

고출력 CO₂ 레이저

최종운*, 신동주**

(한국표준과학연구원 광학그룹 *책임연구원, **선임연구원)

1. 서론

CO₂ 레이저는 CO₂ 분자의 회전과 진동을 이용해서 비교적 긴 파장인 9.4~10.6 μm 영역에서 동작한다. 이 레이저는 출력이 강하고, 대단히 효율이 좋기 때문에 산업용 및 연구용으로 가장 많이 사용되는 레이저 중의 하나이다. 현재 2~10 kW 출력의 CO₂ 레이저가 상용화되어 시판되고 있으며, 연구실에서는 그보다 높은 출력의 레이저도 사용되고 있다. 대표적인 용도로 산업용으로는 금속, 비철금속 재료의 절단, 용접 및 표면처리 등의 용도로 사용되고, 연구용으로는 동위원소분리 및 핵융합용 광원 등의 용도로 사용된다. 그 용도 만큼이나 고출력 CO₂ 레이저는 수많은 종류가 있기 때문에 한두 사람의 전문가가 짧은 지면에 모든 종류의 CO₂ 레이저를 설명하는 것이 불가능 할 것이다. 따라서 본고에서는 CO₂ 레이저의 발전과정을 살펴본 뒤, 분류가 되는 기준을 정의하고 이에 따른 대표적인 CO₂ 레이저를 선택하여 간단하게 특성을 기술하고자 한다.

2. 레이저의 발전과정

가스분자의 회전과 진동천이를 이용한 레이저 개념은 1961년 J. C. Polanyi에 의해서 최초로 제안되었고, 이 가설은 1964년 벨연구소의 C. K. N. Patel이 CO₂ 가스를 사용하여 레이저 발진에 성공함으로써 증명되었다. 레이저 발진 이후에 레이저 출력과 효율을 높이기 위한 연구 결과가 집중적으로 발표되었는데, 먼저 전기 방전 에너지를 CO₂ 분자에 효율적으로 전달하기 위한 매개로서 N₂ 가스를 첨가하는 아이디어는 Legay와 Legay-sommaire에 의해서 동시에 발표되었고, 효율적으로 레이저 매질가스를 냉각하기 위해서 He 가스를 첨가하는 것은 1년 뒤에 G. Moeller과 J. D. Rigden이 사용하였다. 이와 같이 CO₂ 레이저는 단 기간

동안의 집중적인 연구를 통하여 Patel의 초기 1 mW급 레이저를 약 100 W 까지 출력을 향상시킬 수 있게 되었다. 최초의 CO₂ 레이저는 긴 유리관을 사용하여 방전관을 만들고 그 속으로 레이저 가스를 흘려보내는 구조이었다. 방전관 속에 부착한 전극으로 플라즈마를 발생시켜 CO₂ 분자를 대칭 신장모드로 여기 하였다. CO₂ 레이저 발명 초반기에는 고주파 방전을 이용하여 레이저를 발생시켰으나, 출력을 증가시키기 위해서 직류방전으로 바꾸어 사용하게 되었다. 이점은 최근에 고주파 방전을 이용한 레이저가 다시 사용되기 시작하는 현상을 보면 흥미로운 일이다.

최초에 유리관으로 만든 CO₂ 레이저는 낮은 압력에서 공진기에 대해서 종방향으로 방전을 하는 구조를 가졌다. 결론적으로, 전극 간격이 멀리 떨어져 있어도 플라즈마를 안정하게 발생시키고 유지시키기 위해서는 낮은 압력으로 동작을 시켜야만 하였다. 그러나 1970년 Beaulieu는 공진기에 대해서 횡방향으로 방전시키는 방법을 사용하여 대기압력에서 동작하는 CO₂ 레이저를 보고하였다. 횡여기 대기압 레이저(Transverse Excited Atmospheric: TEA)레이저는 종방향 여기 방식에 비하여 높은 이득과 높은 출력을 가져다주었다. CO₂ 레이저의 출력을 급상승시킬 수 있도록 한 레이저는 Tiffany에 의한 횡류형 레이저인데, 기존의 종방향 방전형의 출력이 100 W/m 이던 것을 단숨에 1 kW/m 로 상승시켜 놓았다. 곧 이어 광축방향으로 가스를 고속으로 흘리는 고속 축류형 레이저가 각국에서 상품화되어 현재는 산업용 레이저의 주류가 되어있다. 최근에는 영국의 Heriot Watt 대학의 D. R. Hall 교수팀에 의해 시작된 고주파 여기식 슬랩형 CO₂ 레이저가 활발하게 연구되고 있고, 독일의 Rofin-Sinar사에서 수 kW급 슬랩레이저가 상품화되어 판매되고있다.

마지막으로 특이한 초고출력 CO₂ 레이저로 Gerry에 의한 Gas dynamic 레이저가 있다. 가스다이나믹 레이저는 낮은 효율로 인하여 산업용으로 많이 사용되지 않고 있으나, 군사용으로는 400 kW까지의 기록이 있다. 한때는 HF/DF에 패하여 사라지는 것으로 생각되었으나 소형화에 성공하여

상용 레이저후보가 되어서 살아남아 있고, 최근까지도 구 러시아쪽 연구소에서 많은 연구결과가 발표되고 있다.

