

레이저 절단 기술에서의 보조가스 분출특성에 관한 연구

오승용*, 선상우, 김택수, 박현민, 이림, 신재성, 정진만, 최병선, 문제권, 정도영
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*syoh73@kaeri.re.kr

1. 서론

원자력시설물 해체에 적용되는 금속 구조물 절단 기술에는 작용 원리에 따라 기계적 절단과 열적 절단 기술로 구분할 수 있으며, 기계적 절단 기술에는 기계톱, 밀링, 전단 등의 절단 공구를 금속 구조물에 직접 접촉하여 절단하는 기술과 연마제를 이용한 워터 제트 기술 등이 있다. 플라즈마 아크 절단, 화염 절단, 레이저 절단 기술 등은 열적 절단 기술에 해당된다. 원자력 시설물 해체는 극한 고방사능 환경에서 이루어지므로 작업자의 안전, 합리적인 비용, 이차 폐기물의 최소화 등을 고려하여 적합한 기술 선택이 요구된다.

레이저 열적 절단 기술은 직경 1 mm 정도에 집광된 레이저 빔을 열원으로 대상체의 국소 부분만 녹여서 절단하므로[1,2,3], 절단과정에서 발생하는 이차 폐기물이 적은 장점이 있다. 광섬유 레이저는 원거리에서 광섬유를 통한 레이저 빔 전송이 가능하므로, 원격 조작성이 우수하다. 따라서 고출력 광섬유 레이저를 이용한 절단 기술은 원전 해체시 요구되는 작업자 안전성 확보 측면에서 다른 해체 기술과 비교하여 월등한 장점이 있다.

레이저 절단 기술에서 절단 부위의 용융물 제거에는 좁은 면적의 노즐을 통하여 빠른 속도로 분사되는 보조가스가 사용된다. 보조가스에는 질소, 압축공기 등이 있다. 노즐을 통과한 초음속의 보조가스는 절단 부위의 용융물을 절단 대상체 바깥으로 신속하게 밀어내는 기능을 수행하며, 용융물 제거 효과를 높이기 위하여 일반적으로 노즐과 절단 대상체 사이의 거리를 ~수mm로 가깝게 한다.

절단 부위에서 용융물을 신속하게 제거하는 것은 레이저 절단 효율 향상에 중요한 역할을 함으로, 노즐에서 분출되는 보조가스의 유동을 이해하기 위한 연구가 지속적으로 진행되어 왔다. 보조가스 분출 특성 연구의 접근 방법에는 쉘러린(schlieren) 유동가시화 기법[4]과 레이저 간섭계[5,6], 이론적인 수치해석 등이 있다. 본 논문에서는 노말스키(Nomarski) 레이저 간섭계를 적용하여 노즐에서의 분출 형태를 측정 연구를 수행하였다.

2. 본론

2.1 실험 장치 및 결과

본 연구팀에서는 6 kW급 고출력 광섬유레이저를 기반으로 하는 금속 절단 시스템을 보유하고 있다. 레이저 절단 시스템은 크게 광섬유 레이저 장비와 레이저 절단헤드로 구성되어 있으며, 레이저 본체에서 발진하는 고출력 레이저 빔은 25 m 길이의 광섬유를 따라 절단헤드에 전송된다. 절단헤드에는 레이저 빔을 절단시편에 집광하여 기능을 수행하는 광학계와 헤드 하부에는 외부에서 헤드로 유입되는 고압상태의 보조가스를 빠른 유속으로 용융 금속에 분사하는 역할을 하는 노즐이 결합되어 있다. 본 실험에서는 10기압의 압축공기가 노즐에 공급 되도록 하였다.

Fig. 1은 노즐에서 분사되는 압축공기의 분출 형상을 측정하기 위하여 구성된 레이저 간섭계 실험 장치를 나타낸다. 간섭무늬 측정에서는 노말스키 타입의 레이저 간섭계와 He-Ne 레이저 (파장: 632.8 nm)를 탐침 빔(probe beam)의 광원으로 사용하였다. 탐침 빔은 -25 mm와 1600 mm의 두 초점 렌즈를 통과하는 과정에서 확대와 조준 과정을 거쳐 직경이 2 mm인 노즐에서 분출되는 압축공기를 통과하고 간섭계에 전송된다. 간섭계 내의 초점렌즈는 전송된 탐침 빔을 집속하며, Bi-프리즘은 탐침 빔을 두 개의 복제된 빔으로 변환하는 기능을 수행한다. 이때 두 개의 빔을 부분적으로 겹치게 하는 과정에서 간섭 현상이 발생하며, 유도된 간섭광은 확대 과정을 거쳐 656 × 488 픽셀수를 갖는 CCD카메라에 전송된다.

