

편광 유지 광섬유 루프 미러를 이용한 다채널 그룹 딜레이 보상 필터

정승환, 유봉안, 이병호
서울대학교, 전기공학부

A multichannel group-delay compensation filter using a polarization maintaining loop mirror

Seunghwan Chung, Bong-Ahn Yu, and Byoung-ho Lee
School of Electrical Engineering, Seoul National University

Abstract - 본 논문은 편광 유지 광섬유 루프 미러를 이용한 색분산 보상 필터의 제안과 이의 응용에 관한 것이다. 제안된 필터는 구성이 간단하고, 편광 의존성이 낮으며 하나의 장비로 여러 채널의 신호를 동시에 분산 보상할 수 있는 장점이 있다. 실험에 사용된 커플러의 파워-커플링 계수를 조절하면 그룹 딜레이 기울기를 조절할 수 있다. 그리고 n개의 편광 유지 광섬유 루프 미러를 연결하면 필터의 손실이 커지지만 커플링 계수의 조절을 통해 필터 특성을 변화시킬 수 있다. 이와 같은 특성을 이용하면 제안된 필터를 동적 분산 보상기로 이용할 수 있다. 논문에서는 파워-커플링 계수의 변화에 따른 필터의 그룹 딜레이 기울기의 변화를 계산한 그래프와 실험 결과 데이터를 비교 제시하였다.

1. 서 론

광통신 시스템의 초고속, 대용량화로 인하여, 전송 신호에 대한 다양한 방식의 분산 보상 기술들이 제안되고 있다. 기존의 방법으로는 각각 분산 보상 광섬유 (dispersion compensated fiber), 처프된 광섬유 격자 (chirped fiber Bragg grating), 비대칭 마하 켄더 간섭계 격자, VIPA (virtual imaged phase array), 고차 모드 분산 보상기(higher mode dispersion compensator), 그리고 저손실 광학 필터를 사용하는 방법 등이 있다 [1-6]. 본 논문에서는 편광 유지 광섬유 루프 미러를 이용한 분산 보상 필터를 제안하고 있다. 편광 유지 광섬유 루프 미러는 일종의 Sagnac 간섭계로서 반사단과 투과단을 각각 comb 필터로 사용할 수 있다. 이 필터는 위의 언급된 보상기들에 비해 비교적 구성이 간단하고 비용적인 면에서 유리한 장점을 가지고 있다. 또한, comb 필터 특성상 여러 채널을 동시에 분산 보상할 수 있다. 그리고, 여러 단의 편광 유지 광섬유 루프 미러를 연결하여 필터의 투과 특성 및 분산 특성을 원하는 대로 설계할 수 있다. 본론에서는 N 개의 연속된 편광 유지 광섬유 루프 미러의 분산 특성을 커플러들의 결합 계수의 변화에 따라 계산하고, 한 개의 편광 유지 광섬유 루프 미러에 대해 실험한 데이터와 비교해 보았다.

2. 본 론

2.1 구조와 원리

그림 1은 제안된 필터의 기본 구조를 나타내고 있다. N 개의 연속된 편광 유지 광섬유 루프 미러를 구성하기 위해, 이에 적합한 링 구조로 이루어져 있다. N 개의 연속된 링 구조의 필터를 N차 필터라고 하자.

각각의 편광 유지 광섬유 루프 미러는 일정한 길이의 광섬유와 커플러, 그리고 편광 조절기로 구성된다. 여기서 편광 조절기는 시계 방향으로 회전하는 빛과 반시계 방향으로 회전하는 빛의 편광 상태를 회전시키는 역할을 한다. 양쪽 방향으로 다른 편광 상태로 진행하는 빛들은 편광 유지 광섬유의 길이에 비례한 위상 지연이 생기게

되고 이로 인해 간섭 패턴이 나타나게 된다. 그 주기는 다음의 식과 같이 표현된다 [7].

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2|n_s - n_f|L_{PMF}} \quad (1)$$

여기서 L_{PMF} 은 편광 유지 광섬유의 길이이고 n_s 와 n_f 는 각각 편광 유지 광섬유의 slow 축과 fast 축으로 진행하는 빛의 유효 굴절률이다. N 번째 링을 통해 나오는 빛은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$U_n = U_{n-1}(t^* \exp(i\Phi) + r^* \exp(i\Phi_s)) \quad (2)$$

$$\Phi_f = n_f \frac{2\pi}{\lambda} L_{PMF} + \frac{\pi}{2}, \quad \Phi_s = n_s \frac{2\pi}{\lambda} L_{PMF} + \frac{\pi}{2}$$

여기서 U_n 은 N 번째 링을 통해 나오는 빛의 크기이고 t 와 r 은 각각 커플러의 through- 와 cross- 크기 투과 계수로서, κ 를 가변 커플러의 파워 결합 계수라 할 때 $t = \sqrt{\kappa}$, $r = \sqrt{1 - \kappa}$ 로 나타낼 수 있다. 각 루프의 κ 는 원하는 필터의 특성을 고려하여 이론적으로 계산한 다음 결정하게 된다.

