대출력 Gaussian Nd:글라스 Laser Beam의 증폭특성에 관한 연구

A Study on the Amplification Characteristics of High-Power Gaussian Nd:Glass Laser Beam

강 형 부

한양대학교 전기공학과

장 용 무*

1. 서 론

대출력 laser에 의한 핵융합plasma 및 laser와 물질과의 비선형 상호작용을 연구하기 위해서는 펄스폭이 가변이며 nanosecond급의 급준한 risetime을 갖고 출력이 수백 GW--TW급의 초대출력 laser가 요구된다.[1][2][3] 이러한 초대출력을 얻기 위해서는 다단(multi-satage)증폭을 해야 하므로, 소자의 파괴한도를 유지하려면 필연적으로 소자의 단면이 커지게 되는데[12] Nd^{3+}을 불순물로 하는 글라스소자는 비교적 싸고 쉽게 대형소자를 만들 수 있기 때문에 대출력 laser소자의 주류를 이루고 있다. 현재 일본의 "Gekko XII"와 미국의 "Shiva"등은 수십 TW급의 출력으로 가동되는 글라스 laser시스템이다.

본 연구에서는 TEMoo mode Gaussian laser beam의 증폭특성에 관한 Frantz-Nodvik의 rate 방정식을 수치해석 하여 인산염 Nd^{3+}글라스와 규산염 Nd^{3+}글라스를 소자로 사용한 대출력 글라스 laser증폭기의 증폭특성을 비교 연구 함으로서 인산염 Nd^{3+}글라스의 우수성과 이 글라스 소자를 사용한 5단증폭 대출력 글라스 laser시스템을 설계하는데 필요한 기초 data를 얻는 것을 목적으로 한다.

2. Rate 방정식 및 제원

해석을 위한 방정식은 다음과 같다:15

$$\partial I/\partial t + c(\partial I/\partial x) = c\sigma n I - c\gamma I$$

$$\partial n/\partial t = -2\sigma n I + n_1/\tau_1$$

여기서 I는 beam의 강도, c는 매질중의 광속도, σ는 유도 방출 단면적, $n = n_2 - n_1$, n_1, n_2은 준위 1, 2의 Nd^{3+}원자밀도, τ_1은 준위 1의 수명이며 γ는 손실이다.

본 연구에 사용된 글라스 laser시스템은 5단증폭 글라스 laser로서 1, 2단 증폭기는 직경 20mm, 길이 300mm, 3, 4단은 직경 30mm, 길이 300mm, 5단은 직경 40mm, 길이 600mm이며 비교된 소자는 LHG-7, LHG-8(인산염 글라스, HOYA 제품)[6]과 LSG-91H, ED-2(규산염 글라스, 각각 HOYA 및 Owens-Illinois제품)[7]이다.

3. Beam의 해석

반경에 대한 beam의 초기강도변화가 gaussian이라면, 광학축 방향으로 진행하는 beam도 gaussian이 된다.[8] 그러므로 펄스강도와 펄스형에 의해 결정

되는 초기입사펄스는 공간적으로 gaussian강도분포를 갖고 시간적으로 정현파를 이루는 TEMoo mode의 laser발진기의 출력

$$I = Ir \cdot Sin^2[\omega(t - z/c)]$$

이고, Ir은 Gaussian강도분포로 가정하였다. Ir [7]-[11]은

$$Ir = (2Po/\pi W^2)\exp(-2r^2/W^2)$$

로써 TEMoo mode의 가장 중요한 특성인 gaussian반경변화(radial variation)를 갖는다. 여기서 W(z)는 $W(z) = Wo[1 + (z/z_0)^2]^{1/2}$이며 beam강도가 중심(r=0)강도의 $1/e^2$배(또는 beam의 field진폭이 중심진폭의 1/e배)되는 곳의 반경이다.[7][8][10] beam발산각(θ)은 d(beam 직경)/dz로 부터 할 수 있으며 $\theta = 2\lambda/\pi Wo$(Wo : beam waist, λ : 파장)이다.

