

단계적 절단 속도 변화를 통한 금속 후판의 레이저 절단 성능 향상 연구

선상우*, 오승용, 신재성, 박현민, 김택수, 이림, 정진만, 최병선, 문제권

한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111

*sangwoo7@kaeri.re.kr

1. 서론

레이저 절단 기술은 집광된 레이저 빔을 열원으로 금속을 녹는점 이상으로 가열하여 절단하는 기술을 말하며, 유지 보수비용이 적고, 국소 가공성이 우수하여 타 절단 공법보다 이차 폐기물 발생량이 적은 장점이 있다. 특히, 광섬유 레이저를 이용한 절단 기술은 레이저 광원을 광섬유를 통해서 절단 대상체까지 전송하므로 원격 제어가 용이하여, 작업자 접근이 까다로운 고방사능 환경에서 적합하다 [1-2]. 원자력 시설물 내 대형 장치들은 다량의 스테인리스강, 탄소강, 인코넬 금속을 포함하고 있어서, 원자력 시설물 해체 기술에서 금속 절단 기술이 핵심적인 부분을 차지한다. 본 연구팀에서는 원자력 시설물 해체 기술 개발의 일환으로 고출력 광섬유 레이저를 이용하여 원자력 시설물 내 대형 장치들을 원격으로 해체할 수 있는 레이저 절단 기술을 개발하고 있다.

레이저 절단 기술에서 절단 속도는 시편에 공급되는 레이저 광 에너지양을 결정한다. 상온상태에 있는 금속을 녹는점 이상으로 가열하는 데에는 고온상태에 있는 금속보다 더 많은 레이저 광 에너지가 필요하다. 절단이 시작되는 시점에서는 금속이 상온 상태에 있으므로, 고온 상태의 금속보다 더 많은 광 에너지의 공급이 필요하여 상대적으로 느린 절단 속도가 요구된다. 그러나 일정 시간이 경과되면 금속이 전체적으로 온도가 상승하므로 절단이 시작되는 시점보다는 상대적으로 적은 광 에너지가 요구된다. 본 논문에서는 이런 상황을 실험적으로 모사하였다. 레이저 절단 실험에는 6 kW급 고출력 광섬유 레이저 절단 시스템이 이용되었으며, 단계적 절단 속도 변화와 금속 후판의 절단 효율과의 상관관계를 조사하였다.

2. 본론

2.1 실험장치

Fig. 1은 금속 후판 절단 연구를 위하여 구축된 레이저 절단 시스템을 나타내며, 6 kW급 고출력

광섬유 레이저(YLS-6000, IPG Photonics Corp.), 절단 헤드, 헤드 위치 이동을 담당하는 X-Y-Z축 스테이지 장치로 구성된다. 고출력 레이저 빔은 직경이 100 μm 인 광섬유를 통해서 절단 헤드에 전송되며, 절단 헤드는 전송된 레이저 빔을 시편에 집광하는 기능을 수행한다. 절단 헤드의 위치와 운동속도는 스테이지 장치의 G-코드 프로그래밍을 통하여 원격 제어되었다. 절단 헤드 하단에는 가스 배관과 노즐이 결합 되어 있다. 배관을 통해 유입된 고압의 보조가스는 노즐을 통해 빠른 유속으로 절단 시편에 분사된다. 본 실험에서는 10기압의 고압 압축공기가 보조가스로 사용되었다. 보조가스 유량 측정을 위해 열식 유량계가 배관 경로 중간에 설치되었으며, 절단헤드에 유입되는 유량은 810 mm/min으로 측정되었다. 절단 실험 과정에서 발생하는 분진을 제거하기 위해서는 집진기가 설치되었다.

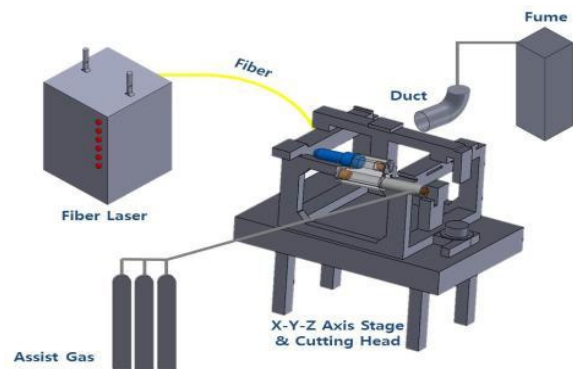


Fig. 1. Laser Cutting System.

