

산부인과용 CO₂ 연속형 레이저의 고압출력 모듈에 따른 펄스 트랜스 안정화 특성연구(II)

(Special quality research by pulse transformer stabilization by high tension output module of medical ultra series laser II)

김휘영(Whi-Young Kim)¹⁾

요약

빔의 열적효과는 세포조직의 서로 다른 구성성분과 레이저 빔의 서로 다른 파장에서 다른결과를 나타내며 세포조직에서 온도증가는 먼저 응고가 이루어지고, 절단이나 탄화과정이 일어나며 300°이상에서는 세포조직의 파괴에 의한 증발이 발생하게 된다. CO₂ 레이저는 최소한 조직손상으로 이러한 효과를 얻는데 최적이라고 보며 0.1mm의 최소한의 세포조직 깊이에서 일어나는 효과의 근본적인 장점은 생체조직이나 내장기관에 안정적이다. CO₂레이저사용에 있어서 단점은 무엇보다도 세포파괴에서 생성되는 입자들의 부품흡착 등으로 결과적으로 레이저의 출력감소가 일어나는데, 영 전압, 영 전류 스위칭 포워드 컨버터를 도입하여 기존의 하드 스위칭 포워드 컨버터에 있어서 Turn-off, on시 발생하는 스위칭 방식을, 적용함으로써 1차 측 스위칭 소자의 Turn-off, on시 영전압, 영전류 스위칭을 이루어 정밀도가 요구되는 산부인과용 CO₂ 연속형 레이저의 고압출력 모듈에 따른 펄스 트랜스의 안정화에 필수적으로 기여하며, 레이저 출력과 안정화가 되도록 설계 및 제작한 결과, 기존제품보다 향상된 결과를 가져왔다. 추후 시스템적으로 보완을 하면 우수한 결과가 될 것으로 사려된다.

Abstract

Various kind of laser had been used on addition to endoscope for obstetrics and gynecology, gas laser such as CO₂ laser had been used mainly much in laparoscope surgical operation mainly. Thermal effect of beam displays other result different component parts of cellular tissue and different close of a marketplace of laser beam and priority solidification of temperature increase consists in cellular tissue, and cutting or carbonization process happens and evaporation by breakdown of cellular tissue happens more than 300°. <중략> Ostabilization of pulse transformer by high tension output module of CO₂ analog laser for obstetrics and gynecology that accomplish marks of honor kind switching and accuracy is required, and stabilize with laser output applying Turn-off in existent hard switching forward converter, on city happened switching damage, damage increase of output diode station recovery special quality, parasitism shock, design and result that manufacture, brought result that improve than existing product. Will be bought to get into superior result if supplement as systematic late.

논문접수 : 2007. 1. 28.

심사완료 : 2007. 2. 19.

1) 중신회원 : 동주대학 의료기공학과 교수

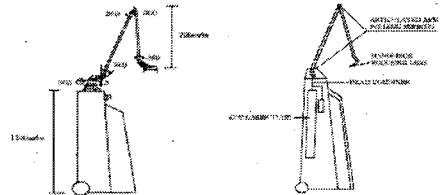
I. 서론

CO₂레이저는 적외선 영역인 10.6 μm 파장의 매우 안정된 고출력 펄스를 방출시킬 수 있으므로 산업용, 군사용, 의료용, 각종 물리·화학의 기초 연구용 등의 광범위한 응용 분야에서 각광을 받고 있다[1-2]. 특히 의료용의 초정밀 절단, 지혈에서는 수십 Hz로부터 수 MHz의 펄스출력이 요구된다. 펄스방식은 Normal Pulse와 Super Pulse로 크게 나눌 수 있다. 다양한 종류의 레이저 들이 산부인과용 내시경에 부가하여 사용되어 왔는데, CO₂레이저와 같은 기체레이저는 주로 복강경 수술에 주로 사용이 많이 되어왔다. 빔의 열적효과는 세포조직의 서로 다른 구성성분과 레이저 빔의 서로 다른 파장에서 다른 결과를 나타내며 세포조직에서 온도증가는 먼저 응고가 이루어지고, 절단이나 탄화과정이 일어나며 300°C이상 에서는 세포조직의 파괴에 의한 증발이 발생하게 된다. CO₂ 레이저는 최소한 조직손상으로 이러한 효과를 얻는데 최적이라고 보며 0.1mm의 최소한의 세포조직 깊이에서 일어나는 효과의 근본적인 장점은 생체조직이나 내장기관에 안정적이다. CO₂ 레이저 사용에 있어서 단점은 무엇보다도 세포 파괴에서 생성되는 입자들의 부품흡착 등으로 결과적으로 레이저의 출력감소가 일어나는데,

