論文

광섬유 융착 부위 중접용 미소 직경 복합재료 스프링 구조물 개발

윤영기*+, 정승환**, 이우일*, 이병호**, 윤희석***

A Development of Small-diameter Composite Helical Spring Structure for Reinforcement of Fiber Splice

Youngki Yoon*+, Seunghwan Chung**, Wooil Lee*, Byoungho Lee** and Hiseak Yoon***

ABSTRACT

Optical fibers, for splice, are stripped of their plastic coatings with a plastic stripper and cut off at the end. Therefore, stripped fibers often receive accidental damages and sustain small flaws or cracks. As a result, the breaking strength of a fiber splice made under normal conditions is reduced to about 0.4~1 kg on the average, nearly one-tenth of the fiber's strength. This makes it necessary to reinforce the splice. One of the most practical and reliable methods for optical fiber splicing is fusion splicing, comprising the steps of tripping the plastic coatings from the two fiber ends to be splice, placing the two bare fiber ends in an end-to-end position, and of fusion splicing, such as are fusion. Generally, steel bar (SB) sleeve is used to reinforce this fusion-splicing region. However, this type of sleeve has a critical defect to keep optical lose after bent by a sudden load. New type of composite spring (CS) sleeve is developed to make up for the weak points in the SB sleeve. This sleeve has an effect on restoration to the original state after eliminating the bending load. The optical spectrum analyzes results show the availability of reinforcement for the fusion splicing optical fiber using small diameter composite springs under the various loading conditions.

초 록

레이저 융착된 광섬유의 절단 부위에 대한 보호를 위한 관심이 크게 높아지고 있다. 일반적으로 절단된 광섬유의 융착부분은 다른 부위에 비해 상대적으로 매우 취약하며 이러한 이유로 광섬유를 광 통신망에 사용할 때 동일 부분에서의 손실이 추가적으로 일어날 수 있다. 일반적으로 광섬유 융착 부위는 일반 광섬유의 파괴 강도에 비해 약 1/10인 0.4~1 kg로 감소된다. 이러한 이유로 인해 광 융착 부위의 보강이 절실히 요구되고 있다. 그러나, 이러한 구조물의 대부분이 철심 형태의 구조물을 삽입한 슬리브로 보강됨에 따라 굽힘에 대해 효과적으로 대응하지 못할 뿐 아니라 일단 구조물이 굽혀졌을 경우에는 지속적인 광 손실을 발생시키는 요인이 된다. 이러한 문제점을 보완하기 위하여 복합재료로 제작된 코일형 스프링 구조물 형태의 슬리브가 제안되었다. 이러한 슬리브는 기존의 슬리브의 취약점이었던 직하중에 대해 서로 효과적으로 반응할 뿐 아니라 굽힘 및 인장/압축 하중에도 효과가 있음을 알 수 있었다.

Key Words: 광섬유(Optical fiber), 융해중접(Fusion-splicing), 보강(Reinforcement), 나선 형 복합재료 스프링 슬리브 (Helical composite spring sleeve), 굴절 지수(Refractive index)

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

1. 서 론

두 광섬유를 접합시키는 중접 (splicing: 重接) 과정에서는 보통 비켜짐 (offset)과 기울림 (tilt)로 인하여 중접 부위의 손실 (< 0.1 dB)이 주로 발생한다. 이는 일반적인 접합 (joining) 작업과 연결 (connecting) 작업과는 다소 다르게 중접된 광섬유는 오직 절단을 통해서만 분리가 가능하다. 이러한 광섬유 중접법은 접속부분의 손실이 적고 만족스러운 강도가 나올 뿐 아니라 섬유 전체를 교체하는 것에 비해 매우 경제적임이 알려져 있다[1,2].

중접된 광섬유의 경우 서로의 굴절 지수 (refractive index), 물리적 특성 및 치수의 차이로 인하여 광 손실이 발생한다. 광섬유를 중접하는데 이용되는 방법은 sleeve식 V-groove 또는 rod식과 용해(fusion)식 등이 널리 이용되고 있다. Sleeve식과 V groove식의 경우 접착물질이 요구되지만 용해식의 경우 아크나 레이저 등을 이용해 접합되기 때문에 작업 후 청결을 유지할 수 있다. 하지만, sleeve식의 경우 외부 케이스가 있어 먼지를 크게 줄일 수 있으며 V groove식의 경우 탈선 없이 홈에 고정시켜 쉽게 중접시킬 수 있다는 장점이 있다. 용해식의 경우 자동화된 작업을 통해 쉽게 접합 할 수는 있으나 접합부분의 취약한 부위로 남게된다. 일반적으로 접합에 따른 손실은 sleeve식과 V groove식의 경우 0.15 dB이며 용해식의 경우 0.1 dB이다 [3,4].

