

온도센서를 이용한 CO2레이저 빔 조사면의 온도 분포 특성에 관한 연구

민 병 대, 김 태 균, 정 현 주, 김 용 철, 정 종 한, 김 희 제
부산대학교 전기공학과

The study on temperature distribution characteristic
of irradiated surface by CO2 laser

Byoung-Dae Min, Tae-Kyun Kim, Hyun-Ju Chung, Yong-Cheol Kim, Jong-Han jung, Hee-Je Kim
Dept. of Electrical Engineering PNU

Abstract - Nowadays, CO2 lasers are used widely in many applications such as materials fabrication, communications, remote sensing and military purpose etc. Especially, CO2 lasers are in the spotlight at surface handling and heat processing. It is important to control the laser output power and beam quality in those fields. To increase beam quality, We used the feedback system by various sensors.

Although, CO2 lasers' output beam became feedback, its beam affected the irradiated material target already. Since, ideal real time control have still the problem to solve. Hence, we need the new proposal for more precise laser processing. So we expect the new effect how to change the irradiated material target as the kind of, processing time and output density caused by the CO2 laser beam.

In this study, We have investigated the characteristics of the temperature and HAZ(Heat Affected Zone) by CO2 laser output with IR temperature sensor and RTD.

1. 서 론

CO2 레이저는 이미 우리 생활의 많은 분야에서 사용되고 있다. 특히 CO2레이저는 산업용과 의료용으로 각광 받고 있는데 레이저를 이용한 가공은 가공면이 섬세하고 국부적인 순간 가열이 가능하며 피가공물의 다른 부분에 손상을 주지 않는 작업이 가능하다. 이러한 이유로 인해 앞으로도 광범위한 분야에 급속하게 보급 될 것이다. 따라서 보다 우수한 성능의 레이저 시스템이 필요하다. 레이저 시스템의 향상을 위해서는 레이저 공진기와 전원 장치 등의 필수적인 요소의 성능도 중요하지만 제어 시스템 또한 큰 영향을 미친다. 현재 의료용이나 반도체 산업 등과 같이 정밀한 빔 질을 요구하는 곳에서는 일반적으로 포토 다이오드나 포토 트랜지스터, CdS 등과 같은 광센서를 사용하여 CO2레이저 공진기내의 방전 광이나 출력광을 감지하여 피드백하는 방법을 사용하고 있다. 이 방법은 피드백 시스템이 없는 기존의 CO2레이저 시스템보다는 한층 더 출력을 안정화 시켰다. 그러나 센서의 기술이 발전되고 있다고는 하지만 센서와 피드백 회로 자체의 지연시간으로 인해 실시간적인 제어에는 한계가 있다. 왜냐하면 광센서에 의해 레이저 출력이 피드백 되어 가는 순간에도 CO2레이저의 빔은 벌써 피사체에 도달하고 난 후이다. 불안정하거나 과도한 빔 에너지가 피사체에 도달하여 피사체의 손상이 생긴 이후의 피드백 제어는 아무런 의미가 없는 것이다. 따라서 보다 정밀한 레이저 가공을 위한 차선책이 필요하다.

그 차선책으로 CO2레이저의 빔이 가공물의 종류, 가공 시간, 출력의 강도에 따라 가공 대상물에 어떤 영향을 미치는지를 예측하는 방법이 있다. 대상물이 받을 영향을 예측한 데이터를 활용하여 기존의 피드백 시스템을 이용한 CO2레이저 가공을 보다 정밀하고 용이하게 할

수 있다.

본 연구에서는 레이저빔 조사면의 영향을 예측하는 방법으로서 피사체의 CO2레이저 출력과 조사시간에 따른 표면 온도를 비접촉식 적외선 온도계와 접촉식 백금 RTD(resistance temperature detector)를 이용하여 관찰하였다. 피사체로는 산업공정에서 널리 사용되는 구리, 스테인레스, 철을 사용하였다.

2. 본 론

2.1 CO2 레이저 시스템의 구성

전체 시스템은 크게 나누어 공진기, DC-DC 컨버터 방식의 고전압 전원장치, PIC one-chip 마이크로프로세서를 이용한 제어장치, 그리고 물순환 냉각장치 등이 있다.

2.1.1 공진기 시스템

본 연구에서는 그림 1에서 보는 바와 같이 방전 경로와 광축이 동일한 축류형과, plano-concave 공진기를 채택하였다.

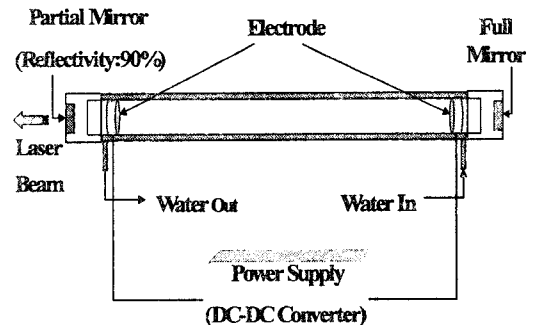


그림 1. DC-DC Converter System에 의한 CO2 레이저의 공진기 개략도.

