



저작자표시-변경금지 2.0 대한민국

이용자는 아래의 조건을 따르는 경우에 한하여 자유롭게

- 이 저작물을 복제, 배포, 전송, 전시, 공연 및 방송할 수 있습니다.
- 이 저작물을 영리 목적으로 이용할 수 있습니다.

다음과 같은 조건을 따라야 합니다:



저작자표시. 귀하는 원저작자를 표시하여야 합니다.



변경금지. 귀하는 이 저작물을 개작, 변형 또는 가공할 수 없습니다.

- 귀하는, 이 저작물의 재이용이나 배포의 경우, 이 저작물에 적용된 이용허락조건을 명확하게 나타내어야 합니다.
- 저작권자로부터 별도의 허가를 받으면 이러한 조건들은 적용되지 않습니다.

저작권법에 따른 이용자의 권리는 위의 내용에 의하여 영향을 받지 않습니다.

이것은 [이용허락규약\(Legal Code\)](#)을 이해하기 쉽게 요약한 것입니다.

[Disclaimer](#)

공 학 석 사 학 위 논 문

Full Bridge 컨버터 방식을 사용한
35W급 CO₂ 마킹 레이저의
개발에 관한 연구

2012년 2월

부 경 대 학 교 산 업 대 학 원

전 자 공 학 과

류 세 훈

공 학 석 사 학 위 논 문

Full Bridge 컨버터 방식을 사용한
35W급 CO₂ 마킹 레이저의
개발에 관한 연구

지도교수 김 종 진

이 論文을 工學碩士 學位論文으로 提出함

2012년 2월

부경대학교 산업대학원

전자공학과

류 세 훈

이 논문을 류 세 훈의 공학석사
학위논문으로 인준함



주 심 공학박사 문 광 석 (인)

위 원 공학박사 최 영 식 (인)

위 원 공학박사 김 종 진 (인)

목 차

List of Figures	iii
Abstract	iv
1. 서 론	1
2. CO ₂ 레이저 원리	3
2.1 레이저 발진이론	3
2.2 CO ₂ 레이저 발진원리	5
2.3 CO ₂ 분자의 여기과정	8
2.4 GLOW 방전	9
3. CO ₂ 레이저 유형	12
3.1 공진기 방식	12
3.2 냉각 방식	13

4. 레이저 장치의 구성	18
4.1 공진기 시스템의 선정	19
4.2 고전압 전원장치의 설계	20
4.3 전원장치 및 스캐너 통합 제어부 설계	26
5. 연구결과 및 고찰	29
6. 결 론	39
참고문헌	40



List of Figures

그림 2-1 준위간의 에너지 차이에 의한 광자의 방출.....	3
그림 2-2 CO ₂ 분자의 진동모드.....	5
그림 2-3 CO ₂ 레이저의 진동 준위도.....	7
그림 2-4 전자의 에너지 변화에 따른 CO ₂ 의 단면적들.....	9
그림 3-1 저속 축류형.....	13
그림 3-2 고속 축류형.....	14
그림 3-3 횡류형.....	15
그림 4-1 CO ₂ 레이저 시스템의 전체 개략도.....	18
그림 4-2 35W급 CO ₂ 레이저 공진기 개략도.....	19
그림 4-3 입력회로.....	20
그림 4-4 전력회로(풀 브리지회로1).....	22
그림 4-5 전력회로(풀 브리지회로2).....	23
그림 4-6 128 x 64 GLCD 컨트롤 회로.....	27
그림 4-7 스테핑모터 회로.....	27
그림 4-8 F-theta 스캐너 렌즈.....	28
그림 5-1 발진주파수에 대한 IGBT 입력신호.....	29
그림 5-2 ShuntDown(Low Active)에 의한 IGBT 입력신호.....	30
그림 5-3 IGBT 입력신호 (Q1,Q4:적색 , Q2,Q3:황색).....	31
그림 5-4 부하 1K Ω 일 때, 출력신호.....	31
그림 5-5 부하 1K Ω 일 때, 입력신호(황색)에 대한 출력전압(적색)의 특성.....	32
그림 5-6 35W급 방전관 램프 부하의 1차 트랜스 출력신호.....	33
그림 5-7 35W급 방전관 램프 부하의 1차 트랜스 전류신호.....	33
그림 5-8 35W급 방전관 램프 부하의 2차 트랜스 전류신호.....	34
그림 5-9 PWM 제어신호.....	35
그림 5-10 PWM 펄스 입력에 의한 1차 트랜스 출력신호(PULSE모드).....	35
그림 5-11 PWM 펄스 입력에 의한 2차 트랜스 출력신호(PULSE모드).....	36
그림 5-12 PWM 펄스 입력에 의한 2차 트랜스 출력신호(CW모드).....	36
그림 5-13 실험장치의 프로그램.....	37
그림 5-14 실험장치의 구성도.....	38
그림 5-15 레이저 최대 출력 값 측정 및 출력그래프.....	38

A Study on the development of 35W level CO₂ Marking Laser
Using full bridge converter

Se Hun Ryu

Department of Electronic Engineering, Graduate School
of Industry Pukyong National University

Abstract

The purpose of the study is to develop a laser marking machine using the 35W level CO₂ Pyrex tube. This full bridge design has been developed as better solution than the traditional design. The study analyzed the voltage power unit, which controlled IGBT using KA3525 integrated circuit of pulse width modulation (PWM). High Voltage power unit has two modes of CW and PULSE. High voltage power unit controls the Laser output mode. Next CW(continue mode) and PULSE(pulse mode) are measured by energy meter. Mechanism of stepping motor and F- θ lens controls an actual laser marking. The following are specifications of stepping motor and F- θ lens. The size of laser marking unit is each 300 mm x 300 mm. because select product of focal length 50mm. Laser marking unit made by the study allows an optimum design program to print what we want. The study shows the possibility of printing a pattern with a simple shape of line and square.

The study can be used to make a better laser marking skill than the existed one. It can be commercialized through the future study.

Key Words : 35W level CO₂ Pyrex tube, Full Bridge, IGBT, CW(continue mode), PULSE(pulse mode), Energy Meter, Stepping Motor, F- θ Lens, A range of laser marking unit, focal length

1. 서 론

레이저(Laser)란 단어는 “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation”의 첫 글자를 따서 나타낸 단어로 그 뜻은 유도방출에 의해 증폭된 빔을 의미한다. 유도방출의 원리는 벌써 20세기 초에 아인슈타인에 의해 설명 되어졌다. 이후 수많은 이론 연구결과 1960년 처음으로 마이만(Maiman:휴즈 연구소)은 루비 레이저를 발명하게 되었다. 같은 해에 야반(Javan:벨 전화 연구소)은 첫 번째 헬륨 네온 레이저를 개발하게 되었다. 이는 오늘날까지 지속적인 성장과 더불어 과학기술, 산업기술, 의료기술 분야 등의 혁신적인 발전을 이루게 되는 시발점이 되었다.

CO₂레이저는 분자의 진동준위 사이에서 10.6 μ m의 적외선이 발진되며 연속발진으로 수십kW~수백kW에 이르는 높은 효율의 저출력 및 고출력을 얻을 수 있다. 이것을 이용하여 많은 분야에서 사용되어지고 있으며, 특히 90년대 초반 상용화가 이루어진 레이저 마킹 산업은 금속, 플라스틱, 세라믹, 유리, 목재, 섬유 등으로 그 범위를 확대하고 있다[1-2].

오늘날 상용화된 대부분의 마킹기 레이저 공진기는 RF방식의 모듈을 사용하고 있다. RF방식의 CO₂ 공진기는 Integrated style RF CO₂ 라고 불리며, 공진기를 발진하는 회로는 간단하며, 레이저 빔질 및 Beam Divergence 가 우수하여 레이저 안정성과 효율성이 높기 때문이다. 또한 냉각장치 또한 공진기 외부에 공랭식(Air-Cooled)으로 설치되어 소형화가 가능하다. 전원장치로는 1000W 정도의 DC 전압을 공진기에 공급하며 TTL PWM 펄스를 직접 공진기에 공급하여 손쉽게 제어할 수가 있다. 하지만 레이저 공진기가 상당한 고가이므로 사용자들에 대한 선택이 쉽지가 않다. 이에 같은 CO₂ 공진기 Type으로는 방전관에 레이저 매질가스를 혼합한 Tube type의 공진기가 Integrated style RF CO₂ 공진기를 대체할 수 있다. 이는 흔히 CO₂방전관 램프라고도 불리며 가격이 저렴하여 의료기기에 많이 사용된다. 하지만 공진기를 발진하는 회로가 아주 복잡하고, 레이저 빔질 및 Beam Divergence가 Integrated style RF CO₂에 비해 현저히 떨어진다. 수명 또한 1/3정도 밖에 되지 않는다. CO₂방전관은 Integrated style RF CO₂ 보다 단점이 많이 있

지만, 높은 효율의 전원장치의 개발과 냉각장치의 개선 및 간편한 스캐너 장치의 개발로 Integrated style RF CO₂ 공진기를 사용한 장비와 다를 바없는 장비를 개발할 수 있게 된다. 이는 사용자들의 구매 비용을 절감할 수 있으며, 레이저 마킹기를 저비용으로 상용화 할 수 있을 것이다[3-5].

본 연구에서는 35W급의 CO₂방전관을 선택하여 전원장치 및 냉각장치, 스캐너 장치를 설계하여 제작하였다. 종래에 사용되지 않았던 대 전력급 Full-bridge 방식의 컨버터를 방식을 채택하여 설계 하였으며, 라제이터를 사용한 냉각장치를 수냉식으로 구성하여 방전관 내부의 열을 제어 하였고 X, Y축 Stepping모터를 제어하여 레이저빔을 설정된 값에 따라 출력할 수 있도록 컨트롤 부를 제작 하였으며, 제작된 장치들의 설계 값과 고압장치와 제어부와의 출력특성을 조사하였다.



2. CO₂ 레이저 원리

2.1 CO₂ 레이저 발진이론

원자를 외부의 에너지원으로 자극하면 기저상태의 전자는 에너지를 얻어 보다 높은 에너지 상태로 여기 되지만 매우 짧은 시간 내에 다시 기저상태로 완화한다. 이때 전자는 두 에너지 준위의 차이에 해당하는 에너지를 전자파의 형태로 방출한다. 그림 2-1은 두 준위 사이의 에너지 차이에 의한 광 에너지 방출을 보여주고 있다. 이때 방출하는 광은 자연방출(Spontaneous emission)에 의한 광이다. 레이저 빛이 아닌 모든 빛은 이 과정에 의한 것이다. 자연방출에서는 근접한 원자 또는 분자끼리 아무런 영향이 없이 독자적으로 빛을 방출함으로서 이때 발생하는 빛은 위상이 제 각기 다르게 된다.

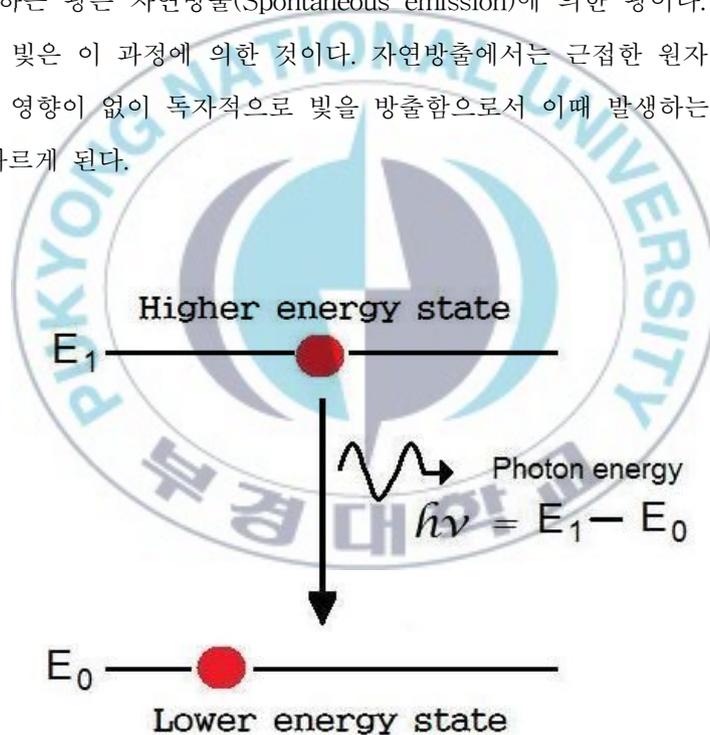


그림 2-1 준위간의 에너지 차이에 의한 광자의 방출

Fig.2-1 Emission of radiation from an atom by transition of an electron from a higher energy state to a lower energy state

$$E = h \nu \quad (2.1)$$

식 2.1에서 E 는 광자의 에너지이고, ν 는 진동수, h 는 플랑크 상수이다. 그러나 여기준위 E_1 에서 자연방출로 E_0 에 천이 할 경우, 두 에너지 준위의 차, $\Delta E = h \nu = E_1 - E_0$ 의 광이 그 여기원자에 닿으면 같은 진동수의 광을 방출하여 에너지 준위로 천이 한다. 이것을 유도방출(Stimulated emission)이라 한다.

$$\lambda = c / \nu \quad (2.2)$$

식 2.2에서 c 는 진공에서의 광속이며, λ 는 방출광의 파장이다. 외부의 자극 없이 발광을 일으킬 수 있는 자연방출과는 달리 유도방출은 반드시 자극을 가함으로써 생기는 발광현상이다. 그러나 반드시 보어의 진동 조건을 만족해야 하며, 그것도 완화시간 내에 진동수의 광이 도달하지 않으면 유도방출 되지 않는다. 따라서 E_1 의 상태가 지속될 수 있는 완화시간이 충분히 긴 준 안정준위(Metastable states)가 필요하다. E_0 의 원자에 진동수 ν 의 광 에너지를 가하면 그 광자를 흡수하여 원자는 E_1 상태로 여기 된다. 이것을 유도흡수(Stimulated absorption)라 한다. 결국 레이저 발진을 위해서는 하위레벨의 에너지 상태에서 상위레벨로의 여기과정과 유도방출을 얻는 광펌핑 과정이 필요하다. 원자에 에너지를 가하면, 하위 에너지상태의 전자 수가 상위 에너지 준위의 전자 수 보다 많다. 그러나 레이저의 발진을 위해서는 펌핑에 의해 상위 레벨의 전자수가 많아져야 하며, 이러한 상태를 반전분포(Population inversion)라 한다. 만일 상위 준위에 있는 원자나 분자의 수를 하위준위에 있는 것 보다 훨씬 많게 할 수 있다면 $h \nu$ 의 입사에너지를 주었을 때 $h \nu$ 의 광이 증강된다. 즉, 방출>흡수가 된다. 반전분포상태에 있을 때, 원자가 준위차 이 만큼의 빛을 내면서 상위의 들뜬 준위로부터 하위의 기저 준위로 옮겨지면 다른 들뜬 원자도 자극되어 위상이 고른 같은 파장을 가진 빛을 차례로 발생한다. 이 사이에 렌즈 두 개를 평행하게 놓으면 빛은 렌즈 사이를 반사하면서 계속적으로 왕복한다. 그 동안 차례로 유도방출이 발생하여 광이 증폭된다. 두 개의 평행한 렌즈는 유도방출을 일으킬 뿐만 아니라 빛의 정상파를 만들고, 이 조건에 맞는 빛만

을 증폭한다. 그 때문에 발생하는 빛의 파장은 선택되어서 하나로 된다. 이 때 두 개의 렌즈 중 한 개의 렌즈를 부분반사경을 사용하여 투과하도록 만들어 두면 두 렌즈 사이에서 증폭된 빛의 일부를 외부로 방출시켜 레이저를 발진시킬 수 있다 [11-13].

