

외부 공진기 레이저의 발진 모드 수 조절에 관한 연구

육태경 · 이경식[†]

성균관대학교 정보통신공학부 광통신 연구실
☎ 440-746 경기도 수원시 장안구 천천동 300

박만용 · 김병휘

한국전자통신연구원
☎ 305-700 대전시 유성구 가정동 161

(2005년 6월 13일 받음, 2005년 10월 7일 수정본 받음)

처프된 광섬유 브래그 격자를 사용하여 발진모드 수를 조절할 수 있는 외부 공진기 레이저를 제안하였다. 광섬유 브래그 격자에 인가되는 선형적인 온도차를 변화시킴으로써 광섬유 브래그 격자의 반사 대역폭을 조절할 수 있었으며 이러한 격자를 외부 공진기 레이저의 외부 반사경으로 사용하여 발진모드 수를 단일모드에서 세 개의 모드까지 조절할 수 있었다.

주제어 : Gratings, External cavity laser.

I. 서 론

최근 들어 인터넷, 멀티미디어 서비스 비중의 증가로 통신용량이 급격히 증가하고 있으며 이에 따른 통신용량의 수요를 충족시키기 위한 연구개발의 결과로 파장 분할 다중화(Wavelength Division Multiplexing, WDM)광전송 기술과 FTTH(Fiber-To-The-Home)구현을 위한 광 액세스 네트워크 기술이 개발되었다. 현재, 이와 같은 기술을 이용한 광통신 시스템의 광원으로 DFB-LD(Distributed-Feedback Laser Diode)가 있으나, Metro Area Network나 특히, FTTH용으로는 가격적인 면에서 비효율적이고 온도 안정성이 낮다는 단점들이 제시되고 있다. 이와 같은 단점을 해결하기 위하여 제안된 외부 공진기 레이저(External Cavity Laser, ECL)^[1-4]는 저가의 FP-LD(Fabry Perot Laser Diode)와 레이저의 증폭 매질에 비하여 온도 안정성이 뛰어난 브래그 격자(Bragg Grating)를 외부 반사경으로 사용한 광원으로써, 기존 DFB-LD보다 저가이며, 뛰어난 파장 선택성 및 온도 안정성을 지니고 있다. 이와 같은 외부 공진기 레이저는 다중모드로 발진하는 FP-LD의 다수의 종 모드(longitudinal mode)들 중 하나의 모드가 브래그 격자의 중심 파장과 일치했을 경우 단일 모드로 발진하는 특징을 가지고 있다. 하지만 단일모드 발진시 전류나 온도 변화에 의해 현재의 발진모드가 감소하고 인접모드가 발진하는 모드호핑^[4,5]이 발생하여 출력이 불안정해지게 된다. 또한, 단일모드 발진의 경우 광전송 링크에서 반사되어 되돌아오는 소량의 신호에도 출력 특성이 영향을 받아 불안정해진다는 특성이 있다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 FP-LD의 다수의 종 모드를 포함할 수 있는 넓은 대역폭

을 가진 광섬유 브래그 격자를 외부 반사경으로 사용하여 발진모드 수 즉, 발진 스펙트럼이 확장된 외부 공진기 레이저가 제안^[4]되었다. 하지만, 이 경우 광원의 스펙트럼 폭이 넓어져 분산이나 전송속도 및 전송거리의 제약이 따르게 되는 문제점이 발생하게 된다. 따라서 본 논문에서는 여러 가지 전송환경에 최적화할 수 있는 외부 공진기 레이저로써, 조절 가능한 처프된 광섬유 브래그 격자를 외부 반사경으로 사용하여 단일모드의 발진특성 뿐만 아니라 다수의 모드로도 발진이 가능한 외부 공진기 레이저를 제안하고자 한다.

본 논문의 II절에서는 외부 반사경으로 사용된 조절 가능한 처프된 광섬유 브래그 격자 구현 시스템의 동작원리를 기술하고, III절에서는 발진 모드수를 조절 가능한 외부 공진기 레이저의 구현 및 특성 결과에 대하여 논의를 하고 IV절에서는 결론을 맺고자 한다.