광케이블은 포설시 도르레를 통과하므로 반복되는 굽힘을 받게되는데, 광케이블은 휨에 대하여 안정된 전송특성을 유지할 필요가 있으며 광섬유의 파단 수명 관점에서 광섬유의 휨 찌그러짐은 허용범위 이내가 되어야한다. 케이블의 포설 기준으로 국내의 경우 케이블 외경의 15~20배가 허용곡률반경이며 이 조건에서는 광섬유의 손실변동이 없어 광섬유의 휨에 대한 왜율이 0.17% 이하 일 것이 요구된다.

일반적으로 코어와 클래드의 요철(凹凸)부분에 전송하는 빛이 다른 전파모드로 변환하는가 하면 방사모드로 되어 손실을 가져온다. 이러한 현상은 광 섬유의 제조과정에서 생기거나 외력 또는 불균일한 측압(側壓)에 의한 마이크로 밴딩(micro-bending) 손실 등이 주요 원인이다. 하지만, 광섬유가 외부의 직접적인 굽힘 하중에 의해 굽힘 각도 θ가 임계각을 초과하면 코어와 클래드의 경계면에서 굴절하여 클래드로 투과되어 방사모드가 되는데 방사(放射)모드가 생기면 코어내의 에너지가 소실되어 방사손실을 가져오게 되는데, 이러한 손실은 광통신에서는 허용되지 않는다. 본 연구에서는 후자의 경우에서 광통신 케이블의 보강용 구조물로 개발된 복합재료 나선형스프링 슬리브의 보강 효과를 관찰하였다. 더불어, 광섬유의 절단시 레이저를 이용한 광섬유 융착 부위에 대한 보강 효과 또한 입증하였다.

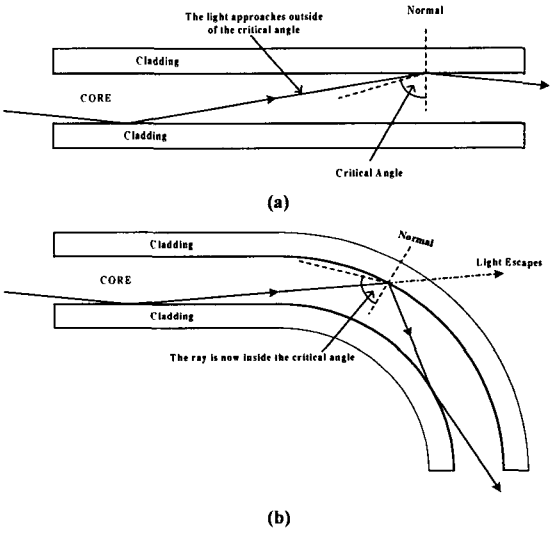


Fig. 1 (a) The usual situation and (b) sharp bends of the optical fibers are shown.

2. 광손실에 관한 이론

2.1 감쇠이론

감쇠 (attenuation)는 구성 장비에서 광학 신호의 어떤 부분이 손실을 갖는지와 얼마나 많이 통과하는가가 판단되므로 광 부품에 있어서 가장 중요한 점검 항목이다. 이것은 항상 파장의 함수 형태로 영향을 받으며, 길이에 따라 손실의 크기가 달라지는데 일반적으로 1 km당의 손실률로 나타낸다[5,6].

일반적으로 감쇠는 광원의 입출력 정도 (P_{in}, P_{out})를 각각 비교함으로써 측정될 수 있다.

$$Attenuation(dB) = -10\log\left(\frac{P_{out}}{P_{in}}\right) \qquad [dB/km] \qquad (1)$$

여기서 (-)부호는 출력광원이 입력광원에 비해 항상 낮기 때문에 감쇠치를 양(+)의 값으로 하기위해 붙여진다.

Fig. 1은 굽힘을 받지 않은 일반적인 광섬유와 굽힘 하중을 받아 굽힘이 발생한 광섬유 내에서의 광원 진행과 손실 형태를 보여주고 있다.

