《연구논문》 Hankook Kwanghak Hoeji Volume 9, Number 2, April 1998
(Journal of the Optical Society of Korea - Korean Edition)

광섬유 격자를 이용한 WDM 광원의 파장 안정화

이승탁 · 박영일 · 채창준
한국통신 가입자망연구소

(1997년 12월 26일 받음, 1998년 3월 11일 수정본 받음)

광섬유 격자의 투과 및 반사 특성을 이용하여 WDM 광원의 파장을 간단하면서도 효과적으로 안정화시키는 방법을 제시하였다. 우선 본 방법을 DFB-LD에 적용하여 바이어스 전류에 따른 파장 변화를 살펴보았을 때, 일정한 온도에서 나타나는 +0.011 nm/mA 파장 변화가 관측되지 않았다. 또한 EMLD에 적용하였을 때, 일정한 온도에서 RF변조시에 보인 약 0.08 nm파장 변화를 거의 찾아볼 수 없었다.

I. 서 론

광섬유의 넓은 파장 영역을 이용하여 파장이 다른 여러 채널의 신호를 한 가닥의 광섬유를 통해 동시에 전송하는 파장분할 다중화(WDM: wavelength division multiplexing) 전송방식은 이제 전송 용량의 증가 및 전광통신망을 구현하는 필수적인 기술이 되었다. 이 WDM기술은 이미 상용 장비가 나올 정도로 빠른 진전이 있었고, 현재는 더 많은 양의 정보를 전달하기 위한 방법의 하나로 채널 수의 증가에 관한 많은 연구가 행해지고 있다.[1] 그러나, 채널 수의 증가는 곧 채널간의 파장 간격의 감소를 의미하게 되고, 이 때 파장의 변화는 파장 역다중화시 본 채널의 전력 손실 및 인접 채널간의 겹침을 유발하여 수신 감도를 떨어뜨리는 원인이 된다. 따라서, 채널들의 파장을 일정하게 유지시켜주는 안정화 기술이 필요한데, 이 기술은 WDM시스템의 기본적인 기술로 인식되고 있다.

지금까지 대부분의 파장 안정화 방법들로는 우선 기준이 되는 절대 파장을 만든 후 이 파장과 파브리-페로 필터의 자유분광너비를 이용하여 나머지 파장들을 필터의 공진 조건에 맞추는 방법,[2] 또는 모든 기준 채널들의 파장에 공진 조건이 맞게 되어있는 동기화된 에탈론 필터를 사용하는 방법[3] 등이 있다. 그러나, 위의 방법들은 대체적으로 dither신호와 필터를 사용하여 여러 채널을 동시에 제어해야 하기 때문에 이를 위한 복잡한 전자 회로와 알고리즘이 필요하다. 또한 등간격으로 배치된 한 묶음의 파장들을 제공하기 위한 방법이므로 몇 개의 채널만을 더하고 빼고 하는 광 분기/결합에 적용하기에는 값이 비싸지게 되는 단점이 있다.

본 논문에서는 광섬유 격자를 이용하여 간단히 제어할 수 있으면서도 효과적인 파장 안정화 방법을 제시하였고, 이를 회절격자 광궤환형 레이저 다이오드(DFB-LD: distributed feedback laser diode)와 전계흡수형변조기 집적 레이저 다이오드(EMLD: electroabsorption modulator-integrated laser diode) 등의 WDM 광원에 적용하여 그 결과를 보였다.

II. 광섬유 격자를 이용한 광원의 파장 제어 원리

광섬유 브래그 격자는 1978년 K.O.Hill에 의해 처음 제시된 이후[4] 활발한 연구가 행해져 광통신과 광센서 분야에서 많은 응용이 이루어지고 있는 소자이다. 광섬유 격자는 광통신에 사용하기에는 온도 변화에 따라 브래그 파장이 변하는 문제점이 있었으나, 최근 athermal 패키징 방법으로 0.05 nm/100°C 이하의 파장 변화를 유지할 수 있을 정도로 높은 안정도를 지니게 되었다.[5] 본 논문의 파장 안정화 방법은 이러한 안정된 브래그 파장을 갖는 광섬유 격자의 사용을 전제로 하였다.

