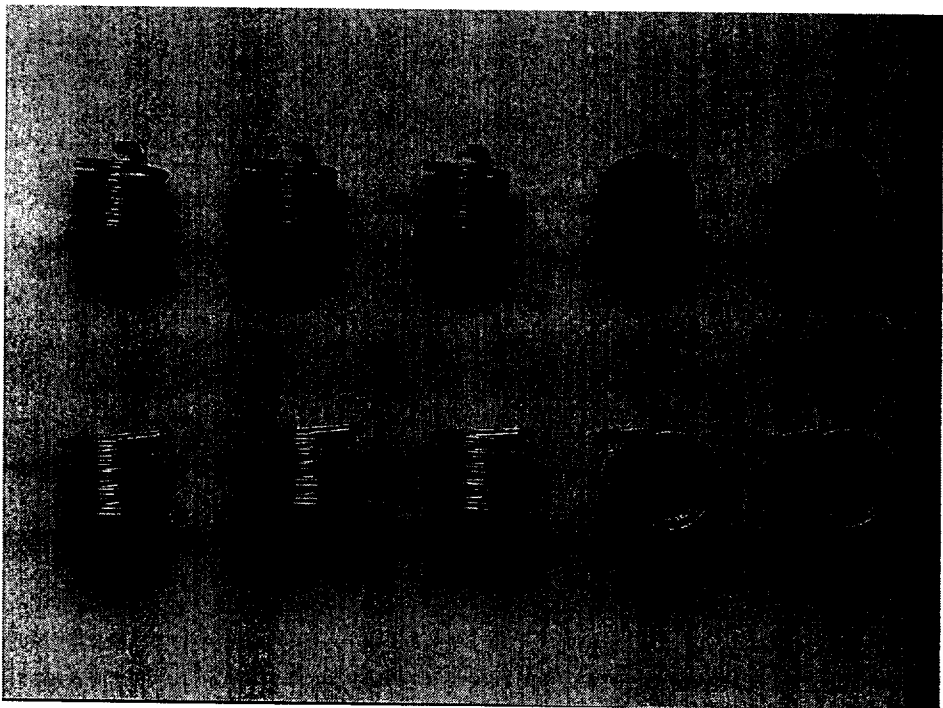


Fig.2 View of torsion spring

Fig.3은 시편(1)의 형상을 나타낸 것이다.

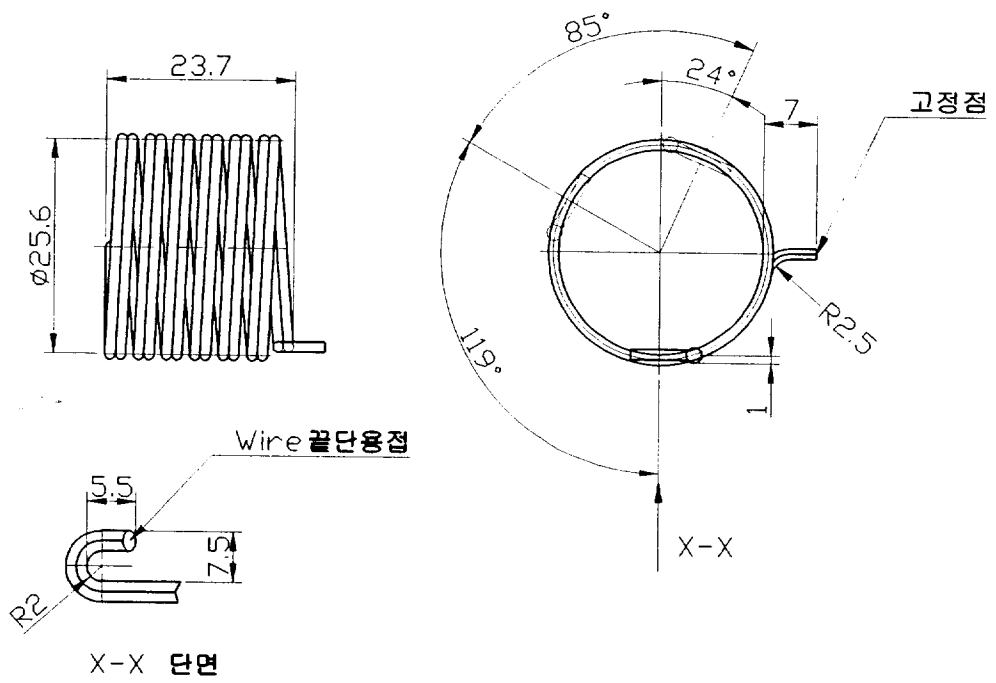


Fig.3 View of torsion spring (specimen1)

Fig.4는 시편(2)의 형상을 나타낸 것이다.