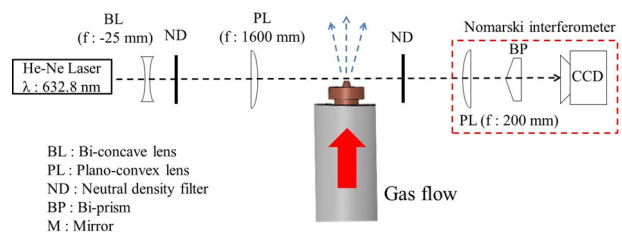


Fig. 1. Schematic representation of experimental setup.

Fig. 2는 노즐에서 분출되는 보조가스에서 측정된 레이저 간섭무늬와 줄무늬 위상이동(phase shift) 값을 나타낸다[5,6]. 노즐 출구에서 팽창하는 보조가스는 주위 대기와 밀도가 다르기 때문에 다른 굴절률 분포를 가지며, 측정된 위상 이동은 분출되는 보조가스의 굴절률 정보를 담고 있다. 굴절률은 가스밀도와 비례하는 이론적 사실을 바탕으로 팽창하는 보조가스의 공간 밀도분포를 계산할 수 있다. 공간 밀도분포 계산에는 Abel Inversion 방정식이 적용된다.

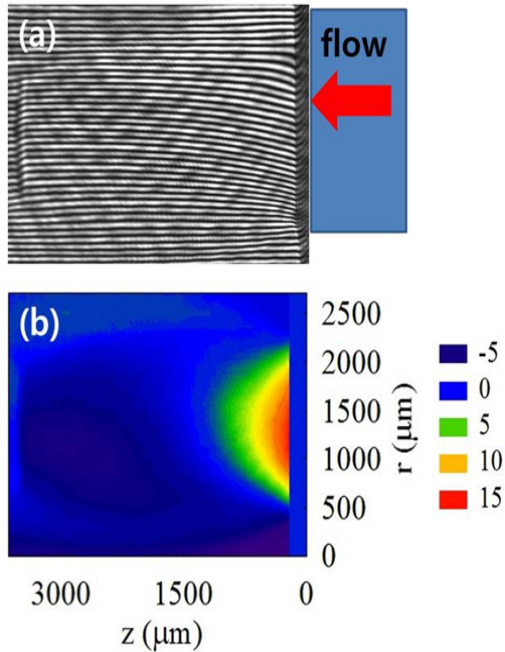


Fig. 2. (a) Laser interferogram of the auxiliary gas discharging from the nozzle (b) Phase shift map(in units of radians).

3. 결론

레이저 절단 기술을 원자력시설물 해체 현장에 적용하기 위해서는 레이저 광학계, 금속물성, 노즐의 기하학적 형태, 용융물 제거에 사용되는 보조가스 분출 특성 등과 같은 설계변수를 최적화하기 위한 많은 연구가 필요하다. 본 연구에서는 레이저 간섭계를 이용하여 노즐에서 분사되는 보조가스의 분출 특성 연구를 수행 중에 있으며, 보조가스 공간 밀도 분포 계산을 진행하고 있다.

4. 감사의 글

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

5. 참고문헌

- [1] Steen WM, Mazumder J, “Laser Material Processing.”, Springer, London (2010).
- [2] Sun S, Brandt M, “Laser beam machining. In: Davim JP(ed) Nontraditional machining processes”, Springer, Berlin, (2013).
- [3] C. Wandera, V. Kujanpaa, A. Salminen, “Laser power requirement for cutting of thick-section steel and effects of processing parameters on mild steel cut quality”, Proc. ImechE Part B: J. Engineering Manufacture, Vol. 225, 651-660 (2010).
- [4] 손상혁, 이열, 민성규, “유동가시화 기법을 이용한 레이저가공의 보조가스 충돌특성에 관한 연구”, 대한기계학회논문집 B권, 35(2), 153~160 (2011).
- [5] K. Shimomiya, D. Ono, Y. Miyazato, “Mach-Zehnder interferogram analysis of axisymmetric underexpanded sonic jet using Fourier-Hankel methods”, Aerospace sciences meeting including the new horizons forum and aerospace exposition, 20(4), 3511-3516 (2013).
- [6] T. Nakamura, J. Iwamoto, “Experimental study on oscillation mode of underexpanded impinging jet and behavior of plate shock waves”, Transactions of the japan society for aeronautical and space sciences, 43(141), 137-142 (2000).