

## 펄스형 고전압 전원에 의한 선전리 현상의 관측과 질소레이저의 동작 특성

이봉연<sup>†</sup>

충남대학교 기초과학연구소  
 ☎ 305-764 대전광역시 유성구 궁동 220

(2005년 10월 26일 받음, 2006년 1월 3일 수정본 받음)

본 논문에서는 I자형과 U자형의 변압기를 각각 사용한 펄스형 고전압 전원에 의해 대기압에서 동작되는 파장 337.1 nm인 질소레이저의 방전간극과 레이저 관에 각각 광섬유를 설치하고, 이를 통해 나오는 빛을 핀 다이오드를 이용하여 선전리 현상을 직접 관측하고 출력특성을 조사하였다. 레이저 출력이 안정되고 높아질수록 선전리 현상을 뚜렷이 관측할 수 있었고, 레이저 출력은 I자형 변압기보다 U자형의 변압기를 사용하였을 때 높은 출력과 안정성을 얻었으며, 또한 펄스 방전의 예비동작 시간도 U자형이 1/3 정도 짧았다. U자형의 변압기를 사용하고 출력창의 반사율 40%, 반복율 10 Hz, 레이저 관 내에서 질소기체의 유동률이 4 l/min, 방전간극 내에서 질소기체의 유동률이 1500 cc/min, 방전간극 전극 거리 3.0 mm, 레이저 관 내 전극거리 5.0 mm 일 때, 안정성이 2.7%인 36μJ의 출력을 얻었다.

주제어 : N<sub>2</sub> laser, Blumlein transmission line circuit, Ernst electrode, U-type transformer, Preionization..

### I 서 론

1960년대 초반에 질소레이저의 발진이 성공한 후, 1970년대에 들어와 질소레이저의 출력을 증대시키고 반복률도 높이면서 안정성 있는 레이저를 얻기 위한 많은 연구가 진행되었다.

1974년 Levatter<sup>[1]</sup>는 레이저 관 내에 제 3의 전극을 설치하여 질소 분자를 선전리(preionization) 시키는 여기방법으로 질소기체 압력 180 torr에서 출력 3 MW, 펄스폭 7 ns의 레이저를 얻었으며, von Bergmann<sup>[2]</sup>과 Bergmann<sup>[3]</sup>은 선전리를 이용한 대기압 질소레이저(TEA-N<sub>2</sub> laser)를 개발하여 고출력과 비교적 높은 펄스 반복률의 레이저를 얻었다.

1980년 중반부터 Bojara<sup>[4]</sup>, Santa<sup>[5]</sup>, Kong<sup>[6]</sup>등 국내의 몇몇 학자들에 의하여 질소레이저의 출력, 안정성 및 반복률의 증대방안으로 선전리에 관한 관심이 더욱 고조되었으며, 특히 1984년에 Santa는 고성능의 thyratron과 선전리 방법을 사용하여 3%의 출력 안정성을 갖는 TEA 질소레이저를 개발하였다.

위와 같은 질소레이저의 선전리 방법은 대부분이 레이저 관 내에 별도의 전극을 설치하고 이 전극에 축전기 또는 인덕터만을 단순히 부착하는 방법을 취하고 있다. 이러한 방법은 선전리에 이용되는 전기에너지가 작고 방전속도가 늦어, 거의 아크방전이 일어나기 쉽기 때문에 레이저 관 전체에 균일하고 강력한 선전리 효과를 얻기엔 미흡한 점이 많았다.

본 연구에서는 이러한 선전리 방법을 사용하지 않고, 펄스형 고전압 전원장치와 방전간극 방전으로 레이저 관 내에 균일한 선전리 현상이 일어남을 보였으며, 특히 선전리 현상을 기존의 연구<sup>[7,8]</sup>와는 달리 방전간극과 레이저 관 내에 광섬유를 삽입하여 이를 통해 나오는 방전에 의한 광신호를 수신하

는 방법으로 선전리 현상을 관측하였다. 또한 I자형과 U자형 고전압 변압기를 각각 사용한 펄스형 고전압 전원장치에 따른 선전리 현상의 변화를 관측하고 레이저의 출력과 안정성에 미치는 영향을 조사하였다.

### II. 선전리

#### 2.1 선전리용 전원

본 연구에 사용한 선전리용 전원은 고속고전압 펄스형 전원을 사용하였으며 이 전원장치에 대한 전기 회로도를 그림 1에 나타내었다.

그림 1에서 볼수 있는 바와 같이 이 회로는 크게 두 부분으로 나누어, 브리지를 이용하는 D.C. 정전압 회로, SCR을 이용한 펄스형 고전압 전원으로 구성되어 있다. 이 회로의 기본 동작원리는 정류 장치로부터 전압 약 300 V<sub>dc</sub>가 저항 R<sub>s</sub>를 통하여 콘덴서 C<sub>d</sub>에 가해져 전압 V<sub>dc</sub>만큼 정전기가 충전되면, 이때 SCR의 게이트에 5 V의 구형 트리거 펄스를 가하여 C<sub>d</sub>에 충전된 전기에너지가 고전압 변압기인 T<sub>1</sub>를 통하여 순간적(30 ~ 150 μs)으로 방전됨으로써 펄스형 고전압

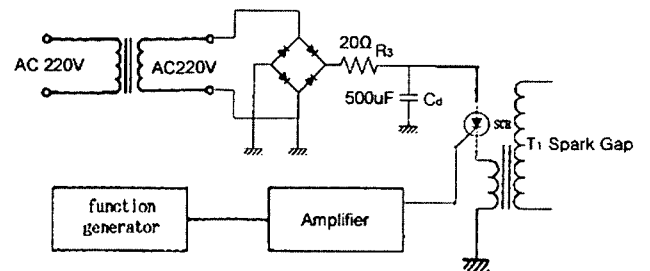


그림 1. 펄스형 고전압 전원장치의 전기회로.

<sup>†</sup> E-mail: leeb@gnu.ac.kr

을 얻을 수 있도록 되어 있다.

