

능동적 다중 펄스 중첩법(AMPS)을 적용한 펄스형 CO₂레이저의 펄스 성형에 대한 연구

정현주*, 박성준*, 정용호*, 송건주*, 김희제*, 김휘영**
*부산대학교 전기공학과, **동주대학

A study on the pulse forming of pulsed CO₂ laser using active multi-pulse superposition

Hyun-Ju Chung*, Sung-Joon Park*, Yong-Ho Jung*, Gun -Ju Song*, Hee-Je Kim*, Whi-Young Kim**
Dept. of Electrical Eng., Pusan national Univ*, Dong-Ju College**

Abstract - In manufacturing processes, various and suitable pulse shapes are required for the purpose of material processing and the pulse shape is regarded as a dominant factor due to the specific property of processing materials. Therefore, in this study, a variable pulse width, high duty cycle Pulse Forming Network(PFN) is constructed by time sequentially. The power supply for this experiment consists of three switching circuits. The PFN elements operate at low voltage and drive the primary of HV leakage transformer. The secondary of the transformer has a full-wave rectifier, which passes the pulse energy to the load in a continuous sequence of properly phased and nested increments. We investigated laser pulse width as various delay time among three switching circuit. As a result, we can obtain various laser pulse width from about 4ms to 10ms. The maximum laser pulse width obtained at this experiment was about 10ms at delay time of 4ms among each switching circuit.

1. 서 론

1960년에 레이저가 출현하여 40여년이 경과하고 있는 요즘, 레이저는 일상의 각 분야에서 이용되어, 종래에는 불가능했던 부분들을 가능하게 하는 등의 활약상을 보이고 있다[1-5]. 한편, 고전압 펄스파워 기술을 적용하는 연구 및 응용은 다양한 분야에서 적용되고 있으며, 고전압의 펄스형상 및 펄스 파라메타를 제어하는 방식에 대한 체계적인 연구는 첨단기술의 한 분야인 고속 스위칭 기술의 토대를 마련하는데 있어서 매우 중요하다.

전기·전자 실험과 관련된 함수발생기를 이용하면 저전압의 정현파, 구형파, 톱니파, 등의 다양한 형상의 펄스모양 및 펄스폭을 갖춘 파형들을 반복적으로 만들어 낼 수 있다. 그러나 전압이 수 kV 이상으로 높아지면 이러한 파형의 제어가 용이하지 않게 된다.

고전압 펄스파워와 관련된 엑시머 레이저, TEA CO₂ 레이저, 레이저 가공, 레이저 CVD, 표면개질, 이온빔 발생기, 입자빔 가속기 등과 같은 응용에 있어서, 상기와 같은 저전압이 아닌 고압측의 펄스를 제어해야 하므로 제어하기가 어렵다. 이러한 펄스파형을 제어하기 위하여 기존의 방식은 고압측에서 PFN(Pulse forming network) 또는 PFL(Pulse forming line) 등을 활용하며, 스위칭 소자로서 트리지 갭, 레일 갭, 반도체 스위치, 이그니트론, 싸이라트론, 磁氣압축 스위치 등을 활용하고 있다[6-7]. PFN 방식에서는 펄스폭을 늘리기 위하여 주로 다단 LC 회로망을 도입하고 있으며, PFL 방식에서는 충전선로의 길이를 늘리는 방식

을 채용하고 있다. 그러나 이러한 방식은 장치가 대형화되며, 많은 소자를 사용하게 되고, 저압측이 아닌 고압측을 제어해야 하므로 스위칭 소자뿐만 아니라 전기적 회로에 사용되는 소자의 내압 특성도 고려해야 한다는 단점이 있다.

본 연구에서는 이러한 단점을 보완할 수 있는 새로운 방법으로서, 2단 또는 3단 정도의 회로망에 최근 저가격으로 널리 활용되고 있는 PIC 원 칩 마이크로 프로세서 기술을 접목시켜, 저전압 측에서 2단 또는 3단의 회로를 능동적으로 중첩시킴으로써, 다양한 펄스폭을 가지는 고전압의 펄스형상을 만들었고 이를 현재 산업용으로 많이 사용되고 있는 CO₂ 레이저에 적용하여 각단의 지연시간에 따른 레이저 빔의 출력 특성을 고찰하였다.

