

분포 피드백 색소레이저 시스템의 파라메타 분석에 관한 연구

박 상 욱*, 박 덕 일, 이 주 이
 경희대학교

A study on parameter analysis of Distributed Feedback Dye Laser system

Sang Wook Park*, Duk Il Park, Choo Hee Lee
 Kyung Hee Univ.

ABSTRACT

A rate equation model describing the ultrashort pulse formation is presented. The temporal and energy behavior of the distributed feedback dye laser predicted by the model has been compared the earlier papers on DFBL's. The observed good agreement allows application of the theoretical model for picosecond laser.

1. 서 론

Distributed Feedback Dye Laser(DFDL)는 1971년 Kogelnik와 Shank[1]에 의해 보고되었으나 측정 시스템의 문제로 주목받지 못하였다. 그러나 1980년 Zs.Bor[2-5]가 streak camera 시스템을 이용하여 이러한 문제점을 극복하고 ps의 펄스폭을 얻을수으로서 DFBL에 대한 관심이 높아졌다. 그후 1ps 이하의 펄스폭을 발생시키기 위한 새로운 DFBL 시스템이 S.Szamari와 B.Racz [6]에 의해 개발되었다.

본 논문에서는 DFBL 시스템의 파라메타들(빔폭장의 세기, DFBL의 이기된 길이, cavity 길이, 시킨등)에 대한 영향과 출력특성에 대하여 이론적으로 고찰하였다.

2. DFBL의 이론

DFBL의 시스템 구성은 그림 1의 같다. holographic grating에서 회절된 광은 두 거울에 반사되어 dye cell에 입사된다. 이때 색소용액내에 Bragg 조건을 만족하는 간섭무늬가 형성되고 광 파라메타들의 공간적인 주기적 변화가 일어난다. 여기서 색소분자들에 의해 자연방출은 시

도 반대방향에서 마주치오는 파(wave)를 만들고 이 파들이 증폭되어 광제파를 형성하게 된다. 그러므로 Bragg 산란을 만족하게 될때 단일주파수 선택이 용이하고 매우 좁은 선폭을 얻을수 있다.

회절각에서 반사된 각 α 의 dye cell에 입사된 각 θ 는 관계 된다. 1차 Bragg 산란에 대한 회절각 방정식을 사용하면

$$\sin \theta = \lambda_p / d \quad \text{-----(1)}$$

두개의 광이 간섭될때 생기는 간섭무늬 간격은

$$\Lambda = d / 2 \quad \text{----- (2)}$$

되고, DFBL의 파장은

$$\lambda_L = m \cdot d \quad \text{----- (3)}$$

(3) 식으로 부터 빔폭장 λ_p 가 소거되어 DFBL의 출력파장이 빔폭장과는 무관하게 됨을 알수가 있다. 이것은 파장의 여러가지 길항물 즉, 상대적으로 큰 대역폭, 및 spectral component 의 효과를 제거시킬수 있다.

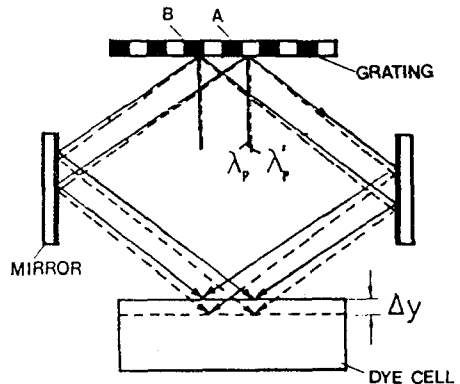
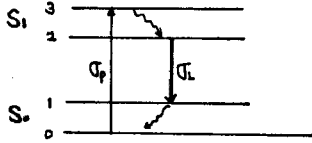


Fig.1. Scheme of DFBL system

3. DFDL의 모델링

일반적인 4준위 레이저색소를 고려했을때 준위 0과 1은 기저상태(ground state) \$S_0\$의 진동준위(vibration level)이고 2와 3은 첫 여기상태(first excited state) \$S_1\$의 진동준위라고 가정했다.