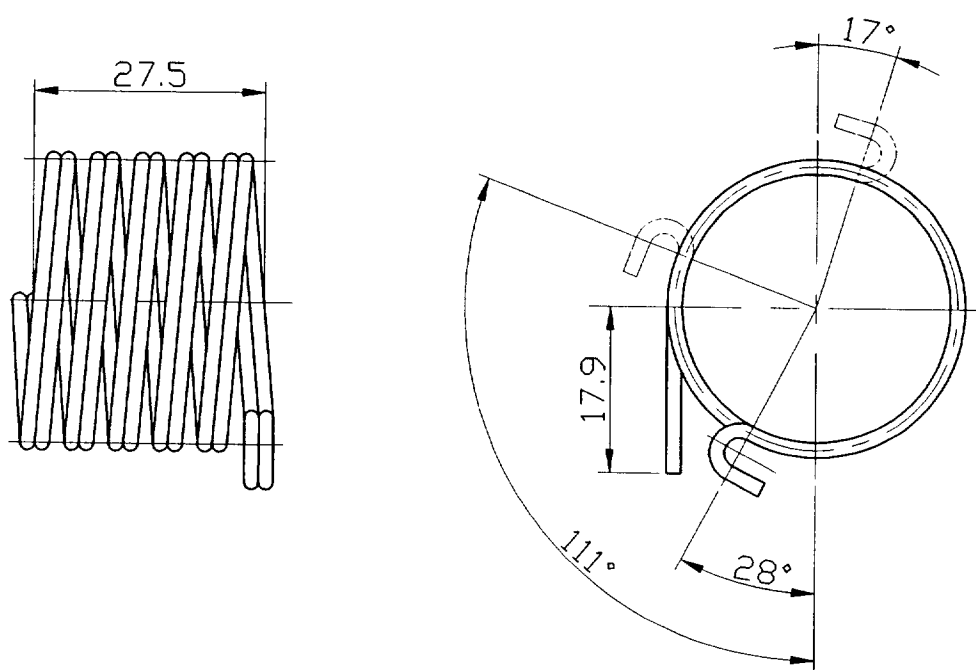


Fig.4 View of torsion spring (specimen2)

Table1은 시편(1),(2)의 재료의 화학적 성분을 나타낸 것이다.

Table1. Chemical composition of material [Wt.%]

Chemical Composition	C	Si	Mn	P	S
Specification(%)	0.066	0.35	1.25	0.028	0.002

Table2는 시편(1),(2)의 기계적 성질과 외관 검사 결과를 나타낸 것이다.

Table2. Mechanical properties and tested result of spring (specimen.1,2)

Item		specimen.1	specimen.2
Tensile-Strength		1904 N/mm ²	1869 N/mm ²
		194.15 Kg _t /mm ²	190 Kg _t /mm ²
Diameter		1.3476 mm	1.60 mm
Breaking State		양호	양호
Surface	Appearance	양호	양호
	Defects	양호	양호

Table3은 본 실험에 사용된 STS 304-WPB를 tempering 열처리하고 anti rust additive로 코팅한 시편(1),(2)의 치수와 재질에 따른 스프링의 제원을 나타낸 것이다.

Table3. Dimension of torsion spring (specimen1,2)

Item	Specimen1	Specimen2
Wire diameter(mm)	1.35	1.6
Average diameter of coil(mm)	27.95	30.6
Number of active coil	6	4.82
Arm length of spring(mm)	23.7	9.3
Wire Direction	좌비틀림	

2.2 실험 장치

Fig.5는 본 실험에 이용된 시험기로 최대 비틀림 토크 $5\text{Kgf} \cdot \text{mm}$, 최대 비틀림 각도 360° 까지 측정 가능한 FTP-V20D이다. 장치의 구성은 마이크로컴퓨터에 의한 시스템으로 구성되어 설정 입력 자료에 의하여 비틀림 토크를 측정한다. Torsion spring의 측면에 비틀림 토크를 증가시켜 비틀림 각도의 변화에 따른 비틀림 토크를 산출한다.

본 장치의 비틀림 토크 검출부는 시편(스프링)이 놓여지는 측면부에 로드셀(load cell)을 부착시켜서 비틀림 토크값은 전압 값으로 변환된다. 전압으로 변환시키기 위하여 로드셀 증폭기가 사용되며 증폭기의 출력 전압을 디지털로 변환하는 데는 AD변환기(Analog Digital converter)가 사용되었으며, CPU 계측 제어부를 통하여 프린터 및 표시부로 비틀림 토크값이 출력된다. 비틀림 각도는 수동 기어축을 구동시켜 변환시키고 비틀림 각도 값은 입력부(키보드, 디지털 스위치)에서 인가하며, 비틀림 각도는 수동으로 조작된다.



Fig.5 Experimental apparatus

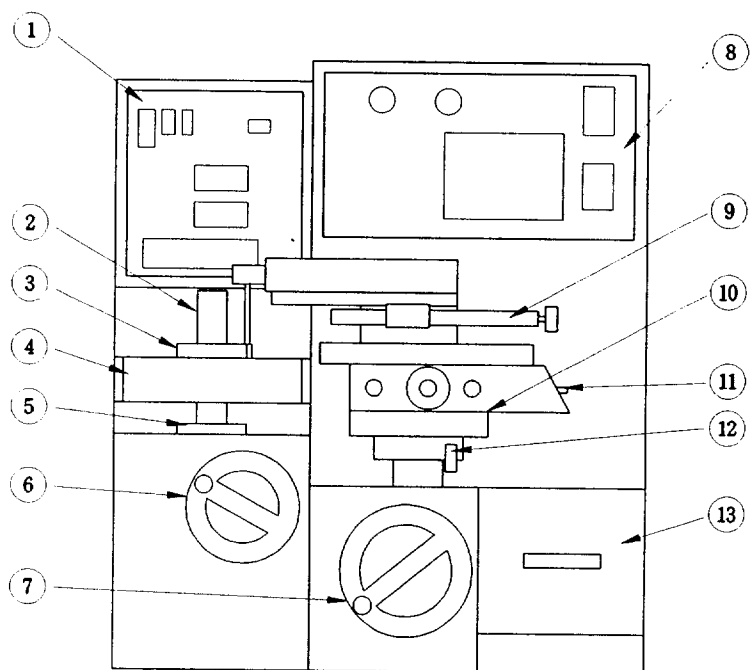
2.3 실험 방법

본 연구의 실험을 위하여 기기의 측정 조작을 다음과 같이 하였다.