2.2 광섬유 접속

광섬유심선의 접속방법에는 영구 접속법과 콘넥터 접속법이 있으며 영구 접속법에는 융착법, 압착법 슬리브법, 3심고정법, 루즈튜브법 등이 있다. 또한, 기계적으로 간편하

게 접속하여 사용할 수 있는 기계적 접속법도 광섬유 접속의 신뢰성은 다소 떨어지지만 작업이 간편하고 고가의 추가적인 장비가 필요하지 않다는 이유로 그 활용도가 높아지고 있다. 하지만, 본 연구에서는 가장 일반적으로 사용되며 개발된 복합재료 나선형 스프링의 효과를 비교/분석하기 위해 융착 접속된 구조물에 관해서만 취급하였다. 일반적으로 광섬유심선의 접속은 광선이 지나는 양편 광섬유 심선의 코어 축이 일직선이 되도록 밀착시켜서 광학적으로 접속점이 없는 것처럼 해야 하며, 광섬유 심선의 코어 상호간을 축 맞춤하여 접속할 때 조건은 접속손실이 비교적 적어서 광 전송에 지장이 없어야 하며 접속 작업이 용이하여 누구든지 접속이 가능하여야 한다. 특히, 프레넬 반사량이 극히 적어서 광통신에 지장을 주지 않아야 하며 장기간에 걸쳐서 광학적 특성과 기계적인 강도가 그대로 유지되어야 한다.

융착 접속법은 광섬유의 축을 맞춘 후에 단면을 가열 융착하는 방법으로서 광섬유 단면을 열로 정형하게 융착 접속을 하는 예비 가열 융착법이 사용되는데 광섬유 단면의 일부분에만 한정되므로 광섬유의 구조가 변화하는 일이 거의 없어 안정적 방법으로 널리 이용되고 있다. 이러한 구조물의 경우 융착후 접속손실 정도가 적어야 하는데, 코어 직경이 50μm 정도로 굵은 다중모드 광섬유 경우에도 약 0.1dB의 접속손실로 매우 안정적인 방법이다.

광 심선을 접속하기 위해서 1차 코팅과 2차 코팅을 제거하면 광섬유 심선의 기계적인 강도가 약1/10 정도로 약화되는데 이와 같은 강도 저하를 보완하기 위해서 일반적으로 Fig. 2와 같은 구조를 갖는 열 수축 슬리브(sleeve)를 접속부에 보강재로 사용하며 이때 내부 튜브에는 열 용융 접착제가 채워지고 인장강도는 1.2~2.4kg이다. 이러한 방법은 작업이 간편하고 현장에서 철심형 슬리브와 히팅건(heating gun)만을 이용가능하며 높은 작업상의 기술이 필요치 않다는 장점이 있다[7].

그러나 이러한 구조물의 경우 항 장력제로 사용되는 철선에 의해 구조물의 인장 및 직 하중에 대한 효과를 보여주나 보강된 구조물 자체가 직 하중으로 인한 굽힘 후 복원이 되지않을 뿐 아니라 구조적으로 굽힘이 되지 않아 보강부위의 끝단이 취약한 부위로 노출된다. 더구나, 보강된 부분의 외부 노출을 막기위해 별도의 접속함체가 필요할 뿐 아니라 주변의 온도가 높아질 경우 높은 온도로 인해 철심이 가열되어 구조물의 안정성을 저하시킬 수 있는 구조적인 취약점을 지니고 있다.

3. 실험 및 방법

3.1 실험 시편 준비 및 제작

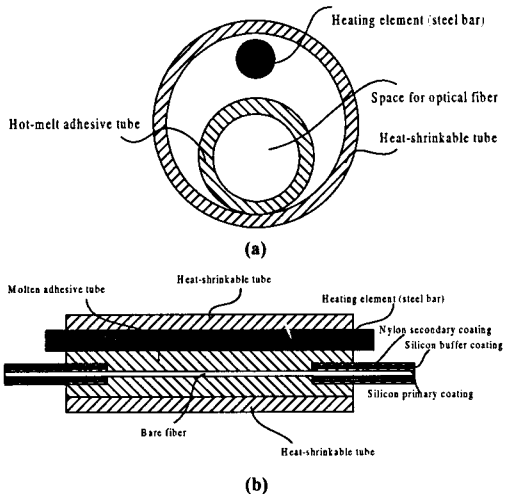


Fig. 2 (a) A cross-sectional view and (b) longitudinally sectional view of a reinforced unit formed by using the protective packaging assembly.