2.2 CO₂ 레이저 발진원리

일반적으로 원자들은 에너지를 얻거나 잃음에 관해서는 전자들의 천이에 따라 그 에너지 수가 일어나게 되지만 분자들은 서로 용수철을 사이에 두고 진동하는 것처럼 에너지를 얻으면 진동을 하게 되며, 회전 스펙트럼 또한 존재하게 된다[9].

CO₂ 분자는 선형으로 중심에 탄소원자를 두고 양쪽에 산소원자가 대칭을 이루는 구조를 하고 있다. 즉, O-C-O 형태를 가지게 된다. 또한 CO₂ 분자의 진동-회전 스펙트럼은 가장 낮은 전자에너지 준위에서 그림 2-2와 같이 세 가지 진동 모드를 가지게 된다. CO₂ 분자에서의 회전 스펙트럼은 레이저 작용에 영향을 미치는 경향이 극히 작기 때문에 무시되고 있으며 주된 관심사는 진동 모드에 있다.

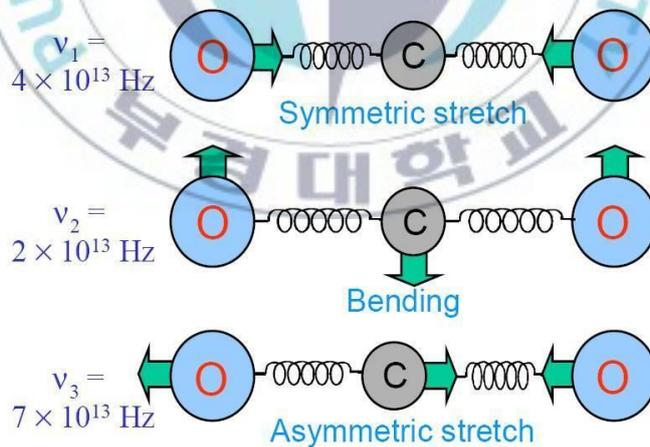


그림 2-2 CO₂ 분자의 진동모드.

Fig. 2-2 Normal vibrational modes of the CO₂ laser

탄소원자를 중심으로 산소원자들이 대칭으로 진동하는 대칭 신장모드(Symmetric stretching mode), 탄소원자와 산소원자들이 서로 반대 방향으로 움직여서 분자의

형태가 되는 굴곡모드(Bending mode), 두 개의 산소원자가 같은 방향으로 움직이고 탄소원자는 그와 반대로 움직이는 비대칭 신장모드(Asymmetric stretching mode)가 있다. 굴곡모드는 그림 2-2에서와 같이 면에 평행으로 운동하는 것과 수직으로 운동하는 것이 축퇴 되어 있다. 또 각 진동상태의 에너지는 양자화 되어있고, 그 분리되어 있는 값들은 정수 값이다. 어떤 순간에 CO₂ 분자는 이들 세 가지 기본 모드의 일차적인 조합으로 진동한다. 따라서 분자의 에너지 준위는 이들 세 가지 모드 수에 의하여 (n_1, n_2^l, n_3) 로 나타낸다. 여기서 괄호내의 n 으로 나타낸 숫자들은 CO₂분자의 각 진동 모드에 관련된 에너지 또는 양자의 수를 나타낸다. 즉, n_1 은 대칭형 진동의 진동수 $\nu_1(4 \times 10^{13} \text{Hz})$ 의 양자수, n_2 는 굽힘 진동의 진동수 $\nu_2(7 \times 10^{13} \text{Hz})$ 의 양자수 이다. 첨자 l 은 축퇴 진동의 양자화 값이다[11]. l 은 $n_2, n_2=0, n_2=4, \dots, 0$ 의 값을 가지는데 $n_2=0$ 이면 $l=0$, $n_2=1$ 이고 $l=1$, $n_2=2$ 일 때는 $l=2, 0$ 의 두 가지 축퇴 준위를 가지게 되며 l 값이 큰 쪽이 높은 에너지 상태를 나타낸다. 따라서, 에너지 준위는 $(0,0^0,0), (0,1,0), (0,1^0,0), (0,2^0,0), (0,2^2,0)$ 등으로 나타낸다. 일반적인 CO₂ 레이저의 발진은 $10.6\mu\text{m}$ 혹은 $9.4\mu\text{m}$ 의 파장을 가진 빛을 낸다. 여기서 $10.6\mu\text{m}$ 는 $(0,0^0,1)$ 에서 $(1,0^0,0)$ 로 천이이며, $9.4\mu\text{m}$ 는 $(0,0^0,1)$ 에서 $(0,2^0,0)$ 로의 천이이다. 이것은 그림 2-3에 잘 나타나있다. CO₂ 레이저에서는 레이저의 전반적인 출력과 효율을 증가시키기 위해서 능동 매질인 CO₂ 이외에 CO₂ 분자와 비슷한 용적의 N₂와 수배의 He 가스를 첨가시킨다. N₂ 분자는 $\nu=1$ 의 진동준위와 CO₂ 분자의 $(0,0^0,1)$ 의 진동 준위가 거의 비슷하기 때문에 N₂ 분자의 진동에너지가 CO₂ 분자에 전달되기 때문이다. 즉, N₂($\nu=1$) 진동 여기 상태로부터 기저상태에 있는 CO₂ 분자의 상위준위로의 선택적 여기는 매우 빠른 율로 생기게 되는데, 이는 N₂($\nu=1$)와 CO₂($0,0^0,1$) 사이가 아주 근접해 있기 때문이다[10]. 또한 N₂는 영구 쌍극자 모멘트가 제로이므로 기저 상태로의 붕괴가 불가능하기 때문에 N₂($\nu=1$)의 수명이 매우 길다. 이 공명전달은 N₂($\nu=1$)과 CO₂($0,0^0,1$)의 결합된 밀도를 필연적으로 평형 상태인 혼합 상태로 만들게 된다. 이러한 사실은 수 [Torr]의 압력을 부가함으로써 CO₂($0,0^0,1$)준위의 실제 수명을 두 배로 증가시킨다.

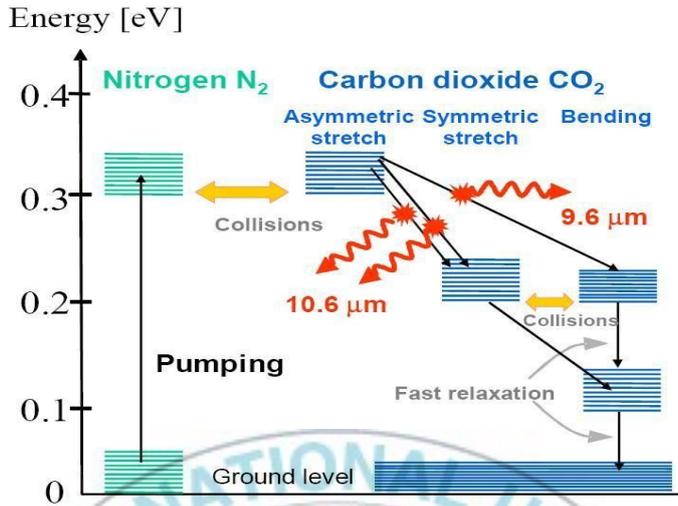


그림 2-3 CO₂ 레이저의 진동 준위도

Fig. 2-3 Vibrational energy level diagram of CO₂

질소를 첨가함으로써 Patel은 레이저 장치의 평균출력을 1 [mW]에서 11.9 [W]로 증가시킬 수 있었고, 직류 방전 전력을 적외선의 출력으로 변환시키는 효율도 3[%] 까지 얻었다. 레이저가 발전하는데 있어서 중요한 또 다른 사실은 He을 혼합 기체에 첨가하면 레이저의 출력과 효율이 더욱 개선된다는 점이 밝혀진 것이다. CO₂, N₂, He의 혼합 기체를 사용하면 레이저가 최고로 동작한다는 사실이 알려진 것이다. 지금까지 알려진 바로는 He은 열 전도성이 좋기 때문에 매질 내부의 열을 방전 Cavity 벽에 빨리 전달할 수 있으며 레이저 밀도 발전 유지에 큰 공헌을 한다. 즉, He은 기체를 냉각시켜 낮은 진동에너지 준위를 비우는 (Depopulation)것을 도와준다. 또한, CO₂ 분자가 효과적으로 여기 할 수 있는 적당한 범위에서 전자의 에너지 분포를 유지하는 매우 중요한 역할을 한다. N₂ 분자는 그림 2-3에서 보는 바와 같이 방전관 내에서 전자와 충돌하여 높은 에너지 준위로 여기 된다. 그 후에 여기된 N₂ 가스가 CO₂ 분자와 충돌하여 N₂가 지닌 에너지를 CO₂로 전달시킴으로써 CO₂ 분자의 상위준위 밀도를 증가시키는 역할을 하게 된다. 여기된 N₂의 에너지 준위는 위에서 설명한 것처럼 긴 수명을 가지고 있으며 N₂와 CO₂의 여기된 준위들 사이의 에너지가 거의 비슷하기 때문에 이러한 충돌과정은 매우 효율적이다.

그리고 He 원자는 레이저 하위준위인 (1,0⁰,0)에 있는 CO₂ 분자와 충돌하여 기저 준위로의 빠른 천이가 일어나게 함으로서 (0,0⁰,1)과 큰 밀도 반전 분포가 유지되도록 하기 때문에 레이저의 효율을 증가시키다[11-13].

2.3 CO₂ 분자의 여기과정

CO₂, N₂, He의 혼합 기체에서 전기 방전에 의한 기초적 펌핑 순서는 다음과 같다.

1. 모든 방전과 같이 전기적 Power는 전계에 의해 전자들에게 전달된다.
2. 전자들은 충돌에 의해 이 Power를 중성의 기체 분자들에게 전달한다. 이 Power는 다음과 같은 세 분야로 할당된다.

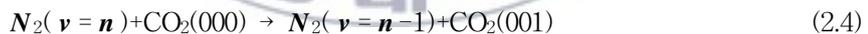
(a) Gas heating : 이것은 가벼운 전자와 좀 더 무거운 중성 기체들과의 탄성 충돌(Elastic collision)에 의하여 일어난다. 이 충돌은 대부분이 탄성적 이지만 이러한 충돌이 매우 많기 때문에 일부의 에너지는 가스의 온도를 올리는데 소모된다.

(b) 진동여기(Vibration excitation) : 이것은 비 탄성적 충돌이며 아래의 식들로 표현된다.

i) 상위준위(Upper state)



그다음으로



또는



ii) 하위준위(Lower state)



또는 CO₂(0 2⁰ 0)

또는 CO₂(100) = (e - K.E)

(c) 전자의 여기 및 이온화(Electronic excitation and ionization) : 방전을 유지하기 위해서 이온화는 필수적이지만, 그것을 위한 전기적 Power는 그림 2-4와 같이 방전에 있어서 보통 매우 작다[13].

3. 이론이나 실험으로 전기적 Power의 60%가 상위준위로 펌핑 하는데 쓰임을 보인다.

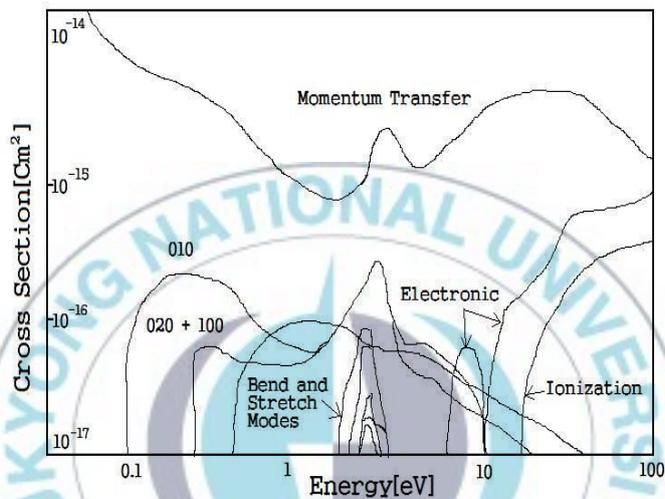


그림 2-4 전자의 에너지 변화에 따른 CO₂의 단면적들.
Fig. 2-4 The cross sections for momentum transfer and inelastic scattering for electrons in CO₂

2.4 GLOW 방전

기체를 채운 방전관내의 두 전극에 높은 전압을 인가하면 기체분자 및 원자들은 전기적으로 분해되어 전자-이온쌍을 형성하고 방전에 따라 GLOW가 발생한다. 방전에 의하여 내부 가스가 절연과피 되어 낮은 저항력을 가진 전도체로 변화한다. 이러한 변환이 일어나는 두 전극간의 전위차를 절연과피 전압이라 하고 가스, 전극 물질의 종류 및 전극간의 거리, 가스 밀도, 이온화 정도에 따라 다르게 나타난다.

가스의 분해로 양이온과 음 전하를 띠는 전자들이 생성되면, 전극들 사이에 생성되는 전기장이 양과 음으로 하전된 이온과 전자들을 각각 음극 및 양극으로 가속

화 되도록 한다. 방전관내의 방전 가스들과의 충돌과정을 통해 하전입자들이 더욱 생성된다. 이 지점에서 방전은 보통 절연과피 전압보다 낮은 방전유지(Self-sustaining) 전압이 지속된다.

음극은 음극광으로 뒤덮이고, 그로부터 양극 방향으로 Cathode zone, 음극 GLOW, 페러데이 암부가 계속되고, 양광주가 양극 가까이까지 이어지며, 양극은 양극광으로 뒤덮인다. 방전관에 가해진 전압의 대부분의 전압은 Cathode 암부에 걸리는데, 그 전위차를 음극강하라고 한다. 전류가 약할 때는 그것이 일정하게 유지되면서 GLOW 방전도 정상적으로 계속된다. 즉, 음극 가까이의 큰 전위차에 의해서 양이온이 가속되어 음극에 충돌 전리하여 방전이 지속되게 된다.

