

# 다중 장주기 광섬유격자를 이용한 광펄스 반복률의 8배 증배

## 8 times multiplication of optical pulse repetition rate using cascaded long-period fiber gratings

엄태중, 김선중, 박창수, 이병하

광주과학기술원 정보통신공학과

eomtj@kjist.ac.kr

광시분할 시스템의 대역이 넓어지면서 매우 높은 주파수 특성을 가진 광원의 필요성이 요구되어졌다. 이에 낮은 반복률(repetition rate)을 가진 광 펄스들을 자기 복제 시켜서 반복률을 올리기 위한 연구가 이어져 왔다. 특히 단일 모드 광섬유의 분산 특성이나 chirped fiber Bragg grating 혹은 평판 광도파로를 이용한 광펄스의 반복률을 배가시킨 연구들이 보고되어졌다.<sup>(1-3)</sup> 그러나 요구되어지는 광원의 반복률이 높아질수록 복제되는 펄스간의 시간 지연이 작아지게 되므로, 펄스 복제를 위한 광소자의 제작 정밀도 또한 높아 져야 한다. 이에 본 연구에서는 그 동안 광통신용 소자와 광센서로써 주로 연구되어온 장주기 광섬유격자(long-period fiber grating, LPG)를 이용하여 고도의 정밀도를 요구하지 않으면서도 펄스 반복률의 8 배까지 증배 시킬 수 있는 광소자를 구현하였다.

장주기 광섬유격자는 광섬유 코어 모드로 도파되는 빛을 클래딩 모드로 결합시키는 소자이다. 코어 모드와 클래딩 모드로 각각 진행되는 광펄스는 두 모드 사이의 유효 그룹 굴절률 차이(differential effective group index,  $\Delta m_{eff}$ )로 인하여, 비록 같은 길이의 광섬유를 진행하더라도 광경로차를 느끼게 된다. 따라서, 입사된 펄스를 두 개의 모드로 나눈 후, 일정 길이의 도파로를 따라 진행시키고 다시 결합시키면 원하는 만큼의 시간지연을 가진 두 개의 펄스로 복제시킬 수 있다. 특히, 광섬유 코어 모드와 클래딩 모드사이의 유효 굴절률 차이는 상용 단일모드 광섬유의 경우  $10^{-3} \sim 10^{-4}$  정도이므로<sup>(4)</sup>, 단순히 두 도파로간의 물리적 길이차로 구현한 펄스 복제에 비하여 고도의 정밀도를 요구하지 않으면서도 수 psec 이하의 매우 짧은 시간 지연을 구현할 수 있다. 그림 1은 다중화된 광섬유 격자를 이용하여 펄스를 증배 시키기 위한 구조도로써, N-1개의 시간지연소자들로 이루어져있다. 각각의 지연소자는 일정한 간격을 두고 만들어진 두 개의 동일한 장주기 격자로 구성되어있다. 8자형 광섬유 레이저에서 나온 펄스(반칙폭 = 0.6 ps, 중심파장 = 1560 nm)가 첫 번째 장주기 격자를 만나면서 50:50으로 나뉘어지고, 길이  $L_1$  만큼 진행한 후에 두 번째 격자에서 합쳐지면서  $T_1$  만큼의 시간지연을 가지게 된다. 이렇게 복제된 펄스를  $L_1$ 의 절반 길이를 가진 두 번째 지연소자를 지나게 하면 시간지연은 다시 절반으로 줄어들게 된다. 식 1과 2에서 나타낸바와 같이 각 구간의 길이( $L_p$ )를 조절하게되면 원하는 값만큼의 시간지연( $T_p$ )과 반복률의 증배를 얻을 수 있다.

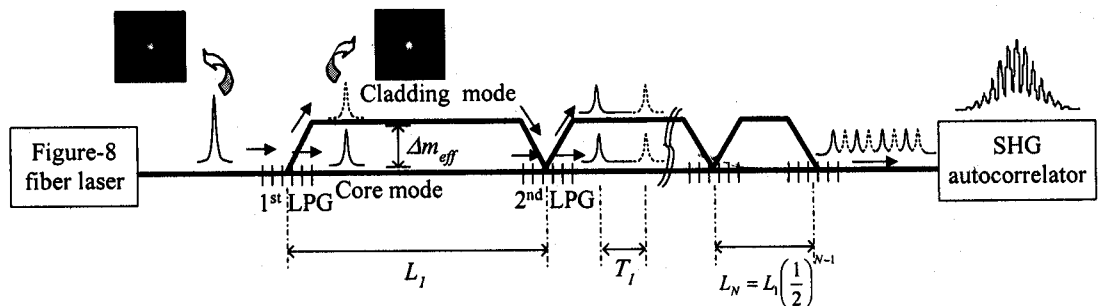


그림 1. 다중화된 광섬유 격자를 이용한 광펄스 증배기의 구조도

$$T_p = \frac{L_p}{c} \Delta m_{eff}, \quad (1)$$

$$L_p = L_p \left( \frac{1}{2} \right)^{p-1}, \quad (2)$$

여기에서  $L_p$  는  $p$  번째 시간지연소자를 구성하는 두개의 장주기 광섬유격자간의 간격이다.

