

원형 Cavity를 이용한 펄스형 Nd:YAG레이저의 출력특성 및 병렬메쉬 회로의 최적화

홍정환, 양동민, 김병균, 박구열, 강 옥\*, 김희영, 김희재  
 부산대학교 전기공학과, 한국전기연구소\*

The Output Characteristics and the Optimization of Parallel-mesh Circuit of a Pulsed Nd:YAG Laser by Using a Circular Cavity

D.M Yang, B.G Kim, K.R Park, J.H Hong, W Kang\*, W.Y Kim, H.J Kim  
 Dept of Electrical Eng Pusan National Univ KFRI\*

**Abstract** - In this study, we have designed and manufactured not a present elliptic cavity but a circular cavity and we have experimented the operational characteristics. As a result, we obtained the maximum efficiency of 2.1%. It didn't have any difference compared with elliptic cavity. A circular cavity is much more compact, so far easier to be manufactured than a elliptic cavity. And it can be made at a low cost. At the input energy, parameter  $\alpha$ , input voltage, and pulse width were in the same condition, we have decided to the optimization of the mesh number of a parallel-mesh circuit which was connected with main power supply.

key words : Circular cavity, Nd:YAG Laser, Parallel-mesh circuit

40%의 평면거울)으로 안정형 공진기를 구성하였다.

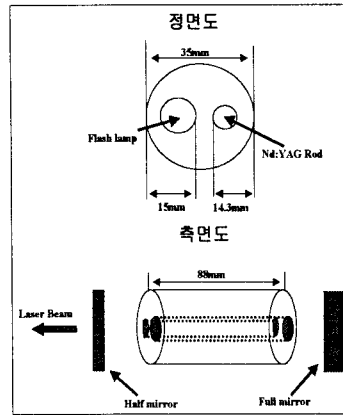


그림 1. Quartz cavity의 개략도

1. 서 론

펄스형 Nd:YAG 레이저는 열전도율이 높고, 기계적, 광학적으로 안정된 Nd:YAG 결정을 이용하며<sup>[1]</sup>, CO<sub>2</sub> 레이저에 비하여 파장이 짧으므로 보다 적은 점으로 집광시킬 수 있다. 또 물질과 반응을 잘 하며, 램프에 의한 광여기이므로 유지 및 보수가 편리하고, 파워전송, 집광 등이 통상의 광학부품으로 가능하여 다양한 분야<sup>[4, 5]</sup>에서 적용되어 각광을 받고 있다.<sup>[2, 3]</sup> 저자들은 지금까지 타원형 cavity를 설계 및 제작하여 그 동작특성을 파악하여 왔으나, 타원형 cavity인 경우는 제작상의 어려운 점이 많고, 경제적으로 고가의 비용이 소요되는 단점이 있었다. 따라서 설계 및 제작이 용이한 원형 cavity를 채택하여 그 동작특성을 파악하여 기존의 타원형 cavity와의 효율을 비교, 검토하고자 한다. 또한 이 원형 cavity를 이용하여 총커패시턴스 C<sub>T</sub>(이하 C<sub>T</sub>로 약기) 및 총인덕턴스 L<sub>T</sub>(이하 L<sub>T</sub>로 약기)에 똑같은 입력에너지가 인가된 경우, 얻어지는 플래쉬램프의 전류 펄스파형과 이 때 발생된 레이저빔 프로파일을 비교, 검토하여 최대출력이 얻어지는 병렬메쉬수를 결정하였다.

2. 본 론

2.1 원형 Cavity의 동작특성

본 연구에서는 그림 1과 같은 원형 cavity<sup>[8]</sup>의 구조를 설계, 제작하였다. 레이저 cavity 중앙의 직경은 35mm이며, 크세논(Xe) 플래쉬램프(ILC-6F3 : 직경 6mm, 길이 3inch)가 놓이는 원형구조의 직경은 10.3mm이며, Nd:YAG 로드(직경 6mm, 길이 3inch, 1.0% Nd도핑)가 놓이는 원형구조의 직경은 9.1mm로 하였다. 그 양측에 레이저 발전을 유도해 내기 위한 두 개의 거울 즉, 전반사경(반사율 99.5% 이상, 곡률반경 2m인 오목 거울) 및 부분 반사경(반사율

2.2 병렬메쉬회로의 구성

그림 2는 본 연구에서 사용한 펄스형 Nd:YAG 레이저 전원장치의 구성도이다. 전원장치는 주전원, 크세논(Xe) 플래쉬램프를 예비 점등시키기 위한 시머회로, 시머 시동기로 구성되어 있다.