**2.2 Blumlein 전송회로**

본 연구에서는 Blumlein 전송회로와 레이저 전극 그리고 이를 작동시키기 위한 방전간극, 전원장치 등을 이용하였으며 그림 2에 그 전기적 회로를 나타냈다. 그림에서 두 개의 콘덴서 중  $C_1$ 은 에너지 축적용이고,  $C_2$ 가 빠른 전기적 펄스를 발생하는 Blumlein 전송회로이다.

레이저 발진을 위한 Blumlein 전송회로의 등가회로를 그림 3에 나타냈다. 여기서  $R_s$ 와  $L_s$ 는 방전간극이 작동될 때 기체의 저항과 인덕턴스를 나타낸다.

레이저 작용과 방전간극의 작용이 일어나지 않을 때 펄스형 고전압전원으로부터 공급되는 직류전압을  $V_0$ 라 하면  $C_1$ 과  $C_2$ 는  $V_0$ 로 충전된다. 다음으로 방전간극만이 작용하면 직류  $I_s$ 가 흐르게 되며, 이때  $C_2$ 양단의 전압을  $V_s$ 라 하면 다음과 같다.

$$L_s \frac{dI_s}{dt} + R_s I_s + \frac{1}{C_2} \int I_s dt = 0 \tag{1}$$

미분하고 정리하면

$$\frac{d^2 I_s}{dt^2} + \frac{R_s}{L_s} \frac{dI_s}{dt} + \frac{1}{L_s C_2} I_s = 0 \tag{2}$$

이 된다.

미급감쇠조건  $(\frac{R_s}{L_s})^2 < \frac{4}{L_s C_2}$  와 초기조건  $t=0$ 일 때  $I_s=0$  이므로 식 (2)의 해는

$$I_s = A_1 \exp(-\frac{R_s}{2L_s} t) \sin \omega t \tag{3}$$

이다. 이때  $V_s = -\frac{1}{C_2} \int I_s dt$ 이므로

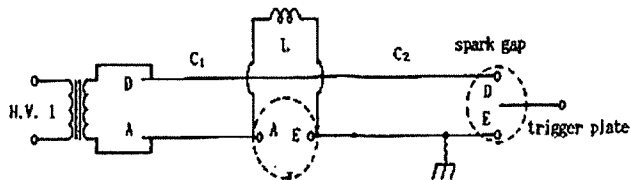


그림 2. Blumlein 전송회로.

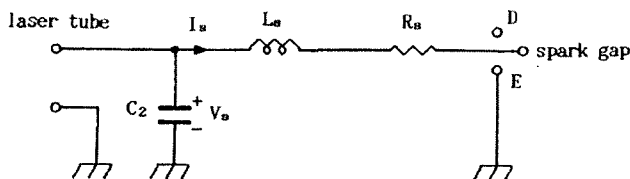


그림 3. 레이저 작동을 위한 Blumlein 전송회로의 등가회로.

$$V_s = \frac{A_1}{C_2} \frac{\exp(-R_s/2L_s)}{(R_s/2L_s)^2 + (1/L_s C_2)} (\frac{R_s}{2L_s} \sin \omega t + \omega \cos \omega t) + A_2 \tag{4}$$

가 된다. 적분상수  $A_1, A_2$ 를 구하기 위하여  $t=0$ 일 때  $V_s = V_0$ 와  $t = \infty$ 일 때  $V_s = 0$ 를 이용하면

$$V_s = V_0 \exp\left(-\frac{R_s}{2L_s} t\right) \left[ \frac{R_s}{2} \left(\frac{C_2}{L_s}\right)^{\frac{1}{2}} \sin \omega t + \cos \omega t \right] \tag{5}$$

가 되고  $\left(\frac{R_s}{2}\right) \left(\frac{C_2}{L_s}\right)^{\frac{1}{2}}$ 의 값이 매우 작아 무시하면

$$V_s = V_0 \exp(-\frac{R_s}{2L_s} t) \cos \omega t \tag{6}$$

이 된다. 여기서  $\omega = (L_s C_2)^{-1/2}$ 이며 방전시간이 10 ns 이내 이어야 하므로 이를 주기의 반으로 생각하면 진동수는 1/20 ns 가 되고,  $C_2 = 11.5nF$ 이므로  $L_s$ 의 값은  $9.2 \times 10^{-10} H$  정도가 되어야 한다. 따라서 Blumlein 전송회로의 인덕턴스를 비롯하여 방전간극의 방전시 그의 인덕터 값이 이처럼 매우 작아야 함을 알 수 있다. 이 값은 너무 작아 실제로 측정할 수 없고 가능한 한 방전간극의 구조를 이에 적합하도록 할 수밖에 없다. 이러한 목적에 맞도록 본 연구에 사용된 방전간극은 그의 외형에 가능한 한 작도록 설계 제작하였다.

다음으로 레이저 관과 Blumlein 콘덴서  $C_1$ 의 전기적 특성을 살펴보기 위한 등가회로를 그림 4에 나타냈다.

여기서  $R_g$ 와  $L_g$ 는 레이저 관 내의 질소기체 저항 및 인덕턴스이고  $Z_0$ 는 콘덴서의 특성 임피던스이다.

방전간극의 작용이 끝나면서 개방상태가 되고 이때 만일 레이저 작용이 일어나지 않는다면 레이저 전극에는 전류가 흐르지 않는다. 이때 레이저 전극에 걸린 전압  $V_t$ 는

$$V_t = V_0 - V_s = V_0 [1 - \exp(-R_s/2L_s) t \cos \omega t] \tag{7}$$

가 된다. 그러나 레이저 작용이 일어나고 있을 때에는 전류  $I_t$ 가 흐르므로 이때 레이저 전극 사이의 방전전압  $V_{td}$ 는

$$V_{td} = L_g \frac{dI_t}{dt} + R_g I_t \tag{8}$$

가 된다.

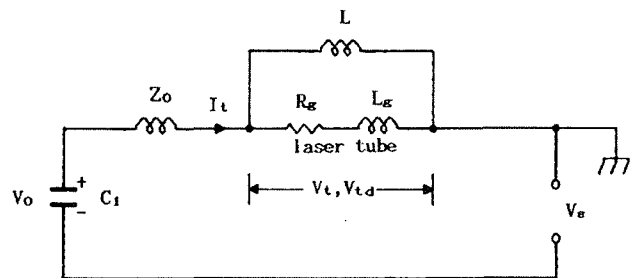


그림 4. 레이저 관과 Blumlein 콘덴서  $C_1$ 의 등가회로.

