

# He-Ne 레이저의 출력특성에 관한 연구

(A Study on the Output Characteristics of He-Ne Laser)

김승집<sup>\*</sup> · 전용우 · 최상태<sup>\*\*</sup> · 박원주 · 이광식 · 이동인  
(영남대학교, 경주대학교<sup>\*\*</sup>)

Song-Jib Kim · Yong-Woo Jun · Sang-Tae Choi<sup>\*\*</sup> · Won-Zoo Park · Kwang-Sik Lee · Dong-In Lee  
(Yeungnam University, Kyong-ju University<sup>\*\*</sup>)

## Abstract

This paper describes preliminary discussions on manufacture of a He-Ne laser and investigation of output characteristics. The He-Ne laser which is to be manufactured is what is the most common wavelength  $\lambda=632.8[\text{nm}]$  transition in the red portion of the spectrum. The output characteristics as various parameters, such as gas mixture ratio, gas pressure, discharge current, resonator length, and the efficiency characteristic as a input power will be investigated.

## 1. 서론

He-Ne 레이저는 기체레이저 중 가장 먼저 발전에 성공하였고, 가장 경제적이고 취급이 용이한 레이저로서 수[mW]에서 수십[mW]의 출력을 가지며 건축물 또는 실험실에서 광축 정렬, 홀로그래피, 바코드리더, 의료용 침, 측정 및 display, 광통신, 정밀한 길이 표준 등 매우 광범위하게 이용되고 있다.[1]

1961년 자반(Javan) 등에 의해 Ne의  $2s_2 \rightarrow 2p_4$  유도천이에 의한  $1.153[\mu\text{m}]$ 의 근적외선 영역에서 발전하는 He-Ne 레이저가 처음 개발되었으며 그 후 여러 가지 연구를 통해 Ne의  $3s_2 \rightarrow 3p_4$  유도천이에 의한  $3.39[\mu\text{m}]$ ,  $3s_2 \rightarrow 2p_4$  유도천이에 의한  $632.8[\text{nm}]$  (붉은 색 영역)의 파장을 갖는 레이저 발전이 성공하였고, 고돈(Gordon) 등은 방전전류, 기체압력, 방전관의 굵기에 따른 최적조건을 분석하였으며, 최근에는  $3s_2 \rightarrow 2p_{10}$  유도천이에 의한  $543.3[\text{nm}]$  (초록색 영역),  $3s_2 \rightarrow 2p_8$  유도천이에 의한  $594[\text{nm}]$  (노란색 영역),  $3s_2 \rightarrow 2p_6$  유도천이에 의한  $612[\text{nm}]$  (오렌지색 영역), 그리고  $2s_2 \rightarrow 2p_1$  유도천이에 의한  $1.523[\mu\text{m}]$ 의 근적외선 영역의 파장을 갖는 레이저의 발전도 성공하였다.[1]-[4]

이 He-Ne 레이저는 낮은 기체 압력에서 동작하고 연속 발전이며 매우 안정한 출력을 갖고 가격

이 저렴하며 수명이 길다. 이러한 여러 가지 이유로 아직 이용숫자가 많고, 이 중 가장 일반적인 것은  $632.8[\text{nm}]$ 의 파장을 갖는 붉은 색 가시광 영역의 것이다. 최근에는 붉은 색뿐만 아니라 노랑, 초록, 오렌지색의 파장까지 얻을 수 있는 레이저가 개발되어 새로운 분야로의 응용이 기대되고 있다.

그러나 외국의 이러한 연구성과와 추세에 비해 레이저에 대한 국내의 기술수준은 아직 초보단계이고 대부분의 레이저장치를 수입에 의존하고 있으며 레이저장치 자체의 개발에 대한 연구성과는 미비한 실정이다.

이에 본 연구에서는 가장 간단한 것 중 하나인 면서도 레이저의 원리를 잘 파악할 수 있는 He-Ne 레이저 중 파장이  $632.8[\text{nm}]$ 인 것을 직접 설계, 제작한 후 여러 가지 특성실험을 통해 레이저의 원리와 특성을 명확하게 파악하여 보려고 한다.

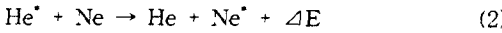
이는 앞으로 레이저장치의 국산화와 출력특성이 더욱 개선된 레이저의 개발에 기여하리라 생각한다.