Fig. 1 Schematic diagram of the CO2 laser resonator with DC-DC Converter.

레이저 방전을 위한 전반사경은 열 팽창계수가 작고 열전도도가 크며, 경도가 높은 직경 1.5 인치, 곡률 반경 10 m, 반사율 99.5 %인 몰리브덴 렌즈를 사용하였고, 부분반사경은 방전 문턱치를 낮추기 위해 반사율이 90 %이고 기계적 강도와 열전도가 크며, 흡수계수가 적은 ZnSe(Zinc Selenide)렌즈를 채택하였다.

레이저 방전판으로는 길이 100cm, 내경 16mm, 두께 2mm인 파이렉스(Pyrex)판을 사용하였으며, 방전 플라즈마를 발생시키기 위한 방전판의 체적은 90mm×π×64mm³이다. 방전부는 알루미늄으로 만든 원통형 전극을 방전판에 부

착하여 만들었으며, 전극간 거리는 약 90cm로 하였다. 방전관 외벽에는 연속 동작시 방전 플라즈마로 인한 온도 상승에 의해 야기되는 출력의 불안정을 방지하기 위하여 내경 30mm, 두께 2mm인 파이렉스 관을 이중으로 제작하여 물 순환 냉각 장치를 구성하였다.

2.1.2 고전압 전원장치

그림 2는 본 연구에 사용된 DC-DC 컨버터 방식의 고전압 전원 장치이다.

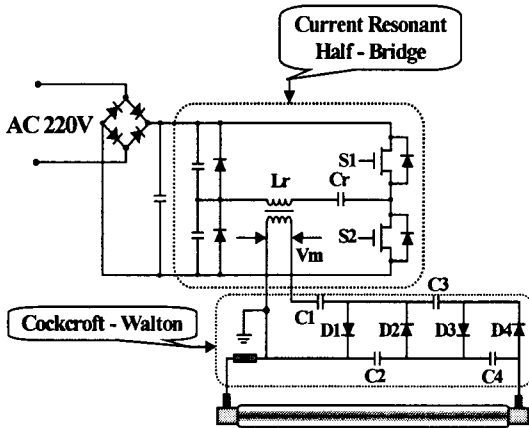


그림 2. 하프 브리지 인버터 회로와 Cockcroft-Walton 회로를 이용한 레이저 전원회로.
Fig. 2 Laser power supply using half-bridge inverter and Cockcroft-Walton circuit.

2.2.1 온도 측정부

CO2 레이저의 출력에 따른 피사체의 온도 측정을 위해서 그림 3과 같은 구성을 하였다.

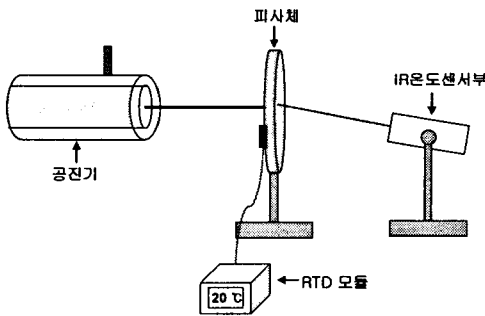


그림 3. 온도 측정부와 피사체.
Fig. 3 Temperature measuring part and an irradiated material target.

피사체의 표면 온도 측정을 위해서 비접촉식 온도계와 접촉식 온도계를 병행하여 사용하였다. 비접촉식 온도계는 물체에서 방사되는 적외선을 감지 함으로써 협소 구역이나 접근 불가능 지역 또는 고온, 고전압 등의 위험한 개소의 측정이 가능하다. 접촉식 온도계는 물체에 접촉하여 측온하기 때문에 대기온도와 같은 열적 외란의 영향을 작게 받고 오차가 적어 신뢰성이 높다. 본 연구에서는 IR 온도 센서부는 IR 센서 HEIMANN 3873을 내장한 SK-8800을 사용하였다. SK-8800은 적외선 방사를

이 0.95이며 측정 거리와 측정 유효 직경의 비는 8:1이고, 측정 파장은 6~14um로 비교적 넓은 측정 파장을 가지고 있다. 센서의 응답 속도는 0.5sec이다. RTD(resistance temperature detector) 모듈은 현존하는 온도 센서 중 응답 속도도 빠르며 가장 정확도가 높아 -260~630℃ 영역에서 표준 온도 센서로 사용되는 백금 저항 온도 센서를 에폭시 몰딩하여 사용하였고 디지털 디스플레이를 위해 A/D Converter와 One Chip 마이크로 프로세서(AT90LS8535)를 이용하였다.