2.2 실험 결과 및 토의

스테인리스강의 녹는점은 $\sim 1700\text{K}$ 으로, 녹는점까지 도달하는 데에는 상당한 레이저 광 에너지 공급이 요구 된다 [3]. 본 연구에서는 절단 속도의 단계적 조절을 통하여 시편에 공급되는 레이저 광 에너지양 변화를 주어 절단 효율을 조사하였다. 구체적으로는 시편의 온도를 상온에서 ~ 1700 까지 일시적으로 상승시키는 데에는 많은 레이저 에너지가 필요하므로 시편 가장자리에서 일정 부분까지는 저속으로 절단하여 절단 과정에서 시편의 온도가

전체적으로 상승하도록 유도하고, 그 이후 부분부터는 빠른 절단속도를 적용하였다. Fig. 2는 6 kW 급 고출력 광섬유 레이저의 출력으로 절단된 두께 60 mm 스테인리스강(SUS304L)을 나타낸다.

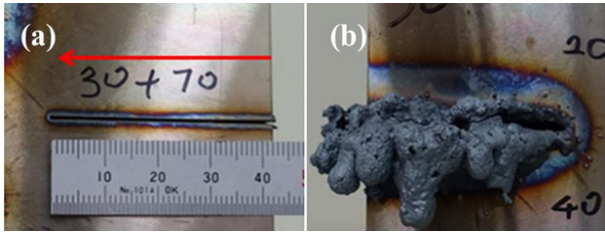


Fig. 2. Stainless steel specimen after cutting, (a) Front, (b) Rear.

레이저 빔 초점 위치가 시편 표면에 가까우면 녹는점 이상으로 가열하는 데 효과적이므로 집광된 레이저 빔 초점은 시편 표면에 위치하였다. 그리고 노즐 출구와 시편과의 거리는 1 mm로 고정되었다. 실험 결과 절단 폭은 1 mm 이하로 측정되었다. 시편의 우측 가장자리에서 좌측 10 mm까지는 30 mm/min의 느린 속도로 절단 되었으며, 그 이후 지점부터는 상대적으로 빠른 70 mm/min 속도를 적용하여 절단하였다. 주목해야 할 점은 동일한 시편에 70 mm/min 단일 절단 속도를 적용하면 절단 되지 않음을 확인하였다. 따라서 금속 후판 절단이 시작되는 시점에서는 급격한 온도 상승을 위하여 일시적으로 많은 열에너지가 필요하므로, 절단 공정 초기에는 저속 절단이 바람직하다.

3. 결론

본 연구에서는 단계적 절단 속도 변화를 통하여 절단 효율에 미치는 영향을 조사하였다. 상온상태에 있는 스테인리스강을 녹는점까지 가열하는 데에는 일시적으로 많은 열에너지가 필요하다. 본 실험에서는 이를 감안하여 절단 과정 초기에 저속 절단을 통하여 충분한 레이저 광 에너지가 시편을 가열하는 열에너지로 변환되도록 하여, 절단 효율을 향상시켰다.

4. 감사의 글

본 연구는 원자력기술개발사업 “해체공정 통합평가 및 원격 제어기술 개발” 과제의 일환으로 수행되었다.

5. 참고문헌

- [1] C. Chagnot, G. de Dinechin, G. Ganneau, “Cutting performances with new industrial continuous wave Nd:Yag high power lasers for dismantling of former nuclear workshops, the performances of recently introduced high power continuous wave Nd:Yag lasers are assessed”, Nuclear Engineering and Design 240, 2604-2613 (2010).
- [2] K. Tamura, R. Ishigami, and R. Yamagishi, “Laser cutting of thick steel plates and simulated steel components using a 30 kW fiber laser”, Journal of Nuclear Science and Technology, Vol. 53, Issue 6, 916-920 (2016).
- [3] Wandera, C., Kujanpaa, V. and Salminen, A. “Laser power requirement for cutting of thick-section steel and effects of processing parameters on mild steel cut quality”, Journal of Engineering Manufacture, Vol. 225, No. 5, 651-661 (2011).