

# 귀환광을 이용한 레이저방전내의 광이득 측정시스템

(Optical Gain Measuring System in the Laser Discharge using Feedback Light)

최상태\*

(Sang-Tae Choi)

## Abstract

A spectroscopic measuring system was developed in order to determine optical gain of gas laser discharge for any optical transitions between 190[nm] and 800[nm] without laser resonator. With an image optical system and a feedback optical system emission light of laser discharge are entered in a monochromator and received at a photomultiplier. Subsequently optical gain and line intensity are measured.

Key Words : Gaslaser, Optical Gain, Laser Discharge, Feedback Optical System

## 1. 서 론

기체레이저는 기체의 방전에너지를 이용하여 쉽게 여기시킬 수 있다. 매질이 기체이기 때문에 단결정이나 반도체레이저에 비해 체적을 크게 할 수 있다. 또한 고체레이저의 매질과 비교해서 상대적으로 값이 싸고, 매질의 손상이 거의 없으며 광학적으로 균질하여 결맞음이 우수하다. 운전중에 가열된 기체를 교환함으로써 신속하게 열을 제거할 수 있으며, 어떤 레이저는 흐르는 기체를 사용하여 고출력을 가능하게 한다. 그 종류도 다양하여 한 종류의 기체로 이루어진 단원자기체, 두 종류 이상의 원자로 이루어진 혼합기체 등이 있다. 현재 발진이 확인된 원자만도 40종류

이상으로 보고되고 있다[1].

이 외에도 기체와 금속이 혼합된 방전을 사용하는 금속증기레이저는 금속이온을 매질로 하여 적외선영역에서 자외선영역까지 연속발진의 레이저방출이 이루어지고 있다. 대표적인 금속증기레이저에는 He-Cd, He-Zn, He-Se 레이저, 구리이온레이저[2,3,4,5] 등이 있다. 그러나 기체레이저나 금속증기레이저의 개발에 있어서 방전파라미터의 적절한 선택을 통하여 방전내의 광이득을 얻고 광공진기를 미세조정하여 레이저를 발진시키는 일은 대단히 어렵다.

본 논문에서는 레이저방전에서 방출되는 방사선의 광이득측정을 위한 분광시스템에 대한 연구를 수행하였다. Roll과 Mentel[6]에 의해 처음 개발된 광이득측정시스템은 스펙트럼 형상함수에 대한 적분으로 이득 계수를 측정할 수 있다. 본 논문에서는 어떠한 공진기 특성에도 좌우되지 않을 뿐만 아니라 레이저공진기를 구성하지 않고도 광이득을 검증하고 분석할 수 있는 더욱 발전된 분광 광이득측정시스템의 개발을 위한

\* 주저자 : 경주대학교 전기에너지전자공학과 부교수  
Tel : 054-770-5180, Fax : 054-770-5364  
E-mail : stchoi@gju.ac.kr  
접수일자 : 2011년 4월 7일  
1차심사 : 2011년 4월 19일, 2차심사 : 2011년 6월 25일  
심사완료 : 2011년 7월 7일

연구를 하였다. 이 시스템은 이미 알려진 레이저 뿐만 아니라 새로운 기체레이저나 금속증기레이저의 개발을 위해서도 사용할 수 있다

## 2. 광방사의 이론

원자에너지상태의 상준위(에너지  $E_m$ , 점유밀도  $N_m$ )에서 하준위(에너지  $E_n$ , 점유밀도  $N_n$ )로의 천이에서 단위공간각과 단위부피당 자연방출에 의한 방사출력은 선방출계수  $\epsilon_L$ 에 의해 정의된다.

$$\epsilon_L = \frac{1}{4\pi} A_{mn} N_m h\nu \quad (1)$$

이때  $A_{mn}$ 은 아인슈타인의 자연방출계수,  $\nu$ 는 주파수,  $h$ 는 플랑크상수를 의미한다. 분광선은 하나의 주파수가 아닌 다수 혹은 좁은 주파수대역  $\Delta\nu$ 으로 방출된다. 주파수대역내에서의 광강도분포는 방출스펙트럼 형상함수  $p_\nu(\nu)$ 를 통해서 다음과 같이 주어진다.

