

광선 재결합 레이저를 위한 유도 브릴루앙 산란파의 위상 안정화

Phase stabilization of stimulated Brillouin scattering wave for a beam combination laser

이성구*, 윤진우, 공홍진
한국과학기술원, 물리과
lsk@kaist.ac.kr*

고출력/고에너지 레이저들은 이득매질 및 광학계의 손상을 막고 큰 증폭률을 얻기 위해서 대형 이득 매질을 사용한다. 그러나 이것은 증폭시스템의 동작시간 증가를 가져오고 결과적으로 고반복률로 작동 하는 것이 어렵게 된다[1]. 광선 재결합 레이저는 대형 이득매질 대신, 소형의 이득매질을 사용하므로 고반복률이 가능하고, 이득매질의 개수를 늘림에 따라 고출력/고에너지 레이저 빔을 얻을 수 있는 장점을 가지고 있다. 특히 유도 브릴루앙 산란 위상공액거울(Stimulated Brillouin Scattering-Phase Conjugate Mirror, SBS-PCM)을 광선 재결합 레이저에 적용하는 경우, 레이저빔의 반사시에 위상공액파를 발생시키므로, 증폭 중에 발생하는 레이저빔의 왜곡을 보상하여 고품질의 레이저빔을 얻을 수 있고, 정렬 또한 대단히 용이하다[2]. 그러나, SBS-PCM은 그 특성상 반사파들이 무작위의 위상을 가지게 하므로 광선 재결합된 빔은 하나의 동일한 위상을 가질 수 없다. 따라서, 반사파인 유도 브릴루앙 산란 파의 위상제어가 반드시 필요하며, 이를 위하여 밀도 변조(density modulation)를 이용한 위상 제어 방식이 제안되었고, 그 가능성을 보였다[3]. 본 논문에서는 제안된 위상 제어 방식의 사용을 통한 위상차 요동의 안정화 및 그 특성이 논의 된다.

제안된 위상 제어 방식은 음파의 초기 위상을 직접적으로 고정시키는 방법을 사용한다. 음파의 초기 위상은 $\phi = \Omega t_c - qz_0$ (Ω , 주파수; q , 파수벡터; t_c , 초기 시간; z_0 , 초기 위치)로 표현 될 수 있다. 초기 생성 위치 z_0 는 펌프빔이 입사하기 전에 전자기적 정상파를 이용하여 밀도 변조를 미리 발생시켜 고정 한다. 그리고 초기 생성 시간 t_c 는 다음의 식 (1)을 통하여 펌프에너지에 의하여 결정된다.

$$E_c = \int_0^{t_c} p(t) dt \quad (1)$$

따라서 펌프에너지의 요동을 줄임으로써 위상차의 요동을 줄일 수 있다. 이를 위하여 레이저빔의 분할 방식은 파면 분할 대신 진폭 분할 방식을 사용한다. 파면 분할 방식을 사용할 경우, beam pointing에 의하여 펌프 에너지가 변하기 때문이다. Figure 1은 위상 안정화를 위한 실험 장치 구조이다. 펌프 레이저 빔은 beam splitter에 의하여 진폭 분할 된 후 오목 거울에 의하여 SBS cell에 집속된다. 평행빔과 집속된 레이저빔이 초점에서 만나게 되어, 전자기적 정상파가 발생되고, 결과적으로 밀도 변조가 초점에서 생겨난다. 펌프 레이저는 Nd:YAG 레이저(1064 nm, 10Hz)를 사용하였고 펄스폭은 7-8 ns, 선폭은 <120 MHz을 갖는다. 상대적인 위상은 간접패턴을 CCD로 촬영하여, peak의 움직임 측정을 통하여 얻었다.

