

論文2000-37SD-10-7

# 광섬유커플러에 격자가 새겨진 WDM용 add/drop 필터 (All fiber add/drop filter based on a grating written in fused fiber coupler for WDM applications)

趙峻庸\*, 李鍾勳\*, 李景植\*, 李泳卓\*, 全正佑\*\*, 鄭期太\*\*  
(Joon Yong Cho, Jong Hun Lee, Kyung Shik Lee, Yong Tark Lee, Jeong U Jeon, and Ki Tae Jeong)

## 요 약

본 논문에서는 용융-인장형 광섬유커플러 내부에 격자를 새겨 넣음으로써 광섬유커플러형 add/drop 필터를 구현해 보았다. 결합비가 99.8%인 광섬유커플러와 길이가 10mm인 광섬유격자로 구성된 add/drop 필터의 투과스펙트럼상의 최대 반사효율과 drop 효율은 각각 99%와 83%를 보여주었다.

## Abstract

An all fiber coupler-type add/drop filter has been fabricated by writing a Bragg grating in the coupling region of a fused fiber coupler. The fused fiber coupler with 99.8% coupling ratio and 74/m coupling coefficient was used for the add/drop filter. The add/drop filter shows 99% reflectivity and 83% drop efficiency at the operating wavelength of 1536.2nm.

## I. 서 론

최근 들어 광통신은 단일모드 광섬유를 통해서 대용량의 데이터를 동시에 전송시킬 수 있는 WDM (Wavelength Division Multiplexing) 광통신 방식이 가장 각광을 받고 있다. 이런 WDM 광통신 방식은 단일 광전송로에 다파장의 신호를 전송하기 때문에 특정 파장을 추가하거나 추출시킬 수 있는 필터의 필요성이 증가하고 있다. 이에 따라 광통신의 핵심소자 중에 하나이며 특정 파장을 반사시키는 특성을 지닌 반사형 광

섬유격자를 이용하는 여러 가지 형태의 add/drop 필터에 관한 연구가 한창 진행 중에 있다<sup>[1,2]</sup>. 지금까지 제안된 add/drop 필터는 대개 Mach-Zehnder 간섭계를 이용하는 것<sup>[3]</sup>, circulator를 이용한 것<sup>[4]</sup>, twin-core 광섬유를 이용하는 것<sup>[5,6]</sup> 그리고 광섬유격자 내장형 커플러를 이용하는 것<sup>[7,8]</sup>으로 크게 나눌 수 있는데, Mach-Zehnder 간섭계형인 경우는 add/drop 필터 구성이 간단하고 광섬유격자의 길이를 증가하여 반사율을 높음으로써 추가되는 신호와의 cross-talk를 줄일 수 있다는 장점이 있다. 하지만, 간섭계의 양쪽 경로에 동일한 특성의 광섬유격자를 제작해야만 하고 양쪽 경로간에 위상차이가 없도록 하기 위해서는 동일한 위치에 광섬유격자를 제작해야만 한다는 제작 상에 어려움이 있다. 또한, 간섭계형을 이용함으로써 필터특성이 주위환경에 민감하다는 단점도 지적되고 있다. 이런 문제점을 극복하기 위해서 제안된 circulator형인 경우, 광섬유격자 한 개만이 필요하기 때문에 좀더 쉽게 필터를 구현할 수 있으며, 광섬유격자에 신호를 인가하여 동작파장을 변화시킴으로써 쉽게 가변형 필터 구성도 가능하다는 장점이 있다. 그러나, circulator

\* 正會員, 成均館大學校 電氣電子 및 컴퓨터工學部  
(SungKyunKwan University)

\*\* 正會員, 韓國通信 加入者網 研究所  
(The school of Electrical and computer Engineering,)

※ 본 연구는 "1999년도 한국통신의 정보통신기초 연구사업"의 연구비지원으로 이루어졌음.