\$S_1\$상태의 상위진동준위(upper vibration level) 3에서 \$S_1\$상태의 하위진동준위(lower vibration level) 2로 아주 빠르게 비방사 감쇠되므로(적어도 수 ns 이하) \$S_1\$상태의 지속시간보다도 훨씬 짧다고 가정하여 \$S_1 \to S_2\$흡수의 영향은 무시하였고, triplet 상태로의 시스템교차(inter system crossing) 과정과 색소용액의 열변화에 따른 굴절률 변화는 무시하였으므로 DFDL에 대한 비율 방정식[2,5]은 다음식으로도 설명된다.

$$\frac{dn(t)}{dt} = I_p(t) \sigma_p [N - n(t)] - \frac{\sigma_e C}{\tau} n(t) q(t) - \frac{n(t)}{\tau} \quad (4)$$

$$\frac{dq(t)}{dt} = \frac{(\sigma_e - \sigma_a) C}{\tau} n(t) q(t) - \frac{q(t)}{\tau_c(t)} + \frac{n(t)}{S} \quad (5)$$

\$n(t)\$: \$S_1\$ 상태 분자들의 공간적인 평균밀도

\$q(t)\$: DFDL의 photon 밀도

\$I_p(t)\$: 단위면적당 공간적 평균펌프 photon flux

\$\sigma_p\$: 펌프파장 \$\lambda_p\$에서 증 흡수 단면적

\$\sigma_a\$: lasing 파장에서 \$S_0 \to S_1\$까지의 흡수 단면적

\$\sigma_e\$: lasing 파장에서 \$S_1 \to S_0\$까지의 유도방출 단면적

\$\tau\$: 형광 lifetime

\$C\$: 광속

\$\tau_c\$: 색소 용액의 굴절률

lasing 파장에서 Rh 6G의 여기상태 흡수 단면적 \$\sigma_a\$는 \$\sigma_e\$의 약 0.5배에 해당한다. \$n(t)\$와 \$q(t)\$의 초기치는 다음식에 의해 쉽게 구해진다

$$n(t_0) = I_p(t) \sigma_p N \tau \quad (6)$$

$$q(t_0) = \dots \quad (7)$$

$$\left[\frac{(\sigma_e - \sigma_a) C / \tau}{L} n(t_0) - \frac{1}{L} \left[\frac{n(t_0) (\sigma_e - \sigma_a) V}{\dots} \right] \right]$$

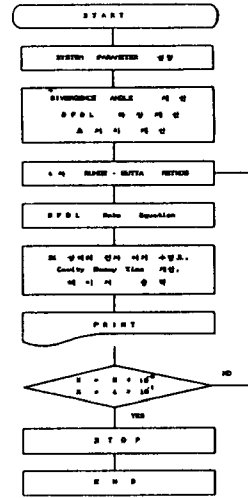


Fig. 3. Flow chart

$$\Omega = \frac{b}{\pi \cdot N \cdot \sigma_p \cdot L \cdot S} \quad (8)$$

\$L\$: DFDL의 여기된 길이

\$(N \sigma_p)^{-1}\$: 색소용액에 침투된 길이

\$b\$: DFDL의 여기된 높이

\$V\$: 펌프경의 간섭무늬의 선명도

DFDL은 외부 광학소자가 없으므로 증가 cavity decay time은 cavity 손실로 총 광자수(total photon number)를 나눈것으로 표현된다. 여기서 출력손실만 고려했을때 cavity decay time은

$$\tau_c(t) = \frac{\tau L^3}{2 C \pi^2} \left[\left(\frac{\pi}{\lambda} n_1(t) \right) + \left(\frac{1}{2} \alpha_1(t) \right) \right] \quad (9)$$