2. 본 론

2.1 실험 장치

2.1.1 공진기

본 연구에서는 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과 plano-concave 공진기를 채택하였다. 레이저 방진을 위한 전반사경은 열 팽창계수가 작고 열전도도가 크며, 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 %인 몰리브덴 렌즈를 사용하였고, 부분반사경은 발진문턱치를 낮추기 위해 반사율은 90 %이고 기계적 강도와 열전도가 크며, 흡수계수가 적은 ZnSe(Zinc Selenide)렌즈를 채택하였다. 레이저 방진관으로는 길이 100cm, 내경 16mm, 두께 2mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였으며, 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은 90mm×π×64mm³이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형 전극을 방전관에 부착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 90cm로 하였다.

2.1.2 전원회로

AMPS를 위한 전원회로는 그림 1과 같이 3개의 스위칭 회로로 구성이 되어있다. 각 스위칭 회로는 2단 PFN 회로와 하나의 정류부 그리고 고압 누설변압기 및 변압기 2차측의 정류용 브리지 다이오드로 구성이 되어 있다.

2.1.3 제어회로

그림 2는 PIC 마이크로프로세서로 구성된 지연 시간 제어 회로의 Block diagram을 나타낸다. 이 제어 회로는 크게 3부분으로 구성되어 있다. 그 하나는 동작시킬 지연 시간을 입력받는 키보드이고, 다른 하나는 입력받은 지연 시간을 표시하는 FND 디스플레이(dis-play) 부분이고, 나머지 하나는 이 제어 회로에서 가장 핵심 부분인 PIC 원 칩 마이크로 프로세서이다.

제어 회로의 동작은 다음과 같다. 첫 번째로 지연 시간 정보가 키보드를 통하여 입력되면, 이는 PIC에 전달되고, PIC는 정해진 프로그램(program)에 의해 네 가지의 다른 신호를 출력시킨다.

PIC에서 출력되는 신호 중 한 신호는 FND 디스플레이 신호이고, 다른 세 신호는 펄스 전원의 스위칭 회로에서 세 개의 SCR을 각각 원하는 delay 시간을 가지고 트리거(trigger)시키기 위한 트리거 신호이다. FND 디스플레이 신호는 입력된 지연 시간을 디스플레이하기 위하여 74LS47 디코더를 통하여 FND에 전달된다. SCR 게이트 트리거 신호들은 SCR1을 트리거 시킨후 키보드를 통해 입력된 시간만큼 정확하게 지연시킨후 SCR2와 SCR3를 트리거시키기 위한 SCR 게이트 트리거 신호들을 출력한다.

본 연구에서는 각각의 SCR들의 지연 시간을 원하는대로 가변 가능하도록 PIC 마이크로프로세서를 프로그램하였는데, 그 가변 범위는 각각의 SCR1과 SCR2 그리고 SCR2와 SCR3를 $0 \mu\text{s} \sim 4000 \mu\text{s}$ 까지 $50 \mu\text{s}$ 씩 가변할 수 있도록 하였다.

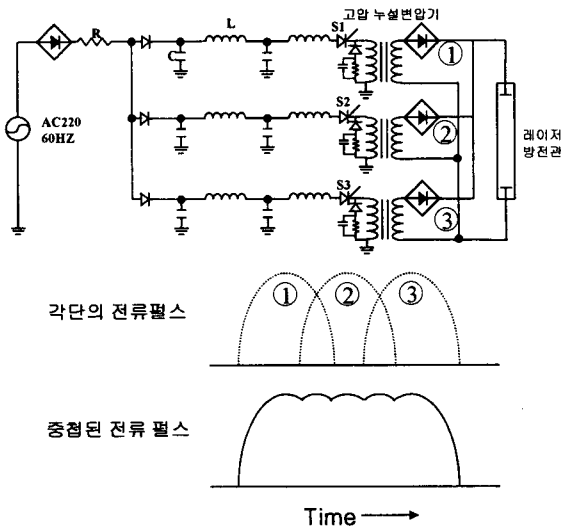


그림 1. AMPS를 위한 전원회로의 개략도
Fig. 1. Schematic diagram of power supply circuit for AMPS

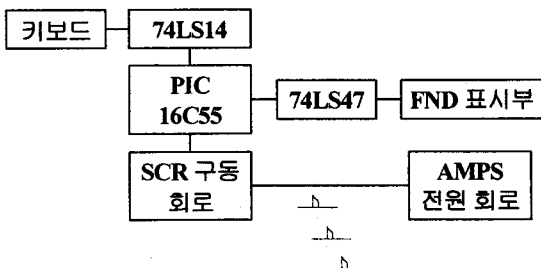


그림 2 제어부의 블록 다이어그램
Fig. 2 Block Diagram of control circuit

2.2 실험 결과 및 고찰

실험 방법으로는 각각의 PFN 회로의 콘덴서에 축적된 에너지를 SCR의 스위칭 과정을 통하여 고압 누설 변압기에서 고압의 펄스로 변화시킨 후 방전관에 그 에너지를 인가하였다.

