

광섬유 격자 기술 연구 현황

과학기술부 지정

기능성 광섬유 격자소자 기술연구 Research on Functional Fiber Bragg Grating Technology

이상배
한국과학기술연구원 광기술연구센터
sblee@kist.re.kr

연구배경

지난 10 여년간 광섬유 격자에 대한 연구가 활발히 진행되어왔다. 이는 새로운 광섬유 소자인 광섬유 격자를 형성하는 실리카 유리의 광민감성 현상 규명이 과학적으로 흥미 있을 뿐만 아니라, 센서 및 파장 분할 광통신에의 응용 가치가 높기 때문이다. 현재 다양한 파장의 레이저를 이용하여 광섬유 격자를 형성시키는 방법이 제시되고 있으며, 여러 가지 이론과 침단의 실험을 통하여 광민감성 현상들이 조금씩 이해되기 시작하였다. 광섬유 격자는 응용성에 있어서도 많은 진보가 이루어져서 센서, 통신등 각 분야에서 응용이 가능한 정도까지 발전되었다.

최초의 광섬유 격자소자인 Hill 격자는 1978년, Hill 등이 488 nm 파장의 단일모드 Ar⁺ 레이저를 Ge가 첨가된 광섬유 코어 내로 입사시켰을 때 브래그 격자가 광섬유 내에 형성됨을 최초로 관측하였다(1). 이 이후 연구의 진전이 별로 없다가 1989년 Meltz 등은 실리카 유리의 GeO defect 흡수 대역에 해당하는 244 nm 파장의 코히런트한 UV 빛을 이용하여 광섬유의 코어 위에 간섭 무늬를 형성시켜 길이가 4.4 mm, 576 nm 에서 반사율이 55 % 인 광섬유 격자를 제작하였다(2). 이후 1990년 영국 BT의 Kashyap 등은 광통신 파장 대역인 1300 nm 와 1500 nm 에서의 광섬유 격자를 형성시켰으며(3), 1993년 Hill 등(4)과 Anderson 등은 위상 마스크를 이용하여 격자를 새기는 새로운 방법을 동시에 발표하였다(5). 위상 마스크는 일종의 회절 광학 소자(Diffractive Optical Element)로서, 격자 형성용 UV 빛을 통과시켜 공간에 따른 위상차를 유도하여 UV 빛의 간섭무늬를 광섬유 코어 내에 형성시키도록 한 간섭형 마스크이다. 홀로그래픽 방법과 비교할 때 위상 마스크를 사용하는 방법은 격자 형성용 UV 빛의 가간섭성 길이에 관계없이 광섬유 격자를 만들 수 있으므로 저가의 UV 레이저를 사용할 수 있고, 단순히 하나의 광학 소자를 사용하므로 시스템이 훨씬 간단해지며, 보다 안정적으로 광섬유 격자를 만들 수 있기 때문에 광섬유 격자를 대량으로 제작할 수 있다는 장점이 있다. 그러나 이러한 제작기술로 말미암아 광섬유 격자의 광 투과 profile의 조절은 매우 제한되고 있다.

본 연구실에서는 디지털 필터 설계기술을 광섬유 격자 설계에 도입하여, 장, 단주기 광섬유 격자의 주기를 submicron 영역까지 조절하거나 굴절률 변화량을 미세 조절함으로써 원하는 profile의 장, 단주기 광섬유 격자를 제작하는 기술을 개발하고, 광섬유 격자 제작에 필요한 제반의 기반기술을 확보할 예정이며, 이러한 기술을 이용하여 EDFA, 파장다중 통신용 ADM, OXC와 고정밀 광섬유 격자 센서, 포토닉 A/D 변환기 등의 개발에 활용할 예정이다.

연구내용

(1) EDFA용 비균일 장주기 광섬유 격자 설계[6]

장주기 광섬유 격자란 한 주기가 약 300-800 μm 로써 광투과 선폴은 수십 nm에 이르는 광섬유 격자를 말한다. 일반 광섬유 격자는 코어로 입사된 기본모드가 격자에 의해 브래그 조건에 해당하는 파장만을 반대 방향의 코어 모드로 커플링 시키는 반면, 장주기 광섬유 격자는 진행하는 기본모드의 빛을 특정 파장의 진행 방향의 클래딩 모드와 커플링시켜 감쇄시키는 원리를 이용한 것이다. 그러므로 광섬유 격자의 주기를 적절하게 설계하면 원하는 파장에서 모드 커플링이 일어나게 할 수 있다. 그러나 장주기 광섬유 격자를 이용한 이득 평탄화에 있어서, 장주기 격자의 스펙트럼은 중심 파장에 대하여 대칭을 이룸으로 현재 개발된 이득 평탄화 필터는 성능에 있어서 한계를 갖는다. 이러한 한계를 극복하고자, 새로운 비균일 장주기 격자를 설계하여 이득 평탄화 필터로 개발하고자 하였다.

