

다단메쉬 PFN방식 펄스형 Nd:YAG 레이저의 출력특성 비교

정 종한*, 곽 병구, 김 동현, 문 진규, 김 희제, 조 정수

Comparison of Output Characteristics of Pulsed Nd:YAG Laser using PFN Method with Multiple-Mesh

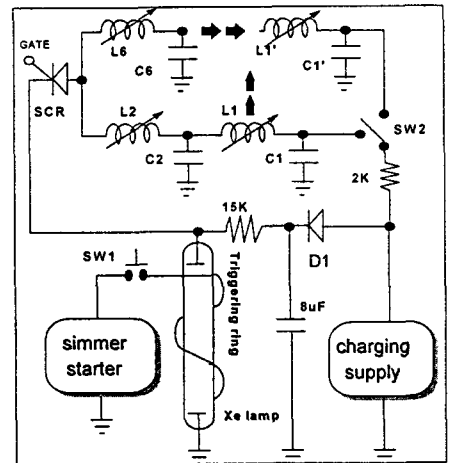
J. H. Joung*, B. G. Kwak, D. H. Kim, J. K. Moon, H. J. Kim, J. S. Cho
Dept. of Electrical Eng. Pusan National Univ.

Abstract - In order to obtain various waveforms of current pulse applied at the flashlamp, we have fabricated a Pulsed Nd:YAG laser by PFN with multiple-mesh formed LC network. we have obtained various waveforms of current pulse by adjusting the values of L and C, compared these waveforms of current pulse with laser beam, and then analyzed the laser output energy. We have got relations for E_{TH} and E_L at each mesh which supplies energy with flashlamp and found that output of Pulsed Nd:YAG Laser for 2-mesh, 5-mesh coincided with computer's simulation, PSPICE.

1. 서 론

최근레이저를 이용한 산업용 가공기술은 급속히 전보되어 왔으며, 과거와는 달리 반도체분야 등과 같이 아주 섬세한 정밀도를 필요로 하는 가공 또는 피가공물 재질에 따라서 알맞는 펄스형상이 필요하다. 레이저 가공은 가공면이 섬세하고, 국부적으로 순간가열이 가능하여 예민한 피가공물의 다른 부분에 손상없이 작업이 가능하므로 산업발달에 유효유가 될 수 있다. Nd:YAG 레이저는 CO₂와 함께 레이저 가공에 널리 사용되는 고체레이저로서 절단(cutting), 용접(welding), 구멍뚫기(drilling), 열처리, 마킹(marking) 등의 정밀가공분야에 많은 실용화가 이루어져 왔다. [1-3] 레이저가공에 있어서는 가공재질에 따라 같은 출력에너지가 인가되더라도 레이저 광의 펄스형상이 가공성능에 크게 영향을 미치고 있다고 보고되고 있다. [4] 따라서, 본연구에서는 가공재질에 따라 가공성능을 좌우할 수 있는 플래쉬램프의 전류펄스형상을 다양하게 만들어 내는 것을 목표로 우선 2단에서 6단메쉬까지 구성하여 각단의 L 및 C값의 조합에 따라 플래쉬램프로 흐르는 전류펄스형상을 다양하게 변화시켜 가며 그에 따른 레이저출력특성을 비교하였다.

1.2. 전원 및 PFN구성



[Fig. 1] PFN and Powersupply circuit

펄스 전주기에 걸쳐 거의 일정한 에너지를 가진 구형파를 형성하기 위해 각 메쉬의 커패시턴스 및 인덕턴스값을 동일하게 설정하였다. 다음식은 회로망의 특성임피던스에 의해 결정되는 복합형 E 송전선로의 근사방정식을 나타내며, 이들 방정식의 순서에 따라 다단메쉬 회로망을 설계하였다. [5]

$$Z_n = (L_T / C_T)^{1/2} \text{-----(1)}$$

$$t_p = 2 \cdot (L_T / C_T)^{1/2} \text{-----(2)}$$

$$C_T = t_p / 2 \cdot Z_n \text{-----(3)}$$

$$L_T = t_p \cdot Z_n / 2 \text{-----(4)}$$

$$V = (2 \cdot E / C_T)^{1/2} \text{-----(5)}$$

$$i_p = V_0 / 2 \cdot Z_n \text{-----(6)}$$

단, Z_n : 회로망의 특성임피던스[Ω]

L_T : 다단메쉬의 총인덕턴스[μH]

C_T : 다단메쉬의 총커패시턴스[μF]

t_p : 전류펄스폭[s], V : 충전전압[V]

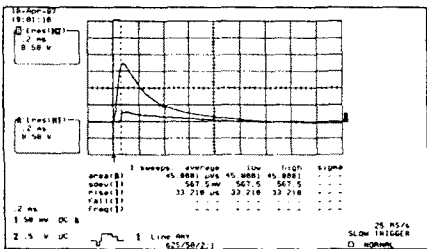
E, i_p : 플래쉬램프 입력에너지[J], 최대전류[A]