본 방법은 그림 1에서 보이는 바와 같은 광섬유 격자의 투과 및 반사 특성을 이용하였다. 여기서 사용되는 광섬유 격자의 브래그 파장은 원하는 광원의 기준 파장(λ_0)-투과된 빛과 반사된 빛의 양이 같아지는 지점-에서 $\Delta\lambda$만큼 벗어나 있다. 광원의 파장이 기준 파장보다 짧으면, 즉 투과된 빛이 반사된 빛의 양보다 크면 광원의 파장이 증가하도록 조절하고 광원의 파장이 기준 파장보다 길고 $\lambda_0+2\Delta\lambda$보다는 짧은 상태, 즉 투과된 빛이 반사된 빛의 양보다 작으면 파장이 감소하도록 조절하면 된다. 따라서, 파장이 $\lambda_0+2\Delta\lambda$보다 작기만 하면 투과된 빛과 반사된 빛, 두 양의 차가 기준 파장을 중심으로 서로 반대이기 때문에 파장 제어의 동작 방향 설정이 간단하며 파장이 어느 위치에 있든지 기준 파장에 고정시킬 수 있다. 이는 cold start시 필터를 사용한 여러 채널의 제어 때 생기는 채

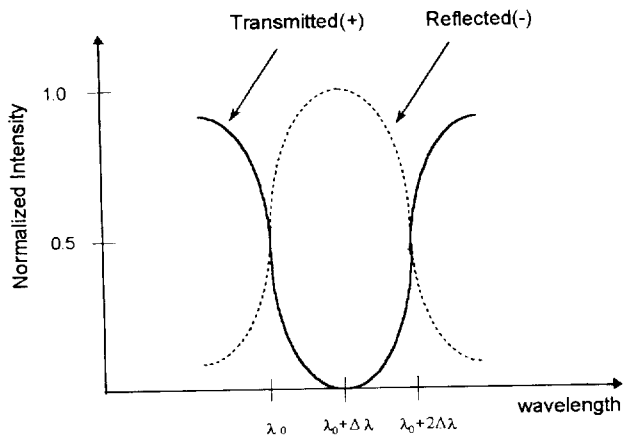


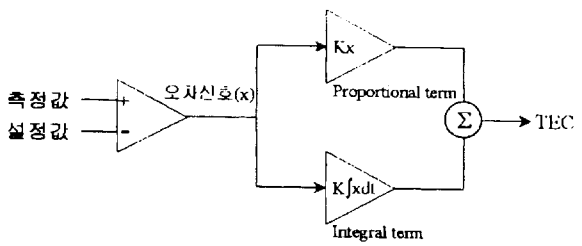
그림 1. 광섬유 브래그 격자의 특성.

널 간격으로 인한 제어 영역[3]보다 폭넓은 범위의 제어를 가능하게 한다. 초기 파장이 $\lambda_i+2\Delta\lambda$보다 긴 위치에 있을 경우에는 제어 능력 범위를 벗어나게 되는 약점이 있긴 하나 이 경우, 뒤에서 살필 경고등이 동작하므로 곧바로 조정하여 영역 내에 위치하도록 조작할 수 있다.