3. 레이저의 분류

CO₂ 레이저는 레이저 공진기에 사용하는 기술에 의해서 분류할 수 있는데, 사용되는 요소 기술은 매질가스의 냉각방법, 방전여기방법, 광공진기 등의 구성 요소로 분류된다.

먼저 레이저 매질가스의 냉각방법에 의해서 레이저의 출력범위가 결정된다. 즉 고출력 CO₂ 레이저의 출력은 주로 레이저 매질가스의 온도상승과 균일한 글로우 방전의 유무에 의해 제한된다. 왜냐하면 레이저 매질의 온도가 100~150 °C일 때 가장 좋은 효율을 얻을 수 있으나, 레이저 매질의 온도가 600 °K 이상이 되면 밀도반전이 소멸되기 때문이다. 따라서 고출력을 얻기 위해서는 방전전력이 증가함에 따라 효과적인 레이저 매질가스의 냉각이 필요하며, 연속출력 CO₂ 레이저는 레이저 매질가스의 냉각방법에 따라서 벽면확산형(diffusion-cooled) 레이저와 가스순환형(convective-cooled) 레이저로 분류할 수 있다.

CO₂ 레이저는 광축에 대해서 방전방향이 평행이나 직각이냐에 따라서 동축형과 횡여기형으로 구분한다. 또한 광축에 대해서 가스흐름이 평행이나 직각이냐에 의해서 축류형과 횡류형으로 구분한다. 축류형은 매질 가스흐름의 속도에 따라서 고속축류형과 저속축류형으로 구분된다. 횡류형은 가스의 흐름과 방전방향이 같은 2축직교형과 3축직교형으로 구분된다.

레이저 매질가스를 여기 하는 방법으로는 직류방전부터 무성방전(150 kHz), 고주파방전(1~150 MHz)등의 교류방전으로 발전하고 있다. 최근에는 Magnetron에서 발생하는 Microwave(2.45 GHz)를 이용한 여기방법도 활발히 연구가 진행되고 있다. 고주파 방전은 전극이 직접 방전에 드러나지 않도록 배치할 수 있기 때문에, 전극의 스퍼터링이 없고, 가스의 열화, 광학부품의 손실을 줄일 수 있고, 단위체적당의 방전입력을 높게 할 수 있기 때문에 직류방전에 비하여 레이저를 소형화 할 수 있다. 또한 펄스동작 특성을 좋게 할 수 있다.

공진기의 구성은 대부분 안정형 공진기를 사용하나, TEA 레이저와 슬랩형 레이저 경우에는 회절손실을 줄이기 위해서 불안정형 공진기 혹은 하이브리드형 공진기를 사용하고 있다.

4. 레이저의 종류

4.1 저속 축류형 레이저

저속 축류형 레이저는 구조가 간단하고 신뢰성이 높기 때문에 레이저 발명 초기부터 현재까지도 많이 사용되고 있는 레이저이다. 레이저의 구성의 그림 1과 같이 이중 동심원 형태로 된 유리관을 사용하여 내부 유리관에는 레이

저 매질가스를 저압(10~20 torr)으로 흘리면서 유리관 양쪽에 설치한 전극을 통해 방전을 일으키는 형태이다. 방전에 따른 발열은 주로 방전관을 감싸고 있는 냉각수에 의해 제거되어 진다. 방전관에 연속적으로 매질 가스를 공급하기 위해서 가스통-유량조절기-방전관-진공펌프를 직렬로 연결한 단순한 구조를 사용한다. 가스흐름이 느리고 안정되어 방전의 형태와 빔의 안정성이 좋고, 방전영역내의 가스의 저항값이 일정하므로 펄스 구동시 각각의 펄스가 일정하게 출력된다. 따라서 세라믹 가공등의 펄스형태의 정밀가공을 행하는 분야에서는 독보적인 위치를 가지고 있다.

저속 축류형 레이저는 단위 방전길이당 레이저 출력이 50~100 W/m 정도로 제한되어, 고출력을 얻기 위해서는 장치가 커지고 광학계가 복잡해진다. 이 때문에 소출력(1 kW이하)로 소형 가공기, 이화학용 계측기나 레이저 메스 등이 중요한 용도이다.

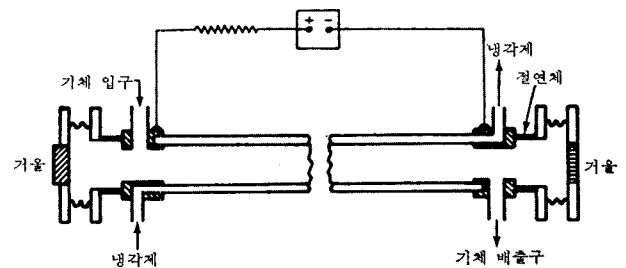


그림 1. Slow axial CO₂ laser (김영권, 레이저의 원리, pp. 236, 1989)

4.2 고속 가스 순환형 레이저

현재 산업용 레이저 발전기의 대부분을 차지하고 있는 종류로서, 그림 2와 같이 고속(150~200 m/sec)으로 레이저 매질가스(50~100 torr)를 순환시키면서 방전으로 발생한 열을 제거하는 구조이다. 가스의 흐름 방향에 따라서 2축 혹은 3축직교, 축류형 등으로 분류된다.