새로운 영전압, 영전류 스위칭 포워드방식을 적용건으로 종래의 하드 스위칭 컨버터에 있어서 Turn-off 및 Turn-on시 발생하는 스위칭 손실 있어서 무손실 스너버를 적용함으로써 Forward 컨버터의 1차측 스위칭 소자의 Turn-off 및 Turn-on시 영전압, 영전류 스위칭을 이룰 수 있고, 출력 정류 다이오드도 영전압, 영전류 스위칭 됨으로 다이오드의 역회복 손실 및 기생진동에 따른 EMI(Electro-Magnetic Interference)를 줄일 수 있는 무손실 스너버 적용 영전압, 영전류 스위칭 Forward 컨버터에 관한, 고압출력모듈에 따른 펄스트랜스 등을 적용하여, 산부인과용 CO₂ 연속형 레이저의 고압출력 모듈에 따른 펄스 트랜스의 안정화에 필수적으로 기여하

며, 레이저 출력과 안정화가 되도록 설계 및 제작하여 구성하고자 한다.

2. 산부인과 레이저



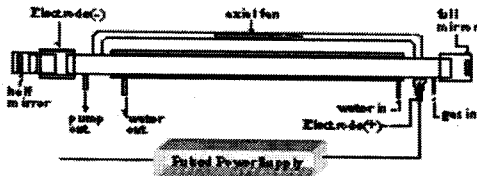
[그림1] 산부인과용 레이저의 외관

다양한 종류의 레이저들이 산부인과용 내시경에 부가하여 사용되어 왔는데, CO₂레이저와 같은 기체레이저는 주로 복강경 수술에 주로 사용이 많이 되어왔다. 빔의 열적효과는 세포조직의 서로 다른 구성성분과 레이저 빔의 서로 다른 파장에서 다른 결과를 나타내며 세포조직에서 온도증가는 먼저 응고가 이루어지고, 그후 절단이나 탄화과정이 일어나며 300°C이상 에서는 세포조직의 파괴에 의한 증발이 발생하게 된다. CO₂ 레이저는 최소한 조직손상으로 이러한 효과를 얻는데 최적이라고 보며 0.1mm의 최소한의 세포조직 깊이에서 일어나는 효과의 근본적인 장점은 생체조직이나 내장기관에 안정적이다.CO₂레이저사용에 있어서 단점은 증발효과에 의한 심한 연기발생이 있는데 이는 별도의 흡입장치로 해결이 가능하다. 그러나 무엇보다도 세포파괴에서 생성되는 입자들의 광학부품 등에 흡착되어 결과적으로 레이저의 출력감소가 일어나며, 이로인해 레이저출력이 40%밖에 이르지 못하는 경우가 발생하기도 한다. 열에 의한 조직손상은 조직의 종류나 에너지밀도, 증발시간의 장단에 관계 될수가 있다. 증발시간을 짧게하면 주위세포의 열적손상은 200~400um이내에 일어나므로 레이저빔은 비초점 영역에서 주위세포조직을 손상함이 없이 증발에 의한 제거나, 아주 얇은층의 포를 깨끗하

게 증발시킬 수가 있다. CO₂레이저는 산부인과 응용에 표준이 되는 레이저시스템으로 외음부 상피내중양, 자궁암, 질상피 중양에도 적용이 가능하다. CO₂ 레이저는 크게 3가지모드로 구분할 수가 있는데 먼저, 연속형, 슈퍼펄스형, 펄스형 등으로 구분하는데 펄스형 펄스의 연속 발진 레이저에 회전하는 조리개를 부가하여 1/1000 sec 영역으로 방출되며, 슈퍼펄스는 고압방전의 변조에 의해 얻어진다.