接受日字:2000年1月28日, 수정완료일:2000年9月19日

자체가 고가이고 삽입손실이 크다는 단점이 지적되고 있다. 이런 삽입손실의 문제점은 twin-core 광섬유형 add/drop 필터와 광섬유커플러형 add/drop 필터와 같은 광섬유 필터를 이용함으로써 쉽게 극복될 수 있다. twin-core 광섬유형 add/drop 필터의 경우, 동일한 클래드내에 2개의 코어로 구성되어 있어 두 코아의 입력단과 출력단 사이의 경로 길이는 동일하여 간섭계 구성시 경로길이를 일치시킬 수 있는 장점과 코아와 코아사이의 거리를 조절하여 긴 커플링 영역을 얻을 수 있고, 커플링 영역에서의 직경이 줄어드는 단점이 없어 강한 광섬유격자를 제작할 수 있다는 장점이 있다. 그러나, twin-core 광섬유의 사용으로 기존의 단일모드 광섬유의 접속이 어렵고 twin-core 광섬유 자체의 가격이 상당히 고가라는 단점이 지적되고 있다. 한편, 광섬유커플러형 add/drop 필터는 비교적 저렴하고 소형인 광섬유커플러를 이용함으로써 기존의 광섬유의 접속이 용이하고, 전체 시스템구성이 소형이고 시스템 가격이 저렴하다는 장점이 있다. 특히, 용융-인장형 광섬유커플러를 이용하여 add/drop 필터를 구성할 경우 add/drop 필터를 대량으로 생산할 수도 있을 것이다. 또한, twin-core 광섬유형 add/drop 필터와 마찬가지로, 광경로차에 영향을 받지 않아 주위환경 변화에 덜 민감하다는 장점도 지니고 있어 활용성이 증대되고 있다. 하지만, 용융형 광섬유커플러를 이용하여 add/drop 필터를 구현할 때, 적당한 광섬유격자를 제작하기가 어렵다는 점 때문에 현재까지 미국과 유럽에서 각각 한번씩 간단히 보고한 것 밖에 없으며, 제작에 대한 자세한 보고는 전혀 없는 실정이다.

본 논문에서는 소형이고 가격이 저렴하고 대량생산이 가능한 용융-인장형 광섬유커플러형 add/drop 필터의 제작 및 특성에 대해서 자세히 보고하고자 한다. 2장에서는 광섬유커플러형 add/drop 필터의 동작원리에 관해서 간단히 살펴볼 것이며, 3장에서는 광섬유커플러형 add/drop 필터의 제작과정과 그 특성에 대해서 살펴보도록 하겠다.

## II. 광섬유커플러형 add/drop 필터의 동작원리

광섬유격자가 내장된 광섬유커플러형 add/drop 필터의 제작에 앞서 그 동작원리에 대해서 간단히 살펴보면 다음과 같다. 그림 1은 대칭구조의 광섬유커플러형

add/drop 필터의 구조를 나타내고 있다. 광섬유커플러형 add/drop 필터의 구조는 동작특성에 따라서 크게 세 부분으로 나눌 수 있다.  $L_1$  영역과  $L_3$  영역은 커플러의 동작특성만을 갖는 영역으로 일반 커플러의 동작과 동일한 특성을 지니고 있는 영역이고,  $L_2$  영역은 특정파장만을 반사시키는 광섬유격자가 커플러에 존재하는 영역으로 커플러 특성과 광섬유격자 특성을 모두 지니고 있는 영역이다<sup>[9]</sup>. 입력단에 입사된 다 파장 신호는 일반 커플러 내에서와 마찬가지로  $L_1$  영역에서 광섬유격자가 존재하는  $L_2$  영역으로 전파되고  $L_2$  영역으로 입사된 다 파장의 신호 중 특정파장의 신호만이 광섬유격자에 의해 반사되며 특정파장 이외의 나머지 파장의 신호성분은 손실 없이  $L_3$  영역으로 진행하게 된다. 이때,  $L_2$  영역에서 반사된 특정파장의 신호는 다시  $L_1$  영역으로 역 방향 진행한 후 drop단을 통해서 추출된다. 광섬유격자의 영향을 받지 않은 다른 파장의 신호들은 output단을 통해서 출력되어 다음 노드로 전송된다. 이때, drop된 신호를 다음 노드에서도 사용할 수 있게 drop된 신호와 동일한 신호를 함께 보내 주는데 이것이 add의 기능이다. add의 원리는 drop의 원리와 동일하며 add단에서 더해진 신호는 drop되지 않은 다른 파장의 신호들과 함께 output단을 통해 다음 노드로 전송된다.