레이저 매질의 온도가 100~150 °C로 냉각되는 경우에 레이저 출력은 레이저 매질의 mass flow rate 에 비례하여 증가¹⁾하는데, 레이저 매질의 mass flow rate를 크게 하기 위하여 기압을 증가시키면 균일한 glow방전이 불안정하게 된다²⁾. 이러한 glow to arc transition은 회로 영향 또는 전극의 영향에 의해서도 일어나지만 주로 열적인 효과에 의해서 일어난다. 즉, 방전관 내의 레이저 매질에서 부분적으로 온도가 상승하면 그 부분의 레이저 매질의 밀도가 감소하여 전기 전도도와 전자밀도가 증가하기 때문에 ohmic heating에 의해서 그 부분의 온도는 더욱 상승하게 된다. 따라서 방전전류가 그 부분으로만 흐르게 되어 방전관의 단면에서 균일한 glow방전을 유지할 수 없게 된다. Glow to arc transition은 방전관 단면에서 레이저 매질의 온도분포와 하전입자의 분포를 균일하게 유지함으로써 지연시킬 수 있다³⁾. 고속 가스 순환형 레이저는 방전관내의 레이저



매질의 유속의 속도를 빠르게 하여 기체 분자가 확산에 의하여 관벽에 충돌하는 시간보다 더 짧은 시간에 방전관 밖으로 빠져나가게 하는 convective cooled 레이저로서 레이저 출력은 레이저 매질의 mass flow rate에 비례하여 증가한다.

가스 순환을 위해서 과거에는 아령 형태의 날개가 고속으로 회전하는 roots pump가 주로 사용되었으나, 마모가 빠르고 대형이라는 단점으로, 현재는 얇은 날개를 회전시키는 고속(2000 rpm) 터빈이 주로 사용되고 있다. 단위 방전 길이당 1 kW/m의 레이저 출력을 얻을 수 있으며, 주로 1~6 kW 출력의 산업용 레이저에 많이 사용되고 있다.

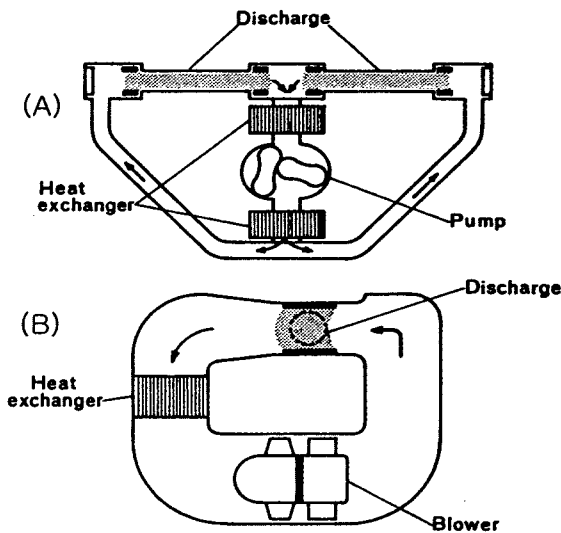


그림 2. Fast-axial convection cooled laser (A) Axial-flow system (B) transverse-flow system (W. J. Witteman, The CO₂ laser, ISBN 3-540-17657-8, pp. 128, 1987)

4.3 고주파여기식 레이저

현재 상업용 CO₂ 레이저의 1/4이 고주파 방전을 이용하여 여기 되고 있는 만큼 고주파 여기식 레이저의 적용범위는 점점 확대되고 있다. 그 이유는 고전압 방전에 비하여 고주파 방전여기는 여러 가지 장점을 갖기 때문이다. 가장 큰 기술적인 장점은 넓은 면적의 전극사이에서 안정된 고주파 방전을 얻을 수 있다는 점이다. 또한 전극은 그림3 과 같이 비전도성 방전관의 외부에 부착시킬 수 있고, 금속성 전극과 레이저 매질사이의 접촉을 방지할 수 있기 때문에 레이저 구조를 간단하게 할 수 있다. 더욱이 단일 고주파 전원을 사용하여 여러 개의 평행판 도파관에 에너지를 주입할 수 있어 다양한 형태의 레이저를 설계할 수 있는 편리한 특성을 제공한다. 즉 구조상으로는 병렬구조이나 전기적으로는 직렬구조의 레이저를 제작할 수 있는 것이 큰 장점이다⁴⁾. 반면에 복잡하고 비싼 가격의 전원공급기, 고주파 발생기와 방전관을 연결하는 임피던스 정합기, 해로운 고주파로부터 사용자를 보호하기 위해서 전자파 차폐를 해야하는