GLOW 방전이 시작될 때 전류의 증가는 음극 표면이 방전에 의해 단지 부분적으로만 덮였기 때문에 전류밀도를 변화시키지 못한다. 따라서 전압도 증가되지 않는다. 이 영역을 정상(Normal glow)라 분류한다. 전류가 점점 증가됨에 따라 글로우 방전은 결국 음극표면 전체를 덮게 되며, 이런 과정으로 증가하는 전류와 전압관계를 나타내는 방전을 이상글로우(Abnormal glow)라 한다.

1) Cathode zone : A-stone암부, 음극 GLOW(Cathode layer), 음극암부(Cathode dark space)가 이 영역에 속하며, 전극 간에 인가된 대부분(70~80%)의 전압이 분배되는 영역으로서, 음극표면에서 부 글로우 시작점에 이르는 부분으로 아주 분명한 경계층을 갖는다. 다른 영역에 비해 주위조건에 거의 영향을 받지 않아 독자적으로 존재한다. 특히, 양광주, 페러데이 암부, 부 글로우 모두가 사라져도 글로우 방전은 존재하지만, 음극 암부 없이는 글로우 방전은 존재 할 수 없다.

2) 음극 글로우(Cathode layer) : 음극 표면에서는 양이온 충격이나 광에 의해 음극표면에서 2차전자가 방출된다. 그러나 방출된 초기에 전자의 에너지는 낮은 상태에 있으므로 전자는 얇은 층의 공간전하를 형성 하게 되며 A-stone암부 층을 벗어난 전자는 이 부근에 형성되어 있는 양이온 공간전하에 의해 다소 가속되기 시작한다. A-stone암부를 곧 바로 벗어난 전자는 아직 속도가 느려 양이온과 재결합이 왕성 하게 되며, 이 재결합에 의해 방출되는 광자 때문에 눈에 보일 정도의 글로우가 음극 부근에 나타나는 영역이다.

3) 부 글로우(Negative glow) : 음극 암부 끝에 이르기까지 음극 강하 전계에 의해 가속되어 최고 에너지를 얻은 전자들이 도달하는 영역으로서 글로우 방전에서 가장 밝은 부분이다. 이 전자들은 부 글로우의 경계에서 비탄성 충돌 하게 된다. 그러나 전자들은 에너지가 너무 높기 때문에 비탄성 충돌 단면적은 높지 않으므로 여기 혹은 전리률은 낮다. 따라서 어느 정도 충돌 전리가 진행되어 전자에너지가 감소되면 비탄성 충돌 단면적이 커지므로 밝게 빛난다.

4) 페러데이 암부(Faraday dark space): 전자는 부 글로우 에서 충돌, 전리하여 전 에너지를 소비했기 때문에 속도가 늦어져서 페러데이 암부가 형성된다. 그러므로 이 암부는 부 글로우와 명확한 경계는 만들지 않는다. 여기서는 에너지가 적은 전자 및 이온이 높은 밀도로서 뒤섞여있어 플라즈마 상태이지만 발광이 없으므로 Dark plasma라고도 부른다.

5) 양광주(Positive column): 페러데이 암부를 벗어난 영역에서는 속도가 빠른 전자가 속도가 느리게 되어 전자들이 모이는 것과 같이 된다. 즉, 전자속도가 거의 없게 되므로 퇴물전자들의 집합을 이룬다. 이 퇴물전자군은 마이너스 전압을 형성 하게 되며, 이 마이너스 전압과 양극사이에 충돌전리는 어렵지만 여기 하는데 적당한 전압이 형성된다. 결국, 전자는 이 영역을 통과하면서 가속되고 충돌여기하면서 양극으로 진전한다. 양광주가 없어도 방전을 지속 할 수 있기 때문에 GLOW 방전에서는 중요하지 않으나 광원으로서는 중요하다.

3. CO₂ 레이저의 유형

3.1 공진기 방식

1) 안정형 공진기

안정형 공진기는 한 쌍의 오목렌즈 또는 한쪽은 평면렌즈로 구성되고, 레이저 빔은 부분반사경으로 출력된다. 이 공진기의 횡단면모드는 한쌍의 오목렌즈의 곡률반경과 공진기의 길이 및 오목렌즈의 구경으로 결정된다. 레이저 빔의 발산 각은 모드의 차수가 증가함에 따라 커지고, 또 빔을 집광한 경우의 최소 빔 크기도 발산각에 비례해서 커진다. 작은 빔의 직경이 요구되는 공정에서는 단일모드(TEM₀₀), 열처리 공정에서는 고차의 다중모드가 사용된다.

2) 링모드 공진기

전반사경 쪽에서 구성되는 불안정형 공진기로서, 빔의 발산 각은 빔의 외경과 내경의 비로 정해진다.

$$M = D/d \quad (3.1)$$

식 3.1에서 D 는 레이저 빔의 외경, d 는 내경이다. 빔을 집광하면 원거리 모형으로 불리는 중심에 집중한 강도 분포를 가진 형태로 변한다. M 의 값이 클수록 발산각이 작아지고 중심의 에너지 집중도가 커진다.

3) PURE 공진기(Phase unifying resonator)

전반사경은 오목렌즈, 볼록렌즈를 위상 통일 출력경으로 구성된 불안정형 공진기로서, 위상 통일 출력경은 반사방지와 부분반사 영역을 모두 가지고 있으며 부분반사 영역에서 반사된 레이저 빔은 이득매질에서 증폭되며 전반사경에 의해 모아져 다시 위상 통일 출력경으로 향하게 된다. 이러한 PURE 공진기를 이용할 경우 전형적인 불안정 공진기 보다 발산각을 줄일 수 있다.

3.2 냉각방식

CO₂ 레이저의 발전은 상위준위와 하위준위의 밀도 차에 비례하는데, 레이저 준위의 밀도는 이 준위로의 여기에 사용된 에너지 밀도에 비례한다. 하위준위의 밀도는 충돌과정에 의해 결정되고 그 밀도를 Boltzmann 분포로 근사화 할 수 있다.

레이저 매질은 상위 레이저 준위로의 여기를 위해 사용된 방전 에너지에 의해 가열되는데 밀도반전에 최적인 온도는 20~300℃이고 매질의 온도가 한계 온도 T_{cr} (500~600℃)를 넘으면 하위 레이저 준위의 열적 밀도증가에 의해 밀도반전이 소멸된다. 그림3-1, 2, 3는 CO₂ 레이저의 대표적인 세 가지 유형을 나타내고 있다.

1) 저속 축류형

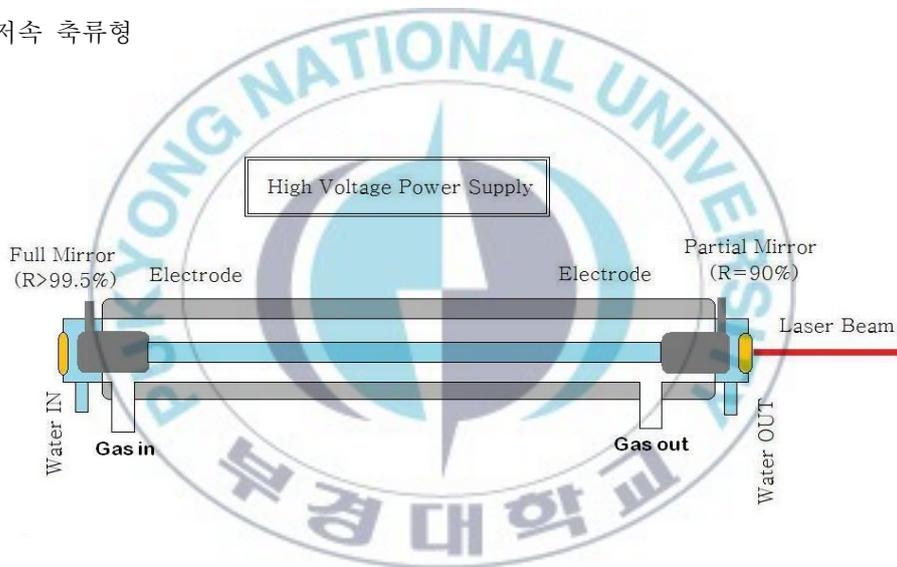


그림 3-1 저속 축류형
Fig. 3-1 Slow axial flow

원통형의 구조로서 방전은 종축 길이 방향으로 되어있다. 2중의 Pyrex 유리 방전관 내부에는 20[Torr]이하의 저압 레이저 매질이 있으며, 방전에 의한 냉각은 외부 Pyrex관으로 흐르는 냉각수로 이루어진다. 그림 3-1에 그 개념도를 나타내고 있다.

레이저 매질의 냉각은 방전관 벽으로의 분자확산(Molecular diffusion)에 의한다. 이 경우는 방전 플라즈마의 양극성 확산(Ambipolar diffusion)이 방전의 국부화를 막아 방전이 안정화된다.

기체의 순환은 플라즈마 화학반응에 의한 매질의 오염을 제거하기 위해 지속적으로 이루어지는데 촉매를 사용하여 매질의 오염을 제거하고 매질을 정지 상태로 두는 방식도 있다.

$$(jE) \text{ Cooling} \leq K(T_{opt} - T_w) / \Lambda^2 \quad (3.2)$$

식 3.2에서 j 는 전류밀도, E 는 전장의 세기, 열전도도 $K=C_v \rho D$ (C_v :정적비열, ρ :밀도, D :확산계수)이고 T_{opt} 는 적정 매질 온도(약 250°C), T_w 는 냉각관 벽의 온도, $\Lambda=(1/2.4)R$ 은 반경 R 인 원통에서 나가는 열 유동의 특성길이이다. 단위 길이 당 최대 출력은 위 식과 약 10%의 효율을 고려하면 50~60 W/m 정도이고, 최대 길이는 빛의 회절에 의해 수십 미터로 제한되어 3KW 이내의 출력을 보이고 있다.

2) 고속 축류형

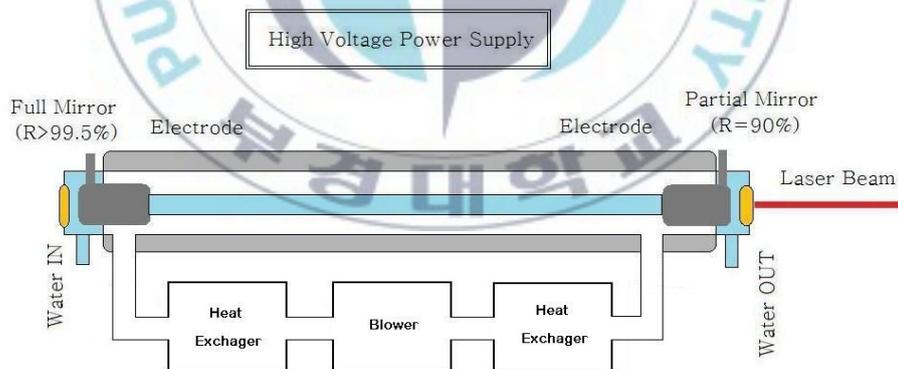


그림 3-2 고속 축류형
Fig. 3-2 Fast axial flow

축류 냉각형은 레이저 발진 매질의 흐름과 방전방향, 발진광축이 동일 축에 있고 고속으로 순환하는 매질에 의한 대류 냉각 방식으로 레이저 작용에 의한 열을 제

거한다. 그림 3-2에 그 개념도를 나타내고 있다. 레이저 가스의 압력은 약 50~100 [Torr]이며, 가스의 유속은 150~200 [m/s] 정도이다. 방전관의 단위 출력은 저속의 경우 약 10배(700W)에 이르지만 가스온도를 200~250 [°C] 이하로 억제할 필요가 있기 때문에 방전관 길이에 제한을 받는다. 또한, 매질의 난류형성에 의해 방전의 국부화를 감소시켜 입력 에너지 밀도를 증가시키는 방식이 시도되고 있으며 주로 0.5~2.5 [KW]의 Single mode 중간 출력에 적합하다. 전자의 방전관 벽으로의 확산에 의해 방전 안정화가 이루어지는데 이온화 및 열적 과정에 기인하는 방전의 국부적 불안정에 의해 입력 에너지 밀도가 제한된다.

$$(j E) \text{ Stability} \leq P D_a / S \Lambda^2 = D_{ao} P_o / S \Lambda^2 \quad (3.3)$$

식 3.3에서 P 는 압력 D_a 는 양극성 확산계수, D_{ao} 는 정상압력 P_o 에서의 확산계수, S 는 이온화율의 E/n 의 기울기에 의존하는 계수(약 10)이다. 최대 출력은 단위 길이 당 1 [KW]정도인데, 매질의 난류형성에 의해 방전의 국부화를 감소시켜 입력에너지 밀도를 증가시키는 방식이 시도되고 있다.

3) 횡류형

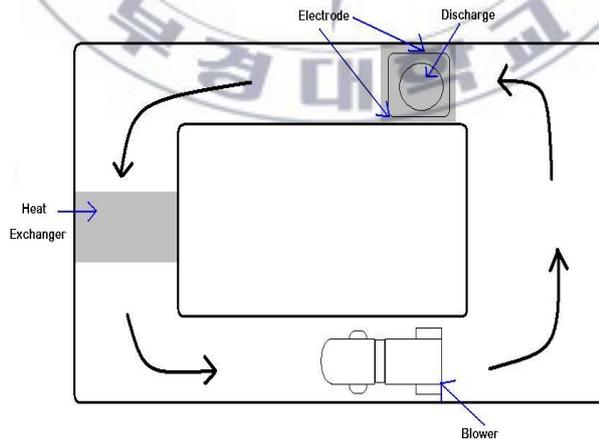


그림 3-3 횡류형

Fig. 3-3 Fast transverse flow

그림 3-3는 레이저 매질의 흐름 방향과 발진 광축이 수직으로 놓여있는 횡류형 CO₂ 레이저의 개념도를 나타내고 있다. 방전방향과 수직으로 흐르는 고속의 매질 (30~80 m/s)에 의해 대류 냉각이 이루어지는데, 이 경우도 최대 입력 에너지 밀도는 방전의 안정성에 의해 제한된다. 출력은 매질의 전체 유량에 비례하는데, 레이저 매질이 발진부에 머무는 시간이 축류형에 비해 짧기 때문에 보다 높은 출력을 얻을 수 있다.

대류냉각은 하위 레이저 준위의 열적 밀도를 감소시키고 여기 입력을 증가시킬 수 있게 된다. 확산 냉각과 대류 냉각을 비교해보면 τ_d 를 확산시간, τ_c 를 기체가 방전 영역을 통과하는 시간이라 할 때 다음의 관계가 있다.

$$\tau_d/\tau_c = \Lambda^2 M / L_d \lambda_g \quad (3.4)$$

식 3.4에서 λ_g 는 분자의 평균자유행정 거리, Λ 는 열 확산율을 결정하는 특성 길이 값으로 확산냉각 레이저의 경우는 Λ 가 방전관 반경 (1/2.4) R 이고 L_d 는 방전 영역의 길이, M 은 마하 수(Mach number)이다. 이것을 실제 레이저 가동 조건에 적용하면 대류냉각이 확산냉각에 비해 10~10배의 냉각 능력을 갖는 것을 알 수 있다.

