

장주기 격자의 EDFA용 이득평탄화 필터 설계

김민성

동명정보대학교 정보통신공학과

Design of Long Period Fiber Grating for EDFA gain flattening Filter

Min-Sung Kim

Dept. of Information Communication Engineering, TongMyong University of
Information Technology

요 약

장주기 격자 필터를 이용한 EDFA용 이득평탄화 필터 설계에는 대역폭에 따라 한 개에서 세 개까지의 평탄화가 가능하다. 이러한 필터 설계는 EDFA의 고유의 중심 파장, 크기, 대역폭에 대한 각 장주기 광섬유 격자의 중심 파장, 크기, 대역폭을 설정하여 이득평탄화를 최적화 시킨다. 이득평탄화 필터의 설계를 위한 방법으로 수동 설계 통한 이득평탄화를 했으나, 신속하고 편리함을 위해 반자동 설계, 자동 설계 프로그램을 구현하였다. 이를 통한 이득평탄화 정도는, 수동이 0.38dB, 반자동 0.57dB, 자동 0.62dB 정도로 정밀한 이득평탄화를 얻을 수 있는 설계가 가능하였다.

1. 서론

초고속 광통신을 위한 파장분할다중화(Wavelength Division Multiplexing: WDM) 시스템에 있어서, 광증폭기(Erbium-Doped Fiber Amplifier: EDFA)의 이득 평탄화 기술은 광증폭기의 핵심 기술로 자리를 잡고 있으며, 구현하는 기술들이 다양하다. 그중에서 장주기 광섬유격자(Long-Period Fiber Grating)는 흡수대역폭이 수십 nm 이상으로 매우 넓으며, 삽입 손실이 작고, 반사타입의 필터가 아니라 코어로 진행되는 기본 모드를 진행하는 방향의 클래딩 모드로 커플링 시키는 광소자로 EDFA의 잡음지수(Noise Figure)에 영향을 주지 않기 때문에 EDFA의 이득 평탄화 필터로 적용 가능하다(1,2).

본 논문에서는 장주기 광섬유 격자 필터를 이용하여, 파장에 따라서 이득이 불규칙한 EDFA의 이득스펙트럼을 이득평탄화 시키는 프로그램 설계 방법을 개발하고, 필터 설계에 필요한 파라미터를 적용하여 이득평탄 최적화에 대한 수동설계에서 자동설계 방법으로 다양한 설계방법을 검토하고자 한다.

2. 설계방법

일반적인 장주기 광섬유격자의 스펙트럼은 가우시안(Gaussian) 함수 형태로 나타내며, 하나의 장주기 광섬유격자로 EDFA의 ASE 스펙트럼 (1525~1565nm)대역인 약 40nm의 이득곡선을 한꺼번에 이득평탄화 시키기에는 힘들다. 따라서 여러 개의 광섬유격자를 직렬 연결하여 각 대역별로 부분적으로 평탄화 시킬 필요가 있다. 부분적인 대역별 평탄화를 종합적으로 시뮬레이션하면 최종적인 이득평탄화 시킬 스펙트럼 형태를 알아 낼 수 있다. 필터 설계 적용으로는 각 장주기 광섬유 격자의 고유한 중심 파장, 크기, 대역폭을 설정하여, EDFA ASE 스펙트럼의 중심 파장, 크기, 대역폭에 최적화 시키는 것이다.

2-1 수동 설계를 이용한 이득평탄화 방법

장주기 광섬유격자의 EDFA 이득평탄화 필터 설계하기 위해 기존 응용 프로그램인 MS Excel, 또는 SigmaPlot을 이용하여 설계가 가능하다. EDFA의 이득곡선을 기초로 이득 평탄화에 사용될 장주기 광섬유 격자의 개수와 각 장주기 광섬유 격자 스펙트럼

변수인 중심파장, 크기, 대역폭의 초기값을 식(1)과 같이 가우시안 함수를 사용하였다.

$$G(x) = A \cdot \exp(-0.5 \cdot ((x-w)/\sigma)^2) \quad \text{식(1)}$$

여기서 A는 크기, w는 중심파장, σ는 대역폭을 나타낸다. 가우시안 함수에서 크기 A의 값으로 장주기 광섬유격자의 스펙트럼의 크기를, w를 변화시켜 중심파장, 대역폭은 σ로 조절한다. 여기서, σ는 장주기 광섬유격자 크기의 exp(-0.5)에 해당하는 값이며, 정확한 대역폭은 광섬유격자 크기의 3dB 위치에서 구한다.

