

論文

광점퍼코드 (OJC) 보호용 미소 직경 복합재료 스프링 개발

윤영기*, 박성도**, 이연수***, 윤희석****, 이우일*****

A Development of Small-diameter Composite Helical Spring for Reinforcement of Optical Fiber Jumper Cord (OJC)

Young-Ki Yoon*, Seong-Do Park**, Yeon-Soo Lee***, Hi-Seak Yoon****, and Woo-Il Lee*****

ABSTRACT

Small diameter composite helical springs (CS) are developed using a hot plated mold for reinforcement of common optical fiber jumper cord (OJC). The outer diameters of the springs are about 2 ~ 3mm. These springs are inserted into the OJC to protect the damage of an optical fiber from the sudden lateral load. Two types of CS, Yarn type (Y-type) and Band type (B-type), are manufactured to compare the effectiveness for the damage protection. The experimental works were conducted to check the effect of the CS covered around OJC on the mechanical and optical properties. Experimental observations show a considerable effect on the flexural resistance, hence slowing down the deterioration of the optical power by the internal damage of the fiber. Obtained main results are as follows: (1) Y-type CS has better protection abilities to lateral loading than B-types. (2) Compared with bare OJC, CS-OJC has less power loss under the loading. (3) OJC covered with the composite coil spring has a possibility for a practical usage with full fruits.

초 록

미세 직경을 갖는 복합재료 나선형 스프링 (CS)가 광점퍼코드 (OJC)를 보강하기 위한 매체로써 개발되었다. 이 스프링의 외경은 약 2 ~ 3mm로써 광점퍼코드에 갑작스런 측면 하중으로 부터 광섬유의 손실을 막기 위해 삽입 보강할 수 있도록 제작되었다. 섬유 형태 (Y-type)와 밴드 형태 (B-type)의 복합재료 스프링이 제작되어 그 효과를 비교하였다. 측면 하중에 대한 기계적 특성은 동일 직경의 금속 스프링 및 일반 광점퍼코드의 물성치와 비교하여 제시하였다. 실험 결과로 부터 복합재료 스프링이 보강된 광점퍼코드의 경우 굽힘에 대한 높은 저항력을 지니고 있음에 따라 광섬유의 내부 손상에 의한 광 손실의 감소율이 낮음을 알 수 있었다. 얻어진 주요 결과들은: (1) Y-type의 CS의 경우 B-type과 비교하여 높은 측압 저항력을 지니는 것을 알 수 있었다. (2) 일반 OJC와 비교하여 CS-OJC의 경우 광 손실이 현격히 낮음을 알 수 있었다. (3) 일반 스프링의 측압 하중시의 응력 분포 형태를 제시하였으며, 실험으로부터 얻어진 결과로부터 복합재료 스프링이 보강된 광점퍼 코드의 경우 매우 높은 구조적 안정성을 보임을 알 수 있었다.

1. 서 론

1791년 C. Chappe가 대기를 매체로 광 전신을 시도한

이래 광 관련 산업과 기술은 급격히 발전하였다[1]. 특히, 전 세계를 하나의 인터넷 망으로 구축하려는 시도에 따라 많은 양의 정보를 안정적으로 보내기 위한 최적의 매체가

*+ 서울대학교 기계항공공학부, 교신저자(E-mail:youngki@snu.ac.kr)

** 전남대학교 기계시스템공학부 대학원

*** Department of Orthopaedic Surgery, VA Healthcare System and University of California in Irvine, USA

**** 전남대학교 기계시스템공학부

***** 서울대학교 기계항공공학부

요구되며, 그 매체로 광섬유가 제시됨에 따라 그 수요 또한 급격히 증가하였다. 더불어, 이러한 기술들이 단순히 통신 매체로서 뿐만 아니라 구조물의 안전성을 평가할 수 있는 센서로서 사용하려는 많은 시도를 볼 때 그 용도는 급격히 증가하리라 생각한다[2-4].

