

원자력 발전소 해체를 위한 고출력 광섬유 레이저 활용 두꺼운 스테인레스 강 절단 연구

신재성*, 오승용, 박현민, 선상우, 정진만, 김택수, 이림, 최병선, 문제권
한국원자력연구원, 대전광역시 유성구 대덕대로 989번길 111
*jsshin12@kaeri.re.kr

1. 서론

레이저 절단 기술은 원자력 발전소 해체에 있어 강력한 도구 중 하나이다. 레이저 절단은 기계 절단, 플라즈마 아크 절단(plasma arc cutting), 연마제 워터젯 (AWJ, abrasive water jet) 등을 이용한 타 절단 공법에 비해 효율적이며, 좁은 커프 폭(kerf width)으로 절단 가능하기 때문에 이차 폐기물 발생량이 적다. 또한 레이저 광을 광섬유로 전송할 경우 대형 전기, 기계 장치 없이 절단 헤드만 작업 공간에 놓이기 때문에 방사성 공간에서의 원격 제어를 이용한 절단에 유리하다. 게다가 레이저 절단은 비접촉식 절단으로 절단 시 반력이 발생하지 않아 로봇 팔 등에 장착하여 제어할 수 있다는 장점도 있다. 이와 더불어 레이저 절단은 수중에서의 절단 또한 가능하다. 이러한 여러 가지 장점 때문에 레이저 절단을 원자력 발전소 해체에 적용하기 위한 기초 연구 및 실증 시험이 전 세계적으로 진행되고 있다 [1-5].

원자력 발전소 내 원자로는 수십 mm에서 최대 약 300 mm 두께의 철강으로 구성된다. 따라서 원자로 해체에 레이저 절단을 적용하기 위해서는 우선적으로 두꺼운 철강 절단에 대한 사전 검증이 반드시 필요하다. 본 연구에서는 레이저 절단의 원자력 발전소 해체 적용을 위한 기초 단계로서 두꺼운 철강을 효과적으로 절단하기 위한 레이저 절단 헤드를 개발하였다. 또한 개발된 절단 헤드와 6 kW 고출력 광섬유 레이저를 활용하여, 60 mm 이상의 두께 절단을 목표로 스테인레스 강 판재에 대한 절단 실험을 수행하였다.

2. 본론

2.1 레이저 절단 헤드

두꺼운 철강 절단을 목표로 고출력 광섬유 레이저를 적용할 수 있는 레이저 절단 헤드를 개발하였다. 개발된 헤드는 두꺼운 절단 시편 내에서 높은 광밀도를 유지하도록 초점 거리 600 mm의 장초점 소자를 사용하였다. Fig. 1은 개발된 레이저 절단

헤드의 구성도이다. 광섬유를 통해 전송된 레이저 광은 콜리메이터(collimator)를 통과하며 시준된 후 집속거울(focusing mirror)에 반사되어 절단 시편 쪽으로 집속된다. 이때 추가적인 평면거울(plane mirror)을 활용하여 'Z'자형 광경로를 만들어 준다. 이러한 'Z'자형 광경로를 통해 절단 헤드를 소형화하여 향후 좁은 공간에서의 원격 제어에 용이하도록 하였다. 또한 고출력의 레이저 구동 시에도 열적 손상이 발생하지 않도록 광학 소자들은 모두 수냉식으로 구성하였다. 레이저 절단은 레이저 출력 흡수로 발생한 금속 용융물을 효과적으로 불어내기 위한 보조가스(assist gas)가 필요하다. 노즐부에서 레이저 광은 보조가스와 함께 동축 노즐을 통과하여 시편에 조사될 수 있도록 설계, 제작하였다.

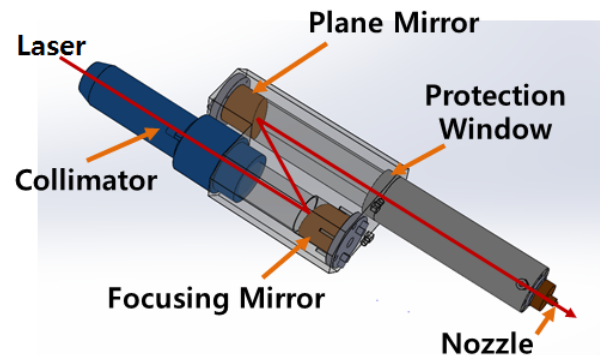


Fig. 1. Scheme of the developed laser cutting head.