장주기 광섬유 격자는 넓은 대역폭과 클래딩 모드의 손실 특성으로 인해 EDFA (Er-doped fiber amplifier)의 이득 평탄화를 위한 필터로서 사용되어 왔다. 그러나 장주기 격자의 스펙트럼은 중심 파장에 대칭적이고, 손실 피크가 EDFA의 이득 스펙트럼과는 달라서 엄밀하게 정확한 이득 평탄화를 위한 필터를 얻기가 힘들다. 이를 해결하는 방법으로 제안된 것 중 하나가 다수의 장주기 격자를 사용한 것인데 이것은 부피가 크며 복잡하고 어렵다는 단점을 갖고 있다[7]. 그러므로 장주기 격자를 제작하는 과정에서 임의의 스펙트럼을 원하는 모양으로 설계하는 방법이 필요하게 되는데, 본 연구실에서는 광섬유 길이 방향에 따라 임의의 굴절률의 변화나 주기의 변화를 주게되면 비대칭형의 광손실 특성을 갖는 장주기 광섬유 격자를 제작할 수 있음을 알았다. 그러므로 장주기 광섬유 격자의 임의의 굴절률의 변화나 주기의 변화를 transfer matrix 방법으로 해석하여, 주어진 비대칭형 프로파일을 구현 가능한 광섬유 격자를 설계하였으며 그 결과는 그림 1과 같다[8].

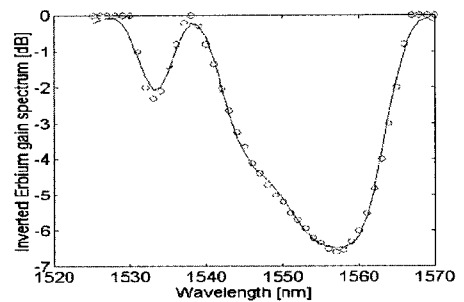


그림 1. 설계된 비균일 장주기 격자 (실선: 비대칭 손실 특성곡선, 원: 비대칭 장주기 광섬유 설계치)

(2) 분산보상용 chirped 광섬유 격자

Chirped 광섬유 격자는 단주기 광섬유 격자의 주기가 점차적으로 변화하는 광섬유 격자 소자이다. 이러한 광섬유 격자는 입사되는 광원의 파장에 따라 시간차가 생기게 되므로, 통신용 광섬유 선로를 따라 진행되는 광원이 광선로의 분산특성에 의해 분산되었을 때 광분산을 보상할 수 있어 초고속 광통신이 가능하다. 이러한 chirped 광섬유 격자는 크기가 작고 광신호의 비선형 현상을 일으키지 않는 등 분산 보상 광섬유 (DCF-dispersion compensated fiber)에 비해 여러 장점을 지니고 있어 새로운 광신호 분산 보상용 소자로서 전 세계적으로 활발히 연구 되고 있다.

본 연구실에서는 대역폭이 3nm 이며 분산이 약 300ps/km.nm 인 chirped 광섬유 격자를 개발하였으며, 현재 WDM 광통신을 위한 다수의 채널을 수용할 수 있는 chirped 광섬유 격자 기술을 개발 중이다. 분산 보상을 위한 광섬유 격자는 광섬유 선로의 시작점과 끝지점의 전체적인 분산값도 중요하지만, 광섬유 선로 길이에 따른 분산 기울기가 기존 선로의 분산값을 보상하는 방향으로 진행되는지도 매우 중요한 고려 요소이다. 그러므로 현재 분산 값뿐만 아니라 분산 기울기도 동시에 보상할 수 있는 광섬유 격자를 개발하기 위해 노력하고 있다.