II. 조절 가능한 처프된 광섬유 브래그 격자 구현 시스템

본 논문에서는 발진모드를 하나 또는 다수의 모드로 조절 발진 가능한 외부 공진기 레이저를 구현하기 위하여 외부 반사경으로 조절 가능한 처프된 광섬유 브래그 격자를 사용하였다. 위상 마스크를 이용한 자외선 노출 방법으로 제작된 유니폼한 광섬유 브래그 격자에 선형적인 온도차를 인가하여 처핑시킨 방법으로써, 기존의 방법들^[6-10]보다 간단하면서도 광섬유 브래그 격자의 온도에 의한 브래그 파장 변화율이 향상된 조절 가능한 처프된 광섬유 브래그 격자를 구현하였다. 일반적인 광섬유 브래그 격자에서 온도 변화 ΔT 에 따른 브래그 파장 변화 $\Delta \lambda_B$ 는 다음의 식으로 표현된다.

[†]E-mail: kslee@skku.ac.kr

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B(\alpha_A + \alpha_n)\Delta T \quad (1)$$

여기서, λ_B 는 브라그 파장, α_A 은 열팽창 계수, 그리고 α_n 은 열광학 계수이다. 본 논문에서는 유니폼한 광섬유 브라그 격자를 높은 열팽창 계수 값을 갖는 아연(Zn) 금속면에 에폭시를 이용하여 균일하게 본딩시킴으로써, 광섬유 브라그 격자 고유의 온도 변화에 따른 브라그 파장 변화율에 아연 금속의 열팽창 효과까지 추가 시켰다. 이 효과를 고려하면 (1)식은 다음과 같은 식으로 다시 표현할 수 있다.

$$\Delta\lambda_B \cong \lambda_B[(1 - P_e)\alpha_n + \alpha_A]\Delta T \quad (2)$$

여기서, $\alpha_n(0.263 \times 10^{-4}/^\circ\text{C})$ 은 아연의 열팽창 계수이며, P_e 는 스트레인 광학계수이다. 그 결과 광섬유 브라그 격자의 온도 변화에 따른 브라그 파장 변화율을 이론적으로 $11.9\text{pm}/^\circ\text{C}$ 에서 약 $42.11\text{pm}/^\circ\text{C}$ 까지 향상시킬 수 있는 것이다. 그림 1은 처프된 광섬유 브라그 격자 구현 시스템 구성도를 나타내고 있다.

유니폼한 광섬유 브라그 격자에 선형적인 온도차를 유도하기 위하여 열전소자(Thermoelectric cooler) 2개를 각각 발열부와 냉각부로 사용하였다.^[11] 그리고 열전소자의 열전달 매질로 사용된 아연 금속은 가운데 채널부분이 길이 16 mm, 폭 1 mm, 두께 1 mm로 제작되었고, 열전소자와 접촉하여 열을 전달시켜 주는 부분은 가로 30 mm, 세로 15 mm로 설계 제작되어 아연 금속의 가운데 채널에 선형적인 온도차를 유도하였다. 그리고 제작된 아연 금속의 가운데 채널에 에폭시를 사용하여 유니폼한 광섬유 브라그 격자를 균일하게 본딩하였다. 이와 같은 구조로 인하여 유니폼한 광섬유 브라그 격자는 아연 금속의 표면 온도에 의한 브라그 파장의 변화 특성 뿐만 아니라 온도에 의한 아연 금속의 팽창 효과까지 동시에 받게 된다. 처프된 광섬유 브라그 격자의 제작과정을 실시간으로 관측하기 위해 측정 광원은 광대역 광원인 LED

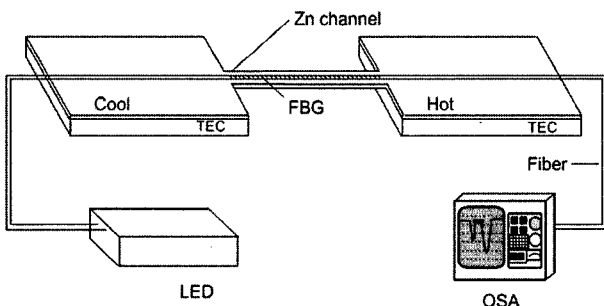


그림 1. 처프된 광섬유 브라그 격자를 구현하기 위해 사용된 시스템 구성도.