이러한 광 섬유유의 급격한 사용으로 인하여 광 섬유유의 물리적 특성 향상 뿐만 아니라 광 섬유 자체를 외부의 하중이나 작업시의 인장 등에 적절히 대응하기 위해 다양한 형태의 보강이 이루어지고 있다. 이러한 이유로 광섬유 케이블의 경우 인장에 대응하기 위한 중심지지선을 중앙에 심어 두는 경우도 있으며, 케이블의 외피 안쪽에 알루미늄 테이프 등으로 보강되어 생산되고 있다. 하지만, 이러한 제품의 경우 대부분이 옥외에 설치되는 것으로 케이블 자체의 무게나 직경에는 크게 제약을 받지 않고 제작되고 있다. 특히, 해저 광섬유 케이블의 경우 그 용도 및 중요도와 설치 환경 등을 고려하여 외피를 고밀도 PE와 저밀도 PE로 싸고 내부에는 철선과 인장선 등으로 케이블을 보호하고 있다[5,6].

본 논문에서는 각종 광 전송장비 상호간, 광 전송장비와 광케이블 분배함, 광케이블 분배함과 광케이블을 서로 연결할 때 연결용 기구로 사용되는 보강형 광 점퍼 코드에 관한 연구를 수행하였다.

광케이블은 통신 네트워크의 전달 매체로서 음성신호와 데이터 신호 등의 각종 신호를 전송 시키고 있으며, 현재의 동축케이블을 거치면서 음성은 물론 동영상까지 전달하고 있다. 정보통신 사업자들이 추구하는 궁극적인 가입자망 진화 목표는 파이버 투 홈(fiber to home)이다. 결국 전화국에서 일반 가정까지를 모두 광케이블로 연결시킨다는 것을 의미한다. 이렇듯 최근의 통신 산업은 광섬유의 급격한 사용량 증가를 유발하며, 이러한 양상은 효율적인 통신망 관리 및 유지를 위해 광케이블의 구조적 안정성에도 많은 관심이 필요하다.

그러나, 광 코넥터가 연결된 실내용 광 점퍼코드 (optical fiber jumper cord: OJC)의 경우 인장에 견딜 수 있도록 하기 위해 구조물 자체에 고강도의 아라미드 섬유로 보강되어 있다. 이러한 구조물은 인장 모드에는 강하지만 축 하중에는 취약한 특성을 보여주고 있다.

코일형 스프링의 경우 일반적으로 압축 또는 인장의 하중이 작용하여도 스프링을 구성하고 있는 소선부분에서는 비틀림 응력으로 작용하게 된다. 또한, 스프링 재료는 작용력이 크면서도 탄성체라야 한다. 이 탄성을 잃지 않는 한도의 강도를 “탄성한도”라하며, 탄성한도가 커야 되는 것이 스프링 재료가 갖추어야 할 조건의 하나이다[7-9]. 본 연구에서는 스프링 형태의 구조물이 단순 인장 및 압축에 대한 양상 뿐만 아니라 굽힘에 대해서도 효과적으로 대응함에 착안하여 실내용 광 점퍼코드의 축 하중 및 충격하중에 대한 보강을 위해 보호용 복합재료 코일형 스프링을 제

작하였다. 또한, 제작된 스프링으로 보강된 광 점퍼코드의 축압 실험과 광 손실 실험을 수행하였다.

따라서, 본 연구에서는 제작된 스프링의 압축이나 인장에 대한 것보다는 측면 직하중에 대한 광점퍼코드의 보강 효과에 주안점을 두었다.

2. 광점퍼 코드의 이론과 원리

2.1 광섬유 및 광점퍼 코드

광섬유의 외경은 약 10~200 μ m 정도로서 아주 가늘며, 굴절률이 상이한 재질을 써서 굴절률이 큰 코어(core)와 굴절률이 작은 클래드(clad)로 되어있다. 이러한 광섬유 심선은 아주 가늘어서 부러지기가 쉽고 인장강도가 약함으로 피복되어 있다[10,11]. 이러한 광섬유를 이용하여 광통신을 하기 위해 제작된 것이 광점퍼 코드(optical fiber jumper cord)이다.