전원 스위치를 작동시켜 수평 조절 레버와 상하 조절 레버를 돌려 "0"점 조정 하고, "0"점 조정된 지점에서 길이 표시부 버튼을 눌러 길이부 영점을 조정 후 압의 길이 수평 이동 거리를 측정한다. "DA"버튼을 눌러 Date, 품번을 입력한 다음 "HP"버튼을 눌러 압의 길이 표시부의 길이를 입력하고 "시작" 버튼을 누른 후 각도 0점 버튼 및 하중 0점 버튼을 누른다. 액정 표시부에 0점이 나타나면 지정 각도만큼 각도 조절 레버를 돌려 지점 각도에 맞추고 액정 표시부에 torque 값이 나타나면 "인가" 버튼을 눌러 하중값을 프린트한다.

다만 스프링 상수를 측정할 경우에는 "상수" 버튼을 누른 다음 "시작" 버튼을 누르고 "각도" 0점 버튼 및 "하중" 0점 버튼을 누른다. 그리고 액정 표시부에 0점이 나타나면 지정 각도만큼 돌린 후 "1단" 버튼을 누르고 2단 각도만큼 돌린다. 그리고 "2단" 버튼을 누른 후 "송출" 버튼을 눌러 스프링 상수값을 기록한다.

Fig.6은 시험기의 구조도를 나타낸 것이다.



- | | |
|---------------------------------|--------------------------------|
| ① Liquid crystal display | ⑧ Control panel |
| ② Spring setting shaft | ⑨ Load cell |
| ③ Specimen | ⑩ Left and right control lever |
| ④ Spring setting table | ⑪ Length caliper |
| ⑤ Angle control plate | ⑫ Front and rear control lever |
| ⑥ Angle control lever | ⑬ Printer |
| ⑦ Upper and lower control lever | |

Fig.6 Schematic diagram of spring test

3. 실험 결과 및 고찰

3.1 비틀림각 - 토크와의 관계

Fig.7은 소선의 지름1.35mm, 유효지름27.95mm, 유효권수6, 이중 코일인 시편(1)을 각도 5° 씩 일정하게 증가시키면서 그 때의 토크값을 측정하여 가로축에 비틀림각을 세로축에 토크값으로 나타낸 비틀림각-토크 선도이며, Fig.8은 소선의 지름1.6mm, 유효지름30.6mm, 유효권수4.82, 이중 코일인 시편(2)를 시편(1)과 같은 방법으로 시험하여 나타낸 비틀림각-토크 선도이다.

실험은 시편(1)과 시편(2)를 시험 규격에 맞게 제작하여 시험하였으며 선도는 각도의 증가에 따른 토크값을 이론치와 실험치를 같이 표시하여 그 차이를 알 수 있도록 나타내었다.

선도에서 나타난 바와 같이 토크값이 증가하면 비틀림각은 이에 비례하며 커지게 된다. 비틀림 각도의 증가에 따른 토크값의 변화는 스프링의 형상과 크기에 따라 그 특성이 달라진다.

Fig.7과 Fig.8에서 나타난 바와 같이 시편(1)과 시편(2)의 비틀림 각과 토크와의 관계는 이론치와 실험치가 약간의 차이가 있지만 스프링의 일반적인 특성을 알 수 있는 선형으로 나타나고 있다.

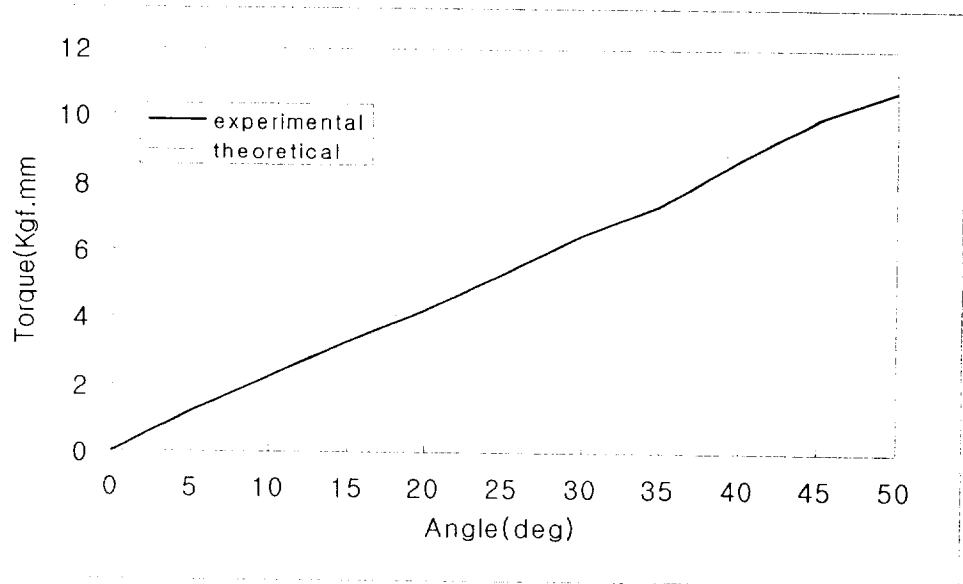


Fig.7 Comparison of experiment with theory for stiffness (specimen1)