를 사용하였으며, ANDO사의 AQ-6310 스펙트럼 분석기(OSA)를 사용하여 특성을 분석하였다. 또한 발열부와 냉각부의 온도를 측정하기 위하여 광섬유 브라그 격자 시작 부분과 끝 부분에 각각 써미스터를 사용하여 인가되는 온도를 측정하였다. 실험에 사용된 유니폼한 광섬유 브라그 격자는 광감도를 높이기 위해 100 bar의 기압으로 168시간 동안 수소 처리한 광섬유에 주기가 1065.29 nm인 위상 마스크와 KrF excimer 레이저(248 nm)를 이용하여 5Hz, 116 mJ의 파워로 10분 동안 UV에 노출하여 제작하였다. 제작된 광섬유 브라그 격자의 길이는 15 mm, 중심파장 1542.24 nm, 반사율 25dB, 3-dB대역폭 0.09 nm 이었다. 그림 2는 제작된 광섬유 브라그 격자의 투과 스펙트럼을 나타낸다.

그림 3은 열전소자에 인가되는 전류를 조절하여 단계적으로 발열부와 냉각부의 온도차를 확장시켰을 때 광섬유 브라그 격자 대역폭의 가변정도를 나타내는 처프된 광섬유 브라그 격자의 투과 스펙트럼을 나타낸 것으로서, 실선(-)은 발열부와 냉각부의 온도가 각각 40.9°C , 10.7°C 일 경우의 투과 스펙트럼을 나타내며 3-dB대역폭이 1 nm 확장된 것을 확인

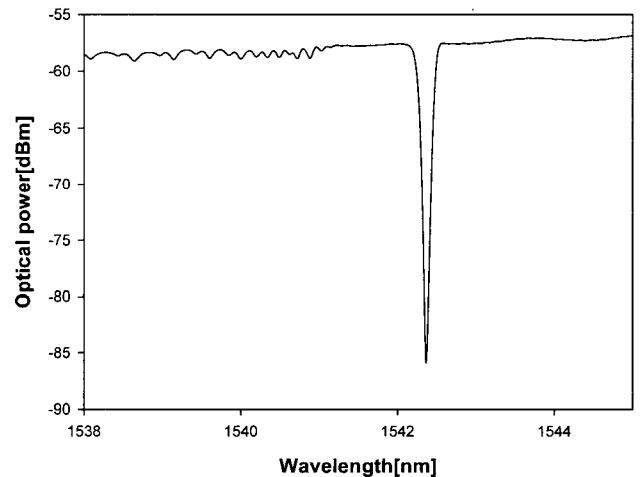


그림 2. 유니폼한 광섬유 브라그 격자의 투과 스펙트럼.

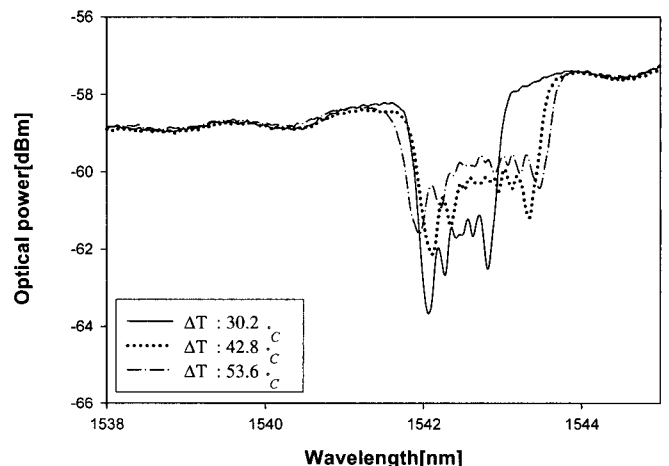


그림 3. 온도차에 따른 처프된 광섬유 브라그 격자의 투과 스펙트럼 변화.