미세 직경 나선형 복합재료 스프링의 보강 효과를 관찰하기 위한 시험 시편이 제시되었다. 먼저 스프링 제작과 나선형 복합재료 스프링으로 보강된 광섬유 구조물이 제작되었다. 제작된 보강형 복합재료 스프링을 광섬유 및 광섬유 융착부위에 보강했을 때의 광원 손실률을 측정하기 위해 보강형 광섬유 시편을 제작하였다.

3.1.1 미소 직경 나선형 복합재료 스프링 제작

나선형 복합재료 스프링을 제작하기 위해 UD 형태의 카본 프리프레그가 이용되었다. 복합재료 스프링 제작을 위해 카본/에폭시 (USN 125 B, Skyflex, SK Chemical, Korea)가 이용되었다. 일정 간격(1.5mm)으로 프리프레그를 제단 후 일정한 힘으로 꼬아서 동일 직경을 갖는 얀 형태의 재료를 제작하였다. 이렇게 제작된 얀을 나선형태의 홈이 파인 주축(mandrel) 형태의 몰드에 일정한 장력을 가하며 감은 후 80℃에서 30분 120℃에서 60분 동안 열판에서 열을 가하여 3mm 직경을 갖는 미소 직경 복합재료 스프링을 제작하였다. 이때 스프링의 피치는 주축에 만들어 놓은 피치에 의해 결정지어진다.

3.1.2 스프링 보강형 실험 시편 제작

나선형 복합재료 스프링를 광섬유에 보강하였을 때의 효과를 관찰하기 위해 두가지 형태의 스프링 보강형 시편과 철심형 슬리브를 이용해 보강된 구조물들이 제작되어 실험이 수행되었다. 각각의 경우 절단 후 융착된 광섬유를 보강한 형태와 일반 광섬유를 보강한 형태로 제작되었다. 일반 광섬유의 경우 보강재의 안쪽을 튜브형 용융 접합재로 감싼 후 그 외곽에 나선형 복합재료 스프링과 열 수축

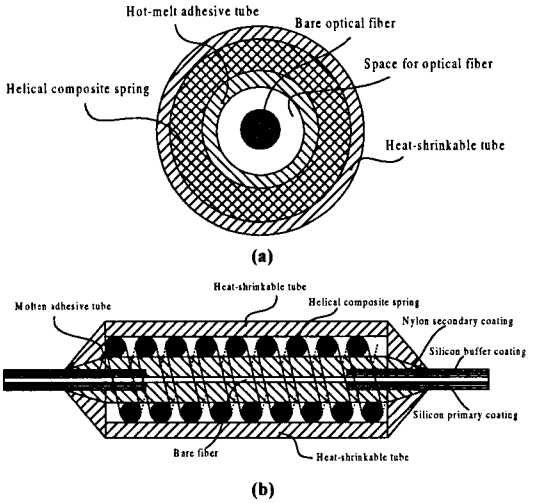


Fig. 3 (a) A cross-sectional view and (b) longitudinally sectional view of a protective packaging assembly reinforced using a helical composite spring.

튜브 (SUMITUBE, Sumitomo, JAPAN)로 각각 감쌌다. 이렇게 제작된 구조물을 광섬유의 한쪽 끝단에서 끼워 넣은 후 히팅건 (heating gun)으로 열을 가함으로써 용융접합 튜브와 열 수축 튜브에 의해 광섬유와 보강용 복합재료 스프링이 효과적으로 결합되도록 하였다. 이때 외부에서 가해지는 열에 의해 광섬유와 가장 근접해있는 열 융착 튜브가 녹아 광섬유 융착 부위를 고정시켜주는 역할을 하게되며, 외부의 열 수축 튜브는 스프링 보강형 슬리브내의 복합재료 스프링을 고정시켜주는 역할을 하게된다. 절단된 광섬유를 융착한 광섬유 보강의 경우 융착하기전에 한쪽에 보강재를 끼워 넣은 후 융착을 하고 보강재를 융착부위에 설치후 히팅건으로 열을 가하여 앞의 방법과 동일하게 융착부위가 보강되도록 하였다. Fig. 3은 미세 직경 복합재료 스프링 슬리브를 이용해 융착 부위가 보강된 시편의 형태를 보여주고 있다[8].