3. 시스템의 설계 및 구현

3-1. 공진 시스템

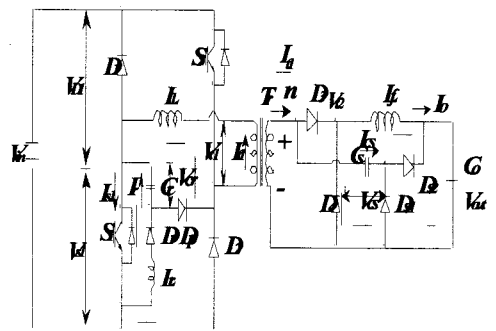


[그림2] 산부인과용 레이저의 공진기

그림 2에서 보는 바와 같이 방전경로와 광축이 동일한 축류형과 plano-concave 공진기를 채택하였다. 레이저 방전관으로는 길이 85cm, 내경 16mm, 두께 2mm인 파이렉스(Pyrex)관을 사용하였고 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전관의 체적은 75mm×π×64mm³이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형의 음극과 침 모양의 양극을 방전관에 부착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 75cm로 하였다. 방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30mm, 두께 2mm인 파이렉스관을 이중으로 제작하여 물순환 냉각장치를 구성하였다. 방전관에 순간적인 대전류가 흐르면 방전관의 음극측과 양극측에 압력차가 생긴다. 이 때문에 레이저 발진 효율이 떨어지고 발진정지 등의 상태가 발생한다. 이것을 방지하기 위해 그림 2에서와 같이 바이패스(Bypass)관을 설치하고 작은 팬을 삽입하여 가스의 흐름을 도움으

로서 전극 주위 가스 과열에 의한 방전관내의 온도 상승과 압력차를 작게 하고 방전시 CO₂ 분자의 해리에 의한 불순물의 발생을 감소시켰다. 이 결과로 활성 매질의 고유한 파장 특성에서 유도 에너지가 방출되게 된다. 레이저기 속에는 밀봉된 CO₂ 레이저 튜브가 내장되어 있다. 사용되는 활성매체는 가스혼합물로 이루어져 있다. 가스 혼합물은 전극을 갖추고 있고 유리 레이저 튜브안에 내장 되어있다. 레이저 튜브는 두개의 광학활성(optic cavity) 사이에 놓여있다. 후방미러는 전적으로 반사 기능만 담당하는 반면, 전방미러는 부분적인 반사기능을 갖고 있으며 CO₂ 레이저 광선을 기기의 굴절암 (articulated arm) 속으로 전도한다. 전체 시스템은 크게 나누어 공진기와 펄스 전원장치로 구성되어 있으며, 그 외에 수냉장치, 가스 공급장치, 진공 펌프와 압력계 등이 있다.

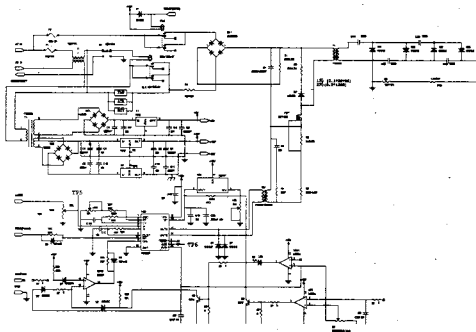
3-2. 펄스 포밍장치



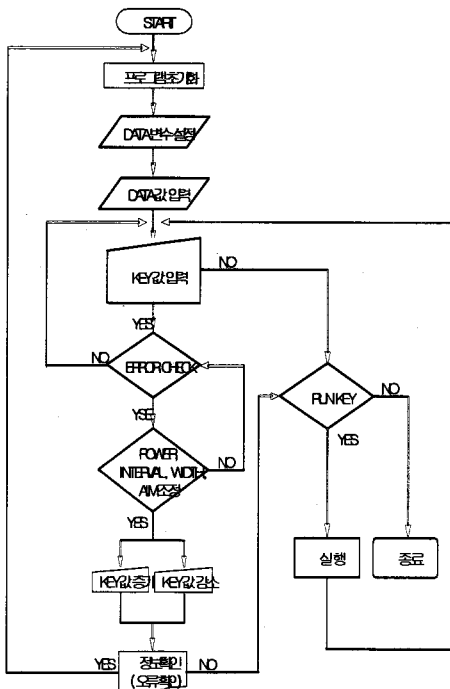
[그림 3] 설계한 펄스포밍장치

그림 3은 설계한 무손실 펄스포밍 장치로서 무손실 스너버 적용 영전압, 영전류 스위칭 Two 스위치 방식 Forward 컨버터는 종래 Two 스위치 방식 Forward 컨버터의 1차측 스위칭 소자 S₁에 병렬로 스너버 캐패시터 C_s과 스너버다이오드 D_s, 스너버인덕터 L_s, Commutation 다이오드 D_c로 구성된 무손실 스너버가 부착되어 있고, 2차측 출력 다이오드 D_o, D₄와 출력필터 인덕터 L_f 사이에 스너버 캐패시터 C_s와