기체가 방전 영역을 통과하는 시간 τ_c 는 방전의 안정성 면에서도 중요한 의미를 갖는데, 방전 시 불안정을 초래하는 음이온의 생성시간 τ_i (Instability)는 수 백 μ .sec이므로 $\tau_c = \tau_i$ 가 되면 높은 방전입력 상태에서도 안정된 방전을 유지할 수 있게 된다. 대류냉각형 레이저에서는 다량의 매질을 순환 시켜야 되는 단점이 있기 때문에, KW급 출력을 위해서는 20~50 [g/sec]의 순환이 필요하다. 그런데 매질 중 고가인 He의 경제성을 고려하면 전체 매질의 순환계를 폐회로 시스템으로 하는 것이 일반적인 경향이다.

레이저 방전부의 길이가 길어지면 시스템 설치공간의 확보와 안정된 동작에 문제가 있으며, KW급의 출력을 얻기 위해서는 확산 냉각형식으로 수 십 미터, 축류형 냉각형식으로는 수 미터의 길이가 필요한데 그렇게 되면 광축의 정렬이 어려워지고 지지대 등 기계적 안정성과 관련하여 온도변화에 따른 열 변형, 외부진동 등에

의해 적정한 출력 모드를 장시간 유지하기 어렵다.

횡류형 레이저의 경우에는 동일 출력을 얻기 위한 방전부의 길이가 짧아도 되므로 출력 안정성 측면에서 유리하다. 축류형의 경우는 횡류형 보다 길고 좁은 매질의 통로를 갖고 있으므로 음이온 형성과 가열에 의한 방전 불안정을 막기 위해서 매질의 고속순환이 필요하고 유로의 Conductance 등을 고려하면 고가의 루츠 펌프(Roots pump)가 필요하다. 이러한 횡 여기 방법은 흔히 TEA(Transverse excited atmospheric) CO₂ 레이저에 사용된다. 대기압 정도의 가스 압력을 높은 전압으로 펄스방전을 일으켜서 밀도방전을 얻으며 대 출력 펄스 에너지를 얻을 수 있다.



4. CO₂ 레이저 장치의 구성

그림4-1은 본 연구의 전체 시스템 개략도이며, 통합제어부와 공진기, 고압 전원부, 스캐너부로 이루어져있다. 통합 제어부는 사용자와 인터페이스 할 수 있는 모니터링 부분과 고압전원부의 펄스인가 및 Stepping 모터를 제어할 수 있는 부분을 담당하고 있다. 고압 전원부는 공진기에 필요한 고압전원을 통합제어부에 의해 공급한다. 스캐너부는 공진기의 출력을 받아 Stepping 모터부에 부착된 X, Y축 밀러를 통해 사용자의 원하는 출력을 얻을 수 있도록 설계되었다.

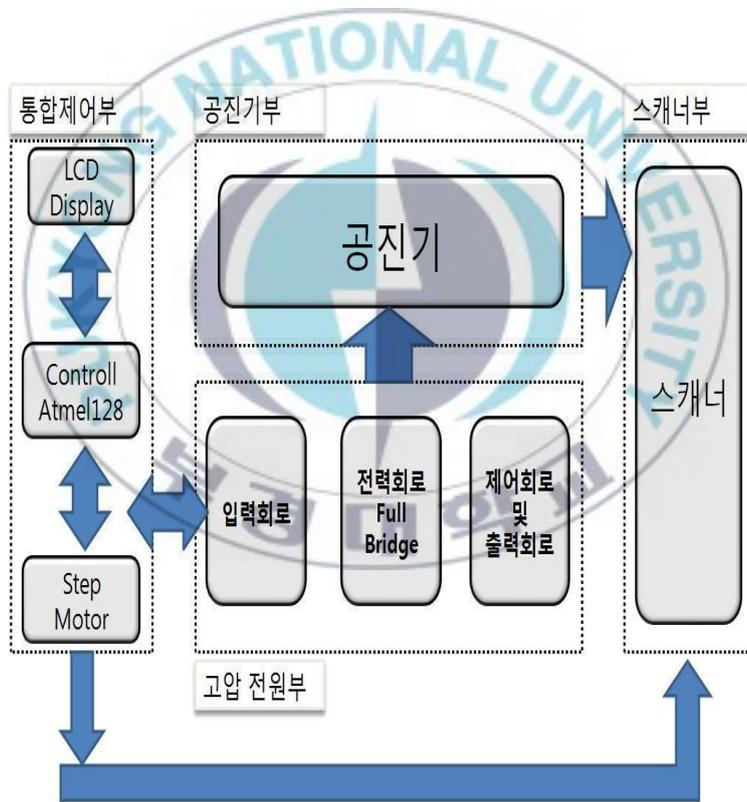


그림 4-1 CO₂ 레이저 시스템의 전체 개략도
 Fig. 4-1 The Schematic diagram of CO₂ laser

4-1 공진기 시스템의 선정

본 연구에서는 그림 4-1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과 plano-concave 공진기를 택하였다. 레이저 발진을 위한 전반사경은 열팽창계수가 작고 열전도도가 크며, 경도가 높은 직경 1.5inch, 곡률반경 10m, 반사율 99.5%인 몰리브덴 렌즈로 구성되었으며, 부분반사경은 발진 문턱치를 낮추기 위해 반사율은 90%이고 기계적 강도와 열전도도가 크며, 흡수계수가 적은 ZnSe(Zinc Selenide)렌즈로 구성되어있다.

레이저 방전관 외관으로는 L=800mm, R = 15mm, T = 2mm인 파이렉스(Pyrex)관이며 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은 $75\text{mm} \times \pi \times 64\text{m}^2$ 이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형의 음극과 침 모양의 양극을 방전관에 부착하여 만들어졌으며, 적극간 거리는 약 700mm이다. 방전관 외벽에는 연속 동작 시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30mm, 두께 2mm인 파이렉스관을 이중으로 제작되어 물순환 냉각 장치를 할 수 있는 제품을 선택하였다.

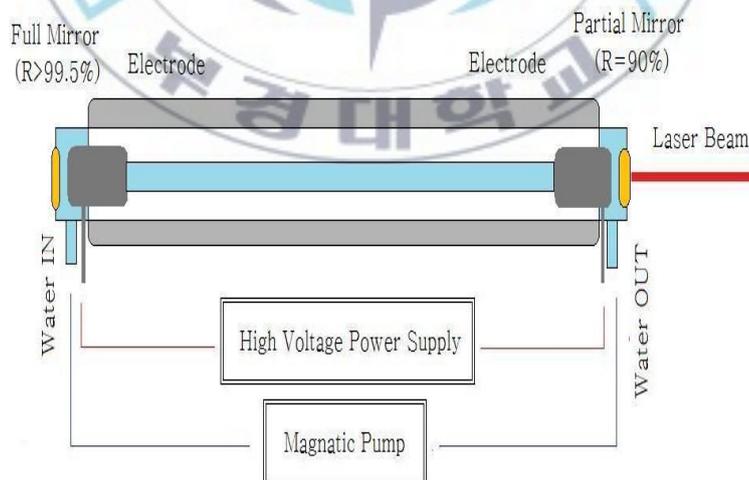


그림 4-2 35W급 CO₂ 레이저 공진기 개략도

Fig. 4-2 Schematic diagram of the 35W level laser resonator

4-2 고전압 전원장치의 설계

본 연구에서 선정된 방전관의 전기적 사양은 Triggering Voltage가 20KV이며, Operating Current는 20mA이다. 평균수명은 4000 Hour이 보장되는 제품이다. 따라서 방전관을 동작시키기 위해 고전압 전원장치는 설계는 다음과 같다.

1) 입력전압, 최대전류

210 ~ 230VAC, 1 \emptyset , 4A

2) 출력전압 전류

20KVDC, 20mA, 회로방식 : Full Bridge, 발진주파수 55KHz

3) 방전전류 제어방식

연속제어 : CW (PWM : Low signal)

펄스제어 : PULSE (PWM : 100ms, 10Hz)

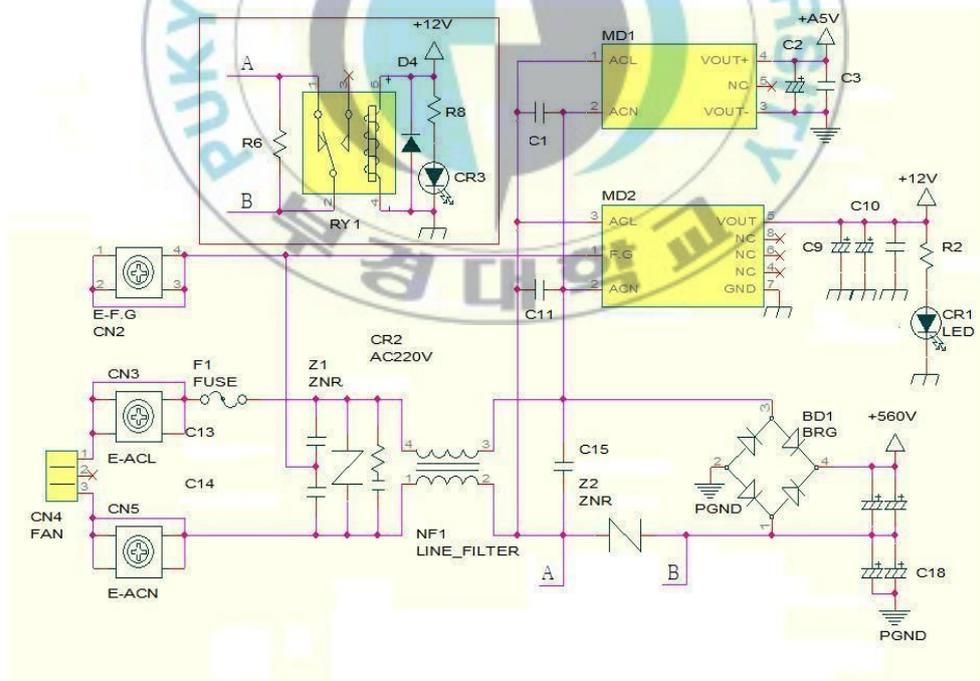


그림 4-3 입력회로

Fig. 4-3 Input circuit

그림 4-3는 실제 제작 설계한 고압전원부의 입력단이다. 스위칭 전원에서 발생하는 전도노이즈 및 복사노이즈를 저감시키기 위해 라인필터를 부착하였으며 y 콘덴서를 이용한 전원라인과 대지간의 노이즈를 바이패스 시킴으로써 common mode noise에 대한 제거를 대비하였다.

또한 스위칭 전원은 입력측 에서 정류 평활을 하는 콘덴서 입력 형이므로, 입력전원의 투입 시에 정류평활회로의 콘덴서에 입력전원 ON/OFF 스위치의 접점에 의한 돌입전류의 보호를 위해 A, B단자회로의 R6(5W-10Ω)을 통해 제한된다. 스위칭 레귤레이터는 1차 측에서 정류평활을 하는 콘덴서 입력이기 때문에, 전류의 위상이 앞서고, 입력전류 파고 값은 미터 관독(예측)의 전류값(실효값)보다 2~3배의 전류가 흐른다. 또한 입력의 ON/OFF시 돌입전류의 서지내량(I²t)을 고려하여 선정하지 않으면 안 되므로 입력퓨즈용량은 대략 다음과 같이 설정한다. 이때, K는 안전계수(1.5), P_{o(MAX)}출력전류, η는 효율(75~80%), e_{in(MIN)}는 입력전압의 하한 값이며, 역률은 90%로 용량을 설정한다[14-17].

$$I_{in(Fuse)} \geq K \times (P_{o(MAX)} \times 100^2) / (\eta \times \phi \times e_{in(MIN)}) \quad (4.1)$$

$$= 1.5 \times (1000 \times 100^2) / (80 \times 90 \times 210) \approx 9.9A$$

입력 평활콘덴서의 용량설정은 스위칭 레귤레이터의 정격 입출력에 있어서 입력 순간정전의 보증시간에서 정할 수 있다. t는 정격 입출력시의 순간보증시간(220V입력시 1Hz, 20msec), e_{in(MIN)}는 입력최저 보증전압(입력의하한), e_{in(NOM)}는 정격 입력전압이며 R = (정격입력시의 콘덴서의 인가전압)² / 입력전력 (R = 220² / 1000 = 48.4.Ω) 이다.

$$C \geq - t / (R \times \ln \times (e_{in(MIN)} / e_{in(NOM)})) \quad (4.2)$$

$$= - 20 \times 10^{-3} / 48.4 \times \ln (80/220) = 1620 \approx 1600 \mu F$$

(실제회로에서 820μFx2직렬사용)

그림 4-4는 PWM전용 IC인 KA3525를 사용하였다. 내부 회로는 오실레이터

(발진기)의 발진주파수에 동기 하여 톱니파를 발생시키는 발진기 출력은 콤프레이터의 입력에 접속되고, 전원의 출력전압을 오차 증폭기에 의해 검출된 신호와 비교하며, 전원의 출력변동에 따라 변조한다. 변조된 펄스폭은 오실레이터를 트리거로 하여, F/F에서 2상 분할된 신호와 AND를 잡아, 종단의 트랜지스터를 구동한다. 즉, 출력전압의 변동에 따라, 종단의 펄스 출력은 폭변조 됨으로서 펄스폭을 제어한다. 또한 IGBT 구동용 드라이버로는 IR2110을 2개를 사용함으로써 상반되는 신호를 IGBT입력하여 출력을 하드웨어적으로 안정성을 확보한 제어할수있도록 설계하였다.[17-19]