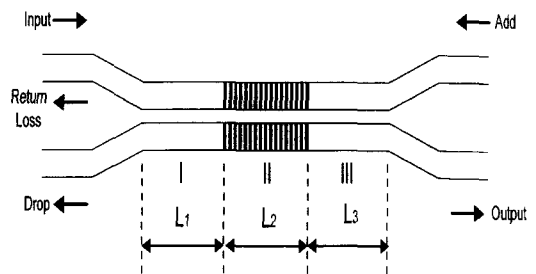


그림 1. 대칭형 광섬유커플러형 add/drop 필터의 구조  
Fig. 1. Schematic of a typical fiber-optic add/drop filter.

## III. 광섬유커플러형 add/drop 필터의 제작 및 특성 분석

광섬유커플러형 add/drop 필터 제작에 앞서 우선 필터구성에 필요한 100% 광섬유커플러의 제작에 관해서 살펴보도록 하겠다. 일반적으로 광섬유커플러형 add/drop 필터는 100% 광섬유커플러의 커플링 영역

중앙에 UV빔을 조사하여 광섬유격자를 가운데 제작함으로써 구현된다. 본 논문에서는 시스템 구성이 간단하고 저렴한 광섬유커플러형 add/drop 필터를 구성하기 위해서 용융-인장형 광섬유커플러 제작시스템(E-TEK사의 FCPW 2000 모델)을 사용하여 비교적 제작이 쉽고 동작이 안정적인 용융-인장형 광섬유커플러를 우선 제작하였다. 그림 2는 용융-인장형 광섬유커플러를 제작하는 과정을 나타내고 있다. 광섬유커플러를 제작할 때의 용융온도, 용융시간, 인장길이, 인장속도, 결합비 등은 모두 컴퓨터로 제어하였으며 광섬유 장착, 인장 장치는 두 개의 진공 장착 장치와 두 개의 기어-모터형 계단식 이동-인장 장치로 구성되어 있다. 토치의 온도는 수소의 양을 변화시킴으로써 제어하였다. 커플러 제작에 사용된 광섬유는 커플러의 매우 좁은 커플링영역에 강한 광감도를 얻기 위해서 Ge이 클래딩의 지름 50 $\mu\text{m}$ 까지 도핑된 matched cladding 광섬유를 사용하였고 이때, Ge이 도핑된 클래딩의 굴절률을 낮추기 위해 F이 사용되었다.<sup>[10]</sup>

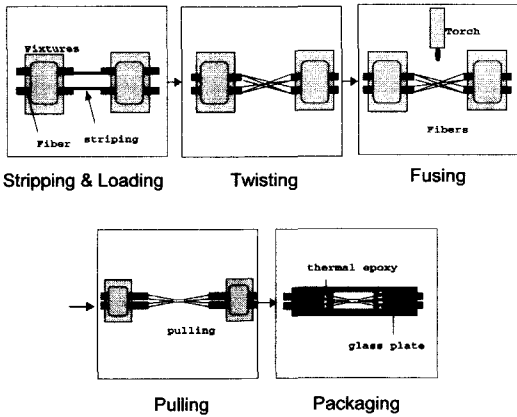


그림 2. 용융-인장형 광섬유커플러 제작 공정  
Fig. 2. Fabrication process of fused optical fiber coupler.