(3) 칩 광섬유격자를 이용한 네 채널용 양방향성 광 분기/결합장치

최근 광섬유 통신시스템은 파장 분할 다중화 전송이 주종을 이루며, 이러한 통신에 필요한 새로운 광소자의 개발이 활발하게 진행되고 있다. 본 연구실에서는 4 포트 서큘레이터 두 개와 4개의 동일한 칩 브래그 격자를 이용하여 대칭형태로 구성하여 분기되는 신호를 마음대로 조절할 수 있고, 분기되는 포트와 결합되는 포트를 광 스위치를 이용하여 선택할 수 있는 새로운 구조의 광분기/결합 장치를 제안하고 실험적으로 보였다. 이러한 광 분기/결합장치는 광섬유 격자를 기반으로 한 파장 다중화용 소자이므로, 삽입손실이 작고, 적은 편광 의존도를 갖는데, 채널 분리가 매우 정확하고 채널 크로스토크는 출력포트에서 -32dB 이하로 측정되었다. 한편, 광섬유 격자와 polarization beam-splitter를 이용한 다파장 광 크로스 커넥터를 제안하고 실험적으로 보였다(9).

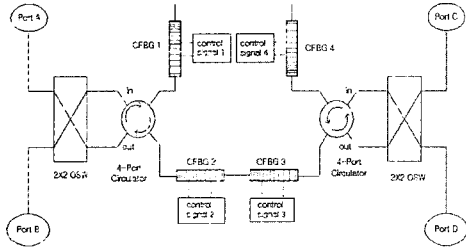


그림 2. 네 채널용 광 분기/결합장치의 구성도

(4) 광섬유 DFB 레이저의 제작 및 응용연구

단일 주파수의 출력을 갖는 파장 가변 광섬유 DFB 레이저는 최근 고용량의 파장분할다중 네트워크와 광섬유 센서 분야에서 많은 관심을 끌고 있다. 광섬유 DFB 레이저는 크기가 작고 좁은 선폭을 가지며 파장 가변이 용이하고 광섬유에 직접 제작을 할 수 있는 장점을 가지고 있어 시스템에의 응용을 위한 광섬유 DFB 레이저 연구를 계속 수행하고 있다. 본 연구실에서는 어븀 첨가 광섬유 격자의 중앙 부분에 위상 천이를 주어 광섬유 DFB 레이저를 제작하였으며, 제작된 레이저의 출력은 230mW 이고, self heterodyne 방식으로 측정된 광섬유 DFB 레이저의 선폭은 35KHz 이었다(10). 한편, 제작된 광섬유 레이저의 출력파장은 압전소자 등을 이용하여 가변을 하였으며, 이러한 광섬유 DFB 레이저는 분산의 영향을 덜 받으며 WDM 시스템에서 원활한 적용이 기대되는 소자이다.

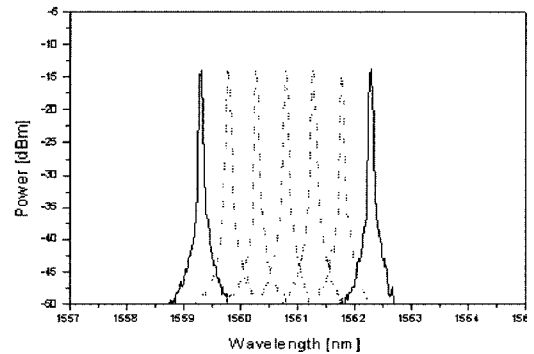


그림 3. 인가된 스트레인에 의한 출력 스펙트럼의 변화

(5) 광섬유 격자 센서 시스템을 이용한 콘크리트 시험 보에의 하중 전이 측정

광섬유 센서는 전자기 간섭에 영향을 받지 않고 감도가 높으며, 소형, 경량이므로 보통의 센서가 사용될 수 없는 위험한 장소나 고감도를 요하는 특수목적에 효과적으로 사용될 수 있다. 이러한 일반적 광섬유 센서는 광섬유를 통과하는 빛의 진폭, 위상, 혹은 편광 등을 이용하여 측정하고자하는 물리량의 변화 즉, 전자기장의 세기, 회전을,