한편 질소기체의 전기장  $E = V_{ad}/d$ 이므로

$$E = (L_g \frac{dI_g}{dt} + I_g R_g) / d \tag{9}$$

가 되며, 여기서  $d$ 는 레이저 전극 사이의 거리이다. 또 질소기체의 전기전도도  $\sigma$ 는 전하밀도  $n_e$ 와 전자의 유동속도  $v_d$ 의 곱에 비례하므로

$$\sigma = \frac{en_e v_d}{E} \tag{10}$$

이고, 여기서  $e$ 는 전자의 전하이다. 그러므로 질소기체의 전기저항  $R_g$ 는

$$R_g = \frac{d}{s\omega\sigma} \tag{11}$$

가 된다. 여기서  $s$ 는 방전아크의 두께이고,  $\omega$ 는 레이저 전극의 길이이다. 실질적으로  $R_g$ 는 시간에 따라 변화하는 양이므로 레이저 출력을 증가시키기 위해선  $R_g$ 가 커지도록 계속 질소기체를 공급해 주어야 한다.<sup>[9]</sup>

또 질소기체 내를 흐르는 순간전류  $I = s\omega\sigma E$ 로 쓸 수 있으므로 전하밀도  $n_e$ 는 식 (10)에 의해

$$n_e = \frac{I}{Aev_d} \tag{12}$$

가 되므로 결국 전하밀도  $n_e$ 는 전류  $I$ 는 비례하게 된다.

한편 레이저 전극 사이의 전기장  $E$ 와 질소기체의 압력  $P$ 에 대한  $E/P (= V/d \cdot P : \text{volt/cm} \cdot \text{torr})$ 는 기체 방전으로부터 구할 수 있다. 기체 방전시 전자의 평균 자유행로  $\lambda$ 는

$$\lambda = \frac{\bar{v}m}{Ee} v_d \tag{13}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서  $v_d$ 와  $\bar{v}$ 는 전자의 유동 및 평균속도이다.

또한 질소기체에 대하여

$$\begin{aligned} v_d &= 2.9 \times 10^5 (E/P) \text{cm/s}^{[10]} \\ \bar{v} &= 0.9212 v_r (v_r : r.m.s. \text{velocity}) \\ \frac{1}{2} m v_r^2 &= \frac{3}{2} k T_e (T_e : \text{유효전자온도}) \end{aligned} \tag{14}$$

이므로  $k T_e = 0.11 (E/P)^{0.80}$ <sup>[11]</sup> 및  $\lambda E = 16 (eV)$ 를 이용하면  $E/P \approx 107 (V/\text{cm} \cdot \text{torr})$  정도<sup>[7]</sup> 이다. 이는 본 연구에서 제작된 대기압에서 동작되는 질소레이저의  $E/P$  값이 약  $105 (V/\text{cm} \cdot \text{torr})$ 이므로 이론값과 일치함을 알 수 있다.

### III. 실험장치의 설계 및 제작

#### 3.1 실험장치의 구성

본 연구에서 제작된 질소레이저<sup>[12]</sup>는 레이저 관, 전송회로,

방전간극 그리고 전기 및 전자회로로 구성되어 있다. 레이저 관은 고 반사거울, 출력창 그리고 한 쌍의 전극으로 구성되어 있는데 전극은 균일 전기장을 얻기 위하여 Ernst 형상<sup>[13]</sup>으로 만들었고, 그의 길이는 200 mm로 하였다. 전송회로는 Blumlein 전송회로의 원리를 응용한 다중 평행판 축전기형 Blumlein 전송회로를 사용하였다. 방전간극은 지름 12 mm인 한 쌍의 전극으로 구성되어 있는데 그의 외형은 지름 58 mm, 길이 84 mm로 매우 작게 만들었으며, 그의 양단에는 방열판을 부착하여 동작 시 발생하는 열을 식히도록 하였다. 고전압을 발생시키는 전기회로는 약 30~40 kV의 펄스를 낼 수 있는 고전압 변압기와 이를 구동시키기 위한 대용량의 SCR, 그리고 500  $\mu\text{F}$ 인 220 VAC의 대용량 축전기 등으로 구성되어 있다. 이들 부품들은 가로 672 mm, 세로 380 mm, 높이 388 mm의 상자 안에 모두 조립되었다. 그림 5에 레이저 관과 전송회로 및 방전간극이 결합된 레이저의 전체 조립도

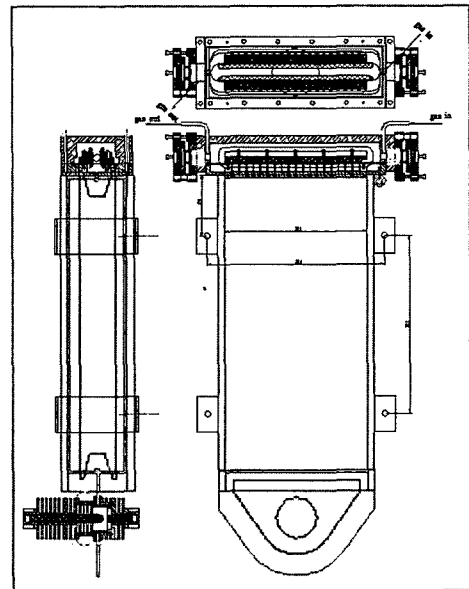


그림 5. 레이저 전체 조립도.

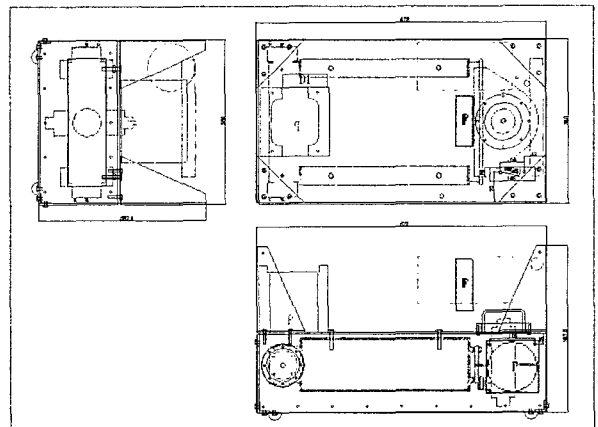


그림 6. 레이저 장치의 전체 외형도.