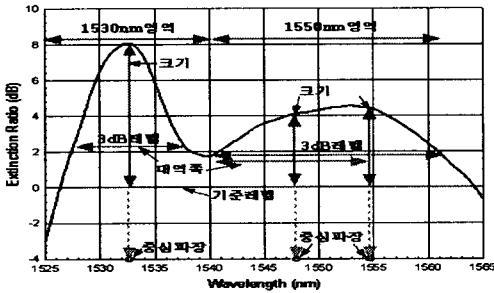
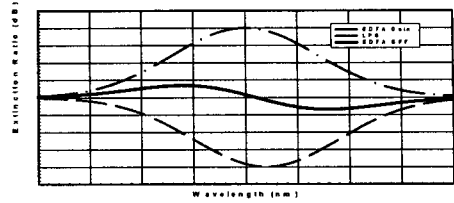


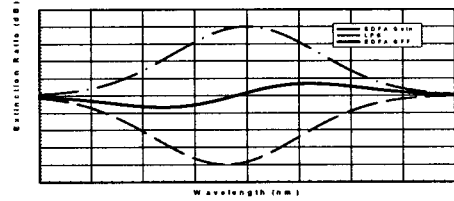
그림 1. 장주기 광섬유격자 스펙트럼의 초기값 선정을 위한 파라메타

1525~1565nm 대역에서 그림 1과 같은 파라메타를 고려하여 이득평탄화에 적용하는데, 1530nm영역과 1550nm영역 두 부분을 나누어서 설계를 할 필요가 있다. 초기값 선정은 광섬유 증폭기의 이득곡선에서 기준레벨과 이득 스펙트럼의 최대 값과의 차이 값을 구하고 그 값의 3dB되는 값을 대역폭으로 하였다. 그리고 대역폭의 중심이 되는 파장을 중심파장으로 하였고, 중심파장에 해당되는 이득크기를 크기로 하였다. 1550nm 영역의 경우를 보면 가우시안 형태보다 넓고 위쪽 부분이 평평한 형태를 취하고 있다. 1530nm에 하나의 장주기 광섬유격자를 이용하고, 1550nm대역에서도 중심의 파장과 크기, 대역폭을 설정하여 이득평탄화를 시도해본 결과, 이득평탄도가 2.8dB로 나쁜 결과를 나타내었다. 이득평탄도를 향상시키기 위하여 각각의 장주기 광섬유 격자의 스펙트럼 변수를 초기값을 조금씩 변화시켜야 하는 수작업이 필요하다. 변수 값의 변화에는 몇 가지가 있다. 그 예로, 그림2. 중심파장이 일치하지 않는 경우이다. 그림 2.(a)의 경우는 장주기 광섬유 격자의 중심 파장을 단파장으로 이동시키고, 그림 2.(b)는 장주기

광섬유 격자의 중심 파장을 장파장으로 이동 시켜야 한다.



(a) 중심 파장이 장파장으로 이동한 경우



(b) 중심 파장이 단파장으로 이동한 경우

그림 2. 중심파장이 일치하지 않는 경우

다음으로 대역폭이 일치하지 않는 경우가 있다. 장주기 광섬유 격자의 크기를 키우거나 줄여야 하는 등의 복잡한 과정을 거치면서 최적화시켜 나간다. 이러한 과정을 반복함으로써, 초기값으로 이득 평탄화된 스펙트럼에서 점차 이득 평탄도가 향상되어 최종적으로 최적의 이득 평탄화된 스펙트럼을 얻을 수 있다.

광섬유 증폭기 이득 평탄화 필터 설계에서 1550nm 영역에서의 이득곡선은 장주기 광섬유격자의 스펙트럼과 잘 일치하지 않기 때문에 이득평탄화 하는데 한계가 있다.

이를 해결하기 위해 1550nm 영역부분에서 두개의 장주기 격자를 사용하여 평탄화를 적용하여 본 결과

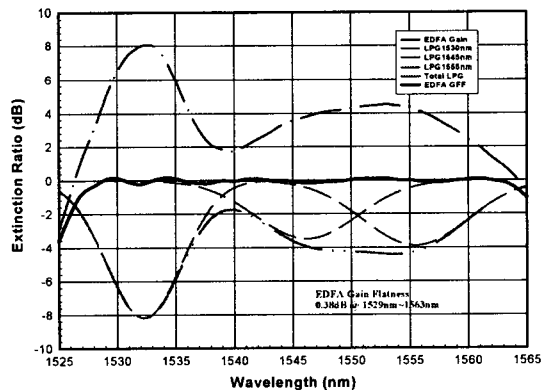


그림 3에서와 같이 1529nm~1563nm 대역에서 평탄

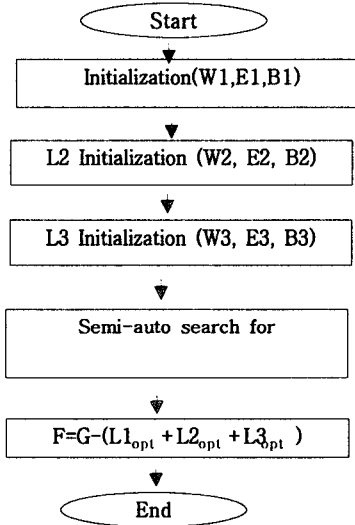
도가 0.38dB로 좋은 평탄도를 얻을 수 있었다.

