

논문 2008-45SD-2-9

파장간격 가변형 다파장 어븀 첨가 광섬유 링 레이저

(Wavelength spacing tunable multi-wavelength Erbium-doped fiber ring laser)

김 환*, 장 현 수*, 박 광 노**, 이 경 식**

(Hwan Kim, Hyunsoo Jang, Kwangno Park, and Kyungshik Lee)

요 약

광섬유 Bragg 격자의 외부에 주기적인 압력을 인가하여 여러 개의 파장을 반사시키는 샘플격자를 파장선택 소자로 이용하여 다파장 어븀 첨가 광섬유(Erbium-doped fiber, EDF) 링 레이저를 구현하였으며, 압력의 주기를 변화시켜 발진파장간격을 가변하였다. 광섬유 Bragg 격자에 인가된 압력의 주기는 $200\mu\text{m}$, $580\mu\text{m}$, $1000\mu\text{m}$ 로 변화시켰으며, 이때 발진파장간격은 각각 4.1nm , 1.41nm , 0.82nm 이었다.

Abstract

Multi-wavelength Erbium-doped fiber(EDF) ring laser was developed by using a sampled fiber Bragg grating reflecting multiple wavelengths, which was formed by impressing periodical pressure on the outside of a fiber Bragg grating. The wavelength spacing was varied to 4.1nm , 1.41nm and 0.82nm , by pressing the grating with the pressure period $200\mu\text{m}$, $580\mu\text{m}$ and $1000\mu\text{m}$, respectively.

Keywords : EDF 링 레이저, 광섬유 Bragg 격자, 샘플격자

I. 서 론

광통신에서 다파장 어븀 첨가 광섬유(Erbium-doped fiber, EDF) 레이저는 입력된 광신호를 증폭하는 능동적인 기능을 수행하며, 많은 파장을 동시에 안정적으로 전송시키기 위한 광원으로 많이 이용되고 있다. 또한, WDM 통신 시스템 이외에 광센싱 시스템, 광신호처리 등 여러 응용 분야에서 활발하고 다양하게 연구가 진행되고 있다. 이러한 다파장 EDF 레이저에서 발진되는 파장을 선택하기 위한 소자로 광섬유형 소자이며 가격이 저렴하고, 광섬유간의 연결이 용이하다는 장점을 가진 광섬유 Bragg 격자가 많이 이용되고 있다. 현재 복

굴절이 큰 광섬유에 제작된 광섬유 Bragg 격자^[1], 편광유지 광섬유에 제작된 장주기 광섬유 격자^[2], 샘플격자^[3], polymer-coated FBG^[4], cascaded FBG공진기^[5], 복굴절을 이용한 광섬유 Bragg 격자^[6], overlap-written 광섬유 Bragg 격자^[7] 등 다양한 형태의 광섬유 격자들이 다파장 EDF 레이저의 파장 선택소자로 제안되고 있다. 그 중 샘플격자의 경우 일정한 채널간격마다 반사 피크를 갖는 특성으로 인하여 다파장 EDF 레이저의 파장선택소자로 많이 이용되어 왔다. 이러한 샘플격자는 일반적으로 위상마스크와 진폭마스크를 이용한 UV조사방법을 이용하여 제작하거나 광섬유 Bragg 격자내에 위상지연 구간을 삽입시켜 제작한다. 그러나 위상마스크와 진폭마스크를 이용한 방법은 재현성은 뛰어나지만 파장간격을 조절하기 위해서는 주기가 다른 진폭마스크를 사용하여 다시 제작해야 하며 샘플격자를 제작한 후에는 파장간격을 쉽게 조절할 수 없다는 단점을 가지고 있으며, 광섬유 Bragg 격자 내에 위상지연구간을 삽입시킨 방법은 설계 및 구현이 용이하지 않고 재현성이

* 학생회원, ** 정회원, 성균관대학교 정보통신공학부
(School of Information and Communication
Engineering SungKyunKwan University)

※ 이 논문은 2005년도 정부(과학기술부)의 재원으로
한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임 (NO
R01-2005-000-10252-0)