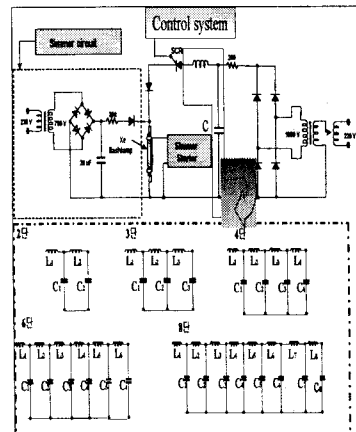


그림 2. 병렬메쉬에 따른 펄스형 Nd:YAG 레이저의 전원회로

회로의 개략적인 동작은 다음과 같다.<sup>[8]</sup> 충전전원 및

시머전원에 의해 플래쉬램프 양단에 약 1KV의 직류 바이어스전압이 인가된 상태에서 시머시동기(피크 전압 15KV, 펄스 시간폭  $10\mu s$ )를 트리거시키면 램프에 감겨있는 트리거링에 의하여 플래쉬램프(양단에 약 1KV, 전류 약 30mA)에 약한 스트리머 방전이 유지된다. 이 상태에서 SCR의 게이트에 트리거신호를 가하면 주회로의  $C_T$ 에 저장된 충전에너지가  $L_T$  및 SCR을 통하여 램프에 방전된다.<sup>[9]</sup> 그림 2에서 나타난 바와 같이 주회로 1단 매쉬의  $C_T$  및  $L_T$ 를 고정시키며, 각 매쉬당  $C_m$  및  $L_m$ 의 선택은 다음과 같다.

$C_T$ : 총 매쉬 캐패시턴스,  
 $L_T$ : 총 매쉬 인덕턴스,  
 $C_m$ (n 번째 매쉬의 캐패시턴스)  
 $C_m = C_T/n$   
 $L_m$ (n 번째 매쉬의 인덕턴스)  
 $L_m = L_T/n$

### 2.3 실험 결과 및 검토

그림 3에서  $C_T$ 는  $480\mu F$ 로 하고,  $L_T$ 는  $240\mu H$ 로 한 경우, 병렬매쉬수에 따라 관측한 플래쉬램프 전류파형과 그에 따라 발생한 레이저빔의 프로파일이다. 레이저 출력빔의 프로파일은 편형 포토 다이오드 (pin-photo diode 모델명 : Antel ARS-1)을 이용하여 측정하였다.

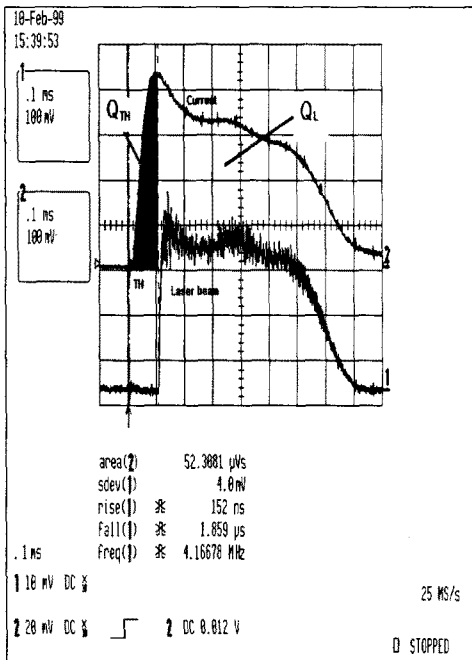


그림 3.  $C_T$ (480 $\mu F$ ) 및  $L_T$ (240 $\mu H$ ) 6단일 때 플래쉬램프 전류파형 및 레이저 출력빔의 프로파일

그림 3은 병렬매쉬수가 6단인 경우로, 전류 펄스폭  $t_p$ 는 약  $680\mu s$ 이다. 그림에 표시된 2는 전류파형이고, 1은 레이저 출력빔의 프로파일이다. 그리고  $Q_{TH}$ 는 반전 분포형성을 위해 소모된 방전전하량이고,  $Q_L$ 는 실제 레이저 출력에 기여한 방전전하량이다. 실제 전류파형상에서 레이저 출력에 기여한  $Q_L$ 이 많을수록 레이저출력이 크게 나타난다.<sup>[12]</sup> 오실로스코프(LeCROY 9304A)의 전류파형에서  $Q_{TH}$  및  $Q_L$ 의 부분이 차지하는 면적을 구

하니, TH점을 기준으로 발진시작 직전까지 소모되는 전하량은  $52.3\mu Vs$ 를 얻었다.