일반적으로 사용되는 광 점퍼 코드는 Fig. 1에 도시된 바와 같이 광섬유의 외층을 둘러싸고 있는 심층 피복, 상기 심층 피복의 외층을 둘러싸고 있으며 길이 방향의 인장 하중을 대비하고 유연성을 주는 아라미드 안과 상기 아라미드 안의 외층을 감싸 외층으로부터의 충격에서 광섬유를 보호하는 표층 피복으로 구성되어있다.

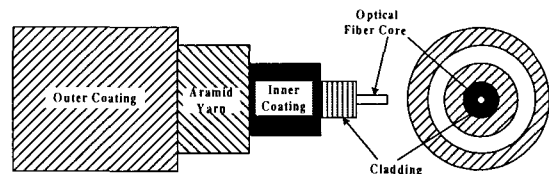


Fig. 1 A shape of typical optical fiber jumper cord (OJC).

2.2 복합재료 스프링 보강형 광점퍼 코드

기존 광점퍼 코드의 축하중에 대한 취약함을 보강하기 위해 Fig. 2와 같은 코일형 복합재료 스프링을 이용한 보강법이 본 연구에서 제시되었다. Fig. 2의 (a)는 코일스프링의 소선 (small-wire)이 밴드형, (b)는 소선이 원형으로 되어 있으며, 이들 스프링을 이용해 보강된 광점퍼코드의 형태를 보여주고 있다. 카본/에폭시로 제작된 밴드형태의 복합재료 스프링이 보강된 광점퍼코드의 경우 B-type으로, 원형의 복합재료가 보강된 광점퍼코드의 경우 Y-type으로 명명하였으며, Y-type가 동일한 원형의 복합재료 스프링의 형태를 가지고 있으며 스펙트라(Spectra)섬유/에폭시로 제작된 스프링 보강형 광점퍼 코드의 경우는 S-type으로 명명하였다.

밴드 형태를 갖는 B-type 스프링의 경우 원형의 Y-type 스프링에 비해 상대적으로 제작이 간편하며, 스프링 소선 사이의 간격이 좁아 광섬유를 전체적으로 보강하는 효과가 있으나 광점퍼 코드의 굽힘에 대한 보강효과는 원형 스프링에 비해 상대적으로 작음을 예상할 수 있다.

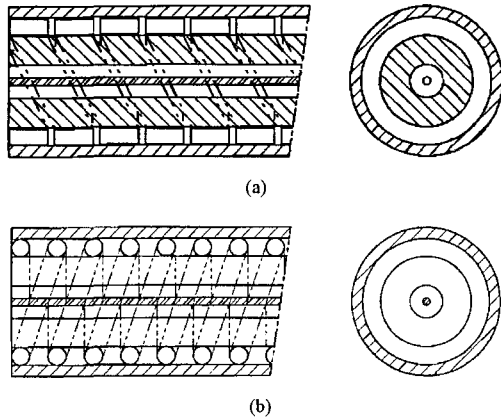


Fig. 2 Shape of new composite reinforced optical fiber jumper cord (OJC). (a) band type composite spring reinforced OJC [B-type], and (b) yarn type composite spring reinforced OJC [Y-type, S-type].

3. 실험 방법

3.1 시편 준비 및 제작

본 연구에서는 제작된 미소 직경 복합재료 코일 스프링의 측압 실험을 위해 B, Y, S-type 복합재료 스프링을 제작하였다. 더불어, 제작된 스프링을 실제 광 점퍼 코드에 보강했을 때의 광원 손실률을 측정하기 위해 보강된 광 점퍼 코드 시편을 제작하였다.

3.1.1 미소 직경 복합재료 스프링 제작

복합재료 스프링 제작을 위해 카본/에폭시(USN 125 B, Skyflex, SK Chemical, KOREA) 와 스펙트라 섬유(Spectra 900, AlliedSignal, USA)를 이용하였다.

