

## 다극형 스파크 간격을 사용한 질소레이저의 제작과 그 동작 특성

양준목 · 김윤주

충남대학교 물리학과

추 한 태

금오공과대학교 물리학과

이 치 원

공주전문대학

(1996년 1월 29일 받음)

질소레이저의 출력을 높이고 안정성을 향상시키기 위한 방법의 하나로 8쌍으로 구성된 다극형 스파크 간격과 Blumlein 형태의 다중 평행판 축전기형 전송회로로 구성된 레이저 장치를 제작하였고 실험은 스파크 간격을 자체트리거하는 방식과 외부트리거하는 두가지 방식을 택하여 실시하였다. 그 결과 긴 레이저관에 대하여 하나의 스파크 간격이 레이저관 전체를 통하여 레이저를 균일하고 완벽하게 발전시킬 수는 없음을 확인하였으며 다극형 스파크 간격을 사용할 경우에도 스파크 간격 모두가 한 몸체처럼 완벽한 역할을 하지 못함을 확인하였다. 그러나 이와 같은 복합적인 결과로부터 다극형 스파크 간격이 레이저 출력 증가에 기여할 수 있음을 확인하였고 그의 설치 범위는 레이저관의 길이(또는 전송회로의 두께)의 3/4이 최적임을 알았다.

### I. 서 론

질소레이저는 다른 기체 레이저에 비해 매질 취급상의 안전성이 높고 레이저 장치의 구조가 매우 간단하다. 특히 자외선 영역의 레이저로서 그 유용성이 높아 전원 장치와 레이저관 그리고 전송회로의 구조등을 개선하여 출력 및 반복률을 높이고 안정성을 향상시키기 위한 연구가<sup>[1,3]</sup> 계속되었다. 그러나 더 이상의 특출한 방법이 제시되지 않고 침체 상태가 계속되었다. 이후 국내외의 몇몇 학자들에 의하여 선전리(preionization) 방법을<sup>[4,6]</sup> 이용하여 레이저의 출력을 증가시키는 연구도 보고 되었지만 지금까지의 연구는 대부분이 레이저관과 전송회로 또는 선전리(preionization) 등에 관한 연구에 치중되었으며 스파크 간격에 관한 연구는 매우 미흡하였다. 이에 따라 본 연구진은 이 부분에 관한 연구를<sup>[7]</sup> 하여 왔고 스파크 간격을 중심으로 전송회로를 부채꼴 모양

으로 배열하는 연구도 하였다. 이는 전송회로를 레이저관 측면에 조밀하게 부착할 수 없는 방법이었고 레이저의 효율을 감소시키는 원인도 되었다.

본 연구에서는 위의 단점을 개선하기 위하여 레이저관과 그 길이가 동일한 다극형으로 구성된 스파크 간격을 설계하였고 이 다극형 스파크 간격과 레이저관 사이에 다중 평행판 축전기형 전송회로를<sup>[8]</sup> 조밀하게 겹쳐 조립하였다. 이 방법은 레이저 작동시 레이저관 내의 질소 기체의 여기 효율을 높일 것이며 이는 곧 출력을 높일 수 있는 방법이 된다. 이처럼 준비한 다극형 스파크 간격에 대하여 자체트리거(self trigger)할 경우와 외부트리거(external trigger)할 경우에 대하여 스파크 간격의 갯수에 따른 레이저의 동작 특성을 측정하였고, 그 결과를 이론적으로 해석, 비교, 분석하였다.

### II. 실험 장치 및 구성

질소레이저에서 스파크 간격이 레이저의 동작 특성에 큰 영향을 주고 있음은 본 연구실의 경험으로도 잘 알

\*이 연구는 92년도 한국과학재단 연구비지원에 의한 결과임(과제번호 921-0200-014-2).

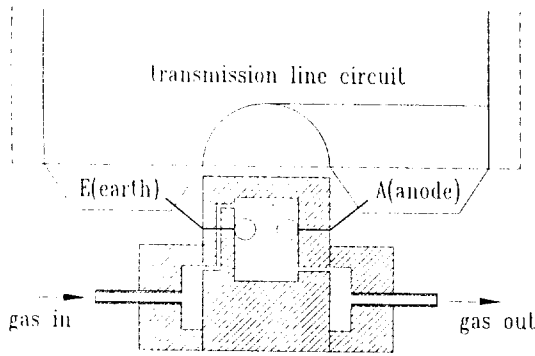


그림 1. Cross sectional view of laser tube.

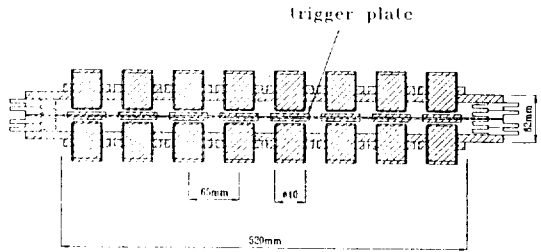


그림 2. Cross sectional view of multiplex spark gap.

수 있는 사실이다. 이 스파크 간격은 작동시에 전극 전체 표면에서 동시에 빠르고 고른 방전을 일으켜야만 그의 성능을 완벽히 발휘할 수 있다. 이에 대해 본 연구는 새로 고안된 다극형 스파크 간격이 한 몸체처럼 고른 방전을 일으킬 수 있는지 그리고 레이저의 동작 특성에 어떠한 영향을 주는지 알아 보았다. 이 연구에서 두가지의 스파크 간격을 사용하였는데 그 하나는 자체트리거되는 다극형 스파크 간격이며 다른 하나는 외부트리거되는 다극형 스파크 간격이다. 여기서 외부트리거되는 스파크 간격을 고속고전압 스파크 간격(rapid high voltage spark gap)이라 부른다.<sup>[7]</sup> 이 실험을 위하여 상기의 다극형 스파크 간격 외에 레이저관, 다중 평행판 축전기형 전송회로와 트리거용 전송회로, 필름형 고전압 전원<sup>[7,9]</sup> 그리고 질소기체 공급장치 등 대부분의 실험 장치를 자체 제작하였다.