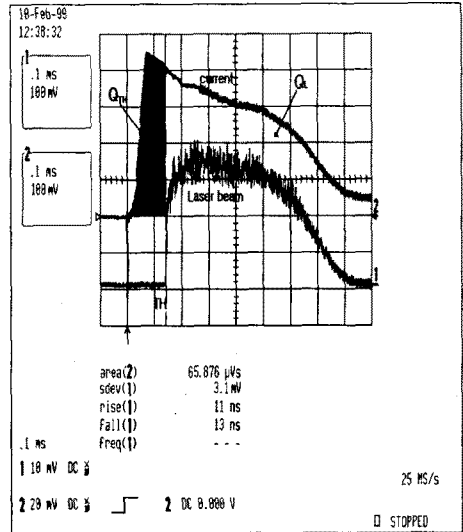


그림 4.  $C_T$ (480 $\mu F$ ) 및  $L_T$ (240 $\mu H$ ) 8단일 때 플래쉬램프 전류파형 및 레이저 출력빔의 프로파일

그림 4는 병렬매쉬수가 8단인 경우이며, TH점을 기준으로 발진시작 직전까지 소모되는 전하량  $Q_{TH}$ 는  $65.8\mu Vs$ 를 얻었다. 그러므로 병렬매쉬 6단이 병렬매쉬 8단 보다도 발진시작 직전까지 소모되는  $Q_{TH}$ 는 더 작고 반면에 레이저 출력에 기여하는  $Q_L$ 이 더 크게 나타났다. 레이저 출력은 에너지미터(모델명 : Sciencetech D2 00C)를 이용하여 측정하였다. 그림 5는 인가 전압이 높아짐에 따라 입력에너지는 상승하며, 입력에너지가 40J인 경우, 병렬매쉬수 6단일 때가 최적의 병렬매쉬수라는 것을 알았다.

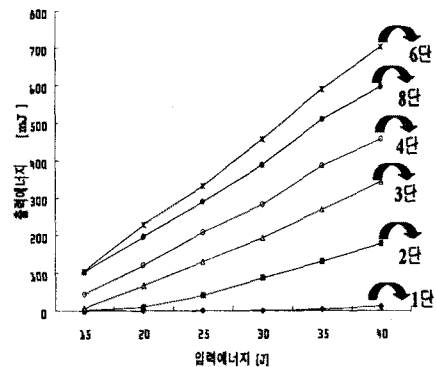


그림 5  $C_T$ (480 $\mu F$ ) 및  $L_T$ (240 $\mu H$ )에서 병렬매쉬수에 따른 출력에너지

그림 6은  $C_T$ 는  $240\mu F$ 로 하고,  $L_T$ 는  $120\mu H$ 로 한 경우, 병렬매쉬수 3단, 6단의 전류파형이며, 전류 펄스폭  $t_p$ 는 약  $340\mu s$ 이다. 펄스폭이 약  $500\mu s$  이상에서는 병렬매쉬 6단이 병렬매쉬 3단이나 8단 보다 전체 Area(적분면적) 중에서  $Q_L$ 이 차지하는 면적이 상대적으로

으로 많았으며, 따라서 6단일 때 최대의 레이저출력을 보였다.

### 3. 결 론

본 연구에서는 원형 cavity를 설계 및 제작하여 기존의 타원형과 성능 및 효율을 비교하였으며, 이 원형 cavity를 이용하여, 주 전원의 총커패시턴스와 총인덕턴스가 서로 같은 1단에서 8단까지의 병렬메쉬에 대하여 전류파형 및 레이저 빔 프로파일 그리고 레이저출력을 비교 검토한 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 기존의 타원형 cavity가 아닌 원형 cavity를 설계, 제작하여 동작실험한 결과, 최대효율은 약 2.1%를 얻었고, 기존의 타원형에 비하여 콤팩트하며, 설계 및 제작이 용이하므로 경제적인 면에서 유리하다는 것을 알았다.

2. 전류 펄스폭이  $500\mu\text{s}$ 미만인 경우는 병렬메쉬수 3단에서 최대출력이 얻어졌고, 그 반면에 전류 펄스폭이  $500\mu\text{s}$ 이상인 경우에는 병렬메쉬수 6단에서 최대출력이 얻어졌으며, 이 결과는 PSPICE 모의 결과와 거의 일치한다는 것을 알았다.