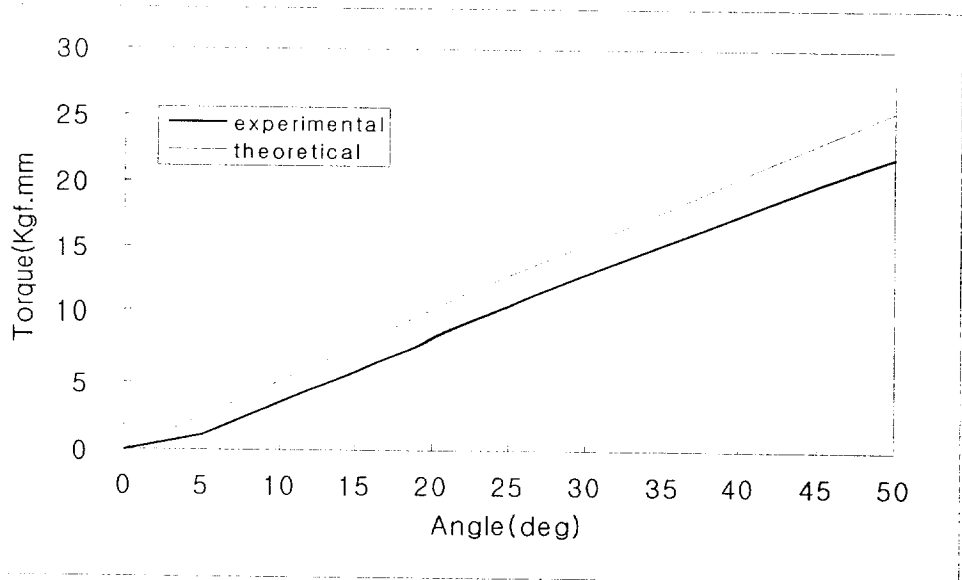


Fig.8 Comparison of experiment with theory for stiffness (specimen2)

Table4.는 시편(1),(2)의 비틀림각에 대한 토크값의 실험치와 이론치를 나타낸 것이다.

Table5. Value of experiment and theory for angle

각도(deg)	토크(Kgf.mm)			
	시편(1)		시편(2)	
	실험값	이론값	실험값	이론값
5	1.1970	1.1343	1.1580	2.5446
10	2.2610	2.2685	3.6670	5.0892
15	3.3250	3.4028	5.7900	7.6338
20	4.2560	4.5370	8.2990	10.1784
25	5.3200	5.6713	10.4220	12.7230
30	6.5170	6.8055	12.9310	15.2676
35	7.3790	7.9398	15.2470	17.8122
40	8.7780	9.0740	17.5630	20.3568
45	9.9750	10.2083	19.8790	22.9014
50	10.7730	11.3425	22.0020	25.4460

3.2 이론 토크와 실험 토크와의 비교 분석

스프링의 비틀림 시험에서 스프링 시험기의 프린터로부터 비틀림각과 토크가 출력된다.

Fig.7, Fig.8에서 알 수 있는 바와 같이 시편에 가해지는 토크의 증가에 따라 비틀림각은 토크에 비례하는 선형적인 상태를 보이고 있다.

변위 선도 초기 부분에서는 비틀림각과 토크의 관계가 완전한 선형적인 관계를 나타내고 있지 않지만 전반적으로 선형적인 관계를 나타내고 있다. 선도 초기에 나타나는 비선형적인 부분은 초기 하중이 가해질 때 발생하는 재료의 순간적인 변형으로 생각되며, 선도 중간에 나타나는 부분적인 비선형적인 부분은 시편 제작시 재료의 불균일 문제, 가공상의 문제, 열처리 등으로 인한 요인으로 사료된다. 그러나 전반적으로 이론치와 근접하여 선형 형태를 유지하고 있다.

스프링 해석과 실험에서 두 값이 일치하여야 하지만, 제작상 발생할 수 있는 여러 요인으로 인해 완전한 일치를 나타내지는 못하고 있다.

시편1,2 모두 토크값이 증가하는데 따라 비틀림각이 비례하는 스프링의 일반적인 선형 특성을 나타내고 있으며 선도 중간에 나타나는 부분적인 비선형 구간은 변화의 폭이 아주 작기 때문에 스프링 강성계수에 크게 영향을 미치지 못하는 것으로 나타나고 있다.

그리고 초기 부분에서 비선형이 발생하는 점 등으로 인해 실제 스프링의 사용 범위는 30~70%의 값을 사용하고 이 범위를 벗어나는 범위에서는 그 값이 선형적이 되지 못하므로 스프링 강성계수의 값으로 이용하지 않는다.

이상과 같은 실험에서 시편(1)과 시편(2)에 토크를 가하여 비틀림각을 증가시

킬 때 비틀림 토크에 비례하여 증가하는 스프링의 일반적인 특성을 나타내고 있으므로 열처리 또는 제작상의 조건을 제외한 기하적 형상이 강성계수에 어떻게 관계하는지를 이론식을 통하여 밝히고 적합한 강성계수를 구하여 설계에 활용하고자 한다.

이론적 해석에서 강성계수 k 는 소선의 지름 d 의 네제곱에 비례하고, 유효지름 D , 권수 n 에 반비례하는 것을 알았다.