$$\int_{\Delta\nu} p_\nu(\nu) d\nu = 1 \quad (2)$$

$\Delta\nu \ll \nu$ 인 관계로부터 스펙트럼방출계수  $\epsilon_\nu$ 를 구할 수 있다.

$$\epsilon_\nu \cdot d\nu = \frac{1}{4\pi} A_{mn} N_m h\nu p_\nu(\nu) \cdot d\nu \quad (3)$$

스펙트럼방사밀도  $I_\nu$ 를 가지고 흡수매질에 공간각  $d\Omega$  내로 방사가 전달되면 그 일부인  $\Delta I_\nu$ 가 구간  $dx$ 에서 흡수되며 흡수계수  $\alpha(\nu)$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\Delta I_\nu = -\alpha(\nu) I_\nu \Delta x \quad (4)$$

$$\alpha(\nu) = -\frac{1}{I_\nu} \frac{\Delta I_\nu}{\Delta x} \quad (5)$$

공간각  $d\Omega$  내에서 방사를 위한 단위부피당 흡수프로세스의 수를 고려하면 다음식이 주어진다. 이 때  $p_\nu^a(\nu)$ 는 흡수에서의 형상함수이다.

$$\alpha(\nu) = N_n B_{nm} p_\nu^a(\nu) \frac{h\nu}{c}, \quad (6)$$

$B_{nm}$ 는 아인슈타인흡수계수이다. 음의 흡수를 유도방출로 간주하면 유효흡수계수는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} \alpha^{eff}(\nu) &= \frac{h\nu}{c} [N_n B_{nm} p_\nu(\nu) - N_m B_{mn} p_\nu(\nu)] \\ &= \frac{h\nu}{c} N_n B_{nm} p_\nu(\nu) \left(1 - \frac{N_m g_n}{N_n g_m}\right) \end{aligned} \quad (7)$$

여기서  $B_{nm}$ 은 아인슈타인의 유도방출계수이다.  $g_m$ 과  $g_n$ 은 각각 에너지상태  $m$ 과  $n$ 의 통계학적 질량을 표시한다. 이때 방출과 흡수에서의 형상함수는 동일한 것으로 본다.  $\alpha^{eff}(\nu)$ 의 부호는 관계식  $N_m g_n / N_n g_m$ 에 따른다.  $N_m g_n / N_n g_m < 1$ 인 경우에는 흡수를 의미하며 반대의 경우 즉,  $N_m g_n / N_n g_m > 1$ 이면 증폭을 의미한다.

적분형태로 주어지는 정상상태를 위한 방사전송방정식에서  $I_\nu(0)=0$ ,  $\epsilon_\nu = \text{const.}$  및  $\alpha^{eff}(\nu) = \text{const.}$ 인 경우, 그 적분의 결과는 다음과 같다.

$$I_\nu(x) = \frac{\epsilon_\nu}{\alpha^{eff}(\nu)} \{1 - \exp[-\alpha^{eff}(\nu) \cdot x]\} \quad (8)$$

비평형상태의 일반적인 경우에는 방사광강도  $I_\nu$ 는 방사전송방정식으로부터 다음과 같이 주어진다.

$$I_\nu(x) = \frac{2h\nu^3}{c^2} \frac{1}{\frac{N_n g_m}{g_n N_m} - 1} \{1 - \exp[-\alpha^{eff}(\nu) \cdot x]\} \quad (9)$$

## 3. 소신호이득의 결정

방사선들은 도플러 선폭증대의 형태로 가정한다. 방출/흡수를 위한 형상함수로는 가우스형으로 간주한다.

$$p_\nu(\nu) = \frac{1}{\sqrt{\pi}} \exp\left[-\left(\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_D}\right)^2\right] \cdot \frac{1}{\Delta\nu_D} \quad (10)$$