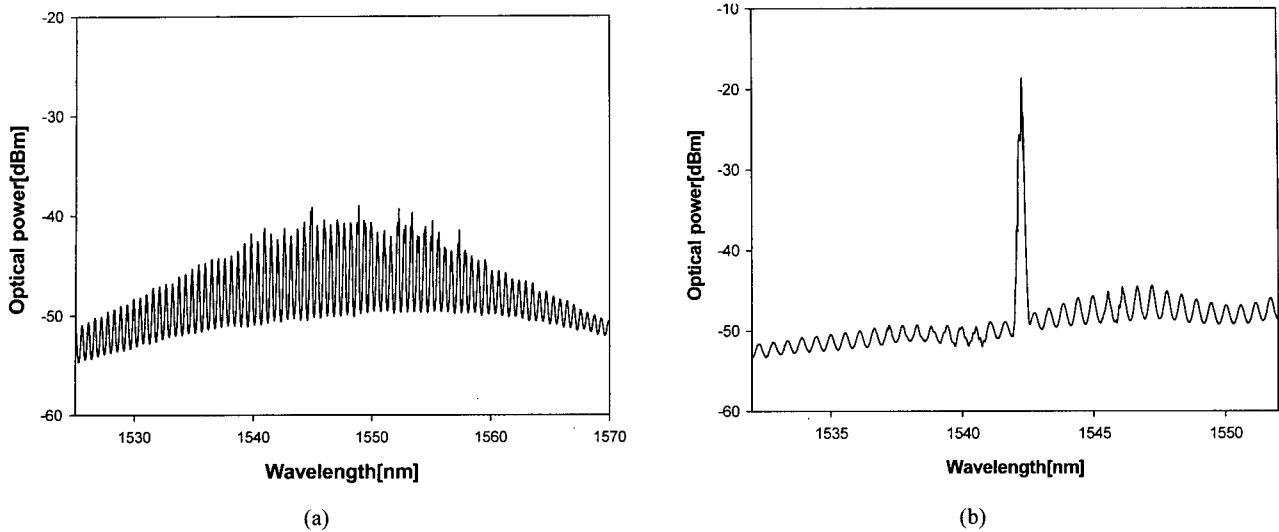


그림 4. 외부 공진기 레이저 (a) 구성 전의 FP-LD의 발진 스펙트럼 (b) 구성후의 발진 스펙트럼.

할 수 있었다. 점선(---)과 점파선(-.-)은 발열부와 냉각부의 온도가 각각 53℃, 10.2℃와 60℃, 6.4℃ 일 경우의 투과 스펙트럼을 나타내며 3-dB대역폭이 각각 1.6 nm, 1.9 nm 확장된 것을 확인할 수 있었다. 또한, 발열부와 냉각부에 인가되는 전류를 적절히 조절하면 일정한 반사 대역폭을 유지하면서 전체 파장의 이동뿐만 아니라 중심파장을 일정하게 유지하면서 대역폭을 가변시킬 수도 있었다. 그림 1과 비교하여 그림 3에 광섬유 브래그 격자의 반사율이 상당히 감소하였는데 그 이유로는 일정한 길이를 갖는 광섬유 브래그 격자에 선형적인 온도차를 인가하게 되면 격자의 주기와 유효 굴절률이 선형적으로 변하게 되고, 이에 따라 각 주기마다 반사되는 특정파장 또한 변하게 되어 반사파장들의 중첩현상이 감소하기 때문이다. 그로 인해 더욱 넓은 파장대역을 반사시킬 수는 있지만 반사율은 감소하게 된다. 본 실험 시스템에서는 외부공진기 레이저의 SMSR을 25dB 이상 유지하기 위해서 외부 반사경의 반사율이 3dB 이상 필요함을 사전 실험을 통해 확인할 수 있었고 그에 따라 약 3dB이상의 반사율을 갖는 처프된 광섬유 브래그 격자를 구현하는데 목표를 두었다. 그리고 실험을 통해 처프된 광섬유 브래그 격자의 대역폭은 예상했던 이론값에 비하여 ~0.2 nm 정도의 오차가 있음을 확인할 수 있었고 투과 스펙트럼 또한 균일한 반사율을 유지하지 못하고 있음을 확인할 수 있었다. 이러한 오차는 유니폼한 광섬유 브래그 격자를 아연 금속표면에 본딩할 때 전체적으로 균일하지 못한 본딩에 의해 발생한 오차라 판단된다. 따라서 이러한 오차는 격자를 금속표면에 본딩할 때 최대한 균일하게 본딩시킴으로써, 최소화시킬 수 있을 것이다.