단점이 있다. 그러나 이는 순수하게 기술적인 문제일 뿐이고, 물리적인 관점에서는 고주파 방전이 직류방전에 비하여 많은 이점을 가지고 있다. 즉 고전압 방전식 레이저에서 강력한 레이저출력을 얻기 위해서는 방전관에 큰 전류, 높은 압력, 높은 전류밀도를 가해야만 하는데, 이와 같은 조건은 직류 글로우 방전의 균일성을 감소시켜 결국 레이저발진을 중단시키는 아크방전으로 진행되기 쉽다. 즉 고출력 가스레이저의 설계할 수 있는 결정적인 문제인 최고 입력 가능한 에너지 한계와 글로우 방전의 안정화와의 관계를 고주파 방전을 이용하면 해결이 가능하게 된다. 따라서 파라미터를 적절하게 선택하면 출력의 특성 즉 출력관의 크기, 무게, 설계의 단순성, 제어성, 유지보수비용을 줄일 수 있고, 안정성과 견고성을 향상시킬 수 있기 때문에 고출력 레이저를 고주파 방전을 이용하여 여기 하는 비율이 증가하고 있다.

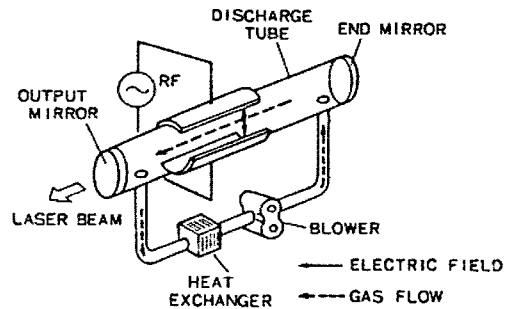


그림 3. Radio frequency excited CO₂ laser of axial type (K. Terai et.al, 레-자-연구, 第21卷, 第1号, pp. 479, 1993)

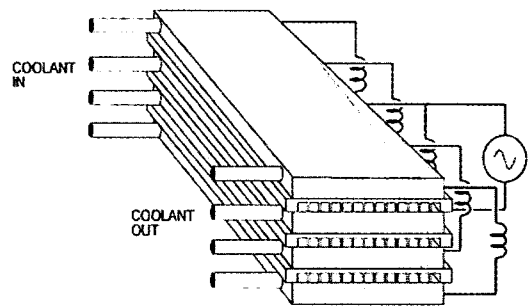


그림 4. 2-D(3 x 13) waveguide laser array (K. M. Abramski et.al, IEEE J. Quantum Electron., vol. 32, pp. 342, 1996)

그림 4와 같이 한 개의 공진기 속에 여러 개의 방전채널을 평행하게 설치한 뒤 확산냉각법을 사용하여 각 채널을 냉각하는 레이저에 관련한 아이디어는 근래에 많은 주목을 받고 있다. 단순히 각 채널의 파워를 합하는 방식이 아니고 각 채널을 동시시켜 최종적으로는 코히런트광을 출력하는 기술이다. 각각 P 출력을 갖는 광학적으로는 분리된 N개의 레이저의 출력을 한 지점에 집속 하면 NP의 출력을 얻을

수 있다. 그러나 만약 각 레이저 모듈의 출력광을 광학적으로 결합시켜 코히런트 광으로 만들 수 있다면 집중된 광의 출력은 N²P 가 된다. 광결합과 코히런트 모드를 안정화하기 위한 여러 가지 방법들이 제시되고 있다. 고주파 횡여기 방법은 이와 같은 특별한 구조를 갖는 동기식 멀티채널 레이저의 중요한 여기방법이 될 것이다.