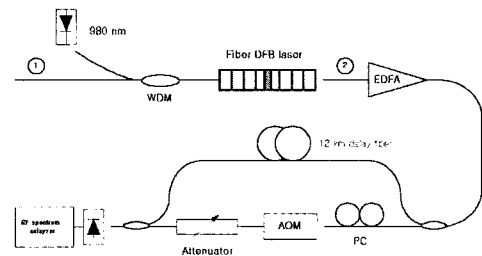


그림 4. Self-heterodyne 방법에 의한 선폭 측정 실험구성도

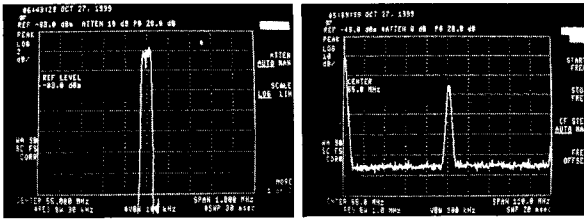


그림 5. 측정된 광섬유 DFB Laser의 선폭

온도, 압력, 수위, 음향, 가스농도 등을 측정할 수 있으므로 이에 대한 기초 및 응용 연구가 1970년대 후반부터 이루어져왔다. 그러나 고전적인 광섬유 센서의 문제는 대체적으로 신호대 잡음 지수가 낮으며, 특정 지점을 측정하기 위해서는 광섬유를 절단하여 코팅한다든지 기타 특수 처리된 광섬유 센서를 사용해야하는 문제가 있었다.

그러나, 광섬유 격자센서는 광섬유 코어 자체에 격자가 형성되어 있고 외부의 온도나 스트레인 변화에 따라 격자의 광 투과 peak의 파장이 변하므로 훌륭한 센서 소자로 활용되고 있다. 광섬유 격자소자

센서는 광섬유의 강도를 저하시키지 않고 1% strain에 의해 12 nm 영역에 걸친 Bragg 파장의 가변이 이루어질 수 있으며, 압축력에 의해 약 32 nm의 파장 가변이 이루어지며, 또한 100°C 정도의 주위 온도 변화로 1.1 nm의 파장 가변이 가능하며 이러한 파장의 이동은 다양한 demodulator로 관찰할 수 있다. 또한 다중점 (multi-point) 센서로의 확장이 용의하며 이를 이용하면 교량 및 건축물의 사전 감시 시스템을 구성할 수 있고, 또한 복합 구조물에 대한 진단이나 음향센서 어레이로서 적용될 수 있다.

본 연구실에서는 광섬유 격자 소자를 이용한 동적 센서 시스템을 제작하였으며, 이를 콘크리트 시험 보에 적용하여 콘크리트 시험 보가 받는 스트레인의 변화량을 실시간 측정하였다[11]. 광섬유 격자를 이용한 센서시스템의 콘크리트 시험 보에의 적용은 콘크리트에 매립하여 사용하는 센서가 별로 없는데, 광섬유 격자 센서를 매립하여 측정하였다는 데에 의의가 있으며, 하부구조에 균열이 발생하였을 때 중립 축이 상부로 이동함을 측정하였다.

(6) 온도에 무관한 광섬유 격자 센서를 이용한 남해대교의 현장 재하 실험

광섬유 격자를 이용한 스트레인 측정에서 브래그 파장은 온도와 스트레인에 대하여 동시에 영향을 받기 때문에 광섬유 격자를 이용한 센서에 있어서 온도와 스트레인을 분리하고자 하는 연구가 계속 되어왔다. 본 연구실에서는 광섬유 코어의 지름이 다른 두 광섬유를 이용하여 온도와 스트레인을 분리하는 연구를 하였으며[12], 이러한 연구를 바탕으로 하여, 실험실에서 구축된 온도에 무관한 광섬유 격자 정적 센서 시스템[13]을 이용하여 현수교인 남해대교의 처짐 측정을 위한 하중 재하 실험을 수행하였다. 본 광섬유 격자 센서 시스템을 적용한 남해대교는 1973년 5월 현대건설에 의해 완공된 국내 최초의 현수교로서 두 개의 주탑에 의해 상판이 3부분으로 나누어져 있다. 교량의 상판은 강상판 주형이며, 두 주탑과 하동, 남해와 연결된 측정간은 각각 125m씩이며, 두 주탑 사이의 중앙 경간의 길이는 400m이다. 현재 현대 건설에 의해 위탁 관리되는 본 교량이 올해 주형보강을 완료하여 구조적 안전성이 보장되었고, 이의 확인을 위해 광섬유 격자 센서 시스템에 의한 처짐 측정을 수행하였으며 레이저에 의한 처짐 측정도 동시에 수행하게 되었다. 센서 시스템의 성능은 파장가변 필터의 주사속도와 선폭 분해능에 의해 좌우되며 수일간의 안정성 실험을 수행한 결과 최대 $\pm 2\mu\epsilon$ 의 우수한 분해능을 얻을 수 있었다. 차량 재하 실험결과 50톤의 하중을 교량 정중앙에 재하하였