SCR1, SCR2 및 SCR3는 PIC 원 칩 마이크로프로세서에 의해 정해진 delay time에 맞추어 순차적으로 "turn-on" 되었다. 따라서 각각의 PFN회로의 콘덴서에 축적된 에너지가 일정 지연시간을 가지고 순차적으로 각각의 고압 누설변압기 1차측에 인가되었다. 각 SCR들의 트리거 도통각의 지연시간을 $0 \mu\text{s}$ 에서 $4000 \mu\text{s}$ 까지 변화시켜가며 레이저 빔의 형성 모양을 측정하였으며, 그림 1은 각 스위칭 회로에서 일정한 시간지연을 가지고 생성되는 레이저 빔이 중첩되는 모양을 그림으로 간략하게 보여주고 있다.

빔 프로파일 측정은 파이로 일렉트릭 디텍터(Pyroelectric detector : Moletron : P5-01)를 사용하였다.

2.2.1 1단 회로에서의 레이저 펄스폭

1개의 스위칭 회로의 콘덴서에 충전된 에너지를 고압 누설 변압기를 통하여 방전관에 인가하였을때 레이저 펄스 모양을 측정하였다. 입력에너지 1.5 [J] 일 때 출력 에너지는 약 130 [mJ] 이었고 그림 3에서 보는 바와 같이 레이저 펄스폭(FWHM)은 약 2 ms 였다.

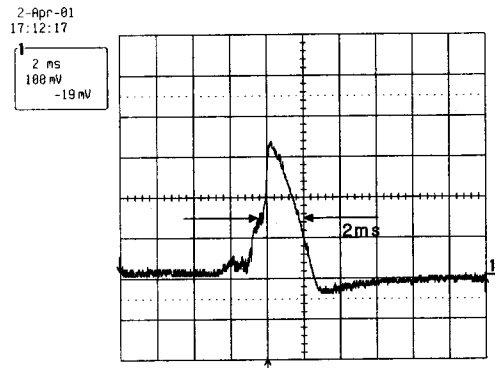


그림 3. 무중첩에서 각 단의 레이저 펄스 모양
Fig. 3. Laser pulseshape of each mesh at the nonsuperposition

2.2.2 2단 회로에서 S1과 S2의 delay time에 따른 레이저 펄스폭

2단 회로에서 S1과 S2의 delay time을 $0 \sim 3600 \mu\text{s}$ 까지 $300 \mu\text{s}$ 씩 변화시켜가며 delay time의 변화에 따른 레이저 펄스폭을 고찰하였다. 그림 4는 S1과 S2사이의 delay time을 증가시켜감에 따른 레이저 펄스폭을 나타낸다. delay time이 $0 \mu\text{s}$ 일 경우 레이저 펄스 폭은 그림 4와 같이 약 2.6 ms 였다. delay time을 $300 \mu\text{s}$, $600 \mu\text{s}$ 까지 변화시켜 가며 실험을 해본 결과 레이저 펄스폭은 delay time이 $0 \mu\text{s}$ 인 경우와 같이 2.6 ms 로써 큰 차이가 없었다. delay time을 $600 \mu\text{s}$ 이상 증가시키에 따라서 레이저 펄스폭은 조금씩 증가하였고 delay time, $3600 \mu\text{s}$ 에서의 펄스폭(FWHM)은 약 6.2 ms 였다.

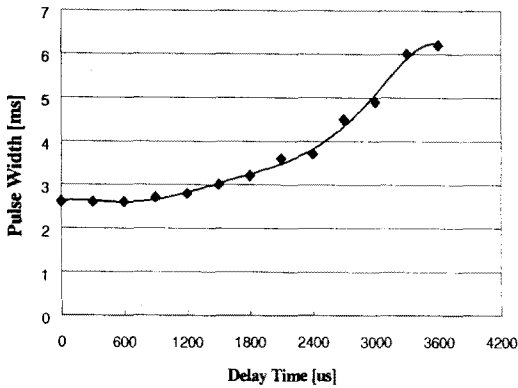


그림 4. 2단 중첩회로에서 지연시간에 따른 레이저 펄스폭

Fig. 4. Laser pulse width as variable delay time at two mesh superposition circuit

2.2.3 3단 회로에서 S1과 S2 및 S3의 delay time에 따른 레이저 펄스폭

3단 회로에서 S1과 S2 및 S2와 S3 사이의 delay time을 0~3600us까지 각각 600us씩 변화시켜가며 delay time의 변화에 따른 레이저 펄스폭을 고찰하였다. 그림 5는 S1과 S2 및 S2와 S3 사이의 delay time의 변화에 따른 레이저 펄스폭을 나타낸다. S1과 S2 및 S2와 S3 사이의 delay time을 변화시킴에 따라 얻어진 레이저 펄스폭은 최소 약 4ms였고 최대 약 10ms까지의 다양한 펄스폭을 가지는 레이저 빔을 만들 수가 있었다.