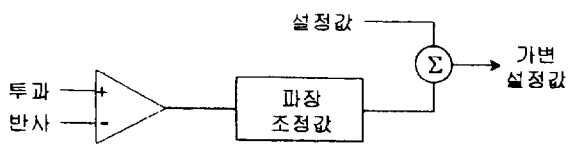
III. 광원의 파장 제어 방법

광원의 파장을 제어하는 방법으로는 레이저의 바이어스 전류를 조절하거나 레이저의 온도를 조절하는 방법이 있다. 대체로 사용되는 방법은 레이저의 온도를 일정하게 유지한 상태에서 바이어스 전류를 변화시키는 방법으로 파장을 매우 정확하게 조절할 수 있다. 그러나, 이 방법은 레이저 출력을 조절하는 자동전력제어(Automatic Power Control : APC)회로까지 고려하면 상호 연관된 두 변수로 출력 및 파장을 동시에 제어해야 하는 복잡성을 띄게 된다. 이에 비해, 본 파장제어방법은 반도체 레이저의 온도 증가에 따른 파장의 증가를 이용한 온도 조절만으로 파장을 제어함으로써 출력광원의 세기 안정과는 독립적이므로 간단한 구조를 갖는다.

일반적인 온도 조절기는 설정값과 측정값이 일치하도록 PI (proportional and integral)제어기를 통하여 열전냉각기(TEC: thermoelectric cooler)를 동작시키는 구조로 되어 있다(그림 2a). 설정값과 측정값은 각각 설정될 온도에 맞는 저항(가변저항)과 서미스터 값을 전압으로 환산한 값인데, 여기서 서미스터는 온도에 따른 저항값을 갖고 있다. 따라서 가변저항을 설정할 온도에 해당하는 서미스터의 값으로 맞추면 서미스터의 값이 가변저항에 일치하도록 TEC가 동작하고 결국 설정 온도에 도달한 후 일정 온도를 유지하게 된다. 그러나, 여기서는 LD 파장이 일정한 온도 및 전류에서도 변화가 발생하므로 일정 온도를 유지하도록 하는 것이 아니라, II절에서 언급한대로 광섬유 격자에서 투과 및 반사되는 빛의 양이 같아지는 지점이 유지되도록 온도를 조절해야 한다. 다시 말하면, 설정값을 LD파장이 기준 파장에 맞도록 변화시켜 주어야 한다. 이를 위해 현재 파장의 위치와 기준 파장과의 차에 해당하는 값을 기존의 설정값에 포함시켜주어야 한다. 또, 파장이 $\lambda_i+2\Delta\lambda$이하에서 작동하므로 이 파장보다 작은 위치에 위치해야 한다. 따라서, 우선 LD를 기준 파장 근처에 갖다 놓는 일이 필요한데, 이는 기존의 설정값을 이용하고, 그 후 광섬유 격자를 이용하여 현재 파장과 기준 파장과의 오차를 조정하는 값을 추가하여 가변적인 설정값을 만든다(그림 2b). 이 가변 설정값은 그림 2a에서 설정값 역할을 하여 서미스터가 기준 파장이 되는 지점의 온도에 맞추도록 한다.



a. 온도 조절기의 기본 구조



b. 파장 조정을 위한 설정값 변경

그림 2. 파장 제어를 위한 온도 조절 회로의 기본 구조.

IV. 실험 및 결과

광섬유 격자를 이용한 광원의 파장 안정화를 위한 실험 구성도는 그림 3과 같다. 구성 요소를 살펴보면, 우선 광원으로는 현재 많이 사용되고 있는 DFB-LD와 장래 WDM전송에 많이 활용될 것으로 보이는 EMLD를 사용하였다. 실험에 사용된 InGaAsP로 만든 DFB-LD의 경우 온도 변화에 따른 중심파장의 변화는 약 0.1 nm/°C이고, EMLD의 경우에는 약 0.08 nm/°C이다. 다음으로, 파장 안정화를 위해 사용된 광섬유 격자는 그 투과 특성이 그림 4a와 같이 원하는 기준 파장인 1551.72 nm(100 GHz 간격의 WDM인 경우, ITU 권고 파장 중의 하나)가 1551.4~1551.9 nm의 선형적인 영역에 포함되도록 특수 제작되었다. 또한, 이 광섬유 격자는 athermal 패키징된 것으로 -20~80°C의 100°C에 걸친 특성 곡선의 변화는 그림 4b에 보듯이 0.15 nm이내이고, 특히 -20~50°C에서는 그 변화가 기준 파장에서 +/-0.025 nm이내로 안정됨을 볼 수 있다.