## 2. 관련이론

### 2.1 He-Ne 레이저의 동작원리

혼합가스 안의 He 원자는 원자핵 주위에 두 개

의 전자만을 갖는 단순한 원자로 플라즈마 안에서는 보다 활발하게 운동하여 다른 원자와 충돌하는 확률이 높고, 그 에너지준위도 단순한 몇 개의 준위가 존재할 뿐이다. 이에 비해 Ne 원자의 경우는 반전분포를 만들어 레이저를 방출하는 것으로 에너지준위의 수도 많고 복잡하다. 파첸(Paschen) 기호로 나타내는 He과 Ne 두 원자의 에너지준위와 천이과정을 그림 1에 나타내었다. 먼저 방전관을 고압으로 방전시킬 때 운동에너지를 가진 전자와 바닥상태에 있는 He 원자와의 비탄성 충돌이 일어나서 대단히 긴 수명의 준안정상태인 2S준위로 여기된다. 두 가지 기체로 된 레이저 물질에서 한 기체의 준안정상태와 나머지 기체의 들뜬 상태의 에너지와 비슷할 때는 그 준안정상태의 에너지가 비탄성충돌에 의해 나머지 기체의 들뜬 상태 에너지로 전달되는데 He 원자는 Ne 원자가 갖는 레이저 천이에 필요한 3s준위와 거의 같은 에너지의 2S준위를 갖고 있다. 따라서 He 원자의 2S준위의 에너지는 비탄성충돌에 의해 바닥상태에 있는 Ne 원자로 전달되어 Ne 원자는 3s준위로 여기된다. 이 과정을 그림 2에 나타내었고 식(1), 식(2)로도 설명할 수 있다.



\*표시는 원자의 들뜬 상태를 나타내고,  $\Delta E$ 는 He의 2S준위와 Ne의 3s준위의 에너지차인데 실제로는 상당히 작다.

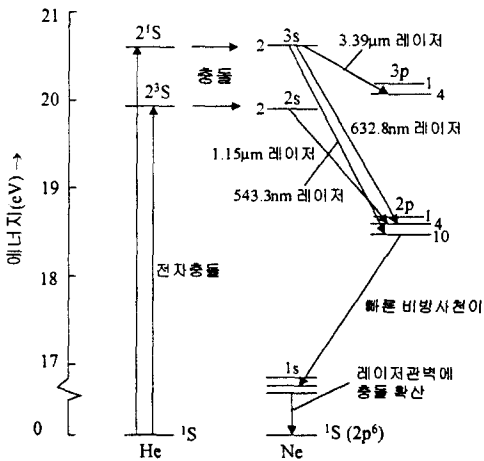


그림 1. He과 Ne의 에너지준위와 천이과정  
Fig. 1. Energy level of helium - Neon and transition process

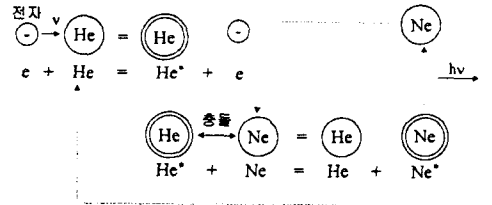


그림 2. He 원자와 Ne 원자의 여기과정  
Fig. 2. Exciting process of helium and neon

표 1. He과 Ne의 충돌단면적  
Table 1. Cross section of He-Ne collision

Transition	WSR	$\Delta E$ (eV)	Q(cm <sup>2</sup> )
He(2 <sup>1</sup> s)+Ne→Ne(3s <sub>2</sub> )+He	Yes	0.048	4×10 <sup>-19</sup>
He(2 <sup>2</sup> s)+Ne→Ne(2s <sub>2</sub> )+He	No	0.039	~1.4×10 <sup>-11</sup>
He(2 <sup>2</sup> s)+Ne→Ne(2s <sub>2</sub> )+He	Yes	0.058	~1.4×10 <sup>-11</sup>
He(2 <sup>1</sup> s)+Ne→Ne(3s <sub>4</sub> )+He	No	0.044	<10 <sup>-18</sup>

이 여기과정을 좀 더 자세히 살펴보면 Ne에 있어서 반전분포는 대부분 He 원자가 2<sup>3</sup>S, 2<sup>1</sup>S에 있을 때 바닥상태인 Ne 원자와의 비탄성충돌로 인해 생성되는데 이 때의 충돌단면적을 표 1에 나타내었다. 표에서 알 수 있듯이 Ne 원자의 에너지준위 중 632.8[nm]와 3.39[ $\mu$ m]의 파장을 갖는 레이저의 상준위인 3s<sub>2</sub>가 위그너 스핀 룰(Wigner Spin Rule, WSR)이 성립하기 때문에 충돌단면적이 가장 크다.[5] 따라서 He 원자의 준안정상태인 2<sup>1</sup>S준위와 Ne 원자의 여기상태인 3s<sub>2</sub>준위의 충돌확률이 가장 크게 된다.

