

① 설계 제작된 CO₂ 레이저 발전기 시스템

CO₂ 레이저 발전기의 원리와 개발효과

실장 조연 옥·진 윤 식

한국전기연구소 고전압연구실

1. 서 론

1960년대에 레이저가 출현하여 선진국에서는 지금까지 여러 가지 레이저가 개발되고 고출력 화합에 따라 레이저를 이용한 가공기술도 급속히 개발되어 항공기, 자동차·기계, 중공업, 전기·전자, 임가공업 등 산업전반에 걸쳐 폭넓게 사용되고 있다.

CO₂ 레이저는 동작효율이 최고 33%에 이르며 연속으로 수십 kW의 고출력을 낼 수 있고, 매우 안정하게 동작하기 때문에 재료가공, 동위원소 분리, 핵융합 연구, 분광학, 의료 등의 광범위한 활용범위를 가지고 있다.

CO₂ 레이저는 CO₂ 가스에 전기적 방전을 일으켜 레이저 빛을 발생시키는 장치로서, 10.6 μ m의 파장을 갖고 있으며 가장 효율이 좋은 레이저(최고효율 33%)로 알려져 있다. CO₂ 레이저는 물질과 반응을 잘하므로 재료 가공에 널리 응용되고 있으며 그 예로는 금속 비금속의 절단, 구멍뚫기, 용접, 열처리, 세라믹 가공 등에 쓰이고 있다.

레이저를 이용한 재료 가공은 레이저 광(光)을

열원(Heat Source)으로 사용하는 것으로서 다른 방법에 비해 매우 높은 에너지 밀도를 재료에 공급할 수 있는 것이 특징이고, 이것에는 용접, 절단, 표면처리, 신물질 합성 등이 포함된다. 레이저를 이용하면 정밀한 가공을 할 수 있고, 공정을 단순화할 수 있어 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라 출력 제어가 용이하며 반사체를 이용한 원거리 전송이 가능하다. 이러한 레이저 가공은 일반 산업분야에서 널리 이용되는 것은 물론이고 가공의 정밀성과 원경조정의 편리성 때문에 방사선으로 인하여 접근이 어려운 원자력 분야에서도 그 응용이 증대되고 있다. 이와 같은 CO₂ 레이저 발전기를 이용한 레이저 가공기를 개발한다면 연간 30% 이상 수요가 증가하는 CO₂ 레이저 가공기의 국산화가 가능하게 되어 외화의 절감 및 레이저를 이용한 재료가공기술의 혁신을 기할 수 있을 것이다.

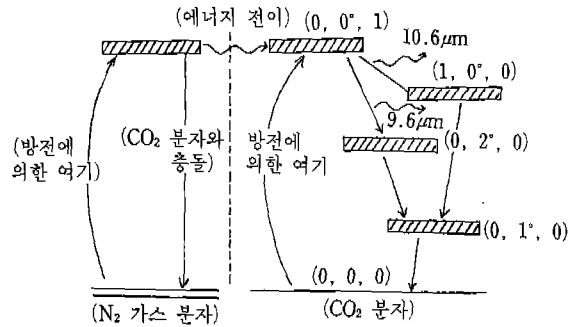
2. CO₂ 레이저 빔의 발생원리

CO₂ 레이저는 적외선 구역인 10.6 μ m 파장의 고출력 펄스 또는 지속파를 방출시킬 수 있으며,

약 15% 이상의 높은 효율을 주기 때문에 Nd:YAG 레이저와 함께 재료 가공에서 가장 중요하고 많이 사용되는 레이저이다. CO₂ 레이저는 원자기체 또는 이온기체들의 전자적인 에너지 준위들 사이의 전이에 의하지 않고, 레이저의 능동매질인 CO₂ 분자들의 진동 및 회전준위들 사이의 전이에 의한 분자기체 레이저이다.

원자와 이온들에 비하여 분자의 에너지 준위구조는 분자를 구성하는 원자내의 전자운동, 원자들의 진동 및 회전운동 3가지 요인때문에 복잡하다. 분자에서 전자들은 단일원자에서와 같이 높은 에너지 준위로 여기될 수 있고, 이들 분리된 준위들의 전이는 보통 가시광선 혹은 자외선 구역에 해당한다. 그러나 전자들의 에너지 상태와 독립적으로 분자결합력에 의하여 유지되는 원자핵들은 그 평형위치 주위에서 진동하며, 양자화되어 있는 진동 에너지 준위를 준다. 같은 전자구조의 에너지 상태에서 이러한 진동 에너지 준위들 사이의 에너지 차이는 전자들의 준위에 의한 차이보다 적기 때문에 보통 적외선 구역의 파장을 준다. 따라서 멀리씩 떨어져 있는 전자준위들은 각각 많은 수의 하부진동준위(Sub Level)로 분리된다.