그림 3에서의 실선(-)과 점(·)들은 각각 파장 1550 nm에서 광섬유커플러를 제작할 때, 인장길이에 따른 커플러의 결합비를 결합모드이론에 근거한 예상치와 실험치들로 나타낸 그림이다. 그림 2와 같은 제작 과정을 거쳐서 최종적으로 본 실험에서 add/drop 필터 구현을 위해서 제작된 용융-인장형 광섬유커플러의 결합비는 99.8%이며 커플링 영역의 길이는 대략 20mm 이고, 결합계수는 74/m이다. 그림 4는 제작된 광섬유커플러에서 커플링영역의 가운데 부분을 광학현미경으

로 촬영한 사진으로 직경이 대략 20 $\mu\text{m}$ 인 것을 확인할 수 있었다. 그림에서도 알 수 있듯이 커플링 영역의 표면상태는 아주 좋으나 중심에서 멀어짐에 따라서 커플링 영역의 두께가 굵어지는 것을 알 수 있다.

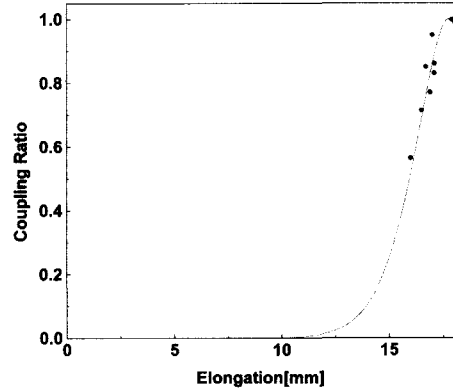


그림 3. 제작된 커플러의 인장길이에 따른 결합비 변화 (·=실험치, 실선=이론치)

Fig. 3. Coupling ratio changes of optical fiber coupler as a function of elongation length(·=experiment data, solid line=Expected data from coupled mode theory)

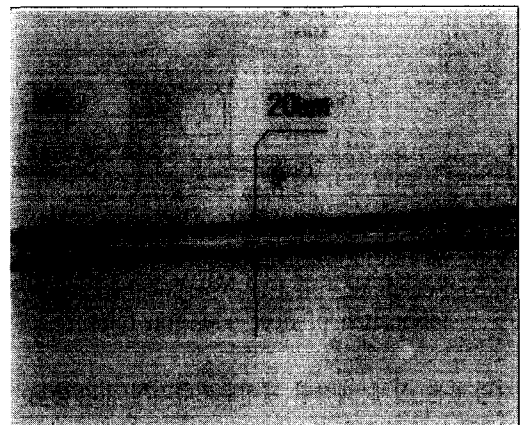


그림 4. 광섬유커플러 변환영역의 광학현미경 촬영  
Fig. 4. Microscope photograph of waist of the fused coupler.

다음은 제작된 용융-인장형 광섬유커플러를 이용하여 광섬유커플러형 add/drop필터를 제작하기 위한 실험장치에 관하여 살펴보도록 하겠다. 그림 5는 광섬유커플러형 add/drop필터의 제작 시스템을 나타내고 있다. 여기서, UV 광원은 중심파장이 248nm인 KrF 엑시머 레이저(LAMBDA Physik, COMPex 205)를 사용하였으며, 원통형 렌즈를 통해서 에너지 밀도를

높았다. 그리고, 사용된 광섬유커플러는 광감도를 높이기 위해서 상온 95atm의 조건으로 122시간동안 수소처리를 하였다. 또한, 격자주기가 1060nm이고 길이가 10mm인 유니폼 위상마스크를 이용하여 수소처리된 광섬유커플러의 커플링영역의 가운데 부분에 유니폼 광섬유격자를 제작함으로써 광섬유커플러형 add/drop 필터를 제작할 수 있었다. 이때, 광섬유격자의 제작조건으로 엑시머 레이저의 펄스반복율과 에너지밀도는 각각 20Hz와 359mJ/cm<sup>2</sup>로 하여 대략 3분 가량 조사하였다. 그리고, 광대역 광원인 LED와 분해능이 0.1nm인 OSA(Optical Spectrum Analyzer)를 사용하여 광섬유커플러형 add/drop 필터의 형성과정을 실시간에 측정하였다.

