

XeF(C→A) 레이저 여기용 2.56MeV e-Beam 가속기 개발

A Development of 2.56 MeV e-Beam Accelerator for Excitation of XeF(C→A) Laser

류한용* 이주희
경희대학교 전자공학과

청록색 영역에서 발진하는 XeF(C→A) 엑사이머 레이저 여기용 2.56MeV 전자빔 가속기를 개발하였다. 대출력 전자빔 가속기는 ±80kV로 충전하는 Marx Generator를 동축구조로 꾸림으로서 낮은 임피던스와 인덕턴스를 유지할 수 있었고, 빠른 전압상승과 유사구형 파 출력을 얻을 수 있었다. 본 연구에서는 대출력 전자빔가속기(2.56MeV, 2.2kJ)의 파라메타와 동작특성, 전압측정 등을 기술한다.

1. 서론

상대론적 전자빔에 대한 연구는 1965년 Graybill 와 Nablo의 최초의 관측으로부터 오늘날에 이르기까지 여러 분야에서 활발히 다양하게 연구되고 있다. 본 연구팀은 600keV 동축형 Marx generator[1]로서 고출력 레이저 여기원으로 연구한 경험으로 XeF(C→A) 레이저 여기용 2.56MeV e-beam 가속기를 개발하였다.

최근 X-ray 발생기, 반도체 플라즈마, 물리학의 기초연구, 핵융합용 드라이버 등으로서 전자빔 가속기가 많이 연구되고 있는 반면, 본 연구에서는 대출력의 전자빔 가속기(2.56MeV, 70ns(FWHM), 2.2kJ)를 단펄스·고출력 레이저를 얻기위한 연구에 초점을 두었다.

수중 레이저 통신 및 레이저에 의한 수중계측 등의 응용에 대한 청록색 레이저의 연구가 많은 종류의 레이저가 사용되어 폭넓게 연구되고 있다[2,3].

450-530nm 대역의 넓은 발진 파장을 갖는 XeF(C→A) 엑사이머 레이저는 중심파장 487nm에서 강력한 후보로 대두되어 해수 투과 특성이 매우 좋은 장점으로 수중통신, 해저와 위성간의 통신에 활발한 연구가 진행되고 있다[4].

본 연구에서는 방전여기방식이나 광여기방식에 비해 큰여기밀도(∼MW/cm³)를 갖는 전자빔여기방식으로 XeF(C→A) 희가스 할라이드 엑사이머 레이저를 펌핑할 목적으로 대출력 전자빔 가속기를 개발하였으나 아직은 목적에 미치지 못하는 초보적인 연구 단계이다. 본 연구에서는 2.56MeV 전자빔 가속기의 파라메타와 동작특성, 전압측정 등을 기술한다.

2. 전자빔 가속기

고압의 레이저 가스에서 큰 레이저 이득을 얻기 위해서는 가속 전압이 클 필요가 있고, 희가스 할라이드 엑사이머 레이저에서 할로젠 도우너를 전자빔이 해리

시커 레이저 출력특성에 큰 영향을 주므로 단펄스·고출력레이저를 얻기 위해서는 최대한 빠른 시간내에 큰 에너지(~kJ)를 줄수 있는 대출력 Marx 발생기가 요구된다. 이에 따라 XeF(C→A) 레이저 여기용 2.56MeV 전자빔 가속기를 개발하였다. <그림 1>은 본 연구에서 개발한 2.56MeV(무부하시) 동축형 Marx 발생기의 개략도이다.

<그림1>에 보이는 것처럼 전자빔 가속기는 Marx 모듈, 충전저항, 스파크 갭스위치, Marx 외통, Marx 충전기, 트리거 발생기로 구성된다. Marx 모듈은 인덕턴스가 적은 BaTiO₃ 세라믹 단위 캐패시터(Murata Co., 2.7nF, 내전압40kV) 2개를 직렬, 16개 병렬로 하여 내전압 80kV, 용량 21.6nF를 Marx 캐패시터로, 각 단의 캐패시터는 스파크 갭스위치로 접속하므로써 직렬 32 단으로 하여 무부하 발생전압 2.56MeV를 얻을 수 있다. Marx 모듈의 크기는 직경 352mm, 길이 180mm로 콤팩트하다. 충전저항은 첫 단의 저항 2개가 1MΩ이고, Marx 동작시의 서지전류를 억제하여 Marx 충전기를 보호하기 위해 다른것 보다 큰 것을 사용했다. 스파크 갭스위치는 길이를 짧게하여 구조적인 인덕턴스와 저항피던스를 추구하고, 반구형 대 반구형으로 하며 재질은 동을 사용했다. 각 단의 갭스위치 간격은 모두 10mm이고, 절연내력을 높이기 위해 SF₆ 가스를 2~2.5 기압 채운다. SF₆ 가스는 부구성 가스이므로 스파크

갭스위치안에서의 절연가스의 안정성을 위해 질소 가스를 섞어 사용했다.