를 보였는데 제일 위쪽에는 레이저 관의 모습을 아래에서 왼쪽은 레이저 관과 전송회로 그리고 방전간극이 결합된 옆모습을, 아래에서 오른쪽은 위에서 본 그림이다. 그림 6은 레이저 장치 전체의 외형도이며, 사진 1은 제작된 레이저의 실제 모습을 a) 위쪽 b) 앞쪽 그리고 c) 옆쪽에서 보여 주고 있다.

### 3.2 펄스형 전원

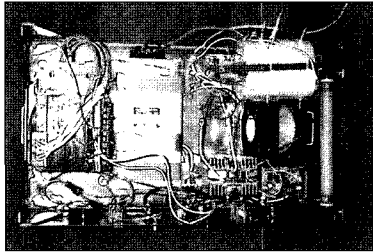
본 연구에서는 두 가지 형태의 변압기를 사용하였는데 하나는 I자형의 규소강판, 다른 하나는 U자형 규소강판 2개로 구성된 철심을 사용하여 제작하였다. I자형의 변압기는 철심이 폐회로를 이루지 않아 1차와 2차 코일의 결합도가 폐회로를 이루는 U자형보다 낮다. 따라서 I자형 변압기보다는 U자형 변압기가 한번의 펄스로 전달할 수 있는 전기적 에너지가 더 크게 제작되었다.

이들 변압기의 구조는 1차를 내부에 2차를 외부에 감았으며, 그 사이에는 전자파 차단을 위한 접지판을 설치하였다. I

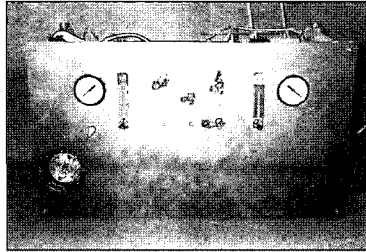
자형 변압기의 권선수는 2차 코일을 5000회, 1차 코일을 80회로 하였고, U자형 변압기의 권선수는 2차 코일을 1667회, 1차 코일을 27회로 하였다. 이는 예비실험 결과 레이저 출력 특성이 가장 좋은 때의 권선수에 해당한다. 사진 2의 (a)에 U자형 철심을 사용한 변압기와 (b)에 I자형 철심을 사용한 변압기를 각각 보였다.

### 3.3 측정장치

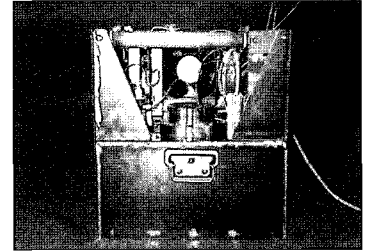
방전간극과 레이저 관 내에 각각 광섬유를 설치하고 이를 통해 나오는 빛은 Biplanner Photo Tube(HAMAMASTU)와 DCS Camera(TEKTRONIX C1002)를 장착할 수 있는 오실로스코프(TEKTRONIX 7104)를 사용하였으며, 레이저 출력은 Universal Radiometer(DigiRad R-75)를 사용하여 측정하였다. 사진 3과 사진 4에 광섬유의 연결 모습과 레이저 관에 광섬유를 설치한 모습을 보였다.



(a) 위쪽

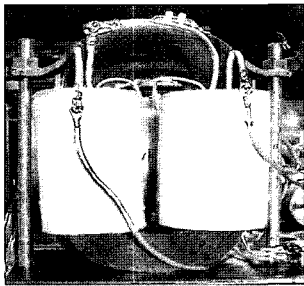


(b) 앞쪽

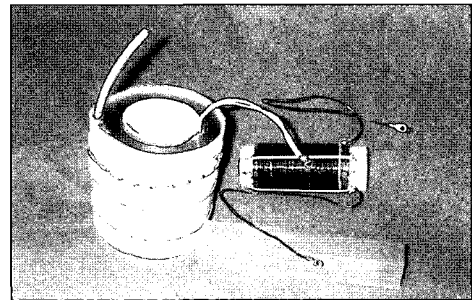


(c) 옆쪽

사진 1. 레이저의 실제 모습.



(a) U자형 변압기



(b) I자형 변압기

사진 2. 고전압 변압기.



사진 3. 광섬유의 연결 장치.

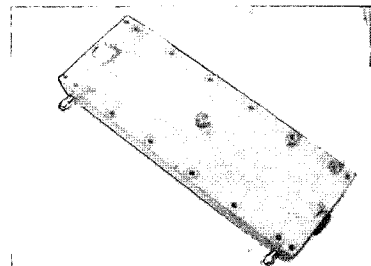


사진 4. 광섬유를 설치한 레이저 관.

#### IV. 결과 및 고찰

레이저의 출력특성을 결정짓는 인자로서는 방전간극의 간격, 레이저 전극의 간격, 레이저 관 내의 질소기체의 유동률과 압력, 방전간극 내의 질소기체의 유동률과 압력, 출력창의 반사율, 레이저의 반복율, 펄스형 고전압 변압기의 1차와 2차의 권선수 등 많은 인자들이 있다. 이들 인자들은 서로 연관성이 있어 하나의 인자 변동은 타 인자의 변동에도 영향을 주어 레이저 출력 특성에 영향을 준다. 따라서 각 인자의 변동에 대한 모든 동작특성을 측정한다는 것은 매우 어렵다. 이에 따라 본 연구에서는 그동안의 연구<sup>[2]</sup>를 통해 알려진 최적조건인 반복율이 10 Hz, 방전간극이 3 mm, I자형 변압기의 1차 권선수가 80, U자형 변압기의 1차 권선수 27회, 출력창의 반사율이 40%, 레이저 관 내에서 질소기체의 유동률이 4ℓ/min, 방전간극 내에서 질소기체의 유동률이 1500 cc/min, 그리고 전극 간격이 5 mm일 때의 조건 등을 가지고 대기압 하에서 실험을 수행하여 출력특성을 조사하고 선전리 현상을 관찰하였다.