접수일자: 2007년11월20일, 수정완료일: 2008년2월11일

좋지 않다는 단점과 함께 위상마스크와 진폭마스크를 동시에 사용하는 방법과 마찬가지로 제작 후에는 샘플 격자의 파장간격을 조절하기 어렵다는 단점이 있다. 또한 EDF는 넓은 homogeneous gain broadening 특성으로 인하여 상온에서 안정적인 다파장 EDF 레이저의 구현에 많은 어려움이 있다는 단점을 가지고 있으며, 이러한 단점을 극복하기 위해 EDF를 액체질소에 넣거나 타원형 코어 EDF를 이용하는 등 여러 방법들이 제안되어 왔다^[8-10]. 본 논문에서는 기존의 다파장 EDF 링 레이저가 가지고 있는 단점을 해결한 파장간격 가변형 EDF 링 레이저를 제시하였다. 본 논문에서 제시한 파장간격 가변형 EDF 링 레이저는 파장선택 소자로서, 광섬유 Bragg 격자의 외부에 주기적인 압력을 인가하여 여러 개의 파장을 반사시키는 샘플격자를 구현하였으며, 외부에 인가된 압력의 주기를 변화시킴으로써 다파장 EDF 링 레이저의 발진 파장간격을 변화시켰다.

II. 파장가변형 다파장 EDF 링 레이저 시스템

그림 1은 여기에서 제안하는 파장간격 가변형 다파장 EDF 링레이저 시스템의 구성도를 나타낸다. 파장간격 가변형 다파장 EDF 링 레이저는 980nm로 펌핑하는 펌핑용 LD, EDF, 10:90 커플러, 특정 파장성분만을 반사하는 역할을 하는 파장간격 가변형 광섬유 격자 및 서큘레이터로 이루어져 있다. 링 레이저의 동작을 살펴보면, 980nm로 펌핑된 EDF에서 광대역광원이 발생하며 발생된 광신호는 서큘레이터를 통해 광섬유 격자에서 특정 파장 성분만이 반사된다. 반사된 광신호는 10:90 커플러를 통해 출력되며 나머지 광신호는 다시

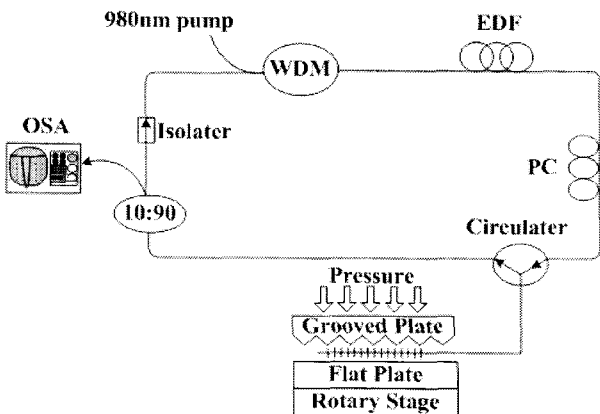


그림 1. 파장간격 가변형 다파장 EDF 링 레이저 시스템

Fig. 1. System of the Wavelength spacing tunable multi-wavelength EDF ring laser.

EDF로 입사되어 증폭 및 발진되는 과정을 거치게 된다. 일반적인 광섬유 Bragg 격자의 경우 단일 파장의 광신호만을 반사하는 특징이 있기 때문에 파장간격을 조절할 수 있는 다채널 광원을 만들기 위해서 특수한 광섬유 격자를 사용하였다. 본 실험에서 사용한 광섬유 격자는 주기적인 굴절률 변화를 지니는 광섬유 Bragg 격자의 외부에 주기적인 압력을 인가시킴으로써 여러 개의 파장을 반사시키는 샘플격자^[11]이며, 반사 파장간격은 제작된 광섬유 격자에 인가하는 압력의 주기를 변화시켜 제어 가능하다. 여기서 채널간의 파장간격($\Delta\lambda$)은 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda_B^2}{2n_{eff}Lp} \tag{1}$$