### 1. 레이저관과 다중평행판 축전기형 전송회로

본 연구에 사용된 다중평행판 축전기형 전송회로가 부착된 레이저관의 단면을 그림 1에 보였다. 레이저관에 사용된 전극 및 절연 재료는 각각 구리와 베이크라이트였고, 레이저관 전체의 길이는 520 mm, 주전극의 간격은 10 mm로 하였다.

이때 전극과 전송회로의 결합은 가능한 한 가깝도록 설계하였고 지름 2 mm의 구리선으로 이들을 연결하였으며, 접촉저항을 최소한으로 줄이기 위하여 접합 부분을 납으로 용접하였다. 또한 레이저관의 양단에는 두께 25 mm의 베이크라이트를 부착하고 그 한쪽에는 지름 25 mm, 곡률반경 1.5 m인 완전반사경을 알루미늄으로 코팅, 부착하였으며 다른 한쪽에는 광투과 계수가 일반 유리보다 좋은 두께 1 mm의 슬라이드 유리를 지름 25 mm로 가공하여 출력창으로 하였고, 이들의 광축은 미세 조정 나사를 통하여 조절이 가능하도록 하였다. 한편 다중

평행판 축전기형 전송회로는 일종의 Blumlein 전송회로<sup>[9]</sup> 레이저 광축에 수직인 방향으로 여러개의 평행판 축전기를 겹쳐 구성한 전송회로이다. 이 다중 평행판 축전기형 전송회로의 한 단위는 두께 0.35 mm의 mylar 필름 6매를 겹쳐 절연체로 사용하였고, 두께 0.1 mm인 놋쇠판을 도체로 사용하였다. 도체의 모양은 A(anode)형, D(discharge)형 및 E(earth)형으로 만들었고, 이와 같은 단위 전송회로를 23쌍 만들어 병렬로 조밀하게 배열하여 한쪽에는 A단자와 E단자가 위치하고, 다른 한쪽 편에 D단자와 E단자가 나오게 하였다. 이때 D와 E는 전송회로용 축전기로서 다극형 스파크 간격에 부착되고, A와 D는 에너지 축적용 축전기의 역할을 하며 레이저관에 부착된다. 그리고 이들의 전기용량은 각각 18.5 nF였고 총 두께는 520 mm로 레이저관의 길이와 같도록 하였다. 한편 이들 도체를 절연하고 있는 mylar필름의 표면 누전을 방지하기 위하여 전송회로 전체를 silicon sealant (KE441)로 몰딩하였다.

### 2. 다극형 스파크 간격

출력이 높고 안정된 레이저를 얻는데 스파크 간격이 매우 중요한 역할을 한다. 짧은 시간 안에 방전하여 순간적으로 많은 전류를 흘리기 위해선 스파크 간격의 인덕턴스와 전극 사이의 기체 저항이 극히 작아야 한다.<sup>[3,10]</sup> 또한 본 연구에서 처럼 여러개의 스파크간격인 경우 동시에 방전, 동작되어야만 이상적이며 이러한 목적을 이루고자 다극형 스파크 간격을 제작하고 그 각각의 전극 사이에 트리거판을 부착하였다. 그림 2와 같이 한쌍의 스파크 간격의 전극의 지름은 40 mm이고 이들 전극 사이의 거리는 나사로 미세조정할 수 있도록 하였고 이런 모양의 전극을 8쌍 만들어 일렬로 배열하였다. 그들 전극 사이의 거리는 등거리 65 mm로 하였고 스파크 간격 전체의 길이는 레이저관과 같은 길이인 520 mm로 하였다.

그림에서 알 수 있는 바와 같이 다극형 스파크 간격이란 용어는 이 처럼 여러쌍의 전극을 일렬로 설치하고

이를 전송회로에 병렬 결합이 되도록 하였다는 뜻에서 붙인 이름이다.

**3. 트리거용 전송회로**

트리거용 전송회로는 전송회로의 모양을 그림 3과 같이 삼각형으로 구성하고 그 꼭지점에 또 하나의 단일 스파크 간격을 설치하며 그의 마주보는 변에는 다극형 스파크 간격의 트리거판을 부착하는 회로이다. 이 전송회로와 다극형 스파크 간격 내의 트리거판 사이에는 200 pF의 축전기를 직렬로 삽입한다. 그리고 이 전송회

로의 조합 방법은 다중 평행판 축전기형 전송회로와 같으나 E, D 및 A형 모두 삼각형 형태이며 각 극판 사이에 mylar 필름 7매(두께 2.1 mm)씩을 삽입하였고 전기용량은 2.2 nF로 하였다. 이 트리거용 전송회로의 동작은 스파크 간격 스스로의 자체트리거 방식을 택하였으며 전원은 주전원과는 별도의 펄스형 전원을 사용하였다.

상기와 같이 다극형 스파크 간격에 트리거판을 설치하고 별도의 트리거용 전송회로에 의해 외부트리거되는 스파크 간격을 그의 방전 시간이 짧다고 하여 고속고전압 스파크 간격이라 이름한 것이다<sup>7)</sup>.