Marx 모듈은 철계 도체의 Marx 외통(총길이4.6m)에 넣고 고전압용 변압기유(KSC 2301 1종 2호)를 채워 절연 시켰다. Marx 충전기는 정격 ±80kV로 충전할 수 있는 펄스전자 Co. 제품으로 Marx 발생기를 플라스·마이너스 전압을 동시에 직렬충전 시킨다. 트리거 발생기는 전계외곽형 트리거 갭[4]을 트리거 하기위해 빠른 전압 상승이 요구되며, Cockcroft 회로를 사용하여 구성하였고, 출력전압 120kV로트리거 하게 된다. 이상의 파라미터를 <표 1>에 나타내었다.

Table 1. Specification of Marx Generator

Dimension	L460cm x H150cm x W56cm
Charging V	± 80 kV
No. of Stage	16
Output V	2.56 MeV
Stored Energy	2.21kJ
Charging R	1MΩ (2ea, 200mm, 265mm) Electohm Co. P.S.N 789 10 kΩ (46ea, 265mm)
Unit C	1024 ea
Total C	675 pF
Pulse Width	70ns
Insulation Oil	KSC 2301 (1-2), 1200 L
Dummy Load	767mm x φ180mm

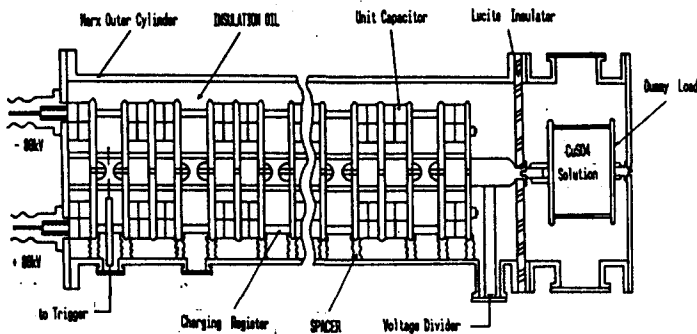


그림 1. 동축형 Marx 발생기의 개략도

3. 동작 및 전압특성

일반적인 Marx 발생기는 임피던스와 인덕턴스가 커서 RLC 직렬 회로의 파형으로 나타나지만 Y. Kubota 등[6]이 제안한 동축 구조의 Marx 발생기는 펄스정형 회로(PFN)나 Blumlein을 사용하지 않고도 동축구조로 꾸밈으로서 표류용량을 줄여 빠른 상승전압과 구형파에 가까운 출력특성을 갖는다.

<그림 2>는 Marx 발생기의 회로도이다. 최하단에 정격 전압 $\pm 80\text{kV}$ 의 Marx 충전기로 플러스·마이너스 동시에 직렬충전하게 된다. 트리거 발생기로 전계외국형 트리거 스파크갭을 트리거하면 캐패시터 모듈 C에 충전된 전압 V_0 은 방전하여 다음 단의 트리거 갭의 절연파괴를 넘어 트리거 하게 되어 연속적으로 거의 동시에 트리거 된다. $16V_0$ 의 Marx 부전압의 출력은 <그림 1>에서와 같이 부하저항과 병렬연결된 저항전압분압기로 측정하게 된다. 출력전압은 충전전압과 스파크 갭의 SF₆ 가스압력을 조정해 원하는 출력을 얻을 수 있다.