복합재료 스프링은 Fig. 3과 같은 별도 제작된 장비에 나선형으로 홈이 파인 주축(mandrel)을 따라 에폭시가 함침된 복합재료 섬유를 감은 후 주축과 외부에 일정 온도를 주어 성형하였다. 성형을 위한 온도 조건은 80°C에서 45분간 열을 가한 후 2차적으로 120°C에서 50분간 열을 가하여 3mm 직경을 갖는 미소 직경 복합재료 스프링을 제작하였다. Fig. 4는 제작된 직경 8mm 및 3mm 나선형 복합재료 스프링 각각의 실제 형상을 일반 사무용 필기구 및 필기구용 스프링과 비교하여 보여주고 있다.

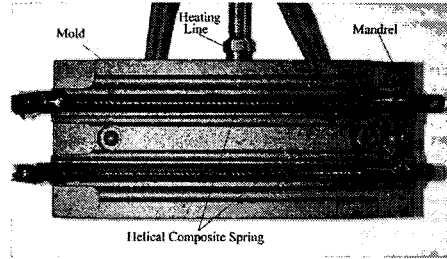


Fig. 3 A side of heating mold for composite spring manufacturing.

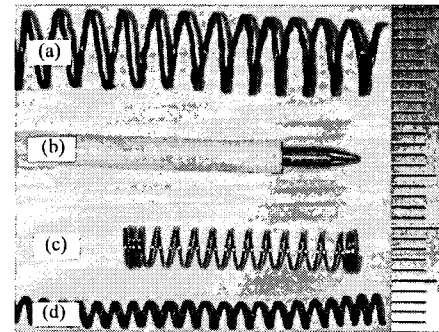


Fig. 4 Shape of composite springs (CS) and common metal spring (MS) of a mechanical pen. (a) composite spring with 8mm diameter, (b) a mechanical pen, (c) a metal spring (MS), and (d) a composite spring with 3mm diameter.

3.1.2 비닐 (PVC) 보강 미소 직경 스프링 제작

제작된 복합재료 스프링에 수축형 튜브(SUMITUBE, Sumitomo, JAPAN)으로 감싸 가열한 시편 (pv-type)을 제작하였다. 이러한 pv-type 시편의 경우 실제 복합재료 스프링이 광 점퍼 코드에 보강용으로 적용되었을 때의 형태라고 할 수 있다. 이렇게 제작된 pv 보강 스프링은 일반 금속 스프링(MS type)과 비교하여 측압 실험을 수행하였다.

3.1.3 복합재료 스프링 보강형 광점퍼 코드 제작

복합재료 스프링이 보강된 광점퍼코드 (CS-OJC: Composite Spring-covered Optical fiber Jumper Cord)는 일반 광점퍼코드의 외부 피복을 제거한 후 pv-type의 복합재료 스프링을 삽입한 후 105°C에서 3분 동안 가열하여 제작하였다.

3.2 실험 시스템 구성 및 방법

광점퍼코드의 보강용 복합재료 스프링의 기계적 성질을 평가하기 위해 스프링의 측면 압축 실험이 시행되었으며, CS-OJC의 효과를 확인하기 위한 굽힘 실험이 수행되었다.

3.2.1 측압 실험

측압 실험의 경우는 제작된 스프링의 측면에 만능실험기 (STM-5-E, United Calibration, USA)를 사용하여 0.01mm/sec의 속도로 압축 실험을 수행하였으며, 하중에 따른 처짐량을 측정하였다.

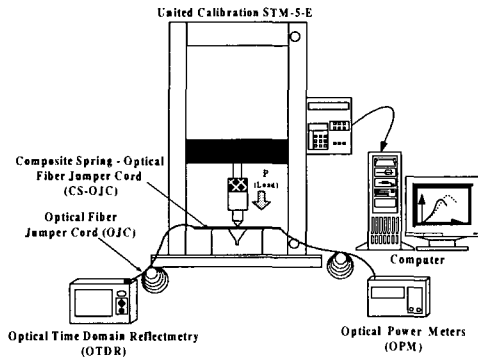


Fig. 5 Experimental setup for bending test of composite coil spring and CS-OJC (Composite Spring Fiber Jumper Cord).