그림 6은 S1-S2의 delay time이 3600 μ s, S2-S3의 delay time이 3000 μ s인 경우 각각의 delay time에 따른 레이저 펄스의 형성 모양을 측정한 빔 프로파일이다. 이때 얻어진 레이저 펄스폭은 약 8.6ms였다.

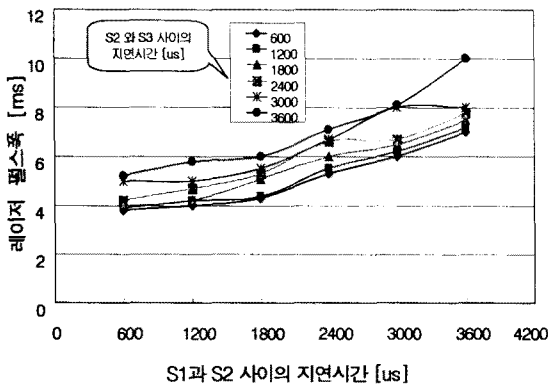


그림 5 S1과 S2 및 S2와 S3사이의 지연시간에 따른 레이저 펄스폭

Fig.5 The laser pulse width as delay time between S1 and S2 and between S2 and S3

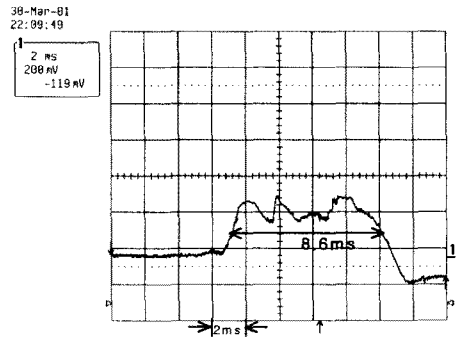


그림 6 3단 중첩회로에서 레이저 펄스 모양
(지연시간 S1-S2 : 3600us,
S2-S3 : 3000us)

Fig. 6 Laser pulse shape at two mesh superposition circuit
(Delay time S1-S2 : 3600us,
S2-S3 : 3000us)

3. 결 론

본 연구에서 시도하려고 하는 능동적 다중 펄스 중첩법(AMPS)은 기존의 방식을 탈피한 새로운 접근 방법이다. 이는 3개의 스위칭 회로에 PIC 원 칩 마이크로프로세서 및 반도체 스위칭 소자를 활용하여 저전압측에서 각 스위칭 회로의 SCR을 일정한 지연시간을 가지고 순차적으로 turn-on함으로써 고압의 펄스 파라미터를 직접 제어하여 다음과 같은 결론을 얻었다.

- 1개의 스위칭 회로의 콘덴서에 충전된 에너지를 고압 누설 변압기를 통하여 방전관에 인가하였을때 발생하는 레이저 펄스폭은 약 2ms였다.
2. S1과 S2 및 S2와 S3 사이의 delay time을 변화시킴에 따라 얻어진 레이저 펄스폭은 최소 약 4ms였고 최대 약 10ms까지의 다양한 펄스폭을 가지는 레이저 빔을 얻었다.

(참 고 문 헌)

- [1] P. Loosen, "Recent Development of lasers for Materials Preprocessing". Proc of LAMP '92, Nagaoka, Vol. 1, pp.61-66, 1992
- [2] J.K.R. Weber, J.J. Felten and P.C. Nordine, "laser Hearth Melt Processing of Ceramic Materials." Rev. Sci. Instrum. 67, pp.522-524, 1996
- [3] R. C. Harney, "CO₂ lasers for Military Applications." SPIE Vol. 1042 CO₂ lasers and Applica pp.42-54, 1989
- [4] E. Hirota, High-Resolution Spectroscopy of Transient molecules, Springer, Heidelberg, Germany (1985)
- [5] Jen-Shin Chang, "Handbook of Electrostatic Processes", Macel Dekker Inc, pp.221-223 (1990)
- [6] P. K. Bhadani and R. G. Harrison, "Efficient long pulse TE-CO₂ laser using magnetic-spiker sustainer excitation", 1992
- [7] McNab, I.R., "Developments in pulsed power technology Magnetics", IEEE Transactions on , Vol. 37(1), pp.37