3.2 실험 방법

나선형 복합재료 스프링의 광섬유 보강 효과를 관찰하기 위한 실험이 수행되었다. 일반적인 광섬유의 경우 굽힘에 따라 광원의 손실이 발생함을 착안하여 광섬유, 일반 광점퍼코드(OJC) 및 보강형 광섬유의 굽힘에 의한 광손실을 측정하였다. 또한, 제작된 복합재료 스프링 보강형 슬리브가 보강된 광섬유 구조물과 일반 철심형 슬리브로 보강된 광섬유 구조물의 효과를 비교하기 위해 굽힘 실험이 수행되었다.

3.2.1 광섬유 굽힘 실험

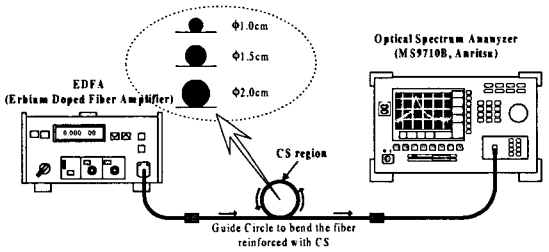


Fig. 4 Experimental setup for bending test of an optical fiber with a protective packaging assembly reinforced using a helical composite spring.

굽힘 실험은 광섬유 및 보강형 광섬유에 Fig. 4와 같은 다양한 직경의 굽힘 조건에서의 광 손실률을 측정하였다. Fig. 4는 굽힘 실험을 위한 장비 배치도이다. 광대역 광원 발생기(EDFA: Erbium Doped Fiber Amplifier)에서 발생한 광원(120 mA)으로부터 굽힘 정도를 달리하면서 광 스펙트럼 분석기(MS9710B, Anritsu, JAPAN)을 이용해 광원 손실률을 모니터링 하였다.

굽힘에 따른 광손실 정도를 확인하기 위해서 곡률 직경을 각각 1cm, 1.5cm 와 2cm로 유지시킨 상태에서 각 곡률 반경에서의 광손실률을 측정하였다.

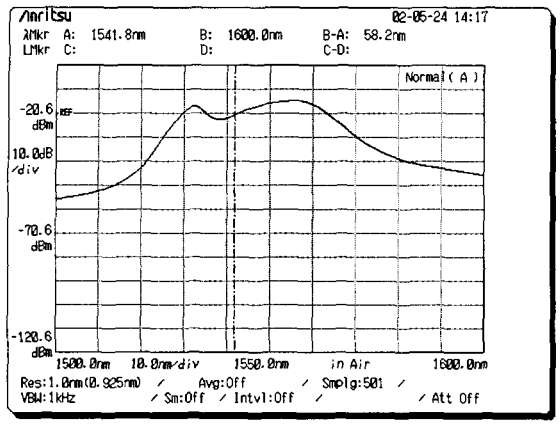
3.2.2 융착 접속된 광섬유 굽힘 실험

융착 접속된 광섬유의 굽힘 실험의 경우 절단된 광섬유의 한쪽에 보강재를 삽입한 후 절단된 섬유를 융착 접합기(fusion splicer)를 이용하여 접합하고 보강재료를 융착부위 중앙에 놓고 히팅건을 이용하여 보강한다. 이렇게 보강된 구조물을 Fig. 4에서와 동일한 실험 절차를 통해 실험을 수행하였다. 또한, 철심형 슬리브를 이용해 보강된 광섬유의 경우 철심형 슬리브의 굽힘은 복합재료 스프링 보강형 슬리브와 비교하여 동일한 굽힘직경을 갖도록 굽힘을 주어 실험을 수행하였다.