$\Delta\nu_D$ 은 도플러폭이며 FWHM는 반치폭이다.

$$\Delta\nu_D = \sqrt{\frac{2kT}{M} \frac{v_0}{c}} = \frac{FWHM}{2\sqrt{\ln 2}} \quad (11)$$

미약하게 주파수에 의존하는 부분을  $g_0$ 로 요약하면 이득  $g(\nu)$ 은 다음과 같다.

$$g(\nu) = \gamma(\nu)l = g_0 \exp\left[-\left(\frac{\Delta\nu}{\Delta\nu_D}\right)^2\right] \quad (12)$$

이득인 경우, 방사전송방정식으로부터 직사광  $I_D$ 와 반사광  $I_R$ 의 광강도비  $I_R/I_D$ 는 다음과 같다.

$$\frac{I_R}{I_D} = \frac{2 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{(2g_0)^{n-1}}{n! \sqrt{n}}}{\sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_0^{n-1}}{n! \sqrt{n}}} - 1 = \frac{2R(2g_0)}{R(g_0)} - 1, \quad (13)$$

$$R(g_0) = \sum_{n=1}^{\infty} \frac{g_0^{n-1}}{n! \sqrt{n}} = 1 + \frac{g_0}{2\sqrt{2}} + \frac{g_0^2}{6\sqrt{3}} + \frac{g_0^3}{24\sqrt{4}} + \dots \quad (14)$$

$|g_0| \ll 1$ 인 경우에는 다음의 식으로 요약된다.

$$\frac{I_R}{I_D} = 1 + \frac{g_0}{\sqrt{2}} \quad (15)$$

식 (13)은  $g_0 > 0$ 이면 이득을,  $g_0 < 0$ 에서는 흡수를 나타낸다. 광강도비는  $g_0$ 의 함수로 계산된다. 즉, 방사선 중심에서의 이득  $g_0$ 은 광강도비  $I_R/I_D$ 의 측정으로 결정된다.  $g_0 \ll 1$ 의 가정하에서 소신호이득  $g_0$ 은 식 (15)에 따라 다음과 같이 주어진다.

$$g_0 = \left( \frac{I_R}{I_D} - 1 \right) \sqrt{2} \quad (16)$$

$g_0 \ll 1$ 인 큰 음의 값에서는 광강도비  $I_R/I_D$ 는 지극히 작은 변화를 보여준다. 예를 들어 부정확한 측정치의  $I_R/I_D$ 에서는  $g_0$  값은 크게 표시된다. 이는 강한 흡수를 보이는 분광선에 대해서는 특히 고려되어야 한다.

### 4. 귀환광방식의 이론

본 연구에서는 특수하게 설계된 레이저방전관을 사용하였다. 여기에서는 유효광의 길이가 두 배로 된다. 기본이론은 레이저방전의 자체광이 스스로 귀환하여 되먹임 되는 것이다. 그림 1은 귀환광방식으로 유효흡수계수를 결정하는 측정이론을 표시하고 있다. 그림에서 레이저방전관이 영상광학부와 귀환광학부 사이에 위치한다. 방전중심축이 곧 광축이다. 방전축을 따라 방출되는 빛은 균질하며, 레이저관 중앙에 대칭이라는 가정하에서 방출되는 방전광  $I_D$ 는 레이저관의 양쪽끝에서 동일한 강도를 가지고 출발한다. 이 광은 귀환광학부의 렌즈  $L_R$ 을 거쳐 오목거울에 의해 방전플라즈마내부로 되돌아온다(그림 2). 이 때 플라즈마특성들이 이득 혹은 흡수를 나타낼 수 있다.