3.2.2 광 손실 굽힘 실험

제작된 CS-OJC에 대한 광 손실 굽힘 실험은 Y-type 과 B-type의 복합재료 스프링으로 보강된 2가지의 pv-type 스프링으로 OJC를 보강한 후 수행하였다. 이러한 실험을 통하여 CS-OJC와 일반 OJC의 광 손실 양상을 비교/분석하였으며, 이에 대한 기계적 특성에 대해서도 관찰하였다. Fig. 5는 굽힘실험을 위한 실험 장비를 보여주고 있다. OTDR (Optical Time Domain Reflectometry) 분석기 (HP E6000B, USA)를 CS-OJC의 한쪽 끝단에 연결하여 -25dBm의 광원을 발생시켰으며, 반대쪽 끝단에는 OPM (Optical Power Meters, OLP-6, Wavetek Wandel & Goltermann, Germany)를 연결하여 복합재료 스프링 보강 부위에 굽힘 하중을 가하면서 광 손실을 측정하였다. 이러한 실험을 통하여 복합재료 스프링의 소선 형상에 따른 보강 효과를 관찰할 수 있었다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 연구에서는 제작된 복합재료 스프링의 물성치 특히, 인장 강도를 알아내는데 목적이 있는 게 아니므로 인장 실험을 수행하지 않았다. 따라서, 실제 OJC의 측압 하에서의 영향을 관찰하기 위한 실험과 보강된 스프링의 효과를 관찰하기 위해 측압 하중 하에서의 광 손실 굽힘 실험을 수행하였다.

4.1 측압 실험 결과

복합재료 스프링에 대한 측면 압축 실험에는 3가지 형태 즉, Y-type 카본/에폭시, B-type 카본/에폭시와 코일형 스펙트라 섬유 (S-type) 복합재료 스프링이 이용되었다.

Fig. 6에서는 현재 일반 사무용 볼펜에 사용되는 직경 3mm 금속 스프링 (MS)의 압축 강도를 기준으로 상기 3가지 종류의 스프링과 PVC 수축 튜브로 싸여진 스프링의 강성을 보여주고 있다. 이는 실제 제작된 복합재료 스프링이 OJC에 보강형으로 사용될 때 스프링 외부에 PVC 수축 튜브가 감싸기 때문이다.

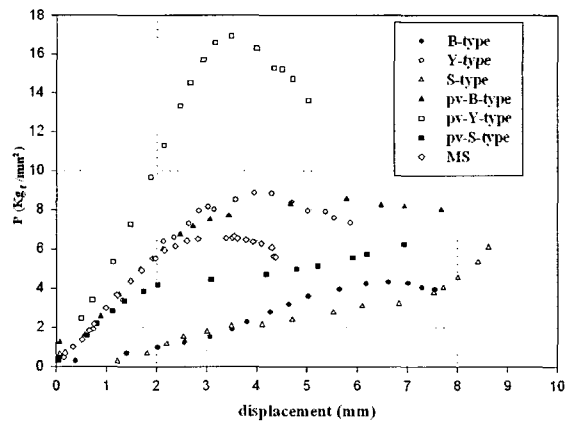


Fig. 6 Experimental results of compression tests for the composite spring (CS) and metal spring (MS) with same diameter.

Y-type과 B-type의 경우 일반적으로 Y-type의 복합재료 스프링이 측면 직 하중에 대해 효과적으로 반응함을 알 수 있다. 또한, PVC 수축 튜브로 감싸진 복합재료 스프링의 경우 스펙트라 섬유를 제외하고 실제 스프링 (MS)에 비해 pv-Y-type의 경우 150%, pv-B-type의 경우 30% 정도의 높은 강성을 보임을 알 수 있었고, PVC가 없는 Y-type의 복합재료 스프링을 제외하고 실제 스프링에 비해 매우 취약함을 알 수 있다.