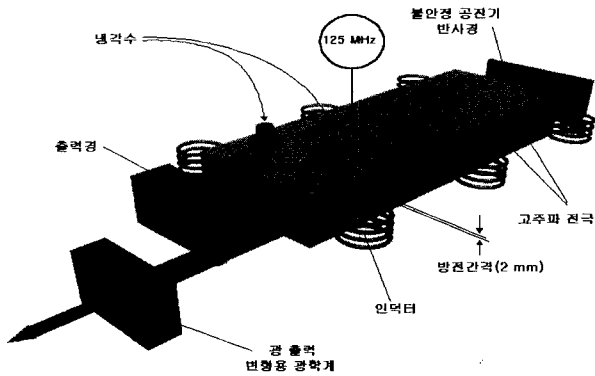


그림 5. Radio frequency excited slab CO₂ laser

고주파 여기식 레이저중 가장 주목을 받고 있는 슬랩 (slab) 레이저의 구성을 그림 5에 표시한다. 물로 냉각되는 2장의 평면전극을 마주보게 배치하고 양 전극 사이에 고주파방전을 발생시킨다. 전극 사이의 간격이 1~3 mm인 방전 공간은 CO₂ 레이저광에 대해 광도파로(waveguide)로서 작용한다. 100 MHz이상의 고주파 전원을 사용할 때 전송선로 효과로 전극간에 걸리는 전압의 분포의 불균일로 인하여 효율이 저하되는 요인을 줄이기 위해서 급전부분을 여러 개 사용하는 방법과 전극에 여러 개의 inductor를 부가하여 전압을 균일하게 하는 방법이 사용된다. 슬랩 공진기의 특징은 불안정 공진기(unstable resonator)를 사용하는 점이다. 즉 공진기 길이가 1 m 가량인데도 불구하고 매질 단면의 길이인 전극 폭방향은 수 10~100 mm 정도이다. 따라서 폭방향의 프리넬수(Fresnel number)가 아주 커서 고차원의 횡모드의 발진이 되고, 집광성이 좋은 출력광을 얻을 수 없다. 방전 간격은 1~3 mm로 좁고 비교적 파장이 긴 CO₂ 레이저의 경우 프리넬수가 1 보다 작으므로 통상 안정형 공진기에서는 큰 회절손실이 발생하게 된다. 따라서 슬랩 공진기에는 폭방향으로 불안정형, 간격방향으로 도파로형으로서 동작하는 하이브리드 공진기(hybrid resonator)가 사용된다. 또한, 공진기 외부에서 출력 빔의 품질을 높이기 위해서 빔정형을 위한 광학계를 부착하여 사용한다. 슬랩 구조의 최대의 특징은 금속전극에 의한 열전도로 인하여 냉각특성이 뛰어나다는 것이다. 이와 같은 확산냉각법에 의해서 단위 방전길이가당 kW/m이상의 레이저 출력을 얻을 수 있다. 또한 슬랩 CO₂ 레이저는 가스 순환용 blower와 열교환기가 없는 간단한 구조를 갖게되어 신뢰성이 높아 차세대 산업용 고출력 CO₂ 레이저발전기로 각광받고 있다. 마이크로파(microwave)는 표피효과로 인하여 여기 파워

를 매질내부에 균일하게 주입시킬 수 없기 때문에 효율이 좋은 레이저 발진이 어려울 것이라고 하는 기술적인 문제가 있었으나, 90년대부터는 2.45 GHz를 사용한 CO₂ 레이저 연구결과가 발표되고 있다. 그림 6은 고속가스 순환식 레이저를 마이크로파로 여기 하여 700 W의 레이저 출력⁵⁶⁾을 얻고 있다. 최근에는 가정용 microwave oven용으로 대량 생산되는 값싼 마그네트론을 병렬⁷⁾로 연결하여 마이크로파 여기 장치를 구성하는 방법도 발표되고 있다. 마이크로파 여기방법의 장점은 비교적 저렴하고 단순한 전원장치로 인한 신뢰성과 손쉬운 고속 펄스동작의 가능성에 있다.

그림 7은 마이크로파 방전여기를 이용한 슬랩형 CO₂ 레이저⁸⁾의 단면을 표시한다. 방전공간은 유전체와 금속경계의 사이에 형성되어있고, 마이크로파는 마이크로파의 입사장인 유전체에 수직한 전계를 형성하게 되게끔 공급된다. 이 같은 구성으로 인하여 표피효과를 일으키게 하는 유전체 표면에 평행한 방전이 형성되고 균일한 마이크로파 방전이 달성된다. 100 MHz 대의 고출력전원은 가격면에 있어서 문제가 있기 때문에 낮은 가격의 마그네트론을 사용하는 마이크로파 여기는 슬랩 CO₂ 레이저에 있어서 유효한 수단으로 기대가 된다.

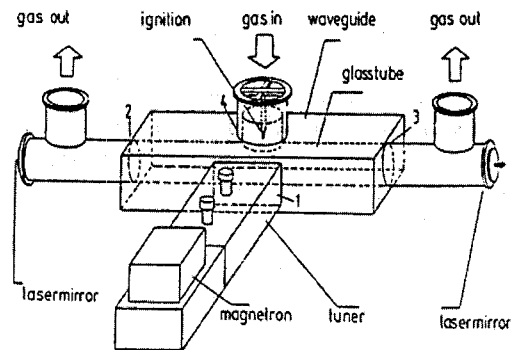


그림 6. Microwave excited CO₂ laser of axial type (B. Freisinger et al, SPIE vol. 1397, pp. 31, 1990)

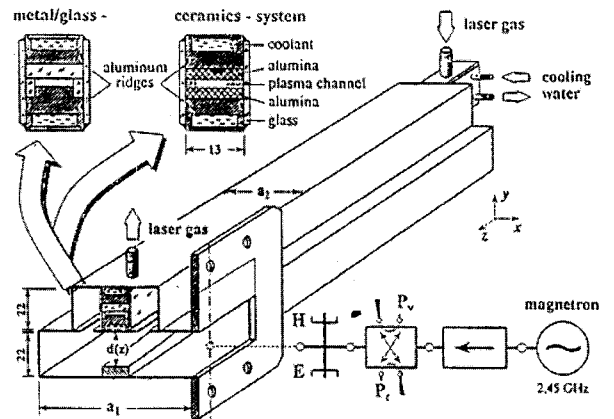


그림 7. Microwave excited slab laser (M Marx et al., J. Phys. D: Appl. Phys. vol. 27 pp. 470, 1994)