먼저 시편(1)의 소선의 지름 d 의 값을 1.1~1.5mm까지 0.1mm씩 변화시켜 그때의 토크값을 이론식으로 계산하여 강성계수 k 값을 구하면 0.010~0.346kgf/mm로 증가량은 0.336kgf/mm의 값으로 나타난다.(Fig.9)

그리고 시편(2)의 소선의 지름 d 를 1.4~1.8mm까지 0.1mm씩 증가시켜 같은 방법으로 강성계수 k 값을 구하면 0.298~0.815kgf/mm가 되어 증가량은 0.517kgf/mm로 나타났다.(Fig.10)

소선의 지름 d 의 증가량은 시편(1), 시편(2) 모두 같으나 강성계수의 변화량은 시편(1) 보다 시편(2)가 커졌다. 이는 소선의 지름을 일정하게 변화시킬 때 강성계수의 변화량은 소선의 지름, 유효지름과 유효권수에 따라 변화량이 달라진다는 것을 알 수 있다. 즉, 소선의 지름이 커질수록 강성계수의 변화량이 점점 커지는 것을 알 수 있으며, 이는 강성계수 k 는 소선의 지름 d 에 크게 의존하기 때문이다.

Fig.9는 소선의 지름 변화에 대한 시편(1)의 비틀림각과 토크와의 관계를 나타낸 것이다.

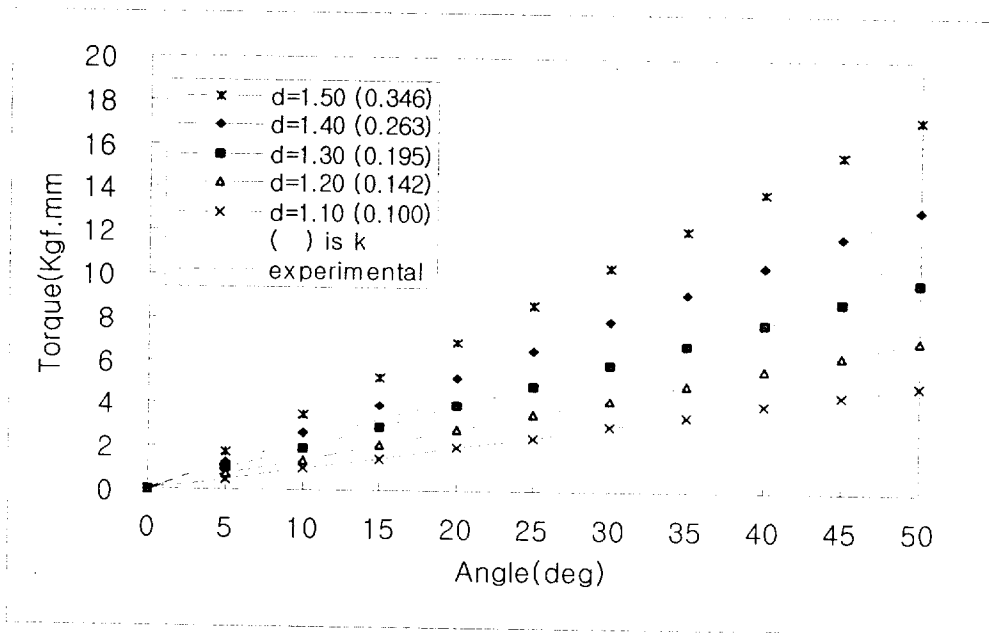


Fig.9 Relations between torque and angle when varing diameter (specimen1)

Fig.10은 소선의 지름 변화에 대한 시편(2)의 비틀림각과 토크와의 관계를 나타낸 것이다.

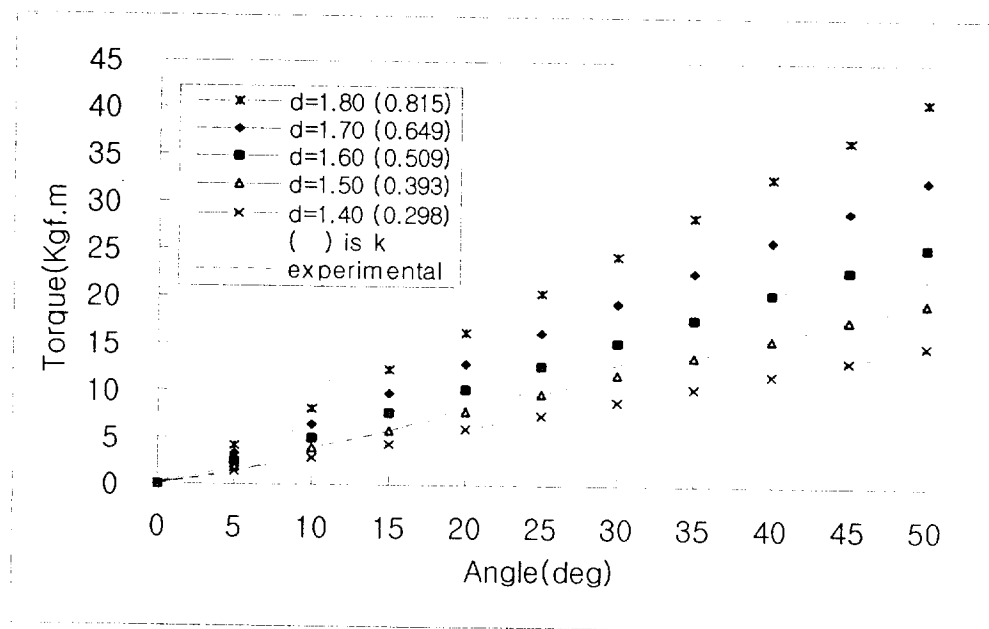


Fig.10 Relations between torque and angle when varying diameter (specimen2)

Fig.9에서 소선의 지름 1.35mm인 시편(1)의 실험치는 이론치와 비교하면 이론치보다 약간 작게 나타나지만 거의 일치하고 있고, Fig.10에서 소선의 지름 1.6mm인 시편(2)의 실험치 역시 Fig.9와 같은 양상을 나타내고 있다.