PVC가 감싸진 복합재료 스프링과 그렇지 않은 복합재료 스프링을 비교해보면 PVC가 감싸진 스프링이 동일 형태에 대해서는 100% 이며, pv-Y-type의 경우 PVC가 보강되지 않은 단순B-type에 비해 100% 이상 효과적으로 반응함을 알 수 있다.

이러한 결과로부터 단순한 복합재료 스프링의 경우 제작상의 결함으로 인하여 취약한 면을 보이나 실제 OJC에 적용될 때 필요한 PVC보강 구조물의 경우에는 연구 목적에 크게 부합하는 결과를 보여줄 수 있었다. Table 1은 각 타입별 복합재료 스프링의 강성을 보여주고 있다.

Table 1 Experimental results of rigidity and displacement in various types

Types	Rigidity (Kg/mm ²)	Displacement (mm)	Rigidity ratios (%)
MS	6.64	3.55	100
B-type	4.29	6.60	65 ± 5
Y-type	8.86	4.00	130 ± 5
S-type	6.08	8.62	90 ± 5
pv-B-type	8.54	5.77	130 ± 5
pv-Y-type	16.93	3.48	255 ± 5
pv-S-type	6.24	6.92	95 ± 5

4.2 광 손실 결과

Fig. 7는 앞절에서의 압축실험 결과로부터 가장 좋은 압축 강도를 갖는 pv-Y-type과 pv-B-type 복합재료 스프링 구조물을 이용하여 Y-type의 CS-OJC와 B-type의 CS-OJC의 측면 직 하중에 대한 강도를 일반 OJC와 비교하여 나타내고 있다. 광 점퍼코드의 일정 부분에 복합재료 스프링으로 보강 후 한쪽에서는 광원을 발생하며, 반대쪽에서는 광원의 크기를 측정하는 결과를 보여주고 있다. 초기 광원은 기기의 특성상 -25dBm이며, OJC의 최종 파단으로 인한 광원의 차단 영역 (-60dBm)에 이르는 하중이 CS-OJC의 경우가 일반 OJC에 비해 5배 정도 큼을 알 수 있다. 또한, 안 형태를 갖는 OJC (Y type)의 경우가 밴드 형태의 OJC (B type)에 비해 광원 손실률이 낮음을 알 수 있다.

또한, CS-OJC의 경우 일반 OJC와는 달리 광원이 -60dBm이하로 떨어진 이후 하중을 제거하였을 때 OJC가 복원되어 정상적으로 작용함을 알 수 있었다. 이는 복합재료 스프링이 구조물에 가해지는 측면 하중에 대해 매우 효과적으로 작용될 뿐 아니라 구조물에 가해지는 하중이 높은 취성을 갖는 광섬유에 직접적으로 가해지지 않음을 의미한다.

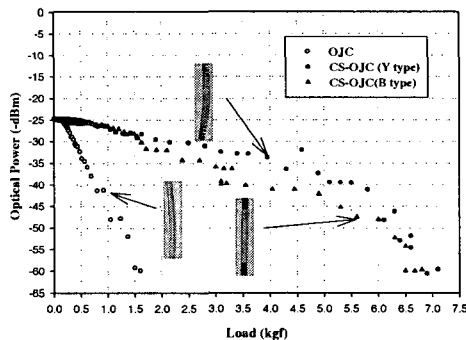


Fig. 7 Experimental results of measuring the reduction of optical power in the OJC and the CS-OJC.

결론

기존 광점퍼코드 (OJC)의 단점을 보완하기 위한 방법으로써 복합재료로 제작된 스프링이 제시되었다. 또한, 이러한 스프링 형태의 보강재는 단순 하중에 대한 효과 뿐만 아니라 굽힘에도 효과적임을 볼 때 일정한 유연성을 필요로 하는 OJC의 경우는 매우 유효함을 알 수 있었다.