스너버 다이오드 D_{S1} 과 D_{S2} 로 구성된 무손실 스너버가 적용됨에 의해 구성된다. 컨버터의 1차측과 2차측에 무손실 스너버를 적용함으로써 모든 스위칭 소자들이 영전압, 영전류 스위칭을 함으로써 스위칭 손실 저감과 기생진동 및 스위칭 노이즈를 저감할 수 있다.

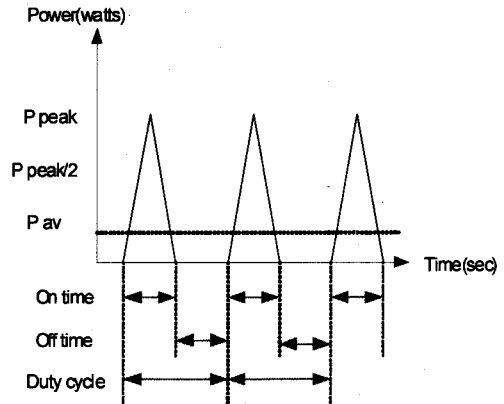


[그림 4] 제어회로



[그림 5] 제어흐름도

그림 4는 제어회로를 나타내는데, 레이저 출력력이 일정한 펄스폭에서 펄스 반복율을 변화 시킴으로서 제어가 가능하도록 하였다. 반복율은 100Hz ~ 1kHz까지 가변할 수 있도록 설계하였고 전원에서 얻을 수 있는 최대 펄스 전압은 약 20 kV였다. 레이저 매질을 여기시키기 위한 펄스 전원장치의 주요부는 그림 3,4,5와 같이 정류부, 스위칭 부, 고압·고주파펄스변압기부, 마이크로프로세서를 이용한 제어부로 구성되어 있다. 압력 12 Torr에서 방전관에 고압의 펄스를 인가하였을 때 양전극 사이의 전압파형을 1000:1 분압기(Tektronix: P6015A Opt.1R)를 사용하여 측정할 수가 있다. 동작압력 12 Torr에서 글로우 방전이 안정되게 지속될 때, 한 개의 펄스파형을 포착하여 펄스폭(FWHM : Full Width at Half Maximum)을 측정하였더니 약 $40\mu s$ 였다.



[그림 6] 펄스온, 오프제어 알고리즘

주기(f) - 1초당 펄스의 횟수는 주기 또는 사이클 타임(T) - 연속되는 두 개의 펄스 사이의 시간 간격 시간 이 지속될 때, 이 시간을 온 타임(On-time)이라고 하며, 한 주기 동안에 레이저가 작동하지 않는 시간이 지속될 때, 이 시간을 오프 타임(OFF - time)이라고 한다.

$$\text{Cycle time (T)} = \text{ON time} + \text{OFF time} \quad \text{--(1)}$$

온 타임 및 오프 타임은 한 주기 내에서 레이저가 작동하는 시간이 지속될 때, 이 시간들은 온 타임(On-time)이라고 하며, 한 주기 동안에 레이저가 작동하지 않는 시간이 지속된다. 효율도(duty cycle)는 온 타임과 전체 주기 사이의 비율을 퍼센트로 나타낸 것을 한다.