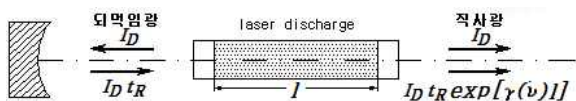


그림 1. 귀환광방식에 의한 광이득의 측정  
Fig. 1. Measurement of optical gain with feedback optical method

유효방전구간  $l$ 을 지나온 귀환광  $I_R = t_R I_D \exp[\gamma(v)l]$ 은 직사광  $I_D$ 와 함께 방전관을 떠난다. 이 때  $t_R$ 은 귀환

광학부의 전달정수이며  $\gamma(v)$ 은 주파수에 의존하는 이득계수이다. 귀환광의 경로를 초파가 주기적으로 차단하면 두개의 광강도 측정치가 분리되어 검출된다.

$$M_1 = I_D \quad (17)$$

$$M_2 = I_D + t_R I_R = I_D + t_R I_D \exp[\gamma(v)l] \quad (18)$$

귀환광학부의 전달정수  $t_R$ 를 알면  $M_2/M_1$ 의 관계를 이용하여 이득계수  $\gamma(v)$ 를 계산할 수 있다.

### 5. 광학시스템의 설계 및 배치

광학시스템의 구조가 그림 2에 나타나 있다. 방전관 및 광학소자들은 광학테이블 위에 설치되어 있다. 광축은 주대칭축이며  $z$ 축으로 간주한다.

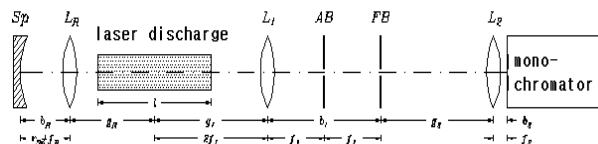


그림 2. 광학시스템의 구조  
Fig. 2. Structure of optical system

#### 5.1 영상광학부

영상광학부는 최대한 많은 빛을 수용하도록 최대공간각을 유지하여 방전공간을 가능한 크게 해야 한다. 또한 비균질한 방전영역은 가능한 차단해야 한다.

길이  $l$ , 반경  $R$ 인 방전중앙부 단면은 초점거리  $f_1$ 인 렌즈  $L_1$ 에 의해 시야조리개 FB의 평면에 최초의 상  $b_1$ 이 맺힌다. 시야조리개 FB는 영상광학부에 의해 채택된 방전중앙부의 직경을 결정한다. 시야조리개를 통과하는 빛은 단지 방전축에 대칭인 공간으로부터 방출되는 빛이다. 시야조리개의 직경은  $D_2 = 2b_1$ 이다. 렌즈  $L_1$  앞에는 직경이  $D_1$ 인 구경조리개 AB가 위치한다. 구경조리개의 역할은 측정에 필요한 방전의 최대개방각을 결정하는 것이다.  $z$ 축을 따라서 방출되는, 측정에 사용되는 모든 방전구간은 영상광학부에 의해 동일한 개방각으로 받아들여지는 것이다. 최대개방각보다 더 큰 각도로 방출되는 빛은 방전모세관에서 그 강도가 약해지거나 구경조리개에 의해 차단된다. 이로써 전체 방전관길이를 따라 동일한 공간각 안에서

방출되는 빛이 받아들여진다.

시아조리개의 상  $b_1$ 은 렌즈  $L_2$ 에 의해 모노크로메이터의 입구에 투영된다. 여기에 맺히는 상을  $b_2$ 로 한다. 영상광학부가 받아들인 모든 빛이 모노크로메이터 내부로 도달하도록 입구를  $2b_2$ 로 개방한다. 시야조리개의 상이 가능한 작게 모노크로메이터의 입구에 맺힐 수 있도록 초점거리가 짧은 렌즈  $L_2$ 를 채택하였다.