4.4 TEA 레이저

횡방향 방전여기 대기압(TEA: Transversely Excited Atmospheric pressure) CO₂ 레이저는 대표적인 펄스동작형 CO₂ 레이저로서 소형장치에서 비교적 큰 침투출력을 얻을 수 있기 때문에 연구용 및 공업용으로 많이 사용되고 있다. TEA 레이저의 구조는 횡방향 여기라는 이름과 같이(그림 8) 레이저 발진축에 대해서 직각으로 주방전 전극을 배치하고, 주방전 전극 옆쪽으로 예비전리전극을 직각으로 놓은 것이 많다. 전극간격은 수 cm부터 20 cm정도까지이다. 고출력을 얻기 위해서 여러 개 모듈을 직렬로 해서 사용하는 경우도 있다.

일반적으로 레이저 매질가스의 압력을 올리면 CO₂ 분자의 수가 증가하고, 체적 에너지가 증가하여 결국 레이저 출력이 증가한다. 즉 피크파워는 가스압력의 2승에 비례하여 증가한다. 그러나 압력이 높아지면 pd값(p:압력, d:방전 전극간격)이 커지고 안정적이고 균일한 방전을 얻는 것이 어려워진다. TEA레이저는 광축에 대해서 직각 방향으로 전극을 평행하게 배치하여 충분한 이득구간과 체적을 유지하면서 pd 값을 작게 할 수 있게 하였다⁹⁾. 이와 같은 구조로 인하여 비교적 낮은 전압으로 소형 장치에서 큰 피크파워를 용이하게 얻을 수 있게되었다. 그후에 예비전리를 이용한 방전기술과 주방전 전극사이에서 균일한 전계분포를 얻기 위한 Chang¹⁰⁾, Rogowski¹¹⁾, Stappaerts¹²⁾, Ernst¹³⁾ 전극설계 기술 발달로 큰 체적에서 안정된 방전을 일으키는 것이 가능하게 되었다. 그러나 연속발진의 대출력 CO₂ 레이저와 비교하면 평균출력이 아직 작기 때문에 산업용으로는 아직 응용범위가 작다. 이와 같은 제한요인은 여기전원회로에 사용하는 사이라트론(thyratron)과 같은 고속 스위칭 소자의 용량 부족 및 수명이 짧은 것이 주요인이며, 방전에 의한 레이저가스의 해리 및 열화로 인한 불안정 방전의 발생이나 출력의 저하에도 원인이 있다. 따라서 근래에는 사이라트론을 대체하기 위해서 SCR(Silicon Controlled Rectifier), GTO(Gate Turn-Off thyristor), SIT(Static Induction Thyristor), 파워 MOSFET 등과 같은 반도체 스위치를 여기용 전원회로에 적용하는 연구가 진행되고있다.

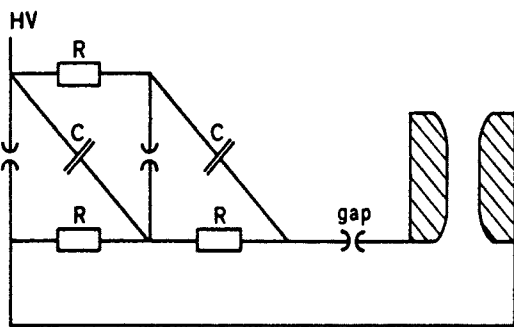


그림 8. Electrical scheme of the TEA laser (W. J. Witteman, The CO₂ laser, ISBN 3-540-17657-8, pp. 128, 1987)

TEA레이저의 펄스 당 에너지는 수 주울(J)부터 수 kJ까지 출력되므로, 피크펄스 값은 수 MW부터 수 TW까지 얻을 수 있다. 이와 같이 높은 침투값을 이용해서 레이저 마킹기, 레이저 레이다, 동위원소분리, 적외 레이저의 여기광원으로서도 사용되고 있다. 비선형 광학등 기초과학의 분야, 특히 플라즈마 분야에서는 그 발생, 진단은 물론 최근에는 플라즈마 가속기의 연구에 중요한 위치를 차지하고 있다.

4.5 전자 빔 제어 CO₂ 레이저

TEA CO₂ 레이저가 출력할 수 있는 광 펄스보다 더 높은 침투치를 갖는 대출력의 광펄스가 필요할 경우 전자빔 제어 CO₂ 레이저를 사용한다. TEA CO₂ 레이저는 CO₂ 분자의 여기를 위한 전자의 공급원으로 글로우 방전을 사용하고 있으나, 이 방법으로는 균일한 글로우 방전을 얻을 수 있는 기술적인 한계는 전극간격이 최대 20 cm 정도까지이고, 매질 가스의 압력은 대기압 정도까지이다. 그 이상에서는 아크가 발생하므로 균일한 글로우 방전을 얻는 것이 어려워진다. 단위 체적, 단위 압력에서 만들 수 있는 방전 분포에는 한계값이 있기 때문에 이 상태로는 더 높은 출력을 얻을 가능성이 없다. 따라서 레이저 출력을 증가시키기 위해서, 전극간격을 넓히고, 가스 압력을 높은 상태에서 매질 가스를 여기 하는 방법으로 그림 9와 같이 외부에서 높은 에너지의 전자빔을 입사시켜 방전제어를 하는 방법을 사용하는데¹⁴⁾, 이것을 전자빔 제어 CO₂ 레이저라고 한다.