##### 4.1 I자형 변압기 사용시의 선전리 현상

방전간극에 가해지는 전압이 전송회로에도 가해지며 방전간극에는 고전압 변압기의 출력단자가 연결되어 있다. 따라서 전송회로 또는 방전간극에 걸리는 전압을 측정하기 위하여 고전압 변압기의 출력단자에 분압기를 연결하여 측정하였으며 그 결과를 사진 5에 보였다. 이 사진에서 전압이 정현파 형태로 출발하여 전압 상승과 더불어 진동은 점차 사라지고 곡선이 아주 미세하게 거의 규칙적으로 많이 끊겨져 있음을 볼 수 있는데 이는 미세한 순간적인 방전이 방전간극 내에서 거의 전 구간에서 일어나고 있음을 뜻하며, 최고점에서 큰 방전과 함께 전압이 급강하하고 있다. 이 급강하하는 곳에서 레이저가 발진된다고 할 수 있으며, 작은 끊어짐이나 작은 봉우리 방전을 보이는 현상은 방전간극 내에서의 방전이라 예측할 수 있다. 본 연구에서는 이 현상이 실제로 방전간극 내의 전극사이 또는 레이저 관 내에서 일어나는 방전 즉 선전리를 유발시키고 있는지를 광섬유를 이용하여 확인

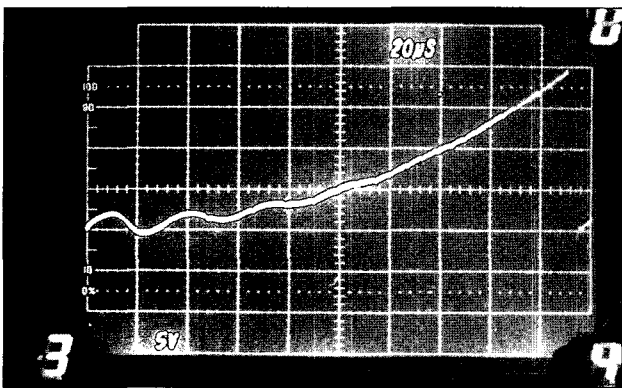


사진 5. I자형 변압기를 사용하였을 때의 전압 파형.

하고자 하였다.

그림 7은 I자 형태의 변압기를 사용하였을 때 상기의 조건들 하에서 방전간극의 변화에 따른 레이저의 출력과 안정성을 보여주고 있으며, 가장 안정적인 방전간극 거리의 최적조건은 3.0mm임을 알 수 있다.

그림 8은 방전간극 거리가 최적조건인 3.0 mm일 때 광섬유를 통해 측정된 레이저 관 내에서의 선전리 현상을 보여준다. 이 그림에서 레이저 발생위치에 해당하는 큰 높이의 봉우리를 볼 수 있으며, 그 보다 앞서 작은 봉우리들이 나타나는데 이들 작은 봉우리들이 선전리 시에 방출되는 빛이 검지된 것임을 알 수 있다. 그리고 전원이 트리거 된 후 약 330 μs 지난 후 레이저가 발진되며 그 이전에 선전리가 일어나고 있음을 알 수 있다.

그림 9는 상기의 조건 하에서 레이저 동작시간에 따른 방전간극에서의 선전리 현상을 보여주고 있다. (a)는 동작 직

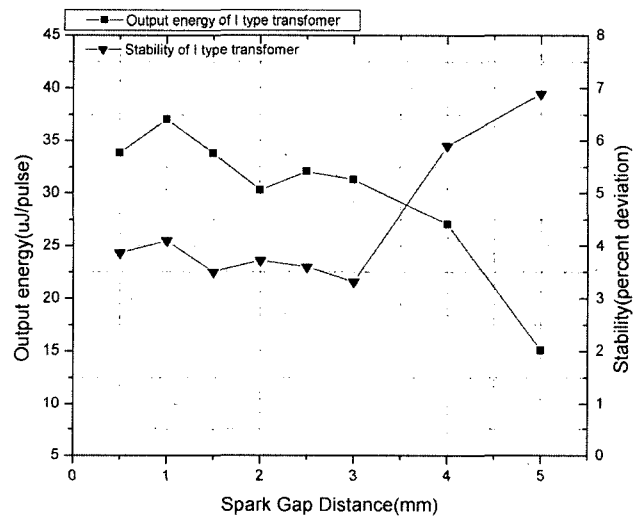


그림 7. I자형 변압기 사용 시 방전간극 거리 변화에 대한 출력 및 안정성.

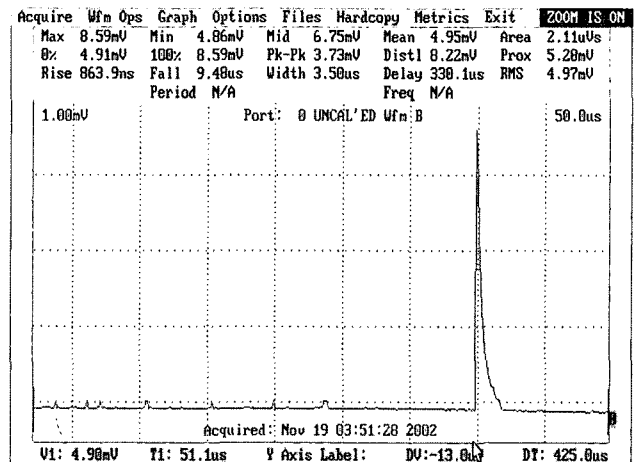


그림 8. I자형 변압기를 사용하고 방전간극 거리 3.0 mm 일 때 레이저 관 내에서 측정된 선전리 현상.