$$\text{Duty cycle (\%)} = \text{On time} / T \times 100 \quad (2)$$

최대출력전압(P peak)은 레이저가 방출되는 동안 공급되는 최대 출력이며, 평균출력전압(P av)은 레이저가 방출되는 동안에 발생하는 출력의 평균치를 나타내며, 펄스 폭(r)은 최대 출력의 중간 지점에서의 지속되는 펄스 폭으로서 이 부분에서, 온 타임(ON time), 오프 타임(OFF time), 효율도(duty cycle)와 같은 용어들은 레이저 작동 모드에 관한 것이며, 조직세포 노출모드가 아니다. 이런 방식으로, 정격출력(constant peak power)에서 평균 출력으로 변형하기 위해서는, 효율도 (duty cycle)가 이에 맞게 조정되어야 한다. 일반적인 주기 기능에 가장 유사한 방정식은

$$P_{av} = P_{peak} \times \tau \times f \quad (3)$$

평균 출력은 최대 출력을 변경시키거나 펄스 폭, 펄스 주파수 또는 이러한 매개변수를 종합하여 변경함으로써 통제할 수 있다. 슈퍼 펄스 레이저 작동모드 하에서, DREAM PULSE 시스템은 원하는 평균 출력을 얻는데, 최대한의 정격 출력을 얻는데 최대한의 정격 출력을 공급할 수가 있다. 본 실험에서는 연속파(CW), 작동모드에서, 레이저 광선은 연속파로 방출되는 반면 펄스 또는 슈퍼 펄스, 드림 펄스 레이저 작동 모드에서 레이저 광선은 매우 가는 펄스파가 연속으로 방출되도록 하였다. 슈퍼펄스 레이저 작동모드를 선택하지 않은 경우, 초기에는 연속파 레이저 작동모드가 시동된다. 이 모드에서, 연속파 레이저 광선이 0.5W-30W 사이의 출력범위 내에서 출력된다. 특히, 조직세

포 노출모드는 조직에 지속적으로 전달되는 레이저 광선의 형태를 조절 하게 되는데, 레이저가 피부 속으로 들어가는 강도는 A~H에 이르는 8 단계로 만들었다. 조직세포 노출모드에는 연속형, 싱글형, 반복형 세가지 방식으로 구성하였다. 조직세포 노출모드 하에서, 레이저 광선은 풋스위치를 누르는 동안 방출된다. 싱글 펄스 조직세포 노출모드에서, 레이저 광선은 이미 맞추어진 기능을 작동시키거나 또는 풋스위치에서 발을 뗄 때까지, 둘 중 어느 한 가지만으로도 SINGLE PULSE(CW 레이저 작동모드에 해당)로 방출되거나 싱글버스터로 방출된다. 본 실험에서 구성한 시스템의 사양은 튜브 sealed-off CO₂, 10.6 micron 적외선, TEM₀₀ (Gaussian), 연속파(CW)형으로 0.5 - 30W, 슈퍼 펄스(S.PULSE)는 평균 출력 범위 1~7W, 펄스(PULSE) 평균 출력범위 1W-30W, 레이저 종류 반도체 레이저, 파장 0.65micron, visible, 광선 직경 2.5mm at Source, 출력 Power : 0-15mW까지 조절 가능, 제어 기능 9 단계로 조절 가능, 초점거리 F100 또는 F50, 초점크기 0.2mm, 경량 CO₂ fiber, 7관절, 스프링으로 균형의 굴절압, 마이크로 프로세서를 장착한 소프트 터치방식의 기판으로 구성하였다.

4. 실험결과 및 고찰

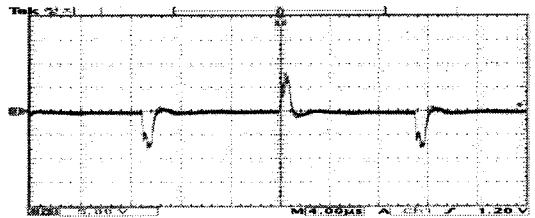
정류부는 승압용 변압기, 돌입전류 제한 및 단상 브릿지 다이오드 정류기, 평활용 콘덴서로 구성된다. 부하변동에 따른 입력전압의 변동은 단상교류 전압조정기로 미세 조절할 수 있도록 하였고, 펄스 변압기는 1차, 2차측의 결합도가 우수한 페라이트 코어(TDK3415)를 사용하였다. 1차측의 권선으로는 $\phi 0.55$ 의 에나멜선을 56턴으로 감았고, 2차측은 $\phi 0.2$ 의 에나멜선을 1430턴으로 감아 사용하였다. 디지털 LCR 미터(HUNG CHANG사 모델명 Z216)로 측정 하였더니 1차측의 인덕턴스 값은 37 [mH]였고, 2차측은 21[H]였다. 따라서, 설계 제