그림 6. 광섬유 격자 센서가 설치된 콘크리트 시험 보에서의 하중을 인가한 실험

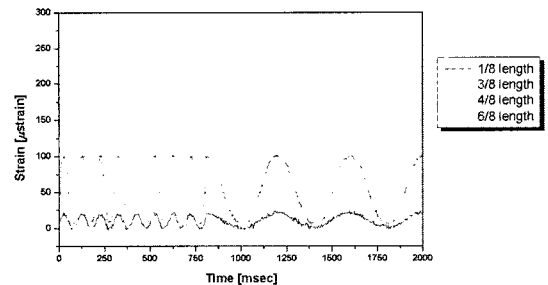
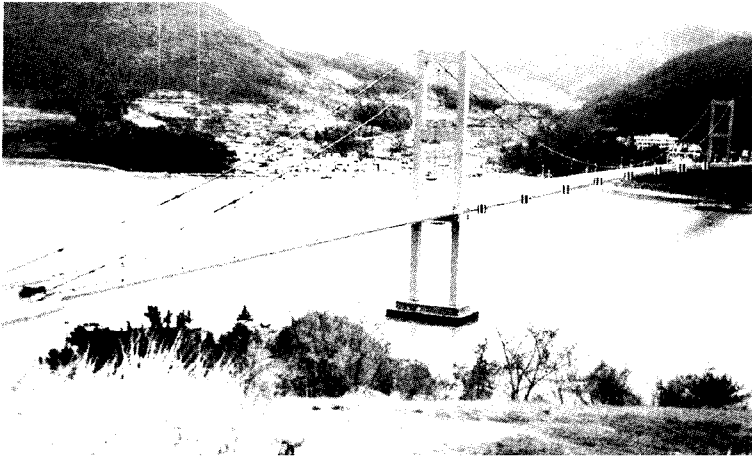


그림 7. 콘크리트 시험 보에 Sine 형태의 동적 스트레인이 10 Hz에서 2.5 Hz로 변화하면서 인가되었을 때의 측정결과



을때, 최대 측정 스트레인은 $118\mu\epsilon$ 이었고, 교량 해석 모델을 적용하였을때 교량 중앙부의 처짐은 약 35cm 정도가 되었다. 본 실험결과는 1997년 측정된 계측치보다 작은 값이 측정된 것으로 보아 올해 완료된 주형보강 공사를 수행한 후 교량의 안전성이 더욱 증대된 것으로 판단되었고 광섬유 격자 센서 시스템을 이용한 교량의 적용이 성공적임을 알 수 있었다.

(7) 기초공사용 말뚝의 하중 측정

본 실험실에서는 고려대학교의 토목환경공학과 이우진 교수와 공동으로 기초공사용 콘크리트 말뚝의 재하 하중을 측정하였다[14]. 본 연구의 목적은 아직 시도되어 본 적이 없는 기초공사용 콘크리트 말뚝에 광섬유 격자 센서를 적용함으로써 지반공학 분야에서 구조물의 합리적인 설계나 건설 후의 지속적인 관리를 위한 계측 시스템의 구축타당성을 검증할 필요성 때문이다. 광섬유 격자 센서는 다중점 측정이 가능하며, 장기적인 측정에 유리하므로, 스트레인 게이지와 광섬유 격자 센서를 말뚝 제작시 동일하게 매립하여 말뚝이 받는 하중에 대한 스트레인에 변화량을 비교하여 인가하중에 따른 하중