후, (b)는 동작 10분 후의 그림이다. 이 그림에서 시간이 충분히 경과한 약 10분 후의 경우 레이저 발생시를 나타내는 오른쪽 큰 봉우리에 앞서 작은 봉우리들을 볼 수 있는데 이는 선전리 시에 방출되는 빛을 나타내며 동작 직후의 그림보다 선전리 상태가 좋음을 알 수 있다. 따라서 발진 전에 충분한 예비동작이 필요함을 알 수 있다. 이는 뒤에서 U자형 변압기의 경우와 비교하기로 하겠다.

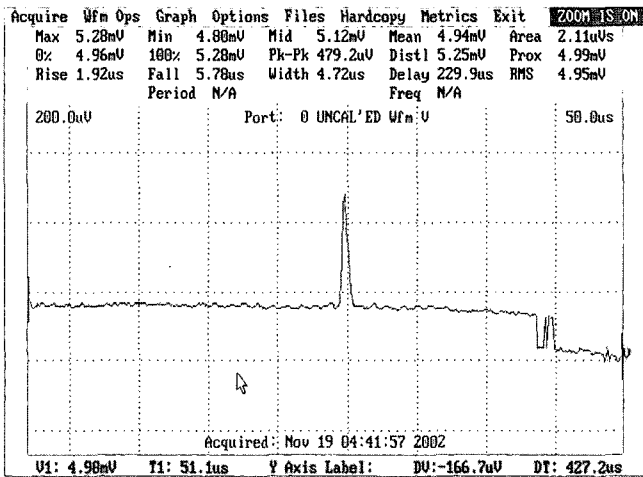
그림 10은 그림 9와 같은 조건 하에서 레이저 관 내에서의 선전리 현상을 관찰한 것이다. 그 결과는 그림 10과 모두 일치하고 있다. 다만 레이저가 발생하는 봉우리가 방전간극의 경우보다 레이저 관 내에서 상승률이 더 크음을 알 수 있다. 이는 방전간극에서의 선전리 현상이 전송회로를 지나 레이저 관에 도달하면 그 봉우리의 폭, 즉 상승률이 당연히 커져야 하며 이는 이론과 잘 일치된다.

### 4.2 U자형 변압기 사용시의 선전리 현상

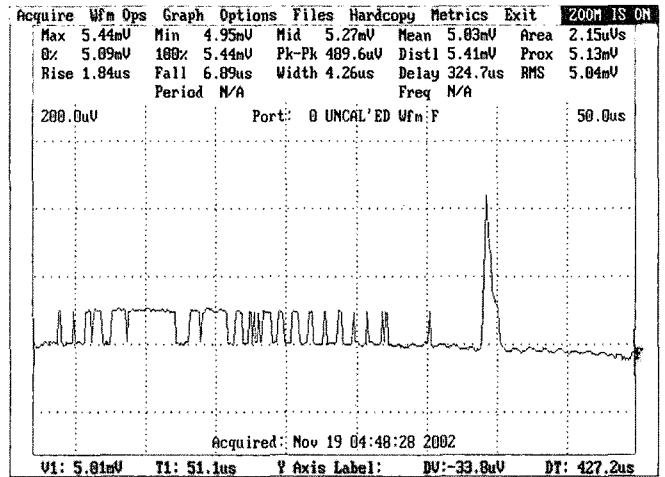
그림 11과 그림 12는 I자형 대신 U자형 변압기를 사용하여, 그림 9와 그림 10의 측정 시와 같은 조건 하에서 관찰한 것이다. 그림 11은 방전간극 내에서, 그림 12는 레이저 관 내에서의 선전리 현상을 측정해 본 것으로 I자형 변압기를 사용하였을 때의 그림 9 및 그림 10과 비교하여 보면 선전리 현상이 뚜렷이 나타남을 알 수 있다. 또한 전원이 트리거 된 후 그림 9와 그림 10 보다 약 1/3 정도 발진 시간이 짧아진 약 70  $\mu$ s 후에 레이저가 발진되었는데, 이는 전송회로에 공급되는 전력이 커졌다는 것을 의미하며 이에 따라서 선전리도 잘 일어나고 있음을 알 수 있다.

### 4.3 출력특성

그림 13은 레이저 동작 최적조건인 반복율이 10 Hz, 방전간극이 3mm, 출력창의 반사율이 40%, 레이저 관 내에서 질

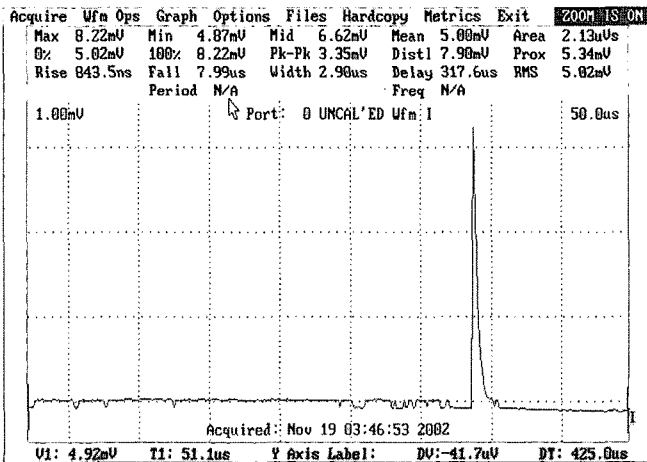


(a) 레이저 동작 직후

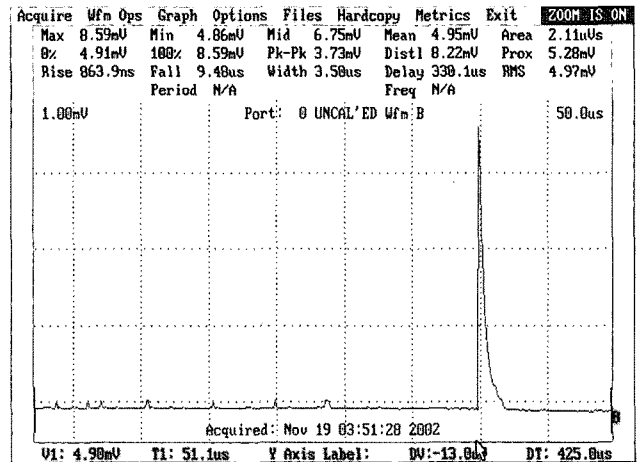


(b) 레이저 동작 10분 후

그림 9. I자형 변압기를 사용하였을 때 방전간극 내에서의 선전리 현상.

