

10 GHz로 고조모드잠금된 고리형 어븀첨가 광섬유 레이저의 최적설계 및 제작

Improved Cavity Design and Construction of a 10 GHz Harmonically Mode-Locked Er-Doped Fiber Laser

이유승, 전영민, 김동환, 이 석, 장지웅, 조규만*
한국과학기술연구원, *서강대학교 물리학과
yooseung@kist.re.kr

최근 정보통신산업의 급격한 발달로 대용량의 멀티미디어 정보를 초고속으로 전달해야 할 필요성으로 인해 광전송시스템의 개발에서 수십 Gbps급 이상의 기술이 절실히 요구되고 있다. 특히 광통신 시스템이나 광계측 장비들과 결합이 쉽다는 잇점 때문에, 모드록킹된 광섬유 레이저에 대한 연구가 많이 진행되고 있다. 이러한 레이저의 제작에 있어서는 능동형 모드잠금 방식이 적합한데, 능동형 모드잠금 방식의 레이저는 수동형에 비해 안정되고 고반복률을 가진 펄스를 얻을 수 있으나 펄스폭은 상대적으로 길다. 따라서 능동형 방식에 있어서 펄스폭을 줄이는 것이 중요하며 이를 위해서는 레이저 공진기 내에서의 군속도 분산(Group Velocity Dispersion: GVD)과 비선형 효과인 자기위상변조(Self Phase Modulation: SPM)를 이론적으로 해석할 필요가 있다.

본 연구에서는 마하젠더 광세기 변조기를 이용해 10 GHz의 능동형으로 고조모드잠금된 어븀첨가 광섬유 레이저의 출력특성을 측정하여, 이를 모델로 능동형으로 모드잠금된 레이저에서의 비선형 슈뢰딩거 방정식을 통해 공진기에서 나타나는 비선형 효과인 자기위상변조와 군속도 분산을 고려하여 레이저의 각각의 구성부품들이 레이저 펄스에 미치는 영향을 계산하여 이론적으로 해석하였다.⁽¹⁾ 또한 그 해석을 바탕으로 chirp 파라미터를 줄이면서 펄스폭을 최소화하는 방향으로 펄스의 세기와 필터의 대역폭을 변화시키고, PM-DSF (Polarization Maintaining - Dispersion Shifted Fiber)를 공진기에 삽입하여⁽²⁾ 분산값을 변화시켜서 기존의 것에 비해 펄스폭을 2배에서 4배까지 줄일 수 있는 조건을 찾아 향상된 특성의 레이저 공진기를 설계하였다.

여기서 사용된 일반적인 비선형 슈뢰딩거방정식은 다음과 같이 알려져 있다.⁽³⁾

$$[-iD\frac{\partial^2}{\partial t^2} + i\delta|a|^2]a + (g-l)a + [\frac{1}{\Omega^2}\frac{\partial^2}{\partial t^2} - \frac{M}{2}\Omega_m^2 t^2]a - i\phi a = 0$$

이 방정식은 빛이 공진기를 한번 돌 때마다의 상황을 계산한 것이며 그 중간의 변화는 고려하지 않았다. 따라서 a는 광 펄스 열의 시간함수 a(t)로 거리에 대한 변수는 생략되었다. 여기서 $D (= \beta_2 L / 2 [sec^2])$ 는 공진기 전체 분산, β_2 는 2차 분산, L은 공진기 길이, g와 l은 공진기를 한번 회전한 매질의 이득과 손실, $\delta (= n_2 \omega_0 L / c A_{eff} [W^{-1}])$ 는 SPM 계수, n_2 는 비선형 굴절률, ω_0 는 레이저광의 각주파수, c는 빛의 속도, A_{eff} 는 유효 코어 단면적, Ω 는 필터의 대역폭, M은 변조 깊이, Ω_m 은 변조 각주파수, ϕ 는 phase shift 이다.

이러한 이론적 설계를 통해 필터 대역폭 3 nm에 펄스의 침투출력을 3.7배로 올리고 24 m의 분산천이 광섬유로 분산보상을 함으로 10 GHz의 고반복률에 3.4 ps의 펄스폭을 가진 레이저를 제작하였고, 그 특

성을 측정해 보았다. 여기서 제작된 레이저에서 구성부품의 광섬유는 모두 편광유지광섬유로 사용하여 편광의 요동에 의한 잡음을 제거하였고 그 구성도는 그림 1과 같다. 그림 2는 분산천이광섬유의 길이에 따른 펄스폭 변화의 실험값과 이론값을 나타낸 것이고, 그림 3은 제작된 레이저의 광펄스열과 펄스폭과 광스펙트럼을 나타낸다. 그리고 능동형으로 고조모드잠금된 광섬유 레이저에서는 $f_k = (n \pm 1/p)f_c$ 의 변조주파수에서 유리수고조모드잠금을 얻을 수 있는데⁽⁴⁾, 변조주파수 $f_k = 10$ GHz로 유리수고조모드잠금을 이용해 4 ps 대의 펄스폭과 20 GHz, 30 GHz, 40 GHz에 해당하는 광펄스열을 얻었다.