시편(1)의 유효지름 D 를 20~36mm까지 4mm씩 변화시켜 그 때의 토크값을 이론식으로 계산하고 강성계수 k 의 값을 구하면 0.317~0.176kgf/mm의 값으로 유효지름이 증가하면 강성계수는 반대로 감소하고 그 감소량은 0.141kgf/mm가 된다.(Fig.11)

시편(2)를 마찬가지로 유효지름 D 를 20~36mm까지 동일하게 4mm씩 변화시키면 강성계수 k 값은 감소하나 그 값은 0.779~0.433kgf/mm로 감소량이 0.346kgf/mm로 시편(1)과는 2배 이상 차이가 있음을 알 수 있다.(Fig.12)

따라서, 유효지름을 동일하게 하고 변화의 폭을 같게 하여도 강성계수 k 값의 증가량은 소선의 지름과 유효권수에 따라 많은 차이가 발생함을 알 수 있다. 이 현상은 이론적 해석과 일치한다.

Fig.11에서 실험치는 유효지름 28mm에 근접하는 값을 나타내고 있다. 즉, 시편(1)의 유효지름 27.95mm와 거의 같은 값을 나타낸다.

Fig.12는 Fig.11과 마찬가지로 실험치는 유효지름이 36mm에 근접하고 있어 시편(2)의 유효지름 30.6mm와는 약간의 차이가 발생하는 것을 알 수 있다. 이는 시편 제작시 발생할 수 있는 문제점으로 사료되므로 스프링 제작시 가공 오차, 형상 오차등을 고려하여야 할 것이다.

Fig.11은 유효지름 변화에 대한 시편(1)의 비틀림각과 토크와의 관계를 나타낸 것이다.

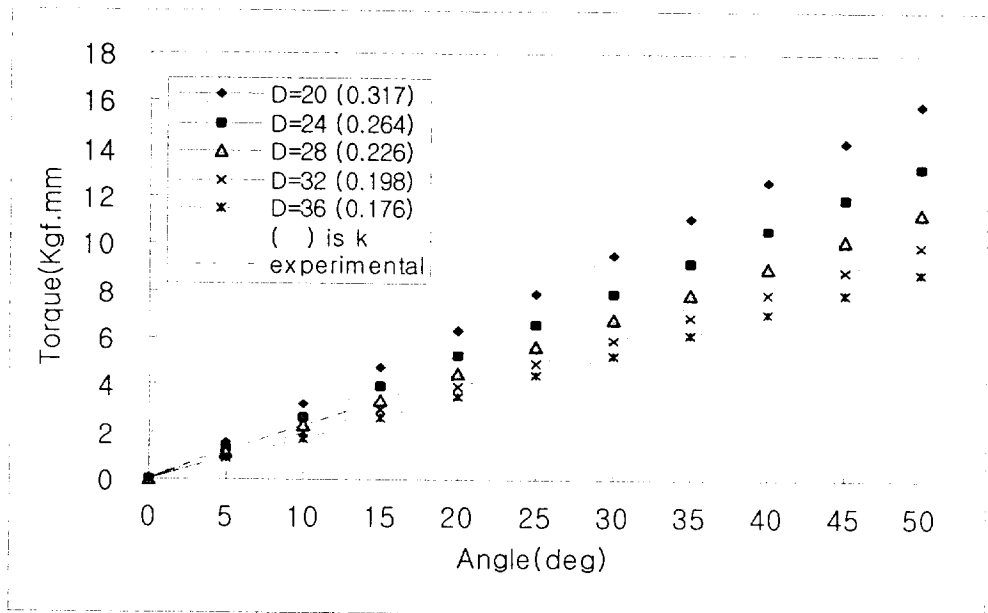


Fig.11 Relations between torque and angle when varing out diameter (specimen1)

Fig.12는 유효지름 변화에 대한 시편(2)의 비틀림각과 토크와의 관계를 나타낸 것이다.