III. 처프된 광섬유 브래그 격자를 이용한 외부 공진기 레이저의 발진 모드 수 조절

앞서 구현한 처프된 광섬유 브래그 격자 시스템과 FP-LD를 이용하여 외부 공진기 레이저를 구성하였다. 사용된 FP-LD는 ~0.56 nm의 모드간격을 갖는 광섬유가 피그테일 된 광원으로써, 후면 반사경의 반사율은 80%였으며, 전면 반사경은 외부 공진기 레이저 발진시 불필요한 반사 특성을 억제할 수 있도록 ~1%의 반사율로 반사방지(antireflection) 코팅되었다.^[12] 처프된 광섬유 브래그 격자 시스템을 이용하여 외부 공진기 레이저를 구성하기 전의 발진 스펙트럼과 구성한 후의 발진 스펙트럼을 각각 그림 4(a)와 그림 4(b)에 나타내었다. 그림 4(b)는 처프된 광섬유 브래그 격자 시스템에 전류를 인가하지 않았을 경우로써, 일반적인 외부 공진기 레이저의 발진 특성과 동일하게, 외부 반사경으로 사용된 광섬유 브래그 격자의 중심 파장(1542.24 nm)에서 안정된 단일모드로 발진됨을 확인할 수 있었다.

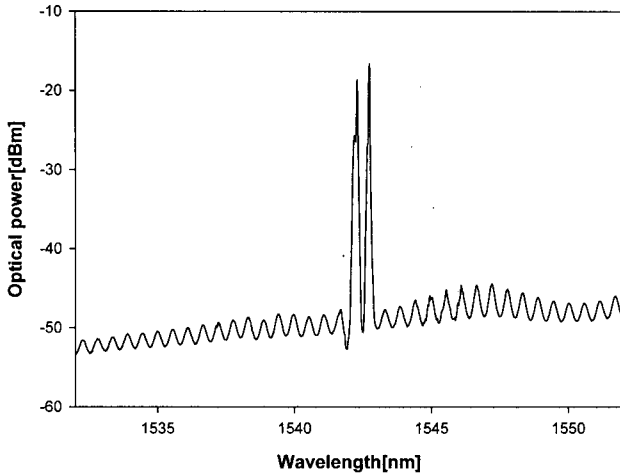
외부 공진기 레이저 구성시 다수의 모드를 발진시키기 위해서는 외부 반사경으로 사용된 광섬유 브래그 격자의 대역폭이 다수의 FP-LD의 종 모드들을 포함하여야 한다. 본 연구에 사용된 FP-LD의 경우 모드간격이 ~0.56 nm이므로 최소 2개 이상의 모드를 포함하기 위해서는 1.12 nm이상의 대역폭을 갖는 격자가 필요하다. 이와 같은 격자는 본 연구에서 제작한 처프된 광섬유 브래그 격자 시스템으로 구현할 수 있었다. 그림 5는 처프된 광섬유 브래그 격자 시스템에 인가되는 전류를 조절하여 광섬유 브래그 격자의 대역폭을 1.12 nm 이상 확장시킨 이후의 외부 공진기 레이저 발진 스펙트럼을 나타낸 것이다. 그림 5(a)는 처프된 광섬유 브래그 격자의 대역폭을 ~1.2 nm(온도차 : 33.1℃) 확장시켰을 경우의