영상광학부는 다음의 경계조건들을 고려하여 설계하였다. 1) 렌즈의 배치는 초점거리  $f_1$ 과  $f_2$  그리고 방전중앙부와 모노크로메이터 간의 고정거리  $D$ 에 의해 결정된다. 2) 상의 크기  $b_2$ 는 최소가 되어야 한다. 이로써 모노크로메이터의 분해능이 최대가 된다. 3) 조리개에서 빛의 굴절에 의한 영향이 상에 미치지 않도록 조리개의 직경은 0.9[mm] 보다 작지 않아야 한다. 4) 굴절의 영향을 무시할 수 있는 조리개의 직경은 빛의 파장이  $\lambda=200$ [nm]에서 0.75[mm] 와  $\lambda=800$ [nm]에서 1.20[mm] 사이에 놓여 있다. 5) FB의 상이 최소로 되고 입구 또한 작게 유지될 수 있도록 상의 거리  $b_2$ 는 가능한 짧게 해야 한다. 6) 대물거리  $g_1$ 는 방전중앙부와 부루스터창문 간의 간격보다 더 짧으면 안된다. 렌즈  $L_1$ 이 방전관내부에 위치될 수 없기 때문이다.

자외선영역의 측정을 위해 UV색지움렌즈를 사용하였다.  $L_1$ 은 결정질의 석영과 불화칼륨의 이중색지움렌즈로서 초점거리는  $f=400$ [mm]이다.  $L_2$ 는 초점거리  $f=30$ [mm]인 삼중의 석영색지움렌즈이다. 광학부의 미세조정에서 명확한 회절무늬를 얻을 수 있도록 두께 0.04[mm]의 강철판으로 된 조리개를 제작하였다. 구경조리개의 직경은  $D_1=0.98$ [mm]이다. 구경조리개는 다음의 식으로 개방각을 결정한다.

$$\alpha = \frac{D_1/2}{f_1} \quad (\tan \alpha \cong \alpha, \quad \alpha \ll 1) \quad (19)$$

본 연구에서의 개방각은  $\alpha \cong 1.25 \cdot 10^{-3}$ 이다. 시야조리개의 직경은  $D_2=0.96$ [mm]를 선택하였다. 이로써 측정에 사용되는 방전중앙부의 직경이 결정되었다.

## 5.2 귀환광학부

귀환광학부에 대한 요구사항은 다음과 같다. 방전관

에서  $-z$ 방향으로 방출되는 빛은 방전매질과의 상호작용을 무시할 때,  $+z$ 방향으로 방출되는 빛의 방사밀도 분포가 감소될 만큼 플라즈마 내부로 반사되어야 한다. 이러한 요구는 초점거리  $f_R$ 인 렌즈  $L_R$ 와 곡률반경  $R_{Sp}$ 을 가진 구면경  $S_p$ 을 배치함으로써 충족되었다.

렌즈와 구면경 사이에는 귀환경로를 주기적으로 차단하는 초퍼를 배치하였다. 렌즈는 이중의 UV색지움렌즈를 사용하였다. 색지움렌즈의 재질은 복굴절과 광학적 영향에 낮은 반응을 나타내는 불화칼륨의 비결정질석영으로 이루어졌다. 구면경은 유리에 알루미늄이 증착된 불화마그네슘 보호층을 입힌 것이다. 구면경 바로 앞에 보조조리개를 설치하여 매 측정시에 거울의 동일한 표면을 사용할 수 있도록 하였다.

렌즈의 초점과 구면경반경의 중심은 늘 일치해야 한다. 이로써 방전의 영상이 정확히 1:1의 비율로 맺히는 것이 가능하다. 색지움렌즈의 초점거리는  $f_R=200$ [mm]이며 구면경  $S_p$ 의 반경은  $R_{Sp}=2f_{Sp}=150$ [mm]이다. 이때  $f_{Sp}$ 는 거울의 초점거리이다. 방전중앙부와 렌즈  $L_R$ 의 거리  $g_R$ 는 다음의 식으로 주어진다.

$$g_R = \frac{f_R^2}{2f_{Sp}} + f_R \quad (20)$$

이로부터 1:1 영상을 위한 거리  $g_R$ 는 466.7[mm]로 결정되었다. 이는 방전용기 길이의 절반이다. 렌즈  $L_R$ 와 거울  $S_p$  간의 거리는 정확해야 하며 재현될 수 있어야 한다. 귀환광학부의 영상척도는 광학소자 개별로 하지 않고 거울과 렌즈를 동시에 조정하였다.