2.2 레이저 절단 실험

개발된 레이저 절단 헤드와 6 kW 고출력 광섬유 레이저를 활용하여 스테인레스 강 판재에 대한 절단 실험을 수행하였다. Fig. 2는 레이저 절단 실험 장면이며, X-Y-Z 스테이지(stage)에 부착된 레이저 헤드가 시편의 우측에서 좌측으로 이동하며 절단이 진행된다. 이 때 절단 속도는 헤드의 이동 속도로 결정되며, 라인 별로 절단 속도를 증가시키면서 절단 후에 시편의 절단 여부를 판단, 최대 절단 속도를 측정하였다. Fig. 3은 스테인레스 강(SUS304L) 판재의 두께에 따른 최대 절단 속도를 측정한 그래프이다. 일반적으로 레이저 출력 kW 당 10 mm 두께의 스테인레스 강이 절단 가능하다고 알려져

있으나[3] 개발된 레이저 헤드를 활용한 절단 실험에서는 100 mm 두께의 스테인레스 강 판재도 절단 가능하였다. 60 mm 두께 절단의 경우 최대 절단 속도는 72 mm/min 이었고, 100 mm 두께 절단의 경우 최대 절단 속도는 7 mm/min 로 측정되었다.

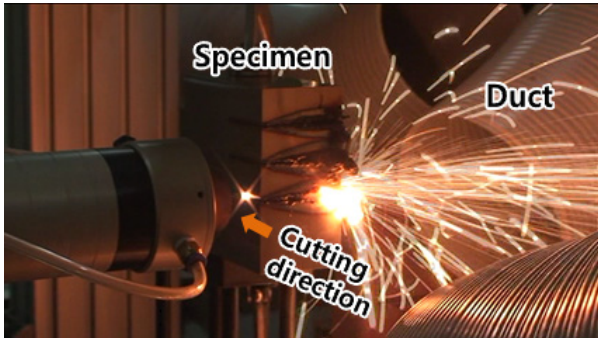


Fig. 2. View of the laser cutting experiment.

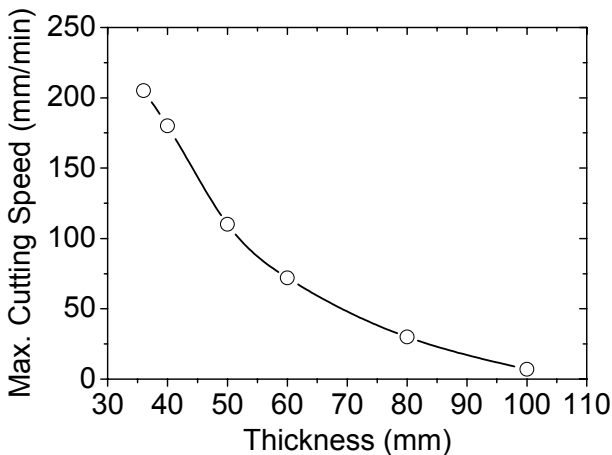


Fig. 3. Maximum cutting speeds against the thicknesses of stainless steel plates.

3. 결론

본 연구에서는 두꺼운 철강 절단을 효과적으로 절단하는 것을 목표로 하여 레이저 절단 헤드를 개발하였다. 개발된 절단 헤드와 6 kW 광섬유 레이저를 활용하여 목표로 하였던 60 mm 이상 두께의 스테인레스 강 판재 절단을 성공적으로 수행하였다. 60 mm 두께에 대한 최대 절단 속도는 72 mm/min으로 이는 현재까지 발표된 결과 중 가장 빠른 속도이다. 또한 100 mm 두께의 스테인레스 강 판재도 절단 가능하였다.

본 연구에서 수행된 실험 결과는 향후 원자로 해체 실증을 위한 레이저 절단 공법의 기초 실험 결과로서 활용될 수 있을 것이다.

4. 감사의 글

본 연구는 미래창조과학부의 재원으로 시행하는 원자력연구개발사업의 일환으로 수행되었습니다.

5. 참고문헌

- [1] K. Tamura, R. Ishigami, and R. Yamagishi, "Laser cutting of thick steel plates and simulated steel components using a 30 kW fiber laser," *J. Nucl. Sci. Technol.* 51, 916-920 (2016).
- [2] K. Tamura, and R. Ishigami, "Laser cutting conditions for steel plates having a thickness of more than 100 mm using a 30 kW fiber laser for nuclear decommissioning," *Mechanical Engineering Journal* 3, 15-00590 (2016).
- [3] C. Chagnot, G. de Dinechin, and G. Canneau, "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," *Nucl. Eng. Des.* 240, 2604-2613 (2010).
- [4] P. A. Hilton, and A. Khan, "Underwater cutting using a 1 μ m laser source, *J. Laser Appl.* 27," 032013 (2015).
- [5] A. Choubey, R. K. Jain, S. Ali, R. Singh, S. C. Vishwakarma, D. K. Agrawal, R. Arya, R. Kaul, B. N. Upadhyaya, and S. M. Oak, "Studies on pulsed Nd:YAG laser cutting of thick stainless steel in dry air and underwater environment for dismantling applications," *Opt. Laser. Technol.* 71, 6-15 (2015).