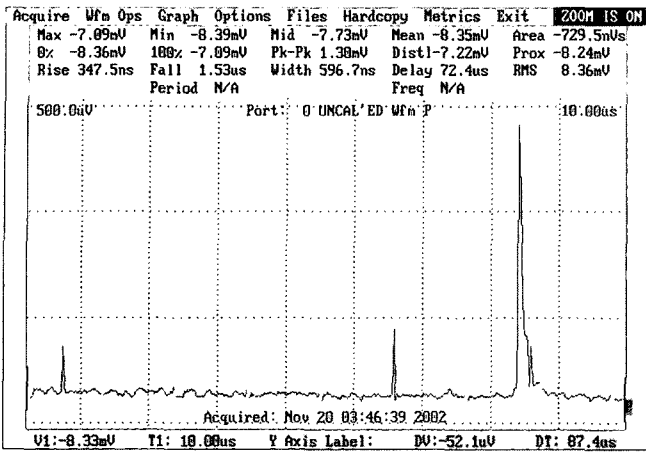


(a) 레이저 동작 직후

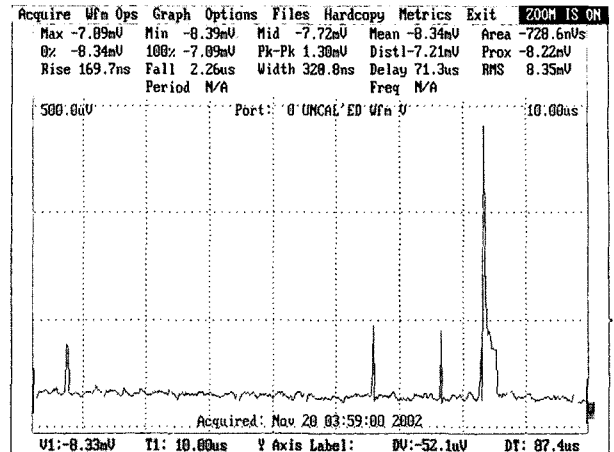


(b) 레이저 동작 10분 후

그림 10. I자형 변압기를 사용하였을 때 레이저 관 내에서의 선전리 현상.

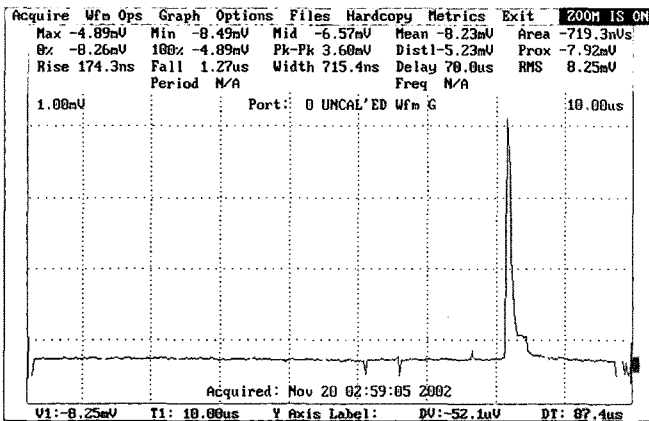


(a) 레이저 동작 직후

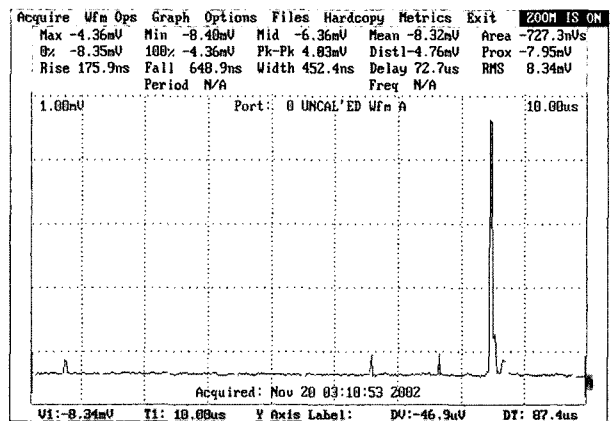


(b) 레이저 동작 10분 후

그림 11. U자형 변압기를 사용하였을 때 방전간극 내에서의 선전리 현상.



(a) 레이저 동작 직후



(b) 레이저 동작 10분 후

그림 12. U자형 변압기를 사용하였을 때 레이저 관 내에서의 선전리 현상.

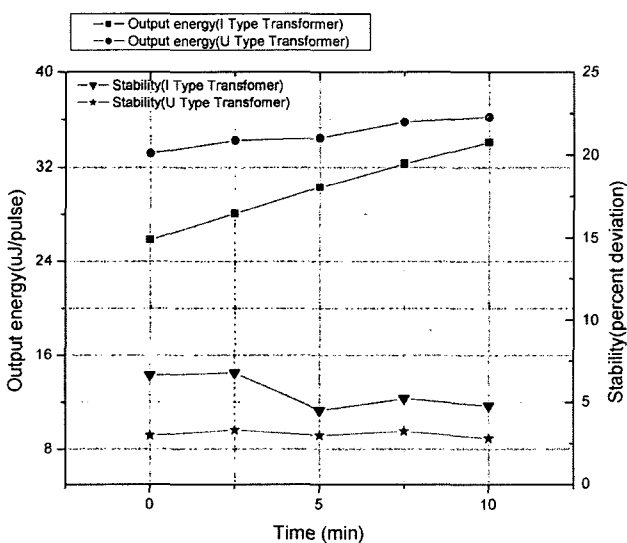


그림 13. I자형과 U자형 변압기에 대한 시간대 별 레이저의 출력특성.