## 6. 광학시스템의 미세조정 및 최적화

광학테이블 위에 방전관을 배치하고 광학소자들은 xy삼각레일 위에 설치하였다. 마이크로조정나사는 1[ $\mu$ m] 단위로 미세조정이 가능하다. z축 방향의 조정은 광축에 수직방향의 조정보다 엄격하지 않으므로 간단한 위치이동으로 조정하였다. 광축에 수직인 xy방향의 미세조정에서는 작은 오차에도 존재하지 않는 광이득이 나타나거나 훨씬 큰 흡수가 나타날 수도 있다. 그림 3은 광학테이블 위의 광학시스템의 구조와 He-Ne 레이저를 포함하고 있다. 미세조정 작업은 두

개의 He-Ne 레이저의 도움을 받아 진행하였다.

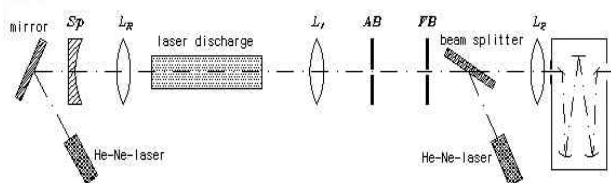


그림 3. 광학시스템의 미세조정을 위한 배치  
Fig. 3. Arrangement for fine adjustment of optical system

먼저 귀환광학부측의 반사거울로 He-Ne 레이저를 레이저방전관의 방전모세관을 통과시켜 모노크로메이터의 입구로 향하도록 설치하였다. 레이저방전관의 위치를 잡은 후, 순차적으로 시야조리개 FB, 구경조리개 AB, 렌즈 L<sub>1</sub>, 렌즈 L<sub>R</sub>를 xy방향의 미세조정을 하면서 배치하였다. 이때 모노크로메이터의 입구에 반사거울을 세워두고 매번 회절무늬를 감시하였다. 즉, 거울에서 반사된 레이저광을 광축으로부터 벗어나게 하여 방전관부근에서 종이스크린 위에 회절무늬영상이 나타나게 하였다. 뚜렷한 좌우동형의 동심회절무늬는 대상물들이 기하학적 정렬이 양호함을 의미한다.

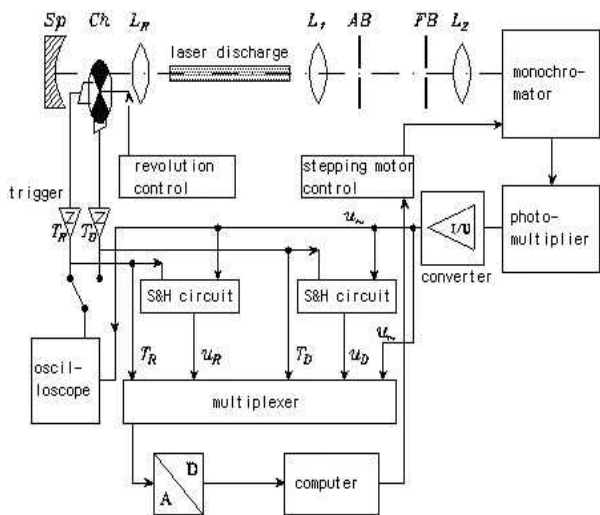


그림 4. 광이득측정시스템의 구성도  
Fig. 4. Schematic diagram of the optical gain measuring system

L<sub>2</sub>는 모노크로메이터의 입구를 열고 x, y, z방향으로 조정된다. 모노크로메이터의 시준거울 앞에 종이

스크린을 두고 레이저가 좌우동형의 회절무늬를 만들어야 한다. 이때 입구는 약 40[μm]로 개방하였다. 이어서 입구를 다시 200[μm]로 열고 원형회절무늬가 종이스크린 위에 중심을 잡게 하였다. 렌즈를 미세조정하여 시야조리개의 영상이 더 이상 입구크기의 영향으로 수정되지 않을 때 까지 이 작업을 계속하였다.