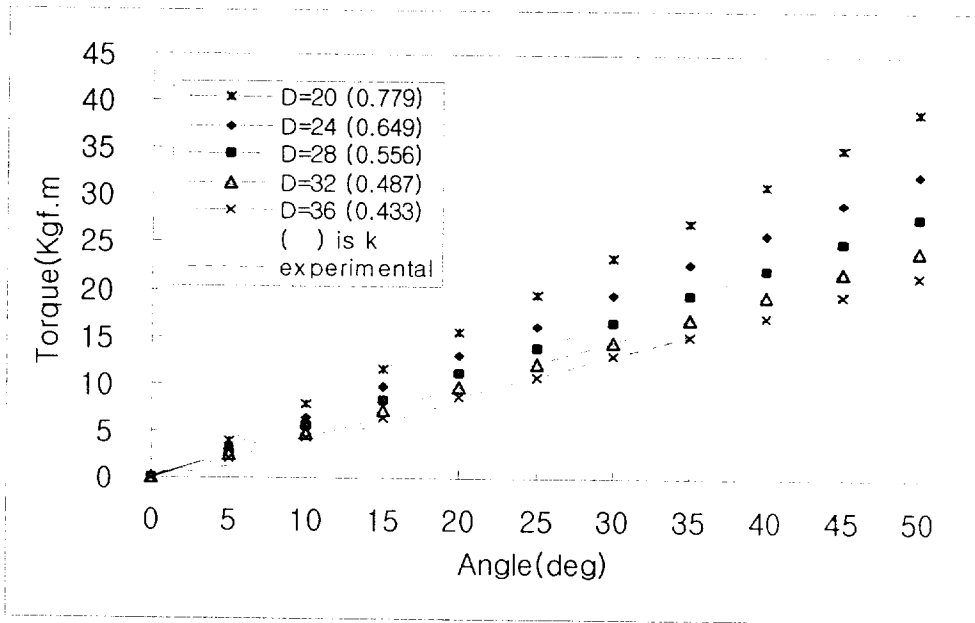


Fig.12 Relations between torque and angle when varing out diameter (specimen2)

유효권수 n 을 변화시키면서 강성계수 k 값의 변화를 고찰한다. 시편(1),(2) 모두 유효권수를 4~8회로 동일하게 변화시키면 시편(1)의 강성계수 k 값은 0.340~0.170kgf/mm로 감소하며 그 감소량은 0.17kgf/mm로 나타나며(Fig.13), 시편(2)의 강성계수 k 값은 0.613~0.301kgf/mm로 감소하며 감소량은 0.312kgf/mm로 2배 가까운 값을 가진다.(Fig.14).

유효지름과 마찬가지로 유효권수도 시편(1),(2)에 대해 동일한 변화를 주었지만 강성계수의 변화량은 많은 차이를 나타내고 있다.

Fig.13에서 시편(1)의 조건에서 권수 $n=6$ 일 때 실험치와 이론치의 차이는 거의 없지만 Fig.14에서 나타난 바와 같이 시편(2)의 조건에서 권수 $n=4.82$ 일때는 실험치가 이론치의 $n=5$ 와 $n=6$ 사이의 값을 가지므로 강성계수 값의 차이가 발생하고 있다. 이러한 현상은 시편 제작시 발생할 수 있는 문제점인 것으로 사료되며 스프링을 설계할 때 이와 같은 점을 고려하여 강성계수의 값을 구하여야 할 것으로 요망된다.

Fig.13는 유효권수 변화에 따른 시편(1)의 비틀림각과 토크와의 관계를 나타낸 것이다.

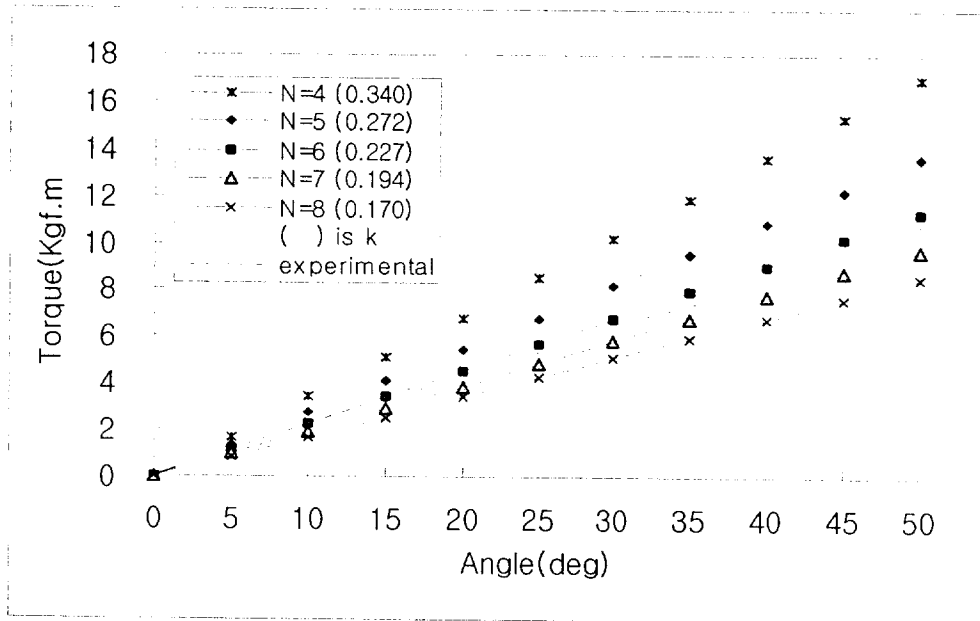


Fig.13 Relations between torque and angle when varying numbers of active coil (specimen1)

Fig.14은 유효권수 변화에 따른 시편(2)의 비틀림각과 토크와의 관계를 나타낸 것이다.