작한 변압기의 권수비 a는 약 25로서 1차, 2차 축의 변압비가 약 1 : 25임을 알 수 있었다[6]. 제작한 변압기는 사이즈가 큰 코어를 사용하여 공간, 연면 거리(변압기의 1차-2차간, 1차 - 코어, 2차 - 코어간등의 거리)를 확보하였고, 내열성과 절연내력이 뛰어난 테프론 테이프로 층간 절연을 하였으며, 보빈에 의해 코일과 코어간의 절연을 강화하였다. 마지막으로 절연유속에 함침시켜 변압기의 절연내력을 보장하였다. 개의 IGBT를 순차적으로 턴-온, 턴-오프시키기 위해 제어부로는 PIC one-chip 마이크로프로세서를 사용하였다. 전원부와 레이저 출력을 총괄적으로 제어하며 동시에 입·출력의 감시와 외부 프로세서와의 인터페이스를 하고 전체적인 동작에 필요한 레이저 빔, 표적 조명 및 모니터링 시스템, 주변 부품과의 인터록 등도 동시에 처리하도록 제어부를 설계하였다. 또한 정밀한 동작의 MPFN(Modified Pulse Forming Network)의 실시간 입력/출력 모니터링을 위해 연산회로부, 인터페이스 보드, 레이저 빔 구동 및 지시 조명용 전원, 인터록 및 제어용 비교기 회로부 등을 내장하였고, 각 부분을 서로 연계시켜 컴퓨터의 키보드를 통해 레이저 펄스반복율을 100Hz에서 1kHz까지 자유자재로 조절할 수 있게 하였다. 출력은 CO₂ 레이저용 에너지미터(Gentec사 모델명 PS-1K)로 측정하였다.

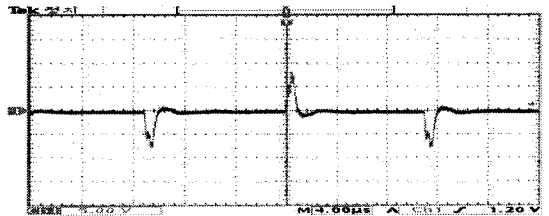
4-1. CW시 출력가변에 따른 출력 특성

100 Hz에서 발진을 시작하여 700 Hz에서 출력이 최대치에 도달하였고, 특히 가스 혼합비 CO₂ : N₂ : He = 1 : 9 : 15, 동작압력 30 Torr에서 최대 90.5W를 얻었다. 이 때, 단상 교류 전력계(Hwashin사 모델명 7013)로 측정한 전기 입력은 약 290 W였으므로 전체 전기적 입력에 대한 출력 효율은 약 8 %가 된다. 출력이 펄스 반복율 700Hz에서 포화되었는데 이것은 반복율이 증가하게 되면 입력에너지가 증대되고, 그에 따라 방전관내의 전자밀도가 높아

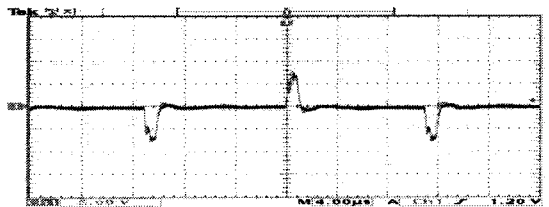
지므로 상위준위의 펌핑율이 증가하고, 밀도 반전이 커지게 되어 출력은 증가한다. 그러나 펄스 반복율을 증가 시킴에 따라 전기입력이 커지게 되어 방전관 중앙으로 부터 기체의 온도가 상승한다. 기체의 온도가 상승하게 되면 상위 레이저 준위에서의 충돌에 의한 감쇠율이 급격히 증가하여 상위 준위 밀도의 감소를 가져오게 되고, 상대적으로 하위준위의 열적 밀도가 증가하여 밀도 반전이 소멸된다. 즉, 반복율을 증가 시키는 초기 단계에는 밀도반전과 이득이 증가하지만 점차로 기체 온도상승의 효과가 지배적으로 되기 때문에 출력의 감소를 보이게 되는 것이다.