이와 같은 과정을 거쳐 나타나는 천이과정이 그림 1에 나타나 있는데 Ne 원자는 3s준위로 여기되고, 2s준위로도 선택적으로 여기된다. 여기된 He 원자는 역할을 끝내고 바닥준위로 되돌아간다. 이때 전자는 He 원자만이 아니고 Ne 원자와도 충돌하기 때문에 Ne 원자의 2s, 3p, 2p 등 각 에너지 준위에도 여기되는 것이 있지만 확률상으로는 적다. 또 s상태의 완화시간은 100ns 정도이지만, p상태의 수명이 10ns 정도로 짧기 때문에 빠르게 천이한다. 그 결과 3s와 3p, 3s와 2p 및 2s와 2p 각 준위 사이에는 반전분포가 형성되고 각기 유도방출이 일어나 4준위 레이저의 조건을 만족시킨다.

3s<sub>2</sub>→3p<sub>4</sub>의 유도천이에서는 3.39[ $\mu$ m]의 레이저를 내며, 3s<sub>2</sub>→2p<sub>4</sub>의 유도천이는 가장 많이 이용되는

632.8[nm]의 가시광 레이저를 발진시키고,  $2s_2 \rightarrow 2p_4$ 의 유도천이에서는 1.153[ $\mu\text{m}$ ]의 적외광 레이저가, 그리고  $3s_2 \rightarrow 2p_{10}$ 의 유도천이에서는 543.3[nm]의 레이저가 얻어진다. 이 경우 이들 여러 종류의 파장이 동시에 얻어지는 것이 아니라 예를 들어, 632.8[nm]의 파장 부근에서 반사특성을 갖는 거울을 사용하면 632.8[nm]의 유도방출만 일어나고 나머지는 자연방출하게 된다.

다음으로 유도방출이 끝나 2p상태로 천이한 원자는 빠르게 1s준위로 광을 방출하지 않고 비방사 천이한다. 더욱이 1s준위의 원자는 방전관의 벽이나 다른 원자와의 충돌로 에너지를 빼앗겨 비방사 천이가 진행되므로 방전관의 세관부를 가늘게 만들면 운동하고 있는 Ne 원자가 방전관의 벽과 충돌하기 쉽게 되어 빠르게 완화한다. 레이저방전관 안에서는 이상과 같은 과정이 되풀이되어 연속발진이 얻어진다.[1]-[4]

### 3. 실험장치 및 방법

본 연구에서 사용될 실험장치의 구성을 그림 3에 나타내었다.

실험장치는 크게 세 부분으로 구성된다. 첫 번째로, 방전이 일어나는 방전관, 두 번째로 반사거울과 출력거울로 구성된 공진기, 그리고 마지막으로 전원공급장치이다. 이 외에도 가스공급장치, 배기장치 등이 있다.

방전관과 거울은 마운트(Mount)에 부착시킨 뒤, 광학테이블(Optical Table)위에 레일(Rail)을 설치해서 포스트(Post)와 캐리어(Carrier)를 통해 연결한다. 이렇게 함으로써 방전관과 거울은 좌우로 이동이 가능해진다.

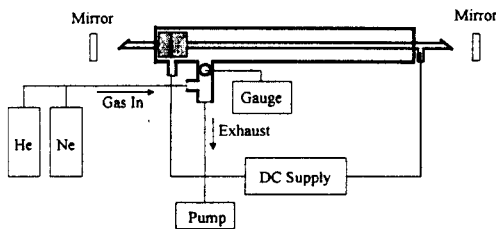


그림 3. 실험장치의 구성도  
Fig. 3. Schematic diagram of experimental setup

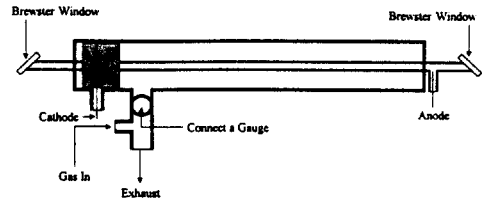


그림 4. 방전관의 구성도  
Fig. 4. Schematic diagram of discharge tube

그림 4는 본 연구에서 사용될 방전관의 개략도를 나타내고 있다. 방전관의 재질은 석영이며, 길이는 330[mm], 외경은 50[mm], 두께는 3[mm]이고, 왼쪽부분에 음극을 연결한다. 그리고 He과 Ne 가스가 들어가는 가스혼입부, 펌프를 통해 가스를 배기시키는 배기부, 게이지를 연결할 수 있는 부분을 만든다. 모세관의 재질도 석영이며, 길이는 400[mm], 외경은 7[mm], 두께는 2[mm]이고, 오른쪽부분에 양극을 연결한다. 그리고 모세관의 양 끝부분은 브루스터각(Brewster angle)을 두고 브루스터창(Brewster window)을 붙여서 반사에 의한 손실을 없앤다.