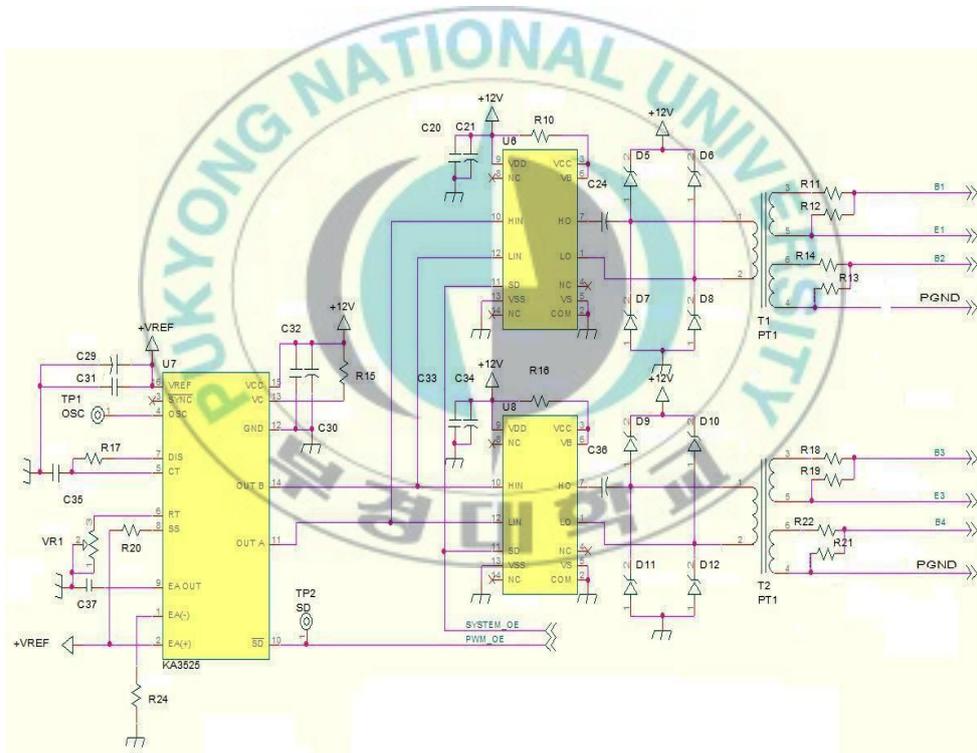


그림 4-4 전력회로(풀 브리지회로1)

Fig. 4-4 Power circuit (Full bridge circuit 1)

KA3525의 PWM발진주파수는 전체 시스템의 효율과 데드타임(Dead time)을 고려하여 55KHz로 세팅하였으며, 이때 6핀과 8번핀 설정에 있어 최대주파수범

위 $R_T=2K\Omega$, $C_T=470pF$ 설정 시 $400\sim 430KHz$ 이며, 최소 주파수 $R_T=200K\Omega$, $C_T=0.1\mu F$ 설정 시 $60\sim 120Hz$ 이다. 출력전류로는 $500mA$ 이하로 출력되며 $12V$ 가 펄스 트랜스로 출력되어 다음단인 IR2110 IC로 입력된다. 최대 듀티비 $45\sim 49\%$ 로 유지하며 /SD(shutdown) 문턱전압은 $0.7\sim 1.7V$, 입력전류는 $2.5V$ 일 때 $0.3\sim 1mA$ 으로 컨트롤에서 PWM 신호를 출력한다. IR2110은 동작전원범위는 $5\sim 20V$ 를 가지며 내부출력에는 토렘폴(Totem-pole)출력을 가진다. 출력전류는 $2A$ (I_{o+} 는 $V_{out} = 0V$, $V_{in} = 15V$, $PW<=10\mu s$ I_{o-} 는 $V_{out} = 15V$, $V_{in} = 0V$, $PW<=10\mu s$) 이다[20-21]. 그림4-5에 사용된 IGBT는 보다 높은 주파수에서 더 높은 전류밀도와 더 큰 효율성을 제공하기위하여 스위칭 및 전도 손실을 줄여주는 박막 웨이퍼 Field-Stop Trench기술을 사용한 소자이므로 본 연구에 스위칭 소자로 선택하였다. CPU에서 오는 MODE_RY 신호를 통해 스위칭트랜스의 2차측 권선비를 선택할 수 있도록 구성 하였다[20-22].

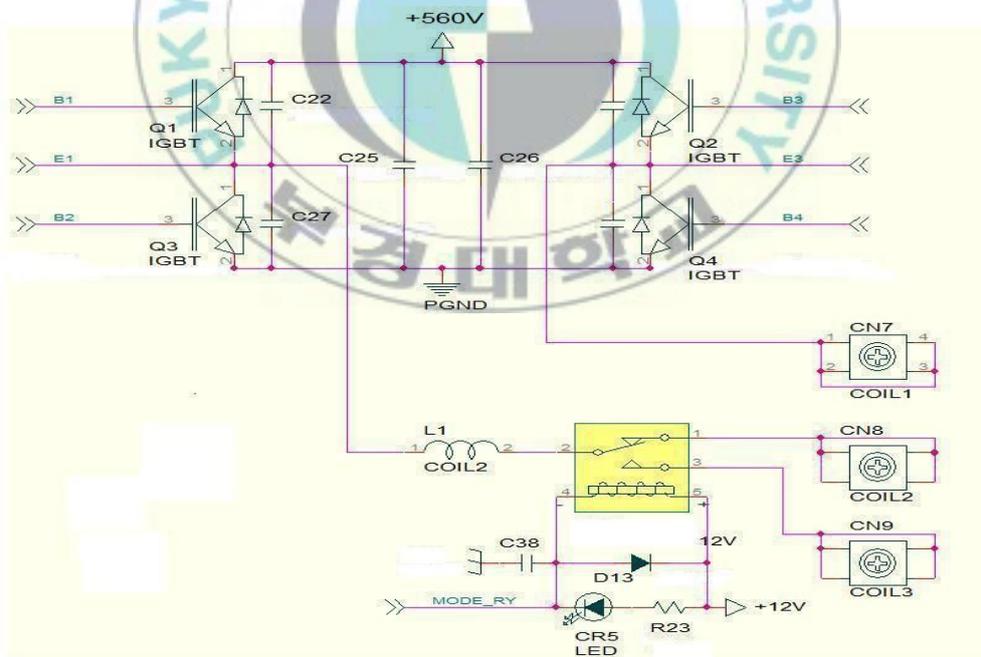


그림 4-5 전력회로(풀 브리지회로2)

Fig. 4-5 Power circuit (Full bridge circuit 2)

스위칭 트랜스 설계에 앞서 본 연구는 몇 가지 주의 점에 맞추어 설계를 하였다. 첫째, 입력전압의 상한, 출력전압, 전류의 최대에서 과부하까지 정적이며, 과도적으로도 코어가 포화하지 않는 범위내의 값을 선정 했으며, 둘째 입력전압의 하한, 출력전압 전류의 최대에서 출력 사양을 만족할 수 있는 권수비가 되도록 하였다. 셋째 입력전압의 상한, 출력전압, 전류의 최대에서 코일 및 코어가 필요로 하는 온도 상승값 이하 일 것과 다섯째 1차권선과 2차권선의 결합이 양호해야하며 이로 인해 야기 될 수 있는 누설 인덕턴스가 적게 설정하였다.

마지막으로 구조상, 필요로 하는 안전 규격상의 재료, 절연두께, 절연간격을 충분히 하였다. 따라서 스위칭 트랜스는 출력용량, 발진 주파수, 실장조건에 맞추어 코어크기와 권선 및 구조에 주의 하여야 한다. 우선 1차 권수 N_p 는 다음과 같다. $E_{(MAX)}$ 는 최대입력 직류전압, T_{ON} 는 switching transistor 도통시간($9.1\mu s = 1/55KHz \times 1/2$: Dead time 적용), ΔB 는 자속밀도의 변화($0.4mT$:범위는 $+B \sim -B$ 까지 $0.4mT \times 2$), A_e 는 코어의 실효 단면적(단면적 EI코아 $698mm^2$), 입력 210~230V, 출력20KV, 20mA 이다.

$$N_p \geq (E_{(MAX)} \times T_{ON}) / (\Delta B \times A_e) \quad (4.3)$$

$$= (2 \times 230 \times 1.414 \times 0.9 \times 9.1 \times 0.000001) / (0.8 \times 698 \times 0.000001)$$

$$\approx 9.5 \text{ 턴}$$

2차권선수 N_s 는 V_s 는 2차 권선의 단자 전압이다. $D_{(MAX)}$ 는 듀티 사이클 최대값, V_F 는 다이오드의 전압강화(1V), V_{LD} 는 쇼크 코일 등의 라인드롭(0.5V), 데드타임 (Dead time)은 $3\mu s$ 이다.

$$D_{(MAX)} \geq ((T/2) - 3) / (T/2) \quad (4.4)$$

$$= 20 - 3 / 20 = 0.85$$

$$V_s \geq (V_o + (V_F + V_{LD})) / D_{(MAX)} \quad (4.5)$$

$$= (20000 + (1 + 0.5)) / 0.85 \approx 23,531V$$

$$N_s \geq (V_s / V_{IN(MIN)}) \times N_p \quad (4.6)$$

$$= \{ 23531 / (2 \times 210 \times 1.414 \times 0.9) \} \times 9.5 \approx 418 \text{턴}$$

위와 같은 방법으로 차수별로 권선비를 결정하였으며, 1차권선과 2차권선의 누설 인덕턴스를 가급적 억제할 수 있도록 샌드위치 구조와 코어의 접합면에 갭을 넣어 파형이 정형이 되도록 하였다.

출력코일의 설정은 입력전압의 상한, 출력전류의 최소에가 되도록 하였다. 이것은 출력전류의 제한을 위한 설정이며, 펄스형 전원장치의 중요한 설계이다. 일반전원 장치에서는 슬로우스타트(Slowstart)구간이 20ms~300ms범위여서 입력신호에 의한 출력신호가 콘덴서에 의해 안정된 보상을 받는다. 하지만 펄스형 전원장치는 순간적 충·방전 요구에 의해 슬로우스타트(Slowstart)구간이 매우 짧다. 충전된 전압은 레이저로 방전해야 하므로 부하에 의한 급격한 전류의 인가는 소자의 파손과 불안정한 전원효율로 이어진다. 따라서 정확한 초크 코일 값의 설계로 소자들의 발열과 오버슈트의 입력 값을 제한하여 출력된 2차 전압을 안정되게 전류제한을 해야 한다.

최대 입력 전압 $V_{IN(MAX)}$ 에서의 2차 단자전압 $V_{S(MAX)}$ 는 출력초크의 입력측에 인가 되는 전압, V_O 는 출력전압, T_{ON} 는 스위칭주기, $D_{(MIN)}$ 는 듀티 사이클 이다[23-24]

$$V_{S(MAX)} = N_s / N_p \times V_{IN(MAX)} \quad (4.7)$$

$$= (418 / 9.5) \times 2 \times 210 \times 1.414 \times 0.9 \approx 23,521V$$

$$D_{(MIN)} \geq V_O / (V_{S(MAX)} - (V_F + V_R)) \quad (4.8)$$

$$= 20000 / (23521 - (1 + 0.5)) \approx 0.85$$

$T_{ON} \geq 10 \mu s$, 리플전류 i_L 을 출력전류의 30%p-p

$$\Delta i_L = 0.3 \times I_O \quad (4.9)$$

$$= 0.3 \times 20mA = 6mA$$

$$X_L = V / I \quad (4.10)$$

$$2\pi fL = 280 / I$$

$$L = 280 / 2\pi f \times I$$

$$= 280 / 2 \times 3.14 \times 9.1 \times 1000 \times 4 \approx 122 \mu\text{H}$$

2차측 정류 다이오드를 흐르는 전류의 최대값 i_{sp} 는 20%의 과부하 상태를 고려하여 IGBT의 사양을 결정한다.

$$i_{sp} = 1.2 \times (I_o + (\Delta i_L / 2)) \quad (4.11)$$

$$= 1.2 \times (0.02 + (0.006 / 2)) = 27.6\text{mA}$$

1차 전류의 최대값으로 i_{1p} 는,

$$i_{1p} = N_s / N_p \times I_{sp} = (462 / 10.5) \times 0.0276 = 0.16 \text{ 이다.}$$

IGBT는 FAIRCHILD사인 G80N60으로 선택하였다. 이는 $V_{CES} = 600\text{V}$, $V_{GES} = \pm 20\text{V}$, $I_c (T_c=25^\circ\text{C}) = 80\text{A}$ 의 사양을 가지고 있다[14].

4-3. CPU 제어부 및 스캐너부의 설계

그림 4-6은 본 연구의 Atmel 128 CPU 회로 및 그래픽 LCD 제어회로 이다. Atmel 128 CPU의 각 포트는 공진 주파수 조절을 위한 PWM 듀티비와 코일의 권선비 선택, 칩 셀렉션, 외부키 입력, LED 출력제어, LCD 입출력제어, Stepping 모터제어, 부저제어, ISP 통신제어, 외부 RS232 통신을 할 수 있도록 설계를 하였다.

그림 4-7는 Stepping 모터 제어회로이다. X축과 Y축을 제어함으로써 레이저 출력을 유도할 수 있다. Stepping 모터는 1 step에 1.8°의 각을 가지며 1-2여자상으로 신호를 제어하여 모터의 토크보다 스피드에 목적을 두어 프로그램 하였다.

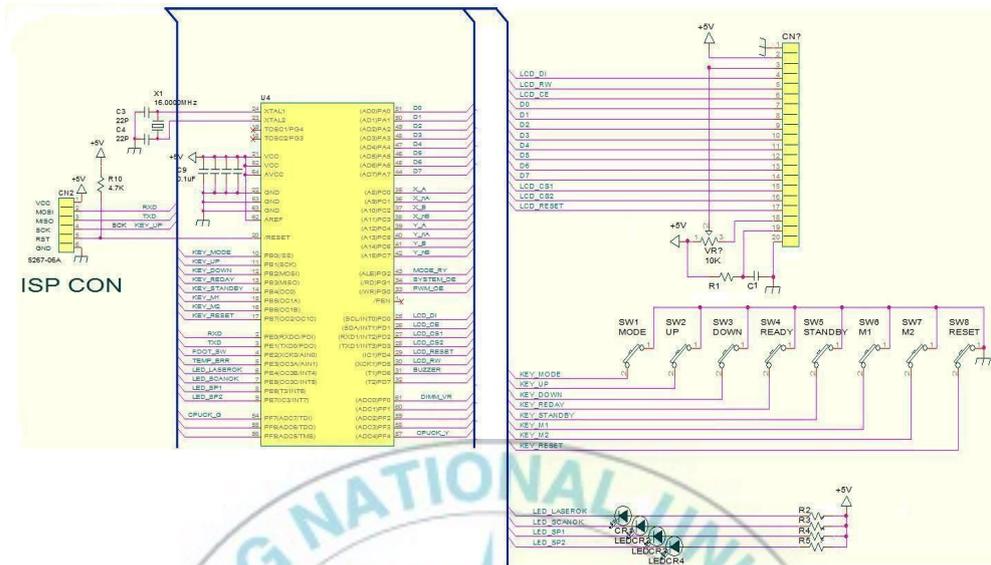


그림 4-6 128 x 64 GLCD 컨트롤 회로
Fig. 4-6 128 x 64 GLCD Control circuit

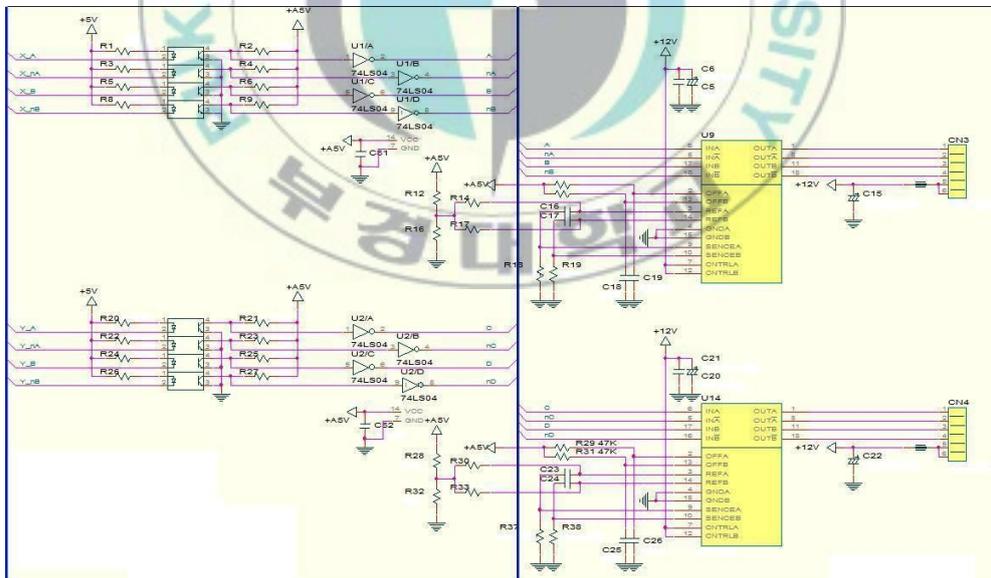


그림 4-7 스텝핑모터 회로
Fig. 4-7 Stepping motor circuit

그림 4-8은 레이저 출력 시 스캔범위 및 초점거리를 결정하여주는 F- θ 렌즈이다. 재질은 ZnSe이며 렌즈 직경은 25.4mm(1 inch), 두께는 2mm 이다. 초점길이는 50mm를 가지며 최대 300mm X 300mm 의 스캔범위를 가진다.