소기체의 유동률이 4 l/min, 방전간극 내에서의 질소기체의 유동률이 1500 cc/min, 그리고 전극 간격이 5 mm일 때의 조건으로 대기압 하에서 I자와 U자형에 대한 시간별 동작 특성을 나타낸 것이다. 이 그림에서 보면 U자형 변압기를 사용하였을 경우가 I자형 변압기를 사용하였을 경우 보다 출력과 안정성이 뚜렷이 향상됨을 알 수 있다. U자형의 경우 동작 초기 때나 시간이 경과한 후에도 안정성이 거의 변화가 없이 고르게 유지되고 있으며, 레이저 출력은 시간이 경과된 후에 따라 약간 증가한 것을 알 수 있다. U자형 변압기를 사용한 경우 레이저 동작 10분 후의 출력은 36  $\mu$ J이며, 이때의 안정성은 2.7%이었다.

이와 같은 실험 결과로 보아 I자형 변압기보다는 U자형 변압기를 사용하였을 경우가 선전리 현상이 보다 잘 일어남을 알 수 있었으며, 기존의 연구 결과<sup>1)</sup>에 의해 알려진 선전리 현상이 질소레이저의 출력특성에 큰 영향을 주고 있음을 확인할 수 있었다.

V. 결 론

본 연구에서는 질소레이저의 자체 선전리 현상을 방전간극과 레이저 관 내에 광섬유를 설치하여 이를 통해 나오는 빛을 핀 다이오드를 이용하여 직접 관측하고, 그 출력 특성을 조사하였다.

변압기는 I자형과 U자형의 두 가지 형태를 제작하여 각각 펄스형 고전압 전원으로 사용하였다. 선전리 현상을 수적으로 해석, 표현할 수는 없었으나 선전리 현상이 레이저의 출력특성에 큰 영향을 주고 있음을 확인하였다. 레이저 출력은 I자형 변압기보다는 U자형 변압기를 사용하였을 때 높은 출력과 안정성을 얻었으며, 펄스 방전의 예비동작 시간도 U자형이 1/3 정도 짧았다. 이는 펄스형 고전압 변압기로부터 방전간극을 통하여 전송회로를 전기적 에너지가 공급되는 시간이 짧기 때문인 것으로 보인다.

U자형 변압기를 사용하고 출력창의 반사율 40%, 반복율 10 Hz, 방전간극 내에서 질소기체의 유동율이 1500 cc/min, 레이저 관 내에서 질소기체의 유동율이 4 l/min, 방전간극 전극거리 3.0 mm, 레이저 관 내 전극거리 5.0 mm일 때 대기압 하에서 안정성이 2.7%인 36 μJ의 레이저 출력을 얻었다.

참고문헌

[1] J. I. Levatter and S. C. Lin, "High-power generation from a parallel-plates-driven pulsed nitrogen laser," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 25, pp. 703-705, 1974.  
 [2] H. M. von Bergmann, A. J. Penderis, "Miniaturized atmospheric pressure nitrogen laser," *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, vol. 10, p. 602, 1997.  
 [3] E. E. Bergmann, "Compact TEA N<sub>2</sub> laser," *Rev. Sci. Instrum.*, 48, pp. 545-546, 1977.

[4] A. Bojara, W. Gawlik, R. Grabski, and J. Zachorowski, "Simple, highly stable nitrogen laser with preionization," *Rev. Sci. Instrum.*, vol. 55, pp. 166-168, 1984.  
 [5] I. Santa, L. Kozma, B. Racz, and M. R. Gorbál, "High-stability thyatron-switched TEA nitrogen laser," *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, vol. 17, p. 368, 1984.  
 [6] H. J. Kong and D. Y. Park, "Edge autoperionization effect on power enhancement of a transversely excited atmospheric nitrogen laser," *J. Appl. Phys.*, vol. 58, pp. 3667-3668, 1985.  
 [7] 추한태, "Blumlein 전송회로를 이용하는 선전리 효과가 질소레이저의 동작특성에 미치는 영향," 충남대학교 박사학위논문, 1991.  
 [8] 양준묵, 추한태, 이봉연, 이승철, "선전리용 전송회로가 부착된 질소레이저의 제작과 그 동작특성," *새물리*. 제32권 2호, p. 194, 1992.  
 [9] M. Geller, D. E. Altman, and T. A. De Temple, "A Pulsed, Coaxial Transmission Line Gas Laser," *J. Appl. Phys.*, vol. 39, pp. 3639-3640, 1966.  
 [10] A. W. Ali, A. C. Kolb, and A. D. Anderson, "Theory of the pulsed molecular nitrogen laser," *Appl. Opt.*, 6s, p. 2115, 1989.  
 [11] L. E. S. Mathias and J. T. Parker, "Stimulated emission in the band spectrum of nitrogen," *Appl. Phys. Lett.*, vol. 3, pp. 16-18, 1963.  
 [12] 양준묵, "고능률 질소레이저의 제작 및 실용화를 위한 최적 동작변수에 관한 연구," 산학협력연구 결과보고서, 97-2-02-01-01-3, 한국과학재단, 2000.  
 [13] Joseph T. Verdeyen, *Laser Electronics*, 3rd ed., (Prentice Hall Inc., 1994).

Observation of the Preionization effects and Operational Characteristics of a Nitrogen Laser by a Pulse type high Voltage Power Supply

Bong Yeon Lee<sup>†</sup>

Research Institute of Basic Sciences, Chungnam National University, Daejeon 305-764, KOREA

<sup>†</sup>E-mail: leeby@cnu.ac.kr

(Received October 26, 2005, Revised manuscript January 3, 2006)

We constructed a TEA N<sub>2</sub> laser which consists of spark gap, pulse type high voltage power supply, Blumlein transmission line circuit, laser tube with Ernst electrode. We observed the self-preionization with an optical fiber in the spark gap and laser tube. The higher voltage power supplied to the Blumlein transmission line circuit, the better preionization was. An U-type transformer yielded better stability and output power than an I-type transformer. The discharge time after triggering a spark gap for the U-type transformer was also short. We obtained the stability of 2.7% and output power of 36 μJ when the optimum conditions of the laser operation were spark gap distance of 6.0 mm, electrode distance in laser tube of 5.0 mm, N<sub>2</sub> gas flow rate in spark gap of 1500 cc/min, N<sub>2</sub> gas flow rate in laser tube of 4 l/min, output window reflectivity of 40% and repetition rate of 10 Hz.

OCIS Codes : 140.0140. 140.3300. 140.3410. 140.4130.