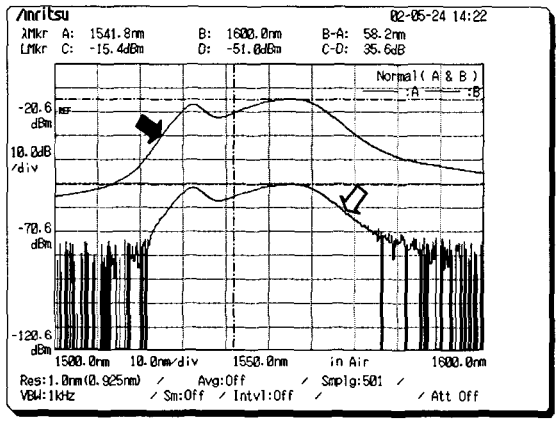
4. 결과 및 토론

본 장은 CS(Composite Spring) 슬리브가 보강된 광섬유의 굽힘 정도에 따른 보강 효과를 보여주고 있다. 광섬유의 굽힘 직경을 각각 1.0, 1.5, 그리고 2.0 cm로 놓은 상태에서 광손실과 굽힘압력을 제거하였을 때의 결과를 보여준다. 본 결과로부터 각 구조물별 굽힘에 대한 광손실률을 관찰할 수 있으며 이로부터 제작된 복합재료 스프링 보강형 구조물의 효과를 알 수 있다.

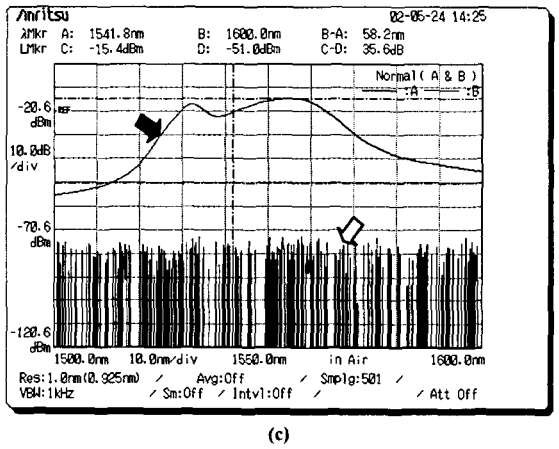
4.1 철심형 슬리브 보강 광섬유 융착 접착 부위의 굽힘에 대한 보강효과



(a)

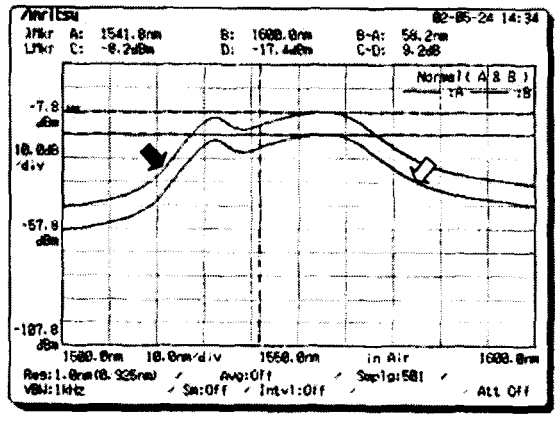


(b)

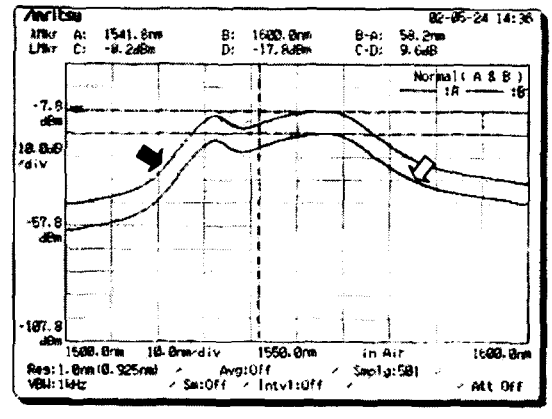


(c)

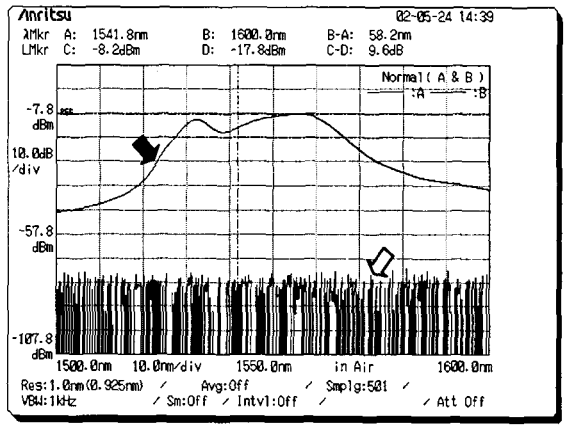
Fig. 5 Transmission spectra of the optical fiber with a steel-bar sleeve for various bending diagrams. (a) Original spectrum without bending, (b) a spectrum under the diameter 2.0 cm compared with original spectrum, and (c) a spectrum under the diameter 1.5 cm compared with original spectrum.