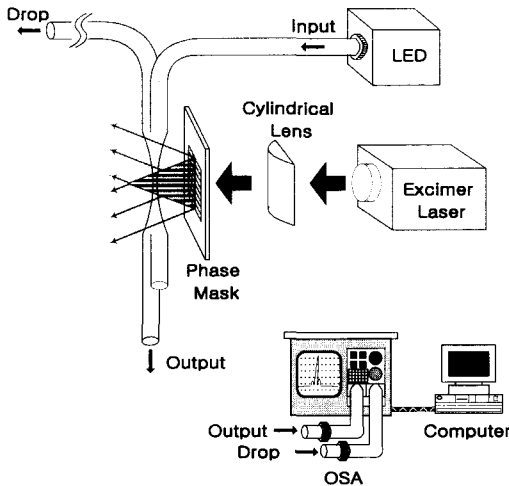


그림 5. 광섬유커플러형 add/drop 필터의 제작 시스템  
Fig. 5. Schematic of an experimental setup for fabrication of fiber add/drop filter.

그림 6은 실제 제작된 광섬유커플러형 add/drop 필터의 출력 스펙트럼 특성과 drop 스펙트럼 특성, 그리고 return loss 특성을 측정된 결과를 나타내고 있다. 이때, LED와 circulator 그리고 OSA를 이용하여 제작된 add/drop 필터의 각각의 출력특성을 측정하였다. 그림 6에서 알 수 있듯이, 제작된 add/drop 필터의 중심파장은 1536.2nm이었다. 출력단에서는 광섬유격자에 의해서 중심파장에서 대략 99%가 반사되었으며 drop 단에서는 83%가 추출되고 입력단으로 변환되는 return loss는 약 16%로 측정되었다. 즉, 커플러에 입사된 다파장의 신호중 파장이 1536.2nm인 신호만이 광섬유격자에 의해 99%가 반사되어 83%는 drop단에

의해 추출되었고 나머지 16%는 입력단으로 변환되었음을 알 수 있었다.

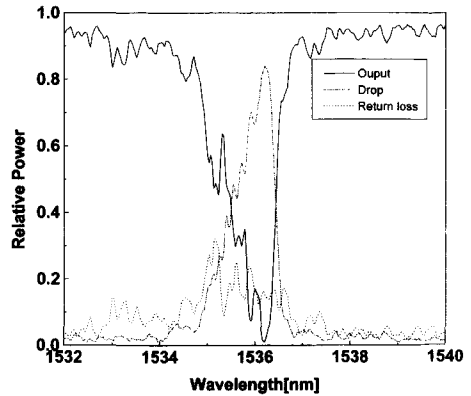


그림 6. 제작된 광섬유커플러형 add/drop 필터의 투과 스펙트럼, drop 스펙트럼, 및 return loss 특성  
Fig. 6. Experimental transmission, drop, and return loss spectra of a fiber-optic add/drop filter.

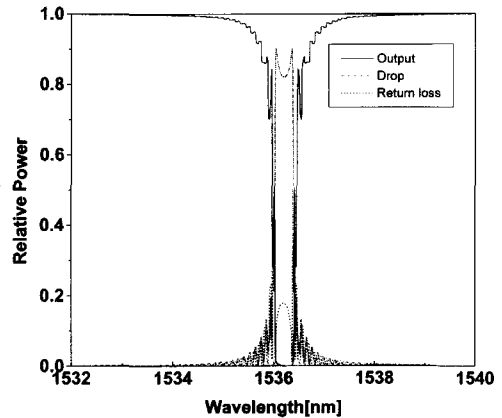


그림 7. 제작된 광섬유커플러형 add/drop 필터의 예상되는 투과 스펙트럼, drop 스펙트럼 및 return loss 특성(uniform 격자 가정)  
Fig. 7. Theoretical transmission, drop, and return loss spectra of a fiber-optic add/drop filter.