한편 본 연구에 사용된 레이저 발진용 전원은 대용량의 SCR에 의하여 스위칭되는 펄스형 고전압 전원<sup>[6,7,9]</sup>으로 큰 전력이 요구되는 다중 평행판 축전기형의 전송회로에 적합한 회로이다. 펄스당 에너지가 20~60 J 정도이며 최대 전압은 60 kV가 되도록 하였다. 또한 트리거용 전송회로를 동작시키는 전원 역시 위의 회로와 같으나 그의 용량만이 다를 뿐이다. 참고로 이들 회로를 포함하여 레이저의 회로구성 전체를 그림 4에 보였다. 그림에서 다극형 스파크 간격의 트리거판에는 30 MΩ과 20 MΩ의 저항을 연결하였는데 이는 트리거에 의한 방전 직전까지 트리거판의 전압이 균형을 이루어 안정되도록 한 것이다. 한편 레이저를 발생시키는 전송회로는 C<sub>11</sub>과 C<sub>12</sub>로 표시하였고 각각의 전기용량은 18.5 nF이다. 이 회로의 동작을 간단히 설명하면, SCR<sub>1</sub>이 트리거되어 T<sub>1</sub>의 1차 코일에 대전류가 순간적으로 흐르면 이 전류에 의해 2차 코일에 고전압이 발생된다. 이로써 C<sub>12</sub>에 정전기가 충전되며 이어 L<sub>11</sub>을 통하여 C<sub>11</sub>에도 같은 양의 정전기가

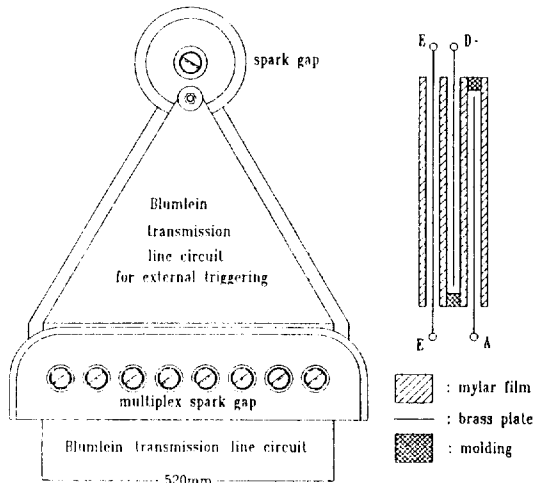


그림 3. Design of Blumlein transmission line circuit for external triggering.

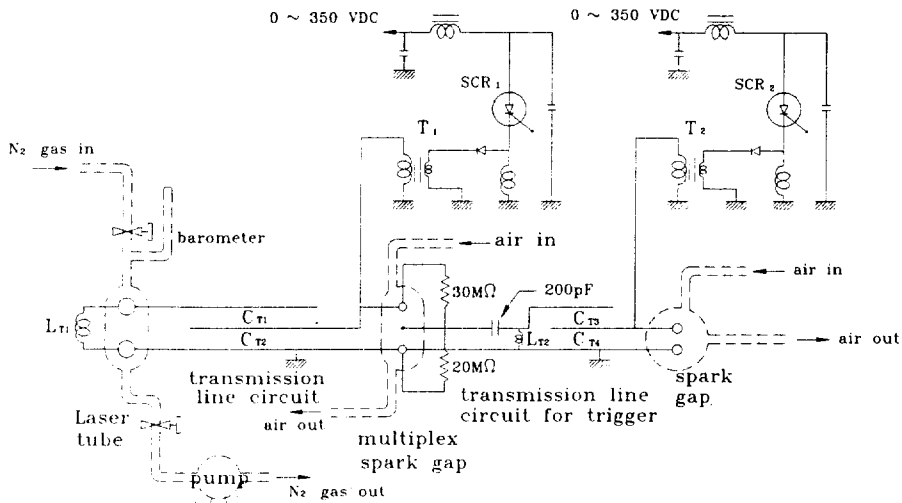


그림 4. Electric circuit of laser system.

충전된다. 같은 방법으로 SCR<sub>2</sub>가 트리거되어 동작되면 트리거용 전송회로 C<sub>74</sub>, C<sub>75</sub>에도 각각 정전기가 충전되도록하였는데 C<sub>74</sub>와 C<sub>75</sub>의 정전용량은 각각 200 nF이다. 이상과 같이 충전된 정전기는 트리거용 전송회로에 연결된 스파크 간격이 먼저 자체트리거(self trigger)되면서 C<sub>74</sub>에 축적된 정전기가 방전되고 이어 C<sub>75</sub>가 방전되어 C<sub>75</sub>와 접지사이에 아주 짧은(ns) 고전압이 발생하게 된다. 이 짧은 고전압은 200 pF의 축전기를 통하여 다극형 고속고전압 스파크 간격의 트리거관에 전달됨으로써 이 스파크 간격이 트리거된다. 이 처럼 다극형 고속고전압 스파크 간격이 트리거되면 위와 같은 방법으로 레이저관에 아주 짧은 고전압의 전기장이 발생되며 이로써 레이저가 발진하게 된다.

**4. 이론적 고찰**

위에서 설명한 바와 같이 레이저의 출력을 높이기 위하여 레이저관을 길게 하고 그 길이에 맞추어 전송회로의 두께를 두껍게 하였을 경우 작은 면적의 스파크 간격 하나가 동작하여 레이저관 내 전체의 질소기체를 고르게 여기시킬 수 있다고는 할 수 없다. 그간의 실험 경험과 관찰에 따르면 스파크간격을 중심으로 먼 부분의 레이저관 내의 질소기체는 중심부분의 질소기체보다 여기가 적게 이루어지는 것으로 판단된다. 그러나 이제까지 이점에 대한 실험적 결과나 이론적 연구는 없었다. 본 연구에서는 이러한 점을 밝혀보고자 하며 다음과 같이 가정한다.

