

# 100 ns급 대용량 자기펄스 압축시스템의 최적화

이용우\*, 이영우\*\*

\*전남도립담양대학 초고속정보통신공학부, \*\*목원대학교 공과대학 IT공학부

## Optimization of the Large Scale Magnetic Pulse Compression System of 100 ns-order

Yong Woo Yi\*, Young woo Lee\*\*

\*Provincial College of Damyang, \*\*Mokwon University

E-mail : \*ywyi@damyang.ac.kr,

### 요 약

본 연구에서는 엑시머 레이저 여기용으로 40 J급 자기펄스압축시스템(MPC ; magnetic pulse compression system)을 개발하고, MPC의 각단에서 최적조건을 구하였다. MPC 시스템은 DC 전원 공급기, 펄스 트랜스, 네 단의 포화인덕터로 이루어져 있다. MPC 각 단에서 포화인덕터의 회전수는 140회, 26회, 5회와 1회이며, 각단에서의 최적 용량은 각각 34 nF, 28.9 nF, 22.1 nF, 22.1 nF이다. MPC 시스템의 개선으로 우리는 43 kV의 전압, 8.25 kA의 전류와 360 ns의 펄스폭을 얻을 수 있었으며, 이때 최대 펄스 압축율은 77.7, 전류 이득은 71.7이었다.

### ABSTRACT

In this study, we developed the 40 J-class MPC(magnetic pulse compression) system for exciting excimer laser and investigated the optimal conditions of each stage of MPC circuit. This system consists of a DC power supply, a pulse transformer and four saturable inductors. The number of turns of saturable inductors at each stage of MPC circuit are 140, 25, 5, 1 and the optimal storage capacitance of each stage are 34 nF, 28.9 nF, 22.1 nF, respectively. In the improvement MPC system, we have obtained an output voltage of 43 kV, a current of 8.25 kA and a pulse duration of 360 ns. Also, the maximum pulse compression ratio of 77.7 and the current gain of 71.7 were obtained.

### KEY WORD

MPC(magnetic pulse compression), excimer laser, current gain

### 1. 서 론

최근, 대출력, 고반복 동작의 가스레이저 연구에서 여기 전원장치의 특성은 레이저 장치들의 안전성과 빔 품질을 결정짓는 중요한 요소이므로 이에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다[1,2]. 특히 펄스레이저의 고반복 동작에 따라 레이저 장치의 장수명화가 문제되고 있으며, 레이저 장치의 수명을 제한하는 요소는 레이저 가스의 열화, 그에 따른 광학 소자의 오염, 전극의 부식등이 여기

전원을 제어하는 스위칭 소자의 수명 등이 있다. 최근에 각광받고 있는 엑시머 레이저 등과 같은 가스 레이저에서 스위칭 소자는 고전압, 대전류를 필요로 하며 신뢰성이 저하되므로, 장수명화는 매우 중요한 요소이다[3].

따라서, 최근에 사용되어지는 반도체 스위치와 자기 스위치를 이용한 레이저 여기 전원의 개발이 이루어지게 되었는데 자기 스위치는 강자성체의 비선형성을 이용한 것으로 대용량에 적합하고 고반복, 장수명의 특성이 있어서 레이저 여기 전원이 안고 있는 문제점들을 해결할수 있을 것으로 기대한다[4-5].

본 연구에서는 대용량 엑시머 레이저 여기를 목적으로 자기 스위치를 이용한 40 J의 용량을 갖는 MPC 시스템을 설계 제작하고, 엑시머 레이저를 발진 시킬 목적으로 최적화 실험을 하였 표 1. 가포화 인덕터의 파라메타다. 최적화된 MPC 시스템은 최종 단에서 출력전압, 전류와 펄스폭은 각각 43 kV, 8.25 kA, 360 ns였다. 다양한 엑시머 레이저 중에서 XeCl 레이저를 발진시킬 수 있으리라 생각된다.