실험 과정을 살펴보면, LD에서 나온 빛의 반이 분배기를 지나 광섬유 격자에 입사되고, 여기서 투과된 빛은 광검출기(PD: photo-detector)로 바로 검출되고 반사된 빛은 다시 분배기를 지나 검출된다. LD다음 단의 고립기(isolator)는 광섬유 격자에서 반사된 빛이 LD로의 유입을 방지하는 역할을 한다. 투과된 빛과 반사된 빛의 상대적인 손실은 증폭기(Amp1,2)가 보상하게 되고, 보상된 두 값은 비교기를 지나게 된다. 비교기의 출력은 LD의 TEC를 조절하는 파장제어회로의 오차 신호로 사용된다. 오차 신호는 파장 경고등에도 사용하게 되는데, 파장이 요구되는 범위를 벗어나 장파장일 경우 Lamp1이 켜지고 단파장일 경우 Lamp2가 켜지도록 하여 현재 파장의 상대적인 위치를 알 수 있게 하였다. 이 경고등은 시스템 구성 시 외부에 노출되어 운영자가 시스템이 제대로 동작하는지 쉽게 알아볼 수 있다.

실험은 우선 DFB-LD를 광원으로 사용하였다. DFB-LD는

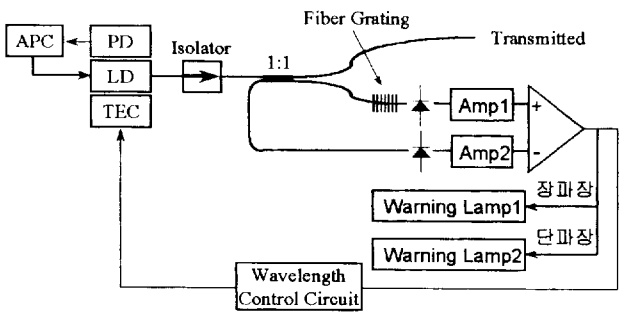
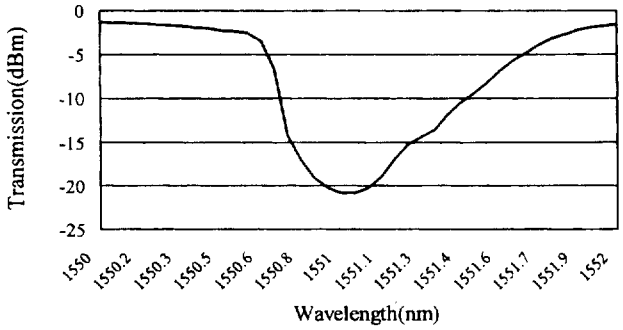
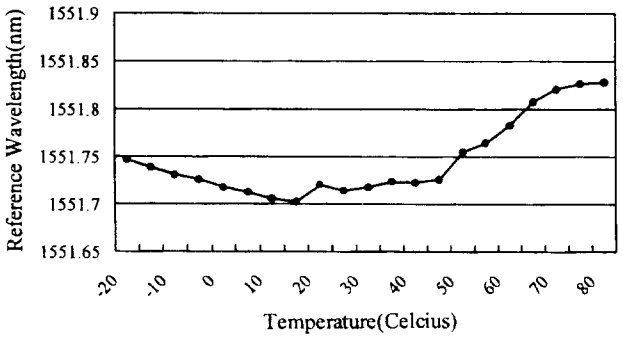


그림 3. 파장 안정화를위한 실험 구성도.



a. 광섬유 격자의 투과 곡선



b. 온도에 따른 광섬유 격자의 특성 변화

그림 4. 실험에 사용된 광섬유 격자의 특성.