한쌍의 스파크 간격이 전송회로를 통하여 레이저관 내의 질소기체를 여기시켜 레이저 발진에 기여하는 정도를

$$a \exp(-bx^2) \tag{1}$$

라고 하자. 여기서 X는 레이저관 중심으로 부터의 좌표를 나타내며 a는 X=0에서의 단위 길이당 발진 레이저의 세기, b는 그의 감쇠상수이다. (1)식을 적분하면

$$\int a \exp(-bx^2) dx \tag{2}$$

를 얻으며 이는 스파크 간격 하나가 동작될 때의 레이저 출력이다. 따라서 레이저관 중심을 기준으로 2N개의 스파크 간격을 등간격 s로 대칭적으로 배열한 다극형 스파크 간격에 대하여서는 그 출력을

$$2a \left\{ \int_{(n-1)s}^{Ns} \exp\left[-b\left(x-\frac{2n-1}{2}s\right)^2\right] dx + \sum_{n=2}^n \int_{(n-2)s}^{(n-1)s} \exp\left[-b\left(x-\frac{2n-3}{2}s\right)^2\right] dx \right\} \tag{3}$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 동작되는 스파크 간격의 수는 2n으로 표시되며 n=1, 2, 3, ...이다.

한편 2n개의 스파크 간격이 동작될 때 모두 같은 조건으로 일시에 완벽하게 동작된다고는 할 수 없다. 따라서 이들이 완벽하게 동작할 수 있는 정도, 바꾸어 말하면 한 몸체처럼 동작할 수 있는 결합의 정도(이후 결합도라 부르기로 한다)를 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\exp[-c(2n)^2] \tag{4}$$

여기서 c는 결합 상수이다.

식 (3)과 (4)로 부터 레이저의 출력은

$$I_{2n} = 2a \exp[-c(2n)^2] \left\{ \int_{(n-1)s}^{Ns} \exp\left[-b\left(x-\frac{2n-1}{2}s\right)^2\right] dx + \sum_{n=2}^n \int_{(n-2)s}^{(n-1)s} \exp\left[-b\left(x-\frac{2n-3}{2}s\right)^2\right] dx \right\} \tag{5}$$

와 같이 표현되며 2N은 다극형 스파크 간격에 설치된 전극의 수를, I의 첨자 2n은 동작되는 전극의 수를 뜻한다.

**III. 실험 및 결과**

**1. 실험방법**

본 연구의 목적은 다극형 스파크 간격이 질소레이저 출력과 동작에 어떠한 영향을 미치는가를 실험적으로 조사하고 앞서 논의한 이론과 비교 분석하여 레이저의 출력 향상에 기여하고자 함이다. 이같은 목적을 위해 사용된 다극형 스파크 간격은 자체트리거 시키거나 별도의 Blumlein 전송회로에 의해 외부트리거(external trigger)되도록 하였으며, 동작되는 다극형 스파크 간격의 수에 따른 레이저의 동작 특성을 조사하였다. 이때 레이저의 동작특성을 결정하는 요소들이 상당히 많으므로 우선 레이저관 내의 전극을 10 mm로 고정하였고, 길이 역시 다중 평행판 축전기형 전송회로의 두께에 맞춰 520 mm로 하였다. 이들 값의 고정은 다극형 스파크 간격의 동작 특성 조사에 큰 영향을 주지는 않을 것으로 생각한다.

**1.1 자체트리거 방법**

자체트리거 방법은 별도의 외부트리거 전송회로를 제거하고 다극형 스파크 간격을 이루고 있는 각쌍의 전극중 한쪽의 전극을 트리거관에 접촉시켜 자체트리거가 되도록 하였다. 실험에 앞서 우선 He-Ne 레이저를 이용하여 출력창 및 반사경의 미세 조정 나사를 조정하여 광축을 맞춘다. 다음으로 스파크 간격의 전극간격을 8쌍 모두

5.0 mm로 고정시키고 레이저를 동작시켜 대체로 양호한 동작 상태를 보이는 조건하에서 약 30 분 동안 레이저를 계속 작동시키면서 동시에 전원 장치를 비롯하여 자체적인 동작의 결함 여부를 면밀히 확인한다. 이렇게 1차 확인이 끝나면 레이저의 광축을 다시 미세 조정하여 최종 실험 준비를 끝낸다.

자체트리거 방법에 있어 축전기  $C_{T1}$ 에 공급되는 전기 에너지는 스파크 간격의 전극간격에 따라 그의 전압이 일정하나 데이터의 신뢰도를 높이기 위해 다극형 스파크 간격과 접지 사이에 분압기(배율: 1/1000)를 걸고 이를 다시 1/10 probe를 이용하여 오실로스코프로 측정하였다.

이제 다극형 스파크 간격의 동작 특성을 조사하기 위하여 앞에서 설명한 바와 같이 8쌍의 전극간격을 5.0 mm로 모두 같게 맞추어 놓은 후, 그중 한쌍의 전극간격을 약 0.125 mm 씩 증가시키면서 레이저를 작동시켰다. 그 결과 간격이 멀어짐에 따라 이 스파크 간격은 방전이 일어나는 흔적이 점차 줄어들었으며, 약 7.5 mm 이상에서는 방전이 전혀 일어나지 않음을 확인하였다. 다극형 스파크 간격의 전극을 하나씩 제거하여 동작하지 못하게 하는 수단으로 이 결과를 이용하였으며 레이저 동작 특성 조사를 위한 전극 제거 방식으로는 다극형 스파크 간격의 한쪽 가장자리에서 부터 차례로 한쌍씩 제거하는 방식과 좌우 양쪽 가장자리로 부터 각각 한쌍씩 차례로 제거하는 방식을 택하였다.