2. 본 론

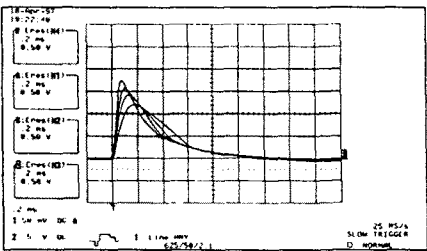
2.1 각 메쉬에 따른 출력특성

2.1.1 2단메쉬 PFN에 의한 레이저 출력특성

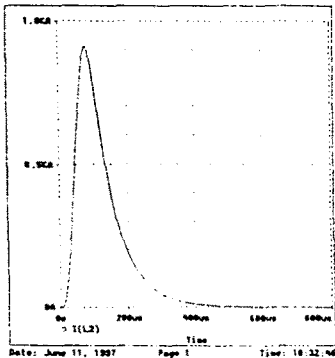
입력에너지 $E_0=70[\text{J}]$, 입력전압 $V_0=936[\text{V}]$, 커패시턴스 $C_1=C_2=80[\mu\text{F}]$, 인덕턴스 $L_1-L_2=10-100[\mu\text{H}]$ 로 메쉬를 구성하였다. 레이저출력은 $L_1-L_2=10[\mu\text{H}]$ 일 때 $920[\text{mJ}]$ 의 최대출력이 나타났다. 그림은 (a) $L_1=L_2=10[\mu\text{H}]$, (b) L 값(10, 30, 60, $100[\mu\text{H}]$)에 따른 경우의 펄스파형으로 편형포도다이오드(PINPHOTO-DIODE, 모델명: ANTEL ARS-1)와 오실로스코프(모델명: Lecroy 9310AM)를 이용하여 관측하였다. (c)는 simulation파형이다.



(a) $L_1=L_2=10[\mu\text{H}]$



(b) current pulse waveforms by L value

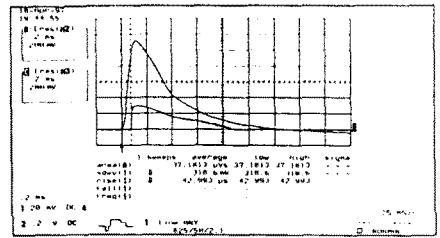


(c) simulation waveform($10\mu\text{H}$)

[Fig. 3] current pulse waveform of 2-mesh and laser beam

2.1.2 3단메쉬 PFN에 의한 레이저 출력특성
입력에너지 $E_0=70[\text{J}]$, 입력전압 $V_0=764[\text{V}]$ 을 인가한 경우, 그림과 같이 레이저출력은 $L_1-L_3=30[\mu\text{H}]$ 일

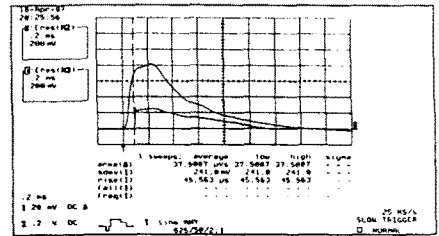
때 $890[\text{mJ}]$ 로 최대출력이 나타났다.



(a) $L_1-L_3=30[\mu\text{H}]$

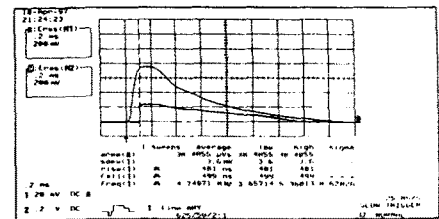
[Fig. 4] current pulse waveform of 3-mesh

2.1.3 4단메쉬 PFN에 의한 레이저 출력특성
입력에너지 $E_0=70[\text{J}]$, 입력전압 $V_0=662[\text{V}]$ 을 인가한 경우, 그림과 같이 레이저출력은 $L_1-L_4=40[\mu\text{H}]$ 일 때 $880[\text{mJ}]$ 로 최대출력이 나타났다.

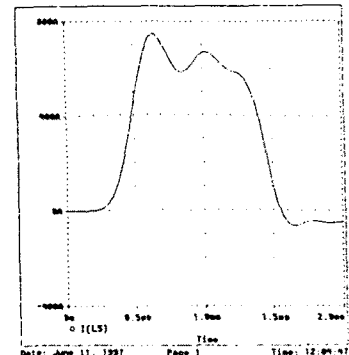


(a) $L_1-L_4=40[\mu\text{H}]$

2.1.4 5단메쉬 PFN에 의한 레이저 출력특성
입력에너지 $E_0=70[\text{J}]$, 입력전압 $V_0=592[\text{V}]$ 을 인가한 경우, 그림과 같이 레이저출력은 $L_1-L_5=10[\mu\text{H}]$ 일 때 $900[\text{mJ}]$ 로 최대출력이 나타났다.