(a)



(b)



(c)

Fig. 6 Transmission spectra of the optical fiber with a CS sleeve for various bending diagrams. (a) Original spectrum and a spectrum under 2.0 cm, (b) original spectrum and a spectrum under 1.5 cm, and (c) original spectrum and a spectrum under 1.0 cm.

Fig. 5은 철심형 슬리브 보강 광섬유 융착 접착 부위의 굽힘에 대한 보강효과를 보여주고 있다. Fig. 5(a)는 광원의 파장대역이 1500nm~1600nm에서의 철심형 슬리브로 보강된 융착 부위의 광 스펙트럼으로 보강부위에 굽힘 하중이 전혀 가해지지 않았을 때의 광섬유 스펙트럼을 보여주고 있다. Fig. 5(b)와 (c)의 경우 철심형 슬리브가 보강된 융착 부위를 굽힘 직경이 각각 2.0cm와 1.5cm이 되도록 한 후 광섬유의 광 스펙트럼을 보여주고 있다. Fig. 5(b)에서 보강부위의 굽힘 직경을 2.0cm로 하였을 경우 기본 스펙트럼(➡)에 비해 35dB정도의 광 손실을 보여줌을 알 수 있었다(⇨). 또한, 1500nm~1525nm영역과 1575nm~1600nm영역에서 광손실로 인해 잡음 레벨로 떨어지는 것을 확인할 수 있었다. Fig. 5(c)는 보강부위의 굽힘 직경을 1.5cm로 하였을 경우 융착부위는 파단되며 완전한 광손실이 이루어지며 굽힘을 제거후에도 광손실의 복원이 이루어지지 않음을 알 수 있었다.

4.2 복합재료 스프링 슬리브 보강 광섬유 융착 접착 부위의 굽힘에 대한 보강효과

Fig. 6은 복합재료 스프링(CS) 슬리브 보강 광섬유 융착 접착 부위의 굽힘에 대한 보강 효과를 보여주고 있다. Fig. 6(a)는 복합재료 스프링 슬리브로 보강된 융착 부위를 굽힘 직경이 2.0cm인 경우(➡)의 광 스펙트럼을 굽힘이 없는 경우(⇨)와 비교한 결과를 보여주고 있다. 철심형 슬리브가 보강된 경우에 비해 적은 약 9.2 dB정도의 광 손실을 보여주며, 잡음이 생기지 않음을 알 수 있다. Fig. 6(b)는 굽힘 직경이 1.5cm인 경우의 광 스펙트럼 결과를 보여주고 있다. 철심형 스펙트럼의 경우와 달리 굽힘 직경이 2cm인 경우에 비해 광 손실이 거의 발생하지 않음을 알 수 있다. 이는 굽힘이 일어난후에 가해지는 추가적인 작은 굽힘에 대해서는 복합재료 스프링 슬리브 구조물이 내부의 광섬유에 직접적으로 하중이 가해지는 것을 막아주는 효과를 갖기 때문이다. Fig. 6(c)는 굽힘 직경을 1cm로 하였을 때의 광 스펙트럼을 보여주고 있다. 과도한 굽힘으로 인하여 광원이 차단되어 광 스펙트럼이 통과하지 않음을 의미하는 광 스펙트럼을 보여주고 있다. 또한, 철심형 슬리브와는 달리 굽힘 하중을 제거할 경우에는 원래의 광 스펙트럼을 보여주었다. Table 1은 각각의 슬리브 보강에 따른 광원을 비교하여 제시하였다.

4.3 광섬유 굽힘에 대한 보강효과

Fig. 7는 CS(composite spring) 구조물에 의해 보강된 일반적인 광섬유의 굽힘에 대한 보강 효과를 보여주고 있다. CS에 의해 보강된 광섬유의 경우 극단적인 굽힘(광원의 전달이 완전히 차단된 경우) 후에 굽힘력을 제거할 경우 동일 파장내(1531nm~1561nm)에서 굽힘을 받지 않았을 때

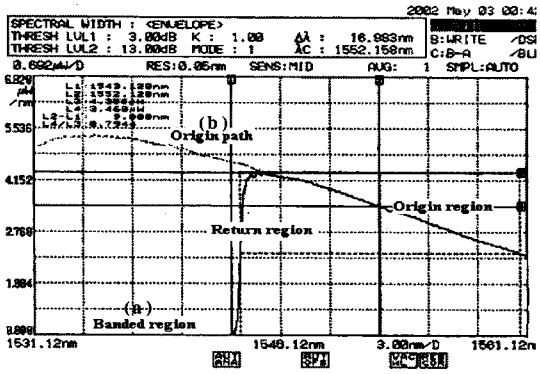


Fig. 7 Transmission spectrum of optical fiber with a composite spring protective packaging assembly. (a) Banded region with a load, and (b) origin patch without a load.