식 (1)에서 파장 간격은 인가되는 압력의 주기(Lp)에 반비례하며, Lp 를 변화시킴으로써 쉽게 파장간격을 가변시킬 수 있음을 나타낸다. λ_B 는 압력이 인가되는 광섬유 Bragg 격자의 중심파장을 나타내며, n_{eff} 는 광섬유 Bragg 격자의 유효굴절률을 나타낸다. 광섬유 Bragg 격자의 외부에 인가되는 압력의 주기를 변화시키기 위해서는 광섬유 Bragg 격자를 평판에 정렬시킨 후 인가되는 압력의 주기를 변화하여 파장간격을 가변할 수 있고 발진파장수 조절이 가능하며, 광섬유 Bragg 격자가 형성된 광섬유가 정렬되어 있는 평판을 θ 만큼 회전시켜 압력을 인가하면 압력의 주기가 가변되어 파장간격을 가변할 수 있다. 그림 2에서 광섬유 Bragg 격자가 형성된 광섬유가 정렬되어 있는 평판을 θ 만큼 회전시켜 압력을 가하면 압력의 주기가 가변되며 $L'p = Lp/\cos\theta$ 과 같이 나타낼 수 있다. 여기서 $L'p$ 는

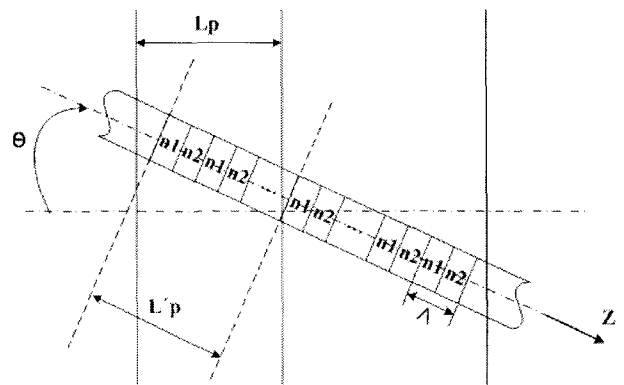


그림 2. 광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기 변화 원리

Fig. 2. The Principle of period change of pressure applied to fiber Bragg grating.

가변된 압력의 주기, L_p 는 가변된 압력의 주기를 나타내며 θ 는 회전각을 나타낸다. $L'p = Lp/\cos\theta$ 에 의하여 압력의 주기를 가변할 수 있으며 압력의 주기 가변에 의해 파장간격 또한 가변 할 수 있다.

III. 파장간격 가변 가능한 EDF 링 레이저의 구현 및 특성

본 연구에서 제안하는 파장간격 가변형 다파장 EDF 링 레이저를 구현하기 위해 사용한 광섬유 Bragg 격자는 105atm의 기압에서 7일간 수소처리된 단일모드 광섬유에 주기가 1065.29nm인 위상마스크를 정렬하고 248nm 동작파장을 갖는 KrF 엑시머 레이저를 이용하여 약 15분간 조사시켜 제작하였다. 이때 엑시머 레이저의 펄스 반복율은 5Hz이었고, 레이저 노광량은 516 mJ/cm²이었다. 그림 3은 주기적인 압력이 인가되기 전의 제작된 광섬유 Bragg 격자의 투과 스펙트럼을 나타내며, 중심파장은 1542.02nm이었고 반사율은 99.9%였으며 광섬유 Bragg 격자의 길이는 2.5cm였다. 그림 4는 파장간격 가변형 다파장 EDF 링 레이저를 구현하기 위해 일반 광섬유 Bragg 격자를 평판에 정렬시킨 후 인가되는 압력의 주기를 200 μ m, 580 μ m, 1000 μ m로 변화시켰을 때의 발진스펙트럼을 나타낸 것이다. 이때 회전각 (θ)은 0°, 인가된 압력은 21.6kN/m이었다.

광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기 변화에 따른 발진파장과 두 파장간의 파장간격, 시뮬레이션상의 파장간격은 표 1과 같다.