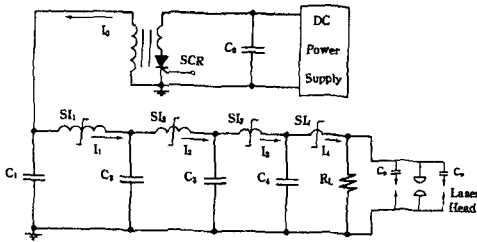


그림 1. 자기펄스 압축시스템의 등가회로

표 1. 가포화 인덕터의 파라메타

	SI <sub>1</sub>	SI <sub>2</sub>	SI <sub>3</sub>	SI <sub>4</sub>
단면적[cm <sup>2</sup> ]	36	36	36	51
자로[cm]	66	66	66	45.5
체적[cm <sup>3</sup> ]	2376	2376	2376	2320
코일 권수	140	26	5	1

압기의 2차 측에 전압이 유기되어 커패시터 C1에 약 40-48 kV의 전압이 유도적으로 충전된다. 충전되는 과정에서 가포화 인덕터 SI1은 초기에 큰 인덕턴스를 가지므로 스위치의 OFF 상태에 가깝다. 충전 완료 시점에서 인덕터 SI1이 포화되어 인덕턴스가 급격히 작아지게 되면 커패시터 C1의 전하는 커패시터 C2로 이동한다. 이 과정에서 포화 인덕터 SI2의 인덕턴스 값은 충분이 크므로 커패시터 C3으로 누설을 방지한다. 커패시터 C2에 충전된 전하는 앞에서와 같은 방법으로 가포화 인덕터 SI2의 인덕턴스 변화로 인해 C3로 전달되고, C4를 거쳐 최종 부하에 압축된 전류를 공급하게 된다.

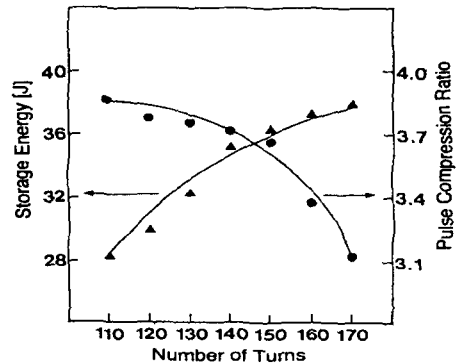


그림 2. 포화인덕터의 코일 권선수에 대한 1단에서의 충전에너지 및 펄스 압축비

## II. 본 론

### 1. 자기펄스 압축 시스템의 구성

본 연구에서 제작한 자기 펄스 압축 시스템의 회로도도 그림 1과 같으며, 직류전원과 싸이리스터(SCR)를 포함하는 펄스 변압기, 자기펄스 압축 회로와 레이저 헤드부분으로 구성되어 있다.

자기펄스 압축 시스템에서 가포화 인덕터(SI1~SI4)의 설계는 레이저의 여기에 필요한 출력을 얻을 수 있도록 가포화 인덕터의 구조 및 크기등이 고려되어야 한다. 1, 2단에서는 에너지 전송효율과 펄스 압축비를 극대화해야 하고, 최종단은 부하에 빠른 상승 시간의 전압이 전달되도록 가포화 인덕터의 인덕턴스를 최소화해야 한다. 실험에서 사용된 각 단의 가포화 인덕터의 코어는 폭 5 cm, 두께 15 um인 METGLAS 2605S(Allied 社) 필름에 와전류 손실을 줄이기 위해 폭 6 cm, 두께 12 um인 폴리에스터 절연 필름을 겹쳐서 토로이드 형으로 제작하였다.

### 2. 출력특성 및 최적화 실험

그림 1에서 시스템의 동작원리는 다음과 같다. 먼저 직류 전원에서부터 2 kV의 전압이 커패시터 C0에서 공급된 후, SCR의 스위칭에 의해 펄스 변

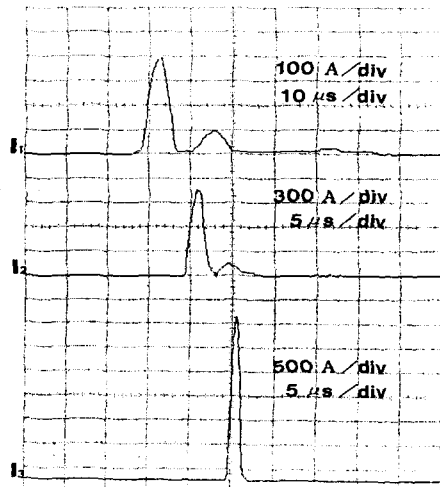


그림 3. 각 단에서의 압축된 전류파형(I1-I3).