- single element made of ZnSe
- focal length : 50mm , scan field : 30x30mm
- lens dia : 25.4mm , edge thickness : 2mm

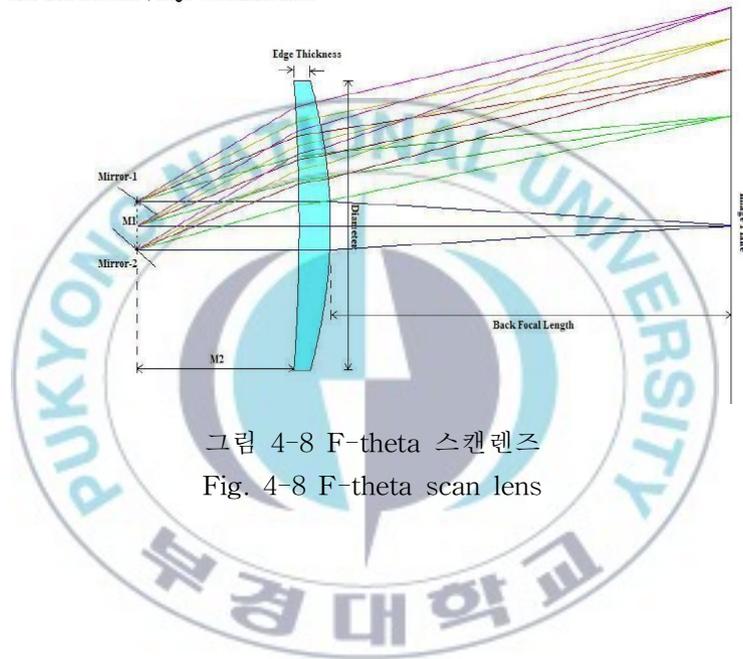


그림 4-8 F-theta 스캔 렌즈
Fig. 4-8 F-theta scan lens

5. 연구결과 및 고찰

본 연구에서는 35W급 CO₂ 방전관의 트리거 입력전압 20KV, 20mA의 조건을 만족시키는 Full Bridge 컨버터 방식의 고전압 전원장치를 설계하여 제작하였으며, 신호는 CW, PULSE 모드로 나누어 전원장치의 고압출력을 연속(Low Output) 또는 펄스(PWM)로 제어되는 출력특성을 조사 하였다. 본 실험에서 사용된 에너지측정기는 COHERENT사이며, 모델명은 3 Sigma이다.

그림5-1은 발진주파수에 대한 IGBT 입력신호이다. PWM IC KA3525의 발진주파수 75KHz (적색)에 대한 IR2110 IC의 출력신호(황색) 이다. 이때 발진주파수는 75Khz로 인가하여 전력부를 제외한 테스트를 거쳐 안정된 전력인가를 위해 IGBT 출력신호를 확인하였다.



그림 5-1 발진주파수에 대한 IGBT 입력신호

Fig. 5-1 IGBT Input Signal of Oscillator Frequency

그림5-2은 PWM IC KA3525의 /SD(shutdown)에 의한 IGBT 입력신호이다. 이때 5ms 이내로 출력파형의 신호이다. Low Active인 /SD(shutdown)신호에 의해

출력의 에너지가 결정이 된다. /SD(shutdown)신호를 컨트롤에서 다시 PWM화하여 CO₂전체 에너지를 결정하게 된다. 이것은 부하에 걸린 전압의 시간과 에너지에 비례적 관계이기 때문이다.

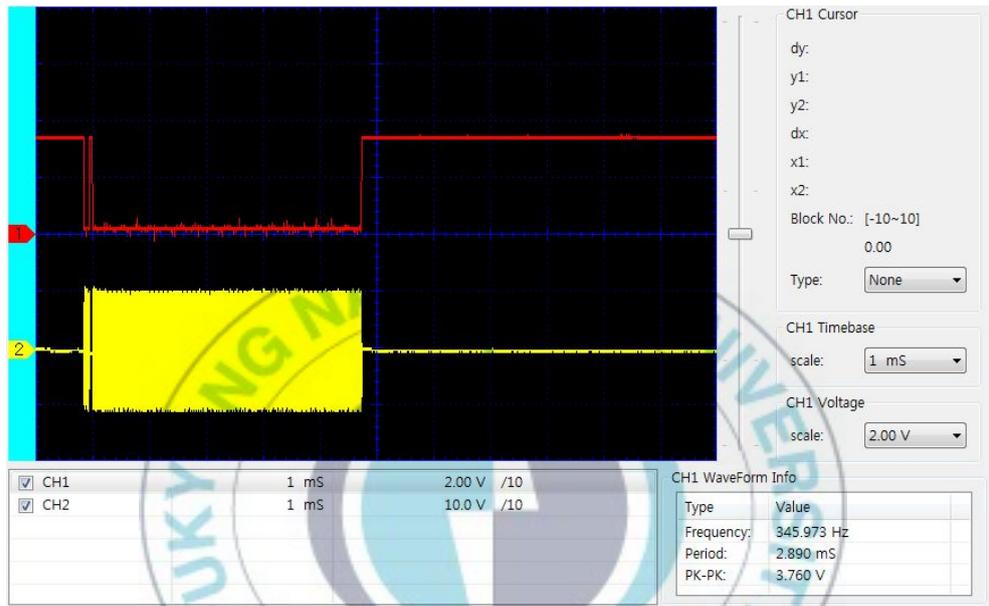


그림 5-2 ShuntDown(Low Active)에 의한 IGBT 입력신호
Fig. 5-2 IGBT Input signal of ShunDown (Low Active)

그림5-3은 IGBT 입력신호 입력파형이다. (Q1, Q4 :적색, Q2, Q3 : 황색) T_{ON} 시간은 37KHz이다. 회로적으로 Q1, Q4 :적색, Q2, Q3 : 황색의 신호의 개폐가 반대가 되도록 설계되었기 예기치 못한 상황에 대한 대처를 하드웨어적으로 방지할 수 있었다.

그림5-4은 부하 1KΩ일 때 출력파형이다.(Test Trans 1:2) 튜브의 부하를 결합하기 전에 저항의 부하를 통해 출력파형을 먼저 보았다. 이는 부하에 인가하였을 때 여러 가지 상황별 손실을 먼저 알기 위함이다.

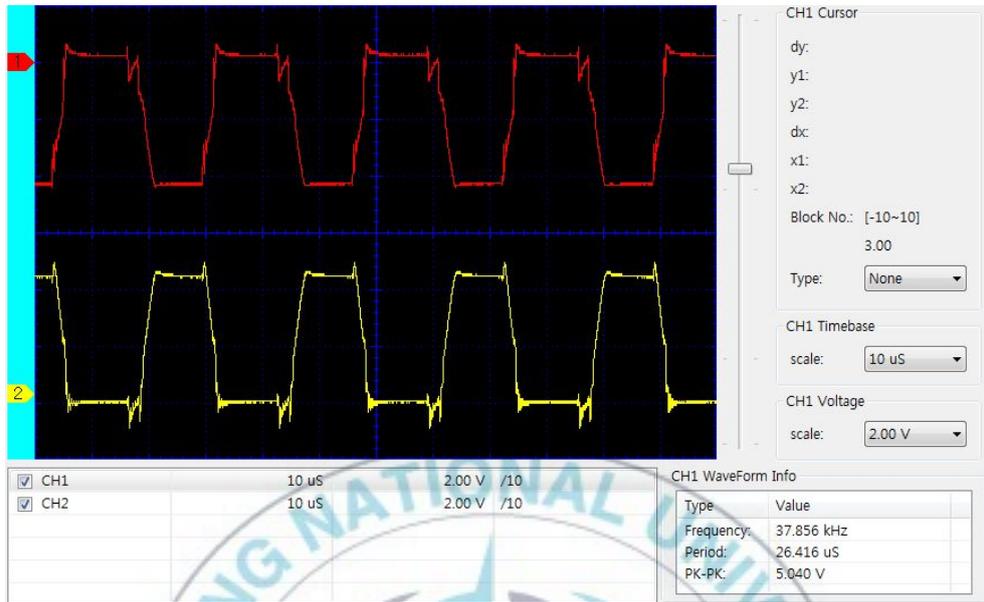


그림 5-3 IGBT 입력신호 (Q1,Q4:적색 , Q2,Q3:황색)
 Fig. 5-3 IGBT Input signal (Q1,Q4:Red , Q2,Q3:Yellow)

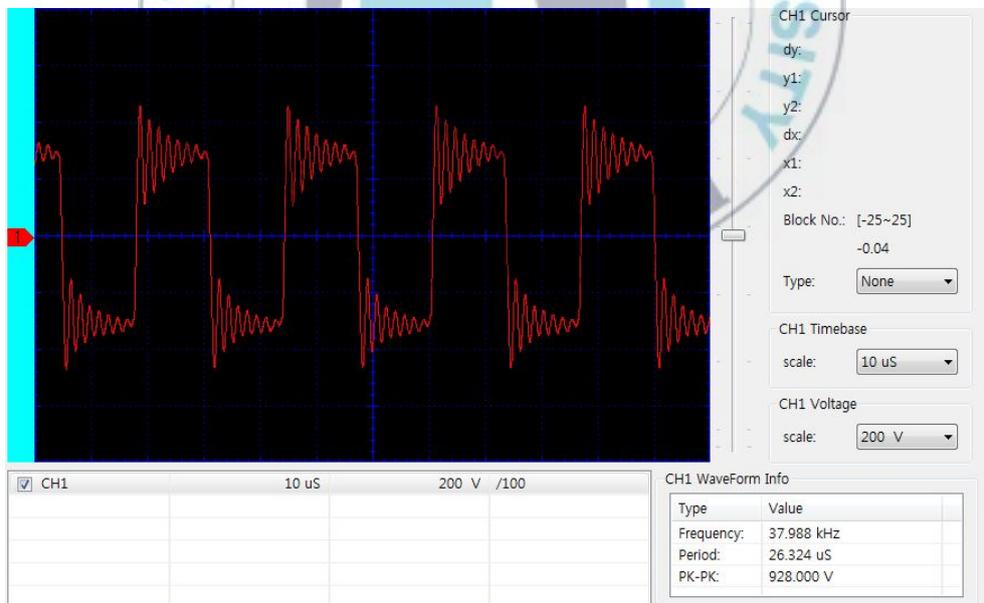


그림 5-4 부하 1KΩ일 때, 출력신호
 Fig. 5-4 Output signal of Load 1KΩ

그림5-5은 부하 1K Ω 일 때, IGBT입력신호(황색) 대 출력전압특성(적색)과형이다. 이것은 설정한 초크코일이 전류를 제한하고 있음을 보여준다. (Test Trans 1:2) 만약 전류제한을 하지 않았을 시 불필요한 열이 발생되어 소자의 손상 및 파괴를 가져올 수 있다. 최대한 안정된 효율을 설계하기위해 이 코일의 값은 중요하다. 연속 또는 펄스로 스위칭을 하기 때문에 불필요한 값이 부족하거나 추가되었을 때 발생하는 열로 인해 고압단의 정류부 및 트랜스 IGBT 소자의 파괴를 이룰 수 있다. 따라서 이 값을 계산하여 설정 후 반드시 실험으로 인한 코일의 값을 다시 설정하는 과정을 거쳐야 한다.

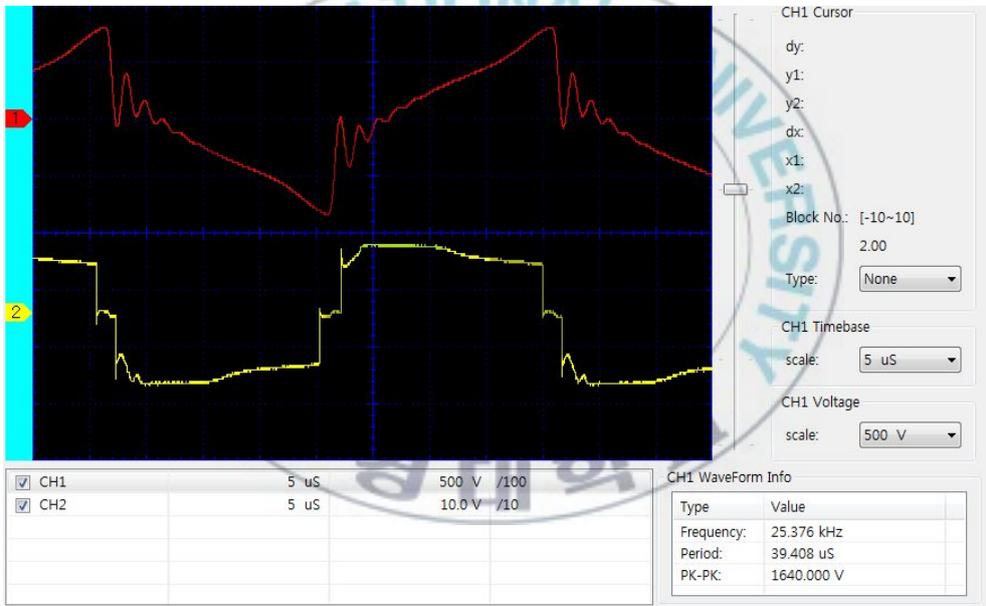


그림 5-5 부하 1K Ω 일 때, 입력신호(황색)에 대한 출력전압(적색)의 특성
 Fig. 5-5 Output signal (Yellow) characteristics of the input signal (Red),
 Load 1K Ω

그림5-6은 CW Low, 0V 일 때, 35W급 방전관램프 부하의 1차 트랜스 출력전압이다. 위과정의 실험이 마무리 되면 고압부에 방전관을 연결하여 출력을 확인한다. 이때 /SD(shutdown)을 연속적으로 개폐하여 최고점에 도달하는 방전관의 출력을 확인 할 수 있다.