3. 결과 및 고찰

방정식을 해석하기 위해 다음과 같이 가정하였다. 1)입사 beam단면적의 반지름은 20등분하여 20개의 환형으로 나누었고, 각각의 환형단면에 대한 초기입사 펄스도 Gaussian이다. 또 환형들의 상호작용은 없다.[11] 2)시간에 대한 펄스폭은 30 psec씩 등분하였고, 소자 길이에 대해서는 1cm로 적분구간의 폭을 잡았다. 3)소자는 기저 상태의 이온밀도의 95%를 여기 상태로 pumping 시켜, 전 매질에 대해 일정한 분포의 반전밀도상태를 만들었고, 4)발산각은 1 mrad으로 하고, 5)beam의 반경(r)이 r=W, r=1.5W, r=2W 일때의 총 power는 각각 86.5%, 98.9%, 99.9% 가 이므로 r=2W로 가정을 하여 계산하였다.

그 결과 1단 증폭의 경우 연산염 글라스가 규산염 글라스보다 현저히 좋은 증폭 특성을 보였으며 반경에 대한 Gaussian강도분포와 시간에 대한 출력 파형은 다음과 같다.

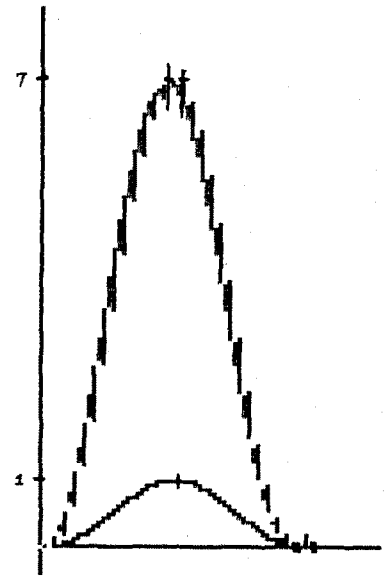

그림 1. 시간에 대한 출력파형

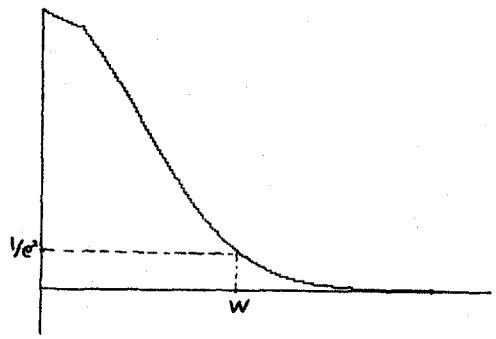

그림 2. 반경에 대한 출력파형

그림 2.에서와 같이 반경에 대한 분포를 super gaussian이라 하면 W(z)가 확대되어 증폭소자의 이용율을 더욱 높일 수 있을 것으로 고려된다.

4. 참고 문헌

1)T.Sasaki et al.,"A Construction of High Power Laser Amplifier Using Glass and Selenium Oxychloride Doped with Nd ,"Japan J.of Appl.Phys.,vol.8,pp.1037, 1969

2)T.Yamanaka et al., Technol.Repts. Osaka Univ.,vol.18,pp.155, 1968

3)C.Yamanaka et al.,"Nd-Doped Phosphate Glass Laser Systems for Laser-Fusion Research,"IEEE J.of Q.E.,VOL.QE-17,PP.1639, 1981

4)D.R.Speck et al.,"The Shiva Laser-Fusion Facility,"ibid.,vol.QE-17,pp.1599, 1981

5)L.M.Frantz,J.S.Nodvik,"Theory of Pulse Propagation in a Laser Amplifier,"J.Appl.Phys.,vol.34,pp.2346, 1963

6)주식회사 보곡소자,"HOYA 레이저 글라스 특성", 1982

7)W.Koechner, Solid-State Laser Enginering,Springer-Verlag, 1976

8)L.D.Dickson,"Characteristics of a Propagating Gaussian Beam,"Appl.Opt.,vol.9,pp.1854, 1970

9)N.P.Barnes et al.,"Solid-State Laser Technology,"IEEE J.of Q.E.,vol.QE-10,pp.195, 1974

10)J.T.Verdeyen, Laser Electronics,P-H.Inc., 1981

11)R.H.Lehmberg,J.M.McMahon,"A Numerical Study of the Nanosecond and Subnanosecond Performance of GEKKO XII-Module,"NRL Memorandum Rept 4493, 1981

12)강형부,"고출력(25GW)글라스 레이저 시스템의 개발에 관한 연구,"전기학회지,vol.30,pp.582, 1981