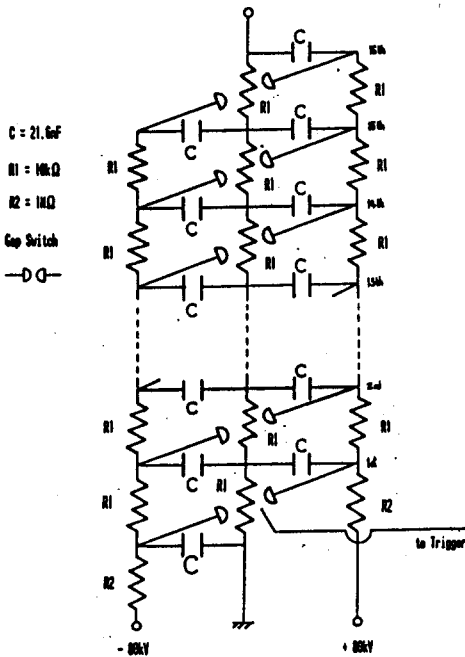


그림 2. Marx 발생기의 회로도

고전압의 일반적인 측정은 저항전압분압기나 용량 전압분압기로 사용하지만 본 측정에서는 제작이 용이하고, 좋은 응답특성을 갖는 CuSO₄ 수저항분압기[7]를 제작 사용하였다. 2차 증류된 증류수에 황산구리를 넣어 수용액의 농도를 조정하므로써 400:1의 분압비를 갖는 저항분압기를 탄소 부유도저항과 비교 측정하여 좋은 일치율을 보였다. 역시 수저항으로 제작한 부하저항의 저항값을 변화(20-75Ω)하며 Marx 발생기의 출력을 측정(Tektronix 2465)한 것을 <그림 3>에 보였다. 부하저항의 크기에 따라 출력파형이 댄핑하는 것을 볼 수 있으며, 이때 충전전압은 $\pm 45\text{kV}$ 로 하였다.

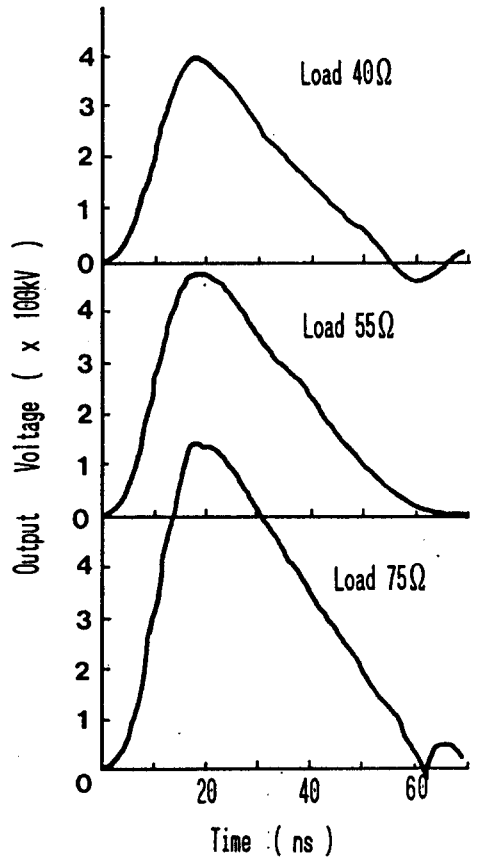


그림 3. 부하저항의 변화에 대한 Marx 발생기의 출력전압

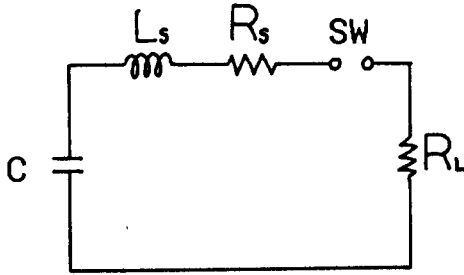


그림 4. 간략화한 Marx 등가회로

4. 토의 및 결론

Marx 발생기의 회로는 간단한 해석으로 RLC만의 등가회로로 표현이 가능하며, <그림 4>에 나타내었다. 여기서, C는 Marx 발생기가 출력상태, 즉 모든 스파크 갭스위치가 단락상태 일때의 정전용량, Ls는 Marx 발생기 내부의 전류 인덕턴스, Rs는 갭스위치 등에서 발생하는 에너지손실의 합을 저항으로 치환한 값이고, RL은 부하저항이다. C에 미리 Vo 만큼 충전한 상태에서, 스위치가 ON되면 이때의 회로 방정식은 다음과 같다.

$$Ri + L \frac{di}{dt} + C \int i dt = 0$$

여기서, $R=R_L+R_s$, $L=L_s$ 이다. 결과적으로 이 해는 R 와 $2\sqrt{L/C}$ ($=A$) 의 크기에 따라 $R>A$: Over damping, $R=A$: Critical damping, $R<A$: Under Damping 으로 나타나게된다. 따라서, 본 실험에서는 <그림 3>의 파형으로 부터 55Ω을 Marx 발생기의 내부임피던스로 보았다.

이상과 같은 동축형 Marx 발생기의 대출력 전압은 레이저 여기용 뿐만 아니라 펄스 파워 기술에 많은 응용이 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] 류한용, 정재근, 이주희, 제 2회 파동 및 레이저 학술 발표회 논문집 1-12, 1-5(1987. 2. 경희대).
- [2] R. Burnham and E.J.Schimtschek, Laser Focus, 17(6) 54(1981).
- [3] CLEO'82, Session of Laser and Laser Appetus Excimer Laser(1982. 4. Arozona Phooenix).
- [4] SPIE's OE LASE'90.
- [5] J.C.Martin, SSWA/JCM/704/49.
- [6] Y. Kubota, et al., Japan. J. Appl. Phys., 13, 260(1974).
- [7] Y. Kubota, et al., Japan. J. Appl. Phys., vol. 15, 2037(1976).