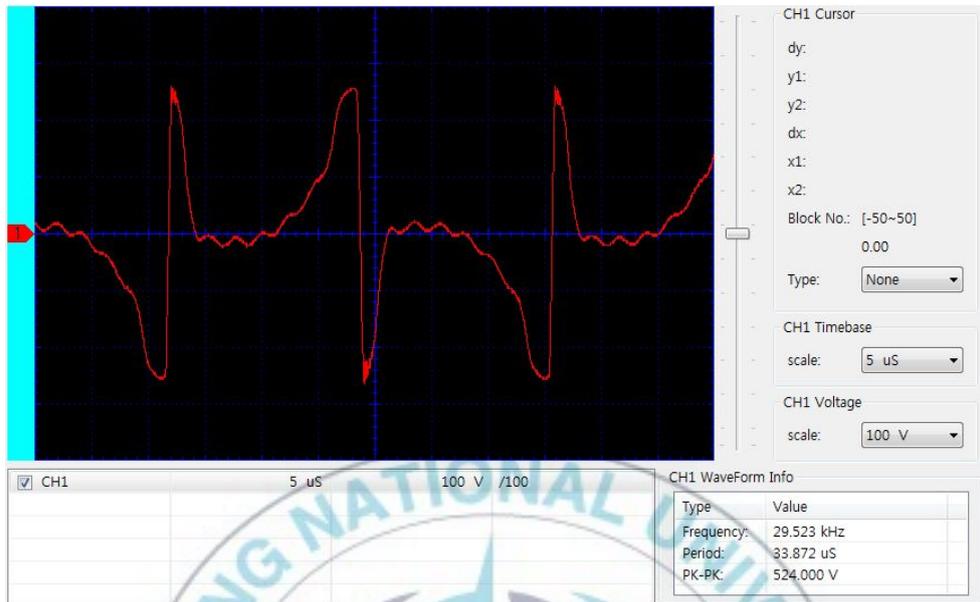


그림 5-6 35W급 방전관 램프 부하의 1차 트랜스 출력신호
 Fig. 5-6 Primary Trans output signal of 35W level Lamp Load

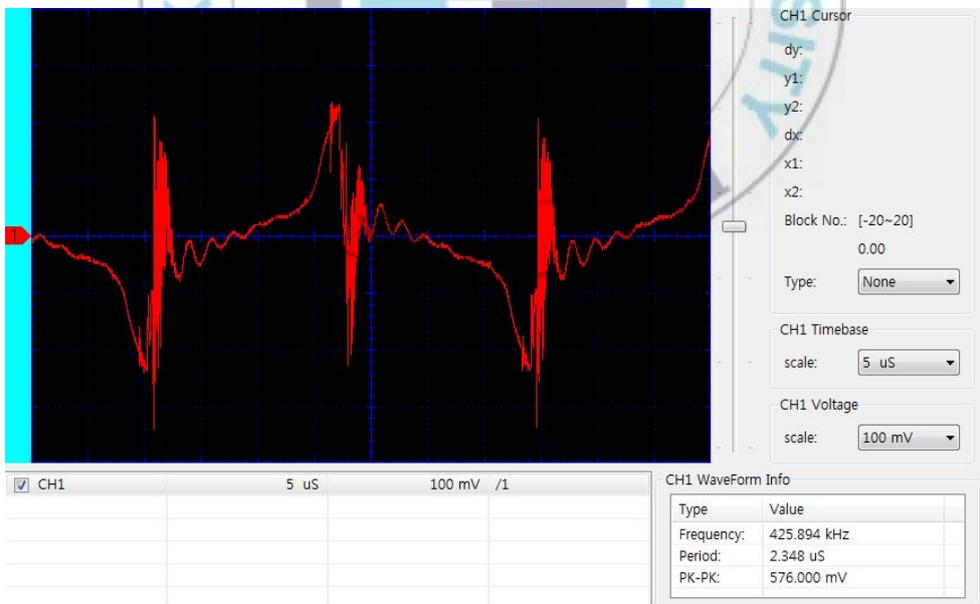


그림 5-7 35W급 방전관 램프 부하의 1차 트랜스 전류신호(선트저항:0.01Ω)
 Fig. 5-7 Primary Trans current signal of 35W level Lamp Load
 (Sunt 5W,F level ±1%, 0.01Ω)

그림5-7은 CW Low, 0V 일 때, 0V 35W급 방전관램프 부하의 1차 트랜스 출력전류파형(선트저항0.01 Ω 사용)이며, 그림5-8은 CW Low, 0V 일 때, 35W급 방전관램프 부하의 2차 트랜스 출력전류파형(선트저항0.01 Ω 사용)이다. 선트를 사용하여 전류를 측정하였다. 이는 방전관 램프에 인가되는 순간전류를 계산으로 이끌어내기 위함이었다. 수십A의 전류로 기동된 방전관의 동작을 확인 할 수 있었다.

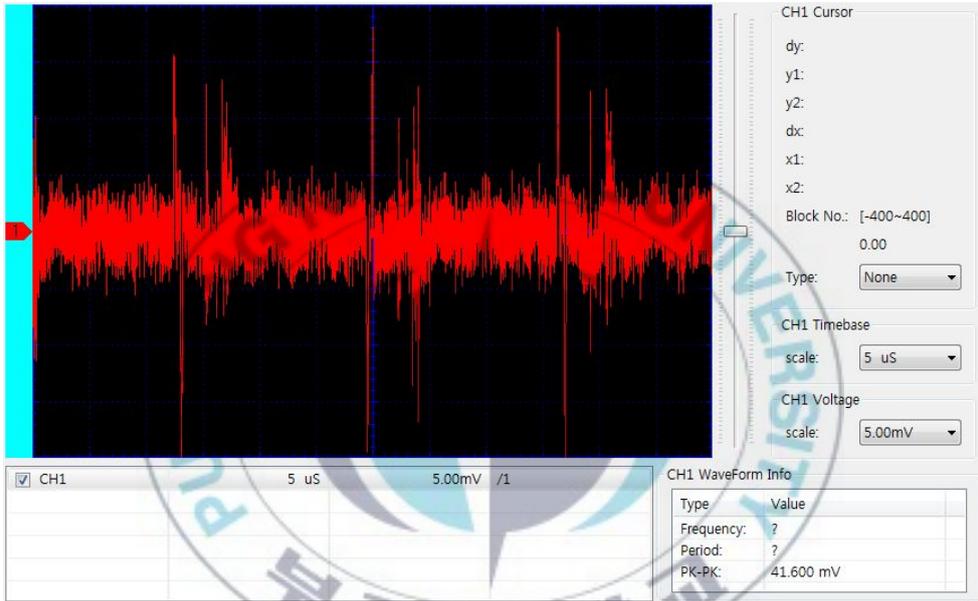


그림 5-8 35W급 방전관 램프 부하의 2차 트랜스 전류신호(선트저항:0.01 Ω)
 Fig. 5-8 Second Trans current signal of 35W level Lamp Load

그림5-9은 Pulse 100ms, 10Hz, 5V 일 때, 컨트롤러의 PWM 펄스제어신호이다(펄스모드)이며, 그림5-10은 Pulse 100ms, 10Hz, 5V 일 때, PWM펄스 입력에 의한 1차 트랜스 전압파형이다. CW때의 실험과 다름없이 /SD(shutdown)의 개폐시간을 100ms로 조정하여 실험한 것이다. 그림5-11은 Pulse 100ms, 10Hz, 5V 일 때, PWM펄스 입력에 의한 2차 트랜스 전류파형이다. 그림5-12은 CW Low, 0V 일 때, 2차 트랜스 출력 전류파형 이다(연속모드).

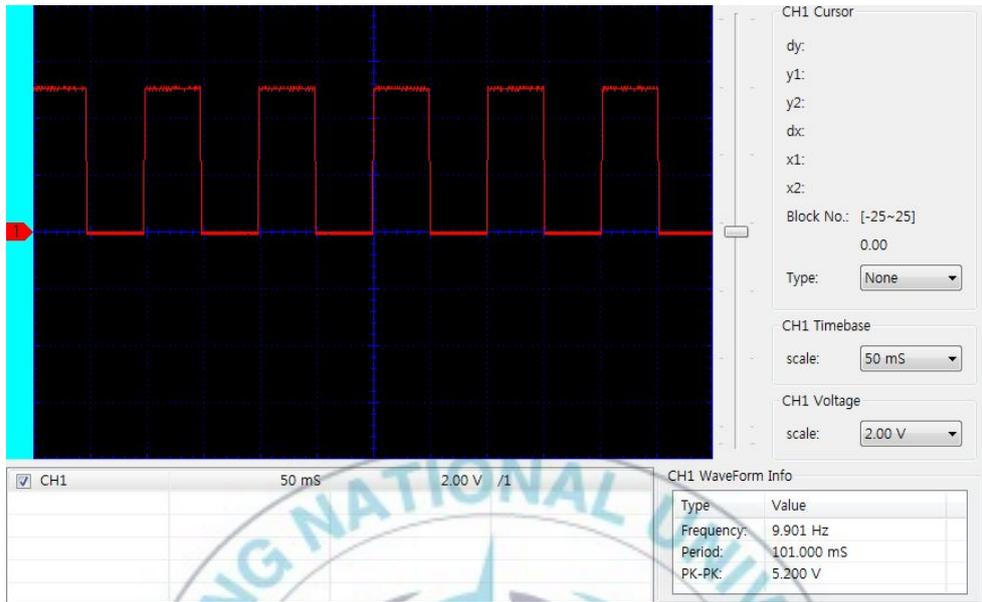


그림 5-9 PWM 제어신호
Fig. 5-9 PWM Control signal

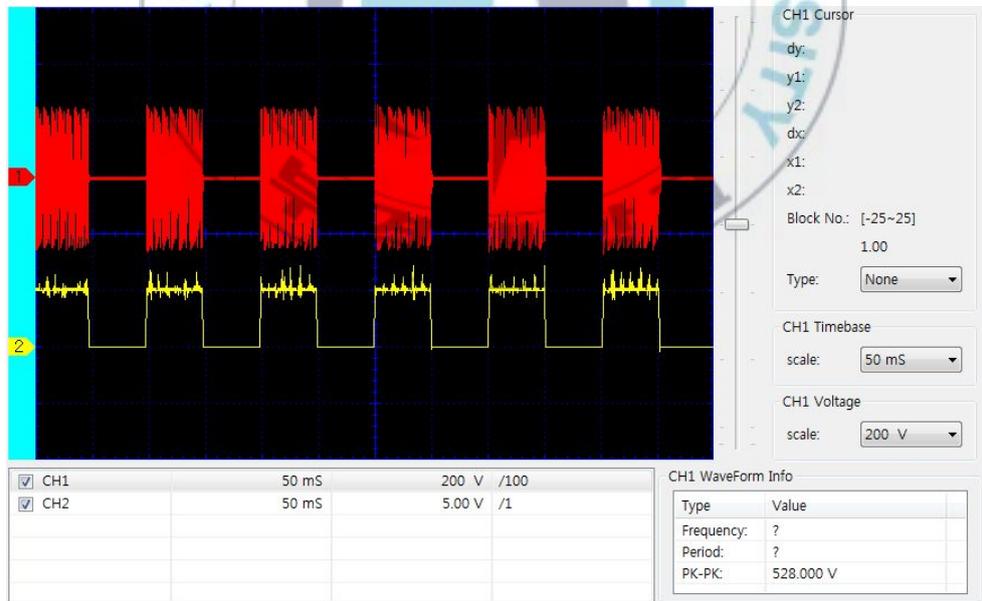


그림 5-10 PWM 펄스 입력에 의한 1차 트랜스 출력신호(PULSE모드)
Fig. 5-10 Primary trans output signal of PWM

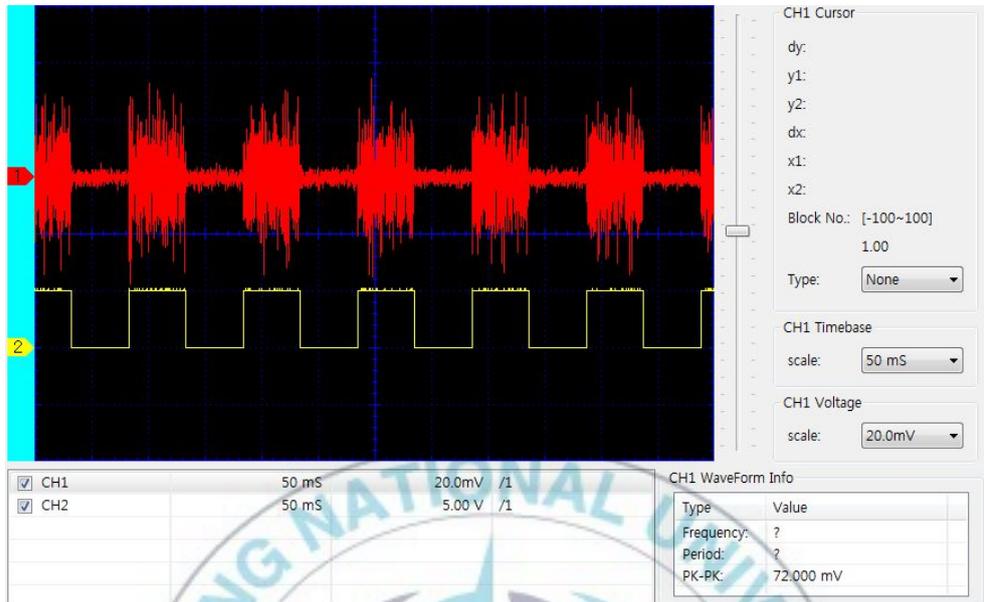


그림 5-11 PWM 펄스 입력에 의한 2차 트랜스 출력신호(PULSE모드)
 Fig. 5-11 Second trans current signal of PWM(PULSE MODE)