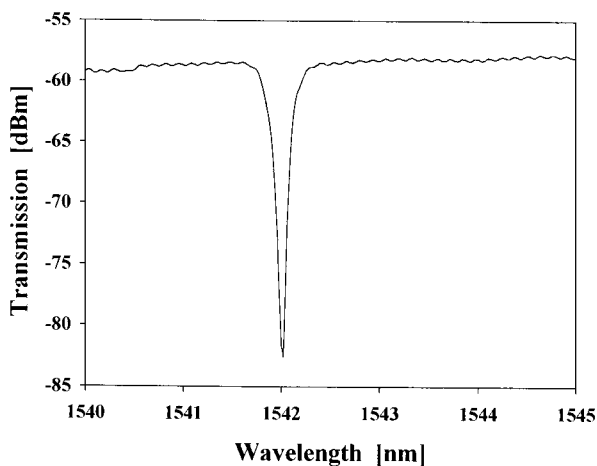
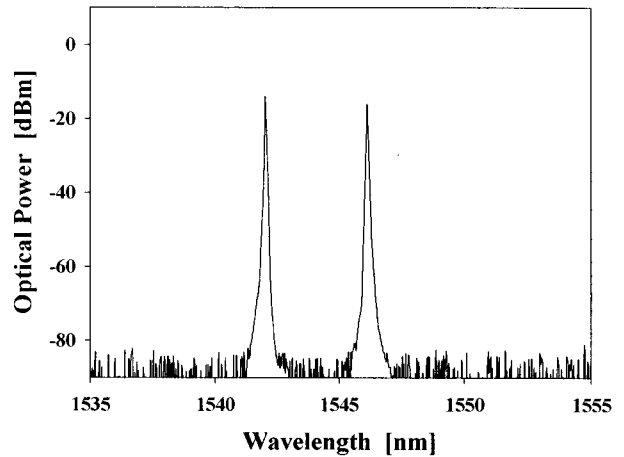
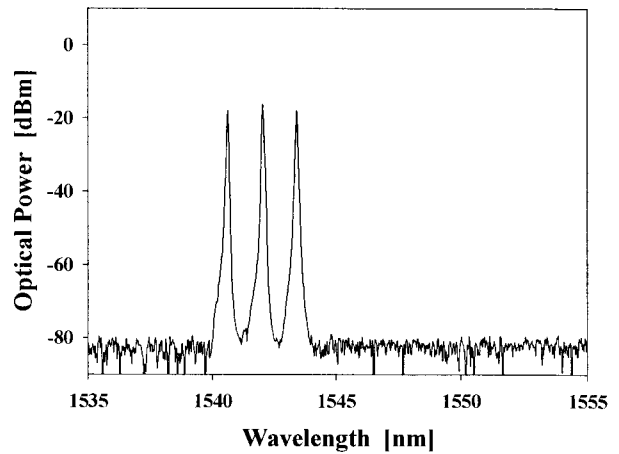


그림 3. 광섬유 Bragg 격자의 투과 스펙트럼 ($\lambda_B=1542.02$ nm)

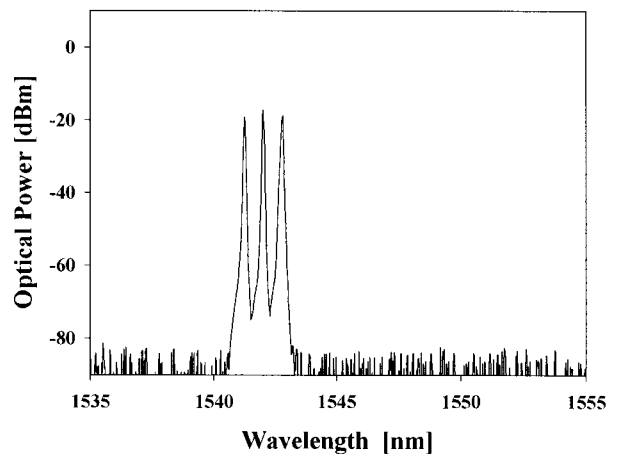
Fig. 3. Transmission spectrum of the fiber Bragg grating.



(a)



(b)



(c)

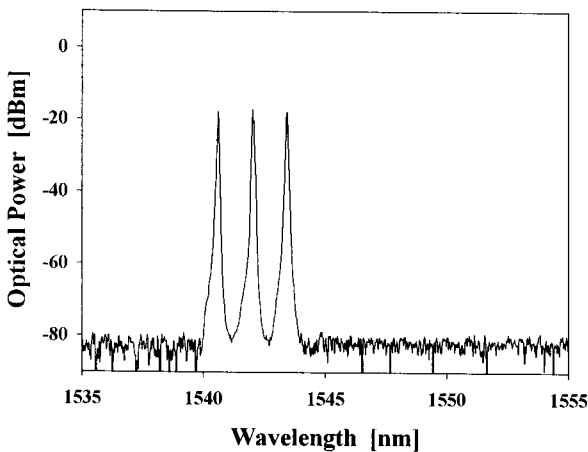
그림 4. 광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기에 변화에 따른 다파장 EDF 링 레이저 발진 스펙트럼 (a) $L_p=200\mu$ m, (b) $L_p=580\mu$ m, (c) $L_p=1000\mu$ m

Fig. 4. Multi-wavelength EDF ring laser oscillation spectrum by changing the period of pressure applied to fiber Bragg grating.