**1.2 외부트리거 방법**

실험 방법이 자체트리거 방법때와 거의 같으나 다중 평행판 축전기형 전송회로에 전력을 공급하는 방법만이 약간 다르다. 즉 공급되는 전압이 자체트리거되기 직전 까지 올라간 순간 외부트리거 회로를 동작시켜 다극형 스파크 간격을 동작시킨다. 이때 적정 전압을 찾기 위해 여러번의 예비 실험을 하였으며 그 적정 전압은 자체 트리거되는 전압의 약 90%이었다. 다음으로 다극형 스파크 간격이 트리거되어야 하는 최적의 시각은 다중평행판 전송회로CT1의 전압곡선이 최대가 되는 시점의 바로 앞 약 0.4 ms일 때였으며 이는 오실로스코프로 확인하였다. 사진 1의 곡선에서 최저점 바로 밑의 약간 좌측에 보이는 점이 SCR<sub>2</sub>의 게이트에 트리거가 가해지는 시간으로 SCR이 트리거되는 시간과 고전압이 방전되는 시간 사이에는 시차가 있음을 참고적으로 밝혀 둔다. 참고적으로 이와 같은 과정에 따라 다극형 스파크 간격에 걸리는 전압변동의 모습을 사진 2에 보였다. 이 사진은 전극간격 5.0 mm일 때 얻은 사진으로 곡선이 끊어진 최저점이 다중 평행판 축전기형 전송회로에 공급되어진

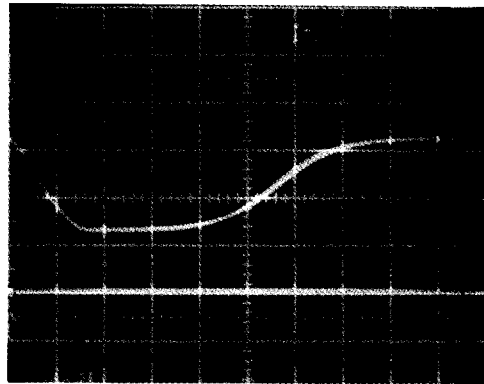


사진 1. Discharging voltage at main capacitor C<sub>1</sub>.

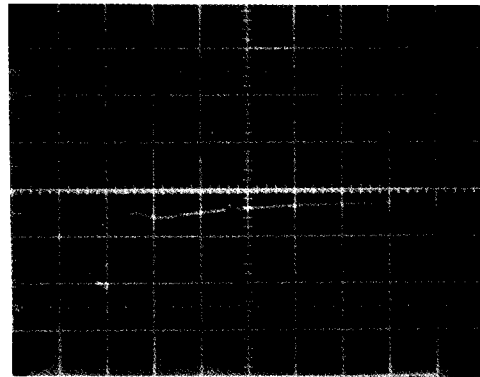


사진 2. Breakdown voltage at multiplex spark gap after external triggering.

전압에 해당되며 21,000 V임을 알 수 있다.

한편 앞에서 언급한 바와 같이 트리거용 전송회로에 공급되는 전력 역시 필스용 전원을 사용하였으며 여러 번의 예비 실험을 통해 이 스파크 간격의 전극간격이 5.0 mm 정도이면 충분히 고속고전압 스파크 간격을 트리거할 수 있음을 확인하였고 외부트리거 방식에 대한 모든 실험을 이 전극간격하에서 수행하였다.

**2. 실험결과**

질소레이저의 출력측정은 laser precision corp. 제품인 RJ-7610 energy radiometer와 RJP-734 Pyroelectric probe의 검출기를 이용하였으며 레이저 동작시 발생하는 강력한 전자파의 영향을 막아내기 위하여 철판 상자 속에 넣어 사용하였다. 이때 레이저 출력의 측정오차는 ± 5 μI 이내임을 확인하였다.

**2.1 자체트리거 방법**

다극형 스파크 간격을 자체트리거시킨 경우에 대한

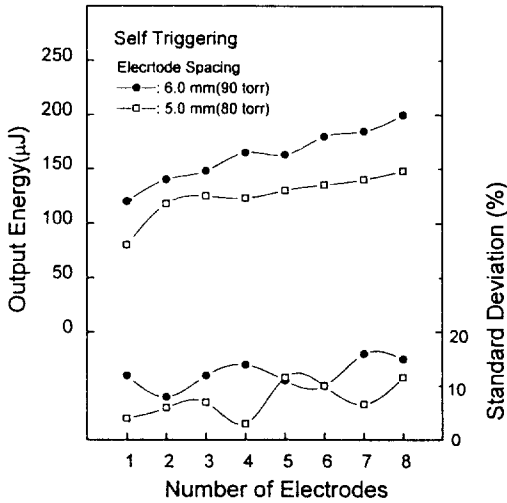


그림 5. Laser output energy vs. number of electrodes in case of self triggering.