해석을 통한 결과로부터 측면 직 하중을 받는 스프링의 경우 하중을 받는 부분의 피치 부분에서 가장 많은 변형을 일으킴을 알 수 있었으며, 지름 방향으로의 하중 지점으로부터 각각 ±90° 부분에서 가장 큰 하중을 받음을 알 수 있었다.

제작된 복합재료 스프링의 압축실험 결과 동일 직경의 금속 스프링(MS type)과 비교하여 Y-type의 스프링을 제외하고는 전반적으로 측면 하중에 대해 약함을 알 수 있었다. 그러나, 스프링 외부에 열 압축튜브인 pvc피복을 씌운 경우 (pv-B 와 pv-Y type)은 금속 스프링에 비해 압축 강도가 각각 30%와 300% 높음을 알 수 있었다. 특히, 피복이 씌워진 안 형태를 갖는 복합재료 스프링 (pv-Y type)은 가장 효율적임을 알 수 있었다.

제작된 복합재료 스프링을 일반 OJC에 보강하여 광 손실 정도를 측정하는 결과 보강되지 않은 OJC에 비해 보강된 OJC가 약 5배 정도의 광 손실이 적음을 알 수 있었다. 더불어, B-type복합재료 스프링에 비해 Y-type스프링을 보강하였을 때 광 손실 비율이 다소 낮음을 알 수 있었다.

후기

본 연구는 과학기술부 국가지정연구실 (NRL) 사업과 교육부 Brain Korea21사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 감사드립니다.

참고문헌

- 1) Takanori Okoshi, Optical Fibers, Academic Press, New York, USA.
- 2) 강동훈, 강현규, 류치영, 홍창선, 김천곤, "광섬유 센서를 이용한 구조물의 열 변형 및 온도 측정," 한국항공우주학회지, 제28권 제8호, 2000, pp. 61-68.
- 3) 이상열, 정재강, "표면 부착 광섬유 센서를 사용한 변형률-온도의 동시 측정," 대한 기계학회 논문집, A권 제22권 제5호, 1998, pp. 895-901.
- 4) Y.Okabe, T.Mizutani, S.Yashiro, N.Takeda, "The detection of microscopic damages in composite laminates with embedded small-diameter fiber bragg grating sensors,"

- Composite Sci. & Tech.*, 2002, in press.
- 5) 손병태, 이용우, 박종관, 임재근, 김승목, 김용로, “광 통신 공학,” 2000, 광문각.
 - 6) S. D. Personick, “Fiber Optics Technology and Applications,” 1985, Plenum press.
 - 7) A.M.Wahl, “*Mechanical Spring*,” 1963, McGraw-Hill.
 - 8) SAE Spring Committee, “Spring Design Manual (2nd ed.),” 1995, SAE.
 - 9) H. Carlson, “Spring Manufacturing Handbook,” 1982, MARCEL DEKKER, INC.
 - 10) H. Murata, “Handbook of Optical Fibers and Cables,” 1988, MARCEL DEKKER, INC.
 - 11) G. Mahlke, and J.L. Henshall, “Fiber optic cables,” 1987, John Wiley & Sons.
 - 12) W.G. Jiang and J.L. Henshall, “A novel finite element model for helical spring,” *Finite Elements in Analysis and Design*, 2000, Vol. 35, pp. 363-377.
 - 13) L.E. Becker, G.G. Chassie, and W.L. Cleghorn, “On the natural frequencies of helical compression springs,” *Int. J. Mech. Sci.*, 2002, in press.
 - 14) V. Yildirim, “An efficient numerical method for predicting the natural frequencies of cylindrical helical springs,” *Int. J. Mech. Sci.*, 1999, Vol. 41, pp. 919-939.
 - 15) G.G. Chassie, L.E. Becker, and W.L. Cleghorn, “On the buckling of helical springs under combined compression and torsion,” 1997, Vol. 39, No. 6, pp. 697-704.