#### (참 고 문 헌)

- [1] J. E. Harry, "Industrial Laser and Their Application", McGraw-Hill, pp115-120, 1974
- [2] 오프트로닉스 "最先端 레이저라와노로지-集成" 1990.
- [3] W-koechner, "Solid-state Laser Engineering" Spring-Verlag New York, Heidelberg pp 48~50, 1995
- [4] 김희제의 2인 "Nd:YAG 레이저 제작 및 응용기술" 전기학회지, 제42권 제3회, pp19~27, 1993
- [5] 日本電氣學會 技術報告 "大出力 레이저의開發狀況及び各種레이저의電力技術への應用", pp 72~82, 1990
- [6] G. N. Glasoe, J. V. Lebacqz, "Pulse Generators" New York and London, McGraw-Hill Book company, pp 175~224, 1948
- [7] ILC Company, "A Guide to Flashlamps for Pulsed Solid state Laser" Technical Bulletin 2, 1983
- [8] Svelto, Grizzo "Principles of Lasers" Plenum Press, New York pp 81~85, 1982
- [9] Kim, H. J., Joung, J. H., Lee, D. H., Kim, D. H. "Active two-pulse super position on technique of a pulsed Nd:YAG laser", *Optical Engineering Vol. 37*, No. 6, pp 1780-1784, 1998
- [10] Kayukov S. V. et al. "The influence of Laser Radiation Pulse shape on the spot weld parameters." Proc. Int. Conf. New advance in welding and allied process, Beijing, China, pp 187~191, 1990
- [11] W-koechner, "Solid-state Laser Engineering" Spring-Verlag New York, Heidelberg pp 114~116, pp 341~348, 1995

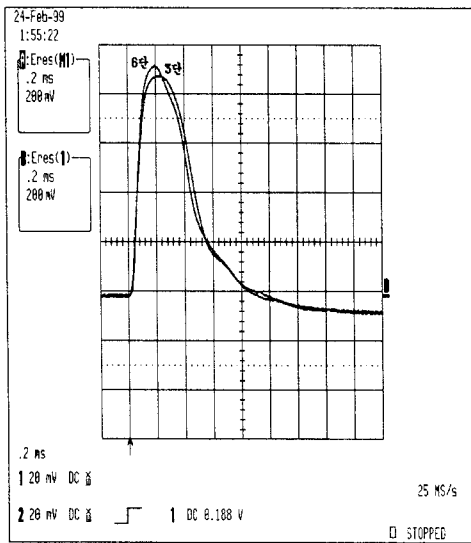


그림 6.  $C_T(240\mu\text{F})$  및  $L_T(120\mu\text{H})$  3단, 6단일 때 플래쉬램프의 전류파형

그러나, 전류펄스폭 약  $500\mu\text{s}$ 이하인 경우에는 병렬메쉬 6단의 상승시간이 더 빠르지만, 병렬메쉬 3단이 전체 Area(적분면적) 중에서  $Q_L$ 이 차지하는 면적이 상대적으로 많았다. 그러므로, 레이저 출력은 병렬메쉬 3단일 때 최대출력을 보였다.

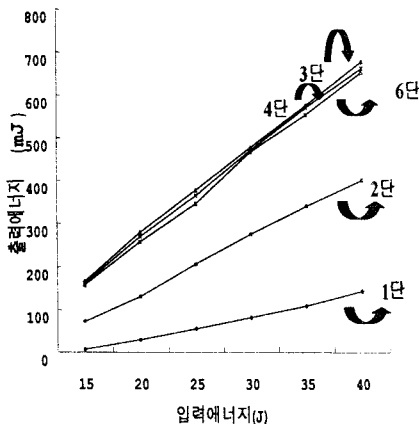


그림 7.  $C_T(240\mu\text{F})$  및  $L_T(120\mu\text{H})$ 에서 병렬메쉬수에 따른 출력에너지

그림 7은  $C_T$ 는  $240\mu\text{F}$ 로 하고,  $L_T$ 는  $120\mu\text{H}$ 로 한 후, 인가 전압이 높아짐에 따라 입력에너지는 상승하며, 입력에너지가 40J인 경우, 병렬메쉬 1단은 레이저출력이 142mJ, 병렬메쉬수 3단은 레이저출력이 678mJ, 병렬메쉬수 6단은 레이저출력이 642mJ이었다. 병렬메쉬수 3단일 때가 최적의 병렬메쉬수라는 것을 알 수 있었다.