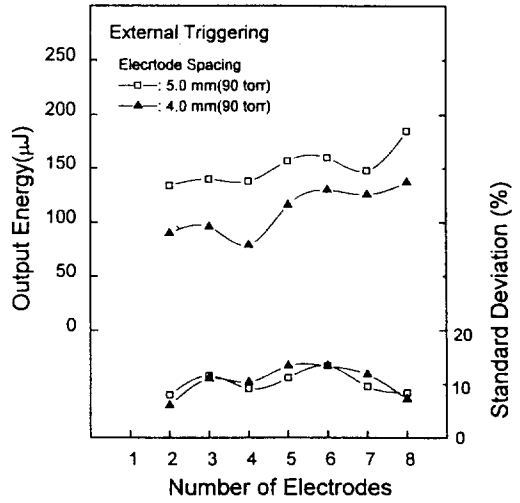


그림 7. Laser output energy vs. number of electrodes in case of external triggering.

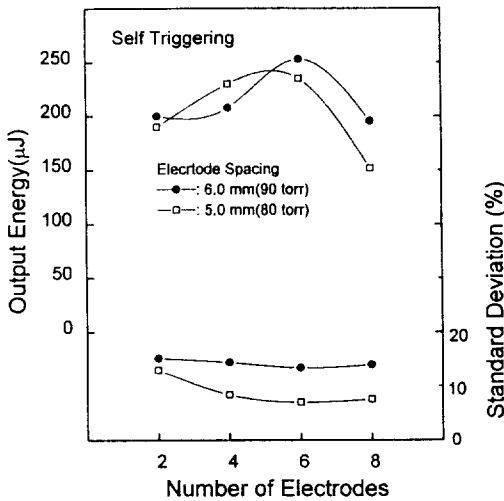


그림 6. Laser output energy vs. number of electrodes in case of self triggering.

실험결과를 그림 5와 6에 보였다. 이를 얻기 위하여 많은 실험을 거쳤으며 스파크 간격의 전극 간격과 레이저 관내 질소기체 압력에 따른 최적의 레이저 출력 특성은 그 간격이 5.0 mm일 경우 80 torr, 6.0 mm일 경우는 90 torr임을 확인하였고 이에 따라 얻은 결과만을 이 그림에 보였다. 이때의 스파크 간격 전압은 5.0 mm일 경우 26,000 V였고, 6.0 mm일 경우 28,000 V였으며 반복률은 20 Hz로 고정시켰다.

이 그림에서 위의 곡선은 각각의 전극수에 따른 레이저

출력이며 아래의 곡선은 그들의 표준편차인데 이 값은 각각의 전극에 대해 여러번의 실험을 거쳐 얻은 것이다. 그림 5는 다극형 스파크 간격을 한쪽 끝으로 부터 하나씩 제거하는 방식에 의한 실험결과인데 작동되는 전극의 수가 적을수록 레이저 출력도 감소하고 작동 역시 불안정해짐을 알 수 있어 스파크 간격의 숫자와 그의 위치가 레이저 출력에 영향을 주고 있음을 확인한 그림이다. 그림 6은 다극형 스파크 간격을 양쪽 가장자리로부터 동시에 한 쌍씩을 제거하여가는 경우 얻어진 실험결과이다. 그림에서 알 수 있는 바와 같이 동작되는 전극의 수가 증가하면 레이저의 출력 역시 증가하고 안정해지는데 의외로 8쌍 모두 동작할때는 감소하였다. 즉 가운데의 6쌍만이 동작할때 가장 높고 안정된 출력을 얻었으며 이때 표준 편차는 모두 18% 미만이었다. 그리고 전극간격이 5.0 mm일 때 최적의 동작 조건은 질소기체 압력이 80 torr이었고, 6.0 mm일 때는 90 torr로 종래의 실험결과와 잘 일치되었다. 이때의 E/P 값은 각각 325 V/cm·torr 및 311 V/cm·torr로 계산되어 이 값은 타 연구자들의 결과보다 높은 값을 얻었다.

## 2.2 외부트리거 방법

다극형 스파크간격을 외부트리거한 경우 즉 다극형 고속고전압 스파크 간격의 경우 그의 실험결과를 그림 7과 8에 보였다. 이 경우에도 그림 7은 다극형 고속고전압 스파크간격을 한쪽 끝으로 부터 하나씩 제거하는 방식에 의한 실험결과이며 그림 8은 양쪽 끝으로 부터 동시에 한 쌍씩을 제거하여가는 경우 얻어진 결과이다.

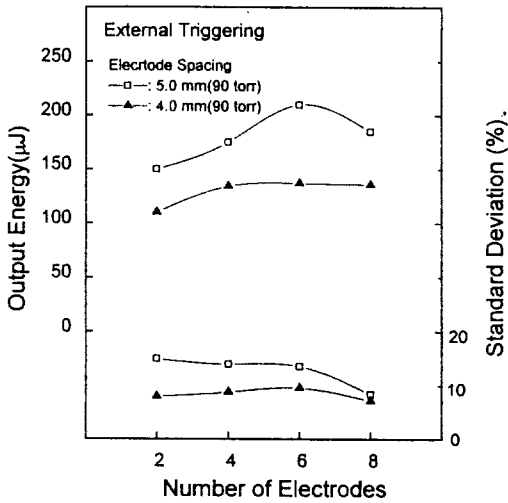


그림 8. Laser output energy vs. number of electrodes in case of external triggering.

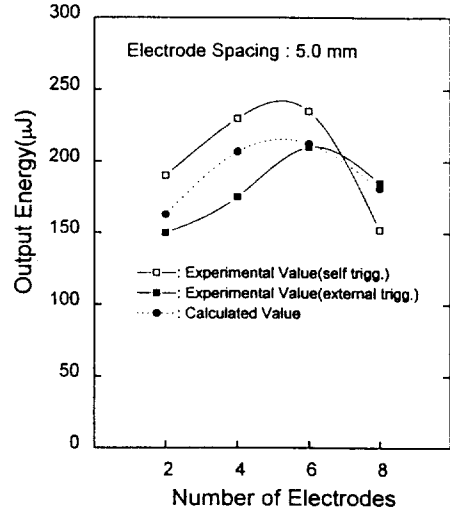


그림 9. Comparing experimental values and calculated value.