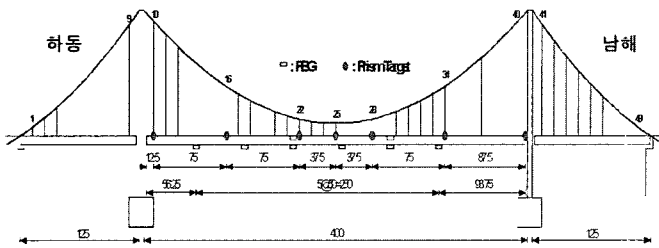


그림 8. 남해대교 전경 및 광섬유 격자 센서가 부착 위치

전이를 측정, 해석하였다. 실험결과 두 센서의 전체적인 경향성이 유사하나, 하중이 가해지지 않은 상태에서 광섬유 격자 센서가 보다 정확한 결과를 보여주었고, 매설시 광섬유 격자 센서의 생존력이 더 우수하였으며, 계측치 자체의 경향도 스트레인 게이지에 비해 일정한 것으로 판단되었다. 이와 같은 연구 결과를 바탕으로 지반공학 분야 등에서 광섬유 격자 센서를 적용하고자 하는 노력들이 진행되고 있다.



그림 9. 남해대교 계측을 위한 연구실의 팀원 및 남해대교 관리소의 현대건설 관계자들



그림 10. 남해대교 내부에 광섬유 격자 센서를 부착하고 있는 모습

맺음말

새롭게 개발되는 광섬유 격자 소자 기술은 파장 다중 광통신의 핵심 소자 기술이자 고 신뢰성을 지닌 광 센서 소자로써 교량, 초고층건물, 댐, 터널 등 대형구조물의 계측 및 모니터링 시스템을 통해 구조물의 손상 및 이상여부를 실시간 파악할 수 있게 해준다. 그러므로 광섬유 격자 소자 기술은 국가 기반 대형구조물의 유지관리에 중요한 자료를 제공하여 사회 기반 시설물의 붕괴 방지, 적절한 유지, 보수의 시기를 결정함으로써 막대한 사회 간접 자본 손실을 미연에 방지할 수 있다. 또한 새로운 기술로 개발된 기능성 광섬유 격자를 이용하여 파장 분할 광통신의 파장 분기 결합기, cross connector, 광분산 보상 소자 등과 같은 핵심 소자의 기술을 고성능화 함으로써 차세대 통신의 국제 경쟁력을 사전에 확보할 수 있을 것이다.