CO₂ 레이저에서 전자 에너지 준위가 기저상태에 있을 때 진동 에너지 준위들 사이의 레이저 빔이 방출되는 전이과정은 그림 1과 같다. 고전압에 의하여 가스 방전이 있게 되면 CO₂ 분자들은 기저준위로부터 펌핑되어 전자 에너지 준위가 큰 상태로 여기된 후 다시 준안정준위로서 레이저 상부 준위의 역할을 하는 (00⁰) 준위로 떨어지게 된다. 만일 충분한 펌핑이 있으면 (00¹) 준위와 (10⁰) 준위 사이에 분포밀도 반전이 일어나 적외선영역인 10.6 μ m의 레이저 빔을 방출시키며, 또한 (00¹) 준위와 (02⁰) 준위 사이에도 분포밀도 반전이 발생하여 9.6 μ m의 레이저



<그림 1> CO₂ 레이저의 에너지 준위도

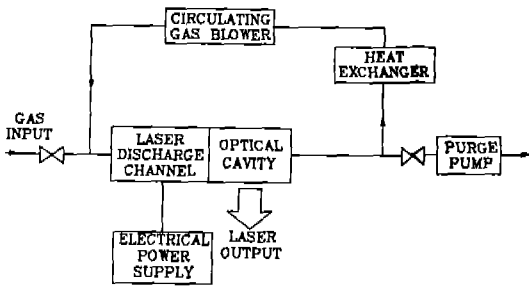
빔을 방출시킨다.

CO₂ 레이저에서는 레이저의 전반적인 효율과 동작특성을 좋게 하기 위하여 CO₂ 가스 외에 N₂와 He 기체를 혼합하게 되는데, N₂의 첨가는 $v=1$ 진동준위에 있는 질소분자와 기저상태에 있는 CO₂ 분자의 충돌에 의해 에너지가 전달됨으로써 CO₂ 분자의 상위준위 밀도를 증가시키는 역할을 하게 된다. He는 CO₂ 분자의 하위준위의 밀도를 감소시킴으로써 상위준위의 밀도 분포에는 영향이 없이 병목현상을 일으키는 하위준위의 밀도를 기저상태로 빠르게 붕괴시키는 역할을 하게 된다. 또한 He는 방전시 전자의 에너지 분포를 CO₂ 분자의 효과적인 여기에 적당하도록 일정 범위내에서 유지하는 역할을 하게 된다.

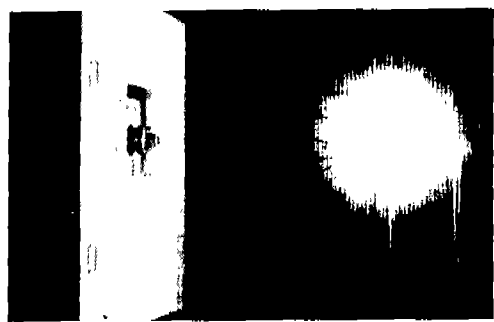
3. 횡류형 연속출력 CO₂ 레이저 발전기의 구성과 원리

산업적 응용을 위한 레이저 가공기에 적용되기 위한 레이저는 현장 사용자의 견지에서 볼 때, 다음과 같은 사항이 레이저의 높은 신뢰성을 위하여 요구된다.

- 장시간에 걸친 출력의 안정성
- 자동화된 레이저 동작(기동, 정지, 운전조건



<그림 2> 대류냉각형 레이저의 블록 다이어그램



△ 레이저 발진 모습

에 따른 작동 조정)

- 최초 기동으로부터 안정상태로 되기까지의 시간의 단축
- 지속운전에 의한 레이저 정지시간의 감소
- 용이한 장치의 유지보수 및 운전
- 광공진기 정열의 용이성
- 출력 빔 형태의 운전중 점검의 용이성
- 산업적 환경에서 레이저 원(源)의 안전한 작동

대류 냉각형 레이저의 기본 구성요소로서는 방전부, 열교환기, 기체 순환장치, 공진기, 전원, 기계적인 구성품을 연결하는 덕트(Duct) 등을 들 수 있다(그림 2).