공진기는 반사거울과 출력거울로 구성되는데, 반사거울은 632.8[nm]인 파장대에서 반사율이 99.8[%] 이상이고, 곡률반경이  $\infty$ 인 평면거울을, 그리고 출력거울 역시 632.8[nm]에서 반사율이 약 98[%] 정도이고 곡률반경이 1.5[m]인 것을 사용한다. 또 공진기는 광속이 반복 반사하여도 공진기 안에 그대로 머물러 있어야 안정한 공진기라고 할 수 있는데 일반적으로 다음 식

$$0 < (1 - (d/R_1))(1 - (d/R_2)) < 1 \quad (3)$$

을 만족하여야 한다. 여기서 d는 공진기의 길이,  $R_1$ 과  $R_2$ 는 각각 반사거울과 출력거울의 곡률반경이다.[6]

전원공급장치는 직류전원으로 초기발진전압이 10[kV]이상이고, 방전유지전압이 수[kV]정도가 되게 한다.

이 외에 가스공급장치에는 가스믹서(Gas Mixer)를 사용하여 He과 Ne이 일정한 비율로 혼합되어 공급될 수 있게 하고, 배기장치로는 로터리펌프(Rotary Pump)를 사용한다. 배기시킬 때의 진공도와 He과 Ne 가스를 유입시킬 때의 가스압력은 피

라니게이지(Pirani Gauge)로 측정하면서 그 정도를 조절한다.

본 연구에서 행하려는 실험은 여러 가지 파라메타들, 즉 가스혼합비, 가스압력, 방전전류, 공진기 길이에 따른 출력특성과 방전입력에 대한 효율특성이다.

모든 실험에 앞서서 먼저 로터리펌프(Rotary Pump)를 사용해서 방전관내의 압력이  $10^{-4} \sim 10^{-5}$ [Torr] 정도가 될 때까지 배기시킨다. 그 후 변화에 따른 출력특성을 알아보고자 하는 파라메타를 제외한 나머지 파라메타들은 일정한 값으로 유지시키고, 대상이 되는 파라메타의 값을 변화시켜가면서 에너지메타(Energy Meter)로 출력을 측정한다. 그리고 방전입력에 대한 효율특성의 경우는 글로우방전(Glow Discharge)이 안정화된 시점에서 전기입력은 전력계, 레이저출력은 에너지메타(Energy Meter)로 각각 측정한다.

#### 4. 검토 및 전망

파장이 632.8[nm]인 He-Ne 레이저는 다른 많은 파장대의 He-Ne 레이저 중 가장 일반적이고 가장 널리 이용되는 것으로 이를 직접 설계, 제작하고 특성실험을 함으로써 레이저의 원리와 특성을 명확하게 파악할 수 있을 것이다. 또 본 실험을 통한 결과는 앞으로 레이저장치를 국산화하거나 출력을 향상시키는데 보다 기초적이고 체계적인 자료로 활용될 수 있으리라 생각된다. 그리고 본 실험에 사용된 장치의 일부를 개조하거나 개선하여 반사 거울과 출력거울이 반사하는 파장대가 다른 거울들이나 곡률반경이 다른 거울들로 공진기를 구성하거나 전원공급장치를 고주파교류전압으로 교체한다면 본 실험과는 또 다른 결과가 나올 것이며 이 두 결과간의 비교, 분석 또한 레이저의 출력향상에 도움이 될 것이다. 더 나아가 방전관의 구조를 개조하고 가스의 종류를 바꾼다면 다른 종류의 레이저의 발전도 가능할 것이며 이것의 실험결과와 본 실험의 결과를 종합하면 기존의 레이저 응용분야 외에 다른 응용분야를 개척하는데 기초자료로써 활용될 수 있으리라 생각된다.

#### 참고문헌

[1] William T. Silfvast, "LASER FUNDAMENTALS", Cambridge

Univ. Press, 1996.

- [2] A. Javan, W. R. Bennett, Jr., and D. R. Herriott, "Population inversion and continuous optical maser oscillation in a gas discharge containing a He-Ne mixture", Phys. Rev. Lett., Vol. 6, No. 3, pp. 106~110, 1961.
- [3] A. L. Bloom, W. E. Bell, and R. C. Rempel, "Laser operation at  $3.39\mu$  in Helium-Neon mixture", Appl. Opt. Vol. 2, No. 3, pp. 317~318, 1963.
- [4] E. I. Gordon and A. D. White, "Similarity laws for the effects of pressure and discharge diameter on gain of He-Ne lasers", Appl. Phys. Lett., Vol. 3, No. 11, pp. 199~201, 1963.
- [5] J. T. Massey, A. G. Schulz, B. F. Hochheimer, and S. M. Cannon, "Resonant energy transfer studies in a Helium-Neon gas discharge", J. Appl. Phys., Vol. 36, pp. 658~659, 1965.
- [6] H. Kogelnik and T. Li, "Laser beams and resonators", Appl. Opt., Vol. 5, No. 10, pp. 1550~1567, 1966.