2.2.2 피사체

피사체는 직경 80mm, 두께 1mm의 스테인레스 원판과 동일한 크기의 구리원판, 철판 등의 3가지의 금속체를 사용하였다.

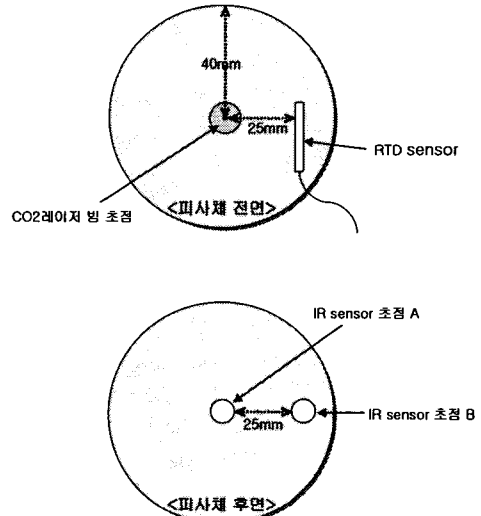


그림 4. 피사체의 전면과 후면.

Fig. 4 Front and rear surface of an irradiated material target.

또한, 피사체의 성질과 CO2 레이저의 출력에 따라 열영향부(Heat Affected Zone)가 변화하는 것을 관찰하기 위해 2개의 IR sensor와 백금 RTD(resistance temperature detector)를 이격시켜 배치하였다.

2.3 실험 결과 및 검토

그림 5는 CO2 레이저의 입력 전압과 출력 에너지를 나타낸 것이다.

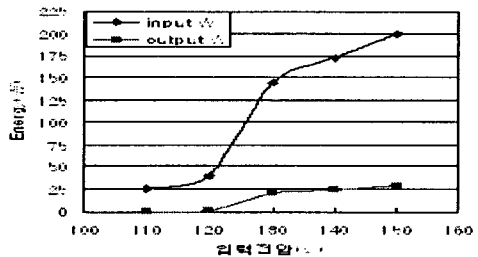


그림 5. CO2 레이저의 입력 전압 대 출력 에너지
Fig. 5 Input voltage vs output energy of CO2 laser

피사체의 표면 온도를 측정하기에 앞서 CO2레이저의 출력과 입력 전압과의 관계를 관찰하여 입력전압과 표면 온도의 상관관계를 쉽게 관찰할 수 있도록 하였다. 그림에서 보이는 바와 같이 입력 전압이 120V~130V에서 출력이 급격히 증가하는 것을 알 수 있다. 따라서 본 연구에서는 입력 전압 120V, 130V를 인가했을 때의 출력에 따른 피사체 표면 온도를 관찰하였다.

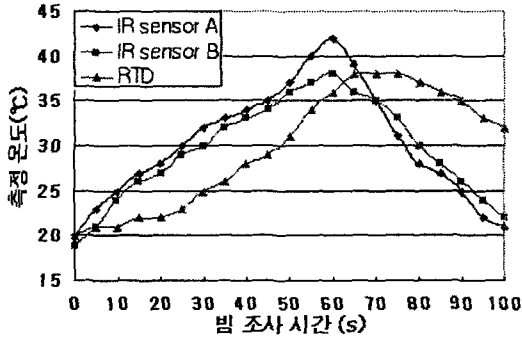


그림 6-1 빔 조사 시간과 표면 온도 (120V)
Fig. 6-1 Irradiation time of beam and surface temperature (120V)

그림 6-1과 6-2의 그래프는 입력 전압 120V, 130V에서 각각의 센서로 측정된 피사체(스테인레스)의 표면 온도이다.

빔을 60s 동안 조사 한 후 정지하여 100s 동안의 온도 변화를 측정하였다. 출력과 조사시간에 따라 선형 적으로 온도가 증가하는 것을 볼 수 있다. 주목 할 만한 것은 RTD의 경우는 빔의 조사가 정지된 후에도 피사체에 남아있는 열의 온도를 잘 감지하고 있지만 IR온도센서의 경우에는 빔이 조사되는 동안의 순간적인 열을 아주 민감하게 측정해내고 있다. 또한 IR 온도 sensor A와 B의 온도차는 HAZ(Heat Affected Zone)를 예측 할 수 있게 한다.