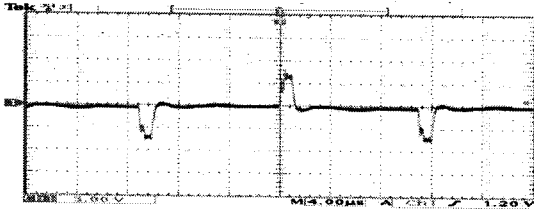
[그림 7] 공극 1mm 1차 22T, 2차 528T 펄스 t 2차 cw시 1w파형



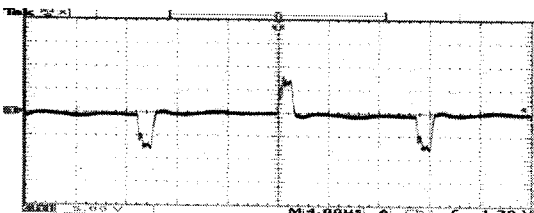
[그림 8] 펄스 t 2차 cw시 3w파형



[그림 9] 펄스 t 2차 cw시 6w파형



[그림 10] 펄스 t 2차 cw시 9w파형



[그림 11] 펄스 t 2차 cw시 12w파형

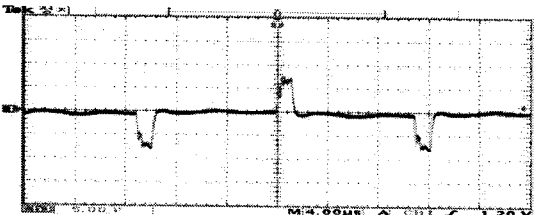


그림 16. 펄스 t 2차 cw시 15w파형

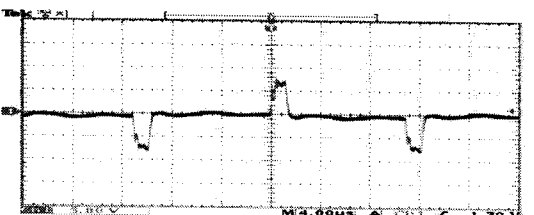


그림 17. 펄스 t 2차 cw시 27w파형

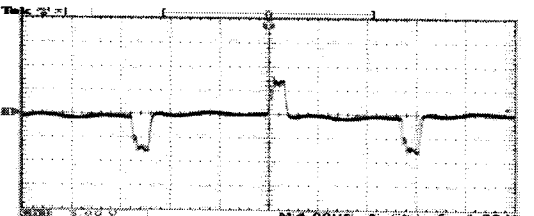


그림 18. 펄스 t 2차 cw시 30w파형

동작압력이 상승함에 따라 CO₂ 및 N₂ 분자의 밀도가 증가하므로 레이저 여기 준위의 밀도가 늘어나고 충돌 단면적의 증가에 따른 확산 냉각 효과 때문에 레이저 출력이 증가한다. 그러나 그 이상의 압력에서는 글로우 방전을 유지시키기 위해 더 높은 전압을 인가해야 하므로 전극 사이에 강한 전기장이 걸려 전자밀도가 증가하게 된다.

5. 결론

ZVS, ZCS 스위칭 포워드 컨버터를 도입하여 기존의 하드 스위칭 포워드 컨버터에 있어서 턴온, 오프 시 발생하는 스위칭 손실에 대한 적용을 통해 1차측 스위칭 소자의 Turn-off, on시 영전압, 영전류 스위칭을 이루어 정밀도가 요구되는 산부인과용 CO₂ 연속형 레이저의 고압출력 모듈에 따른 펄스 트랜스의 안정화에 필수적으로 기여하며, 레이저 출력과 안정화가 되도록 설계 및 제작한 결과, 기존제품보다 향상된 결과를 가져왔다. 추후 시스템적으로 보안을 하면 우수한 결과가 될 것으로 사려된다.

참 고 문 헌

- [1] P. Loosen, "Recent Development of lasers for Materials Precessing", Proc of LAMP '92, Nagaoka, Vol. 1, pp.61-66 (1992)
- [2] J.K.R. Weber, J.J. Felten and P.C. Nordine, " laser Hearth Melt Processing of Ceramic Materials, " Rev. Sci. Instrum. 67, pp.522-524 (1996)
- [3] W.Y.Kim," The new type pulsed Nd:YAG laser power supply empolyed multi-amplification method" ACED-2000
- [4] "Pulse Generators" G.N. GLASOU