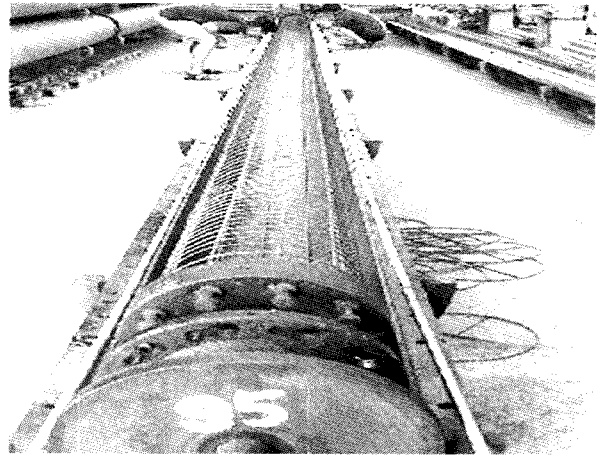


그림 11. 말뚝 제작시 광섬유 격자 센서와 스테인 케이지를 설치 장면

참고문헌

- (1) K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, Photosensitivity in optical fiber waveguides: Application to reflection filter fabrication, *Appl. Phys. Lett.* 32, 647 (1978)
- (2) G. Meltz, W. W. Morey, and W. H. Glenn, Formation of Bragg gratings in optical fibers by a transverse holographic method, *Opt. Lett.* 14, 823 (1989)
- (3) K. O. Hill, B. Malo, F. Bilodeau, D. C. Johnson, and J. Albert, Bragg gratings fabricated in monomode photosensitive optical fiber by UV exposure through a phase mask, *Appl. Phys. Lett.* 62, 1035 (1993)
- (4) D. Z. Anderson, V. Mizrahi, T. Erdogan, and A. E. White, Production of in fiber gratings using a diffractive optical element, *Electron. Lett.* 29, 566 (1993)
- (5) D. K. Lam and B. K. Garside, Characterization of single-mode optical fiber filters, *Appl. Opt.* 20, 440 (1981)
- (6) Bae, Joohwan Chuun, Sang Bae Lee, "Analysis of the Fiber Bragg Gratings using the Lattice Filter Model," *Japanese Journal of Applied Physics*, Vol.39, No.4A, pp.1752-1756, 1999.
- (7) A. M. Vengsarkar, J. R. Pedrazzani, J. B. Judkins, and P. J. Lemaire, "Long-period Fiber-grating-based Gain Equalizers," *Optics Letters*, Vol.21(5), pp.336-338, Mar. 1996.
- (8) J. Bae, J. Chun, and S. B. Lee, "Equalization of Erbium gain spectrum using the multiport Lattice Filter", *Fiber & Integrated Optics*, to be published.
- (9) Sekang Park, Jinwoo Park, Hong Yoon, Sangbae Lee, and Sangsam Choi, "Multiwavelength bidirectional optical cross connect using fiber Bragg gratings and polarization beam splitter," *IEEE Photonics Technology Letters* Vol.12, no.7, pp.888-890, July, 2000.
- (10) H. Yoon, K. M. Cho, S. B. Lee, S. H. Kim, and S. S. Choi, "Tunable fiber DFB laser using PZT-stretcher," *OECC 2000, chiba, Japan*, 14B4-5, pp.516-517, 2000.



그림 12. 광섬유 격자 센서가 내장된 말뚝을 중계동 아파트 공사장에 설치한 모습

[11] H. D. Ku, S. C. Kang, S. B. Lee, S. S. Choi, P. S. Kim, S. H. Song, N. S. Jo, and N. S. Kim, "Optical fiber grating sensor system using a tunable narrow bandpass filter demodulator," OECC 2000, chiba, Japan, 13B2-3, pp.376-377, 2000.

[12] Minho Song, Sang Bae Lee, Sang Sam Choi, and ByoungHo Lee, "Dynamic-strain measurement with dual-grating fiber sensor," Applied Optics, vol.37, No.16, June, 1998.

[13] 이상배, 김상혁 외 "FBG 센서 시스템을 이용한 남해대교의 현장 재하 실험," Photonics'2000, F2E21, pp.509-510, 2000.

[14] 이상배, "Fiber Grating Applications on Civil Structure," The first workshop on Fiber Bragg gratings & applications, 경상대학교, 2000.

한국 光산업을 이끌어 나갈 의욕적이고 사명감있는 인재를 모집공고합니다

1. 채용분야 및 자격

분 야	직 급	인원	지 원 자 격
광통신, 광정밀기기, 광원 및 광전소자, 광소재	책임급연구원 책임기술원	○명	· 박사학위 취득후 채용분야 5년이상의 연구경력을 가진 자 · 상기요건과 동등한 자격이 있다고 인정되는 자 ※ 관련분야의 산업체 근무경력자, 자격증 소지자, 외국어 능력 우수자 우대
	선임급연구원 원급 연구원	○명	· 해당분야의 박사학위 소지자 · 석사이상으로 해당분야의 정부출연연구소, 기관, 산업체 등에서 5년 이상의 경력을 가진 자 · 상기요건과 동등한 자격이 있다고 인정되는 자 ※ 관련분야의 자격증 소지자, 외국어능력 우수자 우대

2. 제출기한 : 연중 수시접수(2001년)

3. 전형방법

- ※ 제1차 : 서류전형
- ※ 제2차 : 면접전형(면접대상자는 개별통지)

4. 채용조건

- ※ 고용형태 : 계약제, 학력 경력 능력에 따른 연봉제
- ※ 최종합격자는 3년 이내 계약제 정규직으로 채용되며,
이후 근무 실적에 의한 평가에 따라 재임용 됨

5. 제출서류

- ※ 이력서(사진부착)
- ※ 자기소개서(경력 및 연구업적 포함)
- ※ 학위 및 성적증명서(학사 이상)
- ※ 경력증명서

- ※ 자격증 사본 및 외국어 능력 관련 증빙서류(해당자에 한함)
- ※ 연구실적 목록(국내외 학술지에 게재된 논문 또는 Proceeding, 연구보고서, 저서 등의 목록)
- 제목, 발표자, 발표년월일, 발표기관, 학술지명, 논문개요 등을 기술할 것

6. 제출처 및 문의처

광주광역시 광산구 월계동 864-6 한국광기술원 기획부

전화 : 062-973~9632

팩스 : 062-973~9638

E-mail : webmaster@kopti.re.kr

한국 광 기술 원 장