온도를 일정하게 유지시켜 줄 경우 대부분의 LD들은 파장이 거의 변하지 않으나, 약 10%정도가 최고 +/- 0.4 nm의 변화가 있다고 보고되어 있다.[6] 여기에는 여러 가지 원인들이 있겠으나, 그 한 요인으로 LD가 열화되면서 같은 출력을 내기 위한 좀 더 높은 바이어스 전류의 요구를 들 수 있다. 바이어스 전류의 변화에 따른 DFB-LD 파장의 변화는 일반적으로 0.01 ~0.02 nm/mA이다. 본 파장 안정화 구조는 이러한 열화에 대한 시험으로써 DFB-LD의 바이어스 전류를 변화시키면서 Advantest TQ8325(분해능:0.001nm)로 파장을 측정하였다.

그림 5는 DFB-LD의 바이어스 전류를 10 mA에 걸쳐 2 mA씩, 30분 동안 측정한 파장 변화를 보여준다. 그림에서 보듯이 일정한 온도(TEC Control)에서는 약 +0.011 nm/mA의 파장 변화가 측정되었지만, 본 논문에서 제시하는 파장제어방법을 사용하였을 때는 제어 회로가 온도를 낮춰가며 초기값을 유지함을 알 수 있다. 또한, 짧은 기간 동안 파장 변화의 표준 편차도 0.010 nm에서 0.006 nm로 감소하였다. 만일 파장제어회로를 적절하게 설계한다면 이 변화를 더욱 줄일 수 있을 것이다.

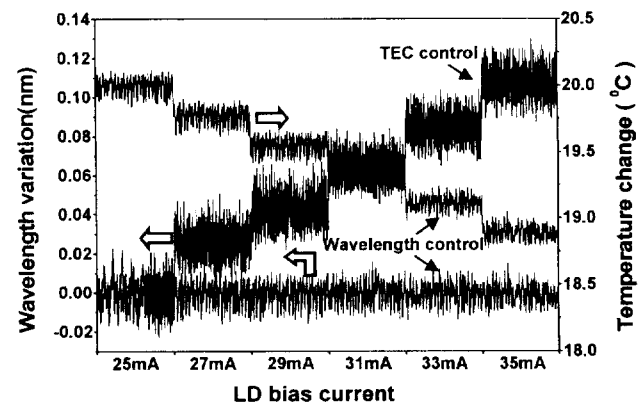
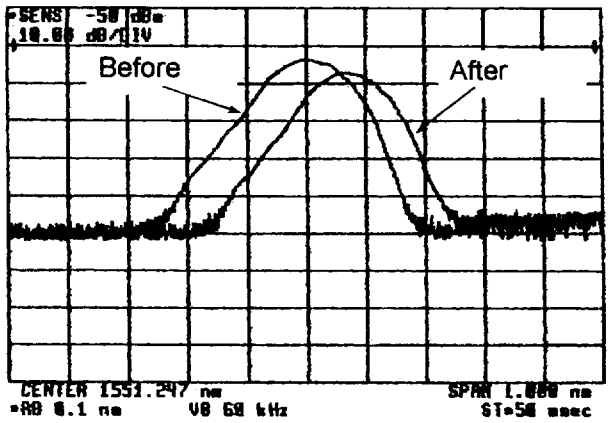
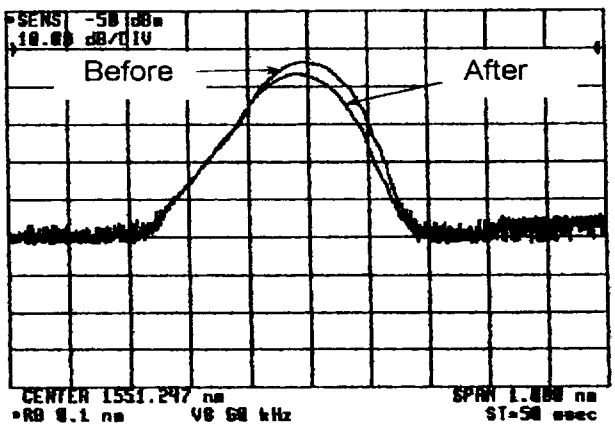


그림 5. 바이어스 전류 변화에 따른 파장의 변화.