IV. 결 론

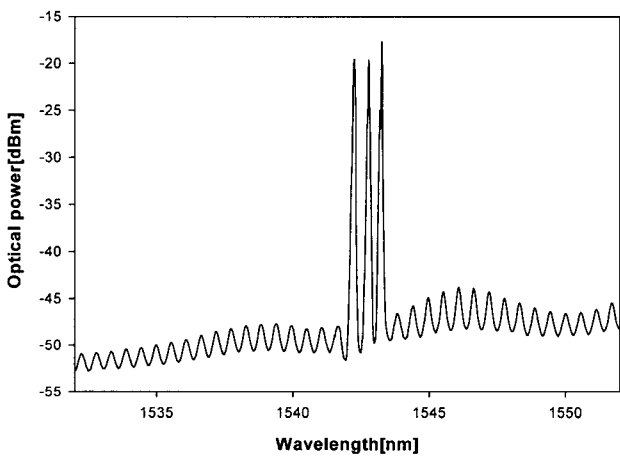
본 논문에서는 외부 공진기 레이저의 외부 반사경으로 사용된 광섬유 브래그 격자의 대역폭을 조절하여 단일모드 뿐만 아니라 다수의 모드로도 발진 가능한 외부 공진기 레이저를 제안하였다. 두 개 및 세 개의 발진모드를 갖는 외부 공진기 레이저를 구현하기 위해서, FP-LD 모드간격에 의해 계산된 1.2 nm와 1.7 nm의 대역폭을 갖는 광섬유 브래그 격자가 필요함을 예상할 수 있었고, 이러한 격자는 유니폼한 광섬유 브래그 격자에 선형적인 온도차(33.1℃, 44.6℃)를 인가하는 방법으로 구현할 수 있었다. 이와 같이 제작된 처프된 광섬유 브래그 격자를 외부 반사경으로 사용하는 제안된 외부 공진기 레이저는 일반적인 외부 공진기 레이저의 단일모드 발진특성 뿐만 아니라 두 개 및 세 개의 모드로도 발진 가능한 특성을 가지고 있었다. 따라서 본 논문에서 제안하는 발진모드 수 조절이 가능한 외부 공진기 레이저는 단일모드 발진시 발생하는 문제점들을 해결할 뿐만 아니라 발진모드 수 즉, 발진 스펙트럼 폭을 조절할 수 있으므로 FTTH의 여러 주변 통신환경에 최적화 시킬 수 있는 광원으로써, 충분한 발진 가능성이 있다고 기대된다.

참고문헌

- [1] Jun-Ichi Hashimoto, T. Takagi, T. Kato, G. Sasaki, M. Shigehara, K. Murashima, M. Shiozaki, T. Iwashima, "Fiber-Bragg-Grating External Cavity Semiconductor Laser (FGL) Module for DWDM Transmission," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 21, no. 9, pp. 2002-2009, 2003.
- [2] F. N. Timofeev, G. S. Simin, M. S. Shatalov, S. A. Gurevich, P. Bayvel, R. Wyatt, I. Lealman, R. Kashyap, "Experimental and Theoretical Study of High Temperature-Stability and Low-Chirp 1.55 μm Semiconductor Laser with an External Fiber Grating," *Fiber & Integrated Optics*, Vol. 19, no. 4 pp. 327-354, 2000.
- [3] R. J. Campbell, J. R. Armitage, G. Sherlock, D. L. Williams, R. Payne, M. Robertson, R. Wyatt. "Wavelength stable uncooled fibre grating semiconductor laser for use in an all optical WDM access network," *Electron. Lett.* Vol. 32, no. 2, pp. 119-120, 1996.
- [4] Toshiya Sato, Fumihiko Yamamoto, Khoji Tsuji, Hiroki Takesue, Tsuneo Horiguchi, "An Uncooled External Cavity Diode Laser for Coarse-WDM Access Network Systems," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol. 14, no. 7, pp. 1001-1003, 2002.
- [5] Takuya Tanaka, Yoshinori Hibino, Toshikazu Hashimoto, Ryoichi Kasahara, Makoto Abe, Yuichi Tohmori, "Hybrid integrated external cavity laser without temperature dependent mode hopping," *J. Lightwave Technol.*, Vol. 20, no. 9, pp. 1730-1739, 2002.