귀환광학부의 되먹임거울 Sp에 대한 미세조정작업은 두 번째 He-Ne 레이저가 빔스플리터와 두 개의 조리개를 통과하여 이루어졌다. 되먹임거울에서 반사된 레이저가 빔스플리터와 L<sub>2</sub> 사이에 놓인 거울의 도움으로 광축을 벗어나 종이스크린을 향하게 하였다. 이때 최대 강도의 좌우동형인 동심회절무늬가 종이스크린에 나타나야 한다. 빔스플리터 제거 후, 초퍼를 되먹임거울의 곡률중심에 오도록 레일 위에 고정하였다.

### 7. 전체적인 분광 광이득측정시스템

전체적인 실험구조를 그림 4에 나타내었다. 방사광의 분광학적 분해는 Czerny-Turner구조를 가진 1[m] 길이의 모노크로메이터(McPherson Instruments Typ 2051)에 의해 일어난다. 회절격자는 100×100[mm] 크기에 [mm] 당 1200개의 선이 그어져있다.

귀환광학부의 초퍼에는 방사에 필요한 구멍 옆에 두 개의 보조구멍이 있는데 이는 그때 마다 적외선광차단기를 제어한다. 초퍼가 귀환광학부의 광경로를 개방하면 직사광과 귀환광의 합 M<sub>2</sub>=I<sub>D</sub>+I<sub>R</sub>가 광검출기에 도달한다. 차단하면 단지 직사광 M<sub>1</sub>=I<sub>D</sub>만이 검출된다. 적외선광차단기를 통해서 두 개의 트리거신호 T<sub>R</sub>과 T<sub>D</sub>가 생성된다. 즉, 차단된 귀환광학부에서 T<sub>R</sub>=0, T<sub>D</sub>=1, 개방된 귀환광학부에서 T<sub>R</sub>=1, T<sub>D</sub>=0.

측정이 이루어지는 동안에 정확한 위상을 2채널 오실로스코프로 검증하였다. 모노크로메이터에 받아들인 방사선의 광강도는 다음과 같다.

$$I = T_D M_1 + T_R M_2 \tag{21}$$

측정신호에 중첩된 잡음은 방전에서 방출되는 광방사의 변동에 기인한다. 잡음을 걸러내기 위해 최소 100회 이상의 평균값을 하나의 측정값으로 하였다.

광강도는 모노크로메이터의 출구의 s20 광캐소드를

가진 광전증배기에 의해 검출된다. 광신호 I는 광강도에 비례하는 전류값  $i$ 로 변환된다. 변환율이  $5 \cdot 10^4$ 에서  $5 \cdot 10^7$ [V/A] 사이인 I/U컨버터는 광전증배기의 출력전류를 전압  $\tilde{u}$ 로 변환한다.  $\tilde{u}$ 는 두 개의 트리거신호  $T_R$ 과  $T_D$ 를 통해 맞춰지는 두 개의 S&H회로로 주어진다. 트리거신호가 1(high)이면 S&H회로의 출력신호는 전압값  $\tilde{u}$ 에 동기된다(Sample). 트리거신호가 0(low)으로 되면 동기된 값은 유지된다(hold). 각각의 S&H회로의 유지시간 동안에 출력측의 전압  $u_R$ 은  $M_1$ ,  $u_D$ 은  $M_2$ 로 처리한다. 아날로그형태로 주어지는 신호는 트리거신호에 동기되는 승산기를 거쳐 A/D 변환기로 전송된다. 이 변환기는 홀드상태로 디지털 신호를 넘겨받아 컴퓨터로 보낸다. 컴퓨터는 신호로부터 측정치  $M_1$ ,  $M_2$  및 관계식 R을 계산한다.

$$R = \frac{u_R - u_D}{u_D} = \frac{M_2 - M_1}{M_1} \quad (22)$$

매번 측정전에 렌즈  $L_2$ 와 조리개 FB 사이의 광경로는 차단된다. 이때 측정된  $M_1$ 과  $M_2$ 는 나중에 실측정치에서 감산된다. 전체 측정 및 제어는 Turbo Pascal로 작성한 소프트웨어 'Batsamp'에 의해 이루어진다.