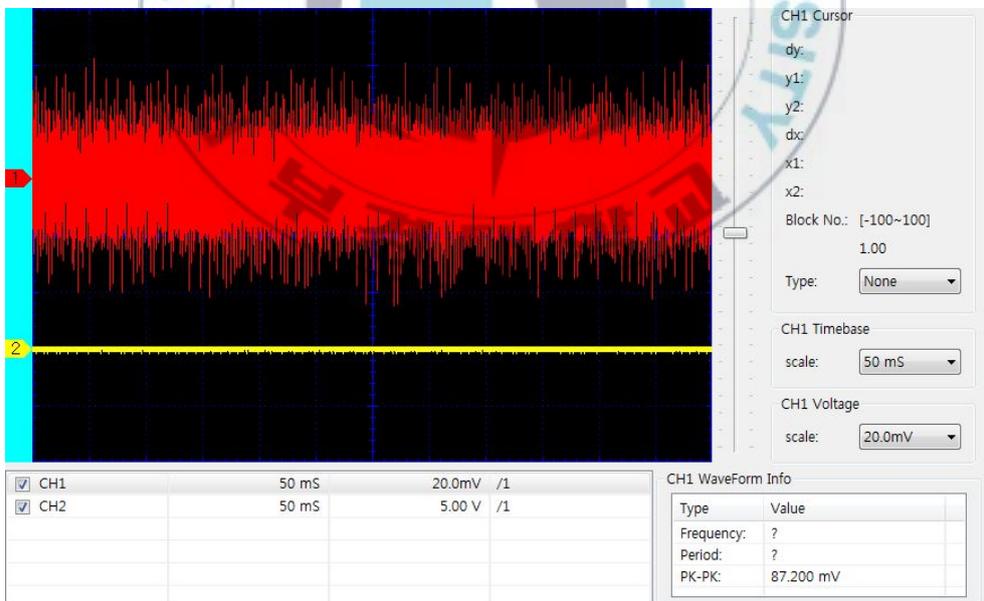


그림 5-12 PWM 펄스 입력에 의한 2차 트랜스 출력신호(CW모드)
 Fig. 5-12 Second trans current signal of PWM(PULSE MODE)

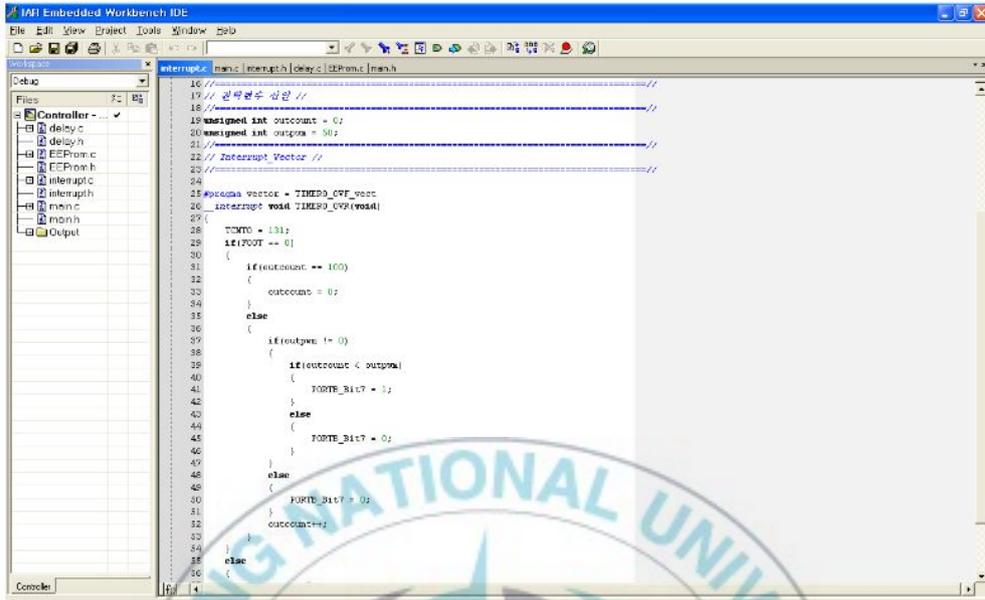


그림 5-13 실험장치의 프로그램
Fig. 5-13 Controller Programming

그림5-13은 실험장치의 테스트 프로그램이다. /SD(shutdown)을 제어하기위한 부분과 스탭모터의 토크고정으로 위한 값을 설정하여 프로그램 하였다. 이후 프로그램을 글자 및 그림 값을 입력받아 출력되도록 계속하여 업데이트 할 예정이다.

그림5-14은 실험장치의 전체구성도이다. 본 실험에서 방전관 램프를 고정하기위한 브라켓 부분은 수평을 고정할 수 있는 관급을 활용하였으며, 앞서 설명하였지만 방전관 램프에 흐르는 물은 라제이터와 팬을 통한 온도 제어 법을 선택하였다. 이는 CW로 20분 동안 운용했을 시 관내부에 35도 이하로 유지할 수 있는 시스템이다. 시간에 따른 불순물 생성을 최대한 억제하기 위해 마그네틱 펌프 및 정제수를 사용하였다. 그림5-15은 CW모드 일 때 방전관의 최대 출력 값과 그래프이다. 측정시간 최대 20분을 설정하여 에너지 평균값을 계측기로 확인 할 수 있었다. 계측기에 표기된 31W 정도의 값은 방전관이 35W급이라 하더라도 최대 31W의 에너지를 가지고 있는 것을 뜻한다. 스펙에 정확한 값과 차이가 있다. 따라서, CW의 테스트로 인한 방전관 효율은 확인할 필요가 있다.

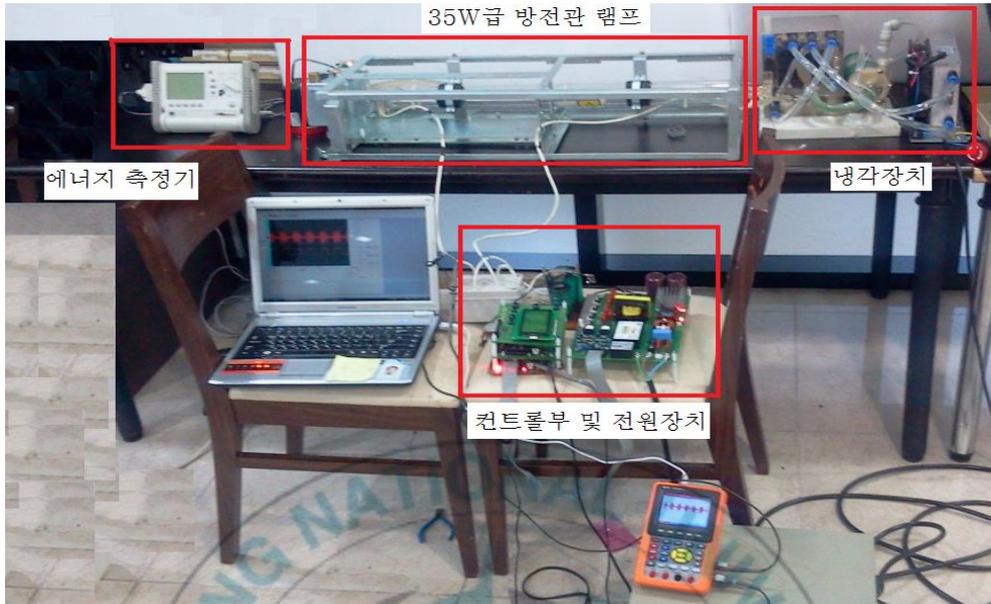


그림 5-14 실험장치의 구성도
Fig. 35W level Marking Laser

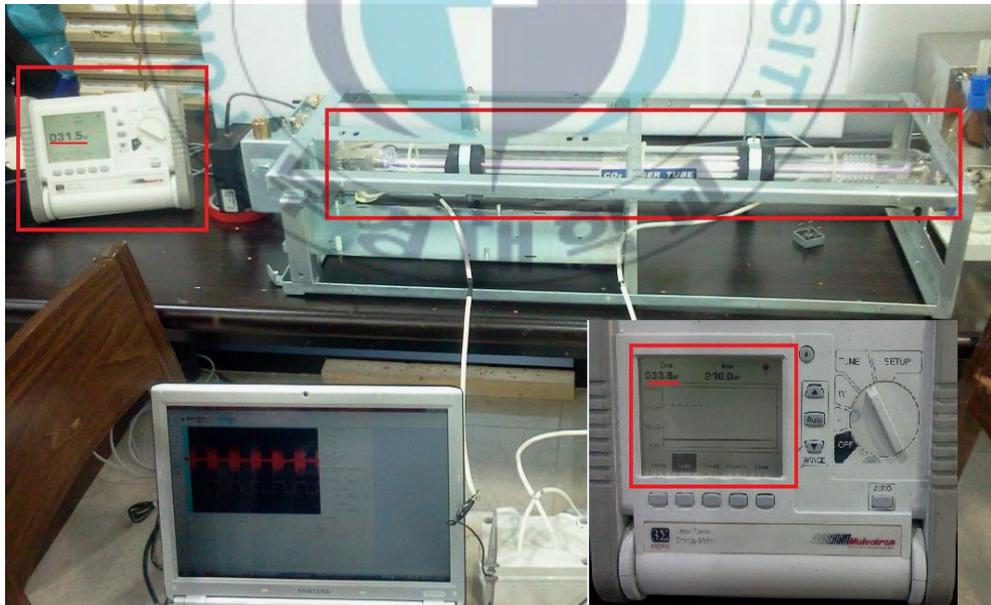


그림 5-15 레이저 최대 출력 값 측정 및 출력그래프(20분)
Fig. 5-15 Measurement of Laser MAX Power and Graph of Output (5min)

6. 결론

본 연구는 35W급 CO₂ 방전관을 사용하여 레이저 마킹기를 개발하였다. CO₂ 방전관을 사용한 마킹기 개발은 기존의 Integrated style RF CO₂ 공진기를 사용하여 제작한 마킹기와 견줄 수 있는 개발이 되었다. 고압전원장치는 Full bridge 방식을 사용하여 발진주파수 75KHz를 만들어 출력과형에 35KHz의 주파수로 스위칭 할 수 있도록 하였고, CW모드에서는 컨트롤의 Low출력을 PWM IC KA3525의 /SD(shutdown) 신호에 인가함으로 방전관에서 최대 32W까지 출력을 얻었다. 이후 20분 동안 에너지 측정기를 통하여 에너지의 변동률을 측정하였는데 3%미만의 출력 변동률을 확인할 수 있었다. 반면, PULSE모드에서는 컨트롤의 $\pm 5V$ PWM 출력을 PWM IC KA3525의 /SD(shutdown) 신호에 인가함으로 방전관에서 최대 5W미만의 출력을 얻을 수 있었다. 또한 라제이타를 사용한 냉각방식은 방전관의 온도를 효율적으로 조절할 수 있었으며, 향후 온도센서의 추가설치로 물 온도를 자동적으로 조정할 수 있도록 개선이 가능한 연구를 하였다. Full bridge 방식을 사용하여 개발함으로써 수KW ~ 수백KW급의 전원장치를 개발할 수 있게 되었다. 또한 기존의 마킹기 구매에 대한 비용을 50%이상 절감할 수 있어 향후 제품화로 연결되면 현 시장에서의 경쟁력 있는 제품으로 생산할 수 있는 연구가 될것이다.

참고문헌

- [1] W. Koechner, *"Solid-state laser engineering"*, Springer, Fifth revised and updated edition, 1999
- [2] F. Arecchi and E. Schulz-Dubois, *"Laser Handbook"*, North-Holland Publishing Company, 1972, pp. 1575-1585, 1630-1648
- [3] J.K.R Weber, J.J Felten and P.C Nordine, *"Laser Hearth Melt Processing of Ceramic Materials,"* Rev. Sci. Instrum. 67, pp552-524 (1996)
- [4] P. Loosen, *"Recent Development of laser for Materials Processing"*, Proc of Lamp '92, Nagaoka, Vol. 1, pp.61-66 (1992)
- [5] W. J. Witteman. *"The CO₂ Laser"*, Spinger-verlag, Berlin, Heidelberg, Germany(1987)
- [6] Orazio Svelto, *"Principles of Lasers"*, (New York : Plenum), Chap. 9, 1982
- [7] J. E. Harry, *"Industrial Laser and Their Application"*, McGraw-Hill, pp. 115-120, 1974
- [8] Kenichi Iga et al., *"Fundamentals Laser Optics"* (New York and London : Plenum), pp. 318-348, 1994.
- [9] C. K. N. Patel, *"Continuous-Wave Action on Vibration-Rotational of CO₂"*, Phys. Rev, Vol. 136, 1187 (1964)

- [10] Yu. A. Baloshin and I. V. Pavlishin, repetitively pulsed short-pulse TEA CO₂ laser with UV pre-ionization, *J. Opt. Technol.* 65(1), pp.61-62 (1998)
- [11] K. R. Rickwood and J. McInners, "High repetition rate mini TEA CO₂ laser using a semiconductor prionizer", *Rev. Sci. Instrum.* 53(11), pp.1667-1669 (1982)
- [12] C Baker, "Design of a compact high PRF TEA CO₂ laser and performance under multimode and single mode conditions", *J. Phys. E: Sci. Instrum.*, Vol14, pp.1167-1170 9(1981)
- [13] B. E. Cherrington, *Gaseous Electronics and Gas Laser*. Oxford, England : Pergamon Press, 1979.
- [14] Rahul S. Chokhawala, "Switching voltage transient protection schemes for high-current IGBT modules", *IEEE Transactions on Industry Applications*, vol. 33, no. 6, 1997
- [15] A. C. Lippincott, "A series resonant cinverter with cinstant on-time control for capacitor charging applications", Master's Thesis. Auburn Univ., 147-154, 1990
- [16] G. Botto, M, Carpita, E. Gilardi, and S. Tenconi, "Series cinnected soft switched IGBTs for high power voltage drives applications: Experimental results," Proc. PESC'97 Conference, Vol. 1, pp.3-7, St.Louis, Missouri, June 1997
- [17] Huliehel, F. and Ben-Yaakov, S., "Low frequency sampled data models of switched mode DC-DC Converters". *IEEE Trans. on Power Electronecs*, 6, 55-61,1991
- [18] Ben-Yaakov, S., "A unified approach to teachong feedback in electronic circuit courses". *IEEE Trans. On Education*, 1991

- [19] Tsafrin, H. and Ben-Yaakov, "The dynamic response of PWM DC-DC converters with input filters". IEEE Applied Power Electronics Conference, Boston, 1992
- [20] 전자기술연구회 편, "전원회로 설계 마스터", 도서출판 기문 사, 2002년 4월
- [21] 김희준, "스위치모드 파워서플라이", 도서출판 성안당, 2000년 1월
- [22] 노의철, 정규범, 최남섭, "전력전자공학", 도서출판 문운당, 2002년 1월
- [23] 정용채, "비절연형 SMPS의 개요(2)", 월간 전자부품, 2005년 4월호, pp,122-127
- [24] 임제탁, 김수중, 김종교 공역, "회로해석", 제5판 도서출판 희중당, 1997년 9월