본 연구에 사용된 장주기 격자는 KrF 엑시머 레이저를 사용하여  $540 \mu\text{m}$ 의 격자 주기와  $20 \text{ mm}$ 의 격자 길이로 제작되었으며,  $\text{HE}_{14}$  클래딩 모드의 공진 파장( $1560 \text{ nm}$ )에서  $3 \text{ dB}$ 의 결합세기를 가지도록 하였다. 또한 원하는 시간지연을 얻기 위해서는 광원의 파장에서의 정확한 유효 굴절률 차를 알고 있어야하는데, 이를 측정하기 위해서 격자간의 간격이  $808.0 \text{ mm}$  인 장주기 격자쌍을 제작하여, 이의 투과스펙트럼에 나타나는 간섭무늬로부터 유효 굴절률 차( $\Delta m_{eff} = 3.52 \times 10^{-3}$  @ $1560 \text{ nm}$ )를 구해내었다.<sup>(4)</sup> 이를 바탕으로 하여 세 개의 서로 다른 시간 지연소자( $L_1 = 808.0 \text{ mm}$ ,  $L_2 = 404.0 \text{ mm}$ ,  $L_3 = 202.0 \text{ mm}$ )를 제작하였으며, 각각  $2\times$ ,  $4\times$ ,  $8\times$  의 펄스 반복률의 증배를 이루어내었다.

그림 2는 각각의 증배된 펄스 신호들을 autocorrelator를 이용하여 측정한 결과를 나타낸 것으로서, 하나의 시간 지연소자( $L_1 = 808.0 \text{ mm}$ )를 사용하였을 때에는 반복주기,  $T_1$  이 약  $9.6 \text{ ps}$  이었고, 이를 두 개의 지연소자( $L_2 = 404.0 \text{ mm}$ ,  $L_3 = 202.0 \text{ mm}$ )와 3개의 지연소자( $L_1$ ,  $L_2$ ,  $L_3$ )를 사용하였을 때에는 각각  $T_2 = 4.8 \text{ ps}$ ,  $T_3 = 2.4 \text{ ps}$  인 펄스 반복주기를 얻을 수 있었다.

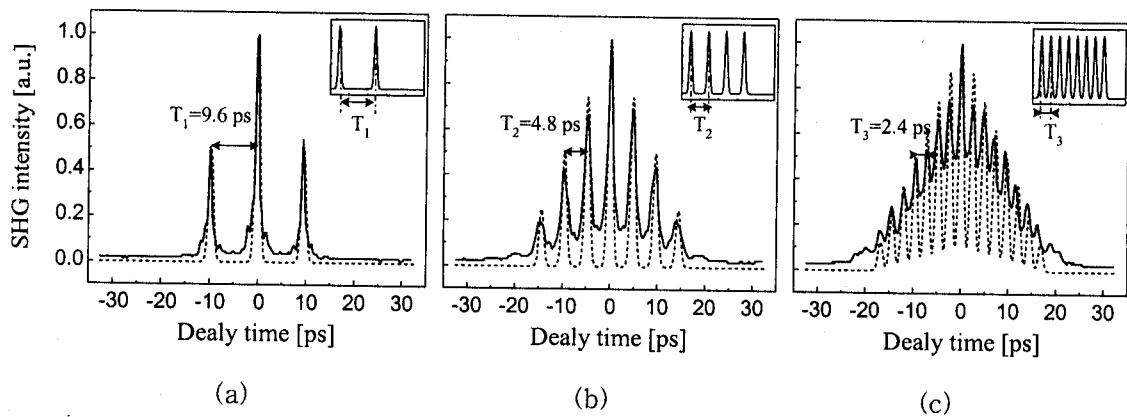


그림 2. (a) 2배 ( $T_1 = 9.6 \text{ ps}$ ), (b) 4배 ( $T_2 = 4.8 \text{ ps}$ ), (c) 8배 ( $T_3 = 2.4 \text{ ps}$ ) 증배된 출력 펄스들의 autocorrelator 측정 결과

본 연구에서는 광섬유 코어 모드와 클래딩 모드간의 유효 그룹 굴절률 차로 인한 매우 짧은 시간 지연을 이용하여 광 펄스의 8배 자기 증배를 이루었다. 다중화된 3개의 장주기 광섬유격자를 사용하여 얻어진 광펄스의 최소 펄스 반복주기는  $2.4 \text{ ps}$  이었다. 이러한 시간지연방법은 광펄스의 자기 복제 뿐만 아니라, 높은 주파수 대역( $100 \text{ GHz}$  이상)의 광 CDMA의 부호기와 역부호기로 응용될 있다.<sup>(5)</sup>

본 연구는 K-JIST의 ERC, BK-21과 KOSEF의 목적기초연구(R01-2001-000-00327-0)의 지원에 의한 것입니다.

#### 참고문헌

1. I. Shake et al., 34 (8), pp. 792-793 (1998).
2. C. J. S. de Matos et al., in Technical Digest of CLEO '02, pp. 433.
3. D. E. Leaird et al., in Proc. of OFC'02, pp. 664 -665.
4. B. H. Lee et al., Appl. Opt., 38(16), pp. 3450-3459 (1999).
5. S. J. Kim et al., Optics Express, 11(23), pp. 3034-3040 (2003).