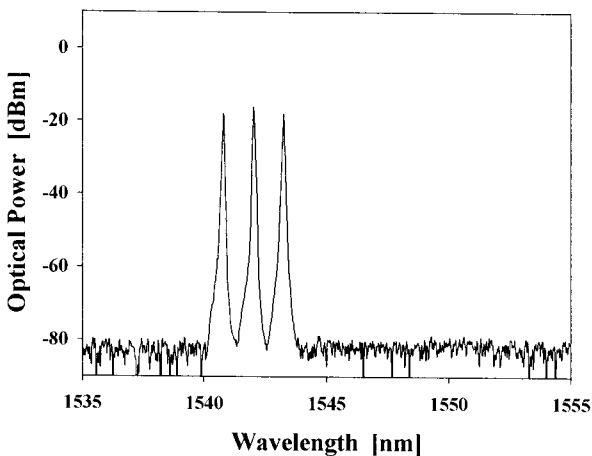
표 1. 인가되는 압력의 주기에 따른 중심파장, 파장간격

Table 1. Center wavelength and wavelength spacing by applied pressure period.

L_p [μm]	wavelength [nm]	$\Delta\lambda$ [nm] (Experiment)	$\Delta\lambda$ [nm] (Simulation)
200	1542.02	4.1	4.108
	1546.12		
580	1541.61	1.41	1.416
	1543.43		
1000	1541.20	0.82	0.8216
	1542.02		
	1542.84		



(a)



(b)

그림 5. 회전각(θ)의 변화에 따른 다파장 EDF 링 레이저 발진스펙트럼 (a) $\theta=5^\circ$, (b) $\theta=30^\circ$

Fig. 5. Multi-wavelength EDF ring laser oscillation spectrum by changing the rotation angle.

그림 5는 광섬유 Bragg 격자가 형성된 광섬유가 정렬되어 있는 평판을 θ 만큼 회전시켜 주기적인 압력을 인가하였을 때 3개의 발진파장으로 발진하는 다파장 EDF 링 레이저의 발진스펙트럼을 나타낸 것이다.

이때, 인가된 압력은 21.2kN/m로 일정하였고, 광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기는 580 μm 이었다. 그림 5(a)는 평판을 5 $^\circ$ 회전시켰을 때의 발진파장 스펙트럼으로, 발진파장은 1540.62nm, 1542.02nm, 1543.42nm였다. 여기서, 광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기는 약 582 μm 로 가변되었으며 파장간격은 1.40nm이었다. 그림 5(b)는 평판을 30 $^\circ$ 회전시켰을 때의 발진파장 스펙트럼으로, 발진파장은 1540.8nm, 1542.02nm, 1543.24nm였다. 여기서, 광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기는 약 670 μm 로 가변되었으며, 두 파장간의 파장간격은 1.22nm이었다. 시뮬레이션상의 파장간격은 각각 1.41nm($\theta=5^\circ$), 1.226nm($\theta=30^\circ$)로 실험상의 파장간격과 거의 일치하는 것을 알 수 있었다.

그림 6과 그림 7은 다파장 EDF 링 레이저에서 광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기의 변화에 따른 파장간격 변화와 다파장 EDF 링 레이저의 회전각에 따른 파장간격 변화($L_p=580\mu\text{m}$)를 그래프로 나타낸 것이다. 각각의 그래프에서 실선은 시뮬레이션상의 파장간격을 나타내며 점은 다파장 EDF 링 레이저를 구현했을 때 두 파장간의 파장간격을 측정된 값을 나타냈다. 두 그래프 상에서 광섬유 Bragg 격자에 인가되는 압력의 주기와 θ 가 증가함에 따라 파장간격은 점점 작아짐을 알 수 있으며 압력의 주기와 θ 를 조절함에 따라 채널