본 파장제어회로의 유용성을 시험하기 위해 두 번째로 한 실험은 광원으로서 EMLD를 사용한 것이다. EMLD는 첩을 줄일 수 있는 외부 변조기의 형식을 띠면서도 소형화 및 적은 비용으로 구현할 수 있다는 잠재력 때문에 앞으로 유망한 광원이다.[7] 그러나, EMLD는 DFB-LD와 전계흡수형변조기를 결합함으로써 변조기 자체에 의한 첩은 물론 변조기 단면에서의 반사 영향으로 RF신호로 변조하였을 때 파장 변화의 발생이 이론적으로 제시되었고,[8] 실제 일정한 온도에서 2.5 Gb/s로 변조하였을 때 Optical Spectrum Analyzer(HP 70951A, 분해능: 0.08 nm)로 보면, 변조 전보다 약 0.08 nm의 파장 변화가 있음이 관측되었다(그림 6a). 반면, 그림 6b는 파장제어회로를 EMLD에 적용한 결과로서 온도 제어만을 한 경우와 달리 거의 변화가 없음을 볼 수 있다. 두 제어 모두 RF변조 전과 후의 신호의 크기가 다름을 볼 수 있는데, 이것은 변조 시에



a. with TEC control



b. with Wavelength control

그림 6. RF 신호로 변조하기 전과 후의 EMLD의 빛띠; 2.5 Gbps 변조에 의한 파장 변화. a. TEC 제어 : 약 0.8 nm b. 파장 제어 : 거의 변화 없음.

발생한 손실에 의한 것이다.

V. 결 론

광섬유 격자를 이용한 WDM용 광원의 파장 안정화 방법을 제시하고 그 결과를 보였다. 실험 결과에서 보듯, 이 구조를 사용함으로써 DFB-LD의 바이어스 전류가 바뀜에도 불구하고 파장은 변화가 없음을 확인하였다. 또한 EMLD에도 적용하여 RF 변조시 발생되는 파장변화를 제어해 줄 수 있음을 확인하였다. 본 구조는 간단하면서도 효과적으로 동작하고, 값싸게 구현할 수 있기 때문에 실 시스템에 적용할 수 있으리라 기대된다.

참고문헌

[1] Y. Yano and T. Ono, OECC'97, 10B2-4
[2] T. Miyazaki and S. Ryu, IEEE Photon. Technol. Lett., **6**, 744 (1994).
[3] J.H. Jang et al., IEEE Photon. Techonol. Lett., **9**, 383 (1997).
[4] K.O. Hill et al., Appl. Phys. Lett., **32**, 647 (1978).
[5] T. Iwashima et al., OECC'97, 9D2-4
[6] Y.C. Chung and Jichai Jeong, OFC'94, WG6
[7] Y.K. Park et al., ECOC'96, TuP.11
[8] D.Marcuse, IEEE J. Quantum Electron., **26**, 262 (1990).

A wavelength stabilization scheme for WDM transmission using a fiber grating

Seung-Tak Lee, Youngil Park and Chang-Joon Chae
Korea Telecom Access Network Research Laboratory
Taejeon, 305-348, Korea

(Received December 26, 1998, Revised manuscript received March 11, 1998)

We proposed a simple and yet effective way of wavelength stabilization for WDM transmission using a temperature compensated fiber grating. This scheme was successfully applied to both DFB LD and EMLD, locking them to their respective reference wavelengths notwithstanding temperature change and RF modulation.