## 8. 결 론

기체레이저 혹은 금속증기레이저의 개발에 있어서 레이저의 발전과 레이저매질의 적절함을 탐색하기 위한 분광 광이득측정시스템을 개발하였다. 이 시스템으로는 원통대칭형 레이저방전에서 방출되는 방사선의 유효 광이득계수와 흡수계수를 계산해낼 수 있다. 본 광이득측정시스템은 광공진기를 설치하지 않고도 새로운 레이저천이를 찾는 연구에 투입할 수 있다. 또한 레이저발전이 없어도 운전과라미터들이 광이득에 어떤 영향을 미치는지 연구할 수 있다. 본 측정시스템에서는 기체방전에서 자체적으로 방출되는 빛이 유효 흡수계수 혹은 이득계수를 결정하는데 사용된다. 또한 귀환광학부를 사용하여 방전관의 한쪽 끝에서 나오는 방사광을 방전내부로 되돌려 보낸다. 되먹임된 빛은 직사광과 같이 영상광학부를 통과하여 모노크로메이터에서 분광학적으로 분해되고 이어서 광전증배

기에서 검출된다. 초퍼를 사용하여 귀환광학부를 주기적으로 차단함으로써 직사광과 되먹임광의 비교가 이루어지고 이어서 흡수 혹은 이득계수가 계산된다.

또한 측정시스템이 방사광강도를 물리학적인 단위로 계산함으로써 기체방전에서 방출되는 분광선의 순수한 광강도가 측정되어질 수 있다. 본 분광 광이득측정시스템은 기체레이저나 금속증기레이저 등 기체방전을 사용하는 레이저에 있어서 새로운 레이저매질을 탐색하거나 새로운 레이저천이를 발견하는데 투입될 수 있다. 본 시스템은 레이저개발에 소요되는 연구비용의 절약이나 소요시간의 단축 등에 효과적인 기여를 할 수 있을 것으로 기대한다. 따라서 향후 연구방향으로는 본 측정시스템을 사용하여 특정한 레이저매질에 대한 레이저발진을 사전에 확인하는 등 분광선의 광이득에 관한 연구를 계속하여 진행할 예정이다.

## References

- [1] 김병태, "레이저공학", 상학당, 2006.
- [2] N. Reich, J. Mentel, J. Mizeraczyk, "cw radio-frequency excited white-light He-Cd+ laser", IEEE J. Quantum Electronics, Vol. 31, No. 11, pp. 1902-1909, 1995.
- [3] S. T. Choi, "output characteristic of zinc vapour laser with capacitively coupled radio frequency excitation", J. KIEE, Vol. 22, No. 1, pp. 33-39, 2008.
- [4] S. T. Choi, "A study on output power characteristic of selenium vapour multiline laser using isotope helium and helium filter", J. KIEE, Vol. 18, No. 2, pp. 16-22, 2004.
- [5] R.J. Carman, D. Brown, J.A. Piper, "a self-consistent model for the discharge kinetics in a high-repetition-rate copper-vapor laser", IEEE J. Quantum Electronics, Vol. 30, No. 8, pp. 1876-1895, 1994.
- [6] G. Roll, J. Mentel: A system for fast measurement of optical gain in discharges, J. Phys. E : Sci. Instrum. 19, pp. 718, 1986. Peter R. Boyce, Human Factors in Lighting, 2nd Edition, Lighting Research Center, 2003.

## ◇ 저자소개 ◇



### 최상태(崔相泰)

1957년 8월 8일생. 1984년 영남대학교 전기공학과 졸업. 1992년 독일 Ruhr Bochum 대학교 전기공학부 석사과정 졸업(Dipl. Ing.). 1997년 동 대학원 박사과정 졸업(Dr. Ing.). 1998년~현재 경주대학교 전기에너지전자공학과 부교수.

현재 본 학회 대구경북지회 부회장.