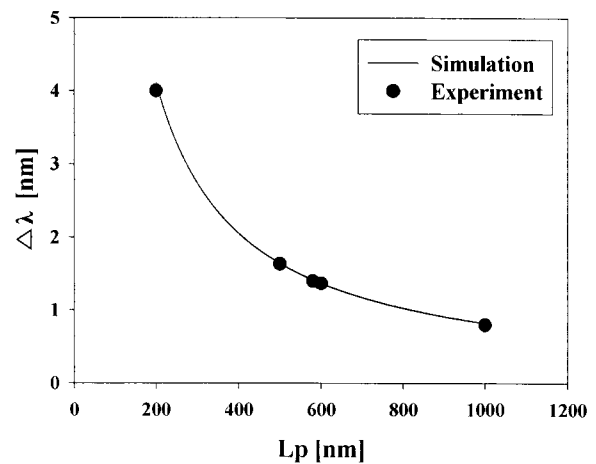


그림 6. 다파장 EDF 링 레이저에서 인가되는 압력의 주기 변화에 따른 파장간격

Fig. 6. Wavelength spacing by changing the period of pressure in multi-wavelength EDF ring laser.

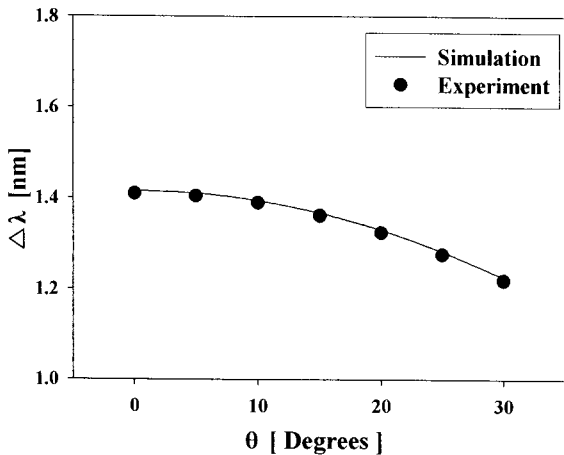


그림 7. 다파장 EDF 링레이저에서 회전각(θ)의 변화에 따른 파장간격

Fig. 7. Wavelength spacing by changing the rotation angle in multi-wavelength EDF ring laser.

간격 또한 조절 가능하므로 안정성과 재현성을 높이는 경우 WDM 통신용 광원이나 측정시스템용 광원으로의 응용가능성이 있을 것으로 사료된다.