\$n_1(t)\$: 굴절률의 공간적 크기

\$\alpha_1(t)\$: 이득계수의 공간적 크기

여기서 이득의 공간적 크기 \$\alpha_1(t)\$는

$$\alpha_1(t) = \sigma_e V n(t) \quad (10)$$

\$n(t)\$: 첫 여기된 singlet 상태의 평균밀도

그러므로 (10)식에서 굴절률의 공간적 크기 \$n(t)\$를 무시하고 이득의 공간적 크기 \$\alpha_1(t)\$만 고려한다면 증가 cavity decay time은 다음과 같이 표시된다.

$$\tau_c(t) = \frac{\tau L^3}{8 C \pi^2} [n(t) (\sigma_e - \sigma_a) V] \quad (11)$$

\$V\$: 펌프경의 간섭무늬의 선명도

그러므로 DFDL의 한쪽 끝에서 나온 출력은

$$P_{out}(t) = \frac{hc}{2 \lambda_l} \frac{q(t) L a b}{\tau_c(t)} \quad (12)$$

$$a = \frac{1}{(N \cdot \Delta p)} \quad (13)$$

a 는 펄스폭이 색소용액에 침투된 길이이며, 색소 용액의 알변화에 따른 굴절을 변화는 무시했다. 펄스폭 $I_p(t)$ 는 3.5ns (FWHM)의 pulse duration을 갖는 Gaussian 펄스로 가정하였고, 프로그램은 4차 Runge Kutta 법으로 구성하여 계산하였다. 이에 대한 흐름도를 그림 2에서 보어주며 컴퓨터는 VAX-11/780이 사용되었다.

4. DFBL의 출력 특성

비율 방정식에 사용된 파라미터들은 표 1과 같다. 그림 3은 DFBL의 여기길이에 대한 첫번째 펄스(실선)와 두번째 펄스(점선)에 대한 pulse duration을 보여준다. 이것은 threshold 값에서 1.2배까지 pulse duration을 증가했을때 단일펄스가 발진하였고, 1.4 배까지 증가했을때 두개의 레이저 펄스가 발진되었다.

이때 계산된 threshold 값은 9.3 KW 이었고 단일펄스를 얻기 위해서는 이론적으로 11.6 KW까지 증가할수 있음을 알았다. 그러나 DFBL의 길이 변화에 따라 계산된 pulse duration은 Ref. [5]의 실험치와 비교하였을때 약간의 오차가 발생하였다.

레이저 파장의 동조특성은 용매의 굴절을 변화, tuning mirror 각도등에 의해 결정된다. 용매들의 혼합에 의해 굴절율이 결정되고 이 굴절율에 의해 레이저 동조파장은 변화되며, Rh 6G의 경우 544 - 630 nm범위에서 590nm의 파장이 되려면 그림 4에서 알수있듯이 굴절율은 1.44 가 되어야 한다. 또한 tuning mirror의 비소변화에 대해서도 파장이 동조된다. 출력펄스 $P_{out}(t)$ 은 펄스폭의 침투길이, 높이, 길이에 비례하며 이에 대한 해석을 그림 5,6,7로 나타내었다. 침투길이

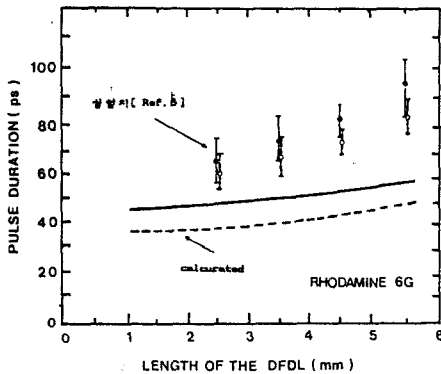


Fig 3 Pulse duration for DFBL length

가 색소분자의 농도에 반비례하기 때문에 농도가 높수록 침투길이는 낮아진다. 그림 5,6,7은 DFBL의 시스템 파라미터에 대한 단일펄스 에너지를 보여준다. 즉 여기되는 채적이 커질수록 레이저 출력에너지가 커짐을 알수가 있다. 이상에서 DFBL의 시스템 설계는 비율 방정식의 해를 구함으로써 최적화 시킬수 있다.