전자빔 제어 CO₂ 레이저에서 발생한 높은 침투값의 광펄스를 이용해서 원적외선 레이저의 여기 광원, 자유전자 레이저, X선 레이저¹⁵⁾ 개발등 강전장과 물질의 상호작용의 연구에 이용된다. 특히 플라즈마 분야에서는 관성핵융합연구나 서브나노초 펄스를 이용해서 터널전리¹⁶⁾ 진단은 물론, 차세대 가속기로서 기대된 플라즈마 가속기¹⁷⁾의 연구에 중요한 위치를 차지하고 있다.

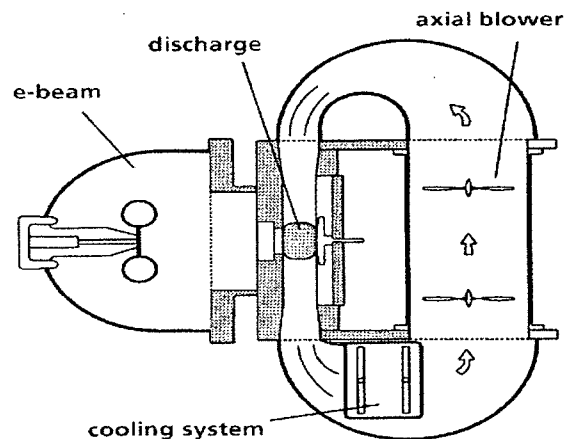


그림 9. 50kW electron-beam sustained high pressure CO₂ laser (W. Mayerhofer et.al, SPIE vol. 3574, pp. 664, 1998)

4.6 가스 다이나믹 CO₂ 레이저

방전여기를 이용한 레이저로는 방전전원의 대형화나 용량의 한계로 100 kW급 이상의 출력을 얻은 것은 기술적인 어려움이 있으나, CO₂ GDL(Gas Dynamic Laser)은 100 kW 이상의 레이저 출력이 필요한 용도에 응용할 수 있는 광원으로 검토 대상이 되고 있다. 이 레이저는 1966년 Gerry¹⁸⁾와 Konyukhov¹⁹⁾에 실현된 뒤, 1970년대 후반부터 1980년대 전반에 걸쳐서 아주 활발하게 연구되었고, 미소간의 SDI(Strategic Defense Initiative)사업중 많은 발전이 있었다.

레이저 발생 원리는 그림 10과 같이 고온 고압 가스를 nozzle에서 초음속으로 팽창시킬 때, 노즐을 빠져나가는 동안 가스의 온도와 압력이 급격히 떨어지면서 반전분포 상태가 유지되는 현상을 이용한 것으로, 그림 와 같이 레이저 출력을 위한 광공진기를 노즐 뒷부분에 설치하여 레이저광을 출력한다. CO₂ GDL의 발생에는 로켓이나 제트엔진의 개발로 발달된 특수한 고압연소기술, 마하 5~6에 상당한 가스속도를 얻기 위한 노즐과 diffuser등의 초음속 기술과 고출력 레이저 발생기술등 각양각색의 기술을 필요로 한다²⁰⁾. 즉 CO₂ GDL기술은 기계, 화학, 물리, 전기등 광범위한 고도의 공학기술의 복합체이다.

레이저 가공기술의 발전으로 인하여 기업간의 치열한 개발경쟁으로 발전했던 방전여기 CO₂ 레이저에 비하면, CO₂ GDL은 발생기구에 기인한 장치의 복잡함이나 고압연소에 대한 안정성에 있어서 10 kW나 20 kW의 출력에 대해서는 명확한 장점이 발견되지 않기 때문에 상업용으로 개발이 늦어지고 있다.