Table 1 Transmission spectra results between SB sleeve and CS sleeve reinforced optical fiber under the bending

Bending Diameter	SB Sleeve		CS Sleeve	
No bending	-15.4 dBm	OS	-8.2 dBm	OS
2.0 cm	-51.0 dBm	↓35.6	-17.4 dBm	↓9.2
1.5 cm	NS	NS	-17.8 dBm	↓9.6
1.0 cm	NS	NS	NS	NS
Return	KB	NS	RO	OS

SB: Steel Bar type, CS: Composite Spring type
NS: No source, OS: Origin source
KB: Keep broken, RO: Return origin

의 원래 상태로 돌아감을 알 수 있다. 이로부터 CS가 보강된 광섬유의 경우 극단적인 굽힘하에서도 광섬유에 직접적으로 하중이 가해지지 않아 광섬유의 절단을 방지할 뿐 아니라 구조물의 굽힘에 대한 복원력을 높여주는 효과가 있음을 알 수 있다.

Fig. 7를 통하여 복원된 보강형 구조물의 광 스펙트럼은 초기 광 스펙트럼과 동일하게 보여줌을 알 수 있었다. 이로부터 복합재료 스프링 보강형 구조물의 경우 과도한 굽힘으로 인한 광섬유에서의 완전 광원 손실 후에도 보강구조물 내의 광섬유에 많은 기계적 영향을 끼치지 않음을 알 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 카본/에폭시를 이용하여 제작된 미세 직경의 나선형 복합재료 스프링으로 구성된 광섬유 융착부위

보호용 슬리브에 관한 것으로 제작된 슬리브로 보강된 광섬유의 광손실을 기존의 철심형 슬리브로 보강된 광섬유의 광손실과 비교하여 측정하였다. 연구 결과 복합재료 스프링으로 제작된 슬리브의 경우 철심형 슬리브와 달리 굽힘에 대한 복원력이 높아, 커다란 굽힘 변형에 의하여, 광섬유에서의 광손실이 매우 크게 된 경우에도, 굽힘력을 제거할 경우 원래의 광원으로 복원되어 유지됨을 알 수 있었다. 또한, 복합재료 스프링 슬리브로 보강된 광섬유의 경우 초기 굽힘 지름(2cm)에서의 광손실이, 굽힘이 없는 경우에 비해 9.2 dBm 손실 차이를 보이나 철심형 슬리브의 경우 동일 직경으로의 굽힘시 35.6 dBm으로 매우 높은 광손실을 보여, 복합재료 스프링 슬리브가 훨씬 더 보강효과가 뛰어남을 알 수 있었다. 이는 보강된 나선형 스프링 구조물이 철심형 슬리브의 경우와 달리 광섬유에 직접적으로 하중이 전해지는 것을 막아주기 때문이다.

후 기

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

참고문헌

1) J.Hecht, *Understanding Fiber Optics*, 3rd Edition, Prentice-Hall, Inc., 1999, pp. 271-284.
2) 손병태, 이용우, 박종관, 임재근, 김승목, 김용로, *광 통신 공학*, 광문각, 2000.
3) J.Crisp, *Introduction to Fiber Optics*, Newnes, 1996, pp. 93-109.
4) J.Hayes, *Fiber Optic Technician's Manual*, Delmar publishers, 1996, pp. 95.
5) C.Tsao, *Optical Fibre Waveguide Analysis*, Oxford University Press, 1992, pp. 43-82.
6) A.W.Snyder and J.D.Love, *Optical Waveguide Theory*, Chapman and Hall, 1983, pp. 179-188.
7) N.Murata, M.Hoshino, S.Yamakawa, "Protective Packaging Assembly and Method," US Patent 4, 509, 820, 1985.
8) 윤영기, 정승환, 이우일, 이병호, 윤희석, "스프링 구조물을 이용한 광섬유 보호용 패키지," 특허출원 2002-36494, 2002.