이 경우 전극간격이 4.0 mm에서 5.0 mm로 증가할때 출력은 증가하였지만 최적의 동작상태를 유지하는 질소기체의 압력은 두경우 모두 90 torr이었다.

그림 7에서 볼수 있는 바와 같이 전극의 수가 증가할수록 출력이 증가하였으나 동작되는 전극의 수가 1개 일 경우에는 동작이 불안하여 데이터로 사용할 수가 없었다. 그림 8에서도 8쌍 모듈을 동작시킬때 보다는 6쌍만을 동작시킬때 가장 강한 출력을 얻어 자체트리거 방법때와 일치하는 결과를 얻었다. 그 값은 전극간격이 5.0 mm일 경우 211 μJ, 4.0 mm일 경우는 138 μJ이었고 E/P 값은 5.0 mm에서 233 V/cm·torr로 계산되었다. 또한 안정성은 전극의 수가 증가함에 따라 조금씩 향상되는 결과를 얻었다.

한편 외부트리거 방식을 사용할때, 스파크 간격은 동작하며 강한 전자파를 발생하였고 그 영향으로 전자회로들이 몹시 불안하여졌고 이로 인하여 전극간격 6.0 mm에 대한 데이터를 얻지 못하는 아쉬움을 남기게 되었다. 그러나 그 결과가 본 연구의 목적에 큰 지장을 가져오지는 않았다고 생각한다.

### 2.3 이론적 고찰과의 비교

여기서 식 (5)를 이들 실험값의 평균치와 일치시킬 수 있는 상수 a, b, c를 찾기로 한다. 이를 컴퓨터로 계산하기에 앞서 b와 c값의 대략적인 값의 범위를 알아야 할 필요가 있는데 물리적 의미를 살펴 보면 b의 값은 식 (1)에 의한 그의 반치폭이 스파크 간격 사이의 간격 s보다 크고 레이저관의 길이 8s보다는 작은 값을 갖는 범위내에 있어야 하며 c역시 식 (4)에 의한 반치폭이

스파크 간격의 전체숫자 2N보다는 작고 최소갯수 1보다는 큰 값을 갖는 범위 내에 존재해야 한다.

위와 같이 b와 c값의 대략적인 범위를 알아본 후 컴퓨터에 의하여 상기의 평균치들과 (5)식이 상대오차 7.8% 이내로 일치하는 a, b, c 값을 얻었으며 그 결과를 그림 9에 보였다.

실험 결과를 이론으로 해석하여 보기 위하여 앞에 설명한 실험 결과 중 같은 조건을 갖춘 전극 간격 5.0 mm 일 경우에 대하여서만 논의하기로 한다. 그림 9에 자체 트리거 방식과 외부 트리거 방식에 대한 그 실험 결과를 실선으로 각각 보였다.

이 계산에 있어 s는 65 mm, N은 4의 값을 주었으며 스파크 간격의 수에 따른 레이저출력은 앞에서 언급한 바와 같이 자체와 외부 트리거의 평균치를 사용하였는데 스파크 간격의 수 2에 대해서는 170 μJ, 4에 대해서는 203 μJ, 6에 대해서는 222 μJ, 8에 대해서는 168 μJ의 값을 사용하였다. 그러나 전술한 바와 같이 완전 일치하는 값을 얻을 수 없었고 상대오차 7.8% 이내의 값인 162.7 μJ, 206.7 μJ, 212.4 μJ, 181.1 μJ의 값을 얻었다. 이 값을 그림 9의 점선으로 표시하였으며 그에 해당하는 a, b, c의 값은 각각 0.5823 μJ/mm,  $6.030 \times 10^{-5}$ ,  $7.70 \times 10^{-3}$ 이었다. 여기서 이 a, b, c값의 물리적 의미를 알아 보기 위하여 간단한 계산을 하여 보았다.

스파크 간격 하나가 동작하여 레이저를 발진시킬 수 있는 반치폭은 b의 값을 (1)식에 대입하여 214 mm를 얻는다. 이 값은 레이저관의 길이 520 mm의 41%에 해

당한다. 이는 하나의 스파크 간격이 레이저관 전체를 관장할 수 없으며 이 실험에서 하나의 스파크 간격이 동작할 경우 214 mm 즉, 41%의 반치폭으로 레이저 발전에 스파크 간격이 기여할 수 있음을 뜻하고 있다. 또한 스파크 간격 하나가 동작할 경우 그의 결합도는 c값을 (4)식에 대입하여 99.9%, 2개가 동작할 경우 96.7%, 4개가 동작할 경우 88.4%, 6개가 동작할 경우 75.8%, 8개가 동작할 경우 61.1%를 각각 얻는다.

이 결과에 대한 물리적 의미를 살펴보면 스파크 간격 하나가 동작할 때는 그의 결합도가 당연히 100%이며 위의 결과는 이와 잘 일치한다. 이상과 같은 결과들로 미루어 볼때 하나의 스파크 간격이 레이저관 전체를 완벽하게 모두 여기시킬 수는 없으며 다극형 스파크 간격 역시 완벽한 여기는 시킬 수 없고 그의 결합도는 스파크 간격의 수가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소함을 확인하였다. 이러한 복합적인 원인에 따라 다극형 스파크 간격은 레이저 출력 증가에 기여함을 확인 할 수 있었으며 그의 설치 범위는 레이저관(또는 전송회로의 두께) 길이의 3/4 정도가 가장 적절함을 알았다.