그림3. 이득평탄화 수동설계 결과

2) 반자동 설계 방식을 이용한 이득 평탄화

지금까지는 수동으로 적절한 중심 파장, 크기, 대역폭을 찾았다. 이는 번거로운 작업과 많은 시간을 필요로 한다. 이를 개선하기 위하여 반자동 프로그램을 구현하였다. 반자동 설계에서는 기존 응용 프로그램인 MATLAB 을 이용했다. 그림 4.는 이득평탄화를 위한

필터설계 프로그램 흐름도(flow chart)이다.



- L1, L2, L3 : Long Period Fiber Gratings
- L1_{opt}, L2_{opt}, L3_{opt} : Optical long period gratings
- G : EDFA gain spectrum, F: Flatness
- W1, W2, W3 : Center wavelength
- E1, E2, E3 : Extinction ratios
- B1, B2, B3 : Standard deviation bandwidth

그림4. 이득평탄화 반자동 프로그램 흐름도

주어진 이득 스펙트럼을 이용하여 장주기광섬유격자의 필터인 LPG1, LPG2, LPG3의 중심파장, 크기, 대역폭을 각각의 필터에 대해 초기화 한다. 중심 파장 ω_1 , 크기 e_1 , 대역폭 b_1 을 갖는 가우시안 함수로 정의할 수 있다.

$$LPG_2 = e_2 \cdot \exp\left(-0.5 \cdot \left(\frac{\lambda - \omega_2}{b_2}\right)^2\right)$$

여기서는 파장을 λ 로 나타낸다. 이득 스펙트럼을 G

라 두면 첫 번째 LPG에 의해 평탄화된 스펙트럼은 다음과 같다.

$$F1 = G - LPG_1$$

두 번째 LPG는 F1을 이용하여 구한다. 두 번째 LPG의 중심 파장은 대략 1544nm와 1546nm 사이에서 최적의 평탄도 (flatness)를 얻는 파장을 자동적으로 중심 파장으로 선택한다. LPG의 크기는 F1의 최대 값과 최소 값의 차이 값을 이용하여 자동적으로 정한다. 대역폭은 F1의 최대 값과 최소 값의 차이 값에 0.607을 곱한 값을 취하였다. 구해진 중심 파장, 크기, 대역폭에 의해 아래와 같이 두 번째 LPG를 정의할 수 있다.

$$LPG_2 = e_2 \cdot \exp\left(-0.5 \cdot \left(\frac{\lambda - \omega_2}{b_2}\right)^2\right)$$

첫 번째 LPG와 두 번째 LPG에 의해 평탄화된 스펙트럼 F2는 다음과 같다.

$$F2 = G - LPG_1 - LPG_2$$

세 번째 LPG는 F2를 이용하여 앞에서와 같은 방법으로 구한다. 구해진 세 번째 LPG를 아래와 같이 중심 파장 ω_3 , 크기 e_3 , 대역폭 b_3 를 갖는 가우시안 함수로 정의할 수 있다.

$$LPG_3 = e_3 \cdot \exp\left(-0.5 \cdot \left(\frac{\lambda - \omega_3}{b_3}\right)^2\right)$$

세 개의 평탄화된 스펙트럼을 종합하면 다음과 같다.

$$F3 = G - LPG_1 - LPG_2 - LPG_3$$

최적의 평탄화를 구하기 위해서 지금까지 구해진 LPG들을 기초로 하여 반자동으로 최적의 중심 파장 ω_3 , 크기 e_3 , 대역폭 b_3 을 구한다. 광섬유 증폭기 이득 평탄화 반자동 프로그램 흐름을 이용하여 이득 스펙트럼과 세 개의 장주기 광섬유 격자와 평탄화된 스펙트럼을 가지고 결과는 1529nm~1563nm 파장대역에서 이득평탄도가 0.57dB 정도로 그림 5와 같이 나타낸다.