가포화 인덕터는 펄스 변압기로부터 인가되는 전류를 각 단에서 순차적으로 압축시켜 부하에 증폭된 전류를 공급하게 된다. 본 실험에서 사용한 파라메타는 코일의 권선수이다.

그림 2는 가포화 인덕터의 코일 권선수에 대한 1단에서의 전압 및 전류 변화로서 커패시터의 전압은 코일의 권선수에 따라 증가하고 반면에 가포화 인덕터에 흐르는 전류는 감소한다. 표 2. 자기펄스 압축 시스템의 동작일 권선수가 증가하면 가포화 인덕터의 포화시간은 길어지고 커패시터에 충전되는 전압은 상승한다. 코일 권선수를 줄여서 높은 전류를 얻을 수 있으나 커패시터의 전압이 감소하므로 적절한 권선수를 찾는 것이 중요하다.

표 2. 자기펄스 압축 시스템의 동작

Parameters	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
Peak Current [A]	400	1,050	3,400	9,800
Pulse Duration [μs]	8.5	3.5	1.4	0.6
Peak Voltage [kV]	37	35	33	31
Current Gain	3.5	2.63	3.24	2.88
Compression Ratio	3.76	2.43	2.5	2.33
Storage Energy [J]	35	31.2	27.8	24.5
Efficiency [%]	87.5	78	69.5	61.3

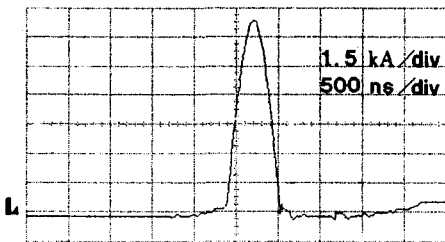


그림 4. 0.6 Ω의 부하일 때 최종 단(4단)에서 전류파형(I<sub>4</sub>)

그림 3에서는 1단에서 3단까지의 전류 파형의 압축상태 및 증폭상태를 연속적으로 나타내었고, 그림 4는 최종단의 전류의 출력파형이다. 최종 단에서 전류의 펄스폭은 600 ns로 이 값은 엑시머 레이저를 발진시키기 위한 충분한 여기밀도를 형성시키기는 어려울 것으로 보여진다. 전체적인 자기펄스 압축시스템의 동작 특성은 표 2에 나타낸 바와 같다.

### 3. 커패시턴스 변화에 의한 압축특성 개선

기존의 자기 펄스 압축 시스템의 대부분은 각 단의 커패시터 용량이 모두 일정하게 구성되었다. 이는 회로 구성이 효율면에서 가장 좋은 특성을 나타내기 때문이다. 그러나 각 단의 커패시턴스의 비율을 적절히 조절하게 되면 각 단에서 전류의 높은 압축비를 얻을 수가 있다.

그림 5는 커패시턴스의 변화에 대한 1단에서의

충전 에너지 및 펄스 압축비를 나타내 것이다. 실험에서는 순수히 커패시턴스에 의한 압축효과를 알아보기 위해 가포화 인덕터의 권선수는 140회에 고정하고 커패시턴스를 변화시켰다. 그림 5에서 커패시턴스가 감소함에 따라 펄스압축비가 급격히 증가함을 볼 수 있다. 또 충전에너지는 59.5 nF에서 가장 큰데, 이는 커패시터 Co가 표시된 것보다 용량이 실제로는 조금 더 큰 때문으로 여겨진다. 1단의 실험결과, 에너지 전송효율을 고려하여 34 nF으로 조정하였으며, 동일한 방법으로 각 단의 커패시터를 적절히 조절하여 보다 높은 압축 효과를 얻었다. 이와 같은 실험을 통하여 개선된 시스템의 출력 전류 파형을 그림 6에 나타내었다. 전류 펄스 폭이 약 360 ns로 커패시턴스를 조정하기 전과 비교할 때 약 40% 펄스 폭이 감소하였다. 전체적인 동작 특성은 표 3과 같다.