#### IV. 결 론

질소레이저의 출력을 높이고 안정성을 향상시키기 위한 방법의 하나로 다극형 스파크 간격과 Blumlein 형태의 다중 평행판 축전기형 전송회로로 구성된 레이저 장치를 제작하여 그 동작 특성을 조사 분석 하였다. 이 방법은 레이저 장치의 외형을 비교적 작게 하면서도 대용량의 전송회로를 부착할 수 있는 장점이 있다. 이에 따라 본 연구에서는 레이저관의 길이를 520 mm로 그의 전극간격을 10 mm로 하여 그의 길이가 관의 길이와 같고 전극 8쌍으로 구성된 다극형 스파크 간격을 제작하고 이 스파크 간격과 레이저관 사이에 다중 평행판 축전기형 전송회로를 병렬로 조밀하게 겹쳐 조립하였다. 그 결과 전송회로의 에너지 축적용 및 전송회로용 축전기의 전 기용량은 각각 18.5 nF이었다. 실험은 이들 스파크 간격을 자체트리거하는 방식과 외부트리거하는 방식을 택하였으며 8쌍으로 구성된 다극형 스파크 간격의 전극 수와 그 전극간격을 달리하면서 실험을 실시하였고 그 결과를 이론적으로 분석하였다. 이를 요약하면 다음과 같다.

- 1) 긴 레이저관에 대하여 하나의 스파크 간격이 레이저관 전체를 통하여 레이저를 균일하고 완벽하게 발전시킬 수 없음을 확인하였으며
- 2) 다극형 스파크 간격을 사용할 경우에도 레이저관 전체를 균일하고 완벽하게 발전시킬 수 없으며 아울러

이들 스파크 간격 모두가 하나의 몸체처럼 완벽한 역할 역시 하지 못함을 알았고 그 정도를 결합도로 표시할 수 있었으며 그 값은  $7.70 \times 10^{-3}$  이었다.

3) 위와 같은 복합적인 결과에 따라 다극형 스파크 간격은 레이저 출력 증가에 기여할 수 있음을 확인하였고 그의 설치 범위는 레이저관의 길이(또는 전송회로의 두께)의 3/4이 최적임을 알았다.

4) 스파크 간격을 자체트리거하는 경우에 질소레이저의 최적동작은 반복률 20 Hz에서 스파크 간격의 전극 간격이 5.0 mm일 때 질소기체 압력 80 torr이며 이때의 E/P 값은 325 V/cm·torr이고, 스파크 간격의 전극간격이 6.0 mm일 때 질소 기체 압력은 90 torr로 이때의 E/P 값은 311 V/cm·torr이었다.

5) 스파크 간격을 외부트리거하는 경우에 질소레이저의 최적동작은 반복률 20 Hz에서 스파크 간격의 전극 간격이 5.0 mm일 때 질소기체 압력 90 torr이며 이때의 E/P 값은 233 V/cm·torr로 타 연구자 보다 높게 나타났다.

이상과 같은 연구 결과로 질소레이저의 출력 및 동작특성의 향상을 위하여 스파크 간격의 전극 모양을 I자 형태로 하여야 하며 그의 길이는 레이저관 길이의 3/4이 가장 적절하다는 결론을 얻었다. 이는 실용화에 기여할 수 있으리라 믿는다.

#### 참 고 문 헌

- [1] J. I. Levatter, S.C. Lin, Appl. Phys. Lett., **25**, 703 (1974).
- [2] H. M. Von Bergmann, A. J. Penderis, J. Phys. E: Scientific Instrum., **10**, 602(1977).
- [3] W. A. Fitzsimons, L. W. Anderson, C. E. Ried Hauser, J. M. Vrtilik, IEEE-Quantum Electronics, **QE-12**, 624(1976).
- [4] E. E. Bergmann, Rev. Sci. Instrum., **48**, 545(1977).
- [5] H. J. Kong, D. Y. Park, Appl. Phys. Lett., **58**, 3667 (1985).
- [6] 추한태, 충남대학교 대학원 박사학위 청구논문(1991).
- [7] 이치원, 추한태, 양준목, 새물리, **29**, 291(1989).
- [8] 양준목, 한양대학교 대학원 박사학위 청구(1984).
- [9] 양준목, 김원호, 김기덕, 이치원, 추한태, 한국광학회, **2**, 122(1995).
- [10] J. W. Keto, T. D. Raymond, S. T. Walsh, Rev. Sci. Instrum. **51**(1), 42(1980).



## **Construction and Operational Characteristics of a Nitrogen Laser System Employing a Multiplex Spark Gap**

Joon-Mook Yang and Yoon-Joo Kim

*Department of Physics, Chungnam National University, Daejeon 305-764, Korea*

Han-Tae Choo

*Kumoh National University of Technology, Kumi 730-701, Korea*

Chi-Weon Lee

*Kongju National junior College, Kongju 314-040, Korea*

(Received: January 29, 1996)

We have constructed and studied a laser system which consists of a multiplex spark gap with 8 couples of spark gaps and a multiple parallel plate capacitor type Blumlein transmission line circuit. In this laser system, the length of the laser tube, the length of the multiplex spark gap and the total thickness of the transmission line circuit are chosen to be 520 mm. The experimental results show that one couple of spark gaps cannot give a uniform and complete lasing through the whole laser tube. All the more, a multiplex spark gap could not perform completely and synchronously. However, a multiplex spark gap is found to contribute to the increase of laser output power and the laser has performed the best when the location is three quarters of the laser tube length.