IV. 결 론

중심파장이 1542.02nm인 광섬유 격자에 인가되는 압력의 주기를 200 μ m, 580 μ m, 1000 μ m로 변화하면서 압력을 인가하여 다파장 EDF 링 레이저를 구현하였고, 발진파장간격이 4.1nm, 1.41nm, 0.82nm로 가변하는 것을 볼 수 있었다. 또한 회전각(θ)을 5°씩 증가시키면서 변화함에 따라 인가되는 압력의 주기는 증가하고 예상대로 파장간격은 점점 작아지는 것을 알 수 있었다. 본 연구에서 제안된 파장간격 가변형 다파장 EDF 링 레이저는 쉽게 파장간격 가변 가능하고, 저가이며, 간단한 구조등의 장점을 가지고 있기 때문에 WDM통신 시스템 및 광센싱 시스템등 여러 분야에 응용하기 위해서 지속적인 연구가 이루어질 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Zhao Chun-Liu, Yang Xiufeng, Lu Chao, Ng Jun Hong, Guo Xin, Partha Roy Chaudhuri, Dong Xinyong, "Switchable multi-wavelength erbium-doped fiber lasers by using cascaded fiber Bragg gratings written in high birefringence fiber" *Optics Communications*, Vol. 230, Issues 4-6, Pages 313-317, February, 2004.
- [2] Yong Wook. Lee, Byoung ho. Lee, "Wavelength-switchable erbium-doped fiber ring laser using spectral polarization-dependent loss element" *IEEE Photon. Techno. Lett.*, Vol. 15, Issue 6, Pages 795 -797, June, 2003.
- [3] Ryun Kyung. Kim, Chul Seop. Kim, Kwang No. Park, Jong Ryeol. Kim, Kyung Shik. Lee, "Wavelength-switchable erbium-doped fiber ring laser combined with a Fabry - Perot laser diode and a sampled grating" *Optics Communications*, Vol. 273, Issue 1, Pages 28-31, May, 2007.
- [4] Bai-Ou Guan, Hwa-Yaw Tam, Helen L. W. Chan, Xiao-Yi Dong, Chung-Loong Choy, Muhtesem Süleyman Demokan, "Temperature-tuned erbium-doped fiber ring laser with polymer-coated fiber grating" *Optics Communications*, Vol. 202, Issues. 4-6, Pages 331-334, February, 2002.
- [5] Q. Mao, J.W.Y. Lit, "Switchable multiwavelength erbium-doped fiber laser with cascaded fiber grating cavities" *IEEE Photon. Techno. Lett.*, Vol. 14, Issue 5, Pages 612-614, May, 2002.
- [6] Hyun Soo Jang and Kyung Shik Lee, "Tunable and switchable multi-wavelength erbium-doped fiber ring laser", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SD Vol. 42, No. 7, Pages 13-20, July, 2005.*
- [7] Daoping Wei, Tangjun Li, Yucheng Zhao, and Shuisheng Jian, "Multiwavelength erbium-doped fiber ring lasers with overlap-written fiber Bragg gratings" *Optics Lett.*, Vol. 25, No. 16, Pages 1150-1152, August, 2000.
- [8] Yamashita, S. Hotate, K. "Multiwavelength erbium-doped fibre laser using intracavity etalon and cooled by liquid nitrogen" *IEEE Electronics Lett.*, Vol. 32, Issue 14, Pages 1298-1299, July, 1996.
- [9] J. Chow, G. Town, B. Eggleton, M. Ibsen, K. Sugden, I. Bennion, "Multiwavelength generation in an erbium-doped fiber laser using in-fiber comb filters" *IEEE Photon. Techno. Lett.*, Vol. 8, Issue 1, Pages 60-62, January, 1996.
- [10] Das, G. Lit, J.W.Y., "L-band multiwavelength fiber laser using an elliptical fiber" *IEEE Electronics Lett.*, Vol. 14, Issue 5, Pages 606-608, May, 2002.
- [11] Joon Yong. Cho, Sung Chun. Kim, and Kyung Shik. Lee, "A Channel spacing-tunable sampled fiber grating", *Journal of the Institute of Electronics Engineers of Korea SD Vol. 40, No. 4, Pages 21-26, April, 2003.*

저 자 소 개



김 환(학생회원)
 2007년 원광대학교 전기전자정보
 공학부 학사 졸업.
 2008년 현재 성균관대학교 정보통
 신공학부 석사과정.
 <주관심분야 : 광통신, 광전자, 광
 센서>



장 현 수(학생회원)
 2001년 공주대학교 정보통신
 공학부 학사 졸업.
 2003년 성균관대학교 전기전자
 및 컴퓨터공학과 석사 졸업
 2008년 현재 성균관대학교 정보
 통신공학부 박사과정.
 <주관심분야 : 광통신, 광전자, 광센서, 특수광섬
 유>

박 광 노(정회원)
 1996년 성균관대학교 전자공학과 학사 졸업.
 1998년 성균관대학교 전자공학과 석사 졸업.
 2007년 성균관대학교 정보통신공학부 박사 졸업.
 2008년 현재 성균관대학교 Post-Doc
 <주관심분야 : 광통신용 소자설계, 광통신 네트워
 크 시스템 설계등>



이 경 식(정회원)
 1979년 성균관대 전자공학과
 학사 졸업.
 1978년 12월~1980년 8월
 한국통신기술연구소
 (현 전자통신연구소) 근무.
 1985년 University of Colorado 대
 박사학위 취득 (Electrical
 Engineering dept.).
 1986년 9월~1988년 7월 미국립표준연구소
 (NIST) 근무.
 1988년 7월~1990년 2월 미 TACAN Corp. 근무.
 1998년 9월~1999년 8월 University of
 Rochester, Institute of Optics, 방문교수.
 2005년 9월~2006년 8월 University of Arizona,
 College of Optical Science, 방문교수.
 1990년 3월~현재 성균관대 정보통신공학부 교수