(a)



(b)

그림 5. 처프된 광섬유 브래그 격자의 대역폭 변화에 따른 외부 공진기 레이저의 발진 스펙트럼 변화.

발진 스펙트럼으로써, 두 개의 모드가 중심파장 1542.24 nm, 1542.78 nm에서 발진됨을 확인할 수 있었고 그림 5(b)는 처프된 광섬유 브래그 격자의 대역폭을 ~1.7 nm(온도차 : 44.6℃) 확장 시켰을 경우의 발진 스펙트럼으로써, 세 개의 모드가 중심 파장 1542.24 nm, 1542.78 nm, 1543.25 nm에서 발진됨을 확인할 수 있었다. 발진모드 수가 확장된 외부공진기 레이저는 약 1~2dB정도의 power fluctuation이 존재하였는데 이는 외부적인 온도 변화와 각 주기마다 균일하지 못한 처프된 광섬유 브래그 격자의 반사율에 의한 fluctuation이라고 판단된다. 하지만, 본 실험은 외부공진기 레이저의 발진 모드 수를 조절하는 가능성 확보에 주된 목표를 두었으며 안정성 확보는 차후 실험을 통해 진행할 계획이다.

- [6] T. Imai, T. Komukai, and M. Nakazawa, "Dispersion Tuning of a Linearly Chirped Fiber Bragg Grating Without a Center Wavelength Shift by Applying a Strain Gradient," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol 10, no. 6 pp. 845-847, 1998.
- [7] J. Mora, J. Villatoro, A. Diez, J.L. Cruz, M.V. Andres, "Tunable chirp in Bragg gratings written in tapered core fibers," *Optics Communications.*, Vol. 210 no. 1-2 pp. 51-55, 2002.
- [8] Zhiyong Zhao, Yongsun Yu, Shuang Zhang, Zhongchang Zhuo, Jian Zhang, Wei Zheng, Yushu Zhang, "Adjustment of the central wavelength and the chirp of fiber Bragg grating separately with external heaters," *Optics communications.*, Vol. 242, no. 1-3 pp. 135-139, 2004.
- [9] S. Matsumoto et al., "Tunable dispersion equalizer with a divided thin-film heater for 40-Gb/s RZ transmissions," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol 13, no. 8 pp. 827-829, 2001.
- [10] J. Kim et al., "Effectively Tunable Dispersion Compensation Based on Chirped Fiber Bragg Grating without Central Wavelength Shift," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, Vol 16, no. 3, pp. 849-851, 2004.
- [11] Jocelyn Lauzon, Simon Thibault, Jean Martin, and Francois Ouellette, "Implementation and characterization of fiber Bragg gratings linearly chirped by a temperature gradient," *Opt. Lett.*, Vol. 19, no. 23 pp. 2027-2029, 1994.
- [12] F. Le Gall, S. Mottet, N. Devoldere, J. Landreau, "External cavity laser for DWDM access network," in *European Conf. on Optical Communication '98*, Madrid, Spain, pp. 285-286, 1998.

External Cavity Laser with a Tunable Chirped Fiber Bragg Grating for Adjusting the Number of Longitudinal Laser Mode

Tae Kyung Yook and Kyung Shik Lee[†]

School of Information and Communications Engineering, SungKyunKwan University, Suwon, 440-746, Korea

[†]*E-mail: kslee@skku.ac.kr*

Manh Yong Park and Byoung Whi Kim

WDM Passive Optical Network Technology Team

Electronics and Telecommunications Research Institute, Daejeon 305-700, Korea

(Received June 13, 2005, Revised manuscript October 7, 2005)

we propose an external cavity laser which can adjust the number of longitudinal laser mode by using a tunable chirped fiber Bragg grating. By inducing a tunable temperature gradient in a uniform fiber Bragg grating, the bandwidth of the uniform fiber Bragg grating can be tuned. With the chirped fiber Bragg grating as an external reflector of the external cavity laser, the number of longitudinal laser mode was able to be tuned from one to two or three modes.

OCIS Codes : 050.2770, 140.3460.