그림 7은 제작된 커플러형 add/drop 필터의 출력 특성을 결합모드이론에 근거하여 시뮬레이션해서 얻은 결과이다<sup>[9]</sup>. 그림 6과 그림 7을 비교함으로써 제작된 광섬유커플러형 add/drop 필터의 중심파장에서의 drop 효율, return loss의 크기 및 출력파워의 크기 등은 이론치와 거의 일치함을 알 수 있었다. 하지만 drop 단과 출력단 스펙트럼의 모양에서 실험치가 이론치에 비해 비대칭적인 이유는 시뮬레이션에서 가

정한 격자는 uniform 격자인데 비해서 격자 제작시 사용한 레이저 빔이 거의 Gaussian 빔이기 때문에 커플러에 제작된 실제 격자는 half-Gaussian apodization 된 격자이기 때문이다. 이 사실은 장파장 쪽에 잡음성분(ripple)이 제거된 것으로도 확인할 수 있다. 그리고 스펙트럼의 폭이 이론치에 비해서 상대적으로 넓은 것은 광섬유격자가 제작된 커플러 영역이 그림 4에서도 알 수 있듯이 테이퍼져 있음으로 인해서 광섬유격자의 유효굴절률이 격자 위치에 따라서 다르기 때문인 것으로 생각된다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 용융-인장형 광섬유커플러를 이용함으로써 소형이고 가격이 저렴하고 대량생산이 가능한 광섬유커플러형 add/drop 필터의 제작에 관하여 살펴 보았다. 용융-인장형 광섬유커플러는 굴절률 분포가 일반 광통신용 단일모드 광섬유와 동일한 특수 광섬유로 제작하였으며, 결합비와 커플링영역의 길이는 각각 99.8%와 대략 20mm이었다. 위상마스크 방법을 사용하여 커플링영역의 가운데 부근에 10mm인 유니폼 광섬유격자를 제작함으로써 광섬유커플러형 add/drop 필터를 구현하였다. 제작된 add/drop 필터의 중심파장은 1536.2nm이었고 출력단에서는 광섬유격자에 의해 99%가 반사되어 83% 이상이 drop단으로 추출되는 광섬유 add/drop 필터를 제작할 수 있었다. 앞으로, 커플러의 구조를 달리해줌으로써 return loss를 크게 줄여주고 drop 효율을 높여주려는 연구를 진행할 계획이다.