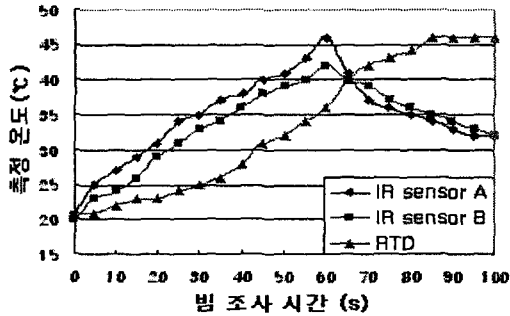


그림 6-2 빔 조사 시간과 표면 온도 (130V)
Fig. 6-2 Irradiation time of beam and surface temperature (130V)

그림 7은 CO2레이저 입력 전압 150V에서 피사체의 종류에 따른 표면 온도를 나타낸 것이다. 빔의 조사시간은 200s이며 온도의 측정은 백금 RTD를 이용하였다. 구리와 스테인레스의 온도 변화 곡선은 유사한데 반해 철의 온도 곡선은 다른 두 종류의 피사체와 상당한 차이를 보이고 있다. 조사면의 표면 온도가 급상승하지 못하는 것은 열영향부(HAZ)가 넓고 주변으로 열을 전달하여 국부적인 가열이 되지 않고 있기 때문이다. CO2레이저를 이용한 산업적 가공에 있어 피사체의 손상을 줄이기 위해서 열영향부(HAZ)를 최소화 할 수 있게 적절한 출력

과 조사시간을 조절해야 한다.

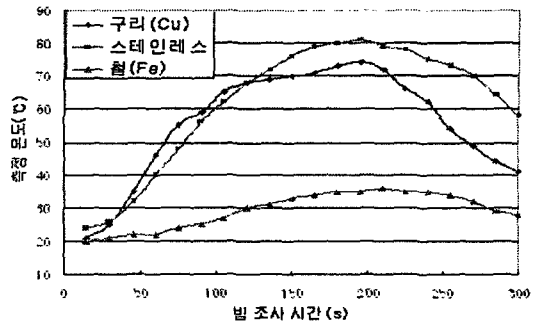


그림 7 피사체의 종류에 따른 표면 온도
Fig. 7 Surface temperature as the kind of irradiated material targets

그림 6과 7에 나타난 데이터를 가지고 본 연구에서 CO2레이저의 산업적 가공의 한 부분인 레이저 도장에 적용 해보았다. 레이저 도장은 에폭시 분말 페인트를 대상물에 입히고 도장을 원하는 부분에 열을 가하면 에폭시 분말 페인트가 녹아서 착색되는 원리이다. 주로 차량이나 가전 제품 도색, 인테리어 등에서 사용되고 있으며 레이저를 이용하기 전에는 토치와 같은 다른 열원을 사용하였으나 정밀한 도색작업을 위해 열원으로 레이저를 많이 사용하고 있다. 조사면 표면온도에 대한 데이터를 인지하지 못하고 작업을 할 때는 CO2레이저의 출력을 어느 정도로 해야할지를 몰라서 분말이 타기도 하고 제대로 녹지 않아서 깨끗한 도색이 어려웠고, 부분적으로 얼룩이 생겼으나, 데이터를 인지하고 출력에 따른 온도를 예측하여 작업하였을 때는 비교적 깨끗한 도색 작업을 할 수 있었다.

3. 결 론

본 연구를 통해 CO2레이저의 출력과 피사체의 종류, 빔의 조사시간에 따라 피사체가 받는 열적 영향이 다양하게 나타나는 것을 확인 할 수 있었다. 따라서, 산업적인 가공에 있어서 다양한 파라미터를 고려하여 어느 정도의 출력이 적절한지를 예측하고, 샘플가공Test를 선행하여 가공의 정확성을 높여야 할 것이다. 앞으로는 본 연구에서 사용된 IR 온도 sensor와 RTD모듈을 더욱 간소화, 정밀화시키고 IR 온도 sensor와 RTD모듈 이외에 다른 센서들을 활용하여 조사면의 표면 온도 측정은 물론 레이저 가공의 질을 향상시킬 수 있는 방안을 모색하고 연구할 계획이다.

[참 고 문 헌]

- [1] P. Loosen, "Recent Development of lasers for Materials Processing", Proc of LAMP'92 Conference, Vol.1, 61-66, 1992.
- [2] James T. Luxon, David E. Parker, "Industrial Lasers and Their Applications", Prentice-Hall, 1992.
- [3] Rahul S. Chokhwalala, "Switching voltage transient protection schemes for high-current IGBT modules", IEEE Transactions on Industry Applications, Vol. 33, no. 6, 1997.
- [4] A. C. Lippincott, "A series resonant converter with constant on-time control for capacitor charging applications", Master's Thesis. Auburn Univ., 147 154, 1990.
- [5] 김희제, "센서 활용의 명수", 우용출판사, 2002.
- [6] J.Hesse, J.N Zemel, "Thermal sensors", VCE, 1990
- [7] R.C. Reed, "Laser-pulse heat treatment" elsevier, 1997