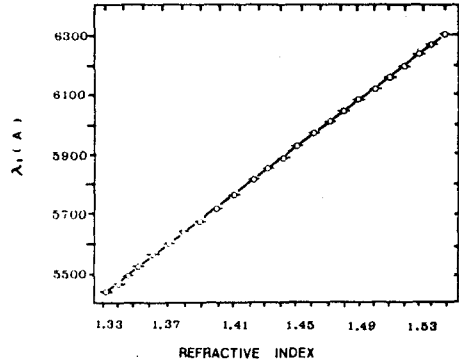


Fig 4 Wave tuning for the index ratio of dye solution

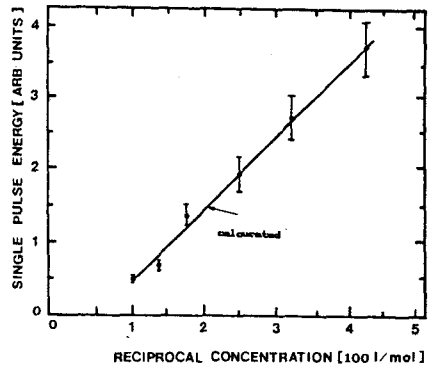


Fig 5 Single pulse energy for dye concentration

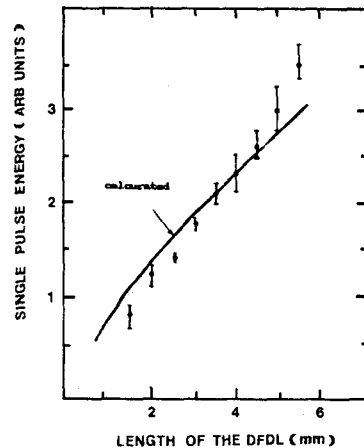


Fig 6 Single pulse energy for excited length

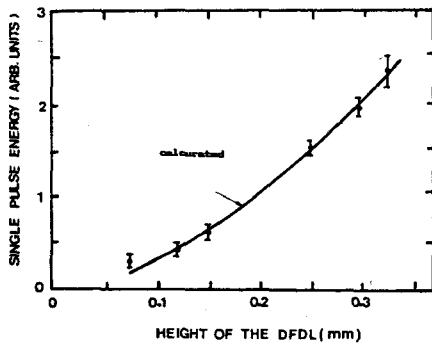


Fig. 7 Single pulse energy for excited height

5. 결 론

본 논문에서는 DFDL의 펄스폭의 세기, 색소의 농도, DFDL 길이등의 변화에대한 pulse duration 및 출력 에너지 특성에 대해 비 선형 비율 방정식으로 해석하였다. 계산된 출력 에너지의 threshold 값은 9.3 kw 이었고 11.16 kw 의 pump intensity 를 인가한다면 단일펄스가 발진되며, pulse duration은 DFDL의 어긋난 길이변화에 따라 변화되고 수십 ps의 출력 pulse duration을 얻을수 있었다. 그리므로 시스템 파라메타에 대해 실험적으로 고찰된 Zs, Bor 논문의 비교할때 전체적으로 약간의 오차가 발생하였지만 비교적 잘 일치된것 이라고 할수 있겠다. 앞으로 본 논문에서 언급되지 않은 피라미나들에 대해서도 고려해 주므로써 더 정확한 해석이 가능할 것이라고 생각한다.

참 고 문 헌

- [1] C.V.Shank, J.E.Bjorkholm and H.Kogelink :
Appl.Phys.Lett.18,395 (1971)
- [2] Zs.Bor : IEEE J.Quantum Electron. , QE 16
517 (1980)
- [3] Zs.Bor,A.Muller,B.Racz and F.P.Shafer :
Appl.Phys. B27,9 (1982)
- [4] Zs.Bor,A.Muller,B.Racz and F.P.Shafer :
Opt.Commun. , 40 ,294 (1982)
- [5] Zs.Bor,A.Muller : IEEE J.Quantum Electron.
QE-22 , 1524 (1986)
- [6] S.Szanczi,B.Racz : Appl. Phys. ,B43,93(1987)