#### 참 고 문 헌

- [1] K. O. Hill, Y. Fujii, D. C. Johnson, and B. S. Kawasaki, "Photosensitivity in optical fiber waveguide: Application to reflection filter fabrication", *Appl. Phys. Lett.* Vol. 32, pp647, 1978
- [2] F. Bilodeau, D. Johnson, S. Theriault, B. Malo, J. Albert, K. O. Hill, "An All-Fiber Dense Wavelength Division Multiplexer/Demultiplexer using photoimprinted Bragg Gratings", *IEEE Photon. Tech.* Vol. 7, No. 4, pp388-390, 1995
- [3] Bilodeau, F., Malo, B., Johnson, D., Albert, J., Theriault, S., and Hill, K. O., "High-performance wavelength-division-multiplexing/demultiplexing device using an all-fiber Mach-Zehnder interferometer and photoinduced Bragg gratings", *OFC'95 Tech. Dig.*, 1995
- [4] D. R. Huber, in *Eighteenth European Conference on Optical Communication (VDE-Verlag, Berlin, 1992)*, paper We pp. 2.2.
- [5] L. Dong, P. Han, T. A. Birks, L. Reekie, and P. St. J. Russel, "Novel Add/Drop Filters for Wavelength-Division-Multiplexing Optical Fiber Systems Using a Bragg Grating Assisted Mismatched Coupler", *IEEE Photon. Tech. Lett.*, Vol. 8, No. 12, pp. 1656-1658, 1996.
- [6] Beatriz Ortega, Liang Dong, and Laurence Reekie, "All-fiber optical add-drop multiplexer based on a selective fused coupler and a single fiber Bragg grating", *Appl. Opt.* Vol. 37, No. 33, pp 7712-7717, 1998
- [7] Anthony S. Kewitsch, George A. Rakuljic, Phil A. Willems, and Amnon Yariv, "All-fiber zero-insertion-loss add-drop filter for wavelength-division multiplexing", *Opt. Lett.*, Vol. 23, No. 2, pp. 106-108, 1998.
- [8] F. Bakhti, P. Sansonetti, C. Sinet, L. Gasca, L. Martineau, S. Lacroix, X. Daxhelet and F. Gonthier, "Optical add/drop multiplexer based on UV written Bragg grating in a fused 100% coupler", *Electro. Lett.*, Vol. 33, No. 9, pp803-804, 1997.
- [9] Sergei S. Orlov, Amnon Yariv, and Scott Van Essen, "Coupled-mode analysis of fiber-optic add-drop filters for dense wavelength-division multiplexing", *Optics Lett.*, Vol. 22, No. 10, pp688-690, 1997.
- [10] L. Martineau and S. Lacroix, "Fabrication of highly Ge-doped fibre couplers by fusion-tapering technique", *Electro. Lett.*, Vol. 33, No. 9, pp798-799, 1997.

저 자 소 개



趙 峻 庸(正會員)

1973년 6월 3일생. 1998년 2월 성균관대 공대 전자공학과 졸업. 2000년 2월 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학과 졸업(석사). 2000년 2월~현재 성균관대 대학원 전기전자 및 컴퓨터공학 전공(박사과정) 재학중. 주관심분야 : 광통신, 광전자



李 鍾 勳(正會員)

1973년 1월 18일생. 1996년 2월 성균관대학교 전자공학과 졸업(공학사). 1998년 2월 성균관대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사). 2000년 2월 성균관대학교 대학원 전기전자컴퓨터공학과 박사과정수료. 관심분야 : 광통신, 광전자, 광센서



李 景 植(正會員)

1955년 2월 22일생. 1979년 성균관대 공대 전자공학과 졸업. 1978년 12월~1980년 8월 한국통신기술연구소(현 전자통신연구소) 근무. 1982년 University of Colorado (Boulder)대 석사. 1985년 8월 University of

Colorado대 박사학위 취득(Electrical Engineering dept.). 1986년 9월~1988년 7월 미국립표준연구소(NIST) 근무. 1988년 7월~1990년 2월 미 TACAN Corp. 근무. 1990년 3월~현재 성균관대 전기전자 및 컴퓨터공학부 교수. 주관심분야: 광통신, 광센서, photonic devices 등

李 泳 卓(正會員) 第33卷 A編 5號 參照

1999년 성균관대학교 박사학위 취득. 현재 한국통신 가입자망 연구소 실장

鄭 期 太(正會員)

1959년 8월 17일생. 1983년 2월 경북대 전자공학과 학사. 1985년 2월 경북대 전자공학과 석사. 1996년 3월 일본 Tohoku Univ. 공학 박사. 1985년 5월~현재 한국통신 가입자망 연구소 광통신 연구팀 선임 연구원(WDM 기술 연구 실장). 주관심분야 : 광통신

全 正 佑(正會員)

1968년 8월 8일생 1994년 2월 영남대 전자공학과 학사. 1999년 3월~현재: 충남대 물리학과 석사과정. 1995년 2월~현재: 한국통신 가입자망 연구소 광통신 연구팀 전임연구원. 주관심분야: 광통신