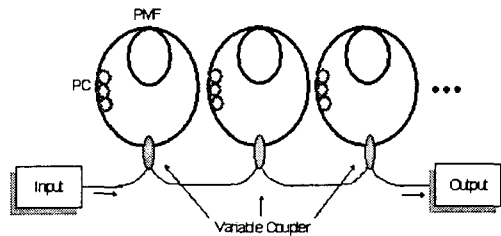


그림 1. 제안된 그룹딜레이 보상 필터의 구조

2.2 시뮬레이션과 실험 결과

2.2.1 시뮬레이션

N 번째 루프 미러의 위상 항은 다음 식으로 표현할 수 있고, 이를 이용하여 N 개의 연속된 링 구조 필터의 그룹 딜레이를 계산할 수 있다.

$$\Phi_n = \tan^{-1} \left(\frac{t^* \sin \Phi_f + r^* \sin \Phi_s}{t^* \cos \Phi_f + r^* \cos \Phi_s} \right) + \Phi_{n-1} \quad (3)$$

그림 2는 각각의 루프에 1.1 m 길이의 편광 유지 광섬유가 삽입된 2 차 필터의 경우에, κ 값을 변화시켰을 때의 딜레이 특성을 보여주고 있다. 필터의 차수가 커지면 분산 기울기 (dispersion slope)도 그에 비례하여 커지게 되고, κ 값을 조절하여 원하는 값을 갖도록 설계할

수 있다.

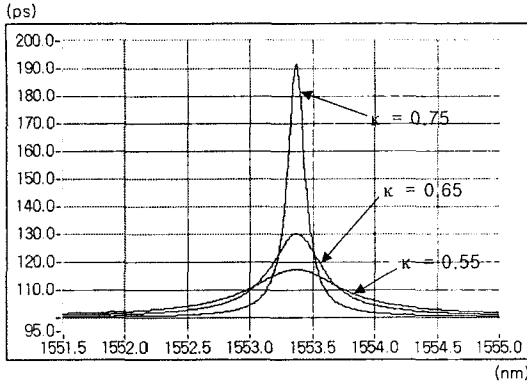
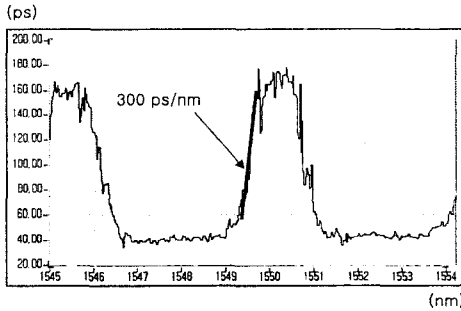


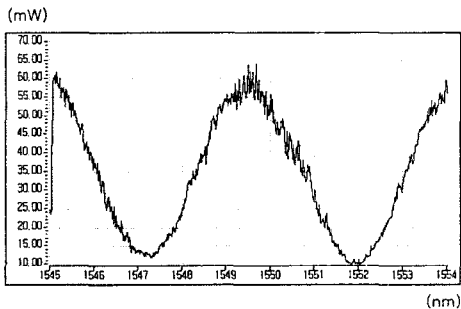
그림 2. κ 값의 변화에 따른 필터의 그룹 딜레이 특성.
($N = 2, L_{PMF} = 1.1 \text{ m}$)

2.2.2 실험 결과

제안된 필터의 딜레이 특성을 검증하기 위해 계산 결과와 같은 조건의 1 차 필터를 구성하고, 투과단에서 그룹 딜레이를 측정하였다. 그 결과를 시뮬레이션과 비교해 보면, 커플러의 파워 결합 계수의 변화에 따라 같은 양상으로 분산 기울기가 변함을 확인할 수 있었다. 서로 정확히 일치하지 않는 원인은 커플러의 결합 효율, 편광 조절기의 편광 상태 변환 효율 등을 들 수 있다. 그림 3 (a)는 κ 가 0.6 일 때 측정된 그룹 딜레이 특성을 보여 주고 있다. 이때, 분산 기울기는 필터의 최대 투과 영역에서 대략 300 ps/nm이다. 그림 3 (b)는 (a)와 같은 파장 대역에서의 파워 투과 특성을 보여 주고 있다.



(a) 그룹 딜레이 특성



(b) 투과 특성

그림 3. 제작된 1차 필터의 특성.
($\kappa = 2, L_{PMF} = 1.1 \text{ m}$)

3. 결 론

본 논문에서는 편광 유지 광섬유 루프 미러를 이용하여, 구조가 간단하고 분산 기울기 조정이 가능한 필터를 제안하고 구성하였다. 제안된 필터의 특성을 검증하기 위하여, 1.1 m 길이의 편광 유지 광섬유를 이용한 1 차 필터를 구성하고 실험한 결과, 가변 커플러의 파워 결합 계수를 조정함으로써 투과 영역에서 분산 기울기가 변함을 확인할 수 있었다. 앞으로 계속된 연구를 통하여 이론과 실험치의 오차를 줄이고, 다양한 분산 기울기의 필터를 구현할 것이다.

[참 고 문 헌]

- [1] A. M. Vengsarkar, *et al.*, "Recent progress in dispersion compensating fibers," in *Proc. IOOC' 95*, Hong Kong, June 1995, 31.
- [2] F. Ouellette, *et al.*, "Broadband and WDM dispersion compensation using chirped sampled fibre Bragg gratings," *Electron. Lett.*, 31, 899, 1995.
- [3] K. Takiguchi, *et al.*, "Dispersion compensation using a planar lightwave circuit optical equalizer," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 6, 561, 1994.
- [4] M. Shirasaki, *et al.*, "Variable dispersion compensator using the virtually imaged phase array (VIPA) for 40 Gbps WDM transmission systems," *ECOC 2000*, PD 2.3, 2000.
- [5] C. D. Poole, *et al.*, "Optical fiber based dispersion compensation using higher order modes near cutoff," *J. Lightwave Technol.*, 12, 1746, 1994.
- [6] C. Madsen, *et al.*, "Optical all pass filters for phase design with applications for dispersion compensation," *IEEE Photon. Technol. Lett.*, 10, 994, 1998.
- [7] X. P. Dong, *et al.*, "Multiwavelength erbium doped fiber laser with a high-birefringence fiber loop mirror," *CLEO 2000*, 547.