

원자력 발전소 증기발생기 레이저 보수용접 기술

Nd:YAG Laser Welded Sleeving Technology for Steam Generator Tubes in Nuclear Plants

한국원자력연구소 정진만, 김철중

I. 서론

원자력 발전소의 건전성 확보 및 수명연장을 위하여 증기발생기 전열관의 레이저 슬리브 보수용접 기술을 개발하였다. 증기발생기 전열관은 원자력 발전소 수명연장에 직접적으로 영향을 미치는 주요부분으로, 현재 Inconel 600 재질을 사용하고 있는데, 오래된 발전소의 경우 계속 문제점이 발생되고 있으며, 보수를 필요로 한다. 전열관 결함에 대한 보수 및 방지기술은 plugging, sleeving, shot penning, Ni-plating 등이 있으나, 최근에는 고출력 Nd:YAG 레이저를 이용한 원격 sleeving 보수기술이 개발되었다.

광섬유 및 Nd:YAG 레이저를 이용한 원격보수 기술은 미국 W/H, 일본 MHI, 독일 Siemens 등이 개발하였으며, WH 사에서는 실용화 및 보수경험을 갖고 있다. 현재 한국원자력연구소에서도 전열관 원격 레이저 보수용접에 대한 장비 및 기구를 개발하였으며, 고리 1 호기 전열관규격(7/8") 및 후속기(3/4") 전열관 sleeve tube를 삽입하여 약 50 m 떨어진 곳에서의 원격 레이저 용접을 실험실적으로 실증하였다.

II 전열관 파손 유형

증기발생기 전열관의 파손 원인은 열화에 의한 전열관 재료의 부식, 피로 마모, 침식등이며, 주로 표면에서 발생하여 내부로 진행된다. 전열관 결함부위 위치는 그림 1 과 같이 sheet, support 및 U-bend 부분이다. U-bend 부분의 보수는 거의 불가능하며, 보수는 주로 sheet, support 부분에서 이루어 진다.

이곳의 결함은 발전소 보수 정비기간 동안에 eddy current 방식으로 결함위치를 조사하고, sleeving 보수 방법으로 문제점을 해결한다. 그러나 기존 방식으로 보수가 어려운 증기 발생기의 shell 부근이나 support 등의 깊숙한 부분에서 레이저를 이용한 보수용접으로 짧은 시간에 보다 넓은 영역에서 보수가 가능하다.

III 레이저 sleeving 보수용접 개념 및 장치개발

증기발생기는 수천개의 U-tube를 갖고 있다. 손상된 전열관 내부에 직경이 작은 inconel 600 sleeve를 삽입하여 결합부위 상하부분에 sleeve 내부로부터 용접을 한다. Tube sheet로부터 수m 이상 떨어져 있는 support의 보수는 광섬유를 이용한 장거리 전송 원격 레이저 가공기술이 필요하다.

본 연구에서는 장거리 전송을 위한 광섬유 연결광학계를 구성하였다. Input coupling에 사용된 입사렌즈는 F/3.3으로, 집광시 spot 크기는 약 660 um 값을 갖도록 설계되었다. 광섬유는 실험오차와 광섬유 보호를 위해 1000 um 광섬유를 사용하였다. 레이저 가공기에서 나온 레이저는 이 광섬유로 약 50m 전송되어 용접시편부의 용접 tool에 다다른다. 광섬유의 연결은 광섬유가 손상될 경우 손상된 일부분만을 교체하기 위하여 필요하다. Sleeving 용접 tool은 광섬유 출구에서 퍼져나오는 레이저빔을 다시 집광시켜 sleeve 벽면에 집속 용접시키는 기능을 갖는다. 집속광학계는 f=25mm와 f=20mm의 lens로 구성되었으며, 집속 spot 크기는 800um로 설계되었다. 레이저 용접 시 보호가스의 종류에 따라 용접 상태가 매우 다양하다. 특히 Ar 과 He 에서는 용접 부위의 기공이 나타나며, N2 분위기 상태에서는 나타나지 않는다

전열관과 sleeve 와의 용접폭은 용접 강도면에서 sleeve 두께 또는 그 이상이 되어야 하며, 레이저의 용입깊이는 aspect ratio가 1 일경우 그 깊이도 1.0 mm 이상이 되어야 한다. 따라서 용입 깊이 및 용접 폭은 1.0 mm 이상이 되어야 한다.

또한 본 연구에서는 레이저 용접에서는 여러 가지의 장치를 개발하였다. 개발된 장치는 1) 전열관의 sleeve 를 삽입, 전열관과 sleeve 를 밀착시키는 수압식 확관기, 2) 확관된 부위에서 용접을 위한 레이저 용접 기구, 3) 용접부위의 용접상태를 확인할 수 있는 비파괴 검사장치등이다.

IV. 결론

전열관 보수용접을 위하여, 3/4" sleeve 안에서 용접이 가능한 외경 14 mm 레이저 용접tool을 자체 설계/제작하였고, 광섬유로 전송된 고출력 Nd:YAG 레이저 빔을 사용하여 3/4" sleeve 의 레이저용접을 성공적으로 실증하였다. 현재 광학계, 용접조건, 실시간 용접 감시방식등을 계속적으로 연구중이며, 추후 신뢰성 및 내구성이 입증되면 원전시설의 보수 유지에 적용될 수 있을 것이다. 또한 원자력 산업에 사용될 레이저 용접기술에 필요한 품질보증, 용접절차 그리고 자동화 과정등의 연구가 필요하다

V. 참고문헌

1. H. Takamatsu, Nuclear Engineering International, Jan. (1991) 26.
2. 고리 원자력 1 호기 증기발생기 세관손상 원인조사 보고서, 한국원자력연구소, 1989
3. 원전 2차개통 부품의 안전성 평가기술 연구, 한국원자력안전기술원, 1990.
4. 레이저 가공 및 광계측 기술 개발 KAERI/RR-1492/94, 한국원자력연구소, 1994.
5. High Power YAG Laser Welded Sleeving Technology for Steam Generator Tubes in Nuclear Power Plants. Proceedings of LAMP '92, June. 1992 957.