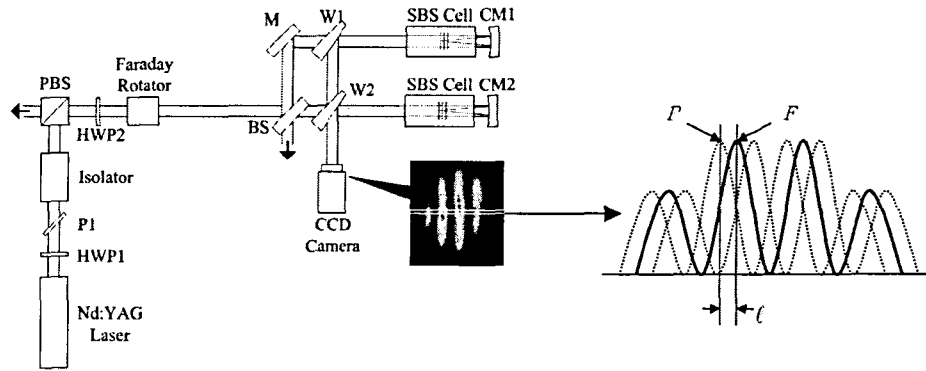


Fig. 1: Experimental setup for measuring the relative phase difference; HWP1&HWP2, half wave plate; BS, beam splitter; M, mirror; W1&W2, wedge; P1, polarizer; PBS, polarization beam splitter; CM1&CM2, concave mirror.

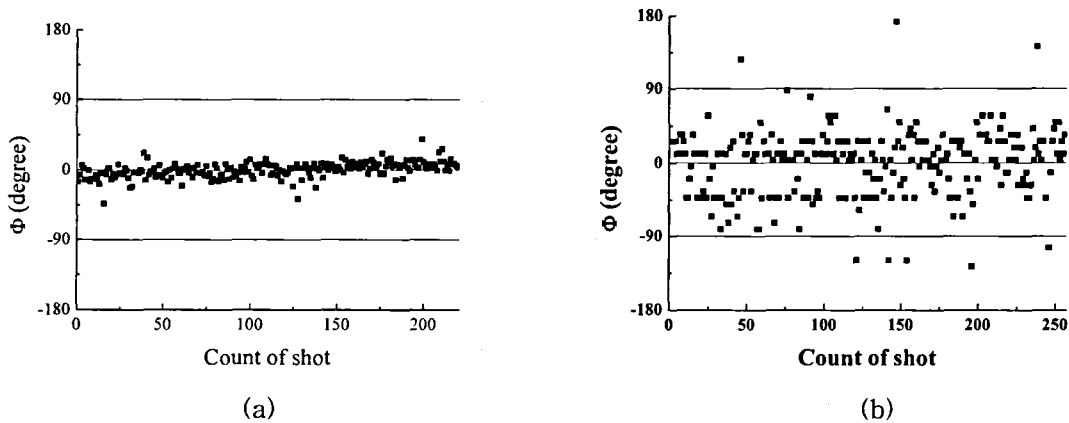


Fig. 2: Relative phase difference for the cases of (a) $E_{p1} \approx E_{p2} \approx 10$ and (b) $E_{p1} \approx 9.8$ mJ & $E_{p2} \approx 4.6$ mJ

Figure 2는 두 펄스빔의 에너지 $E_{p1} \approx E_{p2} \approx 10$ mJ 그리고 $E_{p1} \approx 9.4$ mJ, $E_{p2} \approx 4.6$ mJ 일 때 결과를 나타내고 있다. $E_{p1} \approx E_{p2}$ 인 경우, 표준 편차가 10도로 매우 작으며 결과적으로 상대적인 위상이 안정화 되어 있음을 알 수 있다. 반면에 $E_{p1} \approx 1/2 E_{p2}$ 인 경우, 표준 편차가 43도로 크며 큰 요동이 존재한다. 이것은 앞에서 언급한 것처럼, 밀도 변조를 통하여 음파의 초기 위치가 고정 되더라도 펄스에너지의 요동에 의하여 음파의 초기 생성 시간이 변하여 나타난 결과이다. 본 결과는 제안된 위상 제어 기술이 매우 효과적이며, 펄스에너지의 요동 효과를 줄임으로서 위상을 안정시킬 수 있음을 보여준다.

Reference

[1] W. J. Hogan, et al., *Energy from Inertial Fusion* (International Atomic Energy Agency, Vienna, 1995), Chap. 3.
 [2] H. J. Kong, J. Y. Lee, Y. S. Shin, J. O. Byun, H. S. Park and H. Kim, *Opt. Rev.* 4, 277-283 (1997).
 [3] H. J. Kong, S. K. Lee, and D. W. Lee, *Appl. Phys. Lett.* (2005). (to be published)