방전부는 레이저 기체를 전기적으로 여기시키기 위한 부분으로 레이저 가스가 지나가는 동안 전극 사이에 전기적 방전을 일으킨다. 열교환기는 방전에 의해 가열된 기체를 냉각수로 냉각시키는 부분으로 기체의 온도가 상승하면 레이저에서 밀도반전 분포가 깨어지기 때문에 레이저 작용이 중단하게 된다. 기체 순환장치는 방전부에서 기체의 속도를 수십미터 이상으로 통과시킴으로써 방전을 안정화시키고 방전부를 통과한 기체를 열교환기에서 냉각시키는 작용을 하며, 주로 수천 rpm의 축류송풍기를 사용한다.

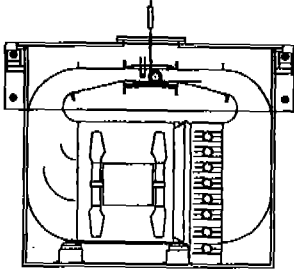
방전부에서 여기된 CO₂ 분자는 기저상태로 전이하면서 10.6μm의 빛을 내는데, 이 빛을 증폭하고 공진이 일으키는 부분이 공진기이다. 공진기는 광학 렌즈들과 이를 지지하는 지지대로 구성되는데, 광학 렌즈는 한쪽은 전반사 거울을 사용하고, 반대쪽은 반투과 거울을 사용하게 된다. 전원은 레이저 발진을 위한 방전유지를 위한 것으로서 방전 종류에 따라 직류나 교류, 고주파 전원을 사용한다. 한 번 주입된 기체를 순환하여 사용하고, 기체흐름의 유로를 형성하기 위하여 기계적인 구성품들은 덕트로 연결된다.

그림 3은 당 연구소에서 설계 제작된 레이저 본체의 모습으로서, 이 장치는 경제성을 고려하

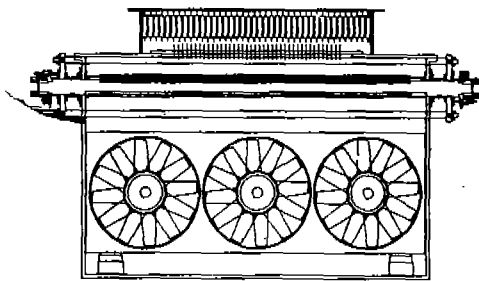


△ 레이저가 내화벽돌을 녹이는 장면

FRONT VIEW



SIDE VIEW



DIM : L×W×H = 1600×1100×1000

<그림 3> 레이저 발전기 시스템의 설계

여 기체의 유관을 폐회로로 하였고 레이징 영역에서의 매질의 속도가 높아지도록 넓은 송풍장치와 좁은 레이징 영역으로 구성하였다. 본 장치의 송풍장치부의 유로 단면적을 55cm×160cm로 하였고, 발전부는 단면적이 5.5cm×160cm가 되도록 하였다.

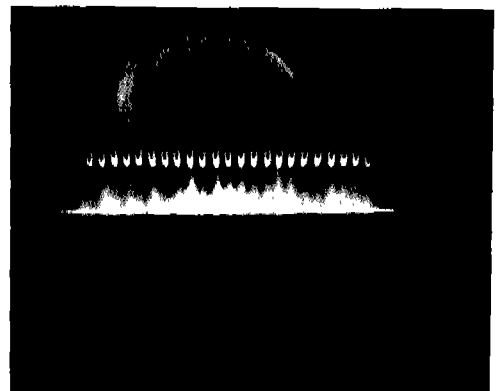
본체의 재질은 레이징 매질에 의한 부식을 방지하고 내구성을 높이며, 내부를 진공으로 할 때 대기압에 의한 응력을 견디도록 SUS 304를 선택하였다. 본 장치에서는 7mm의 SUS판으로 직육면체의 외함을 만든 다음, 내부에 기체의 유로와 방진부, 송풍기 등을 내장함으로써 챔버의 진공유지를 용이하게 하였고, 챔버 외부에 보강대

를 설치하여 대기압에 의한 응력을 견딜 수 있도록 하였다.

송풍장치부는 다익 축류형 팬을 3마력 모터의 양측에 고정하여 병렬로 3대를 하나의 구조물에 설치하고, 장치 외함과 연결부는 공기충격흡수기(Air Shock Absorber)를 설치하여 송풍기의 진동이 외함에 전달되는 것을 방지하도록 하였다.

발전부는 핀 형태의 음극과 평판형태의 양극으로 이루어진 방전부, 이들을 지지하는 형강과 절연물, 양쪽의 방전용 미러를 포함하는 공진기 부분으로 구성하였는데, 폭은 25cm로 하였고, 높이를 5.5cm로 하여 내부에 설치하는 전극 구조물에 의해 전극 사이의 거리를 조정할 수 있도록 하였다.