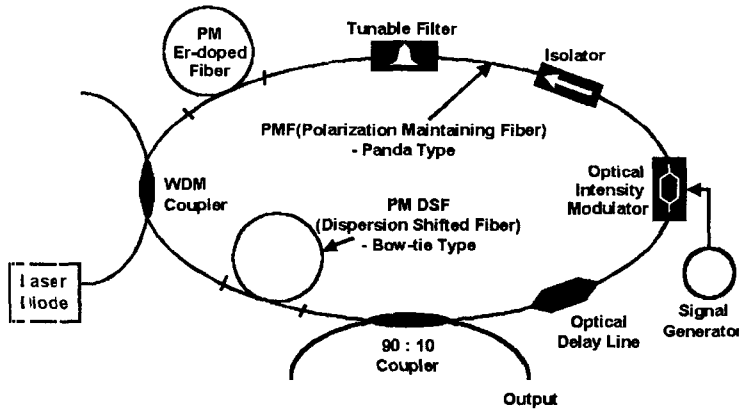


그림 1. 제작된 레이저 구성도

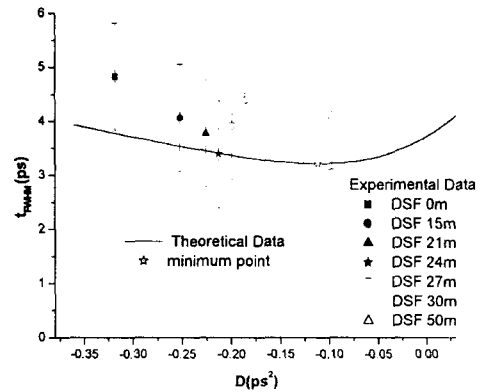


그림 2. 분산천이광섬유의 길이에 따른 펄스폭 변화의 실험값과 이론값

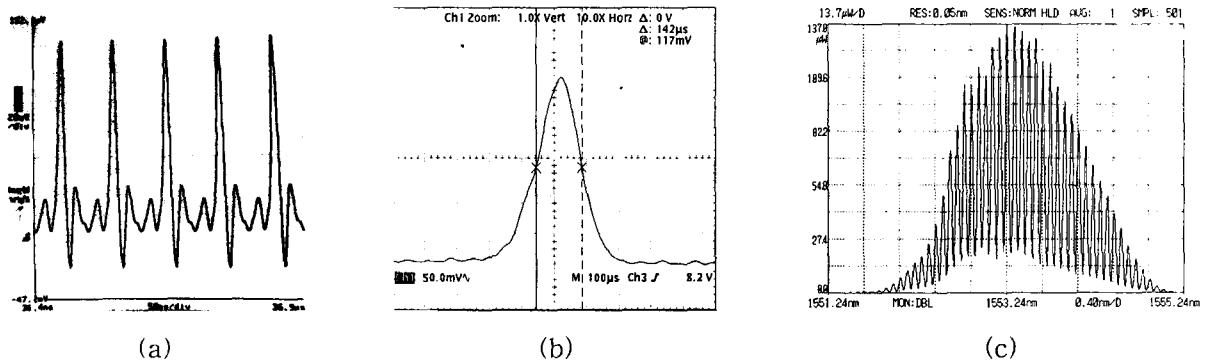


그림 3. (a) 10 GHz 광펄스열 (b) 자기상관에 의한 펄스폭 3.4 psec (c) 레이저 출력의 광스펙트럼.

[참고문헌]

1. 이유승, 전영민, 김동환, 장지웅, 조운조, 이 석, 조규만 한국광학회지, 11, 353 (2000).
2. E. Yoshida, K. Tamura and M. Nakazawa, IEICE Trans. Electron. E81-C, 189 (1998).
3. H. Sotobayashi, and K. Kikuchi, IEICE Trans. Electron. E81-C, 201 (1998).
4. Z. Ahmed and N. Onodera, Electron. Lett. 32, 455 (1996).