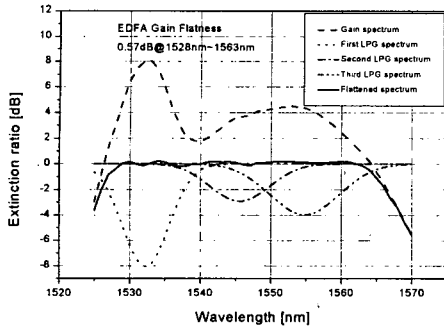


그림5. 이득평탄화 반자동화 프로그램을 적용한 결과
3) 자동 설계 방식을 이용한 이득평탄화

광섬유 증폭기 이득평탄화 전자동 프로그램의 최적화 흐름도를 그림 6에 나타내었다. 먼저, LPG를 초기화시키고 첫 번째 LPG, 두 번째 LPG, 세 번째 LPG를 각각 최적화시킨다. 각 LPG의 최적화 방법은 먼저 LPG의 중심 파장을 변화시켜 평탄도가 최저가 되는 파장을 최적 중심파장으로 선택하고 LPG의 크기를 변화시켜서 최적의 크기를 구한다. 대역폭도 같은 방법으로 구한다.

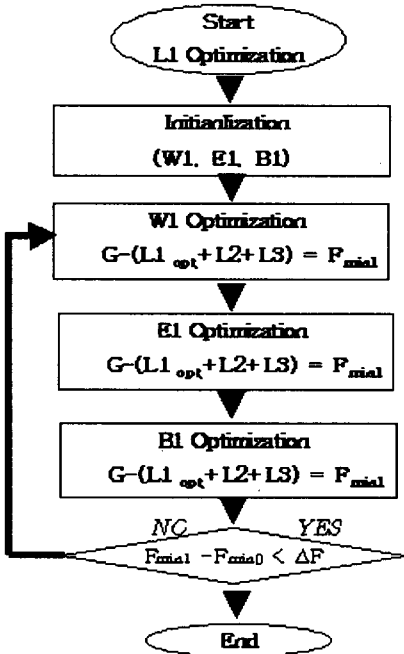


그림6. 장주기 광섬유 격자의 최적화 프로그램 흐름도

광섬유 증폭기 이득 스펙트럼 평탄화 필터를 보다 편리하게 설계하기 위하여 자동화 프로그램을 구현하였다. 자동 설계 방식을 적용한 결과를 살펴보면 평탄도가 1529nm~1563nm에서 0.62dB로 그림 7과 같은 비교적 양호한 결과 값을 얻을 수 있었다.

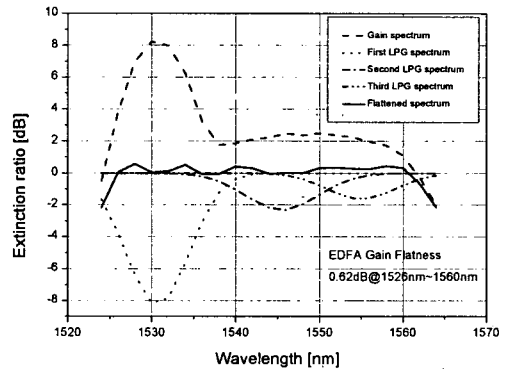


그림. 7. 광섬유 증폭기에 이득평탄화 자동화 프로그램을 적용한 결과

3. 결론

광섬유 증폭기의 이득 스펙트럼 평탄화를 보다 편리하고 신속하게 설계할 수 있는 자동화 프로그램을 구현하였다. 수동 설계 방식을 사용한 결과가 0.38dB로 가장 좋은 결과 값을 나타내고 가장 정밀한 디자인이 가능하나 모든 작업이 수작업으로 이루어지므로 번거롭고 평탄화 시키는 시간이 많이 소모된다. 반자동 설계방식은 수동 설계 방식보다 이득 평탄도가 높은 0.48dB로 나타났으나 수작업이 많이 줄어들었다. 자동 설계 방식은 이득평탄도는 0.62dB로 조금 높게 나타났으나 자동화 프로그램을 수행한 결과 수동 설계에 비해서 평탄화를 위한 작업 시간을 약 2/3로 단축 시킬 수 있었다. 자동 설계 프로그램은 결과 값이 수동 설계 결과 값보다 편차가 나타나므로 이러한 문제점을 해결하기 위해서 자동 설계 프로그램의 지속적인 보완이 필요하다.

[참고문헌]

[1] A.M. Vengsakar, J.R. Pedrazzani, J.B. Judkins, P.J. Lemaire, N.S. Bergano and C.R. Davidson,

"Long-Period Fiber Grating based gain equalizers",
Opt.,Lett., vol.21, no.5, pp.336-338, 1996

[2] A. Yu, M.J. O'Mahoney, and A. S. Siddiqui, "
Annalysis of optical gain enhanced erbium-dopped
fiber amplifiers using optical filters", *IEEE photon.
Technol. Lett.*, Vol.5, No.7, pp. 773-775, 1993