

플라즈마에서의 라만 산란을 이용한 테라와트 레이저 발생

Generation of Terawatt Lasers using Raman Backscattering in Plasmas

허민섭*, 유승훈**, 석희용*

*한국전기연구원 Center for Advanced Accelerators,

**중앙대학교 물리학과/한국전기연구원 Center for Advanced Accelerators

mshur@keri.re.kr

초고출력 극초단 레이저는 high-energy density plasmas, 레이저-플라즈마 가속기, 관성핵융합에서의 fast ignition 등의 연구에 있어서 가장 중요한 핵심 부분이라 할 수 있다. 현재 널리 사용되고 있는 chirped-pulse-amplification (CPA)은 grating의 손상, 레이저 증폭 매질의 손상 등과 같은 여러 가지 threshold의 제약으로 인해 최고로 달성할 수 있는 레이저의 출력이 자연히 제약을 받을 수 밖에 없다. 이러한 제약을 극복하려는 시도로 1990년대 후반 플라즈마에서의 Raman backscatter (RBS)를 이용한 레이저 증폭이 제안되었다⁽¹⁾. 이는 기존의 Raman을 이용한 레이저 증폭과 기본 개념은 비슷하나, 증폭 매질로서 플라즈마를 사용하여 매질 손상이라는 제약을 없앴다는 데에 그 중요성이 있다 (플라즈마는 이미 breakdown이 된 물질 상태이므로 추가 손상이라는 개념이 성립하지 않는다).

그런데, 플라즈마에서의 RBS를 이용한 레이저 증폭은 현재까지는 실험적으로 sub-terawatt 정도까지 성공한 정도⁽²⁾이고, 이론적으로는 유체 모델을 기반으로 연구가 되어 왔으나 아직까지는 CPA를 대체하는 차세대 초고출력 레이저 발생 장치로서는 미흡한 상태이다. 그러나, 최근에 와서 레이저의 envelope-model과 플라즈마를 particle-in-cell (PIC)로 모델링하는 averaged-PIC (aPIC)⁽³⁾ 시뮬레이션이 개발되었고 이론적으로 전자 trapping 효과에 의한 레이저 증폭 감소와 같은 플라즈마 kinetic effect⁽⁴⁾들이 연구되는 등 플라즈마에서의 RBS를 이용한 초고출력 레이저 증폭 개념은 여전히 흥미 있는 연구 대상으로 자리 잡고 있다.

본 발표에서는 cylindrical symmetry를 가지는 2차원 aPIC 코드를 이용하여 terawatt급 레이저 발생 시뮬레이션을 수행한 것과 시뮬레이션을 여러 각도에서 분석한 결과를 보고하고자 한다. 2차원 version의 aPIC 코드는 기존에 개발된 1차원 aPIC solver들을 radial 방향으로 나열한 후 레이저의 diffraction term으로 coupling을 한 것이다. 이때 플라즈마의 횡방향 운동은 물리적으로 무시 가능할 정도로 작은 값이므로 고려되지 않았다. 각각의 1차원 solver들은 몇 개씩 그룹을 지어 병렬 계산 환경에서 나뉘어져 계산된다. 그림 1은 aPIC 2D에서 시뮬레이션한 레이저의 모습이다. Cylindrically symmetric한 그림의 반쪽만 나타낸 것이다. 그림 1의 레이저 출력은 약 10TW 정도이며 사용된 펌프는 sub-terawatt 수준의 long pulse (10 ps 이상)이다.

차후 플라즈마-RBS를 이용한 scheme이 차세대 alternative로 활용되기 위해서는 더 높은 출력의 레이저를 발생시킬 수 있어야 할 것이며 실험적으로 또한 검증되어야 할 것이다. 페타와트급 이상의 레이저 발생을 얻어내기 위하여 필요한 레이저와 플라즈마의 최적화 파라미터 및 gas-jet staging 과 같은 새로운 아이디어를 제안하도록 한다.

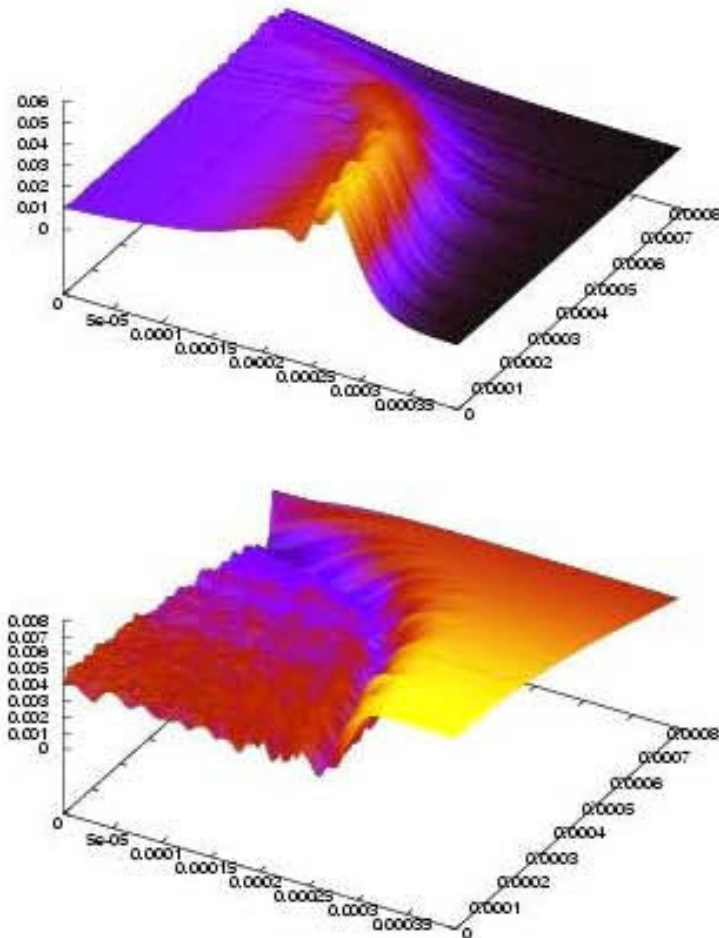


그림 1. 플라즈마-RBS를 이용한 펄서 증폭 2D aPIC 시뮬레이션 결과. 증폭된 seed laser (위)와 energy-depletion된 pump laser (아래) 모습

1. V.M. Malkin, G. Shvets, and N.J. Fisch, "Fast Compression of Laser Beams to Highly Overcritical Powers", *Physical Review Letters* 82, 4448-4451 (1999).
2. W. Cheng, Y. Avitzour, Y. Ping, S. Suckewer, N.J. Fisch, M.S. Hur, J.S. Wurtele, "Reaching the Nonlinear Regime of Raman Amplification of Ultrashort Laser Pulses", *Physical Review Letters* 94, 045003 (2005).
3. M.S. Hur, G. Penn, J.S. Wurtele, R.R. Lindberg, "Slowly varying envelope kinetic simulations of pulse amplification by Raman backscattering", *Physics of Plasmas* 11, 5204-5211 (2004).
4. M.S. Hur, R.R. Lindberg, A.E. Charman, J.S. Wurtele, H. Suk, "Electron Kinetic Effects on Raman Backscatter in Plasmas", *Physical Review Letters* 96, 115003 (2005).