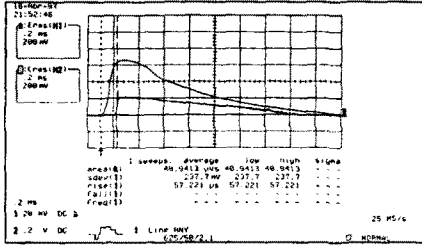
(a) $L_1-L_5=10[\mu\text{H}]$



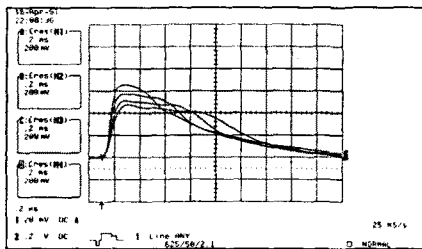
(b) simulation waveform($10\mu\text{H}$)

[Fig. 5] current pulse waveform of 5-mesh

2.1.5 6단메쉬 PFN에 의한 레이저 출력특성
 입력에너지 $E_0=70[J]$, 입력전압 $V_0=541[V]$ 인 경우,
 그림과 같이 레이저출력은 $L_1-L_5=10[\mu H]$ 일때
 $831[mJ]$ 로 최대출력이 나타났다.



(a) $L_1-L_5=10[\mu H]$



(b) current pulse waveforms by L value
 [Fig. 5] current pulse waveform of 6-mesh

2.2 각 메쉬의 E_{TH} 및 E_L 값 비교

표1에서 E_{TH} 는 반전분포형성후 발전시작점까지 소모되는 에너지이며, E_L 은 실제 레이저출력에 기여하는 에너지이다.

$L_1=L_2$ [μH]	$E_{TH}[J]$	$E_L [J]$	$E_0[J]$
10	5.7	64.3	70
30	7.5	62.5	
60	6.8	63.8	

[표 1] 2단메쉬 PFN에 대한 E_{TH} 및 E_L 의 계산

L_1-L_6 [μH]	$E_{TH}[J]$	$E_L [J]$	$E_0[J]$
10	5.6	64.2	70
30	6.6	63.4	
60	7.9	62.1	

[표 2] 6단메쉬 PFN에 대한 E_{TH} 및 E_L 의 계산

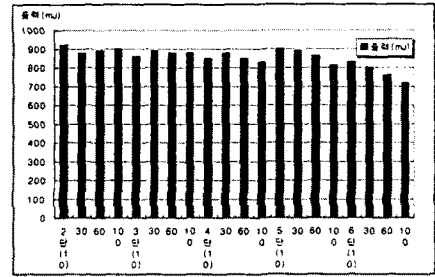
2.2.1 각 메쉬의 E_{TH} 및 E_L 의 계산

위의 표에서 보면 레이저출력에 기여하는 에너지 E_L 이 가장 큰 값이 실제레이저출력의 최대출력과 일치함을 알 수 있다.

2.2.2 각 메쉬의 출력

2단메쉬에서 10, 3단메쉬에서 30, 4단메쉬에서 10, 5단메쉬에서 10, 6단메쉬에서 $10[\mu H]$ 일 때 최대출

력을 보였다. 또한, 5, 6단메쉬에서는 L값이 증가함에 따라 출력이 감소함을 보였다.



(Fig. 7) Laser output of each mesh

3. 결 론

다단메쉬를 구성하여 얻어진 펄스전류파형과 레이저 광 프로파일을 서로 비교, 검토함으로써 다음과 같은 결론을 얻었다.

- ① 2단메쉬에서 6단메쉬까지의 최대출력은 2단메쉬 $L_1-L_2=10[\mu H]$ 에서 $920[mJ]$ 을 얻었으며, 1.3%의 레이저효율을 얻었다.
- ② 2단 및 5단메쉬에서 각각 10, $50[\mu H]$ 의 simulation 결과 전류펄스파형이 거의 일치함을 보였다.
- ③ 5, 6단메쉬에서는 L값의 증가에 따라 출력이 감소하는 경향과 함께 펄스형상이 구형파에 접근함을 알 수 있다.
- ④ 레이저가공시 피가공재질에 직접적인 영향을 미치는 여러 가지 전류펄스를 성형할 수 있는 기술을 축적하였다.

위의 여러 가지 전류펄스파형을 기초데이터로 하여, 여러 가지파형들을 직접 피가공재질에 인가하였을 경우 그에 따른 피가공재질의 특성을 연구하고자 한다.

(참 고 문 헌)

- [1] Donald C. O'shea et al, "Introduction to Laser and Their Application", Addison-Wesley Publishing Company, pp. 256-261, 1997
- [2] Yasutomo Fujimori, "Laser Material Processing in Electric Industries", Proceeding of Lamp '92, Nagaoka, pp. 981-986, 1992
- [3] Kenichi Iga et al, "Fundamentals of Laser Optics", Plenum Press, New York and London, pp. 13-15, 1994
- [4] Joseph T. Verdeyen, "Laser Electronics", Prentice-Hall International Inc, pp. 62-77, 1989
- [5] W. Koehner, "Solid-State Laser Engineering", Springer-Verlag, New York, Heidelberg, pp. 341-348, 1995