5. 결 론

고출력 CO₂ 레이저는 레이저의 역사만큼이나 기술 개발의 역사가 오래되었고 상용화에도 성공하여 가장 많이 사용되는 레이저중의 하나이다. 그 동안 국내에서도 많은 연구와 상용화시도가 있었으나, 현재는 레이저 발생기를 대부분 수입에 의존하고 있는 형편이다. 그 이유는 짧은 개발역사로 인한 노하우 부족에서 발생한 국외기술과의 경쟁력 부재로 인한 것이었다. 그러나 90년대부터 시작된 고주파 및 마이크로파 여기식 레이저는 개발역사

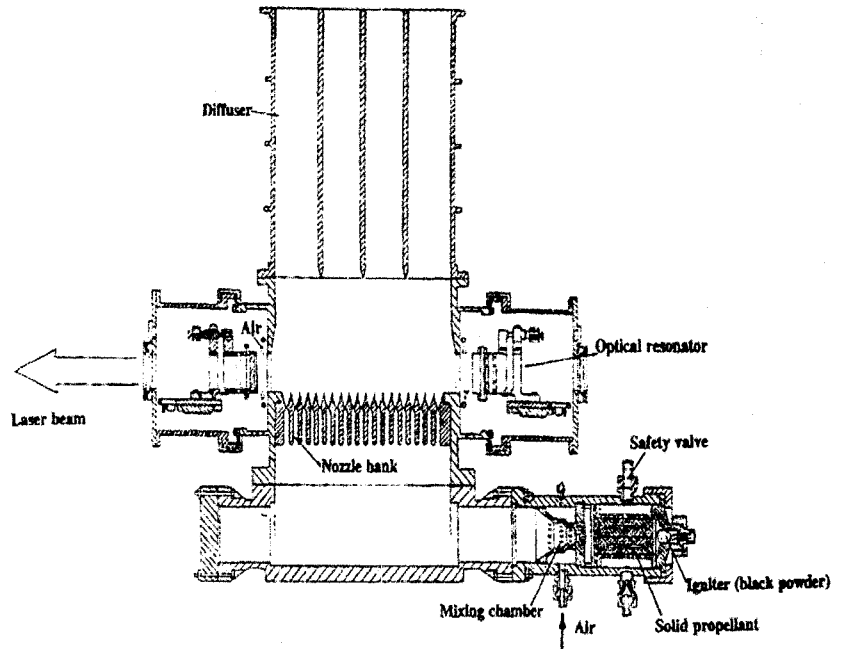


그림 10. Medimu(15kW) combustion-driven CO₂ GDL (A.S.Boreisho et.al. SPIE vol. 3574. pp. 216, 1998)

가 오래되지 않았고, 최근에야 일부가 상용화되기 시작하고 있어, 국내에서도 이제부터 관심을 가지고 연구가 시작된다면 충분히 경쟁력을 가진 고출력 레이저를 기대할 수 있을 것이다.

참고문헌

- [1] A. E. Hill, Appl. Phys. Lett., vol. 16, pp. 423, (1970)
- [2] E. Wasserstrom et al., J. Appl. Phys., vol. 49, pp. 81, (1978)
- [3] A. C. Eckbreth and S. Owen, Rev. Sci. Instrum., vol. 49, pp. 81, (1978)
- [4] R. Abram, et al., SPIE, vol. 3092, pp. 100, (1997)
- [5] Bernhard Freisinger et al., SPIE vol. 1397, pp. 31, (1990)
- [6] Tetsuya Ikeda et al., IEEE J. of Quantum Electronics, vol. 31, No. 8, pp. 1525, (1995)
- [7] T. Sugiyama et al., SPIE vol. 3574, pp. 815, (1998)
- [8] M März and W Oestreicher, J. Phys. D: Appl. Phys. 27 pp. 470-474, (1994)
- [9] Katsumi Midorikawa and Hideo Tashiro, レーザ-研究, 第21卷, 第1号 pp. 26, (1993)
- [10] T. Y. Chang, Rev. Sci. Instrum., vol. 44, pp. 405, (1973)
- [11] J. D. Cobine, Gaseous Conductors, Dover, New York, (1958).
- [12] E. A. Stappaerts, Appl. Phys. Lett., vol. 40, pp. 1018, (1982).
- [13] G. J. Ernst, Opt. Commun., vol. 49, pp. 275, (1984).
- [14] Yoneyoshi Kitagawa, レーザ-研究, 第21卷, 第1号 pp. 60, (1993).



[15] E. Miura et al, Appl. Phys. Lett., vol. 55, pp. 223, (1989).
 [16] Y. Kitagawa, ILE Quarterly Progress Report, (1991).
 [17] Y. Kitagawa et al., Phys. Rev. Lett., 68 20, (1992).

[18] E. T. Gerry, IEEE Spectrum 7:51 (1970).
 [19] V. K. Konyukhov et al., JETP Lett. 12:321 (1970).
 [20] Hideaki SAITO, レーザ-研究, 第21卷, 第1号 pp. 49, (1993).

저 자 소개



최중운(崔鐘云)

1959년 2월 16일생. 1981년 단국대 공대 전자공학과 졸업. 1981년-1984년 육군기술장교. 1997년 단국대 공대 전자공학과 졸업(공학박). 1986년-1988년 해태전자 연구원. 1988년-현재 한국표준과학연구원 광학그룹 책임연구원.

공업계측제어기술사, 전기통신기술사



신동주(申東洲)

1960년 11월 15일생. 1983년 서울대 공대 원자핵공학과 졸업. 1985년 동 대학원 원자핵공학과 졸업(석사). 1999년 동 대학원 원자핵공학과 졸업(공학박). 1985년-현재 한국표준과학연구원 광학그룹 선임연구원