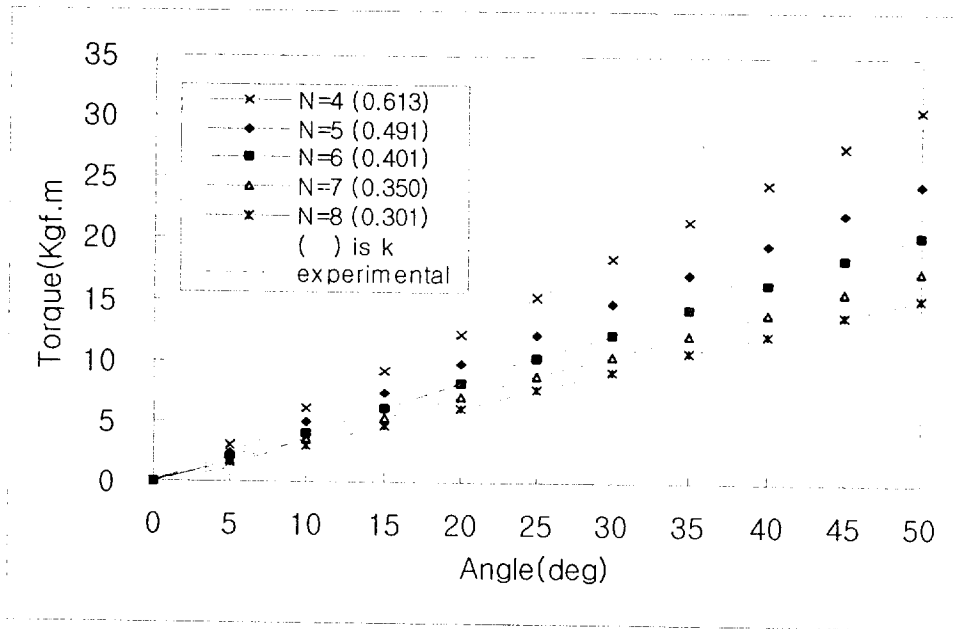


Fig.14 Relations between torque and angle when varying numbers of active coil (specimen2)

4. 결 론

이중 코일 torsion spring에 토크를 가하여 비틀림 각을 변화시켜 각도 변화에 따른 토크값을 측정하여 torsion spring의 강성계수를 구한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. Torsion spring의 강성 계수는 스프링 사용한도 범위 내에서 선형적인 현상을 나타내었다.
2. 실험에 의한 강성계수는 이론에 의한 강성계수에 거의 근접하였으며 이론적인 강성계수보다 실험에 의한 강성계수가 비교적 작게 나타나는 양상을 보였다.
3. 이론적 강성계수는 소선의 지름, 코일의 권수, 외경에 관계한다.
4. 강성계수는 소선의 지름에 비례하나 외경에는 반비례하며, 권수를 증가시키면 스프링 강성계수는 작아지는 경향을 보였다.

참고 문헌

1. 卞東震, 成煥泰, 黃炳九, 機械設計, 서울, 成政社, p.349, (1979).
2. 成煥泰, 宋森弘, 기계설계학, 서울, 東明社, p.293, (1982).
3. 천성달, 김종주, 민철기, 박태원, 機械要素設計, 인천, 원창출판사, p.148, (1994).
4. 李善淳, "비틀림을 받는 Helical Torsion Spring의 剛性에 관한 研究", 釜慶大學校, p.1, (2001).
5. 卞東震, 成煥泰, 黃炳九, 機械設計, 서울, 成政社, p.352, (1979).
6. 鄭善模, 韓東哲, 標準機械設計學, 서울, 東明社, p.488, (1989).
7. Lindkvist, lars, "Stiffness model of copied springs including the axial asymmetry due to the helical gemetry", 23rd Biennial Mechanical Conference American Society of Mechanical Engineers, Design Engineering Division (Publication), DE v 71 n pt 2 1994, ASME, NewYork, NY, USA, pp.97-102, (1994).
8. 李善淳, "비틀림을 받는 Helical Torsion Spring의 剛性에 관한 研究", 釜慶大學校, p.32, (2001).
9. 下關正義, 日本機械學會論文集, A45, p.396, (1979).
10. 丸善, 第3版 ばね, ばね技術研究會編第3版, ばね, pp.186-214, (1982).
11. 李京浩·王之錫, "벨로즈 종방향 강성에 관한 연구", 韓國船用機關學會誌, VOL23, No4, pp.504-513, (1999).
12. JU-Hwan Park, "The Effect of aging Treatment on the Stress Relaxation

of 17-7PH Stainless Steel Wire”, 釜山大學校, pp14-19, (1994).

13. 金秉洛, “Bellevile Spring의 剛性에 대한 基礎的 研究”, 釜慶大學校, pp.12-15, (1998).

14. 韓國工業規格, KS D 3535-1992.

감사의 말씀

이 논문이 완성되기까지 아낌없는 지도와 격려로 부족한 저를 이끌어 주신 이수종 교수님께 깊은 감사의 말씀을 올립니다.

아울러 심사 과정에서 많은 조언을 해주신 임우조 교수님과 김형자 교수님, 그리고 수학기간 동안 높은 학식과 인생의 경험을 통하여 많은 관심과 가르침을 주신 기계설계과의 여러 교수님께 감사를 드립니다.

그리고 바쁜 회사 업무에도 불구하고 많은 시간을 내어 시편 제작과 실험에 아낌없는 도움을 주신 대동스프링(주)의 박상형 부장님께 진심으로 감사를 드립니다.

마지막으로 직간접적으로 도움을 주신 부산기계공업고등학교 산업설비부 선생님들과 부모님께 고마운 마음을 전하면서 항상 배우고 노력하며 겸손한 자세로 더욱 정진할 것입니다.

2001년 12월

이 정 복