레이저 본체에서 발전된 빔은 빔 가이드를 통하여 X-Y Table로 이송된다. 빔 가이드는 빔 서터, 벤딩 미러(Bending Mirror), 레이저 헤드로 구성되며, 빔 서터는 솔레노이드로 구동되고, 사용된 미러는 Mo 평면 미러이다. 레이저 본체는 고전압이 내재하고, 레이저 빔은 인체에 조사되면 치명적인 화상을 입게 되므로 레이저의 운전은 본체와 분리된 제어계(Control System)에



△ 레이저 가스 방전 모습

서 할 수 있도록 하였다. 제어 시스템은 CO₂ 발진기를 안전하고 자동적으로 작동할 수 있도록 마그넷(Magnet) 접점들로 구성하였고, X-Y Table은 컴퓨터로 제어할 수 있도록 설계하였다.

표제 사진은 설계, 제작된 레이저 시스템의 전체 모습을 보인 것이다.

4. CO₂ 레이저 발진기 개발에 따른 효과

레이저에 의한 재료가공방법은 종래의 방법에 비하여 큰 에너지 밀도를 얻을 수 있고, 레이저 빔은 수 μm 의 매우 작은 크기로 집속할 수 있어 복잡하고 정교한 부품의 정밀가공이 가능하며, 매우 단단하거나 취약한 재료와 매우 연한 재료와 같이 기계적으로 힘든 재료의 가공이 용이한 점 등 수많은 장점이 있으므로 재료가공기술의 향상과 제품의 품질향상을 위하여 반드시 개발되어야 할 기술이다. 또한 사회·문화적 측면에서 볼 때 생산직 노동인구의 감소와 비싼 임금으로 인한 인력난을 해소하기 위해 각 업체에서는 공장자동화에 박차를 가하고 있는 바 레이저 가공기는 공장자동화에 있어 매우 유리한 점이 있다고 판단된다. 기술적 측면에서 보면 고풍력 CO₂ 레이저 발진기 제작기술 확보와 레이저 가공기 개발에 따른 레이저 가공기술 확보로 각종 시료에 대한 가공조건 및 가공 데이터를 수집함으로써 각종 핵심부품의 레이저 가공이 가능할 것으로 예상된다. 경제·산업적 측면에서 본다면 연간 30% 이상 수요가 증가할 것으로 예상되는 CO₂ 레이저 가공기의 국산화로 수입대체 효과기대를 기대할 수 있으며(표 1, 2 참조), 산업 파급효과로서 고임금에 의한 대외경쟁력 약화를 제고할 수 있으며 공해문제(유해물질, 소음) 해소를 작업환경 개선을 개선할 수 있을 것으로 기대된다.

<표 1> 시장규모

구분	현재의 시장규모	예상되는 시장규모
세계시장규모	645백만달러('90)	(2000년) 2,180백만달러
한국시장규모	5,500백만원('90)	(2000년) 73,500백만원

<표 2> 레이저 가공기의 실용화에 따른 수입대체 예측

(단위 : 백만원)

구분	연도	1992	1993	1994	1995	1996
낙관적 예측		1,000	1,500	2,000	2,000	2,000
현실적 예측		500	1,000	1,500	1,500	1,500
비관적 예측		300	600	1,000	1,000	1,000

5. 결 론

레이저를 이용한 재료가공 및 응용은 레이저 빛의 특성으로 인하여 재래식 방법으로는 불가능하였던 일들을 가능케 하였다. 특히 재료가공에 이용되는 CO₂ 레이저는 이미 선진국에서는 공장자동화 라인에 설치되어 그 위력을 발휘하고 있으며, 국내에서도 중소기업 규모로 레이저를 이용한 가공산업이 조금씩 성장하고 있다. 그러나 국내에서 사용되고 있는 레이저가 거의 외국에서 비싼 값을 치르고 수입에 의존한 것이어서 기술의 해외의존도가 높은 편이다.

앞으로 계속적으로 수요가 증가할 것으로 기대되는 대출력 CO₂ 레이저의 국산화는 매우 시급한 일이며 금번 한국전기연구소에서 (주)성진전기와 공동연구로 개발한 2kW 이상 연속출력의 레이저 발진기는 레이저 가공기 개발에 있어 핵심적인 부분을 해결함으로써 기술선진국으로서의 진입에 더욱 접근할 수 있는 계기가 될 것으로 생각한다.