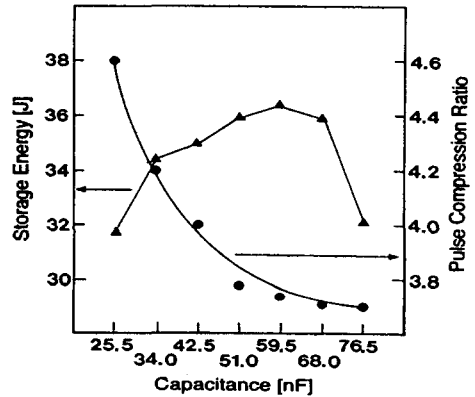


그림 6. 커패시턴스 변화에 대한 1단에서의 충전 에너지 및 펄스 압축비.

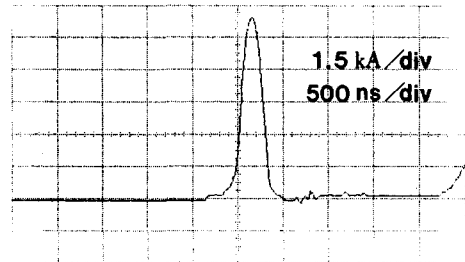


그림 7. 개선된 시스템에서 0.6 Ω의 부하일 때 최종 단(4단)에서 전류파형(I<sub>4</sub>)

### III. 결 론

본 논문에서는 엑시머 레이저 여기 전원용으로 40 J급 자기 펄스 압축 시스템을 제작하고, 300 ns 급의 펄스폭을 갖도록 시스템을 최적화하였다. 실험에서 구성된 전체 시스템은 직류전원, 펄스 변압기와 자기 펄스 압축회로로 구성되었으며, 시스

펄스의 대용량화를 위해 가포화 인덕터의 코일 및 커패시턴스에 따른 압축특성을 조사 표 3. 개선된 자기펄스 압축 시스템의 동작하고 최적화 하였다.

표 3. 개선된 자기펄스 압축 시스템의 동작

Parameters	Stage 1	Stage 2	Stage 3	Stage 4
Peak Current [A]	400	1,600	3,500	8,250
Pulse Duration [μs]	6.9	2.2	0.95	0.36
Peak Voltage [kV]	45	45	44	43
Current Gain	3.5	4.0	2.19	2.36
Compression Ratio	4.2	3.14	2.32	2.64
Capacitance[nF]	34.0	28.9	22.1	22.1
Storage Energy [J]	34.5	29.3	21.4	20.4
Efficiency [%]	86.25	73.25	53.5	51.0

가포화 인덕터의 코일 권선수만을 조정한 40 J 급 자기펄스 압축시스템에서 최대 펄스 압축비는 53.3, 전류이득은 85.2이고, 최종단에서 출력 전압은 31 kV, 전류는 9.8 kA이고 펄스폭은 600 ns였다. 이러한 결과는 엑시머 레이저를 여기시키기에 부족한 결과로 이를 개선하고자 커패시턴스 변화에 의한 압축 효과를 고찰하였다. 개선된 시스템에서의 최대 펄스 압축비는 78과 전류이득은 72이고, 최종 단에서 전압, 전류 및 펄스폭은 각각 43 kV, 8.25 kA, 360 ns였다. 개선된 자기펄스 압축시스템은 엑시머레이저를 발진 가능성을 제시하였다. 더 나은 효율개선과 압축특성을 얻기 위해서는 코일 제작의 개선 및 열처리를 해야 될 필요가 있으며, 레이저 발진을 위한 MPC 내에서 펄스의 전송효율을 높이기 위해서는 장 펄스화가 실현되어야 한다.

### 참고 문헌

- [1] E. Y. CHU, and Anthony Trippe, Laser Focus World, pp.127-134, Feb. 1992.
- [2] R.C. Kocher, Laser Focus World, pp. 115-116. Jan.1991.
- [3] H. Tanaka and M. Obara, Rev. Sci. Instrum., Vol. 61, No. 4, April. 1990.
- [4] J. P. VanDevender and R. A. Reber, Proceedings of the 3rd IEEE International Pulsed Power Conference. 256-261 (1981)
- [5] H. Hatanaka, K. Midorikawa, T. Takahashi, Y. Terashi, S. Ishixaka, M. Obara and H. Tashiro, The Review of Laser Engineering, Vol. 21, No. 6, April, 1993.